



面白くて眠れなくなる数学もたち

神奇有趣
爱上数学

有趣得让人睡不着的数学

$$G_{\mu\nu}=8\pi GT_{\mu\nu}$$

【日】樱井进 著
刘子操 译

$$E=mc^2$$

$$H\Psi=E\Psi$$

日本中小學生經典科普課外讀物
系列累計暢銷 60 萬冊

数学就是故事

日本知名科學領航人櫻井進“數學娛樂”代表之作
引領你進入奇妙的數學世界的全明星陣容介紹
納維爾與對數／牛頓與萬有引力定律
愛因斯坦與相對論／德布羅意科學與量子力學等

$$F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$$



总 目 录

[有趣得让人睡不着的数学](#)

[可怕得让人睡不着的科学](#)

[有趣得让人睡不着的物理](#)

[有趣得让人睡不着的天文](#)

[有趣得让人睡不着的地理](#)

[有趣得让人睡不着的生物](#)

[有趣得让人睡不着的植物](#)

[有趣得让人睡不着的进化论](#)

面白くて眠れなくなる数学者たち



有趣得 让人睡不着的 数学

【日】櫻井进 著

刘子璠 译



北京时代华文书局

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

关于作者

【日】樱井进

1968 年生于山形县。毕业于东京工业大学理学院数学系及同大学研究生院。科学导航者，东京理科大学研究生院、日本大学艺术学院、日本电影大学客座讲师。

学生时期就开始作为讲师登上讲坛，在大型教育机构用生动有趣、通俗易懂的方法向学生们教授数学、物理。2000 年，作为日本第一位科学导航者，通过讲述数学的历史和数学家们的人生经历，在各种讲座上向人们宣传数学带来的惊奇与感动。他首创的“数学娱乐”在日本全国上下引发强烈反响，电视节目、报纸、杂志纷纷报道，引发热烈讨论。

主要代表作有《有趣得让人睡不着的数学》《超有趣得让人睡不着的数学》《超·超有趣得让人睡不着的数学》《感动的数学！》《激动人心的数学世界大冒险》等。

面白くて眠れなくなる数学者たち

有趣得 让人睡不着的 数学

【日】櫻井进 著
刘子琛 译

北京时代华文书局

图书在版编目（**CIP**）数据

有趣得让人睡不着的数学/（日）樱井进著；刘子璨译．—北京：北京时代华文书局，2019.6（2019.9重印）

ISBN 978-7-5699-3037-5

I．①有... II．①樱... ②刘... III．①数学-青少年读物 IV．①01-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第086676号

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2018-6095

OMOSHIROKUTE NEMURENAKUNARU SUUGAKUSHA-TACHI

Copyright © 2014 by Susumu SAKURAI

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2014 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

有趣得让人睡不着的数学

YOUQUDERANGRENSHUIBUZHAODESHUXUE

著 者 [日] 樱井进

译 者 刘子璨

出版人 王训海

选题策划 高磊

责任编辑 邢楠

装帧设计 程慧 段文辉

责任印制 刘银 范玉洁

出版发行 北京时代华文书局 <http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印 刷 凯德印刷（天津）有限公司 电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开 本 880mm×1230mm 1/32

印 张 6.5

字 数 104千字

版 次 2019年7月第1版

印 次 2019年9月第2次印刷

书 号 ISBN 978-7-5699-3037-5

版权所有，侵权必究

自序

数学与人同在。

这是我所著的高中数学教科书《数学的应用》（启林馆出版）中的基本理念。在学校教科书中被省略的也即是“数学是故事”这一点。数学是历经2000多个春秋编织而成的壮丽诗篇。

我们生存在奔流不止的时间长河中，肉眼看不见的时间在我们的身体中，在整个自然中流逝着。时间是由我们的记忆与群星的流转构筑而成的。

人类在学会通过观察群星的运转来确认时间之前，经历了漫长的岁月。由此也创造出了“天文学”这门学问，并对研究空间与时间学系——物理学也产生了深远的影响。

数学是故事。但在教科书上，我们并没有把数学当作故事来讲。教科书中的所有内容都是很唐突的。在小学里学习的“算数”，到了中学突然就变成了“数学”。方程、三角函数、指数、对数、微积分接连登场，这些知识就像是毫无预兆的狂风暴雨一般向我们袭来。我们在突如其来的暴风雨中饱受摧残，一波未平一波又起，数学带来的疾风骤雨，将会毫不停歇、接二连三地袭来。

我们无从知晓数学这场风暴会在何时结束。如果鼓起全部勇气问数学老师“数学是为了什么而存在的呢？”“为什么一定要学数学呢？”的话，恐怕老师又会就着“为了考试”而大说特说，不由分说地教训你一番。

而大家“讨厌数学”的根本原因，难道不是因为“讨厌老师教数学的方法”吗？

数学是人类倾注心血凝结而成的智慧结晶，是最宝贵的知识财富。数学有着辉煌过去，正在经历当下，并向未来进发。古希腊数学家欧几里得所著的《几何原本》，可以说是数学史诗的开端。

我在研究数学时，有时会突然这样想：这篇史诗，究竟有多少页呢？

假如想要将《几何原本》迄今两千多年所有的数学典籍、论文编辑成一套书，为了收藏这部书，我们又该建一个多么庞大的图书馆呢？

数学这篇壮丽的史诗中，记载着人类是如何通过知识的传承，将“无穷”“永远”这些某个人类绝对无法掌握的至宝悉数掌握的。如此有趣的故事，却被教科书讲述得无聊至极，这实在是令人感到万分遗憾。

本书是关于我选出的数学家、物理学家们的故事。它其实更是一本对我领入科普写作事业的全明星阵容的介绍。纳皮尔、爱因斯坦、仁科芳雄、拉马努金……他们的人生和伟绩，曾经深深地触动了我的心灵。

数学这个故事，在此时此刻也正在产生新的发现，正在被数学家们翻开新的一页。

数学，是一个“Never Ending Story（没有结尾的故事）”。

目 录

[自序](#)

[Part 1 纳皮尔：拯救了无数人的性命——关于对数的史诗](#)

[对数背后隐含的感人故事](#)

[Part 2 牛顿：至今仍在影响世界的天才物理学家](#)

[牛顿的“奇迹的两年”](#)

[Part 3 关孝和：能够自如运用微积分的和算天才](#)

[在江户时代，算数书成为畅销书](#)

[Part 4 爱因斯坦：预言了黑洞和宇宙大爆炸的公式](#)

[将宇宙凝缩为短短三个字符](#)

[Part 5 玻尔、仁科芳雄：为不可思议的量子力学做出杰出贡献](#)

[猫变成了僵尸？](#)

[Part 6 费马、谷山丰：沉迷于完全证明超级难题的数学家们](#)

[上帝交给脆弱人类的最伟大的接力棒](#)

[Part 7 拉马努金：美妙公式与圆周率的故事](#)

[我与拉马努金的相遇](#)

[后记](#)

[参考文献](#)

[返回总目录](#)

Part 1

纳皮尔：拯救了无数人的性命
——关于对数的史诗

$$y = \log_{10} x$$

对数背后隐含的感人故事



约翰·纳皮尔（1550~1617）发现了对数，发明了“纳皮尔的骨头（一种用于简化计算的工具）”，也是如今人们使用的小数点记号的发明者。

我上高二的时候，在课上学习了对数。课上，老师告诉我们“ $2^3 = 8$ ”可以变形为“ $3 = \log_2 8$ ”，但我却并不明白这是为什么。我十分奇怪“这么麻烦的计算到底有什么意义啊？”

就是在那时，我从一本介绍数学家的书上认识了纳皮尔。书上记录的事实真相，不仅解开了我的困惑，更令我万分震惊。

“对数的发明，是为了让天文学的计算更加简便，同时也是为了帮助在航行中备受折磨的船员们。”

我记得书中是这样说的。数学，是一门能够拯救人的生命的学系.....在那之后，纳皮尔就一直活在我的心中。

数学很容易被人误会成一门“没有人情味的、冰冷的，只存在于数字世界的学问”。但它实际上是一门动人心弦的、充满激情的学系。

数学并不仅仅追求实用性。数学家们与金钱、地位无缘，仅仅是为了追求真理而踏入数学的世界。而他们的追求，在结果上却造福了无数的世人。

比如说，法国数学家皮埃尔·德·费马提出的“费马大定理”，这是一个关于整数的著名定理。经过大约三百六十年的岁月，费马大定理终于在1994年被英国数学家安德鲁·怀尔斯（1953～）所证明。而在人们摸索证明的过程中诞生的数学发现，被应用于密码技术之中，而密码技术正是互联网技术不可或缺的一部分。如果没有密码技术，互联网想必不会如此发达。所有信息都暴露在光天化日之下的通讯方式，是派不上任何用场的。

就像这样，数学从结果上来讲能够为人类提供帮助，有时甚至还能拯救人的生命。对数，就是这样一个绝佳的例子。

对数长期以来在数学界应用率颇高。我们之所以能够受益于科技发展，建立起极为发达的文明社会，也是托了对数的福。如果没有对数，日本是无法建立起如此先进的工业国家的。

很少有人知道，纳皮尔曾经冒着生命危险追求对数的真理。其实，有很多日本人一听到“对数”两个字就头皮发麻。光是看到“log”的符号，恐怕就会有人表示“我就是因为你才讨厌数学的”。

但是，对数可以说是一个爱的结晶。在对数被发现的背后，隐藏着一个男人的伟大史诗。在本章，我将要介绍一个伟男子，他为了拯救世人的生命，独自一人勇闯黑暗的数学世界。

故事，发生在16世纪的苏格兰。

约翰·纳皮尔于1550年诞生于这个世上，他生于苏格兰首都爱丁堡西南方的梅奇斯顿城内。他生来就是要成为梅奇斯顿城的第八代领主的人。

随着年龄的增长，纳皮尔开始展现出非凡的才华。他13岁时已经进入大学学习宗教学。身为城主之子，他还统领起当地的居民，用充满个人色彩的奇思妙想解决了各种各样的难题。

譬如，有农民希望“让土地增收”，纳皮尔就采用新型肥料，还发明了抽水机，在农业、土木工程的技术开发方面也有所建树。

有一次，纳皮尔听农民反映“有来路不明的怪物啃坏了农田”，就发明了一种大炮，能够将周长4英里（约为6.4千米）的田地中体型超过1英尺的生物全部消灭。

在煤矿工作的矿工反映“矿里涌出了地下水，我们没法继续工作”，纳皮尔就发明了能够将矿坑内的积水排出，控制矿坑内水位高度的螺旋推进器。早在16世纪，他就发明了能在水中转动螺旋翼的技术！

用现在的话来说，纳皮尔算是一个发明家。不仅如此，他还是一名为了帮助他人而施展才华的优秀工程师。

纳皮尔还开发了包括潜水艇、战车在内的许多武器，这些想来也是为了让领地内的人民感到安全放心而发明的。

那时的欧洲，处于一个战乱的年代。苏格兰人民十分畏惧当时全欧洲最强的国家——西班牙，会从海上侵略自己。

向神秘莫测的计算世界进发

当时的欧洲正处于战乱年代，同时也正处于大航海时代的高潮。欧洲资源贫瘠，想要发展，只能前往新的大陆寻找资源。西班牙等列强利用当时最先进的技术，建造了大型船舰，竞相在世界各大洋中开辟新航路，争夺霸权。

各个大国想要寻找的是印度。当年，印度拥有许多欧洲人喜爱的产品作物。哥伦布受命于西班牙女王，出海远行，最终能够发现美洲大陆，也是因为想要从西方开辟一条通往印度的航路。纳皮尔想必也经常听人提及航海的话题吧。

在当时的背景下，航海天文历和海难也是各个天文台最热门的话题。所谓“航海天文历”，指的是预测天体运行的历法。在当今社会每年也都会发行新版，但在过去那个没有计算器的年代，需要大量运算作支撑的航海天文历是很不精准的。

因为航海天文历准确性过低，出海远航的船员们往往会束手无策。他们需要观测出准确的时间及天体位置，并同航海天文历进行对照，从而得出自己当前所处的大概位置。如果航海天文历不准确，他们就会判断失误，驶向错误的方向。这在当时就意味着必将遇难，也就是死亡。

请你闭上眼睛，简单想象一下。

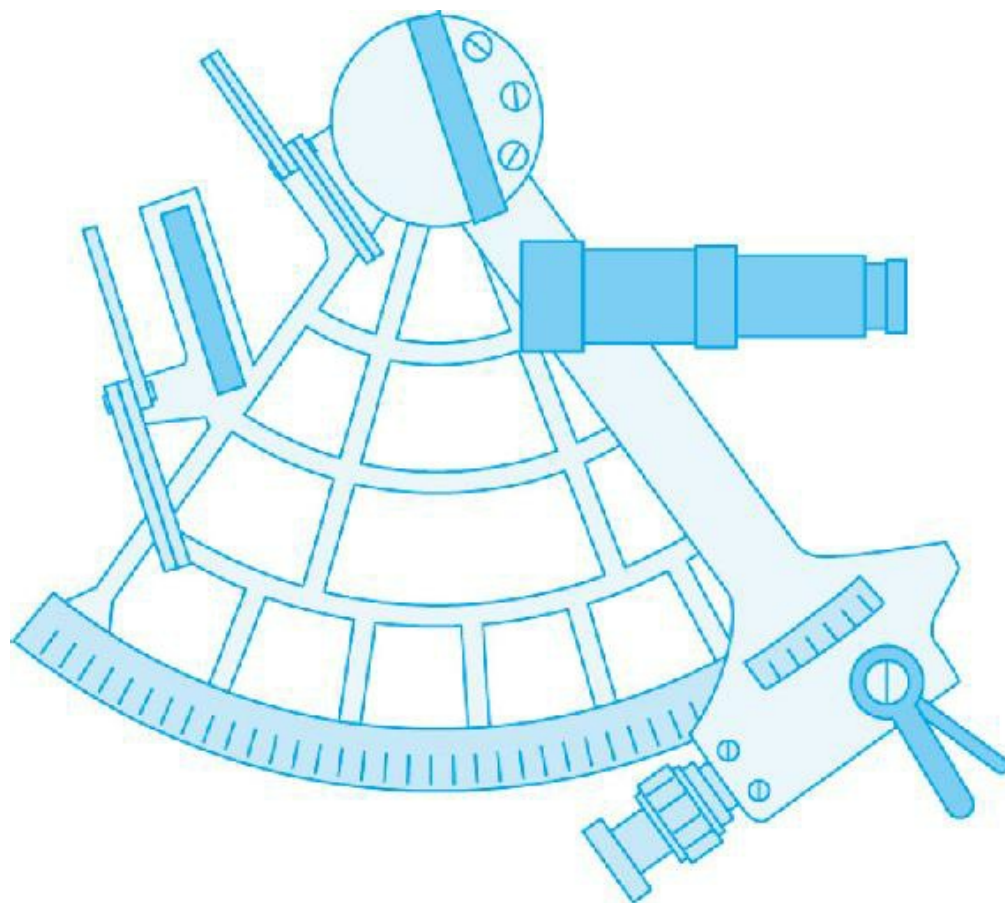
现在，你行驶在一片漆黑的太平洋的正中央，原本十天之前就应该抵达目的地了，然而一天又一天过去，你却一直看不到陆地的影子。

这天晚上，你幸运地看到了星星。

你拿出了六分仪（用来测量角度的仪器），把星星的位置翻来覆去地测量了好几遍，又看了看表，记录了现在的时间。没有问题。于是你把这些数据拿去和航海天文历一一对照，为了避免出错，你还多算了几次。

然而，尽管你是如此的谨慎细致，到了第二天早上，你还是没有看到本应早就抵达的陆地。你能看见的，只有远方无尽的海平面.....就这样，你在漫无尽头的汪洋中漂泊着，最终，船员们也一个接一个地葬身鱼腹。

◆六分仪



其形状呈扇形，角度为圆的六分之一，因此被称为“六分仪”。

在发明对数之前，纳皮尔一直在研究“球面三角学”。

在类似于地球这样的球体表面出现的三角形被称为球面三角形。球面上连接两点的最短曲线被看作是直线。由这样的直线形成的三角形就是球面三角形。研究其“边长”“角度”关系的学系就是球面三角学。

在大航海时代想要远洋航海，就需要计算出发地和目的地之间的距离，也就是说需要计算所谓的球面弧长。

纳皮尔在研究过程中，建立了“纳皮尔比拟式”和“纳皮尔圆部法则”。

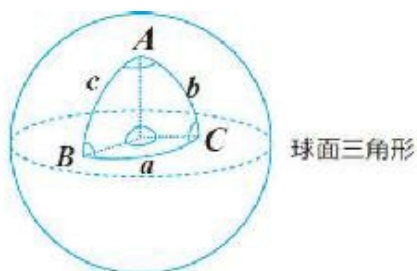
球面三角学的计算中，会出现天文学的相关计算。[参见此处](#) 的图片是一个题例，由地球上两地间的经纬度来计算两地间的距离。而大家都熟悉正弦（ $\sin$ ）函数、余弦（ $\cos$ ）函数等的三角函数，它们彼此间的相乘运算是非常复杂的。

天文学家们需要准确的航海天文历。然而，编写天体运行历法的每一个过程，都需要计算。想要预测天体的运动，就必须计算真正意义上的“天文级数字”。而且每年都必须重新计算一次。

天文学家们纷纷哀号：“这是不可能完成的任务！”

当纳皮尔发现天文学家面对庞大的计算量袖手旁观时，肯定非常义愤填膺吧，他一定会觉得“难道真的没有办法了吗？”同时，他恐怕还想象过命丧汪洋的船员们的痛苦挣扎，因而感到万分焦虑吧。

◆球面三角学



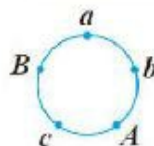
球面三角形

纳皮尔公式

$$\tan \frac{A+B}{2} = \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{a+b}{2}} \cot \frac{C}{2}$$

$$\tan \frac{A-B}{2} = \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\sin \frac{a+b}{2}} \cot \frac{C}{2}$$

纳皮尔法则



每个元素的正弦等于两相对元素的余弦的乘积或者等于两相邻元素的正切的乘积。

$$\sin A = \cos B \cos a = \tan b \tan c$$

$$\sin B = \cos A \cos b = \tan a \tan c$$

$$\sin a = \cos A \cos c = \tan b \tan B$$

$$\sin b = \cos B \cos c = \tan a \tan A$$

$$\sin c = \cos a \cos b = \tan A \tan B$$

测量地球

A 酒田市

纬度: 38.9213°
经度: 139.837°

距离是?

B 巴黎

纬度: 48.8583°
经度: 2.29451°

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \cos \phi_A \cos \phi_B \cos (\lambda_A - \lambda_B) + \sin \phi_A \sin \phi_B \\ &= \cos 38.9213^\circ \times \cos 48.8583^\circ \times \cos (139.837^\circ - 2.29451^\circ) + \sin 38.9213^\circ \times \sin 48.8583^\circ \\ &= 0.778009 \times 0.657923 \times (-0.737778) + 0.628285 \times 0.753084 \\ &= 0.0954800 \\ \theta &= 1.47517(\text{rad}) \\ AB &= \text{地球的半径} 6,378\text{km} \times 1.47517 = 9,408\text{km} \end{aligned}$$

酒田市到巴黎的距离为9,408千米。

最后，他终于选择挺身而出。

“好，那就由我来让航海天文历的计算变得更简单。”

这时，纳皮尔已经44岁了。400年以前，44岁已经算是步入人生的

晚年了。他在这个随时都有可能离开人世的年纪，选择踏上前往神秘计算世界的旅途，并且还是孤身一人。仅这一点，已经足够震撼人心了。

使用对数，能够将乘法运算转换为加法运算

在此，我将对对数进行简单的说明。所谓对数，是运算上的一种转换系统，是能够把乘法运算转换为加法运算，将除法运算转换为减法运算的方法。

举一个简单的例子。

“ 1000×100 ”的结果在草稿纸上就能算出来，同时，我们也可以通过将“1000”和“100”的“0”相加，得出答案为“100000”。

也就是说，把“1000”看作是“10”的三次方，把“100”看作是“10”的平方，将三次方和平方的3与2相加即可得出答案。

纳皮尔注意到了这一数字的法则，总结出了对数的概念。

在此，希望大家注意的，是“乘法运算转变为加法运算”这一点。计算“ 1000×100 ”的话，使用乘法运算确实会更快，但如果数字位数较大、需要手动计算时，使用加法运算明显会更加简单。

如果，按照将100看作2、将1000看作3的思路，将各种数字转换为其他数字，并制作出一览表的话，就能够将乘法运算转换为加法运算，使得计算变得更为简单。

纳皮尔想要做的，简单而言，就是制作出能够将乘法运算转换为加法运算的机制（算法）。[书籍分享V信zmxsh998]

看到这里，也许有读者会想“这不就是指数运算的法则吗？”

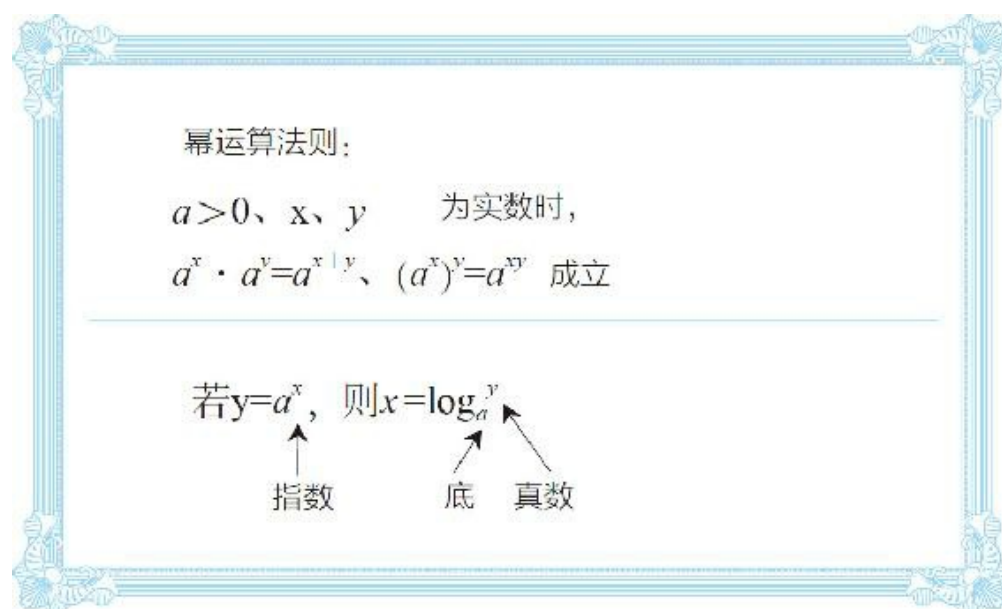
即是说，按照指数运算的法则“ $a^n \times a^m = a^{n+m}$ ”来思考的话， $1000 \times 100 = 10^3 \times 10^2 = 10^{3+2} = 10^5 = 100000$ 。如此，则可导出正解。

然而，在纳皮尔时代并没有指数（书写在数字右上角的小数字）这样一种书写方式，指数的概念也很不明确。

纳皮尔的伟大之处也正在于此。纳皮尔在没有指数这一概念的情况下发现了对数，并将其归纳为一个体系。如今在日本，对数是高中的数学课上学习的知识。翻开课本，对数是在学习指数之后才会学习的知识点。例如，在 $y = a^x$ 当中 $x = \log_a y$ 。

“ $3 = \log_2 8$ ”这一对数表达的含义为“以2为底，8的对数为3”。

◆ 幂运算法则与对数



其中，8被称为“真数”。较为常见的是，以10为底的对数。这种对数被称为“常用对数”，如今在高中数学教科书上也有体现。

学习指数，并在了解指数的运算法则之后学习对数，是一种科学的学习方法。

纳皮尔的过人之处就在于，他在指数、函数的概念尚未明确的时代，就发现了对数。

我不禁为此感到震撼。恐怕，对数学稍加深入了解的人，都会对此感到惊讶不已吧。

为什么他能够在不了解指数概念的情况下就发现了对数呢？

对数将天文学家的寿命延长了一倍

接下来，我将对如何运用对数使乘法运算转变为加法运算进行说明。因为运用当代数学的知识会让说明更加易于理解，我将使用指数来进行说明。

使用以2为底的对数，来把 8×16 这一简单的运算转变为加法运算吧。

首先，在对数表中找到真数“8”和“16”的对数。那么，我们就能找到“ $3 = \log_2 8$ ”、“ $4 = \log_2 16$ ”。将对数“3”和“4”相加。 $3 + 4 = 7$ 。

接下来，在对数表中找到对数为“7”的对数公式。可以找到“ $7 = \log_2 128$ ”。如此一来，这一真数“128”即为 8×16 的解。这一结果和实际计算出来的结果也是一致的。

对数表，可以说是纸质的计算机。纳皮尔制作了到8位数位置的对数表，为大幅度提升编纂航海天文历必需的计算速度开辟了道路。

“多亏了对数，天文学家的寿命被延长了一倍。”（远山启著《数学入门（下）》）

对数正是足以获得如此赞誉的伟大创举。

将人生的三分之一花费在计算上的男人

请看后文的对数表。这是纳皮尔二十年来汗水与泪水的结晶。

让我们来检验一下纳皮尔对数表的准确性吧。

◆使用对数可以将乘法运算转变为加法运算

$$1 = \log_2 2$$

$$2 = \log_2 4$$

$$3 = \log_2 8$$


$$4 = \log_2 16$$


$$5 = \log_2 32$$

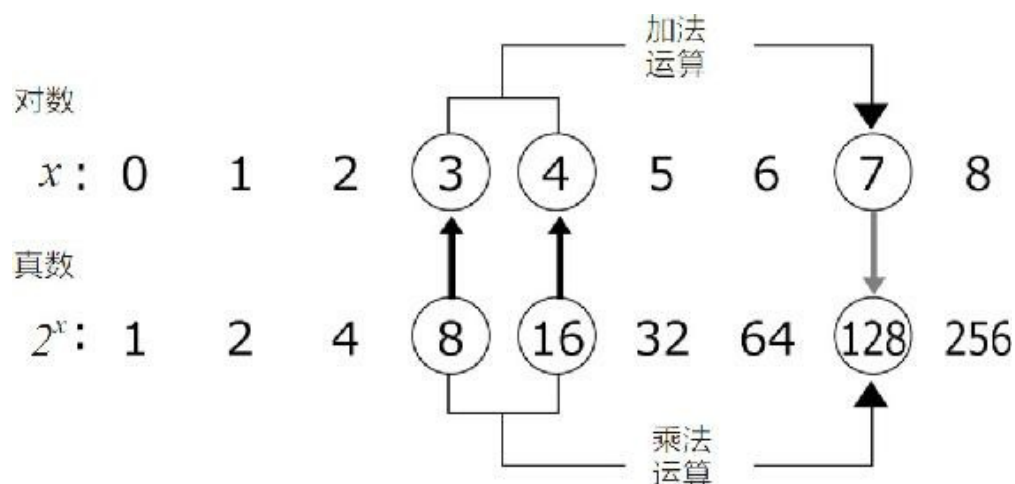
$$6 = \log_2 64$$

$$7 = \log_2 128$$


$$8 = \log_2 256$$

$$9 = \log_2 512$$

$$10 = \log_2 1024$$



$$\begin{array}{rcccl}
 \text{真数} & 2^x & : & 8 \times 16 & = 128 \\
 & & & \downarrow & \downarrow \quad \uparrow \\
 \text{对数} & x & : & 3 + 4 & = 7
 \end{array}$$

对数表左上角标注的“18”意为角度“18°”。表左侧最上方标注的min（分），意味着“六十进制”的“分”度。第一行“30”表示“18°30’”，Sinus表示sin值，Logarithmi表示sin值的对数值。

纳皮尔对数按照当代数学的写法应为：

$$x = 10^7(1 - 10^{-7})^y \Leftrightarrow y = \log_{(1-10^{-7})} \frac{x}{10^7}$$

x 是Sinus值， y 是Logarithmi值

用我手边的函数计算器进行计算之后得出结果为：

$$\sin 18^\circ 30' \times 10000000 = 3173046.56 \approx 3173047 \text{ (Sinus)}$$

$$\log_{(1-10^{-7})} \sin 18^\circ 30' = \log_{(1-10^{-7})} 0.3173047 = 11478927 \text{ (Logarithmi)}$$

◆ 纳皮尔的对数表

Gr. 18				+ -			
min	Sinus.	Logarithmi	Differentia	logarithmi	Sinus	min	Gr.
30	3173047	11478926	10948332	530594	9483237	30	
31	3175835	11479237	10938669	531568	9482314	29	
32	3178563	11451556	10929013	532543	9481390	28	
33	3181321	11452883	10919364	533519	9480465	27	
34	3184079	11444219	10909723	534496	9479539	26	
35	3186837	11435563	10900090	535473	9478612	25	
36	3189594	11426915	10890464	536451	9477685	24	
37	3192351	11418275	10880845	537430	9476757	23	
38	3195108	11409644	10871234	538410	9475828	22	
39	3197864	11401021	10861630	539391	9474898	21	
40	3200620	11392406	10852033	540373	9473967	20	
41	3203375	11383800	10842444	541356	9473035	19	
42	3206130	11375202	10832862	542340	9472103	18	
43	3208885	11366612	10823287	543325	9471170	17	
44	3211640	11358030	10813719	544311	9470236	16	
45	3214395	11349456	10804158	545298	9469301	15	
46	3217150	11340891	10794605	546286	9468366	14	
47	3219904	11332334	10785059	547275	9467430	13	
48	3222658	11323785	10775520	548265	9466493	12	
49	3225412	11315244	10765988	549256	9465555	11	
50	3228165	11306711	10756462	550249	9464616	10	
51	3230918	11298186	10746944	551242	9463677	9	
52	3233671	11289670	10737434	552236	9462737	8	
53	3236423	11281162	10727931	553231	9461796	7	
54	3239175	11272662	10718436	554226	9460854	6	
55	3241927	11264170	10708948	555221	9459911	5	
56	3244679	11255686	10699467	556219	9458968	4	
57	3247430	11247210	10689993	557217	9458024	3	
58	3250181	11238742	10680526	558216	9457079	2	
59	3252932	11230282	10671056	559216	9456133	1	
60	3255682	11221830	10661613	560217	9455186	0	
						min	Gr.
							71

(藏于京都大学力学系数学教室)

总共有七位是一致的。

想要得出这个八位数的数字，需要进行十三位数字的计算。纳皮尔花费了自己人生三分之一的岁月，也就是二十年的光阴来进行计算，其

原因也在于此。

二十年，这实在是令我难以置信。更何况，成功做到这一点的纳皮尔并非数学家，更非天文学家。

驱使纳皮尔做到这一步的原动力，究竟是什么呢？

书名中“奇妙的”一词之含义

在数学的世界里，并没有专利一说。数学、物理学等研究自然规律的学系不允许申请专利，这是由国际公认的规则所决定的。因为各种法则、定理是为“发现”，而非“发明”，而专利则是针对“发明”所设立的。

如果真的有创造数学公式的人（发明者）存在的话，那应当是“数学女神”吧。而人们所做的正如矿工在山中发现钻石时高呼“原来在这里！”一般，是一种“发现”。

正因如此，数学是独立于金钱世界之外的存在。财富、地位、名誉都与数学家无缘，他们就是在这种情况下不断对数学难题发起挑战。

纳皮尔应当也具有这种精神。与对财富、地位的追求不同，一定是另有动机，驱使着他在二十年的孤独中不断地进行计算。

恐怕，是“我无法继续忍受对船员们的性命漠不关心了”这种义愤填膺之情，一直在支撑着纳皮尔。

或者，可以称之为“如果不能尽早发现对数的法则，就会有更多的生命被夺走”的使命感.....

纳皮尔呕心沥血地计算，甚至背负起了历史般的宿命。

人们可能会误以为研究数学这门学系，不过是平淡地思考难解的问题而已。但为数学而激情澎湃的数学家、科学家们却是充满着极大热情的。数学从来都是充满爱的一门学问，这一点还请诸位读者们了解。

在了解了纳皮尔发现对数的故事，以及他为了制作八位数的对数表

而进行高达十三位数的运算这两个事实之后，我感到了一种难以言表的感动。

并非为了财富，也非为了地位，纳皮尔日复一日地进行着天文数字级的计算。他经过二十年的庞大计算，于1614年出版了*Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio*（拉丁语版，英译版名为*Description of the Wonderful Canon of Logarithms*，于1616年出版）。将书名直译过来，就意为“奇妙的对数法的描述”。

请看啊。尽管这是一本数学专著，却使用了“奇妙的”一词，让我们深刻感受到了纳皮尔的心情。他在对数当中看到了“奇妙”。

这是能够拯救生命的“奇妙”，也是得以触及数学女神时充满喜悦的“奇妙”。

书名中还出现了“Logarithms”一词，它在英语中是对数的意思。这是纳皮尔发明的一个词汇。

这个词是来自希腊语的Logos^[1]（支配宇宙的法则，神的语言）与Arithmos（数）的合成词。因此，Logarithms应当译为“作为神之语言的数字”。

我曾经有幸见过原版*Mirifici Logarithmorum Canonis Descriptio*的初版。它静静地躺在京都大学理学院数学系的书库里（因京都大学理学院上野健尔教授的好意得以一见）。

1614年初版的封面让我觉得很有意思。作者名的旁边写着“Autherac Inventore”。翻译过来就是“作者以及发明者”的意思。看来纳皮尔并不认为对数是一种数学上的“发现”，而是把它当作在计算上一种新“发明”的

技术。

纳皮尔在二十年的计算生涯中，将对数的本质从数学的世界中抽离出来，由此发明了划时代的计算系统。他发明了一种应当被称为是“纸质计算机”的崭新的计算方法——“对数”。

前文提到过，与其说纳皮尔是一位学者，不如说他是一名工程师。因此，他定然是激昂地讴歌过这一“发明”。非要解释原因的话，正因为他并非天文学家，才能够发现对数。

正面迎击“无穷”的纳皮尔

可以说，纳皮尔曾经一脚踏入了函数的世界。

在纳皮尔对对数的定义中，包含了运动的概念。他将数看作是数轴上的点。运动的本质在于其连续性，而在数学上，则对应为数与实数之间的连续性。

纳皮尔的对数，他以分为单位，对每个数都赋予正弦（sin），接下来赋予这个正弦一个对数。在进行这一对数的计算之时，他对数字的连续性——也就是无穷性也产生了思考。也就是说，他对无理数产生了思考。

例如像 $\sqrt{2} = 1.414\dots$ 这样，在小数点后有无穷个不循环数字的数被称作无理数。想要写出无理数，使用小数点是极为便利的。但是，在小数点尚未普及的那个年代，纳皮尔只考虑了从1到10000000之间的自然数。

顺带一提，小数的概念^[2]是弗朗西斯科·佩洛斯（1450～1500）于1492年发现的，但这一记录方式并未得到广泛普及。

纳皮尔在计算对数表的过程中引入了如今的小数点记号。小数的写法是1585年由比利时数学家西蒙·斯蒂文（1548～1620）公布的。其后，纳皮尔引入了如今的小数点记号，这在*Mirifici Logarithmorum Canonis Constructio* ^[3]（1617年出版，英译版名为*Construction of the Wonderful Canon of Logarithms*）也有所体现。

纳皮尔使用了小数点，意在体现“数是无穷延续的”。

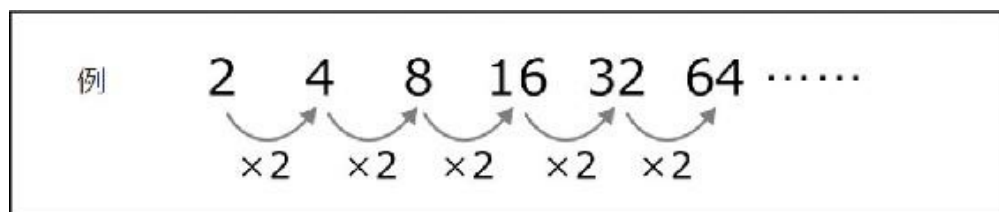
当时的天文学家们对于数学上的“无穷”这一概念抱着一种“眼不见为净”的态度。也许他们认为，一旦认真面对这个问题，可能就会被数学女神击败吧。他们没有选择面对，而是埋头进行研究。简单地说，他们选择了逃避。

但纳皮尔却选择了去挑战“无穷”。想要制作对数表，就必然需要研究无理数。也许，纳皮尔只是单纯地不知畏惧为何物而已。可他还是凭借自己的方式将“无穷”运用自如。

◆等比数列与等差数列

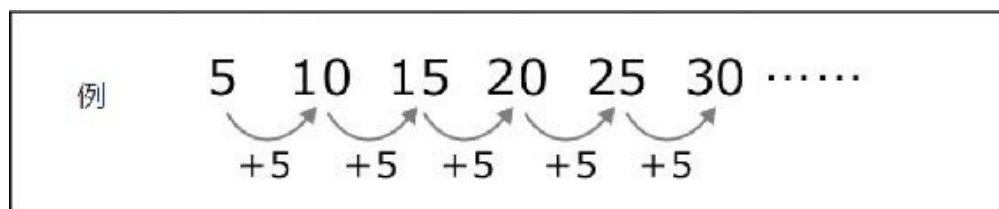
等比数列

按照一定的比值不断增加（或减少）的数列



等差数列

后一项比前一项总是增加（或减少）一个常数的数列



纳皮尔在指数和小数都尚未普及的年代，从数学的世界里发掘出了对数。

纳皮尔，就像是要缝合起等比数列与等差数列之间的缝隙一般，不断发现新的数字，不断制作着对数表。

纳皮尔的对数未能获得理解

纳皮尔是一位天才，是一位凡人无法理解的天才。然而，天才有时也会遭遇不幸。一个真正的天才，想要获得理解是需要时间的。离世之后才终于获得认同的天才，在科学的世界可谓是不胜枚举。

纳皮尔也是如此。他并非权威天文学家，这一点也是极为不幸的。没有人能够理解《奇妙的对数法的描述》中记述的真理，也没有人能够理解对数表划时代的意义。纳皮尔的心情究竟如何呢？

但没有任何事情能比真理更加伟大。纳皮尔得到了一位伙伴，虽然只此一人。他的名字是亨利·布里格斯（1561~1630）。他是伦敦格雷沙姆学院的天文学教授，是一位科班出身的天文学老师，在读到纳皮尔的书之后，立刻感到“就是这个”！

布里格斯想：“为什么我至今为止都没有想到这一点呢？究竟是谁写的这本书呢？.....爱丁堡的纳皮尔？没听说过啊。不是天文学家吗？这是真的吗。这样下去可不行，我得去会会这个纳皮尔。”

他不顾自己已经54岁的高龄，为自己尽早乘船出航见到纳皮尔做了准备。

关于纳皮尔同布里格斯的初次相遇，留下了如下记录：

“先生，与您相遇，感受到您的智慧与发现真理时的闪光，我感到万分幸运。我想要知道您最初是如何想到对数的呢？它对天文学而言是极为重要的帮手。为此，我千里迢迢来到了这里。先生，您所发现的对数，人们了解之后，就会明白这是多么温柔的发现。至今为止却没有任

何人发现您的温柔，我不由得感到不可思议。”

[日] 志贺浩二著《数学大航海对数的诞生与普及》

听了这话，纳皮尔得以确信布里格斯真正理解了对数的意义。他热情地招待了布里格斯，与他促膝长谈自己发明对数的经历直至夜深。这可以算得上是纳皮尔人生中最为幸福的时光之一了。

实际上，布里格斯有一个建议想要告诉纳皮尔。他提议，为了让纳皮尔发明的对数更加便于实用，有必要更新对数表。

纳皮尔的对数表虽然是一项划时代的产物，但在实用层面上仍有一些不便之处。对数表虽然让计算变得容易了，但人们仍旧需要进行复杂的运算。

布里格斯虽然有“我们一起制作新的对数表吧”的想法，但却很犹豫是否要对纳皮尔开口。这是因为，对纳皮尔说“重新制作对数表”这句话，就相当于要求64岁高龄的他“再花二十年时间重新计算对数吧”是一样的。

这个想法过于惊人，并非能轻易开口。然而，在布里格斯感受到纳皮尔对对数深厚的感情之后，他下定了决心。他在纳皮尔面前冷静地将现有对数表的优缺点一条一条地指出来。

“先生，您所编写的对数表是足以名留青史的伟大发明。但令我稍感到难以启齿的是，您的对数表在使用时也会令人感到十分不便。目前的对数表还无法运用在实际工作中。您难道不想改善这一点吗？”

布里格斯如此提议道。

纳皮尔立刻回答道：

“真不愧是你啊，布里格斯。说老实话，我在这张表快要完成的时候就已经发现了这一点。但是，我所剩无几的人生实在是不足以用来完善这个缺陷。我只能将对数表完成至如今这个形态。不过，事实诚如你所言。我明白了。那么你我二人一同来编写全新的对数表吧。”

布里格斯便同纳皮尔约定：“明年我再来拜访”，之后就离开了。

常用对数“ $y=\log_{10} x$ ”的诞生

布里格斯与纳皮尔通过信件来沟通对新对数表的想法。终于在1616年，新的对数，也就是以10为底的所谓“常用对数”诞生了。

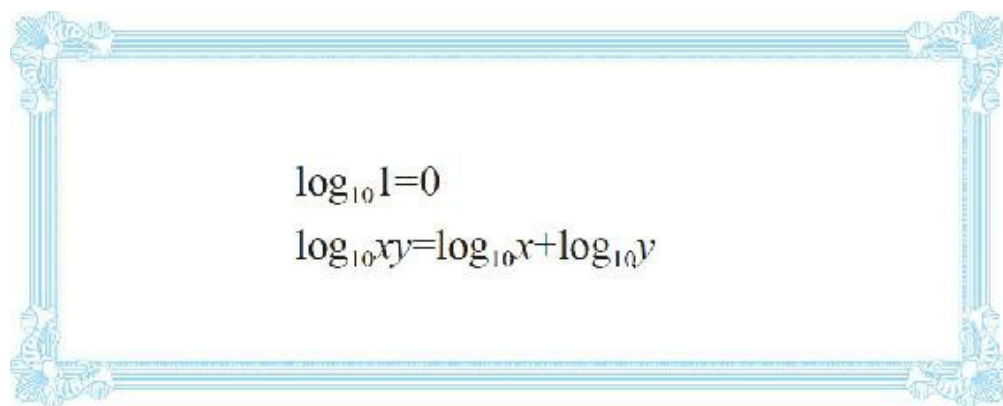
再次来访的布里格斯定然是同纳皮尔共同分享了喜悦之情的。然而布里格斯却很快便拜别了纳皮尔。

“先生，我还会再回来的。到时我会带着新的对数表一起来，请您再等我一年。”

布里格斯应当是明白的，纳皮尔将不久于人世了。也正因为如此，他才定下了一年之约。也许是因为他相信，只要有了新的对数表，纳皮尔就能够了无牵挂地离去。

布里格斯回到伦敦，开始着手编写新的对数表，并按照约定，在一年之内完成了新表。而且这次他对到1000为止的数进行了高达14位数的计算，制作出了精确度极高的对数表。

◆对数公式


$$\log_{10} 1 = 0$$
$$\log_{10} xy = \log_{10} x + \log_{10} y$$

这版对数表，就是如今高中教科书中“ $y = \log_{10} x$ ”的常用对数表的原形。根据这一新版对数表，1的对数为0，积可以转变为和。

对数成为人类的智慧

正当布里格斯将要第三次拜访纳皮尔之时，他收到了一封讣告。这封讣告带来了纳皮尔的死讯，纳皮尔于1617年4月4日去世了。

布里格斯究竟是带着怎样的心情看完这封信的呢？我想，他应当是一手持信，在铺满记录着“ $y = \log_{10} x$ ”算式的书桌前呆立了许久吧。

我是这样想的：

这封讣告带来了纳皮尔最后的讯息。

“布里格斯，你一定可以完成对数表的。已经足够了。你不用来看我了。请你继续计算吧。”

布里格斯应当是把纳皮尔的死当作了一个讯息。

之后，布里格斯继承了纳皮尔的事业，他直到63岁为止都在更新对数表，并将其更新到了100000为止。他编写的对数表因为使用方便而风靡世界，被人们称作“布里格斯对数表”。

人们争先恐后地改进“布里格斯对数表”，在江户时代，“布里格斯对数表”还传到了日本。“布里格斯对数表”为许多需要进行天文数字级计算的人们提供了帮助。

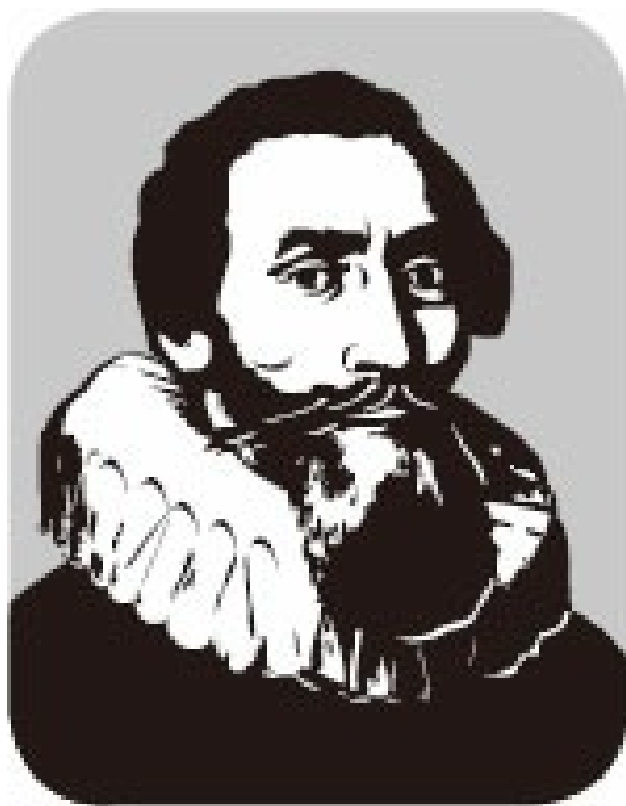
与此同时，纳皮尔的名字却被人们渐渐遗忘了。

纳皮尔最终也未能在去世前见证对数为这个世界带来了多么巨大的益处。他在去世之前，究竟是怎样的心情呢？他是否留有遗憾呢？

我认为并非如此。数学女神并没有抛弃他。虽然仅有一人，他仍旧获得了布里格斯这位真正的知音。就像是数学女神为他带来了继承人一样。

数学是一门需要接力的学科。前人们需要不断将接力棒交给后人，数学才能不断发展。后继者们则要运用前辈们发现的法则、原理，进一步探索更深奥的数学世界。

对数由纳皮尔发现，并成为全人类的智慧财富。为了拯救人类的生命而埋头苦算二十年的纳皮尔若是知道了这些，应当心满意足了吧。



约翰尼斯·开普勒（1571~1630）因发现了关于行星运动的“开普勒三大定律”而闻名。

纳皮尔发现的对数，之后也深刻地影响了数学、天文学、物理学的研究。例如，纳皮尔同时代的德国天文学家约翰尼斯·开普勒因发现“开

普勒定律”，有力地佐证了日心说而为人所熟知，他也曾研究过对数。

因万有引力而家喻户晓的牛顿奠定了“微积分”的基础，在其中也进行了相当于对数的一些计算。

欧拉的“ e ”为何被称为“纳皮尔数”

纳皮尔孤身一人，踏入了黑暗不透光的密林。在探寻数字本质的过程中，窥见了数字之间神奇的关联，最终揭开了等比数列与等差数列之间存在的联系。

数学女神绝不会主动揭开自己的面纱。只有脚踏实地去计算的人才能被邀至女神的圣殿。纳皮尔正可谓是获得女神祝福的人。

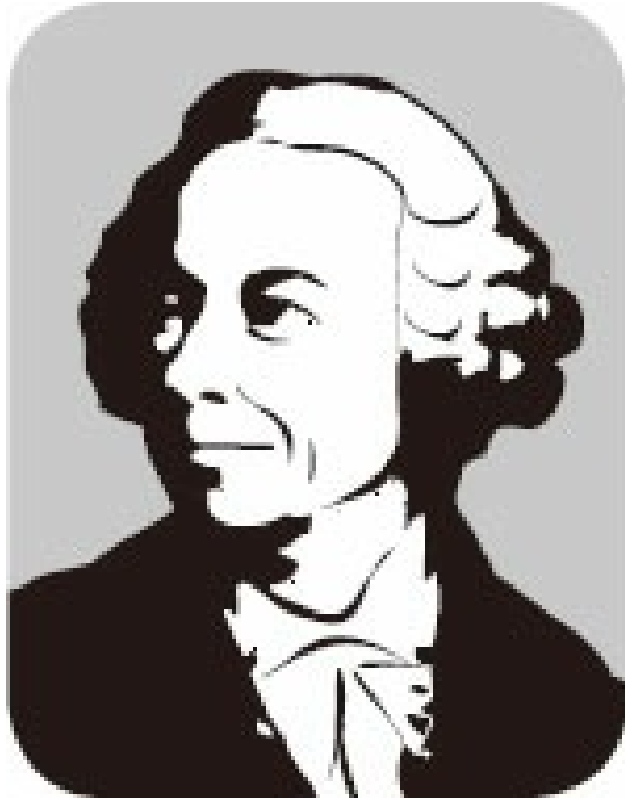
身为虔诚基督教徒的他，每晚应当都会这样祈祷。

“在我完成计算之前，请赐予我多一天的生命。”

他在饱经苦难后，终于将对数的规律归纳为下图的公式。

这是一个非常神奇的公式。即便是布里格斯，恐怕也未能理解这个公式的真正含义。

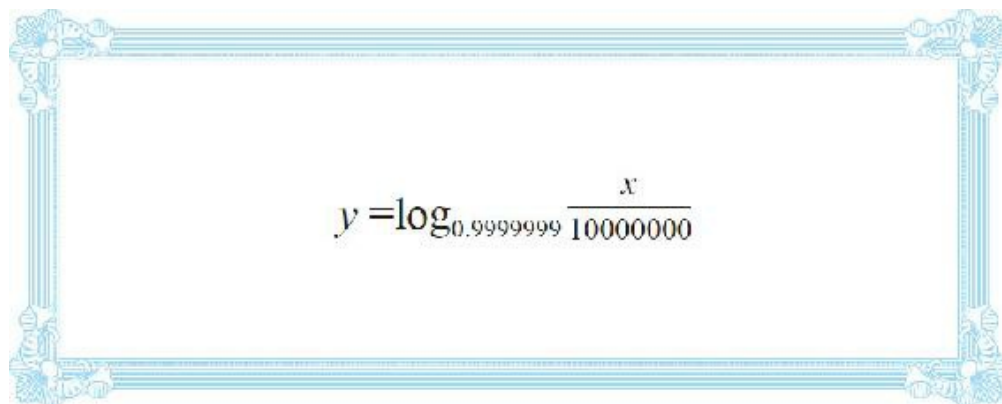
它的真正含义，是在一百多年后由瑞士的天才数学家莱昂哈德·欧拉揭示的。



莱昂哈德·欧拉（1707~1783）在数学领域做出了许多贡献，有许多方程、等式、定理等都以他命名。

从结论来说，纳皮尔对数实际上是所谓的“自然对数”。而这个“自然对数”，就是以纳皮尔数 e （ $=2.71828.....$ ）为底的对数。纳皮尔认为1000万是最大数字。将其置换为无限大，那么纳皮尔对数则应为 $y = \log_{e-1} x$ 。

◆ 纳皮尔的对数


$$y = \log_{0.9999999} \frac{x}{10000000}$$

纳皮尔确实是走在了时代的前列。他发现了自然对数，还和布里格斯一起制作了常用对数表，数学也因此得以发展。到了欧拉的时代，欧拉才得以成功发现自然常数“e”。

欧拉细致地研究了纳皮尔和布里格斯的对数。在数学领域，常数“e”是可以同圆周率相提并论的重要数字，是支撑起微积分根基的常数。

为什么欧拉发现的常数“e”被称作“纳皮尔数”呢？那是因为，“e”最初其实是在纳皮尔的对数当中出现的。

人类身上蕴含着对数？

如今，想要成为海员的学生仍旧需要在练习船上观测星星和太阳的位置，满头大汗地算数，反复训练，判断船只现在所处的位置。

在无数次的反复训练后，连身体都对观测方法产生了记忆，练到学生们哀叹“我明明就是不想算数才来当船员的！”

当然，现如今我们可以使用GPS（Global Positioning System，全球定位系统）来测算船只所处位置。

即便如此，在日本实行的海员资格考试中，仍旧会有一些题目，给出时钟及六分仪的误差，提供气温、海水温度等各种条件，要求考生“根据两颗恒星的观测数据，参考航海天文历，算出船只所处位置”。

也就是说，直到如今，船员们仍旧依靠着航海天文历保命。这是为什么呢？理由很简单。带有GPS功能的精密仪器，一旦遇上海水就会发生故障，或是因为电池断电而无法使用。

◆“改变世界的十大数学公式”邮票



设计中体现了六分仪、纳皮尔数 e 和自然对数 $\ln$ （1971年尼加拉瓜）

只要有航海天文历、时钟和六分仪，就能够判断自己所处的位置及应当前进的方向，历史悠久的技术直到今天也是十分可靠的。在GPS损坏、即将遭遇海难时，学生们应该也会万分感激，庆幸“幸好我学过该怎么计算所处位置”吧。

这种心情和航海技术刚刚诞生时的船员们是一样的。用自己的双眼和大脑判断出目前所处的位置——只有做到了这一点，才被允许掌握船舵。

另外，“钟表”和六分仪上的“镜片”也是在大航海时代得到发展的。因为这两样工具都是关系到船员性命的工具。

表指示的时间差一分钟，在海上的定位就会错位几千米甚至几十千米。为此，船员们需要钟表即便在惊涛骇浪中、温度急剧变化之时也能够指示出正确的时间。而镜片只要有些许的不平整，就无法准确测量出

星星的位置。看漏和看错都会导致遭遇海难。

当时的船员们将自己的性命交托给钟表和六分仪，以及因为对数的发现而变得精准的航海天文历身上，肩负起国家的使命，驶向了茫茫汪洋，开拓了近代的世界历史。

在航海技术以外，例如在工学的世界里，尤其是设计音响的工程师也需要了解对数。因为人类能够听到的音是呈对数比例的。

如果把人类的耳朵能够听到的声音范围中最小的音量设为1的话，最大的音量则是100万。也就是说，从1到10的六次方是人耳能够听到的范围。

然而奇妙的是， $10+10$ 的音量，也就是音量扩大到原来的两倍，在人耳听来也并不会觉得“音量变为了两倍”。只有当10的音量变为 10×10 ，也就是100的时候，我们才会感觉音量“变为了两倍”。

人类不是通过加法，而是通过乘法来感受声音的。不仅仅是声音，人类的所有感官都是一样的。这一点，可以通过“韦伯-费希纳定律”（1840年）来解释，“感觉上的强度和刺激的强度成对数比例”。

这难道不是上帝将对数编织进了人的体内吗？当我们从对数的角度去观察数学，至今为止未曾注意过的自然现象也能够跃然眼前。

纳皮尔发现的对数，是自无穷的过去延伸到无穷未来的宇宙定律的旋律。纳皮尔穷极一生，抓住了那和谐的旋律。

对数打造了以技术立国的日本

我在学生时代听说了纳皮尔为了发现对数而进行超乎想象的计算的故事，他因为过于超前于时代而没能得到他人的理解。我十分地感动。

纳皮尔虽然不是数学家，但他发现了改变数学，不，他发现了改变人类历史的对数，这一伟大的成就是不可动摇的事实。这一事实直到如今仍旧在教导我“数学究竟是什么”。

日本在第二次世界大战中战败，化为了一片废墟，人们通过将対数作为计算机使用，建立起了日本的技术大国的地位。四百年前纳皮尔一人的愿望，如今也在日本的土壤上延续着。

如今，纳皮尔所居住的梅奇斯顿城已经成为纳皮尔大学，每天都在培育着年轻的人才。纳皮尔在苏格兰被尊为伟人，但在日本却鲜为人知。

对数切实地同我们有着千丝万缕的联系。

纳皮尔，你究竟是怎样产生这个谁也想不到的想法的呢？

在没有小数也没有指数的年代，你创造了对数。

究竟是什么驱使你做到如此地步？

对数表的制作，

是与无穷无尽的计算做斗争。

纳皮尔，你孤身一人起身迎击。

每当想到你的身影，我的心中总会充满勇气与感动。

纳皮尔，你创造的对数，正如你所期望的那般，

从计算的劳苦中解放了人们，运用于航海技术后拯救了无数船员的生命。

对数的能量就是如此的强大。

你所发现的对数，

直到今天仍旧推动着科学与社会的发展。

我希望能让尽可能多的人，

去了解曾经存在过像你这般的伟大人物。

我想要告诉世人，你究竟是怀着怎样的心情发明了对数。

在心中泛起的波痕，将延伸至永远的将来，

超越时间，超越空间，直至无穷。

如今已经过去了四百多年的光阴，

纳皮尔，我能听到你的心声。

纳皮尔，你能听见我吗？

我希望你知道，

在一个遥远的国度，如今也有人在缅怀着你。

纳皮尔，我很庆幸自己能够触及你的灵魂。

谢谢你，纳皮尔！

[1] 中文常译为“逻各斯”。logos也有比例、比率的意思，所以logarithms也可以理解为“比例数”“比率数”，我国最早的介绍对数的书即名为《比例对数表》（1635年，穆尼阁、薛凤祚合编）。（译者注）

[2] 此处为原文讹误。佩洛斯是第一个使用“.”作为小数点的人，而非“小数”这一概念的发现者。中国魏晋时期的数学家刘徽于3世纪时便已经提出了十进小数的概念。（译者注）

[3] 中文译为：《奇妙的对数定理的构造》。（译者注）

Part 2

牛顿：至今仍在影响世界的
天才物理学家

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

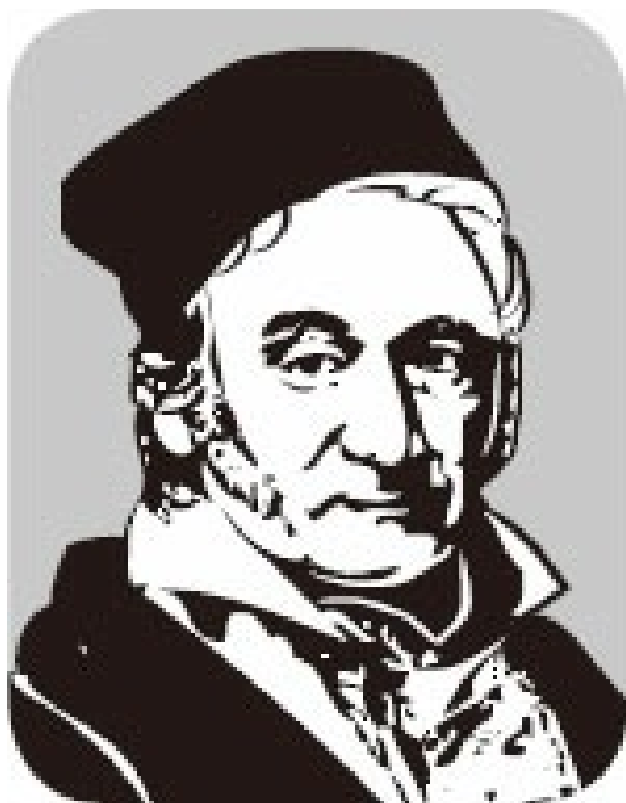
牛顿的“奇迹的两年”



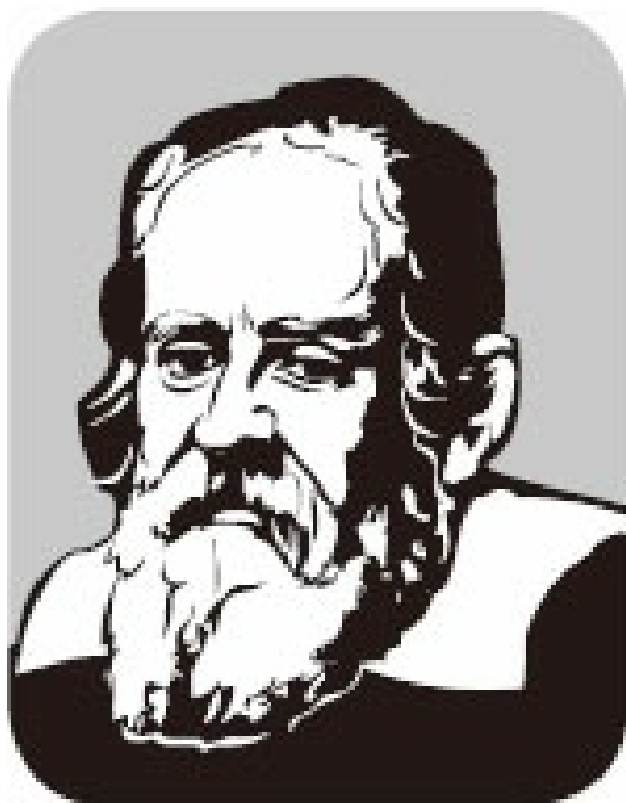
艾萨克·牛顿（1642~1727）确立了牛顿力学，发现了万有引力及运动定律，深远地影响了后人。

数学、物理无法为研究者带来直接的经济利益。德国物理学家阿尔伯特·爱因斯坦，苏格兰数学家约翰·纳皮尔，印度数学家斯里尼瓦瑟·拉马努金，瑞士数学家莱昂哈德·欧拉，德国数学家卡尔·弗里德里希·高斯……他们究竟怀着怎样的理想，又是带着怎样的心情，在无法为自己带来经济利益的知识海洋中探求的呢？

只要了解牛顿那不为人知的一面，这一问题的答案也就显而易见了。牛顿之前的约翰尼斯·开普勒、意大利物理学家伽利略·伽利雷、法国哲学家布莱士·帕斯卡、法国哲学家勒内·笛卡尔等杰出学者都在数学、物理学的世界里让自己的思想留下了烙印。



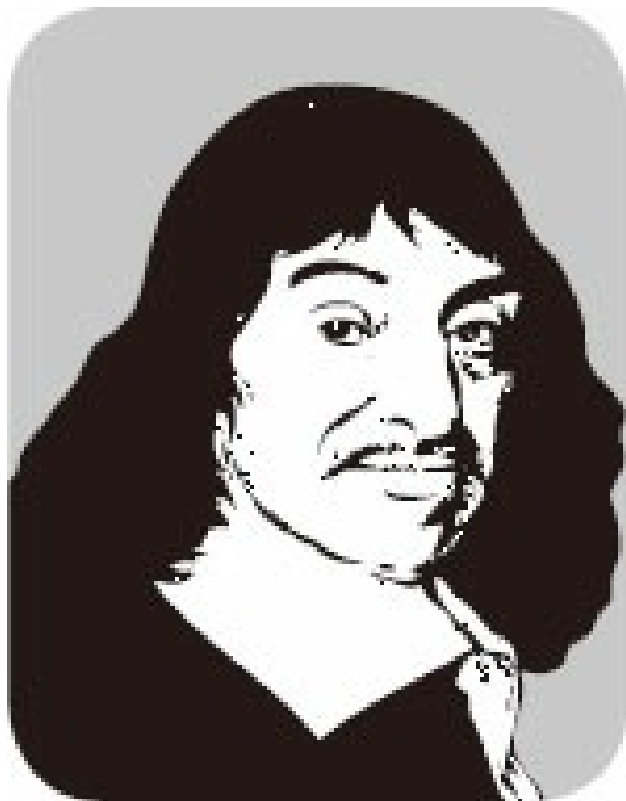
卡尔·弗里德里希·高斯（1777~1855）与阿基米德、牛顿并称为“世界三大数学家”。



伽利略·伽利雷（1564~1642）被称为“近代科学之父”。



布莱士·帕斯卡（1623~1662）在概率等领域研究上非常知名。



勒内·笛卡尔（1596~1650）因其理性主义思想而对数学研究产生了莫大的影响。

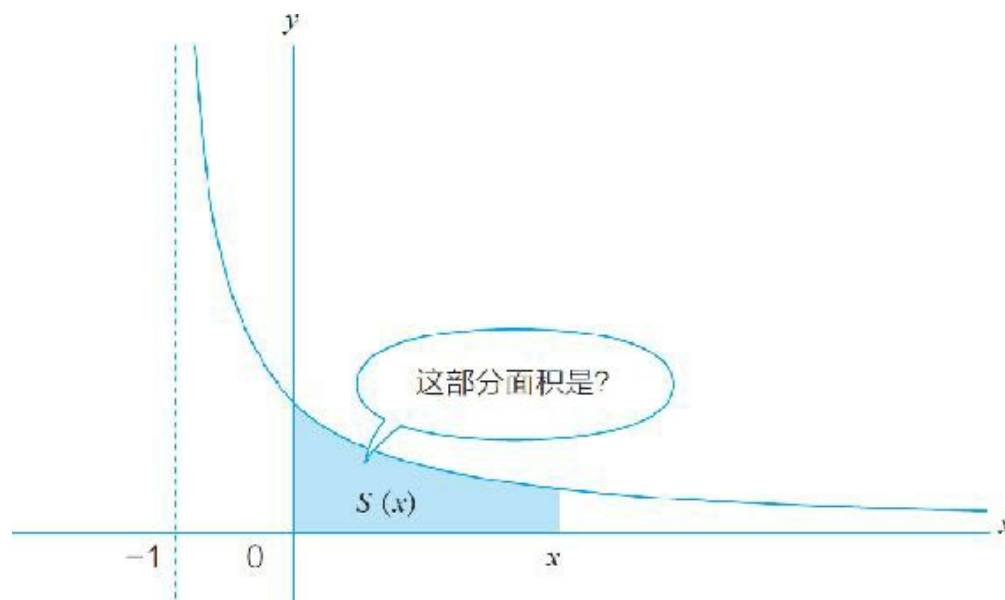
牛顿继承了他们的事业，开始挑战数学的世界。牛顿作为一名物理学家的名气实在是太大了，但准确而言，他并非是物理学家，而是一名数学物理学家。

牛顿生于1642年12月25日圣诞节这一天。1642年也是伟大科学家伽利略·伽利雷逝世的年份，有许多人说，牛顿说不定就是伽利略转世的呢。

牛顿由母亲一手拉扯大，虽然他身处的教育环境算不上得天独厚，却成功考入剑桥大学三一学院（构成剑桥大学的学院之一）。有些书籍记载牛顿曾被母亲抛弃，但实际上，母亲、叔父等亲朋好友的理解与关爱曾是牛顿的精神支柱。

牛顿曾度过了“奇迹的两年”，他主要的科学成果都集中在1665年到1667年这两年间。

◆ 双曲线 $y = \frac{1}{1+x}$ 的图形



能够做到这一点，是因为当时英国爆发了流行病“黑死病”。黑死病是一种可以致死的传染病，伦敦爆发了黑死病疫情，大学因此停课。牛顿回到故乡，得以心无旁骛地专心研究，并接连完成了伟大的发现。

爱因斯坦于1905年接连发表了多篇关于三大理论（“布朗运动”、“相对论”、“量子论”）的论文，这一年也被称作“奇迹的1905年”。而对于牛顿来说，奇迹年则有两年。

请看上图。图中所示的是 $y = \frac{1}{1+x}$ 这一双曲线在第一象限（ $x > 0, y > 0$ 的部分）中的图形。牛顿对“如何计算双曲线与x轴之间部分的面积”进行了思考。

他选择的方法是直接将 $y = \frac{1}{1+x}$ 进行除法运算。如此即可导出以下结果。

$$y = \frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 - x^3 + \dots$$

这就是“无穷级数”（拥有无穷个项的级数）。牛顿在这一时期就开始着手研究“无穷级数”的相关理论了。

为何牛顿并非是单纯的物理学家，而是数学物理学家呢？这是因为他几乎仅凭一己之力就完成了这一数学理论。

他并非仅仅去使用已有的数学公式。

牛顿虽然清楚只要对 $\frac{1}{1+x}$ 进行积分运算就能求出面积，却不知道该如何直接进行积分运算，于是便想到了所谓的整理函数——也就是大家在学校学到的 x^2 、 x^3 ，牛顿认为“只要把它们分别进行积分运算就可以了”。

这样一来，将得出如下等式：

$$S(x) = \log(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots$$

这在数学中被称作“逐项积分”。牛顿认为，只要逐项积分，就能够计算出面积。

如今的高中生，只要学过高等数学就都知道“只要将 $\frac{1}{1+x}$ 进行积分运算就能够得出 $\log(1+x)$ ”。这被称为“自然对数”。

用笔进行高达50位计算的“计算超人”

牛顿最厉害的一点在于其超人的计算能力。牛顿使用log的无穷级数展开，巧妙地计算出了log的值。级数是将数列各项依次相加的函数。通过这种形式将数列转换为函数，被称作级数展开。

请看[此处](#)的图。先准备正、负两个方程。之后，将x 代为0.1，开始计算。

这样一来，就可求得连立一次方程的解为log1.1和log0.9。

$$\log 1.1 = 0.0953101798043$$

$$\log 0.9 = -0.105360515657$$

再来看另一个。

将x 代为0.0016可以算出log0.9984，那么再从另外一个方向来进行计算。

将0.9984变形为 $2^8 \times 3 \times 13 \times 10^{-4}$ 可以得出如下方程。

$$\log 0.9984 = 8\log 2 + \log 3 + \log 13 - 4\log 10$$

也就是说，log0.9984的值可以根据log2、log3、log13、log10的值计算出来。

牛顿进行了高达50位数的手工计算，并细致地对照、检查，最终确认自己的计算是正确的。他是一位拥有罕见计算才能的数学家。

牛顿与关孝和的共通点

实际上，江户时代的数学家（和算数家）关孝和也使用了和牛顿相同的方法。

◆ 牛顿是如何计算的？

$$\frac{1}{2} \{\log(1+x) - \log(1-x)\} = x + \frac{x^3}{3} + \frac{x^5}{5} + \frac{x^7}{7} + \dots$$
$$\frac{1}{2} \{\log(1+x) - \log(1-x)\} = -\left(\frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{4} + \frac{x^6}{6} + \frac{x^8}{8} + \dots\right)$$

将这两个等式中的 x 代为0.1的话……



就能求出 $\log 1.1$ 和 $\log 0.9$!

关孝和为了计算圆周率，使用了内接正多边形（在圆内与圆相接的正多边形）。2的16次方是65536，它的两倍是131072，关孝和绘制出了正十三万一千零七十二边形。

通过计算这一图形的周长，以及圆的外切正多边形的周长，两相比较，就算出了圆周率。

牛顿与关孝和，两人虽然分别来自英国和日本，国籍不同，但他们却生活在同一时代。关孝和是一位普通的武士，牛顿则出身于贫苦农家。他们二人究竟为何如此善于计算呢？牛顿曾就此说过这样一番话。

我不断将计算对象放于眼前，拂晓前的天空略略开始泛白，我静静地等待着，直到明亮的光芒慢慢投到我跟前。

〔美〕詹姆斯·格雷克著，〔日〕大贯昌子译《牛顿传》

对于科学家、数学家而言，最为重要的是学会忍耐。无论是关孝和还是牛顿，都是在耐心的等待、彻底的思考后，才最终取得伟大的成果。

“发明微分的牛顿”与“发明积分的莱布尼茨”

在这里，我想介绍一下牛顿的老师约翰·沃利斯（1616～1703）发现的圆周率公式。沃利斯这位数学家在关于无穷的研究领域做出了许多贡献，同时也是无穷大符号（ ∞ ）的发明者。

请看[此处](#) 的图。沃利斯发现的公式非常有韵律美。按照这一公式计算，就能得出3.14159265.....

接下来请看德国数学家戈特弗里德·莱布尼茨发现的圆周率式。



戈特弗里德·莱布尼茨（1646～1716）在哲学、数学、政治等多个领域均有建树，独自发现了微积分。

莱布尼茨可以说是牛顿的宿敌。他也是积分符号“ $\int$ ”的发明者。牛顿

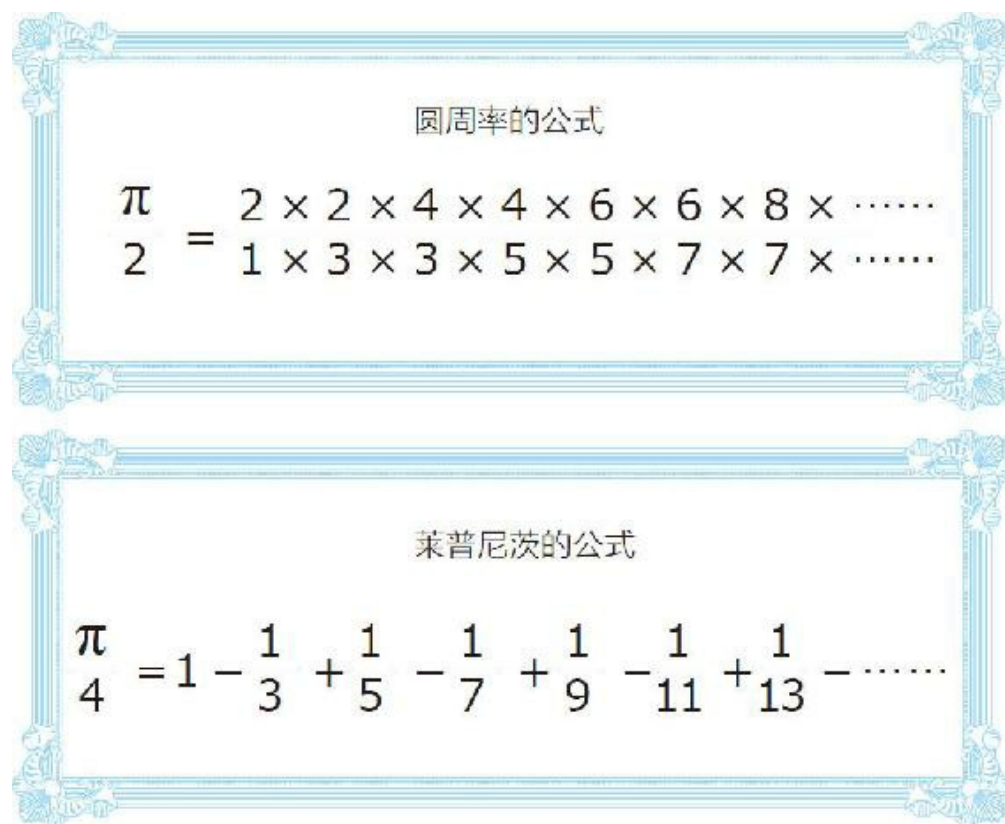
用来表示时间的一阶微分（也就是速度），用来表示时间的二阶微分（也就是加速度）。

微分和积分几乎是在同一个年代创立起来的学说，但这就造成了一个问题——先出现的究竟是微分还是积分。牛顿和莱布尼茨曾为此争论不休。

在牛顿和莱布尼茨去世后，英国和德国也一直在为此争论。第一个发现真理的人才能够享受荣耀——这就是科学的世界。

可我却认为，牛顿和莱布尼茨并不在乎这些。看他们的书信往来就能够清楚地知道这一点。他们两位想要追求的，只有真理而已。

◆ 圆周率的公式



圆周率的公式

$$\frac{\pi}{2} = \frac{2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 6 \times 6 \times 8 \times \dots}{1 \times 3 \times 3 \times 5 \times 5 \times 7 \times 7 \times \dots}$$

莱普尼茨的公式

$$\frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \frac{1}{11} + \frac{1}{13} - \dots$$

解开天体运动的奥秘

牛顿在研究“运动”时，想尽了各种方法。

月亮为什么不会落下来呢？

极为巨大的物体在宇宙中运动——这就是流体力学（研究气体、液体等流体运动规律的物理学分支），而牛顿则由此延伸出了微积分的思考模式。

准确而言，流体力学中的“流数”（fluxions，流体在一定时间内变化的流量）一词就是最先由牛顿提出的。他由此创立了微分。

所谓的牛顿运动定律^[1]的公式如下所示。

$$F=ma$$

F 为物体所受的外力， m 为物体的质量， a 为加速度。

实际上，这一公式并非牛顿归纳而成的。第一个将此定律公式化的人是欧拉。牛顿并未最终写出这一公式。是欧拉在研究了牛顿的著作后，将运动定律归纳为这一非常完美的公式。

数学是一种语言，需有其文字及符号。数学家的工作，就是为脑海内浮现的、尚未经过文字及符号表达的想法变为文字与符号化的发明——将其充实为一种概念。

圆是直线吗？

欧拉使用“微分的语言”，完美地归纳出了 $F=ma$ 这一公式。

牛顿所进行的微分是什么呢？

是一种“将一切都按照几何学思维来思考”的思维模式。

圆在局部上是一条直线。牛顿用显微镜去仔仔细细地观察一个圆，得出了“圆是直线”的结论。

在圆的任何一点上均可以画出一条切线。该点与圆心的连线与通过该点的切线垂直。这样一来，我们利用初中的数学知识也能够完成计算。

也即是说，曲线上可以画出一条切线，这基本可以证明其“和直线等同”。

我们可以试着计算一下。

在直线上，设定不同的两点 x 与 $x + \Delta x$ ，各自坐标则为 x 与 $x + \Delta x$ 。

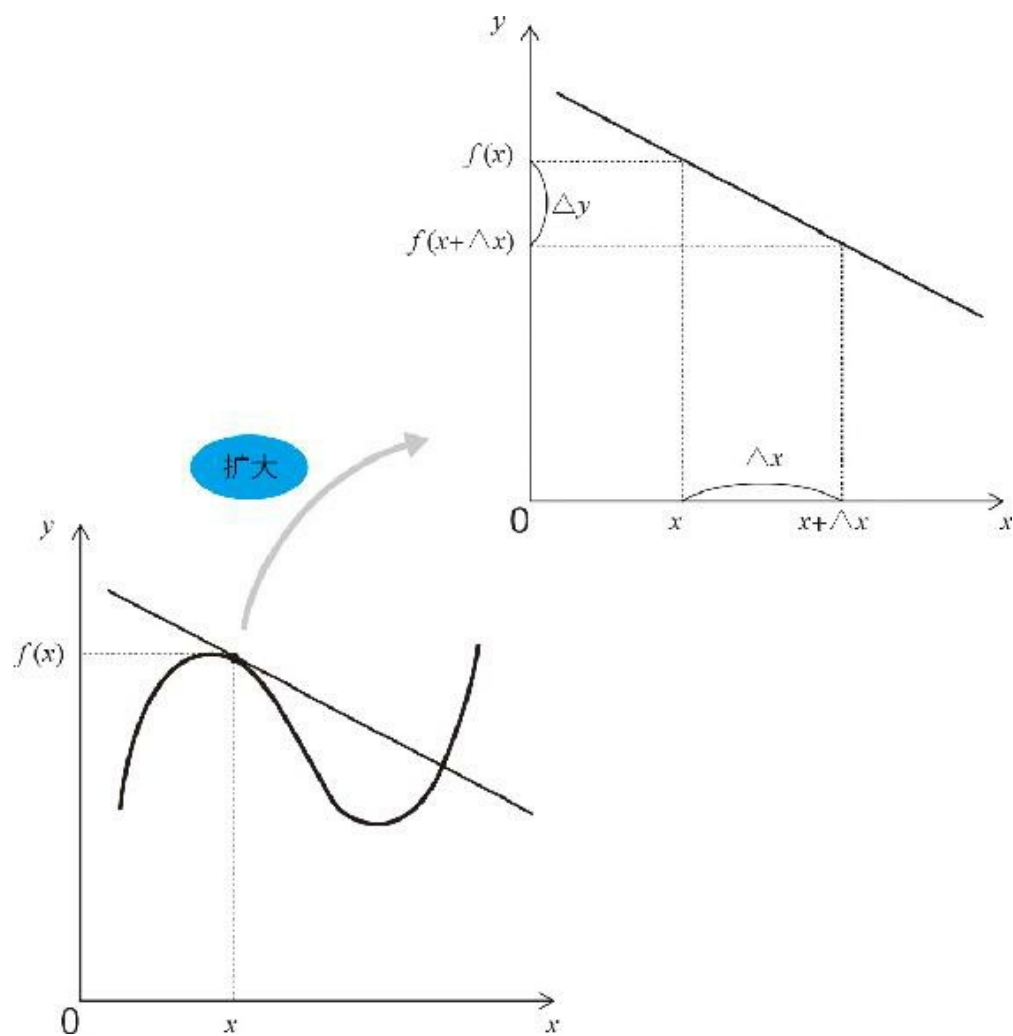
各自的 y 坐标则为 $f(x)$ 与 $f(x + \Delta x)$ 。这一切线的斜率也可以求出来。

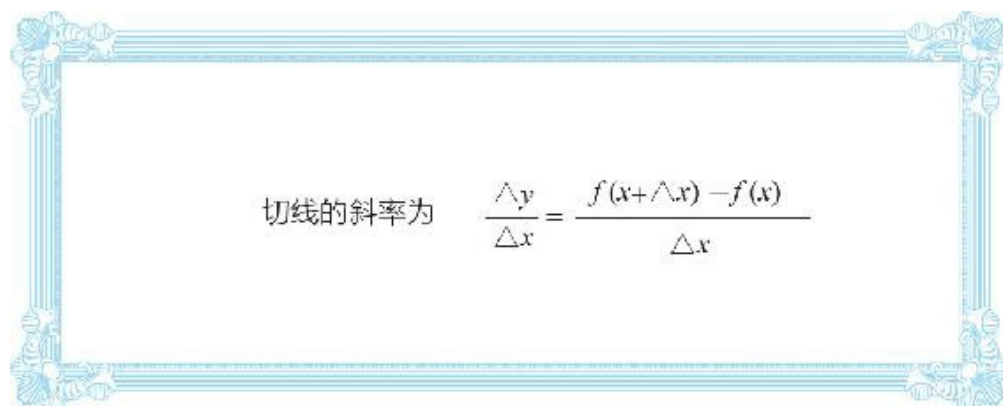
$$\text{斜率} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

设 $f(x) = x^2$ ，且 Δx 无限接近0，这样一来，斜率则为 $2x$ ，即：

$$\text{斜率} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{(x+\Delta x)^2 - x^2}{\Delta x} = 2x + \Delta x \doteq 2x$$

◆切线的斜率





切线的斜率为 $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$

这就是 x^2 的微分。相当于 x^2 的切线的斜率。牛顿想出了如上文所述的计算方法。

这个公式是牛顿的发明。也就是 $(x + \Delta x)^2$ 这一部分。

从数学层面上来看，微分基本上是由欧拉完成的。但牛顿之名之所以能够永载史册，是因为，表达 $(x + y)^n$ 展开方法的公式就是“牛顿二项式定理”。

牛顿进行了十分精密的计算。这也说明了他是一个具有优秀观察能力的人。

因此，他认真地观察了圆——经过计算，他合理地解释了圆周运动（在某一圆周上进行的运动）。一切都能够从几何学的角度得到合理的解释。

牛顿从一个非常小的角度进行思考，迈出了第一步。

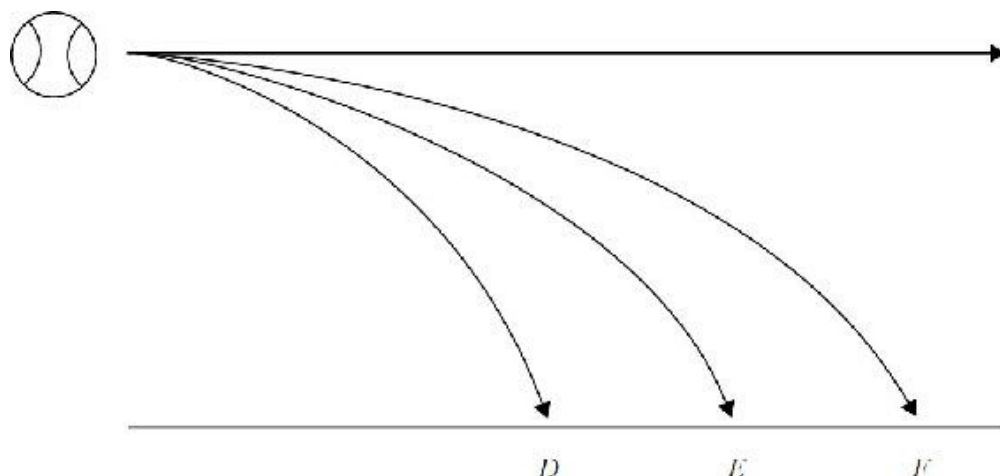
圆周运动为何会产生

使得牛顿举世闻名的，是《自然哲学的数学原理》（1687）一书。其中提到了一个有名的“思想实验”。所谓思想实验，是针对理论上可能实现的实验方法设定各种条件，并在想象中考虑这些条件下可能产生的现象。例如，圆周运动为何会产生.....

假设田中将大^[2]投手在投球。如果他慢速投球，那么球会很快落地。如果他投出较快的球，球就能够飞得较远。如果他投出更快的球，球飞行的距离也就会变得更远。

球速慢时会落在 D 点，稍快些会落在 E 点，更快一些会落在 F 点。球的速度越来越快，在达到某个速度时，它就能够绕地球一周，最终回到原地（归根结底这只是个假设）。请看下方的图。

◆用不同速度投球的话.....



不过，这样一来球就会击中田中投手的脑袋，所以我们让他把头压低一点，躲开棒球。那么，棒球将继续绕地球飞行。这就是圆周运动，

棒球一旦达到了某一速度，就几乎不会落下。

而上述现象，也和广为人知的“牛顿的苹果”这一故事有着深深的联系。

月亮和苹果有什么区别？

在这里，我想向各位读者提一个问题。

苹果树上的果实成熟后，很快就会纷纷掉落在地上。可高悬于夜空的月亮，为什么不会落到地上来呢？

当时基督教世界的统治者们是这样解释这一现象的。

“月亮是受天上的法则支配的。”

“苹果是受地上的法则支配的。”

牛顿却难以认同这种说法。

苹果树如果越长越高的话，它的果实难道不会和月亮一样，不会掉落吗？换言之，牛顿认为苹果也是受到和月亮相同的法则支配，受到相同的力的作用。

牛顿思考着苹果和月亮的不同点。他得出结论，认为区别在于“与运动方向相垂直的作用力（在地球上重力）引起的运动”（圆周运动）。这才是“牛顿的苹果”的故事。而并不是大众所了解的那样，牛顿因为看到苹果从树上落下，从而发现了“万有引力”。

“万有引力定律”的表达式如下所示。

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

F 是万有引力（所有有质量的物体之间相互作用的引力）的大小，

G 是万有引力常量，分子 m_1 、 m_2 是质量，分母 r 是距离。在 r 的右上角有一个2，这一点比较难以理解。

“分母是 r 的二次方”意味着“作用力与距离的平方成反比”。因此，物体间的距离越远，万有引力就越小。反之，物体间的距离越近，就越会有一个非常大的力——也就是引力——会开始产生作用。

开普勒留下的问题也为“万有引力”的发现提供了一个很大的提示。1666年，牛顿为了说明开普勒关于行星运动的“三大定律”（椭圆定律，面积定律，调和定律）而进行了计算。如果与距离的平方成反比的力在作用，那么地球就会在椭圆轨道上绕太阳旋转。

牛顿发现了掩藏在开普勒定律之中的万有引力定律。由此，开普勒第一定律“行星在椭圆轨道上运转”不仅在计算上得到了证明，在几何学上也得到了证明。

顺带一提，牛顿在十几年之内都没有公开自己在计算中得到的“万有引力定律”。

汽车、飞机、新干线，都可以用 $F=ma$ 来说明

那么，现如今科学所面临的最大问题是什么呢？

是物理学的问题。“万有引力”“重力”在当下仍旧是我们需要面对的重要课题。牛顿第一个定量地从距离、质量的角度，利用算式、公式、方程对“力”这一概念进行了说明。

某个物理量在空间的一个区域内的分布被称为“场”，如重力场、电磁场等。在现在的物理学研究中，关于场的理论“场论”是最为根本的一个概念。

从“场论”的角度来考虑，所谓的重力就称作量子化（将场这一古典力学的原理转换为量子力学原理）。

“为何是引力？”

“为何与距离的平方成反比的力会产生作用？”

必须要彻底地解释清楚这些问题。

人们现在还无法对素粒子的根本原理进行解释。

牛顿仅仅在两年之内就完成了数学物理学的研究。这两年的奇迹年，奠定了牛顿不可动摇的地位，这对他而言，可能多少有些不上不下吧。

可令人震惊的是，牛顿在这两年内做出的成果如今也依旧影响着这个世界。大家平时搭乘的汽车、飞机、新干线，都证明了“ $F=ma$ ”。虽

然没有用到相对论，但“牛顿力学”就已经足够了。

光究竟是“波”还是“粒”

牛顿的运动方程，发展成了量子力学的波动方程。地球和苹果相互吸引，这就是万有引力。

那么，电子所处的微观世界也遵循这一规则吗？

事实并非如此。微观世界有其特有的规则——量子力学。在这里，牛顿关于“光的理论”就变得尤为重要了。

物理学中有一个很重要的问题，“光究竟是什么”。

牛顿在数学界的宿敌是莱布尼茨，在物理学界的宿敌则是荷兰的克里斯蒂安·惠更斯（1629～1695）。惠更斯认为“光是波”，牛顿则主张认为“光是粒子”。

对于光的本质的大讨论一直持续到了20世纪。这也是将爱因斯坦（[参见此处](#)）、丹麦物理学家尼尔斯·玻尔（[参见此处](#)）、德国物理学家沃纳·海森堡、奥地利物理学家埃尔温·薛定谔以及日本的仁科芳雄（[参见此处](#)）等不朽天才们连接起来的原点。

光究竟是什么……现在，我们得出的结论是“光是某种既可以被看作是波也可以被看作是粒子的物质”。这被称作“量子”。



沃纳·海森堡（1901~1976）诺贝尔物理学奖得主。量子力学创立者之一。因提出不确定性原理而广为人知。



埃尔温·薛定谔（1887~1961）为量子力学的发展做出了贡献，以他的名字命名的波动方程已经成为量子力学的代名词。

惠更斯的“光是波”的观点曾一度占据上风，英国物理学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（1831~1879）也认为“光是电磁波”。正当“光是波”这一观点将要成为定论之时，在1905年，爱因斯坦登上了舞台，宣称“并非如此，光是粒子，也就是光量子”。爱因斯坦支持的是牛顿。

虽然这一观点使得情况变得更加混乱，但量子力学确实是做出了解答。

观察牛顿的一生，我们可以发现一件事。

——他没有公开自己的数学发现。

——晚年沉迷于研究“炼金术”。

我认为，于牛顿而言，探寻科学的目的，仅仅是为了获得自身的喜悦。这份喜悦，来自于将自我投身于对真理不知疲倦的追求之中去。

[1] 此公式实为牛顿第二运动定律的公式，原文仅用“牛顿运动定律”来表述是不准确的。

[2] 日本职业棒球运动员。

Part 3

关孝和：能够自如运用微积分的
和算天才

$$\begin{aligned}
 \pi &= \text{正}2^{16}\text{边形的周长} \\
 &+ \frac{\left(\text{正}2^{16}\text{边形的周长} - \text{正}2^{15}\text{边形的周长} \right) \left(\text{正}2^{17}\text{边形的周长} - \text{正}2^{16}\text{边形的周长} \right)}{\left(\text{正}2^{16}\text{边形的周长} - \text{正}2^{15}\text{边形的周长} \right) - \left(\text{正}2^{17}\text{边形的周长} - \text{正}2^{16}\text{边形的周长} \right)} \\
 &= \text{略小于} 3.14159265359 \\
 &\quad \times 2^{15} = 32768 \qquad 2^{16} = 65536 \qquad 2^{17} = 131072
 \end{aligned}$$

在江户时代，算数书成为畅销书



关孝和（1642～1708）自学《尘劫记》后，使日本特有的数学流派“和算”获得了极大的发展。

现如今在日本，有很多孩子讨厌算数和数学。但在江户时代，日本本土发展起来的数学流派“和算”在民间大为流行，从大人到小孩，都以算数作为一种乐趣。

吉田光由（1598～1672）是一名和算家，他研究了中国的数学典籍，于宽永四年（1627）出版了日本第一部集算法之大成的算术入门书籍《尘劫记》。

《尘劫记》中记录了算盘的用法，以及丈量土地时必需的面积、体积的测量方式，卖油店用枰^[1]分油时应当怎么分，鹤龟算^[2]等，网罗

了许多便利日常生活的实用问题。

《尘劫记》也由此得以普及，成为每家每户必备的书籍，十分畅销，甚至连流行作家井原西鹤、十返舍一九、泷泽马琴等人都望尘莫及。

本书因为太受欢迎，甚至还出现了盗版，直到江户时代末期仍有销售。可见，和算在民间的流行曾经是多么繁盛。

吉田还在《尘劫记》中提出了难解的“遗题”（在数学典籍中记录交由后人解答的问题），向读者发起挑战：“来吧，你能解开这些问题吗？”

看到这些问题的民间和算爱好者纷纷挑战解题，一旦得出结论就会在漂亮的木质匾额上写出自己的答案，仿佛在夸耀自己一般：“怎么样，我可是解开了。”人们还会将匾额贡献到神社、佛寺——这就是“算额奉纳”的起源。

算额奉纳不仅只记录解答。解开问题的人有时还会提出新的问题，向世间的和算爱好者们发起新的挑战：“来吧，来试着解开这个问题吧。”后人解开这个新的谜题，得出解答后，又会再次提出新问题，记录在算额之上。

在和算书中，也存在“提出问题——解答者提出新问题”这样一种循环。也就是所谓的“遗题继承”。遗题继承在历史上持续了将近二百年。

“提出问题”是数学研究的一大精髓。这才是数学得以发展的原动力，也是以吉田为代表的和算大家在潜意识中看透的真理。

凭借“遗题继承”与“算额奉纳”这两大世上绝无仅有的体系，和算最

终发展成为高等数学。

美国的理论物理学家弗里曼·戴森（1923～）在数学上的造诣也十分深厚，对和算也给予了非常高的评价。

在与西洋的影响相隔绝的年代，日本的数学爱好者们创造出了在这世界中独一无二的“算额”，它应当被称为艺术与几何学的结晶（摘自朝日新闻社主办“平民算术展”寄语）。

而在和算风靡之时，日本还诞生了一名世界级的天才数学家。那就是被誉为“算圣”“数学之神”的关孝和。

在伯努利之前发现“伯努利数”

天才关孝和出生于1642年前后。井原西鹤生于1642年，松尾芭蕉生于1644年，关孝和活跃的年代正是江户前期元禄文化大放光彩的年代。

关孝和自学了《尘劫记》，并且熟练掌握了宋、元两代的高次方程的解法“天元术”等知识之后，接二连三地解开了前人们发起的挑战——“遗题”。

关孝和解开的第一个问题，是《古今算法记》（1671）中记录的共计15个问题。他一口气解开了所有的问题，将解答出版，并命名为《发微算法》（1674）。

不仅如此，关孝和还发明了基于天元术发展而成的划时代算法“傍书法”，凭一己之力将和算发展壮大。

“牛顿的近似方法”“牛顿插值法”“极大极小理论”“结式与行列式”“近似分数”“伯努利数”“古尔丁定理”“圆锥曲线”“球面三角法”等，关孝和的成绩可谓是不胜枚举。

关孝和发现了用于求连立方程解的多项式“行列式”，以及在函数的级数展开时出现的有理数系数“伯努利数”，这些都是领先于世界的发现。

例如，一般认为行列式是莱布尼茨于1693年提出的，但关孝和在其十年之前，就于自己的著作《解伏题之法》（1683）中提到了行列式的展开。

此外，关于伯努利数也是同样。在瑞士数学家雅各布·伯努利引入

伯努利数的一年前，也就是1712年，关孝和就在《括要算法》中提到了它。虽然他是使用汉字纵向书写的，并没有使用数字，而是使用和算的方式，用算盘上的“算筹”，用小棍表现数字的，但仍旧能够和伯努利数完美对应起来。



雅各布·伯努利（1654~1705）因为对概率的研究而闻名。

因此，伯努利方程准确而言应当被称作“关-伯努利方程”。

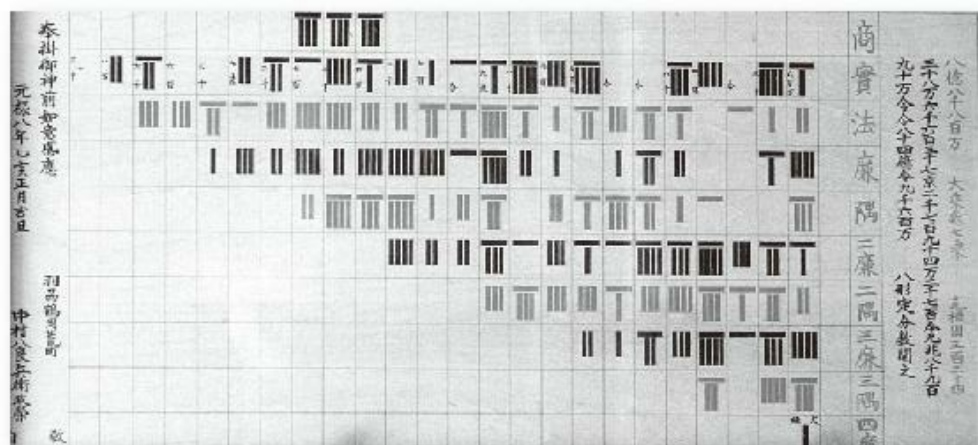
连六元一次方程都解开了！

当时，日本正处于锁国时期，欧洲的数学成就并没有传入日本。即便如此，日本人也研究了方程解法，对于圆以及数列之和也进行了思考。日本独创的和算，也丝毫不逊色于欧洲的数学，对于数学的核心问题进行了深入研究。

和算的基础，在于由中国传来的天元术，这是一种针对高次方程的数值解法。但是，天元术的未知数只有一个，这也意味着天元术是“只能解一元方程（只有一个未知数的方程）”的简单计算方法，中国的数学研究就在此停滞了。因为只要能解开一元方程，就能解决绝大多数包括丈量土地在内的、生活中必须面对的计算。

然而在日本，对于方程的研究脱离了日常运用，进入了针对问题本身进行研究的阶段。

◆人们奉献到神社的江户时代的“算额”



（日本山形县鹤岗市远贺神社复元算额）

不仅是三次方程、四次方程，在我的家乡日本山形县鹤岗市的远贺神社内，甚至有解开了八次方程的算额。此外，在日本唯一一间长期展出算额的岩手县一关市博物馆内，居然还流传着用天元术解开了六元一次方程的记录。

关孝和将天元术吃透后，为了解开难度极高的问题（遗题），而发明了一些必要的解法，改进了天元术，无论未知数有 x 、 y 、 z ……甚至无限多个，都能够解开方程。这就是“傍书法”。

过去使用天元术计算时需要运用算盘和算筹（由中国传来的计算时使用的小棍），但关孝和发明了纸上进行计算的“笔算”，计算多元高次方程时将会更加简便。这就是关孝和的伟大之处。

就算没有“算筹”“算盘”等工具，人们也可以在纸上解开方程，因为这次进化，和算在这之后得以爆发式地普及开来。

全世界“ π 爱好者”们不断挑战的理由

在这位取得无数辉煌成就的天才眼中，仍旧有一个难题，那就是“圆周率”。圆周率的符号是希腊字母“ π ”。

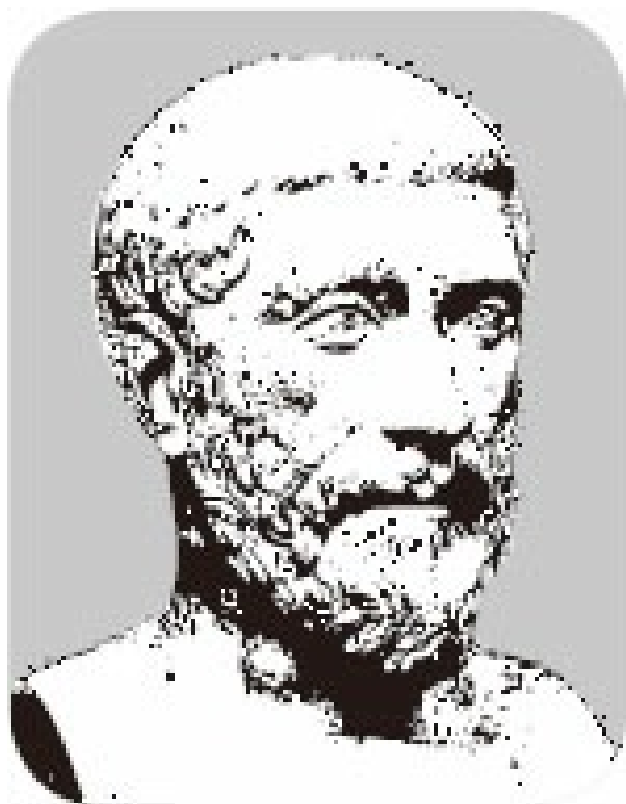
它的值为 $\pi=3.14159265\dots$

圆周率是我们大家都学习过的，它用来表示直径为1的圆的周长。当圆的直径翻倍，变为2时，其周长也将翻倍，变为约6.28。

圆周率的公式，在古希腊数学家、物理学家阿基米德，哲学家、数学家毕达哥拉斯的时代就已经出现了。在那之后约翰·沃利斯、艾萨克·牛顿、戈特弗里德·莱布尼茨、英国天文学家约翰·马青、莱昂哈德·欧拉等许多古今和外的天才数学家们都曾为圆周率而倾倒。



阿基米德（公元前约287～公元前约212）发现了“阿基米德原理”，第一个通过计算求出了圆周率。



毕达哥拉斯（公元前约582～公元前约497）认为宇宙的本源是数字，为数学与天文学的发展做出了贡献。



约翰·马青（1686年洗礼~1751）发现了与圆周率相关的公式，为圆周率计算效率的提高做出了贡献。

可以说，正因为有这些为 π 而倾倒的“ π 爱好者”们，关于 π 的研究才能在数学领域占据重要地位并得以发展至此。

圆周率为何能吸引这么多数学家的心呢？我认为，这恐怕是因为圆形是人类生活中最为重要的形状。因为车轮是圆，汽车才能够平稳行驶，因为井盖是圆的，所以人无论从哪个角度都不会跌入井中。

在研究圆这个简单图形的过程中，我们却能够发现许多深奥的、有趣的原理。这也正是数学家研究 π 的理由。

关孝和作为一名天才数学家也不例外，他也对数学中最为重要的领域——圆周率的计算发起了挑战。

◆关孝和的圆周率公式

$$\begin{aligned} \pi &= \text{正}2^{16}\text{边形的周长} \\ &+ \left(\frac{\text{正}2^{16}\text{边形的周长}}{\text{正}2^{15}\text{边形的周长}} - \frac{\text{正}2^{17}\text{边形的周长}}{\text{正}2^{16}\text{边形的周长}} \right) \left(\frac{\text{正}2^{16}\text{边形的周长}}{\text{正}2^{15}\text{边形的周长}} - \frac{\text{正}2^{17}\text{边形的周长}}{\text{正}2^{16}\text{边形的周长}} \right) \\ &= \text{略小于} 3.14159265359 \\ &\quad \ast 2^{15}=32768 \quad 2^{16}=65536 \quad 2^{17}=131072 \end{aligned}$$

关孝和通过计算正多边形的周长来求圆周率。他通过计算正三万两千七百六十八（ $=2^{15}$ ）边形，正六万五千五百三十六（ $=2^{16}$ ）边形，正十三万一千零七十二（ $=2^{17}$ ）边形的周长，将圆周率精确到了小数点后第11位。

关孝和的方法最值得肯定的一点是，他使用了一种被称作“埃特金方法”的加速法（一种在计算数值时减少计算次数的方法）来进行计算。

日本人之所以能够毫不在意地计算这么庞大的数字，其中一个原因就是他们已经习惯了大单位的数字。

《尘劫记》的初版中记载着如下的数字单位。

大数的单位为，个、十、百、千、万、亿、兆、京、垓、秭、穰、沟、涧、正、载、极、恒河沙、阿僧祇、那由他、不可思议、无量无数。

[3]_。

而小数的单位则有，分、厘、毫、丝、忽、微、纤、沙、尘、埃、渺、漠、模糊、逡巡、须臾、瞬息、弹指、刹那、六德、虚空、清静、阿赖耶、阿摩罗、涅槃寂静。

而算盘的使用，也使得大数的计算变得很简单，这也是一个重要因素。

支撑起和算发展的江户时代

仅看关孝和的成绩，就能够清楚地知道日本在当时的数学水平处于世界前列。

那么，和算究竟为何能够通过和西方数学不同的发展路径达到了如此的高度，并且孕育出了关孝和这样的天才呢？研究这个问题，恐怕就必须考虑到江户时代百姓的生活环境。

在江户时代，各地都设有用于教育平民百姓的机构——寺子屋。寺子屋中教授的课程是礼仪、骑马、音乐、书道、射术，以及算数^[4]。授课内容很全面、均衡，孩子们在当地的寺子屋上学，学习“读书、写字、计算”，同时还会学习骑马和音乐。

前文已经提到过，和算的根基是由中国传入的数学典籍，以关孝和为首的和算家们对这些典籍进行解读，将书中记录的解法改造成了日本的流派。例如“九九乘法表”，在日本是日常生活中非常便利的口诀，这原本也是从中国传来的，但一开始需要从“九九八十一”开始背起，很难记忆。

可实际上，只要记住了 $8 \times 9 = 72$ ，就没必要记 $9 \times 8 = 72$ 了。以此类推，最终需要记忆的只有36条口诀（二段八个，三段七个，四段六个，五段五个，六段四个，七段三个，八段二个，九段一个）。实际上，前文提及的《尘劫记》中，就为了方便孩子们记忆“九九乘法表”而将其重新进行了排列。

◆江户时代的九九乘法表只有**36**个！

九九

九九	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二
六三	六八	六六	四五	四四	三七	三三	二六	二二

当时还有另外一个口诀，那就是“九九除法表”。当时的孩子们能够熟练运用算盘、九九乘法口诀和九九除法运算，可想而知，他们的计算能力一定非常高。

但寺子屋并非义务教育，内部也没有考试，也没有向上升学的入学考试。孩子们都是自主地前往寺子屋上学，学习和算。

江户时代的孩子们，恐怕并没有如今那种“学习”的概念，而是将上学看作是日常生活中的一种游戏，完全是出于兴趣前往寺子屋的。

寺子屋中的学生们年龄各异，有的孩子4岁，有的6岁，有的10岁。放在今天，就像是托儿所的小孩子、幼儿园的小朋友还有小学生们一起上学一样。老师会在教室内走动，手把手地教学。

当时的教育并非是千篇一律的集体教育，老师动不动就会说“现在开始考试，时间60分钟”。而是每个学生都可以按照自己的状态学习“读书、写字、计算”。

同时，江户时代的印刷技术也高度发达，这也为和算的普及做出了巨大的贡献。数学想要普及，高精度的印刷技术是不可或缺的。

日本人的双手十分灵巧，他们能够制作精细的雕版，所掌握的印刷技术甚至能够印刷极为细小的文字。同时，日本人还有一种能够将印刷转化为商业利益的才能，构建起了出版与流通之间的体系。各类书籍也因此得以销往全国。

前文已经提到，记录数学问题的《尘劫记》是比十返舍一九的《东海道中膝栗毛》以及泷泽马琴的《南总里见八犬传》更受欢迎的畅销书，我们也不能否定高超的印刷技术与发达的出版体系在其中的贡献。

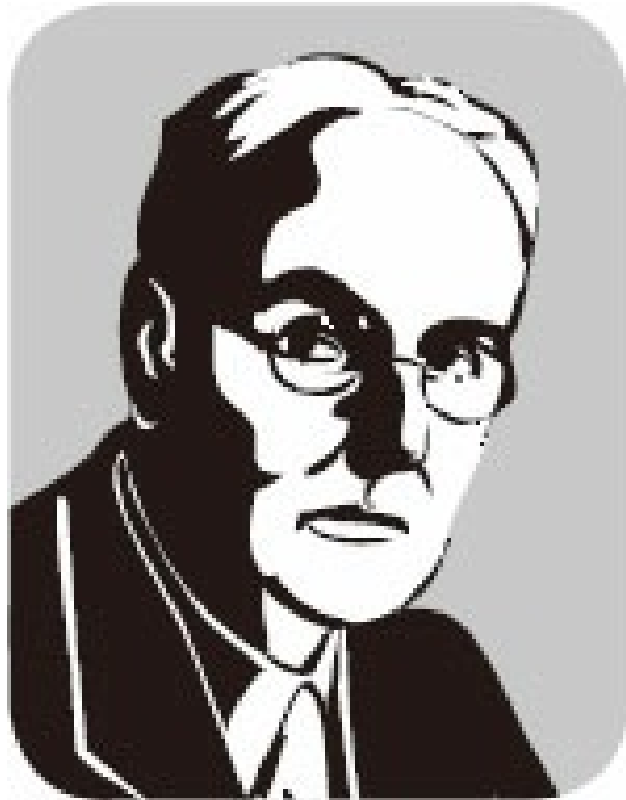
代代相传的“关流”和算族谱

关孝和的和算在江户时代开花结果，发展为“关流”，门下弟子众多，并流传到了各个地方。关孝和十分欣赏的弟子，和算家建部贤弘（1664~1739）继承了他的研究，并将之发扬光大。他少时就拜关孝和为师，并迅速掌握了天元术、傍书法，接连解开了许多遗题。

关孝和在《发微算法》中整理出的术文（针对数学问题的解法）对于一般人而言十分难以理解，甚至连对傍书法的说明都没有。因此，建部于1685年出版了《发微算法》的解读书《发微算法演段解》。通过这本书，关孝和所著的《发微算法》的精髓得以被更多的人理解。

同时，建部还重新研究了关孝和计算的圆周率，得以成功逼近无穷的概念。通过分割计算圆的弧长，发现圆周率将逐渐逼近某一确定数值。

因为这一发现，相比于关孝和通过求“正十三万一千零七十二（ $=2^{17}$ ）边形”的周长将圆周率精确至小数点后第11位，其弟子建部贤弘通过正一千零二十四（ $=2^{10}$ ）边形将圆周率精确到了小数点后第41位。这是世界上使用英国气象学家路易斯·弗莱·理查德森发现的“理查德森加速”的无穷级数展开公式得出的第一个结果。



路易斯·弗莱·理查德森（1881～1953）因对气象数据的数值计算的研究而闻名。

出生于日本岩手县的千叶胤秀（1775～1849）也继承了关流的数学。他作为一名算数老师，以日本东北地区为中心周游全国，教授和算，被称作“游历算家”。据说，他曾经收下3000名弟子。

就像是为了作对一般，日本山形县的会田安明（1747～1817）创立了“最上流”来与关流对抗。可追根溯源，最上流的根还是关流，也起源于关孝和的数学，这一点是不变的。也就是说“最上流”应该被称之为支流。

被称为“最后的和算家”的最上流弟子，是日本宫城县白石市的高桥积胤。高桥家传有一份据说“百年之内不可开启”的高桥积胤的遗物。前一阵子，这份遗物终于被打开了，其中有着包括幻方以及“免許皆传书”在内的大量资料。

“免許皆传书”中记载，“高桥积胤能够熟练掌握相关知识，获得了真传”。落款时间是大正八年（1919年），说明和算的涓涓细流至少流传到了大正时代。

日本美丽而残酷的自然环境是和算发展的土壤

数学的源泉究竟来自何方呢？

我们可以找出很多答案，但是总结起来，可以归结为天文学、流体力学以及军事三个方面。这三个方面是全世界共通的，此外，和算在历法、测量上也有所应用。

众所周知，关孝和设计了玉川上水[\[5\]](#)，并担任了江户治水总指挥。而且，他对天文学也很感兴趣。

日本的和算发展程度很高，全国各地都有和算的业余爱好者。和算不仅是为了数学的实际应用而存在，更作为一种娱乐风靡全国。这在世界史上也是非常罕见的现象。

江户时代风靡一时的和算在进入明治时代后为西方数学所取代，最终走向衰败。但正因为和算家们超群的实力，才能够畅通无阻地将西方数学也完整消化。

建部贤弘曾向第八代德川将军吉宗献上了《缀术算经》（1722）。这本书之后以《不休缀术》的名字出版，并分配给了众多弟子，而“不休”正是建部的号。这本书中，建部写下了这样一段话。[书籍分享V信 zmxsh998]

遵从于算数之心时我是很平和的，而不遵从时则会感到痛苦。遵从，是因为与之相遇前便认定必有所获，而吾心之疑虑必将得解，故而安泰平和。因安泰平和，常不能止。因常不能止，而未尝有求而不得之时。不遵从，则因与之相遇前不知所求之物可得不可得，故而疑虑。因

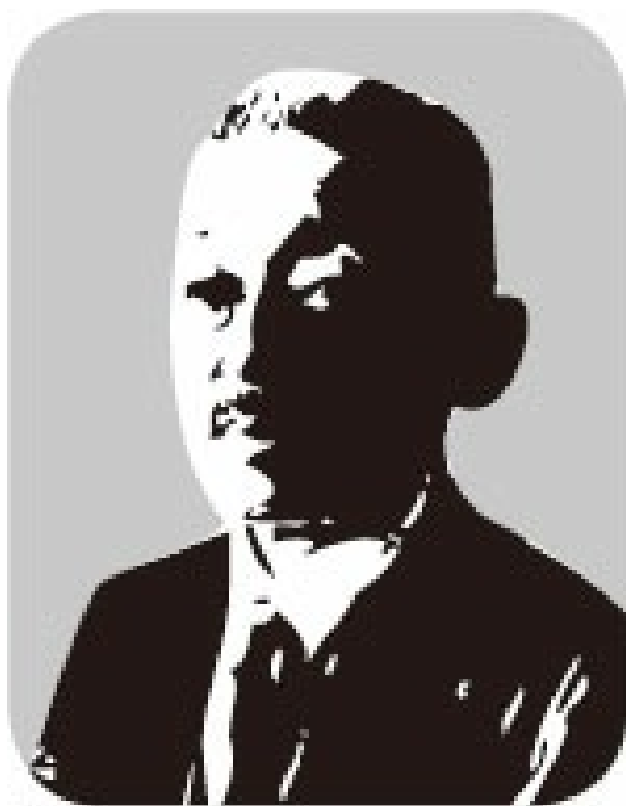
疑虑，则屈从于苦痛。因屈从于苦痛，则不得成事。

和算绝没有止于明治时代。

世界上第一个完成“类域论”的世界级数学家高木贞治，正是学习了关孝和、建部贤弘的数学精髓，才最终发现了类域论。我认为，关于“费马大定理”的谷山-志村猜想与之也是一脉相承的。

历史没有假设，但如果没有明治维新，起源于关孝和的和算也许能够超越欧洲。而和算若能够得到进一步发展，日本的数学也许会走出一条更加不同的道路。

和算并不逊色于西方的数学，它领先于世界数学主流的地方，上文也都已经提到过了。



高木贞治（1875～1960）近代日本第一位世界级的数学家。因代数整数论的研究确立了“类域

论”。

而和算这一日本特有的数学流派得以高度发展的原因，我认为是在于日本物产之丰饶。关孝和、建部贤弘都只是普通的武士，千叶胤秀则出身于普通的农民家庭。而他们能够夜以继日地研究和算，可以说是因为有丰饶的国土可以依靠。因为他们不为生计所苦，才能将和算作为兴趣爱好来研究。

我最爱的松尾芭蕉看见日本的美景时，咏出“五七五”的俳句来歌颂自然。而和算家们也是一样，在日本富饶的土地上，构建起了和算这一美妙的世界。正因为身处日本，和算才能得到如此巨大的发展。

关孝和对和算的感情，今天的我们同样能够感受到。我衷心希望终有一天，和算能够在日本得到复兴。

[1] 日本一种量器。（译者注）

[2] 即鸡兔同笼问题。（译者注）

[3] “不可思议”及“无量大数”之间，应有“无量大海”与“大数”两个单位，按照“不可思议”“无量大海”“大数”“无量大数”的顺序递增。此处应为原文讹误。（译者注）

[4] 这六项技艺同中国传统的六艺（礼、乐、射、御、书、数）相一致。（译者注）

[5] 江戸时代承应元年（1652年）玉川庄右卫门、玉川清右卫门两兄弟开通的引水渠。

Part 4

爱因斯坦：预言了黑洞和
宇宙大爆炸的公式

$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

将宇宙凝缩为短短三个字符



阿尔伯特·爱因斯坦（1879~1955）德国物理学家，因量子论获得诺贝尔物理学奖。

我非常喜爱松尾芭蕉。芭蕉已经是三百年前的古人了，他游历日本东北、北陆等地，留下了很多诗句，还写下了游记《奥州小道》，可谓是家喻户晓。

万籁寂静时，蝉声入山岩。

云雾罩峰巅，几度缠绵几度散，明月照青山。

齐集夏时雨，汹汹最上川。

经过了三百年岁月，他的作品依旧为人们所喜爱。

俳句的韵律是“五七五”，三句皆为奇数，也都是质数。一首共计17个字，这也是一个质数。

质数是除了1和自己以外，不能用别的自然数整除的自然数。芭蕉用质数的韵律将自然完美地用17个文字描绘了出来。他被称作是“俳圣”的原因也正在于此。

而爱因斯坦的理论，则可以总结为“ $G=T$ ”这短短三个字符。 G 是被称为爱因斯坦张量的空间转动程度的曲率， T 指的是物质创造的能量、运动量的张量。

俳句有17个字，方程则有3个字符。

它们都很简短。可以说，这是一种挑战，挑战我们究竟可以用多么简短的语言来表现自然。

我为爱因斯坦着迷的理由

我第一次听说爱因斯坦是在初中的时候。我被爱因斯坦相对论的复杂难懂和简洁的表达迷倒了。

理论本身固然是十分难以理解的，但尚为初中生的我还是能够明白一件事：“这个理论很酷。”同时，我心中还涌起了对爱因斯坦的尊敬和崇拜，他居然能够用公式来表达出宇宙的运转规律。

我总有一天一定能够完全理解这个理论的……

我对爱因斯坦的着迷从未停止，正是因为我对他有着强烈的崇拜，我产生了“努力去挑战令人费解的难题吧”的想法。自那以来，爱因斯坦就成为我的偶像。

但于我而言，说起爱因斯坦时不得不提的就是《哆啦A梦》了。没错，就是那位大师——藤子·F·不二雄的知名漫画。

大家可能会觉得很奇怪，但对我来说，爱因斯坦的世界、藤子的世界、哆啦A梦的世界完全是浑然一体的。

我上了高中之后才第一次认真读《哆啦A梦》，不禁惊讶于藤子先生居然能够如此简洁地描绘出物理学的世界。

《哆啦A梦》中很巧妙地融入了爱因斯坦的理论。哆啦A梦总是会认认真真地向大雄讲解22世纪的科学研究，然后会从四次元口袋装中取出品类丰富的道具。

接下来，我将开始讲述爱因斯坦的故事，其中我也会偶尔夹杂《哆

啦A梦》来帮助理解。

狭义相对论——时间的膨胀

爱因斯坦于1905年发表了“狭义相对论”，于十年后的1915年到1916年间发表了“广义相对论”。

在先发表的狭义相对论中爱因斯坦提到“光速”（真空中的光速是 $c = 299792458$ 米/秒）是不变的。与之相对的事，至今为止人们认为不会改变的时间、质量、长度等并非是绝对不变的。就像橡皮筋能够伸缩一样，时间、质量、长度都是会膨胀、缩短的。

爱因斯坦这样说道：

“把手放在滚热的炉子上一分钟，感觉像过了一小时一样。坐在一个漂亮姑娘身边整整一小时，感觉起来不过刚过了一分钟。”

也就是说，时间是相对的。时间的长短，会因为观察者的感受而产生改变。这就是相对论的本质。

可以用下图所示的公式来表达出这一点。

v 是运动中的物体——例如火箭——的速度。 c 代表光速。

◆对时间的感觉会随着观察者的不同而不同

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

将这个公式转换为文字

↓

地球上的时间 = $\frac{\text{火箭内部的时间}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\text{火箭的速度}}{\text{光速}}\right)^2}}$

火箭的速度导致火箭内部的时间和地球上的时间是不同的!

换句话说，这个公式表达的意思是“因为火箭的运动速度，火箭中的时间和地球上的时间会产生不同”。而这一现象被称为“洛伦兹变换”。洛伦兹变换指的是狭义相对论中坐标系之间的变换系统，于1904年被荷兰的理论物理学家亨德里克·洛伦兹（1853~1928）所发现。

假设一个人以99%光速的速度（因为不存在比光更快的物质）乘坐火箭，飞行到了某个星球，并于十年后返回地球。在他回来时，地球上已经经过了约七倍以上的时间，当年送他远航的孩子已经老了70岁了，已经是一位老爷爷了。

这就是所谓的浦岛太郎 [\[1\]](#) 状态。这种情况是真的有可能发生的。本书下面的公式表达的就是这一现象。

同样的情况不仅出现在时间上，在长度和质量上也有可能发生。在相对论中，运动速度越接近光速，时间流逝得也就越慢。

质量也会变化。在相对论中，运动速度越快，质量就越大。虽说如此，如果以时速5千米的速度慢跑10千米，质量也只不过会增加大约一百亿分之一克，不会为人所察觉。而当速度越发接近光速时，质量的改

变也就会越发显著。

◆从宇宙旅行回来就会进入浦岛太郎状态？

$$\text{地球上过了70年} = \frac{\text{火箭上过了10年}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\text{火箭的速度}}{\text{光速}}\right)^2}}$$

※火箭速度=99%的光速

火箭的速度越接近光速，时间流逝得就越慢！

火箭的速度越接近光速，时间流逝得就越慢！

而长度则是会变短。

顺带一提，洛伦兹变换在《哆啦A梦》中也出现过。

大雄：“但是呀，为什么只有那个飞行员没有变老呢？”

小夫：“物体的运动速度越接近光速，时间就会流逝得越慢。这是相对论。”

（大雄一脸茫然）

小夫：“也就是说，火箭里的时间流逝得慢一些。”

大雄：“你骗人……”

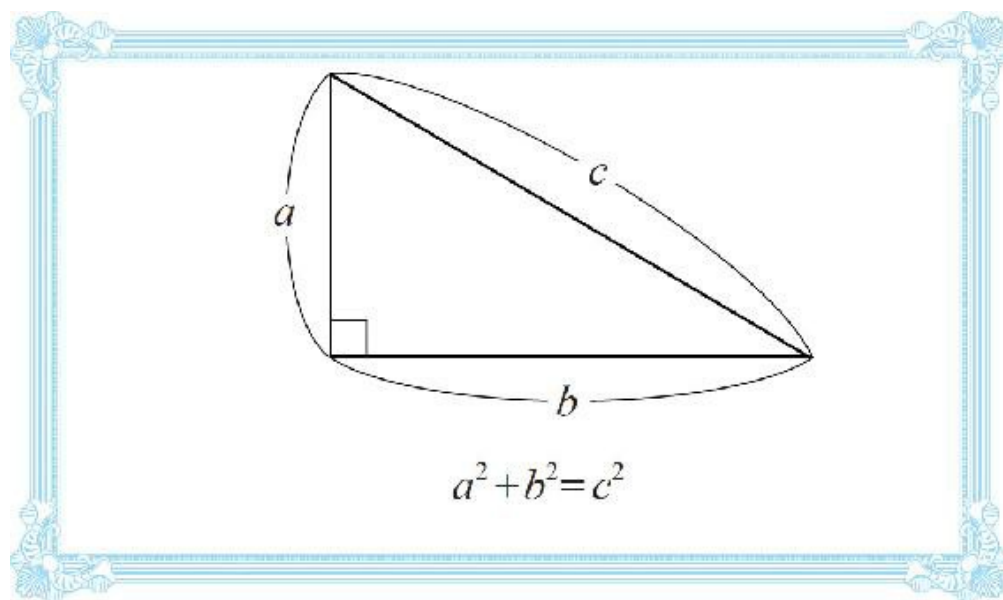
小夫：“你疑心可真重。这可是一个叫爱因斯坦的伟大学者说的。”

[日] 藤子·F·不二雄著《龙宫城的八天》

最令我惊讶的是，小夫居然知道高速飞行的火箭中的时间很缓慢这件事。

让我来解释一下小夫的话。其实，想要证明这个理论，需要用到“毕达哥拉斯定理^[2]”。

◆毕达哥拉斯定理（勾股定理）



请看下面的图。假设火箭的高度为 $c/2$ ，那么光在火箭中从下到上传递、触及顶端墙壁之后再回到底端，需要移动的距离就是 $c/2$ 的两倍，也就是 c （因为光速是 c ，所以特意将火箭高度设为 $c/2$ ）。

这也就意味着，在火箭没有运动时，光做一次往返运动所需要的时间

间是（移动的距离 c ） $\div$ （光速 c ），也就是1秒。

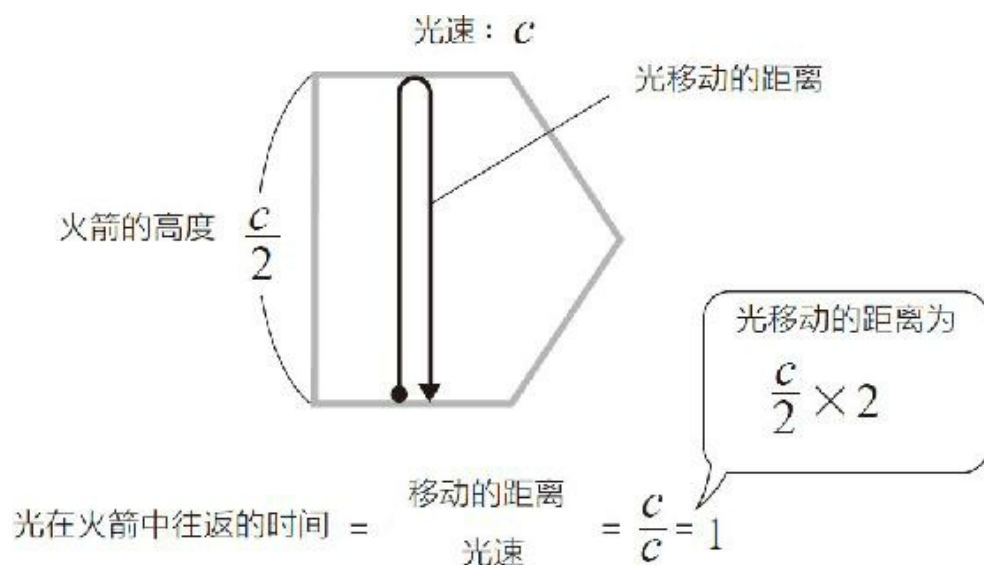
那么，接下来假设火箭正处于运动状态。

火箭做横向运动，光继续做自下而上、自上而下的运动。假设火箭的速度为 v ，运动时间为 t 秒，火箭移动的距离就是“速度 $\times$ 时间”，为 vt 。同时，光移动的距离为速度 $c \times t$ 秒，也就是 ct 。

最重要的是接下来的一点，为了让光的运动轨迹更加便于理解，将光触及顶端返回开始、到返回底端为止的轨迹向上翻折，就成为一个直角三角形的斜边。

接下来，我们运用毕达哥拉斯定理。 ct （光移动的距离）的平方是 vt （火箭移动的距离）的平方与 c 的平方之和。将这个算式整理一下，可以得出下面的图。

◆光在“停止的火箭”内往返所需的时间



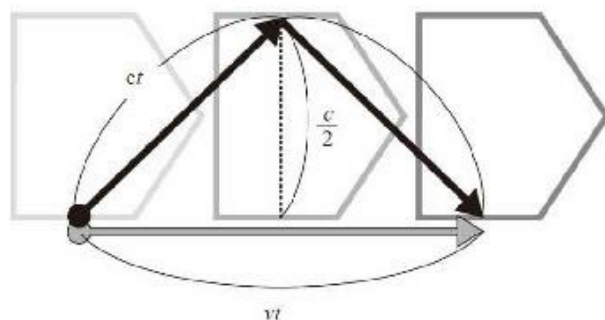
在火箭内部光只需要1单位的时间就可以往返一次！

归纳一下可以得出结论，爱因斯坦认为：“如果光速是绝对不变的，那么时间、质量、长度就不再是不变的。”准确地说，从静止坐标系观察的运动坐标系中的时间、质量、长度都不是一定的，而可能会膨胀或收缩。这也是“相对”一词的来源。

由此，爱因斯坦由导出了那个著名的公式“ $E=mc^2$ ”。本书中不会讲述这一公式的证明过程，简单而言 E 代表能量， m 是质量， c 是光速。这就意味着物体即便静止，也是带有能量的。

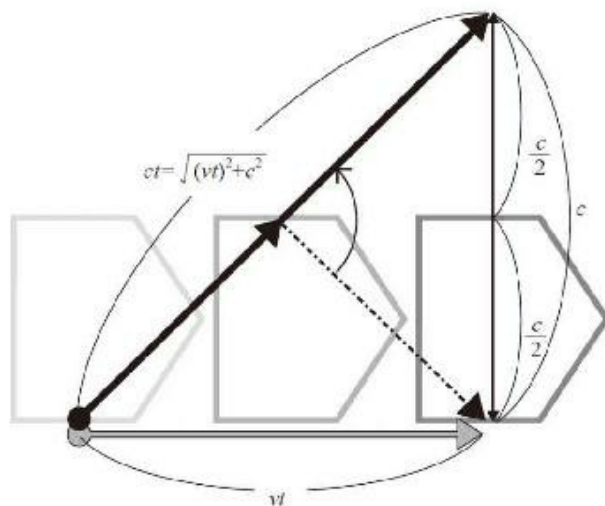
◆光在“运动的火箭”内往返所需的时间

若火箭内的时间为1
地球上的人观测到的光往返一次所用的时间



时间: t
火箭的速度: v
光速: c (从地面上观测时也不变)
火箭移动的距离: vt
光移动的距离: ct

毕达哥拉斯定理



$$ct = \sqrt{(vt)^2 + c^2}$$

$$(ct)^2 = (vt)^2 + c^2$$

$$t^2 (c^2 - v^2) = c^2$$

$$t^2 = \frac{c^2}{c^2 - v^2} = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

洛伦兹变换的公式

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

这一公式也成为原子弹能被制造出来的起因。原子弹的材料是铀和钚，即便消耗其中连1%都不到的量，就足以引发广岛、长崎的悲剧。因为光速极大，高达约每秒30万千米。

广义相对论—重力与万有引力阐明

爱因斯坦在发表狭义相对论之后，又开始着手研究另外一个难题——重力。牛顿已经发现了万有引力定律（跟距离的二次方成反比，跟质量乘积成正比的力），迈出了重力研究上的重要一步。

然而，为何重力是一种引力，牛顿也没能弄明白这一点。爱因斯坦想要搞清楚的就是这一点。之后，他在狭义相对论发表十年后的1915年到1916年发表了广义相对论。

简而言之，广义相对论证明“物体周围的时空会发生扭曲”。由此可以预测出宇宙是正在膨胀的，宇宙中存在着黑洞（因具有强大的重力连光都无法逸出的天体，由大质量恒星经过超新星爆发之后生成）。将这一理论表达出来的是如下所示的爱因斯坦场方程。 $G_{\mu\nu}$ 为度规， $T_{\mu\nu}$ 为能量-运动量张量（ G 为牛顿的万有引力常量）。

$$G_{\mu\nu} = 8\pi GT_{\mu\nu}$$

当时，人们普遍认为在宇宙中所有的物质都消灭之后，时间和空间依旧会存在。但爱因斯坦却认为，在物质消灭之后，时间和空间也会消失，“物质与时间、空间之间存在着不可分割的联系”。公式左侧表现的是空间的扭曲，右侧则是物质的存在。

爱因斯坦场方程中也包含了时间。爱因斯坦还依据广义相对论表达出了宇宙的进化。也就是说，“黑洞”“宇宙大爆炸”（宇宙诞生时发生的大爆炸）的存在也是由爱因斯坦方程预测出来的。它真可谓是揭开了宇宙以及宇宙进化奥秘的方程。

用相对论证明了黑洞的存在

在这里，有请哆啦A梦再次登场。

假设这里有一张方形的布，正面代表宇宙（四维时空连续体）。如果布上没有放置物体，那么四个人分别拉扯布的四个角，可以将布拉扯至完全的平面状态。

这种情况下，试着在布的中心放置一个物品——例如铜锣烧^[3]。如此一来，布的中心就会向下凹陷。如果将哆啦A梦放置在布的边角，它就会向布的中心滚去。根据爱因斯坦的说明，这就是万有引力。

爱因斯坦的观点是：“物体之间相互吸引，是因为物体周围的时空发生了扭曲，导致另一个物体沿着曲面滑落。”

物体的存在会导致周围时空的扭曲，这就是重力（万有引力）。在我看来，这就像是爱吃铜锣烧的哆啦A梦情不自禁地被铜锣烧所吸引一样。

那么，如果物体变得越来越重的话，会发生什么呢？布会愈加凹陷下去，最终成为黑洞。爱因斯坦通过相对论，揭示了黑洞的存在。

但是，爱因斯坦为了将这一理论表达为上文所示的公式，却费了好大一番功夫。

“在我过去的人生中，从未如此认真地为工作付出大量心血。我对于数学有了崇高的敬意。数学中最为精妙的部分，我过去一直将其视作单纯而奢侈的游戏。与这个问题相比，最初的相对论不过是孩子的游戏罢了。”爱因斯坦这样说道。

在日常生活中也可以运用

爱因斯坦对“以光速运动的世界看起来是什么样”产生了好奇，由此发现了“狭义相对论”，对“存在重力的宇宙”产生了思考，由此发现了“广义相对论”。

当时，大家都认为相对论是与现实脱节的。

而现在，相对论已经在我们身边的方方面面发挥着作用。例如汽车导航系统，这是一种利用GPS可以确定汽车在地球上的准确位置的便利系统。而GPS中也有着狭义相对论与广义相对论的活跃身影。

地球周边围绕着许多人造卫星。其中有一些GPS卫星正在时刻向地球发送信号。人造卫星绕地球旋转的速度是每秒3.88千米。这样一来，时间就会产生偏差。

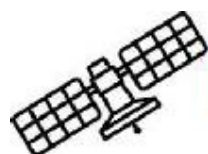
为了计算出这一偏差，就需要用到相对论。相对于地面做高速旋转运动的人造卫星，会产生所谓的“浦岛效果”，卫星上的时间会比地上更慢。

首先，按照狭义相对论，人造卫星上的时间相比于地球，只慢了一万亿分之八十三。其次，人造卫星会受到地球重力的作用，因此也必须考虑到广义相对论的影响。因此，人造卫星上的时间相对于地面上要快一万亿分之五百二十八。两相比较，可以得出人造卫星上的原子钟比地面上的原子钟要快一万亿分之四百四十五。

虽然误差看起来并不大，但是如果无视这一误差的话会发生什么呢？一天有86400秒，它的一万亿分之四百四十五，就是一万分之零点

三八五秒。换算成距离的话，一万分之一秒内光可以运动大约30千米，那么定位系统最终显示出的位置将会和实际所处位置产生大约11.5千米的错位。这样的误差，在地面上是绝对无法忽视的。

◆GPS卫星的时间比地球上更快？



人造卫星绕地运动的速度：3.88km/秒

人造卫星的时间比地球上更加……

依据狭义相对论

要慢上 83

$\frac{83}{1,000,000,000,000}$ 倍

依据广义相对论

要快上 528

$\frac{528}{1,000,000,000,000}$ 倍

合并一下为

$$\frac{528 - 83}{1,000,000,000,000} = \frac{445}{1,000,000,000,000}$$

比地面上要快 $\frac{445}{1,000,000,000,000}$ 倍

如果无视这一误差……

1天 (86400s) 的误差为

$$86,400(s) \times \frac{445}{1,000,000,000,000} = \frac{0.385}{10,000} (s)$$

$$\frac{0.385}{10,000} (s) \times \text{光速 } 300,000 (km/s) \div 11.5 (km)$$

在导航上就会产生高达11.5km的误差!

虽然人造卫星的速度远远低于光速，但其中的误差仍不可忽视!

因此，汽车导航系统会预先计算好这一误差，之后才会显示出正确的位置信息。

为何因为获得诺贝尔奖而失落？

在这里，我想讲讲关于爱因斯坦相对论的证明故事。1905年到1916年间创立的相对论，对其精确度进行验证的实验直到今天仍在持续着。

1919年英国天文学家亚瑟·爱丁顿（1882~1944）在日全食的实验中发现星星的光芒在太阳附近发生了弯曲。由此，广义相对论的正确性终于获得了承认。爱因斯坦听说后非常高兴。

1921年，爱因斯坦获得了诺贝尔物理学奖。但这个奖并不是授予相对论的，而是颁发给1905年发表的量子论（光并非是波而是粒子的理论）。爱因斯坦当时正在驶向日本的船上，听闻这一消息，他非常失望。由此也能够看出，相对论在他心中究竟有多么重要。

如今，激光测距实验在测量太阳与地球之间的距离时，可以将误差控制在1厘米之内，精度是1919年实验的10亿倍以上，爱因斯坦的理论得到了验证。

此外，爱因斯坦还有一个预测，那就是“引力透镜”。所谓引力透镜，就是随着光的扭曲，同一物体出现多重成像效应的现象。就像是爱丁顿实验中的太阳与星星一样，光发生了弯曲，使得物体看起来像是出现在了本不应存在的地点。因为物体实际上并不存在于那一点，因此就像是处于鬼魂状态一般。

引力透镜会因为光经过了不同的轨迹，而呈现弧形，或是产生多重成像。其中的环形光线，被称作“爱因斯坦环”。

1982年，脉冲双星减少的能量，与广义相对论所预测的理论数值之

间的误差仅在5%以内。

随着高精密度的观测设备的发展，相对论为在高精度下验证我们所处的宇宙，做出了极大的贡献。

爱因斯坦创立了如今仍旧不断被印证的、完成度极高的理论，这是一个时间与空间的“统一”理论。爱因斯坦的“统一”的梦想，是无穷无尽的。

与爱因斯坦“相对论”相并列的、被称作20世纪最大发现的是“量子力学”。相对论和量子力学是物理学的两大支柱，但这两大理论却如同水与油一般无法相容。物理学家们的梦想，就是能够发现一个能将这两种理论归纳总结、能够诠释宇宙万物的“终极理论”。

这种理论被称为“统一理论”。我们现在已经确认，宇宙中存在着引力（具有质量的物质之间相互作用的力）、电磁力（电力与磁力统一起来的力）、弱相互作用力与强相互作用力（原子核内部的作用力）这四种不同的力。在宇宙诞生时，这些全都是同一种力，随着时间的流逝慢慢分化为四种力。

20世纪70年代，电磁力和弱相互作用力被统一了，统称为弱电统一理论，又名“规范理论”。之后，弱电相互作用又和强相互作用统一起来，被称为大统一理论，人们现在正在进行研究，希望能够发现将引力涵盖在内的超大统一理论。

所谓的“超弦理论”认为：“所有物质的基本单元，并非是点状粒子，而是线状的。”这被人们认为很有可能成为最终的统一理论。

爱因斯坦的晚年，直到去世之前，他一直专注于进行复杂的计算，

希望能够将引力和电磁力统一起来。虽然他最终还是失败了，但他提出了一个问题，那就是我们能够为看起来并不相同的物质找到一个看起来相同的角度吗？

直到今天，在物理学家们心中，也有着这样一个连爱因斯坦也无法实现的“统一”的梦想。

爱因斯坦教会我的事

最后，我想讲讲关于爱因斯坦本人的故事。

在发表相对论的时候，爱因斯坦还是瑞士专利局的一名员工。他并非物理学家，也不是数学家，只是专利局的一名工作人员。

“我很骄傲的一点是，我有着大把大把的空闲时间。”

爱因斯坦这样说道。正是因为身处这样的环境，才能够自由地发散思考，最终发现狭义相对论。

当时，爱因斯坦一家住在德国的伯尔尼^[4]，和妻子、孩子们过着幸福的生活。如今，世界各地的人们因为仰慕爱因斯坦而纷纷造访此地。这是一个非常美丽的城市，爱因斯坦自己也曾经回忆道：“我在伯尔尼度过了非常美好的日子，那些日子是我最为幸福、成果最为丰硕的时光。”

我手头有一张照片，是数学物理学家保江邦夫教授送给我的。那是一张伯尔尼钟塔的照片。爱因斯坦每天去专利局上班的时候，都会看到这座钟塔。沐浴在阳光下的钟塔.....那是一幅光与时间构成的完美图画。这正是他在伯尔尼时的研究内容。

爱因斯坦究竟思考了什么、看到了什么、怀着怎样的思绪，在26岁时就发现了改变世界的狭义相对论呢.....

多少年以来，我都很想搞明白这一点，看到这张相片，我终于懂了。

“想象力比知识更重要。因为知识是有限的，而想象力概括着世界上的一切。”

爱因斯坦曾经反复提到这句话。

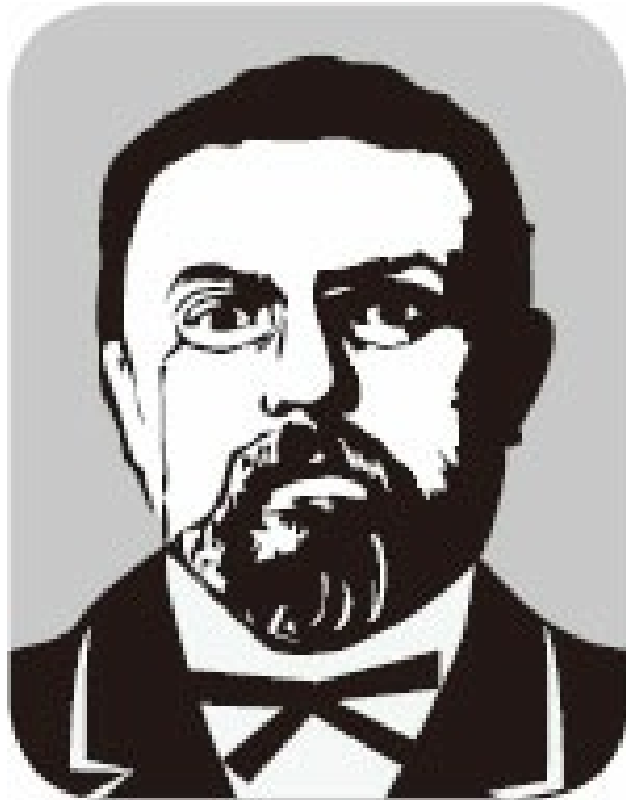
他还说过这么一句话：“我们什么都不知道。我们所了解的知识和小学生没有什么两样。”

在回顾爱因斯坦的一生时，我最为尊崇的，是他美妙的理论和高尚的人格。爱因斯坦教会我的，是要去珍惜人类所拥有的“想象力”。爱因斯坦仿佛正在对我说：“正因为有着想象力的翅膀，人类才能抵达去不了的地方，看见看不见的东西。而我们每个人都有着这双翅膀。展翅高飞吧！”

大雄在学校考试的时候虽然总是得零分，但只有知识而缺乏想象力的话，知识对于我们而言也是毫无意义的。不要被陈旧的常识与约定俗成所束缚，自由地挥动想象力的翅膀才是最重要的。爱因斯坦自己也证明了这一点。

爱因斯坦也曾说过这样一句话：

“对于科学家而言，所谓的酬劳是亨利·庞加莱所言的‘理解带来的快乐’，而并非是发现被应用的可能性。”



亨利·庞加莱（1854~1912）在数学、数学物理学、天文力学等领域做出了卓越的贡献，被称为“最后一位全能数学大师”。

我在上初中的时候，一直希望自己能够更加地理解爱因斯坦的理论。等到我终于可以计算出理论中的规则时，我感到了一种喜悦。那就是我感受到“理解带来的快乐”的时刻。

通过物理学，看到了数学这门语言的冰山一角。我开始感受到，数学确实是一场旅行。我想要去看更多未见的风景。想知道自己能看到什么样的风景，想要实际去看一看。踏上计算的旅程之后，能够听到旅人才能听到的旋律、嗅到旅人才能闻到的芳香。这场旅行是没有目的地的。享受旅行本身才是最大的意义。

就像爱因斯坦说的那样，“科学本身就是一种喜悦”。将科学运用到实际中去是另外一回事。学习科学、数学、物理学——教会我享受其中

乐趣的，正是爱因斯坦。

爱因斯坦继续说：

“这个世界最难以理解的部分，就是去理解这个世界。”

“好奇心之所以存在，是有其理由的。永恒、人生、切实存在的神奇构造等神秘的存在，如果仔细去思考的话，一定会不由自主地产生敬畏。我们只要能够每天都多了解一些世间的神秘就足够了。”

确实，我们生活在这个宇宙中。在我们意识到的时候，就已经存在着了。我们存在于这个宇宙——这件事本身就已经足够神秘，这是科学教会我的。

人类如今还未掌握能够解释宇宙起源的方程。即便如此，我们也在朝着这一梦想前进，不断打开一扇又一扇神秘的大门，实现爱因斯坦未竟梦想的时刻终会到来！

[1] 日本古代传说中的人物。浦岛太郎是一名渔夫，因救下海底龙宫中的神龟，被神龟请去龙宫做客，龙王的女儿热情款待了他。临别时，龙女赠给浦岛太郎一个宝匣，告诫称千万不可打开宝匣。浦岛太郎回家后，发现人间已经过去了数十年，自己的亲人、朋友都已逝去。太郎打开宝匣，匣中喷出白烟，使他变成了白发苍苍的老翁。（译者注）

[2] 我国一般习惯称之为勾股定理。（译者注）

[3] 漫画《哆啦A梦》中，哆啦A梦最爱吃的一种点心。（译者注）

[4] 伯尔尼属于瑞士，为瑞士联邦的政府所在地，并不属于德国。此处应为原文讹误。（译者注）

Part 5

玻尔、仁科芳雄：为不可思议的
量子力学做出杰出贡献

$$H\Psi = E\Psi$$

猫变成了僵尸？



尼尔斯·玻尔（1885~1962）发展了量子理论、量子力学，曾获诺贝尔物理学奖。



仁科芳雄（1890～1951）日本物理学家。在日本开创了量子力学的研究根据地，为普及量子力学做出了贡献。

让我们来做一个思想实验。

有一只猫沉沉地睡在巨大的玻璃箱中。箱中有一个灌满了毒气的瓶子。瓶子上有盖，但如果猫不小心将瓶子打翻了，瓶盖就会松开落下。毒气一旦泄露，凡是有生命的物体都会死。

接下来，在玻璃箱上罩上一块巨大的黑布，使得外界无法看见箱内的情形。六小时后再取下黑布。

那么，请回答问题。在这六个小时内，猫究竟是活着呢，还是已经死了？

猫究竟会不会不小心将灌有毒气的瓶子碰倒呢？还是说，它会一直香甜地睡着，活到最后呢？你的回答是哪一种呢？

我仿佛听到有读者回答：“这我怎么可能知道啊！”

那么，我再增加一个条件。

假设六个小时后，将黑布取下时，猫很遗憾地已经死了。那么当出现这种结果（取下黑布）之前的六小时内，猫究竟是活着呢？还是已经死了呢？

恐怕，大家会回答：“应该是在什么时候把毒气瓶碰倒死掉了”吧。这是一般人的想法。

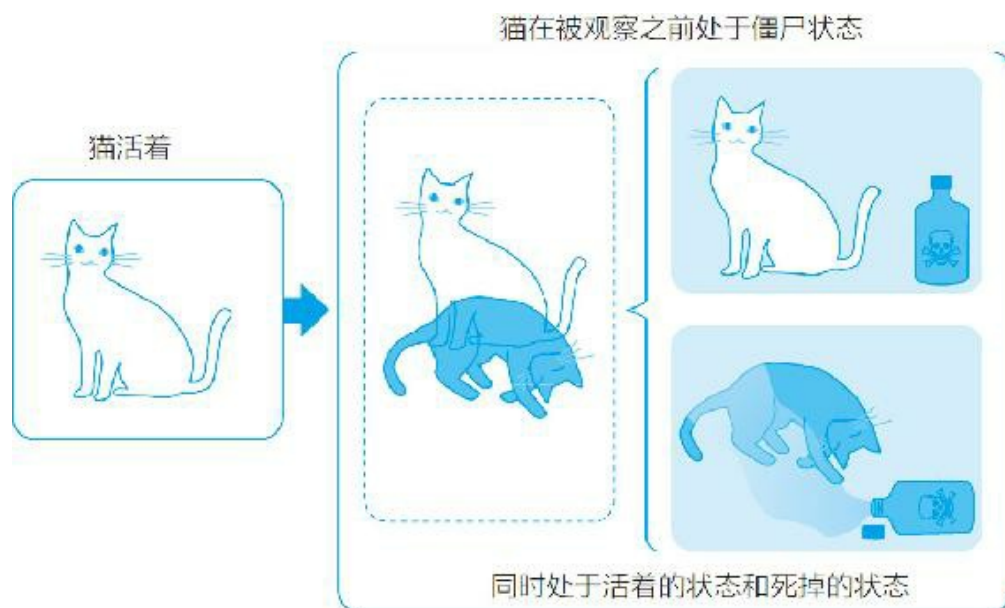
但令人惊讶的是，有一些人却反驳称：“这种说法不正确。”这些人是研究量子力学的科学家。他们对于这一问题，做出了回答：“猫是否死了，是在取下黑布、观察箱内情况时才能明白的事情。在那之前，一切都是概率问题。猫同时处于活着的状态和死掉的状态。”

大胆而言，他们认为“猫在被观察之前处于僵尸状态”。

所谓的异想天开说的正是他们。在观察的时候猫已经死了，说明它是在六个小时之内的某个时间点死掉的。反过来说，如果没有观察，那么猫就会同时处于活着的状态和死掉的状态并一直持续下去。

正常人恐怕都会惊呼：“这怎么可能！”，实际上确实也有人这么反驳过。这个人就是爱因斯坦。他说：“上帝不会掷骰子。”他认为即便不去观察猫的状态，也定然会存在划分猫生与死状态的某个时间点。

◆ 薛定谔的猫



这个思想实验是由埃尔温·薛定谔提出的，被称作“薛定谔的猫”。20世纪30年代之后，物理学领域发生过一次巨大的争论。站在争论风口浪尖上的，是爱因斯坦以及创立了量子力学这一全新物理学领域的尼尔斯·玻尔。他们二人间发生了多次激烈争论，直到今天，两人间的争论仍然没有结果。

但量子力学却在现实生活中发挥了极大的作用。把猫变成僵尸的量子力学理论在某种意义上确实是正确的。研究宇宙的宇宙学也能够利用量子力学解释许多现象。

量子力学确实是非常不可思议的，但也确实是正确的。当今的物理

学界，并存着爱因斯坦相对论与玻尔的量子力学两大势如水火的理论，这两种理论作为物理学的两大支柱，支配着物理理论研究。

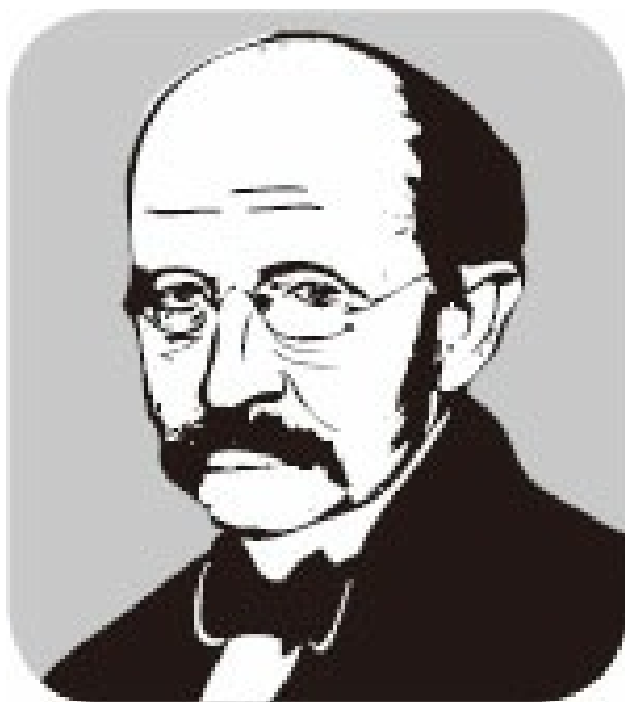
但这两个理论却像是油和水一样互不相容。就算退一百步来讲也是无法融合起来的。我们需要一个全新的理论来将二者结合起来，但至今为止尚未得出结论。这两大理论的完成度就是如此之高。

接下来，我将介绍“量子力学之父”物理学家玻尔，以及他最器重的日本科学家。这两位虽然不如爱因斯坦那么有名，但毫无疑问，他们二人的研究为当今的物理学撑起了一片天。

异想天开的“哥本哈根诠释”

尼尔斯·玻尔这位天才于1885年出生在丹麦。

他大学时的专业是物理学。在校学习时，被某位年长学者的假说所吸引。那就是德国物理学家马克斯·普朗克于1900年提出的“量子假说”。



马克斯·普朗克（1858~1947）量子论的创始人。物理学中基本常数之一的普朗克常数就是以他的名字命名的。

“量子”是物理量的最小单位。简单说来就是比原子更小的物质，电子就是其中一种。普朗克主张，应当把量子“与其他物质区分开来考虑”。这是因为，在量子的世界里“物质”与“状态”之间是无法分辨出来的。

例如说，在海边我们能看到海浪拍岸，海浪这种状态是由水这种物质构成的。但在原子内，没有比原子更大的物质，在没有类似水的物质（粒子性）的情况下，却能够出现类似海浪的状态（波动性）。这种既具有粒子性、又具有波动性的物质被称作“量子”。

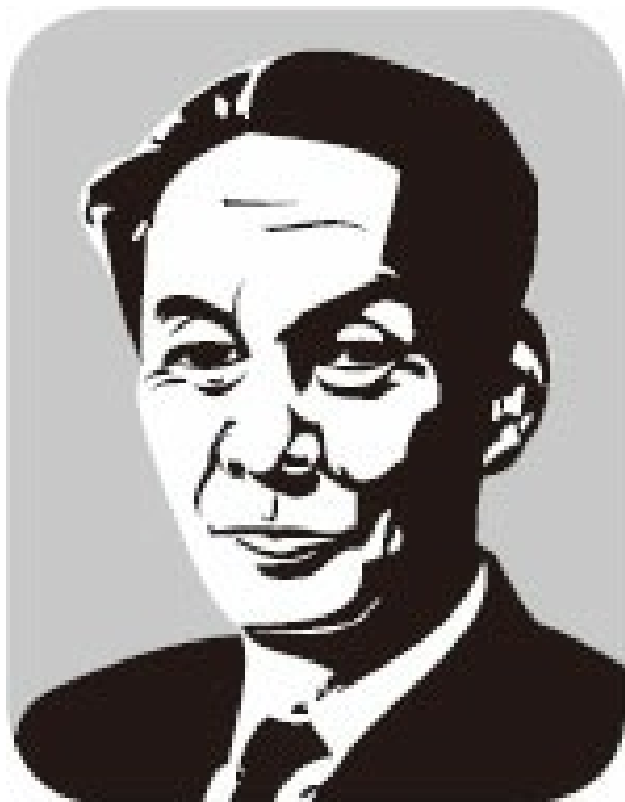
量子的最大特征，是它会有着同大于原子的物质相异的“举动”。在这个极为微小的世界里进行研究，让玻尔预感到，一条新的物理学道路即将开启。

1921年，玻尔在哥本哈根设立了理论物理学研究所，号召“请想要挑战未知的年轻人们来哥本哈根”。

在响应号召的年轻人当中，就有日本物理学家仁科芳雄的身影。他培育出了日后的诺贝尔奖得主汤川秀树与朝永振一郎。汤川和朝永所研究的，正是仁科带回日本、倾力宣传的量子力学。



汤川秀树（1907～1981）因为预言了介子的存在而获得日本第一个诺贝尔物理学奖。



朝永振一郎（1906～1979）因量子电动力学方面的成就获得了诺贝尔物理学奖。是汤川的好对手。

玻尔于20世纪20年代开始在哥本哈根研究新的物理学。遗憾的是，当时的技术水平并不足以观察到原子的内部。简单来说，即便有理论支撑，也无法进行实验或是测量。

于是玻尔先对量子的世界做出了如下解释，之后便进入了理论研究的阶段。但这段解释却异于常理，引发了激烈的讨论。

哥本哈根诠释：当我眺望月亮，确认月亮确实悬于天上，月亮才是真实存在的。

这句话听起来像是什么哲学或是宗教的表达，但这确实是科学。

玻尔等人认为，量子的世界在被观察到为止，是处于多个相互叠加的状态中的，就像是上文提到的猫一样。

反过来说，同时具有粒子性和波动性的量子只有在被观测时它的状态才能确定，在那之前究竟处于何种状态只能用概率来表示。

量子是构筑起原子的物质，可以说是它支撑起了世间万物。如此一来，月亮和猫也是在被观测到的瞬间才会被确定下来，才是存在的。这是玻尔等人的主张。

当然，这一诠释在物理学界引起了轩然大波，最终被人们称作“观测问题”。大家各抒己见，畅所欲言，一发不可收拾。

创造了“存在”的“函数” ψ

这时，出现了一位天才，一举打破了僵局。他就是埃尔温·薛定谔。他虽然不认同玻尔等人这种概率论式的思维方式，但却发现了量子力学上新的可能性，并于1926年发表了“薛定谔方程”。

这实在是一个极为不可思议，又极为优美的公式。

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi$$

i 是虚数单位， $\hbar$ 是普朗克常数除以 2π 得出的常量， $\frac{\partial \psi}{\partial t}$ 是用时间 t 进行偏微分（在空间及时间的函数中只对时间进行微分）计算后得出的值， H 是表示系统总能量的“哈密顿量”的算符。

依据这个方程，我们可以细致地对氢原子核周围电子的运动进行说明。不仅如此，不依赖于时间的薛定谔方程可以表达为以下的方程式。

$$H\psi = E\psi$$

“ E ”表示的是，在哈密顿量“ H ”的固有值下观测得到的能量值。

这个简洁的公式，为我们揭开了宇宙神秘的面纱。

归根结底，这个方程虽然优美，但想要真正理解它却是非常危险的。如果想要认真地解答这个问题，恐怕两三年的时间都会转瞬即逝。现在，我们只需要了解到这个方程里有“ ψ ”就足够了。

我非常喜欢这个 ψ ，习惯把它叫作“ ψ 同学”。那么， ψ 同学究竟是谁呢？它正是创造了“存在”的函数。想要解释量子力学，最好还是简单

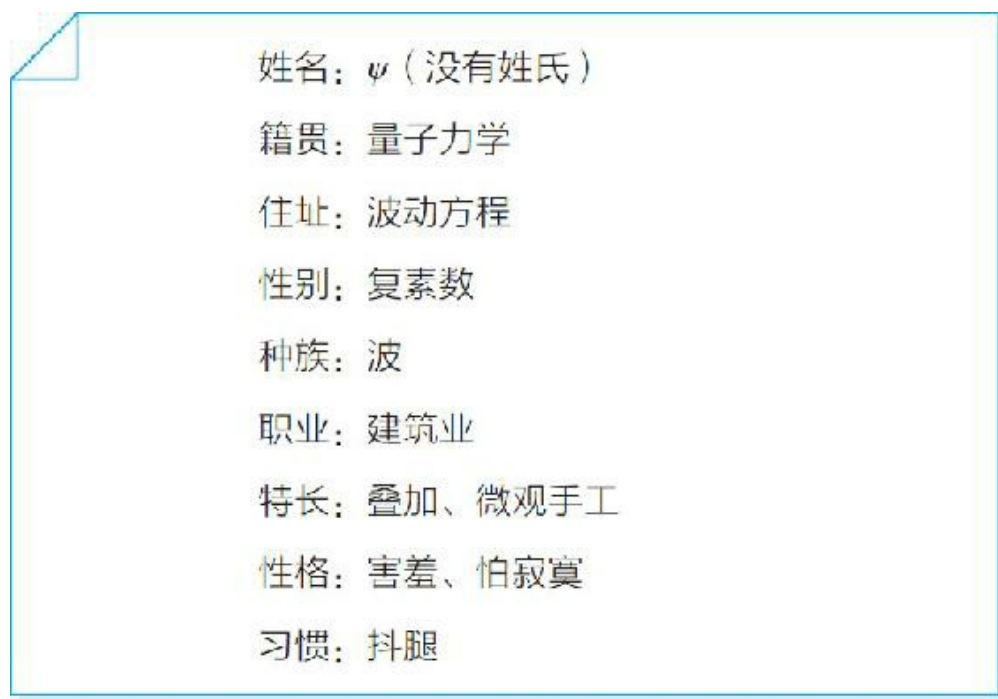
介绍一下 ψ 同学。那就先把玻尔放在一旁，让我来为大家讲一讲 ψ 同学的故事。

首先，需要简单介绍一下 ψ 同学的情况。请看下图。

请大家注意， ψ 同学没有姓氏。因为它没有父母，也就没有可以继承的姓氏。总而言之，它就是“创造存在”的存在，因此也不可能有比它还早出现的所谓“父母”了。

接下来，请大家注意它的职业。 ψ 同学从事建筑行业的相关工作。它所建设的事物是“存在”。我能够存在，你能够存在，都是多亏了 ψ 同学。

◆ ψ 同学的个人简介



它的特长是叠加，能够将复数可能性完美叠加起来。

它的性格很怕寂寞，非常害羞，但自我表现欲又很强，希望获得关注，总是想要跟别人搭话。

它还有一个坏习惯，总是喜欢抖腿。

“ ψ 同学”究竟发挥着什么作用呢？

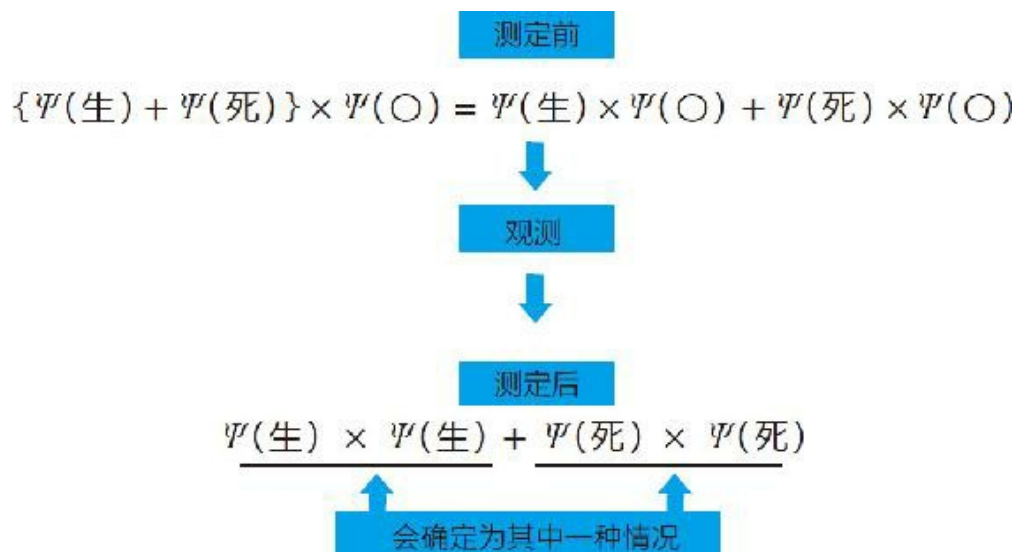
让我来介绍一下 ψ 同学的其中一项工作。比如说，你现在捧在手中的这本书，实际上就是由 ψ 同学制作的。你看到的这一页，也是刚刚由 ψ 同学制作的。在你将这一页翻过的瞬间， ψ 同学会将下面制作出来。

这本书从物质层面来讲，是由印刷厂制作的。但书的“存在”，却是在你看到它的瞬间， ψ 同学以迅雷不及掩耳之势制作出来的。

请你回想一下方才提及的关于猫的思想实验。从量子力学的角度考虑，就是有50%概率活着的猫，和有50%概率死掉的猫相互叠加的状态。这就是 ψ 同学的特长，叠加。

然而猫一旦被观测，它的状态就会确定为其中之一。 ψ 同学是非常怕生、害羞的，总是会立刻躲起来。这些情况可以归纳为下面所示的公式。

◆ ψ 同学的工作



活着的 ψ 同学和死掉的 ψ 同学，在加法运算中是同时存在的。在观测时，会确定为其中一种情况。这种现象被称作“波束塌缩”。量子力学认为，在观测时一定会发生波束的塌缩。

为什么 ψ 同学在被观测时，一定会确定为五五开的概率之中的某一种可能性呢？

归根究底，为何 ψ 同学在被人观测的时候，会采取这样的行动呢？如果它害怕寂寞的话，在被人关注时难道不应该是兴高采烈地去工作吗？

——事情似乎并没有这么简单。

从波动方程公布之日起，关于 ψ 的争论就从来没有停止过。“ ψ 究竟是什么？”许多学者们为此争辩得口沫横飞，并且进行了反复的思考，迄今这个问题也没有得到解答。

量子力学是尚未完成的学说，是现在进行时的学说。但诚如我方才所说的那样，量子力学的理论在现实世界中，能够发挥巨大的作用。

爱因斯坦对此断然否定

汇聚于哥本哈根的量子力学研究者们以玻尔为中心，脚踏实地地搭建起了理论基础。但爱因斯坦却对量子力学保持着坚决否定的态度。他认为“上帝不会掷骰子”“哥本哈根诠释是不可理喻的”。

“宇宙不是由概率组成的，宇宙的真实性是与我无关、独立存在的。”爱因斯坦是如此强烈地向玻尔抗议的。

双方的观念自始至终都保持着平行状态。因为无法进行实验，因此也无法验证究竟哪一方才是正确的。爱因斯坦直到去世都坚持自己的想法。这恐怕就是他认识世界的观点吧。

在这里，我想再讲一个关于爱因斯坦自然观的故事。这是他与亚洲第一位诺贝尔文学奖获得者、印度诗人、思想家拉宾德拉纳特·泰戈尔（1861～1941）之间的对话。

爱因斯坦：即便是在日常生活中，也存在着许多独立于我们的事物。它们真实存在于我们的精神之外，与我们毫无关联地存在着。即便这间房子中空无一人，这些桌子、椅子也仍旧存在于这里。

泰戈尔：确实如此。桌子存在于个人的精神之外，却并非存在于所有人的精神之外。桌子因为我们共同的意识而被认知。桌子看起来是客观的，科学能够证明这不过是一种现象。也就是说，人们看作是桌子的事物，如果人类的意识不存在，它也就不存在了。

〔日〕NHK爱因斯坦·计划著《NHK爱因斯坦浪漫3》

大家怎么看呢？爱因斯坦所认为的“不可理喻”，我一开始也是赞同

的。许多学习物理学的学生在一开始接触到爱因斯坦与玻尔的争论时，通常也都会赞同爱因斯坦的说法。

但随着学习的逐渐深入，我们会开始认为“看来还是玻尔说的是正确的”，“确实是啊。毕竟现在量子力学还成功地让电子技术发展得这么高超了……”

经过了漫长的岁月，目前来看在这场世纪级的大讨论中爱因斯坦并不占优势。但讨论的目的并非是要分出个胜负高下。讨论的本身，就已经充满着物理学的“美妙知识”。

爱因斯坦是完全掌握了量子力学的。玻尔也是完全理解了相对论的。他们二人分别对彼此提出了最本质的问题。他们的观点虽然是对立的，但他们二人却并非是敌对的。他们都深深地爱着物理学这门科学。

预言了未来的“EPR悖论”

再为大家介绍爱因斯坦向玻尔提出的另一个难题吧。爱因斯坦的质疑触及了问题的本质，同时也对未来世界的走向做出了预言。

这个难题就是“EPR悖论”，由提出者爱因斯坦、波多尔斯基、罗森名字的首字母组成。

简而言之，它是一个批判。批判“信息的传输不可能超越光速，实现类似心电感应一样的瞬间传输”。

依据量子力学的理论，当一束光分为两束射出时，只要观测其中一束，另外一束光的状态也会被确定。

如果能利用信息技术在这束光中搭载信息，我们就能够实现从A地瞬间传送信息到B地，只需要一瞬。更准确地说，是同时。量子力学认为，在这种情况下信息传递的速度会远远高于光纤，并且能够瞬间传递大容量的数据。

爱因斯坦指出：“用超越光速的速度传递信息是不可能的。心电感应真的存在吗？是不可能存在的。量子力学是不完备的理论。”

爱因斯坦恳切地将自己的想法倾诉给玻尔。而玻尔也真诚地接受了他的意见。玻尔恐怕正是在同爱因斯坦交换意见的过程中，对量子力学进行了更加深入的思考，推动了量子力学的发展。

然而，“EPR悖论”也是无法进行实验的，两人之间的意见隔阂并没有消失。玻尔只能辩称“就是会这样”，爱因斯坦则主张“不，不可能这样”。

而在这场论争过去七十多年后的现在，事情终于有了定论。随着技术的进步，实验终于可以实行了。

1993年：IBM的C·H·班尼特提出了量子隐形传态的原理。

1997年：安东·蔡林格等人做出了证明。终于成功实现了光子的瞬间移动。

开始开发量子隐形传态技术。

爱因斯坦曾经认为“不可能实现”的事情，已经被实验证明了。时代逐渐走在了科幻作品的前面。

因为量子隐形传态的成功，量子力学进入了新的阶段。日本的电机制造商已经成功地在实验中将光量子瞬间传送了100千米的距离（实际上并非是在距离100千米的两地间进行实验，而是在实验室内将光纤缠绕了约100千米来进行实验的）。

在遥远的未来，我们也许可以同步地与遥距数十万光年的行星通电话呢。

我们还可以把这个光子换做“ ψ ”，用我的话来说就是“ ψ 同学，成功实现瞬间移动！”

如果瞬间传送所有创造“存在”的 ψ 同学的话，会发生什么呢？这样一来，我们恐怕就能够实现像电影《星际迷航》中那样的物质瞬间传送了。

但请各位不要误会。物质的瞬间传送在目前尚未取得成功。不过在理论上它是有可能实现的。初期的量子隐形传态实验已经取得了成功，

至少我们现在在谈论它的时候，不用再把它当作是“SF”（Science fiction，科学幻想），而可以将其看作是真实存在的“科学”。

创造绝对无法被偷走的货币

量子力学应用最广泛的领域，是信息技术领域。从这一层意义上而言，第一位指出这一点的爱因斯坦是极为伟大的。同时，接受了爱因斯坦意见、并加以深入研究的玻尔也是非常伟大的。

诞生于20世纪初的量子论孕育出了量子力学，最终在20世纪即将结束的时候，产生了量子隐形传态这一梦幻般的技术。

以后终将出现“量子计算机”这种新型计算机吧。科学家们目前已经证明了在量子隐形传态中能够创造出计算回路。

即便是全日本最快的超级计算机“京”都要花上一千万年才能解开的300位素因数分解，运用量子计算机只需要几十秒就可以解决。这样一来，信息技术在眼下所面临的诸多问题都能够得到解决。

例如，电脑CPU的电量消耗能够得到大幅度的缩减。如今，有一些家用的电脑CPU耗电量甚至高达数百瓦。大量电子在微型芯片中川流不息，并产生大量热能，因此CPU不得不配备大型的制冷设备。

超级计算机的发热问题也越来越严峻，大多数维修费用都花在了给计算机制冷用的液氮上。而一旦量子计算机出现，电子基本上就没有必要继续在导线中穿梭了，也就不会散发热量。

此外，安全技术也会得到提高。在两个对象间进行量子隐形传态时，从理论上讲是不可能由第三方窃取情报的。因为量子隐形传态的信息是“不会经过空间的”，也不可能从分光装置中抽取信息，这在理论上就不可能。

距离这一天的到来也许还有一段时间，不过利用量子隐形传态技术的量子网络时代终将来临。像是预感到了量子网络时代的来临，瑞士正在大举开展量子密码技术的研究，我认为这是为了发明量子货币。如果能够发明一种绝对无法窃取的货币，不仅会比纸币更安全，还能够在全世界自由地进行交易。量子货币发明后，瑞士恐怕会成为世界金融强国吧。

量子隐形传态创造的社会

量子隐形传态技术会引发社会形态的剧烈变化。今后，这项技术也将会不断发展，不断被应用于实际中。自从2003年“量子信息通信技术开发路线图”公布以来，量子隐形传态就正式进入了实用化阶段。

2004~2010年：绝对无法窃听的量子密码投入实用阶段（外交、军事）。开发单一光子发生器、单一光子检出器，在数学上证明量子密码的安全性。

2010年：量子通信的原型得到实现。运用量子状态传送技术、量子错误修订技术，开发超低损耗光纤。

2015年：实现可限定的量子通信。卫星间光链，量子隐形传态的分子级远程操作。

2020年：量子计算机出现。开发量子内存、量子处理器。

2050年：实现量子网络。量子交换、量子中继器开发。

2100年：量子计算机完成。实现真正的人工智能。

（整理自日本总务省“关于具有量子力学效果的信息通信技术的应用及其未来展望的研究会报告书”）

这里提到的“真正的人工智能”指的是几乎无法同人类区分开来的智慧生命体。我非常喜爱的哆啦A梦生于2112年9月3日。哆啦A梦能够按计划出生的可能性越来越大了。量子计算机的出色性能可能会将这一天变为现实。

在21××年，物质的瞬间传送很有可能会成功。如今已经有科学家在开展如何传送单个原子的项目。玻尔创立的量子力学，实际上是一门能够为21世纪和22世纪的世界带来巨大改变的学问。

“没有感受到量子论带来的冲击，证明你还没有真正地理解量子论。”

玻尔如是说道。

参与了玻尔研究的日本科学家

本章的最后，我还想要再介绍一位日本科学家。

他的名字叫作仁科芳雄。毫不夸张地说，正是仁科芳雄奠定了日本量子力学的基础。

仁科于1890年生于日本冈山县浅口郡里庄町。大学时进入东京大学电气工程系学习，以第一名的成绩毕业。他原本得到了芝浦制作所（日后的东芝）的一个职位，却因为对物理学感兴趣而选择进入研究生院学习数学。

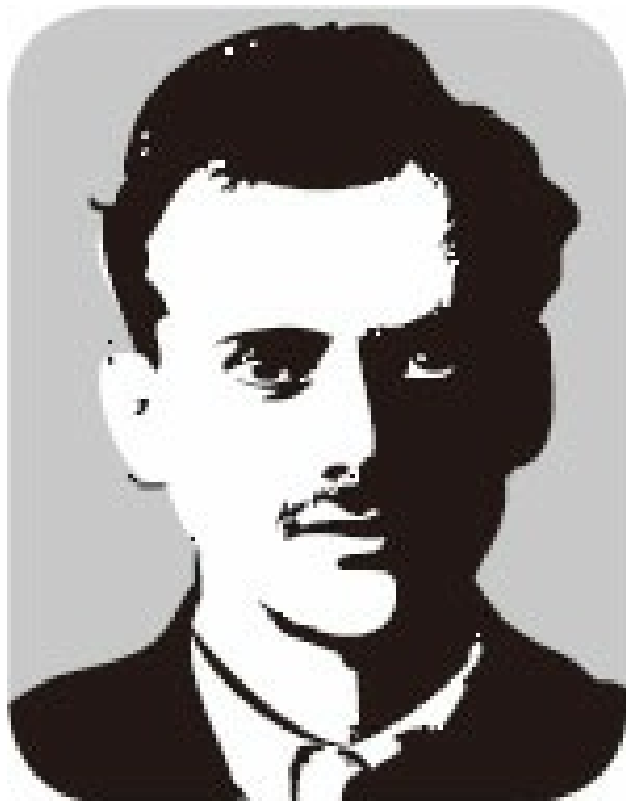
1921年，仁科前往欧洲留学。到了欧洲，仁科听说了玻尔的理论，并加入了位于哥本哈根的理论物理研究所。年轻的仁科是幸运的，他能够目睹、亲身经历量子力学创立、发展的过程。

“物理学究竟是什么”，与各执己见的学者们反复交换意见的日子，对于仁科而言一定是兴奋非常的。仁科一开始打算一两年后就回国，最后却在哥本哈根待了七年多。

玻尔并不想让仁科回国。因为仁科非常善于为玻尔构建起的理论制作验证用的实验设备。对于学习电气工程出身的仁科来说，这些工作是非常得心应手的。仁科制作的实验设备的性能总是远超想象，玻尔非常器重他。



奥斯卡·克莱因（1894~1977）在理论物理学领域做出了许多成绩。



保罗·狄拉克（1902～1984）为量子力学的发展做出了贡献，诺贝尔物理学奖得主。

同时，仁科努力刻苦的性格、可靠的人品也吸引了玻尔身边的朝气蓬勃的研究者们，使他迅速和大家打成一片。

仁科在玻尔手下，和同伴们一起认真学习量子力学的理论。1928年，他和其中一位研究者、瑞典的理论物理学家奥斯卡·克莱因一起发表了“克莱因-仁科公式”。仁科终于成为世界级物理学家中的一员。

克莱因和仁科研究的是名为“康普顿散射^[1]”的现象。请看[此处](#)中的公式。 $\frac{d\sigma}{d\Omega_r}$ 是名为微分散射截面面积的量，表示电子与光量子产生冲突的难易程度（概率）。这一公式的正确性已经被 γ 射线的吸收实验等实验证明了。

这个公式运用了英国物理学家保罗·狄拉克的“狄拉克方程”，是一个划时代的公式。这也是集仁科的努力刻苦、有计划有条理的行动、对学问的真挚态度之大成的公式。从量子力学的思维方式出发得出的这个公式，是第一个被实际运用于现象观测的公式。

一同发现公式的克莱因是这样描述研究时的情况的：

但在求出最后的结果之前，必须要进行极为冗长的代数计算。因为要将非常多的项相加，为了不在计算上出错，我们俩分别在自己家里开展工作。直到最后，我们分头计算出的结果才达到了完全一致。

[日] 玉木英彦、江泽洋编《仁科芳雄：日本原子科学的曙光》

在当时的欧洲看来，日本是位于亚洲的偏远小国。

而来自日本的仁科却能够凭借天生的开朗性格，平等地和其他学者

相处。他全力以赴地去研究、去计算，最终跨越了两个不同世界之间的隔阂。

◆ 克莱因-仁科公式

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_r} = \frac{r_e^2}{2} \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \left(\frac{\omega_0}{\omega} + \frac{\omega}{\omega_0} - \sin^2\theta \right)$$

$\frac{d\sigma}{d\Omega_r}$ 微分散射截面面积

r_e 古典电子半径

ω_0 入射光子能量

ω 散射光子能量

同事们都很喜爱仁科。有许多共事过的研究者，曾经为了仁科，千里迢迢赶赴日本，并开课讲授量子力学。

“世界的玻尔”终于来到了日本

1928年，在发现了“克莱因-仁科公式”的那年冬天，仁科回到了日本。这是他时隔七年半再次回到祖国。

仁科本欲在哥本哈根的第一线再多研究一段时间的，但他还是选择了回国。恐怕，这是出于“必须要将量子力学带到日本”这样一种使命感吧。

仁科首先招揽了狄拉克和海森堡。狄拉克当时27岁，海森堡则是28岁，两人在几年后都获得了诺贝尔物理学奖。在量子力学创立初期，这两位冉冉新星中数一数二的人物，甚至不惜中断自己的研究，也要特地乘船赶来日本。

仁科为了将最先进的物理学知识带到日本，可谓是竭尽全力。可能就是他的这份心情，感染了狄拉克和海森堡。同时，仁科也很有人望，毕竟几乎全世界的天才们都答应了仁科的请求，来到了日本。

仁科在这一时期还给朝永振一郎写了一封信，催促朝永“请快点来”。后来获得了诺贝尔物理学奖的朝永听了当时的演讲，深受影响。而朝永正是发现了与海森堡建立起的理论相关的“重正化理论”。

而那位大名鼎鼎的玻尔也应仁科之邀来到了日本。仁科可能在回国前就向玻尔发出了邀请，希望玻尔能来日本。因为在没有玻尔的情况下，量子力学是无从谈起的。

玻尔于1922年获得了诺贝尔物理学奖，他作为“世界的玻尔”，参与了大量的研究。想要让他暂停所有的研究活动，耗费大量的时间前来日

本是一件极为困难的事情。然而仁科却联系了所有亲朋好友，告诉他们“请转告玻尔，我希望他能来一趟日本”。我想玻尔的心中，一定也曾反复听到仁科的呼唤。

玻尔心中也一定是清楚的。他清楚地知道自己必须要前往仁科正在等待的日本，去宣传量子力学的美妙之处。

1937年，玻尔终于来到了日本，并在东京大学举办了讲座。我曾经见过一张照片，照片里玻尔正在演讲开始前写板书。四块黑板上整整齐齐地画满了图和公式。从这张照片里也能够看出，玻尔对这次演讲的态度是一丝不苟的。

就这样，“量子力学之父”玻尔在日本的第一次演讲开始了。仁科主动请缨担任口译员。他凝望着恩师的背影，献上了一场极为精彩的口译。玻尔的这次演讲非常成功。仁科想必非常感动，“这束光终于传到了日本”。

当时，仁科应当也写了几封信。在台下的听众当中，不仅有朝永，还有1949年第一位日本诺贝尔奖得主汤川秀树等年轻学者的身影。在这次演讲之后，他们开始在量子力学领域、在世界的舞台上大显身手。

东京大学的演讲过后，仁科带着玻尔遍访各地名胜古迹。期间，玻尔说从富士山的各种不同的风情中可以看出“互补性”。

所谓互补性原理，是量子力学中的一个重要的基本原理。波粒二象性，位置与速度的不确定性等，玻尔等人将这些互不相容的概念相互统一的状态称之为互补性。

各种不同的风景，组合成了多面富士山的某一种风情——玻尔想说

的是，这和量子力学中的相补性是相同的。

生死，东西，表里。这些看起来完全相反的事物，在自然中却并非对立的，而是和谐地共存着。这就是宇宙的真正面目——这正是玻尔的理论原点“互补性”。玻尔在富士山上也看到了这一点。

夙愿——大型回旋加速器虽然完成了……

仁科马不停蹄地为量子力学的普及贡献着力量。

他在全日本最大的自然科学综合研究所——理化学研究所（理研）内建立了“仁科研究室”，并于1937年制造了在原子核、素粒子的相关实验中不可或缺的日本第一个回旋加速器（加速带电粒子的装置，因为呈涡旋状而得名）。

但想要揭开微观世界的真面目，还需要更加庞大的回旋加速器。仁科非常想制造出来大型的回旋加速器，但遗憾的是，当时的日本还没有足够发达的技术作支撑。

于是仁科选择向回旋加速器的发明者，美国的物理学家欧内斯特·劳伦斯寻求帮助。仁科在战争的气息愈发浓厚之时，向从未谋面的劳伦斯送去了一封信，开始了等待。



欧内斯特·劳伦斯（1901～1958）诺贝尔物理学奖得主。第103号元素镅就是以他的名字命名的。

然而不走运的是，当时劳伦斯因为一些原因离开了研究所一阵子。

劳伦斯看了仁科的信，慌忙拍了一封电报过去，告诉仁科，受到战争的影响，研究所接到了命令，不能让任何访客进入所内。美国国内也开始把军事研究放在首位，原子核研究已经开始受到管控。

收到电报的仁科很慌张，但也为时已晚。他派出的人员已经离开了日本，正在前往美国的途中。

事态究竟会如何发展呢.....

就像是奇迹一样，派出人员在11月底返回日本时，将大型回旋加速器的设计图也一同带回来了。仁科强烈、真诚的愿望，打动了劳伦斯。

仁科立即开始着手设计，他将回旋加速器进行改造，终于在1943年完成了大型回旋加速器。“这样一来就可以进行实验了，终于可以验证量子力学的理论了”，仁科等人一定非常兴奋。

但理研的大型回旋加速器却有着极为不幸的遭遇。1941年后，研究人员们鼓足了干劲着手改造加速器，但当时日本国内的战争气息极为浓厚，适逢太平洋战争将要开始。在历经千辛万苦之后，1944年1月，仁科的团队终于成功放出1600万伏特的氘离子束，但这就是他们最后一个成果了。

日本投降后，仁科曾经以为“这下终于可以专心制作大型回旋加速器了”，但他的梦想却被无情地击碎了。GHQ（驻日盟军总司令部）下达了原子能研究的禁止令，日本的回旋加速器全部都被破坏了。

理研的回旋加速器也是一样，于1945年11月28日被沉入了东京湾。这也意味着仁科研究生涯的终结，宣告了日本的原子能研究的终止。事实上也是如此，之后的仁科再也没有回归到研究工作中来。

在仁科于日本投降后写给劳伦斯的第一封信（落款日期为1946年7月15日）中，他是这样说的。

（前略）60英寸回旋加速器极为遗憾地已经永眠于太平洋底。也许它就是为了被破坏而被制造出来的。就因为战争，我们从来没有把这个回旋加速器用于科学研究。

（摘自同一信件）

引领日本物理学发展的仁科芳雄的功绩

仁科制造了1.524米（60英寸）的巨型回旋加速器，把它当作自己的孩子一样关爱。但这个回旋加速器却遭到了破坏，被沉入了东京湾。

不知道仁科当时有多么悲痛呢！

恐怕连站都站不起来了。但他却不得不站起来。驻日盟军总司令部在破坏了大型回旋加速器之后，开始着手解散理化学研究所。我想，这应该是想禁止日本继续研究自然科学。

仁科必然是这样想的：“不要开玩笑！”如果没有了理化学研究所，日本的科学研究就失去了根基。

仁科为了保全理化学研究所而绞尽脑汁，最终想出了一个绝妙的法子。他想把理化学研究所变为一家民营企业。他通过政治家在国会上提出了特别法并得到了国会的批准。于是，株式会社科学研究所成立了。

仁科担任了第一任社长。这家公司成功地培育出了青霉素，由此解决了资金问题，仁科将日本的科学明灯守护了很久很久。

战争结束后，大约过了五年，在1951年1月10日，仁科芳雄去世了，享年61岁。在去世的三个月前，他在入住内幸町的病院之际，咏出了这样一句：

工作复工作，工作积得老来病，时已至秋末。

仁科一直在努力。他努力着、努力着，想要为日本带来新的物理学的光芒。他的梦想只实现了一半。他一定还不想就这样离开世界。

在仁科一路走来的轨迹中，我们究竟该学习什么呢？量子力学在今后也将会不断发展，应用量子力学的技术也会一个接一个地被发明出来、不断进步。如果没有战争，仁科也许能够获得诺贝尔物理学奖。战争把一切全都毁了。

但仁科对量子力学的殷切期盼却开了花、结了果。汤川和朝永等年轻的学者们追随着仁科，将日本的物理学研究发展到了领先世界的水平。

仁科的研究领域是非常广泛的，涉及X射线谱、原子物理学、宇宙射线、生物学、医学等。这些最为先进的研究，仁科却仅凭一己之力就引领了起来。

在我的演讲——科学秀上会播放这样一段片尾来作结。（月面环形山的名字，都是来自历史上的各位名人。）

环形山“玻尔”的位置是纬度12.4N，经度86.6W

环形山“仁科芳雄”的位置是纬度44.6N，经度170.4W

现在，仁科和玻尔也在对话

现在，仁科和玻尔也在守护着我们

1890年12月6日，仁科芳雄出生

一切由此开始

过人的观察能力，拥有“发现光的眼睛”的科学家仁科

仁科在少年时代绘制的一副马的图画，就已经陈述出了这一切

怀揣着梦想和不安，仁科踏上前往欧洲的旅途

他与一生的导师玻尔相遇

玻尔成为仁科的光

仁科见证了量子力学诞生的瞬间

仁科逐渐掌握了量子力学

只要还有一丝光芒

仁科就会一往无前地去寻找

仁科追寻着整个世界

他一定要将量子力学带回日本

将光芒带回日本

仁科的心愿打动了恩师玻尔

两位学生在玻尔的演讲中看到了未来之光

汤川秀树和朝永振一郎

他们沐浴着老师仁科的光芒，冲向世界

他们成为日本的新光芒

日本的投降夺走了仁科的光芒

将光芒带回日本

只要还有一丝光芒

仁科就会永远照耀日本

仁科的夙愿与梦想照耀着我们的明天

仁科芳雄，感谢你带来的耀眼光芒

[\[1\]](#) 又称“康普顿效应”。（译者注）

Part 6

费马、谷山丰：沉迷于完全证明
超级难题的数学家们

$$x^n + y^n = z^n$$

上帝交给脆弱人类的最伟大的接力棒



皮埃尔·德·费马（约1607~1665）在整数研究上取得了许多成果，提出了“费马大定理”。



谷山丰（1927～1958）提出“谷山-志村猜想”，为解开“费马大定理”做出了贡献。

17世纪的法国数学家皮埃尔·德·费马给世人留下了数学史上最大的难题。这个难题困扰了后世的数学家长达三百余年，这就是“费马大定理”。

大家多年来一直称其为“费马大定理”，实际上1994年英国数学家安德鲁·怀尔斯（1953～）已经将其证明，因此也被称为“费马的最终定理”。

我从“费马大定理”的历史当中学到了很多。其中之一就是：“计算是一场旅行，而证等是它的轨道。”

证等，是表达无形的永恒真理的，永远不朽的轨道。

而人类脆弱的一生，通过数学这场计算的轨道得以延续。

数学究竟是什么——每个数学家应该都曾经考虑过这个问题。

“上帝交给脆弱人类的最伟大的接力棒，就是数学。”

这是我的一些冒昧的想法。

这个接力棒，经无数数学家之手交到了怀尔斯手中，“费马大定理”最终得到了证明。从数学女神手中接过接力棒的瞬间，这种超越时空的接力，在数学的世界是可能存在的。

解开费马之谜的确实是怀尔斯。但怀尔斯直接证明的其实并非费马大定理，而是日本的“谷山-志村猜想”。

而在谷山丰、志村五郎（1930～，与谷山一同研究的人）之前还有拉马努金、欧拉，在费马之前还有毕达哥拉斯。过程中不乏激动人心的故事。

而揭开其真面目的旅程过于漫长，想要一一介绍参与其中的数学家是很困难的。本章将以其中一位日本数学家——谷山丰为中心展开。

全世界数学家哪怕耗尽一生、搭上全部身家向费马大定理发起挑战，却都纷纷被击败了。实际上日本数学家也为费马大定理的证明做出了莫大的贡献。

书写在书页空白处的众多定理

费马生于法国西南地区的一个小镇，他毕业于图卢兹大学，作为一名法律学家度过了自己的一生。费马在繁忙的法庭工作的间隙对数学也进行了研究，可谓是“最伟大的业余数学家”。

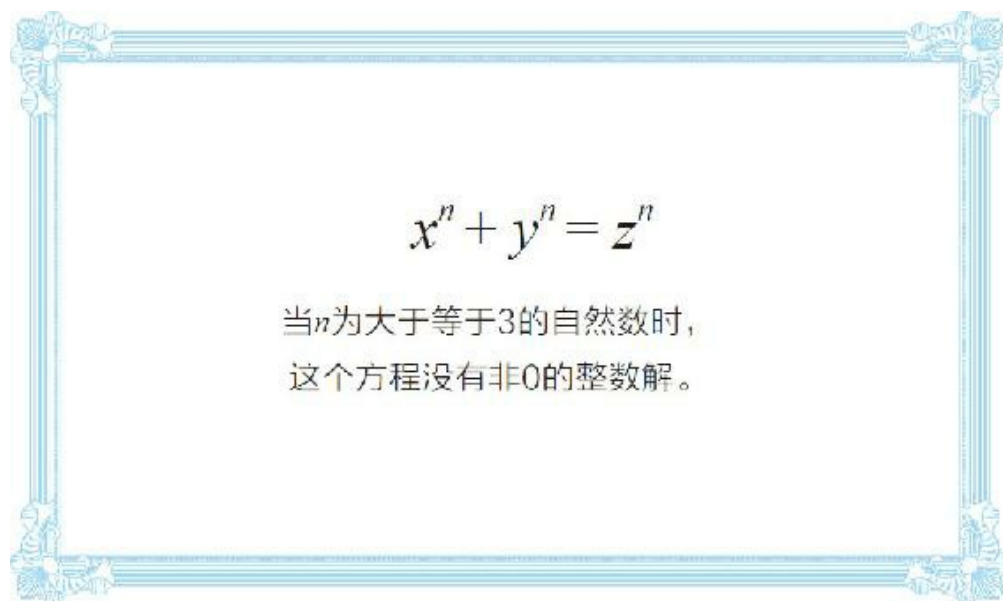
“费马大定理”也并没有被发表为正式的论文。它不过是费马在阅读古希腊数学家丢番图（约210年～约290年）所著的世界上第一部使用了代公式的数学典籍《算术》时，随手在书的空白处写下的一句话而已。

在费马去世后的1670年，他的儿子出版了附带费马评论的特别版《算术》，费马大定理才为世人所知。书中记载了费马发现的诸多定理，却没有记录定理的证明过程。后来，这些定理经欧拉之手一一得到了证明。

可是，最后有一个定理，欧拉无论如何也无法证明。这就是“费马大定理”，也被称作“费马的最终定理”。

那么，“费马大定理”究竟是什么呢？它被称作是数学史上最大的难题，大家恐怕会因此误以为只有专业的数学家才能想明白这个问题吧。

◆费马大定理



实际上，它简单得令人惊讶，只要明白毕达哥拉斯定理（[参见此处](#)），就一定能明白费马大定理的原理。

请看上图。非常简单明了。 $n=2$ 时，这毫无疑问就是毕达哥拉斯定理，满足这一等式的三个整数的组合存在无数个，也就是所谓的“毕达哥拉斯数”。

最为人所熟知的应当就是“3、4、5”。“ $3^2 + 4^2 = 5^2$ ”，这一结果通过心算就能够验证。哪怕是初中生，应当也有不少人能够记住“ $5^2 + 12^2 = 13^2$ ”“ $8^2 + 15^2 = 17^2$ ”吧。

“ $n=2$ ”时，方程的解有无数个。但一旦“ $n=3$ ”，方程就不存在解了^[1]。 n 为4、5、6时也没有解。当 n 大于等于3时，方程不存在解——这就是“费马大定理”，理解起来非常简单。虽然如此，想要证明它却是极为困难的。

费马本人证明了这个问题吗？在书上的空白处，他写下了这样一句

话。

“我确信已发现了一种美妙的证法，可惜这里空白的地方太小，写不下。”

由此，后世的数学家们艰苦卓绝的奋斗史拉开了序幕。

震惊全世界数学家的“谷山-志村猜想”

怀尔斯第一次听说“费马大定理”是在1963年，那年他刚刚10岁。当时，他心想“我要证明这个定理！”

怀尔斯从那时起就一直心怀这一梦想，但在他成为剑桥大学的研究生之后，却暂时搁置了自己对梦想的追求。

他的导师忠告他说：“怀尔斯，你听好。我很能理解你想要证明费马大定理的心情，但每一个沉迷于费马的人最后落得什么样的结果，你是清楚的。你非常优秀，决不要走上证明费马大定理的道路。你还是去研究有理椭圆曲线（系数为有理数的椭圆曲线）吧！”

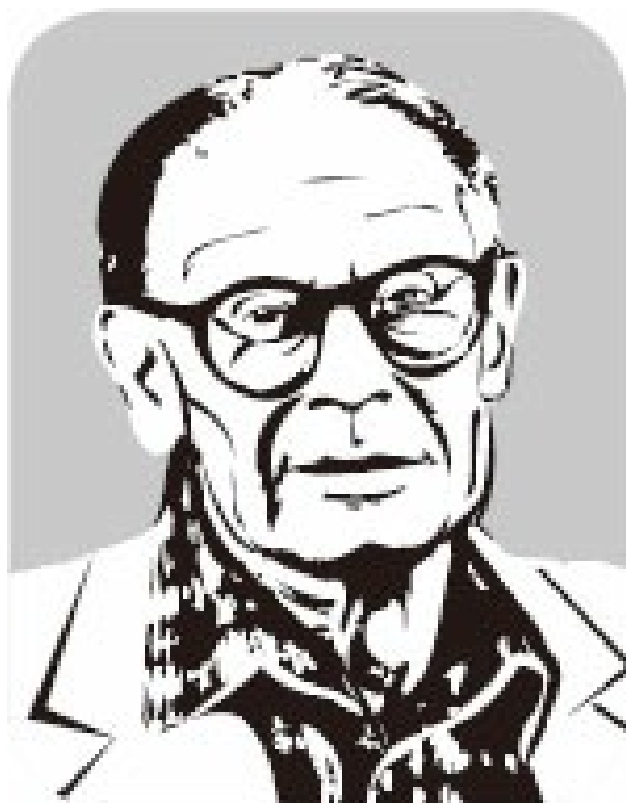
怀尔斯认识到现有的方法还不足以证明费马大定理，便暂时搁置了自己的梦想，开始着手研究“有理椭圆曲线”。这是决定他命运的选择。对椭圆曲线的研究，最终为他证明费马大定理做好了铺垫。

椭圆曲线简单而言，就是方程为 $y^2 = x^3 + ax^2 + bx + c$ 的曲线。虽然叫作椭圆曲线，但是和椭圆并没有什么关系。

关于椭圆曲线，谷山丰提出了一个里程碑式的想法。1955年，日本举办了“代数数论国际研讨会”。全世界研究数论的学者们齐聚战后不久、一片荒凉的日本，恐怕多少有些想要鼓励年青一代日本数学家的意思。

谷山在这次会议上提出了一个猜测：“所有的有理椭圆曲线都是模曲线。”

当时，世界顶尖的数学家，法国天才安德烈·韦伊甚至惊呼：“你在胡说些什么！”



安德烈·韦伊（1906～1998）在整数数论、代数几何学领域做出了巨大的贡献。

谷山的想法就是这么令人感到惊奇。而他当时也并没有能够清楚明白地做出说明。

其后，谷山的友人志村五郎成功为这一猜测做出了完美的说明，这一猜测最终也被命名为“谷山-志村猜想”，但当时没有任何人将“谷山-志村猜想”与“费马大定理”联系起来。

但证明费马大定理的前奏自日光的研讨会开始已然奏响。谷山在研讨会上提出的是如下所示的问题。

◆谷山提出的问题

定义 C 为代数数域 $\mathbb{K}$ 上的椭圆曲线, C 到 $\mathbb{K}$ 的 L 类函数 $L_C(s)$ 写作 $L_C(s)$:

则

$$\zeta_C(s) = \frac{\zeta_K(s) \zeta_K(1-s)}{L_C(s)}$$

为 C 到 $\mathbb{K}$ 的 ζ 函数。

若哈塞的猜想对于 $\zeta_C(s)$ 是正确的, 则由 $L_C(s)$ 通过逆梅林变换得出的傅里叶级数必须为形态特别的、权重为 -2 的自守形式。

若满足上述条件, 其形式则为该自守函数域的椭圆微分, 这一点是毋庸置疑的。

那么, 我们是否能够通过倒推、通过由 $L_C(s)$ 导出恰当的自守形式, 从而证明哈塞对于 C 的猜想呢?

※ 代数数域: 代数方程式的解的集合。

※ L 类函数: ζ 函数中的一种。

※ 哈塞: 详见[此处](#)。

※ (逆) 梅林变换: 芬兰数学家耶尔马·梅林 (1854~1933) 提出的一种函数变换方法。

※ 傅里叶级数: 将一般的函数通过三角函数之和来表达的方法。

谷山-志村猜想的内容如下所述：

“椭圆曲线上的 ζ 函数是自守形式的双重 ζ 函数。”

各位读者们应当还记得这句话：“数学是一种语言。”想要完全理解这种语言，就需要进行计算。我曾经在补习班上教授高中数学，在开始计算前，我总会向学生们这样说：

“现在开始计算！不，在那之前还要重视语言！”

数学是人类创造的“唯一的、最强大的人造语言”。

关于“ ζ 函数”将在后文进行讲解。首先，所谓“自守形式”是一种“含有模形式的一种函数”。

那么，“模形式”究竟是什么呢？数论权威，德国的马丁·艾希勒（1912～1992）认为：“数学的基本运算共有五种：加法、减法、乘法、除法和模形式。”

模形式论是上半平面上的函数，其特点是具有极高的对称性。把实数看作位于一次元（直线）上的数时，可以将复素数看作位于二次元（平面）上的数。复素数平面是复素数存在的平面，也称高斯平面。

椭圆曲线和模形式在数学上属于两种完全不同的领域，所有人都认为“两者毫无关联”。

然而，谷山-志村猜想却认为“所有的有理椭圆曲线都是模曲线”，并将二者联系了起来。这种想法在当时看起来可以说是不可理喻的。

“如果谷山是正确的，那么费马也是正确的”

谷山-志村猜想最终在全世界的数学家之间变得无人不知、无人不晓。然而，却没有任何人把它和“费马大定理”联系起来。

在日光研讨会近三十年之后，1984年，以研究弗赖曲线闻名的德国数学家格哈德·弗赖（1944～）发表了一个令人震惊的观点：“谷山-志村猜想的证明将会直接影响费马大定理的证明。”

其后，在1986年，谷山-志村猜想终于迎来了和费马大定理联系起来的一刻。美国数学家肯·里贝特（1948～）证明了弗赖的观点。美国数学家巴里·梅祖尔（1937～）为里贝特的证明提供了重要提示。

里贝特是这样说的：“如果谷山是正确的，那么费马也是正确的。如果谷山是错误的，那么费马也是错误的。”

在即将迎来21世纪之时，“费马大定理”的证明终于有了重大突破。但当时却有许多数学家认为，这并不能代表什么。

因为，想要证明谷山-志村猜想是极为困难的。

“我懂了。想要证明费马大定理，就必须要先证明谷山-志村猜想。但是，想要证明谷山-志村猜想是不可能的。恐怕会花上几百年的时间.....想要证明费马大定理，还是很困难啊。”

人们应当都是这样想的。

没有一个人，想要更进一步——除了那位数学家以外。

那个人就是怀尔斯。他认定费马大定理一定能够被证明。

“我要证明费马大定理”，怀尔斯搁置了自己从10岁起就心怀的梦想，埋头研究有理椭圆曲线。如今他认识到：“我的研究，说不定能够与费马大定理的证明联系起来。”

他决心独自踏上旅途，乘上这班一生只有一次的列车。“来了！就是它！”

经过无数数学家的接力，使得接力棒最终交接到了怀尔斯手中。他花费了将尽八年的时间，把自己关在阁楼里，与世隔绝地计算着。

——最后，那个时刻来到了。

1994年9月19日上午十点。怀尔斯轻声说道。

“谷山是正确的。所以费马也是正确的。Q.E.D.（证明完毕）”

在这一刻，这场跨越三百余年的接力赛终于落下了帷幕。怀尔斯是这样描述自己当时心情的：“它的美是如此难以形容，它又是如此简单和优美，起初我甚至不敢相信。”

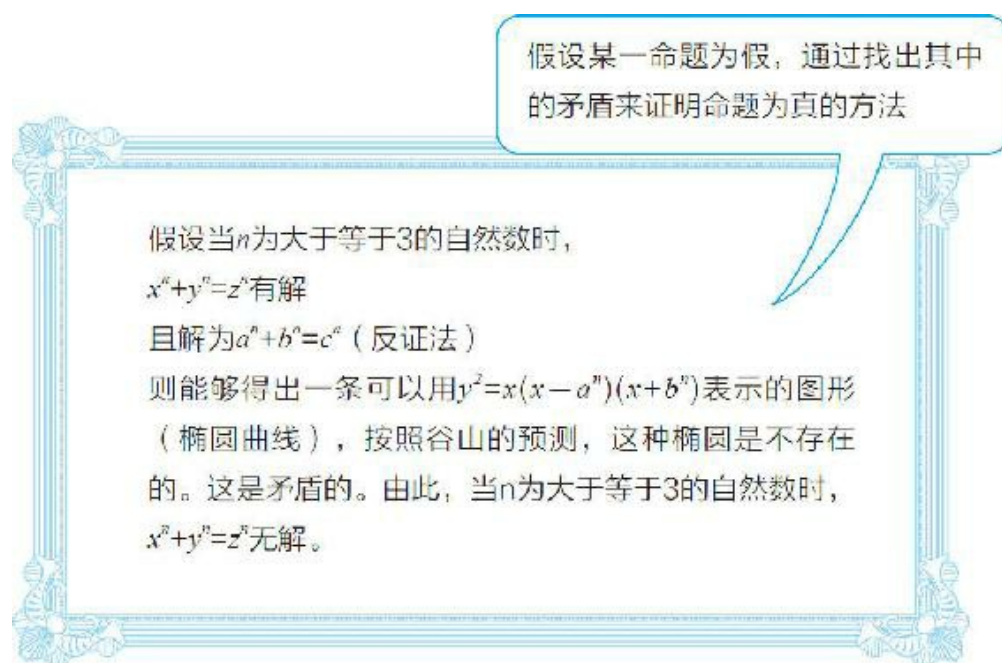
其实，在前一年，1993年，怀尔斯曾经宣称自己证明了费马大定理。然而论文的审查人在审稿时发现了一个缺陷，那是一处完全无法解释的缺陷。在数学领域，经常出现一个小疏忽造成致命错误的情况，想要修补小疏忽时往往会把证明全盘推翻。

怀尔斯立即开始着手修订证明。过去没有任何人了解他证明的过程，如今他却不得不在全世界数学家的瞩目之下进行证明。

在这种情况下，一旦有人抢先证明了大定理，怀尔斯将全盘皆输。在那一年里，他的心情想必很不平静吧。终于，他在第二年完成了证明。

那么，怀尔斯究竟是如何证明的呢？虽然用一句话很难概括，不过其中有部分内容可以用一句话来说明。请看下图。

◆怀尔斯的证明



怀尔斯最终选择的方法，是通过大量阅读其他数学家们的论文，将其认真消化，将他人的智慧拼凑起来，组合成了一个强有力的武器，以此来迎击费马大定理。

做出这番成就的怀尔斯无疑是一位伟大的数学家。他的成就甚至可以被称作是世纪证明。像这样，在数学的世界里，孤身一人做出惊天成果的英雄事例确实有很多。

不过，若是剖析怀尔斯究竟是如何解决问题的，我认为还是因为数学历经几代数学家们的接力，得到了长足的发展。谷山、志村、弗赖、里贝特、梅祖尔.....没有他们，费马大定理是无法被证明的。他们每一个人，都为证明做出了贡献。

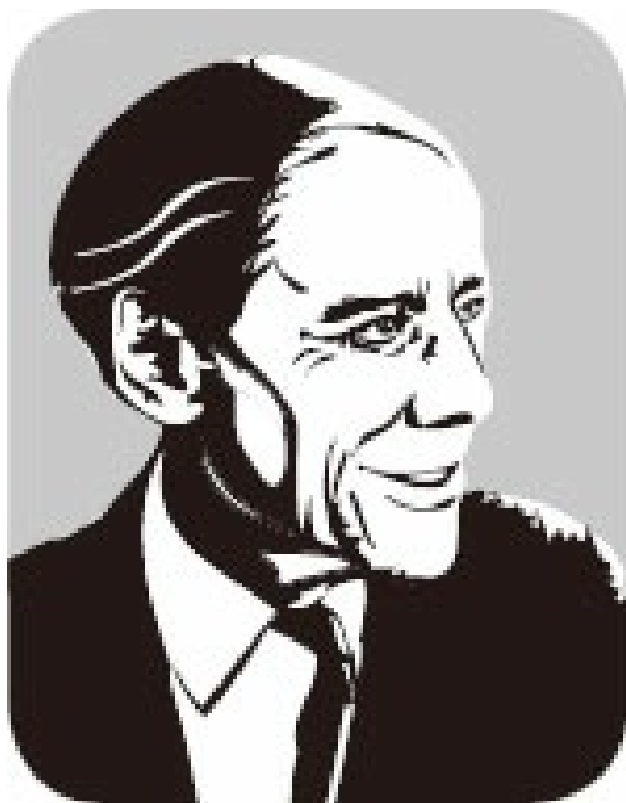
不仅是他们。

欧拉、高木贞治、挪威数学家阿特勒·塞尔伯格、奥地利数学家埃米尔·阿廷、因提出“朗兰兹猜想”而闻名的加拿大数学家罗伯特·朗兰兹（1936~）、证明了关于有理代数曲线的重要定理以及莫德尔猜想的德国数学家格尔德·法尔廷斯（1954~）等数论天才们也为费马大定理做出了艰苦努力。

高木创立了类域论这一享誉世界的理论。如果用一句话来概括类域论的话，那就是它证明了数字的世界有多么神秘。

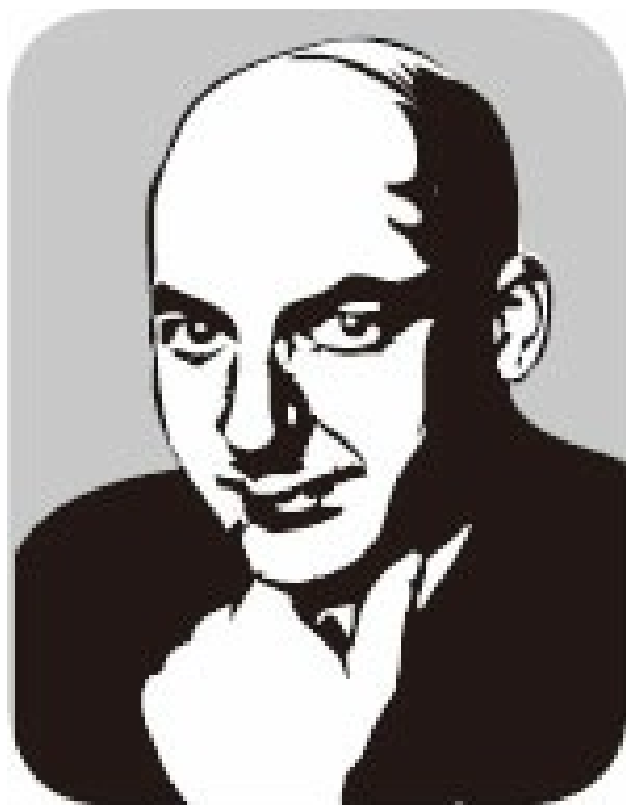


阿特勒·塞尔伯格（1917~2007）发现了塞尔伯格迹公式、塞尔伯格 ζ 函数。对素数定理进行了初等证明。



埃米尔·阿廷（1898～1962）发现了阿廷环。

包括在讲述谷山-志村猜想时曾经提到过的德国数学家赫尔姆特·哈塞在内，德国数学家埃里克·赫克、因关于概型的独特研究而闻名的数学家亚历山大·格罗滕迪克（1928～）、因解决了“韦伊猜想”而闻名的比利时数学家皮埃尔·德利涅（1944～）等数学家们都为此做出了贡献。19岁^[2]死于决斗的悲剧天才、法国数学家埃瓦里斯特·伽罗瓦的成果也为怀尔斯所用。



赫尔姆特·哈塞（1898~1979）主要研究代数整数论。哈塞图由他的名字命名。



埃里克·赫克（1887~1947）提出了赫克环。



埃瓦里斯特·伽罗瓦（1811~? 1832）群论的创始人。发明了伽罗瓦理论。

因为这些数学家的努力，数学理论不断得到发展，最终带来了怀尔斯的成功。

ζ函数揭开了不可思议的数字世界

在讨论“费马大定理”时，不得不提到的就是“ζ函数”。实际上，谷山、志村、拉马努金、怀尔斯等人都曾借助ζ函数成功揭开了数学的神秘面纱。

而ζ函数，则起源于欧拉。

$$\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{5^2} + \frac{1}{6^2} + \frac{1}{7^2} + \frac{1}{8^2} + \frac{1}{9^2} + \frac{1}{10^2} + \dots$$

这样不断相加下去，究竟会有什么结果呢？

将其解开的正是欧拉。算出的最终结果居然是 $\pi^2/6$ 。

不仅如此，当分母变为四次方、四次方、四次方……时，结果为 π 的四次方（ $\pi^4/90$ ）。当分母变为六次方、六次方、六次方……时，结果则为 π 的六次方（ $\pi^6/945$ ）。

◆利用ζ函数可以将无穷也纳入讨论范围

黎曼ζ函数

$$\zeta(s) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$$

当 s 为-1、-2、-3时

$$\zeta(-1) = 1+2+3+4+\dots = -\frac{1}{12}$$

$$\zeta(-2) = 1^2+2^2+3^2+4^2+\dots = 0$$

$$\zeta(-3) = 1^3+2^3+3^3+4^3+\dots = \frac{1}{120}$$

欧拉发现，在自然数的世界里存在着与 π 相关的规则。这就是被称作“ζ函数”的东西。这是研究将自然数的“指数”全部相加后之和的、关于无穷级数的问题。

这一规则可以归结为上图所示内容（黎曼ζ函数）。

ζ函数与质数有着密切的联系。由此，“费马大定理”也和ζ函数关联紧密。

整数是由质数的积构成的，只要能够了解质数的规律，数字世界不

可思议的运作规律就能够为我们所了解。

请大家再看一下这个方程。虽然计算上看起来很奇妙，利用 ζ 函数来进行计算，可得到比无穷级数更精密的计算结果（这种计算被称为解析开拓）。

这就是 ζ 的力量。这意味着利用 ζ 函数，我们便可以将无穷纳入讨论范畴来。

其根基，就在于关孝和发现的“关-伯努利公式”。虽然关孝和与伯努利是分头独立进行研究的，但关孝和发现这一方程要略早于伯努利。

请看下面的图。 B_m 被称作关-伯努利数^[3]。当 ζ 与关-伯努利数相结合之时，一个美妙的公式就诞生了。

接下来，请看其证明。确实， $1+2+3+\dots=-1/12$ 。

而其中也有“欧拉-麦克劳林公式”的功劳。这是一个我非常喜欢的公式。

◆关-伯努利公式

$$\sum_{k=1}^n k^i = \sum_{j=0}^i {}_i C_j \cdot B_j \frac{n^{i+1-j}}{i+1-j}$$

证明方程

$$\begin{aligned} 1+2+3+\dots &= \frac{1}{1^{-1}} + \frac{1}{2^{-1}} + \frac{1}{3^{-1}} + \dots \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{-1}} \\ &= \zeta(-1) \\ &= \zeta(1-2) \\ &= \frac{B_2}{2} \\ &= \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{2} \\ &= -\frac{1}{12} \end{aligned}$$

$$\zeta(1-m) = \frac{B_m}{m}$$

※ B_m 是关-伯努利数, m 是自然数

$$B_2 = \frac{1}{6}$$

请注意图下方整理好的证明方程。上文提到, 模形式有着对称性, 我们可以称之为表达这个世界的一个真理。 s 与 $(1-s)$ 是相关联的, 这种情况被称作存在对称性。使用这个方程, 也能够得出 $1+2+3+\dots = -1/12$ 。

◆ 欧拉-麦克劳林公式

设 a, b 是 $a \leq b$ 的任意整数, M 为任意自然数。

当 $f(x)$ 为可在区间 $[a, b]$ 内进行 M 次连续微分的函数时,

$$\sum_{n=a}^b f(n) = \int_a^b f(x) dx + \frac{1}{2} (f(a) + f(b)) \\ + \sum_{k=1}^{M-1} \frac{B_{k+1}}{(k+1)!} (f^{(k)}(b) + f^{(k)}(a)) \\ - \frac{(-1)^M}{M} \int_a^b B_M(x - [x]) + f^{(M)}(x) dx$$

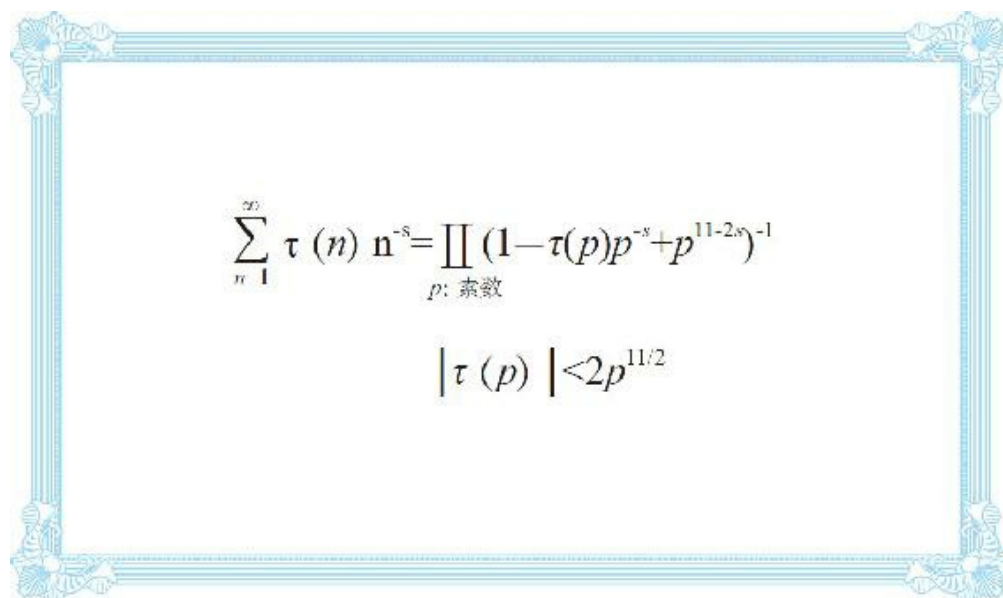
证明方程

关于奇数 $s < 0$

$$\zeta(s) = 2(-s)! (2\pi i)^{s-1} \zeta(1-s)$$

$$\begin{aligned} 1 + 2 + 3 + \cdots &= \frac{1}{1^{-1}} + \frac{1}{2^{-1}} + \frac{1}{3^{-1}} + \cdots \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^{-1}} \\ &= \zeta(-1) \\ &= 2(-(-1))! (2\pi i)^{-1-1} \zeta(1-(-1)) \\ &= 2(1)! (2\pi i)^{-2} \zeta(2) \\ &= 2 \cdot 1 \cdot \frac{-1}{4\pi^2} \cdot \frac{\pi^2}{6} \\ &= -\frac{1}{12} \end{aligned}$$

◆拉马努金的猜想



$$\sum_{n=1}^{\infty} \tau(n) n^{-s} = \prod_{p: \text{素数}} (1 - \tau(p)p^{-s} + p^{11-2s})^{-1}$$

$$|\tau(p)| < 2p^{11/2}$$

接下来请看上图。拉马努金发表了一个关于 ζ 函数的猜想，而为这一猜想的证明做出贡献的则是久贺道郎、因“佐藤超函数”闻名世界的佐藤干夫（1928～）、伊原康隆（1938～）等日本数学家。遗憾的是，最后的研究成果却是由比利时人德利涅取得的……

不仅如此，岩泽健吉（1917～1998）也严谨地证明了“ ζ 的值有多么不可思议”（岩泽理论）。怀尔斯最终是使用岩泽健吉所创立的宏大理论，才得以成功证明谷山-志村猜想的。

天才数学家谷山丰之死

最后，我想给大家讲一讲关于谷山丰这位数学家的故事。谷山是我永远无法忘却的数学家，因为他的经历实在是太令人悲伤。

2008年，我曾经同谷山丰的兄长谷山清司先生见过一面，他在日本埼玉县当一名医生。在我表示想要了解谷山丰的情况之后，他热情地招待了我，给我讲述了许多故事。

谷山丰于1927年生于埼玉县，他小时候既不擅长倒立也不擅长赛跑。当时日本正处于军国主义时期，体育不好是无法进入旧制一高（现在的东京大学）的。为此，他复读了一年，最终进入了东京大学理学院数学系。

在他很小的时候，即便去上幼儿园也很快就退了学，不仅不擅长和人交朋友，身体也不太好。

但他和兄长的关系却十分亲密，兄弟二人经常一起下将棋、下围棋。下围棋时是有棋谱的，但令人感到有趣的是，少年时的谷山丰在下围棋时却从不看棋谱。这正是一种数学家的态度。

数学是一门发现规则、创造规则的学问。看棋谱对于数学家而言是极为屈辱的行为。观察面前棋盘上呈现的合理规则，这样更有意思——少年谷山丰应当这样想过吧。

谷山1953年大学毕业之后，第二年成为教授的助手，他的黄金时期也就此开始了。

1955年，他在前文提及的日光国际研讨会上发表了震惊全球数学家

的“谷山猜想”。1958年4月月成为副教授，10月和铃木美佐子订婚。不仅如此，他还被美国的普林斯顿高等研究院聘用，谷山正在自己梦想中的数学道路上飞驰着。

但是，11月17日凌晨三点，谷山结束了自己的生命。他在池袋静山庄的20号房内，打开了煤气阀门，独自踏上了归途。

清司先生对葬礼上的美佐子印象很深。她表现得很坚强。不过其实直到那时，清司才知道弟弟已经订婚了。

美佐子只对哥哥清司提出了一个请求：“请把阿丰的西装给我。”

美佐子在谷山住过的静山庄附近租了一间公寓，在两周后的12月2日追随谷山而去。她同样选择在谷山逝世的凌晨三点，静静凝视着谷山的西装，离去了……

谷山究竟遇到了什么呢？我曾有机会同正在美国颐养天年的志村五郎老师通电话，他当时给我的回复是“我也不清楚”。

这是个多么令人悲伤的故事啊。我认真地烦恼了许久，原来数学会令人感到如此痛苦吗？为何谷山一定要在人生正顺风顺水的时候选择死亡呢？

谷山应当是一个非常单纯的男人，虽然别人认为他十分优秀，但他本人可能对自己的将来没有信心——在同志村老师通话的过程中，我突然想到了这一点。

大家听了这个故事，可能会觉得“数学真的好可怕”“数学居然会夺人性命”。可能会认为谷山只有在数学的世界里才能找到容身之所。但其实，如果对自己将来能否在数学上做出成就感到悲观的话，只要转向

数学以外的领域就可以了。谷山为何没能这样去做呢？

我在本书中，是满怀喜悦地向各位读者们讲述着数学的伟大与乐趣的。我放下数学的时刻，就是我离开这个世界的时刻。我想要一直研究数学，直到我生命的最后一刻。可谷山却仅仅存在于数学的世界，因为在数学上遇到了挫折，就对将来产生了悲观情绪，最后自绝性命。

我想要对谷山抱怨一句：“不应该是这样的吧。”

数学支撑起了社会的各个领域。就在现在这一秒，数学的世界也正在为我们提供着支持。无论大家如何厌恶数学，数学也不会舍弃大家，它会永远地支持我们。

数学的永恒性——这正是数学的真谛。

[1] 准确而言应当是“不存在正整数解”，此处为原文表述不精确。（译者注）

[2] 一说是21岁。

[3] 实际上并无“关-伯努利数”这一说法，为作者自创。

Part 7

拉马努金：美妙公式与 圆周率的故事

$$\sqrt[3]{\sqrt[3]{2}-1} = \sqrt[3]{\frac{1}{9}} - \sqrt[3]{\frac{2}{9}} + \sqrt[3]{\frac{4}{9}}$$
$$\pi = \frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(4n)!}{\{(4^n) \cdot (n!)\}^4} \cdot \frac{26390n+1103}{99^{4n}}$$
$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^5}{e^{2\pi n}-1} = \frac{1}{504}$$

我与拉马努金的相遇



斯里尼瓦瑟·拉马努金（1887~1920）印度数学家。他用天才的智慧发现了大量公式。

大家听说过拉马努金这位数学家吗？

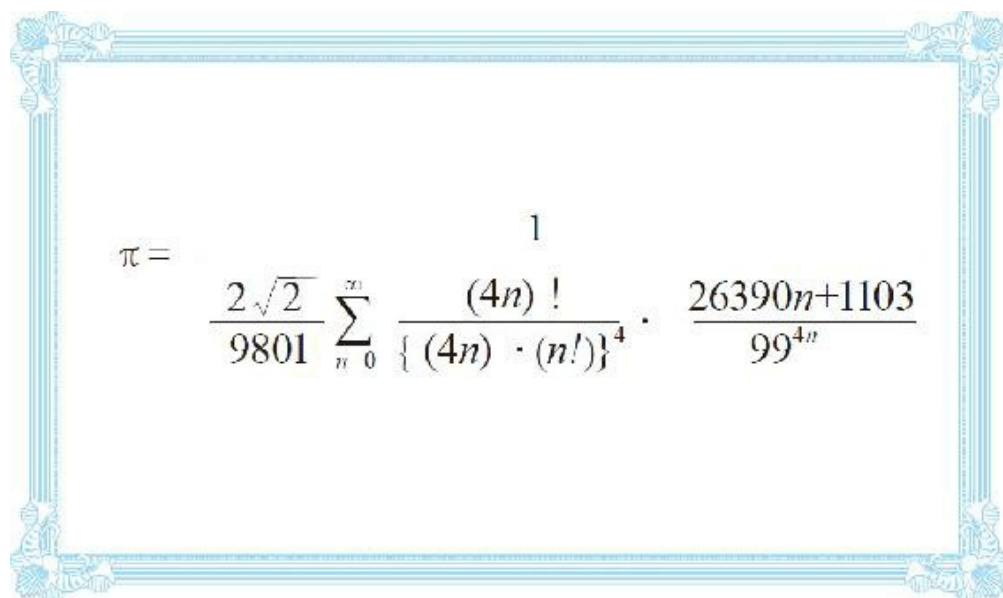
他于19世纪末突然出现在印度南方，又在20世纪初英年早逝。

20世纪90年代初，我第一次见到下面中出现的拉马努金公式。

计算右侧的值，就能在笔记本上得出3.14159265.....这一串数字。
确实是 π 的值。

“.....是真的。”

◆拉马努金的公式①（圆周率公式）



$$\pi = \frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\{(4n)! \cdot (n!)\}^4} \cdot \frac{26390n+1103}{99^{4n}}$$

还是一名大学生的我认识到了这个事实，感觉自己身上发生了一些变化。那变化究竟是什么，当时的我还并不明了，而是在日后一点一点地明白的.....

他只对数学感兴趣

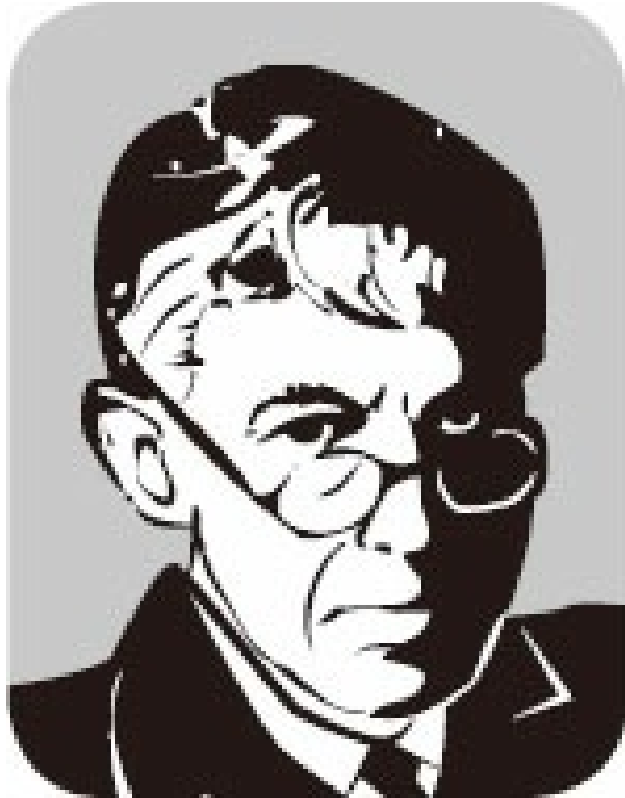
1887年，拉马努金出生于一个婆罗门（祭司阶级）家庭，生来就注定要生活在印度教严格的戒律之中。

拉马努金小时候就很擅长计算，无论是什么样的难题，只要一到他手上就能迎刃而解。但因为家境贫寒，他并没有怎么接受过学校的正规教育。

15岁时，朋友送了他一本数学书作礼物，由此，他踏上了发现公式的旅途。拉马努金热衷于凭借自己的力量去证明书中的全部定理、公式，他开始独自沉迷于“计算的乐趣”之中。

身边的人也逐渐认识到了拉马努金的才华，他最终得以进入大学学习。可他对于数学之外的学科没有任何兴趣，最终没能升到下一学年就退学。即便是这样，他也仍旧在数学的世界里不断漫游。

身边的人都跟不上拉马努金的研究水平，于是纷纷劝他写信给当时数学水平最高的英国的数学家。



哥德符莱·哈罗德·哈代（1877~1947）对解析数论产生了深远影响。

可所有收到信的数学家都没能理解拉马努金的研究内容，并没有给他回信。只有其中一个人，意识到拉马努金有着出类拔萃的才华。

这个人就是剑桥大学的数学家哥德符莱·哈罗德·哈代。

与哈代的相遇

本章一开始提到的公式，是1914年发表的。也是在这一年，拉马努金动身前往英国。看了那封写满奇妙定理的信，哈代感受到了拉马努金天赋异禀，便将他从印度请到了英国。获得哈代认可的拉马努金，开始正式作为一名数学家开展研究工作。

哈代同时也是一位为拉马努金的算式而倾倒的人。

拉马努金并未做出[此处](#) 公式的证明。但我想，即便拉马努金说等号右侧的神奇算式表达的是直径为1的圆的周长（约为3.14），恐怕也不会有人立刻就表示认同。

当时哈代让拉马努金做出证明，拉马努金却未能合理地做出解释。不过，哈代并没有因此批评拉马努金。

哈代可能也和我一样，稍微进行了一些计算，然后，感受到拉马努金应当是正确的，因而露出了笑容。

在可能只是幻影的“等式”面前，哈代的心应当是雀跃的——拉马努金仿佛就是数学之神的使者，给世人们展示了闻所未闻、见所未见的算式。

哈代的喜悦来自于两件事：能够见到前所未见的算式，以及能够将算式的发现人独占。

拉马努金负责计算，哈代负责证明——两人合作无间的研究就这样开始了。虽然两人共同研究的时间还不到三年，哈代却一直以对待珍宝的态度珍视着拉马努金。在哈代的倾心支持之下，拉马努金和他的公式

得以闻名世界。

活在当代的拉马努金公式

在[此处](#) 的公式被发现的七十多年以后，1987年，加拿大数学家乔纳森·波尔文与彼得·波尔文兄弟（1951～，1953～）终于成功将其证明。

其后，在1989年，生于苏联的数学家大卫·楚德诺夫斯基、格里高利·楚德诺夫斯基两兄弟（1947～，1952～）利用这一公式，将圆周率 π 的值精确到了小数点后第十亿位，创下了世界纪录。

就像其他所有公式一样，拉马努金的公式也超越了时代，有着蓬勃不衰的生命力。人类的生命是有限的，正因如此，我们在研究具有无限生命的数学公式时才会感到无比欣喜。

拉马努金的计算轨迹日后被收录在被称作“拉马努金笔记”的三册手写公式集当中。笔记中记载的惊人计算中，出现了大量关于 π 的计算。

让我们来看看书中出现的公式。

次页图中的公式虽然并不是关于 π 的计算，一眼看过去，并不能判断等号左右两边是否相等。

◆拉马努金的算式①

$$\sqrt[3]{\sqrt[3]{2}-1} = \sqrt[3]{\frac{1}{9}} - \sqrt[3]{\frac{2}{9}} + \sqrt[3]{\frac{4}{9}}$$

$$\sqrt{\sqrt[5]{4}+1} = \frac{\sqrt[5]{16} + \sqrt[5]{8} + \sqrt[5]{2} - 1}{\sqrt{5}}$$

$$\sqrt[4]{\frac{3+2\times\sqrt[4]{5}}{3-2\times\sqrt[4]{5}}} = \frac{\sqrt[4]{5}+1}{\sqrt[4]{5}-1}$$

写在拉马努金笔记最后的果然还是关于圆周率的计算。

下面中的计算是表达圆周率的值3.14159265.....的近似式。可以看出，他对于 $\sqrt{\quad}$ 的实用依旧非常巧妙。大家请比较一下 π 的值与计算结果。

π 也有着许多和其他数字一同组成的公式。

请看[此处](#)的公式。 π 是在进行无数次加法运算的级数中出现的。

◆拉马努金的算式②（圆周率的值的近似表达式）

$$\pi = 3.1415926535897832$$

$$\frac{7}{3} \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{5} \right) = 3.14162$$

$$\frac{19}{16} \sqrt{7} = 3.14180$$

$$\frac{9}{5} \left(1 + \sqrt{\frac{9}{5}} \right) = 3.14164$$

$$\sqrt[4]{3^4 + 2^4 + \frac{9}{2 + \left(\frac{2}{3}\right)^2}} = 3.14159265262$$

$$\frac{63}{25} \left(\frac{17 + 15\sqrt{5}}{7 + 15\sqrt{5}} \right) = 3.14159265380$$

$$\frac{355}{113} \left(1 - \frac{0.0003}{3533} \right) = 3.14159265358979\cdots$$

◆拉马努金的公式②（在级数算式中出现的 π ）

圆周率 $\pi=3.1415926535897932384626433832795028841971693993751 \dots$

纳皮尔数 $e=2.7182818284590452353602874713526624977572470937000 \dots$

欧拉常数 $\gamma=0.57721566490153286060651209008240243104215933593992 \dots$

$$\frac{\log_e 1}{\sqrt{1}} - \frac{\log_e 3}{\sqrt{3}} + \frac{\log_e 5}{\sqrt{5}} - \frac{\log_e 7}{\sqrt{7}} + \frac{\log_e 9}{\sqrt{9}} - \dots$$

$$= \left(\frac{1}{4} \pi - \frac{1}{2} \gamma - \frac{1}{2} \log_e 2 \right) \left(\frac{1}{\sqrt{1}} - \frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{1}{\sqrt{5}} - \frac{1}{\sqrt{7}} + \frac{1}{\sqrt{9}} - \dots \right)$$

$$\frac{1}{\left(25 + \frac{1^4}{100}\right) (e^x + 1)} + \frac{3}{\left(25 + \frac{3^4}{100}\right) (e^{3x} + 1)} + \frac{5}{\left(25 + \frac{5^4}{100}\right) (e^{5x} + 1)} + \dots = \frac{\pi}{8} \coth^2 \frac{5\pi}{2} - \frac{4689}{11890}$$

$$\frac{1}{1^3} \left(\coth \pi x + x^2 \coth \frac{\pi}{x} \right) + \frac{1}{2^3} \left(\coth 2\pi x + x^2 \coth \frac{2\pi}{x} \right) + \frac{1}{3^3} \left(\coth 3\pi x + x^2 \coth \frac{3\pi}{x} \right) + \dots = \frac{\pi^3}{90x^3} (x^4 + 5x^2 + 1)$$

$$\frac{1^5}{e^{7x} - 1} + \frac{1^5}{2500 + 1^4} + \frac{2^5}{e^{4x} - 1} + \frac{1^5}{2500 + 2^4} + \dots = \frac{123826979}{6306456} - \frac{25\pi}{4} \coth^2 5\pi$$

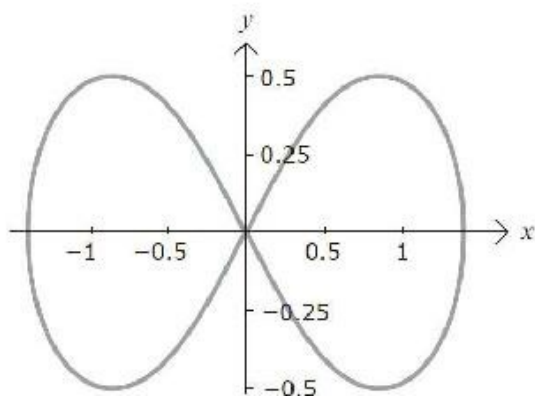
◆拉马努金的公式③（双纽线周率）

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^5}{e^{2\pi n} - 1} = \frac{1}{504}$$

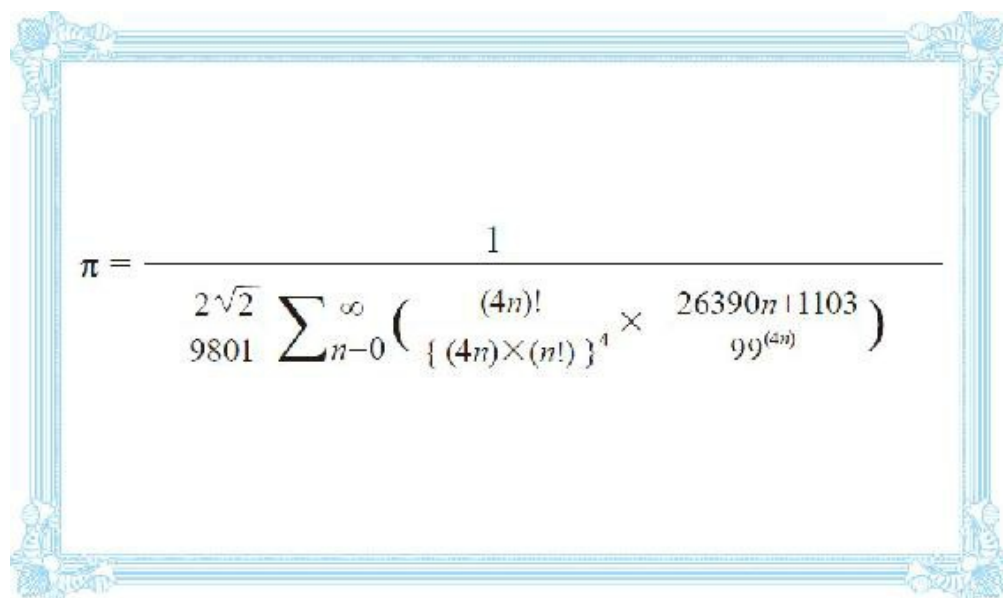
$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{e^{2\pi n} - 1} = \frac{1}{24} - \frac{1}{8\pi}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n^3}{e^{2\pi n} - 1} = \frac{1}{80} \left(\frac{\varpi}{\pi} \right)^4 - \frac{1}{240}$$

圆周率	$\pi = 2 \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{1-x^2}} = 3.14159\cdots$
双纽线周率	$\varpi = 2 \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{1-x^4}} = \Gamma^2\left(\frac{1}{4}\right) 2^{\frac{3}{2}} \pi^{\frac{1}{2}} = 2.62205\cdots$



◆拉马努金的公式①（圆周率公式）※再次出场



$$\pi = \frac{1}{\frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{(4n)!}{\{(4n) \times (n!)\}^4} \times \frac{26390n + 1103}{99^{(4n)}} \right)}$$

接下来登场的是被称为双纽线周率的数。请看[此处](#) 的公式。所谓双纽线，是动点距两定点的距离之积满足一定条件时动点的轨迹，用方程 $(x^2 + y^2)^2 - 2a^2(x^2 - y^2) = 0$ 表示的曲线。双纽线周率是，对应于双纽线上的圆周率。 $\overline{\omega}$ 是 π 的异体字。

也就是说，圆的周长 = 2 × 半径 × 圆周率 π ，而双纽线曲线的周长 = 2 × 半径 × 双纽线周率。

π以令人惊愕的速度出现了

终于，拉马努金发现了令人惊奇的π的计算公式。也就是本章一开始出现的公式。请大家再回顾一下。

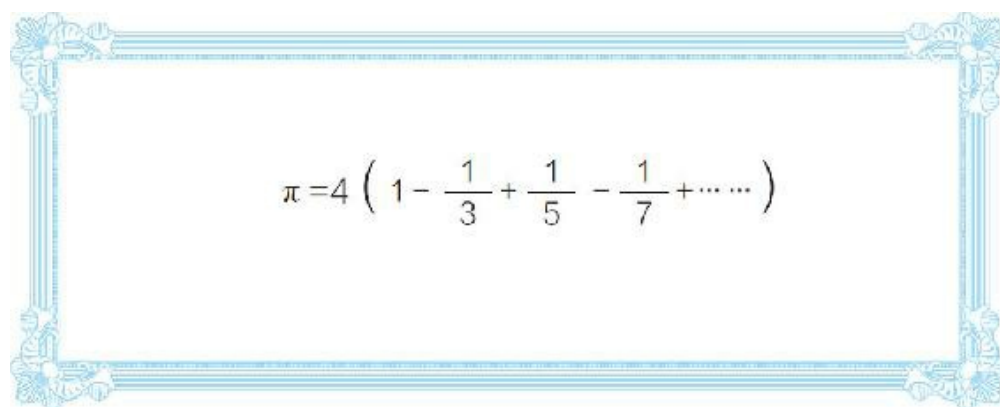
这个公式在圆周率的计算史上也算是十分奇特的存在，即便是哈代也完全无法理解它。尽管它是一个无法证明的公式，只要用它来计算一次，就能够得出3.14159265.....这样正确的圆周率。

这个公式最令人吃惊的一点，在于它计算的速度极快。“速度极快”指的是计算结果中导出圆周率的速度。

下图为莱布尼茨的圆周率公式（[参见此处](#)），计算速度是非常慢的。无论怎么计算，都很难导出3.1415.....

不过，方才提到的拉马努金公式，居然只要将级数（无穷个项的加法运算）的前两项相加就可以计算出直到3.14159265为止的正确的值。

◆速度较慢的圆周率公式


$$\pi = 4 \left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \dots \right)$$

◆利用拉马努金的公式①进行计算的话.....

$$\begin{aligned}
 & \frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(4n)!}{(4^n \times (n!))^4} \times \frac{26390n + 1103}{99^{4n}} \\
 &= \frac{2\sqrt{2}}{9801} \left(\frac{(4 \times 0)!}{(4^0 \times 0!)^4} \times \frac{26390 \times 0 + 1103}{99^{4 \times 0}} \right. \\
 &\quad \left. + \frac{(4 \times 1)!}{(4^1 \times 1!)^4} \times \frac{26390 \times 1 + 1103}{99^{4 \times 1}} \right) \\
 &= \frac{2\sqrt{2}}{9801} \left(\frac{1}{1 \times 1} \times \frac{1103}{1} + \frac{4 \times 3 \times 2 \times 1}{4^4} \times \frac{27493}{99^4} \right) \\
 &= \frac{2\sqrt{2}}{9801} (1103 + 0.00002683197435) \\
 &= \frac{2 \times 1.41421356 \times 1103.000027}{9801} \\
 &= \frac{3119.755189}{9801} \\
 &\textcircled{1} \quad \frac{9801}{3119.755189} = 3.14159265 \dots
 \end{aligned}$$

上图是我实际进行计算之后的结果，确实能够得出圆周率的值。各位读者也请务必利用计算器挑战一下拉马努金公式吧。

用电脑来计算的话，每一次计算都可以让圆周率的值更精确一位。

其计算速度确实可以用“飞速”来表示。

拉马努金改变了探求圆周率的历史

拉马努金的这个公式，是在拉马努金离世后才开始显示其威力的。

到了1987年，公式才终于为波尔文兄弟所证明。

在题为“ Θ 函数的‘奇迹’”的证明中，他们对拉马努金公式究竟是由何而起做出了说明。

运用这个理论，波尔文兄弟导出了如[此处](#)所示的公式。

◆波尔文兄弟的证明

$$\text{in}[4]: = N \left[\frac{1}{\frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{n=0}^1 \left(\frac{(4n)!}{((4n) \times (n!))^4} \times \frac{26390n+1103}{99^{(4n)}} \right)}, 20 \right]$$

Out[4]: 3.1415926535897938780

3.141592653589793877998925826278228`20

$$\text{in}[5]: = N \left[\frac{1}{\frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{n=0}^2 \left(\frac{(4n)!}{((4n) \times (n!))^4} \times \frac{26390n+1103}{99^{(4n)}} \right)}, 20 \right]$$

Out[5]: 3.1415926535897932385

3.141592653589793238462649065702759`20

$$\text{in}[6]: = N \left[\frac{1}{\frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{n=0}^3 \left(\frac{(4n)!}{((4n) \times (n!))^4} \times \frac{26390n+1103}{99^{(4n)}} \right)}, 30 \right]$$

Out[6]: 3.14159265358979323846264338328

3.1415926535897932384626433832795552731504927`30

◆波尔文兄弟的公式

$$\frac{1}{\pi} = 12 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (6n)!}{(n!)^3 \cdot (3n)!} \cdot \frac{A n + B}{C^{n + \frac{1}{2}}}$$

A: $13773980892672\sqrt{61} + 107578229802750$
B: $212175710912\sqrt{61} + 1657145277365$
C: $[5280(236674 + 30303\sqrt{61})]^2$

实际上，在波尔文兄弟完成证明的两年前，也就是1985年，美国数学家、程序员比尔·高斯帕（本名为拉尔夫·威廉·高斯帕，1943～）成功地使用“拉马努金公式”将圆周率精确到了小数点后一千七百五十二万六千二百位。但当时还不能确定拉马努金公式是否确实为表达 π 的公式，因此人们未能判断高斯帕得出的数值是真是伪。

但在公式被证明之后， π 的计算便瞬间进入了“亿”的时代。

东京大学的金田康正团队围绕 π 的计算，与从苏联移民美国的楚德诺夫斯基兄弟之间展开了激烈的竞争。

东京大学使用的是全世界中最先进的超级电脑，而楚德诺夫斯基兄弟则使用自制的电脑，双方展开了前无古人的 π 计算之争。

1987年，金田团队成为历史上第一个将 π 精确到小数点后第一亿位以上的团队。1989年6月，楚德诺夫斯基兄弟将 π 值计算到了第五亿三千

五百三十三万九千二百七十位。短短一个月之后金田团队就将这一数字更新到了第五亿三千六百八十七万零八百九十八位。

但在第二年八月，楚德诺夫斯基兄弟成功将 π 的值精确到了小数点后第10亿位。他们当时在电子计算使用的程序中，运用了刚刚被证明了的拉马努金公式。拉马努金公式在当代终于释放了其强大的威力。

之后，在1994年，楚德诺夫斯基兄弟再次将世界纪录更新至小数点后第四十亿四千四百万位。而这时，兄弟二人自制的电脑所运用的程序中，编入的是下方展示的楚德诺夫斯基算法。

大家一看便知，这是一种在拉马努金公式的基础上进行改造的计算 π 的快速方法。利用拉马努金公式每进行一次计算可以多精确八位数，而使用楚德诺夫斯基算法则可以多精确14位数。

◆ 楚德诺夫斯基公式

$$\pi = \frac{1}{12 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n (6n)!}{(n!)^3 \cdot (3n)!} \cdot \frac{545140134n+13591409}{(640320^3)^{n+\frac{1}{2}}}}$$

楚德诺夫斯基算法的强大之处，随着电脑性能的提升而愈加得到证

明。

2011年，白领近藤茂利用楚德诺夫斯基算法，将 π 精确到了小数点后第十万亿位，打破了吉尼斯世界纪录。他利用自己家中的电脑夜以继日地进行计算，最终获得了成功。

1920年，年仅32岁的拉马努金去世了，但拉马努金公式却跨越了国与国之间的界限，超越了时空，直到如今依旧焕发着无尽的生命力。

这也许就是波尔文兄弟所说的“奇迹”吧。

拉马努金和他的公式带给我的喜悦

曾经有人问哈代：“你为数学做出的最大贡献是什么呢？”哈代毫不犹豫地回答：“发现了拉马努金”。

如果有人问我：“你人生中最大的喜悦是什么？”

我也一定会毫不犹豫地回答：“能够与拉马努金和他的数学研究相遇。”

即便没有爱因斯坦，相对论在那两年应当也会被其他人发现。但拉马努金所发现的公式，如果没有拉马努金——我想百年之后的今天也不会有任何人能够发现。

数学、自然科学领域的发现，都有着理论上的必然性。然而，拉马努金为什么能够想到那些公式呢……没有人能够明白。

拉马努金无法融入英国社会的生活，只有哈代和数学是他的朋友，一直过着研究50个小时之后一口气睡20个小时这种没有规律的生活。

就是在这种情况下，拉马努金也往往能每天都有六七个新发现，之后他会将这些发现寄给哈代。拉马努金曾经被问到究竟是从哪里得出这些新发现的，当时他回答称“是女神娜玛吉利写在了我的舌头上”。

拉马努金过分沉迷于数学，导致他长期未能好好进食。

他的健康状况越来越差，最后不得不住院治疗。哈代去探望拉马努金时这样说道：“刚才搭出租车过来的，车牌号是1729，这个数可真没意思。”

拉马努金当即开口答道：

“不，哈代先生，这个数可有意思得很！1729是可以用两个立方之和来表达且包含两种表达方式的数之中最小的数。”

事实确实如此，1729有“ $12^3 + 1^3$ ”以及“ $10^3 + 9^3$ ”两种表达方式。

日后，哈代评价道：“拉马努金和每一个数字都是朋友。”

一路徜徉在计算道路上的拉马努金躺在心爱的妻子迦娜奇的怀中，回到了印度。他用尽全身最后的力气，继续着追求无穷的计算之旅。

1920年4月26日。

在妻子怀中，拉马努金三十二年的人生落下了帷幕，他的计算之旅也随之终结。他所留下的，只有写满3254个公式的笔记，以及散乱一屋的计算稿纸。

公式，是数学家赌上自己的性命去发现的。

拉马努金的人生，和早逝的诗人兰波十分相似。这是英年早逝者所特有的气息吗？还是鬼才身上的迷人气质呢？

拉马努金的算式散发出强烈的气场，源源不断地向二十多岁的我汹涌袭来……

后记

意识到的时候，我已经和数学形影不离了。小学时，我对收音机很感兴趣，总是会跑到秋叶原收集电子零件，手握电焊机，沉迷于自己制作收音机。到了后来，甚至还打算自己动手设计电路呢。

但当时的我还不知道该从何着手，于是便在书店把看到的电子工程相关的书都取下来看一看。但那些书中总是会罗列着大量的算式。为什么电子工程中还需要用到算式呢？我为了解决心头的疑问，开始自己钻研。

学着学着，我开始明白，每一个电路都需要有方程为其作支撑。为了能够制作出满意的收音机，我学会了利用各种公式，一边计算一边设计电路。若电容器的电容量为 C ，线圈的电感为 L 的话，电路的共振频率 f 就是由 C 和 L 决定的。

我通过算式，搞懂了收音机的构造。我感受到了其中的乐趣，也为算式的魅力所吸引。 f 、 C 、 L 的公式中也包含有圆周率 π 。

为什么收音机会和圆周率 π 有关系呢？

我一直希望自己有一天能够明白其中的道理。触手可及的有形的收音机，和无形却发挥着重要作用的算式。两者之间的联系，让我有一种无法言喻的感动。

到了中学的时候，我对收音机的兴趣被宇宙所取代。我知道了有一

门叫作物理学的学科是专门研究宇宙的运行原理的。而且，爱因斯坦这位代表20世纪的超级天才，也是使用公式来表达关于宇宙的定理的。

人类所能够想象的最为庞大的存在——宇宙，连宇宙的运行原理都能够使用公式来表达.....一种比在收音机上感受到的感动更为强烈的兴奋向我袭来。我开始如饥似渴地阅读爱因斯坦的著作。我深深地为之着迷，原来物理学是如此优美而激动人心的学科啊。

从某一个原理出发，经过反复大量的合理思考，最终得出一个简单公式的故事.....我从未在任何书籍中读到过的有趣故事，就这样呈现在了我眼前。

他们将时间和空间科学化。将两者间的关系转化为算式，呈现在眼前。阅读爱因斯坦的著作，观察文中夹杂着的算式，我一边惭愧自己几乎无法理解书中的内容，手上却毫不停止，带着“想要知道更多”的求知欲不断翻动书页。

爱因斯坦以及物理学的知识，的确深深地印刻在了我的脑海里。但爱因斯坦的公式，并没有触及我内心中最深的地方。即便是这样，爱因斯坦的思想、理想、人生苦恼等，还是在14岁的我的心底产生了回响。

如今回想起来，小学、初中时的我所学到的是，将不懂的知识珍藏在心底，让它们在心中生根发芽。电子工程也好，物理学的理论也好，都不是10岁出头的小孩子能够理解的东西。但我还是感到喜悦，那些公式可以说是我的一份憧憬，它们吸引着我、鼓励着我、鼓舞着我。

公式不会说话，却能够在静默中发声。通过等号连接起来的文字、数字、符号，全部都得到了最妥善的表达，它们一定很安心吧，它们一

定感到了万分的喜悦！

公式当中蕴含着力量，它绝不会对掌握公式、享受公式恩惠的人进行区别对待。公式有着能够驱动人心的神秘力量。

我与公式之间还有着戏剧性的邂逅。那是函数计算器带给我的奇妙体验。平方根、三角函数、指数函数、对数函数.....函数计算器能够进行数值庞大的计算，我当时是把它当做玩具来把玩的。

我在数字身上获得了令人惊奇的新鲜体验。函数计算器能够瞬间算出三角函数 $\sin 30^\circ$ 的值是0.5。在键盘上敲出 $\sin 31^\circ$ 的话，就能够得出0.515038.....

这究竟是怎么算出来的呢？我知道电脑里安装了程序，可以完成各种计算，也知道电脑上的计算是加法运算等基本计算的排列组合。

在这种情况下，三角函数的值究竟是如何被计算出来的呢.....我百思不得其解。我深信程序的真面目定然只可能是数学公式。在计算器这种机器里装载着数学公式。我的心情完全就是推理小说中寻找犯人的侦探了。

“事件”在我的眼皮底下发生了。收音机会响，宇宙存在着，计算器算出了答案。我已经掌握了证据，接下来只需要逮捕犯人——公式即可。犯罪方法、犯罪过程，如果我不把事情经过完全解开，我是不会满意的。可是，我眼前的教科书中并没有犯人的踪影，真想早点亲手抓住他。

我心中满怀期待，成为一名高中生。能够对数学课程变得越来越

难依旧保持期待，也是多亏了小学、中学时期的经历。

就在这时期，我又目击了一起事件。那就是和考试相关的数字，偏差值。偏差值是基于正态分布计算得出的。

正态分布的表达式，是18世纪法国数学家棣莫弗（1667～1754）发现的。而事件也正是发生于此。

教科书后附有许多附表，其中有一个表格记录了正态分布曲线的面积（也就是概率）。我看着表格想：“那这个就是概率密度函数的积分吧”，便马上着手计算其积分的值。没想到，我却完全算不出来。

我以为是我懂得还不够多，于是去找数学老师、朋友、学长学姐们请教。可却没有任何人能够给我答案。我却没有放弃，因为我有书后的表格作证明。我想知道怎么才能算出这一函数的积分，想要知道书中的表格究竟是怎么制作出来的。

在我意识到的时候，我已经站在了大型图书馆里摆放数学书籍的书架前了。我从书架的一角取下书来，开始阅读。我把提到了正态分布和积分的书籍全都拿来看过一遍，我断定犯人一定就在这些书里……

一本又一本书，一个又一个公式出现在我面前，接受我的审讯。我不得不一个一个地去调查，但在调查的过程中我却逐渐感到了乐趣。因为公式会在沉默之中回答我的问题。

而终于，我抓住了问题的核心。它就写在一本关于微积分的书中，是一个我从未见过的公式。

指数函数是整函数被表达为无穷级数时的算式。这是我第一次见到

麦克劳林展开。运用这个方法，就算是目标函数的积分都能够很轻松地计算出来。

在这本书中也出现了三角函数的麦克劳林展开式。我不禁喊出了声，“原来就是它啊！”我多年来一直在寻找的犯人原来同时还是 $\sin 31^\circ$ 的解法。

计算过后，出现在我眼前的数字，和我当初在函数计算器上看到的值直到小数点后第7位都是相同的。我真真正正地感受到了微积分的力量，包庇着麦克劳林展开这个犯人的微积分拥有着超乎我想象的力量。

高中时，还有一个对我而言非常重要的相遇，那就是我遇见了“对数”的故事。城主纳皮尔因为不忍看到天文学家永远进行天文数字级的计算，于是发明了对数。当时的那份震惊与感动，直到今天仍旧震撼着我的心。

纳皮尔并非数学家，却用生命的最后二十年来发明对数。究竟是什么驱使纳皮尔做到这个地步？我心中的疑惑越来越深。

等我意识到的时候，学习了高中物理的我，已经解开了小学时记下的关于收音机的公式中圆周率 π 的谜题。一个谜题解开了，同时又产生了新的谜题。如今想来，这样的循环在那时就已经开始了。

高中时，我对物理学方面的兴趣已经从爱因斯坦转移到了量子力学上面。如此一来，我心中的问题越来越多。我被量子力学的思想和其中的公式所震撼，同时又为这些公式的简洁夺去了心神。

我是在这个时期了解到玻尔、薛定谔、狄拉克等天才物理学家的。

在初中的时候了解了爱因斯坦，感受到了表达宇宙原理的公式有多么伟大，而看到发明了量子力学的天才们的研究成果，我再次认识到了这些公式的力量。

我心中萌发着的物理学的梦想慢慢开始向数学转移。我想要进入大学学习物理学，而在这时，震惊物理学界的大事件——“超弦理论”出现在了 my 面前。超弦理论极有可能成为物理学家梦想中的“大统一理论”。

这个理论的有趣之处，可以说是在于物理学和数学之间的关系。两者之间的关系，一直以来都是物理学为主，数学为辅。而超弦理论却成为改变这种状态的契机。人们逐渐发现，大统一理论这一物理学问题的根本是和深奥的数学理论相关的。当时的一流物理学家全都放弃了自己的研究，开始转而学习数学。我听说了之后，也决定要走上数学研究的道路。

回首望去，我从研究收音机开始和各种公式相遇，兴趣逐渐转向了宇宙，最后来到了数学的世界。历经牛顿、纳皮尔等伟人们一代又一代地传承，数学理论已经成为一座摩天高楼。物理学中用于表达物理理论的唯一语言也正是数学。

只要踏入数学殿堂一步，就会为其庄严、深奥、高雅的形式美夺去心神。

这座建筑并不存在于美术馆或是博物馆，而在于图书馆的数万册藏书中。昏暗的数学图书馆中，那些积满灰尘的书中正静静地掩藏着无数公式。它们自无限的过去开始，等待着你的发现。

看着那些由无数数学家、物理学家发现的公式，我的心总是会浮想联翩。公式一旦被发现，一旦被证明，它的光辉就会永远照耀着世人，永恒、无穷、神秘。过去的我并不了解这些词汇的真正含义。在学习数学、物理学之后，才第一次接触到它们的内涵。只要一想到在发现一个公式之前，会有那么多的探寻者不断地接力、传承，我总会涌起无限的感动。

数学究竟起源于何方呢？

回顾历史，就能发现数学的归宿

人类为何要研究数学？

根源在于我们的心

计算是一场旅行

名为公式的列车在证等的轨道上奔驰着

旅人心中有梦

追求浪漫、无终无尽的计算之旅

为了寻找未见的风景，今天也将继续旅程

这是我作为科学导航者，于2000年开始制作的节目“数学秀”在片头会显示的一首诗。在我决定开始认真开展这项“科普娱乐”工作之时，我第一个确定的就是要将纳皮尔的人生以一种极具魄力的影音形式拍摄成电视剧。

其后，我通过讲述众多数学家的人生经历，打造了一部部介绍数学的乐趣与美妙的作品。本书则是从无数精彩故事中，总结出了一些追寻着公式的天才们的故事。

如果各位读者能够在本书中感受到公式带来的乐趣，品味到天才数学家、物理学家们的精彩人生，那就是我最大的荣幸了。

樱井进

参考文献

《NHK爱因斯坦浪漫3》，〔日〕NHK爱因斯坦·计划编著，日本广播出版公司出版。

《爱因斯坦：创造者与叛逆者》，〔美〕班尼许·霍夫曼海伦·杜卡斯著，〔日〕镇目恭夫林一译，日本河出书房新社出版。

《爱因斯坦的一生》，〔美〕C·赛利格著，〔日〕广重彻译，日本东京图书出版。

《爱因斯坦语录》，〔美〕艾丽斯·卡拉普赖斯编，〔日〕林一，林大译，日本大月书店出版。

《欧拉，我们所有人的主人》〔美〕威廉·邓纳姆著，〔日〕黑川信重、若山正人百、百谷哲也译，日本斯普林格东京出版。

《数学大航海对数的诞生与普及》，〔日〕志贺浩二著，日本评论社出版。

《心是孤独的数学家》，〔日〕藤原正彦著，日本新潮社出版。

《数学入门（下）》，〔日〕远山启著，日本岩波书店出版。

《数学的100个发现》，〔日〕数学研讨会编辑部编，日本评论社出版。

《图解杂学数论与费马大定理》，〔日〕久我胜利著，〔日〕百濑

文之关口力编，日本Natsume出版。

《图说世界的数学史》〔英〕理查德·曼凯维奇著，〔日〕秋山仁编，植松靖夫译，日本东洋书林出版。

《关孝和：江戸的世界级数学家的足迹与伟业》，〔日〕下平和夫著，日本研成社出版。

《增补版谷山丰全集》，〔日〕谷山丰著，杉浦光夫、清水达雄、佐武一郎、山崎圭次郎编，日本评论社出版。

《日本原子科学的曙光：仁科芳雄》，〔日〕玉木英彦、江泽洋编，日本美笱书房出版。

《牛顿传》，〔美〕詹姆斯·格雷克著，〔日〕大贯昌子译，日本广播出版公司出版。

《牛顿的一生》，苏汀著，〔日〕渡边正雄、田村保子译，日本东京图书出版。

《数学研讨会增刊：100位数学家（从古希腊到现代）》，日本评论社出版。

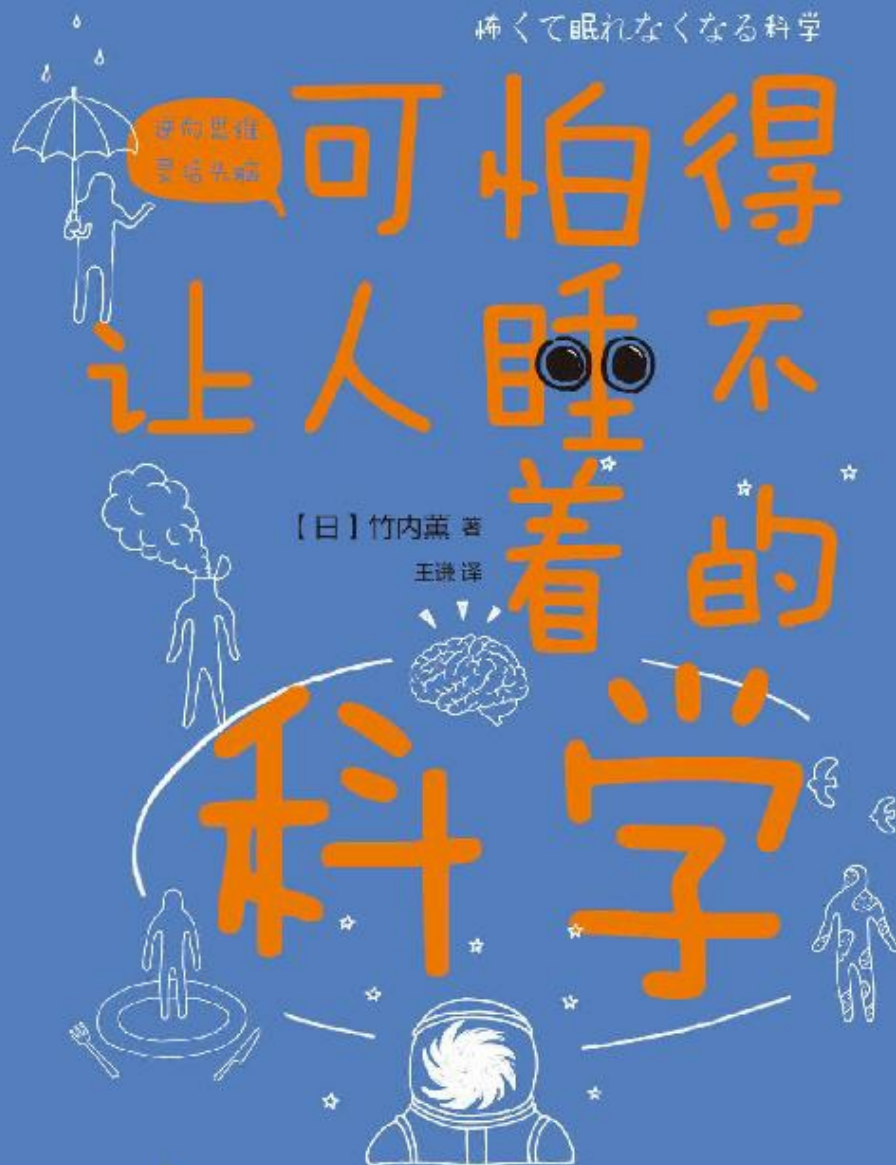
《龙宫城的八天（哆啦A梦第25卷）》，〔日〕藤子·F·不二雄著，日本小学馆瓢虫漫画出版。

《风花雪月的数学：潜藏于日本的美与灵魂中的正方形和 $\sqrt{2}$ 的秘密》，〔日〕樱井进著，日本祥传社出版。

《让算数变得有趣的故事》，〔日〕樱井进著，日本PHP研究所出

版。

怖くて眠れなくなる科学



北京时代文事局

关于作者

【日】竹内薫

日本科普作家，生于1960年，毕业于日本东京大学理学部物理系，获加拿大麦吉尔大学博士学位。以“科学支援团”身份常年活跃于科学评论、随笔及演讲等领域，曾在NHK《科学ZERO》节目中担任主持人，在富士电视台《北野武的驹大数学科》节目中担任特别顾问。著有《假设的世界：一切不能想当然》《2035年火星地球化计划》《天才的时间》《一本书治好你讨厌数学的病》等。

怖くて眠れなくなる科学

可怕得 让人睡不着的 科学

【日】竹内薫 著
三浦 译

99 北京时代华文书局

图书在版编目（**CIP**）数据

可怕得让人睡不着的科学/（日）竹内薰著；王谦译．—北京：北京时代华文书局，2019.6（2019.9重印）

ISBN 978-7-5699-3021-4

I．①可... II．①竹... ②王... III．①科学知识—青少年读物
IV．①Z228.2

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第074513号

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2018-5389

KOWAKUTE NEMURENAKUNARU KAGAKU

Copyright © 2012 by Kaoru TAKEUCHI

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2012 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

可怕得让人睡不着的科学

KEPADERANGRENSHUIBUZHAODEKEXUE

著 者 [日]竹内薰

译 者 王 谦

出版人 王训海

选题策划 高 磊

责任编辑 邢 楠

装帧设计 程 慧 段文辉

责任印制 刘 银 范玉洁

出版发行 北京时代华文书局 <http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印 刷 凯德印刷（天津）有限公司 电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开 本 880mm×1230mm 1/32

印 张 6.5

字 数 104千字

版 次 2019年7月第1版

印 次 2019年9月第2次印刷

书 号 ISBN 978-7-5699-3021-4

版权所有，侵权必究

自序

是从什么时候开始觉得，科学变得可怕了呢？

我记得大概是在小学的时候，我一个人躺在自己房间的被窝里，一边抬头看着头上的天花板，一边想象着“宇宙中是否有和地球完全一样的星球，那里是否有和自己完全相同的人”的时候，突然感觉到非常害怕。

上中学的时候，当我看到卓别林演的《摩登时代》（*Modern Times*），在已经完全机械化的世界里，人类没能追上传送带而引起的混乱，以及被强行要求刷牙的场景，在感到非常好笑的同时，也莫名地担心，如果人类真的追不上科学技术的发展脚步，那会是多么可怕的一件事情。

这种对科学恐惧的根源，或许能从科学的发展史中找到答案。和伽利略出生在同一时代的乔尔丹诺·布鲁诺（Giordano Bruno），因为反对“地心说”，并主张“在宇宙中有无数个像地球一样的天体”的宇宙观，被宗教裁判所判为“异端”，最终被活活烧死。

在工业革命之后，一场抵制工厂恶劣劳动条件并摧毁机器的“卢德运动”爆发了。这场抵抗运动发生的背景或许很复杂，但可以肯定的是，当时人们对科学技术的“单纯的恐惧”或者“厌恶感”是起因之一。

虽然在日常的工作中，我一直致力于传达科学技术所带来的便利并享受那种令人兴奋的感觉，但同时也不停地告诫自己，科学技术本身是一把“双刃剑”。例如，飞机让人的出行变得很方便，但它一旦坠毁，那将是一场灾难。个人电脑和智能手机的存在对信息社会来说是至关重要

的，但同时带给你的还有高额的费用，眼睛的疲劳，以及晚上的睡眠不良。日本以前一直通过核能发电来获取廉价的电力，但自从福岛第一核电站发生事故以来，核能发电的安全问题遭到质疑，核能发电的政策和方针开始逐渐被修改。

在本书中，将重点关注这种科学的“背面”，并通过各种与科学相关的主题，来进一步思考，科学的什么地方是可怕的，以及为什么科学会令人感到可怕。当然，可怕的程度本身存在个体差异，因此可能会有一些读者觉得“这并不可怕呀”或者“还有更可怕的东西啊”。本书收集到的一些与可怕的科学相关的内容，都是按我个人的可怕程度为基准的，所以读者可以根据自己的喜好，跳过那些不感兴趣的主题。

在了解科学背后的面孔的基础上，再进一步深度思考科学。这种想法，支撑我写完了这本书。

哎呀，一不小心变成一个复杂的话题了。一定要反省，再反省。首先，请跳过那些令人头痛的理论，就像逛鬼屋，读恐怖小说一样，去体验科学的可怕吧。

那么，请随我一起进入“可怕”的科学世界！

竹内薰

于女儿节

前言 其实重要的是名为恐惧的这种感情

首先，什么是恐惧？

恐惧的情绪来自哪里呢？首先，我想从科学的角度，对恐惧产生的机制进行分析。

恐惧的情绪和大脑的杏仁核有关。大脑是如何产生恐惧的呢？事实上，恐惧的激发机制直到现在还没有完全被阐明。但唯一已知的是，大脑的杏仁核是感觉到恐惧所必不可少的东西。杏仁核的“杏仁”二字就指的是“杏仁”的意思。如其字面那样，呈杏仁形状的杏仁核在人的大脑中一共有两个。

例如，在动物实验中，杏仁核被损伤的小白鼠，似乎根本不害怕猫。换句话说，当杏仁核因为某些原因不起作用时，人或动物就不会感到恐惧。

在人类的世界中，也有一位非常著名的罹患杏仁核损伤的病人。由于无法进行相关的人体实验，因此此类病人的病例就显得尤为重要。

这位患者是一位名叫S·M的女性，2001年12月的时候满44岁，她患有一种称为局灶性双侧杏仁核损伤的疾病。这是一种非常罕见的遗传性疾病，遗传病的名称叫作类脂质蛋白沉积症（又称Urbach-Wiethe病）。

科学家们对这位女患者做了一系列的实验，得到的结果是，她即使见到别人由于恐惧而表现出的面部表情，也“不会意识到对方是在害怕”。

然后，科学家们对这位女患者做了进一步的实验，让她体验“看蛇

和蜘蛛”“看恐怖电影”“参观鬼屋”“回忆过去的惨痛经历”等，然后询问她在特定情况下感觉到的恐惧程度。

这个实验持续了三个月，通过其随身佩戴的设备随机询问这位患者“现在感觉到的恐怖程度大概有多少？”来记录她在各种情况下是否感觉到恐惧。

她虽然不喜欢蛇和蜘蛛，但她一旦去宠物店，就会马上用手去触摸蛇和蜘蛛。这是因为，她没有恐惧的概念，所以不可能克服自己的好奇心。由于人类具有冒险精神和好奇心，对于未知的东西，人类都喜欢去探索答案。然而，另一方面，人类又会担心，如果那个未知是具有攻击性的东西或动物，自己则有可能会被杀死。我们总是在平衡着恐惧心和好奇心。

当我看到我6个月大的孩子第一次接触猫的时候，感到非常有趣。由于孩子一开始还没有对猫的恐惧感，刚接近猫就突然抓住了猫的毛发。在被生气的猫用爪子拍打过后，当孩子再接近猫时，最初试图以同样的方式触摸猫，但他的手刚伸出去，马上又缩了回来。我想孩子试图抚摸猫时，手伸出去又收回来的动作，正是因为产生了某种接近于恐惧的情感。

换句话说，想要抓住这猫的毛发的“好奇心”与害怕受到猫爪子攻击的“恐惧心”并存，即使在婴儿时期，人类已经开始在平衡这两种心理了。

正是因为恐惧，人类才能保护自己

患者S·M的情况是，“恐惧”的那部分消失了，只有好奇心在推着她前进。她似乎永远不会成为PTSD（创伤后应激障碍）的患者。因为她的杏仁核无法发挥正常功效，所以即使在很危险的情况下，她也无法意识到那是危险，因此不会感觉到恐惧。由于没有恐惧的记忆，所以她不会患上PTSD。

有一次，她被一个貌似吸毒成瘾的男人用一把刀威胁，但是她并没有感到害怕。当时正好附近教堂的合唱团在唱圣歌，她听到歌声后对着歹徒说：“如果你杀了我，天使都不会沉默下去！”那个歹徒看她根本不害怕甚至说着一些莫名其妙的话后，就惊慌失措地逃走了。

因为感觉不到恐惧，所以即使在遇到生命危险时也根本不会想到要逃跑。很幸运的是在那种情况下歹徒逃跑了，如果歹徒没有选择逃跑的话，她或许就会失去生命。如果这样想，你会发现恐惧的情绪对于人类的进化是非常必要的。也就是说，感觉不到恐惧的人会有很大概率无法生存下去。

当感觉到恐惧的时候，人类会退缩，隐藏或者逃跑。如果感觉不到恐惧，人类就会一步步走向危险，然后被吃掉或被杀死，他们的后代也就不会传承下来。因此，那些容易感到恐惧的人往往有更高的概率活下来。

然而，在现代社会，却有一种奇怪的现象是“容易感到恐惧的人反而过得不是很好”。

本来，“在多数人面前讲话会感到害怕”的心理是非常正常的。很多

陌生人聚集在一起的时候，周围的人有可能全都是敌人，自己有可能被他们捕获，奴役或者屠杀。所以，在人面前大声说话是一种很危险的行为。

但是在现在的社会，如果无法在多数人面前流利地说话，就不能成为领导者。政客是最能说的，不是吗？即使政客说再多的话，他们也不会被暗杀（除了一些国家），所以他们才会说那么多。

关于恐高症，人类的祖先可能有一段时间在树上生活过。因为有在树上生活过的经历，去到太高的地方的话，会有一个很大的概率，那就是会掉下去摔死。这就是为什么人类有“我不想去高的地方”的自然生理反应。因此恐高症也是生存所必要得一种心理机能。

不过，现在的社会里，越来越多的富裕人群开始住在高层的公寓，游乐园里从高处急速冲下的过山车也比比皆是。从这个角度看的话，对于现代社会中生活在都市的人们来说，恐高症并不是一种好的生理机能。

各种各样的恐惧症

在各种各样的恐惧症中，有“幽闭恐惧症”和“广场恐惧症”。

幽闭恐惧症是指，被逼迫到一个非常狭窄封闭的地方，因为无法逃脱，所以“有可能被其他动物吃掉”的恐惧心理。换句话说，这是一条“作为猎物被追逐时不应该进入死胡同”的生存准则。所以说幽闭恐惧症是以前人类生存的必要的心理机能。

相反地，在开阔的地方，比如广袤的大草原中，因为太显眼，人类会有被其他食肉动物当作猎物吃掉的风险。这种恐惧症叫作广场恐惧症。这与幽闭恐惧症没有任何冲突，而且相关联的是，在这些类似的极端情况下失去生命的风险都会很高。如果这样考虑的话，可以说“×××恐惧症”是人类艰辛备尝之后而获得的生存所必需的战略本领。

另外还有巨大物体恐惧症。这是指对巨大的物体感到害怕的一种恐惧症。这也许是人类最原始的情感。在恐龙称霸的时代，我们哺乳类动物的先祖们，通过体积变小些并且变成“夜行侠”来四处逃亡。如果大型生物来了，那么被吃掉的可能性很大，自然而然地，对巨大的物体抱有恐惧心理也就可以理解了。例如类似《哥斯拉》[\[1\]](#)那样的恐怖电影，怪物比人类大了好多倍，就是通过人类潜在的对巨大物体的恐惧心理来渲染恐怖。

然后还有害怕尖锐物体的尖端恐惧症。在接近尖锐物体时有很高的概率会受伤，所以远离尖锐物体是为了避免危险的一种本能。在阿尔弗雷德·希区柯克（Alfred Joseph Hitchcock）导演的恐怖片《惊魂记》（*Psycho*）中，有一个主人公拿刀反复刺入女性受害人身体的场景。即

使无法看到被刺伤口的镜头，观众也会因为自动“脑补”血流满地的画面而感到恐惧。虽然这是一部黑白电影，但通过巧妙地利用了人类的尖端恐惧症，所造成的恐惧效果会翻倍。

此外还有害怕水的水恐惧症。虽然在生活中，水是一种很普通而且必不可少的物质，但实际上水真的很危险。根据日本年度死亡人数的统计（2008年），交通事故死亡人数为7499人，跌倒和高处跌落致死的人数是7170人，意外溺水致死的人数为6464人。由此可见，因为水而死亡的人数非常多，和交通事故的死亡人数不相上下。

新闻经常会报道，在河水泛滥和避难警报出来之后，有人会去看河水泛滥的情况而被淹死的事件。这正是由于这类人对水没有太大的恐惧感而造成的悲剧。所以对水抱有一定程度的恐惧其实是非常有必要的。

如上所述，恐惧这种情感，是人类生存下来所必需的情感。

然而随着时代的进步，现代社会为人类提供了足够甚至过多的安全保护措施，出现了“容易感到恐惧的人反而过得不是很好”的奇怪现象。敢于在多数人面前讲话，敢于故意挑战危险的事情的人，比如电视节目中的艺人之类的，反而能赚到很多钱，不是吗？

现代社会已经变得足够安全，但是现代社会对于具有恐惧心理的人来说，反而是非常不利的。这真是一个非常耐人寻味的现状。

和恐惧相类似的肥胖问题

这里讨论一个稍微有点偏题的话题，其实肥胖的问题也和恐惧相似。人体在进化的过程中变得能够抗拒饥饿。换句话说，因为有许多人饿死了，为了抵抗这种由饥饿导致的死亡，人类进化出了能在体内积累脂肪进而保存营养的能力。由于并不是任何时候都可以找到吃的东西，所以在食物稀缺的时代，能把食物转化为体内脂肪的人，有更大的可能性能存活下来。

然而，现代社会是一个食物丰富的时代，吃饱肚子变得毫无困难。这样一来，多余的食品最终转变成过剩的脂肪，然后引发糖尿病等疾病。这时，身体内的营养保存机制反而成了人类的敌人。

曾经有利于适应环境的那些本能，在这个现代社会反而会变得不利。

换句话说，恐惧和肥胖是人类经过数万年甚至数十万年进化及适应环境而造就的最优化的身体机制，但却由于人类社会这短短几百年里变化之巨大而无法跟上时代。

现在的这个“文明社会”是持续发展了数十万年的结果，如果突然倒退回去应该是一件很恐怖的事吧。或许那个时候，今天不曾崭露头角的鲜为人知的人们会生存下来，与之相反，曾经幸福至极讴歌人生的人们可能却会灭绝。

好吧，在科学地，基于进化论地，了解了恐惧之后，我们终于可以进入关于可怕的科学主题了。

[\[1\]](#) 科幻怪兽电影“Godzilla”。（译者注）

目 录

[自序](#)

[前言 其实重要的是名为恐惧的这种感情](#)

[Part 1 关于人类的可怕科学](#)

[记忆会撒谎](#)

[不存在所谓的自由意志？](#)

[那些让人感到恐怖的实验](#)

[Part 2 关于疾病的可怕话题](#)

[切除脑部的脑叶白质切除术](#)

[食人细菌的恐怖](#)

[断头台科学化](#)

[希特勒所推崇的优生学](#)

[强毒性流感的恐怖](#)

[小儿麻痹症活疫苗的悲剧](#)

[Part 3 关于宇宙的可怕故事](#)

[穿着便服进入宇宙空间会如何？](#)

[去时美好，归来可怕——黑洞](#)

[如果外星人真的存在的话](#)

[无限宇宙和有限宇宙](#)

[Part 4 关于地球的可怕科学](#)

[人类灭绝的可能性：磁极反转，陨石撞击，全球冻结](#)

[地震、海啸、核电](#)

[火山群岛日本活火山有108个！](#)

[原因在棕榈树？不断减少的热带雨林](#)

[事实上不够吗？日本的水](#)

[超巨型海啸的可能性](#)

[Part 5 关于科学家的“可怕”故事](#)

[恐怖科学家的系谱](#)

[伽利略审判的真相](#)

[番外篇 武器、模拟科学等](#)

[天上掉下铁锤](#)

[在《天使与恶魔》中出现的反物质炸弹](#)

[血型性格判断的谎言](#)

[相信伪科学是很危险的](#)

[后记](#)

[参考文献](#)

[返回总目录](#)

Part 1 关于人类的可怕科学

记忆会撒谎

记忆在多大程度上可以被相信呢？

我们认为记忆是值得相信的。没有人会认为其记忆中生动的画面是“谎言”。我们每个人都认为自己记住了真实的现实。

但是，记忆其实是非常不可靠及危险的。因为大部分的记忆都是后来主观“覆盖”上去的。

这里有几个著名事件，能够帮助我们了解记忆的危险性。第一个案例，发生在1990年，一位加州的名叫乔治·富兰克林的退役消防员的案件。

他被指控为1969年谋杀8岁小女孩苏珊·内森的凶手。而告发乔治·富兰克林的是他的女儿。有一天，他的女儿突然指控乔治·富兰克林说“我目睹了父亲在二十年前犯下的罪行。因为当时太过害怕而忘记了当时的情况，但是二十年后，那段尘封的记忆突然涌入脑中”。

最终乔治·富兰克林被判入狱6年，于1996年被释放。因为他女儿艾琳的证词里包含了一些只有知情人士和警察才知道的情况，由此乔治·富兰克林是凶手一事被认定为是来自于真实的“事实”。然而，后来经过各类学者的调查发现，艾琳所说的“事实”全部都是来源于报纸及其他报道所披露的情节。

事实上并没有相关的所谓只有罪犯或者目击者才知道的特殊信息。最终的事实认定竟然来自于一份报纸的错误报道。艾琳的证词就包含了与报纸报道相同的错误信息。

到底为什么女儿会诬陷自己的父亲呢？实际上，这和“记忆的谎言”是相关的。

艾琳以前接受过相关的催眠治疗。那是一种名叫“年龄退行催眠”，即告诉心理咨询师其童年时期所发生的事情的一种心理疗法。

艾琳的记忆并不是其儿时的真实经历，而是由心理咨询师在催眠治疗过程中通过无意识的诱导而植入的结果。虽然心理咨询师并没有恶意，但由于为艾琳植入了虚假的记忆，导致艾琳误认为自己目睹了一起谋杀案。

这一案件的庭审中，并没有任何的物证，只有证人的相关证词。因为女儿虚构的记忆，乔治·富兰克林无辜地被关在监狱里6年，这是多么痛苦的事情啊！

精神创伤导致记忆被封印吗？

在20世纪80年代的美国，“小时候的某一天，突然遭到了父亲的性骚扰，被父亲强奸了！”之类事件经常发生。结果，有很多人因此被送进监狱。当时，“超出人承受上限的精神创伤，会令人封存当时的记忆”的这一毫无根据的假设被许多人认同。虽然在电视和电影中经常会出现类似的场景，但专家们一致认为，实际上这种情况在现实中并不存在。

事实上是，精神创伤不但不会被封印，而且会被反复不断地想起来。因为创伤是一件坏事，它会不断在我们的脑中发酵，以致最终我们完全记住它。除了丧失记忆之外，一般人是不可忘记痛苦的精神创伤，并且目前为止没有人能证明精神创伤是可以被封印的。

目前，在认知心理学领域成就非常突出的伊丽莎白·洛夫特斯（Elizabeth F. Loftus）教授，正在致力于为类似的诬告事件出庭作证，在否定精神创伤会导致记忆被封印的错误认知的同时，强调虚构的情节有可能被植入人的记忆。洛夫特斯教授已经成为这类冤罪的救世主般的存在。

洛夫特斯教授还曾做过以下研究。她对24个成年人做了一个实验，让他们回忆一下“4到6岁时发生的事情”。接受试验的当事者，需要采访他们自己的长辈和亲戚，并通过询问他们当事者自己童年时期的四个记忆片段的方式，来回忆自己童年时期的经历。

然而，四个记忆片段中有一个是虚构的。在这个心理学的实验中，对于那个虚构的片段，洛夫特斯编造了在购物中心迷路的情节。为了增

加可信度，在调查了被试验者们小时候居住的地方附近，是否有购物中心，以及在购物中心迷路的可能性的基础上，编造了相关的情节。

结果是，24个人中有5个人详细讲述了他们本不存在的在购物中心迷路的经历。这5个人并没有说谎，他们只是把在电视上看到的购物中心迷路的孩子的报道，误认为是自己经历的事实。他们无法区分哪些是真正发生在自己身上的事情，哪些不是。

后来，许多心理学家通过大规模的研究调查发现，大约有50%的人，倾向于相信他们在无意识中虚构的记忆是真实的。也就是说，记忆是可以被篡改，被覆盖，被误解的。

催眠治疗和记忆的谎言

最常见的情况是，在催眠治疗的过程中，有可能会植入虚构的记忆。这是有心理问题或者精神障碍的患者，在开始咨询心理咨询师的时候发生的。通常而言，在接受所谓“在催眠状态下回忆过去的事情”的相关催眠治疗的患者群中，经常会出现记忆的谎言。

目前还不清楚，虚构的记忆，比如“被父母虐待”是如何形成的。但是，如果严重到了需要心理咨询师介入的情况，多数患者应该是在最初的智力发育阶段就产生了问题，这导致他们可能会有很大的概率，把自身所面临问题的根源归结于父母。

当在烦恼为什么偏偏是他们患有精神疾病时，患者们可能会在某个瞬间，将事实上并不存在的父母虐待强加到自己的童年记忆里。

接下来，我们来介绍一个当事人名为保罗·英格拉姆的案例。1988年，一位名叫保罗·英格拉姆的警察被他的两个女儿以性侵犯的罪名告上法庭。这两个女孩也接受过催眠治疗。关于这起案件的可怕之处在于，最初一直声称无罪的保罗·英格拉姆随着庭审的进行，态度开始逐渐改变，并最终承认了自己的罪行。

甚至，他在法庭上说，他不仅强奸了自己的女儿们，还虐待儿童并参加了信仰魔鬼的仪式。在信仰魔鬼仪式上献祭了二十五个婴儿，使全美一片哗然。他的这个申明成为左右案情的决定性因素，最终被判入狱服刑直到2003年。

可是，在这个案情庭审过程中，同样没有出现任何物证。判决的依据仅仅是孩子们的证词。一位名叫理查德·奥菲的心理学家在庭审的最

终阶段对保罗·英格拉姆进行了调查。然后，他发现了很多不合理的情节，并开始怀疑保罗·英格拉姆的记忆是虚构的。为此，他专门进行了一个相关实验。

实验的内容是，让英格拉姆的女儿和儿子谎称，他们迫于父亲的淫威，被强迫乱伦，而且保罗·英格拉姆全程目睹了他俩的乱伦行为。然而，在他儿子和女儿之前的证词中，已经确认过事实上并没有这样的事情发生。面对这莫须有的指证时，保罗·英格拉姆虽然一开始声称无罪，但最终却承认了所有的罪名，并交代了详细的犯罪经过。

通过这个实验证明，保罗·英格拉姆的证词根本没有任何可信度。但为什么会发生这种情况？据推测这可能与保罗·英格拉姆所居住的名叫华盛顿州瑟斯顿县的地方环境有关。那是一个小乡村，保罗·英格拉姆担任共和党在当地的区主席。虽然他在当地是一个很有地位的人，但因为当地包括教会在内的权威主义至上的浓厚独裁氛围，造就了他对上层人物的任何指示都需要点头说“是”的心理习惯。

保罗·英格拉姆是一个容易被别人言论左右的人，而他的孩子们接受过容易引发记忆谎言的催眠治疗。结果就诞生了一个冤案。

这种虚假指控有一个通用的模式：孩子们记忆谎言的萌芽，通过心理咨询师的催眠治疗而逐渐成形，然后植入记忆，最终发酵成一个案件。成年人普遍相信“孩子不会撒谎”。这点也同样适用于法庭。毫无根据的主观信任最终导致一系列冤案的发生。

“孩子说的都是事实”的主观信念

和儿童相关的还有另一个著名的事件。

那是在1985年，发生于美国新泽西州的一个名为“关爱幼儿园”中的事件。一位护士在医院测量了一名4岁儿童的体温。直肠体温是通过在肛门处插入温度计来测量的。然后，孩子就说：“这和在幼儿园里，午睡时老师对他们做的一样。”大吃一惊的护士，认为该儿童所在的幼儿园发生了非常严重的事情，就直接联系了警方。

其结果是，幼儿园的名字叫玛格丽特·凯利迈克尔的幼师，因对33个孩子实行了共计299次的性侵犯及性骚扰，被判有罪。

玛格丽特老师到底对孩子们做了什么呢？被指控的罪行非常严重，在自己的阴部涂上花生酱，让孩子们舔舐；在孩子的阴部插入刀或叉子；还有其他很多令人发指的罪名。

按时间顺序来说，该案件于1985年4月被告发。1988年8月，经过11个月的审判，玛格丽特老师被判47年的有期徒刑。但5年后，玛格丽特老师就被释放了。

到底发生了什么？这一事件不是由“谎言的记忆”引起的，而是由“诱导审讯”引起的。

警察和检察官们询问孩子们，“玛格丽特老师对你（们）做了什么？”然而，他们在整个询问的过程中，都是以玛格丽特老师做了坏事的假设为前提进行的，在孩子们开口说话并给到他们想要的答案之前不会让孩子们回家。孩子们开始渐渐地变得烦躁起来。由起初的说不知

道，开始慢慢变成说，确实被插入叉子。

在这次事件中也根本没有任何物证。此外，如果你冷静思考一下的话，就会发现这位老师不会有那么多时间，在背着别人及其他儿童的情况下，去进行此类犯罪行为。然而，情急之下，检察官方面也认为“一定发生了什么可怕的事情，为了拯救无辜的孩子们，必须查明事情的真相”，所以一个接一个地进行提问。

如果你看到实际的审讯视频，会发现那询问令人震惊。

调查人员一上来就直接问孩子，“有在你的屁股上插入叉子吗？没有吗？”

孩子回答说：“我不知道。我不记得了。”

然后调查人员再次诱导道：“喂，拜托。如果你回答我的问题，你就可以回家了。”“告诉我，老师对你的屁股做了什么。然后你就可以回家了。”

然后孩子依然说：“不。”

调查人员道：“拜托了。”

然后孩子放弃抵抗开始努力回想，说道：“好吧，我知道。”

最后，调查员再次问道：“她放在你屁股里的东西是什么？”

孩子们说：“叉子。”

因为起初问孩子，“有在你屁股上插入叉子吗？”所以孩子会认为“如果说叉子的话，就可以回家了”。

孩子不可能做虚假的证言，“孩子说的都是事实”的主观信念最终导致了冤罪，这是多么可怕的案例。

现在在美国的审判中，由于冤案持续不断，对孩子进行诱导审问而得出的证词及正在接受催眠治疗的人的证言，将不予以采用为证据。可是，在那之前有太多的冤案牺牲者了。

可以相信最新的测谎仪吗？

正如您在前面记忆相关的事例中所看到的，在审判中被采用的“科学依据”，还有很多是尚不清楚的事情，所以会产生冤案。以前的DNA鉴定也造成了很多冤罪，所以很难决定在何种程度上应该将科学技术作为法律依据导入。

科学是一个高精端的领域。拥有高超技术的人会在某项实验中取得成功。但是，这只有在拥有丰富知识，具备合格设备的情况下才能实现。而要将这些技术普及到即便现场的警察也能简单使用的程度（譬如简易毒品的检验化验），还需要很长的时间。

可是，作为警察和检察官，由于需要扩展证物的采集手段，是希望尽早引进最新科学技术的。那本身绝对不是什么坏事。比起非科学的搜查，使用最新科学手段的搜查明显会更好。但问题是，像DNA鉴定那样过度相信科学也是有问题的。对于普通民众来说，如果说“DNA鉴定结果为有罪”，大家会不假思索地点头认可。但切不可忘记的是，在以最新科技为据而定罪的案件中，常常也会有冤案的出现。

电视剧里经常出现的测谎仪也是科学搜查的代名词。

测谎仪目前已经出现一种以MRI（磁共振）原理而设计的新品。通过观察人脑中血流的状况，大脑的活跃区域块，来判定是否有谎言行为。只是MRI技术目前还并不是很成熟，仍在发展当中。

如果用普通的测谎仪和最新的MRI技术同时做实验，普通测谎仪很大概率上能够成功揭穿谎言。而最新技术的通过查看脑部MRI的方法，好像还无法有效地识破谎言。

将来，采用MRI技术的测谎仪的精度应该会随着技术进步而提高。目前的测谎仪，是通过查看皮肤的出汗状况、身体的电压差等综合因素来判断人是不是撒谎了。不过，最终可以撒谎的是人的大脑。因此，如果能仔细查看大脑的反应的话，早晚会发现究竟有没有撒谎。

只是现在还处在脑科学的黎明期，大脑的动作中，什么代表谎言，什么不是谎言，还不是很清楚。因此，虽然有根据最新的脑科学而制作出来的测谎仪，但目前精度还比较低。由于其具有很大的发展潜力，我们相信随着科学的进步，将来的精度应该会提高很多。

科学也是有极限的。虽然科学每天都在进步，但有时也会出错，有时也会向不好的方向发展。所以说，在任何事情被称之为“科学”的瞬间，最好不要完全去相信它。对科学的盲目信任——才是最可怕的事情。



不存在所谓的自由意志？

自己的行动是已经被决定好的吗？

我们每天都在自己判断，自己思考，自己生活。活到现在，你应该对此毫无怀疑。但是，人类真的是根据自己的选择来做决定的吗？按照以前的哲学术语，这叫作“自由意志”。我不由自主地想起以前的一个有名的实验。

那是在20世纪80年代进行的本杰明·李贝特（Benjamin Libet）实验。实验的内容是让被实验者弯曲手腕，观察那个时候的脑活动。在这个实验中，当弯曲手腕时，观察到了大脑的“准备电位”。准备电位是身体将要活动时大脑先发生的活动。也就是说，你知道你想什么时候弯曲手腕。

准备电位是什么时候产生的呢？首先记录一下那个时间点。其次，向被试验者本人确认“你觉得自己什么时候想要弯曲手腕的？”并记录时间。

结果表明，在被试验者有意识地动手腕的三分之一秒前，大脑已经产生了准备电位。

也就是说，首先你被告知可以在自己喜欢的任何时候弯曲手腕。然后，你表示“好的”，从那之后开始控制意志去弯曲手腕。但是，从大脑波形图来看，自己想弯曲手腕的时候，也就是在表示“好的”的三分之一秒前，已经发生了准备电位。据说在自己确认“弯曲手腕”的意志之前，在潜在意识中手腕弯曲的事就已经被决定了。

阿尔巴罗·帕斯卡莱昂（Alvaro Pascual-Leone）后来进行了类似的实验。实验的内容是让被实验者随机选择是活动右手，还是活动左手。无论哪个都可以，活动下一自己想动的那只手。

虽然这么说，但实际上对被实验者的大脑施加了磁力，刺激其大脑的右半球或者左半球。一般来说，右撇子的人大致有60%的概率活动右手。但是据观察，在磁场刺激右脑的情况下，80%的人会活动左手。对支配左手的右脑给予磁场刺激的话，不知不觉中就会活动左手。

问题是，被试验者认为是他们的自由意志选择了活动哪只手。

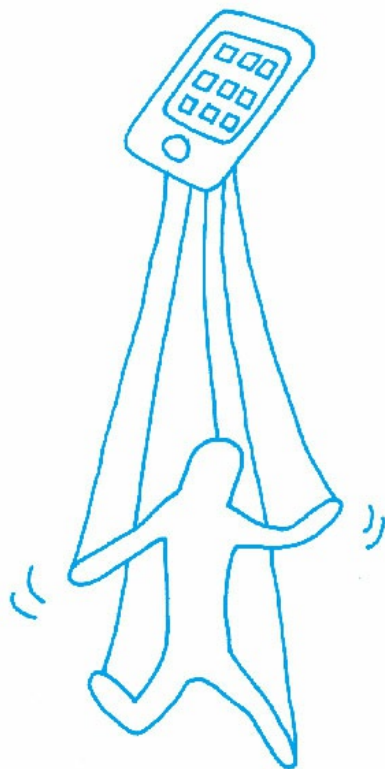
被试验者们没意识到被外部因素所操作的事实。

会产生通过电磁波操控人行动的装置吗？

如果把相关电磁波装置植入到手机中，用电磁波来刺激人的大脑，发出譬如“进入某家商店”“买下某个商品”的指令，说不定在某种程度上能操控人的行动。只是想象一下，都会让人毛骨悚然。

脑科学的发展使我们明白，在产生自由意志的一瞬间之前，意志和行动就已经被决定了。也就是说，如果能够完全监视一个人的大脑的话，就能预先知道那个人会采取怎样的行动。同时，通过电磁波等的刺激，就能在其毫不知情的情况下，左右他的行动和选择。

总觉得脑科学是一门令人毛骨悚然的科学。祈祷这些脑科学的研究成果不会被那些疯狂的科学家们滥用。



那些让人感到恐怖的实验

把老鼠与恐怖联系起来的实验

有一个名叫约翰·华生（John Watson）的心理学家曾经进行过一场可怕的实验。那是对出生后刚满十一个月的名叫阿尔伯特的婴儿实行的“附加恐怖条件”实验。

首先让阿尔伯特看白老鼠。当阿尔伯特想要摸老鼠的时候，在他背后用锤子敲打铁棒，发出巨大的声音来让他受到惊吓。在实验前，阿尔伯特并不害怕老鼠，但是经过实验后的他，不仅对老鼠，而且对兔子、毛皮大衣等任何有毛的东西都产生了恐惧心理。

约翰·华生声称大人的不安和恐惧是来源于幼年时期的经历。和巴甫洛夫的狗（Pavlov's Dog）的实验^[1]一样，虽然老鼠本身并不可怕，但是当他在面对老鼠而被巨大的轰鸣声惊吓过后，即使再没有了轰鸣声，他只要看到老鼠就会条件反射性地变得害怕。

不过，这个实验最大的问题是，是否该对一个刚出生十一个月的孩子进行这么恐怖的实验。比起恐怖心理的验证，做相关实验的学者就像疯狂科学家一样可怕。约翰·华生出生于1878年，于1958年去世。如果他生活在现代的话，做这样的实验，会被以虐待儿童的罪名逮捕吧（即使大学的伦理委员会应该也不会通过这样的实验吧）。

约翰·华生倡导行动主义心理学。他认为，所谓行动，基本上就是受到某种刺激而产生的反应。约翰·华生通过类似的实验来进行他的研究。他曾豪言壮语道：“只要有一打的婴儿和适当的环境，无论这些婴

儿拥有怎样的才能、爱好、适应性、祖先、民族性、遗传等，这些因素都将无关，我都能培育出医生、艺术家、小偷，甚至乞丐等任何我想要的人。”按现代人的标准来看，约翰·华生就是一个典型的疯狂科学家。但是，约翰·华生却于1915年成为美国心理学会的会长。据说在近一百年前，这样的实验，不但不被看作是虐待幼儿，反而是作为最新科学而被允许。

如果整个社会还不够成熟，不能清楚地表明“这种科学是不被允许的”的话，恐怕任何恐怖实验都会被冠以科学的名义而堂而皇之地进行。

科学家是一个好奇心异常强烈的群体，所以很难通过科学家内部的揭发来阻止这种情况的发生。因此，也只有科学家圈外的人才能阻止这些疯狂行为的发生。而能担得起如此重任的，恐怕只有记者和纪实类作家这样的人吧。

失去责任人就变了

还有一个可怕的实验，是有名的米尔格伦实验（Milgram experiment）。

米尔格伦实验，是通过高压电来施加疼痛的相关实验。被试验者总共有40人，对其中25人将电压提高到450伏。表面上，这个实验有教师、学生和实验者三类人物角色。学生角色只进入学生的房间，实验者和教师分别进入别的房间，相互之间只能隔着对讲机听到对方的声音。

学生回答问题。“教师”会对回答错误的“学生”施加电击惩罚。然后实验者对实施电击的教师下达指示，让其在“学生”每次回答错误时，加大惩罚电压。

实际上被试验的对象是扮演教师角色的人。学生角色和实验者角色是为了配合实验的知情人，实际上也并没有电流通过产生电击。实验者对扮演教师的人说“现在学生回答错了，请提高电压”，教师就会提高电压来电击学生。扮演学生的人就会假装很痛苦。学生痛苦的声音其实也是提前录好的。

在实验进行的过程中，会出现一个有权威的博士模样的男子，并强烈地申明，“不需要扮演教师角色的人员承担任何责任。一切责任由大学方面来承担”。这样，在接下来进行的实验过程中，教师角色的所有人都将惩罚电压提高到了300伏。而且，有60%的教师角色把电压一直上升到最大电压450伏。

尽管由于自己的亲手操作，让学生角色的被试验者受尽折磨。但是由于不需要自己承担任何责任，又有权威存在的背书，此时最基本的道

德伦理观已然形同虚设。

设计这个实验的理由是为了从心理学上分析希特勒的屠杀。希特勒基于优生学思想屠杀了许多犹太人，但参与屠杀的相关人员，真的只是因为“被命令”的理由而进行的屠杀吗？通过这个实验想要探究，人在被命令的情况下会妥协到什么程度。

实验的结果表明，竟然有60%的人从头到尾都忠实地执行了相关的命令。另外40%的人虽然在很大程度上遵从了指示，但因为无法忍受良心的谴责而最终拒绝执行。而令人吃惊的是，没有任何人从一开始就拒绝执行命令或者退出实验。

对于一个从一开始就宣称是“心理学实验”的实验，都无法做到拒绝其无理指示的话，更不用说被强行加入到唯命是从的军队里了。在不服从命令就会遭到严厉惩罚的情况下，在周围人都会顺从的氛围里，恐怕几乎所有人都会去执行屠杀命令吧。

人类，本来就是一种令人恐怖的生物吧。

[\[1\]](#) 巴甫洛夫的狗的唾液条件反射是经典条件反射中最著名的例子。（译者注）

Part 2 关于疾病的可怕话题

切除脑部的脑叶白质切除术

脑切除治疗法？

有一位叫埃加斯·莫尼兹（Egas Moniz）的可怕的医生。他也是葡萄牙的政治家、医生和神经科医生。他是臭名昭著的脑叶白质切除手术的发明者，并且竟然是1949年度的诺贝尔生理学·医学奖的获奖者。获奖理由是“发现切断前脑大脑神经对治疗某种精神疾病的重要性”。

脑叶白质切除法是一种为了治疗综合失调症而切除前额叶的一部分的治疗方法。现在，这种手术因为完全破坏了人格而被否定了，不过，在过去的一段时间被认为是非常有效的，并因此还得到了诺贝尔奖。科学和医学的定论，也会随着时间的流逝而发生变化，以至于连诺贝尔奖都会颁错。

莫尼兹的一生经历非常传奇。他出生于1874年，从1903年起的17年间一直担任国会议员，同时还兼任外务大臣。此后，到1944年，他在里斯本大学做神经学的教授。1927年还发明了使用X射线的“脑血管造影法”，是一位非常稳健的神经学者。

莫尼兹于1936年和同事一起实施了脑叶白质切除手术，然后该手术不知道怎么就传到美国，并在那里广为流传。在美国，弗里曼和华茨两人通过“改良”莫尼兹的方法，开发出了一种谁都可以简单操作的脑叶白质切除手术。使用类似于冰锥的器具，将该器具的尖端插入鼻子顶部，搅拌大脑相关部位来进行所谓的“治疗”。

被施行了手术后，患者就不会像原来那样痛苦了，但随之而来的是患者的人格丧失。患者会变得没有精神，感情没有了起伏，完全变成了

另一种人格。这真是非常不人道的。在翻拍成电影的著名畅销小说《飞越疯人院》（肯·克西著）里，披露了脑叶白质切除手术的相关情况后，1975年以后，这种手术就完全不再被实施了。

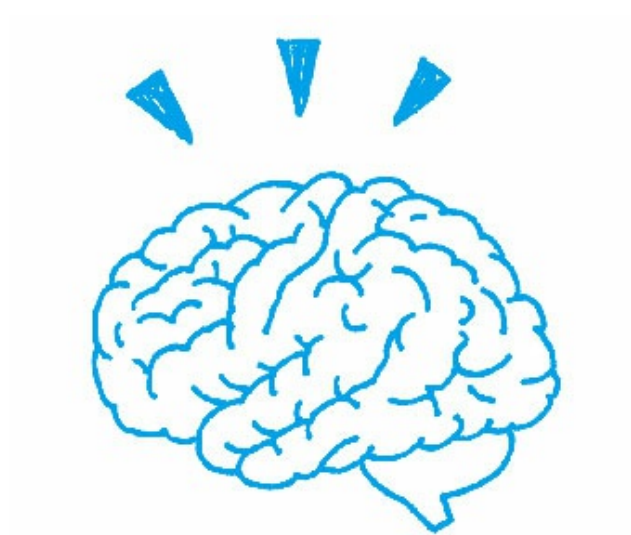
莫尼兹在65岁的时候，被原患者枪击而伤了脊髓。莫尼兹被认为是疯狂科学家的典型，他的名字至今仍出现在诺贝尔奖的获奖名单里。如果你去诺贝尔奖的官方网站，虽然上面写有一些像是借口的申明，但是历代的获奖者名单中，莫尼兹的名字赫然在目。毕竟当时一流的医生和科学家都曾称赞过他，表彰过他。

科学的局限性

莫尼兹获得诺贝尔奖的时间是1949年，正是第二次世界大战刚刚结束不久的時候，所以为莫尼兹颁发诺贝尔奖的事情才能被世间毫无波澜地接受。不过，即使在现代，大概也发生着类似的事情吧。现在被认为是划时代的治疗方法，再过半个世纪后，可能也会被评价为疯狂科学家的肆意妄为吧。非常遗憾的是，科学技术也好，医学也罢，很多都是直到后世才能有最终定论的。

人类，与其说是短视，不如说是连自己的同时代的状况都看不清楚，总是下意识地认为“自己能看明白”，可事实上，谁都看不明白。实际上，有相关统计数据表明，科学技术的“将来预测”有八成是不靠谱的，就好像预测股票价格一样。如果事后验证一下的话，就会发现，即使是著名的专家，也只能达到两成左右的成功率。

当你看到脑叶白质切除手术所造成的悲惨案件时，可能会想“为什么当时就没人注意到呢”，然而，那都不过是事后诸葛亮而已。这就是科学或者人类的局限性。话虽如此，想想如果被一名令人景仰的医生固定在手术台上，眼前是不断在逼近的冰锥，那将是多么可怕的场景啊。



食人细菌的恐怖

致死率30%的恐怖细菌

有一种叫作食人细菌的恐怖生物，它们有很多种类。比如连锁球菌，由A群连锁球菌引发的“重症型A群连锁球菌感染症”，因为被刊登在1994年的英国周刊杂志上，而成为人们的热门话题。

感染了这种细菌的话，最初只是手脚感到轻微的疼痛，然而，在经过短短的数十小时以后，人就会因为脏器官功能衰竭和手脚坏死而死亡。致死率是30%。即使勉强保住了一条命，被感染的部分也必须要做大规模的切除手术，常常会留下非常严重的后遗症。

球菌是我们身体上经常带有的细菌。比如会出现在喉咙里或者皮肤上。这也是为什么小孩子经常会患咽喉炎的主要原因。丹麦的研究表明，大概2%的人身体中都携带有A群连锁球菌。也就是说，虽然没有出现发病的症状，但并不一定就没有携带有相关的细菌。据说，咽喉炎、扁桃体发炎，还有皮肤表面的肿瘤都是由这些细菌引起的。但是，平时也只是“嗓子疼”或者“皮肤表面长了痘痘”这种程度的轻微症状，不会对人体有太大的伤害。

那么，什么时候会突变成重症型呢？这个目前还不是很清楚！这些细菌就在我们周围晃荡，虽然平时一点儿事也没有，但是某个瞬间，它们会突然发疯似的攻击甚至杀死被感染者。虽然不知道原因，但是一想到，如果自己和家人感染了这种细菌的情景，就不由觉得脊背发凉。

会有多大的概率发病呢？令人吃惊的是，只是在日本，大概每年就有50人会发病。

据推测，这种细菌会释放出和我们咽喉中的连锁球菌不同的毒素，从而致使人的身体受到伤害。

当然，受伤害的程度有可能和被感染者本身的身体素质有关联。所以有的人会有对这种细菌有较强的抗性，有的人则较弱。但是，更详细的情况目前还不是很清楚。

断头台科学化

断头台是人道的刑法吗？

人类发明了许多残酷的刑法。其中最有名的大概就是断头台吧。

在18世纪发生的法国革命中，很多人被判以死刑。与之前的王侯贵族所不同，发动法国革命的市民们，开始寻求一种“科学的及医学上痛苦较小的砍头手段”。那便是断头台。

断头台，被认为是“只会觉得脖子一紧，不会感到疼痛”的处刑方法。

发明断头台的是一位名叫约瑟夫·吉约坦（Joseph-Ignace Guillotin）的医师。断头台是吉约坦的英语发音。吉约坦是内科医生的同时，还是国民议会的议员。在法国大革命以前，法国处决死囚的主流刑法是，将死刑犯的手脚用铁棒砸碎，然后绑在车轮上进行车裂之刑，相比之下，断头台算是比较人道的。

另外，在断头台出现之前，法国有160名行刑人及3400名助手，到引入断头台后的1870年，仅剩下行刑人1人，助手5人。据说这6个人就接管了法国全国的死刑行刑。这类似于在工业革命中引入机器后，不需要那么多的人力了。无论如何，断头台是一种非常有效的死刑行刑方式。

但是，如果说断头台是科学的并且人道的話，这却是很难验证的。在学校的化学课上，一定会提到一位叫拉瓦锡（Lavoisier）的化学家。他被称为“现代化学之父”，发现了质量守恒的法则和燃烧是氧化还原反

应等化学原理。可是，即使是那样的天才也在断头台上殒命了。虽然无法考证是不是确有其事，但传闻，拉瓦锡曾经对周围观看行刑的人说“在被断头台处刑后，看看我被砍掉的脑袋还有没有意识。如果我还有意识的话，会尽量做出反应。即使不能说话，也会用眨眼来示意。被砍头之后，我会尽可能持续地眨眼睛”。据说拉瓦锡被行刑的当天，他的脑袋被断头台砍掉后，确实眨了好几次眼睛。咦？就算被砍掉脑袋，也还残留有意识啊！完全不人道嘛！

只是，当时并没有像现在那样可以拍摄影像，只凭这样一个传闻并不能成为证据。目睹了拉瓦锡被行刑的目击者们所遗留下来的书面资料里，也并没有任何相关的记述。从科学史的观点来看，这只是通过传闻而来的二次信息，并没有当事人的一手信息。因此，这个故事说不定是后世人们所编造出来的。

而且拉瓦锡的这个实验不能再现，所以也不可能去验证。如果只是猜测的话，在脑袋被砍掉之后，血压应该会急剧下降。人在血压突然下降时会失去意识。所以，脑袋被砍掉的瞬间，恐怕就会失去意识。假如在几秒钟之内还有意识的话，能够将意识传达出去的方法，恐怕也只有眨眼睛了吧。

如果只有脑袋的状态下，估计不能说话了吧，甚至连嘴都几乎动不了吧。因为血液大量流出，大脑中的血液循环应该会停止。那样的话，大脑将失去机能，马上会变成类似于脑死亡的状态。但是，事实上，只有被砍头的人才知道到底发生了什么。他看到自己的脑袋掉了下来，觉得整个世界都天旋地转，正好看到刽子手看过来的眼神，想要说点什么，可是嘴巴却动不了。那至少眨下眼吧。光是想象一下这个场景就觉得好恐怖！

人类的处刑史

和断头台相关的，还发生过下面一些类似的轶事。

同样是在法国革命中，被断头台处刑的还有一位名叫夏洛特·科尔代的女性，在被断头台砍头后，好像还被行刑人的助手打了个耳光。据说当时，科尔代的脸瞬间就红了，并以“愤怒的目光”瞪着那个助手。但是，由于处刑的时间是傍晚，所以夕阳的反射，或者是脸上沾上的血渍都可能会导致看起来像是脸红了。不管怎样，行刑人及其助手也会觉得倒霉了吧。明明只是工作而已，却要担上被怨恨、被诅咒的风险，真的是得不偿失（非科学性的推想，非常抱歉）。

关于断头台，1905年有位名叫比尤利的博士还写了一篇文章。某位死刑犯被处刑时，比尤利博士委托他道：“在被行刑后，我会呼叫你的名字，如果你听得到的话，就眨下眼睛。”

据说那个死刑犯，从头落下之后，数秒后被呼唤时，他睁开了眼，直视了博士数秒后，又闭上了眼。并且，不仅仅是一次，第二次被呼叫时，他也睁开眼回应了，不过，第三次时就没能再睁开眼了。

但是，也有人对这个结论有异议，认为那只是单纯的肌肉痉挛而已。笔者个人认为，如果只是肌肉痉挛的话，可能会留下更多次数的“眨眼”记录，所以“意识会持续数秒”的观点也是有一定程度的说服力的。

在相对比较接近现代的1956年，法国议会进行了一项相关实验。通过观测被砍了头的人的瞳孔反应和条件反射而得出的结论是，人在死后15分钟左右好像还是有瞳孔反应和条件反射，严格意义上来说，并不等

同于还有意识，只能说明人到底是不是完全死亡。不过即使如此，15分钟，也是相当长的一段时间。这种情况下会衍生出来另一个问题，到底哪个时间点才算是真正的“死亡”呢？

“在脑袋被砍掉后”的状态下，就算是意识只能维持几秒钟，可一旦人还有意识，断头台就不能说得上是人道的处刑法。法国在1981年9月废除死刑制度之前，一直实行着断头台的刑罚。

不过，像日本这样的绞刑、美国等国的电椅之类的电击刑法，也并非是人道的刑法。绞刑的死因，并不是由于脖子被勒紧而导致的窒息，而是由脖子的骨折所造成的。另外，在一次电击中没有完全死亡还活着的人也是有的，所以更不能说是人道的。

以前，为了写相关的小说，我曾研究过古今东西的各种处刑法。不过，人类处刑的历史，概括为一个词的话就是“残忍”。比如现在仍被用作口头禅的惯用语句“真想把那个家伙大卸八块”，历史上曾经真的有用好几匹马将一个人的身体撕裂成八块的处刑记录。那是多么令人震惊的景象啊。

或者，还有使用垂直立在地面上的长棒，把人从下往上刺穿的酷刑。长度大概有正常人身高左右的长棒，尖端被磨圆后插在地面上。对着被绑着手脱光衣服的囚人，把长棒从其肛门处插进去。犯人在自身重力的作用下，会被长棒慢慢地刺穿。犯人会拼命地用脚支撑着身体，但是因为汗水而打滑，根本无法阻止身体缓慢地下滑。在经历了炼狱般的痛苦之后，长棒会冲破肠道，贯穿胃，最后从犯人的嘴里捅出来。真是太恐怖了！

发明安乐死机器的医生

在美国有一位病理学家发明了“自杀机器”。他的名字叫凯欧克因·杰克（Jack Kevorkian）。他发明了安乐死机器。

他发明出来的自杀机器一共有两种，分别命名为Thanatron和Mercitron。Tanatos是希腊语，意味着死亡。Thanatron就是所谓的“死亡机器”。然后，Mercitron来源于是mercy，也就是慈悲，是所谓的“慈悲机器”。

“死亡机器”需要使用药物。首先给患者安装点滴装置，进行生理食盐水的注射。当患者自己按下开关时，一分钟后会开始滴入硫喷妥钠。硫喷妥钠一旦进入身体，患者就会失去意识，陷入昏睡状态。最后氯化钾的点滴会自动地开始注射，最终昏睡中的患者会因心脏病发作而死亡。

实际上，有两名癌症的末期患者使用这个“死亡机器”自杀了。虽然凯欧克因极力主张安乐死，但是密歇根州还是剥夺了他的医师执照。因此他再也无法获得药物，“死亡机器”从那以后也就再也没有使用过。据说当时这个机器的制造费用大概只有30美元。

另一种“慈悲机器”是利用了一氧化碳中毒的原理。患者戴着的氧气罩连接着含有一氧化碳的气缸，一旦打开阀门，患者就会因一氧化碳中毒而死亡。这也是失去意识之后的安乐死。虽然凯欧克因极力主张安乐死，但是作为医生，制作这样的自杀机器并提供自杀服务，在伦理上是否被允许，在当时引起了很大的争论。凯欧克因于2011年6月3日去世。死刑的方法，安乐死的方法，目前还是科学和医学的灰色地带，到底哪

种方法的痛苦更少一点，可以说是一个很难回答的问题吧。

希特勒所推崇的优生学

什么是优生学？

优生学是因为纳粹德国的残暴而闻名全球的。优生学是一门可怕的学问，通过遗传基因的品质来判断人类的优劣，并试图排除劣等基因。

弗朗西斯·高尔顿（Francis Galton）是这项研究的发起人。他是查尔斯·达尔文的堂兄。他在阅读达尔文的“物种起源”后受其影响，却不知为何会走向了优生学的道路。

自高尔顿以来，有很多人都主张拥护优生学。例如，发明了电话的贝尔。贝尔在一个叫马萨诸塞州马撒葡萄园岛的地方，发现耳朵听不清楚或者无法发声的聋哑人的比例非常高，然后就得出听力障碍是会遗传的结论，并鼓励人们不要和有遗传性听力障碍的人结婚。这就是一种典型的优生学思维。任何去除遗传性的特质、特性的行为，都属于优生学的范畴。

阿道夫·希特勒领导的纳粹德国，曾进行过各种各样的人体实验。在1930年到1940年之间，纳粹德国是基于优生学的理念来定义“不符合资格的人”，对数十万的人强制性地实施了绝育手术，甚至强行实行安乐死，最终残害了数万人的生命。

此外，在美国，好像从1896年开始，康涅狄格州开始实施一项法律，内容是限制癫痫和智力残疾的人结婚。在日本也曾有相类似的，禁止麻风病的患者生孩子的政策。为了防止患有麻风病的人生育孩子，他们被强制执行了绝育手术，已怀孕的甚至被强制流产。

以保护母体为目的，而强制执行堕胎的“母体保护法”，在1996年修订之前，其名称为“优生保护法”。优生学在世界各地以各种各样的形式存活了下来。

换个形式卷土重来的优生学

患有精神疾病和精神发育不全的人，在优生保护法中，属于被绝育的对象。虽然法律于1997年被修订，但这项法律直到几十年前还一直存在着。

而现在，优生学改头换面，以别的形态大行其道。在遗传基因技术飞速发展的基础上，婴儿疾病的事前诊断成为可能。但这里就会产生伦理道德的问题。

通过基因检查，医生就可以在一定程度上识别腹中胎儿是否患有遗传性疾病并提前进行筛选。这是一个非常微妙的问题。如果它是一种致命的疾病，你会事先知道出生的孩子会承受很大的痛苦。这种情况下，堕胎就成了一个水到渠成的选择。

最近，父母双方都有某种遗传病，他们的孩子有很大的概率会患同样遗传病的情况下，会提前做相关的测试。例如，有一种名叫Tay-Sachs的先天性异常疾病。患有这种疾病的新生儿，刚生下来会像正常婴儿一样成长，但到6个月以后，身体和精神的发育会明显放缓，视听觉会出现异常，无法进食，多数的病患儿童会在5岁之前夭折（在20岁或30岁之后发病的案例也有）。

如果父母患有Tay-Sachs病，孩子也有很大的概率会患有Tay-Sachs病，因此进行相关的检查会比较好。检查的内容大致为，通过人工授精的方法制作受精卵，并且在细胞分裂的阶段，抽取细胞并检查DNA。如果受精卵没有遗传Tay-Sachs病的话，该受精卵会被送回母亲的子宫。换句话说，它是已经被选择过的生命。

用于早期发现胎儿的先天性异常的检查方法有很多，比如，通过怀孕8周的孕妇血液检查胎儿的DNA的方法，采取胎盘绒毛的方法，还有羊水穿刺检查的方法等。

说到底，这是为了父母及即将出生的孩子的幸福而进行的检查，不过，有可能在无意识中助长了优生学。

假设有一人患有遗传性疾病。那么，他们的父母可能会有50%的概率患有相同的遗传性疾病。然后他的兄弟姐妹，他的孩子也有大概50%的概率患有遗传性疾病。

当他通过相关检查发现自己患有致命的遗传病时，就会面临“把这个事情准备告诉谁？”的问题。

那些根本不了解这种遗传病，甚至不想知道的亲戚们，会有一定的概率和他患有同样的疾病。肯定也会面临是否应该告诉医生的进退两难。从保护个人信息的角度来看，还存在个人隐私的问题。或者告诉亲戚是一个好的主意，但是当保险公司询问你相关信息的时候，应该如何回复呢？

如果患有这种遗传性疾病，保险公司是不会允许他入人寿保险的。医生应该向保险公司提供他的这些信息吗？毕竟，获得这些信息的保险公司会知道他的亲属有很大的概率会和他一样患有同样的遗传性疾病。

或者，当一家公司招聘员工的时候，如果公司发现他们准备雇佣，以及将来要花很大一笔钱去培训的这个人，可能因为遗传病会有早逝的风险时，公司是否还会雇佣那个人？对经常考虑风险对冲的公司来说，这种病理信息将会是他们极力想要获取的吧。

本来，为了提升人类的幸福程度而发展出来的疾病治疗和早期检测预防技术，因为和现实社会没法完全隔离开来，所以总是会有相关联的优生学问题会出现。

优生学和健康保险

在美国曾经有过一个非常激烈的争论。日本推行的是全民医疗保险的制度，但美国却不是这样的。虽然美国前总统奥巴马在任期内极力推行保险制度的改革，但肯定会出现优生学相关的问题。

假设有一人患有遗传性疾病。他在明知自己患有遗传性疾病的情况下生了一个孩子，并且孩子患有相同的遗传病。“在了解遗传病风险的情况还要坚持生下孩子，这完全属于自己的责任，那么为什么要用其他纳税人的钱来为这个孩子的医疗保险费用买单呢？”这样的争论在美国应该是司空见惯吧。

不过在日本，作者认为这种争论出现的可能性不大。因为实行的是全民健康保险的制度，用税收为饱受疾病折磨的人和绝症做斗争的人提供帮助，已经获得了日本全体国民的同意。

但是，由于美国是一个个人主义意识非常强的国家，合理的使用税收是天经地义的事情，因此针对任何有可能浪费税收的行为都会产生争议。这时，优生学的理念就会死灰复燃，“让所有国民都接受基因检查，这样的话就会减少遗传疾病婴儿的出生，从而避免税金被浪费”之类的议论就可能会出现。

优生学会加重歧视

历史上还有过这样一个荒诞的言论。20世纪60年代，基因里带有多余的决定男性性别的Y染色体的人被称为“Macho”（男性荷尔蒙旺盛的人），而且多数的情况下“Macho=暴乱”，人们普遍认为“Macho”有很高的概率成为犯罪分子。

虽然目前这种论调已经被推翻，但当时关于监狱里服刑人员时的一项研究申明，多数的犯罪分子身上带有多余的Y染色体。这是赤裸裸的优生学啊。

另外，还有抑郁症。长期以来人们一直认为抑郁症具有遗传性，但现在并不认为抑郁症存在明显的遗传性。精神分裂症也是一样。

还有一段时间，人们认为同性恋者也是由遗传决定的，但最近这种言论渐渐地消失了。

当你看过这些案例后就会发现，人类似乎一直有向优生学倾斜的趋势。当这种趋势太明显时，就会引发各种各样的社会问题，歧视问题也会随之浮出水面。然后，随着法律的修正及新的研究结果的驳斥，优生学的思维方式会慢慢衰退。然而，优生学并不会消亡，而是改头换面再次以新的形态出现在世人面前。

甚至一些有名的科学家们天真地预言道，未来的人类会为自己的孩子设计基因，甚至会造出超级人类。这完全就是优生学的思想在作祟。

可怕的优生学将会反复出现。我们必须小心应对。可能在我们没有意识到的情况下，已经参与了很多加重歧视的行为。

强毒性流感的恐怖

新型流感危险吗？

2009年，新型流感引起了很大的骚动。回过头来看，这种病毒的死亡率与季节性流感大致相同，因此似乎不应该会引发如此大的骚动啊。为什么会引起人们的恐慌呢？

那是因为这种流感的近亲中有一种名叫“H5N1型”的怪物病毒。这是人们恐惧的根源。世界各地的研究人员都对“H5N1型”严加戒备。之所以如此，是因为感染“H5N1型”后的死亡率会非常高。原本，流感来自于禽鸟类世界。但是，禽鸟类的疾病很少直接传染给人类，通常是先从禽鸟类传染到猪，然后再从猪传染到人身上。

从1918年到1919年间，全世界有数千万人死于“西班牙流感”。这实际上也是一种流感，但当时人们并不认为这是流感，而认为是一种“感冒”。此外，即使西班牙流感的毒性仅仅是弱毒性，就导致那么多人的死亡，那么比西班牙流感的毒性强太多的“H5N1型”流感该有多么的可怕。

为了让各位读者有一个更直观的理解，我们来简单介绍一下弱毒性和强毒性之间的区别。

弱毒性的流感会导致呼吸道炎症，比如说，喉咙疼，鼻子堵塞，然后它会演变成支气管炎，并且在严重的情况下会变成肺炎。虽然只有呼吸系统受损，但仍然会导致死亡。然而，如果是强毒性的流感的话，病毒会依附在呼吸器官以外的整个身体上，甚至会导致大出血。由于全身都会受到病毒的攻击，所以感染后，死亡率会很高。

一周内扩展到世界各地？

在过去，即使传染病在某个地方爆发，也有可能只在该地区蔓延，而不会扩散到其他地方。然而，现代由于包含飞机在内的交通网络的高度发达，感染病毒的人能在一周内从地球的一端移动到另一端。这种情况下，几乎没有任何方法能阻止病毒的扩散。为什么不能在机场就控制或阻止病毒的扩散呢？

这是因为当疫情被发现，并且知道病毒正在传染扩散的时候，有人已经携带着病毒离开了。在世界的某个地方，当新型流感“H5N1型”的感染被发现的时候，可能已经有人带着该流感病毒乘坐飞机来到日本。现代人的移动速度比起以前快了很多。

正因为如此，甚至有的研究人员认为，2010年流感爆发时，在机场施行的温度测试对防止疫情扩散没有任何作用。

如果“H5N1型”的新型流感爆发的话，在最坏的情况下，只是日本的死亡人数，就可能会达到64万到210万人之间。日本整体的GDP将会面临大概4%的损失。

那么，能采取什么样的措施呢？在“H5N1型”爆发的情况下，据说厚生劳动省^[1]储备了大概1000万人份的预防疫苗。这仅有的1000万人份疫苗的发放顺序是，首先是相关的医务人员。在医院工作的医务人员拥有优先权是毫无疑义的。然后，就是国会议员及政府官员会优先接种疫苗。不幸的是，这些储备疫苗里并没有普通民众的份。

针对剩余的1亿民众，厚生劳动省的对策是，在“H5N1型”感染者发

病后，为其服用达菲 ^[2]—或其他抗流感病毒的药物。但是，病毒是会不断地变异，一些具有达菲抗性的病毒将会出现。关于“H5N1型”，虽然最初推测达菲能够有效地克制它，但由于“H5N1型”还没有在人类世界大规模爆发，我们也无从知晓达菲是否真的有效。这就是一场捉迷藏的游戏，病毒变得具有药物抗性只是时间早晚的问题。

日本预防政策的摇摆不定

关于“H5N1型”，现在被称为“H5N1型禽流感”病毒。现在只是在禽鸟类之间传播。

然而，从禽鸟类传染到人类身上也是很有可能的。这是因为许多流感病毒能在没有经过猪中转的情况下，直接传染到了人的身上。然而，目前还没有发现病毒从一个人传染到另一个人身上的例子。不过，似乎出现过一些疑似病例，但由于看不到相关数据，最后也不了了之了。不过至少在日本没有发现此类病例。

如果“H5N1型”能在人和人之间直接传染扩散的话，那将是非常可怕的事情。那时流感的名字也就从“禽流感”变为“新型流感”。现在主要还是禽鸟类到禽鸟类之间的传染，仅有极少数直接从禽鸟类到人类的传染。那种情况下，只要隔离被感染的人就好了。然而，一旦“H5N1型”进化到可以在人和人之间相互传染的话，就很难控制了。短时间之内，病毒就会蔓延开来，导致很多人死亡。

目前，我们时不时会听到或看到，感染禽流感的禽鸟被大量杀死的消息，因为除此以外没有任何对策。除了杀死所有疑似患有禽流感的禽鸟，别无选择。然而，它已经在禽鸟类世界中肆意横行了，进入人类世界将只是时间的问题。

这就是为什么提前做准备是非常关键的。事实上，不同的国家所采取的应对措施也不同。为了预防，有的国家会直接接种“H5N1型”的疫苗，有的国家会在流感爆发后，使用“H5N1型”的病毒做成疫苗。日本好像还没有正式决定采取哪种应对措施。

譬如美国就认为“预防是不可能的”。为了预防，将使用目前的“H5N1型”的病毒制作疫苗，但是，病毒有突然发生变异的可能性，即使制作大量预防用的疫苗也无济于事。这是美国人的思维方式。

然而，比如瑞士会采取不同的应对方法。首先给全国国民打预防性疫苗。瑞士认为，这样做的话，“即使发生一些病毒突变，死亡率也会下降”。

日本是采用美国式的预防策略还是瑞士式的预防策略，目前还没有定论。确实很难下判断。假设按瑞士的预防策略来的话，为了制作预防疫苗，需要花费巨额的资金。如果疫苗没有效果的话，那么必须有人来承担责任。但是，每个人的费用是1000日元左右。也就是说，每个人1000日元就能买个安心？就算这些都白费了，也没人会因此被问责吧。

不过很遗憾是，在今天的日本，肯定会谴责相关的负责人吧。恐怕厚生劳动省的官员和委员会相关人员会被问责吧。或许他们会被冠以“浪费纳税人税金”的罪名而被弹劾吧。因此，我想没有人会愿意承担这种风险。

一旦流感蔓延开来.....

如果致命的流感疫情出现的话，日本制造疫苗需要半年左右的时间。换句话说，在半年时间里，人们必须靠自己的力量生存下去，预计会有64万至210万人会因为流感而丧生。一旦你成为这死亡人群中的一员，就万事休矣。

目前还处于边境防御战的阶段。为了防止禽流感从鸟禽的世界入侵人类的世界，一旦在养鸡场发现疫情的话，所有的鸡都会被处理掉。也许有人会这么想，“是不是做得太过分了？”其实不然，如果你不采取措施防止传染，流感马上就会在人类的世界开始蔓延。

然而，这是一个只需要一周时间，流感就能从地球的一端传染到另一端的时代，如果其他国家没有采取适当的措施，结果也是相当严重的。发达国家在发现感染者时，相关信息一定会被公开并对感染源进行封锁，但是在一些发展中国家则并不一定如此，相关信息可能会被隐藏，甚至会被销毁。这样的话，总有一天“H5N1型”会入侵人类的世界！不，或许在某个地方已经入侵成功了。因为是席卷全世界的传染病，所以国家间的信息隐瞒才是最可怕的。

故意制造通过空气传染的强毒性病毒

2011年9月以后，两组动物实验引起了人们的广泛关注。荷兰和日美联合的研究小组，制造了一种通过空气让雪貂之间相互传染的“H5N1型”变异病毒，并把包含详细实验数据的论文向世界性权威杂志的《科学》和《自然》投了稿。

日美联合研究小组尝试将“H5N1型”病毒的一部分加入到2009年的新型病毒里。其结果是，雪貂之间传感染率明显上升了，不过，该病毒并没有强毒性。

此外，荷兰的研究小组则是稍微修改了一点“H5N1”病毒的遗传基因，并向雪貂直接喷射了该病毒，结果显示，致死率明显高了许多。但是，据说该病毒还不具备通过空气传染的能力。

问题是，是否应该公布这些危险实验的详细数据及结果。《科学》杂志是任何人都可以在书店买来读的。万一，想制造生物恐怖袭击的恐怖分子，参考了该论文创造出了“杀人病毒”的话，就可能造成无法挽回的局面。

目前，生物实验室的安全水平分为四个级别。

等级1是以“正常情况下不会造成健康的成年人生病的微生物”为实验对象，如果有白色外套和手套的话可以进行研究。

等级2是以“能引起轻度疾病（可治疗的）的病原体”为实验对象，例如脊髓灰质炎病毒和季节性流行性感冒等，研究条件要具备安全柜、限制随意访问的实验室。

等级3是以“能引起重度疾病（可治疗的）的病原体”为实验对象，例如结核杆菌和炭疽杆菌等，要求对废弃物和工作服进行除染。

等级4是以“能引起重度疾病（无法治愈的）的病原体”为实验对象，例如埃博拉出血热病毒和尼帕病毒等，需要具备供氧的正压式人体防护服。

此次的“H5N1型”病毒，是在等级3的实验室里被研发出来的。虽然从实验室出来的时候，采取淋浴的方式来杜绝试验室内的空气及细菌泄露出去，但总是觉得令人后怕。

据说要达到等级4的话，需要采购高昂的实验室设备，因此研究目前处于停滞阶段。

经过大规模的讨论后，这篇论文被同时刊登到了《科学》杂志和《自然》杂志上，这个事例再次警示我们，科学与恐怖活动仅仅一线之隔的风险。



[1] 日本负责医疗卫生和社会保障的主要部门。（译者注）

[2] 用于治疗流行性感冒的药物。（译者注）

小儿麻痹症活疫苗的悲剧

活疫苗的使用仅限于日本？

小儿麻痹症（急性灰白髓炎）是婴幼儿患病率较高的疾病。这是一种会破坏人中枢神经系统的可怕疾病，其具体的症状是，类似感冒症状之后的四肢瘫痪。

尽管目前的日本已经根绝了自发的小儿麻痹症，但是每年大约还是有4个人会发病。发病的原因是集体预防接种。明明是为了保护孩子的健康而打的预防针，为什么会出现感染者呢？

日本直到最近还在使用小儿麻痹症的活疫苗。因为活疫苗^[1]是稀释了小儿麻痹症病毒而来的，所以还残留着毒性，还是有很小的概率会引发疾病。根据日本厚生劳动省发表的数据，发病的比例为每440万人中会有1人发病。据WHO发布的数据显示，每100万人中就有一人患有小儿麻痹症。

危险不仅仅只是如此。接种的时候，是婴幼儿直接口服的疫苗，其家人有可能会从孩子的粪便中感染病毒。比如，某个特定年代出生的母亲，因为没有口服过小儿麻痹的疫苗，没有相关病毒的免疫力。那样的话就有可能通过孩子的粪便而感染了小儿麻痹。这真是一个可怕的事情，而目前在发达国家中，依然使用着活疫苗的也只有日本了。

而其他很多国家，早已更换为灭活疫苗。“灭活性”意味着病毒失去活性，是非常安全的。挪威和瑞典从半个世纪前就开始导入，即使导入慢的美国，在2000年前也全部更换完了。可是，只有日本迟迟没有更换

为灭活疫苗。

造成的结果就是，在发达国家中只有日本还存在小儿麻痹的病例。

即使一年只有4人发病，那4个人也会留下后遗症。虽说是每440万人中才有1个的低概率事件，但对患病的孩子及其父母来说，瘫痪的痛苦会伴随他们一生。如果人生只是被单纯按照数字和概率来计算的话，就太没有人性了。为什么即使在时间和金钱都足够富余的情况下，日本也没有把疫苗更换为灭活疫苗，而是强迫国民走向需要面临终身瘫痪的可怕赌桌呢？

我家在2010年生了一个女孩，所以在2011年的3月和4月自费打了从国外进口的灭活疫苗，避免了这一风险。可能是对日本政府迟缓的决策不抱希望了，在日本，儿科医生已经开始从海外进口灭活疫苗进行接种了。接种两次的话，感染的可能性会变得非常低。在幼儿园里，被周围喝了活疫苗的孩子粪便感染或者其他形式感染的风险也大大降低。

为什么不引入灭活疫苗呢？

既然活疫苗这么危险，那为什么不引入灭活疫苗呢？厚生劳动省为什么没有采取任何行动呢？据推测，过去由于疫苗副作用的问题，国家被起诉，甚至有好几次被判支付赔偿。所造成的结果就是，厚生劳动省打算尽量减少被抓住痛脚的疫苗来降低风险。也就是说，如果增加疫苗数量的话，产生副作用的概率就会增加，甚至面临再次被起诉的风险。估计日本政府非常抵触这件事情吧，所以涉及政治因素的疫苗政策才远远落后于其他国家。

这是个比较复杂的问题。任何疫苗都有副作用。即使灭活疫苗，也不能断言绝对没有副作用。如果与其功效相比，不利的副作用较小的话，大多数情况下疫苗都会被许可的。但是，如果有副作用发生了，厚生劳动省被起诉并被判处赔偿的话，厚生劳动省里的相关负责人也会被追究责任，其结果可能是国家对疫苗的引入变得更加慎重了。

另一个让人半信半疑的推测就是，因为在海外灭活疫苗被实用化，如果直接进口的话，日本的制药公司将无法从中获利。在日本的制药公司开始制造灭活疫苗之前，作为国策有可能是不会引入灭活疫苗的。

虽然已经比其他国家晚了很多，但是在厚生劳动省的要求下，日本的制药公司也终于开发了含有四种疫苗的混合疫苗，也就是白喉、百日咳、破伤风，还有小儿麻痹一起的混合疫苗。在2012年的时候，仍处于审批的阶段，有可能在将来取代小儿麻痹的活疫苗。

在今天的日本，不仅仅是孩子，即使是成人也应该根据自己掌握的科学及医学知识，来决定接种何种疫苗。把什么决定权都交给国家并不

能很好地保护自己重要的家人。在调查过其他国家的情况基础上，找个值得信赖的医生商量一下或许是个不错的选择。看着自己年幼的女儿，一想到因为国家的政策失误，这个孩子的四肢有可能会瘫痪，就觉得后背发凉。

[\[1\]](#) 又称减毒活疫苗。（译者注）

Part 3 关于宇宙的可怕故事

穿着便服进入宇宙空间会如何？

人类无法在外太空生存的原因

这个话题可能来得有点突然，如果宇航员穿着便服进入宇宙空间，会怎么样呢？实际上，这样的场景出现在了斯坦利·库布里克（Stanley Kubrick）导演的科幻电影《2001太空漫游》（*2001: A Space Odyssey*）（原著：亚瑟·C·克拉克 Sir Arthur Charles Clarke）中。主人公中了人工智能HAL的圈套，结果陷入毫无保护措施太空“裸游”状态。也许您看过这部电影，那样的事情真的有可能么？追求真实感的库布里克导演应该不会欺骗大家，但仍然还是想问，真的能做到太空“裸游”吗？

另外一部影片讲的不是太空，而是火星。主人公被扔到火星表面，脸部膨胀，眼珠就要蹦出来的科幻电影《宇宙威龙》（英文原名为：Total Recall，原著菲利普·K·迪克 Philip K. Dick）。如果说“火星大气稀薄，气压很低”，那么跳进近真空状态的宇宙中，眼球会瞬间飞出，身体也必会爆裂。究竟，这两部电影所描述的场景哪部是真实的？

让我们把它看作一个科学问题。如果，宇航员出于某种原因必须从宇宙空间站出去，当然，他马上就会死去。那么，他大概多久会死去？死因是什么？关于此有几种不同的假说。

假说①由于宇宙空间是真空，因此身体会爆裂而死。

假说②由于宇宙空间的温度是零下270度，因此会被冻死。

假说③由于宇宙空间没有空气，因此会窒息而死。

读者您认为哪个是正确答案？

答案是，假说③的窒息死。因为宇宙空间是真空，如果人类在没有任何防护措施的状态下从宇宙空间站走出来，那么会因肺中的空气膨胀而受到损伤。但是，却不会因此而迅速死亡。此外，由于人体皮肤非常强大，即使进入真空状态，皮肤也会保持坚韧不裂。

那么，不是被冻死的原因是什么呢？事实上，宇宙中的温度确实是零下270度，但是为了让我们能够感受到寒冷，热量必须通过空气散出。由于真空中没有空气，热量很难传递，所以不会那么容易变冷。换句话说，没有可以带走热量的导体。

如此一来，结果就是人类宇航员会因为没有任何空气，在大约两分钟内窒息而死。在窒息死亡之后，身体逐渐变冷并且会膨胀。但是，由于无法用人类进行实验，所以实际上也无法进行验证。

根据NASA（美国国家航空航天局）的理论研究和动物实验（这种动物是什么并不为人知），将该实验动物活生生地扔到宇宙空间中后，很明显其肺部会膨胀而受损，然后因为极速的减压会患潜水病。

还有一种假说认为，血液中会形成气泡并且沸腾。但在极短的时间内血液是不会沸腾的，并且皮肤也不会崩裂。结果就是会由于没有空气而致命。

这样一来，类似于科幻电影《2001太空漫游》中的场景一样短时间的宇宙空间暴露的话，还是有可能的。果然库布里克导演在坚决地做科学的并且真实的电影（或许本来应该说原著是真实的，不过电影画面的缜密性也是在实在令人敬佩）。

不过，在宇宙空间中似乎最好是要闭着嘴巴，因为唾液会有沸腾的危险。然后眼睛也一样需要闭上，因为眼泪会蒸发。如果你闭上眼睛，

捂住嘴巴，并且屏住呼吸，那么跳一下很可能就能到达100米左右的距离。

此外，宇宙空间中最可怕的事情可能是来自太阳的直射阳光。很多宇宙射线都来自太阳。宇宙射线是包括 γ 射线等在内的放射线。

总之，强烈的放射线的辐射，会对皮肤和眼睛产生危害。被关在宇宙飞船外面，然后不得不从另外的舱口再进入的场景，想想就觉得恐怖至极。不过如果按照NASA的研究来看，有两分钟左右的求生时间，说不定在这两分钟时间里能找到活路呢。

去时美好，归来可怕—黑洞

黑洞是如何产生的？

说到宇宙中可怕事物的代表，非黑洞莫属。黑洞是恒星的终点。比太阳大很多倍的星球在其能量全部燃烧殆尽后，会引发超新星爆炸，星球被炸成碎片后，突然打开的“时空之洞”就是黑洞。

在解释为什么黑洞可怕之前，先简单地浏览一下恒星燃尽能量后变成黑洞的过程。

恒星的内部是个“熔炉”。在那里，首先会燃烧最轻的氢，如果氢气没有了，接下来就燃烧氦。就按这样的顺序，燃料一个接一个地改变。虽说是熔炉，但和钢铁厂有很大的不同，“燃烧”这个词也是用来进行比喻的。在恒星的熔炉里发生的反应，应该叫作核聚变。

在地球上，核聚变反应堆还尚未投入实际使用，但简而言之，太阳发出光的原理就是核聚变。当小小的原子核融合在一起成为别的大原子核的时候，多余的能量会被释放到外面。

核聚合的原理就是爱因斯坦的“ $E=mc^2$ ”公式。“ $E=mc^2$ ”与牛顿的“ $F=ma$ ”被一并称为是世界上最著名的公式。E是“能量”，“m”是质量（这里的质量请理解为重量）但是，从地球到月球时，质量不变的情况，月球上的重量只有地球的六分之一。在科学上应该正确地区分使用的语言，但是如果太过严格地区分的话，就会渐渐变得可怕，所以在本书中，会灵活地使用相关词汇。“c”是光速。光速为每秒30万千米，或者说是90万马赫（音速的单位）。经常能够看到理科系的学生穿着印有这个公式的T恤走来走去，其实这个公式是个非常可怕的公式。

这是因为，当1克重量的物质全部转换为“ $E=mc^2$ ”的话，需要乘以“ c ”的平方，即使质量只有1克也能产生庞大的能量。这个“庞大”会让人感到恐怖。

在核聚合中，小原子核之间融合的时候，质量会减少。也就是说，一部分会消失。虽说如此，也并非完全消失，而是作为“ E ”（能量）释放到周围。根据爱因斯坦的公式，能量来自于核聚合。

只是，即使不断“燃烧”，只有到铁为止—元素才能通过核聚变产生能量。从轻的元素开始燃烧，虽然有时会导致初期的爆炸，不过，顺利的话，较轻的元素会被全部燃烧，最后就只剩下铁的“燃烧残渣”。燃烧到铁的话，已经没有可供燃烧的能源了。燃尽了能源，恒星将不再发光并死去。

当所有能量都耗尽时，从恒星内部再也不会有能量出来。在恒星还在星光闪耀的时候，因为从内侧核聚变的能量被释放到周围，所以对周围会产生一个压力。就像使气球膨胀的氦气的压力超过周围空气的气压一样。

当来自氦气的压力消失时，气球会在周围空气的气压之下收缩。恒星的状况几乎和气球完全相同，如果恒星停止发光，它会随着自己的重力而缩小。

这也是个想象一下都觉得可怕的光景。设想一下，在地球上，地面一齐崩塌，落入深渊底部的场景，是多么的恐怖啊。接下来，想象一下，太阳表面出现同样坍塌的情景。以及，重量是太阳的10倍或者1000倍的巨大的恒星表面由于重力崩溃的画面，可以算得上是宇宙规模级的恐怖吧（顺便说一句，地球和太阳因为质量相对较轻，不会因为重力而

崩溃，所以不用担心）。

随着恒星逐渐缩小，小小的原子也会被压碎。最终当被压缩到一定程度时，会反弹回来。无论怎么压缩，原子核的部分还是很硬的，就像无论孩子把棉花糖捏扁到何种程度也不能让它小到完全消失，一定会在某个时候突然地反弹回来。

这种反弹就是超新星爆炸。超新星爆炸所发出的光是非常明亮的，日本平安时代末期的藤原定家也留有“夜晚变得像白天一样明亮”的记录（这里的记录不是他的亲眼所见，而是他收集记录的一些口头传说）。顺便说一下，超新星爆炸有很多种，这里描述的场景不过是其中之一。

只许进不许出的“事件地平线”

超新星爆发之后会诞生黑洞。在时空中突然一下子打开一个洞的状态。大概的状况就好比太过沉重的物体过分地集中在一个狭小的地域，所造成的结果就是形成了一个洞。

用锥子把力量集中在一点上，木材就会被打开一个孔。相类似地，在时空中一点聚集了足够的能量也会打开一个洞。

黑洞的周围会存在“事件地平线”。事件地平线是一个边界面，哪怕只是跨入那里一步，也再也无法逃出来。

和星球表面一样，黑洞也有表面。在星球的表面是，各种各样的物质凝固形成地面，也有大气层和大气的表面。

黑洞的表面则是存在的“看不见的表面”。那就是事件地平线。这个表面虽然眼睛看不见，但是一旦越过了，就意味着再也不能出来了，所以也被称为“宇宙陷阱”。的确是“只许进不许出”。

此外，由于某种原因，即使越过那个边界面进入黑洞的内侧，也不会意识到越过了事件地平线。如果乘坐宇宙飞船进入那里，通过事件地平线的时候，什么也感觉不到，也不会有突然重力变强的感觉。

事件地平线存在于距离黑洞中心相当远的地方。但是，当穿过那条线（严格说来是面）的时候，宇航员是不会注意到的。

在科幻电影和动画片里，黑洞都是用一个大的黑孔来表现。原本“黑洞”这个名字的由来是指“连光都无法从那里出来”的意思，所以看上去是黑色。

所谓看上去是黑色，换句话说，也就是无法看见。那么我们怎么观测黑洞呢？如果黑洞有一个相伴随的恒星（双星系统），在彼此的周围不断地旋转的同时，黑洞会从那个相伴随的恒星上连续不断地吸取物质，简直像吸血鬼一样。只不过吸取的是物质而不是鲜血。

当物质被黑洞吸入的时候会变得非常热，会对周围放射出包括X光线在内的各种各样的东西。通过捕捉X射线，就能知道“这一颗恒星在被吞噬”。进而推断出，那个在吞噬恒星的物体是黑洞。因此，黑洞是不会直接看见的，是通过间接地推测来判定它的存在（将来，以被吸入气体的光辉作为背景的情况下，说不定就能够直接看见事件地平线的“轮廓”了）。

让我们来思考一下宇航员即将飞往遥远宇宙的例子吧。如果宇宙星空图上标注有黑洞的位置的话，还可以避免被黑洞吞噬。但是，宇宙的所有黑洞未必都出现在宇宙星空图上。即使在地球上，不是也有“没有被标注在地图上的岛”吗？

如果不知道黑洞的位置的话，就会在不知不觉中越过事件地平线。然后，过了很长时间才会意识到“好像有点不对劲”。但即使试图改变宇宙飞船的方向，也已经是徒劳的。虽然想调转航向原道返回，但只会被吸到黑洞的更深处，再也回不去了。

当得知自己在不知不觉间越过事件地平线时，宇航员肯定会越过恐惧而直接处于绝望的状态。已经再也不可能见到自己的家人和朋友了，甚至连通知他们“自己掉进了黑洞的事”都做不到（通讯电波也是光的一种，所以也无法传播到黑洞之外）。

那情景就像顺着瀑布落下的船一样。河的下游就是瀑布。在瀑布的

周边，水流的速度会加快。乘坐小船的情况下，在某个时候段，用全力划动船桨的话还有一线希望能掉头返航，不过，当超过某个临界点的时候，就只有被瀑布吞没。

黑洞的事件地平线和瀑布的那个临界点相同。如果能及时发出“越过这条线是危险的”之类的警告的话该有多好啊，但事实上，预先的危险警告根本不存在。有的只是黑洞那突然打开的，等待宇航员主动落网的陷阱。

人被挤压成意大利面的恐怖

读到这里，觉得不是太可怕的人也许会从容地认为，“只是不能返回原来的世界而已，并没有直接死亡，结局还不算太坏吧”。但是，黑洞里还潜藏着更可怕的秘密。

那黑洞里面到底是怎样的呢？事实上，到现在还不是很清楚。但是，有研究人员，对假设越过“事件地平线”进入黑洞的宇航员的情况，进行了理论性的推算。

在刚越过事件地平线之后，重力还不是很强，宇宙飞船还能保持原来的形状。可是，即使飞船调转航向，全力向反方向航行，也只会被不断地拉向黑洞的中心。并且，随着逐渐接近中心，重力会越来越强。

那样的话，宇宙飞船就会被像称作“潮汐力”的“大手”抓住了一样，被它的力量任意摆布。潮汐力是天体附近必定会存在的作用力，原本是指在月球的影响下导致地球上的海洋会潮涨潮落的力量。

在地球上，朝向月亮部分的海平面会升高，而背对月亮部分的海平面也会升高（意外的盲点）。这就是潮汐力的特征。也就是说，当有一只“大手”抓住地球并用力握紧时，导致物质从“大手”的大拇指侧和小拇指侧被挤压出来的力，就是潮汐力。

之前发生过一起，休梅克·列维彗星（Shoemaker Levi）经过木星附近时分裂开来的事件。这是因为小小的陨石经过巨大的天体附近时，被木星的潮汐力撕裂了。黑洞的情况也类似，接近中心部的话，潮汐力会变得非常强大。

宇宙飞船进入黑洞的结局其实是非常可悲的。由于被潮汐力的“大手”握住，前后会被拉长。最终会被挤压到分子水平，像意大利面那样延伸开来。构成宇宙飞船和人类的所有分子会被挤压成长“念珠”，然后就像意大利面一样，被拉进黑洞中心的深处。

我不知道黑洞的中心是什么样的。据说，里面有一个被称为“奇点”的东西。所谓奇点，就是能量和温度变得无限大，一般的物理法则都不能解释的奇异点。

换句话说，也就是说“不知道会变成什么样”。只不过，奇点是在数学及理论上被推测出来的东西，也有可能根本就不存在。

另外，也有另一种观点认为，黑洞的中心是和别的宇宙相连接的。如果能连接到另外的宇宙空间的话，将会形成一幅奇妙的景象。

◆ 宇宙从黑洞中诞生？



请参照上方的图。把黑洞看成一个漏斗，到最底部时，管部会被拉伸（①），断裂开来（②），宇宙被分割。

最上面有我们的宇宙，有从孔洞延伸出来的黑洞长管，长管裂开的话就是另外的一个宇宙。还有一种假说认为，这另外的宇宙的不断扩大的样子就是“宇宙大爆炸”。

这个宇宙被命名为“子宇宙”，也就是宇宙的孩子（child universe）。已经成为分子状态（形似意大利面）的宇航员身体和宇宙飞船，有可能再次在另外的宇宙中，通过大爆炸被重新转换成纯粹的能

源而释放出来。如果真的到了那一步的话，已经不知道是应该害怕，还是应该满怀希望。

黑洞可以人为制造吗？

以上的解释不过是一个理论上的假说。在没有人探索过黑洞的前提下，谁也不知道黑洞的真相是什么（即使能去探险，也无法再回来）。即使向黑洞发射代替人观察的观测装置，由于观测装置的电波无法被传播发出，所以也无法知晓黑洞的内部到底是什么样的。

如果将来科学发展到一定程度，应该是有可能人为地制造出黑洞的。因为在时空的某一点上聚集巨大的能量的话，黑洞就能被制作出来，所以也并不是极其困难的事。在法国和瑞士国境的CERN的研究所里有大型强子对撞机（大型基本粒子加速器）。在这里，将质子在隧道中加速，并使之正面碰撞。那条质子隧道全长约27千米，大约相当于东京山手线^[1]的全长。以99.99%左右的光速使质子相碰撞。这样一来，据说就可能会形成一个小小的迷你黑洞。

只是，由于那个黑洞太小，可能一转眼就会消失不见。著名的物理学家史蒂芬·霍金博士也说过，伴随着时间的推移，黑洞会消失掉。

从黑洞的周围，也就是事件地平线上，会漏出一点点放射线。这是“量子力学”领域的相关计算所得出的结果，并以霍金博士的名字，将这种放射线命名为“霍金辐射”。向周围放射能量，就是说明能量在减少。能量减少的话，黑洞就会变小，直至最后完全消失。所以小的黑洞会在短时间内消失。

如果没有霍金辐射的话，在地面实验室里制作出来的黑洞将“只会不停地吞噬”。假设黑洞能通过不断地吸入物质而逐渐变得大的话，小小的黑洞会没有限制地持续吸入周围的东西，首先会吞噬研究所的建筑

物和人，变得更大，然后吞没瑞士和法国，最后说不定会吞没整个地球。这太吓人了，不是吗？

可是，如果霍金辐射的机制正常运转的话，就不会发生这样的悲剧。大多数物理学家认为存在“霍金辐射”，并声称，即使是产生了迷你的小黑洞，也会在它吸入周围物质之前就自然地消失。

只不过，并不是所有人都相信这个理论，就有人在美国的夏威夷州提起了诉讼。前任美国原子能安全检查官主张：“一旦出现小黑洞，就有可能导致整个地球被吞噬。应该立即停止这种实验”，并向法院起诉，禁止相关实验。审判的结果是，“CERN的计算结果是可信的。假设形成黑洞，也会由于霍金辐射而消失，因此不用过度担心”。

但是，万一因为某种原因没有发生霍金辐射的话，会变成什么呢？一丝不安仍然存在，还是有点可怕！

在我们的银河系中心也有.....

黑洞可以用公式来进行说明。如果知道黑洞的重量，黑洞消失的时间也就可以计算出来。如果黑洞越重，它消失所需要的时间就越长。因此，大到一定程度的“流浪黑洞”在银河系中移动时，一旦进入太阳系的话，我们就会很危险。因为这些大黑洞需要几亿甚至几十亿年的时间才会消失，所以非常危险。只不过，大的黑洞的话，应该比太阳都重得多，如果它们接近太阳系的话，所造成的影响，通过天文观测，应该是能够事前观测到的。另外，就像F1赛道那些的急剧弯曲的弧度一样，靠近黑洞的天体会急速地改变方向，离开黑洞的情况也有很多，并不一定全部被黑洞吞噬。

顺便说一句，在我们所处的银河系的正中央，就有一个黑洞。这个黑洞的质量是太阳的数百万倍。因为太过巨大了，以至于无法想象它的真实大小和重力的强度。对于它周围的星球来说，巨大的黑洞是个非常大的威胁，但是对于位于银河系边缘的太阳系来说，因为距离黑洞太过遥远，应该不会直接受到来自黑洞的任何影响，所以可以相对安心一点。首先应该担心的是朝太阳系方向移动的流浪黑洞吧。

星系和星系之间的碰撞？

再继续说说星系层次的可怕故事吧。

在我们居住的银河系的旁边，有一个仙女座星系。银河系和仙女座星系是通过引力相互吸引的，因此两个星系的距离也越来越近，并且会在将来碰撞在一起。相互靠近的速度是大约每秒300千米，通过计算，大约再过30亿年两个星系就会碰撞在一起。

什么？这个银河系会撞上旁边的星系？是的，没错。当然，在你我的有生之年，并不会看到这一幕，但大体上可以肯定这两个星系会相撞。只是不知道，人类是否能够存活到那个时代。

然而，即使两个星系相互碰撞在一起，有趣的是，星球几乎不会相互碰撞。在各种银河系相关的照片中，银河系看上去似乎有许多星球密集地聚集在一起，但实际上它是非常空旷的。因此，即使星系相互碰撞，构成星系的星球之间也几乎不会碰撞。就类似政权交替的这种感觉吧。即使国家整体发生巨大的变化，国民的生活也不会有太大的变化。虽说如此，星系的形状也应该会发生变化，例如从当前的旋涡星系变为椭圆星系之类的重组应该会发生吧。

如果星系互相融合的话，星系中心处的巨大的黑洞也有可能融合，形成一个更大的黑洞。实际上，宇宙中充满了巨大的黑洞，到处都有大型的黑洞。然而，为什么星球会聚集在巨大的黑洞周围成为一个星系，为什么会形成一个巨大的黑洞之类的详细原因我们并不知道。

这个星系碰撞的故事，乍一看好像很恐怖，但实际上可以说是并不那么可怕。



[\[1\]](#) 东京的环状铁路。（译者注）

如果外星人真的存在的话

与地球相似的五颗行星

目前，开普勒太空望远镜正在观测着太阳系外的行星。这架望远镜是由NASA发射的，它紧随着地球围绕太阳公转的轨道而运行。

开普勒太空望远镜对太阳系外的类地行星进行探测时，于2011年2月发现了54个太阳系外类地行星。也就是说，有生命可能性的行星有54个。

此后，有宜居带存在的行星也逐渐被发现（因为发现的速度太快，在写这本书期间，状况时刻在发生变化）。顺便说一下，太阳周围唯一的宜居带就是地球。

水星和金星因为太靠近太阳，所以水会变成水蒸气。然而火星又因为离太阳太远，水会结成冰。像地球一样水以液态形式存在，可以孕育生命，并且与恒星的距离适当，这被称为宜居带（habitable zone），也就是一个生物可以居住的地方。

太阳系以外的类地行星，因为其于地球非常相似，那么有太阳系外生命体存在的概率就大大提高了。

听了这个观点，很多人都会兴奋吧。但是，有科学家主张这是可怕的事情。那就是史蒂芬·霍金（Stephen William Hawking）博士。他的主张如下：

假设在某个行星上，真的存在着生命体。该生命体也是高等生物，可以制造各种各样的机器的生物。我们完全无法保证他们的文明程度比

我们低。甚至他们的文明程度压倒性地高于我们。假设他们已经掌握了某种人类未知的科学技术，并以此开发出来可以在宇宙中远距离移动的方法。如果他们的文明程度发展到那种程度的话，那么他们很有可能也会拥有强大的破坏性武器吧。

咦？越来越可怕了。

可接触的外星人是.....

如果他们来到地球会发生什么呢？

回顾历史，当先进的文明（所谓先进的，有各种各样不同的标准，在此我们以使用科技武器的水平为标准）遇到落后的国家，毫无疑问，落后的国家将成为其征服的目标。诸如西班牙在南美洲所做的事情，或者是从非洲带走大量奴隶的先例。

先进文明带着其伦理观进入科技落后的国家，并与那个国家共存共荣这样的事情，在地球的历史上没有发生过。大多数情况下，都将在军事上或者经济上支配对方。

如果以宇宙尺度来设想在地球上发生的事情.....如果外星人文明程度高的话，地球便是其征服的对象。旅行者号探测器（Voyager）已经从地球向宇宙发送着“我们在这里”的信息，可我们无法判断这究竟是否是一件正确的事情。如果存在着可以接收到从地球发出的信息，并且可以解密信息的文明的话，恐怕他们能够来到地球吧。

当他们可以解读信息并来到地球的那一刻，就证明其文明更先进。这么说的原因是，如果问及当外星人向地球发送信息时我们是否能够接收到这些信息，答案首先便是不可能。因为现在地球周围有我们人类存在的空间只有宇宙空间站。国际宇宙空间站只不过有几个人。在那里偶然地，不知从宇宙何处漂浮而来的探测器，以刚刚好的速度接近我们的宇宙空间站，这样的事情首先不可想象，因为概率实在是太低了。

也就是说，如果可以从宇宙空间中接收到我们的信息并且可以将其进行分析的文明，那一定是比地球文明极其先进的文明，这一点毋庸置疑

疑。如此一来，地球不是会被他们所支配么？史蒂芬·霍金博士所说的“可怕”应该是出于这样的理由。

说不定我们会被外星人奴役，最坏的情况也许会被当作饵食。但是大多数人对于外星人的存在只是感觉是一件很浪漫的事，很难像霍金博士那样去基于现实而考虑。所谓现实感，指的也就是令人害怕的感觉。

用虫洞将时间缩短

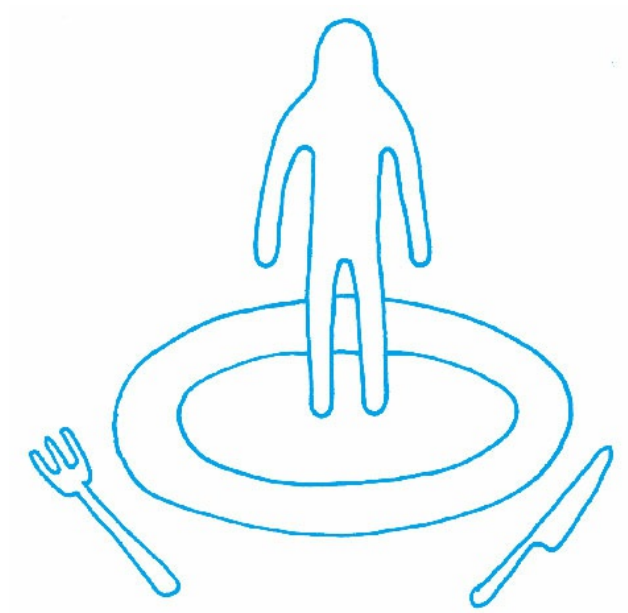
假设我们用开普勒望远镜向发现的遥远行星发射光（电波）。比如说名为“开普勒22b”的行星，它是地球大小的2.4倍，处于宜居带，其距离为600光年。以光的速度来算需要600年。

就人类现在的科学技术水平而言，不管联络速度能有多快，那都是600年后的事情。开普勒22b星人（在此我们暂且命名为“开普勒22b星人”）如果拥有比人类水平更高的科技，那么，现在他们很有可能就拥有一些我们所无法想象的通信手段。

接下来讲的就属于科幻小说的范畴了。最可怕的情况应该是他们拥有在宇宙中构建隧道的技术吧。对于一般正常的移动来说，按光速也需要600年。但如果他们找到了捷径，那就很严重了。所谓捷径的方法就是隧道——也就是虫洞（wormhole）。

虫洞是宇宙的虫蛀洞（worm在英语中是“虫”的意思），据说在理论上它是存在的。这就像黑洞一样，是连接宇宙中的A地点和B地点的隧道。如果他们拥有构建虫洞的技术，等电波到达之后的几年左右外星人将会来临.....这太可怕了。

如果对方文明程度高的话，我们就会像动物园里饲养的动物一样。不管被如何对待，我们都无从反抗。或许有可能会被关起来做人体实验。也或许，人类会被当作美食吃掉。好恐怖！



无限宇宙和有限宇宙

如果宇宙无限延续的话.....

大家是否还记得，当小时候听说宇宙无限大的时候，那种恐怖的感觉吗？听到父母或老师说“宇宙是无限大的，无论你怎么往前走都永远走不到尽头”的时候，我估计大多数人都觉得害怕。对于自己未知的东西，以及自己未曾见过的东西一直在持续着这样的事情，我们会感到非常恐怖。

有一种镜子叫作三面镜。通常是正面和左右都有镜子的梳妆台。把脸放入三面镜中央尝试关闭左右两边，光会被多次反射，于是自己的脸会持续被反射在镜子里。严格来说，在镜子的世界中并非产生了无限次反射，但是近似于无限次反射的自己的脸会在镜子中越来越小，并且不断持续着。那便是潜藏在无限世界中的恐怖。

江戸川乱歩（Edogawa Ranpo）有一部名为《镜地狱》的作品。讲的是一位被魔镜魅惑的男人，最终进入由镜子做成的球体镜中狂性大发的故事。这也是一部恐怖的小说。

另外，由哥伦比亚大学教授布莱恩·格林（Brian Greene）所著的《隐藏的宇宙》（*The Hidden Reality*，竹内薫监修）一书中，有着各种各样的多宇宙、平行宇宙的介绍。

书中有一种假说，叫“拼接布宇宙”（又译“百衲被宇宙”）的假设。拼接布（patchwork quilt）指的是用各种颜色一块一块拼接而成的布。拼接布宇宙所说的是什么意思呢？如果宇宙是无限大的话，那么我们所能观测到的范围，也就是光可以到达的范围，是有限的。光就是“光

速”，每秒30万千米。

从宇宙诞生到现在，约有137亿年。光用了137亿年时间前进的距离是137亿光年。也就是说，从原理上讲只能看到这个范围。现在到达地球的光，是137亿年前的光照射过来的。但是，如果宇宙是无限大的话，那么比这更遥远的宇宙我们就绝对观测不到（宇宙在以惊人的速度膨胀，据说宇宙半径有约400亿光年以上）。

这个宇宙的某个地方有和自己一样的人！？

光确实是经过137亿年的时间照射过来的，但光在发出之后，发光的地方却越来越膨胀且逐渐远离，如果测量其距离，大致半径是470亿光年左右。

但是，也许宇宙比这还更加广阔。所谓的“拼接布宇宙”的假设即是，以发光的地方为中心考虑的话，约半径470亿光年左右宽度的领域为拼接布宇宙的一个领域，那么宇宙的真正姿态其实是由无限多个类似的拼接块拼接而成。

这样一来，与我们相同的，也就是和地球完全相同的东西，存在于某个地方。无限模式的存在，指的就是这个意思。

模式是分子的排列。人的身体和地球都是由分子组成的，所以它的排列是有限的。如果宇宙无限大，有无限多的星球，那么与地球同样的分子排列，或者说与竹内薰完全同样的排列也应该存在。再重复一遍，如果宇宙是无限大的，那么是因为无限模式的存在。

这样想的话，这个宇宙的极为遥远的远方，存在着一个虽然可能无法相遇，但却完全相同的自己。或者，也许稍有点不一样的自己。他和我长着一张同样的脸，声音也一样，但却是个非常坏的家伙，可能是那个星球上的杀人恶魔。这样想下去，可能会感到非常可怕。或者，他和我不同，也许过着如国王般的奢华生活，也许过着更为悲惨的人生。

问题在于，那样的自己的“化身”是随机分布的。换句话说，“化身”并不总是在宇宙无法观察到的远处。那个另外的自己，说不定就会意外地出现在附近。据说即便地球上也有与你像双胞胎一样的人存在于

某处，如果宇宙是无限大的话，那么你的“化身”大体上确实会存在于宇宙的某处。

终极智慧的生物创造宇宙？

还有一种关于宇宙不是无限的说法，即宇宙是出乎意料地非常小的假设。当然，虽然这种说法假设它很小，但也不是太阳系的尺寸或水准，而是能容纳几千个、几万个银河的大小，但它仍然是有限的。也就是说，宇宙是有限的，以某种几何形状（类似多面体）存在的假说（“庞加莱十二面体假说”）。

根据这个理论，如果一直向前，走到宇宙的尽头并继续前进，那么你将再次从宇宙的另一侧重新进入宇宙。这就好比是打开阳台的门走到外面，然后可能瞬间又从门口进入到了家里。

如果宇宙具有几何形状并且是有限的，从某种意义上说，我们是被困在宇宙之中。人类本能地害怕被困。

再想得更远一些，我们会不会是在动物园里。有一种非常聪明的高等生物，它创造了一个小宇宙，宇宙中的我们被饲养着。关于这个假想著名的是亚瑟·C·克拉克的《2001太空漫游》。在那部作品的最后一幕中，我们被超越人类的存在所观察着。

我不认为人类是这个广阔宇宙中最聪明的。应该会有更先进的文明存在吧。那样想相对比较自然。智力不断提高的文明最后会变成什么呢？也许最终可能会有能力人为地创造宇宙。在那个文明中，科学家们也将会进行实验，也许会在自己的实验室中造一个宇宙然后仔细观察。如果说我们只是那其中的受验动物……无法想象的恐怖……

模拟宇宙中神将诞生？

还有一种假说与刚才提到的非常接近，叫作“模拟宇宙”。在高度发达的文明中，计算机也将高度发达。在那个世界里，计算机的处理速度应该会比我们现在的超级计算机还要快得多，内存也应该会大很多。如果有超高速计算机，那将能够做很多事情。像电脑游戏的“模拟城市”（SimCity）和“模拟地球”（SimEarth）一样，文明也可以模拟。也就是说，这将是终极模拟。

飞行模拟器在最新的版本当中，也已经实现了接近实际飞行水平的图像和操作感。同样，如果计算机的运算能力提高，能完全模拟在地球上正在发生的事情，那么地球上人类的个人意识也将会变得完全可以模拟吧。

也就是说，谁都不能证明这个宇宙不是更高度的文明在其电脑中的模拟。如果在电脑中，预先设定与DNA的机能同样的信息，那么生命很可能将会发生进化。因为所有物理法则都可以用数学公式来表示，那剩下的就仅仅只是通过模拟来计算的问题了。

我们的生活，也许只是一台大型计算机中的模拟。这是一个可怕的想法。如果正在运行该模拟的人因为“我厌倦了这个模拟”然后按下关闭按钮，那么我们及周围的世界将立即消失。那将是“神”所发挥的作用。我认为“神”这个概念，也是有这种可能性的。掌握着这个世界的命运的存在——那就是“神”。

“神”可以终结这个宇宙，但那将极其责任重大。如果不小心脚把电源线绊到，电源“啪”地一下子断了，那一切都无法挽回了。至少，希望

能给我们一些时间用来惊恐，然后再慢慢地结束。

Part 4 关于地球的可怕科学

人类灭绝的可能性：磁极反转，陨石撞击，全球冻结

北极是S极？南极是N极？

地球有北极和南极，而在罗盘磁铁中，有N极和S极，N指向的方向是北极。换句话说，北极，即地球的“磁铁”（地磁）的S极。

什么？这是什么意思？

乍一听虽然可能有点不可理解，但稍微细想一下便会很自然地明白，磁铁是N和S相互吸引。因此，罗盘磁石N所吸引的方向是S极。那么如果把地磁和地球整体作为一个磁铁来考虑，则北极是S极，南极即N极（这个知识很有可能在初中的入学考试题中出现）。

平均而言，磁极大概在数十万年左右会发生一次反转，这种现象被称为“磁极反转”。由于是“平均”数十万年，这意味着并不一定是每隔几十万年就会发生一次磁极反转，由于目前地磁处于持续减少的状态，如果按目前这种状态继续减少下去，估算大概再有1000年地磁将会归零。然后一旦归零之后地磁将会发生磁极反转。

什么？我怎么从来没有听过还有这样的事情？这么重大的事情，政府为什么没有公布过？

诚然，即使环境省 [\[1\]](#)—大做文章也没有什么不可思议的，但对于人类来说，用千年为单位的时间尺度算是一个较遥远的未来，类似政府和企业之类活在“现在”的忙碌的人们来说，磁极反转基本是一个毫无关系的话题。然而，从科学角度来看，“地磁归零并且逆转”是一件大事。

地磁在地球周围产生磁场，以防止宇宙射线从太空飞来。所谓宇宙射线指的是各种粒子。比如光的伙伴伽马射线、X射线，以及电子和它的朋友 μ 子之类的粒子。因为它从外太空飞来，我们称它为“宇宙射线”，但基本上你可以认为它与“辐射”是相同的东西。

从太阳也会飞来很多粒子。太阳风也是粒子的集合。太阳表面发生大规模爆炸（太阳耀斑）之后，太阳风或“太阳风暴”将袭击地球。

有害的粒子也会从遥远的宇宙中飞过来。例如，极强的 γ 射线在射束状态下飞过来的 γ 射线暴现象。可以说，地球一直处于被外部粒子攻击的状态。

人类被地磁保护着

当宇航员长时间待在空间站时，宇航员的身体会受到很多粒子的辐射。这是一项非常危险的工作。这就是为什么必须达到一定的年龄才可以成为宇航员的原因（虽然一般情况下不怎么公开说明），但是对于儿童和孕妇来说，空间站的粒子辐射对他们来说是十分危险的。

对于地球上的我们来说，宇宙射线会在与大气中的空气分子发生碰撞时产生形态变化甚至会消失，同时磁场也会将它们阻隔在外。这样一来，我们受到的是双重屏障的保护。虽然我们不用担心空气会消失，但是磁场会消失的事实会让我们裸露在辐射当中，紫外线也会变强，罹患皮肤癌的概率也会增加。

从现在起的1000年以后磁场消失时，双重屏障保护将会消失一个，存储在细胞核中的DNA突变将比以前更频繁地发生，我们对于来自宇宙中的有害放射线将处于无防备状态，那个时候人类应该怎么做？比如外出时，可能我们必须穿防护服才可以出门。

然而，由于生物物种也会通过变异而产生“进化”，如果我们考虑地球的整个生态系统，这也可能是新的进化产生的触发器。尽管如此，如果由于整个地球规模的“进化”演变而造成人类灭绝，这仍然是非常可怕的。

地磁逆转现象最近一次发生在80万年以前。因为日本人松山菅野先生是进行地磁学研究的前驱，所以被称为“松山逆磁极期”。

在这里，我们来总结下过去生物大灭绝的几个时期。

首先是白垩纪末，距离现在约6500万年。再之前是三叠纪末，距离现在约2.1亿年。再早期是二叠纪末，距今2.48亿年。生物的大规模灭绝时期正好与地磁的逆转时期相重叠，但并非“地磁反转”就等于“大灭绝”。因为在约8亿年前发生地磁反转时并没有出现大规模灭绝。

所以我们推测，生物的大量灭绝可能是由于全球气候出现大的变化，并与地磁反转相重叠，这样多重因素共同作用而产生的结果。

大规模生物灭绝过去发生过**11**次

附带说明一下，生物的大规模灭绝曾经发生过11次，包括前面提到的3次。在过去的5.4亿年中，生物大规模灭绝出现过11次。好吧，我不知道这个数字算多还是算少。

这11次中有5次规模很大，大致70%~80%的生物物种出现灭绝。距离现在最近的一次大规模灭绝是刚刚提到的白垩纪末。恐龙的灭绝就发生在那个时期。同时，事实上76%的海洋生物也在那个时期灭绝。据说原因是巨大陨石的撞击。从外太空飞来的陨石袭击了墨西哥尤卡坦半岛的北部。到现在那里仍然有一个直径约180千米的陨石坑。从宇宙中都可以看出该陨石坑是圆形的形状，由此可以推测当时巨大陨石的撞击造成的爆炸威力有多大，整个地球尘埃激荡，海啸肆虐。

整个地球由于被烟尘覆盖而变得寒冷，气候开始变得异常。这被认为是发生大规模灭绝的原因。但是，这11次的大规模生物灭绝是否原因都来自于陨石，似乎并非如此。

还有一种理论认为大规模生物灭绝是由于来自地球内部的物质“甲烷水合物”的泄漏而引起的。那就像是一次全球规模的火山爆发，据说甲烷水合物从海底的每一个地方都“咕嘟咕嘟咕嘟”冒出来，但事实是否如此仍然是个谜。

濒临灭绝的命运在1亿年前就已成定局

实际上，巨型陨石的故事还有一些补充的话题。让我来详细说一下。

1978年，在墨西哥尤卡坦半岛的石油开采过程中发现了一个直径180千米的陨石坑。这是前面提到过的白垩纪时期的陨石。由于太大，当时并没有人知道它其实是一个圆形的陨石坑，以为就是一片洼地或者说是地形地貌的一种。

陨石的直径是10千米。那是一个极其巨大的尺寸，这么大的巨型陨石从天而降。说到10千米，从我居住的横滨到川崎一带的整个区域都会被压碎。如果你抬头仰望天空，发现两个大型规模城市大小的黑色大块，以时速1万千米的超乎想象的速度“降落”下来。（因为同时在燃烧，估计实际上看起来应该是红色的）。最先进的波音787的巡航速度大概是每小时约900千米，那么陨石的下落速度将是该种飞机飞行速度的10倍以上。

“杞人忧天”一词来源于中国，是一个担心天空会掉下来的愚蠢人类的讽刺故事，但从现代科学观点来看，天空会掉下来这一说法，事实上是存在的。

不过，即便你能注意到一颗巨大陨石的坠落，由于它的速度太快了，你根本无法逃离。天文学家即使在一年之前就注意到一颗正瞄准地球冲过来的巨大陨石的存在，在那个时点也不能准确知道它将撞击地球的何处。因此，从结果来看，陨石坑的直径为180千米，即180千米的范围内都会瞬时湮灭。那便是从东京到静冈一带都会被压成“肉饼”。这么

一想，这已经完全超越恐惧，不知道该如何形容，是悲壮还是凄惨……并且随着时间的推移，其周围的环境也会不断走向灭绝，最终演变成一个重大的全球变化。同时似乎还引发了数千米的海啸，所以这已经完全不是一个该去哪里避难的话题了。

这个陨石是从何处而来的，最近开始逐渐明了。

据说火星和木星之间的小行星巴普提斯蒂娜（Baptistina）是原因所在。在1.6亿年前，小行星巴普提斯蒂娜与另一个小天体相撞。1.6亿年前的撞击碎片用了一亿年的时间以极快的速度在宇宙中一边漂移一边向地球坠落。于距现在6500万年前坠落到地球。

这就意味着恐龙灭绝的命运在大约一亿年前就已成定局。换句话说，在很久以前，“走向灭绝的按钮”就已经开启。地球上的生物在毫不知情的情况下度过每一天，然后命中注定地，一亿年之后陨石坠落……

这种天体碰撞的连锁反应被研究人员称为“死亡台球”。1.6亿年前的小天体之间的相互碰撞，最终会落到地球上导致生物大规模灭绝。举例而言，即使接下来有一颗陨石会落到地球上，现在的我们就算担心也并不能改变大约在一亿年前就已经被决定的命运。那个按钮是由谁按下去的？又或许那仅仅是个单纯的偶然巧合？

我们可以像《世界末日》中描绘的那样去保护地球吗？

电影《世界末日》（*Armageddon*）中描绘了小行星接近地球及人类如何面对危机的场景。运行轨道接近地球的小行星被称为“NEO（Near Earth Object）”，白垩纪末发生的巨大陨石撞击，据说是由近地小行星造成的。

至于这种小行星之间碰撞发生的频率，直径约1千米的小行星是100万年间数次，直径约5千米的小行星则每1000万年一次。至于那些更小的小行星，则大概每个月都会发生一次。如果没有大气层这个屏障作保护，地球的表面就会像月球表面那样到处都是陨石坑（过去也有陨石像雨滴下落一样的时期，但地球表面一直在变化，并且有雨水侵蚀，所以这样的坑坑洼洼几乎都消失了）。

百万年当中数次，1000万年当中一次，这个频率似乎听起来没有那么高，地球的年龄已经有46亿岁了，以1000万年一次来做个简单计算的话则是已经有过几百次了。

直径5千米的小行星以极其快的速度直击地球，这确实也会导致恐龙灭绝。

那么，直径再大的小行星撞击地球很可能就会导致人类灭绝，因此美国宇航局NASA反复观测小行星的碰撞。例如，2002年4月NASA公布一颗直径为1千米的小行星将在2880年的3月16日这一天以0.3%的概率击中地球。

即使知道这颗小行星会在2880年以0.3%的概率撞击地球，我们还

是不知道应该如何应对。此外，据说在2006年7月3日，一颗小行星在距离地球42万千米的位置与地球擦肩而过。这便是小天体碰撞的未遂事件。

再者，2008年10月7日，一颗刚被发现仅仅一天时间的小行星，冲入大气层并在苏丹上空爆炸。据说这些碎片是作为陨石被回收的。

2008年10月7日的这次是在撞击的一天前发现的，然而，并不是所有的碰撞都能被人类及时发现。在目前的观测系统下，对于较小的天体，不到最临近的时刻很难被观测到，这是我们所担心的问题。

由于小行星本身不发光，被太阳反射到的小行星才会被观测到。离得越远越不容易被发现，因此，想要把所有的小行星全部掌握似乎很难实现。

在电影《世界末日》中，人类靠火箭接近了小行星，在小行星上开了一个洞并将其进行核爆炸。如果小行星是由坚硬的岩石组成的，那么通过爆炸将其粉碎是有可能的。可如果是系川小行星，内部是像海绵一样质地的中空且重量极轻，那么通过局部放置核弹能否将其粉碎则需要画个问号。

如果几年之后，一颗直径为5千米的小行星撞击地球，我们该怎么办？

首先，我们应该花半年左右的时间进行轨道计算。当陨石将会撞击的事实变得确定时，在世界范围内采取措施并开始考虑如何转移或摧毁轨道。然后我们需要在实际发生撞击的大概前一年左右开始着手处理。如果通过发射火箭，发射导弹都不能顺利解决的话，最终可以考虑人为（或者机器人）去直接接近小行星，将火箭装载到小行星上将其发射，

以带动小行星改变运行轨道等方法。

但是，即便如此，我们都不能确定是否能成功改变小行星的运行轨道。

预测陨石将会坠落何处十分困难。进入大气层时将以什么角度进入？会在途中发生爆炸，还是会以其巨大的尺寸原封不动地撞击到地面？抑或会冲入海洋？类似上述的这些计算几乎都是不可能实现的。

事实上，在现实中，考虑到由于恐慌而会导致事故发生，政府不太可能会做出“该地区周围100千米范围内均有危险请撤离”这样的事情。比较现实的是，回收卫星，或将其沉寂到海底，或于澳大利亚回收隼鸟号（日文名为HAYABUSA）小行星探测器。隼鸟号回收成功是因为一直控制得当，而小行星的轨道仍然无法实现完全控制。

如果巨型陨石的撞击成为一个确定的事情，虽然不是末世论，但可疑的宗教将会开始流行，抢劫掠夺也将会发生。假设全人类的六分之一将会灭绝，那就像一个无法逃脱的俄罗斯轮盘赌。人类还没有办法从那样的恐惧中逃离。

地球已经冻结了好几次

全球范围灭绝的可能性不只来自于这些从天而降的大恶魔。“全球冻结”也有可能造成人类灭绝。全球冻结在英语中被称为“雪球地球（Snowball Earth）”。据推测，地球出现包括赤道在内的冻结现象，也是过去发生过大量生物体灭绝的原因。

最古老的全球冻结时期是休伦冰期（Huronian glaciation），距今24.5亿年前至22亿年前。之后是瓦兰吉尔冰期（Sturtian-Varangian glaciation）和马里诺冰期（Marinoan glaciation），距今7.3亿年前至6.35亿年前。

全球冻结一旦发生，即使是原生生物也会大量灭绝。原生生物指的是藻类、水霉、变形虫、草履虫、黏菌等既不是动物也不是植物的无法分类的东西。在全球冻结时期，据说原生生物也出现了大规模灭绝。

然而那之后，出现了各种各样的生物。有一种理论认为，多细胞生物也是在全球冻结之后出现的。这是关于全球冻结引发各种物种出现的一个假说。

全球冻结为什么会发生？又为什么会结束？到现在都不得而知。有几种假说，但并没有一个“就是这个原因”的确切说法。当全球冻结发生时，地球的整个表面都变成白色的冰。一旦变成白色的冰，太阳光线会被反射而不会被吸收，然后地球将会变得更冷。

地球一旦冻结之后理应不会再融化，但是现在我们生活着的地球并不是冻结着的。作为猜想，有这么一种假说，全球冻结的结束可能是由于火山爆发。即使地球表面被冻结，地球内部也是活跃的，因此火山爆

发的可能性便存在。火山爆发之后二氧化碳就会被释放。它成为全球变暖的天然气，然后全球开始变暖。最终结果是“全球冻结”状态结束。

但是否真的如此，我们不得而知。今天，全球变暖是一个全人类的课题，但反过来看，一旦全球冻结，人类将会灭绝的可能性也存在。仅仅是想象一下一个纯白色的冰冻的地球，就会顿时觉得寒意遍布全身。

[\[1\]](#) 日本的中央政府部门叫“省”。（译者注）

地震、海啸、核电

地球上可能发生的最大地震震级是**M10**

2011年3月11日发生的东日本大地震的震级最初被公布为8.8级，但随后被修改为9.0。按当初的计算，该地震能量是阪神淡路大地震能量的355倍，但这个数值是错误的。

震级大小的标准有两种，一种是气象厅标准的震级，另一种是世界标准的震级，阪神淡路大地震的震级（以下用**M**表示）数值7.3是日本气象厅的标准，换成世界标准则是**M6.9**。

在东日本大地震中，政府宣布的数值是世界标准而非气象厅标准，即**M9.0**。也就是说，本来应该用来比较的数值是**M6.9**和**M9.0**，这样计算的话能量将变成“1400倍”。这意味着相当于阪神淡路大地震的1400倍的能量袭击了日本东部。

为什么会发生这么大的地震？顺便说一句，地球上可能发生的最大地震，目前预计是**M10**，是东日本大地震能量的30倍。人们认为在地球上不会发生比**M10**更大的地震。

这样比较的话，东日本大地震真的是一次破坏力非常大的地震。对于日本来说算是一千年一遇的大事情。1000多年之前，类似于这次一样的大海啸袭击了东北地区并直接到达内陆，在东日本大地震之前我们就发现了这样的痕迹。但是，当时并没有做这种基础研究的预算，那次大海啸也没有对我们以后的防灾起到作用。

宫城县有一个地名叫“荒浜”的地方。这是一个由地震而引发大规模

灾害的地方。我猜想，“荒浜”一词，可能是由于过去被大海啸侵袭过，所以（为了纪念）将其留作地名。

过去也有过超过**30**米的海啸

在东日本大地震中，我们目前所知道的海啸达到的最高高度是38.9米。过去的明治三陆地震海啸仍存留着达到38.2米高度的历史。东日本大地震海啸的高度完全超过了明治三陆地震（即便是高度10米的海啸，由于有冲击的势头，最终完全有可能升到30米的高度）。

在这次地震中，灾害预测地图根本没有起到作用，即使提前避难到所谓的“撤离到这里便安全”的预设避难场所。好多避难所都被海啸吞噬，很多人都死于此。

或许人类的科学力量对预防自然灾害还是有极限的吧。曾经假定的4次地震会同时连动发生也是令人惊讶至极，这次地震导致横跨500千米的板块边界都发生了偏移。政府也曾预想到500千米范围内会发生4次大地震，但是并没有预想到其会同时发生连动地震。政府所预想的是，震级在M7到M8左右规模的地震，一个一个单独发生。也许，如果这次是单独发生的地震的话也不至于会出现如此多的受害者。

当然，也有专家曾发出连动地震也是有可能的警告。人类可以假想任何最糟糕的情况，但是否能应对任何最糟糕的情况.....现实是很困难的（因为预算的限制，即使警告有千年一次的灾难，预算也很难在国会通过吧）。

危险的是核辐射？还是放射线？

另外还有核电站的问题。关于核电站的事态会恶化到这种程度，是当初很多人没有想象过的（尽管作者以前曾系统地学习过原子物理学并以科普作家作为职业，也不敢想象到会造成这种程度的灾害）。尽管核燃料的储存容器是由27毫米厚的钢板制成的，但还是有裂缝出现在储存容器上。除非发生意外，否则储存容器是不会破裂的。储藏容器中的气压是四倍的大气压。由于要使用内部的水蒸气来转动涡轮机，所以压力比较高（在我们周围的气压是一倍大气压）。据说在设计上可以承受12倍大气压。此次，最危险的时候内部的压力上升到了8倍大气压。虽说在到达设计上限的12倍大气压之前，应该是不会爆炸的，但是实际最高气压达到通常运行状态的两倍，因此陷入了非常危险的境地。

如果破碎的储藏容器发生爆炸的话，里面的核燃料会被全部炸飞掉。那将会是预想中最糟糕的状态。比如，切尔诺贝利核电站的事故，真的是很恐怖的爆炸，令人难以置信的是，竟然没有任何储藏核燃料的容器。切尔诺贝利核电站是非常原始的核反应堆，没有储藏容器，只有储藏室之类的建筑物。

福岛核电站内储水池的核辐射数值已经高得离谱。与正常运行时的炉水相比，是正常值的10万倍。显然核燃料已经破损，并有放射性物质泄露出来了。

核电站事故令人可怕的原因之一就是“看不见的核辐射”。而且，到目前为止，关于核辐射，我们几乎什么都不知道。人类对于未知的事物会感到强烈的恐惧。

另外，语言的定义也有问题。媒体经常使用的“核辐射来了”“核辐射到东京了”这种说法在科学上是错误的。

核辐射就是“放射性”。放射性来了，从严格的意义上讲，其本身是不成立。来的是放射性物质，放射性物质会产生放射线。

放射性物质也就是一些元素，譬如铀235、碘131、铯137，这里原子核的重量就直接标记为数字。原子核由许多中子和质子组成，数字表示其重量和大小。

假设铀235因核裂变而分裂。这样，体积就会变小。核裂变产生的“碎片”，即新的核元素，例如碘131和铯137。

并且，核裂变的时候会释放出放射线。因为受核电站事故的影响，“放射线是什么？”之类的话题出现的次数很多。但是，实际上每个人在学校里都学过。初中和高中的教科书中都介绍过 α 射线（阿尔法射线）、 β 射线（贝塔射线）和 γ 射线（伽马射线）吧。名字的由来，是20世纪初，人们还不知道放射线的真身的时候，为其临时冠以 α 、 β 、 γ 之类的名字。

现在，他们是什么物质都已经被探明了。 α 射线是氦的原子核。氦是仅次于最轻氢元素之后第二轻的元素。氢元素中间有1个质子。1个质子就是原子核，电子围绕在它周围转动。氦有2个质子，2个中子，合计有4个粒子，因此，氦的重量是4。因为它有2个质子，所以带有两个正电荷。为了抵消原子核里2个质子的正电荷，周围会围绕有2个电子。这个氦的原子核就是 α 射线。

实际上，可以用一张纸屏蔽 α 射线。只需举起一张纸就可以阻断飞过来的 α 射线。

使用放射性物质的暗杀案

曾经有人使用这种 α 射线进行暗杀活动。2006年，俄罗斯的亚历山大·利特维年科被前克格勃的暗杀手段所杀害，即让其吞食某种放射性物质而导致中毒身亡。

手法很简单。如果用口香糖的包装纸包住放射性物质的话，杀手就不会被辐射到。确实用一张纸就能完全防御。然后，在其饮料或者食物里混入 α 射线的放射性物质。即使只是少量，一旦让放射性物质进入身体内部，那就危险了。由于放射线事故最可怕的就是人体内的辐射。吸入肺中的东西，吃进身体已经被吸收的东西，已经再也无法除去。核电站事故发生后，曾有过不要让婴儿喝水之类的警告。一旦身体内部被辐射到，就危险了，所以一定不能喝被核辐射污染过的水。

体外的核辐射，即外部的核辐射，只要不是太强的，一定程度上是没问题的。如果外部核辐射的话，放射性物质黏附在身体上，冲洗掉就行了。这就是常说的核辐射清洗。对付放射性物质基本上就和对付花粉、细菌一样，用同样的方法洗洗就可以了。在大学的物理学课堂上，涉及辐射的时候，讲课的教授会强调“千万不要让放射性物质进入体内”。放射性物质和空气一起被吸入体内、被喝入体内、吃入体内，这都是极其危险的。

一旦进入体内的话，放射性物质会在自身完全崩溃之前持续地释放出放射线。负责处理核电站事故的东京电力公司的合作员工，被 β 射线烧伤了脚。那是由 β 射线引起的烧伤，因为是体外核辐射（当然还是不暴露在核辐射下最好），应该不需要担心体内被辐射到。最坏的情况下，移植皮肤就可以了。

另外，即使有伤口，也只要清洗干净就可以了，放射性物质不太可能会从伤口进入体内。切尔诺贝利核事故的时候，婴幼儿通过乳制品摄入了大量的碘131，从而引发了多起甲状腺癌的病例。如果孩子体内摄入放射性物质，身体内部会暴露在核辐射之下，就有可能会引发癌症，并在二三十岁的时候发病。这是非常可怕的状况。

究竟什么是 β 射线、 γ 射线？

接下来让我们来解释下什么是 β 射线。 β 射线的真实身份是“电子”或“正电子”。这两者仅仅是符号不同。电荷的符号非正即负。电子的符号是负的，正电子是正的。要想屏蔽 β 射线，用一张纸是没用的，需要有几毫米厚度的铝。虽然铅等金属也可以用来屏蔽 β 射线，但考虑到重量，铝是最好的。

另一个是 γ 射线。简而言之，它是“强光”，能量远远大于我们通常所看到的光。当需要强调光是“粒子”时，它被称为“光子”。名称是根据一粒光所具有的能量大小而改变的。

其中，能力最强的是 γ 射线，稍弱一点的是X射线。就像这样，根据一粒光所携带的能量，名称逐渐发生变化，比如，可见光、然后是电波。电波仅仅只是波长的不同，电波也是光的一种。

波长和能量呈倒数关系。电波波长非常长，但波长越长，能量就越低，其中每一个单位光所持有的能量就越小。相反，像 γ 射线那样，随着波长变短，能量便会增加。

如果一个单位光的能量很大，那么破坏力也会随之增加。比如用于医用X射线摄影的X光能量很强，所以可以穿透人体。相比而言，可见光，比如伸手遮挡房间中灯光，光也不会从手中穿透过来，因为它的能量微弱，仅仅能停止在皮肤这一层。

然而， γ 射线能量很强，能够进入到体内。因此，接受大量 γ 射线辐射是非常危险的。

最后，放射线中还包括中子。这是制造原子核的“配件”。中子是危险的，因为它可以与水发生反应。人体超过60%以上都是水分，所以一旦与中子接触，人体将受到严重损害。但是，由于中子基本上只在核反应堆中出现，所以我们也不必太害怕。

核电、火电、水电，哪一个死亡人数多？

目前，许多人已经开始“反对核电”。发生了如此大的事故，反对也是自然的。但是，这并不是现在才开始的事情。虽然这仅仅是我个人的想法，但核电或许就是典型的“可怕的”科学技术。当然，作为唯一被原子弹轰炸过的国家，日本对核爆除了恐惧还有厌恶。日本对于核武器应该从地球上消失的主张，以及对其衍生技术核电的感情，我不认为两者完全没有关系。

我也有孩子，听到核事故之后自来水被污染的消息时，感觉确实是气不打一处来。

不过，核电虽然可怕，但我认为消除所有核电，最终使能源变得短缺也很可怕。切尔诺贝利事件的发生地乌克兰，在那之后废除了核电站。其结果发生了什么？由于能源短缺造成了政治动荡。被迫依靠来自邻国俄罗斯的天然气供应。所以有了后来俄罗斯停止向乌克兰供应天然气，进行政治“威胁”的事情。

大家都在讲述着切尔诺贝利事故的危险，可是虽然最终核电是被消除了，却由此引发了另外的可怕事件。

因将地球视为一个“生命体”的“盖亚假说”而著名的詹姆斯·拉夫洛克（James E. Lovelock）有一本书叫《盖亚的复仇》。其中有一些非常有趣的数字。

书中提到，为了制造兆瓦（一万亿瓦特）的能量，“将会有多少人死去”。从该书中可以看出，火力发电所使用的煤炭（现在使用更多的是液化天然气）所造成的伤亡，或者与水力发电造成的伤亡相比，事实

上是核电死亡的人数少。换句话说，虽然我们印象中核能发电造成的死亡较多，但火力发电和水力发电的死亡人数更多。

火电厂，因为是化工厂，可能因为一个小规模的爆炸就会造成人员死亡。此外，煤矿开采事故发生也经常有人死亡。水力发电中会出现大坝决堤。和这些一比较，核能发电造成的伤亡反而是较少的。

当然，这种比较的前提条件是“每个单位发电量”，这一点不能忘记。

有人计算过由各种发电所造成的寿命缩短情况。有一本名为《无能为力的美国》（*America The Powerless* , by Alan E.Waltar）的书中记载了关于吸烟和核能所造成的寿命缩短的比较数据。

究竟寿命会缩短多少呢？核能——那些“反对”核能的科学家组织的试算结果为两天时间。因为有核能的存在，我们普通人的寿命会缩短两天。“两天”这个数值取自现实中因为核能而死亡的人及暴露于核辐射的人的平均值。

此外，根据美国核监管局计算出的数值来看，不是两天，而是0.05天。一天为24小时，0.05天即“ 24×0.05 ”，约为1个小时的时间。不管是两天的时间，还是一个小时的时间，这都是一个比较意外的数字。

如果和一个吸烟的人结婚，那么由于二手烟等的原因会导致寿命缩短50天。另外，得了肺炎或者流感的话寿命缩短105天。

令人意外的是艾滋病。得了艾滋病的寿命会缩短55天。换句话说，在当前，如果发现得了艾滋病，由于可以通过服药等避免其发病恶化，相比肺炎和流感而言，与寿命相关的危险率反而更低。

然后，癌症会缩短247天寿命。这种情况下，已经是以年为单位了。心脏病会缩短1607天。两者都是来自美国方面的数据，和癌症相比，更危险的是心脏病。

我们因为核电会危及生命而感到可怕，但科学的数据告诉我们，其实烟草和心脏病才令人恐惧。当然，我们也很难因为这些数据就改变对核电感到恐惧的心理。究其根本，我们并不是因为通过推理及数据分析而感到恐惧，而是因为恐惧所以恐惧。

不结婚，寿命将会缩短？

有点偏离主题了，为了说明什么才是真正让人可怕的，在此再补充说明一下寿命是以何种方式缩短的（事实上本来可以放入番外篇，因为和核电有关联，所以在此继续说明）。

如果一位男士是“未婚男性”，那么他的寿命会缩短3000天。一生未婚的男性，和已婚男性相比，会有3000天的寿命缩短。这里有健康层面和心理层面两方面的原因。顺便说一句，未婚女性的情况下，会缩短1600天，约为未婚男性的一半。

其次，过度饮酒将会缩短365天。大概就是一年的时间。车祸将会是207天。然后可怕的是贫困，据说会缩短3500天。换句话说，贫穷会导致过早死亡。此外，煤矿工的寿命会缩短1100天。从感觉上来讲，在煤矿工作的人们似乎身体会更不好，但是与之相比，仍然是贫穷更会让寿命缩短。还有，放射线工作人员、医疗相关工作人员、核电站工作人员寿命会缩短23天。

这样看上去，我们依稀印象的和实际情况还是不一样的。因为有这些统计数字，所以到现在为止，大多数的科学家并没有说过核能是可怕的。从概率上来讲，反而是火力发电之类所造成的死亡人数更多。

然而，有一个奇怪的现象，相比飞机事故和车祸事故，人们觉得可怕得多的是飞机事故。

可在现实中，如果比较车祸事故和飞机事故中死亡人数，可以说更危险的是几乎每天都在发生的交通事故。但是我们坐着汽车的时候，会觉得飞机更危险。坐飞机的时候，更多的人可能会有那么一点点担

心“可能会坠机，可能会死亡”，但坐汽车的时候，很少人会有类似这样的担心。

人类对于一个一个单独死亡的现象不太能感知到危险，因为感觉不到恐惧。可是对于单独一次有可能会死亡好多人的事件则会非常害怕。大多数的人对火力发电并不感到恐惧的原因是由于即便总的死亡人数很多，但是每次事件并没有引发多人死亡。

实际的危险率即使很低，一旦脑海中浮想到会有大的灾害，人们就会变得恐怖。飞机一旦坠落会有数百人死亡的这种场景可以想象出来，所以人们会感到恐惧。而关于核电，并不是死亡人数的多少，而是放射性污染会大范围扩散，眼睛所看不到的辐射，以及因为信息缺乏所造成的未知等会将我们的恐惧放大。

总之，人类并不是由于将统计所得出的数字进行比较而感到恐惧，反而是由于无法用数字来比较而感到恐慌。这大概就表明理性与情感是人类心灵中两个对立的双方吧。

火山群岛日本活火山有108个！

世界上7%的活火山都在日本

火山喷发是最可怕的自然灾害之一。2011年，在日本，新燃岳火山喷发得到广泛报道。同时富士山何时会喷发的议论也开始升温。据日本气象厅称，目前日本有108座活火山。这108座活火山包括目前有喷发活动的和过去一万年曾经喷发过的。

我们需要从两个角度来评估，长远来看会喷发的，以及短期之内会喷发的。其次，标准有两个，即现在和过去一万年。然后108这个数值，据说是全世界活火山的7%。

会有地震，会有海啸，火山也要喷发——日本真是一个有自然灾害众多的国家。

活火山分为三个等级。最活跃的是A级，包括珠山、三宅岛、云仙普贤岳等13个地方。

其次为B级，包括藏王、富士山，以及包括新燃岳在内的雾岛山。B等级共有36个地方。

活跃程度较低的C级别有36个，包括八甲田山、八丈岛、阿布火山群等。

此外，日本还存在没有任何数据记录的火山。首先，伊豆群岛的海底火山没有数据，所以我们无从考证。对于海底火山来说，一方面我们不能潜入海底进行调查，另一方面也没有过去的记录留存。此外，北方领土的火山也缺乏数据。这些没有数据的火山有23个。

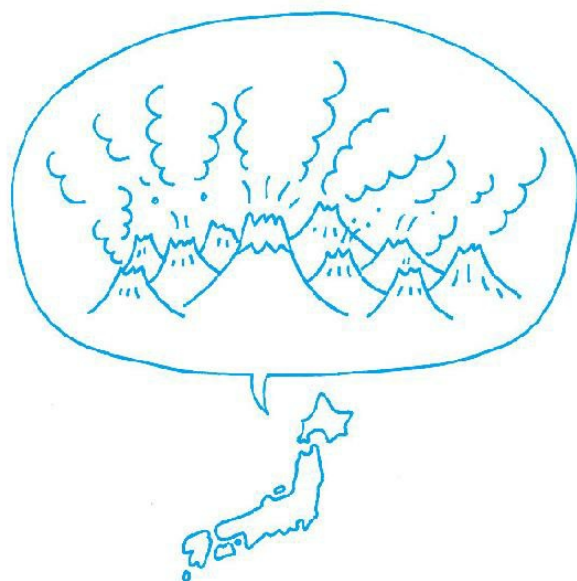
再次让人感到可怕的是新燃岳火山属于B级，它并不是A级。如果是“属于A级的活跃活火山喷发了”那么还尚可理解，但事实是“属于B级的火山也喷发了”。这样说来，并不能完全依靠所谓的活跃等级分类来看待活火山。反而是，如果是活火山，那么任何时候都有可能喷发，这样想比较妥当。

2004年浅间山火山喷发时，日本政府就意识到当时的监测系统不够充分，而如今在新燃岳火山喷发之后，才终于将铺设GPS系统等的监测体系完善。

日本是一个火山国家，但因为并没有将足够的资金花在解决对策上，所以没有对火山进行充分的监测。B级火山的喷发这一事实，如果日常监测足够充分的话，应该会出现“很快可能会爆发，需要将其活跃程度提升到A级”这样的讨论。可是事实上并没有。

更可怕的是，富士山同样属于B级。富士山的最后一次喷发是江户时代的1707年（宝永大喷发）。当时是将军纲吉统治时期，元禄文化盛行。据说在距离富士山100千米的江户地区也有火山灰的堆积。这次喷发的49天前（按目前的时间区分），发生了东海地震和南海地震连动的大地震。

即使在这次东日本大地震时，富士山正下方也发生了地震，当时大家都在紧张富士山是否会喷发。所以富士山任何时候发生喷发都不足为奇。



原因在棕榈树？不断减少的热带雨林

目前，热带雨林正在迅速减少。在印度尼西亚和马来西亚，出现了由于热带雨林减少而导致猩猩不能来往河岸的情况。

热带雨林不断减少的原因之一是由于棕榈树的种植。采伐热带雨林树木，然后种植棕榈树。也就是由于这些所谓的种植园（大型农场），热带雨林正在减少。

现在棕榈油是世界上使用最多的植物油。其85%的原产国都是印度尼西亚和马来西亚。在印度尼西亚，1990年的棕榈树种植面积为110万公顷，2002年达到500万公顷。据说其中70%是由对热带雨林的开发而种植的。此外，在马来西亚，则由1990年的170万公顷增加到2005年的400万公顷，占到马来西亚国土的12%。

我经常去马来西亚度假，在到达首都吉隆坡机场（据说是由已故的日本人黑川纪章所设计）前，能看到一片棕榈树种植园。最初看到这片棕榈园的时候我还满心悠闲地觉得“太有热带风光的特色了，太美了”，但是在多看了几次之后，便开始对于其过于“一致”而感到恐惧。看到广袤的地面完全覆盖着同一种植物，不禁会想“曾经这里生长着何种植物”，同时也意识到过度开发使我们丧失了更多。

究竟是什么原因导致棕榈树不断增加，热带雨林不断减少？这里有数据说明。

譬如说，由于我们每年使用棕榈油，结果就是日本人平均每人要消耗大约10平方米的热带雨林。10平方米，大概是3米乘3米的大小，我觉得我们有些使用过度。

顺便说一下，据说日本人最常用的油是菜籽油。菜籽油在日本人的饮食生活中比棕榈油更经常使用，当然对于天妇罗来说更是如此。然而，棕榈油不仅仅可以用于食用，还可用于制作肥皂等。认为实在没有必要牺牲热带雨林来做肥皂的也大有人在。

虽说如此，我们还需要考虑到这个国家的经济活动，比如仅仅是呼吁马来西亚“请停下来”和“请保留热带雨林”并不能解决问题，必须要有其他的代替案才行。

从整个地球规模的角度来考虑的话，热带雨林比种植园可以吸收更多的二氧化碳，因此在全球变暖的课题上热带雨林的减少仍是个问题。本来的热带雨林的土壤是泥炭地。这种泥炭地是水浸土壤，死亡的植物以不腐烂（不会被分解）的状态作为有机物留存在土壤里。

当我在皮划艇的自然之旅中看到河里漂浮着“油”时，作为日本人的我以为“河水被污染了”，但导游解释说“这是有机物”。还记得那时我震惊于日本所谓的“美丽的河流”与热带雨林的“美丽的河流”姿态截然不同。而当热带雨林开发成为棕榈种植园时，储存在该土壤中的碳被释放到大气中最终加速了全球变暖。

我们漫不经心地吃一顿饭，或用肥皂洗一洗身体，热带雨林就在这其中慢慢消失，濒危物种的动植物也因为热带雨林的减少而走投无路，这又更加加剧了全球气候变暖，这才是非常可怕的。



事实上不够吗？日本的水

人均年降水量约为沙特阿拉伯的一半

和能量殆尽一样令人害怕的是“水”。当水耗尽时，我们真的无能为力。

日本给人的印象是有充足的水。东日本大地震之后立刻出现了瓶装水售罄的现象，但因为自来水，所以我一直没有太多的担忧。

然而，有一些非常有趣的数据显示事实并非如此。国民人均降水量，也就是当我们计算降水量时，结果是日本的降水量约为沙特阿拉伯的一半。你能相信吗？这似乎是一个谎言，但它确实是科学数据。

日本人均年降水量为5114立方米，沙特阿拉伯为9949立方米。日本的人均年降水量是世界平均水平的三分之一。换句话说，日本人人均持水量并不多。

日本降水量不少，但人口也多。沙特阿拉伯降水量较少，但人口也少。顺便说一句，新加坡的人均降水量最小。新加坡与日本和沙特阿拉伯相比，数值少了一位数。

新加坡水资源不足。这是由于受到其为城市国家的影响。拥有大坝等可以蓄水的国土才可以谈到有水喝。但新加坡是人口密度世界第二大的城市国家，非城市部分的国土非常狭小。这样一来，新加坡只能买水。新加坡主要从邻国马来西亚购水，但在2010年续约时，水价迅速上涨至100倍。这简直是被抓住了软肋。

如果马来西亚对新加坡说“决定不把水卖给你”，那么新加坡将走投

无路。这是涉及“水的安全保障”的大问题。

一个国家，必须始终保持能源、水和食物在一定程度上的自我确保。日本也同样，与食物自给率一样，水的自给率和能量的自给率也是需要我们意识到的地方。

◆ 世界各国降水量

国名	人口 (万人)	面积 (千km ²)	年降水量 (mm/年)	年降水总量 (km ³ /年)	人均年降水总量 (m ³ /年·人)	人均水资源量 (m ³ /年·人)
加拿大	3115	9971	522	5205	167100	87970
澳大利亚	1889	7741	460	3561	188550	18638
美国	27836	9364	760	7116	25565	8838
世界	605505	135641	973	131979	21796	7044
日本	12693	378	1718	649	5114	3337
法国	5908	552	750	414	7001	3047
中国	127756	9597	660	6334	4958	2201
印度	101366	3288	1170	3846	3795	1244
沙特阿拉伯	2161	2150	100	215	9949	111
埃及	6847	1001	65	65	951	34

注：

1. 日本的降水量是从昭和四十六年（1971年）至平成十二年（2000年）的平均值。世界以及各国降水量出自1977年召开的联合国水资源会议的相关资料。

2. 日本的人口数据出自平成十二年（2000年）的国势调查。世界人口数据出自United Nations World Population Prospects, The 1998 Revision 的2000年推算值。

3. 日本的水资源量使用的数据是水资源赋存量（4,235亿m³/年）

世界及各国的水资源量出自World Resources 2000-2001（World Resources Institute）中的水资源量（Annual Internal Renewable Water Resources）

参考: <http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/junkan/index-4/11/11-1.html>

地球上可以饮用的水有多少？

对不起，突然说到日本的水量这个话题可能吓到你了。当然，与新加坡不同，现在的日本有足够的水用来饮用。所以不必担心，让我们来考虑下地球上可以饮用的水有多少。

地球上的水有14亿立方千米。14亿立方千米，即边长1千米的立方体有14亿个。这是一个巨大的数字，但其高达97.5%的水都是海水。而且，在包括冰在内的地球上存在的水中，可饮用的淡水仅为0.01%。仅仅有14亿立方千米中的35万立方千米。虽然地球被称作是一个水行星，但大部分都是咸海水，实际上的淡水量少得惊人。

这里有一个重要的概念，是虚拟水的概念，指的是间接使用的水。目前日本的食物有60%是从海外进口的。比如说，我们在进口玉米。但是，没有水就不能种植玉米。换句话说，我们在进口玉米的时刻就在间接使用水。这，就是虚拟水。

假设生产玉米的国家发生干旱，没有水可以使用。如此一来玉米将无法收获。因此，不仅要考虑来自日本的水，还要考虑包括虚拟水在内的“世界之水”，这种观点是很有必要的。不可以认为因为日本有水，所以就安全。

如果全球水资源短缺，“食物”将不会进入日本。由于日本的粮食自给率为40%，那时候将变成一个非常令人不安的状况。

基于日本在何种程度上依赖于海外虚拟水的考虑，防止全球荒漠化蔓延的国际贡献也是非常必要的，因为缺水终将不再仅仅是别人的事情。

你能想象得到日本人因为世界缺水而“饥饿”的情况吗？可能会很难。尽管经济持续低迷，但现在日本仍然是一个“饱食”的国家。餐桌或餐馆里像山一样的残羹剩饭不都是被扔掉了吗？

也许，真正可怕的是，日本人甚至可能完全无法想象，在将来的数十年之后有可能会出现全球水资源短缺及由此派生的粮食短缺。我们经常听到“和平痴呆”这个词，对于无法感知危机正在逼近的日本来说，是否还有未来可言？



超巨型海啸的可能性

最大的海啸有多大？

我从东京大学地震研究所的田中博之先生那里听到了一个可怕的故事。我们在本书中讨论过地球上最大的地震，那么最大的海啸有多大？

当然，除了巨型陨石飞出太空的世界末日之外，目前（相对而言）平和状态的全球环境中，可预计的最大海啸是多少米？

读者可能会惊讶至极，难以相信。有人指出，高度为1000米的超巨型海啸有发生的可能性。人们在位于非洲西北海域的加那利群岛的拉帕尔马岛的三分之一处发现了一个倾斜的断层，由于火山喷发而引发巨大的地面落入大海，就像一个孩子一下子跳进了浴缸一样，海平面因此异常上升。

1000米是一个难以想象的高度。这将是一个比634米的东京天空树[1]—高得多的海啸。东日本大地震中由于10米高的海啸引发了近2万人死亡和失踪，1000米高的海啸究竟意味着什么，应该可以明了吧。

可能有点过于吓到大家了。

所谓的高度1000米，指的是火山喷发周围的海域，海啸在从该海域向整个地球蔓延的过程中，高度将逐渐降低，到达纽约附近时据说会下降到10米左右。此外，1000米的高度指的是大部分土块同时崩落到海里的情况下的高度数值。事实上比这个高度低得多的海啸发生的可能性会比较大，所以也不用过度担心。

田中先生是使用名为 μ 介子的基本粒子进行火山内部透视研究的第一人。是一位我们希望能对拉帕尔马岛断层状况及火山喷发迹象等进行事先推断的大人物。据说可以通过人为破坏一部分土层或是反向加固一部分，来根除巨大海啸的“萌芽”，但如此大规模的土建工程是否可以实现就不得而知了。

总之，我们忍不住会惊讶，导致人类灭亡的危险就潜伏在大多数我们所没有注意到的地方。或许，不知道的，才是最可怕的。

[\[1\]](#) 东京天空树又译东京晴空塔，其高度为634米，于2011年11月17日获得吉尼斯世界纪录认证为“世界第一高塔”，已成为东京的象征之一。（译者注）

Part 5 关于科学家的“可怕”故事

恐怖科学家的系谱

原子弹和氢弹

科学家，不是经常被世人认为是“可怕”的存在吗？尤其是物理学家，因为发明了原子弹和氢弹，所以留给世人的一直是一个恐怖的形象。

例如，爱因斯坦推导出了“ $E=mc^2$ ”的方程式。这是原子弹核爆的原理，同时也是原子能发电的原理，更是恒星能发光的原理。

如果没有“ $E=mc^2$ ”的方程式，物理学家或许就不会考虑从核裂变中提取能量吧。直到有了方程式作为原理，才明白要如何提取能量。

让我来解释一下如何提取原子弹的能量。原子核分裂的时候，中子不断地增加。裂变首先产生两个中子。中子各自撞上铀，核裂变就再次发生，然后再产生四个中子。通过这种方式，随着一次次核裂变，中子的数量也变成了2、4、8、16，总之就是成倍增加。这是一种连锁反应。能量会连锁性地增加，如果它无法控制的话，就会发生巨大的爆炸，这就形成核爆。

还有一个叫作核聚变。是用与核裂变相反的方式提取能量的机制。人类现在正在努力建立核聚变反应堆。在核聚变反应堆中将小小的氢元素和氦元素融合。当小核融合成大核时，能量也会释放出来。在太阳和其他恒星内部，正发生着类似的核聚变反应。太阳最多的能源是氢，通过氢元素的相互融合，成为更重的原子核。那个时候，能量就会被释放出来。并且，当氢燃烧殆尽时，接下来就会开始燃烧氦。即逐渐燃烧具有更重原子核的元素。

当开始燃烧氦的时候，就会处于无法控制的“氦闪光”状态，甚至有时恒星会发生爆炸。也会有将元素融合并一点一点消耗能源的状况发生。在那种情况下，最后连碳等元素也会被燃烧掉，形成铁。变成铁的话，将不能再作为燃料使用。铁是能量最低的稳定性元素，因此不能再融合。

在宇宙中最初形成的恒星（第一恒星）燃料同样也是只有氢。当它耗尽能量时，就引发了超新星爆炸。所谓的超新星爆炸指的是，质量超过太阳30倍的第一颗恒星耗尽了其燃料。当内部已经不会再出现任何能量时，会因自身的重力而收缩以致爆炸。由于超新星爆炸，恒星中的各种元素也散射到宇宙中，然后这些元素再次聚集在一起形成另一颗恒星。这样一来，第2代、第3代恒星也就会含有重一些的元素。

太阳再过50亿年就会燃尽所有能量吧。也就是说，核聚变会结束。然而，由于太阳的质量不够重，因此不足以引起超新星爆炸，所以它只会不断变得大，最终变成一颗红色的巨星。

那样的话，水星和金星将被吞噬，但在此过程中各种物质将会出现在周围，太阳将变轻，因此轨道也将会扩散，地球和火星虽因距离较远将不会进入被完全烧毁的区域。但是，地球的地表将会达到灼热地狱般的高温。

那么，让我们回到核聚变的话题上来吧。

核聚变的原理也是“ $E=mc^2$ ”。并且，氢弹实际上是“核聚变炸弹”。由于加入了原子弹及核聚变的系统，所以释放出来的能量也是非常巨大的。

就像这样，物理学家着手研究的东西，像原子弹、氢弹等，具有普通人无法理解的，并且人类所无法承受的，甚至能够破坏地球的威力。

物理学家的形象就像很久以前的炼金术士一样。躲在实验室里，咕嘟咕嘟地煮着烧瓶里奇怪的液体。或者，他们想要通过实验来造出人类和金钱，所以给人一种在使用魔术的印象。

我想，就是这些原因导致了人们对物理学家的恐惧。毕竟，他们是知道如何提取足够的能量来破坏整个城市的那类人。另外，我认为从文科生角度来看，通过使用数字和专业术语来操纵他们完全无法用语言理解的东西，也是很可怕的。

科学家是否缺乏常识？

另一个重要的事情是，物理学家中“也”有一些没有社会规范或常识的人。因为他们非常优秀，一直都活在校的封闭世界里。也就是说，没有去过现实的社会中。当然，也有人在进入公司任工程师等职业之后又回归大学的。那些人经历过作为社会人的锻造，他们的个性会变得圆润（当然也有不会变的情况）。

但是，有许多学者并没有经历过作为社会人的锻造。他们从出生以来，幼儿园以后就一直生活在校里。从普通人的意识来看，一辈子都在学校，是件相当奇怪的事情。

简而言之，他们不识人间烟火，所以经常会在战争时代被世俗之人巧妙利用。比如美国曼哈顿计划中发明原子弹的物理学家们。他们中的大多数人并没有想到他们制造的原子弹会被用于人类自己。

参与曼哈顿计划的物理学家间接地杀死了数十万人，这是他们事先没有想到的。作为个人，他们应该是珍惜家庭的人道主义者，但是他们不知道他们的研究给现实社会带来多大影响，最终制造出了大规模杀伤性武器。

如果事先被告知“你们所研发的炸弹会被投到日本”，那么拒绝参与的物理学家应该有很多吧。然而，政治家和军人所谓的“仅仅是通过该实验结果来震慑敌国，以引导战争结束”，轻而易举地就将他们欺骗了。

被曼哈顿计划所利用的科学家

大卫·博姆（David Bohm）是参与原子弹研发项目“曼哈顿计划”的物理学家之一。该物理学家是一位被迫参与该计划的悲剧物理学家。他是致力于原子弹和氢弹研发的名为奥本海默（Oppenheimer）的极著名物理学家的弟子。

大卫·博姆在大学时期是一位社会主义和共产主义活跃分子。因为策划学生运动，被认为思想有问题，最初并没能参与到“曼哈顿计划”。

然而，在大卫·博姆的物理论文中，包含了对“曼哈顿计划”绝对必要的成果。因此，大卫·博姆被强迫参与进“曼哈顿计划”。然而，悲剧的是，他的博士论文成为绝密，被转用到军事上并被视为国家机密。自己的研究成果不可以被公开，作为一名研究人员，这是很痛苦的。

之后，第二次世界大战结束，“冷战”开始。在1949年的美国，麦卡锡主义，也就是迫害共产主义人士和自由主义人士的一所谓“红色恐慌”盛行。大卫·博姆因为曾经的学生运动而被怀疑，他被传唤至反美行动委员会。

当时，大卫·博姆行使了保持沉默的权利。结果，他于1950年被捕。虽然于1951年11月被无罪释放，但由于这一事件，普林斯顿大学助理教授一职被解任。不由得觉得，这似乎与被异端审问的伽利略有点相似。

惜才的爱因斯坦与普林斯顿大学进行协商，是否可以在普林斯顿大学将大卫·博姆作为助手雇佣，但当时大学方面并没有同意，于是大卫·博姆失业。他不得不搬到巴西的圣保罗大学。《红色恐慌时期》的社会

状况，于现在很难理解，但在当时就像中世纪的政治迫害一样，一旦被打上烙印，就不能再在公立大学任职。

大卫·博姆从美国前往巴西时被没收了护照。简而言之，这意味着你不要再回来了，那便是事实上的流放国外。

那之后，大卫·博姆搬到了以色列，然后结婚，后来就读于英国的布里斯托尔大学，进行一项革命性的“阿哈罗诺夫—玻姆效应”（Aharonov-Bohm effect）的量子理论研究。这是一项可以与诺贝尔奖匹敌的成就，可能受到了其政治标签的影响，最终并没有获奖。

晚年时期的大卫·博姆开始批判科学技术。科技被用于和平，也被用于破坏。他说，困扰源于人类的“思考”，即人类会思考，思考本身是原罪。那些不会像人类一样通过语言来思考的动物则不会制造杀伤性武器。这就是一位命途多舛的物理学家最终所到达的境地——和平运动。

原子弹打开了潘多拉的盒子

爱因斯坦也在晚年致力于和平运动。他不仅是公式“ $E=mc^2$ ”的发现者，还曾在给罗斯福总统的信中署名。

这封信的内容是关于纳粹德国即将研发原子弹，“如果美国袖手旁观，纳粹将统治世界，美国应该研发原子弹”。虽然并不是仅凭这封信罗斯福总统就签发了研发原子弹的决定，但不得不说极具影响力的爱因斯坦署名的信，还是意义重大的。

爱因斯坦是犹太人，他于1933年离开德国。当时纳粹德国已经崛起并危及其生命，爱因斯坦不得不辞去柏林大学教授一职流亡到美国。因为有过这样的过去，所以他深深地感到纳粹的强大威胁。

尽管有当时那样的背景为理由，但从结果来看，当时的署名或许就决定了广岛和长崎死去的数十万人的命运。战争结束后，爱因斯坦与哲学家罗素（Russell）发表共同宣言，开始了和平运动。

原子弹所打开的潘多拉的盒子非常之大，大到实际制造它的物理学家也对自己所做的事情胆战心惊。作为个人来说，本来是一个好父亲、好丈夫的人所进行的研究，结果却导致了悲剧。

可遗憾的是，这样的教训并没有被后世所吸取。后来，氢弹在“冷战”期间被研发出来，目前全世界有惊人数量的导弹，以及有可以多次摧毁地球但仍有剩余的多种核武器。

人类被焦虑感驱使——美国担心被苏联摧毁，而苏联又担心被美国摧毁，这样的恐惧感驱使着人类不断动员物理学家继续制造比原子弹更具

破坏力的武器。

斯大林和悲剧的科学家

我们再来看另一个例子。有关俄罗斯著名物理学家朗道的案例。这是科学家为什么会参与到武器制造当中的一个例子。

列夫·达维多维奇·朗道（Lev Davidovich Landau）。他曾获得1962年诺贝尔物理学奖。在科学界，他是著名的“物理学教程”教科书的作者。

他于1938年与同事一起被捕。原因是制作了批评当时统治苏联的斯大林的宣传册。虽然不是主犯，但他和几位同事一起申诉“苏联在独裁统治下正走向错误的方向”。在那时的苏联，这是一个会被拘留，甚至一不小心就会成为死刑的危险行为。

朗道出生于1908年，当时他大约30岁，是一位刚刚崭露头角的物理学家。时任研究所所长的卡皮察（Kapitsa Petr Leonidovich）是一位有政治力量的人物，他十分欣赏朗道的才华，经过其巧妙周旋，朗道在一年的时间内被释放。

基于上述经历，朗道于20世纪40年代至20世纪50年代参与了苏联原子弹和氢弹的研发项目。虽然并非他本人意愿，但他有过被捕经历并始终被当局盯着，所以如果他拒绝，那么就很有可能会被枪杀。无奈之下，朗道接受了这项工作。

结果，由朗道所设计的计算机数值计算可以准确估算氢弹爆炸的威力，为氢弹的研发做出了巨大贡献。他在1949年和1953年两次获得“斯大林奖”，并于1954年获得“社会主义劳动英雄”的称号。

这在当时的苏联时代，是至高的荣誉，就像在日本获得勋一等（日本国之一类勋章）一样。因此，本该因为叛国罪而可能被判死刑的朗道，由于为氢弹研发做出的贡献一举成了苏联人的英雄。这其实的确有点讽刺。

在权力面前，一位科学家确实是很弱势的，这是毫无办法的事实。如果生命都没有了，那就什么都没有了。如果家人的安危受到威胁，大多数人都将无法反抗。如果有可能的话，也许可以像大卫·博姆那样选择流亡，但对于朗道来说，他连流亡的机会都不曾有过。

后来朗道因车祸头部严重受伤，于1968年在莫斯科逝世。

这样一来，都不知道是该说物理学家恐怖，还是该说国家政权恐怖了。

那么，说到伽利略为什么会被审判，最直接的原因是因为出版《天文对话》并主张“地动说”。但是，伽利略并没有亵渎上帝，也没有否认上帝。在当时，一旦主张无神论，那将必死无疑。

伽利略审判的真相

伽利略审判进行了两次

（时间顺序为倒叙）首先让我们来看第二次审判。

在第二次审判中被定罪的伽利略，已经不再可以谈论哥白尼日心说（地动说）了，因为他被软禁起来了。说是软禁，但其实也仅仅是被关在伽利略的贵族朋友家里。只是需要有种形式上的惩罚。

究其原因，虽说有其传播了哥白尼理论的原因，但实际上是由于神圣罗马帝国和罗马教皇之间的冲突。伽利略的赞助人托斯卡纳大公国，是属于神圣罗马帝国的一个分支，与当时的罗马教皇关系微妙。在这种政治背景下，罗马教廷对年老的伽利略进行了以儆效尤式的审判。

教皇当时是伽利略的密友，所以伽利略本人一定认为教皇会在紧急情况下帮助他。这也是伽利略失策的地方。

然而，虽然作为朋友的教皇没有帮助伽利略，但伽利略也并没有被判处死刑，而是被允许待在友人贵族的家里，后来还允许他回自己的庄园。

沸沸扬扬的审判结果是非常轻微的处分，那其实仅仅是对于托斯卡纳大公国的一种杀鸡儆猴。这场审判并不存在后人所谓的诸如宗教和科学的斗争。

并不存在科学与宗教之间的对抗

在第二次审判中，被判有罪的决定因素是因为伽利略违反了“不再谈论哥白尼论”的第一次审判的宣誓书。那个宣誓书现在还保留在罗马教廷。只是，奇怪的是，宣誓书上并没有伽利略的签名。

关于伽利略审判有各种各样的说法，不过在研究者当中，也有人认为“根本就没有第一次审判”。

这种说法认为，所谓的第二次审判的时候，因为很多利益相关人员都去世了，所以就捏造了一些实际上不存在的事实。

还有一种说法是“虽然在形式上有第一次审判，但并没有要求伽利略署名”。也就是说，为了使诉讼方能够接受判决结果，而宣称“伽利略在宣誓书上签了字”。第一次审判的审判长，是贝拉尔米诺枢机主教（**Francesco Romulo Roberto Bellarmino**），伽利略的好朋友。因此，当时的情节很有可能是，“某位教会相关人员因为嫉妒你而向异端审判所申诉。我是异端审判所的所长，所以不得不接受申诉，但我会宣称你已经签了名，请相信我会妥善处理好的”。

因为伽利略是精于世故的人，他能意识到有反对派的威胁。他拜托异端审判所所长贝拉尔米诺枢机主教写了一笔“伽利略没有被问罪”，并将其保存了下来。

但是，尽管提交了贝拉尔米诺枢机主教的记录书作为第二次审判的证据，那封记录也没有作为证据被采用，而是采用了第一次审判时的伽利略没有签名的宣誓书。也就是说，第二次审判从一开始就已经有定论，虽然仅仅是形式上的，但应该是在那时候就已经决定要惩罚伽利略

了。

第一次审判后，哥白尼的《天体运行论》（*On the Revolutions of the Heavenly Spheres* , by Nicolaus Copernicus）一书进入了禁书目录。但是稍微略加一点点的修正，把原来断定的地方改为类似“有该种能性”一样的内容，其再出版仍然获批。

“当时的教会拼了命地试图封存‘地动说’之类”的传言，事实上完全不存在。也就是说，后世所说的“科学的真理”对决“顽固的宗教”这样的关系，原本就没有存在过。

在学校学到的是谎言科学史？

简而言之，一位叫伽利略的科学家，由于太过于接近权力而在晚年被卷进了纷争，也就仅此而已。

实际上真正可怕的不是罗马教会，而是我们正在学习的谎言的科学史。而这些内容会在伟人传记中流传的原因，说起来与18世纪以来的法国启蒙运动和法国大革命有关。

“天主教信仰及绝对王政等古老体制已需废除，全部都要重新建立。今后要相信科学发展人类”的进步主义由法国大革命催生。进步主义是一种重视人类的思维方式，这种方式到现在为止仍然在持续。

当我们以这样的视点回顾过去的时候，据说过去好像有一个与宗教斗争过的科学家吧。

“哦，哥白尼似乎受到了迫害。”

“伽利略也是。”

然后就这样，他们被视为为了科学而殉职的人。再重复一次，在18世纪以前并没有（在现代意义上的）科学这个概念。可以说，我们都学着所谓的谎言科学史。科学史的专家非常少，在大学理学部和工学部的专业中，科学史也不是必修的。因此，大部分科学家和工程师其实并不了解他们领域的真正历史。我想，科学家都不了解自己的领域的历史，这也是一件可怕的事.....

番外篇 武器、模拟科学等

天上掉下铁锤

美国正在开发的新武器

网络论坛中由美军开发的“上帝之杖”的太空武器成为话题。信息源是一篇“美军拟部署空天母舰可摧毁中国各类军事目标”的网络文章。从网站上看，确实有“上帝之杖”的新闻。总结内容之后，大概是这样。

美国开发的“上帝之杖”计划是将直径30厘米、长约6米、重100千克的金属棒，从在高达1000千米的宇宙空间中漂浮着的发射台“扔”向地面。金属棒搭载了小型推进火箭，材质为钛或铀。通过卫星的引导，可以瞄准地球的所有地方。

由于金属棒的落下速度将是超过1万千米的时速，它具有与核武器相当的破坏力。此外，因为它是一根“棒”而不是炸弹，所以可以深入地下并摧毁地下数百米的军事设施。它的命中率也很高，很难像导弹一样被拦截，也不会发射无线电波，所以被认为是一种在事实上几乎不可能进行防御的武器。

到目前为止，能想象到可以从空中降下的东西，比如导弹，或者充其量是激光武器之类的。可以瞄准地球上的任何地方，甚至连地下数百米的目标都能破坏的话，与其说是“上帝”之杖，不如将其命名为“恶魔”之杖反而显得更为恰当吧。

上帝之杖的想法，据说是科幻小说家杰里·帕内尔（Jerry Eugene Pournelle）20世纪50年代在波音公司工作期间想到的。此后，在2003年，美国空军的报告书中有了详细的规格刊载，从那时起，该想法开始带有现实色彩。不知是否因为媒体察觉到它已经进入实用阶段，所以进

行了此次的报道。不过，究其根本，这个想法说到底只是科幻级别的话题，想要实现还有很多难题需要解决吧。

因推特而被强制遣返

说起美国的军事“武器”，在2012年初，发生了这样一件事。有一对英国情侣在推特（twitter）上发布了一条关于美国的推文，结果导致其不能进入美国而被强制遣返。其推文直译过来是“我要摧毁美国”。但其原文“摧毁”（destroy）一词，是英国的年轻人用语，据说意思是“华丽地玩”。结果根据字面意思来理解的美国当局就开始神经质地对普通旅行者进行调查，并最终拒绝其入境，这才是事实的真相。

但是，这件事情不能仅仅以“愚蠢的年轻人的推文”来做结论。因为，还留存有一个疑问便是“为什么美国当局会知道平淡无奇的一介英国市民的推文呢”？

据说，存在着一个名为Echelon的全球规模的互联网监听网，由美国和一些同盟国（比如英国和澳大利亚等）共同操纵。众所周知的是，这样的监听网是否真的存在，完全没有任何正式的信息。

英国的年轻人兴奋地发了条推文，然后美国当局是不是通过Echelon察觉信息，然后在机场实施抓捕的呢？还是说用其他的某种方式确定了该年轻人是“有恐怖主义可能性的人物”呢？

如果日常会话都被某处的军事组织监听，而且头顶也时刻被“上帝之杖”瞄准着，这就远不仅仅是可怕而言了。更甚的是，连知道真相的方法都根本不存在.....

在《天使与恶魔》中出现的反物质炸弹

具有惊人威力的炸弹

有一部叫《天使与恶魔》（丹·布朗著，他也是《达·芬奇密码》的作者）（*Angels & Demons, by Dan Brown*）的大受欢迎的电影和同名小说。那部作品里出现了反物质炸弹。所谓“反物质”，就是物质和电荷相反的东西。例如，电子的电荷是负的，相对地，带有正电荷的电子叫作正电子。或者说叫“反电子”也许更容易理解它的意思。同样，质子的反面叫“反质子”。

物质和反物质发生碰撞时双方都会消失，大部分会变成光，残余会成为能源并发生爆炸，所以可以用来制造炸弹。

假设我拥有反物质块，将其放入玻璃杯中并保持真空，打破真空玻璃，则物质发生反应并会爆炸。

炸弹的威力与其质量成正比。根据公式“ $E=mc^2$ ”，能量是“重量 $\times c$ 的平方”，与重量成正比。“ c ”是光速，用千米为单位表示的话是每秒30万千米，米为单位的话即每秒3亿米。因为将其进行平方，所以系数会非常大。其结果算出来的能量将是没有位数的。

如前所述，核聚变和核裂变也使用公式“ $E=mc^2$ ”。在核聚变和核裂变之前及之后重量都会减少，减少部分作为能量会被释放出来。在这种情况下，并非所有重量都会消失，消失的只是其中一部分。

然而，在反物质的情况下，当与物质发生碰撞时，所有重量都会消失，因此它将产生极其巨大的能量。正负相加则为零。同样，如果粒子

和反粒子发生碰撞，重量也将成为零。但是，这种情况并不仅仅是重量变成零，而是一切都将转化为能量。

像《天使与恶魔》中描述的那样，反物质作为炸弹来使用是存在可能性的，但是这些东西不通过大规模的国际合作和国家计划来制造的话，估计是不可能实现的。这样一来，恐怖分子去大型实验室“窃取”的情况很有可能发生。所以，反物质的管理必须要比放射性物质的管理更为严格才对。

血型性格判断的谎言

喜欢血型性格判断的日本人

有许多人会相信血型占卜和性格判断吧。在日本、韩国，还有其他的很多地方，血型性格判断理所当然地被相信。但在美国和欧洲，（几乎）没有根据血型来判断性格的。至于有无科学依据，可以断定基本没有。

决定血型的是表面蛋白质。奥地利的卡尔·兰特斯坦纳（Karl Landsteiner）博士由于发现了ABO型血型，获得了1930年度的诺贝尔生理学或医学奖。血型是一个真真正正的科学的概念。脑的“回路”会对性格产生影响，但为什么红血球表面的蛋白质会与影响人格的大脑“回路”有关？这有点让人不可理解。

在没有科学依据的前提下，把血型占卜当作一种游戏来看也无妨。但是如果血型占卜导致社会歧视，那则是极其可怕的事情，是绝不可以有的。据说在日本，有的公司会在你进公司之前询问血型。如果是B型，会被认为“没有协作性”，则会被拒绝录用。不，这不是一个笑话，非科学的迷信被用于社会歧视，真的很可怕。因为，这将会改变许多人的命运。

只是，相信的人有很多，即使告诉他“并不存在由血型造成的性格差异”也往往容易得到一种答复“根据我的经验我认为确实有”。

我以为，这是由于他们在将这些带有偏颇的信息，努力试图让自己相信。它与早晨电视台播出的“今日运势”或者“巨蟹座的你是……”相同，也是占星术的一种。

以开普勒定律而闻名的德国天文学家开普勒以出售他的预言日历谋生。这就像是运势占卜。现在仍然有根据出生月日来决定运势的书，而且还很畅销。这种状况自开普勒的那个时代以来，就没有什么变化。在16、17世纪，科学、占星术、炼金术等全部浑然为一体，自然哲学家和占星术师，同时做着像天文学一样的研究。可是在现代社会中仍然有同样的事情，我认为这确实有点问题。

“科学绝对正确”也很可怕

此处似乎难以用对错来断言。在现代，没有科学根据的血型性格判断和占星术频繁地在电视上播出。但是，科学家是否应该说“那是不科学的，请停止播放”，却是一个非常难以回答的问题。之所以这么说，是因为如果认为应该说，那将变成科学至上主义。宗教至上主义不好，科学至上主义也同样可怕。如果没有日本最高学术机关学士院的许可，这样的信息就不能被播放，或者不能被刊登在杂志上，那将是过分的审核。

尽管现在仍然有一些国家，有其伟大的宗教领袖，他们对电视和报纸进行审查好像也理所当然一样。另外，还有一些国家则由政府控制媒体。

从自由主义、民主主义的角度来看，这样的审查显然是不健全的。所以我认为，在电视上播放进行血型性格判断的信息也是可以的。但是，希望可以附加“没有科学根据”的注释。

表达的自由性有时和科学的正确性不能相容。但即使不相容，也有表达的自由。否则，这将是一个非常可怕的社会。所谓的科学上正确，不过是特定时代特定国家的科学家们认为是正确的。

譬如牛顿的时代，牛顿的方程式被认为可以预言所有。但牛顿之后的量子力学被发现以后，人们意识到，自然界中存在着牛顿力学计算所不能涵盖的部分（即不确定性，无论如何也无法知道的极限）。

另外，本书也提到了，科学有时也会产生像脑叶白质切除术那样的悲剧，所以不要盲目迷信科学。同时我们还必须防止人类因非科学的事

物变得不幸。并且我们可以自由地讲述这些事情，可以享受言论的自由也是很重要的。

科学本身所具有的本质上的可怕之处，在于“将只有‘科学正确’变成绝对标准”。如果科学能够决定一切的话，那当然是件可怕的事情。

相信伪科学是很危险的

要怀疑听起来似乎很科学的话

有很多词语听起来是科学术语，但其实也许根本和科学无关。

比如，我们经常听到“波动”这个词。虽然有“波动会使身体变好”等各种各样的说法，但是当问到“波动是什么”时，很多人都无法回答。从科学上讲，波动是一种单纯的波浪现象。海浪，空气的振动，或电磁波，这些都是波动。只是这些与一般流传的“波动的能量可以使身体变好”之类的，完全没有关系。

在量子力学中也有波动。所有物体都由量子组成。量子既像波浪又像粒子。然而，量子力学中完全没有任何与人类健康相关的内容。只是一般人听到“波动”这个词，总会有一种似乎与科学相关的印象，所以往往容易被相信。

科学用词非常严谨。波动必有能量产生，但并没有发现其与人体有关。

“Free Energy”^[1]一词也一样。有些人主张存在可以无穷尽取出的能量。“Free Energy”中的“free”意味着“自由”，但如果说它与“自由能”意思相同，那就完全错了。

“自由能”是一个明确的物理、化学术语。在化学中，有各种各样的自由能。一旦确定了压力和温度等条件，就可以确定在该框架内可以自由用于工作的能量。这是科学上所讲的自由能。并不是说在哪里可以有取之不尽用之不竭的能源。

此外，还有真空能量。真空不是指什么都没有的状态。在物理学上，基本粒子瞬间产生，瞬间消失，这被称为生成和消亡。换一个词来说，它也叫“零点能”。指的是在本来应该完全没有能量的最低能量状态下，仍然有有一些什么东西存在。问题是零点能量（真空能量）并不能取出来使用。至今为止，还没有在这方面成功的科学家。

然而，在一些物理学家中，有人认为总有一天这种真空能可以被使用。不过，这也只是一个假设。

那些说“因为是free energy，所以可以无穷尽地取出”的人们，说不定打算凭着这样单纯的假设来做生意。希望大家不要被误导。

这与科学无关！

另外，还有一种能量能够使整个宇宙膨胀，被称为暗能量（Dark Energy）。它也是真空能量，由真空本身所存在的能量使空间膨胀，这是爱因斯坦发现的，至今仍然未被真正识别，也没有人能成功地提取出该能量。

由于该能量能够使整个宇宙膨胀，这会是极其巨大的能量，而其形态既不清楚，也无法被检测出来，所以该能量无法被提取出来使用。

这样的比较模糊的概念的总称，被称为Free Energy。

由于教科书中所写的科学故事仅仅只是其中的一部分，所以一般我们都会认为还有很多我们所不知道的事实。结果就是，科学和伪科学变得很难区别。

而且，也很少有书会解说“这不是真正的科学”。即便有这样的书，也鲜有读者去阅读。相对而言，还是那种“由于自由能量……”和“波动是……”的书会比较好卖。

我觉得，有人出那样的书也是可以的。虽然骗人是不好的，但如果由于知道“波动会使身体变好”，然后你的心情就变得更好，那也没有必要根除这些书。但是，如果因此而赚了很多钱，那这便成为一个很明显的欺诈行为，必须受到法律的制裁。另外，即使仅仅是写书，也必须明确说明“这与科学无关”。

[1] Free Energy一词直译过来为“自由的能量”，为了与物理、化学术语的“自由能”区别开来，所以此处采用英文原词，不做翻译处理，下同。（译者注）

后记

读了本书校样的妻子透漏了一些她的感想，“有可怕的，也有不可怕的”。确实，“恐怖感”是一种很主观的情感。妻子给出了一个例子，“在中国，在一个半身麻痹的女性大脑中发现了长23厘米的寄生虫”，她觉得这样的新闻很可怕。寄生虫（线虫）为了使自己“住”得舒服，会把周围变成肉瘤（总之就是给自己做了个睡觉的“床”）。

另外，我在推特上征集了恐怖科学的例子，然后收到了“用克隆的自己进行人体实验”“iPS细胞的研究”“基因重组”“这个宇宙可能是谁的创作物”“（科学家）认为自己能成为神”“玩弄大脑的研究”“意识的视觉化”“中子炸弹”“遥控无人战斗机”.....诸如此类的回复。果然，恐怖感也是多种多样的（感谢各位的回复）。

我本人非常害怕学校生物课上的解剖，但在某位生物学家看来，再也没有比这更“美丽”的东西了。将人类的遗体塑料化后再进行展示，这究竟是美术还是医学？..... 由于想法不同，我觉得这也可以说是可怕的。

我有一位生物学家朋友，为了知道动物的脑的何处有反应，就杀了该动物，并将其大脑切薄片，然后用显微镜观察。我对于这个行为害怕得不得了。如果和他一起喝酒，等你突然反应过来的时候发现被他“拘禁”，头盖骨已经被削掉，还跟你说：“我会把你的大脑切得很漂亮.....”不不不，有点妄想过头了。

写完这本书，不知不觉中以某种方式领悟到了科学可怕的一面。同时，脑中另一个自己还在说“不是还有比这更可怕的科学吗？”对这次选材感到不满足的另一个自己的存在，这也是事实。

最后，感谢从本书的策划到出版都给予我们照顾的PHP编辑团队的田畑博文先生。各位读者，感谢您读到最后！

参考文献

向读者推荐的精选“可怕”科学书籍（并不是文献的罗列）。

《孩提时代的记忆是真的吗》：[巴勒斯坦-英]卡尔·萨巴（Karl Sabbagh）著，[日]越智啓太、雨宫有里、丹藤克也译，日本化学同人出版。

《图解死刑全书》：[法]马丁·莫内斯蒂埃（Martin Monestier）著，[日]吉田春美、大塚宏子译，日本原书房出版。

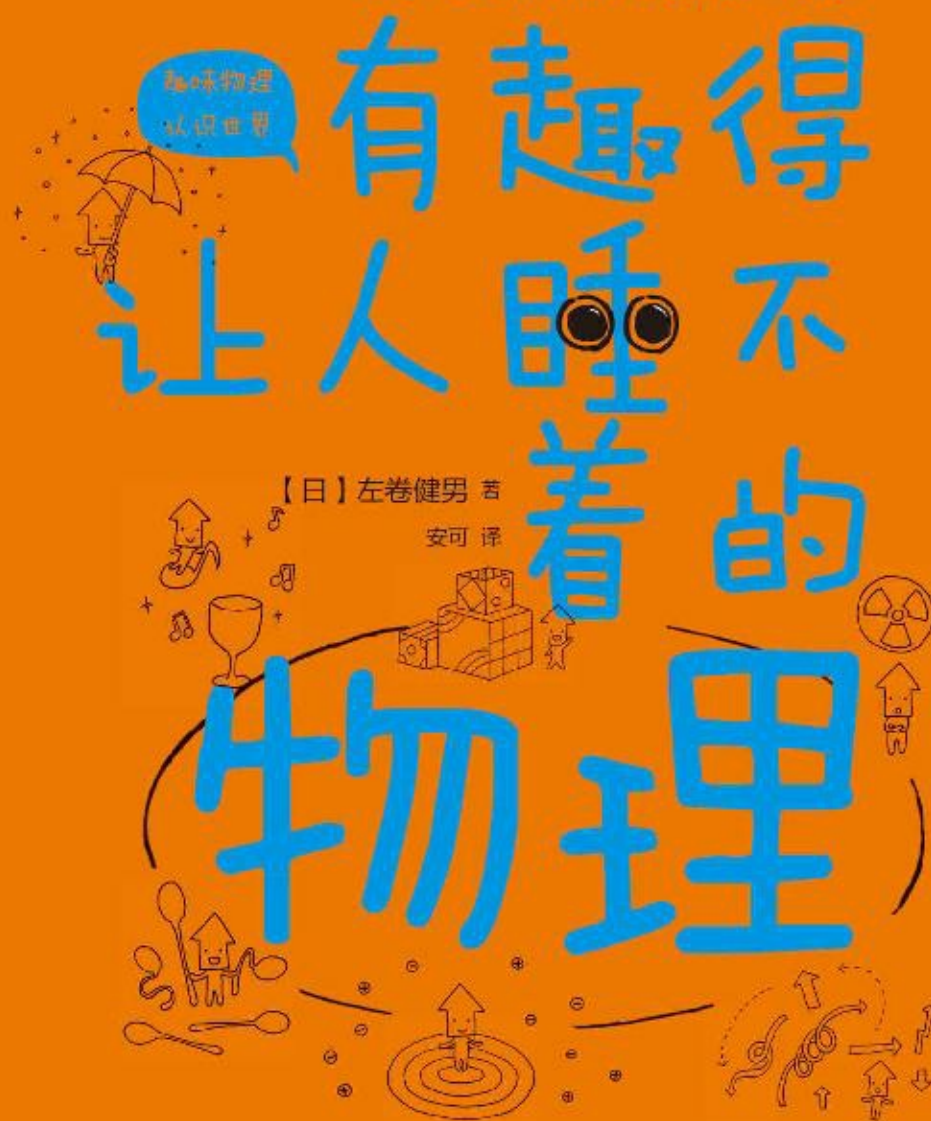
《H5N1：强毒性新型流感病毒登陆日本的情景》：[日]冈田晴惠著，日本钻石社出版。

《彩色图解黑洞宇宙》：[日]福江纯著，日本Si新书出版。

《隐藏的宇宙（上，下）》：[美]莱恩·格林（Brian Greene）著，[日]竹内薫监修，[日]大田直子译，日本早川书房出版。

《物理学家朗道》，[日]佐佐木力、山本義隆、桑野隆编译，日本MISUZU书房出版。

面白くて眠れなくなる物理パズル



北京联合出版公司

关于作者

【日】左卷健男

日本法政大学教职课程中心教授。1949 年出生于栃木县。历任东京大学教育学部附属中·高等学校（现东京大学教育学部附属中等教育学校）正教员、京都工艺纤维大学教授、同志社女子大学教授、法政大学生命科学院环境应用化学系教授等。现为东京大学讲师（非常勤），中学理科教科书（新科学）编辑委员、执笔人员。专修理科教育。除为大学生讲课外，兼顾为小学生授课，针对教员们的理科教育指导，面向大众的“识破伪科学”等演讲。编著有大量作品，如《有趣得让人睡不着的物理》《有趣得让人睡不着的化学》《有趣得让人睡不着的理科》《有趣得让人睡不着的人类进化》《有趣得让人睡不着的化学元素》《奇妙的化学元素全彩图鉴》《新版高中化学教科书》《生活中的伪科学》等。

面白くて眠れなくなる物理パズル

有**趣**得 让人**睡**不 着的 物理

【日】左卷健男 著
安可 译

 北京时代华文书局

图书在版编目（**CIP**）数据

有趣得让人睡不着的物理 /（日）左卷健男著；安可译．—北京：北京时代华文书局，2019．6（2019．9重印）

ISBN 978-7-5699-3038-2

I．①有... II．①左... ②安... III．①物理—青少年读物 IV．
①04-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第086678号

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2018-6099

OMOSHIROKUTE NEMURENAKUNARU BUTSURI PUZZLE

Copyright © 2018 by Takeo SAMAKI

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2018 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

有趣得让人睡不着的物理

YOUQUDERANGRENSHUIBUZHAODEWULI

著 者 | [日] 左卷健男

译 者 | 安 可

出版人 | 王训海

选题策划 | 高 磊

责任编辑 | 邢 楠

装帧设计 | 程 慧 段文辉

责任印制 | 刘 银 范玉洁

出版发行 | 北京时代华文书局 <http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印 刷 | 凯德印刷（天津）有限公司 电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开 本 | 880mm×1230mm 1/32

印 张 | 7.25

字 数 | 110千字

版 次 | 2019年7月第1版

印 次 | 2019年9月第2次印刷

书 号 | ISBN 978-7-5699-3038-2

版权所有，侵权必究

自序

“用细线把胡萝卜水平吊起，从细线的位置切断胡萝卜，两边的重量会发生什么变化？”事实上，这个问题关系到杠杆与平衡。杠杆可以将很小的力放大。

我们四周有很多利用杠杆原理的东西，例如，剪刀、开瓶器、螺丝刀、门把手、自来水水龙头、自行车或汽车的车把和转向盘等。这些现象都与物理法则密切相关，即使物体产生转动趋势（力矩）的平衡。

本书以猜谜的形式为出发点。每篇开头都会抛出与前文类似的小问题，让大家一边思考一边阅读。相信大家会惊讶地发现“原来这里也有物理法则”，从而对这些法则产生浓厚的兴趣，并在不知不觉中加深对物理知识的理解。

本书涉及的物理以“物理学”为基础。相信大家都知道物理学是自然科学（以下称为“科学”）的一种。物理学的研究对象小到基本粒子、原子，大到宇宙，自然界的一切都属于物理学的研究范畴。

物体及其运动属于自然界的共通法则，而物理学旨在探究这些自然界最根本的法则。

学校会教学生物理、化学、生物、地理这四门理科学科，其中物理是抽象度最高的学科，许多人都对此感到非常头疼。确实，力学、能量、波、电磁学等都非常抽象，不易理解，每个知识点都难以用一般的方法掌握。

本书的内容聚焦初中、小学物理，主要介绍中小学理科的物理知识。

每章的划分也以中小学物理为依据。书中没有一下子讲到高中物理知识，而是通过巩固小学、中学的物理要点，即物理的基础、基本知识，循序渐进地进行讲解，通过这种方法，我们可以有效进入下一阶段的学习。

就像书名一样，本书采取猜谜、谜题的方法来说明。这也是根据我教理科课程总结出来的方法，“提出问题，确认问题”→“写下设想·自己的思考”→“讨论”→“根据讨论，写出经过深思熟虑得到的答案”→“通过实验和观察确认答案”→“写下实验及观察确定的答案”→“备注：具有延展性的问题、实验、科学词语、补充说明文字”。

这本书的精华是在一定时间内弄懂各个谜题，并体会谜题带来的趣味性。课程围绕解开谜题展开。在科研中，我们经常把“疑问”以“问题”的形式提出，进而探究问题。本书列举的很多谜题均来自于我教中学物理时采用过的课题。

接下来，就请尽情享受“有趣得让人睡不着的物理”世界吧！

目 录

自序

Puzzle 1 物体的重量、体积、密度

站法不一样体重也会变吗？

喝果汁后体重会如何变化？

烧杯内的水会不会掉下来？

塑料袋中空气的重量

空气比固体轻得多

氢气的重量和真空的重量

人体的密度与水的密度

水的奇妙性质

Puzzle 2 光与声音

在完全黑暗的环境中可以看到东西吗？

阿波罗宇宙飞船与角锥棱镜

潜水镜与折射

将荧光灯的光聚焦于纸上

骤雨后看见彩虹的方法

蓝光的散射与吸收

百米田径比赛巧妙的发令设计

年轻人听到的声音

神奇的红酒杯碎裂法

Puzzle 3 温度和热

水的融化方式与热传递

比较铁板与泡沫板的温度

花粉与爱因斯坦

[对流与火焰的形状](#)

[硬币洞、果酱盖与热膨胀](#)

[管底的脱脂棉会如何变化？](#)

[退热贴的原理](#)

Puzzle 4 力与运动

[用长吸管喝果汁](#)

[用气压将铁桶压扁](#)

[高压锅的秘密](#)

[深海鱼与鱼鳔](#)

[帕斯卡定律与工具](#)

[螺旋弹簧与绳子的作用力](#)

[浮空的磁铁重量会如何变化？](#)

[水银里的砝码能否浮起来？](#)

[带着气球坐车](#)

[用科学的方法辨别生鸡蛋和煮鸡蛋](#)

[走廊上的箱子与匀加速运动](#)

[高尔夫球与自由落体](#)

[大雨滴和小雨滴的下落速度](#)

[切断的胡萝卜哪边更重？](#)

[不动也在工作？](#)

[遇到钉子的摆球](#)

Puzzle 5 磁力与电力

[如何区分铁棒与永磁铁棒](#)

[用磁化的勺子敲石头](#)

[指南针与磁场](#)

[干电池及内部电阻](#)

[铝罐与静电](#)

[同时打开电灯开关](#)
[输电线的电压大约多高？](#)
[70节干电池并列](#)
[电动机能否奏响音乐？](#)
[1日元硬币与钕磁铁](#)
[克鲁克斯管与辐射效应](#)

[Puzzle 6 原子能与放射线](#)

[放射性物质与半衰期](#)
[伽马射线与核辐射](#)
[核爆炸与希沃特](#)
[自然界中的辐射](#)
[核反应与核能](#)
[原子弹与质量的变化](#)

[Puzzle 7 超能力与心灵现象](#)

[你知道尤里·盖勒吗？](#)
[超能力热和弯勺把戏](#)
[狗狐狸（银仙）游戏](#)

[后记](#)

[参考文献](#)

[返回总目录](#)

Puzzle 1

物体的重量、体积、密度

P

站法不一样体重也会变吗？

Q 以图示的姿势站在体重秤（精度为100g）上。当指针稳定的时候，哪种站法指针指的刻度最大？

1. 平稳地踩上去
2. 单脚平稳地站上去
3. 双腿弯曲、重心下沉，双脚使劲站上去
4. 以上方式均相同



物体的重量具有恒定性

正确答案是4。将铝箔折叠八次再弄成圆球、把装入塑料袋中的仙贝用木槌砸成粉末状、把水杯里的砂糖融化进水里称重，你会发现这几种情况下指针的刻度都不会发生变化。物体的重量不会因形状或状态改变而改变。我们把这个法则称为“物体重量的恒定性”。

人站在体重秤上也是一样的道理，无论是双脚还是单脚，重心在上还是在下，发生变化的仅仅是体重秤上的物体形状。物体本身具有重量，而这个重量是恒定的。究其根本原因，其实是所有物体都是由原子组成的。

我现在坐在电脑前打字，组成这台电脑的金属、塑料、液晶等都是由原子组成的。不单单是电脑，一切物体都由原子组成。当然也包括我们的身体。

原子非常小，非常轻，无法再分割成更小的原子。同一种类的原子，大小和重量均相同。原子种类不同，原子的大小和重量也不一样。换言之，原子的种类决定了原子的重量及大小。

原子与带有放射性的物体不同，原子无法轻易改变种类，既不会消失，也不会新生。

物体由原子组成，即使形状发生变化，原子数也不会变。物体溶于水，或者固体溶化成液体，不管状态如何变化，只要全部放在秤上，刻度就不会产生变化。当然，除非一部分原子可以跑到其他地方。

当加上其他的东西时，相当于这个东西的原子全部加了上来，因此

重量也需要相加。

重、质量、重量

接下来，我们了解一下“重、质量、重量”三者的共同点和不同点。

质量一词表示物质的量，它是一个“物质”的实际的标量，不因物质的形状、状态，运动、静止，在地球或月球上等而产生变化。

重量则是地面上物体受到的来自地球的吸引力，即“重力”的大小。重量有时候可以表示质量，也可以表示重力的大小（重量）。地球表面上的物体受到的重力与物体的质量成比例。我们在日常生活中经常使用“重”这个词，大多数情况下代表质量，但偶尔也会表示重量。之所以会出现这种混乱，是因为小学理科教科书用“重”表示质量，到了中学用“重”来表示重量。

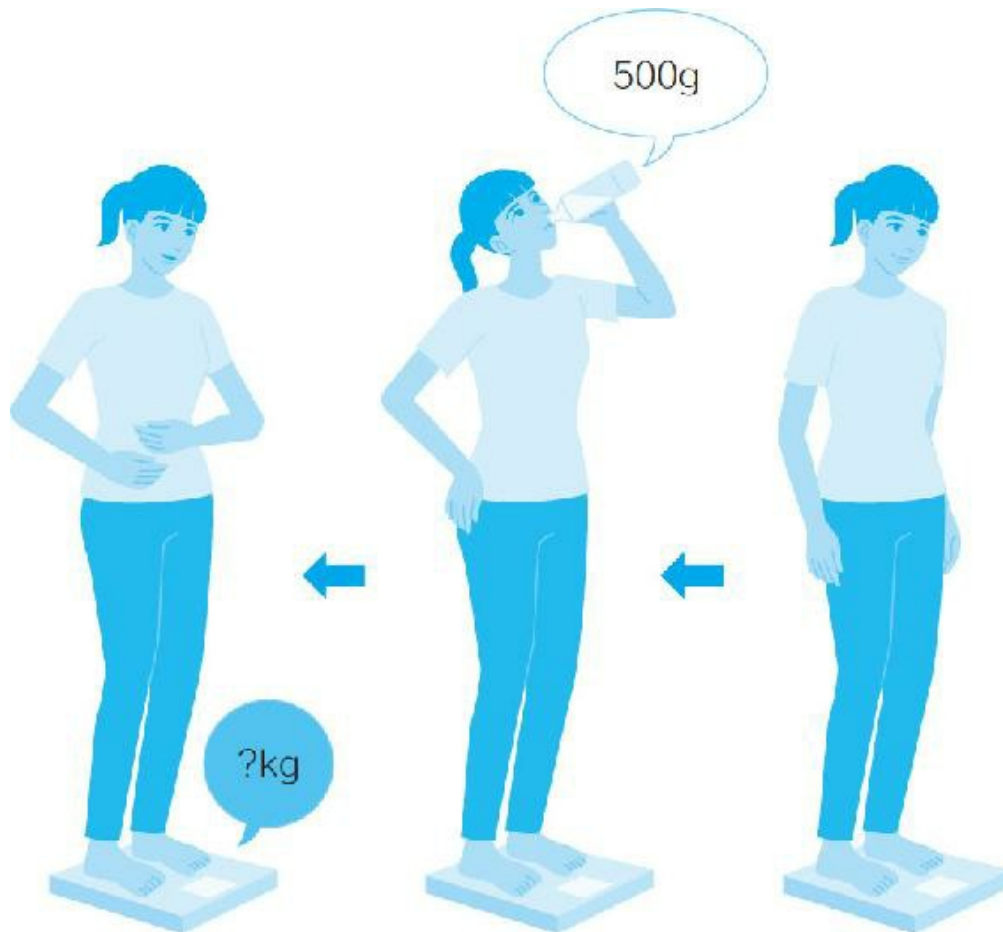
我认为，说质量和重量都无所谓的时候可以用“重”，需要区分的时候最好分别使用质量和重量来表述。或许，我们想表达质量的时候用“重”这个词也无可厚非。不过，“重”在日常用语中是一个意思略为模糊的词。

质量在任何地方都不会变。物体在月球表面的重力大约为地球上的 $\frac{1}{6}$ ，但是质量完全相同。体重60kg的人不管跑到月球上还是水里面，质量都是60kg，但重量在月球上和水里会变小。

喝果汁后体重会如何变化？

Q 两脚站在体重秤上观察刻度。喝500g饮料以后体重秤的刻度会如何变化呢？

1. 正好增加500g
2. 大约增加300g
3. 大约增加100g
4. 刻度不变



物质的进出与重量

正确答案是1。喝下500g果汁以后，体重会增加500g。果汁经过口腔——食道——胃——肠被人体吸收，整个过程中重量不会发生变化。

但是，经过一段时间后会如何变化呢？

体重随着饮食的量而增加，又随着排泄的量而减少。

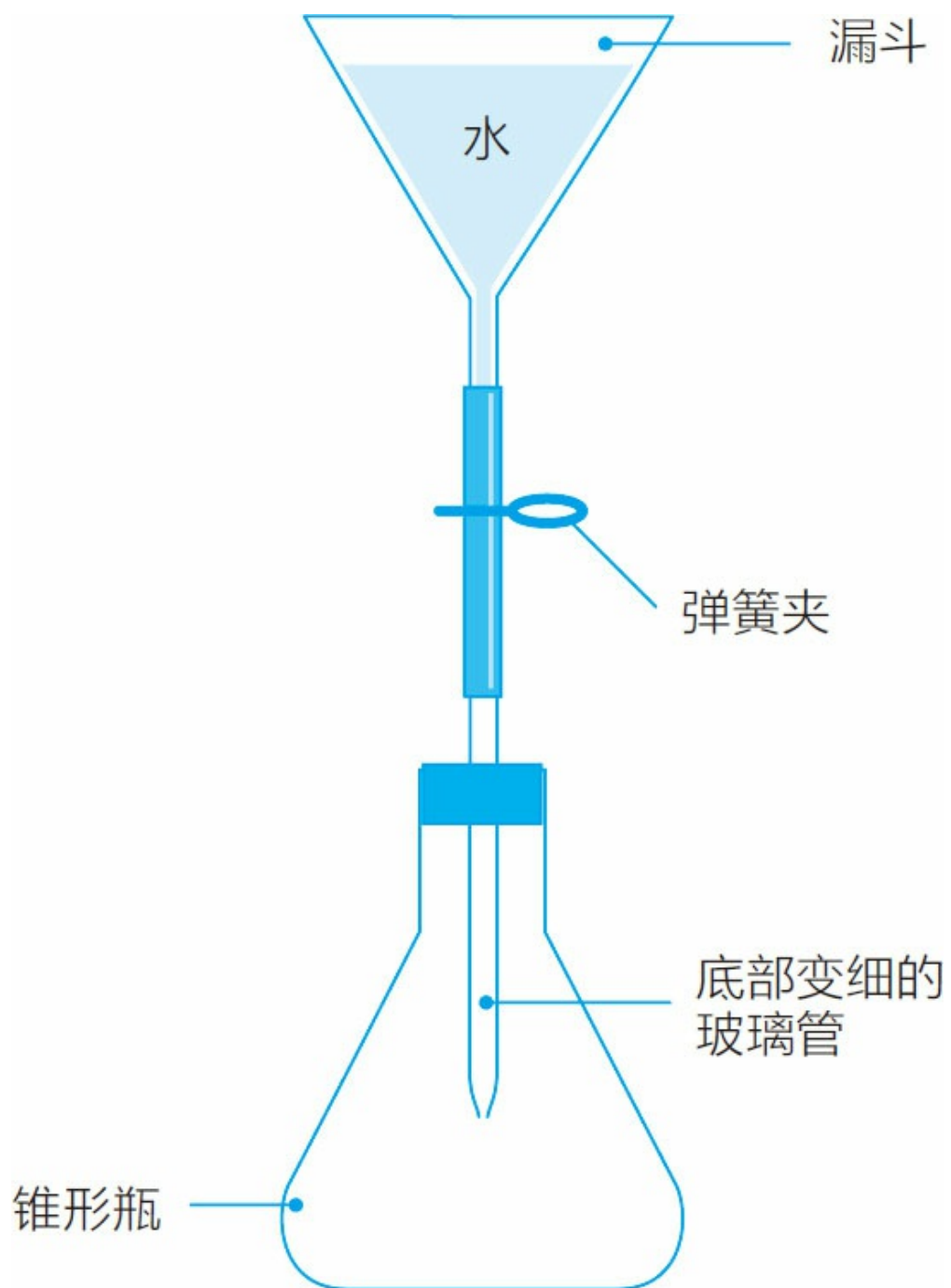
而且，即使没有食物的进进出出，体重也会逐渐减少。身体吸收的食物和液体有一部分会以看不见的形式排到体外。水分可以从皮肤表面蒸发。即使静止不动，每天也有0.8~1L的水分通过皮肤逃到大气中，换算成质量的话为800~1000g。

物质增加的话，重量便会相应地增加。物质减少，重量也会相应地减轻。不管如何变化，只要物质不变，重量就不变。

烧杯内的水会不会掉下来？

 如图，在漏斗中注入水，打开弹簧夹，水会产生什么变化？

1. 除附着在玻璃管的水之外，均进入烧瓶
2. 水会沿着弹簧夹开启的位置向下流，不会流入烧瓶或者仅流入少量
3. 水会停留在弹簧夹开启的位置



物体的体积

答案是2。物体不仅有重量，还有体积。物体的体积指的是物体占据空间的大小。任何物体都会占据空间。物体放在空气中，会占据掉一定空间，并排除相应量的空气。

在盛有水的杯子里沉入物体，便会排出与物体体积等量的水，杯子里的水平面就会上升。

物体具有重量和体积。反过来说，具有重量和体积的就可以称之为物体。

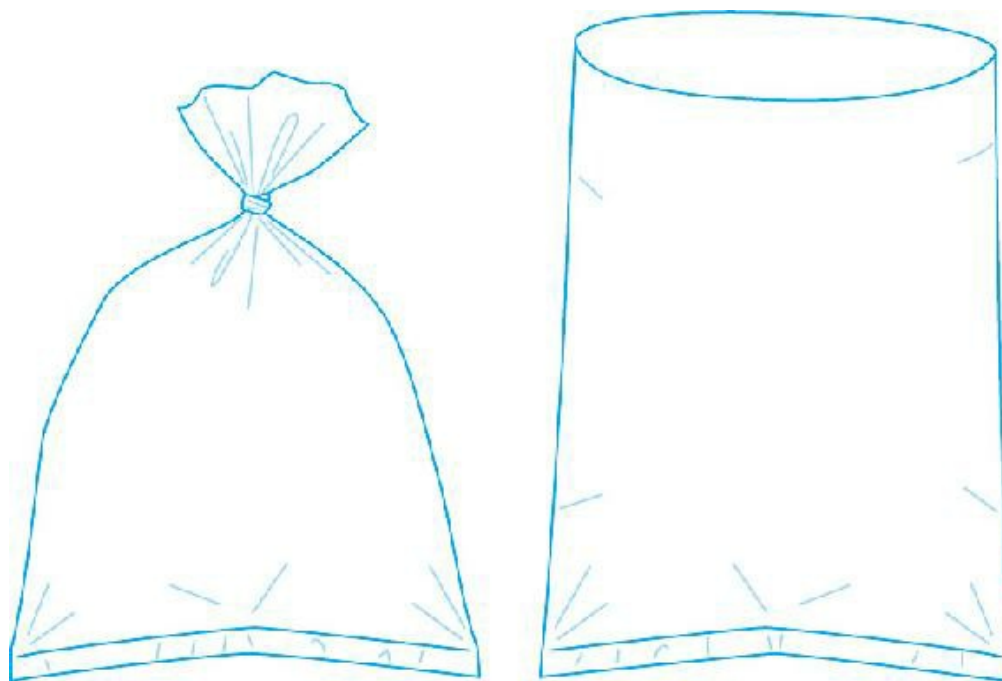
形同空气的气体也有体积。打开弹簧夹，漏斗里的水在重力作用下向下移动，挤压烧杯内的空气，尽管与压缩掉的空气体积相等的水会进入烧杯中，但很快水就会停止流动。因为烧杯内的空气占据了一定的空间，也具有一定的体积。如果想办法将空气排出，水就能不停地流入杯中。

塑料袋中空气的重量

Q 有两个相同的塑料袋（容积均为500mL），一个装入300mL空气后封口，另一个敞口。

将两个塑料袋放在精度为0.1g的秤上测量，哪个更重一些？

1. 封口的塑料袋
2. 敞口的塑料袋
3. 一样重



* 用塑料袋本身封口

空气重量的测量方法

正确答案是3。可能你会想到先测量塑料袋的重量，再将空气放入袋中封口，袋子的重量会与进入的空气量出现同等的增加，但事实上，这个方法无法测出空气的重量。塑料袋里的空气和敞口塑料袋中的空气是一样的，即使把袋口封起来，也不过像把敞口时的空气包起来一样。在容器中加入与周围一样的空气，是“测不出空气中的空气重量”的。

同样，在水中也测不出水的重量。给塑料袋中注入水后封口，充其量只是把袋子里原本有的水包裹起来。

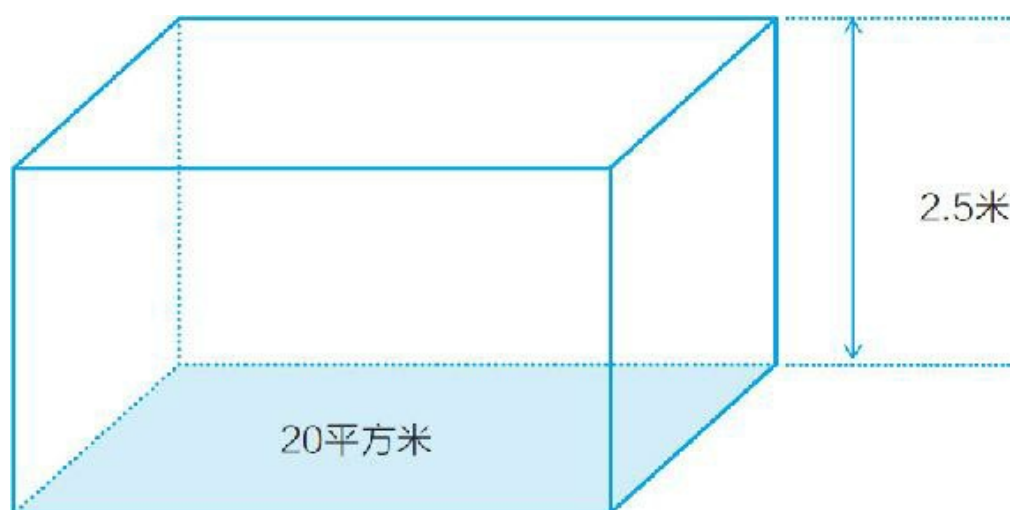
空罐子里充满与四周相同的空气。空罐子放在秤上，也只能测出罐子的铁或者铝的重量，不包含罐子里空气的重量。这与封口的塑料袋是一个道理。

如果我们要测量空气的重量，可以把周围的空气使劲压缩到容器里。例如，一个办法是用自行车打气筒给空的喷雾罐打气，测完重量后将空气排出。还有一个方法是把容器变成真空状态测容器重量，再注入空气测容器的重量。

空气比固体轻得多

Q 面积为 20m^2 、高 2.5m 的房间里空气的重量为多少？

1. 600g
2. 6kg
3. 60kg



1L空气有多重？

正确答案是3。先测出罐子的重量，然后在罐子里不断注入空气后再测罐子的重量，就能知道后来注入的空气有多重。

从罐子中释放出1L的空气，喷雾罐的重量就会减少。通过计算罐子前后重量的差，可以算出1L空气的重量。

在0℃的环境中，1L空气重1.29g，20℃时1L空气重1.2g。同样重量的空气在20℃时相比0℃会发生膨胀，体积更大，因此重量会减小。

1日元硬币的重量正好是1g，20℃时的1L空气只有1.2g，对比之后就会觉得1L空气“很轻”吧。没错，与固体、液体比起来，空气要轻得多。

不过，古语有云“积土成山”，重量轻的空气堆积起来也可以变得很重。

“L”（升）的意思是“立方分米”，1米=10分米，所以1立方米=1000立方分米，也就是说， $1\text{m}^3 = 1000\text{L}$ 。房间的容积为 $20\text{m}^2 \times 2.5\text{m} = 50\text{m}^3$ 。如果换算成以L为单位，则房间的容积就是 $50 \times 1000\text{L}$ 。

每升空气的重量为1.2g，所以房间整体的空气重量为 $50 \times 1000\text{L} \times 1.2\text{g/L} = 60000\text{g} = 60\text{kg}$ 。

密度

密度表示物质每立方厘米有多少克的质量。衡量像气体那样每立方厘米数值很小的物质时，我们也会用每L的质量来表示。

那么对于各种各样的固体（物质未知），我们该如何计算每立方厘米的质量呢？

首先需要测量物体的质量与体积。例如，某物体质量为393g，体积为50cm³。由此可计算出每立方厘米的质量为 $393 \div 50 = 7.86$ （g）。

质量 $\div$ 体积=每立方厘米有多少克质量=密度。

每立方厘米的质量为A克，可以表示为A克/立方厘米（g/cm³），其单位读作克每立方厘米。

“/”为表示单位含量是多少的符号。例如，每根铅笔20日元，可以表示为20日元/根，每个月的零花钱为500日元，可以表示为500日元/月。

各种各样的气体密度

在0℃、1个标准大气压的条件下，1L空气的质量为1.29g；占空气体积78%的氮气为每升1.25g；二氧化碳为每升1.98g；丙烷为每升2.02g。最轻的氢气为每升0.09g。

我们在考虑空气重量与密度的问题时，通常认为空气干燥不含水蒸气。与干燥空气相比，水蒸气更轻（密度小），如果包含水蒸气，相应体积的干燥空气就会被挤走，因此湿度越大，空气越轻。

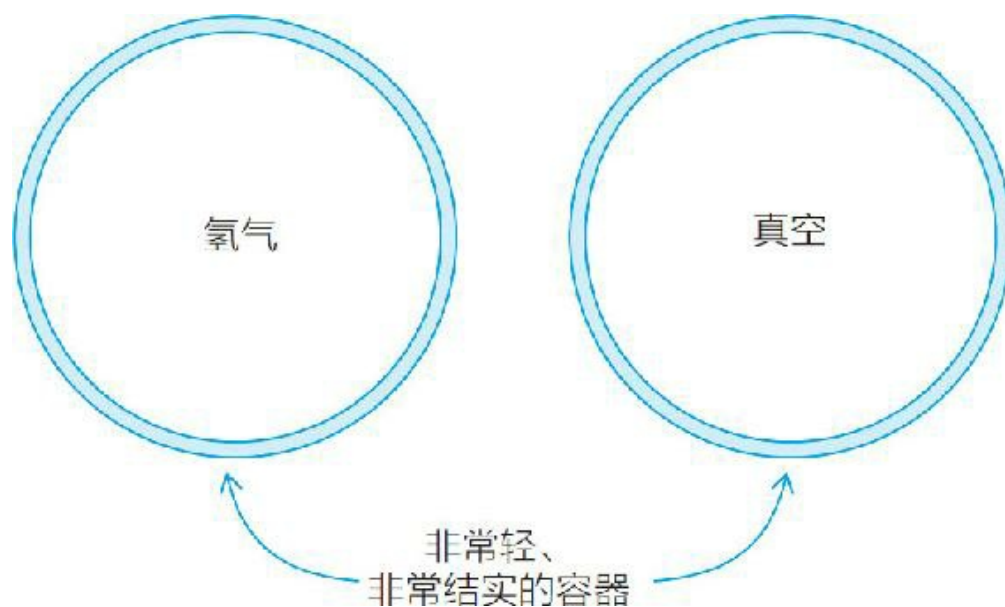
但是，当我们说“同一温度下，湿润的空气更轻”时，切忌认为是液态水导致空气湿润。湿度增加是由气态的水，即水蒸气较多而导致的。

氢气的重量和真空的重量

Q 有两个相同的容器，重量很轻，且非常结实，可以储存、释放气体。在其中一个容器中储存氢气，使另外一个容器变成真空。假设容器变成真空后既不会破损，也不会变形（现实中并不存在这样的容器，该问题为假定情形）。

存有氢气的容器一经释放便会上升到空中。那么，放开真空容器后会产生什么变化？

1. 不上升，降落
2. 比储存氢气的容器上升快
3. 比储存氢气的容器上升慢



最轻的氢气也有重量

答案是2。常温常压下最轻（密度最小）的气体是氢气。其次是氦气。氦气的重量大约为同体积氢气的2倍。

即使很轻，氢气也有重量。因此，装入氢气的容器包含氢气+容器的质量。而真空容器的质量仅为容器质量。

由于是同样的容器，且存有氢气的容器在空气中上升，所以可推断真空容器上升得更快。

氢气曾经被用于飞船

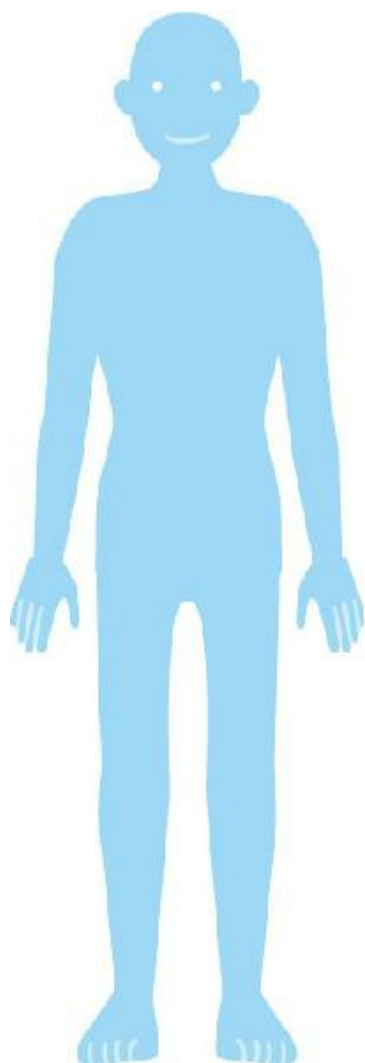
第二次世界大战以前，齐柏林飞船^[1]堪称“天空明星”。齐柏林飞船使用了密度最小的氢气。但是，1935年5月，载有97名乘客的“兴登堡号”从德国抵达美国准备着陆时，氢气遇火爆炸，导致36人死亡，自从这场事故后，飞船改为使用氦气。

^[1] 一种或一系列硬式飞船（Rigid airship）的总称，是著名的德国飞船设计家斐迪南·冯·齐柏林伯爵在20世纪初期以大卫·舒瓦兹（David Schwarz）所设计的飞船为蓝本，进一步发展而来的。由于这系列飞船的成功，“齐柏林飞船”甚至成为当代称呼此类飞船时所用的代名词。（译者注）

人体的密度与水的密度

Q 人体的平均密度与水的密度比起来是大还是小？

1. 比水大
2. 吸满空气的状态下比水小，呼气状态下比水大
3. 比水小



人体（成人）
体内超过60%（质量）都是水

*如果密度比水小会从水中浮起来，比水大则会沉下去。

人体的密度接近于水的密度

答案是2。当人吸收足够的空气时，人体的平均密度会比水的密度（ 1g/cm^3 ）稍小一些。吸收空气时，肺部为膨胀状态，人体的平均密度会降低。此时，仰面将脸部置于水面之外，身体可以浮起来。

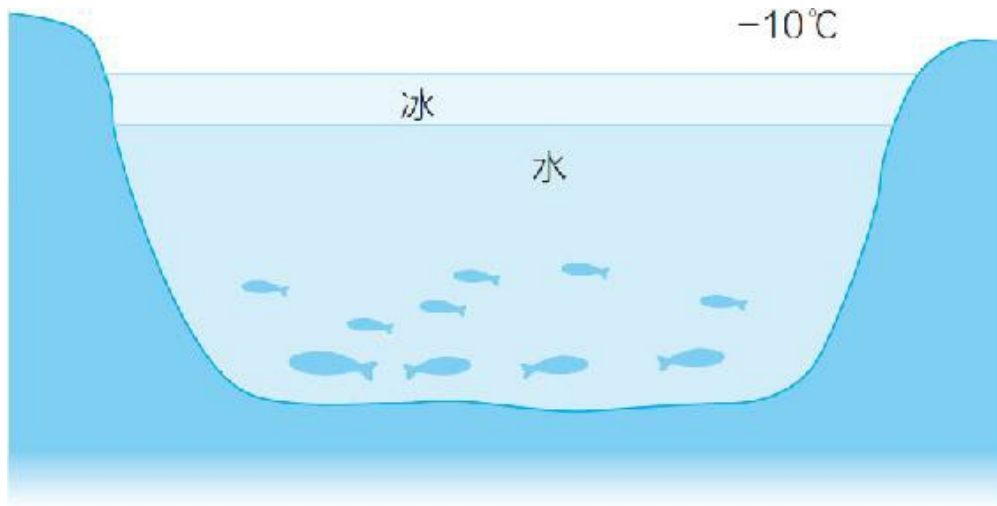
但是，吐气时肺部收缩，平均密度会比水的密度稍大，身体便会沉入水中。如果喝水使体内一部分空气被水占据，人体的平均密度会更大。我们之所以溺水时身体会沉入水中，就是因为水进入了肺部。

此外，在淡水泳池与海水泳池里身体的漂浮程度有所不同。海水比淡水密度更大，人更容易漂浮。位于以色列和约旦国境交界处的死海盐分浓度很高，人可以完全漂浮在水面上。死海的盐分含量高，使得海水密度高于 1.2g/cm^3 。

水的奇妙性质

Q 户外的空气温度为 -10°C ，湖面已结冰。这时候测量湖底的水温会是多少摄氏度？

1. 4°C
2. 2°C
3. 0°C



水的密度在4℃时最大

答案是1。湖面结冰，冰下面的水温是0℃。但是4℃的水的密度最大，所以会沉到底。

冰在0℃时的密度是 0.9168g/cm^3 。冰融化的时候，体积大约缩小近10%，0℃时，会变成密度为 0.9998g/cm^3 的水。随着温度的上升，水的密度增大，当温度升至3.98℃时，水的密度达到最大值 0.999973g/cm^3 。

温度继续上升，水的密度会减小。不过，即使达到水的沸点100℃，水的密度也有 0.9854g/cm^3 ，仍然比冰的密度约大5%。像水一样液体密度大于固体密度的物质非常有限，铋等物质便属于这一类。

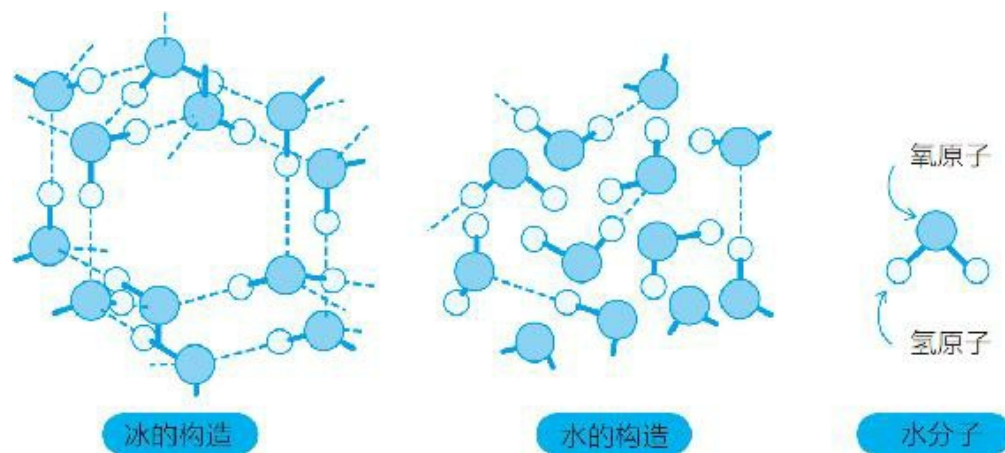
寒冷的冬夜，水管会破裂就是由于水变成冰以后体积增加导致的。

正是因为水与一般的物质不同，所以水里的生物才能安全度过寒冬。当外面的空气温度降到4℃左右时，池塘或者湖表面的水密度逐渐增大，沉到水底。

随着4℃时密度最大的水沉到水底，接近0℃的水会不断升至水面附近。当气温降低，水面周围便开始结冰。冰的密度小于水，所以会浮在水面上。水面结冰以后，冰层会起到隔热作用，即使在寒风刺骨的夜里，也可以防止水底结冰。

如果水同一般的物质一样，温度降低密度会增大的话，便会出现冰冷的液体聚集于底部，导致底部的水冷冻起来的情况。

◆ 水分子的聚集方式



这种情况下，由于缺乏能起到隔热作用的东西，从上到下都会冻得非常结实，水里的生物根本不可能存活。

水变成冰的时候体积增加、密度减小，是因为结冰后水分子规则排列，水分子之间的空隙变多而引起的。

冰融化成液体后，部分结晶构造被破坏，缝隙的一部分被水分子紧密地挤压在一起，使得水比冰的密度更高。

温度持续上升，水分子填满缝隙使得水的密度增加，但是当温度再度升高时，水分子的热运动变得激烈，导致分子的运动空间增大，密度减小。因此，水的密度有一种奇妙的平衡， 4°C 时密度最大，超过 4°C 以后密度反而会逐渐减小。

Puzzle 2

光与声音



在完全黑暗的环境中可以看到东西吗？

Q 当我们处在完全没有光（准确来说是没有可见光）的黑暗环境中，是否还能够看到东西？

1. 看不到
2. 当眼睛适应之后可以看到



光源与反射

答案是1。我们之所以可以看到各种各样的东西，是因为物体表面的光（可见光）能够到达我们的眼睛。眼睛接收包含物体的颜色、形状的光信号，大脑基于光的信号分析、识别物体的颜色与形状等信息。在大脑的作用下，我们才能完成看到物体的整个过程。

在完全无光的黑暗环境中，物体发散的光到不了人眼，即使聚精会神也无法看到物体。有时候会遇到眼睛适应以后可以依稀看到物体的情况，这是由于物体表面有很微弱的光。

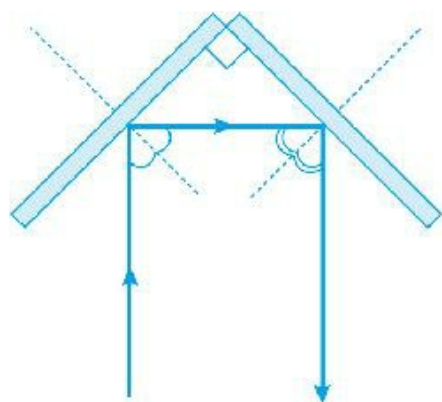
肉眼看到的物体分为自己发光的物体和反射光的物体。太阳、电灯等可以自行发光的物体叫作光源。我们看见的大部分物体都是通过光源照射后，光线反射进眼睛看到的。我们之所以能看到璀璨的月亮，其实是因为月亮反射了太阳光。真正无光（无可见光）的黑暗环境中，周围物体无法把光线反射到人的眼睛里，我们自然也就无法看到物体。

阿波罗宇宙飞船与角锥棱镜

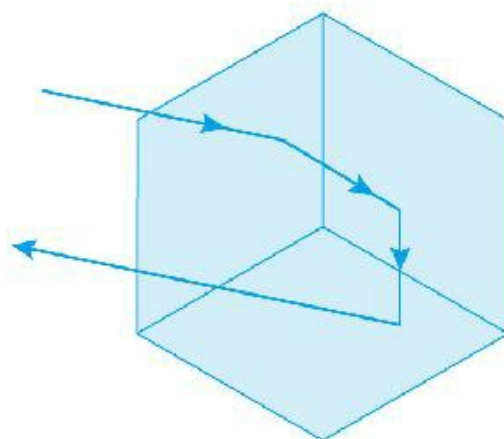
Q 阿波罗宇宙飞船在月球表面设置了反射镜，从地球向该反射镜发射激光脉冲，通过激光往返的时间可以测算月球到地球之间的距离。为了保证地球或者月球的位置改变也不影响观测，需要事先做好什么准备？

1. 用地球上的电波控制月球上反射镜的角度
2. 通过组合反射镜，使得光线回到原先的方向

◆ 两面镜子的反射与角锥棱镜反射



两面镜子作用下的反射



角锥棱镜作用下的反射

角锥棱镜就在我们身边

答案是2。阿波罗宇宙飞船测量地月距离时，在月球表面放置了一个由三面互成 90° 的镜子组成的角锥棱镜。光线无论从上下左右的哪一个方向射入，都会回到原来的方向。这种棱镜的原理同成 90° 角打开的两面镜子一样。

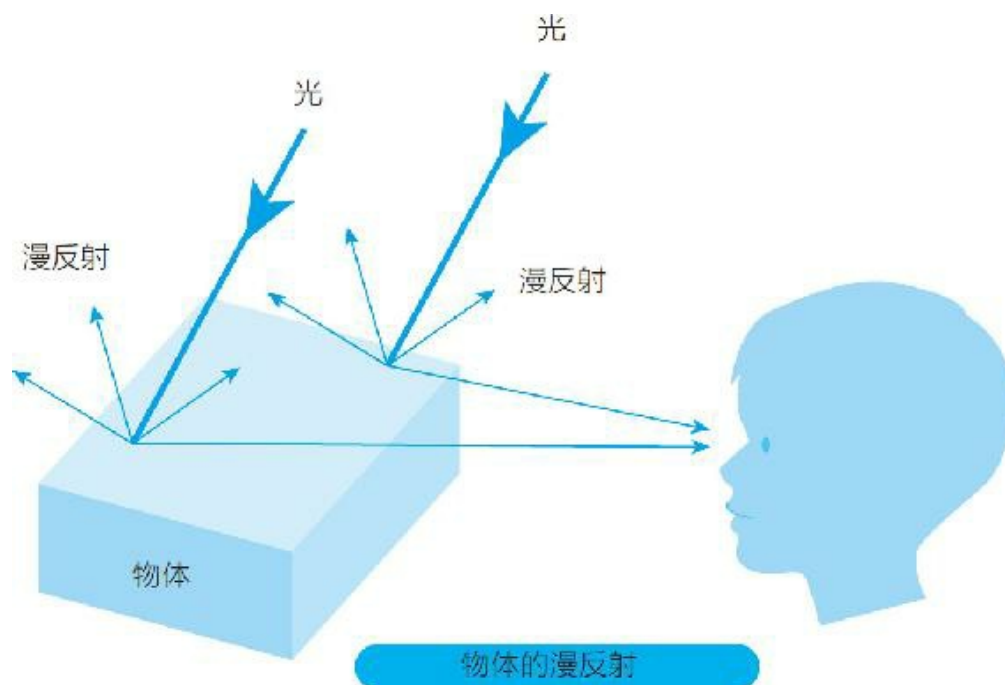
阿波罗宇宙飞船（11号、14号、15号）均在月球表面设置了角锥棱镜，从地球发射激光脉冲，通过激光往返的时间可以正确测量地球与月球之间的距离。

如果在人造卫星上安装角锥棱镜，从日本的某一点发射激光，则会有激光射线返回该点，在美国的某一点发射亦然，也会有相应的激光射线返回至美国的这一点。

我们身边可以看到很多角锥棱镜的应用。安在自行车后面的红色反射板、道路两侧和路上设置的黄色或无色反射板都装了很多极小的角锥棱镜。

镜面反射与漫反射

◆ 漫反射



射向物体的平行光束平行地朝着一定的方向反射，这种现象叫作镜面反射。经过细致打磨的平面金属、镜子（这也属于很平的金属表面的反射）产生的反射现象都是镜面反射。而纸张等表面凹凸不平的物体，即使接收到同一方向的光线，也会从各种各样的角度反射回去。这种反射现象叫作漫反射。我们可以把漫反射的表面看成由不同角度的小型平面组成的。

潜水镜与折射

Q 海水浴的时候，戴潜水镜可以保护眼睛不直接接触海水，那么，戴潜水镜和不戴相比，海中的物体看上去会有什么变化？

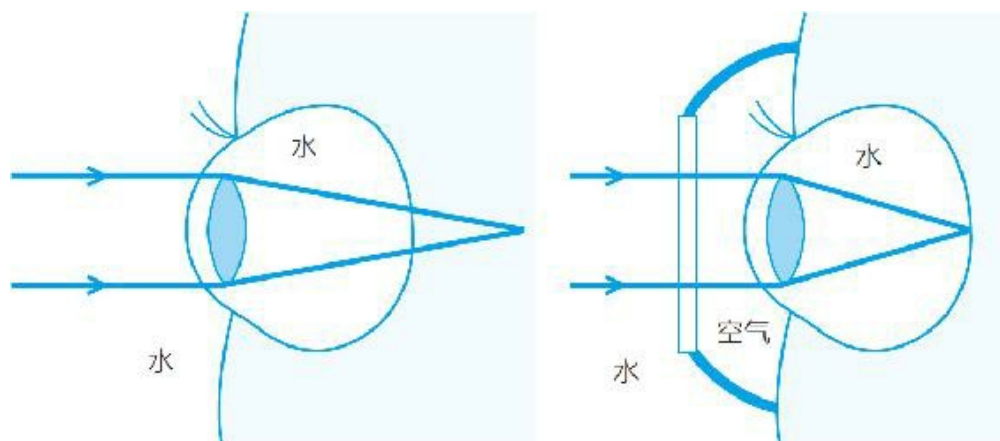
1. 清晰可见
2. 稍微有点模糊
3. 不会有任何变化



光在水里传递不容易发生折射

答案是1。人的眼睛不适合在水里看物体。究其原因，是因为眼睛的角膜、晶状体几乎都是由水形成的，眼睛直接接触水以后，水中射向眼睛的光线无法在晶状体发生正确的折射，所以看东西会很模糊。但是，当戴上潜水镜后，光线是通过眼镜内的空气进入晶状体，会发生正确的折射，因此和在空气中看物体是一样的效果。

◆ 戴上潜水镜后.....



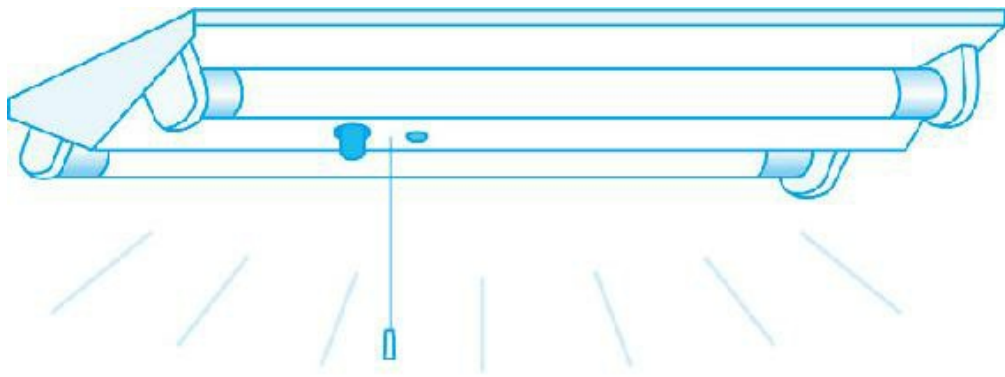
不过，戴上潜水镜后，视野会变窄，不像平时能看到将近 180° 那么大的范围。所以，在水下需要注意鲨鱼等危险生物。

将荧光灯的光聚焦于纸上

 你有没有试过用凸透镜将太阳光聚焦到纸上？纸上会出现一个光线聚集的点。

那么，把荧光灯的光线聚集起来会出现什么现象？

1. 光线聚集成一点
2. 呈现发光的荧光灯管的形状
3. 呈现模糊不清的圆形



凸透镜成实像

答案是2。竖立一根点燃的蜡烛，用焦距为5~15cm的凸透镜观察火焰，在凸透镜焦点稍稍靠后的地方放一张白纸，会发现白纸上出现了一个倒立的蜡烛火焰的像。这个像与照镜子所呈现的虚像不同，是由光线实际聚集于纸面呈现出的像，我们将其称为“实像”。

太阳光通过凸透镜聚集成圆形的点，是因为圆形的太阳在凸透镜作用下成实像。如果碰到日食，太阳缺了一半，那么凸透镜聚集的像也会是缺了一半的形状。

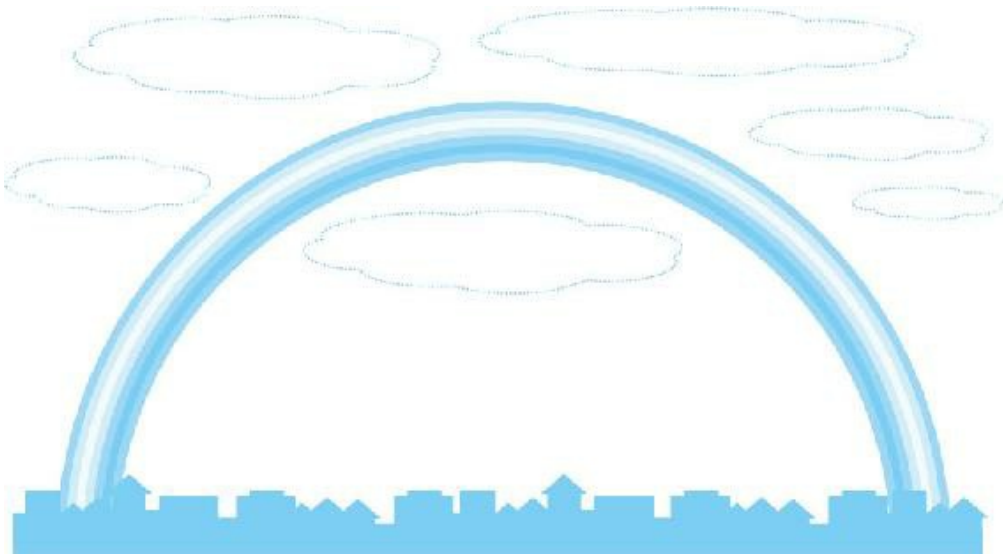
荧光灯的光线经过凸透镜聚焦后，成像是荧光灯的形状。

凸透镜也有成虚像的情况。将物体放在凸透镜的焦点上，实像会跑到镜头前面无限远的地方。如果把物体放在凸透镜焦点内，则成像为虚像。而且，呈现的虚像不倒立，与实物方向相同、变大。用凸透镜可以把报纸的文字扩大，便是利用了凸透镜成虚像的原理。

骤雨后看见彩虹的方法

Q 雨后仍有水滴漂浮在空中。当阳光照射到水滴上，便能看到彩虹。在天气发生“晴→雨→晴”快速变化的情况下，彩虹更容易出现。尤其在下午骤雨后的晴天，阳光照射到水滴上，会给人们提供绝佳的欣赏彩虹的机会。那么，下午骤雨后的彩虹会出现在天空哪个方位？

1. 东边
2. 西边
3. 南边
4. 北边
5. 有可能出现在任何一个方位

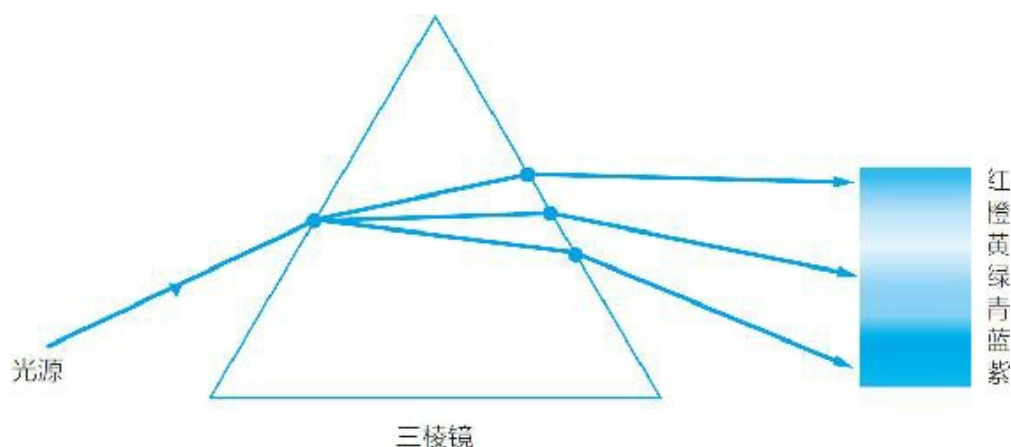


三棱镜作用下光的色散

正确答案是1。当阳光照射到三棱镜（光滑且被互相相交的两个以上的平面包围着的透明体）上时，光线会发生折射，我们可以观察到从红色到紫色的彩虹色。这种现象是由于这些光波的波长不同、折射率不同，导致光线发生了不同程度的折射。

紫光比红光折射率大，光（可见光）会根据不同波长按照从红到紫的顺序依次排列。这种现象叫作光的色散。太阳光虽然呈现白色，但太阳光中包含了颜色不同的各种光。

◆ 三棱镜作用下的光带

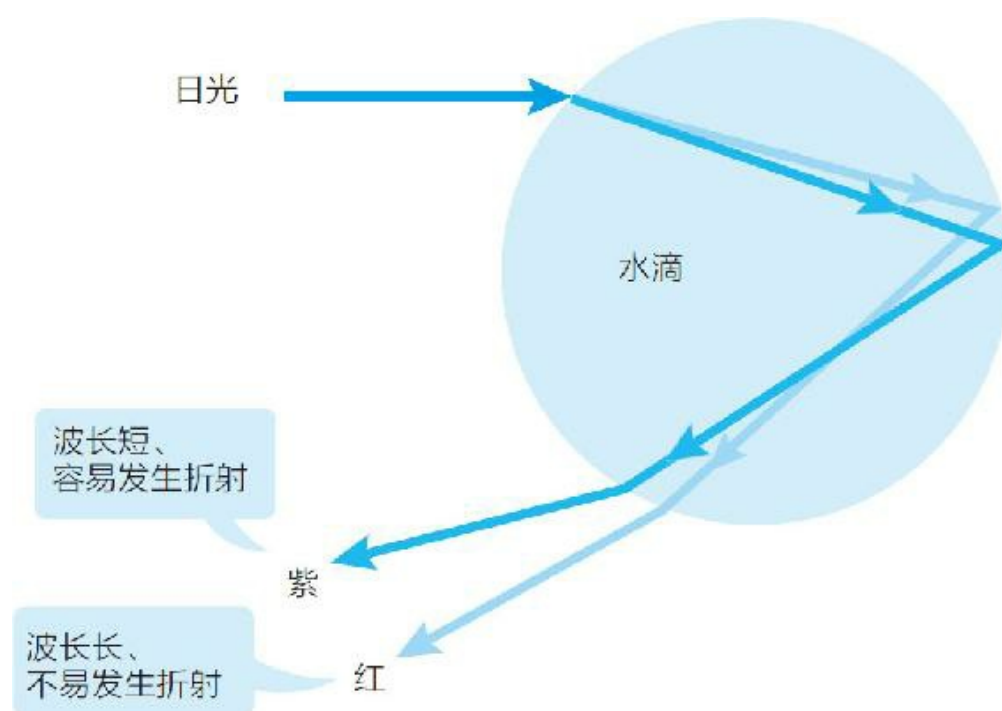


如何看到彩虹

天空中的彩虹和光线透过三棱镜形成光的色带是同一原理。

背对太阳，我们经常可以在公园浇灌草坪的喷水设施、喷泉喷出的水柱附近看到彩虹。

◆ 透过水滴观察红色与紫色



雨后的空气里仍残留着大量的水滴。当太阳照射到水滴上，水滴便可起到三棱镜的作用，形成彩虹。夏天经常下骤雨，瞬间云层密布，霎时大颗大颗的雨滴倾盆而下，而且骤雨天气经常伴随雷鸣，从下午下到傍晚。太阳中午位于南边的天空，下午到傍晚之间逐渐向西移动。由于人背对太阳看到彩虹，所以我们看到的彩虹出现在东边的天空。

虹（主虹）与霓（副虹）

太阳光照射到水滴上时发生折射，在水滴里发生一次反射后再次折射出来的光线称为虹（主虹）。从水滴里射出的光根据波长的不同，射向不同的角度。大量水滴射出的光线进入眼睛，使我们看到了彩虹。

随着太阳高度的变化，我们看到彩虹的位置也会发生变化。正午太阳高度较高，彩虹出现在较低的位置；早晨或傍晚时分太阳位置较低，我们看到的彩虹会很高而且很大。

通常我们看到的彩虹都是半圆形的，这是因为我们看不到地平面下的部分。坐飞机时偶尔能看到云层上形成的彩虹，形状是一整个圆。

有时候，在彩虹外侧可以看到另一条彩虹，我们把另一条彩虹称作“霓”（副虹）。霓的顺序与主虹相反，内侧是红色，外侧是紫色。

蓝光的散射与吸收

Q 我们周围很多物体的颜色是由阳光或者灯泡等光源的光照射到物体上，无法被物体吸收而反射出来的光的颜色决定的。

太阳和灯泡的光之所以是白光，是因为它们发出的光是由波长较长的红色到波长较短的紫色等多种可见光集合而成。阳光和灯光照射到物体上时，物体会吸收和反射特定颜色的光，于是，人们便看到了物体的颜色。

天空蓝和海水蓝的原理是否基本相同？有什么差别？

1. 天空蓝主要是因为散射，海水蓝主要是因为吸收
2. 天空蓝主要是因为吸收，海水蓝主要是因为散射
3. 天空蓝和海水蓝的主要原因都是散射
4. 天空蓝和海水蓝的主要原因都是吸收

天空呈现蓝色是因为散射作用

答案是1。大气中的氮、氧分子及其分子集团的微粒对太阳光的散射使得天空呈现蓝色。波长越短越容易散射，如蓝色和紫色光更容易向四面八方散射。所以，当我们抬头仰望天空，散射光的一部分进入我们眼睛，于是就看到了蓝色的天空。

海水呈现蓝色是因为吸收作用

海水基本都是水分子，光几乎无法散射，海水本应是无色透明的，实际上却表现为蓝色。这是由于水分子可以吸收红色系的光线。实验证明，水分子对波长为760nm（纳米）的红光吸收能力较强，对波长为660nm（纳米）赤橙色光与605nm（纳米）橙光的吸收能力较弱。红色系光被吸收，剩下蓝色系光。残留的光经过水中物质（垃圾或浮游生物等）漫反射到达我们的眼睛。所以，海水呈现蓝色主要是因为红色系光被水分子吸收造成的。

百米田径比赛巧妙的发令设计

Q 田径运动场赛道的宽度是1.22m（2004年指定国际标准）。九个赛道上的田径选手并列比赛的话，两边选手的间隔超过10m。假设发令员（示意比赛开始的裁判人员）到1号赛道选手的距离是1m，到9号赛道选手的距离为10m。如果发令员在比赛开始使用火药型发令枪，那么发令枪响起时，枪声从1号赛道选手传到9号赛道选手，大概存在多长时间的延迟？

1. 0.03s
2. 0.02s
3. 0.01s
4. 不足0.01s



不会因赛道产生差别的发令

答案是1。至今为止，男子百米田径的最高纪录保持者是牙买加的博尔特。2009年8月16日，博尔特创下了最高纪录9.58s，顺风速度平均每秒10.9m。

正式比赛中，时间记录需要精确到0.01s。

以前学校开运动会的时候使用的发令枪是常见的火药型手枪，以枪声响起作为比赛开始的发令信号。选手与发令员的距离不同，听到枪声的时间也会不一样。会有多大的差别呢？我们就算算看。

1m以内，声音传递的时间为 $1\text{m} \div 340\text{m/s} \approx 0.00294\text{s}$ 。

10m的话，声音传递的时间为 $10\text{m} \div 340\text{m/s} \approx 0.0294\text{s}$ 。

两者之差为 $0.0294\text{s} - 0.00294\text{s} \approx 0.026\text{s}$ 。在以0.01s为单位的较量中，声音传播速度出现如此大的差值，比赛会变得很不公平。

因此，实际比赛时，会在每个赛道的选手身后放一个喇叭，发令员鸣枪的同时喇叭也会响起。

即便如此，很多选手还是会等到发令员的枪声响过才会活动身体。

于是，现在发令枪（形状虽为传统手枪，简单而言只是个开关）并不会发出声音。发出声音的是选手身后的喇叭。

声音的速度

人耳听到的声音几乎都是通过空气传播的。在没有空气的真空状态下光仍然可以传递，但声音却不行。因此，没有空气的宇宙空间是一个无声的世界。

当气温为20℃时，声音在空气中传递的速度约为340m/s（大约为1200km/h）。温热的空气中，声音传播得稍快一些，冷空气里声音传播的速度会微微降低。超声速飞机的飞行速度比声音在空气中传播的速度还要快。

声音在固体、液体中也可以传播。声音在水中的传播速度比在空气中的传播速度快4倍，在钢铁中的传播速度比空气快15倍。

光在真空中的传播速度为299792458 m/s（ $\approx 300000\text{km/s}$ ）。现在，1m的长度便是由光速定义而来的^[1]。

与声音的传播速度比起来，光的传播速度要快很多。因此，雷雨天气我们先看到闪电，后听到雷声。打雷或者放烟花的时候，忽略光传递的时间，仅通过声音的传播速度就可以计算出雷或者烟花与我们之间的距离。

例如，从打闪到听到雷声的时间为15s，我们方可计算：

$$\text{距离} = \text{速度} \times \text{时间} = 340\text{m/s} \times 15\text{s} = 5100\text{m}$$

也就是说，雷电发生在距离我们5.1km的地方。

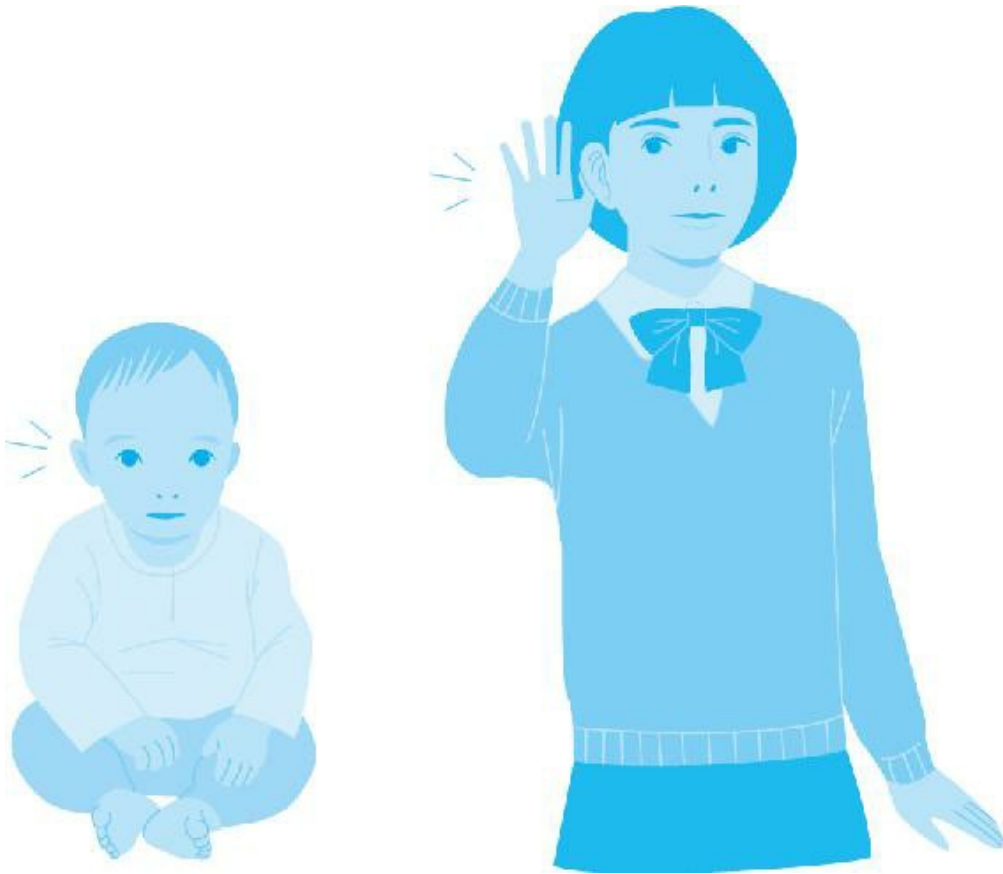
[\[1\]](#) 1983年10月第十七届国际计量大会通过了米的新定义：米是光在真空中 $1/299792458$ 秒的时间间隔内所经路程的长度。（译者注）

年轻人听到的声音

Q 人能听到的声音频率范围是在20~20000赫兹（Hz，每秒钟的周期性振动次数），具体因人而异。

随着年龄变化，能听到的声音范围也不一样。婴儿与20多岁的年轻人谁的听力更好？

1. 婴儿
2. 年轻人
3. 没太大差别



声音的频率

答案是1。我们身边有能发出各种声音的乐器。乐器都是通过“振动”发声的。敲击太鼓，鼓皮振动；吉他和小提琴的弦振动。乐器产生不同形式的振动。

振动的物体1s内完成周期性往返的次数称为“频率”。一次往返的时间为1s时的频率为1Hz。

振动一次次传递的现象称为“波”或者“波动”。

当物体的振动次数在20~20000Hz之间，也就是1s之内周期性振动20~20000次时，人耳就能听到声音。

如果振动频率低于或者高于20~20000Hz这个范围，无论声音多大我们都听不到。

发出声音的物体摇晃或者摆动都称为振动。振动通过空气传播，以声音的形式被我们的听觉感知。

倘若置身太空，即使敲击太鼓，由于没有空气，声波也没办法传播。可以传递声音的物质并不仅限于空气，细线、水、铁之类的物体都可以传递振动。

到了三十多岁就听不到的声音

蚊子的翅膀1s之内可以振动500次。蚊子接近的时候，我们能听到声音，这是因为蚊子翅膀的振动频率在我们听觉感知范围之内。蚊子翅膀的振动频率为500Hz。而蜜蜂1s之内大约可以振翅200次，所以发出的声音频率大概在200Hz左右。音调越高，频率越大。蚊子可以发出音调更高的声音。

尽管人可以听到的声音的频率为20~20000Hz，但每个人听到的频率范围会存在个体差异。年龄不同，听到的范围也会有所差别。

狗和猫的听力更加敏锐。狗能分辨40000Hz的高音，猫可以分辨出100000Hz的高音。

随着年龄的增长，人的听力会逐渐衰退，越来越难听到音调高的声音。有一种名为“蚊子铃声”的扬声器可以发出17000Hz的高频声音，非常刺耳，这种声音只有年轻人可以听到，所以很多商场或店铺等用“蚊子铃声”来驱赶逗留在附近的年轻人。

据说，到了30岁以后，人就无法听到17000Hz的声音。因此，校园里出现了一种真实现象，很多学生为了不让老师听到手机的声音，故意将手机铃声设置为“蚊子铃声”。

超声波

频率高于20000Hz、人耳无法听到的声波叫作超声波。超声波应用于很多场景。例如，利用超声波机器在水中释放超声波，能够用来测算海底的深度、发现鱼群等，还可以看到母亲体内的婴儿。人耳听不到超声波，但狗和蝙蝠等动物可以听到一部分它们听力范围内的超声波。

神奇的红酒杯碎裂法

 声音可以让红酒杯碎裂吗？

1. 有时可以
2. 不可以



共鸣

答案是1。如果在网上搜索“用声音打碎红酒杯”，相信你会发现很多视频或图片资料。敲击红酒杯会发出特定音高的声音。一个酒杯一般可以发出几种音阶。酒杯发出的声音的频率就是它的固有频率。用手弹酒杯所发出的声音大多是由共振、共鸣产生的。

所以，只要用最容易让杯子变形的声音——与杯子发出频率相同的声音加以刺激，红酒杯便会在共鸣、共振的作用下激烈振动甚至破碎。尽管音高难以控制，仅靠声音弄碎杯子会比较困难，但是只要条件满足，杯子就能在短时间内被打碎。

弦乐器的共鸣箱

吉他等弦乐器中间都有一个空洞的箱子，这个箱子叫作共鸣箱。当弦发出的声音与箱子的振动固有频率相符时，乐器就能发出很大的声音。这就是我们常说的共鸣现象，共鸣箱便是为了利用共鸣原理而设计的。箱体可以使与其固有频率相同的声音获得增幅扩大效果。

在振动物体外部增加与物体固有频率相符的声波，物体的振动幅度会大大增加。

唱歌的红酒杯

用蘸水的手指擦拭红酒杯的边缘，红酒杯会发出声音。

敲击红酒杯能产生一定音高的声音。一个红酒杯能够发出几个音阶，而且声音的频率就是杯子的固有频率。用手指摩擦酒杯边缘，杯子可以吸收和它固有频率相同的振动能量，发出更大的声响。

准备一个很薄的玻璃杯，用温水和清洁剂清洗干净手和杯子，保证不留污渍，最后倒入开水再控干水分。

再在杯子里倒入水，用蘸水的手指擦拭杯子边缘，水面产生波动。改变水量继续擦拭，会发现音高出现了变化。

指纹呈锯齿状，擦拭玻璃杯边缘时，玻璃杯发生振动。尽管振动幅度很小，我们肉眼看不出来，但是可以通过水面的波动加以观察。杯子振动，产生声音。

水量越多，声音越低。同一材质时，物体越重，声音越低。这就说明，重的物体频率更低。

把贝壳放在耳边

你是否听过“把贝壳放在耳边就能听到‘大海的声音’”？如果有贝壳的话，可以把贝壳放在耳边，没有贝壳可以用杯子或者各种大小的盒子代替。到底能听到什么样的声音呢？

事实上，这个现象也与声音的共鸣有关。我们身边混合了各种音高的声音，当把贝壳放在耳边的时候，贝壳过滤出了与贝壳固有频率相同的声音并将其放大，使得我们能够听到。材质相同的条件下，物体越重，固有频率越小，所以大一点的贝壳能放大低音，小贝壳能放大高音。

Puzzle 3

温度 and 热



水的融化方式与热传递

Q 25℃的房间里有两个冰块，一个裸露于空气中，另一个用棉花包好。哪一个冰块融化得更早？

1. 裸露的冰块
2. 用棉花包好的冰块
3. 两个一样



热传递

答案是1。高温物体与低温物体接触时，热量从高温物体传递到低温物体，这个现象称为热传递。

25℃下，裸露的冰块逐渐融化。这是由于周围的空气对冰块发生了热传递，在对流作用下，比冰块温度高的空气不断与冰块接触，将热量传递给冰块。

而用棉花包裹的冰块由于棉花有隔热作用，融化速度比裸露的冰块要慢。棉花里有很多空气。静止的空气不会产生对流作用，因此较难传递热量。

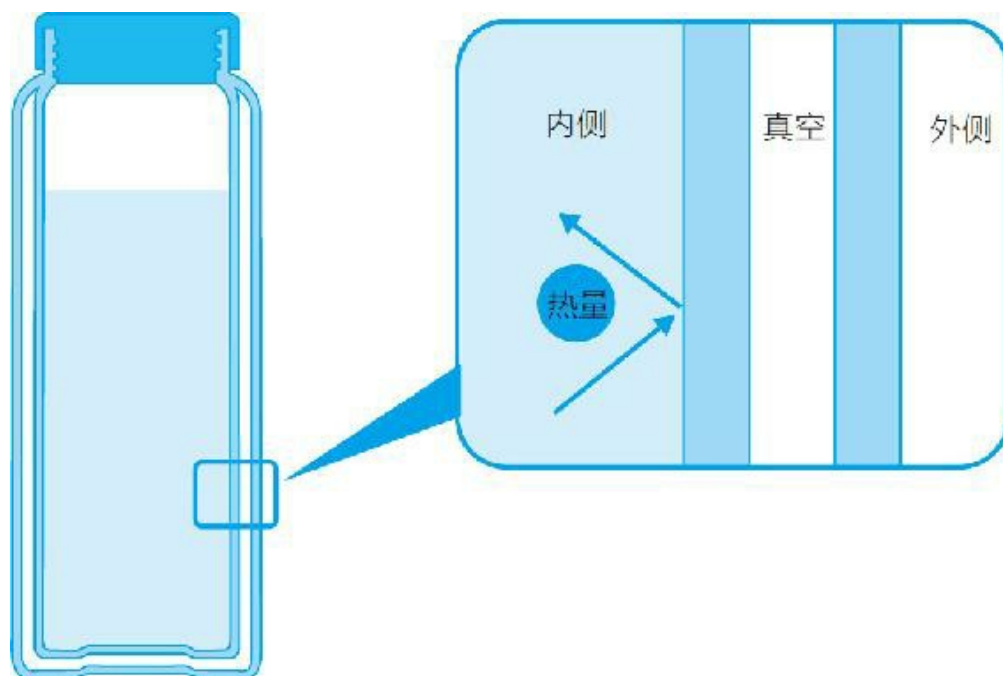
当我们处在寒冷的环境中，穿棉服比裸着更温暖。因为裸着的话，周围对流的空气不断发生热传递，而且人体本身的热辐射也会让身体更冷。如果用棉花裹起来，体热就不容易因对流或辐射散失。所以棉花会给人一种很暖和的印象，其实是因为棉花不容易传递热量。

长时间保温的保温瓶

为了不让冰块融化，还有比在外面裹棉花更好的办法，那就是使用保温瓶。保温瓶为双层构造，中间是真空状态。真空状态下既不会发生热传递也不会发生对流。只剩下热辐射有可能散热，不锈钢内壁可以很好地防止热辐射，避免热量逃逸。

保温瓶可以让冷的东西冷得更长久，温热的东西长期保持温热。

◆ 保温瓶



温度与热

生活中我们常说“测体温发现比平时热”，这在物理上其实是一种错误的说法。正确的说法应该是“测体温发现比平时高”。

温度和热量是两个很容易混淆的词。

◆ 热平衡



高温物体和低温物体接触后，高温物体的温度会降低，而低温物体的温度会不断升高。直到两个物体的温度相同后，温度才会停止变化。

那么，究竟是什么东西从高温物体转移到了低温物体？答案就是热量。

当温度相同时，热量的移动停止。这时候，我们会说两个物体达到了“热平衡状态”。

热量的移动一定是从高温物体到低温物体的单向过程。

日本秋田县男鹿地区有一种乡土料理叫作“石烧锅”。这种料理使用秋田杉制成的桶锅，在锅里加汤，然后再把烧制滚烫的石头放入汤里直至沸腾。在水里只加几个石块，水就能很快沸腾起来。

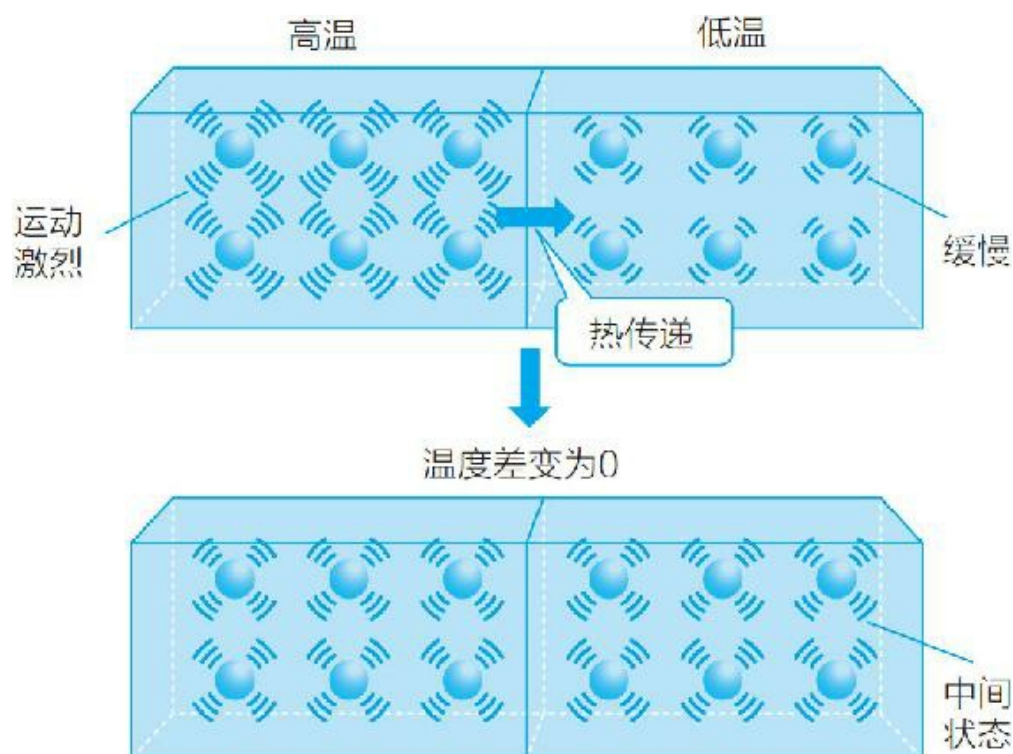
日常生活中用煤气灶做饭，也是利用火焰与锅的热传递作用，用火焰的温度给锅加热。煤气灶的火焰跟高温石块的作用相同。

微观角度下的热传递

我们从分子运动的角度来观察一下高温物体与低温物体接触发生热传递时的微观世界吧。

高温物体是分子运动激烈的分子集合体，低温物体是分子运动不活跃分子集合体。当它们毗邻相接的时候，高温物体的分子与低温物体的分子发生碰撞，使得高温物体的分子动能传递给低温物体的分子。

◆ 从微观角度观察热传递



这个过程类似于静止的玩具弹珠被滚动的玩具弹珠打中后会动起来弹开一样。之前运动不活跃分子被弹开后运动起来，物体温度上升。而之前运动激烈的分子由于损失掉了部分动能，运动逐渐减弱，使物体

的温度下降。从宏观角度来看，热量从温度高的物体传递到了温度低的物体。

比较铁板与泡沫板的温度

 在25℃的房间里长时间放置的铁板和泡沫板温度是否相同？如果用手触摸的话哪边的温度更高？

1. 温度相同，手感受到的温度也相同
2. 温度相同，手感受到的铁板温度更高
3. 温度相同，手感受到的泡沫板温度更高
4. 铁板的温度更高，手感受到的铁板温度更高
5. 泡沫板的温度更高，手感受到的泡沫板温度更高



铁板



泡沫板

热传递的快慢

答案是3。长期放置的两块板子处于热平衡状态，所以温度都是相同的。不用手接触，用红外温度计测量后也能看出它们温度相同。

一般室温比人的体温低。所以，温度较高的手掌接触到温度较低的铁板时会发生热传递。通常金属比其他物体更容易导热。因此，人手会有更多的热量转移到金属，手的温度大幅降低。

而泡沫板由于内部有很多不容易传递热量的空气泡，所以不容易导热。因此，与铁相比，泡沫板不容易夺取热量，手的温度不会出现明显下降。

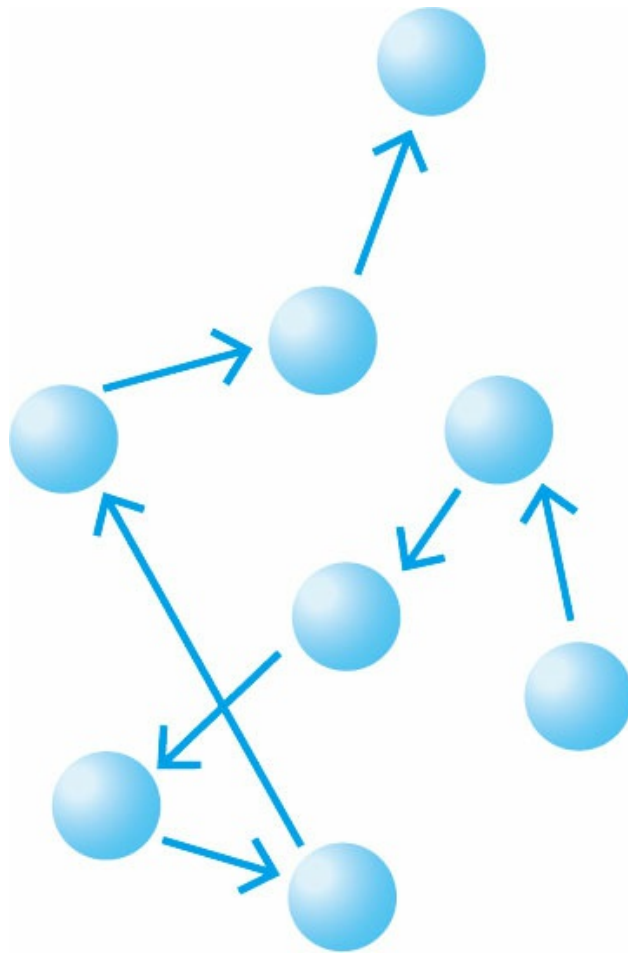
假设房间的温度是 50°C ，当手接触到两块板子的时候，热量就会沿着铁→手、泡沫板→手的方向移动，接触铁的手会感到更热。高温天气赤脚走在沙滩上会觉得烫脚也是一个道理。

花粉与爱因斯坦

 1827年，英国植物学家罗伯特·布朗发现了布朗运动，1905年，爱因斯坦进一步对其做了理论性说明。这个理论不仅让人们了解了分子的热运动，同时也为分子的存在提供了决定性的证据。在此之前，原子与分子的存在不过是假设，是否真实存在尚有争议。

布朗在显微镜下观察什么物体发现了布朗运动？

1. 浮在水面上的花粉
2. 浮在水面上的花粉释放出的微粒
3. 空气中的烟尘粒子
4. 空气中的花粉



布朗运动与微粒

答案是2。 $1\mu\text{m}$ （微米， $1/1000\text{mm}$ ）左右的微粒子浮在水面或其他介质上时，会发生细微的不规则运动，在200倍左右的显微镜下可以观察到，这种运动叫作布朗运动。

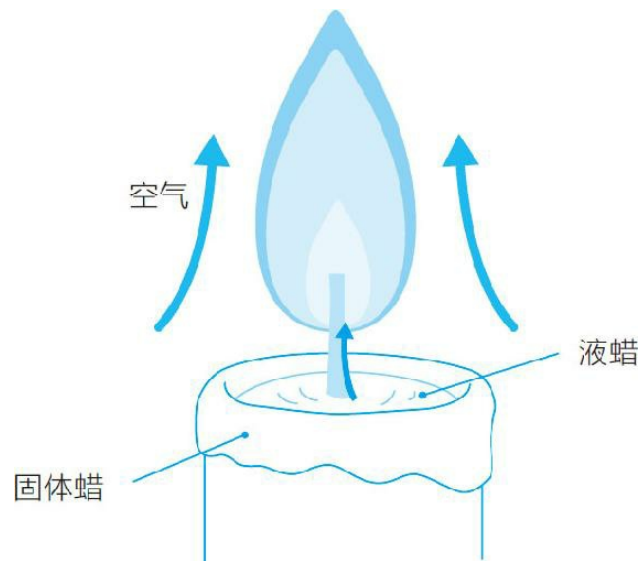
1827年，罗伯特·布朗发现了微小粒子的无规则运动，并将这一发现发表在《关于植物花粉中的微粒》的论文当中。布朗一开始观察到花粉中的微粒运动时，认为这一现象可能是生命活动造成的，后来发现所有微粒都可以观察到同样的运动，因此生命活动一说被否定了。

花粉的大小为 $30\sim 100\mu\text{m}$ ，太大的粒子无法观察到布朗运动。花粉浸入水中，破裂后释放出的微粒会产生布朗运动。

对流与火焰的形状

Q 点燃失重状态下的蜡烛，蜡烛芯的火焰是什么形状的？

1. 从地面上看是竖长的火焰
2. 半球形火焰
3. 只有蜡烛芯上方有亮光，无法形成火焰



空气中，固体蜡变成液体，熔化的蜡烛油因毛细现象上升至灯芯上方，变成气体燃烧。对流作用为蜡烛提供空气。

失重状态下不发生对流

答案是2。失重状态下周围即使有空气也不会出现轻空气上移、重空气下降的对流运动。

空气的对流不断为人们提供新的氧气，失重状态下不会发生对流，所以只能通过周围空气分子的扩散来实现氧气的供给。

扩散供氧与对流比起来要少很多，所以火焰呈现淡蓝色。空气在对流状态下燃烧的火焰是竖长的，尽管气体在燃烧时也能产生火焰，但失重状态下的火焰不会纵向伸长，我们可以在蜡烛芯周围看到整齐的半球形火焰。

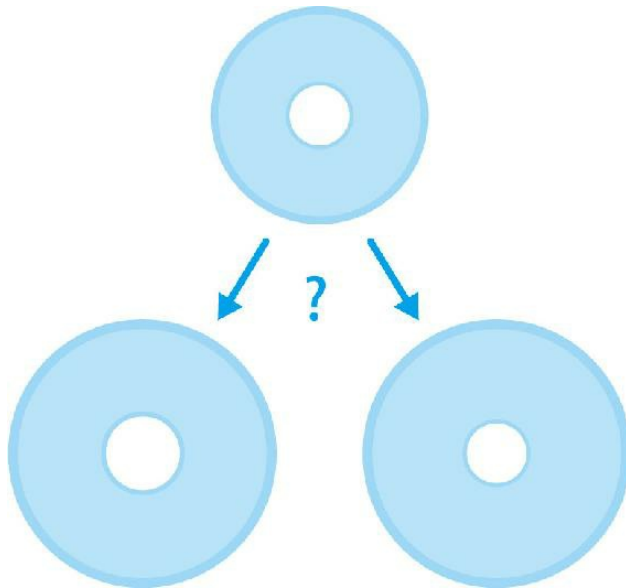
地球上的空气对流让我们总能吸收新鲜的空气，而且还会产生天气变化。海流也是由对流产生的，在烹饪时也会发生对流。

辐射也能让物体的温度升高或降低。辐射是指物体释放电磁波（主要是红外线）后温度降低、吸收电磁波后温度升高的过程。

硬币洞、果酱盖与热膨胀

Q 5日元的硬币中间有洞，把硬币加热使其温度升高，硬币整体会发生膨胀。那么，洞的大小会如何变化？

1. 变大
2. 变小
3. 不变



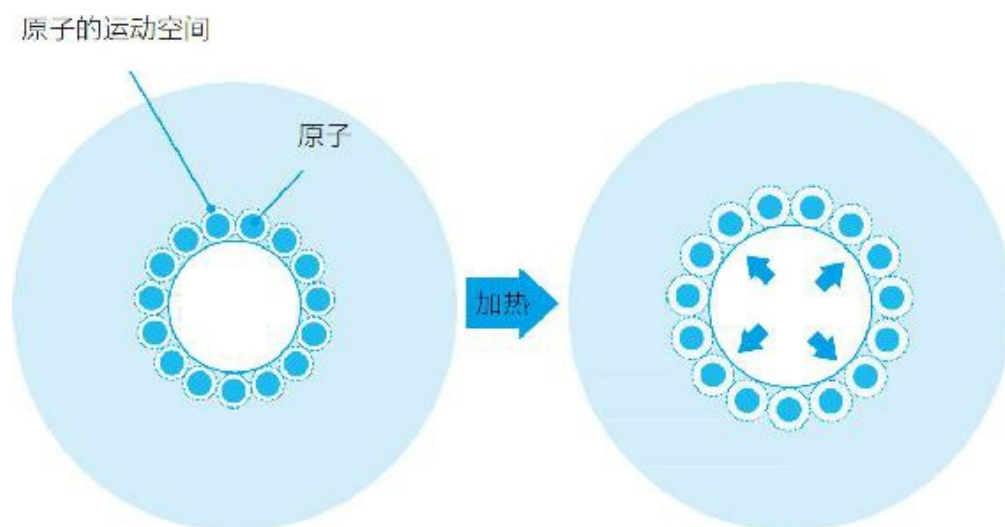
*稍微夸张地画出了整体的膨胀。

洞边缘的原子运动空间

答案是1。金属丝加热后会膨胀变长，把金属丝弯成圆圈状，所以温度升高后，圆圈会变大。

热膨胀是温度变化导致分子或原子激烈运动所引起的现象。分子运动变得激烈，分子间距（分子的运动范围）变大，物体便会膨胀。无论固体、液体，还是气体都会发生热膨胀。

◆ 从原子的角度看热膨胀



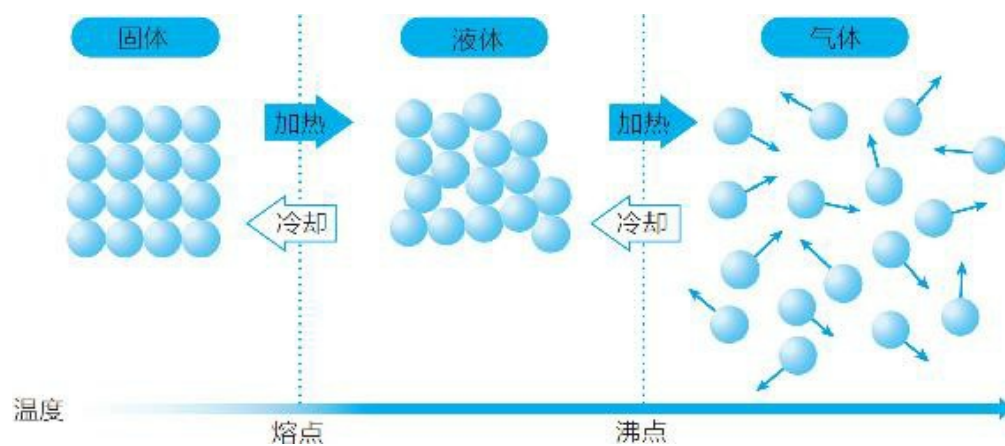
排列在硬币洞边缘的原子、分子的运动范围随着温度升高增大，洞也会变大。

果酱瓶的盖子很难打开时，加热盖子就能轻松取下。这一原理与加热5日元硬币相同。

加热后，金属盖子比玻璃更容易膨胀，盖子内部向外膨胀，因此变

得松弛。

◆ 物质的状态变化与熔点·沸点



铁轨的膨胀

铁轨的轨缝也与膨胀有关。金属温度升高后膨胀使得体积增大。如果铁轨没有轨缝，炎热的夏天铁轨就会膨胀延长，导致轨道弯曲。留有轨缝，并且让轨缝保持一定距离的话，轨道即使受热膨胀也不会让线路弯曲。列车前进的时候，听到铁轨会发出“咯噔咯噔”的声音，其实就是列车经过轨道轨缝时产生的声响。

最近，为了避免产生“咯噔咯噔”的声音，开始使用轨缝倾斜的铁轨。而且轨道长度也有所加长，长达1~2km。

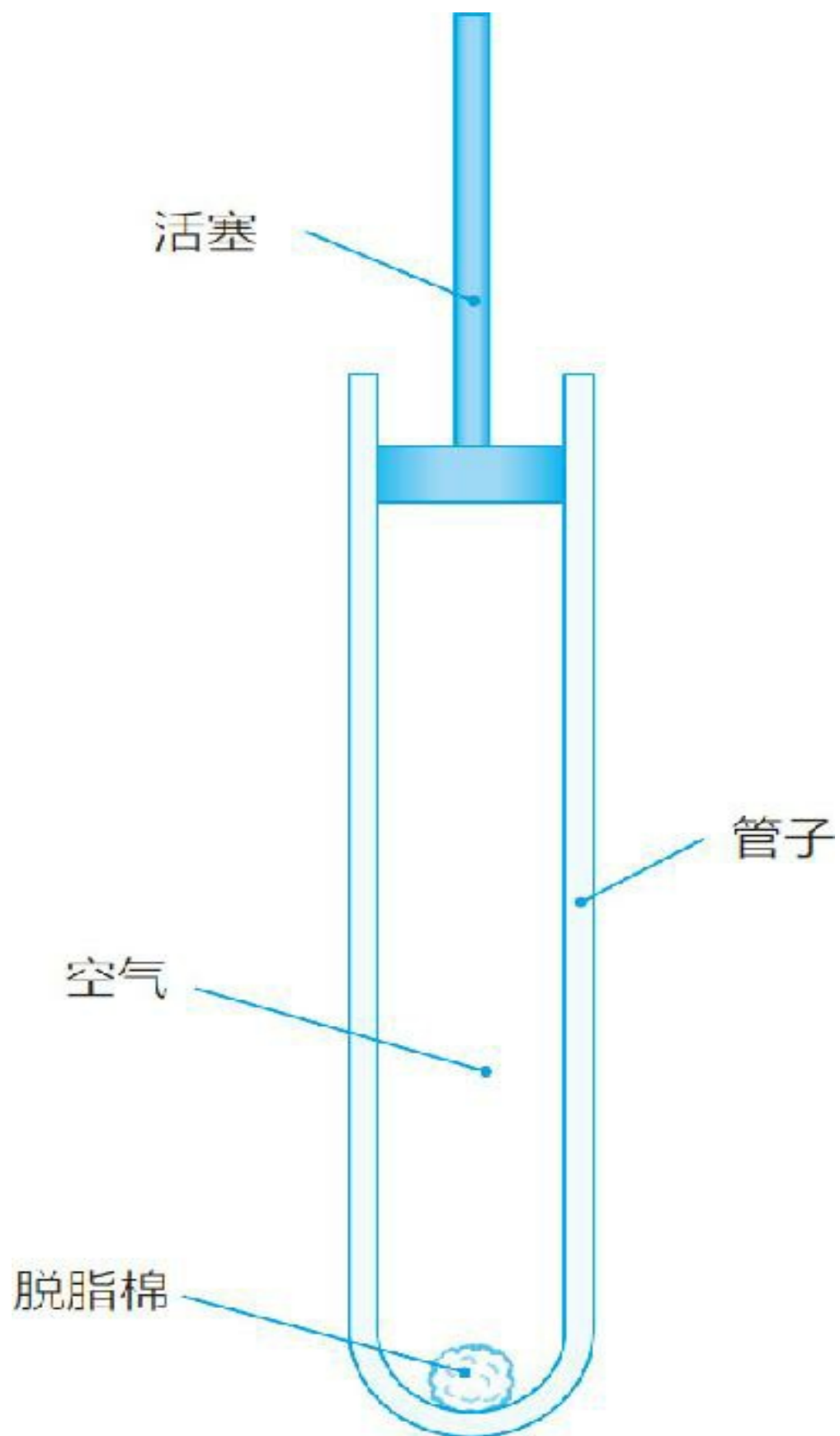
气体的膨胀率较大

固体或液体分子在运动过程中不断互相吸引，而气体分子则较为分散，分子之间几乎没有引力。因此，与固体和液体相比，气体更容易膨胀。三者膨胀的比例（膨胀率）如下：固体 $>$ 液体 $>$ 气体。用手加热气体就能使之产生肉眼可见的膨胀。

管底的脱脂棉会如何变化？

Q 将结实透明的管子一端封闭，在底部放入少量的干燥脱脂棉，迅速挤压活塞。脱脂棉会发生什么变化呢？

1. 缩小
2. 燃烧
3. 不变



绝热压缩使温度升高

答案是2。这个题目涉及绝热压缩现象。绝热是指不与外部发生热交换。压缩气体，气体的温度就会升高。用手压缩活塞，气体温度升高，甚至足以点燃脱脂棉。

汽油发动机可以用火花塞的火花点燃汽油与空气的混合气体，而柴油发动机没有用来点火的火花塞。柴油发动机气缸内的空气快速压缩，温度升高，从而引燃喷射进去的燃油。

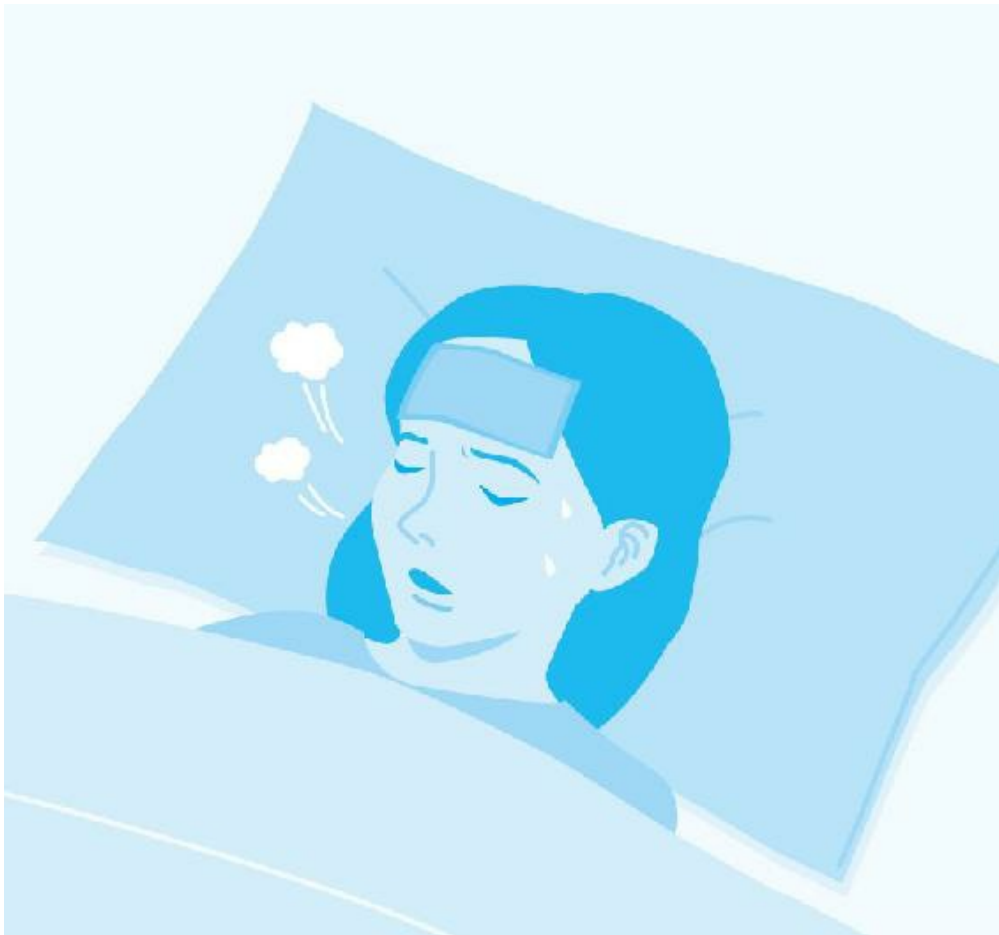
绝热压缩为了压缩做功，其能量无法释放到外部，所以自身的气体温度会升高。

与绝热压缩相反的现象叫作绝热膨胀。当无法与外界进行热交换时，让气体膨胀可使得气体温度下降。地面附近温暖的空气流上升，随着高度增加气压减小，所以空气流会膨胀，造成内部温度降低，内部水蒸气便凝结成云。夏季的积雨云就是这样产生的。

退热贴的原理

Q 发烧的时候会在额头上贴退热贴（冷却凝胶）。这种方法为什么能让体温降下来？

1. 冷却凝胶本身的温度低
2. 冷却凝胶会让水蒸发
3. 冷却凝胶内部的固体溶解



汽化热降温

答案是2。发烧的时候经常会在额头上贴的冷却凝胶，其主要成分是水 and 胶凝剂。胶凝剂别名“吸水性高分子”，能吸收自重10倍以上的水分，是纸尿裤等产品经常使用的一种成分。

冷却凝胶贴在额头上，起初会有凉凉的舒适感。这是因为冷却凝胶里的水分在体温的作用下蒸发，以汽化热（蒸发热）的形式夺走热量，产生了冷却效果。凉爽的早晨给道路洒水后，中午会觉得凉快，其实也是同样的原理。

汽化热是液体物质变成气体时从周围吸收的热量。液体蒸发需要热量，所以会从接触的物质中抢夺热量。因此，身体湿润的时候，体表的水滴会抢夺体温用于蒸发，导致身体变冷。

液体内部的分子中，离表面近的分子挣脱分子间的引力逃逸出来。逃逸的分子带有很多动能，所以液体中残留的分子的平均动能会减小，导致液体温度降低。

因此，冷却凝胶需要让水分蒸发到外面。如果将其放在衣服里或者夹在腋下，水分就很难蒸发了。

此外，冷却凝胶长时间放置后会变得干燥，这是由于里面的水分完全蒸发掉了，则冷却凝胶也就失效了。

保暖内衣HEATTECH的原理

反之，当气体变成液体的时候，会对周围放热。例如，冰箱的工作原理就是汽化热。冰箱的冷凝器可以让制冷剂（容易在液态和气态间互相转化）由液体转化为气体，此过程会夺取周围的热量达到制冷效果。接下来，变成气体的制冷剂在压缩机压强的作用下转化为液态。此时液体的温度虽然会升高，但是热量会被搬运到冰箱外。制冷剂在冷凝器、压缩机、散热器之间循环，借此保持冰箱长时间的低温状态。

HEATTECH使用吸湿发热纤维，通过吸收人体皮肤蒸发的水蒸气达到发热效果。水蒸气变成液体时，就会对周围释放热量（凝结热）。

0℃的水与0℃的冰哪个制冷效果更好？

考虑一个和冷却相关的问题，在橡胶制的水枕里分别加入0℃冰凉的水和0℃的冰，哪种冷却效果更好？同样是0℃，冰需要夺取更多热量，可以将冷却时间维持得更长一点。0℃的水在冷却接触物的同时，温度会不断上升；而0℃的冰在冷却接触物的时候，会先将热量用于融化冰块，直至冰块全部融化，温度还能一直维持在0℃，等到冰块变成0℃的水之后温度才会上升。

可见，0℃的冰的冷却效果更好，因为从0℃的冰变成0℃的水的这个过程需要吸收熔解热。0℃的冰可以从周围吸收好几倍的热量。

Puzzle 4

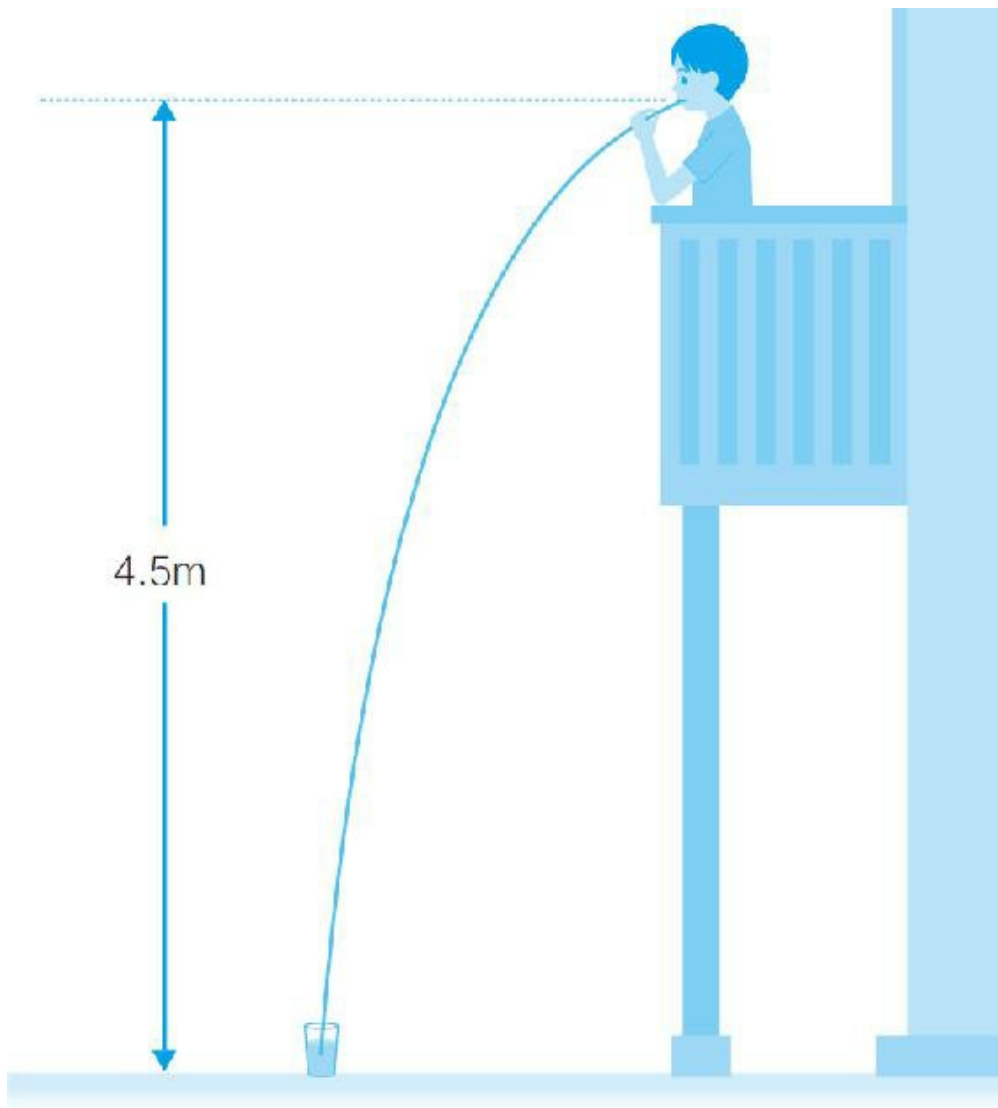
力与运动

S

用长吸管喝果汁

Q 将一个装有果汁的杯子放在地上，将长约5m的管状吸管插入杯子中，从二层的阳台（地面距离口部的高度大约是4.5m）是否可以用吸管喝到饮料？

1. 可以
2. 不可以



气压的大小

答案是1。气压是指单位面积（1平方米）上的垂直压力的大小。气压的单位是帕斯卡（符号是Pa）。 $1\text{Pa}=1\text{N/m}^2$ 。压强=垂直压力÷面积。

我们生活在近地表。我们上方是约30000m厚的大气层。意大利物理学家伊万格列斯塔·托里切利(Torricelli, Evangelista)（1608～1647）曾经说过“人类住在大气海洋的底部”，这句话说的就是我们生活在大气底部的这一现象。

空气也有重量（质量）。气温在20℃时，地表附近1L空气的质量大约为1.2g。由于这部分空气在我们上方，所以可以认为我们背负着这部分重量，即1cm² 地面上的空气约重10N（1kg空气的重量）。地表大气（空气）承受着这部分重量的压力。因此，地表的大气压力，即大气压约为1013hPa^[1]（=1个标准大气压）。

一个标准大气压所承受的重量

一个标准大气压可以承受76cm水银这种沉甸甸的金属。那么，如果把一个标准大气压下的水银换成水会如何呢？水银的密度是水的13.6倍，通过计算可以得出大约能够支撑76cm的13.6倍，即大约10m高的水柱。

如果口腔内部是真空环境，站在阳台上的人就能够吸到10米内的果汁。

由于我们无法将口腔完全变成真空状态，所以进行了从2层阳台是否可以喝到果汁的挑战。

结果是喝到了！但是口腔中的气压低至0.5个标准大气压，如果太用力的话，稍有不慎，舌头的毛细血管便会破裂出血。

1个标准大气压可以支撑10m的水柱？

我做了很多次实验。用10m以上（例如10.5m）装满水的塑料软管穿过楼梯缝隙，逐渐爬楼。软管的一端打开，放入装有水的水桶里。另一端用橡皮塞塞住，并用铁丝系紧，使其完全封闭，然后拿着封闭那一端的软管上楼。

上到1层、2层和3层的时候，塑料软管一直是充满水的状态。但是当上到4层楼，高度非常接近10m的时候，塑料软管里的水就发生了变化。

软管中间产生了间隙，并且变扁了。而且，水无法达到更高的高度。

这时，仔细观察就会发现水面上产生了很小的气泡。这是因为软管上面几乎是真空，下面溶解了一些空气。下方的水面处为1个标准大气压，上方的间隙处——不是完全的真空状态，有水蒸气与少量空气——气压非常低。由此可见，上下方的差为不到10m，也就是说1个标准大气压可以撑起将近10m的水。

[1] 1hPa=1百帕。（译者注）

用气压将铁桶压扁

Q 在蜡罐、石油桶等容器中放入少量的水并将其加热，待水沸腾产生水蒸气，过一段时间关火、盖上盖子，不久便能听到声音，桶被压扁了。

如果再度加热盖好盖子的罐子，会发生什么现象呢？

1. 因为桶整体变热，所以无变化
2. 桶伴随着声响膨胀，尽管无法完全复原，但会逐渐恢复原形

橡皮塞



桶被压扁及其复原

答案是2。我试过很多次，用气压将铁桶或者日式一斗缶^[1]等压扁。一斗缶被挤扁之后，再次加热还可以复原。当然，复原的时候要马上关火。

桶压扁以前，周围大量的氮气分子和氧气分子剧烈碰撞。这时，内侧也有大量的氮气分子和氧气分子在彼此碰撞对抗，所以桶不会被挤扁。当桶内部的水沸腾，空气被水蒸气赶出去时，水分子取代了氮氧分子的位置，水分子之间发生碰撞，保证了桶不会变形。

盖上盖子静置一段时间，桶内的水蒸气遇冷变为液体，内部彼此对抗的分子减少。也就是说，桶四周的大气压不变，但内部的压力减小，导致桶变形。

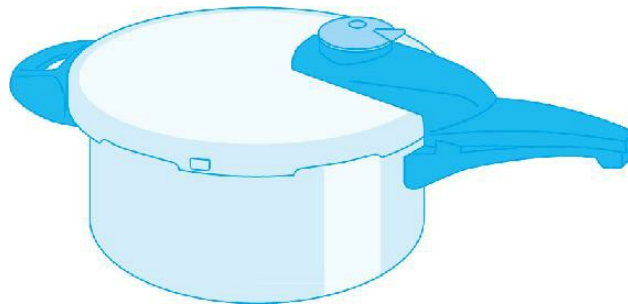
变形的桶之所以能够膨胀恢复到之前的形状，是因为内部大量的水分子与桶壁发生了激烈的撞击。

[1] 一斗缶：容量为1斗（约18L）的方形金属桶装容器。（译者注）

高压锅的秘密

Q 高压锅可以在短时间内做好不容易熟或者炖烂的东西。那么，高压锅在短时间内做熟食物的主要原因是什么？

1. 在食材四周施加很大的压力，让水更容易渗透
2. 在食材四周施加很大的压力，将食材的细胞变小，使其更容易受热
3. 升高水沸腾的温度，用高于 100°C 的水制作食材



水的沸点会因压力而变化

答案是3。水在标准大气压下的沸点是 100°C 。液体沸腾时，液体内部蒸发并冒泡。沸腾过程中加热，可以让水分子之间的距离增大，一旦沸腾，液体的温度就无法继续升高。

气压越低，水的沸点越低；气压越高，水的沸点越高。所有液体的沸点都会随着周围气压的变化而变化。

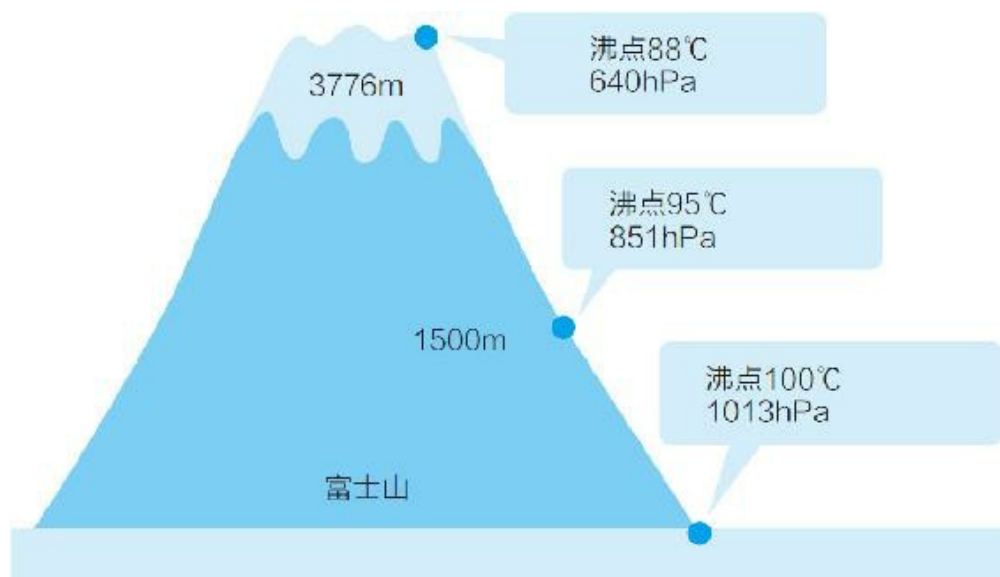
装有点心的密封袋在高山上会鼓起来。在山脚下，袋子外的气压与从内部气体挤压袋子的气压维持平衡，袋子处于正常的状态。而在高山上，袋子中的压力不变，但外部的气压降低了，所以袋子就会鼓起来。

随着海拔升高、气压降低，水的沸点也会降低。在富士山脚下测出的水的沸点为标高1000m时 97°C 、2000m时 94°C 、3000m时 92°C ；到达山顶3776m处时，水的沸点只有 88°C 左右。

在富士山顶，用一般的锅无法将米完全煮熟，米芯仍然是生的，就是因为气压太低。如果使用高压锅，便能把米饭煮熟。

印度拉克达地区的中心——列城海拔3500m，水的沸点为 91°C 。在当地居民的家中，他们厨房墙壁上总会挂着几口高压锅。

◆ 富士山的高度、气压以及水的沸点



高压锅的原理

高压锅和普通锅的不同之处在于高压锅能够很好地调节气体（水蒸气等）的进出。

将高压锅密闭加热，水蒸气无法逃逸，锅内的气压就会越来越高。如果达到设定的气压，水蒸气会将浮子顶上去，跑到外面，保证气压不会继续升高。

高压锅的气压各不相同，一般而言，日本的高压锅气压基本在1.5～2.5气压。

一般的锅在水温达到100℃时才能将食物煮烂。如果用1.8气压的高压锅，沸点大约为120℃。这就意味着，水温可以达到120℃。食材在高压的环境下，短时间之内便可以完全软烂。

深海鱼与鱼鳔

Q 生活在水深200m以下的鱼叫作深海鱼。很多深海鱼都没有鱼鳔。鱼鳔是鱼身体内用于辅助鱼上下浮沉的气囊。深水处水压大，鱼鳔容易破裂，因此深海鱼没有鱼鳔。[书ji分 享V 信shufoufou]

但是生活在水深200m左右的鱼一般都有鱼鳔。如果把这些鱼迅速钓上岸，会发生什么现象呢？

1. 鱼鳔很结实，鱼不会发生变化
2. 鱼鳔膨胀，导致鱼肚破裂
3. 鱼鳔膨胀，从鱼嘴飞出

深海鱼承受的水压

答案是3。生活在水深200m左右的鱼的身体和鱼鳔等部位需要承受大约2100kPa的巨大水压。因此，为了保证身体不被压碎，体内也会向外施加压力。试试把深海鱼迅速钓出海面。

这时候，鱼承受的压力由海水压力和大气压力变成大气压力，骤减到100kPa左右，而体内的压力无法迅速调节。如果按照海里的2100kPa计算，从体内到体外的压力与由外而内的大气压力之间存在2000kPa的压力差。

于是，鱼鳔会扩大膨胀，从鱼嘴飞出来。不仅如此，眼睛也会飞出来。第一次见到这种情景的人，很可能被鱼的样子吓得尖叫。

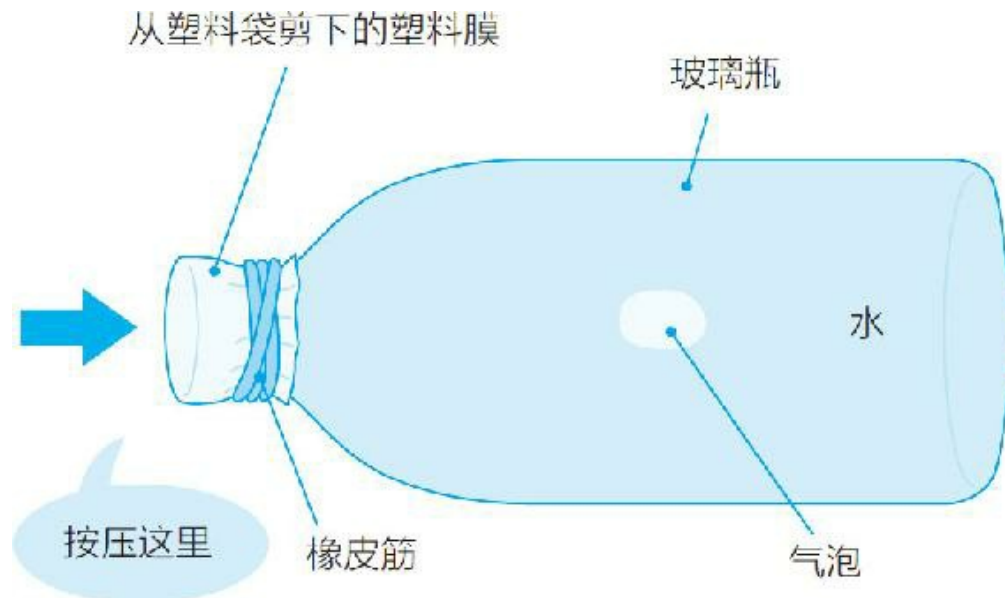
水深每增加1m，水压便会增加9800Pa。夸张点儿说，水深增加1m，水压就会增加10kPa，也就是100hPa。除了水压之外，气压也需要计算在内。因为水面上的大气也会产生压力。

帕斯卡定律与工具

Q 在无色透明的玻璃瓶中加入水，保留少量的空气，用剪下的塑料袋覆盖瓶口，再用橡皮筋紧紧绑住。将瓶子放平，使里面的气泡处于瓶子的中间。

按压瓶口，气泡的形状和位置会发生什么变化呢？

1. 气泡变小，但位置不变
2. 气泡变小，向右移动
3. 气泡形状不变，向右移动



※俯瞰图

帕斯卡定律

答案是1。处于封闭环境的不可压缩的静止液体，任何一点受外力产生压力增值后，此压力增值会瞬间传至静止液体各点。这个原理称为帕斯卡定律。

挤压瓶口对瓶内液体的所有部位都施加了压力，因此气泡受周围压力挤压，导致形状变小。

帕斯卡定律适用于液体或气体。液体分子和气体分子朝四面八方运动，无论以什么方式和角度接触，分子之间都会互相施加压力。吹橡胶气球的话，整个气球都会膨胀，这其中的原理其实就是帕斯卡定律，即嘴里呼出的压力传递到了整个气球。

我们身边的很多工具都利用了帕斯卡定律，这些工具大多使用油压。油压千斤顶、汽车制动系统、油压泵和油压发动机等都是如此，可以用很小的力带动很大的力。

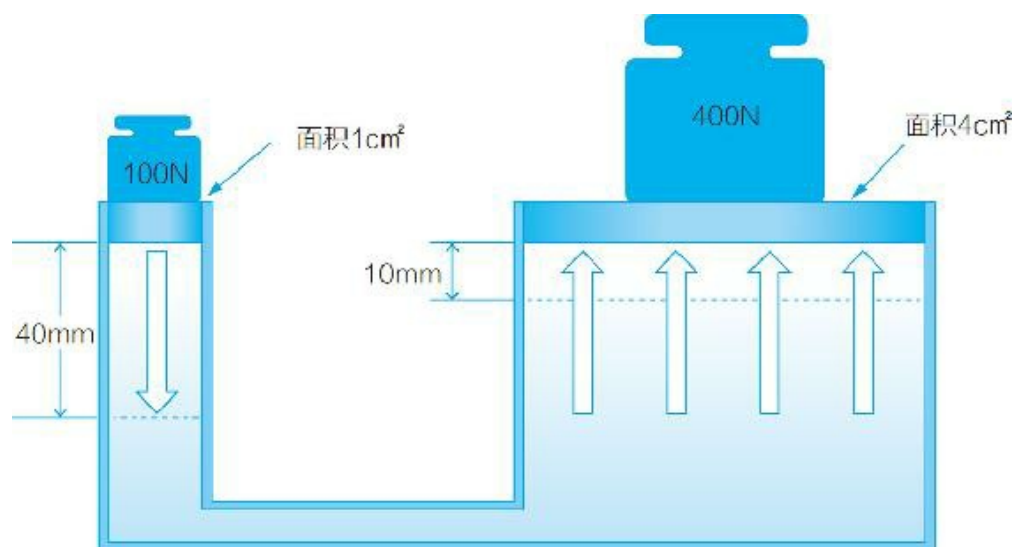
将直径不同的气缸用罐子连在一起，加满油，在气缸上面分别用恰好可以完全嵌入的活塞施加压力，每个活塞会产生和活塞面积（气缸面积）成比例的力。 $\text{压强} = \text{压力} \div \text{面积}$ ， $\text{压强} \times \text{面积} = \text{压力}$ 。

活塞向气缸内加压，气缸内的所有地方都受到了同等大小的压强。这部分压强增加到另一个气缸，使得另一个活塞也受到与活塞面积成比例的力（ $\text{压强} \times \text{面积}$ ）。也就是说，面积小的活塞施加的一个很小的力为面积较大的活塞带来了一个很大的力。

当大活塞的面积是小活塞面积的4倍时，小活塞的压力就能增加到4

倍，推动面积大的活塞。

◆ 油压千斤顶的原理



科学家帕斯卡

压强的单位帕斯卡（Pa）以法国哲学家、数学家、物理学家帕斯卡的名字命名。

帕斯卡1623年出生，1662年去世时年仅39岁。帕斯卡从小就显露出天才的特质，12岁时就已自行研究出了两条直线不相交的条件下的大量图形特征。

他发明的机械计算机堪称计算机祖先。

帕斯卡有一句名言是：“人不过是一根苇草，是自然界里最脆弱的东西，但人是一根能思考的苇草。”他认为，人类微不足道，而且很脆弱，但是人类的思考能力比自然界的一切都值得尊敬。

帕斯卡针对压强开展了各种各样的研究，因此人们用他的名字来表示压强的单位。

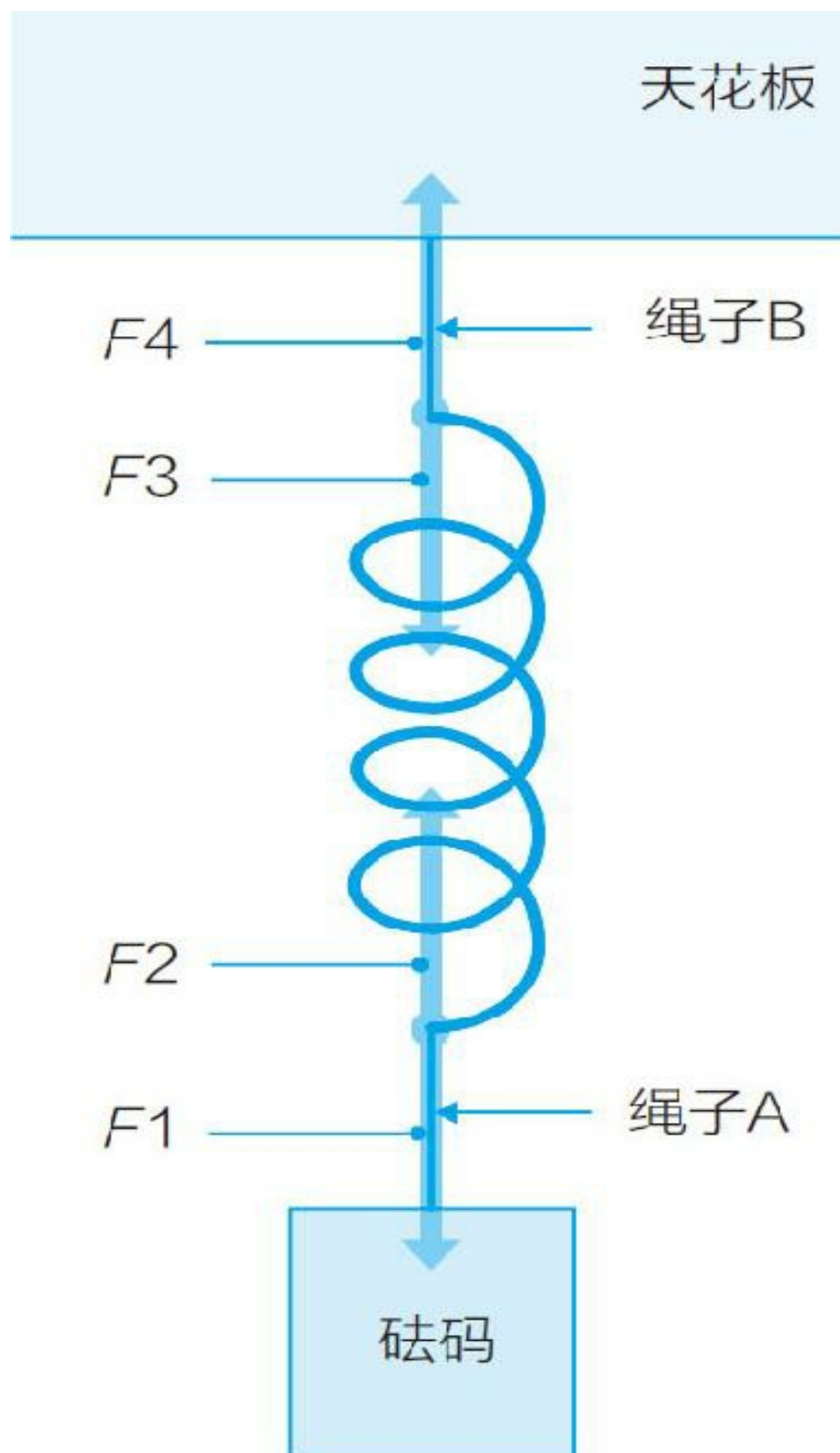
他通过研究证明了一个标准大气压相当于76cm高的水银柱的重量，大约等同于10m高的水柱。

螺旋弹簧与绳子的作用力

Q 螺旋弹簧固定在天花板上，将砝码吊在弹簧下，直至弹簧伸长静止。图示 F_1 为绳子A对弹簧的拉力， F_2 为弹簧对绳子A的拉力， F_3 为弹簧对绳子B的拉力， F_4 为绳子B对弹簧的拉力，假设弹簧与绳子的重量可以忽略不计。

F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 中，互为作用力与反作用力的两个力是？

1. F_1 与 F_4
2. F_2 与 F_3
3. F_1 与 F_4 、 F_2 与 F_3
4. F_1 与 F_2 、 F_3 与 F_4



作用与反作用

答案是4。作用与反作用是指两个物体之间的关系。图中的物体包括天花板、绳子A、弹簧、绳子B、砝码，我们先抛开天花板和砝码，只考虑绳子A和弹簧、弹簧和绳子B。

绳子A牵引着弹簧（ F_1 ），同时弹簧也在牵引着绳子A（ F_2 ）。 F_1 与 F_2 是作用力与反作用力的关系。

弹簧牵引着绳子B（ F_3 ），同时绳子B也牵引着弹簧（ F_4 ）。因此， F_3 和 F_4 也互为作用力与反作用力。

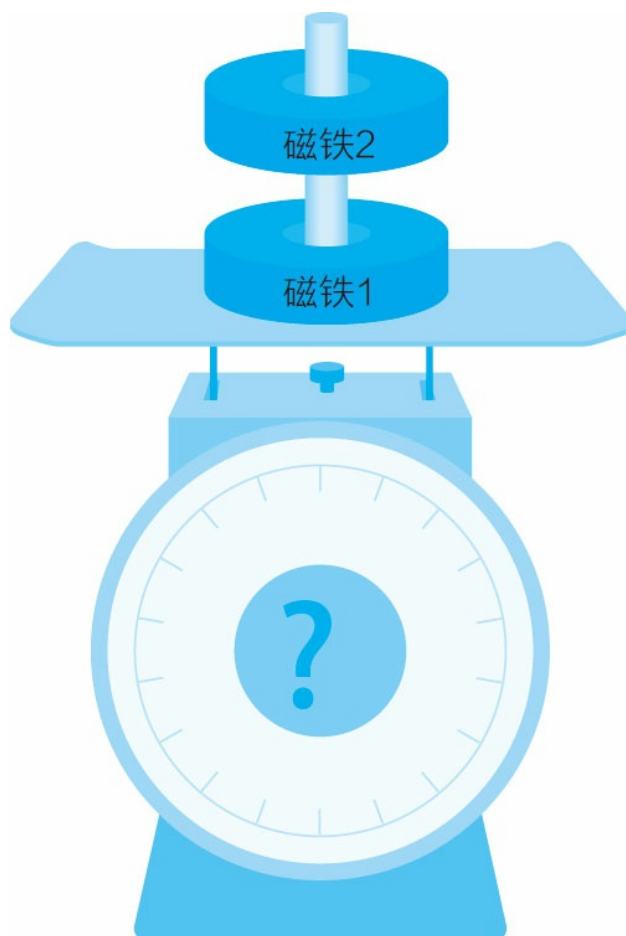
F_1 与 F_4 作用于同一个物体——弹簧，这两个力大小相同、方向相反，但它们是“平衡”关系。作用力与反作用力的特点是“方向相反、大小相等”，很多人容易通过这个特点将“平衡力”误认为是作用力与反作用力。“作用力”和“反作用力”是成对出现的力，分别作用于“两个对象物体”。而“平衡力”是在“同一对象物体”上施加的两个力。

浮空的磁铁重量会如何变化？

Q 用吸管（重量可忽略不计）把甜甜圈形状的磁铁（10g）固定在测量台上，然后在吸管上再放一个同样的磁铁，使其悬浮。

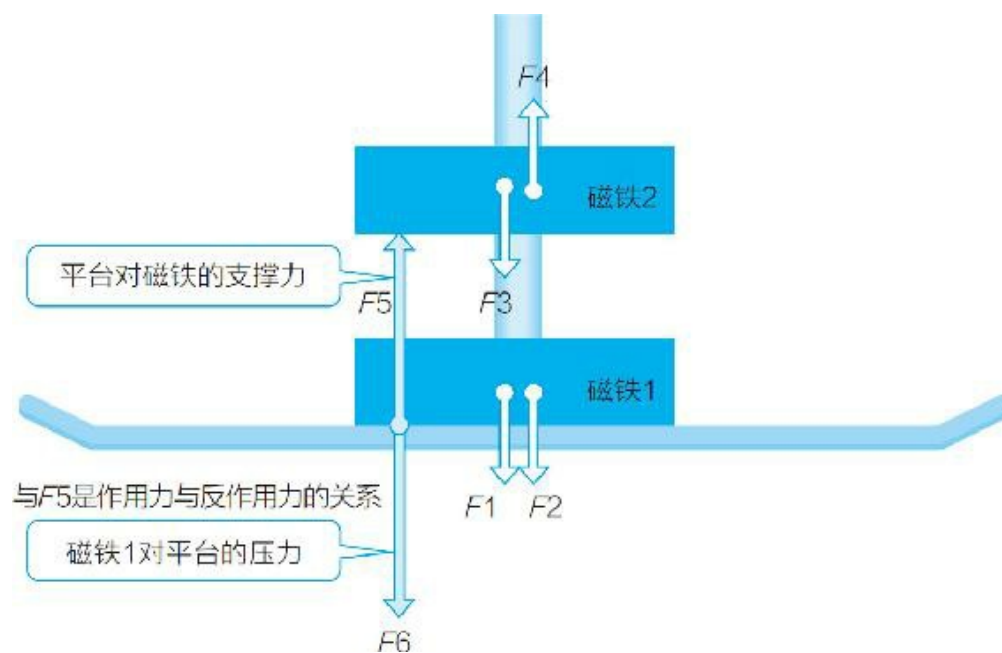
那么磁铁的整体的质量是多少？

1. 10g
2. 10~20g之间
3. 20g



※ 假设重量10g的物体测量出的重力为10g的重量。

◆ 作用力



浮空的磁铁重量

答案是3。我们把测量台上固定的磁铁标记为磁铁1，浮空的磁铁标记为磁铁2。

磁铁1的受力包括自身向下的重力、磁铁2向下施加的磁力以及平台对磁铁1的支撑力（平台的抵抗力）。

磁铁2的受力包括自身向下的重力 F_3 （10g重）、向上的磁力 F_4 （磁铁1与磁铁2的排斥力）。

磁铁2处于悬空且静止的状态，所以 F_3 与 F_4 为平衡力，大小相同， F_4 为10g重。

此外， F_2 与 F_4 为作用力和反作用力，力的大小也相同，所以 F_2 也是10g重。

磁铁1受到向下的 $F_1 + F_2$ （20g重），保持静止状态，所以测量台向上的支撑力 F_5 也是20g重。而磁铁1对测量台的压力 F_6 与 F_5 互为作用力和反作用力，大小相同，也是20g重。由此可证，测量台显示的重量为20g重。

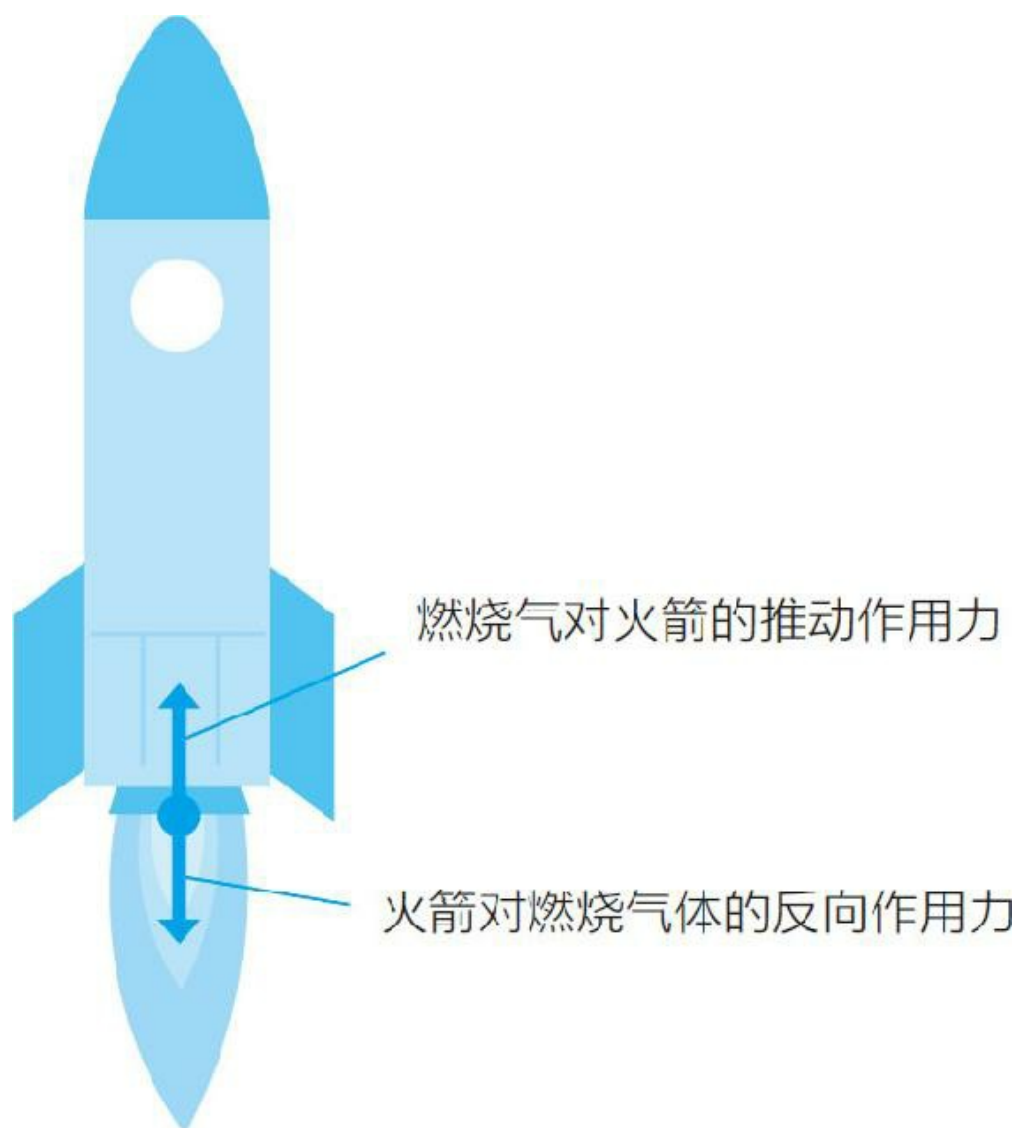
作用与反作用的示例

我们走路的时候，脚会挤压后方的地面，地面给我们一个力，促使我们向前行走。汽车也是一样，车轮向后挤压道路，道路给车轮一个同样大小的力，使车轮向前驶去。

打架的时候，用手打别人的头，头受到的手的力和头施加给手的力是一样大的。所以，打人的一方也会感到疼痛。

同样，拳击手戴手套并不仅仅是为了减少给对方造成的伤害，击打对方的时候，自己的手也会受力，戴手套可以对手部起到保护作用。

◆ 火箭靠燃烧气体喷射的反作用力前进



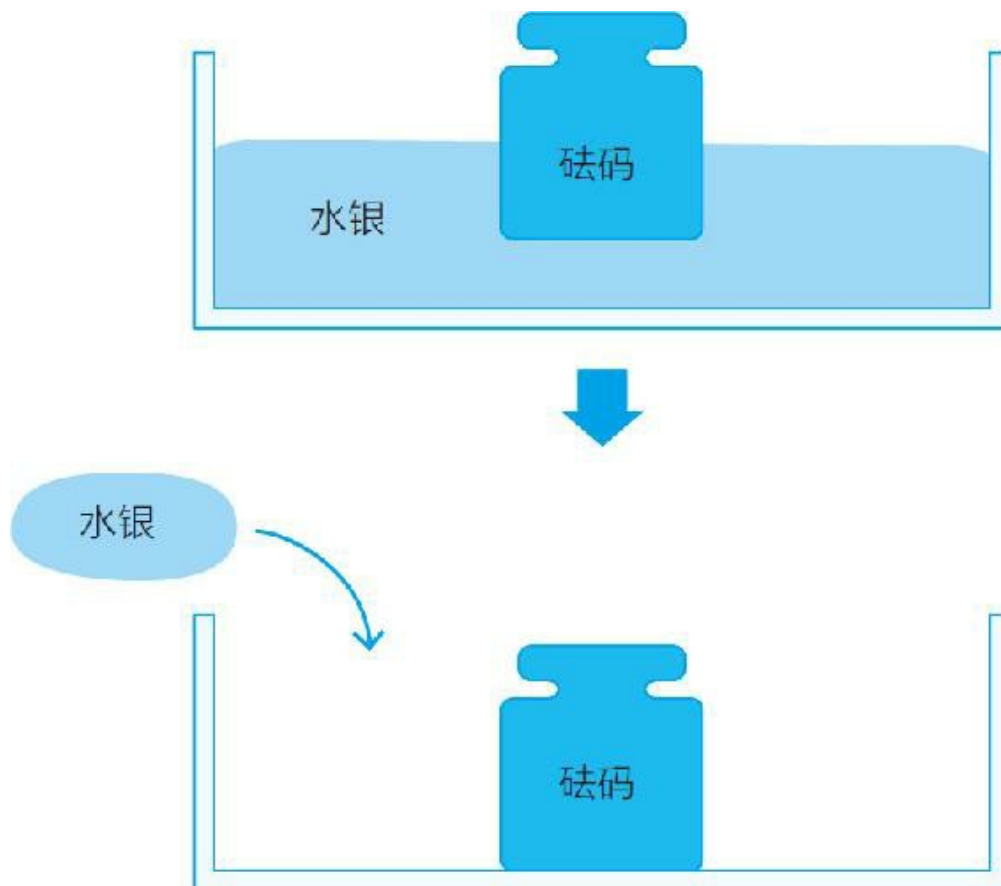
再拿火箭来说，燃料和氧化剂反应，大量燃烧气体高速喷射出来，反向推动火箭前进。高温气体施力把火箭推向前进的方向，火箭施加给高温气体向后的作用力。火箭的推进与空气没有关系，无论是在空气中还是真空环境下都能发射。

水银里的砝码能否浮起来？

Q 铁的密度是 7.9g/cm^3 ，水银的密度是 13.6g/cm^3 ，因此把铁块放入水银中，铁块可以很轻松地浮起来。

在浅底器皿中倒入水银，再将底部光滑水平的上皿天平砝码放入水银中，砝码能够浮起来。那么，先把砝码放入器皿，再倒入水银，砝码会如何变化呢？

1. 一定条件下可以浮起来
2. 一直沉在底部（无法浮起）



水银进入砝码底部

答案是1。砝码底部与器皿底部贴合之后，即使倒入水银，砝码也无法浮起来。这是因为由上而下倾倒的水银会给砝码一个向下的力，却不会给砝码从下而上的力。如果摇晃器皿，让水银进入砝码底部的话，水银就可以向砝码施加向上的浮力。砝码底部的水银越深，浮力会越大；当浮力大于向下的力时，砝码就能浮上来。

我曾经展示过在水银里放游戏钢珠和中学女生用的铅球，都成功地浮了起来。

液体压强差产生的浮力

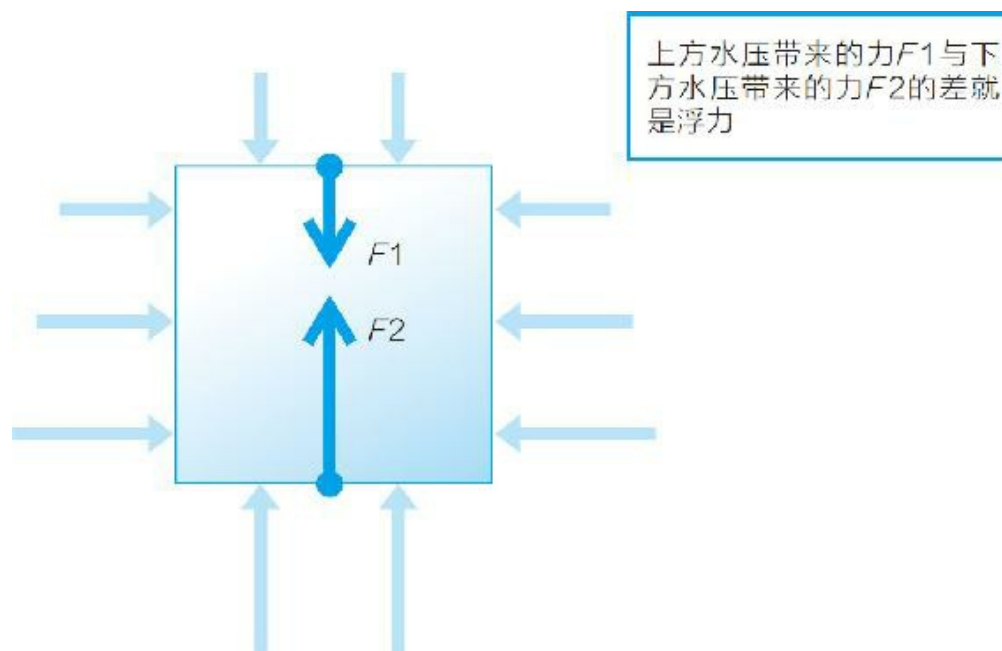
长方体木片沉到水里还可以浮上来，这是由于木片受到的浮力大于重力。当浮力和重力达到平衡的时候，木片就会静止。

如果水中的物体受到浮力，就表明物体上方和下方的水压（水的压强）存在压强差。水压根据水的深度成比例增加，而且水的压强来自上下左右各个方向。

水压施加在一定面积上时，压力的计算方式为：压力=水压×面积。

沉在水里的物体，受到来自物体上方水压带来的向下的力以及下方水压带来的向上的力。由于物体本身具有厚度，所以处于较深水位的下表面水压较大，物体便会产生向上的力量差。这个差值就是所谓的浮力。

◆ 上下水压的压力差——浮力



那么当物体与容器底紧密贴在一起时，又会发生什么变化呢？由于物体与容器底部贴得很紧，所以不会出现因水压产生的从下向上的力，即使密度比水小的物体也无法浮起来。

不过，水与水银不同，我们很难把物体下表面与容器底之间的水排除干净。正因如此，比水密度小的物体往往很难停留在容器底不浮上来。

把比水密度大、底部平滑的物体放入盛有水的容器中，即使物体沉底，也很难排空容器底与物体下表面之间的水分。即使水量很少，浮力也是存在的。

带着气球坐车

Q 汽车或者地铁紧急加速的时候，乘客会向后倒。车辆平稳行驶的过程中，乘客在惯性的作用下维持一定速度下的相对静止状态，而车辆加速向前移动时，会脱离原来的速度。这种情况下，不仅乘客会向后倒，车内吊环也将朝着前进的相反方向倾斜。

如果拿着用绳子系好的氦气球坐在车里，当车紧急启动的时候，气球会发生什么变化？

1. 向前进的方向移动
2. 向前进方向的反方向移动
3. 保持不动



紧急启动时的“惯性力”

答案是1。气球在匀速直线运动的车里受到向上的浮力与向下的重力， $\text{浮力} - \text{重力} = \text{绳子向下的拉力}$ 。“浮力”与“重力+拉力”处于平衡状态。

对于气球来说，周围空气的上下气压差所产生的力就是浮力。

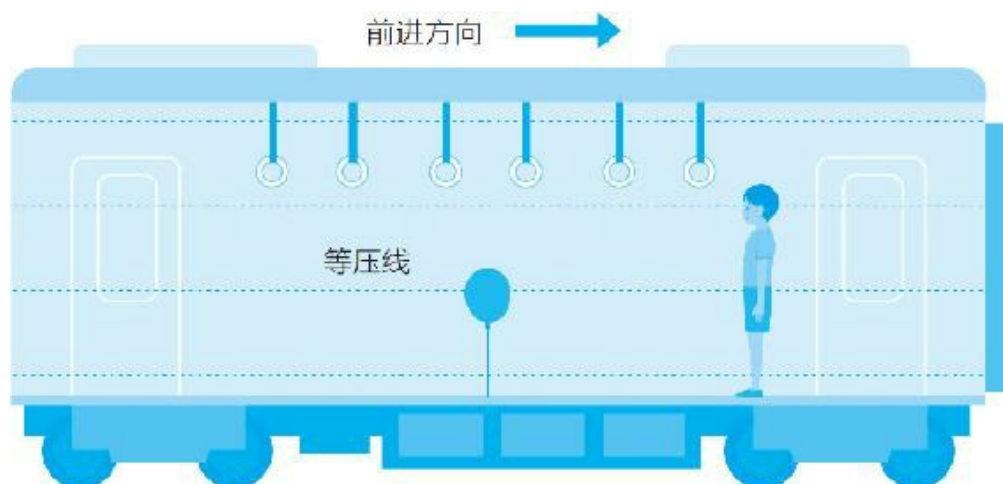
紧急启动是一种加速运动，速度会不断增加。车辆紧急启动时，车内所有物体都能感觉到被车子向后牵引的“力”。具体来说，车加速的时候，车内的物体仿佛被“甩下去”一样，给人们一种车辆对车内的人和物体施加了作用力的感觉。这个“作用力”被称为“惯性力”。

惯性力的大小与各个物体的质量（和车的加速度）成正比，方向与车的行驶方向相反。

加速的物体受重力和惯性力的作用，现在我们就把这两个力的合力称为“表现重力”。

车辆急速启动的时候，地铁的吊环向后倾斜，就是表现重力在起作用。但是，氦气球的运动方向与吊环截然相反。因为氦气球很轻，我们需要把气球周围的空气运动也考虑在内。

◆ 静止状态或匀速直线运动时的地铁

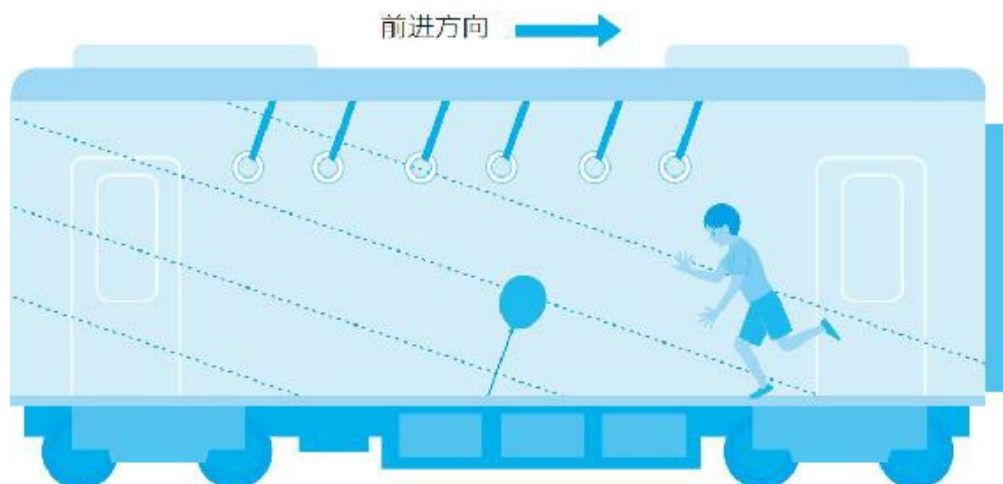


假设在地铁里放一个装了一半水的水槽。地铁加速的时候，水面会发生倾斜，车辆前进方向的水面会降低。

地铁没开始加速的时候，空气的等压面是水平的。地铁开始加速时，等压线就会像图示一样发生倾斜。重力与惯性力的合力（表现重力）垂直于倾斜的等压面。此时，浮力也垂直于倾斜的等压面，而且浮力与表现重力+拉力处于平衡状态。

吊环、气球的表现重力方向都相同，但是它们的朝向却不相同。

◆ 加速运动的地铁



吊环与气球的表现重力方向相同，但它们的朝向却不一样。

紧急启动的相反情形——紧急制动

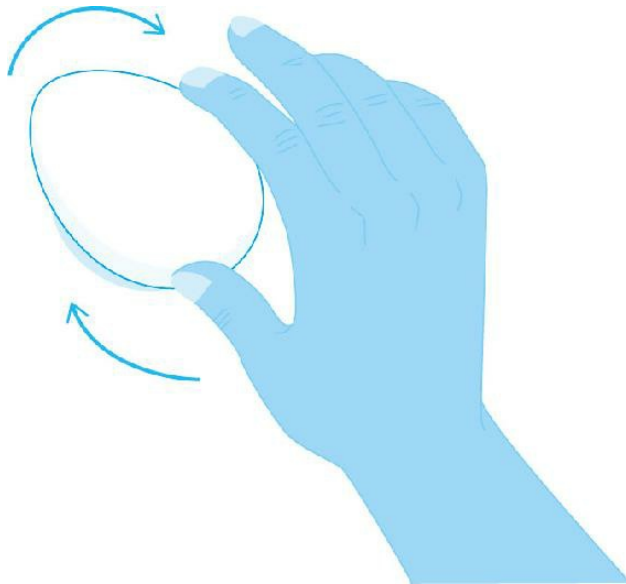
交通工具紧急制动的时候，乘客会倒向前方。车子减速急停的时候，乘客仍然保持之前的匀速运动。如果坐汽车不系安全带的话，很可能会撞上转向盘或后视镜，情况严重的时候还可能冲出车外。在安全带普及之前，受害者发生交通事故后都会去做脸部缝合手术，几乎都是因为脸部猛烈撞到了后视镜或转向盘上。2014年日本国交省的数据显示，不系安全带的人的死亡率是系安全带的14倍。

用科学的方法辨别生鸡蛋和煮鸡蛋

Q 生鸡蛋和煮鸡蛋从外观上很难区分开来。但是把它们放在桌子上旋转，就能很简单地分辨出来。

把生鸡蛋和煮鸡蛋以同样的方式旋转，哪一个可以转得更快、更久？

1. 生鸡蛋
2. 煮鸡蛋



生鸡蛋很难转动

答案是2。和煮鸡蛋相比，生鸡蛋非常难转起来，因为生鸡蛋壳里是流体。静止的流体受到外力作用下旋转时，惯性会使其维持静止状态。而且，流体还会抵抗蛋壳的运动。煮鸡蛋比生鸡蛋转得快，而且转得时间更长。掌握了这个原理，就能判断鸡蛋是生的还是煮熟的。

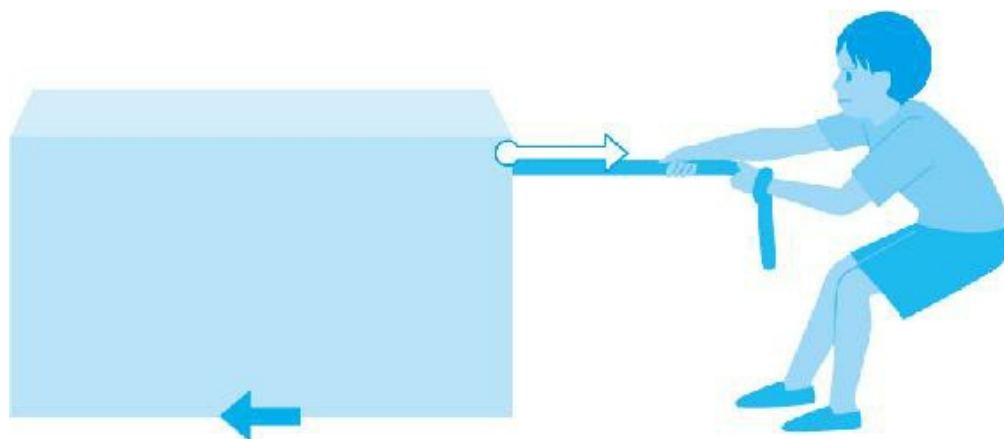
如果用手指触碰旋转中的鸡蛋使其停下，再移开手指，会发现煮鸡蛋能够完全停下来，但生鸡蛋仍会继续旋转多次。因为对于生鸡蛋来说，手指不过是停下了蛋壳的运动，里面的蛋清和蛋黄仍在惯性作用下保持运动状态。

喝味噌汤或茶的时候，请轻轻转动或摇晃碗和杯子，来观察一下味噌料或者茶叶的状态。你会发现，味噌料和茶叶并没有动。其实，这也是惯性使然。但是，如果转动的次数太多，水就会产生黏性。容器和水互相摩擦后，水的运动带动味噌料一起运动。浓汤或者咖喱等浓稠的东西容易吸附在容器上，跟着容器一起运动。

走廊上的箱子与匀加速运动

Q 走廊地板上放有一个箱子，用一个比摩擦力大的力拉箱子，拉动的过程中箱子会发生什么样的运动？

1. 以相同的速度运动
2. 开始时会逐渐加快，但很快就变成匀速运动
3. 越来越快



持续增加一定大小的力，物体开始匀加速运动

答案是3。物体不受任何外力作用时会保持匀速直线运动状态。

物体从静止状态（速度为0）到开始运动是一个加速的过程。运动开始后如果在运动方向上施力，则物体的速度会不断加快。

箱子在水平方向上受到两个力，绳子的牵引力和地面的摩擦力。摩擦力不会根据速度产生变化。绳子的牵引力和地面的摩擦力之间没有任何关系。

绳子牵引力超出摩擦力大小的那部分力会使箱子进行匀加速运动。

力能改变物体的运动速度。

步枪子弹射出去的速度比手枪更大，射程更远。子弹的速度虽然会因枪和子弹的不同产生差距，但手枪的初速度一般为250~400m/s，步枪的初速度为800~1000m/s。

步枪的枪身比手枪长，可以更长时间维持力→加速、力→加速.....的过程。

高尔夫球与自由落体

Q 有两个大小相同的高尔夫球与乒乓球，质量分别为50g和2g。

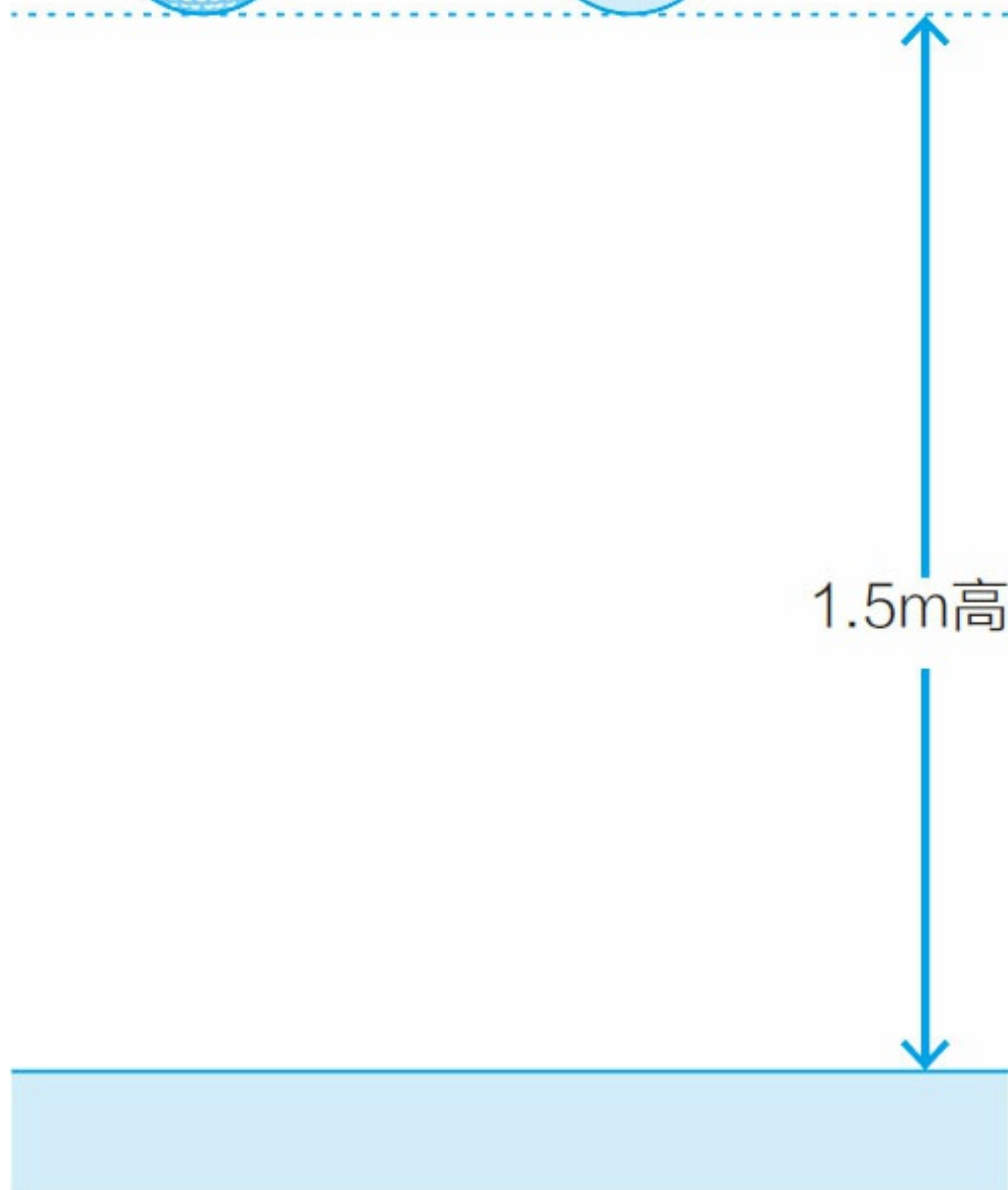
使高尔夫球和乒乓球同时从1.5m高的地方落下，哪个落到地面的时间更快？

1. 高尔夫球
2. 乒乓球
3. 几乎同时

高尔夫球



乒乓球



物体的下落

答案是3。两个小球哪个下落得快，从它们落地声音的先后就能判断出来。小球受重力与空气阻力，下落过程中，小球的速度比较小，所以空气阻力可以忽略不计。

如果从更高一点的地方让两个小球下落，就能看出明显差别，高尔夫球的下落速度更快。这时的空气阻力就无法忽略了。

纸或树叶下落的时候不停飘舞，很慢才能到达地面，就是因为它们受到的空气阻力很大。

我们再来做一个魔术实验。准备一个吹好的橡胶气球和一本比气球大的书，把气球放在书上使其下落。下落过程中，书能为气球起到挡风作用。最后会发现，书和气球同时落地。

当空气阻力可以忽略时，物体会同时下落。

接下来我们用物理实验的专业装置验证一下。把铁球和羽毛放在玻璃管里，将玻璃管倒过来，会看到铁球很快就落了下去，而羽毛则轻飘飘地缓缓落下。但是如果用真空泵把玻璃管中的空气抽出，再重复上述过程，就会看到铁球和羽毛同时掉下来。

落体运动指的是在地球重力作用下，速度不断增加的运动（加速运动）。不受空气阻力且开始速度（又叫“初速度”）为零的落体运动称为自由落体，又叫自由降落。

当空气阻力可以忽略不计时，速度与时间的关系是：速度=9.8×时

间。也就是说，物体的加速度是 9.8m/s^2 。

速度 $=9.8\text{m/s}^2 \times \text{时间}(\text{s})$ ，所以随着时间增加，速度会越来越快，每秒落下的距离是不相同的。下落的时间 (s) 与下落距离 (m) 的关系可以通过如下公式计算：下落距离 $=4.9 \times \text{时间} \times \text{时间}$ 。

自由落体过程中，10s内物体降落的高度为490m，最终速度大约是350km/h。

游乐园里的跳楼机

游乐园的娱乐设施中，有一种接近自由落体的快速降落的设施——跳楼机。英文中把自由落体（物体在重力作用下下落的现象）叫作“free fall”，而跳楼机的命名也沿用了“free fall”。

很多游乐园的跳楼机都是让游客乘坐在座舱里，座舱会升到11层楼、大约40m高的高度，然后解开所有支撑，让座舱一口气落下去。

40m的自由落体时间大约为2.9s。但实际上，座舱会受到空气的阻力，再加上跳楼机最后还会减速，所以它的最高时速只有90km/h左右。

由于自由落体会产生与重力相反的惯性力，所以可以体验失重状态。

跳楼机最后减速的时候，身体会有强烈的压迫感。这是因为此时惯性力的方向与重力相同，身体承受了一个很大的力。超重时的加速度一般会用重力加速度 g 的倍数来表示。例如，当加速度是重力加速度的5倍时，加速度的大小就用 $5g$ 来表示。

大雨滴和小雨滴的下落速度

Q 雨滴在地表附近会以一定的速度降落。

那么，大雨滴和小雨滴的下落速度哪个更大？

1. 大雨滴
2. 小雨滴
3. 几乎相等



雨滴的运动

正确答案是1。雨滴凝聚成形后立即下落，速度逐渐增加。与此同时，雨滴受到的空气阻力也逐渐增大。空气阻力的大小和雨滴的体积大小、质量都有关系。

当雨滴到达某个位置时，重力和空气阻力便达到平衡状态。随后，雨滴以匀速直线运动降落。雨滴的降落速度为 $1\sim 8\text{m/s}$ 。

当空气阻力可以完全忽略的情况下，即使质量不同，物体的下降速度也是相等的，因此，不受空气阻力的时候，无论雨滴大小，下降的速度基本都是相同的。假如没有空气，从 1km 上空落下的雨滴到达地面的速度大约是 500km/h 。

但是，像雨滴这样在空中经过长时间落下的物体，就重力和空气阻力平衡后的下降速度而言，雨滴越大，速度越大。 0.1mm 以下的雨滴受空气黏性阻力影响较大，速度约为 1m/s ；如果雨滴大小在 2mm 左右，则速度可以达到 9m/s 。

◆雨滴落下的形状（直径）



1.35mm



1.725mm



2.65mm



2.90mm



3.675mm



4mm

雨滴的形状

大雨滴的形状并不是所谓的雨滴状，而是呈现小球的形状。雨滴越大，承受的空气阻力越大，形状也会像圆形年糕一样横向扁平。

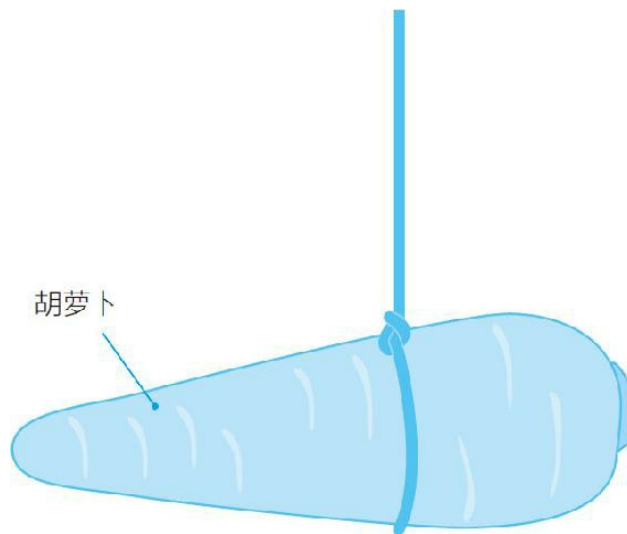
颗粒较大的
雨滴落得更
快哟！



切断的胡萝卜哪边更重？

Q 把胡萝卜用绳子拴起来，让胡萝卜处于水平平衡状态。从系绳子的位置（重心）切断胡萝卜。测切开后两块胡萝卜的重量，左、右边哪边更重呢？

1. 两边一样重
2. 右边更重
3. 左边更重



杠杆与平衡

正确答案是2。这是一个关于杠杆平衡的问题。利用杠杆，可以把很小的力变成较大的力，也可以把很大的力变成较小的力。我们周围有很多利用杠杆原理的物体。用手为杠杆用力的点叫作力点，支撑物体的点叫作支点，力产生作用的点叫作作用点。

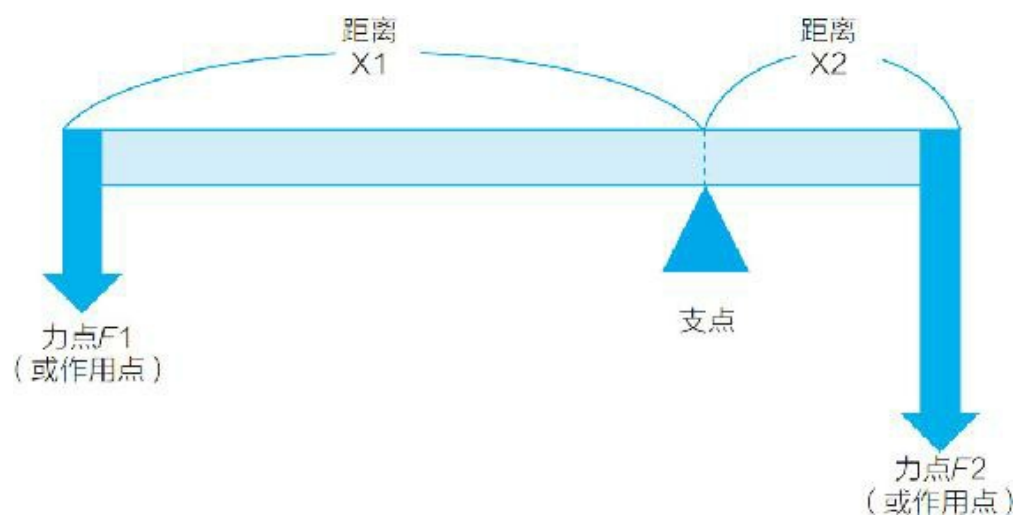
一般物理学上会通过杠杆实验来研究杠杆的原理。当杠杆处于平衡状态的时候，以下等式成立。

左边力点上力的大小×支点到左边力点的距离=右边力点上力的大小（或者作用点上力的大小）×支点到右边力点（或作用点）的距离。

此时，“力点上力的大小（或者作用点上力的大小）×支点到力点（或作用点）的距离”叫作力的力矩，起到转动杠杆的作用。左边与右边的力矩相等的时候，杠杆达到平衡。

绳子拴着胡萝卜使其保持水平，绳子拴着的胡萝卜的中心位置就是胡萝卜的重心。用绳子挂起来后，我们可以考虑一下右侧重心（右侧的力点）和左侧重心（左侧的力点）之间的关系。右侧与左侧重心受到的力分别是右侧和左侧的重力。由于右侧的支点（绳子的位置）到右侧重心的距离比左侧的短，而两侧的力矩处于平衡，所以可以得出支点到力点距离较小的右侧的重力更大，即右半边的胡萝卜更重。

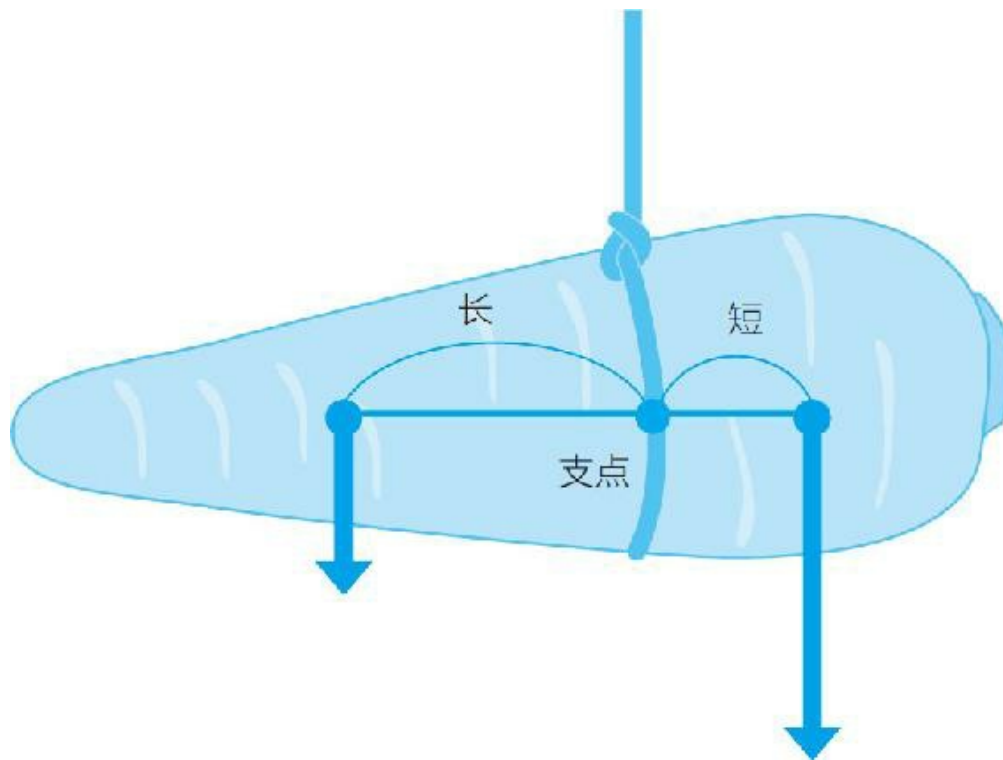
◆ 杠杆平衡状态下， $F_1 \times \text{距离} X_1 = F_2 \times \text{距离} X_2$



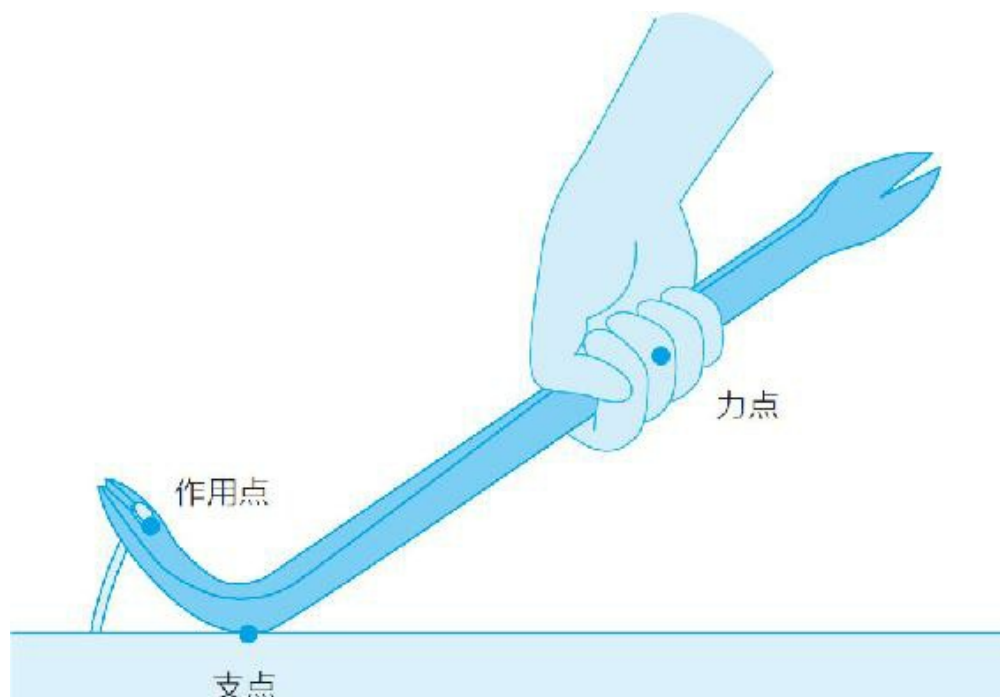
用杠杆获得更大的力

力×作用点到支点的距离=力矩，撬棍就是利用了力矩平衡的原理，用很小的力获得一个很大的力。

◆ 距离支点较近的力点所受的重力更大

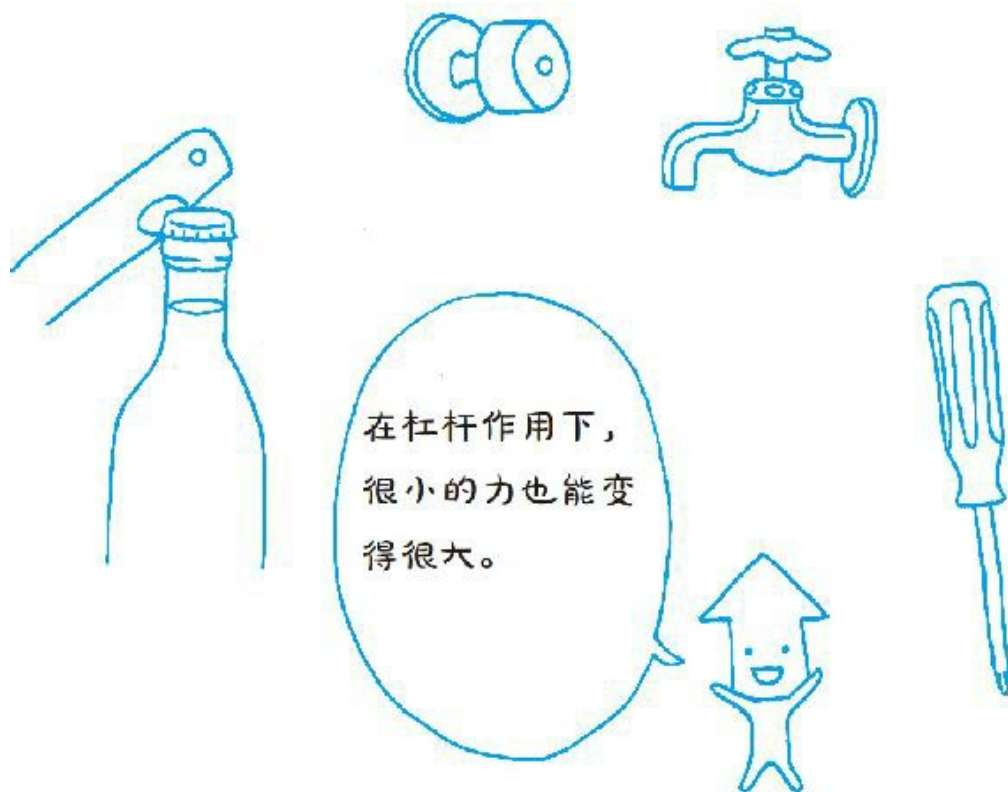


◆ 撬棍



撬棍从支点到手的距离比支点到撬棍的作用点之间的距离大很多，因此用很小的力就能拔出钉子。距离是 n 倍的时候，可以相应获得 n 倍于作用力的力量。像撬棍这样利用杠杆原理的东西，生活中还有很多，例如剪刀、开瓶器等。

用手握住螺丝刀，手握的地方比拧螺丝的地方粗很多。如果手握部位的半径是插入钉子部位半径的 n 倍的话，就能获得 n 倍的力。门把手、水龙头、自行车及汽车的转向盘等都在以同样的方式获得更大的力。



不动也在工作？

Q 物体做功的效率可以通过“1秒内做多少功、产生多少能量”来比较。这个效率称为“功率”。每秒1焦耳（简称焦，表示为J）的功率（ $1\text{J/s} = 1\text{瓦特（W）}$ ）。

人一直保持静止状态时，产生的功率大约是多少？

1. 0W
2. 10W
3. 100W
4. 1000W

通过热量看功率

正确答案是3。做功通过热量的变化来表现，1s内产生的热量用功率来表示。人每天摄取8400kJ（约2000千卡）食物，并释放相应的热量。这些食物为我们每天的日常生存提供能量。

用8400000J除以一天的时长86400s，可以计算出人体产生的热量大约为100J/s。人体的能量大部分都是热量，释放出的热量可以点亮功率为100W的白炽灯。

当人们簇拥在狭小的屋子里时，会感觉到“热气”。因为每个人都相当于100W的灯泡，释放热量感觉到热气是再自然不过的现象了。

功率=功÷做功所用的时间。

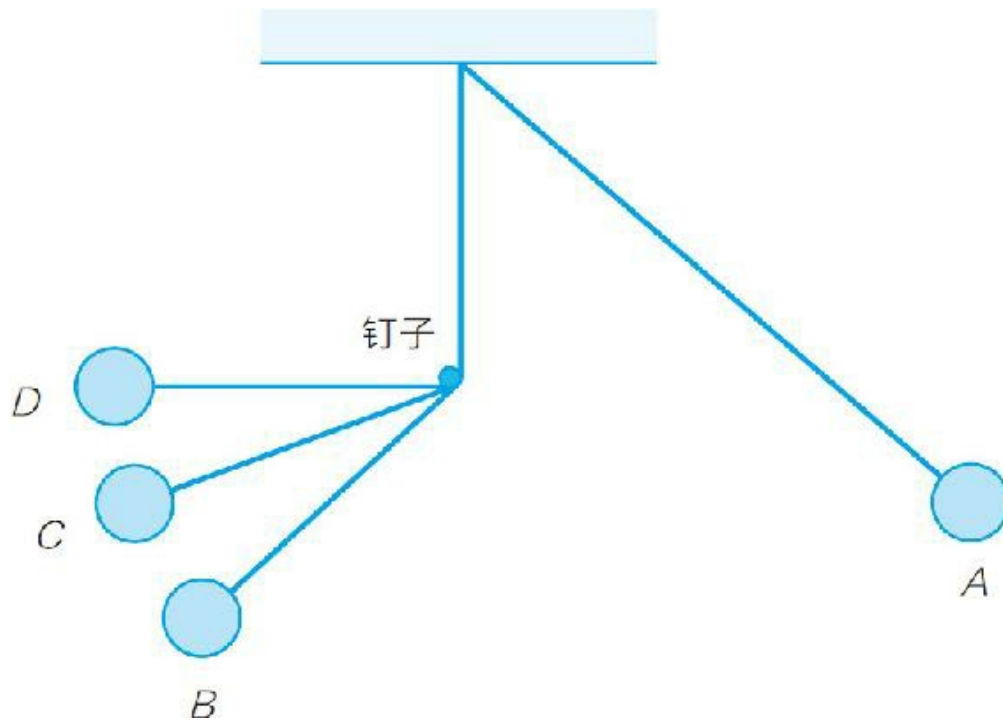
功率的单位是瓦（W），1焦耳/秒（J/s）=1瓦。

家用电器都在使用“瓦”这个单位。

遇到钉子的摆球

Q 如图，将摆球系在绳子上移动至A点轻轻落下，下落途中绳子遇到钉子后，摆球最终会上升到哪个位置？

1. *B*
2. *C*
3. *D*



力学中的能量

正确答案是2。势能与动能之和称为机械能。动能与势能可以相互转化，二者的和——机械能是一定的。这个规律叫作机械能守恒定律。

把摆球运动最低点视为势能的基准点。将摆球抬高到一定位置时，摆球只有势能=质量×重力加速度×高度；摆球下落后，势能逐渐转化为动能。当摆球达到最低点时，势能为0，动能= $\frac{1}{2} \times \text{质量} \times \text{速度}^2$ ，摆球达到最大速度。之后，动能再次转变为势能，升到手离开时的高度。根据机械能守恒定律可知，摆球可以上升到与A点相同的高度。

游乐园里的过山车到达一定的高度后，会沿着轨道上下往返。此时的运动状态类似于摆球，动能和势能也在相互转化。

根据机械能守恒定律，运动过程中的能量不会高于最初高度时的势能。但轨道和车轮之间存在摩擦力，再加上空气阻力等的作用，过山车会散发一部分热量，导致上升的高度逐渐降低。

因此，现在的过山车除了靠最初的势能来维持车体的运动外，还会通过喷射压缩气体等方式来增加车体的动能。

能量守恒定律

事实上，动能并不会全部转化成势能，动能的一部分往往会转变成热量。机械能与热量的总和永远保持不变。也就是说，能量既不会凭空消失，也不会凭空产生。这个规律叫作能量守恒定律。能量守恒定律是自然界重要的基本定律之一。

Puzzle 5

磁力与电力



如何区分铁棒与永磁铁棒

Q 有两根外观完全相同的铁棒。其中一根是普通的铁棒，另一根是两端分别为N极和S极的永磁铁。

只用这两根铁棒，不用其他东西，如何区分哪个是永磁铁呢？

1. 将两根铁棍放平分别靠近两端
2. 将两根铁棍放平重叠在一起
3. 用其中一根垂直靠近另一根的中间部位



磁铁两端的磁力最强

答案是3。把条形磁铁与形状完全相同的铁棒的两端靠近，无论用任何一端靠近，还是把它们重叠在一起，两根铁棒都会互相吸引，无法分辨哪块是磁铁。

◆ 永磁铁与铁棒



如果水平放置的是磁铁，竖着的是铁棒，二者不会吸附在一起

如果水平放置的是铁棒，竖着的是磁铁，二者会吸附在一起

如果有铁粉或者铁质回形针等物体，只要接近后可以吸附在一起的就是磁铁。但是，要求不能借助其他物体，那就只能用其中一根垂直靠近另一根的中间位置。

如果吸引在一起的话，则竖起来的那根就是磁铁；如果无法吸附在

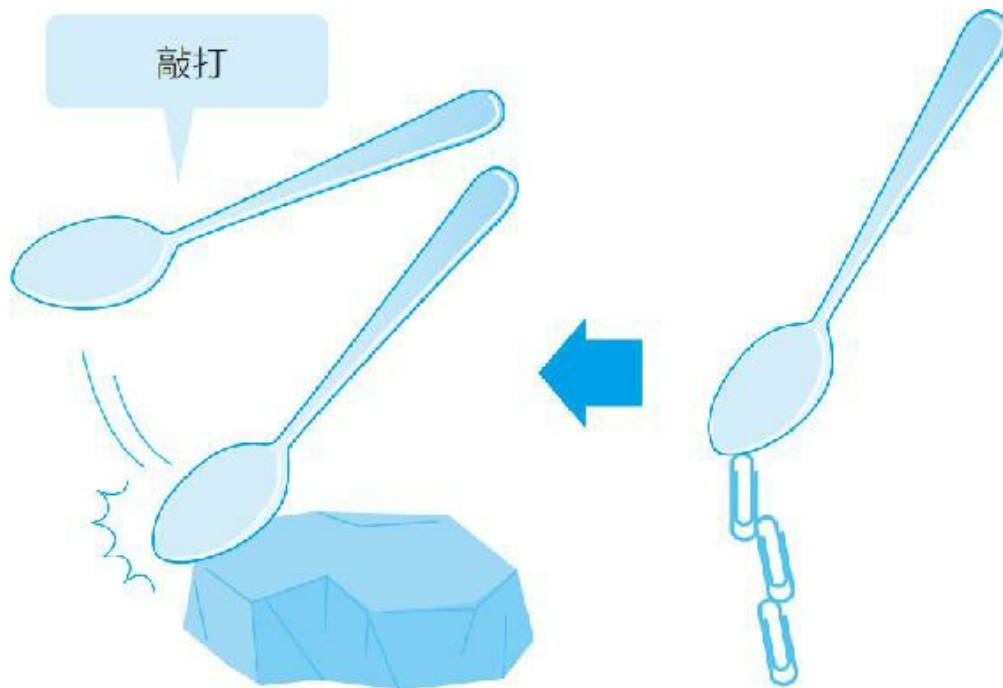
一起的话，则水平的那根就是磁铁。

用磁化的勺子敲石头

Q 用能被磁铁吸附的勺子靠近磁铁，勺子也会变成磁铁。通过试验勺子能否吸附铁矿石或回形针，就能发现勺子是否已被磁化。

再将经过磁化变成磁铁的勺子在石头或桌子等硬物上用力敲打，又会发生什么现象呢？

1. 勺子还是磁铁的状态
2. 勺子的磁性或减弱或丧失
3. 勺子的磁性增大



磁铁是小型磁铁的集合体

正确答案是2。勺子靠近磁铁后，勺子里的“小型磁铁”们朝着同一个方向整齐地排列，在石头上敲打勺子以后，“小型磁铁”们便重新回到方向杂乱的状态。

我们在黑板上张贴东西的时候，会用到黑色磁铁（吸铁磁），把黑色磁铁敲碎成粉末状放入试管，用回形针等靠近粉末，粉末也只有微弱的磁力。可见，磁铁变成粉末状后，磁性会减弱。但是，如果用磁铁靠近试管，让粉末状的磁铁朝向一致，磁性就会复原，变得又可以吸引回形针。

能成为磁铁的东西（磁铁质）通常由直径大约为 $1/100\text{mm}$ 的磁畴组成。磁畴可以理解为构成整个磁铁的“小型磁铁”。其实准确来讲，“小型磁铁”要比磁畴小很多。或许把磁畴解释为“适度小的磁铁”更好一些。不过，为了便于理解，我们从磁畴的层面来进行讲解。

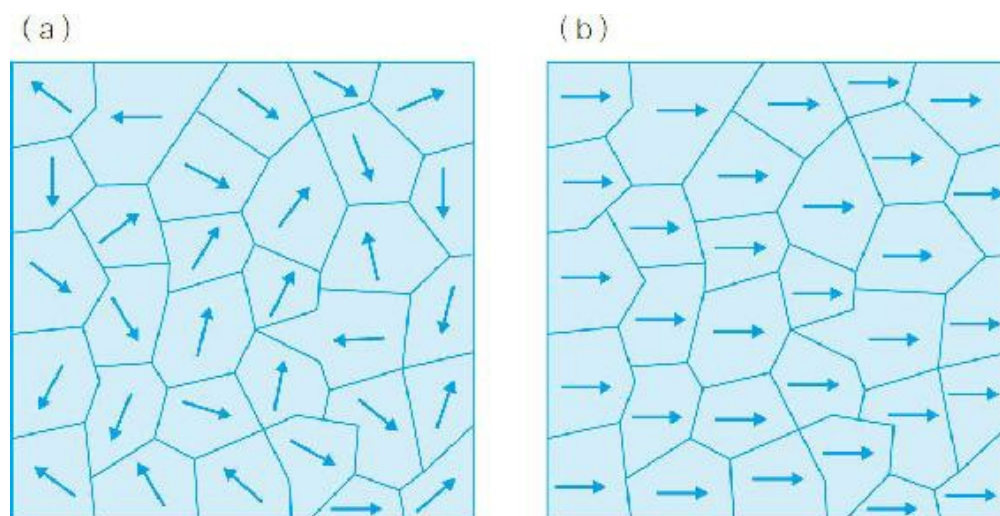
当无外磁场时，每个磁畴均朝着各自的固有方向磁化；有外磁场作用时，所有磁畴都会按照一定的方向（磁场方向）被磁化，使得磁铁质变成强磁性的磁铁。永磁铁以一定的方向被磁化后，即使去掉外部磁场，方向和磁化效果也不会改变。

未被磁化时，每个磁畴的方向杂乱无章，各不相同，但整个磁铁质的磁畴互相抵消，无法表现出磁铁的特性（a）。但是把磁铁质置于磁场中，磁畴就会沿着同一方向整齐地排列，磁铁质就会变成磁石（b）。

当磁畴处于杂乱无章状态时，磁铁质整体并不是磁铁，而在磁畴朝

向一致的时候，磁铁质整体就变成了磁铁。

◆ 磁畴的方向统一为磁场的方向



微小的原子磁铁

我们在此把“磁畴”解释为“小型磁铁”，而构成物质的原子也表现为类似于磁铁属性。

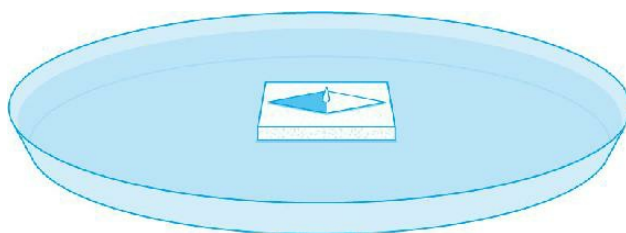
原子由位于中心部位带有正电荷的原子核和原子核四周带有负电荷的电子组成。电子绕原子核运动以及原子核和电子自转都会产生磁性。每个原子都可以视作磁场方向一定的磁铁，即原子可以看成“原子磁铁”。原子磁铁整齐地朝着一定的方向排列，就能产生磁性。自然界中具有强磁场的物质的原子磁铁的朝向为何一致？这是一个很难解答的问题。

原子磁铁非常微小，在长度为 $1/100\text{mm}$ 的磁畴中大约排列着20000个原子磁铁。

指南针与磁场

Q 把指南针拆卸出来的磁针或者用磁铁摩擦过的硬钢丝放在泡沫板上，然后轻轻地放在盛有水的容器里，使其浮在水面上。用自动铅笔尖拨动指针，让指针指向南北朝向。在无风且水面平静的状态下，放置有磁针的泡沫板会发生什么变化？

1. 静止不动
2. 向着北方非常缓慢地在水面上移动
3. 向着南方非常缓慢地在水面上移动



地球的磁场

答案是1。指南针或悬挂在绳子上的磁铁棒之所以在指向地球的南北极后停下来，是因为地球整体就是一个磁铁，会产生巨大的磁场。

地球本身就像一个巨大的磁石，周围分布着磁场。指南针可以指示磁场的方向。地球磁场的N极和S极并非与地轴（地球自转的轴）的北极、南极完全一致，存在不同的偏差。地球的地理北极（北美大陆北边）实际上是地磁极的S极，地球的南极（昭和基地[\[1\]](#)附近）是地磁极的N极。所以，指南针的N级受到地磁极S极吸引，指向地理北极。

磁针受地球磁场的影响指向南北，磁针的N极与地球磁场的S级互相吸引，磁针的S极与地球磁场的N极互相吸引。对于磁针来说，地球磁场的作用是相同的。磁针N极与地球磁场的S极、磁针的S极与地球磁场的N极的吸引力大小相等，所以磁针受到的吸引力可以互相抵消，让磁针保持静止不动。

但是如果用磁针的N极去靠近永磁铁的S极，靠得越近，两者的吸引力越大，此时磁针磁极受到的力比地磁场的吸引力大，导致磁针被永磁铁吸引。

◆ 地球的磁场



地球是个巨大的磁石

人们惊讶地发现，地球磁石的磁场会发生倒转。2000万年以来，大约每20万年便会发生一次磁极倒转的现象。

磁极倒转后，指南针的方向会完全逆转。

这个现象是通过磁铁矿（即铁矿石）的构造发现的，磁铁矿由小的磁石形成。处在磁场中的小磁石根据磁场的方向排列、固定。火山喷发的熔岩中就含有磁铁矿。高温时小磁石杂乱无序，整体的磁力互相抵消；冷却后，所有小磁石随着地球磁场的方向排列整齐，变成了带有磁性的磁石。所以只要调查熔岩冷却以后岩石的磁场，就能了解当时的地球磁场。

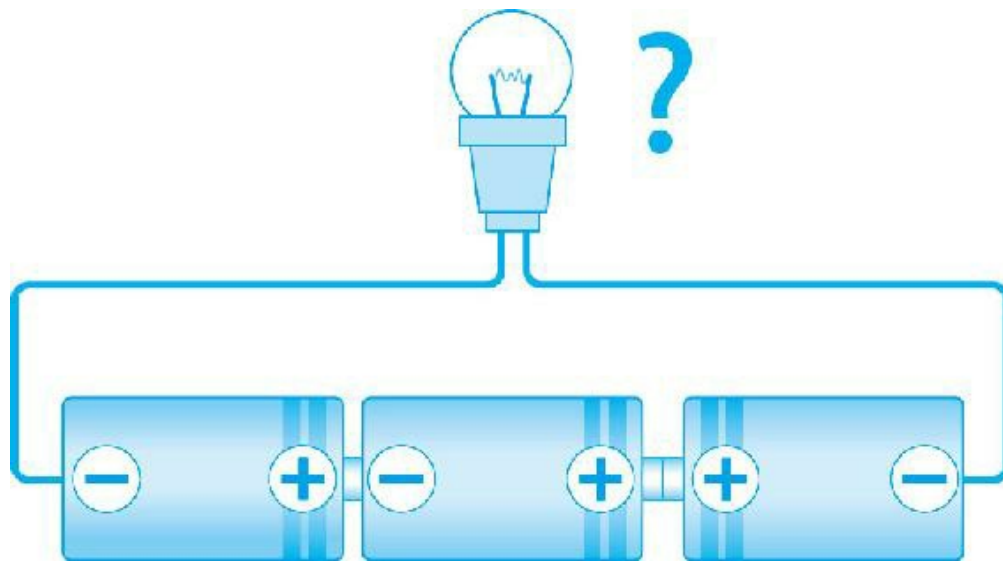
一般认为地球的磁场源是地球的中心——“地核”。地核由金属铁、镍组成，呈球状。靠近球状外侧部位的物质为液态金属，称为“外核”。外核里融化的金属包围着中心的固体内核，呈旋涡状流动。外核流动过程中产生了电流，同时导致了地磁场的产生。这个有力的假说就是发电机原理。不过，目前这个假说仍不能完全解释所有复杂的地磁场现象。

[1] 昭和基地：位于南极圈内的东钓钩岛。

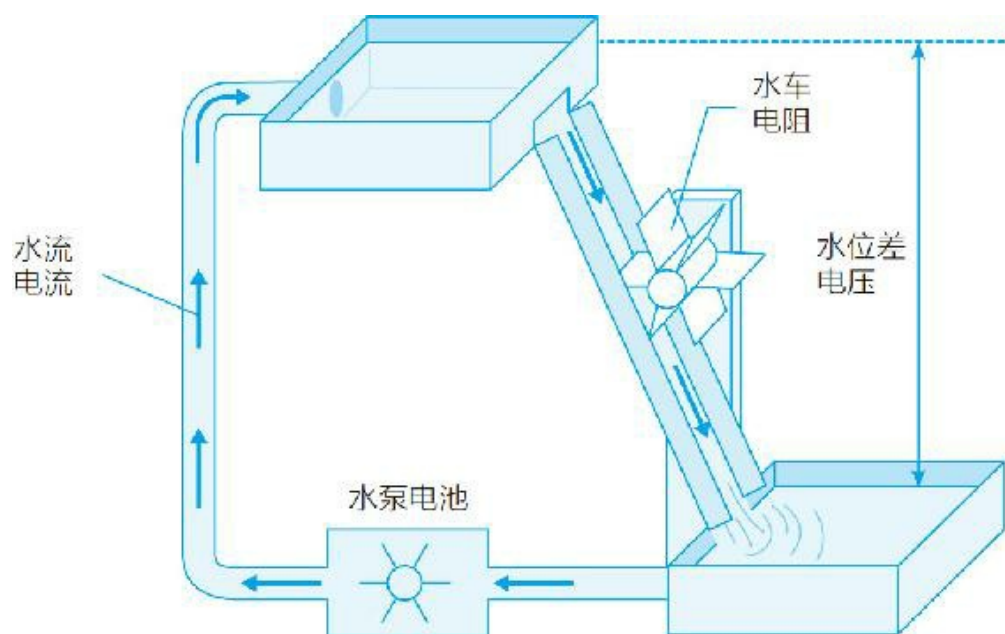
干电池及内部电阻

Q 把1.5伏的干电池和小灯泡连在一起，灯泡变亮。那么，如果把3节1.5伏的干电池两节正向串联、一节反向串联后与灯泡连在一起，灯泡的亮度较之前有什么变化？

1. 小灯泡不亮
2. 小灯泡的亮度和之前无变化
3. 小灯泡的亮度变暗



◆ 电流·电压的模型



答案是3。电压表示电流流动作用的大小，电压的单位是伏（V）。

先简单说明一下电流与电压的区别。电流如字面意思，表示电荷的流动。正电荷或负电荷的“粒子”（电子或离子）移动就能产生电流。

导体中有大量的自由电子，绝缘体没有自由电子。金属（即导体）中，带有正电荷的原子聚集在一起，自由电子自由地在原子的空隙间流动。当没有电压的时候，自由电子四处移动；一旦向其施加电压，自由电子就会在导体中沿着负极→正极的方向移动。而带正电荷的原子此时只能待在自己的位置，不停地抖动。这就是导体导电的原理。

电压起到给带电的电子或离子施力使其运动的作用。如果把电流比作水流，电压就是水泵产生的水压（汲水时水的高度）。

干电池的电压是1.5V，日本家用插座的电压一般是100V，有的地方是200V。

三个干电池，一个反向串联

把三个干电池串联，可以算出两端的电压为 $1.5+1.5+1.5=4.5$ （V），如果把其中的一个反向串联，电压就变为 $1.5+1.5-1.5=1.5$ （V），与只串联一个电池时的电压相同。

从数值上看，两次灯泡的亮度应该是一样的。

但是我们容易忽略一个现象——电池内部的电阻。

不连接小灯泡的情况下，测出的电压值与计算相同，均为1.5V。但是串联小灯泡后，测出来的数值变成了1.45V，稍微小于计算的数字。这是因为，电池内部存在电阻，使得电流流动时电池两端的电压降低。

电池的电阻随着电流的增大而增大。当三节电池串联时，电阻就是一节电池时的三倍。

当三节电池其中两个正向串联、一个反向串联，再与小灯泡连接时，测每个电池两端的电压，可以测出正向的两个均为1.45V，反向电池两端的电压为1.55V。其实就相当于两节正向电池在为一节反向电池充电。可以算出灯泡两端的电压为 $1.45+1.45-1.55=1.35$ （V），比一节电池时的电压低。所以，一个干电池与两个干电池反向串联的时候，电路中的电流较小，灯泡的亮度比之前暗。

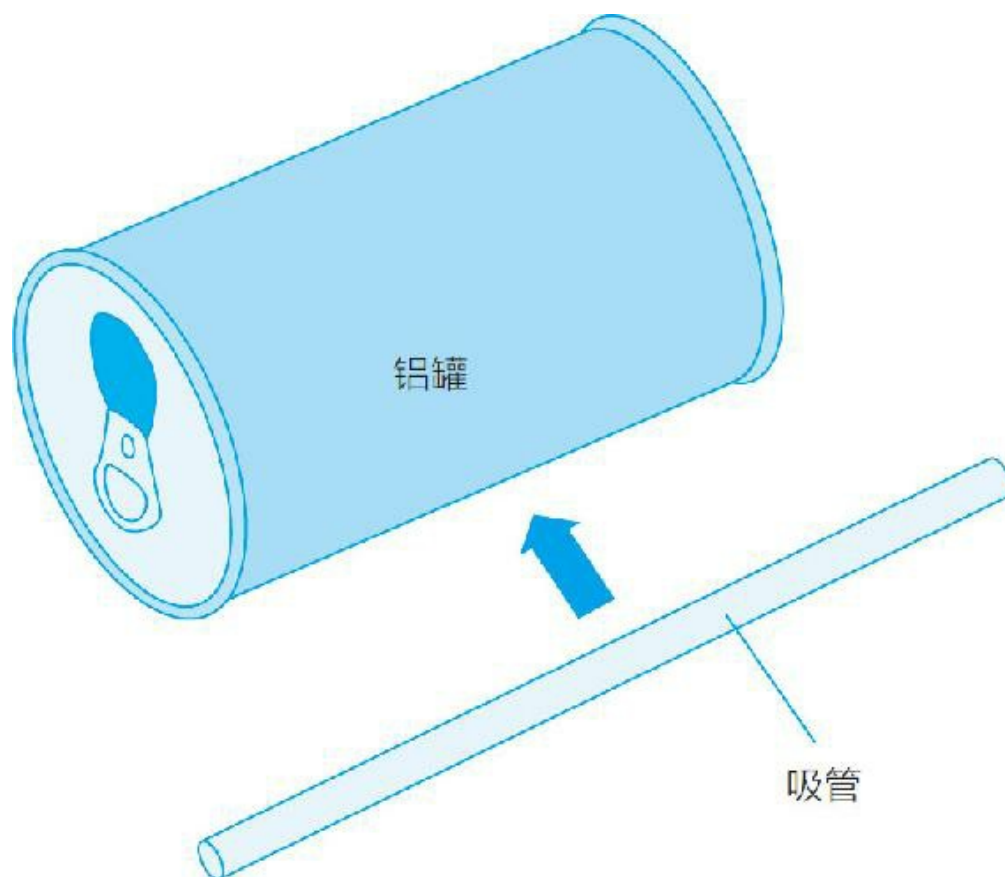
需要注意，为干电池充电容易造成电池破裂等危险，故做实验的时候，一定要在短时间内结束。

铝罐与静电

Q 把空铝罐躺倒放在光滑的桌面上，将用纸巾摩擦过的吸管靠近铝罐。

铝罐会发生什么样的现象呢？

1. 铝罐不动
2. 铝罐追着吸管滚动
3. 铝罐与吸管互相排斥，铝罐沿着相反方向滚动



起静电的原因

正确答案是2。任何物体都是由原子构成的。原子由位于中心带正电荷的原子核及周围带负电荷的电子组成。一般情况下，原子的正电荷与负电荷相互抵消，整体对外不显电性。原子核位于原子的中心位置，很难被外界物质捕获，而处于外侧的电子则较容易被其他物质捕获。

原子整体呈中性，因此，物体整体也是中性的。但是，当两个物体互相摩擦时，其中电子更容易被捕获的物体，其电子会转移到电子较为稳定的物体上。于是，得到电子的物体中，电子比正电荷的数量多，物体带负电；失去电子的一方带正电。

静电感应

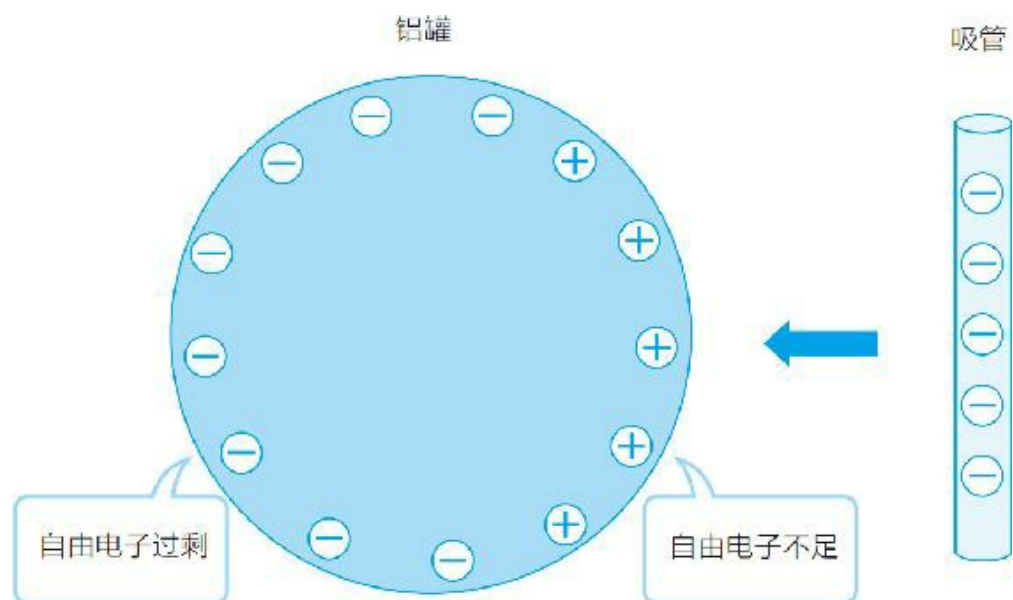
空罐子会追着带静电的吸管滚动。

铝之类的金属（导体）内部有很多自由电子，自由电子就是不属于任何原子的电子。

金属靠近带负电的吸管，金属中的自由电子被在吸管的负电荷所排斥，移动到了较远的地方。于是，靠近吸管的一侧聚集了大量的正电荷，较远的一侧则会聚集大量的负电荷。空罐近处的自由电子减少，正、负电荷之间的平衡遭到破坏。于是，空罐靠近吸管的部位带正电，与吸管的负电荷互相吸引。

外部的带电物体造成金属内部的电荷移动的现象叫作静电感应。铝罐在静电感应的作用下被吸管吸引，且这个现象在冬天干燥的季节会更加明显。

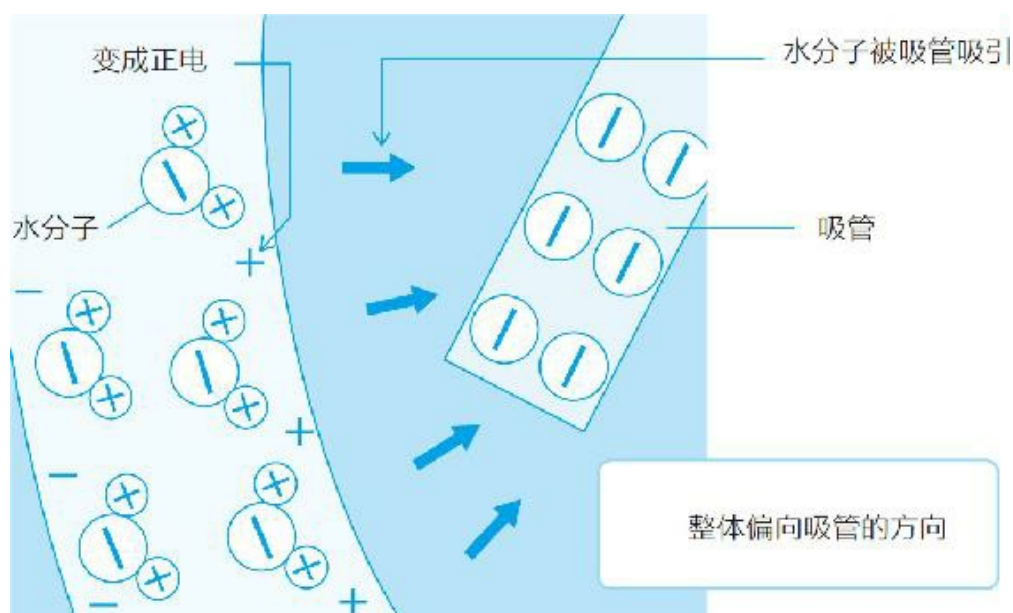
◆ 静电感应



水的电介质极化

绝缘体（电介质）也会发生类似静电感应的现象。绝缘体中尽管没有自由电子，但是接近带电物体时，其中的原子或分子的电子位置会发生改变，产生电荷的偏移。如果用带电的吸管接近从水龙头里流出来的细水，水流就会向吸管方向弯曲。

◆ 水的电介质极化



每个水分子内的电荷出现了偏移。例如，用带负电的物体接近水的话，水分子的正电荷会聚集到带电物体靠近的一侧。

绝缘体中发生的电荷偏移现象被称为“电介质极化”。

同时打开电灯开关

 楼梯中间有电灯，楼梯上下均有开关，且都有开灯和关灯的功能。

关灯时，楼梯上下的两个人同时按下开关，电灯会发生什么变化？

1. 保持点亮的状态
2. 电灯关闭
3. 关闭一瞬后回到点亮的状态

电路

答案是3。电流从电池的正极发出，沿着导线流动，让电灯发光、马达转动，随后继续沿着导线回到电池的负极。

电流流动所经过的回路叫作电路。“电路”其实就是电流流动一圈的路程。

像干电池这样的直流电源，电流都是从电池的正极流向负极。但是，金属中的电流实际上是由自由电子从负极向正极流动而形成的。不过，电流的原理在人类对电子尚不了解的时候就已经确定了下来，所以物理学中规定电流的方向是从正极→负极。

电路由电源、电气电子部件（电流流通并做功的场所，如电灯或电动机等电器）、导线（连接电源与物体的金属线）组成。电源、电气电子部件、金属导线是电路的三要素。

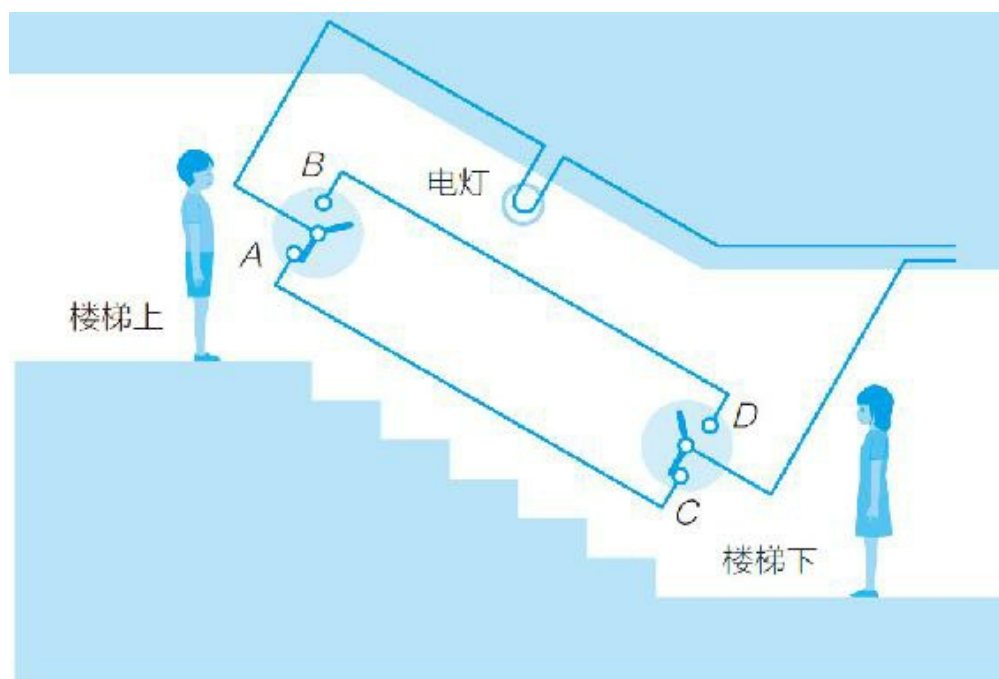
楼梯开关并无on-off

楼道的灯无论从一楼还是二楼都可以自由开关。

楼道的开关叫作“三联开关”，是一种翘板式开关。

如下图所示，开关里巧妙地设置了小机关。普通的点灯开关“on-off”一目了然。但是，仔细观察楼道的这个开关，就不难注意到它并没有“on-off”的标记。

◆ 三联开关



电灯亮的时候电路闭合，开关连接A、C（或B、D）。

假设开关连接A 与C 点。此时按楼梯上方的开关，开关离开A ，连到B；电路断开，电灯熄灭。

同样，*A* 与*C* 都接通的时候，按下楼梯下方的开关，开关从*C* 点离开，与*D* 点相连；电路断开，电灯熄灭。

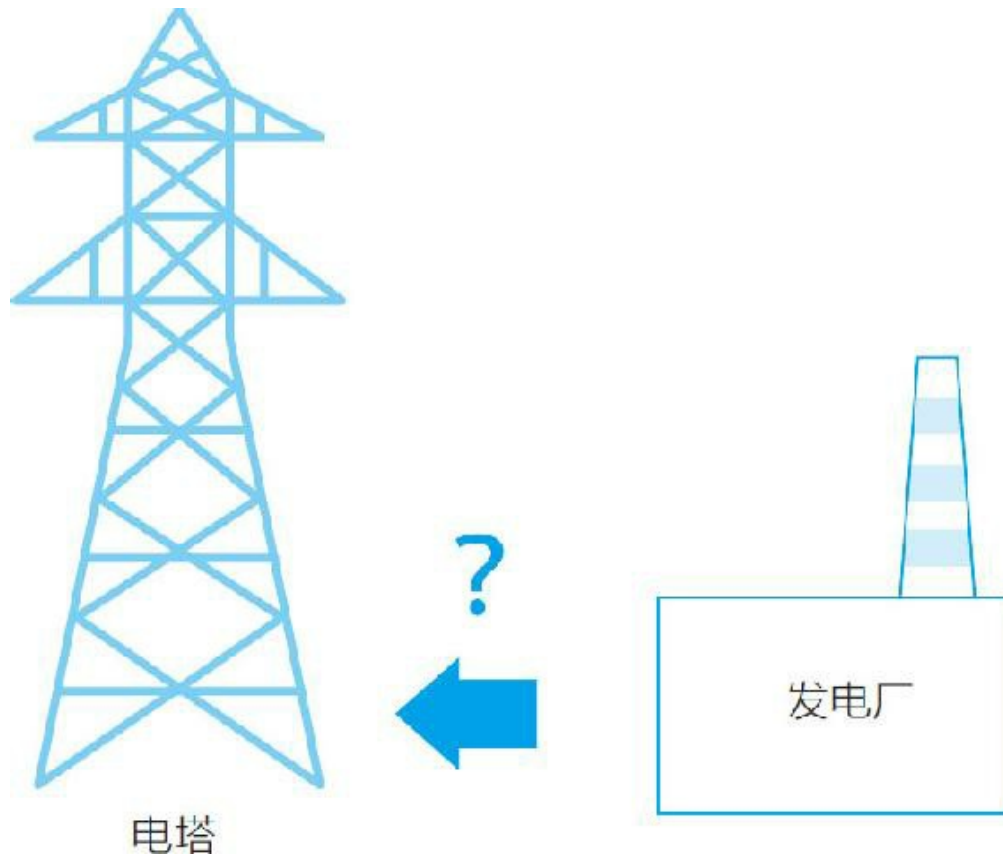
电灯熄灭状态下，如果再按楼梯上方或下方的其中一个开关，电路就会闭合，点亮电灯。

A 和*C* 接通电灯点亮时，同时按下楼梯上、下的开关，开关就会同时从*A* 到切换到*B*、从*C* 切换到*D*，电路断开一瞬间令电灯熄灭，但*B*、*D* 两处的开关接通之后，电灯便马上恢复到点亮状态。

输电线的电压大约多高？

Q 发电厂里的发电机转动，可以产生电压高达数千~20000V的高电压。电流从发电厂出来经过输电线输送，电压会发生什么样的变化？

1. 与发电厂产生的电压相同
2. 输电线的电压比发电厂产生的电压高很多
3. 输电线的电压比发电厂产生的电压低很多



从发电厂到各家各户的输电之路

答案是2。火力发电厂产生的电压大约是1.5万V，水力发电的电压为1.8万V以下。发电厂会把这些电压变成15.4万~50万V的超高压输送出去。

发电厂大多分布在与用电量大的城市相距较远的地区。电流在输送到家家户户之前，一般会经历几十公里到几百公里的旅程。输送过程中，电流会有散热现象，产生输电损耗。把电压升高再进行输，就可以减少输电损耗。不过即便如此，输送中途依然会损耗整体电功率5%左右的电。

如果电压过高的话，电线周围容易产生电晕放电的现象，因此输电之前，需要充分考虑整体的条件，确定电压大小。

发电厂最高会把电压升高至50万V用于传输，与此同时，发电厂会并行设立变电所。

输送中散热（焦耳热）使得超高电压产生了部分耗损，但是也无法在市中心设置超高电压输电线，因为这样会很危险。于是，人们巧妙地利用变电所，逐渐把电压降低。

通过变电所改变电压的现象叫作变电。在变电所中可完成变电的过程。

安装在电线杆上的变压器可以把电压降到100~200V后输送到家家户户。以前日本的家用电压都是100V，最近由于人们使用火力更强的炉灶和空调等设备，故几乎都接入了200V的电压。

以上就是发电厂发电并输送到各家各户的原理和过程。

高压输电为何会降低损耗

假设发电厂输送一定电功率 P （W），我们来考虑下高压输电为何能降低电量损耗。

输电电压用 E （V）表示，电流用 I （A）表示，电功率 $P = E \times I$ 。

电流在电线中传输会产生热量（焦耳热），造成输电损耗。这部分热量与 $I^2 \times R$ （电线的电阻）成正比。

当电功率 P 一定的条件下，如果电压 E 升高至3倍，电流就会变成1/3。

由于热量与 $I^2 \times R$ 成比例，所以电流产生的热量会降低为 $(1/3)^2 = 1/9$ 。

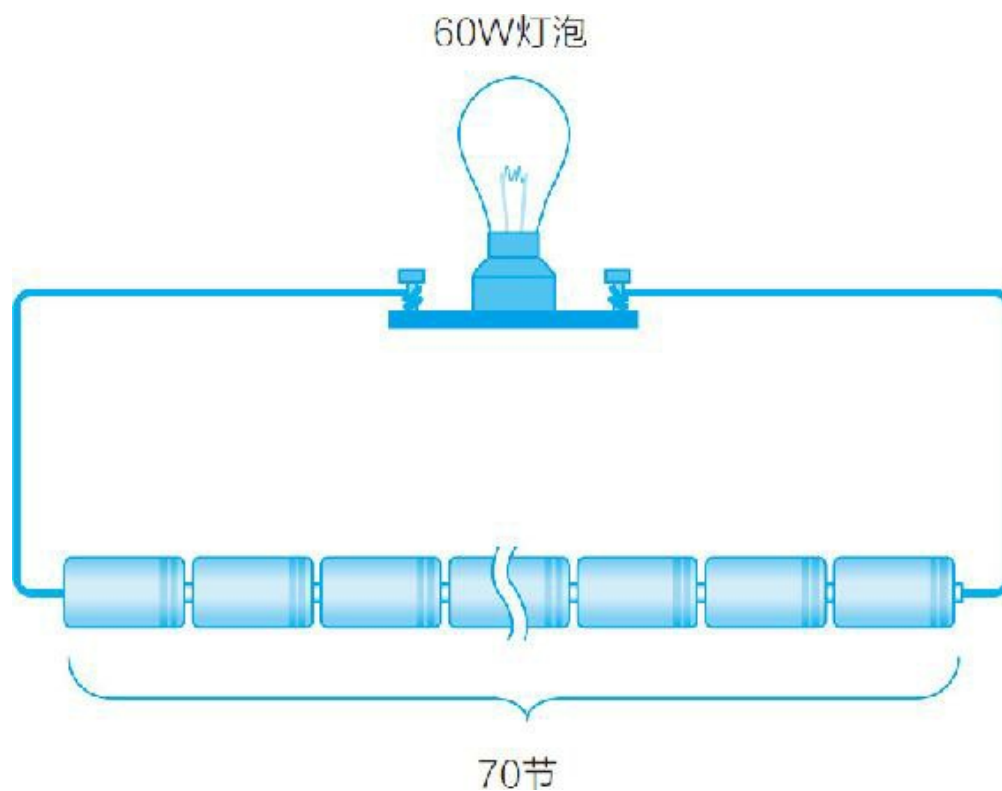
也就是说，电压升高 n 倍，损失的热量则会减少到 $1/n^2$ 。损耗热量减少，发电厂就能成功运输尽可能高的电压。

目前，输电损耗至少为发电功率的1/5。因此发电厂输送50万千瓦时（1kW·h，=1度）的电力，其中会有25000kW·h的热量损耗。假设一户家庭的平均每小时的用电量是0.83度（一天20度），那么输送过程中损失的热量相当于3万户家庭1个小时的用电量。

70节干电池并列

Q 70节七号碱性电池并排与60W（100V、60W）的灯泡串联，电灯是否会亮？

1. 灯泡明亮
2. 灯泡会亮，但灯光微弱
3. 灯泡不亮



70节干电池串联电压超过100V

正确答案是1。我实际试验过很多次，电池和灯泡串联的亮度与60W灯泡连在100V插座上的亮度并无太大差别。

全新七号电池的电压是1.55V。70个串联的话，电压一共是 $1.55 \times 70 = 108.5$ （V）。虽然电池内部的电阻会使电压减小，但基本上不会出现肉眼可见的变暗或者熄灭。

如果电池和导线之间不接入灯泡，直接相连，电路会发生短路，接触的地方就会出现电火花飞溅的现象。

干电池与内部电阻

不要忘了，干电池内部也有电阻。干电池的电阻与电池种类及大小有关，7号碱性干电池的电阻约为0.6欧姆（ Ω ）。70个干电池的电阻大约是42欧姆。

108.5V的电压分布于串联的灯泡和总电阻上。

根据电功率（W）=电流（A） $\times$ 电压（V），可以计算出100V、60W的灯泡的电流， $60W = \text{电流（A）} \times 100V$ ，由此得出电流是0.6A。灯泡的电压和电流分别是100V、6A，根据“欧姆定律”——电压=电流 $\times$ 电阻，可以算出灯泡的电阻为 $100 \div 0.6 = 167$ （ Ω ），大约为干电池的4倍，所以分配在灯泡两端的电压为电源电压的4/5。可见，灯泡的亮度很高。

以上计算方法是建立在灯泡适用欧姆定律的假设之上的。

欧姆定律适用于“一定温度下的金属”“纯电阻电路^[1]”，因电阻产生其他能量（光能、热能、机械能等）的情况不适用。对于灯泡等发光发热的物体，数值会有一定的误差，所以欧姆定律只能做粗略的计算。

19世纪80年代后期美国开始兴起电力产业的时候，曾经激烈地争论过用交流发电厂还是直流发电厂。这场“战争”被称为“电流大战”。最终，交流发电取得了胜利。直流电的电压升高困难、输电损耗大等缺陷，最终使其败给了交流电。交流电的电压经过变压器转化成高电压输送出来，再经过变压器降低为实用且安全的电压输送入户，可运输的范围非常广泛。

电功与电量

电功率（单位瓦，W）是指电流在单位时间内做功的能力。电功率×时间，就是实际的电功。

“100V~200W”的电器使用一个小时所耗费的电量= $200\text{W}\times 1\text{h}=200\text{Wh}$ 。假如某月使用了30h，则当月的用电量= $200\text{W}\times 30\text{h}=6000\text{Wh}=6\text{kW}\cdot\text{h}$ （6度）。

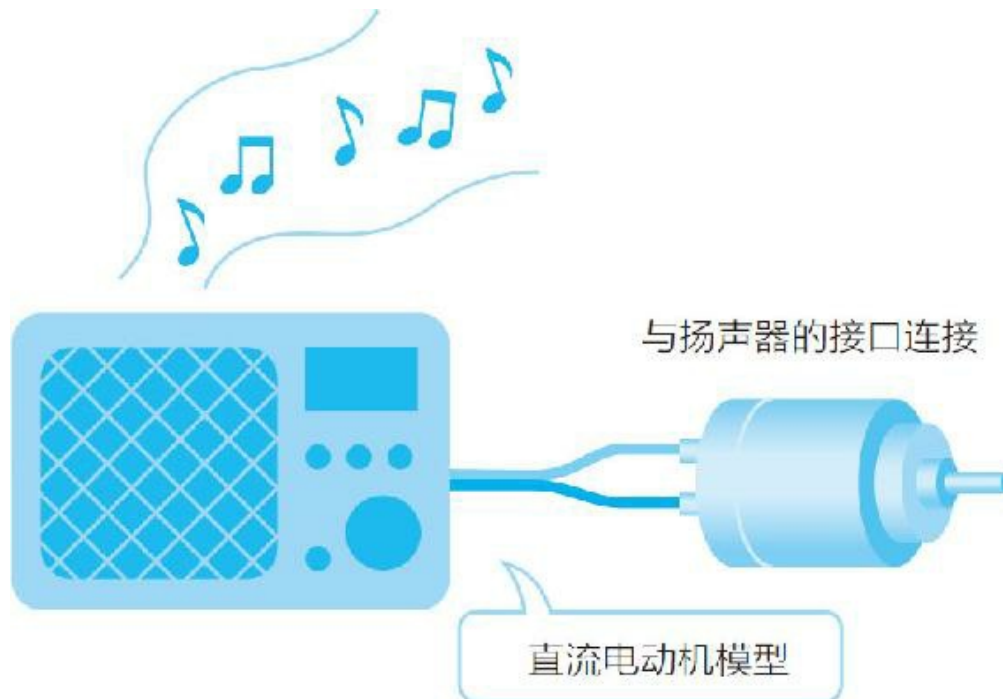
电费单上的“本月用电量100度”，表示的就是当月的电量。

[\[1\]](#) 纯电阻电路：通电状态下只发热的电路，即通电状态下电能全部转化为电路电阻的内能，不对外做功。（译者注）

电动机能否奏响音乐？

Q 将直流电动机模型和可播放音乐的录音机扬声器的接口连在一起，是否能从电动机里听到音乐？

1. 可以
2. 不可以



扬声器的原理

答案是1。扬声器是把电流的变化呈现为声音（空气振动）的一种装置。

不妨试着动手做一个最简单的扬声器。在纸杯的外杯底处贴一块吸铁石。周围裹上绕了几十圈漆包线的线圈。把线圈连接在录音机的扬声器接头上，一个简单的扬声器就做好了。通过这个装置，我们可以听到微弱的广播声。

扬声器（动态扬声器）由固定在扬声器上的永磁铁、粘在振膜上的音圈组成。当音频电流在音圈中流动时，音圈受到永磁铁磁场的作用力，与振膜一起振动，从而引起空气振动，发出声响。

电动机变扬声器

直流电动机模型也有磁铁和线圈，是否也可以变成一个扬声器？抱着这种好奇，我尝试着做了一个电动机扬声器。电动机扬声器的主要发声装置是内部永磁铁粘贴的部位，这个部位振动产生声音。而且，转轴也会伴随着声音一起振动。如果让转轴靠近塑料制的水槽，则发出的声音会更大。事实上，扬声器和电动机的构造基本一样。

如果把录音机的话筒接在手工DIY的纸杯扬声器上，对着纸杯里说话就能录音。尽管音质比较粗糙，但是录好的声音也可以重放。这个装置已经变成了一个话筒（电动传声器）。

对着扬声器说话，空气的振动引起纸杯（主要是底部）振动，于是线圈也跟着一起振动。因为线圈在永磁铁的磁场中振动，所以能够产生电流。这个电流和声音是一一对应的，所以就能产生话筒的效果。

电磁感应

用磁铁靠近或远离闭合的线圈，线圈中便会产生电流。电流是由线圈中磁场的变化而产生的。这种现象叫作电磁感应，此时的电流称为感应电流。

感应电流仅会在磁场变化的过程中产生，磁场不发生变化（如磁铁相对静止等）的时候则不产生感应电流。磁场变化越快，产生的电流越大。

1831年，法拉第发现了电磁感应，其已成为日本乃至全世界供电的来源。

只要具备磁铁和线圈，就可以产生电流。如果把日式自行车的发电机分解，就能看到里面是有磁铁和线圈的。

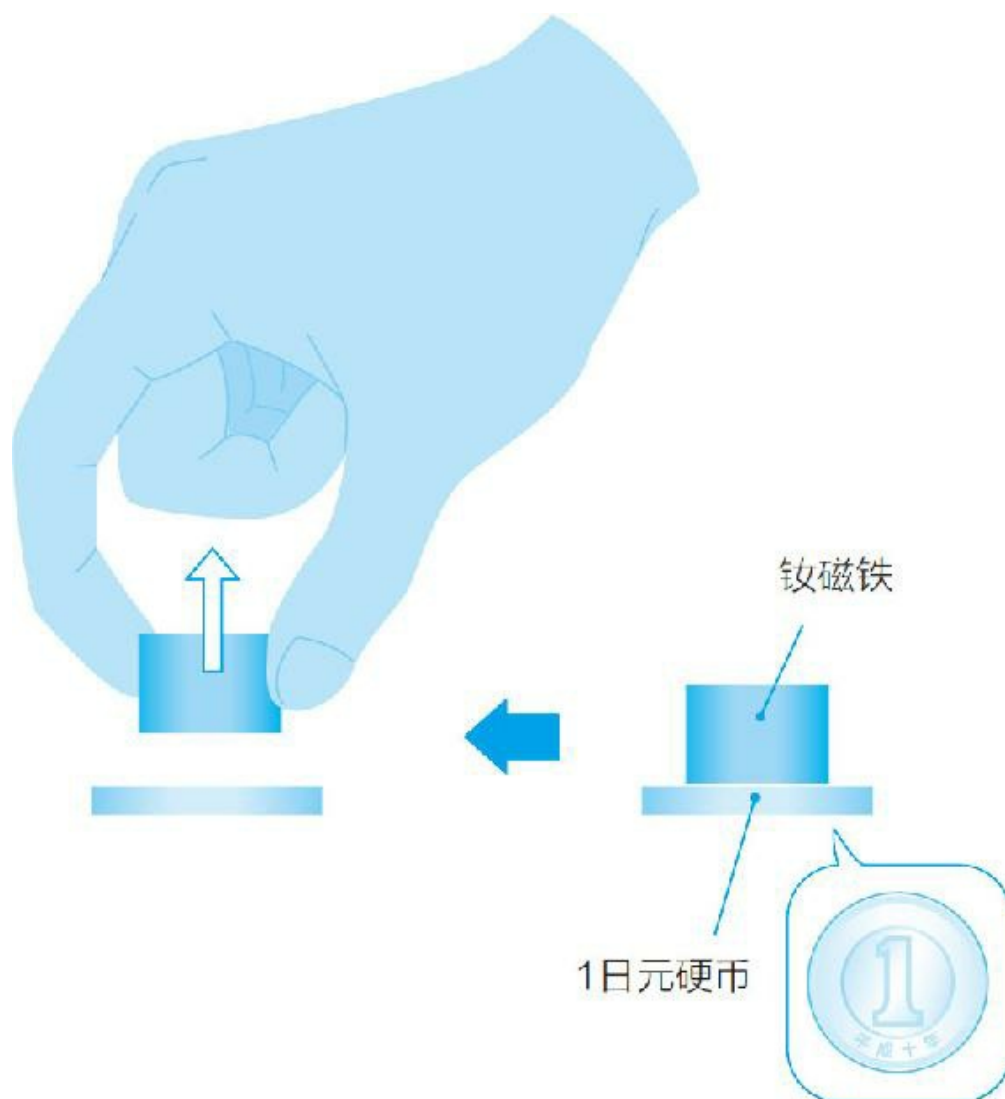
直流电动机里也有磁铁与线圈。电动机轴转动，可以带动位于磁铁磁场中的线圈转动。以线圈为研究对象，其周围的磁场在不断变化，产生电流，即直流电动机就会变成发电机。

家庭用电都来自于发电厂。发电厂利用的是水能（水力发电）或高温高压水蒸气的能量（火力发电、地热发电、核能发电等），并用这些能量来转动巨大磁铁（电磁铁：电流发电使用的部分）里的巨大线圈来发电。

1日元硬币与钕磁铁

 在桌子上放一枚1日元的硬币，在硬币上放一块钕磁铁。然后把钕磁铁迅速垂直拿起，硬币会有什么变化？

1. 保持在桌子上不动
2. 被磁铁带起来，半路掉落
3. 和磁铁一起竖起来



顺磁质——铝

答案是2。若是轻轻把磁铁拿起来，硬币会在桌子上保持不动。

1日元的硬币是由纯铝制成的。铝和易被磁铁吸附的铁、钴、镍等铁磁质不同。1日元的硬币一般不会被钕磁铁吸引。但是，如果让1日元硬币处于非常容易移动的状态下，硬币就会跟着钕磁铁移动。例如，1日元硬币浮在水面上，在其附近放一块钕磁铁，就能看到硬币向磁铁靠近。铝是顺磁质，因此会出现这种现象。但是如果把1日元的硬币放在桌子上，则硬币受到的磁铁引力很弱，即不会出现位移。

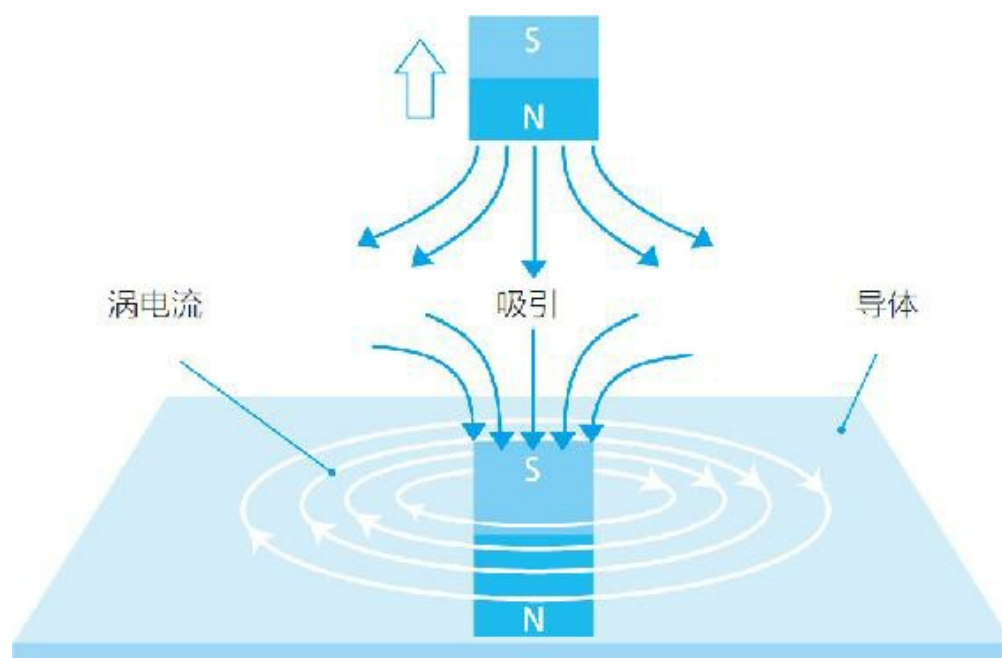
磁场的变化与涡电流

将钕磁铁放在1日元硬币上，迅速（急速）拿起磁铁，会观察到另一种现象。

硬币周围的磁场急剧变化，使得硬币产生了环形电流，而环形电流的磁场会反抗外界磁场的变化。这种在金属内部产生的环形电流叫作涡电流。涡电流也是一种电磁感应产生的感应电流。

假设钕磁铁与1日元硬币接触的面为N极，钕磁铁从硬币上方快速离开时，硬币为了反抗N极离开，就会形成能产生S极磁场的涡电流。于是，硬币在N极与S极的引力达到平衡之前，会和磁铁吸附在一起。当重力超过磁铁吸引力时，硬币就会掉下来。

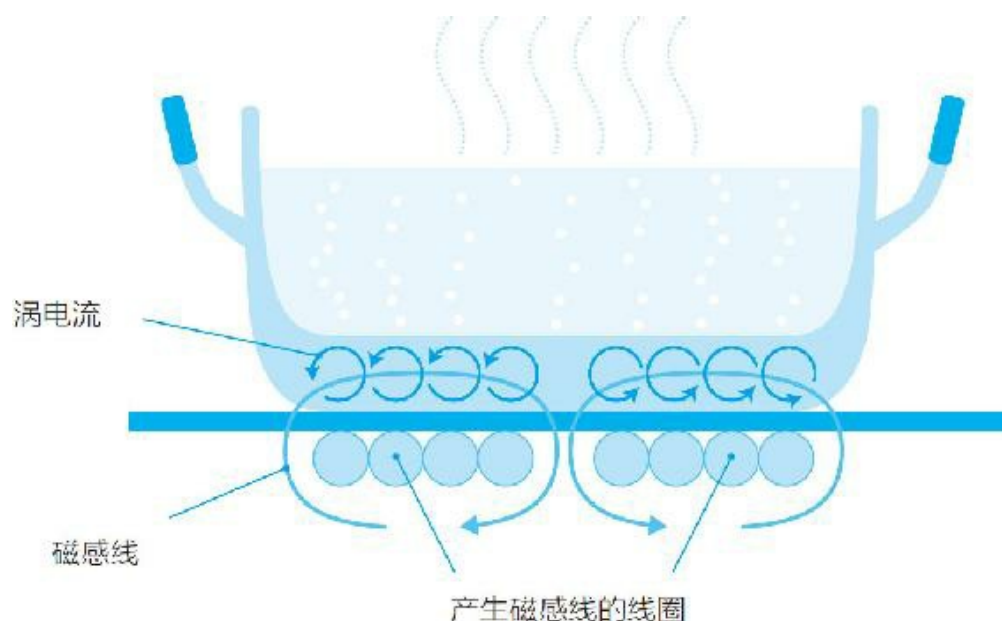
◆ 涡电流



利用了涡电流的电磁炉

我们常用的电磁炉就利用了涡电流的原理。

◆ 电磁炉的构造



电磁炉内的线圈呈圆形分布。交变电流流过线圈时，电流的方向及强度都在随时变化，线圈周围的磁场也会不断随之变化。电磁炉顶部的面板位于线圈上，当锅放在面板上时，金属制的锅底就会产生涡电流，从而生成热量。此外，通过控制线圈的交变电流大小，就能轻松调节电磁炉的加热程度。

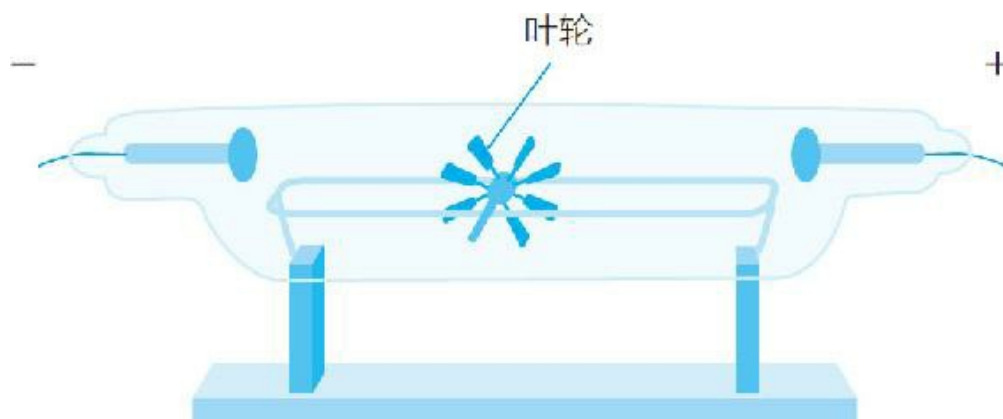
电磁炉利用的是金属的涡电流原理，所以不能使用玻璃锅或陶瓷锅。

克鲁克斯管 [\[1\]](#) 与辐射效应

Q 克鲁克斯管是一种实验用真空放电管。

装有叶轮的克鲁克斯管，叶轮转动的主要原因是什么？

1. 一定质量的电子碰撞使得叶轮被挤压（电子的机械能）
2. 碰撞的电子导致叶轮一侧温度上升（辐射效应）
3. 电子以外的其他粒子伴随电子运动，粒子激烈运动互相碰撞导致叶轮转动（其他粒子的机械能）



辐射效应

答案是2。英国著名的化学家和物理学家克鲁克斯发明了克鲁克斯管，他在1879年的论文中得出结论：阴极线路上的叶轮转动，主要是由具有质量的电荷导致的。当时，他认为一定质量的粒子（即电子）碰撞使叶轮受到挤压，从而能够旋转起来。

但是，1903年英国物理学家汤姆逊计算电子的动量，发现电子一分钟之内最多只能让叶轮转动一次。他表明，叶轮旋转是因为阴极射线照射到叶轮一侧，使其温度上升而出现了辐射效应。光线照射到黑色的一侧比白色一侧的温度上升得更快。虽然叶轮周围的空气分子数较少，但空气分子的激烈运动和碰撞导致叶轮两侧产生了压强差，白色的一面向前开始旋转。这个过程就是辐射效应的表现。

尽管辐射效应早在100多年前就得到了证明，但是这个实验一直被用来作为证明电子是有质量的粒子的示例，被历届理科教科书沿用至今。

而且，理科教材用的克鲁克斯管除了用叶轮的以外，还有用十字板、裂缝、偏转电极等多个种类。十字板实验时，阴极射线会直线前进；裂缝实验时，阴极射线会向靠近磁铁的方向弯曲；偏转电极实验时，阴极射线被正极吸引，被负极所排斥。

^[1] 克鲁克斯管：又名阴极射线管，由英国人威廉·克鲁克斯首创，可以发出射线，是将电信号转变为光学图像的一类电子束管。（译者注）

Puzzle 6

原子能与放射线

C

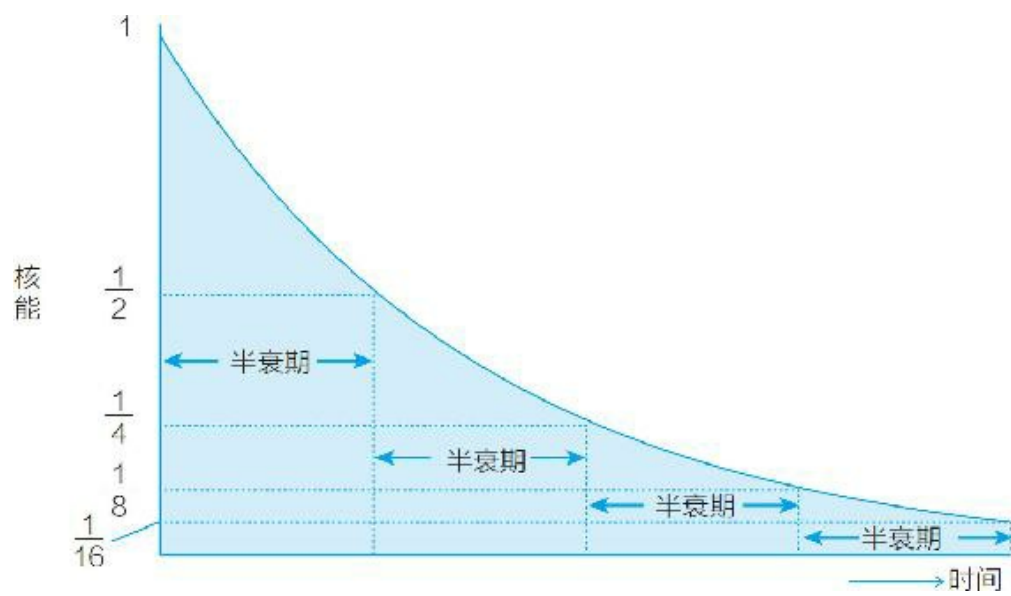
放射性物质与半衰期

Q 质子数相同、中子数不同的核素叫作同位素（Isotope）。小学理科等学过淀粉遇碘显色的原理，实验用碘液的碘127（127为质子数）是不具有放射性的稳定同位素。核反应堆里铀235核裂变可以产生碘131，碘131就是碘127的放射性同位素，半衰期大约为8天。

假设碘131最初的原子能（指一定种类的原子核自发地变成其他种类原子核的性质）强度为1，经过24天后放射性铀的原子能强度是多少？

1. $1/2$
2. $1/3$
3. $1/4$
4. $1/8$

◆ 放射性物质的半衰期



放射性同位素的半衰期

答案是4。放射性元素的原子核有半数发生衰变时所需要的时间叫作半衰期。

铀131的半衰期约为8天，铯134的半衰期为2年，铯137的半衰期大约需要30年。

例如，铀131的原子共有1亿个，则第8天会变成5000万个；再经过8天后（从开始日起算共历经16天）减半，变成2500万个；再经过8天（从开始日起算共历经24天）后总数减少到1250万个。每隔8天，原子数就会减半。

伽马射线与核辐射

Q 钴59撞击中子，与中子反应可以变成钴60。钴59是没有放射性的稳定同位素，而钴60是放射性同位素（放射性核素），能够放出伽马射线。钴60被用作伽马射线源广泛应用在各个领域。

用钴60放出的伽马射线源从外部照射人体，人体是否会携带核辐射（放射性物质释放放射线的性质和能力）？

1. 会一直携带
2. 根据照射位置的不同而不同
3. 不会

核辐射与放射线

答案是3。除了铀原子以外，镭原子等也带有核辐射。有核辐射的原子核释放放射线的同时，自发地转化成其他原子核。

放射性同位素放出的代表性放射线有 α 射线、 β 射线、 γ 射线三种。

这三种射线统称为电离放射线。放射线与物质接触时，放射线的能量能够让物质原子内的电子发生电离，飞到外面。电子被释放以后，剩下的原子失去负电，与逃逸电子带电量相同的正电，变成阳离子。放射线的电离作用就是原子发生离子化的过程。

但这些放射线不会在人体内形成放射性物质，也就是说，人体不会携带核辐射。

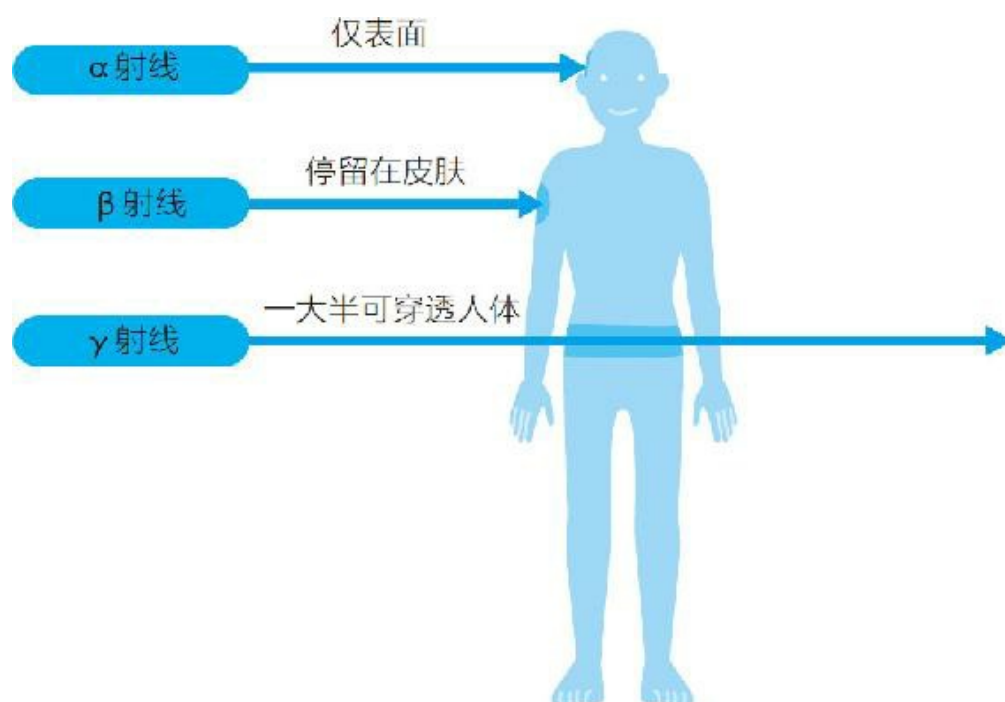
不过，与放射线同类型的还有一种中子线，人体照射到中子线时，体内的钠原子有时会变成具有放射性的钠24原子。

放射线的穿透能力

α 射线、 β 射线、 γ 射线之中， α 射线的穿透力最弱（在空气中的射程只有几厘米），只用一张纸便能挡住。 β 射线在空气中可以穿行数米，能被几毫米厚的铝板挡住。

三种射线中， α 射线的电离作用最强， β 射线居中，电离作用最小的是 γ 射线。

◆ 自然放射线



放射线的真面目

从广义上来说，放射线其实是空间中四处飞散的电磁波（可见光线、紫外线、红外线等除外）、电子、质子或中子形成的原子核粒子束。

α 射线 高速运动的氦原子核（两个质子和两个中子紧密结合的粒子）

β 射线 从原子核中心逃逸出来的高速电子流

γ 射线 近似于X射线的高能电磁波

这些放射线照射人体时，可以通过电离作用切断细胞遗传基因的连接，或者将水分子变成活性氧。不过，放射线也可能导致癌细胞产生、增殖，时间长的话还可能恶化为癌症。

相反，如果巧妙地照射癌变部位，也可以将癌细胞杀死。

以钴60为射线源的 γ 射线非常广泛地运用在各个领域，例如医疗领域的放射性疗法、食品行业的食品辐照（防止土豆发芽）、工业领域中的非破坏性检验等都在使用 γ 射线。

核爆炸与希沃特

 在福岛第一核电站事故报道中经常出现希沃特（Sv，又称西弗）或毫希沃特、微希沃特这几个单位。那么，希沃特是用来衡量什么的计量单位呢？

1. 表示放射性衰变程度的计量单位
2. 表示接收到放射线能量的计量单位
3. 表示放射线对人体影响的计量单位

放射线对人体的影响

答案是3。衡量放射线辐射剂量对人体影响程度的数值单位被称为希沃特（Sv）。1希沃特等于1000毫希沃特，1毫希沃特等于1000微希沃特。

人体受到大剂量辐射产生的急性症状被称为急性辐射综合征（又称辐射中毒或辐射病），症状包括白细胞减少、恶心、呕吐、皮肤红疹、脱发、绝经及不孕不育等。当辐射剂量超过200毫希沃特时，往往会出现急性辐射综合征。

而出现诸如癌症等慢性病症的情况被称为慢性辐射综合征。如白血病会在2~5年后发病，大多数因辐射诱发的癌症会在10年后发病。

医用X光诊断、放疗等过程中也会产生低剂量的辐射，医学界对治疗效果和辐射后果进行利弊权衡之后，终于加以采用。其最大的好处是，用X光诊断患者能够准确地发现病症，而且癌细胞增殖速度很快，通过放疗才能有效地破坏癌细胞。因此X光和放疗一直受到医疗界的青睐。

放射性核衰变——核辐射

具有放射性的原子会释放放射线并发生衰变，放出的射线包含 α 射线、 β 射线、 γ 射线等。

贝克勒尔（Bq）用来衡量放射性活度。1贝克勒尔是指1秒钟有1个原子衰变为其他原子。所以如果1秒钟有100个原子发生衰变，就可以理解为产生了100贝克勒尔的核能。

表示人体吸收辐射能量的单位

人体等暴露在放射线下，每1千克重量吸收的电离辐射能量（单位：焦耳）用戈瑞（Gy）来表示。

1Gy即1kg物质吸收了1J的辐射能量。

放射线辐射与急性辐射综合征

人体组织在受到同等剂量的放射线辐射时，同一戈瑞下， α 射线比 β 射线对人体的影响更大。遭受辐射的人体组织不同、放射线的种类不同，对人体造成的辐射影响均不一样。

即使吸收量相同，放射线种类以及辐射能量的大小的不同会对给人体造成不同程度的影响，考虑到这些因素，人们采用希沃特来表示辐射剂量。这个单位可以将人体吸收放射线后产生的辐射影响以数值的形式表现出来。

自然界中的辐射

 自然界经常交织着各种放射线。非人为产生的放射线被称为天然辐射线。

例如，我们的人体中存在钾元素，一部分是具有放射性的钾40。人体内部会受到钾40所释放的射线辐射。

我们每天大约从食物中摄入50贝克勒尔的钾40。此外，身体摄取的同时也会排泄掉一部分，所以钾元素在一定量的状态下维持平衡。

那么，成年人体内所含的钾40的辐射剂量大概是多少呢？

1. 40～50贝克勒尔
2. 400～500贝克勒尔
3. 4000～5000贝克勒尔

天然辐射线

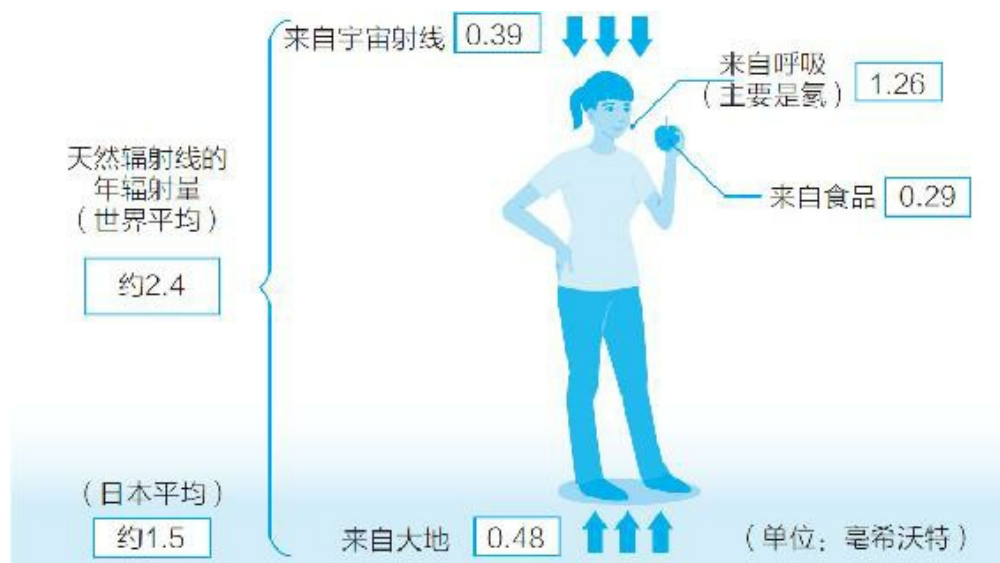
答案是3。地球每天都在接收从遥远宇宙或太阳耀斑等释放出来的宇宙射线。而且，地壳中所含有的铀、镭、氡、钾40等元素也在不断释放放射线。

植物在生长过程中，会从土壤中吸取大自然中的钾39（93.3%）、钾40（0.0117%）、钾41（7.6%），其中含量约占万分之一的钾40为放射性元素。

我们每天从食物中摄入的辐射剂量大约有50贝克勒尔。由于钾40的半衰期是12亿6千万年，所以很难通过放射性衰变减少，但是，钾40的含量会随着排泄减少。假设摄入体内的钾40的辐射剂量是100贝克勒尔的话，通过排泄使其含量削减为一半（即50贝克勒尔）大约需要60天的时间。新陈代谢平衡的状态下，人体内的辐射剂量（贝克勒尔）= $1.44 \times \text{每天的平均摄入量（贝克勒尔/天）} \times \text{削减至半数所需要的时间（天）}$ 。运算结果为4300贝克勒尔。考虑到个体差异，每个人体内的辐射剂量是4000~5000贝克勒尔。

天然辐射线产生的辐射剂量与人所处高度、纬度以及地质环境等有很大关系。例如，海拔高的地方会受到更多的宇宙射线辐射。坐飞机时相比在地面上要受到更多的辐射。日本关西地区比关东地区地表的天然辐射高，这是因为关东地区的岩石中的钾40被厚重的关东垆母质土层（沃土）所遮挡，因此辐射较弱。东京都厅采用花岗岩建造，岩石里面钾40的含量较高，所以天然辐射高于其他地方。

◆ 身边的辐射线



天然辐射线与人工辐射线的危险程度相同

钾40主要在留存于生物体的肌肉内。因此，越是肌肉含量高的人，越是会储存更多的钾40辐射能量。89%的钾40可以发生 β 衰变，放出 β 射线并衰变为钙40。其余部分钾40会在电子俘获后，放出 γ 射线，衰败为氩40。上述过程中，生物体受到 β 射线和 γ 射线的辐射。

由于“1秒钟有1个原子衰变为其他原子=1贝克勒尔”，所以人体内每秒会有4000~5000个钾40发生衰变，并且放出 β 射线和 γ 射线。

钾40的辐射是天然辐射线，但是即便如此，也不能认为这种辐射是安全的。生物体无法感知区分人工辐射与自然辐射。倘若受到同样单位希沃特的辐射，人工辐射与自然辐射给人体造成的影响是相同的。

核反应与核能



石油、煤炭等物质燃烧会发生化学反应，释放能量；核裂变（核能发电）以及核聚变等核反应也会产生能量。那么，核反应所产生的能量大约是化学反应产生的能量的多少倍呢？

1. 1万倍
2. 10万倍
3. 100万倍

核反应的能量大约为化学反应的**100**万倍

答案是3。由于化学反应与核反应的原理完全不同，所以很难进行精确的比较。但是核反应所产生的能量与化学反应产生的能量完全不是一个量级，大概存在100万倍的差异。

诸如燃烧等化学反应，反应中尽管原子会发生置换，但是原子核并不会受到任何影响。原子与原子之间通过彼此的电子结合在一起，释放出能量。

与之相比，核反应是借由原子核的分裂与聚合，从而产生能量的。原子核是由质子和中子通过核内巨大的吸引力——核力结合在一起的，其结合的能量十分巨大。无论是化学反应还是核反应，反应物质反应结合后的能量总和如果超过反应前的能量总和，便会将多余的那部分能量释放出来，产生很大的反应能量。对比化学反应与核反应的前后能量就会发现，后者的能量是前者的百万倍。

原子弹与质量的变化

Q 核裂变连锁反应与核聚变可以释放出巨大的能量，这个结论已经通过爱因斯坦著名的质能关系公式 $E = mc^2$ （ m 是物质的质量，单位kg； c 是光在真空中的速度 $=3 \times 10^8 \text{m/s}$ ； E 指能量，单位J）得到了证明。

核裂变过程中，反应前后的质子与中子的总数量并未发生改变，然而裂变后的质量比反应前的质量减小了。

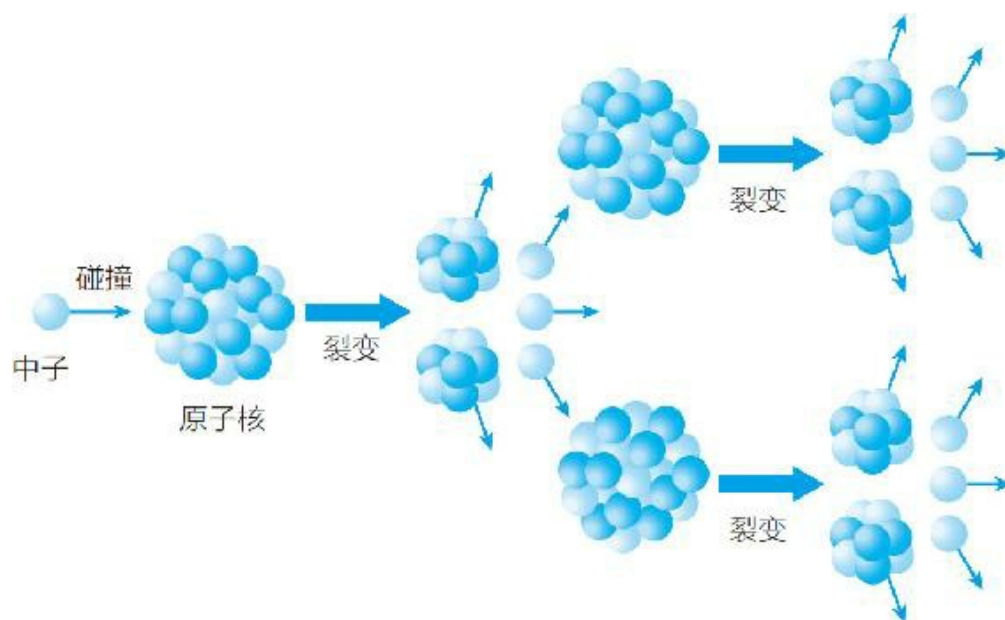
长崎原子弹爆炸时，核爆后比核爆前的质量减少了多少？

1. 1g
2. 100g
3. 1kg

裂变链式反应

答案是1。核电站所使用的燃料为铀235。用中子撞击铀235的原子核，铀235会分裂成两个新的原子核。这个过程被称作裂变。原子核分裂时，会释放出2~3个中子，同时可以产生巨大的能量。而放出的中子会进一步撞击附近的铀235原子核，进一步引发裂变反应。这种接二连三的反应叫作裂变链式反应。裂变链式反应的结果是能释放出极大的能量。原子弹爆炸利用的就是裂变反应的原理。

◆ 裂变链式反应



核能发电的核反应堆可以对裂变链式反应的速度进行严密调节，使核反应较为缓和地进行。

1克物质消失引起的长崎原子弹爆炸！

将1g的物质全部转换为能量，根据质能方程 $E = mc^2$ 可以算出最后释放出的能量总量为 9×10^{13} J（=21兆卡路里）。这个数值大致等同于长崎原子弹爆炸产生的能量。

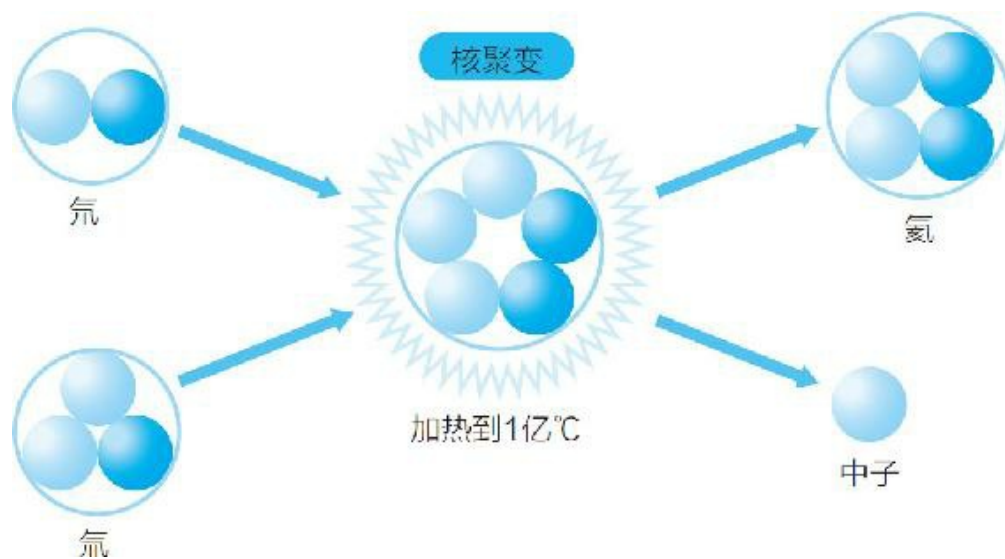
换言之，长崎核爆事件中，地球上仅消失了1g质量，就释放出 9×10^{13} J的能量，袭击了长崎数万人。

当两个原子核足够接近时，它们会融合为一个新的原子核，而这种变化被称作聚变反应。反应过程中，反应物的总体质量会略微减少，并转化为能量。

地球大气层外，太阳光每分钟垂直照射到单位面积（每平方米）上的太阳辐射能大约为8J（约2卡路里），整个地球接收到 1.02×10^{19} J巨大的辐射能量。但是即便如此，地球接收到的辐射能也不过是太阳向整个宇宙空间释放的总能量的二十亿分之一。

太阳的能量就是通过4个氢原子融合成1个氦原子的聚变反应产生的。1个氦原子的质量比4个氢原子的质量轻0.7%，失去的那部分质量转化为能量，形成了太阳能的来源。

◆ 聚变反应与能量释放



核反应堆被称为“地球上的太阳”，人们正在开展基于原子核的聚变反应产生的热量来发电的核反应堆研究。如何有效地困住等离子体是目前面临的一大难题。

Puzzle 7

超能力与心灵现象

S

你知道尤里·盖勒吗？

 20世纪70年代中期，日本爆发了“超能力浪潮”，而掀起这场浪潮的正是一位自称拥有超能力的以色列人——尤里·盖勒（Uri Geller）。

他宣称要“从加拿大传送念力，让停掉的表动起来”。

实验当天，拍摄现场的10台电话响个不停，大家纷纷表示“表真的动起来了”！那么，已经坏掉的表为什么又动了起来呢？

1. 是尤里·盖勒的念力起了作用
2. 由于当时使用发条式手表，润滑油太黏或者凝固等都能让手表停下来，而手掌的温度让润滑油融化后，手表就能慢慢动起来

现在无法做到“用念力转动手表”

答案是2。“用念力转动手表”的关键在于当时的手表是发条式的。

表演这个把戏的时候，正好是在三月或者一二月，天气比较寒冷。由于发条式的表会使用润滑油，一到寒冷的季节，便容易产生黏性妨碍齿轮运动。坐在电视前的人拼命握着手表就会让表变暖，因此原本凝固的润滑油渐渐融化，手表就会慢慢地动起来。如果坐在暖炉旁，效果就更加明显了。就算只有百分之一或千分之一的人能做到让手表动起来，加起来也有几千或几万人了。演播厅的10台临时电话肯定也会响个不停。

“超自然·超能力热”的始作俑者

1974年2月21日，尤里·盖勒出现在日本著名主持人大桥巨泉主持的一档名为“11PM（Eleven PM）”的节目中。出生于以色列的尤里·盖勒自称拥有超能力，他在节目中表演了诸如令勺子弯曲之类的不可思议的技能，从此，“超能力”等词便开始在日本流行。

从加拿大传送“意念”

1974年3月7日，尤里·盖勒在电视节目“NTV周四SPECIAL”中，宣称将为观众展示“从加拿大传送念力，让停掉的手动起来”。这场表演的成功奠定了他在日本“超能力者”的稳固地位。当时这个节目的收视率超过30%，想必电视机前会有数千万人观看吧。假设只有一成的人手里握着不动的手表，那也有数百万人在等着他发动念力。

除了用念力拨动手表以外，尤里·盖勒还宣言从加拿大传送的念力抵达日本时，还能让勺子弯曲，所以演播厅里聚集了很多对表演结果满心期待的少女，镜头前留下了她们手握勺子不断摩擦的影像，但现场谁的勺子都没有弯曲。

于是，主持人三木鲇郎解围道，“那我们先不做弯勺子的实验，让我们赶紧进入复活手表的环节吧”，先行将节目推进到了下一环节。他向观众呼吁：“拍摄现场安装了10台临时电话，停掉的手表动起来的人请打电话给我们。”于是，报告“手表动起来了！”的电话便开始响个不停。

借由此次表演，尤里·盖勒超能力者的形象深入人心，成为人们茶余饭后闲聊的话题明星。

尤里·盖勒甚至还出演了日产2006年的电视广告片，虽然使用了电脑图像处理技术，但内容主要也都是“弯曲勺子”和“念力动表”一类，可见其当时人气之高。

1974年，尤里·盖勒在日本大火，我当时还是大学生，曾兴趣满满

地看过他的很多表演。

1976年我当上了教师。时隔两年，尤里·盖勒再次来到日本，一时间超能力又一次成为热点话题。

想当年，我在办公室里说过“有很多种手法和把戏都能把勺子弯曲”，很多人因此批评我道：“左卷老师真不懂浪漫啊”。

受尤里·盖勒的影响，日本出现了很多弯勺子的少年少女，其中以S少年最为有名。S少年的特技是背对观众而坐，手里拿着勺子上下晃动几次之后，“砰”地将勺子掷出，掉在地上的勺子便会出现很大程度的弯曲。接下来，我们就探讨下这个问题。

超能力热和弯勺把戏

 周刊杂志刊载了S少年弯勺作假的照片后，弯勺热潮逐渐消退。不过，S少年究竟是通过什么样的方法使扔出去的勺子变弯了呢？

1. 被扔出的勺子在落地前被替换成了已经弯曲了的勺子
2. 表演所用的勺子之前已经弯折过很多次，扔出去的时候即便是遇到空气阻力也会变弯
3. 勺子在在扔出去之前已经被用力压弯

被爆作假！

答案是3。1974年5月24日发售的《周刊朝日》杂志刊载了《科学测试下终将原形毕露！“超能力热潮”被画上休止符》一文，文中指出：连闪技术连拍出的照片揭穿了S少年的把戏。其实在掷出勺子之前，勺子已经在地板、大腿和肚子上反复挤压多次，勺子早已变弯。

据说《周刊朝日》在拍摄的时候，为了让照片成像效果更好，提前在勺子上涂了白色的涂料，绒毯被勺子压过后，留下了一处处白色涂料的痕迹。

S少年本人也承认“当天为了拍摄取材，几个小时一直都在弯勺，已经非常疲惫。所以才不得已捡了一把已经弯了的勺子扔了出去”。言外之意就是虽然因为疲劳困倦表演做了假，但自己其实一直都是用超能力把勺子弄弯的。

不过从此之后，超能力热潮便急速衰退了。

你也能做到的弯勺把戏

弯勺把戏这种魔术其实有很多种实现方法，这里为大家介绍一种简单的方法吧。此方法出自西尾信一先生撰写的文章《你也可以做到！弯勺把戏》，出自《理科的探险（*RikaTan*）》杂志2016年10月号。

如何选择勺子？

▲ 选择看起来很硬而实际又不是那么硬的勺子，不要选择标有18-8、18-10以及18-12规格的勺子。

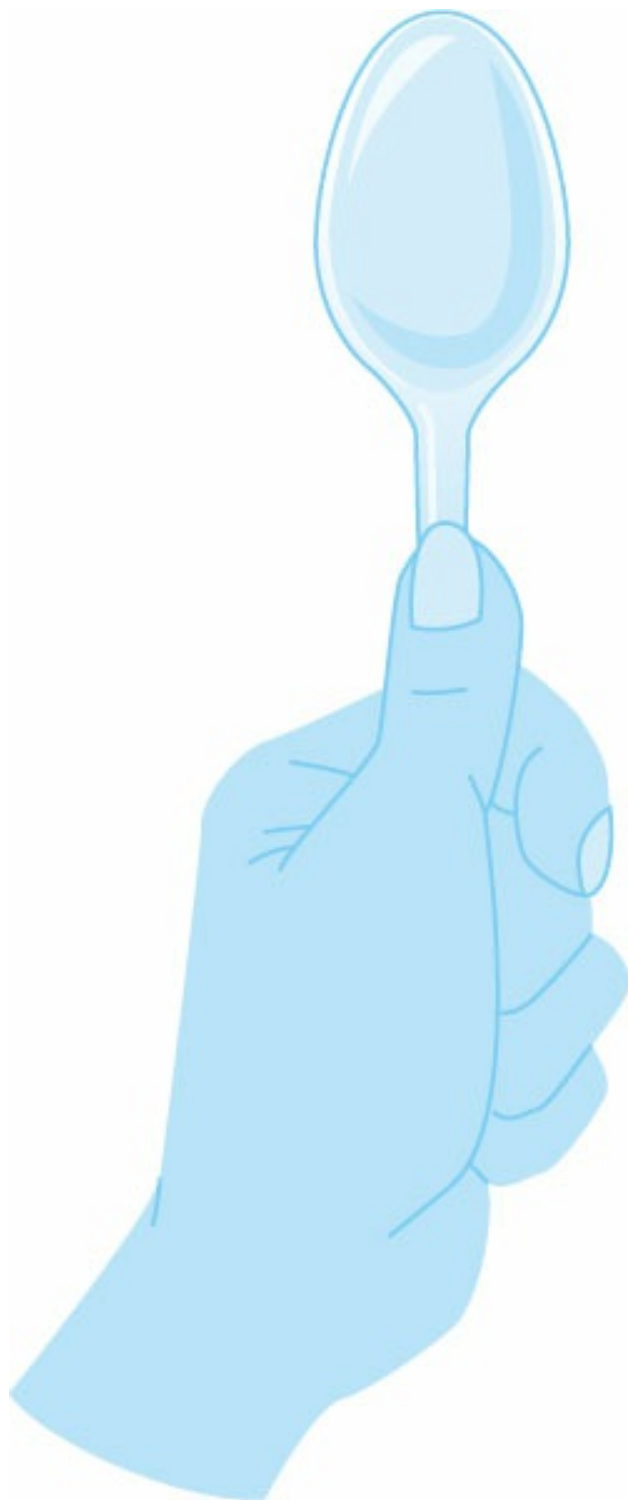
▲ 勺柄剖面呈薄板状，同样厚度的话，勺柄的弯曲处越细越好。

双手的基本操作方法如下：

▲ 利用“将大小和方向相同的力施加在离转轴越远的地方，旋转效果（科学术语为力矩）越大”这一规律，尽量在远离勺子弯曲部位的地方发力。

▲ 要一鼓作气，迅速发力。瞬间的爆发力，其作用力的峰值才能超过弯曲勺子所需要的力。

◆ 让勺子弯曲的方法①



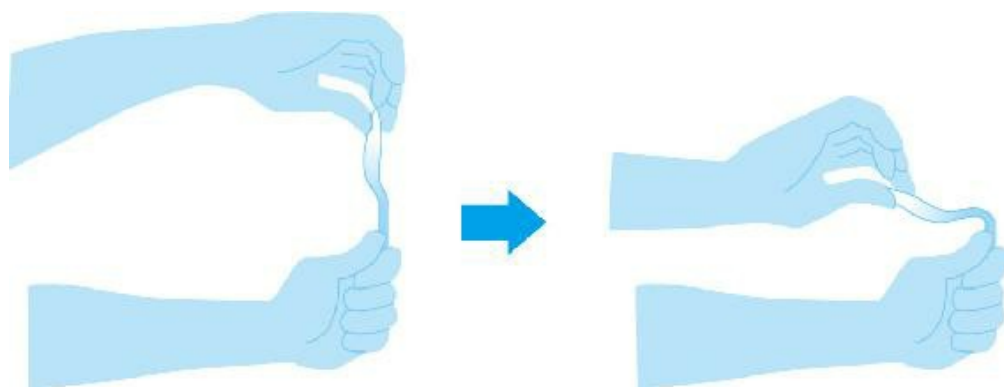
▲ 勺子尖的圆形部分朝上，勺头的凸面朝向自己，单手紧握，置于前方。然后，大拇指朝上，食指垫在勺柄最细处，向着食指的方向用

大拇指用力按压勺柄，同时利用小指根部握住勺柄其余部分起到支撑作用。

▲ 用另一只手的两根手指捏住勺头的前端，想象“这把勺子是很柔软的”，然后利用整个手腕的力量像拉弓一样一口气掰向自己。

▲ 熟练以后，只用一根手指就能做到。如果不是特别硬的勺子即使用小拇指都没问题。

◆ 让勺子弯曲的方法②



▲ 接下来就是表演成分了。在表演弯勺之前让别人拿着勺子或者让人敲打一下试一下是不是硬勺，确认没有做任何手脚。

▲ 不要立刻弄弯它，先用手搓搓勺柄，摇晃摇晃，嘴里一边说着“变软、变软”，一边用两根手指捏住勺柄最细的部分不规则地晃动。由于眼睛的错觉，勺子看起来就像真的变软一样，于是，弯勺的效果便顺利达成。

尤里·盖勒也没能弄弯的勺子

虽然也有事先准备好扭作一团的勺子偷梁换柱的案例，但如果练习得得心应手后，不用像S少年那样背对着观众，即使在观众面前也能够弄弯勺子。美国的魔术师詹姆斯·兰迪（James Randi）曾以魔术表演的形式重现了尤里·盖勒所谓的超能力。

不过，如果勺子是用非常大力气也无法弄弯的材质，耍花招就比较难以得逞。2012年4月29日富士电视台综艺播出的节目《矛与盾》中，上演了一场主题名为“绝对不会变弯的勺子vs绝对可以让一切变弯的男人尤里·盖勒”的对决，尤里·盖勒并没有能够弄弯由山崎金属工业提供的名为“Cobra”勺子。由于使用的勺子是特殊材质和特殊形状的，所以无法提前找一把一模一样的勺子弄弯再临时掉包。

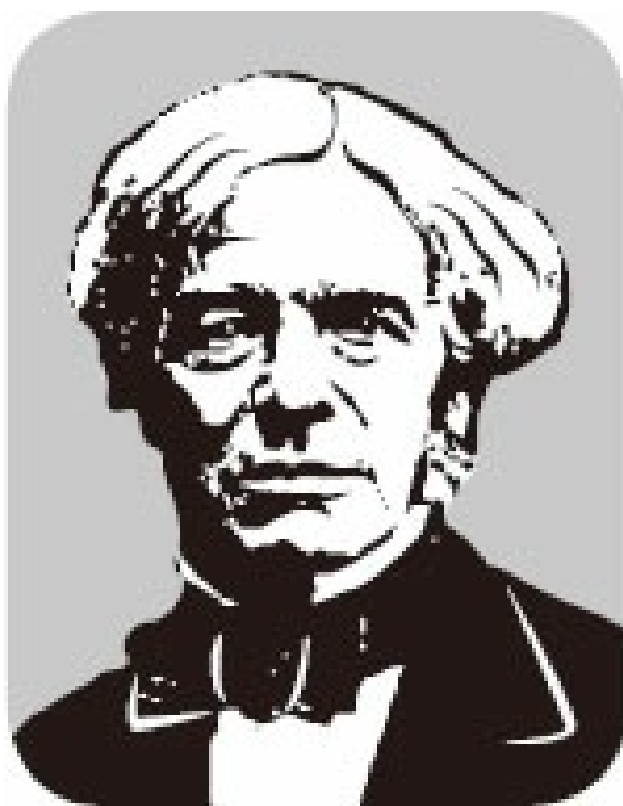
狗狐狸（银仙）游戏

 在纸上画上鸟居（[参见此处](#) 图），并写好“是”“否”和日语里的五十音图，再将一枚10日元硬币放在鸟居上。然后几个人把食指放在硬币上，吟唱降灵的咒语祈求神明的意志。随后，硬币便会在写好的“是”或“否”等文字间移动以示神谕。这便是所谓的“狗狐狸”（银仙）游戏。那么游戏中让10日元硬币移动的主要原因到底是什么呢？

1. 狐仙之类的鬼神附体让硬币动了起来
2. 有人故意移动硬币
3. 因为摩擦产生了静电作用力
4. 受潜意识的影响，游戏参与者无意识地碰了硬币

迈克尔·法拉第的研究

答案是4。关于狗狐狸游戏中硬币为何会动的解释，19世纪发现了电磁感应现象的迈克尔·法拉第发表的《桌灵动（Table-moving）的实验研究》论文中便有所阐述。桌灵动（Table-moving）就是桌灵转（Table-turning）的另一种叫法。



迈克尔·法拉第（1791～1867）

板仓圣宜所著《魔术·超能力与科学的历史备忘录》一书中称，19世纪中叶招魂热潮曾席卷欧洲。

当时，招魂术最早在新兴国家美国公开表演，随后便盛行于整个欧洲。根据牛津英语词典中注释，桌灵转（Table-turning）最早出现于1857年。日本的狗狐狸游戏应该也是源自这个时期吧。

法拉第一直在担心这个现象，他说：“想要以事实为基础，提供具有说服力的看法，于是开始了这项研究的。”论文的日文版本收录于参考文献1中。

“我不认为参与者（参与狗狐狸游戏的人）是故意在桌子上移动硬币。反倒在想会不会几乎是无意识的肌肉运动让桌子动了起来。此外，我还认为他们的预期（意向）影响了心理，进而影响了他们桌灵转的成败。”论文通过实验验证了这一假设。

法拉第在论文的结束部分写道：“我对以上的叙述略感羞耻。羞耻的是，我很怀疑在所谓的现代社会，在此时此地，是否真的有必要做这样的研究？话虽如此，但我仍觉得这个研究可能会有些用处。”当时，作为世界的中心，而且是科学最为先进的英国居然流行这种东西，法拉第又不得不用对待科学的方式去研究它，想必心里也是一言难尽吧。

井上圆了的研究

在日本，井上圆了也阐明了狗狐狸游戏是基于预期意向和不自觉的肌肉活动而产生的。井上圆了在解释为什么狗狐狸游戏硬币会动时，先后否定了狐狸鬼神作祟说、静电力作用说，也一并否定了参与者中有人故意移动或者实际没动但硬币看起来像是动了的说法。他指出，狗狐狸游戏使用的设备比较容易晃动，稍微移动便会加强人与装置之间的活动。而更重要的原因是源自人的精神作用，那就是心理预期和肌肉的不自主运动。

由于参与游戏的人在游戏开始之前，就已经在潜意识中产生了诸如“如果这样动起来就好啦”或者“答案肯定是这样的”等心理期待（心理预期），因此肌肉便开始无意识地运动起来（肌肉的不自主运动）。心理预期与信仰心有着很深的联系，想必那种什么都会轻易相信的人有着更强的心理预期。试想一下，几个人在漆黑的屋子里围坐在桌子旁，站着将手指放到10日元硬币上，手肘没有任何支撑，这样的状态在力学上是非常不稳定的状态。最先让硬币动起来的契机，或许就是某个人的手指微微一动吧。设备的不稳定性以及用来营造神秘气氛的极具仪式感的游戏规则，进一步强化了参与者的心理预期和肌肉的不自主运动。

狗狐狸登陆日本

“狗狐狸”是起源于欧洲的招魂术的一种，在欧美被称为“桌灵转”（Table-turning）。

井上圆了是日本最早用科学的方法解释“狗狐狸”的人，而狗狐狸传到日本的经过在井上圆了所著的《妖怪玄谈狗狐狸一事》（明治二十年重印版，假说出版社，1978年）中有详细记载。这本《妖怪玄谈》在网上的图书馆或青空文库都可以读到。

根据井上圆了的调查，狗狐狸最早在日本起源于明治十七年（1884年）。由于船只破损，美国船员漂浮到了伊豆。船员短暂逗留在下田期间，教会了当地人狗狐狸游戏的玩法。而道具的制作则使用了在日本很容易弄到的东西，将3根长40~50cm的棍子交叉直立作为桌腿，再在上面放上饭桶（装饭用的木制器具）的盖子作为桌面，然后三个人围坐在旁边，将手轻轻放在桌子上，同时嘴里念道：“狗狐狸大人、狗狐狸大人请显灵。显灵的话就抬起一只桌腿。”桌子一歪，桌腿翘起来就是显灵了。

事先标好了哪只桌腿抬起来表示“Yes”、哪只桌腿抬起来表示“No”，狗狐狸显灵后就可以针对各种事情请示神谕了。

◆ 当时的狗狐狸装置



由此，狗狐狸便从下田的港口传开来。明治二十年狗狐狸在日本全国盛行。其实在下田的美国船员告诉当地人这个游戏叫“桌灵转”（Table-turning），但当地的日本人不懂英文，看到了用饭桶盖子做的桌子一晃一晃地倾斜，便称之为“一晃一晃”或“一晃一晃先生”（日语里的一晃一晃是拟态词，日语读音与狗狐狸相近）。之后又根据发音分别配上了“狐”“狗”“狸”三个汉字，就有了如今的“狗狐狸”。

超能力热潮

在那之后，狗狐狸游戏几度流行。到了昭和四十九年（1970年），狗狐狸游戏伴随着超能力热潮在全国范围流行。这时候已经不用桌子了，一般的玩法是在纸上画上鸟居并写好“是”“否”和日语的五十音图，再将一枚10日元硬币放在鸟居上。然后将几个人的食指放在硬币上，吟唱降灵的咒语，成功请灵后，祈求神明的意志。神明的意志通过将10日元硬币移动到写有“是”或“否”的地方来传达。

而实际上请灵的对象也不一定都是狗狐狸，也有请丘比特或者天使的，各种各样的神灵都有。

于是，出现了很多奇怪的现象。有人表现出好像被什么附体的状态，有人从学校的三楼摔下来，有人陷入神经衰弱状态，也有人用奇特的方式奔跑。种种问题好像都和沉迷聚众玩狗狐狸游戏扯上关系，因此学校便开始禁止狗狐狸游戏。

◆ 日本纸版狗狐狸游戏的示例之一



在高中物理课上，宝田卓男曾教学生们狗狐狸的玩法。仅通过亲身体验这种现象，就可以发现玩这个游戏的人有可能会陷入自我催眠状态无法自拔，从而引起恐慌。借此，宝田老师向学生充分说明了产生这种现象的根本原因，其实是人的心理预期和肌肉的不自主运动在作祟。

宝田老师解释道（可参见[参考文献3](#)）：

“问题其实出在人们放弃思考‘为什么’，很快就下结论说是‘超能力’或是‘超自然现象’。心理预期其实人人都有，而汽车转向盘的自由行程也是为了防范肌肉不自主运动而设计的。

“搞不明白的事物世上比比皆是，只停留在不明不白的状态不叫有梦想，一样一样去解明不明白的事物才能被称为有梦想。我希望大家学习科学也一定要有梦想。”

希望大家在看到类似狗狐狸游戏这样的现象时不要一味吵嚷“这属于神秘现象！”“这是超常现象啊！”或是“神灵附体啦！”，千万不要停止思考。要学习19世纪的法拉利和明治时代的井上圆子，努力探求隐藏在背后的原理。

如果类似的现象再度流行起来，希望不要不说明缘由就直接禁止，一定要清楚地解释现象背后的本质原理。

参考文献：

1. 观察、思考事物的方法第二集魔术·骗术·超能力. 季节社，1981。
2. 安齐育郎，科学与科学之问：超常现象的流行与教育的角色. 鸭川出版，1995。
3. 宝田卓男，挑战生动的理科实验. 黎明书房，2001。

は					い				
ん	わ	う	ゆ	ま	ほ	な	た	さ	か
		り		み	ひ	に	ち	し	き
		る	ゆ	む	ふ	ぬ	っ	す	く
		れ		め	へ	ね	て	せ	け
		を	う	よ	も	ほ	の	と	そ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	0



用科学来
解释“心灵
现象”吧!

后记

我小时候就是人们常说的“记性差”的孩子和学习差的差等生，上课经常跟不上老师进度。小学五年级的时候，班主任平原先生和蔼地对我说：“左卷，看来你真的很喜欢理科。”这是我入学以来初次被老师表扬。

仅此一句话，让我更加爱上了理科。

由于“记性差”，所以我仍然很难喜欢上需要大量记忆力的领域，但是平原老师的话赐予了我一个契机。我对理科的兴趣从未断过，大学开始主攻物理、化学，研究生毕业后做了一名中学理科教师。

日本的中学理科教师需要教物理、化学、生物、地理等各个学科。我在教授某些知识点的时候，会尽可能地从本质上去理解这些内容，重新融会贯通后再传授给学生。

渐渐地，我发现理科所有学科都非常有趣，我热忱地投身到了理科教育事业中。后来，尽管我以理科教育研究员的身份调到了大学，但是在我的书里，总会提及置身教育第一线教理科时艰苦战斗的种种经历。

言归正传，本书主要介绍的是中学理科的物理知识，或许有的读者会觉得“原子能与放射线”的内容有点超纲。

但事实上，2012年起完全普及的日本中学理科教育课程中，已经再度开展了睽违30年的放射线内容教学。在此之前，大约有30年的学习空白期。

我手边就有以前的中学理科教科书——《新版新科学3》（1971年，东京书籍出版）。书中就有相关的内容：原子的构造：原子由原子核与电子组成；原子核由质子与中子构成；放射线元素会放出放射线；人为改变元素。

这本教材中还有关于“放射性同位素释放放射线的同时发生衰变（放射性衰变）”“铀235核裂变的连锁反应”等图片。

我想把当年教科书上的知识作为常识告诉大家，所以本书中也特意做了介绍。

此外，“超能力与心灵现象”选取我当理科老师时学校、电视上流行的热门话题——勺子弯曲、狗狐狸游戏等。勺子弯曲是正宗的物理题材，狗狐狸游戏也可以用大科学家法拉第的理论解释清楚。

总之，我希望读者看完这本书后，可以多多少少对物理产生兴趣。

最后，非常感谢本书编辑田畑博文。

左卷健男

2018年2月

协助人员：

漆原晃（教育机构代代木seminar）

田中岳彦（三重县立津西高校）

平贺章三（奈良教育大学名誉教授）

桥本赖仁（枚方市教育委员会非常勤）

井上贯之（理科教育顾问）

横须贺笃（埼玉市公立学校教员）

日上奈央子（广岛大学大学院国际协力研究科院生）

船田优（千葉県立松戸六実高等学校）

参考文献

《物理真好玩》：〔日〕左卷健男著，日本PHP Editors Group 2012年出版。

《理科真好玩》：〔日〕左卷健男著，日本PHP Editors Group 2013年出版。

《让大脑变聪明的1分钟实验“物理的基本”》：〔日〕左卷健男著，日本PHP Science World新书2013年出版。

《不勉强不浪费地掌握中小学理科知识》：〔日〕左卷健男著，日本PHP Editors Group 2017年出版。

《快乐理解物理实验事典》：〔日〕左卷健男、泷川洋二编著，日本东京书籍1998年出版。

《解谜学中学理科：上下》：〔日〕平光伸好著、左卷健男监修，日本民众社1995年出版。

《用物理解释日常疑问》：〔日〕原康夫、右近修治著，日本SB Creative 2011年出版。

《解谜学大学物理——无聊力学与波动的趣味》：〔日〕饱本一裕著，日本讲谈社2001年出版。

《科学Puzzle 第1集》：〔日〕田中实著，日本光文社1968年出版。

《Puzzle·物理奇妙入门——掌握物理核心》：〔日〕福岛肇著，日本讲谈社1994年出版。

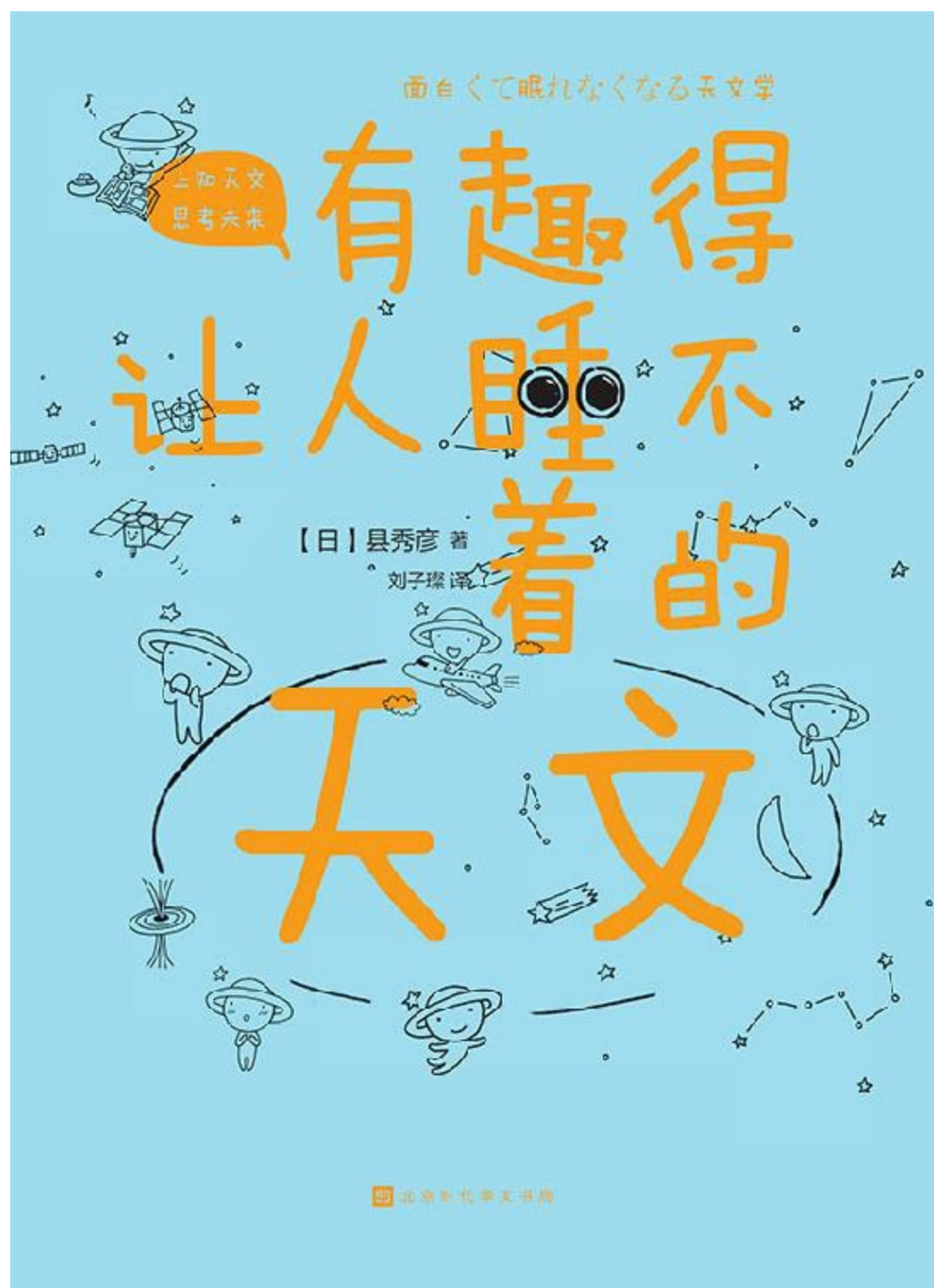
《Puzzle·物理入门》：〔日〕都筑卓司著，日本讲谈社1968年出版。

《大人必须了解的物理常识》：〔日〕左卷健男、浮田裕编著，日本SB Creative 2005年出版。

《新高中物理教科书——现代人的高中理科》：〔日〕山本明利、左卷健男编著，日本讲谈社2006年出版。

《放射能（修订版）》：〔日〕安斋育郎著，日本鸭川出版1988年出版。

《理科探检》杂志（*RikaTan*）：SAMA策划编辑，书中“超能力和心灵现象”部分以2017年10月号特集《科学揭秘神秘·超常现象！》刊载的左卷健男论述为参考。



关于作者

【日】县秀彦

1961 年生于长野县。大学共同利用机关法人，自然科学研究组织国立天文台天文情报中心副教授兼宣传室长，综合研究大学院大学副教授，国际天文学联合会（IAU）国际宣传室长。东京学艺大学研究生院毕业（教育学博士），曾任东京大学教育学系附属中学教师，后任现职。主要著作、主编书目有《外星生命》《小王子的天文笔记》《猎户座已经消失了？》等，同时还经常参加电视节目、广播节目。

面白くて眠れなくなる天文学

有趣得 让人睡不着的 天文

【日】县秀彦 著
刘于濠 译

北京时代华文书局

图书在版编目（**CIP**）数据

有趣得让人睡不着的天文/（日）县秀彦著；刘子璨译．--北京：北京时代华文书局，2019.7

ISBN 978-7-5699-3071-9

I．①有... II．①县...②刘... III．①天文学—青少年读物 IV．
①P1-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第107833号

北京市版权局著作权合同登记号图字：01-2018-6101

OMOSHIROKUTE NEMURENAKUNARU TENMON-GAKU

Copyright © 2016 by Hidehiko AGATA

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2016 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

有趣得让人睡不着的天文

YOUQUDERANGRENSHUIBUZHAODETIANWEN

著 者 | [日]县秀彦

译者 | 刘子璨

出版人 | 王训海

选题策划 | 高磊

责任编辑 | 邢楠

装帧设计 | 程慧 段文辉

责任印制 | 刘银 范玉洁

出版发行 | 北京时代华文书局<http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印刷 | 凯德印刷（天津）有限公司 电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开本 | 880mm×1230mm 1/32

印张 | 6.5

字数 | 104千字

版次 | 2019年8月第1版

印次 | 2019年8月第1次印刷

书号 | ISBN 978-7-5699-3071-9

版权所有，侵权必究

自序

提到天文学，你会想到什么呢？是在天文馆听说的星座故事，是流星雨、观日食，还是赏月？

在本书中，我将介绍魅力无穷的天文学精华。

月亮上也有山脉和海洋？

明明天上有数也数不清的星星，为什么夜空还是那样黑暗？

寻找第二地球的“宇宙文明方程式”是什么？

利用引力波探寻宇宙起源的奥秘.....

天文学是一门十分有趣的学科，从流星、月亮等我们十分熟悉的天体奥秘，到遥远的宇宙起源之谜都是它的研究范围。

自古至今，天文学都是能够和音乐、数学相提并论的最为古老的学科。人们认为，天文学对于古人而言是一种极为重要的交流工具。

例如说，古代两个人约定下次见面，但他们既没有手表，也没有电话，该怎么决定见面的地点和日期时间呢？这时候，古人们就会通过相互告知月亮的圆缺、星星的位置，来向对方传达见面的季节、时间和地点。

天文学就是这样一种人与人之间相互联系的不可或缺的工具。

而近年来天文学的发展也是极为迅猛的。各位读者在阅读本书时，

可能会感到书中内容和各位小时候看过的天文学图鉴、参考书已经大有不同。

如今有一门名叫“太空生物学”的学科备受关注。这是一门研究“宇宙中生命的起源、进化、传播及其未来”的学科领域，天文学、生物学、行星科学、地球物理学等诸多领域的学者都会参与其中。

“我们是谁？我们要向何处去？”

针对这个普遍的问题，如今人类正以天文学为立足点，一步步地揭开这个问题的答案。

截至2016年，已经确认的太阳系外行星超过了3500颗⁽¹⁾。我们也开始发现了一些和地球规模相当的岩质行星⁽²⁾，或是温度适宜、液态水丰富的行星。

我们凭借新一代望远镜“TMT”等具备超高性能的望远镜或是太空望远镜，是有可能发现存在外星生命的太阳系外行星的。在不远的将来，发现我们生命的起源、与智慧生命体交流或许不再是一个梦想。

如此激动人心、令人心潮澎湃的学问，仅让天文学家独占实在太过可惜！各位读者们，捧起你们眼前的书本，让我们一起畅游这个让人异常惊喜的天文学世界吧。

⁽¹⁾ 截至2019年3月，科学家已发现的系外行星已突破4000颗。（编者注）

⁽²⁾ 也称“类地行星”。（译者注）

目 录

[自序](#)

[Part 1 浪漫的天文学故事](#)

[看到流星的方法](#)

[月亮上也有山脉和海洋](#)

[北极星会移动？](#)

[夜空中明明有无数星星为什么还是很黑暗？](#)

[勇者俄里翁的右肩消失之日](#)

[只能在旅途中看到的夜空](#)

[火星上存在生命吗？](#)

[看到就会有好运的星星](#)

[天体撞击地球之时](#)

[Part 2 有趣的天文学](#)

[土星环是由什么构成的？](#)

[月亮跟着自己走的原因](#)

[太阳的寿命还剩多少年？](#)

[如何同宇宙人接触？](#)

[寻找第二地球的“宇宙文明方程式”](#)

[什么时候能看到美丽的极光？](#)

[历法的编写改变了历史](#)

[织女和牛郎不能约会？](#)

[寻找太阳系的尽头](#)

[看到最亮星星的方法](#)

[Part 3 宇宙是多么不可思议](#)

[发现“宇宙中的第一颗星”](#)

[暗能量之谜](#)

[星系是如何形成的？](#)

[从行星中被除名的星星](#)

[第一个使用天文望远镜的人不是伽利略](#)

[通过引力波探寻宇宙诞生的奥秘](#)

[星座是什么时候、在哪里产生的？](#)

[黑洞有质量吗？](#)

[为地球带来生命的是彗星？](#)

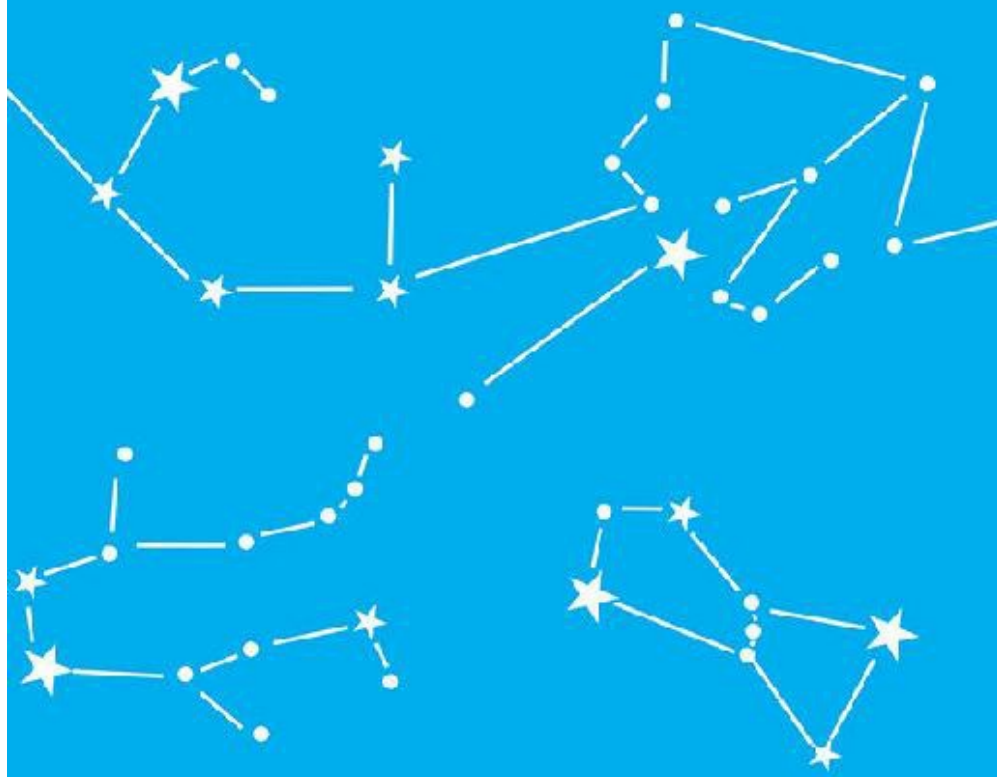
[宇宙的时间与人的时间](#)

[后记](#)

[返回总目录](#)

Part 1

浪漫的天文学故事



看到流星的方法

流星的真面目

你见过流星吗？

有人说，在流星消失之前许三次愿，愿望就能够实现。这种说法之所以会出现，恐怕是因为流星总是神出鬼没，没有人知道它会在何时何地出现，而流星现身的时间也非常短暂。

实际上，流星发光的时间基本上只有0.2秒。0.2秒的时间连许一次愿望都会很困难。但是，天空中有时会划过被称作“火流星”的极为明亮的流星，它的存在时间可长达1~2秒。这时候就是许愿的好时机了，不要着急，安心许愿吧。

流星，是存在于宇宙空间中的直径1毫米到数厘米的尘埃，当它撞入地球的大气层时，大气层和气化的尘埃就会发光，形成流星。

流星的前身，也就是宇宙尘埃，它的精确质量并不为人所知。如果去收集地球外宇宙空间中的尘埃，就会发现，它们中的大多数并不像子弹或沙砾那样坚硬而致密。那些尘埃就像是棉花或是房屋内的粉尘一样轻柔。由此，人们猜测，大多数流星的重量，应该在0.1克，最重也应当不超过1克。

流星的前身物质的质量，还可以从它化作流星后在大气中发出的光能来估算。0.1克到1克这个质量的范围，和估算结果以及所获得物质（即流星尘埃）的重量推算值也基本吻合。

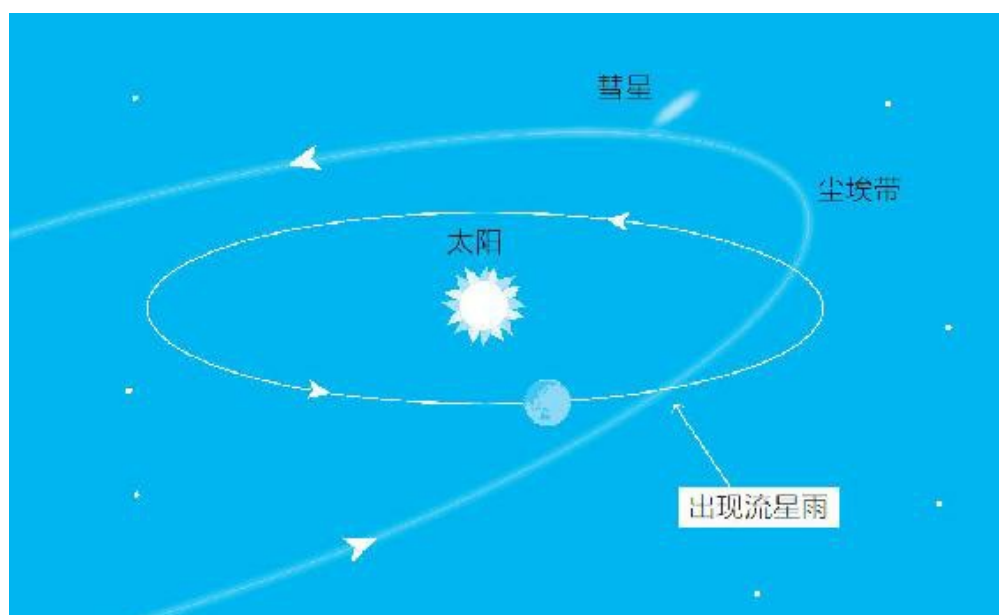
同时，流星当中也有一些陨石最终会落在地面上。有些质量很大的

物质，在极个别的时候也会化作流星，流落到地球上来。

流星的原理

流星可以分为偶发流星和流星雨两种。偶发流星会在何时何地出现，是完全无法预测的。而流星雨则是在某一特定时期，从同一个方向四面八方散去的流星。

◆流星雨产生的原理



流星雨发射出来的方向被称为放射点（或称辐射点）。这一放射点位于哪个星座，则决定了流星雨的名字。

在彗星接近太阳时，彗星的通道（轨道）上会发射出尘埃。尘埃的群团如果和地球的轨道产生交集，那么在地球经过轨道交点时，无数的尘埃粒子就会飞入大气层。

每一年地球横穿彗星轨道的时机基本上都是一定的。因此，每年在特定的时期（某几天之内）会出现特定的流星雨。1月的象限仪座流星

雨、8月的英仙座流星雨、12月的双子座流星雨被称为三大流星雨，出现时期十分稳定，流星数目也很多。

而狮子座流星雨虽然在2001年出现过一次大爆发，但每年的流星数目会出现极大的差异。狮子座流星雨的母体彗星是坦普尔-塔特尔彗星，其公转周期约为33年，是一颗比较年轻的彗星，轨道上的尘埃也并不均一，大约以33年为一个周期，流星的数目有时多有时少。较为稳定、年年出现的流星雨，一般是围绕太阳公转时间较久的小天体释放出来的尘埃形成的。

较为稳定的流星雨，当属英仙座流星雨和双子座流星雨。

英仙座流星雨的母体彗星是斯威夫特-塔特尔彗星，其公转周期约为130年。双子座流星雨的母体彗星是小行星法厄同。虽然现在法厄同并不像彗星那样会产生许多的挥发性物质，但是人们推测它过去曾具有许多彗星的特征。

如何提高看到流星的概率

接下来，要讲解的是观察流星的方法。

观察流星并不需要单筒或双筒望远镜。使用望远镜的话，视线范围将会变得狭窄，并不适合一般观察流星的情况。观察流星时，肉眼观察即可。

◆每年常出现的主要流星雨

流星雨名称	出现时间	极大期	母体彗星	出现量
象限仪座	1月2~5日	1月3~4日	未确定	★★★
4月天琴座	4月20~23日	4月21~23日	1861 I	★★
水瓶座 η	5月3~10日	5月4~5日	哈雷	★★★
水瓶座 δ 南	7月27日~8月1日	7月28~29日	不明	★★
摩羯座	7月25日~8月10日	8月1~2日	不明	★
英仙座	8月7~15日	8月12~13日	斯威夫特—塔特尔	★★★★★
天鵝座 κ	8月10~31日	8月19~20日	不明	★
猎户座	10月18~23日	10月21~23日	哈雷	★★
金牛座南	10月23日~11月20日	11月4~7日	恩克	★★
金牛座北	10月23日~11月20日	11月4~7日	恩克	★★
双子座	12月11~16日	12月12~14	法厄同 (小行星)	★★★★★
小熊座	12月21~23日	12月22~23	塔特尔	★

※出现时间为流星雨出现较多的时期，在这一时间段前后也多少会出现。表中提及的为每年都

会出现的流星雨。

首先，从来到室外到双眼习惯黑暗的环境，最少需要持续观察15分钟。人类的瞳孔在明亮的地方会变小，而在昏暗的地方则会变大，适应周围的环境需要一定的时间。每个人所需时间不同，但是一般建议不要让地面上的明亮光源（如水银灯、霓虹灯招牌等城市里的照明，或是汽车的前照灯等）直接进入视线，并保持10分钟以上，这样一来，双眼的敏感度就会提高。

其次，我们无法预测流星会从天空中的哪个方向飞来。即使是流星雨，它的放射点也未必一定就在星座附近，因此不必在意观察地点。避开有霓虹灯或明亮月光的地方，观察起来会更容易。

流星雨中的流星，如果是自放射点附近飞出的，速度一般较慢，飞行距离也较短。而远离放射点发散出来的流星，通常移动速度较快，会在天空中划出一道长长的尾巴。因此，只要能够找到放射点的位置，就能够预测出流星雨会从什么地方，以什么样的速度向四面八方发散而出。

观察流星时，冬季要注意保暖，不要感冒；夏季要注意驱虫，避免叮咬。最重要的一点，记得放松心情，尽情享受。

月亮上也有山脉和海洋

探寻月亮的起源

月亮究竟是如何诞生的呢？其实，直到今天，人们都没能完全解开月亮诞生的秘密。

自古以来，关于月亮的诞生就存在诸多说法。“同源说”认为月亮是地球的兄弟行星，是和地球一起形成的。“捕获说”认为月亮原本是一个偶然间飞过地球附近的小天体，被地球的引力所捕获后，开始环绕地球运动。这两种学说如今都已经被彻底否定了，只有“撞击说”较为令人信服。

现如今人们在月球探测时，也正不断寻找月球起源的证据。人类再次造访月球，将会是多少年之后的事情呢？不知道你想不想要去月球看一看呢？

自1959年苏联的月球2号撞击月球之后，美国和俄罗斯向月球发射了无数的无人探月器。美国在20世纪60年代至70年代实施的载人航天“阿波罗计划”，带回了许多月球上的石块。科学家对这些石块进行的分析表明，月球表面的成分和地球地幔的组成成分十分近似。

也就是说，在太阳系形成之初，一个火星大小（约为地球质量的十分之一）的天体撞击了地球，破坏了地球表层，四散的撞击碎片迅速集合起来，最终形成了月球。

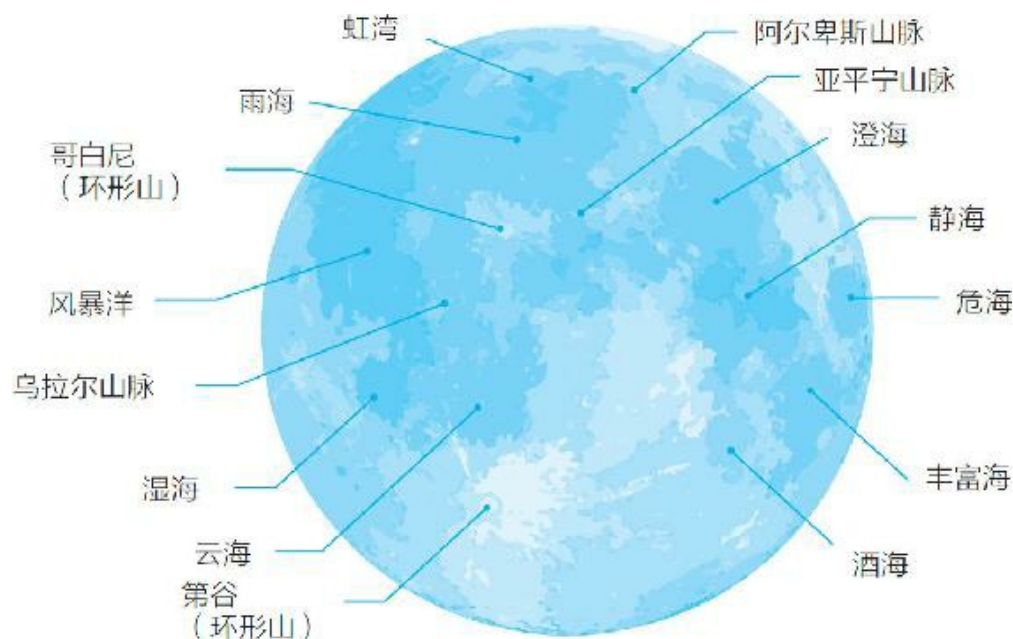
最近，人们还推测出，火星的两颗卫星可能也是因为超级碰撞事件而形成的。

月球上也有地名

继俄罗斯、美国之后，向月球发射探月器的就是日本。1990年，日本宇宙科学研究所（现为JAXA宇宙科学研究所）发射的“飞天”探测器就证实了先进的绕行星变轨法（利用行星重力来进行加速的方法）。

不仅如此，JAXA于2007年向月球发射了绕月卫星“辉夜姬”，对月球进行了详尽的调查。辉夜姬的成果中十分值得一提的一项，便是它通过激光测高仪描绘出了极为精确的月面地形图。地形图的数据已经在日本国土地理院的网站上公开了。

◆月球的地形与主要地名



我们在用肉眼仰望月亮时，能够看到月球表面有着黑色的斑块。这些斑块是月球上的一种地形，名叫“月海”。在日本，人们自古以来将其看作是月兔在打年糕的样子。在其他国家，有的地方把月海看作是螃

蟹、女性的侧脸、读书的老奶奶、咆哮的狮子等，对月海的想象各有不同。

通过使用天文望远镜或是双筒望远镜，我们能够看到月球上的环形山、山峰、峡谷等丰富多样的地形。但是你知道吗？这些地形分别有着自己的名字。

环形山是陨石坠落后形成的凹坑，每一座环形山都以天文学家的名字命名。其中，以其庞大而引人注目的便是“第谷”和“哥白尼”，它们并称为两大环形山。环形山上有着被称作辐射纹的呈放射线状延伸的亮带，更加凸显了两大环形山的存在。

而月球上隆起的部分叫作月球山脉。它们也常以地球上的知名山脉来命名，尤其是“亚平宁山脉”和“阿尔卑斯山脉”，都非常显眼，很容易观测。

令人意外的是，这些地形在满月的时候反而会看不清楚。在月亮开始由圆转缺，太阳光斜照之时，月球表面的凹凸起伏被打上了光影，看起来会更加立体。

人类在月球上留下的第一个脚印，也就是阿波罗11号于1969年在月球着陆的地点，位于“静海”。虽然叫作“海”，但静海里并没有水。月海是由巨型天体撞击月球，使得月球内部岩浆涌至月球表面后扩散形成的熔岩地貌。在月海形成后，又有很多陨石撞击月球，形成大小各异的环形山。

月球上闪耀着白色光芒的“月陆”部分凹凸起伏较为明显。因此，人类在第一次登上月球的时候，没有选择较为危险的“月陆”，而是选择在相对安全的“月海”着陆。

月球的内部是不均匀的？

辉夜姬号的另一大成果，便是弄清楚了月球内部的密度分布。辉夜姬号仔仔细细地调查了月球整体的重力分布。探测器在绕月飞行时，在重力较大的地方会受到引力影响，飞得较低；反之，在重力较小的地方探测器就会飞得较高。凭借这一方法，辉夜姬号找出了月球上重力存在异常的地点。

月球内部的密度越小，重力便越小；密度越大，重力也会越大。

调查结果显示，月球正面（面向地球的一面）与背面的重力分布存在明显差距。原因在于月球内部的构造并非是像地球一样的同心圆，其内部结构分布并不均匀。

假设月球在形成时没有受到地球的影响，那么它应当同大部分天体一样，内部呈同心圆结构。这一事实也佐证了前面提及的“超级碰撞说”。

至今人们仍在继续分析辉夜姬号收集的庞大数据。阿波罗号在月球架设的地震仪的记录数据和辉夜姬号的数据分析表明了一个新的可能性，月球内部可能存在着和地球外核相同的液体层。

阿波罗号抵达月球之后，在美国、俄罗斯、日本之外，还有中国的嫦娥1号（2007年）、嫦娥2号（2010年）、实现月面软着陆的嫦娥3号（2013年）、实现首次月背软着陆的嫦娥4号（2019年1月），以及印度的月亮飞船1号（2008年）等许多探月器在调查着月球的奥秘。

北极星会移动？

如何找到北极星

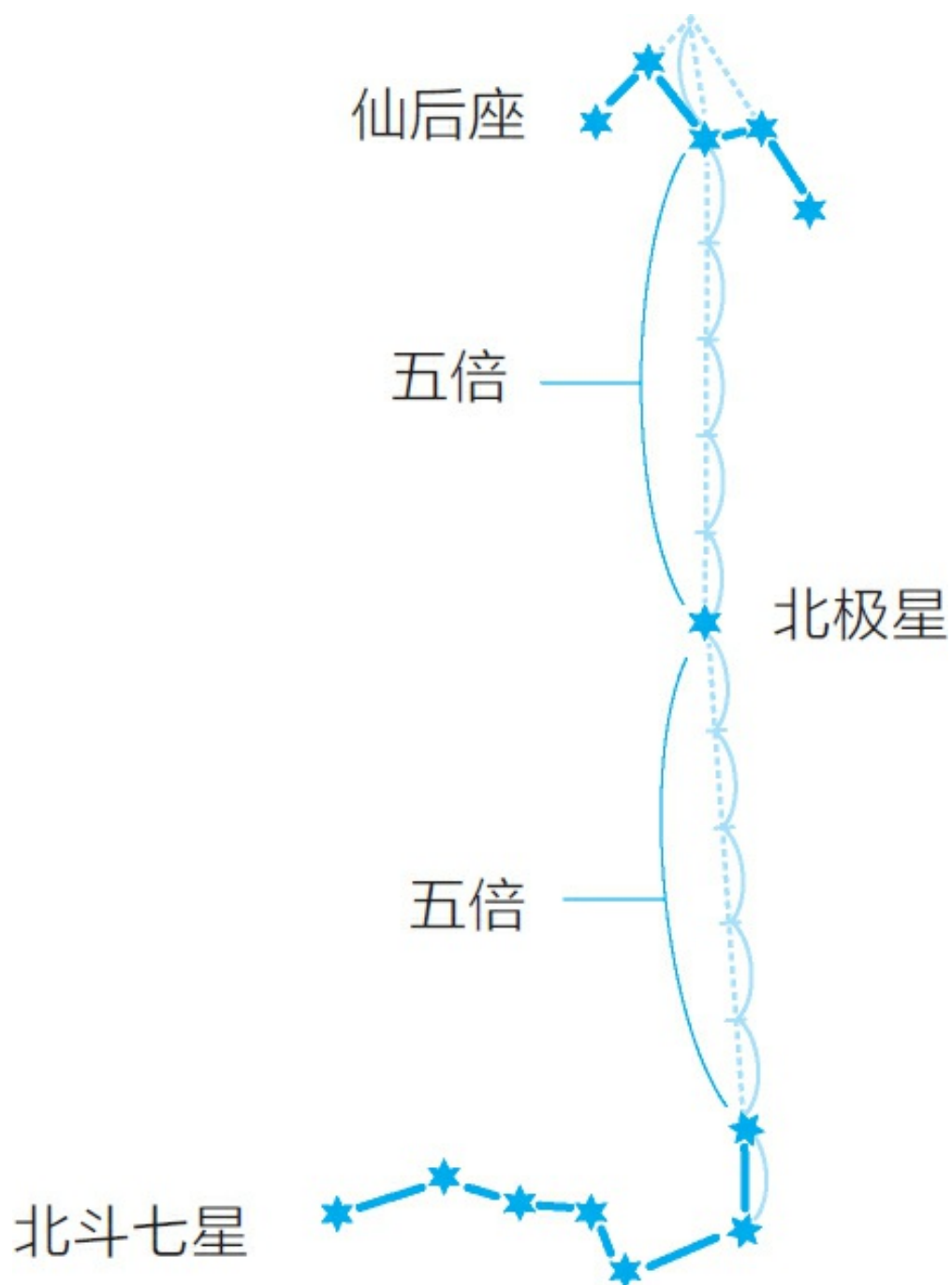
有一颗星星永远出现在天空中的同一个位置，那就是在正北的星空中闪耀的北极星⁽¹⁾。它的英文名称是Polaris。它可谓是旅行者的“路标”，十分可靠。

但是，有多少人能在夜空中找到北极星呢？

在北天观测时，比较容易找出的便是北斗七星和仙后座的排列。许多明亮的星星以集聚的方式排列成特定形状，很少会看错。尤其是北斗七星，它虽然是大熊座的一部分，但它的排列方式非常容易认出来。它有着6颗2等星⁽²⁾和1颗3等星，组成了勺子的形状。

利用北斗七星，我们可以很轻松地找出北极星。顺着北斗七星中勺口外侧的两颗星连线，将其向外延长约5倍的距离，能够看到一颗闪耀的2等星。它，就是北极星。

◆找到北极星的方法



而利用隔着北极星与北斗七星遥遥相对的仙后座，也能够找到北极星。仙后座成W字形状，亮度上较北斗七星稍弱，但也是一个比较容易找到的星座。通过上图所示的方法，能够利用仙后座找到北极星的位置。春夏两季的北斗七星，秋冬两季的仙后座在星空中会处于一个比较

容易找到的高度，请务必尝试一下。

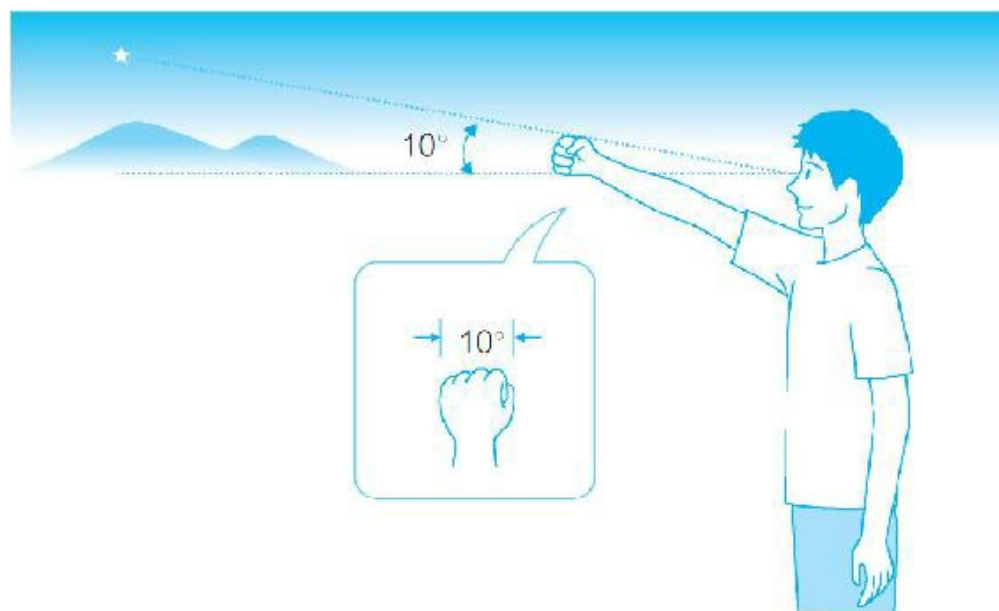
北极星是位于小熊座、距地球约434光年的恒星（像太阳一样能够自己发光的星体）。因为它位于北极点的正上方，所以即便地球自转，北极星的方向也不会变。北极星的正下方，也就是地图上所指示的北方。

通过北极星可以算出纬度

北极星能给人们带来的便利还不仅于此。我们还可以通过北极星的高度计算出自己在地球上所处的纬度（北纬）。那么，就让我来介绍一下吧。

将手臂伸直，握紧拳头，这时，一个拳头所占据的角度大概有 10° 。找到北极星之后，便可以用拳头的数量来测量从地面到北极星之间的高度。从东京测量的话，北极星大概有三个半拳头那么高，北海道则是四个到四个半拳头，如果在冲绳测量的话应该是两个半到三个拳头。东京位于北纬 35° ，北极星的高度正好代表了当地的纬度。

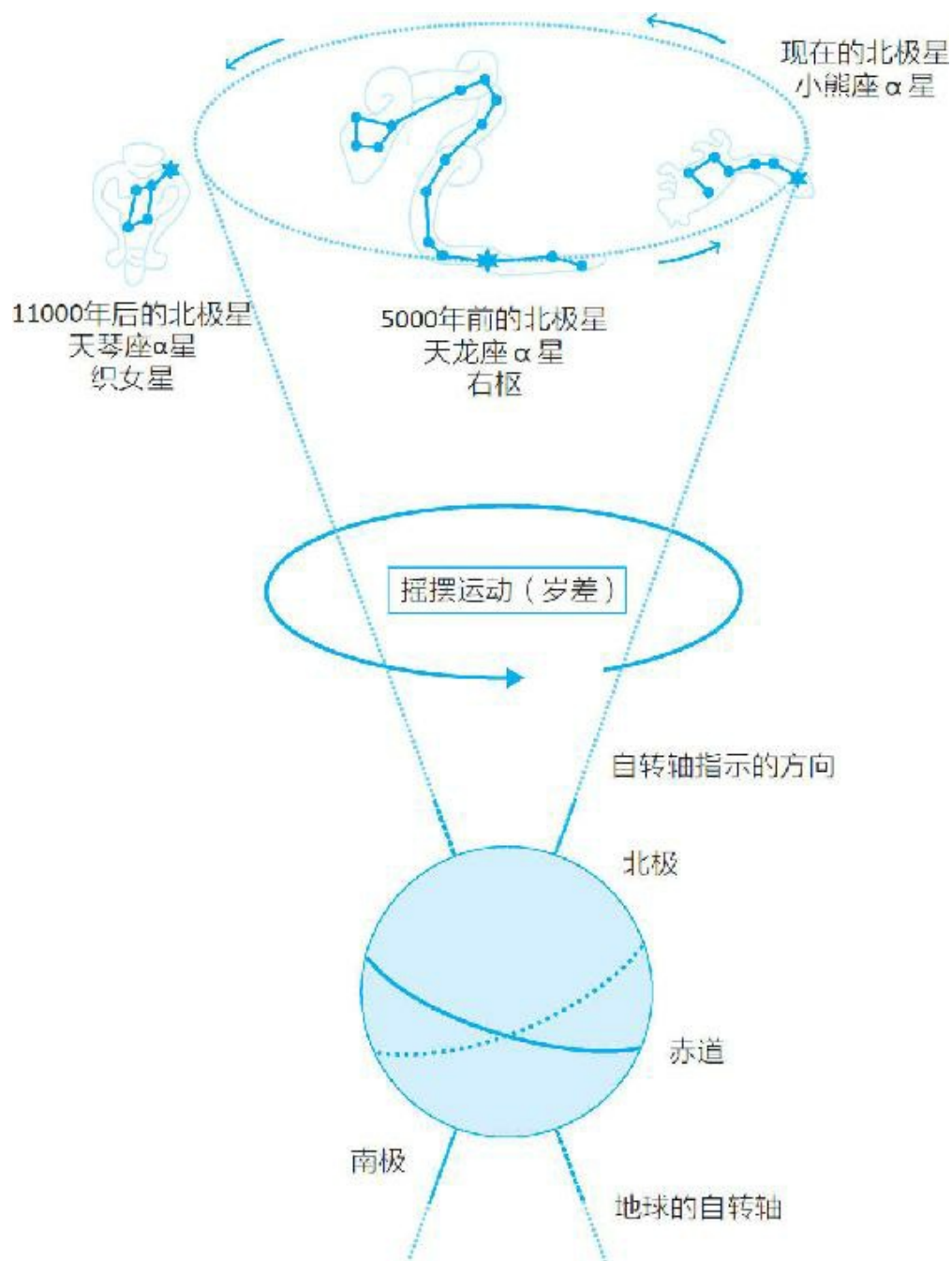
◆利用拳头测量纬度的方法



金字塔时代的北极星

埃及的金字塔虽然建于无法准确测量方向的年代，却刚好是按照正南、正北的方向修建的。这可能是因为他们利用星星作为标记来确定方向。那么，他们是否也利用了北极星呢？

◆北极星随着地球的岁差运动发生改变



实际上，吉萨大金字塔（法老胡夫之墓）建于公元前2500年前后，而如今的北极星当时正处于正北偏西20度左右的位置。难道说，北极星的位置移动了吗？

以北极星为代表的恒星并不会轻易改变自己在星空中的位置。那这

究竟是怎么一回事呢？其实，并非是北极星移动了，而是地球一直在以地轴为中心摇摆。这种摇摆现象被称作“岁差”。

地球受到月球、太阳的引力作用，以约26000年的周期自转轴倾角进行漂移。岁差运动与陀螺一边摇摆一边转动的样子很像。因此，从地球上来看，天上的星星看起来就像是以26000年为周期不停移动着一样。

如今，小熊座 α 星距离北天极很近，因此被称作北极星（Polaris）。但北天极的位置上并非总是会有星星。实际上在2016年的时候，准确地说，北极星是位于偏离北天极1度左右的位置上的。

埃及金字塔建造之时，天龙座 α 星右枢就曾闪耀在北天极附近。而在11000年以后的将来，明亮的0等星——织女星（天琴座 α 星）将会成为指示北极的星星。

[\(1\)](#) 严格来说北极星并非位于正北，只是星空中距离北天极最近的一颗星。（译者注）

[\(2\)](#) 为了表示星星的亮度，人们用“星等”给全天的星星划分了等级：肉眼可见的最暗的星为6等，最亮的为1等。（编者注）

夜空中明明有无数星星为什么还是很黑暗？

奥伯斯佯谬

为什么到了晚上，天空会变得昏暗呢？

白天很亮是因为有太阳，晚上很黑是因为太阳下山了，月光和星光都比阳光要暗很多——乍一看，这是一个小学生都能够回答的简单问题。

然而，仔细琢磨一下就会发现，夜空如此黑暗其实是一件非常不可思议的事情。在宇宙中有着无数的星星。这无数繁星虽然看起来很小，但都在星空中占据了一席之地，在星星与星星之间的间隙中也一定有着更远的星星存在，整个星空应当布满了星星，明亮耀眼才对。

举个类似的例子。当我们走到森林深处观察四周时，在每两棵树之间都有更远处的一棵树填补树与树之间的间隙，所以我们完全看不到森林外面的景象。

◆夜空中布满了星星，就像森林中的树木一样



这一矛盾现象，借生活于18至19世纪的德国天文学家海因里希·奥伯斯（1758～1840）之名，被称为“奥伯斯佯谬”，是天文学上的一大难题。

夜空在理论上应该是明亮的

那么，让我们来了解一下星体的亮度。太阳比其他星体看起来更亮，并不是因为它的性质有什么特别，而是因为它和我们之间的距离非常之近。太阳的亮度为-27等⁽¹⁾。

有一种表示星体亮度的单位叫作“绝对星等”。绝对星等指的是假设所有恒星都距离我们32.6光年（光年为光一年可以传播的距离）时恒星的亮度，数字越小，星体越明亮。太阳的绝对星等是5等。这个亮度在宇宙中非常平凡。

星体的亮度与它和我们之间距离的平方成反比。例如，绝对星等为1等的星体如果距离我们326光年，它的距离就是32.6光年的10倍，亮度便是绝对星等的百分之一，看起来就是6等星。

反之，同一颗星星如果距离我们3.26光年，它的亮度就和-4等星（和金星亮度相同）相当，看起来会十分明亮。

那么，如果将整个星空中的星星都考虑进来，又会怎么样呢？

假设天气条件良好，在星空较暗的地方，视力好的人凭借肉眼能够看到的星体的亮度为视星等为6等的星体。而到6等星为止，肉眼所能看到的星体总数在全天中约有5600颗。而我们能看到的是星体地平线以上、全天中总数的一半，因此在晴朗无月的夜晚，我们凭借肉眼能看到将近3000颗星星。

使用望远镜的话，又能看到多少星星，它们的亮度又如何呢？凭借望远镜，我们能够观测到比肉眼可见的6等星更暗淡的星星。即便只使

用市面上流通的直径8厘米左右的天文望远镜，在理想条件下也能够看到12等星。这样一来，全天中可见的星体便有200万颗。

不仅如此，如果使用位于夏威夷的冒纳凯阿火山的8.2米口径的昴星团望远镜的话，用眼观察可以看到18等星，那么在理论上是能够看到3亿颗星星的。

这样一来，奥伯斯的主张：“虽然距地球越远星体亮度越小，但星体数量也会等比例增加，夜空应当是明亮的。”听起来仿佛没什么问题。但事实上，夜空是黑暗的。究竟是什么导致了这一矛盾呢？

探寻奥秘的种种学说

对于奥伯斯佯谬最为直截了当的解释便是，所有恒星都是以地球为中心按照一定规律排列的。也就是说，每一颗恒星都是排列在前一颗恒星之后的。

但宇宙的中心并非地球，恒星也并没有任何理由按照这种规律排列，因此这一理论被否定了。

而还有一种流传很久的说法认为星体的光芒在传播到地球的过程中会逐渐减弱。其实，宇宙空间并非完全真空，而是散布着被称作星际介质的气体和尘埃，会吸收或散射星体散发出的光线中极为微量的一部分（被称作星际吸收）。

星际介质具体而言，指的是散布在恒星之间的分子云、暗星云等物质。99%是由氢、氦组成的气体物质，其余约1%为碳、铁组成的尘埃，因为尘埃会吸收光，因此星体距离地球越远，光芒越弱。

星际介质沿银河系（银道面）大量分布，实际上我们凭借可见光确实很难彻底看穿这一方向上存在的物质，但在银河系以外我们却能够观察到非常远的地方。也就是说，单纯依靠星际吸收并不能完全解答夜空黑暗的问题。

推理作家解开的夜空奥秘

最早接近奥伯斯佯谬之解的人，是一位出人意料的人物，他就是19世纪的美国作家埃德加·爱伦·坡。因为《莫格街凶杀案》以及江户川乱步 [\(2\)](#) 笔名由来广为人知的这位作家，在晚年发表的《我发现了》（EUREKA）中曾这样写道：

假设星星是连续不尽的，那么天空的背景将因为众多星系而呈现一致的光亮——因为背景中不存在任何一处没有星星的地方。而在此情况下，我们仍能通过望远镜找到许多没有繁星的空虚之处，唯一的可能性便是，我们目不可视的背景距离我们过于遥远，那里的光芒直到如今仍未能到达我们面前。

[美]爱德华·哈里森著，[日]长泽工监译《黑夜：宇宙的一个谜》

1929年，美国天文学家爱德文·哈勃，发现距离我们越远的星系便以越快的速度在离我们远去。宇宙深处的星系的后退速度已经超越了光速，因此那里的信息是无法传播到地球来的。也就是说，正如爱伦·坡所考虑的那样，在宇宙中是有一堵墙的（地平线），因此我们无法透视到无限远的地方。



爱德文·哈勃

(1889~1953)

宇宙确实在发着光

宇宙有地平线吗？为了回答这一问题，让我们回到宇宙起源之时。

现在较为有力的大爆炸宇宙论是于20世纪40年代被提出的。宇宙大爆炸学说认为宇宙是在名为大爆炸的相变⁽³⁾中以火球的形态诞生的。宇宙在大爆炸之后不断膨胀，产生了氢、氦等元素的原子核，电子在宇宙空间四处飞舞。电子妨碍了光子的前进，使得光无法直线传播，宇宙内一片混沌。

宇宙在不断膨胀的过程中，温度逐渐下降，电子的运动能量也随之下降，并被氢、氦等元素的原子核吸收。由此，一直以来被自由运动的电子妨碍的光子得以在宇宙空间内直线传播。这一瞬间被称作宇宙的放晴。

那么，当时被释放到宇宙中的光怎么样了昵？

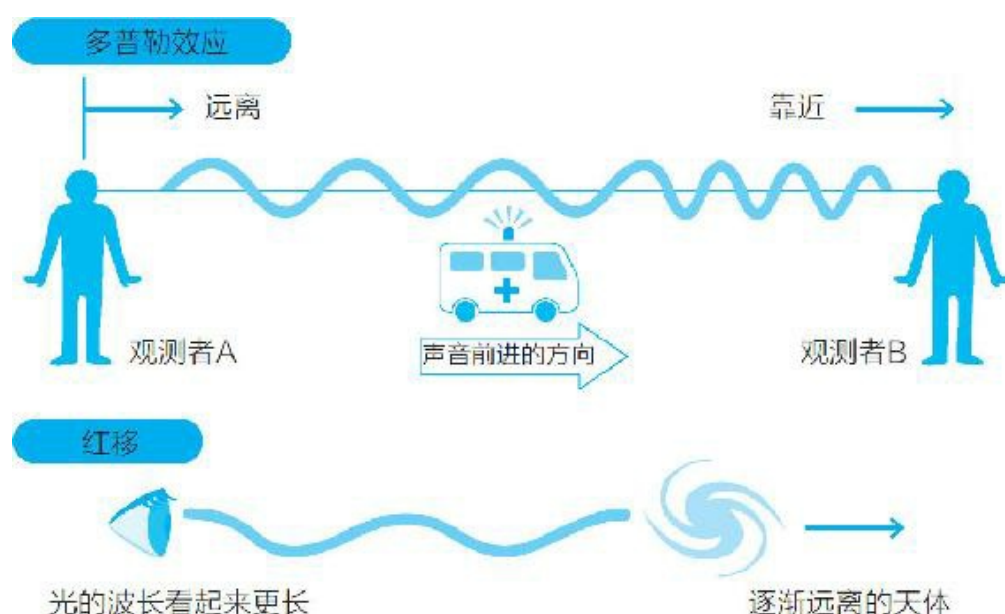
如果它是像如今的肉眼可以看到的光（可见光）那样在宇宙中直线传播的话，对身处地球的我们来说整个夜空应该都是明亮的。然而事实却并非如此，这是有原因的。被释放的光因为“红移”转为了不可见光，也就是成为电波。

红移与多普勒效应

“红移”这个词对大家而言听起来应该很陌生。在学生时代，应该有人在物理课上学过“多普勒效应”这个词。

假设有一个物体正在放射音波或电磁波（光），它接近我们时，波幅较窄、波长较短。反之，在远离我们时，它的波幅较宽、波长较长，这就是多普勒效应。

◆红移与多普勒效应



大家应该都听过救护车警报器的声音。救护车靠近时的声音听起来会比救护车经过后远去时的声音高。如果你在水池里看到了鼓虫，一定要仔细观察它在水面上激起的波纹。鼓虫前进方向的波纹幅度会较窄，它身后的波纹间的间隔会较宽。这也是多普勒效应。

星光也是同理。随着宇宙的膨胀，天体会逐渐远离。为此，在宇宙

中被高速释放的光，从地球上观察时，波长就会被拉长，看起来也会很红。这被称作“红移”。宇宙大爆炸之后的138亿年里，光的波长已经被大幅拉伸，如今的光不再只是红光，已经超过了红外线的领域，成了绝对温度（即，热力学温度）约为3K（270℃）的电波（微波），从宇宙的各个方向传播至地球。这被称作“宇宙背景辐射”。

1965年，美国贝尔研究所的彭齐亚斯和威尔逊发现了宇宙背景辐射，它正是笼罩了整个天空的光。然而，随着宇宙的膨胀，它的波长已经达到了我们的双眼无法观测的程度。如果我们的双眼能够看到微波的话，夜空一定会像奥伯斯说的那样是十分明亮的。

星星的寿命很短

奥伯斯佯谬，也就是夜空之所以黑暗，还有另一个理由。想要仅靠肉眼可见的星光照亮夜空的话，现有的天体的年龄（宇宙的年龄）太年轻了。

发现这一点的是活跃于19世纪下半叶的英国科学家威廉·汤姆森（后为开尔文男爵）（1824~1907）。在宇宙中不断有天体诞生，如果所有的天体都能够永远闪耀下去，那么因为宇宙中会诞生无数天体，每个天体都能够永远闪耀，那么在理论上，夜空应当是明亮的。

然而实际上，能够闪耀的天体的寿命为数千万年至数亿年，寿命较长的昏暗的天体也不过百亿岁左右。在宇宙诞生之后的138亿年里，不断有天体诞生，也不断有天体死亡。因此，宇宙中的天体不会无限增加，夜空也并不会被照亮。

汤姆森发现，想要仅凭恒星的光亮照亮夜空的话，那么恒星的寿命实在是太短了。他通过物理学计算证明，如果不把宇宙扩大至如今的10万亿倍或是极大地增加天体的密度、延长星体的寿命，那么夜空是不可能变得明亮的。

仅凭天体亮度无法照亮夜空这一事实，可以说也证明了宇宙和天体的寿命都是有限的。



(1) 这里指的是太阳的视星等，具体为-26.71等。

(2) 江戸川乱歩，本名平井太郎，是日本最负盛名的推理作家、评论家，被誉为日本“侦探推理小说之父”，代表作《名侦探柯南》。江戸川乱歩的作家的笔名，在日语中的发音为“Edogawa Ranpo”，是埃德加·爱伦·坡的谐音。（译者注）。

(3) 物质从一种相转变为另一种相的过程。物质系统中物理、化学性质完全相同，与其他部分具有明显分界面的均匀部分称为相。与固态、液态、气态对应，物质有固相、液相、气相。（编者注）

勇者俄里翁的右肩消失之日

猎户座的红色1等星

日本人最为熟悉的天体排列，除了北天的北斗七星之外，据说就是冬日之王猎户座了。它由2颗1等星和5颗2等星组成，呈鼓形，形态极具特点，只要记住了就不会再忘记。

位于勇者俄里翁⁽¹⁾腰带位置的参宿三星⁽²⁾从东方的地平线呈纵向排列升起，又呈横向排列经过南天高处。也就是说，随着星座的移动，它在东方、南方、西方的天空中被观测的角度也会不同。记得去观察随着时间变化而改变倾斜角度的勇者身影哦。

猎户座中有一颗恒星，在不远的未来很可能会经历超新星爆发而备受关注。那就是猎户座的红色1等星参宿四。它和大犬座的天狼星、小犬座的南河三一同构成了冬季大三角，是全天中第九亮的恒星。

◆猎户座与参宿四



一般而言，恒星在生命结束后，会膨胀起来，形成红巨星，质量较小的恒星会变为行星状星云然后成为白矮星，质量较大的恒星则会经历超新星爆发最后成为中子星或黑洞（[参见此处](#)）。

参宿四是直径约为太阳的1000倍的一颗红色超巨星。如果将参宿四放在太阳的位置上，它的大小甚至能够抵达木星附近。根据哈勃太空望远镜的观测可以得知，参宿四的直径每年都在发生变化，表面也并不平滑，而是坑坑洼洼的。人们由此判断，参宿四已经进入了生命的末期，从它的质量来看，它一定会经历超新星爆发，并由此结束自己的一生。

参宿四已经爆发了？

人类已经目睹过了超新星爆发。比如位于金牛座牛角处的蟹状星云（M1）就是于1054年爆发的超新星残骸。1054年，爆发之时，超新星的光芒在白天都能够看到，持续时间长达数天，歌人藤原定家在自己的日记《明月记》中将其作为传言记录了下来。这一次爆发，在中国的文献中也作为“客星”被记录了下来，但奇怪的是，包括欧洲在内的世界各国却没有留下任何记载。

据预测，在我们所居住的银河系中，平均每一百年会发生一次超新星爆发。但不巧的是，在天文望远镜发明之后的四百年里，并没有出现明亮的超新星。

位于俄里翁右肩的参宿四自古以来在日本被称作“平家星”，和同样位于俄里翁左腿处的“源氏星”（参宿七）一样为人所熟知。

天文学家们正时刻关注着猎户座的高龄天体——参宿四迎来演化末期的时刻。地球距离参宿四640光年。这将是人类历史上第一次目击如此近距离的超新星爆发。

这不仅会为我们揭开尚未完全弄清楚的超新星爆发的原理，还可能为“构成我们身体的元素究竟是从何起源”提供重要线索，人们都对此抱有极高的期待。

我们甚至有可能在今晚就目睹参宿四爆发，不过大多数天文学家都认为它将会在百年内爆发。参宿四一旦爆发，将会在三四个月之内都保持着高达满月100倍的亮度，在白天也能够清楚地看到。不过，在爆发四年后它的亮度将降低到肉眼无法观测的程度，也就是说巨人俄里翁将

失去他的右肩。

然而，太阳系到参宿四的距离约为640光年。这一距离光要传播640年才能抵达，因此即便参宿四发生了超新星爆发，我们在640年内都不会发现这一事实。因此，很有可能参宿四目前已经爆发了。

[\(1\)](#) 在古希腊神话中，俄里翁是一位年轻英俊的巨人，是海神波塞冬的儿子。他能在海面上行走，臂力过人，喜欢整天穿梭在丛林里打猎，一条忠诚的猎犬紧紧跟随着他。死后，他化作了猎户座。（编者注）

[\(2\)](#) 也称“腰带三星”，指参宿一（猎户座ζ）、参宿二（猎户座ε）和参宿三（猎户座δ），有时也称“三星”。（译者注）

只能在旅途中看到的夜空

日本是天文台大国

眺望满天繁星——住在城市里的人是很难有这样的机会的。

在人造卫星拍摄的日本列岛的照片中，能够看到由街灯、公路、铁路的灯光描绘出的日本列岛的轮廓。搭乘夜班飞机的人也可能会注意到，在日本绝大多数地区，即便是夜晚也会充斥着住宅、商业街、公路、运动场夜间照明的灯光。

也许有人想要离开日本，前往拥有美丽星空的新西兰和北欧各国。其实，哪怕不出国，在日本国内也有几处好地方能够欣赏到美丽的星空。

日本全国面向公众开放的天文台，也就是公共天文台有超过400家。公共天文台之多，可以说形成了日本特有的文化。日本的邻国韩国，据说只有50家左右。除日本外，提到“天文台”那就是大学、研究机构附属的研究设施。日本人也许是全世界最喜欢星星的。

全世界最大的公共天文台是日本兵库县的西播磨天文台。西播磨有着全日本口径最大的2米反射望远镜。通过它，可以观测到肉眼看不到的遥远宇宙。如果说西播磨的天文台是日本西部之最的话，县立群馬天文台便是日本东部之最了。群馬天文台也有着1.5米的反射望远镜。

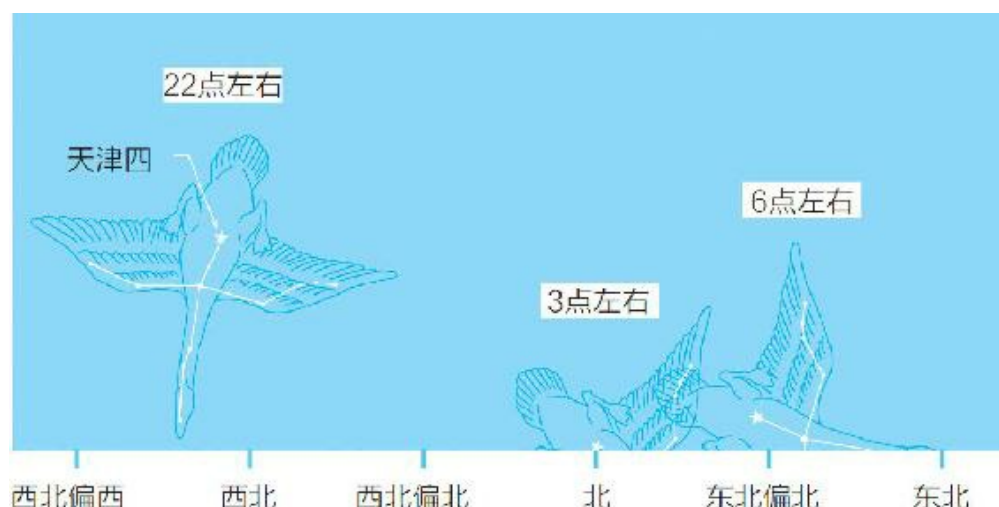
日本最北端与最南端的星空

我曾经到访过的最北部的日本公共天文台是北海道名寄市立天文台北昴。这是一家于2010年开放的市立天文台（北纬44°22'）[\(1\)](#)。这家天文台十分特别，经常举办各种各样的音乐演出。

最令我震惊的是，天鹅座的1等星天津四一年之中从不会落到地平线以下。在日本的大部分地区，从夏季夜空的正上方划过的都是夏季大三角中的天琴座织女星，但在北海道，从正上空划过的却是天津四。

包括天津四在内的天鹅座中的星星的排列被称作“北十字”，在日本的多数地区，每到秋季“北十字”便会从西方的天空落入地平线。但在高纬度的名寄，位于“北十字”顶端的天津四却是一颗永不降落之星，也即是一颗“周极星”。

◆在名寄的冬季夜空中看到的天津四



而我所到过的最南方的日本公共天文台是位于冲绳县石垣岛的“石

垣岛天文台”。这也是一个很有特色的天文台，由石垣市、国立天文台等六方共同运营。

它位于北纬24度22分⁽²⁾，比北海道名寄的纬度要低20度。石垣岛天文台的特点便是口径1.05米的“Murikabushi望远镜”。“Murikabushi”在冲绳县的方言里是“昴”的意思。

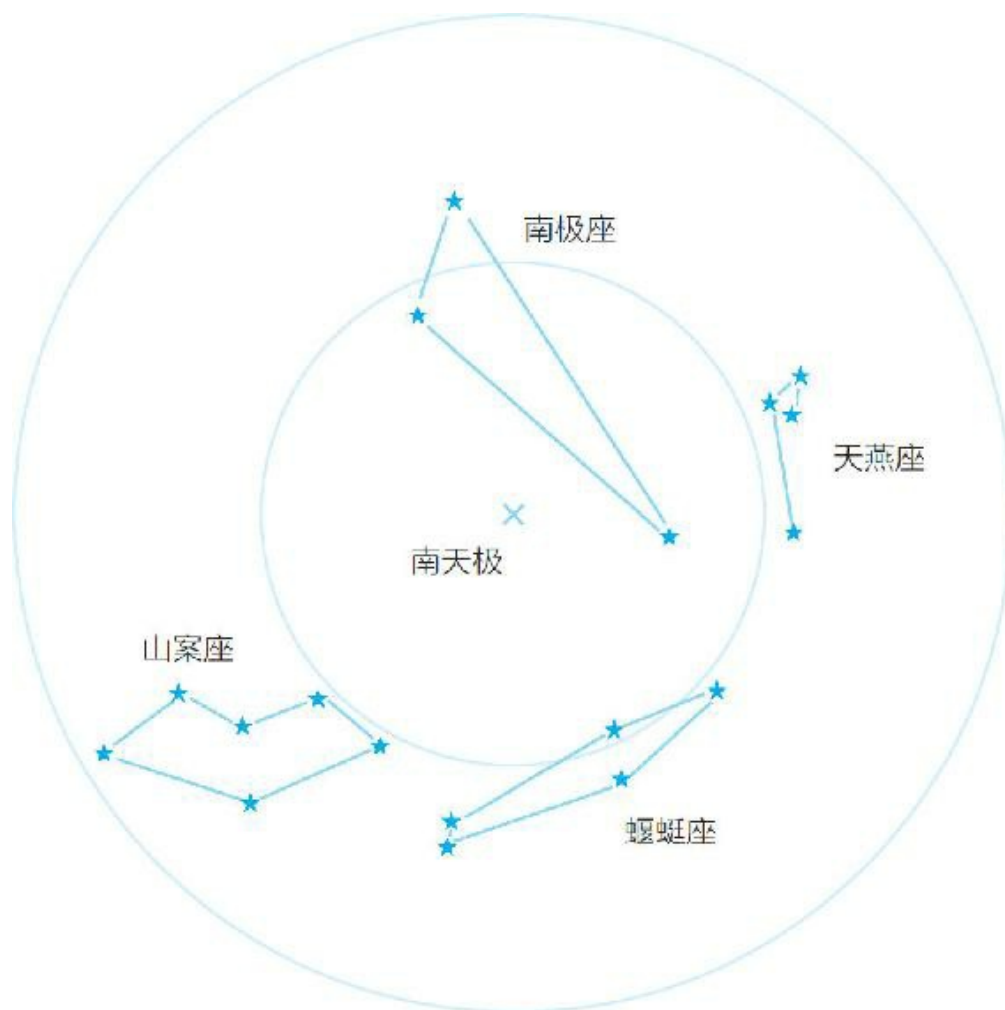
到了春天，在石垣岛能够看到南十字星（到6月中旬之前都能够看到）。想要在日本看到整个南十字星，哪怕是在冲绳县也必须南下到石垣岛附近。距离太阳系最近的恒星半人马座 α 星也能够在石垣岛看到。

哪里能够看到北极星？

全天一共有88个星座。在地球上不同经度的地区能够看到的星座虽然是一样的，但能够看到的星座随着季节会发生变化。而在不同纬度的地区，即便在同一个季节，能够看到的星座也是不同的。

例如说，南天极附近的星星，必须跨越赤道抵达南半球才能看到。为此，南天极附近的四个星座（南极座、天燕座、蠍蜓座、山案座）在日本是完全看不到的。

◆南天极附近的四个星座



与之相对的是，在南半球是看不到北极星的。站在北极点抬头向正上方看能够看到北极星，而在赤道，北极星则出现在地平线附近。

在北半球如果迷路了，可以依靠北极星。因为北极星不仅能够指明方向，它的高度也能反映我们所处的纬度（[参见此处](#)）。

全天中具有1等星以上亮度的恒星有21颗。最为明亮的恒星是大犬座的天狼星，为-1.5等星，其次便是船底座的老人星，为-0.7等星。

然而，在日本北部是看不到老人星的，南十字座的1等星（十字架二、十字架三）在日本绝大多数地区也是看不到的。日本国内只有在石

垣岛等八重山群岛才能够看到所有21颗1等星。

有些天体只有在特定的地点、特定的季节、特定的环境中才能观测到。在旅途中观测只有当地才能看到的天体，能够让人生变得更加丰富多彩。



[\(1\)](#) 位于相似纬度的中国城市有牡丹江、乌鲁木齐等。（编者注）

[\(2\)](#) 位于相似纬度的中国城市有台北、厦门等。（编者注）

火星上存在生命吗？

火星大冲

夜空中闪耀着红色的星星。有一颗特别亮的红色星星，从太阳的轨道（黄道）附近自东向南运动，最终在西方落下，它应当就是火星。

火星在冬季会出现在金牛座、双子座等南天高空中的星座，夏季则会出现在天蝎座、射手座等南天低空中的星座。火星每1.88年绕太阳公转一周（一年零十个月）。而地球则是一年公转一周，火星和地球绕太阳公转的速度是不同的。

天体运行的路径叫作“轨道”。火星和地球都按照各自的速度在轨道上运行，每两年零两个月，太阳、地球和火星会排成一条直线。按照太阳、地球、火星的顺序排列时，就叫作“火星冲日”。这时火星会接近地球。因为火星位于太阳的对面，在火星冲日时，火星就会在夜晚的南方天空闪耀。

◆火星接近地球



火星冲日之中火星最接近地球的时候叫作“火星大冲”。在大冲时，地球与火星之间的距离不过5500万千米。

而火星冲日之中地球与火星距离最远的时候被称为“火星小冲”。这时地球与火星之间的距离为9900万千米左右。即便同样是火星冲日，地球和火星之间的距离却有着这么大的差异，这是因为火星的运行轨道是椭圆形的。地球的轨道严格来说虽然也是椭圆形的，但相比于火星，地球轨道的离心率非常小。

2020年是观赏“火星大冲”的好时机。一般在火星冲日时，火星看起来会比1等星稍亮一点，而在大冲时，火星看起来会大得、亮得吓人。大冲时的火星在历史上也引发了诸多骚动。

日本在1877年爆发了西南战争，同年九月西乡隆盛自尽。当时，火星与地球之间的距离为5630万千米。火星与地球成冲日之势，以-3等的亮度在夜空中大放异彩。

妖冶赤红的炫目火星被当时的人们称作“西乡星”。许多人宣称自己在火星上看到了西乡的身影，一时传言不绝。

寻找火星

火星上有火星吗？——有许多小说、电影都曾以此为题材，是一个令人兴致盎然的话题。

19世纪末到20世纪初，美国有一位资产家名叫帕西瓦尔·罗威尔。“有人在火星表面看到了运河”这一谣传使得他对火星产生了极大的兴趣。

当时，意大利天文学家夏帕雷利（1835～1910）绘制了十分精细的火星素描。图中描绘了许多呈直线状的地形构造，夏帕雷利用意大利语中表达水渠之意的“canale”一词来称呼它。这个词被误译为英语的“canal（运河）”一词，罗威尔也因此对火星上存在能够挖掘运河的高级生物——火星——一事深信不疑。

罗威尔花费了大量私人财产，在亚利桑那州建设了私人天文台，埋头观测火星。其实在距今大约一百年前，有许多人都认为火星人是存在的。

结果，罗威尔在不知道火星是否存在的情况下，怀着对火星文明的空想去世了。人类认识到“火星上不存在火星”，还要等到20世纪60年代人类向火星发射探测器之后。

受到火星运河说的影响，英国作家H·G·威尔斯_①_于1898年出版了《地球争霸战》（*The War of the Worlds*）。这是一部讲述具有比地球人更为发达的文明的章鱼形火星进攻地球的科幻小说名作。四十年后，这部作品经著名演员奥逊·威尔斯之手，被改编为广播剧播出。

这部广播剧于1938年在全美播出，并以火星人的进攻美国为设定。在节目播出时，虽然插入了许多次说明，解释“这只是广播剧”，但这部剧依旧在全美掀起了恐慌的狂潮。有许多听众以为火星人真的来进攻地球了。

不断深入的火星探测

广播剧在全美国引发恐慌之后，到了20世纪下半叶，人类进入了开发宇宙的时代，无人探测器接二连三地到访火星。1964年，美国发射了探测器“水手4号”，成功拍摄了世界上第一张火星的近距离照片。

水手4号发回的照片中，当然既没有运河，也没有生物的踪影。火星的大气为地球的一百七十分之一，平均气温为零下23摄氏度，环境十分残酷。然而，关于“火星上是否有生命存在”以及“火星上过去是否有生命存在”的争论，直到今天尚未得出明确答案。

火星看起来很红，是因为它的表面覆盖着铁锈，也就是含有氧化铁的砂砾。火星和地球一样，地轴倾斜了25度，因此也具有四季变化。火星稀薄的大气中的主要成分为二氧化碳。

至今为止，俄罗斯、美国、欧洲等国家和地区都发射了许多火星探测器。2011年11月，NASA发射了重约1吨的火星探测器“好奇号”，并于2012年8月成功在火星着陆。好奇号为六轮驱动，具备能够攀越巨大岩石的能力。

好奇号的火星探测成果显示，火星的岩石中含有黏土和硫酸盐。黏土是颗粒极细的硅酸盐，其中应当含有水分。我们可以推断出，含有这些矿物的岩石堆积起来的时代。火星表面的水源中不含有过多盐分，酸碱度比较接近中性。

在太古时期的火星上，是否覆盖着平稳无波的海洋，是否曾经有着适宜孕育出生命的环境呢？好奇号至今为止尚未发回类似于发现了沼气等有机物或是生命痕迹的消息。但它今后的探测成果仍令人期待。

[①](#) 赫伯特·乔治·威尔斯（1866～1946），英国小说家、政治家、社会学家、历史学家，著有多部科幻小说，影响深远，代表作有《时间机器》《莫洛博士岛》《隐身人》等。（译者注）

看到就会有好运的星星

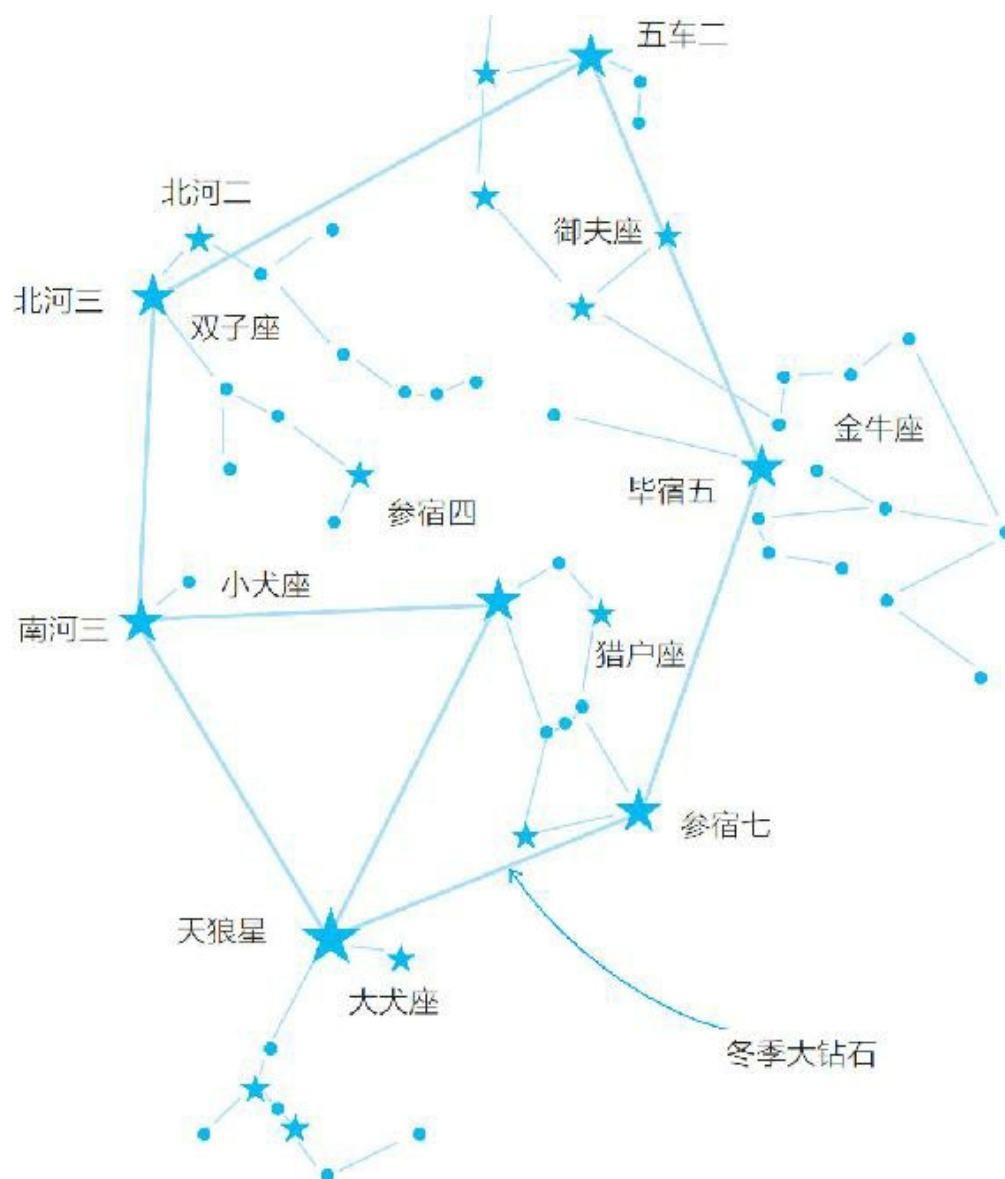
冬季星空的看点

我最推荐大家抬头仰望的，是冬季的星空。冬天那晴朗、澄澈的夜空是极为美丽的。

冬季的星空也同样十分华丽，有着7颗1等星。其中最为引人注目的便是位于东南方低空中的大犬座天狼星。天狼星是-1.5等星，距离地球8.6光年，离我们很近，在夜空中是一颗出类拔萃的闪亮恒星。

从天狼星顺时针看去，能够看到小犬座的南河三、双子座的北河三、御夫座的五车二、金牛座的毕宿五、猎户座的参宿七，将它们相连，便是被称作冬季大钻石的巨大六边形。而在这个六边形中，猎户座的参宿四还会闪耀着橙色的光芒。

◆冬季大钻石



在地面上眺望夜空，除了月亮与行星之外，勾勒出星座形状的恒星按照其亮度排序，排第一的是-1.5等的大犬座天狼星（8.6光年），排第二的是-0.7等的船底座老人星，排第三的按顺序分别是0等的比邻星（南天，春季）、大角星（春季）、织女星（夏季），冬季的星空是非常豪华绚烂的。

然而被称为南极老人星的老人星，其实是想看也很难看到的。

寻找老人星

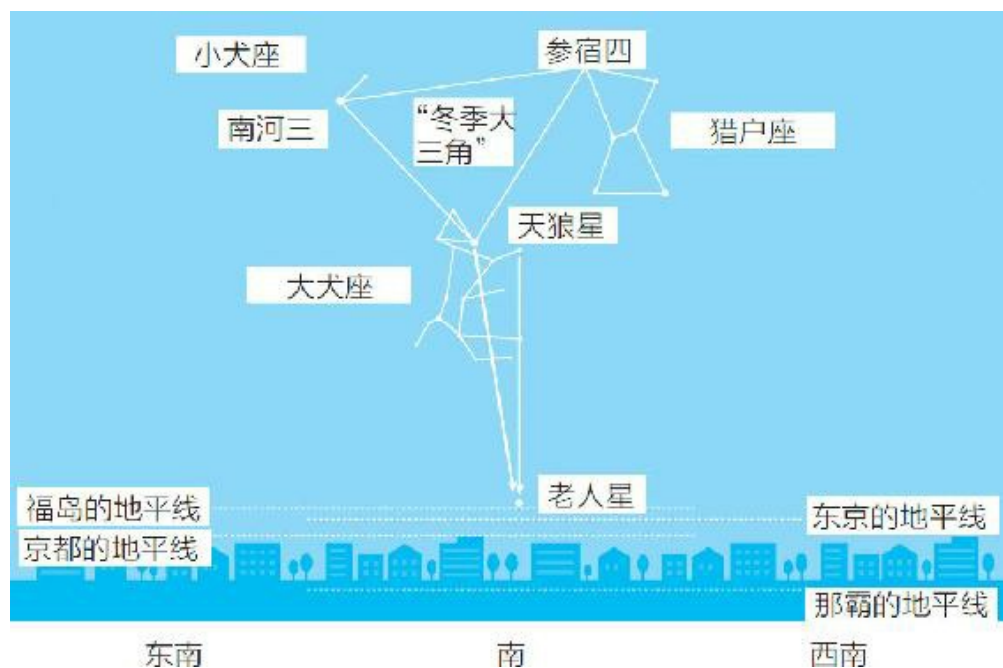
天狼星和猎户座的参宿四（红色1等星、0.4等），小犬座的南河三（0.4等）共同组成了“冬季大三角”，这三颗星星都很容易被观测到。而老人星虽然身为全天第二亮的恒星，却没有多少人见过它。因为老人星是一颗位于南方天空极低处，只在地平线上稍微冒出一点头的星星。由此也产生了“看到老人星会有好运”的说法。

中国把老人星称作南极老人星，人们相信“南极老人星在战乱时会隐匿，只在天下太平时出现”。在看到老人星时，除了健康长寿以外，记得也要祈祷世界和平哦。

老人星出现的位置基本上在天狼星的正南（略为偏西），比天狼星低三个半拳头（ 35° ），因此在天狼星抵达正南方之前的时间是观赏老人星的好机会，必须在能够看到南面的地平线、海平线的开阔场所才能看到它。非常遗憾的是，在日本福岛县以北的地区很难能够发现它。

老人星的赤纬为 -52.7° ，北极限为北纬 $37^\circ 18'$ ，大约是日本福岛县磐城市的高度。但地平线附近的星光被大气扭曲，看起来会比实际的位置更高。

◆找到老人星的方法



这被称作“大气折射”。考虑到大气折射，那么新潟市到福岛县相马市一线为老人星的北极限，认识的人告诉我说，在山形县的月山也有人曾经看到过老人星。

1月末到2月中旬，天气较为澄澈、干燥，在东京也能够比较容易地看到老人星。

因为老人星的位置靠近地平线，比较低，它的光线经过大气吸收，不会有1等星那么闪亮。它的颜色原本是发白的，不过受到和夕阳相同原理的影响（光的波长很长），故看起来是呈红色的。在晴朗无云的夜里，记得要去尝试一下观测老人星哦。

清少纳言推崇的星星

在冬季夜空中还有一个希望大家去看的天体就是“昴”星团。“星是昴星”，平安时代的歌人清少纳言曾经在《枕草子》中这样写道：“昴在冬季的星空中是极具魅力的。”

《枕草子》中有“星是昴星、牛郎星、夕星、流星，若有长尾更添风趣”。清少纳言最推崇的天体是昴星、织女星（当时的人们称呼如今的织女星为牛郎星）、金星、流星。

在金牛座最为醒目的红色1等星毕宿五的右上方不远处，在金牛座的背上有一团星星聚集在一起，那就是昴。用肉眼观察时，昴看起来就像是一团星星堆在一起，因而也被称作“六星”（6颗星星的集合）。用双筒望远镜观察时，昴星团看起来就像是散落在夜空中的宝石一般美丽夺目。“昴”是日语，也就是和名^{[\(1\)](#)}。国际上一般称之为七姐妹星团^{[\(2\)](#)}，编号为M45。昴星团是一个疏散星团，成员星都很年轻。

而在猎户座参宿三星下方，有一团看起来像是淡薄云彩的星云，那就是猎户座大星云。星星就是在类似昴星团这样的天体集团中，由这些气体的聚合体形成的。等星星到了一定年岁，它又会排出气体，结束自己的一生。在它排出的气体中，又会诞生出新一代的星星。

在很久很久以前，太阳和太阳系也继承了某一颗星星排出的气体，从而产生，其后又孕育出了地球和我们这些生命。这样一想，再抬头仰望冬季的星空时，就会感受到自己和宇宙是紧密相连的。

^{[\(1\)](#)} “昴”一名来源应为中国二十八星宿之一的昴宿，并非纯粹的日语名称。（译者注）

[\(2\)](#) 来源为希腊神话中的普勒阿得斯七姐妹。（译者注）

天体撞击地球之时

逼近地球的小行星

在46亿年的历史中，太阳系诞生至今曾经多次同其他天体发生撞击。幸运的是，人类至今为止尚未经历过大型的天体撞击。但在过去，天体撞击曾经导致恐龙灭绝，对地球上的生物造成了严重影响，甚至多次导致物种灭绝。

像电影《世界末日》《天地大冲撞》那样，小行星、彗星等小天体撞击地球，在不远的未来是很有可能发生（应该说是一定会发生）的现象。

多亏了小行星探测器“隼鸟号”，如今有许多日本人都知道了名为“小行星”的天体就存在于我们身边。所谓小行星，指的就是太阳系内绕太阳进行行星式公转的天体中，除八大行星（水星、金星、地球等）之外的小天体。虽然它们都很难用肉眼观测到，但人们如今已经发现了超过70万颗小行星。使用望远镜观测的时候，小行星看起来和普通的行星一样是一个点，但它们其实长得像是同为太阳系内小天体的彗星的放大版。不过近年来也发现了一些介于小行星和彗星之间的天体，小行星和彗星的区别也变得“暧昧”起来。

小行星中也有较大型的，被称作矮行星的谷神星，直径也不过大约950千米。这一大小和日本列岛差不多，比地球要小得多了。绝大多数小行星直径都在数十千米以内。而隼鸟号曾抵达的糸川⁽¹⁾，直径不过500米左右。

这些小行星中的绝大部分都位于火星与木星之间的小行星带上，不

过也有一些距离地球较近。糸川、“隼鸟2号”正在前往的龙宫、小行星433爱神星、小行星1566伊卡洛斯星等都属于这一类。这些小行星被称为特殊小行星或是NEO（Near Earth Object，近地天体）。

行星防御大显身手

人们认为，在6600万年前撞击墨西哥尤卡坦半岛，导致恐龙灭绝的天体，可能是直径只有10千米左右的小行星。除小行星以外，拖着长尾巴的彗星也可能撞击地球。

在地球附近，还环绕着许多已经废弃的火箭和人造卫星，这些宇宙中的垃圾被称为“太空垃圾”。太空垃圾虽然比小行星和彗星要小得多，但每一年都在增加，很有可能撞击人造卫星或是国际空间站（ISS），从而造成巨大的损失。监视NEO、彗星、太空垃圾动态的工作就是“行星防御”了。

国际行星防御基金会[\(2\)](#)，依靠国际合作，不断发现并监视可能撞击地球的小行星、彗星等近地天体。受到JAXA的委托，在日本主要承担相关工作的是NPO法人日本行星防御协会。

日本行星防御协会拥有位于冈山县的“太空垃圾及地球附近小行星观测设施”，也就是上斋原行星防御中心和美星行星防御中心。在世界范围内，美国、意大利、俄罗斯等国在行星防御上比日本更加积极。取得了显著成果的是新墨西哥州的LINEAR、夏威夷的NEAT等自动巡天项目，这些都是利用程控望远镜开展的有计划性的巡天调查。

回避撞击的方法

那么，如果发现了将会撞击地球的天体，我们究竟应该怎么办呢？如果不想办法回避撞击的话，地球将永远没有明天了。

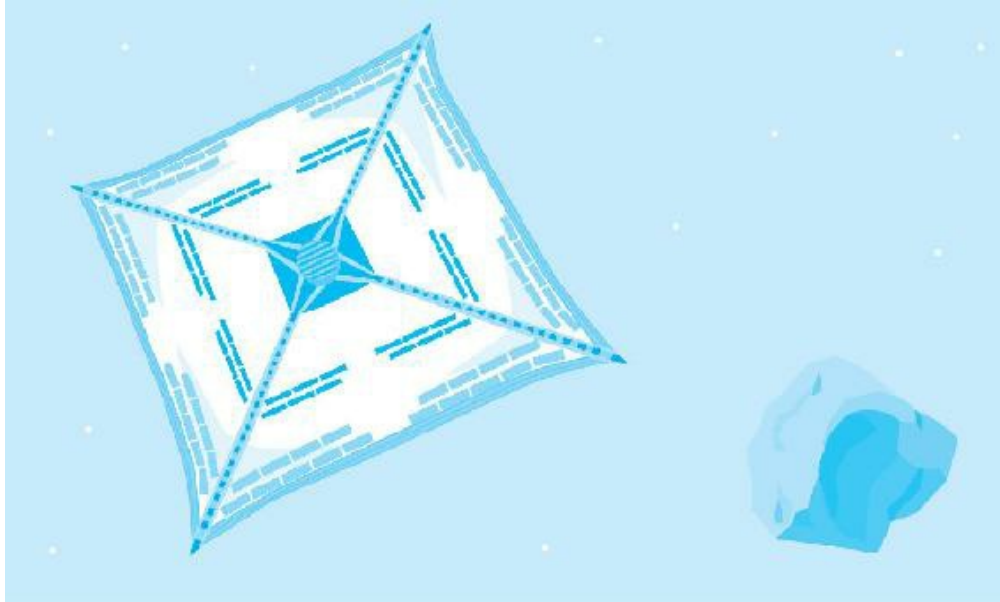
如果是彗星、小行星等小天体，我们并非不可能改变它的轨道（天体的运动路线）。只要稍微改变其轨道，便能够避免撞击到地球。人们研究了许多方法，最终发现无论如何，我们都必须将用于改变小天体轨道的太阳能电池、火箭发动机等安装在大型火箭上，并将火箭迅速送到小天体上。

将太阳能电池送入宇宙并在小天体上软着陆，撑起一张由太阳能电池板组成的巨大的帆，然后利用太阳能，像顺风而行的小船那样改变小行星的运动方向。或者发射火箭发动机，并使其在小天体上软着陆，通过点燃发动机来改变小行星的方向。

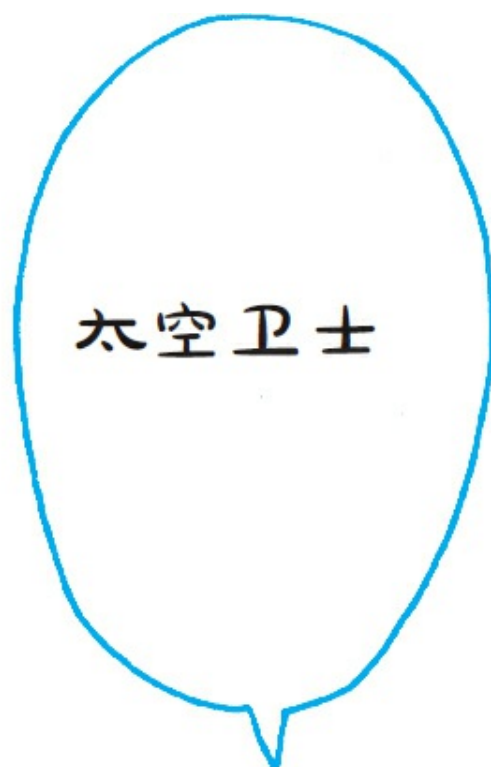
曾经还有人提议使用核武器。但这样做不仅会污染宇宙空间，也很可能会严重污染地球大气，大多数人对此是持否定态度的。

然而，向地球飞来的NEO和彗星一旦抵达地球附近，那我们便束手无策了。即便在小天体撞击地球前摧毁它，它的碎片仍旧会撞击地球（将会形成陨石，撞击地球），造成惨重损失，对地球的影响将不可避免。

◆用于改变小天体轨道的太阳能电池



就像是科幻作品中出现的地球防卫军那样，行星防御中心肩负着保卫人类美好生活的重要任务。日本行星防御协会的数据显示，天体撞击地球致人死亡的概率和飞机事故致人死亡的概率几乎相当。天体撞击地球之时，天体的大小可能决定了人类是否会灭绝。

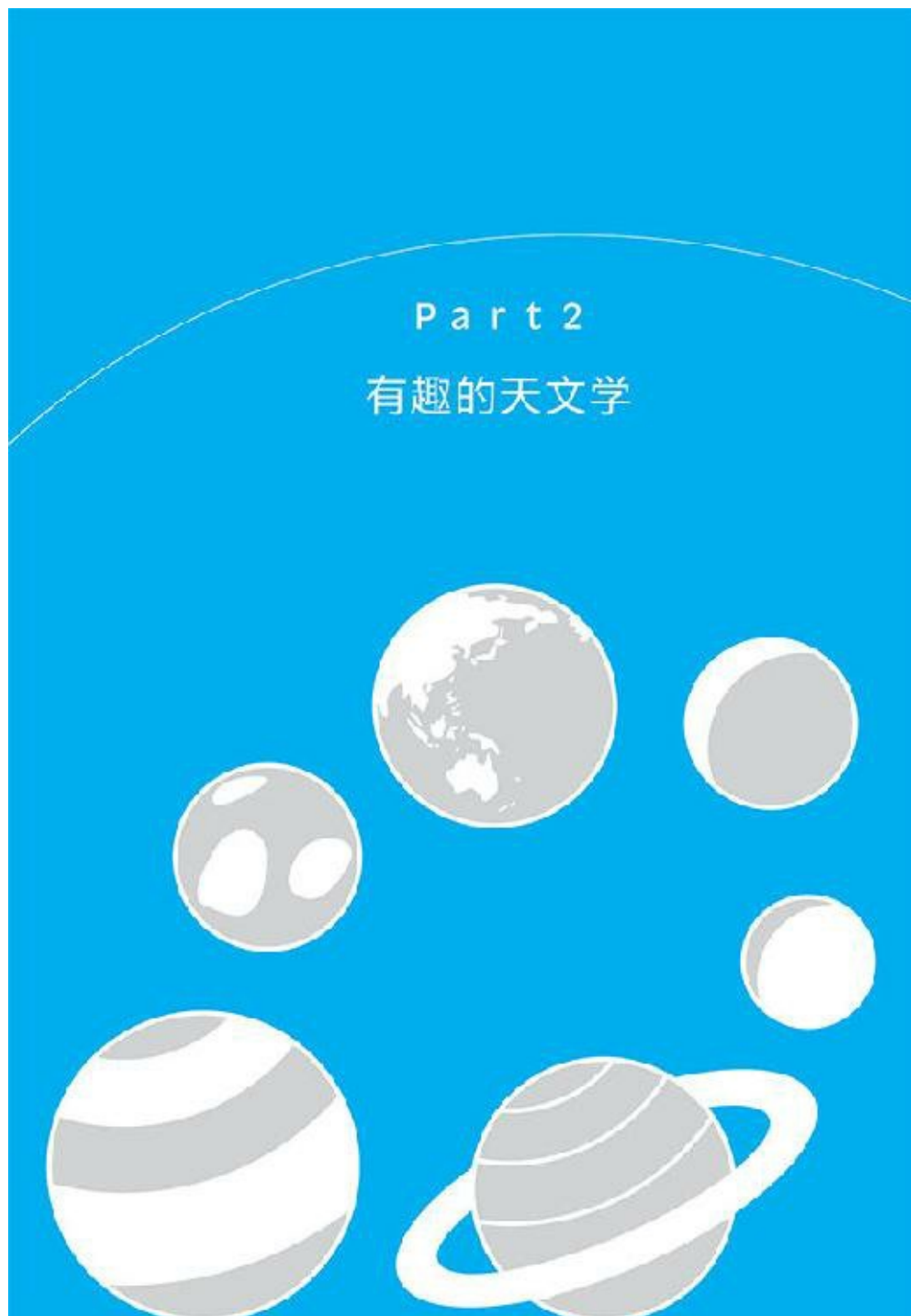


[\(1\)](#) 即小行星25143。（译者注）

[\(2\)](#) 英文名称为“The Spaceguard Foundation”。（译者注）

Part 2

有趣的天文学



土星环是由什么构成的？

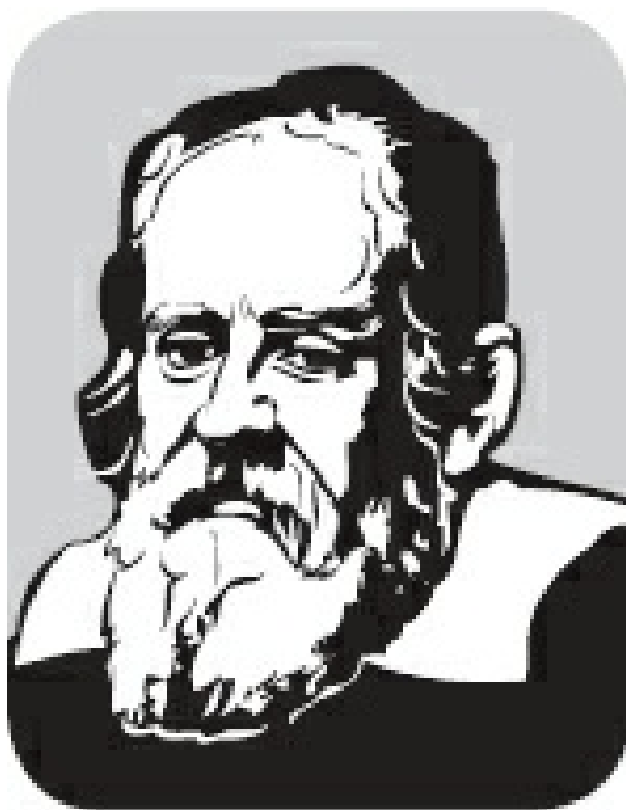
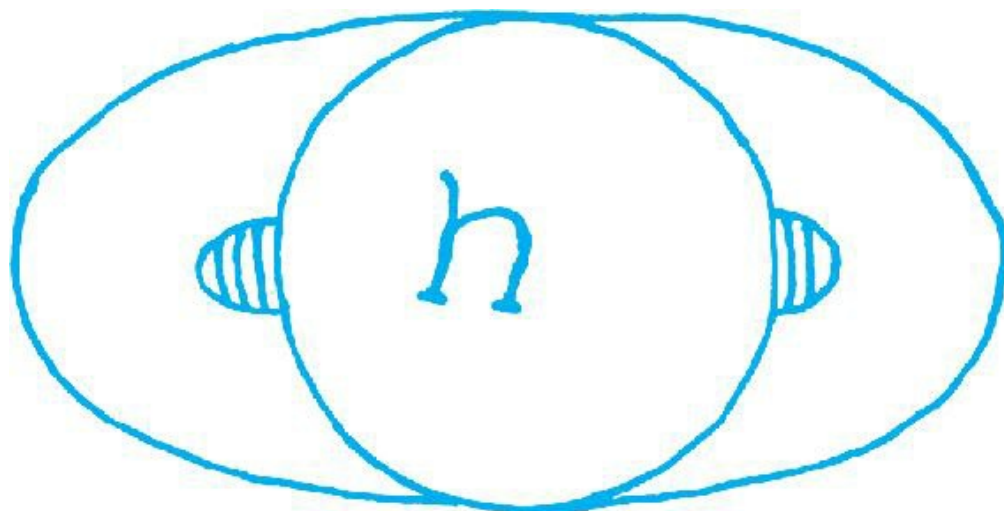
最具人气的行星

土星作为一个拥有行星环的天体而闻名。在天体观察会中是最受欢迎，不，应该说人气一骑绝尘的就是土星了。使用小型的天文望远镜就能够直接观测到，如果有读者还没有看过土星的话，请务必试试看。

土星的直径约为地球的9倍（是太阳系内仅次于木星的第二大行星），质量约为地球的95倍，是一个巨大的气态行星。但天文望远镜里的土星看起来很小很可爱，这可能也是它极具人气的原因吧。

1997年美国NASA发射的土星探测器“卡西尼号”经过7年的旅行（32亿千米），于2004年抵达土星附近。其后，卡西尼号调查了土星及绕土星运转的卫星。多亏了卡西尼号，我们得以接连发现许多关于土星的新事实。

◆伽利略看到的土星



伽利略·伽利雷

(1564~1642)

例如土星环是由微小的冰颗粒组成的。卡西尼号发回的照片中，拍摄到了数千个狭窄的小环，环的宽度超过20万千米，但却非常薄，最薄的地方厚度不过3米。因此，每隔15年，都会出现一次完全看不到土星

环的时候。

在大约四百年前，第一个使用天文望远镜观察土星的是意大利科学家伽利略·伽利雷。当时，伽利略记录称土星上有着花瓶把手一样的东西。伽利略观察到土星的时候，碰巧是土星环倾斜角度最大的时候，因此土星环看起来就像是土星上的一个巨大把手。

如果土星环是在太阳系形成之时，也就是在46~40亿年前形成的话，那么受到辐射的影响，它应当已经发黑了。但土星环仍旧闪耀着白色的光芒，这也为土星环是最近才形成的这一理论提供了有力佐证。

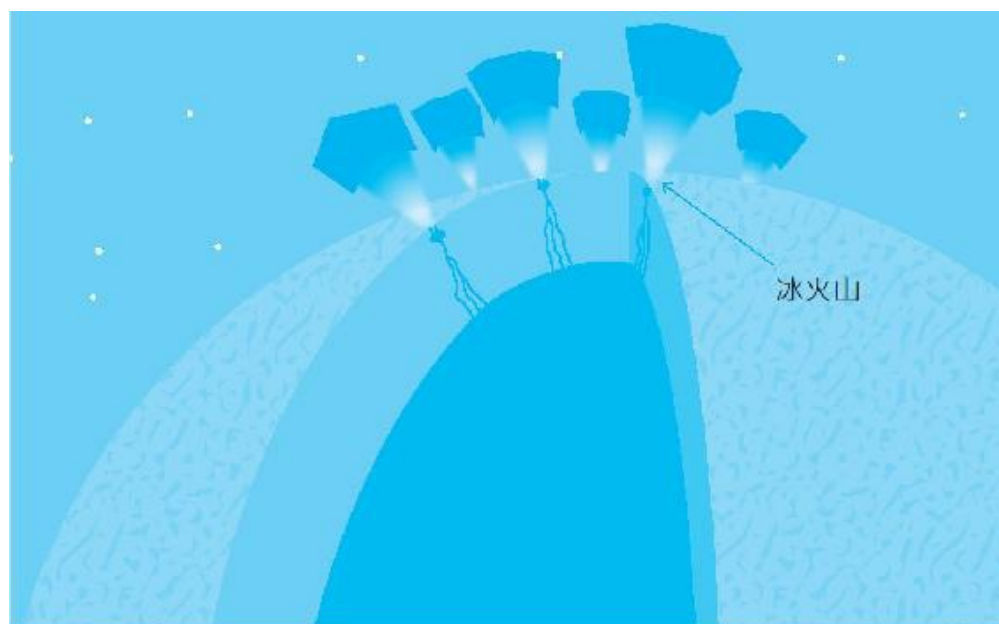
然而最近超级计算机的分析发现，土星环中的冰块总是在重复着崩溃、重新形成的循环，土星环也因此能够一直闪耀着白色光芒。土星环也许自古以来就一直存在着。

备受瞩目的卫星“土卫二”

卡西尼号传回的数据也让我们了解了许多关于土星卫星的信息。尤其是土星最大的卫星土卫六，它一直以来都因其“拥有大气卫星”的身份而备受关注。但近些年来，最为吸引研究者们的卫星却另有他星，那就是“土卫二”这颗过去默默无闻的卫星。

土卫二距离土星24万千米，约每33小时公转一周。直径平均为500千米，是土星的第六大卫星。

◆土卫二示意图



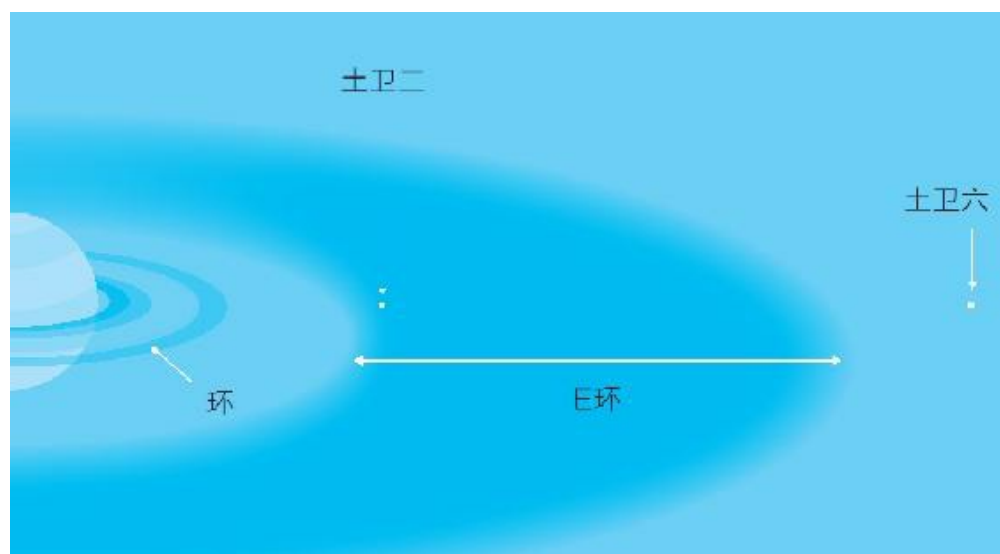
卡西尼号的探测结果显示，土卫二的北半球覆盖着环形山，这是卫星常见的特征，但其南半球却几乎没有环形山。

在它的南极附近，卡西尼号观测到了四条平行的巨大裂缝。裂缝长

达130千米、深数百米，冰粒从断层内侧喷发出来，就像是间歇泉一样。

这种类似火山喷发的地质活动，在木星的木卫一、海王星的海卫一上也存在，但土卫二的冰火山是太阳系内最为壮观的。如今人们已经知道了，土星环最外层E环就是由土卫二的冰火山喷发形成的。

◆土星环与卫星



研究者中有人预测，在土卫二的内部存在着海洋，有生命在其中生存。

为我们传回了诸多探测成果的探测器卡西尼号，于2017年9月坠落在土星上，结束了自己的使命。

在土星周围，除了土卫六、土卫二以外，还存在着60颗以上各具特色的卫星，就好像是一个微型太阳系一样。

冰的颗粒形成了
数千个细环，绕
着我转来转去。



月亮跟着自己走的原因

月亮离我们居然很远

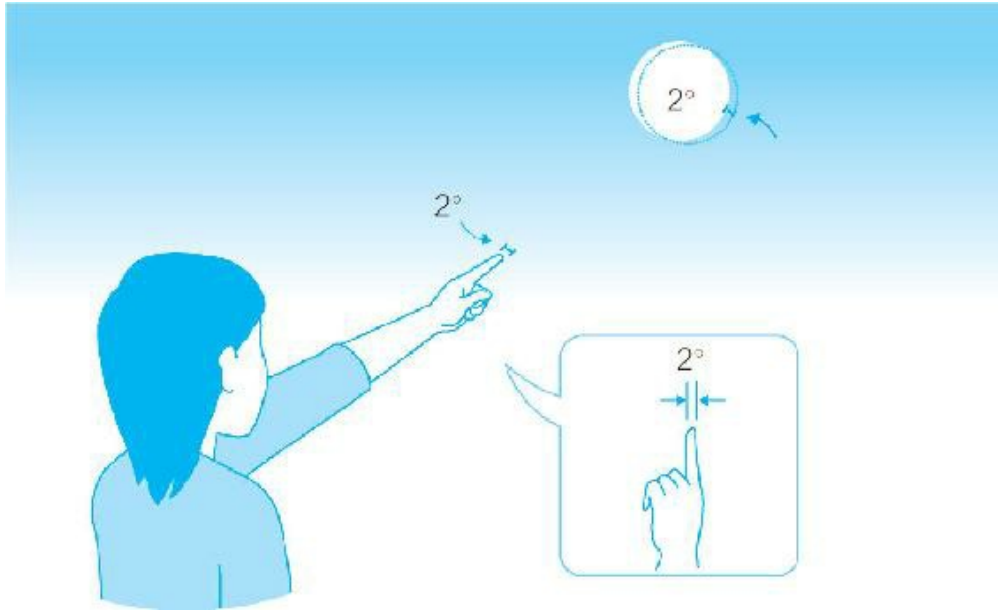
小时候，你是否曾经感到走在夜间道路上的时候月亮在跟着自己走？坐在汽车、火车上眺望窗外，会感觉窗外的景色正飞快地离自己远去，近处的景色远去的速度快，远处的景色速度慢。但只有月亮会永远位于同一个方位，让我们产生它在一直跟着自己的错觉。在我幼小的心中，不禁产生了“我是这个星球上被选中的人”的想法。究竟为什么会产生这种现象呢？

那是因为相比于地球上的景色，月亮与我们之间的距离实在是太遥远了。

月球距离地球38万千米，相当于30个地球排列起来的长度。

假设我们能够同时在地球的东西两端观测月球，月球的位置在角度上只会相差2度不到。2度大约就是伸直手臂看食指时，食指宽度所指示的角度。

◆2度大约是多少？



在地球的东西两端观测月球，中间的差距不过一个指头宽，那么无论我们在地面上移动的速度有多快，用肉眼观测到的月球总是会在同一个位置上。

与之相对的是，地球自转造成的月球移动反而幅度会更大。仔细观察月亮一整夜，就会发现它和太阳、星星一样，都是自东方升起，划过南方的天空，向西方落去。

不可思议的月亮圆缺

关于月亮的圆缺大家一般在小学的时候就学过。请你回想一下当时的情景。在课本和图鉴中，经常会印有像下一页中所示的那种说明图片。

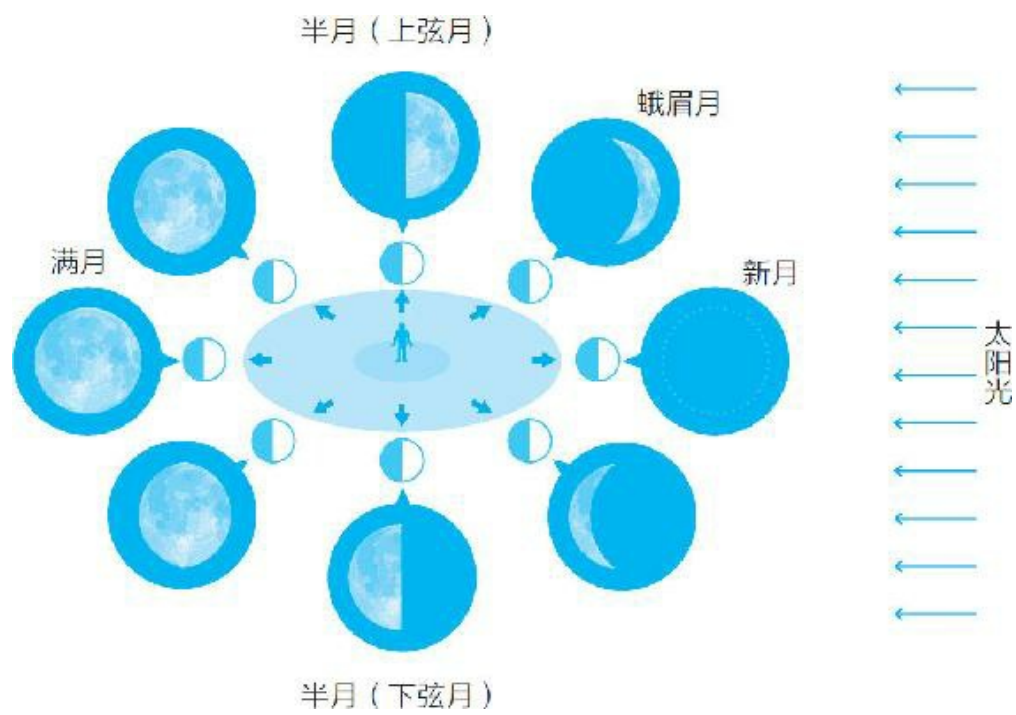
峨眉月、半月的原理大部分小朋友都能够很快理解，但在讲到满月的时候，有很多孩子都会一脸迷惑。月亮被太阳光照射，看起来像是在发光。那么月球运转到满月的位置时，难道不会被地球的阴影挡住，无法发光吗？

在真实的宇宙空间中，月球并不像图中那样紧挨着地球，它距离地球有38万千米远，在纸上很难准确描绘出来。现在，请你想象一下，直径只有地球四分之一的月球在距离地球30个地球远的地方接受太阳的照射。

在地球看到的月球的轨道（白道）和太阳的轨道（黄道）之间有着大约5度的夹角，因此月球不会被地球的阴影遮挡，整个月球表面都会被太阳照亮。正因为有着这种细微的错位，太阳—地球—月亮排成一条直线的“月食”才是极为罕见的现象。

大家可以请自己身边的人画一下峨眉月。如果大家充分理解了月亮的盈亏原理，那么就会明白动画片中出现的形状锐利的峨眉月实际上是不可能存在的。通过观察别人画出的峨眉月的形状，即能够看出对方是否了解月亮盈亏的原理。

◆教科书上的月球圆缺图



看起来时而大，时而小

人们现在常常将最大的满月称为超级月亮（超级月亮并非术语，而是民间使用的俗称）。

月球的轨道并不是圆的，而是略呈椭圆状。月球离地球最远的时候距离约为40万千米，最近的时候距离不到36万千米。在月球距离地球最近时如果迎来满月，那么它看起来会比平时的满月更大一些。但超级月亮与普通满月之间直径的差不过0.05度左右。

月亮一般会在接近地平线的时候看起来更大，而高悬于夜空之上的月亮看起来会更小。这种差异是错觉造成的。我们通常是通过月球与地面上物体间的距离，以及抬头仰望月亮的角度来判断月球大小的。如果不拍照对比的话，我们是无法分辨出月亮的大小的。

日出与月升的区别

相较于一年到头都按照规律运转的太阳，每一天月亮的形状（月龄）、月亮升起的时间对于专家而言也是非常难以捉摸的。春分、夏至、秋分、冬至这几天太阳升起的时刻、方位都是很有规律的。

这是因为我们使用的历法是基于太阳运动的“太阳历”。而伊斯兰国家使用的则是基于月亮盈亏周期的“太阴历”，对于月龄和月亮升起时刻的把握比我们更好一些。关于历法将在另一节详细讲述，在此我将先介绍日出与月升之间的区别。

日出指的是太阳升起时上轮廓和地平线重合的瞬间。日落指的是太阳落山时上轮廓和地平线重合的瞬间。也就是说白天的时长会多出一个太阳直径（角度约为0.5度）那么长。因此，即便是太阳从正东升起、在正西落下的春分、秋分两天，昼夜的长短也不是相等的（这是在入学考试中经常出现的陷阱题）。

而月亮因为有圆缺盈亏，因此并非总像满月时那样圆。蛾眉月也好，半月也好，在升起时缺失的那一半并非总是和地平线垂直，月亮的上轮廓处于缺失状态、被地球的阴影遮住的情况也时有发生。为此，月升、月落的时间是按照月球中心的位置来测量的。

太阳的寿命还剩多少年？

太阳如今正当年

按照人类的寿命来计算的话，太阳如今大约四十五六岁，正是年富力强的时候。太阳的年龄实际为46亿岁。理论上，太阳预计能够持续闪耀到一百亿岁左右。但并没有确切的证据证明太阳能够永远保持同样的亮度。

太阳和地球差不多是同时诞生的。通过研究坠落到地球的陨石的年龄，以及阿波罗号带回的月球岩石的年龄，可以得知太阳系是在46亿年前诞生的。

太阳这样的“恒星”和地球不同，其主要由氢气构成，并通过氢的核聚变反应发光发热。这就意味着，46亿年前漂浮在宇宙中的氢气聚集成太阳，在太阳的附近又诞生了行星。宇宙如今也在诞生着新的星星，我们可以通过望远镜来进行观测。

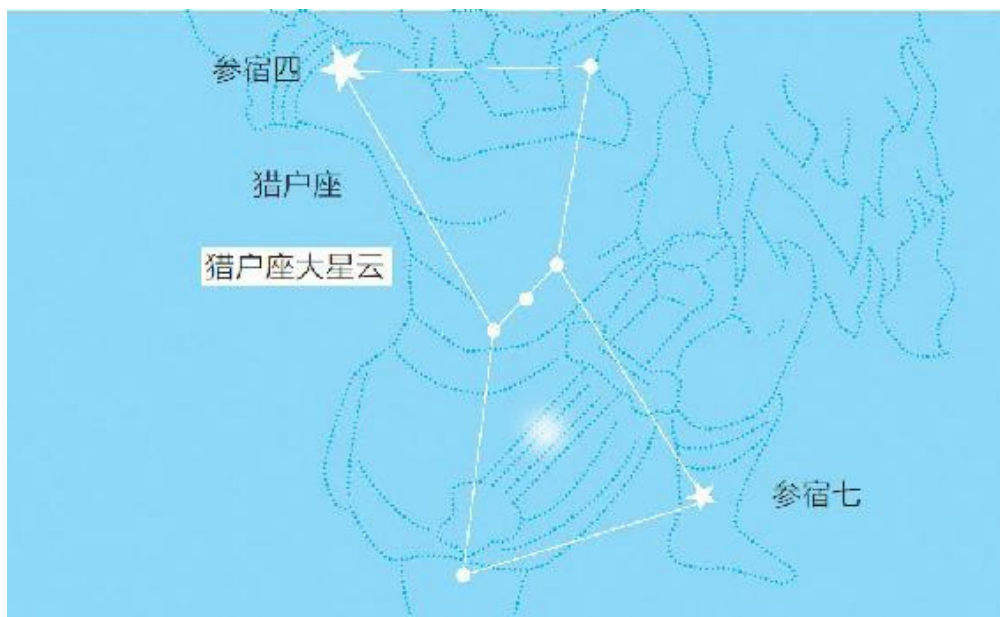
迎来成年仪式的星星

宇宙中氢气的集合体被称作“星云”。在冬季抬头仰望夜空，你能够看到在猎户座的参宿三星下方有着伐星⁽¹⁾，形象是俄里翁腰带挂下来的长剑。仔细观察伐星正中央的星星（肉眼恐难以分辨，应用双筒望远镜观察），你能看到一片云一样的物质，那就是猎户座大星云M42。

猎户座大星云是一个极具代表性的星云，用肉眼就能够观测到，这里时刻都在诞生着新的天体，距地球1400光年。使用大型天文望远镜认真观测猎户座大星云，会发现其中有许多小型的云状气团。在那每一个气团中都会产生恒星。

46亿年前，太阳和太阳系之外的其他恒星一起诞生。在诞生之后，恒星们各自开始运动，彼此间愈行愈远，经过了46亿年，我们已经无法判断哪些恒星曾经彼此是“兄弟姐妹”了。

◆猎户座大星云M42



向猎户座的右侧看去，能够看到一团聚在一起的闪亮星星，那就是“昴星团”。这是一些刚刚成年的星星（距离地球410光年）。

昴星团指的是极具代表性的疏散星团M45，凭借肉眼可以看到六七颗星星，使用天文望远镜的话则能够看到有数十颗恒星聚集在一起。

“昴”是“收缩、统一”之意，也就是互帮互助、共同生活的意思。清少纳言也曾在《枕草子》中写到“星是昴星……”，说明昴星团是日本人十分喜爱的天体。如今独自闪烁的太阳在刚刚成年之时也许也曾是像昴星团一样散发着青白色光芒的恒星。

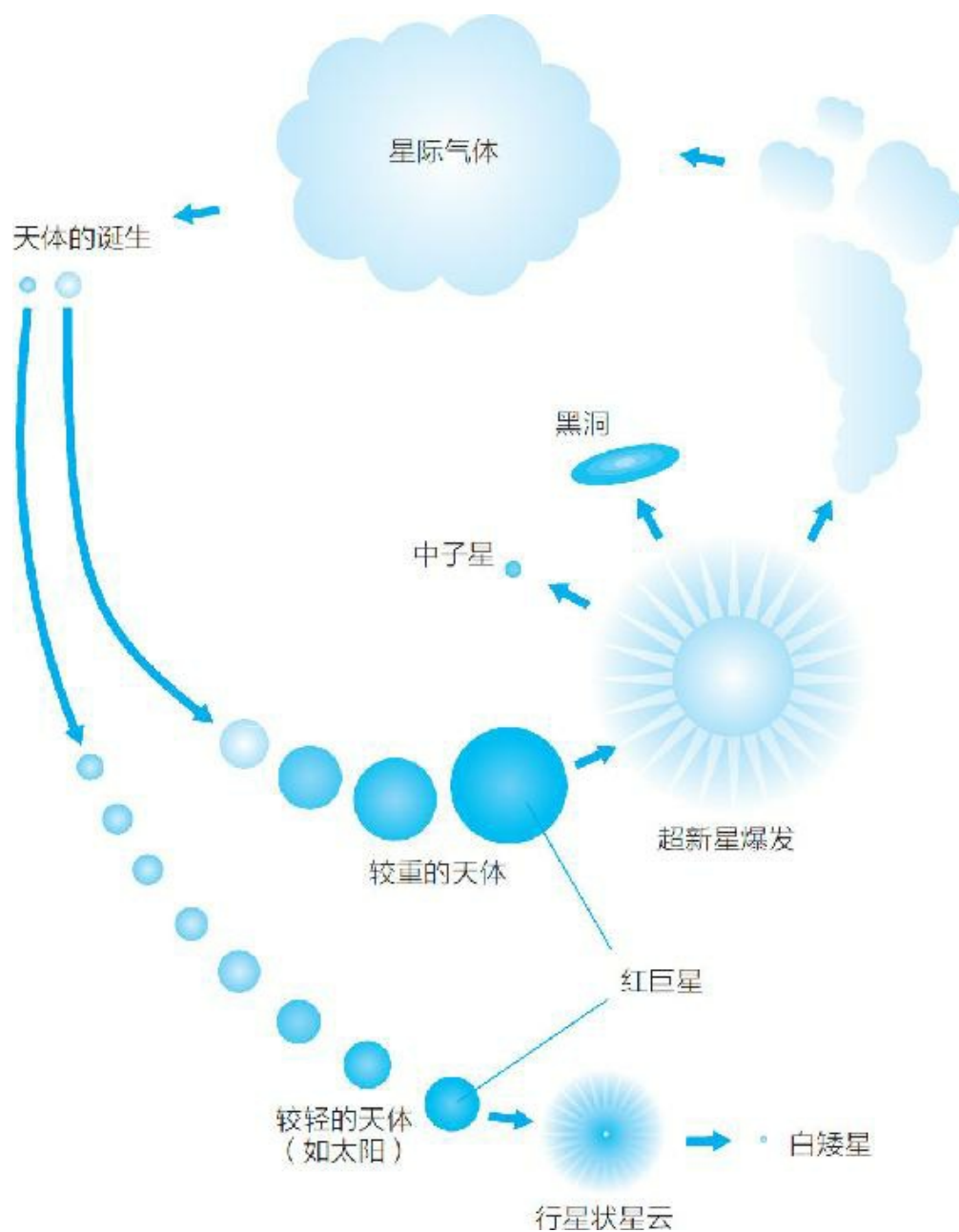
太阳最初的模样

年轻的恒星，在达到人类标准的20岁之前就会成年。成年的恒星因为氢的核聚变反应会散发稳定的光芒。太阳也将持续这种状态长达约百亿年，也就是说太阳拥有的氢燃料还够支撑50亿年。

刚刚成年的昴星团的年龄大概是几千万年。按照恒星的生命长达百亿年来考虑，昴星团在不满一岁的时候就已经成年了。

恒星诞生时的质量决定了其生命的长短（寿命）及生命的结束方式。太阳在恒星中属于比较轻的，它在演化末期会经历红巨星阶段，最后缓慢地向外释放气体，变成甜甜圈状的星云（行星状星云）。太阳释放的气体会向宇宙空间蔓延，最终会抵达地球。

◆天体的诞生与终结



太阳大约会在50亿年之后变为红巨星，那时的太阳预计会膨胀到足以将金星吞并。

根据计算，地球在那时会离开如今的轨道，在更加外围的地方绕太阳公转。那时的地球温度会非常高，各种生物都无法生存。只要我们还生活在地球上，那么可以说世界上的生命都将在大约50亿年后迎来灭

绝。

以太阳为首的恒星在演化末期会不断膨胀，变为红巨星，质量较轻的恒星将演变为行星状星云，最终变为白矮星，质量较重的恒星将经历超新星爆发，最终演变为中子星或黑洞。在超新星爆发的瞬间，会产生比铁更重的金、银、铂等元素。在宇宙诞生之初，只存氢、氦两种元素，但在恒星内部因为核聚变反应产生了氧、氮、硅、镁等比铁更轻的元素。

从138亿年前宇宙诞生后，到46亿年前太阳系诞生为止，太阳系附近的宇宙空间曾发生过20次左右的超新星爆发。这使得曾经只有氢和氦两种元素的宇宙中产生了现有的92种元素。从元素层面上来说，我们都是源于星星的“星之子”。

[\(1\)](#) 由四合星及猎户座大星云组成的一字斜排的三颗小星。（译者注）

如何同宇宙人接触？

存在生命的天体是哪个？

在宇宙中，在地球之外还存在着其他有生命居住的星球吗？自文明在地球上产生后已经过了几千年，天文望远镜发明至今已经有约四百年，距探月器、行星探测器等初次升空也早已过了50多年，可直到如今，在地球以外的星球和宇宙空间里我们连小如细菌的生物都尚未发现。

但有观点认为，随着天文学和空间探测技术的发展，人类再过不久就能发现梦寐以求的外星生命了。

在太阳系内，可能存在着类似细菌的早期生命体。生命体可能存在的地点有火星，木星的卫星木卫二、木卫三，土星的卫星土卫二、土卫六等。在不远的将来，探测器造访这些地方后也许真的会发现生命存在的迹象。

然而遗憾的是，我们基本已经可以肯定除地球以外，太阳系内是不存在智慧生命的。我们没有发现任何相关的迹象。假设智慧生命在宇宙中真的存在，那么它们应该存在于太阳系以外的广袤宇宙，也就是围绕其他恒星运转的行星或是卫星。

距今20多年前，人类于1995年第一次发现了围绕太阳之外的恒星运转的行星。它们被称作太阳系外行星，或是系外行星。系外行星的数目截至2019年3月已经达到了约4000颗。

人类早期发现的系外行星是直径为地球数倍的气态巨行星。随着天

体观测的发展，我们开始发现了岩质、大小与地球相当的行星。

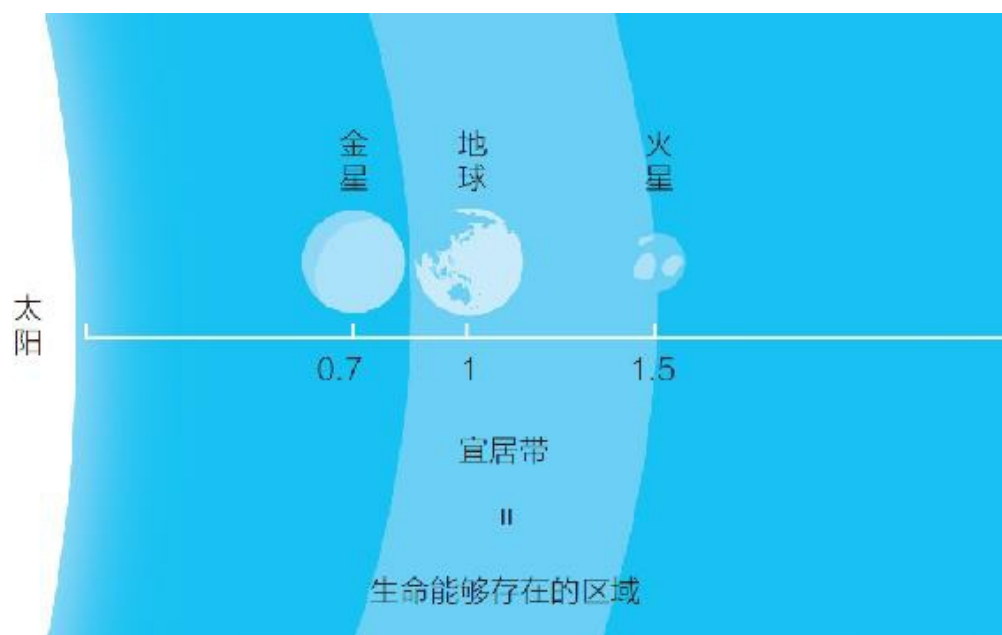
宜居带

假设宇宙中存在的生命和地球上的生命具备相似的结构、成分，那么生命诞生时必然需要液态水。我们的身体主要是由水和有机物构成的，而合成蛋白质、核酸等高分子的复杂有机物需要适宜发生化学反应的环境，这也就意味着需要水、有机物和适宜的温度。

行星如果距离恒星过近，表面的水分会蒸发，而若是距离恒星过远，会导致温度过低，水会结冰。水能够保持液态的范围在天文学上被称作“宜居带”。

“宜居”是适宜生命居住的意思。在太阳系内其范围是0.8~1.5天文单位（太阳与地球之间的距离为1天文单位，为1亿4960万千米）。

◆宜居带



火星勉强属于宜居环境。木星、土星的卫星受到与行星间的潮汐力及卫星内部热源的影响，也可能具备宜居环境。潮汐力指的是类似地球因为与月球的位置关系而产生了潮起潮落那样，两个天体受到彼此重力的影响而产生形变或是加热天体内部的力。天体越小，受到的影响就越大。

如果在地球之外也有存在着智慧生命的天体，那么拥有丰富液态水（海洋）、覆盖着含有氧气的大气的行星一定是第一候补。日本国立天文台打算在位于夏威夷岛冒纳凯阿火山的昴望远镜旁边建造一架名为TMT（Thirty Meter Telescope：30米口径望远镜）的巨大望远镜。这是日本、美国、加拿大、中国、印度等多国合作的一个大型项目。

利用TMT直接观测系外行星并寻找外星生命存在的迹象是一大目标。如果事情能按计划进展，TMT将于2025年到2030年间建成。

幸运的话，人类可能会在2030年左右借助TMT等地面上的超大型天文望远镜或是太空望远镜的力量在系外行星上发现生命。

与智慧生命通信

如果发现了可能有生命存在的星球，我们可以通过电波或是光向对方发出信息。如果那颗星球距离我们20光年，算上往返的时间，40年后我们就有可能收到回信。但也存在这种可能性，在地球之外的地方不仅没有外星人，甚至连生命都不存在。

如果将来真的发现了智慧生命（外星人），那么我们人类的价值观恐怕会发生天翻地覆的变化，如今这种只顾眼前的生存方式也将需要进行重新审视。这种观点虽然有些夸张，但能否发现“另一个地球”与人类的生存方式是有着密切关联的。

如果智慧生命在太阳系附近存在的话，让我们来想象一下与他们的交流会是什么样的吧。

假设2016年8月发现的距太阳系最近的恒星比邻星的行星或是其尚未发现的卫星上存在智慧生命。比邻星距地球4.22光年，这一距离哪怕是光也要传播4年多的时间。电波和光的速度相同，能够以秒速30万千米的速度在宇宙空间传播。

从地球通过电波或光向比邻星的智慧生命发送信息，最快也要在8.44年后才能收到回信，对话起来很需要耐心，对话的内容也因此变得尤为重要。如果是你的话，会问些什么样的问题呢？又想告诉对方些什么呢？

电影《星球大战4：新希望》中有一个场景是莱娅公主通过全息影像（裸眼3D）向欧比旺·肯诺比传达消息。

到了能够和智慧生命通信的那一天，在我们的日常生活中，全息影像恐怕已经取代了网络、电视、电话，成为传递信息的主要方式。虽然会存在时间滞后的情况，但我们将有机会在仿佛比邻星人近在眼前一般的虚拟现实空间中和外星人对话，甚至可能在模拟环境中体验一把比邻星之旅。

宇宙来信

利用地球上的射电望远镜捕获来自外星人的信息的工作被称为“SETI”（Search for Extra-Terrestrial Intelligence：搜寻地外文明计划）。与之同时的利用电波等方式从地球向外星人发射信息的工作也一直在开展着。

较为有名的是卡尔·萨根博士（1934～1996）等人从波多黎各阿雷西博天文台的巨型射电望远镜向武仙座的球状星团M13发射了电波信号。信号为二进制的简单暗号，但包含了我们这些地球生命的家园、身体的成分、体型大小、全球人口等基本信息。

在世界各国，都有许多认真寻找外星人的研究人员。美国的弗兰克·德雷克（1930～）和卡尔·萨根可以算作这一领域的国际先驱。

他们领先时代的SETI研究被许多年轻的追随者们继承。美国的SETI研究所从2007年开始，为了捕获来自智慧生命的信号，一直在使用艾伦望远镜阵列（ATA：Allen Telescope Array）持续进行观测。世界上的其他地区也在进行着捕获外星人来信的尝试，但目前为止尚未有人发现任何地外文明的信号。

今后的SETI研究中最受国际社会关注的是多国共同开发的SKA（Square Kilometer Array，平方公里阵列）。

SKA并非专门用于SETI的射电望远镜，它的项目规模极大，拥有南非和澳大利亚两个分站，预计将于21世纪20年代建成具有与口径为1000×1000的射电望远镜能力相当的望远镜阵列。日本的射电天文学家们也正在为日后参与SKA做准备。

目前也有人提议利用SKA花费十年时间分析来自100万颗恒星的电波信号，寻找来自智慧生命的信息。

寻找第二地球的“宇宙文明方程式”

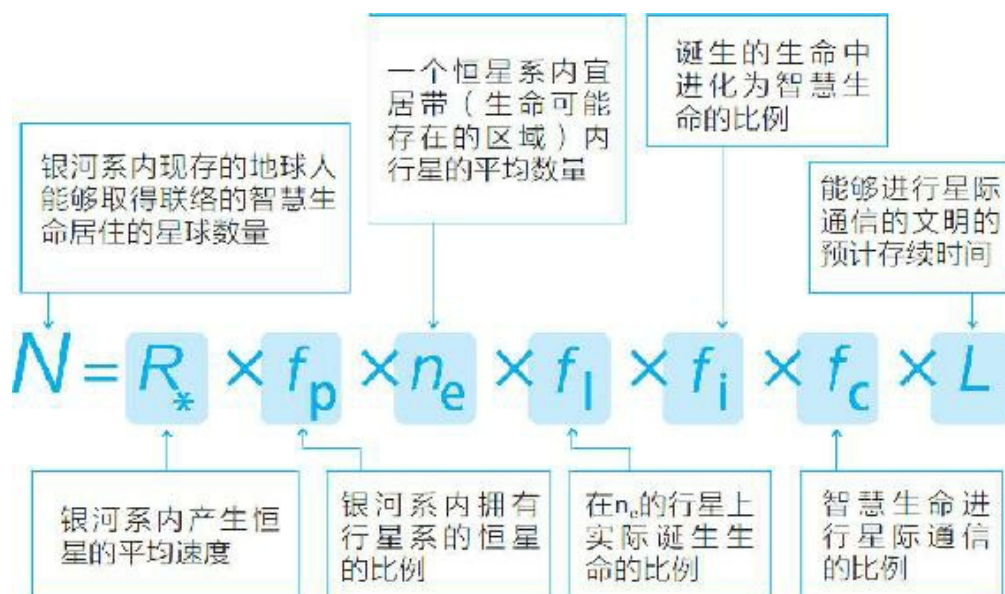
德雷克的宇宙文明方程式

有一位天文学家，在认真计算着广袤的宇宙空间中究竟存在着多少智慧生命（外星人），他就是美国天文学家弗兰克·德雷克博士。他所做的工作便是预测宇宙中究竟存在多少已经建立起文明的星球，以及我们是否能够与他们通信。

1961年，弗兰克·德雷克博士提出了“宇宙文明方程式（德雷克公式）”。宇宙文明方程式能够科学估算我们的太阳系所属的星系（银河系）中存在的可能与地球人接触的文明星数量（存在智慧生命的星球数量）。

文明是不可能在太阳这样的恒星上产生的，只可能诞生于绕恒星运转的类地行星或是具备相似环境的卫星。那么就让我们来计算一下可能拥有文明的行星的数量吧。利用宇宙文明方程式能够计算出是否存在与我们具备同等文明的外星人生存的星球。

◆宇宙文明方程式



假设如今银河系内存在可以开展通信的地外文明的数量为 N ，那么宇宙文明方程式则如上图所示。

许多人都依据自己的推论对银河系内存在的文明数量进行了估算。德雷克本人在1961年提出的估算值为 $N=10$ ，但他代入其他未知数的数字不是确定的，最终结果也不过只是推测。

但许多研究者都认为这一公式中最后的 L 十分值得重视。 L 指的是，能够通过电波或可见光等通信手段向数光年至数百光年之外的系外行星传递信息的文明的平均存续时间。

提出 L 的大前提是文明是无法永远存续的。我们人类的文明也不可能永远在地球上繁荣下去，我们可能因为自身的错误行径（例如发动核战争或破坏环境）而自我毁灭，也可能遭受小行星撞击地球或太阳爆炸等无法回避的灭顶之灾。这不仅是地球人可能遇到的事情，对于全宇宙的所有生命都是共通的。

地球人将电波运用于通信不过百年左右的时间。地球上的人类文明

还能持续多久呢？有很多人都对此感到不安，面对环境问题，核战争危机，水、粮食、能源枯竭等问题，人类能否智慧地生存下去是我们能否发现外星人的关键所在。

从最新数据可以推导出.....

2009年，为了寻找类地行星，NASA发射了太空望远镜“开普勒”。就让我们来把包括开普勒观测结果在内的最新的天文学成果套入德雷克公式吧。

首先便是银河系内拥有系外行星系的恒星所占的比例。银河系内约有1000亿颗恒星，但其中约有一半都是以联星形式存在的。

所谓联星，就是两颗以上的恒星彼此环绕的恒星系统，并非是像太阳系这样只有太阳一颗恒星单独存在。全天最亮的恒星大犬座的天狼星、位于天鹅座鸟喙处的双星天鹅座 β 都属于联星。过去，人们认为联星因为在重力上具有不稳定性，故很难形成行星。但位于智利阿塔卡马沙漠的ALMA望远镜却已经证实在联星系统中也可能产生行星。

让我们在此假设银河系内可能产生行星系的恒星，包括联星系统在内有1000亿颗。

那么，每一颗恒星平均拥有几颗行星呢？虽然有一些恒星是完全没有行星的，但根据开普勒望远镜的观测结果，包含多颗行星的行星系大约占总数的三成。

由此一来，我们可以大略估计每颗恒星平均都有一颗行星。也就是说，银河系内的太阳系外行星总共约有1000亿颗。

第二地球的数量是多少？

其中又有多少类地行星呢？根据开普勒望远镜的观测，已发现的行星中约有六分之一为类地行星。这里提到的类地行星指的是大小和地球相当的行星。直接借用上面估算出的数字，那么银河系内应当有160～200亿颗类地行星。

而其中位于宜居带的类地行星有多少呢？如果相应的恒星质量和太阳相当，那么应该有 $22\% \pm 8\%$ 的类地行星位于宜居带。

也就是说，质量与太阳相当的恒星中每数个就会对应一个可能由岩石构成、拥有液态水和大气“第二地球”。按照这一估计，第二地球的总数会比德雷克想象的还要多。

而除此以外的 f_1 、 f_i 、 f_c 、 L 四个变量，目前还难以进行科学的估算，但“外星人”的存在确实因此有了一些可信性。

只要地球上的
文明持续下
去，我们遇见
外星人的可能
性就会提高！



什么时候能看到美丽的极光？

极光与太阳的关系

极光与日全食、火山喷发并称为自然界三大奇观。在日本北海道的部分地区，也能够在北方的低空处看到红色的极光。然而，最为壮丽、神秘的极光，还要数美国阿拉斯加州、加拿大、北欧各国以及南极大陆的极光。

极光是发生于北极、南极附近地区的一种高层大气现象。极光发光的高度可达100~200千米。顺带一提，国际空间站（ISS）的飞行高度为400千米，ISS上的宇航员可以俯瞰明亮闪耀的极光。

从ISS看到的极光，就像是绿色、粉色的窗帘在地面上轻轻摆动。从地面上看是看不到极光延伸的范围的，而从ISS则可以明确观测到极光的延伸范围。极光的一大特征便是它通常同时发生于南、北两极的上空。ISS每90分钟绕地球转一周，因此可以依次观测两极处的极光。

极光究竟是如何形成的呢？

地球可以看作是一个巨大的磁铁，它具有将整个地球都覆盖在内的巨大磁场（地球磁层）。地球磁层可以防止来自宇宙的带电粒子入侵地球，对于地球上的生命而言是重要的屏障。尤其是太阳会向地球射出名为太阳风的带电粒子流。

在地球的北极、南极附近观测到的极光，与太阳风的活动有紧密的联系。太阳风强烈，平时被地球磁层屏蔽，难以抵达地球表面的带电粒子便会从磁场较弱的北极、南极附近入侵地球。这种带电粒子与地球的高层大气发生反应，便会形成散发出绿、红、粉色光芒的美丽极光。

为此，如果观测到剧烈的激光运动，就证明现在也是太阳活动极为剧烈的时期。大家有机会的话，一定要在这一时期前往北欧、加拿大看看极光。

要小心耀斑！

太阳活动并非永远处于同一状态。太阳活动分为剧烈时期和不剧烈时期。太阳活动会受到磁场的强烈影响。太阳磁场约每11年变化一次。

就像是模型飞机螺旋桨上扭转的橡皮筋一样，太阳内部的磁场也会因为自转而扭曲。磁场扭曲达到最大的时候，就是太阳活动最为活跃的时期。而当扭曲消除后回到正常状态时，就是太阳活动较为平静的时期。

活跃期受到磁场扭曲的影响，伴随着大量黑子，还会频繁发生一种被称为“耀斑”的爆发现象。耀斑是一种磁场的扭曲程度超过极限后能量向太阳外部猛烈喷射的现象，就像是橡皮筋绷断的瞬间一样。

耀斑出现后，太阳的大气层会迅速变得明亮，日冕能够达到1000万摄氏度以上的高温。接下来，太阳会释放出从电波到X射线在内的所有种类的强烈电磁波。不仅如此，太阳日常向外射出的质子、电子等带电粒子，也就是太阳风也会变得活跃起来，射出的带电粒子的量和速度都会增加。

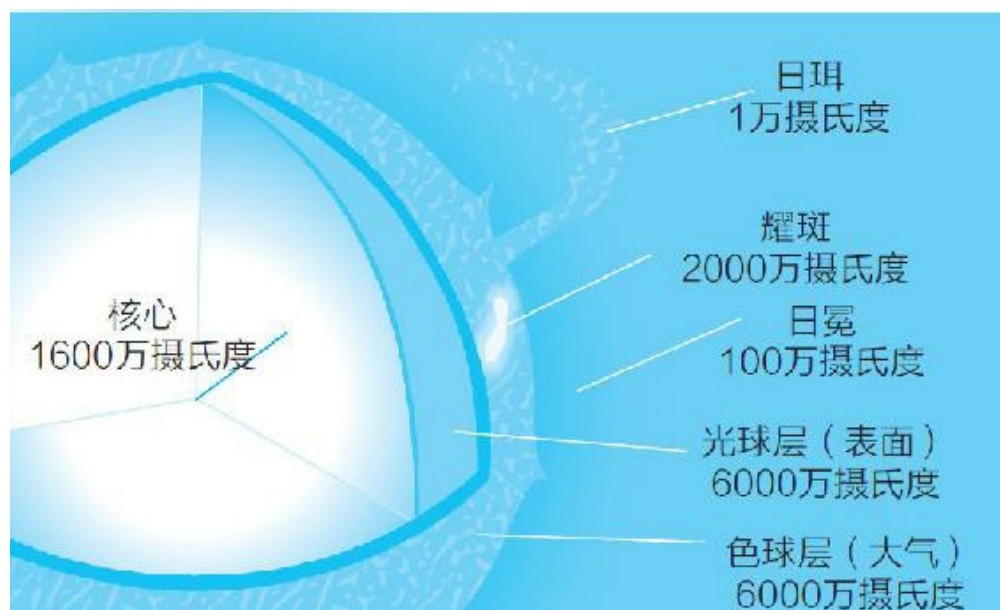
耀斑释放出的强烈X射线抵达地球后会扰乱地球的磁场，引发短波无线通信障碍。因为我们在短波广播中使用的短波通信电波是通过地球高层大气中的电离层进行反射，从而传播到远方的。

而当猛烈的太阳风扰乱电离层时，短波广播或是船只使用的短波通信将会中断。这种现象被称作“德林格尔现象”。活跃的太阳风活动还会引发前面提及的极光暴、太阳磁暴。

因为太阳风会对地球造成严重影响，日本国立研究开发法人情报通信研究机构（NICT）会进行“宇宙天气预报”。宇宙天气预报会利用世界各地的太阳观测卫星、太阳观测所的数据对太阳进行细致的观测，确定耀斑是否发生，判断出耀斑的爆发规模以及比较强劲的太阳风会在何时抵达地球，并进行预报。

大规模发生的耀斑一旦可能影响到地球，ISS便会中止舱外活动，电力供给也会进行相应调整，以免影响地面上的电线及发电站。过去就曾经发生过大规模耀斑引发太阳磁暴，导致电线被破坏，造成大范围停电的事件。

◆太阳的构造



在为防御太阳风袭击地球做准备的同时，人们也在想办法避免太阳风对国际空间站和人造卫星造成伤害。

日冕上发现的气体

耀斑和黑子都是在太阳表面（光球层）发生的现象，太阳有着主要由氢构成的大气。内层大气为色球层，外侧分布的大气为日冕。

日全食的时候，太阳表面被月亮遮挡，我们便能够观测到淡淡的太阳大气，也就是靠近外缘的红色色球层以及大幅度向太阳外侧延伸的珍珠色的日冕。人们通过对这时的色球层进行分光测量，于1868年发现了当时在地球尚未发现的元素“氦”[_①_](#)。氦（Helium）来源于希腊语中太阳“赫利俄斯”[_②_](#)”一词。

到了20世纪中期，人们通过分光测量发现，在日全食时能够观测到的外层大气日冕的温度超过了100万摄氏度。太阳的表面温度约为6000摄氏度，因而这一发现十分令人震惊。在那以后，许多研究太阳的学者都投入于日冕发热原理的研究之中。

在日本，下一次能够观测到日全食的时机是2035年9月2日。在这一天从关东北部到北陆地区都会发生日全食。我不禁祈祷那一天是个大晴天。

异常气候都要怪太阳？

最近几年，出现了许多集中性暴雨、龙卷风、日本近海台风等异常气候，不仅如此，北冰洋冰川融化、厄尔尼诺现象等地球气候现象异变也十分引人注目。“异常气候”“有记录以来第××的”之类的说法不绝于耳，世界各地都遭受了大量损失。

地球上难道正在发生大规模的气候变化吗？在这一大背景下，天文学家们正在关注另一件事。那就是，近年来太阳的活动有一些不同寻常。

观察太阳表面时，能够看到一些黑点。当包裹太阳的磁场中的一部分或浮现、或退回时，太阳内部的能量便会难以传导，该区域的温度便会下降，看起来发黑。这被称作“黑子”。

黑子是按照大约11年周期消长变化的，如果将黑子的消长和地球的平均气温变化的数据进行长期比较，能够发现在黑子增加的“活跃期”地球较为温暖，在“不活跃期”地球较为寒冷。关于这一现象的理由、原理有诸多说法，目前尚无定论。

相比于2000年的活跃期，现在的太阳上黑子数量较少。在本次周期开始时，黑子出现量较少的状态持续了较长的时间，这一次的周期可能会比以往的11年周期更长一些。

这种情况在以前也曾发生过。1650～1700年，在太阳上几乎看不到黑子的状态一直持续着，这被称为“蒙德极小期”。在这一期间，全球变冷，欧洲、日本多次出现了饥荒。

这一次太阳活动的小幅度变化还不用大家过于担心，不过专家们却因意见分歧而产生了争论，有人认为接下来二氧化碳会增加导致全球变暖，也有人认为太阳活动会停滞从而导致全球变冷。

[\(1\)](#) 发现者为法国天文学家皮埃尔·朱尔·塞萨尔·让森（1824—1907）。（译者注）

[\(2\)](#) 即太阳神，Helios。（译者注）

历法的编写改变了历史

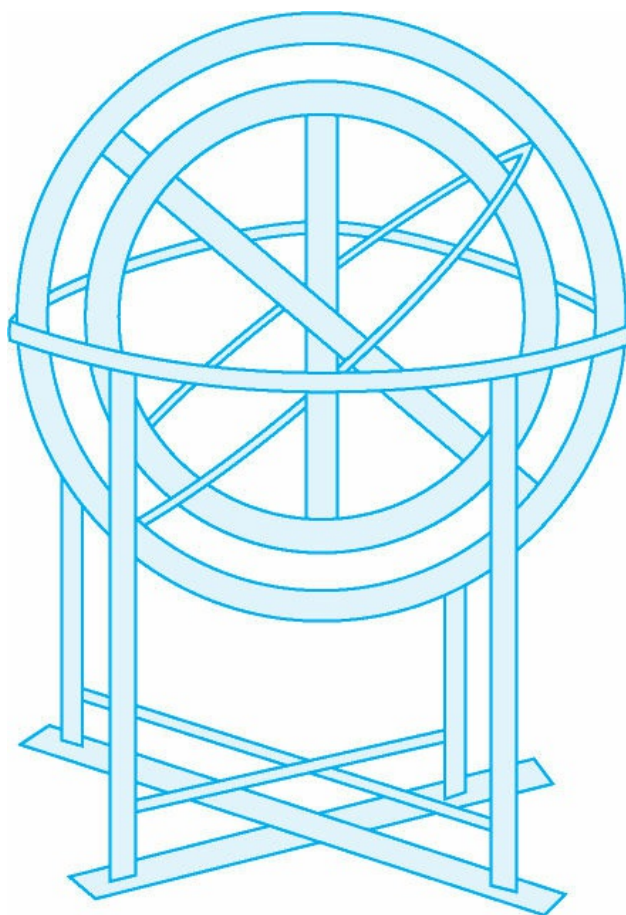
编写历法的工作

你知道如今的日历是在日本的哪里编写的吗？

是在国立天文台。国立天文台有一个名为日历计算室的房间，在这里，研究员会观测太阳等各个天体过去的运行规律，并以此预测其今后的运动，也就是预测春分和秋分。按照传统，日历计算室会在每年的2月1日公布次年的日历。

从事日程本、日历相关工作的人，或是性子比较急的人 would 希望天文台能够“再早一点公布日历”，“希望能够一口气公布十年、一百年的日历”。但实际上，编写日历是一项极为精密的工作（原本预报将在5月21日发生的日食却在20日出现了，或在日本没有发生日食反而在美国发生了，出现这样的情况大家也会头疼吧），而天体的运行也是完全不可能做到长期预测的。

◆天文台上安装的浑天仪



我们不能保证，不会有大型天体（彗星、小行星）经过地球、略微改变了地球或月球轨道的那么一天。但这是在精益求精、细致入微的角度来说的，大家没有必要丢掉手头的万年历。

过去，编制历法是国家的大事。在中国古代，曾经有天文官因为没能准确预报日食而被砍了脑袋。

我曾参观过位于东京都藏前的浅草天文台旧址。我工作的国立天文台是在1988年成立的，它的前身东京天文台是在那之前一百年的1888年诞生的。而东京天文台的前身则是距今330年前，由江户幕府于1685年设立的政府机构天文方。

天文方的活跃

我想应该有很多人听说过日本科幻小说作家冲方丁先生创作的小说《天地明察》，作品中描绘的涉川春海是历史上真实存在的人物，是江户幕府任命的第一位天文方负责人。

当时正是江户幕府第五代将军德川纲吉统治时期。一直以来，京都的朝廷掌管的日本历法非常不准确，连续多次未能准确预报日食、月食。随着文明的发展，按照风俗习惯各地区都会自行研究天文，编写自己的历法、确定自己的时间。

涉川春海受政府之命，独自一人创立了高精度的日本历法，江户幕府传至第五代也终于能够从朝廷手中将编制历法这一国之大事收入囊中了。

江户时代的政府部门与现今不同，采用的是世袭制。但自从涉川春海成立天文方以来，天文方内的工作都是以收养养子的形式代代相传，直到幕末。浅草天文台则是于1782年（天明二年）成立的日本第一个真正的天文台。

当时，天文方在鸟越神社附近搭建了将近10米高的土台，上面安装了数个天体观测装置，无数天文方工作人员曾在此工作。以编绘日本地图而闻名的伊能忠敬也是宽政时代的杰出天文方，曾作为高桥至时的弟子在天文方学习天文学、测绘学。

1868年明治维新之后，日本仿照西方，于1873年（明治六年）废除了阴阳历，第一次采用阳历。天文方是1877年成立的东京大学的前身之一，东京大学理学部就设立了天文学科。1888年，东京大学东京天文台

在东京都的麻布饭仓成立。在关东大地震之后，东京天文台迁至如今位于东京都三鹰市的地址，最后于1988年从东京大学独立并更名为国立天文台。

我们如果想要开创未来，就需要先回溯330年的国立天文台历史中前辈们的足迹。我希望自己的工作能够无愧于那些伟大的前辈们。

生活中不可或缺的天文学知识

近年来，因为快乐星期一制度(1)的导入，我感觉自己已经快分不清全国公共假期究竟是在几月几号了。

3月的春分日、9月的秋分日、夏至、冬至，还有二十四节气（大寒、惊蛰、立夏等）这些都是天文现象，它们是人们根据对一年内太阳运动的预测确定的，每年的日期都有不同。例如春分日，就是太阳从南半球划过赤道、抵达北半球时刻的那一天(2)。听起来可能有点复杂，不太好理解。简单来讲，春分日的时候，太阳会从正东升起，在正西落下。

历法、日历是基于对天体的观测每年更新的。关于历法的历史，自古以来便流传着诸多说法，但至少距今五千年以上人们便开始使用历法了。在古代，历法对于农业而言是极为重要的。

在古埃及，尼罗河每年都会在固定的时期泛滥，人们便通过能否在黎明时的东方天空中观测到恒星天狼星来进行预测。而不同季节看到的星座不同，则是因为地球公转导致了长为一年的周期。

天文现象中，周期性最为明显的便是月亮的盈亏（朔望）。月亮的盈亏决定了一个月的长度。观测月亮就像是天空中的日历一样，这种历法被称为“太阴历”。如今伊斯兰国家仍在使用太阴历。

而太阳的运动速度相对较慢，需要仔细观察，不过通过研究可以发现，在不同季节中，太阳西沉的位置会从正南向南方、北方以一年为周期进行变化。依据太阳在天空上的运动编写的历法就是“阳历”。

月亮的朔望很容易被观察出来，不过一个朔望月约为29.5天，这样一来12个月就会和太阳一年内的运动产生错位，历法就会失去季节感。于是便诞生了一种将月亮的朔望和太阳的运动结合起来、根据需要在一年内插入“闰月”、将年和月对应起来的历法，这就是“阴阳历”，也就是所谓的“农历”。如今也有许多国家像中国那样在生活中运用阴阳历。

在世界历史中，有些地区还会将天狼星等恒星或是月亮、太阳以外的天体作为历法编写的标准。中美洲地区的玛雅文明就采用了基于金星运动的玛雅历。

[\(1\)](#) 日本将部分国民公休假从原来的日期调整至星期一，为民众提供了更多的三连休机会。（译者注）

[\(2\)](#) （北半球的）春分实际为太阳由南半球回归北半球时直射赤道的时刻，春分所处的那一天则为春分日。（译者注）

织女和牛郎不能约会？

星星之间的距离有多远？

日本人最为熟悉的恒星便是七夕之星——织女星和牛郎星了。在仙台、平塚等许多地方都会举办盛大的庆典来庆祝七夕。日本各地的车站、商业街，你都能看到七夕竹已经装点起来，还有许多幼儿园、托儿所、小学会举办七夕活动。然而，七夕虽然是织女与牛郎每年团聚一次的日子，但七夕的夜空却往往并不晴朗。

七夕是古时候由中国传来的风俗。到明治五年为止日本所使用的阴阳历，也就是所谓的农历，和现行的阳历是不同的。农历的七月初七对应阳历大约是在梅雨季结束后的8月份，到江户时代，人们还会在七夕之日欣赏月龄为7日的月亮、银河以及闪耀在银河两岸的织女星和牛郎星，并举行盛大的庆祝活动。

地球距织女星（天琴座的Vega）25光年，距牛郎星（天鹰座的Altair）17光年。

表示宇宙范围内距离的单位有在太阳系范围内使用的“天文单位”和用于更为遥远的宇宙、构成星座的繁星世界中的“光年”。

“1天文单位”指的是多远的距离呢？

太阳系的中心是太阳。太阳的光芒四射夺目，但我们所看到的太阳并不是“现在”的太阳。阳光想要抵达地球，必须经过太阳与地球之间的距离——约1亿5000万千米。光传播这么远的距离需要8分19秒（499秒）。这一距离被称作“1天文单位”。

也就是说，即便这一刻太阳爆炸了，身处地球的我们最快也要在8分19秒之后才能意识到。

光一年内在宇宙中传播的距离叫作“1光年”。光在真空，也就是宇宙空间中会以每秒30万千米的速度传播，一秒内能够绕地球7圈半（地球周长约为4万千米）。

◆天文单位与光年



如果光沿直线传播1年，将传播约9万5000亿千米。1977年发射的行星探测器旅行者1号具有人造飞行器最顶尖的速度，正以6万千米的时速向太阳系外做高速运动。

自升空后已经过去了将近40年，但它目前距离地球也只有大概130个天文单位，相当于200亿千米左右，由此可知光速究竟有多么快了。

织女与牛郎的恋情何去何从

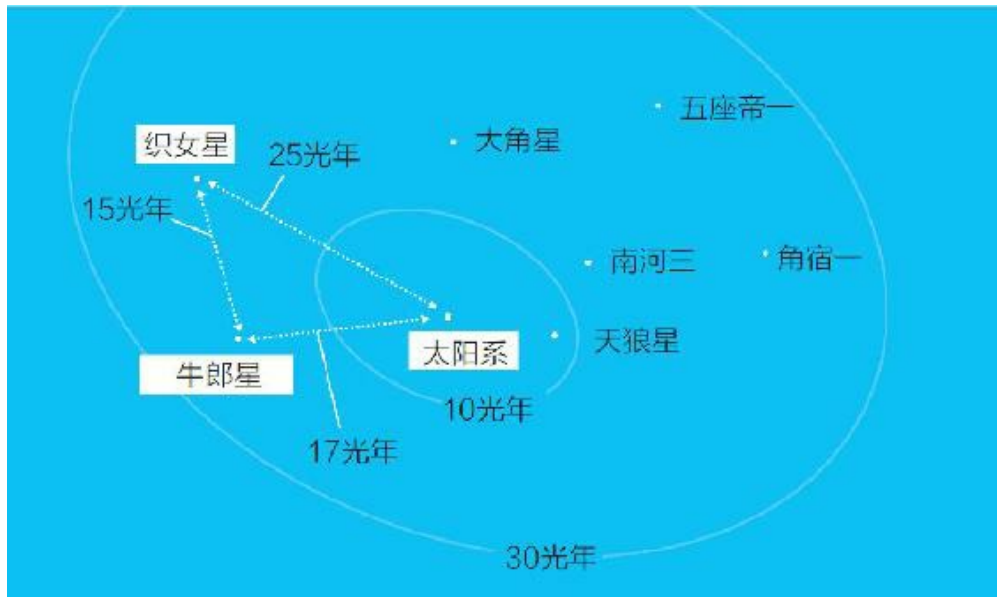
和织女星、牛郎星共同组成“夏季大三角”的1等星是天鹅座天津四这颗恒星。天津四距离地球1400光年，我们看见的光芒是1400年前的光。夜空中的恒星看起来就像是嵌在天象仪的球形天花板上一样，但它们彼此间的距离其实各有不同。反过来想一想，这些恒星距离地球25光年、17光年、1400光年，可谓是天差地别，但在地面上看起来却几乎是一样亮的，这是多么不可思议啊。

天体看起来的亮度和其距地球距离的平方成反比，牛郎星和天津四真正的亮度其实相差近一万倍之多。像天津四这样的能够释放大量的光的恒星被称为巨星或超巨星。恒星也都是各具特色的。

来自织女星的光线需要25年才能抵达地球。牛郎星距离地球17光年，因此抵达地球的是17年前的光线。织女星、牛郎星之间的距离为15光年，也就是95000亿千米的15倍。

七夕临近之时，织女联系牛郎说：“牛郎，我们七月初七在银河相会吧”，这束电波要在15年后才能抵达牛郎星。牛郎接到联络后，即便立刻回复“好的”，织女也要到30年之后才能收到回信。

◆织女星、牛郎星与地球之间的距离



从天文学的角度来讲，织女和牛郎是无法每年都相会的。

天文学家虽然正在研究宇宙，但和牛郎织女的故事一样，我们只能观测到天体过去的样子，能够观测到当下模样的天体仅限于地球周边的宇宙空间。

与地球相似的星球的存在

目前，我们还没有在任何一颗地外天体上发现生命。但在大约20年前的1995年，我们在天马座51这颗恒星处首次发现了太阳系外的行星（系外行星）。

虽然人类自古以来就在想象地球之外的行星，但想要发现自身不会发光的遥远星球必须依靠天体观测技术的发展。在那以后，人类发现了许多系外行星，目前已经确认的系外行星已经有约4000颗。

当然，我们还没有发现织女星和牛郎星的行星，不过我们正在不断发现具有和地球相似大小、环境的行星。如今正在运转的天文望远镜和观测卫星还并不具备足够的能力去分析可能存在生命的星球上是否真的有生命存在。

但到了2020年以后，当口径超过30米的超大型天文望远镜建成后，预计将会有以寻找有生命存在的星球为目的的太空望远镜升空，电影《星球大战》中的世界也许有一天能够成为现实。

寻找太阳系的尽头

在土星上看到的地球

位于我们的太阳系中心的是身为恒星的太阳。地球上几乎所有的生物都依赖着太阳的能量。太阳距地球大约1亿5000万千米，光需要传播8分19秒才能抵达。

这就意味着我们现在抬头仰望时看到的太阳，是8分19秒之前的太阳。这大约1亿5000万千米的距离便是太阳系内距离的基准，被称为1天文单位。

太阳和土星的距离是太阳距地球的10倍，也就是10个天文单位。让我们到土星附近去看看吧。就像前面介绍的那样，行星探测器“卡西尼号”就曾经绕土星进行过探测。

2013年，卡西尼号利用土星的影子遮住了太阳的时机，拍摄了地球的照片。如果不这样做的话，太阳会过于耀眼，无法拍摄到地球、火星等行星。拍摄时，地球上超过2万人像土星挥手致意。看着这张纪念照，你会真切地感到地球不过只是一个小小的点而已。

旅行者1号如今在哪里？

在人类发射的人造天体、航天器中，走得最远的就是“旅行者1号”。1977年相继升空的旅行者1号、旅行者2号可以说是在为数众多的行星探测器中最为活跃的。

两架探测器都接近了木星和土星，旅行者2号还经过了天王星、海王星。它们发现在木星的卫星木卫一上有活火山在喷发，还在土星细致拍摄了土星环的结构，我们也由此知道土星环是由无数细环聚集而成的。旅行者发回的震撼照片曾使无数人沉迷。

先行出发的旅行者1号如今已经航行到了距离地球约200亿千米的地方，这大约是太阳与地球之间距离的130倍。如果你现在身处于旅行者1号上，那么你接下来将很难再用肉眼看到我们的家园——地球了。

推动旅行者计划的是美国天文学家卡尔·萨根，他因为在先驱者号和旅行者号上留下了写给外星人的信息而闻名。1990年，在旅行者1号最后一次能够拍照并传回地球的时候，他向旅行者1号发出指令，要求它拍摄太阳系内所有行星的照片。旅行者接收到这一指令时距离地球40个天文单位（约60亿千米），正好位于冥王星附近。

旅行者1号费尽千辛万苦拍摄的地球看起来不过是一个模糊的光点。这张地球的照片被称作“暗淡蓝点”，至今仍是拍摄到的最远的地球照片。

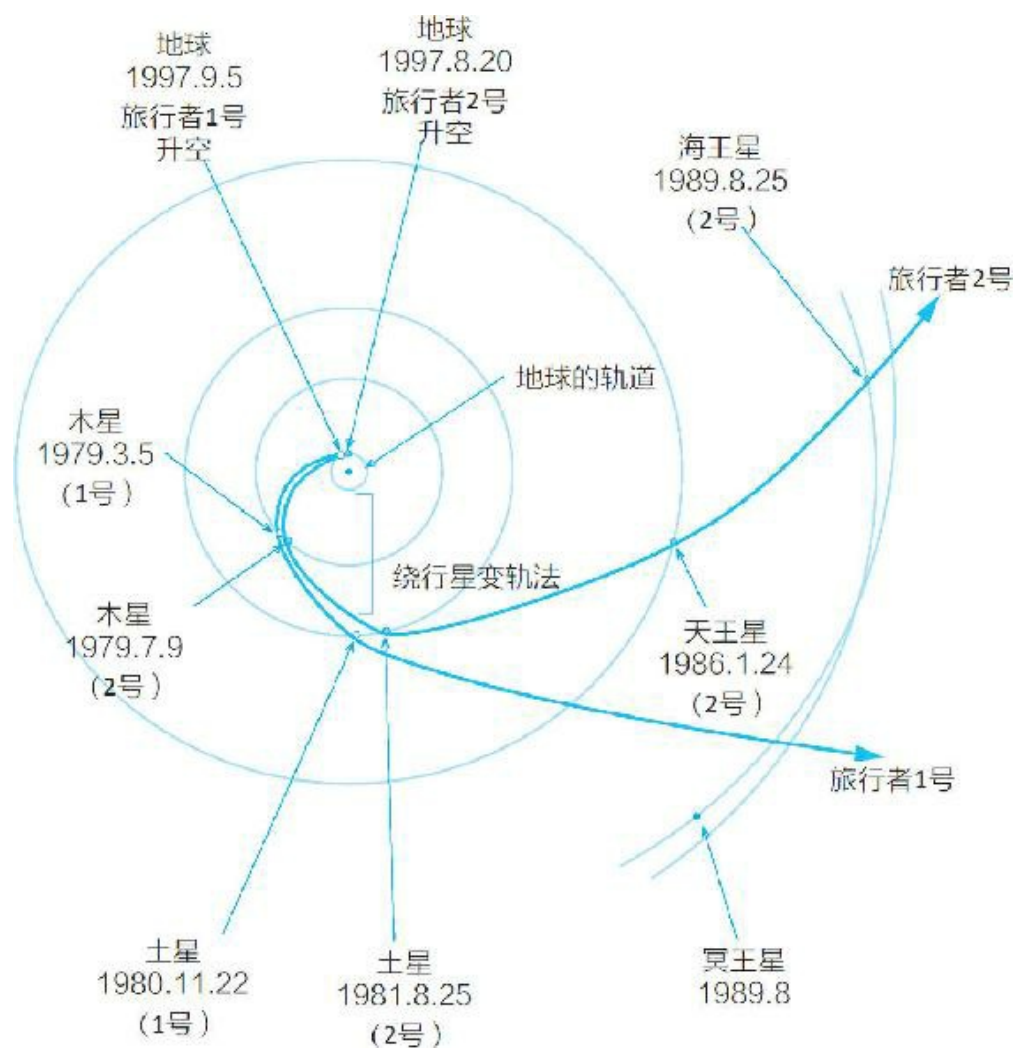
2013年9月，NASA宣布旅行者1号成了第一个脱离太阳圈的人造物体。但旅行者1号并非离开了太阳系，而仅仅是离开了“太阳风层”。太阳射出的带电粒子，也就是太阳风及太阳风的覆盖范围被称作太阳风层

（简称太阳圈）。旅行者1号已经进入了一个来自太阳系附近的恒星的带电粒子比太阳风更多的区域。

第九颗行星

在距离地球200亿千米的地方、海王星的外侧，存在着许多被称为外海王星天体的冰质小天体在绕太阳公转。2016年1月，科学家公布了一个消息，那里有极高的可能性存在着太阳系的行星九。

◆旅行者号的路径

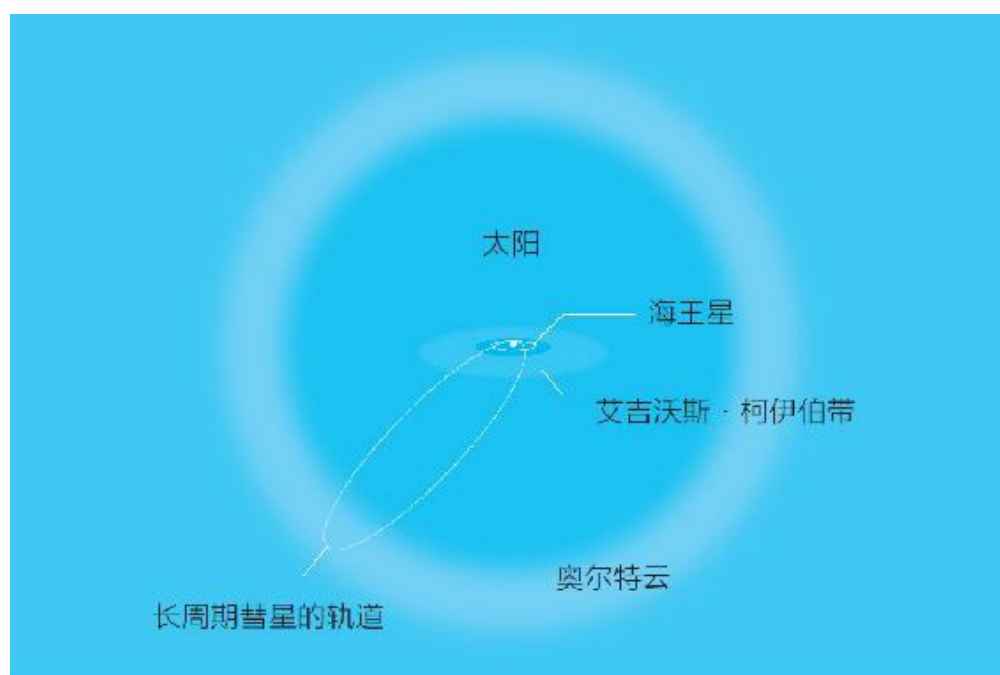


参考：《新版地学教育讲座》：“星体的位置与运动”，日本东海大学出版会出版。

行星九的质量约为地球的10倍，每1万~2万年绕太阳公转一周。但它与太阳之间的距离并非总是一致的，其轨道呈椭圆形，它距离太阳最远的地方超过了旅行者1号，达到了900亿千米。

公布了这一激动人心的消息的是2003年在冥王星外侧发现了阋神星的美国的迈克尔·布朗博士（1965~）团队。也正因为阋神星的发现，冥王星从行星九变为了矮行星。这位布朗博士亲自公布了关于新的行星九的预测，如今全世界都对此抱有高度的关注。

◆太阳系的尽头“奥尔特云”



那么，太阳系的尽头究竟是哪呢？天文学家们一般认为到长周期彗星的源头“奥尔特云^{[①](#)}”为止的范围都是太阳系。奥尔特云指的是受太阳重力影响绕太阳公转的天体所存在的范围，它将太阳系包裹在一个蛋壳状的范围内。1950年，荷兰天文学家扬·奥尔特（1900~1992）提出了奥尔特云的观点。

泛星彗星、ISON彗星等许多彗星都来自奥尔特云。从太阳系形成历史的角度来考虑，到奥尔特云为止应当都是46亿年前诞生的太阳系的一部分。

地球与奥尔特云之间的距离约为太阳与地球之间距离的1万倍：1万亿千米。太阳系的尽头真是遥远无边呀。

[\(1\)](#) 也称奥尔特星云。（译者注）

看到最亮星星的方法

天空最美丽的时刻

秋天的太阳落山早。夏日的喧嚣散去之后，秋日的黄昏便是大自然带给我们的原初的风景。但不论是哪一个季节，太阳下山后天空都不会立刻变得一片漆黑。西方天空中的夕阳美轮美奂，其后天空才会一点一点暗下来。

太阳落山后、天色完全变黑之前，以及清晨日出之前的时间带被称为“薄明（薄暮）”。地平线下的阳光经过大气中尘埃和水蒸气的散射，使得天空泛着朦胧的光芒。

薄明的时长在不同季节会有所不同，在日本大约能持续一个半小时。薄明被公认为是天空最美的时刻。在北极圈、南极圈等高纬度的地区，薄明的时长受季节影响较为明显。北纬66.6度⁽¹⁾以上的地区被称为北极圈，在夏季会出现太阳一整天都处于地平线以上的极昼现象。在北极圈附近的地区，太阳仅有一部分会落入地平线以下，但薄明会一直持续直到第二天早上。这种现象也被称作极昼。

你难道不想在欣赏美丽天空的同时寻找夜空中最闪亮的那颗星吗？

不同地域薄明开始的时间也不同。通过124页开始展示的日历，大家可以看到日本不同的城市薄明开始的时间。

最亮的星是哪一颗？

不管是哪一个季节，你都能在太阳落下的西方天空中看到一颗异常明亮的星星，那应该就是金星。金星自古以来被称为长庚或是启明，是距离地球最近的行星，同时因为金星表面覆盖着极厚的云层，能够直接反射太阳光，因此具有-4等星亮度，是1等星的100倍，总是闪烁在黄昏时的西方天空或是黎明前的东方天空。视力好的人能在日出前日落后泛青的天空中找到金星，不过大多数人都是在薄明刚开始的时候发现金星的。

金星没有在黄昏出现时，最亮的星一般是当季的1等星或是其他行星。你知道吗？即便是出现在同一片天空中的星星，以金星为首的行星，还有勾勒出星座形状的恒星之间发光的原理是不同的。

天狼星、参宿七、织女星等恒星因为距离地球过于遥远，它们散发出的光芒是作为一个光点抵达地球的。它们的光接近地球后，光子的运动受大气影响而被分散，在地上看起来，恒星就像是在一眨一眨地眨着眼。尤其是在上空的喷射气流流速加快的冬季夜空中，星星眨眼的幅度看起来会比平时更大。

而行星只要用望远镜在观测时稍微放大一些就能够看到表面，它们散发的光芒是呈面状抵达地球大气的。为此，虽然它们的光芒也会和恒星一样被大气分散，但行星的光芒最后会凝结为一束。只要记住这一点不同，就能够分辨出天空中最亮的星星究竟是行星还是恒星了。

最近，有很多人已经开始用智能手机上的星座应用来替代活动星图了。黄昏时如果有空的话，可以用手机镜头对准薄明的天空，和升起的

繁星来一场浪漫的对话吧！

◆薄明日历（札幌、东京、京都、福冈）

札幌（纬度43.07°N°经度：141.35°E）

月	日	日出	日入	月	日	日出	日入	月	日	日出	日入
1/	1	7:06	16:10	5/	1	4:29	18:35	9/	1	4:58	18:10
	6	7:06	16:15		6	4:22	18:41		6	5:04	18:01
	11	7:05	16:20		11	4:16	18:47		11	5:09	17:53
	16	7:03	16:26		16	4:10	18:52		16	5:15	17:44
	21	7:00	16:32		21	4:06	18:57		21	5:20	17:34
	26	6:56	16:39		26	4:02	19:02		26	5:26	17:25
	31	6:51	16:45		31	3:59	19:06				
2/	1	6:50	16:47	6/	1	3:58	19:07	10/	1	5:31	17:17
	6	6:44	16:53		6	3:56	19:11		6	5:37	17:08
	11	6:38	17:00		11	3:55	19:14		11	5:43	16:59
	16	6:31	17:07		16	3:55	19:16		16	5:49	16:51
	21	6:24	17:13		21	3:55	19:18		21	5:55	16:43
	26	6:16	17:20		26	3:57	19:18		26	6:01	16:35
									31	6:07	16:28
3/	1	6:11	17:23	7/	1	3:59	19:18	11/	1	6:09	16:27
	6	6:03	17:30		6	4:02	19:17		6	6:15	16:21
	11	5:54	17:36		11	4:05	19:15		11	6:21	16:15
	16	5:45	17:42		16	4:09	19:12		16	6:28	16:10
	21	5:37	17:48		21	4:14	19:08		21	6:34	16:06
	26	5:28	17:54		26	4:19	19:03		26	6:40	16:03
	31	5:19	17:59		31	4:24	18:58				
4/	1	5:17	18:01	8/	1	4:25	18:56	12/	1	6:46	16:01
	6	5:08	18:06		6	4:30	18:50		6	6:51	16:00
	11	5:00	18:12		11	4:35	18:43		11	6:56	16:00
	16	4:52	18:18		16	4:41	18:36		16	6:59	16:01
	21	4:44	18:24		21	4:46	18:28		21	7:03	16:03
	26	4:36	18:30		26	4:52	18:20		26	7:05	16:05
					31	4:57	18:12		31	7:06	16:09

京都（纬度：35.02°N°经度：135.75°E）

月	日	日出	日入	月	日	日出	日入	月	日	日出	日入
1/	1	7:05	16:56	5/	1	5:06	18:42	9/	1	5:29	18:24
	6	7:05	17:00		6	5:01	18:46		6	5:33	18:17
	11	7:05	17:05		11	4:57	18:50		11	5:37	18:10
	16	7:04	17:09		16	4:53	18:54		16	5:40	18:03
	21	7:02	17:14		21	4:49	18:58		21	5:44	17:56
	26	7:00	17:19		26	4:47	19:02		26	5:48	17:49
	31	6:57	17:24		31	4:45	19:05				
2/	1	6:56	17:26	6/	1	4:44	19:06	10/	1	5:51	17:42
	6	6:52	17:31		6	4:43	19:08		6	5:55	17:35
	11	6:47	17:36		11	4:42	19:11		11	5:59	17:28
	16	6:42	17:40		16	4:42	19:13		16	6:03	17:21
	21	6:37	17:45		21	4:43	19:14		21	6:08	17:15
	26	6:31	17:50		26	4:45	19:15		26	6:12	17:09
									31	6:17	17:04
3/	1	6:27	17:52	7/	1	4:46	19:15	11/	1	6:18	17:03
	6	6:20	17:57		6	4:49	19:14		6	6:22	16:59
	11	6:14	18:01		11	4:52	19:13		11	6:27	16:54
	16	6:07	18:05		16	4:55	19:11		16	6:32	16:51
	21	6:00	18:09		21	4:58	19:08		21	6:37	16:48
	26	5:53	18:13		26	5:02	19:05		26	6:42	16:47
	31	5:46	18:17		31	5:05	19:01				
4/	1	5:44	18:18	8/	1	5:06	19:00	12/	1	6:46	16:45
	6	5:37	18:22		6	5:10	18:55		6	6:51	16:45
	11	5:31	18:26		11	5:14	18:50		11	6:54	16:46
	16	5:24	18:30		16	5:17	18:45		16	6:58	16:47
	21	5:18	18:34		21	5:21	18:39		21	7:01	16:49
	26	5:12	18:38		26	5:25	18:32		26	7:03	16:52
					31	5:29	18:26		31	7:05	16:55

东京（纬度：35.66°N°经度：139.74°E）

月	日	日出	日入	月	日	日出	日入	月	日	日出	日入
1/	1	6:51	16:39	5/	1	4:49	18:27	9/	1	5:13	18:09
	6	6:51	16:43		6	4:44	18:32		6	5:17	18:02
	11	6:51	16:47		11	4:40	18:36		11	5:20	17:55
	16	6:50	16:52		16	4:35	18:40		16	5:24	17:47
	21	6:48	16:57		21	4:32	18:44		21	5:28	17:40
	26	6:45	17:02		26	4:29	18:47		26	5:32	17:33
	31	6:42	17:07		31	4:27	18:51				
2/	1	6:41	17:08	6/	1	4:27	18:51	10/	1	5:36	17:25
	6	6:37	17:14		6	4:25	18:54		6	5:40	17:18
	11	6:32	17:19		11	4:25	18:57		11	5:44	17:11
	16	6:27	17:24		16	4:25	18:59		16	5:48	17:05
	21	6:21	17:29		21	4:25	19:00		21	5:52	16:59
	26	6:15	17:33		26	4:27	19:01		26	5:57	16:53
									31	6:02	16:47
3/	1	6:11	17:36	7/	1	4:29	19:01	11/	1	6:03	16:46
	6	6:05	17:41		6	4:31	19:00		6	6:07	16:41
	11	5:58	17:45		11	4:34	18:59		11	6:12	16:37
	16	5:51	17:49		16	4:37	18:57		16	6:17	16:34
	21	5:44	17:53		21	4:41	18:54		21	6:22	16:31
	26	5:37	17:58		26	4:44	18:50		26	6:27	16:29
	31	5:29	18:02		31	4:48	18:46				
4/	1	5:28	18:02	8/	1	4:49	18:46	12/	1	6:32	16:28
	6	5:21	18:07		6	4:53	18:41		6	6:36	16:28
	11	5:14	18:11		11	4:57	18:35		11	6:40	16:28
	16	5:07	18:15		16	5:00	18:30		16	6:44	16:29
	21	5:01	18:19		21	5:04	18:24		21	6:47	16:31
	26	4:55	18:23		26	5:08	18:17		26	6:49	16:34
					31	5:12	18:10		31	6:50	16:38

福岡（纬度：33.58°N°经度：130.40°E）

月	日	日出	日入	月	日	日出	日入	月	日	日出	日入
1/	1	7:23	17:21	5/	1	5:30	19:01	9/	1	5:52	18:44
	6	7:23	17:25		6	5:25	19:05		6	5:55	18:38
	11	7:23	17:29		11	5:21	19:09		11	5:59	18:31
	16	7:22	17:34		16	5:17	19:13		16	6:02	18:24
	21	7:21	17:39		21	5:14	19:16		21	6:05	18:17
	26	7:18	17:44		26	5:12	19:20		26	6:09	18:10
	31	7:15	17:49		31	5:10	19:23				
2/	1	7:15	17:49	6/	1	5:09	19:23	10/	1	6:12	18:03
	6	7:11	17:54		6	5:08	19:26		6	6:16	17:57
	11	7:07	17:59		11	5:08	19:29		11	6:20	17:50
	16	7:02	18:04		16	5:08	19:30		16	6:24	17:44
	21	6:56	18:08		21	5:09	19:32		21	6:28	17:38
	26	6:51	18:12		26	5:10	19:32		26	6:32	17:33
									31	6:36	17:28
3/	1	6:47	18:15	7/	1	5:12	19:33	11/	1	6:37	17:27
	6	6:41	18:19		6	5:14	19:32		6	6:41	17:22
	11	6:34	18:23		11	5:17	19:31		11	6:46	17:18
	16	6:28	18:27		16	5:20	19:29		16	6:51	17:15
	21	6:21	18:31		21	5:23	19:26		21	6:55	17:13
	26	6:14	18:34		26	5:26	19:23		26	7:00	17:11
	31	6:08	18:38		31	5:30	19:19				
4/	1	6:06	18:39	8/	1	5:30	19:19	12/	1	7:04	17:10
	6	6:00	18:42		6	5:34	19:14		6	7:08	17:10
	11	5:53	18:46		11	5:37	19:09		11	7:12	17:11
	16	5:47	18:50		16	5:41	19:04		16	7:16	17:12
	21	5:41	18:54		21	5:44	18:58		21	7:19	17:14
	26	5:35	18:57		26	5:48	18:52		26	7:21	17:17
					31	5:51	18:46		31	7:22	17:20

※受闰年等因素的影响，每年的时间会产生1~2分钟的偏差。详情请查阅理科年表或天文年鉴。



[\(1\)](#) 此处的66.6度为十进制，北极圈的纬度数值一般用66°34′表示。（译者注）

Part 3

宇宙是多么不可思议

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = kT_{\mu\nu}$$

$$\Lambda g_{\mu\nu}$$

发现“宇宙中的第一颗星”

宇宙的“暗问题”

如今，天文学家们正面对着宇宙黑暗时代、暗物质、暗能量这三个“暗问题”。在这一节，我将为大家介绍“宇宙黑暗时代”，在下一节将介绍“暗物质”和“暗能量”。

一般认为，宇宙是在距今138亿年前的大爆炸中诞生的。这种理论被称作“大爆炸宇宙论”。而“宇宙黑暗时代”则指的是自宇宙大爆炸38万年后发生的“宇宙放晴”到宇宙的第一颗星球诞生为止长达数亿年的黑暗。那是星星在宇宙中绽放光芒之前的时代。

我们到现在对这一时期的情况仍不了解。想要研究第一颗星球诞生的宇宙初期，想要研究最为遥远的宇宙，需要比现有的天文望远镜体型更加庞大的设备。

宇宙大爆炸与宇宙的诞生

归根究底，宇宙的诞生直到今天仍然是我们尚未解开的一个谜。一般认为宇宙是从“虚无”中诞生的。所谓虚无指的就是不存在如今宇宙中所拥有的“物质”“空间”，甚至“时间”的状态。

宇宙刚诞生时可能存在着高达11个次元。之后，多余的次元渐渐降维，最后只剩下三维的空间和一维的时间。至少我们所生存的这个宇宙是一个四维的宇宙。

在宇宙诞生的同时，极为微小的“宇宙”会瞬间膨胀到比一个星系团还大，远超人们的想象。这种现象被称为“暴胀”。

虽然现在还未发现关于暴胀的证据，但间接证据给了暴胀可靠的理论支持。在这一时期，宇宙内含的真空能量突然相变为热能。在狭义上[\(1\)](#)这次相变（的瞬间）被称作宇宙大爆炸。

宇宙大爆炸释放的惊人热量使得刚刚诞生的宇宙进一步膨胀。暴胀和宇宙大爆炸产生了时间，空间也随之开始扩张。

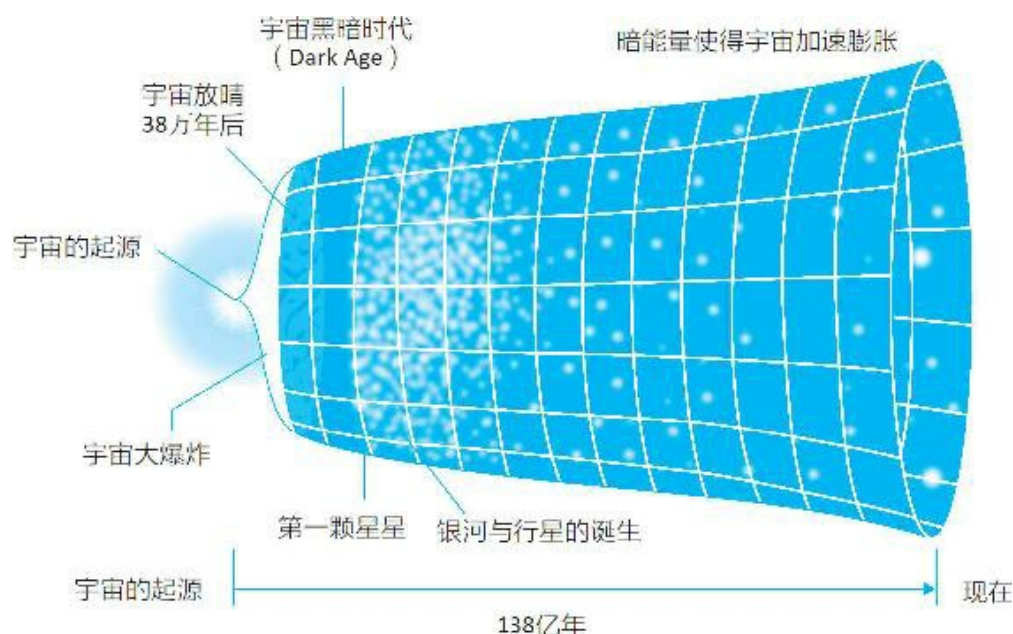
大爆炸时的宇宙就像是一个火球。当时的宇宙处于一个极度高温、极度大密度的状态，甚至超过了恒星内部的核聚变反应。大量的基本粒子就是在这时产生的。

当时的基本粒子有两种，一种是“粒子”，另一种是和粒子发生反应后会释放巨大能量并湮灭的“反粒子”。反粒子与粒子相比数量极少，每10亿个粒子才有1个反粒子，因此反粒子在宇宙早期就已经全部湮灭了。仅剩的为数不多的粒子成了如今的宇宙的万物之源。

在迷雾之中放晴

在急速膨胀的同时，宇宙的温度也逐渐降低。基本粒子夸克聚集在一起，组成了质子和中子。质子和中子聚集在一起，又形成了氢、氦等的原子核。在这一时期诞生的原子核中，92%为氢，剩余8%为氦以及极少的锂。到此为止不过是宇宙大爆炸之后大概3分钟内发生的事情。

◆宇宙的历史



初期的宇宙中飞舞着大量的电子。光子因为与电子产生碰撞无法直线传播，所以当时的宇宙是不透明的，仿佛处于雾中一般。在宇宙大爆炸的38万年之后，宇宙随着自身膨胀已经充分冷却了下来（3000摄氏度），电子与原子核结合形成了原子，不再阻碍光子的传播。宇宙中的视野也因此转好，这就是宇宙放晴的瞬间。

当时释放出的光芒就是如今的宇宙背景辐射，用绝对温度来衡量的

话，可以观测到背景辐射是3K的微波。

在宇宙放晴之后，宇宙中的所有氢、氦、锂都处于原子状态。没有一丝光明的黑暗持续了数亿年。这些元素后来聚集起来，形成了恒星，恒星释放的光芒才终于将处于黑暗深渊的宇宙照亮。各国的天文台都在竞相寻找那束来自宇宙中第一颗星球的光芒。

前面已经提到，日本国立天文台建造的巨型望远镜TMT在完成后，解析力将是昴望远镜的4倍，集光力将是昴望远镜的10倍以上。TMT一定能够揭开宇宙第一颗星球以及第一个星系形成的奥秘。

口径超过30米的新一代超大型天文望远镜计划除TMT之外在世界上还有两个，10年之后，使用30米级望远镜进行的研究将会成为天文学研究的主流。

大爆炸之后过了
几亿年，宇宙中的
第一颗星星究竟
是如何绽放光芒
的呢？



(1) 广义的宇宙定义是万物的总称，是时间和空间的统一。狭义的宇宙定义是地球大气层以外的空间和物质。（编者注）

暗能量之谜

暗物质的真相

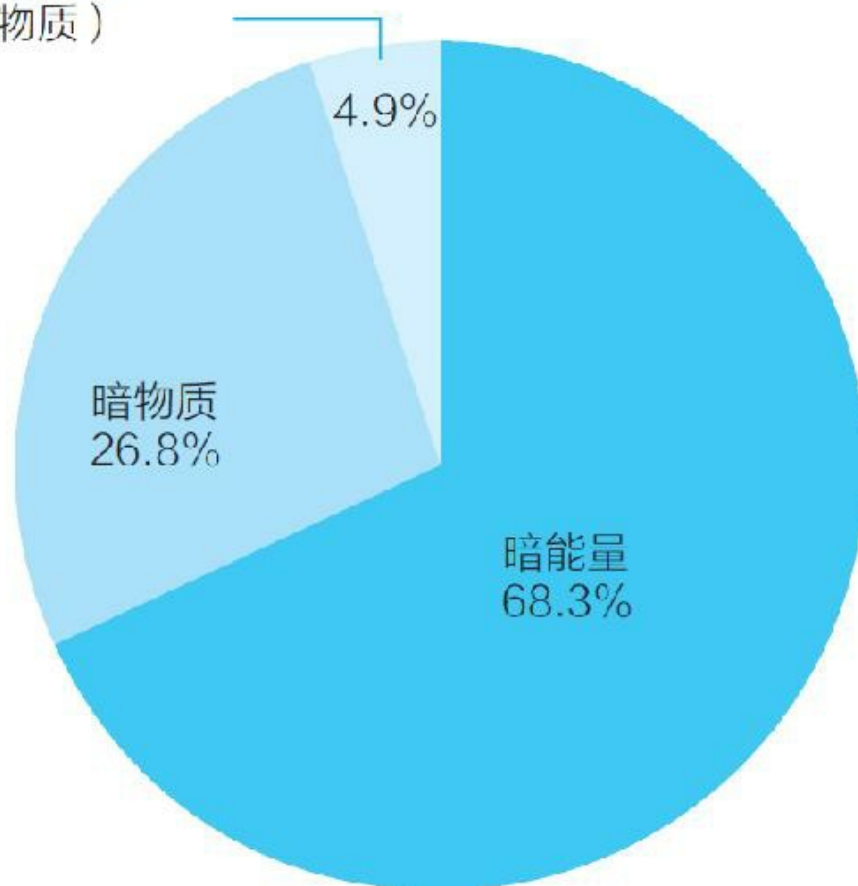
地球的大气中有78%是氮气、21%为氧气。同时，我们人体的构成，如果用化学元素来分析的话，氧占65%、碳占18%、氢占10%、氮占3%。那么，宇宙的组成结构又是怎样的呢？

2013年，欧洲航天局（ESA）发射了宇宙微波背景探测卫星普朗克，其最新研究成果现已公布。研究显示，构成整个宇宙的所有物质、能量中，常见物质占比4.9%，暗物质占比26.8%，暗能量占比则为68.3%。

包括在宇宙中闪耀的恒星在内，构成宇宙的各种元素，在整个宇宙的物质、能量中的占比不过5%左右。

◆宇宙由什么构成？

构成宇宙的元素
(常见物质)



而另一方面，约占27%的暗物质目前还是一个尚不清楚具体为何物的未知物质，但我们已经知道暗物质和化学元素一样，也会受到重力的作用。

关于暗物质究竟是什么，目前有许多学说，人们也在不断进行着各种实验和观测。有人猜测暗物质可能是一种未知的基本粒子，但目前并没有证据支撑这一猜测。

关于暗物质的存在，早在20世纪60年代就有人预言。如今，我们利用引力透镜这一现象，可以探测到电磁波无法探测到的暗物质在宇宙中的分布情况。所谓引力透镜，是百年前阿尔伯特·爱因斯坦（1879～1955）在广义相对论中预言的一种现象。广义相对论简单来说，便

是“宇宙中的时间与空间都受到重力的支配”的一种思想。

爱因斯坦预言称，受到太阳这样大质量天体的重力影响，宇宙空间本身会产生畸变，而光在经过大质量天体附近时，其传播路线也会随之弯曲。光线的弯曲就像是在宇宙中放置了一块透镜一样，因此这一现象被称作引力透镜。

1919年，引力透镜说在日全食的观测中被证明了。以英国知名天文学家亚瑟·艾丁顿（1882～1944）为队长的日食观测队，在非洲和巴西观测日全食。他们将没有日食时（也就是其他季节的夜间）测出的位于日食位置背后的星体光线，与发生日全食时太阳光被遮蔽、太阳周围的星体由此可见时的星体光线进行比较，发现两者有微小的差别。

这一结果证明，恒星的光在经过太阳附近时，会受到太阳重力的影响而产生微小的扭曲，也就是说它证明了引力透镜的存在。爱因斯坦的相对论在科学界也因此被认定为事实，其后，爱因斯坦的地位也愈加不可动摇。

像这样，通过引力透镜来观测扭曲的天体，由其扭曲的程度可以测定暗物质的量及其分布范围。

日本的昴望远镜如今也在通过新的广域照相机，试图揭开暗物质之谜。

宇宙在不断膨胀

宇宙在138亿年前发生了大爆炸，宇宙本身在今天也在不断地膨胀。使宇宙膨胀的能量正是暗能量。TMT用长达数十年的时间来观察、测量遥远星系的变化，想要找出宇宙膨胀的变化量。

与此同时，人们在1998年发现了一个有趣的事实。宇宙的膨胀如今正在加速。在大爆炸之后宇宙一直在膨胀，至今为止，人们一直认为宇宙的膨胀会慢慢减弱最终停滞，或者反过来开始收缩。

然而，现在人们通过观测已经发现，宇宙的膨胀在大约60亿年前开始加速了。这是通过研究宇宙深处的星系中诞生的许多超新星而得出的结论。超新星的产生数量是可以通过计算来预测的。同时，因为超新星十分明亮，因此即便它在宇宙深处，我们也能测量出地球距其所在星系的距离。研究结果表明，过去宇宙膨胀的速度比现在更为缓慢。如果做一个形象的比喻，宇宙是呈喇叭口状继续膨胀的。这一事实本身就足以震惊世人。

暗能量与爱因斯坦

而这一发现，实际上对爱因斯坦的引力场方程也产生了巨大的影响。引力场方程是精密表达出重力作用的公式。重力的作用于350年前为人们发现，可以通过牛顿的万有引力定律大致表达出来。我们在地球上的生活基本上可以仅靠万有引力定律来进行解释。然而，在宇宙诞生之初，或是在黑洞等极为强大的重力源附近，就必须使用较万有引力定律更为严密的爱因斯坦的引力场方程来解释。

广义相对论将时间、空间与重力之间的关系进行了整理，以它为基础的引力场方程便自然而然地能够得出宇宙将继续膨胀的结论。

然而，这对于爱因斯坦来说却是一个棘手的难题。

因为，当时包括爱因斯坦在内，所有人都认为“宇宙的神的领域＝永远不变的存在”。普通人自不用说，所有科学家们也都深信宇宙是永恒不变的。英语中有一个词汇含有宇宙之意，叫作“COSMOS”，意味“和谐之物”，是“CHAOS”（混沌）的反义词。“COSMOS”并非永恒不变，而是在不断膨胀的。这一事实对于爱因斯坦而言，相比于科学发现上的震撼，他在心理上更难以接受。

◆爱因斯坦的引力场方程

原来的爱因斯坦引力场方程

$$G_{\mu\nu} = kT_{\mu\nu}$$

加入了“宇宙常数”的引力场方程

$$G_{\mu\nu} + \underbrace{\Lambda g_{\mu\nu}}_{\text{宇宙常数}} = kT_{\mu\nu}$$

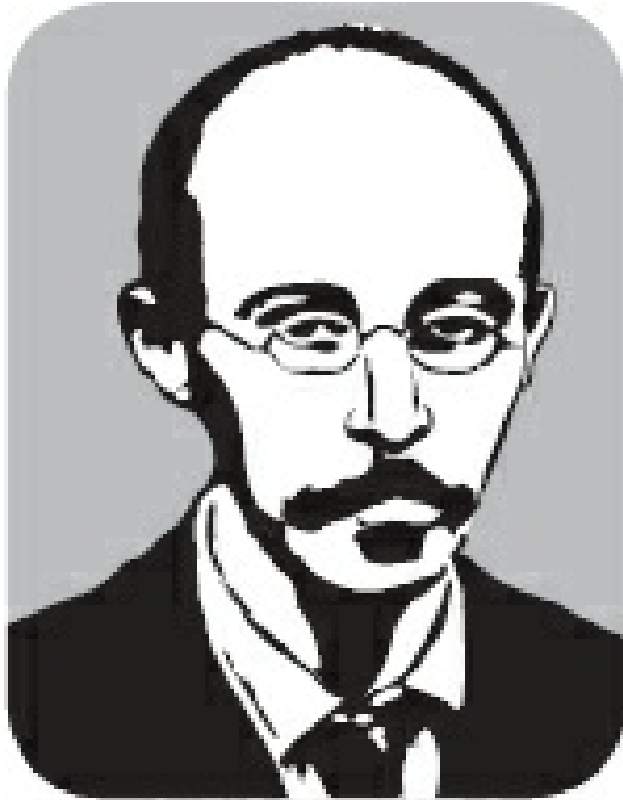
||
暗能量（斥力）

$\Lambda g_{\mu\nu}$ 是让宇宙
膨胀的力



因此爱因斯坦需要证明宇宙并没有在膨胀，而是处于静止状态。而他当时所采取的行动是，他不顾“宇宙常数”并没有可靠的物理学依据，而将其这一与重力性质相反的斥力（物体间相互排斥之力）引入了引力场方程。

当时在苏联有一位数学家名叫亚历山大·弗里德曼，他是一位天才数学家，年仅37岁便英年早逝。他在量子力学、相对论等当时最先进的物理学领域造诣很深，并通过自己擅长的数学对宇宙的构造进行了深入研究。他在对爱因斯坦的广义相对论进行细致验证的过程中得出了一个结论，认为“宇宙应当处于正在膨胀或正在收缩当中的某一状态”，也就是说“宇宙并非静止的”。



亚历山大·弗里德曼

(1888~1925)

爱因斯坦并不赞同这一结论。然而在1929年，美国天文学家爱德文·哈勃通过观测证明了宇宙的膨胀，这也成了证明宇宙是因为大爆炸而产生的有力证据。爱因斯坦也不得不取消宇宙常数。

然而60年后，人们还是发现宇宙中果然存在着与重力等引力相反的斥力，这种斥力被称作暗能量。暗能量如今正在使宇宙的膨胀不断加速。遗憾的是，凭借如今的科学技术完全无法揭开它的真面目。

如今，宇宙学的研究一线正陷入一片混沌。研究微观的基本粒子的物理学家也好，将宏观的宇宙当作实验场的天文学家也好，都在翘首期盼一种能够彻底解决所有“为什么？”的新理论出现。

星系是如何形成的？

星系有许多种类

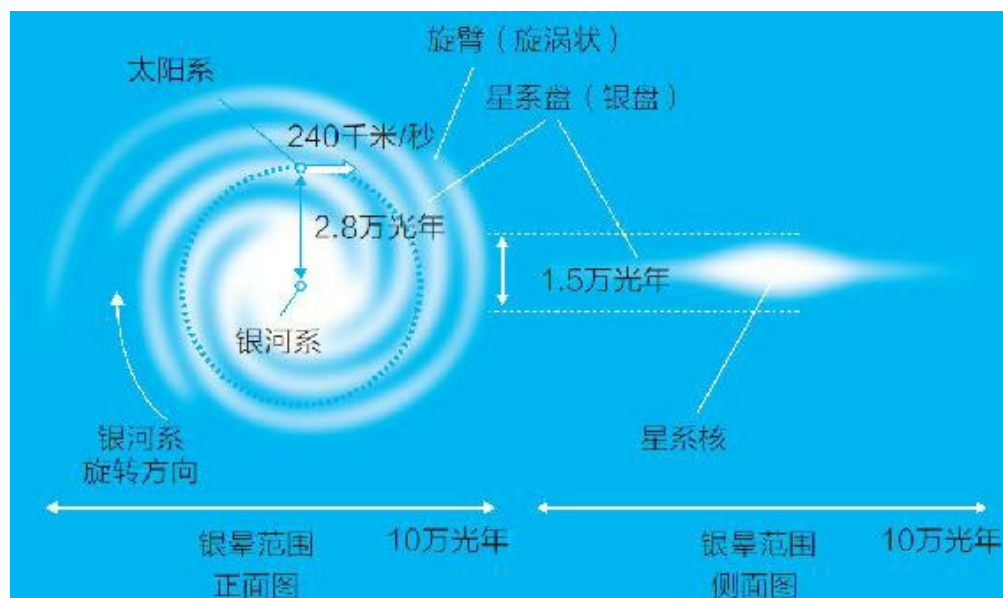
我们的身体是由大约60万亿个细胞组成的。宇宙则是由被称为星系的星体的大型集合体构成的。星系的数量据估算约有数千亿个，但准确的数目尚不得而知。

很少有星系会像细胞那样彼此紧密相连，虽然会存在星系群、星系团、超星系团等星系组成的集团，但星系之间都是相互分离、各自独立的，星系之间会存在极为稀薄的氢气。

人体的细胞可以分为骨细胞、皮肤细胞、内脏细胞、神经细胞等，种类高达约200种。但星系从其形态上分，可以大致分为旋涡星系、椭圆星系，以及难以归为以上两类的不规则星系三大类。

旋涡星系就像下图中显示的那样，中央为星系核，银盘成旋涡状，星系核和银盘外围笼罩着银晕。

◆银河系的构造



旋涡星系从正面看呈旋涡状，从侧面看比较扁平，形状像是铜锣烧(1)。我们所居住的星系—银河系也属于旋涡星系的一种。

近年的研究显示，银河系的直径为10万光年，太阳系距银河系中心约2.8万光年，位于名为猎户臂的旋臂上。银河系的星系核并非圆形，旋涡的核心是成棒状的。

第一个诞生的星系

人类在出生之后的十几年里，会由一个受精卵分裂出60万亿个细胞，并总是在进行着新陈代谢。宇宙自诞生以来已经经过了138亿年，而星系的数目不过数千亿个左右，相比于宇宙，我们人类的成长速度更快。然而，两者的成长规模却是不能相提并论的。

同时，宇宙并非是由一个星系反复进行分裂而形成数千亿个星系的。但我们目前还不清楚在宇宙诞生之初星系究竟是如何形成的。

如今我们所知的最遥远的星系是哈勃太空望远镜发现的名为EGS8p7的星系，据估算，它距离地球132亿光年。宇宙的年龄是138亿岁，我们由此可以得知在宇宙诞生6亿年之后就已经形成了星系。

最遥远的星系便是最初形成的星系。为了抢先发现最古老的星系，包括国立天文台的昴望远镜在内，各国的大型天文望远镜都在你追我赶地竞争着。

多亏了各国的竞争，最古老星系的记录每一年都会刷新，今后人们可能会发现更加早期的星系。天文学家之所以不断寻找最遥远的星系，是因为这会成为解开恒星诞生之谜的钥匙。

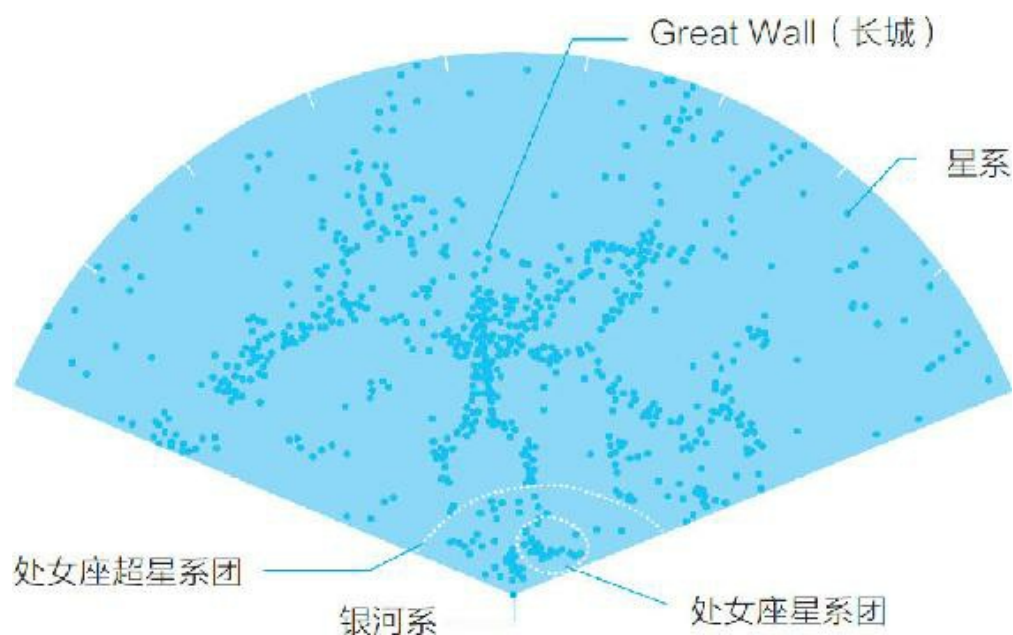
可以算作宇宙中的第一颗星的那个天体，在只有氢原子运动的漆黑宇宙中，究竟是何时、又究竟是如何绽放出光芒的呢？我对此实在是兴趣盎然。宇宙中的繁星，可能正是由此一个接一个地绽放光芒，最终形成了无数星系。

星系究竟是如何分布的？

让我们来看看现在的星系分布。在下一页中的图中，每一个点代表一个星系，它们彼此间的距离、位置都是经过准确测量的。宇宙中星系的分布其实是极为不均衡的，呈现出一种很有特点的分布方式，这种分布方式被称作宇宙的大尺度结构，或泡沫状结构。为何星系分布会出现这种不均衡呢？这其实是支配整个宇宙的重力的表现。

前面提及宇宙是由星系构成的，但这仅仅不过看起来是如此。宇宙中存在着我们看不见的暗物质，它的存量是我们能够观测到的星系的10倍之多。暗物质其实是一种真面目尚不明朗的重力源。因为重力就是引力，因此它会不断吸引自己周围的物质。

◆ 银河的褶皱



在宇宙形成的初期，因为暗物质积极发挥作用，宇宙各处的氢原子

被吸引，很快便形成了巨大的团块，由此依次形成了星球和早期的小型星系。

之后，星系之间也开始相互吸引，星系的分布原本是十分平均的，随着星系之间的吸引，逐渐形成了星系群（有数十个星系的星系群体）、星系团（在1000万光年范围内有数千个星系）、超星系团（若干个星系团集聚在一起形成的横亘数亿光年的群体）等不同等级的群体，最终形成了如今宇宙中星系分布不均的格局。

我们所居住的太阳系位于银河系。银河系率领着附近的大麦哲伦星云、小麦哲伦星云等小型星系，和仙女星系（M31）以及三角座星系（M33）等一同组成了拥有数十个星系的本星系群。本星系群位于处女座星系团附近，属于处女座超星系团的一员。图中央附近左右相连的星系群体被称作Great Wall（长城）⁽²⁾。

宇宙的大尺度结构受到暗能量的影响，星体之间的距离将越来越远，逐渐膨胀。

⁽¹⁾ 中国一般称之为“梭形”，铜锣烧为一种日式点心。（译者注）

⁽²⁾ 也译作“巨墙”。（译者注）

从行星中被除名的星星

布鲁托与迪士尼

过去有许多人应当都会用“水金地火木土天海冥”的口诀来记忆太阳系的行星。冥王星是1930年由美国亚利桑那州罗威尔天文台的技师克莱德·汤博（1906～1997）发现的。直到2006年冥王星都作为太阳系的行星九被分类为行星。

冥王星的直径为2370千米，比月亮小，直径约为地球的五分之一，是一个小型冰质天体。它表面温度为零下233摄氏度，距离太阳系中心十分遥远，是一颗极寒之星，每248年才绕太阳公转一周。地球绕太阳公转1000周时，冥王星不过刚绕太阳公转4周，速度很慢。

冥王星亮度极暗，运转速度也很慢，在地球上观测时如果不够认真、细致是很难发现的。汤博先面向空中的某一方向拍摄了照片，在一周之后在完全相同的位置又拍摄了一张照片。他通过对比两张天体照片，发现有一个模糊的点在星座之间稍微移动了一点。那就是在遥远太阳系的彼岸转动着的未知行星。

冥王星在英语中叫作Pluto，是冥界之王（哈迪斯）的意思，采用自一个英国的11岁小女孩所提议的名字。华特·迪士尼将米老鼠的爱犬命名为“布鲁托”，也是取自1930年发现的冥王星。

18世纪发现天王星的是英国人，19世纪发现海王星的是法国人、英国人和德国人，20世纪作为行星九被发现的冥王星是由美国人发现的，这让无数美国人感到非常骄傲。

行星的定义

然而，2006年8月在捷克布拉格举办的国际天文学联合会（IAU）大会上，经过与会全体天文学家的投票表决，自那为止一直作为太阳系第九大行星为人熟知的冥王星自行星之列被除名。

为什么冥王星不再是行星了呢？

冥王星并没有消失，也没有发生变化，而是这次IAU大会首次明确了过去暧昧不明的行星定义。

按照这一新定义，行星是：

- 1.必须围绕恒星（太阳）公转；
- 2.在自身的影响下保持近于球体的形状（具有足够大的质量）；
- 3.轨道上不能有除卫星以外的其他天体。

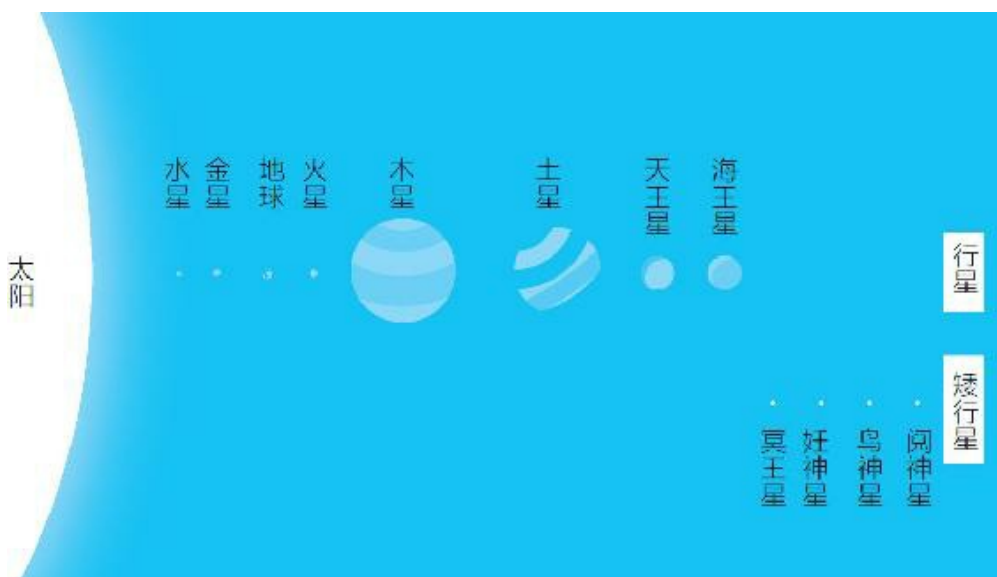
同时满足以上三个条件的天体。

冥王星附近存在着2003年发现的阋神星，此外还有妊神星、鸟神星等数个位于海王星之外的天体，不满足条件3。而满足1和2、不满足3的天体被称为“矮行星”。按照这一行星定义，太阳系内从水星到海王星是“行星”，因此，在外海王星天体之中，像冥王星这样的呈球体的天体便被称作“类冥天体”。

如今，被定义为类冥天体（位于太阳系边缘的矮行星）的有冥王星，以及更加靠近太阳系边缘的妊神星、鸟神星、阋神星四颗天体，这

一数目今后也将继续增加。

◆太阳系的行星与矮行星



人们认为在海王星外和太阳系尽头的奥尔特云之间，外海王星天体存在的区域基本上是呈带状的。这一区域，取其两位提出者之名，被称作“艾吉沃斯·柯伊伯带”或“柯伊伯带”。在这一区域内已经发现了超过1600颗外海王星天体。

新地平线号拍摄的冥王星

至今仍有美国人坚持主张冥王星是行星。2006年举办的IAU大会，也就是决定冥王星不再是行星的大会举办仅7个月之前，美国科学家向冥王星发射了探测器“新地平线号”。探测器上还携带着汤博的骨灰。

新地平线号经过长达九年半的漫长旅途，终于在2015年7月14日抵达了最接近冥王星的地点。新地平线号抵达冥王星附近，在美国引起了热议。新地平线号上搭载有7台测量用仪器，其中包括两台摄像机，质量将近500千克。此次航空探测的总经费约为7亿美元。

新地平线号传回的图像中最令人惊讶的一点是，冥王星的表面并非人们想象中的那样和月球一样遍布环形山、地形十分古老，反而有着看起来刚刚形成没多久的平坦地形、冰川地貌，还有像地球的海岸线一样的地形，地形丰富多样，看起来就像地球的表面一样。此外，还发现了高度超过富士山、高达3500米的山峰。我们现在还不知道为何冥王星表面会呈现出这些看起来年代很新、类型丰富的地貌。

新地平线号的英文名“New Horizons”，是复数形式，代表着人们希望它在详尽调查冥王星之后，能够继续观测其他外海王星天体的心愿。

今后，新地平线号可能将于2019年前后经过艾吉沃斯·柯伊伯带上的外海王星天体“2014MU69⁽¹⁾”附近，并对其进行拍摄。⁽²⁾2014MU69是于2014年发现的外海王星天体之一，在地球上即便使用大型天文望远镜来观测它，也只能看到一个模糊的点。

新地平线号为我们拍摄的2014MU69的真面目究竟会是怎样的呢？如果一切顺利，它将为我们拍摄到距离地球最远⁽³⁾的小天体。在那之

后，新地平线号将会和先驱者11号、12号，旅行者1号、2号一样，沿着脱离太阳系的轨道，驶向深远的宇宙。

[\(1\)](#) 英文名为“Ultima Thule”，中文常意为“天涯海角”或“终极之地”。（译者注）

[\(2\)](#) 2019年1月1日，新视野号近距离接近2014 MU69，并拍摄了图像。根据图片来看，它是花生形状或者是两个互相环绕运行的小天体。（译者注）

[\(3\)](#) 此处指太阳系范围内最远的天体。（译者注）

第一个使用天文望远镜的人不是伽利略

曾有一位默默无闻的天文学家

第一个使用天文望远镜的人，是谁呢？

有许多书中都记载称，是意大利的伟大科学家伽利略·伽利雷。根据记录显示，在距今约四百年前的1609年11月30日，伽利略·伽利雷利用自己制作的望远镜观察了月亮。

根据这一记录，人们长期以来都深信伽利略是第一个使用天文望远镜的人，但实际上在伽利略之前，便有人留下了使用望远镜的记录。人们已经确认，英国的无名天文学家托马斯·哈里奥特曾于1609年7月26日使用天文望远镜观测月亮，并留下了素描记录。

于他而言非常遗憾的一点，便是哈里奥特并没有留下多少包括天文望远镜观测记录在内的研究笔记。他可能是一个不喜欢动笔记录的人。而伽利略的伟大之处便在于他卓越的观察力、洞察力，高超的发明工具的能力，更在于他留下的大量研究记录。

同时，伽利略并没有使用当时学者们普遍使用的拉丁语进行记录，而是在许多著作中使用了平民百姓也能看得懂的意大利语。这也是他被称作世界上第一位科学普及者的原因。



托马斯·哈里奥特（约1560~1621）

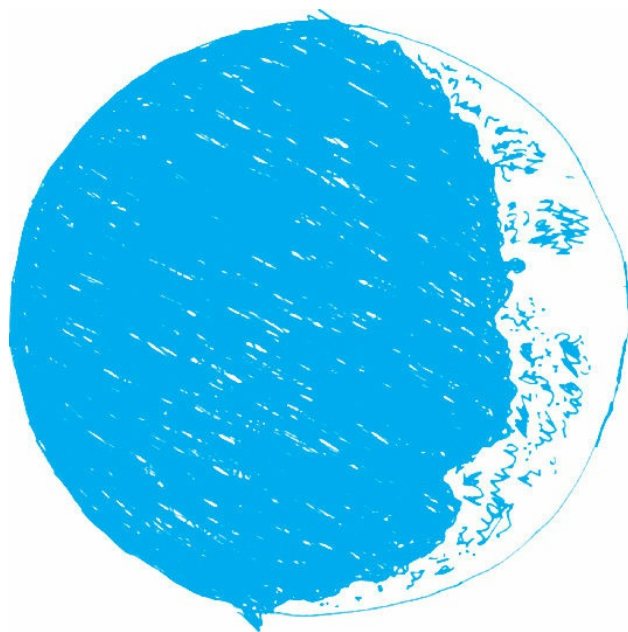
两人所绘的月球素描

2013年秋，我曾造访哥白尼曾经生活过的地方——波兰华沙。在华沙大学附近的某间旧书店，我有缘看到了一本书。那是1978年在波兰出版的STUDIA COPERNICANA XVI，是一部学术书籍。书中的一篇论文收录了哈里奥特于1609年所绘的月球的素描图。

◆ 哈里奥特的月亮和伽利略的月亮



哈里奥特的素描



伽利略的素描

也有一些
相似之处
吧？



通过将其与伽利略的素描图相比较，可以感受到两人所用天文望远镜的性能与两人绘图能力之间的差距。在此，我将先介绍一下相关的历史背景。

伽利略的功绩

同样作为使用天文望远镜的先驱，为何只有伽利略的名声广为流传呢？我以为其理由如下。

1608年，伽利略在帕多瓦大学担任教授，他听说荷兰已经有人制作出了望远镜，于是立刻开始着手制作自己的望远镜，并于1609年开始观测天体。

伽利略正式开始观测天体的时间是1609年底，月球观测记录是于1609年11月30日开始的。他的著作《星际使者》及其后的观测结果中展现出了数个明确的观测事实，具体如下：

1.月面有着凹凸起伏；除了月球表面的特征以外，还观测到在肉眼可见的恒星以外存在无数的恒星。

2.有4颗星体（伽利略称之为“行星”，实际上是卫星，如今这四颗卫星被称作“伽利略卫星”）在绕木星运转。

3.金星也像月亮一样有圆有缺，其直径也会发生变化。

此外，银河系中存在无数恒星、太阳表面存在黑子等，也都是伽利略的发现。

伟大的天文学家

伽利略发明的是物镜为凸透镜、目镜为凹透镜的光学望远镜，也被称为“伽利略式望远镜”。据说，伽利略一生制作了将近100架望远镜。伽利略的光学望远镜的特点是焦距较长，如今已经不再作为天体观测使用。

在天体观测中，如今一般使用与伽利略同年代的德国天文学家约翰尼斯·开普勒（1571~1630）发明的物镜、目镜均为凸透镜的“开普勒式望远镜”。使用这种方法，可以制作出视野明亮的光学望远镜。

在伽利略制作的众多望远镜之中，现有两架保存于意大利佛罗伦萨的伽利略博物馆。其中之一便是观测到了《星际使者》中诸多发现的望远镜，其镜头直径为51毫米、焦距为1330毫米、倍数为14倍。

实际上，如果大家用复原出的伽利略式望远镜观察月亮，一定会大吃一惊。因为，它的视野会非常狭窄、昏暗。《星际使者》中留下的月球的整体素描，都是伽利略一点一点挪动望远镜的观察角度，花费了大量时间、精力精心绘制而成的。

重新回顾《星际使者》，我再次为伽利略的卓越才能惊叹。如今活跃在研究一线的职业天文学家当中，已经很少有人能具有伽利略这样深厚的洞察能力了。

通过引力波探寻宇宙诞生的奥秘

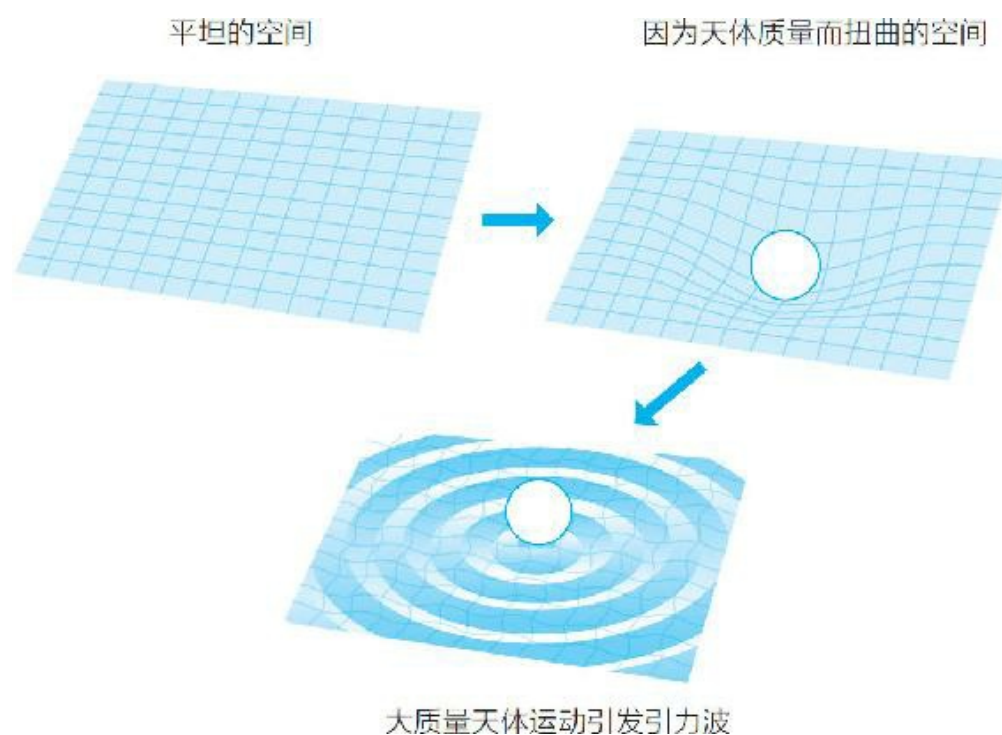
引力波观测得出的惊人事实

距今约13亿年前，在遥远的宇宙深处，有两个黑洞合二为一，产生了庞大的能量。这一能量化为了引力波，并于2015年9月14日传播到了地球。

人们在很早之前就预测，在黑洞产生或黑洞之间合并时会产生强大的能量，同时释放出引力波。而在例如宇宙起源的瞬间、高质量恒星在演化末期经历“超新星爆发”的瞬间、中子星合并等重力急剧变化的特别事件发生时，宇宙空间都会被扭曲。

空间的扭曲，就像是地底的地震波一般在宇宙空间中传播。这就是所谓的“引力波”。引力波的存在，早已被爱因斯坦通过广义相对论预言了。其实，大家哪怕甩一甩自己的胳膊都会引发引力波，但因为胳膊带动的引力波的振幅过小，因此无法被检测到。

◆引力波的产生原理



距离爱因斯坦的预言已经过去了一百多年，人类终于在2015年成功捕获到了引力波。观测到引力波的是美国的引力波望远镜“LIGO”，参与其中的研究者超过了1000人。在探测到引力波之后，他们又对数据进行了长达五个月的周密核对、核算，最终于2016年2月公布了引力波的存在。这一结果震撼了全世界，日本的各大报纸也纷纷在头版头条报道了这一消息。

宇宙是怎么诞生的呢？

引力波是极为微小的空间扭曲。引力波在宇宙空间中传播时，南北向和东西向这种垂直方向上空间的长度会产生微妙的变化，测量变化值可以求出引力波。

为此，在测量时需要避免人、卡车等人工振动，或是自然界中地面的伸缩变化等干扰，那么就必须在较长的距离内准确测量空间的伸缩。引力波抵达地球后，受到时空扭曲的影响，两个测量点之间的距离会发

生变化。那么变化量究竟有多大呢？例如黑洞合体时，测量太阳与地球之间那么远的距离（1天文单位 ≈ 1.5 亿千米），长度变化细微到不过一个氢原子大小。1个氢原子的直径为0.0000000001米，可以想象测量是多么的精密。

大型低温引力波望远镜“KAGRA”于2015年，以东京大学宇宙射线研究所为主导，高能加速器研究机构及国立天文台参与的形式，在超级神冈探测器附近建立起来了。KAGRA的原理是在直径3千米的L型通道中贯穿一条真空管道，在L字的中心向3千米的两段同时发射测距用的激光。让光线在其中多次反射后，从所用时间的差异可以测量出引力波。

◆KAGRA设施



KAGRA预计于2019年下半年正式开始观测工作。其灵敏度超过了LIGO和欧洲的引力波望远镜VIRGO，人们十分期待KAGRA能够每两到三个月就检测出一次黑洞合体。它能够检测出的中子星合体应该会更加多。如今我们所居住的银河系中，已经确认的黑洞约有数十个，中子星

则有数百个。KAGRA很可能每个月都能检测出一次中子星的合体。引力波不仅只在中子星或黑洞合体的瞬间产生。人们认为在理论上，138亿年前宇宙诞生之际应当发生了暴胀现象。然而，在观测上目前我们尚未发现任何证据。

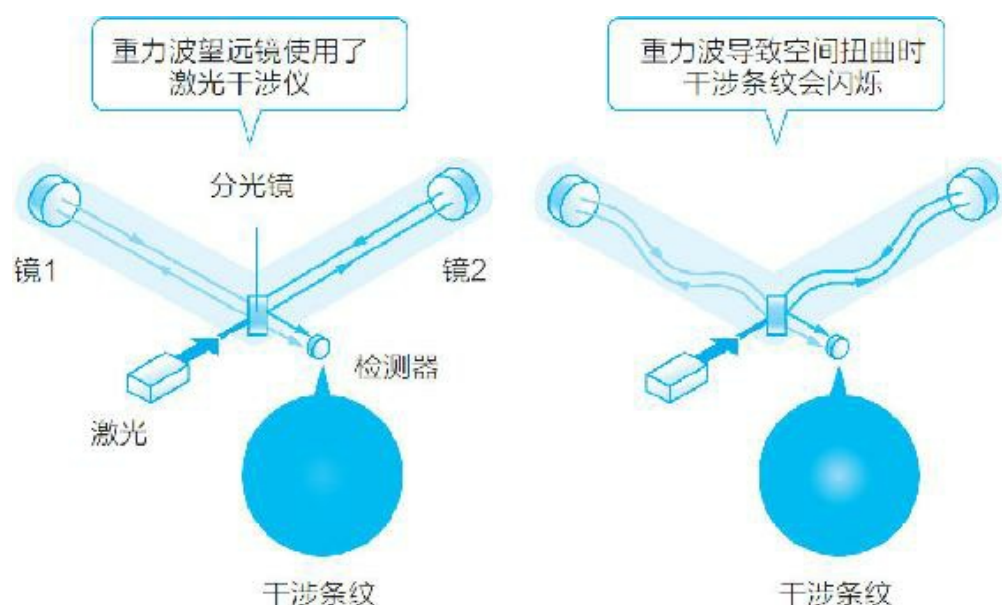
暴胀时也应当产生了巨大的引力波。这一现象距离我们138亿光年，十分遥远，需要进行高精确度的观测，如果能够检测到当时的引力波，那将是足以比肩发现希格斯粒子的壮举。

暴胀理论的其中一位提出者，是日本天文学家佐藤胜彦博士。一旦暴胀在观测上得以证实，那么佐藤博士毫无疑问必会获得诺贝尔物理学奖。

引力波的测量方法

LIGO、KAGRA等现在正在使用的引力波望远镜，是使用激光干涉仪精密测量距离变化的仪器。激光干涉仪会将一束激光分为两道垂直的光线，光线通过远处的镜面进行反射，检测器则以精确到10-19米的精确度来测量激光的抵达时间。

◆引力波的观测



如上面所述，引力波的传播会使得空间发生扭曲，位于测量地点的检测器也会发生变化。测量这一细微时间差的装置便是干涉仪，它能够通过干涉条纹的变化检测出极为微小的时间差，是一个神奇的工具。

黑洞传来的信号

黑洞会吸收一切物质，哪怕是光也不例外。这一次我们发现的引力波来自距离地球13亿光年的地方。在那里，有两个质量分别为太阳的29倍和36倍的质量极大的黑洞合体，并产生了质量达太阳60倍以上的新黑洞。

在合体瞬间（0.1秒左右的时间之内），黑洞释放了庞大的能量，相当于重达3个太阳的氢气一口气爆炸，这一变化引发了引力波。人类第一次获得了直接来自黑洞的信号。

第一次观测到引力波并不意味着结束，反而是一个开始。这意味着引力波天文学正式成立了。仅靠这次成功观测到引力波的LIGO并不足以确定引力波的源头。欧洲的VIRGO和日本的KAGRA等全新的引力波望远镜与LIGO相互合作，才终于确定了引力波的来源。

KAGRA的项目负责人是东京大学宇宙射线研究所的梶田隆章所长。梶田教授通过位于岐阜县神冈矿山地下的超级神冈探测器，证明了中微子也有质量，并因此获得了2015年的诺贝尔物理学奖。

一直以来，全世界的研究者们都在不断尝试，希望能够第一个探测出引力波。例如在国立天文台三鹰园区内，就有着名为TAMA300的引力波检测器（引力波望远镜）。

在这一刻也
是有重力波
从宇宙传来的。



星座是什么时候、在哪里产生的？

最为古老的学问——天文学

天文学可以说是一切学问之母。5000年前，美索不达米亚地区的石器、壁画中就已经出现了狮子座、巨蟹座等星座。在同一时期，埃及、中国等各个国家，星座也随着文明起源而被创造出来。

当时的人类社会基本由狩猎民族和游牧民族组成，随着季节变化人们需要迁徙。也就是说，人们的日常生活总是在路上。为此，人们白天看路靠太阳，晚上看路靠星座，必须随时判断出自己的位置和所处的纬度、经度。只要找到北极星就能够判断北方在哪里，因此当时的人们从小就会将指示北极星的星座排列谙熟于心。

进入农耕文化后，告诉人们何时播种、何时收获的历法变得不可或缺。而在进行交易时，还需要确定在何时何地同交易对象见面。因此，能够告诉人们自己所处方位、季节、时间的夜空中的星座便成了一种至关重要的存在。

如今，全世界的学术界都使用八十八个统一的星座，其原型来自美索不达米亚、埃及和古希腊时代。

例如，2世纪的古罗马天文学家托勒密（约90～168，英语名为Ptolemy）完善了地心说，确定了托勒密四十八星座。狮子座、巨蟹座、天蝎座等黄道十二星座，猎户座、大熊座等至今仍广为人知的星座几乎都包含在内。

其后，到了15世纪的大航海时代，欧洲人开始认识过去并不了解的

南半球的星空，南天的星座这才加入到星座的大家庭中来。例如望远镜座、显微镜座等以工具为名的星座，杜鹃座、天燕座等珍奇鸟类，剑鱼座、飞鱼座等鱼类，南天当中有着多种多样的星族。

世界各地的星座名称

现在的八十八星座，是为了解决星座划分的重复等混乱问题，由国际天文学联合会（IAU）于1930年确定下来的。当时星座与星座之间的边界线也得到了明确划分，星座的总数被定为八十八个。也就是说，整个星空被星座划分成了大小不一的区域。

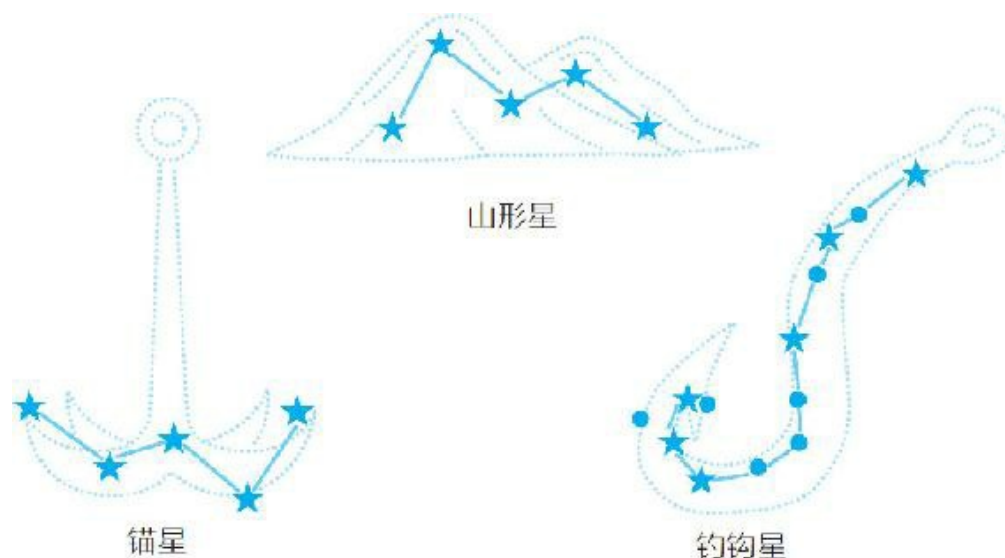
与八十八星座的学术名称不同，世界各地有很多国家、地区自古以来都有着自己特有的星座。就像大熊座与北斗七星之间的关系一样。

星座、星星的名字根据地区和民族的不同而异，这就像各国的语言也并不相同一样，证明星座对于人们的日常生活是不可缺少的。古希腊人、北美的印第安人看到北斗七星的排列组合，想象它就像是一只巨熊的尾巴一样，因此在北部天空中将北斗七星及其周围的星星想象成了一只巨大的熊。

而同样是北斗七星，中国的某些民族认为它是出身高贵者所乘坐的轿舆，日本人则认为它是一把巨大的舀子。有些地方还会认为它是七只小猪呢。

仙后座和北斗七星相当，都是北天中十分醒目的星座。日本特有的对仙后座的称呼是山形星或是锚星。西方认为W形的仙后座是端坐在后位上的古代埃塞俄比亚王妃—卡西欧佩亚，而其实也可以单纯地把它看成两座山，或是沉入海中的锚尖。

◆日本特有的星座名称



还有许多地方将天蝎座叫作钓钩星。天蝎座成一个巨大的S形，看起来和钓鱼用的钓钩很像。

在日本以外的地区中，南美印加文明的星座是十分有趣的。印加人因为星星的数量太多，没能将它们一一串联起来，因此便没有给星星起名，而是给银河各处可见的黑带起了名字。印加文明所处的地区海拔高、空气清新，相较于海拔低的地区能够看到的星星更多。它地处南半球，位于银河系中心的射手座、天蝎座会从印加地区的正上方经过。

银河的光辉太过耀眼、太过震撼，印加人可能觉得没有必要特意将周边的星星串联起来记忆吧。他们可以通过观察银河系的角度、形态来判断季节、时间、方位和自己所处的经纬度。

银河黑带指的是尘埃和气体很多、背后藏有星星的区域。根据各个黑带的轮廓，印加地区至今仍保留有大羊驼座、小羊驼座、狼座、蛇座以及鹈鹕座等星座名称。

我们这些现代人，也来挥动其毫不逊色于古人想象之翼，来发现属于自己和小伙伴们的星座吧！我每次看到大熊座、小熊座的时候，总是

想象不出尾巴很长的熊应该是什么样子的，所以总是把它们看成是天空中的巨大母象和象宝宝，悄悄地称呼它们为妈妈象座和小象座。

星座表中符号的故事

如果找出比较详尽的星座表来看，你会发现在星座名称旁边可能写着陌生的符号，例如 α 、 β 、 γ 、 δ 等，这些是按照希腊字母的顺序排列的。

八十八星座的每个星座内的天体，基本是按照亮度顺序被编上了 α 、 β 、 γ 等的编号。参宿四在星图、星表中就被标为“ α Ori”，这是“猎户座的 α 星”的意思，“Ori”是星座名称的缩写。

八十八个星座全都按照星座名的3个首字母被简化为符号。而比较明亮或是很有特点的星星，如天狼星、五车二、大陵五等，它们原有的名字也在作为通称使用。

黑洞有质量吗？

黑洞的真面目

提到黑洞，你有着什么样的印象呢？是天空中的巨大洞穴？还是通向异次元的神秘通道？每当进行关于天文学和宇宙的演讲时，我最常被问到的问题就是：“黑洞究竟是什么？”（顺带一提，在我的演讲上，第二、第三常被问到的是“宇宙有尽头吗？”和“外星人真的存在吗？”）。

黑洞绝不是凭空想象出来的，也不是科幻世界的故事。它的存在已经被证实了，是一种真正的天体。巨大的恒星在演化末期，因为无法支撑自身的重力，在其中心会突然产生一个时空之穴，这就是黑洞的真面目。

想要真正理解黑洞，需要大家发挥一点想象力。

假设我们在地球上，向远方投一个球。我们用尽全力投球，球会飞得很远。如果有一个力气和金刚、奥特曼一样大的大力士竭尽全力地投球，那么球可能不会落到地上，而是开始绕地球运转。这时，球的速度为每秒7.9千米，这一速度被称为“第一宇宙速度”。这是发射绕地球运转的人造卫星时所必需的速度。

如果更加用力地投球，球将脱离地球的引力范围，开始绕太阳运转。球在这时的速度约为每秒11.2千米，这被称为“第二宇宙速度”。第二宇宙速度是发射隼鸟2号、晓号等在太阳系内探索的探测器时所必须达到的速度。

球如果想要飞出太阳系，则需要达到每秒16.7千米的速度，这被称

作“第三宇宙速度”。第三宇宙速度是新地平线号、旅行者号等探测器想要离开太阳系所必须达到的速度，但在发射探测器时很难达到这一速度，探测器一般会在飞行过程中利用行星的重力加速，采用绕行星变轨这种方法。

在比地球还要重的星球上投球的话，又会发生什么呢？

天体质量变大，引力也会变大，想要让球脱离引力范围则需要更大的速度。想要向球施加必要的速度，则需要与之相对应的能量。在地球上投掷重量不同的小球时，因为地球吸引小球的力量是相同的，小球越重，所需要的能量就越大。

而将小球替换成光的话，会发生什么呢？因为光的质量是0，因此可以不费吹灰之力地从地球向宇宙空间直线传播。

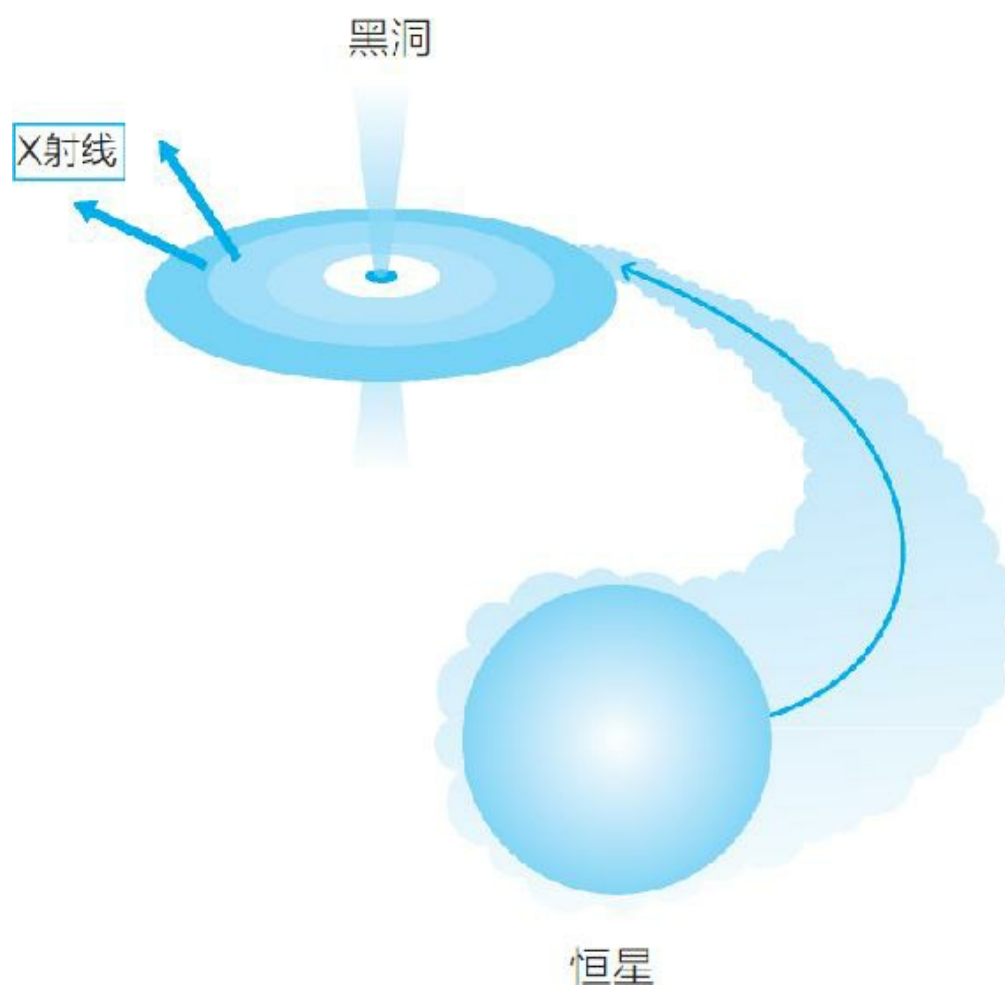
在宇宙中，天体的重量会极为庞大，其中存在光都无法逃逸的天体，那就是黑洞。黑洞的中心近似于奇点。根据相对论，奇点的质量应当是无穷大、重力也是无穷大的。因此，即便是速度高达每秒30万千米的光（电磁波）也无法自黑洞逃逸。也就是说，黑洞是无法从外部观测到的天体。

成为黑洞的天体

黑洞究竟是如何形成的呢？

我们虽然无法看到黑洞，但我们可以窥见其运动。在黑洞之中有一些成对的天体（联星^{[\(1\)](#)}）。

◆ 黑洞的观测方法



联星释放的气体被黑洞吸收、压缩，被压缩的气体会在黑洞附近放射出强烈的X射线。

被称为天鹅座X-1的联星就是一个代表性的黑洞。

夜空中闪耀的恒星，因为其内部的氢在不断进行核聚变反应才能够释放光芒。太阳也是一样。质量越大的恒星所需要消耗的燃料越多，内部的氢耗尽的速度也越快。

太阳属于质量较轻的恒星，在氢燃烧殆尽后，太阳内部会残留下由碳和氧构成的高温核心。

而质量约为太阳10倍以上的恒星则会迎来名为“超新星爆发”的绚烂落幕，爆发后的残骸中可能会产生“中子星”和“黑洞”。根据计算方法不同虽然结果会稍有出入，但一般认为质量达太阳30倍以上的恒星最终会成为黑洞。

地球所处的“银河系”的中心存在着质量为太阳400万倍的超大质量黑洞。并不是所有的星系中心都存在着超大质量黑洞，但在许多星系中心，尤其是大质量的星系中，存在超大质量黑洞的可能性是很高的。

黑洞研究第一线

1995年，国立天文台野边山宇宙电波观测所的45米射电望远镜发现了位于猎犬座的M106星系中心的超大质量黑洞，它的质量居然达到了太阳的3900万倍。

包裹黑洞的气态圆盘所放出的电波和圆盘静止时是不同的。我们在地球上可以通过电波辉线的巨大的多普勒效应观测到圆盘哪一面是靠近我们的部分、哪一面是远离我们的部分。利用开普勒定律，我们可以求出位于中心的黑洞的质量。

活动星系或是被称为类星体的遥远星系的明亮核心里也存在着超大质量黑洞。黑洞可以分为天鹅座X-1这样的大质量天体在演化末期形成的常规大小的黑洞，及位于星系中心的质量可达太阳的数百至百亿倍的超大质量黑洞，此外还有大小居中的超级黑洞⁽²⁾。但人们目前尚未发现超大质量黑洞和超级黑洞形成的原理。

人们现在正在利用“京”等超级计算机进行理论上的模拟研究，同时还在X射线天文学、电波天文学领域利用不同的波长范围来观测黑洞。

梦幻的白洞

你听说过与黑洞相对的白洞吗？

如果宇宙中存在能够吸收一切的强大引力源，那么难道不应该存在着与之相对的、能够喷射出黑洞所吸收的所有物质的状态吗？20世纪60年代的天文学家们产生了这样一种预测。因其具备和黑洞相反的性质，所以被称为白洞。然而，至今为止我们尚未在宇宙中发现任何一个白洞。

白洞虽然在理论上可能存在，但它在我们的宇宙中可能只是一种架空的天体。无论在理论上还是在观测上，黑洞研究都是最受关注的研究课题，而以白洞为研究课题的天文学家少之又少。如果我们真的能够在这个宇宙中找到白洞的话，那也许会形成一个和黑洞成对的、能够在两者间进行超时空移动的虫洞。

关于白洞的设想虽然如今仅存在于想象之中，但它依然有着极大的魅力，许多科幻小说、科幻电影都将白洞描绘为能够进行超时空瞬间移动的通道。

但在实际上，哪怕仅仅是靠近黑洞，我们的身体就会因为强大的重力被撕裂、粉碎为基本粒子级的粉末。像科幻作品中描绘的那样超越时空，很遗憾，那是不可能实现的。我建议大家最好不要接近黑洞。

大质量的天体可能成为黑洞？虽然很可怕但是很在意呢！



[\(1\)](#) 也称“双星系统”。（译者注）

[\(2\)](#) 质量一般为太阳质量的10万到10万亿倍。（译者注）

为地球带来生命的是彗星？

彗星上发现了氨基酸

NASA的彗星探测器“星尘号”于2004年抵达了距绕日公转的“维尔特二号彗星”240千米处，并收集了维尔特二号彗星释放出的尘埃。星尘号使用类似于捕蝇纸的装置收集了漂浮到探测器上的尘埃，之后返回地球。

两年后，星尘号于2006年抵达地球附近，并成功将装有尘埃的返回舱投放回地面。科学家利用最新的分析装置细致研究了这些宝贵的尘埃，并在其中发现了一种必需氨基酸“甘氨酸”。这对于探寻生命起源有着重大意义，在当时成了一个热门新闻。

人体是由蛋白质组成的。蛋白质是由许多氨基酸结合而成的。组成蛋白质的一种分子出现在了彗星上，这证明氨基酸不仅存在于地球上，还存在于宇宙空间中。

如今有许多研究人员认为氨基酸是在宇宙空间中产生后，通过某种途径来到地球的。

隼鸟2号与小行星

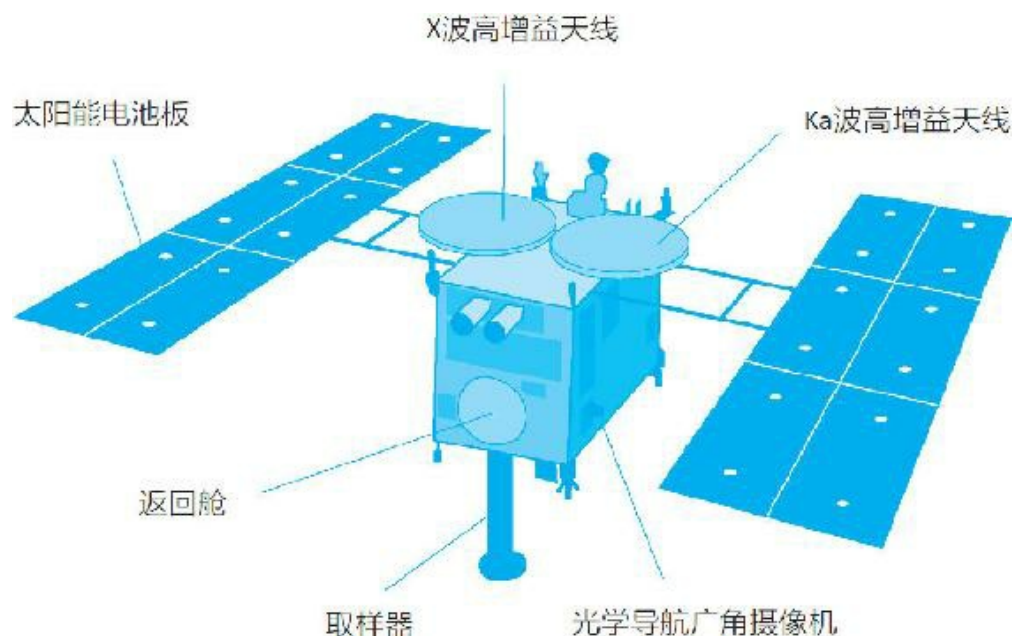
小行星也可能和生命诞生有关。挑战这一难题的是日本的小行星探测器“隼鸟2号”。隼鸟2号是于2010年6月13日返回地球时在大气中燃烧殆尽的小行星探测器“隼鸟号”的后续机型，于2014年在鹿儿岛县种子岛的JAXA种子岛宇宙中心发射升空。

隼鸟号在2003年发射升空后，花费了7年时间，历经约60亿千米的旅途返回了地球。隼鸟号当时在大气中燃烧殆尽的模样，一定还有很多人记得。

隼鸟号采用了离子发动机，尝试了新的航行方法，以获得揭开太阳系起源之谜的线索为目标，从小行星“糸川”上带回了少量样本。隼鸟2号为了进一步揭开太阳系起源、进化以及生命的组成物质的奥秘，将在C型小行星“龙宫（1999 JU3）”上着陆并带回样本。

小行星也分为许多种类，主要有C型和S型两种。糸川属于S型小行星，主要由沙子的成分，也就是硅酸化合物（硅酸盐）构成。

◆隼鸟2号



隼鸟2号的目的地C型小行星龙宫同为岩石质的小行星，但相比于S型小行星糸川，人们预计龙宫含有更丰富的有机物和含水矿物。这也意味着它可能和地球上的生命有着某种联系。

这将是人类首次把C型小行星上的岩石带回地球，通过对样本的分析，我们能够了解太阳系内原本存在的有机物究竟是什么样的。因为构成地球等大型天体的原材料都曾经溶解过，我们无法获得溶解前的信息。人们都期待着通过分析样本，能够获得关于地球生命起源的相关线索。

隼鸟2号将向小行星表面发射炮弹，制造人工陨石坑。人工环形山虽然直径不过数米左右，但在撞击形成的裸露表面采集岩石样本，可以获得未受到风化及温度影响的新鲜物质。

隼鸟2号预计将于2018年中抵达龙宫，在龙宫上调查一年半后，在2019年年底左右离开龙宫，并于2020年年底左右返回地球。[\(1\)](#)

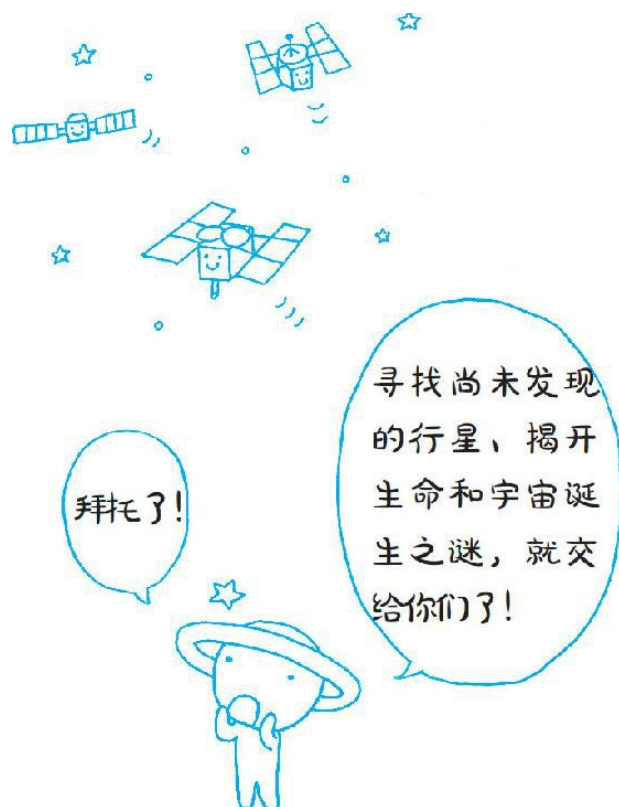
在彗星上着陆的罗塞塔号

2004年，欧洲航天局（ESA）发射了彗星探测器“罗塞塔号”。罗塞塔号在太阳系内旅行了10年时间，最终在2014年11月向短周期彗星“楚留莫夫—格拉希门克彗星”表面释放了登陆器“菲莱”，这是人类历史上第一个登陆彗星的探测器。

楚留莫夫—格拉希门克彗星的公转周期为6.6年。它是由两颗彗星缓慢相撞后结合而成的，一眼看上去就像是玩具鸭一样，形态很奇特。鸭子的额头部分就是菲莱的登陆点。

罗塞塔号的调查成果，可能会为我们带来关于生命起源的新发现⁽²⁾，也许生命之源就是由彗星带到地球的。

人们正在尝试通过星尘号、隼鸟号、罗塞塔号以及隼鸟2号的调查成果，来解开彗星和小行星究竟是否是生命的起源这一谜题。



[①](#) 2019年2月22日，隼鸟2号在龙宫成功实现短暂着陆。4月5日，隼鸟2号成功按计划发射金属弹，在龙宫表面制造人造陨石坑。（编者注）

[②](#) 2016年9月30日，罗塞塔号彗星探测器撞向楚留莫夫—格拉希门克彗星，罗塞塔号与地面失去联系，正式结束了长达12年的“追星”之旅。（编者注）

宇宙的时间与人的时间

宇宙日历

宇宙于138亿年前在大爆炸中诞生，之后便开始急速膨胀，直到体积已经无比巨大的今天依旧在不断膨胀着。如果只告诉大家宇宙的历史有138亿年，这个时间实在是太漫长了，可能很多读者依旧没有概念。我当然也是一样。

在天文学上有一个名为“宇宙日历”的特殊日历，它将138亿年的宇宙历史比作日历中的一年，并将这期间宇宙和地球上发生的大事一一对应在一年里，其是由美国天文学家卡尔·萨根博士提出的。

假设宇宙大爆炸（宇宙诞生）是在1月1日0点0分0秒发生的，而现在则是12月31日24点0分，那么在宇宙日历中一个月相当于大约11.5亿年，1日相当于大约3780万年。银河系大约在120亿年前诞生，在日历上正好相当于2月14日情人节。46亿年前诞生的太阳系大约是日历上的8月31日前后。

人类的诞生

在宇宙日历上的12月25~27日，恐龙还在地球上优哉游哉地漫步。然而在12月27日，巨大陨石撞击地球导致了恐龙的灭绝。12月31日晚8点刚过，在今年只剩下最后4小时的时候，我们人类共同的祖先终于出现了。

而人类拥有文明后到今天为止的时间非常之短。即便一个人能够活90岁，在宇宙日历上也不过只经历了0.2秒。虽然每一个人都是作为个体生存者，不过在一生之中，我们会在繁衍子嗣、养育后代的同时将文化、文明源源不断地传承下去。

不仅是基因，人类会在生命中不断继承前任所学的知识、所获得的经验。这正是人类的伟大之处。

后记

“担心那些鸡毛蒜皮的小事实在是太没有意义了”——据说有很多人在感到烦恼、失落之时，如果倾听关于星空、宇宙的话题，便会产生这样的感受。

我以前曾经在国立天文台所在的东京都三鹰市，于每周四傍晚举行限员20人的小型科学茶话会，目的在于让研究者们同普通市民坦诚交流、畅所欲言，是一种氛围轻松活跃的类似于脱口秀的活动。

2008年8月，一个暴雨倾盆、雷鸣电闪的夜晚，有一位年轻女性在会场的角落里静静地凝视着巨蟹座，她看起来没精打采的，我在一旁看着都觉得很担心。虽然不清楚缘由，不过她似乎是失去了生活的动力，碰巧举办活动的咖啡店店长是她的好朋友，便劝说她来三鹰参加茶话会。

那天茶话会的主题是“138亿光年的宇宙之旅”，内容是关于我们所居住的这个宇宙的构造与膨胀过程。在听众提问环节结束后，正打算离去的这位女性轻声对我说了一句“宇宙真是广漠浩瀚啊”后便回去了。

后来我听说，那位女性那天听了天文学的故事之后，感到自己的烦恼不过都是些鸡毛蒜皮的小事，之后便慢慢找回了生活的动力。

这件事让我意识到，天文学和宇宙的难题离我们并不遥远，它与我们每一个人都是息息相关的。

与此同时，不仅是天文学在发展，以研究星星、宇宙为乐趣的天文文化也在发展中国家以惊人的速度发展着。最为明显的例子便是南美的

哥伦比亚。

哥伦比亚有一座名为麦德林的城市。这个名字对于大多数日本人来说是十分陌生的，但它却被《华尔街日报》评为2013年“最具创新力的城市第一名”。除了美术、音乐、体育之外，其城市建设的另一核心便是天文学这门科学。当地人都非常重视代表性的科技馆、天象仪馆并引以为傲。

哥伦比亚正在进行大幅度的政治改革，试图改变国内恶劣的治安以及对立现象。在这一大环境下，麦德林于2012年建成了一个现代天象仪馆。天象仪馆馆长卡洛斯曾经给我讲过一个很有意思的故事。

一天，有一群15岁左右的少年来看天象仪。他们平时也不去学校，一天到晚只知道和其他团体打来斗去，生活散漫放荡。他们看完天象仪内播放的节目之后，团队的领袖说了这么一番话。

“我们天天为了那么一小块地盘争来争去是很不对的。整个地球才是我们人类生活的家园。”在那之后，他们不再同其他暴力团伙争斗，而是回到了校园继续自己的学业。

很多国家的人们都认为，贫困的生活是万恶之元凶，科学技术将使生活变得富裕。而这个故事让我认识到，科学技术不仅会带来物质上的富足，还能够带来精神上的充实。

本书广泛而深入地介绍了关于天文学的趣味知识。但星空与宇宙的真正魅力，是无法完全通过现有的媒体及网络展现的。揭示宇宙奥妙的第一线，还要数宇宙空间（人造卫星、太空望远镜）或是远离人烟的高山之上（昴、ALMA等）。

希望大家能够借着阅读本书的机会，前往全国各地的天文台去看一看。我希望能够让各位研究员们有更多的机会直接介绍自己的研究。

县秀彦

记于蒙古国色楞格省一小村宿舍内

参考文献

图书类：

《黑夜：宇宙的一个谜》：[美]爱德华·哈里森著，[日]长泽工监译，日本地人书馆2004年出版。

《哈勃：拓展了宇宙的人》：[日]家正则著，日本岩波书店“岩波Junior新书”2016年出版。

《理科年表：平成28年》：日本国立天文台编，日本丸善2015年出版。

《天文年鉴2016》：[日]天文年鉴编辑委员会编，日本诚文堂新光社2015年出版。

《外星生命》：[日]县秀彦著，日本幻冬舍“幻冬舍教育新书”2015年出版。

《猎户座已经消失了？》：[日]县秀彦著，日本小学馆“小学馆101新书”2012年出版。

《小王子的天文笔记》：[日]县秀彦著，日本河出书房新社2013年出版。

《天文学图鉴》：[日]县秀彦主编，[日]池田圭一著，日本技术评论社2015年出版。

*STUDIA COPERNICANA: POLSKA AKADEMIA,
NAUKOSSOLINEUM.*

网站类:

日本国立天文台官方网站 <http://www.nao.ac.jp/>

JAXA官方网站 <http://www.jaxa.jp/>

NASA官方网站 <https://www.nasa.gov/>



面白くて眠れなくなる地学

妙趣横生
开拓眼界

有趣得 让人睡不着的 地理

【日】左卷健男 编著

郝彤彤 译



北京时代华文书局

关于作者

【日】左卷健男

日本法政大学生命科学学院环境应用化学系教授。1949年出生于日本栃木县，本科毕业于千叶大学教育学院，后毕业于东京学艺大学研究生院（物理化学科学教育）。在初中、高中教学26年后，担任京都工艺纤维大学招生中心教授，后于2004年担任同志社女子大学教授。著有《有趣得让人睡不着的物理》《有趣得让人睡不着的化学》《奇妙的化学元素全彩图鉴》《水不知道答案》等。

执笔者

【日】小林则彦

日本西武学园文理初中、高中教师，天气预报员，少有的文学系出身的理科教师。担任教师的同时，从事传播理科趣味的《理科的探险》杂志编辑委员工作。

执笔部分：地球是一块巨大磁铁？地球的磁极正在逆转？为什么会发生大规模灭绝？雪球地球假说的冲击；为什么高处会冷呢？月球是地球的兄弟？看到流星的秘诀。

面白くて眠れなくなる地学

有趣得 让人睡不着的 地理

【日】左卷健男 著
郑彤彤 译

北京时代华文书局

图书在版编目（**CIP**）数据

有趣得让人睡不着的地理/（日）左卷健男编著；郝彤彤译.--北京：北京时代华文书局，2019.5（2019.9重印）

ISBN 978-7-5699-2989-8

I. ①有... II. ①左...②郝... III. ①地理—青少年读物 IV. ①K9-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第063131号

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2018-6094

OMOSHIROKUTE NEMURENAKUNARU CHIGAKU

Copyright ©2012 by Takeo SAMAKI

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2012 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

有趣得让人睡不着的地理

YOUQUDERANGRENSHUIBUZHAODEDILI

编 著 | [日] 左卷健男

译 者 | 郝彤彤

出版人 | 王训海

选题策划 | 高 磊

责任编辑 | 邢 楠

装帧设计 | 程 慧 段文辉

责任印制 | 刘 银 范玉洁

出版发行 | 北京时代华文书局<http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印 刷 | 凯德印刷（天津）有限公司

电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开 本 | 880mm×1230mm 1/32

印 张 | 6.5

字 数 | 104千字

版 次 | 2019年6月第1版

印 次 | 2019年9月第2次印刷

书 号 | ISBN 978-7-5699-2989-8

版权所有，侵权必究

自序

我编写这部书是有我的原因的。

“地理真的很有趣！”

我之所以如此地开门见山，是因为我想让更多的读者能有这样的感受。

我认为在自然科学中，地理与物理、化学、生物同样有趣。那些探求自然秘密的人身上发生的悲喜故事、历史，被发现的概念和定律等，所有这一切都妙趣横生。

我的专业是日本小学、初中、高中的初级理科教育，我也曾担任过初高中的理科教师。我当时的信念就是：我要把课程讲解得十分有趣，有趣到一家人吃晚饭时可以开心地谈论当天课堂上发生的事。

我一直希望学生们通过学习理科课程，能觉得学到了大量知识，能被知识感动，能让知识充盈内心，能通过思考而感到兴奋。

在自然科学中，地理是一门覆盖面很广的学科，它囊括了我们脚下地球的内部结构、地球表面、覆盖地球的大气层，还有遥远的宇宙。此外还包括地震、火山、台风、暴雨等自然灾害，以及每天的天气等我们身边常见的现象。

遗憾的是，目前在日本的高中阶段，很少有学生选择学习如此有趣的地理。甚至可以说，现在一般人具备的地理知识，只停留在初中水平

而已。

而这本书就是面向这样的朋友，总结了一些需要了解的地理相关知识。尤其是认为地理很无聊的朋友，请一定要阅读这本书，它可以向你展示动人的、有活力的地理学散发的魅力。

比如，与我们息息相关的时间。你知道吗？12亿年后，我们将会使用16点的时钟，就是由于地球不断减慢的自转速度而产生的现象。

约46亿年前，宇宙空间中分布着的气体和灰尘一边旋转一边聚拢，最终形成了太阳。随后，绕太阳旋转的、由岩石块组成的小行星不断互相撞击、合并，最终形成了地球。

科学家认为，诞生初期的地球，自转一周的时间，也就是一天的时间，只有5个小时。然而现在一天有24个小时，这就说明了地球的自转速度是逐渐减慢。因此，科学家推测今后时间会变得更慢，一天的时间随之变得更长。

地理是一门规模很大的学问。时至今日，我们的先人不可思议地打开了一扇又一扇世界之门。虽然我们逐渐明白了许多原理，但还有不计其数的问题等待着人们去探索。

我真心希望和更多的人一起分享这门科学为我们带来的震惊与喜悦，我要努力继续研究下去，让理科知识能给更多人带来感动和收获！

左卷健男

目 录

自序

Part 1 生机勃勃的地球故事

亚特兰蒂斯传说的真相

原来的世界是一个整体？

冰岛是地质学上的宝库

世界最高峰不是珠穆朗玛峰？

喜马拉雅山脉还在变高？

日本的火山是什么类型？

热爱火山的邮局局长

成为化石并不轻松

地球是一块巨大磁铁？

地球的磁极正在逆转？

为什么会发生大规模灭绝？

雪球地球假说的冲击

Part 2 有趣的气象学故事

拔掉浴缸塞子，水的旋涡向哪边转？

为什么台风多发于8月、9月？

晚霞漂亮代表第二天是晴天？

喷射气流搬运的秘密武器

山顶的零食包装袋鼓起来的原因

为什么高处会冷呢？

夏天下冰雹的奥秘

冬天新干线在关原附近行驶缓慢的原因

Part 3 奇妙的宇宙故事

[地球原来是宇宙的中心？](#)

[伽利略用望远镜看到的宇宙](#)

[宇宙的诞生与元素的合成](#)

[地球和金星的不同命运](#)

[月球曾是地球的兄弟？](#)

[看到流星的秘诀](#)

[太阳会永远燃烧下去吗？](#)

[“流浪地球”会成真吗？](#)

[后记](#)

[参考文献](#)

[返回总目录](#)

Part 1

生机勃勃的地球故事

SiO₂
PANGAEA

亚特兰蒂斯传说的真相

始于柏拉图

中世纪以来，梦想家们最喜爱的传说之一便是亚特兰蒂斯。

亚特兰蒂斯最早出现在公元前4世纪古希腊哲学家柏拉图的书。柏拉图在《提迈奥斯》和《克里特阿斯》两书中都描绘了这个王国。

书中是这样记载亚特兰蒂斯的。古希腊七贤之一、雅典立法者梭伦，在公元前594年完成国家制度改革后，出国游历。抵达埃及时，埃及祭司告诉了他关于亚特兰蒂斯的故事。

亚特兰蒂斯的故事发生在柏拉图所处时代的九千多年前。柏拉图借他笔下人物之口诉说了这个故事的真实性。

◆传说中的亚特兰蒂斯岛



亚特兰蒂斯岛位于“海洛克斯之柱”（直布罗陀海峡旧称）以西的亚特兰蒂斯海（现为大西洋）之中，其面积比北非和小亚细亚合起来还大。海神波塞冬和克莱托任命其长子亚特拉斯为国王，同其余九个儿子一起统治亚特兰蒂斯。这座岛屿上的矿产资源和农林畜牧资源极为丰富。

在岛上随处可见高大巍峨的宫殿，浩浩荡荡的运河，气势磅礴的大桥，金碧辉煌的寺院、庭园和竞技场等，居住在此的人们锦衣玉食、安居乐业。而且其强大的国力不仅覆盖周边诸岛，还远达欧洲西南部、非洲西北部，形成海洋帝国大一统的盛景。

故事中还描述了“古雅典人”（远古希腊人），他们拥有与亚特兰蒂斯不分伯仲的高级文明。他们因勇敢迎战并击退亚特兰蒂斯强大的侵略军队而成名。就在雅典人即将乘胜追击时，亚特兰蒂斯忽然爆发了恐怖的地震和洪水。就这样，仅在一昼夜之间，亚特兰蒂斯岛就在海中永远消失了。

真正的问题是，这是真实存在的抑或仅是创作？

哲学家亚里士多德是柏拉图的学生之一。如果说柏拉图是一个追求永恒不变的、“理想国”的理想主义者，那么亚里士多德则是一个重视经验和事实的现实主义者。亚里士多德认为，亚特兰蒂斯仅仅是柏拉图创作出来的。

如果亚特兰蒂斯真实存在的话，那么与之同时期的远古希腊也应该存在。即使亚特兰蒂斯在一昼夜之间沉入大海，无迹可寻，那么作为拥有高度文明的远古希腊也应该留下某种形式的踪迹才对。可至今为止，没有人发现关于远古希腊存在过的丝毫踪迹。

中世纪以后，那些相信亚特兰蒂斯故事的人们不断扬帆起航，只为探寻到那块大陆存在过的踪迹。除大西洋外，美国大陆、斯堪的纳维亚半岛、加那利群岛等多处大陆和岛屿都被他们称为亚特兰蒂斯。其中也有人强行类比亚特兰蒂斯传说提出这样的假说：柏拉图将年代写错了一位，爱琴海中的锡拉火山应该爆发于在公元前1500年左右，导致了米诺斯文明的消失，因此找不到踪迹。

海因里希·施利曼之孙的声音

保罗·施利曼因称其发现亚特兰蒂斯，曾备受关注。保罗·施利曼的祖父是曾挖掘到古希腊神话中的特洛伊遗迹的著名的考古学家海因里希·施利曼。保罗在1912年10月，于纽约杂志《美国人》上发表了一篇题为《我是如何找到一切文明的起源—亚特兰蒂斯的》的长篇文章。文章中提到，他的祖父海因里希·施利曼去世前遗留了一封很厚并且严密封存的信，信中讲述了亚特兰蒂斯的秘密。

保罗称根据他的后续调查，亚特兰蒂斯的人们在失去家园后曾居住过玻利维亚的蒂亚瓦纳科遗址。保罗还声明他将出版发行书籍，公开所有未解之谜。

考古学家们一直以来都嘲笑那些声称找到亚特兰蒂斯的梦想家们，但是他们不能无视海因里希的孙子保罗，于是开始私下进行认真调查。调查发现，保罗称根据祖父的信而发现的物品，实际上存在学术层面上问题，并且没有任何资料显示他曾经游历各国去寻找证据。

陪同海因里希·施利曼挖掘的助手也证明，海因里希并没有对亚特兰蒂斯进行过大规模的研究。

保罗面对调查出的事实，并没有申辩，自然也没有出版发行他承诺的著作。这样一来，他虽然一时吸引了外界的注意，但随后逐渐被世人遗忘。后来甚至有人认为，或许海因里希根本没有保罗这样一个孙子，《美国人》上那篇文章根本从头到尾都是记者们捏造的。

地质学上的解释

现在，我们从地质学角度重新审视一下柏拉图提出的亚特兰蒂斯传说。首先，人们认为亚特兰蒂斯位于大西洋，而海底调查显示，大西洋海底没有任何痕迹表明大片陆地曾经存在过。

接下来用板块构造论来看这个问题。板块构造论认为，欧洲、美洲、非洲等六大板块原本是连在一起的超大陆（盘古大陆）。这样一来，并没有任何空隙可以留给亚提兰蒂斯这样巨大的陆地。

并且传说中提到仅在一个昼夜内，整块大陆就完全沉没并消失于大海。这样的事情在地质学上不可能发生。

即便如此，依旧有一些人坚信亚特兰蒂斯是真实存在的。他们利用柏拉图书中描绘的内容、抑或神秘主义者口中的“自己见过亚特兰蒂斯人灵魂”的言论，当作自己的证据，好像认为世界各处都是亚特兰蒂斯。

原来的世界是一个整体？

相对应的海岸线

当精确的世界地图第一次呈现在人们眼前，有些学者发现非洲大陆和南美洲大陆的相对海岸线轮廓是如此相对应。16世纪英国哲学家弗朗西斯·培根就是其中一位。

但当时人们的目光都集中在亚特兰蒂斯传说身上，即便在几千千米外有一条十分相似的海岸线，大家也认为只是偶然罢了。

然而，德国气象学家阿尔弗雷德·魏格纳（1880～1930）的直觉告诉他，两条海岸线轮廓如此对应，背后一定能隐藏着什么重要的信息。他大胆猜想，会不会过去这两块大陆原本就是一体的，甚至不止如此，亚洲、欧洲、澳洲、南极洲，所有的大陆本身就是一个整体，是所谓的盘古大陆。

◆ 盘古大陆



魏格纳继续大胆推理，他想假如所有大陆原本都相互接壤的话，那么接壤地区存在过的动植物化石一定分布在如今的各个大陆上。于是他浏览、调查了各种古生物学的研究结果，发现了一个又一个支持自己假说的证据。

魏格纳兴奋不已，将自己的“大陆漂移”假说向地质学会上报，并撰写了《海陆的起源》。

陆桥说的强势反击

那么魏格纳的假说当时有没有顺利地被人们接受？当然是不可能的。

在当时的地质学领域内，人们普遍认为大陆是静止不动的。而且魏格纳的专业是气象学，职位是天气预报员。在那个时代，即便是地质学家提出的假说都会招来同行的反对，更何况是完全没有地质学经验的区区天气预报员提出的新鲜学说，毫无疑问地引来了地质学家们的强烈反对。

比如，化石调查显示，三趾马这种古代的马，曾同时期在法国和美国的佛罗里达州存在。有人得出大西洋中存在陆桥的结论。假设陆桥真实存在的话，那它的长度将要达到4000千米。此外，古代生存的貘（类似河马的哺乳类动物）也在同时期出现于南美和东南亚，也让一些人相信那里也有陆桥。

不久后，古代地图被改得很怪异，各个大陆之间填满了陆桥或其他陆地。地质学家们却表示不合情理。他们认为这些陆桥和大陆应该是慢慢沉入海底的。

魏格纳抱憾而终

魏格纳假说最大的弱点是无法证明究竟是什么力量驱使大陆分裂和移动的。魏格纳曾认为是“由于地球南北两极略扁产生的挤压力”。但地质学家们认为那种力量不足以撼动大陆，不予接受。

魏格纳一生在气象领域取得了不少成就。他为了证明大陆漂移假说，前往格陵兰岛实地考察，却不幸遇难，长眠于此。

魏格纳提出的假说虽然没有因为他的与世长辞而立即被人们遗忘，但在一系列的讨论之后，终于在20世纪30年代，也逐渐销声匿迹了。

“磁性化石”告诉我们

很多人第一次听到带磁性的化石时，都会感到诧异。

这里所谓的化石，并不是指“古代动植物的遗体、遗物或生物留下的痕迹”。地质学范畴上定义的化石，是由此衍生出的“保持原状的古代物品”。

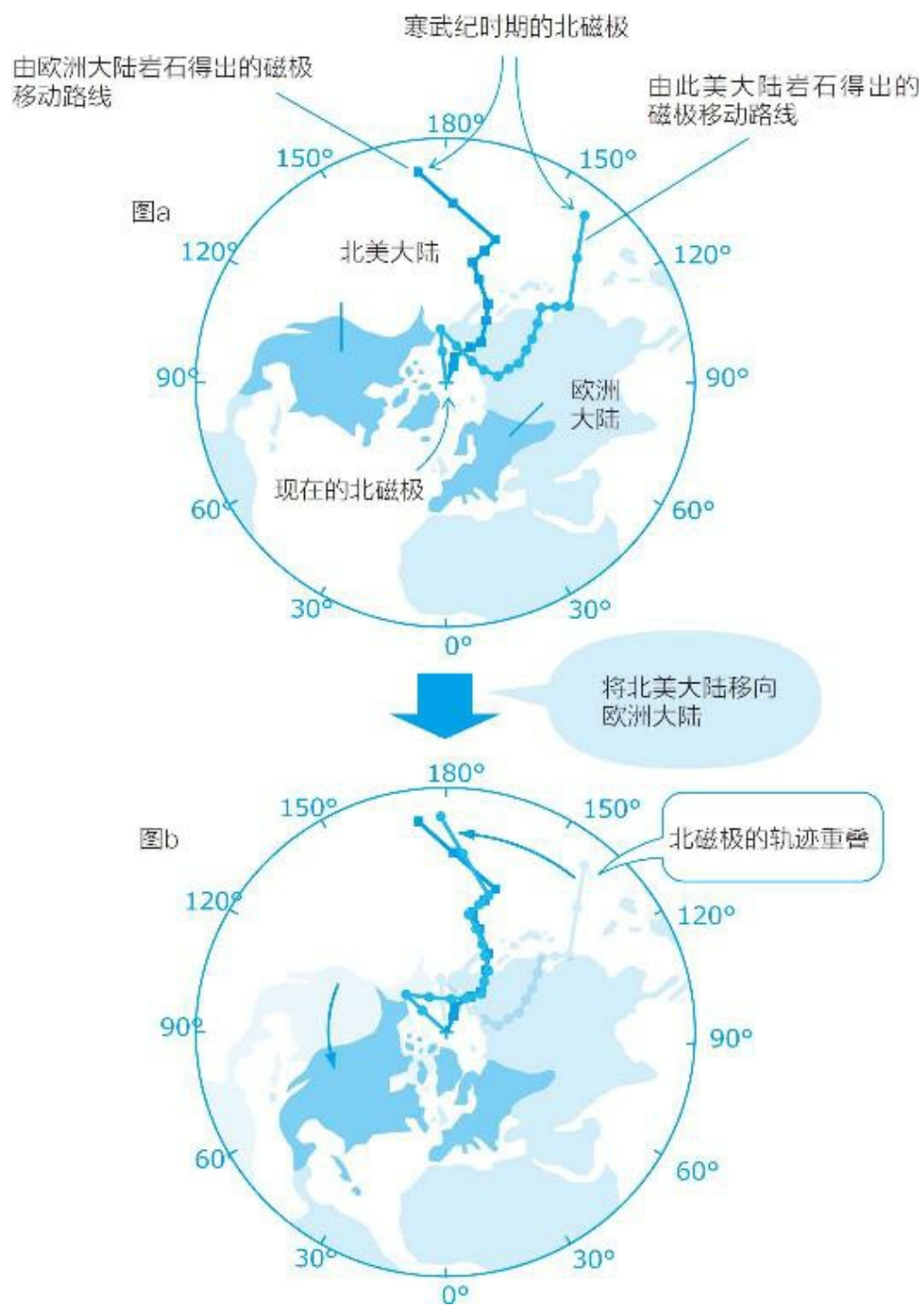
火山爆发喷出来的高温熔岩^[1]本身是不带磁性的，但其冷却后，就会被当时所处的地磁磁化，并与磁场方向一致。这是因为其含铁，而含铁的矿物易受到地磁场的影响。我们称这种被锁定在岩石内部的磁场为“热剩余磁性”。

带有热剩余磁性的岩石会持续保留被磁化时的磁性，即使之后遇到不同方向的磁场也不会产生变化。因此，只要我们调查岩石带有的热剩余磁性的方向，同时根据放射性元素的衰变情况进行年代测定，就可以推断出这块岩石形成（熔岩凝固）的年代，进而得知地球的磁场是如何随时间的推移而变化的。

除热剩余磁性外，还有其他形式可以存储地磁。江河湖海中的细小碎屑不断沉淀，最终凝固成沉积岩时，就会形成“沉积剩余磁性”。

20世纪50年代之初，世界各地都开始勘察磁性化石。我收集了世界各地区的勘察记录，汇总到了一张地图上。

◆重叠磁极移动轨迹后发现……



图a是利用欧洲和北美的岩石推断出的北磁极的移动轨迹。因为北磁极只有一个，所以两条轨迹必须完全一致。

那究竟是怎么回事呢？

如图b所示，如果将北美大陆拿到欧洲大陆旁边，两条轨迹就几乎重叠了。也就是意味着过去欧洲大陆和北美大陆是连在一起的。

时隔20年之久，魏格纳的大陆漂移说终于“起死回生”。

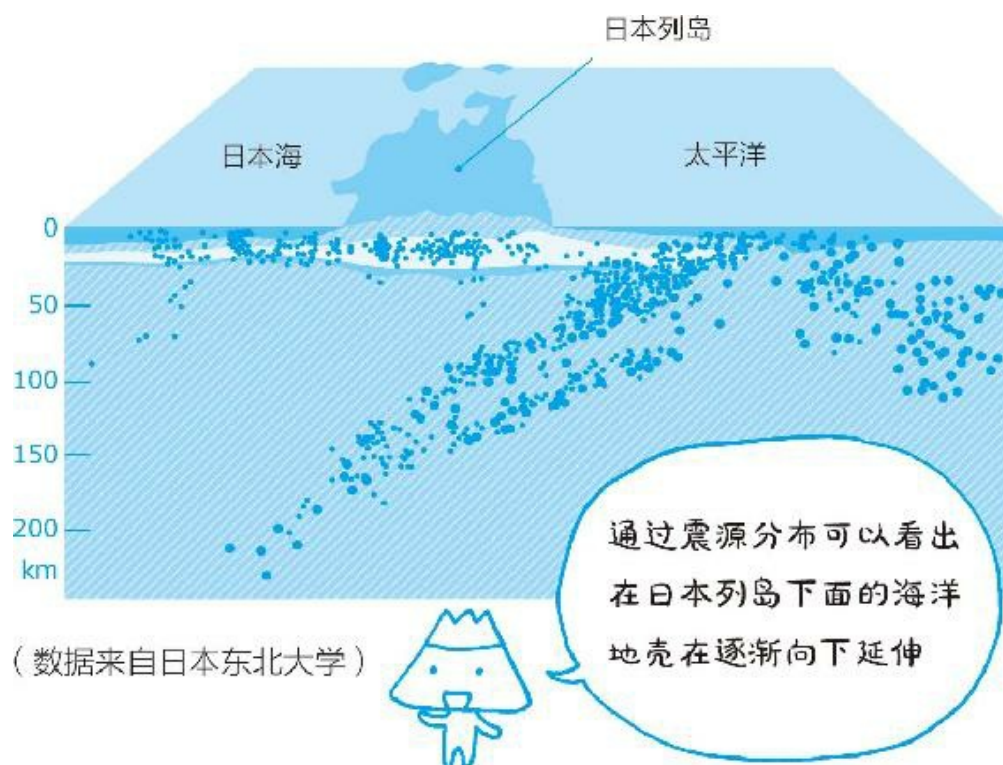
板块构造论证明魏格纳假说

大陆漂移说得以重获新生，其中贡献最大的当属海底地形勘探莫属。

20世纪50年代，人们正式开启海底勘探，继而得知地球上最高最长的山脉竟绵延于大海之中。这条巨大山脉始于冰岛，延伸至大西洋中部、非洲南部，贯穿印度洋与南极海，蜿蜒至澳大利亚南部，由此转而横穿太平洋，绵延至阿拉斯加。

偶尔，我们能看到浮出水面的海底山脉，但在勘察之前，没有人知道海水下面竟然还绵延着数千千米的山脉。为区分海底与陆地的山脉，我们称其为“海岭”。

◆ 震源的深度



1960年，人们根据岩石资料得知，大西洋中央海岭处的洋底年龄较小，随着向东西两端推移，洋底的年龄越来越老。

此外，陆地上的岩石起源于约40亿年以前，而最古老的海底岩石也才有2亿年的历史。并且古老的洋底在与大陆相对平行的海沟（海洋中狭长的沟槽，是海底最深的地方）附近突然消失了。那么古老的洋底到哪里去了呢？

地震学家们在勘测日本附近震源深度时发现，地震发生区域内，太平洋侧震源较浅，越向日本海和陆地靠近，震源越深。也就是说，震源自太平洋侧向日本海侧逐渐加深，构成一条向下倾斜的震源带。

人们认为，之所以洋底在海沟消失，并自海沟起出现逐渐加深的斜向震源带，是因为洋底诞生于中央海岭并向海沟移动，抵达海沟后下沉潜入地幔。

形象地说，大西洋的海底相当于两条巨大的传送带。一条将地壳拖运至北美洲方向，另一条则将地壳传送向欧洲。就这样，海底不断地在蔓延、扩张着。这里所说的地壳更准确地说，是指包括地壳和上地幔顶部的岩石圈。

1964年，在英国皇家学会主办的讨论会上正式通过“地球表面由多个碎片（即板块）连接镶嵌而成。而板块之间的相互作用力引发了多个地方的地壳变动”之说。

就这样，“板块构造论”终于成为一项被承认的新科学。同时，这也以一种新的形式证实了魏格纳提出的大陆漂移假说。

距离魏格纳提出大陆漂移说已有半个世纪之久。当时让魏格纳百思不得其解的驱动大陆移动的力量，现在被认为可以推动整个地壳。而这种力量就诞生于自海岭顶部上升的地幔对流。

^[1] 岩浆是指地下熔融或部分熔融的岩石。当岩浆喷出地表后，则被称为熔岩。（译者注）

冰岛是地质学上的宝库

史上最大规模的火山爆发

历史上最大规模的火山爆发，当属冰岛共和国（以下简称冰岛）的拉基火山爆发。拉基山上有长达2500千米的火山群，上面排列着约120个火山口。

这些火山口导致了1783年6月拉基火山的大规模爆发。当时，拉基山的地面突然裂开，一股股火焰喷薄而出，形成25千米宽的熔岩流，宛若一条“火帘”。

此次喷发断断续续喷射了5个月，释放了大量岩浆。这次火山爆发造成了冰岛五分之一的人口—1万人死亡。此外，北半球也因为上空被火山灰笼罩而得不到充足的日照，引发了大规模饥荒。

如今的冰岛依然是多火山、地质活动频繁的国家。2010年春天，冰岛也发生了大规模火山爆发。位于冰岛南部的艾雅法拉火山，先后在2010年3月和4月14日发生了两次大规模爆发。

从火山口源源不断喷出的火山烟尘在11千米高空形成火山灰云团，并随着东南风向漂移，邻近的欧洲北部深受其害。由于火山灰可能导致飞机引擎故障，各国航空局都取消了4月15日~21日的航班，并封锁机场，交通受到了极大的影响。

像日本这样狭长列岛上的火山，都是自山顶喷发火山灰，其中以安山岩质为主。而冰岛的火山是从谷底的裂缝处喷射，喷出的火山灰大多是松散的玄武岩质。

大海中也有山脉

形容地球表面的地形有许多，如高山、高原、平原、盆地等。其实，在我们平时看不到的大海中，也存在和陆地一样的地形，并且它们都拥有自己的名字。

前文提到，大海中是有山脉的，我们叫它海岭。比如，位于大西洋中央的海岭叫作大西洋中央海岭；位于印度洋的有自大西洋起绵延到南极的印度洋海岭、东南印度洋海岭；太平洋东侧有东太平洋海岭；南太平洋中靠近南极大陆一侧，有太平洋—南极海岭等。宽广的洋底中央存在着各式各样连绵起伏的海岭。

虽然大部分海岭都深藏在我们看不到的海底，但也有个别海岭露出海面。其中一个就是冰岛。请看下图。冰岛位于亚欧板块和北美板块的交界线上，岩浆活动频繁。当海底岩浆活动剧烈导致火山持续喷发时，大量的喷发物就会不断冷凝堆积。最终，喷发物终于露出海面形成了今天的冰岛。

◆位于大西洋中央海岭之上的冰岛



海底平均深度约为4000千米，自海面至海岭山顶的深度约为2000～4000千米。也就是说，冰岛的海岭之所以能够露出海面，是得益于不计其数的火山喷发物。人们推测，至少需要2亿2500万年的积累才能堆积成如今的冰岛。现在岩浆活动依旧如往昔一般频繁。

裂谷带还在继续扩张

在冰岛看到的大西洋中央海岭东临欧亚板块，西邻北美板块，地处板块交界处，因此形成了裂谷带。

两大板块每年各自向左右移动1~1.5厘米，因此裂谷带每年扩张为2~3厘米。而其间的缝隙则被玄武岩质岩浆流入填补。

在冰岛，人们称这条裂谷带为“gyao”。辛格维利尔国立公园的裂谷是一个著名的旅游胜地。公元930至1271年，冰岛民主议会（冰岛语：Alþingi）曾在山崖之间的裂谷中举行。声音碰到山崖反弹回来，其回声能传到很远的地方。

除此以外，由于裂谷带火山活动频繁，这里经常会喷出高温的水蒸气。人们利用地下的热水和高温水蒸气进行地热发电，同时还用于供暖和温室栽培。

◆冰岛民主议会Alþingi



从冰岛到糸鱼川市

新潟县糸鱼川市^[1]有一个大地沟地质公园（Fossa Magna park）。公园里有一个景点叫作“露头”。工人挖出一个斜面，让人们可以看到糸鱼川—静岡构造线的断层面，也就是露头。“露头”是指地球表面突出可见的岩床或表面沉积物。

这个露头将陆地分为东边的北美板块和西边的欧亚板块。在这里，你可以右脚站在北美板块上，左脚站在欧亚板块上。在板块分界线处，北美板块和欧亚板块相互碰撞，岩盘不断被磨碎，后逐渐变成了我们看到的泥化带（断层泥）。

北美板块和欧亚板块在冰岛附近诞生且在继续扩张分离。糸鱼川市是一个非常难得的地方，因为人们在这里可以亲眼见到两大板块的终点。

北美板块和欧亚板块的交界处，途经日本海东部、鞆海峡、上扬斯克山脉、切尔斯基山脉、北极海、格陵兰海、冰岛和大西洋中央海岭，十分宽广。

[1] 糸鱼川市：位于新潟县最西端、面向日本海的城市。（译者注）

世界最高峰不是珠穆朗玛峰？

山是如何成为山的呢？

现在我们所见的山，起先的形态其实并不是山。即便是高大巍峨的崇山峻岭，在过去也仅仅是平坦的土地。那么，山究竟是怎样形成的呢？

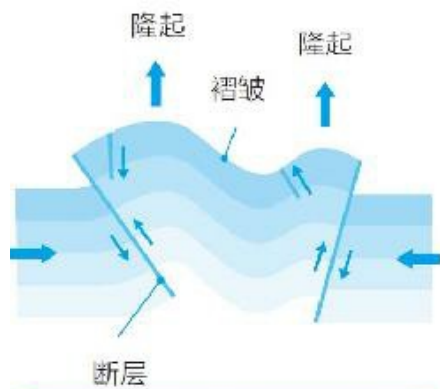
山的成因可大致分为两种。

第一种是火山的形成。地壳喷出的高温熔岩经冷却凝固后不断堆积，便形成了火山。日本最著名的火山当属富士山了。富士山是由三次火山大爆发喷出的熔岩堆积而成的。

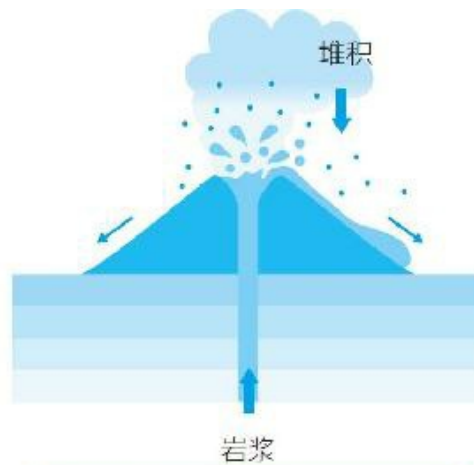
另一种就是地表经过褶皱运动挤压而形成的山。举例来说，当我们水平地拿起一块垫板，从两端用力挤压，垫板就会弯曲变成小山的形状。日本的第二高山北岳（位于山梨和静冈县），就是由于地壳运动，地表两端受到挤压而形成的山。

北岳是由海底堆积的沉积岩构成的，所以并不是火山。世界上还有许多和北岳成因相同的山脉，如北美的落基山脉、印度和中国西藏之间的喜马拉雅山脉、欧洲的阿尔卑斯山脉等。

◆两种山的形成方式



地表经过褶皱运动挤压而形成的山



岩浆喷发形成的山

测量珠穆朗玛峰高度的方法

珠穆朗玛峰（也叫埃非勒斯峰“Everest”）被誉为世界最高峰，海拔8844.43米。这个数值是用“地心到珠峰顶端的距离”减去“地心到珠峰大地水准面的距离”得到的。

地球上的地形千差万别，既有超过8000米的高山，也有低过1万米深的海沟。由于地壳的密度并不平均，密度大的地方重力会较大，因此地球的重力也不是固定的。

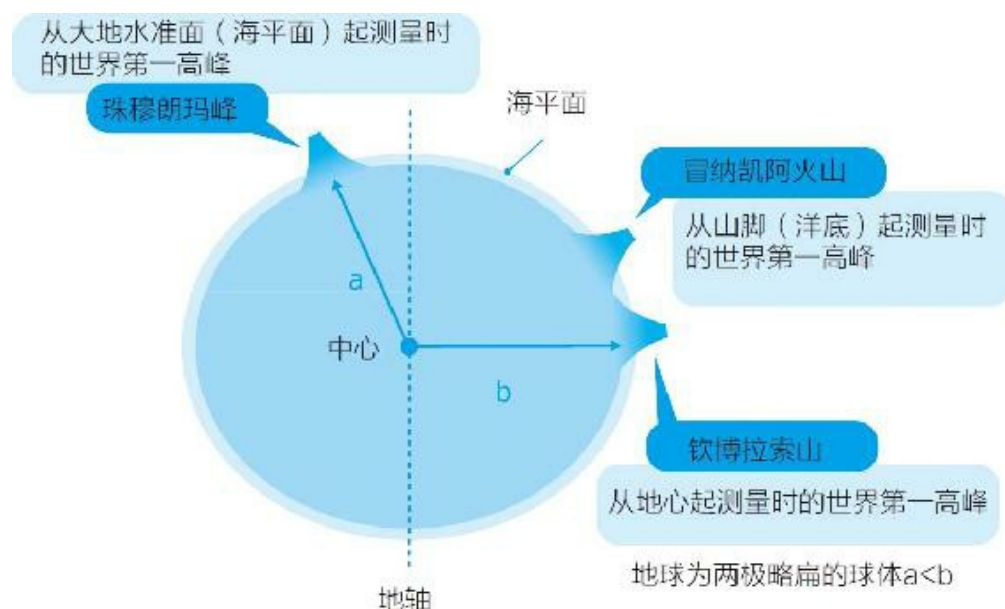
70%的地球表面都是海洋。因此大地测量学把与世界平均海平面相重合的“重力等势面”作为“大地水准面”，以此代表地球的基本形状。日本以东京湾的平均海平面作为“大地水准面”。（离岛除外）

也就是说，珠穆朗玛峰的高度指的是珠峰所在地的平均海平面（大地水准面）到山顶的高度。人们在说“珠峰”高度的时候，会说“海拔8844.43米”也是这个原因。

从地心开始测量

如果我们用“山顶到地球中心的距离”代替大地水准面来计算高度的话，那么世界第一高山将由珠穆朗玛峰变成位于赤道附近的钦博拉索山（海拔6310米）。

◆ 测量山脉高度的三种方式



地球以两极轴进行自转，地球赤道附近区域由于离心力而略微向外鼓起。因此，赤道附近纬度较高的地区距离地心更远。赤道附近的钦博拉索山的高度，若按照距地心距离计算的话，要比珠穆朗玛峰高出约2000米。

从山脚（洋底）开始测量

我们可以以大地水准面为基准测量陆地上的山，那用什么办法测量从海底冒出的山呢？

比如，有一座山，有5000米都位于海下，露出海面的山顶为100米，那么他的高度就是100米。如果山顶没露出平均海面的话，就没法测量高度。

为了解决这个问题，人们在测量山脚位于海底的山高时，以洋底为基准，测量从洋底到山顶的高度。

夏威夷的冒纳凯阿火山，露出海面以上的山峰高度为4205米。若从太平洋洋底的山脚处开始测量，它的高度为10202米。比珠穆朗玛峰的海拔还要高出1355米。如果有一天地球上的海水消失了，那世界第一高峰就变成了冒纳凯阿火山。

但是，现在人们规定以“大地水准面”为基准进行海拔测量，因此最高峰还是珠穆朗玛峰。

原来测量标准
不是只有一个
啊！



喜马拉雅山脉还在变高？

珠峰上有海底的痕迹

海拔8844.43米的珠穆朗玛峰是喜马拉雅山主峰，世界第一高峰。在山顶附近，有一片被登山者称为黄带的地层。在那里，原本黑色的岩石变成灰白色的带状岩石。黄带层的真身其实是石灰石。这种石灰石是由和海胆同属的海百合演变而来，其间含有化石。

其实含有黄带的岩层，来自约3亿年前特提斯海（古地中海）的海底。曾经位于海底的岩层，如今却在8000多米的高山上。

历经沧海桑田

特提斯海曾位于现在的喜马拉雅山至阿尔卑斯山之间。数千万年前，陆地 in 喜马拉雅、阿尔卑斯一带逐渐露出海面，隆起成山。

即使陆地每年只隆起1厘米，经过数千万年的累积，现在也应该有数万米高才对。但在陆地实际隆起的过程中，会受到风雨或河川等的剧烈侵蚀。因此山的高度取决于陆地隆起速度和被侵蚀速度这两个因素。

那么是什么原因导致陆地隆起呢？

当类似印度次大陆、欧亚大陆那样巨大的板块发生运动时，隆起就会发生。陆地其实就是覆盖地球表面的十几块板块。这些板块由数十至数百千米厚的岩石构成，它们像传送带一样，每年都会移动几厘米。

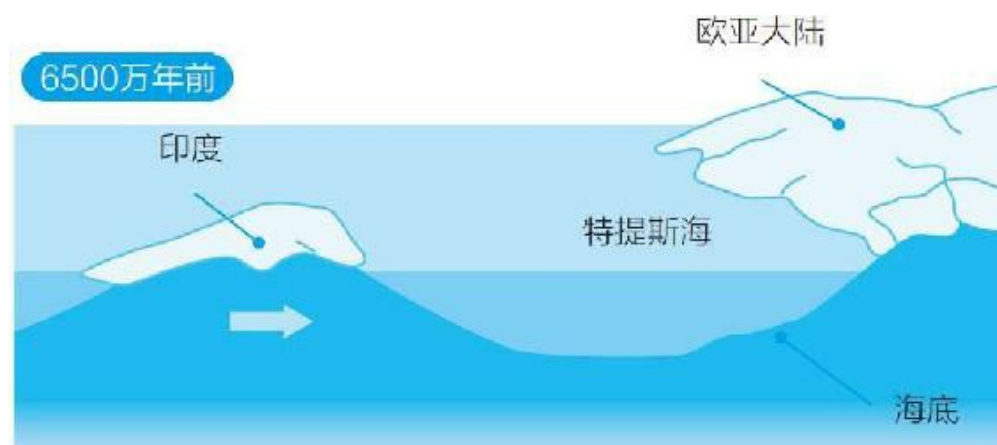
也就是说，本来印度次大陆板块向欧亚板大陆板块俯冲，挤压两者之间的特提斯海堆积的地层，使其上升到了现在的高度。并且，这种上升运动今天仍在继续。

日本地形的诞生

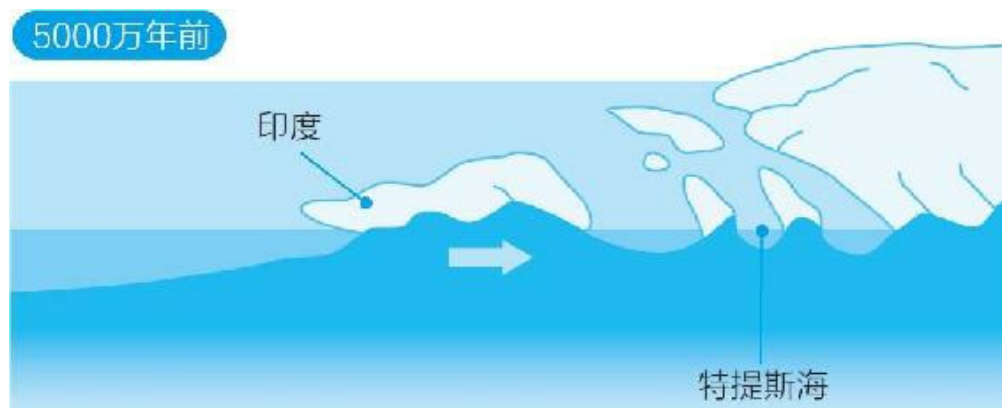
日本列岛是什么情况呢？

按地球的历史来说，我们现在所见到的山地、平原都是近期形成的。也就指在第四纪（约260万年前）以后发生的。按地球历史算的“近期”，和我们日常生活中说的“近期”有着天壤之别。在第四纪时代，日本列岛就已经基本形成了。

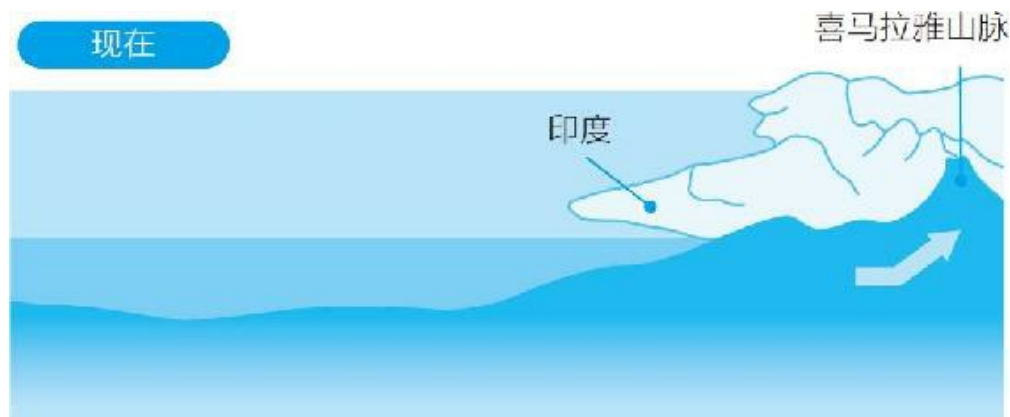
◆喜马拉雅山脉的形成



曾经位于南半球的印度次大陆向北漂移



特提斯海的海底岩石被向上推起，特提斯海萎缩



印度次大陆撞向欧亚大陆，形成喜马拉雅山脉。特提斯海消失

距今约260万年前，日本列岛各地开始发生隆起或者下沉运动。在陆地隆起逐渐变高的同时，风雨河川也在侵蚀、削减着岩石。当隆起的岩石多于被侵蚀的岩石时，就出现了山。

另一方面，陆地下沉的地方就会出现盆地。在陆地下沉时，其周围隆起的山地会掉落一些沙土，随着这些沙土的堆积，就产生了平原。

我们把这样的隆起和下沉运动称为“地壳变动”。在日本，隆起量最大的是飞驒山脉，为1500米；下沉量最大的是关东平原，为1000米。

那么，隆起和下沉的速度是怎么样的呢？

用变动总量除以260万年，就可以得到平均速度。即便是隆起量最大的飞驒山脉和下沉量最大的关东平原，每1000年的变动量也只有大约0.4~0.6米，换算成每年的话，变动量大约只有0.4~0.6厘米。

有报告显示，关东山地的年均上升量为0.5厘米，四国山地为1~2厘米，赤石山脉为4厘米。即便每年变化1厘米，260万年后也会变成2600米。这正映照了古话“积土成山”。

喜马拉雅山脉年均隆起量为10厘米以上，比日本山脉多出了许多

倍。

不得不感叹，印度次大陆和欧亚大陆相互碰撞产生的强大力量真的是令人叹为观止。



日本的火山是什么类型？

噴火=噴出岩漿

火山爆发是由什么引起的呢？

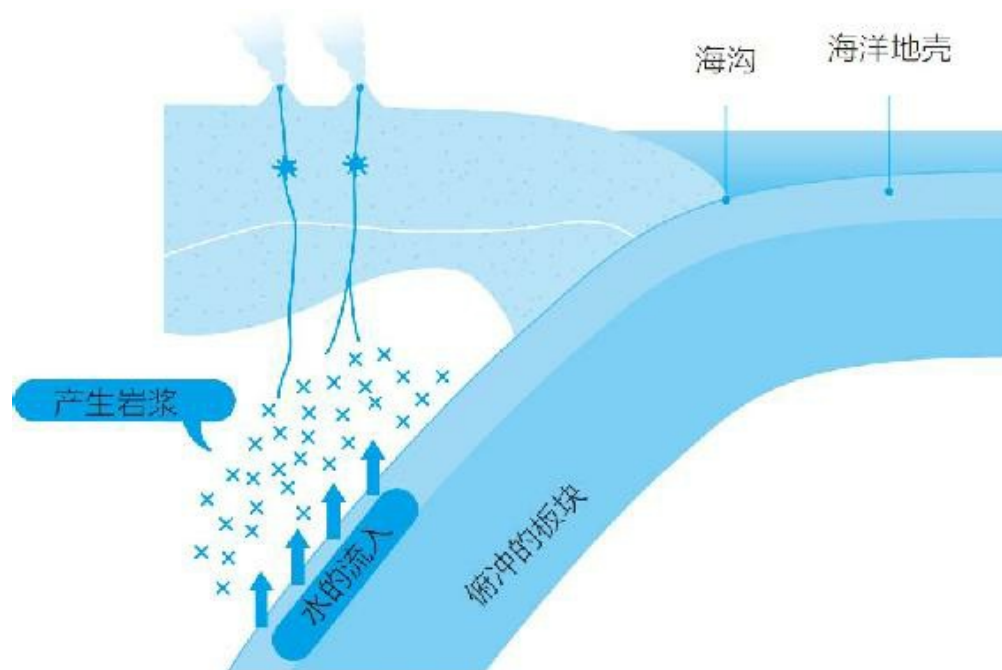
地球内部的高温导致岩石融化，形成岩浆。当岩浆上升到地表附近时，由于压力减小，大量堆积的岩浆就会从像裂缝这样薄弱的部位喷发出来。

岩浆形成于相对较浅的上地幔中，存在于深度在数十至两千九百千米的地幔之中。在此说明一点，虽然地球内部的温度极高，但并非上地幔（数十至数百千米）中的所有岩石都处于熔融状态。

关于岩浆的形成过程，有两种说法。

第一种是“低熔点成分混入说”。人们把像日本列岛这样，外侧存在海沟的弧形细长岛屿称为“岛弧”。在海沟附近，朝大陆前进的板块会一点点俯冲进海底。沉入海底的板块会将大量水带入地幔内部，导致岩石熔点降低，从而产生岩浆。

◆低熔点成分混入说



另一种是“降压熔融说”。与海沟处相反，在海岭处海洋板块的两侧，地幔和板块会一起上升。在上升的过程中，由于环境从高压变为低压，一部分岩石成熔融状态，形成了岩浆。

人们推断在地壳和地幔的交界处至火山地下数千米之间，都有大量岩浆堆积。

人们把岩浆从岩浆库冲出地表的一系类现象称为“火山活动”。岩浆释放气体时发生大爆炸，也就是火山爆发。此时火山口会流出熔岩（约 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ），同时喷出火山弹、火山砾、火山灰和火山气体。

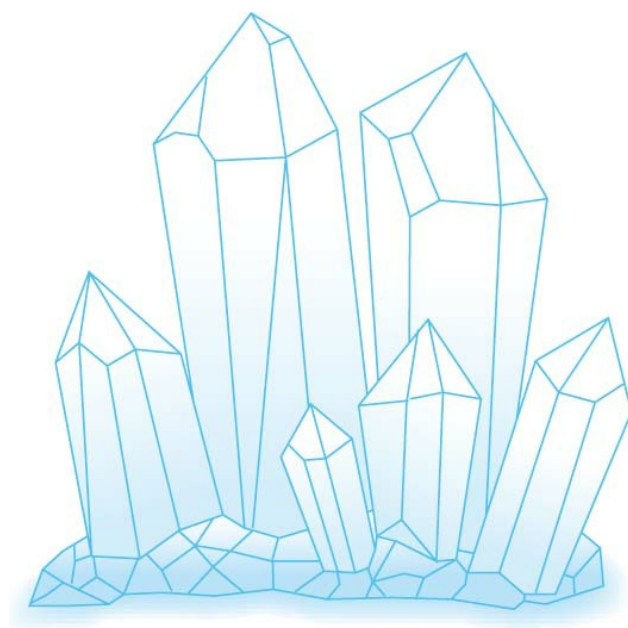
火山爆发之前，会有一些现象可以帮助人们预测爆发时间。比如，由于地下岩盘遭到破坏，会频繁发生地震，或由于岩浆和气体膨胀导致山体隆起等。

二氧化硅的含量是决定因素

岩浆的黏度和其气体含量会导致不同形态的火山活动。

岩浆中含有一种物质，叫作二氧化硅。我们熟知的石英就是二氧化硅结晶体，其中无色透明的就是水晶。地壳中含量最多（质量比重）的元素是氧，紧随其后的就是硅。因为组成地壳的岩石中，存在大量由氧元素和硅元素组成的二氧化硅化合物。

◆水晶



岩浆中所含二氧化硅越多，熔岩的黏度越高，而熔岩黏度越高，其喷出时的角度越大，越易形成高大的火山。当二氧化硅比例较低时，熔岩就会向小溪一样缓缓流淌，更易形成平缓的火山。

喷发的剧烈程度也随二氧化硅的含量而变化。二氧化硅含量较低的

岩浆更利于释放气体，喷发时较为宁静。而二氧化硅含量较高的岩浆在增加熔岩黏度的同时，不利于气体释放，导致喷发更为剧烈。

当熔岩黏度变高时，熔岩就会在火山口上及其附近冷却凝固，形成熔岩穹丘，有时还会引发火山碎屑流。日本的大部分火山都是由富含二氧化硅的岩浆剧烈爆发后形成的。

昭和新山^[1]和平成新山^[2]（1990年云仙普贤岳发生火山爆发后，诞生出了一个比普贤岳还高的穹丘）都是典型的由富含二氧化硅的岩浆爆发而形成的火山。

质疑“绳文杉”的树龄

屋久岛上有一棵叫作“绳文杉”的屋久杉。由于人们推测它的树龄有7200岁，因此得名绳文杉。但这棵树的树龄逐渐遭到人们的质疑。

距屋久岛不远处，位于鹿儿岛以南的硫磺岛和竹岛之间，有一块被称为“鬼界破火山口”的地形。“破火山口”指的是由于火山爆发而形成的巨大凹地。鬼界破火山口约在6300年前形成。那次喷火导致的超大规模火山碎屑流，致使喷出的熔岩和火山灰不但没能冷却凝固，反而使其变成高温的熔融状态。

◆二氧化硅的含量比和熔岩状态

		二氧化硅含量	
		较多（70%以上）	较少（50%以下）
熔岩状态等	喷出时的熔岩温度	低（约1000℃）	高（约1200℃）
	喷出时的熔岩黏度	大	小
	熔岩的堆积方式	向上堆积	平面扩散
	喷火方式	爆发式喷火	熔岩宁静流淌
		← 中间 →	
代表火山		昭和新山	基拉韦厄火山（夏威夷）

人们认为火山碎屑流袭击了九州一带，致使九州地区的所有生命尽数灭绝。而屋久岛也应该在受灾区域之中。

喷向高空的火山灰甚至到达了北海道，最厚的地区堆积了超过10厘

米。现在，这些火山灰在仍然存在。

此外，人们根据放射性元素衰变对绳文杉进行了年代测定，其结果显示树龄为3000～4000年，（也有说法是2700年）而这种说法也比较合乎情理。

[\[1\]](#) 昭和新山：是一座位于日本北海道有珠郡壮瞥町的火山。被包含在支笏洞爷国立公园的范围内。昭和新山是在1943年12月到1945年9月期间喷发所形成的一座火山。（译者注）

[\[2\]](#) 平成新山：位于日本长崎县的岛原半岛，1990～1996年期间由于火山喷发新形成的一座火山。（译者注）

热爱火山的邮局局长

麦田中诞生了火山

1943年12月28日，有珠山北西麓的洞爷湖温泉街等地突然发生频繁地震。正值“二战”高潮，空气中弥漫着失败的味道。

当时，三松正夫是北海道壮村（现为壮町）的邮局局长，1910年有珠山火山爆发时，他帮助东京大学的大森房吉氏进行现场观测，亲眼见证了“明治新山”的诞生。

这次经验让他具备了些许火山的知识，因此，当感觉到第一次地震并发现有珠山开始摇动时，他第一时间奔赴现场，同时还给他的火山学家朋友们发电报汇报了消息。

但当时，科学家们被迫要做对战争有帮助的调查研究，没办法赶到现场。军事当局认为扩散地震的消息会影响军心，便下令封锁消息。

后来，壮村麦田的地面不断隆起上升，形成了火山口，不断喷发火焰。到“二战”结束的1945年9月20日，熔岩穹丘形成，终于在海拔407米的地方停止了火山活动。从此，“昭和新山”诞生。

我们将这种山顶熔岩塔突出的地形称为火山锥。如今红褐色的山体依然在喷着白烟。现在它的海拔为398米，这是因为温度降低和侵蚀导致山体每年在缩小。

震惊世界的三松记录图

由于得不到火山学家和军事当局的帮助，三松只好自己观察并记录发生的事实。在连食物都紧缺的战争时期，胶片、纸和衣服更是稀有。而三松却牢记“火山爆发是探寻地球内部最好的机会”的教诲，废寝忘食、独具匠心地记录了这次火山完整的活动过程。三松在他小小的邮局撑开“手里的线”，丈量出了这座新山的高度。

就这样，记录了从火山活动开始到停止全过程的“三松记录图”石破天惊地得以问世。

“三松记录图”由两张图组成。第一张是记录山脊随时间变化的“昭和新山隆起图”。另一张综合记录了火山活动开始到结束的所有观测资料，总结了在邮局感受到的地震次数与喷火、隆起的关系，被称为“时间关联关系图”。

◆昭和新山隆起图（三松记录图）



这两张图在田中馆秀三的协助下，得以发表于1948年挪威奥斯陆市召开的万国火山会议上。面对这份出于外行之手、却又详细记录战时日本偏僻之地的火山诞生图，与会专家都惊叹不已。此后，这份三松记录图成为火山学历史上光彩夺目的一笔。

买下火山的男人

1946年，三松准备买下昭和新山。他认为，昭和新山的形成过程是世界上首次被确认的“隆起型火山”的珍贵样本，为了能够长久地看到地球的破坏力和再生力，这一带需要被完好保存。

并且，由于当地的人们失去了赖以生存的麦田，他为了寻求北海道和国家的救济，曾跑到各个地方请愿。但当时人们都认为，不应该保护这座引发灾害的罪魁祸首，对他的恳求置之不理。

面对这种情况，他没有办法，只好自掏腰包，用28000多日元买下了火山的主要部分，约有42公顷。于是，三松成为“世界上第一个活火山所有者”。

1977年，热爱昭和新山的三松与世长辞，享年89岁。现在，三松正夫纪念馆馆长三松三郎氏（三松正夫的女婿）继承了他的遗志。

想攀登昭和新山的话.....

昭和新山曾经是可以攀登的，是唯一一个可以近距离体验地热和听到喷气声音的活火山。但1977年有珠山火山爆发后，有人指出穹丘有可能崩塌，因此为防止发生事故开始禁止入山。时至今日，依旧无法入内。

我曾经出于科学考察的目的，有幸获得火山所有人三松三郎氏的特许，在当时担任状瞥町理科教员的横山光氏（火山专家）的带领下攀登过一次昭和新山。我还在冒热气的火山口附近煮了鸡蛋。下山后我参观了三松正夫纪念馆，三松馆长还送给我他为我们拍的站在山顶上的照片。

昭和新山虽然不高，但是山体岩石容易崩塌，路面也坑坑洼洼，人一旦滑落就会有生命危险。如果非常想爬昭和新山的话，不妨去参加昭和新山登山学习训练活动。

如果你去游览昭和新山的话，请一定去参观三松正夫纪念馆，去学习一下他穷尽心血编写的资料。拜读过后，你一定能对眼前的火山有更加深刻的认识。



成为化石并不轻松

贝林格教授的悲剧

16、17世纪，欧洲开始大规模修建高大的建筑物和宏伟的运河。在修建的时候，经常可以挖出大量爬虫、鱼骨、贝壳、像石头一样的树根、树干等。这些东西其实就是现在我们说的化石。但那时人们还不知道化石的存在，每个研究者都有自己的推测和猜想。

当时被称为天才的列奥纳多·达芬奇给出了正确的分析：“古代动植物的遗骸被埋在地下，经过漫长的岁月变成了石头。”可只有少数人同意他的观点。

当时最流行的说法是：“这是大地创造出来的，只是大地没有赋予它们生命。”因此这两个学说可以总结为：一、化石是大自然戏谑的产物；二、化石是神秘的大地之力塑造的作品。可想而知，当时的人们会相信哪种说法。

德国维尔茨堡大学的教授约翰尼斯·贝林格（1667～1738）是一位著名的化石研究人员。他和大多数人一样，坚信“化石是神灵创造的石质艺术品”。

贝林格为了搜集到更有利的证据，雇了三个年轻人，让他们到附近的山地寻找化石。不久，这些年轻人陆续拿来了雕刻着鸟、乌龟、蛇、青蛙、昆虫、鱼的石头，画着花草树木的石头，画着太阳、月亮、星星、彗星的石头，还有刻着拉丁语、阿拉伯语、希伯来语文字的石头。据说他们前后一共拿回了两千多块石头。

贝林格以这些石头为史料，1726年出版了一本带有精美插图和详细解说的书。当时的学者们都争相阅读这本书。一时间，这些奇妙的石头成为欧洲的热点话题。

但是好景不长。有一天贝林格在年轻人找出的石头当中，发现了一个刻着自己名字的化石。在那一刻，他终于明白，原来至今为止的所有所谓的化石都只是恶作剧。他叫来那三个年轻人细细询问后得知，是与他共事的一位教授和大学图书馆管理员看不惯自己傲慢的态度，想要教训一下自己。

可怜的贝林格只好无奈地表示会自掏腰包买回所有著书，并尽数烧掉。

◆ 骗过贝林格的化石



在奇迹般的条件下

生物只有在一定条件下才能演变为化石。一定条件指的就是“死在无法被动物吃掉并且不会腐烂的理想场所”。即使可以保证不被其它动物吃掉，但是尸体是很容易被细菌和微生物分解的。

只有很深的土壤才具备这种条件。只要身体被掩埋进很深的土壤中，就不用担心被动物吃掉，而且那里也不存在能腐蚀尸体的细菌。随着土壤的长时间堆积，土壤连带其中的生物都会逐渐变成坚硬的岩石。

但这并不代表生物的尸体能毫无变化地保存下来。在被土壤封存的几万年、几千万年甚至上亿年里，生物体中容易被分解的部分逐渐消失，只有少数部位和土壤中的矿物质发生置换等反应后得以保留。

举例来说，自然界中动物骨骼变成化石的概率是一亿分之一。每个人有206根骨头。当今所有日本人的骨头加起来，也只有二十几根可能成为化石。二十几根骨头还不到一个人骨头总数的10%。

有身体和没有身体的化石

1900年，人们在西伯利亚发现了有毛和肉身的冰冻猛犸象。据说有狗非常开心地吃了它的肉。这个猛犸象也被称为“冰封的化石”。

另一方面，也存在没有留下身体的化石，其中较为著名的就是在大约1亿5000万年前（中生代侏罗纪）的德国地层发现的水母化石。水母的身体并没有留下，形成的是有水母形态的“印象派化石”。当水母安静地横躺在泥沙上时，会有许多泥沙无声且迅速地在水母身上堆积起来，而其上下的泥沙就印下了水母的身形。

同样原理的还有恐龙走路时印在石灰岩上的“脚印化石”，印有沙蚕等多毛类、螃蟹等甲壳类爬行痕迹的“移迹化石”。也有人发现过动物粪便的化石。

除此以外，螃蟹和穿孔贝挖凿的洞穴、动物居住的巢穴等也形成了化石，遍布世界各地。这些都被称为“生痕化石”

也就是说，只要是古代生物留下的任何形式的遗迹，都可以被称为化石。化石在英语里叫作“fossil”，在拉丁语里的寓意是“从地球挖掘出的东西”。

“活化石”的真相

另一方面，有一种被称为“活化石”的腔棘鱼目生物。

调查腔棘鱼在解剖学上的性质得知，它和当今的鱼类有很大区别，是生活在古生代（泥盆纪）的生物。但腔棘鱼的形态和几亿年前几乎没有差异，因此被人称为“活化石”。

植物界的活化石是水杉和银杏。一般来说，开花植物需要依靠雌蕊和雄蕊来进行授粉，精子通过花粉管与卵细胞合体完成受精。银杏虽然也会开花，但精子是通过在水中游动和卵细胞合体完成受精的。银杏和苏铁是开花植物，却用这种与众不同的方式受精，而这正是古生代植物的特征之一。

通过分析银杏化石可知，银杏出现于约2亿8000万年前的古生代后期二叠纪，在恐龙繁衍生息的中生代侏罗纪时期生长得更为茂盛。欧洲曾经认为，银杏在中生代末期和恐龙一起灭绝了。

但是，1690年，恩格柏特·坎普法作为长崎荷兰商馆的医生来出岛赴任时，发现长崎的寺庙中种植着银杏。

应该已经灭绝的银杏，为什么会在长崎的土地上再度生长呢？

其实在侏罗纪以后，有一部分银杏留在了中国南部的土地上。而这些银杏随着佛教一同从九州传入了日本国内，而后在日本生根发芽。

我也希望
我的身体里
有化石！



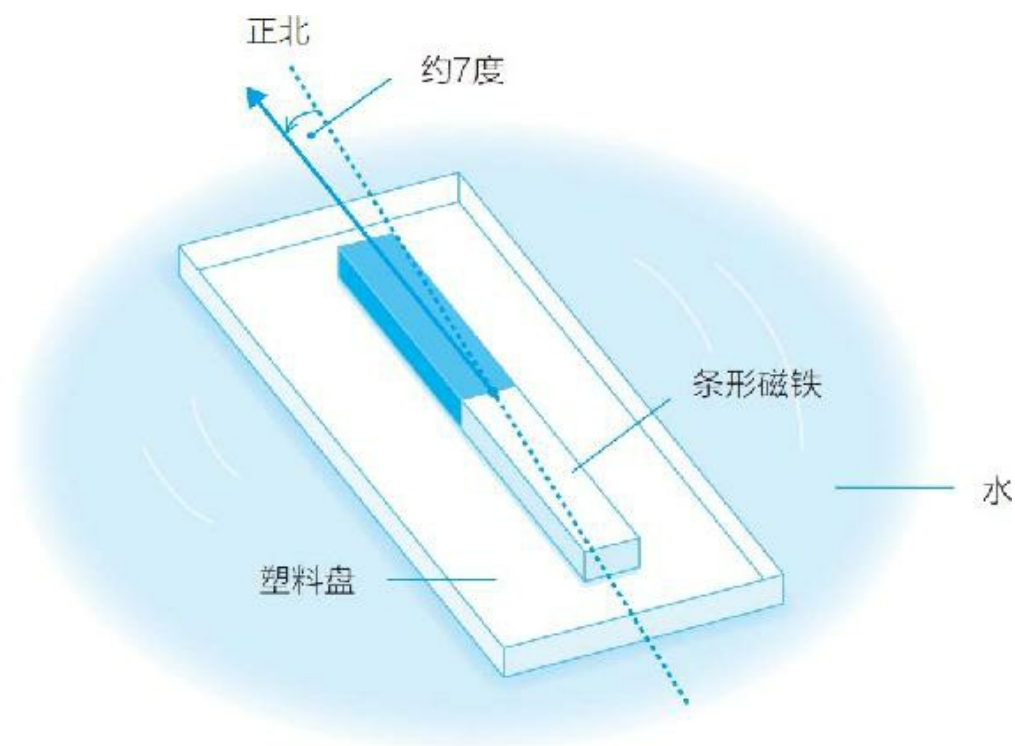
地球是一块巨大磁铁？

磁铁的N极所指的方向

小学的科学课上，有很多人做过将条形磁铁放在浮于水面的塑料托盘上，观察条形磁铁方向的实验。那时老师告诉我们“N极指的是北”。但事实上，N极指的方向是稍稍偏离正北的方向。

测定地点不同，偏离正北的角度也会随之变化。在东京，N极所指的方向在正北以西约7度的地方。也就是说，我们将N极所指的方向向东调7度，就可以得到正北方向。磁铁所指方向与真实方向的偏移量叫作“磁偏角”。在约350年前，磁铁的偏角和今天完全相反，指向正北以东8度的地方。

◆ 偏角



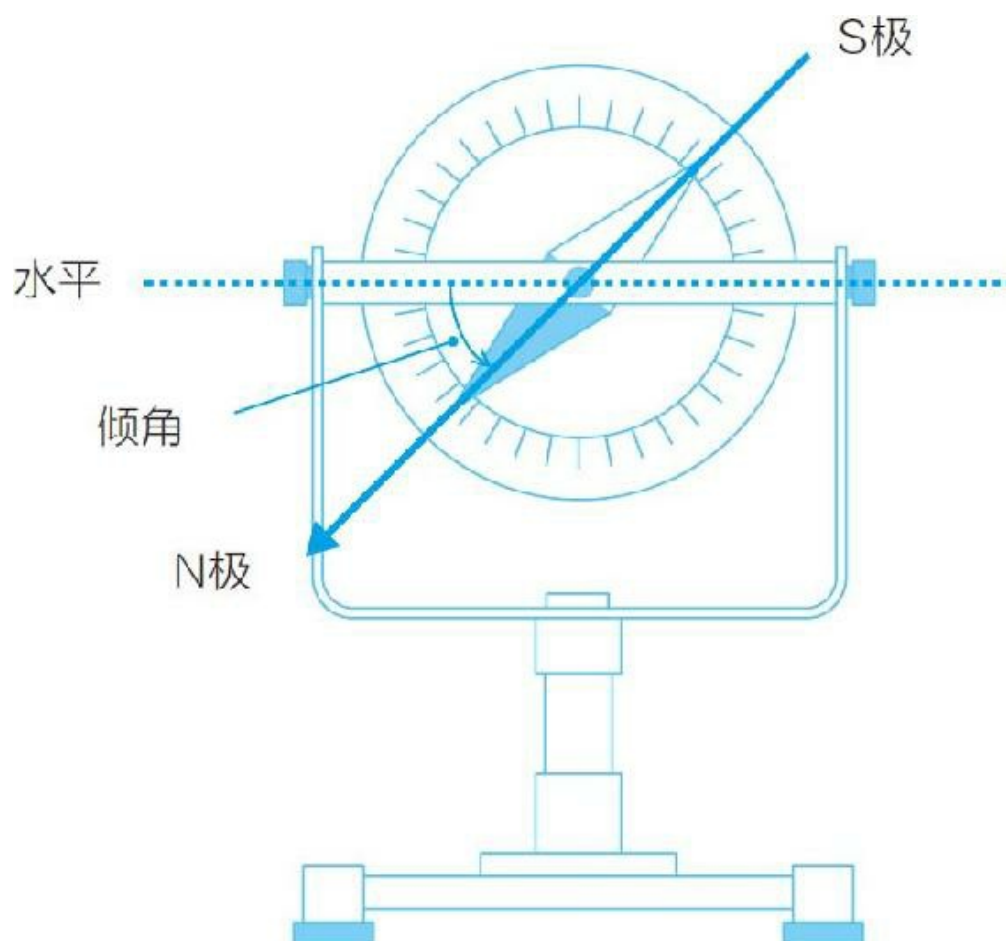
地球的磁极（地磁场的N极、S极）在不断地缓慢移动，也就是“地磁场的长期变化”造成了这种现象。虽然这种细微的偏差对人们的日常生活不会造成影响，但对于地图制作来说是极为致命的。

作为测量学家的伊能忠敬，在约200年前，制作出了震惊世界的极为精确的日本地图。在那个不知道偏角存在的时代，按理说用观测天体移动和指南针测出的数据应该有很大问题才对。

那么他究竟使用了什么方法呢？

其实，在伊能忠敬走遍全国，用脚测量的时代，磁偏角正由东向西变化着。而那个时期正好处于距离正北（0度）极近的位置。因此，他的测量值几乎没有偏差。测量的技术固然重要，但我们不得不感叹他的幸运。

◆ 倾角仪



指南针的小秘密

使用指南针时，仔细看指针会发现它并不是水平的，N极稍稍向下倾斜。北半球N极向下倾斜，南半球S极向下倾斜，倾斜角度由赤道向两极逐渐变大。这个倾斜的角度叫作“磁倾角”，人们一般使用磁倾仪来测定磁倾角。

东京的磁倾角大约为50度，因此指南针的N极指针应向下倾斜50度。但是，如果指针过度倾斜，会导致指南针的轴和轴承互相干扰，致使指针无法自由旋转。为避免这种现象发生，人们会把指南针的S极指针加重，从而平衡两极，使其变为水平。

那如果在南半球使用日本制造的指南针会怎么样呢？

我曾到新西兰进行过实地测试，发现S极指针倾斜严重，无法旋转。由于在南半球磁倾角位于S极指针，当地制造的指南针会加重N极指针来保持平衡。

N极的N是代表North的N吗？

指南针的N极总是指向北，因此人们把地球想象成一个巨大的磁铁。那在地球的北极，是否有N极和S极呢？有许多人认为：“因为N极的N代表North的首字母N，所以北极就是N极！”

代表北的N和代表南的S的确是North和South的首字母，但其实北极对应着S极，南极对应着N极。如果你知道磁铁的N极和S极相互吸引的原理，应该就不难理解这个事实。因为磁铁的N极和位于地球北极处的S极相互吸引，所以N极指针会指向北面。

也许有人会问，那把指向北面的指针定为S极不是更方便吗。但其实人们在发现并研究地磁场以前，就已经把指南针指向北面的定为N极，指南南边的定为S极了。

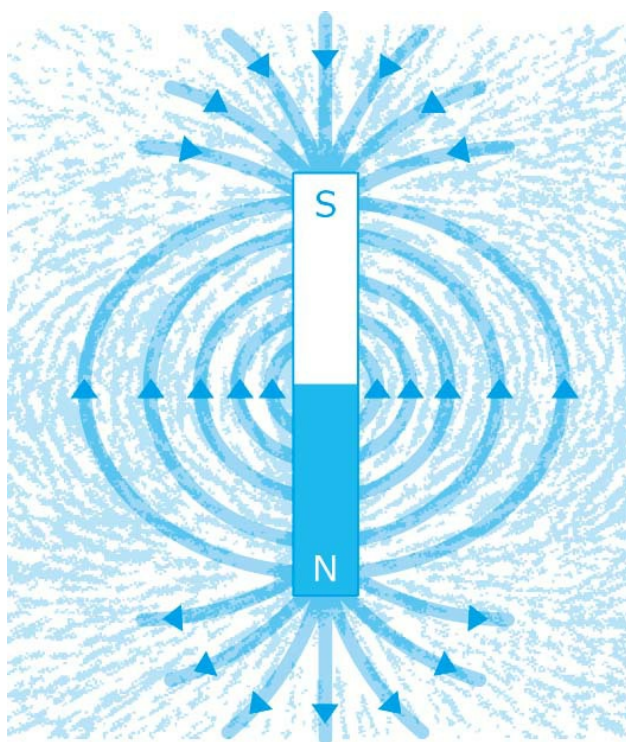
当时，人们认为磁铁指向北面的原因是“北极星的吸引力”或“制造磁铁的小岛位于北方”，因此命名了N极和S极。

从磁感线可以看出

将铁矿砂铺在一张白纸上，白纸下面放一块条形磁铁，用手轻轻弹白纸后，纸上的铁矿砂会勾勒出连接N极和S极的磁感线。（下页图a）。那么如果地球本身也是个巨大磁铁的话，在地球周围也应该有同样的磁感线。

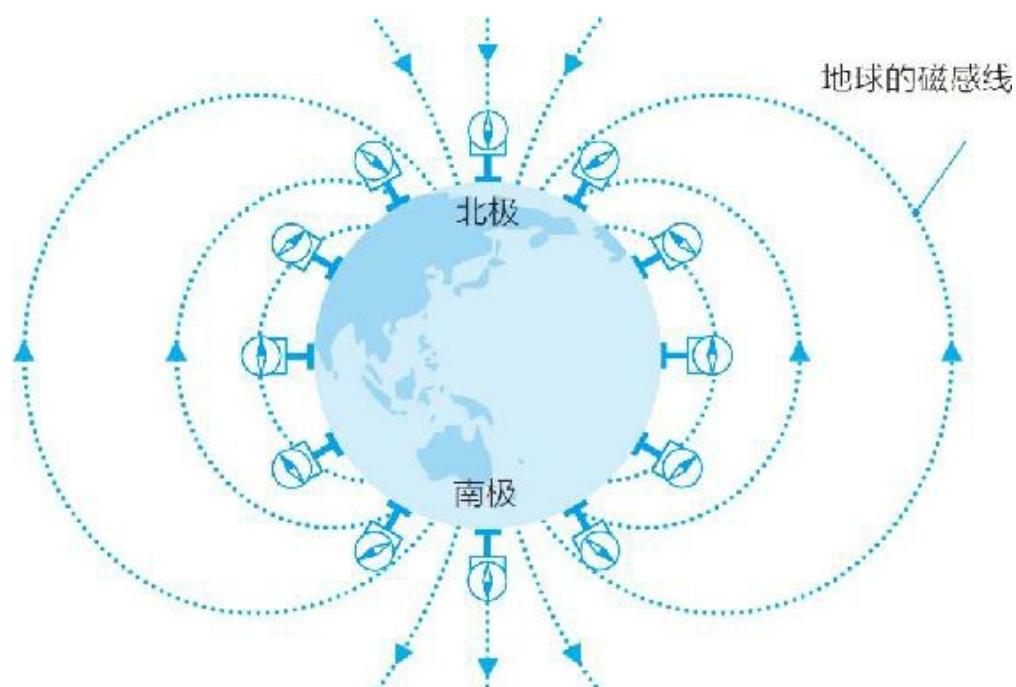
◆ 条形磁铁的磁感线

图a

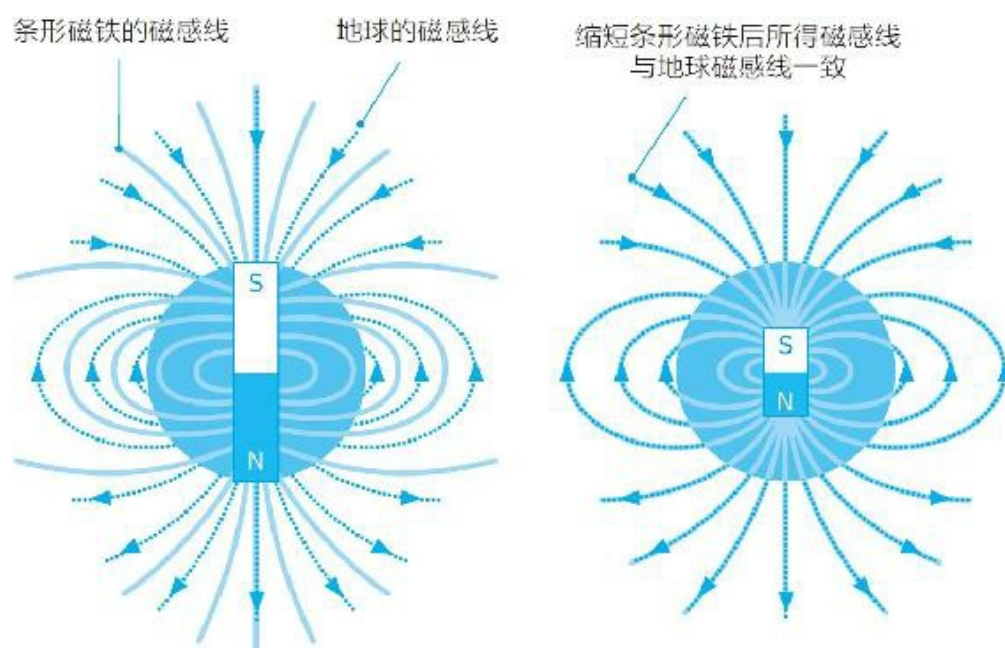


◆ 通过倾角和偏角得出的磁感线

图b



◆知道了地球内部有较短的磁铁



指南针的方向是沿着磁感线的，因此只要知道磁倾角和磁偏角，就能绘制出磁感线。磁倾角越接近北极，越向下，也就是向地面的方向偏。因此我们得出如图b所示的磁感线。

那么我把上页图a和图b重叠起来看一下（见上页图）。我们使地球的直径等于磁铁的长度，但可以看出从两极至中纬度的磁感线都不重合。然后，我们稍微缩短一下磁铁的长度，使其变为地核的直径，就会发现二者的磁感线重合了。由此人们得出了一个结论：地磁来源于地核。

地球是巨大的电磁铁

过去人们认为地核中存在着永磁铁。虽然地核由铁组成，成为永磁铁也是合理的想法，但后来人们逐渐认识到了错误。

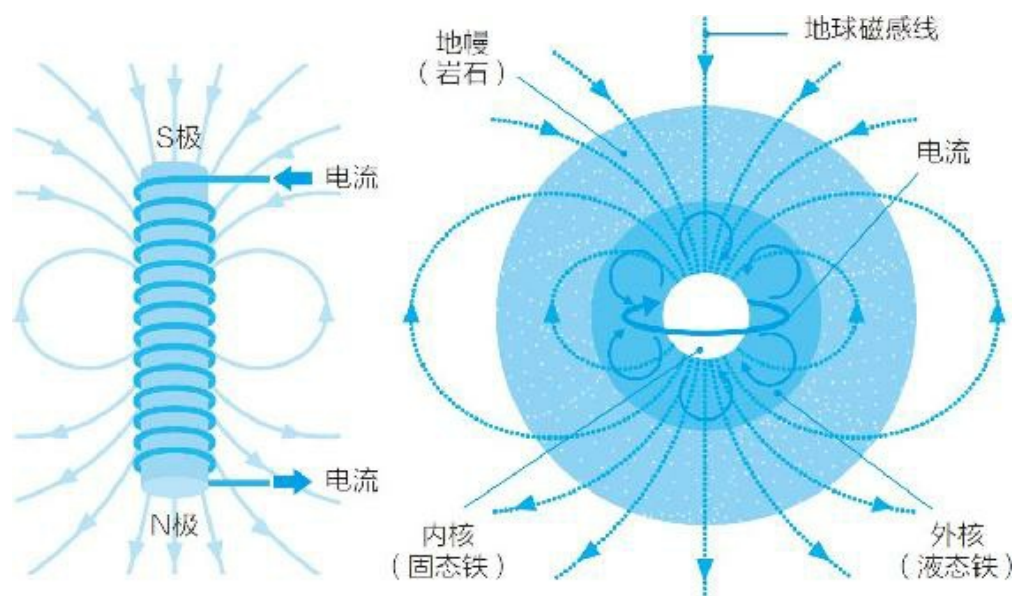
当超过一定温度后，永磁铁就会失去磁性。这个温度被称为“居里点”，铁制磁铁的居里点是 770°C 。而地核的温度超过 3000°C ，是居里点的好几倍，因此磁性不可能被保留。

也就是说，地球内部不可能存在永磁铁。于是有人提出了新的想法：地球发电机理论。这个理论认为，地核会自动发电，其产生的电流使地球变成了电磁铁。

一般来说，在铁芯外部缠绕导电绕组，当有电流通过线圈时会产生磁性，从而形成电磁铁。由铁组成的地核的外部（外核）为液态，地核内部（内核）为固态。当导体铁带有磁性并形成对流时会产生电流。电流会流过内核周围，形成电磁铁。

电磁铁遇到高温也不会失去磁性。而地核内的对流发生变化时，磁极会随之移动或逆转。由于这个假说可以解释此现象，现在被人们认为是最有力的学说。

◆电磁铁的原理和地球发动机理论



地球以外的行星也有磁场？

据NASA（美国宇航局）发射的宇宙勘探器显示，太阳系内除地球外，带有磁场的天体还有水星、木星、土星、天王星和海王星。虽然月球、火星和金星不带磁场，但在月球和火星表面都发现了永磁岩石。人们认为这是过去通过发电机原理产生的磁场。

各个行星上的磁场受到了怎样的影响呢？

我们来看看木星的情况。如果我们用置于行星中心处的磁铁来表示地球和木星的磁场强度，那么木星上磁铁的强度是地球上磁铁强度的2万倍。如此强大的磁力会吸引太阳风（带电粒子），在木星上会形成大规模的极光。用围绕地球的哈勃望远镜可以观测到此现象。

人们推测木星的中心有一个重量（质量）为地球10~15倍、由岩石和冰构成的核，其周围包裹着金属氢。并且人们认为金属氢为液态，在不断循环，从而引发了“发电机原理”。

地球的磁极正在逆转？

日本人的大发现

常识告诉我们指南针的N极指向北，S极指向南。可有一个日本人却主张磁极会逆转。他就是地球物理学家松山基范。

松山在1926年，调查兵库县玄武洞中火成岩留下的热剩余磁场时，发现其磁场方向和一般的磁场方向相反。如果这不是错误的话，就代表曾经有过磁场方向发生逆转的时期。

其实，在松山发现的二十多年前，就曾有法国的地质学家布容发现了相似的岩石。但是布容在弄清原因前并没给出推断。

而松山想要查明热剩余磁场发生逆转的原因。他在海内外调查了共计36处火成岩，分析可能性，最终得出的结论只有一个，那就是过去磁极发生了逆转。

于是他在1929年，提出了前无古人的地磁场逆转说。但松山的假说当时没能获得关注。这是因为当时调查古代磁场的技术还不成熟，并且以古代磁场为研究对象的研究者也很少，没有人可以确认松山假说的真实性。

进入20世纪50年代后，古地磁学得以发展，证明地磁场曾经发生过逆转的证据不断出现，松山的功绩终于得到了广泛的认可。松山于1958年去世，后人为纪念他和布容的贡献，在1964年公布的地磁场年表中使用了松山和布容的名字来命名时期。

从现在起至78万年前为布容正极性期，78万年～258万年前为松山

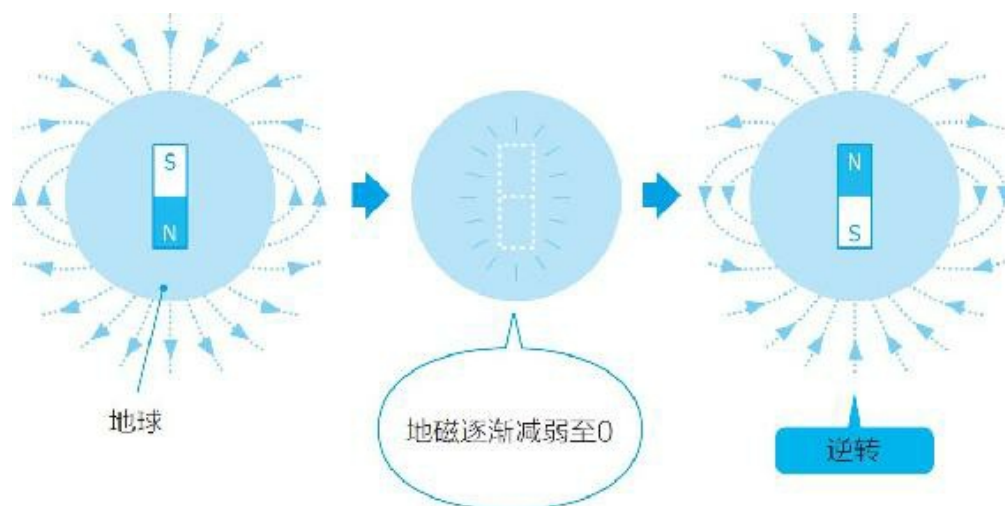
逆极性期。

地磁逆转的历史

根据近年来的调查，人们发现地磁场逆转的历史可以追溯到数亿年前。并且，至今为止，地球已经发生过多多次逆转。人们把像现在这样，北极为N极、南极为S极的时期成为正极性期，反之为逆极性期。这两种时期出现的频率几乎相同，因此无法断定究竟哪个时期正常，哪个时期异常。虽然目前人们无法断定近360万年里发生的11次逆转的具体年代，但人们发现其出现时间并没有规则可寻，因此无法推测下次逆转何时发生。

逆转的原理随着时间的推移逐渐明朗。完成一次逆转需要数百至数千年。但也有研究者认为时期更短一些。

◆地磁逆转机制



不管怎样，对有着46亿年历史的地球来说，磁极逆转的时间只不过是沧海一粟。

而磁极逆转的机制，并不是磁极轴发生180度旋转，而是整体磁场逐渐减弱至0，再反向逐渐增强。

值得一提的是，近两百年间的地磁正在逐渐减弱。这种状态持续的话，再过1000年，地球的磁场就会减弱至0。也许现在就正处于地磁逆转时期之中。

地磁逆转的影响

地磁场可以作为屏障，阻挡太阳常年释放的带电粒子流（太阳风）进入地球。简单来说，太阳风就是射线，是对生物体有害的物质。也就是说，在地磁逆转的过程中，磁场会逐渐减弱至0，此时会对地球地表生物的生命产生极大的威胁。

但在之前发生的几次地磁逆转时期中，并没有生物大量灭绝的踪迹。人们认为，有可能是包裹地球的大气层充当了第二层屏障，阻挡了太阳风。

在极圈内可以欣赏到的美丽的极光，正是突破地球磁场屏障的太阳风，与南极、北极的大气层相互摩擦而产生的发光现象。

或者我们可以认为，由于当前正处于磁极逆转时期，磁场变弱，才导致太阳风经常能进入到大气层，才发生大气层上空变暖、空中出现类似极光的闪光现象。



为什么会发生大规模灭绝？

多次灭绝

大家都知道，6600万年前，作为地球最强生物—恐龙灭绝。但鲜为人知的是，类似的大规模灭绝在地球上曾发生过多次。

在物种灭绝中，由于自然淘汰而灭绝的叫作“背景灭绝”。

而在某个时间点，多个物种的同时灭绝，叫作“集群灭绝”。人们认为集群灭绝并不是源于自然淘汰，而是由于地球环境的异变造成的。

过去曾经发生过多次集群灭绝意味着什么呢？

地球绝不是一个可以保障安全的地方。即使是生活在现代的我们，也有可能遭遇诱发集群灭绝的危机。因此，了解过去的集群灭绝对人类在地球上的生存至关重要。

恐龙等物种的集群灭绝

像古生代寒武纪、中生代侏罗纪这种表示年代的名词叫作“地质年代”。地质年代是根据地层中所含化石（可以用来推测所处地层的地质年代的化石称为“指准化石”）的种类而决定的。

比如，在某个时期的地层中含有大量指准化石，但在其下一个时期的地层中却完全不存在。这就可以说明，那些成为指准化石的生物在繁衍生息后发生了灭绝。

通过这种方式，虽然会有一些误差，但是可以得到发生过集群灭绝的地质年代的数量。其中，发生大量集群灭绝的时期共有五个，称为“五次生物大灭绝”。

五次生物大灭绝中，离我们最近的一次是在大约6600万年前的中生代白垩纪末期。侏罗纪到白垩纪，包括陆地霸主恐龙在内，约75%～80%的物种灭绝。

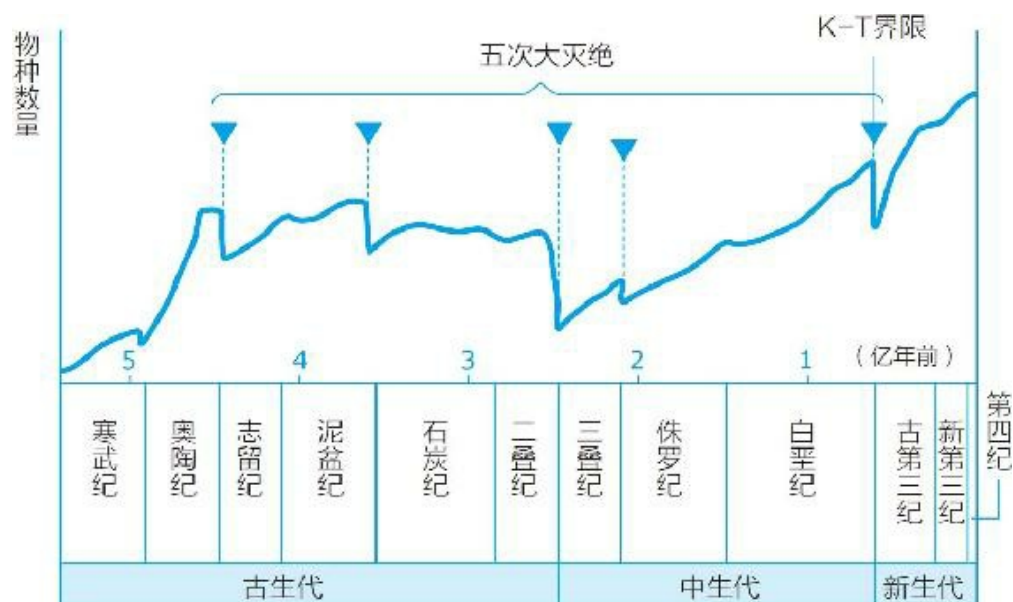
恐龙灭绝是最著名的一次集群灭绝，其发生的时间介于白垩纪（英语是Cretaceous，德语是Kreide）和其后的古第三纪（后来改称为第三纪Tertiary）之间，被称为“K-T界限”。

虽然存在各种各样关于灭绝原因的学说，但没有一个是决定性的。后来，美国地质学家沃尔特·阿尔瓦雷茨在意大利找到了K-T界限时期的黏土层。

于是沃尔特和获得过诺贝尔物理学奖的父亲路易斯·阿尔瓦雷茨一起分析微量元素，发现了在一般的黏土层中不可能存在的大量铱元素

（铱元素在地球表面极为少见，通常存在于地球深处或陨石上）。

◆ 集群灭绝的发生时期



随后，于1980年，“陨石冲撞学说”得以发表。

由于发表学说时没能展示陨石冲撞的证据，当时并没有被学术界接受。但后来，证明该学说的证据不断出现，现在终于成为定论。

陨石撞击后发生了什么

6600万年前，从宇宙飞来了一颗直径约为10千米的巨大陨石。陨石的直径就相当于线路为椭圆形的山手线[\[1\]](#)的长轴长度。

如此巨大的陨石，以20千米/秒的速度突破大气层并冲向尤卡坦半岛附近的海域，其表面温度至少有1万度以上。

接近陨石的海水会瞬间蒸发或是飞溅，随后海底会暴露。而海底的岩石也因高温而蒸发、熔融、飞溅，使海底凹陷为碗状。陨石会击中底部熔岩，形成一个深40千米、直径70千米的火山口。此时被激发出的物质，甚至可以飞到宇宙里。

而陆地则会发生相当于11倍“东日本大地震”[\[2\]](#)级别的剧烈地震，冲击波和火风暴会像水波一样自撞击点向外扩散。火山口的脆壁会由于撞击坍塌并向外扩展，变化为直径为100千米以上的同心圆结构。

此外，由于火风暴的存在，飞在空中的熔岩开始下落，将地上的动植物烧毁殆尽。

大海由于冲撞会发生强烈海啸。第一波海啸以后，海水落回到海底，随着巨大的冲击，周边的海岸线也大规模后退。

此后，回到火山口内部的海水势如破竹，形成压缩波，以巨浪的形式向四周传播与扩散，袭击全世界的海岸。而巨浪的高度在墨西哥湾沿岸达到了300米。

此次冲撞所释放的能量相当于10亿颗广岛原子弹爆炸。冲撞地周边的生命受到了灼热、风暴、海啸等致命的打击。

陨石撞击不仅带来了直接影响，它的间接影响二次给地球带来了重大灾害。由于撞击和森林大火而扬起的灰尘，使得照射大地的太阳光线减少到原来的100万分之一。连续数月的遮天蔽日不仅阻碍了植物的光合作用，而且使气温逐渐降低，给除深海生物以外的所有生物带来了致命的影响。

在空中漂浮的灰尘中，较大的颗粒经过数月后会沉降到陆地，但细小的颗粒依旧堆积在大气层遮蔽阳光，10年间使地球逐步变冷。

这种现象也被称作“撞击冬季”。即使有些生物幸免于撞击造成的直接伤害，也由于无法适应其后引起的地球环境的变化而灭绝。

现在正在发生的危机是什么？

人们不得不开始担心下一次的撞击时间。

我们的技术可以观测到与地球轨道相交的天体，并且已经得到确认不会与它们发生正面撞击。可人们没有发现的天体还有很多，因此很难做出准确的预测。

当前，NASA有一个叫作“地球附近小行星追踪项目”，每时每刻都在监视可能撞击地球的天体。可即使发现了那样的天体，目前人们没有任何具体办法去躲避撞击。

历史上除K-T分界以外，还有许多集群灭绝。但其中大部分灭绝的原因，我们都不得而知。

灭绝的原因除“巨大陨石撞击”外，还有人提出“大规模火山爆发”、“大陆分布变化”、“太阳系附近的超新星爆炸”等各种学说。如果我们把集群灭绝当作一个待侦破的“事件”，那么我们就必须彻底调查一系列事件的真相和灭绝的过程。这同时也是帮助我们为下一次的事件未雨绸缪。

另一方面，研究者们发现了一些骇人的数据。许多生物学家认为，我们人类的存在和活动对地球环境以及地球上其他生物造成了巨大的直接或间接的影响，并因此导致了正在进行的集群灭绝。

世界自然保护联盟红皮书上记录的处于濒危状态的物种仅仅是冰山一角，还有相当数量的没被发现的灭绝物种。目前物种的灭绝速度已经大大超过自然淘汰造成的灭绝速度，有一种说法显示，今后30年内将会

有20%，100年内将会有50%的物种灭绝。

在担心自然异变导致的集群灭绝之前，我们更应该重新审视我们人类的生活与大自然的关系。

[\[1\]](#) 山手线：东京的环状通勤铁路路线之一。山手线从东京都港区的品川站驶起，经过涉谷、新宿、代代木、东京、池袋等大站运行。路线全长34.5千米。（译者注）

[\[2\]](#) 2011年3月11日在日本东北部以东海域发生的大地震，震级高达里氏9.0级，是世界地震观测史上最高震级。（编者注）

雪球地球假说的冲击

冰封两极到赤道的终极冰河世纪

你有没有听说过“雪球地球”假说呢？

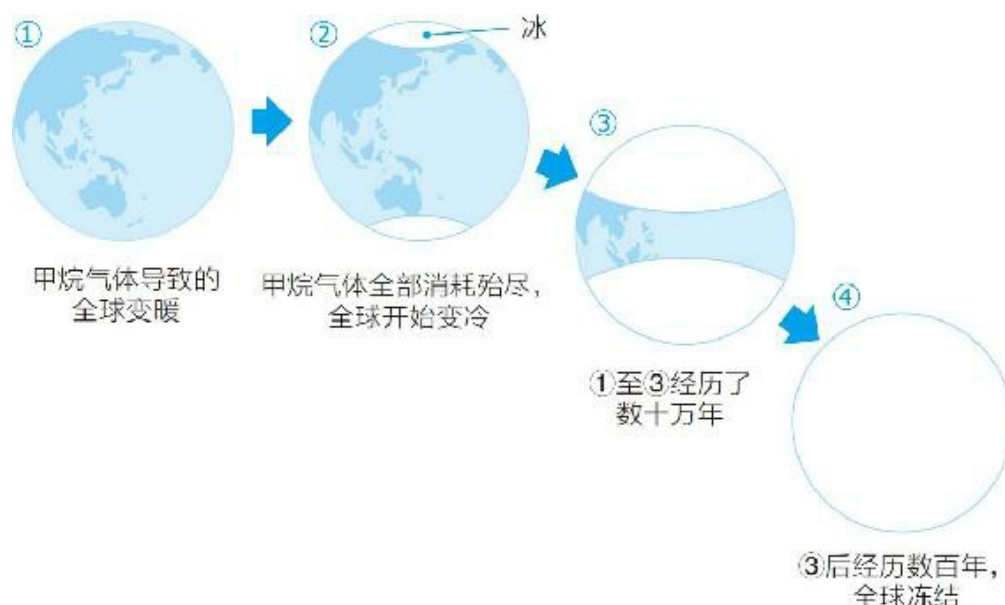
雪球地球又称为“全球冻结”，指的是大部分的地球表面都被厚厚的冰覆盖。1992年，来自美国的约瑟夫·柯世韦因克首次提出了这个假说。随后，同是来自美国的保罗·霍夫曼于1998年发现了证据，使该假说得到关注。

假说提到，地球曾经发生过三次全球冻结。分别是约23亿年前的休伦冰河时期、约7亿年前的斯图特冰期和约6亿5000万年前的马里诺冰期。

全球冻结的形成过程

目前我们还不知道是什么原因最终导致了全球冻结。

◆全球冻结的过程



但如今主流的说法是甲烷水合物产生的影响。海底堆积的浮游生物尸体分解时会释放甲烷气体，甲烷气体在海底冻结成了甲烷水合物。

甲烷气体的温室效应是二氧化碳的20倍。甲烷气体从海水中释放到大气以后，就会快速引发全球变暖。

由于快速的全球变暖，水循环加快，陆地的风化与侵蚀作用加剧，海水失去大量离子，继而导致二氧化碳以成碳酸盐的形式被固定在海底，致使大气中二氧化碳浓度下降。

当有一天甲烷水合物耗光，释放出的甲烷气体也全部分解完，大气

中的二氧化碳和甲烷的浓度会急剧下降，导致地球瞬间变冷。10万年间，覆盖大地的冰从极地蔓延到了纬度 30° 附近，面积不断增大的冰将绝大部分太阳能反射回去，随后仅用数百年就会形成雪球地球。

地球的解冻过程

地球处于雪球地球状态时的平均气温为 -40°C （赤道附近为 -35°C ，两极附近为 -50°C ）。在如此严寒的环境中，地球中仍然存在没有被冻结的液态水，它们分布在海冰之下和火山带周边。

人们猜想在这些可以被称为“绿洲”的地方，是否有一些生物可以勉强维系生命呢。事实上，虽然存在一些活着的生物，但在休伦冰河时期只有病毒和细菌，在斯图特冰期和马里诺冰期只有一些单细胞生物得以存活。

那么地球是如何从雪球地球的危机中解脱出来的呢？

二氧化碳，竟然作为火山气体被释放出来。

在正常状态下时，陆地上的岩石被风化侵蚀，离子通过河川流向大海，与海水中的二氧化碳作用变成石灰石，固定在海底。地球通过这个过程调整大气中二氧化碳的浓度，防止在大气中过量存在。

但在冰河时期，由于厚厚的冰面阻断了风化、侵蚀作用，固定二氧化碳的过程随之停止，导致大气中二氧化碳的浓度逐渐上升。当二氧化碳浓度上升至现在的400倍（12%）时，在强力的温室效应下，冰层开始融化。

自此，地球温度扭转，进入平均 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ （赤道附近 70°C ，两极附近 30°C ）的极端温暖期。随后经过数十至数百万年，大气中的二氧化碳逐渐被消耗，进入并维持了如今的温暖期。

灾难带来了什么？

雪球地球事件给地球上的生物带来了重要的影响。23亿年前的休伦冰河时期以前，地球上主要的生物是不进行氧气呼吸的“原核细胞”。经过雪球地球后，进行氧气呼吸的“真核细胞”得以出现。

此外，6亿5000万年前的马里诺冰期多是“单细胞生物”，雪球地球后，出现了各种各样大型的“多细胞生物”。

也就是说，雪球地球促进了生物进化。其中一个原因是种群瓶颈效应。全球冻结后，生物们受到了致命的打击，数量锐减。或者说，发生了集群灭绝。

于是，原处于稳定状态的生态系统有了新的空间，为带有新遗传信息的生物提供了繁衍生息的机会。生物个体数量锐减后再重新增长的过程类似瓶颈，因此被称为种群瓶颈效应。

另一个原因是营养能量的大量供给。全球冻结时，冻住的海底会发生海底火山活动，火山活动产生的能提供生物能量的营养物质会在大海中堆积。当地球脱离全球冻结状态后，气候温暖、二氧化碳浓度较高，营养物质丰富，为光养生物提供了极其适宜的生存环境。光养生物会迅猛地进行光合作用，使大气中氧气含量急速上升，达到现在的12~22倍之多。得益于高浓度的氧气，生物们完成了多样的进化。

说不定若当初没有全球冻结，也许至今为止地球上的生物只有细菌。雪球地球事件对生物来说，正可谓“否极泰来”。

Part 2

有趣的气象学故事

hPa

拔掉浴缸塞子，水的旋涡向哪边转？

赤道正下方的“科里奥利力实验展”

旋涡是指，像水和空气等液体或气体，绕某点进行类似陀螺一样旋转的现象。

拔掉浴缸的塞子后，不同流速的水流相撞后，水在接触面开始回旋，在下水口就会形成旋涡。

位于赤道的某个城市开展了一项叫作“科里奥利力实验展”的奇妙活动。

当地的解说员解释道：“我们脚下所处的地方正好位于赤道上。这边是北半球，那边是南半球。由于科里奥利力的作用，旋涡方向在南北半球是相反的。但是，科里奥利力必须在距离赤道20米以上才能发挥作用。”

◆科里奥利力实验



解说员准备了一个底部开有小孔的容器和火柴。首先他用手指按住小孔，并向容器内注水。随后移开手指，将火柴放入水面。随后，火柴随着旋涡开始旋转。火柴在北半球时逆时针旋转，南半球时顺时针旋转。“这正是科里奥利力的证明！”

他的目的是向观众销售“赤道证书”，那么这个实验展究竟是否真实呢？所谓的科里奥利力究竟是什么？

低压气旋的形成

在天气预报中，我们经常能听到低气压、高气压这样的词。在气象图中表示为“高”和“低”。低气压指的是中心比周围气压低的地方。反之，高气压指的是中心比周围气压高的地方。

将气压相同的地方连接起来的线叫作等压线。等压线的分布状态可以表示气压的高低状况。通常每隔4百帕画一条等压线，每隔20百帕画一条较粗的等压线。等压线的间隔越小，气压差值越大，因此风力会越强。

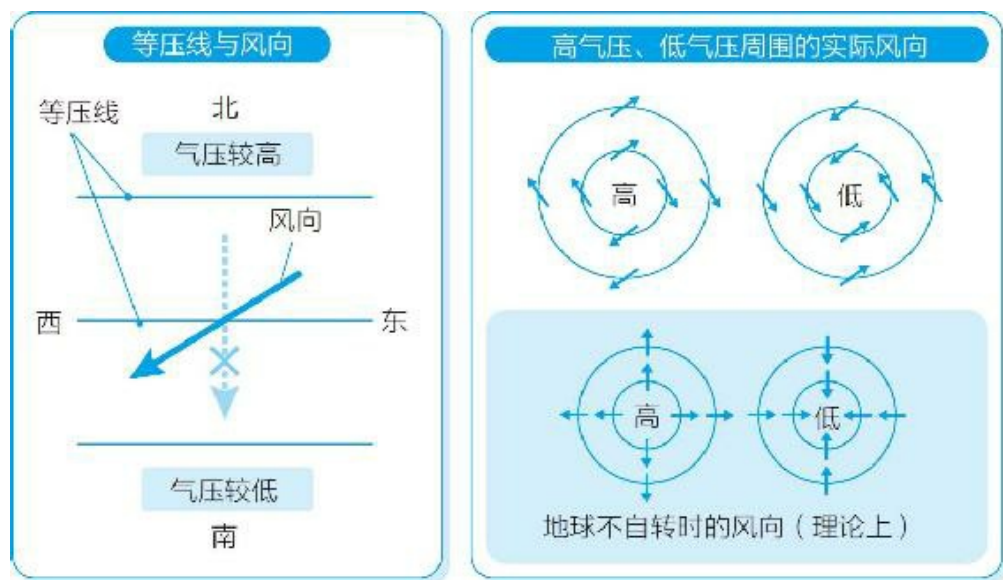
低气压时，越向中心移动气压越低。风会从气压相对较高处吹向较低处。如果没有其他影响，风向与等压线垂直。

但实际上，以北半球的低气压为例，本应自北朝南吹的风却吹向西南方向。因此，吹向北半球低压的风会形成逆时针的旋涡。而在南半球，本应自北向南吹的风吹向东南，就形成了顺时针的旋涡。

台风，实际上就是大型的低气压。从卫星云图的照片可以清晰地看到在北半球逆时针旋转的旋涡。

而导致吹向低气压的风逆时针旋转的，正是由于地球自转而产生的科里奥利力。

◆科里奥利力与风向



地球自转周期为24小时。赤道周长为4万千米，因此赤道上的人们以约1700千米（ $4万 \div 24$ ）的时速运动着。

而东京随自转运动一周的距离约为3.3万千米，算下来时速就是1400千米。但实际上，因为大气也在一同运动，因此地球上的人们不会感觉到旋转速度的存在。

东京运动的时速比赤道慢了近300千米。同理，在北半球，越靠近北极（在南半球，越靠近南极），自转产生的速度就越慢。

由于自转对物体产生的力的作用叫作“科里奥利力”（此现象由法国著名数学家兼物理学家古斯塔夫·科里奥利发现，因而得名）。正是由于地面的旋转速度不同，风向才会发生偏移。

在赤道附近，阳光强度大，气温高，导致暖空气上升，气压降低。因此，风由温带吹向赤道。但由于地转偏向力的作用，在北半球向南吹向赤道风会向西倾斜。这就是常听到的信风（也称贸易风）。

信风和海流息息相关。也就是说，科里奥利力不仅影响了风，同时影响了海流。

揭秘“科里奥利力实验展”

在南北半球，好像科里奥利力真的能导致风向和水流的旋转方向发生逆转。首先，我们来看看前文提到的在赤道上进行的“科里奥利力实验展”的真假。

现在的问题是科里奥利力在赤道上下20米的地方的影响程度。

科里奥利力在南极和北极处最大，赤道处为0。此外，当物体运动时间或者运动距离越长时，受到的影响越大。

在“科里奥利力实验展”上用的盛水容器过小，水流速度过快，科里奥利力很难对其产生影响。此外，由于地点距离赤道仅20米，科里奥利力接近于0。实验时，首先将水快速地注入容器中使其发生旋转，之后再缓慢加满水，使得看似平静的水面下形成旋涡。此时实验员再把手指移开，装作是科里奥利力导致了旋涡。因此，所谓的“科里奥利力实验展”只是一个“魔术”罢了。

那么在日本的纬度上，在比“科里奥利力实验展”的容器大好几倍的浴缸中形成的旋涡是怎么回事呢？

实际操作的话，逆时针和顺时针旋转的现象都会出现。

假设下水口位于浴缸正中，小孔周围其他条件恒定，在水面静止时拔掉塞子，那么水也许会受到自转的影响而发生轻微的逆时针旋转。但尽管如此，科里奥利力对拔掉塞子这种动作产生的影响仍是微乎其微的。

实际上浴缸的下水口并不位于中间，而是位于浴缸的一角。并且下

水口处略微凹陷，其余位置稍高，形成一个略微倾斜的斜面。虽然科里奥利力对水流不造成影响，但浴缸自身的设计会大大影响水流，并决定水流回旋的方向。



为什么台风多发于8月、9月？

台风诞生的地方

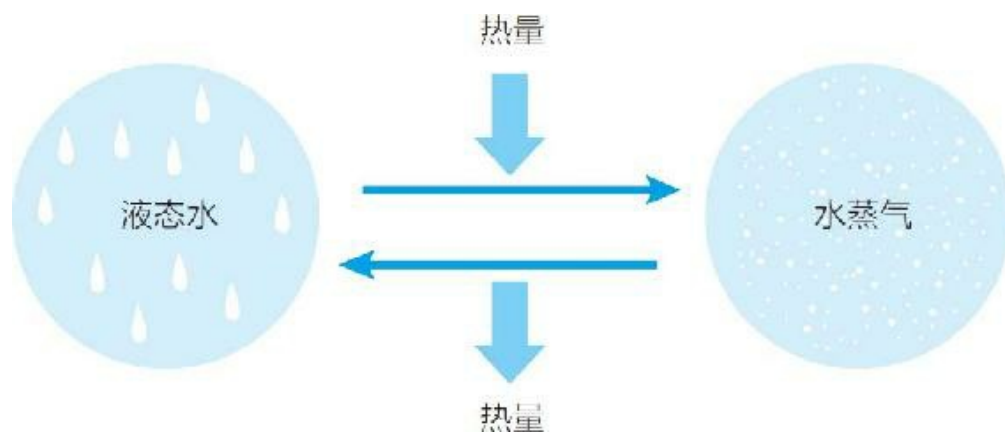
日本经常受到台风的困扰，而这些台风的故乡正是位于赤道附近的太平洋西部、热带的海洋。这一带由于高强度的太阳照射，水汽大量蒸发至空气中。吸收了温暖海面的水蒸气的大气会产生上升气流。随后上升气流产生了热带低气压。

热带低气压就是在热带地区发生的低气压。

热带低气压的上升气流之中，水蒸气遇冷变为云，同时释放出大量能量。这是因为液态水遇热，吸收能量，变为水蒸气，水蒸气遇冷变回液态水时，会释放能量。

而释放出来的热量会促进更多的上升气流，产生更多的云，释放更多的热量。这个循环过程会导致中心气压越来越低，最终形成巨大的热带低气压。

◆水的变化与热量



当热带低气压的中心风速超过每秒17.2米时，就成为台风。一年中会有30～40次台风通过这个过程诞生。

在日本所属的北半球，由于受到自转产生的科里奥利力的影响，台风以逆时针方向回旋。当海上的台风登陆后，由于失去了其能量来源——水蒸气，势力会逐渐减弱。

乘信风、太平洋高压、西风前进的台风

刚诞生的台风会随着低纬度地区的信风向西移动。曾经的哥伦布，也是靠着信风扬帆西行，抵达了大西洋。

台风一路向西，抵达冲绳诸岛的东面时，受到此处太平洋高压产生的气流影响，转而北上。北上的台风又受到日本附近的西风（见下页）影响，时而接近日本时而登陆。

从6月开始至夏天结束，西风逐渐减弱，而太平洋高压的势力不断增强，一直扩大到中国大陆地区。因此，随着太平洋高压西缘前进的台风大多会进入中国大陆。

当酷暑结束，太平洋高压势力减弱，西风随之增强。台风的路径转而向北移动，因此8月、9月时，日本多受台风侵袭。

12月时，台风的路径再次改变，转向日本南部海域继续前进。并不是只有日本南部海域会发生类似台风的暴风雨。在北大西洋南部发生的暴风雨叫作“飓风”，印度洋的暴风雨和袭击澳大利亚东部的叫作气旋风暴。这些都是热带气旋的一种。

◆台风的路径



在此要特别说明的是，“台风”作为提醒船只的气象通报用语时，指的是风速超过33米/秒的风，与我们刚才讨论的台风定义不同。

一定要注意台风前进方向的右侧

我们之前提到过，向日本前进的台风气旋是逆时针旋转的。因此，推台风前进的风和卷向风眼的风会在前进方向右侧汇合，那里风力十分强劲。因此台风前进方向的右侧又被称为“危险半圆”。

相反，推台风前进的风和卷向风眼的风在其前进方向左侧会相互抵消，使风力减弱。当不幸遇上台风时，这个知识可以帮你判断躲在哪里会相对安全。

看台风预警的正确方法

台风季，我们可以在天气预报上看到“概率预报圈”（将预计成为台风中心的范围用虚线画的圆）。圆圈的面积会随着台风的行进而变大，因此看这个圆形的变化就如同见证了台风的“成长”。

但其实，这是人们的误解。概率预报圈代表的不是台风的规模，而是表示了台风中心在各个日期和时间出现概率为70%的范围。此外，“暴风警戒区域”是指台风进入预报圆区域时，可能进入暴风区域（风速超过25m/s）的范围。

这些都只是概率，因此随时间的推移，不确定因素更多，就导致了圆形的面积和暴风区域更大。简单地说，概率预报圈和暴风警戒区域之所以越来越大，并不是说明“台风的势力越来越大”，而是说明“台风走势不明”。

我们可以从概率预报圈和风暴警报区的间隔读出台风的强弱变化。该间隔代表了风暴区域的半径。

当两个区域的间隔变大，就代表“风暴区域变大”=“台风势力变强”。相反，间隔变小时，就代表风暴区域变小，台风势力减弱。

晚霞漂亮代表第二天是晴天？

什么是西风？

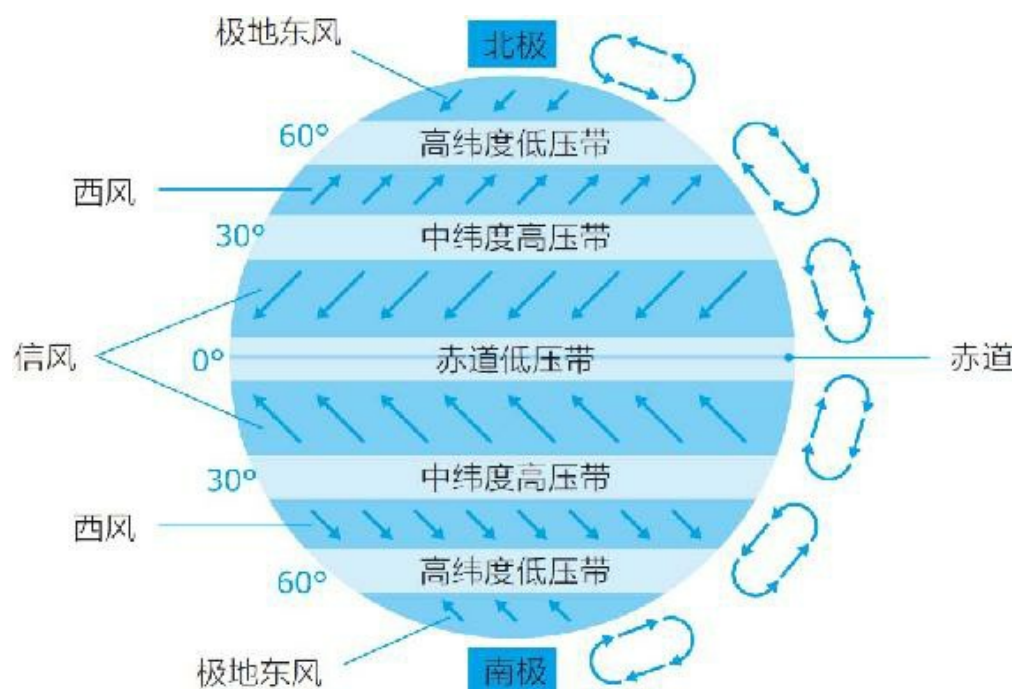
地球上有一种与季节无关、常年在地表或上空吹的风。

第一种，就是吹向赤道附近（低纬度地区）的信风。另一种，是吹向极地（高纬度地区）的极地东风。最后一种就是在中纬度地区吹的西风。

其中，西风是指从西边吹来的风，其他两种风则是由东吹来的风。日本的大部分国土都位于中纬度地区（30～60度），因此属于西风的范围内。

赤道附近的暖空气与极地附近冷空气的温差造就了西风。赤道附近的暖空气上升后会流向两极，而此时地球自转产生的科里奥利力会将南北向气流变为自西向东的气流。

◆大气的大循环



这三种风是属于全球规模的风系，因此几乎不受天气影响。

日本属于西风的风带内，因此天气总是自西向东发生变化。大家回想一下，是不是经常在天气预报中听到“从西边开始温度逐渐降低”或者“从西边开始温度逐渐回升”？

高气压带或低气压带的移动速度为一天1000千米。举个例子，如果你想知道明天东京的天气，你就查查距东京1000千米的福冈今天的天气。

如果你持续观看卫星云图就会发现，即使高气压带、低气压带的形状会发生变化，但总是自西向东移动的。

在飞机上可以体验到西风

西风在冬天时变强，夏天时变弱。在对流层的上层8~16千米附近可以看到西风。随着高度上升，西风风速逐渐增强，在对流层与平流层交界处达到最强。

此处的风被称为“喷射气流”，风速可超过100米/秒。

当我们乘坐飞机时，可以真切地体验到西风的存在。空气的阻力十分影响飞机飞行，因此飞机通常会在空气较稀薄的地方航行。但有时，也会遇到类似西风的风力影响飞行。那么顺风 and 逆风时飞机会受到什么不同的影响呢？

假设一架飞机从成田机场起飞，横跨太平洋，飞往纽约，那么它正好是与向东吹的西风同向，为顺风飞行，飞行时间约为12小时15分。但当这架飞机从纽约返回到成田机场时，由于逆风，飞行时间变成了14小时。

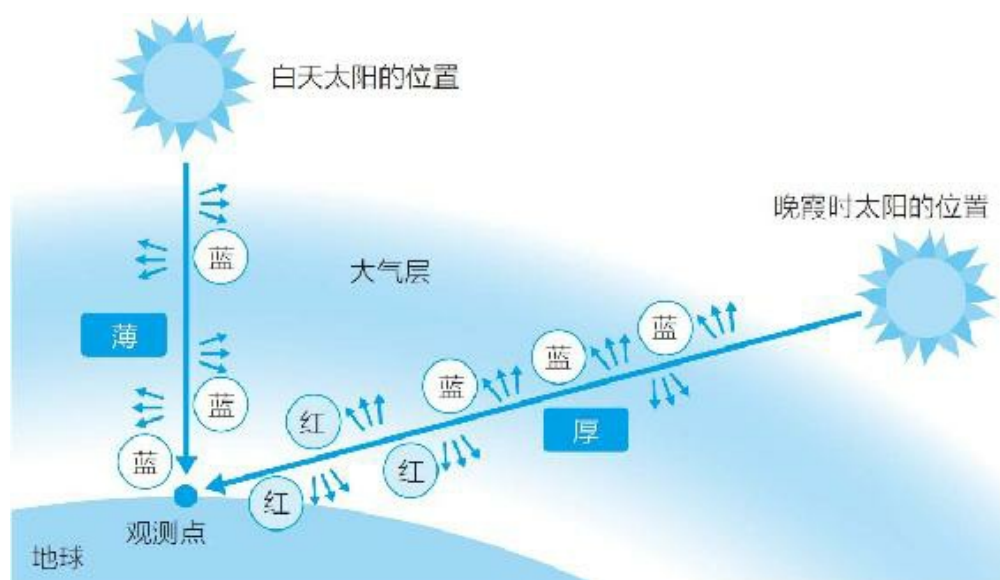
也就是说，距离相同，但往返的时间却相差了105分钟。当然，飞机的航行路线会根据当天的实际情况有所调整，但西风的强度和出现地点也是不断变化的，因此飞机多少都会受到西风的影响。

即使是国内航线，比如当你在日本往返羽田—福岡时，也会发现向东飞行的飞机较快。

晚霞的形成过程

日语里有一个成语叫作“观天望气”，指的就是通过自然现象和生物行动来预测天气情况的天气谚语。

◆晚霞的形成过程



相信大家都听过“晚霞行千里”，因为如果在傍晚时分，西方天气晴朗并出现晚霞，那意味着第二天晴天的可能性很高。

那么晚霞是如何形成的呢？

白天时，阳光需要穿透大约500千米厚的大气层才能抵达地球表面。而傍晚的阳光，则需要穿透比白天厚数倍的大气层才能抵达地球表面。

阳光中，接近蓝色的光被空气中的分子和尘埃打散而黯淡，而不易

被打散的红光以及接近红色的光因此更加明显，将整个天空染成红色。这就是晚霞的形成过程。

当美丽的晚霞出现时，代表西侧的阳光成功穿过了包裹大量尘埃的大气层，照射到了人们的眼中。这就意味着那个地方的西侧上空，处于万里无云的晴朗状态。又因为天气是自西向东变化的，因此有了“晚霞行千里”的说法。

值得一提的是，真的有人去调查这个说法的准确性，其结果显示，4月到11月中旬，70%都是准的。

但由于处于夏季和冬季的大陆与海洋位于较强的高气压带，准确率有所下降。尤其是冬季，准确率几乎为0。

秋天的天气多变

有一句谚语说“女人心如秋空”，意思是秋天的天气像女人的心情一样多变。

在秋天，几乎不可能遇到连续七天都是晴天的情况。一两天晴朗后就会下雨，然后又变晴，如此反复。夏天时，大部分都是晴天，偶尔会下雨。而冬天时，太平洋一侧是干燥的晴天，日本海一侧则多雪，每天的天气情况不尽相同。

那么为什么秋天的天气那么多变呢？

这是因为低气压带的路径方向会随着季节变化，时而北上时而南下。夏天时，日本列岛正好完全被太平洋高压带覆盖，低气压带无法过来，只能向西伯利亚或鄂霍次克海前进。

而到了秋天，太平洋高压带减弱，低气压带则有了机会沿日本列岛方向南下。当低气压带经过日本列岛上空时就会下雨，而移动性高压带通过时就会放晴。

春天的天气同样多变，其原理与秋天相同，都是由于低气压带和高压带的交替通过造成的。

在春秋两季，你是不是也经历过本来计划好的周末却因下雨而落空的无奈呢。其实，因为低气压带每隔三四天会通过一次，如果遇到一个周日下雨，那么接下来的两三周的周日就都会赶上雨天。

与之相同的还有温度变化的周期。低气压带到来前，会吹南风导致温度上升，随后吹来北风导致温度下降。

这个时期总是忽冷忽热，是感冒的多发期，也不好选择穿什么衣服。当感觉到寒风凛冽准备换上冬衣时，紧接着一定会出现暖洋洋的晴天。秋天会在这样反复的冷暖交替中结束，带我们进入真正的冬天。



喷射气流搬运的秘密武器

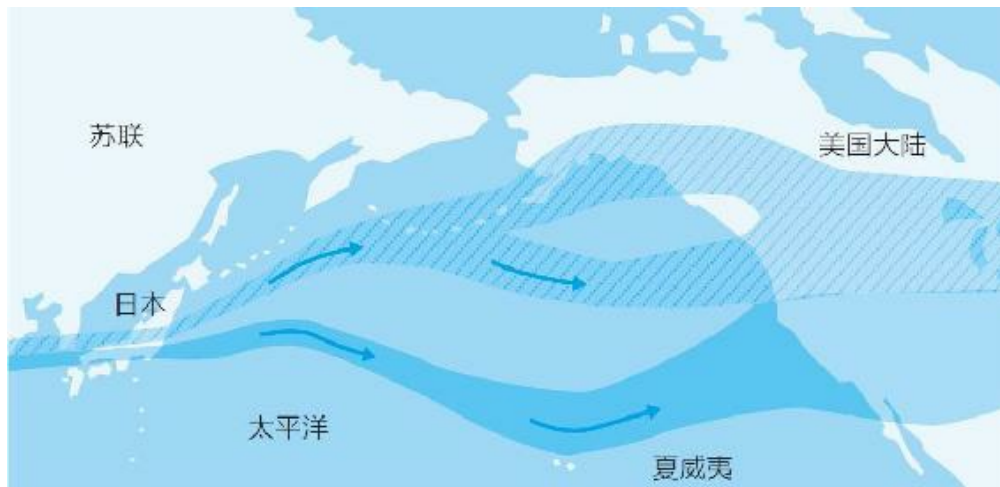
日本军队的秘密兵器

“二战”时，日本军队为了扭转战局，采用了“气球炸弹”战术。为了能攻击到美国本土，日军将炸弹装在气球上制作出兵器。通过喷射气流（西风）的帮助，气球经过数日即可飞到美国本土并发生爆炸。“气球炸弹”对于日军来说，是一种能给美国带来恐慌的秘密兵器。

自1944年秋天至1954年春天，日军共放出了约9000个气球炸弹。其中，有几百个成功地抵达了美国本土。

当时的人们就已经知道，在秋冬两季时日本上空会吹起强烈的西风。在筑波市有一个高层气象台，当时气象台台长大石和三郎接到军队命令后，开始不眠不休地研究上空的气流。

◆当时观测到的冬季太平洋上空的西风（喷射气流）



研究的成果是：在冬季，时速超过200千米/时的西风沿如图所示的两种路线，自日本上空吹向北美大陆上空。

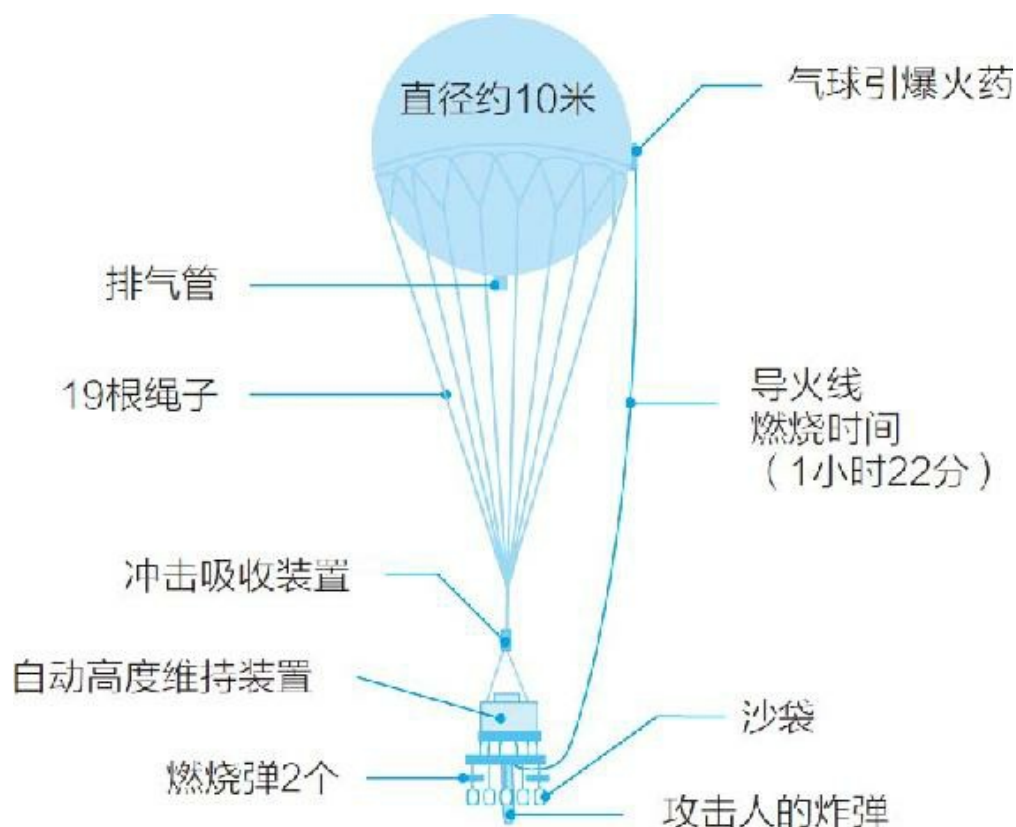
由此，日军制定了利用西风，放送气球炸弹攻击美国本土的“飘炸计划”。

气球炸弹释放遗址的碑文

在茨城县北茨城市大津町五浦海岸，至今矗立着气球炸弹释放遗址的纪念碑。

碑文详细介绍了气球炸弹究竟是怎样的一种兵器。（实际碑文没有标点和注音）。

◆气球炸弹介绍图



昭和十九年十一月至昭和二十年四月，用于攻击美国本土的气球炸弹于此地释放。

如今位于身后两座低山之间的稻田，曾经是安置气球放置架、营房、仓库和氢气罐的地点。

这是一项机密的“飘炸计划”。气球释放地点有福岛县勿来关麓、千叶县的一之宫海岸和此地共计三处。此地为大本营直属部队总队，是作战中心。

晚秋至冬季，太平洋上空8000米至12000米处的平流层会吹起最大风速为70米/秒的西风。就是喷射气流。

气球炸弹历经约50小时可抵达美国。精密的电动装置会投下炸弹和燃烧弹，随后以和纸和蒟蒻糰糊制成的直径10米的气球会自动燃烧。

“二战”中，这种从日本向相隔一万千米的美国投放炸弹的超长距离爆炸袭击在世界历史上仅此一例，特此记录。

共释放约9000个气球炸弹，共300个左右抵达美国。

虽然美国的受害者极少，但后来证实此次气球炸弹引起了山火、电线故障并且使美国原子弹制造时间推迟了3日。

在俄勒冈州，为纪念因气球炸弹而受害的六位逝者，建造了一座纪念碑。

华盛顿博物馆中，至今陈列着一个没有发生爆炸的气球炸弹，引发了人们的关注。

战争是无意义、徒劳的。

但愿世界再无战争。

在释放气球炸弹之日，由于发生爆炸，三人殉职。他们值得人们铭记。

特此纪念匿迹于永恒历史的一隅，散发白银般闪耀过的梦的痕迹。

建于昭和五十九年十一月二十五日

将五层由楮树制成的和纸用以蒟蒻为原料制成的糰糊粘上后，就得到了气球的外壳。其中最难、最耗时、最精细的步骤就是粘贴环节。而负责这一步骤的，是女学生和女子挺身队。

据说当时人们不知道如何食用蒟蒻，还没有把它当作关东煮的材料。

“续航必需品”

释放气球炸弹，并不是简单地将氢气灌入气密性高的气球中，挂上炸弹后就能乘着西风飞到美国。

为了确保气球能飞到相隔甚远的美国，就需要确保气球能安然渡过夜晚的考验。因为到了夜晚，上空温度降低，气球随之缩小，浮力就会变小。而气球中的氢气，也会逐渐溢出。

为此，气球上安了一个装置——当检测到浮力变小时就会自动落下沙袋以维持高度。其操作原理是：气压计检测到气压变化后，会自动旋转一格齿轮，当气球下落了一定高度时（气压上升），就会打开电源开关，烧断一包沙袋的绳子，使其坠落。

真正令美国恐惧的，是气球炸弹中的传染性细菌发生扩散。为此，地质学家开始分析沙子中矿物质比例，最终将沙子采取地缩小到日本的五个地方。

于是，美国派出侦察机，终于摸索到了气球炸弹的释放地点。因此，在战争末期，气球炸弹在上升时基本就被美军的战斗机打落了。

面向和平的未来

战后不久，一位牧师夫人带着五个周日学校的孩子共计六人，在位于美国俄勒冈州的森林里野餐时，不小心引发挂在树上没有爆炸的气球炸弹，不幸遇难。

由于当时美方严格控制了新闻报道，在事故数年后，消息才传到了日本。战时负责粘贴气球外皮的女学生们听到事故后，心痛不已，曾前去美国进行祭拜。

据说，美方去世者家属对前去祭拜的女学生们说：“彼此原谅才能得来和平。”



山顶的零食包装袋鼓起来的原因

我们生活在大气层的最底层

地球是一个被气体圈层完全包裹的行星。这种气体圈层就是“大气”。大气厚度实际上超过500千米，但为了方便区分与宇宙空间的界限，人们将其厚度设定为80~120千米，从地表到此高度的范围都称为“大气层”。大气随着高度的增加，会越来越稀薄。

其实，大气（空气）也是有重量（质量）的。

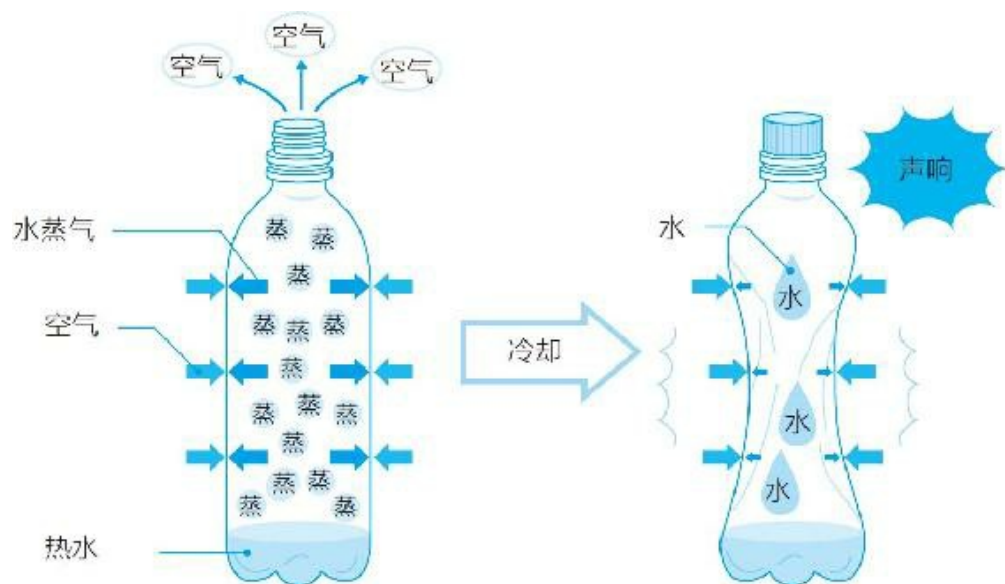
1平方厘米的地面所承载的空气重量为1千克多一些（1033.6g）。举例来说，就相当于我们的一只手可以承受约为100千克的空气。想象一下，一只手竟然可以举起两个体重为50千克的人，是不是被如此重的空气吓到了呢？

承载大气的每个面都会受到来自大气的压力。这就是我们常说的“大气压”。标准大气条件下海平面的气压平均值称为一个标准大气压。压力的单位为帕斯卡（pa）。

一个标准大气压为101300帕斯卡。由于数字太大不便表示，经常被换算为百帕（hpa），1百帕=100帕。因此，1个标准大气压=1013百帕。这个单位名称在天气预报中经常出现。

此外，大气压并不是只有自上向下的力，还存在来自水平方向和自下而上的力。

◆塑料瓶被挤扁的原理



塑料瓶被挤扁的原因

如果你手头有空塑料瓶的话，我想请你做一个实验。

将热开水倒入塑料瓶，稍等片刻后，拧紧瓶盖。然后用自来水冲洗整个瓶子。此时塑料瓶发生什么变化了呢？

是不是突然发出声响，然后瓶子变扁了呢。

我来讲述一下瓶子被挤扁的原理。将热水倒入瓶子后，瓶子中活跃的水分子（水蒸气）增多，将原本瓶子中的空气挤了出去。而盖上瓶盖将其冷却后，充满容器的水蒸气又变回了水。于是，瓶中的气压下降，低于外界气压。外界大气压的力就会压扁瓶子。

即使把水瓶换成又大又结实的金属桶，结果也是完全相同的。将热水倒入金属桶，待水蒸气将空气赶出桶后将其密封、冷却。金属桶一样会被挤扁。

我们人类之所以没有被大气压挤扁，是因为我们身体内的压力和体外的大气压是相同的。

高度与大气压的关系

人们登山或去往高处时，会发现装零食的袋子变得鼓鼓的。是什么引起了这种现象呢？

越往高处，大气越稀薄，而气压也随之变小。

举例来说，我们将一个密封的袋子从气压为1013百帕的山脚带到高处后，袋子中的气压依然是1013百帕，而袋子外的气压却逐渐减小。于是就产生了压强差，袋子就会被空气撑得鼓起来。

比如，海拔3776米的富士山山顶的气压，约为638百帕。

大气压减小后，水的沸点也会随之降低。水在一个标准大气压下的沸点是100℃，而在富士山顶的沸点约为87℃。在珠穆朗玛峰上的沸点约为71℃。

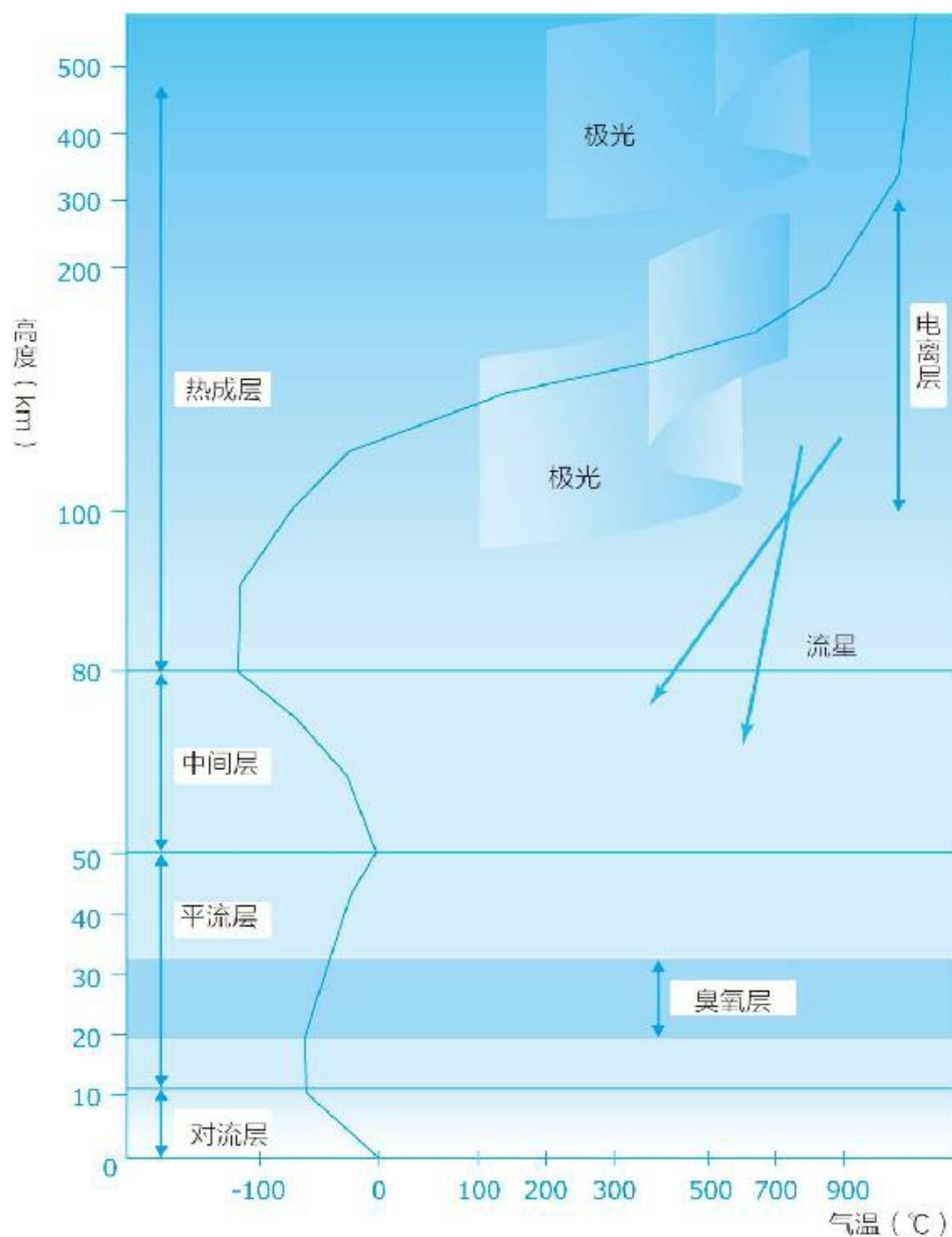
因此，在海拔高于3000米的高地生活的人们，需要用高压锅做饭。因为用普通的锅没法高温烹调食物，煮出来的食物半生不熟，无法食用。

大气层是什么？

大气层的结构是怎样的？

最接近地面的叫作对流层（延伸到地面以上11千米），对流层上面是平流层（地表11千米以上，50千米以下）。

◆大气构造



对流层和平流层之上为中间层（地表50千米以上，该层的气温随高度的增加而迅速降低。）和热成层（地表80千米以上，该层的气温随高度的增加而迅速上升，存在极光和电离层）。

对流层和平流层

其中，对流层占了整个大气的80%。这里会产生空气的上下对流（热空气较轻会上升，冷空气较重会下沉），使上下空气混合。天气变化等现象也是在有空气对流的对流层产生的。

对流层存在于距地面11千米的高度之内。而这个高度，只比珠穆朗玛峰稍高一点。地球的直径约为13000千米。更形象地说，如果我们将地球缩小到一千万万分之一的話，地球直径变为1.3厘米，而对流层只有1.13毫米。

对流层之上的平流层几乎没有空气交换，因此很少有天气变化。吸收有害紫外线的臭氧层，也是平流层的一部分。

在对流层和平流层，都是随着高度升高空气越来越稀薄，但空气中包含的气体比例没有变化。



为什么高处会冷呢？

决定气温的是.....

“太阳明明就在天上，离我们那么近，为什么会冷呢？”

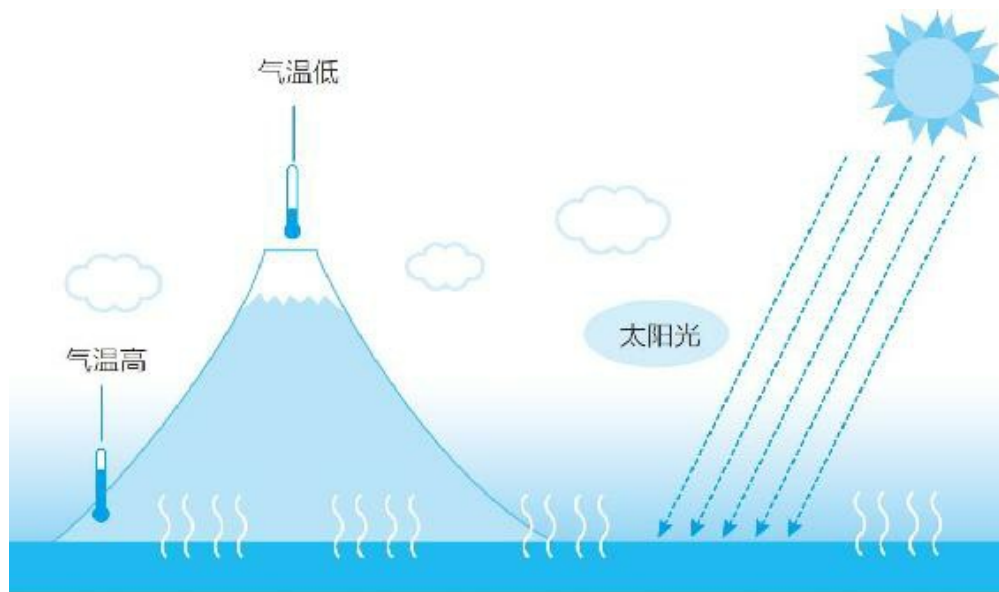
如果小朋友向你提出这样的问题，你会怎么回答？

人们经常会到高原地区避暑，一提到高原就会有凉爽的感觉。包括富士山在内，许多高山的山顶上，即使在春天也能看到积雪。

实际上越高的地方越冷。当你走到1000米的高处时，气温会下降 6.5°C 。

正因如此，当东京（海拔为0米）的气温为 15°C 时，轻井泽（海拔约1000米）为 8.5°C ，富士山山顶（4000米）为 -11°C ，而载满乘客的飞机所飞行的1万米高空约为 -50°C 。

◆大气靠地表热量变暖



由于其他多方面影响，实际温度不会与上述完全一致，但温度大致便是如此。那么，为什么越高会越冷呢？

气温是大气的温度，因此问题的关键就是搞明白大气是如何被加热的。

太阳光具有一个性质：被吸收的越多，加热效果越好。

你在选冬季衣服的时候，会选黑色还是白色的呢？如果你不拘泥款式，按照功能性来选择的话，那请选择黑色。因为黑色可以更好地吸收太阳光线，让你更暖和。也许正是因为这个原因，冬天的黑色或深色衣服才比较多吧。

相反，白色衣服可以更好地反射太阳光线，因此更适合夏天。沙漠地区日照较强，其传统服饰之一就是那种将全身裹住的衣服。乍一看，会觉得穿这种衣服会很热，但事实上白色布料裹住身体后会反射阳光，更加凉爽。太阳光的吸收量与温度上升的值是成正相关的。

大气是透明的，因此无法吸收太阳光线。照向地球的太阳光会穿过大气抵达地球表面并被吸收，从而使地表变暖。而被加热了的地表就会成为加热大气的热源。因此，离热源—地表近的地方较暖，而距离热源越远，也就是越高的地方会越冷。

那么，还有一个疑问。就像热气球的原理那样，因为暖空气较轻会上升。在安了暖炉的屋子里，热气会源源不断地上升，房顶处是最暖和的。

那么同理，热空气应该会向上飘，上空应该会变暖才对。

确实，地表被加热了的空气会变轻从而上升。但是，上空的空气稀薄，上升后的空气会膨胀（绝热膨胀）。空气有一个性质是受热后膨胀。但如果没有受热而发生膨胀的话，反而会使其变冷（绝热压缩）。

也就是说，地表的热空气的确在上升，但上升的空气会一边膨胀一边冷却，无法使上空的温度升高。

高空都是寒冷的吗

那么，高空都是寒冷的吗？

在距离地表约30千米处，存在着含有高浓度臭氧的臭氧层，它可以吸收来自太阳的有害紫外线。紫外线也是太阳光的一种，吸收紫外线的臭氧层会变暖，从而使温度上升。

因此，以温度为 -50°C ，距地表11千米处的高空为界限，越向上走温度会越高，在50千米处可以达到 0°C 。

臭氧层的下层是较重的冷空气，上层是较轻的暖空气，因此形成了一个较为稳定的层结构。这个层就被称为平流层。

而在地表到其上空11千米处，下层是暖且轻的空气，上层是冷且重的空气，因此上层和下层经常会发生对流，两处空气混合到一起。这个范围被称为对流层。

只有对流活动所产生的上升气流会形成云和降雨，因此气象变化只发生在对流层。

不喜欢受到大气干扰的飞机在对流层和平流层的边界飞行，此时眺望窗外一定会发现云彩在我们的下方。

脚下暖烘烘，
头顶冷飕飕。



夏天下冰雹的奥秘

上升哗啦啦，下降干巴巴

春天的天空中总是密布着像霞一样的云，而夏天的天空与积雨云是绝配。古代的人看到卷积云时，就会不禁感叹夏天的结束，他们可以根据云的变化感受到天气或季节的轮换。

如此自由自在变幻姿态的云，究竟是如何形成的呢？

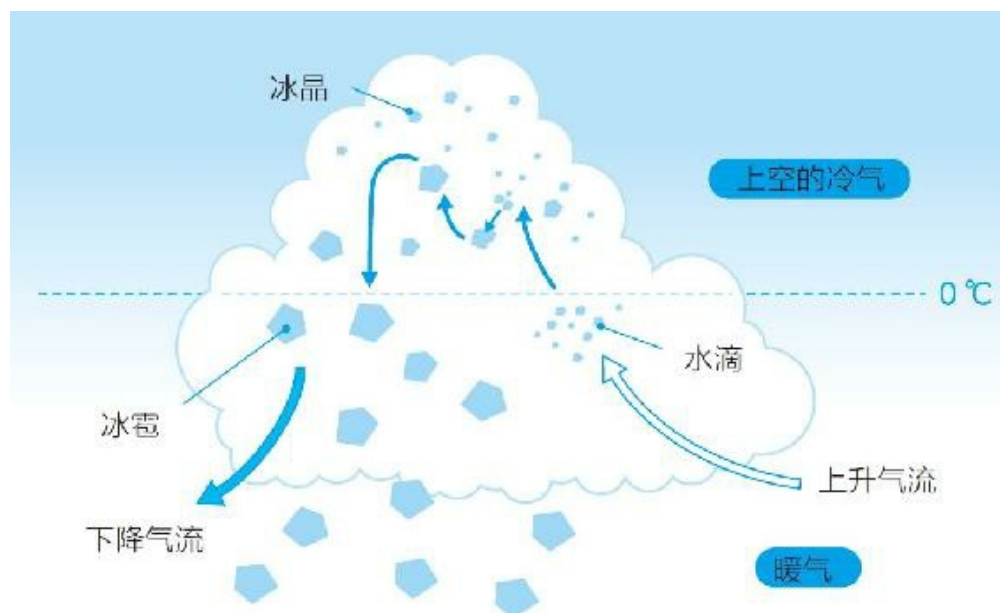
在大气中，当中心气压低于周围气压时，空气就会吹向中心低气压区域，因而形成了上升气流。

包含水蒸气的空气块（气块）会被上升气流带到上空，气压减小，气块就会膨胀。而膨胀后的气块很难从外部获得热量，只能使用其内部的热量，因此温度下降。

于是，气块中的水蒸气就会超过饱和水蒸气量（空气中可携带水蒸气含量的最大值）而变为液态水。以空气中漂浮的尘埃等作为凝结核，液态水变为小水滴凝结在其周围，形成了云。

当气块上升时，温度会进一步下降，形成云的粒子会变为水滴和冰粒的结合体，甚至完全是冰粒。气温下降到0℃以后，小的冰晶开始形成。这就是冰雹。

◆冰雹在云中形成



气温在 $0\sim-4^{\circ}\text{C}$ 之间时，水滴和冰晶同时存在。 -4°C 以下，就只有冰晶存在。

像这样，无数的水滴和冰晶聚集在一起的漂浮物就是我们看见的云。

形成云的云粒大小根据云的种类有所不同，但直径都在 $2\sim 40$ 微米左右（ $=0.002\sim 0.04$ 毫米）。当云粒相互粘连在一起时，就会形成雨滴。

夏天我们常见的积雨云就是由于剧烈的上升气流造成的。相反，当气块下降形成下降气流时，气块会逐渐收缩，温度上升。在这样的环境下，云就会消失。

因而空气移动而产生的变化就是：“空气上升哗啦啦，空气下降干巴巴。”

直径30厘米的冰雹

1968年3月，印度落下了一个直径为30厘米的巨大冰雹。30厘米的直径，已经不能称其为“冰块”了。很多人都害怕地想，要是掉下来砸到脑袋上，肯定是必死无疑。

实际上，当时的雹灾造成了50人遇难。日本曾下过鸡蛋大小的冰雹，给农作物带了巨大的损害。软绵绵的雪即使砸到头上也不会造成任何伤害。就算是软雹，也仅仅是疼一下。但如果是冰雹，就会造成严重的后果。

植物被冰雹砸中，会被损害或被砸死。据说在日本一年能有数十亿日元的损失。

早春时，会有软雹淅淅沥沥地下落。和雪一样，软雹和冰雹都被称为“固态降水”。软雹变大后就成为冰雹。虽然二者都指的是冰块，但软雹直径只有2~5毫米，冰雹直径超过5毫米，最大的冰雹直径达到30厘米。

巨大冰雹的成因

尽管冰雹和雪具有同一属性，但多出现于夏天。这是因为冰雹是在向上扩大的积雨云中形成的。积雨云，俗称雷雨云，是夏季出现的典型云。

在积雨云上部，悬浮着许多直径为0.1厘米的冰晶。小冰晶相互结合，逐渐就形成了大冰晶。

在云的内部，空气自下向上流动，因此小的冰晶得以飘浮，而当其增大到一定大小，就会下落。而在下落过程中，又会粘到冷的水滴，逐渐冰冻而越来越大，这时的粒子就是软雹。几乎所有软雹都由透明的冰构成的。

如果此时出现非常强烈的上升气流，那么冰块就无法直接下落。因为稍一下降，就会被强烈的空气流吹回上空，随后它会在云中上下徘徊。在上下徘徊的过程中，冰雹就会粘上更多水滴并冷冻，越变越大。最终，我们就看到了那个直径30厘米的冰雹。

如果你捡到了一个冰雹，请试着把它分成两半，但请等冰雹下完后再去，不然太危险了。

当你观察冰雹的切面，会发现冰雹有透明和不透明的冰层交织在一起。因为它在空气流中被吹来吹去，就形成了像年轮蛋糕一样拥有多层冰的结构。



冬天新干线在关原附近行驶缓慢的原因

历史上著名的地区

经常乘坐东海道新干线的人，在冬天乘坐从名古屋开往东京的列车时，应该遇到过因大雪而延迟或停运的不便情况。但在其他地区，东海道新干线从来没有过因大雪而行驶缓慢的情况。

东海道新干线的名古屋至京都线路上，会经过岐阜羽岛和米原这两站。在两站中间稍靠近米原站的地方，有一个作为关原之战的开战地而著名的关原町。1600年，德川家康率领的东军和毛利辉元、石田三成等人率领的西军在关原发生战斗，最终东军取得胜利。这是历史上极为著名的场所。

冬天日本海一侧多雪的原因

日本进入冬季后，日本海一侧和太平洋一侧的天气迥然不同。日本海一侧湿度上升而多雪，太平洋地区干燥而晴朗。

冬季时，从中国大陆到日本列岛，都会迎来西伯利亚高压的冷气流。当形成“西高东低”的冬季气压分布时，天气图显示的位于日本附近的等压线几乎都变为南北走向的纵线了。此时，会刮起强劲的西北季风。

从大陆吹来的季风本来是冷且干燥的，但当它经过温暖的日本海时，就会变身为富含水蒸气的暖湿空气。这样一来，大气的状态变得不稳定，空气会发生对流进而形成大量积云。积云会逐渐发展成为积雨云，因此日本海一侧的平原地区会降雪。

尤其当季风碰到日本列岛的脊梁山脉（像脊骨一样纵贯列岛的山脉，是奥羽山脉、越后山脉和飞驒山脉等的总称），就会形成上升气流并发展成为积雨云，因此山地地区会大量降雪。

当季风在平原和山地地区发生降雪后，会越过脊梁山脉经过太平洋一侧，此时形成下降气流，云就会消失。因此，太平洋一侧地区，冬季会形成干燥且晴朗的天气。

关原的地理特征

关原一带应该算是太平洋一侧的地区。但为什么会漫天飞舞大雪呢。

从中国大陆的西伯利亚高压带来的西北风，会经过若狭湾，穿过琵琶湖北端直达关原。而若狭湾到关原地区之间并没有高山，最高只有三国山（876米）这样的矮山。

而越过三国山就是琵琶湖的北部，因此西北风从日本海开始就不受任何阻碍，通过关原后直扫浓尾平原。也正因如此，携带大量水蒸气的西北风抵达关原附近时，就会带来大量的降雪。

在名古屋附近，有一股叫作“伊吹下降风”的强风，会在冬天越过伊吹山系吹来。这也是关原附近伊吹山的由来。

难以实现的其他路线

东海道新干线从名古屋向西行驶的时候，若是能在铃鹿山脉开通一条长长的隧道，就可以避免在关原附近与大雪搏斗。但是，在铃鹿山脉开通路线，在工期或是技术上都存在着一定难度。

而且日本与世界银行曾有一项融资条款“新干线要在1964年东京奥运会前开通”，因此选择了经过关原中山道的路线。

日本特有的地
形造就了各种
各样的气象变
化呢!

冬天
就是
雪山!



Part 3

奇妙的宇宙故事

H

地球原来是宇宙的中心？

什么是哥白尼式的革命？

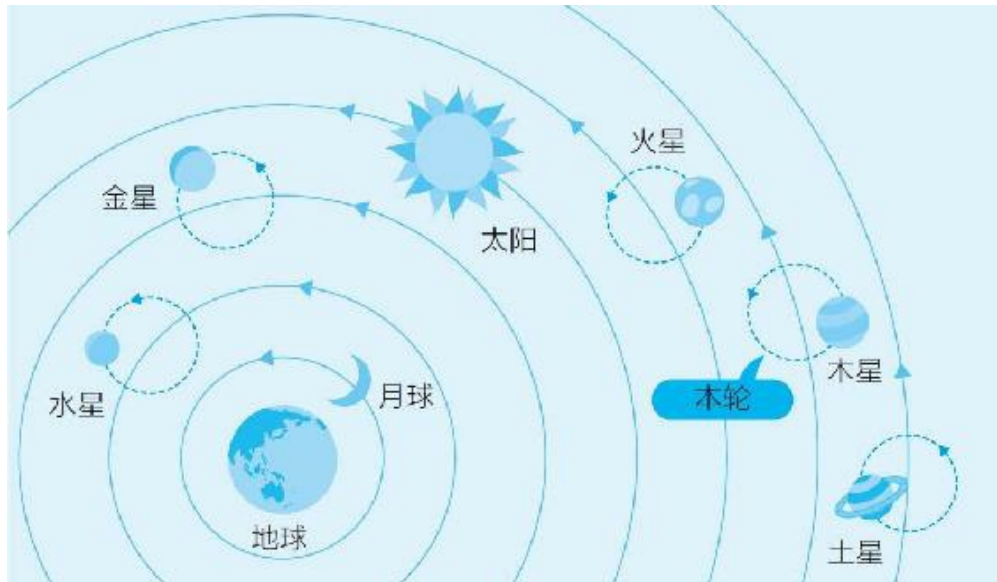
至今为止所认为的常识被完全刷新，突然出现的180度大反转的事情被称作哥白尼式的革命。

这个词取自天文学家尼古拉·哥白尼的名字。在整个社会都坚信地心说时，他坚定地提出了日心说。

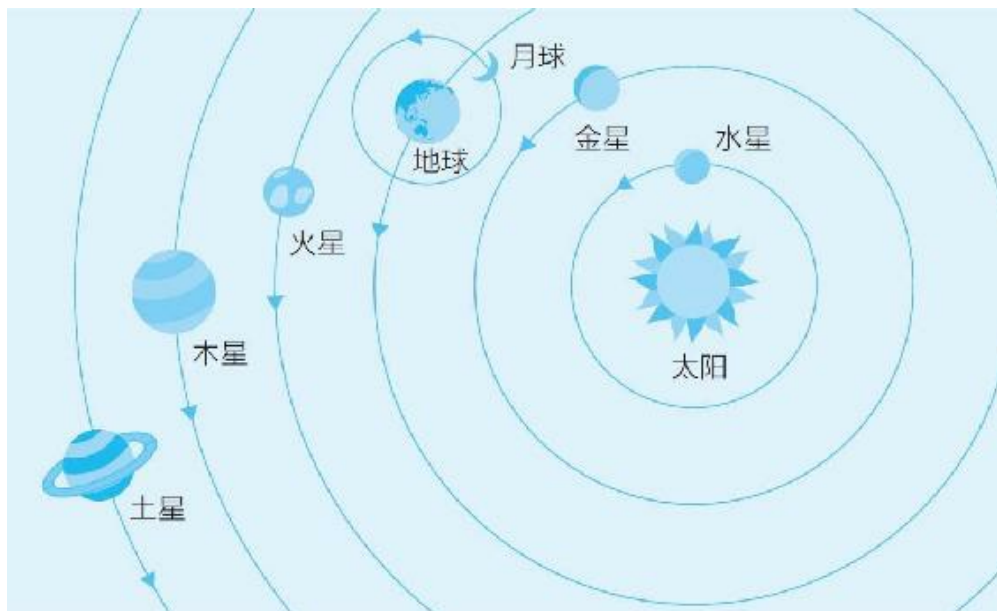
地心说指的是地球为中心不动，其他天体围绕地球运动。而日心说的内容是太阳为中心，地球等小行星围绕太阳运动。日心说和地心说完全相反，可以说是大反转了。

哲学家伊曼努尔·康德为了展示自己独特的思想，把这件事总结为“哥白尼式的革命”，由此为人熟知。

◆地心说（天动说）



◆日心说（地动说）



从地心说转向日心说的阻碍

地心说认为，照亮夜空的恒星是粘在一个叫天球的球形顶棚上的，而地球位于天球的中心位置。地球周围依次是月球、水星、金星、太阳、火星、木星、土星的轨道。这是一个十分细致的模型。

因时而做顺时针、时而做逆时针运动而被人们称作“惑星”的小行星，其轨道被认为是以大轨道的一点为中心而形成的小圆。这个小圆轨道被认为是“本轮”。

在这种情况下，哥白尼却提出了全新的日心说。他认为，是太阳而不是地球占据了中心位置。并且他坚信地球应该是在行星的位置。但当时还没有发现在地球绕太阳公转时可以观测到的“周年光行差”和“恒星视差”。

因此，即使哥白尼指出地心说是错误的，也没能成功反驳他人。并且，在哥白尼的时代，在行星运动方面，地心说的模型解释比日心说看起来更为缜密。

划时代的大发现——日心说，以不被世人接受而告终。

日心说的证据

哥白尼于1543年出版了一部关于日心说的书。但是，证明日心说所必需的“周年光行差”，在一百多年后的1727年才得以确认。

周年光行差就是地球上的观察者由于公转而高速运动时，观测者与光会出现相对运动，此时观测者看到的光与光真实传来的方向是存在夹角的，这个夹角就被称为周年光行差。这是地球公转的证据之一。

另一个证据就是“周年视差”，但科学家却久久没能成功测量。周年视差就是，地球围绕太阳公转时，地球上可以观测到地球近处的恒星在一年周期中会发生细微的运动，而其运动角度叫作周年视差。

我们来看一下身边的例子。

窗户的旁边，放着一花瓶。头边动边看花瓶的话，我们看到的花瓶也是静止的。那请试着摆动你的头，一起看花瓶和窗外远处的风景。这个时候你会发现，窗外景色静止不动，但花瓶开始动了。

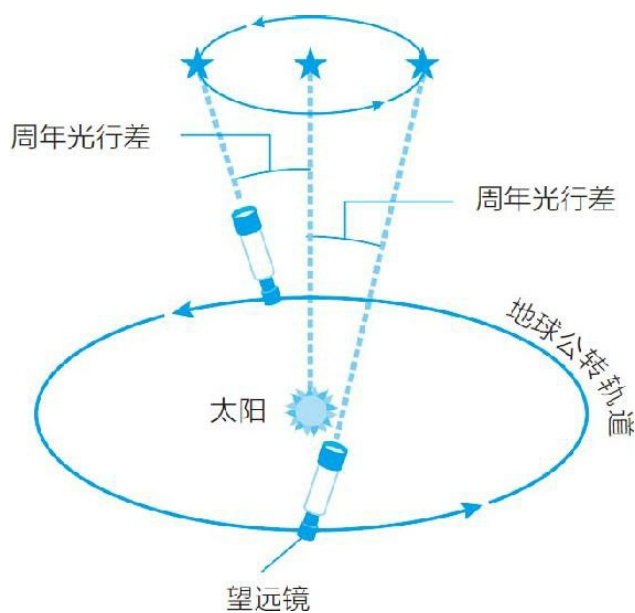
头的位置发生变化时，我们看远处和近处的东西就会发生变化。这种变化就叫作视差。没能检测出周年视差，就代表恒星在离我们非常远的地方。

当时的天文学家认为：如果地球围绕太阳公转，那半年后看近处的恒星和远处的恒星就会发生变化。但是却没能观测到。

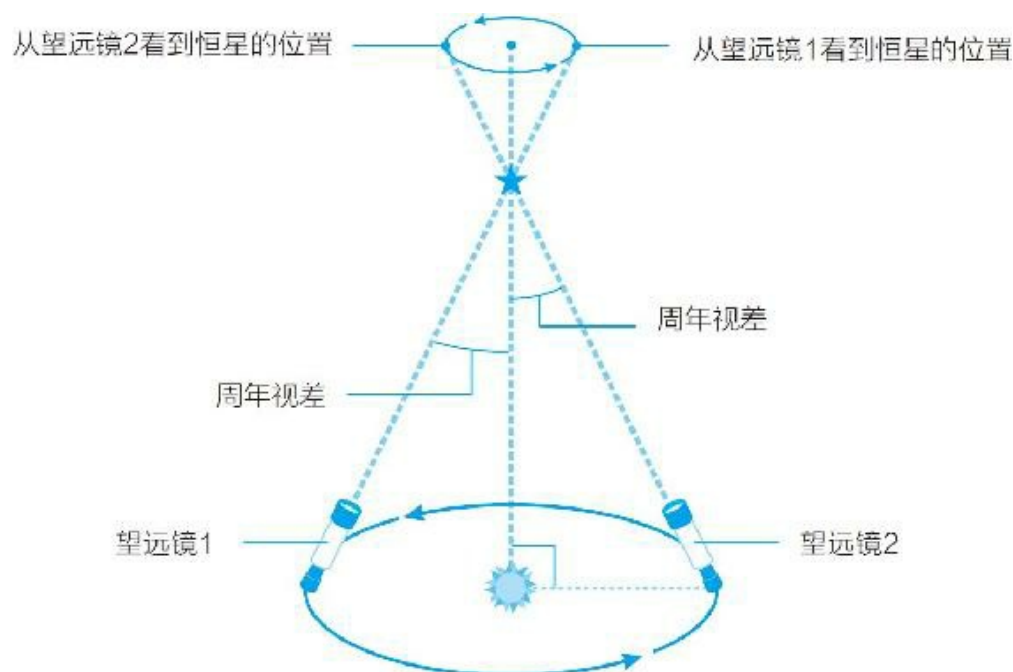
1838年初，人们终于在天鹅座61成功测量出了周年视差。因为恒星非常远，周年视差太过微小才不容易被检测出来。

此外，1851年莱昂·傅科发现，如果使用一个永远摆动的巨大单摆，那么它摆动的方向会由于地球的自转发生偏移。这个实验首次证明了地球的自转。

◆周年光行差



◆周年视差



虽然哥白尼的日心说和伽利略、开普勒、牛顿等人提出的现代宇宙观相关联，但地球自转和公转的明确且直接的证据，科学家们用了三百多年才得以找到。

在此简单介绍一下德国天文学家约翰内斯·开普勒（1571～1630）。开普勒和伽利略出生在同一个时代，因为发现行星的运动定律而闻名。

开普勒曾在著名天文学家第谷·布拉赫身边当助手，努力研究。第谷是在不用望远镜观测的情况下收集了最精密行星位置数据的人。师傅去世后，开普勒运用这些大量的观测数据，开创性地总结出了行星运动的三大定律。

第一定律（椭圆定律）：所有行星绕太阳的轨道都是椭圆，太阳在椭圆的一个焦点上。

第二定律（面积定律）：行星和太阳的连线在相等的时间间隔内扫

过相等的面积。（相当于行星接近太阳时运动更快）

第三定律（调和定律）：所有行星绕太阳一周的时间的平方与它们轨道长半轴的立方成比例。

这就是开普勒定律。随后牛顿受到该定律的启发，推导出万有引力定律。



伽利略用望远镜看到的宇宙

与望远镜的邂逅

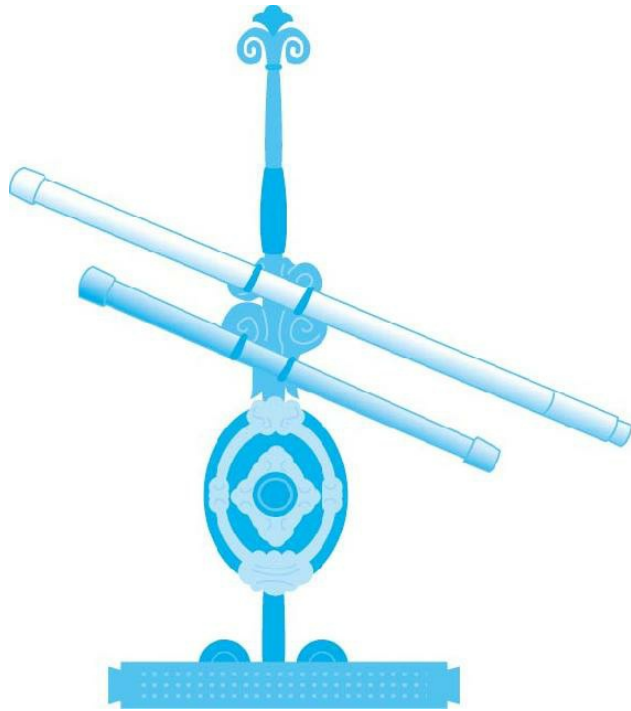
著名的天文学家、物理学家伽利略·伽利雷于1564年诞生于意大利比萨。让伽利略流芳百世的原因，可以说在于他与望远镜的邂逅了。

历史上第一架望远镜是用凸面镜当物镜，凹面镜当目镜使用的。关于望远镜的发明者有许多说法，现存记录显示荷兰的眼镜工匠汉斯·利普西在1608年申请了专利。

第二年1609年5月，伽利略仅用一天时间就制作出了10倍倍率的望远镜，随后又着手制作更高倍率的望远镜。他最终制出了倍率为20倍的望远镜。

眼镜匠人们制出的望远镜不仅只有2~3倍倍率，且画面也很模糊，而伽利略的望远镜却能看到清晰的图像。

◆伽利略的望远镜



望远镜开辟出的世界

当时伽利略制造出的望远镜很小，口径只有4厘米，而且甚至还不如现在的廉价玩具望远镜性能好。但当时用这个望远镜望向宇宙的时候，着实给人类带来了巨大的惊喜。

原本人们心目中，本应像水晶球一样晶莹剔透的月球，用望远镜观测后才发现，其表面是凹凸不平的（陨石坑），并且有黑色的阴影（伽利略称之为海）。被认为是纯洁无瑕的光球——太阳上，也被观测到了黑点（黑子）。

地心说认为比月球还要远的天是永远不动的，这样一来就无法解释太阳上黑子的形态和位置会发生改变的现象。而黑子的变化，正是由于太阳自转引起的。

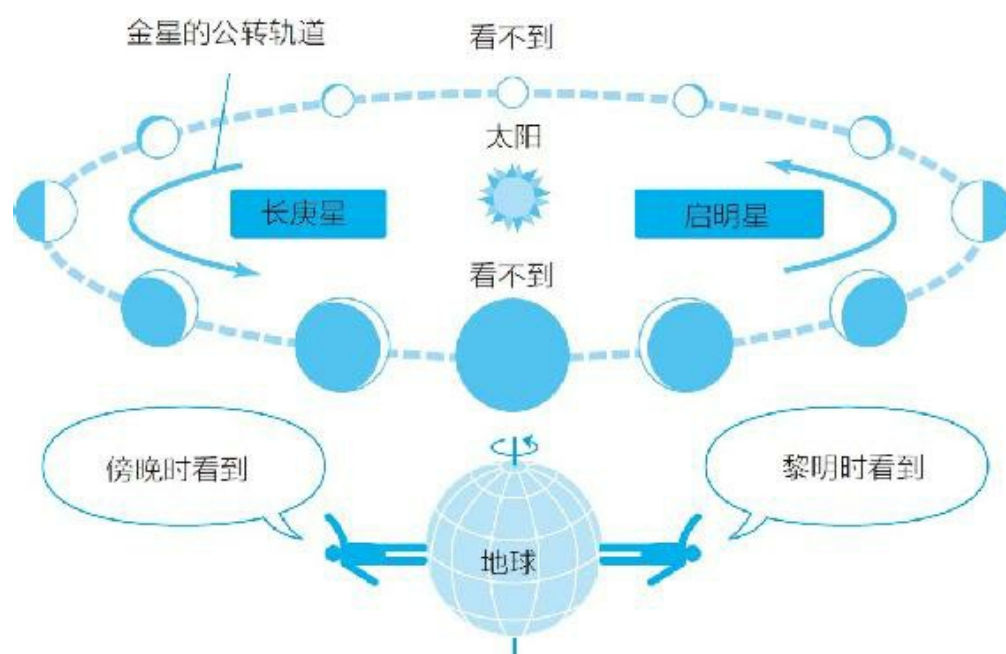
发现银河系是星星集合的人也是伽利略。并且，他还发现了木星的四大卫星。这四大卫星现在被称为伽利略卫星。但当时由于美第奇家族在资金方面资助了伽利略，伽利略曾把这四大卫星命名为美第奇星。

伽利略于1610年3月，将以上所有观察记录写进了《星际信使》，并成功发表。在这篇论文中，他讲述了木星的卫星不以地球，而以木星为中心进行环绕，而这一结果可以证明不以地球为中心环绕的天体是存在的。此外，也引发了另一个重要的思考：与卫星相同，地球绕着巨大的太阳旋转也是很自然的现象。这对地心说更是一个不利的证据。

在金星的观测方面，科学家也发现了金星会发生盈亏现象，而大小也在变化。如果地心说是正确的，那么金星就算有一定程度的盈亏，也不可能做到新月那么细。并且，如果金星和地球的距离固定的话，那么

大小也不应发生变化。

◆金星的盈亏



日心说的接力棒

由于伽利略在著作《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》（简称《天文对话》）中支持日心说，1633年教会判处他有罪，命令他放弃异端邪说般的日心说，并将其幽禁。

有传闻说伽利略在审判的时候也小声说“即使如此地球也是动的”，但后来有两种说法。一个是支持伽利略当时并没有说这句话，只是后来其弟子为了推行日心说所编出的故事。还有一种说法是，伽利略是用拉丁语说的，故意让别人听不懂。

但伽利略在幽禁期间，编纂出《论两种新科学及其数学演化》（简称《新科学对话》）一书，明确描述了惯性运动和自由落体定律等。伽利略晚年时双目失明，1642年与世长辞。

神奇的是，伽利略去世的同年，牛顿出生了。牛顿提出的惯性概念、运动定律和万有引力法则，终于继承了哥白尼、伽利略和开普勒的遗志，在力学上提供了支持日心说的实际证据。

仅凭一人无
法完成日心
说的证明。



宇宙的诞生与元素的合成

大爆炸是宇宙的起源

20世纪初，在美国的威尔逊山天文台有一个叫鲍威尔哈勃的人。他从律师转行到了天文学领域，拥有各种各样的经历。他用大型天体望远镜观测了很远的星体大集合，也就是银河，发现了银河的颜色偏红。

该现象被称为“光学多普勒效应”：远离观测者的发红光，而靠近观测者的发蓝光。由此，人们知道了宇宙是在不断膨胀的。这是1929年的事情。

宇宙至今依然在膨胀的话，那么可以设想古代的宇宙，是由超高密度状态的一个点诞生出来的。并且，还有人指出，因为现在宇宙存在很多类似氢、氦的轻元素，可以推测出超高密度状态的宇宙是拥有极高温度的。

这个人就是乔治·伽莫夫。他于1947年提出，宇宙是由超高温、超高密度的火球开始形成的。

当时，在天文界受到众多科学家支持的理论是弗雷德·霍伊尔提出的“稳态理论”。“稳态理论”认同哈勃提出的宇宙膨胀论，但不同点是银河产生后，宇宙物质的密度保持永远不变。

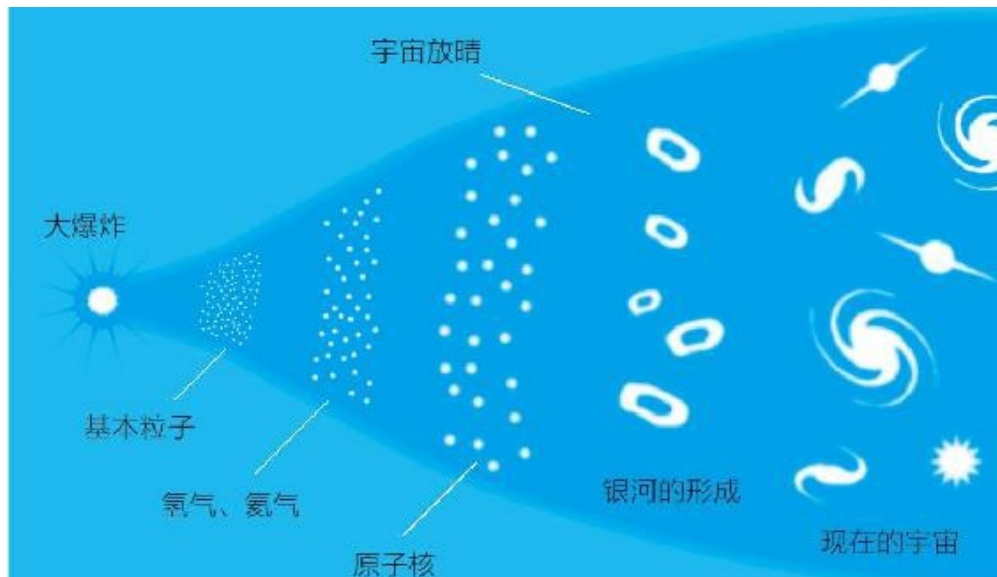
霍伊尔无法接受伽莫夫的理论，戏谑地称其为“大爆炸（BigBang）理论”。但由于这个称呼十分容易理解，被人们熟记。今天谁又能想到“大爆炸”竟曾是嘲笑伽莫夫而出现的命名呢。

伽莫夫认为，如果宇宙是从火球诞生而来，并不断膨胀的话，大爆

炸时的超高温会逐渐冷却，那么现在的宇宙应该在3开尔文（-27℃）左右。

随后，人们发现了可以证明这个猜想的“宇宙背景辐射”，使得伽莫夫的宇宙大爆炸理论战胜稳态理论。宇宙背景辐射指的是从宇宙各个方向传来的电磁波。波长在1厘米左右的微波领域最强，而其光谱显示温度为3开尔文。

◆大爆炸



从小号元素开始依次合成

大爆炸发生后的0.0001秒后，宇宙的温度为10亿度，大小接近太阳系。1秒后，宇宙的温度达到100亿度，大小扩大到10亿米（太阳系的100倍）。宇宙的历史可以追溯到这次大爆炸，据说是距今137亿年前发生的。

宇宙诞生后，首先出现的就是氢元素的原子核。大爆炸3分钟后，分散的质子和中子结合，产生出氕、氘、氚的原子核。这些就是“原初核合成”。

宇宙中存在最多的元素是氢元素、其次是氦（质量比为8%），其他的元素都微乎其微。这些是在大爆炸后瞬间合成的元素。

随后，恒星诞生。在恒星内部发生着四个氢元素的原子核变成一个氦核的核聚变反应。当氦核累积到一定程度后，就由氦核发生核聚变。

◆大爆炸元素合成



在比太阳更重的星上，会进行碳、氧、氮等的核聚变反应，这样就会依次合成出直到原子序号为26的铁元素的各种元素。由于铁的原子核十分稳定，在恒星内部无法合成比铁还大的元素。

金和铀等元素的形成

那比铁更大的元素是什么时候形成的呢？

当巨大的恒星寿终正寝时，会产生超新星爆炸。那时会产生巨大的压力和热量，产生了镭和铀等元素。

恒星包含的原子核超新星爆炸时生成的大部分元素，随着爆炸都会被甩到宇宙空间中。被分散的元素变成了星际间的灰尘在宇宙中飘荡，最终变成新的恒星或行星的材料。

地球上之所以存在了从氢元素到铀元素的多种元素，是因为地球或者说包含地球在内的太阳系，堆积了比太阳还要重的巨大恒星发生超新星爆炸后释放出的星际尘埃。

金和铀等资源，其实都是超新星爆炸的剩余残渣。

一切都是从氢原子变来的!



地球和金星的不同命运

叫作金星的行星

金星自古被人们称为“启明星”“长庚星”。金星和地球拥有相似的诞生过程。

在行星之中，离太阳较近的水星、金星和地球，与木星、土星是拥有类似性质的兄弟星。其中金星的大小和质量都与地球十分接近，内部的结构和构成物质也基本相同。但金星表面和地球却相差甚远。

假设我们向金星发射一架探测火箭去观测金星地表的话，那么在金星外，根本无法看到其地表。这是因为，金星地表之上50~70千米处，覆盖着厚厚的云。

地球的云团是由水组成的，而金星的云则是由浓硫酸构成的。所以，云彩呈现出硫粒子混合出的黄色，而能见度在3千米左右。大气主要成分为：96%的二氧化碳、3.4%的氮气、0.14%的水蒸气，也就是说几乎全部都由二氧化碳组成。

金星的大气压约等于地球海底900米处的水压，也就是达到了90个标准大气压。因此，金星的大气密度是地球的100倍（ $0.1\text{kg}/\text{cm}^3$ ）。

90个标准大气压下水的沸点是 300°C ，金星地表附近的温度比沸点还要高出很多，要超过 400°C 。这也是大量二氧化碳带来的温室效应所造成的结果。

金星与地球的差异

	金星	地球
与太阳的距离【AU】	0.723	1.00
公转周期【地球日】	224	365
自转周期【地球日】	243	1.00
赤道半径【km】	6052	6378
密度【g/cm ³ 】	5.24	5.52
平均气压【hpa】	92000	1013
平均气温【k】	750	288

由于被很厚的大气覆盖，无法看到地表的樣子



不同的命运

地球诞生后的46亿年前，地球大气以氢气和氦气为主，但不久后被太阳风暴全部吹走了。随后，地壳形成，火山活动频繁，从地球内部喷出的气体就变成了大气的主要成分。也就是二氧化碳、氮气和 water 蒸气。

地球与太阳的距离适中，单位面积接收到的太阳日射和紫外线都要比金星少一些，因此水蒸气不会被分解。当火山活动弱化，水蒸气变为雨，雨创造出了海。于是这座星球又被人们称为“水的星球”。

这时，雨中大量的二氧化碳溶进了海水中。包含二氧化碳的“源氏海”孕育了各种各样的生命。其中有一些生物可以进行光合作用，向大气中放出氧气。就这样，地球主要的大气成分就变为了氮气、氧气和水蒸气。

金星刚刚诞生时，也曾存在过水蒸气。过去的太阳比现在要暗，人们认为金星上也曾形成过吸收了二氧化碳的大海。但后来，太阳逐渐变亮，海水温度上升，二氧化碳又重新被释放到了大气中。

由于二氧化碳的温室效应，地表的温度再次上升，而大气中的二氧化碳再次升高，并循环下去。终于，由于高温海水蒸发为水蒸气，来自太阳的紫外线将水蒸气分解为氢气和氧气。而轻轻的氢气就被吹到了宇宙空间。

地球之所以有着同金星完全不同的命运，只是因为地球比金星到太阳的距离远了4000万千米而已。

月球曾是地球的兄弟？

亦近亦远的月球

水星和金星之外的行星，都有围绕其旋转的卫星。地球的卫星就是月球。

月球是人类除太阳外最为熟悉和喜爱的天体了。自古以外，月球就被用来吟诵诗歌、帮助计算历法，是人们生活中不可或缺的一部分。但其实，月球作为卫星来讲，还有许多科学上的问题尚未解决，实在是一个神奇的天体。

接下来要说明的，就是我们至今没有解决的问题。

月球的内部结构是什么样的呢？

和其他的卫星相比，月球是不是相对自己的母行星（地球）来说，有些太大了呢？

在地球上总是只能看见月亮的一个面，这是为什么？（自转和公转的周期相同）？

月球正面（地球侧）地壳的厚度要大于背面，为什么？

为什么被称为“海”的黑色玄武岩平原只存在月球正面？

关于月球是怎样诞生的，至今仍是一个未解之谜。月球的特殊之处在于，与其他卫星与行星的关系不同，月球相对其母星地球来说，体积太大了。为什么地球会选择一个大小的星球作为卫星呢？

关于月球诞生的秘密，有三种假说。

第一种是同源说，地球和月球是偶然在同一地点同一时间诞生的。第二种是分裂说，在地球形成的早期，地球呈熔融态，自转速度很快，由于离心力把月球分裂了出去。这是达尔文的儿子乔治·达尔文提出的。

第三种假说是俘获说，月球是在完全不同的地点诞生，后被地球的引力捕捉过来的。

然而俘获说无法解释地球和月球的化学成分十分接近的事实。而同源说无法解释月球和地球的平均密度相差甚远的事实。虽然分裂说看似有说服力，但后来地球是否有足够大的离心力可以使月球分裂也遭到了质疑。

于是，1975年威廉·哈特曼和唐纳德·达韦斯提出了大碰撞理论。该理论认为分裂说中分裂的驱动力不是离心力，而是天体的撞击。

冲撞说的解释

45亿5000万年前的地球才刚刚诞生，那时不但没有生命，连大海也不存在。这样的地球，被一个有地球一半大的小天体斜向击中。

由于撞击，地幔的一部分被撞掉飞散到宇宙空间，随后由于相互间的引力作用，再次集合到一起形成原始的月球。此时的结合地点，是距离地球2万千米的地方，相当于现在地月距离的二十分之一。

那时候从地球上看到的月球是什么样的呢——月球的直径是现在的20倍，表面积为400倍，因此满月时夜晚相当明亮。现在月球的公转周期为29天，在那时也只有短短的10小时，在天上眼花缭乱地移动着。

此外，值得关注的还有月球的潮汐力。潮汐就是其他天体的引力带来的影响。大海刚在地球上出现的时候，地月距离为4万千米，虽然已经很远了，但那时的潮汐力为现在的1000倍。

假如说现在地球上潮水的涨落差是1米的话，那么简单计算下来，当时的张落差就是1000米。也就是说，当时每天都处于有巨大海啸冲过来的状态。

如果原始月球离地球很近的话，那么月球也应该受到地球强大引力的影响。比如说，月球内部有很重的地核和地幔，那么由于地球引力，靠近地球一侧的地壳会薄，远离地球一侧的地壳会厚。

此外，地壳较薄的正面遭到陨石撞击后，地壳下的玄武岩质岩浆就会流出，冷却后变成玄武岩海，出现在月球正面。并且，月球的中心也会由于地球的引力向地球侧（正面）偏，导致月球总是正面朝向地球，

也就是月球的自转和公转周期相同。

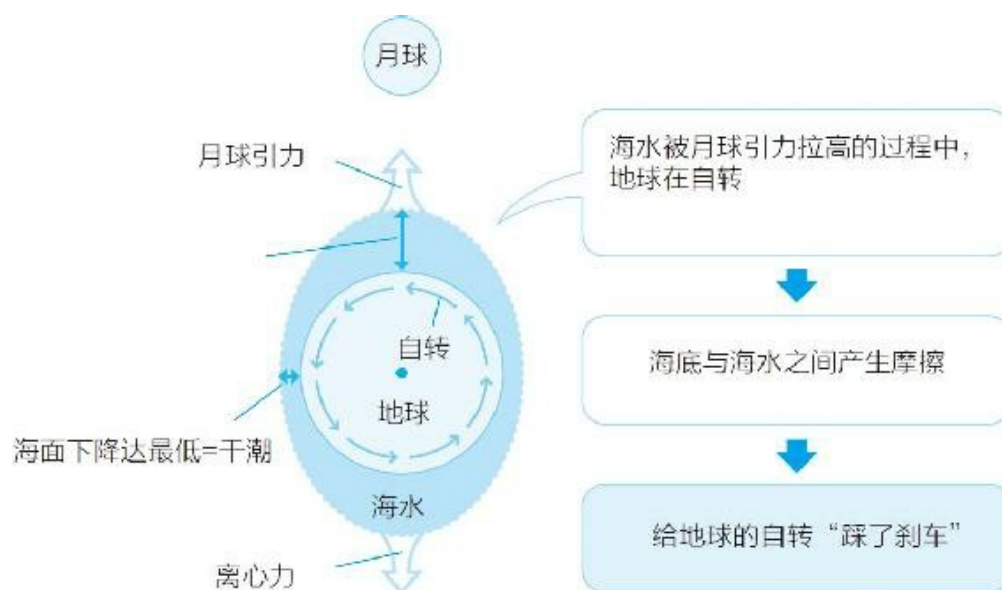
如果像这样按照碰撞说去类推的话，那么之前所举的那几个关于月球的问题就都能解释了。

地月间的紧密联系

约46亿年前，宇宙空间中漂浮着的大量气体和尘埃一边旋转一边聚拢，形成了太阳。随后，以太阳为中心旋转的岩石块（小行星）不断出现，通过不断地撞击和合体，形成了行星。这些行星之一就是地球。

地球本来一直做着符合小行星旋转运动的自转和公转运动。但是，由于约45亿5000万年前发生的大撞击的影响，地球开始了全新的自转运动。人们认为，地球的自转轴是自那时起发生倾斜的。

◆月球的潮汐力对地球自转速度的影响



大撞击之后的地球自转周期为5小时，而如今的自转周期长了很多。而原因就是月球的潮汐力。

由于潮汐力引起涨潮和落潮的现象被称为潮汐作用，而潮汐作用导致了海水与海底间的摩擦。由于摩擦的影响，地球自转速度就减慢了。

不仅是海水的移动，岩石也多少发生了变形，能量损失也对自转速度产生了一定的影响。

自转减缓的速度虽然非常慢，数千至数万年才减慢1秒，但经过数亿年以后就达到了1小时。地球的自转确确实实是在缓慢地降低速度。

看到流星的秘诀

流星发光的原因

从古至今一直流传着一个说法：如果你看见流星，那么在它消失前许下的愿望，一定能成真。

想看到流星是需要一点“秘诀”的。如果你能掌握这个秘诀，说不定真的能实现愿望。

首先，我们先认识一下流星是什么。如果你实际看过流星的话很好理解，流星和夜空中的星亮度相似，但是它会突然出现，并快速地做直线运动然后消失在夜空中。乍一看，人们会认为好像是“星星在流动一样”，但其实星星（恒星）和流星却迥然不同。

恒星是像太阳那样会自己发光的天体。又大又暖又闪耀的太阳和冷冰冰的星星，看似是南辕北辙的两种天体，但实际上二者都被称为恒星。之所以我们看到的完全不同，是因为它们距离地球的远近不同。

假设太阳远离我们几光年，那它看起来就和闪耀的星星一样了。反之，其他恒星像太阳一样靠近我们的话，它们也会变得又大又暖又亮。恒星就相当于在远方的太阳。

我们再说说流星。行星间漂浮的宇宙尘埃进入地球大气层后发出亮光的现象就是流星。也就是说，流星最多也只有1立方厘米大，是发生在离我们很近的大气层内部的现象。因此，恒星和流星是截然不同的两种物体。

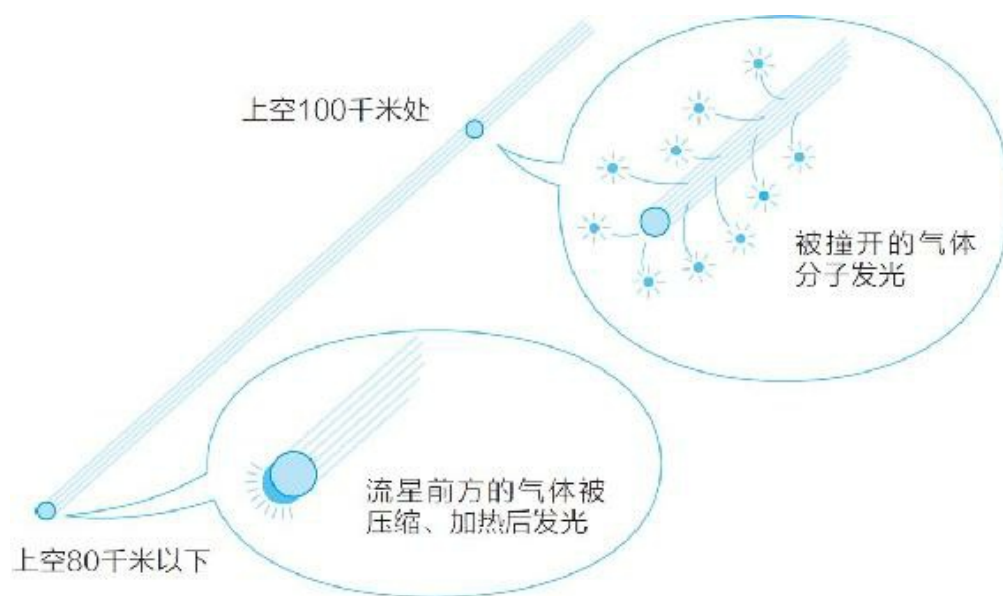
那作为宇宙尘埃的流星为什么会发光呢？

流星在进入大气层时的速度可以达到每秒数十千米，十分迅速。因此，流星会撞击大气中的气体分子并将其打散、激发（使其变成高能量状态）、加热。被激发、加热后的气体分子发生电离现象，变为发光的等离子状态。

也就是说在100千米附近的稀薄大气层，被流星冲散的气体分子在发光。但当流星到达80千米处后，大气层增厚，气体分子拥挤在一起，很难被打散。于是流星前面的空气会被压缩，温度上升，压缩的空气变为等离子状态后发光。

最终，被压缩和加热的空气反过来加热流星，使其在到达地表前燃尽。在流星发出光芒后划过天际的一瞬间，会引发这两种现象。

◆流星发光的2个阶段



目标是流星雨

那么流星发生的频率是多少呢？

其实流星是一年365天，一天24小时都在发生的，算上发光微弱的流星的话，一年中出现的流星次数不可胜数。但实际能观看到流星的概率却没有那么高。

这是由于较暗的流星占大多数，夜空条件就成了决定性因素。夜空越暗，我们能看到的流星数就会越多。据说在条件好的夜空中，一小时内整片夜空中能看到5~10个流星。

但是人类的视野只能看到整片夜空中四分之一到五分之一。如果只盯着一个方向看的话，一小时只能看到1~2个。但一般很少有人会朝着夜空的一个方向连续看一小时，而且还需要在条件好的夜空中看。此外，大都市的夜空中看到流星的概率更低。

然而有一样东西可以使罕见的流星更易被人们察觉，那就是流星雨。在地球的公转轨道上，有许多地方堆积着厚厚的流星原材料——宇宙尘埃。当地球通过那些地方时，就会有大量尘埃进入地球上空，形成难得一见的、大规模的流星划过天际的现象。

在宇宙尘埃密集的地方，会形成彗星。彗星就是接近太阳时会留下长长尾巴的天体。长长的尾巴就是因为接受了太阳的光和热而喷出的彗星内部的物质。

从彗星内部喷出的物质，即宇宙尘埃，大量分布在彗星公转轨道附近。而地球公转轨道和彗星公转轨道是有重合部分的，当地球通过交叉

点时，就会有比平时多出许多倍的尘埃进入大气层，进而形成流星雨。

带来流星雨的彗星被称为“母彗星”。母彗星通过后的瞬间，是尘埃最多的时候，这时会形成流星数比流星雨还要多的现象，也就是“流星暴”。

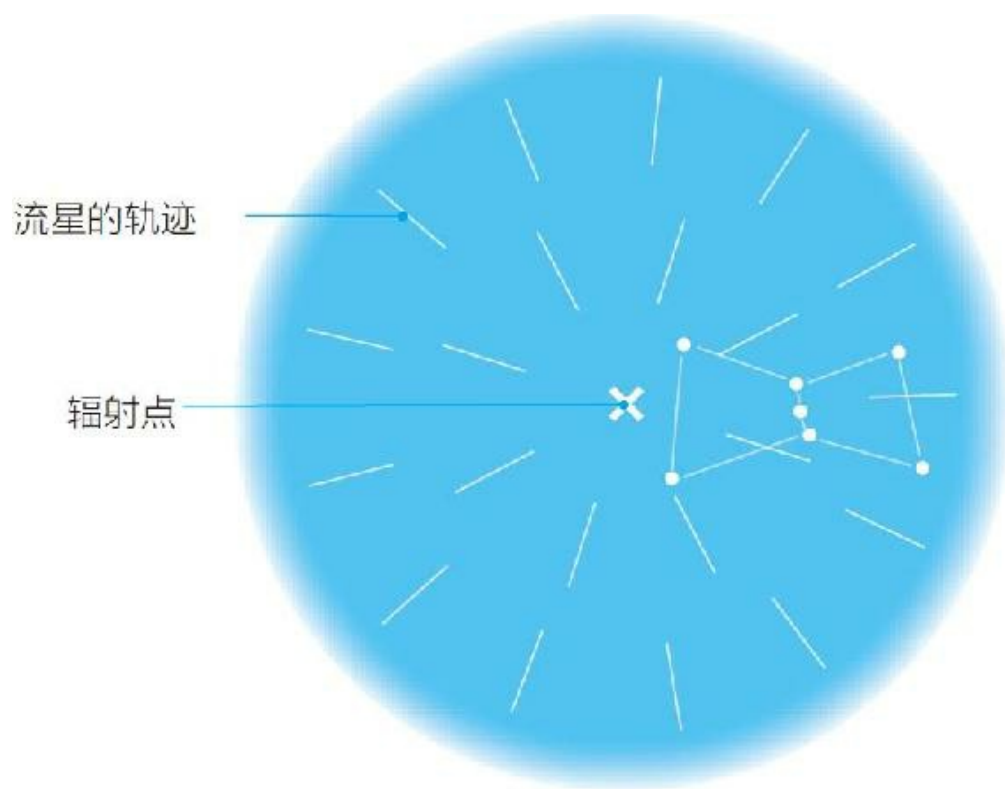
离我们最近的一次就是狮子座流星雨。1999年母彗星坦普尔·塔特尔彗星通过，而在两年后的2001年，日本看到了狮子座流星雨。

另外，流星雨前面总是跟着星座的名字，这也是有含义的。当流星雨出现时，把所有流星的轨迹延长后发现，它们都集中在一个点（辐射点）上。因为流星雨都从这个放射点出发，因此会以放射点附近的星座命名。辐射点是地球冲进彗星散布的尘埃中而产生的。

看到流星的三个条件

流星并不是由于尘埃冲向地球而形成的。几乎所有的流星都是地球冲向尘埃形成的。地球的前进方向就是公转的方向，从太阳看地球的话就是直角偏左的方向。所以我们可以看到的大量流星是从这个固定方向飞进来的。

◆猎户座流星雨的辐射点



从地球与太阳的位置关系来说，我们可以在凌晨0点至中午12点看到这个方向的天空。而日出后天被照亮，流星就看不到了，所以能看到流星的最佳时间是凌晨0点至日出前。

以下三点是观测流星的秘诀：

①尽量找比较暗的地方

②尽量找流星雨

③尽量在凌晨0点至日出前观测

	主要流星雨	高峰期	母彗星
★	象限仪座流星雨	1月3日	未确定
	天琴座流星雨	4月22日	余契尔彗星
	5月水瓶座流星雨	5月6日	哈雷彗星
	7月水瓶座流星雨	7月28日	不明
★	英仙座流星雨	8月12日	斯威夫特·塔特尔彗星
	猎户座流星雨	10月21日	哈雷彗星
	狮子座流星雨	11月17日	坦普尔—塔特尔彗星
★	双子座流星雨	12月14日	3200法厄同（双子座流星雨的母体不是彗星，而是小行星）
	小熊座流星雨	12月22日	塔特尔彗星

流星雨中最为常见的就是象限仪座流星雨、英仙座流星雨和双子座流星雨，它们被称为北半球三大流星雨。其中我最想推荐的就是英仙座流星雨。英仙座流星雨在高峰期时，一小时可出现30~60颗流星，并且每年都会稳定地出现数量最多、最亮的流星。英仙座流星雨一般在8月12、13日的前后两三天最为活跃。

这个时期也正值日本的盂兰盆节，可以在旅行时享受流星雨。并且，夏天的夜晚并不寒冷，和忍受严寒在深冬观测象限仪座流星雨和双子座流星雨不同，人们可以在户外开心、舒适地享受观测流星的乐趣。

太阳会永远燃烧下去吗？

太阳的能量源是什么？

太阳是如何持续燃烧的呢？在地球大气层外，1分钟内1平方厘米面积受到垂直射入的太阳能量约为8焦耳（约2卡路里）。这是太阳常数，整个地球获得的能量为 1.2×10^{19} 焦耳。

即使如此，地球获得的能量仅仅是太阳向整个宇宙释放能量的二十亿分之一。

假设太阳是由石炭这样的燃料组成的话，数十万年就可以完全消耗掉这些燃料。但是，太阳却在46亿年中，不断地发光发热。太阳发热的原理在很长时间内都是个谜。

然而，进入20世纪以后，随着原子物理学的相关研究不断发展，太阳的发热原理终于被破解了。原来太阳是通过核聚变反应释放能量的。核聚变就是指较轻原子核互相结合，形成一个重原子核的过程。氢弹也是利用了这个原理。

在太阳内部发生的核反应主要是四个氢原子核合成一个氦原子核的反应。该反应导致质量减少，而减少的质量就转化成了能量。

核聚变产生的能量以大量的光和热的形式维持着太阳的温度，并促成下一次的核聚变。所以科学家给出的结论是太阳的寿命大约有100亿年，所以在今后的50亿年里，太阳还可以继续发光发热。

太阳的一生

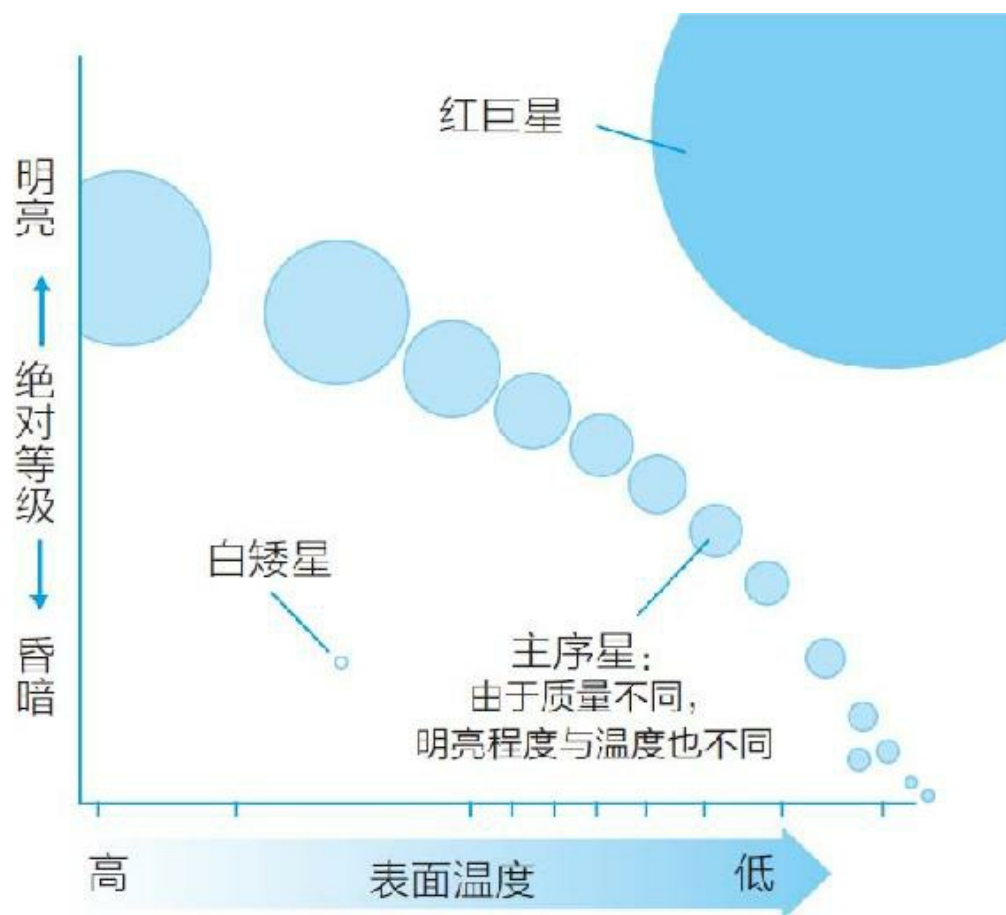
20世纪的天文学家发现，决定恒星生命的本质因素就是质量。极端点说，只要知道恒星诞生时的质量，就可以算出它有多少年的寿命，会迎来怎样的终结。目前宇宙中的全部恒星中，百分之九十都处于主序星阶段。主序星们的性质相似，大小从太阳的十分之一到10倍不等。大多数恒星都经过主序星阶段，变为红巨星、红超巨星，最后变为白矮星。

太阳现在就处于恒星演化过程中的主序星阶段。

恒星一生中的大部分时间都在主序星阶段。后来经过不断地变大膨胀，成为红巨星。由于恒星内部的核聚变反应，中心部位变为氦核。最终，氢原子的聚变反应将向外层移动。

恒星的重力和辐射能之间需要维持一个平衡，但核聚变在恒星外层发生的话，辐射能逐渐强于重力。最终，恒星不断膨胀，表面温度不断下降，逐渐变得更亮。

◆恒星的一生



太阳在约46亿年前，也就是太阳系形成后就步入了主序星阶段，至今的亮度增长了约30%。在主序星的最后一个阶段，太阳的亮度将会变为现在的2倍。随后，太阳会急剧膨胀到达红巨星阶段，届时巨大的太阳将会冲破地球公转轨道，将地球吞噬掉。

但是，当太阳抵达红巨星的初期阶段时，会释放气体、灰尘等导致质量减小，进而致使太阳和地球之间的万有引力减弱。这样一来，地球就会脱离太阳轨道，也许就不会被吞噬。

太阳在经过红巨星阶段后，会变成濒死前才出现的行星状星云，随后转变为白矮星，最终成为一颗不会发光的寒冷恒星，完结一生。

超新星爆炸

有些恒星比太阳重3至十几倍，而巨大的质量导致重力坍塌，中心部温度高达1亿开尔文，氢核开始进行核聚变。

其中，质量在8倍太阳质量以下的话，由氢合成的碳元素会在中心不断积累，当电子的斥力不足以抵消其重力时，就会发生坍塌。随后碳发生核聚变，引起大爆炸。

而且，大于8倍太阳质量的恒星中心有铁，铁会持续吸收能量，最后被氢和中子分解（光解）。最终，核心处的压力突然下降，发生中心外层受到反冲作用四处飞散，引起爆炸。

以上的过程就是超新星爆炸。

从地球的角度看，会发现宇宙中突然出现了一颗十分明亮的星，因此称其为“超新星”。但实际上，这并不是新的恒星，而是一颗恒星在生命的最后时刻释放出的闪光。

超新星爆发现象，在宇宙中大概每一二百年发生一次。

在镰仓时代初期，日本有一个叫作藤原定家（1162～1241）的歌人。他的代表作被收录在《新古今和歌集》。藤原在日记《明月记》中写道：平安时代末期天喜二年（1054年），以当时的日历算是5月11日～20日的夜晚，看到了一颗和木星同等亮度的星。后来经调查得知，这颗明亮的星，是M1（蟹状星云）的超新星爆炸状态。

捕捉超新星放出的中微子

大质量恒星发生超新星爆炸的时候，会释放出一种叫作中微子的粒子。中微子以光速运动，质量不到电子的万分之一。它最大的特征是不与任何物质发生反应，遇到任何物体（比如我们的身体或地球）都能直接通过。

小柴昌俊博士关于中微子的研究取得了成果并在2002年荣获诺贝尔物理学奖。小柴博士首次捕捉到了大麦哲伦星系中出现的超新星产生的中微子。

在测定时，为了避免其他宇宙射线的影响，在岐阜县神冈矿山地下1000米深处设置了一个巨大的水槽和用于探测中微子发出的切连科夫辐射荧光的探测器（光电倍增管）。

1996年起，探测数量超过神冈探测器70倍以上的超级神冈探测器开始投入使用，并由此发现了中微子是具有质量的。

“流浪地球”会成真吗？

类似地球的红色行星

紧邻地球轨道外侧的第一颗行星就是火星。从地球上看到火星是红色的，这是因为火星地表被富含赤铁矿（氧化铁）的岩石覆盖着。火星直径约为地球的一半，质量约为地球的十分之一。

火星的自转周期和地球相近，为24小时37分，而绕太阳的公转时间为687天。此外，火星的自转轴倾角为25度，和地球的相近，因此也有四季变化。

约46亿年前，太阳系诞生期间，围绕太阳旋转的气体和尘埃的圆盘中形成了高密度部分，以这些高密度部分为中心，直径为数千米的小行星就此诞生。随后，小行星之间反复碰撞，逐渐增大，最终形成了像火星、地球这样的行星。

虽然火星和地球是同一时段诞生的行星，但地球表面被丰富的水资源覆盖，而火星表面却是荒凉的沙漠。

改变地球和火星命运的是什么呢？

被认为最大的原因是星球大小的差异。火星的质量不到地球的十分之一，所以吸引大气层的重力只有地球的四分之一，水蒸气很容易逃逸到宇宙空间。火星的大气只有地球标准大气压的二百分之一。

火星也是“水的行星”？

以前的火星表面也富含水——这个观点自20世纪70年代以来一直受到重视。探测器的调查显示，火星表面上有的地方留有液态水大规模流动的痕迹。

科学家在相当于地球北极和南极的火星“极冠”和北极冠平原的火山口中都发现了冰块的存在。仅南极冠的冰块中蕴藏的水，几乎就可以覆盖整个火星表面11米，可见水量十分巨大。

此外，NASA于2004年送上火星的两台无人探测器“勇气号”和“机遇号”发现了火星上存在大量水的证据。

火星上存在没有大量水就不可能形成的硫酸盐矿物，以及带有波纹层的岩石也表明火星上曾经有过水流。

现在也有新的发现，如从火星内部喷出的液态水形成的堆积物痕迹等可作为证据。

基于以上原因，我们可以预测以前的火星上存在大量液态水，曾经历过温暖、湿润的时代。现在可以确认的是，在火星的地下以冰的形式继续储存着水。

也就是说，火星极有可能就是“水的行星”。水是孕育生命的关键物质。虽然也有某些研究者认为火星上存在类似细菌的生物，但目前大部分人持否认态度。

人类可以生存的唯一行星

你有没有听过外星环境地球化（Terraforming）这个词呢？

这个计划指的是，将现在生命体无法居住的行星改造成人类可以居住的、带有绿树青山的行星的宏伟计划。而作为后备星最有力的竞争者就是火星。

太阳到火星的距离是太阳到地球距离的1.5倍，所以火星表面接收到的太阳日照很少，改造的第一步就是需要使火星表面变暖。

对此有两种具体的讨论方案。

第一个方案就是，增加火星地表吸收的太阳光，使火星温度上升。比如，在火星附近的宇宙空间放置一面巨大的薄镜子去吸收太阳光，然后反射到火星的极冠上使冰融化。极冠处的冰融化后，大气中的水蒸气和二氧化碳就会增加，产生温室效应，这样一来就可以保持暖和的气温了。

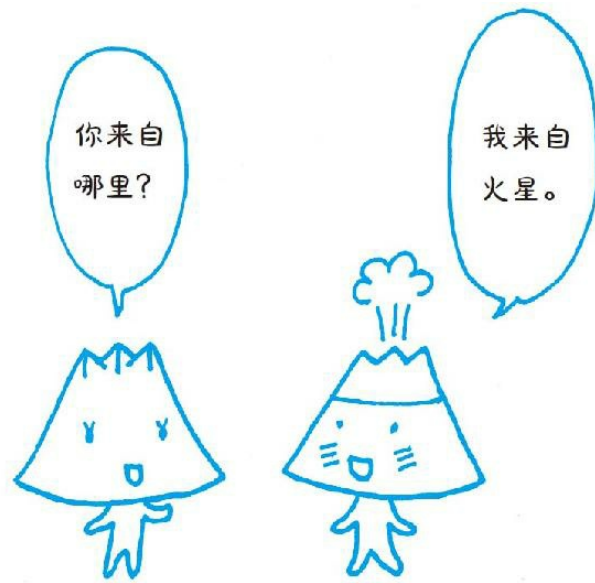
另一个方案就是，将覆盖火星表面的暗黑色碳质弄碎，并将其喷洒到火星表面，提高太阳光的吸收效率。

第二步要做的，就是将火星的大气改造为适宜生物生活的成分。现在火星的大气主要成分为：95.3%的二氧化碳、2.7%的氮气、1.6%的氩气。

针对这个问题，目前专家讨论的是可以利用藻类这种简单生命体来操作。藻类可以吸收二氧化碳进行光合作用，释放氧气。在火星大气变暖、稳定地存在液态水后引进这种藻类的话，也许可以使火星大气中存

在氧气。

想要顺利推行这个计划，就必须利用基因工程学来培育出光合作用效率较高的藻类。当这个超大项目“外星环境地球化”启动后，数百年后诞生在火星的地球人将不再是梦。



后记

日本现行的初中的理科分为物理、化学、生物和地理四个领域。现在的教育课程安排是：初一学习火山、地震、岩石和矿物；初二学习天气变化；初三学习地球和宇宙。初中是义务教育，所以日本的国民都要学习地理知识，但高中理科生选择地理的人很少。

大学读文科专业的学生，在参加入学考试时不需要考理科。而选择读理科的学生，在考试时基本都会选择考物理和化学或者生物和化学。在考试时选择地理的人屈指可数。导致这种情况的原因就在于，高中选择学习地理的学生太少了。

如果你读了此书觉得地理其实很有意思的话，那么请尝试系统地学习一下吧。在我的著书中详细总结了相关知识：有初中水平的《成人需要重新学习的中学地理》（SB Creative）和高中水平的《新版高中地理教科书》（讲谈社bluebacks）。

在撰写本书时，我屡屡感叹科学家也真的只是普通人而已。在研究的过程中，经常会出现自己的学说得不到认可、被别人欺骗深感羞耻的情况。但即使如此，科学家们依然前赴后继地去挑战大自然的未解之谜，也因此铸就了今天的科学。但谜团还是会一个一个出现，今后科学家们也会继续探究。

感谢中学、高中地理教师小林则彦老师对本书提供的帮助。小林老师目前也从事着《理科探险》（*RikaTan*）杂志的规划和编辑工作。该杂志重点普及理科的趣味性。能同小林老师一起展示地理的魅力，欣喜

不已。

此外，平贺章三老师（奈良教育大学教授）也对我的原稿有所指点，特此感谢。

左卷健男

参考文献

《纯朴科学史的99个谜题》：〔日〕市场泰男著，日本产业报杂志 Sanpo books1977年出版。

《探寻地球之谜》：〔日〕大冢道男，日本藤森书店1977年出版。

《地球的诞生与进化之谜》：〔日〕松井孝典著，日本讲谈社（讲谈社现代新书）1990年出版。

《愉快的科学课本生物·地理》：〔日〕左卷惠美子、〔日〕县秀彦著，日本讲谈社1996年出版。

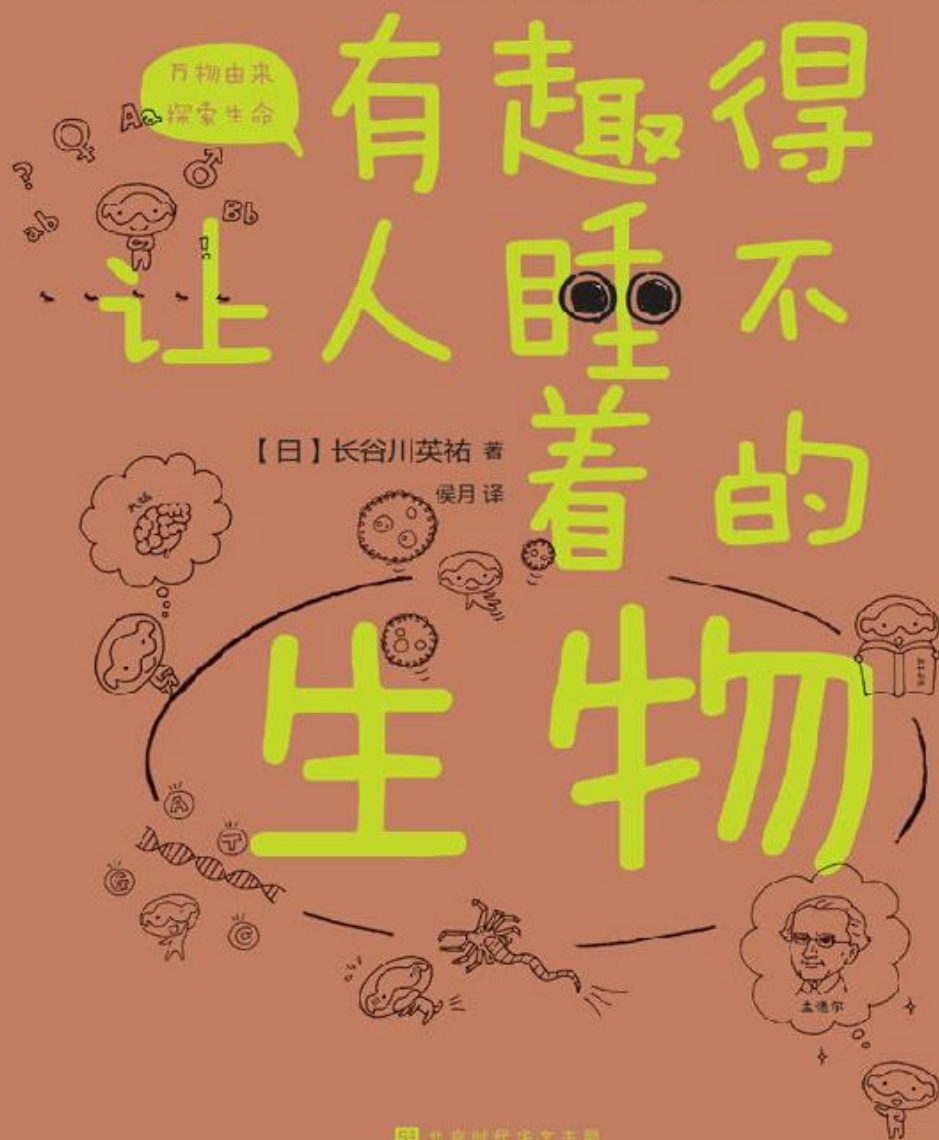
《新版高中地理教科书》：〔日〕杵岛正洋、〔日〕松本直记、〔日〕左卷健男著，日本讲谈社2006年出版。

《人类知道的一切短暂的历史》：〔美〕比尔·布莱森著，〔日〕榆井浩一译，日本广播出版协会2006年出版。

《冰河地球：雪球地球与生命进化的故事》：〔日〕田近英一著，日本新潮社新潮选书2009年出版。

《一本书看地球的历史和构造》：〔日〕山贺进著，日本beret2010年出版。

面白くて眠れなくなる生物学



关于作者

【日】长谷川英祐

进化生物学家。北海道大学研究生院农学研究院副教授，隶属于动物生态学研究室。1961年出生于东京，从小立志当一名昆虫学家。大学时研究社会性昆虫。毕业后进入民企，工作五年后赴东京都立大学研究生院学习生态学。主要研究领域是社会性的进化、形成集体的动物的行为等，尤其以对于不工作的工蚁的研究备受关注。爱好是看电影、汽车、钓鱼、读书、看漫画。著有《不工作的蚂蚁的意义》《如何在缩小的世界中存活？》等。

面白くて眠れなくなる生物学

有趣得 让人睡不着的 生物

【日】长谷川英祐 著
侯月 译

北京时代华文书局

图书在版编目（CIP）数据

有趣得让人睡不着的生物 / （日）长谷川英祐著；侯月译．--北京：北京时代华文书局，2019.7

ISBN 978-7-5699-3070-2

I．①有... II．①长... ②侯... III．①生物学—青少年读物 IV．
①Q-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第107834号

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2018-5390

OMOSHIROKUTE NEMURENAKUNARU SEIBUTSU-GAKU

Copyright © 2014 by Eisuke HASEGAWA

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2014 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

有趣得让人睡不着的生物

YOUQUDERANGRENSHUIBUZHAODESHENGWU

著 者 | [日] 长谷川英祐

译 者 | 侯 月

出版人 | 王训海

选题策划 | 高 磊

责任编辑 | 邢 楠

装帧设计 | 程 慧 段文辉

责任印制 | 刘 银 范玉洁

出版发行 | 北京时代华文书局 <http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印 刷 | 凯德印刷（天津）有限公司 电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开 本 | 880mm×1230mm 1/32

印 张 | 6

字 数 | 100千字

版 次 | 2019年8月第1版

印 次 | 2019年8月第1次印刷

书 号 | ISBN 978-7-5699-3070-2

版权所有，侵权必究

自序：生命存在的理由

大家都在高中学过生物学吧。课本上的内容一般是细胞、生殖与发生、遗传、刺激与动物的反应、内环境与体内平衡和环境与植物的关系，虽然生物课本中详细讲解了细胞的结构及其作用等内容，但很少提及每个部分之间的关系。

考试的时候出的题也都是“线粒体的作用是以下各项的哪一个？”“请回答柠檬酸循环中脱氢的数量以及会生成几分子ATP”等非常细小的问题。为了在考试中取得好成绩，大家不得不将书上的内容全部死记硬背下来。

与其他理科科目（物理、化学、地理）相比，生物课本很厚，很多人不喜欢生物学的原因之一就是需要背的知识点太多、太杂。确实，生物现象多种多样且十分复杂。生命基于物理、化学的基本法则进行活动，从拥有自主功能的生物到环境与生物体相互作用所产生的更高级别的生态现象都包含于生物学的范畴之内。生物学涵盖的范围极其广泛，这也是生物课本必须很厚的原因之一。

但同时生物还指的是约38亿年前出现于地球，经过漫长的进化最终变成现在多种多样的生命体。进化指的是按照某项原则变化的过程。因此，我们可以在物理、化学原理和进化的理论之下理解现在的生物多样性。

了解生物进化的原则并将物理、化学原则与生物现象相关联，就能轻松地理解生物多种多样的现象。人非常不擅长死记硬背，比如同样需

要死记硬背的历史学科中，在记忆日本镰仓幕府成立的年号时，用“创建一个好国家（1192）镰仓幕府”[\(1\)](#)这样的顺口溜去记忆就容易多了。

人的大脑容易记住有意义的事物。也就是说，即使是复杂繁多的生物学，只要掌握了其中的意义就能轻松地记住。现在的生物课本的主要内容是生物是如何形成的（How），但书中只是将知识点罗列下来，各个部分之间的关系并不明确。

科学有两大支柱，第一个是现象是如何发生的（How）。现代生物学起源于罗伯特·胡克发明了显微镜，他用自己制造的显微镜发现了植物细胞，现代生物学的大部分内容是研究生命现象是如何进行的（How）。因此生物课本也是围绕“**How**”来展开进行讲解。

第二个支柱是为什么会这样（Why），也就是说，为什么这样进行（Why）与如何进行（How）这二者的出发点是不同的，试图从Why的观点解释生物的就是查尔斯·达尔文的“进化论”。

直到达尔文的“自然选择学说”出现之前，人们都不知道为什么生物具有适应所居住的环境的性质。达尔文认为同种生物的个体之间存在微妙的性质差异，更适合环境的个体能够生存下去并繁衍出更多的后代，因此生物变得越来越适应其所生存的环境。

此时，更适应环境的生物被自然所选择，因此这个机制也叫作“自然选择”。用一句话来说，“更加有利的生物得以生存并繁殖”。“自然选择”学说的出现首次在神学论之外解释了为什么（Why）生物会向适应环境的方向进化。

后来的研究也进一步证实了，现实中的生物接受自然选择并向适应环境的方向进化，所以复杂的生物现象也是基于自然选择的进化而产生

的。因此从Why的观点来看，各部分之间的关系以及“某个现象发生的原因”都是有理由的。

知晓其理由就能清楚地理解生物所产生的各种现象以及各种现象产生的原因及结果了。

最初，生物并不像现在的人类一样拥有复杂的器官及控制各器官的系统，早期生命的结构应该比现在的细胞还要简单。生物从简单的结构慢慢进化为拥有复杂系统的生物，进而出现了多样的生物群。

生物利用之前存在的系统获得新的性质，在某些情况下，生物本可以采取更合理的方法，但生物实际采取的可能不是最优的方法。因此要理解现在的生物必须先了解生物的进化历史。

按照这个观点来整理生物学的话，会发现我们可以不用“死记硬背”而是去“理解”生物现象就能轻松掌握生物学知识。基于为什么（Why）会发生某种现象去记忆的话，记忆也会更加深刻。

简单来说，现在的生物课本没有一个贯通“进化”的轴，只是在单独地解释每个生物现象，这样自然无法基于生物现象的理论来有效地“理解”生物。

学问是一种基于有体系的理论从而理解所调查的现象的行为。从这一点来看，现在的生物课本虽然写的是生物，但并不是生物“学”。

本书介绍了如何基于物理、化学及进化的基本法则“理解”各种生物现象。目标读者是学过生物学或正在学习生物学却找不到窍门的人。

生物学不是只能去死记硬背。

生物学是一种基于物理、化学及进化的原则形成的统一现象，所以在理解其原理之后再学习生物学的话，就会轻松很多。

本书有很多作用，但我个人希望本书能帮助到那些对生物学习感到很痛苦的人。当然我本人也因为本书所讲的生物学现象而喜欢上了生物学学习。

另外，我还希望本书能帮助对生物学感兴趣的人深层次地理解生物。

[\(1\)](#) 日语原文是“いい国（1192年）つくろう鎌倉幕府”，其中“好国家”与“1192”谐音。（译者注）

目 录

[自序：生命存在的理由](#)

[Part 1 生物的合理行为](#)

[生命的诞生是只有一次的奇迹](#)

[无法传递的物质不会存留下来](#)

[生物的合理结构](#)

[DNA为什么是双螺旋结构](#)

[DNA的故事之一：遗传信息的双重保护](#)

[DNA的故事之二：碱基对与梯子理论](#)

[DNA的故事之三：A-T、G-C组合的原因](#)

[遗传物质为什么是DNA](#)

[酶的作用：蛋白质的利用](#)

[细胞的诞生：自动形成的磷脂双层膜](#)

[细胞的合体：叶绿体和线粒体](#)

[基因组的战争](#)

[制造能量之一：为什么酶促反应在水中进行](#)

[制造能量之二：为什么电子传递链固定于膜上](#)

[Part 2 想与人分享的生物故事](#)

[植物为什么是绿色的](#)

[细胞间的合作](#)

[蜂为什么会合作](#)

[器官的形成](#)

[你想变成哪个器官](#)

[超个体的诞生：集体的高效化](#)

[没有智慧的细胞也能创造组织吗](#)

[Part 3 有趣的生物学](#)

[蚂蚁为什么会做出最佳选择](#)

[大脑和蚂蚁很相似](#)

[人和蜜蜂都会抑郁](#)

[遗传：概率和偶然的生物学](#)

[分离比的故事](#)

[性出现的理由](#)

[为什么有雄性和雌性](#)

[世代交替、核相交替与外星人](#)

[雌雄之战](#)

[雌雄不同种：雄性生雄性、雌雄生雌雄的生物](#)

[战斗，还是逃跑？](#)

[后记：知其因寻其果](#)

[返回总目录](#)

Part 1

生物的合理行为

AG
TC

生命的诞生是只有一次的奇迹

生物的共同特征

生命是什么？

活着究竟是怎么一回事？

知晓其答案也许就是生物学的最终目标，然而想得到一个完美的答案几乎是不可能的。但是我们所认为的“生物”大多数都有共同的特征：

1. 由叫作细胞的最小单元构成；
2. 从外部摄取物质进行代谢；
3. 繁殖；
4. 可以将自身携带的遗传物质遗传给后代，等等。

病毒这种种群具有遗传物质并能进行繁殖，但它们不能进行自主代谢，而是利用其他细胞的代谢系统来合成遗传物质进而繁殖下一代。在现代生物学领域中，关于病毒是否为生命这一问题，不同的学者对此有不同的看法。

如果考虑生物与非生物的界限的话，现代生物学能做到的仅仅是知道某种化学反应不是生物，而加上某种反应之后就是生物。

于是问题来了，加上哪种反应才算是生物呢？关于这一问题没有一个答案能够让所有人认同。如果有的话，那么病毒是否为生物这一问题早已得到解决了。

分类方法因人而异，无法统一。

可能会有人说用上述特征1~4就能定义生物，但比如说狮子和老虎的后代狮虎兽或虎狮兽虽然不能繁殖，可没有人认为它们“不是生物”，所以上述定义不能完全涵盖我们所认为的“活物”。先不管病毒或狮虎兽如何，这里我们将生物定义为“具有遗传物质能够繁殖、具备代谢系统的生命体”，简单来说就是自立、能繁殖的生命体。

现代生物学认为生命只有一次起源，早期生命不断进化，最终变成现在我们看到的多种多样的生物。现代生物学为什么这样认为呢？其中一个理由就是“遗传信息创造生物体”的机制在所有生物之间都是共通的。

除一部分病毒外，已知的所有生物的遗传物质都是脱氧核糖核酸（DNA）。“核苷酸”这种化学物质排列成长链从而形成DNA。每个核苷酸含有一个碱基，核苷酸的碱基有“腺嘌呤（A）”“鸟嘌呤（G）”“胞嘧啶（C）”“胸腺嘧啶（T）”四种，DNA链由这四种碱基排列而成。

构成蛋白质的氨基酸的种类

遗传信息写在长链的什么地方呢？要想回答这个问题我们必须先了解蛋白质。生物体的大部分物质都由蛋白质构成。和DNA一样，蛋白质也具有长链结构，但与DNA不同的是蛋白质由一种叫作氨基酸的化学物质形成链式结构。

另外，在所有的氨基酸中，只有二十种氨基酸可以构成蛋白质。我们都知道繁殖时遗传给下一代的不是蛋白质而是DNA。DNA上的碱基所携带的信息可以转换为对应的氨基酸序列，读取写入DNA的全部信息来合成蛋白质的这一过程，即通过DNA合成蛋白质的过程称为“遗传信息的表达”。

碱基有四种，氨基酸有二十种。仅凭一个碱基无法对应二十种氨基酸，只能对应四种氨基酸。假设两个碱基一组对应一个氨基酸，共有四的二次方，也就是十六种组合，来计算也只能对应十六种氨基酸，因此最少需要三个碱基为一组才能对应二十种氨基酸。

那么哪种碱基组合对应哪种氨基酸呢？我们通过以下实验进行了确认。

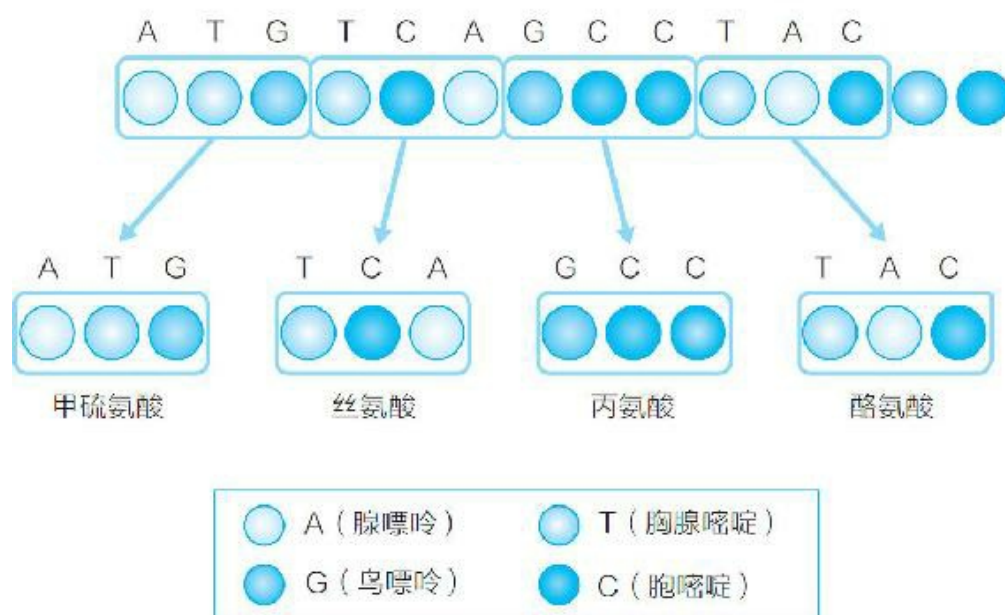
人工制作一条排列为AAAAAAAAA的DNA，表达后得到了一条排列为赖氨酸—赖氨酸—赖氨酸的氨基酸链。

但是这样无法判断对应一种氨基酸的是三个碱基还是四个碱基，于是接下来制作一条排列为ACCACCACC的DNA，即该DNA中每个碱基组合里有三个碱基，其中一个是不同的碱基，表达后得到了一条排列为苏氨酸—苏氨酸—苏氨酸的氨基酸链，从而可以看出三个碱基对应一种

氨基酸。

为什么是三个碱基对应一种氨基酸呢？如果是四个碱基对应一种氨基酸，则AAGAAGAAGAAGAAGAAG这一排列应该读取为AAGA—AGAA—GAAG—AAGA，即氨基酸的排列应该变成氨基酸1—氨基酸2—氨基酸3—氨基酸1—，但如上所述，实际上得到的是相同氨基酸的排列，其数量是三个碱基对应一种氨基酸时的数量。

因此只有一种可能就是“三个一组的碱基对应一种氨基酸”。具体请参照图1。接下来要做的就是调查哪种三个一组的排列（密码子）对应哪种氨基酸了。



◆图1

科学家们通过不断努力调查出了四的三次方即六十四种密码子所分别对应的氨基酸。调查的结果是发现六十四种密码子对应二十种氨基酸以及表达开始、表达结束共二十二种氨基酸。虽然六十四比二十二大，但科学家们同时发现所有密码子均有相对应的氨基酸等，不存在空对应

的密码子。

解读密码子表

密码子表是表示密码子与氨基酸的对应表，想必大家在生物学考试的时候一定遇到过哪个密码子对应哪种氨基酸这样的问题吧。

之后，科学家们针对各种生物进行了密码子表的解读，结果发现几乎所有的生物都是相同的。所有生物的蛋白质均由20种氨基酸构成，这说明生命只有一次起源，并由此分化而成现在的状态。

另外，所有生物的细胞膜的结构均相同，这也是生命只有一次起源的证据之一。当然不能否定另外一种假说，即生命有两次以上的起源，由于某种原因而得到了现在我们看到的共性，但是目前还没有证据显示生命有两次以上的起源。

存在多个可能的假说时.....

科学中存在“最大简约原理”，即当存在多个可能的假说时采用最简单的假说，并且直到出现能推翻该假说的证据之前一直采用该假说。科学中的事实指的是现在采用的假说，但并不能保证是否真的正确。

不管如何，现在的证据显示生命只产生一次并由此不断进化，所以可以解释为存在一个贯通所有生命的原理，各种生物现象在此理论之上而成立。

无法传递的物质不会存留下来

稍微不同就会变得恐怖

我们所理解的“活着”的生物为了从外部摄取能量进行代谢并维持自己这一系统而进行自律活动。这是所有生物都具备的性质，人类在进化的过程中认为这就是“生物”。

这是因为如果人不认为这就是生物的话，就很可能因缺少危机意识而被其他生物吃掉，这对于生存来说非常不利。从“有利的东西得以进化”这一大原则来考虑的话，可以说我们认为“某种东西是必然的”这种思想也是进化的一个结果。

人类经常把非生物认作生物。比如说有人把索尼制造的动物型机器人AIBO以及最近的非真实人形机器人当作活着的。

顺便一提，这些机器人在不断拟人化的过程中，当经过某一点之后就会变得十分恐怖，这个点也叫作“恐怖之谷”。也就是说，“有很大不同”不会让人感到恐怖，而“稍微不同”会让人感到十分恐怖。

再比如说应该没有人认为狮子和老虎的后代狮虎兽或虎狮兽等混血动物不是生物吧。这是因为它们都是从外部摄取能量并进行自律活动的个体。

狮虎兽和机器人等不能繁殖后代，尽管如此，我们依然认为它们是生物。那么对于生物来说繁殖的意义究竟是什么？

现在已知的所有生物使用DNA（一部分病毒使用RNA＝核糖核酸）将自己的遗传信息传递给下一代。比如说，一个细菌分裂成两个，

并将分别复制的遗传信息传递给下一代从而变成两个个体。包含人类在内的具有雄性和雌性的有性生殖生物通过卵子和精子的结合从而将母亲和父亲的遗传信息传递给下一代。新的个体基于接受的遗传信息形成身体、进行代谢并作为新的生物开始活动。

即，对于生物来说，繁殖是指创造新个体，并为此将具有遗传信息的遗传物质传递给该个体从而传递生命活动的行为。传递遗传信息是指传递为生存下去而进行代谢活动的方法，这对于生命来说十分重要，但遗传信息的传递在生物学上有更重要的意义，即进化仅发生于有遗传信息传递的生物。

皮卡丘是变态？

进化指的是生物的性质随着时间迁移而变化的过程。《口袋妖怪》这部动画片中，皮卡丘的能力随着自身的成长而不断发生变化，节目中把这个现象叫作“进化”，皮卡丘幼年叫皮丘，成年叫雷丘。但随着成长而产生的能力的变化在生物学中不叫进化，生物学中的进化指的是跨越世代并出现以前从未存在的东西。

皮卡丘的“进化”是每个世代重复出现的变化，这在生物学上叫作“变态”。变态发育还可以列举出蝌蚪变成青蛙。但是，遗传信息决定生物的性质，如果该遗传信息在世代间传递时渐渐发生变化，那么下一代可能会出现从未存在过的新的性质。这才是生物学所说的进化。

DNA或RNA含有四种碱基，这四种碱基的排列顺序决定了遗传信息的种类，DNA或RNA会复制原来的排列顺序并传递给下一代，但有极低的概率会发生复制错误，因此复制品和原本的模板不一定完全相同。

因此，现存的生物均能发生进化。需要注意的是，如果复制的遗传物质经过好几代之后依然与最初的遗传物质相同，那么这就是没有发生进化，进化只有在不完全复制核酸的碱基排列时才会发生。

为什么所有生物都会进行不完全的遗传信息的传递呢？这也是有理由的。

达尔文的自然选择学说中推测，如果遗传的性质发生变异，且该变异对于个体来说更加有利，那么这种有利的特征在世代间出现的频率会逐渐增大，最终会仅留下这种有利的特征。因为生物的遗传物质会逐渐

发生变化，所以每一代都会在集体中出现新的特征。

因为其中也会存在更加有利的特征，因此以核酸为遗传物质的生物会逐渐进化为适应环境的生物。这样的话，即使存在“不进化的生物”——遗传物质完全不变化或不繁殖也不会死的生物，如果其与进化的生物进行长期竞争，也一定会因适应环境能力差而在竞争中失败。

所以即使假设以前存在过“不进化的生物”，也不会在竞争中胜利并活下来。像漫画中出现的不死生物必须是万能的，否则就不会在竞争中胜利并活下来，能做到这样的恐怕只有神了吧。

目前认为最初的生物的遗传物质是RNA，后来变成了稳定性高的DNA。现代生物学认为DNA之所以进行不完全复制是因为其受到了物理、化学的界限的限制，不发生复制错误的系统无法进化，并且不能在竞争中获胜。如果所有事都有理由的话，那么生物就是故意选择会犯错的系统来确保自己能延续下去。不管怎样，繁殖是连接世代的行为，因为有繁殖生物才能进化。总结一下，发生进化的条件有三个：

1. 在世代间传递信息（遗传）；
2. 传递的信息不完全相同（变异）；
3. 变异体之间存在增殖率相关差异（选择）。

其中，只要有条件1和2就能发生进化，具备条件3的话就开始适应环境。这三个条件均满足的话即使非生物也会发生进化。

比如说大家小时候玩过的“传话游戏”，首先需要口头传递文章（遗传），然后中途产生错误（变异），最后的文章的内容发生变化，所以这个游戏才有趣。这正是语言的进化。

这里说的是：进化不是生物的特异性现象，而是生物兼备上述三个条件才会发生适应性进化。

不满足这些条件就不会进化，因为有了进化所以才会竞争中胜出、进而生存下来的生物们一定具有“遗传”这一系统。这样一来，大家就能理解为什么遗传是生物学中十分重要的一部分了吧。另外，遗传物质传递给下一代时，下一代必须从头到脚完全具备遗传信息，否则就无法存活下去。

遗传的机制根据生物种类不同而不同。比如，细菌等生物将现有的遗传物质复制成两份，并分别放进分裂成两份的身体内，从而复原与原来的亲代相同的状态。但是，像人这样有雄性和雌性的生物拥有两组全部的遗传信息（基因组），在传递遗传物质时会将其中一组传递给卵子或精子，通过受精再次变成两组从而恢复为与亲代相同的状态。

生物自诞生以来一直基于遗传系统进行适应性进化。另外，因为生物是由物质构成的，因此也会受到限制。

因此，要理解生物发生的现象就必须基于进化去思考和理解，另外所使用的物质的化学制约、身体强度等物理行动的界限制约了生物的存在方式。

这种制约条件随着进化而不断变化，因此生物所表现出的现象也变得多种多样。即使这样，这种物理、化学的制约以及进化的原理仍然是生物共通的原则。

生物的合理结构

决定头发颜色的基因

在进行遗传时，如果复制发生错误，则一定会发生进化。有遗传、变异的系统中会通过非常单纯的机制发生进化。

比如说，包含人类在内的二倍体生物的细胞内有两个基因组，并且分别有两个制作某蛋白质的基因，繁殖时将其中一个传递给卵子或精子，卵子和精子结合（受精）后基因再次变成两个。所有二倍体生物都采用这种方式进行繁殖。

以决定头发颜色的基因为例，假设使头发为黑色的基因为B、使头发为金色的基因为G。如果父母双方都是BG型基因的话，母亲提供的卵子中B和G的比例为1：1。父亲提供的精子中的比例也是1：1。此时将父母双方的基因合起来的话就变成有两个B、两个G，B和G的概率都是0.5。

这一对父母的下一代的基因如表1所示。

表1

		卵子的基因	
		G	B
精子的基因	G	$\frac{1}{4}$ GG	$\frac{1}{4}$ BG
	B	$\frac{1}{4}$ BG	$\frac{1}{4}$ BB

也就是说，下一代的基因的比例为BB：BG：GG=1：2：1。如果他们生育了很多子女的话，那么子女中B和G的频率为1：1，与上一代相同。

但是如果只生育一个子女的话，那么这个子女为BB的概率是四分之一，为GG的概率也是四分之一，所以子代中某个基因消失的概率为二分之一。群体遗传学中把亲代和子代的基因频率的改变叫作进化，因此会以如上概率发生进化。

卵子或精子所具有的基因是随机的，因此从概率上来说一定会发生变化。此时变化的发生与头发是黑色有利还是金色有利无关。也就是说没有进化的第三个条件——“选择”——也会发生进化。

这个机制是在达尔文的自然选择学说之后，被日本的遗传学家木村资生博士发现的。木村博士将此命名为“遗传漂变”，他认为该机制是与“自然选择”不同的进化，但是该学说最初受到了达尔文进化论支持者的激烈攻击。

木村博士坚持自己的主张并逐渐搜集证据，如今该学说已经和自然选择并称为进化的两大机制。从理论上来说遗传漂变不完全正确，而且新发现总是不容易被人们认同。

达尔文提出的学说

遗传漂变确实会引起进化的发生，但是这说明不了“为什么生物会发生适应环境的进化”。遗传漂变认为进化的结果具有不确定性，并且与该性质是否有利无关。说明该学说的关键在于理解“选择”。

大家都知道生物具备适应所居住的环境的性质。但以前人们无法解释为什么会这样，因为过去几乎没有科学的解释，而是把生物的适应性归功为神的力量，也就说是过去人们认为神把所有的生物创造为适应其所居住的环境的形态。

达尔文所生活的时代认为生物自古以来一直以现在的形态生存，并认为随着时间而发生变化是对神的亵渎。1831年，达尔文登上了赴南美洲的勘探船“贝格尔号”前往加拉帕戈斯群岛。在那里他发现了在岛上生存的各种生物。

加拉帕戈斯群岛远离大陆。他发现每个岛上生存的雀类以及象龟的形态各不相同，并且都是适应其生存的环境的形态。比如说在一个岛上，雀类以坚硬的树籽为主食，它们的喙像钳子一样非常厚；在另一个岛上，象龟食用仙人掌坚硬的下部，它们的龟壳前部凹陷以便脖子能向上伸展。

当然这也可以理解为神的用心良苦，但达尔文看到这些动物后想到了另外一种可能性。加拉帕戈斯群岛远离大陆，所以雀类和象龟应该不可能往返于大陆，更可能是它们到了岛上之后来往于各个岛之间。这样的话，龟类和雀类变成了适应每个岛的环境的形态。

并且当时上流社会流行改良鸽子品种，于是达尔文联想到了从具有

多个特征的个体中选出具有某个特征的生物，通过使其重复交配就会得到明显具备该特征的品种。

在进行品种改良时，人类选择生物并使其交配，如果自然进行选择的话，那么生物就会自然地进行进化了吧？还差一点。生物所养育的子女并不一定全部都会长大，大多数生物还未长大就会死掉。

结合这一事实和某种生物的个体间存在多种特征的个体差异的情况来看，某生物所生存的环境中，某个体应该经常需要和其他个体竞争并会出现伤亡。比如说具备跑得快等容易存活下去的性质的个体，其存活率远高于不具备该特性的个体，并且能够留下更多的子代。其子代应该也具备跑得快这一性质，所以该种生物整体就会逐渐变成全是跑得快的个体。

像这样，具备适应环境的性质的个体经常被自然选择，生物也会向具有适应环境的性质的方向变化。这就是基于生存竞争的自然选择的发现。

《物种起源》引起巨大轰动

达尔文非常慎重，他在公布自然选择学说之前观察了许多生物来验证自己的学说是否能解释进化，直到晚年才公布了该学说，并总结于著名的《物种起源》中。还有一种说法是他听朋友说有一位年轻博物学家阿尔弗雷德·华莱士，向英国的学会杂志投稿了一篇基于完全相同的想法的进化论，于是达尔文急忙公布了准备好的原稿。

不管怎样，自然选择学说引起了巨大的轰动。

自然选择学说排除了神的力量，解释了适应性进化，这对当时以教会为权威的英国来说是个大问题。当然教会非常无趣，认为人是神选中的特别的生物，作为万物之灵长存在于其他动物之上，如果基于自然选择学说的进化论是真的话，那人就变成从猴子进化而来的了。

当时，报纸甚至刊登了将达尔文的脸放在猴子的身体上等讽刺画。后来骚动越来越大，终于到了教会和进化论者“对决”的那一天。由于当时达尔文疾病缠身，他的朋友赫胥黎代替生病的达尔文和教会派出的威尔伯福斯大主教在民众面前进行了“对决”。

大主教说：“大家想一想，如果进化论是真的话，那我们人类就是从丑陋的猴子进化而来的了，大家能认同吗？”赫胥黎则回应道：“如果大家不认同从理论上来说正确的东西，那还不如丑陋的猴子。”

进化论和雀类的喙

据说，当时对教会心存不满的民众对赫胥黎鼓掌欢呼以表示赞同。从此进化论逐渐被大家认知，自然选择学说也逐渐被大家接受。

自然选择学说是非常简单的假说，其主要内容是只要聚集了遗传、变异、选择就会自动向适应环境的方向发展。仅此而已。因为理论上并不矛盾，所以剩下的问题就只是验证生物是否真的是这样进化的。

想要调查这一点非常难，到了20世纪才出现了几个有力的证据，其中一个就是对加拉帕戈斯群岛的雀类进行的研究，通过调查每个岛每年种子的硬度和雀类的喙的厚度，发现若种子的平均硬度随着环境的变化而变化，则第二年雀类的喙也会变化为适应该硬度的形态，这也说明“不适应种子变化的鸟容易死亡”。

这正说明了当自然环境变化时只有适应该变化的生物得以存活，进而发生适应性进化。之后几种生物也表现出了适应环境的进化，到现在已经几乎没有怀疑自然选择的人了。这真是值得庆祝的一项科学成就。

据说生物已存在于这世上38亿年。生物具有遗传和变异的系统，并在环境中生存。

这样的话，现存的生物全部经过了38亿年的适应性进化。从适应性进化这一基础轴来思考的话更容易“理解”现在的生物所表现出的各种现象。

遗传、变异、选择
是自然选择学说的
重点。



DNA为什么是双螺旋结构

沃森和克里克提出的双螺旋

负责“遗传”的物质是DNA，发现DNA结构的詹姆斯·沃森和弗朗西斯·克里克，因此获得了诺贝尔生理学或医学奖，他们发现的结构就是“双螺旋”。

图2-1表示了DNA的结构。

DNA为长链结构，由叫作“核苷酸”的物质连接而成，连接方式为核苷酸的五个碳连成的五角形的结构（五碳糖）中第五个碳连接于下一个核苷酸的第三个碳。一个核苷酸会向外突出A、G、C、T的其中一个，然后有另一条反向的核苷酸链与该碱基相对，两条链上的碱基部分互相配对。

也就说DNA就像一条条长梯子，碱基对的部分就是阶梯。此时，如果一侧是A的话，那么另一侧与其配对的一定是T，如果一侧是G的话，那么另一侧与其配对的一定是C。之后再告诉大家为什么是这种结构。

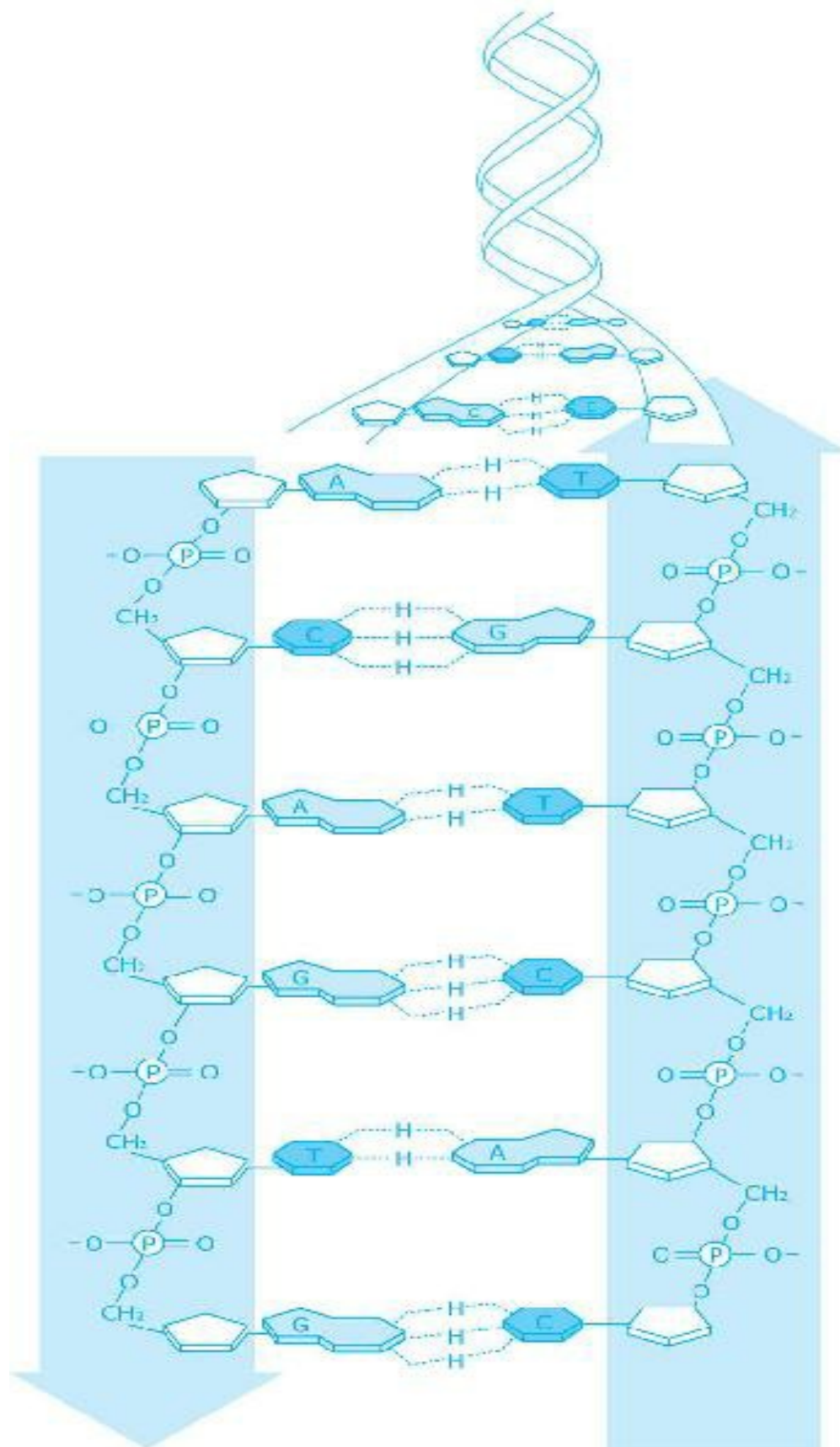


图2-1

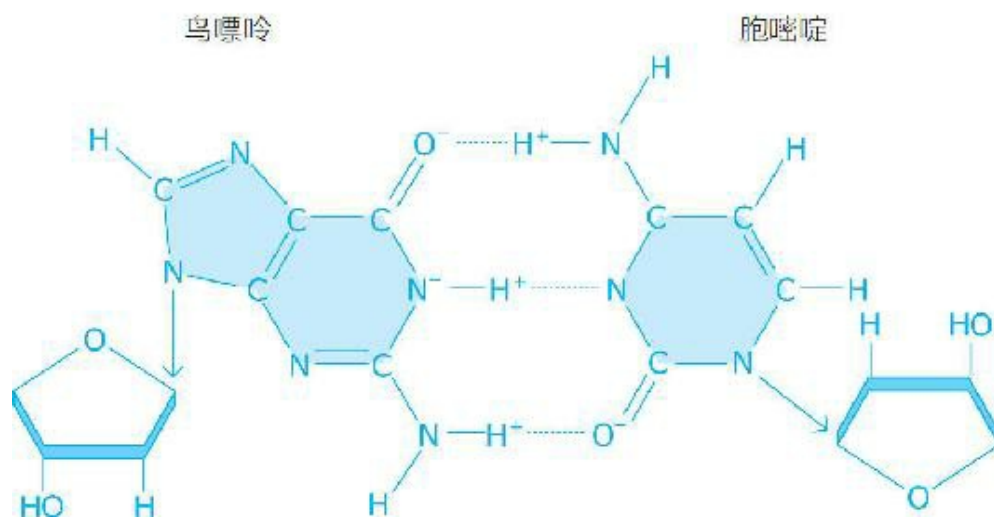
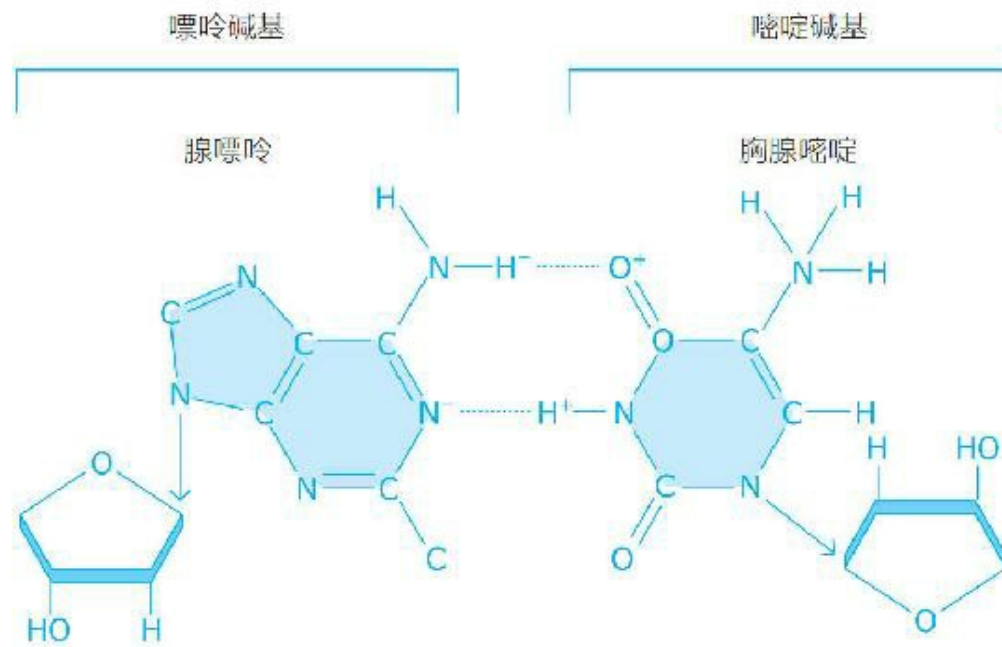


图2-2

扭转的核苷酸链

核苷酸链为螺旋状，其结构与梯子不完全相同，核苷酸链的两条螺旋之间存在一定间隔并且一直螺旋下去，所以才叫“双螺旋”。大家可以想象一下拿着梯子的两侧并扭转的样子。

这在生物学上属于必考点，大家考试的时候一定遇到过吧。这时候可能有人会问为什么要扭转？像梯子一样直的不行吗！确实不行。

核苷酸的主体部分五碳糖为五角形，所以与其他五碳糖连接时连接处不可能是180度，必须存在一定角度。有一定角度的连接持续的话就会变成周期性的螺旋。

DNA所携带的蛋白质的设计图（基因）的长度通常来说大约有数百到2000个碱基，双螺旋结构更加稳定。从某种意义上来说，DNA在化学物质层面上具有最合适的状态。

双螺旋结构能保证DNA发挥重要作用，具体内容请见下一节。



沃森



克里克

沃森和克里
克提出了
“双螺旋模
型”。



DNA的故事之一：遗传信息的双重保护

不可或缺的遗传信息

DNA的碱基序列携带有制造蛋白质的遗传信息。DNA为双螺旋结构，两侧具有碱基序列，遗传信息蕴藏于其中一侧，而另一侧碱基序列相当于遗传信息的保护盖，但它的作用又不仅限于保护盖。

正因为有遗传信息，生物才能形成身体并进行代谢，也就是说遗传信息不可或缺。因此只有尽量不缺失遗传信息才能生存下去。遗传信息发生变异或缺损，易导致生物无法存活，因此这样的基因会被淘汰。

那么DNA是如何保护遗传信息的呢？现在学术界认为，最初的生物的遗传信息不是DNA，而是没有保护盖的单链即RNA(核糖核酸)。RNA链的结构与DNA的单侧的链基本相同，不同点是，DNA中的核苷酸的核心五碳糖中连接氢H的部分在RNA中连接的是氧和氢结合的羟基。

另外，DNA的组成碱基是ATGC，而RNA的组成碱基是AUGC。虽然只有这两处结构不同，但导致了DNA和RNA最大的不同之处：其作为物质的稳定性。

与DNA相比，RNA非常易分解，这是因为连接于DNA的五碳糖部分的H基的化学稳定性高，而连接于RNA的相同位置的羟基则容易与其他物质发生反应。

RNA易分解还有一个理由。寄生于细菌并增殖的病毒的遗传物质为RNA，细菌为了分解入侵的病毒RNA，而合成很多用于破坏RNA的蛋

白质（酶）。因此，RNA在体外极易分解，即使是在提取核酸的实验中也要十分仔细，以防RNA分解。

使用DNA来保护遗传信息的第一个理由就是DNA不易分解。如果轻而易举就能分解的话，那么遗传信息也会随之消失，这对于生物来说是致命的。遗传信息从最初的RNA变为DNA，是为了提高遗传信息安全性的适应性进化。

基因的保护盖

DNA比RNA能保护遗传信息还有一个原因，即只有DNA具有保护基因的保护盖。DNA为双螺旋结构且碱基对互补（A—T、G—C），从实质上来说相同的信息存在于两条链上。虽然DNA只有单侧的链的信息作为基因翻译成蛋白质，但保护盖上也存在相同的信息。

DNA在“翻译”时会将两条链解开，只传递其中一侧的链的排列顺序。此时，即使传递的链由于某种理由而丢失了，只要起到保护盖作用的部分还在，就能复原最初的信息，而只有一条链的RNA永远无法做到这一点。

如上所述，起到生命的设计图作用的遗传信息被DNA双重保护。

DNA的故事之二：碱基对与梯子理论

DNA的侧边和阶梯

DNA为双螺旋结构。此时，DNA一侧的链由以五碳糖为核心的“核苷酸”连接而成，两条链之间形成碱基对。DNA就像扭转的梯子一样呈螺旋状。

三个碱基对应一种氨基酸，一个蛋白质由数百个氨基酸连接而成。也就是说合成一个基因需要的碱基对的数量是其三倍，因此DNA只有为长链才能发挥其作用。

像RNA那样的单链可以无限延长，但双链却不行。想要变长要满足一定条件，这就是“梯子”。想要变长同时还要保持稳定就需要两侧的链以固定间隔排列。现实中的梯子除A字梯之外，都是两个侧边平行排列，中间有固定长度的阶梯横跨两个侧边。

DNA从数学角度来看必须是这种结构，理由是要用两条侧边来形成很长的结构的话，两个侧边“必须平行”，因为如果不平行的话就会相交，从而无法变长。

DNA可以无限延长？

DNA中发挥侧边作用的是核苷酸链，发挥阶梯作用的是碱基对。核苷酸链为螺旋状，两条螺旋互相平行，因此两条核苷酸能一直保持相同间隔延长下去。

另外，发挥阶梯作用的碱基对中，有五个碳的五角环形化学结构与由六个碳构成的六角环结合而成的嘌呤碱基（A、G）和仅由五角环构成的嘧啶碱基（C、T）一定相对，因此核苷酸链才能一直保持固定的间隔（参照第27页图2—1）。

碱基对的组合一定是A—T、G—C。嘌呤碱基和嘧啶碱基配对从而阶梯才能一直为固定间隔，因此才能完成“梯子理论”。这样从原理上来说DNA可以无限延长。

现实中，有的生物的全部遗传信息仅存在于一条双螺旋DNA中。遗传物质DNA之所以能携带遗传信息，是因为DNA能实现遗传信息所需的长度。



DNA的故事之三：A-T、G-C组合的原因

A、G、C、T—四个碱基

DNA结构中，两条相对的核苷酸链各伸出一个碱基，两个碱基在其间相连。此时，A、G、C、T四个碱基中，配对方式一定是A—T、G—C。

A和G是嘌呤碱基，T和C是嘧啶碱基（参照第28页图2—2），嘌呤碱基比嘧啶碱基长。梯子要想平行延长阶梯的长度就必须全部相同，因此为保持固定间隔需要嘌呤碱基和嘧啶碱基配对。那为什么不是A—C或G—T呢？当然是有理由的。

碱基对的碱基之间的结合与普通化学物质的元素之间的结合不同。普通的结合叫共价结合，两个分子的一部分通过共享电子从而形成一个化合物。在表示化学物质的结构的图中这种结合用“线”表示，因为结合的力度很强，所以基本不会分开。

A—T、G—C配对的理由

碱基对之间的结合不是共价结合，而是带正电荷或负电荷的末端元素相对，从而通过分子间力互相吸引的氢键连接在一起。带正电荷的元素吸引带负电荷的元素，二者通过吸引力连接在一起。但是该吸引力非常弱，需要带正负电荷的元素十分接近，才能发挥作用，该原理与互相远离的磁铁不会吸引在一起相同。

碱基对用氢键连接——这就是只能A—T、G—C进行配对的原因。请看第28页图2-2。从反向的核苷酸突出的两个碱基互相配对。

使用这种组合的话，在反向配对时，与末端带正电荷的元素相对应的是带负电荷的元素。如果是A—C、G—T配对的话，就会出现正电荷对正电荷，负电荷对负电荷的情况，因此无法产生吸引力。只有A—T、G—C组合时才能产生吸引力，并产生氢键。也就是说，需要碱基对形成的氢键来维持DNA双链结构，因此只有A—T、G—C这种配对形式才能满足上述需求。

另外，只有碱基对之间使用氢键还有其他理由，氢键是一种较弱的键，吸收热量等能量时很容易断裂，考虑到DNA的功能，这一点很重要。

DNA携带的遗传信息就是碱基的排列方式，因此DNA必须能在必要时解开双链并读取碱基的序列。这时就要用到氢键，氢键与共价结合不同，用很少的能量就能断裂。

另外热能不会使共价结合断裂，因此用共价结合的方式连接的核苷酸，能使双螺旋中具有遗传信息一侧的碱基序列，维持为以序列的形式

被读取的单链形式。双链能保护遗传信息还能使其在必要时断裂——能满足这一矛盾的要求的就是用氢键连接碱基，并且配对方式必须是 A—T、G—C。

“理解”而不是“记忆”

生物在分子级别的功能也十分完善，虽然不清楚这是不是适应性进化的结果，但DNA的结构也能从生物进化的观点理解。

我在大学时第一次理解了这个结构时，除了感动还有后悔。如果早点知道的话，我就不用死记硬背什么“嘌呤”“A—T、G—C”了……

在高中学习生物学时，老师让我们记住碱基对是嘌呤碱基和嘧啶碱基的组合，并且配对为A—T、G—C。单纯地去背诵的话简直比念佛经还要费劲。但是如上文所讲的那样，能理解“为什么一定是嘌呤碱基和嘧啶碱基的组合，以及为什么一定是A—T、G—C的组合”的话，就会自然而然地将知识点记住了。

遗传物质为什么是DNA

DNA和RNA

除一部分病毒是RNA以外，其余生物的遗传物质都是DNA。因此大家认为早期生命的遗传物质是DNA。但是如果DNA是早期生命的遗传物质的话，就无法解释生命的进化，这是为什么呢？

现在的生物将存在于DNA的碱基序列翻译成蛋白质。蛋白质作为催化体内必需的化学反应的酶，是维持生命活动不可或缺的物质。在DNA的碱基序列翻译成蛋白质的过程中，从碱基序列的信息到氨基酸再到蛋白质链这一过程中使用信使RNA、核糖体RNA以及转运RNA这三种RNA作为媒介。请看下一页图3。在翻译时，DNA的碱基序列（基因）转录产生与其序列互补的信使RNA。比如说DNA的序列是GAT，则转录而成的序列就是CUA。

然后信使RNA固定于核糖体的特定位置，核糖体由核糖体RNA和蛋白质构成。

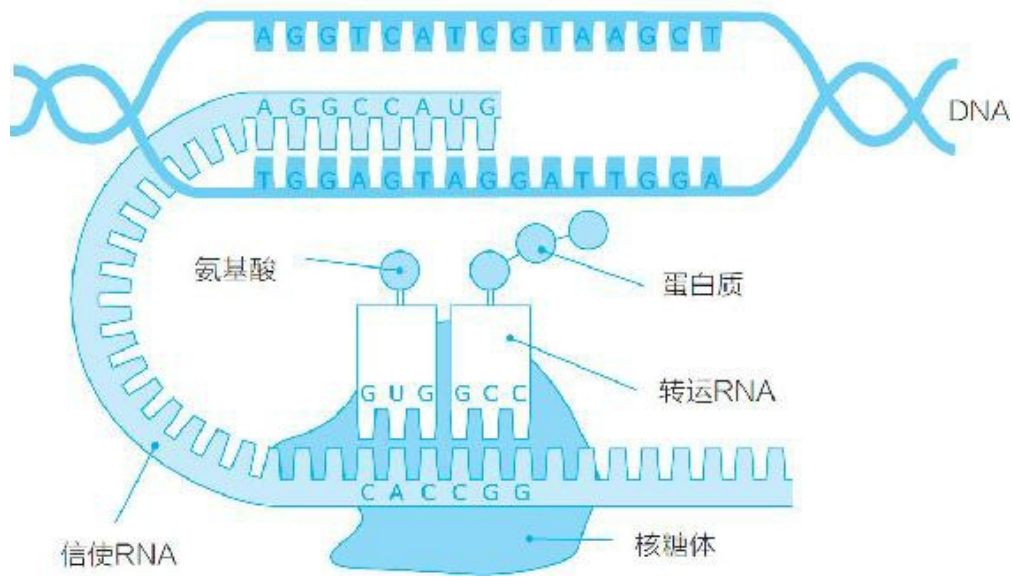


图3

核糖体读取指定氨基酸的信使RNA上的三组碱基（密码子），并捕捉与其指定的氨基酸结合的转运RNA。转运RNA具有识别部位，该识别部位具有与信使RNA上的指定氨基酸的序列互补的序列，并按照序列的种类与特定的氨基酸结合。

识别部位固定于信使RNA的密码子的位置，氨基酸从转运RNA脱离并加入刚合成的蛋白质链。

按照DNA、信使RNA、转运RNA的顺序来说的话，此时的碱基序列信息的转换比如是GAT、CUA、GAT。重要的是RNA几乎掌控了DNA上的碱基序列翻译成蛋白质的全部过程。

早期生命只具有**RNA**？

现在的生物使用**DNA**作为遗传信息，并通过蛋白质控制代谢所需的化学反应。但是，早期生命使用的应该不是这套系统，而且不具备通过遗传信息进行自我增殖和代谢的功能。

但如前所述，偶然出现由**DNA**、**RNA**、蛋白质构成的复杂系统的概率应该很低。这样的话，还有一种可能性就是负责代谢的催化剂蛋白质最初也兼任作为遗传物质。

但现在也不存在蛋白质复制蛋白质这一机制，如果蛋白质是最初的遗传物质的话，就无法说明为什么现在遗传信息存在于**DNA**并且在翻译时使用**RNA**了。

那么有没有可能是早期生命仅由**DNA**组成，并且**DNA**负责代谢呢？但**DNA**是稳定性非常高的化学物质，其自身很难发生化学反应，并且目前也没有发现**DNA**还有作为控制化学反应的催化剂的功能。那么仅剩一种可能性，就是早期生命只拥有**RNA**。

现在普遍认为生命只有一次起源，如果早期生命只具有**RNA**的话，能满足必要的条件吗？**RNA**与**DNA**相比极易发生化学反应，而且**RNA**为单链，所以**RNA**不仅像**DNA**一样能扭转，还能通过自身的互补的碱基序列的部分连接来形成立体结构。也就是说，**RNA**很柔软。

事实上，转运**RNA**通过其本身进行连接，具有像四叶草的叶子一样的立体结构。该立体结构在转运**RNA**与其自身所指定的氨基酸结合时发挥着非常重要的作用。转运**RNA**通常不具有控制化学反应速度的催化剂功能，但与坚固的**DNA**不同，转运**RNA**其实是隐藏着该功能的。

实际上后来也证明了RNA有时也具有催化功能。另外RNA通过核苷酸连接而成的链结构具有碱基序列，因此其本身就可以成为遗传信息。

总结来说，即使早期生命仅具有RNA，但该细胞也可能进行将该RNA本身作为模板来复制与其本身相同的碱基序列这一代谢过程。

这样就能满足作为生命的必要条件。早期生命逐渐将负责代谢的功能交给蛋白质，将作为遗传信息的功能交给了DNA。蛋白质比RNA的柔软度高，能变成各种各样的立体结构，因此与RNA相比蛋白质更适合作催化剂。

期待科学家发现真相的那一天

DNA比RNA稳定性高且DNA的双链结构能更严密地保护遗传信息，也就是说从适应性进化这一观点来看，从RNA到DNA到蛋白质这一过程具有必然性。然后，结果就是完成了现在我们所见到的DNA → RNA → 蛋白质这一遗传信息表达系统。

早期生命仅由RNA组成这一假说被称作“RNA世界假说”。这一假说非常有说服力，但现在还没有发现除病毒以外使用RNA作为遗传信息的生物，因此该假说是否正确，目前还无法验证。生物史中最难的课题就是去验证现在无法看到的过去的现象。

当然，我们也不能回到过去进行实际观察。科学家们正在用各种方法不断挑战生命的一个又一个谜团。让我们期待发现真相的那一天吧！

酶的作用：蛋白质的利用

柔软的蛋白质

“RNA世界假说”认为，催化生命所必要的化学反应的催化剂从RNA逐渐变成了蛋白质。RNA只有四种碱基，而蛋白质由二十种氨基酸形成的链构成。因此蛋白质的序列多样性比RNA高得多。比如以两个单位相连而成的最简单的序列来说，RNA最多有 $4 \times 4 = 16$ 种，而蛋白质有 $20 \times 20 = 400$ 种。

另外蛋白质比RNA“柔软”得多，能变成各种各样的立体结构。有的氨基酸带电荷，有的氨基酸能和其他氨基酸稳定结合，因此由氨基酸连接的长链（肽）能变成各种各样的立体结构。这些肽之间还可以连接，进而能变成更复杂的结构。

生命体的代谢需要用到各种化学反应。化学反应需要能量才能进行下去，而生物的体温只有20～45度左右。

蛋白质本身超过60度的话就会变性，而且变性之后无法恢复原状，因此生物的体温不能很高。所以，要在如此低的温度下进行化学反应就需要“催化剂”。

催化剂本身不会变化

催化剂能降低进行化学反应所需的能量，它的特征在于既发挥了催化作用，而本身也不会发生变化。要想在温度低且只有很少的能量的生物体内进行化学反应，就需要催化剂进行控制。

RNA世界推测RNA本身发挥了催化作用，现在的生物中发挥催化作用的是由蛋白质构成的“酶”，准确地说具有催化功能的蛋白质叫酶。一个催化剂只能控制特定的化学反应，因此要同时催化多个化学反应，就需要和化学反应相同数量的催化剂。

生物的体内会进行无数个化学反应，因此就需要无数的催化剂。这也许就是为什么催化剂（酶）是蛋白质而不是序列多样性有限的RNA。酶作为催化剂能大幅降低化学反应所需要的能量，它的能量比金属等所具有的催化作用要大得多。也就是说酶的种类很多，其能控制许多化学反应，而且性能非常高。为什么酶有这样的绝招呢？

答案在于蛋白质具有丰富的多样性。一般来说，蛋白质由2~300个氨基酸结合而成的肽构成，而氨基酸有20种，因此蛋白质的序列数最多有2~300的20倍。

当然不是所有蛋白质都有催化功能，就算只有1%的蛋白质具有催化功能，那么它的数量就是2~300的20倍的百分之一，仍然很多。有这么具有催化功能的蛋白质，就可以逐一催化体内的化学反应。

另外，酶作为催化剂的效率非常高，这也和自然选择有关。过去生物酶的效率应该没有现在高，但酶的效率高的生物进行化学反应时需要的能量少，因此当出现可以合成高效酶的基因时，该个体变得有利，进

而该基因得以留存。

事实上，蛋白质的氨基酸序列改变的话，酶的催化效率也会变化。具体来说，如果DNA的碱基序列突然变异，导致碱基的排列顺序发生变化，则翻译出来的氨基酸的种类会随之改变，进而蛋白质的氨基酸序列也随之改变。最后蛋白质的立体结构发生变化，其作为催化剂的效率也会变化。

现在已知的大多数遗传病都是因为特定的基因的碱基序列发生变化，导致蛋白质不能作为酶发挥作用，使催化效率降低而造成的。也就是说，一点小变化就会使酶的功能严重受损，这说明了现在的酶已经进化出非常高的功能。

用进化解释生命的机制和秘密

生物需要进行从某化学物质向其他化学物质的变化，即一定方向的变化。分解葡萄糖能获得能量，但进行逆向反应就得不到所需的能量。因此，对于生物来说控制反应的方向非常重要。反应的方向由反应前和反应后的物质的量决定，催化剂本身不控制反应的方向。

酶既催化正向反应也催化逆向反应。以分解葡萄糖为例，当供给了葡萄糖时无分解后产物，就像水从高处流向低处一样，反应会向着分解葡萄糖的方向进行。但是如果葡萄糖的分解产物保持原状不被处理，当它变得比供给的葡萄糖多时就会发生合成葡萄糖，即逆向反应。

但是在生物的内部，由某种反应而出现的产物马上会由其他反应变成其他物质，因此，通常来说逆向反应不会发生。通过该机制，生物的代谢系统就像河水一样顺畅地向一定方向运行。

DNA的结构和作用、由此产生的遗传信息、合成的蛋白质作为酶发挥的作用、控制反应只向所需的方向进行的机制——如此精妙的生命的机制和生命诞生的秘密都能用基于自然选择的进化来解释。

细胞的诞生：自动形成的磷脂双层膜

生物由一个一个“小房间”构成

早期生命在水中诞生，具有遗传物质并能进行代谢。但是能进行反应的物质在水中不容易聚集，因此生命活动难以维持。

为了维持生命活动，需要将遗传物质限定在一个狭小的范围内，并在该范围内进行代谢。

现在所有的生物（病毒除外）都由被细胞膜围成的小房间构成（细胞：cell）。细胞膜是区分体内体外的分界线，因此早期生命应该具有这种结构。那么，这种结构是怎样诞生的呢？

细胞膜由磷脂这种物质构成。磷脂具有球状的头部和像绳子一样的尾巴，具体结构请看图4。球状部分具有亲水性，尾巴部分具有亲油性（疏水性）。磷脂的头部排在外侧，尾巴排在内侧。

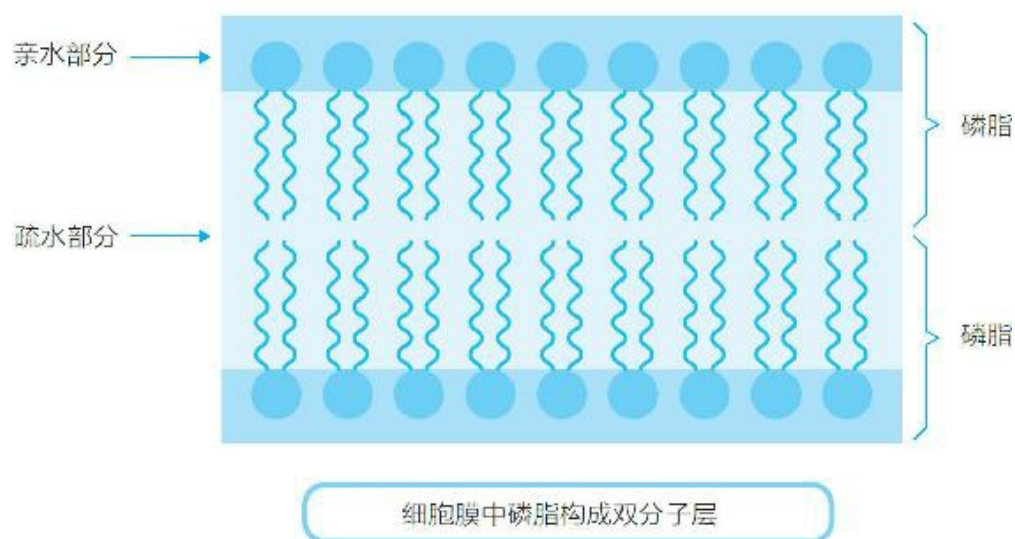


图4

这种结构非常自然。将大量磷脂放入水中并搅拌的话，磷脂会在水中拆开，变成一个一个的磷脂。但磷脂的尾部不易亲水，因此其会寻找其他磷脂的尾部，从而形成尾部对尾部的结构。这种结构不断连接就形成了细胞膜的基础—双层磷脂结构。

这一反应在水中发生，因此该磷脂膜不亲水的尾部会采取尽量不接触水的形态，最后就会变成由双层膜构成的球状。内侧和外侧均由亲水的头部相接，该球状结构十分稳定。

总结来说，水中存在大量磷脂的话，生物就会自动形成以和细胞膜相同的基本结构作为边界的小球。

细胞的诞生

早期生命应该由这样的小球构成，小球中包含了遗传物质和负责代谢的RNA。这就是细胞的诞生。

由磷脂双层膜构成的球不是通过自然选择产生的，那么为什么会是这种结构呢？仅罗列生命所示的现象难以进行解释，但如果知道为什么是这种结构的话，就容易理解、记忆了。

细胞的合体：叶绿体和线粒体

生命所需的能量

早期生命在出现的同时就开始发生进化。有遗传、变异、选择时会自动发生进化，因此具备这些前提的生命体会自主地进行进化。场所不同，有利的性质也不同，因此具有各种不同性质的生物在不同的场所不断地进化（请大家想一想加拉帕戈斯群岛的生物）。于是，就产生了生物多样性。

对于生物来说，如何获取生命活动所需的能量十分重要。现在的生物分解葡萄糖等糖，从中会产生ATP这种物质，生物利用的就是存储于ATP中的能量。

该过程有两个化学反应系统。一个叫作糖酵解，即葡萄糖在变成其他化学物质的过程中产生少量ATP的反应系统。所有生物均具有该反应系统，因此早期生命应该也具备该系统。

另一个系统叫作TCA循环（=柠檬酸循环），以糖酵解的最终产物为起点并利用氧从而产生大量ATP，即变成如苹果酸、富马酸等多种物质的过程。

TCA循环的最终产物和糖酵解的最终产物结合，从而再次回到循环的初始点，进而循环再次进行。只有进行有氧呼吸的生物具有TCA循环。这一系列的行为在线粒体这一细胞器中进行。

另外，植物具有叶绿体这一细胞器，叶绿体能从水、二氧化碳和光的能量中制造葡萄糖。糖酵解和TCA循环没有葡萄糖的话就不能制造能

量。动物通过进食获取能量，而植物却不用。植物没有嘴也没有消化器官更不能出去觅食，因为植物本身就能制造食物，因此进化成这种形态也是理所当然的。

存活于细胞中的线粒体

线粒体和叶绿体具有和其他细胞器不同的性质，这是因为线粒体和叶绿体具有和细胞主体的DNA不同的DNA。其能分别指定不同的蛋白质，这些蛋白质分别催化不同的化学反应。

为什么会变成这样呢？目前还没有十分明确的答案。

有一种假说是，线粒体和叶绿体原本是和其所存在的细胞不同的生物，后来被细胞吞没变成了细胞器。线粒体原本进化为能高效地从葡萄糖制造能量的生物，而叶绿体原本进化为能从光能高效地制造葡萄糖的生物，后来吞没了线粒体、叶绿体的细胞也同时具备了该能力，这对于生存来说非常有利。

就像现在的家禽生活在安全的场所一样，线粒体和叶绿体存在于细胞中才得以存活下来。现在我们已知，细胞的核基因组DNA中存在原本线粒体才具有的基因，这也支持了线粒体和叶绿体被吞入细胞这一假说。

线粒体和叶绿体与细胞融合，细胞从而进化成了新的生命体。这与基因产生突然变异，从而出现变异体所产生的进化不同，这是由其他机制引发的飞跃性进化。可谓世界之大无奇不有。

基因组的战争

细胞和线粒体的关系

线粒体和叶绿体原本是与细胞主体不同的生物，后来被细胞吸收变成了细胞的一部分。细胞提供线粒体和叶绿体生存所需场所和活动所需物质，从这一点来说，线粒体和叶绿体就像家畜一样。

就像家猪和野猪一样，家畜逐渐具有人喜欢的特征。家畜变化为必须有人的照顾才能生存下去，那么细胞和线粒体（或叶绿体）之间也存在这种支配关系吗？

不同生物所具有的遗传物质不同。现在线粒体、叶绿体具有DNA也就说明了其原本和细胞不是一个生物。只要有遗传、变异、选择就会自动发生适应性进化。生物所具有的DNA包含许多基因，通过相互作用最终形成一个生物。

在具有线粒体、叶绿体的细胞中，细胞主体具有核基因组，线粒体、叶绿体也具有多个基因组，会各自进行复制。

这里以线粒体为例，与没有线粒体的细胞相比，有线粒体的细胞能从相同量的葡萄糖制造出大量能量。有线粒体的细胞增多，线粒体也会随之增多，因此，与生活在严峻的外界的单独线粒体原种相比，存活在细胞内的线粒体更有利。

也就是说细胞和线粒体的关系是共存共荣。但是反过来看的话，如果线粒体从细胞“离家出走”，那么这对于细胞来说是致命打击。所以细胞就逐渐进化出不让线粒体逃跑的性质。因为二者共存共荣，所以它们

同时发生着不让自己处于不利之地的进化。

核基因组的巧妙的方法

现在的核基因组存在几个原来存在于线粒体基因组的基因。这些基因合成的蛋白质，在线粒体内用作产生能量的反应所需的酶。

由此可以推测，这些基因原本存在于线粒体基因组上。这是为什么呢？线粒体逃跑对于核基因组来说是个巨大的损失，如果核基因组抢走线粒体的基因并将其编入自己的基因组的话，那线粒体就不可能离开细胞而独立生活了。也就是说核基因组通过这种方法使线粒体逃不出去。

现在人们已经预测到了现存于线粒体的基因中哪一个将要移动到核基因组。细胞和线粒体共存共荣的关系里也存在着激烈的支配关系。

就像我们人类改良并支配家畜一样，生物的世界中有合作的地方就有对立的地方。

制造能量之一：为什么酶促反应在水中进行

没有叶绿体的生物是.....

线粒体能制造能量、叶绿体能合成糖，二者均与生物的能量代谢息息相关。地球上的所有生物为了维持生命而通过各种形式吸取外部的能量并进行代谢。能量的原料—葡萄糖的出现并非偶然。

生命活动离不开葡萄糖，植物的叶绿体通过光合作用将光能转换为葡萄糖。也就是说没有叶绿体就无法补充生命活动所必需的能量，生物就会灭绝。

草食动物吃植物，肉食动物吃草食动物，肉食动物死后被细菌等分解，再次供给于植物的生长，从这一食物链可以看出，在生命活动中所消费的部分能量作为热能释放到环境中，如果没有新的能量补充，该循环就无法持续下去。植物将太阳光的能量转换为葡萄糖带到循环中，因此该循环得以持续下去，叶绿体的重要性不言而喻。

而另一方面，线粒体的作用也毫不逊色。不使用氧气就能分解葡萄糖并产生ATP的糖酵解，是无法高效地获取储存于葡萄糖内的能量的，因此即使存在相同量的葡萄糖，如果没有线粒体所负责的TCA循环的话，多种多样的生物界也将不复存在了吧。

未记载于生物课本中的内容

能量代谢相关的两个细胞器具有共同之处。叶绿体和线粒体均是内部空洞的磷脂双层膜结构。因为它们原本就是和细胞不同的生物。

除此之外，这两个细胞器在细胞中具有不同的膜结构，因此膜结构是双重的。也就是说，器官的边界即膜的内部具有被液体填满的空间，并且存在一个与外膜不同的膜。请看图5。

液体部分叫基质，在线粒体中叫线粒体基质，在叶绿体中叫叶绿体基质。膜的部分在线粒体中叫嵴，在叶绿体叫类囊体。然后，在各个基质的部分存在通过化学反应分解、合成葡萄糖的系统（线粒体的TCA循环、叶绿体的卡尔文循环），膜的部分存在将电子能量转换为物质的电子传递链。

生物课本中没有解释为什么是这种结构。大家只能死记硬背，即：叶绿体基质=叶绿体=卡尔文循环、嵴=线粒体=电子传递链。但成为这种结构是因为某个必然的理由。那么我们首先看一下基质部分存在化学反应系统的理由吧。

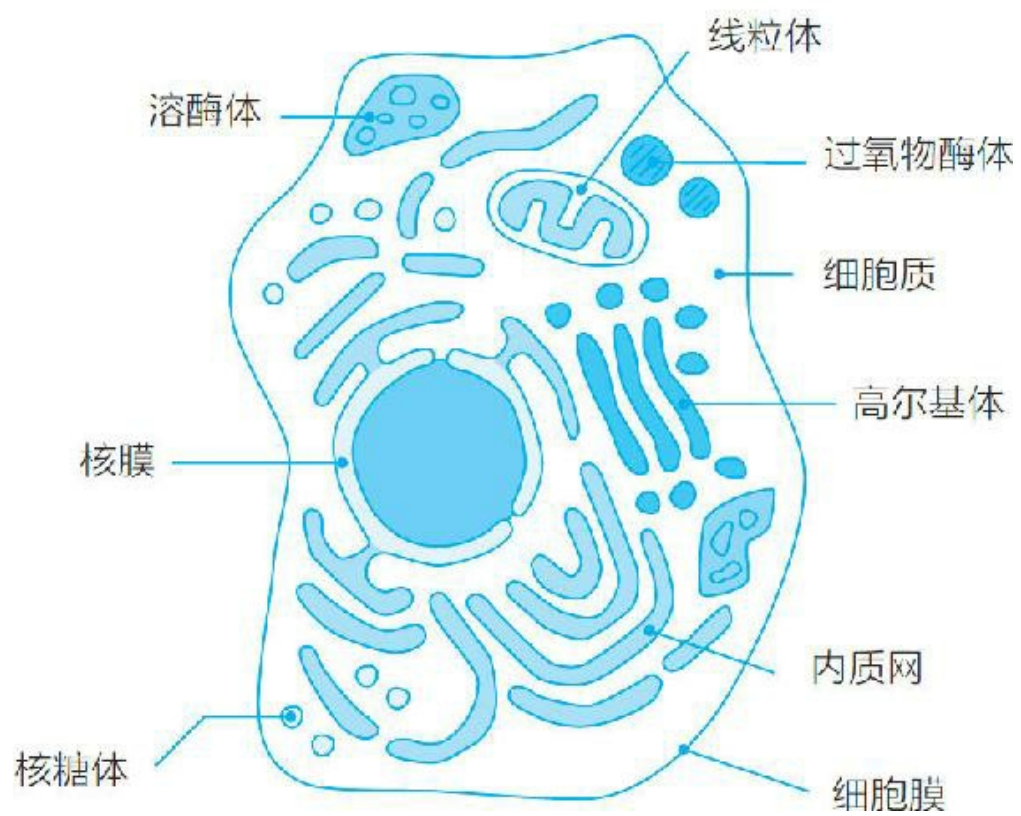


图5

酶在水中

化学反应是从一种物质变成另一种物质的过程。正常来说需要提供热等巨大的能量才能发生反应，但对由超过60度就会变性的蛋白质构成的生物体不可能施加这样的热能。于是就需要酶。

酶由从基因翻译而来的氨基酸长链（蛋白质）构成，多次折叠之后形成了特殊的立体结构。一种酶只高效催化特定的化学反应（催化剂是指用一点能量就能引起化学反应的物质）。

因为酶发挥催化作用，因此在不允许高温高热的生物体内的环境中也能进行化学反应。

为了发挥催化作用，酶就需要蛋白质为立体结构。只有在蛋白质为特定的立体结构时，酶才能作用于特定的物质并发挥催化作用。为了使氨基酸链折叠且不能恢复原状，就需要氨基酸互相结合、正负电荷互相吸引。

只有当蛋白质存在于水中时才会发生这种变化。为了使氨基酸带电荷，需要构成该氨基酸的化合物具有在水中电离并易带电荷（易离子化）的性质，并且在水中进行离子化。用一句话来说，蛋白质只能在水中为立体结构并发挥催化作用。

大家应该知道为什么TCA循环、卡尔文循环等化学反应系统会在基质部分进行了吧。其理由是蛋白质只有在水溶液中才能作为酶发挥作用，进而产生化学反应。

酶在水中——只要记住这一点，就能理解不管是线粒体还是叶绿体，

物质的化学反应系统全部在水中即在基质部分进行。不要去“死记硬背”，而是基于一个合理的原理去“理解”生命所示的现象。

与“死记硬背”不同，“理解”了之后不容易忘记，就如我现在仍然记得许多与我现在的专业没什么关系的事物。

制造能量之二：为什么电子传递链固定于膜上

蛋白质的水桶接力？

线粒体和叶绿体为双层膜结构，原本为细胞膜的膜系统的内侧具有叫嵴、类囊体的另一个膜系统，在其上存在叫作电子传递链的系统。电子传递链用于获取储存于氢原子内的电子中的能量，细胞色素a、b、c类等多个蛋白质连续埋于膜中。

接下来具体看一看线粒体的电子传递链。

氢原子可以变成具有许多能量的状态。此时，新加入的能量会存储于氢原子所携带的电子中，电子会变成比普通状态（基态）具有更多能量的状态（激发态）。

获取存储于该电子的能量的就是电子传递链。电子在三种不同的细胞色素排列所空出的间隙中传递，并在此时从激发态的电子中获取能量。就像排队的人进行水桶接力一样，电子在蛋白质之间传递。

叶绿体的类囊体膜、细菌等不具有线粒体的原核生物，也存在电子传递链且电子传递链固定于膜上。明明酶催化的化学反应在水溶液中进行，为什么电子传递链却固定在膜上呢？

电子这种“物质”

关键就在于电子传递链中电子这种“物质”需要在多个蛋白质间传递。在化学反应系统中，酶本身只有在水中才能发挥催化作用，因此该系统一定要在水中进行。

此时，进行了某化学反应后，产生的产物会漂在水中，该产物与同样漂在水中的用于催化下一个反应的酶相遇，就会发生下一个反应。因为可以同时进行多个反应，因此“在任何地方同时发生化学反应”的反应方式完全行得通。

但是在必须传递电子这种“物质”的电子传递链中，情况却大不相同。为了从激发态的电子获取能量，需要在多个细胞色素之间以特定的顺序传递电子。必须按照 $A \rightarrow B \rightarrow C$ 这个顺序才能获取能量。以该顺序通过细胞色素链时，激发态的电子会逐渐发生变化。

e这种状态的电子穿过A变成状态a后，a状态的电子必须被B处理，被B处理过的状态b的电子必须被C处理。电子传递链必须以该顺序进行，最初来到该系统的电子必须是状态e。

将特定状态的“物质”按照某顺序进行处理时，最有效的方法是先按照该顺序固定蛋白质，然后将电子拿过来进行处理。这一过程就是电子传递链。也就是说，排列的细胞色素在进行传递电子的“水桶接力”。

这样一来大家就能轻松地理解为什么化学反应系统在基质中，而电子传递链必须在膜中进行了吧。为了使酶发挥催化作用，反应就必须在水中进行；为了按顺序传递电子这种“物质”，最有效的方法是按顺序固定特定的细胞色素。

生物的合理结构

酶要在水中、“水桶接力”要按顺序—只要理解了这一点就不用去死记硬背什么线粒体和叶绿体的膜、基质、TCA循环、电子传递链等内容。当然类囊体、叶绿体基质、线粒体基质等名字还是要记住的，但理解了这些物质之间的关联之后，自然而然地就会记住。

人最不擅长死记硬背。就像让你记住电话本上的所有号码一样，基本是不可能的，但过去的生物课本基本和电话本一模一样，仅将知识点罗列下来，而各知识点之间毫无关系和脉络可言，所以当然背不下来。

生物接受自然选择并进化了38亿年最终具有了合理的结构。因此所有的生物现象都存在于有合理性的原理之上，生物体内的物质依从于物理、化学原理的制约，才能呈现具体现象。

即生物使用其本身具有的所有选项并尽可能地采取合理的行动。



P a r t 2

想与人分享的生物故事

ATP

植物为什么是绿色的

光合作用的两个过程

具有叶绿体的植物能自己制造葡萄糖，合成葡萄糖就需要用到能量，能实现这一过程的细胞器就是叶绿体。叶绿体能将光能转化为葡萄糖。这个反应叫作光合作用。

光合作用分两个过程：一个是光化学反应，另一个是卡尔文循环。

光化学反应使用光能将电子变为激发态，并获取该能量来制造合成葡萄糖所需的能量。

叶绿体首先用叶绿素这种色素捕捉太阳光等光能。光照叶绿素后，水分解得到的氢携带的电子会变为激发态。该过程中水（ H_2O ）被分解，氢被析出，剩下的氧（ O_2 ）被排出。

接下来使用电子传递链（即电子在固定于膜上的多个蛋白质间传递来获取电子具有的能量）从得到的氢电子中获取能量。这里的电子传递链和线粒体的电子传递链基本相同。

获取的能量保存于ATP并可以从中取出。因为光化学反应包含电子传递链，所以该过程在叶绿体的内侧膜（类囊体）的部分进行。如上所述，电子传递链需要在多种细胞色素的蛋白质之间按顺序传递电子，因此以固定于膜的方式进行反应效率会更高。

叶绿素吸收太阳光

光合作用中另一个发挥重要作用的是卡尔文循环，卡尔文循环是从空气中的二氧化碳获得碳，然后使用光化学反应所形成的ATP，使其合成为葡萄糖——将某物质变成其他物质的化学反应系统。因为是化学反应系统，因此需要使用酶，并且该反应在叶绿体的外膜和内膜之间的水溶液部分（叶绿体基质）进行。

叶绿体通过这两个过程从二氧化碳和光能合成葡萄糖。世界上几乎所有生物都通过光合作用吸取生物世界的能量，而生存下去，因此光合作用对于生物界来说是不可或缺的。

除植物能吸取外界能量并生产葡萄糖之外，只有小部分细菌能利用热能等进行化学合成来生产葡萄糖。

叶绿素通过吸收太阳光来利用光能。太阳光无色，但光有波长，人的肉眼能看到的光大约为360~830nm（纳米）。用光照射棱镜后光折射成七种颜色，这是因为白光中，光的波长不同折射率也就不同，从而会发生分光。

七种颜色波长从短到长分别是紫、蓝、青、绿、黄、橙、红。虽然实际上光的波长是连续的，但光看起来就像彩虹的七种颜色一样。叶绿素在获取能量时使用的是哪种颜色的光呢？

反射的是什么颜色的光？

下页图6是叶绿素的光吸收曲线。曲线中有两个高峰，表示该波长的光被吸收。该光吸收曲线经常在考试中出现，因此应该有很多人拼命去背吧。当然我曾经也是这样。但稍微思考一下就会发现其中的道理。

从图6可以看出青（435~480nm左右）和红（610~750nm左右）是吸收的高峰。那么没被吸收（即被反射）的光是什么颜色呢？没错，是绿色。那么植物为什么是绿色呢？正是因为绿色的光没有被叶绿素利用而是被反射了。

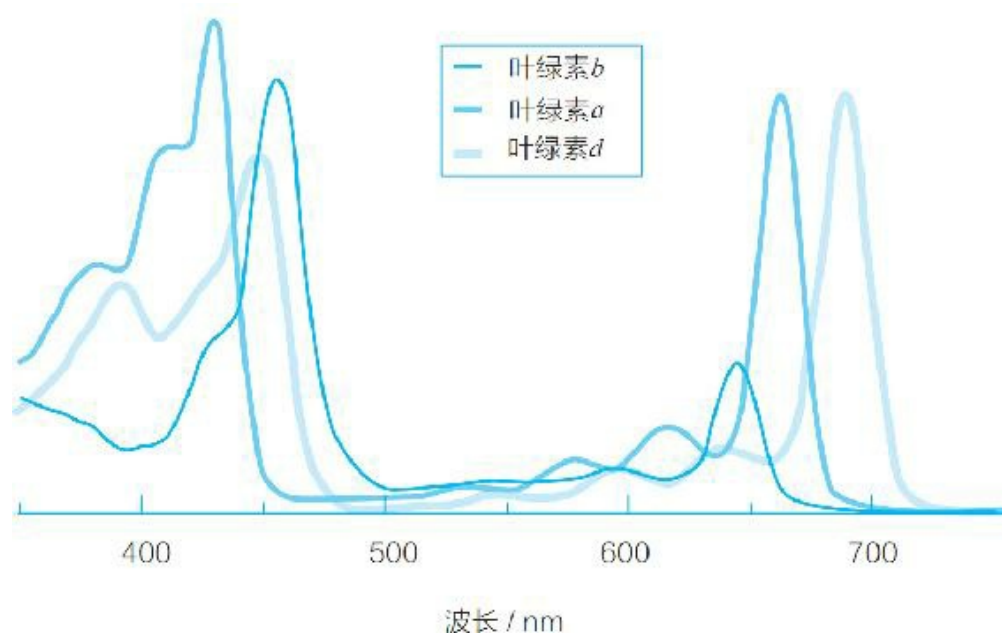


图6

某物呈现某种颜色是因为该颜色被反射。知道这一点的话就能猜到叶绿素的光吸收的高峰是青和红。实际上也是如此。当然具体的波长必须要记住，但知道了彩虹的七色和光的波长的关系的话，也能大概掌握波长的范围。如果考试出现“叶绿素a的光吸收的高峰是下述的哪一

个？”这样的选择题的话，应该能选出正确答案了吧。

青蛙的卵是黑色的理由

能吸收所有波长的物质因不反射肉眼可见范围内的光，所以呈黑色。大家应该都知道黑色物质受到太阳光照射后容易变热吧？

这是因为该物质能吸收所有波长的能量。青蛙的卵大多数为黑色，是因为初春时水温较低，为了保温并且使卵快速成长而尽可能地吸收太阳光。产于石头背面的青蛙的卵不用吸收日光，因此卵的颜色为偏白的黄色。所有事物几乎都在遵循着一定的道理。

面对复杂繁多的知识，我们就要按某个理论一层一层地进行整理，然后去理解。知晓事物的原理不是无效学习，而是通过弄明白各个事物之间的脉络以便于更深刻地记忆。大家要明白“欲速则不达”。

细胞间的合作

复制时发生错误

早期生命应该是磷脂双层膜的小袋子里含有催化自我复制的RNA而构成的物质。这是单细胞的自我复制系统，在遗传、变异、选择时自动发生进化。

自我复制也就是遗传。复制碱基序列时一定会发生错误、产生变异。制造出与自己消费相同资源的竞争对手，带来的是生存竞争和选择。早期生命是进行适应性进化的实体。

单细胞生物长期以单细胞的形态持续进化。遗传物质置换为稳定性更高的DNA，而更柔软、多样性更高、更适合作酶的蛋白质则变成了酶。

后来出现了各种各样的细胞器，维持生命所需的各种工作分别由各个小器官负责。各个小器官的专业化更利于实现细胞整体的代谢高效率。

DNA一开始就像现在的细菌一样漂在细胞中，随着细胞功能变得复杂以及遗传信息不断增加，最后DNA被关在了核膜的小球中。

真核生物中，DNA被发挥线轴作用的蛋白质缠住，平时以缩成很小的状态（染色体）保管。这是为了降低很长的DNA互相缠绕或断开的风险。

多细胞生物的诞生

后来，细胞将叶绿体、线粒体这一另外的生物吸入体内，从而引起了能量生产上的革命性变化。所有的细胞均具有线粒体，因此推测细胞先和线粒体合体，然后仅植物细胞获得了叶绿体。

这样一来，逐渐出现了现在生物界所见的单细胞生物。在自然选择的压力之下，单细胞生物逐渐完成了细胞器分工系统这一复杂化结构。但一个细胞能做的事情是有界限的。

于是发生了革命性变化。为了跨越界限，多个细胞开始互相合作，这就是多细胞生物的诞生。

单细胞生物为了在竞争中获胜并生存下去，而实现了提高自我效率的复杂化。但单细胞不管变得多复杂，能做的事情还是有界限的。

但当时世界上只有单细胞生物，所以还存在更广阔的适合更复杂的生物生存的环境。超越单细胞的界限就会发现更广阔的新天地。

团藻属

最初的多细胞生物应该是由多个单细胞生物连结而成。现在也存在这样的生物。团藻属这种浮游植物是由单位细胞连结起来变成球状的生物。团藻属中，形成子代的细胞和身体细胞已经分化，但它的伙伴实球藻属中，每个细胞会在细胞中形成子代，子代排出体外变成新的实球藻属。实球藻属中，各单位细胞均相同，其作用也基本相同。请看图7。

像这样仅集合在一起也是有好处的。比如，浮游动物会吃浮游植物，但当多个细胞合体之后，其大小比浮游动物的嘴大，可以防止被吃掉。

如果细胞内容物的体积过大的话，膜会因无法承重而破裂，就像气球太大就会破裂一样，一个细胞不能变得太大，因此无法完全避免被吃掉的危险。

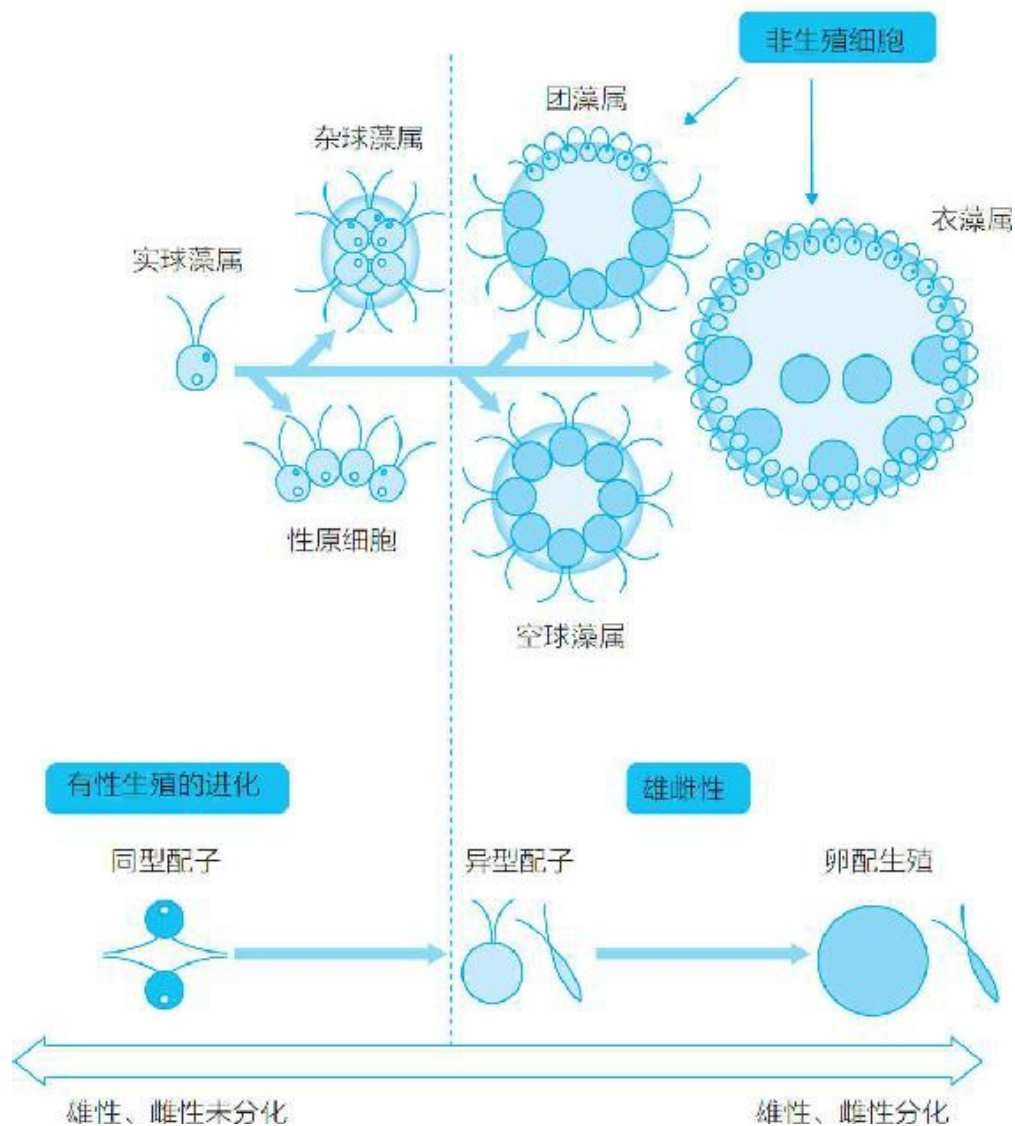


图7

这就需要通过细胞间合作来实现。个体合作时，如何调整个体和整体之间的利弊十分重要。就算整体获利，但若在个体层面，合作相比不合作坏处更大的话，那么不合作更有利，因此合作进化不会产生。

细胞和线粒体来自不同的生物，二者通过共存来分别获利。但还是发生了核基因组为了支配线粒体而将线粒体基因的一部分转移到核基因组的进化。

我们这里先说多细胞生物的变化，至于如何解决利害的对立问题，后面再讲。

多细胞生物的进化

多细胞生物一开始像实球藻属一样，由毫无差别的细胞单纯地聚集在一起，后来每个细胞逐渐开始发挥独特的功能，有的细胞变成了嘴，有的细胞变成了消化器官。现在的大部分多细胞生物都会进行细胞间分工。为实现该分工，需要满足几个重要条件，关于这一点请参见后述。

不管怎样，多细胞生物通过细胞分工，而进化成了单细胞生物所不可能实现的各种姿态。通过进行细胞间分工，巨大的多细胞生物能适应单细胞生物所不能进出的各种环境。最初只生活在水中的生物逐渐来到陆地，最后还出现了鸟类生物。

生物逐渐变得多样化。但现在尚未出现能在真空中生存的生物，因此生物的生存区域仅限于地球。人类征服宇宙完成新的进化不过是科幻小说中的桥段，对于现在的人类来说还是个梦想。

多细胞生物进行细胞间分工并不断实现多样化，其实这一点和单细胞生物的进化很相似。最初的单细胞生物的结构很简单，后来逐渐开始使用DNA、蛋白质，并且使细胞器进化，最终实现了复杂的细胞内分工体制。

也就是说，多细胞生物通过细胞间分工使自己的结构变得复杂，进而可以进出各种可生存场所，这一理论与单细胞的进化十分相似。

生物会在确保了个体的利益的前提下，尽量采取分工体制并向更加有利的方向进化。这是贯通生物界的原理，从结果来看，最终出现了细胞小器官进行分工的多细胞生物。

多细胞生物的出现给生物界带来了飞跃性的变化，那么更深一个层次的飞跃是什么呢？没错，就是多细胞生物的多个个体间的合作。

蜂为什么会合作

社会性昆虫的故事

单细胞生物中细胞和线粒体、叶绿体进行合作，多细胞生物中细胞间进行合作。与之类似的现象，我们还能列举出某种动物进行集体生活并会合作的例子。

蚂蚁、蜂和白蚁等“社会性昆虫”较为常见。它们的社会由负责产卵的蜂后、蚁后（白蚁也有蚁王）和负责其他工作的工蜂、工蚁构成。就像多细胞生物的细胞间分工一样，它们个体间也进行分工。像这样形成社会的集体叫作“群体”。

群体是生产并抚育下一代群体的新蚁后、雌蚁的单位，群体之间可以进行竞争。我把这种能相互作用的实体叫作功能单位，社会性昆虫的群体是超越个体层面的功能单位。

从进化的角度来看，多个个体合作时存在一个问题。每个个体都是具有DNA并能进行自我复制的功能单位，因此每个个体接受自然选择并使自己的增殖效率最大化。核基因组和线粒体的例子也是如此，为了使合作进化，需要合作时自己的基因增殖率比不合作时高。如果没有利，则合作就不会进化。

令人震惊的研究结果

但是当进行合作时，大多数情况下我们并不清楚合作的个体（细胞）是否比不合作的个体（细胞）更有利。这是因为表现出合作的种类中，不进行合作而是单独生活的个体已经基本不存在了。

就拿细胞来说，其他条件相同只不具有线粒体的细胞是不存在的，因此无法判断每个细胞是否都获利。这一点成为验证合作进化时的障碍，长期以来一直没有找到是否因个体获利而合作才得以进化的答案。

最近一项使用了个体很小的蜂进行的研究找到了答案。淡脉隧蜂这种个体很小的蜂收集花粉制成团子来养育幼虫。蜂后和工蜂在形态上没有差异，一只度过冬天的雌蜂在初春筑巢，在初夏养育第一批幼蜂。该幼蜂在夏天到秋天成为成虫，雌蜂在此时开始养育第二代幼蜂，并且多个个体间会进行合作。

但是调查过第二代的巢之后我们发现，7~8个群体中只有约1个群体，每只雌蜂单独有育儿巢。比较该单个雌蜂筑巢和多个雌蜂共同筑巢之后，我们无法得知多个雌蜂筑巢的个体是否比单个雌蜂筑巢的个体获利更多。我和我研究室的研究生八木议大共同开始了关于该蜂的调查。

我们发现该蜂会在土中挖10厘米左右的竖坑道（巢），然后在周围制作几个小拇指尖大小的小房间，把花粉团子塞入其中后开始产卵并把盖子关上。幼虫吃花粉团子长大。我们在第二代大约变成蛹时把巢挖出，调查了每个巢分别有几个巢房，其中分别有几个蛹。

因为蜂的成长顺序是卵到幼虫再到蛹，因此只要有蛹的话就表示卵得以成长，而巢房为空的话就表示卵已死亡。

聚集在一起的话子代得以存活

结果十分令人震惊。多个雌蜂共同筑的巢中有90%的蜂房中都有蛹，一只雌蜂筑的巢中，有蛹的蜂房仅有10%。

也就是说多个雌蜂共同育儿的巢中幼虫的存活率非常高。子代存活率高，表示多个雌蜂共同育儿的巢中的一个雌蜂，比单独育儿的雌蜂个体能存留更多子代。也就是说合作确实对个体来说更有利。

为什么会这样呢？关键就在于蜂如何保护幼虫。在之后的研究中我们进行了一个简单模拟，蜂可以自由进入巢且不受其他蜂的影响，当有捕食者入侵时，只要有蜂的话幼虫就被保护。

结果是我们发现当提高捕食者的入侵率时，多个雌蜂共同筑巢的幼虫存活率如下：二只雌蜂的话存活率高于二倍；三只雌蜂的话存活率高于三倍。也就是说，就算蜂之间完全不合作，只要多个雌蜂利用一个巢就会变得有利。

在实际的观察中我们发现，有多个雌蜂的巢中，雌蜂会按顺序进入巢中以尽量保证不会出现空巢的情况，而单独的巢中，雌蜂在捕食者蚂蚁的活动变弱的傍晚之后才从巢中出来。

这明确表示了淡脉隧蜂的合作进化的理由是，通过形成一个集体来提高防御捕食者的效率，从而增加个体的利益。

防御捕食者是合作进化中一个重要的因素。上文提到的团藻属的例子也是集合在一起就不会被吃掉，因此存活率从接近0的状态大幅提高。

单独存在时的存活率越接近0，合作收益越高，仅提高一点存活率就会获得二倍、三倍或更大的利益。也就是说集合一定数量之后每个个体比单独存在时获得的利益要大得多。

就拿人这种动物来说，也许正是因为形成了集体所以才提高了捕食率。人的祖先猴子的战斗力并不强，一只猴子应该无法抵抗大型的肉食动物。

但形成了集体之后情况就不一样了，大家通力合作就可以捕获大型猎物，也更容易和捕食者进行对抗。如果一个人与捕食者进行战斗并且获胜的可能性基本为0的话，那么合作之后只要提高了一点获胜率，就比不合作时每个人得到的利益多。

当然这只是一个假说，就像如上所述的蜂一样，几个生物合作就能有效避免被捕食。人人为我，我为人人——对于生物合作来说只有后半句比较适用。

器官的形成

兵蚁也有许多种类

与每个细胞、个体不进行合作相比，如果多个细胞、多个个体进行合作的情况下不会获利，那合作就不会进化。但是，一旦合作进化的话，就会出现更高层次的合作，即细胞、个体间产生分工。

实球藻属、淡脉隧蜂中，合作的个体的价值基本相等，几乎找不到特殊化的个体。这就是原始的合作。大虎头蜂、蜜蜂和蚂蚁等能在形态上区别蜂后（蚁后）和工蜂（工蚁），并且几乎所有的卵都是由蜂后（蚁后）生产。蜂后（蚁后）和工蜂（工蚁）间就有分工。

几种蚂蚁中，工蚁中也有兵蚁等多个种类，甚至还有更复杂的分工。也许蜂是受到了“必须飞”这种形态的限制，虽然我们还不知道包含不同形态的多个工蜂的种类，但他们的行动模式不同，作为一个组织产生了分工。

这种分工也见于多细胞生物。实球藻属中好像不存在细胞间分工，但人体细胞间的分工十分明确。形成我们身体的细胞分化成各种器官，有的细胞构成了眼睛，有的细胞构成了脚，有的细胞构成了大脑。

有了这样的器官分化，才使得多细胞生物的个体可以进出过去生物所不能居住、尚未开拓的各种生存场所。蚂蚁、蜂的多个种类的分工，也可以比作器官分化，这种分工拓宽了生物的适应范围。

为什么只有动物有心脏？

人类的内脏各有独特的功能，比如心脏是血液循环的原动力；肺能呼吸空气；肾脏能排出血液中的代谢物、肝脏能分解有害物质等。这种复杂的系统能提高保持体内状态为固定状态的恒常性。生物因此得以对抗外界条件的变动，在与过去不同的环境中也能生存下去。这也是一种适应性进化，因此可以说，器官分化也是因为一定的理由才得以进化的。

心脏是多细胞生物出现之后才出现的，单细胞生物没有心脏。单细胞生物的体内物质的循环，由原生质流动等缓慢的流动或内质网、高尔基体等物质运输相关细胞器来实现，这是极小的细胞中才能采用的方法。

在更大的多细胞植物或动物中则不能使用这种悠闲的方法。植物利用细胞间的渗透压使物质来往于身体的各个角落；而使用肌肉组织进行运动的动物让心脏这种特殊的泵进化，并使血液强制循环。

只有动物具有心脏，是因为需要迅速运动的动物必须要给身体所有的肌肉供给能量，因此需要给身体的各个部位“迅速”供氧。

当然多个器官之间会相互合作。接下来我们看一下心脏、肺以及血管系统的工作。动物用腮或肺等呼吸器官从外界获取体内所需的氧气并存储于血球（人体内是红血球）。然后氧气随着心脏制造的血流运到身体的各个角落。在体内的末端排出氧气的血球会和排放的二氧化碳结合，并再次随着血流运到肺，因此必须用另外的血管系统使其回到肺中。

新鲜的血液和污染的血液

血管系统有从心脏向身体的末端的系统（动脉）和从末端返回心脏的系统（静脉）。也就是说动脉和静脉的边界是心脏。另外返回的血液需要在肺里再次变成富含氧气的状态，因此该系统中必须有肺。

肺需要进行将从末端运来的二氧化碳置换成氧气这一项作业。于是血管会变得非常细，并且和由薄膜构成的气泡状的肺进行气体交换。这就需要非常大的压力。于是从身体末端返回的血液会先回到心脏中，然后由肺动脉给污染的血液加压。

另外，因为在肺中血管变细，因此聚集了新鲜血液的肺静脉中血液的压力变低，在此状态下无法将血液搬送至身体末端。于是肺静脉的血液会回到心脏并从此流向身体的末端。

因为起点有两个所以大家容易混乱，但只要记住以下几点就不会记混。从心脏伸出的血管叫动脉，进入心脏的血管叫静脉，从肺流出的血液富含氧气是新鲜血液，进入肺的血液是被污染的血液。肺静脉从肺伸出并进入心脏，因此叫静脉。是新鲜的血液、从末端返回的静脉会先进入心脏，再作为肺动脉从心脏流出并进入肺，因此肺动脉虽然是动脉，但流动的是污染的血液。

看起来复杂的现象其实.....

器官的分化和每个器官负责不同的工作也有合理的理由。器官的种类非常多，我们必须记住每个器官的作用。我们可将器官进行分类理解和记忆：循环系统（心脏、血管）、呼吸系统（肺）、消化系统（胃、肠）、解毒系统（肝脏、肾脏）。然后再将功能相似的器官和细胞器进行比较记忆（比如内质网和血管）。

虽然细胞和多细胞的个体看起来完全不同，但从使细胞器和器官分别负责各种必要的功能并提高整体的效率和稳定性这一点来看，二者具有共性。越是看起来复杂的现象，越要按一定规律进行分层次整理。

可能有人说自己不会学习、不聪明，但我觉得大多数情况下不会学习是因为不会整理。只叹息却不行动不会解决任何问题。

只要知道如何去整理，就能系统地掌握生物学的知识。

你想变成哪个器官

进化中的竞争

细胞的内部、多细胞生物的体内或个体集合而成的群体的内部中分化出负责各功能的器官，并提高了整体的效率和稳定性。

进化以具有遗传和变异的实体为单位发生。拿生物来说，每个个体都具有自己的DNA，因此只要存在多个个体，就会存在哪个DNA的复制效率更高的竞争，以个体（DNA）为单位的自然选择发挥作用从而发生进化。

进化中的竞争概念稍微不同，进化中的竞争不是要打败对方。谁的复制效率高谁自然就增多，进而集体中只存在该类型。这是必然会发生的，与是否有竞争意识无关。

在人们对于达尔文的进化论的初期批判中，有人认为“从全球来看，生物之间完全没有竞争，你说竞争在哪里呢？”这一观点当然是错的。假设给这两人完全相同的食物，使这两个人之间没有食物竞争。虽然表面上看没有竞争，但他们单位时间消耗的卡路里不同，因此即使给两人相同的食物，但对能量消费率高的人来说也是不利的。这就是生物的竞争。

你想变成身体的哪个部分？

生物竞争的输赢在于遗传物质的复制效率的差距，这里需要注意器官分化的进化。除一部分细胞器之外，多细胞生物的器官和构成群体的个体分别是具有遗传物质的自我复制单位，其间存在竞争。

细胞器中的核基因组、线粒体、叶绿体也分别具有自己的基因组，其间存在着利害关系，从结果来看，线粒体的一部分基因向核基因组移动。

每个构成要素（细胞、个体）分别具有自己的DNA且互为竞争关系，那什么时候才可能合作呢？

这里尽量简洁地解释一下。把许多人聚集在一起并问他们“现在需要用你们形成一个男人的身体，大家都想成为哪个部分”？我们在实际验证时，发现最多的答案是“大脑”“眼睛”“手”等。

那么大家想成为哪个部分呢？

拿我自己来说，我只想当“睾丸”。没错，我只想当“睾丸”，这是为什么呢？

请大家想一想下一代是如何形成的。受精卵由卵子和精子结合而成。受精卵会变成下一代的人的个体，因此只有成为卵子或精子的细胞，遗传物质才会传给下一代。男性是睾丸的精原细胞，女性是卵巢的卵原细胞。

不管大脑多么有智慧，不管眼睛能看见多么漂亮的景色，不管手能创造出多么完美的作品，这些器官的细胞都不可能传递到下一代，可能

性完全为零。

形成睾丸、大脑和眼睛的细胞均相同

当许多“人”共同形成一个人的身体时，成为大脑、眼睛和手的“人”会在自我DNA的复制竞争中完败。只有成为睾丸、卵巢的“人”才能留下后代。但如果大家都想当睾丸的话（因为不当睾丸就不会留下后代）就无法分工并形成人的身体了。如果不留下后代只进行合作——从原理上来说，这在具有自己的DNA的细胞间是不可能的，那为什么分工得以进化了呢？这是个大问题。

这里说的“人”相当于器官分化时的细胞。从原理上来看，当细胞分化成器官时会发生与上述相同的竞争，尽管如此，多细胞生物、集合性生物的群体内部会发生器官分化。那么什么情况下如上情况才能成为可能呢？关键就在于“把和自己相同的基因传给后代”究竟是什么意思。

基因指的是DNA（有时是RNA）上特定的碱基序列。如果DNA(或RNA)复制并传递给后代，后代会具有相同的序列。为了让后代拥有和自己相同序列的DNA，首先需要复制自己的碱基序列然后传递给下一代。也就是说形成精子或卵子然后传给受精卵，大部分生物都采用这种方式。

但是除多细胞生物的生殖器官之外的细胞、不产卵的社会性昆虫的工蜂（工蚁）等生物是如何将自己的基因的碱基序列传给后代的呢？

多细胞生物中以人为例进行说明。我们的身体是如何形成的呢？没错，体内中由卵子和精子结合而成的受精卵分裂变成许多细胞，这些细胞分化成各种器官。也就说是多细胞生物的身体原本仅来自一个细胞。

也就是说形成多细胞生物的身体的所有细胞基本都具有相同的遗传

信息。不管是卵巢、睾丸、大脑、眼睛还是手，形成这些部位的细胞都是相同的。如果将基因传给下一代的卵巢、睾丸细胞具有和其他器官相同的遗传信息的话，那么生殖细胞也会将其他器官的细胞中的遗传信息传给下一代。

亲子间的亲缘度为0.5

也就是说不管是谁将遗传物质传给下一代，对所有的细胞来说都是一样的。多细胞生物通过克隆所有体细胞来消除细胞间竞争并使其进行分工。不采用这种方法的话，细胞间分工也不会进化。

当进行合作的多个细胞或个体分别具有自己的遗传信息时，就会产生竞争，因此从原理上来说，只有特定的细胞或个体才能留给下一代的这种分工无法进化。通过使用克隆细胞进行合作，多细胞生物才成功地从小路上逃出来。

多细胞生物中，分别克隆每个细胞从而跨越合作的进化带来的困难，进而成功进化了分工体制。那么由分别独立的个体构成的社会性昆虫的合作究竟是如何成立的呢？

动物世界中繁殖所涉及的分工伴随的社会性（真社会性）进化了十几次，其中大部分是具有单倍二倍体这种特殊的性别决定机制的动物发生了进化。通常的生物体内具备来自母亲和父亲的两组基因组，而单倍二倍体生物中，具有两组基因组的二倍体个体变成雌性，只有一组基因组的未受精卵发育的是雄性。

不管是雄性还是雌性的二倍体生物（包含人）都会将自己拥有的两组基因中的一组传给子代。将自己具有的基因传递给子代的程度叫作亲缘度，此时亲子间的亲缘度为0.5。

那么兄弟、姐妹间的亲缘度如何呢？你自己以及你的兄弟姐妹都是二倍体。每个人所具有的两组基因中，一半（0.5）有50%的概率是母亲所具有的两组基因中的一组，剩余的一半（0.5）也有50%的概率是

来自父亲的基因的其中一组。

因此，兄弟姐妹之间有相同的基因的程度是 $0.5 \times 0.5 + 0.5 \times 0.5 = 0.5$ 。也就是说，二倍体生物中亲子的亲缘度和兄弟姐妹间的亲缘度均为0.5。

养育妹妹会获利？

单倍二倍体生物有如下不同。虽然亲子间的亲缘度和二倍体生物都是0.5，但女儿和妹妹、弟弟之间的亲缘度却不是0.5。当只有一个父亲时，因为雄性是单倍体，所以父亲只有一组基因组。因此所有的子代具有来自父亲的相同的基因组。

因此女儿的两个基因中，一个肯定是来自父亲的相同的基因组。另一半（0.5）是母亲的两个基因组中的一个，因此从某个女儿的角度来看，妹妹来自母亲的和自己相同的基因的概率是 $0.5 \times 0.5 = 0.25$ ，因此，妹妹具有和自己相同基因的程度（亲缘度）是 $0.5 + 0.25 = 0.75$ 。

相反，弟弟则不获取父亲的任何基因，只具有母亲的一半基因，因此亲缘度是 $0 + 0.25 = 0.25$ 。

单倍二倍体生物的亲缘度不均衡，因此从某个女儿的角度来看，与生自己的孩子（亲缘度0.5）相比，养育一个妹妹（亲缘度0.75）能以更高概率使和自己相同的基因传给后代。

也就是说，将自己生育孩子变成养育一母同胞的妹妹，就能获得更多利益。单倍二倍体生物不生育自己的孩子，而是养育母亲生的孩子这种真社会性反复得以进化，是因为仅将育儿行动的对象从自己的孩子改成妹妹就能获利。

养育亲缘者对自己的遗传有利的这种选择叫作亲缘选择。单倍二倍体生物蜂、蚂蚁中，如果有社会性的话，那么可以解释为所有雌性都是蜂后（蚁后），它们的社会进化是亲缘选择的结果，从而使工蜂（工蚁）的遗传获利得以最大化。

那么亲缘选择和每个个体为避免被捕食而形成集体从而从中获利，这二者之间是什么关系呢？为了解释这一点，我们先看一下二倍体生物。

二倍体生物中，孩子和兄弟姐妹的亲缘度均为0.5，不存在像单倍二倍体一样养育妹妹来获利的关系。因此要停止养育自己的孩子并且和其他人合作可以获利，就需要形成集体，来使集体整体的效率比个体单独的效率要高。

举例来说，当两个人行动时，集体整体的生产率必须是一个人活动时的生产率的“两倍以上”，这样每个个体的平均获利才能比单独活动时的获利要多。用一句话来总结就是，二倍体生物中集体整体的效率的提高是合作进化的必要条件。

没有亲缘关系也能获利？

像淡脉隧蜂一样，两只淡脉隧蜂行动时子代的存活率是一只淡脉隧蜂行动时的数倍的话，合作确实会获利。此时，养育的对象与是否有亲缘关系无关。就算完全没有亲缘关系合作也能获利。当然和完全没有亲缘关系的个体合作时最少也要生自己的孩子，因为不生孩子的话自己的基因绝对不会传递给后代。

这样一来，和亲缘者进行合作时，加上群形成的效果，来自亲缘者且和自己所拥有的基因相同的基因传递给后代能提高整体的效率。理由是就算自己不生孩子，而是为提高群体的效率而做贡献，自己也有可能获利。蚂蚁等在工蚁内分化出兵蚁的生物，就是通过这种机制不断进化的。

另外，像单倍二倍体生物一样，自己的孩子和妹妹之间有亲缘度差异时，只要将育儿行动的对象改成妹妹就能使自己遗传获利增加（0.75 VS 0.5），因此即使形成集体会导致整体的生产率下降，但遗传获利的增加也能弥补生产率的下降。

进化生物学的一大目的

通过改变行动对象就会从遗传上获利，因此能弥补整体的生产率的下降。

也就是说，单倍二倍体生物的合作，集体整体的效率上升不是绝对必要的条件，因而能比二倍体更容易使合作进化。实际上的生物合作也常见于单倍二倍体生物。

如上所述，我们讲了生物为了实现细胞、个体间的分工而面临着什么样的问题，又是通过什么样的机制解决这些问题的。以“和自己相同的基因有多少会传递给后代”这一尺度为基准，就能用一个理论“理解”生物所示的合作现象。

我的专业——进化生物学的一大目标，就是以此为轴心理解生物所示的各种现象，但“遗传获利的最大化”这一原理不仅是行动或生存方式，更是贯通生物所示的所有现象的基本原理。

超个体的诞生：集体的高效化

什么是超个体？

个体之间进行合作的社会性生物中，会出现比个体更大的群体这种功能单位。群体之间会互相竞争，输掉的群体衰退，因此群体整体的表型是逐渐进化为擅长竞争。

比如具有普通工蚁和兵蚁的蚂蚁中，兵蚁的比例这一问题不是个体层面而是群体层面的性质。如果群体中有20%兵蚁时整体存活率最高的话，那么该群体层面的性质会出现选择性进化。当然可以通过选择性养育幼虫来实现该比例，但该行动由特定的基因型支配，因此也可以从个体选择、基因选择的角度来看该现象。

但只有从选择群体层面的表型这一事实来看才能理解为什么是有利的。生物学的目的是理解生物所示的现象，因此只停留在基因层面是无法理解各种现象发生的原因的。

要想深层次理解生物，就不能把进化现象仅还原为基因的增减。不管怎么样，超越个体的群体层面所表现出的表型是选择的对象，同时其效率也被提高。群体是超越个体的功能单位，即“超个体”。

胡蜂筑巢

接下来，我们看几个实现了超个体层面效率最优化的例子。某种胡蜂在筑巢时需要两种工蜂，一种是负责采集巢的材料植物纤维（浆）的工蜂（搬运工），另一种是负责在巢上接受筑巢材料并建巢的工蜂（建筑工）。

能采到多少浆是不固定的，因此搬运回来的浆的量时刻都在变化。建设者在巢的入口等待浆搬运回来，然后接受材料再搬到建筑现场并开始作业。此时，为了使工作顺畅进行，就需要使流入的浆的量和使用于建设的浆的量均衡。

如果是人的话，可以设置监督者监控流入量和作业量，通过发出指令就能控制作业流程（丰田汽车公司设计的使库存量最少的控制系统非常有名）。但蜂的大脑没有人类发达，因此不可能通过中枢进行控制。尽管如此，蜂还是实现了最优作业流程。

是如何做到的呢？当作业顺畅进行时，带着浆回来的蜂（搬运工）把货物“马上”交给完成作业并赶来的蜂（建筑工）。这种情况下搬运工和建筑工在交接货物时基本都不用等待。

但是，当其中一方的蜂变多时等待时间就会变长。如果浆不好采的话，那么搬运工返回的时间就会变长，在入口等待浆的建筑工等待的时间也变长。如果建筑工过少的话，搬运工则需要等待很长时间才能交接货物。这是工作效率不高的信号。

但实际上，蜂在等待时间过长时会选择改变自己的行动。当建筑工等待时间过长时会停止建筑作业而去采浆。相反，当搬运工搬运浆回来

并等待了很长时间的话则会开始建筑作业。

像这样，每个个体通过采取使“等待时间”这一信号最小化的行动从而实现了整体的作业效率的最优化。

此时不需要掌握整体情况的个体，只需要每个个体对自己所面临的“等待时间”这一局部刺激做出反应并改变行动即可。从结果来看实现了整体的效率最大化。

蚂蚁的决策机制

从其他层面也能看到类似的情况。佐村悍蚁会偷袭其他蚂蚁的巢并夺取其中的蛹。此时侦查蚁会确定要偷袭的巢的位置，并释放费洛蒙引导队伍。但是，当侦查个体迷路时，队伍整体将停止前进，然后后方的个体开始逐渐返回原处，最终整体全部返回原来的巢。

队伍中每个个体经常会改变方向，不是所有个体都一直朝着一个方向前进。那么没有掌握全局的个体，是如何做到整体采取合理的行动的呢？

佐村悍蚁通过如下方法进行决策：

1. 追踪费洛蒙；
2. 与某个数量的个体相遇则反向；
3. 某段时间自己没有与任何个体相遇则改变方向。

使用以上三个简单的规则进行模拟后我们发现，当释放费洛蒙并引导队伍的侦查蚁停止行动时，经过一定时间后，整体会向返巢方向移动。虽然蚂蚁仅对局部信息做出反应并进行简单的决策，但作为整体来说成功地采取了合理的行动。

智商不高的生物们通过个体对局部信息做出反应，从而作为整体采取合理的行动。像这样，没有中枢个体的组织通过从个体的简单的行动产生高级的行动模式，叫作“自组织”。

这种机制使没有高智商的昆虫等集体成为超个体，并使整体采取合

理的行动。

没有智慧的细胞也能创造组织吗

动物的卵的发生

蚂蚁等群体中，虽然个体没有高判断力，但其通过对所面临的情况反射性地采取行动从而使整体采取合理的行动。但是每个个体都有大脑，在一定程度上也是可以进行学习和感知的。

另一方面，多细胞生物的器官分化中，为了使自己能成为器官，每个细胞尽量进行移动或分化，最终形成了复杂的组织。这些细胞又没有大脑更没有神经，那么它们是如何实现整体采取合体的行动的呢？

以动物的卵的发生为例，最初一个细胞会变成两个、四个.....不断分裂进行增殖。这一现象叫作“卵裂”，海胆等生物在进行卵裂时分裂出球的大小相同，即为二等分、四等分，因此叫作“均等卵裂”。

青蛙卵的卵裂速度很快，因此上半圆很细，下半圆很粗，即为不均等卵裂。昆虫的卵中只有表面进行分裂，内部不分裂，因此叫作表面卵裂，鸟类、爬行动物的卵中只有极少的盘状部分发生卵裂，因此叫作盘状卵裂。请看图8。

卵黄的作用

卵成长需要养分，而养分集中于卵黄中。

海胆的卵黄虽然少，但分布均匀；青蛙的卵黄大多分布于下方；鸟类、爬行动物的卵基本全是卵黄，但细胞中只有一部分能受精。昆虫的卵在中心有一个巨大的卵黄。

也就是说，为了使卵黄的部分不易分裂而没有卵黄的部分快速进行细胞分裂，从而则采用前文所说的卵裂方式。

另外，卵黄随着动物的进化而变大并且局部化，哺乳类会再次进行均等卵裂。当然这也是有理由的。像鸟类这样的生物只在卵中进行卵的分裂，因此子代越大需要的卵黄就越大。

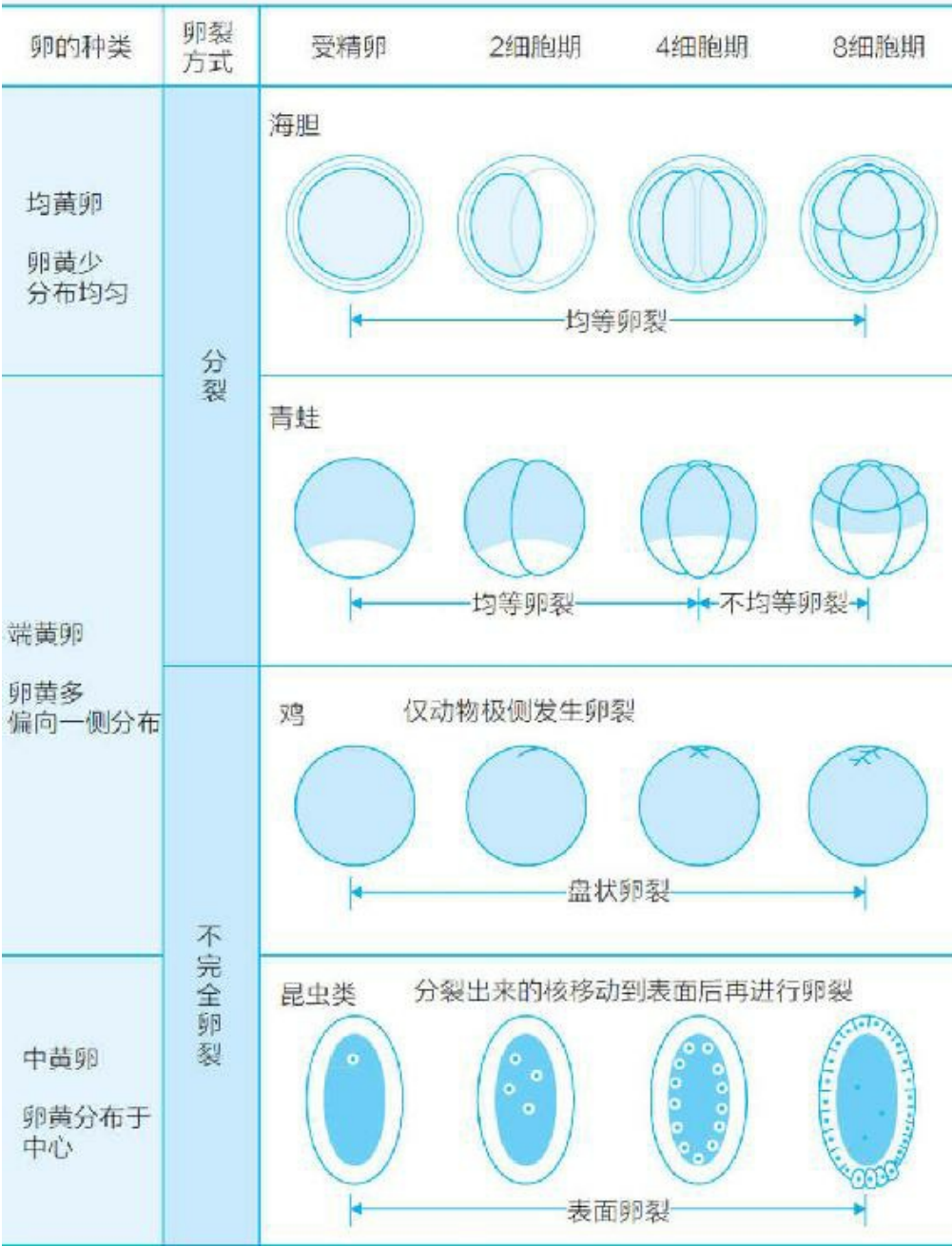


图8

※本图中的表面卵裂没有完全按照各细胞期进行罗列。

但是哺乳类通过脐带和子代连接，并通过脐带直接将养分供给至子代。这种方式不需要使卵黄聚集在卵中，因此卵细胞再次变得基本没有卵黄，并进行均等卵裂。卵裂方式取决于卵内的卵黄的分布方式并且和

生物的进化相关联。

海葵、杯子、甜甜圈

卵进行卵裂进而变成无数个小细胞聚集体之后开始下一个过程。卵开始凹陷，并形成叫作胚孔的洞。之所以会发生这样的变化，是因为为了使动物有嘴并在嘴的内侧形成消化器官而穿孔以区分体内和体外。

海葵的嘴和肛门不连通，就像杯子一样凹陷下去，而更高级的胎生动物嘴和肛门相连，整体就像甜甜圈一样是中空的。此时，如果开始凹陷的地方变成了嘴，那么这种生物就叫原口动物；如果变成了肛门，那么这种生物就叫后口动物。

也有像青蛙一样，卵会进行复杂变形的生物。要发生这种神奇的变化需要细胞进行移动。此时，细胞中没有观察整体情况决定自己的行动的判断中枢，因此该变化由自组织引起。

此时随着卵裂的不断发生，不同的基因会在各处的细胞进行表达并释放不同的化学物质。这样一来，会在局部出现化学物质的浓度连续变化的浓度梯度。每个细胞均按照该浓度梯度像变形虫一样在细胞表面移动。当形成了某种结构以后，其会变成信号使新的基因表达，然后形成下一个诱导信号的浓度梯度再形成新的结构。

新的不同的基因就像这样不断地在每个场所进行表达，并在不同场所形成不同结构。另外非常复杂的器官分化也通过这样的自组织的过程而形成。虽然细胞只是对不同场所进行不同的局部反应，但整体呈现的效果却十分惊艳。

复杂的形态也从自组织产生

采用该形态形成的自组织的话，一开始基本相同的细胞的集合体最终会变成适应每个场所的结构。其中，关键就在于制造出最初的信号——化学物质的浓度梯度的细胞。

该细胞制造出最初的浓度梯度，才会有后面的细胞对局部条件进行反应进而进行复杂的细胞间分工的过程。在一个使用蝾螈卵的实验中，将发生初期的细胞集合的各部分移植到其他场所后，发现只有特定的部分不管移植到哪里都会诱导胚胎，而有一部分细胞则只会听天由命。

另外还发现，在发生后期，各部分的命运已经决定好了，就算进行移植也不会变成其他物质。另外，现在已知的新的基因通过诱导反应在不同的场所进行表达，进而进行连锁变化形态，也能证实如上现象。

没有智慧的细胞也能通过单纯的连锁反应从而达成复杂的形态形成。也就是说，生物的形态形成由自组织引起这一事实，证明了生命不是通过有智慧的物质设计的，而是通过基因表达和随之而来的简单的反应在进化的过程中形成了生物这一现代科学中的自然观。



Part 3

有趣的生物学

A A B B A A B b
A a B B A a B b
A A B b A A b b
A a B b A a b b
A a B B A a B b
a a B B a a B b
A a B b A a b b
a a B b a a b b

蚂蚁为什么会做出最佳选择

虫子能进行合理判断的理由

群居生物除了作为个体要做出决策以外，还要决定集体的行为方式。这叫作集体决策。

集体决策的结果会决定集体的命运，因此必须要做出确切的判断。具有大脑的脊椎动物中，也许最聪明的个体会在掌握了整体情况之后做出最佳判断，但能力低下的昆虫（虫子）等也面临着这一问题。

那么虫子的社会中是如何做出合理判断的呢？我们来看一下蜜蜂和蚂蚁在选新巢时的行为。

蜜蜂在搬到新巢时，蜂群会暂时在树枝杈上集合，然后侦查蜂飞到各种地方进行侦查。待侦查完回巢后，侦查蜂如果觉得自己刚才看的“候补巢”不错，就会跳一种动员大家前往的舞蹈。蜂会在狭小的范围内像画“8”字一样跳舞，这就是非常有名的8字舞。

8字的方向表示目标的方向，舞蹈的激烈程度表示目标的距离。其他蜂根据舞蹈的指引前往候补巢穴，回来后在其他蜂前开始跳舞。

这样一来，蜂会逐渐前往各个候补巢穴。虽然短时间内决定不了究竟选哪个，但一两天之后，去某个特定巢的个体变多并达到一定数量之后，群体整体开始周期性地扇动翅膀，然后整体就会飞向那个特定的巢。也就是说，蜂最后会选出一个最合适的巢。

群体的决定超过个体的能力

蚂蚁的情况也相同。侦查个体寻找新巢，回来之后动员其他同伴前往那里。经过一定时间后，当特定的候补巢中的个体数超过一定比例，则全体开始向那里移动。也就是说，蚂蚁会选出多个候补巢中最合适的巢。

侦查个体或被动员的个体并不是比较所有候补巢选出最好的那个，再让同伴过去。大部分个体只去一个候补巢，如果觉得好的话再动员其他同伴前往。

虽然只是个体层面进行了决策，但从整体上来说相当于比较了所有候补再进行选择（选择最好的巢）。因此群体的决定超过了个体的能力。那么它的决策机制是什么呢？

在进行集体决策时，蜂和蚂蚁们用的是少数服从多数原则。虽然不知道具体是不是超过了半数，但一定数量的个体去了特定的候补巢的话，整体就会移动，所以由此判断它们采用的是少数服从多数的原则。

也就是说，为了使个体的决策反应在集体的层面，只要让尽量多的个体做出和某个体相同的决策即可，即需要将更多的个体动员到高质量的候补巢，而只让少数的个体前往质量低的候补巢。

对于蜂来说，去了质量高的候补巢的个体跳舞的概率高，往返该候补巢的次数多。对于蚂蚁来说，去了质量高的巢的话查看巢所需的时间短。

这就是动员更多的个体前往质量高的候补巢的机制。用一句话总

结，候补巢的质量越高，被动员前往该巢的个体就会越多。但目前我们还不知道是不是任何情况下都呈这种正比例。

蚂蚁的例子中，如果候补巢的距离相等的话就符合上述原理，但实际上候补巢的距离不一定是相等的。目前还没发现这种情况下的机制。正因如此，才有研究的价值.....

虫子为什么是少数服从多数？

为什么是少数服从多数呢？其中有两个理由。

一个理由是降低做出错误决定的概率，另一个理由是提高做出正确决定的概率。首先，如果根据极少数个体的判断进行集体的决策的话，若该个体碰巧进行了错误的判断，那整体出错的风险也会变大。

个体有一定概率会犯错，如果一个个体直接进行整体的决策的话，若该个体碰巧出错则后果不堪设想。但如果许多个体通过商议进行整体决策，因所有人全都犯错的概率很小，所以此时的风险也变得很小。

尤其像昆虫这种个体能力不高的动物，使用少数服从多数来进行决策会大幅降低进行错误决策的风险。

关于第二个理由即提高做出正确决定的概率，只要满足某条件，少数服从多数就是有效的。这个条件就是个体选择正确答案的概率比随机选择的概率高。

比如，随便从两个选项中进行选择的话，正确的概率是0.5。如果个体选择正确答案的概率是0.7的话（比随机高），那么用一个个体进行整体决策的话，正确率是0.7。

这里试着导入“三个个体中两个个体选择了正确答案时进行整体决策”这种少数服从多数的方法。表2表示三个个体分别进行决策时的选择概率。假设两个个体以上赞成的答案就是整体的答案，那么该答案是正确的概率为 $0.343+0.147+0.147+0.147=0.784$ ，比一个个体进行决策时的正确率0.7高。

表2

个体A	个体B	个体C	整体	概率
○	○	○	○	$0.7 \times 0.7 \times 0.7 = 0.343$
○	○	×	○	$0.7 \times 0.7 \times 0.3 = 0.147$
○	×	○	○	$0.7 \times 0.3 \times 0.7 = 0.147$
○	×	×	×	$0.7 \times 0.3 \times 0.3 = 0.063$
×	○	○	○	$0.3 \times 0.7 \times 0.7 = 0.147$
×	○	×	×	$0.3 \times 0.7 \times 0.3 = 0.063$
×	×	○	×	$0.3 \times 0.3 \times 0.7 = 0.063$
×	×	×	×	$0.3 \times 0.3 \times 0.3 = 0.027$
总计				1.0

少数服从多数的优缺点

个体数量越多，进行少数服从多数时的正确率越高。即，当一个个体的正确率比随机选择的正确率高时，那么进行少数服从多数的正确率比个体进行决策时要高。

蚂蚁和蜂都接受了自然选择，所以它们个体的正确率应该高于随机选择的正确率。也就说是少数服从多数时的正确率应该也很高。但要注意的是，当个体的正确率低于随机选择的正确率时，少数服从多数就会有很大的概率做出错误的选择。所以少数服从多数不是万能的。

人类的民主主义和少数服从多数一样，人的正确率是否比随机选择的正确率要高呢？

少数服从多数还有一个缺点，就是进行决策所需的时间长，这一点取决于“参与集体决策的个体数”。

参与决策的个体数取决于增加个体数后正确率能提高多少以及进行决策所需的时间。也就是说，紧急时就需要牺牲一点正确率通过少数个体进行决策。

在昆虫的世界中，当出现紧急情况时是否真的减少了参与决策的个体数量呢？

大脑和蚂蚁很相似

生物学最大的课题

集体性昆虫能通过统计个体的简单判断，来做出对整体最有利的决策。但是，大脑发达的哺乳类动物等群体中存在极少数的决策者，决策者掌握群体的整体情况进行群体决策。

决策者做出正确判断的概率要比通过少数服从多数进行集体决策高，或者需要在短时间内做出正确的判断。用一句话来说就是决策者的能力必须要非常高。

他们要根据不同的情况做出不同的判断。为什么哺乳类能实现这一决策方式呢？这是因为哺乳类动物具有比其他动物发达的大脑。尤其是人的大脑非常发达，能进行其他动物不可能进行的深度、抽象的智能活动。可以说人之所以是人也是因为大脑的存在。

现在我们还不知道大脑为什么能实现这么复杂的功能。这就是现代生物学最大的课题之一，虽然我们进行了许多大脑相关的研究，但目前还没有权威的解释。

目前我们已经掌握了大脑的结构，大脑的末端是神经细胞。神经细胞细长，由长的轴突和短的树突构成。神经细胞受到刺激之后，轴突的中心会向两端进行电刺激来传递兴奋，兴奋传递到两端后，仅从一端释放神经递质将兴奋传给下一个神经细胞的树突。

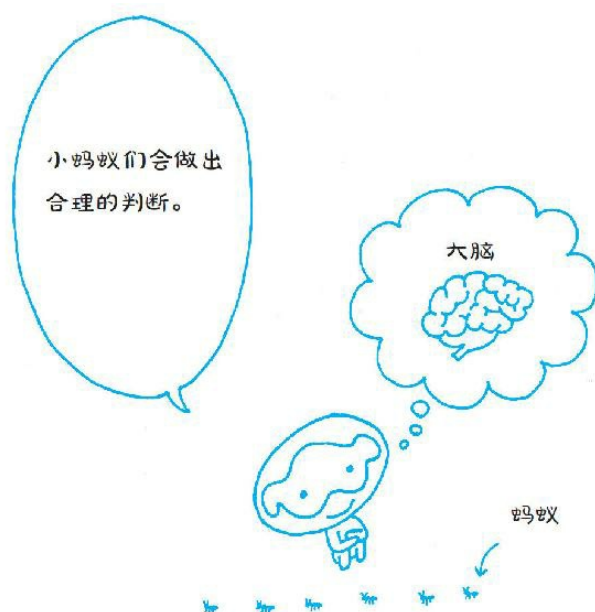
通过该机制，神经细胞会只朝一个方向传递刺激。

群体和大脑很相似

大脑聚集了无数个神经细胞并形成网络。但是，如果只有网络就行的话，那么科幻作品中的经典桥段——互联网具有智慧也就不稀奇了，但在现实中这是不可能的。在现实中重要的不是形成网络，而是如何去使用网络。但针对大脑的实验十分困难，这也是智能研究的困难之处。

大脑在末端聚集了只能进行on / off这种简单判断的神经细胞，并根据不同情况做出不同的合理判断。这一点与蚂蚁和蜂群体很相似。二者均由只能进行简单判断的末端元素构成，但整体却能做出超越单个元素能力的合理判断。

只要知道蜂和蚂蚁群体的工作原理，也许就能从原理上了解大脑的工作机制。就算不能完全了解大脑的工作机制，但至少也能让电脑等通过该方式连接并使其做出超越个体能力的判断，也就是人工智能。



人和蜜蜂都会抑郁

人是有感情的动物

目前我们还没有研究出大脑的工作机制。其实一开始人类的大脑没有这么大也没有这么复杂。大脑一直存在于简单的生物中，最后逐渐变成复杂的人类的大脑。在有大脑的动物中，使大脑运转的基本结构都是神经细胞的集合。

人类的特征之一是具有高层次的感情。比如说“文学”这种艺术领域就是通过文字描写各种感情的。并且人类也是有感情的动物，比如说不管一件事多合理，只要自己讨厌，那么无论如何都不能接受。

人类世界中的所有问题可以说都是因无视其他人的感情，而强制采取对自己有利的行为造成的。如果存在对所有人来说都有利的事情的话（有人相信确实存在），那么世界上应该就不会有纷争了吧。

意识和身体哪个更优先？

人类具有各种感情，但我们还不知道人为什么有各种感情。比如说恐惧是为了不让对自己有危害的东西接近或让自己逃跑而存在的感情，可是高兴、难过、满足等感情存在的理由又是什么呢？这一点恐怕没人能说清。其实动物、猴子等动物也存在感情，这是为什么呢？

另外，我们也有意识，但目前还不清楚为什么人会进化出意识。有一项研究显示，人的大脑在对某个状况产生意识之前，身体已经做出了反应。

如果这一观点是真的，也就说明我们的身体不受意识的控制，意识是随着身体的反应而出现的。这究竟是什么呢？

人的意识和感情中最不可思议的就是“抑郁”的存在。人抑郁之后就变得感情迟钝，没有开心或者高兴的感情和欲望，并且会非常悲观和痛苦。

从生理学角度来说，抑郁状态会减少大脑的神经细胞分泌神经递质，而改善这一分泌的化学物质就能改善抑郁症（即抗抑郁药物）。人在长期较大压力的情况下容易产生抑郁，但其实目前我们还不太理解抑郁这种感情的适应性意义。

抑郁的小龙虾

如果距人类较远的动物出现了该症状的话，那么说明“抑郁”这种现象会在有大脑的动物中出现，并且如果长期维持该症状的话，说明其具有一定的“适应性意义”。因为如果抑郁只能带来不利，那它早就在漫长的生命历史中被淘汰了。

动物也会抑郁吗？

有几项研究显示动物也会抑郁。首先是小龙虾。雄性小龙虾会因雌性小龙虾而争斗。输掉的小龙虾会在短期内不会再与其他小龙虾争斗。研究输掉的小龙虾的大脑后发现，它们神经递质的分泌变少了。失去欲望的小龙虾的大脑的生理状态与抑郁状态的人十分相似，可以解释成因为输而受到了压力，从而变成了一种抑郁。

另外该研究还显示，给抑郁状态的小龙虾喂抗抑郁药之后，小龙虾会恢复斗志。大脑的神经递质的分泌量决定了生物采取积极行动还是消极行动。

有研究显示，赤拟谷盗这种昆虫也有这种习惯。雄性之间战斗之后，输掉的一方变得短时间内不再战斗，而且研究发现这个时间是3天，3天之后输掉的雄性会重新开始战斗。

选出恢复时间长的系统和恢复时间短的系统，使两个系统之间反复进行交配后出现了恢复时间为2天和4天的系统。该“恢复时间”具有遗传背景，可以人为使其进化。这也意味着3天的“恢复时间”其实也是进化的产物。

这一研究中虽然没有测量脑内神经递质的量，但如果这种生物现象和产生于小龙虾的现象相同的话，那么受到压力变得抑郁和消极也是某种适应性进化吧。

悲观的蜜蜂

某研究发现，当一直给蜜蜂施加压力后，蜜蜂会基于悲观的未来进行行动，此时蜜蜂脑内神经递质的分泌量下降。这可以解释为蜜蜂和人一样会由同样的生理机制引起抑郁，而且也会变得悲观。

最近一个关于鱼的研究中显示，当在河中投入抗抑郁药的成分之后，鱼开始采取大胆的行动，并且会游到开阔的场所，因而更容易被捕捉者捕捉。此时神经递质的分泌量应该比正常状态高，因此鱼应该变成了焦躁状态。因为变成焦躁状态存活率就会下降，所以抑郁状态可能反而会提高存活率。

如上现象显示了人类的心理活动也是由具有大脑的祖先继承进化而来的。那么这样的话，抑郁状态也是有意义的。

遗传：概率和偶然的生物学

遗传现象的支配

遗传非常简单，遗传现象受到偶然和概率的支配，只要掌握了几个基本原则就能基本解决遗传问题。

高中生物课的遗传领域讲的是“二倍体生物”的遗传现象。二倍体生物指的是从头到脚均有两组基因集合（基因组）的生物。其中一组来自母亲，另一组来自父亲。

包含人在内的二倍体生物在繁殖时，母亲提供卵子，父亲提供精子，二者结合（受精）之后生出下一代。母亲和父亲均具有两个基因组，只有其中一组进入 卵子或精子。

也就是说，卵子和精子（配子）是只有一个基因组的单倍体。单倍体精子和卵子结合从而形成和父母一样的二倍体子代。这就是二倍体生物的繁殖方式。

孟德尔分离定律

基因组是指支配生物各种性质的基因的集合，决定某性质（比如头发颜色）的基因存在于基因组中的特定位置（该位置叫基因座）。因为基因组有两个，所以一个生物中存在两组基因。

这里用某记号表示表现特定性质的基因，比如，产生使头发变黑的色素的基因用**B**表示、而不形成黑色素使头发变成金色的基因用**G**表示。像这样存在于相同基因座且表现不同性质的基因叫作等位基因。因为一个个体中有两组基因，所以一个个体中该基因的组合可能有**BB**、**BG**、**GG**三种。

例如，当组合是**BG**的父母生育子代时，配子所具有的基因不是**B**就是**G**，而且进入配子的基因是随机的，因此配子中**B**：**G**的比例是1：1。这就是“孟德尔分离定律”。

此时，父母的配子结合形成子代，如果父母的基因型都是**BG**的话，那么母亲和父亲会分别以1：1的比例形成**B**和**G**的配子，由此结合而成的子代的基因型及比例为**BB**：**BG**：**GB**：**GG**=1：1：1：1（参照第18页表1）。这是孟德尔分离定律的基础。

即**BB**：**BG**：**GG**=1：2：1。如果父母均是**BB**的话，那么子代中**BB**：**BB**：**BB**：**BB**=1：1：1：1，如果母亲是**BG**父亲是**GG**的话，那么子代中**BG**：**BG**：**GG**：**GG**=1：1：1：1。

子代头发的颜色

接下来考虑分别具有不同基因型的子代头发的颜色。具有B基因的个体能形成黑色素，所以头发的颜色是黑色。BB和BG相同，头发的颜色均是黑色。只有GG这种组合，因为没有形成黑色素的基因，所以头发是金色的。

表现于子代的性质叫作表型。所以如果父母的基因型都是BG的话，那么子代的表型是BB（黑）：BG（黑）：GB（黑）：GG（金）=1：1：1：1，所以总计黑：金=3：1。

等位基因之间存在优劣关系，叫“显隐性定律”，显性基因即个体具有这个基因的话一定会表现出来。虽然这一定律并不是在所有等位基因间都成立，但比如说控制头发颜色的基因中，形成催化某化学反应的酶和不形成催化某化学反应的酶的等位基因之间，因为B具有催化合成黑色素的酶，所以其相对于G来说是显性的。

如果BB能形成很多色素，而BG只能形成少量色素的话，那么BB是黑色，而BG可能是棕色。这种情况下显隐性定律不完全适用，表型比为黑：棕：金=1：2：1。

也就是说表型是3：1还是1：2：1取决于基于分离定律的配子的比例和等位基因之间的关系。如果以上的内容都理解了的话，那么遗传问题就基本都能理解了。

因为所有的遗传现象中，表型仅取决于有几个基因座（上面的例子中是一个基因座）、每个基因座有几个等位基因以及等位基因之间的关系。

遗传的大原则

孟德尔发现的孟德尔三大定律（分离、显性、自由组合）中还有一个定律是自由组合定律（也称独立分配定律）：支配不同性质的基因座会独立、自由地分配到各个配子中。

自由组合定律并不是万能的，基因组分成多个染色体然后分配到各个配子中，所以存在于不同染色体中的基因座之间符合自由组合定律。另外，同一个染色体上相邻的基因座会一起移动（连锁）。

遗传的大原则是：

1. 个体所具有的两个基因中的一个进入配子，不同基因进行组合之后产生子代的表型。
2. 形成一个配子时，亲代所具有的两个基因中哪一个基因进入配子是随机的。

只要理解了偶然和概率，就能轻松掌握遗传的知识。遗传只不过是配子和配子上的基因如何发挥作用、基因如何决定表型的过程。分离定律这一大原则加上显隐性定律以及自由组合定律，有时在特殊情况下加上其他定律就能解释遗传。这些定律会在不同的阶段发挥作用，从而决定了表型的比例。

只要理解了每个法则发挥作用的顺序以及结果，就能轻松地理解遗传现象。这和其他的生命现象的原理基本相同。



分离比的故事

组合决定表型

一个基因座（参照第18页）上的两个等位基因决定某表型可以叫作“一基因座二等位基因模型”。具有B这种使头发变黑的基因的话（基因型是BB或BG）头发会变黑，只有基因型是GG时头发才会是金色。

一基因座二等位基因模型中，表型的分离比是3：1或1：2：1，总计是4。也就是说，2个等位基因进入各配子中，其组合决定表型，因此母亲2个类型×父亲2个类型=4个基因型，决定了最后的表型。

有时特定的基因型会导致子代死亡，只有这种情况下表型比例会发生变化。比如以头发为例，假设GG这种基因型会导致死亡（致死基因）。子代中的基因型在原则上是BB：BG：GG=1：2：1，BB和BG的表型是黑色，GG死亡，因此表型的比例是黑：金=3：0。

也就是说重点在于基因型的比例以及每个基因型的表型。

两个基因座

该系统升级后会出现二基因座二等位基因模型。一基因座二等位基因模型中，决定性状的基因座只有一个，而二基因座二等位基因模型中支配性状的基因座有两个，每个基因座上分别有两个等位基因。

因为有两个基因座，所以问题在于自由组合定律是否成立。要解决这一问题，只需要考虑自由组合定律完全成立，并且一个基因座中的等位基因不会对另一个基因座的基因产生任何影响的情况即可。除此之外的就是例外情况。

假设有两个基因座，每个基因座上分别有A、a和B、b两个等位基因。此时配子的基因型的组合有四种，即AB、Ab、aB、ab=1：1：1：1，因此受精卵的基因型如表3所示有4×4=16种。

表3

		卵子			
		AB	Ab	aB	ab
精子	AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
	Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
	aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
	ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

配子的基因型组合越多就越复杂，但基本思想和一基因座二等位基因模型相同，只不过是组合从4种变成了16种。剩下的问题就是等位基因会表现什么性质，即等位基因间的相互作用了。这一点也和一基因座

二等位基因模型相似。

遗传是单纯的现象

这里我们将有A和B时的表型写作[AB]，有A无B时写作[Ab]。通过表3可知[AB]：[Ab]：[aB]：[ab]=9：3：3：1。

总计是16。此时，表型的分离比取决于两个基因座上的等位基因的组合所表现的性质。

比如，假设A能形成红色色素，B能形成蓝色色素，那么[AB]：[Ab]：[aB]：[ab]=紫：红：蓝：白=9：3：3：1。如果存在A和B时花会变成红色，A和B只存在一个时花变成粉色，最终花的颜色比例为红：粉：白= 9：6：1。

再举一个例子，如果具有A、B其中一个基因花就会变成红色的话，那么花色比是红：白=15：1。很简单吧。

遗传就是这么简单：

1. 具有何种等位基因的配子以何种比例出现，以及具有何种基因型的受精卵以何种概率产生；
2. 等位基因的组合产生相应性质。

只要掌握了这两点就能掌握遗传。

前者取决于分离定律和自由组合定律，后者就要具体问题具体分析。使问题复杂化的是将如上所述的表型的分离比改变取名为“多基因遗传”等不同的名字造成的。人们自然就以为不同的名字代表不同的现象。

过去人们对遗传的机制还不了解，所以将不同的现象起了不同的名字。但是如上所述，它是基于简单的原理的相同现象，只不过对等位基因的表型产生的影响不同而已。

生物学要记忆的东西非常多，可能有人觉得很无聊，但其实只要掌握了贯穿各种现象的原理，生物学就会变得简单又有趣。

表4

配子	
定律	内容
分离	两个基因组分别进入到不同的配子中，因此配子的分离比是1：1。
显性	显性基因：具有该基因的话就表现出相应的性质。 隐性基因：仅有该基因的话就不表现出相应的性质。
独立分配	除连锁以外，不同的基因座会自由地分配至配子。
	ab AaBb Aabb aaBb aabb

(各基因座的基因遵从分离定律)

连锁和基因组

能制造出一个完整生物的一组基因的集合叫基因组，可以将基因组理解为一条非常长的DNA。但过长的DNA难以管理，所以实际上几乎所有生物的基因组都分为好几条，并分别作为染色体进行保管。一条染色体上有许多基因座，也就是说一条DNA上有许多基因座。

父母的两条染色体中只有一条会进入配子。所以（划重点！）相同染色体上的不同基因座的基因会一起移动。也就是说自由组合定律不适用于这些基因座。这些基因座互相连锁。

若A和B连锁，则AB基因型会直接传给配子，即自由组合定律不成立。这种情况下，虽然有两个基因座，但遗传方式和只有一个基因座时相同。

更麻烦的是，即使两个基因座连锁，但基因座的距离很远的话其组合就会改变。这当然是有理由的。

在形成配子时DNA会进行复制，复制方式为两对相同的染色体排列并分别进行复制。两条DNA链有时会互相改变连接，比如AB、ab这种连锁，如果其间连接发生了改变的话，就会出现具有Ab、aB基因型的配子。这个现象叫作“重组”。重组发生的概率取决于两个基因座的距离。距离越近越不容易发生重组，距离越远越容易发生重组。

如果距离过远的话，就会频繁地发生重组，因此此时的状态与独立分配定律成立时的状态相同。另外，能从子代的表型的分离推断形成配子时两个基因座之间发生重组的概率。

比如说，如果没有连锁的话，则 $AB : Ab : aB : ab = 1 : 1 : 1 : 1$ ，如果父母的基因型都是 $AaBb$ 而子代的基因型是 $AB : Ab : aB : ab = 9 : 1 : 1 : 9$ 的话，则有 AB 、 ab 这种连锁，发生重组的概率是10%。因此也可以知道基因座的顺序以及其分离程度。

比如在测量三个基因座 X 、 Y 、 Z 之前的重组率时，若 $X—Y$ 、 $X—Z = 10\%$ 、 $Y—Z = 3\%$ 、 $X—Y = 7\%$ ，则其顺序是 $X—Y—Z$ ，距离是7 : 3。

生物现象的基础：进化

总结一下，这一系列现象可以理解为遗传物质是DNA，DNA上基因以碱基序列的形式存在，二倍体生物有两个基因组，在形成配子时用到分离定律和基因重组。生物所示的各种现象在基础事实、定律之上互相影响。

因此，一边理解其相互关系，一边构造整体的宏观图示才是学习生物学的捷径，但事实上很多生物老师都没有这种观念。

这是因为许多生物教师对自己的专业分子生物学、遗传学等十分了解，而对所有生物现象的基础——进化的理解却少之又少。我认为生物课本在一开始应该讲进化的机制及其带来的结果。



性出现的理由

神秘的性

二倍体生物中，两个基因组中的一组会分配至配子，然后其与其他个体形成的配子结合，形成具有二倍体的身体的子代，这种情况下遗传定律成立。

将自己的遗传信息和其他个体的遗传信息混合，从而形成子代的方法叫作“性”。以人为首的具有性的生物非常多，地上几乎所有的动植物都有性。但仔细思考一下的话就会发现，性是生物学上最大的谜团之一。

首先我们看一下没有性的生物。细菌等没有性的生物在繁殖时先复制自己的遗传信息，然后将身体分裂成两个，并将每一组遗传信息分配到每个新个体中，从而恢复为原来的状态，非常“简单粗暴”。

这里我们思考一下自己具有的遗传信息会有多少传递给子代。因细菌复制自己具有的遗传信息并全部传递给下一代，所以传递率是1。子代具有和自己完全相同的遗传信息。

那么有性的生物呢？二倍体生物将两个基因组中一组传递给配子，并且使该配子与其他个体形成的另一个配子结合，从而将子代还原为二倍体。

此时父母所具有的遗传信息中会有多少传递给子代呢？因为只有一半基因组会传给子代，因此遗传信息的传递率是0.5。也就是说，有性生殖中只有一半遗传信息会传给子代。

有性生殖和无性生殖

请大家想一下生物的进化。进化的原理是当生物有许多种不同的性质，而且决定该性质的遗传信息传递给后代的传递率不同时，若传递率高，则该性质会变得越来越多种，最终会变得只有该性质。

将性质换成性的话，则无性生殖的遗传信息的传递率是1，而有性生殖是0.5，显然无性生殖的有利之处是有性生殖的二倍。可能有人认为，这样的话生物应该就只剩无性生殖生物了，但实际上几乎所有动植物都是有性生殖。

只能认为遗传信息传递率低的有性生殖广泛存在有利性能充分弥补这一缺陷。但是能克服二倍成本的有利性究竟是什么？为什么进化出性是生物学上的一大谜团。

当然现在出现了几种假说。其中一个假说称因环境经常改变，所以子代中混合存在具有不同性质的个体更有利。无性生殖不会使子代有太多遗传多样性，但有性生殖却可以。

该假说认为例如当环境发生改变时，没有多样性的后代可能会全部灭绝，因此能在不同环境生存下去的各种个体更有利于长期生存。一个使用酵母的实验发现，当环境改变时有性性状会变得有利，并且也得到了性是有利的结果。但该实验并没有证明性具有能弥补两倍差距的有利性。

还有一种假说是子代的基因型不断变异有利于抵抗疾病。病毒等病原体入侵到个体内部时，利用的是由基因型决定的细胞表面的蛋白质结构，病原体会对该结构型产生适应性进化，因此现有的基因型容易得

病，而新的基因型则不易生病，因此是有利的。

《爱丽丝镜中奇遇记》中登场的红皇后

如果为了抗病而变异出的基因型增多的话，病原体也会对其产生适应性进化，所以新的基因型会一直有利。这不是对环境变化（不知道会不会发生）的适应，而是新的基因型就是有利的机制。

从“生物不能停留于现在的状态”这一观点来看，这一假说被比喻成《爱丽丝镜中奇遇记》中让大家不停奔跑的红皇后，因此也叫“红皇后假说”。但是我们不知道这一优点能否弥补二倍成本。

我们研究小组认为性的成本实际上比两倍小得多。

具有性的生物分为形成卵子的雌性和形成精子的雄性，因为雄性不能育子，所以当存在一半雄性时集体的增殖率就降低了一半，因此性有巨大的成本。

但有时集体中的雄性会变得非常少，这种情况下性的成本应该比二倍小得多。这样的话即使性只有非常小的优点但也比无性生殖有利。

实际上，在兼具有性和无性生殖的蓟马这种昆虫中，集体中无性生殖的蓟马越多的地方，有性生殖的雄性的比例越少。在有性生殖的蓟马和无性生殖的蓟马的竞争激烈的地方，有性生殖的蓟马通过降低雄性比来降低成本，从而和无性生殖的蓟马对抗。

无论如何，目前还没有关于性的完整的解释，有人愿意研究一下吗？

为什么有雄性和雌性

大配子和小配子

有性的话，个体会将一半遗传信息传递给配子，并通过与另一个配子结合来重新形成二倍体。因为这是从最初类似于没有性的细菌的状态进化而来的，所以最初的两性的配子大小应该相同。

但是现存的有性生殖生物基本都分化成有大配子（卵子）的雌性和有小配子（精子）的雄性。雄性和雌性是如何出现的呢？

一开始是由相同大小的配子互相结合从而形成受精卵。从受精卵形成的子代的大小应该取决于受精卵的大小，即小受精卵形成小的子代，大受精卵形成大的子代。

如果子代过小则容易死亡，则受精卵越大于子代的存活率就越高。但也不是越大越好，大到某种程度的话就足以生存下去，因此更大的子代就是对资源的浪费。

配子一开始会进化得越来越大，但到了某种程度之后卵子的大小便停止了进化。于是出现了“叛徒”。如果对方的资源能让孩子足够大，那不如减少自己对配子的投资转而制作更多的配子，这样就能留下更多的子代。于是就诞生了形成小配子的雄性。这个雄性就是“叛徒”。

雄性的战略和雌性的战略

雄性的配子减小之后，雌性就无法减小配子的大小，因为太小的子代容易死亡，所以雌性无法减小自己的配子大小。由此确立了雌性和雄性进行的有性生殖这种生殖方式。

当这种生殖方式普及之后会进一步发生进化。雄性的战略是“靠数量取胜”，因此雄性对对方不会挑三拣四，只要是能形成足够大的卵子的雌性即可。就算偶尔遇到了不好的雌性，但精子会马上得到补充，此时再寻找下一个雌性即可。

但雌性却不能这样，雌性对卵子投资了很多资源，因此卵子浪费会严重提高成本。因此，雌性会谨慎选择交配对象。

争强好胜的雄性

雄性和雌性的这种行为差距带来了各种进化。比如说雄性为了得到更好的雌性而使攻击性进化，然后雄性之间会围绕雌性进行争斗。另外，有的雄性还会向雌性展示自己的优点。

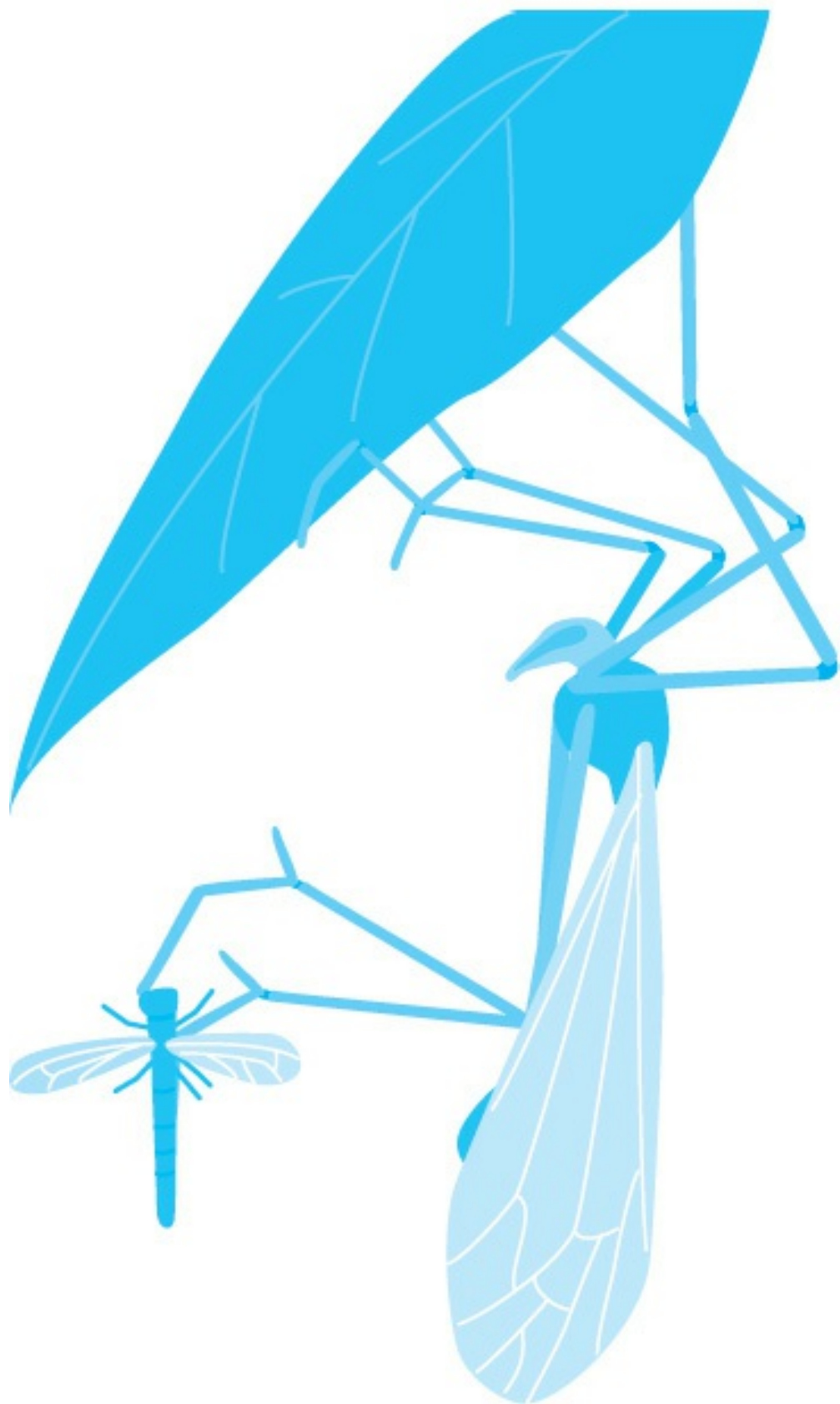


图9

另外，蚊蛉这种昆虫，捕不到猎物的雄性会装作雌性并从捕到了大猎物的雄性那里抢走猎物，再将猎物送给雌性从而获得交配的机会（图9）。

产生于雌雄之间的各种现象是从有雄性和雌性这一事实衍生并进化而来的。其实人和其他生物一样，正因有了男女，人生才变得如此复杂。

世代交替、核相交替与外星人

人类的身体是二倍体

生物课上在讲到植物的现象时，关于世代交替和核相交替，会提到苔藓植物在配子体上形成卵子和精子，受精后形成孢子体进而发育成为孢子，而蕨类植物本身形成孢子，并从孢子产生原叶体，等等，可能很多人都听得云里雾里，我就是其中之一。

但仔细思考一下就会发现这些现象都基于一个连贯的理论，并在该理论上基础上加以个案的分析。

进行有性生殖的生物中，不管是动物还是植物，都是从具有两个基因组状态的身体形成只有一个基因组的细胞，然后两个细胞结合后再次变成二倍体的身体。这种方法能有效保持性这一系统并能使其在世代间延续。

比如说人的身体是二倍体，只有卵子或精子是单倍体。植物中，常见的树、草是二倍体，只有花粉或雌蕊中的卵细胞是单倍体。也就是说，所有的二倍体有性生殖生物一直在进行二倍体状态和单倍体状态的循环。简单吧。

动物的二倍体身体是主体，只有在形成卵子或精子时将基因组减半（减数分裂）。然后精子和卵子不会长大而是直接受精，再次变成二倍体的受精卵并成长为新的个体。

草、树等高等植物和人一样，但有一种植物不同，它的二倍体和单倍体都能形成常见植物体。

蕨类是单倍体还是二倍体？

比如说，常见的蕨类植物的主体是二倍体，在其上进行减数分裂形成单倍体的孢子，孢子发芽并成长为小的单倍体的植物体（原叶体），然后在植物体上形成卵子和精子。卵子和精子受精后再次变成二倍体，然后蕨类主体开始成长。也就是说，不管是二倍体时还是单倍体时都是植物的身体。用人类来比喻的话，就相当于卵子或精子发育为人的身体。

常见的蕨类植物体是二倍体（二倍期），因此其和高等植物或动物很相似。而常见的苔藓植物的主体（配子体）是单倍体（单倍期），在单倍体上形成叫作藏卵器或藏精器的器官，进而形成单倍体的卵子或精子。

精子和卵子受精变成二倍体的受精卵，受精卵在配子体上发育变成二倍体的小孢子体，然后小孢子体进行减数分裂形成单倍体的孢子，孢子发育成为新的配子体，然后重复进行如上循环。

该过程中出现了很多专业词汇比如配子体、孢子体、二倍期、单倍期等，可能很多人开始会很迷惑，但其实原理很简单，就是二倍体一代和单倍体一代同时存在，并通过受精和减数分裂不断重复这一过程。

为什么有的植物的主体是二倍体，而有的植物的主体是单倍体呢？

很久之前生物没有性，而且也没有动物，所有的生物都是单倍体植物。准确地说，是以单倍体状态的身体生活。但是，一个个体和来自其他个体的基因组混合更有利，因此进化出性，进而变成只有进行核相交替（二倍体、单倍体的交替）才能生产下一代。

单倍体的身体为主体，在主体上形成配子，通过受精变成二倍体。因为二倍体的身体需要进行将基因组减半的减数分裂才能回到单倍体，因此二倍体的身体需要进行该减数分裂的器官。于是就形成了二倍体时的身体。

关于外星人

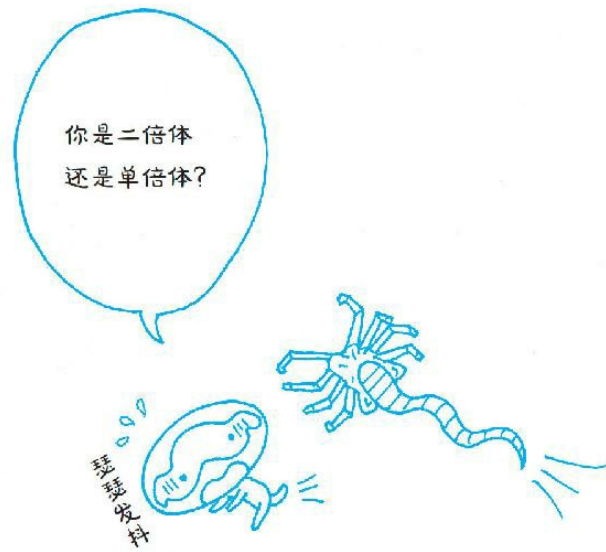
由此进化而来的蕨类、高等植物的主体逐渐变成二倍体的身体，而原本是主体的单倍体的身体退化，有的变成原叶体，有的变成像高等植物、动物的卵子或精子等细胞。因此，我们可以从苔藓—蕨类—高等植物（动物）的世代交替和核相交替的过程中窥见进化的历史。

仅罗列苔藓、蕨类相关的知识点毫无意义，只有理解了生物进化的历史以及性的机制才能轻松地理解这一过程。当然，如原叶体、配子体的意义还是要背下来的，但比起全都要死记硬背应该轻松很多吧。

以前只能将每个事物单独罗列起来再从中寻找线索和真理，但现代生物学已经基本掌握了这一真理。所以在该理论之上从整体去理解就会轻松很多。

说个题外话，大家认为电影《异形》中出现的长得像海螵一样的家伙是二倍体还是单倍体呢？外星人的主体是二倍体还是单倍体呢？

那个怪物的原型是蕨类、苔藓，所以大家可以思考一下，还是很有趣的。



雌雄之战

雄性和雌性之间的争斗

雌性和雄性配合可以生育下一代，也许人类觉得这是理所当然的。但同时二者也都是具有遗传信息并能进行自我复制的单位。进化的单位是能进行自我复制且自立的功能单位。因此，雌性和雄性之间有时会进行激烈的争斗。

比如，有一种苍蝇在交配时，雄性会把精子和毒液一同注入雌性体内。被注入了毒液的雌性变得很虚弱，很快就会死亡。可是雄性为什么要这样做呢？雌性活着并生育下一代不是对自己更有利吗？

其实，对于雄性来说，这是一种适应性行为。虚弱的雌性会将自己的体力和营养全部用于产卵，此时产的卵会比普通状态多得多。而没有被注入毒液的雌性会不断地和其他雄性交配，因此一开始交配的雄性的精子基本不会有用武之地。因此，对于雄性来说，将毒液注入雌性体内可以使雌性更多地生产用了自己的精子的受精卵，所以是更有利的。

白蚁的“王室婚姻”

雄性只想着如何使自己的利益最大化，从不会考虑雌性的感受。伦理是人类的价值观，人类的价值观左右不了动物的行为。雌性也同样，如果雄性之间产生了利害关系，那么每个雌体只会考虑自己的利益。

白蚁和蚂蚁、蜂一样，都是社会性昆虫。但是白蚁和蚂蚁、蜂的不同之处在于，白蚁除了蚁后外还有蚁王，并且只有蚁后和蚁王之间进行交配。该虫偶是在结婚飞行中相遇的情侣，潜入枯树中生育儿女，其下一代全部是工蚁，由此形成最初的群体。蚁后会变得十分肥胖，最终变成一个生育机器。

黄胸散白蚁的蚁后过几年之后就会死亡，最后只剩下蚁王。

蚁后死后，从女儿中选出称作补充生殖蚁的新蚁后，新蚁后再次和蚁王生育工蚁。由补充生殖蚁变来的蚁后有很多只，有的群体中一只蚁王有几十只蚁后。因为补充蚁后是蚁后的女儿，所以人们一直认为黄胸散白蚁进行的是父女间的近亲交配。

补充生殖蚁如果是父亲的女儿的话，那么女儿的基因中应该有一半来自父亲。如果补充生殖蚁和父亲交配生出下一代有翅蚁的话，它们基因中来自父亲的基因组所占的比例应该超过一半。

也就是说，虫偶中只有父亲会留下许多基因，而初代蚁后留下的基因比例会越来越小。

蚁后不会死？

但最近的研究发现，初代蚁后采用一种惊人的手段来防止蚁王单方获利。蚁后在生产工蚁、下一代有翅蚁时使用雄性的精子进行有性生殖，而在生产成为补充生殖蚁的女儿时则不使用精子，仅将自己的基因组传递给补充生殖蚁。

也就是说蚁后可以同时进行有性生殖和孤雌生殖（无性生殖）。这样一来，补充生殖蚁后和她的母亲的基因构成完全相同，所以补充生殖蚁后和蚁王交配与死去的蚁后和蚁王的交配完全相同，因此蚁后的利益不会受损。从遗传角度来说，蚁后永远不会死。

雌性和雄性互相依赖，而有时却按照只使自己获利的进化原则展开激烈的斗争。

雌雄不同种：雄性生雄性、雌雄生雌雄的生物

莫名其妙的生物

有的生物雌性和雄性在繁殖上互相依赖，但同时也是激烈的竞争对手。这就是雄性和雌性不同种的让人摸不着头脑的生物。

一般来说，繁殖时，雌性的基因组和雄性的基因组会在子代的身体里，通过染色体分离到配子中或染色体间的DNA重组等而混合。因此，同种的个体中不会出现雌性和雄性的基因结构分化等现象，所以才叫“同种”。但世界之大无奇不有，有一些生物超出了我们平常的认知。

小火蚁、埃氏扁胸切叶蚁等蚂蚁通过混合雄性和雌性基因组的有性生殖的方法生育工蚁，而蚁后则通过孤雌生殖生育下一代蚁后作为自己的克隆。

用埃氏扁胸切叶蚁进行遗传分析发现，雄性和雌性的基因的碱基序列不同，所有工蚁的基因都混合了雌性基因和雄性基因，雌性（下一代蚁后）具有和蚁后相同的基因型，而雄性（下一代蚁王）具有雄性独自の基因型。

跨几个区域调查雌性和雄性的基因型后发现，雌性之间的基因型依然相同，雄性之间的基因型也依然相同。分析结果显示雌性和雄性的基因在几万年前就已分化，这究竟是怎么回事呢？

如果成为雄性的卵的基因组来自雌性的话，那么雄性和雌性应该具有相同的基因，这和雄性具有独自の基因互相矛盾。但是埃氏扁胸切叶蚁的工蚁不产卵，所以成为雄性的卵应该全部来自蚁后。事实上，蚁后

产的一部分卵会变成雄性。

这在遗传上已得到了确认，考虑如上这些情况来看，雄性可能由没有雌性基因组的受精卵发育而来，也可能是精子进入了完全没有雌性基因组的特别的卵子中，然后由此发育而来。

让雄性生“儿子”

雌性在生育新蚁后时不断重复孤雌生殖，雄性也借蚁后之腹进行孤雌生殖生育“儿子”。也就是说，雌性和雄性在生物学上发生了遗传分化，雌性和雄性的基因组不会混合，因此是“不同种”。但尽管如此，受精卵也能发育成工蚁，真是不可思议。

一般来说，如果雌性进行孤雌生殖的话，那么就不需要雄性来生育下一代了，因此雄性会逐渐消失。有很多种生物仅靠雌性的繁殖而存活下来，比如有几种蚂蚁中雄性已经消失，仅凭借蚁后克隆繁殖工蚁存活下来。但埃氏扁胸切叶蚁等蚂蚁中的雄性却没有消失。这是因为由于某种理由，这些蚂蚁必须混合雌性和雄性的基因组才能生育工蚁。

蚂蚁是社会性生物，因此蚁后或蚁王要想活下去就必须依靠工蚁，不能生育工蚁的话就会马上灭绝。如果只有将雌性和雄性的特异性DNA进行混合才能生育工蚁的话，那么即使蚁后能孤雌生殖，但蚁后的基因组无法生育工蚁，因此仅通过雌性进行孤雌生殖这种方法不可取。

于是就只剩让雄性借腹生“儿子”这一种可能性了，因此导致了雌性和雄性变成了“不同种”。

如今仍然有人在分析这些蚂蚁的基因组，探明这一现象的真相。这一现象也是在使每个基因都获利的进化的原则上产生的。

但同时，不混合基因组就不能生育工蚁，为了世代延续就需要工蚁——这种特异性制约决定了个体的行为。也就是说，个体受到偶然性和必然性的支配。

战斗，还是逃跑？

神经的结构

早期生物是单细胞，后来逐渐进化成多细胞并具有复杂的器官，此时就需要控制这些器官的系统。其中之一就是神经系统。[书ji分 享V 信shufoufou]

神经由多个细长的神经细胞连接而成，受到刺激后细长部分（轴突）会产生电流，电流从受到刺激的地点向两端传递。当兴奋传递到细胞末端后，从一侧释放神经递质。

邻近的神经细胞具有和神经递质发生特异性反应的感受器，接受神经递质后感受器会产生电位。

然后兴奋会再次通过轴突，并再次通过传递物质传递给下一个神经细胞。通过传递物质在多个神经细胞间传递兴奋的结构，不管哪里受到了刺激都能使兴奋在神经细胞中单向传递。

神经只能单向传递刺激，因此负责感觉的末端组织和中枢即大脑之间具有两个神经系统。这两个神经系统能分别向相反的方向传递刺激，即末端受到的刺激传递给大脑，从大脑发出的指令传递给末端。

交感神经和副交感神经

如上两种神经系统能控制肌肉，但如果要控制具有某功能的器官等就需要增强其功能的神经和削弱其功能的神经。这就是交感神经和副交感神经。

这两种神经系统作用于各种器官，当二者其中一个发挥促进作用时，另一个发挥抑制作用。具体请看表4。

交感神经通常用于提高血压，增加血流量，而在消化器官和生殖器官中却降低血流量，因此不能一概而论。这两种神经系统对不同器官发挥不同作用，因此要记忆的事项又多又杂，十分麻烦。

但从进化的观点来思考交感神经和副交感神经的话，就不用记忆这张表了。

用一句话来说，交感神经发挥的是遇到危险情况时的防御作用，副交感神经发挥的是解除危险的作用。基于该原则就能预测表中写到的作用。

遇到危险时需要将血液输送到运动器官，因此心跳加速，血压上升。为了看清对方而使得瞳孔扩大，为了得到运动所需的氧气而加速呼吸。

表4

	交感神经	副交感神经
心跳	加速	减速
血压	上升	下降
呼吸运动	加速	减速
消化作用	减弱	增强
血糖	增加	减少
瞳孔	扩大	缩小
血管	收缩	扩张
肌肉系统	增加血流量	减少血流量
生殖器官	减少血流量	增加血流量

同时抑制消化器官和生殖器官等与战斗无关的器官的血流量。这样的话，仅从促进血流量这一观点无法解释的交感神经的作用也基于该原则发挥着作用。当然，副交感神经的作用是解除交感神经所带来的效果。

现在可以预测这两种神经系统对表上没有的器官发挥的作用。也就是说不用记下所有情况，只要知道每个器官的作用以及在紧急情况下的工作状态即可。

生物接受自然选择从而变得更加适应环境。生物所具有的系统也能针对生物所处的情况而恰当地控制身体。从这一观点来看，我们能轻而易举地掌握非常复杂难记的交感神经与副交感神经的作用。

仅罗列生物现象而不讲其中道理的生物课本也许使孩子们失去了学习生物学的乐趣。

后记：知其因寻其果

本书讲了如何去理解各种生物学现象。生命所示的现象非常复杂，但从早期生命出现开始，就作为自立的功能单位基于进化的原理一直在变化。

生物变得如此多样也是有理由的。当发生对生存有利的适应性变化时，该生物会逐渐地只剩下具有该性质的个体，与此同时，生物为了进化会利用一切能利用的资源，如上两点形成了看似毫无关系的生物的各种现象。

因此，生物向适应环境的方向进化，同时具有非常丰富的多样性。这也是生物复杂难懂的一个理由。

高中的生物课本仅罗列各种生物现象，而不讲解其中的关联，所以看起来要背的内容又杂又多。这是我自己过去学生物学时感到最不满的一点。

但是当我专门从事进化现象研究之后，发现只要理解了贯穿生命的原理就能轻松的理解每个部分了。

本书揭示了贯穿多种现象的思考方法，并尽可能地用一种原理解释所有现象。

学问的本质不是罗列并记述各种现象，而是用贯穿各种现象的理论去解释和归纳其间的相互关系。从这一点上来说，高中生物课本不是“生物学”的课本。

以进化为轴心来学习生物学的话，就能把复杂难懂的信息碎片整理成清晰易懂的内容。但其实教生物学的人可能都做不到这一点，更不用说学习生物学的人了。

因为不管是高中还是大学，几乎没有深入讲解进化的原理或相关的知识。所以老师或编写课本的人都没有基于一个轴心去理解生物惊人的多样性。这就是目前令人感到悲哀的现实。

任何事都是有理由的。清楚地解释（说明）世界的理由才是学问的最终目标。不理解就不可能记住，然后就出现了一批又一批讨厌生物学的人。

当然仅凭我一人无法改变现在的生物学教育方法，也无法改变生物课本。但读过这本书的人也许会发现生物学的乐趣。如果你正在高中学习生物学，而本书能帮助你提高生物学成绩，这就是本书的价值所在。

生物学不难，虽然其丰富的多样性看起来很吓人，但它们都是在非常简单的原理或基本物理、化学的制约下进化而来。只要一个一个地攻破了这些知识点，你的脑中就会自然而然地浮现生命的姿态。

因为生物学是“学”。

感谢田畑博文先生企划及编辑本书，感谢帮助我顺利完成本书的撰写的各位相关人士！谢谢！

长谷川英祐

2014年2月，于洁白的札幌

面白くて眠れなくなる植物学

倾听自然
感知世界

有趣得 让人睡不着的 植物

【日】稻垣荣洋 著

周唯 译

69 北京时代华文书局

关于作者

【日】稻垣荣洋

日本静冈大学农学部教授，农学博士、植物学者。1968年生于日本静冈县，现任职于日本农林水产省、静冈县农林技术研究所。在进行农业研究的同时，撰写有杂草、昆虫等与身边生物相关的著作，并发表相关演讲。主要著作有《身边杂草的愉快生存法》《身边蔬菜观察记》《身边昆虫的华丽生存法》《弱者的战略》《植物不可思议的生活方式》《身边花朵的不为人知的生态》等。

面白くて眠れなくなる植物学

有趣得 让人睡不着的 植物

【日】稻垣荣洋 著
周晓 译

99 北京时代华文书局

图书在版编目（**CIP**）数据

有趣得让人睡不着的植物/（日）稻垣荣洋著；周唯译．--北京：北京时代华文书局，2019.5（2019.9重印）

ISBN 978-7-5699-2988-1

I．①有... II．①稻...②周... III．①植物—青少年读物 IV．
①Q94-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第063129号

北京市版权局著作权合同登记号图字：01-2018-6099

OMOSHIROKUTE NEMURENAKUNARU SHOKUBUTSU-GAKU

Copyright © 2016 by Hidehiro INAGAKI

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2016 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

有趣得让人睡不着的植物

YOUQUDERANGRENSHUIBUZHAODEZHIWU

著者|〔日〕稻垣荣洋

译者|周唯

出版人|王训海

选题策划|高磊

责任编辑|邢楠

装帧设计|程慧 段文辉

责任印制|刘银 范玉洁

出版发行|北京时代华文书局<http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011

电话：010-64267955 64267677

印刷|凯德印刷（天津）有限公司

电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开本|880mm×1230mm 1/32

印张|6.5

字数|104千字

版次|2019年6月第1版

印次|2019年9月第2次印刷

书号|ISBN 978-7-5699-2988-1

版权所有，侵权必究

自序

“天空不能没有星星，大地不能没有花朵，人间不能没有爱。”

这是18世纪时期，德国诗人歌德的诗句。

歌德是一代文豪，同时也是一位伟大的自然科学家。除了诗歌，歌德还为我们留下了这样的文字：

“花是由叶子变形而成的。”这句话出自歌德1790年的《植物变形记》一书。

歌德的这个说法究竟是不是真的呢？

确实，花瓣和叶子有着十分相似的地方。叶片中分布着可以输送水分和营养的筋，这种筋被称为叶脉。如果我们仔细观察花瓣的话，会发现花瓣中也分布和叶脉十分相似的结构。花瓣中的这种结构被称为“花脉”。这样看来，花朵似乎确实是叶子变成的。

花朵里，还有雄蕊和雌蕊之分。那么雄蕊和雌蕊都是由叶子变形而成的吗？

在花朵的众多品种中，有一种花的花瓣是多层的。这种花瓣层层重叠的花朵，被称为“重瓣花”。而重瓣花的花瓣是由雄蕊和雌蕊变化而成的。如果说花瓣是由叶子变形而成的话，那么雄蕊和雌蕊就也是由叶子变形而成的。

在歌德写出《植物变形记》的170多年后，他的主张终于被分子生

物学证实了。这种理论被称为“ABC模型”。

拟南芥这种模型植物的遗传基因发生突变的话，花朵的各个器官将全部变成雄蕊。因为这种变异体只生产出“雄”蕊，所以被称之为Superman基因。

随着研究的逐步推进，人们发现，花朵中各个器官的形成都是由A、B、C三类遗传基因组合形成的：A类基因单独决定了萼片的发育；A类基因和B类基因一起决定了花瓣的发育；另外，C类基因单独决定了雌蕊的发育；C类基因和B类基因则一起决定了雄蕊的发育。如果这三种基因都不存在的话，那就是叶子了。

至此，我们已经弄清楚了叶子变成花的模式。

但是，“为什么花是由叶子变成的”这个问题，并不仅仅包含着“怎么变成的”这一层意思，还隐藏着“为什么”这个疑惑。

那么，植物究竟为什么要把叶子变成花呢？植物的花朵为什么都那么漂亮呢？还有，为什么蒲公英的花朵是黄色的，而紫罗兰的花朵却是紫色的呢？这样认真一想的话，植物的世界里还真是充满了问号啊。

虽然我们对于身边的这些植物早已习以为常了，但这些植物绝不是漫无目的胡乱生长的。植物的世界里充满了一个个谜团。而本书，就将为你解开这些与植物相关的小谜团。

说到“植物学”，可能大家都会对它有一种无聊乏味，艰深晦涩的刻板印象。但实际上，植物学并不是大家想的这样。

说到这里，就让我们打开植物学的大门，一起来看看不可思议的植物世界吧。有趣得让人睡不着的植物世界，开始啦！

目 录

[自序](#)

[Part 1 了不起的植物](#)

[大树究竟可以长到多大呢？](#)

[植物的达·芬奇密码](#)

[鲜花占卜的必胜法](#)

[花儿究竟是为谁开](#)

[蝴蝶为什么会停在菜叶上？](#)

[花朵的初恋物语](#)

[三角龙的衰退和植物的进化](#)

[苹果的蒂在哪里？](#)

[日本蒲公英VS西洋蒲公英](#)

[印盒上的双叶葵](#)

[红叶为什么会变红？](#)

[让人着迷的植物毒素](#)

[松树为什么有着美好的寓意？](#)

[Part 2 有趣的植物学](#)

[不发芽的原因是什么？](#)

[竹子究竟是树还是草呢？](#)

[简笔画胡萝卜的画法](#)

[先有树还是先有草？](#)

[萝卜腿竟然是一种夸奖！](#)

[植物不能动的原因](#)

[植物为什么是绿色的？](#)

[植物的血型是什么？](#)

[樱花运动服上的樱花是什么品种？](#)

[种子的秘密](#)

[孟德尔的遗传学说](#)

[彩色玉米之谜](#)

[Part 3 开始读就停不下来的植物故事](#)

[红灯笼是成熟的果实！](#)

[草原物语](#)

[厨房里的植物学](#)

[萝卜苗长大了会变成什么呢？](#)

[为什么香蕉没有种子呢？](#)

[狗尾巴草是一种高性能植物](#)

[小偷包袱皮上的藤蔓花纹](#)

[雄树和雌树](#)

[法隆寺的柱子还活着？](#)

[生活中不可或缺的植物纤维](#)

[植物的行星——地球](#)

[后记](#)

[返回总目录](#)

Part 1

了不起的植物

1 1 2 3 5 8
1 3 2 1 3 4

大树究竟可以长到多大呢？

巨树是怎样吸收水分的呢？

在日本最古老的历史书《古事记》中，记录了一则关于巨树的传说。传说在大阪的南边，有一棵非常大的樟树，它的影子甚至能覆盖到大海对面的淡路岛。这该是一棵多大的巨树呀！

就算达不到传说中的巨树那样的高度，在镇守神社周围的树林这些地方，也耸立着许多参天大树。那么，巨树的树干究竟能生长到多高呢？

植物都是通过地下的根吸收土壤里的水分的。而这种高大到需要我们抬头仰望的参天巨树，是怎样把水分运送到树顶的呢？这是一个问题。

植物的体内竟然有吸管？！

人类和动物一样，都拥有着像泵一样的心脏。心脏可以帮助我们将血液输送到头顶。动物中个头最高的长颈鹿，就是以将近人类两倍的血压来输送血液。但是，用强力血压来输送血液的长颈鹿，个头最高的也只有3米。所以就算是拥有像泵一样的心脏，想要把水输送到5米的高度也是非常困难的。

除此之外，还有借助大气的压力输送水的方法。

我们身边的空气其实也是有重量的。比方说，我们把手掌向上摊开，手掌上面就托着空气。想象一下，我们手掌上的空气其实是从天空一直到遥远的大气圈空气的堆积。这样的空气，1平方厘米上的重量大约是1千克。也就是说，我们摊开的手掌上面，托着数十千克的空气。虽说如此，我们却完全感受不到空气的重量。这是因为我们就生活在空气当中，我们摊开的手掌下面也有空气，我们的体内也充满了空气。因此我们并不会会有被空气挤压的感觉。

如果把管子里的空气抽空，使它变成真空状态的话，在外界空气的压力下，管子中的水就会被压上去。就像我们用手堵住吸管口，再把它从杯子里往上提，吸管里的水就可以到达一个高于杯子里水面的高度一样。“虹吸”正是这个道理。

那么，如果我们有一根足够长的吸管，可以把水升到多高呢？实际上，用这个方法的话，10米也就是极限了。1平方厘米上空气重量大约是1千克，1立方厘米水的重量也是1千克。也就是说，在水柱到达10米的高度时，就和大气的重量均衡了。

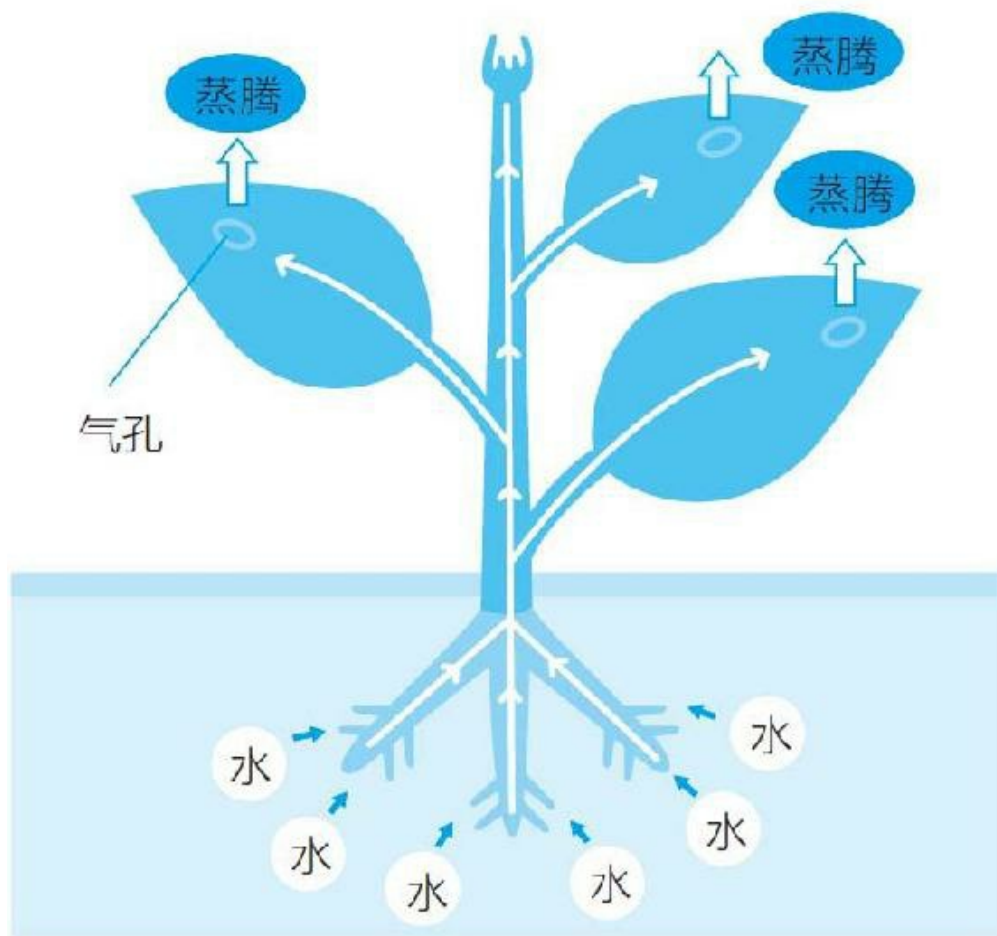
但是，世界上超过10米的巨树比比皆是。这些巨树究竟是怎样把水分运送到那么高的地方的呢？

秘密就是：蒸腾作用。

植物的叶子上，分布着许多可以让空气进出的气孔。植物体内的水分变成水蒸气，通过这些气孔排出。这个过程就叫作蒸腾作用。

在植物的体内，水分从气孔一直连接到根部，形成一条小水柱。因此，当水分通过蒸腾作用排出后，就会有相应的水分被吸上来。这就和我们用吸管喝水把水吸上来的原理一样。

◆蒸腾作用的结构



通过蒸腾作用把水吸上来

据计算，这种蒸腾作用产生的拉力，可以把水吸到130~140米的高度。想象一下，就算我们有一根足够长的吸管，在超过100米的高度上把水吸上来也几乎是不可能的。但是，蒸腾作用就可以发挥出这么强大的力量。

世界上现存最高的巨树是位于美国加利福尼亚州的一棵巨型红杉树，据说它高达115米。这个高度相当于一座25层的大楼。就算如此，理论上来说140米也是巨树高度的极限了。所以很遗憾，传说中那棵影子可以覆盖淡路岛的巨树，应该也只是一个传说而已。

植物的达·芬奇密码

在电影中登场的神秘数字

电影《达·芬奇密码》讲述了一个由一起命案所引发的神秘故事。主人公靠解读达·芬奇名画中隐藏的密码，最终破解了耶稣之谜。

电影中，地下金库的密码是一串这样的数字：“1 1 2 3 5 8 1 3 2 1。”

这串数字按照一定的规律排列而成。一旦掌握了这个规律，就再也不会忘记这串数字了。也就是说，不管什么时候都可以轻松地记起这组地下金库的密码。

“1 1 2 3 5 8 1 3 2 1。”这串数字到底有什么含义呢？

可能很多人都会用生日之类年月日的日期，或者电话号码等的数字作为密码。但是，这串数字却没有这么简单。

实际上，这串数字是由“1、1、2、3、5、8、13、21”八个数字组成的一组数列。再往下继续排列的话，就是“1、1、2、3、5、8、13、21、34、55……”

这组乍看之下是胡乱排列的数字，究竟有什么规律呢？大家试着想想看吧。

潜藏在自然界中的神奇数列

“1、1、2、3、5、8、13、21”这组数列其实有着这样的规律：后项等于前两项之和。也就是说， $1+1=2$ ， $1+2=3$ ， $2+3=5$ ， $3+5=8$ ， $5+8=13$以此类推可以继续算出后面的数字。

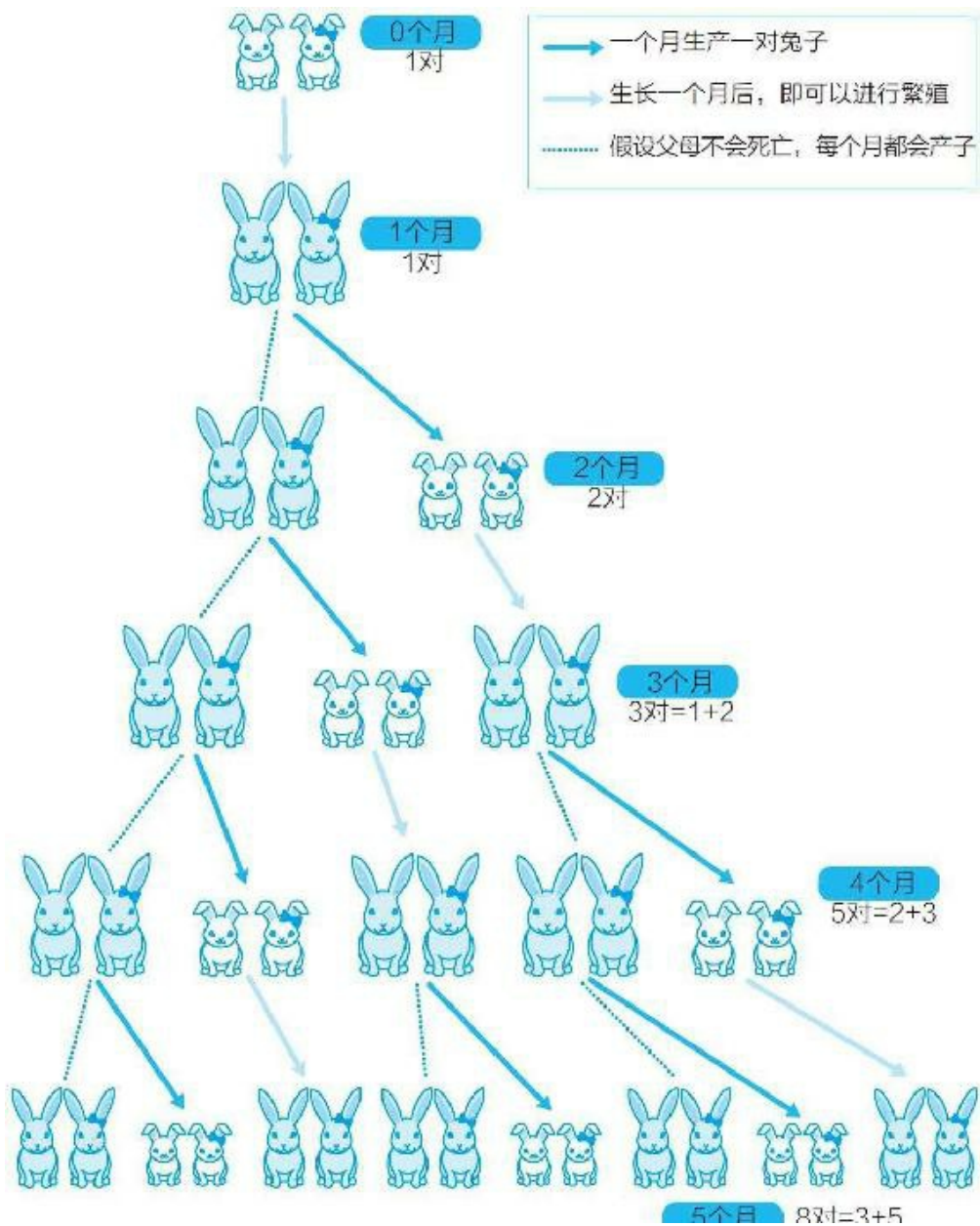
这组数列被称为斐波那契数列。

这组数字虽然看上去非常特殊，但是实际上，大自然中的很多事物都符合斐波那契数列的规律。

举个例子，我们假设一对兔子在出生一个月后成年，第二个月开始每月生一对兔子。

第一个月的一对兔子，在第二个月就变成了两对兔子。到了第三个月，最初的一对兔子又生了新的一对兔子，也就是说，这时总共有3对兔子。以此类推，第四个月共有5对兔子，第五个月共有8对兔子.....我们可以发现，生物的繁殖方式完全符合斐波那契数列的规律。

◆兔子的繁殖方式符合斐波那契数列



斐波那契数列：

1、1、2、3、5、8、13、21、34、55、89、144、233、377……

符合斐波那契数列的植物

现在让我们把斐波那契数列中后一项的数字除以前一项的数字。比如说，3除以2得1.5，5除以3得1.67，8除以5得1.6。随着数列项数的增加，后一项数字除以前一项数字的值将越来越逼近1.618的黄金比例。而黄金比例，被认为是一种最有美感的数学比率。

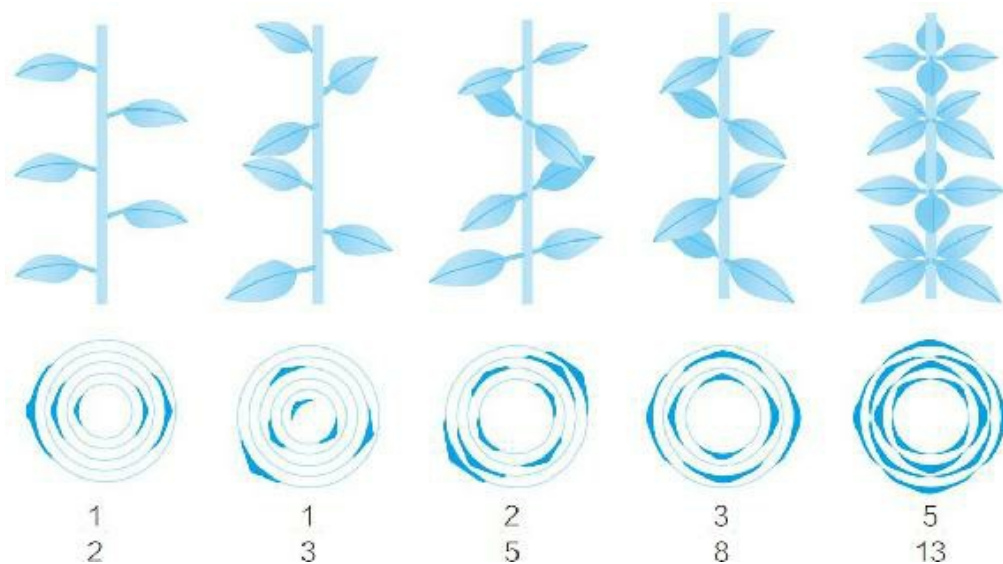
不可思议的是，植物的生长竟然也遵循着这种黄金比例。

植物的茎上叶子生长的位置，并不是毫无规律胡乱分布的。

为了使所有的叶子都能充分均匀地照射到阳光，植物会将叶子稍微错开排列。这种叶子的排列方法叫作：叶序。而叶子要错开多少角度，则是由植物的种类决定的。

比如说，有以360度的 $\frac{1}{2}$ ，也就是180度角错开的。也有以360度的 $\frac{1}{3}$ ，也就是120度角错开的。以这样角度错开的叶子，从下面往上数三片，就刚好转了一周回到了最初的位置。此外，以360度的 $\frac{2}{5}$ ，也就是144度角错开的情况也有。以这种角度错开的情况，我们从下面往上数，数到第五片叶子的时候，就转了两周回到了最初的位置。也就是说，我们只要数一下有几片叶子转了几周，就可以知道叶子错开的角度了。除了上面提到的那些，还有以360度的 $\frac{3}{8}$ ，也就是135度角错开的情况。

◆植物叶子的生长方式也符合斐波那契数列



1/2、1/3、2/5、3/8、5/13.....

实际上，这组分数的分子和分母，都是各自按照斐波那契数列排布的。植物的叶子按照斐波那契数列分布的这一规律，被称为兴柏-布朗定律。

独具匠心的叶片分布

用360度除以黄金比例1.618，可以得到222.5度。而从角度较小的那一侧看，是137.5度。这个角度，是遵循斐波那契数列规律的最精巧的角度。植物的叶子以这样的数列规律排布的话，所有的叶片都不会重叠，可以充分地吸收阳光。此外，还可以使茎的强度更加均衡。

话虽如此，因为无法做到以如此复杂的黄金比例来分布叶子，而以接近137.5度的、360度的 $\frac{2}{5}$ （144度）或是360度的 $\frac{3}{8}$ （135度）的角度来分布叶子的植物也有很多。

植物竟然可以运用黄金比例这样复杂的数列，这可真是太不可思议了。

鲜花占卜的必胜法

不能用大波斯菊来进行鲜花占卜？

女孩子们常常会用鲜花来进行占卜。

所谓的鲜花占卜，就是一边揪下花瓣，一边数着“喜欢”“不喜欢”“喜欢”“不喜欢”的占卜活动。通过这种方式数到最后，就可以测出我们单恋的对象到底喜不喜欢自己。

但是这种鲜花占卜术，是不能用大波斯菊来进行的。

因为大波斯菊的花瓣是偶数，8瓣。因此不管我们数多少次，最后剩下的都是表示“不喜欢”的花瓣。不过，如果一定要用大波斯菊来进行占卜的话，从“不喜欢”开始数就没问题了。

如果用花瓣稍微多些的鲜花来占卜，会是什么情况呢？比如说金盏花。金盏花的花瓣是奇数，13瓣。这样的话，我们通过鲜花占卜就会得到“喜欢”的结果了。

◆花瓣的数量具有规律性



百合花 3瓣



棣棠花 4瓣



长春花 5瓣



大波斯菊 8瓣



万寿菊 13瓣



玛格丽特花 21瓣



雏菊 34瓣

让鲜花占卜的结果为“喜欢”的方法

确实，女孩子们在进行鲜花占卜的时候，都是满心期待来数花瓣的。事实上，根据花朵种类的不同，花瓣的数量其实是早就确定的。

玛格丽特花是鲜花占卜时最常用到的花朵。因为玛格丽特花的花瓣是21瓣，所以经常会被推荐用来进行鲜花占卜。如此说来，也难怪女孩子们都喜欢用它进行占卜。

还有一种和玛格丽特花长得很像的花：雏菊。但是雏菊的花瓣是偶数，34瓣。所以大家在进行鲜花占卜的时候可一定要注意不要用错呀。

此外，太阳花也经常被用于鲜花占卜。太阳花的花瓣是奇数，55瓣，所以也是非常适合用来进行占卜的花朵。

但是，如果是花瓣数量非常多的花朵的话，根据营养条件的不同，花瓣的数量是会发生变化的。所以说，如果用玛格丽特花或是太阳花占卜出“不喜欢”的结果，也不能说全然没有可能。

花瓣数量竟然也符合斐波那契数列

让我们再一起来看看其他花朵的花瓣数量吧。

大家知道樱花花瓣的数量是多少吗？

樱花是日本的象征。不论是2020年东京奥运会的徽章，还是日本相扑协会标记，都采用了樱花元素。

樱花的花瓣有5瓣。

那么，百合的花瓣有几瓣呢？

百合的花瓣虽然看起来有6瓣，但是实际上只有3瓣。百合花内侧的3瓣是花瓣，而外侧的3瓣，其实是由花萼变形而来的。

让我们来看看花瓣的数量，百合花是3瓣，樱花是5瓣，大波斯菊是8瓣，金盏花是13瓣，玛格丽特花是21瓣，雏菊是34瓣，太阳花是55瓣。

3、5、8、13、21、34、55.....

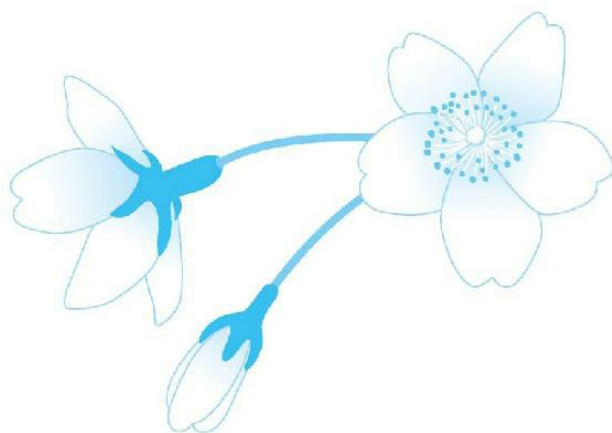
让我们来观察一下，这组数据的规律是不是感觉在哪里见到过？

没错，实际上植物花瓣的数量，也遵循着我们在前文介绍过的斐波那契数列的规律。

植物花朵的部分，原本就是由叶子分化而成的。就像叶子为了实现最高效率，以斐波那契数列进行排布一样，花瓣为了实现最优最均衡的排布，也采用了斐波那契数列。

大自然的创造者可真是一位伟大的数学家啊。而植物中竟然蕴含着如此美丽的数列，也真是一件不可思议的事。

◆ 樱花的花瓣有五瓣



所有的花朵都遵循着美丽的数列

但是，我们继续观察一下就会发现，在花朵中也有着例外存在。

比如，说以“菜之花”的别名为人们所熟知的油菜花，它的花瓣数量就是4瓣。再继续寻找观察的话，就会发现花瓣数量是7瓣、11瓣或者18瓣的花朵也是存在的。

那么这些植物，是不是就逃脱了斐波那契数列的束缚了呢？

我们再仔细观察一下这些数字就会发现，4、7、11、18.....这样的排列组合，其实和斐波那契数列一样，都是按照后一项等于前两项之和的规律排列的。

斐波那契数列中，最开始的数字是1，下一个数字也是1，以此类推下去，就是1、1、2、3、5.....而如果最开始的数字是2，下一个数字是1的情况，数列就变成了2、1、3、4、7、11、18.....这样的数列和斐波那契数列非常相似，被称作卢卡斯数列。

果不其然，自然界中所有的植物花朵都暗藏着美丽的数列原理。

植物中藏着
美丽的数学！



花儿究竟是为谁开

人类对花朵的单相思

人类对花朵可以说是非常喜爱了。

我们会给喜欢的异性送一大捧花束；会在花坛里种植漂亮的鲜花；会在墓碑前面，以鲜花祭奠。

但是很遗憾，植物却并不是为了人类才绽放美丽的花朵的。

当然，用作园艺观赏的改良花朵确实是按照人类喜好的颜色和形态绽放的，但是野生植物的花朵，却并不是为了供人类观赏而绽放的。人类对于花朵的喜爱，可以说是一种完完全全的单相思。

那么，植物究竟是为了谁而绽放花朵的呢？

花朵需要吸引小虫子们过来帮忙传播花粉，然后再进行授粉，获得种子。

而花朵美丽的花瓣和芬芳的花香，实际上也都是吸引小虫子们过来的道具。如此看来，花朵颜色和形态的形成其实都有着合理的理由。花朵们并不是随随便便胡乱绽放的。

早春花田的形成原因

早春时节的油菜花和蒲公英之类的花，花朵的颜色都是十分引人注目的黄色。而黄色，正是虻喜欢的颜色。虻是天气尚未完全转暖的早春时节最先开始活动的小虫子。早春时节的花朵为了吸引来虻这种小虫子，就会绽放黄色的花朵。

但是，虻这种小虫子也有个问题。

像蜜蜂一样的蜂类，会在同种类的花朵间飞来飞去。但是虻这种小虫子就没有这么聪明了，它们完全不会识别花朵的种类，只会在各种种类不一的花朵间飞来飞去。而这对于植物来说可就有些棘手了。

因为就算它们把油菜花的花粉运到蒲公英那里，也是无法结成种子的。油菜花的花粉必须要运送到同种类的油菜花那里去才可以。

那么，究竟怎样才可以让虻准确地为自己传播花粉呢？

植物很好地解决了这个问题。

早春绽放的花朵，具有成群地生长在同一场所（群生）的特性。在这样集中绽放的花丛间，虻不用飞往远处，在近处的花间飞来飞去就可以了。这样的话，就可以做到让虻只在同种类花朵间传播花粉了。因此，早春的花朵都会一齐绽放，形成一个个花田。

蜜蜂是花朵的最佳搭档

蜜蜂对紫色情有独钟，因此可以引来蜜蜂的紫色花朵，通常情况下都是分散盛开的。

像蜜蜂这样的蜂类，是植物期待的最佳拍档。

首先，蜜蜂是一种热爱劳动的昆虫。它们在以女蜂王为中心的家族中生活，并且为家族来收集花蜜。从植物的角度来看，蜜蜂的这种行为可以帮忙传播大量的花粉。

此外，蜜蜂还是一种非常聪明的小昆虫，它们可以识别不同种类的花朵并传播花粉。而且蜜蜂的飞行能力也非常出众，它们可以飞到非常远的地方。这样一来，就算花朵开得非常分散，蜜蜂也可以准确地传播花粉。

正是因为蜜蜂有着如此出色的能力，各种各样的花朵都准备好了丰厚的花蜜来迎接蜜蜂。但是随之而来，问题也出现了。

花朵准备好的丰厚的花蜜，通常也会招来很多其它的昆虫。自己辛辛苦苦准备的花蜜，是肯定不能让其它的昆虫抢走的。那么，紫色的花朵究竟是如何把自己的花蜜只交给蜜蜂的呢？

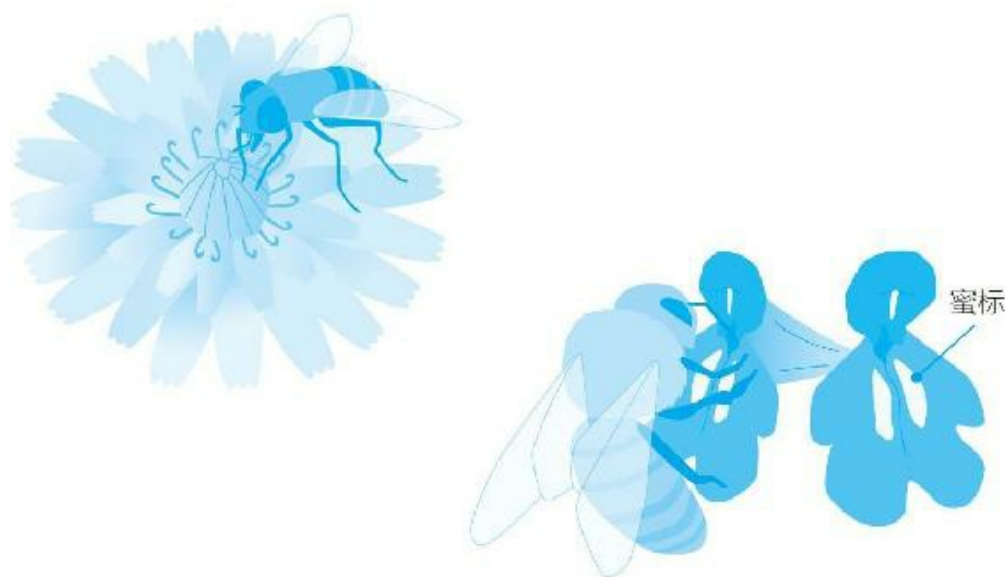
藏在花朵深处的花蜜

上面提到的问题，植物自己非常圆满地解决了。

紫色的花朵为了只让蜜蜂来传播自己的花蜜，给昆虫们准备了一份能力测试。

稍加观察就会发现，紫色花朵的形状非常复杂。它们通常的形态大都是一样细长的构造，而花蜜则藏在这种细长构造的深处。此外，在花朵的花瓣上，还会呈现出一种蜜标，这种标志可以指示出花蜜的藏身处。想采蜜的昆虫要先看懂这种标志，然后潜入细长结构的深处，之后再倒退着出来。只有具备这些能力的昆虫才可以最终得到花蜜。

◆吸引来虻的黄色花朵和吸引来蜜蜂的紫色花朵



通过了重重考验，历经辛苦终于得到花蜜的蜜蜂，之后也会找可以按照这个方法吸食花蜜的花朵。因此，蜜蜂们都会选择飞向同种类的花

朵。

但是蜜蜂毕竟也不是慈善家，它们并不是单纯为了植物的利益而将花粉运送至同种类的花朵那里的。

所有的生物都为了自身利益而行动。但是从人类的角度来看，蜜蜂这种完全利己主义的行动实际上却是一种互相帮助的行为。蜜蜂的行动，使它们和花朵达成了一种共赢的关系。自然界的构造，真是太巧妙了。



蝴蝶为什么会停在菜叶上？

停在菜叶上的菜粉蝶

小蝴蝶，小蝴蝶，停在菜叶上
厌倦了菜叶再停在樱花上

听到这首歌谣，我们脑海中立马会浮现出一幅蝴蝶在菜田的菜花间飞来飞去的场景。但是，在这首歌中，“菜花”并没有登场，歌曲中所唱的，其实是“菜的叶子”。

观察一下就会发现，童谣中唱到的菜粉蝶其实经常停留在菜叶上。菜粉蝶的幼虫是菜青虫，这种小虫子以油菜和卷心菜等十字花科植物为食。因此，菜粉蝶通常会在十字花科植物上产卵。

这首童谣原本的歌词，唱的其实不是“厌烦了菜叶再停在樱花上”，而是“这个菜叶不行，再停在那个叶子上吧”。

菜粉蝶能够通过腿尖来确认十字花科植物分泌出来的物质，所以菜粉蝶在一个又一个叶子上停留，其实是为了寻找十字花科植物来产卵。

昆虫竟然也挑食

那么问题又来了，为什么菜粉蝶的幼虫只吃十字花科的植物呢？不这么挑食的话，生存的空间不是会更大一些吗？

实际上，菜粉蝶的挑食也是有原因的。

很多昆虫都以植物为食，而植物为了防止这种虫害，体内会分泌出各类驱虫物质和毒性物质，以此来进行防御。

可是从昆虫的角度来说，如果不吃植物的话就会被饿死，所以只能找出分解毒性物质的方法，想方设法继续以植物为食。

但是，植物的种类不同，分泌出来的毒性物质也是不一样的。昆虫只能设定好目标植物，然后再通过不断钻研，掌握破解目标植物防御术的方法。

作为另一方的植物当然也不会轻易认输。一旦昆虫破解了自己的防御方法，植物就会开始思考新的防御术。而接下来，昆虫又会继续努力破解植物新的防御术。

双方真可谓是针尖对麦芒了。但是，植物也好昆虫也好，对于这件关乎生存的事情，是绝不可能认输的。菜青虫想要破解十字花科以外的植物的防御术，可以说是难于上青天。所以菜青虫也只好继续不断地研究新对策来对付十字花科植物的防御术。

昆虫和植物的共同进化

就像我们上面讲到的，植物和昆虫逐渐形成了一种特定的竞争关系，而这种竞争将会永无休止地持续下去。昆虫以特定植物为食的情况并不在少数，而这种情况的出现也是有原因的。

这是因为，昆虫和植物在竞争的同时，也在一起进化。这样的进化被称为“共同进化”。

这种共同进化的同伴，并不单单只限于竞争对手。

就像前文介绍的那样，花朵和昆虫的关系也是由共同进化所形成的。

比如说，想要让蜜蜂来帮忙运送花蜜的花朵，会将花朵进化成只可以让蜜蜂来吸食花蜜的构造。相对应地，蜜蜂也会慢慢进化成更易于钻入花朵内部的体态。如此一来，通过这种特定合作关系的形成，只让蜜蜂来吸食花蜜的特定花朵和只爱吸食特定花朵的蜜蜂就完成了共同进化。

花朵的初恋物语

最开始运送花粉的昆虫

大家都有初恋。

在进化的过程中，当花粉最开始由昆虫帮忙传播的时候，花朵究竟是什么样的姿态呢？而最初开始运送花粉的昆虫，又是什么种类的呢？

昆虫从植物那里获取花蜜和花粉，而植物则借由昆虫来传播花粉。昆虫和植物，逐渐演变成了这样一种“相亲相爱”的共生关系。而在这种进化过程中，大家普遍认为，最先开始为植物运送花粉的昆虫是金龟子。金龟子，可以说就是植物的“初恋”对象了。

在让昆虫帮忙运送花粉之前，植物都是借由飘扬的风来传播花粉的。当然了，那个时期的花朵也没有可以吸引昆虫过来的美丽的花瓣。

实际上，金龟子最初的目的只是以花粉为食。也就是说，从花朵的角度来看，金龟子其实是一种害虫。虽然第一印象并不算太好，但是后来却逐渐发展成了“恋爱”关系，这样的故事在我们生活中确实也经常听到。

某一天，金龟子在吃花粉的时候身上不小心也粘上了花粉，饱餐一顿后的它继续飞向别的花朵。就这样，金龟子偶然间将花粉带到了雌蕊上，使雌蕊授粉。这就是植物和金龟子“恋爱”的开始。

就算是花粉被吃掉了一大部分，借由在花间飞来飞去的昆虫来传播花粉，也比通过风来散播花粉要高效得多。就这样，利用昆虫来传播花粉的“虫媒花”慢慢发展起来。

达尔文的“讨厌的谜团”



查尔斯·达尔文（1809～1882）

这种吸引来昆虫的植物，叫作被子植物。被子植物是由裸子植物进化而来的（[参见此处](#)）。从裸子植物到被子植物的进化可谓谜团重重。提出了进化论的查尔斯·达尔文（1809～1882），把被子植物的起源称之为“讨厌的谜团”。就算是对弄清了人类起源是猿猴这一事实的达尔文来说，被子植物的进化也是一团迷雾。

◆ 木兰花上的金龟子



据说，木兰花保留了古老的花朵的外形。

初恋的对象，一般都是不太精明，甚至是有些笨拙的。植物的进化也是一样。就算是在现代，金龟子也绝对算不上精明灵巧。它们没办法像蝴蝶或是蜜蜂那样潇洒自如地在花间纷飞。金龟子通常是以一种近乎坠落的方式，“扑通”一下落在花朵上，然后一边吃着花粉一边在花丛中四处奔走。因此，木兰花是向上开的，并且将无数的雌蕊和雄蕊都杂乱地排在一起，以此让金龟子可以更加方便地行动。

到了现在，希望吸引来亮绿星花金龟和花天牛为自己传播花粉的植物，还是会设法让自己的小花朵平着盛开，以此让金龟子这样的小虫子行动自如。这就是植物和金龟子“初恋”的模样。

另外，金龟子是夏天才出来活动的小虫子。因此，想要吸引金龟子来帮忙传播花粉的植物，大都会在夏天的一片翠绿中，绽放出显眼的白色花朵。

白色总会给人留下一种纯净的印象。而金龟子所选择的“初恋”之花的颜色，正是这样纯净的白色。

三角龙的衰退和植物的进化

被子植物和三角龙

三角龙是在孩子们心中人气很高的一种恐龙。之所以被叫作三角龙，是因为这种恐龙有三个犄角。

就算是在恐龙这个族群中，三角龙也是一个进化后的种类。

以目前的发现来看，食草恐龙大都脖子修长，以长在高高的树上的树叶为食。但是，三角龙的脖子却很短，四条腿也并不长，而且脑袋还是朝向下方的。这个模样，简直就像是食草动物中的牛或者犀牛一样。实际上，三角龙进化成这个样子并不是为了吃树上的叶子，而是为了吃到生长在地面上的花花草草。

在恐龙繁荣昌盛的侏罗纪时代，地球由裸子植物组成的巨大的森林覆盖着。但是到了恐龙时代的最末期——白垩纪时，地球上逐渐进化出了美丽的小花和小草，也就是被子植物。

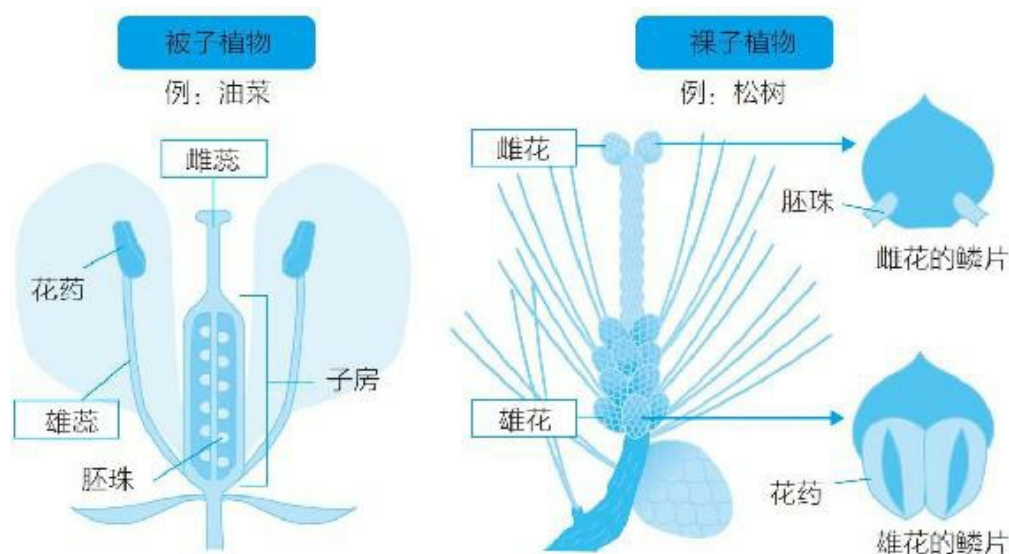
被子植物和裸子植物的区别

可以形成种子的种子植物分为“被子植物”和“裸子植物”两类。

教科书上对裸子植物和被子植物进行了这样的说明，裸子植物的“胚珠裸露在外”。与之相对，被子植物的“胚珠被包藏于闭合的子房内”。胚珠究竟是裸露在外还是被包藏在子房内，看起来像是一个不起眼的差别。但是实际上，胚珠被子房包藏在内这一现象，是植物进化史上的一个大事件。正是由于这一现象的出现，才有了植物后来一系列戏剧性的进化。

胚珠是种子的前体。对于植物来说，最重要的部分莫过于蕴藏着下一代的种子了。也就是说，将胚珠裸露在外，实际上是植物把最重要的东西置于一种毫无防备的状态。直到很久后的一天，将如此珍贵的种子包藏在子房内好好保护的植物才出现。这就是被子植物。

◆被子植物和裸子植物的构造



这种方法，使得之后的植物发生了革命性的变化。

目前我们所知道的裸子植物的胚珠都是裸露在外的。因此，当花粉成功到达后，裸子植物就会马上接受花粉并且准备受精。

与之相对，被子植物的胚珠被子房包藏着，所以可以在子房中安全地进行受精。为此，被子植物在花粉到达之前就使胚珠发育成熟并做好准备。这种方法，大幅缩短了从开始受粉到受精完成的时间。

以我们常见的裸子植物松树为例，从开始受粉再到受精完成，要经历长达一年的时间。与之相比，被子植物从花粉粘上雌蕊的那一刻开始，快的话几个小时，慢的话几天时间就可以完成受精。这种令人咋舌惊叹的提速，简直就像是在原本从北京到上海徒步要走数十天的路上，建成了只用四个多小时就能到达的“复兴号”高铁。

被子植物进化出的美丽花瓣

随着受精用时的缩短，一代一代更新的时间加快了。而随着一代代更新的加快，进化的速度也变得更快了。

在恐龙时代即将终结的时期，原本安定的环境发生了极大的变化。地壳运动频发，气候变化激烈。此时，迎合环境并进行快速进化是非常必要的。而就是在这个时期，植物的世界进入了高速演变时代。

被子植物为了快速演变，在最初阶段进化出了草，这是因为已经没有时间可以慢慢地长成大树了。除此之外，被子植物还进化出了长着花瓣的漂亮花朵。要知道，古老的植物——裸子植物的花朵是没有花瓣的，它们的花粉是随风散播的。但是被子植物进化出了有着美丽花瓣的花朵，并且逐渐进化成了通过虫子来传播花粉的结构。

三角龙的中毒死亡

为了以这种新型的植物，也就是地上的花草为食，恐龙的族群中进化出了三角龙。

随着被子植物开始借助虫子来传播花粉，授粉效率大大提高，从而使被子植物的进化速度也大大加快了。

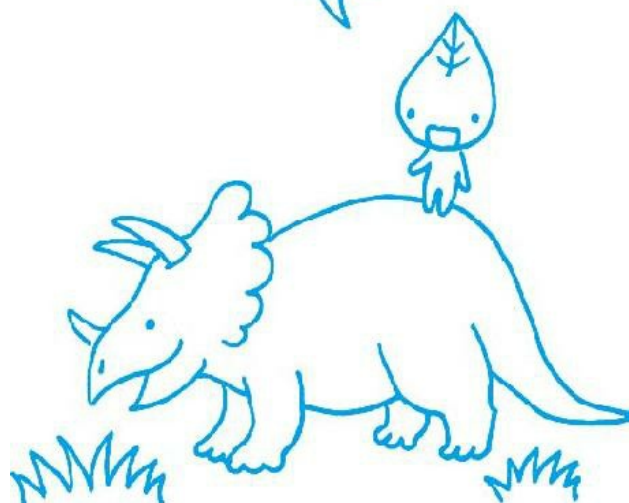
三角龙一直在不断适应着被子植物的进化。但是，它到最后也还是没能跟上被子植物的进化。

被子植物一边进行着一代代的更新，一边不断进行着各种进化。为了防止虫子的食害，被子植物进化出了一种叫作生物碱的有毒成分。为此，大家也在推测，三角龙一类的恐龙，可能是因为没有办法消化这些有毒物质而被毒死的。

实际上，观察白垩纪末期的恐龙化石就会发现，恐龙中器官异常肥大、蛋壳过薄之类的生理障碍现象并不少见。而这种现象就是中毒的特征。说到这里，其实在人为复活恐龙的科幻电影《侏罗纪公园》里，也有一幕三角龙吃了有毒植物的叶子后倒地的画面。

人们普遍认为导致恐龙灭绝的直接原因是小行星的撞击。但其实在此之前，随着被子植物的进化，恐龙的族群就已经进入了衰退的阶段。

植物进化的
速度还真让
人吃惊!



苹果的蒂在哪里？

橘子和苹果的上下

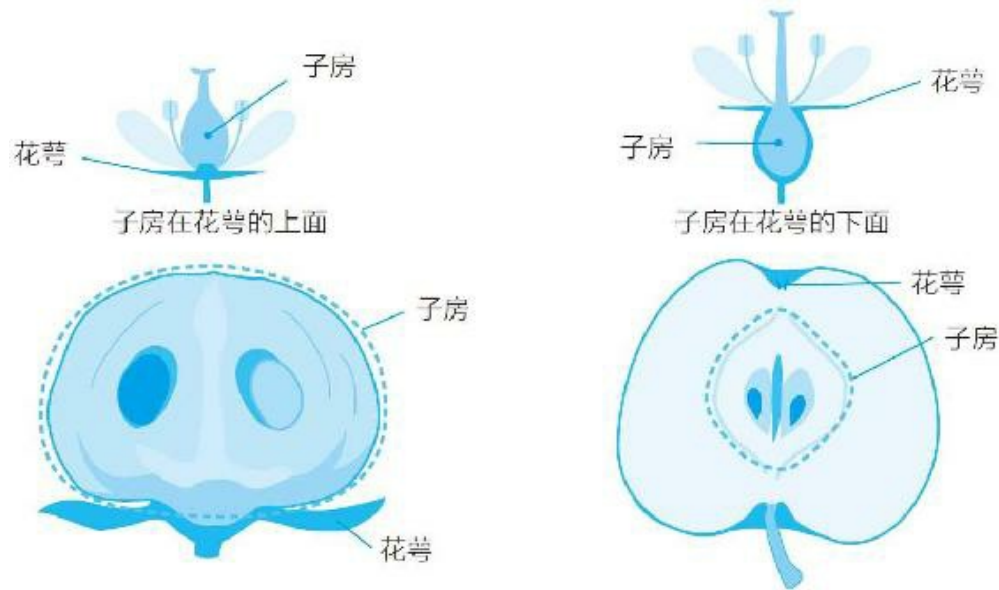
对于橘子来说，哪头是上，哪头是下呢？

在放橘子的时候，我们会把带蒂的那头朝上放置。但是，从植物的角度来想的话，和树枝相连的柄才是根本。也就是说，连接着柄的蒂的部分才是下面。

让我们再来看看花的构造。花朵的根是花萼，花萼的上面是子房。子房的部分最终会变成果实，而花萼的部分则会变成果蒂。例如，橘子和柿子就是在柄的地方连着果蒂。果实的蒂，就是由花萼变成的。

那么苹果哪头是上，哪头是下呢？如果也把带柄的那头想成是下的话，那么苹果带果柄的那头就是下。但是，在这头苹果却并没有像橘子或是柿子那样的果蒂。那么苹果的果蒂究竟在哪里呢？

◆ 柿子和苹果横切面的比较



将苹果带柄的那头向下来观察，我们会发现苹果的柄和果实之间并没有蒂。但是，我们反过来观察苹果另一头的凹坑，就会发现里面似乎有东西。而这正是苹果的花萼。也就是说，苹果的花萼是在果实上面的。

实际上，苹果的果肉并不是由肥大的子房形成的。苹果的果肉，是由花朵根部被叫作花托的部分包裹着子房而形成的。

由于果肉并不是由子房发育而成的，苹果也被叫作“假果”。

那么，由子房发育而成的真正的果实部分又在哪里呢？

实际上，我们吃完苹果后留下的苹果核，就是由苹果的子房变成的。本来子房就是为保护种子而存在的，而后来为了达到被吃掉后可以散播种子的效果，就演变成了果实。可是，原本保护种子的子房被吃掉的话是很有风险的。因此，苹果逐渐演变，将花萼变成果实，而让子房再次成为种子的保护层。

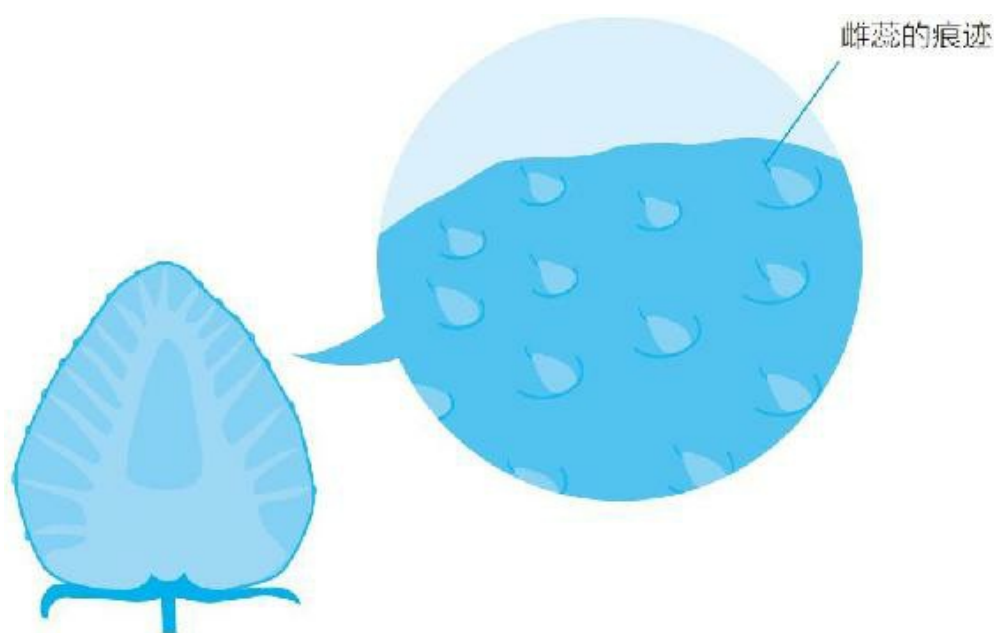
草莓上小颗粒的秘密

我们仔细观察的话就会发现，草莓也是一种非常奇妙的果实。草莓上面的小颗粒，其实是草莓的种子。也就是说，草莓的种子并不在果实里面，而是分布在果实的表面。

我们平常吃的草莓的红色果肉，实际上并不是它真实的果实。

草莓的红色果肉，其实是一种位于花朵根部被叫作花托的肥大的部分。在花托上面，分布着很多小小的子房。在随后发育的过程中，花托的部分逐渐胀大。

◆草莓的种子位于果实表面



草莓表面上的小颗粒才是真正的果实

那么，草莓真正的果实部分又在哪里呢？

实际上，刚才我们提到的草莓的种子，也就是草莓上面一颗一颗的小颗粒，就是草莓真正的果实。我们再仔细观察一下草莓上面的小颗粒，就会发现颗粒上面有着棒状的东西。这些其实是雌蕊。果实是由雌蕊根部的子房发育而成的。而这些颗粒，正是草莓真正的果实。

果实是为了吸引鸟儿来吃才变得丰厚肥大的，而草莓的花托已经很美味多汁了，也就没有必要让真正的果实也发育膨大。因此，草莓在每个小颗粒里面，都只放了一个种子。

虽然这些小颗粒是草莓真正的果实，但它们也只是为了包裹住种子而存在的。所以，草莓上的小颗粒可以说就是它的种子。

苹果和草莓是同类

看起来完全不同的苹果和草莓，实际竟然是同一类植物。这多多少少让人感到意外，但是，苹果和草莓确实都是蔷薇科的植物。

蔷薇科植物被认为是植物中进化比较完全的一种植物。把重要的部分隐藏起来，让果实被吃掉并借此传播种子，实现这些想法的最初的植物之一就包含蔷薇科。如果只是如此的话，蔷薇科还不能被称为很先进的植物。蔷薇科的植物在此基础上，还不断钻研，进化出了更加复杂的果实。

不过就算是这样，对于苹果和草莓同属蔷薇科这一事实，多少还是会让人觉得有些难以理解。毕竟苹果生长在树上，而草莓作为一种草本植物，永远也长不成一棵大树。对于植物来说，小草和大树究竟意味着什么呢？关于这个问题，我将在后面为大家详细介绍。

对于苹果来说，苹果核才是最重要的东西哦！



日本蒲公英VS西洋蒲公英

“野草就算被践踏还是会顽强地站起来”是假的？

人们都说，野草就算被践踏还是会再站起来。

这究竟是真的吗？

确实，被踩一次两次的话，野草还是可以再立起来的。但是，如果一直踩的话，野草是没法再立起来的。

这样看来，如果野草被踩倒了的话，是立不起来的。

虽然野草非常坚韧，但是也还是会有那种毫无同情心的人一直践踏它们吧。不过话说回来，野草为什么在一开始被踩之后一定要再立起来呢？

对于植物来说，最重要的事莫过于开花结果了。这样看的话，比起在被踩后再站起来这种事情上浪费能量，还是继续开花结果才更为重要吧。

“就算被践踏了，也要坚强地站起来”，这其实只不过是人类的幻想罢了。植物的生存方式，比我们人类这种情绪化的“毅力论”有逻辑得多。

生长在非常容易被踩到的地方的蒲公英，经常会有让茎倒下来开花的情况。这并不是被踩倒下了。而是一旦叶子被踩到，就会受到刺激，然后从最初开始就让根茎横着生长。这样一来，就可以逃脱被踩踏带来的损伤了。

日本的蒲公英很弱？

众所周知，西洋蒲公英品种和自古流传下来的日本本土蒲公英品种有着非常大的区别。西洋蒲公英在日本繁殖的速度非常快，而日本本土蒲公英的数量却在逐渐减少。

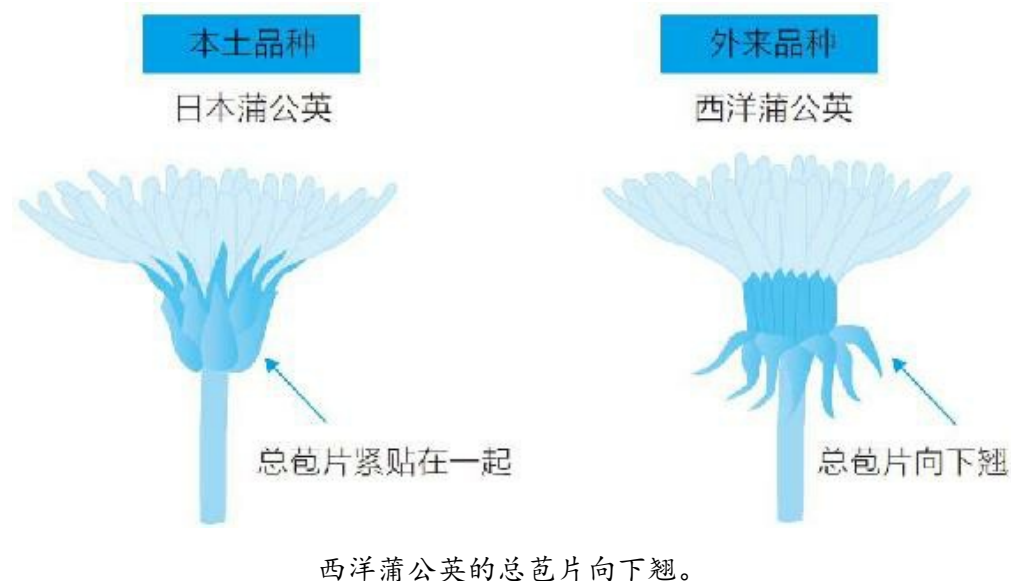
这样一看的话，西洋蒲公英似乎比日本本土蒲公英要厉害很多。

现在让我们来具体比较一下两者的实力吧。

西洋蒲公英的种子比日本本土蒲公英的种子更小，也更轻。因此，西洋蒲公英的种子可以飞到更远的地方。而且，由于种子体积更小，一株蒲公英上，种子的数量也更多。

另外，由于日本本土蒲公英的繁殖方式是有性繁殖，如果蜂和虻不把花粉带过来的话，就没有办法结成种子。日本的蒲公英就是书中前文介绍的群生开花的植物。

◆ 蒲公英的区分



和日本本土蒲公英不同，西洋蒲公英拥有一种就算不受粉也可以结成种子的能力，被称为无融合生殖的特殊能力。因此，就算处在身边没有花朵，或是没有昆虫可以帮忙传播花粉的环境，西洋蒲公英也可以自己结成种子。

不仅如此，日本本土蒲公英只有在春天才会开放，而西洋蒲公英一年四季都可以开花。因此，西洋蒲公英可以不断地开花，不断地将种子散播到各地。

蒲公英的生态地位

这样一看，相对于日本本土蒲公英来说，西洋蒲公英可以说是占有压倒性的优势了。

但是，事实真的是这样吗？

日本蒲公英的种子比西洋蒲公英的种子更大。虽然在远程飞行上不占优势，但是大个的种子却可以培育出大个的芽。这一点在和别的植物竞争的时候是很有利的。此外，由于日本蒲公英需要接受其它花的花粉并进行交配，所以可以留下更多种多样的后代。这对于适应多样性的环境也是非常有利的。

另外，日本蒲公英只在春天开放。它们在春天快速地开花再快速地散播种子，然后只留下根部，而花朵就枯萎了。

夏天的时候，万物盛开，枝繁叶茂。小小的蒲公英很难接收到阳光。于是它们就干脆躲到地下，避免和其它植物发生纷争。

也就是说，日本的蒲公英是在极为丰富的自然环境中成长起来的。正是在这种环境中，它们形成了自己的成长战略。

与之相比，西洋的蒲公英因为种子很小，所以种子的竞争力也并不高。而且因为一年四季都会开花，在夏天的时候经常会败给其他的植物。所以，西洋蒲公英通常会在其他植物不生长的城市的路边开放，然后再慢慢扩大分布范围。

之所以我们会觉得西洋蒲公英越来越多，而日本蒲公英越来越少，其实是因为日本蒲公英生长的自然环境在一点点减少，而城市的范围正

在逐渐扩大。

我们其实没有办法评价西洋蒲公英和日本蒲公英究竟谁更厉害，因为它们都选择了在合适自身条件的地方生长。像这样的生存地点，叫作“生态位”。

虽说是野草，但也不是随便在哪里都能生长的。



印盒上的双叶葵

德川家和葵纹

“先候着，没看到这个徽章吗？”

那些官员们看到从怀里掏出的印有三叶葵图案的印盒，都一齐跪倒下来。这是电视剧《水户黄门》里的著名场面。

三叶葵的图案是将军德川家的家徽。在江户时代，是非常令人敬畏的象征。

所谓的三叶葵，是由三片心形的叶子组成的图案。这个家徽的图案来源，其实是马兜铃科的双叶葵。正如双叶葵这个名字一样，实际上这种植物只有两片叶子。但是为了图案的美观和谐，改成了由三枚叶片组成的三叶葵的设计。

◆三叶葵家徽



说到葵，我们很自然地就会联想到开着美丽花朵的蜀葵（别名一丈红）或是黄蜀葵。这些都是属于葵科的植物。而双叶葵却是属于马兜铃科的，和这些葵花长得一点也不一样。但是，它们的叶子的形状极为相似，都是心形的，所以也都被称为“葵”。

初代将军德川家康，非常喜欢别人进献给自己的山葵。山葵的叶子和葵非常相似，所以很得德川家康的喜爱。

还有个关于德川家家徽三叶葵的传说是这样讲的，德川家康的祖父松平清康奔赴战场的时候，吃了用水边生长的植物的叶子做的料理后，大胜归来。松平清康非常高兴，就把三叶葵的图案作为旗号流传了下来。那个时候使用的植物是雨久花。雨久花虽然是雨久花科的植物，但是叶子和葵一样，都是心形的，所以在日语中记作“水葵”。

在江户时代，葵的图案是只有将军家才能使用的。

◆和三叶葵非常相似的河骨家徽



于是乎，就出现了模仿三叶葵的家徽，如上图所示。

和三叶葵的图案非常相似的这个家徽，被称为“三河骨”。“河骨”是生长在水边的一种叫作黄金莲的植物。黄金莲，是一种开着鲜艳的黄色花朵的睡莲科的水生草本植物。

因为黄金莲的叶子也是心形的，所以被用作了家徽的图案。

心形叶子的功能

留心观察的话就会发现，心形的叶子在我们身边十分常见。

实际上，心形的叶子也是有它特殊的功能的。

植物接受阳光照射，进行光合作用，所以叶子的面积越大越有利。但是如果叶子过大的话，叶柄就会支撑不住。所以，心形的形状，可以使靠近叶柄处的叶片面积更大，从而可以在保持叶柄平衡的情况下，使叶子的面积达到最大化。

另外，心形的叶子使得叶根的部分凹下去一块，可以让叶子上的雨水和夜露顺着叶柄流到植物的根部，从而达到集水的作用。

即使是这样一个看似不经意的形状，其中也蕴含着很多奥秘。

红叶为什么会变红？

植物的叶子其实是一个“生产工厂”

到了秋天，树叶就会变成鲜艳的黄色或是红色。尤其是秋天的红叶，更是非常美丽。但是，为什么夏天的时候还是绿色的叶子，到了秋天就完全变成了另一种颜色呢？

这其中，隐藏了一个关于叶子的悲伤的故事。

对于植物来说，叶子是进行光合作用的一个非常重要的器官。植物的叶子，其实就相当于一个“生产工厂”。对于植物的叶子来说，夏天是一个非常忙碌的季节。作为工厂能量来源的太阳光，在夏季十分充沛地照射在叶子上。而且，光合作用属于一种化学反应，温度越高，反应就越活跃。于是，在阳光充足、气温炎热的夏季，植物的叶子可以十分旺盛地进行光合作用，并生产出糖分，简直就像一个繁荣忙碌的工厂。

但是，这样的好行情却不是什么时候都有的。在夏季将尽的时候，凉爽的秋风悄悄地刮了起来。太阳光日益减弱，白天的时间也一天天地变短了。光合作用中所必需的太阳光逐渐减少，再加上气温的下降，光合作用的效率越来越低。随即，糖的生产效率也渐渐低了下来。

秋高气爽的天气过去后，紧接着就进入了冬天。

生产量低下的叶子生产工厂，终于沦落到了“赤字经营”的地步。虽然糖的生产量下降了，但是植物在进行呼吸作用的时候，仍然要消费掉不少糖分。更糟糕的是，水分还会从叶子里蒸腾出去。在秋冬时节，雨水是十分稀少的。植物就这样，不仅无法进行光合作用，还要继续挥霍

珍贵的水分。

正如工厂会将借调在外的干部员工召回到总公司，将具有资产价值的备用品领回来一样，叶子也会将叶子里珍贵的蛋白质分解成氨基酸，并将之回收到植物的本体，也就是树干那里。这个行为，怎么看都像是在关闭工厂一样。

而且，植物有时会还会干脆将变成包袱的叶子舍弃掉。植物在叶子的叶柄靠近根部的地方，形成一个不让水分和营养成分通过的区域，这个区域被称为“离层”。也就是说，植物将不再为叶子提供任何的水分或是营养成分。

“离层”，对于一直努力工作的叶子来说，可真是“绝情”啊。看来“产业重组”这个概念，真的是在哪都存在。

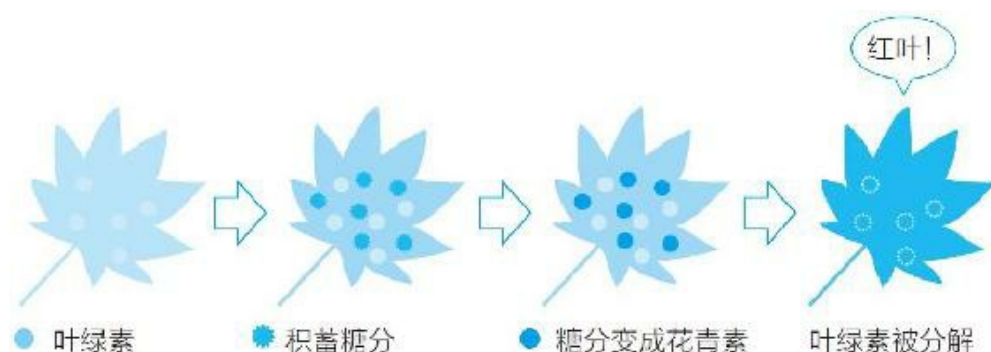
被“产业重组”的叶子的命运

作为“生产工厂”的叶子，可以说是非常勇敢顽强了。就算水分和营养成分的供给被断绝了，叶子也会用手头上仅剩的水分和营养成分一边维持自己的生存一边继续进行光合作用。

不过，不论叶子多么努力地坚持进行光合作用，因为遇到“离层”这层厚厚的墙壁，生产出来的糖分也无法送到植物的主体那里去。就这样，生产出来的那一点点糖分就被储存在了叶子里。

最后，叶子中的这些糖分形成了一种叫作花青素的红色色素。对于植物来说，这种花青素是在水分不足或是寒冷气温的情况下减轻植物紧张程度的物质。叶子，这个被“总公司”抛弃，然后在水分不足、低温寒冷的情况下生产糖分的“小小工厂”，也许正在拼命地谋求生存吧。但是，就算如此努力坚持，也是有极限的。

◆叶子变红的过程



使光合作用持续进行的叶子中的叶绿素，最终还是会在低温下被破坏。这个时候，叶子失去了绿色的叶绿素，就会使储存在叶子中的红色花青素变得格外显眼。

人们都说，在昼夜温差大的时候，红叶的颜色会变得更好看。那是因为，白天光合作用下形成的糖分，到了晚上就会变成花青素。而叶子中的叶绿素，在低温下会被更大程度地破坏。

在夏季辛勤工作，收益颇丰的叶子“生产工厂”，忙到最后却换来了一个被“产业重组”的结局。这座“生产工厂”的“懊悔”越深，就生产出了越浓郁的红色。

讲到这里，我们当中有些人也许会问了，为什么植物为了抵抗水分不足和严寒而生产出来的物质，会是红色的呢？

植物开出红色或是黄色的花朵是为了吸引昆虫，植物结出红色的果实是为了吸引鸟儿。那么，叶子变成红色又是为了什么呢？

叶子的红色其实没有任何意义？

这个每天离不开电脑手机的时代，对我们的眼睛非常不友好。而花青素作为一种可以有效缓解视疲劳的成分，在现今备受关注。那么，植物中的花青素是如何对人的眼睛起到疗效的呢？

花青素是一种存在于植物中的红紫色色素。植物运用这种色素，可以给很多东西染上颜色。

比如，花朵的红颜色和紫颜色就是由花青素形成的。借由这种颜色，花朵们可以吸引昆虫过来帮忙传播花粉。

除了像这些红色的紫色的花朵，苹果的红色和葡萄的紫色也是由花青素形成的。借由这些颜色，可以吸引鸟儿过来帮忙散播种子。

对于只能一动不动地待着的植物来说，一生中有两次可以动起来的机会。一次是花粉的运动，另一次则是种子的运动。为了一生中这两次可以动起来的机会，植物们很巧妙地借助了色素的帮助。

说到这里大家也了解了，花朵和果实的颜色，其实都是具有一定意义的。但是，还有一些植物，让人搞不清楚究竟它为什么要变成那种颜色。

比如我们刚刚介绍过的红叶。红叶的颜色也是借由花青素形成的。红叶虽然极具观赏性，但它们绝不是为了饱人眼福才变成红色的。一心为了生存的植物，是不会有在变美这件事情上花心思的。这样一说，其实紫苏的叶子也是紫色的。而这种紫色也是花青素的效果。但是，紫苏的紫色叶子却完全不会把昆虫或是小鸟吸引过来。

还有红薯，红薯皮的颜色也是由花青素形成的。但是，在地里被黄土包裹着生长的红薯，就算颜色再怎么漂亮，也没有什么意义吧。

花青素的作用

实际上，花青素还承担着染色以外的职责。

比如说，花青素可以吸收紫外线，保护细胞。紫苏这样的植物中的花青素，起到的就是这个作用。

此外，细胞中的渗透压越高，细胞的保水力越高，也就越可以防止冻结。之所以有的叶子会变成红色，就是因为叶子中储存了保护叶子不受水分不足和严寒伤害的花青素。

而且花青素还具有抗菌活性或是抗氧化的功能，可以抵抗病原菌的侵袭。在土里生长的红薯皮，就起到了这样的作用。

不光可以形成漂亮的颜色，还有这么多的功能，真可谓是一专多能啊。花青素真是一种多功能物质。

植物中除了花青素，还有很多其它种类的色素。那些色素除了染色的作用，也都有其它各种各样的功能。

只能待在原地一动不动的植物为了防止病虫害或是环境的变化，生成了各种各样的物质来保护自己。而生成这些物质也是需要付出一些代价的。比如说，会消耗掉根部吸收上来的养分和光合作用形成的糖分。可是营养成分对于植物的成长也是非常重要的，所以不能全都用来生成那些保护物质。

◆花青素的作用



因此，植物更乐于生产出具备多种功能的多功能物质。这种多功能物质的抗菌活性和抗氧化功能在我们的身体里也起着各式各样的效果。我们也可以期待一下，它们在我们身体中发挥出更多意想不到的作用。

让人着迷的植物毒素

人们是从什么时候开始喝茶的呢？

我们喝的茶，是用茶树的叶子做成的。

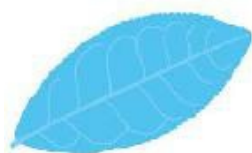
不管是绿茶、红茶还是乌龙茶，所有的茶叶都来源于茶树。茶树是一种山茶科的常绿树。叶子呈深绿色，很坚硬，和山茶树的叶子非常相似。

茶树原产自中国南部，但是如今在多数国家都有培植。绿茶和红茶，早已成为了全世界流行的饮品。

我们到森林里去就会发现，长得和茶树相似的树木非常多，人类为什么在这么多的植物当中选择了茶树呢？为什么一开始的时候不用叶子十分相似的山茶花叶子泡水饮用呢？

在中国古代的传说中，有一个被叫作神农的人，他遍尝百草来辨别哪些植物可以吃，哪些植物可以被用作药材治病。神农尝百草中毒的时候，多亏了咀嚼茶叶来解毒。也就是说，在传说的时代里，茶叶就已经先于其它植物被当作药材来使用了。

◆茶树的叶子、咖啡树的种子、可可的种子



茶树的叶子



咖啡树的种子



可可的种子

让人类着迷的咖啡因

红茶，是世界三大饮料之一。剩下的两个是咖啡和可可。不论是咖啡还是可可，都是以植物的种子为原料的。

咖啡，是用茜草科的咖啡树的种子做成的。而可可，则是用梧桐科的可可树的种子做成的。

红茶、咖啡、可可，这三种饮料中都含有一种相同的物质——咖啡因。咖啡因具有驱走睡意，恢复精力，使人集中注意力的作用。而含有咖啡因的植物，是人类从无数的植物中选出来的。

为什么植物中会含有对人体起着神奇功效的咖啡因呢？

实际上，咖啡因是生物碱这种毒性物质中的一种，原本是植物为了防止昆虫或动物的食害而分泌出的驱虫物质。

但是，就是这种有着微弱毒性的物质，在人的身体中起到和了药一样的作用。因为咖啡因中含有防止人类神经镇静的毒性，可以刺激人的神经，使人感到兴奋。而且，人的身体在感知到咖啡因这种毒性物质后，为了对抗毒素，身体中的各种机能都会活跃起来。这样一来，在我们摄入了咖啡因之后，身心都可以回复到元气满满的状态。

此外，咖啡因还有利尿的作用。我们喝了很多的咖啡或者红茶后，就会特别想去上厕所。这是因为我们的身体想要把咖啡因这种毒性物质排出体外。

含有咖啡因的，不光只有咖啡和红茶。可可也一样，用可可树的果实做成的巧克力中，也含有咖啡因。另外，有一种植物和可可树同属于

梧桐科，叫作可乐树。可乐树的果实就是我们常喝的可乐的原材料。植物中这种叫作咖啡因的物质，还真是叫人着迷啊。

毒物和药物之间只隔着一张纸

让人类着迷的植物成分不只有咖啡因。

香烟中的尼古丁，原本也是植物中的一种毒性物质。辣椒中含有的辣味成分——辣椒素，兰科植物香荚兰的果实中含有的香兰素，这些都是让人类着迷的植物中的毒性物质。

毒物和药物之间，其实只隔了一张纸。人类自古以来就学会了巧妙利用植物中的毒性物质。

松树为什么有着美好的寓意？

让人感受到生命力的常绿树

松树这种植物，有着十分美好的寓意。

松竹梅，以松开头。“千年的仙鹤”落脚的地方也是松树枝。另外，在日本，人们在正月里会用松树来装饰大门，结婚典礼上经常能听到的歌曲“高砂”中唱到的，也是松树。总的来说，松树代表着美好。

那么，为什么松树有着这么美好的寓意呢？

到了冬天，万物凋零。但即使是在这样寒冷的时节，松树叶子的颜色也不会褪去，依然保持着浓郁的绿色。人们因此赞扬松树的生命力，并把它作为一种长生不老的象征。

就像前文介绍的那样，到了冬天叶子就会脱落，防止水分蒸发的“落叶树”，是植物为了过冬而形成的一种新的生长系统。

与之相对的，到了冬天也不会落叶，即使在严冬时节也郁郁葱葱的“常绿树”，是一种古老的植物。而就是这种古老的植物，让人们感受到了一种庄严的生命力。

常绿树杨桐，在日语中写作“榊”，木字旁加上神。神社中将“玉串”（一端缠着布条或纸条的杨桐树枝）作为一种神圣的植物。此外，人们在寺庙中的墓地等地方也会种植大茴香。大茴香也是常绿树的一种。在基督教的圣诞节期间，人们会用西洋柊树作为装饰。除了这些，西洋冷杉也被人们当作神圣的树木，用作圣诞树。西洋柊树和西洋冷杉，都属于常绿树。另外，节分[\(1\)](#)时候用于装饰的柊树也是常绿树。

如此，没有人能抵抗在冬日里依然树叶常青的常绿树的魅力。

但是，即使是古老的常绿树，为了抵抗严寒也费尽了心思。

常绿树的种类

常绿树，大体上可以分为两种。

一种是裸子植物中的常绿树。裸子植物在适应严寒的过程中，为了防止水分从叶子中蒸发，就把叶子逐渐进化成了细细的外形。这样的植物被称作针叶树。

书籍免费分享微信 jnztxy 朋友圈每日更新

松树就是针叶树的一种。除了松树，还有杉树、扁柏树、冷杉……裸子植物中的针叶树非常多。当被子植物在进化的过程中登场后，裸子植物就被挤到了极寒的地方。裸子植物为了适应严寒，叶子进化得非常细。但是，像松树这种叶片非常细的树，受阳光照耀后进行光合作用的效率也非常低。

与之相对的，进化后的被子植物的树叶更加宽阔，因此也被称为阔叶树。其中，会落叶的新型阔叶树被称作“落叶阔叶树”。阔叶树中还有一类树，即使到了冬天也不会落叶。这种树被称作“常绿落叶树”。在像日本这种冬季非常寒冷的地方的常绿树，树叶的表面覆盖着一层蜡，用来防止水分从叶子里蒸发。因为这种表面上覆盖着一层蜡的叶子非常有光泽，所以这种常绿阔叶树也被称作“照叶树”。

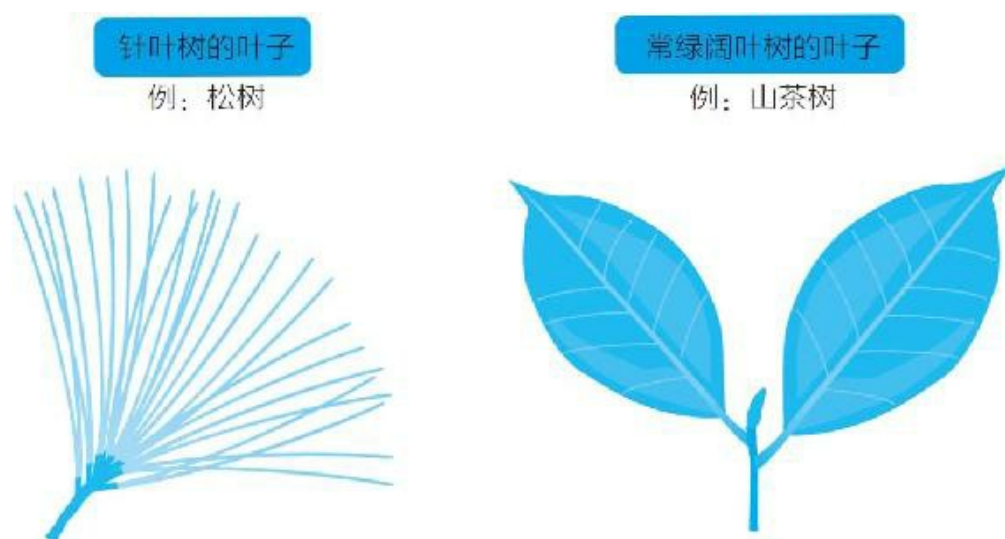
但遗憾的是，即使顽强如照叶树，也有自己的极限。照叶树还是更多地分布在比较暖和的地方，而在比较寒冷的地方，照叶树的分布就没那么广泛了。说到底，会落叶的落叶树更能适应非常寒冷的环境。

但是在寒冷的地方，针叶树相较于落叶树有着更加广泛的分布。比如说，在北海道就广泛分布着鱼鳞松和萨哈林冷杉之类的针叶树。此

外，在欧亚大陆和北美洲大陆的高纬度地区，也广泛分布着被叫作“泰加林”的针叶林。

为什么常绿的针叶树比落叶树更能适应寒冷的地方呢？另外，在被子植物分布更加广泛的现今，针叶树没有被落叶树取而代之的原因又是什么呢？

◆ 针叶树的叶子和常绿阔叶树的叶子



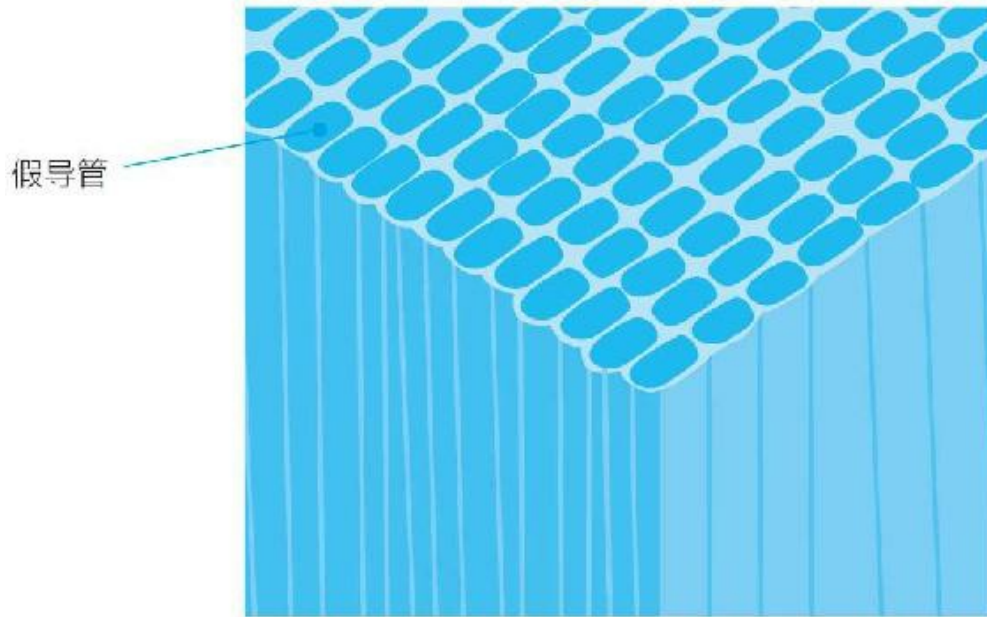
靠一套过时的系统幸存下来

实际上，针叶树这种“过时”的古老树种，还有着令人意想不到的幸运。进化后的被子植物的茎里有一根像水管子一样的导管。这根导管是专门用来通水的一种中空的组织，可以大量运输从植物的根部吸收上来的水分。而属于裸子植物的针叶树，却没有进化出这种导管。代替导管的，是细胞和细胞之间的小小缝隙。通过这些缝隙，可以一个细胞接着一个细胞地把水分传递上来。这种运水方式是进化成导管前一阶段的系统，被叫作“假导管”。

和可以快速把水运上来的导管相比，假导管的通水效率非常低。但是这种效率低下的系统，也有着胜过导管的优点。

导管中的水分相连从而形成了一条水柱。而蒸腾作用会使水分从叶子表面散失到大气中。水分散失后，植物就会吸上来同等的水分。但是，一旦导管中的水分冻成了冰，再次化成水时产生的气泡就会在水柱中形成空洞。这样一来，原本相连的水柱就会断开，也就没办法再吸上水来了。与之相对的，假导管就像是传水桶扑火一样，水分是由一个细胞到另一个细胞这样传过来的。因此就算是被冻住了，也可以把水分这样传递上来。

◆针叶树的假导管



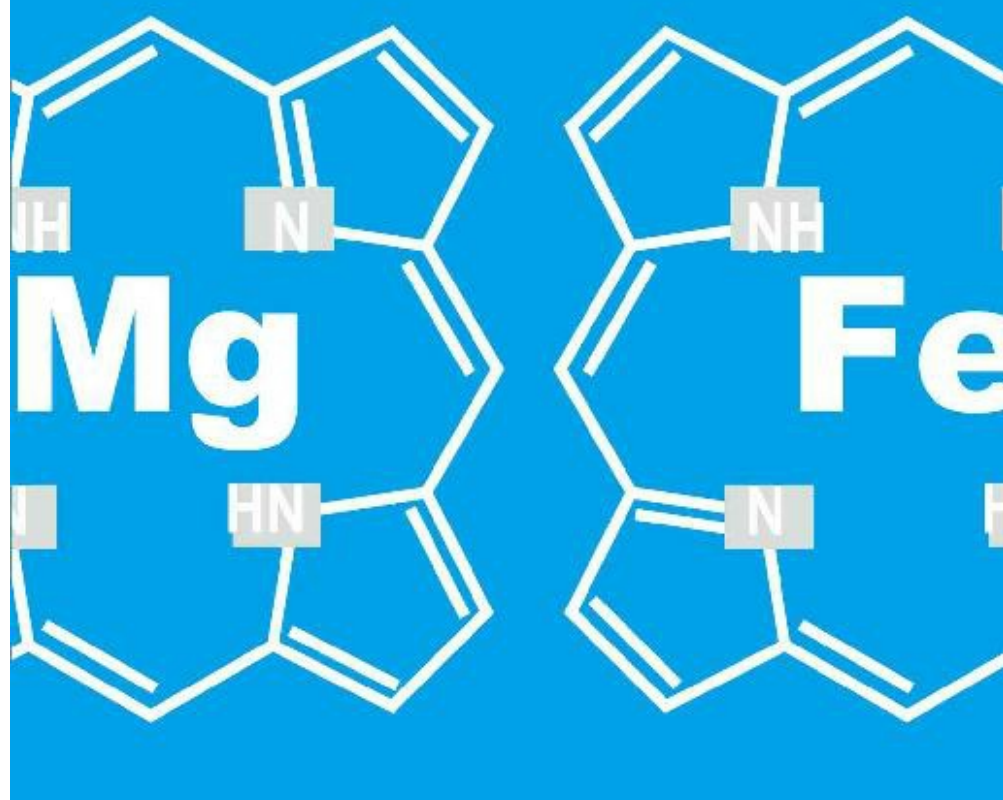
在恐龙时代，曾经称霸地球的裸子植物被新进化而成的被子植物夺走了家园。但是，由于具有耐寒这一优势，裸子植物中的针叶树还是在极寒的地区广泛地幸存了下来。

就算松树被白雪覆盖着，它也依然保持着一片苍翠。古老的东西并非一无是处。正是由于这种古老的系统，才使得松树成为具有美好寓意的树种，深受大家喜爱。

[\(1\)](#) 在日本，人们把冬季最后一天、立春前一天定为节分日。

Part 2

有趣的植物学



不发芽的原因是什么？

野草是很难被培育出来的

大家有人种过野草吗？

答案肯定是没有的吧。野草都是自由生长出来的，而不是被人们特意种植出来的。但是，当我开始尝试着种植野草的时候，却发现实在是太难了。

就算我把种子种下了，却怎么也发不出芽来。

我们在理科的教科书中都学过，植物能够发芽的必要条件有三个：水分、温度和空气。但不光是野草，很多野生植物的种子就算满足了这三个条件，也不会发芽。

比方说，我们现在假设有一种植物，在温暖的春天发芽，夏天成长，秋天留下种子后便枯萎了。这个种子便会落在秋天的土壤里。就像我们说的“小阳春天气”，即使在秋天也会有如同春天般阳光和煦的日子。如果在这种小阳春的天气里满足了水分、温度、空气这三种条件，植物会怎么样呢？这个植物的种子就会在秋天发出芽来。然后在接下来寒冷的冬天，这株嫩芽就会在低温中枯萎。

和靠人类播种的栽培植物不同，野生的植物必须自己来判断发芽的时期。所以野生植物发芽的条件比起栽培植物来要复杂得多。

种子的战略性休眠

种子这种即使满足了发芽的必要条件也不发芽的状态，被称为“休眠”。休眠这个词，由休息的“休”字和睡眠的“眠”字组成。就像休眠存款和休眠账户这些名称，人们对于“休眠”这个词的印象似乎并不是很好。但是对于植物来说，“休眠”却是一个至关重要的生长战略。

春天发芽的植物们，大都有了抵抗严寒的经验，拥有着冬天休眠春天再醒来的一套组织。这些植物们知道，寒冬过后逐渐变暖的时候，就是春天来了。

但是，种子家族里也有一些即使天气转暖却也还是不发芽的“慢性子”。

野生的植物即使满足了所有的条件，也不会同时发芽。因为休眠后，觉醒过来的程度各不相同，所以有的种子发芽了，有的种子没发芽。

而且，植物们也不知道这时候自然界中发生了什么事情没有。

如果同时发芽的话，赶上了灾害该如何是好呢。那样的话，植物的整个家族就会遭遇灭顶之灾。因此，有些种子发芽得早，有些种子发芽得晚，还有一些种子不发芽而是继续在地下休眠。这样一来，就可以保证总会有能够幸存下来的植物。

土地里的“种子银行”

就像我们刚刚讲到的，在土里面还有很多不发芽，处于休眠状态的种子。这种土地里的种子集团被称为“seed bank”，也就是“种子银行”。野生的植物为了给紧急时刻做好准备，会在土地里面储存一些种子，然后从“种子银行”里，一个一个地让种子发芽。

很多野草的种子都有感受到光照就会发芽的特性，这种特性被称为“需光发芽性”。

在土里面感受到光照，也就意味着经过了除草，四周已经没有植物了。土里面的野草种子就会抓紧这次机会，赶快发芽成长起来。

这也就是为什么我们每次除草之后，好像一眨眼的工夫野草就又冒出来了，而且还变得比原来更旺盛了的原因。

野草的“银
行”在土里
面……



竹子究竟是树还是草呢？

白兰瓜和香蕉竟然是蔬菜？

西红柿究竟是蔬菜，还是水果呢？

这个问题并没有那么简单。我们做沙拉的时候会用到西红柿，所以自然就会觉得西红柿属于蔬菜。但是，市面上也存在着“水果西红柿”的品种。

在美国，西红柿究竟是蔬菜还是水果这一问题曾经被吵到了法庭上。而法院进行了这样的判决，“西红柿作为一种含有种子的植物，根据植物学辞典，应判定为植物学上的水果。但是西红柿是在菜地中种植的，和其他的蔬菜一样，是被用来做汤的材料，所以判定西红柿为法律上的蔬菜”。

“蔬菜”还是“水果”，其实并不是一种植物学的分类，而是人类基于一些原因自行下的定义。蔬菜和水果的定义，各个国家也都不尽相同。

在日本，人们将草本植物定义为蔬菜，将木本植物定义为水果。换句话说，长不成大树的就是蔬菜，长成大树结果的就是水果。而西红柿作为草本植物，在日本就被当作是蔬菜。

那么白兰瓜和西瓜又属于什么呢？由于白兰瓜和西瓜都是草本植物，所以按理应该属于蔬菜。虽然白兰瓜被赞为“水果之王”，也被用作水果冻糕的材料，但是在定义上，它还是属于蔬菜的。可由于白兰瓜和西瓜都是在水果柜台出售的，所以也会被称为“水果蔬菜”。

那么香蕉是蔬菜还是水果呢？

说到这里大家可能会想了，香蕉当然是水果了。

像我们经常说香蕉树，自然而然地就觉得香蕉是木本植物。但是，实际上香蕉树并不是树，而是一株巨大的草。香蕉“树”从地面伸展出巨大的叶子，形态上就像一棵大树一样。

这样说来，香蕉竟然也是属于蔬菜的吗？

根据日本农林水产部的定义，“一年生草本植物的果实”是蔬菜，而“多年生作物等从树上收获的果实”是水果。所以，香蕉虽然属于草本植物，但因为它是多年生的植物，所以被定义为水果。

树和草很难区分

但是为什么香蕉树不是树，而属于草类呢？

树和草究竟有什么不一样呢？关于这个问题，我们可能会想当然地觉得，树和草当然完全不一样了。但实际上，这个问题远没有这么简单。

一般来说，我们把茎部肥大结实的木质化植物定义为树。而把没有木质化现象，有着柔软茎部的植物定义为草。但是，西红柿也好茄子也好，如果我们观察它们的根部的话就会发现，他们的根部都有和树一样的木质化现象。实际上，西红柿树就是采用水培的方法在暖和的温室中培养出来的大树。另外，虽然在日本，茄子到了冬天就枯萎了，但是在热带地区，它也能长成一棵大树。

那竹子究竟算是树还是草呢？虽然竹子的茎部不会长得非常粗壮，也没有木质化现象，但是它的茎部非常坚韧，不断生长下去地话还可以形成一片竹林。相较于草来说，竹子的这些特征更趋近于树。因此，竹子究竟属于树还是草，专家们也没能给出一个统一的意见。

也就是说，不管是树还是草，在植物的世界里并没有很明确的区分，它们只不过是人类根据自己的想法下的定义而已。

自然界中没有区别

在自然界中，其实很少有什么明确的区别。但是这对于人类来说太难理解了，所以人类就想出了各式各样的概念，然后把自然界的事物分成各类来理解。打个比方，富士山山麓的原野非常广阔。那么，富士山的界限在哪里呢？人们设定了等高线，设定了县界来区分、整理。在植物学中，人们把植物也分成了各式各样的种类。这其实和人们在大地上设定等高线和县界一样，都是为了方便自己的理解而进行的区分。

在前面我们也介绍了，虽然同属于蔷薇科，但是苹果是木本植物，而草莓是草本植物。那么苹果就属于水果，而草本植物的草莓则被分到了蔬菜一类。其实对于植物来说，究竟是树还是草，并不是什么大问题。它们都只是为了适应环境而逐渐进化成了现在的样子。

植物的生存方式，比人们想的要随机应变、自由自在得多。

简笔画胡萝卜的画法

胡萝卜上的横线

大家画过白萝卜和胡萝卜的简笔画吗？

如果不涂颜色的话，白萝卜和胡萝卜的简笔画看起来是非常相似的。

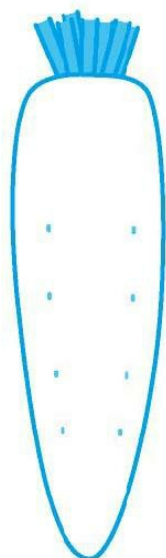
这时候，如果我们试着往画好的胡萝卜上再加几条横线，就会发现画好的胡萝卜变得更形象了。

我们观察一下胡萝卜就会发现，它的表面有很多横线。这些横线，其实是胡萝卜细细的根部生长的痕迹。这些细细的根的痕迹并不是胡乱生长的。再仔细观察一下就会发现，这些根须是朝着四个方向生长的。

如果不是加上几条横线，而是竖着画几个点的话，简笔画中白萝卜的模样就呼之欲出了。

和胡萝卜一样，白萝卜也有着根部的痕迹。但是并不是像胡萝卜那样的线，而是以点的方式排列的，而且这些点都是按两个方向排列的。

◆白萝卜和胡萝卜



白萝卜

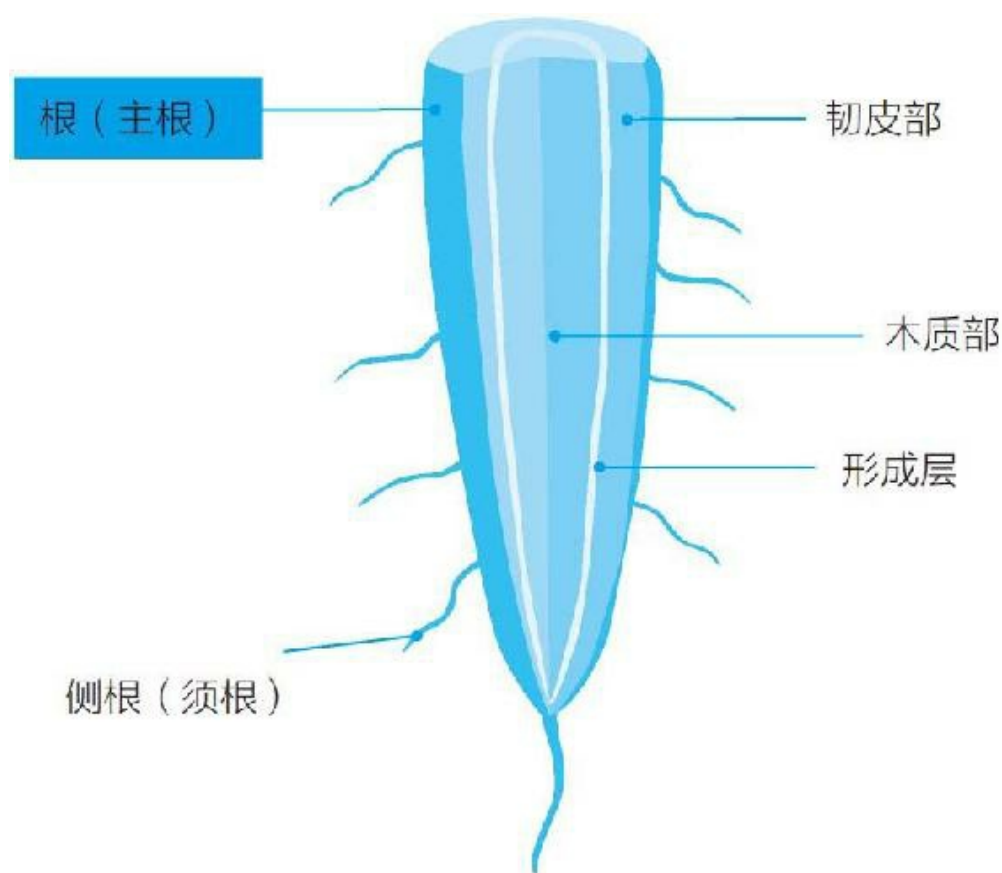


胡萝卜

切断面中的“形成层”

把胡萝卜横着切开我们就会发现，它的横切面和大树的年轮一样，都是同心圆。胡萝卜的这个同心圆分为内侧的芯和外侧两部分，而这两部分的分界线，被称为“形成层”。

◆将胡萝卜竖着切开，就可以看到根的构造



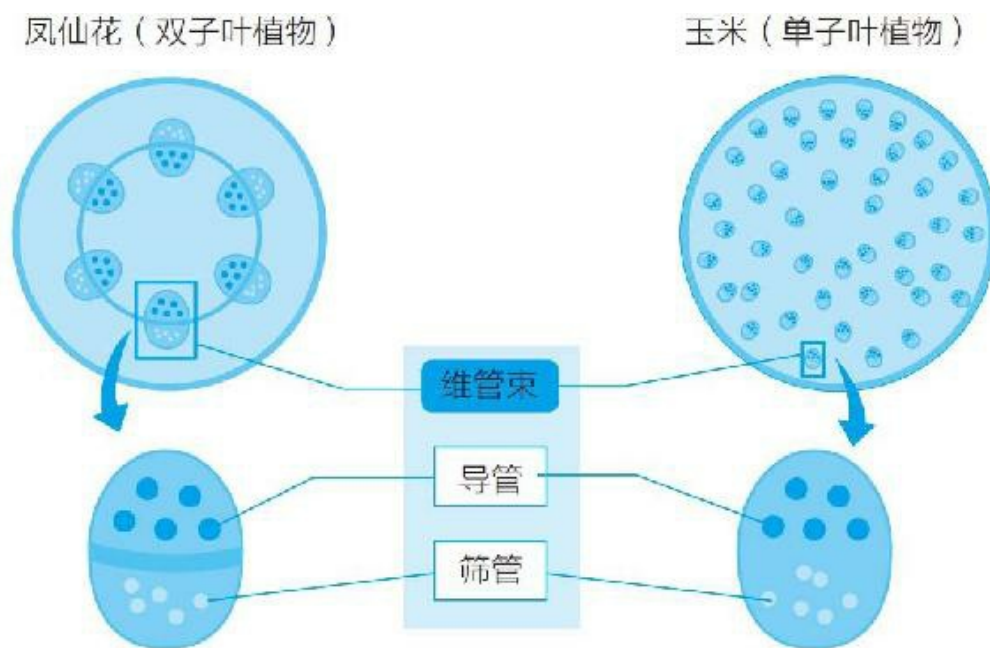
形成层内侧的芯的部分有着输送从根部吸收的水分的导管，被称为木质部。而形成层外侧的部分有着运送营养成分的筛管，被称为韧皮部。导管和筛管的组合，被称为维管束。胡萝卜的维管束沿着形成层规则地分布着。

把胡萝卜竖着切开就会发现，根从横线的地方开始延伸向内侧，一直连接到木质部和韧皮部的界限——形成层。从根部吸上来的水分，可以一直输送到形成层，再通过木质部把水分吸到地上。

但是当我们把白萝卜横着切开，却看不到像胡萝卜那样明显的同心圆。因为胡萝卜粗壮的地方是形成层的外侧，而白萝卜粗壮的地方是形成层的内侧。白萝卜的形成层和表皮离得非常近，所以并不起眼。

拥有这种形成层，正是双子叶植物的特征。

◆ 双子叶植物和单子叶植物维管束的区别



没有形成层的芦笋

单子叶植物，是没有形成层的。

当我们把单子叶植物的芦笋切开观察，会发现有很多圆圆的小颗粒散布在各处。而这些圆圆的小颗粒，其实是一个个包含着木质部和韧皮部的维管束。维管束并不是规则地排列分布，而是零散地分布在各处，正是单子叶植物的特征。

先有树还是先有草？

巨大的植物和恐龙

体型巨大的大“树”，和路边野草那样的小“草”，究竟哪种才是进化过程中进化得更加完全的形态呢？

也许我们会觉得，有着粗壮树干和茂密树枝的大树，才是进化后更加复杂的形态。但其实，进化得更加完全的是小草。

当苔藓那样小小的植物进化成蕨类植物，蕨类植物就像是巨大的树一样，可以长成广阔的森林。

我们看有关恐龙的电影的时候，会发现很多由巨大的植物组成的森林。那个时代的植物，个头都是很庞大的。

在恐龙繁盛的时期，由于气温很高，光合作用必需的二氧化碳浓度也很高，植物生长得非常迅速，都长成了非常巨大的模样。而为了能吃到这些巨型大树上的树叶，恐龙也进化得更加庞大。为了防止恐龙来吃，植物们又进化得更加巨大。再然后，为了吃到这些更加巨大的植物叶子，恐龙的体型不仅进化得更庞大，脖子也进化得更长了。就这样，在植物和恐龙激烈的竞争下，它们都进化得更加巨大了。这正如我们在第27页介绍的共同进化那样。

在这之后，植物从蕨类植物进化成了裸子植物，再进化成了被子植物。植物长成了参天大树，形成了广阔的森林。

“草”的诞生

“草”这类型的草本植物，被认为是在恐龙时代的末期，也就是白垩纪后期诞生的。

在那个时期，地球上仅有的一个陆地板块被地幔对流分裂，开始移动。分裂开来的大陆板块又发生了撞击，撞到一起后的板块产生了变形，形成了山脉。而由于地壳运动，地球上的气候也发生了变化。

在这种不安定的环境下，植物很难再慢慢地长成一棵大树。

所以，就进化出了可以在短时间内开花结果，进行新老交替的“草”。

这种适应急剧变化环境的草，现在被称为“单子叶植物”。在这之后，也有进化成草的双子叶植物。

现在，单子叶植物全部都属于草本植物。而双子叶植物中，则既有木本植物又有草本植物。

实际上，关于单子叶植物是如何进化而来的，我们并不十分清楚。但我们很清楚单子叶植物的特征：适应环境变化的速度和优秀的功能性。

在教科书里，关于单子叶植物和双子叶植物的区别，是这样介绍的，正如它们的名字一样，双子叶植物的子叶有两片，而单子叶植物的子叶只有一片。而且，双子叶植物的茎里面，有着由导管和筛管组成的环状物——形成层，而单子叶植物则没有形成层。

重视速度的单子叶植物

看到这里大家可能会觉得，比起构造简单的单子叶植物这种古老植物，发达的双子叶植物才是进化更加完全的植物。然而事实却并非如此。

单子叶植物的一片子叶，其实是由原本的两片子叶合在一起形成的。而且，要想拥有形成层这种结实的构造，植物的茎必须足够肥大，植物的本体也要大一些才行。形成这些，可是很费工夫的。所以，重视速度的单子叶植物才舍弃了形成层这一结构。

此外，单子叶植物的叶脉是平行叶脉，根是须根。而双子叶植物，为了可以生长得够大，分布着很多结实的分枝。与之相比，不用生长得很大的草本植物——单子叶植物，则更加重视速度，所以才采用了直线构造。

就像奥林匹克的田径运动员和游泳运动员为了追求速度，会减掉身上的赘肉，穿上最轻便的运动服，甚至会刮掉体毛一样，因为重视速度，单子叶植物也舍去了那些不必要的部分。

萝卜腿竟然是一种夸奖！

白萝卜原来竟然很细？

被人说“萝卜腿”的话，应该没有人会觉得高兴吧。

因为“萝卜腿”是形容人腿粗的。

但是在日本的平安时代（约794～1192年），“萝卜腿”其实是说人的腿很美的一种夸奖。那个时候的白萝卜并不像现在这样粗大，所以那时候的“萝卜腿”说的其实是又瘦又白的腿。再往前追溯，《古事记》中也有着“像白萝卜一样白嫩的手腕”这样的形容，所以白萝卜说不定原本就是很细的。

但是，随着之后对白萝卜品种的改良，白萝卜慢慢变得又粗又大。而“萝卜腿”变成了用于形容人腿粗的词，据说是从江户时代（1603～1868年，又称为德川时代）之后才开始的。在这之后，日本还改良培育出了重达数十千克的世界上最大的萝卜——樱岛萝卜，和长度超过一米的世界最长的萝卜——守口萝卜。

白萝卜的原产地是地中海沿岸到中亚地区。实际上，白萝卜原种的根并没有那么粗大。即使在现在，欧洲那边的“白萝卜”品种，其实也就和我们的小水萝卜一般大。

这样说来，欧洲的传说中，必须喊着“使劲儿拔哟，哼唷嘿哟”才能拔出来的，其实不是白萝卜，而是一颗粗壮的大头菜。

就像原本并不粗大的白萝卜被改良成了又大又圆的样子一样，人类不断地对野生植物进行着改良、培育。我们现在吃的、看到的蔬菜、水

果、花卉，其实都是人类改良后的品种。

而这种改良又是怎么进行的呢？

野生植物和自然淘汰

野生植物会留下有着各式各样特性的子孙。因为只有拥有各式各样的特性，才能保证就算环境发生了变化，也有一部分可以继续生存下来。

有的植物发芽早，有的植物发芽晚；有的植物竖着长，有的植物横着长；有的植物开花早，有的植物开花晚；有的植物抗寒，有的植物耐热；有的植物可以抵抗病原菌，有的植物可以抵抗病毒；有的植物可以忍受干燥，有的植物可以适应湿热.....总之，富有多多样性在自然界中是非常有利的。

如果环境发生了变化，只有耐寒的植物才能生存下来，那么也就只有耐寒的植物可以繁育出自己的子孙。而耐寒的植物，也会继续留下富有多多样性的后代。从耐寒的，到不耐寒但是抗暑的，各式各样。如果寒冷的环境一直持续下去的话，具有耐寒能力的子孙就会存活下来，并且变得更加耐寒。在这种“只有耐寒的植物才能生存下来”的选择压力下，与之匹配的耐寒能力就会进化得越来越发达。这种适应自然条件就可以生存下来，不适应自然条件就会被淘汰的机制，叫作“自然淘汰”。

我们说的这些都是自然界中的现象。那么，人工培育出来的植物又是什么情况呢？

由人类进行淘汰的栽培植物

白萝卜也是植物，也会留下各式各样的子孙。大的小的，长的短的，白萝卜的子孙也有着各式各样的特征。

人类想要大个头的白萝卜，所以就选出了个头较大的白萝卜，选取它们的种子进行播种。然后第二年，再继续从培育出的白萝卜中选出个头较大的。这样，按照一定的标准进行选择，就会使培育出来的白萝卜越来越大。这就和严寒的环境选择下，只有耐寒的植物才能生存是一样的道理。这种按照人类的要求进行淘汰的机制被称为“人为淘汰”。

植物会留下各式各样的子孙。而这种多样性对于人类栽培来说，却并非一件好事。比方说，我们明明将大个头白萝卜的种子种下了，却收获了小个头白萝卜或是长条形白萝卜，这对人类栽培可以说是非常不方便。而且，有的植物先发芽，有的植物后发芽的话，人们也没办法进行统一收割。对于野生植物来说，“多样性”是非常重要的，但是对于人工培育的栽培植物来说，追求的则是“均一性”。

人们即使已经得到了希望的植物体，也会反复地进行淘汰，直到达到相同的性质。这个过程被叫作“固定”。而人工栽培的植物品种，就是在这种“选拔”和“固定”的过程中产生的。

植物不能动的原因

植物不用去寻找食物

植物不能够和我们人类一样走来走去，来回跑动。

那么，为什么植物动不了呢？

如果问问植物这个问题，它们一定会这么回答：

“为什么人类不动的话就没办法存活下去呢？”

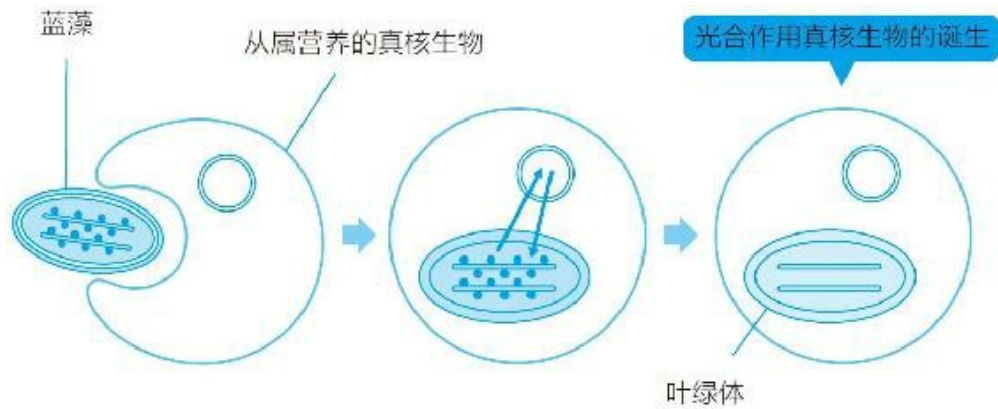
确实，动物如果不动起来的话，是没办法生存下去的。因为动物需要去觅食，不吃东西的话，动物就没办法活下去。而植物则没有这个必要，所以它们不需要动起来。

人类，总是以人的标准来看待其它生物。但实际上，人类的生存方式并不是一种理所当然的存在。如果站在其他生物的角度来看的话，说不定人类才是最奇怪的物种。

即便如此，植物的生存方式也可以说是很与众不同的。

为什么植物不用像动物那样寻找食物，吃东西呢？答案是：光合作用。

◆内共生学说中叶绿体的诞生



真核生物吸收了蓝藻，成为共生关系。

植物可以吸收太阳光的能量，并将二氧化碳和水合成生存必需的糖分。这个过程就叫作光合作用。

因为植物可以进行光合作用，所以它们没有必要动起来。而且植物通过吸收土里面的营养成分，可以生成自身成长所需的所有物质，所以植物也被称为“自养生物”。

与之相比，动物们无法自己形成营养成分。为了生存，它们只能以植物为食，或者以吃植物的其它生物为食，所以动物属于“异养生物”。

植物和动物的基本生存结构其实并没有很大的差别。

在生命刚刚在地球上诞生的38亿年前，动物和植物并没有什么差别。植物也好动物也好，都是从同样的祖先那里进化而来的。

不可思议的叶绿体

植物和动物最大的差别之一，就是植物的细胞中有可以进行光合作用的叶绿体。那么这种将植物和动物区别开来的叶绿体，究竟是怎样生成的呢？

叶绿体，其实非常不可思议。DNA位于细胞核里，而叶绿体却有着和细胞核不一样的DNA，可以自身繁殖。实际上，人们认为叶绿体在很久以前就是一个独立的单细胞生物。它很有可能是被更大的单细胞生物吸收，然后在其细胞内实现共生的。这就是现在的“内共生学说”。

也就是说，大个的单细胞生物和可以进行光合作用的单细胞生物的相遇，诞生出了植物的祖先。



植物为什么是绿色的？

叶绿体和叶绿素

我们都知道，植物是绿色的。可是植物为什么是绿色的呢？

植物的叶子中含有叶绿体，而叶绿体中含有大量的绿色色素。由于这些绿色色素的存在，使得叶子全体呈现出绿色来。这种叶绿体中的绿色色素，被称为叶绿素。

叶绿素的英文是“Chlorophy”。这个词，从词源上说，是由希腊语中表示绿色的“Πράσινο”和表示叶子的“Φύλλα”组成。

植物中的叶绿素，起着非常重要的作用。

植物以水和二氧化碳为原料，合成出生长所必需的糖分。这个过程被称为“光合作用”。而叶绿素，则是植物进行光合作用的主要色素。

“叶绿体”“叶绿素”这两个名字总让人觉得十分相似。实际上，叶绿素就是存在于叶绿体中的色素。也就是说，如果把叶绿体比作进行光合作用的工厂，那么叶绿素则是工厂中进行光合作用的装置。

植物呈现出绿色，是因为有叶绿素。那么叶绿素为什么是绿色的呢？

太阳光与光合作用

太阳光，是由很多种颜色混在一起的光。叶绿素为了进行光合作用，会利用波长短的蓝光和波长长的红光、黄光。这些颜色的光，能够被叶绿素吸收，而位于中间波长的绿光，不太会被用来进行光合作用，所以也就不会被吸收，而是直接被反射回去。

我们的眼睛如果接收到红光，就会看到红色。如果红光之外的光都被吸收了，只反射红光的话，我们的眼睛就会只接收到红光。因此，反射着红光的物体，在我们的眼中就是红色的。

叶绿素吸收、利用了蓝光、红光和黄光，而将绿光反射回来。所以，我们的眼睛就会看到绿色。

像红紫苏或是紫甘蓝这样，叶子不是绿色的植物也有。因为他们除了叶绿素，还有着其他颜色的色素，所以绿色也就被掩盖了起来。

浮游生物与红色的海藻

植物中也有不是绿色的。比如说，在丰盛的海藻沙拉中，有一些海藻的颜色就是鲜艳的红色。像这样的海藻，是不含有叶绿素的。

在浅海处生长的海藻，和在陆地上的植物一样，都利用红光和蓝光来进行光合作用，而不吸收绿光。所以，这些海藻就会呈绿色。这一类海藻被称为“绿藻类”。

而在大海的深处，海水会吸收红光。

像鲷鱼和虾这种在深海活动的生物，身体会呈现出鲜艳的红色。这是因为在深海中红光没办法到达，所以就看不到红色。因此，红色的身体在深海中能起到很好的隐身效果。

在深海中生长的海藻，由于没办法利用红光进行光合作用，所以主要是靠吸收蓝光作为光合色素，而不被吸收的红光和绿光则被反射了回来。身在陆地上的我们，就会看到由红色和绿色混合成的褐色。这些褐色藻类就被称为“褐藻类”。

另外，如果水面上有浮游生物的话，会把剩余的蓝光也吸收掉。所以海藻没有办法，也只能利用不太适合的绿光来进行光合作用。这样的海藻吸收了绿光，将红光反射了回来。从陆地上看的话，这一类海藻会呈鲜艳的红色。因此，这一类海藻被称为“红藻类”。

随着地面的隆起，浅滩会逐渐干涸。植物们不得不适应地面上的环境并不断进化。因此，我们看到的植物大多都是绿色的。

植物的血型是什么？

植物的血型？

人类和动物都有血液，那植物也有吗？

我们把植物切开，它也不会像人一样滴血。植物，是没有血液的。

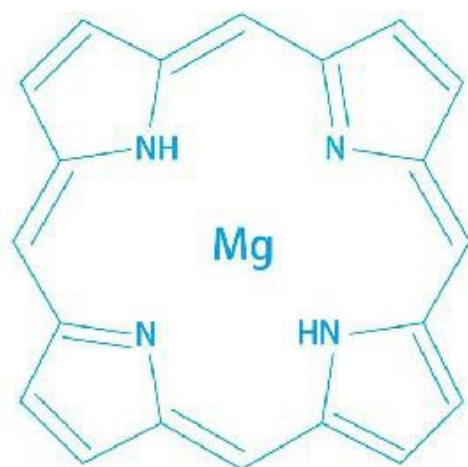
但是，植物中的叶绿素和我们血液里红细胞中的血红蛋白非常相似。叶绿素和血红蛋白的基本构造都是一样的。唯一的区别就是，叶绿素分子构造的中心元素是镁，而血红蛋白分子构造的中心元素是铁。

叶绿素和血红蛋白的相似，只是个小小的偶然。植物和动物虽然形态外貌极不相同，其实基本的生存机制差别不大。所以，植物和动物的这些相似点，也不足为怪了。

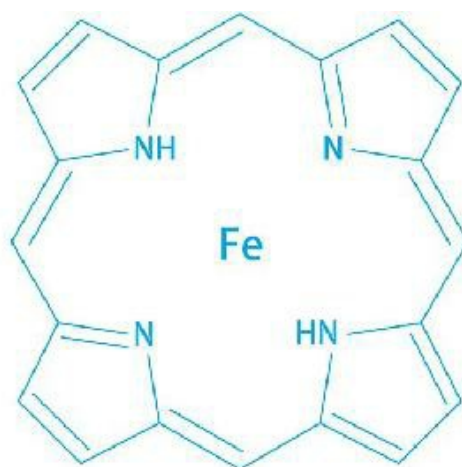
人类有自己的血型。而如果给植物也做个血型检查的话，就会发现和人的血液一样反应的物质。

人的血型，是由血液中的糖蛋白的种类决定的。而植物中，大约有一成的植物拥有和人类类似的糖蛋白。如果给植物进行血型检查的话，会发现它们的血型多是O型和AB型的。举个例子，萝卜和卷心菜的血型是O型，而荞麦的血型是AB型。

◆叶绿素和血红蛋白非常相似



叶绿素



血红蛋白

与根瘤菌的共生关系

豆科的植物中，一种成分叫作豆血红蛋白的成分，是和人类血液中的血红蛋白非常相似的物质。

如果把豆科植物的根挖出来观察的话，就会发现上面有很多又小又圆的，像小瘤子一样的东西。这些小瘤子叫作“根瘤”，它里面住着一种叫作根瘤菌的细菌。豆科的植物借助这种根瘤菌，可以吸收空气中的氮，使它们即使在缺氮贫瘠的土地中也可以生长。

豆科植物为根瘤菌提供栖身之地和营养成分。作为回报，根瘤菌给植物进行固氮。豆科植物和根瘤菌这种互惠互利的关系，被称为“共生”。

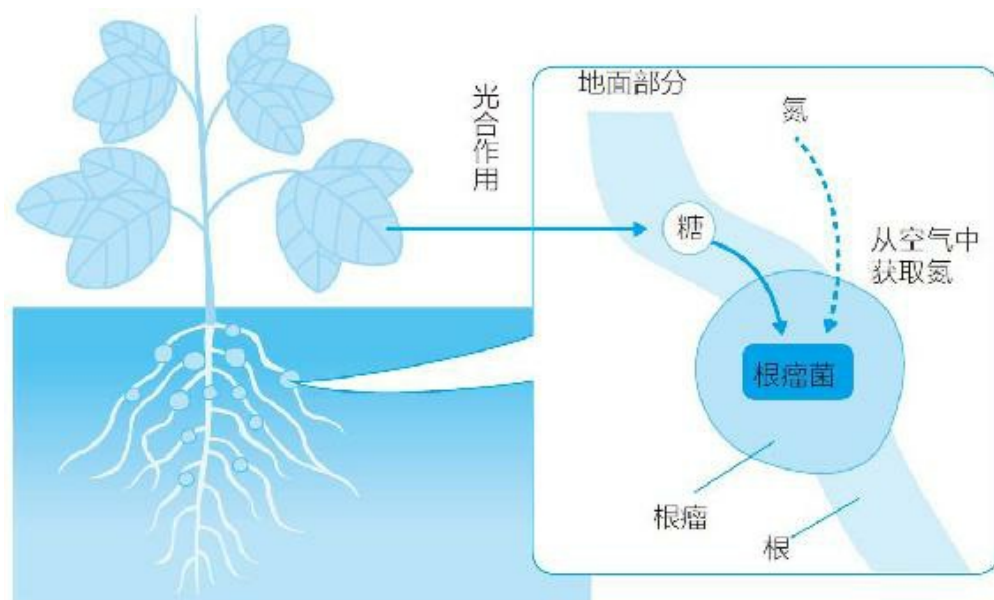
豆科植物的生长战略

但是，豆科植物和根瘤菌的这种共生关系，也存在一些问题。

为了给豆科植物固氮，根瘤菌需要耗费很多能量。而为了产生这种能量，根瘤菌需要进行有氧呼吸。也就是说氧气是非常必要的。但是，氧气的存在又会使固氮所必需的酶丧失活性。

氧气很重要，但是有了它的话就没办法进行固氮。所以，豆科植物必须做到为根瘤菌运送氧气，然后将多余的氧气快速消除。为了解决这个问题，豆科植物生成了可以高效运输氧气的豆血红蛋白。

◆豆科植物的根瘤



将空气中的氮固定的豆科植物的根瘤

人类血液里的红血球中的血红蛋白，可以高效地把氧气从肺部输送到全身。而豆科植物中的豆血红蛋白也是如此，可以高效地运输氧气。

把新鲜的豆科植物的根瘤切开的话，会渗出像血一样红色的东西。
这就是豆科植物的血液——豆血红蛋白。

樱花运动服上的樱花是什么品种？

山樱花和染井吉野樱花

在日本，橄榄球队代表性的衣服就是“樱花运动服”。

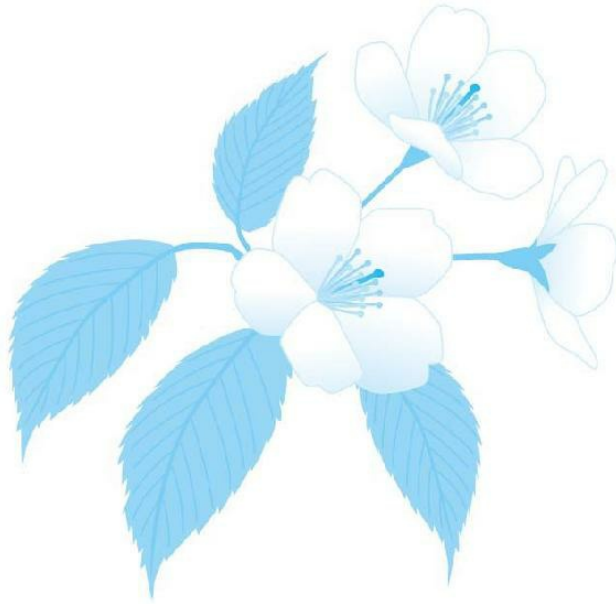
上面印着的樱花，和我们看惯了的樱花还有些差别。

赏花的时候观察一下盛开的樱花就会发现，在叶子长出来之前，花就先开了。而在花开败了之后，叶子才开始长出来。但是，观察一下樱花运动服上的图案我们就会发现，在开满樱花的枝头上，还点缀着几片叶子。我们在花纸牌上也可以看到同样的樱花。纸牌上，在盛开的樱花间，也画着几片绿叶。

先长叶子后开花，其实是自古以来日本野生的山樱的特征。我们平常去赏花看到的樱花，其实是染井吉野樱花。染井吉野樱花，是江户时代中期，大约1750年的时候在江户被培植出来的樱花品种。

这种染井吉野樱花，在叶子长出来之前花朵就已经盛开了。当它完全盛开的时候，绽放的花朵好似能把天空遮住一般。所以染井吉野樱花非常有人气，在日本全国范围内都有种植。

◆山樱



但是，樱花树的生长非常花时间。人们是怎样做到在短时间内让染井吉野樱花的种植范围扩大到现在的规模的呢？实际上，染井吉野樱花是通过嫁接或是扦插的方法来扩大种植的。比起靠种子来种植，这种方法可以快速地培育出树苗。

而且，靠种子培育出的樱花，很有可能特征和上一代完全不一样。但是，通过嫁接或是扦插的方法培育出的树苗，就相当于本体樱花树的另一个分身，可以保证培育出来和本体有着一模一样特征的樱花。

樱花一齐盛开的原因

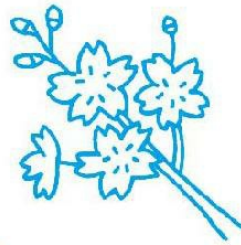
像这种用同一个个体分身出后代的方法，被称为“克隆”。人类的克隆，还停留在科幻电影的想象中。但是对于植物来说，克隆是一件再简单不过的事情了。

植物的繁殖方法，有依靠种子进行繁殖的种子繁殖，和通过枝和茎的分身来繁殖的营养繁殖。人工种植的时候，大都喜欢采用营养繁殖的方法，因为这样培育出来的植物，能够和最初的本体保持同样的性质。像是红薯、土豆、草莓、菊花这样的可以进行营养繁殖的植物，在人工种植的时候，都会尽可能地选择这种方法。

原本就是野生植物的山樱，每棵树开花的时间或早或晚，各不相同。所以相当长的一段时间内都可以欣赏到山樱。和它不同，染井吉野樱花的树木由于都是从同一个本体克隆出来的，所以开花的时期都是一样的。它们一齐盛开，也一齐凋零。

电视中会介绍日本的樱花锋线。随着气温的变化，樱花会从南向北依次盛开，因为全国的樱花树其实都是有着相同性质的克隆树。

染井吉野樱
原来是克
隆品种呀！



种子的秘密

大米是稻子的奶水

大家见过“稻子”这种植物吗？

日本的农田中种植的作物，就是稻子。

那么，大家见过稻子的种子吗？

我们平常吃的“米饭”，其实就是稻子的种子。我们通过食用稻子的种子，可以获得生存所需的能量。

不过我们吃的大米，其实并不是稻子的种子原本的模样。就算把大米埋进土里，也是不会发芽的。

刚刚收获的稻子的种子，外面有一层硬硬的壳。把这层硬壳去掉，里面的这颗种子就是“糙米”，而糙米是现如今非常有人气的健康食品。如果我们把从米店买回的糙米泡在浅浅的水里，糙米就可以长出芽来。这种糙米，其实就是稻子的种子。

糙米的组成，包括被称为胚的植物的芽的部分，和为胚的生长提供营养的胚乳的部分。如果说胚是可以成长为幼芽的小宝宝，那胚乳，就恰如字面那样，是为小宝宝提供营养的奶水。

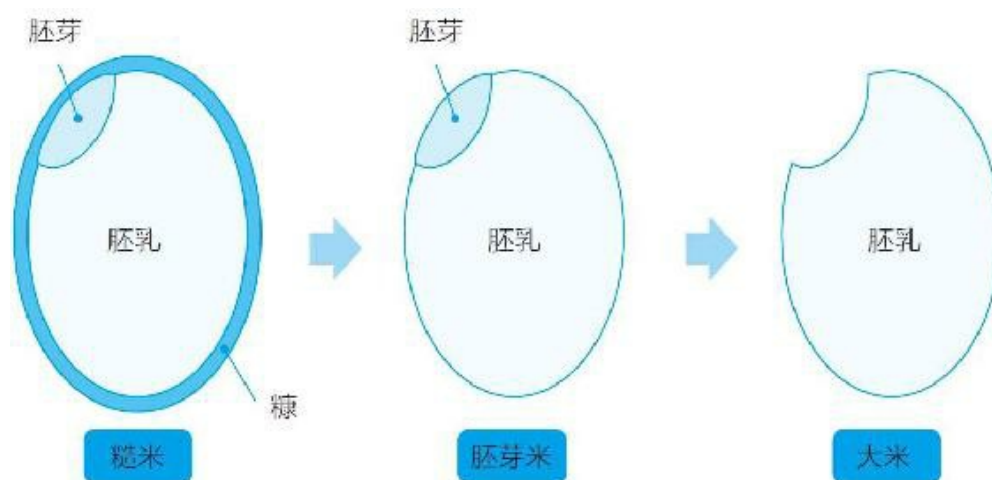
糙米的表面还有一层“糠”。这里，我们去掉糠的部分，将胚的部分称作胚芽。这种保留了胚芽部分的米，就是“胚芽米”。我们再把胚芽的部分也去掉，只留下胚乳的部分，就是我们平常吃的大米了。所以，我们吃的其实不是稻子的种子，而是稻子的小宝宝吃的奶水。由于大米只

是奶水的部分，所以就算把大米埋进土壤里，也是不会发芽的。

稻子的胚乳的成分主要是碳水化合物。种子通过储藏在胚乳中的碳水化合物进行有氧呼吸，可以分解产生出发芽所必需的能量。

这和我们吃掉大米饭，其中的碳水化合物进行有氧呼吸，可以分解出我们需要的能量物质是一样的。

◆大米的胚芽和胚乳



去掉糠和胚芽的糙米就是大米。

大豆和黄瓜的共同点

除了大米，我们也会吃其他植物的种子。

比如说，豆子就是植物的种子。我们这里就以黄豆为例吧。

我们把从超市里买回来的干黄豆泡在水里，黄豆就可以发出芽来。但虽说同为种子，黄豆的种子确不像稻子的种子那样细致。

稻子的种子里，包括可以成长为植物的胚，和种子发芽所需的营养成分——胚乳。但是，黄豆的种子中却不含胚乳。

没有胚乳的话，黄豆的种子是如何获取发芽所需的营养成分的呢？

我们观察一下黄豆发芽的模样就会发现，从黄豆中伸出了和种子差不多大小，差不多厚度的子叶。实际上，这个子叶里面，就储存着黄豆的营养成分。

◆发芽的大豆



大豆将营养成分储存在子叶中

想要确保作为营养源的胚乳的空间的话，将来要成长发芽的胚的个

头就会被挤压。而黄豆的种子，将营养成分都储存在叶子中，这样一来，就可以使胚的个头更大。这和我们为了节省飞机内部的空间，把飞机的燃料罐暗藏在机翼里是同样的道理。

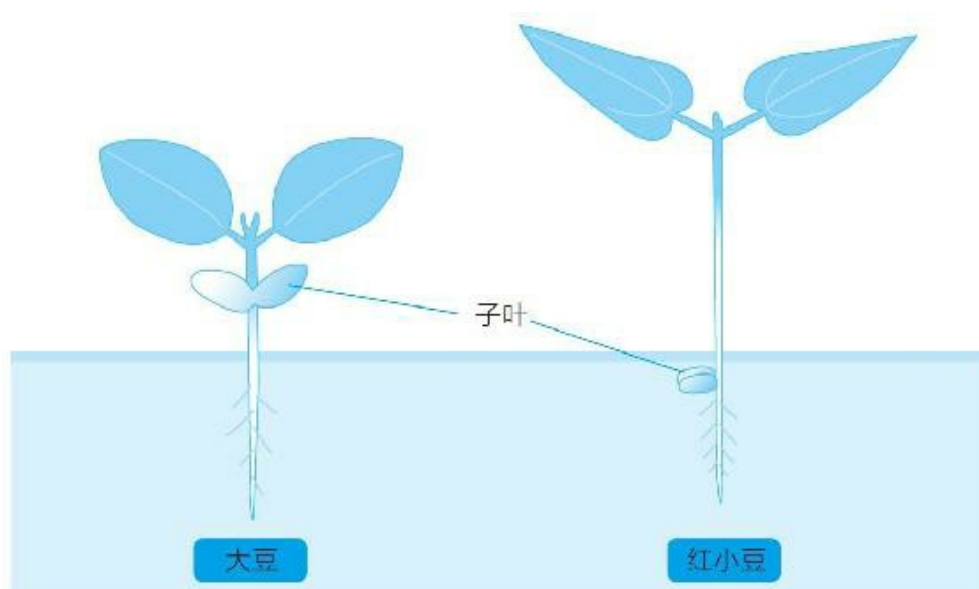
小小的种子成长发芽并顺利地存活下来，这可并不是一件简单的事情。所以，种子的小芽哪怕只大一点点，生存下来的可能性都会高一点。因此，豆科植物的种子都不含有胚乳，被称为“无胚乳种子”。和豆科植物一样，黄瓜和南瓜这些葫芦科的植物的种子，也都是无胚乳种子。

红小豆的芽

我们刚刚介绍了黄豆，那红小豆的情况呢？红小豆是赤豆这种植物的种子。我们从超市买回来的干燥红小豆，也是可以发芽的。我们把红小豆的种子埋在土里，是看不到它的子叶从土里钻出来的。最先冒出头来的，是红小豆的真叶。所以外观上看起来，红小豆的芽好像没有子叶一样。其实，这是因为红小豆的子叶藏在土里，并没有长到地面上来。

对于豆科的植物来说，子叶可以说是种子发芽的能量库。这样看来，不把这个能量库露出来，而是安置到地下，也是非常合理的。

◆红小豆的子叶在土里



种子能量源的不同

作为稻子的种子的米粒，主要的能量源是碳水化合物。

而黄豆，除了碳水化合物外还含有蛋白质。所以，黄豆也被称为“田间的肉”。主要成分是碳水化合物的大米，加上富含蛋白质的黄豆，可以很好地使我们的饮食达到营养均衡。日本的味噌就是由黄豆制成的。味噌加上米饭，这种典型的日式饮食组合，其实就是稻子和黄豆种子的能量源的组合。

黄豆的种子中含有蛋白质是有原因的。

正如书中第108页介绍的那样，豆科的植物可以通过固氮来获取空气中的氮。因此，即使是在氮元素缺少的土地里面，豆科植物也可以成长起来。但是，当芽从种子里冒出来的时候，还没办法进行固氮。所以，种子会预先储存好含有氮元素的蛋白质。

除此之外，黄豆中还含有类脂质，因此，黄豆也是色拉油的原料。

其他可以被用作食用油原料的，还有玉米、葵花、油菜籽和芝麻等。这些植物种子的发芽能量源都富含类脂质。

相较于碳水化合物，类脂质可以产出两倍以上能量。

玉米和葵花在发芽后的短期内，会长得个头非常大，这就是因为利用了类脂质。

那油菜籽和芝麻又是什么情况呢？油菜籽和芝麻中含有能量效率非常高的类脂质，这使得每一粒种子的个头变得很小。种子的个头变小

了，种子的数量就会相应地增多，所以油菜籽和芝麻种子的数量都非常多。

类脂质是有利的？

这样想的话，种子中富含类脂质似乎是一件非常有利的东西。那为什么所有的植物们不都以类脂质为能量源呢？

想要培育出储存有可以产生能量的类脂质的种子的话，就必须消耗掉相应的能量。而储存类脂质，也会增加本体植物的负担。

不论是碳水化合物，还是蛋白质、类脂质，这些物质都各有好坏。因此，植物会结合自身所处的环境，平衡地利用碳水化合物、蛋白质和类脂质这些使植物发芽的能量。

孟德尔的遗传学说

基因的显性和隐性

大家的长相是像爸爸呢，还是像妈妈呢？

有的人眼睛长得像爸爸，但是嘴巴长得像妈妈。与其说孩子的长相介于爸爸妈妈之间，还不如说，孩子的某一部分长得和爸爸像，而某一部分长得和妈妈像。

人类有46条染色体。这46条染色体，两条为一对。也就是说，人类有23对染色体。在这23对染色体中，蕴藏了人类生存的所有基本信息。这种基本的染色体的集合被称为“基因组（Genome）”。这个词是由“基因（gene）”和“全部（-ome）”两个词组成的复合词。

人类拥有两个基因组，一个来自父亲，一个来自母亲。所以，遗传信息中包含着两种基因。而其中的一种基因，在遗传信息中发挥着作用。

比如说我们的血型。血型分为A型、B型、O型和AB型四种。如果孩子从父亲那里获得了O型血的基因，从母亲那里也获得了O型血的基因，O型血加上O型血，那么孩子的血型就一定也是O型的。如果孩子从父亲那里获得了O型血的基因，而从母亲那里获得了A型血的基因，A型血加上O型血，孩子的血型就会是A型的。在同时拥有A型血和O型血基因的情况下，发挥作用的就是A型血的基因。

我们会把显现出来的A型血基因表示为“显性”，而把没有显现出来的O型血基因表示为“隐性”。但这并不是表示A型血的基因就要更加优

秀，而是表示A型血的基因更加优先地发挥了作用。

爸爸妈妈哪一边的基因更加优先地发挥作用，孩子的特征就会更像哪一边。

当然了，基因并没有这么简单。比如像个头高，善于运动的这些特性，就不是由一个基因决定的。这些特征的形成，和很多基因都相关。

孟德尔发现的遗传定律

有一位叫作孟德尔的人，通过植物的试验发现了遗传的定律。

孟德尔的遗传定律如下：

有两种豌豆，一种代代都是圆粒，还有一种代代都是皱粒。如果圆粒豌豆的基因是A，那么一代代都是圆粒豌豆的基因则是AA。与之相对，如果皱粒豌豆的基因是a，那么一代代都是皱粒豌豆的基因则是aa。

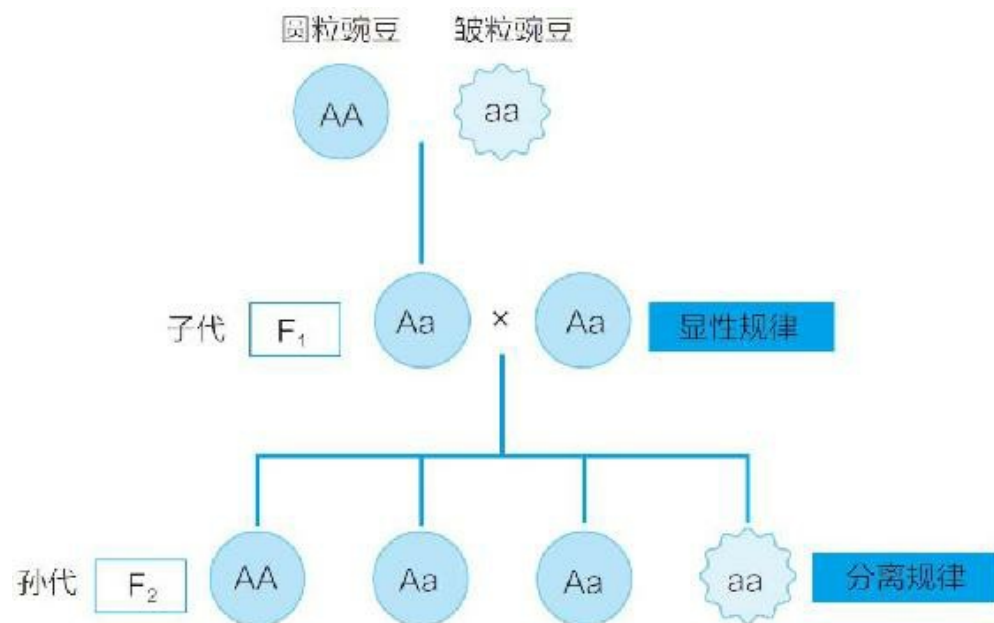
圆粒豌豆的基因A和皱粒豌豆的基因a中，圆粒豌豆的基因A呈显性。将基因为AA的豌豆和基因为aa的豌豆进行杂交，得到的子代的基因一定是Aa。这种情况，由于基因A是显性基因，所以杂交得到的种子都是圆粒的。这个规律被称为“显性规律”。

现在用基因同为Aa的豌豆进行交配。得到的子代会继承基因A或是基因a，那么子代的基因就有可能是AA、Aa、aa三种情况。而这三种情况的比例是1：2：1。拥有基因A的AA和Aa，会呈现基因A的特性，也就是会长成圆粒豌豆。而只有没有基因A的aa，会长成皱粒豌豆。因此，子代中圆粒豌豆和皱粒豌豆的比例是3：1。这被称为“分离规律”。

◆ 孟德尔定律



孟德尔（1822~1884）



孙代（F₂）中圆粒豌豆和皱粒豌豆的比例是3：1。

在生活中，会有孩子长得不像父母，而是像爷爷奶奶的情况。豌豆中，也存在圆粒豌豆的后代呈现皱粒豌豆特性的有趣的情况。

孟德尔非常喜欢生物，立志成为一名生物学家，但是他却没能通过取得教授职称的生物学考试。而就是这样一个人完成了一个世纪大发现。植物学还真是有意思啊。

彩色玉米之谜

农业的发展和植物的改良

随着农业的发展，人类对很多植物都进行了改良。

野生植物在自然界中生存所需的特性，和栽培植物便于为人类所利用的特性有非常大的区别。其中一种就是“脱粒性”（后文会有详解）。野生植物的种子都会被散播出去。但是栽培植物却不一样，它们的种子都是由人类收割的。所以种子不自行落下的话会更加方便。

还有很多其他不同的特征。

比如说，野生植物分散开生长更为有利。如果一齐发芽的话，一旦遇上灾害就会全军覆没，所以野生植物都会分散时间来发芽。与之相比，栽培植物如果不生长在一起的话就会很麻烦。人们更希望把种子播撒下去后，它们可以一齐发芽。所以，人们把栽培植物朝着“整齐”的方向不断进行改良。此外，就算是属于同种类的野生植物，也会有各式各样的特征，有的耐寒，有的抗病……只有具备多种多样的特性，才能保证不论在什么样的环境下都有生存下去的可能。可如果栽培植物也具有这么多样的特性的话，就会非常麻烦。试想一下，我们好不容易进行了品种改良，选出了具有更优特性的作物，结果实际栽培的时候，却又培育出了特征各式各样、口味参差不齐的品种，这可太令人头疼了。

野生植物为了维持集团中的多样性，会进行异花授粉。通过和不同的个体进行授粉交配，可以培育出具有各式各样特性的后代。但是，如果栽培植物也具有这样各式各样的特性的话就会非常麻烦。所以，栽培植物多是用自己的花粉对自己的雌蕊进行授粉并结果的，自花授粉的方

式进行繁殖。自己授粉自己结果的话，培育出和自己具有相似特性的后代的可能性就非常高了。

方便栽培的**F1**品种

孟德尔发现了遗传的定律，其实也是因为作为栽培植物的豌豆，是一种自花授粉的植物。

我们在前文介绍的孟德尔定律中，基因为AA和aa的豌豆进行交配后，得到了基因全部为Aa的后代。也就是说，所有的种子的特性都一致。这对于栽培作物来说是非常方便的。因此，最近都采用基因AA和aa交配后的种子进行培育。由AA和aa交配得到的子代，被称为F1代，而这样的种子则被称为F1品种。但是，虽然被称为品种，其实它的性状并没有稳定下来。一般品种的情况，把种子播种下去，就会栽培出和母体具有一样特性的作物。但是，把F1代的种子播种下去的话，根据孟德尔的“分离规律”，依旧会培育出不同的后代。因此，就必须一边维持基因AA和基因aa的自体，一边每年产出F1代的种子。

黄白玉米

黄色的玉米和白色的玉米进行杂交后，会得到黄色和白色混杂的双色玉米。而根据孟德尔的分离规律，黄色玉米粒和白色玉米粒的数量比为3：1。这种人工培育出来的玉米就属于F1品种。而根据分离规律，这种F1代的后代又会呈现出不同的特性。

◆ 双色玉米



但是再仔细想想的话，多少会觉得有些奇怪。

F1品种的后代，也就是种子当中的胚。就像我们在第115页中介绍的那样，胚的部分就相当于植物的宝宝。而胚四周的种子，则相当于守护着胚的妈妈的肚子。

F1品种后代的特征，只有在胚发芽之后才能知道。那为什么像妈妈的肚子一样的种子，却会分为白色的和黄色的呢？

奇妙的现象——异粉性

大家知道“七彩玉米”吗？

七彩玉米，正如这个名字一样，一粒一粒的玉米粒呈现出不一样的颜色，就像漂亮的宝石、多彩糖果一样。七彩玉米，准确来说其实应该叫作“玻璃宝石玉米”。

就像我们刚刚介绍的那样，黄色的玉米和白色的玉米杂交后，会得到有着黄色和白色玉米粒的黄白玉米。

提到玉米，我们首先就会想到黄色的玉米。但其实，最开始的时候，玉米不只有黄色和白色，还有黑色、绿色、红色、橙色等，非常多的颜色。人们推测，七彩玉米就是由各种玉米杂交而成的。

在玉米的起源地玛雅，有着这样的传说。传说众神用玉米创造了人类，而由于玉米有着各种各样的颜色，用玉米创造出来的人类也就有了不同的肤色。

玉米粒的颜色，是由花粉交配后的基因决定的。但是，正如我们在上一小节的最后提出的问题那样，玉米粒颜色的变化，其实是一件非常奇妙的事情。受精过后形成的种子中的胚，相当于植物的宝宝。宝宝的性状，是由父亲和母亲的基因决定的。这是一件非常自然的事情。但是，玉米粒中有颜色的部分，是包裹着胚的部分。用人体部位来解释的话，这个部分相当于孕育着宝宝的妈妈的肚子。玉米粒的颜色根据遗传定律发生变化，其实是父亲的性状显现在了母亲的肚子上。这种奇妙的现象被称为“异粉性”。那么，为什么会出现这种情况呢？

植物复杂的受精

这种情况，和植物复杂的受精有关。

植物的雌蕊粘上花粉后才能结成种子。这个接受花粉的过程被称为“受粉”。但是，单单这样还没有办法进行受精。可以发育成种子的胚珠，位于雌蕊根部的子房内，所以精子必须从雌蕊顶端移动到根部。

当花粉到达子房的顶端时，就像种子发芽一样，花粉也会发出芽来。然后，会伸出一种叫作花粉管的小管子直达雌蕊的内部。当花粉管到达了胚珠的内部，花粉中的精子就会通过花粉管释放到胚珠中。

更加奇妙的是接下来的过程。

人类的精子只有一个核和卵子进行授精。而植物的花粉却有两个核。其中一个会进行授精，发育成植物的宝宝——胚，而另一个，会在胚珠受精后成为宝宝的奶水部分——胚乳。这种植物进行两次受精的现象，被称为“双受精”。

双受精这种现象，发生在所有植物身上。尤其像玉米这种，胚乳的性质体现在玉米粒的颜色上，所以非常便于观察。

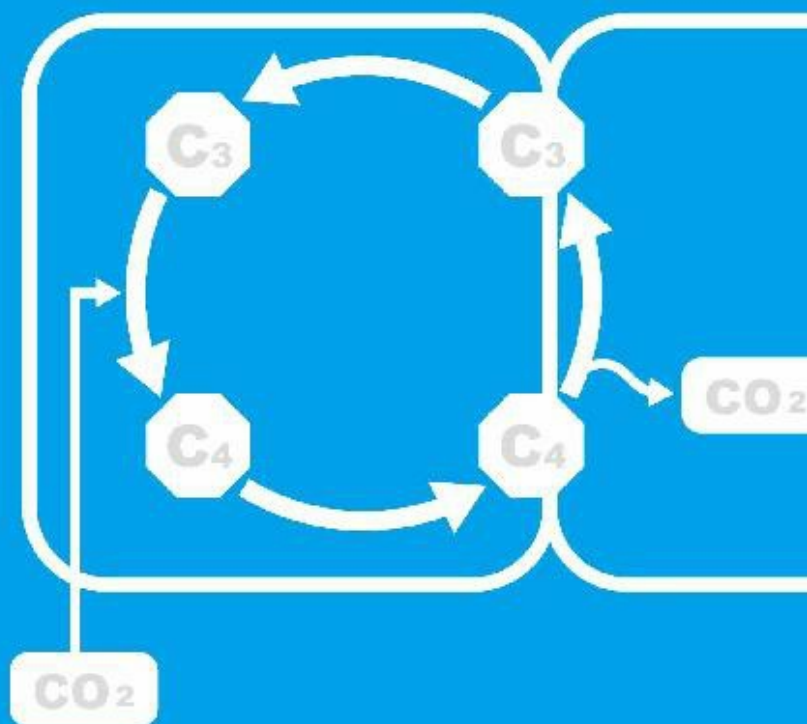
三个基因组

就算如此，那为什么作为植物宝宝奶水的胚乳，一定要靠受精才能形成呢？

植物从精子和卵子那里，分别会继承一个基因组，两个基因组为一套。这种含有两个基因组的个体，被称为二倍体。但是，胚乳却不一样。精子中含有一个基因组，雌蕊中有两个基因组，所以一共有三个基因组。也就是说，受精后的植物是三倍体。拥有三个基因组，比起拥有两个基因组，可以形成更多作为植物营养成分的胚乳。所以，植物才要进行如此复杂的受精。

Part 3

开始读就停不下来的植物故事



红灯笼是成熟的果实！

红色可以刺激食欲

结束了一天的工作，不知不觉就被饭店门外摇动着的红灯笼诱惑去大吃一顿的职员恐怕不在少数。

这其实也是没有办法的事情。

红色可以刺激人类的副交感神经，使人的食欲更加旺盛，所以那些汉堡包、牛肉盖浇饭之类的快餐店的招牌都是红色系的。除此之外，很多中餐厅和拉面店的招牌或者店面，也都是红色的。

在绿色的蔬菜沙拉上点缀几颗红彤彤的番茄，在大板烧上撒上一些红姜，都会使原本的食物看起来更加美味可口。

为什么人们看到红色就会觉得很美味呢？

这其实和植物的进化有关。

植物对小鸟的甜蜜私语

在课本中，对裸子植物和被子植物的区别做出了这样的说明：两者的区别是，胚珠是裸露在外还是被包藏在子房内。裸子植物的胚珠裸露在外，而被子植物为了保护珍贵的胚珠，将它包藏在子房里。被子植物花了很大的工夫来进化，甚至将原本作为守护胚珠而存在的子房进化成了果实，以吸引动物来吃。

动物或是小鸟在吃掉植物果实的同时，也会把种子也一起吃进去。种子经过了动物或是小鸟的肠道后，会随着它们的粪便一起排出来。借由动物或是小鸟的移动，种子可以被散播到各个地方。

但是，如果种子在还没成熟时就被吃掉了的话可就糟了。所以，植物的果实在还没成熟的时候，会呈现出和叶子一样的绿色，以此隐蔽在同为绿色的植物中。而且，没有成熟的果实不仅没有甜味，还会有一股苦涩的味道。通过这些方法，可以使没有成熟的果实不易被吃掉。

等到种子成熟后，果实中的苦味物质就会消去，变得甜美多汁。而果实的颜色也会从不起眼的绿色变成醒目的红色，作为正当时节的标志。绿色标志着“请别来吃我”，红色则标志着“快来吃我吧”！这就是植物为了运送种子创作的标记。

吃掉植物的果实，运送种子的主要是小鸟。而植物的红色果实，就是召唤小鸟的暗号。

◆通过小鸟散播种子



小鸟将果实吃掉后，会将种子随粪便排出，从而使种子移动到新的地方。

哺乳动物中唯一可以辨别红色的动物是哪个？

另一方面，哺乳动物中却没有红色的。

在恐龙繁盛的时代，哺乳动物的祖先为了逃避恐龙，选择在夜间活动。在昏暗的夜色中，红色是最难辨别的颜色。久而久之，夜行性的哺乳动物，就丧失了辨别红色的能力。

但是哺乳动物中，有一种动物恢复了辨别红色的能力。这种动物就是人类的祖先——猿猴。

虽然我们还没有搞清楚，我们的祖先是先以果实为食，才逐渐可以辨别出果实成熟的颜色，还是先学会了辨别红色，才开始以成熟的果实为食。但我们知道的是，我们的祖先可以辨别出果实成熟的颜色，并且逐渐把果实当成饱腹的食物。

红灯笼的颜色，就是成熟果实的颜色，所以人们总会在不经意间就被红灯笼吸引过去。

草原物语

草原上的战争

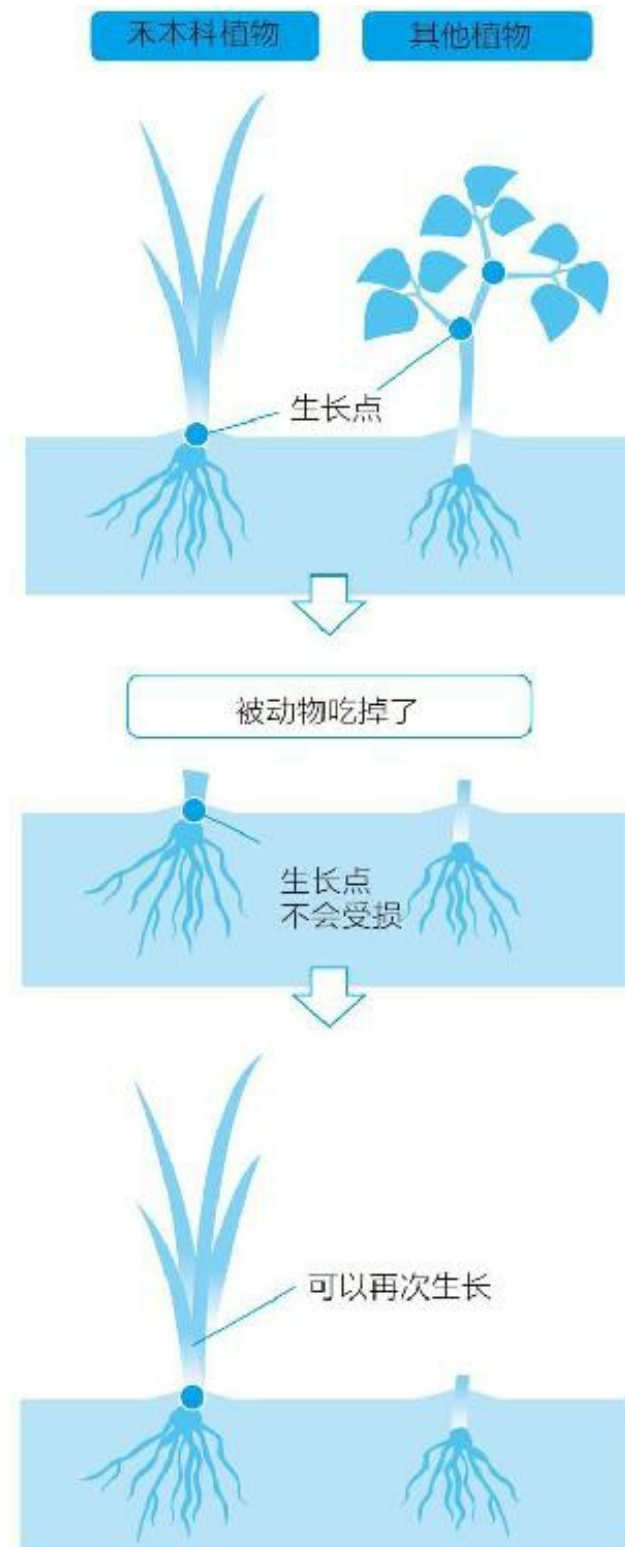
很多动物都以植物为食。

对于植物来说，被动物吃掉这种威胁最大的地方，恐怕就是草原了。

在深山老林中，草木丛生，盘根错节，植物是不可能被全部吃光的。但是，在视线良好、辽阔开放的草原上，植物不仅失去了藏身之地，而且生长的数量也非常有限。草原上的食草类动物都来争食这些为数不多的植物。

在这样的环境下，草原上的植物该如何保护好自己呢？

◆禾本科植物的生长点很低



用毒是一种方法，但是制作毒素需要耗费相应的营养成分。在贫瘠

的草原生产毒素，并不是一件简单的事情。而且，就算用毒素来保护自己，动物也会逐渐进化出相应的对抗手段。

禾本科植物的特征

在草原上，有一种被动物们当作食物的植物完成了非常惊人的进化。这种植物就是禾本科植物。禾本科植物的叶子中，储存有硅这种甚至可以被用作玻璃原料的坚固物质。此外，禾本科植物的叶子中还含有很多纤维，不易被消化。这样一来，动物们很难以禾本科植物的叶子为食。

禾本科植物还有着和其他植物非常不同的特征。

普通植物的生长点位于茎的尖端。随着新细胞的堆积，不断地向上生长。但是，如果茎的尖端被吃掉的话，这个重要的生长点就也就没有了。

和普通植物不同，禾本科植物的生长点非常低，在地面附近。禾本科植物的茎不会向上延伸，而是在根株的地方保护着生长点。而叶子则会一片一片地向上生长。这样一来，不管动物们怎么吃，吃掉的都是叶子的尖端，而不会伤害到生长点。

但是，这样的生长方法也存在一个很严重的问题。

像这种一片一片堆积着向上生长的方法，可以一边进行细胞分裂一边自由地增加枝干，使叶子茂盛地生长。但是，这种让叶子从下到上堆叠着生长的方法，会使后边的叶子的数量没办法增加。

所以，禾本科植物的根株一边增加茎，一边也会增加把叶子推举上去的生长点的数量。这种现象被称为分蘖。

这样一来，禾本科植物就可以在地面附近形成可以生长很多叶子的

分枝。

牛竟然有四个胃！

禾本科植物的叶子蛋白质含量极少，营养价值也非常低。作为食物来讲并没有什么吸引力。禾本科植物一直在朝着叶子坚硬、不好消化、营养成分低的这种不适合食用的方向在进化。

但是，如果不以禾本科植物为食的话，草原上的动物将无法生存下去。因此，草原上的食草类动物为了可以消化吸收禾本科植物，进化出了各式各样的结构。比如说，牛逐渐进化出了四个胃。在这四个胃里面，和人类的胃起到同样作用的，是第四个胃。

牛的第一个胃容积很大，可以储藏吃进来的草。此外，胃里的微生物也发挥着作用，把吃进来的草分解为营养成分。也就是说，除了贮存，这个胃还承担着发酵槽一样的作用。

就像人类将黄豆发酵，制成营养价值极高的味噌和纳豆，或是将大米发酵，制成日本酒一样，在牛的这个胃里，也可以制作出营养丰富的发酵食品。

牛的第二个胃会将食物返回食道里。让牛胃里半消化的食物返回嘴里再次咀嚼，这个过程被称为反刍。牛在进食过后还趴在地上不停地咀嚼，就是在反刍。

牛的第三个胃能够调整食物的量。这个胃可以将食物返回第一个、第二个胃，或是把食物送到第四个胃。经过这样的前期处理，禾本科植物的叶子会变得非常柔软。此外，利用微生物的发酵，还可以创造出很高的营养价值。

如果想从禾本科植物那里获取营养，就必须吃下大量的草，用四个胃来完成这一过程。为了容纳这些体积很大的内脏，牛也逐渐演变成了大块头。

种子不会脱落的麦子改变了历史

都说人类是从草原上进化过来的。

但是，草原上这种叶子又硬、营养价值又低的禾本科植物，是没法成为人类的粮食的。虽然人类学会了使用火，但就算是把禾本科植物的叶子煮过烤过，也还是没办法吃。

不过，人类最终还是征服了禾本科植物，成功地把它们变成了自己的粮食。

稻子、小麦、玉米.....现在作为人类主要粮食的谷物，都是禾本科植物的种子。

对于人类来说，人工栽培的麦子类作物和野生的麦子相比，最重要的性质是什么呢？

人工栽培的麦子类作物最重要的性质，就是种子不会脱落下来。

野生的麦子为了留下后代，会把种子散播出去。但是人工栽培的麦子如果也把种子散播出去的话，人类就不好收获了。

这种种子落下来的性质叫作“脱粒性”。所有的野生植物都具有这种脱粒性。但是，也有极低的概率，会发生种子不会脱落的突然变异。人类就找出了这种发生突变的植株。

如果种子成熟了还不落地，在自然界中是没办法留下后代的。因此，种子不会脱落的这种性质，其实是一种致命的缺陷。

但这种致命的缺陷对于人类来说，却是一种非常有价值的特性。种子不会自然脱落，而是原封不动地待在植物上的话，人类就可以收取这些种子当作粮食。再把这些种子继续播种下去的话，就可以收获更多具有种子不会脱落这种特性的麦子。

正是种子不会脱落的这种“非脱粒性”的突然变异，才促成了人类农业的开始。这种突变，可以说是人类历史上的一个革命性事件。

农业和文明

禾本科植物的叶子虽然没有什么营养，但是它们种子的营养却十分丰富，而且这些种子也非常便于保存。自从人类开始收取禾本科植物的种子作为粮食，农耕快速发展，人类文明也渐渐发展了起来。

◆世界的文明和主要作物



文明的发展，其实和植物有着很大关系。所有文明的发祥地，都一定有着重要的栽培植物。

埃及文明和美索不达米亚文明的发祥地，是麦子类作物的起源地。印度河流域文明的发祥地，是稻子的起源地。而中华文明的发祥地，是黄豆的起源地。中美洲的玛雅文明和阿兹特克文明的发祥地种植着玉米，而南美洲的印加文明发祥地则种植着土豆。

“有了栽培植物，才有了文明的发展”也好，“有了文明的发展，才有了栽培植物”也好，总之，人类文明的发展和植物息息相关。

厨房里的植物学

为什么切洋葱的时候会流眼泪？

我们切洋葱的时候总会流眼泪。这是为什么呢？

在洋葱的细胞中，含有一种叫作蒜氨酸的物质。

这种蒜氨酸并没有刺激性。但是，我们切洋葱的时候会把细胞破坏掉，使细胞中的蒜氨酸跑到外面来。跑出来的蒜氨酸和外面的酶发生化学反应，会生成一种叫作蒜素的刺激性物质。就是这种蒜素，刺激着我们的眼睛。

蒜素还具有杀菌活性。也就是说，在洋葱受到病原菌或是害虫攻击的时候，蒜素可以起到保护作用。

这种刺激性物质，对洋葱自身也会产生不好的影响。所以平常的时候，洋葱只会生成无毒的原料物质。一旦细胞被病原菌或是害虫破坏了，才会瞬间释放出这种刺激性物质。如果细胞不被破坏的话，是不会形成这种刺激性物质的。

这和我们在使用一次性暖宝宝的时候，只有打开袋子，让它和空气接触后才会发生反应，释放热量，是同样的道理。

一边流着眼泪一边切洋葱确实很麻烦。其实，要想切洋葱时不流眼泪，也是有办法的。洋葱释放出来的这种叫作蒜素的刺激性物质，具有低温时不易挥发的特性。所以，如果我们在切洋葱之前把它放进冰箱里冷冻一会儿，就可以抑制这种物质的挥发。

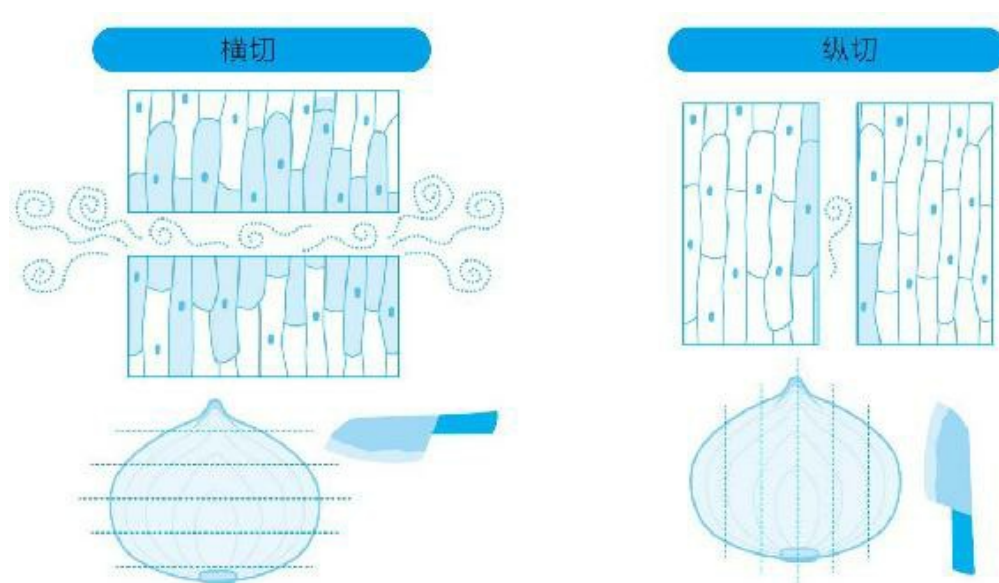
另外，蒜素这种物质非常怕热，加热后就会分解。所以，切之前把洋葱放进微波炉里加热一会儿也是一个好方法。

竖着切还是横着切

洋葱竖着切还是横着切，效果也不一样。实际上，横着切洋葱更容易流眼泪。

从植物的构造上来看，细胞基本上都是竖向堆积排列的。这样竖向堆积的细胞会形成一束，在面对横向而来的外力的时候，不容易轻易折断。由于细胞是这样一束束纵向排列着的，所以虽然横着不容易折断，但是竖着的话就可以轻松地就把它分开。我们竖着切菜，劈砍木头，就是因为细胞是呈纵向分布着的。

◆洋葱的切法和细胞的破坏



横着切洋葱的话，会破坏细胞，释放刺激性物质。

洋葱的细胞同样也是纵向分布的。因此，竖着切洋葱的话，只会把纵向分布的细胞和细胞分开，不太会破坏细胞本身。

与之相比，横着切洋葱的话，会切开洋葱的细胞。而细胞被破坏后，会释放出大量刺激性物质。

横着切洋葱的话，会破坏洋葱的细胞，使洋葱口感变得更柔软。此外，把横着切的洋葱泡在水里，辣味成分会溶解在水里，吃的时候就吃不出辛辣的味道了。所以，如果是用洋葱做沙拉的话，横着切更好一些。

但如果是炒菜的话，竖着切洋葱会更好些。因为横着切的话会破坏细胞，使细胞内的成分渗到外面来。竖着切的话，可以尽可能地不破坏细胞。直到我们吃的时候，才会通过咀嚼破坏洋葱的细胞，让洋葱的味道散发出来。这样的切法，可以使洋葱的味道变得更加浓郁。

黑芥子硫苷酸钾和异硫氰酸丙烯酯

有的人说“要一边笑一边磨山葵”，也有的人说“磨山葵的时候不能笑”，究竟哪个才是真的呢？

可能这和个人的喜好有关吧。但是确实，磨山葵的方法不同，味道也会发生变化。

一般来说，似乎主张“要一边笑一边磨山葵”的人更多一些。正如我们刚才介绍的，洋葱的细胞中含有辣味物质的原料，随着细胞被破坏，这种原料和细胞外的酶发生反应，变成了辣味物质。

山葵也是如此。

山葵的细胞中含有一种叫作黑芥子硫苷酸钾的物质。一旦细胞被破坏，细胞内的黑芥子硫苷酸钾就会和细胞外的酶发生反应，变成一种叫作异硫氰酸丙烯酯的辣味物质。

如果很用力地磨山葵，磨好的山葵肌理就会很粗，细胞不会全部被破坏。但是，如果我们不太使劲，而是细细磨的话，就会使山葵的细胞一个个地全被破坏掉。也因此，会释放出更多的辣味物质。这样细细地磨，可以得到辣味浓郁的山葵。人们都说，用纹理细致的鲨鱼皮磨板，画着圆磨出的山葵效果最好，就是因为这样可以破坏大量细胞。

那萝卜泥要怎么磨更好呢？

萝卜和山葵同属于十字花科，同样可以用黑芥子硫苷酸钾形成辣味物质异硫氰酸丙烯酯。

但是人们都说“一边生气一边磨萝卜泥，萝卜泥会变辣”。和山葵相比，萝卜要更硬一些。因此直直地磨萝卜，就像横着切洋葱一样，可以更多地破坏细胞，使萝卜泥的味道更浓郁。

给爱吃辣山葵的人的建议

山葵也好萝卜也好，使用的部位不同，辣度也是不一样的。山葵的话，靠近顶部的地方最辣，而靠近根部的地方辣度最低。因此，喜欢吃辣一点的人，可以一边笑着一边细细地把山葵的顶部拿来磨，这样就可以得到辣味浓郁的手磨芥末了。而不太能吃辣的人，只要把山葵的根部拿来用力地磨，就可以得到辣味更加温和、风味更加突出的手磨芥末了。

萝卜也具有相反的特点，靠近根部的地方最辣，靠近顶部的地方则没有那么辣。

萝卜苗长大了会变成什么呢？

萝卜的茎去哪了？

我们平常吃的萝卜苗，其实是萝卜的芽。

因为伸展的两片叶子像是张开口的小贝壳，所以萝卜苗在日语中被称为“贝割”。将萝卜苗继续培育，就会生长成我们平常吃的萝卜。

观察一下萝卜苗就会发现，在两片叶子的下面有一条细长的茎。但是，萝卜却没有茎的部分。

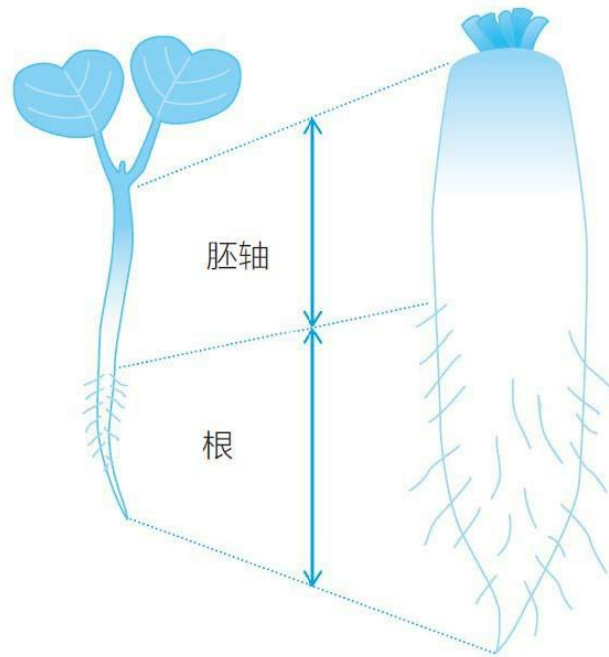
萝卜苗的茎在生长的过程中似乎消失不见了。

萝卜苗的两片叶子底下长着的茎，被称为胚轴。

种子在准备发育成植物体的时候，会配置好根、茎和叶。种子里还未发育的根被称为胚根，茎被称为胚轴，叶被称为子叶。而胚根、胚轴和子叶最终会成长发芽。发芽之后，或是自己吸收养分，或是进行光合作用，再生长出新的根、茎和叶。

而萝卜苗就是由胚根、胚轴和子叶形成的。

◆萝卜苗和萝卜



萝卜的生长

萝卜苗继续生长，就会长成萝卜。实际上，萝卜苗的胚轴和根一样，会随着生长变得越来越粗壮。

我们仔细观察一下萝卜的话就会发现，萝卜的下部分或是长着很多细细的须根，或是有着须根的痕迹。萝卜的下半部分，其实就是生长得十分粗壮的根部。

和萝卜的下半部分不同，萝卜的上半部分滑溜溜的，一点根须的痕迹都没有。这上半部分其实不是根，而是生长得很粗壮的胚轴。

我们去田地里看看就会发现，萝卜的上半部分都露在土地外面。这上半部分其实本来就是茎的部分，所以即使这部分露出地面一点也不奇怪。像现在我们在市场上经常见到的青萝卜，胚轴的部分还会泛着绿色。

萝卜苗的两片小叶子下面伸出的茎被称为胚轴，而上面的部分被称为茎。

那萝卜到底有没有茎呢？

萝卜的茎基本不会伸展，短短的茎上会不断长出叶子来。

把萝卜的叶子都扒掉，最后剩下的芯的部分就是萝卜的茎。到了春天，萝卜的茎就会猛长，然后开出花来。

辣度的差别就是部位的差别

前面我们介绍过了，萝卜的顶部和根部的辣度是不同的。这是因为辣味成分一般都储存在顶部。而像萝卜这种顶部和根部的辣度差别，和植物部位的不同也有关。

胚轴，起着将根部吸上来的水分运输到地上，将地上形成的糖分等营养物质运输到根部的作用。所以，胚轴的部分有着水分多、甜度高的特点。

萝卜的胚轴的部分这种水灵多汁的特点，非常适合做沙拉。这部分也有着香甜柔软的特点，所以也很适合做煮萝卜等炖菜。

萝卜的根部会偏辣。萝卜的根，是储存地上形成的营养成分的地方。为了防止虫子或是动物吃掉自己好不容易储存下来的营养成分，萝卜会生成辣味成分来守护自己。

萝卜越靠下的地方就会越辣。比较一下萝卜最上边的部分和底下的部分，底下的辣味成分要超过最上面的十倍。所以，萝卜的下半部分，多用来做味噌关东煮或是白萝卜鱼这种味道浓郁的料理。

喜欢辣一点的萝卜泥的人，用萝卜的下半部分更合适。而不太能吃辣的人，则可以用萝卜的上半部分做成不那么辣的萝卜泥。

顺便说一下，山葵被称为根的可食用部分其实是根茎的茎的部分。而山葵表面上坑坑洼洼的小点，是长在那里的叶子落下之后留下来的痕迹。

为什么香蕉没有种子呢？

将香蕉切成片后.....

我们都知道，香蕉是没有种子的。可是，香蕉为什么没有种子呢？

其实在最开始的时候，香蕉是有种子的。但是有一天，诞生出了一种发生突然变异的没有种子的香蕉。

正如前文介绍的那样，植物从雄性的精子和雌性的卵子那里可以分别获取一个基因组，也就是说，植物内含有两个基因组。这种个体被称为二倍体。在形成精子和卵子的时候，这两个基因组会分成两半。然后经过再次受精，再回复成二倍体的状态。

但是不知道为什么，连种子都没有的香蕉却拥有着三个基因组。也就是说，香蕉属于三倍体。二倍体的植物可以把两个基因组对半分，但是三倍体的植物，却没办法很均匀地把基因组分成两份，所以也就没有办法形成种子。我们吃香蕉的时候，会发现上面有一些黑色的小颗粒。实际上，这些黑色的小颗粒就是原本应该长成种子的东西。

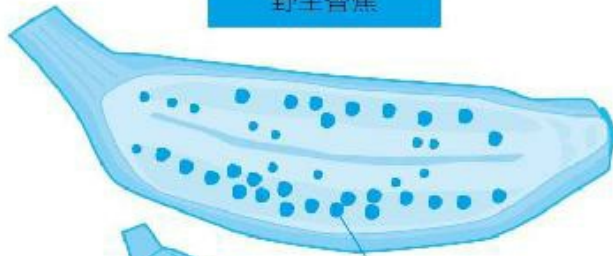
◆野生香蕉是有种子的

现在的香蕉



种子的遗迹

野生香蕉



种子



栽培品种和基因组的数量

对于植物来说，结不成种子这点确实属于一个缺陷。但是对于人类种植的栽培植物来说，这个缺陷其实也有好的地方。举个例子，过去就有着无籽西瓜这种植物。无籽西瓜属于三倍体。如果我们从食用的角度来考虑的话，没有种子的西瓜吃起来其实更加方便。

芋头这种植物，也有二倍体的品种和三倍体的品种。三倍体的品种没办法结成种子。因此，原本提供给种子的这些营养成分，现在可以使芋头本身生长得更粗壮。此外，相较于拥有两个基因组的二倍体，拥有三个基因组的三倍体，基因组的数量更多，因此可以相应地使植物的体积更加壮大。这种三倍体的结构，可以使栽培作物的产量更高，使栽培植物的花朵或是果实的个头更大，这对于人类来说是非常有利的。

不只是三倍体，栽培植物中还有基因组数量更多的。比如说，小麦和白薯是六倍体，而草莓是八倍体。

彼岸花竟然是古代的栽培品种？

在秋天盛开的彼岸花，属于三倍体。因此，它们几乎不会生成种子。

但是彼岸花都是分散在各地开花的。如果没有种子的话，它们是怎么散落到各地的呢？实际上，彼岸花被认为是古时候的人们种植下的球根植物。虽然彼岸花的球根含有毒性，但是把它浸泡在水里的话就可以把毒性去除，没有毒性的彼岸花，可以作为人类的粮食。因此，人们在各地都种植着这种可被当作粮食的彼岸花。之后，彼岸花作为饥荒时期的应急食品在各地被种植。渐渐地，彼岸花的种植范围在日本扩大开来。就算是在刚刚平整好的土地上，或是铁路沿线，都有着彼岸花的身影，这可能是因为人们把土连着球根一起运过来了。盛开的彼岸花背后，是古人栽培球根植物的历史。

即使如此，人类在最开始的时候，真的是把彼岸花当作粮食来种植的吗？

实际上，在彼岸花的原产地中国，也有着可以形成种子的二倍体彼岸花。可是二倍体彼岸花和三倍体彼岸花中，只有没办法形成种子的三倍体彼岸花被带进了日本。相较于二倍体彼岸花，三倍体彼岸花拥有更多的基因组，球根的体积也更大。另外，由于不用生成种子，球根也就相应地变得更加粗壮。可能就是因为这样，古人才会带着这种不能形成种子的彼岸花跨海回到了日本。日本彼岸花的历史，可比日本稻子的历史要久远得多。

狗尾巴草是一种高性能植物

小路旁生长的狗尾巴草

大家都知道一种叫作“狗尾巴草”的野草吧？

狗尾巴草的学名叫作阿罗汉草。在炎炎夏日里，就算是花坛里面每天都浇水的花朵和菜地里每天都浇水的蔬菜都枯萎了，而在小路旁生长的狗尾巴草，虽然没有人来给它浇水，却生长得格外茁壮。

实际上，狗尾巴草自身有着可以进行特殊光合作用的结构。这种高性能光合作用的系统被称为C4循环。而拥有C4循环的植物则被称为C4植物。

光合作用，是一种很高级的过程。就像汽车的发动机通过燃烧燃料产生能量一样，植物通过吸收光能，使二氧化碳和水发生反应，产生出能量——糖分。这个过程就是光合作用。

光合作用，是一个十分高级的过程。即使是发明出了复杂如发动机的人类，至今也没能成功地研究出人工进行光合作用的方法。总是自诩科学文明的人类，其实连一片叶子也造不出来。

C4循环是涡轮发动机

一般的植物都是通过C3循环这种系统来进行光合作用的，所以被称为C3植物。C4植物也可以通过C3循环进行光合作用，只不过除了C3循环，C4植物还拥有C4循环。

C4循环，其实就像汽车的涡轮增压发动机一样。

涡轮增压发动机，可以通过涡轮增压器来压缩空气，把大量的空气压进发动机，从而提升发动机的输出功率。光合作用的C4循环，就是将吸收进来的二氧化碳生成拥有四个碳元素的苹果酸之类的C4化合物，然后再把它们送到C3循环那里。也就是说，植物通过C4循环压缩了碳元素。因此，相较于C3植物来说，C4植物可以更好地进行光合作用。

除了狗尾巴草，还有很多其他的植物也属于C4植物。比如说，农作物中的玉米就是一个典型的C4植物。

就像涡轮增压发动机可以在高速行驶时发挥其特殊的用处，高性能的C4光合作用，也可以在夏日里炎炎的高温和强烈的光照下发挥出它独特的潜能。

想要进行光合作用的话，光是必不可少的。光照越强，光合作用的效果就越好。但是，如果光照过于强烈的话，就会超出光合作用的能力范围，使光合作用的能力达到一个极限。就像到达了一定速度后，再怎么踩油门也无法加速的车一样。

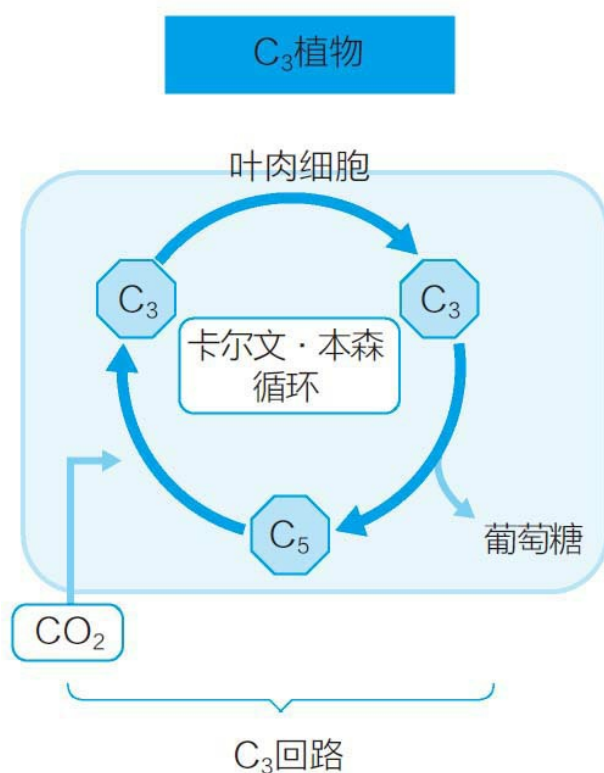
但是，C4植物就不同了。就算是再强烈的光照，C4植物也可以通过生成C4化合物的碳元素，连续不断地进行光合作用。

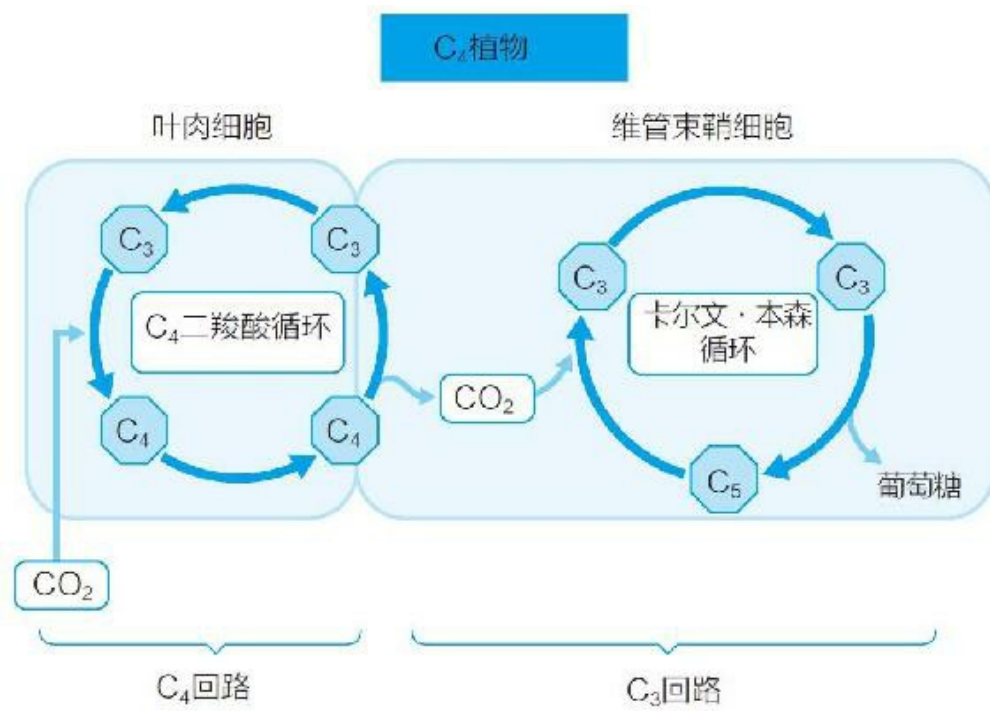
狗尾巴草在炎炎夏日也不会枯萎的原因

C4植物还具有耐干燥的特性。

植物为了进行光合作用，必须要打开气孔来吸收二氧化碳。但是，一旦气孔打开了，水分也会从中溜走。C4植物会将气孔打开后吸收的二氧化碳进一步浓缩，所以可以一次性地吸收大量二氧化碳。如此，就减少了打开气孔的次数。属于C4植物的狗尾巴草即使在炎炎的夏日里也能够茁壮生长，就是这个原因。

◆C4植物在C3循环之前，还有吸收二氧化碳的C4循环





C4植物的缺点

即使C4循环这么厉害，全世界的C4植物也仅仅占了百分之十左右。因为C4植物也是有缺陷的。

C4循环，可以在高温强光的条件下发挥出非常厉害的光合作用能力。但是，在低温弱光的条件下，C4循环不管吸收多少二氧化碳，光合作用的能力都没办法提高。而且，为了运行C4循环，需要更多的能量支持。就效率来看，并不如C3植物。

因此，在热带地区，C4植物可以说有着压倒性的优势。但是，在温带或是寒冷地区，C4植物的这种优势可就发挥不出来了。就像是在畅通路段上可以马力全开、高速行驶的运动型轿车，到了缓慢行驶的拥挤路段，不仅不能发挥优势，还会徒增汽油的费用。

再度进化的**CAM**植物

像是仙人掌这种在极度干燥的地方生存的植物，又将C4循环再度进化了。

汽车发动机中，有一个叫作双顶置式凸轮轴的结构。

在发动机中，有一个和进气排气阀门开合大有关系的部分——凸轮（CAM）。将凸轮分为进气用和排气用，拥有两套凸轮轴的高性能发动机，就是双顶置式凸轮轴结构的。

很巧的是，仙人掌的这种用于干燥地区的光合作用系统也被叫作CAM。植物的CAM，是景天科酸代谢（Crassulacean Acid Metabolism）的缩写。虽然同写作CAM，但意思却大相径庭。

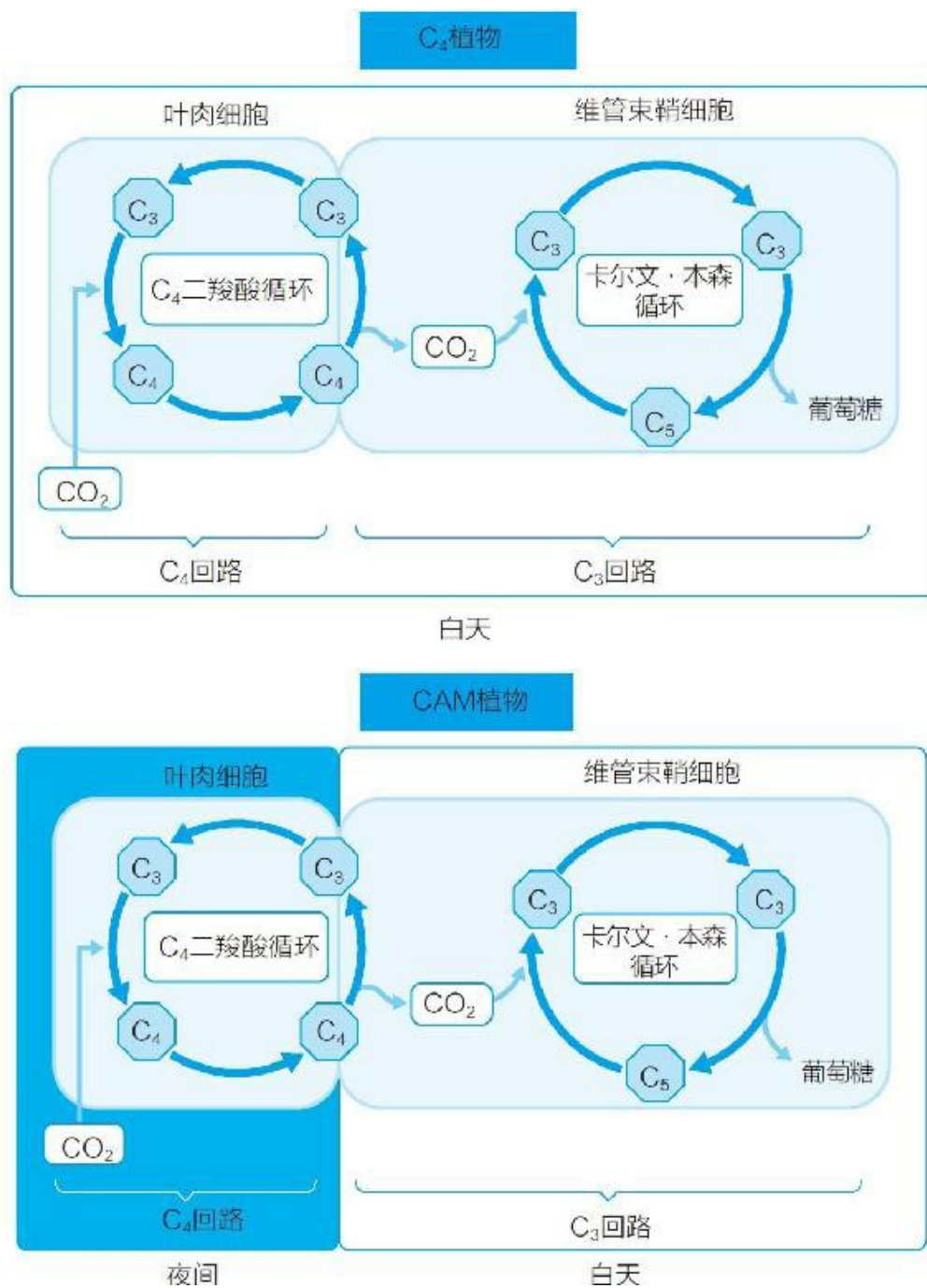
虽然C4植物减少了气孔开合的次数，但是每次气孔打开的时候水分还是会溜出去。

而CAM植物，则对这一点进行了改良优化。

光合作用需要的太阳光只在白天才有。但是，如果在白天的高温下张开气孔的话，水分很容易就会蒸腾出去。

和C4植物一样，CAM植物也同时拥有C4循环和C3循环。但是CAM植物只会在气温相对低的夜间打开气孔，而在气温相对高的白天，则把气孔完全关闭，靠储存的碳元素进行光合作用。如此一来，通过白天和夜间的这两套不同的系统，可以成功地抑制水分的蒸发。CAM植物的这个系统，和晚上用夜间电力制作冰或温水来储存热能供白天使用的电热水器的原理非常像。

◆C4植物和CAM植物的光合作用系统



CAM植物在温度偏低的夜间会进行C4循环。

像仙人掌这样生长在干燥地区的植物，借由这种CAM光合作用系

统，可以提高忍耐干燥的能力。除了仙人掌之外，景天和菠萝也是非常具有代表性的CAM植物。

小偷包袱皮上的藤蔓花纹

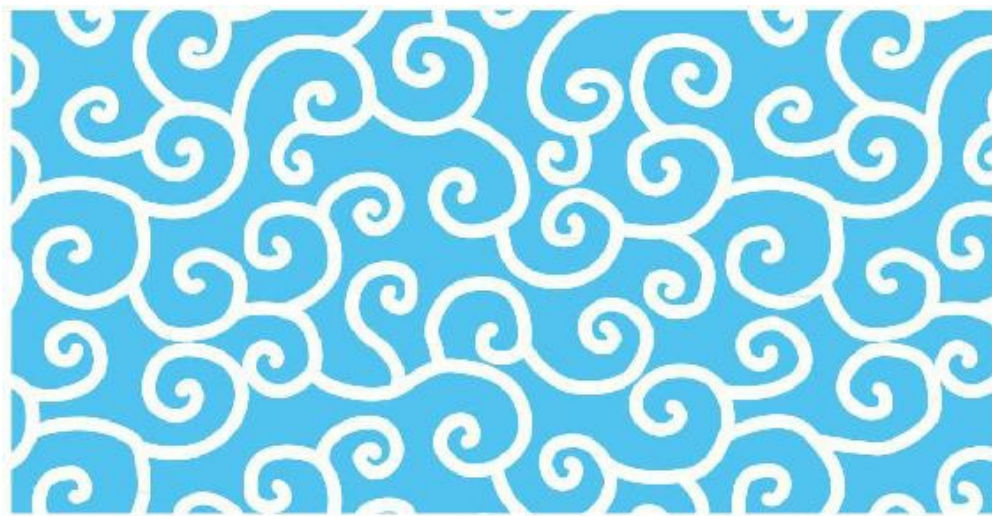
藤蔓花纹的原型是爬山虎

日本漫画中的小偷总是背着一个绿底白藤蔓花纹的大包袱。

这种藤蔓花纹，据说是起源于古埃及的一种古老花纹。在那之后，藤蔓花纹从埃及一直流传到希腊、波斯、罗马、印度、中国和蒙古等地，在全世界各个地区都广泛运用。在古坟时代5世纪的时候，藤蔓花纹从大陆传到了日本。所以说，在日本藤蔓花纹也是一种很有历史的花纹样式。

藤蔓花纹，其实是爬山虎的图形。爬山虎这种植物，生长得既快速又旺盛。而且它的茎具有非常强的生命力，可以延伸到各种地方。因为这些特点，人们把它当作一种长寿和繁荣的象征。这样说来，作为装饰物的狮子舞身上的花纹，也是藤蔓式样的。

◆ 藤蔓花纹



迅速生长的秘密

爬山虎是一种靠蔓来伸展的“蔓生植物”。不只是爬山虎，蔓生植物都具有生长迅速这一特点。比如说，喇叭花用一暑假的时间就可以从地上长到二层楼那么高。而苦瓜也是在不知不觉间就可以生长得把整个窗户覆盖住，就像一幅绿色的窗帘一样。

不接触阳光，植物就没办法生长。所以，比其他植物竞争对手更早地伸展开来，是非常重要的。从这点上来看，生长十分迅速的蔓生植物可以说是非常成功了。

蔓生植物能生长得如此之快，是有秘密的。

依靠着其他的植物或是支柱攀爬上来的蔓生植物，不像一般植物那样，需要靠自己的茎立起来。所以蔓生植物的茎无需发育得很挺拔，而是可以把相应的能量，用到茎的延伸上，使茎向更远处伸展。

此外，在蔓生植物的体内，输送水分的导管和输送营养成分的筛管都很粗，可以更加高效地运送水分和营养成分。可是一旦导管和筛管变粗了，结构上就会变弱。所以很多植物都选择了生成很多细细的导管和筛管，一边增强植物纤维一边生长。与之相比，无需挺拔茎部的蔓生植物则可以生成更粗的导管和筛管。

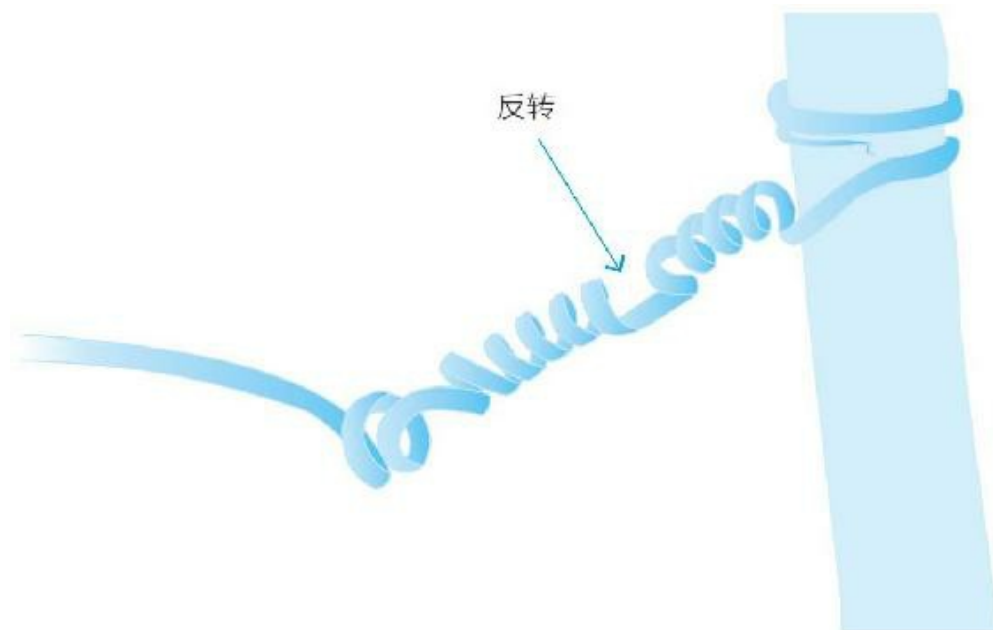
蔓生植物的结构

蔓生植物无法靠自己立起来，只能攀附在其他植物上。所以，它们有着各种各样的结构。

就像著名的爬满了爬山虎的甲子园外墙一样。爬山虎这种植物，能够攀附于大楼或是其他建筑的墙面。

爬山虎其实分为两类。一类是藤蔓花纹的原型，五加科的植物——常春藤。常春藤属于常绿植物，即使在冬天也是绿油油的。所以在日语中也被称为“冬茑”。除了常春藤，还有一种葡萄科的爬山虎。这种爬山虎到了秋天叶子就会变红，到了冬天叶子就会落下来，所以在日语中也被称为“夏茑”。

◆螺旋状的卷须会发生反转



葡萄科爬山虎的卷须的顶部长着吸盘。五加科的常春藤从茎部生长出来的吸附根上，也有着吸盘。它们靠着吸盘上分泌出来的黏液，粘在其他植物或墙面上。

牵牛花的茎部，也是藤蔓状的，这种藤蔓可以缠绕着向上生长。除此之外，苦瓜的叶子也可以演变成卷须，缠绕着生长。

植物的卷须，一旦接触到了什么物体，顶端就会打卷，呈螺旋状卷曲，把自身的植物体拉过来。这种螺旋状的卷须就像是弹簧一样，平缓地将植物体固定住。我们仔细观察一下的话还会发现，这种螺旋状的卷须在中途还会反转方向。其实，这样做是为了在被外力拉扯的情况下，也可以保持紧紧地缠绕，不容易被扯散。

藤蔓植物费了很多心思，终于实现了一边缠绕着其他的物体，一边迅速地生长的小目标。



雄树和雌树

植物也分雌雄吗？

猕猴桃的树分为雄树和雌树。

如果只种植雌树，不种植雄树的话，雌树就没办法进行受粉，也就没办法结出猕猴桃了。

银杏树也分雄树和雌树，只有雌树才会结银杏。所以，有时候人们为了防止掉落的银杏把道路弄脏，会只种植雄性银杏树作为行道树木。

植物也分雌雄，这可以说是非常奇妙了。

但是，再想想看的话，所有的动物都是分雌雄的。这样想来，同一个花里面有雌蕊又有雄蕊，这种雌雄同体的现象似乎才显得奇怪。

其实，在动物中，也是有雌雄同体的现象的。比如说蚯蚓和蜗牛。蚯蚓和蜗牛，都没办法移动到太远的地方去。所以，雄性和雌性能相遇的机会非常少。因此，为了不论遇到雄性还是雌性都可以延续子孙，蚯蚓和蜗牛就逐渐演变成了雌雄同体的状态。

自花授粉的缺点

如果同一朵花里既有雌蕊又有雄蕊的话，用自身的花粉给雌蕊授粉然后结成种子，似乎是个便捷的好办法。但是实际上，植物或是借由风力，或是借由昆虫，大都把自己的花粉运送到其他的花朵那里去进行杂交。

用自身的花粉给雌蕊授粉的话，即使结成种子，种子也会保留和自己一模一样的性质。如果自身有一些疾病弱点的话，子孙后代也会继承这些缺陷。一旦这种疾病缺陷蔓延开来，自己的子孙们就将遭受灭顶之灾。

如果和具有不同性质的其他个体交换花粉，进行杂交的话，就可以培育出具有各式各样特性的子孙后代。这样的话，不管环境如何变化，不管前一代有着怎样的疾病缺陷，都至少可以保证后代不会全军覆没。

保持子孙多样性的办法

但是，一朵花里面既有雌蕊又有雄蕊的话，就会存在用自身的花粉进行受精的危险性。

为了防止这种情况发生，植物进化出了一种特别的结构。

植物的花朵中，雌蕊大多要比雄蕊要高出一些。如果是雄蕊更高一些的话，花粉就会从雄蕊上掉落下来。所以，在植物的花朵中，雌蕊要更高一些。

除此之外，一些植物的花朵中，雄蕊和雌蕊的成熟期也是错开的。比方说，雄蕊先成熟，雌蕊后成熟，那么就算雄蕊的花粉落到雌蕊上，没有成熟的雌蕊也不具有受精能力，因此也就无法结成种子。反之，如果雌蕊先成熟的话，等到雄蕊成熟了可以产生花粉的时候，雌蕊早就已经停止受精了。

此外，有的植物还具有这样的结构：即使自身的花粉落到了雌蕊上，雌蕊顶端的物质也会对花粉发起攻击，阻碍花粉发芽，并终止花粉管的伸长。这种特性被称为“自交不亲和性”。

猕猴桃树为了不费这番工夫来阻止自体繁殖，从一开始就分成了雌树和雄树。

和其他的个体交换花粉，有利于子孙的多样性。但是，为了成功把花粉运送到其他的个体那里，植物自身必须要产出大量的花粉。而且，如果不能很好地把花粉送到，也没办法结成种子。所以，从短期来看的话，用自身的花粉给自己的雌蕊受精，从而结成种子的这种“自体受

精”方式更加有利。所以，无法接触到花粉的人工环境下生长的野草，和在人类保护下生长的作物，有很多都采取了这种自体受精的方式。

法隆寺的柱子还活着？

柱子竟然在呼吸？

奈良的法隆寺，以保有世界最古老的木制建筑物为人们所熟知。

就算是钢筋水泥的建筑也无法屹立百年之久。而以木头为材料的建筑物却历经四百年风霜雨雪而不腐烂，依然保留着当年的风姿。这真是太令人吃惊了。

据说这种用“千年”的木头做成的柱子，还能再活一千年。是真的吗？

树这种植物，是一个很不可思议的存在。冰冰凉凉又枯燥无味的树干可以说是一点生命力都没有。到了冬天，树叶凋零、光秃秃的树干更是不知道是活着还是已经枯死了。虽说如此，树中也有着可以生长千年的长寿物种。

说树木做成的柱子“还活着”，并不是说它像生物一样地活着。因为柱子不会再生长，也不会再出现任何生命活动。

之所以说柱子还活着，是因为柱子会变弯曲，会和呼吸一样，从空气中吸收水分或是排出水分。但是，这只不过是死掉的细胞在吸收或是散发水分罢了。

法隆寺的柱子是心材

木材的中心，有着或发红或发黑的、颜色很浓重的部分。这个部分被称为心材。心材非常坚固而且不易腐烂，非常适合用来做柱子。

心材，是树木为了存活下去而形成的部分。白蚁和天牛之类的生物会蛀入树干取食。而蘑菇会使树木里面布满菌丝，进而把木材分解掉。为了抵抗这些外敌，树木会在木材的中央储存抗菌物质。而且，这些抗菌物质还能使木材变得更加坚固，可以起到物理上的防御作用。此外，这种抗菌物质的注入，可以堵塞运输水分和营养成分的导管和筛管，具有防止水分渗入内部使木材从内部开始腐朽的效果。在一些港口，我们经常能看到一些木材就那样飘在水面上，就是因为水分无法渗入木材内部。

正是由于使用了这样的心材，法隆寺的柱子才可以历经千年而不腐朽，支撑着整个建筑物，挺立如初。

不可思议的树木

但是植物为什么不让自己全副武装，而是只靠心材进行防御呢？

树木，是靠一种很难被分解的叫作木质素的物质使细胞结合的。植物原本柔软的茎部，就是靠这种木质素变得坚固起来，从而形成了树。

Lignin（木质素），在拉丁语中是“木材”的意思。

木材由于含有木质素，可以变得十分坚固。就算是细胞死掉了，也可以维持现有的形态。实际上，树的心材部分的细胞已经全部死掉了。所以，就算导管和筛管都被堵住了也不会有什么影响。但是，心材之外的部分的细胞是活着的。所以其他部分的导管和筛管一定不能被堵住。

心材周围外侧的部分，就是细胞存活的部分。外围靠近树皮的周边部分被称为边材。和心材相比，边材具有色泽更淡而质地更软的特性。

树木就是这样，用死掉的细胞来支撑枝干，而活着的细胞则越过这些残骸继续生长。但是，将活着的部分暴露在最外面的话可以说是毫无防备，所以树木会在此之上覆盖一层坚硬的树皮。熊一类的野生动物会剥下树皮为食。树皮内侧的部分被称为嫩皮。嫩皮中富含淀粉和蛋白质。这个嫩皮的部分，就是细胞存活的部分。

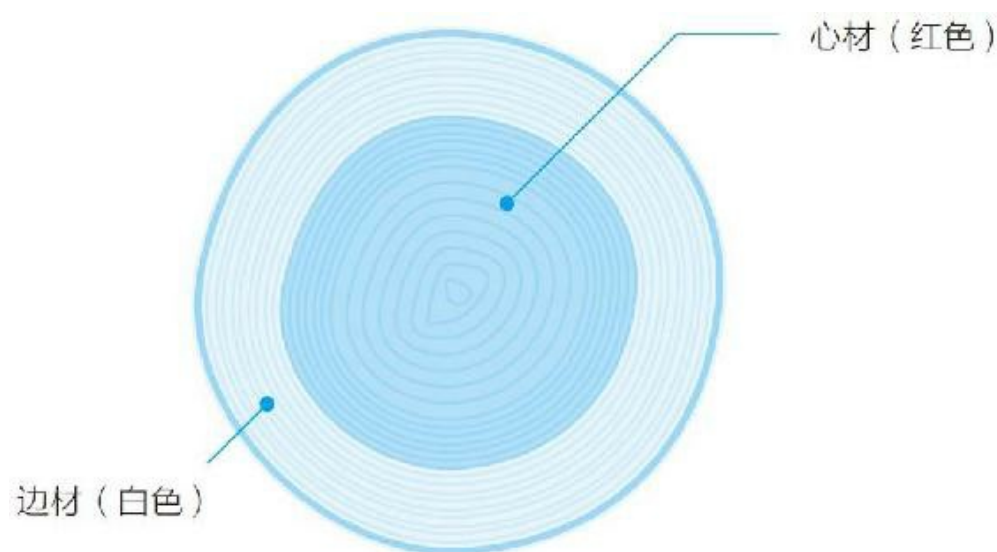
树木中心的心材已经死掉了，而死掉的细胞是无法自己储存抗菌物质或是堵塞导管和筛管的。我们仔细观察一下木材的话就会发现，在年轮的正交方向上，有着一种从中心向外侧发散的髓射线。这种髓射线就如同施工时所用的道路那样，把抗菌物质从还活着的外侧部分运送到树木的中心部分，形成心材。

树木就是如此，由还活着的部分和已经死掉的部分组成。这可真是一种不可思议的生物啊。

年轮的形成

我们观察一下柱子的原材料，也就是木材，就会发现，在截面上有着一圈一圈的年轮。书中介绍过，双子叶植物中，有着一种运输水分和营养成分的，被叫作形成层的组织。这种形成层通过细胞分裂、生长，使得枝干生长得很粗大。

◆木材的心材和边材



春天和夏天的时候，形成层中的细胞分裂非常旺盛，从而使枝干生长得很粗壮。可是到了冬天和秋天，生长速度就会减缓，甚至完全停止。等到了来年春天，细胞分裂又会再次变得旺盛起来，枝干也会继续生长得更粗壮。如此，树木就在生长旺盛和生长停滞间反反复复。

而秋天和冬天缓慢生长的部分就变成了一条线，成为年轮。一般来说，树木每年会形成一道年轮。所以我们要想知道这个木材的年龄的话，数一下年轮的数量就可以了。

直线木纹和曲线木纹的特征

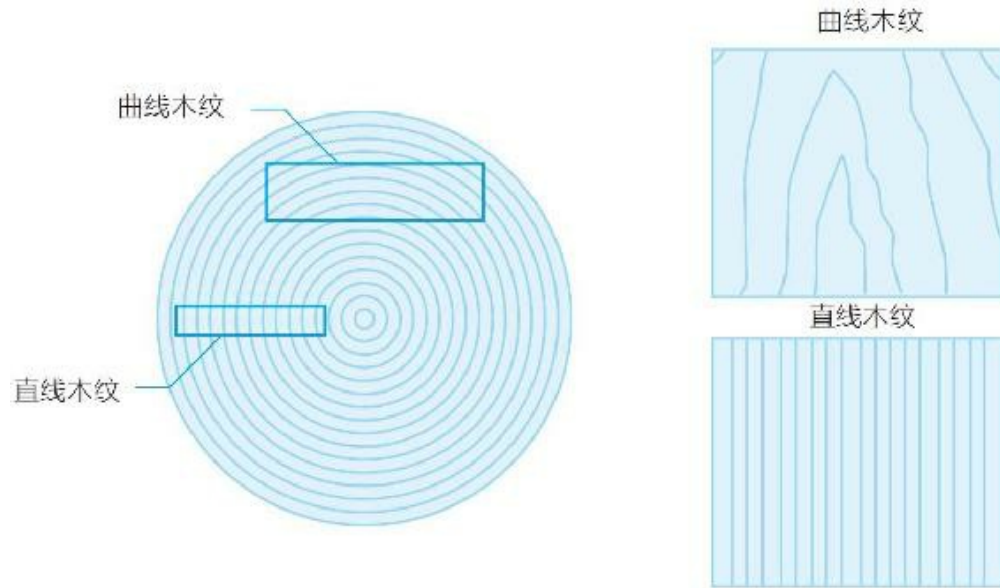
形成层中运输水分的导管和运输营养成分的筛管都是纵向分布的。

能够抵抗横向作用力的东西，我们可以用纵向的力把它分裂开。我们用砍刀劈柴的时候，把柴竖着放的话，就可以很容易地劈开。如果横着放的话，就算是砍刀也是劈不开的。木材的纤维也是纵向排列的，所以我们用锯的时候也是这样，竖着锯的话就可以把纤维分裂开，而横着锯的话可以把纤维切断。

年轮的形状，分为垂直着年轮切下，使年轮呈平行状的“直线木纹”，和沿着年轮切下，呈不规则状的“曲线木纹”。

用作木板，更为高级的材料是直线纹木材。因为直线木纹的纹理更加均衡，不易弯曲。曲线木纹是顺着年轮切出来的，树干外侧的表层和中心的内层很明显地分隔开来。外侧的表层水分很多，而中心侧的内层水分很少。所以一旦遇到干燥的环境，木材的外侧就会收缩，进而发生卷曲。

◆直线木纹和曲线木纹



但是，这种易于弯折的曲线纹木材也有它的用武之地。秋冬季节造就的年轮部分不易透水，所以沿着年轮切出来的曲线纹木材也具有不易透水的特性。这样的木材，非常适合用作木桶、浴桶和船这类物品的原材料。

而直线纹木材中，除了年轮之外的部分都是可以透水的。所以它具有可以吸收水分，透气性和吸湿性好的特点。因此，直线纹木材很多都用来制作米柜、化妆箱或是鱼糕板之类的用品。就这样，古代的人们灵活地运用了两种木材的特点，聪明地将这两类板子区分使用。

人类灵活地
运用了木材
的特性。



生活中不可或缺的植物纤维

大有用处的植物纤维

“被神抛弃的人，可以用自己的双手创造命运。”

有一次，我在一个厕所里看到不知是谁写的这样一句话。日语中的“神”和“纸”的发音是一样的，所以这是一个谐音的小笑话。看到这句话后，我赶忙查看厕所里面的手纸还有没有。很幸运，我没有被抛弃。

生活中，纸是不可或缺的。如果没有纸的话，我们的生活将会变成什么样子呢？虽说现在被称为无纸时代，但是我们身边其实到处都有纸的身影。没有纸的话，也就没有书本，没有工作用的资料。没有纸，甚至连钞票都没有了。

纸张的原料，就是植物纤维。

植物的纤维非常结实，所以人们从很早就开始从植物中提取纤维并加以利用。把植物纤维拧起来，可以做成绳子；把植物纤维竖着横着按照一定规则编在一起，可以做成编织物；把纤维零乱地打散，再把这些分散的纤维脱水烘干后，就得到了纸。我们把纸撕开，仔细观察撕开的断面的话就会发现，断面上有一些小细毛，这就是植物纤维。

植物和动物细胞的不同

植物的细胞和动物的细胞，基本构造都是一样的。但是，两者最大的差别，就是植物的细胞有细胞壁这一点。植物的细胞壁，是由纤维素构成的。

纤维素，是由植物产生的葡萄糖组成的。同样由葡萄糖聚合而成的物质还有淀粉。但是和淀粉相比，纤维素要更加坚韧。纤维素的分子之间存在稳定的氢键和葡萄糖，所以不会轻易被损坏。

在很久很久以前，恐龙在地球上诞生的时候，在水中生长的藻类植物为了能够登上陆地，必须形成可以支撑身体的物质。所以，这些原本在水中生长的植物就以糖为材料生成了纤维素，最终实现了走向陆地的愿望。

膳食纤维为什么对身体好呢？

纤维素非常坚韧，所以哺乳动物就算吃了植物纤维也没办法把它们分解掉。因此，就像书中前面介绍的那样，在以草为食的草食动物的消化器官中，共生着可以使纤维素发酵、分解的微生物。

遗憾的是，人类无法像牛或马那样，在体内分解纤维素并加以利用。但是，植物中的纤维素对人的身体健康也是非常有好处的。这是为什么呢？

人类吃掉植物纤维的话，会增加以植物纤维为食的乳酸菌、双歧杆菌等肠道有益菌的数量，从而调整肠道状态。此外，植物纤维还可以吸附有害物质，通过增加便量刺激肠道，达到通便、给肠道做大扫除的效果。所以，虽然植物纤维里不包含营养，但依然可以调理我们的身体。

在我们畅快地如厕后，还会用由植物纤维做成的纸来做个人清洁。如果没有植物的话，人们就没法用纸，那么如厕后的清洁就是个问题了。

如果不好好珍惜用纸的话，可能人类在不远的将来就会被神明抛弃.....

我在厕所里面看到的那句话，没准儿就是对人类的警告。

植物的行星——地球

有着**38**亿年历史的地球

在科幻电影中登场的近未来是下面这样的场景：

原本生机勃勃的大地被放射性物质污染，许多生物都走向了灭绝的边缘。与此同时，以放射性物质为食的新型怪物却在不断地进化。

这绝不是只在电影中才会发生的事情。实际上，它讲述的正是地球历史和生物进化的过程。

地球上第一个生命的诞生，是38亿年前的事情了。

在很久很久之前的某一天，一种完成了惊人进化的生物出现了。这就是植物的祖先——浮游植物。拥有着叶绿体的浮游植物，可以进行光合作用，将二氧化碳和水合成能量源。

进行光合作用的话，无论如何都会产出一些废弃物。这些废弃物就是氧气。虽然氧气现在是生物必需的生命之源，但是在很早之前，它仅仅是一种可以让所有东西都生锈的毒性物质。

但是渐渐地，进化出了没有被氧气毒死，而是把氧气吸收进体内，进行生命活动的生物。这种生物就是动物的祖先——浮游动物。对于它们来说，氧气不仅没有毒性，还可以产生出爆发性的强大能量。吸收了氧气的浮游动物可以产生强大的能量，灵活地来回移动。而丰富的氧气组成的胶原蛋白，则可以让它们的体型生长得更加庞大。这就像是科幻电影里面，接触放射性能量后变身的巨大无比的怪兽一样。

改变了地球环境的植物

还不仅仅是如此，大量的氧气通过光合作用被释放到了大气中。这使地球的环境也发生了很大的改观。氧气遇到紫外线，就会变成臭氧。这样一来，大量的氧气遇到紫外线，变成了大量的臭氧，最终形成了臭氧层。臭氧层可以吸收有害的紫外线，保护地球上的生物免受紫外线辐射的伤害。于是原本在海中生长的植物，也逐渐进化到了陆地上来。植物们慢慢地改造着地球环境，把它变成更适合自己的家园。

原本在地球上繁荣旺盛的厌氧性微生物，大都因为氧气的存在而灭绝了。仅剩的一些幸存下来的微生物们，也只能藏身于没有氧气的地下或是深海中，无声无息地生长。

如果外星人观察人类的话.....

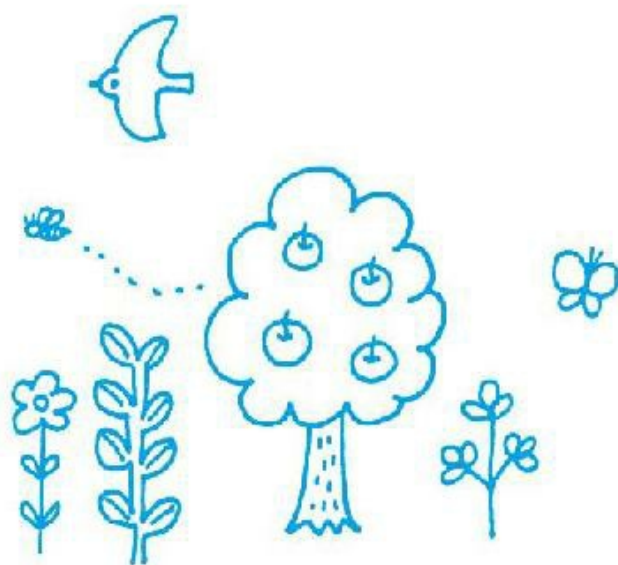
终于，时代轮转，人类出现了。

人类创造了文明，燃烧煤炭和石油等化石燃料，消费着大气中的氧气，使二氧化碳浓度急剧上升。而人类世界排放出的氟利昂气体则破坏了臭氧层，使有害的紫外线辐射再次照向了地表。

人类，简直就像是要让已经被植物改变了的绿色星球，再次变回生命诞生前的那颗荒芜行星一样。还不光如此，人类大肆砍伐树木，破坏森林，使荒漠的面积越来越大。这简直就是要穷尽植物给我们提供的氧气。

如果外星人观测我们的地球的话，对人类的这些行为，会有什么想法呢？它们是会觉得，人类竟然要让地球环境回复到那个无法生存的古老状态，真是一种“勇气可嘉”的生物啊，还是会觉得，人类可真是一群破坏自己绿色星球、生存家园的傻瓜呢？

要好好保护
我们的绿色
星球呀！



后记

可能很多人都会觉得，“生物学”是一门只需背诵就可以掌握的学科，尤其是其中的“植物学”，更是乏味枯燥，令人提不起兴趣。

但是，真的是这样吗？

植物都是有生命的。每个植物其实都充满着各种谜团，远比我们想的要不可思议得多。而植物的生活方式，也远比我们想的要生动活泼，有戏剧性得多。如果这本书可以让大家体会到植物的魅力，那我就实在是太高兴了。

“即使学了植物学，好像对我们的生活也起不到任何作用”，可能还会有人这么想。确实，植物学这门学科，对我们的实际工作或是社会生活基本没有什么用处。

但是，我们的祖先们就是通过开发利用植物的各种各样的用途才生存下来的。我们吃的蔬菜也好水果也好，全部都是植物；做成柱子和板子的木材，是植物；做成衣服的麻和棉，也是植物。在古代，不管是食物、衣服、住所、工具、肥料、药材，还是燃料等，所有的东西都是由植物做成的。在现代，我们可以用化学制品和石油制品制作出各类物品。可能有人会觉得，古代的那一套已经是陈旧古老的老皇历了。然而事实却并非如此。

化学制品和石油制品用过之后，最终都会成为无用的垃圾。而植物制品在用过后，还会回归土地。此外，植物是在阳光下生长起来的。也就是说，植物是太阳能源下产生的可再生资源。过去的人们已经详尽了

解植物的特征，最大限度地将植物加以利用。说古人们是很伟大的植物学者也不为过。通过学习植物学，在未来将要直面各类环境问题的我们可以获得很多智慧。

不仅如此，对于人类来说，植物是一种非常不可思议的存在。

有的人会觉得漂亮的蝴蝶很恶心，也有的人会觉得可爱的小狗很恐怖。但是，应该没有人会觉得植物的花朵不好看吧。

人们看到花朵，就会觉得很美丽。

植物绽放出美丽的花朵，其实是为了吸引昆虫来帮忙传播花粉，并不是为了让人类欣赏的。对于昆虫来说，花朵的花蜜和花粉是它们的食物。所以昆虫喜欢花朵，是理所当然的事。但是，对于人类的生存来说，花朵却是很无关紧要的东西。人类对于花的喜爱，其实并没有一个合理的理由。

即使这样，人类却还是如此喜欢花朵，看到美丽的花朵就有被治愈的感觉。说起来还真是很不可思议。

不光如此，我们还能从植物身上感受到“生命力”，学习植物的“生存方式”。

2011年3月，日本发生了前所未有的灾害——东日本大地震。

被海啸席卷的樱花树，到了时节依然开出了美丽的花朵；被污泥瓦砾压倒的康乃馨，在淤泥中依然坚强地发芽、开花。植物这样坚韧不拔的生命力，给了人类莫大的勇气和鼓舞。

在受灾地区，很多人开始种花。人们播撒下的种子，最终都生根发

芽，还给了大地一片绿色。在一片明媚的花朵中，人们看到了重振家园的希望。

植物，并不是为了鼓舞人类才开花的。

但是，当人们看到植物顽强生存的姿态，心总会被治愈，希望总会被点燃。

植物，是一个不可思议的伟大存在，而爱惜着植物的人类，其实也是不可思议的、了不起的存在。

出版本书的PHP研究所的畑博文先生，在本书策划和出版时给予了我很多帮助，在此表示感谢。

稻垣荣洋



物种起源
科学启蒙

面白くて眠れなくなる進化論

有趣得 让人睡不着的 进化论

【日】长谷川英祐 著
安可 译



51 北京时代华文书局

关于作者

【日】长谷川英祐

进化生物学家。北海道大学研究生院农学研究院准教授，隶属于动物生态学研究室。1961 年出生于东京，从小立志当一名昆虫学家。大学时开始研究社会性昆虫。毕业后进入民企，工作五年后赴东京都立大学研究生院学习生态学。主要研究领域是社会性进化、形成集体的动物的行为等，尤其以对不工作的工蚁的研究备受关注。爱好是看电影、汽车、钓鱼、读书、看漫画。著有《有趣得让人睡不着的进化论》《不工作的蚂蚁的意义》《如何在缩小的世界中存活？》等。

面白くて眠れなくなる進化論

有趣得
让人睡不着的

【日】长谷川英祐 著
安可 译

进化论

93 北京时代华文书局

图书在版编目（**CIP**）数据

有趣得让人睡不着的进化论/（日）长谷川英祐著；安可译．—北京：
北京时代华文书局，2019.7

ISBN 978-7-5699-3085-6

I.①有... II.①长...②安... III.①进化论-青少年读物 IV.①Q111-49

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第109097号

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2018-5391

OMOSHIROKUTE NEMURENAKUNARU SHINKARON

Copyright © 2015 by Eisuke HASEGAWA

Illustrations by Yumiko UTAGAWA

First published in Japan in 2015 by PHP Institute, Inc.

Simplified Chinese translation rights arranged with PHP Institute, Inc.
through Bardon-Chinese Media Agency

有趣得让人睡不着的进化论

YOUQUDERANGRENSHUIBUZHAODEJINHUALUN

著 者 | [日] 长谷川英祐

译 者 | 安可

出 版 人 | 王训海

选题策划 | 高磊

责任编辑 | 邢楠

装帧设计 | 程慧 段文辉

责任印制 | 刘银 范玉洁

出版发行 | 北京时代华文书局 <http://www.bjsdsj.com.cn>

北京市东城区安定门外大街138号皇城国际大厦A座8楼

邮编：100011 电话：010-64267955 64267677

印 刷 | 凯德印刷（天津）有限公司 电话：022-29644128

（如发现印装质量问题，请与印刷厂联系调换）

开 本 | 880mm×1230mm 1/32

印 张 | 6.5

字 数 | 104千字

版 次 | 2019年8月第1版

印 次 | 2019年8月第1次印刷

书 号 | ISBN 978-7-5699-3085-6

版权所有，侵权必究

自序

世界上有各种各样的生物，多到让人眼花缭乱。

小到肉眼看不见的细菌，大到体型巨大的鲸鱼，大量的生物存在于地球之上。生物学上把相似的生物统一以“种”为单位分类。然而，目前全世界共有多少“种”生物，至今也很难给出确切的数字。

以人类身边的伙伴——昆虫为例，仅科学家记载在册的昆虫就已经多达175万种，实际存在的种类应该比这个数字还要多很多吧。倘若再加上细菌之类的生物，生物种数就更加没有头绪了。

总而言之，世界上的生物种数之多，超乎我们的想象。

那么，为什么生物会如此多种多样呢？

生物学的研究目的之一便是揭示这个问题的答案。而且，生物还有一个不可思议的特性：所有生物都能够很好地适应各自的存活环境。

例如，生活在树叶上的蝗虫的身体以绿色为主，可以完美地与绿色的叶子背景融合，更难被天敌发现。生活在大海里的鲸鱼、海豚以及其他鱼类的身体都呈流线型，以便它们高效地拨开水前进，更加适应水中的环境。

这样的例子不胜枚举，所有的生物都能适应所处的生活环境。

生物学中把这种特性称为“适应性”。

为什么生物会有适应性？研究这个问题，也是生物学的目的之一。

从古至今，人类一直都饶有兴趣地探索两个问题：为什么世界存在这么多种生物？为何这些生物都具有适应环境的特性？随着时代变化，人类的思考也在不停变化。

曾经，人们一度认为“生物从诞生那一刻起就是现在的样子，不会随着时间发生任何变化”；再后来，开始有了“生物并不是一成不变的，而是会随着时间的改变而改变”的观点。

后来人们把后面这种观点称为“进化论”。

“进化论”是如何出现的？又是怎么被人类接受的呢？

现代的“进化论”可以将生物的多样性解释到哪种程度呢？

后来“进化论”又是怎样有了新的发展？

本书将尽可能简单、清晰地描述关于生物多样性与适应性的进化论大冒险，为读者呈现一个意想不到的生物的奇妙生态世界。

书中结合不可思议的生物生态，从科学分析“如何变、变成什么样”这一本质问题出发，逐步解说进化论的历史、生物的可能性与界限以及生物学的全新发展。

本书适合那些想了解生物多样性魅力的人，尤其是非专业人士。

如果你认为进化很有意思，但是又觉得很难，不妨跟我开启一场进化论的冒险之旅吧。

目 录

[自序](#)

[Part 1 进化论的诞生](#)

[进化论诞生前：且看神灵强大的技能！](#)

[生存过程中不断变化的生物](#)

[跨世代的变化](#)

[拉马克的“用进废退学说”](#)

[达尔文的冒险与达尔文雀和象龟](#)

[自然选择学说的发现](#)

[《物种起源》的发表与反响：去神化](#)

[Part 2 进化论的现在](#)

[遗传的发现](#)

[遗传基因的本质](#)

[“综合进化论”的诞生](#)

[论点1：连续与不连续](#)

[论点2：进化的发生是否遵循“综合进化论”](#)

[两大论点：连续性与选择](#)

[病毒、转座子、大规模变化](#)

[共生与进化](#)

[自然选择万能论的观点代表人类停止了思考吗](#)

[无关利弊的遗传基因进化——中性学说的出现](#)

[进化原理与“还原主义”](#)

[Part 3 进化论的未来](#)

[进化的层次：基因、个体、种群](#)

[什么叫作“能说明”](#)

[为什么湖中的浮游生物能够维持多样性](#)

[为什么不劳动的棱胸切叶蚁属没有灭亡](#)

[共存的势力关系：没有你我活不下去](#)

[鲎虫的危机管理](#)

[适合度、时间以及未来的进化论](#)

[生活在时间中的生物们：现在做还是明天做](#)

[性的谜团：损失是为了获益](#)

[不工作的蚂蚁的意义：短期效率与长期存续](#)

[进化论也在进化](#)

[后记](#)

[返回总目录](#)

P a r t 1

进化论的诞生

L a m a r c k
D a r w i n

进化论诞生前：且看神灵强大的技能！

“进化”一词并非自古就有。

“进化”这个词出现在生物学中也不过是250年前左右的事情。在此之前，人类认为“生物不会随着时间变化”。

当然，人们一直都想弄清楚世界上为什么有如此种类丰富的生物以及生物为何能够适应环境。于是，人们采取的处理方式是“给一个自以为是说明，将问题暂且搁置”，而不愿承认自己的无知。

世上有很多原因不明的问题。

例如，对于古代人来说，人类为什么存在、太阳为什么会时明时暗、恶性疾病为什么会流行，这些问题的答案都不得而知。

即使现在也有很多不明所以然的问题。

为什么光的传播速度是30万km/s？与宇宙有关的各种定量（如普朗克常数⁽¹⁾等）为什么一定是那个值？诸如此类的问题对人类来说，依然是未解之谜。

当遇到无法说明的现象时，如果想要找到解释的借口，最简单的方法是什么呢？

那就是“召唤”，即把一切解释为全知全能的神灵所做即可。坏事或者可怕的事就可以当成神灵发怒。

每个民族都有创世神话。

人类无法解释世界为什么是现在的样子。

但是，他们又想知道，于是搬出了神灵——世界是神造的。世界之所以如此，都是神灵的旨意。一旦信服了这种说法，就少了很多烦恼与困惑。然而，这样的说明事实上没有解释任何问题，反而给人一种强行编造理由的感觉。

一切都是神的旨意。所以，生物呈现出的多样性以及生物对环境的适应性都是神灵的意图。人类产生了一种“且看神灵强大的技能！”的敬畏感。

基督教文化圈信奉全知全能的人格神，信奉基督教的人笃信世上的一切都是全宇宙唯一的神亲手创造的。欧洲社会建立在基督教的基础之上，尽管科学是欧洲社会中很发达的一门思想，但据说科学兴起的目的其实是证明神有多么伟大，人们试图通过调查世界是如何发展形成的，以佐证神的能力。

每个社会文明都有关于创造神最初创造世界的神话故事。

讲个题外话，日本也有与国家诞生有关的神话。日本非常著名的起源神话中，父神伊邪那岐与伊邪那美共同创造了日本。不过这个神话还有一个有趣的插曲。据记载，伊邪那岐与伊邪那美不知如何孕育国家而感到困惑，正当这时，他们看到一对正在交配的鸕鷀鸟，伊邪那岐与伊邪那美大受启发，悟出了孕育国家的方法。

然而，世界存在之前，鸕鷀鸟是怎么诞生的也是个谜题。

无论如何，在进化论出现以前（西方世界），人们认为生物的多样性和适应性都是由神灵创造出来的，而且从古代起世界就没出现过任何

变化，一直以现在的样子存在并延续着。

一言以蔽之，进化论诞生之前，“进化”的想法并不存在。

⁽¹⁾ 普朗克常数：一个物理常数，用以描述量子大小。（译者注）

生存过程中不断变化的生物

生物最初的形态与性质和现在完全相同，从未发生变化。

以上是进化论诞生以前的人们普遍的看法。为什么人们对于这样的想法，没感到任何违和？

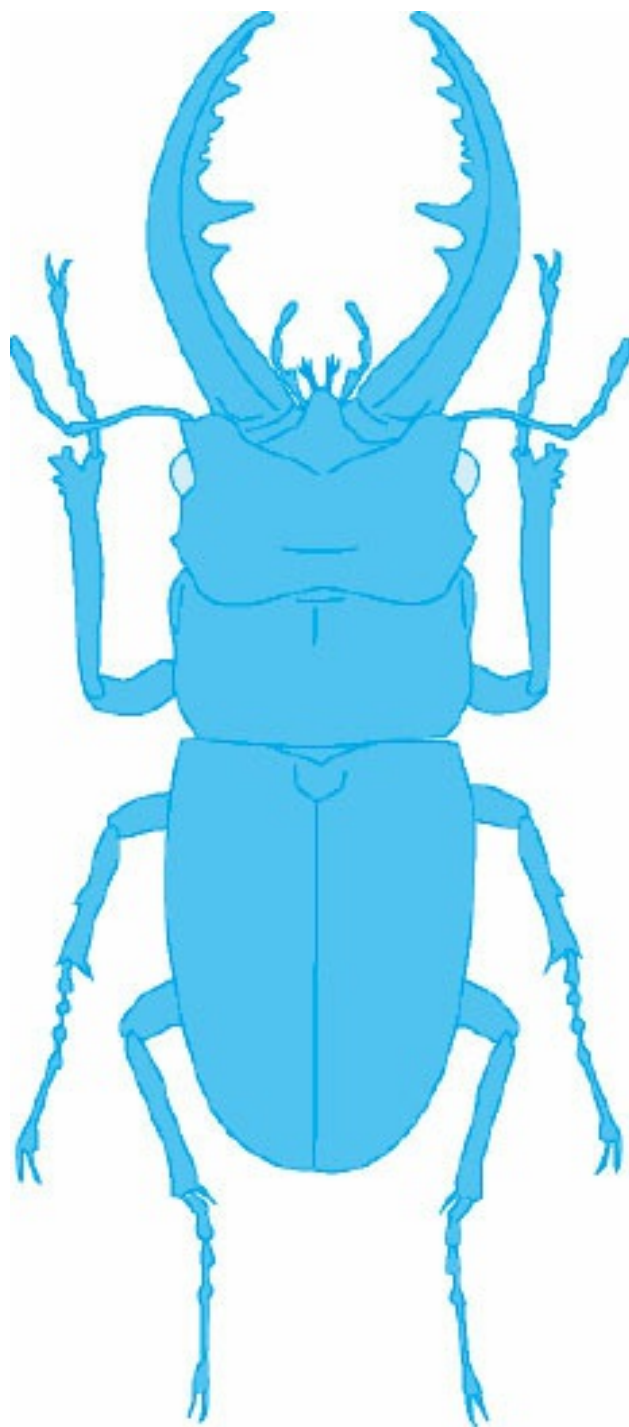
原因或许多种多样，不过最可能的是经过数十年，“生物看上去并无变化”。

我小时候住在东京的郊区，那时家附近还有杂树丛，我经常去杂树丛里捕锹甲和独角仙。

已经过去了几十年，现在我用作研究材料的锯齿锹甲与我小时候的锹甲一模一样，何时、在何地、做什么等生态特性也没有变化。本书的读者当中，应该也没有人说自己的曾祖父不是人类吧（如果有，那真是抱歉）。

锯齿锹甲大约一年即可变成成虫，所以几十年间可以更迭几十代，然而其形态及特性看不出任何变化。几乎所有的生物在数十年的时间里都显现不出变化。以前人类的寿命有五六十年，这就意味着人在一生之中都无法观察到生物的变化。在这样的大背景下，以前的人自然会以为“生物不随时间变化”。

◆ 锯齿锹甲



况且，基督教的《圣经》记载道，地球最早诞生于数千年前，所有的生物都是神在那个时候创造出来的。对于虔诚的基督徒来说，怀疑这一说法就相当于怀疑神。因此，当他们看到几十年内不见变化的生物，

认为几千年来都是这个样子也不足为怪。

就这样，进化论以前的生物观逐渐成形了。

不过现实是，几乎所有的生物都会在极短的时间内发生变化。也就是所谓的“成长”或“老化”现象。

十年前的你和现在的你应该不一样吧？

看多年前的照片，应该会感叹“啊，那时候好年轻啊”“还是孩子”等。人和其他生物都是一样的。鸟类有卵期、雏鸟、幼鸟、成鸟几个发育过程，昆虫也会经过卵、幼虫和成虫的成长阶段。

就连细菌也不是在分裂之后直接继续分裂，而是长到一定程度后才开始分裂。生物一生中一定会经历成长的过程。也就是说，生物会随着时间的变化而变化。

为什么所有的生物都会成长？以分裂增长的细菌为例，如果不成长就分裂的话，身体会越来越小，因此细菌需要经历成长发育的过程。

或许有人觉得人不长大就孕育后代的话可能也没什么问题，但是出生的孩子如果不长大就继续繁殖的话，身体只会越来越小。所以，再次孕育与母体同样大小的个体时，在某一个阶段一定需要有“成长”的步骤。“生物一生之中在不断地发生变化”。

在很长的时期里，人类信奉生物不变的理论。

究其原因，恐怕是人类认识的所有生物尽管在一生之中会发生变化，但是所生的孩子会变成与父母同样的形态，因而以“一生”为单位来看，父母与孩子之间并无差别。刚才提到的那些锯齿锹甲也是一样，即

便经过几十年，都一如既往地从小期孵化，再成长为幼虫，变成蛹，最终变成成虫孕育下一代。

人、鸟、马、鱼.....

我们所知的所有生物都重复着这样的生命周期。

因此，古代的人坚信生物不变，尽管物种之间有差异，但同一种类会保持不变并持续地延续下去。毕竟我们一辈子没看到过一种生物变成其他种类的现象。

如果一种生物不经变化永远延续下去，“理论上”来说，世上多种多样的生物应该都是一个一个诞生的，而且其形态从未发生过变化，并能永远存续下去。

“神创论”认为神创造了地球上的生物。生物从古至今不发生变化这一看法与人类观察到的事实一致，也有一定的合理性。

而“科学理论”只要不与观察到的事实有出入，就可以视其为正确的理论。

人的一生会经历数十年，在其生涯或记忆之中，对比两三代人甚至数百年内的记录，也观察不到某些物种“变化”的迹象，所以生物一直以现在的样子存在的假说才得以流传下来。

古代的人认为
“生物不随着
时间变化”。



跨世代的变化

但是，随着人们对世界的研究逐渐深入，“世界诞生之初创造了各种各样的生物，之后生物一直处于不变的状态”这一假说出现了很多站不住脚的地方。首先，人们慢慢发现“地球的历史比圣经所写的要久远得多”。

《圣经》中提到从地球创造至今共六千年左右，但地质调查发现地球的年龄远远不止六千年，早在几十亿年前，地层就已经开始堆积。

此外，从古代的地层中发现了植物、鱼类等化石，随着地层变新，依次出现了爬虫类、鸟类、哺乳类的化石。

要想准确地解释这个事实，就需要认定地球很久很久以前就已经诞生，而且生物在从简单变得复杂。这种想法成了进化思考的萌芽。

但是这种学说遭到了“神创论”拥护者的反对。他们笃信神在创造世界的时候，就将世界创造成了现在的样子。也就是说，地球看似有几十亿年的历史，其实也是几千年前神创造世界的时候创造出来的表象，而且化石生物实际上并没有在地球上生活过。面对这种反对，人们无法通过原理进行反证，因而无法证明其错误性。即使现在，信奉“神创论”的人也持有同样的主张，对现今基于进化理论的生物观抱着否定态度。

再插句题外话，科学无法证明“ $\times\times$ 不存在”，只能在“有 $\times\times$ ”的前提下证明其真实存在。

例如，英国的尼斯湖多次有人目睹尼斯湖怪出没，但数次搜索均未发现尼斯湖怪。

但是，我们无法否定“不是不存在，只是没发现”的可能性。科学是无法证明“××不存在”的（“××”当中可以任意填入超能力、灵魂、尼斯湖怪、“万能细胞”STAP等）。

不过，随着人们对地球科学知识的积累，出现了认为“生物或许一直在变化”的人。然而，仍然有一个事实阻碍着人类：据观察，没有生物可以变化成其他生物。

正如先前提到的锯齿锹甲的例子，人类所知的生物历经几十代（有的甚至几百年），未见任何变化。

“生物即使跨世代也没有变化”这一观察到的事实不容否认。但同时，人类发现的生物化石也确实与现在的生物存在差异。

倘若化石生物并不是以化石的形式被神创造，而是以化石那样的样子存活过的话，就可以说明过去与现在的生物形态不一样。也就是说，生物会随着时间改变其形态。

我们先将“神创论”抛在一边，如果科学地考虑变化论，那就需要解开“生物究竟以什么样的机制出现了跨世代的变化？”这一谜团。

此外，既然认为生物都具有适应性，还需要同时解释上述机制“为何能产生适应性”。进化论的历史上，法国博物学家让·巴蒂斯特·拉马克（Jean-Baptiste Lamarck）首次提出了勉强能够符合上述条件的假说。

拉马克的“用进废退学说”

拉马克（1743～1829）是比达尔文（1809～1882）活跃时期更早的博物学家。他是首个认为生物会随着时间的变化而变化并首次公开提出生物多样性与适应性学说的学者。

这个学说被称为“用进废退学说”。较早一批的日本高中生物课本还包含“用进废退学说”，说明此学说是最早的进化学说，不过随着达尔文进化论得到证明，生物课本中的这一学说就被删掉了。

但是，就“进化论”的历史而言，拉马克先于达尔文提出的“用进废退学说”既有理论性又有完整性，具有不可或缺的重大意义。

而且，从最新的生物学观点来看，拉马克的“用进废退学说”未必有误。关于这一看法，我会在后面进行论述。

他的学说非常简单：每个生物个体在成长的过程中都会发生变化，这是非常明确的事实。拉马克得出这一结论的基础是：随着成长，生物会积累经验，而这种经验会对生物的形态及性质造成影响。

例如，锻炼身体的人肌肉发达，身体能够变得健硕，与不锻炼的人比起来“能做到”的事情也不一样。诸如此类后天获得的特征如果以某种形式传给后代的话，生物就会发生跨世代的变化。

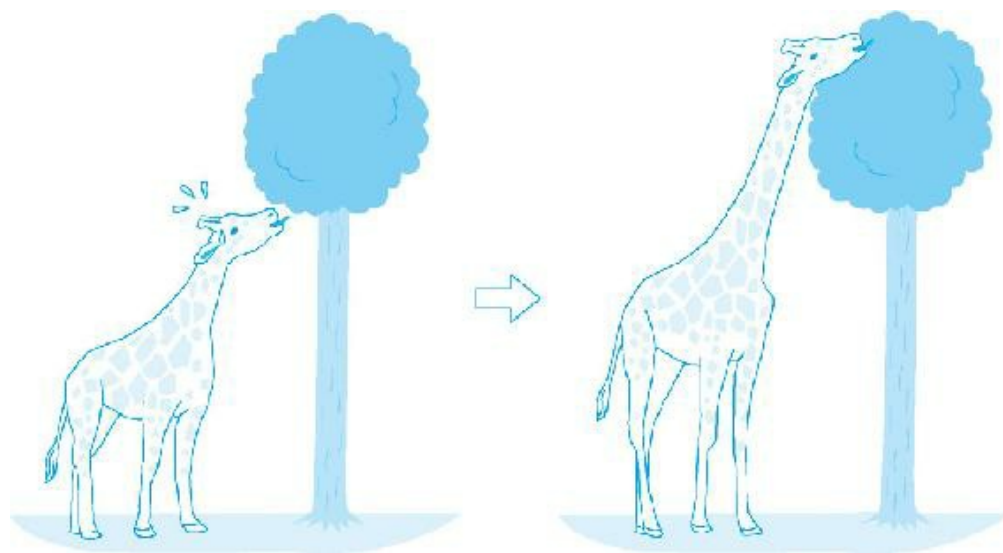
而且，如果性状顺应需求产生并传承的话，特定环境所需的性状可以得到发育传承，不需要的性状会逐渐衰退消失。如此一来，生物有适应居住环境特性的原因也可以解释得通。也就是说，要想在环境中生存，生物就需要具备某些性状，并让这种性状发育之后将其传给子孙后

代。这就是“用进废退学说”。

“用进废退学说”清晰地解释了两点：生物随着时间变化并获取了多样性；各种生物都表现出了适应性。随后，人们为了科学地验证这一学说是否属实，以其为对象展开了研究。

“用进废退学说”与“神创论”非常不同的一点是：“用进废退学说”是一种科学假说。它的关键之处在于生物通过体验获得的性状（获得性状）是否会遗传给下一代。如果这一点成立的话，这个学说从原理上来讲就是成立的。

◆拉马克的“用进废退学说”



脖子短的鹿为了吃到树叶，脖子发育得更长（长颈鹿）。

脖子短的鹿为了吃到树叶，脖子发育得更长（长颈鹿）。但是，动物即使通过运动让肌肉变得发达，在繁殖下一代时，孩子也不会天生筋骨发达，与不运动的个体的下一代毫无差别。经过多次验证，均没有得

出可以支持获得性状的遗传结果。

道理上再说得通的理论，如果找不到可以佐证的事实，就无法承认理论假说属实。因此，拉马克提出“用进废退学说”后，其科学假设的正当性并未得到认可。

但尽管如此，也不能否定拉马克提出“用进废退学说”在科学史上的意义与价值。在科学发展的历史中，人类提出了各种各样的假设，只有那些验证过程中没有产生矛盾的假设可以保留下来。

此前，人们相信“生物是由神所创造且一直不会发生变化”，但这种说法无法通过科学得到验证；而拉马克提出的“用进废退学说”兼具理论性和整合性，并且这种科学假说可以进行验证。所以，拉马克对科学界的贡献值得我们铭记。

而且，我们也不能忘记这个理论在科学史上的意义，“用进废退学说”超越了“生物不进化”的思想，将“生物进化”摆上了科学的天平经受测试。对于“进化论是如何进化而来的”这个问题而言，拉马克提出的“用进废退学说”无疑相当于“最初的进化论”，是进化学说研究史上一个巨大的里程碑。

在此之后，“进化论的大咖”——达尔文登上了历史舞台。

达尔文的冒险与达尔文雀和象龟

达尔文之所以能称得上“大咖”级别，是因为他首次从理论及事实角度都没有矛盾地解释了生物多样性与适应性原理，堪称世界第一人。

拉马克的“用进废退学说”在理论上是站得住脚的，但遗憾的是观察到的事实无法证明他的理论，所以这一学说最终没能以科学假说的身份保留下来。

达尔文的假说包含什么内容？它的诞生经历了什么样的过程？后面的章节我会详细讲述。达尔文理论是保留至今的“解释适应进化现象”的唯一假说。也就是说，人们观察到各种各样的事实都在支持达尔文的学说。

达尔文的假说大约延续了250年，堪称兼具理论性和整合性并且符合事实的伟大发现。达尔文进化论在科学史上是与爱因斯坦相对论同样重磅的发现。

那么，达尔文的假说是如何诞生的呢？

1809年，达尔文出生在英国的一个富裕家庭，年轻时候，他的目标是成为一名医生。在努力的过程中，他对生物产生了兴趣，开始观察并调查各种各样的生物。后来，有一本书给他带来了很大的影响，改变了他看待事物的方式。这本书就是查理士·莱伊尔（Charles Lyell，1797～1875）的著作《地质学原理》。

看书名就知道，这是一本关于地质学的书。书中论述了高山等地形是如何产生的。莱伊尔认为高山、低谷等凹凸不平的地形并非一夜间出

现的，而是慢慢变化、经过几百年的时间逐渐形成的。

尽管变化很缓慢，但是日积月累后这种变化就会很巨大。

达尔文换位思考，将这个过程想象到了生物身上。

即生物是否也在不断变化？生物的变化是否也经过了很长时间呢？我们之所以认为生物不变，其实是因为生物的变化需要经过很长的时间，短时间之内根本注意不到。或许，读了《地质学原理》后，达尔文的心中就萌生了这样的想法。

后来，达尔文迎来了改变命运的旅程。32岁时，达尔文以船医和船长旅伴的身份搭乘贝格尔号舰（HMS Beagle），开始了一段探险之旅。

这场旅行中，等待他的是他前所未见的各种生物。航海时遇到的生物让达尔文确信“生物是变化的”，并促使达尔文发现了生物进化的原理。

据说，达尔文在加拉帕戈斯群岛遇到的两种生物为他的“进化论”猜想带来了巨大的影响。

一种是名为“达尔文雀”的小鸟，另一种是身材巨大的加拉帕戈斯象龟。从加拉帕戈斯群岛的名字就能看出，这是一个集合了多个岛屿的群岛。加拉帕戈斯群岛位于距中美洲厄瓜多尔海岸大约900公里的海上，与陆地相距甚远。

因此，达尔文产生了一个很自然的想法：加拉帕戈斯群岛上的生物不可能多次往返于大陆和各个岛屿之间后住在岛上，而是一次性进入群岛后，逐渐将分布范围扩大至各个岛上。达尔文来到加拉帕戈斯群岛，

映入眼帘的是形态与各个岛环境相适应的生物们。

达尔文雀存在于各个岛上，但是每个岛上的达尔文雀的性状都有细微差距，尤其是鸟嘴的形状差别最大。有的岛上的达尔文雀鸟嘴细长尖锐，而有的则呈粗短的钳子状。

嘴部尖细的达尔文雀主要以虫子为食。它们可以巧妙地利用细长尖锐的嘴巴从树洞中把栖身于内的虫子啄出来。而嘴部短粗的达尔文雀主要以树的种子为食。形似钳子且具有一定厚度的鸟嘴能够巧妙地割断坚硬的树木种子。在鸟嘴形状各不相同的各个小岛上，达尔文雀吃的食物种类也非常多。

以上的观察结果显示，达尔文雀长着适应栖息环境的鸟嘴。但是，这个发现依然不能否定“神创论”。或许嘴部细长的达尔文雀和嘴部呈钳子状的达尔文雀刚好分两次飞到了岛上。

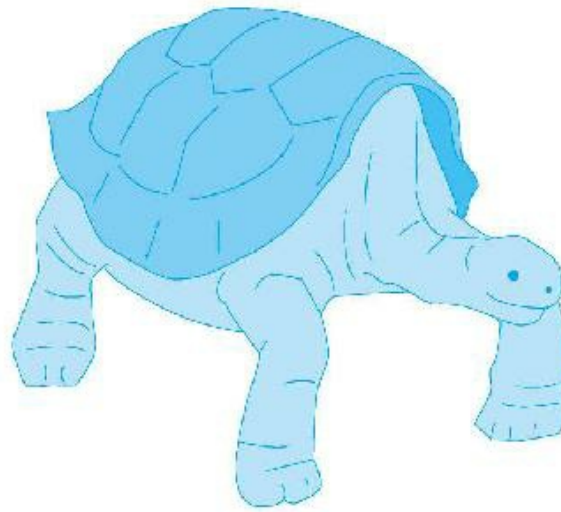
可是，同样的现象也出现在了身体很重完全不能游泳的象龟身上。象龟甲长1米以上，属于体型巨大的陆龟，以植物为食。

不同岛屿的象龟形态差别主要表现在龟甲前面的边缘处。草丛茂盛的岛上，象龟没有必要伸长脖子吃食物，所以龟壳前端边缘处不会鼓起来，象龟的体型表现为不能抬高脖子的构造。

◆象龟龟壳前端边缘处的差异

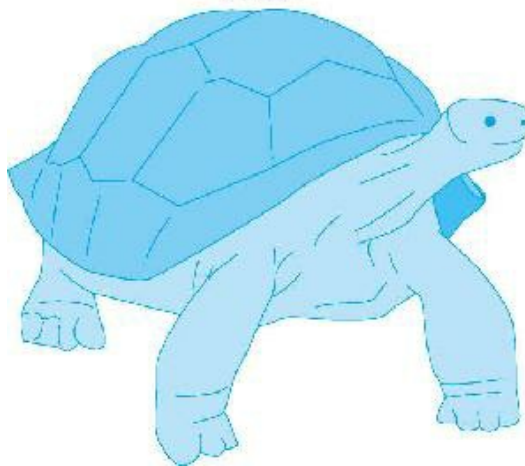
马鞍形

在植物根部木质化严重的岛上，象龟龟壳前端边缘会鼓出来，方便象龟伸长脖子够取高处的食物。



半圆形

在草丛发达的岛上，象龟龟壳呈现出常见的形状。



但是，在干燥且草丛很不发达的岛上，象龟主要食用根部像木材一样坚硬的仙人掌类植物，因此龟壳前端的边缘处会严重鼓出来，以便象龟抬高脖子够到高处不像木材那般坚硬的部位。

象龟在形态上具备与环境完美契合的特征。象龟不会游泳，掉到水里便会死掉。因此，难以想象它们同达尔文雀一样，以不同的形态分多次进入各个小岛。那么，想象一下象龟是如何横渡岛屿的呢？或许是海面下降的时候走到了陆地，又或许是象龟乘着倒下的树木横渡了海洋？

如我们常识所知，仅靠这些事实与猜测，尚且不能说明生物出现了适应性进化。

因为将这些现象解释为“神创造达尔文雀与象龟的时候就是这样子的”也与观察到的事实丝毫不违背。前面我们也提到过，“神创论”没有与任何事实相矛盾，正因如此，“神创论”也是一种理论上无法找到证据将其否定的学说。

无论摆出什么样的观察事实，只要一句“是神造成这样的”，就能应付了事。无法用证据否定，其实说明了这种学说并不科学，它的真伪无法判断。现代物理学中，宇宙起源相关的假说也大概是一样的情况，所以都比较微妙。

言归正传，当时几乎所有人都相信“神创论”，达尔文当然也是在这样的信仰中长大的。

那时候，人们尚未认识到生物是变化的，而我们现代人觉得理所当然的“进化”现象和关于进化原理的学说，对于那个年代的人们来说，是一个完全未知的世界。

打比方来说，达尔文也不过是在闭塞的深井底，望着目所能及的一小块天空，试图了解外面的世界。

世界上仅少数人具备特定的才能，他们面对无人了解的现象时，能够洞悉现象背后的本质，得出“或许是这样”的推论。达尔文便是如此，注定伟大的人物之一。

他在贝格尔号舰之旅中邂逅了达尔文雀与象龟等生物，尽管这次旅程并没有立即让他得出“进化论”的原理，却在达尔文心中为“进化论”的

诞生奠定了重要的基础。

正如莱伊尔在《地质学原理》中的论述一样，达尔文的进化思想日积月累，最终以“自然选择学说”的形式面世。

自然选择学说的发现

经过了贝格尔号舰的航海之旅，或者说是回到英国观察各种生物之后，达尔文慢慢坚定了生物会逐渐变化的理念。这个理念也可以解释从旧的地层到新的地层出土的生物化石为什么越来越发达。

但是，如果不能合理地说明生物如何变化，就称不上揭示进化原理的科学。后来，品种改良为达尔文带来了很大的灵感，促使他找到了这个问题的答案。当时，英国上流阶级流行让鸽子交配，来选拔具有特定性状的鸽子，配种后会产生新品种的鸽子。

鸽子通过交配与筛选实现了品种改良。同样的事情不仅用于鸽子，也用在了与人类亲密的狗的各个品种上。例如，吉娃娃和圣伯纳犬很明显就不是一个犬种。

另外，大家熟悉的金鱼就是从鲫鱼改良而来的品种。这些例子都明显地表明某种生物可以通过反复交配与筛选获取特定的性状，也就是说人为地重复筛选能够改变生物原本的形态。

达尔文基于品种改良的知识展开了思考。既然品种改良可以用人为筛选改变生物的性状，那么自然界中的生物岂不是也能被自然界的某种力量筛选并改变性状？

但是，自然界中的生物究竟是否会经历筛选的过程？

如果会的话，又是如何筛选的？

这是达尔文需要回答的终极疑问。

达尔文调查了大量的生物，着眼于“生物是如何诞生发育的”，突破了这个难关。生物并不是以单一的个体存在于自然界中，同种生物通过不同个体之间的交配繁衍后代。也就是说，生物是以具备同样性状的所谓的“物种”集团生存的。

而且，生下来的后代有很多，并不是所有后代都能发育长大。有病死的，有被其他生物吃掉的等，最终能长到成年的个体只有很少的一部分。

此外，后代之间的性状也有微妙的差异。这一点在动植物身上可能较难看出来，但是在人身上就很明显，每个孩子的长相不同，跑得快慢、力量大小等都不一样。从不同个体性状不完全一样的角度来思考的话，会发现动植物也是如此。

相信你已经很清楚了。

数量众多的后代之间存在微妙的差异，他们之中只有一部分个体能存活下来，因此，在生物成长的过程中，只有性状完全适应环境的个体才会通过筛选。这就是“自然选择学说”的发现过程。

我们再来总结一下前面的重点。

每个生物都有很多能够交配的同种个体。生物交配可以孕育出很多后代，但其中能长大发育成熟并存活下来的个体只有一部分。后代之中比其他个体更适应当下环境的个体更容易存活。因此，经过总结得出，较适应环境的个体才能生存。

由于众多后代中只能存活一部分，所以为了存活下来，生物之间会

形成竞争。这种现象称为“生存斗争”。“生存斗争”与品种改良的原理完全相同，不断重复之后，“性状与环境相适应的个体”会不断增多。于是，生物的平均性状不断发生变化，变得更加适应环境。这就是达尔文自然选择学说的主旨。

此外，还有一点没有解释。

用来指摘拉马克“用进废退学说”的一个有力论据是“亲代通过体验获得的性状不会传递给子代”。而达尔文的“自然选择学说”中，如果筛选出来的性状不会传给下一代的话，那么无论多有利的性状，到下一代的时候都会从生物集团中消失。这样就无法推导出生物一直在变化。

聪明的达尔文当然也发现了这一点，并准备了妥善的答案。

当时人类还没有发现遗传的原理，但是孩子天生与父母长得像，达尔文从这个事实出发，认为生物的性状可以遗传，且遗传所得的性状便是通过“自然选择”产生的适应性进化。

我认为，严谨的理论结构表现出了达尔文的性格和伟大。达尔文按照顺序一步步构筑起自己的理论，使得人们对于生物的理解发生了巨大变化，最终生物进化这座“大山”的真面目才逐渐显现出来。

我是圣伯纳

我是吉娃娃



看起来确实
是不一样的
狗狗。



《物种起源》的发表与反响：去神化

但是，达尔文的学说一直没有得到发表。人们对其理由有多种猜测，其中一个便是“因为自然选择学说下的进化假说不需要神的存在”。

在几乎所有人都相信“神创论”的社会中，仅从理论上以“假说”的形式发表不需要神存在的学说非常危险。虽然不至于像提倡“日心说”的伽利略·伽利雷（Galileo Galilei）一样遭到宗教法庭审判，但是没有证据就提出“自然选择学说”的话，很容易被贴上不畏惧神的异端者的标签，导致不利的后果。

性格谨慎的达尔文进一步观察了各种各样的生物，继续对比研究观察到的事实与“自然选择学说”是否矛盾。当然，他的研究并不是完全保密的。据说，达尔文向关系要好的科学家透露了自己的想法，并展开了议论。

经过了一年又一年，就在即将迎来五十八岁生日时，达尔文收到了一个令他震惊的消息。

一位名为阿尔弗雷德·拉塞尔·华莱士（Alfred Russel Wallace）的年轻探险家在英国的科学杂志上投稿，发布了与“自然选择学说”持有相同观点的论文。据说这一消息是达尔文的好友告知他的。此时，历经数十年谨慎研究的达尔文不得不有所行动。

1858年，自然选择理论作为华莱士的共同论文一并在伦敦林奈学会发表。1859年，“自然选择学说”以著作《物种起源》的形式公开发布。

以现代标准来看这个故事，可能会觉得达尔文有些狡猾。在科学界

中，首次写出论文的人才是首任发现者。如果严格套用这个原则的话，自然选择的发现人不是达尔文，而是华莱士。也有人凭借这个事实，认为达尔文剽窃了华莱士的研究成果。但是，达尔文表明针对这件事情与华莱士交换过很多次意见，并取得了华莱士的许可。

此外，达尔文与华莱士不同的是，达尔文观察了数量庞大的生物种类，严密地论证了“自然选择学说”可以有力地解释生物进化现象。《物种起源》可以说是达尔文进化思想的集大成著作，内容非常具有说服力。

达尔文不仅给出了支持学说的事实，同时也列举了自然选择学说可能解释不了的现象。例如，蚂蚁和蜜蜂之中，只有女王产卵，工蚁和工蜂不能产卵。“自然选择学说”的观点无法解释不产后代只工作的性状如何传递给下一代。即使是科学家，也很容易回避与自己学说相悖的事实，但是达尔文非常诚实地正视了这个事实。在《物种起源》中，他提到自己的自然选择学说可能无法解释蜜蜂与蚂蚁的存在。

达尔文的态度与著作内容足以让人们“自然选择学说”有一个充分的认知。据说，后来华莱士赞扬达尔文才称得上是“自然选择学说”的倡导人。

顺便提一下，现代进化理论中认为蜜蜂与蚂蚁中的工蜂与工蚁都是女王的后代，掌管它们不产卵、只工作的性状的遗传基因存在于女王的身体中，基因能够通过女王遗传给下一代。也就是说，蜜蜂与蚂蚁是通过血亲实现的自然选择。

总之，《物种起源》掀起了一阵热潮。无论如何，达尔文的“进化论”里没有代入神的存在，充分说明了生物的多样性和适应性。科学界

很快承认了达尔文清晰的理论，但是普罗大众对其理论仍然是半信半疑。

尤其是和教会有关的人士对达尔文的理论进行了严厉的批判，号称《物种起源》是亵渎神灵的谣言。教会奉行“人是神创造的生物里最崇高的存在”的教义，达尔文的理论揭示了一种与教会教义完全不同的生物观。如果达尔文的学说正确，恐怕人都是从猴子变化而来的，并不是什么特别的存在。

人们从心理上对达尔文的理论有很大的抵触，当时的报纸还刊登过揶揄“进化论”的讽刺性画作——在猴子的身体上画上了达尔文的脸。尝试展开行动的教会不断批判进化论，终于达尔文迎来了教会与进化论拥护者正面对决的时刻。

会场上人满为患，聚集了众多听众，代表教会的牛津大主教塞缪尔·威尔伯福斯（Samuel Wilberforce）登场了。他煽动群众道：“诸位，根据进化论，我们是丑陋的猴子的子孙。你们能承认这样的说法吗？不能吧！”

当时达尔文染病，达尔文的友人托马斯·赫胥黎（Thomas Henry Huxley）以达尔文进化论的代表身份参与了辩论，人们将其称为“达尔文的斗犬”。赫胥黎反驳塞缪尔道，“我宁愿要一个可怜的猴子做祖先，也不愿要一个愚昧无知、在庄严的科学会议上只会嘲讽挖苦的人做祖先”。

平时听够了教会傲慢说教的听众们对赫胥黎的辩论大为喝彩。这次事件顷刻在群众之间传开，达尔文的“进化论”逐渐开始被社会所接受。

P a r t 2

进化论的现在

W a t s o n
C r i c k

遗传的发现

达尔文的“自然选择学说”完美解释了各种各样的生物现象。但是，这个学说不过是一种预测（定性预测），预测“可以观察到生物朝着一定的方向变化”。为了严密地检验一个理论的科学性，需要先行预测（定量预测）在某个力量作用下，调查对象会发生怎样的变化、变化方向如何，此外，还需要验证预测与观察事实是否一致。

从这个角度来看，达尔文时代的“进化论”充其量只是一个尚未成熟的理论。因为达尔文还没有发现定量预测所需的必要条件。

通过不断研究，人们发现自然选择产生适应性进化必要的因素有以下三点：

1. 进化的性状从亲代传到子代（遗传）；
2. 每个个体之间的遗传性状会有所差异（变异）；
3. 根据差异，个体存活的难易程度及其后代存活的难易程度会有所差异（选择）。

当这三个要素均具备时，生物便会自动进行适应性进化。其中，“遗传”尤其重要，是进化发生的绝对条件。

达尔文时期，仅从子代与亲代性状相似推测出发生了遗传现象，但是，达尔文并不了解其中的原理。

在一定的条件下，生物的一个世代可以进化到什么程度（形状是否

发生变化)在很大程度上受遗传和选择能力强弱的影响。根据子代和亲代的相似程度、个体性状遗传给下一代的量化程度,就能决定生物的一个世代会发生多大程度的性状变化。

如果某种性状的数量几乎没有传给后代的话,即使有很强的选择作用,性状也不会发生变化。进化现象被记录为性状的量变,所以要想从理论上调查是否发生变化,需要预测变化的量。为此,人类必须等待遗传规律被发现。

“遗传规律”是由孟德尔发现的。孟德尔是一名牧师,他通过豌豆杂交来调查生物的各种性状如何遗传给后代,并发现了有名的孟德尔定律。其内容如下:

1. 分离定律: 每个个体的性状存在于一对遗传基因上,当配子(卵子或精子)形成时,两个基因互相分开,分别进入一个配子中。

例如,“表皮光滑”×“表皮褶皱”的豌豆亲代,产生的“表皮光滑”的配子与“表皮褶皱”的配子比例为1: 1。

2. 显性法则: 如同豌豆有“表皮光滑”和“表皮褶皱”之分,同一形态上性状有差异的亲代杂交后,子代会产生表现出来的性状(显性)和隐藏的性状(隐性)。

例如,“表皮光滑”与“表皮褶皱”的豌豆杂交后,后代个体会显现出“表皮光滑”的性状。

3. 独立分配定律: 支配不同形态的遗传因子会独立传给配子。

例如,“表皮光滑”×“表皮褶皱”的豌豆亲代,“表皮光滑”的配子

与“表皮褶皱”的配子比例为1: 1，但是“红花”与“白花”性状的遗传基因不受该比例的影响。

也就是说，有“表皮光滑”“表皮褶皱”遗传基因的豌豆中，一半是“红花”、一半是“白花”。其结果就是，“表皮光滑、白花”“表皮光滑、红花”“表皮褶皱、红花”“表皮褶皱、白花”的比例为1: 1: 1: 1。

孟德尔通过周密的分析，发现了遗传的基本原理：遗传基因支配着生物的性状，每种性状对应一组（两个）基因，配子形成时，其中一个会分别传到配子中。这个基本原理引出了“孟德尔的三个定律”。孟德尔将研究结果整理成论文，积极地寄给了杂志。

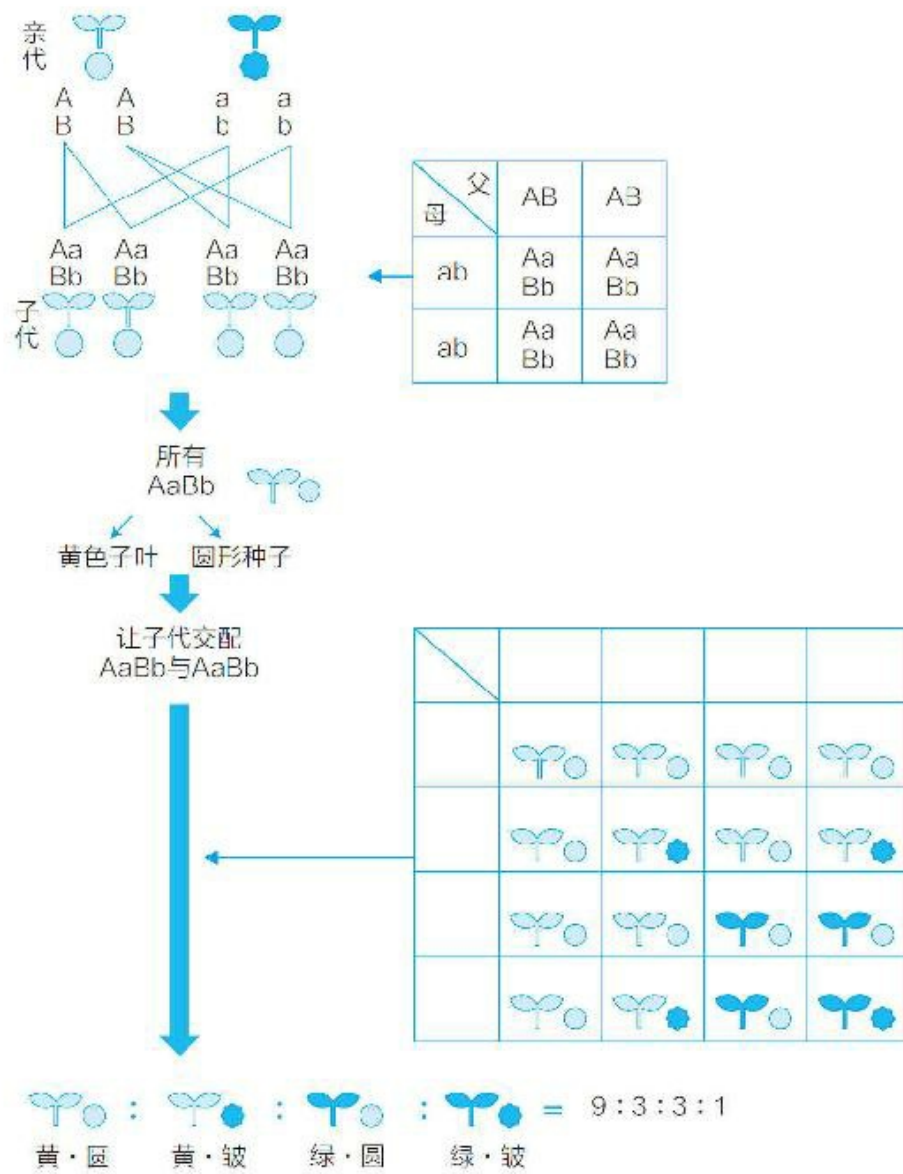
但是，他的研究成果没有被承认。至少在他有生之年，世人没有认可。论文没有引起关注，孟德尔倍感失意，直至去世论文都未曾公布于世。

19世纪90年代后期，孟德尔去世之后，完全独立的三个研究小组再次发现了“孟德尔定律”。他们得出报告以后，人们方才意识到孟德尔论文的价值，孟德尔也终于迎来了被认可的一天。

如今，孟德尔定律出现在了所有的生物教科书上，成了生物学的基本知识点之一。

孟德尔发现的遗传原理并非适用于所有的生物，只适用于包含人类在内的“二倍体生物”，即有两组遗传信息（染色体组）且从头到脚都是由遗传信息决定的生物。

◆孟德尔定律（以豌豆为例）



很多生物都是二倍体。二倍体生物的染色体组里，只有一组会传给卵子（来自母体）或精子（来自父体）。然后，卵子与精子结合，再次形成二倍体的个体。

孟德尔发现了阐释“自然选择学说”所必要的遗传机制。后来，科学

界的看法发生了改变，认为生物各种各样的性状均由各个传给后代的遗传因子（=基因）决定，基因支配的性状会在自然选择的作用下产生进化。

而且，人们通过了解基因如何组合、组合时以什么样的性状显现，就能调查染色体组合（基因型）及其显现性状（表现型）之间的关系。

显性法则中，不同基因进行组合的时候，某一方的基因性状会完全显现出来，不过也有出现中间性状的情况。

例如，豌豆“红花”和“白花”染色体组合后，花朵会变成粉色。一定性状的个体在什么程度时更容易保留后代？自然选择据此作用于每个个体，所以可以认为能显现不同性状的基因被保留了下来。

遗传机制日渐明朗，使得人类能够以基因频率的变化来分析生物每一代的进化程度。基因频率是指在一个交配种群的所有遗传基因中研究基因（例如红花）所占的比例。一半是红花基因的话，则基因频率为0.5。

这种理论被称为“种群遗传学”。根据“种群遗传学”，可以通过基于遗传规律和自然选择的基因频率变化来衡量进化的程度。

不过，依然有人类尚未明确的事情。

如果基因一直不变的话，种群中就不会出现变异。也就是说，进化的三大条件之一“变异”就不存在了，进化也就不会发生。

那么，变异从何而来？

变异是如何产生的？

为了解答这个疑问，需要了解基因的本质。

遗传基因的本质

孟德尔的研究表明，生物的性状会伴随着特定的基因遗传给后代。那么，下一个大问题就是——“遗传基因究竟是什么？”

根据“自然选择学说”，接受选择的种群中存在多种性状的个体（即变异）。这些变异是如何在种群中产生的呢？稍微思考一下就会发现，自然选择只会让种群中特定的个体（适应环境的个体）繁衍后代并保留下来，因此变异现象应该会逐渐减少。

那么，如果变异总归会消失的话，进化是否会停止？

为了解答这个问题，人类需要了解遗传基因到底是什么？是什么样的机制促使变异产生？

很多生物学家埋头苦干，向“遗传基因由何构成”“遗传信息如何传给后代”这两大生物学疑问发起了挑战。

最终，人们通过病毒实验找到了问题的答案。

病毒寄生在宿主细胞内，可以在细胞内进行大量自我复制。病毒的核酸（DNA或RNA）被蛋白质外壳包围，病毒没有自己的代谢机构，所以无法独自进行自我复制。因此，病毒是否属于生物，目前仍在争论。

病毒在感染的细胞内大量复制，破坏细胞。在自我复制的过程中，病毒的遗传基因会利用宿主细胞的代谢机构传递信息。病毒仅由核酸和蛋白质构成，所以遗传基因的本质有如下三种可能性：

1. 核酸；
2. 蛋白质；
3. 核酸和蛋白质。

美国微生物学家阿尔弗莱德·赫尔希（Alfred Hershey, 1908～1997）和他的学生玛莎·蔡斯（Martha Chase, 1927～2003）通过一个巧妙的实验验证了遗传基因的真面目。蛋白质内含有“硫离子（S）”，核酸内不含硫离子。于是，赫尔希与蔡斯用具有放射性的“硫离子（S）”标记了蛋白质，同时用放射性的磷酸标记了核酸，然后让病毒感染细胞后，将培养液离心分离。

细胞的重量远远大于病毒，所以很快就能沉淀。而病毒很轻，很难沉淀。通过调节离心分离的强度，就能让细胞与病毒分离开来。

只要分析沉淀的细胞含有哪种放射性物质，就能确定进入细胞内的遗传因子是核酸还是蛋白质（或者两者都有）。

结果发现，感染细胞中包含的是DNA。以此证明了“遗传因子是DNA”。尽管说明起来很简单，但是从无到有思考可行的方法并付诸实践却不是一件易事。

高中的生物课本上有很多这样的事例。但是，要想以教育的手段培养出优秀的科学家，或者让一般大众爱上科学，需要让人们知道那些留下伟大科学成果的人们“实现的这些实验历经了怎样的过程”。从这一点来看，教科书的内容显然还是略显枯燥。

不管怎样，人类发现了遗传因子是DNA的事实。下一个目标就是揭

秘DNA的构造以及遗传信息以什么样的方式存在于DNA的什么位置。

当然，很多科学家都向这个课题发起了挑战。当时确定物质结构所用的方法如下：用放射线照射需要确定结构的物质，用X射线胶片捕捉弹回来的放射线的影子，通过分析影像图谱来分析物质结构。

这个方法非常考验摄影技术。如果拍不好的话，就无法推测出正确的物质结构。当时，美国的詹姆斯·杜威·沃森（James Dewey Watson）和英国的罗莎琳德·富兰克林（Rosalind Elsie Franklin）潜心钻研，成了这个领域的佼佼者。

尤其是罗莎琳德·富兰克林，她的摄影技术非常精湛。不过，据说她性格比较怪异，不太受周围人喜欢。有一天，找不到灵感的沃森造访了富兰克林的研究所。那个时候，沃森设想DNA可能是“三股螺旋结构”，由三条长长的、连在一起的锁链缠绕在一起。

沃森造访富兰克林研究所的时候，富兰克林恰好不在。据说，沃森拜托在场的富兰克林的同事，向他展示了富兰克林拍摄的照片。通常没有人会给有竞争关系的研究人员看照片，但富兰克林的同事跟她关系并不好，所以就将桌子上的照片指给了沃森。

沃森盯着照片看了很久，没来得及打招呼就折返回去，并将刚刚看到的信息写在了笔记本上。不久后，沃森与英国的弗朗西斯·克里克（Francis Harry Compton Crick）联名发布了一篇关于DNA结构报告的短论文，发表在了著名的科学杂志Nature上。这些发生于1953年。

就这样，DNA的双螺旋结构公之于众，一根链条上排列分布着腺嘌呤（A）、胸腺嘧啶（T）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）四种碱基，另一条上的碱基分别与之对应，按照“A-T”“G-C”的对应顺序排列。

沃森他们认为遗传信息可能是由碱基的排列顺序来表达的。

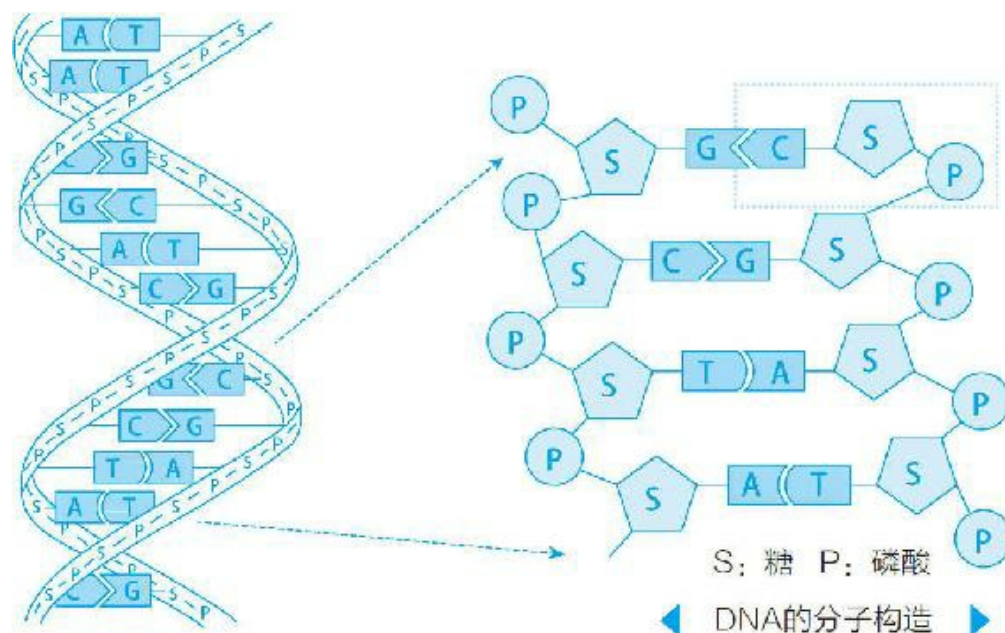
沃森与克里克的研究获得了诺贝尔奖，但是也有人通过上面的事例，认为他们剽窃了富兰克林的研究成果。尽管真相我们无从知晓，但这些有血有肉的科学家轶事可以让我们与科学更近一步。

2014年12月，沃森拍卖了诺贝尔奖的奖牌，以475.7万美元落槌成交。

最后一个尚未解开的疑团是4种碱基的排列方式如何决定遗传信息。

前面已经提到，DNA由A、T、G、C四种碱基形成的长链组成，呈现两条长链反向吻合的构造。两边的锁链按照A-T、C-G的方式组合。

◆DNA的构造（双螺旋与ATGC）



这种关系叫作“互补”关系，总之，“两侧的长链保存的遗传信息一样”。例如，一边的长链是“AGCTGCTA”，那么另一边就是“TCGACGAT”，两边互补地保存了同样的遗传信息。

人类已经证实遗传因子的本质是DNA，并推测出碱基的排列或许代表了遗传信息。同时，人们发现由蛋白质构成的酶控制着生物体代谢之类的化学反应。酶能够调节化学反应的速度，从而在生物体内形成各种各样的物质，使其维持生命活动。

蛋白质是由20种氨基酸连在一起的长链。DNA的碱基有4种，每个碱基对应1种氨基酸的话，只能指定4种氨基酸。两个碱基对应1种氨基酸的话，最多只有“ $4 \times 4 = 16$ ”种氨基酸。但蛋白质实际用到的氨基酸有20种，因此至少也是3个碱基对应1种氨基酸。

于是，科学家们通过把碱基按照一定顺序排列而人工合成DNA，然后通过使其合成蛋白质的实验，来调查DNA如何保存遗传信息。例如，碱基序列为“AAAAAAAAA”的DNA形成的蛋白质中，氨基酸的排列顺序为“苯丙氨酸-苯丙氨酸-苯丙氨酸”。

再将碱基序列调整为“AATAATAATAAT”，氨基酸顺序为“白氨酸-白氨酸-白氨酸”；如果碱基序列是“AAATAAATAAATAAT”，则氨基酸的排列顺序就会变成“苯丙氨酸-异亮氨酸-酪氨酸-苯丙氨酸（重复）”。

可见，一个氨基酸是由三个碱基组合（密码子）决定的。

就此，人类解开了遗传的谜团。

4种碱基每三个一组，总共有 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 种排列方式。科学家调查了

所有碱基序列，弄清楚了每种碱基序列所对应的氨基酸，而且还发现DNA含有对应开始读取氨基酸的密码子以及停止读取的密码子。

就此，促使生物进化的遗传之谜已经解开。DNA是控制遗传的物质，其中碱基的排列决定了氨基酸的排列，甚至可以说是决定了性状的表达。这就是遗传的原理，DNA中碱基排列方式的差距使得不同个体之间存在差异性。而自然选择应该就是通过作用于这些差异，来引发生物的适应性进化。

关于自然界中的生物进化，还有一点尚未明确。

如果自然选择只保留特定的基因型的话，生物应该会停止进化。要想持续进化，就需要不断给种群提供新的遗传变异。而且，这些变异应该发生在DNA的碱基序列上。

那么，什么样的机制导致了基因变异，从而形成了性状上的个体差异呢？倘若明确了这个问题，人类就能科学地解释自然中的生物进化一直在持续。

人们通过对果蝇的放射线照射研究，了解了特定种类生物体内出现遗传变异的原理。

当用放射线照射果蝇后，子代出现从前没有的性状的概率很高，而且这种特性还会遗传。而普通喂养的果蝇出现这种变异的概率极低，但是用放射线照射后，变异果蝇的出现概率就会大幅提升。

为了便于研究变异过程中的遗传机制，科学家创造了性状各式各样的果蝇。于是，出现了小翅、白眼、无眼、八只腿等五花八门的果蝇。

这些变异现象被称为“突变”。

“突变”产生的原理日渐清晰。其中，很多是所谓的“点突变”，即密码子（构成蛋白质的氨基酸对应的碱基组）的三个碱基中，有一个碱基发生变化，导致氨基酸变为其他种类，引起个体性状变异。

细胞分裂的时候，DNA的双螺旋解开，每条螺旋结构会以各自的碱基序列为原型，复制出一条与原来双螺旋结构相同的单链。变成两条的染色体组分别进入细胞后，形成与原先相同的细胞。

此时，如果与碱基原型不对应的碱基错误地进入螺旋链中，下次复制的时候便会产生与错误碱基相互补的碱基，导致新的碱基序列和原来DNA的碱基序列出现差异。

也就是说，一个失误被拷贝，使得生物产生了突变。

DNA的结构及基因复制的原理被揭晓以后，进化如何产生必要的变异也日渐清晰。由于蛋白质的氨基酸序列变化时，蛋白质（酶以及性状的原料）的功能会发生微妙的变化，因此形成的个体性状会与以往的形状有所不同。

密码子上出现的碱基替换会遗传给子代，这一点满足了进化的三大条件之一——“遗传变异”。

诸上所述，DNA的突变带来生物性状的变异，而自然选择会作用于变异体之间，推动进化。此外，由于变异体是不断供应的，所以进化永远不会终结，且处于一直持续状态。就此，人类关于进化的了解基本达到完成状态。

“综合进化论”的诞生

从拉马克提出“进化”理论、达尔文揭晓进化原理之后，又经过了很长时间。人类探索出了遗传原理和基因的真面目，而且弄清楚了基因复制机制下变异的原理，于是，“进化论”融合了这些新的知识，迈入了一个全新的阶段。

“综合进化论”诞生了。综合进化论在达尔文进化论的基础上，吸收了达尔文进化论尚未明确的遗传机制等理论，刷新了进化论的知识体系。

综合进化论以全新的知识印证了进化的三大原则：

1. 由DNA形成的遗传基因会传给子代，记录在基因上的遗传信息以生物性状体现出来，从而使性状得以遗传（=遗传）；

2. DNA复制时，碱基导入出现错误，改变碱基序列，于是合成的氨基酸链的序列也产生变化，导致表达出来的形状与亲代有所差异（=变异）；

3. 遗传变异产生的变异体之间，可以传递给后代的DNA的复制能力参差不齐，其中复制数量多的变异体能够进化（=选择）。

简而言之，人类试图利用从DNA角度还原遗传基因的行为，来理解进化的全过程。

科学主张“尽可能简单、没有多余假定（即特定条件下的假定）的说明是最好的说明”，这就是所谓的“最节约理论”，是贯彻科学思想的

一大原则。

从“最节约理论”的观点出发，只用DNA的行为就能解释进化的“综合进化论”对于科学家们来说是一种很容易接受的理论。

此外，还有一种叫作“活力论”的本质性理论，认为“生物具有特殊的本质，即该进化的时候就进化了（有目的的进化）”。与这种本质论相比，“综合进化论”并不需要“对本质进行特定的假设”，是一种更有优势的科学性解释。

另外，“本质论”是人类在对事物进行科学思考时不可避免的问题。正如刚才举的例子，如果生物之间存在任何跨世代的本质，且生物会在应该变化之时变化，是不是就可以称之为对生物进化的一种说明？

其实不然，这种解释并没有说明任何事情。

这种解释与“神决定一切”的言论没有任何区别，不过是将“神”一词换了一种说法，改为了“本质”。

而科学性的说明不会掺杂诸如此类的神秘力量，科学是一门阐释现象如何、为何发生的思想。如果将问题统统丢给“本质”一说，其实就相当于放弃了科学思考。

但是人类喜欢本质论，甚至可以说是钟爱。

每个生物中都有能够佐证“本质论”的本质。

假如觉得“生物”这个词违和的话，不妨将其换成“每个人”，这样几乎大家都能理解。

但是，即便是“每个人”，对于刺激的反应模式也可能因人而异。人脑非常复杂，经历不同，反应模式也会不同。

我们很可能只是将反应模式的多样性称作了“人格”。

其实，不单是人，机器也携带着类似的个性。想必经常开车的人一定感同身受，即使是同一种车型，每辆车开起来的感觉也不一样。最近，还听说过有的小孩对家里的扫地机器人恋恋不舍，不忍换新。

多数机器都是由很多个部件组成的，一个个有着细微差异的组合体各具特性。同样，人的个性也是在本质的驱使之下形成的。

人们将这一“本质论”进一步扩大化，类似狗、人之类的“物种”均蕴含各自的本质，其本质维持了“物种”的存在。换言之，也有人认为“物种”是有实体的。即使现在也有很多人持有这样的看法。

达尔文就“何为物种”，与当时信奉“本质论”的分类学者展开了激烈的争论。

达尔文认为，世界上并不存在所谓的“物种”实体，而是个体在自然选择的作用下会形成新的“物种”。达尔文否定了“本质论”，主张不存在所谓的“物种”的本质——神秘力量等因素。当时的分类学家与达尔文处于彻底对立的状态。

有趣的是，达尔文说明“进化论”的著作虽然以“物种起源”为标题，但里面并没有涉及任何有关“何为物种”的主题。

“本质论”是一种人们很容易接受的理论。据我推断，人类在成为人类以前过的是群居生活，或许人们将群体的行为模式理解为“人格”，采

取相应的行为模式，才会对生存更加有利。因此，人类才会展开本质性方面的思考。

这一推论的科学性可以得到验证。例如，具有群居性特质的动物相互之间经常交流，将其和独居动物对比，只要比较能否设想出它们个性背后的本质即可。如果只有群居动物适用“本质论”，抑或更容易适用“本质论”，那么就能说明本质主义是伴随着群居性进化而来的一种性质。

而科学性的思考从诞生之日起，就开始不断与“本质论”斗争。

我们可能很难相信，美国至今仍有很多人信奉“神创论”。市面上出现了一些面向科学家的书，内容都与“如何打倒神创论”等有关。

在这样的社会大环境下，与本质论无关、仅用物质方面的根据就能阐释进化原理的“综合进化论”被更多喜爱科学思考的人们所接受。

因此，“综合进化论”瞬间一跃成为“进化论”的主流学说。至于它的地位，可以用一句话来概括：“要提进化论，就绕不开综合进化论。”

论点1：连续与不连续

“综合进化论”作为“进化论”的决定版本华丽登场，当然也少不了批判的声音。第一个反对的论点是有关于进化的连续性。针对这一点，需要先稍作一些补充。

前面已经提到，地质学家莱伊尔的思想对达尔文影响很大。地形是在成百上千年的岁月里经过逐渐变化形成的，产生了深谷、高山等不同的地貌。

罗马非一日之功。微小的变化经过日积月累、在连续不断的作用下，可以发展为巨大的差异。达尔文认为生物的进化也是一样的道理。

“自然选择”作用于生物每个世代，一点点改变生物种群性状的平均值，长时间后新的性状会固定下来。而且，达尔文还认为这种变化促使生物出现了多样化。达尔文将这种现象描述为“自然不会产生飞跃”。

在“综合进化论”登上历史舞台之前，达尔文的连续性进化观多次成为人们议论的对象。如果达尔文的想法正确，那么新“物种”诞生的时候，原来的生物与新生物之间应该存在中间形态的生物。

但是，现实中并没有发现不断进化的中间形态的生物，况且如果物种进化需要几万年时间的话，人们也无法直接确认有没有中间形态。

于是，人类将视线转向了化石，从化石记录中寻求证据。在“神创论”势力壮大的时期，人们对于化石有各种解释，例如化石是忤逆神灵的种族被毁灭的遗骨（不禁让人怀疑神灵是否会创造忤逆自己的种族），化石是神由深地层到浅地层按照事先埋藏好的状态创造出来的，

等等。

但是，随着“进化论”的传播，化石被认为是过去存在的生物埋到地层中石化后的产物。因此，只要调查有关化石的记录，就能确认进化过程中，是否存在中间形态的生物。

然而，尽管出土了很多形态各异的生物化石，却没有能看出生物连续变化、不断进化的痕迹。

也就是说，从化石记录中只能看到一种模式：生物出现后在一定时间范围内保持同一种形态，某个时间点突然更迭为其他形态。

对于这种模式有两种解释。一种是生物进化的发生是一个快速的过程，并非缓慢连续地进化。还有一种解释是活着的生物中，只有极少数的能成为化石，而记录中间形态的生物化石恰巧没有保留下来。

不过，在人类对进化几乎一无所知的那个年代，人们对这个问题的争论并没有得出结果。“进化论”的历史上，进化的连续性是一个巨大的问题，不断成为人们争论的焦点。

1972年，美国古生物学家奈尔斯·埃尔德雷奇（Niles Eldredge）和斯蒂芬·J.古尔德（Stephen Jay Gould）通过分析化石记录的模式，得出“生物在很长的时间内表型几乎不会有变化，之后的极短时期内很多生物会出现急速进化。生物的进化就是微进化与跃变式的大进化交替出现的历史过程”。

这种学说被称为“间断平衡（punctuated equilibrium）学说”。该学说否定了达尔文进化论提出的连续进化观，奈尔斯·埃尔德雷奇和斯蒂

芬.J.古尔德认为达尔文进化论对于进化的说明存在问题。

连续性与不连续性的问题在“进化论”史上是一个很大的难点。那么，从“综合进化论”的观点来看，这个问题如何解释呢？

“综合进化论”认为遗传因子（DNA）上的碱基替换为其他碱基，使得氨基酸序列变化，引起生物性状变化。在这个过程中，最小的变化是一个碱基替换成其他碱基（=点突变）。碱基有“A、T、G、C”四种。

假设其中一个碱基发生了改变，是否就可以称之为连续性变化？答案是否定的，这是不连续的变化。只要物质的结构不连续，DNA上发生的“点突变”就只能带来不连续的变化。

那么，连续性进化观是错误的吗？也不能全盘否定。因为尽管DNA上的变化不连续，但性状上表现出来的变化不一定是不连续的。确实，根据“优胜劣汰法则”，物种性状不可能出现中间状态，变异基因的等位染色体组合之后，也只能产生良性性状。

但是，孟德尔在发现“遗传法则”时，做了花色的遗传实验：若亲代白花×白花，则子代为白花；若亲代红花×红花，则子代为红花；若亲代为白花×红花的等位染色体组合，则子代会变成粉花。除此之外，头发颜色等的遗传也会出现类似现象，如果亲代是黑发与金发，子代会变成茶色头发，出现中间的性状。

这些变异无论是不是“点变异”，都可以确定遗传基础不同的变异组合到一起后，能够产生中间性状。

于是，DNA上的不连续变化表现到性状上时，以什么样的方式表现

（=表现型）就成了人们进一步的疑问。

例如，假设有一对等位基因控制着色素的颜色。如果有两种类型的等位基因能够生成两种色素的话，那么就能产生中间的颜色。而且，如果具备一定的基因，且当基因形成特定性状时，基因的表达系列能够完整地表达的话，则只要有一种等位基因，基因系列就能发挥作用，使其性状得以表现（=优胜法则）。

按照“综合进化论”的变异表现方法来说，DNA上的变化永远都是不连续的，但是这并不代表DNA导致的性状变化永远不连续。

就结论而言，即使考虑到DNA的结构和变异的产生方式，也只能说有可能出现不连续的进化。尤其是“综合进化论”被提出来的时候，人们基本上不清楚DNA上的变化如何影响性状，因此进化的连续性问题迟迟没有结论。

此外，我们再来探讨下“非变异而是选择与连续性结果”的说法。

在证实达尔文的“自然选择学说”的事例当中，最有名的是“飞蛾的工业黑化”。

故事发生在19世纪后半叶的英国。森林里遍布着白色树皮的树木，栖息着翅膀为白色的飞蛾。但是随着工厂的建成，工厂排放的煤烟导致树皮变黑，于是，黑色飞蛾的比例大幅增加。

科学家对这种现象做了如下解释：白色飞蛾在白色的树皮上很难被发现，但黑色飞蛾会很显眼。因此，白色飞蛾更不容易被鸟类吃掉，存活率更高。但是，当树皮变成黑色后，黑色飞蛾更不醒目，更容易存活

下来。

这一解释遭到“自然选择学说”否定派的多般刁难。然而，后来其正确性得到了验证。当时，飞蛾并非先变成灰色从而增加黑色个体，而是原本就存在的黑色飞蛾数量增加了。

这就说明“自然选择”作用于多个具有不连续的表现型的遗传变异体之间，导致某一表现型的频率发生了改变，即发生了不连续的进化。

不过，已经存在的两种表现型是否受“点突变”的影响无从而知。因此，进化的连续性问题仍未解决。



论点2：进化的发生是否遵循“综合进化论”

“综合进化论”在达尔文自然选择学说的基础上，融合了后来发现的遗传原理及DNA（遗传基因）的结构及复制原理等知识，对从种群内遗传变异体的产生到自然选择后完全适应环境的过程进行了说明。

这一假说在理论上确实说得通，但是要想成为科学事实受到广泛的认可，还需要揭示生物进化是遵循“综合进化论”发生的。拉马克的“用进废退学说”未能成为普世化的科学事实，就是因为后天发育的性状会遗传给子代这一理论前提没能被人们认可。

不管多么完美的假说，如果没有事实能够佐证的话，就无法成为解释现象的原理。那么，对于实际发生的进化现象，“综合进化论”有多大的公信力呢？接下来就分成自然选择与变异的产生两部分来看一下吧。

首先，自然选择是否会让生物产生适应性？

我们先来举几个例子，看一下能得出什么样的结论。在野外，由自然选择引起进化的事例当中，最有名的就是前面提到的“飞蛾的工业黑化”。工业革命时期，工厂大量排放黑色煤烟使得白色的树皮发生了黑化，随之黑色翅膀的飞蛾数量变多。这一现象被解释为黑色飞蛾比起白色飞蛾来说，在黑色树皮上更不显眼，所以白色飞蛾容易被鸟类捕食，于是黑色飞蛾增多了。

由于这项研究发生于“自然选择”引起适应性进化的事实尚未被发现的时代，仍然是非常初期的实验研究，因此不承认自然选择引起适应性进化的学者们提出了各种各样的疑问。

例如，其中一种反对的声音是：黑色飞蛾与白色飞蛾在树皮上停留的位置不同。被捕食的难易程度是由停留的位置所决定的，停留在树皮上更显眼的位置，就更容易被吃掉。

即便事实如此，那也可以证明性状的差别导致被捕食的压力出现差异，自然选择的作用使得两种性状的频率发生了变化，也不至于否定自然选择引起进化的观点。但是，反对论可能无论如何都不想承认是“自然选择”驱使着进化。

当时很多人提出关于“工业黑化”的反对言论，后来都证明是不正确的。“工业黑化”是环境变化引起自然选择对生物体内既有遗传变异的作用方式发生了变化，从而引发性状频率的变化。于是，“工业黑化”成了“适应性进化的实例”，广受认可。

另一个具有代表性的事例距现在更近。

研究对象就是让达尔文提出“进化论”的启蒙生物——加拉帕戈斯群岛上的达尔文雀。达尔文雀住在加拉帕戈斯群岛的各个岛上，鸟嘴的形状根据每个岛上的食物条件有所差异。

以虫类为食的岛上，达尔文雀为了方便捕捉虫子，嘴部呈细长形；而主要以树种为食的岛上，达尔文雀为了更好地弄碎树种，嘴部呈现钳子状，且更厚、更坚硬。达尔文发现了这一现象，认为原本鸟嘴形状相同的达尔文雀根据岛上的食物条件，进化出嘴部不同的形状。

美国普林斯顿大学的进化生物学家罗斯玛丽·格兰特（B. Rosemary Grant）和彼得·格兰特（Peter Grant）夫妇住进岛上，调查达尔文雀的嘴部形状，并逐年观察食物条件的变化。

住在特定岛上的达尔文雀的嘴形在某种程度上发生变异，这种形状上的差别会遗传给后代。岛上每年的降雨量都会发生变化，降雨量多的年份昆虫和草种很丰富，而降雨量少较为干燥的年份昆虫会减少，草种也很稀缺，所以达尔文雀只能吃坚硬的树种。

他们调查并记录了每一年的天气条件，达尔文雀的嘴部形状、繁殖量以及翌年达尔文雀嘴部形状会如何变化。

通过长期观察，他们发现了一个事实。

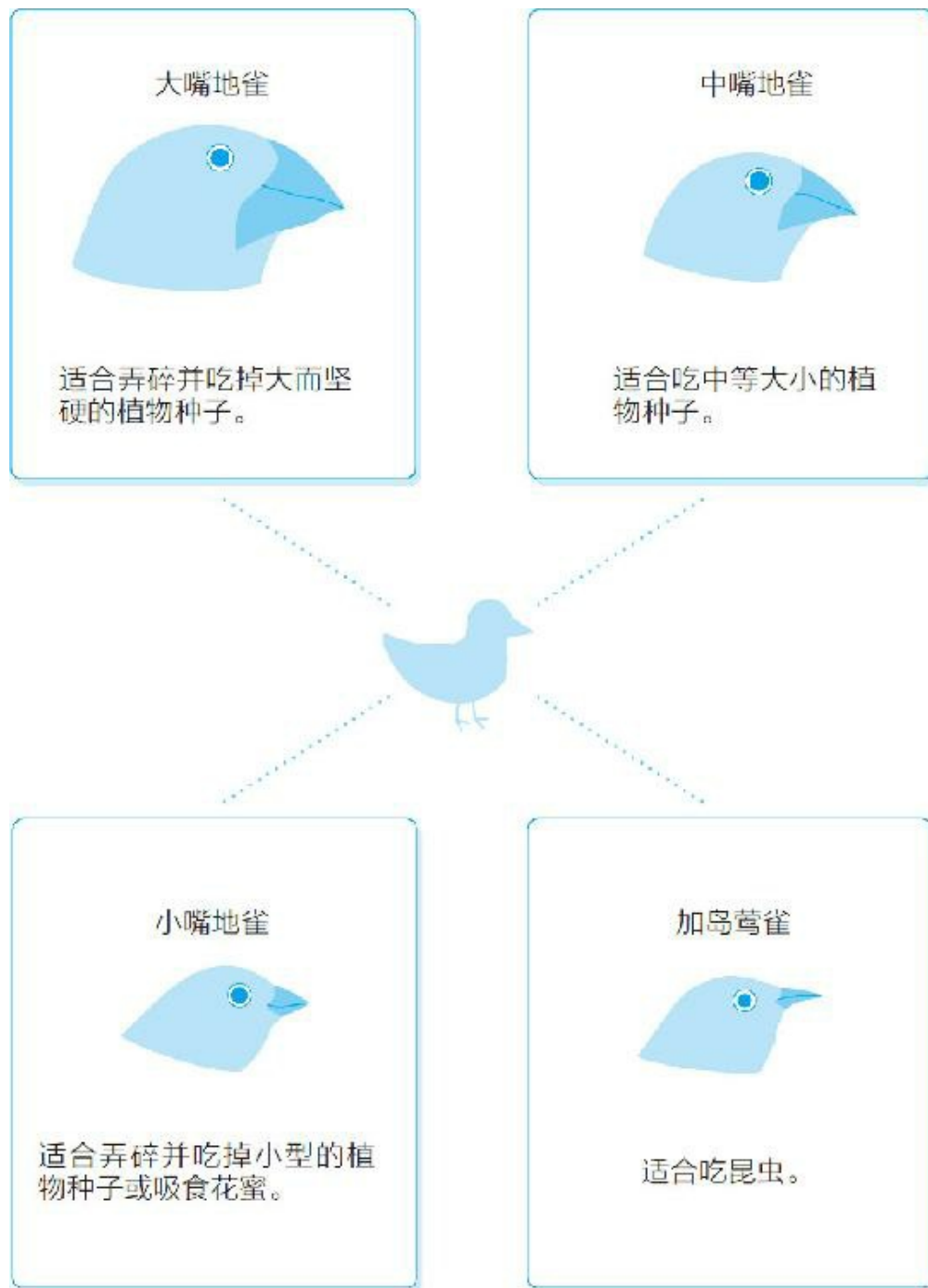
昆虫和草种丰富的年份里，嘴巴肥大的达尔文雀繁殖能力差，第二年鸟嘴普遍会出现细微变细的现象。此外，当坚硬的树种占优势时，那一年嘴部细长的达尔文雀繁殖能力较差，第二年鸟嘴会稍稍变粗。

难道嘴巴粗细只有细微的变化吗？

是的。

但是，这就是达尔文预测的“自然选择”作用下产生的适应性进化！岛上的食物条件每年都会发生变化，所以哪种鸟嘴的形状更加利于生存并不一定。

◆达尔文雀鸟嘴性状的差异



不过，根据观察到的事实，昆虫和草种时常丰富的岛上鸟嘴保持细长，而以树种为主要食物的岛上，鸟嘴基本维持粗壮的状态。

格兰特夫妇的观察结果非常明确地揭示了达尔文当初提出的进化至

今仍在发生。

针对“进化需要花很长的时间，所以根本观察不到”的批判，达尔文反驳道：“进化现在也在后院发生着”，但是过了将近200年以后，他的想法终于在孕育进化论的故乡——加拉帕戈斯群岛上得到了证明。

就这样，自然选择让生物产生适应性进化的事实基本上已经确证。后来人们不断发现各种各样的生物都在受到自然选择的作用，至少证明了自然选择使生物产生适应性进化的正确性。

但是，达尔文雀体内的变异事先已经存在，这种变异是如何出现的，或者是否是由突变导致的，仍然没有定论。

“点突变”构成了“综合进化论”的基础，针对“点突变”为自然选择提供可遗传的变异这一点，现在又有什么发现呢？

“点突变”的概念原本是在果蝇的遗传学研究中出现的。在饲养大量果蝇调查其不同性状的过程中，偶尔会出现前所未有的形状特征。

例如，通常果蝇的复眼是红色的，极其偶尔会出现白色复眼的果蝇。白眼果蝇与白眼果蝇交配，其子代的复眼也是白色的。也就是说，果蝇突然出现了遗传性的变异。

解释这种突变现象的最简单的模式就是“点突变”。当果蝇体内形成使复眼变红的色素时，原来的物质会逐渐变成其他物质，最终转化为红色色素。而一种物质变成另一种物质的每一个化学反应中，都有不同的酶在起调节作用。

这些与合成反应有关的酶之中，即使其中只有一种丧失功能，物质的合成路径也无法正常完成，导致最终不能形成红色色素。酶是由具有特定氨基酸序列的蛋白质形成的立体构造，能够促进特定物质的化学变化。所以，氨基酸序列改变后，特定的立体构造无法形成，蛋白质就失去了酶的功能，无法控制化学反应。

DNA上碱基序列变化时，变化处的遗传信息所指定的氨基酸种类就会发生相应变化，合成不同于原来氨基酸序列的蛋白质，影响酶的功能。根据这个原理，DNA任一碱基序列改变都会导致生物性状的变化。这就是所谓的“点突变”。

这类“点突变”通常很难发生。就现阶段的认知来看，一处“点突变”发生的概率大约为千万分之一（ 10^{-8} ）。“点突变”引起的可遗传变异体产生的概率很小，所以人类无法拿到恒定的研究素材，这也为相关研究带来了一大难题。

于是，遗传学家尝试了各种各样的方法，试图提高突变率。后来，通过放射线照射，发现生物的突变率有了飞跃性的提高。在对生物进行一定程度以上的放射线照射后，其DNA在复制的时候很容易出现错误，更容易发生突变现象。

众所周知，人在接受一定程度的辐射（放射线）时，会增加患癌的概率，其原因之一就是DNA复制时产生了“点突变”。

无论如何，遗传学家通过这种方法创造出了各种各样的突变，人类对遗传变异的研究得到了进一步的深入。遗传学家发现，几乎所有的突变都会损伤原本的功能。例如，果蝇出现了翅膀残缺无法飞行、缺眼等

现象。

几乎所有的突变都是有害的。

这个事实向“综合进化论”提出了一个疑问。“综合进化论”包含达尔文的自然选择学说，因此主张在既有的变异当中，有利的变异才会被选择并扩大。如果是这样的话，那么只有害处的突变是否能成为引起适应性进化的原动力？

这是一个很难回答的问题。

进化是一个既成的现象，现阶段很难知道自然选择之前原本的形状是什么样子的。但是通过调查特殊情况下的进化，即使在进化发生以后也能弄清楚“适应”究竟代表怎样的现象。

例如，生活在洞穴或者深海等没有阳光处的生物，经常能观察到无眼的性状特征。而生活在有阳光处的近亲物种均有眼睛，这就说明乏光环境中生物的眼睛是逐渐消失的。这种现象被称为“退化”，也可以解释为自然选择作用下的适应性进化。

在无光的环境下，眼睛的存在对生物并不有利。假设形成眼睛的化学反应系统由于突变而损坏，导致眼睛无法形成。眼睛是很复杂的器官，其生成需要合成各种各样的物质；如果不需要眼睛的话，就没有必要合成这些物质，身体就可以把这部分能量用于其他生命活动。

通常环境下，“无眼”的性状对生物体很不利，可是在不需要阳光的黑暗环境中，无眼性状“可以节省相应的能量用于其他生命活动”，变成生物体的一个优点。

黑暗环境下有眼生物与无眼生物竞争，无眼生物不需要能量来生成眼睛，繁殖率会高于有眼生物，于是无眼的性状就会在自然选择的作用下产生进化。

此外，形成眼睛的复杂反应系统一旦出现任何“点突变”，也会导致“不能形成正常的眼睛”的结果。可见，不同生物在经历着无数次的独立进化，甚至看似不利的突变也有可能成为适应环境的突变。

当然，并非所有的进化都是由基因突变引起的，但是从“眼睛的退化”这一进化现象可以看出，“点突变”确实可以成为适应性进化的原因。

两大论点：连续性与选择

我们重新审视一下达尔文进化论的两大论点：连续性与选择。达尔文的“进化论”提出，自然选择会作用于生物种群中既有性状的可遗传变异，经过不断适应，引起进化。

尽管在“飞蛾的工业黑化”那个年代，出现过“飞蛾适应环境并非由自然选择产生”的反对声音，但无论是工业黑化现象本身，还是以达尔文雀喙形为主的各类研究，都得出“自然选择”是解释已发生现象的最为有效的假说。

当然，科学角度上的所谓“事实”只说明“这一假说无法否定”，是一种消极的论证。无法否认自然选择学说不过是“至今为止最合适的假说”，不排除有更能解释生物进化现象而尚未发现的假说的存在。

插一句题外话，科学事实并非如大家所想，能够断言“绝对如此”。

科学家们会针对解释现象的多种假说，进行各种各样的测试、验证，只有现实与假说预测的结果不同时，才会因“无法解释现象”将其否定。因此，剩下来的假说其实不过是“即便拿来当作事实，也没有任何矛盾之处”的程度。

例如，爱因斯坦提出的“相对论”，由于人类观察到了牛顿力学无法解释的现象（水星的近日点移动等），所以相对论才得以取而代之，但是这依然不能保证“相对论”在未来仍然正确。

我们可能会发现“相对论”也无法解释的现象，能否用其他理论解释未来出现的现象也无从知晓。

曾经有一则报道令我记忆犹新。科学家观察到中微子的速度比光速快，所以报道提出了“相对论是否有误？”的质疑。后来发现是测量错误导出了错误的结论，“相对论”的命脉保住了，但是所有的科学事实往往只是“现阶段的最佳理论”。换言之，我们“绝对不能”完全否定更优假说存在的可能性。

同样，我们也无法断言某种东西“绝对不存在”。

2014年科学界最大的话题性新闻是STAP细胞。日本理化学研究所研究人员宣布“有STAP细胞”，引发了媒体界关于“STAP细胞有无”的骚动，但遗憾的是，这不过是科学界一场毫无意义的骚动。如果有的话制造出来就可以，但再三实验后，仍然没能再现出STAP细胞，所以从科学角度出发，只能说“不是现在”。

绝对有、绝对没有才是绝对不知道的事情。主张“不能断言绝对没有”的人拥护STAP细胞存在的言论，其实他们还没理解在科学界中“有”和“无”的真正含义。

当然，自然选择的存在也是科学，因此从以上所述的意义来看，只能说有自然选择。很多人认为“进化并不是自然选择引起的”，这些人只要证明下面几点就可以了。

达尔文“自然选择学说”的本质是“存在的变异之中，有利的变异被选择下来”，所以只要能否定掉这一点就可以。如果任何情况下都只能出现最适合的生物，那么“被选择”的言论就会不攻自破。

达尔文对于自己的学说态度也客观，他时刻关注可能与自己提出的学说相左的现象，如社会性昆虫的存在等。因此，即使“自然选择从原

理上根本不可能”是事实的话，达尔文一定也会坦率接受。

但是，恕我孤陋寡闻，至今没听到任何反对达尔文进化论的人在进行类似的研究。抱怨对于任何人来说都是轻而易举能做到的事情，我很理解有些人想这么做的原因，不过，由于至今发现的很多证据都能证明存在自然选择现象，所以那些无据可依的无聊反驳也只能落得被人们冷落的下场。

那么，达尔文坚持的另一个论点——进化的连续性又是如何呢？对于这个论点，并不能像自然选择那样能清晰地论证其正确性。

连续性基于什么，无法一概而论。从DNA层面来看，一个碱基替换为其他碱基是进化过程中最小的变化，这种变化是连续的吗？

“点突变”使得某种酶失去功能，例如可能导致色素无法合成，使生物的颜色性状发生改变。

这究竟是连续呢？还是不连续呢？

果蝇眼睛的颜色也会从红色突然变成白色，这是不连续进化吗？相信你一定看出来这是一个很难回答的问题。

在实际进化时，这样的例子能举出很多。前面提到过洞穴内的生物进化出无眼性状也是同样的道理。眼球是经过复杂的化学反应连锁作用形成的，当起调节作用的酶指定的某个遗传基因发生变异时，眼球就无法形成。

这很明显是不连续的变化，不过从可能性来讲，遗传因子最小范围的变化（点突变）可能引起进化。由此看来，已经成型的复杂性状很可能在“点突变”的作用下瞬间消失。如果生物处于某种性状消失会对其有

利的环境（例如黑暗的洞穴内不需要眼睛）中，从节省能量的角度而言很可能是一种进化。

换言之，“退化”的同时，也可能诱发不连续的进化。

值得考虑的是，复杂性状（如眼睛）形成的过程中，进化是否为连续产生的？达尔文非常笃信具有适应性的复杂性状不会突然间出现。

我们拿眼睛为例。由于我们无法再现眼睛的进化过程，所以只能通过比较各种生物的眼睛来研究它是如何进化的。

不难发现，像人眼这样有晶状体等复杂结构的眼睛并不是突然出现的。最简单的“眼睛”是绿藻等单细胞生物的所谓“眼点”，只具备感光的部分。

当生物进化为多细胞生物时，眼球逐渐变成杯子状凹陷的结构，其内侧分布着视细胞，更加凹陷变成球状，形成眼球，最终进化成具有晶状体且能调节焦点的眼睛。这一变化是伴随着生物体制复杂化发生的，进化也可以认为是一个循序渐进的过程。

那么，眼睛结构简单的生物们是否就不适应环境？批判达尔文主义的人经常主张的理论是：“结构不完整的生物无法适应环境，所以经过结构不完整的中间阶段后的进化不会发生。”

但是，这个问题和“对于每种生物来说什么是适应？”的问题无法分开而论。我们就以长眼点的绿藻和不长眼点的绿藻为例。尽管眼点只有单纯的感光功能，但是对于体内含有叶绿体可以进行光合作用的绿藻来说，通过眼点可以识别光源的方向，眼点会更加有利。

此外，头足类的章鱼和乌贼具有与人类非常相似的晶状体眼睛，由

此可见，历史上脊椎动物与头足类动物是分两次独立进化的。

这两类动物都需要用眼睛聚焦并捕捉猎物，所以进化出针孔照相机似的有晶状体的眼睛对于生物体来说是有利的。为了实现“短时间聚焦”的目的，从过去的眼睛构造而言，“要想达到必要的功能，生成有晶状体的眼睛是最容易办到的方式吧”。

拥有复杂结构的各种形状都是经过中间阶段才逐渐变成现在的样子的。而且重要的一点是，进化的中间过程都各自具有适应性，生物并非朝着最完整的形式在进化。每种生物往往都有自己便捷的进化选项，与此同时，它们会随着环境变化产生适应性进化，最终进化出具有复杂结构的性状。

这个观点非常重要，容我赘述几句。

“进化不是为了完成某个目的，往往是在既有的选项范围内向着适应环境的方向变化，并最终形成了当下的复杂结构。”

这种表达方式仿佛在表达获得性状的进化是连续的，但和达尔文的时代相比，现代人对于生物有了更多的发现和理解，人们发现生物在获取性状的进化过程中，偶尔也会发生不连续的进化。

病毒、转座子、大规模变化

“综合进化论”认为DNA承载着遗传信息的表达功能，而DNA某个碱基序列发生变化是遗传变异产生的主要原因，碱基被其他碱基替换，引起所谓的“点突变”。

我们已经提到过，从DNA的结构来看，“点突变”是遗传信息上产生的最小变化。DNA碱基序列上发生的变化会遗传给下一代。

因此，DNA上无论何种形式的变化都是引起进化的关键原因。尽管“点突变”是一个主要原因，但后来人们发现除此之外还有各种各样的原因可以改变碱基序列。

而且，其中甚至有不止一个碱基被替换，而是出现大范围改变的情况。原本不存在的长碱基序列突然出现在遗传基因中，或者一部分基因序列忽然消失不见，都会引起氨基酸链产生变化。与“点突变”比起来，这种情况下表现型产生的不连续变化可能更为巨大。

此外，人类发现了病毒的存在。

病毒的遗传物质是DNA（或RNA），DNA（或RNA）外面被蛋白质外壳包裹。病毒不具备自我复制或制造能量所必需的化学系统（代谢系统）。

那么病毒是如何增殖的？

病毒可以将DNA运送到生物体的细胞内，利用细胞内的代谢系统，让自己的DNA进行复制，然后再包裹好蛋白质外壳，成功复制出与自己

相同的病毒。

这样增殖以后，病毒会破坏宿主细胞，重新以各种各样的方法（空气感染、接触感染等）移动到其他细胞，不断重复增殖的过程。

病毒的增殖过程会对包括人在内的宿主造成各种危害（有时甚至是致命危害），因此病毒被视作病原体，给人类带来了巨大的恐慌。2015年，非洲西部流行了一种可怕的传染病——埃博拉出血热。这种病的病原体就是病毒。病毒自身既无法复制又无法繁殖，所以生物界一直对病毒是否属于生物有所争议。有人主张“病毒不属于生物”，但病毒又可以通过遗传基因完成复制与增殖，具有和生物同样的进化功能。

当具备一定条件时，病毒的一部分可以进入到宿主的DNA中，与宿主的染色体组融为一体。也就是说，病毒的DNA两端能够与切断的宿主DNA相结合，成为一条DNA。

这种现象叫作“溶源化”。病毒的遗传基因不能单独生效，需要和宿主的染色体组一起作用，将遗传信息传递给后代。

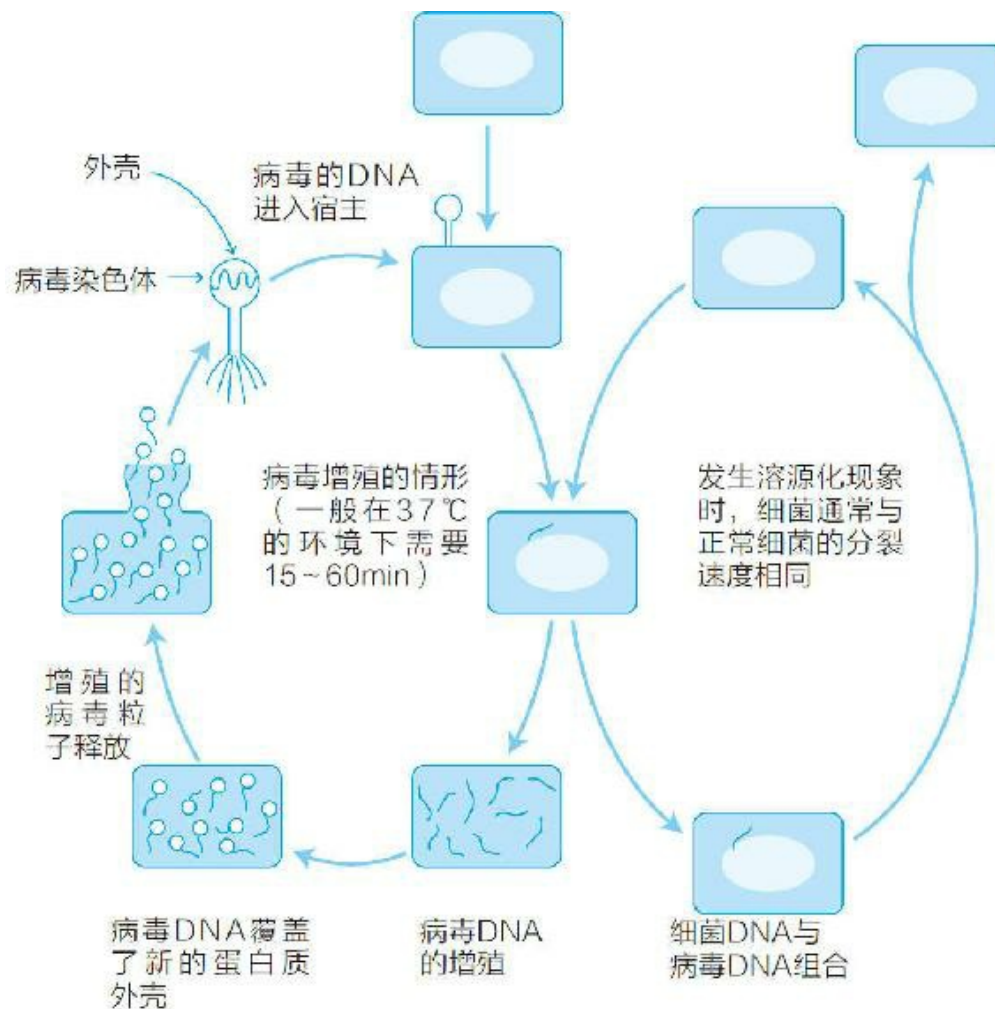
“溶源化”发生在宿主遗传基因中时，其DNA序列的变化远远超过“点突变”，宿主既有的遗传基因中会突然插入大段的DNA序列。DNA链被转录，若中间没有终止密码子，那么长段的氨基酸序列就会突然插入已有的氨基酸链中。

“点突变”只会引起一个氨基酸改变，而“溶源化”会产生比“点突变”更大规模的蛋白质变化。因此，蛋白质的功能也会发生巨大改变。

这类变异如果经过严格调节，迄今为止的科学反应体系可能就会瘫痪，无法正常运行，所以不难想象此类变异对宿主致命危害的可能性。

但是，我们也不能断言“没有任何有利的地方”。

◆病毒引起的溶源化



参考: http://www.nig.ac.jp/museum/history/07_c.html

在这种机制的作用下，自然选择可能引起的不连续变异确实会发生，认识到这一点才是最重要的。换言之，狭义“综合进化论”认为“只有点突变才能引起DNA变异”的理论必须得加以修正了。

此外，还有一种例子是“转座子”（又称转座因子或跳跃基因）。“转座子”是染色体组中一段可移动的DNA序列。DNA序列在自身指定的酶的作用下，转座子插入染色体组特定序列的区域中，随后切割下来，从基因组的一个位置插入（“跳跃”）到另一个位置。

1940年，美国植物学家芭芭拉·麦克林托克（Barbara McClintock）发现了转座子，此前人类从未想到这么大的DNA片段会在染色体组中来回移动，这一发现堪称是人类史上的巨大发现。

芭芭拉以卓越的研究成绩获得了诺贝尔奖。据说，即使得知自己已经获奖，她还是为了获取研究数据跑去了农场，真是个一心钻研的人啊！

此后的研究发现，染色体组DNA中通过转座子形成的区域远远超过了之前创造的部分，在有的生物体中，整体40%的DNA都是由转座子形成的。

言归正传，“转座子”插入指挥蛋白质生成的遗传基因中，突然间引起了很大的遗传信息的变化，所以以这种方式出现的新型变异，可能在进化的角度上具有一定的意义。

人们逐渐意识到，染色体组及其包含的碱基序列并非人类最初想象的静止不变，而是不停地在保持变化。

“综合进化论”假定只有“点突变”才能引起变异，但实际情况是很大的DNA分子也可以在染色体组中正常移动。

这种大规模的变化在进化的过程中究竟起到什么样的作用我们还不知道。就连“点突变”对进化有多大贡献都尚不明确，所以目前也没有什

么更好的方式，只能在今后的进化学研究当中不断去发现、去揭示。

从进化的连续性来看，染色体组DNA结构的大规模变化表明“飞跃性的不连续的形状进化并非不可能”。达尔文笃信的连续性进化从根本上变得略显奇怪了。

即便如此，也没有明确的证据证明病毒的“溶源化”，以及“转座子”的存在引起了飞跃性的进化。

但是，更加确凿的“不连续性进化的证据”意外地出现了。下一节我们就来看一下新的证据。



共生与进化

细菌等菌类（原核生物）没有细胞核。除细菌之外，一般生物（真核生物）细胞里含有被核膜包裹着的DNA。真核生物细胞内具有原核生物不具备的特定小器官（细胞器）。

动物体内有线粒体，植物体内除线粒体外还有叶绿体。线粒体是产生能量的细胞器，叶绿体负责光合作用的进行，它们可以从电子中提取能量，所以被称为电子传递系统。

在电子传递系统里，电子在集中蛋白质之间传递，释放出能量。为了提取出能量，电子需要按照一定的顺序在多种蛋白质之间传递，这些蛋白质按次序固定在线粒体和叶绿体的膜上，以保证传递的高效。

这种膜和细胞膜结构相同，也是由磷脂双层膜组成，就像细胞中还有另外一个细胞存在一样。

线粒体和叶绿体还有一个与其他细胞器不同的特征，那就是它们都具备与细胞核内DNA（核染色体组）不同的DNA。线粒体和叶绿体可以在细胞内增殖，且内部的DNA会经过复制，传递给分裂后的线粒体和叶绿体。

可见，线粒体与叶绿体这两种细胞器的行为和其他细胞非常相似。

美国生物学家马古利斯（Lynn Margulis）基于上述事实，于1976年发表了“共生理论”，即线粒体和叶绿体之前都是能够独立的生物，它们被细菌吞噬后，变成了细胞内的细胞器。这番理论发表以后，很多人认为这种想法完全就是凭空猜测，但是后来经过各种各样的研究，才意识

到这一理论似乎是正确的。

“三个碱基组成的密码子指定20种特定的氨基酸”，按照这种原理将DNA的遗传信息表达到蛋白质上，而哪三个碱基组合指定哪种氨基酸，在核染色体组与线粒体内的表现是完全不一样的。

而且，人们还发现线粒体无法独立存活，是因为其自立所需的遗传基因移动到了核染色体组上。

这也是核染色体组为了让共生的线粒体“无法逃脱”，将线粒体的遗传基因的一部分夺去的证据，也就是所谓的“家畜化”。有了线粒体和叶绿体之后，真核生物的能量利用率大增，还可以自己合成营养素，比起原核状态，有了飞跃性的优势。

因此，对核染色体组来说，夺取共生体的遗传基因，将其家畜化是十分有利的。“共生”这个词的背后，其实暗藏了不同DNA之间激烈的支配关系。

从上述解释不难看出，站在“适应性进化”的角度来讲，生物将具有一定功能的共生体摄入体内，“一下子”就能获得共生体的功能。而捕获的共生体仍然具有和本体细胞不同的DNA，也可以进行自我复制并把DNA传给子代，因此也可以说具有“遗传”的能力。

所以，从进化的连续性来看，共生体的获得可以让生物产生飞跃性的进化，其改变程度要远远超过“点突变”、病毒的“溶源化”以及“转座子”。共生理论也可以作为此类进化发生的一个有力证据吧。

那么，共生进化是例外现象吗？

并非如此。

动物只有线粒体，植物既有线粒体又有叶绿体，所以动物和植物的共同祖先——生物（类似细菌的东西）与线粒体的祖先合体后，又与叶绿体的祖先再度共生，才有了现在的植物。

也就是说，植物经过了两次共生，因此，植物获得飞跃性性状的行为，曾经多次发生，这样理解比较恰当。曾经，细胞内共生体的获得（内共生）或许并不像我们想的那样罕见。

共生现象在生物进化方面有多大的重要性呢？“外共生”可能比较容易理解。“内共生”是细胞内吸收了其他细胞；“外共生”与“内共生”不同，是一种消化道等部位吸收了其他生物（主要是细菌）后相互作用的现象。

消化道内也是“身体内部”，但并不是身体组织内部（就像甜甜圈的洞一样），所以也属于“体外”。为了与细胞内吸收进去其他细胞的情形相区别，将其称为“外共生”。“外共生”的代表性例子就是消化道内的共生细菌。

例如，以植物为食的动物无法自行分解植物体内的纤维素（植物的主要构成成分），不能转化为糖类。于是，动物就让可分解纤维素的细菌住在消化道里，借用细菌的力量分解纤维素并加以吸收，从而可以从植物体内获取能量。这种“外共生”常见于从昆虫到脊椎动物等各种动物中，当然也不例外。

有的“外共生”微生物适应了消化道的环境，反而无法独立存活。内共生也是一样。不管怎样，以植物为食的动物在没有共生细菌的情况下

无法制造能量，这其实就不连续地获得性状是同一回事。

关于“外共生”是如何发生的有一项很有趣的研究。

据日本深津武马博士研究，给体内有共生菌的臭虫（或椿象）灌入抗生素使其去除掉消化道内的共生菌，臭虫的子代几乎无法长大，无法变成完整的成虫。

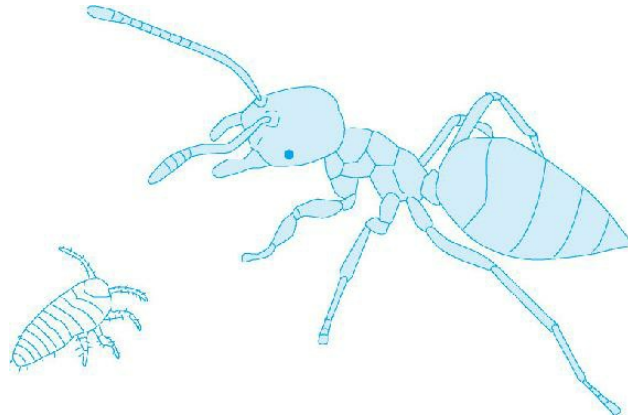
这已经足够说明共生关系的紧密程度了，但是他又把去除共生菌的幼虫放入臭虫栖息的土壤中饲养，发现体内吸收了土壤中的细菌，幼虫又可以长大了。调查臭虫的共生菌和土壤里自由生活的细菌的染色体组，发现两者之间有非常近的亲缘关系。

此外，调查冲绳群岛后发现生活在北方的臭虫的共生菌无法培养活，确切地证明了共生菌失去了独立生活的能力。

而且，令人震惊的是，给去除掉共生菌的臭虫幼虫喂入大肠杆菌后，一部分臭虫可以正常长大。这些事实表明在臭虫与共生菌的共生体系中，臭虫摄入了原本在食物中或水里自由生活的细菌，由此进化出了密切的共生关系。

这种共生菌存在于“体外”，与线粒体和叶绿体都不相同。当子代出生时，消化道内没有细菌，所以亲代需要把共生的细菌也分给子代。以树木为食的白蚁或以植物为食的动物在孕育子代后，孩子会吃亲代的粪便，人们认为这种行为就是子代在摄取亲代的共生菌。

◆尖尾蚁属与球胸粉蚧



密切的共生关系在细菌以外的生物之间也很常见。例如，尖尾蚁属与附着在植物根部的球胸粉蚧具有强烈的共生关系，尖尾蚁属只吃球胸粉蚧分泌的液体。羽蚁从巢穴中飞出去的时候，嘴里会叼一只球胸粉蚧，在形成新的集群时，将球胸粉蚧移到新巢穴的植物上。没有球胸粉蚧，羽蚁就难以存活，所以一定会带着走，也因此球胸粉蚧在日语中又叫“蚁宝介壳虫”。

共生关系紧密的生物们相互依存、缺一不可。因此，共生菌也在间接地遗传，也可以将宿主与共生菌视为“由双方构成的一个进化实体”。

人们至今都认为共生也是两个不同的生物分别在进化，几乎没人视为一个进化实体。不过，“由双方构成的一个进化实体”这一解释如果能够更好地说明现象，应该也可以作为必要的视角，来说明生物的进化吧。

事实上，人类消化食物需要依赖肠内的共生细菌，故人也是维持共生关系的生物之一。总而言之，共生现象在各种类群中都非常普遍。以“共生”为名义的不连续性状的获取在进化史上是稀松平常的事情，除了“点突变”、病毒“溶源化”、“转座子”等大规模的改变以外，“共生”也是引起适应性进化的强有力的变异来源。

生物通过获得不连续性状“进化”的现象很多，甚至可能超乎我们想象。

至少现在可以得出的结论是，“达尔文认为进化是不间断连续发生的现象这一理论并不正确”。



自然选择万能论的观点代表人类停止了思考吗

那么，达尔文主义的另一大核心观点“自然选择”引起适应性进化又面临什么样的境遇呢？否定达尔文进化论的人用“进化的连续性并非一定成立”的事实强调“达尔文主义是错误的”。

可是在说明适应性进化时，“自然选择原理”才是重要的理论依据，即既有的变异之中适应环境的部分会被筛选下来且频率增高。进化的连续性只是达尔文本人坚持的观点，达尔文主义的本质还是“自然选择”。“自然选择是否会催生出适应性？”答案是“YES”。

回过头看刚才介绍的几个案例，也不难发现自然选择在适应性产生的过程中起着巨大作用。坚信“所有的进化现象都是自然选择的结果”的人越来越多。而这种主张就是“自然选择万能论”。

“自然选择万能论”认为所有生物的性状都是自然选择带来的适应性结果，除此以外没有任何东西能引起进化。尽管这种观点非常狭隘，但科学的世界中，一个原理如果可以说明很多事实，就会公认它是一个优质的原理。自然选择原理可以解释一般的适应现象，所以许多人希望自然选择能够成为唯一的进化原理。

无论如何，“自然选择万能论”俘获了一部分进化学家，从“停止思考”的角度讲确实非常有魅力。

之所以这么说，是因为一切都可以归结为自然选择的旨意，不用做任何思考。

这种态度仿佛似曾相识。

没错，拥护“神创论”的人们认为“一切都是神的旨意”，“自然选择万能论”与“神创论”的本质是一样的。这种态度之前在逻辑上并没能行得通，完全称不上科学性。一时之间，“自然选择万能论”的各种研究很难被各界认可。

正如主张“日心说”的伽利略惨遭宗教制裁一样，即使现代科学也会出现学说受到歪曲的情况，如今依然存在很多这样的例子。我熟识的一个朋友提出一种全新的进化理论，将论文投稿到杂志后，审稿人给出了“该理论未得到广泛认可，所以无法采用”的评语，最终论文没有被采纳。

如果像审稿人评论那样，新的理论永远不可能得到公认。科学领域非常保守，很难接受新理论，这也是无可奈何的事情。达尔文“进化论”起初也受到了强烈的阻挠，科学界的保守性可见一斑。

科学领域推崇独创性，但是富有独创性的研究又很难看到论文的增量，这也是科学界面临的一个困境。

要想成为专业的学者，需要积累一定的业绩。在任何人都认可的现存理论的延长线上进行研究，可以提高论文的产出效率，更易于做出大量成绩。因此，对于挑战新领域的人来说，很难产出耀眼的研究成果。于是，无形之中就产生了一种矛盾。

不过在自然选择万能论蔓延的情形下，一位科学家站了出来，宣布有与自然选择进化完全不同的进化方式，经过勇敢的抵抗与战斗，他的进化理论获得了世人的认可。

无关利弊的遗传基因进化——中性学说的出现

“自然选择”的原理是“既有的遗传变异中，对环境有利的变异增加，不利的变异被替换，以此推进适应性的进程”。

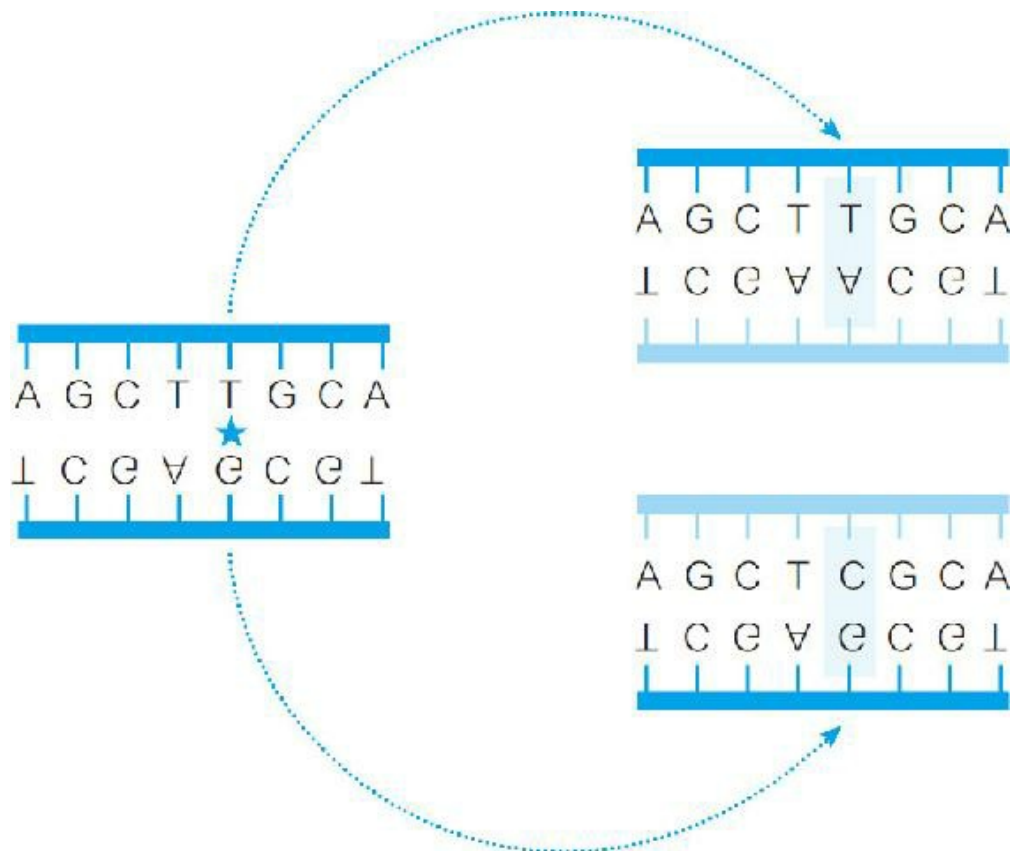
但是，所有的遗传性变异与既有的性状相比，一定都是有利或者不利的吗？

我们拿“点突变”为例。

“点突变”是指DNA的一个碱基替换为其他碱基的变异。氨基酸序列承载着DNA的遗传信息，三个碱基的排列指定一种氨基酸。

这就是所谓的“密码子”。DNA序列中的碱基分为腺嘌呤（A）、胸腺嘧啶（T）、鸟嘌呤（G）、胞嘧啶（C）四种。所以三个碱基序列的种类共有 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 种。蛋白质所用到的氨基酸一共有20种，因此还有44种碱基序列是多余的。

◆点突变的原理



这又是什么原理呢？

实际上，这些碱基序列中包含“第三个碱基（4种中）无论是什么，氨基酸种类都不变”“第三个碱基无论是A、G还是C、T，氨基酸种类都不变”的情况，而且64种序列里还有指定氨基酸终止转录的“终止密码子”，这些指定的都是特定的氨基酸或者终止密码子。

也就是说，有些碱基序列指定的氨基酸是相同的，即使碱基之间发生置换，指定的氨基酸也可能不会变化。氨基酸有变化的置换现象称为“非同义突变”，氨基酸不变的置换现象称为“同义突变”。

从利弊的角度来讲，性状并不是通过碱基序列来显现的，而是以指定氨基酸序列（蛋白质）的表现型来体现的。那么，不会引起氨基酸置换的“点突变”对表现型是没有影响的，与我们认知的类型相比，对生物

的进化“既没有利也没有弊”。

自然选择的作用“只针对和既有的东西相比有利或者不利的性状（表现型）”。那么，上述无关利弊的性状进化究竟是遵循了什么原理呢？日本的遗传学家木村资生博士对此给出了答案。

二倍体生物（即有两个染色体组的生物）在产生配子（精子或卵子）的时候，两个染色体组发生分裂，其中一组进入配子中（减数分裂），然后通过受精重新结合为有两个染色体组的二倍体。

例如含有“Aa”的这两个等位基因的个体通过减数分裂形成配子。假设只形成一个配子的话，产生A的概率是0.5，产生a的概率也是0.5。

这样的亲代孕育出一个子代，孩子的基因型就是AA：Aa：aa=1：2：1=0.25：0.5：0.25。由于父母的基因型都是“Aa”，父母那一代遗传基因的频率是A：a=0.5：0.5，但子代出现AA或者aa基因型的概率都是1/4，有可能A或者a会消失。

相信你已经明白了。

每一代之间的遗传基因频率都会产生变动，这就是了不起的进化原理。亲代形成配子时，选择哪对等位基因，是由概率决定的。被挑选的等位基因有时会出现“偏离”，使得下一代的遗传基因频率发生变化。

这种学说与“自然选择原理”毫无关联，是一种让下一代基因频率发生变化的概率事件。木村博士把这种全新的进化机制命名为“遗传漂移”，公布于世。

此外，“进化是由遗传漂移引起的”理论称为“中性学说”，该学说认为进化是一个无关利弊的过程。

但是，“自然选择万能论”已经称霸了整个进化学说领域，所以“中性学说”一开始完全没有被接受。由于“中性学说”从原理上来讲是行得通的，因此最终还是以论文的形式发表了出来。然而，那些信奉“自然选择万能论”的人完全没有想到，“遗传漂移”学说在进化中发挥着巨大的作用。

“中性学说”遭到很多“自然选择万能论”的人抨击，他们曾经认为这种学说对实际的进化没有任何作用。

但是，木村博士却没有随波逐流。

与他共同研究的科学家们收集了很多有关蛋白质酶多态性遗传基因频率变动的数据，数据表明基因频率的变化与“遗传漂移”预测的结果非常一致。

在科学领域中，只要明确事实与理论不矛盾，接下来就要靠“理论是否有据可循”来定胜负。科学家们不断收集证据，逐渐发现曾经受到激烈攻击的“遗传漂移学说”是成立的，久而久之，这种学说就被科学界接纳了。

如今，至少对于没有明确利弊的性状（如DNA或氨基酸序列等）来说，人们普遍认为“中性学说是成立的”。

姑且不论自然选择中的中性性状，对于与功能（如形态等）直接相关的性状进化，中性学说就没能被认可。因为具备功能就意味着有利、

不利都很容易显现出来。

要想证明某些性状在按照“中性学说”进化，很多科学家提出必须证明这些性状是无关利弊的。

我曾经写了一篇论文，比较了特殊功能未被认可的表现性状和有一定功能的性状的进化，证明前者应该经过了中性进化。但是却因“有自然选择可以解释的其他可能性，故无法认可论文结果”的理由被驳回，没能发表。

可是，这种反驳本身是有问题的。

之所以这么说，是因为科学领域中如果要证明某个“有”为“真”，就需要找到证据，但科学并不能证明某个“没有”为“真”。对于“符合中性学说的预测”这一有据可循的观点，只答复一句“可能有其他可能性”，完全就是站不住脚的不当反驳。

打比方来说，相当于针对“相对论预测了水星近日点的移动”，反驳其没有将未知理论的可能性考虑在内一样。

我们观察到的事实并没有把“中性学说”排除在外，窃以为先采用这种学说才是正确的做法。不过，或许人们并不认可“非自然选择学说的原理来解释性状表现的进化”。

“自然选择万能论”仍然在进化学者们的心中占据着重要的地位。

性状无关利弊的时候，“自然选择”的作用就会变成零，生物的进化可以说只是遗传漂移的结果。从这种意义来看，遗传漂移学说也可以说是驱动进化的原理之一。

“遗传漂移”主张基因频率的增减都是概率现象，进化的方向很难预测。“遗传漂移”与“自然选择”这两种原理在较量的同时，也以同样的步调决定着性状的进化方向。

进化会跟这两种原理挂钩。

理论尽管如此，但钟爱“最节约理论”的人类无法将两种理论区分开来，怎奈现代科学就掌握在人类的手里。

进化原理与“还原主义”

科学界把能解释很多事实的理论归结为“一般性较高”的理论。

例如，爱因斯坦的“相对论”虽然被看成是与牛顿力学相对立的学说，但现在我们处于地球这个特殊环境中，构成“相对论”的一部分要素完全可以忽略，因此，我们确定牛顿力学是成立的（适用于地球上的物理法则）。

也就是说，在地球上，“牛顿力学可以理解为相对论的特殊情况”。

此时，适用于各种情况的“相对论”就是科学上更优质的假说。由此可见，假说之间可以是包含关系，当一种假说是“上位假说”时，就意味着这种假说更有普遍性和科学性。但是，为了简化计算，在“使用下位假说也没问题的情形”下，也允许用下位假说来解释某些现象。

总而言之，“为了描述地球上的物理现象，使用牛顿力学也无大碍”。

可是这种想法换到“遗传漂移”和“自然选择”的进化理论中，就不适用了。这两种假说并不是“包含和被包含的关系”，而是相互独立地引起不同世代间基因频率产生变化。自然选择不是遗传漂移的特殊情况，相反也是一样。这两种原理的作用各不相同，且相互独立。

两种原理都能独立地引起基因频率的变化（即进化）。因此，假如要追问“哪种假说更有利”，理论上也不会有定论。

尽管如此，自然选择万能论者还是主张“自然选择是进化的主要原

因”，而中性学说的拥护者则坚持认为“自然选择几乎没有为进化做贡献，遗传漂移基本上决定了所有的进化”。

既然理论层面无法达成一致，那就只能在众多的进化现象中调查有几成是自然选择，又有几成是遗传漂移，来考察实际进化时哪种原理占比更高。

但是即便有了考察结果，也不代表确定了两种假说的优劣。即使主张一种是主要原因，另一种也不会被否定。

“自然选择万能论”是单方面愿望的体现，同样，争论“自然选择与遗传漂移之中哪个是进化的主要原因”也没有太大的意义。

弄清楚“每种原理是如何为生物进化做贡献的”才有科学意义。可是，之所以会出现主导权的斗争，完全是科学传统和人类行为所致。

“科学”起源于信仰基督教的欧洲社会。据说，最早创造科学的动机是为了彰显神的伟大，显示神创造的这个世界如何在神的意志下变得完美。

众所周知，基督教中的神是唯一的。如果是神的意志创造了世界，那么创造的原理应该只有一种，人们相信追寻这个原理具有重大的意义。

当然，随着时代的进步，科学最终与神分道扬镳，但是人们仍然秉持一种信念：“应该有能够说明一切的唯一原理。”经常听到学理科的人使用“美”这个词，这个词往往用于形容简单理论能完美解释现象的情况。

此外，现代科学讲究“还原主义”，推崇“尽可能用一种单纯要素的举动来系统性地说明事物”。这确实能称得上“美”，可是世界并非都按照“美”的方式在运转，反而会有一些需要用多个原理相互作用加以说明的现象（进化就是其中之一），这些现象用单一原理的还原主义根本无法解释。进化现象并不“美”。

科学立足于还原主义，不擅长处理类似的现象。这或许就是现代科学的界限。

无论如何，科学诞生于基督教社会的“一神教”文化，讨厌“应对多种原理成立的复杂现象”，可以说科学背后隐藏着“想要将一切现象统一为单纯的还原主义”的欲望。

换句话说，人类从一元化（还原）的角度将进化解释为“基因频率的变化”。这种思想（还原主义）支配着进化。

就进化而言，其现状是这两种完全不同的原理——自然选择与遗传漂移在拔河，它们都可以引起各个世代基因频率的变化。

无论如何，这就是现代“进化论”的面貌。

那么，未来的“进化论”又会变成什么模样呢？

接下来就让我们通过几个具体的事例，通过揭示“人类如何说明生物所表现的现象”，来思考一下“进化论”的未来。

P a r t 3

进化论的未来

D a w k i n s
H a m i l t o n

进化的层次：基因、个体、种群

上一章我们介绍了“该如何理解现在的进化”。

归结起来，大概有以下几点。

1. 含有DNA遗传信息的碱基序列发生变化，使生物种群产生遗传变异。
2. 上述变异在自然选择和遗传漂移二者中的一方或双方的作用下，改变下一代的基因频率。
3. 在自然选择或（及）遗传漂移作用下，基因固定下来，种群内更迭出新的性状。

从“生物种群的形成”来看，进化——尤其是自然选择作用的对象可以分成几个阶段性重复的层次。

首先，基因层面。我们已经介绍过，基因是DNA的碱基序列，能够指定特定的氨基酸序列并形成蛋白质。蛋白质作为酶等物质创造出生物性状。

这就意味着，“一个基因负责生物某种特定的功能”。自然选择只作用于具备功能的东西，因此基因属于自然选择的对象。

当然，表面来看选择的对象是生物的表现型。但决定基因表现型的基因数量会发生变化，因而也可以说基因受到了自然选择。

令人意外的是，“基因才是进化的本质”这一论点起源于近几年。

第一个提出该论点的人是著名的英国进化生物学家理查德·道金斯（Richard Dawkins）。1976年，道金斯针对社会公认的常识——“个体是进化的单位”一说，写了《自私的基因》一书，正面提出了异议。

基于自然选择表现型的结果，子代的个体或存活或死亡，但是自然选择的性状是由基因决定的。道金斯主张：如果要论最终什么东西的增减可以来记录进化，那么“进化的本质除了基因之外别无他物”。

道金斯的态度非常强硬，他认为将个体或种群作为自然选择单位的想法在对进化的理解上毫无作用，他一个劲儿地强调只有还原到基因层面才是正确的道路。他的言论引来了无数激烈的争论，但绕开道金斯的观点，有一些现象便无法解释，因此道金斯的想法逐渐得到普及，成了一般化的原理。

例如，工蚁和工蜂不生育后代，达尔文在《物种起源》中将它们列为“可能无法用进化论说明的案例”，在很长的一段时期里，工蚁和工蜂堪称是进化的“问题儿童”。

但是，几乎所有种类的蚁后和工蚁都是亲子关系。从基因角度来看，工蚁不繁殖只工作的性质与蚁后繁殖具有同样高的概率。掌控“不工作”性状的基因会通过蚁后传给下一代，所以其实以基因为基础的达尔文主义是可以解释清楚的。

这一结论是英国进化生物学家威廉·唐纳·汉弥尔顿（William Donald Hamilton）发现的，不过道金斯在《自私的基因》中举出了很多类似的例子，并强调说明了从基因层面了解进化的话，能够更好地解释与理解进化现象。

于是，进化的单位中加入了“基因”这一层次。

性状通常指的是基因表现出来的表现型。“某种生物能够保留下来多少后代”取决于它跑得有多快、能否高效率地捕食等“个体”的性状。

因此，尽管最终决定性状的是基因数量的变化，但实际上接受选择的是“个体”。所以，将“个体”作为进化单位的想法逐渐被广泛接受。个体作为基因表现出来的性状的集合体，承担着各种各样的功能。

在此顺便思考一下进化的单位需要具备哪些性质。没有人会觉得个体的一部分——如“右腕”等部位是自然选择的结果吧？但是，如果说自然选择作用于“决定右腕性状的基因”的话，就不会有任何违和的感觉。当然，“个体”被选择也是非常自然的说法。

那么，其中的差异从何而来？不难发现，我们认同的“进化的东西”是可以发挥特定功能的“一个整体”。

道金斯是一个极端的基因还原主义者，他没有说每个特定的基因座（基因在染色体上所占的位置）是进化的单位。基因座逐个变化的时候，指定基因整体的蛋白质功能会发生变化。也就是说，变化是基因负责的“功能”。不符合这个“整体的概念”，就称不上是“进化”。

这一理论虽然仅仅是概念性的描述，却起着意想不到的重要作用。由于个体是体现功能的实体，所以我们认为个体是进化的单位。在道金斯提出“以基因为基础的进化论”之前，人们理所当然地接受了“个体基础的进化论”。

进化的单位就是承担功能的实体。这就是人类对“什么东西在进化”这一疑问的回答。

但这究竟是人类在进化过程中掌握的适应性，还是任何智能体都有

同样的认知，我们尚不了解。在漫长的历史长河中，人类成功地从侵袭的生物手中逃脱并存活下来，或许当时以承担功能的实体为单位来认识人类更加利于生存。

这些有趣的故事至今仍无答案，就先浅尝辄止吧。也许只有当我们人类遇到独立进化的智能体时，才能知道我们的理解是否具有普遍适用性。

言归正传，以个体为单位的进化理论实际上起源于达尔文。曾经人们认为进化的单位是“种”。达尔文提出了“种群”是作为个体选择的结果产生的，“种群”本身不会进化。

达尔文在《物种起源》中对“进化”进行了论证，他并没有写到“种群”进化或者“种族”是什么。达尔文严格对抗当时主张“物种”存在性的分类学者，并就“种群是什么”进行了激烈的争论。

那么，“种群”是否能成为进化的单位？我不以为然。

例如，日本到处都有黑褐蚁，移动能力并不是很大。因此，日本九州的黑褐蚁和北海道的黑褐蚁生活互不相干。

进化的实体需要是“可承担功能的实体”。然而，“种群”并没有特定的功能，也无法与其他物体相互作用。因此，种群不能成为进化的实体。按照达尔文的观点，曾经通过个体选择形成的“种群”不过是通过扩大分布显示出来的如同残像一样的东西。

那么是否在任何情况下，超越个体的种群都无法成为进化的实体（自然选择的单位）？答案必须是“NO”。例如，蚂蚁之间存在大型的“工人”——兵蚁。兵蚁是一种可以高效率胜任普通工蚁无法完成的工

作（如咬碎大型食物等）的特殊个体。

为了使种群整体（集群）达到最高的工作效率，应当有最合适的兵蚁比例。事实上，人们也发现有些种群确实呈现出了最合适的比例。

“兵蚁的比例”这一性状并不是个体层面的，而是种群形成后才会表现出来，即属于种群层面的表现型。出现“最合适的兵蚁比例”可以理解为先自然选择作用于种群，为了改良种群的功能所产生的进化结果。

蚂蚁和蜜蜂的种群都是与其他种群相竞争的功能性实体。“兵蚁比例”是其功能的表现型。可见，说起具有功能性的实体时，种群也可以成为自然选择的单位。至此，我们列举了基因、个体、种群三个层次上的自然选择单位。

正如先前解释过的，选择作用的实体（基因、个体等承担功能的实体）是指“发挥功能的整体”。因此，可能不只有三种，或许仍然有我们想不到的实体存在。

此外，这些单位是按照层次分配的，每个层次之间应该也会有相互作用。例如，基因变化会引起个体变化，个体变化会导致种群结构产生变化。同样，上位阶层接受自然选择之后，下位阶层结构也会随之变化。

未来的“进化学”有必要将这些复杂性考虑在内，更加全面地理解“自然”。

什么叫作“能说明”

达尔文提倡“自然选择学说”，孟德尔发现了“遗传规律”和“突变现象”。然后，“综合进化论”出现了，认为DNA上基因的变化在“自然选择”的作用下产生了适应性。此后，人类通过“遗传漂移”等学说，普遍认识到进化可以用基因频率的变动来描述、解析。

基于以上认知，一门新的学问——“种群遗传学”诞生了，“种群遗传学”探讨的是“种群中基因频率如何变化”。复杂的进化势力关系确实可以用基因频率的变动这一唯一的尺度来理解，很便于形成学问。现代进化学中普遍认为“进化就是基因频率的变化”，这也离不开道金斯的功劳。

但是，从理解生物表现出来的生态现象的立场来看，把进化还原成“基因频率的变化”仍然有一些无法解释的问题。

我的专业之一就是研究蜜蜂和蚂蚁等社会型生物的行为特征。目前，研究存在一个很大的争议。

蜜蜂和蚂蚁中，只有蜂后和蚁后可以生育后代，工蜂和工蚁不产子，它们的主要职责是工作。

科学界将这种现象做了如下解释：工蜂、工蚁与蜂后、蚁后有血缘关系，工蜂和工蚁不产后代协助蜂后、蚁后的行为特征由基因控制，而这个基因是经由蜂后和蚁后传递给后代的。

工蜂、工蚁与蜂后、蚁后分工协作，“通过蜂后、蚁后遗传给下一代的工蜂、工蚁的基因数量”充分补充了自身不生育所减少的基因量

（比起单独进化，形成社会更加有利），种群由此不断进化。

这个观点称为“血缘选择”。

威廉·唐纳·汉弥尔顿最先提出了“血缘选择”，为了使其定式化，他认为在描述个体贡献给其他亲属的基因传递量（即“适合度”）时，需要在自身保留的基因数量的基础上，再加上来自所帮助的亲属的基因数量。

考虑自身协助对方的适合度称作“包括适合度”。要想知道通过帮助亲属得到的适合度（间接适合度）的值，则需用亲属保留的基因数量除以亲属血缘的亲近程度。

这个数值叫作“亲缘系数（ r ）”，如果对方是自己的克隆体，则 $r = 1$ 。

如对方是自己的“父母”，其体内增加的基因数量均对子代有益，则 $r = 0.5$ ，其中有一半是对自己有利的基因。

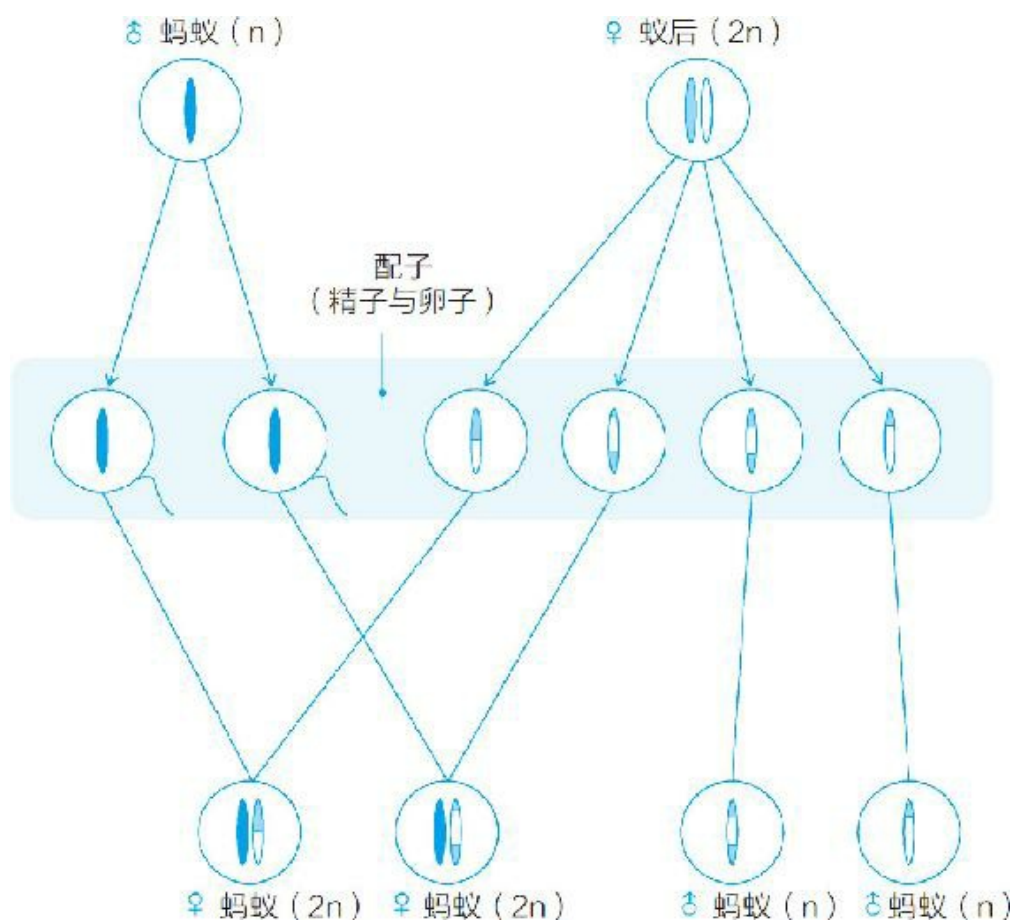
现代的进化学说给基因规定了适合度，通过比较某种基因与引起其他性状的基因之间，哪种具有更高的适合度，预测出适合度高的一方会进化。

所以，在思考“血缘选择”的时候，把自身无法孕育后代的社会性进化放到自然选择的架构当中就很容易理解。可以说，道金斯提倡的以基因为基础的想法占取了先机。

不过，科学家们最近发现即使不考虑工蜂、工蚁与蜂后、蚁后之间复杂的相互作用，通过比较种群亲代与子代的社会性基因频率，就能判断出进化的方向。

因此，许多人也在讨论“如此复杂的处理方式是否其实是无用功”。简单解释下议论的内容，就是在考虑进化问题的时候，直接描述基因频率即可，没必要考虑复杂的相互作用和各自的势力关系。

◆ 血缘选择



单倍二倍体的有性繁殖生物当中，只含有一对染色体组的是单倍体的卵（未受精卵），为雄性，含有二倍体卵（受精卵）的是雌性。而且，父亲的染色体组全部传递给后代。如子代是雌性的话，来自父

亲的一半染色体组是共同的，剩下一半的 $1/2$ 是共同的，相当于共有 $3/4$ 的染色体组是相同的。雌性孕育雌性后代时，传给后代的染色体组是 $1/2$ ，因此对雌蚁来说，比起自己生育雌性后代，倒不如培养一个妹妹的基因遗传率高。

与之相反的意见认为，血缘选择才是理解现象所必需的原理。

关于这两种见解，已经展开了很多年激烈的讨论，仅这方面的论文可能已经超过30篇了。

之所以产生如此激烈的对立，是因为针对摆出什么样的论据就“能说明”问题这一点，大家持有不同的看法。

“基因描述派”认为从基因层面出发，只要明确进化的方向，就能了解进化学需要知道的一切，至于如何产生变化并不是很重要。

而坚持“血缘选择”的人会无意识地从个体角度出发思考问题，认为需要通过了解个体之间如何相互作用以及某个基因的行为会在什么样的势力关系作用下产生变化，才能说明进化的原理。

这两种见解作为理论来说都无法否定。所以，我们需要判断哪种见解能更好地理解生物。

我更倾向于后者。不同世代之间的基因频率变化确实可以描述进化的方向和进化量。如我们所见，仅已知的引发基因频率变化的机制就有自然选择和遗传漂流两种。

但是不管怎样观察基因频率的变化，也无法了解变化是如何产生的。科学的职责就是理解、说明表现出来的现象，从这个角度而言，“没必要研究变化为何产生”的态度本身就是对科学的否定。

我们前面提到过自然选择的单位，基因并非直接接受选择，而是通过携有基因所表达出来的性状的个体增减，引起基因频率的变化。

这样的话，明确如下解释或许更能加深人们对生物进化现象的理解：在个体层面的力量作用之下，带有某种性状的个体数量会发生增减，进而引起基因频率发生变化。

自然对生物的选择方式多种多样，仅用一种原理着实难以说明。站在“还原主义”的立场上，一个原理能说明更多的现象至关重要，将大量进化过程中的同类项——基因频率的变化提取出来就“能说明”进化现象。这种出发点也不难理解。

但是，生态学和进化学的一个重要作用就是科学性地说明世界上不同生物令人震惊的多样性。避开根本的课题，一味追求过度简单化，是否会影响研究的成果？

哲学性的讨论就此打住，接下来我将介绍一些可能改变“进化论”未来的具体案例。

建立在“综合进化论”之上、以基因为基础的现代“进化论”或许不再适用，或者通过发现、观察超出现在认知的各种生物现象，我们可以窥探到“进化论”未来的面貌。



解释生物惊人的多样性
是进化学的重要任务。



为什么湖中的浮游生物能够维持多样性

达尔文的自然选择学说可以归纳为：两种不同的遗传变异体相互竞争，较量哪一方的后代更容易存活，能力突出的一方保留下来，能力逊色的一方则会走向灭亡。

竞争存在于各种各样的性状中，如跑得快慢、力量的强弱、耐饥能力的强弱等，最终还原到“孩子能存活多少”来评判竞争的结果。达尔文的这一观点被称作“竞争排除原理”，是“自然选择学说”的大原则。

在狭小的空间里，变异体之间存在相互作用，这种看法非常正确。在以草履虫为对象进行的实验中，把草履虫和捕食者放入水槽后，尽管草履虫的数量一时之间会增长，但不久后就会被以草履虫为食并增殖的捕食者吃掉，导致数量减少，最终走向灭绝。

这是研究“竞争排除原理”非常经典的一个实验，草履虫灭绝以后，捕食者由于缺乏食物，不久后也会灭绝。然而，单纯的“竞争排除原理”没办法说明大量生物共存的自然现象。

为什么大自然中可以有大量的生物共存呢？

在草履虫和捕食者的体系中，还有另外一个实验。在水槽中放入一个藏身的障碍物，会发现原本应该灭绝的草履虫可以存活下来。捕食者也不会灭绝，两者可以达到共存状态。

有了藏身之处后，捕食者“发现草履虫的效率”就会降低，所以出现了一批存活时间较长的草履虫。于是，双方都可以永不灭亡地共存下去。自然环境非常复杂，为了不让被捕食者灭绝，自然界有避免高效捕

食发生的特殊构造。

电视节目等都介绍过，即使百兽之王——狮子也时常有狩猎失败的时候。科学家将其解释为“环境的复杂性”缓和了竞争关系⁽¹⁾，使得两者得以共存。这种情况下，两者之间虽然“存在”竞争，但并不至于达到“竞争排除”那么强的效果。

那么，当更多种类簇拥在一起时，也会按照同样的原理维持多样性吗？最近，科学家们围绕这个观点提出了很多有趣的假说。湖中有很多种浮游生物，针对“为什么浮游生物能够维持多样性”，科学家展开了一项研究。

湖可以看成一个封锁空间，设想不同物种之间存在竞争关系。如果是“捕食——被捕食”的关系，那么环境的复杂性很可能会削弱竞争。不过，竞争有各种各样的形式。因为会统一进行分析，所以生物之间只要存在相互作用，就会按照竞争能力的强弱体现到后代存活数量的增减上。

这个研究有趣的地方在于“浮游生物的移动能力并不是无限的”。这个实验有一个假设前提，即湖中的生物并不是自由地互相作用，各种浮游生物个体可以与附近的个体发生相互作用，但是不能与湖另一侧的个体相遇。

这是一个很现实的假设。湖对于人类来说可能算不上很大的空间，但是对于微小的浮游生物而言绝对是巨大的空间。人类几乎也不会与住在地球另一侧的人相遇。浮游生物也是同样的道理。

那么，如果忽略空间的大小，任意挑选两个浮游生物个体使其模拟相互作用（距离无论远近都以同样的概率相遇）的实验，会发现“只有极少数的浮游生物可以共存”。

另一方面，换一种模拟实验模式，通过调整距离缩小两种浮游生物相遇的概率，会发现整个湖内的浮游生物中，有“非常多的种类可以共存”。

后者的情况可以理解为“随着距离变化，相遇的概率也会变化”，不相遇（不竞争）的种类会增多，虽然局部范围仍然会发生“竞争排除”的现象，但可以解释为“整体上很多种类都能够共存”。即使在发生“竞争排除”的情况下，整体上也能够维持多样性。

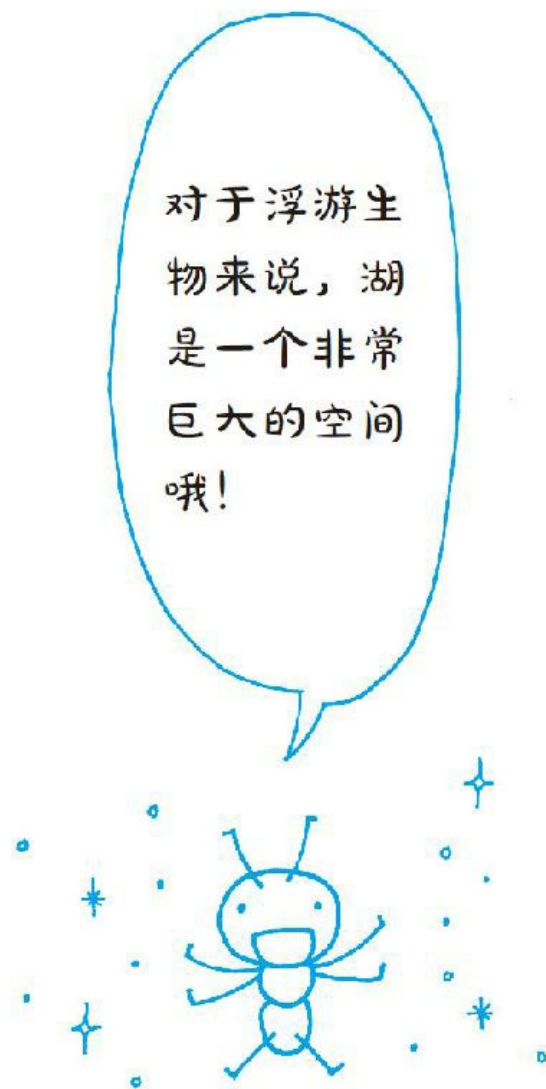
人类以人类的尺寸感来判断空间是广阔还是狭窄。

虽然人类觉得湖很“狭窄”，但对于其中的浮游生物来说，确是大到可以互相见不到面的“广阔”空间。对于和人类一样大型且移动能力很强的动物来说，大陆规模或地球规模的空间，也足够广阔且复杂。

这个研究提出了一个全新的视角：要想维持空间整体的多样性，问题并不在于“竞争的方式”，还需要考虑到“空间的规模会产生影响”。

这一观点与竞争还原的观点（即竞争永远存在，竞争导致了种群的多样性）完全不同，所以很可能也不容易被人们接受。

不过，作为一种已有的说明多样性的假说，这一观点至少理论上没有错误。尽管与至今为止决定性的观点不同，但仍然有探讨的价值。这一假说实际上是否成立，也是未来进化学的一个课题。



[\(1\)](#) 本章中采用一种宽泛的“竞争关系”概念，不仅包括同一生物的“遗传变异体”，还包括捕食者与被捕食者、寄生者与被寄生者之间的依赖关系。（编者注）

为什么不劳动的棱胸切叶蚁属没有灭亡

我们再来谈谈蚂蚁。

工蚁（除了蚁后）具有不产卵、为整个种群劳动的性状。本书中已经说明过不孕育下一代的性状的进化。

简而言之，工蚁一辈子只劳动不产卵，其母亲，也就是蚁后如果能生出很多孩子的话，工蚁就会将不生孩子只工作的遗传基因通过母亲传给下一代。

通常蚂蚁有蚁后和不能产子的工蚁，这里我们要介绍一种奇怪的蚂蚁——棱胸切叶蚁属。

这种蚂蚁没有蚁后。

那么，孩子是谁生下来的呢？

所有的工蚁都能孕育少量的下一代。也就是说，所有的工蚁既可以劳动也可以产卵。在棱胸切叶蚁属之中，人们发现了一个能看到大型工蚁的种群。

大型工蚁长着小型工蚁没有的单眼，很容易区分。但是，在很长的一段时间内人们都没能明白“大型工蚁究竟是什么”。最近二十年左右的研究终于弄清楚了这种蚂蚁神奇的系统。

大型工蚁比小型工蚁能产出更多的卵，是因为大型工蚁卵巢的数量很多。

小型工蚁会非常认真地完成照顾幼虫、收集食物等工作，大型工蚁

却什么都不做。它们只负责吃食物和产卵。

大型工蚁产的卵会孵化出大型工蚁，小型工蚁产的卵孵化的是小型工蚁，科学家推测这种差异是可遗传的。后来，研究发现这种推测是正确的。

从上述事实可见，棱胸切叶蚁属的大型工蚁利用小型工蚁的劳动，来抚养自己的孩子，可以把它们当作寄生者。这种寄生在种群内其他劳动力上的现象被称为“社会寄生”，常见于各种各样的蚂蚁身上，并不是多么稀奇的事情。

例如，佐村悍蚁会侵入有近亲关系的日本黑褐蚁的巢穴，强行夺取蛹或者幼虫。然后，羽化的黑褐蚁为了维持佐村悍蚁的种群不停地工作。佐村悍蚁中的工蚁为了更便于搬运蛹，下颚的形状发生了变化。佐村悍蚁不能做咬碎东西等一般的劳动，筑巢完全依赖黑褐蚁，自己什么都不做。

此外，有一些种群的蚁后在婚飞之后，会侵入不同种蚂蚁的巢穴，将其蚁后杀死，让对方的工蚁来养活自己的工蚁，或者还有一些蚁后不会杀害对方的蚁后，只让对方蚁后照顾自己的羽蚁。

但是，棱胸切叶蚁属有一个不可思议的地方。

棱胸切叶蚁属的寄生者完全不劳动，可以比小型工蚁产更多的卵。所以，在大型工蚁的种群里，大型工蚁的比例会逐渐攀高，最后只剩下大型个体。

由于存在单位时间内繁殖率不同的两种遗传类型，所以这种现象是

典型的“竞争排除”现象。但是大型工蚁的比例升高时，整个种群的生产能力会降低，因为大型工蚁并不工作。

最终种群难免会走向灭亡。寄生者如果不在种群之间移动的话，不仅遭到入侵的种群会灭绝，寄生者也会灭绝。有着寄生者身份的大型工蚁会在不同种群之间移动，像病原菌一样“感染”健全的种群。倘若感染力太强，那么所有种群都会在感染寄生者之后灭绝，寄生者的系统很难持久。

但是，有些地方几十年来经常能看到棱胸切叶蚁属的大型工蚁。其原因一直是个谜团。

不过，最近有了一个很有趣的发现。科学家们想出了在一个有大量种群存在的集团当中，寄生者在种群之间移动的模型，通过改变寄生者移动能力的模拟实验发现，当寄生者的移动能力在一定范围内的时候，种群之间就能实现共生。

感染力太低的时候，只有被感染的种群和寄生者会灭绝。

而感染力太高的话，所有的种群都受到感染，整个集团都会灭绝。只有处于特定的中间范围时，被感染的种群灭绝之后，健全的种群会进入这片空地，且进入的速度与寄生者感染蔓延的速度处于平衡状态，使共生成为可能。

这个实验里有两点非常重要，即“集团中存在多个种群”以及“寄生者只能移动到附近的种群中”。

类似的集团，专业术语称为“结构化”。这个概念是相对于“所有随

机在空间任意分布的个体都能以相同概率发生相互作用”的“无结构状态”，而取了“结构化”的名字。这种空间结构使得棱胸切叶蚁属长时期之内能够与普通类型的蚂蚁实现共存。

在此之前，“进化论”建立在个体相互作用的集团只有一个且“没有结构”的前提下。但是棱胸切叶蚁属的事例表明自然界发生的现象并没有那么简单。

正如前面提到的浮游生物的多样性，由于空间大小会对生物的移动能力等加以限制，所以有了“空间结构”。采用这个观点之后，以前用进化思想说明不了的现象才能解释得通。

现在的进化论绝对不是完成品。

今后应该也会发现“我们尚未意识到的原理在起作用”的例子。如果这样的例子一个都不存在的话，那恐怕进化学家们都要面临失业的窘境了吧.....

共存的势力关系：没有你我活不下去

“自然选择学说”认为“当多种生物处于竞争关系时，只有竞争能力最强的一个物种能够存活下来（适者生存或竞争排除原理）”。但是，纵观自然界，经常能看到同一地方分布着多种相似的生物。

这些“共存物种”为什么能够共存呢？

首先，通过调查待在同一个地方非常相似的物种，观察到它们利用的环境有非常微妙的差异，物种之间并不容易产生竞争。

曾经认为“种群是进化的单位”的今西锦司博士研究浮游生物发现了上述结果。从河岸到河流中心连续栖息着形态有微妙差别的浮游生物种群，一条河里面的浮游生物为了不引起竞争，会改变它们的利用场所。

今西博士把这种现象命名为“分栖共存生态”，他解释了物种为了生存在不竞争的条件下不断进化的原理。

但是，从“自然选择学说”的角度来看，当环境利用倾向很相似且竞争性强的两个物种相遇时，如果“有会遭到正面竞争性状的物种类型”和“有缓和竞争性状的物种类型”这两种生物，那么后者在竞争上的消耗会很小，相较于前者会有更高的适合度。

因此，可以将共生的现象解释为每个物种之中，为了缓和彼此之间的竞争，进化出了相应的性状。

也就是说，自然选择作用于个体的结果就是“分栖共存生态”的出现，环境利用趋势相同的种类会在“竞争排除”的作用下，使其中一种灭

绝。

那么，处于竞争关系的多个物种如果不发生“分栖共存生态”的话，是否一定会导致互相排除？

回想一下草履虫和捕食者的关系。

捕食者以捕食草履虫来完成增殖，所以两者可以说是竞争关系。苏联生态学家乔治·弗朗茨维奇·高斯（Georgii Frantsevitch Gause）实验发现，草履虫和捕食者在没有障碍物的地方一起生活的话，捕食者会吃光草履虫，最终自己也会走向灭亡。“竞争排除”的结果就是获胜的一方也无法长久存活。从这个实验当中，可以看出当没有竞争对手的时候，会出现自己也无法存活的后果。

捕食者之中有两种类型，一种是发现草履虫效率很高很快就会将其吃光的类型，还有一种是发现草履虫效率较低会让部分草履虫逃走类型。

如果捕食者只有后者，则草履虫不会灭亡，整个捕食系统都能存活下来，但是当只有前者时，整个系统很快就会不复存在。

由此，人们发现尽管短期发现食物效率（即繁殖率）高的物种适合度更高，但从“长期存续性”的角度来看，其实是很不利的。这和棱胸切叶蚁属里的大型工蚁与小型工蚁的关系非常类似。人们还未揭晓这种情况下生物如何进化的答案。

关于多物种共存性，最近出现了与“分栖共存生态”原理不同角度的报告。例如，有报告显示，多种青蛙栖息在同一个池塘中，栖息地物种

多样性高，某种青蛙被寄生虫感染的概率就越低。

青蛙的生态习性都很相似，所以不同种的青蛙是竞争的关系，但是只有竞争对手存在的时候，它们才能从寄生虫感染之中幸免。其原理可推测为“有其他青蛙时，寄生虫遇到特定种类的青蛙的概率降低，所以感染率也会下降”。

通过与其他种类的青蛙共存，寄生者的寄生（捕食）压力会“削弱”，也就是所谓的“弱化效果”。当然，为了获得“弱化效果”，其他种类的存在是必要条件。

因此，某种遗传类型赢得竞争脱颖而出后，就需要独自承受捕食行为，比起“允许一定程度的竞争者存在”的遗传类型，或许更加不利。

“自然选择学说”只考虑到世上只有“自身”“稍有不同的竞争者”两方存在的情况，把现状考虑的太过简单；实际上自然生态系统要复杂得多。

在捕食和被捕食关系极为普遍的大自然中，正因为需要其他生物存在，生物才会维持与多种生物共存的所谓“多样性”。这一点是理解进化现象的全新的重要观点。

而且就此也出现了“提高每个遗传类型的瞬间繁殖率，以保证在竞争中获胜的战略”最终并不会存活下来的观点。那样的物种类型与“短期繁殖率很低但长期存续性很高的类型”相竞争时，单一的条件下一定会获胜，但事实是世上并非只有这种生物能够存活下来。

因此，人类或许应该思考潜在的“某种原理”，即生物在所处的环境中不让自己出现短期繁殖率提高的进化，而是会让长期性、更容易存续

的类型生存下来。

其实，地球上至今出现的生物之中，有99.9%的“物种”已经灭绝。

也许，现在进化论的主流思想推崇“短期繁殖率”的选择压力，相比之下，或许生物避免灭绝、降低风险的行为是另外一种更巨大的选择压力作用使然。

弄清楚这一点应该才是新进化学的使命吧。

鲨虫的危机管理

对包括“综合进化论”在内的现代“自然选择学说”而言，“适合度”这个概念最为重要。

当存在两种遗传类型的时候，自然选择会增加对环境有利一方的基因频率，这是自然选择的根本。这里的“有利”究竟指什么？“有利”意味着更强的竞争能力，那么“强”又是什么概念呢？

比如要想从捕食者手中逃脱，跑得快就是竞争能力；要想在水中活动效率高，需要有完备的鳍等，竞争的形式多种多样。但是在思考适应性进化的时候，生物体性状的差异——如跑得快慢所产生的“适合度”就会不同，一般认为“适合度”高的一方更加有利。

“适合度”具体指什么概念呢？“适合度”就是生物传递给下一代时，支配性状的基因（即DNA）的复制数。

两种遗传类型中，适合度数值越高意味着基因频率的增加。

判断生物存在的性状对下一代传递时，考虑“基因传递复制数量（适合度）”如何变化即可，适合度高的就会进化。采用这种方法，可以将复杂的性状进化简单化、模式化。

需要注意这里提到的“适合度”代表“传递给下一代的基因复制数”。这就代表尽可能多地产子，传递更多基因数量对生物个体来说是有利的。

但有时事情并没有这么简单。

我们来看一下蜚蠊这种节肢动物的繁殖战略。

蜚蠊是在水中发育的生物，住在干燥的环境里，在偶尔降雨形成的水坑中形成、发育、产卵。干旱季节水干涸的时候，蜚蠊以卵的形式休眠，静静等候下次雨水的降临。

靠雨水形成的水坑是一个非常不安定的环境。降雨量极少的时候，水坑会很快干涸。此时，蜚蠊需要采取什么样的繁殖战略呢？

假设卵在下次降雨时会完全孵化。通常的卵生动物都是这样繁殖的，即产下的卵具备等到条件充足的时候一并孵化的流程。

但是，蜚蠊如果也采取所有卵一齐孵化的机制的话，降雨量少的时候，在孩子发育完成并产卵之前水坑很有可能干涸。这样，后代就会全部灭亡，亲代的适合度就会变成零。

但是，蜚蠊无法预知下次降雨时，是否会出现足够的水坑让它的孩子完全发育。

怎么办才好呢？

实际上，蜚蠊产的卵中，有一次性浸湿会孵化的卵，有浸湿两次、三次会孵化的卵，甚至还有多次浸湿后能孵化的卵，形式各种各样。

这样的话，即使第一次降雨孵化的后代全军覆没，只要第二次的降雨量足够，基因也可以成功传递到将来的世代。

几次当中，一定会有一次降雨量是足够的，因此亲代的基因型可以通过让孵化后代所需的浸湿次数不规则分布，来确保自己的基因可以传递给将来的世代。

这种战略很像轮盘赌博时，为了防止输得身无分文，会同时在红色与黑色两边下注（对冲）。因此，蜚鱼的繁殖战略也叫作“两头下注（bet-hedging）战略”。

当然，这种下注方法尽管一定会有收益，但是也会有一定的损失，因此很难出现可观的收益。

那么，蜚鱼的做法是不是也一样呢？

如果所有的卵都一次性浸湿孵化的话，假如子代可以一次性在下次产卵前发育，那么下一代就可以获得很多的基因，其子代也能为下一代留下更多的卵。在此基础上，采取一次性让卵孵化的战略适合度会更高，如果环境稳定适合子代正常产卵发育的话，这种假设是成立的。

以蜚鱼的做法，无论如何，每年孵化的子代数量都比一次性让所有卵孵化的数量要少。在能保证子代发育的安定环境下，一次性将卵孵化会更好。

蜚鱼的繁殖战略虽然短期内收益很少，但是由于难以预测什么时候会出现合适的环境，所以一次性将卵孵化出来风险太大。万一出现不适合的环境，那么传递到下一代的基因量就会变为零。

相信你明白其中的道理了吧。

这意味着蜚鱼在极其不安定的环境中，比起获得很高的适合度，选择了“长时间不灭绝的战略”。生物一旦灭绝就无法复活。

因此，比起在适合度很高而风险很大一边下注，“不灭绝”才是更加值得重视的问题。“适合度”的思维方式与普遍情况有所出入。

以往考虑适合度的时候，总是在意“如何让最近的世代大量增加”，相比之下，“如何保证不灭绝”层面的进化正在进行。

这种“危机管理”的观点受到了传统“进化论”的蔑视。传统“进化论”并没有考虑过会有这个观点所需要的环境条件。

但是，在其他生物身上也看到了与蜚蠊相同的战略。

例如，生长于干旱地带的植物也采取同样的生存方式。同一个体产生的种子中，“几次浸水后发芽？”的答案是不一样的。原因还是一样，如果一次性让所有种子发芽的话，倘若当年的气候不适合萌芽生长，那么就会酿成不可挽回的后果。“两头下注”所需的环境可能比我们想象的更多。与迄今基于“适合度”进化理解不同，未来的“进化论”可能需要不同的原理，即“宁可舍弃短时间内繁殖效率，也要优先保证长期的存续”。

适合度、时间以及未来的进化论

“适合度”这个概念在理解适应性进化上起到了很重要的作用，其定义让人们忽略了一个重要的因素。

那就是时间。

现在“进化论”用到的“适合度”定义为传递给下一代的基因复制数量。细想一下，就会发现这个概念试图定义的是个体携带的某种基因的适合度，无论如何，定义的都是一定时间后的状态。

“适合度”不统计生物个体在现在这个瞬间能留下多少后代，而是以产生子代之后的数量来定的。也就是说，不管哪种形式，如果抛开时间的话，就无法定义“适合度”。

换言之，“适合度”永远都是一个未来的数值。现在用到的适合度的定义中虽然没有包含时间的概念，却通过“下一代”这个限定模糊地体现了与时间的关系。

那么，通过限定比较“下一代”的适合度大小，测量遗传类型的增减的行为有什么意义？

下一代对某个个体来说，可以说是定义“适合度”最为接近的未来。基因不传递的话，就不会出现适合度。最短的未来就是下一代。

如果换一种表达方式，那么现在使用的“适合度”的定义对于某种遗传类型来说，记录的是距现在时间尽可能近的节点的“适合度”。

目前的进化论认为“适合度”的大小决定了进化的方向。比较现在瞬时的增长，可以设想增长率越大，未来世代的基因频率的增量越大。其实就相当于对现在这个时间点进行微分。

用微分一词来解释，可能很多人理解不了。其实很简单，连续变化函数中某一点的切线斜率就是微分系数，即“瞬间的增长率”。

微分的大小决定了将来哪一方可以占领种群，所以这个假设中隐含了一点，即从现在到遥远的未来，这个增长率都不会发生变化。在这个假设的前提下，才能比较“现在”的瞬间增长率，预测将来哪一方会优胜。

但是，现实中生物是否遵循这一假设的前提呢？考虑这个问题或许可以想一下先前举出的棱胸切叶蚁属的大型工蚁（寄生者）和小型工蚁的例子。

寄生者不工作，可以产很多卵。小型工蚁工作，且只能产少量的卵。两者生活在同一种群中时，在现在这个瞬间，瞬间繁殖率高的寄生者的适合度一定很高。按照适合度的原理来看，寄生者应该会占据优势，但是如果只有寄生者的话，整个种群就会因为没有劳动者而灭绝。因此，从遥远的将来哪一方能存活的角度来看，小型工蚁更有优势。

如果不以下一代作为适合度的测定时间，而是将适合度定义为更加遥远的未来适合度，再比较适合度的话，就会得出小型工蚁适合度更高的结论。

进化研究的是遥远的未来生物会如何变化的问题，但现在主流的“适合度”恰恰相反，只着眼于“现在”这个瞬间。而现实是，既有短期适合度较高但存续性较差的“不长久型”生物，也有短期适合度较低但能

够长期存续的“长久型”生物，我们需要充分考虑这两种类型的竞争。就现在而言，前者的适合度更高，但是从长远的角度来说，无疑是后者的适合度更高。

那么，生物之中究竟发生着什么样的现象呢？

不妨参考前面蜚虫的事例。短期适合度高的种类会在第二年一并将所有的卵孵化，只要舒适的环境能够持续几年，基因频率一定就能够急速增长。可实际上并不能保证环境永远舒适，所以没有蜚虫采用这种进化方式。

蜚虫的繁殖战略仅用下一代的适合度是无法解释的。因为一并孵化的话，下一代的适合度一定很高，可现实是长期适合度高的类型才能获胜。

那么，为何一齐孵化的类型难以获胜呢？

因为环境太不稳定。

由此可见，实际发生的进化并不是按照现在的瞬间适合度设想的进化模式，而是需要将环境的制约因素（如环境变化）也考虑在内，才能说明清楚。

在一定环境竞争中本应获胜的类型为什么会输呢？

这是因为进化的发生并非仅依赖生物性状，而是要权衡与环境相互作用的结果完成基因频率的增减。

现代标准的进化分析法采取比较瞬间适合度的方法，这种方法为进

化学的发展做出了很大的贡献。但是，如果实际进化的过程与该模式预测出来的结果相左时，就需要有能解释事实的更为完整的模式。然而，将来的模式是什么样子，现在无从得知。

考虑这方面的因素是对未来进化学者的一大要求，当然我也包括在内。

前面解释了现在采用微分的思维，我觉得未来的进化模型会将长期环境变动等引起的风险考虑在内，这种模型恐怕会涉及概率函数在内的积分知识吧。当然，我们还需要能更准确地表示适合度的新模型。

知识层面有点困难的论述到此为止，相信只有超越既有框架的思考才能创造出未来的“进化论”。

生活在时间中的生物们：现在做还是明天做

前面我们讨论过时间的话题，接下来再讨论一个与时间相关的生物故事。

假设现在有人提出要给你钱。

这个人给出的条件是：如果现在收下钱的话就给100元（日元，下同），但是明天收的话就给110元。

如果是你的话，会今天收还是明天收？

我觉得几乎所有的人都会选择今天拿走100元。

那么，再问那些选择今天收的人另外一个问题。

如果等到明天的话，给120元，是否会等？应该会有人同意等到明天。可见，人会将很快就能获得的低价值与通过等待才能获取到的高价值视为等价。也就是说，将来的价值在人的心目中大打折扣。这就是所谓的“时间折扣”。

这个故事原本出自经济学领域。

经济学家认为人会做出合理的决定，并试图解析人的经济行为，但结果并不是很顺利。于是，一种新的看法诞生了——“或许人类做的决定并不总是合理的”。“时间折扣”就是其中的一个例子。

某种东西（如金钱）的价值究竟是如何随着时间长短打折扣的呢？以人的行为为原型做了各种调查，发现虽然越是遥远的未来，折扣率会越大，但是即使等待的时间相同，折扣率也并不是一定的，会随着时间

的变化而变化。

例如，今天收钱会给100元，等到明天再收的话，就可以拿到110元，对这个问题选了今天收100元的人，对于“30天后给100元，31天后就能拿到110元”的选择题，也很可能选择多等一天。

尽管等待时间都是1天，但折扣率是不一样的。也就是说，“可以为价值攀升等待多久”的理性选择是会随着时间产生变化的。

一般来说，拿到报酬的时间点如果距离现在较近（以下简称“近未来”），折扣率就会较大（没有很高的溢价的话，就不花时间等待），时间点距离现在越远（即使溢价很少大家也会等待），报酬的折扣率就会越小。

此外，“时间折扣率”的下降与时间并不成比例（指数折扣），折扣率起初会随着时间急速下降，经过一定时间以后，下降趋势趋于缓和，表现为双曲线状。

双曲线的性质越强，人们就越发无法展开合理的判断。

以存款为例。存款是一种放弃今天用钱而改为将来再用钱的决定。如果可以按照预期收益存款的话固然好，但很多人的时间折扣都是“双曲线状”。近未来的折扣率很大，所以人们很容易对只能获得微薄利息的储蓄推迟行动。

即使这样，人们还是相信收获少量的利息并且推迟消费，可以在遥远的将来存下钱来。可实际上到了一定的时候，总会因为感到利息太少而放弃存款，把这笔钱花出去。

再举一个例子——减肥。即使计划“通过减肥过上健康的生活”，但

是因为近未来的折扣率较大，所以现在还是会吃掉蛋糕。

也许你会想明天再开始减肥吧，但等到明天，果然还是会优先当天，再一次吃了蛋糕。

可见，“时间折扣”是双曲线状的话，原本未来可以实现的计划，到预期时间而完成不了的可能性会很高。也就是说，即使立下存钱或减肥等“合理且有利的计划”，也没办法实现——容易出现不利的结果。

你对此是否也感同身受呢？

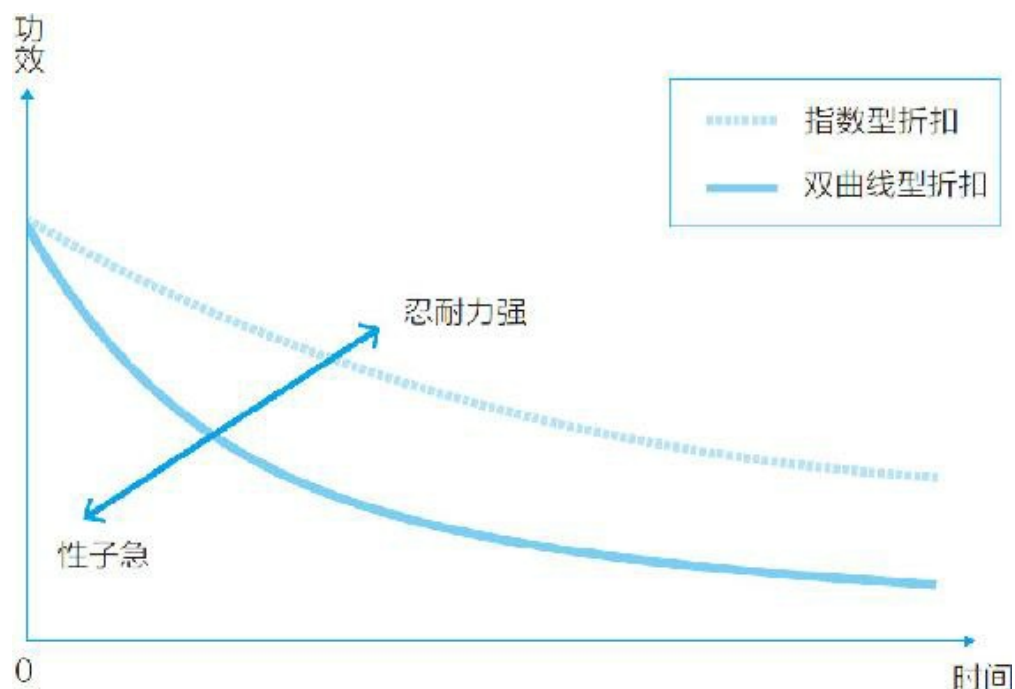
这种“时间折扣”的不合理性是否也适用于其他动物？

科学家们在猴子、老鼠、鸽子等动物身上进行了时间折扣相关的研究，不等待的话提供少量的食物，等待时间长的话提供更多食物，通过这样的设置让动物们学习。

结果，这些动物均有了“时间折扣”的概念，且折扣率和等待时间呈现双曲线状的关系。但是，类似的研究主要用于研究心理学的观点，并将所观察到的不合理性解释为“或许是来自于脊椎动物独具的高度发达的大脑的认知扭曲”。换言之，时间折扣这种看似不合理的行为，其实是因为具有高度发达的大脑才会出现的不可避免的错误。

那么，没有高度发育大脑的昆虫是不是也有“时间折扣”的概念？如果有的话，那“时间折扣”现象就不是认知扭曲等产生的，有可能是某种具有适应性意义的进化现象。

◆时间折扣呈现双曲线状



我们实验室用蟋蟀做了“时间折扣”的研究。蟋蟀也能学习，学习之后，“时间折扣成会学习的副产物”这一假说就无法否定了。为了避免出现这种尴尬局面，我们选取蟋蟀不用学习就能判断出价值高低的先天性性状来研究“时间折扣”。

这种性状就是雄性蟋蟀的叫声对雌性蟋蟀的吸引力。

雌性蟋蟀通过叫声来对雌性显示其交配价值。雄性蟋蟀可以发出“唧唧唧”的叫声，每秒钟能发出很多个“唧”脉冲（即节奏快）的雄性更受雌性青睐。于是，我们做实验的时候开辟了一条细长的路，将雌性蟋蟀放在正中间，让雄性蟋蟀置于两侧，分别发出节奏不同的声音，看雌性蟋蟀听到后会选择哪个声音。

当到两侧距离相同的时候，雌性蟋蟀确实会选择叫声节奏更快的雄性。但是，挪动雌性蟋蟀的位置，改变它到雄性蟋蟀的距离（接近品相较差的雄性蟋蟀），尽管能听到位于远处品相较好的雄性蟋蟀的叫声，

但它还是会选择近处品相较差的雄性蟋蟀。

雌性蟋蟀似乎在迅速能到手的品相差的雄性和需要花费时间去寻找的品相较好的雄性蟋蟀之间，表现出了价值折扣。这种价值的折扣率是否符合双曲线状，现在仍然在确认当中，总之，我们已经确认，不学习的无脊椎动物也有类似的时间折扣现象。

即时间折扣现象并不是学习的副产物，至少在蟋蟀身上可以解释为先天性获得的性状。那么，为什么生物会表现出一看便知不合理的双曲线状“时间折扣”模式呢？

到此为止，我们都在讨论获得报酬的时间不同，即使等待时间相同，折扣率也会不同，我们认为这种现象是不合理的。但是，所有的生物尽管现在仍然存活，却时常面临死亡的危险，下个瞬间存活的概率并非100%。这样的话，与现在的价值相比，未来的价值会大打折扣也不是什么稀奇的事。如果在等待期间不慎死亡的话，自己死掉不说，还没有孩子，因此不等待“容易死”（折扣率大）的未来，只在乎“不容易死”（折扣率小）的当下，反而才是进化的本质。

而且，对于一般的生物来说，幼年更容易死亡，而发育完全的个体不容易死亡。就年幼个体而言，近未来的折扣率较高，远未来的折扣率相对较低。年幼时很容易死掉，所以比起未来，现在的利益更为重要。但是如果能够存活到很遥远的未来的话，之后生存下来的概率会很高，所以对成熟生物体来说，如果未来利益很大的话，还是等一等更划算。

这样看来，像“时间折扣”一样看似不利的性状可能实际上是合理的。当然，蟋蟀的时间折扣到底是双曲线状，还是如前面所述，随着不同年龄死亡率的变化而产生，至今还不知道。另外，如果折扣率根据下

一个瞬间存活概率变化而变化的话，折扣率随着年龄或死亡难易程度的变化而变化也不足为怪。

事实上，雌性蟋蟀在年轻的时候，会严格选择雄性蟋蟀的叫声，但是随着年龄增加、剩余寿命减少，选择起来就没有那么慎重了。现在我们正在用蟋蟀和小型鱼来深入调查时间折扣。

对于生物来说，现在的价值与未来的价值并不是等同的。

这种时间效果在以往的“进化论”中并没有得到论证。但是，所有的生物都存在于时间的长河中，时间角度的论证是未来“进化论”不可忽视的一大重要因素。

性的谜团：损失是为了获益

人类分为男女。

《圣经》中记载，神用男人（亚当）的骨头创造了女人（夏娃），并让他们生活在名为伊甸园的乐园之中。然而，夏娃被蛇诱惑，偷食了神的禁果——智慧之果（苹果），而且也让亚当吃了禁果。人要是吃了“生命之果”后就可以得到永恒的生命，神因畏惧亚当和夏娃也会变成和自己同样的存在，因此将他们逐出了乐园。

对于人类来说，性的存在是人类苦乐的根源。如果没有性的话，包括恋爱的纠葛在内的很多人世间的烦恼将不复存在。

生物学将性定义为“繁殖后代时，吸收其他个体的部分基因并加以混合的行为”。几乎所有的生物都具有一定形式的性特征，但生物最初应该像细菌一样，只能分裂增殖，性从无性状态经过了二次进化后发展至今。大多生物都具有性特征，由此可以推断有性生殖生物比无性生殖生物有更多优点。

但是，“有性”从“适合度”的角度来看存在很大的劣势。例如，生孩子的都是雌性。如果把孩子全部替换为雌性，则孩子就能保留更多的后代。

有性生殖的生物必须生出雄性后代。如果子代中半数是中性的话，子二代出生的后代数量也会减半。可是无性生殖中，所有子代都能生育，完全不会产生这样的问题。

有性生殖的过程中，适合度会突然减半。这就是所谓的“有性生殖

的二倍代价”。无性生殖的种群里即使出现有性的变异体，依据“优胜劣汰”法则，只要有性生殖的优势不超过二倍（抵消劣势），就无法进化为有性生殖。

通过研究既能有性生殖又能无性生殖的几种生物，可以得到有性生殖的优点。尽管有性生殖在某些方面的优点得到了认可，但是数量仍然没有超过二倍。

因此，有性生殖为何进化至今仍是谜。然而，有性生殖到处都是，也暗示了这种生殖方式在进化中是有优势的。

那么，有性生殖的优势是什么呢？对带来的基因有什么好处？目前有几种假说，我们来看一下其中的一种：“由于环境变化，子孙保持遗传多样性有利于生物在各种各样的环境中存活下来。”

有性生殖在繁殖下一代的时候，会与其他个体的基因相混合。每个碱基的“点突变率”大约是千万分之一，因此有性生殖比起只能通过“点突变”获得遗传多样性的进化来说，可以将更大的遗传多样性传递给子代。

即便环境出现各种变化，只要子代的遗传多样性足够大，总有能存活下来的，物种的子孙不会灭绝。在解释有性生殖的进化时，变化的环境并不是指物理环境，病原菌等足以给宿主带来致命打击，此类生物环境的变化也需要考虑在内。许多病原菌只有在宿主具有某种遗传特征时才会感染，因此如果子代的遗传多样化的话，就不会出现所有子代都染病灭亡的情况。

物理环境变化导致生物环境发生变化时，理论上会考虑其他假说，但是其中的逻辑都大同小异，无非是子代遗传的多样化可以令所有子代

死亡的概率降低。

你是不是觉得这种观点似曾相识？没错，就是蜚蠊的例子。蜚蠊舍弃了提高短期繁殖率的方式，选择更为长期的、存续性更有保障的进化方式。其实，这种想法与前面的观点不谋而合。那么，有性生殖时，生物后代的灭绝率的降低是否会抵消有性生殖的二倍代价呢？很遗憾，这方面还没有可信的数据。

适合度的定义是“传递给下一代的基因量”，但即便拿亲代的存活率与下一代的相比，也不会测出太大的差距吧。不过，尽管每一代的灭绝率没有太大的差别，但一旦发生变化时，后代的灭绝率就会有大的差异，那么长期来看无性生殖生物灭绝的风险可能就有性生殖的风险高出二倍。

遗憾的是，现在还没有能够定量讨论长期的适合度差异的方法，而且实际操作中也几乎不可能长时期对生物进行追踪。

在研究酵母菌有性生殖和无性生殖的实验中，改变实验环境后发现，有性生殖更有利，但是很多野外的生物都比较难做类似的调查研究。也就是说，通过实验调查可以证明变化的环境下有性生殖的存在对生物是有利的，而且为生物带来的益处可以弥补有性生殖的代价，但就很多野外生物而言，要想调查它们长期以来的环境变化以及有性生殖的意义几乎是不可能的。所以，尚且不能说野外生物有性生殖的意义已经得到了充分验证。

如今，至少在思考实验层面其意义是可以成立的，在未来的进化学中，仍然需要验证现在无法完全掌握的理论。

“如何不灭亡”的疑问在理解进化现象的时候是一个非常重要的视

角，其重要性也许超出我们的想象。

关于有性生殖，还有一点需要考虑。目前我们认为有性繁殖的代价是二倍，这个结论是从不得不繁殖一半数量的雄性子代得出来的。

当在雄性和雌性身上投资等量的资源时，“单位资源反馈的适合度是相等的，所以进化发生时，子代中雌性和雄性的比例为1：1”。这个结论建立在雄性和雌性的数量相同的前提下。

但是，根据状况不同，有时繁殖子代时偏向雌性更为有利，所以其子代的性别比例会向雌性偏移，有性生殖的代价就小于二倍。

根据这个观点，我们实验室正在对一种特殊的昆虫——葱蓟马进行研究，这种昆虫的有性生殖型和无性生殖型处于同一场所，相互竞争。目前发现，种群整体无性生殖型的比例低的地方，有性生殖型的性别比例略偏向于雌性。而在与无性生殖型竞争激烈的地方，有性生殖型的性别比例更偏向雌性，表明有性生殖型在通过降低有性生殖的代价与无性生殖型的昆虫进行对抗。

性别比例偏向雌性时，有性生殖的代价低于二倍，可见有性生殖的优势即使比我们以往认为的数值低，可能也可以进化。

“性”仍是现代进化学中的最大的谜题，充满了矛盾。降低代价以及长期适合度最大化的理论也许能在未来解开这个谜题。

不工作的蚂蚁的意义：短期效率与长期存续

短期高效性与长期稳定性之间存在一种博弈关系。我们再来看一个长期稳定性对进化有影响的例子——蚂蚁种群。

人们都认为蚂蚁很勤劳。即使在炎热的夏日，在落在地上的昆虫附近也能发现很多蚂蚁群，它们会努力地把昆虫搬运到巢穴中。这个场景难免让人想到《伊索寓言》里的故事：在一个十分炎热的夏天，蚂蚁每天孜孜不倦地收集食物，而蟋蟀只知道唱歌。到了冬天的时候，没有食物的蟋蟀来到蚂蚁家，蚂蚁毫不留情地说：“你夏天的时候不是靠唱歌过的吗？冬天跳舞就好了呀！”于是将蟋蟀赶了出去。这个故事告诉我们人不应该不劳而获。

蚂蚁给人一种辛勤劳动的印象。

但是，大部分蚂蚁都生活在巢穴中，出现在地面上的蚂蚁主要的职责就是收集食物，所以一直在工作也是理所当然的。

那么，巢穴里的蚂蚁又是什么样子呢？通过制作可观察内部环境的人工蚁穴，我们有了意外的发现。

观察某个瞬间，我们发现整体上只有三成蚂蚁在工作，剩下的七成只是呆呆地站在那里，打扫自己的身体。这些蚂蚁并没有照顾孩子，也没有为了造福种群其他成员而“劳动”。

好吧，不过是某个瞬间没有工作，我们上班的时候，也有某个瞬间在喝咖啡什么的，可能也是一样的吧。本以为这些蚂蚁休息一段时间就会投入工作，但是观察了一个月甚至更长时间蚂蚁穴，有一两成的蚂蚁

依然看不到任何能称得上劳动的行为。

考虑到蚂蚁种群的生产性，全员投入工作，生产力会更高，这一点毋庸置疑。那么，在自然选择的作用之下，为什么还有一直不工作的无用蚂蚁存在？

首先，我们思考一下一直不工作的蚂蚁是如何出现的。

蚂蚁的每个工作个体，在接受工作信号刺激达到一定值以上的时候，会自然反应地冲到工作前线。蚂蚁开始工作的临界刺激值叫作“反应阈值”。

然后，科学家们发现面对一定的工作，蚂蚁个体的“反应阈值”存在差异。也就是说，有的蚂蚁在很小的刺激下开始工作，而有些蚂蚁只有当刺激足够大的时候，才会开始工作。这种机制自动产生于一直在工作的个体和几乎不工作的个体。

为什么会这样呢？

用反应阈值解释可能不太容易理解，所以下面就用爱干净的人和不爱干净的人打比方来说明。

让爱干净“程度”不一样的人们聚在房间里做自己的事。过一段时间，房间里会慢慢变乱。

这时候，谁会最先开始打扫呢？一定是爱干净的人。爱干净的人无法忍受房间里乱糟糟的，所以会在有一点乱的时候就开始打扫。

于是，房间变干净了。然后在大家做自己事情的过程中，房间又一次变得很乱。这次谁来打扫呢？没错！还是爱干净的人。

原因是“不能忍受房间乱”。最后，只有爱干净的人在一直打扫，房间乱也无所谓的人完全没有劳动。

这时候更重要的是，如果爱干净的人累到不能打扫，那么房间再乱的时候，“不太爱干净的人就会开始打扫”。当房间的凌乱超过一定程度的话，这些人也无法忍受。

蚂蚁的行为也是同样的道理。

并不是不工作的蚂蚁在偷懒，如果对他们的工作信号刺激超过一定程度的话，它们也会开始工作，但由于种群里有干活很勤快的个体，所以它们就可以什么都不干。无论如何，从整体上来看，蚂蚁种群中有各种各样的个体，有的一直在干活，有的几乎不干活。

相信你已经理解了由于反应阈值存在“个体间变异”，因此出现了不工作的个体。蚂蚁的行为实际上可以这么解释，但问题是短期生产量越大，从适合度来说对蚂蚁更有利，那“为什么蚂蚁一定会出现不劳动的个体呢？这种原理是否被采纳到了种群劳动的限制体系中？”

下面我们就来思考一下这个问题。

我们关注的是“蚂蚁也会疲劳”。不知是不是《伊索寓言》的引导所致，至今没有人认为蚂蚁会疲劳。

但是，所有的动物都是靠肌肉在活动，生理上的肌肉一定会有疲劳的时候。当肌肉陷入疲劳，不休息一定量的时间是无法持续工作的。蚂蚁也一样。

在此，设想一下全员一起工作的短期生产率高的蚁群。对这样的种

群来说，单位时间内的工作量一定很高。但是，如果所有蚂蚁都同时疲劳的话，就会出现所有蚂蚁都无法工作的时间。

如果种群中有不得不完成的工作，那么很可能会出现没有人能承担工作的瞬间。这样，就会给整个种群带来巨大的危害，不常备能随时顶岗工作的成员是一件很可怕的事情。有可能“不工作的蚂蚁”的存在是为了规避没有成员可以工作而给种群带来的巨大危险。

真的有这样的工作吗？

答案是“有的”。

把蚂蚁和白蚁的卵放在同一个地方，会有很多工蚁舔这些卵。用白蚁做实验时，如果让工蚁离开卵块，放置一会儿的时间，卵就会长霉全部灭绝。白蚁工蚁的唾液中含有抗生素，将工蚁的唾液涂到卵上，就能防止长霉。

蚂蚁也是一样。如果卵全灭绝的话，对于种群来说是巨大的破坏，因此舔卵这份工作对种群来说，是一份必须坚持去做的重要工作。平时不干活的蚂蚁只有在工作信号刺激很大的时候才会工作，所以，当其他个体疲劳需要休息的时候它们才会代工。

种群内重要的工作层出不穷。为了应对无止境的工作，需要时常储备不工作的蚂蚁。这可以说是不工作的蚂蚁存在的原因。

在这种设想的前提下我们进行了模拟实验，发现只有在疲惫的时候，存在反应阈值变异的种群比没有变异的种群的存活时间更长。此外，实验还表明实际的蚂蚁种群里也有工作的交替，平时工作的蚂蚁休息时，那些平时不工作的蚂蚁的工作量就会增加。

由此可见，短期生产量少的反应阈值变异系统，似乎可以理解为蚂蚁为了保证长期存续性而进化出来的机制。

这个故事和蜚蠊繁殖战略讲到的内容很相似，都是为了规避可能到来的风险所产生的性状进化。但是，两者有一个重要的区别，蜚蠊的变化因素是环境，蜚蠊为了应对环境可能不舒适的风险采取了适应性进化，而不工作的蚂蚁的变化因素并不是外界环境，而是为了种群内部产生的风险开展的适应性进化。

无论生活在多么稳定的环境中，这种风险都可能出现。因为疲劳是生理方面的制约，动物难以逃脱这种制约。

规避风险导致的适应现象也许比我们想象的更为普遍。迄今用适合度这一概念无法解释的现象，在未来的进化生物学中，应该能够通过风险回避以及长期存续的观点解释清楚吧。

进化论也在进化

本书纵观了“进化论”的过去、现在和未来。通过回顾“进化论”的历史，相信你已经意识到“进化论”也在进化。

从过去到现在，“进化论”的面貌一直在变化。自从达尔文提出“自然选择学说”以后，基于这个观点的议论不断，而随着每个时代新知识的发现，进化论也在逐渐包容各种新的观点。

不过，本书并不是写给专家们的，而是以一般的读者为受众。现在，“进化”这个词会勾起人们怎样的印象呢？

当一个人说“那个人也进化了呢”时，他无意识地混入了某种印象，那就是“进化指的是比原来进步的状态”。如果被描述对象的技术或者能力不如以前，应该没有人会这么说吧。因此，我们说“进化”的时候，往往带有朝着能力更高或者完成度更高的姿态发展的含义。

距离达尔文提出基于自然选择的“进化论”也不过150年左右，在那之前，进化的观念几乎没有在世界上传播开。后来，达尔文主义的影响逐渐扩大，得到了更多人的认可。

其原因一定是“自然选择”的观点让人们有了向更好的方向变化的概念。读到这里，相信有些读者也会有同样的看法。

不过，达尔文提出的“自然选择学说”中本质上比较重要的理论部分并不仅限于此。当生物处于一定环境中时，大自然确实可以发挥筛选出适应环境的生物的作用。根据这个原理，生物产生了适应性。但是，如果仅仅理解到这一步的话，其实只弄懂了达尔文进化论的一半。

达尔文之前（如拉马克）的“进化论”与达尔文“进化论”存在一个很大的区别。拉马克（包括达尔文以前的进化论者）认为“生物朝着该有的样子，完成从简单到复杂的过程（即‘自然演化阶梯’）就是进化”，而达尔文首次指出“进化没有方向性，只有适应环境的生物才会存活下来，以此引起进化”。

达尔文的观点是什么意思呢？看一下所谓“退化”的进化现象，就能理解了。退化是指住在洞穴里的生物眼睛会消失、鸟儿在没有天敌的岛上会无法飞行等现象。

“退化”会让生物失去一度拥有的复杂性状。也正是出于这个原因，才起了“退化”这个代表价值减少的名称。但是，就像正文所述，维持环境不需要的性状需要代价。因此，放弃这种性状的其他遗传型生物繁殖率更高，退化之后反而更加有利。

因而，在达尔文的自然选择学说当中，进化与退化并没有任何差别，退化本身就是建立在人的价值观上的说法，从科学角度来看并不恰当。

总之，“所有的适应性都是受自然选择的作用而产生的适应环境的形式”，“并不是按照既定的方向在进化”。

或许有人还不是很理解有什么不同，容我赘述一下。

达尔文的“进化论”认为性状如何进化取决于“当时所处的环境”。环境无时无刻不在变化，进化本质上没有方向性。进化并不是像拉马克的“进化论”或者现在很多人盲目相信的那样，朝着某种完美的形式变化。

达尔文的自然选择学说以“生物根据环境出现适应性”的理论被人们广泛接受，但“进化没有固定的方向性”的想法当时却迟迟未被理解。

这究竟是因为什么呢？因为如果生物是按照一定的方向进化的，倘若有完美的形态，就意味着倾注了某些理想性的东西。

是谁的理想呢？当然是“神”的。科学本来就是通过显示自然的完美程度，来证明神的全能，科学最初是一种歌颂神的思想。

当然，达尔文时代的科学家们也许并没有意识到，也许这样的思想背景已经在他们的大脑中根深蒂固了。更不用说一般人了。“自然选择学说”很好地解释了无意识进化的无目的性。正因如此，达尔文的“进化论”才能流行起来，为人们所接受。

而且，人们之前无意识地接受了很多关于“神”或者“超自然的目的”等理念，产生适应性的“统一原理”——自然选择出现后大受欢迎，人们更是将其视为“说明生物多样性的唯一原理”。

世界是在唯一的原理作用下产生的。提倡唯一神的基督教文化中，那样的“美丽世界”对于人们来说应该是一个非常闪耀的理想。但这都与“适应万能论”“用下一代的基因复制数来表示现在的适合度”等生硬的定义有一定关联。

也就是说，当一种原理足以说明很多事物的时候，用这种原理描述世界，在“一神教”的基准上一定是很美的。

可是，达尔文的“进化论”作为一种科学，其伟大之处在于达尔文主义没有牵扯到一丁点“神”的力量，就解释了生物的多样性和适应性，进

化的无目的性是达尔文进化论的精华所在。达尔文进化论出现之后，人类才得以抛开世界有完美形态的前提（即神），去理解生物的进化。正是这一点让达尔文的进化论成了以后“进化论”的基础依据。

但是，进化现象并不能只还原为一个原理。引起不同世代间基因频率变化的原理至少就有两个：“自然选择原理”“遗传漂移原理”。适应主义者强调“性状的进化只受自然选择的作用”，但这一论述只停留于原理层面，并不能从理论上排除“遗传漂浮”可以引起基因频率在不同世代之间变化（即进化）的观点。

此外，现在对于进化的解释以适合度（“传递给下一代的基因复制数量”）的定义为基础，这一解释尽管带来了非常优秀的成果，但是人们也逐渐发现仅用这个理论仍然无法说明生物的多样性。

现实如果是按照多元化的角度产生的，那么我们也需要本着自然多元化的态度，并以此为前提去解释生物的多样性。这时，我们需要的就不是人类追求“一神教”的“美”的态度，而是应该正视世界的复杂与难懂，用“多神教”的态度去理解世界原本的样子。

世界如果本来就很复杂的话，倒不如说生物的进化只能通过多种杂乱交织的原理来理解。

尽管不够完美，但采取多元化的解释可以理顺迄今为止说明不了的各种现象，因此我认为这样会更有价值。

后来，木村资生博士提出了一种新的理论，即“中性学说”。学说一提出来就遭到了适应论者无理的攻击，不被人们所接受。因此，对于学者来说，如果要生存下去，考虑到必要的论文量等短期适合度的话，还

是在既有的框架里做一些任何人都很容易明白的研究会更有利。但是，这样的研究无法维持学问的长期存续性。没有新的研究，永远都寄希望于同样的原理的话，这个学术领域就没必要思考新的东西了，不久后就会走向没落。

本书中提到的几个例子表明，“进化生物学”这个领域丝毫没有丧失趣味性。虽然以现在既有的理论已经差不多能够说明各个领域，但是一旦我们的大脑相信“有”完成形态，那么就会看不到原本能看清的东西。

“进化论”未来会如何进化，不到未来我们很难预测。不过如果像往常那样不断吸收新的知识或全新看问题的视角，“进化论”本身也会像生物无限的多样性一样，不停地进化下去吧。而且，我认为“发现其中的趣味，并不断向前推进”就是作为进化生物学家的使命。

后记

“进化论”也在进化。达尔文发现了“自然选择学说”，在不掺杂神的作用的前提下解释了生物的适应性和多样性，从“自然选择学说”的提出到现在已经过去了150多年。

当然，“进化论”自身也在不断吸收最新的生物学知识，其面貌一直在改变。“进化论”的基础内容仍然是自然选择，不过针对自然选择能否解释所有的进化现象，也曾出现过激烈的争论，本书并没有涉及这一点。

进化具有两面性。首先，进化使生物更加多样化，并引起生物的适应能力，是一种机械化的原理。这就是“自然选择”，无论生物拥有什么样的性状、处于什么样的环境，“自然选择”都可以理解为一种持续发挥作用的恒定力量。不过，仅靠这一点也许无法说明进化。

“进化学”还有推测、描述进化历史的一面，如“生命诞生于世上以后，维持什么样的变化、如何与各种生物相处”。从这个角度来看，仅用存在“自然选择”无法将上述模式一元化地解释清楚。

例如，我们认为恐龙灭绝是由于小行星撞击地球造成气象条件出现了大规模的急剧变化，恐龙一下子从适应的环境被抛到了不利的环境中。这种情况下，“自然选择”也还是适用的，因为“小行星撞击”这种偶然事件引起了“自然选择”的力量急剧变化，两者之间的偶发性是有一定关系的。

此外，“进化”并不是一定环境下“自然选择”持续作用使生物趋于完美的过程，而是被偶然因素左右的、“只有一次”的历史现象。

“自然选择学说”确实是一门优秀的理论。人类憧憬只用一种原理解释“美丽世界”的状态，因此就出现了“自然选择能说明一切”的“自然选择万能论”。

但是，后来科学家们发现在驱动进化的势力关系原理中，还有另外一种原理——“遗传漂移”。这种原理打破了人类用统一原理说明世界的美梦。总之，进化是涉及很多种原理的复杂现象。

人只要生而为人，“想用一個完整的原理解释一切”的欲望就永远不会消失，可能也正是因为这个原因，才让“基于多元化理论的进化论”屡屡遭到嫌弃。

现在的理论只根据下一代的适合度大小来分析进化，认为环境永远不会变化。可是我们已经发现这种理论并不完全适用于所有场合。本书中也多次指出，现在我们尚未考虑到的几个因素对进化现象有着一定的影响。

这种全新的视角可能会颠覆自然选择作用产生适应性及多样性的大原则，不过，不采用这些新观点就解释不了的现象也确实存在。

但是，也不必过于担心。进化论仍然存在新的发展，这件事本身就是做学问的希望。如果做什么研究都无法从前人的思维中跳出来的话，也就没有必要研究了。

未来的“进化论”应该会与现在有所不同吧。只要我们永葆对生物多

样性（包括人类在内）及其由来的兴趣，“进化论”就会一直进化下去。在满怀期待地等待全新“进化论”出现的同时，如果能够尽可能地让自己置身于创造历史、完善“进化论”的处境中，一定是一件非常幸福的事情。我想以此为目标，继续挑战前人尚未思考过的问题。

谨向永无止境的进化献上满怀敬畏的花束！

长谷川英祐

2015年4月