

智慧是什么：一个信息角度的思考

自然给了生命自由，生命却用它寻找秩序

赵亮，2025 年 3 月 31 日

前言

我是从 2015 年 4 月开始思考“智慧是什么”这个问题的。那时山口荣一老师创办京都大学 ELP (老总班)，邀请我讲一次信息科学方面的课。为此我准备了一个介绍近期信息科学技术发展的综述，虽然不觉得很有趣但想可以给大家一个全面的参考吧。但开课前一周时，山口老师来邮件说不要综述，ELP 要传授的不是知识，而是智慧，即使不成熟也可以。

这让我傻眼了，因为我从来没想过什么是智慧。接下来的一周我基本上就是闭关状态，从调查智慧的定义开始，思考我能讲个什么样的信息科学方面的智慧课。那一周的调查和思考，虽然肤浅但却是个改变了我人生的转折点。在那之前我一直研究一个狭小的科研领域，也不讨厌但也不很喜欢，对其他事情，包括人，生活，社会，甚至新的科研方向都没有多大兴趣，觉得自己没有余力考虑那些。这些在经过那一周思考后渐渐改变了。

信息科学方面的智慧课？很自然地我把当时开始火起来的人工智能当作了考察对象，把内容定在了对**智慧是什么，什么样的人工智能才算有智慧**的探讨。这个主题让我觉得有趣，幸运的是 ELP 的同学们也对此感兴趣。虽然我讲的应该不能说很好，但在人工智能的浪潮和大家兴趣的支持下，我有幸在之后的 7 年里每年都和 ELP 的同学们深入讨论一次 (ELP 每年会根据学生评价替换掉 1/4 的课的)。这样的机会促使我每年都要调查更新更广更深的认知，还要思考和更新自己的理论。而愿意支付高昂学费参加 ELP 的同学们的知识也常常很有意思 (虽然我常常发现他们自己并没意识到这一点)，有人甚至可以和我一直讨论几个小时到深夜直到被抗议而不得不结束。这样深度的交流和思考让我很享受。

2022 年 ELP 换了委员长。新委员长强调知识的传授 (还有讲师的名气?)，不再邀请我了。取代的是一门领域狭窄但是更实用的机器学习的课 (之后我们会讲到学习是智慧的一部分)。所幸从 2017 年起我得以加入京都大学亚洲领袖奖学金项目 (AFLSP) 并擅自为其设计了一套培训计划。这个培训在历届 AFLSP 委员会的老师们，分管学生工作的理事川添老师 (初期)，AFLSP 项目监管的 BXAI 内田老师，以及大多数 AFLSP 同学们的支持下一直运营发展至今。其中每月一次的研究会要求来自不同领域的同学们轮流分享和讨论各

自的研究，这个跨学科的活动让我得以俯瞰很多领域的学问，亦有同学一直鼓励我思考，能一直带着这个项目实属幸运。另外，时不时地会有人给我机会与不同的人分享并讨论我的思考，虽然一次讲完就 bye-bye 的活动不清楚效果如何，但对我来说这让我得以不断地思考和更新。后来，2020 年我决定开一门面向全校研究生的跨学科课程，标题选为《信息智慧论》，意为从信息角度思考智慧。每年十几堂课迫使自己尽量系统地整理和思考，我也要求听课的同学们分享和讨论。每年都是这样，从备课的痛苦到和同学们有意思的讨论，再到从同学们的发表中学习的过程让人开心。让我高兴的是同学们的评价大多也很好，有不一个人告诉我这是 TA 在京大几年上过的最好的课之一。

时间到了今天，虽然我知道自己仍很无知，应该说是更无知了，但就我看得到的范围而言我觉得这些年的思考让我比以前知道的多很多了。更重要的是我想通了很多事情，这让我很开心。我想我已经找到了**智慧的定义，即，智慧就是生存，可以用学习和自由选择来实践，而智慧/生命的意义在于发现和传承优良信息**。这个认识让我可以站在一个高而客观的角度理解生活，生死，人，社会，世界，让我的理解和预测变得丰富而圆满。写这本书也是按照这个理解来的，希望这个分享能帮助读者思考生命，人，生活，科研，社会，人工智能等周围的世界。这个理解应该可以帮助大家清晰地思考过去和今天，预测明天，懂得生命的意义。如果读者读后有种恍然大悟，觉得自己可以轻松而且透彻地理解包括人生在内的世界的感受的话，那是我的幸运。

注 1：读者可能会发现本书有些内容和前人的思考重复或者相近，或者矛盾。我能发现出处的都标注引用了，没有标注的那些或者是我不知道的，或者是我觉得是常识不需要标注的。欢迎大家的指教，包括出典，讨论，建议，批判等。我要说明的是，本书和常见的学术研究著作不同，我不特意主张哪些理论是我的独创哪些不是，因此我也不特意列举和批判已有认识。我认为知识是全人类（全生命）共享（public domain）的，重要的是如何给读者提供一个自圆其说的理论。哪个理论/说法是谁的贡献，前人的认识是怎样错了，我的认识又有多正确这类事在学术探讨上有价值，需要并且我也很清楚的话我也会讨论的，但在知识共享的意义上这种探讨不是我的重点。当然我欢迎感兴趣的读者深入讨论。

注 2：本书的一个重要的不足或者说是课题是缺乏定量分析。读者可以把书中的内容当作一种学术理论（信息智慧论）或者思想，如何理解请自我判断。事实上，即便有科学验证的论文也不一定就是对的，因为科学不意味正确（可能对也可能错）。我有很多有趣的科研 idea 但缺乏足够的时间和人手来做，期待有愿意一起挑战的同学们参加进来。

谢辞

首先我想感谢山口荣一老师，他的洞察开启了我的思考并进而改变了我的生命。当然也离不开京大 ELP 同学们的讨论，质疑和好评，特别是和冈本桑的讨论很刺激。ELP 以外，选

了信息智慧论这门课的同学们给我分享了很多在不同领域的深入思考和疑问，这非常有帮助。而 AFLSP 的同学和老师也教了我不少不同领域的专业知识，有些同学对我的信息智慧论感兴趣并加入讨论。我也要感谢一直帮助/鼓励我思考的佚名同学。

还要感谢很多人对本书提出的宝贵意见，出于篇幅原因在此不能一一致谢。

课程反馈

为方便读者理解本书内容，我把选过这门课的同学的反馈（日文的中文翻译）收录于下。除了极少数是邮件直接发给我的以外，其他都是期末的匿名反馈。请注意这些反馈不是直接针对这本书而是针对那门课的。书和课的区别在于，书的内容更全面和深入，逻辑上也更严谨，适合个人的学习和思考；而课上有书里没有的口头交流和深入探讨。

中文翻译

1. "非常具有京大特色，这是有意义的研究生课程。课程也是少人数授课，便于进行讨论，参与的学生背景各异，可以进行非常具有学科交叉且实质性的讨论。"
2. "这是一门非常重要的讲座。"
3. "虽然生命是个非常有趣但难以把握的课题，本课从信息熵的角度以通俗易懂的方式向没有理科背景的人讲解，并通过丰富的具体例子（包括图片和视频）进行说明，让我拓宽了视野，受益匪浅。"
4. "我抱着既然进了京大就听点与众不同有些特别的内容的动机选修了这门课，结果每一堂课都超出了我的预期，我真的觉得非常幸运。老师通过信息熵的角度让我们思考人类和社会，提供了在全世界只有在这个地方才能学到的思考方式。与那些能够描绘光彩未来的学生们一起进行讨论的时光，既非常愉快又十分宝贵。非常感谢赵老师和一起上课的同学们，感谢你们提供了这样精彩的课程，真心感谢！"
5. "这是我大学六年中最有趣和最有意义的课程之一。我学会了从不同的视角重新审视自己的知识和思考，通过讨论理解和完善新的想法，体会到了这种过程的乐趣和重要性。此外，这也是一个能够广泛且深入地思考未来社会和人生的宝贵机会。"
6. "我有一种满足感，觉得自己正在听只有在京都大学这个地方才能听到的独特观点。能够听到优秀学生的想法也是非常宝贵的体验。"
7. "这是一门非常刺激的课。我觉得老师倾听学生意见的态度最大化了本课的效果。正因为是少人数授课，且每位同学都拥有不同的专业背景，才使得能够进行有趣的讨论。我认为自己在输出能力方面也得到了提升。"
8. "这门课程的内容是教科书上没有的，这一点非常好。"
9. "主题很有趣。由于是少人数授课，能够通过讨论加深对问题的思考。"
10. "正如在课程大纲中写的那样，这是一门具有京都大学特色的个性课程。在讨论中，

来自不同背景的学生和老师积极交换意见，大家都获得了深刻的见解。特别好的一点是本课结合最新的新闻内容探讨飞速发展的 AI、LLM 以及如何思考人类智能的问题，让我学到了新的知识。”

日文原文

1. 非常に京大らしく、大学院で行う意義のある授業だと感じた。授業も少人数でディスカッションが行いやすく、それぞれバックグラウンドの異なる学生が参加していたため、非常に学際的で実のある話ができたと感じた。
2. 素晴らしく重要な講義でした。
3. 非常に興味深いけれども実態を掴みにくい生命とは何か？テーマを、情報エントロピーの視点で理系知識のない人にもわかりやすく、豊富な具体例(画像、動画含め)で説明してくださり、自分の視野が広がり、大変勉強になりました。
4. 京大にせっかく入ったから色んな、そして少し変わった話を聞きたいな、というモチベーションで授業を履修しましたが、全てが期待以上の講義で、本当に幸運だったと思います。先生には情報エントロピーで人間と社会を考えるという、世界中で今この場所でしか学べない考え方を示して頂き、未来を鮮やかに思い描いている学生達とディスカッションできた時間は本当に楽しくて貴重でした。趙先生、一緒に授業を受けた学生さんたち、素晴らしい講座を提供いただき、本当にありがとうございました。
5. 大学6年間で最も楽しく有意義な授業の一つでした。自分の知識や考えを別の視点から捉え直し、ディスカッションを通して新たな考えを理解しブラッシュアップすることの楽しさや大切さを学ぶことができました。また、これからの社会や人生について広く深い考察を行うことができる貴重な機会となりました。
6. 京大の今この場所でしか聞けない考えられない話を聞いているという満足感がありました。優秀な学生の考え方を聞いたことも良かったです。
7. とても刺激的な授業だった。学生の意見を聴く先生の姿勢が、授業の効果を最大化していると感じる。少人数だからこそ、別々の専門分野を持つ大学院生だからこそ可能な面白い議論ができた。アウトプット力も高められたと思う。
8. 教科書に載っていないような内容だったことが良かった。
9. テーマが面白かった。少人数のため議論により考えを深められた。
10. シラバスにあったとおり、京大らしく、個性的な講義でした。ディスカッションではそれぞれの異なるバックグラウンドから学生・講師も含めて、活発な意見交換ができ、深い洞察が得られました。特に進展が著しい AI や LLM、人間の知性をどう考えるのかについて、最新のニュースも交えながら、新たな学びが得られたことが良かったです。

目录（预定。可能会有更改）

- 前言
- 谢辞
- 反馈
- 第一章 信息智慧论概要
- 第二章 现代科学对宇宙，地球，生命，人类和人类社会的认识
- 第三章 生命与秩序：热力学第二定律，熵，薛定谔对生命的探讨
- 第四章 智人繁荣的秘密：当代人类学家和历史学家的研究
- 第五章 自然进化论，自组织，耗散结构
- 第六章 热力学第二定律，麦克斯韦妖，信息与能量
- 第七章 来自人工智能（AI）的挑战
- 第八章 什么是智慧：学习与自由选择（随机选择）
- 第九章 创造与创新
- 第十章 自由能原理，整合信息论等：脑科学的前沿探索
- 第十一章 人工智能与 AI 伦理
- 第十二章 技术奇点、超级智能与未来生命
- 总结和展望
- 文献

一 信息智慧论概要

智慧是什么？ 让我们先暂时不要理会前人的认识，而从一些朴素的观察开始思考这个问题。关于智慧，很多人都觉得它和知识有密切联系但是又不一样，可二者到底什么地方不一样呢？对此，我们通常觉得没有知识的人不能说有智慧。这个朴素的观察告诉我们知识是智慧的一部分。那二者的区别，即“**智慧-知识**”，是什么呢？

这个问题一点也不自明。我们需要了解什么是知识和什么是智慧。为此很自然的我们要先翻字典读文献看看前人是怎么认识的。2015 年 4 月的时候我就是这么做的。我查阅了广辞苑（日本最权威的词典），也读了维基百科上关于智慧的介绍。让我震惊的是，这么重要的问题居然没有一个可以让我接受的简洁回答。即便是对看起来似乎很明确的概念“知识”，前人（主要是哲学家）的探讨也既不甚严谨更不好懂。而对智慧的定义看起来就更虚没法用了（见 1.1）。我毫不怀疑前人们尽了他们最大的努力来思考这个重要问题，而作为结果我们今天看到的就是他们能做到的最好的探讨了。我觉得自己不可能比他们做的更好，如果我也和他们同一种模式思考的话。

于是我很快就放弃仔细研究前人认识的想法了。我相信那就像个浩瀚的大海，在我找到让我满意的答案（如果有的话）之前我会被淹死在里面的。我期待的不是那样一个结果，而是个严谨切实可用的定义以帮助我们思考诸如人工智能能否拥有智慧这个问题（比如说我们要开发出什么样的人工智能大家会说 TA 有智慧）。对此前人的定义看出来有多大帮助（见下）。所以我决定换个角度，具体来说从信息的角度来思考这个问题。现在看来这样的思考是有意思的。

1.1 对智慧的传统认识

让我们先复习一下前人的思考。为此我决定引用 ChatGPT 的回答。事实上我自己也调查过，但 ChatGPT 给出来的回答和我调查过的内容比并没有什么奇怪的地方而且覆盖的内容还更广，虽然它不够深入（但是希望没有错误。我看不懂那几个外文 :-p）。以下本节的内容由 ChatGPT 4o 在 2025 年 2 月 25 日生成。我有意省略了用的问题提示(prompt)，因为那时 ChatGPT 的回答并没有完全按照我的意图来，为此我不得不追问和修改了几次才得到这个结果，为避免读者混乱我省略了提示，请读者专注思考下面的内容。

2025/3/31 注：适当加上对印度，波斯，伊斯兰苏菲主义等的考察（J.Z.的建议）。

--- ChatGPT 4o 的输出, 2025/02/25· begins ---

智慧一直是人类文明乃至超越人类经验的深刻思考主题。传统上，智慧与人类的智力、道德推理和决策能力相关，但它也可以在动物、生态系统，甚至可能在宇宙本身中被观察到。本文探讨**西方**、

东方及其他文化传统中的智慧概念，以及动物、自然和宇宙中的智慧。

1. 西方思想中的智慧

西方哲学长期以来试图通过理性、伦理和知识应用来定义智慧。

古希腊哲学

- **苏格拉底 (469–399 BCE):** “智慧就是知道自己无知。”苏格拉底强调自我认知和持续提问。
示例: 苏格拉底通过对话方式向人们提出深入的问题, 揭示他们对知识的错误自信。
- **柏拉图 (427–347 BCE):** 智慧是理解永恒真理和道德秩序 (《理想国》)。
示例: 在《洞穴寓言》中, 柏拉图描述了智慧是超越表象、看到真相的能力。
- **亚里士多德 (384–322 BCE):** 区分**理论智慧 (Sophia)** 和**实践智慧 (Phronesis)**, 将知识与道德行动结合。

宗教与中世纪视角

- **基督教:** 智慧是上帝的恩赐 (《箴言》9:10——“敬畏耶和华是智慧的开端”)。
示例: 所罗门王通过提出“将孩子一分为二”的方法来判断真正的母亲, 展现了深厚的实践智慧。
- **启蒙思想家 (康德、笛卡尔、尼采):** 智慧强调**自我推理、道德和存在思考**。
示例: 尼采挑战传统道德, 主张个体应创造超越宗教规范的新价值观。

2. 东方思想中的智慧

东方传统强调平衡、和谐和精神洞察力。

儒家思想

- **孔子 (551–479 BCE):** 智慧是道德判断和社会和谐 (《论语》)。
示例: 孔子建议统治者以道德榜样治理国家, 而非武力, 体现治理智慧。

道家 (道教)

- **老子 (6 世纪 BCE):** 智慧体现在**无为 (顺应自然)** (《道德经》)。
示例: 水能够适应各种形状, 同时能滴水穿石, 象征了智慧的柔韧性和耐心。
- **庄子 (369–286 BCE):** 智慧在于接受悖论, 摆脱僵化思维。
示例: 《庄周梦蝶》讲述了现实的不确定性——他是梦见自己是蝴蝶, 还是蝴蝶梦见自己是庄子?

佛教

- **般若智慧 (Prajñā):** 觉悟需要超越幻象。
示例: 佛陀在菩提树下觉悟无常, 形成了四圣谛。
- **禅宗:** 智慧是体验性的, 超越逻辑 (“一手鼓掌的声音是什么?”)。
示例: 禅师使用公案 (悖论性问题) 打破逻辑思维, 引发顿悟。

3. 其他文化中的智慧

非洲智慧

- **集体智慧与长者知识:** “如果你想走得快, 就独行; 如果你想走得远, 就结伴而行。”
示例: 在阿散蒂部落, 纠纷通过集体决策解决, 依靠长者智慧。
- **乌班图哲学:** “我因为我们而存在。” 智慧体现在人与人之间的联系和伦理生活。

中东智慧

- **伊斯兰哲学 (Hikmah, حكمة):** 智慧既是神圣指引, 也是理性思维 (《古兰经》2:269)。
示例: 苏菲诗人鲁米的作品强调神圣之爱和顺应生命之流的智慧。
- **犹太智慧 (Chokhmah, חכמה):** “谁是智者? 向每个人学习的人。” (《塔木德》, Pirkei Avot 4:1)。

原住民智慧

- **北美印第安哲学:** 智慧在于尊重自然和长期思考 (七代原则)。
示例: 易洛魁联盟考虑其决策对未来七代人的影响。
- **澳大利亚土著的梦幻时光:** 智慧是精神和祖先对土地的连接。

4. 非人类的智慧

动物智慧

- **大象:** 情感智力、记忆和社会纽带。
示例: 大象悼念死者, 并记住遥远的水源, 将生存知识代代相传。
- **乌鸦和渡鸦:** 使用工具、计划和解决问题。
示例: 乌鸦会将坚果扔到马路上, 让汽车碾碎, 以获取果实。

自然界中的智慧

- **森林与生态系统:** 菌根网络 (“树木互联网”) 展现适应性智慧。

示例：树木通过地下真菌传递信号，向邻近树木警告害虫威胁。

- **蜜蜂与蚂蚁：**去中心化决策和高效资源利用。

示例：蜜蜂通过集体投票决定新蜂巢的位置。

宇宙中的智慧

- **物理定律：**宇宙的微调显示内在秩序。

示例：宇宙常数的精确平衡使生命得以存在，类似智慧的设计。

- **斯多葛派智慧 (马可·奥勒留)：**与宇宙秩序保持一致。

示例：接受不可控事件而非抵抗，使人生更平静。

5. 终极思考：智慧是普遍的吗？

- **智慧不仅限于人类；**动物、生态系统和宇宙系统也展现**适应性智能和平衡**。
- **各种文化对智慧的理解不同，**但都强调**道德判断、长期思维和谐**。
- **智慧可以是自我意识的 (人类、部分动物)，也可以是涌现的 (自然、宇宙)。**

--- ChatGPT 4o 的输出, 2025/02/25· ends ---

1.2 从信息角度思考智慧

上述 ChatGPT 的回答可以理解为我们人类目前为止对智慧常见认识的一个总结。当然不是完全的，读者可能也不认可其中的一部分。事实上我们可以从中看到很多描述实际上只是**知识**，比如说其中所谓动植物的“智慧”。作为一个信息科学的研究者，我对上述终极思考中提到的“道德判断”和“自我意识”不能理解，因为这两个概念缺乏严谨定义，依赖对**人类这个物种**的假设。这样的考察最大问题是我们无法用它来思考人类以外的智慧。

为什么我们要思考非人类的智慧呢？这么说吧，当年称霸地球的恐龙都可以灭绝的话，那人类也可能在未来灭绝，而取代人类统治地球的生命可能和人类完全不同。显然用依赖对现在的人类的假设来定义智慧的做法对思考未来生命是有问题的。另外，科学认为地球只是宇宙中一个渺小的存在，宇宙其他地方存在外星人的可能性不能肯定是零。显然我们不能期待一个依赖地球人的智慧定义也适用于外星人。最后，就算我们无视未来生命和外星人，眼前的人工智能就不能简单地用人的思考方式来判断是否智慧。

所以我决定找个更普遍的，看起来可以适用于人类也可以适用于非人类的智慧定义。在 2015 年 4 月的那一周里，经过对前人认识和对人工智能的思考以后，我想，也许“智慧-知识=随机选择？”后来我把它写成了下述公式，有点难懂的随机这个词改成了自由。

$$\text{智慧} = \text{学习} + \text{自由选择}$$

请注意这个公式不是数学的加法。我用这个公式想表达的是：(1) **智慧是行动**。应该有个动词来表达但我不知道合适的中文，在日语里我造了一个动词“智慧する”来表达。(2) **智慧行动是学习和自由选择这两种行动的组合**。前者是**决定性/确定性的**，同样的输入可以得到同样的输出，而后者是**非决定性/不确定性/随机的**，同样的输入可能有不同的输出（可以不是真正的随机，如果读者懂真正的随机和伪随机的区别的话。不懂也没关系）。

本书将围绕这个公式探讨。敏锐的读者可能已经注意到了我把对智慧的定义（悄悄地）推给了对生命的定义上，因为我说到想要一个可以普遍适用于所有生命的智慧定义。我这样做的原因是，为了定义智慧我们需要有比“智慧”更基础的概念，为此前人用了“人类，”而我想以“生命”（加上宇宙和时间）作为更基础的概念来思考智慧以及如何变得更聪明。

1.3 生命与智慧

为了思考生命与智慧的关系，请读者闭上眼睛自问一下，**我是为什么而活的？**

（你是闭上眼睛自问着的吗？）

（真的？）

这个关于自己人生意义的问题，我想绝大多数人都会在某个时候思考过。那读者的答案是什么呢？你是否满意自己的答案呢？我很想听听大家的分享。

前人们当然也思考过。从有资料记载的 2000 多年前到今天，我们有过非常多的探讨，可能每个人都有不同的答案。影响回答的有个基本而朴素的观察：**生命和物质不同**。物质就是石头，水，空气，桌子，垃圾等东西，研究物质的学问叫物理（化学等其他的所谓自然科学可以理解为物理学的一个分支）。物质服从自然规律（自然规律的意思就是物质服从的规律）。而生命，我们直观地觉得是有别于物质的，即生命有不服从自然规律的时候。

举例而言，急刹车时我们的身体会不由自主地前倾，这是因为我们的身体由物质组成服从自然规律中的惯性定律的缘故。所以**生命体服从自然规律**。但我们也觉得生命还有些用自然规律难以解释的地方，比如说一个人在危机时会（因为想起爱着的人而）爆发出不可思议的力量，又比如说做非理性的自我牺牲等事。这些看起来用自然规律难以解释的生命现象常常被称为**精神，心，魂**等。这些单词今天也还在被用着，虽然我们其实不清楚定义。人文社会学主要就是研究这些不能用简单地用自然科学来解释的，主要是和人有关的事。而从物质和精神两方面来理解生命的思考方式叫做二元论。

近代，随着我们对生命认知的深入，精神的存在慢慢地在被科学否定。今天精神这个词更多的是用于描述某种心理活动，或者大脑活动引起的意欲，能力，状态等。而**科学**（具体来说，生物学）更是干脆无视生命看起来有不服从自然规律的一面而把**生命定义为（1）**

能自我繁殖，(2) 有新陈代谢，(3) 有细胞壁 的存在。 请注意这个定义把病毒排除了，因为病毒不能自我繁殖 (病毒可以繁殖但不能自我繁殖。病毒的繁殖需要借助宿主的繁殖系统)，也没有新陈代谢 (不吃不喝不拉不撒)，并且也没有被称为细胞壁的东西 (见图 1)。相信很多人对此有违和感，因为我们经常说杀死病毒 (这在之前的新冠期间是常用语)，但如果病毒不是生命那就不能说杀死了 (没有生怎么能说死呢)，而只能说是破坏病毒。

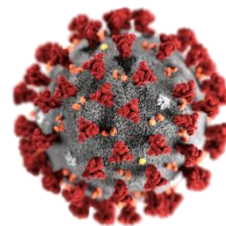


图 1 病毒被认为是物质不是生命，但本文不能同意。

生物学对生命的定义无视了我们早期朴素的观察，即生命看起来有不服从自然规律的时候。这种无视是为了让生物学更科学更严谨，但也让人困惑。我用下面的例子说明生物学定义让人困惑的地方。请参照下面两张地球外星球的照片 (图 2 和图 3)。请读者凭直觉判断，哪个照片看起来更像是生命存在可能性的？



图 2 A picture of Mars (<https://www.nasa.gov/humans-in-space/humans-to-mars/>)



图 3 Another picture of Mars (<https://www.wishtv.com/news/nasa-shares-photo-of-pyramid-like-formation/>)

相信绝大部分人会说图 3，因为图 2 看起来杂乱无章而图 3 里面有个工整的金字塔看起来像是人工产物。这个例子说明生物学的定义没有反映我们的基本认识，即，**生命的基本特征是高度有序而不是乱糟糟的**。这个朴素的观察其实是正确的。据估计人体是由 37 兆个细胞组成的，如果没有高度的秩序就不可能完成统一的行动。如果细胞们都可以自由行动，那人体就不成立了。所以生命确实是高度有序的系统，而生物学对此不提，至少没有明确指出。

那，既然我们这个朴素的观察，我们是不是可以用一个系统的有序程度来判断生命与否呢？这个想法假设我们可以**定量**地分析一个系统的有序程度并且存在一个**阈值**，大于阈值的是生命，小于阈值的是物质 (图 4)。好消息是我们有一个分析系统有序程度的量，**熵**。



图 4 也许我们可以用一个系统的有序程度来区别物质和生命？

熵 (entropy) 这个概念是用来定义一个系统混乱程度 (不确定性) 的量。它最早是克劳修斯于 1865 年提出来分析热力学 (物理学的一个分支，研究诸如蒸汽机工作原理的。)

定律的。之后玻尔兹曼于 1870 年研究统计力学（也是物理学的一个分支）时提出了一个用微观状态来定义宏观混乱程度的**统计力学熵**的定义。再到后来，1949 年香农提出了一个基于出现概率的**信息熵**的定义。这些概念我们以后再详细介绍。这里我们只需要知道它们是用来描述一个系统混乱程度/不确定性的量，熵越高系统越乱，熵越低系统越有序。

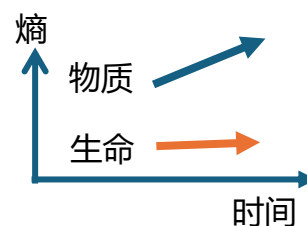
举例而言，图书馆书架上的书是按领域分类了的，这种井井有条的状态就是图书系统有序的表现。因此我们可以很容易地找到想要找的书。而如果把书随机乱摆在桌子上，那图书系统就是个乱糟糟的状态，作为结果我们不容易找到想要读的书。对应井井有条状态的熵低（容易把握），而对应乱糟糟的状态的熵高（不容易把握）。

让我们回到区分生命与物质的问题上。既然熵可以刻画一个系统的混乱状态，那给熵加个负号就可以得到一个描述系统有序程度的量。这个负熵越大系统越有序。有了这个刻画系统有序程度的量以后，我们还需要一个可以区别生命和物质的阈值。然而，很快我们就可以发现这个阈值找不到，因为自然界里也存在着很多高度有序的物质，比如说雪花（图 5）。它的井井有条看起来让人惊叹，如果按照雪花的样子设计一个宇宙空间站，大家都会为之叫绝，认为是人类智慧的精美产物，特别是没看过雪花的人。我们也可以制造出其他精美的人工物。比如说用圆规画个圆，圆的熵就很低（有半径就固定了。），但它不是生命。所以，用熵这一个量来区分生命与物质的想法看起来行不通。



图 5 Photo by [Damian McCoig](#) on [Unsplash](#)

但我们也不必丧气。1944 年埃尔温·薛定谔（1933 年诺贝尔物理学奖得主）用**升维**的方法给了我们一个漂亮的回答（薛定谔，《生命是什么》）。这里升维指的是，在熵以外再加上时间，用这二维的量来区别物质和生命¹。具体说来薛定谔的考察是，物质系统都要服从热力学第二定律，随着时间的推移熵会越来越高（=越来越混乱）直到崩溃毁灭；而生命，虽然作为物理存在身体要服从热力学第二定律，但生命试图让自身的熵维持在一个低水准状态（这就是**生存的意义**!!）。参见右边的示意图。



那生命是如何做到这一点的呢？薛定谔推测是**代谢**。即，生命吃低熵的食品排熵高的排泄物，差值用来抵消身体自然增的熵（为简单起见薛定谔说食物里有**负熵**）。这个考察原理上符合我们朴素的观察：食物精美（熵低）而排泄物杂乱（熵高）；我们不会反着来去吃

¹ 升维是个常用的解决看似无解的人文社会问题的方法，参见我们对国会规模变迁的考察（赵亮，谷本明子，吕文若，《最方便的议员定数》，大山达雄编著，《选举，投票，公共选择的数理》，共立出版社，2022 年。日文）。

喝熵高的排泄物（抱歉这话可能有点恶心），就算吃，我们也排泄不出熵低的精美食品。薛定谔的这个考察意味着环保是不可能**改善**环境的，因为自然和生命本就有熵增的趋势，而包括人在内的生命为了生存更是要把熵高的排泄物排放到周围环境中去，这当然会导致环境的熵更高。所以，环保的意义不是**改善**环境（做不到），而是在于**减缓**环境混乱崩溃的过程。当然，热力学第二定律针对的是封闭的系统，而地球不是封闭的，所以地球本身有可持续性发展的可能（这要把熵高的废弃物排到地球外去）。

薛定谔的考察和对生命的古典思考吻合。即，物质服从自然规律，而生命不服从自然规律中的热力学第二定律。这个观察说明生命，作为自然界的的一个存在首先它有一个**自然熵增**（即变得更混乱或者说更自由）的趋势，而**生存**则是让生命体维持在一个熵低（即有序）的状态。我用一句话来总结这个观察，“**自然给了生命自由，生命却用它寻找秩序。**”²自然的特征是自由，熵增，混乱，系统崩溃，更新系统；而生命则意味着制约，熵减，秩序，维持系统。请注意后者（即生命）不是自然的，是需要努力的，这个努力就叫生存。另一个必须补充的是，虽然生命的本质在于秩序，但过高的秩序同时意味着多样性的缺失，这对生存也是威胁，在面临环境变化的时候不适应。**维持自由和秩序的平衡是生存最大的问题**，之后我们还会看到一些例子并更加深层地思考这个问题。

1970 年代以后，薛定谔提出的负熵（他用的是化学熵）的概念慢慢地不流行了。而信息熵慢慢地被认为是生命更本质的特征。为说明这个，首先让我们考察一下生命最明显的特性，**遗传变异**。遗传是信息的传递，上一代的信息遗传给下一代。在这个过程当中常常会发生小规模的突然的基因突变（变异）。遗传变异使得子代和父代大体相同但又有点小区别。遗传是高度有序的信息复制行为，而变异是自由的熵增，因为已经适应了环境的基因信息突然出现了事先无法预期的变化。在自然选择的过程当中，不适应环境的变异种会被淘汰，而适应环境的类别则存活下来。这是个信息（遗传信息）的传递和自由选择的过程。在这个过程中生命维持着一个熵低（总的基因信息没有变化）但更适应环境的状态。

新冠期间，我们常听说新冠病毒的变异种（图 6）。其实变异种应该有更多，只是绝大多数没有存活下来，存活下来的是更适应与环境和人类共存的，这表现为毒性小而传染性强的特征。通过基因的遗传变异来实现遗传信息的有发展的传承是生命的特征，所以我认

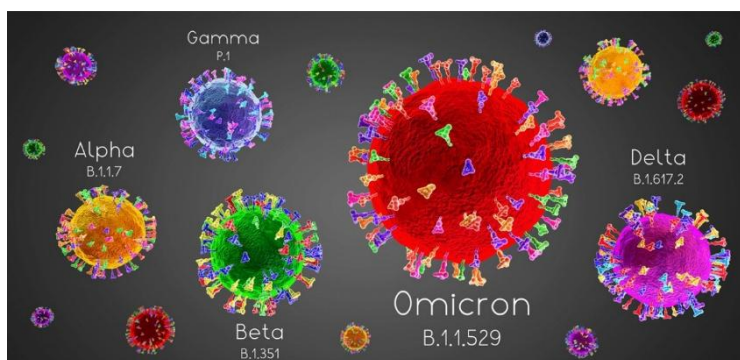


图 6 新冠病毒的变异种 (<https://www.nature.com/articles/d41587-022-00001-5>)

² 这来源于顾城《一代人》里的“黑夜给了我黑色的眼睛，我却用它去寻找光明”的诗句。

为病毒就是生命。是自我繁殖还是宿主繁殖，有没有代谢，有没有细胞壁，这些物理上的观察都不是本质的，能发现并传承优良信息才是生命的本质特征。这里优良指的是熵不高但是更适应生存环境的意思。上述理论常被称为新二元论，即，用物质和信息来理解生命。

发现和传承优良信息这件事其实我们很熟悉。举个科学研究的例子。第谷·布拉厄 (1546-1601) 是丹麦贵族，天文学家，占星术士和炼金术士。他以对天体精密和全面的观察著称。据称他 17 岁就说过下述的话 (<https://zh.wikipedia.org/wiki/第谷·布拉厄>)。

“我研究過所有現有星表，但它們中沒有一個和另一個相同。用來測量天體的方法好比天文學家一般多，而且那些天文學家都一一反對。現在所需要的是個長期的，從一個地點來測量的計劃，來測量整個天球。”

布拉厄积累了大量优良的观察结果，用现在的话就是大数据，他用这些数据可以做很精确的预测（占星术需要），虽然很辛苦但给了他名声。但这些大数据的真正价值直到开普勒 (1571-1630) 变成他的助手之后才显示出来。开普勒从这些大数据中发现了著名的，后来被称为行星运动三定律的三个法则。没有布拉厄的大数据我们无法发现这三个定律，然而

开普勒的努力让我们从大数据中解放了！我们不需要那么大量看似乱七八糟的数据了。我们只需要三个简单的定律，就可以根据初始条件很容易地算出任何一颗行星的运动轨迹。从大量的数据到三个简单的规律，这个方法是我们人类一直在做的，



图 8 布拉厄



图 9 开普勒

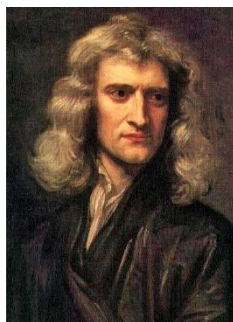


图 10 牛顿

这个过程真正的意义在于信息熵减少了但知识增加了。所以我们可以看到科研就是发现并传承优良信息。开普勒的工作对牛顿 (1642-1727) 影响很大，启发牛顿发现了万有引力定律。从三个定律到一个定律，我们又一次发现人类是怎样努力地找到熵低但是更广的优良信息的。这个观察我用下图来示意。

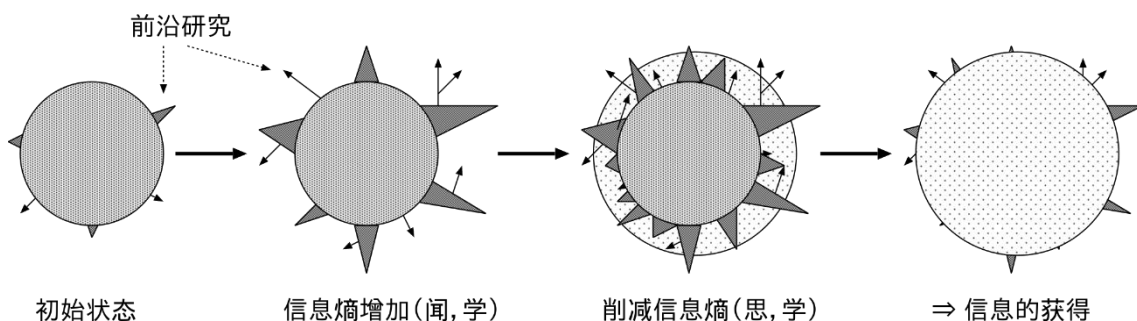


图 7 研究是什么（包括非科学的认知。其中优良信息的获得和传递是生命的本质。）

这里给做科研的读者分享个“秘密”（说它是“秘密”因为我发现很多资深教授也不懂或者只是朦胧地意识到这个事情）：什么是一个科研工作的创新（novelty）？我们发表，写论文，答辩的时候经常会被问到研究的创新点。这时候通常的人会把研究中自己做的那一部分拿出来讲，强调这是先行研究中没有的。可是，相信很多人都有这样的经验，那就是提问的人常常并不因此释怀，反而会更怀疑这个研究有没有创新了。我所在的学院就有这么一个教授，总在学生答辩的时候问人家创新点，但通常学生越解释自己做的工作他越不接受，反而会更质疑这个工作的意义。为此同学们大都很头疼。

其实这是因为大家没有充分理解创新。新工作就像基因突变，绝大多数情况下是失败的（所以被质疑），即便成功了也只是像图 7 中的一个棱角或者刺，扎在我们现有的认知上，让熵增加，让听的人混乱。所以你以为创新指的是新工作越讲自己独自完成的东西，问的人就越不舒服，因为这让人越混乱。真正的创新指的是在扩大我们认知的同时熵还低的那种结果（图 7 中最右边的图）。前述教授期待的就是这样的一个说明，虽然他不能简单地表达出来说明他自己也没搞清楚自己期待的是什么。研究工作，包括论文不是有新东西就好的。我们通常先做文献调查，把现在的认知简洁明了地勾画出来，指出现有的让大家不舒服/混乱的棱角般的前沿结果，然后结合自己的工作用一个简洁明了的理论把这种混乱的情况统一收拾掉，用熵不高的理论扩大我们的认知，这才是有意思的受欢迎的创新。

以开普勒为例，如果他观察到了一个布拉厄的大数据里没有的行星运动数据，这是个新东西但没啥意思，在布拉厄的大数据面前这点工作不算什么，还只会让大家更乱（要记的东西多了）。而他努力从布拉厄的大数据里总结出行星运动三定律，这相当于用了一个大圆（注意圆的熵很低），不仅把以前乱糟糟的大数据（认知）全部统一，还连没有观察到的数据都能搞定。这种研究才是真正有意义的创新，用很低的熵却大大扩大了我们的认知。再举个数数的例子。早期人类只会用手指数 1 到 10，发明加减法以后我们发现 1 到 10 不够用（混乱）了，于是发明了整数扩大了数数的范围，发明乘法以后我们发现整数也不够用了，于是我们又发明了有理数（可以写成两个整数相除的数），但依然熵不高。

综上所述，我们可以观察到**生命的遗传变异，人类的认知，科学研究，等等都有共通的地方，那就是发现和传承优良信息。它们共通的原因是因为，这是生命最基本的特征。**

用这个观点我们再思考一下智慧。请读者再读读 1.1 里列举的目前为止我们对智慧的理解，看看是否那些理解可以用发现和传承优良信息这个生命最基本的特征来重新书写。我认为这个工作不难，答案是 Yes。请注意一部分前人的理解强调了确定性的信息（道德规范等），另一部分提到了非确定性（自然，超越等）。这正是我前面指出的公式，**智慧就是生存（生命活动），可以通过学习与自由选择实现。**

让我对上述关于智慧实现的理论再补充一下。学习对生命/智慧的重要性大家经常说就不提了。关于自由选择对生命/智慧的重要性，文学作品和生物学里经常谈。这里我另外给

个人工智能的例子。AlphGo 是 DeepMind 开发的围棋人工智能。它在 2016 年战胜了当时世界最强的人类棋手柯洁（然后，打遍人类无敌手的它就被隐退了。它的后续是现在鼎鼎大名的 AlphaFold）。2016 年 1 月 7 日 AlphaGo 的开发人员在 Nature 上发了一篇文章《Master the game of Go with deep neural networks and tree search》介绍它的核心技术 (Silver et al., 2016)。让我们看看它的概要（原文英文，中文翻译主要由 ChatGPT 提供），其中下划线是我加注的关键词。

“围棋一直被认为是人工智能在传统游戏中面临的巨大挑战，因为它具有巨大的搜索空间，以及对棋盘局势和落子进行评估的困难。我们在此介绍一种全新的计算机围棋方法，利用“价值网络”来评估棋盘局势，并使用“策略网络”来选择走法。这些深度神经网络通过一种新颖的方式进行训练，结合了从人类专家对局中进行的有监督学习以及从自我对弈中进行的强化学习。在不进行前瞻搜索的情况下，这些神经网络下出的棋可以达到当前最先进的蒙特卡洛树搜索程序的水平，而这些程序通常会模拟成千上万局的自我对弈。我们还引入了一种新的搜索算法，将蒙特卡洛模拟与价值网络和策略网络结合在一起。通过这种搜索算法，我们的程序 AlphaGo 在对其他围棋程序的对局中取得了 99.8% 的胜率，并以 5 比 0 的战绩击败了人类欧洲围棋冠军。这是历史上第一次有计算机程序在全尺寸围棋比赛中击败人类职业棋手，这一成就曾被认为至少还需要十年才能实现。”

“The game of Go has long been viewed as the most challenging of classic games for artificial intelligence owing to its enormous search space and the difficulty of evaluating board positions and moves. Here we introduce a new approach to computer Go that uses ‘value networks’ to evaluate board positions and ‘policy networks’ to select moves. These deep neural networks are trained by a novel combination of supervised learning from human expert games, and reinforcement learning from games of self-play. Without any lookahead search, the neural networks play Go at the level of state-of-the-art Monte Carlo tree search programs that simulate thousands of random games of self-play. We also introduce a new search algorithm that combines Monte Carlo simulation with value and policy networks. Using this search algorithm, our program AlphaGo achieved a 99.8% winning rate against other Go programs, and defeated the human European Go champion by 5 games to 0. This is the first time that a computer program has defeated a human professional player in the full-sized game of Go, a feat previously thought to be at least a decade away.”（英文原文）

读者可以看出它其中最重要的两点技术一个是机器学习（监督学习和强化学习），另一个是蒙特卡洛模拟，即随机地模拟下棋并采用其中最好的一招。由此我们可以看出，**AlphaGo 最重要的技术就是学习加自由选择**。如果我来定论文标题的话，我会用《**Master the game of Go with machine learning and random search**》来强调这一点。看起来 DeepMind 的人没意识到自己的算法的本质，当然也可能是他们故意隐蔽的。除

AlphaGo 以外，另一个广为人知的例子是生成系 AI，特别是基于 Stable Diffusion 的生成系 AI，同样也是基于机器学习和随机选择的。这个以后再详细介绍。

学习和自由选择是生命生存/智慧的两个特征。有意思的是我所在的京都大学也注重这个。京都大学的基本理念是“自由”和“调和。”后者不说，关于前者读者不妨在网上查查京都大学毕业式的照片，相信你会理解什么是所谓自由的学风的（虽然近些年加强集中管理了。这个的理由之后我们再讨论）。我讲一个京大自由学风的科研，号称世界第二长实验的暗黑果蝇实验（第一长的是沥青滴漏实验。但难度远远低于暗黑果蝇实验）。这个研究



图 11 https://www.kyoto-u.ac.jp/static/ja/news_data/h/h1/news6/2010/110301_1.htm

假设有眼睛的生物一直呆在黑暗中繁殖会渐渐失去视觉。为验证这个猜想他们选用果蝇做实验（因为好养而且繁殖快）。这个实验从 1954 年开始一直做到现在，2011 年发了第一篇论文。50 多年才发一篇论文的理由很简单，因为一直没有发现果蝇失去视觉的证据。事实上 2011 年的那篇论文也就只是汇报了经过了 54 年 1300 代（相当于人的 32500 年）的暗黑果蝇依然没有失去视觉。这样的结果当然发不了学术期刊，但是京大还是允许他们继续做，继续给经费。这是因为京大相信自由研究的气氛可以促进各种新奇的想法，可能（就像基因突变一样）大多的新想法到最后不出什么有意思的结果，但没有新奇的想法拿不到诺奖级别成果的³（顺便说一句，京大称崭新的科研想法为变态想法，变态在京大据说是褒义词。以前我和一个外校的老师说我去了一个叫做综合生存学馆的研究生院，那个老师想了想说，有点变态像京大风格，让我不知如何接）。类似暗黑果蝇实验的研究看起来在中国，至少是在现在被称为急功近利型科研主义的中国，是很难想象的。

总结

在这一章里我简述了本书的主要内容。其中最中心的概念是熵，一个表达系统混乱程度的量；最中心的理论学说是关于物质与生命的区别的，即，**物质系统的熵会自然地不断增加**，

³ 2025 年 3 月 28 日改到这里的时候，传来了被称为数学界诺奖的阿贝尔奖给了京大柏原正树教授的消息，这是此奖的第一个亚洲人。这位老师据称很酷，在校园里脚踩木屐带墨镜骑山地车。

而生命则试图抑制自身熵的增加，我们可以简单地说“**自然趋于无序，而生命追求秩序**”。本书将在这一考察的基础上，结合生物学，物理学，人类学，脑科学，认知科学和人工智能等领域的最新研究成果进行更深入的探讨。同时，结合前人对智慧的理解，现在的时事分析，我们将探讨环境问题，学术发展的变迁，智人的生存，人类社会的进步，创新，人工智能，未来生命等话题。通过这些探讨，我们可以观察到上述的基本观点，以及智慧即生命活动，可以由学习和自由选择来实践的观点（之后的章节将有详细介绍）。

接下来的内容，即便读者没有学过信息科学或理科知识也不必担心，我试图写个大家都能懂的内容。有时候也会有些数学公式什么的，但不懂那些公式也应该问题不大。

注：在本文中我假定生命的存在（即，我们不是游戏里或者其他形式被设计出来的虚拟存在），拥有有限的认知能力（我们可以学习认知客观世界，但任何个人都不能认知全部的世界），并且有做自由选择的可能（与此相对的观点是世上所有事情都是决定性的，爱因斯坦是这种观点的代表）。请注意这里的自由选择可以不是自己决定的，比如说基因突变，所以和自我无关，当然与所谓的自由意识更无关。

二 现代科学对宇宙，地球，生命，人类和人类社会的认识

生存是什么？ 上一章我们谈到用生存来定义智慧，那么，什么是生存呢？关于这个问题的探讨比关于智慧是什么要多无数倍。为了节约时间（**时间就是生命!**），让我们只看看当前的主流认识吧。请注意，虽然接下来的介绍是现在主流的科学认识，也是本书内容的参考，但这也只是**现在的**主流认识，过去有过不一样的认识，现在也有不一样的思考，今后还可能出现其他认识。什么样的认识值得相信，需要读者自己的思考和判断。

首先，谈生命需要先从世界（即宇宙）的诞生开始。宗教认为世界（包括人类）是神或某种超自然存在创造的，并且这一点不能被质疑（就像数学中的公理和法律中的宪法一样）。这个出发点其实是科学和宗教最根本的区别：科学允许自身被质疑而宗教不允许。有意思的是关于世界是否是神或超自然存在创造的这个说法现在的科学既无法证明也无法反驳，所以宗教和科学现在共存着的（虽然历史上有过宗教打击科学的极端运动）。科学家中就有很多信教的（<https://www.christiantoday.co.jp/articles/33252/20240203/world-mission-report-february-3.htm>）。历史上众所周知的例子包括牛顿（晚年研究宗教）和爱因斯坦⁴。有趣的是爱因斯坦曾经说过**上帝不扔骰子**的话，关于这个的意思我们以后讨论智慧时还会提到。

科学对宇宙的认识是，宇宙是大约 138 亿年前诞生的，在那之前什么也没有，包括时间也没有（这和宗教的前提不矛盾!）。大约 138 亿年前，有一个点突然“爆炸”，宇宙就这样诞生了，然后宇宙一直在不断膨胀。这样一个简单粗暴的说法让人不好接受，特别是“宇宙诞生之前时间也没有”不好理解，但这是目前唯一可以解释为什么我们可以看到星星在相互远离的理论（宇宙膨胀理论）。138 亿年这个时间就是用我们观察到的星星相互远离的速度（加速度）倒推得到的。对宇宙诞生感兴趣的读者建议读霍金的《时间简史》。

认识宇宙对思考生命是个重要的事，特别是关于生命是如何诞生的这个话题。和上述还有个依据的宇宙膨胀理论比，关于生命诞生的科学学说就只能用想象（或者瞎编，诡异这类单词）来形容了。即便经过了多年的科学实验，目前我们的科学还是不能直接从物质造出（人工）生命来，这说明目前科学对生命是如何诞生的说明或者不对或者不够。在这一点上前述的宗教说明简洁明了：生命是神或超自然存在创造的（所以我们无法认知很正常）。这和笛卡尔的“我思故我在”的哲学思想异曲同工，都是干脆回避对（目前无法认知的）问题的讨论，而是（找个说法）假设这个前提然后把讨论的对象放到其他事情上去。

总之，目前科学对生命是如何诞生的说法都是猜想，缺乏足够让人信服的证据。即便如此，

⁴ 不过看起来爱因斯坦不是传统意义上的宗教信者。虽然他经常提及神，但他更愿意被认为是不可知论者。参见 <https://zh.wikipedia.org/zh-cn/爱因斯坦的宗教观>。

我们还是可以通过化石，DNA 等推测出生命诞生后的一些事情，包括地球生命大约是 40 亿年前后诞生的⁵，自然演化，五次物种大灭绝等事情。这对考察智慧至关重要，因为本书认为智慧是生存活动，这个定义意味着在生命诞生以前没有智慧。事实上我们可以认为“信息”在生命诞生之前也没有，因为没有生命就没有记忆信息的载体（DNA 等）。

关于人类，科学发现认为人类不是从生命诞生就存在的，而是在漫长的物种演化过程当中演化出来的，所以我們的大脑里有一部分和爬虫类的大脑相似并不奇怪。但总体而言和人类最近的生命是黑猩猩。我们的祖先从和黑猩猩同等（可能还更差点）的智力发展到今天这样聪明的过程被称为**认知革命**，具体来说就是在距今约 6 百万年前人类祖先和黑猩猩分开了，而在约 2 百万年前的人类的大脑变成三倍大了，这标志着人类拥有了压倒性优势的智力，人类开始了对地球的支配。有意思的是通常宗教和人文学不认可或者无视这个科学的说法，他们通常假设或默认人是一种特别的存在，和其他物种不同，生来就优越，肩负着管理地球（甚至宇宙）的使命，并且这将永远持续下去，不容置疑。这种公理式的说法和中国古代帝王自认天子生来就是统治者的模式一样，目的是为了维护统治地位的正统性（赫拉利在著书《人类简史》里称之为 fiction，中文翻译成八卦，以后还会讨论）。

相对来说我们对人类社会的演变要更清楚一些，因为距今更近资料更多。这包括早年的游牧时代，然后是农业革命和定居，定居以后人类社会越来越集中，从村落到城镇，再到大城市，国家，以及超国家的联合比如说欧盟和联合国。在这个过程中人类社会的秩序越来越高（与之相对的是组成社会的个人的自由度越来越少，就像组成生命的细胞那样），比如说工业革命导致大量的农村人口移居城市（我们在中国的改革开放过程中亲眼看到了），以及交通革命引起的政治经济全球化。而现代的信息革命则帮助人类不用物理移动就可以连在一起，当前以机器学习为主的 AI 革命更是给人类提供了最大限度的同一性。后者是因为机器学习给的结果是从大数据当中找到的最有可能发生的推测，这通常意味着平均值（或者期待值）。由此我们可以推测未来的人类社会将会更加统一，秩序会越来越高，虽然时不时地会有反复（第三章我们还要更深入地讨论这个话题）。

为了更容易把握宇宙 138 亿年的时间规模，萨根把宇宙的历史等比缩成一年的日历来表示（图 12）。在这个年历里，宇宙诞生在 1 月 1 日 0 点 0 分 0 秒，而现在就是 12 月 31 日 24 点。希望读者能够大概记住这个日历，因为历史可以帮助我们更准确地思考眼下和推测未来。请注意在这个日历上我们熟知的强者霸王龙是 12 月 29 日出现的，维持了一天在 30 号就灭绝了。但是请不要笑，因为人类的历史，从和黑猩猩分家算起的话不过才 4 个小时，谁知道能不能维持到可以和霸王龙一样长呢。

作为一个对宇宙，地球，生命，人类和人类社会的总结，读者可能会对本章到此为止的介

⁵ 读者不妨想想生命的出现年代是如何推测出来的。

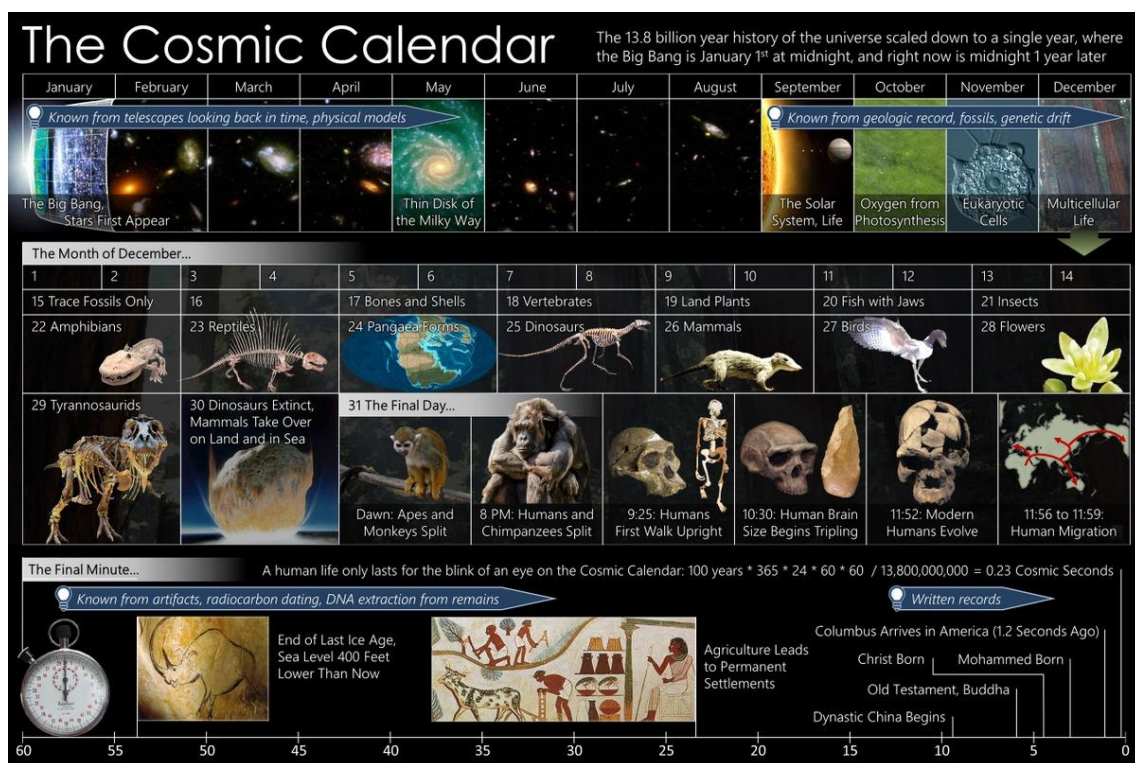


图 12 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cosmic_Calendar.png by Efbrazil

绍感到不满，因为太简单粗糙了。请不要着急，我没试图做更详细介绍的原因是因为有更好的介绍资料。下述两个视频是理解本书内容的重要基础，我也觉得很不错，请读者把这两个视频当做本书的一部分来视听。一定要听哦，不然之后的内容可能会不容易理解。

视频 1 (英文, 7 分钟): The Known Universe by AMNH

<https://www.youtube.com/watch?v=17jymDn0W6U>

视频 2 (日文, 2020 年 4 月版, 65 分钟): 地球そして生命の誕生と進化

<https://www.youtube.com/watch?v=-mKu5dlins4c>

视频 2 (英文, April 2020): <https://www.youtube.com/watch?v=SkeNMoDIHUU>

三 生命与秩序：热力学第二定律，熵，薛定谔对生命的探讨

本章我们主要考察生命的特征。

3.1 薛定谔对生命的探讨，热力学第二定律，熵，秩序的方向

生命是什么？ 上一章我们考察了科学对宇宙和生命的基本认识。知道了虽然还有很多关键事情含混不清甚至稀里糊涂但科学对此已经有了一定的认识（还没看视频的读者请务必看哦，不然会影响对下面的阅读）。特别是第二个视频中提到了**熵**这个概念以及它对分析生命的意义。这个探讨最早是薛定谔开始的，下面我们更详细些地介绍一下。

薛定谔因为对量子力学的突出贡献而获得 1933 年的诺贝尔物理学奖。其实他对生命科学的研究也有卓越贡献。在《生命是什么》（1944）的前半部分，他从一个物理学家的角度探讨了遗传的机制。这个探讨对 1953 年 James Watson 等人发现 DNA 双螺旋结构起了重要的启发 (https://en.wikipedia.org/wiki/What_Is_Life%3F)。Watson 等人也因此获得了 1962 年的诺贝尔生理学或医学奖⁶。

更有意思的是薛定谔在《生命是什么》的后半部分还探讨了更深刻的生命与物质的区别问题。他认为**物质服从热力学第二定律而生命则不然**（这个说法不甚严谨，之后我们会更准确地讨论）。这个说法和古人“物质服从自然规律而生命不服从（某些）自然规律”的观察吻合，具体来说薛定谔认为热力学第二定律就是生命不服从的一个自然规律（再强调一下，这只是个方便的说法，之后我们还会有更准确的讨论）。

那么**热力学第二定律是什么？**为了解释这个定律，我们需要先知道物理学里对**秩序方向**的认识。为此让我们先考察一下**秩序**。请看图 13。图 13 表现了物质的三种形态：气体，液体，和固体。请读者猜一下哪个代表气体，哪个液体，哪个固体。

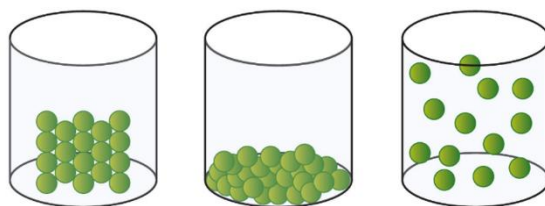


图 13 物质三态示意图（原图 https://saylordotorg.github.io/text_the-basics-of-general-organic-and-biological-chemistry/s11-02-solids-and-liquids.html）

答案是，从左到右分别代表固体，液体，

⁶ Watson 是个有争议的科学家。他因为对黑人的歧视发言而失去了在西方科学界的地位和名声，后来为了维生不得不把诺贝尔奖章拍卖，而买下奖章的俄罗斯富豪把奖章还给了他以示对他的尊重。2017 年，89 岁的他去了中国深圳，帮助中国建造了一个以他的名字命名的生命科学中心，主要研究癌症精准治疗。参见 https://www.sohu.com/a/132988090_114731。

和气体。相信不会有人搞错的，但请读者想想自己为什么会这样认识呢？

理由很简单，因为**秩序**不同：固体秩序高，即分子之间的联系紧密牢固不容易变形（所以叫固体）；气体的秩序低，分子之间几乎没有联系，可以自由活动，无法维持一个稳定形状；而液体的秩序则介乎两者之间。

秩序是一个描述由两个以上成分组成的系统的状态的基本概念。这个概念在人文社会和科学研究的领域里都在用。人文社会研究通常用定性分析，比如说社会秩序，虽然没有严谨定义但大家都知道大概想要说什么；而科学研究需要定量分析，**熵**就是这样的一个量。熵最早是 1865 年克劳修斯提出的热力学定义【热量÷温度】⁷。普朗克则用了玻尔兹曼在 1870 年提出的统计力学定义【 $k \ln(W)$ 】，其中 k 是玻尔兹曼常数， W 是系统的微观状态数， $\ln()$ 是自然对数。它用来刻画一个系统的混乱程度（或者可以称为是自由程度），数值越高系统越混乱（秩序越低）。信息学领域也有个熵的定义，1949 年香农给的用来描述概率变量不确定性的量 $-\sum P_i \ln(P_i)$ ，其中 P_i 是概率变量等于 i 的概率。这三个定义看起来很有联系但究竟是否是同一个概念目前还没有完全被证明或被否定，虽然在某些条件下存在证明（如 E.T. Jaynes 1965）但尚未得到普遍承认。

物理学观察到自然界里的熵（秩序）是有方向的。那就是**随着时间的推移一个系统的熵只会增加，换句话说就是秩序会自然的越来越乱**。让我们看个例子。京大有个食堂叫 RUNE，10 年前换了茶水供应系统。之前的系统有一个出热水的水龙头和一个出冷水的水龙头，用户可以自己调节水量得到自己希望的水温和量。而新系统改成了按钮式，按一下出一杯热水或冷水，这个过程不能被中止（图 14）。这让想要喝温水的用户头疼（我们没时间等热水慢慢变成温水！）。为了喝到温水我们需要 3 个杯子，一杯接热的，一杯接冷的，还有一杯空的用来混合前两杯。显然这很浪费，要三个杯子两杯水。RUNE 的工作人员注意到了这个现象，特意贴了个说明请大家只用一个杯子（以节约洗杯子的水费）。这让人绝望。我只好先喝一杯冷的（冰的！），再喝一杯热的（烫的！），让它们在胃里去混合。。⁸



图 14 RUNE 的茶水供应系统

⁷ Entropy 是克劳修斯创造的单词，据称意为一个系统不受外界影响时朝内部最稳定状态发展的趋势。而熵是胡刚复在 1923 年普朗克来中国讲学时想到的翻译，意为热量（除以温度得到）的商。参见 <https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E7%86%B5>。

⁸ 等了 10 年，这个系统终于在 2025 年 3 月 24 日更换成和从前一样的水龙头式了！！

热水混冷水是温水，这个常识就是我们对秩序方向的观察。怎么讲？我们知道水是由很多运动着的水分子组成的。热的水分子运动的快，冷的水分子运动的慢。把热水和冷水混合后，运动快的热分子和运动慢的冷分子会混在一起，导致有的地方水

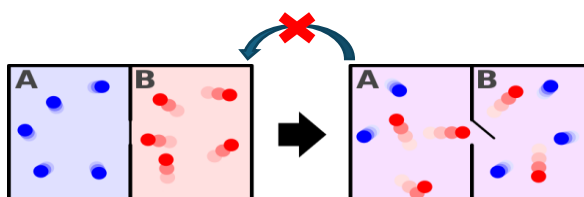


图 15 冷水混热水会自然地得到温水，反之则不然。

温高有的地方低，这就是温水了（见图 15）。之后分子间会发生碰撞，碰撞让运动快的热分子把热量传给运动慢的冷分子，我们就可以慢慢地得到更均匀的温水。请注意，**冷水热水混在一起会自然地变成温水，而温水不会自然地变成一半热一半冷，这是个单方向的变化！**说它表示自然界里秩序的方向的理由是，热水冷水混合前的状态和混合后的状态比，混合前有序（热冷分明），而混合后混乱（热冷混乱），参见图 15。这个例子说明自然界里的秩序是从有序走向无序的，反之则不然。

描述这个单方向变化的自然定律就是**热力学第二定律**。对此克劳修斯的描述是“从低温热源传热到高温热源，必须伴随着系统的变化”。用前面水的例子来介绍就是热水冷水混到一起不会自然地热水越来越热冷水越来越冷（即，冷水分子传热给热水分子），要想发生这样的变化系统自身需要有变化。而普朗克则给了另外一种描述，即“自然界的变化过程只会让系统的熵增加”。这就是我们刚刚叙述过的秩序的方向（有序到无序）。需要注意的是系统熵增的说法针对的是**封闭的系统**。如果系统不封闭则可能不成立。比如说，假设有一杯有热分子和冷分子的温水（图 15 的右图）。如果我们可以观察到分子运动的快慢并且控制中间的阀门使得热分子聚集到左边冷分子聚集到右边，那我们就可以得到左边是热水右边是冷水的。这是个从无序到有序的结果。但这个不是自然的结果，是需要某种系统变化，或者系统外的努力才能实现的。

热力学第二定律是个广泛被使用的**经验**法则，它是物理学家总结了大量观察后得到的。当然经验法则会让人有些担心它是否普遍成立，因为我们的观察总是有限的。事实上对它的怀疑一直也都存在（科学允许自身被怀疑！）。最著名的两个被称为【时间之箭】和【麦克斯维妖】。前者指出定律用到了时间的不对称性（即时间不能倒流），而证明时间的不对称性看起来是办不到的，因为除了时间以外整个物理学的理论都是对称（空间对称）的，用对称的理论去证明不对称的现象有问题。换句话说，我们可以说熵增的方向和时间的方向一致⁹，但看起来很难证明这是个单向的现象。关于麦克斯维妖我们以后再详细讨论。

有怀疑就有回答。据说爱因斯坦说过“我相信它（热力学第二定律）是唯一一个不会被推

⁹ 30 岁以上的人应该对此很有共鸣才对！无论是想要回到年轻时的愿望，还是期待长生不老梦想，都是生命的基本特征，即，渴望走一条和时间（增加）相反的方向。而时间的方向就是熵增的方向，是自然变化的方向。热力学第二定律对生命而言意味着衰老死亡的过程是不可避免的。

翻的拥有普遍意义的物理理论”(比如说 Geoferry West, 2017, 《Scale》, p14。原文是 “It is the only physical theory of universal content which I am convinced will never be overthrown...” 但我没有找到出典。)。从中我们可以看出爱因斯坦对热力学第二定律的相信甚至超过了他自己最伟大的发现之相对论理论! 当然爱因斯坦有可能错了, 但既然连他这样伟大的物理学家都是那样认为的, 至少我们可以相信要否定热力学第二定律不是个简单的事。那我们不妨假设热力学第二定律的成立并以此为基础继续探讨。如果有一天发现无法回避的矛盾了(虽然连爱因斯坦这样的物理学家都认为是不会发生的), 我们再回过头来否定它也不迟。以下, 让我们假设热力学第二定律的成立。

3.2 自然, 生命, 人类

从热力学第二定律我们可以得到一个结论, **一个封闭系统的熵(混乱程度)只会越来越高直到崩溃**(意味着变成其他形式)。如果宇宙是个封闭的系统, 这意味宇宙的终极结果是灭亡(历史上这种终极结果被称为热寂)。假如地球是个封闭系统, 这意味着地球环境会越来越乱直到崩溃。不过, 读者不必太担忧, 至少地球不是封闭系统, 太阳在不断地给地球输入能量, 地球也在不断地对外辐射热量。但是, 热力学第二定律告诉我们**地球环境有个走向毁灭的自然趋势**。这个趋势当然不只是针对地球, 而是对包括人在内的任何物理系统都适用。比如说一个封闭的人会自然地越来越混乱(这可能是监狱的理论背景)。请注意这里我用了关键词【自然】, 因为这是自然规律(热力学第二定律)所指出的。

另一方面, 正如薛定谔所观察的, 生命的特征是生存, 生存就是维护生命体的有序状态, 而不是老老实实地遵循热力学第二定律揭示的混乱走向毁灭(即, 衰老死亡)的自然趋势。从这个意义上说, 我们可以说**物质(物理系统)和生命拥有相反的特征: 前者有个越来越混乱直到崩溃毁灭的趋势, 而后者有维持自身秩序阻止混乱灭亡的倾向**。衰老死亡是后者能力(生命力)下降的结果。

那生命是如何做到维持自身秩序的呢? 薛定谔认为是靠(化学)代谢, 即吃进低熵的食物排出高熵的废弃物, 在这个过程中得到负的熵用以抵消身体自然增的熵。这个说法有说服力, 因为我们可以观察到自己吃食物和排泄废物上有单向性。但它至少不适用于不做代谢

活动的病毒。近些年来，我们觉得**信息代谢可能才是生命更本质的特征**。对这方面的考察不多，下面的描述主要是我自己的思考（可能和前人的思考有很多重复的）。

遗传是生命延续最重要的特征。这个延续极为强韧，亲子鉴定就是基于这个现象。事实上，就算隔了几万年，也许几百万年也是如此，后代和先代也不会有多大变化（参见第一章介绍的暗黑果蝇实验）。读者应该为此惊叹!! 被我们称为世界七大奇迹的建筑物(图 16)都只有几千年历史，而现存的就只剩下埃及大金字塔一个了。从这个对比我们可以发现拥有强韧的遗传信息传递能力的生命才是真正不可思议的世界奇迹。

对遗传的过程科学已有很准确的理解，虽然我们还不能造出一个人工生命。研究这个领域的学问叫做分子生物学。前述发现 DNA 的 Watson 等人是这门学问的早期创始者。分子生物学的研究观察到了一个中心法则（central dogma）。它叙述了生物体中三种大分子（DNA，RNA，蛋白质）之间遗传信息的传递关系，见图 17。请注意中心法则指

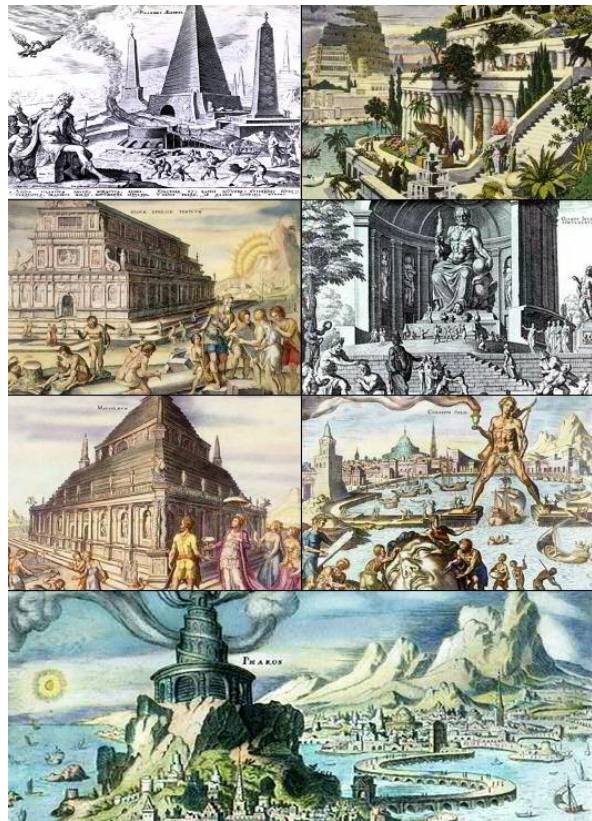


图 16 世界七大奇迹 (https://en.wikipedia.org/wiki/Seven_Wonders_of_the_Ancient_World)

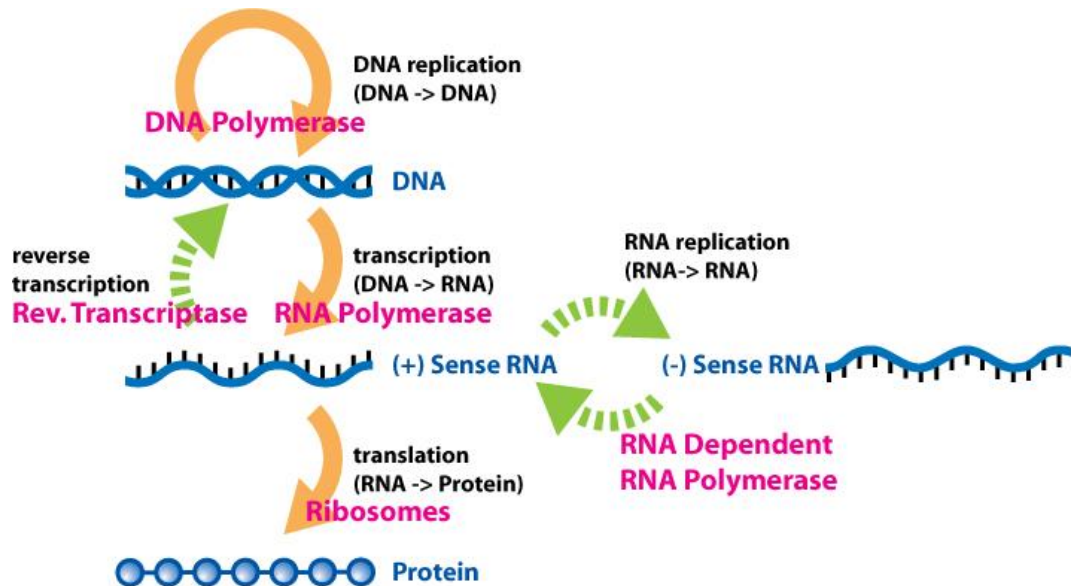


图 17 Central dogma (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=26070240>)

出遗传信息不能从蛋白质传递到 RNA 或者 DNA (其他类型的传递是可以并且是时刻都在被执行的标准流程)。这可能是目前我们还不能制造出人工生命的主要原因。

遗传是个精密而强韧的信息复制过程。它是如此准确，以至于我们现在可以有准确的亲子鉴定，而不是只看不那么可靠的长相。我们也因此有了精确的生物分类。当然也有对人类遗传信息的考察。有意思的是，基于人类遗传信息的考察表明，尽管世界上的人外表/文化/习惯等有很大差异，但遗传信息其实是非常接近的。有研究表明只有几个百分比的遗传信息差异 (Rosenberg et al. 2002)，见下。

"We studied human population structure using genotypes at 377 autosomal microsatellite loci in 1056 individuals from 52 populations. Within-population differences among individuals account for 93 to 95% of genetic variation; **differences among major groups constitute only 3 to 5%.**" (<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1078311>)

这意味着现存的人类在很久以前可能是一支。规模更大的人类遗传信息研究提供了更多证据，比如说图 18 的研究结果。它显示了汉族人和日本人的遗传信息非常接近，甚至比居住在中国的少数民族还要近。更重要的是这些研究揭示了现有人类来源于 (数百万年前的) 同一支祖先，甚至还给我们勾画出了人类的演变过程，即，我们的祖先发祥于非洲南部，

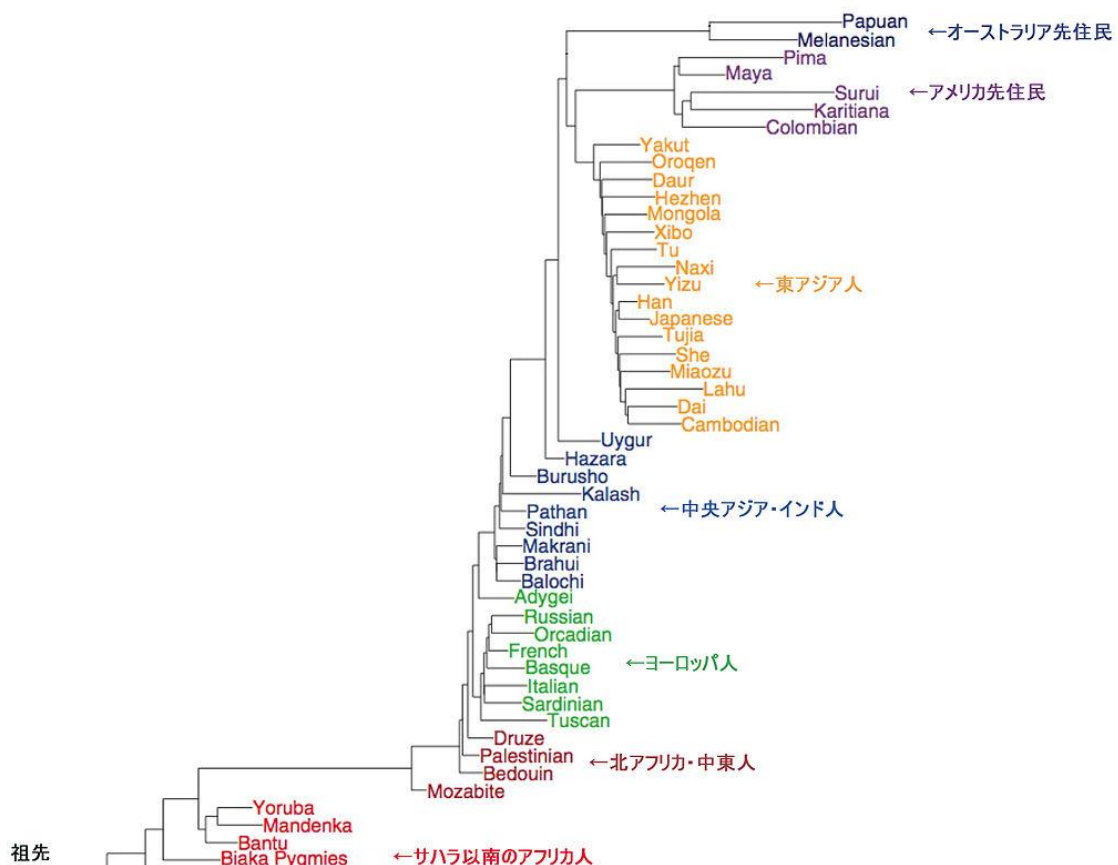


图 18 <http://ja.wikipedia.org/wiki/系統樹> Original: Jun Z. Li, et al., Science 319, 1100 (2008)

然后依次扩大到非洲北部，欧洲，中亚/印度，东亚，澳大利亚和美洲。这可以从遗传基因的远近关系看出来。人类的大迁移在我们之后讨论人类社会的时候还会再谈到。

人类由同一支祖先由来，相信这对大多数人来说也没有多大意外。意外的是，既然如此（本是同根生），为什么我们会那么多纷争与自相残杀（相煎何太急）呢？要知道从古到今世界总是分久必合合久必分，纷争/战争从来就没有消失过（图 19）。为什么会这样呢？



图 19 公元 1400 年以来死于纷争的人数 (<https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Wars-Long-Run-military-civilian-fatalities.png>).

心理学的研究结果给了我们一个解释。那就是在人类的感情当中，我们生来负面感情更多更强烈。心理学里的常识是，人最强烈的感情不是爱，而是憎恨（这可能是个会让很多人失望的科学发现。我们之后还会讨论这个事情）。图 20 是现代西方心理学对人类感情的总结（美国心理学家普拉齐克发明的情绪轮），我们可以看出其中正面感情大约占 1/3，负面感情大约占 2/3，而最强烈的感情（内圈）里，可以算作正面的有恍惚（ecstasy）和热爱/崇拜（adoration），只占其中的 1/4。在中国也我们常说人有七情。这七情指的是“喜，怒，哀，惧，爱，恶，欲”（儒家），或“喜，怒，忧，惧，爱，憎，欲”（佛家），或“喜，怒，忧，思，悲，恐，惊”（中医）。其中正面感情大约也是 1/3 甚至更少，这和西方心理学的总结吻合（我们有共通的祖先！）。基于这个观察我们可以理解为什么人类会更容易进入到负面情绪当中了，那么这个世界当然就很容易发生争执，分裂，斗争，纷争，和自相残杀了。

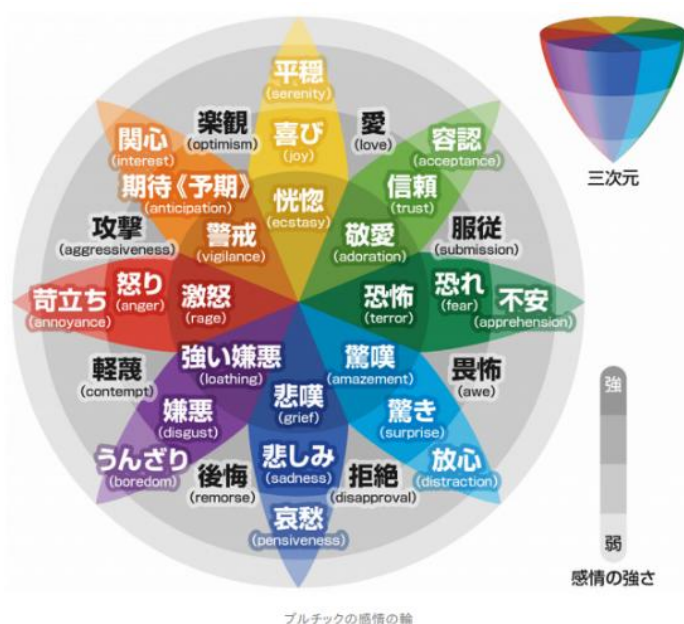


图 20 普拉齐克的情绪轮总结了现代西方心理学对人类感情的认识。原图: <https://swingroot.com/plutchik-emotion/>

- https://note.com/kind_crocus236/n/n03001a0df23
- <https://barrons.jiji.com/article/6309>
- https://note.com/panda_lab/n/nf0f0229f8c6b

可是，人为什么会负面情感更多更强烈呢？心理学家们不知道。物理学家则应该不会觉得奇怪，因为负面感情看起来最自然。热力学第二定律告诉我们物理系统都有个越来越混乱（或者说越来越自由）直到崩溃灭亡的自然趋势。显然，这个自然趋势和推动分裂对抗纷争的负面情绪在方向上是吻合的。从这个意义上，我们可以说人生来负面情感更多更强烈是因为我们都是自然的产物的缘故，负面情感是先天就有的。

负面情绪的发生很自然这一点我相信读者会有体验。负面情绪不需要特别努力或提醒自己就可以出现，而正面情绪则相反。举例而言，排队或堵车的时候如果有人加塞，很多人会突然一下子冒起火来（开车的人会按喇叭抗议）。又比如说男女恋爱，爱是正面感情，但为了爱要付出非常多的努力。如果突然看到 TA 和其他异性亲密交流的时候，通常的人会一下子负面情绪爆满（读者可以看到有很多人失恋后做出极端事情的报道）。再比如说教育，我们从小反复被教育要有正面情感比如说宽容大量，尊老爱幼，信赖，忠诚，乐观，爱等等，就是因为这些正面情感不自然或者太弱，需要特别教育和培养才可能修到的原因。

那为什么人除了负面情绪也还有正面情绪呢？这大概是因为这样更适合生存的缘故。生存意味着维持自身秩序，而拥有适当正面情绪的人更容易维护自身和周围的环境/人形成共生，久而久之，拥有适当正面情绪基因的群体就占优势了。这一点从我们日常生活中的经

需要提及的是人生来负面情绪多而且强烈的这个观察在现实生活中被充分地利用着，包括政治利用和商业利用。政治表面就需要对抗很容易理解。商业利用则遮遮掩掩不敢曝光。比如说，谷歌前 CEO 的 Eric Schmidt 就在斯坦福大学的课上说过 CEO 们让公司（特别是社交网络公司）利益最大化的最有效方法就是煽动人们的愤怒（他用的英文原文是 outrage）。但是 2025 年 3 月 22 日我确认的时候他的这个视频已被删除，请参见下述网站的介绍。

验来看很显然。类似的考察包括道金斯在《自私的基因》(1976) 里的分析：纯利他主义（需要正面情感）和纯利己主义（就负面情感足以）的群体不如既有利他也有利己主义（负面正面情感都有）的群体更容易生存。但即便如此，和可能先天就有的正面情感比，后天的影响看起来更大（我的猜测）。从这个观察出发，薛定谔指出，虽然生命需要排出熵高的废弃物到环境里去，但可能存在一种可以控制整体（生命+环境形成的系统）的熵不增加的稳定状态。这和另一个诺奖的发现有关，之后我们讨论自我组织化的时候再考察。

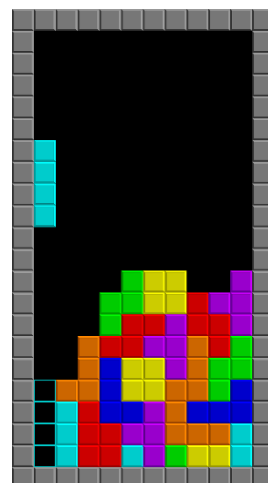
负面情绪与自然/自由，正面情绪与生命/秩序相通的观点还可以从东西方文化的比较中看出。东西方文化有个明显的区别：东方文化讲究调和（京大的理念之一就是调和！）与共生，比如说山水画里的人物都画的很小以示人在自然面前的渺小和共生；而西方文化讲究自由和战胜自然，画里的人物通常很大以示人的伟大和支配性地位。我曾经为此请教过京都市立艺术大学日本画学的浅野教授，去之前我漠然地理解这是东西方文化的差异但不知道为什么会有这样的差异。浅野教授告诉我原因是中国日本等东方国家自古以来常有大规模的地震水灾台风海啸等自然灾害，所以从古代开始就对自然界有敬畏之心，故而追求人和人的调和以及人和自然界的共生，这样在自然灾害时更容易生存；而欧洲则没有那么严重的自然灾害，所以对自然界没有强烈的敬畏，更看重人的自由和战胜自然界的力量。这也是为什么东方文化更强调集体秩序，而西方文化更强调个人自由的缘故。

如果确实是这样的话，那东西方的人其实并没有本质上的区别（我们都起源于同一支祖先！）。文化不同是因为我们需要适应的生活环境不同所造成的。换言之，如果地球所有的人都共用同一个环境，那我们就不会文化的差异，更不会有那么多纷争甚至自相残杀了。这就是联合国为什么特别强调环境问题和 SDGs 等全球性问题的原因。不过，正如我们已经了解的一样，人生来就是负面情绪更多更强，所以想要煽动分裂和纷争很容易（因为自然），而想要维持正面联系/秩序/和平则是逆水行舟需要很多努力，而且还容易被破坏。请大家想想世界过去发生的事和现在正在发生的事，看看是不是这个道理。

但读者也不必灰心丧气。看起来人类在经过了多年的演化，特别是经历了悲惨的事情比如说两次世界大战以后，比以前更注重正面情绪，理性和共通理念了。这当然有助于维护社会秩序和人类群体的生存。在这里我用个例子来说明，即使没有人强迫，人类也确实存在可以共享/追求秩序减少混乱的理念的。

俄罗斯方块是有史以来最受人欢迎的电子游戏之一（图 21）。这个游戏是俄罗斯数学家阿列克谢·帕吉特诺夫（Alexey Pajitnov）在 1984 年发明的

(<https://www.bbc.com/zhongwen/simp/world-69096423>)。它玩法很简单。游戏画面顶部不断地掉下部品（7 种四格骨牌之一）。部品落到画面底部或者已固定部品上了就会被固定。如果固定的部品堆里存在从左到右没有空白空间的一排，那一排就可以被消掉，部品堆的高度就可以下降一排。当剩余部品堆的高度抵达画面顶部的时候游戏结束。玩家要做的是在部品尚未固定以前通过移动或回转尽量让它们在固定的时候可以形成能被消掉的一排，消掉的排数就是游戏的分数。它是有史以来最受人欢迎的游戏之一



(https://mp.weixin.qq.com/s/e1HsEuLOurYc_NViDv6HMQ)。

有意思的是为什么这么简单的一个游戏会让人如此着迷。对此俄罗斯方块的发明者帕吉特诺夫曾这样分析过：“**人类都有一种内在欲望，那就是‘从混沌中创造出秩序’。**《俄罗斯方块》的系统虽然简单，但却能从根本上满足这种欲望。”而《俄罗斯方块效应》（The Tetris Effect: The Game That Hypnotized the World）的作者丹·阿克曼（Dan Ackerman）认为：“**《俄罗斯方块》让无序变得有序。这就像人们每天都要对抗日常生活中从天而降、五彩斑斓的随机事件和无休止的琐事冲击。**”（以上引用了 https://mp.weixin.qq.com/s/e1HsEuLOurYc_NViDv6HMQ 的内容）。看起来帕吉特诺夫等人认识到了人类拥有（和熵增规律对抗的）减熵之（生存）欲望而俄罗斯方块恰好迎合了人类的这种生存欲望。我认为这样的利用方法是可以赞赏的，而那些靠煽动愤怒憎恨等负面情绪来实现利益最大化的政治/商业行为应该被唾弃。

图 21 俄罗斯方块游戏
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9c/Typical_Tetris_Game.svg

3.3 人类社会

前面我们从薛定谔的思考出发用秩序/熵的概念和热力学第二定律考察了自然与生命，人。这个考察让我们观察到物质和生命有个本质区别，即，**物质有个熵增，即本质上越来越混乱直到崩溃毁灭的自然趋势，而生命则试图维持自身的秩序阻止混乱崩溃的趋势。**拥有物质存在的生命体这两种特征皆有，并且也最终会灭亡（这意味着要想永生就必须摆脱对某个固定物质存在的依赖。我们在 3.4 里还会讨论这个话题）。有趣的是人的情感也有这样的特征：和熵增的自然趋势吻合的负面情感生来更多更强烈，而和熵减的生存趋势吻合的正面情感看起来主要是后天努力学的。所以“人之初性本善”的说法，从科学角度来看是不对的，更准确的说法是“人之初性本恶，后而学习善。”

在这一节里我们把考察对象从个体扩大到人类社会。首先我们发现，一点也不意外，人类社会也可以用上述自然（即物质）和生命的观点来分析考察。比如说，和自然的熵增趋势相吻合的社会概念包括混乱，自由，冒险，自然，创造，批判，破坏，多样性等；与之相对的，和生命的熵减趋势吻合的社会概念包括秩序，制约，理性，真理，科学，协调，法律，

统一性等。社会这两种特征都有。从对生命和人情感的认知上我们可以猜到，前者更自然更多更强烈而后者更像生命需要努力才能实现。让我们考察一些具体例子吧。

对新鲜事物的好奇心是人生来就有的，比如说宇宙探索。这种**对新鲜事物的好奇心是自然**的，不需要努力我们就有（之后我们还会更深入地讨论好奇心和教育）。与之相对的，人又有对真理，美，一统天下等的欲望，这些可以看作是追求秩序的生命趋势吻合的。之后我们还会对什么是美这个话题进行考察。

在政治上我们可以看到有很多例子。比如说奥巴马和拜登的政策更倾斜于生命特征，强调秩序和人为操作（奥巴马推行全民医保，拜登回归国际条约，新冠期间要求戴口罩和打疫苗等），而特朗普的政策更具有自然特征，强调自由和自然选择（退出巴黎气候协定和世界卫生组织，重视美国自身的 MAGA 政策，对本质上是加强统一秩序的 DEI（多样性，公平性，包括性）运动的重申等）。这些年的国际政治，特别是美国的政治，可以用秩序和自由的反复来描述，虽然大多数人更习惯称秩序为左而自由为右。对此《三国演义》的开头就总结，“话说天下大事，分久必合，合久必分。”很明显“分”对应自由（自然），“和”对应秩序（生命）。

“分久必合，合久必分”的总结看到了人类社会的一个现象。它从表面上看是一个正确的总结，但深度不够。仔细看历史的话我们会发现人类社会并非是简单的分与合的反复，而是在反复的过程当中，社会的内部联系和整体秩序在不断加强，人类社会也因此变得越来越大越团结和有序：从古代的家庭到村落，村落到城镇，城镇到城市，国家，跨国组织（如欧盟），再到联合国。在这个演变的过程当中，因为我们并不知道怎样做最好所以会出现反反复复。比如说之前的政治经济全球化搞了一些年出现了很多难以解决的问题（例如精英统治的弊端），而新冠期间缺乏弹性和自由的强行管制更让很多人非常难受，所以新冠结束后世界各地涌现了反对精英主义（Elitism）的民粹主义者（populist），其中最大的代表者就是特朗普，但也包括其他的很多人包括意大利首位女性总理的梅洛尼（Giorgia Meloni）。这些人强调自己代表多数民众，故而支持自由，反对过度的秩序，显然这是普通民众的**自然**倾向。我们可以预料今后将会有段时间的国际社会分裂。

不过，从对生命的特征和人类历史的考察中我们不难预料，在经过一段分裂时期之后人类社会又会出现全球性秩序，并且那将比以往的做法更加洗练，和平，宽广，自由。这是从“天下大事，分久必合，合久必分”的总结中看不到的。当然，我们也要指出，如果人类社会太封闭了，恐怕也要逃不出走向更大混乱直至灭亡的自然命运。目前联合国主要把治理地球系统内部秩序（包括改善贫困，平等，环境，福祉等）当作工作的中心，参见可持续发展目标 SDGs（图 22。SDGs 的口号“Leave no one behind.”就是个典型的代表），未来的主要使命应该主要是帮助人类走出地球。



图 22 联合国的可持续发展目标

政治以外的例子也是比比皆是。比如说笔者曾经参加过多次日本的小学或自治会的运动会。都没有个人项目，所有项目都是团体比赛，连赛跑也以集体为单位，把个人得分加起来算总分定名次。很显然这是日本用来教育和维护社会秩序的一个方法，坚韧的社会秩序可以帮助日本社会在自然灾害面前尽可能地平稳度过，就像我们知道的例子那样。再比如说体育，最早是用来提高个人生存能力的，近代包括奥林匹克运动会等体育比赛更多的目的是用来维护秩序的。音乐和舞蹈最早是用来帮助人类社会实现更高秩序而出现的（很明显人类具有通过音乐和舞蹈来实现更高秩序的能力的）。很多人喜欢追星，推星，演唱会，有些人甚至可以说是到了着迷的阶段了。为什么呢？因为这样的环境和人追求适度秩序的心理共鸣。而艺术，因为它的洗练程度高，欣赏起来需要更多的后天学习和努力。总之这些都是社会可以用来形成和维护秩序的手段（感兴趣的读者不妨查一下“面包和马戏”）。

3.4 信息与人类社会，未来生命

之前我们讨论过，和现在科学（生物学）对生命的定义比较，优良信息的获取和传递看起来是生命更本质的特征。这个特征也可以看作是生命与物质的区别，因为我们可以认为物质甚至连贮存信息的能力都没有，更不要说获取和传递了。本节将更深入地讨论这个观察。

麻省理工学院天文学教授 Max Tegmark 是个很有影响力的人物。他在 2017 年的著书《Life 3.0》里阐述了他对生命形态的认知，即，生命有 3 种形态：生命 1.0 只能通过遗传进化，比如说细菌；生命 2.0 除了遗传以外还拥有大脑，可以实现后天的进化，比如说人；这两种生命都依赖于某个**固定**的物理身体，而生命 3.0 是未来的生命，可以摆脱某固定的物理身体，在虚拟环境中存在并进化（凡看过阿凡达，黑客帝国，Upload 等 SF 题材的电影电视的读者应该很熟悉这种概念）。

让我们从信息的角度考察一下 Tegmark 的生命 3.0 的概念，因为我们认为获取和传递优良信息才是生命更本质的特征。我们可以注意到生命 1.0 的生命信息载体只有遗传基因，生命 2.0 的生命信息载体除了遗传基因以外还有大脑，而生命 3.0 的生命信息载体除了遗传基因，大脑以外还有不依赖某固定物理身体的载体，让我们沿用现在的说法称之为云（cloud）吧。参见图 22。

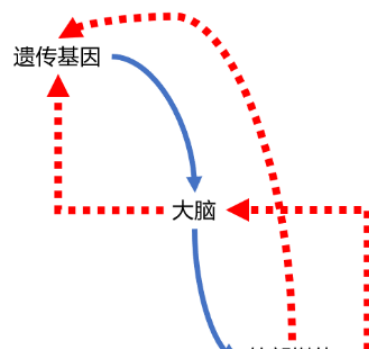


图 23 三种生命信息载体的关系
(实线: 演变过程; 虚线: 支配地位)

比较这三种生命信息载体，遗传基因是最原始也是最坚韧的，现代人穿越回千年以前估计和那时候的人也不会有多大身体上的差异的；大脑则具有非常强的可塑性，现代人穿越回哪怕 10 年前也会比那时候的人拥有巨大知识上的优势（对炒股的人来说哪怕穿越回几分钟之前也可能赚得巨额的金钱）；而云可以预计将远比大脑灵活和丰富多彩，可以应对任何大脑（更不用说基因）都无法迅敏和正确处理的认知任务。从这个角度来说，我相信会出现一个生命 2.5 的形态，这个形态由现有生命与外部信息载体结合（比如说 cyborg）。马斯克（Elon Musk）在推进的 neuralink 项目就是想要实现这样的一个形态。

对比上述三种生命信息载体，随着时间的推移，最重要的信息载体有个从遗传基因到大脑，再从大脑到外部载体的变化过程。这主要是因为灵活性和处理能力的缘故。与此同期的，社会秩序也有个从遗传基因主导到后天努力主导，再到与机器（云）融合程度主导的变化过程。我们先从前者谈起。

直到数十年前这个世界都还是遗传基因主导社会的。这表现为（只简单地举几个例子）：

- 血统决定论：皇室贵族的特权就是建立在这种观念上的，而穷人家出身的人无论如何努力也难以提高其社会地位。这种从几千年前的封建社会以来的观念直到现在世界上都还有，比如说包括日本在内的君主立宪制国家。
- 基于基因的偏见和歧视：比如说种族歧视，肤色歧视，性别偏见。

而现代社会一个重要的特征就是把主导社会的因素从先天就定下来的基因转变为后天的努力（即大脑的活动）。这包括废止君主制，针对种族歧视，肤色歧视，性别偏见的各种

平等运动，近些年来牙买加等国检讨废止君主立宪制就是这一历史潮流中的一个标志性政治运动。那么未来，我毫不怀疑主导社会的因素将会从大脑活动转变为生命与外部信息载体的融合，教育就是其中一个正在被强烈挑战中的领域（关于这个话题，以后我们还会进一步讨论 ChatGPT 等人工智能对教育的冲击）。

在这个演变过程当中，毫无疑问信息的存在将会比物理存在更重要。为此 2024 年是个象征性的一年，我认为可以称之为**信息超越物理元年**，因为 2024 年物理学诺贝尔奖和化学诺贝尔奖都奖给了人工智能的开发者（共享）。通常做科研的人对自己的研究都有自负，认为自己的工作做得比别人好，否则就没有动力继续做科研了。这种自负越是水平高的人就越强。所以读者可以想象评判诺贝尔奖的世界顶级科学家们有多不情愿把这样重要的奖分给非专业人士的。但是 2024 年他们给了，而且一给就是两个奖项。这是研究物理存在的科学家们宣布输给了搞信息处理的人工智能专家的败北宣言，象征着在科研领域中人脑输给了电脑，信息的重要性超过了物理的存在。

人脑输给电脑，信息的重要性超过物理存在的事情正在各个领域里进行中。下围棋玩游戏就不说了。炒股中人工智能开始取代交易员的事是二十几年前就开始的了（举例而言，高盛在 2003 年导入 AI 做交易并因此把纽约本部 600 名交易员裁掉了 598 人，剩下两人也降格为听 AI 指示的角色。参见东洋经济在线版，2023 年 11 月 28 日，原文为日文，<https://toyokeizai.net/articles/-/715152?display=b>）。金融领域，Fintech 的公司已经超越传统银行，数字货币将慢慢侵蚀甚至取代已经用了数千年的货币。巨大 IT 公司如 GAMA (Google, Apple, Meta, Amazon)，微软，BAT (Baidu, Alibaba, Tencent) 等已经基本上全面渗透，也许可以说是已经控制了我們大部分的日常生活。而交通领域中无人驾驶正在接近普及，这意味着不久的将来人工智能将取代人脑驾驶车辆。ChatGPT 为首的 AI 正在从根本上改变我们学习，科研，做生意，创作的套路。甚至连更新换代通常很缓慢的战争也在发生变化：最近的战争开始大量使用装备了人工智能的无人机，这些无人机在开火的时候还有人控制，随着无人机对抗的升级，我毫不怀疑在不久的将来会出现自己选择目标自动开火的全自动武器。

京都大学有不少引以自豪的诺贝尔奖。其中之一是山中伸弥教授因为发现 iPS 细胞而得到 2012 年医学生理学奖。iPS 是一种多能干细胞，它可以帮助我们用自己的细胞培养出任何一个身体器官。这给了我们希望，可以在不久的将来实现替换掉身上任意一个器官的医学。这种医学被称为再生医疗，我们期待它可以取代目前受排斥反应困扰的器官移植（移植他人的器官通常会有很严重的排斥反应，难以普及）。但是请思考一下。假如再生医疗实现了的话，那很显然人体的物理存在就会变得更不重要了，因为出问题了可以很容易换个新的呀。那，那时候对人来说什么东西更重要呢？只可能是信息。目前储存在大脑里，未来更多的是储存在外部媒体里的信息。所以再生医疗也是一个强力推进信息革命的应用。

信息革命的近期结果将是人工智能部分取代人的智能。未来的人类可能会是生命 2.5，即人机结合。与之同步的是人类社会正在逐步地从基因为中心（生命 1.0）的观念转变为大脑活动为中心（生命 2.0）的观念，今后还将逐步地转为以虚拟环境活动为中心（生命 2.5）的观念上。这一点从最近这些年的粉丝文化，推活（日语“推し活”），网游，网红，虚拟文化可以很容易看出民众对此趋势的准确捕捉。而经济上实体经济与虚拟经济的分离，特朗普第二次上台后虚拟通货的进一步扩大势力（不知道比特币是什么的读者不妨查查比特币的走势），可以让我们窥探在背后推动社会变革的势力的思维。

综上所述，我们可以看到信息的重要性超过物理存在，人脑输给电脑的事情正在全方位地进行中。这不禁让我们担忧今后的人类该朝什么方向发展。人类可以像电影 Wall-E 里那样什么都不做全靠忠实的 AI 来养活自己吗？还是说像电影终结者里那样和机器人战争吗？我们之后将通过对智慧的考察，特别的，对人工智能能否获得智慧这个问题的考察，认真思考这个重要的问题。