

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 25 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 的同学们的见识也常常很有意思 (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 (和讲师的名气?)，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。对此，我能注意到的出处都标注引用了，没有标注的或者是我不知道或者是常识不需要标注的。非常欢迎大家的指教，包括出典，讨论，建议，批判等。我不特意主张哪些理论是我的独创哪些不是，因为我认为知识是全人类（全生命）共享（public domain）的，重要的是内容，而哪个理论/说法最早是谁的贡献这类事并不重要。

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。

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。除了少数是邮件直接发给我的以外，其他都是期末的匿名反馈。

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

第一章 信息智慧论概要

智慧是什么？ 让我们先不要理会前人的认识（那些也都是有 bias 的!），而从我们自己朴素的观察开始思考这个问题。很多人都觉得智慧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，如果我也和他们用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，而是个严谨切实可行的定义以帮助我们思考人工智能能否拥有智慧这个问题（换句话说就是我们要开发出什么样的人工智能大家会说 TA 有智慧）。对此前人的定义看起来有多大帮助。所以我决定从信息这个角度来思考这个问题，现在看来这样的思考是很有意思的。

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（只是希望没有问题。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。

--- 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，应该不是完全的，读者可能也不认可其中的一部分。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**的分析。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，称霸地球一时的恐龙可以灭绝的话，那现在称霸地球的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分析来定义智慧的做法对思考未来是有问题的。然后，科学认为地球只是宇宙中一个渺小的存在，宇宙中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，就算我们可以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，随机这个词后来改成了自由。

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

请注意这个公式不是数学的加法。用此我想表达的是：(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，在日语里我用“智慧する”这个造语动词来表达。(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，同样的输入可以有不同的输出（可以不是真正的随机，如果读者由此一问的话）。

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，公交车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**生命有服从自然规律的一面**。但是，我们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，又比如说做非理性选择的自我牺牲等事。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（传统）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**（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

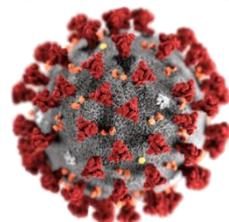


图 1 病毒（病毒在生物学中被认为是物质而不是生命。但本文对此有异议。）

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。相信普通人对此有违和感，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。

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的这个问题。请参照下面两张外星球的照片（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 3 A picture of Mars
(<https://www.nasa.gov/humans-in-space/humans-to-mars/>)



图 2 Another picture of Mars
(<https://www.wishtv.com/news/nasa-shares-photo-of-pyramid-like-formation/>)

绝大部分人会说图 3 吧，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，**生命的特征是高度有序不乱**。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，至少是没有明确指出。

既然如此，那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，大于阈值的就是生命，小于阈值的就是物质（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。之后吉布斯于 1878 年研究统计力学（也是物理学的一个分支。）时提出了另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。

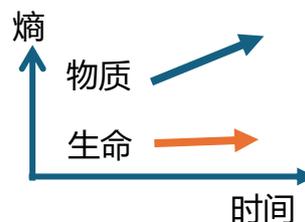
举例而言，我们都知道图书馆书架上的书是按领域分类了的，这种井井有条的状态就是图书系统有序的表现，所以我们可以很容易地找到想要找的书。而如果把书随机乱摆在桌子上，那图书系统就是个乱糟糟的状态，作为结果我们不容易找到想要读的书。对应井井有条状态的熵低（容易把握），而对应乱糟糟的状态的熵高（不容易把握）。

有了熵的概念，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。当然光靠负熵这个量还不够，我们还需要一个区别生命和物质的熵的阈值。然而，很快我们就可以发现这个阈值找不到了。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](#)

但我们不必丧气。因为 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。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，虽然作为物理存在的身体服从热力学第二定律熵会越来越高，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。



薛定谔还指出生命维持自身熵不增加的办法是**代谢**，即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**地球环境（做不到），而是在于**减缓**环境崩溃的过程。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（这大概需要把熵高的废弃物排到地球外去）。

薛定谔的考察和古典对生命的思考吻合。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。**”¹所以**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，系统维持。请注意后者不是自然的，是需要生命努力的，这个努力就是生存。另一个必须补充的是，过高的秩序意味着缺失多样性，这对生存是另一方面的威胁。**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深曾思考这个问题。

1970 年代以后，薛定谔提出的负熵（化学熵）的概念慢慢地不流行了，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。读者可以理解上述理论是新二元论，即，用物质和信息来理解生命。

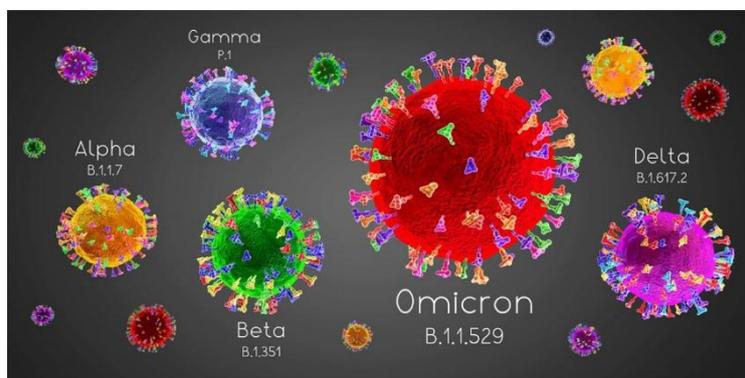


图 6 新冠病毒的变异种 (<https://www.nature.com/articles/d41587-022-00001-5>)

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。

¹ 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。

据称他 17 岁就说过这样的话 (<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



图 8 布拉厄



图 9 开普勒

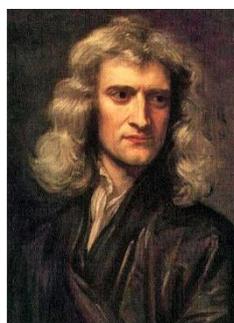


图 10 牛顿

开普勒的努力让我们从大数据中解放了！我们不需要那么多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，

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。

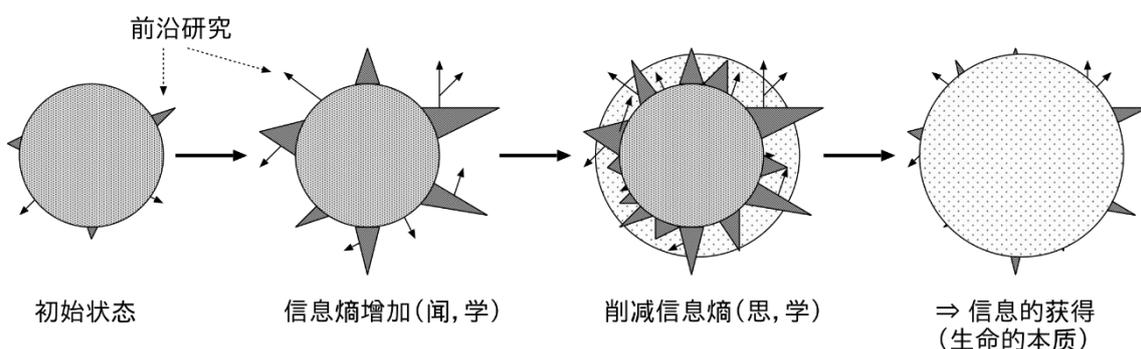


图 7 研究是什么（包括非科学的认知。这也是生命的本质）

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。通常的人会把研究中属于自己做的工作拿出来讲解，

强调这是先行研究中没有的。可是，相信很多人都会这样的经验，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的创新了。我所在的学院就有这么一个教授，总在学生答辩的时候问创新点，但通常不管学生怎么说自己做的工作他也不接受，反而会更质疑这个工作的意义。为此同学们大都很头疼。

其实这是因为学生们和那个教授没有充分理解创新的意义。要知道创新就像基因突变，绝大多数情况下会失败，即便成功了也只是像上图中的一个棱角或者一根刺，扎在我们现有的认知圆上，让熵增加，让听的人更混乱。所以你以为创新指的是新东西，越讲自己独自完成的东西，问的人就越不舒服（越混乱）。真正的创新指的是在扩大我们认知圆的同时熵还低的那种研究结果（上图中的最右边的图）。前述教授期待的就是这样的一个说明，虽然他不能表达出来说明他自己也没搞清楚自己想要的问的是什么。总之，研究工作，包括论文不是有新东西就好。通常我们先做先行文献调查，把现在的认知圆勾画出来，特别要指出现有的让大家不舒服和混乱的棱角般的一些新成果，然后结合自己的工作用一个漂亮的理论把混乱情况统一收拾，熵不高的同时还扩大了人类的认知，这才是创新。

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了。这种研究才是真正有意义的创新，用很低的熵却扩大了我们的认知。再举个例子，我们数数也是这样的。最早的人类只会用手指数 1 到 10。发明加减法以后我们发现 1 到 10 不够用（混乱）了，于是发明了自然数，后来又用整数扩大了数的范围，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，但熵依然不高。

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，都有共通的地方，那就是发现和传承优良信息。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。**

让我们对智慧的实现再补充一下。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）。在 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 介绍它的技术 (Silver et al., 2016)。让我们看看它的概要 (用 ChatGPT 对原文英文的中文翻译), 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)

读者应该可以看出它其中最重要两点技术。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, 即随机下棋。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。另一个例子是生成系 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



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

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 idea，没有新奇的 idea 拿不到诺奖（顺便说一句，京大称类似的 idea 为变态，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，我不知如何接下去）。这样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，而生命则试图抑制自身熵的增加**，简单地说就是“**自然趋于无序，而生命追求秩序**”。本书将在这一理论的基础上，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，即便你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。

注：在本文中我们假定生命存在（我们不是游戏里的人物），有认知能力（我们可以学习认知客观世界），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。