

知恵すること

情報の視点から生命と 社会の本質を考える

趙 亮、2025年後期

京都大学総合生存学館



**あなたは、なんのために
生きていますか？**

⇒ 生命とは？

生命とは

- 二千年以来の思考（二元論）
 - 物質（体）：自然法則に従う存在 +
 - 精神（心、命、魂等）：超自然法則に従う存在
- 近代科学（生物学）の定義：自己繁殖 + 代謝 + 細胞 ⇒ ウィルスは殺せない（生命ではないから）

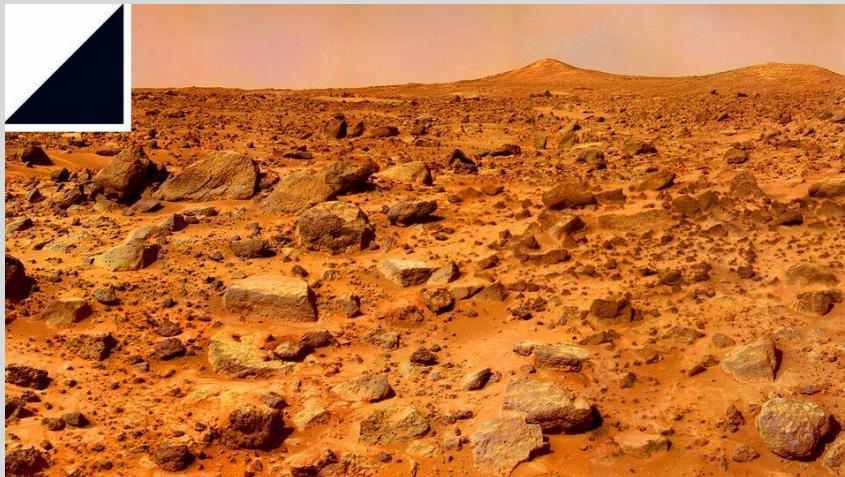
PS. 生物学・生命科学の仮定：生命はすべて遺伝子によって制御されている（自由意志×）

科学によって否定されつつある。
精神とは、脳の活動による意欲
や能力の代名詞になっている。



生物学の定義に対する素朴な疑問

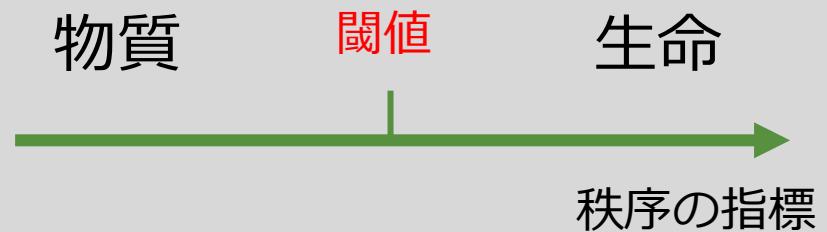
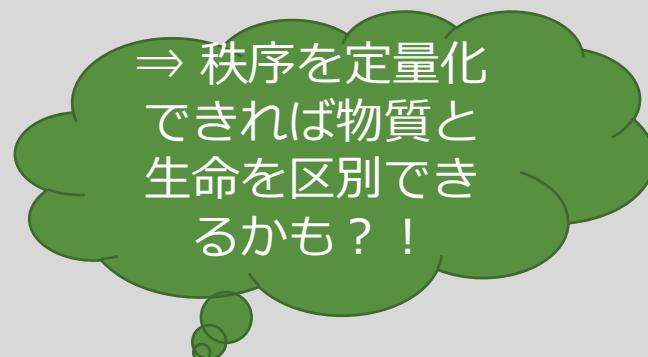
最も生命らしい特徴をもつ画像はどれだ？



左 : NASA/JPL-Caltech, 右 : <http://www.educatinghumanity.com/2015/06/nasa-disCOVERS-pyramids-in-universe.html>

⇒ 生物学の定義は、我々の直観を反映していない。
すなわち、生命の特徴は、高い秩序を持つこと。

事実、生命は、高度な秩序を持つ系である。人間はおよそ37兆の細胞からなっており、高度な秩序がなければ、バラバラになってしまう。

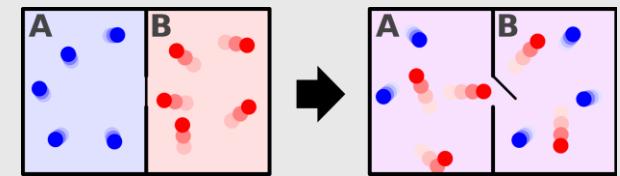




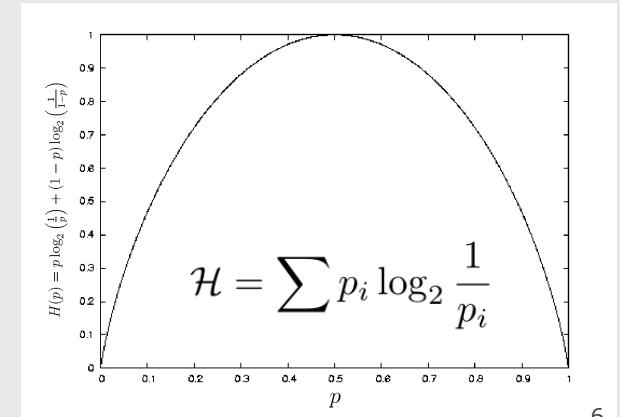
系の乱雑さや不確実性、
自由度を表す**量**として

エントロピー

- 熱力学 (Clausius, 1865)
- 統計力学 (Gibbs, 1878)



- 情報学 (Shannon, 1949)



秩序とエントロピー

乱雑 ⇒ エントロピー高い
整然 ⇒ エントロピー低い

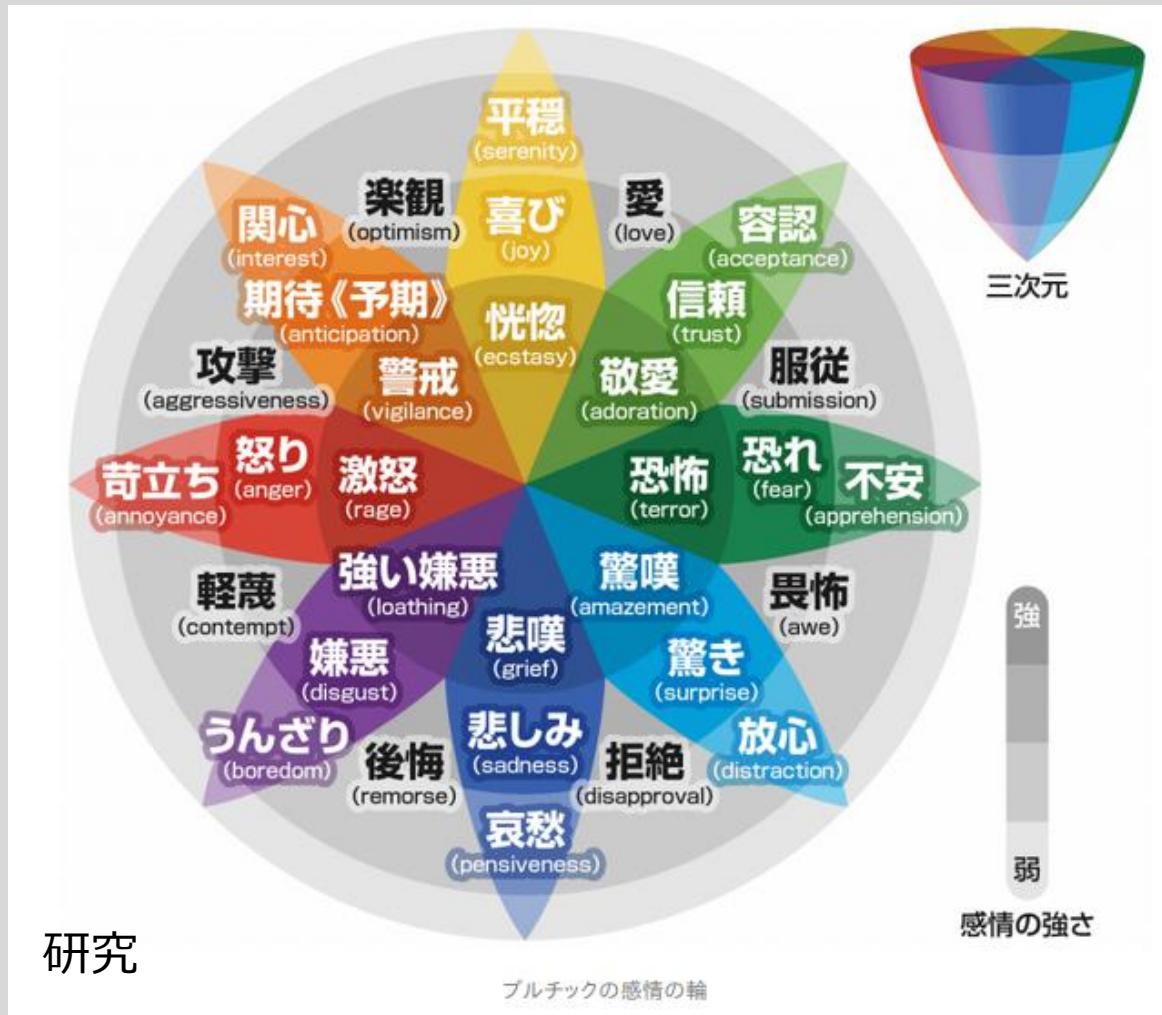
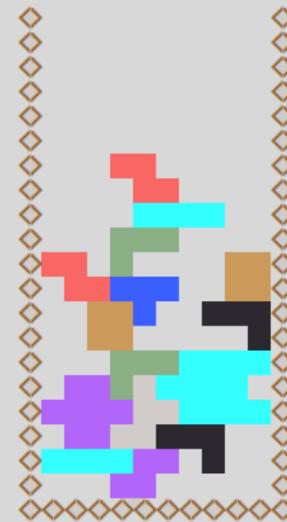
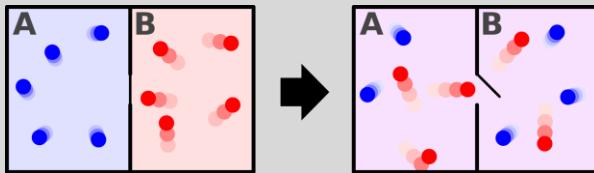
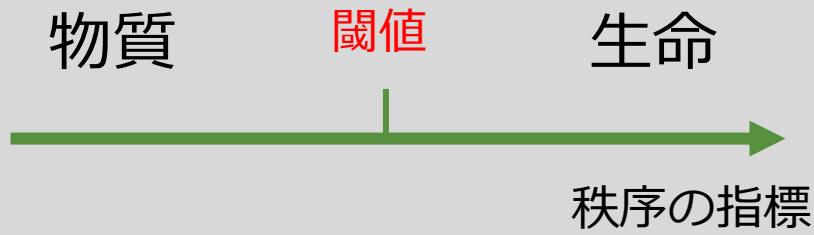


図 <https://swingroot.com/plutchik-emotion/>

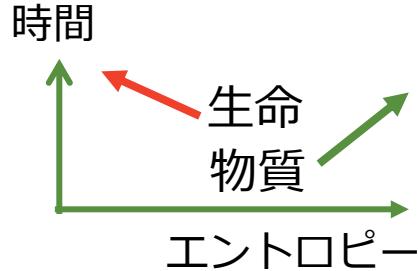


⇒ 秩序の指標として、(負の) エントロピーを使えば？

残念ながら、それだけでは不十分（例：結晶もエントロピーが低いように見える）



⇒ 説明変数を増やそう



70年代以降、**情報エントロピー**を本質とする思考に

生命とはなにか

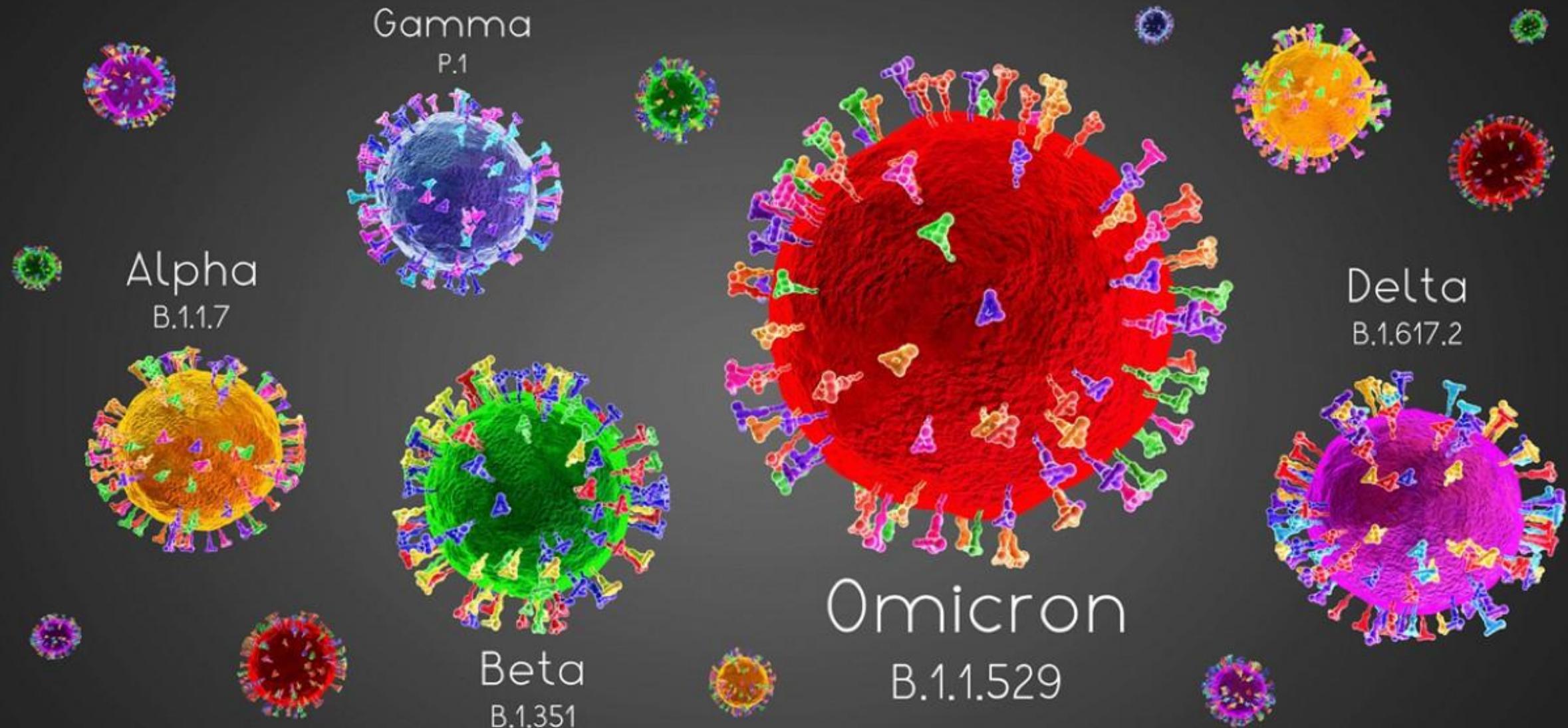
- 現代科学の**思考** (シュレーディンガー, 1944) 自然は乱雑になっていく
 - 物質**：熱力学第二法則に従う ⇒ エントロピー↑ *分野によって自然の意味が異なる
 - 生命**：↑の法則に従わない ⇒ エントロピー↓ 生命は秩序を求めていく
代謝 = エントロピーの低いものを食べて高いものを（まわりの環境に）排出。
よって、環境問題は、根本的には改善できない（環境崩壊を遅らせることは可能）。

生命の進化から情報エントロピーを見る

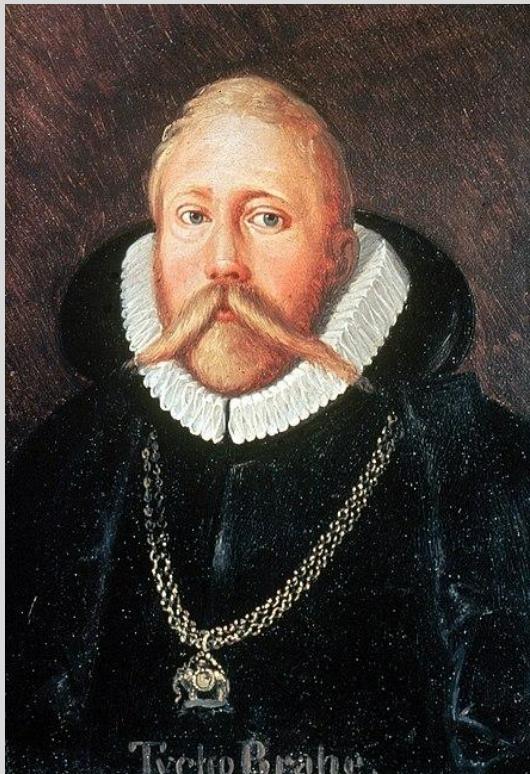


生命は、**遺伝**と**突然変異**によって生きてきた。**突然変異**はエントロピーの増大に対応し、環境適応のための情報をまとめて次世代に伝える**遺伝**はエントロピーの減少（=秩序の向上）に対応する。

遺伝と突然変異なら、ウイルスも生命と言えるのではないか



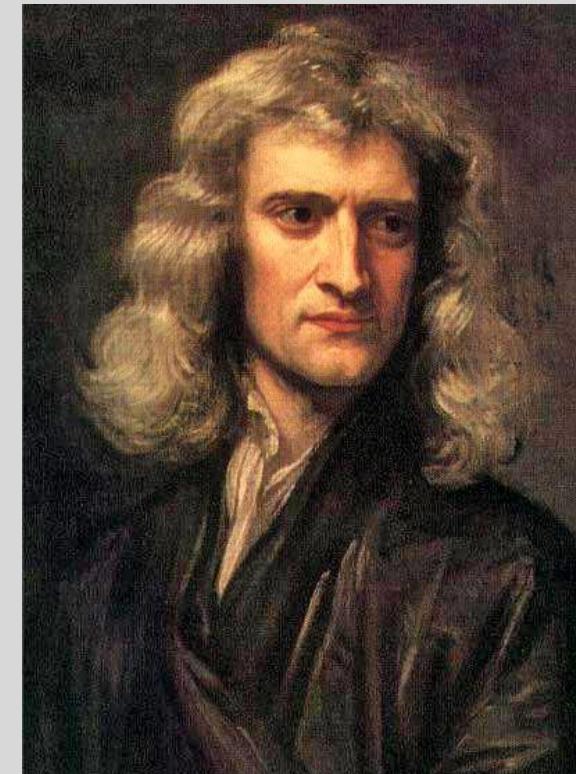
情報エントロピーで科学研究を見る



Brahe
(ビッグデータ)

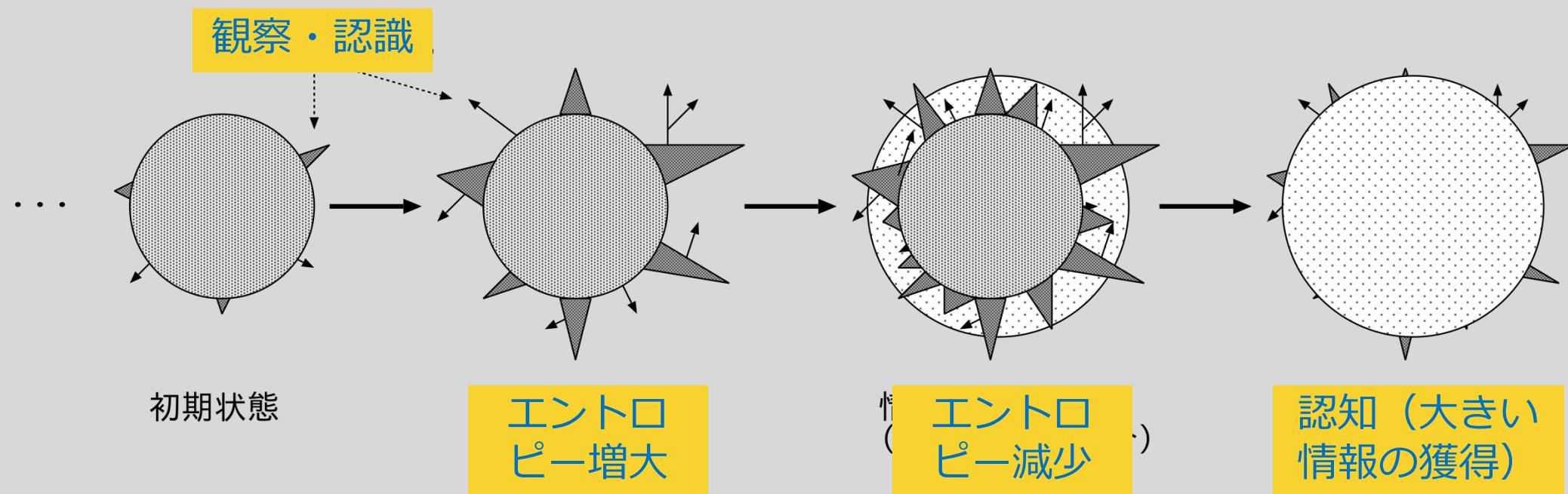


Kepler
(三法則)



Newton
(万有引力法則)

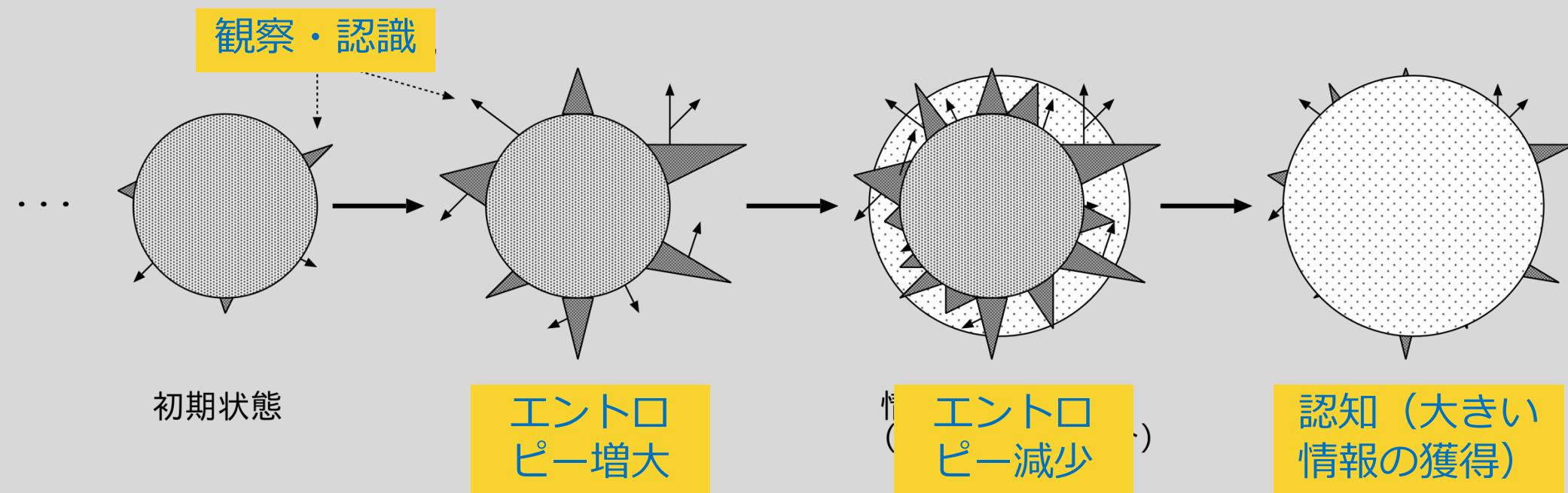
研究とは



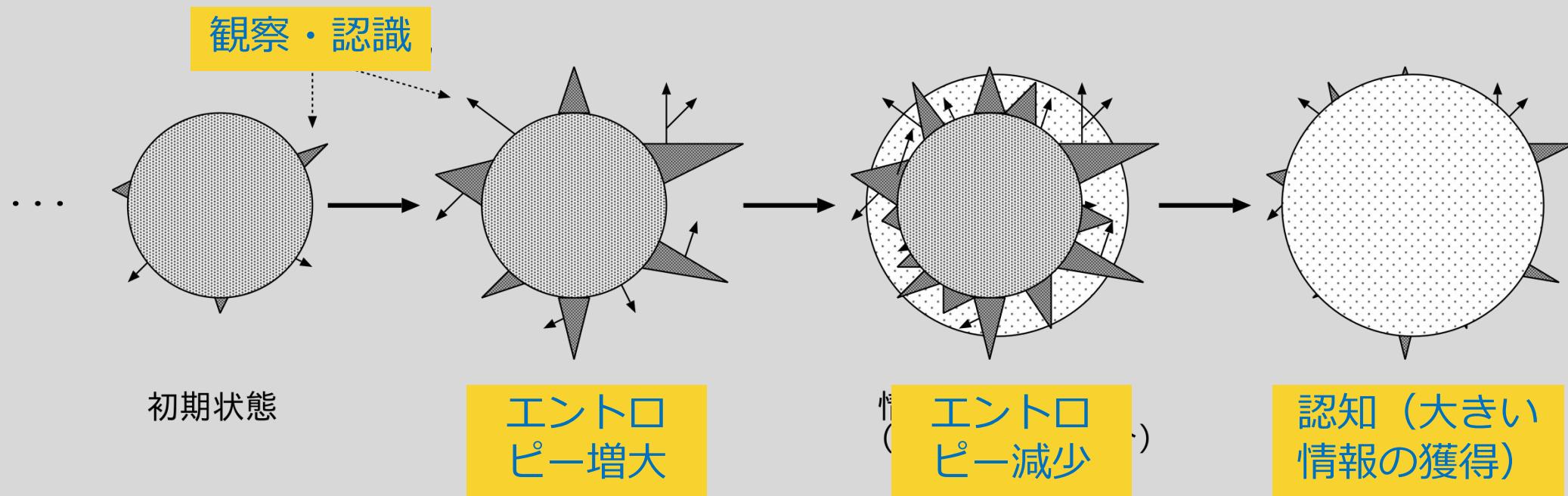
研究論文を書くときに、新しい結果があつたらいいというわけではない。
我々の現在の認知に対して、説明範囲が広く情報乱雑さが低い理論でなければならないのである。

例：数の変遷

1~10 -> 自然数 -> 整数 -> 有理数 -> 実数 …



生命生存の周期



人間は、生まれつきで各種情報に飛びつく傾向がある（ビジネスに利用される）。
しかし、これは、生命の特徴ではなく、自然の特徴である（賢いとは言えない）。



智慧

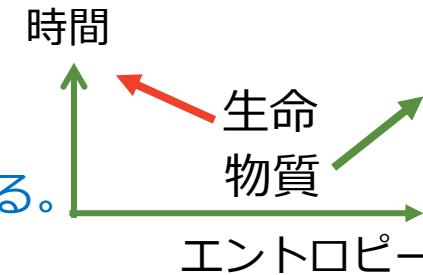
智慧とは生きること（趙）

- 生きるための行為 (action)、wisdom of life
- 時間の次元を持つ。すなわち、一定期間で考える必要がある。

智慧 = 学習 + 亂択

生命は遺伝子で学習の結果を記録し突然変異で乱択する。

学習とは、決定的行為。乱択とは非決定的行為。



学習の重要性はよく強調されるが、

乱択も重要だ

多様性の意味は、
乱択にもっと多い

<https://en.wikipedia.org/>

Versions

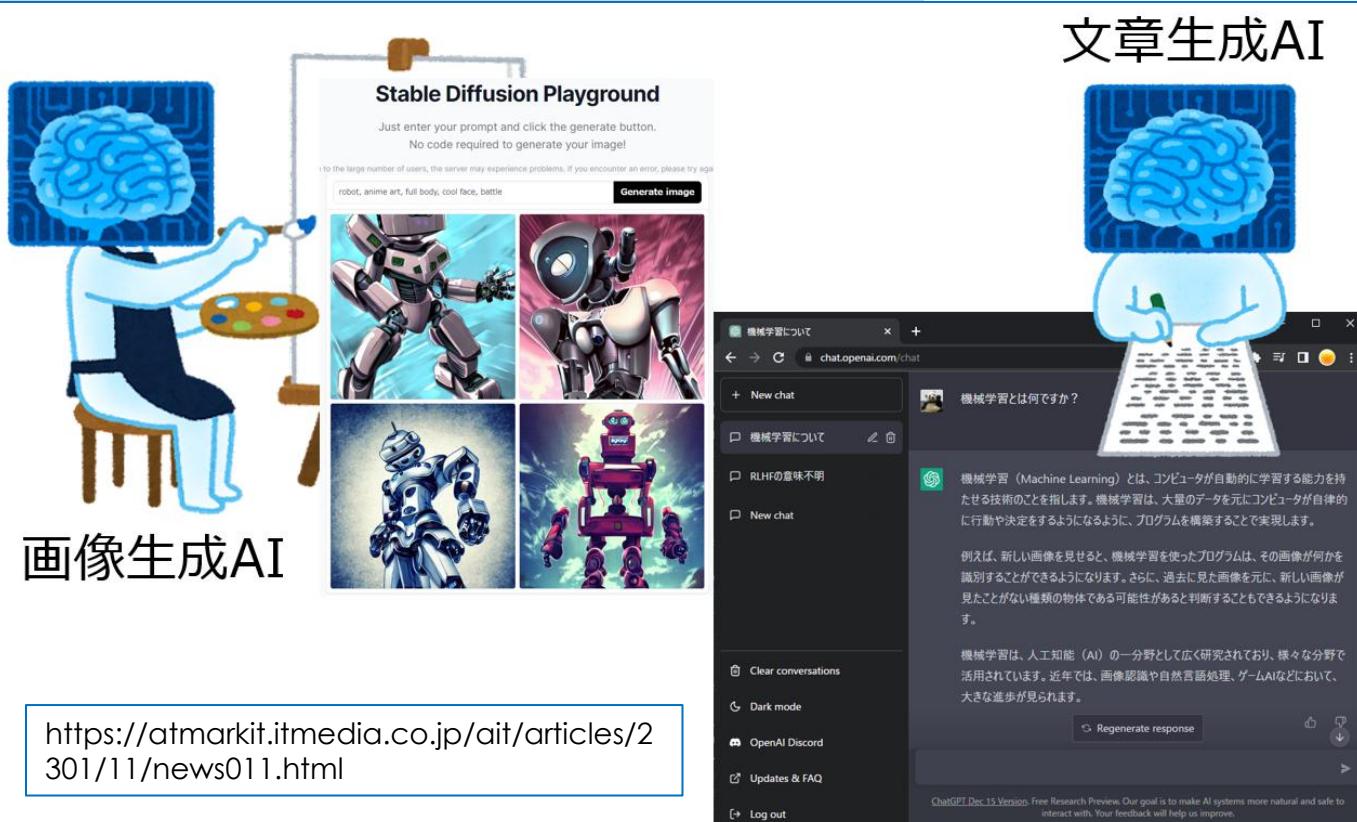
AlphaGo Fan

AlphaGo Lee

AlphaGo Master

AlphaGo Zero (40 block)

AlphaZero (20 block)



Published: 27 January 2016

Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search

Guez, Laurent Sifre, George van den Driessche, Julian Ilvam, Marc Lanctot, Sander Dieleman, Dominik Grewe, ny Lillicrap, Madeleine Leach, Koray Kavukcuoglu,

Metrics

host challenging of classic games for artificial
ence and the difficulty of evaluating board
new approach to computer Go that uses 'value
olicy networks' to select moves. These deep
nation of supervised learning from human
om games of self-play. Without any lookahead
el of state-of-the-art Monte Carlo tree search
n games of self-play. We also introduce a new
imulation with value and policy networks.
haGo achieved a 99.8% winning rate against
European Go champion by 5 games to 0. This is
defeated a human professional player in the full-
be at least a decade away.

AlphaGoの最大な二つの技術：機械学習と乱択（Monte Carlo法）



京大は、乱択+ 学習を推奨する



Google 京都大学 卒業式

すべて 画像 ニュース 動画 ショッピング もっと見る 設定 ツール セーフサーチ▼

「京都大学は、創立以来築いてきた自由の学風を継承し、発展させつつ、多元的な課題の解決に挑戦し、地球社会の調和ある共存に貢献するため、自由と調和を基礎に、ここに基本理念を定める。」

<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/about/operation/ideals/basic>

まとめ：概念 1 、 考察 1 、 公式 1



エントロピー

(日本語：乱雑さ)

系の乱雑さを表す量



エントロピーは、自然ノ生命＼

(生命は自分自身の乱雫さを減らそうとする)

自然は乱雫になっていき、生命は秩序を求めていく



智慧 = 学習 + 亂択

乱択：ランダムに選択

(智慧に対する趙の思考)

授業の概要（シラバス抜粋）

- 智慧とはなにか、どうしたら賢くなるかを考察していく。情報や理系の知識がなくても履修できる。
- 生命の本質について、研究者はエントロピーを用いて考察してきた。これらの考察から、物質では（自然に）乱雑さが増えていくのに対し、生命では秩序を求めて自身の乱雑さを削減しようとすることが示唆される。
- この理論に対して、物理学や情報学、心理学、脳科学、哲学、教育学、人類学などの最新成果を踏まえて考察する。環境問題や学問の変遷、ホモ・サピエンスの生存、人類社会の発展、人工知能、未来の生命を考える。智慧とは生命の活動（＝知恵すること）として定義すべく、学習と乱択（ランダムに選ぶこと）によって実現できることを提唱する。さらに、エントロピーを用いて定量的に生命活動や社会現象を研究する。
- 到達目標：
脳科学や認知科学、人工知能の基本概念と最新研究成果の概要を学び、昔から未来まで生命・人類の直面する課題と挑戦を把握できる。総合的に宇宙や生命、人類、智慧、学習などについて考察できる。本授業で紹介する情報エントロピーや情報智慧論を用いて世界や生命、未来、ならびに自身の研究を考察できる。

今後の授業計画

1. 授業の概要

2. 宇宙, 地球,
生命, 人類, 人
間社会等

3. エントロピー,
シュレディン
ガーの考察等

4. ホモ・サピエ
ンス繁栄の秘密

5. 自然進化論,
自己組織化, 散
逸構造

6. 熱力学第二法
則, 情報とエネ
ルギー等

7. 人工知能 (AI)
からの挑戦

8. 中間発表

9. 智慧とはなに
か. 学習・乱択

10. 創造とイノ
ベーション

11. 自由エネルギー理論—脳科
学の最先端

12. AIとAI倫理

13. シンギュラ
リティと生命

14. 期末発表

15. フィード
バック

履修上の注意

- **履修要件**：特になし
- **成績評価**：平常点（含中間発表）30点、期末発表30点、レポート40点
- **教科書**：使用しない
- **参考書**：授業中に紹介する
- **授業外学修等**：文献調査、発表準備、レポート作成などがある。
- **授業外サポート**：liangzhao@acm.org、オフィス（東一条館207）：要アポ。



2024年度授業アンケート（匿名）の結果（全文。注：受講生自身の努力なしでは収穫もなかろう）

- 京大にせっかく入ったから色々な、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皆さんたち、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。
- 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。
- 京大の今この場所でしか聞けない考え方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けたことも良かったです。
- とても刺激的な授業だった。学生の意見を聞く先生の姿勢が、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。
- 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。
- 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。
- 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。