

クレジット：

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2016 中島秀之

ライセンス：

利用者は、本講義資料を、教育的な目的に限ってページ単位で利用することができます。特に記載のない限り、本講義資料はページ単位でクリエイティブ・コモンズ 表示-非営利-改変禁止 ライセンスの下に提供されています。

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等を本講義資料から切り離して利用することはできません。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。





ビッグデータ時代の人工知能学と情報社会のあり方(1) AIの歴史概観

中島 秀之

東京大学 先端人工知能学教育寄付講座 特任教授
公立はこだて未来大学 名誉学長・特任教授

略歴1

- 1952 兵庫県西宮市生まれ born in Nishinomiya
 - 1959 大社小学校入学
 - 1962 神戸大学附属小学校編入
 - 1965 同中学校進学
 - 1968 灘高校入学
 - 1971 東京大学理科1類入学
 - 1974 同計数工学科進学
 - 1977 同情報工学大学院修士課程
 - 1980 同情報工学大学院博士課程
 - 1983 博士課程修了
 - 1983 電子技術総合研究所入所 Electrotechnical Lab.
- 
- この間ずっと
3年刻み
(大学には12年)

略歴2

- 1977 AIUEO (私的勉強グループだがAI関連翻訳書(『エキスパートシステム』『メンタルモデル』の出版もやった)創始者の1/4(命名したのも私)
- 1978 MIT AI Lab交換留学 (Carl Hewitt)
- 1983 『Prolog』産業図書
- 1983 東大大学院情報工学専門課程修了(工学博士), 電総研入所
- 1983 『知識表現とProlog/KR』産業図書(D論の日本語訳)
- 1985 Syracuse Univ. 夏だけ客員(PD) (Alan Robinson)
- 1989 Stanford CSLI在外研究 状況依存性 (Jon Barwise, Stanley Peters)
- 1991 電総研協調アーキテクチャ計画室長
- 2000 産総研サイバーアシスト研究センター長
- 2004-2016 公立はこだて未来大学 学長
- 2010 “*Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*” Springer
- 2015 『知能の物語』公立はこだて未来大学出版会
- 2016 東京大学 特任教授

初期の出版

日本初のProlog教科書
(世界的にも2番目)

中島秀之
『Prolog(コンピュータ
ーサイエンス・ライブ
ラリー)』産業図書、
1983年

博士論文の日本語訳ベース

中島秀之
『知識表現と
Prolog/KR(ソフトウェ
アサイエンスシリ
ーズ)』産業図書、
1985年

「知能」の定義

- 情報が不足した状況で適切に処理する能力
 - 中島秀之:『知能の物語』2015, p.154
 - 情報が不足→ヒューリスティクス→AI
 - 情報が完全→アルゴリズム→IT

AIはITの先鋒

- 解法のわからない（アルゴリズムにならない）問題の処理がAI
- 実用化されるとAIとは呼ばれなくなる
 - 郵便番号自動読み取り
 - カメラやFacebookの顔認識
 - 航空機予約システム（安い経路の探索）



情報処理とは INFORMATION PROCESSING

三つの世界観

- 情報 information
 - ↑ 通信路容量 $C = W \log_2(1 + (S/N))$: シヤノン
- エネルギー energy
 - ↑ $E = mc^2$: アインシュタイン
- 物質 matter
- 変換可能ということは同じものの別の側面
 - 各層に独自の法則
- ただし矢印が一方通行であることに注意
 - 下から上は創発するが逆は不可

加速する歴史(Society 5.0)

1. 狩猟社会(数百万年)

2. 農耕社会(数万年)

3. 工業社会(数百年)

4. 情報社会(数十年)

5. 人間社会

物質の制御

エネルギーの制御

情報の制御

シンギュラリティ！

加速する歴史(Society 5.0)

1. 狩猟社会(数百万年)

2. 農耕社会(数万年)

3. 工業社会(数百年)

4. 情報社会(数十年)

5. 人間社会

物質の制御

エネルギー

シンギュラリティ

レイ・カーツワイル著；
NHK出版編
『シンギュラリティは近い：
人類が生命を超越するとき』NHK出版、2016年

<https://www.nhk-book.co.jp/detail/000000816972016.html>

情報技術には2つある (通信だけではない)

1. 情報通信技術 (ICT): 情報を加工しない

- telephone 電話
- Internet インターネット

2. 情報処理技術: 情報を加工する(通信／表示しないことも)

- data mining ビッグデータからの知識発見(1も使う)
- data science eサイエンス/データ中心科学(1も使う)
- expert systems エキスパートシステム
- voice recognition 音声認識
- bioinformatics 遺伝子解析
- fly/drive by wire (飛行機や車の)操縦系の制御
- weather forecast 天気予報

情報の通信

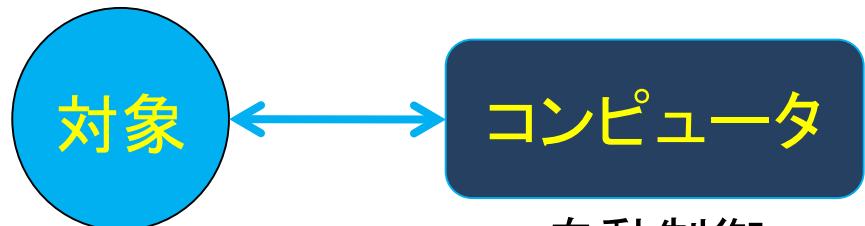
両端は人
コンピュータは内容に関与しない



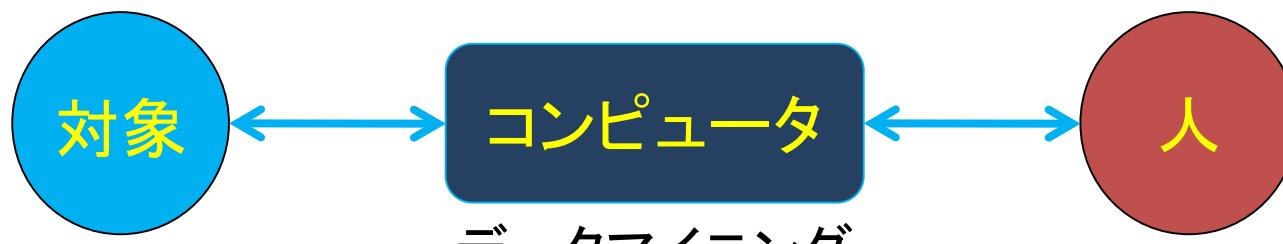
狼煙
電話
放送
インターネット
...

情報の処理

人が関与しない場合もある
コンピュータ(AI)が内容を操作



自動制御
工作機械, ロボット



データマイニング
自動翻訳
ロボット



仮想現実
CAD ...

ロボット=手足を持った知能

Robert L. Forward
Rocheworld

初版:1984年(*The Flight of the Dragonfly*)

邦訳:R.L.フォワード著、山高昭訳『ロシュワールド』ハヤカワ文庫(早川書房)、1985年

Christmas Bush
(designed by Hans Moravec)

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除
しました。

ロボット"Christmas Bush"

下記に掲載。
R.L.フォワード著、山高昭訳『ロ
シュワールド』ハヤカワ文庫(早川
書房)、1985年

p.414 <図8>クリスマスブッシュ
の可動部

ロボット=手足を持った知能

Robert L. Forward
Rocheworld

初版:



邦訳:
昭訳『
ワ文庫

Christmas Bush
(designed by Hans Moravec)

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除
しました。

ロボット"Christmas Bush"

下記に掲載。
R.L.フォワード著、山高昭訳『ロシュワールド』ハヤカワ文庫(早川書房)、1985年

p.414 <図8>クリスマスブッシュ
の可動部

Picture by David Stephensen, from flickr, ref.2016/10/05
<https://www.flickr.com/photos/quarrion/65478595>
CC BY-NC-SA 2.0



AIの歴史

計算機の歴史

- 1786: Difference Engine 差分機関(J.H. Müller)
- 1822: バベッジが差分機関を再発見(Charles Babbage)
- 1936: Universal Turing Machine 万能チューリングマシン(Alan Turing)
- 1940: Z3 リレー式コンピュータ
- 1943-1946: ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer) プログラマブル電子デジタル計算機

SFに最初に現れるコンピュータ

- 1927: Ammianus Marcellinus's *The Thought Machine*
 - この作品に登場する「サイコマック」と呼ばれる人工知能は、中国語をベースに、新たに開発された汎用プログラミング言語によってプログラムされ、電気的リレーを演算素子に用い、高周波パルス電流で演算を制御され、タスクごとに別ユニットで分散処理を行う(金子隆一:科学技術の予見者としてのSF その実態と機能、「計測と制御」, 第43巻1号, pp.2-7, 2004, p.7より)

SFに最初に現れるコンピュータ

- 1927. Ammianus Marcellinus' "The Thought Machine" in "Amazing Stories" 1927年2月号 表紙画像

"The Thought Machine" by
Ammianus Marcellinus (in
Amazing Stories, 1927年2月号)

扉絵画像

参考 : http://www.allposters.com/-sp/Computer-as-Envisaged-in-1927-Illustration-to-the-Thought-Machine-by-Ammianus-Marcellinus-Posters_i1862613_.htm

人工知能研究のはじまり

- 1950 チューリングテスト
Alan Turing: Computing Machinery and Intelligence
- 1956 ダートマス会議 "Dartmouth Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty Years"
 1. [Marvin Minsky](#)
 2. Julian Bigelow
 3. D.M. Mackay
 4. Ray Solomonoff
 5. John Holland
 6. [John McCarthy](#)
 7. Claude Shannon
 8. Nathania Rochester
 9. Oliver Selfridge
 10. [Allen Newell](#)
 11. [Herbert Simon](#)

知能研究の立場の変遷

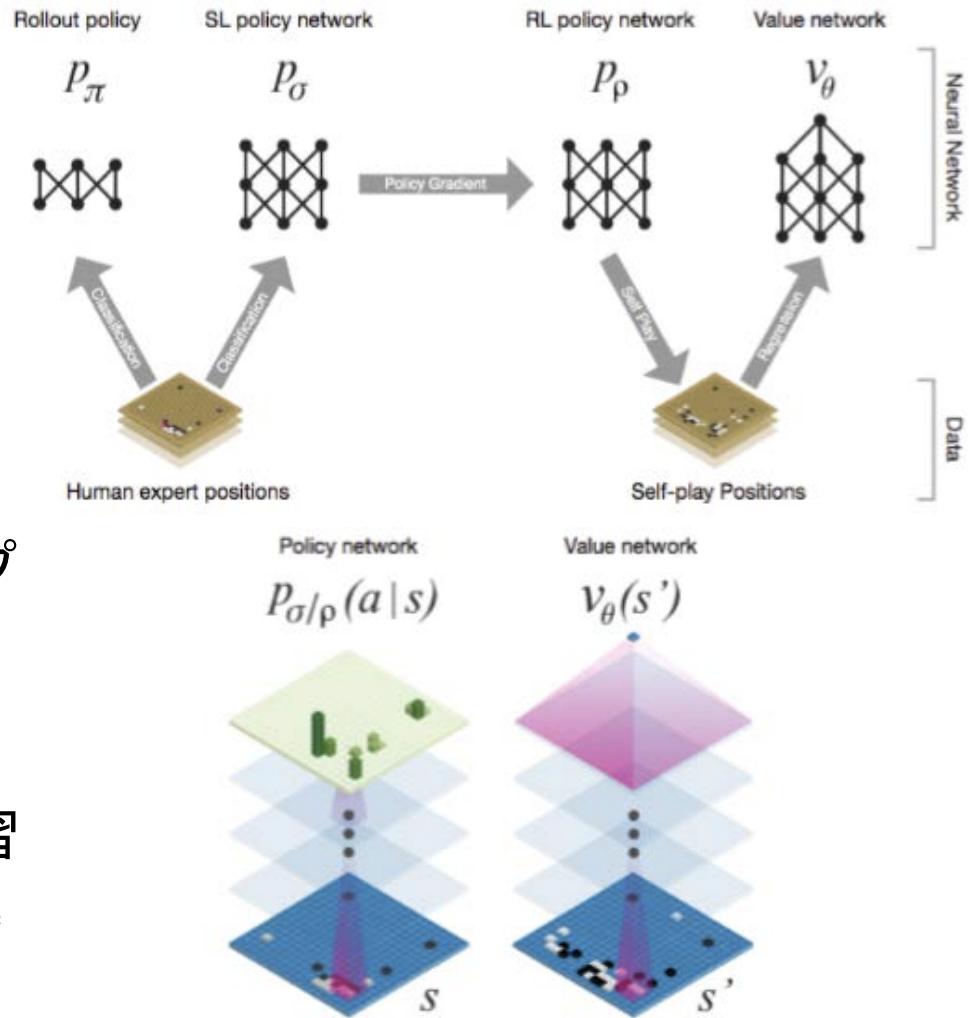
1. 物理記号システム仮説(physical symbol system hypothesis): 知能の本質は記号処理にある(Newell, SimonらAI創始者たち)
2. 知能の本質はパターン認識(世界の分節化)にある
 - ニューラルネット派, 画像認識派
 - Deep Learning
3. 環境との相互作用の重視
 - 環世界, アフォーダンス
 - オートポイエシス (autopoiesis)
 - Brooksの服属アーキテクチャ (subsumption architecture)
 - 状況依存性 (situatedness)

Neural Networksの変遷

- パーセプトロン Perceptron
 - 線形分離可能な学習のみ
- PDP(Parallel Distributed Processing)
 - Backpropagation (誤差逆伝播)の実用化により多層の学習が可能に
 - 初めて隠れ層のある(三層以上の)neural networksの学習法を示したのは甘利俊一(1967)
- Deep Learning (超多層)
 - PDPの一種. 自己想起学習により概念化.

Alpha GO

1. 13層のSL (supervised learning) policy network
 - 次の一手の教師付き学習
 - DBから3千万局面
2. RL (reinforcement learning) policy network
 - SL policy networkと同構造
 - 対戦により強化学習(他のプログラムや自分自身と)
 - 1手10万回
3. Value networks
 - 局面の評価関数の強化学習
4. RL policy networkとValue networkを使った探索



Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd:
Nature 529(7587):484-489, p.485 Fig.1, copyright 2016.

記号の意味

- 世界の分節化
 - 知能にとって意味のある同値類を抽出
 - 同値類には同じ反応・操作が可能
 - 苦い→毒
 - 甘い→栄養
 - 同じ入力が同じ記号に対応するとは限らない
 - cf. 環世界
- 外在化できる必要は必ずしもない
 - ニューラルネット (Deep Learningを含む) の中間層の一部も記号と考えて良い
- コミュニケーションに用いる場合は外在化
 - 「シンボルグラウンディング問題」とは外から取り込んだ記号を元の概念に戻す問題

Minskyの「フレーム」

- A Framework for Representing Knowledge (1974)
 - 人間の環境認識はトップダウン
 - マシンはボトムアップ
- トップダウンのビジョンを実現する手法
 - 知識の活用

記号処理の諸問題

- フレーム問題
- 常識推論
 - 非単調論理
- シンボルグラウンディング

フレーム問題

- 記号による行為の表現・推論の問題
 - オリジナル
 - 記述量が爆発
 - 推論量も爆発
 - 拡張版
 - 限定問題 (qualification problem)
 - 行為の前提条件の完全記述が不可能
 - 波及問題 (ramification problem)
 - 行為の影響の完全推論が不可能

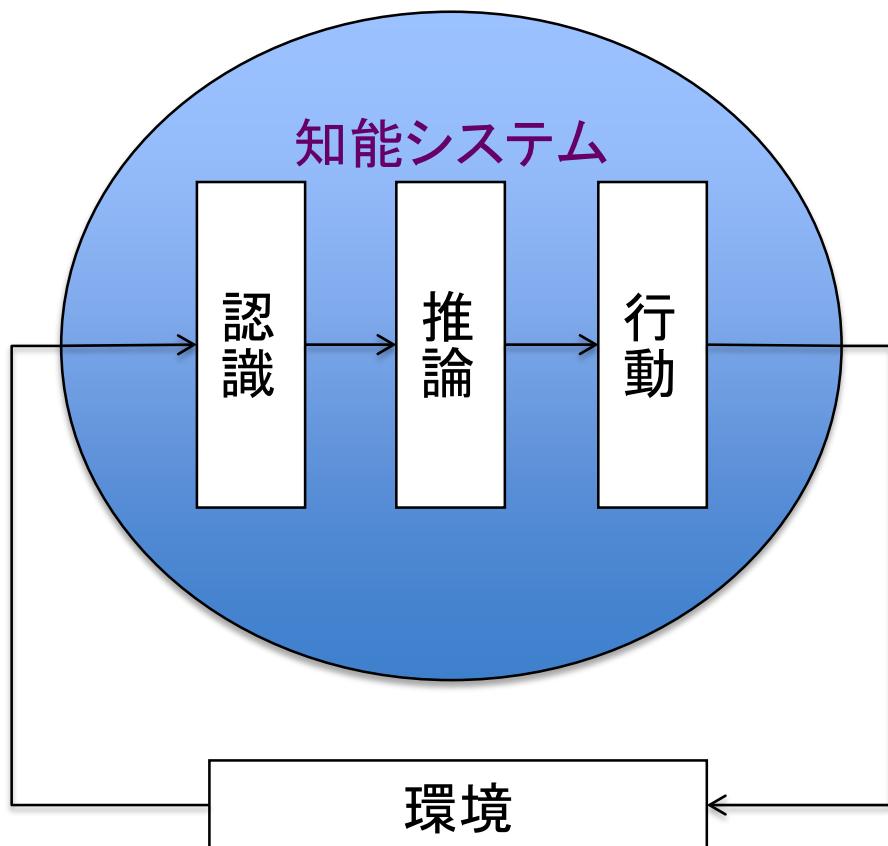
シンボルグラウンディング問題

- 記号(symbol)を現実世界に接地(ground)する
(ことができないという)問題

常識推論

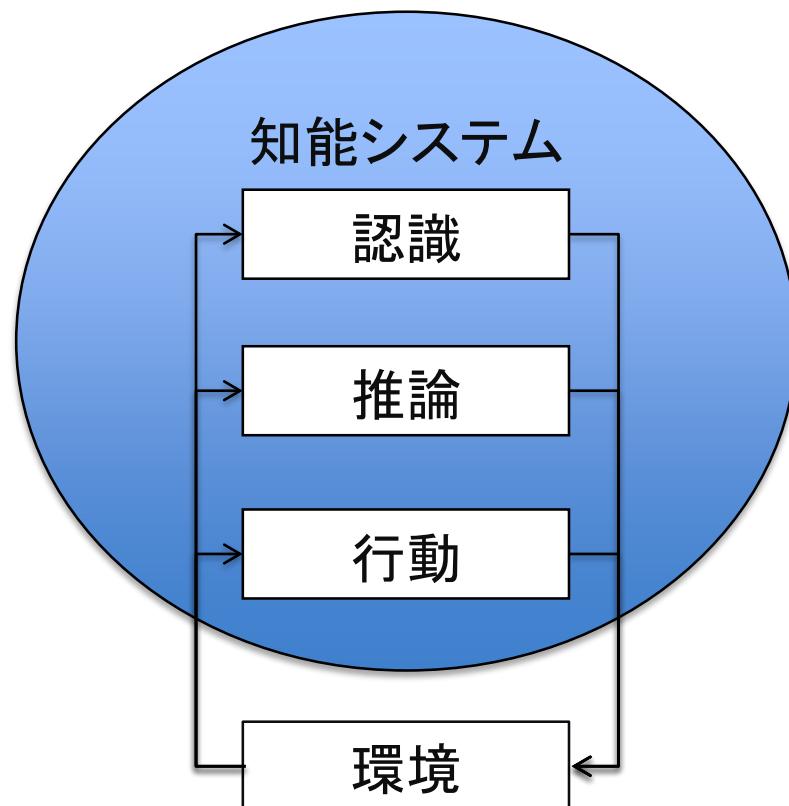
- 人間は情報が不足していても結論が出せる
 - “Jump to conclusion”
- 非単調推論として定式化
 - Yale shooting problem (Hanks and McDermott 1986)
 - 常識がないと非単調推論もできないというジレンマ
 - 二つ以上の非単調解の優劣が計算できない
- (中島私案) Deep Learningによる連想を結論として論理による検証

古い(物理記号システム仮説時代の)知能観



- (順序は違うが)読み書きそろばんモデル
- 内部表現とその上での推論をモデル化
- 身体性は考えていない
 - 行動が主体にフィードバックされるとは考えていない
- フレーム問題の発見

服属(Subsumption)アーキテクチャ



- Brooks
 - 「昆虫の知能」
- 水平型から垂直型へ
- 上位が下位に介入
(subsume)

MacLeanの三位一体説

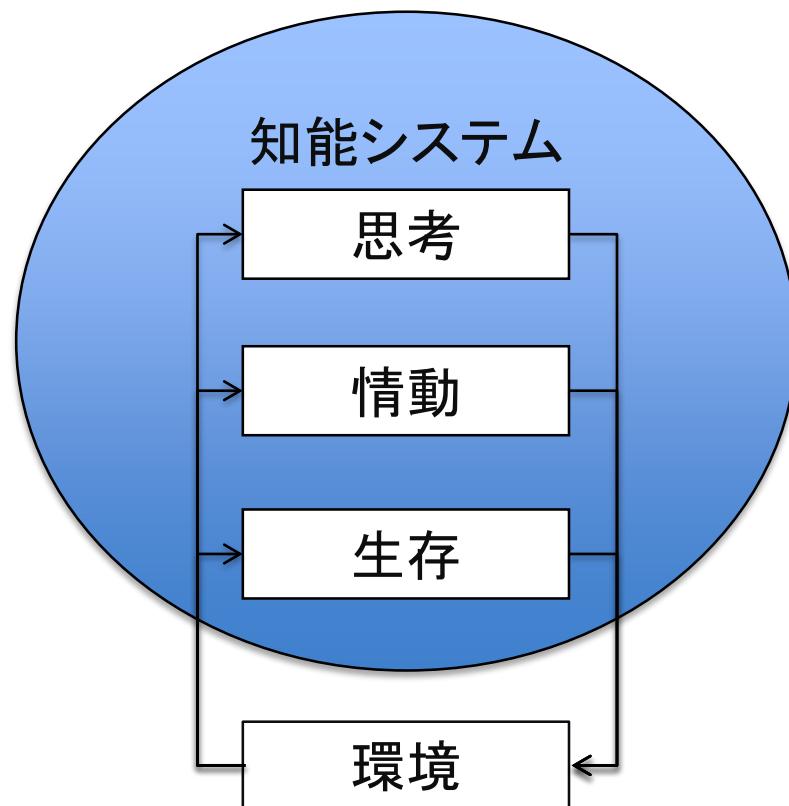
著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

MacLean,Paul D. (1967) The Brain in Relation to Empathy and Medical Education, *Journal of Nervous and Mental Disease*, 144(5):374-382.

p.377 Fig.2

"The three basic types of brains which in the evolution of the mammalian forebrain become part of man's inheritance."

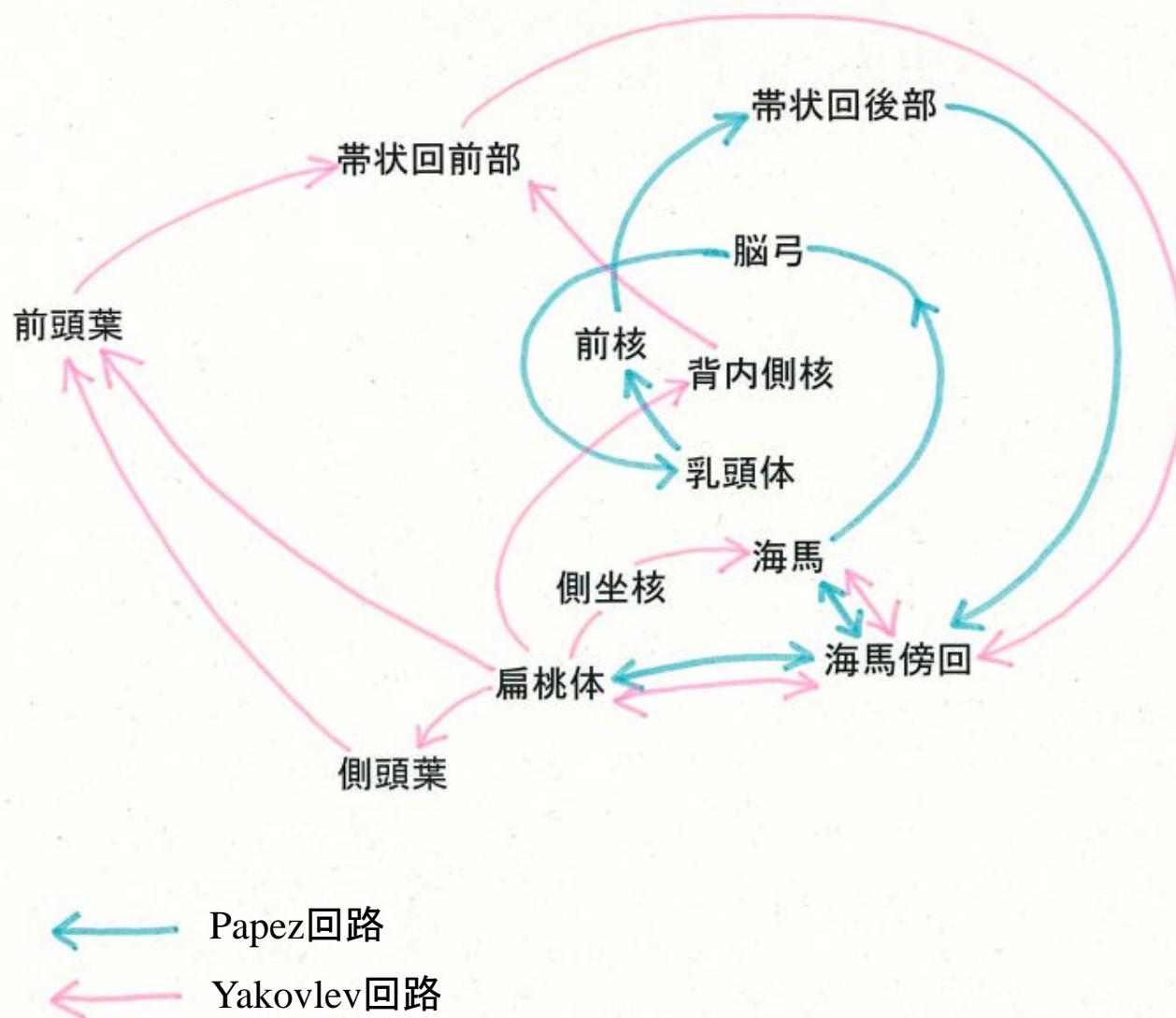
三位一体説



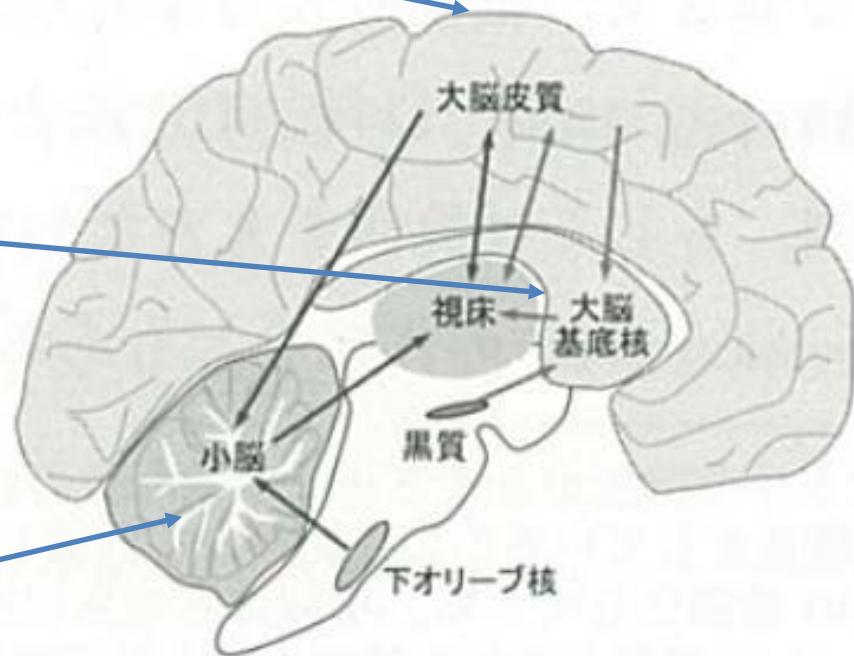
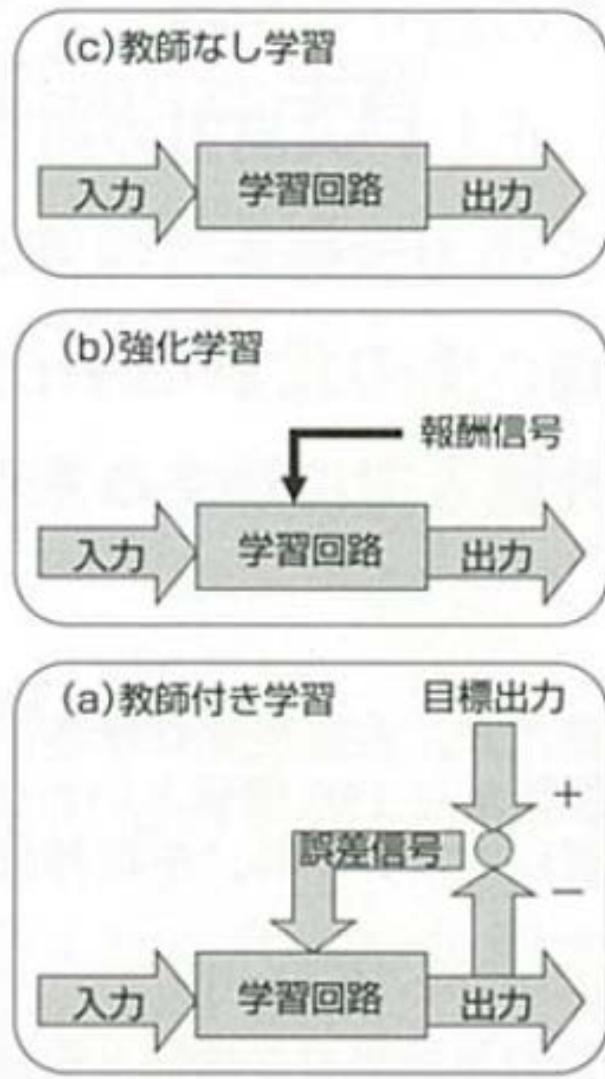
- 大脳新皮質(新哺乳類脳): 思考
- 大脳辺縁系(旧哺乳類脳): 情動
- 大脳基底核+脳幹(爬虫類脳): 生命維持

注: 現在は進化過程としては認められていないが、考え方としては面白い

脳の情報ルート

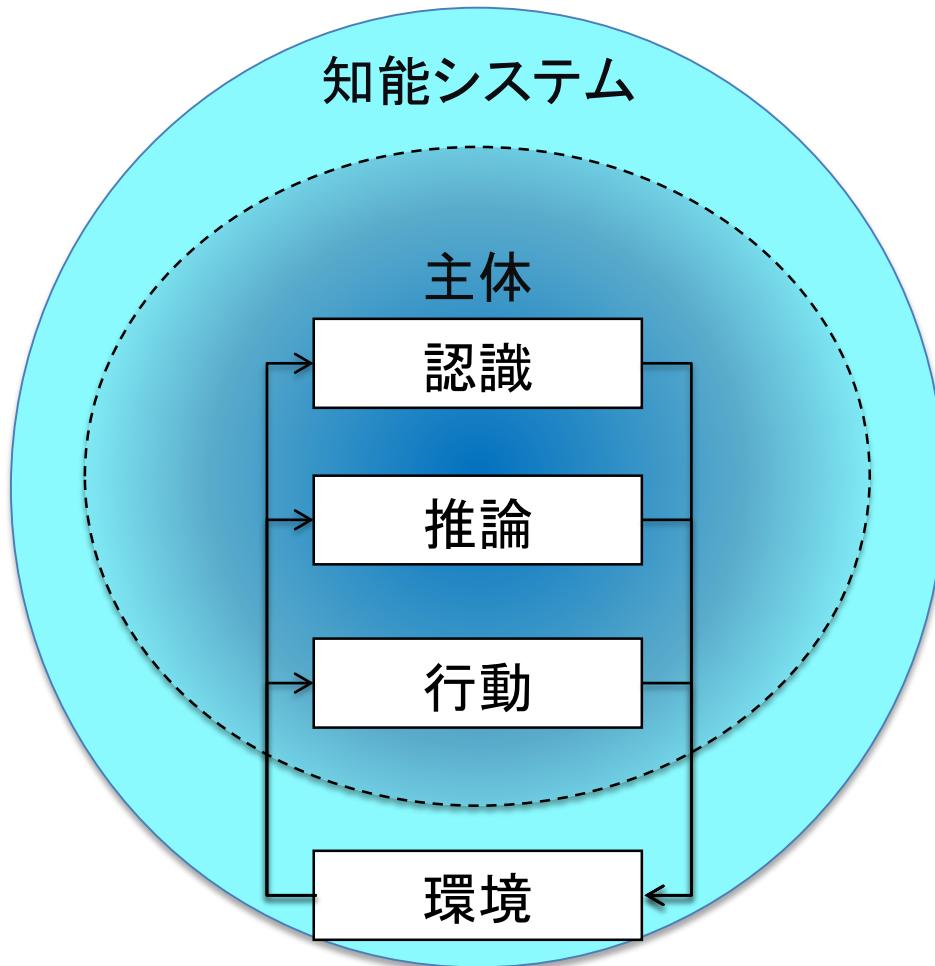


脳の学習原理



浅田稔、國吉康夫『ロボットインテリジェンス』岩波書店、2006年、p.149 図4.2に加筆(青矢印)

環境との相互作用を重視する知能観



- Uexküll: 環世界
 - Gibson: アフォーダンス
- Maturana & Varela:
オートポイエシス(自己
産出)
 - 「神経システムには入
力も出力もない」
- 状況依存性
 - 環境に計算させる

環境との相互作用

備前焼きは環境(火のまわり方)を積極的に利用している

- ・ 完全な制御はできない(複雑系である)
- ・ 何が起こったかは分析(自然科学)の対象
- ・ (知能システムとしては、内部表現ですべてを計算するのではなく)環境に計算させるのが重要



www.lacma.org

『知能の物語』

- 題字:今野翠花
 - 故中島莊牛氏(はこだて未来大設立に貢献した函館の書家. 薄墨が得意)の弟子
- 薄墨は環境との相互作用を利用している

中島秀之
『知能の物語』
公立はこだて未来大学出版会
2015年

<https://www.facebook.com/miraidaishuppankai>

『知能の物語』

- 題字:今野翠花
 - 故中島莊牛氏(はこだて未来大設立に貢献した函館の書家. 薄墨が得意)の弟子
- 薄墨は環境との相互作用を利用している

中島秀之
『知能の物語』
公立はこだて未来大学出版会
2015年

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

中島莊牛 書

ユクスキュル: 環世界 (思索社 1973)

- 1892–1905の研究
- 環境は生物が作り出す
- 環~~境~~
- ダニの環世界
 1. 光: 灌木の枝に登る
 2. 酪酸: 落下
 3. 温度: 冷たければ1に戻る
 4. 触覚: 毛の少ない場所から吸う

ユクスキュル, クリサート著;
日高敏隆, 羽田節子訳
『生物から見た世界』
岩波文庫、2005年

<http://www.iwanami.co.jp/.BOOKS/33/3/3394310.html>

ダニは機械か能動的主体か

- 信号を自分で選別
 - 「刺激は主体によって感じとられるものであって、客体に生じるものではない」(Cf. アフォーダンス)
- 物理的反作用ではない
 - 内部状態に応じた反応である
 - 「筋肉はあらゆる外的干渉に対して同じ方法で、つまり収縮によって反応する」
 - 反作用は作用と同量で逆方向と決まっている

引用: ユクスキュル, クリサート著; 日高敏隆, 羽田節子訳
『生物から見た世界』岩波文庫、2005年、p.15より。

ヤドカリの環世界

イソギンチャクに出会ったときの行動

殻付き
→保護

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました。

ユクスキュル, クリサート著 ; 日高敏隆, 羽田節子訳
『生物から見た世界』
岩波文庫、2005年

殻無し
→殻

p.89 図28「イソギンチャクとヤドカリ」

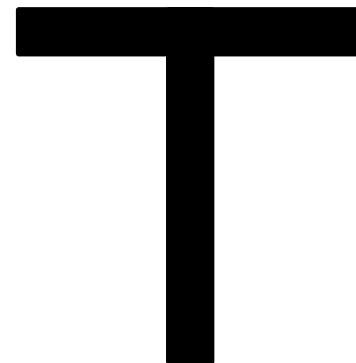
空腹
→食糧



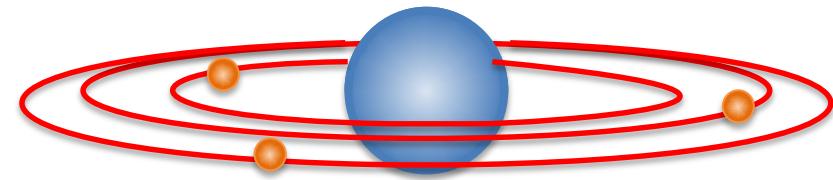
教育

T型人材/アトム型人材

- T型
 - 深い専門
 - 広い知識/興味

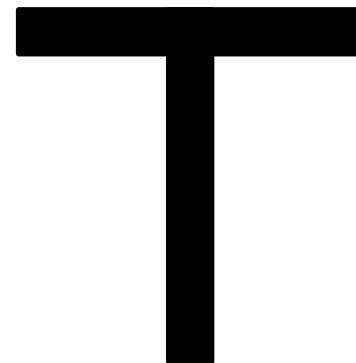


- アトム(原子)型
 - 自分の専門分野が核
 - 電子の雲が周囲の原子と相互作用してより大きな分子を構成

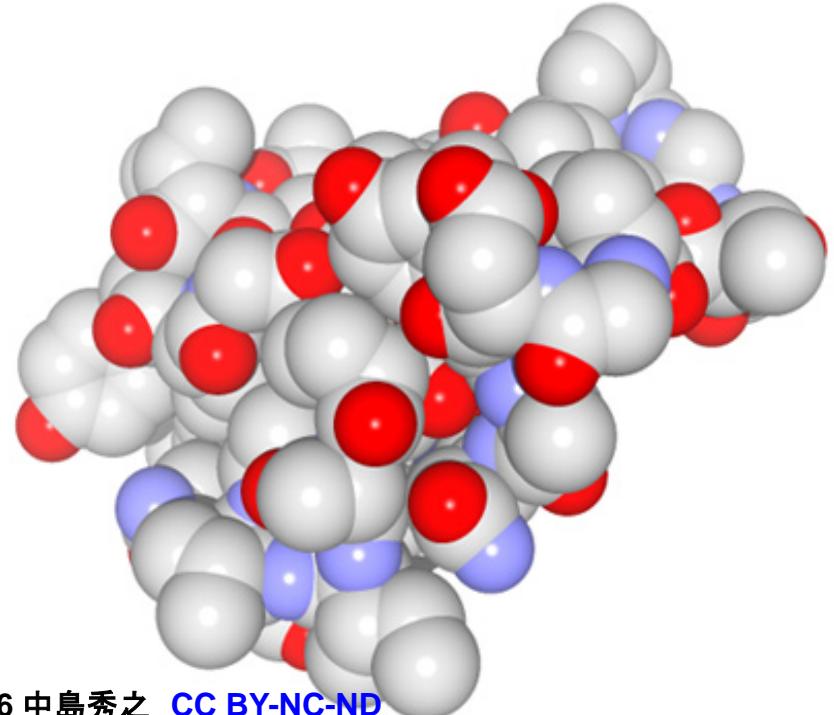


T型人材/アトム型人材

- T型
 - 深い専門
 - 広い知識/興味



- アトム(原子)型
 - 自分の専門分野が核
 - 電子の雲が周囲の原子、
相互作用してより大きな
分子を構成



AIが職を奪うという議論について

- 個々の原子(深い専門)はAIが得意
- 分子の形成(広い視野とデザイン)は人間が得意
- 今の教育はAIの得意なことだけ教えていいのか？



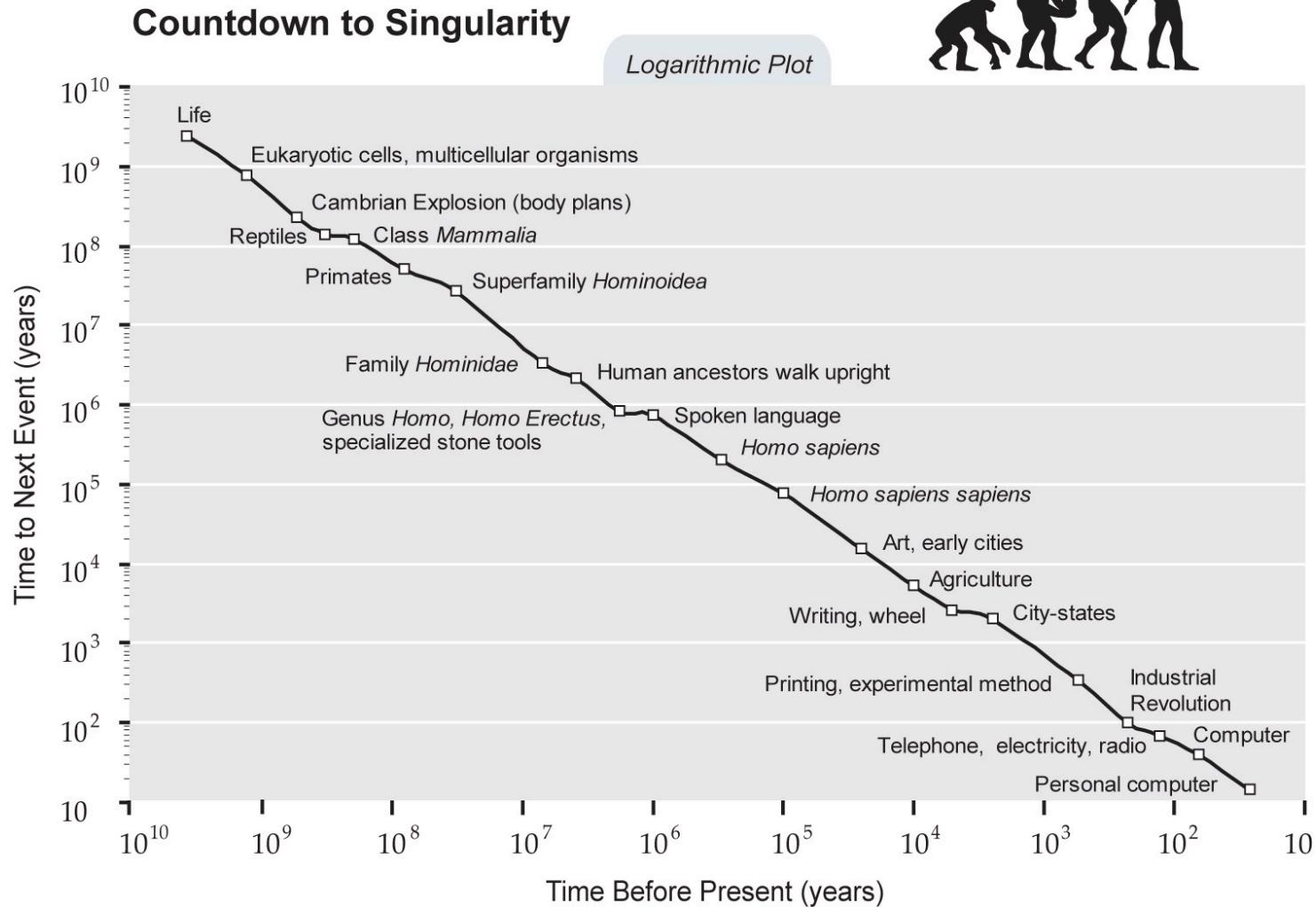
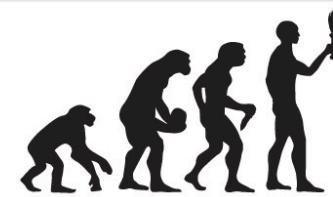
未来

Singularity(特異点)

- Ray Kurzweil: The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology (2005)
 - ポスト・ヒューマン誕生—コンピュータが人類の知性を超えるとき (2007)
- 怖がる人の前提是二つ
 - ムーアの法則等(コンピュータの処理能力が脳を超える)
 - 人間より賢いプログラムができる
 - そのプログラムが自分より賢いプログラムを作り続ける(再帰的)→人間を超える

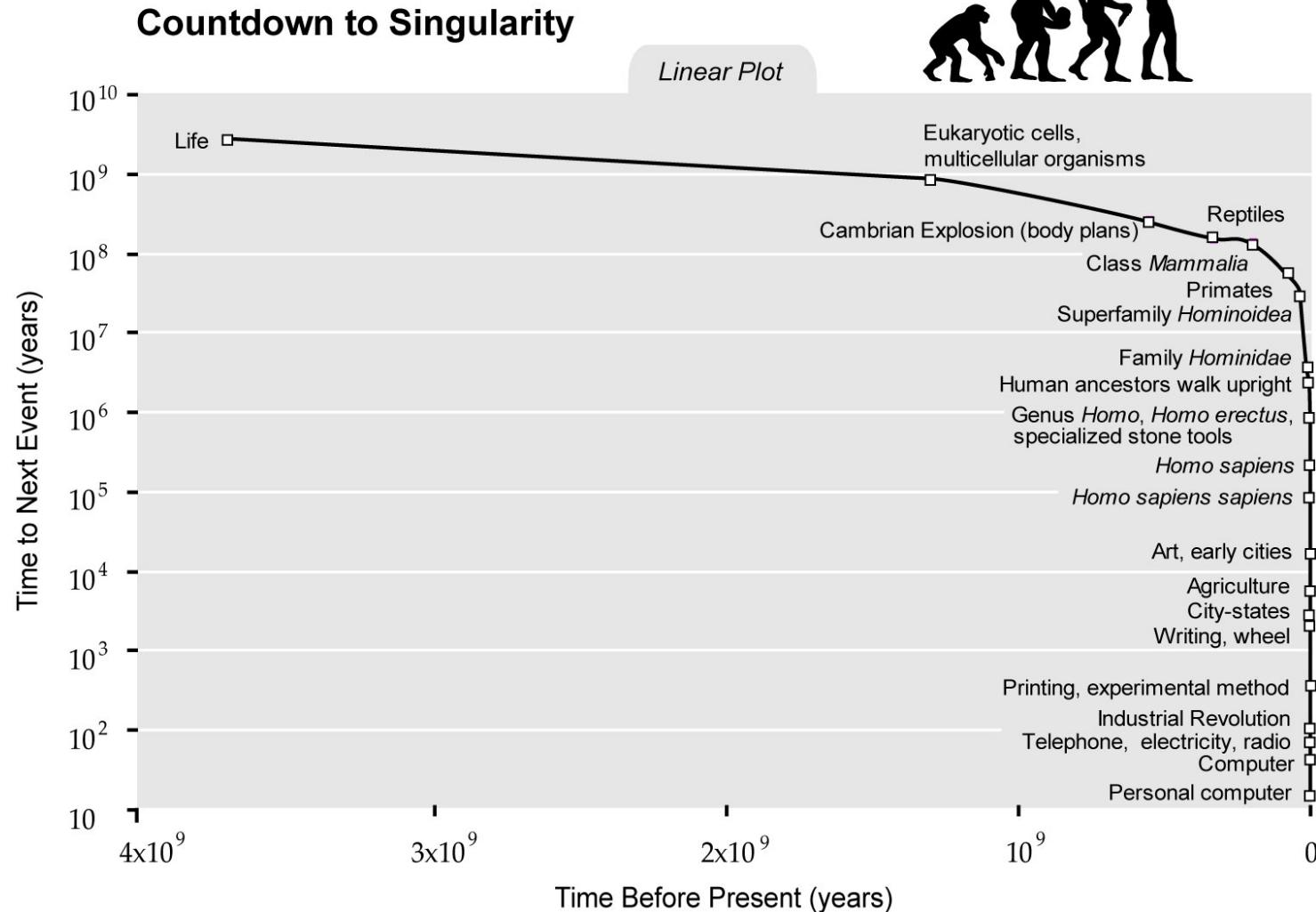
Kurzweilのビジョン(対数目盛)

Credit: Ray Kurzweil, The Singularity Is Near;
When Humans Transcend Biology (Viking, 2005).

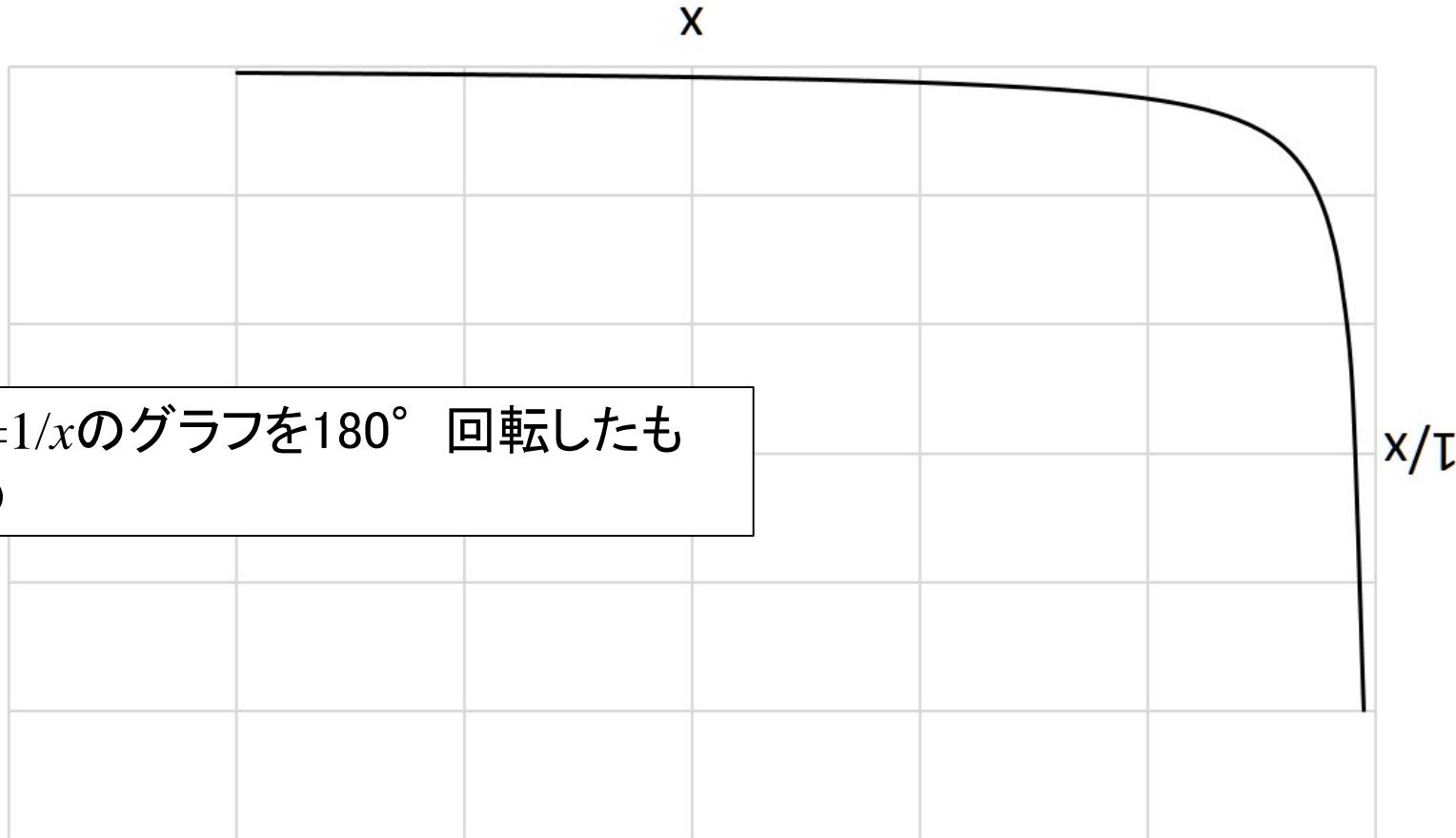


時間軸を線形にすると

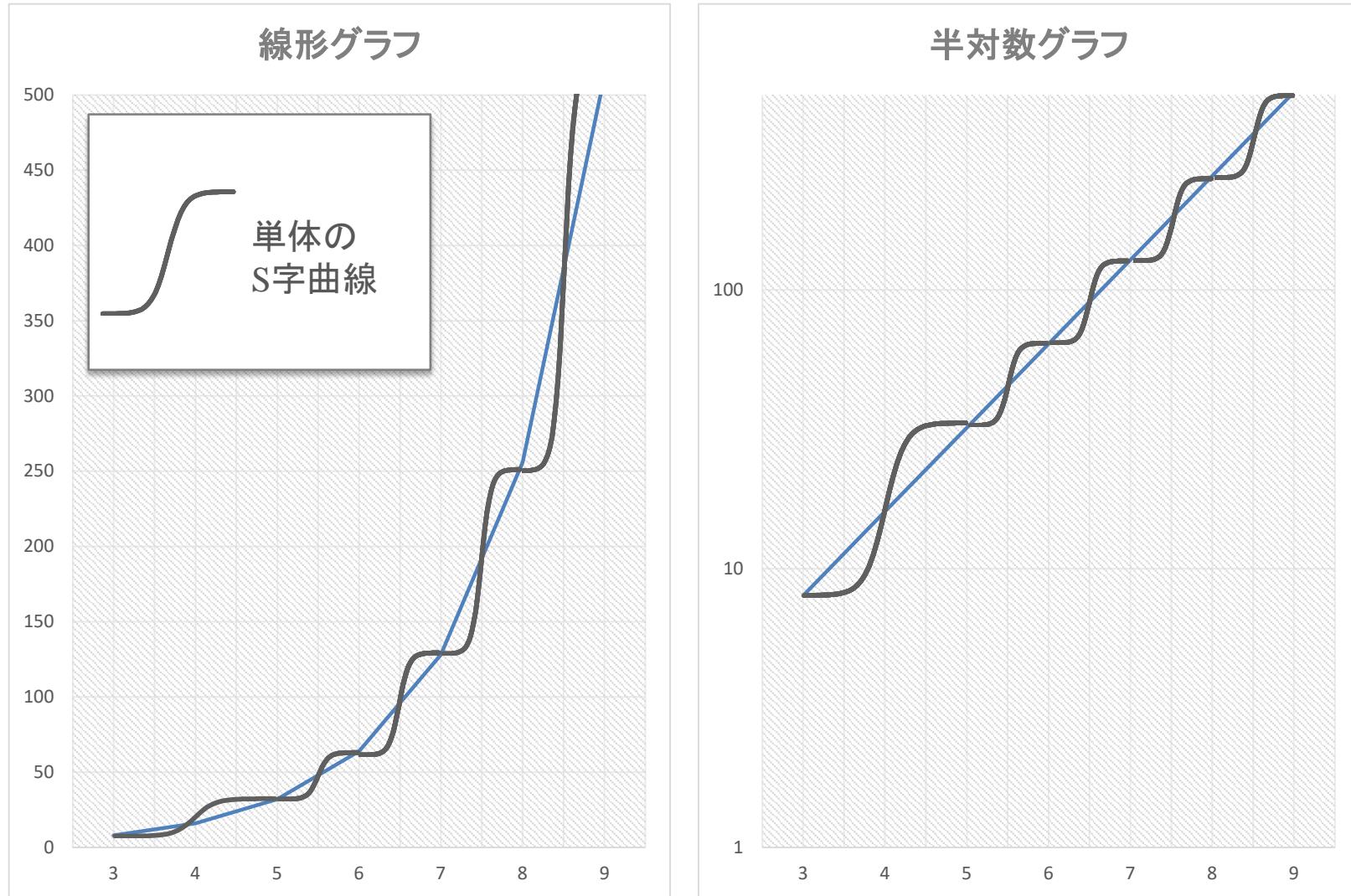
Credit: Ray Kurzweil, The Singularity Is Near;
When Humans Transcend Biology (Viking, 2005).



Singularity=特異点

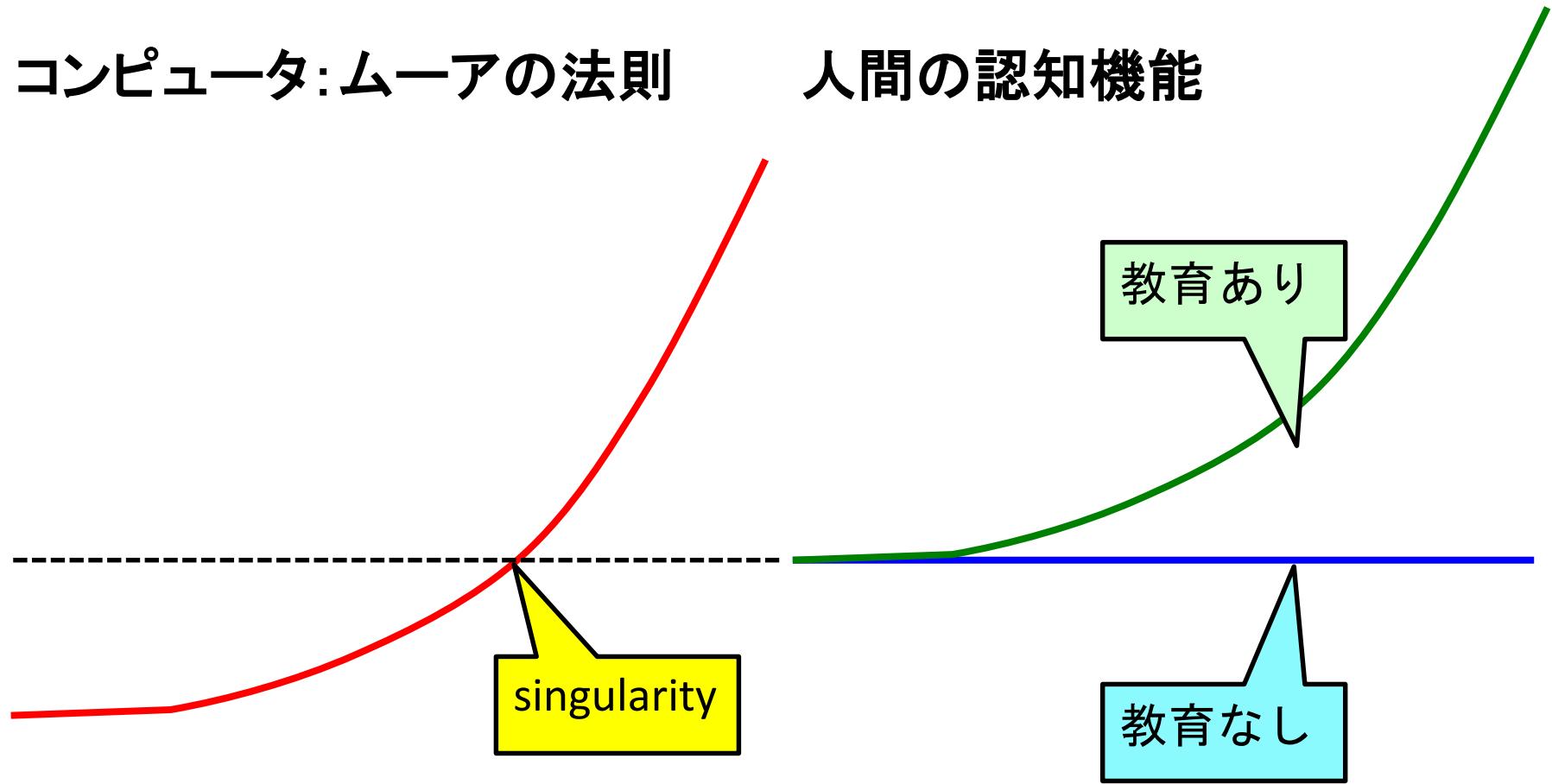


口一カルなS字発展の連續



AIは人間を超えるか？

コンピュータ:ムーアの法則



人間の認知機能

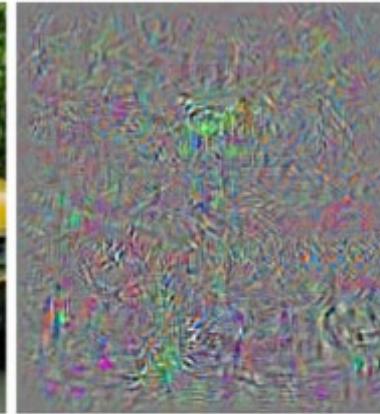
機械学習の問題点

- 過学習 (over fitting)
- 騙され易い(ある意味の過般化)
 - 誤認識に導くパターンが容易に作られる
 - 人間にも錯視はあるが...

→ トップダウン予測で
解決可能



元画像



右の画像に導入されたノイズを増幅した画像



深層学習ニューラルネットが、ダチョウと判定した画像

上列の画像は、Szegedy, et al., “Intriguing properties of neural networks,” International Conference on Learning Representation, 2014より
p.6 Figure5(a)
<https://arxiv.org/abs/1312.6199v4>



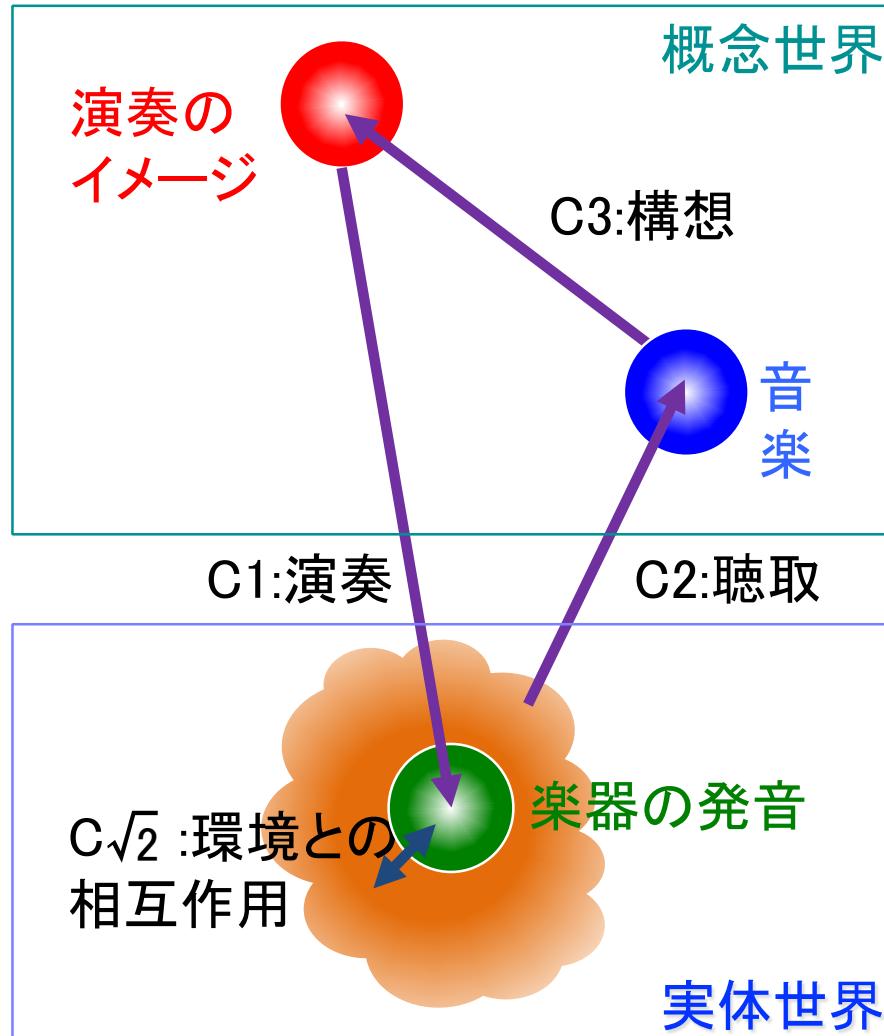
このようなダチョウの画像にも見える
Free Image (<https://pixabay.com/>より)

北野宏明(2016)「アルファ碁」圧勝の本当の衝撃度、WEBRONZA、画像1より
<http://webronza.asahi.com/science/articles/2016031800003.html>

トップダウン(予期主導)と ボトムアップ(入力主導)の融合

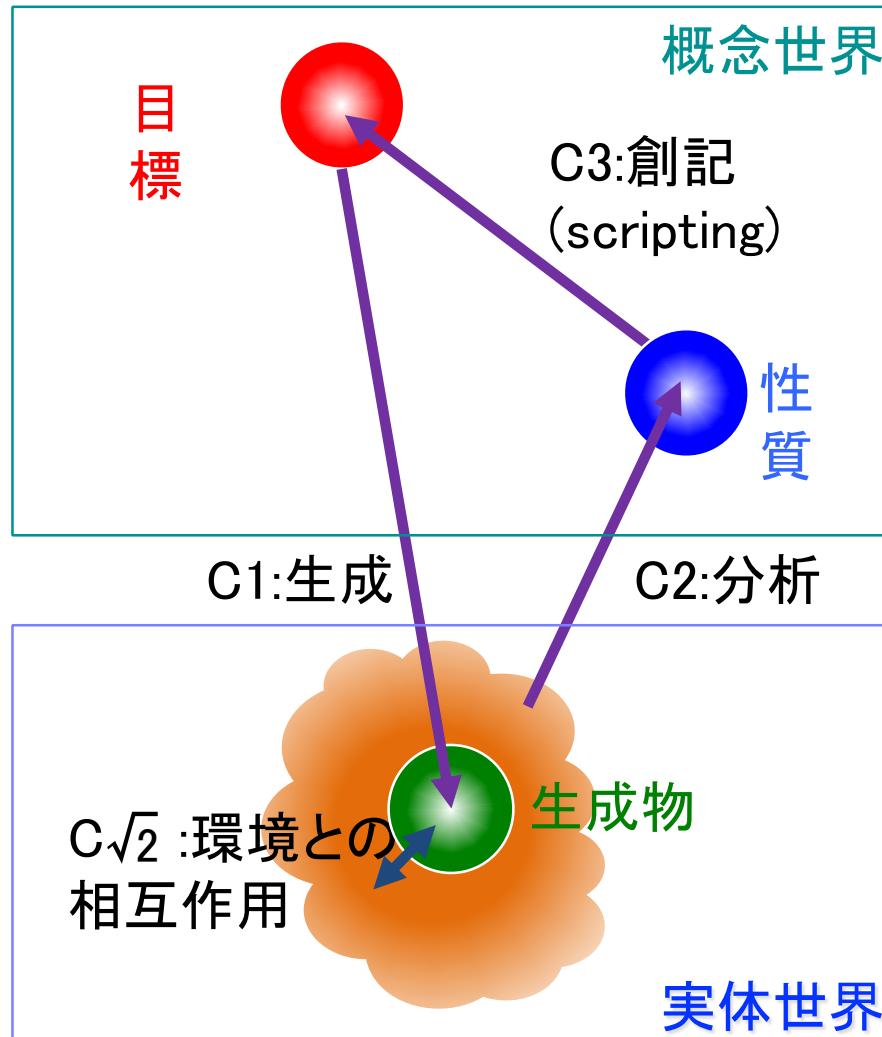
- 構成的な知能の実現を目指す
- 大脳皮質の6層構造をヒントに
 - Deep learningは基本的にはボトムアップ処理
- 人間の環境認識
 - トップダウンが主
 - 脳が処理する情報の93%がトップダウンだという説も（池上高志曰く）
 - 機械学習の限界（過学習や騙されやすいこと）を超える鍵
 - ボトムアップは引金

木村敏のNoemaとNoesis



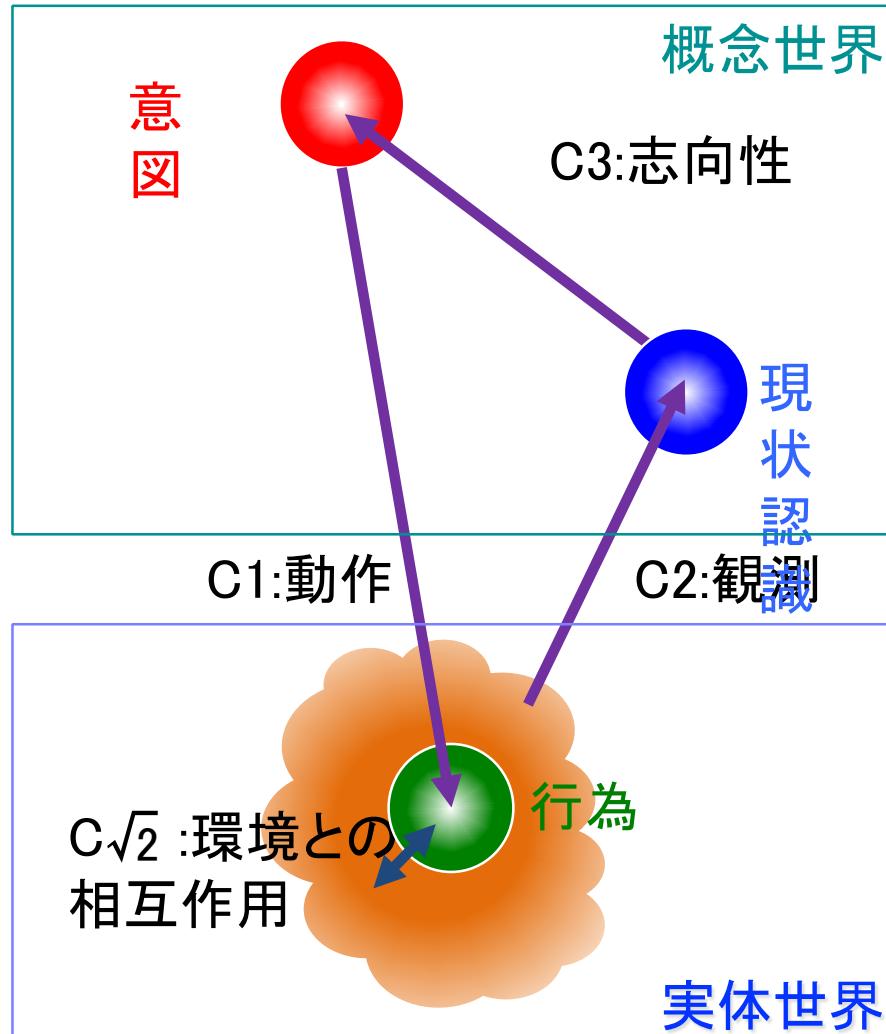
- 楽器の演奏の例
 - C1: 演奏行動
 - C1∨2: 楽器の発音, 反響, 聴衆の反応等
 - C2: 奏でた音楽の聴取
 - C3: 次の演奏行為の構想

FNSダイヤグラム：構成の方法論の定式化



- Future Noema Synthesis
- 実際にはフラクタル & スパイラル
 - 矢印を展開するとFNS
 - たとえばC2は科学の仮説生成一検証ループ：構成は分析を包含している
 - 目標が変化していくのでスパイラル

構成的知能： 志向性のある意図が認識をガイドする



- こちらの方が木村敏の NoemaとNoesisに近い
- 未来を構成的に作り出すことのできる知能
 - C1:トップダウン
 - フィードバックあり
 - C2:ボトムアップ
 - 観測にもトップダウン予期が入る
 - 環境中の見たいものだけを見る(Cf.環世界)
 - C3:思考, 概念操作

知覚循環モデル (Neisser 1976)

