

科学における理解と Tacit Knowing

橋本敬

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学系

第2回MI²新・JAIST合同シンポジウム

「データ科学における予測と理解の両立を目指して

ー複眼で見るー」

2019/06/05

自己紹介

橋本 敬 (はしもと・たかし)

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学系 教授
知識科学・複雑系科学・進化言語学・進化経済学

神戸大学 理学部 物理学科 卒業

神戸大学大学院 理学研究科 修士課程 修了

東京大学大学院 総合文化研究科 博士後期課程修了 博士 (学術)

理化学研究所 脳科学総合研究センター 基礎科学特別研究員

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科 助 (准) 教授・教授

英国 (スコットランド) エディンバラ大学 客員研究員

フランス Telecom ParisTech 客員研究員

研究テーマ

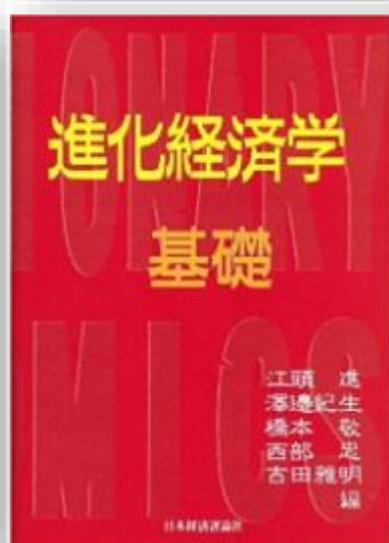
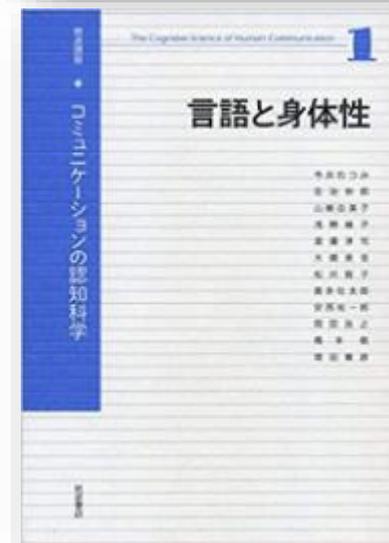
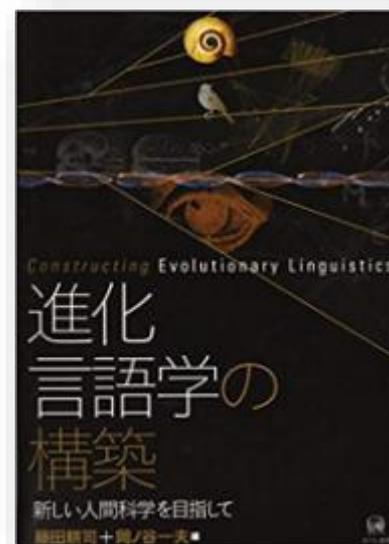
言語の起源・進化

コミュニケーションのダイナミクス

社会制度の形成とデザイン

知識科学

= 知識の創造・共有・活用を科学する



アウトライン

科学における理解

暗黙的認識

累積的文化進化

AIと人間による理解の共創

科学における理解

生命科学や材料開発の分野で、「仮説を立て、実験を通じて検証する」という研究者の作業を人工知能（AI）やロボットに置き換える試みが進んでいる。研究のプロセスを全て自動化し、従来は難しかった発見や技術の開発速度の向上につながる発想だ。実現すれば、研究のあり方が大きく変わる可能性がある。

AIやロボットの活用は人間では気づかない新たな発見のほかに、開発速度の飛躍的な向上につながる可能性を秘める。

研究者は的確な研究課題を設定し、AIなどを使いこなせるかが問われるようになるとみられる。

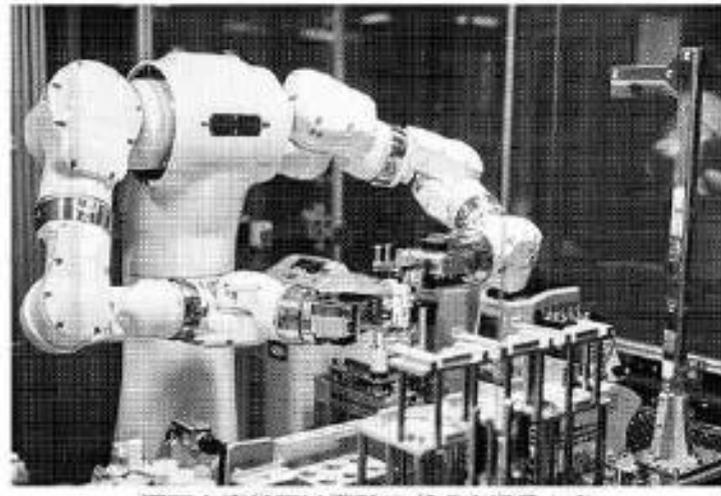
日本経済新聞 2019年6月3日
朝刊 12ページ 科学技術面

AI自ら仮説・検証

生命科学や材料開発の分野で、「仮説を立て、実験を通じて検証する」という研究者の作業を人工知能（AI）やロボットに置き換える試みが進んでいる。研究のプロセスを全て自動化し、従来は難しかった発見や技術の開発速度の向上につながる発想だ。実現すれば、研究のあり方が大きく変わる可能性がある。

科学研究は研究者がまず仮説を立て、実験や観測を通じて正しさを検証・考察し、得られた知見から新たな仮説を導き出して再び実験するという作業の繰り返しだ。例えば創薬分野では無数の物質の中から新薬の候補を絞り込み、画期的な薬の開発に結びつけてきた。

研究自動化 技術開発速く



理研と産総研は実験ロボ「まほろ」をAIが立てた仮説の検証に使う計画

理化学研究所と産総研は仮説や実験計画を立て、結果も予測するAI作業をAIとロボットで活用する。仮説が合っ置き換え、生命科学の研ていのかどうかは産総研究を全自動化するプロシの大型双腕ロボット「まエクトを立ち上げる。白ほろ」による実験や、公

理研・産総研、拠点設立へ

開されたデータベースをなどを使った全自動化も使い確かめる。これを繰視野に入れており、石田 研究を自動化する試みり返すことで精度を上 真彦主幹研究員は「人間は、英マンチェスター大が、新たな知見を導く。が地道にやってきたこと学のロス・キング教授の2020年8月をめぐり、国内に両研究所の研るようになる」と新たな研究者ら100人程度が常 発見に期待する。

駐する拠点を設立する計 材料開発にIT（情報 画だ。がん治療薬の開発 技術）を取り入れる手法 発した。同大は、理研とやIPS細胞の応用など は、青色発光ダイオード 産総研のプロシエクトに複数の研究課題に取り組 （LED）の発明でノー も協力する計画だ。

む。理研の高橋恒一チー ベル物理学賞を受賞した 米田と中国も、多額のムリーゲルは「目標はノ 名古屋大学の天野浩教授 資金を投じて生命科学やーベル賞級の成果を生み も省エネ半導体の研究に 材料開発にITを活用す出すことだ」と話す。 活用する。原料となる方 研究の「自動化」はAIやロボットの活用 リウムや窒素原子の振る 世界的に加速する見込みは人間では気づかない新 舞いを実験で明らかに で、研究現場のあり方をたな発見のほかに、開発 し、AIに学ばせる。 大きく変えようだ。

速度の飛躍的な向上につ 今後、実際の実験をシ 研究者は的確な研究課ながる可能性を秘める。 ミュレーションなどに置 題を設定し、AIなどをNECは実際の実験と き換えて自動化を進めて 使いこなせるかが問われAIやシミュレーション いく予定だ。天野教授は るようになることみられ（模擬実験）を組み合わ 青色LEDの開発時、1 る。日本の研究者は実験せ、温度差を利用して電 500回も失敗を重ねな などの地道な積み重ねを力を生み出す「熱電変換 がら実験を続けたという 強みとしてきたが、積極材料」の新たな素子の研 逸話を持つが、自動化が 的に新技術を取り込む究で変換効率を5年で10 進めば1000回の実験 想も求められる。

万倍に高めた。ロボット が数回で済むといったこ （三隅勇気、生川暁）

AIによる発見・予測

石田真彦主幹研究員(NEC)は「人間が地道にやってきたことよりも広大な世界が見えるようになる」と新たな発見に期待する。

日経 2019/6/3 朝刊p.12科学技術面 「AI自ら仮説・検証」

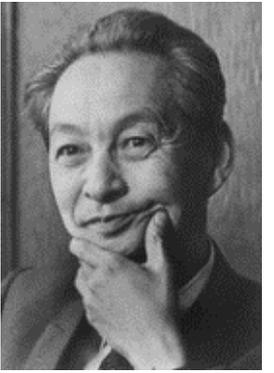
機械学習モデルは、多くの変数の中のどれが最も役に立つか決断を下したうえで、重要でないものと、思いがけず重要なものを見分ける能力が特に優れている。... 機械学習は予想外の相関関係に基づいて予測を行うことが可能で、...

(アグラワル他 2019, p.53; 強調は引用者)

発見・予測を利用するにはいいが、理解はどうなるのか？

A・アグラワル, J・ガンズ, A・ゴールドファーブ 2019 『予測マシンの世紀: AIが駆動する新たな経済』 早川書房

物理学とは



朝永振一郎
(1906-1979)
<https://ja.wikipedia.org/wiki/朝永振一郎>

われわれをとりかこむ自然界に生起するもろもろの現象－ただし主として無生物にかんするもの－の奥に存在する法則を，観察事実に拠りどころを求めつつ追求すること。

(朝永 1979,p.6; 強調は引用者)

自然の法則を数学的に表現すること，そして個々の法則をばらばらに発見するだけでなく，そのなかから最も基本的なものをいくつか選び出し，それから他の法則が導き出されるような体系をつくること。

(朝永 1979,p.73; 強調は引用者)

朝永振一郎 (1979) 『物理学とは何だろうか 〈上〉』 岩波新書

見えぬもの

...第1部では、基礎研究について様々な観点から考察を加え、事例を通じて研究者たちがこの「見えぬもの」の深奥には必ず普遍的な真理が「ある」と信じ、それを必死で追い求め、新たな知のフロンティアを開拓していった営みと、社会に大きな価値をもたらした経緯を概観した。

文部科学省 2019 『令和元年版 科学技術白書』
第1部第5章 「むすびに ～なぜ基礎研究の蓄積と展開が重要なのか～」 p.36

科学的知識の進化のモデル

(橋本, 知識科学概論講義資料)

現象

What?

観測データ

帰納

アブダクション

記述的仮説

アブダクション

Why?

説明的仮説

アブダクション

「ねえ君, 不思議だと思いませんか」 (寺田寅彦)



寺田 寅彦
(1878-1935)

https://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Torahiko_Terada_01.jpg

実証的にテストできる
命題群の導出

演繹

予測

実験

反証テスト

帰納

受容

修正・破棄

Cf. (米盛 2007; 橋本他 2010)

アブダクション

データや記述から，それを説明する仮説を導く推論，
最良の説明への推論

- Aである．（観察事実）
- Hと仮定するとAをうまく説明できる．（仮説）
- したがってHであろう．
（仮説として設定することは根拠がある．
あるいは，もっとも良い説明（の候補）である）

パース（アメリカのプラグマティズムの哲学者，
C. S. Peirce (1839-1914)）が提唱

地球ではいつも東から太陽が昇る。
地球が東向きに自転しているとする
と、これをうまく説明できる。
したがって、地球は東向きに自転している
（という仮説を信じるのは妥当である）



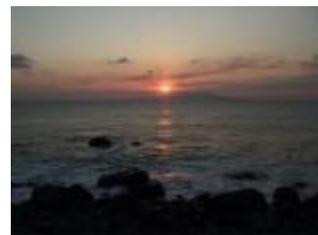
アブダクションの性質

新しい「**説明的法則（仮説）**」を導く

「なぜ？」に対する答えの候補を創造する
論理的に正しいわけではない
仮説をたてるために使われる

HはAの**観察のみからは直接出てこない**

経験を越える可能性＝「奥に存在する法則」



Cf. 帰納：経験の汎化，説明的仮説と経験の接点

昨日もおとついても1ヶ月前も1年前も，太陽は東から昇った。
→ 太陽は**いつも**東から昇る。（記述的法則）

現象論的理解

- 現象論的理解 (phenomenological understanding)

現象を

- 安定な部分 (細部を動かしても変化しない部分)
- それ以外 (細部に敏感な部分)

に分けて、前者をはっきりと理解する

- 世界を理解するというのとは、そのすべての細部にわたって認知することではない
- 異なるものごとに「安定な部分」を見出すこと
- われわれに重要と映る部分はかなり安定
 - どうでもよい些末な部分 + そうでないより安定な部分
 - 後者が驚きを与えなくなった
 - 対象を理解した (あるいは少なくともなじんだ) と感じる

(大野克嗣 2009 『非線形な世界』 東京大学出版会)

羽生善治の「美意識」



「...それは逆に、死角や盲点と言われる手をなぜ思いつかなかったのか、人間の思考プロセスが鮮明にされることにもなる。思考の幅やアイデアが広がり、将棋の可能性を指し示すことになるでしょう」

——より将棋を深められると。いいことばかりですか。

「いや、どうしても相容れられない部分もあると思います。人間の思考の一番の特長は、読みの省略です。無駄と思われる膨大な手を感覚的に捨てることで、短時間に最善手を見出していく。その中で死角や盲点が生まれるのは、人間が培ってきた美的センスに合わないからです

羽生善治「コンピュータ将棋により人間が培った美意識変わる」
SAPIO2015年4月号 (2019/06/04 accessed)

https://www.news-postseven.com/archives/20150308_307527.html

羽生善治の「美意識」



羽生 もちろん、コンピュータはこれまでにまったくなかったような斬新な手、セオリーに反した手も指すんですけど、それは人間の美意識が拒絶してしまうんですよ。

篠原 その美意識というのは、この手は汚いから指したくないとか、こういう詰め方は嫌だというような棋士が持っている感性ですよ。そういうものは、AIがどれだけ進化してもなくならない気がするんですけど、羽生さんはどうお考えですか？

羽生 それはやっぱり常にあるでしょうね。

篠原弘道NTT副社長（研究部門のトップ）との対談

羽生善治「棋士になって30年、まさかこんなことになるとは...」
人工知能の現在と未来
現代ビジネス 2017/8/30（2019/06/04 accessed）

<https://gendai.ismedia.jp/articles/-/52687>

「世界を見る」とは？

世界を見る

=現象の「本質」を見抜く努力のこと

本質

= 「要するにこういうことだ」

实际的・具体的制約のためややこしいことがいろいろあるだろうけど、

「枝葉を取り去っていえばこういうことだ」

「この勘所を押さえれば現象の大事な点は再現される」

(大野克嗣 2009)

人間の（近代科学の）美意識
わかり方のフレームに依存

暗默的認識 Tacit Knowing

科学者による発見

マイケル・ポランニー

科学者がいかにして理論・法則・仮説を
思いつくのかを検討



Tacit knowing 暗黙的に知ること（暗黙的認識）

“We **can** know more than we can tell.”

Michel Polanyi “*The Tacit Dimension*”, 1966

注) 暗黙的認識と暗黙知



Michael Polanyi
(1891-1976)

<http://infed.org/mobi/michael-polanyi-and-tacit-knowledge/>

- 暗黙的認識 Tacit knowing
- 能力, アクティビティ, プロセス
- We **can** know more than we can tell.

「ポラニーの主張の要点は、知識が生成され、あるいは維持されるには、暗黙の次元における「知る」という過程の作動が不可欠であり、それを明示的な操作によって代替することはできない、という点にある。」 (安富 2010, p.99; 強調は引用者)



野中郁次郎
(1935-)

https://japan.cnet.com/extra/direction_cnet_201106/35003289/

- 暗黙知 Tacit knowledge
- プロダクト, ストック
- We know more than we can tell.



暗黙的認識のふたつの項

単なる模様



意味

部分



全体

近位項 (proximal term) = 細目・要素群

顔のパーツ，白黒の模様，手にあたる杖の感覚，
将棋のルール

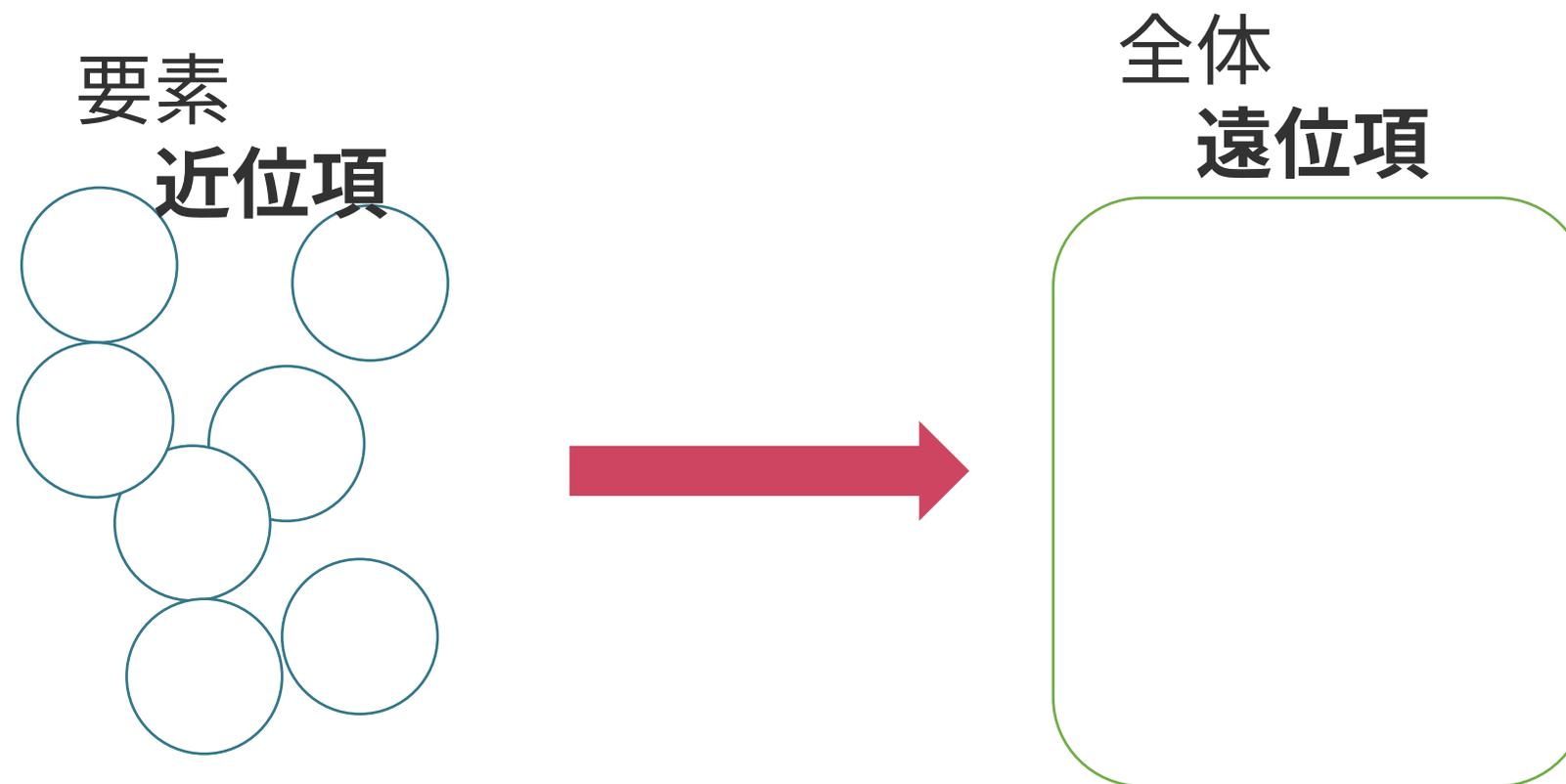
遠位項 (distal term) = 包括的意味・全体

誰の顔か，犬・木陰，杖先の地面の状態の知覚，
定石・勝負の行方

暗黙的認識の4側面 (1) 機能的側面

部分（例：顔の要素）から全体（例：顔）に向かって注意を払っていく

それゆえ、部分それ自体については明確に述べることができなくなる



(Polanyi 1966)

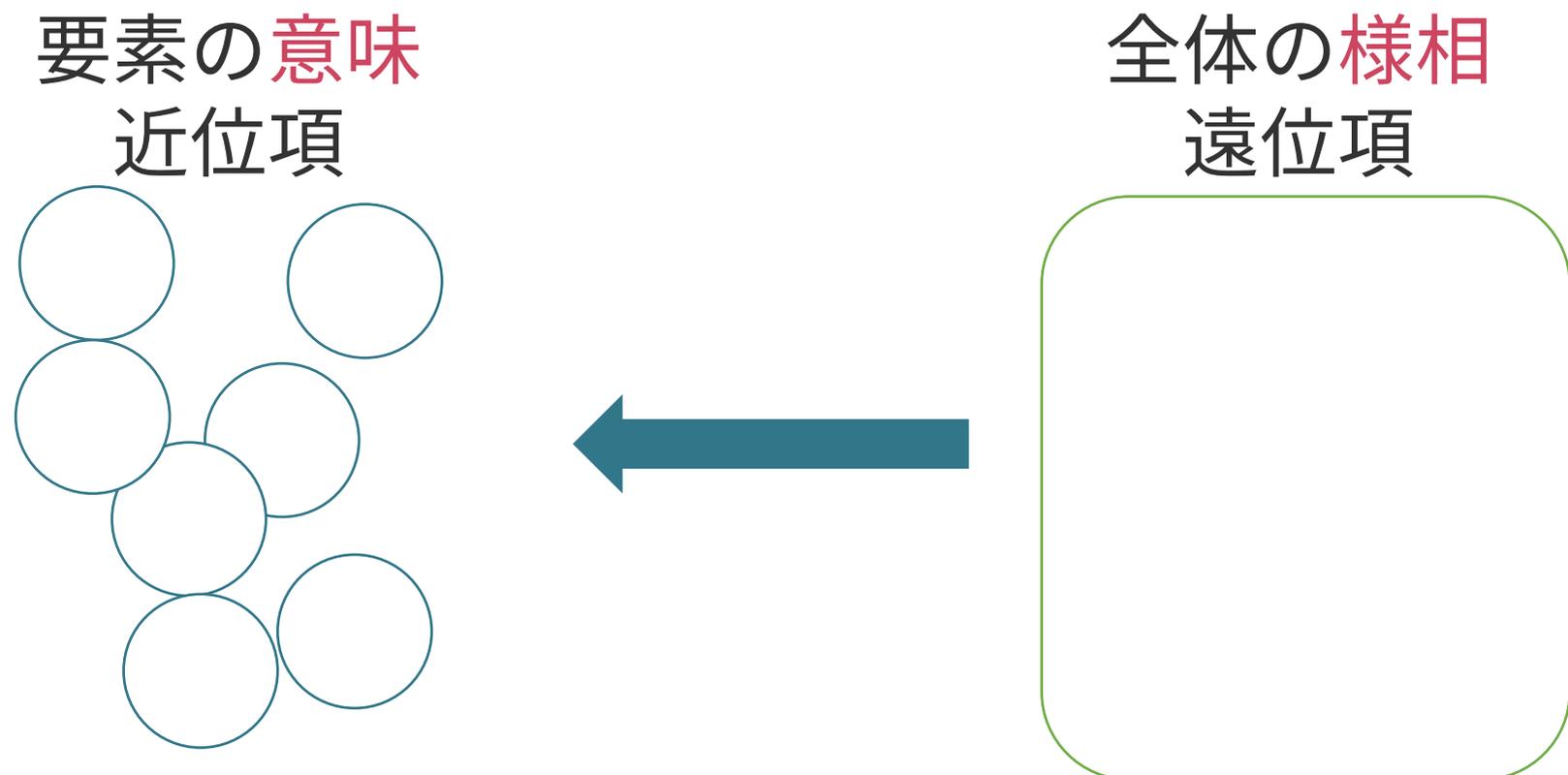
暗黙的認識の4側面 (2) 現象的側面

暗黙的認識の遠位項の様相の中に、その認識における近位項を感知する

近位項から遠位項に向かって注意を移し、遠位項の様相の中に近位項を感知する

「この部分の犬の足だ」 「ここは葉の影」

ただ「意味」によってのみ、部分を認識する



(Polanyi 1966)

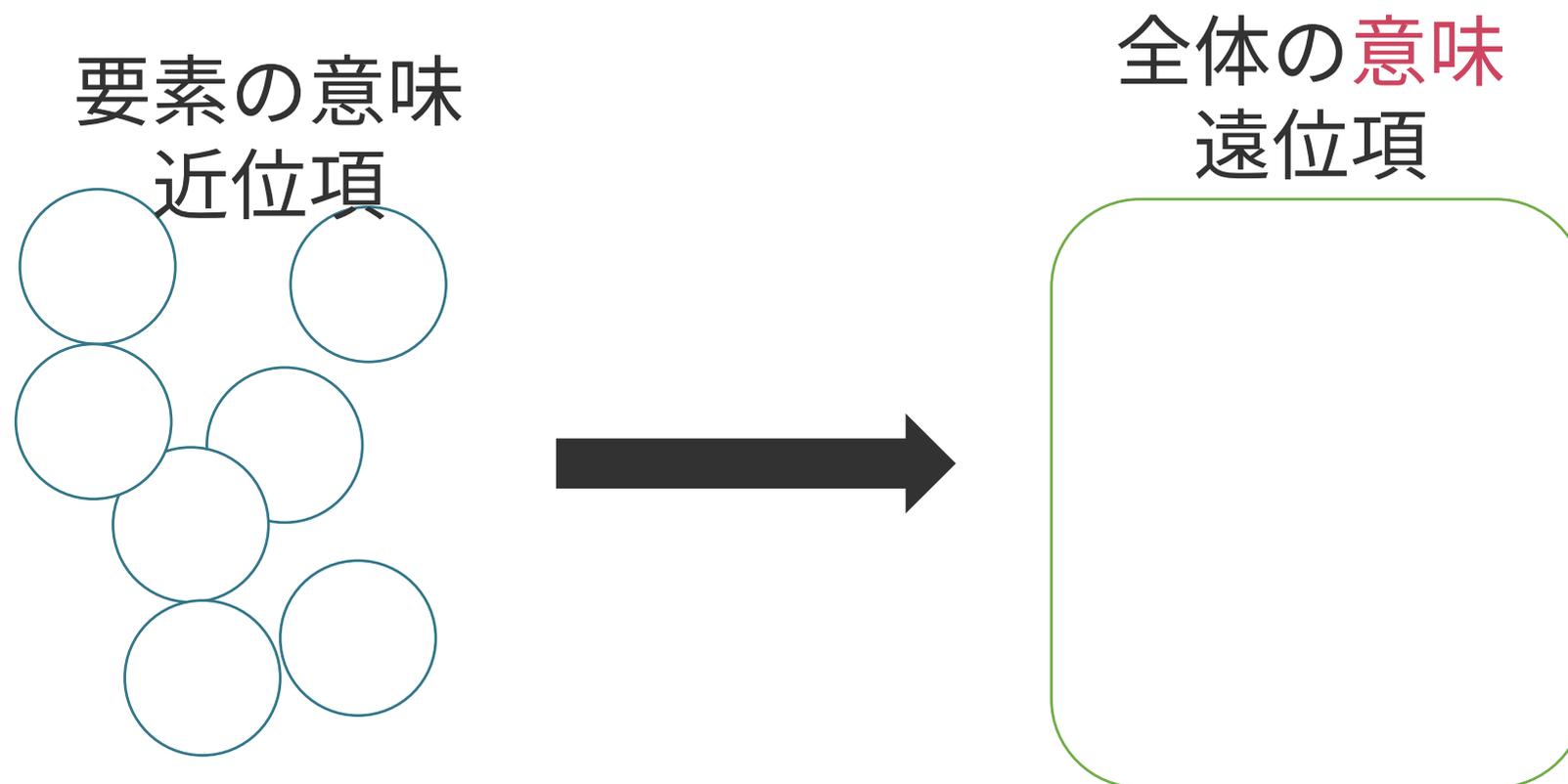
暗黙的認識の4側面 (3) 意味論的側面

意味とは私たち自身から遠ざかっていく傾向がある
杖の例

最初は手に当たる感覚→杖の先端が地面を触れている感覚

無意味な感覚が有意味な感覚に置き換えられ、もともとの感覚から隔てられていく

注意を注いでいる杖の先端に宿された意味にしたがって、自分の手に伝わる感覚を感知するようになる



(Polanyi 1966)

暗黙的認識の4側面 (4) 存在論的側面

暗黙的認識は近位項と遠位項の間に有意味な関係を作る

暗黙的認識 = 2つの項が合わさって構成する包括的存在 (comprehensive entity) を理解すること

近位項は、包括的存在の要素

包括的存在を包括 = 理解できるのは、そうした個々の要素が合わさってできた意味に注目しようとして、その諸要素を感知し、その感覚に依拠するから

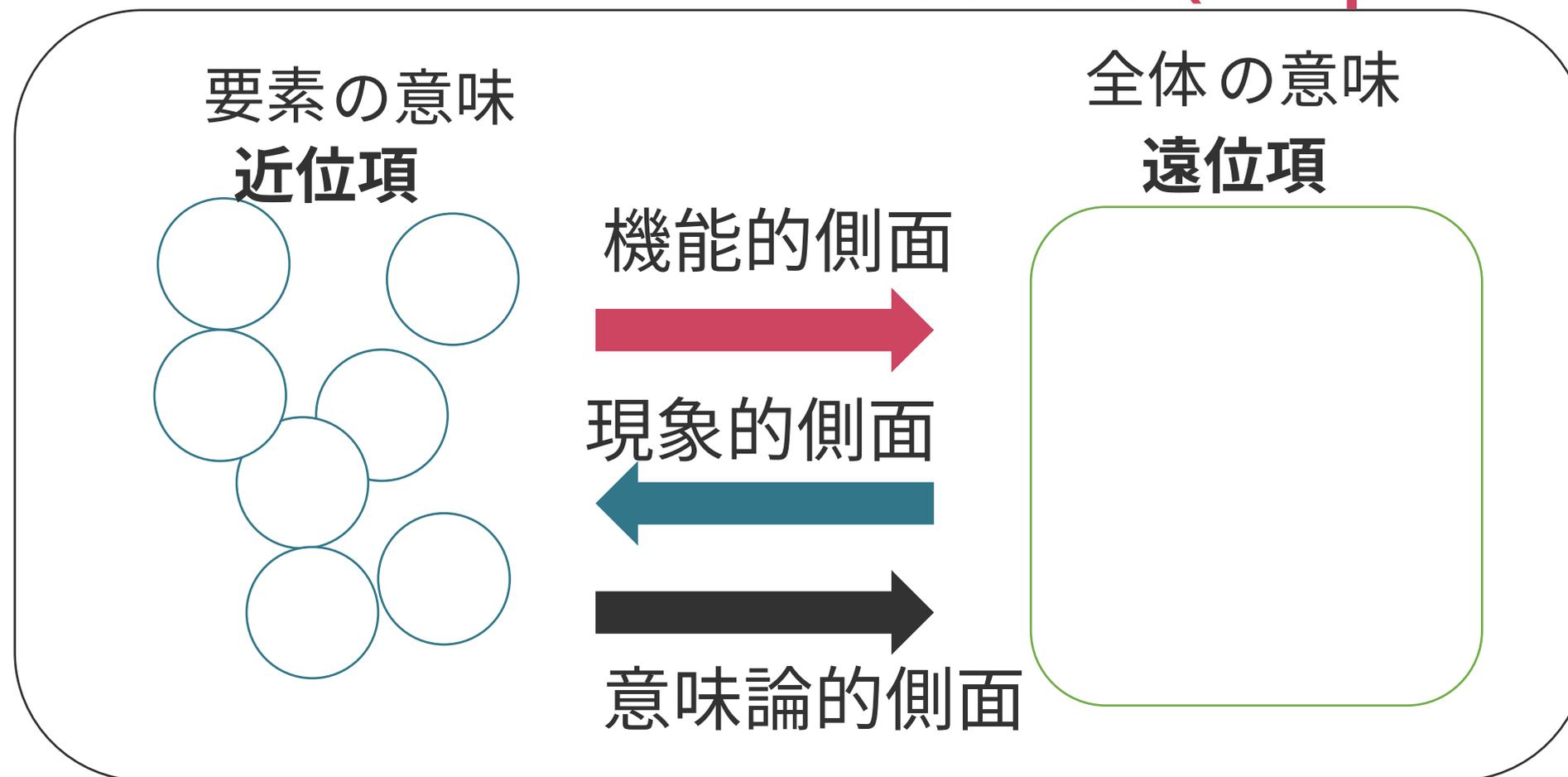
(Polanyi 1966)

暗黙的認識の4つの側面

暗黙的認識により認識・理解しているもの

存在論的側面

包括的存在(comprehensive entity)



暗黙的認識：
2つの項が合
わさって構成
する包括的存
在を理解

内面化=内在化 in-dwelling

(Polanyi 1966)

Knowing how と Knowing what



Knowing how = スキルの体得

Knowing what = 知識の獲得

どちらにもTacit knowingが働いている

Tacit knowing と創発

創発

要素が相互作用する中で秩序的な構造やパターンが自律的に生じる

→ 上位構造（階層構造）が生じる

下位に還元されない, More Is Different

例：分子→固体（対称性の破れ），器官→体，音→単語→文法→文学作品，
物理化学→工学（目的，機能，失敗）

暗黙的認識 = 一種の創発

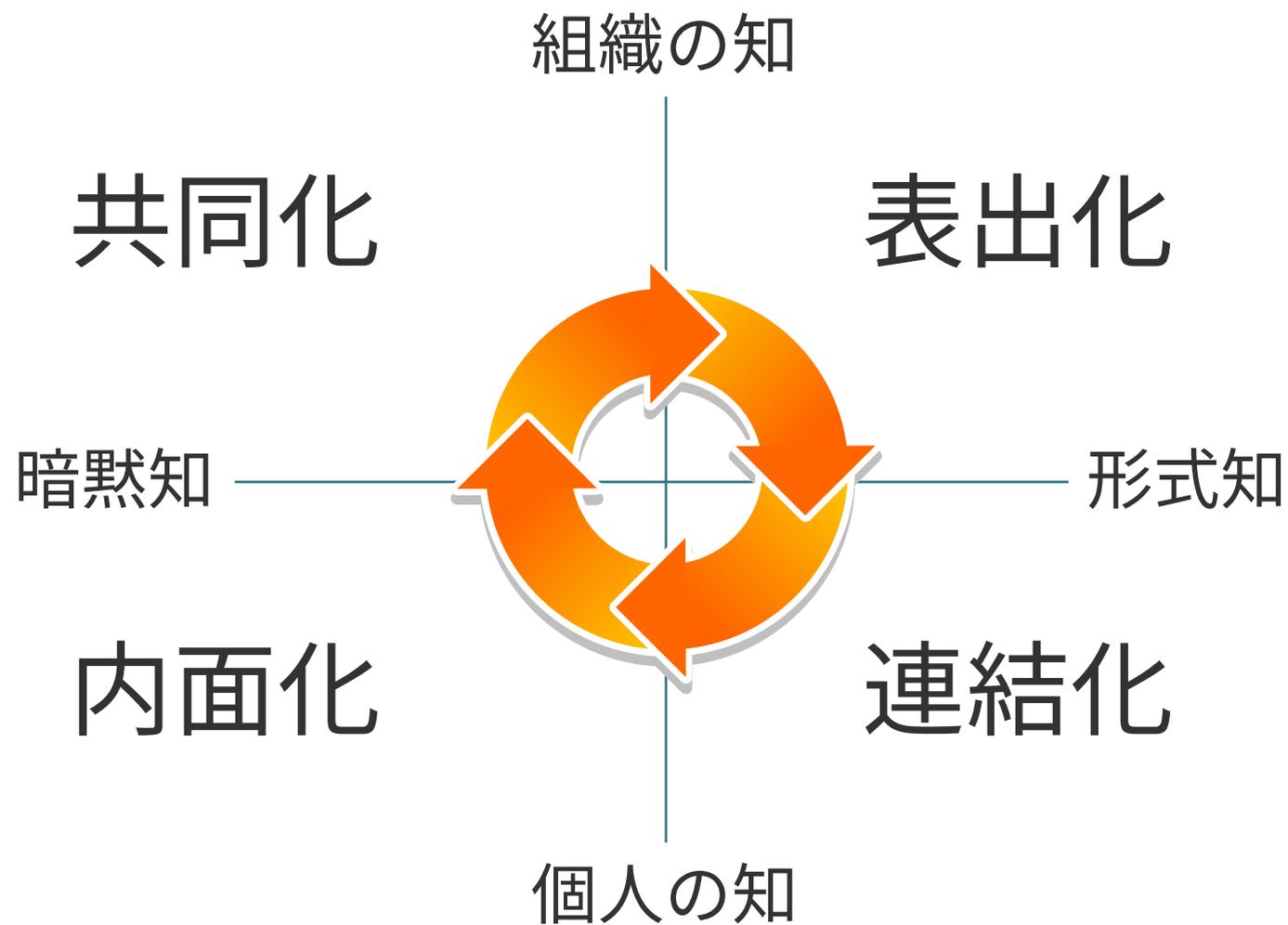
アブダクション

事例・既存知識・観測事実などの要素から，それを説明する仮説という全体を能動的に包括的に把握(comprehension)する創発

累積的文化進化

組織的知識創造 (SECIモデル)

暗黙知(tacit knowledge)と形式知(explicit knowledge),
個人の知と組織の知の相互変換



共同化 Socialization

経験を共有して個人の暗黙知から組織の暗黙知へ

表出化 Externalization

暗黙知を言葉などで表して形式知へ

連結化 Combination

いくつかの形式知を合わせて組織レベルの形式知へ

内面化 Internalization

共有された形式知を個人のノウハウまで高める

(野中郁次郎, 竹内弘高 1996 『知識創造企業』 東洋経済新報社)

表出化・連結化

「要するにこういうことだ」
を形式的に表す（簡潔な命題や数式）

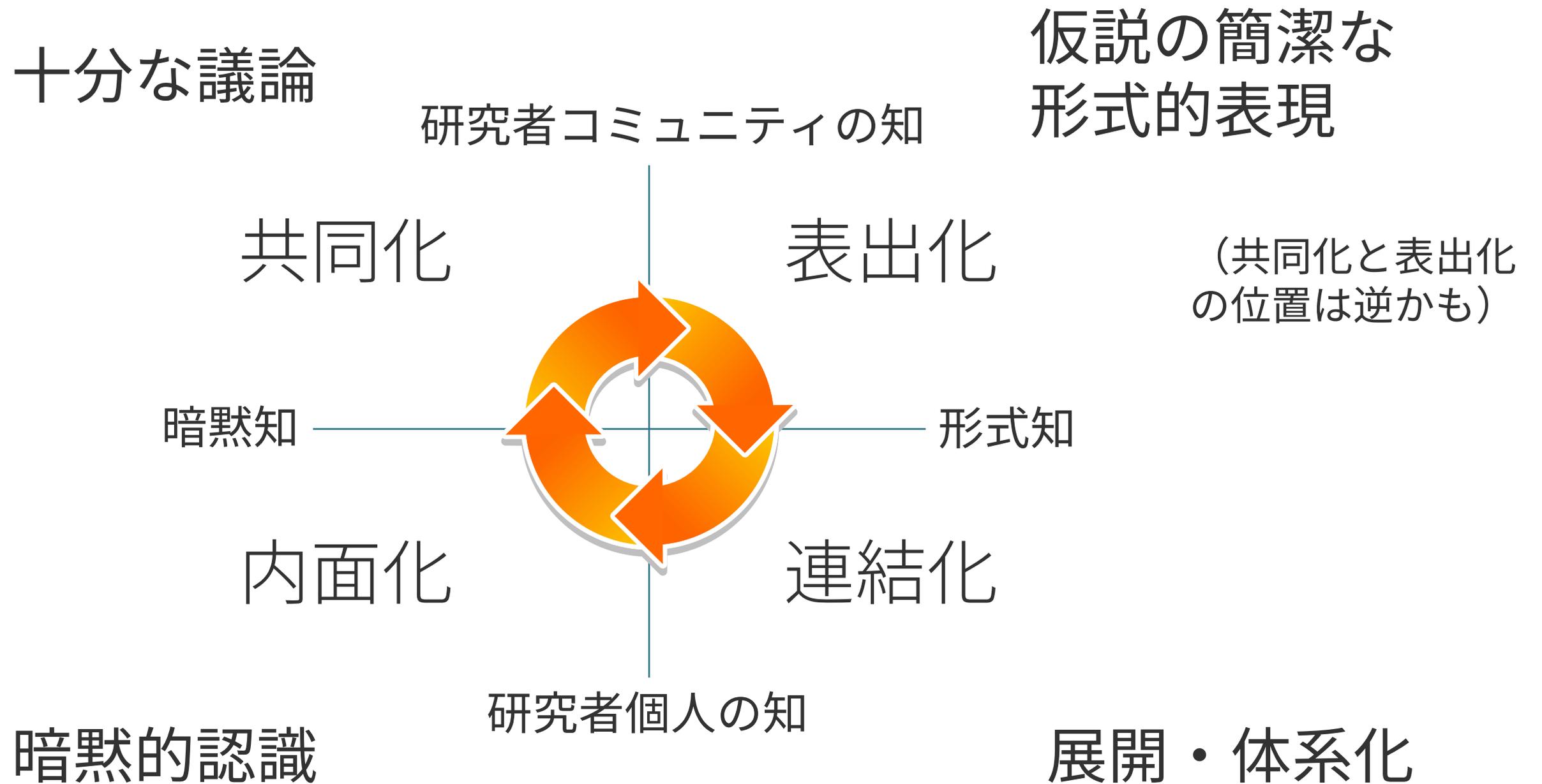
「数理言語を用いてある知識を表現したとき，しばしば論理自身の展開によって，当初に意図されたことを越える結論が引き出される．数理表現があたかも乗り物のように人を乗せ，日常意識ではとても到達できない思考の深みへその人を導いていくかのようなようである．多少とも数理的学問における創造活動に関わった人ならば，このことはよく知っているはずである．」

（蔵本 2003 『新しい自然学—非線形科学の可能性』 岩波書店; 強調は引用者）

形式知での共同化・連結化を可能にする

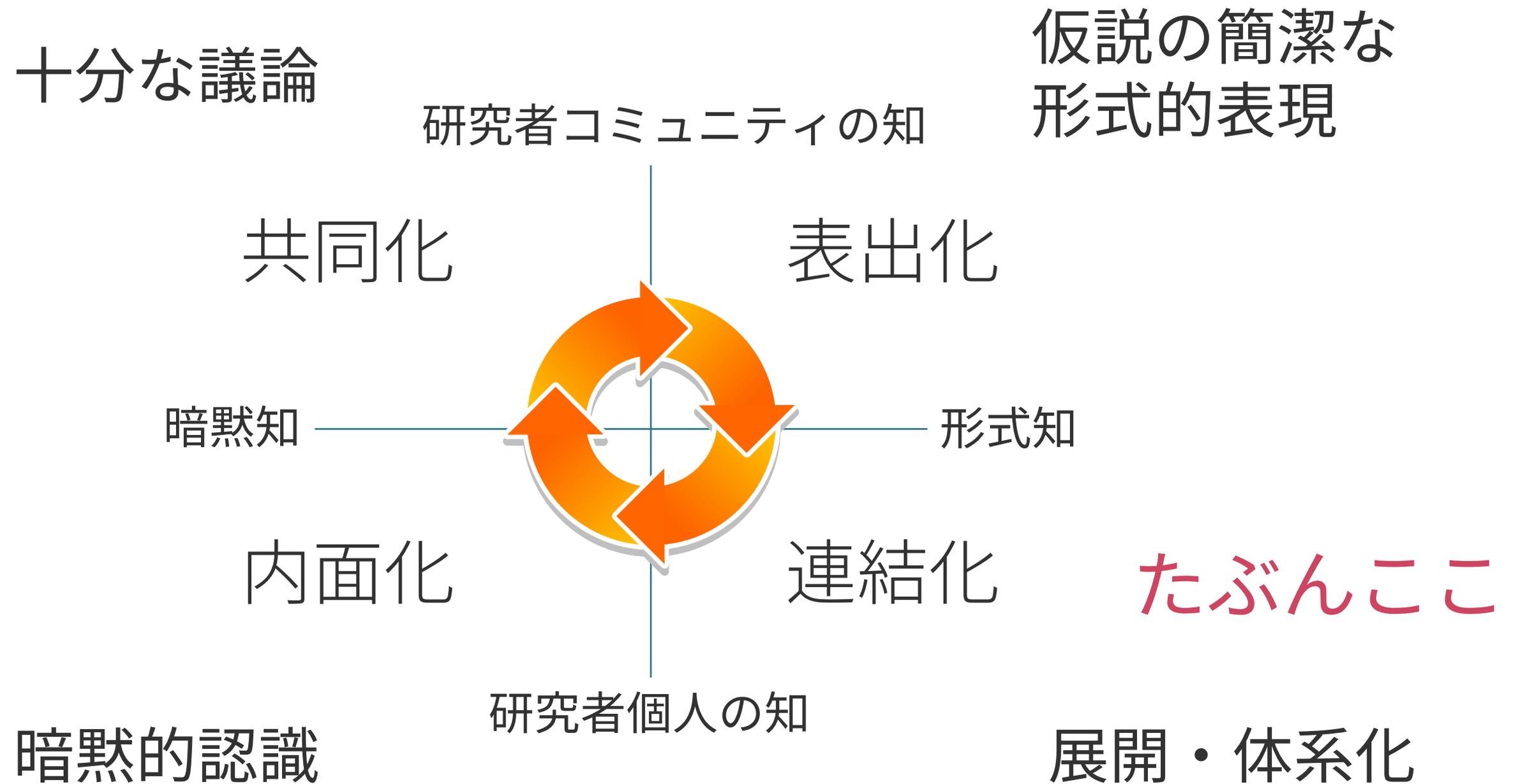
おそらく暗黙知レベルでの共同化に裏打ちされていたほうが良い

科学における累積的知識創造



AIと人間による理解の共創

累積的知識創造のループに入る



AIによる予測と人間の予測

アナリストは自分たちが重要だと確信できる仮説に基づいて回帰モデルを構築したが、そのような確信は機械学習にとって不要だ。機械学習モデルは、多くの変数の中のどれが最も役に立つか決断を下したうえで、重要でないものと、思いがけず重要なものを見分ける能力が特に優れている。

いまや、アナリストの直感や仮説の重要性は薄れた。機械学習は予想外の相関関係に基づいて予測を行うことが可能で、...

(アグラワル他 2019, p.53; 強調は引用者)

A・アグラワル, J・ガンズ, A・ゴールドファーブ 2019 『予測マシンの世紀: AIが駆動する新たな経済』 早川書房

羽生善治の「美意識」



コンピュータは膨大な情報を生み出してくれます。それを受けいれるか、受けいれないかっていうのは、人間の美意識によるところが、非常に大きいと思うんです。

将棋「永世七冠」達成後の日本記者クラブでの記者会見
(2017/12/13)

HUFFPOST 2017年12月13日 あの人のことば
羽生善治竜王「棋士の存在価値が問われている」 永世七冠が考
える、人類とコンピュータの理想の関係
「人類最強」の天才棋士は、いま何を思うのか。
現代ビジネス 2017/8/30 (2019/06/04 accessed)

https://www.huffingtonpost.jp/2017/12/12/yoshiharu-habu_a_23305638/

理解フレームの不一致

機械学習

人間がどう感じるか
考えるかとまったく
関係のない変数の組
み合わせ

こちらの中に正さが
あるかも
(たぶんそう)

でも、これは (いま
のところ) よく理解
できない

回帰モデル

人間が妥当だと思う
変数間の関係

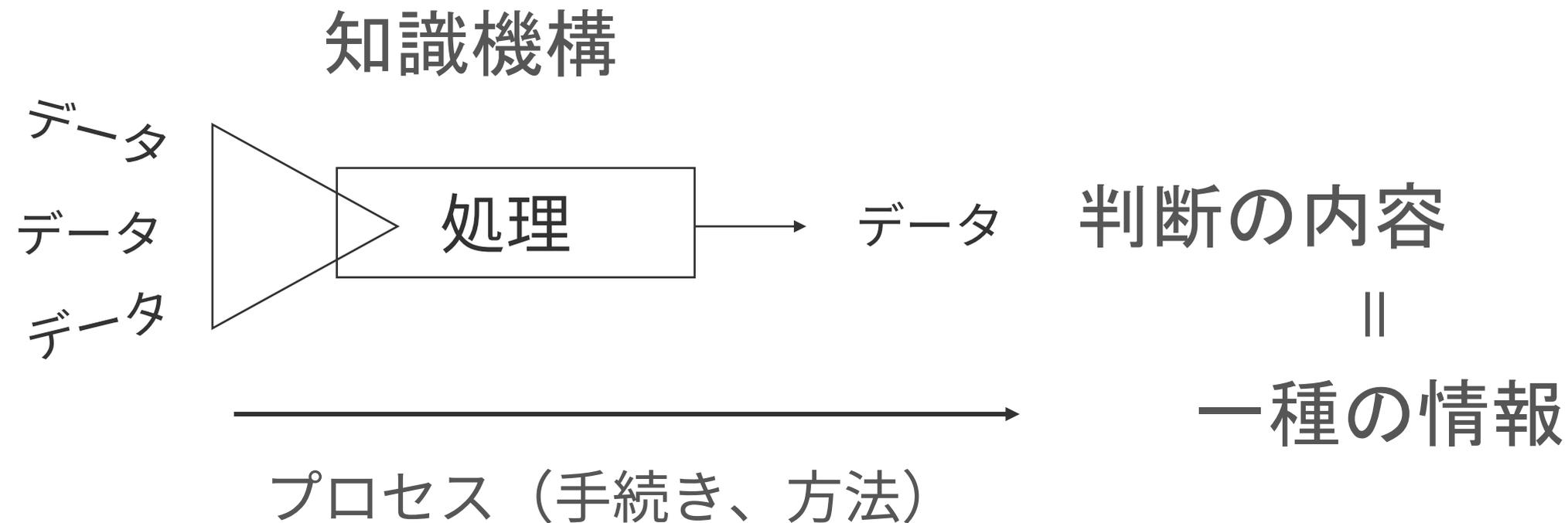
それに合うと
納得・理解
(受け入れる)

世界はこうなっ
てというフレーム
(理解の美意識)

不一致

わかるけど、
予測精度は
MLに負ける

知識の信頼性主義 → XAI



たまたまでなく、規則性をもって産出

産出された判断が知識かどうかは、判断（一種の情報）の性質（一般性、抽象性、包括性、体系性など）によってではなく、**産出プロセスによって定義される**

Robert Nozick
Alvin Goldman
Fred Dretske

下嶋 「知識科学概論」 2017年度

羽生善治の「美意識」



——より将棋を深められると。いいことばかりですか。

「いや、どうしても相容れられない部分もあると思います。人間の思考の一番の特長は、読みの省略です。無駄と思われる膨大な手を感覚的に捨てることで、短時間に最善手を見出していく。その中で死角や盲点が生まれるのは、人間が培ってきた美的センスに合わないからですが、コンピュータ的思考を取り入れていくと、その美意識が崩れていくことになる。それが本当にいいことなのかどうか。全く間違った方向に導かれてしまう危険性も孕んでいます」

——長い年月をかけて醸成されてきた日本人の美意識が問われている。

「変わっていくと思います。今まではこの形が綺麗だとか歪だと思われていた感覚が、変わっていく……」

羽生善治「コンピュータ将棋により人間が培った美意識変わる」
SAPIO2015年4月号（2019/06/04 accessed）

https://www.news-postseven.com/archives/20150308_307527.html

羽生善治の「美意識」



篠原 その美意識というのは、この手は汚いから指したくないとか、こういう詰め方は嫌だというような棋士が持っている感性ですよね。そういうものは、AIがどれだけ進化してもなくならない気がするんですけど、羽生さんはどうお考えですか？

羽生 それはやっぱり常にあるでしょうね。ただその一方で、コンピュータ将棋にふれることによって、人間の美意識自体が影響を受けるということもあると思うんです。

美意識というのは決して固定的なものではなくて、必ず時代とともに変わっていくものなので、今後ちょっとずつ変わっていくでしょう。実際、これまでは醜い形・悪い形とされていたのが、やってみたらけっこういいということもありますから。

篠原弘道NTT副社長（研究部門のトップ）との対談

羽生善治「棋士になって30年、まさかこんなことになるとは…」

人工知能の現在と未来

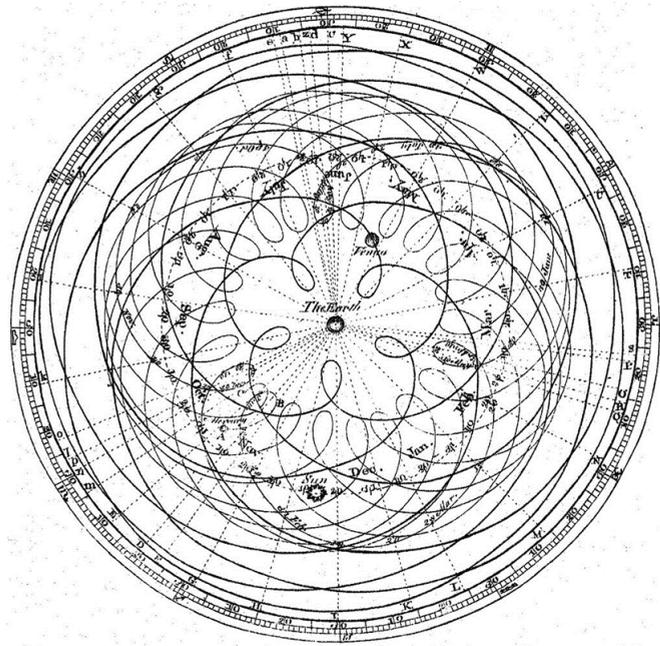
現代ビジネス 2017/8/30 (2019/06/04 accessed)

<https://gendai.ismedia.jp/articles/-/52687>

© 2019 Takashi Hashimoto

美意識，理解のフレームは変わり得る

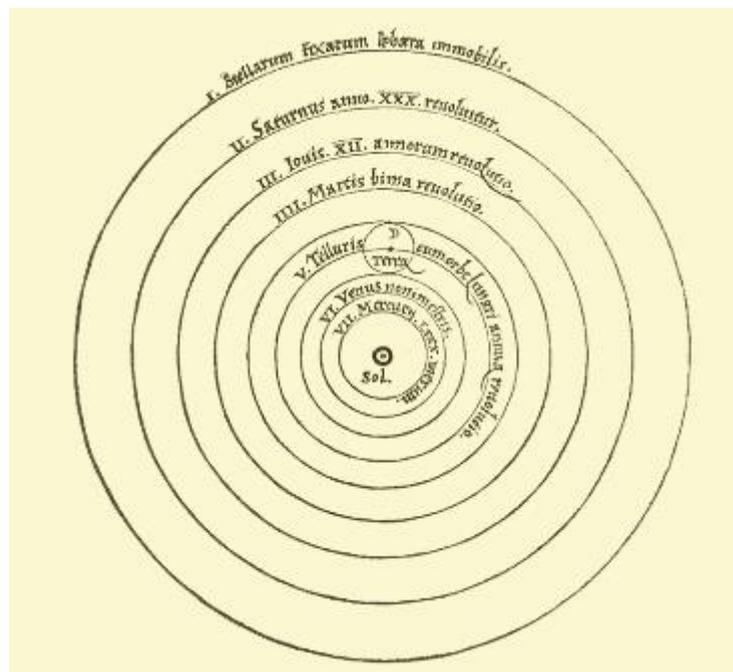
科学革命



天動説

- 地球が中心
- 円軌道（従円と周転円）
- 天上は神の世界，地上は人間の世界，同じ法則なわけがない

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cassini_apparent.jpg

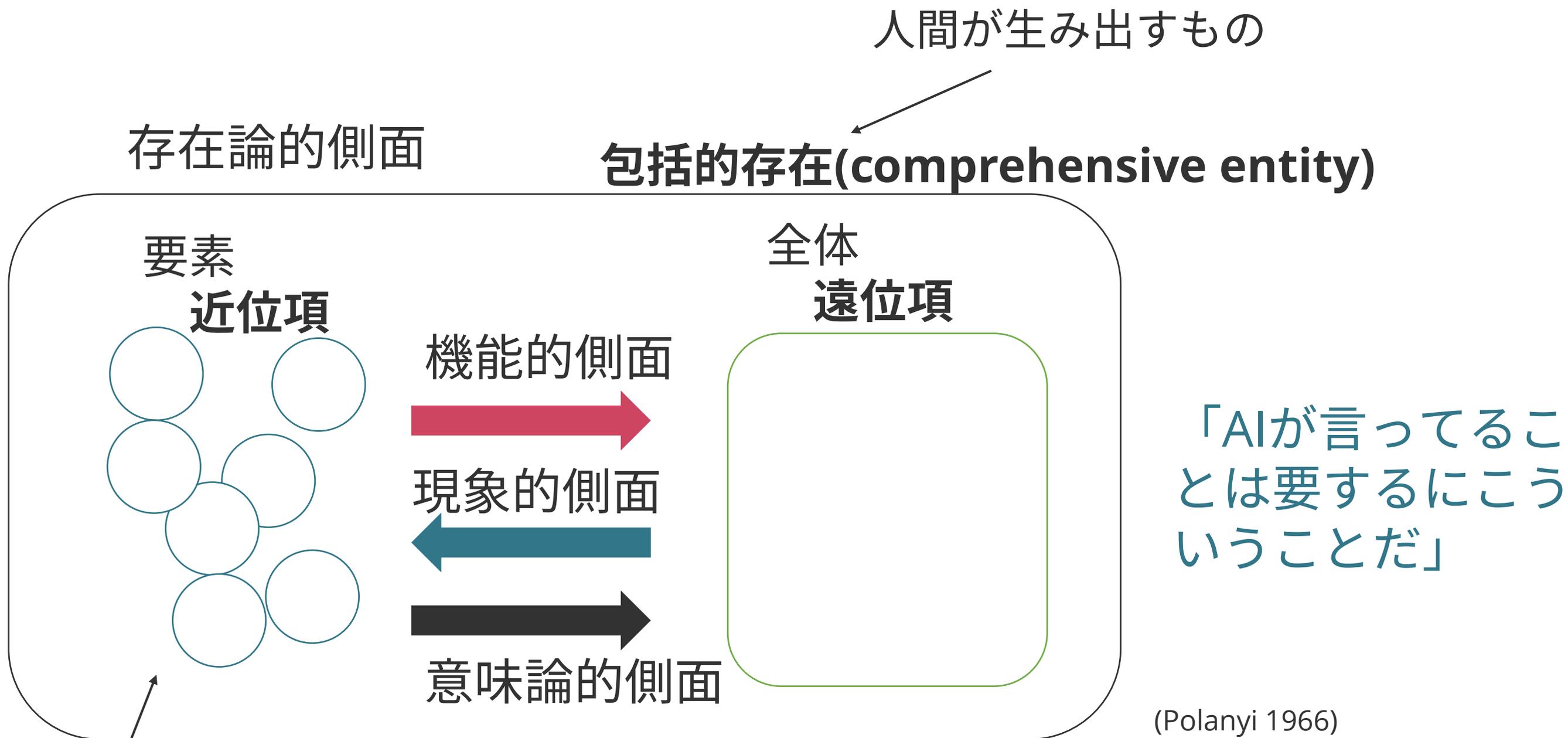


地動説

- 太陽が中心
- 楕円軌道
- 天上も地上も同じ物理法則

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Copernican_heliocentrism_diagram-2.jpg

AIとの知識共創



AIが生み出すもの

今の理解フレームでAIを説明するのではなく、AIの判断を納得し説明できる理解フレームを作るよう暗黙的認識を働かせる

科学的知識の進化のモデル

現象

What?

観測データ

帰納

アブダクション

AIが生み出すデータ

記述的仮説

アブダクション

説明的仮説

アブダクション

Why?

「ねえ君、不思議だと思いませんか」 (寺田寅彦)



寺田寅彦
(1878-1935)

https://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Torahiko_Terada_01.jpg

実証的にテストできる
命題群の導出

演繹

予測

実験

反証テスト

帰納

受容

修正・破棄

Cf. (米盛 2007; 橋本他 2010)

まとめ

科学における理解とTacit Knowing

科学:現象の奥にある, 見えない法則を実証的に探求

裏にある説明的 (因果的) 法則を生み出すアブダクションが重要

理解:枝葉を取った安定な部分について, 要するにこういうこと

美意識, 理解のフレームと不可分

そこへ至るダイナミクス=Tacit Knowing (暗黙的認識)

近位項(部分)と遠位項(全体)の包括的存在を作り出す, 一種の創発

累積的文化進化: 「要するにこうだ」を簡潔・形式的に表す

科学者コミュニティのSECI

=暗黙知・形式知, 個体の知・コミュニティの知の相互変換

AIとの理解の共創

AIをSECIに取り込む, 美意識・理解のフレームのアップデート

AIが見出してくる法則=近位項, 人間がそれを包括する遠位項を作り出す暗黙的認識を働かせる

ご清聴ありがとうございました