

レクチャーシリーズ 「シンギュラリティと AI」 [第3回]

実践知能・多重知能のための メタ AI アーキテクチャ

Meta AI Architecture for Practical Intelligence and Multiple Intelligence

山口 高平

慶應義塾大学

Takahira Yamaguchi

Keio University.

yamaguti@ae.keio.ac.jp, <http://www.yamaguti.comp.ae.keio.ac.jp/>**Keywords:** deep learning, meta knowledge, practical intelligence, multiple intelligence, intelligence integration.

1. はじめに

レクチャーシリーズ「シンギュラリティと AI」の記事の執筆依頼を受けて、最初に頭に浮かんだのが、映画の講評を執筆したこともあって、映画「トランセンデンス」(2014年4月米国、同年6月日本公開)であった。この映画は、主人公である AI 研究者が銃で撃たれて亡くなる寸前に、「マインドアップロード」、すなわち自分のマインド(心や意識、感情など)をコンピュータにアップロードし、こうして誕生した AI コンピュータ PINN は、ウィルの意識を初期知能として進化していき、ついには、人類を超越して意識さえももち得る汎用 AI に変わっていく SF 映画である。

「シンギュラリティ」あるいは「人に迫り、人を超越する人工知能(AI)」について議論するとき、脳科学、哲学、倫理学、コンピュータ科学など、さまざまな視点がある。視点によって議論も変わるが、人のように、「見て、聞いて、考えて、話して、動いて、学んで」という柔軟な知能、換言すれば、せい弱ではなく臨機応変に問題を解決し、専門知識だけでなく常識や生活体験も活用し、未体験の状況でも試行錯誤して何とか解決を試みる AI をシンギュラリティ(10年後でも一部できそうなことを書くので、プレシンギュラリティ、あるいは、シンギュラリティ: レベル1という言い方が妥当かもしれない)の一つの姿と考え、現在の AI 研究課題の延長線上で考えてみる。延長戦上の予測というと、不連続変化を予測できないから無意味と思われるかもしれないが、抽象度が高いアーキテクチャレベルの予測になるので、現場レベルでは不連続変化に感じるかと思う。

なお、著者は、「KRR (Knowledge Representation and Reasoning: 知識表現と推論)」を中心に AI 研究を進めてきたことから、知識モデリングから人に迫る知能を考えていくので、記号バイアスがかかるがご了承願

たい。データマイニングにも取り組んでいるが、機械学習ではなく、データ前処理(適切なデータ項目集合を規定するモデリング作業だと思っている)で決まると認識している。しかしながら、モデリングだけでは、開発コストがボトルネックになり、普及しないことも事実であり、モデリングとマイニング(機械学習)の両面から考察したい。

現在、計算力と大規模データを利用して、深層学習による特定タスクで人を超越する特化型 AI への関心が高いが、言葉だけが先行し、この特化型 AI を過度に評価し、混乱も起こっている。以下においては、まず、現在直面している AI の混乱について言及し、議論を展開していく。

2. AI への過度の期待:

深層学習と「知識表現と推論」

世界的には 2010 年以降、第三次 AI ブームが到来したといわれているが、日本で実感できたのは 2014 年以降の 3 年間である(学会的には、全国大会参加者や会員数が、急激に増加してきた)。しかしながら、AI = 機械学習(特に深層学習)と捉え、機械学習により自律的に賢くなるシステムのみが AI であると、IT エンジニアさえ、そのように主張する場面に遭遇することが多くなった。

深層学習だけが AI ではない。探索、論理、演繹推論、含意、知識表現、オントロジーなど、さまざまな AI があり、AI の適用範囲や適用限界はケースバイケースであり、細分化された AI の特徴を理解し、このような混乱は避けていくべきである。

例えば、ノウハウを表現したルールベースを推論エンジンが実行するエキスパートシステム(ES)は、通常のプログラムと同じであろうと真顔で主張してくる(実は、この主張は 1980 年代に多くあった)。プログラムの IF 文は実行制御のためにある。ノウハウ知識を表現する IF-THEN ルールをプログラム内に埋め込むなら、

その IF-THEN ルールが利用されるすべての箇所で記述することになり、大規模プログラムでは記述の爆発が起こる。また、対象問題によっては、IF-THEN ルールが頻繁に変更され、そのつど、プログラム中のすべての IF-THEN ルールを変更しなければならず、大規模プログラムでは変更の爆発も起こる。このように、記述コストと変更コストの問題が起こるため、ノウハウを表現する IF-THEN ルールをプログラム中に直接コーディングしてはいけない。そのため、IF-THEN ルールを宣言的知識として一度だけ記述し、ワーキングスペースを常時監視し、IF-THEN ルールが適用可能になれば実行する推論エンジンを用意するのである。

この手続的知識から宣言的知識への変換は、形式化が困難な悪構造問題 (ill-defined problem) においてキーワードになり、KRR (Knowledge Representation and Reasoning) という重要な AI 分野が誕生し、合理的エージェント、ゴール推論など、white-box タイプ (説明可能型) AI の研究に発展しているが、一般的には、この種の研究が軽視され、世間一般の認知度が低い。また、ES の入力 IF に DSL (Domain Specific Language)、出力 IF に基幹システムへのプログラム合成を備えて、ES は BRMS (Business Rule Management Systems) に発展している。業務ルール変更時に、基幹システムの再開発が余儀なくされると膨大な費用がかかるので (ビッグバンと呼ばれる)、BRMS により業務ルールだけを変更すれば、その変更部分に相当するプログラムを合成し、基幹システム内で置換してくれる経済的な BRMS にビジネス現場では関心が寄せられ普及してきており、ES が BRMS と名前を変えて活躍を続けていることを知るべきである [森田 14]。

一方、black-box タイプの AI の代表が、ビッグデータに基づく深層学習であり、ユーザはこちらの AI ばかりに関心を寄せ、過度に期待する余り、混乱が起こっている。以下、典型的な混乱例を図 1 に示す。

AlphaGo の詳細は [伊藤 16] に委ねるが、簡単に言えば、大量の棋譜データに深層強化学習を適用して、局面から次の有効な一手を予測するパターンを学習し、その結果、新しい定石が学習できたという研究で、世界ランク 1 位のプロ棋士にも完勝する「凄い AI」といえる。そし

ユーザ: 囲碁で、AI (AlphaGo) がトッププロ棋士に勝ちましたよね。当社の業務、人件費がネックなんです。AI で代行できますか。
AI 担当者: 業務分析しないとわかりません。
ユーザ: 囲碁って、普通の人には難しいでしょ。その囲碁で AI が人を超えたのだから、こんな業務くらい、簡単でしょう？
AI 担当者: そう言われましても...

図 1 AlphaGo シンドローム

て世間は、この結果を図 1 のように過度に一般化し、AI プロジェクトを進めようとするが、途中で、こんな業務も代行できないのかと失望し、プロジェクトが挫折することが起こっている。

それでは、業務代行可能な AI とは何であろうか？ それは、従来型の「知識表現と推論」AI であり、人類が今までに獲得してきた知識がその源泉にある。知識は、テキストやマニュアルにすでに外在化されているかもしれないし、経験レベルに留まる暗黙知・ノウハウかもしれないが、人類が獲得済みの知識である。それをシステム化しないで、深層学習によりすべての業務ができると誤解しているユーザが多いのである。人類の叡智をなめてはいけない！ 深層学習は、データがあれば新しい気付きの発見に確かに有効であるが、既存知識と連結させて初めて、現場で有用となる。

また、深層学習は、計算力とデータ規模に依存した力技による結果ともいえ、「凄い AI」ではあるが、学習結果がなぜ良いかと説明を求められても、人がわかるレベルでは説明はできない。「説明可能な AI」とはいえない。説明機能がなければ、人と協働はできず、知的パートナーとしての AI を構築することは無理である。

以下、「説明可能な AI」に関連する知識表現と推論の観点から考察を進める。

3. 熟達化モデルと業務知識とメタ知識

数年前、高速道路設備点検業務知識継承システムの開発において、業務担当者が集合し、外在化したワークフローと作業ルールの評価会を実施した (図 2)。その結果、現場に密着した状況判断ルール、点検業務撮影動画、設備写真などは評価されたが、個別のワークフロー群を汎化した抽象度の高いワークフローはあまり評価されなかった。設備点検では、設備固有の業務知識が多く、設備固有の情報に絡めた知識でない役に立たないと一蹴された。しかしながら、業務経験の長い班長が、「私は、長年、さまざまな設備点検を経験してきたので、具体的な知識や情報にはあまり関心はないが、一般レベルの業



図 2 高速道路設備

務フローは、今までの体験を集約化したようなものであり、点検業務全体の見直しを考えていたので、参考になった」と、抽象度の高いワークフローを評価してくれた。

発達心理学では、専門家の熟達化過程が5段階でモデル化されている。初学者 (beginner)、初心者 (novice) から、routine expert (マニュアルレベルであるが、ミスなく手際良く処理できる専門家)、adaptive expert (初めての状況でも過去の経験から対応できる専門家)、creative expert (創意工夫により、新しい知識を考案する専門家) と熟達化が進んでいくとされる [ショーン 01]。

この評価会では、参加者のほとんどが novice か routine expert の段階であり、現場に密着した具体的知識が求められたのに対し、adaptive or creative expert に到達している班長が、体系化・一般化されたワークフローの重要性を見抜いてくれたといえる。

また、SHRDLU を開発して 1970 年代の自然言語理解をリードした Terry Winograd が、1980 年代には閉じた AI に見切りをつけ、コンピュータ支援によるデザイン論を展開し、問題領域の「もの」と「こと」をどのように解釈するかという、内省的な存在論的デザインを提唱し、知識獲得過程は、知識の創造的デザイン活動であると指摘している [ウイノグラード 89]。上述の評価会では、固有知識を汎化して抽象知識を獲得するプロセスが、道路設備点検知識の創造的デザイン活動に対応するといえる。

以上のことから、初学者から創造的専門家に進化する過程は、固有知識から汎化知識に発展し、その汎化知識が既存固有知識をも改訂していくという、メタ知識プロセスの実現に相当するものであり、メタ人工知能アーキテクチャの一要素になると考えられる。

4. 分析知能、創造知能、実践知能

ロバート・スタンバーグ (R. J. Sternberg) は、IQ (知能指数) が予測できる知的能力の範囲はかなり限定的であり、現実世界の具体的問題にうまく対処する能力として実践知能 (Practical Intelligence) を提唱している。

実践知能は、日常生活の現実問題を解決する能力であり、机上の問題解決ではない。実践知能の典型例を以下に示す。ごみ収集では、作業員が収集車から家の玄関までごみ容器を取りに来て、元の場所に戻す必要があるため、通常は 2 往復しなければならないが、ごみ容器の規格を統一して使い回せるようにしておけば、ごみ容器を交換するだけなので、1 往復で済むようなことを考案することが実践知能の例としている。

また、実践知能の測定方法として、例えば、「あなたの部下 A の部下 B から、あなたに直接面談が申し入れられ、B にとっての上司 (あなたにとっての直属部下) A の苦情が寄せられたとき、あなたはどのように対処し

ますか?」という問題に対して、10 の選択肢が設けられ、各選択肢の適切さを 7 段階で評価させる。選択肢は、① B の直属の上司 A に面談させ、自分は B に会わない。…⑧ 指揮命令系統を無視した B を叱責する。⑨ あなたが尊敬する年長者に相談する。⑩ この問題を自分の助手に任せる。などである。答えが一意に決まっている IQ テストとはかなり異なるが、現実問題は、このように答えの定まらないケースが多く、そのような問題にうまく対処していける人が、実社会で成功していくとしている。事実、スタンバーグの考案した実践知能検査をある大手銀行の支店長陣に実施し評価したところ (経営陣が彼らの回答を評価)、この実践知能検査得点と従来の言語知能と数理知能を測定した知能検査得点 (IQ) の間に、有意な負の相関 (-0.3 前後) が認められた。これは、IQ の高い人は、日常生活の現実問題の解決は不得手であることを示唆している。

暗黙知を提唱したポランニー (M. Polanyi) は、主体が仮説をもって能動的に外界に臨むことが重要であり、それをコミットメント (Commitment) と呼んでいる。暗黙知は、主体と外界のインタラクションであり、仮説の生成と検証が繰り返され、答えが動的に生成されていくプロセスとされるが、実践知能の考え方と共通部分が多い。スタンバーグは、この実践知能の分析をさらに発展させて、成功知のための鼎立理論という理論を提唱している。

鼎立理論は、人の知能は、分析知能、創造知能、実践知能という三つの知能から構成され、これらの知能をバランス良く組み合わせることで、社会的に成功するために必要な知能である成功知 (Successful Intelligence) を獲得できるとし、成功知を獲得するために核となる知能が、分析知能と創造知能を利用しながら行動を決めていく実践知能だと説明している [スタンバーグ 98]。すなわち、分析知能は必要であるが、それだけでは前には進めないという意味で不活性知能であり、その一方で、創造知能とは、リスクを考慮しながらも一歩踏み出そうとする活性知能であり、この二つの知能を適切に調整し、現実世界に適応する知能が実践知能であるとしている。

現在の AI の多くは分析知能といえるが、創造知能の AI 研究はこれからである。そして、分析知能と創造知能を統合する実践知能も今後の研究であるが、実践知能は、見方を変えれば、オブジェクトレベルの AI をファシリテートするメタ AI アーキテクチャの研究であり、AI の一つの将来像として位置付けられる。

5. 多重知能と知能連携

ガードナー (H. Gardner) は、多重知能説 (MI: Multiple Intelligence) を提唱し、人のもつ多様な知能について議論している。図 3 がその概観図であるが、人は、言語 (言葉の表現と理解: 例えば作家)、数理 (数学、論理的

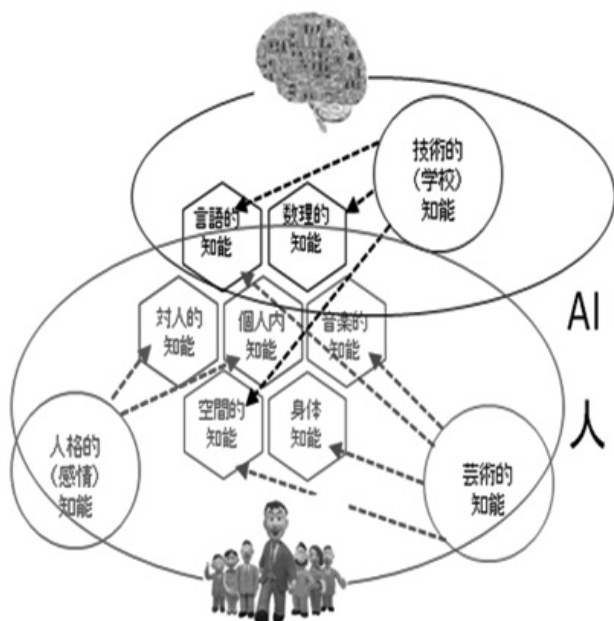


図3 ガードナーの多重理論

分析:会計士), 対人知 (他者の意図推定, 人間関係構築: 優秀な営業担当者), 個人内 (省察能力, 人格の中心的役割を担う), 音楽 (作曲, 演奏: 作曲家, 演奏家), 空間 (空間把握:パイロットやデザイナー), 身体知能 (運動: アスリート) という7種類の知能をもち, これらの知能を有機的に連携させ, 活動していると提言している [金井12, 鈴木08]. 4章で, 現状のAIは分析知能と言及したが, 図3を使えば, 現状のAIは, 数理的知能と少しの言語的知能をカバーしている状況であろう.

ガードナーの知能連携は, AI的には記号接地 (Symbol Grounding) と関連が深い. 記号接地とは, ハルナッド (Stevan Harnad) によって1990年に提唱された課題であり, 物理世界における記号の意味付け問題であり, 換言すれば, 異なるモダリティ (視覚, 人の表情, 聴覚, 声の抑揚など) がどのように結び付いて記号の意味 (あるいは語意) が形成される仕組みを解明する問題であり, さまざまな研究がある. パターン情報処理的には, 記号はパターン情報空間を切り出した (分節した) 空間へのラベルと捉えられるが, あらかじめ, 分節方法は定まっているのではなく, 人を含めた環境とのインタラクションから動的に形成される.

しかしながら, 記号接地の研究は, 基礎的な研究に留まるケースが多く, 現場への応用にはなかなか届かない.

著者は, PRINTEPS (プリンテプスと発音. PRactical INTElligent aPplicationS) を [山口17] で紹介した. PRINTEPSは, 知識ベース推論, 音声対話, 画像センシング, 動作計画, 機械学習のAI要素技術を組み合わせた統合知能アプリケーションを開発できるとともに, あまり複雑でない統合知能アプリケーションならば, エンドユーザだけで開発できることを特色にしている. 事実, 実践事例としてのロボット喫茶店 (図4) では, 「座



図4 ロボット喫茶店

席案内], 「注文」などのサービス事例ライブラリ, サービスを構成する「客に近づく」などの業務プロセスライブラリをエディタ上でドラッグ & ドロップすれば, 自動的に, ROS上で動作するPythonコードに変換され, ロボットの発話・動作が始まる. 喫茶店オーナーにより, このロボット接客サービスの修正すべき点を列挙してもらったところ, 一つのサービスが数分で修正されて再実行でき, PDCAサイクルが俊敏に働いた. 今後, 人の発言や振舞いを自動的に獲得し, 汎化された修正知識を適用すれば, ロボットが自律的に接客サービスを学習し, 数日も働かせれば, 見違えるように, 気の利くサービスを身につけるようなメタ学習システムの構成は1年以内にはできるであろう.

6. おわりに

1章において, 人のように, 「見て, 聞いて, 考えて, 話して, 動いて, 学んで」という柔軟な知能, 換言すれば, ぜい弱ではなく臨機応変に問題を解決できる知能をシンギュラリティ (レベル1) とし, 分析知能と創造知能をファシリテートする実践知能, 要素知能を有機的に連携させる多重知能などの認知心理学的概念を基盤とするメタAIアーキテクチャが一つのアプローチになるとした.

メタAIアーキテクチャでは, システム的には, 要素知能ソフトウェアと知識とデータを統合することになる. 例えば, ビッグデータに深層学習を適用して新しいパターン (気付き) を獲得し, 既存の知識ベース体系と同化 (assimilation) および調節 (accommodation) させ, 新しい知識を利用するソフトウェアも同時に改訂しながら, メタAIのPDCAサイクルを回すことになる. このサイクルは, 現在, 機械学習で行われている分析知能レベルの学習ではなく, 実践知能 (メタ知能) レベルでの

学習, すなわち, AI の熟達化プロセスを実現する仕組みであり, AI の熟達化モデルの研究が, シングularity への一つのアプローチになるともいえる.

1章で断ったが, 本稿は, 現状の AI 研究の分析結果に基づいて, 10年後の AI を予想したものである. 熟達化機能をもつメタ AI の基礎研究は, IJCAI 2017 の Workshop on Impedance Matching in Cognitive Partnerships などですすでに議論されている. 深層学習の基本原則は 1980 年代に提案され, 計算力とデータ規模・処理の環境が整って, 現在, 大きなブームになっていることを考えれば, メタ AI を実践する次世代 ICT 環境が整備されたとき, 大きな社会的影響を与えるのでないかと考えている.

◇ 参 考 文 献 ◇

- [伊藤 16] 伊藤毅志, 松原 仁: AlphaGo の技術と対戦, 人工知能, Vol. 31, No. 3, pp. 441-443 (2016)
 [金井 12] 金井壽宏, 楠見 孝 編: 実践知—エキスパートの知性, 有斐閣 (2012)
 [森田 14] 森田武史, 山口高平: 業務ルール管理システム BRMS の現状と動向, 人工知能, Vol. 29, No. 3, pp. 277-285 (2014)
 [スタンバーグ 98] ロバート・J. スタンバーグ 著, 小此木啓吾, 遠藤公美恵 訳: 知能革命—ストレスを超え実りある人生へ, 潮出版社 (1998)

- [ショーン 01] ドナルド ショーン 著, 佐藤 学, 秋田喜代美 翻訳: 専門家の知恵—反省的実践家は行為しながら考える, ゆるみ出版 (2001)
 [鈴木 08] 鈴木 忠: 生涯発達のダイナミクス, 東京大学出版会 (2008)
 [ウイノグラード 89] テリー ウイノグラード, フェルナンド フロレス 著, 平賀 譲 翻訳: コンピュータと認知を理解する—人工知能の限界と新しい設計理念, 産業図書 (1989)
 [山口 14] 山口高平: 人工知能とは (レクチャーシリーズ「人工知能とは」[第 11 回]), 人工知能, Vol. 29, No. 6, pp. 690-695 (2014)
 [山口 17] 山口高平, 森田武史: 統合知能アプリケーション開発プラットフォーム PRINTEPS, 人工知能, Vol. 32, No. 5, pp. 721-729 (2017)

2017 年 10 月 11 日 受理

著 者 紹 介



山口 高平 (正会員)

1979 年大阪大学工学部通信工学科卒業, 1984 年同大学院工学研究科博士後期課程修了. 同年, 大阪大学産業科学研究所助手. 1989 年静岡大学工学部助教授. 1997 年同大学情報学部教授. 2004 年より慶應義塾大学理工学部教授, 工学博士. 定理証明, 知識システム, データマイニング, セマンティック Web, オントロジー, 知能ロボット工学に関する研究に従事. 2007 年大川出版賞, 2015 年本学会功績賞. 本学会元会長, 現顧問. 著書『データマイニングの基礎』(オーム社, 2006), 『人工知能とは』(近代科学社, 2016) など. 電子情報通信学会, 情報処理学会, 情報システム学会, AAAI, IEEE-CS などの各会員.