

人工知能と認知心理学に関する考察

Artificial Intelligence and Cognitive Psychology

兵 藤 宗 吉

要 旨

現在、人工知能（AI）は、第3次ブームにあり、非常に注目をあびているが、その概念や実態が精確に理解されているかという点必ずしもそうではなく、様々な誤解や思い違いがあると考えられる。本論文では、AI、特にディープラーニングについて、認知心理学的視点、哲学的視点、歴史学的視点から考察する。最初に、人工知能の定義、心理学における知能の定義から考察を進め、ついで、哲学的視点、歴史学的視点から考察する。最後に第3次AIブームの中核にあると考えられるディープラーニングについて、その積極的側面、そのある意味無限かもしれない可能性とその消極的側面、すなわち、その限界について考察する。

キーワード

人工知能（AI）、知能、認知心理学、ディープラーニング、意味

はじめに

現在、人工知能（AI）に関する成果、発展に対して非常に関心が高まり、数多くの著作が刊行されている（松尾・塩野，2013；Brynjolfsson, MaAfee, 2011；新井，2010，2018；松田，2013；小林，2013，2015；小川，2014；中島・チェン，2018；Zarkadakis, 2015）。また、経済誌などでも多くの特集号が組まれるほどである（東洋経済，2018；日経コンピュータ，2018）。

私たちの日常生活においても、スマートフォンのSiriやソフトバンクのペッパーロボット、iRobotのルンバ等に代表される掃除ロボットが急速に

普及している。これらは、すべてAIの成果の応用と言えるものである。前回の人工知能に関する論文（兵藤，2016）でも触れたが、いったん製造を中止していたペット型ロボット、アイボもSONYが新たなタイプの販売を開始したことは、うれしい限りである。

現在の人工知能の流行は、第3次AIブームと言われている（図1，参照，松尾，2015）。

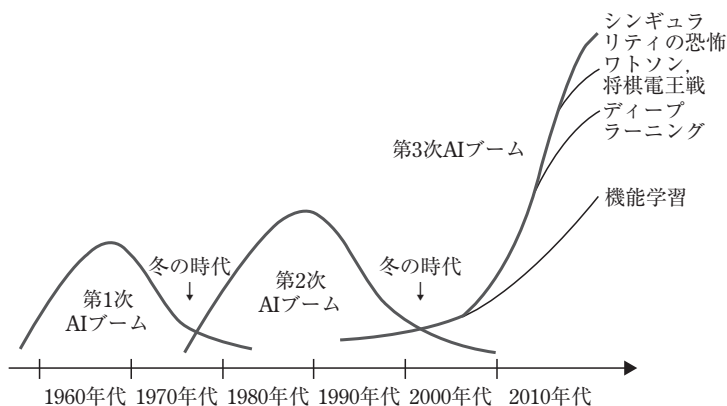


図1 第3次AIブームのビッグウェーブ（松尾，2015，p61）

われわれは、ブームという以上、この第3次AIブームは、必ず、そう遠くない将来終わると考えているが、田中・松本（2008）も同じ見解であった。彼らは、2018年現時点で人工知能とは「ディープラーニング」そのものだと断定し、以下のように分析している。

「なぜ？」が無いディープラーニング

ディープラーニングには、「なぜ？」がないし、「なぜ？」とも考えません。考えないから、目の前の問題しか解けない。ディープラーニングは、まだあくまでも特徴の発見どまりなのです。色だったり、か

たちだったり、そうした特徴を体系的に捉えて何かに近いという判断しかしていません。ディープラーニングが「なぜ？」と考えるところから、ディダクション（演繹法）のスタートになります。次のフェーズとしては「顔はともかく、色でテディベアと判断しました」とディープラーニングがアウトプットできるようにならないといけない。おそらく、現代の第3次人工知能ブームと呼ばれる現象がいったん沈静化した後、この「なぜ？」に答えるディダクションが発表されて、第4次人工知能ブームが開くのでは、ないでしょうか。2次と3次で結構な時間が開きましたが、次はそんなに開かないと思います。この技術（ディダクション）ができるようになると「概念」が生まれて、学習データをかなり少なく抑えられます。なぜなら、テディベアと判断されかねないような犬の画像を追加で用意する必要がなくなり、アウトプットのディダクションに対するフィードバックで済むからです。（田中・松本、2018、p80-p82）

AIについて考察する場合、われわれは、情報科学（コンピュータサイエンス）的視点からだけでなく心理学的視点、特に認知心理学的視点からも考察、分析することが必要と考えているが、人工知能の博士号を持つシステムエンジニアであるザルカダキス（George Zarkadakis）は、さらに「哲学」の重要性を強調している。彼が非常に興味深い考察をしているので以下に示したい。

私は1980年代に医療エキスパートシステムを開発した。私のエキスパートシステムは非常に見事に機能し、おかげで博士号をとることができたが、私には本当の意味で「インテリジェント」なシステムを開発したとはとても言えない。このシステムはスマートだったし、場合

によってはぞっとするほどスマートだった。しかし、患者についての情報を処理するときも、治療法を提案するときも、システムが自分の行動を「意識」することはなかった。システムは、「患者」の本当の意味、すなわち意思、家族、友人、希望、恐れ、不快、その他のその人にとって意味のあるあらゆるものを備えた人間としての全的な意味を知っているわけではなかった。私のエキスパートシステムにかけていたものは、意識（consciousness）だったのである。そして、意識は今もAIの問題の核心に居座っている。意識がなければ、インテリジェントマシンは意識のない自動機械に過ぎない。AIとサイバネティックスの分野で意識についての真剣な議論が起きないことに幻滅して私は学会を去り、そして、ほとんどの技術者や科学者が時間と労力を浪費するための究極の分野と考えられている学問の研究を私的に続けた。すなわち、「哲学」である。

私は科学分野の大学生のカリキュラムで哲学が重要な地位を占めればいいのにとよく思う。そうすれば、世界史でもっとも明晰な頭脳が残した思想で若い人々の頭脳を豊かにできるだけでなく、科学的な問題に対する新しくイノベティブアプローチの出現が促されるはずだ。私の場合、哲学を学んだことによって、AIの問題の本当の大きさがわかった。（ザルカダキス，2015，p10-p15，一部省略）

われわれの前回の考察（兵藤，2016）の第2節で、認知科学（コンピュータサイエンス，人工知能，認知心理学）の歴史的概観について考察したが、ザルカダキスもその著書の最後に哲学的視点を加えたAI略史を提示しているので、長くなるが以下に示す。

AI 略史

6万5千～4万年前：中期旧石器時代から後期旧石器時代に移り変わる。

新しい心のビックバン。

紀元前380年：プラトンが『国家』を書く。

紀元前330年：アリストテレスが思考を機械的なものにするために手段、
「三段論法」を説く。

紀元前150年：ロードス島の天文学者、ヒッパルコスの子供たちによっ
て、機械式の精算機アンティキティラ島の機械が作られる。

紀元50年：アレクサンドリアのヘーローンが最初の機械式オートマタを
作る。

1275年：ラモン・リュイが論理的な機械、アルス・マグマを発明する。

1637年：デカルトがコギト・エルゴ・スム（「我思う故に我あり」）を宣言
する。

1726年：ジョナサン・スウィフトがどんな本でも書ける機械の記述を含
む『ガリバー旅行記』を出版する。

1801年：ジョゼフ・マリー。ジャカルがパンチカードを使う織機を発
明する。

1811年：イギリスで手作業の自動化に反対するラッドライト運動がおこる。

1818年：メアリー・シェリーが『フランケンシュタイン』を出版する。

1835年：ジョゼフ・ヘンリーが電気オートメーションやスイッチングを
実現する継電器（リレー）を発明する。

1842年：チャールズ・バベッジがトリノ大学で解析機関を説明する講演
を行う。

1843年：エイダ・ラブレスが最初のコンピュータプログラムを作り出す。

1847年：ジョージ・ブールが二進法記号論理を作り出す。

1876年：アレクサンダー・グラハム・ベルが電話を発明する。

- 1879年：トーマス・エジソンが白熱電球を発明する。
- 1879年：ゴットロープ・フレーゲが術語論理を作り出す。
- 1910年：バートランド・ラッセルとアルフレッド・ノース・ホワイトヘッドが『数学原理』を出版する。
- 1917年：カレル・チャペックが戯曲『R.U.R.』で「ロボット」という言葉を作り出す。
- 1921年：ルードリッヒ・ウィトゲンシュタインが『論理哲学論考』を出版する。
- 1931年：クルト・ゲーデルが『不完全性定理』を出版する。
- 1937年：アラン・チューリングが「チューリングテスト」を作り出す。
- 1938年：クロード・シャノンが記号論理は電気リレーで実装できることを示す。
- 1941年：コンラード・ツーゼがチューリング完全コンピュータ、Z3を作る。
- 1942年：アラン・チューリングとクロード・シャノンがベル研究所で同僚として働く。
- 1943年：ウォーレン・マカロックとウォールター・ピッツが電子回路とニューロンが等価だということを示す。
- 1943年：チャールズ・ウィン＝ウィリアムズらがブレッチリー・パークでコロッセスコンピュータを作る。
- 1945年：ジョン・フォン・ノイマンがプログラムをメモリに格納するコンピュータ・アーキテクチャを提案する。
- 1946年：最初の汎用電子計算機。ENIAC が作られる。
- 1947年：ベル研究所でトランジスタが発明される。
- 1948年：ノバート・ウィーナーが『サイバネティックス』を出版する。
- 1950年：アラン・チューリングが「チューリングテスト」を提案する。

- 1950年：アイザック・アシモフが『われはロボット』を出版する。
- 1952年：アラン・チューリングが青酸化合物入りのリングを食べて自殺する。
- 1952年：ハーマン・カーが最初の1次元MRIイメージを作る。
- 1953年：クロード・シャノンがベル研究所員としてマービン・ミンスキーとジョン・マッカーシーを採用する。
- 1953年：ルードヴィッヒ・ウィトゲンシュタインの『哲学探究』がドイツで出版される（彼の死後2年）。
- 1956年：ダートマス会議。ジョン・マッカーシーが「人工知能」という言葉を作る。
- 1957年：アレン・ニューウェル，ハーバート・サイモンが「一般問題解決機」を作る。
- 1958年：ジョン・マッカーシーがプログラム LISP を作る。
- 1959年：ジョン・マッカーシーとマービン・ミンスキーがMITにAI研究所を設立する。
- 1963年：アメリカ政府がMACプロジェクトのためにMIT AI研究所に220万ドルの助成金を支出する。
- 1965年：ヒューベルト・ドレイファスがAIの可能性を否定する論陣を張る。
- 1969年：スタンリー・キュービックが『2001年宇宙の旅』でHALを登場させる。
- 1971年：レオン・チュアがメモリストアーを構想する。
- 1972年：アラン・カルメラウアーがプログラミング言語Prolog開発する。
- 1973年：ライトヒル報告書の影響で，イギリス政府がAI研究を中止する。
- 1976年：ハンス・モラベックが初の自動運転車，「スタンフォードビークル」を作る。
- 1980年代初め：インターネットが作り出される。

1982年：日本で第5世代コンピュータシステムプロジェクトが発足する。
1982年：フィリップ・K・ディックの小説をもとに作られたリドリー・スコット監督の映画『ブレードランナー』が公開される。
1989年：ティム・バーナーズ＝リーがワールドワイドウェブを発明する。
1990年：小川誠二が初めてのfMRIの装置を発表する。
1993年：ロドニー・ブルックスらが、5年以内に疑似ロボットの子どもを作るというCogプロジェクトをMITで発足させる。
1997年：IBMのディープブルーがガルリ・カスパロフにチェスで勝つ。
2000年：MITのシンシア・ブリジールが表情をシミュレートする顔を持つロボット、「キスマット」を開発する。
2004年：DARPAが自動運転のためのグランド・チャレンジを開始する。
2009年：グーグルが自動運転車を作る。
2011年：IBMのワトソンがテレビのゲーム番組、「ジェパディー！」で勝利する。
2014年：グーグルがイギリスのディープマインド社を6億5千万ドルで買収する。
2014年：13歳の少年をシミュレートするコンピュータプログラム、「エフゲニー・ゲーストマン」がチューリングテストを合格する。
2014年：世界中のロボットの数が、推定860万台に達する。
2015年：世界中のPCの数が推定20億台に達する。

(ザルカダキス, 2015, p444-p449)

このザルカダキスのAI略史で太字にて示したものは、われわれの前論文で紹介したものである。かなり多くが重なるが、やはり、哲学的な視点を入れると項目が増え、リストがかなり長くなる。AIが長い歴史を持つことが良く理解できる。

このリストに含まれる哲学的著書、出来事に関して、われわれが目にするのは、プラトンの『国家』が最初に示されたことである。また、ガードナー（1985）も指摘していることだが、歴史上はじめて「知」がどこから来たのかを徹底的に分析したとされる『メノン』（プラトン、1984）も非常に重要であると付け加えたい。ついで、アリストテレスが思考を機械的なものにするための手段として「三段論法」が示されているが、われわれは、同時に「心について論じた歴史上最初の書物」とされる『心とは何か』（アリストテレス、1999）もあげておきたい。

不毛の中世を経て、近代哲学者、デカルトの「われ思う故に我あり」もリスト内にみとめられるが、二元論を主張したデカルトによれば、精神の存在は内省という心的活動の自明性に基づくという。ここから「内省」が心理学の研究手法となり、内省の対象である「意識」が心を表すものとして心理学の対象となった。（梅本・大山、1994）。また、デカルトのライバルとされたパスカルが機械式計算機を発明した、とあるのも人工知能の関係で興味深い。コンピュータが計算機であるからである。最後に、フレーゲの「述語論理」の重要性を強調しておきたい。著者がメンバーの一員であったフランス、パリにおける認知心理学のチーム（ルニの研究チーム、パリ第11大学にあった）は、認知心理学における「意味論」を中心テーマとして、言語理解、心的イメージ、推論、オートマトン等について研究していたが、その言語に関する意味論、特に、言語理解の中核的単位は、命題であり、この命題は、まさにフレーゲの述語命題を出発点としていた。

この説では、人工知能の歴史的側面について、主に考察したが、次の説では、「人工知能」と心理学における「知能」との関連について考えていきたい。

第1章 知能について

1-1. 人工知能の定義

人工知能を考察する際、まず非常に重要なことは「人工知能」とは何かを正確に定義することである。

しかしながら、田中ら（田中・松本，2018）が表明しているように「実のところ、人工知能学会ですら人工知能について正確に定義できていません」（p29）と言った状況のようである。ここでは、田中らが紹介している日本の人工知能学会に属する研究者たちの人工知能の定義を以下に示す（表1 参照）。

表1の中で浅田稔は、「知能の定義が明確でないので人工知能を明確に定義できない」と主張しているが、筆者の恩師であるルニ（1989）も人工知能の定義が色々議論されるが、じつは心理学において「知能」の定義すら定まっていないと論じていた。しかしながら、われわれ、心理学者は、「知能」について一貫した定義を定めることには成功していないが、重要な様々な諸定義は提案されているので、以下に紹介したい。

1-2. 知能の定義

1. 抽象的思考力を重視する知能観

ターマン（Terman, L. M. 1877-1956）：「抽象的思考を行いうる程度に比例して、その人は知能的である。」

この定義では、知能の本質を「推理」や「思考能力」といった高次の精神能力に求めている。

スピアマン（Spearman, C. E. 1863-1945）：「知能の本質を「関係の抽出」と「相関者の抽出」の2つであるとした。」

* 関係の抽出：2つ以上のものの間の関係を認知すること。

例：「ロンドン」と「パリ」から「イギリス」と「フランス」の関係を抽出

表1 専門家による人工知能の定義（松尾, 2015, p45）

中島秀之 公立はこだて未来大学学長	人工的につくられた、知能を持つ実体。あるいはそれをつくらうとすることによって知能自体を研究する分野である
西田豊明 京都大学大学院 情報学研究科教授	「知能を持つメカ」ないしは「心を持つメカ」である
溝口理一郎 北陸先端科学技術 大学院大学教授	人工的につくった知的な振る舞いをするもの（システム）である
長尾 真 京都大学名誉教授 前国立国会図書館長	人間の頭脳活動を極限までシミュレートするシステムである
堀 浩一 東京大学大学院 工学系研究科教授	人工的につくる新しい知能の世界である
浅田 稔 大阪大学大学院 工学研究科教授	知能の定義が明確でないので、人工知能を明確に定義できない
松原 仁 公立はこだて未来大学教授	究極には人間と区別がつかない人工的な知能のこと
武田英明 国立情報学研究所教授	人工的につくられた、知能を持つ実体。あるいはそれをつくらうとすることによって知能自体を研究する分野である（中島氏と同じ）
池上高志 東京大学大学院 総合文化研究科教授	自然にわれわれがペットや人に接触するような、情動と冗談に満ちた相互作用を、物理法則に関係なく、あるいは逆らって、人工的に作り出せるシステムを、人工知能と定義する。分析的にわかりたいのではなく、会話したり付き合うことで談話的にわかりたいと思うようなシステム。それが人工知能だ
山口高平 慶應義塾大学理工学部教授	人の知的な振る舞いを模倣・支援・超越するための構成的システム
栗原 聡 電気通信大学大学院情報シ ステム学研究科教授	工学的につくられる知能であるが、その知能レベルは人を超えているものを想像している
山川 宏 ダウンゴ人工知能研究所 所長	計算機知能のうちで、人間が直接・間接に設計する場合を人工知能と呼んでよいのではないかと思う
松尾 豊 東京大学大学院 工学系研究科准教授	人工的につくられた人間のような知能、ないしはそれをつくる技術

出典：『人工知能学会誌』より

＊相関者の抽出：特定の性質と特定の関係が与えられたとき、その条件を満足する相関者を抽出すること。

例：「イギリスとフランス」という関係と「ロンドン」という項が与えられたとき、「パリ」という項が引き出されること。

これらの定義の問題点：知能を高等な抽象的思考能力に限定すると、推理能力や抽象的思考能力の乏しい幼児や知能障害者には知能の存在を認めないことになり、定義としては狭すぎると言える。

2. 知能を学習能力と見なす定義

ディアボーン (Dearborn, W. F.)：「知能とは学習する能力または経験によって獲得する能力である」(かつて教育界で広く受け入れられた)。

この定義の問題点：学習という複雑な活動に対して何らの概念規定を行わず無限定に取り入れた点など、定義として曖昧さを有している。また、知能も学力と共に発達の的に形成されるものののに、知能を学力の基礎として一方的に規定しているのは問題である。

3. 環境に対する適応性を強調する定義

シュテルン (Stern, W. 1871-1938)：「知能とは、個体が思考手段を新しい要求に意識的に応じさせる一般的能力であり、生活の新しい課題と条件に対する一般的・精神的順応力である。」(現在でかなり広く支持されている)。この定義の問題点：環境の適応性を規定する要因としては知的要因のほか情緒的要因も考えられることから、知的要因以外のものを知能に含めてしまうおそれがあり、定義としてはやや広すぎる。

4. 知能をいくつかの属性をもとに一まとめにして定義するもの。

ストッダード (Stoddard, G. D.)：「知能とは困難性、複雑性、抽象性、経済性、目標への順応性、社会的価値、独創の出現を特徴とする諸活動を遂行し、かつ精力の集中と情緒的な力への抵抗を必要とする状況下において、それらの諸活動を持続することができる能力である。」と定義している。

5. 操作的定義

ボーリング (Borring, E. G. 1886-1968) : 「知能とは知能検査によって測定されたものである。」(言語でもっていくら定義しても、実際に測定された知能が定義された能力であるという保証はなく、実際に使うのは知能検査によって測定された結果であり、実用的にはそれで十分という考え)。この定義の問題点：知能の内容が不明確であり、十分なものではない。

6. 知能を包括的に定義しようとするもの。

ウェクスラー (Wechsler, D.) : 「知能とは、操作的に定義すれば、各個人が目的的に行動し、合理的に思考し、かつ能率的に自分の環境を処理し得る総合的または相対的能力である。」

ピアジェ (Piaget, J. 1896-1980) : 「知能とは最高度の精神的適応であり、それは生活体の環境に対する適応と、その反対の環境の生活体に対する活動の均衡であり、主体と客体との間に行われる相互作用の均衡である。」

(下中, 1981, p574)

以上の諸定義は、奥野茂夫(1981)が『心理学事典』(平凡社)で紹介したものを簡潔にまとめたものである。われわれは、平凡社の『最新心理学辞典』(2013)の知能の項目も参照したところ(大六・前川, 2013)ほとんど、奥野の分類と同じであるが、前節でも取り上げたガードナー (Gardner, 1983, 1999)の定義が、新たに、この新しい心理学辞典で紹介されている。重要な定義と考えられるので次に示す。

7. 計量心理学以外の知能の理論

ガードナーは「多重知能理論」を提唱した。彼は知能を直接見たり数えたりできない潜在能力であると考え、また、測定になじまない領域まで、知能の範囲を拡張した。1999年の時点では知能の種類は8種類ある。すなわち、言語知能、論理—数学知能、音楽知能、空間知能、身体的運動知能、

人間関係知能，個人内知能力，博物学的知能である。因子分析研究によらないとすれば，これらの知能は別の基準によって選択されなければならない。そこで，ガードナーは8つの基準を考えた。

①脳損傷研究によって，他の機能との独立性が証明されている。②進化心理学において進化的妥当性が示されている。③その知能の中核的構成要素となるモジュール的な情報処理過程が存在する。④独自のシンボル体系を持つ。⑤固有の発達過程が存在する。⑥その知能だけを特異に発達させた天災やサバンが存在する。⑦他の知能と容易に並行処理できるという実験心理学的証拠がある。⑧仮に検査で測定した場合，他の知能と弱い相関がみられる。ガードナーの考え方は理論的考察が中心となっており，実証性に乏しいという批判もある。（藤永，2013，p520）

われわれにとって，このガードナーの理論（定義）は，興味深い。なぜならば，知能の種類を8つあげ，知能の概念を拡大したことである。特に，音楽知能，身体的運動知能，人間関係知能，博物学知能が面白いと思う。欧米人の研究者は，抽象的な知能である言語能力や論理—数学的な知能のみ重みづけするバイアスがある。逆に言うと，身体的知能，人間関係知能，音楽的知能などを軽視する傾向があるとわれわれは考えている。また，8つの基準も興味深い指摘である。特に，脳損傷との関連する基準，進化心理学との関連する基準，モジュール的な情報処理過程の基準，他の機能と容易に並行処理できるとする基準である。これらの基準は，AIとも深く関連すると言えるだろう。

ここで示されているように，上記の知能の定義は，よく考えられているが，それぞれの定義には，問題，限界を持っていることも理解できる。すなわち，知能という概念は，非常に複雑で簡潔に定義づけることは困難であるということである。また科学の定義との関係であるが，ガードナーの

ように計量心理学を超えて知能を理論づけていくと知能や人工知能を考える時に従来の科学論を超えて考察する必要があると考えられる。

われわれは、上記の「知能」の7つの諸定義の中では、ウェクスラーとピアジェの包括的な定義が最もふさわしいと考えている。また、これらの定義において人工知能の定義と関連づけると、「抽象的思考力」、「学習能力」、「環境に対する適応能力」がより重要であると考えられる。

同時に、知能にとって「環境に対する適応能力」も重要であるとする、ここまで、AIを考察する際に心理学（認知心理学）的視点、哲学的視点の重要性を指摘してきたが、実は歴史学的視点（進化心理学的視点）も考察する必要がある。かつて、筆者の同僚であった寺内礼次郎（1984）が、30年以上前にすでに「歴史心理学」を提案したことは重要である。

われわれは、現在のAIの発展、社会に対する大きな影響力（変化）を100年に一度、または1000年に一度の出来事を考えていたが、ひょっとするともっと大きな出来事、変化の可能性がある。すなわち、何万年に一回の大変化の可能性があるということである。

ここで、われわれは、現在、世界的に非常に注目されている歴史学者ユヴァル・ノア・ハラリの『サピエンス全史』を参照する。また、ハラリの著書の冒頭には歴史年表が掲げられている。この年表において、人工知能の発展と歴史学との関連を考察したい。

歴史年表

135億年前：物質とエネルギーが現れる。物理現象の始まり。原子と分子が現れる。科学的現象の始まり。

45億年前：地球という惑星が形成される。

38億年前：有機体（生物）が出現する。生物的現象の始まり。

600万年前：ヒトとチンパンジーの最後の共通の祖先。

- 250万年前：アフリカでホモ（ヒト）属が進化する。最初の石器。
- 200万年前：人類がアフリカ大陸からユーラシア大陸へ広がる。異なる人類が進化する。
- 50万年前：ヨーロッパと中東でネアンデルタール人が進化する。
- 30万年前：火が日常的に使われるようになる。
- 20万年前：東アフリカでホモ・サピエンスが進化する。
- 7万年前：認知革命がおこる。虚構の言語が出現する。歴史的現象の始まり。ホモ・サピエンスがアフリカ大陸の外へ拡がる。
- 4万5000年前：ホモ・サピエンスがオーストラリア大陸に住みつく。オーストラリア大陸の大型動物が絶滅する。
- 3万年前：ネアンデルタール人が絶滅する。
- 1万6000年前：ホモ・サピエンスがアメリカ大陸に住みつく。アメリカ大陸の大型動物が絶滅する。
- 1万3000年前：ホモローレシエンシスが絶滅する。ホモ・サピエンスが唯一生き残っている人類種となる。
- 1万2000年前：農業革命が起こる。植物の栽培化と動物の家畜化。永続的な定住。
- 5000年前：最初の王国，書記体系，貨幣。アッカド帝国。
- 2500年前：硬貨の発明—普遍的な貨幣。
- ：ペルシア帝国—「全人類のため」の普遍的な政治秩序。
- ：インドの仏教—「衆生を苦しみから解放するため」の普遍的な真理。
- 2000年前：中国の漢帝国。地中海のローマ帝国。キリスト教。
- 1400年前：イスラム教。
- 500年前：科学革命がおこる。
- ：人類は自らの無知を認め，空前の力を獲得し始める。

- ：ヨーロッパ人がアメリカ大陸と各海洋を征服し始める。
- ：地球全体が単一の歴史的領域となる。
- ：資本主義が台頭する。

200年前：産業革命がおこる。

- ：家族とコミュニティーが国家と市場に取って代わられる。
- ：同植物の大規模な絶滅が起こる。

今日：人類が地球という惑星の境界を超越する。

- ：核兵器が人類の生存を脅かす。

未来：生物が自然選別ではなく知的設計によって形作られることが
しだいに多くなる。

- ：ホモ・サピエンスが超人たちに取って代わられるか？

(ハラリ, 2016, p9-p11)

この歴史年表で、われわれは、注目している項目を太字で示した。まず、最初の大事な出来事は、250万年前に最初の石器が発明されたことである。つまり、人類最初の「道具」が生まれたことである。次に注目すべきは、7万年前に「認知革命」とハラリが表記している出来事である。すなわち、「虚構の言語」が始まったとあることである。彼の著書においては、「認知

表2 認知革命で何が起こったか？ (ハラリ, 2016, p54)

新しい能力	より広範な結果
ホモ・サピエンスを取り巻く世界について、以前よりも大量の情報を伝える能力	ライオンを避けたり、バイソンを狩ったりするといった、複雑な行動の計画立案と遂行
サピエンスの社会的関係について、以前よりも大量の情報を伝える能力	最大150人から成る、以前より大きく、まとまりのある集団
部族の精霊や国民、有限責任会社、人権といった、現実には存在しないものについての情報を伝える能力	a. 非常に多数の見知らぬ人どうしの協力 b. 社会的行動の迅速な革新

革命で何が起こったか？」という表が示され認知革命が説明されている（表2参照）。

表2にまとめられたことを、ハラリーは、ネアンデルタール人とホモ・サピエンスとの闘い、すなわち、ネアンデルタール人はホモ・サピエンスとある時期までは、共生できたが、結局、3万年前に絶滅した事実を以下のように考察している。

ホモ・サピエンスは、言語を使って想像上の現実を生み出す能力のおかげで、大勢の見知らぬ人どうしが効果的に協力できるようになった。だが、その恩恵はそれにとどまらなかった。人間どうしの大規模な協力は「神話」に基づいているので、人々の協力の仕方は、その神話を変えること。つまり別の神話を語ることによって、変更可能なのだ。適切な条件下では、神話はあっという間に現実を変えることができる。サピエンスは認知革命以降、自らの振る舞いを素早く変えられるようになり、遺伝子や環境の変化をまったく必要とせず、新しい行動を後の世代へ伝えていった。言い換えれば、太古の人類の行動パターンが何万年も不変だったのに対して、サピエンスは社会構造、対人関係の性質、経済活動、その他多くの行動を10年あるいは20年のうちに一変させることができた。これこそがサピエンスの成功のカギだった。1対1で喧嘩したら、ネアンデルタール人はおそらくサピエンスを打ち負かせただろう。だが、何百人という規模の戦いになったら、ネアンデルタール人はまったく勝ち目はなかったはずだ。これら二つの人種間の間で暴力的な衝突が勃発したときには、ネアンデルタール人は野生の馬とたいして変わらず、勝ち目はなかった。従来の静的なパターンで協力する50人のネアンデルタール人は、融通の利く革新的

な500人のサピエンスには、全く歯が立たなかった。そして、サピエンスはたとえ初戦を落としても、たちまち新しい戦略を編み出し、次の戦いに勝利を取めたことができた。(ハラリ、p50-p55、一部省略)

また、ハラリによれば、サピエンスが発明した想像上の現実の計り知れない多様性と、そこから生じる行動パターンの多様性はともに、「文化」と呼ぶものの主要な構成要素だと主張している。文化は、変化と発展をつづけ、そして、こうした変化のことを、私たちは「歴史」と呼ぶのだと主張している。

したがって、「認知革命」は歴史が生物学から独立を宣言した時点であるとした。この認知革命以降は、ホモ・サピエンスの発展を説明する主要な手段として、歴史的な「物語」(ナラティブ)が生物学の理論に取って代わるとハラリは主張している。心理学、発達心理学では「物語」という述語を良く使用するが、歴史学者ハラリがこの述語をキーワードとして使って、「歴史的な物語」が「生物学」の理論に取って代わったと説明していることは、心理学的に非常に興味深いものである。

次に注目すべきは、5000年前に、最初の大国、「書記体系」、「貨幣」、「多神教」が生まれたとあることである。なぜなら、「書記体系」が確立されたことにより、人類は時間を超越することができたからである。

次は、500年前の「科学革命」が非常に重要だと考えられる。人工知能は科学的な発明であるからである。

近代の科学的思考が決定的に重要である。また、われわれは同じ時期に「資本主義」が台頭するという事実が注目される。なぜならば、われわれは、「人工知能」と考察する場合、経済システム抜きには語れないからである。後に「シンギュラリティ」について考察するが、経済システムを無視してシンギュラリティを考察することは無意味であると考えからである。

最後に、200年前に「産業革命」が起こったことも重要とわれわれは、考えている。産業革命抜きには、人工知能の発展はありえないからである。

「今日」において、「核兵器が人類の生存を脅かす」という主張も人工知能との関連において考えなければならない。なぜならば、おそらく、すべての核兵器は、コンピュータ、すなわち、人工知能により制御、コントロールされているからである。同じく「生物が自然選択ではなく知的設計によって形作られることがしだいに多くなる」という指摘も興味深い。ハラリーは、この年表では、AI（人工知能）という言葉は使っていないが「知的設計によって形作られる」ということは人工知能を指していると、われわれは、解釈する。

「未来」では、「知的設計が生命の基本原理になるか？」とあるが、われわれの解釈では、この記述はカールワイル（2005）の『シンギュラリティは近い』をふまえての記述と思える。「ホモ・サピエンスが超人たちによって取って代わられるか？」という指摘も、同じくカールワイルの影響を受けていると考えられる。なぜならば、まさにカールワイルは、その著書『シンギュラリティは近い』で超人について言及しているからである。この点に関しては、「シンギュラリティ」を考察する説で分析する。

第2章 ディープラーニングについて

現在、日本においてディープラーニングに関する第一人者は、松尾豊だと思われる。松尾は、その著書『人工知能は人間を超えるのか』の「はじめに」において以下のようなことを述べている。

この本で言いたいことを本当に理解してもらおうと思うと、最後まで読み進めてもらわないといけない。ポイントは、50年ぶりに訪れたブレークスルーをもたらすかもしれない新技術「ディープラーニング」

の意義をどうとらえるかにかかっている。いまの人工知能を正しく理解するというのは、こういうことだ。

1. うまくいけば、人工知能は急速に進展する。なぜなら、「ディープラーニング」、あるいは「特徴表現学習」という領域が開拓されたからだ。これは、人工知能の「大きな飛躍の可能性」を示すものだ。もしかすると、数年から十数年のうちに、人工知能技が世の中の多くの場所で使われ、大きな経済的インパクトをもたらすかもしれない。
2. 一方、冷静に見たときに、人工知能にできることは現状ではまだ限られている。基本的には、決められた処理を決められたように行うことしかできず、「学習」と呼ばれる技術も、決められた範囲内で適切な値を見つけ出すだけだ。例外に弱く、汎用性や柔軟性がない。ただし、「掃除をする」とか「将棋をする」といった、すぐ限定された領域では、人間を上回ることもある。人工知能が人間を支配するなど言うことは笑い話に過ぎない。(松尾, 2015, p7-p8, 一部省略)

松尾は、過去の2回の人工知能ブームについて触れ、現在の第3次AIブームに対して慎重に対応しなければならないと主張している。

松尾は、著書の第2章「「推論」と「探索」の時代—第1次AIブームにおいて」、本論文の「はじめ」でふれた、これまでの3回のAIブームについて、ごく簡潔に説明している。

第1次AIブームは、1950年代～1960年代であり、コンピュータで「推論・探索」をすることで特定の問題を解く研究が進んだ。しかし、「トイプログラム」(おもちゃの問題)は解けても、複雑な問題は解けず、ブームは急速に冷め、1970年代に人工知能研究は冬に時代となる。

第2次AIブームは、1980年代であり、コンピュータに「知識」を入れ賢

くするというアプローチをとったが、すなわち、エキスパートシステムが
たくさん作られた。しかし、知識を記述、管理することの大変さが明らか
になり、1995年頃にはAIは、再び冬の時代になる。すなわち、ブームは終
了した。

1990年代半ばの検索エンジンの誕生とインターネットの発達により、大
量のデータを用いた「機械学習」が広がり始め、AIの第3次ブームが始ま
った。ここでは、ビッグデータ、機械学習、そして、特にディープラーニ
ングが要となる。松尾は、これらの関係を、1つの図2にまとめているの
で以下に示す。

では、松尾(2015)に依拠して、「ディープラーニング」について、概観
したい。

松尾は、まず、ディープラーニングの登場について触れている、興味深
いので紹介したい。

2012年に世界的な画像認識のコンペティション「ILSVRC (ImageNet Large
Scale Visual Recognition challenge)」においてカナダのトロント大学のチーム
が勝利した。このコンペティションは画像をコンピュータが自動で判断
するものである。具体的には1000万枚の画像データを機械学習し、15万枚
の画像を使いテストし、正答率で競うものである。それまで、この機械学
習における「特徴量の設計」は、人間が行っており、毎年、1%ずつ正答
率が上昇していた。トロント大学のチームは、この年に一挙に10%以上、
正答率を上昇させた。そして、そこで使われたのがトロント大学のジェフ
リー・ヒントンが開発した新しい機械学習の方法「ディープラーニング」
であった、と松尾は説明している。

ディープラーニングは、これまで人間が行ってきた「特徴量の設計」を
自ら行うことができることが画期的であった。すなわち、コンピュータが

自ら特徴量を作り出し、また、自ら高次の特徴量を獲得し、それをもとに画像を分類できるようになったということである。

しかしながら、この10%近い進歩は、その業界にとって画期的なものとしても、われわれからすれば、そのエラー率は、当時15%はあり、社会における応用には限界があると思わざるをえない。

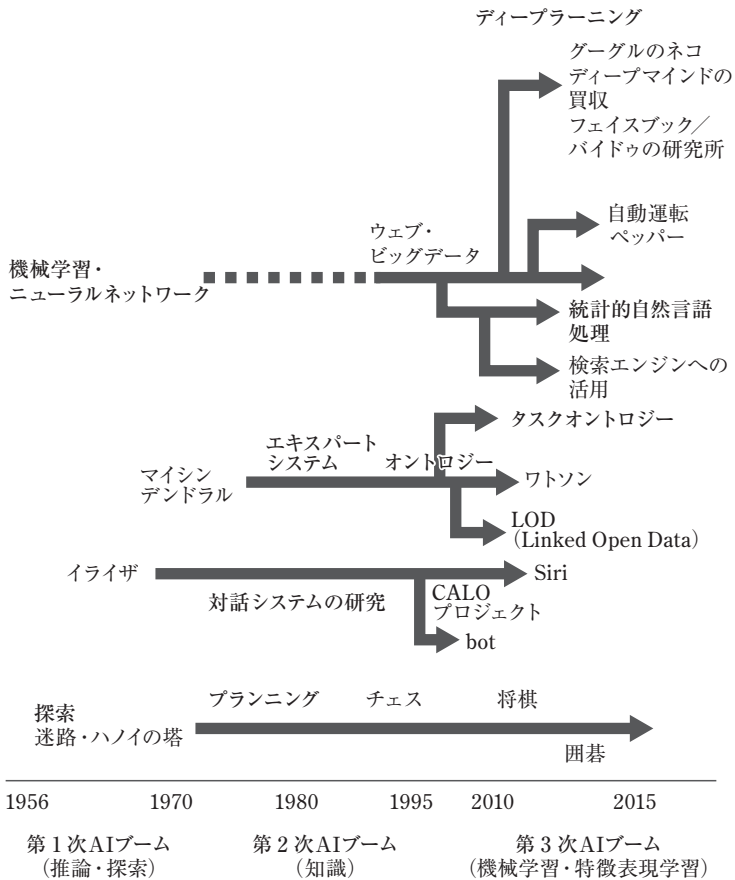


図2 人工知能研究の見取り図 (松尾, 2015, p63)

例えば、2015年6月にグーグル（Google Photos）が犯したミスは深刻であった。ブルックリン出身のジャッキー・アルシン氏は、アフリカ系アメリカ人の友人が「ゴリラ」と分類されていることに気づき、グーグルに抗議し、グーグルのソーシャル・チーフ・アーキテクトのヨナタン・ザンガーは謝罪し、データを見直した。また、グーグルの広報は以下のように伝えた。

「我々はこの件に関し心からお詫びします。緊急に対応を行いこのような結果が再び起こらない様、防止策を講じました。画像に対する自動ラベリングには依然として多くの問題があります。私たちは将来に渡り、このような誤りを防ぐために何ができるかを常に追求していく所存です」と述べた。（Forbes, 2015, 07,14）

松尾によるディープラーニングの説明を続けたい。ディープラーニングは、多層階のニューラルネットワークである。人間の脳は何層にも重なった構造を持っており、それをモデルにしたのである。ディープラーニングが従来の機械学習と異なる点が2つあると松尾はいう。1つは、一階層ごとに学習していく点、2つ目は、自己符号化器（オートエンコーダー）という「情報圧縮器」を用いることである。

この自己符号化器では、新しい処理を行う。これまでのニューラルネットワークでは、正解を与えて学習させたが、自己符号化器では、「出力」と「入力」を同じにする（図3参照）。

松尾は日本の天気を引用しつつ説明するが、わかりにくいので、ここでは省略する。自己符号化器がやっていることは、心理学専攻等で統計学を学んだ「主成分分析」である。主成分分析とは、たくさんの変数を、少数の無相関な合成変数に縮約する方法である。線形な重みの関数を用い、最

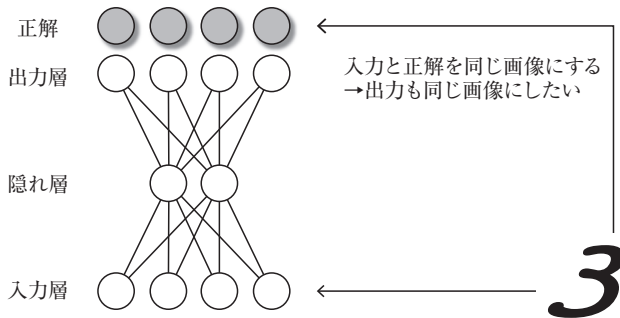


図3 自己符号化器 (松尾, 2015, p150)

小二乗誤差を復元エラーの関数とすれば、主成分分析と一致すると松尾は説明している。自己符号化器は、様々なノイズを与え、それにより頑健な主成分を取り出す。これが「ディープに」、つまり多階層にすることが可能になり、その結果、主成分分析では取り出せないような高次の特徴量を取り出すことが可能となることが可能となると松尾は説明する。この多層階のディープラーニングの仕組みを図4に示す。

図4を簡単に説明すると、上記の①が出力と入力を同じにするということである。②は図5にあるように真ん中の隠れ層を上につ引っ張り出し、③で入力層と出力層は同じなので便宜的に重ね、これを何層にもわたり重ねると④のようにタワー構造となる。一番下から入力した画像は、上の層に上がるにつれ抽象度を増し、高次の特徴量が生成される。例えば、具体的な「3」なら「3」という数字そのものの概念に近くなる。個別・具体的な、様々な「手書きの3」を読み込み、4、5回抽象化を繰り返すと、現れるのは「典型的な3」となる。これこそ、「3の概念」に他ならないと松尾は説明する。いったん「典型的な3」や「典型的な5」の概念を捕まえることができれば、これを「3」、これを「5」というのだと、その概念の名前を教えてあげればよい、「教師あり学習」は非常に少ないサンプル数で

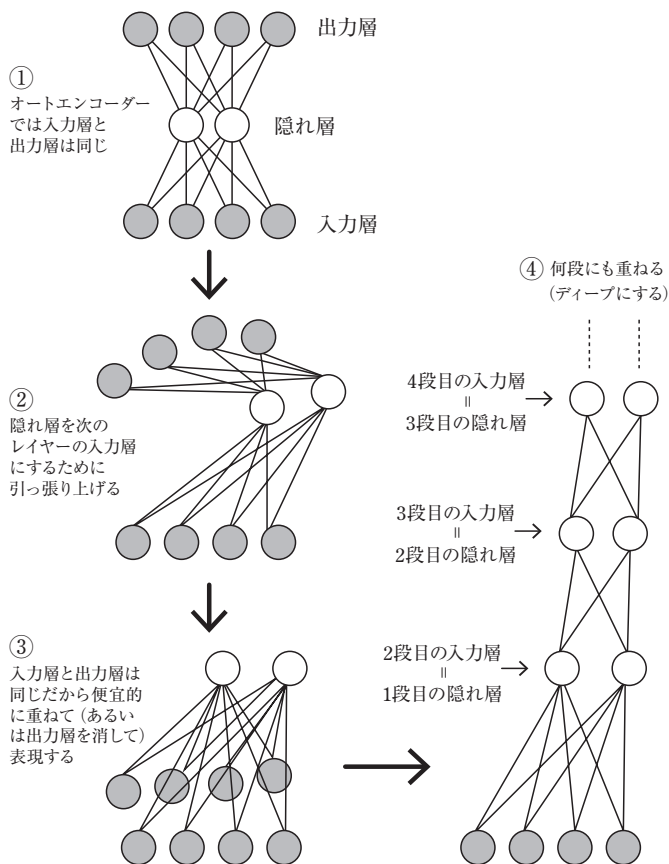


図4 ディープにする(松尾, 2015, p161)

可能となると松尾は説明している。

ここで、われわれが確認すべきことは「教師あり学習」ということである。

また、松尾によれば、人間の赤ちゃんも、目や耳から入ってくる膨大な情報の中から、何と何が関連し、何が独立な成分かという「演算」をすごいスピードで行っているのでは、と推測している。つまり、人間の赤ちゃん

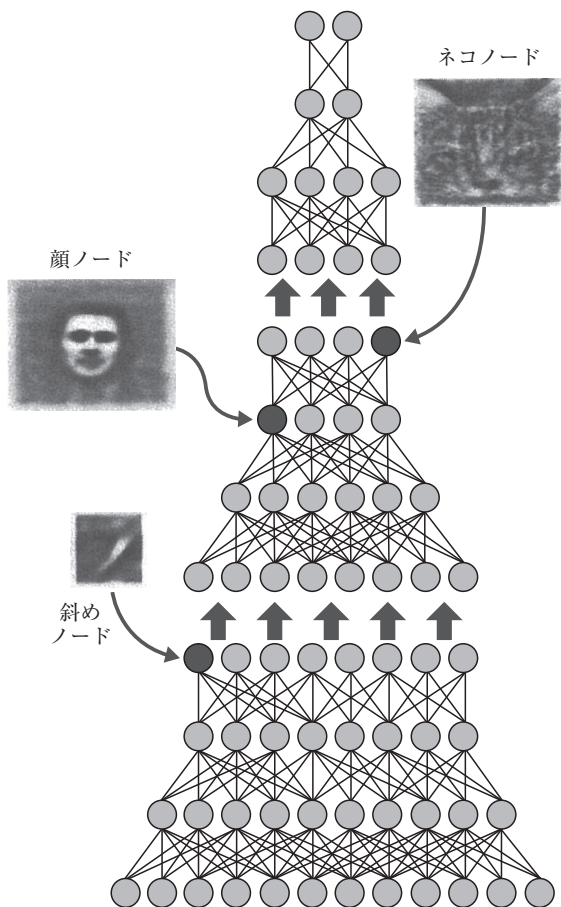
んは、膨大な情報の中から、予測しては答え合わせを繰り返すことで、様々な特徴量を発見し、やがて「お母さん」という概念を発見し、周りにある「もの」を見つけ、それらとの関係を学ぶ。そうして、少しずつ世界を学習すると考察している。

しかしながら、こうした考察は、発達心理学者達による、地道な観察、実験を通じて確認していかないと、単なる想像、推測に過ぎないので、心理学者による確認作業が必要となる。また、コンピュータにおけるディープラーニングの考察と人間の赤ちゃんとの決定的な違いは、人間の赤ちゃんは、母親（または、それに代わる人）との絶え間ないインタラクション（相互作用）が決定的に重要であり、それが欠けていたならば、学習は起こりえないことは、これまでの心理学的研究によって明らかになっている。AIでは、プログラムと研究者とのインタラクションがあると思うが、人間における母と赤ちゃんとの関係と同列と考えられるか微妙なところではないか。すなわち、母親と赤ちゃん間における、知的関係、情動的関係、同時に身体的コミュニケーションの発達における重要性を考えると問題は、より複雑になるように思える。

グーグルのネコ認識について

松尾は、数字の分析の後に、さらにネコ認識について説明している。この分析も重要なので簡潔に取り上げたい。2012年にグーグルの研究者たちが発表したものである（図5参照）。

彼らは、ユーチューブの動画から1000万枚の画像を取り出し、入力した。図5の下の方の層では、点などの画像の「模様」を認識するだけだが、上に行くと、より抽象的な「丸」や「三角」を認識する。そして、それらを組み合わせとして丸い形（顔）の中に2つの点（目）があり、その真ん中に縦の線があり（鼻）といったように、より複雑なパーツを組み合わせた「特徴量」が得られる。そして、最終的に「人間の顔」らしきものや、「ネ



出典：「グーグルのネコ認識」より

図5 ディープラーニングによる画像認識（松尾, 2015, p163）

コの顔」のようなものが出てくる。松尾の説明によると、ユーチューブから得た大量の画像をプログラムに見せ（入力）ディープラーニングをかけると「特徴量」を抽出し、自動的に「人間の顔」や「ネコの顔」といた「概念」を獲得することになる。ただし、図5に示される画像が、「概念」と言えるかは、少し難しいのではというところがわれわれの見解である。なぜ

ならば、松尾はソシュールの記号論、すなわち、概念（シニフィエ）と名前（シニフィアン）をもとに考察を進めているが、ここでいう概念を「心的イメージ」とだけ捉えているのは、少し無理があるように思える。なぜならばわれわれが概念を考える場合、当然、心的イメージもあるが、言語的な意味（意味素性、命題等）も含むからである。

少し難しい議論になるが、その基礎として哲学辞典（岩波書店、1998）における「概念」を以下に示す。

概念：1. 西洋【概説】概念を表す西欧語の語源が「一つにして掴まれるもの（conceptum）や「把握するもの（begreifen）であるように、概念とは複数の事物や事象から共通の特徴を取り出し、それらを包括的・概括的に捉える思考の構成単位を意味する。概念は一般に「内包」（意味内容）と外延（適応範囲）を持ち、その包括度に応じて上位概念と下位概念とが区別される。表象や観念が心理的色彩を帯びているのに対し、概念はイメージよりも言語との結びつきが強く、非心理的かつ論理的な色彩が濃い。概念が表すのは〈個物〉ではなく〈不変〉であるが、その存在身分をめぐっては中世において〈普遍論争〉が繰り広げられ、普遍は実在するのか単なる名前にすぎないのかが争われた。（赤松、1998、岩波書店）

ここでの問題は、この定義にある内包と外延に関する議論である。これは、意味論に関するものであるが言語的意味（内包）と外界にある外延（ある意味イメージとも言えるかもしれないが）に関するものである。先のグーグルのアフリカ系アメリカ人とゴリラの誤った分類に示されるように問題は簡単なものではない。

松尾の分析を進めると、ここが重要な点であるが以下のようにディープ

ラーニングは「教師なし学習」ではなく「教師あり学習」である。

「なお、データから概念をつくり出すということは、本来、教師のいない「教師なし学習」である。ディープラーニングの場合は、この教師なし学習を「教師あり学習的」なアプローチをやっている。自己符号化器は、本来なら教師が与える正解に当たる部分にもとのデータを入れることによって、入力したデータ自身を予測する。そして、さまざまな特徴量を生成する。それが、「教師あり学習で教師なし学習」をやっているということである。ところが、少し理解が難しいが、そうしてえられた特徴量を使って、最後に分類するときに、つまり「その特徴量を有するのはネコだ」とか「それはイヌだ」という正解ラベルを与えるときは、「教師あり学習」になることだ。「教師あり学習的な方法による教師なし学習」で特徴量をつくり、最後に分類させたいときは「教師あり学習」になるのである。(松尾, 2015, p163)

こういった根本的な問題は抱えているが、松尾によれば、ディープラーニングは「データをもとに何を特徴表現すべきか」という、これまでのAIの研究の中で最も難しい部分を解決できる可能性を持つという。すなわち、ディープラーニングにより少なくとも「画像」や「音声」の分野では「データをもとに何を特徴表現すべきか」をコンピュータが自動的に獲得できるという可能性を示しているのだという。このように人工知能のアルゴリズムが実現されれば、松尾によれば、特徴量を学習する能力と特徴量を使ったモデル獲得の能力が、人間よりもはるかに能力の高いコンピュータは実現可能であり、それは、様々な予測問題を人間より正確に解けると解釈される。また、生物学的に人間の脳は物理的に制限されるが(例えば、頭蓋骨の大きさにより)コンピュータは、連結することにより、1000台でも10000

万台でも理論的には無限に増やすことが可能であり、松尾の見解では、人間の知能を超えることも可能となる。さらに、「特徴表現の獲得能力」と「言語概念の理解」や「身体を持つロボット技術」と組み合わせると、人間のホワイトカラーの労働と変わりうる技術となると、結論づけた。このAIの発展と人間の仕事、特にホワイトカラー労働者との競合については、後の節で考察したい。（「シンギュラリティについて」は、次の機会に論じることとする）

これまで、ディープラーニングを、ある意味、推進する立場に立つと思われる松尾による説明・分析を考察してきた。本論文の「はじめに」において、田中・松本はディープラーニングに対する批判、限界を述べていたが、新井（2018）が、より厳しい批判を行っているので、簡潔に紹介したい。

新井は、その著書の2章「桜散る—シンギュラリティはSF」で、彼女たちがAIにより東大入試合格を目指した「東ロボ君」研究における「英会話完成課題」の正答率について言及している。彼女らのチームは、東ロボ君に英文150億文を学習させ、この課題に挑んだが、正答率は4割に届かなかったということである。彼女らの英語チームは、ディープラーニングをフルに活用したが、英会話完成のたかだか四択課題ですら正答率を向上できなかった。また、論旨要約などでもディープラーニングは既存の手法より成績は低い結果を得たということである。

このような「失敗」は、論文にも、ニュースにも取り上げられることはなかった、と新井は表明している。

新井によれば、ディープラーニングに代表されるAIは、「意味」を理解しているわけではない。AIは入力に応じて「計算」し、答えを出力しているにすぎない。新井の見解では、世の中のあらゆること、そこまでとは言わなくとも、人間の認識や人間の認識している事象の大半を「数式に翻訳」でき、さらに、それらが「計算可能な式」ならば、われわれの表現では、

人間の認識や認識事象をアルゴリズムに翻訳可能ならば、「真の意味でのAI」が完成する日は遠くないと言える。しかしながら、今の段階では原理的に不可能である、なぜならば、数学には表現できることが限られているからである。新井は、簡潔に、このことを以下のようにまとめている。

数学は4000年の時間をかけて、「論理」、「確率」、「統計」という表現方法を獲得しました。けれども、反対の言い方をすると、数学が説明できるのは、論理的に言えることと、確率・統計で表現できることだけということです。論理、確率、統計。これらが4000年の以上の数学の歴史で発見された数学の言葉のすべてです。そして、それが、科学が使える言葉のすべてです。次世代の量子コンピュータが開発されようとも、非ノイマン型と言えども、コンピュータが使えるのは、この3つだけです。

「真の意味でのAI」とは、人間と同じような知能を持ったAIのことでした。ただし、AIは計算機ですから、数式、つまり数学の言葉に置き換えることができないことは「計算」できません。では、私たちの知能の営みは、すべて論理と確率、統計に置き換えることができるでしょうか。残念ですが、そうならないでしょう。数学が発見した、論理、確率、統計にはもう一つ決定的に欠けていることがあります。それは、「意味」を記述する方法がないということです。数学は基本的に形式として表現されたものに関する学問ですから、意味としては「真・偽」の2つしかありません。「ソクラテスは人である。人は皆死ぬ。よってソクラテスも死ぬ」のようなことしか演繹できないし、「意味」はわからないというより「表現」できないのです。(新井, 2018, p117-p119, 一部変更)

この新井の文章にAIの限界、つまり、ディープラーニングの限界も明確に「表現」されている。この見解、結論は、意味論を学んできた、われわれとも、まったく一致するものである。(続く)

引用文献

- 新井紀子 2010 コンピュータが仕事を奪う 日本経済新聞出版社
新井紀子 2014 ロボットは東大に入れるか イーストプレス
新井紀子 2018 AI vs. 教科書が読めない子どもたち 東洋経済新報社
アリストテレス 1999 心とは何か 講談社
Gardner, H. 1985 *The Mind's New Science*. Basic Books, 佐伯胖・海保博之(監訳) 1987 認知革命 産業図書
Harari, Y. N. 2011 *SAPIENS: A Brief History of Humankind*. The Deborah Harris Agency. 柴田裕之(訳) 2016 サピエンス全史 河出書房新社
藤永保(監) 2013 最新心理学事典 平凡社
小林雅一 2015 AIの衝撃 人工知能は人類の敵か 講談社
Kurzweil, R. 2005 *The SINGULARITY IS NEAR: When Humans Transcend Biology*. Loretta Barrett Books Inc., New York. 小松公二(訳) 2016 シンギュラリティは近い [エッセンス版] 人類が生命を超越するとき NHK出版
Le Ny, J. F. 1989 *Science cognitive et compréhension du langage*. Presses Universitaires de France, Paris. 寺内礼(監訳) 1992 認知科学と言語理解 勁草書房
松尾豊 2014 人工知能は人間を超えるか 角川 EPUB 選書021 KADOKAWA
松尾豊・塩野誠 2014 「人工知能って、そんなことまでできるんですか？」 KADOKAWA
松田卓也 2013 2045年問題 コンピュータが人類を超える日 廣済堂
松原仁 2018 AIに心は宿るか 集英社インターナショナル
中島秀之・ドミニク・チェン 2018 人工知能革命の真実 ワック株式会社
中島義明 1999 心理学辞典 有斐閣
日経コンピュータ 2018 人工知能最前線 日経BP社
プラトン 1994 メノン 岩波書店
下中弘 1981 心理学事典 平凡社
新村出 2008 広辞苑第六版 岩波書店
田中潤・松本健太郎 2018 誤解だらけの人工知能、ディープラーニングの限界

と可能性 光文社

寺内礼次郎 1984 歴史心理学への道 大日本図書

梅本堯夫・大山正 1994 心理学誌への招待 サイエンス社

Zarkadakis, G. 2015 *In Our Own Image: Will Artificial Intelligence Save or Destroy Us?* Rider Books. 長尾高弘(訳) 2015 AIは「心」をもてるのか 日経BP社