

AIの歴史と発展 これからの社会と文明

History and Development of AI, Future Society and Civilization

甘利 俊一

AMARI Shunichi

理化学研究所名誉研究員
帝京大学先端総合研究機構 学術顧問 特任教授
東京大学名誉教授
博士(工学)

Honorary Researcher, RIKEN (Institute of Physical and Chemical Research)
Academic Advisor, Institute for Advanced Study, Teikyo University Specially Appointed Professor
Professor Emeritus, The University of Tokyo
Doctor of Engineering



はじめに

2024年度のノーベル物理学賞は、AIの発展に尽くしたとしてHinton教授とHopfield教授に与えられた。物理学は「物の理」を探究する学問であるが、これが「事の理」ともいべきAIに与えられたことに人々は驚いた。AIは現在も急速度で発展中の技術であり、その社会への影響は大きく、ノーベル賞委員会はこれをいち早く認識して先取りしたのである。正に快挙であった。いま、我々は自身の脳に依拠する自然知能と、人工知能の二つの知能システムを有している。本稿では、この二つの知能の発展の歴史をたどり、両者を比較しながら、AIの影響とそのもたらすこれからの社会、そして文明に思いを馳せたい。

The 2024 Nobel Prize in Physics was awarded to Professor Geoffrey Hinton of the University of Toronto, and to Professor John Hopfield of Princeton University, for their contributions to the development of artificial intelligence. Physics is traditionally the study of the “principle of matter,” so many were surprised that the Nobel Prize was awarded for work associated with AI, which deals more with the “principle of phenomena.” AI is a rapidly developing technology with a significant impact on society, and the Nobel Committee demonstrated foresight in recognizing this trend. It was truly a historic achievement. Today, we possess two types of intelligence: natural intelligence based on the human brain, and artificial intelligence. In this article, I would like to explore the history of both forms of intelligence, compare them, and reflect on how AI is influencing our society and civilization.

AI発展の歴史— 第一次ブーム

AIの歴史をここでかいつまんで述べよう。1950年代後半、コンピュータが普及しだして、研究者が自由に使えるようになった。コンピュータはチューリング機械即ち万能機械であり、数値計算だけでなく論理計算を含む万能性を有する。これを用いれば、人間の知的機能をコンピュータ上に実現できるのではないかという期待が高まった。こうしてアメリカのDartmouthでAIの会議が開催され、McCarthyの呼びかけで、Shannon, von Neumann, Simonなどを含む著名の学者が一か月にわたって議論を重ねた。記号と論理を駆使して、プログラムによりコンピュータ上で知能を実現しようとする機運が盛り上がった。

一方、人間の知的機能は神経回路網が担うが、これは幼児期に始まり学習によって高度化し、完成に至る。いや、学習による進歩は生涯にわたって続く。したがって、神経回路のようなモデルをコンピュータ上に作り、これに学習を施すことによって万能な知的機能が実現できるはずだという考えが現れた。これを提唱したのが認知科学者 Frank Rosenblatt で、この装置をパーセプトロン*と呼ぶ。今日のAIの成功はパーセプトロンを高度に発展させたものに他ならない。

この二つの流れは当時熱狂的に迎えられた。これを第一次AIブームと呼ぶ。しかし、当時のコンピュータの能力では知的機能を実現するにはほど遠く、当初期待された成果は得られず。10年もすれば熱狂は覚めてしまう。そしてAI研究の冬の時代が訪れる。熱狂が再び訪れるのは、1980年代であり、20年の年月を要した。

*パーセプトロンとは人間の脳の神経回路を模したアルゴリズム。複数の入力を受け取り、重み付けして、1つの信号を出力するもの。

AI冬の時代と日本

翻って日本ではどうであったろう。脳の仕組みを研究するのが脳科学の中心課題であるが脳は複雑極まりなく、これを知的機能に結び付けるのは極めて大変である。脳を構成するニューロンやその結合に関するシナプスなどについて、個別の知見は積み重ねられたものの、これが情報、まして知的機能に結び付くにはほど遠い。

そこで情報科学の観点から理論モデルを作り、神経回路網でどのような情報処理が可能か、その基本原理を探ろうという研究が起こる。神経モデルの研究である。日本では、この分野の研究が、生理学研究と手を携えて進んでいった。これには、東大の伊藤正男教授など、先を予見する優れた指導者がいた。

欧米での冬の時代であるが、1960、70年代の日本には、研究予算は初めから少なく、冬の時代だからといってこれ以上予算の削減のしようがない。だから、欧米と違って冬の時代などはなくて、研究者は自分が興味を持ち、大事だと思ふ研究に没頭できたのである。かくして、この時代に世界に先行する研究が日本で生まれた。

私は多層神経回路網であるパーセプトロンの学習に興味を持った。当時のパーセプトロンでは、多層回路網の最終層のみが学習し、中間層のニューロンは学習しない。もちろん、中間層も学習すべきなのだが、当時はMcCulloch-Pittsニューロンと呼ぶ0、1の2値を取るものを基本として使っていたため、うまい学習法が見つからなかった。

これを克服すべく、私は学習の基本となる確率的勾配降下学習法を1967年に発表し、中間層も学習できるようにした。(Figure 1)これはアナログ型のニューロンモデルを採用したからできたことである。同じ考えが欧米で出るのはそれより20年近く遅れて、第2次ブーム最中のRumelhart, Hintonらの誤差伝搬法を待たなければならなかった。私は、当時やっと導入されたコンピュータを用いて、そのシミュレーションも行い、これがうまく働くことを示した。線形分離可能でない2群のパターンクラスの識別に成功したのである。わたしは、これが世界で最初の深層学習のシミュレーション例であると思っている。

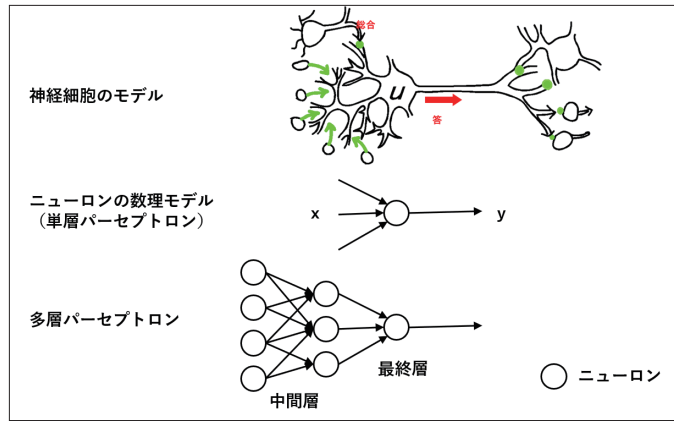


Figure 1 Neural circuit models, mathematical models of neurons (single-layer perceptron), and multilayer perceptions.

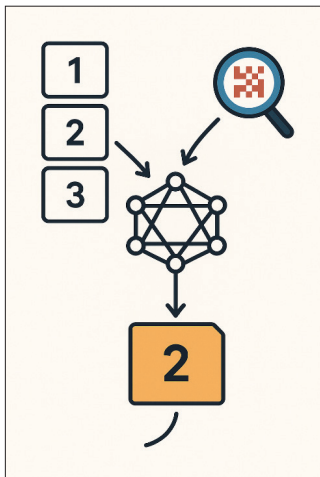


Figure 2 Associative memory model

これを基に、脳のモデルである神経回路網の持つ可能性に魅せられて、連想記憶のモデルを1972年に発表した。(Figure 2)人間の記憶は、コンピュータの記憶とは違う。コンピュータ上では、記憶事項に番地が振られ、事項が正確に書き込まれる。読み出しは番地を手掛かりに行えばよい。しかし人間記憶はもっとあいまいなものである。その仕組みは未だに明らかではないが、関連する情報を基に記憶事項を想起する。記憶事項がそのままの形で正確に記録されているのではなくて、いろいろな事項が関連しながら、思い出す時の鍵パターンとなって、記憶事項を想起する。これは記憶事項を鍵から作り出す作業とでもいうべきであろう。

私は単純な神経モデルにいくつかの記憶事項を貯え、それらが関連する鍵パターンから呼び出され作り出される仕組みを提案した。これは、固定したいくつかのパターンを想起する場合と、時系列のパターンが与えられ、一つのパターンから次々の事項を想起する場合の時系列記憶を含んでいた。驚いたことに、それから10年遅れて、Hopfieldが連想記憶のモデルを発表し、ランダムなパターンを使って記憶容量の問題を論じた。これは素晴らしい研究であるが、そのモデルは私が提唱したものと全く同じ(いや、時系列の想起を含む私の方が一般的)であった。

二つの例を挙げたが、その他に統計神経力学や自己組織化理論なども研究した。この時代の研究は日本では私のものだけではない。中野馨は私に先駆けて連想記憶モデルを提唱しているし、福島邦彦は1978年に、多層神経回路網の畳み込みの仕組みを発表し、これをネオコグニトロンと名付けている。これは今の深層学習でも使われている基礎技術である。

第二次ニューロブーム

1980年代に入り、ニューロモデルの冬の時代は終わりを告げる。その前に、記号と論理のAIが、これまでの知的機能実現の壮大な夢を切り替えて、専門家の持つ膨大な知識をコンピュータに実装し、こういう時にはこうするという専門家の知識を規則として蓄えて、これを基に推論するという、地道ではあるが堅実で実用的なものに切り替えたことがある。これは一定の成果を収めた。

しかし、記号と論理によるAI研究と歩調を合わせてきた認知科学は、これには飽き足らなかった。彼らは方針を大転換し、人間の知能はニューロン上に分散して蓄えられた情報を基に、並列の計算で実現するとし、これをコネクショニズムと呼んだ。このため神経回路モデルの研究に力を注ぎ、折から台頭した物理学者のニューロ研究への参

加やハードウェアの研究などが、従来のニューロモデルの研究と一体となって、大ブームを巻き起こした。

1986年に第一回の神経回路の国際会議が開かれたときに、日本は隠れた先進国であり、私と福島邦彦は招待講演を行った。次いで神経回路網国際学会が結成され、私たちはその創立理事に名を連ねる。後に私は会長に推挙された。しかし大方の期待もむなしく、当時のコンピュータでは、知的機能を実現する有用な成果は生み出せなかった。もちろん、この間に多くの成果がさらに蓄積されはした。しかし1990年代に入り再び冬の時代が訪れた。

第三次AIブーム

冬の時代といえども基礎技術は絶え間なく進歩する。この間、コンピュータの進歩は驚くほどの高度な域に達し、データベースも整備された。2010年代に入ってこれが爆発する。まずは画像認識のコンテストである。ここに深層学習神経回路網が参入し、規則をプログラムとして与える伝統的な方式に対して、学習による方式が圧倒的な性能の差で勝利した。さらに進んで、深層学習の能力は人間の識別能力をも上回るようになる。

それだけではない、AIは囲碁の世界に進出し、あっという間に人間を凌駕する性能を示すに至った。今は囲碁のプロがコンピュータAIを使って勉強に励む時代になった。ここでは深層学習と共に、強化学習と呼ぶ技術が使われている。これは手順を追って局面を一つずつ動かして、最適な結果を得ようとする技術である。囲碁の開発者たちはたんぱく質の立体構造を分子式から予測するのにこの技術を使用し、 α -フォールドと呼ぶ素晴らしい技術を開発し、ノーベル化学賞を受賞した。しかもこの技術は無償で公開され、製薬業界、材料化学業界を始め多くの産業で大変役に立っている。

画像処理だけではない。文章は記号の時系列である。このような時系列の言語情報を処理する大規模言語モデル(LLM)が登場する。これは文章で与えた質問に対して的確に回答してくれるし、異なる言語間の翻訳もこなす。指示に従ってコンピュータプログラムさえも作成する。新技術はこれに留まらない。画像生成などで、プロンプトと呼ぶこちらからの要求に応じて、白色雑音を基にそれを加工して素晴らしい画像を生成する新技術が登場している。(Figure 3)

AI技術の素晴らしい発展

AI技術はいまや驚くべき勢いで発展していて、その性能は日夜進展している。ChatGPTなどの生成AIを使用する人は今や加速度的に増え、学生、研究者はもとより、あらゆる職場に浸透して便利に使われている。

これらの技術の基礎に、かつて日本で提唱された確率的勾配降下法、連想記憶モデル、多層回路の畳み込み技術が使われているが、それらは今や各段に高度化している。ノーベル賞は、その源流に遡るのではなく、1980年代以降の技術に絞りAIの現代の発展に直接に寄与したとして、HintonとHopfieldに与えられた。これはそれなりに尤もであり、日本には、このアイデアを技術として実現し、新しい産業を創るような発想がなく、その実行力もなかった。

AIは今驚くほど大規模化して物量を誇っているが、その消費電力だけでも馬鹿にならない。AIセンターには発電所が必要なほどになってきている。

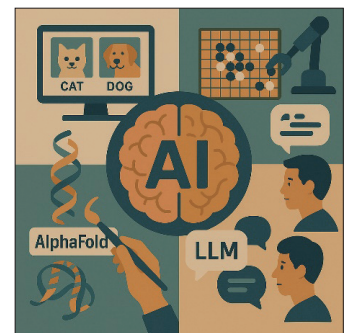


Figure 3 The third wave of AI

AIは今も絶え間なく恐るべき速度で発展している。この勢いを止めることはできない。これは間違いなく社会を変革する。いま、情報系大企業が、なりふり構わず覇権を賭けてAIを推進しているし、国家もこれを大規模に後押ししている。規模では日本はとて追いつけない。では日本の出番はないかという、そんなことはない。今は大規模化が先行し、それに見合う理論が遅れている。もし、AIがここまでの成功を取めた仕組みとその原理が理論で解明されれば、ここまで大規模にしなくても同じような性能のものが実現するはずである。これは省電力で動き、個別生産現場の末端に容易に配置できる。こうした理論や技術は日本のお家芸のはずである。

AIと人間の知能

ChatGPTやDeep Seekなど、多くの大手が発表している大規模言語モデルを使用すると、その性能の素晴らしさに驚嘆する。もちろん、あら探しをすれば、ハルシネーション(幻覚)を引き起こすことも容易である。でも、これらと対話してみると、違和感がなくたいへん便利である。これは人間の知能とどう違うのだろうか。

人間の知能は永い進化の歴史を経て形成された。我々は意識を持ち論理的に推論している。しかし日常会話などでは、言葉が先に出てきて、後からあんなことを言ったか気づくことも多い。必要に応じて自分の発言を後から吟味し、修正することもある。

いやもっと広く、我々は心を持っている。心は喜怒哀楽などを含み、意識もその一部である。我々は心の命ずるままに行動するといつてよい。人間は社会生活を送る。共同作業をするときに、自分のしようとしていることを他者に伝えられれば、便利である。しかしそのためには自分の意図を自分で知らなければならない。これが意識の起源である。また、喜びや悲しみは他人の共感を誘い、社会の構成員としての一体感を強める。

こうした機能をAIが自動的に持つことはないが、人間が植え付けることはできるかもしれない。意識でいえば、AIが今自分が回答しようとしていることを知っていて、その回答に何か違和感を感じれば、ほかの情報を利用して再考することになる。今のAIにはこれではできないが、自分の回答を答える前にこれを吟味し、必要ならば再吟味し精密化することならできらう。

もっと広く、人間の持つ喜びや悲しみはどうであろう。AI搭載のロボットは人間と接するとき、人間は心を持ちその動きに応じて行動することを知らなければならない。これを知って、人間の心の動きを予測し、それに自分で喜んだり悲しんだりすることは容易にできる。人間はすぐに感情移入するから、これをもってロボットが自分を理解したとを感じる。これで目的は達成であるが、実はロボットは喜んだり悲しんだりはしていない。冷徹な計算に基づいて行動し、喜んだり悲しんだりする振りをするだけである。喜んでうつつを抜かしたり、悲しみに暮れて仕事に手がつかないなどの馬鹿なことはしない。ロボットは合理的である。心などない方がよいのである。

AIと脳科学

AIは脳科学から数多くのヒントを得て、情報処理の原理的な仕組みを技術の力で実現した。その流れは今後も絶え間なく続き、今後も途絶えることはないだろう。一方、成功したAIは、逆に脳の仕組みの解明に示唆を与える。例えば、学習済みのうまく働く深層回路の構造とそのときの情報の表現を調べ、そこから脳の深層回路における情報の表現についてのヒントを得ることである。さらに進んで大規模言語モデルにおける連想作用を、人の思考のモデルとして研究を進めることも考えられる。

人の思考は柔軟で複雑である。その第一段階では、大規模言語モデルと似たようなことが行われているのかもしれない。しかし人はさらに進む。知的好奇心がこれを牽引する。古来人間は天体の運行を観測し、その不可思議な動きと共に規則性をも知り、これで暦を作った。さらに、日食や月食の予測もできた。これはAIにとっても容易であろう。しかし、Keplerに至って、惑星が太陽の周りを楕円軌道で回っていることを見出した。素晴らしい認識である。

しかし人はこの段階で満足しなかった。Newtonは、何故惑星が太陽の周りを楕円軌道で回るのかを追及し、そのために質量、力、万有引力、速度、加速度などの新しい概念を導入してその間の関係を調べ、ニュートン力学を構成した。世紀の大発見である。いまのAIがこのような飛躍をすることは難しい。

ただ、このような飛躍的な思考は、人間ならば誰にでもできるかと言えばそうではない。一世紀に一人の天才だけが成し遂げる。だがこれが文化として社会に定着し、万人に受け入れられてきた。

AI時代の社会、文明

AIは大変便利である。これを便利に使いこなす術を各人が会得しなければいけない。しかし、使いこなしている心算でいてこれに頼りすぎ、AIを鵜呑みにして自分の思考力を減退させてしまう危険がある。仮に未来社会においてAIが生産の大部分を担い、人間はベーシックインカムを貰い、楽に暮らす社会が現れたとしよう。これで良いのであろうか。こんな社会はとんでもない誤りで、これは人類の自己家畜化に他ならない。

人は仕事が好きであり、これに生きがいを感じる。また遊びも好きである。こうした探求心や好奇心が人類の進化の原動力となり、今に至る技術文明を築きあげた。将来も人間は働くことを選ばずにはいられない。いや、仕事と遊びが一体となって、これに意欲的に取り組む社会が来るはずである。仕事＝遊びとは、たとえばアマチュアサイエンティスト、アマチュア芸術家、アマチュア農芸家、何でもよい。しかし、このような社会に至るまでの道は険しい。

AIの悪用と文明の崩壊

AIはこれから小型化し、産業のあらゆる場面に現れるだろう。しかし、そのもたらす悪しき副作用はすさまじいものがあるであろう。今もこれは軍事技術として使用され、人を殺している。また、AIの悪用も数限りなく現れている。一方、このままでは貧富の格差が限りなく増大する。こうした困難を乗り越えて、新しい社会を築かなければならない。

過去、文明がいくつも栄え、滅んできた。文明は脆弱である。今の文明も危機に瀕していると言わなければなるまい。我々の素晴らしい文明は、まさに進化が起こした宇宙の奇跡である。我々はこれを滅ぼしてはならない。