

## 研究ノート

# 人工知能の歩み

五十嵐 善 英

The Progress of Artificial Intelligence

IGARASHI Yoshihide

### 1. はじめに

人工知能 (artificial intelligence) は、人間の知能の働きを機械 (計算機) によって実現することを目指す分野であり、今日では計算機科学の中で極めて重要な位置を占めている。知能機械 (intelligent machinery)、機械知能 (machine intelligence) 等も人工知能とほぼ同じ意味で使われている。2006年は、マッカシー (John McCarthy, 1927-) 等が企画した人工知能の研究集会、「ダートマス会議」から丁度50年目に当たる。この節目の年に人工知能の歩みを振り返ってみた。

計算 (computation, calculation) は、もともと小石 (pebble) を意味するラテン語 calculus を語源とすることから分かるように、数の計算を意味していた。今日でも、計算は一般にはそのような意味である。しかし、計算を人間のより広い知能の働きと見なし、論理的思考、認識、理解など、数の演算以外の人間の知能の働きも計算とみなすべきであるという考えが

生まれた。例えば、17世紀にニュートン (Isaac Newton, 1642-1727) と微分積分学の先取権を争ったライプニッツ (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646-1716) は哲学や法律上の難しい問題の解決を機械的に行えないだろうかと考えた。そのようなことの実現はライプニッツの夢であったが、彼の考えたことは、今日の人工知能の重要なテーマになっている。ライプニッツは、17世紀の後半に記号論理の基礎を築いた人物である。述語算術 (predicate calculus) など、論理的な表現を取り扱う形式理論は人工知能につながり、計算は論理的な表現の形式的な処理であるという見方は、ライプニッツの考えと共通している。

## 2. チューリングの知能機械

ライプニッツが記号論理の基礎を築いてから約280年経過した頃、イギリスの数学者チューリング (Alan Mathison Turing, 1912-1954) はチューリング機械 (Turing machine) を提案し、計算可能な関数 (computable functions) のクラスとチューリング機械で計算できる関数のクラスは一致することを主張した。チューリングは、第2次大戦中、イギリス政府暗号解読班に属し、ドイツ軍のエニグマ暗号の解読のために精力的に働き、祖国の危急を救ったことはよく知られている。チューリングにとって、伝統的な関数の数値計算も暗号解読も人間の知能の働きを機械的に行うことであり、本質的には同じ種類の作業と考えたと思われる。彼のこの考えは人工知能への道程のより明確な出発点と考えられている。第2次大戦後、チューリングはイギリスの国立物理学研究所 (National Physical Laboratory) で、プロジェクトリードとして電子計算機、ACE (Automatic Computing Engine) の設計開発に従事した。1946年に、チューリングはプログラム内蔵方式の電子計算機の設計を完了し、それを国立物理学研究所のプロジェクト実行委員会に提出した。彼はACEの完成前に国立物理学研究所を去り、マンチェスター大学で、新たな電子計算機、MADM (Manchester

Automatic Digital Machine) の開発に従事した。

チューリングは国立物理学研究所を去るとき、「知能機械」(Intelligent Machinery) という題名の報告書を提出した。この報告書の日付は、1948年になっており、国立物理学研究所の内部資料として残されている。その表紙の1948年の下に、「8 July?」の書き込みがあるが、この報告書の提出日を特定しようとした人が書き込んだと思われる。この報告書は、機械は知能的な働き (intelligent behavior) ができるかどうかという問題を提起している。この報告書が書かれた頃でも、多くの人は機械が人間のような知能的な働きはできないと信じていた。単純な行動をする人を、「機械のように振舞う」(acting like a machine) と表現するのは、機械は知能的な働きができないと信じられてきたからである。

チューリングは、多くの人が何故そのように考えるかを、次のように説明している。人類の長い歴史の中で、多くの人は、人類以外のものが知能的な働きができることを認めたくなかった。つまり、知的な能力において、人類と対抗できる他の生き物や機械の存在はありえないと考えられてきた。ギリシャ神話では、プロメティウス (Prometheus) が天の火を盗み人類に与えた罪のように、何者かが機械に知能を与えるような罪を、多くの人は考えたくなかった。また、知能的な働きをする機械を製作することは不適切な試みであると信じていた人も少なくなかった。1940年代までに製作された機械の能力は限定されたものであり、多くの人は、機械は極めて単純な作業しかできないと信じていた。

チューリングは、知能機械の存在を否定する考えを受け入れる必要はないと主張した。「人類以外は知能的な働きはできないという主張は、単に感情的なものであり、そのことを論破するまでもない。また、機械は単純な作業しかできないという考えは、ENIACやACEなどの電子計算機の誕生によって論破された」と、その報告書に記述されている。

彼が知能機械の存在を肯定的に考えようとした拠り所は、人が計算できる関数はチューリング機械で計算でき、チューリング機械で計算できる関

数が計算可能な関数であるという、チューリングの仮説である。チューリングの報告書には「紙機械」(paper machine) がチェスを行うことが書かれているが、「紙機械」をチューリング機械に置き換えることができる。しかし、その報告書では、知能機械の研究を具体的にどのような方法で行い、どのような方向を目指すかは、明確に述べられていない。

チューリングの計算可能性の理論、エニグマ暗号の解読に対する貢献、ACEなど、初期の電子計算機開発のプロジェクトリードとしての貢献、知能機械についての先駆的な報告書などにより、チューリングは計算機科学の父といわれている。アメリカ計算機学会 (Association for Computing Machinery) が、1966年より毎年、計算機科学の分野で優れた功績のあった人にチューリング賞を贈っている。この賞の名前はチューリングの名に因んでおり、物理、化学、生理学・医学の分野等のノーベル賞、数学のフィールズ賞に匹敵する、計算機科学の最も権威のある賞である。

### 3. ダートマス会議

1955年8月、当時ダートマスカレッジ (Dartmouth College) に所属していたマッカーシ (John McCarthy, 1927-) 等は、「人工知能に関するダートマス夏期研究プロジェクト」(J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, and C. E. Shannon, “A Proposal for The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence”) を提案した。この提案は、1956年夏期の2ヶ月間、ロックフェラー財団の援助で、ダートマスカレッジに研究者が集まり、人工知能 (artificial intelligence) の研究に従事するというプロジェクトであった。この提案による、1956年夏期の研究者の集いは、ダートマス会議と呼ばれ、人工知能研究の実質的な開始時と見なされている。「人工知能」という用語はこの提案書で初めて用いられ、以後、この用語は定着した。

このプロジェクトの提案は、学習や知能の特徴は原則的に、機械がそれ

らを模倣して動作するように記述できるという予想に基づいている。このプロジェクトでは、まず、機械がどのように言語を用い、抽象や概念をどのように形成し、人が解ける問題を機械がどのように解くかを明らかにしようという試みであった。

この提案書では、人の頭脳活動を機械（計算機）で模倣することが困難なことは、計算機の数値や記憶容量が十分でないことが決定的な問題ではなくて、人の頭脳活動を機械に行わせるためのプログラムを作成する技術の未熟さにあると主張していた。彼らが提案した人工知能の研究課題の主なものは以下の通りである。

- ・ 頭脳モデルや神経回路網（neural network）モデルを構築し、定理の証明、作曲、チェスゲームなどの知的な作業を機械的に行なわせる。
- ・ 出力から入力への帰還チャンネルがあれば、試行錯誤を行うことにより、機械自身が訓練され、その能力を向上させることが可能であると考えられる。そのような知能機械の研究を行う。
- ・ 直感や推測を行う機能を持たせれば、あらゆる可能性を調べ上げるような作業を避けることができ、労働コストを節約することができる。そのような能力を持った知能機械の研究を行う。
- ・ 脳の制御方式とこれまでの機械の制御方式には大きな違いがある。例えば、計算機の誤動作や故障は致命的な間違いを引き起こす。それに対して、人の会話や行動に多少の間違いが含まれていても、それらの結果は理にかなっている場合が多い。人の脳の制御方式を反映した機械の制御方式の研究を行う。
- ・ 人は複雑なことを考えるとき、または、問題を解決しようとするとき、言語を用いるのが普通である。自然言語は形式言語（プログラミング言語）にはない優れた性質を持っている。機械が推測や直感によって動作できるようにプログラムするには、自然言語の特徴をもった、人工知能の問題に対して取り扱いやすい言語が必要である。人の知能と言語との関係を調べ、機械にゲームやその他の知的な作業を行わせる

プログラムの記述に適した言語の研究を行う。

人工知能を学問分野の一つとして位置付けたダートマス会議の功績は大きく、この会議で中心的な役割を果たしたマッカーシは人工知能の父と呼ばれている。マッカーシは、人工知能の先駆的な業績で、1971年にチューリング賞を受賞した。

ダートマス会議で提案された研究課題は魅力的ではあったが、その後の人工知能の発展は必ずしも順風満帆ではなかった。人工知能の定義は曖昧なところもあり、対象とする課題はあまりにも多方面に渡る。また、過大な期待をかけられたこともあり、満足できるレベルの結果が得られなかったことに対して、世間から厳しい批判も受けてきた。しかし、ダートマス会議からの半世紀の間、人工知能の分野は停滞期もあったが、着実に成長してきた。

1958年、マッカーシはλ算術 (λ calculus) で定義される関数を表現するプログラミング言語として、LISP (LIST Processing language) の開発を提案した。λ算術とは、1930年代に、チャーチ (Alonzo Church, 1903-1993) 等によって、関数を定義するために導入された、数理論理における形式的システムである。LISPはFORTRANに次いで古い高水準プログラミング言語 (high-level programming language) である。この言語は人工知能の問題のプログラム作成に便利のため、人工知能の研究者に好評で、すぐに広まった。今日でもこのプログラミング言語は広く使われている。マッカーシはMIT (Massachusetts Institute of Technology) の計算機科学と人工知能のプロジェクトMAC (Multiple Access Computer) に参画し、そこで中心的役割を果たしたが、1962年にMITからスタンフォード大学 (Stanford University) に移り、スタンフォード人工知能研究所 (Stanford Artificial Intelligence Laboratory) の設立に加わった。スタンフォード大学は、MITやカーネギーメロン大学 (Carnegie Mellon University) 等と並んで、今日まで、世界の人工知能の研究拠点である。

## 4. チェスプログラム

カーネギメロン大学のサイモン (Herbert Alexander Simon, 1916-2001) とニューエル (Allen Newell, 1927-1992) は、1956年にユークリッド幾何学の定理を公理から証明する計算機プログラム、Logic Theoristを作成した。彼らはこのプログラムを発展させ、1957年に定理の証明やチェスの問題を解く、一般問題解決システム (GPS, General Problem Solver) と呼ばれる計算機プログラムを開発した。このプログラムは「ハノイの塔」のような、簡単な形式化が可能である問題を解くことはできたが、実用的な問題を解くレベルではなかった。

1957年、サイモンは10年以内に、計算機は最強のチェス競技者に勝てるという予想を立てた。しかし、計算機がチェスのチャンピオンに勝てたのは、その年から40年後である。1996年、IBMが開発した「Deep Blue」と呼ばれるスーパーコンピュータのチェスプログラムはチェスの世界チャンピオン、カスパロフ (Garry Kasparov, 1963-) と対戦し、3敗2引き分けで負かされた。IBMのチームは、「Deep Blue」のプログラムを改良し、その翌年の1997年にカスパロフと対戦したときは、3勝2敗1引き分けで、「Deep Blue」はカスパロフに勝利した。「Deep Blue」は、「深い思考」(Deep Thought) とIBMのニックネーム、「巨大なブルー」(Big Blue) からきている。サイモンの予想から40年後のこの勝利を、人工知能の素晴らしい進歩と見なすか、人工知能の進歩は当初の期待よりもかなり遅くて、落胆したと考えるかは、意見の分かれるところである。

カスパロフは「Deep Blue」のチェスの動きの中に、彼自身が理解できないような機械知能の深さを感じたと述べている。彼はIBMに再試合を要求したが、IBMはその要求には応じず、「Deep Blue」を引退させた。2003年に、「カスパロフと機械の試合は終わった」(Game Over: Kasparov and the Machine) という題のドキュメンタリ映画が作られた。「Deep Blue」はIBM製品の市場評価を高め、その売り上げ向上に貢献した。こ

のことから、「Deep Blue」はIBMの深謀であり、IBMはビジネスのために人工知能をうまく利用したともいわれている。しかし、「Deep Blue」とカスパロフのチェスの試合は、人工知能に対する、一般市民の関心を大いに高める役目を果たした。現在、「Deep Blue」の一部は「アメリカ国立歴史博物館」(National Museum of American History)の「情報時代」(Information Age)のコーナーに展示されている。

サイモンとニューエルは、人工知能の発展に対する貢献で、1975年にチューリング賞を贈られた。サイモンは人工知能の研究者ではあるが、経済学者としても著名である。1978年に、彼は「経済組織内の意思決定理論」(business organizational decision-making)の功績により、ノーベル経済学賞を贈られた。

## 5. 計算機制御のロボット

1963年、MITはアメリカ合衆国政府から、「計算機を利用した認知科学」(machine-aided cognition)という研究課題に対して、220万ドルの研究資金を獲得した。この研究プロジェクトでは、ミンスキー (Marvin Minsky, 1927-)、ペパート (Seymour Papert, 1928-) 等が中心的な役割をはたし、これをきっかけとして、人工知能の研究開発に弾みがついた。ミンスキーは人工知能の研究業績に対して、1969年にチューリング賞を贈られた。

1960年に、国連ユネスコの提案で国際情報処理学会 (IFIP, International Federation of Information Processing) が組織された。情報処理学会はIFIPの日本の代表団体である。1968年、エジンバラで開催されたIFIPの国際会議で、次のようなロボットの開発が人工知能の重要なテーマであるという提案があった。

- (a) テレビジョンカメラのような感知器を有する。
- (b) 十分な能力を有する計算機で制御される。
- (c) モータで動作する、機械的な腕と手を有する。



1969年に、ミンスキーとペパートは人工神経回路網の解析に基づいた幾何学図形の認知や学習の理論をまとめた書、「パーセプトロン」(“Perceptrons”, 1969)を出版した。この頃、MITのミンスキーのチームは、手とテレビジョンカメラの目を持ち、計算機で制御されるロボットを試作した。計算機のプログラムにより、このロボットは積み木の形を認識できたが、その能力は幼児の積み木遊びができる程度であった。

チューリングの母国であるイギリスでの人工知能研究の拠点は、スコットランドのエジンバラ大学であった。1963年に、ミッキー (Donald Michie, 1923-) はエジンバラ大学に人工知能の研究グループを発足させた。この組織が発展し、1966年に「機械知能学科」(Department of Machine Intelligence) が設立された。ミッキーは第2次大戦中の1942年から1945年まで、ブレッチレー・パークのイギリス政府暗号解読班で暗号解読の仕事を手伝っていた。その間、ミッキーはチューリングと親交があり、彼はこの偉大な計算機科学の先駆者から少なからずの感化を受けたと回顧していた。

1971年、エジンバラ大学のミッキーのチームは、MITのミンスキーのチームと同様に、手とテレビジョンカメラの目を持ったロボットを試作し、そのロボットをフレディー (Freddy) と命名した。このロボットはPOP-2というプログラミング言語で書かれたプログラムによって制御され、テーブル上に置かれた模型自動車の胴体、車輪、車軸などのブロックから模型自動を組み立てる作業ができた。POP-2はエジンバラ大学で開発したプログラミング言語で、LISPのスコットランド方言とも云われていた。

1970年代初頭のロボットは、今日の基準からすれば幼稚なものだった。その頃、イギリス政府からの多大な研究費を使っていたエジンバラ大学の人工知能の研究に対して厳しい批判が寄せられていた。このため、研究費の配分を行っていた科学研究会議 (SRC: Science Research Council) は、著名な応用数学者であるライトヒル (Michael James Lighthill, 1924-1998) に人工知能研究成果の検証を依頼した。ライトヒルはこの依頼を受け、

1973年に、人工知能に関する報告書（Artificial Intelligence: A General Survey）を提出した。この報告書はライトヒルレポートと呼ばれており、ロボットや言語処理のような人工知能の基礎分野を極めて厳しく批判した。ミッキーやロングエットーヒギンズ（Hugh Christopher Longuet-Higgins, 1923-2004）等はライトヒルレポートに対する反論の機会が与えられ、BBC（英国放送協会、British Broadcasting Corporation）は1973年8月に「人工知能は蜃気楼か？」（Is Artificial Intelligence a Mirage?）というタイトルの公開討論会をテレビジョン番組で放映した。しかしながら、ライトヒルレポートを根拠に、SRCによる人工知能の研究費は大幅に削減され、イギリスにおける人工知能の研究は大きな打撃を受けた。1973年からおよそ10年間、イギリスでは、「人工知能の冬時代」（AI Winter）に入った。因みに、ロングエットーヒギンズは著名な化学者で、ノーベル化学賞の有力な候補者であったが、1967年に人工知能の分野に移り、ミッキーと共にエジンバラ大学の人工知能研究の基礎を築いた一人である。

## 6. 人工知能の発展

1970年代の人工知能の重要な話題の一つは、エキスパートシステム（expert system）の登場である。エキスパートシステムは知識ベースシステム（knowledge based system）とも云われ、専門家の知識に基づいた計算機プログラムである。1970年代のエキスパートシステムは実験室レベルの段階であったが、1980年代には、エキスパートシステムは製品として市場に出回るようになった。株式市場における予想、計算機による患者の診断、鉱山資源の探索などを行うエキスパートシステムが作られた。また、自然言語処理の技術も確実に進歩し、自動翻訳の質も向上してきた。

1980年頃以降、知能ロボットと計算機ビジョンの研究も進み、製造工場の自動組立工程で、ロボットの使用が普及した。このように、人工知能の技術は工業製品の製造の効率化や品質管理にも大いに貢献してきた。

日本政府の通産省が推進した、「新世代コンピュータ開発機構 (ICOT)」の大型プロジェクトは、1981年に始まり、1992年まで続いた。「知識情報技術」の開発研究はこのプロジェクトの柱であった。1972年にヨーロッパで、コルメラウア (Alan Colmerauer)、ロウセル (Philip Roussel)、コワルスキ (Robert Kowalski) 等が一階述語算法 (first-order predicate calculus) に基づくプログラミング言語の Prolog (PROgrammation en LOGique) を開発した。新世代コンピュータ開発機構は、論理と推論に基づく並列処理システムの構築を目指し、Prologを知的情報処理システム開発の中核のプログラミング言語として採用した。このプロジェクトで開発した新世代コンピュータはProlog機械とも呼ばれていた。日本政府は、このプロジェクトを通して、人工知能の開発研究に対して多大な支援をした。10年の歳月と総額およそ570億円もかけた、「新世代コンピュータ開発」のプロジェクトに対して、「日本は官民一体で高度な人工知能機械を開発しようとしている」と欧米諸国は危機感を煽っていたが、「実質的な成果は並列推論システムを作り上げただけだった」というプロジェクト終了後の評価も少なくなかった。しかし、このプロジェクトは、人工知能の学術振興と研究者育成に多大な貢献をしたというのが大方の見方であった。

人工知能は、期待されたペースには遅れがちであったが、着実に発展してきた。今日では、人工知能の関連製品は情報産業の牽引力になっている。多くの業界で、危険を伴う作業や継続的な集中力を要求されるような作業を、ロボットに行わせることが世界規模で広まりつつある。今日の日本は、ロボット産業において、世界のリーダの地位を保っている。2006年度の産業用ロボットの日本国内の市場は約6000億円に達し、20年以内にその市場規模は現在のおよそ10倍に達すると予想されている。

「機械は知的なことができるかどうか？」というチューリングが提起した問題に対して、肯定的に答えられるように努力することが人工知能の研究目標であろう。

## 参考文献

- (1) 情報処理学会 編、「情報処理ハンドブック」、1995
- (2) R. B. Banerji, “Theory of Problem Solving: An Approach to Artificial Intelligence”, American Elsevier, 1969
- (3) G. Ifrah, “The Universal History of Computing”, John Wiley & Sons, 2001
- (4) J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, and C. E. Shannon, “A Proposal for The Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence”, 1955
- (5) D. Michie, “On Machine Intelligence”, Edinburgh University Press, 1974
- (6) M. Minsky, “Computation: Finite and Infinite Machines”, Prentice-Hall, 1967
- (7) M. Minsky and S. Papert, “Perceptrons”, MIT Press, 1969
- (8) N. J. Nilsson, “Problem-Solving Methods in Artificial Intelligence”, McGraw-Hill, 1971
- (9) J. Palfreman and D. Swade, “The Dream Machine”, BBC Books, 1991
- (10) B. Russel, “History of Western Philosophy”, George Allen and Unwin, 1946
- (11) Science Research Council, “Artificial Intelligence”, 1973
- (12) A. M. Turing, “Intelligent Machinery”, National Physical Laboratory, 1948

(本学経営学部非常勤講師)