

feature article

知能の情報処理

立ちはだかる困難と克服の方向性

Intelligent Processing of Information

山崎 真見 Masami Yamasaki

20世紀後半から、コンピュータによる多様な自動化技術が、社会へ提供されるモノやサービスおよび製造工程に適用され、付加価値向上やコスト削減など多くの効果を上げてきた。しかし同時にその進化に伴い、使用者の意図や使用状況の変化など、人間ならば容易に対応可能な柔軟性を実現することの根源的な困難さが顕在化してきている。これらの人間と自動化機械との差異の明確化と克服を目標として、日立製作所の研究開発部門では、人間の知能を模倣する人工知能の研究を推進するとともに、さまざまな取り組みを展開している。

1. はじめに

人工知能研究はその黎明(れい)期から現在に至るまで、何度かの大きな期待感の盛り上がり、その後の幻滅感との繰り返しを経て、できることとできないことに関する知見が蓄積されてきた。

ここでは、その歴史を概観しながら、多くの研究者が共通して直面している困難を整理し、この困難に現実的なアプローチで挑んでいる研究事例として、自然言語処理の研究と、行動と空間認識に関する研究を取り上げる。さらに、そもそもコンピュータ上で実現をめざす知能とは何かを再考するうえで必要な複数の観点を示し、21世紀における知能の模倣に関する技術の進む方向性についても述べる。

2. 人工知能研究の歩み

2.1 人工知能研究の誕生と進展

人間の知性とは何かという疑問は、人間が自身を深く理解したいという欲求から自然に派生し、古来、主に哲学的に探究されてきた。しかし、ノイマン型コンピュータが開発されて以来、人間の知能を模倣できるのではないかという期待が抱かれるようになった。1956年に開催されたダートマス会議において¹⁾、この期待は人工知能 (Artificial Intelligence) という言葉で表明され、その研究が広く認知されることとなった。

1960年代までは、非常に限られた計算能力の範囲で、ボードゲームなどを題材とした規則群の中での解の探索技術や、さまざまな問題を計算機上で扱える表現にモデル化する研究が推進された。工学者は、人間の知能とは何かという哲学的な議論には深入りせず、視覚による物体の認識

能力、音声認識と自然言語の理解能力や、記号論理による知識の表現と推論能力をそれぞれ模倣する技術開発に取り組んだのである。

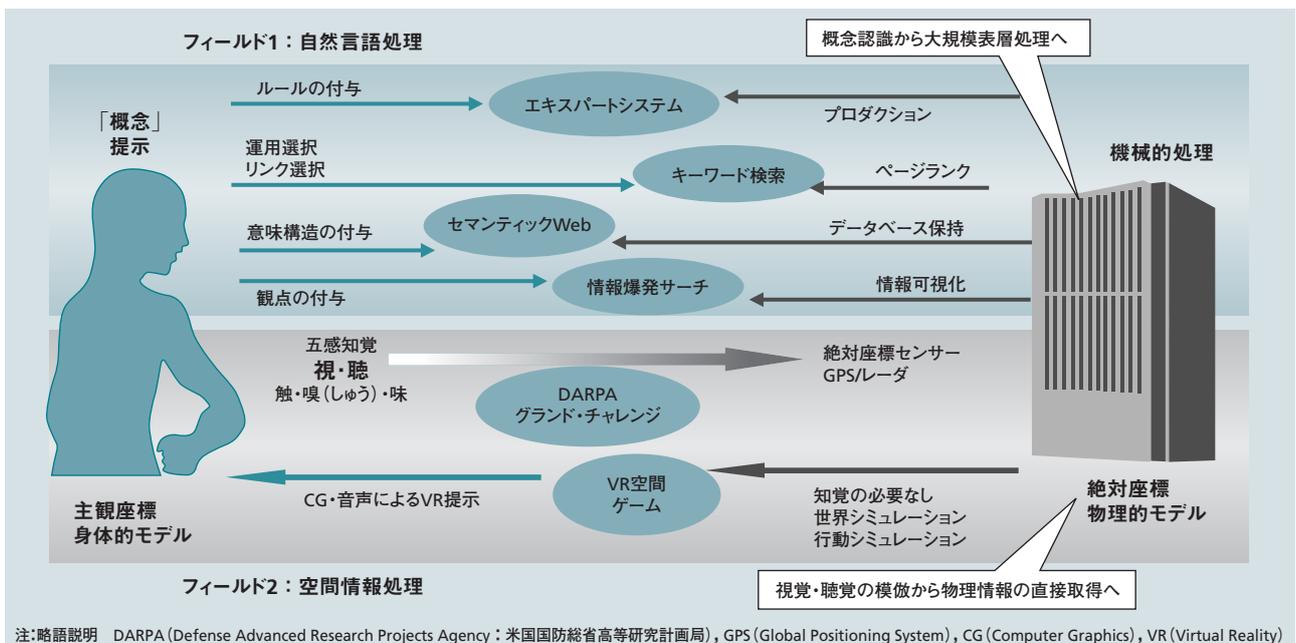
1970年代以降、対象となる問題領域における専門家の知識を計算機内に情報表現し、それらを組み合わせて新しい知識を導出する「エキスパートシステム」が構築され、医療診断などの分野で優れた効果を発揮した²⁾。そして、計算機の飛躍的な性能向上のトレンドとともに、人間の介在が不可欠な多くの分野でもその実用化が期待された。特に1980年代、日本の第五世代コンピュータプロジェクトが掲げた飛躍的な推論処理能力の実現目標には、人工知能の広範な実用化への期待が集まり、人工知能ブームと呼べる社会現象が生まれ、世界中で大規模なプロジェクトが推進された。

知識を特定の記号表現に変換することは、その形式自体に起因して、扱える知識の範囲を限定する結果となり、推論システムの応用範囲を狭めていた。そこで、記号では表現不能な情報を扱うための新しい情報表現とその処理方式が研究され、知識の確率論的表現や分布表現という新しいパラダイムが開拓された。その結果、制御分野では、従来の数値量中心の制御方式に推論メカニズムの考え方を持ち込むことに成功した。

2.2 日立製作所の先駆的な取り組み

日立製作所は、産業分野での人工知能研究の応用において、数々の先駆的な研究を行ってきている。その代表例を以下に示す。

(1) 視覚機能の模倣である画像認識技術では、産業用組立ラインでの精密組立作業の自動化において課題であった組



注：略語説明 DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency：米国国防総省高等研究計画局)，GPS (Global Positioning System)，CG (Computer Graphics)，VR (Virtual Reality)

図1 知能模倣をめざす情報処理技術の進展

人間の知能の完全なる模倣をめざして始められた人工知能研究では、その実現上の困難が顕在化した。自然言語処理と空間情報処理の各分野で、それまでの困難を回避した現実的なアプローチが進められている。

立対象の位置認識、選別のための形状認識、検査のための欠陥認識の各機能を開発した³⁾。

(2) エキスパートシステムの分野では、大規模プロジェクト管理システムなどの応用研究が、第五世代コンピュータプロジェクトの文脈の中で意識され、米国が対抗措置を発動する契機にもなった⁴⁾。

(3) IF-THENルール形式の知識ベースと、ルールでは表現が困難なプロセス量変化の推定をする数値解析を組み合わせ、原子力発電プラントを対象にした異常診断や運転操作のガイダンスを行う、運転ガイダンスシステムを開発した⁵⁾。時々刻々変化する状況下で、事故の起因現象の推定と運転員への適切な運転ガイダンスが可能となった。

(4) 今日のようにWeb上に機械可読の文書が膨大に存在する状況は想像さえできなかった1980年代初頭から、文字認識技術および自然言語処理技術を背景にして、大量文書ファインディングの研究に着手した。文書の内容に相当する概念を知識工学における意味ネットワークとして表現し、上位概念から意味的な検索を行う対話型推論システムを開発した。

3. 立ちはだかる困難

人工知能研究の当初の目標は、人間の知能の模倣であり、常識を含む膨大な知識を用いて、状況に柔軟に対応して判断する知能の実現であった。さらには、段数が深い推論を一足飛びに可能とするような直感的な発想能力や、視覚画像パターンや音声信号パターンを解釈し、そこに含まれる意味のある部分パターンを抽出する能力の実現も期待された。

しかし、実現できたのは、アドホックに与えた有限個の

知識を記号論理式で表現し、記号論理に基づいた推論メカニズムで導出される論理式集合全体を、全体知識と見なすシステムであった。全体知識の基底となる知識は、人間が慎重に設計し生成しなくてはならず、高いスキルとコストが不可欠となる。これを「知識獲得ボトルネック」と言う。また、知識の追加変更に伴うシステム全体の挙動予測が難しいため、基底知識の生成および改良自体が困難を極めるといふ課題にも直面した。

加えて、知識表現とその記号論理操作によって、適切な状況判断と行動決定を下す課題を解決しようとする時、現実世界に起こり得る事象の可能性の列挙に要する計算量が膨大になり、適切な判断が推論ステップの有限性から不可能になる。このいわゆる「フレーム問題」に対する解決策はいまだ確立されていない。

4. 困難克服の方向性

知能の模倣をめざすうえで、性格を異にする二つの研究フィールドがある。一つは、言語によって構築される「概念世界」であり、もう一つが、人間自身の身体がその中に存在し、物理法則に支配された「実世界」である。それぞれのフィールドにおいて、最近の知的機能実現のアプローチを以下に述べる(図1参照)。

4.1 自然言語処理

概念に関する知的情報処理では、機械そのものが概念の知識体系を備えることよりも、人間の知的活動をアシストする手段の提供において進展が見られる。人工知能ブームだっ

た1980年代からの大きな状況変化の一つには、インターネットとWeb技術の進展がある。膨大な文書情報がインターネット上でアクセス可能な状態にあり、機械可読のテキスト情報量が爆発的に増大した。この膨大な情報を知的活動への的確に活用する手段を多くの人々が模索している。

その一つとして、さまざまな専門分野の知識ベースを整備し、それらの知識ベース間での相互運用を可能にするように、知識ベース構築をオントロジーというフレームワークに準じて構築する研究がある。このような知識ベースに準じた意味記述を文書に埋め込むことにより、意味で文書を検索可能にするセマンティックWebという構想もある。しかし、そのような情報形態はまだ十分に普及していない。

そこで、自然言語からの意味の抽出と理解を機械が行うのではなく、文書内容を代表する概念や観点到に相当する単語群の抽出や、同義語を判定して代表的な概念キーワードへ統合する処理により、文書の示す概念や観点を人間が容易に類推できる技術が、現実的に可能な技術として期待されている⁶⁾。これらは、大量の文書情報全体の意味理解、目的とする文書概念の検索、価値ある文書情報の発見などに有効である。日立製作所においても、文書の集合体と単語の集合体の関係性に着目し、検索における双対性というコンセプトに基づいた検索技術、さらには文書の示す意味を人間が理解するプロセスを補助する機能を開発した⁷⁾。

4.2 実世界での知能の模倣

もう一つの知能模倣のフィールドである実世界では、常にフレーム問題の障壁が存在する。そのような中で、人工知能技術が成功していると思わせるのは以下の2分野である。

一つ目は、コンピュータ内部での実世界のモデル化を、行動目的に絞った対象に限定し、なおかつ、そのモデルの構成情報に直結するセンサー機器を装備するアプローチである。このポイントは、人間の視覚や聴覚など、知覚の模倣を経由せずに、世界モデルの構築を行うところにある。

その一例が、米国の国防総省高等研究計画局(DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency)が行った、カリフォルニア・ネバダ間の砂漠の約230 kmの道路を完全無人の自律型自動車で走破するという競技会(グランド・チャレンジ)⁸⁾と、模擬市街地内の道路を約100 kmにわたって交通法規を順守しながら走破するという競技会(アーバン・チャレンジ)の成果である。第一回グランド・チャレンジでは、全車がリタイアし、やはり自然環境下での状況把握に基づいた運転操作は困難と思われたが、翌年開催の第二回で5台が走破、その2年後のアーバン・チャレンジでは、決勝参加11チーム中の6台が完走した。

この成果から、運転操作という行動において、機械が人

間を模倣できたとはいえなくもないが、当初の人工知能がめざした人間の模倣とは大きく構造が異なる。地表面上の位置はGPS(Global Positioning System)を用い、走行可能エリアを決める走行面と障害物の三次元座標にはレーザ距離測定センサーを用いるなど、走行という目的に必要な情報を直接入力する手段を利用しているからである。その結果、人間のように視覚や聴覚や触覚から外的世界状況を把握するアプローチに伴う困難を回避している。もちろん視覚情報処理技術も利用しているが、中心的な位置づけではなくなった。日立製作所は、実空間内に存在する情報の収集を自律的に行う「実世界クロウリング」というコンセプトの下、実空間内での行動知能の研究を推進している。

二つ目は、逆説的ではあるが、実世界を直接扱わずにバーチャルに世界を構築し、その中へ人間自身の活動を引き込み、そして人間の知的活動自体をも完結させようというアプローチである。

近年、CG(Computer Graphics)技術と計算機パワーに支えられたシミュレーション技術の発展により、ビデオゲームの世界の中に、リアリティの高い空間が再現可能となっている。この分野では、ゲームの価値であるエンタテインメント性向上のために、人工知能研究でこれまで生み出されてきた技術が多く投入されている。コンピュータが操るキャラクターは、ストーリーの中での自身の役割を行動目的として、次に取るべき適切な行動を計画し、時々刻々変わる世界の状況に応じて、適切な反応を自律的に生成し続ける。さらに、ストーリーへの興味を増すために、ゲーム参加者の操作履歴から次の展開を推論し、ストーリー展開を調整したり、登場キャラクターの行動パターンを変更したりする適応的な制御に、機械学習の技術を適用している⁹⁾。

バーチャルな世界では、世界の状況は完全にコンピュータが把握しており、実世界に対する場合とは異なり、世界の状態知識獲得の問題が消滅しており、フレーム問題は生じない。ゲーム参加者が、コンピュータが操るキャラクターに人間に似た知能が宿っていると見なすかどうかは、そのキャラクターの行動を通してのみ判断され、その機能がいかにか実現されているかは問わない。その意味でバーチャル世界の中では、知能が実現していると思えなくもない状況が生まれ始めている。

5. 「知能」を巡るさまざまな観点

前述のとおり、現在の知能システムは、人間知能の完全な模倣を回避することで成功しているケースが多い。本来の目的が「知能」の完全な実現であると考えれば、そもそも模倣対象の知能自体が実は明快に定義できていないことが最大の問題になる。むしろ知能を機能構成的に定義するために、知能の模倣を企ててきたとも言える。

最後に、知能のとらえ方に関して相対する立場を列挙し、知能をいかに定義するか、発想の手掛かりを浮かび上がらせてみたい。

5.1 言語と概念の関係性

自然言語と概念の関係性を考えるとき、言葉には、人間の解釈に先だつてその意味自体が存在すると考える立場がある。前述したオントロジーは、単語と概念が一对一に強固に対応していることを前提とした知識構築体系であり、この立場に立っていると考えられる。

一方、言葉自体の示す概念(意味)は、それを解釈する人間ひとりひとりに依存して異なると考える立場がある。ある言葉に対して、自分の抱く概念と他人の抱いている概念が、同じかどうかを直接確かめる手段を持たない。この立場からすると、同一文化を持つ社会の中で共有されている言葉は、ある「心象風景」を同一視するための決めごとのマークでしかない¹⁰⁾。このような言葉と概念のあいまいな関係性を認めると、オントロジーを援用し、構築された常識の知識ベースは、単一の文化圏、あるいはその構築者個人だけでしか厳密な意味を持たない危険性ははらむことになる。

数学を基盤とした言語表現は別として、自然言語が持つ意味のあいまいさの根源は、同一の言葉で表される概念が、本質的に人間ひとりひとりで異なる心象風景にマッピングされることにあり、この差異が、言葉の意味が利用場面でさまざまに揺らぐ印象を生むと考えられる。

5.2 外部世界の認識

知能が発揮されるもう一つのフィールドである実世界では、視覚や聴覚など知覚器官から得た情報に基づく人間の空間理解が、機械と同様、数学的な空間として理解されたものとは断言できない。人間は、自分の肉体を基にした座標で空間を記憶し、行動と関連づけて理解していると見えず、いわゆるアフォーダンスという立場も存在する。

行動の同一性あるいは類似性だけから、空間理解の同一性を推定することは、論理的に不可能である。だが、日々の生活体験の中でわれわれはこのような乱暴な理解をしているのかもしれない。これは前述した概念の共有の確認においても、自分が想起するのと同様な言葉の発話が行われるとき、同様の概念を共有していると思えず考え方と同じである。

5.3 関係論的立場と实在論的立場

理解の仕方の同一性を確認する手段として、前述のように各フィールドで取り得る「行動」を媒介として、知能の類似性を判断すべきという立場がある。この立場では、知能の有無は判断するものと判断される対象との関係性に立

脚する。有名なチューリングテストは、このような関係論的な立場から、知能の実現判定基準となっている。

一方で、知能なる機能の成立は、評価する人間の判断や行動にかかわらず、存在をもって定まっているという实在論的立場がある。この立場では、脳と同じ機能を持った機械、あるいは同様の情報処理機構によってのみ、初めて機械が人間と同じ知能を持ち得ることとなる。近年の、脳科学が人間の知能あるいは感情の理解のためにも重要と考えるのはこの实在論的な立場の一つと考えられる。物質である脳に心(知能)が宿るかという「心脳問題」の解決を、脳自体の機能に還元して理解する発想もこの立場に近いと言える。

6. おわりに

ここでは、日立製作所の先駆的な取り組みを交えて、人工知能研究の歴史を概観するとともに、多くの研究者が共通して直面している困難を整理し、その克服の方向性を示唆する新しい取り組みについて述べた。「知能」をどうとらえるかという、そもそもの人工知能研究の目的をもう一度考え直すきっかけになればと、対立するさまざまな観点を示した。

社会のさまざまな場面に浸透している情報サービスにおいて、人間中心的な価値のさらなる向上には、知能模倣技術の進歩が不可欠であり、そのために、知能そのものの本質的な解明が進展することを大いに期待したい。

参考文献など

- 1) J.McCarthy, et al.: A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence
<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>
- 2) E.H.Shortliffe: Computer-Based Medical Consultations:MYCIN, American Elsevier (1976)
- 3) M.Ejiri, et al.: A Process for Detecting Defects in Complicated Patterns, Comp. Graph. and Image Processing, 2, 3/4, pp.326-339 (1973.12)
- 4) E.Feigenbaum, et al.: The Fifth Generation, p.248, Addison-Wesley Publishing Company (1983)
- 5) H.Motoda, et al.: A Knowledge Based System for Plant Diagnosis, Proc. of FGCS, 583-588 (1984)
- 6) 喜連川: 特定領域研究「情報爆発 (Info-plosion)」: 本格稼働から2年を経過して、情報処理, p.881~888, vol.49, NO.8 (2008)
- 7) 高野, 外: 汎用連想計算エンジンの開発と大規模文書分析への応用, IPA2001年度成果報告集
- 8) S. Thrun, et al.: Stanley: the Robot that Won the DARPA Grand Challenge, Journal of Field Robotics 23 (9), pp. 661-692 (2006.9)
- 9) J. Schaeffer, et al.: Bots Get Smart, IEEE Spectrum, 44-49 (2008.12)
- 10) 西垣: こころの情報学, ちくま新書 (1999.6)

執筆者紹介



山崎 真見

1987年日立製作所入社, システム開発研究所 所属
現在, コンピュータビジョンの研究に従事
理学博士
日本物理学会会員, 電子情報通信学会会員, IEEE会員
「弦理論におけるTデュアリティの先駆的研究」で2008年度素粒子メダルを受賞