

〔大阪体育大学紀要
第18巻 (1987) pp.205—216〕

人工知能研究と人間の有限性

齊 藤 了 文

昭和62年3月30日受付

Artificial Intelligence and our Intellectual Finiteness

Norifumi SAITO

In this paper, I try to make clear a new scientific perspective. This 'scientific' doesn't mean natural science, but science in general. Traditionally mathematics was the model of all sciences. Exact sciences were the places in which human reason reveals itself. But investigations into Artificial Intelligence seem to indicate a new scientific perspective. The essential point is that the world is very complicated. In some problem solvings, even super computer cannot search all possibilities. Here human beings and computers are in the same situation. But in our everyday life, we are very excellent information processors. This means that processing of complicated informations is the mark of our intellect. Not looking for a few rules or laws (i. e. mathematical model), but the concrete applications of these rules are the main point of our intellect. Especially we find our intellectual behavior in our everyday life.

私はこの小論で、人工知能の研究を概観することによって、その研究においては知能のどの側面の研究に焦点が当てられているかを見る。そしてここから人間の知能や理性の理解について、何か哲学的観点から学ぶことがないかどうかを探究する。

コンピュータがチェスをしたり、微分積分をしたり、翻訳をしたり、積み木遊びをしたり、ある種の会話をしたりするのをみると、我々はコンピュータが知的な活動をしていると素朴に考えてしまう。そして近い将来において人間を超えた知的能力を示すのではないかと思ってしまう。我々はこの小論でこのような素朴な理解が生じてきた理由を先ず考えてみたい。これはコンピュータが——他の機械などとは違って——ことさら知的な振る舞いをするとされたのは、どういった

(知性の)側面に特に注目しているのかということとを解明することである。ここでは先ず人間とコンピュータとが同じく知性的な働きをしていると言われる場合のその共通性を取り上げようとするのである。

さて、コンピュータは高速に計算ができ——例えば先頃、円周率 π の値が一億三千万桁余りも計算された。人間の手計算では一生かかっても数十桁がせいぜいである——また計算違いも犯さない。この小論で次に問題にしたいことは、このようなコンピュータの優秀性にもかかわらず幾つかの重要な点でコンピュータは人間の知的能力に(少なくとも現在のところ)及ばないということである。私はその根拠を私なりに探究することによって、人間の知性のどういった側面が着目される必要があるかを概観したいと思っている。

そしてここで結論として提出されることになる知性の特徴は、数学的な公理体系を学問のモデルとした伝統的な知識観からはあまり注目されなかった特徴である。これは一言で言えば、この現実の世界について役立つということに焦点を合わせた知識であるということである。勿論こういっただけでは「現実の世界」「役立つ」といったことがどれほどの意味を持ちうるかは分からないであろう。従ってその点を以下順々に論じていくことにしよう。

論述の順序であるが、第Ⅰ節でまずコンピュータと人間に共通の知性についての見方を概観することにする。これは情報、記号処理として知識を捉えることである。第Ⅱ節においては、コンピュータの数学的基礎となったチューリング・マシンと現実のコンピュータとの差がどこにあるかをみておく。ここに有限性との関わりが出てくる。次に第Ⅲ節において、このような有限性に関わる問題点を解決しようと人工知能学者が行ってきたことを概観し、そこに含まれている前提を取り出すことにする。そして第Ⅳ節では、その前提を吟味することによって知識とか知能に対してどういう理解ができるかを考えていきたいと思う。

I

人間は勿論知性を持っている。しかしこの人間の知性そのものを最初から取り扱うことは、非常に錯綜した探究を必要とすることになるであろうということが予想されるので、我々はまず様々な事物において「知性がある」と少しでもいわれうるような事例を概観してみる。そしてこのような事例のうちで特に機械装置に関係する事例を取り扱いたい。ここで特に機械に注目したことについて一言述べておく。自然物の方に勿論知性を示すものが多く見られる。しかし自然物において示された知性については、その機能の詳細を明示的に

理解することは困難なのである。それに対して機械というものは差し当たり我々の意図のもとに造られ、その意味で我々はその構造や機能といったものをより捉えやすいはずである¹⁾。つまり自然をなんとか真似ようとした人間の試みは、知性の働きをどこに見るべきかを(たとえ文化的、社会的制約や限界はあるにせよ)我々にとっては分かり易い形で示してくれるように思える。

それでは例えばどのようなところにその知性の実例が見出されるのであろうか。例えば単に正確に時を刻む時計は、我々の知性によってつくりあげたものではあっても、それ自身が知性的な機能を果たすとは思われない。それに対して、障害物を避けて走り回る玩具や、火かげんを調節しつつ御飯を炊きあげるマイコン炊飯器などには何か知性が働いているような印象を受ける。これは赤信号で止まっている犬や、危険な場所を避けて遠回りしている犬を見て、なかなかかしい犬だと思ったりするのと似ている。このような場合私はどのようなところを見て、知的な働きの印を見つめるのか。

結論的に言えば我々は「機械的な」正確さとか、融通のきかなさとは対比された柔軟な操作、機転がきくような動きに対してその動物や機械の「かしこさ」を見ようとしているように思える。従って上の玩具や犬が結局はきまりきった動きのパターンしか示さないことが分かったら、やはり機械にすぎないとか畜生にすぎないかと思ってしまう。そこに本能的、機械的な働きを見てしまい、「かしこさ」はみかけだけのものに過ぎないと納得してしまう。それでもこの「機転がきくような動き」は、知的な行動の徴表にはなっている。従って我々はこのような徴表に注目した上で、この行動を現代科学はどう理解しようとしたかを見ていくことにしよう。

機械をどのように制御 control できるかということがそこでの問題である。そして「これを実現

するためには、制御される装置の特性もよく知られていないといけないが、何よりも、時々刻々、制御が意図通りに行われているかどうかを観測し、その情報に従って操作量、つまり対象にはたらきかける力や熱などの類をうまく調整するような機構、いわゆるフィードバック機構が不可欠である²⁾。そしてこのような制御は結局は情報の問題であるとして、機械と生体の両者の制御機構を統一しようとしたのがウィナーである³⁾。このような考えを受け入れた場合には、知的な働きは、結局は情報ということと関連してのみ理解されることになるであろう。

さてこの場合「情報」という言葉を使うことは「知性」を解明することにどのような意味をもつのか。知識は人に与えても(教えても)減るものではない。この点は情報が物理的存在と異質であることとうまく整合する。つまり物は人に与えると減るのに、情報はそうでない。情報は複製をしても同一性をたもつ。新聞は何万部刷ってもその情報が増えるわけではない。ここでは質量保存の法則が成り立っていないことに注意すべきである。さらに情報理論を通じて次の二つの点が考慮できるようになった。まず情報の「量」ということがシャノンによって数学的に問題にできるようになった。次に情報はそれを発する物理的存在とは一応無関係に取り扱うことができる。たとえどういう成分や要素からできていても(真空管であれシリコンチップであれ)そこから発する情報は同一でありうる⁴⁾。

しかしここで情報の量と物理的存在からの独立性という「情報」のもつ二つの特徴に関してコメントをつける必要がある。まず、シャノンが主として問題にした情報量は、或る情報を通信する場合雑音があるためにどれだけ正確に相手に伝わるか分からないというところに目を向けた研究となっている。従って例えば述べた言葉がそのまま相手

に伝わることで満足してしまう。従ってこの場合では、相手の意図といった意味に関係する部分は考慮に入れられていないことになる。また第二に情報は物理的存在とは独立だとはいっても、勿論完全な独立を意味するわけではない。例えば計算機の速度の実際的な限界は熱の放散の限界で決まる⁵⁾。つまり情報を発するものは(たとえ何でもできていてもかまわないにしても)少なくとも或る物体でなければならず、従ってその点で一般の物理法則に従わなければならないのである。

しかしともかく、情報という概念は知識ということを理解する上で重要な役割を果たすことは承認されるにしても、勿論それだけですべてが片づくわけではない。例えばマッカロックとピッツは神経細胞のシステムをモデル化した。ここにはフィードバックの考えを中心に神経のオン・オフと電気スイッチのオン・オフとの対応が考えられていた。そしてこの情報理論的考えを押し進めれば、結局複雑な脳細胞の全体も理解できるものだと考えられていた。しかしこの試みは単純な場合を越えてはうまくいかなかった。そして、単純な場合では人間の高度な知性の働きを示すことはありえなかった。現在のコンピュータでの情報処理は、単なるフィードバックやオン・オフ技術を越えた「記号の操作」というレベルで行われている。コンピュータを記号操作機とみなす観点こそ、人間の知性を更に解明する観点である。つまりハードウェア構成のレベルではなく、ソフトウェアのレベルで知性を実現していこうとするのである⁶⁾。

それではこの情報「処理」、記号操作という観点はこういった論点を含んでいるのか。脳の神経系を作りあげようという観点(ハードウェアを中心とする観点)とは違って、情報処理(information processing)の観点は情報がどのように処理されるかを問題にする。つまり「どのような刺激にどのような反応が生まれるか」という点だけ

でなく、いかなる思考、判断のプロセスの結果、そのような反応が出現するのかを説明しようとするのである⁷⁾。この場合、或るシステムの働き方、機能といったことにのみ注意が向いていて、そのシステムを実現するハードウェアが何から出来ているか（例えばニューロンかシリコンか）には関わらないことが一つの論点である。これは情報が物理法則とはある意味で独立しているという論点とも関係し、また研究の進め方からいっても、脳のシステムを構成した後で知能を考えていこうという試み（この試みは非常に複雑なシステムではかなり困難である）に対して、まず記号処理という仕方で人間の思考の機能との類似性を概略的にでも取り扱った上でそれを徐々に詳細に展開していこうという試みと関係している。前者の試みにおいて高次の知能を部分的にでも示すようにするためには、人間の脳のような非常に複雑な構造をまずつくりあげなければならないであろう。それに対して後者の試みでは、コンピュータの上で高次の知能をシミュレートさせることは比較的容易である。つまりそこでは我々が取り扱い易い仕方でモデル化から初めて、知能を考えていこうとするのである。勿論ここには記号が取り扱い易いということの他に、我々の思考は基本的に言語を用いているという考えをとる限り（そしてこの考えは現在では有力である）記号処理は人間の思考のモデルとして非常にぴったりとしたものであるということも関係している。更に、情報理論でなくて、情報処理という観点は知能ということであらわす振る舞いの領域を拡大させた。前者においては行動の適切な制御という面が注目されたのに対して、後者では数学、論理学、また言葉による会話といったプロセスにも問題解決という観点から関わるができるようになった⁸⁾。

さてこのような立場を押し進めることによって、人間もコンピュータも知的だといわれる限り、同

様に物理記号系 physical symbol system として理解できるということをニューエルは主張する⁹⁾。記号をもちそれを操作でき、しかもこの物理空間内でそれを実現することのできる系が物理記号系と呼ばれる¹⁰⁾。そして知的な系はなにかを達成する前に達成すべきことの内容、目標をもっていなければならない。そしてこのためには目標を求めるために必要とされる解の状態を蓄える必要があるが、この状態は際限なく増大しうるのでそれを指示する方法は記号以外にはないと考えられる。また多様な環境の要請に対して、知的な系は適切な応答を返す。そしてこのとき汎用性を示すほどの柔軟性は記号系しか与えることはできない。このようにニューエルは論ずるのである¹¹⁾。

ここまで論じてきて、コンピュータ科学の観点で知性を理解するさしあたりの結論が得られた。私は状態空間の設定、また環境に対する柔軟な適応において記号が示す役割を十分認めることができる。ただしこれで問題が全て片づくわけではない。つまり勿論記号以外はこのようなことはできないと結論づけたり、ここにいう記号がコンピュータとも共有しうるようなものであると主張することは保留しておく¹²⁾。この点は人間の思考がコンピュータの「思考」と同一といえるかどうかという問題と関係している。しかしコンピュータ科学はすでに出来上がってしまった学問ではなく、発展しつつある学問である。学問固有の方法、パラダイムといったものも確立してはいない。従って何人かの人工知能学者の提出したモデルをそのまま受け入れるのではなく、これらの人々が人工知能を実際につくっていったとき、共通に困難を見出していた箇所を大局的に取り出す方が価値があると思われる。要するに我々の探究方向としては、コンピュータは考えるかという問題を直接取り扱うことによって、アプリアリに記号処理の考えを否定し、コンピュータ科学の全体的否定を

目指すのではなく、差し当たり記号処理の考えを受け入れた上でどこに問題があり、どこに解決の方向があるかを問題にしたい。この方が現時点としては適当ではないかと思われるのである。つまり人間の知性は物理記号系だという主張を絶対譲れない公理だとするのではなく、暫定的な仮説として、一つの導きの糸としてのみ位置づけたいと我々は考えている。

従って人工知能の原理的可能性といったことを哲学的に問題にするのではなく、人工知能の研究においては知能のどのような側面が注目されているかを見ることによって従来からの哲学的、心理学的探究においてそれほど注目されないままであった知能、知識の側面を解明することが差し当たり必要になると考えられる。つまり機械にできないことを人間の知能の特徴だとして自己満足するよりも、機械に知能を与えようとして困難を感じた点はどこなのかを明らかにし、その問題の所在を探究することが差し当たりの我々の課題である。

II

我々はまずコンピュータの数学的基礎を取り扱う。これはチューリング・マシンと言われるものである。チューリング・マシンは本体とテープから成り立ち、本体は幾つかの内部状態をとりうる。それにはテープのます目を読み、書き込むことのできるヘッドがついている。またテープを一度にひとます分だけ前後に送ることができる。そして何をテープに書くか、前後のどちらへ送るかは、本体の内部状態とテープから読んだ文字によって規則的に決定している。また本体の次の内部状態も現在の内部状態と読んだ文字によって決定される。このときコンピュータのCPUと命令の記憶が本体にあたり、データ記憶がテープにあると考えられる¹³⁾。

まず数学的基礎としてのチューリング・マシン

においてはコンピュータのハードウェアはどんなもので実現されていても関係なく、ただその機能だけが問題にされていることにも気付かなければならない。従って、ハード・ウェアを構成するために神経系を数学的に記述するという立場ではなく、記号処理という立場で（勿論、目に見えるように動いているわけではないので処理ということとは奇妙に響くかもしれないが）捉えられている。そしてチューリング・マシンはある意味では現実のコンピュータの理想化になっている。この理想化において捨象されたものが何であるかを我々は、以下考察していく。

さて話をチューリング・マシンの機能にもどしてみよう。ここに含まれている基本的な考え方は、このような単純な機能さえあれば、「アルゴリズム」¹⁴⁾のあることならなんでもチューリング・マシンは行うことができるということである。このなんでもできるということは、人間の知能の汎用性と類比的である。そしてまた外から任意のプログラムを与えることによって、そのプログラムを実行できる万能機械がつかれる。これはどんなコンピュータでも模倣できる能力をもつ汎用型コンピュータだと考えられる。

チューリング・マシンは機械的に実行できることなら何でも実現できる。しかしここには限界がある。それは任意のチューリング・マシンが或る入力に対して停止するかどうかを判定するアルゴリズムが存在しないということである¹⁵⁾。これはある種の問題はアルゴリズム的には解決できないことを意味する¹⁶⁾。さてチューリング・マシンの停止問題においては、機械的に実行できる手続きということと有限の時間内での停止という点が注目されている。前者の論点は、機械に実行できるほどに曖昧性をなくした明確に定義された演算が必要だということである。（この論点はコンピュータ、人工知能においても引き継がれている。）そし

て後者の論点は——これがある意味での理想化につながっているのだが——ただ単に無限ではないということが着目されている。つまり差し当たり、有限時間で——有限とはいっても1分でも1年でも1000万年でも同様に有限だ——停止するアルゴリズムが存在するか否かということにのみ関心が集中していた。そしてアルゴリズムが存在した場合でもそれが良いアルゴリズムであるかどうか、従って計算の手間がどれだけかかるかという問題は、「数学者にとって、コンピュータの登場によって初めて問題として意識された」¹⁷⁾。

この計算の手間を数学的に問題にしようというのが、計算量の理論 Theory of Computational Complexity である。ストックマイヤーとチャンドラーは、どのような理想的なコンピュータでも「原理的には解決可能ということがわかっている、ある数学の問題を解くのに、少なくとも200億年かかることを証明した」¹⁸⁾。このことは少なくとも数学において解決可能であることと、我々が実際に解答を得るといふこととの間には大きなひらきがあることを示している。

更に公理からの演繹による論理学の証明ということを考えてみよう。ここでは我々が「記憶容量と計算時間に関して、一定の限界を持っているという有限状況に置かれている」¹⁹⁾ ことが問題とされている。理想的な形式的演繹手続きのみを持つことは、与えられた任意の一階述語論理の文に対して、有限回のステップの中で、形式的に証明あるいは反証を与えなければならないということである。しかしこれはチャーチの定理によって不可能であることが証明されている。ここでは記憶容量と計算時間の有限性のみを問題にすることによって数学的な限界が示されている。しかも「相手が有限なら、全部調べれば解けるはずだ」というのが、伝統的な数学の態度であった。しかし、「今月の給与計算が3ヶ月先までかかったり、明日

の天気予報に10日もかかったりしては意味がない」²⁰⁾。この意味で有限性の段階を認めることが重要である。ここでは無限の手順ではなく有限の手順で答えが出ることに満足しそれを現実的な可能性として見る見方から、この有限性を更に区分して我々人間の認知的資源の有限性を考慮に入れて考えるということの方へと見方を変えることが重要になる。そしてこれがコンピュータの発達とともに問題にされるようになったことである。

この点は単に物理記号系としてのコンピュータだけの問題ではなく、我々人間にとってもすくなくともアルゴリズム的に、形式的演繹手続きに忠実に従う限りは、この認知的資源の有限性の主張を顧慮せざるをえなくなるであろう。いわゆる論理的厳密性や根拠づけを重視する限り、この意味での有限性は問題としなければならないであろう。そして我々が物事を処理するときに必要とされる知性、知識を考える限り、いわば知識のダイナミズムを考える限り、以上述べた有限性は本質からはずれた単に偶然的な問題として片づけられないことが以下更に明確になるであろう。

III

以上の論点をコンピュータ科学、更に人工知能研究の具体例に即して考えて行こう。

人工知能が対象としている問題を『岩波講座 情報科学-22』に従って区分しよう。まず問題の解法が確定しているものは除外される。例えば連立一次方程式の解を求める問題がそれである。そして人工知能の問題が二種類に分けて論じられている。まず第一に問題の定義が明確にされていて、解決のための手段も定義されていて、しかも何らかの探索を要するものである。これには迷路の問題や巡回セールスマンの問題、さらにはチェスや囲碁といったゲームを行うことも含まれている。第二に定義が明確にされていない問題、例えば音

声認識や物体認識に関わる多くの問題や、問題解決のために使用できる手段や知識がはっきりしていない問題、例えば病気の診断という問題がある。

このような人工知能が取り扱う問題の区分はどのような意味を持っているのであろうか。まず問題の定義が明確であり、探索だけが問題として残っている前者においては探索における規則適用の戦略だけが取り扱うべき問題である。コンピュータをデータ・ベースと推論エンジンから成るものと考え、このデータ・ベースに入っている情報量の増大ということが問題状況として存在する。そして問題を解決するために考慮しなければならないことは、ただ解決のための手段をどのように適用するかということだけである。しかしそれにもかかわらず、コンピュータが力づくでは解決しえない場合がある。

例えばチェスをする場合、一つの局面において35通りの手が考えられ、100手ほどで決着がつくとした場合でも、そのすべての手の可能性は35の100乗通りである。これは決着にいたるまでの手の探索をそれぞれ1ナノ秒で行うにしても、すべての手の可能性の探索には10の138乗年かかり宇宙の終わりまでには到底探索しつくせないのである²¹⁾。つまりアルゴリズムが存在するだけでは不十分であって、その情報を処理する時間も考えにいれなければならないのである。

しかもここでは問題を数学的、一般的に考えているためにあらかじめゲームの木の節点について予めの理解を持つことは許されていない。ある意味で弱い条件の下での探索、つまりどの手の可能性の探索も同等の価値をもつという等質的条件の下での探索を行っている。ここでは現実世界における探索とは異なった理想化が行われており、そのため探索が現実の手掛かりや意味に基づかないものとなっている。そのため探索は問題とされるものの性質を顧慮しないものとなっている。この

等質性の条件の下で、数学的に強力な探索が行われたのである。従ってチェスのプログラムも発見的な heuristic 探索が使用されることによって「強い」プログラムになってきたのである。

後者の問題つまり問題の定義や問題解決の方法が明確でない問題においてはまず第一に問題の明確化が必要である²²⁾。そしてそのために知識の表現ということ自体を取り扱わねばならない。即ち、問題が非常に複雑でどのように定式化していかかわからないような状況を取り扱う場合には、知識の表現の仕方によってその後の処理の適否が決まってくるのである。ただし明確な定式化さえ行えば、あとはデータ・ベースに基づくある種の探索、推論ということがかたがつくはずである。

この二つの問題の捉え方は、人工知能についての強調点の置き方の相違を示す二つの時期に対応する。即ち、チェスを知能の模範としていた1950—60年代の考えから、数学やチェスのようなゲームを特殊な知の領域、つまり明確に定義された領域と考えるようになった1970年代以降の考えの変化を示している。つまり1950—60年代では「日常の経験から切り離され、教示される内容の背景知識や文脈とは独立のものとして、数量的に計測できる」²⁴⁾ものを特に知的として取り上げていたのである。しかし1970年代に入ってから「能力」の研究から「知識」の研究へと変わっていった。つまり「極めて複雑で多様な知識を、いかに有効に利用し、相互に関連づけ、新しい知識の生成や理解を産み出すに至るか」²⁵⁾が問題になってきたのである²⁶⁾。

人工知能研究は、だんだん幼年期に向かっている。ミンスキーはこういう言い方で大きな傾向を捉えようとする。1961年スレイグルは大学生レベルの積分を解くプログラムを完成した。1964年にはポプロウは高校程度の数学の文章題が解けるプログラムを開発した。そしてウィノグラード

は1971年に幼稚園の子供のやるような積み木遊びをするようなプログラムをつくった²⁷⁾。そしてこのような傾向をミンスキーは、専門的な知識をシミュレートする方が、常識的な推論のシミュレーションよりも易しいからだと理解している。「というのは常識的推論は、たいてい論理的には浅いが、種類の異なった知識のかなり多様性のある表現の操作を含んでいるからだ」²⁸⁾。専門家はまごつかずにやるべきことを知っている。明確な規則をもちその適用も過たない。これに対し常識的な推論では何をどのようにやるべきかをそのつど選ばねばならない。ここに問題を見ている。

常識的推論において働いている知性は、専門家的知性に比べて通常は劣っていると考えられてはいるが、このように見てきたところからするとそれほど捨てたものではないことがわかる。機械の上で実現しにくい知性ということは、高度の知性ということを必ずしも意味しないであろう。しかしそれにもかかわらず、知性を単に階層的にのみ理解して、常識というものが単に低次の知性にすぎないものだと主張することには留保がつけられるべきだということと言えるであろう。日常生活で機転がきいたり、融通をきかして物事を処理したりすることはそれほど単純な作業ではない。かえって数学やチェスのようなゲームをすることの方が単純な作業なのである。勿論これらは特殊な深い知識を必要とする。しかしこれが知性ということとどれほど結びつくかということには疑問がある。逆にアルゴリズムの決定していない問題でもなんとか処理する、これは非常にすごいことをやっているのである。従って人工知能の探究すべき二種の問題、及び'60年代以降の人工知能の発展の傾向を顧慮すると、常識と言われる知性のありかたを解明すべきことが我々に課題として提出されるのである。

もうひとつ別の事例を考えてみよう。以前の機

械翻訳は、暗号解読と同様に考えられていた。つまり結局は単語の置き換えに過ぎないと考えられていた。しかしこうでないことが分かってきた。言葉に曖昧性があることが、問題である。そのため解析が一義的でない。これは一義的な記号処理のみを行うコンピュータの立場からいって問題が生じるということである。これは文脈や発話状況によって多様な状況が生じていることを意味している。取り扱う場面の多様性、複雑性をコンピュータはうまく取り扱えないことを意味している。

このとき注意しなければならないことは、人間においては文脈や現実世界の知識を使うことによって曖昧性がなくなってしまうということである²⁹⁾。「人間は、シンタックスでの規則以外に、セマンティックスや実世界での制約を総合的に勘案し、シンタックス規則だけでは非常に多くある構造の可能性を減らしている。・・・計算機の場合は、逆に、個々のレベルでの記号処理能力の異常な高さが、結局のところ、考えなくてはならない解釈の組み合わせ的な爆発を招く原因にもなっている」³⁰⁾。これもいわば常識を使うことによって、多様な状況を適切に処理していることを示しているのである。機械翻訳も単に単語の置き換えと、文法にのみ従うだけならば、それほどうまくはいかなかった。そこに意味を入れてくることによって曖昧性を無くすことで機械翻訳の進歩もあったのである。常識に結びつく意味の使用ということが知性と関係してくる。

IV

以上のことをまとめてそれについて考察を行う。われわれは知性の働きについて、現実に対する適用ということを目にした。何匹かのサルにタイプライターを（もちろん目茶苦茶に）打たせても非常に長い時間をかければシェークスピアの作品が生じてくるという主張は、大英博物館アルゴリズム

ムと呼ばれる。われわれの主張はこういうしかたで生じた作品について——たとえ作品として客観的に存在するにせよ——それが知性と関係しているとは主張したくないのである。つまり実際に何らかの仕方で役に立ちうるものとして生じたものでなければそこに知性の印を見ることはおかしいと考えるのである。これがコンピュータの実時間処理と結びついた考えである。そしてここに含まれている有限性において我々は知性の姿をみようとしたのである。

我々が知的に振る舞うためには、多くの可能性を考えその中から選択することが必要になる。知識や解をデータ・ベースから検索することが必要になる。ただし問題は解の集合が非常に大きくなるということである。チェスの例のように組み合わせ的爆発がおこる。従って単に「機械的」な方法で検索を行うことは、実際問題として何も行えないということになってしまう。そこで用いられている方法は例えばウィンストンによれば、シーン解析における拘束の利用である³¹⁾。積み木の線画が与えられたとき、そこにある線が物体と背景との境界になっているかまたは二物体の境界線になっているかといったことを分類することがシーンの解析と呼ばれる。この線の分類の組み合わせは、各頂点から出る線のつながりを考えると数学的には非常にたくさんあるが、実際に物理的に可能な組み合わせは非常に少ない。これは現実によりうる組み合わせという、現実の拘束条件を使うことによって問題にすべき可能性が減り、検索を実際に行う場合に有利になるということである³²⁾。

ここでまず考えなければならないことは、我々が取り扱わなければならない対象は、非常に多様であり、多量であり、それに対する解釈や理解も単純ではありえないということである。即ち、スーパーコンピュータを使っても、力づくでは処理

しきれないほどの情報が与えられている。しかし我々人間は日常的な仕方で生活しているとき、このような多量の情報を何らかの仕方で処理しつつ適切な行動を行っているのである。そしてこのコンピュータと人間との対比において、「常識」に含まれている知的機能をあらためて取り出すことが重要になる³³⁾。機械を知的にしようという人工知能の研究において、我々のもつ常識（専門知とは区別された）の機能を解明する必要が叫ばれていることは、非常に特徴的なことである。

それでは常識を使うという状況、つまり複雑で多量の情報を我々は実時間でどうして処理しうるのか。まず第一に論理的可能性を考えるのではなく、現実的可能性を考えるということがそこに関係している。そして第二に現実的可能性を考えることがその情報を何らかの仕方でまとめること即ちその意味を理解することと結びついているということである。我々は無意味な探索まで行ったりしようとはしない。例えば机の上にある本の位置を少しずらしたからといって、その本の重さ、色、形等々も非常に変化するとは普通は考えない。一部のものの変化がどれだけの事柄にまで変化を及ぼすかをある程度限定できる。しかしコンピュータではこのように当たり前におもえることがらも、いちいちプログラムしておかねばならない。このためコンピュータは多量の情報処理をすることによってしか、結論を下すことはできないのである。従ってこういった当たり前のことを知っていることは情報処理において重要である。この点を物事の意味を知ることという仕方で理解し、その点を更に詳細に解明することが人工知能研究の課題である。そしてこれは結局我々の有限性が知性の常識的使用の必要を要求し、更にそのことは物事の意味を知ることと結びついていることを示している。

さてこのようにして情報処理という観点で知性

のすがたをみても——単純な物理記号系という理解を貫徹できるかどうかにも疑問は生じるがその点ここでは問題にしないにしても——現実の多様性ということそしてその多様性を我々は常識という仕方であまりうまく処理しているというこの二つの面に着目しなければならない。

この点を更に考察するために、言語理解と Vision との相違をみておこう。前者においては曖昧性を除去するために、意味を導入しようとするのであるが、その具体的方法は、例えば格文法を使うことである。つまり動詞を中心に考え、一つ一つの単語に格を表す幾つかのマーカ―をいれておくことがその方法となっている。従って言語理解においては、単語の一つ一つについてこのようなことを示すように辞書をつくるのが非常に重要になる。そしてこの辞書づくりとともに——それは非常にたいへんな作業であるが——言語理解や機械翻訳は進歩を示している。これに対して Vision の場合はそううまくいかない。例えば線画の場合は、積み木のように単純な物体からなる場合には現実の拘束を単純な仕方で表現することによって割合にうまくいった。しかし実際に与えられたものが何であるか——例えば本であるか箱であるかの弁別——は、それらが単純な種類に類別されていない限り、ほとんど不可能である。これはいわばわれわれに視覚的に与えられている対象は単純に取り扱えないほど複合的であることを意味している。我々に与えられる直観の多様性をここで再認しなければならない。

ここからどういうことが理解されるであろうか。まず、言語的な分節化なしには我々はこの世界を見るができないとはよく言われることだが、上の Vision の場合を考えると、マーカ―という仕方での分節化によっては視覚的情報を処理しきれないことがわかる。しかも実際上われわれは視覚情報をも処理し、それを利用している。このことは言

語的分節化ということでは単純に解決しない情報処理を我々が行っているということを示唆する³⁴⁾。

同様の論点を更に追求していこう。例えば、自然を知るということを考えてみよう。この場合でも、自然法則を知るというだけでは、我々が現実に役立てうる知識としては不十分である。多様な意味づけを含んだものを知る必要がある。これはある程度多量の情報処理をする、例えば Vision についての情報処理をすることができなければ、自然法則や数学といったものを知っていても、それが生きて働く知識とはなりえないことを意味する。規則や法則を重視して、単に一般的知識の適用としてあとに残る個別的な部分を軽視することは、現実の多様性を本当に処理しうる知識にはなりえない。

さてこの数学的、論理的モデルは、問題や定義の明確化から始まらねばならない。逆に言うと、明確化から始めることができるということは、それらのモデルが取り扱える世界が限られていることを意味する。現実には過去の経験がそのまま使えるような状況はまずない。ノーマルでない状態が生じうる可能性を含んでいる現実の多様性は、定義から始めるという仕方では最初から世界を限定することによっては捉えることはできない。少なくとも非常に困難である。我々は世界の詳細を予め見通して、それに合うように公理をつくったりはできない。勿論、積み木の世界といった限定された世界においては、何がおこりうるかを予め予測できるのでそれを顧慮しつつ、公理や規則をつくっておけばいいだろう。しかし前にも少し述べたように、物を少し動かすだけでも、その他の物の状態がどう変化するかというフレームの問題はなかなか解決が困難である。このように、常識が働く場合の情報処理は、情報量が多いということとも関係して数学的、論理的な公理的モデルではなかなか取り扱いにくい。これら

のことを勘案してみると、我々は数学的なモデルで知識を理解することから、常識を作り上げていく「意味」を考慮した知識や知能の理解が必要になると思われる。

結局コンピュータが、チューリング・マシンとは区別されて、物理的な体をもつことになったということが、重要である。このことによって人間の理性のすばらしさにあらためて気付くようになった。このとき当たり前と思われていたことが、探究を要することだということが分かってきた。

これは現実を知ることによって意味や対象を確定するということである。論理的に可能な世界でなく、現実的に可能な世界を問題にすることによって、われわれは問題の解決を行っている。そしてそこに「こそ」知能の働く場所がある。ここで「こそ」と言っても「のみ」と言えないことにも注意したい。有限的条件を持っているからこそ知的能力の発揮ということに意味がある。

これは全くの懐疑論から始まるのではない、絶対確実な知を持つことをもとにするのではない場所にも、理性の働く場所のあることを示すことになる。自然の調和やコスモスに驚き、自然の支配をめざすことは理性の支配として理解されていた。そしてこの立場ではラプラスの魔（初期値と微分方程式を知ることによって世界の未来をすべて知ってしまう）が最高目的となるだろう。しかしこれは我々の知性の理想とはなりえない。ラプラスの魔は、我々とは異質の知性にとっての理想である。従って、この魔と比べて、人間の理性に限界があると嘆く必要はなく、逆にこういう点で理性に限界があるからこそ我々の理性の素晴らしさが発揮されるのである。いろいろな場面で適切な行動を行えることもまた、驚くべきことである。この点に驚くことによって、我々はこのことの探究へと駆り立てられることになる。

注

- 1) cf. A. Newell and H. A. Simon "Computer Science as Empirical Inquiry" in J. Haugeland ed. "Mind Design" p.36
- 2) 高橋秀俊『岩波講座情報科学1』p.107
- 3) ウィナー『サイバネティックス』
- 4) 高橋秀俊『岩波講座情報科学1』p.211には、これと関連して情報科学は抽象的学問だと言われている。
- 5) 高橋秀俊『岩波講座情報科学1』p.215
- 6) この段落の論点については、P. McCorduck "Machines who Think" p.46 f. を参照。
- 7) 佐伯胖『認知科学の誕生』in『認知科学への招待』p.32
- 8) 例えばニューエルとサイモンは Logic Theorist というプログラムをつくった。それは人間の問題解決のやりかたをシミュレートした。つまり人間も間違えてできなかった問題は、このプログラムも同じように間違えることによって、プログラムが人間の高次情報処理のモデルになりうることを実証した。(cf. 戸田正直など『認知科学入門』p.5)
- 9) A. Newell "Physical Symbol Systems" in ed. by D. Norman "Perspectives on Cognitive Science" p.71 ff.
- 10) A. Newell "Physical Symbol Systems" in ed. by D. Norman "Perspectives on Cognitive Science" p.38
- 11) A. Newell "Physical Symbol Systems" in ed. by D. Norman "Perspectives on Cognitive Science" p.74
- 12) この論点に関しては例えば、コラーズとスマイズ『記号操作——心の計算説を超えて——』in 佐伯胖編『認知科学の基底』を参照。
- 13) このあたりの叙述に関しては、例えば、高橋秀俊『岩波講座情報科学1』p.72 ff. また、ホップクロフトとウルマン『言語理論とオートマトン』p.95 ff などを参照。
- 14) クヌースの規定によると「アルゴリズムとは、特定の入力から特定の出力を求めるための規則あるいは指示の集まりのことである。アルゴリ

- ズムの特徴は、すべての曖昧さが追放されねばならないことである。すなわち、規則は、簡単に機械に実行させられるくらい明確に定義された演算を記述するものでなければならない。さらにアルゴリズムは、ある有限のステップのうちに、かならず停止しなければならない。」p.8 『アルゴリズム』D. E. クヌース in 『別冊サイエンス コンピュータ数学』
- 15) ルーカスはゲーデルの不完全性定理から機械論を否定する議論が導かれると考えている。これに対する反論としては、内井惣七『ゲーデルの定理とコンピュータ』in 『理想』No.617 を参照
 - 16) これは明らかに限界づけではあるが、その限界はまだ非常に広い。原理的に計算可能というだけでは、言葉をうまくつなげれば深遠な真理も表現される、と単に述べているようなものであって、このようなところで問題にされる限界は知的かどうかにはまだたいして関係がない。
 - 17) 廣瀬健『はじめに』in 『コンピュータから生まれた新しい数学』p.2
 - 18) L. J. Stockmeyer/A. K. Chandra "Intrinsically Difficult Problems" in "Scientific American Vol.240, No.5" p.140
 - 19) Ch. チャーニアク『計算の複雑さと論理の普遍的受容』in 『認知科学の基底』p.169
 - 20) 一松信『編者序文』in 『別冊サイエンス コンピュータ数学』p.4f
 - 21) ウィンストン『人工知能』p.91
 - 22) コンピュータで実現するためには、アルゴリズムや手続きを規定する必要がある、明確な定義は必ず必要とされる。
 - 23) このあたりのことについては、淵一博『コンピュータと認知科学』in 『認知科学への招待』をも参照。「言語と知識」という問題意識という表現もある。『第5世代コンピュータの理論的諸問題』淵一博 p.652 in 『科学』1981/10 さらにこの時期には「意味」への関心が前面に出てきて、言語理解が問題にされてもいる、という指摘もある。p.654『同上書』
 - 24) 佐伯胖『人工知能と認知科学』in 『認知心理学講座3』p.224
 - 25) 佐伯胖『人工知能と認知科学』in 『認知心理学講座3』p.225
 - 26) 同様の論点については、R. E. Schank "The Cognitive Computer" p.29 f. 参照
 - 27) cf. M. Minsky "Computer Science and the Representation of Knowledge" in "The Computer Age" p.404
 - 28) M. Minsky "Computer Science and the Representation of Knowledge" in "The Computer Age" p.405
 - 29) T. ウィノグラード『自然言語処理』in 『別冊サイエンス74』
 - 30) 辻井潤一『人間の言語と計算機システム』in 『理想』No.617, p.373
 - 31) ウィンストン『人工知能』p.44 ff.
 - 32) 文章の解析でも格文法を使って意味を入れることによって、拘束を用い、曖昧性を減らすことができる。ウィンストン『人工知能』p.70 ff.参照。
 - 33) ここで知的といったのは、常識においては単に情報をランダムな仕方において排除しているのでなく、少なくとも我々がうまく生活できるように情報を圧縮しているように思えるからである。つまりまったく非合理的な仕方を利用してはいるのではないが、これまでのところこの常識に含まれている規則や論理といったものは解明されていない。つまり 現在提出されているフレームや非単調論理といった仕方で簡単にけりがつくとは思えない状況である。
 - 34) 「認識と知識との関係は、単に形式的な知識を持っていれば、それを外界にあてはめて「ものを見る」ことができるというような単純なものではない。外界の情報には知識に対して敏感に作用するものとそうでないものがあり、その違いは、知識をその人がどのように構造化しているかにも依存すると考えられるのである。」p. 164 f. 『知識と表象』安西祐一郎