

Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 コンピュータサイエンスと認知科学  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 田中穂積  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science  
 Computer Science and Cognitive Science Computer Science and Cognitive Science

はじめに

「認知科学への招待」(NHK ブックス)の第五章の冒頭で、淵一博氏は次のように述べている。

「認知科学の構想は、心理学・言語学あるいは哲学などのいわゆる文学部系の学問と、情報科学・コンピュータ科学などのいわば工学部的な研究を結合し、「知」(Cognition)というものに総合的にアプローチしていこうとするものといえよう」

いうまでもなく、コンピュータ科学の側からの「知」へのアプローチは、人工知能とよばれる研究として知られている。

人工知能の研究は、知的なふるまいをするコンピュータを作りたいということから生まれたが、それを実現するためには、困難な問題が山積みしているというのも事実だろう。そうした問題の幾つかを解決するために、我々人間の知的機構に関する研究成果を利用したいというコンピュータ学者(とくに人工知能の研究者)の期待と、人間の知的機構を暗箱としてではなく、透明で操作可能な構造を持ったモデルを構築することにより解明したいという心理学者、言語学者、哲学者等の期待とが結合して、学際的な学問分野としての認知科学が誕生したとあって良い。

ここで注意すべきことは、透明で操作可能な構造を持ったモデルとして、コンピュータ上で実働するモデルが取り上げられていることである。認知科学の研究にコンピュータが不可欠であるとはいえないが、人間の「知」の機構の解明に、コン

ピュータが大きな武器となりうるという認識、そしてそれはコンピュータ上にプログラム化された動くモデルを通じてであるという認識は、認知科学研究の重要なパラダイムを提供する。

人工知能の研究と認知科学

コンピュータサイエンスの側から認知科学を眺めたとき、その具体的な接点は人工知能の研究にあることを前節で述べた。そこで、幾つかの人工知能の研究テーマを取りあげて、認知科学との関連を調べてみよう。

人工知能(Artificial Intelligence; AI)の初期の研究は、ゲームをしたりパズルを解いたりするプログラムを作ることに主眼が置かれていた。これは、ゲームをしたり、パズルを解くことが、人間の知能と深く関連することから、それをコンピュータに代行させることにより、知的にふるまうコンピュータ、すなわち人工知能が実現したと見なしうる、とする考え方に基づいている。ゲーム・パズルの研究は、必ずしも現在の認知科学の研究の最前線にはない。

現在、チェスでは世界チャンピオンを打ち負かすほどのコンピュータ・プログラム(チェスマシン)が実現している。それなのに何故チェスマシンが認知科学の研究対象として生き延びなかったのだろうか。

数値計算についても、人間の知能と関連するにもかかわらず、数値計算機構そのものが人工知能の研究者の興味の対象とはならず、したがって認

知科学の主な研究対象とならなかった理由と相互に関連し合うものがある。現在のコンピュータは、人間とは比較にならない程の速度で数値計算をやっている。速度だけでなく、その精度は天文学的な桁数にのぼる。ところが数値計算そのものは単純な四則演算を繰り返し実行することに還元される。数値計算に関する限り、コンピュータは、この単純演算を驚異的な速度で実行するマシンでしかない。そしてこれはむしろ人間の知能の不得意とするところである。これが、人工知能の研究者の興味を引かなかった主な原因であろう。

これと同じことが、現在のチェスマシンについてもいえる。現在のチェスマシンは、現在の技術で可能な限り高速のハードウェアで、力づくで、相当数の可能な手を可能な限り先まで(短時間に)読み進めることを原則としている。したがって、これを原則としたチェスマシンの能力は、手数と共に指数関数的に増大する盤面を記憶する膨大なメモリと、それに高速にアクセスする超人的なハードウェアの能力とに依存している。チェスの規則そのものは比較的単純であるから、可能な手を次々に生成し、その結果を調べることは、比較的容易である。以上から分かるように、この力づくの方法により、チェスマシンの能力は飛躍的に向上したものの、これもまた人間の知能の柔軟さ、複雑さとは無関係であるということが理解できよう。

チェスやチェッカーのように、力づくで可能な手を片はしから調べるができるゲームについての研究は、人工知能の研究対象から次第に遠ざかる。

しかし、コンピュータの腕力をフルに生かしてもうまくいきそうにないゲームもある。たとえば囲碁がある。このようなゲームは、人工知能の研究として、また認知科学の研究として生き残っているといえよう。囲碁についていえば、局所的な盤面把握と、大局的な見地からの盤面把握とをどのように統合し総合的な判断を行なうかは、高

度に知的な問題をはらんでいる。高段位者であっても、次の一手としてどれが最善か判然としない局面は随所にあられる。

我が国では、ゲームの研究を遊びと見なす傾向がある。しかし、力づくでの計算に限界のあるゲームの研究は、認知科学的にも面白い問題を多数含んでいる。囲碁の局所的判断と大局的な判断とを統合化することは、パターン認識の問題とも関連する。あるパターンを認識する場合、パターンの局所的な性質を積み上げて(構成的に)全体パターンの認識を行なう方法には限界のあることが知られている。局所的でより具体的な分析結果をボトムとよび、大局的な判断をトップとよぶことにすれば、ボトムアップ的な手法とトップダウン的な手法との統合化が大きな問題になるということの意味している。これは人工知能や認知科学の核心的な問題でもある。

最近我が国の第五世代コンピュータ計画で、囲碁のプログラムが研究テーマとして取り上げられているのは、上記した問題意識からであろう。今後の成果に期待したい。

#### 画像理解と認知科学

線図形のことを図形とよび、濃淡のある図形を画像とよんで使い分けることがある。ここでは両者を一括して画像とよぶことにする。

画像理解は、人工知能の研究では知能ロボットの研究と関連している。初期の知能ロボットとして、目と手を持ち、積木を操作するハンドアイ・システムがある。積木の世界は、円と直線であらわすことができるから、積木の世界の画像から、個々の積木を認識し(目の機能)、その結果を用いてロボットが手による操作を行なうことは比較的簡単であると考えられた。

これらの実験から明らかになったことは、手の操作そのものは機械工学の分野の研究に属し、認知科学の研究対象とはなり難いということと、目の研究は、認知科学の研究に豊富な土壌を提供す

るということであった。

画像の認識についていえば、テレビカメラから得られた画像データ(生データ)量が大量である。そのため、何段か処理を施して、より高次のデータを抽出して行く必要がある。この処理手順として、どのようなものを考えるべきかについて、まだはっきり分かっていない。最近では、高次の処理を行なうために、何らかの知識が必要であると考えられるようになってきた。

以上のような認識から、フレームとよばれる知識表現形式が生れた。フレーム形式といえば、言語理解システムとの係り合いを知っている人も多いと思われるが、フレーム形式は、パターン認識を行なうための枠組として発想された。この段階での高次の処理は、画像であろうと言語であろうと、人間の認知過程の中核にある共通の理解プロセスに還元されうると考えることは、自然であると考えられる。フレーム形式の提案は、そうした方向への具体的な一歩であったと見なされよう。

画像処理の高次の処理のレベルでは、特定の処理を得意とする専門家群がおり、それらが逐次的に動作するのではなく、並列的に動作しうると考えるモデルが提案された。そしてそれはまた新たな問題を提起することにもなった。個々の専門家は比較的他と独立に並列的に動作するが、それでは全体としてある目的(今の場合画像理解)を達成する方向にどのように制御して行ったら良いかという問題である。これは、単に画像理解を越えて、認知科学全体にかかわる大きな研究課題であるといえよう。最近では、神経生理学のレベルでの画像処理の研究との結合も意識されはじめている。

#### 音声・言語理解と認知科学

音声についても、画像理解と認知科学の項の後半で述べたことが、そのままいえる。人間の発声する音声は、マイクロフォンによって電気的な波形に変換される。この音声波形に様々な信号処理

を施して、次第に高次の、したがって言語理解のレベルに至ることが、音声理解システムの目的である。その過程に、様々な段階があると考えられている。

音声理解における一つの問題は、波形処理結果から、音素に相当するものをどのようにして抽出するかである。これには、音素というものを物理的に定義することができるのか、物理的に定義できるとしたら、それはどのようなものであるかかはっきりしないという問題がある。音声波の一部を切り取り、その両側に様々な音声波を置いて、切り取った音声波の「聞こえ」を実験すると、切り取った音声波の両側に、どのようなものがあるかにより、切り取った音声波の「聞こえ」が著しく異なることが知られている。これは聴覚心理という学問分野を生み出している。今後、この種の研究に、認知科学からのアプローチが大いに貢献すると思われるがどうであろうか。

音声理解におけるもう一つの問題は、音声には音声理解に本質的な役割を果たすとは思えない信号(ノイズ)が含まれていることである。たとえば、個人差のある声帯(音源)信号、パワーの強弱などがある。これらをどのように除去するかは大きな問題である。その除去がある段階で完全に行なえない場合には、一段高次のレベルで除去することになるが、ノイズを含む時系列信号をどのように扱うか、(おそらくそこで高次のレベルの知識を用いることになるだろう)その知識とはどのようなもので、それをどのように使うかという認知科学の中核的な問題が関係してくるだろう。

連続音声については、連続した電気信号のどこに単語と単語との間の切れ目があるかを発見するための良いモデルがない。セグメンテーションの問題とよばれているものである。これは、先に述べた音声波の「聞こえ」の問題とも関連するだけでなく、より高次の言語レベルの知識をも必要とすることになるだろう。したがって、セグメンテーションのための良いモデルを構築するためには、

学際的な研究の場が必要であることは明らかだろう。

言語理解は、音声理解の最終段階で必要になる重要な認知過程である。言語理解に関しては、文字で書かれた文を対象とすることができるため、そのレベルから、いかに言語理解を行なうかが、言語理解システムの中心課題になっている。言語理解過程は、人間の「知」の機構と密接に関連している。

音声と同様、言語理解についても、様々な処理のレベルが考えられている。辞書をひいて文を構成する単語を認定するレベルの処理、文を構成する単語の品詞の並びを見て文の構文構造を明らかにするレベルの処理、文の意味を処理するレベルの処理、前後の文脈から文の意味を総合的に判断するレベルの処理等である。

我々が言語理解を行なう過程を内省してみると、このような各種レベルの処理が明確に分離されており、それらが徐々に逐次的に実行されるとは考えにくい。むしろこれらのレベルが比較的強く融合したモデルが、言語理解のモデルとして妥当なように思われる。文の構文構造を明らかにするレベルと、意味処理のレベルとを融合させる必要性は、多くの人工知能研究者が1960年代に指摘したことであった。MITのウィノグラドの作成した著名なSHRDLUシステムは、両者を融合したモデルをコンピュータ上に実現してみせたことになったといつて良い。それ以前には、それをどう行なうかが必ずしも明確ではなかった。彼はその一つの解答を与えたのである。彼の博士論文が、認知心理学 (Cognitive Psychology) というジャーナル一巻を独占して掲載されたことは、その意義の重要性を物語るものであろう。

その後の研究は、彼のシステムの弱点を克服する形で進展した。しかし、意味処理と構文的な処理とを融合する方法は明らかになってきているとは言うものの、意味処理そのものに困難な問題がある。意味構造の形式を定める問題は、知識表現

の問題と関連している。これはまた、膨大な言語学的知識をどのように表現するか、またそれをどのように獲得するかという問題とも関連している。これらはいずれも、認知科学のホットで核心的な問題でもある。認知科学でこれらは今後大きな成果が期待できる問題でもある。

前後の文脈を見ながら処理を進めることは、文脈処理とよばれている。これは、これまで言語学的な検討が最も遅れていた研究分野である。語られる文の主題は何か、それがどのように移動して行くか、代名詞は何を指すかなどといった問題に対する抜本的な解答はまだ得られていない。この方面の研究が、認知科学の側で一層深化することを期待したい。

#### おわりに

人工知能の研究に関しては、これまでの場当りの解決手法に対する反省が生れてきている。最近、その種の反省から、言語に関する問題を根本から問い直そうとする動きがある。スタンフォード大学に設立された、CSLI (Center for the Study of Language and Information) はその一つである。所長が哲学者で、言語学とコンピュータサイエンスの第一線の研究者が豊富な研究設備の下で研究を行なうものである。CSLIは認知科学そのものを目標に掲げていないが、認知科学の目差すものと一致する。我が国も、認知科学に対する啓蒙の段階を脱脚して、実質的で組織的な研究を行なう時期にきている。

[田中穂積 TANAKA, Hozumi:]

東京工業大学工学部情報工学科]