

解 説

知 識 の 表 現 と 利 用

——知識システムの満たすべき条件*——

大 須 賀 節 雄**

1. 序 論

人工知能研究は知識の科学——電子計算機がいか
に知識を表現し、取得し、利用するか——についての研
究といわれている¹⁾。これまで人工知能の分野でゲー
ム、定理証明、自動プログラム、パターン認識、自然
言語、問題解決など多くの問題が扱われてきたが、研
究が進むにつれ、これら応用志向の諸技術の根底にい
くつかの基本的な共通の問題が存在すること、その中
でも、特に知識を扱う技術が重要であることが次第に
認識されるようになった。たとえば機械による視覚的
情報の処理に関しても、単に形の認識からパターンの
理解へという発展をみせているが、この理解という行
為は知識の存在を前提として成立するものである。具
体的には外界から入力し、処理した視覚情報と、記憶し
ている情景等に関する情報との意味的一致のとれるこ
とが、情報の理解の基本である。意味的な一致をとる
には意味の同一性を何らかの形式で表現することがま
ず必要である。また理解という機能を備えた機械が実
際の場合で役立つための条件は、理解すべき対象が多数
存在するような状況のもとでも上述の一致がとれるこ
とであり、それには多数の知識の蓄積技術と、その中
からの意味の一致するものを速やかに検索する技術が
必要とされる。このような機能を備えたシステムのも
とでは、外部(入力)情報と一致した内部情報(すなわち
知識)のみならず、さらにその知識と意味的に一致する
別の知識の探索あるいは、その情報が表わす要求を満
たす手続きの生成という一連の動作が行われることを
意味する。そして最終的には外部入力に対応して、計
算機が独自の判断によって最も適切な応答を行うこと
ができる。これが単に入力情報を形態的特徴のみで分

類する識別機能と全く異なる理解機能の特徴である。

このような情報の理解という機能を、まずパターン
情報に基づいて述べたが、理解機能の必要性はむしろ
自然言語とかマン・マシン系などの技術の方から比較
的早く強調されてきた。しかし理解という機能、ある
いはその根底にある知識の表現、蓄積、利用技術に関
して言えば言語情報とかパターン情報などという外部
表現形式の相違は本質的なものではない。このことを
まず主張した上で現実には意味を表現する手段とし
て、通常われわれが言語を用いる比率が多く、言語と
いう形式と、それによって表わされる意味とが時とし
て不可分であるという事実のために、知識の表現や記
憶に関して言語情報との結びつきが強くなることは避
けられない点を指摘しておく必要がある。

言語との関係と同時に計算機内での知識を理解する
上で重要なことは、いわゆるデータと知識との関係で
ある。データも一定の約束のもとで何らかの意味を表
わす情報であるから、この限りでは知識とデータは同
じものといえる。それならデータは知識そのものである
かどうか。それとも知識性の強い情報と薄い情報と
いう区別があるのだろうか。あるとしたらそれはどう
いう点で異なるのだろうか。知識を論ずる以上、これ
らは最も基本的な問題であり、明らかにされねばなら
ないものである。これについては3.に触れる。

一方、知識研究の現状はどうかというと、現在、知
識に関する諸問題は人工知能の中心的課題として、米
国を中心に多くの研究が進められている。人工知能の
国際会議である IJCAI (International Joint Confer-
ence on Artificial Intelligence) での発表論文からも
この傾向は顕著である。しかしこの分野はまだ発展途
上にあり、知識表現一つを取っても多様のものが提案
されている。知識を扱ったものとしては Winograd
による、自然言語を理解し、限定された積木の世界内
で計算機が入力に正しく反応するシステム³⁾が初期の

* Representation and Utilization of Knowledge—Requirements
for the Knowledge Systems by Setsuo Ohsuga (Institute of
Space & Aeronautical Science, University of Tokyo).

** 東京大学宇宙航空研究所

ものとして有名である。これは知識を手続きによって表現する方法を用いている。理解ということを経験のように計算機が入力に対して正しく反応するまでのプロセスとするなら、あるいは少なくとも反応から理解の正しさを判定しようとするなら、入力情報と手続きの対応がどこかでなされなければならないし、手続きによる表現方法というのはそれなりの正当性を含んでいる。しかし一方ではこの方法は拡張性が乏しい点で不十分である。その後手続き的方法が非手続き的方法にかつては長い議論があった。この後に提案された多くの方法は（いずれどこかの段階で手続きに変換されることを前提として）知識の表現自体は非手続き的に行うものが多くなっている。この代表的な手法の一つに概念間の関係をグラフ（データ構造）によって表現することにより知識をネットワークで表現する方法がある。この方法はセマンティック・ネットと呼ばれており、Quillian²²⁾以後広く用いられている^{15), 24), 28), 29)}。これと同様に広く知られている方法が伝統的な論理表現、すなわち一階述語を用いて知識を表わす方法である^{9), 13)}。論理は言語理解の骨格とも言えるもので、これを形式化しているから、知識表現の方法としてかなり早期から用いられてきた。特に理解の中枢にあると考えられる推論方式について、1965年に Resolution principleと呼ばれる機械的推論の理論が J. A. Robinson によって発表されて以来、多く用いられるようになった。

この二つの方法は知識表現の形成としては全く異なっていて、前述の手続き的方法と共にいわば知識表現の原形のようなものであり、この他の多くの方法に何らかの形で含まれている。たとえば OWL^{1), 10)} は知識の表現と言語の結び付きと重視し、言語を知識表現の骨格とするという基本構想に基づくシステムであるが、概念間の階層関係を基本構造とするセマンティック・ネットであり、概念の組で知識が表現される。

この他、現在までに学会等で発表された知識表現の方式は数多いが、話題になったものは、すべての行為を有限の基本動作の組合せで表現する Conceptual Dependency^{25), 26)}、前提と結論の組で表わされた有限の production の組を用いて変換を行うことによって意味の処理を行う Production Systems^{1), 7), 16)}、手続き的な知識をも非手続き的形式で表現できる統一の体系を作することを意図し、“(実体に関する各種の記述を行うための) descriptor により互いに関連づけられた実体”という形式を有し検索をも考慮してそれらを構

造化する KRL (Knowledge Representation Language)^{1), 3), 7)}、その他^{4), 18), 19)}がある。

知識に基づく理解システムにとって知識の表現形式や、その体系としての知識構造を定めることは最も基本的な問題であることはいうまでもない。しかし知識の表現一つをとってもこのように多種のものが提案されていることは、この知識の技術は研究がまだやっと端緒についたばかりの若い分野であるからに他ならない。システムを構成する際、目的が異なれば形態が異なるのは当然であり、上述の各方式も目的や方針に多少の相違があることも事実であるが、それ以上に知識体系に関する明確な目標や評価の一般的基準が整っていないことも事実である。このような状況のもとで、しかも限られたスペースの中で上述の個々の提案をこれ以上詳しく紹介することはあまり意味がないし、通り一遍の説明は時に誤解のもとになる。関心のある読者は参考文献を読んで頂くこととし、以下ではなぜ機械が知識を扱わねばならないか、また知識を正しく扱うために要求されることは何かということについて筆者の見解を述べたい。以下ではこの問題をマン・マシン系におけるコミュニケーションの成立条件から考察する。このような環境を想定するのはコミュニケーションとは情報の“形式”を通して“意味”を伝達するプロセスであり、知識体系に関して最も基本的な問題である意味の定義や、形と意味の対応および変換などはすべてコミュニケーションの場で生ずること、人の場合、思考プロセスを直接観察することはできず入力情報に対する応答により理解が正しいか否かが判定されるが、計算機の場合にも同様であり、同一の基準を機械にたいしても適用するにはマン・マシンとして考える他ないことなどの理由による。事実、知識というものはコミュニケーションを通して発展してきたものであり、コミュニケーション手段としての言語によって明確に記述される。すでに述べた言語と知識の不可分の関係もここから生じている。したがって以下で述べるマン・マシン系は既成の技術の枠にとらわれない広義のものであり、計算機が人間とほぼ対等に近い立場で、同一の表現形式を用いて会話をしながら人間を援助することができると同時に物理的な性能面でも実用に耐えるという条件を設定する。

2. マン・マシン・コミュニケーションの成立条件

マン・マシン系では各サブシステムである人と計算

機とがいずれも入力—処理—出力という一貫した処理機能を有することが必要であるが、人間と同じように計算機を使えるという目的から、計算機の論理的な性能としては、

【A】 表現形式は人間同志の間の表現に近いものであり、さらに人の要求にこたえる知的能力を有すること

が必要である。一方、計算機の機構は人間のものとは全く異なるから

【B】 情報の内部表現形式および処理形式は最も効率の良い形式とし、それによって記憶容量、応答時間、コストなどの点で実現し得るものとする

が必要である。

コミュニケーションとは2つ以上の、それぞれが知的機能を有する実体間で知識の伝達をすることである。マン・マシン・システムという場において、人は計算機に前もって貯えられた情報を必要に応じて入手できること、および計算機が一定の動作を行うことによって彼の仕事を援助することを期待している。この際満足できる結果を得るためには人は自己の欲することを計算機に与えることが必要である。従来のマン・マシン・システムではこの機能が貧弱であり、これがシステムの利用度を著しく制約していた。

人が自分の欲することを完全に記述するには相当量の情報を必要とする。しばしば、これは期待している結果（応答）の情報量より大である。人間同志で会話が成立するのは、実際には両者が共通の知識を有していて、話の受け手が自己の知識により話者の情報を補うこと、それによって記述に必要な努力が大幅に軽減されているからと考えられる。このことはコミュニケーションは知識を有する実体間で始めて成立するものであることを意味する。計算機の場合とて例外ではない。すなわち、マン・マシン・システムを成立させるには、計算機は知識を保有し、それをコミュニケーションに利用できるものであらねばならない。このことはマン・マシン・システムの基本技術として知識の表現・蓄積・利用が含まれることを示す。

さらに知識の保有形式は人によりあるいは人と計算機とで一般に異なっている。これをコミュニケーションという共通の場で利用するには図-1のような相互の知識間の変換が必要である。

変換1(1')は知識から外部表現への変換で、これを外部表現生成あるいは単に生成と呼ぶことにする。こ

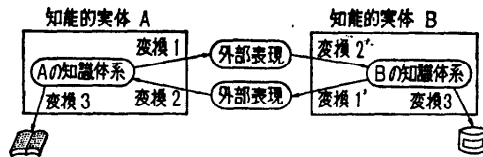


図-1 コミュニケーションにおける情報の伝達と変換

の時生成される表現の内容はもとの知識体系によって定まり、相手方の知識内容とは一般に異なっている。

変換2(2')は外部表現から内部の知識表現への変換であるが、これは形式の変換（翻訳・認識）と意味の変換（推論）とから成る。たとえばAが知識を

α : (物質 a は水に浮かぶ) $_A$

の形で有しているものとする。ここで (x) は外部表現で表わすと x であるような知識で表わし、 $()_A$ はこの知識の、Aでの個々の表現形式のものであることを示すものとする。

一方、Bは α を含むより広い範囲に適用できる形で

β_1 : (物質 a の比重は1より小さい) $_B$

β_2 : (水の比重は1である) $_B$

β_3 : (水より比重の小さい物質は水に浮かぶ) $_B$

なる知識を有しているかも知れない。 $()_B$ はB内の知識の表現形式を表わす。

すると、AからBへの話しかけのプロセスで示すと

$(x)_A \xrightarrow{\text{生成}} x \xrightarrow{\text{翻訳}} (x)_B \xrightarrow{\text{推論}} (y)_B \xrightarrow{\text{プログラム生成}} P[y]_B$
A B

という図式により各変換機能が表わされる。ここで x は外部表現、 $(x)_A$ はA内の知識、 $(y)_B$ はB内の、 $(x)_A$ に等しい意味を表わす知識とする。このような $(y)_B$ が存在する時、 $x?$ なるAの質問にたいし、Bは解答することができる。

変換3は $(y)_B$ のような形で内蔵された知識の他に、補助記憶装置に適した記憶形式を用いる場合の $(y)_B$ からの変換である。人の場合でも電話帳、時刻表など各種の外部記憶を用いるが、計算機の場合これがデータ・ベースに相当する。この場合、データ・ベースの処理には一定の手順が必要であり、変換3は非手続的に表現された質問や命令を手続に変換するプログラム生成機能を含む。上の図式で $[y]$ は (y) に対応する補助記憶内情報表現形式を表わしPはそれへの手続きを表わす。

以上は意味的処理を含むコミュニケーション時の代表的な情報の流れを示すが、総合的なシステムとしては情報の検索・命令の実行の他に随時新しい知識を付

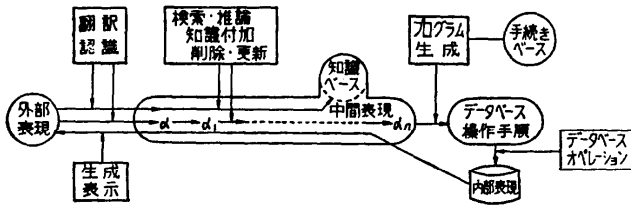


図-2 基本システム処理概要図

与し、それを以後の処理に役立てることが重要である。このような学習の機能を計算機が有することにより、人は自己の知識・経験を計算機に与え高度に知的な仕事にも計算機を利用することができる。

計算機にこのような機能を与えると共に、それが現実の場において利用できるだけの物理的性能（処理速度、要求記憶容量、コスト等）を保証することは極めて重要なことである。

以上のことを考慮し、以下ではこのようなシステムに課すべき条件を

- (1) 外部表現（言語・図形・触感等の情報レベル）
- (2) 中間表現（論理レベル）
- (3) 内部表現（物理レベル）

の三段階に分けてさらに具体化する。これら各レベルは図-1からも明らかであるが、さらに図-2のマン・マシン・システム用計算機の概略図に示されている。

外部表現は人と計算機とで共通の情報表現であるが、前述のマン・マシン・システムの要求から当然、人間の用いる表現（言語・図形など）に近いものが要求される。

中間表現（知識表現）は外部表現により運ばれてくる意味および知識の表現法である。したがって外部表現形式は必ずこの中間表現の一つに対応すること、逆に中間表現は要求に合う外部表現の組に対応し得るように十分な記述力が確保されねばならない。

内部表現は中間表現形式を通して利用される、計算機の機構に最も適した情報の表現形式である。計算機の主要な利用目的である情報の蓄積と検索のためのデータは一般に大量であり、これを機構に合致した効率的な形式で蓄積することは不可欠となる。反面、これは中間表現との間の変換が必要であり中間表現へ条件を付加することになる。

3. システムの満たすべき条件とシステムの基本構成

本節では知識利用システムに課せられる要求を表-1

（次頁参照）にまとめ、この各要求の内容及びそれが課せられる理由を述べる。

3.1 外部表現および言語レベル処理にたいする要求

外部表現としては通常多く用いられるものとして言語（自然言語）、数式、図形（画像）、音声などがあるが、これらがすべて意味を表わすための約束された形式である

点では相違はない。意味の表現形式が正しく定義されていれば、これらはすべてその形式内の表現に変換され、これ以後の処理は同じである。したがってこれらの相違は外部表現から中間表現への変換方法の相違として現われる。

変換機能の代表的なものは翻訳とパターン認識であり、いずれの場合もこの両機能を含んでいる。

言語では文によって知識が表現され、文は語から構成される。語は特定の性質をもった対象やその間の関係といった概念の識別可能な集合（もしくは要素）を表わしている。言語による知識の表現あるいは言語の理解能力は

① 識別される概念集合の修得（語の修得）

② 識別される概念集合間の関係の修得（文の修得）の2段階で形成される。このうち①には認識能力が、②には論理的な関係の表現能力とその処理能力が対応する。

もし十分な概念集合（すなわち語）の集合が前もって定義され、認識能力を用いて獲得した結果と同じ形式で計算機に与えられるなら、以後の言語活動はすべて②の機能のもとで遂行される。文により新しい概念集合を定義する機能により理解能力自体の増加も可能である。これが言語によるコミュニケーションの最大の特徴であり、この範囲の機能のみでも広範囲の問題に役立つことができる。

一方、図形で表現される問題の多くは認識を必要とする。計算機による認識能力は現状では困難が多い。図形を構成する図形要素が単純で認識が可能であるか、あるいは認識に代わり対話型図形入力技法の利用できる問題以外はコミュニケーション手段としての図形入力や画像入力は現状では制約が大きい。

以下では処理の可能な外部表現を広義の言語と解し、単に言語と呼ぶ。実際にシステムが扱えるのはこのすべてでなく、中間表現すなわち知識表現に翻訳の可能な表現の集合に限定される。許された外部表現を出来る限り大きく取るための条件は結局、知識表現の

表-1 知能的システムに課せられる基本条件

1. 外部表現および言語レベル処理
 - C 1. すべての語の意味の定義と関係, すべての単文の構造とその意味の関係が表現されること
 - C 2. 許された表現を定義する記述が容易であり, かつこの許された表現の翻訳は完全であること
2. 中間表現および論理レベル処理
 - C 3. 中間表現は外部表現との相互の変換が可能なること
 - C 4. 中間表現は内部表現との相互の変換が可能なること
 - C 5. 中間表現は推論処理に適したものであること
 - C 6. 推論アルゴリズムは完全であること
 - C 7. 知識の蓄積・削除・更新・良質化が利用と類似の手順で可能なること
 - C 8. 論理レベル処理はユーザの習熟度を十分に活用し得るものであること
 - C 9. 論理レベル処理は非手続き的表現から必要な手続きを生成し得ること
3. 内部表現および物理レベル処理
 - C 10. (知識ユニットを数値を含む一般知識ユニットと値のみを含む個別知識ユニットに分け) 個別知識ユニットは計算機にとって最も効率的な形で記憶すること(記憶の階層化)
 - C 11. 知識ベース, データベース共に冗長度をなくす記憶方式とすること
 - C 12. C 9の変換はファイルの所在する DBMS に応じたアクセス手順を生成し得るものであること
 - C 13. 質問自体に含まれる情報をすべて利用し効率の向上, 特に探索範囲の縮小に役立てる探索方式とすること
 - C 14. 探索・推論を通じ, 繰り返しの多い部分のハードウェア化を促進すること, 逆にハードウェア化のできるアルゴリズムとすること

表現力と翻訳機能にたいする要求となる。

外部表現として, 人間の用いる表現形式に制約が加わる場合, マン・マシン・システムとして実現可能となる唯一の条件は“許された外部表現の集合を簡潔にかつ具体的に記述する表現があり, その表現をユーザが容易に理解することができること”である。これを含め, 外部表現に関する条件を次のように表わす。

文の表わす意味は語の意味とその関係としての文の構造から定まること, および複文・重文は単文の組に分解されることから, 一般の文の意味は, (i) 語の定義および意味的処理, (ii) 単文の構造による意味の表現法および, (iii) 単文の組合せである複文に対応する意味表現の論理的構造, に開展できる(ここで単文は“文の意味を変えることなく分解し得る最小単位の文”を表わす)。このことから外部表現にたいする条件が表-1 の条件 C1 と C2 と表わされる。

なお, 語の意味の定義は知識の表現形式を用いて表わされる。この意味で言語内に生ずるあらゆる単文を正しく表現できるということが C1 を満たす上で最も基本的な条件になる。現実用いられている言語において用いられる単文の形式は有限個に限定されている。この形式の集合は必要なすべての意味を表現するのに十分大きく, かつ小児でも覚えられ程度に十分

小さい。英語の場合, 文の構造のみで分類すると, 25 種類程度である。このような基本文型の数は言語間であまり大きな差はないものと考えられる。

3.2 中間表現および論理レベル処理にたいする要求

論理レベルにおける機能は言語レベルと物理レベルの間にあって, この両方を結合し, システムにたいする要求機能を果たすことである。言語レベル, 物理レベルの機能はそれぞれ外部仕様および物理的構造から独立に仕様が定められるのにたいし, 論理レベルの機能すなわち知識の表現とその処理機能はこの両方にかかわり, この部分の決定がすべてに影響するという意味で, 非常に重要な部分である。システムとしては言語レベル, 論理レベル, 物理レベルが有機的に結合することにより最高の能力を発揮するものであるが, 言語レベルと物理レベルでの表現形式すなわち外部表現と内部表現が著しく異なるので, 中間表現としては C3 および C4 の形態的な変換の可能性についての条件が不可欠である。

一方, 意味的な結合を図る論理レベル処理手続き, すなわち知識利用手続としては意味の等価関係あるいは含意関係を用いて, 言語レベルで表わされた意味を物理レベルのものに変換するための手続きが必要である。したがって中間表現としては推論可能性に関する C5 の条件が必要であると同時に, 内部表現が従来のデータベースに相当するので, データベース利用という立場からこの手続きにたいして完全性(C6)の条件が課せられねばならない。この条件は外部表現による入力にたいして, これと同様のあるいはこれを含意する情報(の組)が存在する場合, 必ずそれが取り出されるべきことを意味する。論理の完全性はデータ・ファイルの無矛盾性を保証するためにも重要である。

推論に際しては意味の同値(含意)関係を示す知識が利用される。このような知識が集められたものを知識ベースと呼ぶ。論理レベルを含むシステムは知識ベースを利用するシステムと呼ぶことができ, 論理レベルの機能はシステムの中心部分を形成する。さらに知識取得のできるシステムとするためには人の知識や経験が, 利用の場合と同様に容易に知識ベースに登録できることが必要である。これが C7 の条件である。知識利用・取得・保守に関するこれらの条件から知識の構造が定められねばならない。

さらにこれに関連して, マン・マシン・システムにおいては, ユーザのシステム利用の習熟度を応答時間に

反映できることは実用上重要で C8 の条件も欠かせない。マン・マシン・システムでは、計算機についてはほとんど知識のないユーザから、データベースの内容にまで熟知しているユーザまで広い範囲のユーザが対象となる。システムとしては前者のごときユーザにたいしても十分なサービスを保証することが必要であるが、後者にたいして過剰なサービスとなることは避け、ユーザの有する知識を応答時間に転換できる形式としておくことは非常に重要なことである。これには知識の表現および推論アルゴリズムの両方がかかわってくるであろう。中間表現までは情報は非手続き情報として処理される。これにたいして、中間表現をこれと意味的に同義な内部表現と結合するには、情報内容に応じて異なるファイル操作が必要である。また単にデータ検索のみでなく、一定の操作を要求してくる命令型入力にたいしても、論理レベル処理の最終段階で非手続きの情報を手続きに変換することが必要である。これがプログラム自動生成に関する C9 の条件である。C4 の条件は中間表現と内部表現の意味的対応が完全にとれることと、この変換を可能にすることを中間表現に要求しているのである。

3.3 内部表現および物理レベル処理にたいする要求

記憶容量、応答時間、システム効率、システムの複雑さ、コストなどの物理的経済的性能を保証することは実用システムを目的とする上で極めて重要なことである。論理レベルまでの諸条件を満たすことができても物理的な性能の低いシステムは実現し得ない。また本システムのように高度の機能を要求されかつ厳しい条件の課せられるシステムでは、論理的性能と物理的性能を独立に達成しようとするのは困難であり、設計時に物理的性能達成の条件を考慮した論理アルゴリズムとすることが必要である。この際、物理的性能を考慮することがシステムの柔軟性を失なうことのないような注意が必要であり、システムの満たすべき条件を厳しく列挙するのもこのためである。

3.3.1 情報の記憶

システム内には多くの知識要素が記憶される。論理処理の目的には、必要な情報を中間表現の形で知識ベースに記憶することが便利であるが、すべての情報をこの形で記憶することは記憶容量の点で得策でない。知識ベース内の情報は推論に用いられ、検索を早めるために何らかの構造化が行われて知識構造を形成してゆくだろう。この構造内には各種アクセスパスが各知

識ユニットに与えられる。一方、計算機内に貯えられる情報のうち大多数を占めるのは個々の対象に関する情報あるいは対象間の関係を示すレコードとなることが予想される。これらの情報は推論の中間情報の生成に用いられることはなく、したがって推論手順を促進するようなアクセスパスを準備する必要はない。このような情報にたいしては記憶効率を向上するような記憶方式を用いることが必要である。C10, C11 はこの条件を表わす。C10 に示される個別知識ユニットの集まりをデータベースと呼ぶ。

システム内の情報のクラス分けは単に記憶容量の節約およびその結果としての（探索等の）時間短縮のみでなく、一つの質問の答となり得るすべてのデータを取り出すためにも効果的である。質問を満たす個々のデータを探索的に取り出す代りに、質問を推論アルゴリズムにより個別のデータのファイルにたいする一定の条件に変換し、集合演算によって、必要なすべてのデータを取り出せるからである。

一方、記憶形式を分けることは論理レベルの処理および中間表現に一定の条件を課す。これが C4 および C9 の条件であった。

3.3.2 システム構成

C4, C9 の条件のもとで、従来の意味でのデータが知識の一形式として利用できる。したがって実用的なシステムを目指すためには従来の DBMS およびそれによって管理されているデータベースをできるだけ利用するという立場にたったシステムとすることが必要である。機能的にみると、言語レベルおよび論理レベルは従来のシステムの知的インタフェースともいべき部分である。したがって、これを物理的にも既成の DBMS と分離し、条件 C12 を課すことにより各種 DBMS にアクセスできるようにする。この条件は条件 C10 を前提としてはじめて成立する。C12 の条件により、本システムを、既成の、データ・モデルの異なる各種 DBMS の共通の知的インテリジェント・フロント・エンド・システムとし、分散型データベースの利用を可能にする。このようなシステムの概略図を図-3(次頁参照)に示す。

3.3.3 推論処理の高速化

検索・推論部分が従来のデータベース・システムの知能フロント・エンド・システムとすると、これを高速化することが不可欠である。検索・推論・手続きのうち関連知識ユニットの探索は大量の知識ユニットの集まりの中から一定の条件を満たすものを求めねばら

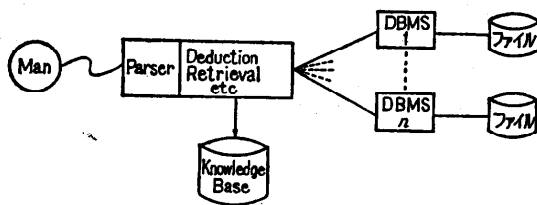


図-3 システム概要図

ず、最大の時間がかかる。C13の条件はこれを高速化するために、探索範囲を制限するようなアルゴリズムとすべきこと、C14は推論手続きのうち繰り返しの多い部分をできるかぎりハードウェア化できるアルゴリズムとすべきことを示している。

2に示したマン・マシン・システムを実現するために以上の各種条件の他にも数多くの要求が出されるであろう。上記の諸条件は其中で最も基本的であり、互いに関連し合っているため、その全体を考慮した上でシステムの方式を決定すべきものである。この他にマン・マシン・システムとして各種の要求、たとえばインタラクティブにコミュニケーションに不足している情報を補う方法などは不可欠である。しかし、これら既知でありシステムが備えるべきことが既に暗黙の前提となっている技術は敢えて削除している。この意味で上述の諸条件は最小の条件集合である。

4. 結 論

これまでの計算機システムは、前もって定められた情報の形式的変換のみを行い、情報の解釈はすべて人が行うという分業をたてまえてきた。見方をかえればこのような形式と意味の分離のできる範囲に計算機の利用が限られてきた。人工知能の研究はこのような境界を越えて、新しい領域に計算機利用の範囲を拡大しようとするものであり、その本質は情報の形の処理と意味の解釈との間の上述の壁を取り払い、計算機自身が意味の広大な領域に踏み込むことである。“形式の変換”は閉じられた(狭い)領域内で定義されその世界内のすべてを完全に記述することができる。これにたいし、知識の世界は人間の文化あるいはさらに人間そのものの世界であり無限の広がりを持つといってもよい、したがって(大変抽象的な表現で恐縮であるが)、知識を扱う計算機にとっての最大の問題は、従来のように“有限の世界を完全に実現し得ること”でなく、“無限の世界の一部を有限の機械でいかに矛盾なく実現するか”にある。機械で扱う世界を応用に

密着した狭い有限の世界、すなわちその世界内のすべてを前もって記述できるようなものに限定すれば従来の技術の範囲内で専用システムが作られる。この時、計算機の手続きは再び形式の変換で表わされている。このような問題向きシステムの利用が非常に狭い特殊な分野に限定されることはよく知られている。知識システムの難しさはこのように問題領域を限定せずに、すなわち汎用性を残したままで、矛盾なくかつ効率的な処理の可能な全く新しい体系を作ることにある。これは困難ではあるが少なくとも不可能ではない。人間自身が実際に世界のごく一部の知識を有し、限られた情報処理機能のみで大半は矛盾なく処理を行っている実例として存在するからである。

このようなことから知識システムは Open ended にならざるを得ない。知識システムの設計すなわち知識の表現形式、知識の体系(構造)化、知識検索方式、推論方式などの決定はこのような状況を正しく認識した上で行うべきものと考え。このようなことから、本稿では具体的な方法論についての詳述は敢えて避け、電子計算機が人間と同様の知的機能を有し、かつ機械として現実の環境において役立つだけの物理的性能をもつために課せられる条件を考察するに留めた。このような考察に基づいて筆者らは知識取得・利用システムを開発しているが、これについては稿を改めて述べたい。

参 考 文 献

- 1) D.G. Bobrow (chaired): A Panel on Knowledge Representation, Proc. 5th IJCAI (1977).
- 2) D.G. Bobrow & T. Winograd: An Overview of KRL, A Knowledge Representation Language, Cognitive Science, 1: 1 (1977).
- 3) D. G. Bobrow, T. Winograd & the KRL Research Group: Experience with KRL-0—One Cycle of a Knowledge Representation Language, Proc. 5th IJCAI (1977).
- 4) N. Cercone & L. Schubert: Toward A State Based Conceptual Representation, 4th IJCAI (1975).
- 5) C. L. Chang & R. C. T. Lee: Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving, Academic Press (1973).
- 6) A. M. Collins et al.: Reasoning from Incomplete Knowledge, in Bobrow & Collins (eds.), Representation and Understanding, Academic Press (1975).
- 7) C. Forgy & J. McDermott: OPS, A Domain-Independent Production System Language,

- Proc. 5th IJCAI (1977).
- 8) P. Gerritsen: The Application of Artificial Intelligence to Data Base Management, 4th IJCAI (1975).
 - 9) C. Green: The Use of Theorem Proving Techniques in Question Answering System, Proc. 23rd Nat. Conf. ACM, Brandon Press, Princeton, New Jersey (1968).
 - 10) L. B. Hawkinson: The Representation of Concepts in OWL, Proc. 4th IJCAI (1975).
 - 11) G. G. Hendrix: Expanding the Utility of Semantic Networks Through Partitioning, 4th IJCAI (1975).
 - 12) C. H. Kellog & P. Klahr: Adding a Deductive Capability to a Data Management System, 2nd VLDB, Brussels (1976).
 - 13) R. A. Kowalski: Predicate Calculus as a Programming Language, Proc. IFIP-74, North Holland, pp. 569~574 (1974).
 - 14) J. McCarthy & P. Hayes: Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence, in D. Michie & B. Meltzer (eds), Machine Intelligence 4, Edinburgh, pp. 463~502 (1969).
 - 15) J. Mylopoulos, P. Cohen, A. Borgida & L. Sugar: Semantic Networks and the Generation of Context, 4th IJCAI (1975).
 - 16) A. Newell: Production Systems: Models of Control Structures, in W. C. Chase (Ed.) Visual Information Processing, Academic Press, pp. 463~526 (1973).
 - 17) N. J. Nilson: Artificial Intelligence, Information Processing (1974).
 - 18) S. Ohsuga: A Knowledge Structure and a Deductive Inference Rule Based on It, 2nd USA-Japan Computer Conference (1975).
 - 19) S. Ohsuga: Semantic Information Processing in Man-machine Systems, Proc. 1977 IEEE Conference on Decision & Control, pp. 1351~1358 (1977).
 - 20) 大須賀節雄, 山内平行: 推論能力を備えた情報検索方式について, 情報処理, Vol. 18, No. 8, pp. 789~798 (1977).
 - 21) 大須賀節雄: 知識構造に基づく機械的推論規則について, 情報処理, Vol. 17, No. 2, pp. 100~109 (1976).
 - 22) M. R. Ouillian: The Teachable Language Comprehender; a Simulation Program and Theory of Language, Comm. ACM Vol. 12, No. 8 (1969.).
 - 23) J. A. Robinson: A Machine Oriented Logic Based on the Resolution Principle, JACM, Vol. 12 (1965).
 - 24) N. Roussopoulos & J. Mylopoulos: Using Semantic Networks for Data Base Management, 1st VLDB (1975).
 - 25) R. Schank: Finding the Conceptual Content and Intention in an Utterance in Natural Language Conversation, 2nd IJCAI.
 - 26) R. Schank & R. Abelson: Scripts, Plans and Knowledge, 4th IJCAI (1975).
 - 27) L. K. Schbert: Extending the Expressive Power of Semantic Networks, 4th IJCAI (1975).
 - 28) S. C. Shpiro: A Net Structure for Semantic Information Storage, Deduction and Logic, 2nd IJCAI.
 - 29) R. F. Simmons: Semantic Networks: Computation and Use for Understanding English Sentences, in Schank & Colby (eds.), Computer Models of Thought and Language, W. H. Freeman (1973).
 - 30) D. L. Waltz: Natural Language Access to a Large Data Base: An Engineering Approach, 4th IJCAI (1975).
 - 31) T. Winograd: Understanding Natural Language, Academic Press (1972).
 - 32) W. A. Woods et al.: The Lunar Sciences Natural Language Information System, Bolt, Beranek & Newman, Report No. 2378 (1972).

(昭和53年6月5日受付)