

解説



知識工学の動向†

諏訪基**

1. はじめに

知識工学が情報処理技術の一つの重要な分野であるという認識が広まりつつある。その理由として、これから深刻さが増すと予想されるソフトウェア危機に対して、知識工学のアプローチが有望な解決の糸口を示唆していることを挙げることができよう。知識工学が提唱する知識ベースシステムに基づくプログラムの構築という新しいパラダイムがその代表である¹⁾。さらに、知識表現や、あるいは推論過程の説明機能など、コンピュータソフトウェアとその構築者および利用者である人間との接点に位置する技術の開発に重点を置いている点なども、今後のソフトウェア技術に多くの示唆を与えるものである。

しかしながら、知識工学そのものの狙いや定義については必ずしも一致したコンセンサスができていないわけではなく、むしろ、その定義の範囲は徐々に拡大し、かつ分散する傾向にすらあるといってもよさそうである。知識工学の発祥の時点へさかのぼると、次章で述べるように、Feigenbaum は、その狙いとしてエキスパートシステムと呼ばれる知識に基づいた高いパフォーマンスの応用システムを、人工知能の技法によって構築することを提唱した²⁾。つまり“応用人工知能”の呼び掛けであった。その後、数々のエキスパートシステムと、そのエキスパートシステムを構築するための汎用ツール（エキスパートシステムのシェルと呼ばれることもある）が開発されてきているが、今までの人工知能の研究成果を応用するだけでは問題を抱えた現場の要求には十分に答えられないことも、はっきりと認識されるようになった。その中から逆に新たな基礎研究を展開すべき課題が浮き彫りにされつつあるというのが、知識工学をとりまく技術的現状で

あろう。

本稿では、このような経緯を、“人工知能から知識工学へ”、そして“知識工学から人工知能へ”というサイクルで捉えてみたい。知識工学で見られるような、基礎研究と応用研究との係わりは非常に有効な技術開発のサイクルを形成する。具体的には、知識表現の諸問題を中心に、人工知能の基礎的研究が一層盛んに取り組みられるようになってきているし、ヒューマン・インタフェースの改善のための技術に対する認識の高まりは、認知科学からの人間の思考の解明への努力を引き起こそうとしている。

以下、まず知識工学誕生の背景と発展の土壌を紹介し、つぎに技術的研究課題の研究動向と今後の課題を概観しつつ、知識工学の歴史的な位置づけと、技術的な位置づけを論じる。

2. 知識工学の背景—人工知能研究から知識工学へ

知識工学は人工知能の応用研究の中から生まれたということ、人工知能の1つの分野を成すものであると考えられている。知識工学の準備期に当たる1965-75年の人工知能の流れは、情報処理技術の中では比較的静かに推移していた。もっとも、この静かな流れの中でも、注目に値する基礎的な研究が進められていた。たとえば、自然言語と問題解決とを結んだ領域での卓越した仕事の例としてのSHRDLU³⁾や、数式処理プログラムMACSYMA⁴⁾、有機化合物の分子構造の同定を行うDENDRAL⁵⁾などである。

当時の人工知能に対する世の中の目は必ずしも好意的ではなかった。特にアメリカでは、1960年代の前半に機械翻訳プロジェクトが失敗に終わり⁶⁾、人工知能関連の予算が縮小されていた。また、「人工知能は常に玩具の世界を相手にしている」と陰口されたりしていた。

そういう状況の中で、現実の真面目な問題を対象とする人工知能システムの開発を目指していたのが、

† The Historical Background and Technical Trends of Knowledge Engineering by Motoi SUWA (Man-Machine Systems Section, Computer Systems Division, Electrotechnical Laboratory).

** 電子技術総合研究所電子計算機部人間機械システム研究室

Stanford 大学 Computer Science 学科の Heuristic Programming Project という研究グループであった⁷⁾。通常 HPP と呼ばれている。彼らの狙いは、解くのに専門家の高いレベルの知識を必要とするような、高度でまた実際に役に立つ問題を解くコンピュータプログラムを作ることであった。そのために人工知能の成果を取り入れようとしたのであった。前に述べた DENDRAL は、このような試みの最初のものであった。次いで医学部出身で Computer Science で Ph.D を取ろうとしていた E. Shortliffe も同じグループにいて有名な MYCIN という血液感染症と髄膜炎の診断と治療法のコンサルテーションシステムを開発した⁸⁾。

HPP では、この MYCIN を引き金に、肺疾患のモニタリングシステム PUFF⁹⁾、呼吸器患者の人工呼吸機の装着と用法をコンサルトする VM¹⁰⁾—このシステムでは、時間経過を含む知識の扱いを対象としている—、さらに今日のいわゆるエキスパートシステム用ツールのプロトタイプである EMYCIN¹¹⁾などが手掛けられた。このような実績を背景に 1977 年の人工知能国際会議 (IJCAI-77) の招待講演で、HPP のディレクタであった E. Feigenbaum が、知識工学という新しい情報処理技術のスタイルを提唱したのであった²⁾。知識工学を提唱することによって、ある意味では、当時の人工知能からの脱皮を試みたとも受け取れる。

その後多くの支持を勝ち取った知識工学という技術開発のスタイルの裏にある基本的な視点として、つぎの3つを指摘したい。

(1) 個別の知識の重要性の認識——人工知能研究の初期の頃には、人工知能を実現するための一般の原理を見つけ出そうという努力がなされていたが、結局は実際的な問題に使えるような成果を得られなかった。このことを反省し、70年代にはむしろ問題領域固有の手法を適用する方が効果的であるという認識が広まりつつあった。知識工学は最初から、後者の視点に立ち、それを具体化する手掛りとしての知識の重要性に着目していた。

(2) 真に役に立つシステムの研究を優先——中途半端な応用システムを世の中に送り出すことは、コンピュータに対する人々の誤解を招く恐れがあり、絶対に慎むべきであるという信念と、人工知能の対象として、おもちゃの世界ではなく、実際の問題を取り上げなくては、人工知能が人々に正しく認識されなくな

ってしまうという危機意識があった¹²⁾。

(3) 専門家にも受け入れられるシステムを狙う——たとえば医者を対象とするコンサルテーションシステムでは、従来の計量診断学に基づくシステムではなかったことであるが、推論プロセスを利用者である医者に説明する機能を備えている。このことによって、医者のシステムに対する受け止め方が非常に変わったと言われている。このように、いわゆる受け入れられやすいシステムの設計に注意を払うようになった。

知識に重点をおいた応用システムの実現を可能にしたのは人工知能の研究の過程で開発された記号処理技術である。エキスパートシステムは従来の数値演算主体のプログラムと違って、記号化された知識に基づく推論が主体である。知識工学の基本となる技術が、それまでに培われてきた、いわゆる“LISP 文化”の上に築かれている。80年代に入ると LISP マシンが開発され、知識工学の研究環境は非常に見通しが良くなってきている。これらは、人工知能の目に見える成果の応用といえよう。最近では PROLOG に代表される論理型言語による記号推論の経験も数多く積まれ、新たな文化圏を形成し始めている。

3. 基礎技術の研究動向—知識工学から人工知能へ

知識工学は知識を活用するコンピュータプログラムの技術を開発することが大きな狙いであることは前にも述べた通りである。目標とする応用プログラムでは、知識をプログラムへ取り込んだり、それを変更したりするのが容易にでき、さらに利用者にとって有効な支援を提供できる能力が備わっていることが期待される。このことは、応用プログラムと人間との接点に技術的課題が存在することを意味している。

応用プログラムと人間との接点には、通常次のような2つの側面がある¹³⁾。

(1) 知識ベース構築の側面——問題領域において通常行われているやりかたで、推論や問題解決に使われる知識を知識ベースに登録する作業である。しかもコンピュータの専門家以外の人間がこの作業を容易に行えなくてはならない。

(2) 利用者支援の側面——利用者との対話をしながら、利用者の必要としている情報や推論結果を提供しつつ、応用プログラムと人間が共同で問題解決を行うという側面である。利用者との思考レベルでの整合性が鍵となる。

次に、このような応用システムの2つの側面を踏まえながら、知識工学の課題として挙げられる知識表現、知識利用、知識獲得に関して、研究の動向を眺めて見ることにする。

3.1 知識表現

知識工学において知識表現技術は中心課題である。知識表現は、問題解決を行うための前提条件、対象、解法の知識を、コンピュータプログラムが実行可能な形で書き表すことである。できることなら、日常われわれが問題を記述するのに用いる自然言語を始め数式、図面などが自由に使えることが夢である。しかし現時点では、数式などは別として、自然言語や図面をこのような用途に使えるようにするためには、その分野に限った多大の研究努力が要求されるものであるために、知識工学の対象からははずれているとみなされている。

プログラムが実行可能な形としては、ある程度の形式が整った統一的なものとならざるを得ない。その範囲内で、知識をいかに表現するかという研究が進められていると考えてよい。

知識表現を実現する上での目標は、“自然な形で”知識表現できるようにすることにつきる。しかしながら自然さの基準として適切であるかは今のところまだ明確にされていない。実際は範囲は狭いがより具体的な基準を尺度に取り上げて研究が進められている。着目点として次のような項目が挙げられる。

(1) 知識が表す対象の概念構造に着目——プログラム上の表現とそれが表現する対象の概念構造との対応がとれるように知識表現形式を整えることを重要視する立場。知識表現に対する姿勢の最も一般的なものであり、知識が本来有する構造をできるだけ素直に表現しようという点に努力が払われている。

知識の階層性に着目したのものや、知識間の関係に着目したものがある。前者としてフレーム¹⁴⁾に、後者として意味ネット¹⁵⁾にそれぞれ基づいた知識表現の研究が活発に行われている。

実用的な観点から指摘しなければならないのは、現実の問題が与えられたとき、それに係わる知識の構造を容易に把握することが可能かどうかということである。普通はこのこと自体が困難な問題であることが多いので、知識の構造化を助けるよい支援システムの研究開発が今後の重要な課題と考えられる。

(2) 知識の組み込み、追加、変更といった、知識の扱いやすさに着目——知識ベースの柔軟性、すなわ

ち新しい知識の追加など知識ベースを容易に拡張・変更可能な容易さは知識工学の応用システムの最大の特徴でもある。たとえば、このことは計算機システムのコンフィグレーション設計のためのエキスパートシステムとして成功した R1 (最近では XCON と呼んでいる) で顕著であったとの報告がある¹⁶⁾。このような要求を満足する知識表現の代表はプロダクションシステム¹⁷⁾である。R1 はプロダクションシステムの1つである OPS5¹⁸⁾で書かれている。

(3) 知識そのものの持つ種々の属性を表現することに重点をおいたアプローチ——1つのまとまった知識表現としてというより、知識のいろいろな側面に着目し、それらを1つずつ取り込んで、その表現法を確立しようとする研究が数多くなされている。不確かな知識の扱いに関する研究が盛んである¹⁹⁾。

(4) 人間の思考形態との対応に着目した知識表現の研究——認知科学からの知見を参考に、知識表現のアーキテクチャの研究もはじまっている²⁰⁾。

知識表現における現実的なアプローチの1つとして、複数の知識表現の枠組みを、1つのシステムから自由に使い分けられることができるようにしたものがある。その代表的なシステムに LOOPS²¹⁾がある。どのような知識にどのような知識表現が向くかを調べるには都合が良さそうである。

3.2 知識利用

プログラムの中に表現された知識をどのように推論に結びつけるかという研究課題は次の2つの観点に整理される。

(1) 探索の実行効率を上げるための手段として——探索は人工知能の最も古くからの研究課題であり、その効率向上のための工夫はすでにいろいろ研究されている²²⁾。知識工学では、対象領域固有の知識をもとに、探索の効率化を図る手法の開発が行われている。探索の効率化には、探索空間そのものを小さくするアプローチ (たとえば DENDRAL) と、広い探索空間での探索そのものを効率良く実行するための方式 (メタ知識の活用) の開発とがある。現在のところ後者の研究が盛んである。

(2) 人間との対話を円滑に行うための推論の制御——コンサルテーションシステムなどでは、システムが提供する結果や質問の前後関係が利用者の理解するプロセスと整合性が取れていなければならない。このことは、たとえば後ろ向き推論によるルールベースシステムなどで問題となる。

現在までのこの点における工夫は、推論の手順を明示的に記述する方法などで（たとえば ONCOCIN²³⁾）あるが、より本質に迫るためには、人間の思考過程に関する解明が今後の重要な課題となろう。

3.3 知識獲得

知識ベース構築の基本技術である知識獲得は知識表現の研究に次いで、知識工学の中で最も重要であると考えられている課題である。この課題には、次の3つのフェーズが含まれるがいずれも今後の課題として多くの問題が残されている。

(1) 知識ベースエディタ——プログラミングにおける優れたスクリーンエディタがプログラムを書く際に非常に助けになるのと同じように、知識ベースの構築には不可欠である。エキスパートシステムのツールとして最初に作られた EMYCIN にはすでにこの機能が備わっていた。最近の市販されているエキスパートシェルでは、ビットマップディスプレイの機能なども活用しつつ、この部分に多大の開発エネルギーを投入するようになっている。

(2) 知識ベースのインテグリティ——知識ベースの完全性や無矛盾性をチェックすることにより、知識ベースの構築を支援するアプローチであり、医療用のコンサルテーションシステム ONCOCIN で試みられた²⁴⁾。

(3) 問題の定式化——知識工学ではまだほとんど手が付けられていない分野である。現在のところ知識表現の枠組みとしてプロダクションやフレームなどが提案されており、これらに基づくツールもあるが、ある具体的な問題領域の知識をそれらの枠組みで表現しようとしたとき、大部分の場合非常に困難な作業を強いられることになる。この問題を解決するために問題の定式化の手順の確立と、その実行を支援するシステムの開発が今後の課題となっている。

(4) 知識獲得の自動化——人工知能の中心課題である学習の研究の成果が期待されている。

4. まとめ

人工知能の応用として始まった知識工学であるが、80年代に入って多くの応用システムが試されていくうちに、逆に人工知能の基礎的な技術開発を必要とする問題点が次々と明らかになってきた。最大の問題点は知識の獲得をどうするか、つまり、知識ベースを効率的に構築する手法の開発である。この問題に対しては今のところ効果的な提案は見当たらない。

知識表現については、ロジックの世界と知識を結びつけようとする研究が盛んである。特に多重世界の表現手法、時間変化や否定の扱い、非単調性や暗黙値を含んだ推論、あいまい性などが研究の対象として取り上げられている。

知識の利用は、知識工学では特に人間と協調して問題解決を図るためのソフトウェアをどのように作るかという観点からの検討が注目されよう。そのためには、認知科学における研究成果との関連が強まるであろうと考えられる。

知識工学は情報処理技術の応用の対象を従来のものから大幅に広げることに貢献している。したがって、知識工学のインパクトは非常に学際的なものになろうとしている。このことは大いに歓迎すべきことであろう。なぜなら、多岐にわたる応用システムを手掛けることにより、知識を基にした情報処理技術の本質が見いだされることが期待されるからである。筆者は、それが正に人工知能がめざすものだと考えている。

参考文献

- 1) Davis, R.: Knowledge Acquisition in Rule-based Systems—Knowledge about Representation as a Basis for System Construction and Maintenance, in Pattern Directed Inference System, (eds. Waterman et al.), Academic Press, pp. 99-134 (1978).
- 2) Feigenbaum, E. A.: The Art of Artificial Intelligence: I. Themes and Case Studies of Knowledge Engineering, Proc. IJCAI-77, pp. 1014-1029 (1977).
- 3) Winograd, T.: Understanding Natural Language, Academic Press, New York (1972).
- 4) Moses, J.: A MACSYMA Primer, Mathlab Memo No. 2, Computer Science Laboratory, MIT (1975).
- 5) Buchanan, B.G. et al.: DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their Application Dimensions, Artif. Intell., No. 11, pp. 5-24 (1978).
- 6) National Research Council, Automatic Language Processing Advisory Committee: Language and Machines: Computer in Translation and Linguistics, Publication 1416, National Academy of Sciences, NRC, Washington, D. C. (1966).
- 7) Heuristic Programming Project: HPP Brochure, Computer Science Department, Stanford Univ. (1980).
- 8) Shortliffe, E. H.: Computer-based Medical Consultation: MYCIN, American Elsevier, New York (1976).

- 9) Kunz, J. C. et al. : A Physiological Rule-based System for Interpreting Pulmonary Function Test Rules, HPP Memo, HPP-78-19 (1978).
- 10) Fagan, L. M. : VM : Representing Time-dependent Relations in a Medical Setting, Doctorial Dissertation, Computer Science Department, Stanford Univ. (1980).
- 11) van Melle, W. : A Domain-independent Production Rule System for Consultation Programs, Proc. IJCAI-79 (1979).
- 12) 諏訪 基 : 知識工学の背景, 数理科学, No. 214 (1981).
- 13) 諏訪 基 : コンサルテーションシステムの知的インタフェース, システムと制御, Vol. 29, No. 1, pp. 30-36 (1985).
- 14) Minsky, M. : A Framework for Representing Knowledge, The Psychology of Computer Vision (ed. Winston, P.), McGraw-Hill, pp. 211-277 (1975).
- 15) Quillian, M. R. : Semantic Memory, Semantic Information Processing (ed. Minsky, M.), MIT Press, pp. 227-270 (1968).
- 16) McDermott, J. : R1 Revisited : Four Years in the Transition, The AI Magazine, Vol. 5, No. 3, pp. 21-32 (1984).
- 17) Davis, R. et al. : An Overview of Production Systems, in Machine Intelligence, Vol. 8, Wiley, New York, pp. 300-332 (1976).
- 18) Forgy, C. L. : OPS5 User's Manual, Technical Report, Carnegie-Mellon Univ. (1981).
- 19) 二木厚吉他 : 新形態プログラミング : 現状と展望, 電総研調査報告, No. 210 (1984).
- 20) 仁木和久他 : Obj-Act の高次概念スキーマへの拡張, 情報処理学会第30回全国大会講演論文集, 2N-8, pp. 1545-1546 (1985).
- 21) Bobrow, D. C. et al. : The LOOPS Manual, Technical Report, KB-VLSI-81-13, Knowledge Systems Area, Xerox Palo Alto Research Center (1981).
- 22) Barr, A. et al. : the Handbook of Artificial Intelligence, William Kaufmann, Los Altos, pp. 19-139 (1981).
- 23) Shortliffe, E. H. et al. : ONCOCIN : An Expert System for Oncology Protocol Management, Proc. IJCAI-81, pp. 876-881 (1981).
- 24) Suwa, M. et al. : An Approach to Verifying Completeness and Consistency in a Rule-based Expert System, The AI Magazine, pp. 16-21 (1982).

(昭和60年10月28日受付)