

エキスパートシステムはどうなったか？

寺 野 隆 雄*

*筑波大学 ビジネス科学研究科

東京都文京区大塚 3-29-1

*Graduate School of Business Sciences, University of Tsukuba,
3-29-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, Japan

*E-mail: terano@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp

キーワード：エキスパートシステム (expert systems), 人工知能 (artificial intelligence), 産業応用 (industrial application), 知識システム (knowledge systems).

JL 0006/03/4206-0458 © 2003 SICE

1. はじめに

1980年代のいわゆる AI (Artificial Intelligence) ブームのころ、人工知能といえばそれはエキスパートシステムのことであった。ところが、最近はエキスパートシステムという言葉聞く機会はほとんどない。これには実際に使われているという意見と、もう死んでしまったという両方の意見がある¹⁾。では、エキスパートシステムはどうなってしまったのだろうか？ この疑問が本稿を著す動機になっている。

以下、本稿の構成を示す。まず、2章でエキスパートシステムの基本的な概念についてあらためて考察する。3章でエキスパートシステムの対象タスクの特性について述べる。4章ではそれに対して関連する人工知能の技術の動向について述べる。5章で産業応用について論ずる。6章で今後のエキスパートシステムの姿について論じて7章で結論をまとめる。

2. エキスパートシステムは何だったか？

「知識は力である」という Edward Feigenbaum の発言によってエキスパートシステムの方向付けがなされたのは1977年のことである²⁾。そして2002年には、Feigenbaum は Jim Hendler との共著の発表の中でセマンティックウェブと知識の問題をふたたび議論している³⁾。エキスパートシステムに関連するテーマでは、計測自動制御学会の範囲でも、4)から14)まで非常に多くの特集号が編纂されている。

エキスパートシステムは、人工知能の研究の中で発見、開発されてきた理論と技術を基礎として、現実問題への適用を指向するシステム開発技術である。これには、2つの定義付けが可能である。第1の定義は専門家のかわりをするというシステムの機能面を強調する。これはシステム利用者の立場にたつものである。第2の定義は、従来の手続き型システムにはないシステム構成上の特長を強調する。これはシステム開発者の立場にたつものである^{14)~16)}。

第1の定義はつぎのとおりである。「エキスパートシステムとは人間の知性を用いなければ解けないような特定分野の問題を解決するのに、専門家の経験的知識 (Heuristics)

をコンピュータに組込んで、人間に代わってあるいは人間を支援して問題解決を遂行することを目的としたシステムである。」この定義は、対象とする領域の特定のタスクを効率的にこなしていくためには、その領域の専門家の知識が重要な役割を果たすという知識工学の考え方に基づいている。これが「知識は力である」というスローガンに象徴されている。

第2の定義はつぎのようなものである。「エキスパートシステムとは、問題解決に知識を陽に利用するシステムであり、知識とそれを使うための仕組みとを、それぞれ知識ベースと推論機構として分離し、独立性の強い2つの要素からシステムを構成するソフトウェアシステムである。」この意味では、エキスパートシステムを知識ベースシステム (Knowledge-Based System)、あるいは、知識システム (Knowledge System) と呼ぶ。

知識システムの実現手段として、あるいは、知識表現技術として1970年代から1980年代にかけて成熟したのが、言語 OPS ファミリーや CLIPS などに代表されるプロダクション・システム技術；フレームやスキーマに代表されるオブジェクト技術；そして、Prolog などに代表されるロジック・プログラミング技術であった。これらの技術が成熟し、計算量の壁などの理論的な問題点が明確になったのが1980年代であった。それ以前の人工知能の技術と比較すると、実世界の問題解決知識を重視し、研究室レベルの推論手法をそのまま援用したのが新しい観点であった。

エキスパートシステムとして開発されたものが国システム数は1980年代終わりの最盛期においては2000を越えていたと報告されている。しかしながら、実用レベルに達したものはその1%以下にとどまっていた。その意味において、エキスパートシステムは技術的な指向性の非常に強い手法であったといえる⁵⁾。

3. エキスパートシステムとその対象タスク

エキスパートシステムをその対象タスクの視点から分類すると、大きく解析型の問題と合成型の問題に分けることができる^{5),17)}。

解析型問題とは、システムの構造とサブシステムの特性とが与えられたとき、システムの特性を導くような問題で

ある。単純な解析型問題は分類問題に帰着して解くことが可能である。解釈・診断・制御などのタスクは解析型問題のクラスに含まれる。より複雑な解析型問題では制約条件を満足することが要請され、組合せ問題を扱う必要が生ずる。これにはさまざまな制約伝播の手法が知られている。

一方、合成型問題とはシステムの特性が与えられたとき、これを実現するようなシステムの構造とサブシステムの特性を決定するような問題である。合成型問題に対するもっとも一般的な接近法は生成検査法である。設計・計画などのタスクは典型的な合成型問題である。

エキスパートシステムの対象タスクを分類しその性質を明らかにすることによって、それぞれのタスクに応じたコンポーネントを実現することが容易になる。この方向で、さまざまなタスク特化型の開発ツールもこれまで開発されてきた。これが新しい知識ベース構築方法論の研究につながっていく。特にそのなかでもヨーロッパを中心に KADS 方法論が実用化されている¹⁸⁾。

分類問題を解く上では、専門家の知識を利用するよりもそのもとになる事例データを利用の方がシステム実現上効率の良い場合が多い。これが後の、事例ベース推論の技術や帰納学習の発展へとつながっている。とくに最近データマイニングで注目を集めている技術の多くは、分類問題を的確に解くという要請から発展してきたものが多い^{9),13)}。

データ解釈問題については、鉄鋼各社で高炉のデータ分析と制御を行うシステムが数多く稼動していたのが興味深い。高炉のデータ分析や制御は従来の計測制御手法ではなかなか手が出せない性質の問題だったためである^{5),9)}。

診断問題については、MYCIN などの医療診断に始まり、プラントの故障診断を対象とした研究開発例は非常に多い。ところが診断システムで実用化されたものは非常に少ない。これは、特に工学的なシステムを対象とする場合、経験則で判断できるような故障は設計段階で排除されるのが普通であり、設計当初予想できなかったような問題が故障として発生するという事情による。

また、制御問題については、わが国では家電製品への適用を中心にファジィ推論とニューラルネットを統合した方法が非常に盛んになっている⁷⁾。自律分散制御の考え方も同様にわが国で発展してきたものである^{6),8)}。

設計問題については CAD (Computer Aided Design) システムを高度化するという方向での研究開発が盛んである。実用上は大量かつ高速の数値計算システムや部品のコンポーネントを数多く含むシステムが重要であり、汎用利用できる設計に関する経験則はなかなか得られないのが普通である。

計画問題については、数多くのスケジューリングシステムが実現されている^{9),12)}。特にエキスパートシステム、人工知能技術の観点からは、制約問題を高速に解く方法やリア

クティブにスケジュールを調整する方法に興味が集まっており、最適解を得るといった観点からの研究は少ない。

4. 関連 AI 技術の発展

本章ではエキスパートシステムに直接的に関連する人工知能技術の発展について考察する。かつて知識表現の中心であったプロダクションシステム、フレーム、ロジックの研究と適用がどのように変わったかを述べるとともに、学習機能と知識システム開発方法論の変遷について述べる。これらの手法の基本的な考え方については、19)、20) など適当な文献・教科書を参照されたい。

4.1 プロダクションシステムからルールベースプログラミングへ

専門知識を記述する手段として if-then 形式を用いるプロダクションシステムの手法は広く利用されてきた。プロダクションシステムの優れたところはルールの記述性と理解性にある。これをうまく利用したのが帰納推論で得た分類知識をルール群もしくはそれに相当する決定木で表現する手法であり、ファジィ変数をルール内に導入することで実現したファジィルールシステムである。

その一方で、プロダクションシステムは実行効率が悪いこと、実行制御が難しいことが欠点である。実行効率の改善については、ルールコンパイルの手法としてすでにさまざまな手法が提案されている。たとえば 21)などを参照されると理解できるように、この問題は技術的に完成の域に近づきつつある。また実行制御問題については、コンパイル手法とともにルールベースプログラミングの手法がいろいろ整備されている。これにより、従来の手続き型プログラムに比較しても遜色のない程度まで効率のよいルールシステムが提供されている。

実行効率と実行制御の課題が解決されたことで、ルールベースプログラミングの適用可能な領域は広がってきている。しかし、応用例の報告はむしろ少なくなっているのは残念である。たとえば、ネットワークの動的ルーティング問題は、ヒューリスティックな知識をルールで書きやすいという点で、プロダクションシステムの格好の適用分野であるが、十分にその機能を使ったシステムは存在しない。

4.2 オブジェクトからセマンティックウェブへ

つぎに知識表現としてしばしば利用されていたフレームの概念について述べる。フレームはスキーマとも呼ばれセマンティック・ネットワークとの関連も深い。ところが、フレームはソフトウェア工学の概念である「オブジェクト」という名称で普及することになった。そして、データベース技術と融合し、さまざまなアプリケーションシステムで利用されている。1980年代のエキスパートシステムでは、対象領域の性質をオブジェクトで記述し、関連する経験則をルールで記述する手法がしばしば用いられている。

このような文脈で、常識を備えた大規模知識ベースを実

現しようという動きが活発になった。Lenat の提唱した Cyc プロジェクトはその 1 つである。彼は人手で最初から大規模知識ベースを実現しようと試みたが、現実には、自然発生的に WWW (World Wide Web) が大規模知識ベースの性格をもつようになっていった。HTML (Hypertext Markup Language) でタグ付けされた半構造データが単純なオブジェクトあるいは情報提供ネットワークとして利用できるようになったのである。しかし、HTML ベースのウェブは「人間が読んで理解する」ことに主眼が置かれていた。

セマンティックウェブは、情報に意味を与えるタグなどのメタデータをコンピュータでも自動処理し理解できることを可能としたウェブのことである。これには、コンテキストに依存した意味づけや、知識共有のためのオントロジーの研究なども深く関連している。今後の大規模な WEB アプリケーションの高度化を考える上で、セマンティックウェブのはたす役割りは大きい^{22), 23)}。

4.3 ロジックプログラミングから制約処理へ

Prolog に代表されていたロジックによる知識表現は、第 5 世代コンピュータプロジェクトでおおいに注目を集めた。当初効率の悪かった処理系の性能も著しく改善され、記号処理を中心としたシステムを実現する上で支障はなくなってきた。ロジックプログラミングでは、単一化の演算により推論処理が行われるが、アプリケーションシステムを開発するためには、変数間の制約処理が手軽に記述できることが望ましい。またこのような機能を実現する処理系の負担は、単一化演算に基づく一般的な Prolog 処理系よりも軽い²⁴⁾。これは、制約論理プログラミングの考え方が理論的にも応用的にも優れていることを示唆する。

制約処理技術は、計画型エキスパートシステム、特に、動的なスケジューリングシステムで許容解を求めるのにしばしば利用されている。

4.4 知識獲得からデータマイニングへ

エキスパートシステムを開発する上で大きなボトルネックになったのが知識獲得の問題である。これは、専門家が記号を中心とした知識表現で知識を表現できないという問題と、実際にシステムで利用できるよう専門知識が意外に少ないことが原因である。そのため、実際に運用されているシステムの性能の多くの部分は、いかに大量かつ有用なデータを利用しているかに大きく左右される。

そこで、有効なのが、(オブジェクト指向)データベースと事例ベース推論・メモリーベース推論、あるいは、帰納学習の手法である。専門家からインタビューを行って知識を整理し、知識ベースにまとめあげるといった方法論に代わって、問題解決に必要なデータを蓄積しておき、これをコンピュータで処理することで、効率化した利用者にとって理解しやすい知識へと変換する方法が有用になってきた。

たとえば分類知識を学習するための帰納推論については非常に多くの研究開発がなされており、C4.5 ならびにその後継システム、相関ルールの学習アルゴリズムなどが定着してきた。これらが、従来の統計手法と統合されて、近年のデータマイニング技術の中心となっている¹⁴⁾。

実際の応用例としては、パソコンなどの故障診断や利用相談におけるコールセンターのヘルプデスクがあげられる。このような場所で利用されているシステムにおいては、事例を蓄積しておき、帰納学習やテキストマイニングを利用して、コンパクトかつ理解しやすい問題解決知識を得ている。

4.5 AI ツールからソリューションビジネスへ

1980 年代の AI ブームのころは、エキスパートシステムの開発には、さまざまな人工知能の手法を実装した多くの種類の AI ツールあるいはエキスパートシェルが利用された。これらは、ベンチャー系のツールベンダーから提供されており、彼らが知識エンジニアとしてシステム開発を請け負っていた。最近では、このような AI ツールを販売しているベンダーはほとんど存在せず、代わりに、さまざまなツールキットがデータマイニング用に販売されている。しかし、データマイニングでは、データの準備とクリーニングに非常に多くの手間がかかり、この作業はツールのみでサポートしきれるものではない。人手が不可欠である。

AI ツールのベンダーで生き残っているものは、現在では、知的システムの設計から運用までを手がけるソリューションベンダーとなっている。そこでは、上に述べた人工知能技術の単なる適用はもはや、システム開発の中心ではない。プロトタイプ手法を基本とする迅速なシステム開発方法論とコンサルタント業務とが大きな割合である。

対象分野には、WEB アプリケーション、ネットワーク、セキュリティ、e-ビジネス、ナレッジマネジメントなどの用語が並んでいる。この意味で人工知能技術が成果を発揮できるのは、インターネットの普及に伴って必然的に要請が増えた自律分散的なシステムの領域である²⁵⁾。

5. 産業応用の傾向

本章ではエキスパートシステムの産業応用の傾向について述べよう。たとえば、26) には、1998 年から 2002 年までに人工知能学会誌に掲載された人工知能技術の産業応用例 17 編についての解説が述べられている。そこでは、成果としてつぎの 3 つの項目を挙げている：(1)新しい機能を実現して、人手で行われていた作業の代替や自動化をはたしたこと；(2)従来システムが果たしてきた性能を定量的・定性的に改善するという品質向上を実現したこと；(3)従来の作業の効率や負荷を改善するという効率化の効果。

このような報告は 1) をはじめ多くみられる。とはいっても、現状をひとことで表わすと「エキスパートシステムはなくなってしまった」のである。本稿を著すにあたって、

私はかつてエキスパートシステム開発に携わっていた知合いの技術者にインタビューを行い、また、同時にウェブを利用してサーベイを行った。ところがエキスパートシステムという用語を用いるかぎりにおいて新しく有益な情報はほとんど得られなかった。

では、エキスパートシステムはどこへいつてしまったのだろうか？ 人工知能、AI、あるいはエキスパートシステムと呼ばなくなってしまったのである。その点について論ずるには、最近の高度な産業応用システム開発にみられる以下の3つの傾向が重要と私は考えている。

5.1 データにもものをいわせる

エキスパートシステムの概念が提唱されたことは、問題解決に知識を直接的に利用するという観点が新鮮であった。それに対して、今日では、非定型的な形式のものを含めて、データを大量に収集することが非常に容易になってきている。たとえば、小規模な化学プラントであっても、数多くのセンサーを取り付けてその情報を常時パソコンで収集することはコスト的にも技術的にも大きな問題ではなくなっている。インターネットを用いてアンケートを行い、自由記述で大量の顧客情報を収集することも容易である。

これらの情報をデータマイニング、テキストマイニングすることで、従来ならば専門家の解釈や経験がなくては獲得できなかった問題解決知識を、ルールや決定木、あるいは、ドキュメントなど、変更しやすい形で自由にシステムに導入できるようになってきている。

XCON というコンピュータ構成の設計を自動化するエキスパートシステムは、DEC 社において非常に有用であった。コンピュータ構成に関する知識を変更しやすいルールで表現したことがこのシステムを成功に導いたとされている。しかし、これに類似したシステムは、今日ではオブジェクト指向データベースとして容易に実現できる。顧客の注文に応じて最適な構成でパソコンを発注し製造するパソコンメーカーの SCM (Supply Chain Management) システムは、この良い例である。

5.2 WEB が大規模知識ベース

エキスパートシステムの知識ベースに整理された知識は一般的に汎用化することが難しい。これがエキスパートシステムはごく狭い領域の問題にしか性能を発揮できないという「システムの脆弱さ」の原因となっていた。これが、上述したような大規模知識ベースプロジェクトの動機になったのである。

しかし、今日では玉石混交ではあるがインターネット上には非常に大量の情報が蓄積されている。われわれは新しい概念について知りたいときにはもはや百科事典に頼るかわりに WEB を検索するようになってきている。したがって検索エンジンと利用者インタフェースがじゅうぶんに高度になれば、1980 年代の意味でのコンサルテーションシステム

を代替することが可能である。さらに WEB 上でコンピュータと人間とが知識を共有することが容易になるための枠組みとして、セマンティックウェブやオントロジーの概念がある。

5.3 パソコンとネットワークの性能向上

1980 年代の AI ブームのころはエキスパートシステムを開発し、そしてシステムが性能を発揮するためには、専用ハードウェア上の開発環境と実行環境が不可欠であった。それが不十分だったために実用化にいたらなかったシステムは医療診断システム MYCIN をはじめとして数が多い。

ところがパソコンとネットワークの性能向上により、以前ではとうてい不可能だったシステムをコストパフォーマンスよく開発・利用できるようになってきている。たとえば、パソコンソフトのヘルプシステムは診断システムになっているし、自動訂正機能や要約機能を備えたワードプロセッシングソフトウェアは、利用者にとって役に立つかどうかは別にしても、非常に大掛かりなエキスパートシステムである。

ネットワークを利用したソフトウェアの自動更新機能や、ウィルス除去ツール、電子辞書や機械翻訳システムもかつてのエキスパートシステムに相当する性能を備えている。コンピュータとネットワークの桁違いの性能向上が、本質的な意味でシステムの質を改善したといえよう。

6. エキスパートシステムはどうあるべきか

2 章で述べたようにエキスパートシステムには2つの定義づけが可能である。

第1の観点は、難しい問題をコンピュータで解く重要性を指摘している。これは実は、工学の目的と一致している。専門家しか解決できないような困難な問題を定式化し、理論付けることによって工学という学問分野は発展してきた。エキスパートシステムは、それを記号処理の道具を中心に繰り返したことになる。そのプロセスで、記号処理の有用性と限界とを見出したのがこの20年間の歴史といえるであろう。実運用されたエキスパートシステムをみると実は、記号処理の部分は少なく、既存の計測・制御技術、数値計算やシミュレーション技術に依存するところが多い。これも当然のことである。

一方、第2の観点は、各領域の専門家や問題解決担当者にとって、コンピュータシステム化へのしきいを低くしたという点で大きな貢献を果たした。知識ベースと推論機構とを分離し、記号あるいは「言葉」で問題解決知識を表現する方法を提供することで、一見、難しそうな問題でもコンピュータ上に実装することが可能となったのである。これで自信をつけた利用者が、コンピュータの進展とともに、ファジィ、ニューラルネット、遺伝的アルゴリズム、エージェント、学習、ベイジアンネットなどさまざまな新しい

技術に挑戦するようになったのがこれまでの経緯である。

エキスパートシステムに対するこの2つの観点は非常に重要である。このような立場にたてば、現在の技術レベルで、あらためて専門家の技能の工学化へ取り組むことには大きな意義がある^{24),25)}。エキスパートシステム開発のキーであった、インタビューや弟子入りによる専門家からの知識獲得は、われわれがもつコンピュータ利用技術を用いれば、今日では可能と考える。これによって、新たなエキスパートシステムへの地平が開けると信ずるものである。

7. おわりに

本稿の結論を述べる。新しい技術は定着するとめだたなくなる。その意味で、エキスパートシステムは、現在も今後とも人目につかないものであり続けるだろう。第2の意味でのエキスパートシステムはすでに成功をおさめ、第1の意味でのエキスパートシステムの実現のために新たな研究開発が継続しているというのが正しい認識である。

これは、モータやマイクロプロセッサが、今や、世の中のあらゆるところで使用され人の目に触れなくなってきたことに類似している。現在、人工知能分野で研究開発が非常に盛んなデータマイニングやセマンティックウェブのような概念も、エキスパートシステムと同じような道をたどれば、成功したといえるのではないかと私は考えている。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「ITの深化の基盤を拓く情報学研究」ならびに「情報洪水時代におけるアクティブマイニングの実現」の支援によるものである。

(2003年5月16日受付)

参考文献

- 1) J. Liebowitz: Worldwide Perspective and Trends in Expert Systems: An Analysis Based on the Three World Congresses on Expert Systems, AI Magazine, Summer-2, 115/119 (1997)
- 2) E. A. Feigenbaum and J. Hendler: Knowledge is Power: The Semantic Web Vision, Invited Talk at First Int. Conf. On Web Intelligence and Agent Technologies, <http://www.comdig.de/ComDig 01-44/> (2001)
- 3) E. A. Feigenbaum: The Art of Artificial Intelligence: Themes and Case Studies of Knowledge Engineering, Proc. Fifth IJCAI, 1014/1029 (1977)
- 4) 計測と制御:特集:知的情報処理, 25-4 (1986)
- 5) 計測と制御:特集:知識システム, 27-10 (1988)
- 6) 計測と制御:特集:自律分散システム, 29-10 (1990)

- 7) 計測と制御:特集:ニューラルネット, 30-4 (1991)
- 8) 計測と制御:特集:自律分散システムの新たな展開, 32-10 (1993)
- 9) 計測と制御:特集:知能システム, 33-1 (1994)
- 10) 計測と制御:特集:生産スケジューリング, 33-7 (1994)
- 11) 計測と制御:特集:組合せ問題とスケジューリング問題への新接近, 34-5 (1995)
- 12) 計測と制御:特集:創発システム—人工システムの新たなパラダイムを求めて—, 35-7 (1996)
- 13) 計測と制御:特集:創発システム研究の新たな展開, 38-10 (1999)
- 14) 計測と制御:ミニ特集:データマイニングの最前線, 41-5 (2002)
- 15) 小林, 寺野 (編著): 知識システムハンドブック, オーム社 (1990)
- 16) 寺野隆雄 (編著): エキスパートシステム評価マニュアル, オーム社 (1992)
- 17) 寺野隆雄: 知識システム開発方法論, 朝倉書店 (1993)
- 18) 溝口理一郎: エキスパートシステム I, II, III, 朝倉書店 (1993)
- 19) S. Russel and P. Norvig: Artificial Intelligence-A Modern Approach, Prentice Hall (1995)
- 20) 土屋俊 (ほか) 編: AI事典 (第2版), 共立出版 (2003)
- 21) 石田亨: プロダクションシステムの発展, 朝倉書店 (1996)
- 22) 情報処理:特集セマンティック Web, 43-7 (2002)
- 23) 人工知能学会誌:特集:Semantic Webとその周辺, 17-4 (2002)
- 24) F. Fruhwirth and A. Abdennadher: Essentials of Constraint Programming, Springer (2003)
- 25) 北村, 山田 (編): e ビジネスの理論と応用, 東京電機大学出版局 (2003)
- 26) 山岡, 辻野: AI技術の産業応用例, 実用化例のまとめ, 人工知能学会誌, 18-3, 323/327 (2003)
- 27) 計測と制御:特集:熟練技能の解明とその機械化, 37-7 (1998)
- 28) 計測と制御:ミニ特集:人と機械の知的協調システム, 38-6 (1999)

[著者紹介]

寺野 隆雄 君 (正会員)



1978年東京大学情報工学専攻修士課程修了。78～89年(財)電力中央研究所。90年～現在 筑波大学社会工学系(大学院ビジネス科学研究科)。96年同教授。91年工学博士。人工知能学会, 経営情報学会, 情報処理学会, 日本オペレーションズリサーチ学会, 電気学会ほか会員。計算組織理論, データマイニング, 進化計算手法, 知識システム開発に興味をもつ。