

エキスパートシステムの現状と最近の動向



技術解説

1. ま え が き

コンピュータはその発明以来、数値計算を主体とした科学技術計算及び大量データの処理に基づく事務計算の高速かつ正確な実行を通して、社会に多大な貢献をしてきました。現在の社会がコンピュータなしでは成立しえないことからその影響の大きさを知ることができます。

近年、コンピュータの重要な利用技術の一つである記号処理を活用した、人工知能技術が注目を集めています¹⁾。人工知能はコンピュータの発明とほぼ同時に初められた若い学問ですが、人間の知能の解明を目的とする「科学」的側面と、知的な情報処理技術を開発する「工学」的な側面との2つの性質を合わせ持っています。初期の研究では、「人間の問題解決機能の解明」という科学としての側面が強調されていましたが、最近では人工知能で培われた技術の実社会への応用が論じられるようになって来ました。それは知識工学と呼ばれていますが、その名が示すように、一般的な問題の解決機構ではなく、人間が持つ「知識」に注目し、その工学的取り扱いを論じるものです。その知識を扱う技術を応用して、専門家が持つ専門知識を知識ベースに埋め込むことによって作られたシステムがエキスパートシステム、或は知識ベースシステムと呼ばれるものです。エキスパートシステムは限られた範囲ではありますが、専門家に匹敵する仕事をすることができ、現在、いくつかの実用レベルのシステムが構築され、その有用性

溝口理一郎*, 角所 収**

が実証されつつあります。

本稿では、エキスパートシステムの現状とその基本思想を述べた後、今後の動向を展望したいと思います²⁾。

2. エキスパートシステム概論

2. 1 エキスパートシステムの特徴

エキスパートシステムは従来の人工知能とは異なるいくつかの顕著な特徴を持っています。知識工学の創始者である Feigenbaum の言葉を用いれば、“Knowledge is the power.” という考えが根底にあります。次にエキスパートシステムが持つ主要な特徴を示しましょう。

1) 専門知識を必要とする困難なタスクを対象とする。

従来の人工知能研究が toy problem と呼ばれるゲーム等の簡単な問題のみを扱っており、少し大きな、現実的な問題に対しては殆ど無力であったことへの反省から、専門家と呼ばれる人が実際に処理をしているような困難なタスクを取り扱うことを目指している。

2) 問題固有の知識を重視する。

一般的な問題解決機能ではなく、対象とする問題領域に固有の専門知識に重点が置かれている。

3) 段階的なシステムの構築が可能。

知識ベースに知識を追加することによってシステムの性能を段階的に向上させることが可能である。

4) 自身の推論過程に関する知識を持つ。

推論に用いられた知識の連鎖を記憶しておくことにより、推論過程に関する説明をする能力を持っている。

エキスパートシステムの基本的な構成を図1に示しますが、その顕著な特徴として、

A) 知識の宣言的な記述

*溝口理一郎 (Riichiro MIZOGUCHI), 大阪大学産業科学研究所, 電子科学研究部, 助教授, 工学博士, 情報工学

**角所 収 (Osamu KAKUSHO), 大阪大学産業科学研究所, 電子科学研究部, 教授, 工学博士, 情報工学

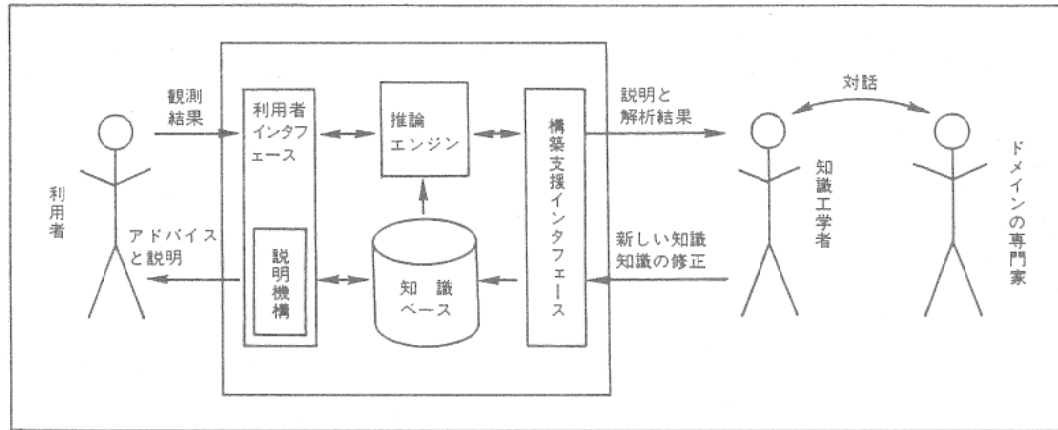


図1 エキスパートシステムの基本構成

B) 推論機関と知識の分離

があります。この特徴は極めて重要であり、上述の3)と4)の特徴はこの基本構成により得られたものです。手続きから分離された知識ベースに、各領域における専門家が持つ専門知識を移植することによってエキスパートシステムは構成されるわけです。また、データとして表現された専門知識を入れ換えることによって種々のエキスパートシステムを構築できるのもこの基本構成によるものです。

2.2 エキスパートシステムとソフトウェア

エキスパートシステムの構築は専門知識をコンピュータへ移植することに他なりません。このことから、エキスパートシステムを構築することを知識プログラミングと呼ぶことがあります。エキスパートシステムもプログラムとして表現されることを考えれば、通常のプログラムとの差が不明確になってしまいますので、その違いをここで明らかにしておきましょう。

従来のソフトウェアにしても何等かの知識を扱っていたわけですが、両者の最大の相違点は、対象とする専門知識の性格にあります。従来扱われてきた専門知識はWell-structured problem (明確な解法が存在する問題)の解法、あるいはアルゴリズムとしての知識でありました。言い替えますと、解法のフローチャート(流れ図)が書けるような知識を扱っていたわけですが。一方、エキスパートシステムが対象とする知識はIll-structured problem (明確な解法が存在しない問題)の解決に使われる、専門家が持つ経験的な知識(ヒューリスティックス)であるこ

とです。エキスパートシステムが対象とする問題は、このようにアルゴリズムが明確でないことが特徴的ですが、そのような問題に関して専門家が持っている経験的知識をプログラミングする技術が知識プログラミングと呼ばれているわけです。

2.3 エキスパートシステムの分類

エキスパートシステムの応用分野は少なくとも次の8つの問題領域に大別することができます。

1) 医療(故障)診断

医療診断は経験的知識の宝庫であり、知識ベースに基づく手法が有効に用いられています。最も多くのシステムが開発されており、フレームワークもある程度確立されています。

2) 設計、配置(CAD)

LSIの設計、配線、及び工業製品の設計・製作を支援するエキスパートシステムの開発が主ですが、人間の創造活動を支援するシステムでもあり大きな期待を集めています。

3) 計画・スケジューリング

工場における生産計画、プロジェクトの遂行におけるタスクのスケジューリング等は設計と類似していますが、処理の単位が部品ではなくて、作業という時間の概念に関するものを扱うという点で異なっています。

4) 解釈

実験・測定等の結果から得られる信号に隠されている意味の解釈を目的としたシステムの構築が中心となっています。音声理解システムもこの型のエキスパートシステムの一つと言えます

す。

5) モニタリング, 制御

動的に変化するシステム, 例えば, 化学プラントや発電プラント等の最適な制御を行うエキスパートシステムが目的です。超大型コンピュータの運用にも応用されています。

6) 意思決定支援

企業に代表される組織における意思決定を支援するシステムの構築を目的としています。

7) 教育

CAIのインテリジェント化を行うことを目的としています。

8) コンサルテーションシステム

旅行案内, 結婚相談, 納税相談などのように, なにか相談すれば答えてくれるというシステムが含まれます。

このように, エキスパートシステムには実に多くの型が存在し, 一見取り留めがないように思われますが, 多様な問題領域における専門知識の知識ベース化を通して, 人間が持つ「知識」の工学的な観点からの理解を深めることが知識工学の目標の一つとなっておりまして, むしろ, この多様さの中から統一されたフレームワークを抽出することが重要な課題となっています。

2. 4 エキスパートシステムの成功例

数多くのエキスパートシステムが作られています, 大多数のものはプロトタイプレベルのものであり, 実用レベルに達しているシステムはそれほど多くありません。以下に特徴的なシステムの例を示します。

1) PROSPECTOR (鉱脈探査支援システム)

1億ドルのモリブデンの鉱脈を発見。

2) R1 (XCON) (DEC社のミニコンのコンフィギュレーションシステム)

約6000のルールを持ち, 社内で実用されている。

3) DENDRAL (有機化合物の構造推定)

世界中で数百人の化学者が利用。

4) CADUCEUS (内科の診断システム)

一人の内科医より多くの知識を持つ。

5) Dipmeter-advisor (油田探査のための地層解析システム)

シュランベルジャ社において実用されている。

我国においてもいくつかの実用システムが構築されています。日本電気の超LSI配線システム, 富士通の回路合成システム, 日立製作所の原子力プラント配管システム, キヤノンのレンズ設計システム, 日本生命の保険加入者査定システム等はその代表例でしょう。

3. エキスパートシステムの基礎

3. 1 知識表現

3. 1. 1 知識の分類

人間が持つ知識には様々な形態がありますが, 手続き的 (Procedural) 知識と宣言的 (Declarative) 知識とに大別することができます。手続き的知識とは, 例えば, 車の運転の仕方とか, カレーライス の 作り 方 等 の HOW に関する知識であり, 宣言的知識とは, 日本の首都が東京であるとか, 昨日は天気が良かった等のWHATに関する知識です。前者には一般に動作が伴い, 後者は多くの場合事実に関する記述です。通常のコピュータ言語では, 命令が手続きに対応し, データ構造 (変数) が宣言的知識に対応していますが, 知識の記述という意識は無いのが普通です。一方, 人工知能では, 知識の記述がシステム構築の主な作業ですので, それぞれに適した表現の枠組が考案されています。知識表現において考慮しなければならないことは, 知識それ自体の性質だけではなく, 知識表現の方法にも手続き的な表現と, 宣言的な表現があることです。通常は, 宣言的な知識はフレーム, 或いは意味ネットワークで表現されます。これらは, 宣言的知識の宣言的な表現と行うことができます。また, 手続き的知識は従来通り命令の列として手続き的に表現されることが多く見られます。一般に, 表現の方法としては, 宣言的なものの方が手続き的なものより書き易く, 読み易いという大きな利点があります。このことは, 「どのようにするか」を説明するよりも「何をするか」を説明する方が容易であることから分かります。そのため, 手続き的知識の宣言的な表現法が幾つか開発されています。その代表的な表現法の一つがプロダクションシステムであり, エキスパートシステムにおける専門知識の表現法として用いられています。論理型

言語も同様のことを目指しておりまして、第5世代コンピュータで取り上げられているPrologはその近似的な実現となっています。紙面の都合で全ての表現法に触れることはできませんので、ここでは、エキスパートシステムに最も関係の深いプロダクションシステムについてのみ述べることにします。

3. 1. 2 プロダクションシステム

プロダクションシステム (PS) は基本的には記号列に対する書き換えシステムとして考えられ、次の3つの基本的な構成要素からなります。(図2参照)

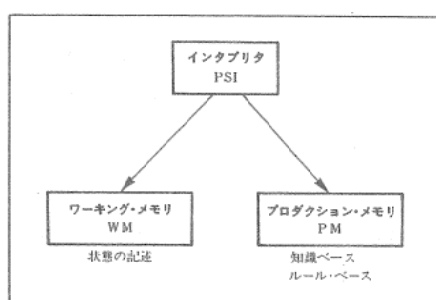


図2 プロダクションシステムの構成

- (1) Working Memory (WM) : 問題の状態を表わす記号列の集合です。
- (2) Production Memory (PM) : if A then B の形式をとるルールの集合で、A を条件部、B を実行部と言います。通常のPSでは条件部、実行部共に任意の関数を書くことができるように拡張されています。
- (3) Production System Interpreter (PSI) : PMのルールの中からWMに対して条件部がマッチするものを探してきて、WMを実行部通りに書き換える働きをしますが、この動作は推論と呼ばれることがあります。

プロダクションシステムには次に挙げる3つの特徴があります。

- (a) modularity : PMの中の各々のルール間の相互作用はWMの変更(挿入、削除など)を通じてのみ間接的になされますので、ルールの記述に際して他のルールとの関係をあまり考慮する必要がありません。そのため、ルールの追加、削除、変更が容易にでき、システムの能力を段階的に増大させて行くことが可能となります。

(b) readability : 従来のプログラミング手法では、使用される知識の内容が制御の流れの中に含まれているため、どのような知識が如何に使われたかを知るためには、そのプログラムの処理の流れを順次見ていかなければなりません。PM中の各々のルールはそれぞれが一片の完結した知識であるためその意味の理解が比較的容易です。

(c) self-explanatory : 処理の全過程がWMの内容を順次変化させたルールの系列として判りますので、如何にして結論が得られたかをシステムが説明することができます。

これらの性質は知識工学にとって本質的な意味を持っています。即ち、推論機構としてPSIを採用して、専門知識をプロダクションルールとして表現することにより、知識をある一定の表現形式の中で他の手続きと分離して取り扱うことが可能になるわけです。この意味でプロダクションシステムは知識工学における知識表現ツールとして極めて重要な位置を占めています。

プロダクションシステムにおける推論方式として、

- 前向き推論
- 後向き推論

の2つのものがあります。前向き推論では、現在のWMの状況に適した条件部を持つルールが適用され、その実行部に従った処理が行われ、WMが書き換えられます。これを一つのサイクル (Recognize-Act Cycle) として繰り返し実行されます。このように、ルールの条件部から実行部の方向へ推論が進む処理は、観測されたデータから結論を導く、あるいは仮説を生成する過程に対応しています。後向き推論では、まず達成すべきゴールが定められた後に、それを満たす実行部を持つルールが検索され、そのルールの条件部が次のゴールとなり、さらにそのゴールを満たす実行部を持つルールが検索される、という逆方向の処理方式がとられます。これは、仮説を検証する過程に対応します。またさらに高度な推論方式として、両方の方式を適宜使い分けていくものもあります。このためには、仮説の生成と検証の処理を切り替えるため

の知識、即ち推論の仕方に関する知識が必要となります。

このように、手続きをルール表現し、それをデータとみなして解釈・実行するという方式は、従来の手続き型の言語と根本的に異なる点です。プログラム（命令）をデータとして扱うという思想はLISP以来、人工知能分野での伝統的なものですが、このことにより、システムに自意識を持たせることができます。言い替えますと、システムは、どのようなときに、どのルールを実行したかを意識し記憶することができます。この機能は説明機能という形で具現化されていますが、この機能を用いて利用者はエキスパートシステムに対して次の2つの説明を求めることができます。

why：何故そのような質問をするのか？

how：どのようにしてあるゴールを達成した（する）のか？

これらの質問に対して、システムはルールの適用状況を説明してくれます。説明機能は、システムのブラックボックス化を防ぎ、利用者がシステムの結論を納得して受け入れるための不可欠であるばかりでなく、知識ベースの開発者を支援するデバッグとしても極めて有用なものです。

3. 2 エキスパートシステムの構築

エキスパートシステムは通常図3のような過程を経て構築されます。それは段階的かつ増殖的であり、エキスパートからの専門知識の獲得が中心的な課題となります。知識工学者と呼ばれるコンピュータの専門家が、対象とする分野の専門家との対話により専門知識を抽出するわけですが、この作業が大変大きな比重を占めて

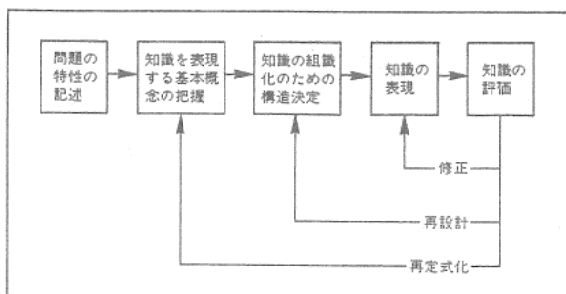


図3 エキスパートシステムの構築過程

います。

従来のソフトウェアのように、問題全体を考察して、その解法を完全に把握してからコーディングを始めるのではなく、事前の準備を出来るだけ速く切り上げて先ずプロトタイプを作り、その試行によって問題を明らかにしていくという方法論が本質です。

エキスパートシステムを構築する上で、注意しなければならない点として次の5つがあります。

- (1) 従来型の方法では開発が困難であること。
- (2) 用いられている専門知識が記号で表現可能であること。即ち、人間の直感に頼るような知識が含まれていないこと。
- (3) プロトタイプがルール数で数10から200程度でできる規模に問題が切り出せること。
- (4) 専門家の協力が得られること。
- (5) 上司の支持が得られること。

3つ目の条件は、特に初めてエキスパートシステムを作るときには大切です。

エキスパートシステムがなかなか実用にならないと良く言われていますが、まだエキスパートシステムの技術が未熟ですので、対象とする問題を上手に選択しなければならないということがその大きな原因となっているように思われます。

次に大切なことがインタフェースの問題です。実用に耐えうる知的システムを構築するには、核となる知識情報処理技術以外にインタフェース等の周辺技術の充実にも力を注がなければなりません。エキスパートシステムを使う人々が通常はコンピュータに不慣れなことが多いからです。先に述べましたDipmeter-advisorはインタフェースが優れていることで著名ですが、そこでは、全コード量の内、知識情報処理に対応する部分は30%に過ぎず、インタフェース部は42%にもなっていることがこのことをよく表わしています。

エキスパートシステムは人工知能の応用技術ではありますが、あくまでも一つの新しいソフトウェア技術であるということを忘れてはいけません。人工知能という甘い言葉から、ついなんでもできる魔法のように期待しがちですが、

これには気を付けないといけないと思います。

3. 3 構築支援ツール

現在、構築されたエキスパートシステムを汎用化することによって、いくつかのツールが開発されています。エキスパートシステムの構造から分かるように、専門知識以外の部分は問題に依存しないため、あるエキスパートシステムから専門知識を取り除いた枠組はある程度の汎用性をもっており、他の類似の問題に適用することができるわけです。構築支援ツールとしては、枠組だけではなく、さらに専門知識の記述の支援等、使い易さへの配慮もなされています。ルールベースのツールが主流ですが、最近商用化されたツールにはプロダクションルールだけではなく、オブジェクト、フレーム、述語論理等の複数の知識表現形式を統合したものがあります。マイコンレベルで稼働するツールも普及しつつあります。

1970年代の前半までに、米国において多くのエキスパートシステムが構築され、後半には汎用ツールが生れ、80年代になってそれらのツールの商品化が行われ、現在に至っていると言えます。汎用ツールは個々のエキスパートシステムの小さな差異を捨象して、知識の本質的な特性を見いだすためにも有効であり、知識工学の一つの成果であるということが出来ます。

4. エキスパートシステム研究の動向

これまでエキスパートシステムの基礎的な事柄について述べてきましたが、本節では、エキスパートシステムの研究における主要な課題について述べたいと思います。

1) 知識獲得の支援

専門家は自分が知っていると思っている事より多くの事を知っているとされています。一般に、人間は自分が知っている知識を正確に説明できないことが多いのですが、エキスパートになればなるほど専門知識が無意識的になって、自分が問題解決に使っている知識をうまく表現が出来なくなるという厄介な問題があります。知識工学者はこの知識獲得をしなければならぬのですが、知識工学者と専門家は互いに相手の分野のことを理解していないのが通常ですか

ら、知識獲得の問題は極めて困難となっています。従いまして、専門家から知識を引き出すことを支援する。さらに、専門家が自分でエキスパートシステムを構築できるようにするための研究が望まれています。

2) エキスパートシステム構築方法論の確立

エキスパートシステムの研究は歴史が浅いのでやむをえないのですが、その構築方法論が確立されていないのが現状です。今後多くの経験を積むことによって、システムティックな方法論を確立しなければなりません。そのために有望な方法として、エキスパートの問題解決を適切な抽象レベルにおいて考察し、それを表現するためのビルディングブロックを整理する研究があります。

3) 深い知識の利用

従来の診断型エキスパートシステムは診断のための経験的知識のみに基づいていたため、予想していなかった故障には対処することができませんでした。しかしながら、人間の専門家であれば、そのような場合には原点に戻って考え、診断対象や一般的な原理に関する知識（深い知識）を総動員して、未知の状況に対処することができます。これと同様のことができる新しい故障診断エキスパートシステムの研究は、次世代のエキスパートシステムを示唆する意味で重要です。

4) 高度な推論方式の利用

単純な前向き/後向き推論以外の推論、例えば仮説型推論や類推などを利用する方式の開発も行わなければなりません。

5) 説明機能の高度化

推論過程の説明だけではなく、ルールそのものの正当性をも説明できることは対象をより深く理解するためにも重要です。

6) 従来技術との結合

エキスパートシステムはそれ単独では無力であることが多く、実用のためには従来型のシステムと結合して、既存のシステムの一部として稼働できるように工夫されなければなりません。そのための結合技術の研究も重要です。

エキスパートシステムにはこのように多くの解決すべき課題が残されていますが、多くの研

研究者が研究に取り組んでいます。我々産業科学研究所でも微力ながら努力しており、数年後にはエキスパートシステム技術の大きな進展が期待できるものと思われまます。

6. む す び

エキスパートシステムの現状とその応用について眺めてきました。エキスパートシステムは言うまでもなく、問題に取り組んでいる専門家が近辺にいないければ作れません。具体的な問題を持っていない大学は不利な立場にあります。企業はその反対で、専門家や問題の宝庫とすることができます。知識工学の進歩の原動力は多くのエキスパートシステムを作成した経験以外にないと考えられます。エキスパートシステムに関する大学と企業の共同研究は、その意味で極めて重要であると思えます。

知識情報処理技術は着実に進歩しており、その応用範囲は益々広がっていくものと思われまます。中でも、知識ベースの考えは重要です。人間同志の知識の授受には本質的な困難が伴いますが、現在我々はこれを補う手段として言語を用い、文書の形で知識を記述して、蓄積に努

めています。しかし、文書化された知識は、そのまま直接には問題解決に用いることはできず、コンピュータから見れば「死んだ」知識であると言えます。一方、知識ベース内の知識は、それを人間が読むこともできますし、具体的な問題の解決に使うこともできます。その意味で知識ベースは「生きた」知識の蓄積法として機能するわけです。様々な問題への知識情報処理の導入は多くのエキスパートシステムを生むことになると思われまます。同時に多くの有益な知識ベースが構築され、知識の有効利用可能な集積と、その効率的な利用の観点から見まして、現在のデータベース以上に広く利用されるときが来るものと思われまます。そのため、今、何をなすべきかを考えておくことは意義深いものとなるでしょう。

〔参 考 文 献〕

- 1) 田中・淵監訳：“人工知能ハンドブック I, II” 共立出版 1983.
- 2) 溝口, 角所：“エキスパートシステムにおける新しい研究動向”, 情報処理学会誌, 28, 2, 1987.