

エキスパートシステムの問題解決能力とその教育への適用

吉川 成人 ソフトウェア・コンサルタント(株)

エキスパートシステム(以後ESと略記)内蔵型のICAIシステムを構築しその有効性を検討するという目的で、パイロットシステムを作った。(ESであるA1とそれを内蔵するICAIシステムのB1である。)

この開発に関連して、広くESとICAIシステムについて感じた疑問点や検討項目をあげ、提案や問題提起を行いたいと思う。本論文の内容は、

- 開発したシステムと検討項目
- ESの能力
- ESの問題点/疑問点
- 知識工学に対する提案
- ESの評価
- ES開発についての考え方
- ESの問題解決能力とその教育への適用

である。

そして特に、主張したい点は、一般の多くの問題はタイプ別に分類できるであろう事と、ESは問題解決能力によってその価値が評価されるべき事と、教育の面から見た場合、従来から必要とされる問題解決型学習のイメージに近い学習がESを使うと可能であることであり、この事は、再びESの価値の再評価につながるという事である。

Problem solving capabilities of the expert system and its application to education

Shigeto Yoshikawa
Software Consultant Corporation

I have developed an expert system and an ICAI system which incorporates the expert system. And I examined its availability for problem solving aid and education. I prefer to point out questions and a number of subjects for discussion relating to this development and bring out proposals and other issues for public discussion.

This paper deals specifically with the following topics;

- the developed system and discussion items
- capabilities of the expert system
- problems and questions of the expert system
- proposals to knowledge engineering
- evaluation of the expert system
- development concept of the expert systems
- problem solving capabilities of the expert system and its application to education

In this connection, I like to point out that common problems can be classified by type, the value of the expert system should be assessed in terms of its problem solving capability and that the expert system enables students to learn more or less in a problem solving approach. This can trigger the reassessment of the expert system.

1. はじめに

エキスパートシステム（以後ESと略記）の研究は、世界の中で米国が卓越して進んでいる状況にある。そしてESはすでに確立した分野であり、もはや人工知能（AI）の主要研究課題ではないという意見もある。しかし、ESについての問題点や残された課題は非常に多くある。たとえば問題解決への支援を考へても、知識の学習取得、知識のメンテナンス、緊急時など限られた時間内の優先的な戦略選択のメカニズムなど今後の研究項目は数限りない。我々に残された課題は多いと言えるだろう。私は、目標として「ESの問題解決能力を教育へ適用する。」を設定し、ES内蔵型ICAIシステムのパイロットシステムを作った。本報告は、この開発に関連して考へたESとICAIシステムについての巾広い疑問点や検討項目を上げ、提案や問題提起を行うものである。

2. 開発したシステムと検討項目

システムのテーマは、ある緊急事態対処の問題である。開発環境は、計算機VAX750/UNIX BSD Ver 4.2、言語は、CPROLOGを使用した。開発したシステムは、ES（A1と名付ける、以下こう呼ぶ）とICAI（B1と名付ける、以下こう呼ぶ）であり、A1はESとして独立に動くが、B1は、A1を内蔵する。A1は問題解決過程を強くイメージして作られており、問題解決の方策の推薦機能、問題解決の進行状態の表示機能、各種の説明機能を持つ。一方、B1はその学習目標として、A1の設定する問題世界において問題解決能力を身につける事というものを持つ。システムの開発経験から、以下の項目についての検討が必要である事がわかった。

a. A1の問題解決能力の向上

問題解決能力は、ESの最も本質的な能力である。後に述べるように、ある限定された世界（範囲と深さ）での問題解決能力しか（現状では）持ち得ないとしても実用に十分耐えるものを作りあげる事はできる。そのためには、実用場面での適用を繰り返す事によって問題解決についての知的能力を成長させる必要があるが、それとは別に、問題と問題解決についての類型化の研究を進める事により、それが本質的に解明された後に能力向上が達成されることも必要と思う。

b. A1の対象とする世界と問題についての記述力の向上

人工知能（AI）で開発された各種手法（プロダクションルール、フレーム、オブジェクト、多重階層世界などの知識表現と推論方法）をうまく組み込む事によりかなりの向上が見込めると思う。ここでは、各種知識表現方法の比較・研究と併行となる。また後に述べるがモデルを組み込む事も検討する。

c. A1へのメタ知識の実用的な組み込み

メタ知識については、ルール型とフレーム型、それぞれでの実現が考えられる。また多重階層世界モデルにより統一的にメタ機能が扱えると思う。ここでは、メタ知識の働きとして計画に関する働きや制御に関する働きが考えられる。このような考え方は、今や常識化している。

d. B1への教育戦略の多様化

学習目標の分析をベースとし、それとそれに基づく教育戦略をあらかじめ内蔵しておき実行時に動的に手段目標分析を行い、それに基づく指導を行う方法が当面考えられる。ただ面白いのは学習目標の設定がはじめに決まるのではないことである。

e. B1(A1でもよい)への問題状況についてのシミュレーションモデルの組み込み

過去から未来、個別空間からより上位の空間までを考慮した緊急事態についての環境モデルを内蔵する事により、問題状況をこのモデルとの対応により把握する。なお、ここでは従来の数値モデルではなく言語モデルによるものを検討する。

f. B1への有効なユーザモデルの組み込み

各種のユーザモデルが提案されている。それらは、バグモデル、帰納的推論によるモデルなどである。これらのうち最も適するものを検討して組み込む事が考えられる。しかし、これだけでもかなり難しい問題である。

g. B1の汎用ICAIとしての検討

B1をA1の内容とは独立とし、A1を自由に替える事のできる汎用の問題解決型学習(器)の実現性について検討する。

上記では、後に述べる学習機能については含めていない。また実現は、かなり難しい点があるのは、否定できないが不可能なものではないと思う。

3. ESの能力

ここでは、一般のESを対象としてその能力について考える。コンピュータの能力やESの能力は人間のそれと比較して論じるとわかりやすい。人間の頭脳の持つ能力は、高度な問題解決能力として把える事ができるが、その内容は、

- a. 問題解決の方法についてのメタ的な知識………経験に基づくものが多いが、必ずしもそうとは限らない。
- b. 問題解決の方法についての具体的な知識………把握、分析、解決策の統合化能力など。

- c. 学習能力………問題の把握や分析や解決についての必要な知識や方策を学ぶ能力。
- d. 問題内容についての知識（オブジェクト知識）
………対象とする問題についての直接の知識。
- e. 問題解決を達成する能力………計画、実行、評価など。

により構成される。そしてそれに必要な知的な機能として、

- (1) 記憶力（最も基本的な機能）
- (2) 応用力（適用力）
- (3) 発想力（転用力）
- (4) 創造力

がある。

このうち、人工知能（AI）の研究は、一応（1）から（4）のすべてを研究対象としているが、知識工学（KE）は（1）（2）に今のところ限定している。

人間の頭脳とコンピュータ上に実現した現状のKEシステムの特性の違いは、表1のように示すことができる。

	特 性	備考（表現と推論も含む）
人間の頭脳	幅広い知識、融通性、あいまい性への対処。発想や思考の飛躍、すばらしい連想性、直観力を持つ。しかし、疲れやすいし、忘れやすい。集中化、継続化に限界がある。	人間の頭脳の生理的な必要性（精神衛生も含めて）から見て、ある問題（精神活動としての）は、ある時間内に解決するか、忘れる（一時退避も含む）かをしていると思われる。別のことをしているうちに、ヒントを思いついて問題を解決したり、問題そのものを超える発想をすることもある。知識表現については、不明。推論はKEのようなものとは違い、必要に応じてメタにより起動がかかるように見える。
現状のコンピュータ上に実現した	膨大なデータの記憶（ここでは通常のデータベースを想定）、集中化と継続は、いくらでもできる。疲れしない、飽きない、忘れない。しかし、データの応用については狭い知識しか持たず、融通性を欠き、あいまい性にも本質的な対処ができない。連想や飛躍や発想はできない。	知識表現については、大きく2通りある。プロダクションシステムとフレームである。推論については、前向き、後向き、手続き、デフォルト、インヘリタンスその他あるが、単純な方法を繰り返し何段階も深く推論できるのが、特徴である。オブジェクトによる表現もあるが、これについては一応、フレームの範ちゅうに入れておく。

表1. 人間の頭脳とKEとの違い

人間の頭脳と比較して、KEはカラクリの違う別構造の頭脳を持つといえるだろう。

4. ES についての問題点／疑問点

ES は人間の頭脳の知識処理（知識表現、推論、学習＝知識構造の変化？）と比較して、はるかに単純な枠組みの上で作られている。従って、実用上、価値を発揮する程の問題解決能力を身につけるためには、人間専門家の希少価値のある知識を組み込む必要がある。

また、対象とする問題にも、向き不向きがある。文献 [1]、[2] によると、ES の問題タイプとして、①診断問題、②設計問題、③計画問題と大きく3分し、より具体的には、

- (1) 解釈………センサ・データからの状況記述の推論など
- (2) 予測………与えられた状況からの確からしい結果の推論など
- (3) 診断………観測可能なものからシステム異常の推論など
- (4) 設計………拘束のもとでの対象物の構成など
- (5) 計画立案………動作の設計など
- (6) モニタリング………計画の弱点に対して観測との比較など
- (7) デバッグ………異常機能の治療のための処方など
- (8) 修理………処方された治療を施す計画の実行など
- (9) 教育………学生の動作の診断、デバッグ、修理など
- (10) 制御………システム動作の解釈、予測、修理、モニタリングなど

と、タイプ分けされている。

この分け方に行動や調整そして学習とか状況把握という様な項目も加えられてよいと思うが、ここで大切なのは、問題タイプとその解決方法を分けるという事が、可能でかつ、必要であるという点である。ここでは、このように分けた問題を展型的（テンプレート）問題と呼ぶ。

本質的には、このテンプレート問題のタイプは、明確に分類できるのだが、今日では、まだ解明されていないと見なしてみる。ES は人間の頭脳の特別な表現であるので、問題に対する向き不向きがはっきりと現れると見なす事ができるだろう。

このテンプレート問題についての扱いは状況限定（サーカムスクリプション）と同様のものと思う。人間の頭脳の場合は、メタ的な知識や学習能力、予見能力などを含む一般問題解決器の機能を持つが、ES の場合、とてもそのような能力は現状では持ち得ず、ある限定された枠内での問題解決を疑似的に行い、実用上その価値が評価されているものと言えるだろう。そして、ブラックボードモデルのように複数のES の協調によってもとの問題の解決をはかるというのが現在の最も進んだES である。

AI の研究の主要な課題である学習問題が将来のES についての本質的な課題となると思う。しかし、その前には、テンプレート問題の問題解決についての多くの課題がある。

5. 知識工学に対する提案

3つの視点を立てて考える事ができると思う。

A. 人間の頭脳の働きと対比する視点

認知心理学、生物工学、精神医学、生理学などが関係してくると思うが、人間の頭脳の働きについての研究を通してその機能の模倣をコンピュータ上で実現するという視点は今後もより必要となるだろう。これは、未来永劫続くテーマである。

B. 知識工学（現状のままでよい）を応用する事により得られる利益を
考える視点

知識工学で得られた成果を広く一般的なシステムに適用していくという
視点である。知識チップスを各種制御装置に組み込んで用いたり、人間の
思考の論理性のチェックをまかせる事ができるワープロなども可能と思う。

C. 実現の仕方に対する具体的なアイデアを考える視点

従来からあるAIの立場であるが、要するにコンピュータ上で実現する
事を考える視点である。AI言語で見ると、現状はLISP、Prolog、
Smalltalkのレベルであるが、もっと使いやすい高級な論理
型言語とか、知識工学用言語が開発されるべきであると思う。ES開発用
のツールやシェルについても、そして知的な支援をする開発環境（マンマ
シンインターフェースの知能化）も研究開発されるべきであろう。

6. ESの評価

文献[1]、[2]、[3]などには、欧米のESやESシェルについ
ての一応の評価が成されている。しかし、これらは幾つかの項目に分け
てその紹介程度しか成されていないのが実状である。KEの現状のレベル
から見て、まだ個別のESの事例研究の段階であり、比較可能な客観的評
価が考えられるような段階ではないのかも知れないが、現状のKEのレベ
ルで考えても可能なESの評価を行うべきであると思う。

評価の項目としては、

(1) ES全体としての評価

- ①対象となしうる問題のタイプや大きさや複雑さと問題解決の能力
- ②コスト……これは、知識の検証や実動までの全作業の工数を含む
- ③仕様……システムのボリュームとか実動条件である。
ルール数、又はフレーム数、ファクト数のようなものか
ら1問題解決あたりの推論の数のようなものも指標化で
きくと思う。
- ④使い易さ……応答時間、同一のファクトの2回目以後の扱い、ユ
ーザの支援機能などの考慮。

(2) ESシェルの評価（ここではツールレベルのものを対象としない）

- ①使い易さ（わかり易さ）
- ②支援機能（開発時支援機能）
- ③説明機能などの機能の充実度
- ④実現された事例
- ⑤普及性（コンパチビリティ性も含む）
- ⑥規模と性格（小型パソコン、中型、大型ハイブリッド）などにより
変わる評価項目

(3) ES上の専門知識の評価

- ①他の人間専門家による比較、評価
- ②実際に問題を与えてそれに対する解決能力をみて、有効性を判断す
る。

7. ES開発についての考え方

文献[3]によれば、失敗しないES開発の方法は、ツール又は手法があり、それに相性のよいタイプの問題を選び、ふさわしい人間専門家が存在する事である。このような条件に合わない問題はill-formedな問題として対象外とする考え方である。しかし、この考え方は、本質的には本来転倒であることを認識しておかねばならないと思う。通常はまず問題があり、それがill-formedであれ、well-formedであれ、それに向く解決方法を考えるべきである。ところが、こういう考え方をとると、開発に失敗してしまう事が多いということで、実用上は適用するのが制限されるのは仕方がないということに成るらしい。現時点では、考え方として大切なのは、適用できる問題(テンプレート問題)のタイプを増す事であろう。

それともう一つ議論の対象となるのが、CADの中にエキスパート機能を組み込むというような組み込み型AIと、あるいはエキスパートシステムの中に様々なモデルや通常のプログラムを持つというようなシステム構築の方法であるが、このような方法が結局は最も実用的でかつ利用価値が高いのではないかという事である。OPS-5は他の言語とのリンクが容易であり、OPS-83はそれをさらに進化させたものである。エキスパートツールとして知識表現と推論を中心とした機能から見るとそれ程高いわけではない(OPS-5は説明機能もないし、推論は前向きでかなり制限が強い)が、実用システムを作る上では、強力なものに成りえるわけである。このように考えると4で述べた学習機能が無くても、適用できる分野はまだまだ広範囲にあるように見える。

8. ESの問題解決能力とその教育への適用

教育の分野でコンピュータを使用する方法の中であって、教授そのものをコンピュータで行うのがCAIである。そして、そのねらいとする所を達成するためにAIの成果を取り入れようとするのが、ICAIである。ICAIにも種々のバリエーションがあるわけだが、ここでは、ICAIとしてESをとらえるとか、ESそのものを教育の道具とする事を考える。2で述べたICAIであるB1は、ESであるA1を内蔵するシステムである。内蔵した理由はA1を用いて特定問題状況における問題解決をさせ、その動作から学生モデルを作りたいというものである。(B1では、学生モデルはまだつくっていない)そして、その学生モデルをもとに指導する事を考えている。ここでは内蔵することを考えたが、そうしなくてもESそのものが、使用者を教育・訓練する能力は高いと思う。MYCINを用いたGUIDONにしても、またMYCINそのものにしても現在は教育用に用いられている。ESのほうの視点からはESはすべて問題解決器であるのだからその問題解決の知識を教える能力を潜在的/顕在的に持っている。一方、教育とかCAIの側からは、問題解決学習が大切であるとさげばれている。問題解決学習の方法には種々のものがあると思うが、ESをその道具として使いこなせれば(先生が使いこなせるのが条件でもあるが)教育上非常に有効なものとなると思う。このような方法をとる場合には留意すべき点が多々ある。それは、教育という評価が難しくかつ多面的な視点を満たすことが要求される目的的活動においては、一つの方法だけでは片寄る可能性があるということである。従って他の教材やメディアを使って補完(どちらが主体かは別)しなければならないという事である。

ここで取り上げるような方法は従来の分類でいえば、提示(デモンスト

レーション)にも使用できるシミュレーション学習にもなるし、作り次第ではゲームによる学習にもなることができる。このような性質から考えて補完すべきものとしては教科書のような体系だった教材であろう。

9. まとめ

開発したシステムとESについての検討、分析が不十分であるが、大枠においてここで述べた考え方が妥当だと思う。得られた成果よりも今後の課題が山ほどもある事が認識できた。この中で不十分なのはAIにおける問題解決についての研究として従来から存在する階層的な問題解決方法などについて全くふれていない点である。これも今後の検討課題である。

謝辞

本研究を進めるにあたって有意義なアドバイスをして頂いた大阪大学基礎工学部情報工学科、鳥居宏次教授、田村進一助教授、小川均助手および研究の機会を与えて頂いたSCC社長、松尾三郎氏、同社常務、園本征氏に感謝します。

参考文献

- [1] Hayes-Roth, F., et al. (eds.): Building Expert Systems
Addison-Wesley (1983)
- [2] Waterman D.A.: A Guide to Expert Systems
Addison-Wesley (1985)
- [3] Harman P., et al.: EXPERT SYSTEMS -AI IN BUSINESS-
John Wiley & Sons (1985)
- [4] 国際情報化協力センター: 「現地語教育システムの調査研究」
調査報告書 国際情報化協力センター (1985)
- [5] Otsuki S. et al.: Intelligent CAL System Based on Teaching
Strategy and Learner Model, Proc. of WCCE'85 pp 463-468
(1985)