

一般論理型モデル表現手法
G E L O M O R E について吉川 成人 五百川 賢司 中村 浩一 安永 恭子
(株)イーディシー

次世代CAIや次世代エキスパートシステムや次世代データベースシステムを構築するためには、対象モデルとユーザモデルの自由な操作が必須である。そのための試みとして、モデリングと問題解決と知識の構造化・自己発展を述語論理の枠組みの中で表現し、機能させる事を検討している。そして、その中で主要なテーマはメッセージとデーモンであり、これを充実させる事がより一般的でより強力な表現手法の開発につながる。また、この検討が知識の工学上での実現の見直し・評価にもつながる。以上の考え方と2、3の適用の検討に関して報告する。

General logical model representing method G E L O M O R E

Shigeto Yoshikawa Kenji Iokawa Kouichi Nakamura Kyoko Yasunaga
Electronics Development Corp.Technology Research Section, EDC Corporation
5-62-1 Nakano, Nakanoku, Tokyo, 164 Japan

To develop more advanced CAI, expert and database systems, capabilities for flexible operation of object and user models is essential.

As a trial approach to this end, we are studying on how to express and operate modelling, problem solving, hierarchical structuring and self-development of knowledge in a framework of predicate logic.

Of these, message and demon constitute a main theme.

Upgrading the quality of these factors can pave the way for developing more common but powerful techniques of representation. Besides, research in this domain can lead to the establishment of a technique to assess and evaluate the entity of knowledge from scientific point of view.

This paper reports findings on such a conception and few typical cases of application.

1. はじめに

次世代C A Iと次世代エキスパートシステムと次世代データベースシステムを構築する基本的な構成要素・方法としてモデルベースシステムが必須であると認識されてきた。ここで、次世代C A Iとは教育方法として問題解決方法や知識シミュレーションなどの高度なシミュレーション方法が可能なシステムである[1, 2, 3, 4, 5, 6] (表1, 図1, 図2, 図3参照)。次に次世代エキスパートシステムとは、深い推論と高度な推論が可能なシステムである[7]。そして、次世代データベースシステムとはデータを中心としたオブジェクト指向とデータの自動収集、更新、整理、メッセージングおよび内容メディア変換が可能なシステムである[8] (図4参照)。これらはいずれも近い将来に確実に実現されると考えられる[9] (図5参照)。さて、モデルベースシステムはモデルを内部に持つため、従来のヒューリスティック知識中心の知識システムでは実現不可能な、奥深くかつ融通性のある推論や、まとを得た説明を可能とする事が期待されているものであり、それには対象モデルとユーザモデルがある。モデルベースシステムについて最近議論がさかんになっているが、関連した理論や実験システムを評価体系化するのと並行して、多くのアイデアを出す事が現在価値があると考えられる。我々はモデルベースシステムへの試みとして、モデリングと問題解決と知識の構造化・自己発展を述語論理の枠組みの中で表現し、機能させる事を検討している。そしてそれを一般論理型モデル表現手法ゼロモアと名付けた。その中で、主要なサブテーマをいくつか設定し、イメージングのためのプロトタイプングを行っている。本報告ではゼロモアの発想・機能・可能性、具体的な適用に関して、モデルベースモデリングと評価系について、そしてプログラミング技術との関連までのアイデアを中心に述べる。

2. ゼロモアの発想

そもそもは探索の理由付を考えた。

発想1 探索の理由 - because - の設定

- 1) 理由(の履歴)を逆方向にさかのぼればT M S (A T M S も)と同様の真理値維持ができると考えた。
- 2) それ以外に、進行方向に向ければ予測ができる。予測の予測もつく。
- 3) 理由間の矛盾ないしは最も強い理由となるものが探せる。
- 4) 説明ができる。

発想2 構造を持ち変化する、この動きが記述できる。構造の変化と時間変化が共に記述できる。

- 5) 再現性がある。進行方向にも、逆方向にも。
- 6) 別の場所からながめることができる。
- 7) 仮に進行させ評価して実進行する事ができる。
- 8) モデル間の比較や参照ができる。

発想3 フレームのインヘリタンス、デーモン、メッセージ、スロットを様々に充実させる事を考えた。

9) 知識取り込みデーモン/メッセージ

10) 整合性要求デーモン/メッセージ

11) 無矛盾(納得)デーモン/メッセージ

発想4 述語表現と時間と座標系の移動を考えた。

12) 5W1Hなどによる限定と限定可能な表現法があると仮定した。

13) 時間と時間の推移(幅)を含んだ表現ができると仮定した。

14) 場所と場所の移動を含んだ表現ができると仮定した。

15) 時間と空間の指定が述語の内と外で表現でき、変換できると仮定した。

16) 様相論理/時相論理入りの表現について上と同様の変換ができると仮定した。

発想5 パターン述語を考えた。

17) 各種の知識表現の構造と機能と意味と述語表現をパターンで定義できかつ変換できると仮定した。

発想6 曖昧さの合理的な処理、および曖昧さをうまく用いる知識表現の設定。

18) あるテーマの認識・理解に際して、テーマの境界以遠は曖昧さをうまく使うことにより納得系が成り立つと仮定した。

発想7 問題解決と高度なシミュレーションを意識した。

19) 知識のバックトラック操作のできるシミュレーションを考えた。

発想8 知識の蓄積(積分)と新しい過去の見直し・再構成を考えた。

20) 知識の積分・微分の検討と論理式として設定の検討

次世代CAI、次世代エキスパートシステム、次世代データベースシステムの構築を目指す面からの要求と、多くのAI理論と技術からの発想と融合している。

ゼロモアの位置づけは、一方でモデル/モデリングと、一方でAI言語(一応Prologを想定)と結び付きそれらを介在する表現の理論かつ手法である。従来AIでは知識表現モデルとしてはフレームが最も優れているといわれているが、これらの関係について記すと以下のようなになる。

Prolog - 先進的な言語であり、様々な発展が期待できるが、述語表現とその処理に関して解釈・意味論的な面に根本的に人間と機械処理のギャップがある。

フレーム - 強力な表現能力を持つが、拘束が多いので良い面は残してこれを崩したい。フレーム名を引数とし、フレームの機能を抱えこんだ表現の実現を考える。

ともかくも、述語をベースとした表現の潜在能力は強力であり、その能力を上述べた機能の形に実現できる仕組みとしてこの表現手法が構築できれば、この分野の研究として価値があると考えられる。

ゼロモアは言語ないしは表現方法である。拡張Prolog、拡張フレームと理解しても良いかも知れない。

3. モデルベースモデリング

基本的な考え方は、種もきっかけもなくモデルを発生させその後成長させる（学習する）というモデリングの方法は当面考えないという事である。きっかけのない所でのモデルの発生はそれだけで一つの大きな課題であると考ええる。当面は種となる原型を与えるのがはるかに実現性が高い。そしてこのように考えたときの課題は、原型の与え方と成長のさせ方をいかにするかである。そしてここでの原型は以後の成長、すなわちモデリングを可能とするものでなければならぬ。従って、まず原型が与えられたと仮定し以後のモデリングを考える。

(1) モデリング

ここでのモデルは外界に反応し自己評価をし自己改変、適応、増殖をする。それが可能なモデルであろう。なお、そのモデルのイメージは基本として、数理モデル、統計モデル、FEMモデル、ORモデル、知識モデル、などであり、各モデルイメージをベースとし上述の能力を持つモデリング法であろう。ここでゼロモアは上述の能力を可能とする表現手法と考える。勿論ゼロモアのプリミティブで、ここでいうモデルそのものを記述する事も可能と考える。

上述のモデリングの機能は次のように考える。

1) 時間について

① t (時間) を前方向に加えたり、座標系内で移動させる。

② 同じく t を後方向に動かす。

この表現の幾分かは定性的な記述となり定性推論での時間の論議もここでの考慮に入る事になると思う。

2) 最適性について

モデルベースモデリングは最適モデルないしは最良モデルとなり、like~で表現するようなイメージベースモデリングを可能とするだろう。

3) 操作について

モデルの操作に関しては、2つのモデルの和、モデルの移動、変形、変更、座標変換、時間変換、モデルの包含が考えられる。しかし主たる効能は集合論や論理の世界だけではなく、ユーザアプリケーション上重要な意味解釈をユーザのレベルで扱える事である。

(2) 種となる原型

モデリングを可能とするモデルの初期値を M_0 とする。課題はどこまでの機能を持つ M_0 を与えれば、あと自動的に進化するかであり、これを考える必要があるが、ここでは今後の課題とする。

4. 評価系

① 外からの評価を組み込んだ自己の評価

自己による自己の系の評価と外部による自己の系の評価の比較が基本である。この場合、外部は自己による評価を受けるのであくまで自己による評価となる点を考慮する。

② 評価基準側からの自己の最適モデルの選択

外部に評価基準があり、自己のモデルを選択・決定する場合である。自己のモデルを表す論理型モデルを厳密なものからラフなものまで数段階のモデルを設定し、外的基準を表す定理や公式からみてどのモデルがふさわしいかを判定する。その際、厳密すぎる＝強い、適当、ラフすぎる＝弱いと判定する。なお、ラフであるのは限定が少なく曖昧（各種のものを含む）ということである。

③ 論理モデル理論による境界の判定

あるモデルの表現が n 個の述語の積（意味的なもの、 $f(n)$ とする）で真であり、 $n+1$ 個の積（ $f(n+1)$ とする）で偽の場合、モデルの境界を n とする。このようなシンプルな基準が可能なようなモデル化の理論を考える。これもラフなものから出発して厳密さを増す方向、すなわちどこまでなら真かと、厳密なものから出発して曖昧さを増す方向、すなわちどこまでなら偽かという判定ができる。

④ 矛盾も含んだ無矛盾性と時空間の経緯からみてふさわしい動的な評価

人間の頭が行う評価を考えると、多目標による評価と時空間的に広がりを持った評価により、矛盾を持ちながらも全体として無矛盾な納得を行っていると考えられる。アクションをとり、その結果、新しい情報を得て評価も変わる。評価変数の選択とその重要度も変化する。時空間を変化させ仮説に基づく評価も行うが不完全であり矛盾も含んでいる。そして静ではなくて動である。そして評価は瞬間的であり不安定である。しかしながら、不安定ながらも完全であり、矛盾を含んでも無矛盾であり、動的であっても静である。不安定であっても安定である。モデリングも同様であり、以上の性質を持つ。モデルの生長・発展や、モデル故にそのモデル間の比較参照も考えることができる。

5. 実用系の構築

現在は2のイメージングのためのプロトタイピングの段階であり、実用システムはまだしばらく先の事であるが、実用系に関しては、Prologのメタプログラミングの採用と部分計算法の逆のイメージ、すなわち変数追加による汎用化が可能ではないかと考える。

6. まとめ

一般論理型モデル表現手法ゼロモアの発想・機能・可能性を中心に述べた。そして具体的適用に関して、モデルベースモデリングと評価系についてのアイデア、そしてプログラミング技術との関連にも若干触れた。内容的に未整理の部分もあるが、研究の進展、特にプロトタイピングを進めるにつれてそれらも整理されまとまってくるものと考えている。

表1. 教授の手法の例

方法	内容
1. コンサルテーション型	例えば、プログラミング言語実習時に、バグ発見の為に必要な教育的助言を行うシステムがあるが、これは学習者の能力や理解の状態の診断を行い、それに基づくものがベースである。その他、学習者の好みと学習目標などから、教材の媒体の選択をコンサルテーションするシステムも簡単に実現できる。
2. 「私は誰でしょう＝寄り道」型	システムが答えを持っておりヒントを出し、学習者の回答（反応）を診断しながら正解に導くように進行させる。その過程で多くを考えさせ、連想させ学ばせる。
3. 曖昧さを考慮した理解度の診断型	ESで用いるファジーや確信度などの曖昧さの扱い方をもとにして、学習者の知識の状態を診断し、システムを進行させる。
4. ICMI型	学習者の回答（プログラムとか数式の一部）を診断するアルゴリズムを組み込む方法がある。特に虫喰い問題と対応させ、この中に問題の自動生成機能を組み込んだシステムが考えられている。
5. 知識のシミュレーション型	誤解や別解のシミュレーションである。全体を構成する手順の中に、学習者の回答や考えを入れ（数式等）、それを実行させたとときのシミュレーションを行う。法則や規則のシミュレーションから思考のシミュレーションへと発展するものであろう。
6. 教授戦略までも説明する高度な説明機能型	例えば「システムが～を意図して～を示した。学習者から～という反応があったので～という対応をした。」というように説明ができる。教授の意図と方法とその効果が客観的に評価できる。
7. 曖昧さの指摘型	システムの処理方法から見た場合の曖昧さの扱い方の選択とその根拠を説明できるようにする。
8. 包括的な学生モデルに基づく進行のコンサルテーション型	カリキュラム内と、コース内と知情意まで含めた学生モデルの構築とコンサルテーション。
9. 問題解決型	対象問題を知識表現しかつ解決を支援する小規模のES又は一般のシミュレーション型のプログラムを内蔵。
10. 自由な学習環境型	LOGO、Smalltalk 又は使い易いシミュレーション言語の使用が考えられる。

(注) 1、2、3はESシェル上での実現とAI言語（Prolog）での実現、他はAI言語（Prolog が主、一部 smalltalk）での実現を考えている。

- ①生成型チュートリアル機能
 - ②問題と答の生成によるドリル&ブラクティス機能
 - ③理解度、くせ、学習タイプ等の診断機能
 - ④学生モデル他必要なモデルを学習的に生成し表現する機能
 - ⑤回答の予測と評価機能
 - ⑥教授戦略のスケジューリングおよび評価機能
 - ⑦さまざまな説明機能
 - ⑧状態の予測とシミュレーションおよび逆シミュレーション機能
 - ⑨膨大な知識を保持し利用する機能
- 静的・構造的でなく、動的・機能的に把握

図1 次世代CAIの要素技術

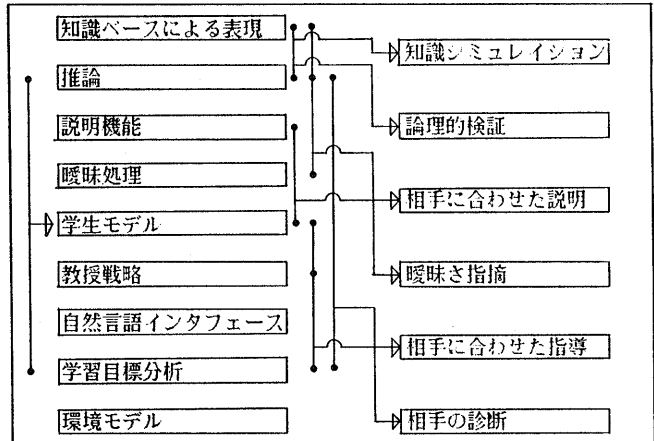


図2 次世代ESの機能の例（E.E.Sのもの）

表2 CAIとESとDBの現世代と次世代の比較分析

	CAI		ES		DB	
目的	教育・学習支援		問題解決		データ管理・活用	
ベースとなる学問	教育学、教育心理学、教育工学		科学、認知心理学、知識工学と人工知能		情報工学	
ライフサイクル	研究の時期のもの(ICA)と普及期のもの(パソコンベース)が混在するが全般としては普及期。 なお、上記のものは別のシステムともみなせる。		普及期のものもあるが、全般としては開発研究の時期。 CAIよりは一般への普及は遅れる。		普及期のものが多いが、AIやマルチメディアやコンピュータとの関連で今後も発展する。したがって開発研究の時期。	
システムの特徴	完成したシステムを作り上げるのが困難であり、時間をかけて成長させるべき分野である。		知識が重要		目的や機能を限定させれば有効性は高い。	
	コースウェアが重要		知識が重要		データ(構造を含む)が重要	
代表的な研究システム	SCHOLARなどICAのほとんど		MYCINをはじめとするほとんどのエキスパートシステム		画像DB、音声DB、演えきDBなど	
代表的な実用システム	PLATO、TICCIT		XCON		文献検索(JICST)	
将来の方向マーケット	マルチメディアCAIとICA 少種大量(教育システム) 多種大量(コースウェア) 広い		次世代エキスパートシステム・モデル内蔵 少種大量(シェル) 多種少量(エキスパートシステム) ただし大量となる潜在力あり。		知識ベースやマルチメディアとの対応 多種大量	
	現世代CAI (含CMI)	次世代CAI	現世代ES	次世代ES	現世代DB	次世代DB
システムの機能	①教材のデータ表現 ②マンマシンインタフェース ③成績データ管理(ユーザーデータの管理) ④様々の学習法 ドリル&フラクティス ゲーム シミュレーション 問題解決発見学習	①教材の知識表現 ②学生モデル(ユーザー知識の管理) ③教授戦略 ④自然言語インタフェース	①知識ベースによる表現 ②推論 ③説明機能 ④曖昧データの扱い	①自然言語処理 ②知識ベース管理(含非単調論理) ③他の曖昧データの処理 ④様相論理を含む論理の組み込み技法	①データの管理 ②データの蓄積 ③データの検索 ④データのメンテナンス ⑤データの選択加工 ⑥データの高度利用	①マンマシンインタフェース ②誤り訂正をし内容を知らせかつ更新する技術及び体系 ③AIによるコンサルテーション等EDBのユーザー支援システム ④データ内容からの重要イベント発生時の自動メッセージングや自動データ収集機能 ⑤データ内容の自動更新や自動的整理 ⑥意味内容を伝え得るメディア変換技術
学習、教育からみた機能						
①ユーザーの知識の状態の診断と治療	不可能	可能	潜在的に可能	可能	不可能又は関連なし	可能
②相手のレベルに応じた説明	不可能	可能	浅いレベルで可能	可能	不可能又は関連なし	可能
③問題解決型コースの作成	潜在的に可能	可能だが作業量大	可能	可能かつ容易	不可能又は関連なし	関連なし
④自然なことばでの対話	浅いレベルで可能	可能	可能	可能	システムによっては可能	システムによっては可能
⑤知識の論理的検証と曖昧さの指摘	不可能	不可能	可能	可能	不可能又は関連なし	システムによっては可能
具体的なシステム名	PLATO, TICCIT	GUIDON, SCHOLAR	MYCIN			

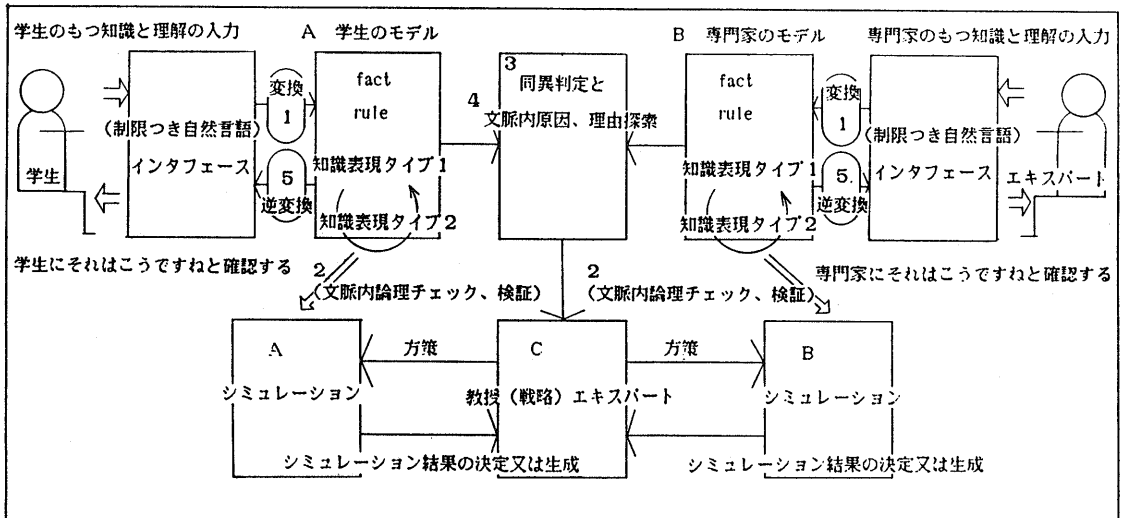


図3 知識シミュレーションのメカニズム

参考文献

- [1] 吉川：教育用エキスパートシステム E E S の機能について
計測自動制御学会 第 3 回「知識工
学研究会」資料 (1 9 8 6)
- [2] 吉川：教育用エキスパートシステム
E E S について
情報処理学会第 3 3 回全国大会論文
集 (1 9 8 6)
- [3] 吉川、官野、五百川：教育用エキス
パートシステム E E S について (2)
情報処理学会第 3 4 回全国大会論文
集 (1 9 8 6)
- [4] 吉川：エキスパートシステムの教育効果とそれを生かしたシステムについ
て C A I 学会第 1 1 回研究発表大会論文集 (1 9 8 6)
- [5] 吉川、官野、五百川：エキスパートシステムの教育効果とそれを生かした
システムについて (その 2) 電子通信学会技術研究報告
E T 8 6 - 1 1 (1 9 8 7)
- [6] 吉川、五百川：エキスパートシステムの教育効果とそれを生かしたシステ
ムについて (その 3) 電子通信学会技術研究報告 E T 8 7 - 1
(1 9 8 7)
- [7] H . C . ミッコフ：人工知能のビジネストレンド
啓学出版 (1 9 8 7)
- [8] 吉川、五百川、中村、安永：教育データベースと教育エキスパートシステ
ム 電子情報通信学会技術研究報告 E T 8 7 - 6 (1 9 8 7)
- [9] 吉川、五百川：I C A I のシステム分析と開発方法論
C A I 学会第 1 2 回研究発表大会論文集 (1 9 8 7)

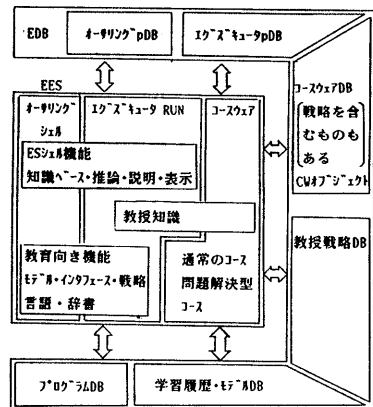


図4 次世代DBと次世代EESの例 (EDBとEES)