

## オブジェクト指向モデルに基づいたシームレスな 教育フレームワークの試作

### A Prototype of Seamless Educational Framework Based on Object Oriented Model

田中法博\*  
Norihiro Tanaka

本論文では、オブジェクト指向モデル、マルチエージェントモデル、知識工学における知識の体系的表現法に基づいて事象をモデル化し、諸問題を発見・解決に導くための科学的思考法と、専門知識をコンポーネント化しその知識をシームレスな学問分野の教育に応用する方法を検討する。知識をコンポーネント化することにより、教育者間の知識の共有化をおこなうとともにその知識のコンピュータシステム上への実装方法を提案する。そして、それに基づく教育用フレームワークを検討する。本研究の着目点は、大学教育の多くは、「現実世界で発生する事象から問題を発見し、その解を求める能力の養成」であると考え、これまで提案されてきた社会プロセスのモデル化技術や知識工学的知見を用いて問題解決や知識の科学的活用法に関する研究成果を教育分野に応用することである。本研究では各分野の専門知識は、オブジェクト指向とマルチエージェントモデルの考え方に基づいてコンポーネント化して統合する。この統合は、マルチエージェントモデルの考え方を導入し、ロバスト性を維持する。さらに各コンポーネントの統一したインターフェイスを設計し、相互に情報をやり取りし、専門知識を共有する。最後に本研究の応用例の展望についても検討する。

#### 1. はじめに

近年、大学における教育は大きな変革を強いられている。学問体系が多様化し複合化することにより、教育者、学習者の両者に多大な負担がかかるようになってきている。たとえば従来であれば一人の専門家(教員)が縦割り型に担っていた教育を、現在では複数の異なった専門分野の教員が協調して行うことが必要になってきた。この場合、異なる学問的背景を持つ専門家間で教育内容の規格化が必要になるなどのオーバーヘッドが大きくなる。

特に社会科学で扱う問題は、年々複雑になっているため、社会プロセスの分析には多くの要因を

考慮しなければならない。こういった問題では多くの情報が互いに影響しながら複合して存在している。大学での教育の多くは、「現実世界で発生する事象から問題を発見し、その解を求める能力の養成」であるとする。学習者は現実の世界で発生する複雑な問題から重要な要素を抽出して、解を得るために役立つ最適な専門知識を探し出さなければならない。

このような状況下では、大きく2つの問題が発生する。まず専門知識が乏しい初学者にとって問題をどのように分析し、どのような知識を適用すれば良いのかを決定していく方法が分からないことである。もう一つは、教員側の知識がそれぞれ専門分野に特化しておりそれらを融合して問題解

\*産業社会学部助教授

決に用いることが難しいことである。

前者に対しては、専門知識の詳細部分を隠蔽し、大局的な立場から専門知識を活用する方法を知ることが必要である。後者に対しては、各専門分野の知識を融合しシームレスに複数の分野の専門知識を活用できるようなインターフェイスが必要である。このためには、専門家の知識のある特定のルールで抽象化し、それをコンポーネント化して活用できることが望ましい。そして、もう一つ重要な点は、このように複合した知識はときには、互いに矛盾する場合があるが、それに対してのある程度のロバスト性を保証しなければならない。

このような知識のモデル化が必要な理由はもう一つある。それはコンピュータ上へ専門家の知識の実装を可能にし、コンピュータによる教育支援が実現できることである。通常、人間は曖昧さを残した状態で知識を活用することが多いため、コンピュータ上へ知識を実装することが難しい。しかし、知識をある厳密なルールの下でコンポーネント化すれば、知識のコンピュータ上への実装が可能となる。

特に複合した多くの専門家固有の知識を融合して有効に利用するためには、知識のコンピュータ上への実装は必要不可欠となる。そのため、本研究で提案するフレームワークは、知識をコンピュータ上へ実装し、それを活用できることを前提とする。

こういった研究を進めていく上で最も重要な点は、現実世界の複雑な事象を抽象化（モデル化）する能力と、知識を科学的に扱うための手法を知ることである。まずモデル化に関しては、社会シミュレーションの分野では社会プロセスをモデル化して様々な諸問題の解決に挑み、大きな成果をあげている。また、知識を科学的に扱う試みを行ってきた研究分野は人工知能分野から派生した知識工学<sup>1)</sup>がある。さらに、近年ではこれら2つの研究分野が融合し、新たな研究成果をあげつつある<sup>2)</sup>。

本研究の着目点はここにあり、これらの問題解決や知識の科学的活用法に関する研究成果を教育分野に応用していこうというものである。これまでに、人間の社会のような複雑なシステムをコン

ピュータを使って分析したり、振る舞いを予測したりすることをモデルベースで行っている研究が多く提案されている<sup>3),4)</sup>。

近年の複雑化する社会では、その社会プロセスを分析することが難しくなっているが、こういった分野での諸問題を分析するために、情報技術が用いられるようになってきた。このとき、この社会プロセスをコンピュータ上に実装するためのモデル化技術は、情報工学の分野でも極めて興味深いテーマであり、人工知能の分野でも大きな影響を与えている（たとえば5))。最近では、このようなモデル化には、オブジェクト指向モデルやマルチエージェントモデル<sup>6),7)</sup>と呼ばれるモデル化手法の研究が盛んに進められている。

さらに、こういったモデル化手法は、社会プロセスのモデル化だけでなく既に様々な分野への応用がなされてきている。たとえば、インターネットの検索サイトとして有名な google ではロボットと呼ばれる自立的なエージェントが、Web上のあらゆるサーバを巡回して情報を収集しユーザに Web上の情報を提供する。これはマルチエージェントモデルの応用例の一つである。

こういったモデル化技術は、社会で起る様々な問題を分析し、解決方法を導き出すために必要不可欠なものであるが、この考え方は教育フレームワーク構築においても重要なヒントを与えるものとなる。

しかし、ここで問題となるものが専門知識の抽象化方法である。専門家に自身の知識の抽象化に対する負担を軽減するために、できるだけ単純な方法で知識を抽象化しなければならない。

そこで本論文では、事象をモデル化し諸問題を発見・解決に導くためのモデル化手法と、専門知識をコンポーネント化してできるだけ簡単なルールで専門知識を表現する方法を提案する。そして、その知識を各分野にまたがりシームレスに扱うための方法を開発し、それに基づく教育用フレームワークを検討する。

## 2. 社会プロセスモデル

社会や社会現象から諸問題の本質を抽出し、問題解決に導いていく手法は、いくつかの学問分野の立場から多くの研究が提案されている。特に、

こういった研究は情報科学と融合し、コンピュータ上に実装できるような精密なモデル化が行われている。

コンピュータ上でのモデリング研究の歴史は長く、もっとも初期のものは Neumann の自己増殖オートマトン<sup>8)</sup>であろう。それにセルオートマトン<sup>9)、10)</sup>、分散人工知能<sup>11)</sup>、遺伝的アルゴリズム<sup>12)</sup>、人工生命<sup>13)、14)</sup>などといった優れた研究が続いている。

その中で社会科学へのモデリングを応用した研究は、数学モデルによるダイナミクス系のモデルから発展した。このようなダイナミクス系による研究は1950年代から行われている。こういった研究は、Forrester が1956年にシステム工学の考え方を社会システムに導入し、微分方程式に基づいて社会や経済活動をモデル化する Industrial Dynamics 理論を構築したことから始まる。そして、1960年代に入るとこれらの理論は、コンピュータを用いて実践されるようになった。その後、Forrester は、この理論を応用して、1969年に都市の荒廃や再開発について記述する Urban Dynamics を構築し、さらに1970年以降は、環境問題や資源の状況から世界全体の成長をシミュレートするために World Dynamics を構築した。この World Dynamics を用いてローマクラブが石油が有限であることを世界に知らせたことは良く知られている<sup>3)</sup>。この Industrial Dynamics は、現在では System Dynamics と呼ばれており、様々な分野で利用されている<sup>4)、16)</sup>。

Forrester の理論は、自らが開発した DYNAMO (Dynamic model) と呼ばれるシミュレータで記述され、企業等のセールス活動、取引、在庫管理といった経済活動だけでなく、資源予測、生態系の予測にまで用いられた。特に1980年代に入るとコンピュータの能力が飛躍的に向上し、こういった数学モデルに基づいた社会シミュレーションの研究は様々な分野での応用が報告されるようになった。

しかしながら、一般的に社会で発生している様々な問題を数学モデルで記述することは難しい。多くの研究の対象となる社会プロセスは、極めて大規模かつ複雑であるため、モデル式が極めて複雑になる。その上、Forrester の方法では、社

会全体を一つの系とみなして数学的にモデル化するため、社会を構成する集団や個体といったものの分離が難しいという問題がある。また、このようなダイナミクスに基づいたモデルは、多くの未知パラメータを含む非線形な差分方程式を解かなければならないが、これらのパラメータ値は、経験的に決定されることが多く、その値の妥当性に疑問があった。しかも非線形な方程式の多くは解析的に解くことができないため、モデル式の解を求めることが難しかった。

こういった問題に対して、まず1970年代に情報科学的モデリング技術を社会科学に適用しようという研究が出てきた。たとえば Steinbruner は政策決定をモデルベースで行う手法を提案した<sup>15)</sup>。

次いでマイクロシミュレーションと呼ばれる手法が開発された<sup>17)</sup>。この手法は、実際にコンピュータ上に現実世界を模倣した社会モデルを構築し、その中で個体モデルを実際に動かして、その結果を調べるといものである。このモデル化技法によって、事象を直接モデル化して、シミュレートすることができるようになったため、数学モデルによる記述が難しい社会プロセスを解析できるようになった。

このマイクロシミュレーションを用いる利点は、構造が不明確な問題の分析に対しても高い効果が得られること、問題発生や問題解決の過程を逐次的に分析できることの2点があげられる。

さらに1990年代に入ると、Shelling の理論<sup>6)、7)</sup>を基にコンピュータ上にエージェントと呼ばれる個体を配置し、そのエージェントの行動に基づいてシミュレーションを行うマルチエージェントモデルと呼ばれるモデル化手法が発展した<sup>18)~20)</sup>。

この方法では、マイクロシミュレーションの要素と比較して、より自立性が高いエージェントを主体として対象をモデル化する。このエージェントを用いたモデル化手法は多く研究されており、外部環境による内部状態の変化や個体間の通信といったことも考慮されるようになってきた。そのためマルチエージェントモデルは、これまでのモデル化手法と比較してより複雑な問題に適用できるようになっている。

こういったマルチエージェント型のシミュレーションモデルは、エージェントやエージェントを

動かすフィールドをオブジェクトと考えると、オブジェクト指向的なモデルと極めて相性が良いことが知られている。

### 3. マルチエージェントモデル

マルチエージェントモデルでは、エージェントが主体となり、様々な対象をモデル化する。以上に述べたエージェントの機能により、エージェントは環境そのものに対して知識を持ち、環境の状況に応じて行動する。

#### 3.1 エージェントの特徴

自律的に行動するエージェントは、伝統的な人工知能的アプローチが良く用いられている。Wooldridge と Jennings は、これらのエージェントの持つ特徴は次の4つのものと定義している<sup>21)</sup>。

- 自律性  
エージェントは、外部からの直接的な制御によらず自律的に行動する。
- 社会性  
エージェントはある種の言語（通信手段）を用いて、他のエージェントと協調動作など、相互作用する。
- 反応性  
エージェントは他のエージェントや自分を巻き巻く環境からの影響に反応する。
- 自発性  
エージェントは、環境に対して受動的な反応をするだけでなく目的に応じて自発的な行動を行う。

#### 3.2 エージェントモデルに与える機能と属性

エージェントは、上記のような特徴に基づいて行動させるため、「信念」、「欲求」、「動機」、「感情」といった概念をモデル化して与え、エージェントの振舞いを決定させる。そこで、本研究では、文献<sup>21)</sup>に示される基本的なマルチエージェントモデルの考え方に基いて、エージェントに与える機能や属性を、次のように決定した。

##### (1) 目標

エージェントを自律的かつ意図を持って行動させるために、主目的としての目標が与えら

れる。エージェントは、この内部にある主目的に対して、それを達成するように行動する。また、主目的を達成するために副次的な目標を自ら設定し、それに基づいて行動する。

たとえば、捕食関係の社会をモデル化した場合、各エージェントは生存に対する願望を目標とし、捕食者は獲物を捕らえたいという副次的な欲求を持つ。そのための行動として、被捕食者を追跡するという行動を取る。同様に被捕食者の場合は、捕食者から逃れるという副次的な目標を持ち、逃走行動をとる。

##### (2) 計画

エージェントは目標を達成するための行動を計画する必要がある。これは、周囲の環境を考慮して、自分がどのような行動をとるのか判断することである。

エージェントの計画法に関しては、これまでに直接行動を指定する方法、単純ルールを組み合わせる方法など、汎用的な方法がいくつか提案されているが、ここでは対象となる分野の専門知識を効率良くモデル化する手法が必要となる。

##### (3) 知識

エージェントは内部に蓄えられた知識に基づいて行動する。この知識は、たとえばフレーム構造<sup>21)</sup>のような体系化構造を持つ。

ただし、ここで注目すべき点は、この知識は体系的に情報を蓄積したものであるが、保持する情報は不完全なものである可能性を持つ。通常では、モデル空間内の環境の情報をエージェントが完璧に知り得ることはありえない。

つまり、この知識は厳密な意味のデータベースでは無く、必ずしも正しいものであるとは限らないし、また欠落した情報を持っている可能性があることに注意する。

##### (4) 推論

Feigenbaum は、知識の重要性を主張した<sup>1)</sup>。与えられた問題を解決するために知識をどのように活用すべきか考えていかなければならない。しかし、エージェントが判断を迫られたとき、自身が持つ情報が不完全であるなら

ば、不完全な情報を補うためにエージェントは推論を行う必要がある。

(5) 言語

エージェント間の情報通信の手段として言語が与えられる。この言語によりエージェントは、互いに情報を交換し合ったり、交渉したりする。言語は、エージェントがモデル空間内で一種の社会行動をとるために必ず必要となってくるものである。この言語は、単純な信号の強弱のようなものから、論理構造を持った人工言語<sup>(22), (23)</sup>まで考えることができる。

(6) 感情

エージェントにはモデル化された感情が与えられる。目標に向かう行動に対して、感情により行動が変化する。しかし、感情はモデル化が極めて難しいものであり、そのため感情モデルに関しては現在まで完全なモデルは提案されていない。ここでは感情を制御理論的な数学関数として与え、パラメータ値により動作を決定する。

3.3 エージェントとオブジェクト指向モデル

本研究では、エージェントはオブジェクト指向モデルで記述する。オブジェクト指向というオブジェクトとは、内部の状態を示すデータと、そのデータを処理するための手続き (Method) により構成されている。

オブジェクトの特徴としては、オブジェクトの外部からは、オブジェクトの中身には直接アクセスできず、メソッドを通す間接的なアクセスしかできない。このようなオブジェクトの特徴は、複雑なエージェントの「自律性」、「社会性」、「反応性」、「自発性」をスマートにモデル化できる。また、このオブジェクトは抽象的なものから具体的な対象までを階層的にモデル化できる。これは複雑な構造を持つエージェントを効率良くモデル化することができる。

このようにエージェントのモデル化には、オブジェクト指向的な考えが非常によく適合する。

4. 教育フレームワーク

ここでは、先に述べたオブジェクト指向とマル

チエージェントモデルを用いて知識のコンポーネント化を行う。またそれに基づいて、教育フレームワークを提案する。

専門知識のコンポーネント化は、学問分野内の基礎理論を要素として、コンポーネントを作成する。そして、そのコンポーネント間のインターフェイスを規格化することにより、互いの知識を有効利用する。

またマルチエージェント型モデルの考えを導入することにより不完全な知識や矛盾を生じる知識であってもある程度は、補正が可能なこと、つまりロバスト性を持つことも本研究の特徴である。

4.1 専門知識のコンポーネント化

本論文では、知識の抽象化プロセスの複雑化を避け、可能な限り知識を単純化して再利用可能な形式にすることを目標とする。ここでは知識を次のルールに基づいてコンポーネント化する。本研究では、知識は、図1のように2つの単純なルールで表現する。図1 (a)の入力応答ルールでは、知識をブラックボックスとし、入力と出力を明確にする。図1 (b)のIF-THEN ルールでは、入力と条件を与え、入力に対する応答は条件によって変化する。

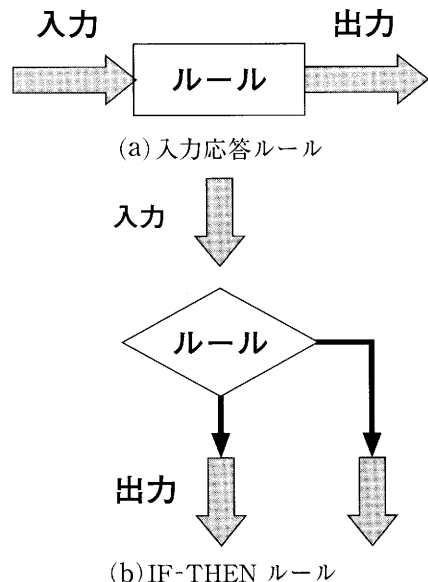


図1 専門知識のモデル化ルール

### 4.2 知識コンポーネントの階層化

本研究では、知識は2つの階層構造を持つ。まず一つ目は知識表現そのものの階層構造である。オブジェクト指向の概念ではオブジェクトの継承に相当する。図2は、知識の抽象度による階層構造を示したものである。抽象度の高い上位概念から、具体性が高い下位概念までの階層的な知識構造を示している。

図3は、本研究で提案する学習者のレベルに応じた専門知識のコンポーネント化の概念図である。このように構築された知識コンポーネントは、学習対象者に対して示す知識概念のレベルを変えることができる。

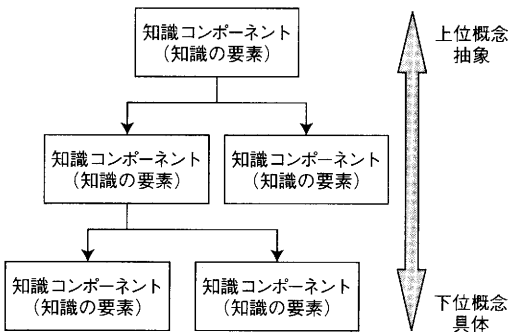


図2 知識の階層構造

### 4.3 知識コンポーネントの組み立て

知識コンポーネントは、それそのものが知識のパーツであるとみなすことができる。これらのパーツの組合せは、オブジェクト指向で良く使われる考え方から、次の3つのパターンがある。

- (1) アッセンブリーパーツ
 

要素の集合により一つの対象物を構築する。たとえば自動車は、ハンドル、タイヤ、エンジンといったパーツの集合で構成されている。これと同様に、知識コンポーネントを組み合わせて一つの対象物を生成する。
- (2) コレクションメンバー
 

対象物に所属する要素の数が変化し、その要素そのものも入れ替わる可能性があるもの。たとえば、図書館を考えてみると、図書館に所蔵されている書籍の数は変化し、また書籍そのものも入れ替わる可能性がある。
- (3) コンテナコンテンツ
 

コンテナとコンテンツで一つの対象物となる組合せ方法である。たとえば鉛筆は、木枠と芯で構成されている。木枠と芯を分離してしまえばそれぞれ鉛筆とみなすことはできなくなる。

## 5. 教育フレームワークを用いたコンピュータシステムの例

これまで述べたモデル化手法と知識表現に基づいた教育フレームワークをコンピュータシステムに実装した場合、どのような教育支援システムができるのかを示す。

### 5.1 実地研究への活用

実地研究は、実際に体験的に学習ができるために様々なことを学ぶためには非常に有効である。しかし、体験だけでは事象に隠されている重要な理論的背景を見落としがちになる。そこで、実地研究を支援できるようなシステムが必要となる。

ここでは、実地研究をしながらコンピュータ上に仮説を立てそのモデル構築する。そのモデルから得られた結果と実地研究を比較検証することにより理論的な学習支援が可能となる。

図4は、実地研究と支援システムのコラボレー

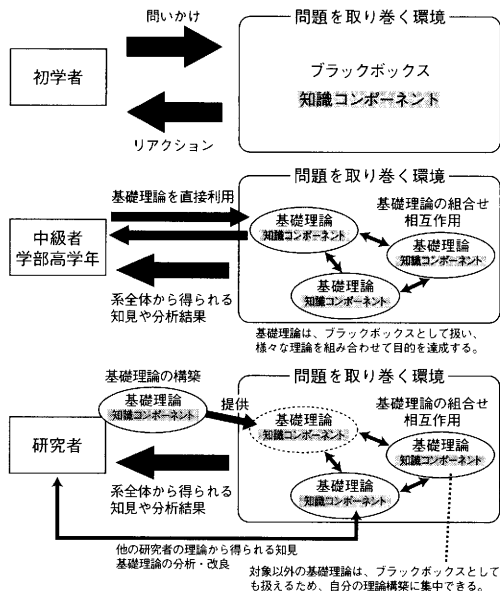


図3 学習者の対象による階層構造の違い

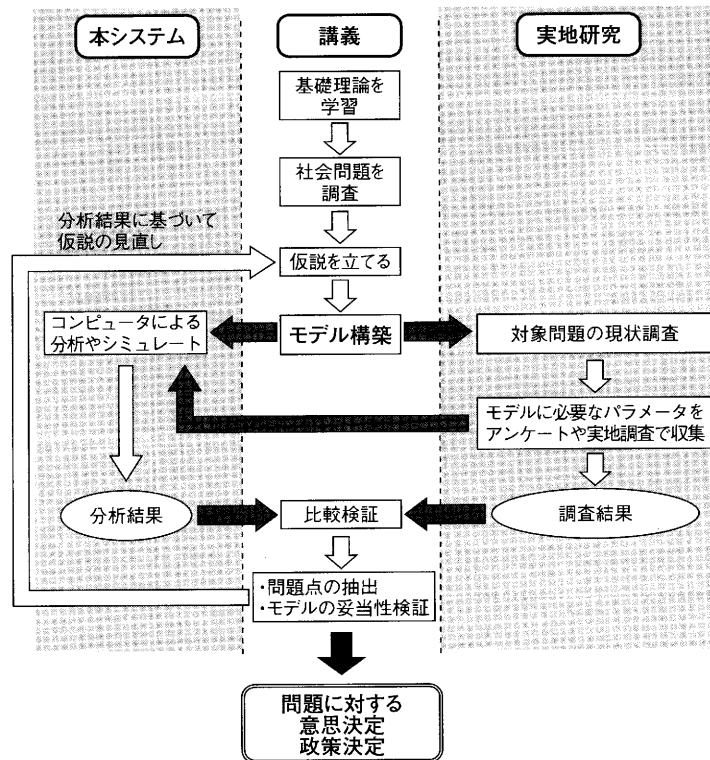


図4 実施教育とのコラボレーションの例

ションのフローを示したものである。

### 5.2 意志決定支援

何かの問題を解決しようとするとき、複数の解決方法が存在する場合がある。この場合、それぞれの解決方法をモデル化し、それぞれの有効性や効果を調べることを支援するシステムは有用である。また、それぞれの解決方法でも、与えるパラメータによって得られる結果が全く異なってくる場合がある。パラメータ決定はモデルベースの問題解決には重要となるが、パラメータによる問題解決の影響を試行錯誤によって調べることができる。

図5は、社会問題に対する複数の政策について意志決定をするプロセスを例示したものである。

## 6. まとめ

本研究では、大学教育の多くは、「現実世界で発生する事象から問題を発見し、その解を求める能力の養成」であると考え、それを育成するた

めの教育フレームワークを提案した。本研究の特徴は、これまで大きな成果をあげている社会プロセスのモデル化技術に着目し、それを教育に応用したことである。このことにより学習者は、科学的に問題解決するための方法を効率的に学ぶことができる。また、専門家の知識をコンポーネント化することにより、初学者であっても専門知識を活用しながら大局的に事象を分析し、問題解決のプロセスを学習できる可能性を示した。

さらに専門知識の抽象化方法については、オブジェクト指向的手法を用いた。ここでは知識提供者の負担を軽減するために、知識の抽象化プロセスの複雑化を避け、単純なルールによる知識コンポーネントの構築方法を提案した。また、マルチエージェント型モデルによる知識表現を採用したことにより、抽象化した知識にロバスト性を持たせることが可能となった。

最後に本手法の教育フレームワークを用いて可能となる教育支援システムの展望を述べた。

今後の課題としては、この教育フレームワーク

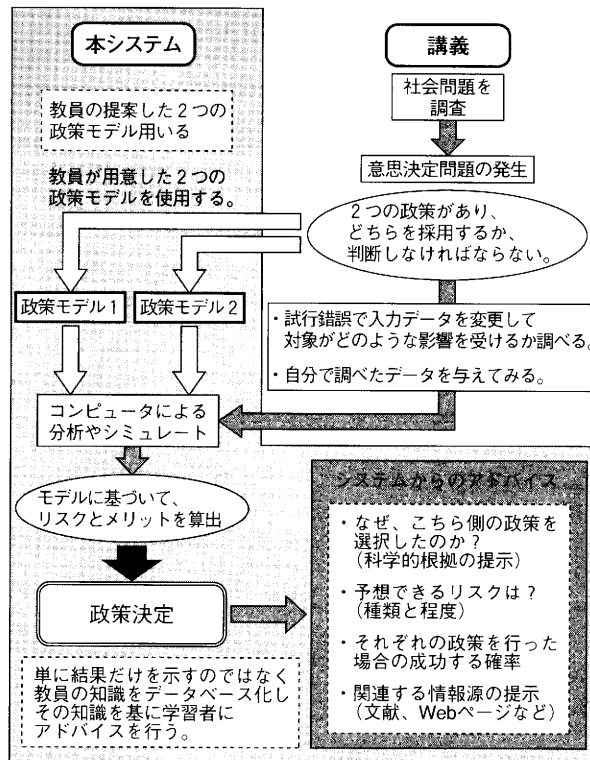


図5 仮想的試行錯誤の例

を用いて実際の問題解決するための教育支援アプリケーションシステムを実装することが考えられる。

#### 参考文献

- 1) E. Feigenbaum: The art of artificial intelligence: I. Themes and case studies of knowledge engineering, Proc. of IJCAI - 77, pp. 1014 - 1029, 1977.
- 2) J. E. Doran: Foreknowledge in artificial societies, In R. Conte, R. Hegselmann and P. Terna (eds), Simulating Social Phenomena, pp.457 - 470, Springer-Verlag, 1997.
- 3) J. W. Forrester: World Dynamics, MIT Press, 1971.
- 4) N. Gilbert and K. G. Toroitzsch: Simulation for the Social Scientist, Open university press, 1999.
- 5) R. Conte, R. Hegselmann and P. Terna: Simulating Social Phenomena. Springer Verlag, 1997.
- 6) T. C. Schelling: Models of Segregation, American Economic Review, Papers and Proceedings 59(2): pp. 488 - 493, 1969.
- 7) T. C. Schelling: Dynamic Models of Segregation, Journal of Mathematical Sociology, Vol. 1, pp. 143 - 186, 1971.
- 8) von J. Neumann: Theory of Self-Reproducing Automata. In A. W. Burks (eds), University of Illinois Press, 1966.
- 9) S. Wolfram: Cellular Automata and Complexity, Addison-Wesley, 1994.
- 10) T. Toffoli and N. Margolus: Cellular Automata Machines, A New Environment for Modeling, MIT Press, 1987.
- 11) L. Gasser and M. N. Huhns: Distributed Artificial Interference, Vol. 2, San Mateo, Morgan Kaufmann, 1989.
- 12) J. Holland: Adaptation in Natural and Artificial Systems, An Introductory Analysis with Application to Biology, Control and Artificial Intelligence 2d ed. MIT Press, 1992.
- 13) C. G. Langton (ed.): Artificial Life, Addison-Wesley, 1989.
- 14) C. G. Langton (ed.): Evolutionary Phenomena in Simple Dynamics, In Artificial Life II, Addison-Wesley, 1992.
- 15) J. Steinbruner: The Cybernetic Theory of Decision, New Dimensions of Political Analysis. Princeton University Press, 1974.
- 16) C. J. Martinez: A bioeconomic model of Hobbes' 'state



- of nature', *Social Science Information*, Vol. 25, pp. 493 - 505, 1986.
- 17) G. H. Orcutt : Views on Microanalytic Simulation Modeling, *Microanalytic Simulatino models to support Social and Financial Policy*, *Information Research and Resource Reports*, Vol.7, 1986.
- 18) B. A. Huberman and N. S. Glance : Evolutionary Games and Computer Simulations, *Proc. of the National Academy of Sciences*, pp. 7716 - 18, 1993.
- 19) B. A. Huberman and N. S. Glance : Beliefs and Cooperation, Morality and Evolution, In P. Danielson (eds.), *Oxford University Press*. 1996.
- 20) B. A. Huberman and T. Hogg : Communities of Practice : Performance and Evolution, *Computational and Mathematical Organization Theory*, Vol.1 No.1, pp. 73 - 92, 1995.
- 21) M. Wooldridge and N. Jennings : Intelligent agents-theory and practice. *Knowledge Engineering Review*, Vol. 10, pp. 115 - 152, 1995.
- 22) J. Mayfield, Y. Labrou and T. Finin : Evaluation of KQML as an agent communication language, *Intelligent Agents II - Agent Theories, Architectures and Languages*, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*. Springer-Verlag, 1996.
- 23) G. Gazdawr and C. Mellish : *Natural Language Processing in Prolog*, Addison-Wesley, 1989.
- 24) M. Minsky : *A Framework for Representing Knowledge*, In P. Winston (eds), *Psychology of Computer Vision*. McGraw-Hill, 1975.