

## ITSにおける適応的教授のための学習者モデル診断

松田 昇  
金沢工業大学

岡本 敏雄  
東京学芸大学

本研究では、ITS (*Intelligent Tutoring System*) における学習者モデルの機能を検討し、適応的教授に必要とされる学習者モデルの構成およびその構築手法の開発が目的とされる。筆者らはこれまでに、問題解決型の学習世界に望まれる学習者モデルの構成と診断技法について考察してきた。そこでは、単に解法知識の習得状態を表現した表層的な学習者モデルでは十分ではないという立場から、対象学習世界の公理系に対する深層的な学習者モデルを推論することが目的とされている。本稿では、この枠組に基づいて、問題解決の学習世界に望まれる教授形態と学習者モデルとの関連について述べる。そのためにまず、ITSに望まれる適応的な教授について考察する。次に、適応的教授を実現するために、学習者モデルに望まれる機能について考察する。その際、これまでに開発された学習者モデル診断システムの問題点を整理し、拡張された学習者モデル診断システムの構成について述べる。

## Student Model Diagnosis for Adaptive Instruction in ITS

Noboru MATSUDA  
Kanazawa Institute of Technology

Toshio OKAMOTO  
Tokyo Gakugei University

This study is intended to investigate the role of the student model in ITS (*Intelligent Tutoring Systems*) and develop an effective student model for adaptive instruction. We have been studying a method to diagnose the student model in the domain of problem solving. In that study we have provided the deeper level student model because it is not sufficient to diagnose only the problem solving knowledge applied by a student. In this paper, we discuss the relationship between the tutoring strategy and the student model in the domain of problem solving. An enhanced hypotheses generating mechanism using the hypothesis-based reasoning is presented.

## 1 はじめに

ITS (*Intelligent Tutoring System*) における学習者モデルは、学習者の理解状態を表現し、教授設計の根拠となる情報を表現することが一つの目的とされている。学習過程において観測された行為から学習者のモデルを構築し、学習者の応答を予測することが教授に貢献すると考えられるからである [10]。この考え方は、ITS 研究が行なわれた当初から現在に至るまで支持されており、学習者モデルに基づいて教授戦略を決定するといった教授モジュールの組み込みは、最も一般的な ITS の構成になっている。

学習者モデルの研究は、ITS における中心的課題の一つであり、これまでに多くのモデル構築手法が提案されてきた。学習者モデルの研究には、上述したように教授のためのモデル生成の他に、認知科学的なアプローチによって人間の思考/学習過程を探究することを目的とした立場がある [13]。後者の場合には、教授を主たる目的としていないので、どれだけ精密なモデルを生成するかといった点に関心が置かれる。一方前者は教授が目的であるから、単に精密なモデルを構築するだけでは十分ではない。すなわち、モデル生成のコストと教授に対する貢献度を検討する必要がある。

学習者の応答を正確に予測する学習者モデルを構築すれば、システムの生成した教授プランを実行する前にシミュレートすることが可能となり、全体的に無駄の少ない教育を提供することができる。このような立場は、学習者モデル生成の困難さゆえに、これまで最も活発に研究が行なわれてきた対象の一つである。もっとも一般的なアプローチは、学習者モデル構築を学習者の応答を生成するプログラム合成問題と置き換えることであり [11]、国内においても池田ら [6] の研究グループを始めとして、多くの研究者によりモデリング技術の成果が報告されている。このような立場に基づく ITS では、モデリング技術の成果は高く評価されている。

学習者の応答を正確に予測する学習者モデルが構築できても、実際に教授を行なうためには、教材知識との差異といった視点により、そのモデルを改めて解釈し、教授プランを立てる必要がある。しかしながら、現時点においては、最適な教授戦略を算出する形式的な理論は少ない。これは、教師と学習者の特性およびその場の状況など多くの要素の組み合わせにより適切な教授戦略が定義されるといった極めて経験的な現象を計算機モデルとして表現するこ

との困難さに起因していると思われる。さらに、形式的に算出された教授戦略の多くは、“教育=バグの同定+バグの排除+知識伝達”といった、治療と呼ばれる教師主体の教育環境が想定されている。このように、精密な学習者モデルを構築する技術の発展と対比して、その教授戦略の適用範囲が限定されているといった問題点があり、現時点においては実用的な ITS の開発は困難であると言える。

上述した研究と対比的に、近年では、教授戦略を重視した実用的な ITS の開発が注目されつつある。これらのシステムの多くは、学習者のバグを積極的に治療するのではなく、知識探究の手段を提供することにより、学習者自身が知識の精緻化を行なうといった学習環境を想定している。学習者モデルとしては、既存の技術を適応したシステムと、ここで想定する知識探究型の学習環境にみあった新しいモデルを開発しようとするシステムとに大別される。前者としては、概ね [4] に代表されるアプローチがある。そこでは、これまでに研究・開発された学習者モデルを利用して、環境型と呼ばれる学習者主導に有効な教授を展開する方法が考察されている。他方、後者の例としては、Self による研究 [14] があげられる。そこでは、ITS に望まれる教授を検討し、教授目的を遂行するために必要なモデルをコストのかからない方法で構築することが提唱されている。このようなねらいと並行して、学習者主体の学習環境の実現に関する試みも、これまでに多く行なわれている。国内においては、伊藤ら [1] の知識探索システム CAFÉKS などがあげられる。

こういった動向を踏まえ、本研究では、ITS における学習者モデルの機能を検討し、学習者主体の適応的教授に必要とされる学習者モデルの構成およびその診断技術の開発が目的とされる。

筆者らはこれまでに、問題解決型の学習世界に望まれる学習者モデルの構成と診断技法について考察してきた [2]。そこでは、単に解法知識の習得状態を表現した表層的な学習者モデルでは十分ではないという立場から、対象学習世界の公理系に対する深層的な学習者モデルを推論することが目的とされている。本稿では、この枠組に基づいて、問題解決の学習世界に望まれる教授形態と学習者モデルとの関連について考察する。そのためにまず、ITS に望まれる適応的な教授について考察する。次に、適応的教授を実現するために、学習者モデルに望まれる機能について考察する。その際、これまでに開発された学習者モデル診断システムの問題点を整理し、拡

張された学習者モデル診断システムの構成について述べる。

## 2 教授過程のモデル化

ここでは、学習者と教師が一对一で学習を進める形態を個別教授と呼ぶ。本章では、問題解決型の学習世界において望まれる適応的な教授について述べる。そのために、先ず、個別教授における教師の振舞いについて考察する。次に適応的教授を実現するために望まれる教授戦略について考察する。

### 2.1 教授モデル

一般に、学習の初期段階において、教師は学習者の教材に対する理解状態を正確には認識していない。しかし、学習を終了する時点においては、学習者の理解状態を予測することが可能である。すなわち、教師は、教授プロセスを通して、学習者の理解状態に対する認識を変える能力を有すると言える。さらに、教授行為によって学習者自身の知識構造が矯正されることを考えれば、教師は学習者の理解状態に対する認識が不完全かつ不安定であっても、適応的な教授を展開することが可能であると言える。我々は、その過程に対する一つの説明として、図1に示されるモデルを提案する。このモデルの解釈を次に示す。

教師は、学習者の問題解決過程を観察し、誤りの原因や学習者の知識構造に対する仮説（以後、診断仮説と呼ぶ）を生成する。その際、次に教授すべき事柄を決定するために、単に誤りを誘導した手続き的な知識を同定するだけでなく、対象学習世界の公理系に対する学習者の理解状態を表現した診断仮説を求めていると考えられる。誤りを誘導した手続き的な知識を同定するだけでは、それが誤っていることを示唆することはできるが、正しい知識を伝達するための治療を行なうことはできない。他方、公理系に対する理解状態を診断すれば、直接的に、治療のための情報を得ることができるからである。

診断仮説は、複数生成されることが一般的に考えられる。そこで次に教師は、同様に確からしい診断仮説の中から、学習者の理解状態を正しく表現していると思われる診断仮説の候補（以後、支持仮説と呼ぶ）を選定する。そして、支持仮説に基づいた教授を実行する。

支持仮説は、必ずしも学習者の理解状態を正しく表現しているとは限らない。支持仮説が学習者の理解状態を正しく反映していない場合、学習者の応

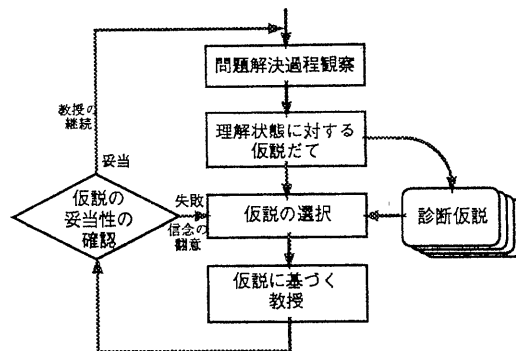


図1 教授モデル

答が教師の期待するそれと異なる。この違いにより、教師は自分の認識が正確ではなかったことに気づき、支持仮説を棄却し、診断仮説の再選定を行なう（信念の翻意）。すなわち、教授過程全体をとおして、常に支持仮説の正当性を確認し、適切な教授を実行している。

このように、診断仮説に基づく教授は、決定的ではない。すなわち、教師は、理解状態に対する仮説（学習者モデル）に応じて、極めて柔軟に適応的な教授を実現することが可能であると言える。

### 2.2 教授戦略

上述した適応的教授を実現するためには、(1) 支持仮説の正当性が不明な時点における教授戦略、(2) 支持仮説が学習者の理解状態を正しく表現していることが明らかにされた場合の教授戦略をそれぞれ検討する必要がある。

#### 支持仮説の正当性が不明である場合の教授戦略

この場合には、教師は積極的な治療を行なうことはできない。支持仮説が正しくない場合に、不適切な教育を行なうことになるからである。この時点においては、支持仮説の正当性を検証することが主な目的とされる。そこで、学習者モデルを精緻化するために継続して課題を提示する、直接に確認のための質問を行なうといった教授戦略が必要とされる。

#### 支持仮説の正当性が確認された場合の教授戦略

学習者の有する誤概念が確認された場合、誤概念を排除し、正しい知識を獲得させるための教授を

行なう。その際、a) 誤りに気づかせる、b) 正しい知識を伝達する、という教授戦略が必要である。

この段階の教授戦略は、(1) システムが直接知識を伝達する“説明による教授”と、(2) システムは直接知識を伝達せずに、学習者の発見を誘導する“ヒントによる教授”に大別される。そして、それぞれの教授戦略について具体的に教授方法を検討する必要がある。この点に関して、例えば大槻、島崎ら[5, 7]により、ITSにおける教授戦略を具体的に整理した研究報告が行なわれている。

### 3 学習環境

本章では、筆者らの想定する、適応的教授を実現するための学習環境について述べる。

#### 3.1 探究型学習環境

学習者モデルの状態に基づいて、学習者の有するバグを排除し、正しい知識を獲得させることがITSにおける教育の目的である。その際、単に解法知識およびその適用方法を伝達するだけではなく、その公理・原理を習得させることが望まれる。

これまでに述べてきたように、実用的なITSの構築を目的とした場合、学習者モデル構築の負荷と算出される教授戦略のバランスが保証され、しかも学習者に対して十分な学習効果を期待できるシステム構成が必要とされる。そこで筆者らは、学習者自身の積極的な活動を実現する学習環境を提供する。すなわち、教育を学習者の知識体系のdebuggingプロセスとみなしてシステム主導の教授戦略を計算する手法と対象的に、システムは学習者に自らの誤概念を認識させ、正しい知識を探究するための環境を提供する。ここでは、原理を探るという意味で、探究型学習と呼ぶ。

図2に、探究型学習環境における学習の流れを示す。システムの教授戦略は、大きく次の3つに分けられる。(1) 誤りを指摘する、(2) 知識の探求を促す、(3) 学習された知識を評価する。さらに、(2)に関しては、[a] “～について調べましょう”というレベルの助言と、[b] “なぜ～なのでしょう”というレベルの助言がある。後者は学習者に深い原理を学習させるための戦略である。

#### 3.2 探究型学習環境の課題

探究型学習環境においては、次の課題を整理する必要がある。

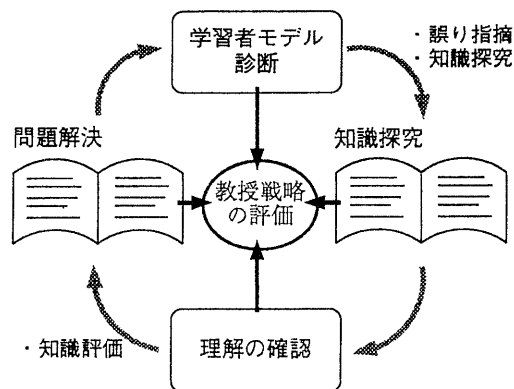


図2 探究型学習環境

- (i) 学習者が目的とされる知識/概念に向かって知識を探索していることが保証されていなければならない。
- (ii) 知識を探索した結果が評価されなくてはならない。
- (iii) 上述した [a] および [b] の助言を必要に応じて使い分ける必要がある。

(i) および (ii) に関しては、筆者らがこれまでに開発した深層的な学習者モデルが適用できる。すなわち、問題解決過程において観察される学習者の応答に基づいて、対象学習世界の公理系に対する認識状態(誤概念)を推論し、推論された深層的学習者モデルに基づいて学習者に探究させる必要のある概念を求めることが可能である。

(i) に関して、システムは常に教授戦略を評価し、学習者の行なっている探究による学習効果が観測されない場合には、戦略を変更する機能が必要である。そのために、診断仮説の検証機構を実現する。

(iii) の課題は、探究する知識・概念の種類および手続き化の度合に着目することにより解決する。知識・概念の種類とは、例えば、定義、定理、語彙などの区別を意味する。この場合、定義や語彙などは単にそれを調べれば良いが、定理に関しては、“なぜその定理が成立するか”といった原理を探ることが重要である。一方、知識・概念の手続き化の度合とは、例えば、領域の公理系からどれだけ手続き的にコンパイルされた知識かといった区別である。この場合、公式や上述した定理などは一般的にコンパ

イルされた知識である。学習者がこのような知識を探究する必要がある場合には、その原理まで学習させる必要がある。システムは、どのレベルまで深く探究させるかといったことを反映した教授戦略を決定する必要がある。

(iii) の課題を解決するために、筆者らがこれまでに開発した深層的な学習者モデルの拡張を試みる。すなわち、教授戦略に応じて、深層的学習者モデルの診断のレベルが変更する。次に、その枠組について説明する。

## 4 学習者モデル

本章では、前述した探究型の適応的教授を実現するために必要とされる学習者モデルの構成について述べる。その際、学習者の全ての応答を正確に予測することが困難なモデルでも、学習者の有する誤りを表現していれば、教授に貢献することは可能であるといった立場から学習者モデルを設計する。すなわち、教授戦略を考慮した学習者モデルの構成について考察する。

### 4.1 表層的学習者モデル

層的学習者モデルは、解法知識の習得および適用状態を表現する。具体的には、学習者の解法過程とシステムに組み込まれた解法エキスパートの解法過程を比較することにより、適用された解法規則を同定する。ここでは、そのための機構を解法過程モニタと呼ぶ。図3に、解法過程モニタの構成を示す。

表層的学習者モデルは、学習者の有する手続き的な誤りを表現している。この学習者モデルに基づく教授戦略として、学習者に誤りを示唆し、正しい

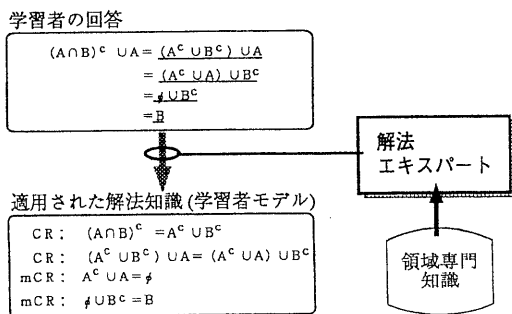


図3 解法過程モニタ

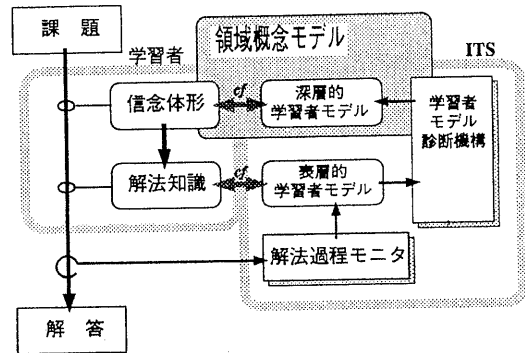


図4 深層的学習者モデルの構成

手続き的知識に対する学習者の自発的な発見/認識を期待することは可能であるように思われる。しかしながら、対象学習世界の公理系に対する理解を教育目標とした場合、手続き知識を習得するだけでは不十分である。そこで、次に述べるような、公理系に対する学習者の理解状態を表現した深層的な学習者モデルが必要とされる。

### 4.2 深層的学習者モデル

上述した表層的学習者モデルは、解法知識の習得/適用状態を表現している。学習者が適用した個々の解法知識は、領域の公理系に対する学習者の理解状態を反映していると考えerことは妥当である。そのために、表層的な学習者モデルに基づいて、領域の公理系に対する深層的な理解状態を表現する学習者モデルを構成する必要がある。その図式を図4に示す。

図において、領域概念モデルは、対象学習世界の公理系を表現したモデルであり、領域概念モデルに対する学習者の理解状態を表現したモデルを深層的学習者モデルと呼んでいる。従来の学習者モデルは、学習者の問題解決過程において適用された解法知識を同定することに主たる関心がおかれていた。ここではさらに、観測された問題解決行為から、領域概念モデルに対する学習者の認識状態を推論しようとするものである。具体的には、5.1で述べるように、領域概念モデルを利用して、表層的な学習者モデルを説明する仮説を生成することにより、深層的学習者モデルを構築している。すなわち、学習者モデル診断機構は、仮説推論における仮説生成機構として実現されている。

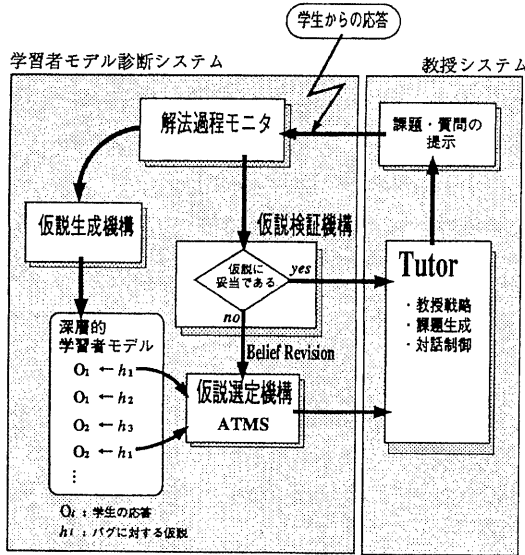


図5 学習者モデル診断システム

深層的学習者モデルを用いることにより、公理/原理に基づいた教授を展開することが可能になる。この学習者モデルは、学習者に探究させたい知識/概念を表現しているため、本システムにおいては、前述した探究型の学習環境において、学習者の探究活動を保証するモデルとなっている。

## 5 学習者モデル診断機構

本章では、適応的教授を実現するための、仮説推論 [12] に基づいた学習者モデル診断システムの構成について述べる。その基本的な構成を図5に示す。ここで提案する学習者モデル診断システムは、(1) 仮説生成機構、(2) 仮説選定機構、(3) 仮説検証機構からなる。

### 5.1 仮説生成機構

表層的学習者モデルを説明可能な診断仮説を生成する。表層的学習者モデルの説明可能性は、領域の公理系を表現したモデル(領域概念モデルと呼ぶ)を用いて、表層的学習者モデルの各解法知識が論理的に導出可能である状態として定義される。表層的学習者モデルの特定の解法知識に対する説明を求めることができない場合に、領域概念モデルを補うものとして、診断仮説を生成する。

表層的学習者モデルの説明機構は、Prolog like な言語により記述された領域概念モデルのメタインタプリタとして実現されている。仮説生成は、領域概念モデルの正しい公理系の一部を書き換えることにより行なわれる。筆者らは、これまで集合演算を例として、仮説生成機構を開発してきた。しかしながら、3で述べたように教授の目的に応じて、仮説生成のレベルを設定することが必要とされる。そこで、以下に述べる方法により、拡張された仮説生成機構を開発した。

### 拡張された領域概念モデル

図6に、集合論における領域概念モデルの例を示す。教授目的に応じた仮説生成を実現するために、各知識(節)には、知識の抽象度を表すレベルが記述されている。各知識の構成は、次の通りである。

$$dm(\text{name}, \text{level}, \text{body}).$$

*name* は知識の名前を表す識別子であり、*level* は知識のレベルを表す。*body* は Horn clause で表現されている知識の本体である。

### 教授レベルに応じた仮説生成

仮説生成機構は、項の書換えによりユニフィケーションを操作するプログラム診断システムである。仮説生成の基本的な仕組みに関する詳述は、[3]にある。拡張された領域概念モデルを用いて、教授レベルに応じた仮説生成を行なう場合には、書換えの対象を従来の *Hypotheses* と *Facts* で区別するのではなく、知識のレベルで判定する。すなわち、レベル  $n$  の教授戦略を適用したい場合には、 $dm(C_n^i, n, -)$  で  $m \leq n$  なる知識  $C_n^i$  を書換えの対象とする。教授のレベルは、0 になることはないため、レベル 0 の知識は、学習者に望まれるレディネスを表している。

### 5.2 仮説選定機構

診断仮説は、学習者の一つの応答に対して、複数生成されることが一般的である。しかしながら、生成された全ての診断仮説に表現されている誤りを学習者が持っているとは考えにくい。さらに、同一の応答に対して生成された診断仮説は、同時に成立すると互いに矛盾する場合がある。そこで、仮説選定機構は、複数の競合する診断仮説から、実際に学習者が有している誤りを正しく表現している仮説を同定する。

```

dm( deMorgan, 2,
    ( venn( c( u(A,B) ), R ) :-
      venn( c(A), Ra ),
      venn( c(B), Rb ),
      intersection( Ra, Rb, R ) ) ).
dm( eq_set_def, 1,
    ( eq_set( X, Y ) :-
      venn( X, R ),
      venn( Y, R ) ) ).
dm( venn_u, 1,
    ( venn( u( A, B ), Ru ) :-
      venn( A, Ra ),
      venn( B, Rb ),
      union( Ra, Rb, Ru ) ) ).
dm( venn_i, 1,
    ( venn( i( A, B ), Ri ) :-
      venn( A, Ra ),
      venn( B, Rb ),
      intersection( Ra, Rb, Ri ) ) ).
dm( venn_c, 1,
    ( venn( c( A ), Rc ) :-
      venn( A, Ra ),
      venn( universal, Ru ),
      subst( Ru, Ra, Rc ) ) ).
dm( intersection, 0,
    ( intersection( [F|X], Y, [F|Z] ) :-
      member( F, Y ), !,
      intersection( X, Y, Z ) ) ).
dm( intersection, 0,
    ( intersection( [F|X], Y, Z ) :-
      intersection( X, Y, Z ) ) ).
dm( intersection, 0,
    ( intersection( [], _, [] ) ) ).
dm( subst, 0,
    ( subst( [F|X], Y, Z ) :-
      member( F, Y ), !,
      subst( X, Y, Z ) ) ).
dm( subst, 0,
    ( subst( [F|X], Y, [F|Z] ) :-
      subst( X, Y, Z ) ).
dm( subst, 0,
    ( subst( [], _, [] ) ) ).

```

図6 領域概念モデル

実際には、ATMS[9]により学習者の応答と生成された仮説の依存関係に基づく制約充足問題として実現されている。図7に、仮説選定機構の構造を示す。仮説選定機構は、表層的学習者モデルの応答全てを説明することが可能で、同時に成立しない組み合わせを含まない仮説集合を求める。

### 5.3 仮説検証機構

仮説検証機構は、診断仮説に基づく教授の結果、期待される学習者の応答と実際の観測を比較し、診断仮説の正当性を評価する。具体的には、支持仮説を用いて学習者の応答の説明可能性を検証する。仮説検証機能は、教授戦略の評価器の役割を果たしている。この機能により、探究学習において、学習者が適切な知識を学習していることが保証される。

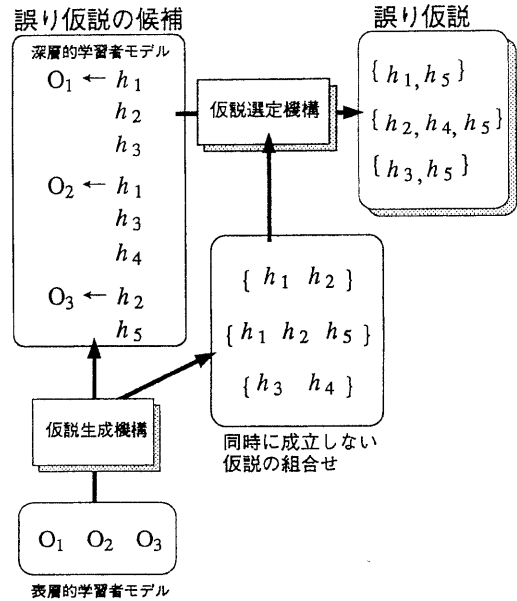


図7 仮説選定機構の構成

## 6 教授設計

構築された学習者モデルに基づいて、システムは次に何をすべきかを決定しなければならない。この過程は、一般に教授設計と呼ばれ、次の課題を整理する必要がある[8]。

- (1) 学習者モデルの状態に基づく教授戦略の決定
- (2) 教授戦略の実行
- (3) 教授戦略の評価
- (4) 教授の再設計

探究型の学習環境を実現する場合には、3.2で述べた課題を解決する必要がある。さらに、教授戦略を求める場合に、学習者の探究の履歴を考慮する必要がある。例えば、ある公式を探究した学習者に対しては、適切な機会においてその公式の原理を学習させる必要がある。

現在、これらの項目について、検討を行ない、教授設計システムの開発を進めている。具体的には、診断仮説の状態、教授レベル、探究の履歴、教育効果などを条件部に持つ教授規則によるプロダクションシステムとして実現される。

## 7 おわりに

本稿では、適応的教授を実現するために必要な学習者モデルの機能について考察した。ここで想定される学習環境は、システムの積極的な治療活動ではなく、学習者主体の探究型学習である。そのために、システムは対象学習世界の公理系に対する学習者の理解状態を認識し、適切な探究を行なわせる必要がある。そこで、観測された問題解決過程から深層的な学習者モデルを診断する手法を提案した。

本稿では、領域の公理系に基づいて問題解決のための教科書的な知識・概念の学習を意図したモデル生成の手法について考察した。しかしながら、問題解決の学習世界では、経験則 (*heuristic knowledge*) の習得も重要である。例えば、一次方程式の解法において、 $2(x-4)=5$  という状況においては、左辺を展開するよりは、左辺の係数を消去する戦略が望ましい。このような経験則を学習者自身が発見し、学習させる機能を検討する必要がある。また、必ずしも、学習者主体の探究学習が最善の教授戦略ではない場合がある。すなわち、必要に応じて、システムが積極的に助言・教示を行なう教授戦略を検討する必要がある。

本稿では、探究を行なわせるための具体的な環境については、述べられていない。現在、学習者モデル診断システムのインプリメントと並行して、知識検索システムの実現を検討している。

## 参考文献

- [1] 伊藤, 伊丹. “問題解決支援における階層的学習者モデルと指導について”. 情処研報, Vol. 10-17, pp. 117-122, 1990.
- [2] 松田, 岡本. “仮説推論に基づく ITS-学習者モデルとその認識方法について”. 信学論, Vol. (受理) 1992年2月掲載予定, 1992.
- [3] 松田, 岡本. “ITSにおける誤り仮説に基づいた非単調な教授のプランニングについて”. 信学技法, Vol. 91, No. 21, pp. 51-58, 1991.
- [4] 大槻ほか. 知的 CAI の実用化に関する研究. 平成2年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書, 1991.
- [5] 大槻, 竹内. “知的 CAI における高度個別化に関する研究”. 情処研報, Vol. 10-4, pp. 21-28, 1990.
- [6] 池田, 溝口, 角所. “学生モデル記述言語 SMDL と学生モデルの帰納推論アルゴリズム SMIS”. 信学論 D-II, Vol. J72-D-II, No. 1, pp. 112-120, 1989.
- [7] 島崎, 奥畑, 野村, 太田, 溝口. “教育戦略の観点から見た教材知識の体系化について”. 人工知能学会全国大会論文集, pp. 695-698, 1990.
- [8] S. A. Macmillan and D. H. Sleeman. “An architecture for a self-improving instructional planner for intelligent tutoring systems”. *Computer Intelligence*, Vol. 3, pp. 17-27, 1987.
- [9] J. de Kleer. “An Assumption-based TMS”. *Artificial Intelligence*, Vol. 28, pp. 127-162, 1986.
- [10] D. H. Sleeman and J. S. Brown. “Introduction: Intelligent Tutoring Systems”. In D. Sleeman and J. S. Brown (eds), *Intelligent Tutoring Systems*, pp. 1-8, Academic Press, 1982.
- [11] P. Langley. “A Machine Learning Approach to Student Modeling”. Technical Report CMU-RI-TR-84-7, Robotisc Institute, Carnegie Mellon University, 1984.
- [12] D. Poole. “A Logical Framework for Default Reasoning”. *Artificial Intelligence*, Vol. 36, pp. 27-47, 1988.
- [13] J. R. Anderson, C. Boyle, A. T. Corbett, and M. W. Lewis. “Cognitive Modelling and Intelligent Tutoring”. *Artificial Intelligence -Special Issue on Artificial Intelligence and Learning Environments-*, Vol. 42, No. 1, pp. 7-49, 1990.
- [14] J. A. Self. “Bypassing the Intractable Problem of Student Modelling”. In *Proceedings of ITS-88*, pp. 18-24, 1988.