

非単調性の定式化に基づく学習者モデル構築方式

A Student Model Building Method based on Formalization of Nonmonotonicity

河野 恭之*¹ 時森 健夫*^{2,†} 池田 満*¹
 Yasuyuki Kono Takeo Tokimori Mitsuru Ikeda
 野村 康雄*² 溝口 理一郎*¹
 Yasuo Nomura Riichiro Mizoguchi

- * 1 大阪大学産業科学研究所
 The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University, Ibaraki 567, Japan.
 * 2 関西大学工学部
 Faculty of Engineering, Kansai University, Suita 564, Japan.

1992年8月3日 受理

Keywords : student model, ITS, inductive inference, nonmonotonic reasoning, ATMS.

Summary

An intelligent tutoring system should have a student model which describes the student's understanding in order to realize adaptive tutoring.

We have developed a basic architecture of *HSMIS*, which is an assumption-based inductive student model inference engine. Although the algorithm of *HSMIS* is domain independent and is based on a complete logical foundation, the behavior of the system lacks flexibility and educational appropriateness. In this paper, we investigate which mechanisms and what knowledge is required to make *HSMIS* flexible and powerful.

To this end, we developed the following two mechanisms :

1. Flexible decision making on the usage of information obtained from student's problem solving process.
2. Sophisticated model inference mechanism for coping with various assumptions.

The control mechanism and knowledge for controlling student model inference is described in detail.

1. ま え が き

学習者の理解状態を勘案した柔軟できめ細かな教育を遂行する知的能力を計算機上に実現するためには、学習者の理解状態を正確に把握し、その情報を有効に活用する枠組みが必要である。それゆえ、数々のITSの研究において学習者モデルは最も重要なテーマの一つとなっており、バグモデル[Brown 78]をはじめとする多数の学習者モデル表現および構築技法が提案されている[岡本 87, 竹内 87, Wenger 87].

我々は、ITSの汎用フレームワーク *FITS*[池田 92]の学習者モデルモジュールとして、帰納推論を基本アルゴリズムとした仮説型学習者モデル推論システム *HSMIS* (Hypothetical Student Model Inference System)を開発している[池田 89]*¹. *HSMIS*は、論理型言語を基礎においたモデル記述により高い表現能力を実現し、ATMS[de Kleer 86]の一貫性管理能力を利用することでドメインに依存しない学習者モデル構築アーキテクチャとして高い基本能力を実現している。

一般にシステムの汎用性と柔軟性はトレードオフの関係にある。*HSMIS*は汎用性を追求することによってモデル構築タスクの本質的な構造を見極めようという目的で我々が開発した基本アーキテクチャである。基本アーキテクチャがモデル構築に要求される基本機能を備えているとして、柔軟性を実現するために付加

† 現在、阪急電鉄(株) (Currently, Hankyu Corp.)

* 1 [池田 89]では学習者モデルの帰納推論アルゴリズム *SMIS*を定義した論文であるが、*HSMIS*への基礎的な拡張方法も同時に提案している。

すべきメカニズムと知識は何かという問題が本論文の主題である。この問題に対する一つの解答は、ドメイン固有の知識を導入することである。ドメインの性質を反映したきめの細かい知識を十分に準備できる領域では、その導入によりシステムの柔軟性を達成することは可能である。しかしその結果としてタスクの本質的な構造を見失われることが多く、ドメイン依存知識を導入する際には系統的な検討が必要である。

学習者モデル構築システムはITSの教育行動の一翼を担っており、その振舞いと出力のバランスを教育的な面から検討することは重要であると考えられる。しかし、モデル推論システムが教育的に適切な振舞いを行うためのメカニズムについての検討は数少ないのが現状である。我々が学習者モデル構築というタスクに関して本研究で目指すものは以下の2点である。第一に、教師の洞察力(比較的小量の情報から適切な仮説を設定する能力)にみあう機能を基本アーキテクチャに組み入れることである。第二には、基本アーキテクチャの振舞いを教育的観点から制御するためのメカニズムを明らかにすることである。適切な制御メカニズムを確立すれば、その枠組みの上でドメイン依存の制御知識を定式化することが可能となる。

以上の観点から本論文では、教師が学習者の理解状態を推測する際の行動と推論過程について考察しながら、非単調性の定式化に基づき *HSMIS* をベースにしたモデル推論の制御メカニズムを提案する。そしてモデル推論を運用する知識とその実装法を論じる。

2. 学習者モデル構築システムの設計

2.1 学習者モデルの帰納推論アルゴリズム *SMIS*

ここでは *HSMIS* のベースである帰納推論に基づく学習者モデル構築アルゴリズム *SMIS*[池田 89]について本論文に必要な範囲で解説する。なお、ある時点における教材に対する学習者の理解状態の推測をシステムの内部に表現したものを学習者モデルと呼ぶことにする。本論文では、特に断らずにモデルという単語を学習者モデルの意味で用いる。

教師は学習者の具体的な振舞いを観察し、その結果に基づき学習者の理解状態を推測するものと考えられる。このことから学習者モデル推論は、データの集合からそれを説明する一般的な記述を得る帰納推論と捉えられる。*SMIS* は *MIS*[Shapiro 82]をもとに、*Prolog* を拡張した学習者モデル記述言語 *SMDL* で記

述されたモデルを帰納推論するシステムである*2。

図1に示すように *SMDL* は *Prolog* と同様に原子式と節を最小単位としている。*SMDL* では4種類の真理値(true, false, unknown, fail)が定義される。true, false, unknown はシステムから見た学習者の理解状態を表現し、fail は学習者の理解状態が同定されていないというシステムの状態を表現する。true, false, unknown はそれぞれ学習者がある基礎原子式に対して“真である”、“偽である”、“わからない”と考えているとシステムが認識している状態である。基本的に同じヘッドを持つ節は or(\vee)、ボディに並ぶ述語は and(\wedge)の関係にあり、*SMDL* におけるこれらの演算は「教師から見た学習者の理解モデル」として *SMDL* が一貫して機能するように定義されている。表1と表2にその真理値表を示す。この真理値の拡張により *SMDL* は、*Prolog* の論理型言語としての特徴を継承しながら、より適切に学習者の理解状態を捉え、*FITS* の挙動の決定に必要な基本的な情報を表現できる。以降、*SMDL* の節を単に節と記述し、議論を *Prolog* の節に限定する場合にはそれを明記することにする。

学習者との対話は図2にあるように種々の形態が考えられるが、すべての対話文は *SMDL* の基礎原子式

```
temperature(japan)::true.
torrid(japan)::false.
fertile(japan)::unknown.
[日本は温暖であるが、熱帯ではない。また、日本が肥沃かどうかわからない。]
temperature(thailand)::false.
torrid(thailand)::true.
wet(thailand)::true.

grow(Plant, Place, T1) :-
    torrid(Place, T2),
    wet(Place, T3).
grow(Plant, Place, T4) :-
    temperature(Place, T5).
[植物は湿潤な熱帯地方または温暖な地域で生育する。]
```

図1 *SMDL* の基礎原子式と節の例

表1 AND 演算の真理値表

\wedge	true	unk.	false	fail
true	true	unk.	false	fail
unk.	unk.	unk.	false	fail
false	false	false	false	fail
fail	fail	fail	fail	fail

表2 OR 演算の真理値表

\vee	true	unk.	false	fail
true	true	true	true	true
unk.	true	unk.	unk.	fail
false	true	unk.	false	fail
fail	true	fail	fail	fail

*2 *SMDL*, *SMIS* の厳密な定義は[池田 89]を参照されたい。

```

Does rice grow in Australia ?
>> No. [grow(rice,australia)::false]

Where does rice grow ?
>> Japan. [grow(rice,japan)::true]

Please select the countries where rice grows.
a Japan, b Canada, c Australia
>> a,c. [ grow(rice,japan)::true,
          grow(rice,canada)::false,
          grow(rice,australia)::true ]

```

図2 学習者モデル構築時の対話例と内部表現（下線部が学習者の応答）

と真理値のペアの形態に変換することができる。*SMIS*は図1に示すような出題に対する学習者の応答の集合を導くSMDLプログラムを帰納的に合成するアルゴリズムである。本論文では、推論の根拠となる学習者の応答をオラクルと呼び、2文字組 $\langle p(\bar{X}, T), T \rangle$ の形式で表現する。ここで、 \bar{X} は変数を含まない引数の列、 T は与えられた真理値($T \in \{true, false, unknown\}$)、 T は真理値変数である。*SMIS*はすべてのオラクルについてその真理値と学習者モデルの実行結果、すなわちSMDLインタプリタによる解釈が完全に一致するまで節の生成・付加と除去の二つの基本操作を繰り返し実行する。

2・2 推論制御メカニズムの設計方針

ITSにおける学習者モデル構築の目的は、教育行動の生成に有用な情報を提供することである。このため学習者モデル構築に際し、システムの振舞いに教育的な妥当性が求められる。我々は*HSMIS*の推論制御メカニズムの設計に際して次のような目標を設定した。

- ・推論効率の向上：モデル構築能力を保持したまま推論効率を向上させるため、ドメイン依存知識の導入方法論を確立すること。
- ・学習者の変化への対応：構築するモデルが学習者の理解状態等の変化に追従できること。
- ・出題の教育的妥当性の維持：“学習者の把握に自信があるから質問しない”など、優秀な教師が持つより少ない出題で生徒の理解状態を把握する洞察力を実現すること。また、“過去の言動を都合良く忘れる”など、話題の変化に応じてより新しい話題についての出題からモデル構築できること。

以上あげられた*HSMIS*への要求に対して我々は、次のような推論制御メカニズムの設計方針を立てた。

1. まず学習者モデル構築のタスクについて完全な問題解決器である*SMIS*を効率化する。
2. 次に*SMIS*の推論能力を高め、また教育的に妥当な振舞いをもたらすためにモデル推論における非

単調性を定式化し、

3. その非単調性を実現するメカニズムを導入して推論制御知識を組み込む。

3. 帰納推論の効率化

ここでは、アルゴリズムの完全性を損なわずに*SMIS*の効率向上に寄与する手段を提案する[時森 91]。

3・1 精密化グラフの探索戦略

*SMIS*は、精密化グラフと呼ばれる節を節点とした有向グラフを幅優先に探索して、オラクルを満足する節を生成する。各節はグラフの節点に精密化関係を満足するように展開されている。すでに述べたように、オラクルの導出に寄与しない節を持つ節点の子節点について探索を打ち切ることができる。このように*SMIS*は、節の精密化関係を利用して枝刈りを行いながらグラフの根から葉へと探索を行うことで、一般的でかつ効率的な探索制御アルゴリズムを実現している。

精密化グラフの根の付近の節のボディは連言が少なくモデルに採用するにはもっともらしさに欠けることが多い。グラフの根から探索を開始すると、学習者の理解として妥当な表現の節に至るまでに多数の節点を経なければならないことになる。そこで、精密化グラフの探索を次のように行う(図3参照)。

精密化グラフ \mathcal{G} とバグ知識を表す節の集合 $\mathcal{U} = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 、および $0 \leq P \leq L$ となる定数 P と L を与え、次のように探索グラフ集合 \mathcal{G}_g を生成する。

1. \mathcal{G}_g を空にする。
2. $1 \leq k \leq n$ となるすべての k について、 \mathcal{U} 中の節 C_k を表す精密化グラフの節点 v_k への経路長が P となるような v_k の先祖 u_k を根とし、深さ L 以内の \mathcal{G} の最大の部分グラフ \mathcal{G}_k を生成する。ただし、 \mathcal{G} の根 u_g から v_k への経路長 P_k が $P_k < P$ である場合、 \mathcal{G}_k は $u_k = u_g$ を根とし、深さ $L - (P - P_k)$ 以内の最大の部分グラフとする。
3. $1 \leq i < j \leq n$ となるすべての i と j について、 \mathcal{G}_i

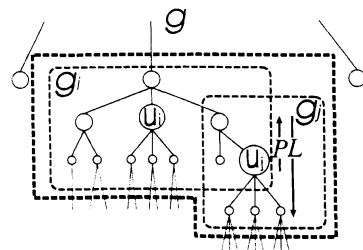


図3 精密化グラフの探索戦略

の根 u_i が \mathcal{G}_i の節点集合に含まれる場合、 \mathcal{G}_i と \mathcal{G}_j を併合して新たな \mathcal{G}_i と \mathcal{G}_j を空グラフとする。また、 \mathcal{G}_i の根 u_i が \mathcal{G}_j の節点集合に含まれる場合、 \mathcal{G}_i と \mathcal{G}_j を併合し新たな \mathcal{G}_i とし \mathcal{G}_j を空グラフとする。

4. 一度もグラフの併合が行われなくなるまで3の操作を繰り返す。

5. $1 \leq k \leq n$ となるすべての k について、 \mathcal{G}_k に空グラフでない \mathcal{G}_k を順に加える。

以上のように生成された \mathcal{G}_k に含まれる \mathcal{G} の部分グラフを精密化グラフと同様の方法で順に探索することにより、あるオラクル \mathcal{O} を支持する節を生成しモデルに付加する。 \mathcal{G}_k のすべての要素のグラフについて探索が失敗した場合、 \mathcal{G} の探索を従来どおり根から行う。

このアルゴリズムにおける探索制御知識は、教材を定めればバグに関する情報として収集でき、その質と量に依存して推論効率を向上できる。バグ知識による探索が失敗した場合は節の探索を精密化グラフの根からやり直せば、この探索戦略は一般性を失うことはなく、ほとんどの場合節の探索効率が向上する。また、定数 P および L の値は与えられたバグ知識の性質を規定する。例えば $P=L=0$ の場合、バグ知識だけの探索となるため学習者が典型的な理解状態をとりやすい教材において効率的な探索が可能である。 P および L の値が適当に大きい場合に複数のバグ知識が近接していれば自動的に統合され、共通の祖先から探索される。

3・2 モデル構築対象知識の動的遷移

節の集合は、述語を節点とし述語の呼出し関係を枝とした有向木と見ることができる。ある述語よりも根に近い部位に位置する節点の述語はもとの述語に対し相対的に上位にあり、逆に葉に近い節点の述語は下位にあると記述することとする。*SMIS* のアルゴリズムでは、モデル中のある述語の正当性を検査する必要がある。そのためモデル中でその述語より下位に存在するすべての節と基礎原子式の正当性を証明しなければならない。このため、ドメイン知識中で比較的上位に位置する知識についてのモデル構築を行う場合、*SMIS* は必然的にその知識のかなり下位にある知識に言及してしまうことになる。教師が学習者の理解状態を把握する範囲は話題になっている知識の近辺に限られると考えられる。このことからモデル構築を行う範囲を動的に変化させるメカニズムを次のように設定すれば、上の問題は解決できる。

HSMIS がモデル構築を行うべき範囲を述語の集合 $S_p = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ で与えられたとする。*FITS* におい

てドメイン知識は Prolog の節と基礎原子式の集合として記述されており、これを述語を節点とし述語の呼出し関係を枝とした有向木 $\mathcal{T} = (V, E)$ と記すことにする。このとき、限定されたモデル構築範囲（以降、スコープと呼ぶ）は、節点集合を S_p とした \mathcal{T} の部分グラフ $\mathcal{T}_s = (S_p, E_s)$ となる。 E_s の要素は E の要素のうち両端の節点が S_p に含まれるものすべてとする。*SMIS* は \mathcal{T}_s をもとに精密化グラフを生成・解釈し学習者モデルを構築する。そして \mathcal{T}_s において葉となる節点の述語よりも下位の述語のモデル検証を行わない。

FITS では教育行動を決定するメカニズムとしてスケジューラが用意されている。スケジューラは *HSMIS* を起動する際、その問題空間としてスコープを決定し伝達する。*SMIS* は、モデルの実行結果とオラクルの検証をスコープの範囲に限定し、スケジューラの決定の枠内でモデル推論を行う。スコープの変更が通知されモデル構築範囲が下位に広がった場合、それまで基礎原子式として扱われてきた述語についての節探索を自動的に再開することで、推論の連続性を保ちながら文脈に沿ったモデル構築が可能となる。

4. 学習者モデル構築における非単調性

教師は学習者の振舞いが予測の範囲内であれば、その予測の根拠を信頼してあまり繁雑に質問を行わない。その後信頼に反するデータが得られると、教師は以前の信頼を取り消して学習者の理解状態の同定に必要な出題を行う。このように教師は自分が持つ教育的な経験に基づき、学習者が持っているであろう知識についての信頼を非単調に変化させると考えられる。以上の種類の教育的な判断に基づく非単調性を信頼の非単調性と呼ぶこととする。教師は観察した学習者の振舞いをすべて記憶しているわけではないし、また記憶しているすべての振舞いを検証して学習者の理解状態を推論するわけではない。学習者の振舞いに疑問を抱いたとしても、教育の流れに沿わない話題の出題は行わない。これは教師が古い話題についての学習者の発言を無視するか、あるいは忘れて検証データの集合を非単調に変化させることで、理解状態同定のための出題を教育的に妥当な範囲に制御していると考えられる。この種の非単調性を話題の非単調性と呼ぶ。

学習者の理解状態が変化した場合、モデル構築の根源は変化する。また、学習者の不注意など一貫した振舞いが期待できない場合、それらの不安定な振舞いを推論データから排除する必要がある。この種の学習者に起因する非単調性を理解・振舞いの非単調性と呼ぶ。

以上の議論から学習者モデル構築システムは話題、信頼、理解と振舞いに関する3種類の非単調性を扱う必要がある。理解・振舞いの非単調性の一部は矛盾、すなわち学習者の行動系列中のノイズとして外部に現れる。ノイズを含んだ入力系列からの学習者モデル構築の必要性を[Burton 82]が提唱して以来、この問題はノイズ発生過程の認知的な考察[Brown 80, VanLehn 82]や矛盾を含んだ学習者の振舞いからの学習者モデル構築問題[Huang 91]などITS研究の重要な論点の一つとなっている。我々は、真理値維持機構[de Kleer 86, Doyle 79]の技術を利用した帰納推論の枠組みを提唱して以来[池田 86]、理解・振舞いの非単調性を扱う学習者モデル推論システムを設計・構築してきた[池田 88, 池田 89]。本論文で提案する推論方式はこれらの延長線上にあり、上記の非単調性を扱う機構を備えた学習者モデル推論の枠組みである。

5. 仮説型学習者モデル推論

SMISは帰納推論システムであるが、その推論過程は演繹的であり、オラクルから学習者モデルを導出するすべてのステップを演繹的な因果関係で結びつけることができる。このため、SMISに与えるオラクル集合を非単調に制御することで非単調性を持った学習者モデル推論を実現できる。本研究で我々はHSMISにおいて仮説推論の枠組みATMS[de Kleer 86]を利用し、これらの非単調性を統一的に定式化した。

HSMISの学習者モデル推論を非単調に制御するための枠組みを図4に示す。推論制御のための枠組みを組み込んだHSMISは、①モデル推論エンジンSMIS、②一貫性管理システムATMS、③架空オラクルジェネレータ、④オラクルマネージャ、⑤矛盾解消器CRSからなり、⑥スケジューラがFITSを統括している。スケジューラはFITS全体を見通したグローバルな観点からモデル推論範囲の大枠を決定し、HSMISを起動する。ATMSはSMISが扱うデータの状態を管理しており、架空オラクルジェネレータ、オラクルマネージャ、CRSがATMSを通じてSMISを制御する。

この章では、提案する学習者モデル推論の制御機構をATMSの枠組みの上で定式化する。そしてその定式化に基づいたHSMISの全体的な動作を概説するが、実際の運用法およびそのために用いられる知識についての詳しい記述は6章に譲ることとする。

5.1 ATMSを利用した問題解決

仮説推論のための一貫性管理機構ATMSと問題解

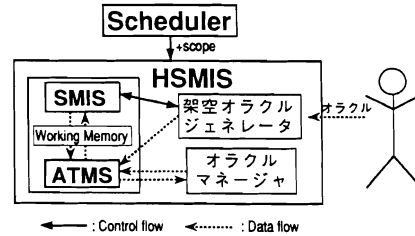


図4 HSMISの推論制御の枠組み

決(推論)システムは、情報の授受によりインタラクティブに機能する別個のシステムである。推論システムはその推論過程をATMSに通知する。推論システムが取り扱うすべてのデータはATMSが管理する。

推論システムが通知する情報は、 $[N_1, N_2, \dots, N_k \Rightarrow D]$ の形態を取り、データDがデータの集合 $\{N_1, N_2, \dots, N_k\}$ から導出されたことを表す。 $\{N_1, N_2, \dots, N_k\}$ をDの支持理由という。

推論システムで扱うデータは、前提データ、仮定データ、導出データのいずれかに分類される。前提データは、いかなる状況でも成立するものとして定義される。仮定データは、他のデータに依存せずに成立すると仮定されたデータである。導出データは、他のデータから推論規則により推論されたデータである。推論システムは導出データの推論過程をATMSに通知する。

導出データから支持理由をたどると、前提データまたは仮定データに必ず到達する。すなわち、すべてのデータに対してそれが依存する仮定の集合を計算することができる。この仮定の集合は環境と呼ばれる。各データについて推論システムから通知された支持理由を記録し、そのデータが成立する無矛盾な環境を計算することがATMSの主要なタスクの一つである。矛盾の導出が通知されるとATMSは矛盾の環境を計算し、それを矛盾レコードに記録する。矛盾レコードに含まれる環境は許されない仮定の組合せと解釈できる。

推論のある局面はコンテキストと呼ばれ、その局面で成立するデータの集合により定義される。コンテキストに含まれるすべてのノードを導出する環境の集合をそのコンテキストの特性環境と呼ぶ。ATMSは、矛盾レコードを用いて推論システムの推論過程の無矛盾性を管理する。推論システムは、矛盾レコードに記録された環境を包含しない新たな特性環境を選択し、ATMSに通知する。新たな特性環境が通知されると、ATMSはそれまでに導出された各ノードが新しい特性環境において成立する(in)か成立しない(out)かを決定し、inノードの集合により新しいコンテキストを構成する。そのコンテキストのもとで推論システムは

推論を続行する。

ATMSを用いた問題解決システムにおいて特性環境を遷移することは、推論の途上で何らかの仮定を改変することに当たる。特に、以前に立てた仮定の更新は問題空間の非単調な変更にはかならない。ATMSベースの推論システムではATMSが管理する仮定の状態を制御することで非単調な推論が実現できる。

特定の問題解決システムにATMSを導入する際的设计上のポイントとしては、以下のことがあげられる。

1. データの分類(前提データ, 仮定データ, 導出データ)とその依存関係の設定
2. 矛盾検出ルールの定義
3. 矛盾解消器の設計

本研究において我々は、すでに述べた3種類の非単調性を実現するために次のように仮定を設定した。

- 信頼の非単調性: 仮定 **trust**
 話題の非単調性: 仮定 **consider**
 理解・振舞いの非単調性: 仮定 **student**

これらの仮定からオラクルを導くことによりSMISの推論を非単調に制御することができる。

5・2 オラクルの導出過程

教材知識をPrologのような論理型言語で記述した場合、節に含まれる変数に代入し得る定数には制限がある*3。ある変数 v に代入可能な定数の集合を v の代入域と呼び、代入域の要素を代入要素と呼ぶ。

ある変数 v の代入要素 c がモデル構築対象であることを示すデータ **consider**($c \rightarrow v$)を仮定する。また変数 v の代入要素 c を含む代入 $\partial_{c,v}$ による述語 A の基礎原子式 $A\partial_{c,v}$ について学習者が真理値 T と声明した場合、仮定 **student**($A\partial_{c,v}, T$)がATMSに通知される。

システムは、これまでに示した仮定から次のような支持理由をもってオラクルを導出する。

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{student}(A\partial_{c,v}, T) \\ \mathbf{consider}(c \rightarrow v) \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{oracle}(A\partial_{c,v}, T)$$

以後 $A\partial_{c,v}$ を A' と略記する。

学習者の持つ知識への信頼に基づいた架空の、すなわち言明に基づかないオラクルが次のように導出される。まず、学習者が持っていると考えられる節 $C = (A \leftarrow B_1, B_2, \dots, B_k)$ を満たす教材知識が、基礎原子式

の形で前提データ $\text{text}(A', T), \text{text}(B'_i, T_i), \dots, \text{text}(B'_k, T_k)$ としてATMSに伝えられている。また、節 C について学習者が用いているであろうという信頼を表現した仮定データ **trust**(C)が生成される。このとき、 $i=1, \dots, k$ について節 C とオラクル $\mathbf{oracle}(A', T)$ が支持する正解知識 B'_i についてのオラクルが導かれる。

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{trust}(C) \\ \mathbf{oracle}(A', T) \\ \text{text}(A', T) \\ \text{text}(B'_i, T_i) \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{oracle}(B'_i, T_i)$$

以上のように信頼に基づき導出されたオラクルを、学習者の言明に基づくものと区別して架空オラクルと呼ぶ。

5・3 SMISの推論過程

SMISが行う推論の因果関係は、さらに **uncover**, **correct** という2種類の仮定を用いることで記述することができる。SMISがコンテキスト Ω のもとで新しい節 $C = (A \leftarrow B_1, B_2, \dots, B_k)$ を学習者モデルに付加する条件は次のように記述できる。

- if cond 1: ($\mathbf{oracle}(A', T) \in \Omega$) and
 cond 2: (Ω において C の反例となるオラクルがない) and
 cond 3: (C は A' の導出に貢献する)
 then (C をモデルに付加する)

この推論過程の記述を考える。条件部 cond 1~cond 3をそれぞれ次のように記述する。

- cond 1: 5・2節で示した推論過程に基づき、 $\mathbf{oracle}(A', T)$ は導出されているとする。
 cond 2: ある時点におけるオラクル集合 $\tilde{O} \subseteq \Omega$ に対する C の正当性、すなわち反例がないことは真のオラクル集合における正当性と一致するとは限らない。このため、正当性は仮定データ **correct**(C)として扱われる。

cond 3: この条件は、 C が \tilde{O} において (A', T) の導出に貢献することを意味している。HSMISの推論過程は次の形式でATMSに通知される。

$$\left. \begin{array}{l} \mathbf{oracle}(A', T) \\ \mathbf{oracle}(B'_i, T_i) \\ \dots \\ \mathbf{oracle}(B'_k, T_k) \end{array} \right\} \Rightarrow \mathbf{cover}(C, (A', T))$$

ここで、 $T = \bigwedge_{i=1}^k T_i$ であり、 \wedge は表1のSMDLにおける論理積を表す。

学習者モデル診断システムSMDSは、節 C' に対する反例の存在を同定するとそれをATMSに通知する。

* 3 例えば、図1の植物の生育に関する述語 **grow**(Plant, Place, T)において、第一引数の変数Plantにはrice, wheatなどの植物名を示す定数のみ代入可能であり、変数Placeにはniigata, kievなど土地を表す定数しか代入されない。

$$\left. \begin{array}{l} oracle(A', T_w) \\ oracle(B_i, T_{s1}) \\ \dots \\ oracle(B_k, T_{sk}) \end{array} \right\} \Rightarrow refutation(C')$$

ここで、 $T_w \neq T_w \vee \bigwedge_{i=1}^k T_{si}$ である。

C' が A' の導出に貢献しない場合、正当性の記述と同様の理由で仮定データ $uncover(C', A')$ と表現する。モデルに対する C の付加は、以上のデータをもとに次のような形式で ATMS に通知される。

$$\left. \begin{array}{l} oracle(A', T) \\ cover(C, (A', T)) \\ correct(C) \end{array} \right\} \Rightarrow model(C)$$

以降の推論で、 $model(C)$ の支持理由のいずれかが成立しない特性環境に遷移した場合、ATMS は $model(C)$ がその時点の推論結果として成立しないことを保証する。

5.4 メタオラクル

学習者の言明は、問題に対する回答を示す基礎原子式形式のもの、基礎原子式を導出する根拠となるルール形式のもの二つの形式に大別される。*HSMIS* のオラクルは基礎原子式形式の知識であり、基本的な枠組みでは他の形式の入力を受け付けない。しかし教育を指向した場合、学習者から得られる情報はそれが利用可能であるならば受け付けられるべきである。

一般にルール知識は複数の基礎原子式をカバーする。すなわち基礎原子式形式の言明のみしか許されなければある述語に対するオラクルが代入要素ごとに必要であるが、それらすべての根拠を一つのルール知識が代用すれば、モデルの検証のために従来必要であったオラクルの獲得を大幅に減少させることができる^{**}。また、知識形態がモデル推論によって得られる節と同一のため、学習者モデルを直接支持することができる。このようなルール知識の言明をメタオラクルと呼ぶ。

学習者が節 $C=(A \leftarrow B_1, B_2, \dots, B_k)$ についての言明を行った場合、*SMIS* は仮定 **student** を ATMS に通知してメタオラクルを導出する。

$$student(C, T) \Rightarrow metaOracle(C, T)$$

メタオラクルは学習者のルール知識の言明に基づくため、学習者モデルに付加すべき節 C を *SMIS* が探索する必要はなく、メタオラクルから直接導ける。

$$metaOracle(C, yes) \Rightarrow model(C)$$

同様に、ルール知識に対する否定の言明に基づくメタ

オラクルは学習者モデル中の節を直接否定する。

$$metaOracle(C, no) \Rightarrow refutation(C)$$

5.5 矛盾の検出

HSMIS の推論過程において生じる矛盾は、次の6種類に整理される。

- (1) 正当性の矛盾
if ((**correct**(C)) and ($refutation(C)$)) then \perp
- (2) カバーテストの矛盾
if ((**uncover**($C, (A', T)$)) and ($cover(C, (A', T))$)) then \perp
- (3) 信頼の矛盾
if ((**trust**(C)) and ($refutation(C)$)) then \perp
- (4) メタオラクルへの反例
if (($metaOracle(C, yes)$) and ($refutation(C)$)) then \perp
- (5) オラクルの矛盾
if (($oracle(A', T)$) and ($oracle(A', T')$) and ($T \neq T'$)) then \perp
- (6) 節探索の失敗
if ($oracle(A', T)$ を導出するために探索したすべての節について **uncover**($C, (A', T)$) or $refutation(C)$) then \perp

HSMIS は以上の矛盾について順に検出を行い、何らかの矛盾が検出されると ATMS に支持理由とともに矛盾の発生を通知する。ATMS はラベル計算アルゴリズムを用いて矛盾環境を計算し、それを記録する。

上述の6種類の矛盾のうち、(1), (2)はデフォルト矛盾と呼ばれ、我々はその処理方法を[池田 88]ですでに整理している。すなわち、**correct**(C) および **uncover**(C, A) は、それぞれ $refutation(C)$ および $cover(C, A)$ が「成立しない限り」成立すると仮定されたデータであるため、これらの矛盾は **correct**(C) および **uncover**(C, A) を out にすることで解消される。これらの矛盾は *HSMIS* の推論方式自体が持つ非単調性に起因するものであり、ATMS の環境遷移を用いてモデル推論の連続性を保ちながらそれまでの推論結果を効率的に利用することができる。これに対して(3)から(6)の矛盾はオラクル環境矛盾と呼ばれ、本論文で導入している架空/メタオラクルを含めたオラクル(入力データ)が持つ非単調性に起因するものである。

オラクル環境矛盾が発生した場合、モデル構築を続行するために適切なオラクル集合を設定する必要がある。本研究で定式化したモデル構築における3種類の非単調性は、この種の矛盾が発生する以前に回避するため、あるいは発生した矛盾を解消するためのオペレ

* 4 ルール知識の言明が理想的に連鎖していたとしても、最もプリミティブなレベルのオラクルはモデル検証のために最低限必要である。

ータの定義と解釈できる。これらのオペレータの利用法については節を改め、必要な知識と運用メカニズムと併せて6章において詳述する。

5・6 HSMISの動作

ここではHSMISの動作の概略を述べる。

- (1) 架空オラクルジェネレータは学習者の入力からオラクルと架空オラクルを導出し、ATMSに通知する。
- (2) SMISは矛盾の発生を含む全推論過程をATMSに通知し、ATMSはそれをデータベースに記録する。
- (3) 矛盾が発生すると、SMISはその解消をCRSに依頼する。
- (4) CRSはデフォルト矛盾についてはすでに述べたような方法で矛盾解消する。オラクル環境矛盾の場合、オラクルマネージャが各オラクルのもととなる仮定の状態を操作して新たなオラクル集合を生成し、CRSはその無矛盾性をATMSに照会する。
- (5) ATMSは照会されたオラクル集合を矛盾原因レコードと照合し、その結果と通知するとともに、
- (6) 新しいオラクル集合が無矛盾であれば、SMISの推論データの一貫性を修復し、制御をSMISに戻す。

6. 教育的観点に基づく学習者モデル モジュールの運用に関する考察

6・1 動作例

5章で示した定式化により、非単調な推論制御能力を持つ学習者モデル推論の基本的な枠組みを構築することができた。この枠組みを利用して実現可能な学習者モデル構築におけるシステムと学習者の対話例を図5に示す。そして本論文で提案する枠組みの理解を容易にするために、多少厳密さには欠けるがシステムの逐次的な動作とその際の意図をまず解説する。ここで、正解のProlog節 C_p は

```
grow(Plant, Place) :-
    suitable_temperature(Plant, Place),
    suitable_soil(Plant, Place),
    suitable_lay(Plant, Place),
    has_irrigation(Place).
```

であるとする。この節は、ある地域である植物が生育するためには温度、土壌、地形がその植物に適し、しかも灌漑の存在が必要という知識を表現している。

(a)の対話において、学習者が代入要素“新潟”における米の生育について正解したため、システムは C_p に対応する節 C への信頼に基づき新潟の温度、土壌、地形、灌漑について架空オラクルを生成することで、これらについての質問を行うことなく C をモデルに付加できる。代入要素“キエフ”についての対話(b)では、正解から温度条件のみが欠落した典型的な誤った理解を示す節 C'

```
grow(Plant, Place) :-
    suitable_soil(Plant, Place),
    suitable_lay(Plant, Place),
    has_irrigation(Place).
```

で学習者の誤答を説明できるため、仮定 $\text{trust}(C)$ をoutにするとともに仮定 $\text{trust}(C')$ からキエフについての架空オラクルを導出してモデルを構築する。すでに導かれていた代入要素“新潟”についての架空オラクルのうち C' を支持するものは、仮定 $\text{trust}(C)$ から再導出することで存続してモデルを支持する。

次にシステムは代入要素“モンゴル”を用いてモデル構築を行おうとするが、誤答(c)から学習者が正解からかけ離れた理解を持つ可能性が高く、節 C' に対する信頼を設定できないため、 $\text{trust}(C')$ をoutにする。このためモンゴルについての架空オラクルを生成できず、システムは(d)~(g)のようにオラクル要求の質問を行う。また、仮定 $\text{trust}(C')$ がoutになると同時にこの仮定から導かれていた新潟とキエフについての架空オラクルが消滅し、これらの代入要素についてオラクルを獲得する必要が生ずる。このときシステムは、仮定 $\text{consider}(\text{niigata} \rightarrow \text{Place})$ をoutにすることで、

```
(a) Does rice grow in Niigata ?
>> Yes.[Yes]

(b) Does rice grow in Kiev ?
>> Yes.[No]

(c) Does rice grow in Mongolia ?
>> Yes.[No]
(d) Is the temperature of Mongolia suitable for rice ?
>> Yes.[Yes]
(e) Is the soil of Mongolia suitable for rice ?
>> Yes.[Yes]
(f) Is the lay of Mongolia suitable for rice ?
>> Yes.[Yes]
(g) Does Mongolia have an irrigation ?
>> No.[No]

(h) Is the temperature of Kiev suitable for rice ?
...
...
```

図5 推論制御機構を備えたHSMISの実行例（下線部が学習者の応答、[]内は正解）

(h)以降のようにオラクル獲得のための質問をより最近の話題であるキエフに限定している。

以下、本章ではこれまでに示してきた枠組みが実際に上のような動作を得るために、教師の非単調性認識・制御メカニズムをさらに考察し、*HSMIS* を適切に運用するための知識およびメカニズムを提案する。

6・2 教育的な判断に基づく非単調なモデル推論の制御

〔1〕 教師の出題戦略に基づく制御

我々は、教師の出題戦略が“学習者の理解状態の把握に自信があるときには詳しく質問をしない”，“あまり自信がないときには詳しく聞く”という根本ルールから成っているという考えに基づき、出題戦略の実現のために仮定 **trust** を設定している。

いま、6・3 節で述べる方法により学習者モデル中の、またはモデルに付加しようとしている節の信頼度が定義できるとする。ここで、信頼度があらかじめ与えられた定数 K を越えている節 $C=(A \leftarrow B_1, B_2, \dots, B_k)$ のヘッド部の述語 A についてオラクル (A', T) が得られたとし、 B_1, B_2, \dots, B_k についての教材知識とオラクル (A', T) が C を論理的に支持するとき、5・2 節で示したように B_1, B_2, \dots, B_k についての架空オラクルが仮定 **trust**(C) から導かれることになる。オラクルの成立条件についての架空オラクルの生成により *HSMIS* は、学習者モデル中の節の信頼度が高いレベルにある限り下位知識の出題(質問)を行わない。いままで信頼していた節 C が否定されて信頼の矛盾が検出された場合、仮定 **trust**(C) が棄却されるとともに C から導かれていた架空オラクルもすべて消滅する。架空オラクルの消滅に伴い、学習者への出題が行われ必要なオラクルが獲得される。*HSMIS* が別の節 \bar{C} を信頼する場合には、仮定 **trust**(\bar{C}) を支持する架空オラクルが新たな支持理由により生成されるか、もしくは復活する。

〔2〕 話題の変化に応じた制御

教師は、学習者の理解状態を推測する際に学習者の過去の言動について疑問を抱いたとしても、現在の対話の流れに沿わない話題を持ち出して出題を行うことはあまりない。すでに示したように架空オラクルが消滅したりモデル構築スコープが拡大するような場合、*HSMIS* はモデルの正当性の検証のためにオラクルを必要とする。しかし、現在の話題に外れたデータを論理的に必要であるというだけの理由から獲得しようとすることは、教育的に適切であるとは考えられない。むしろ、忘れてもいいような過去の話題に関しては、

積極的にモデル構築の対象データから除外することが望ましい。本枠組みではモデル構築時の話題を非単調に制御するために代入要素ごとに仮定 **consider** を設定し、上記のような教師の振舞いを実現している。

スケジューラはある時点の教育単元(トピックスペース)を一つの基礎原子式として表現するが、この変数に代入される実体を現在の教育コンテキストにおける代入要素として扱うこととする。仮定 **consider** はある代入要素を引数、すなわち制御の単位として持ち、その代入要素をモデル構築・検証の対象とすることを表現する。オラクルマネージャは、この仮定の状態を次のように操作してモデル構築の際の話題を制御する。

6・2 節〔1〕と同様、学習者モデル中にある節の信頼度が定義できるとし、現在の単元においてモデル構築対象となった代入要素の時系列 $S_s = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ とモデル推論時の検証代入要素数を規定する定数 R が与えられているとする。 $k < n - R$ なる代入要素 S_k について、 S_k に属するオラクルが信頼度の高い節の反例となっているか、もしくは *SMIS* が S_k についてのオラクルを要求した場合、仮定 **trust**(S_k) を out にして代入要素 S_k をモデル構築・検証の対象から除外する。

6・3 学習者モデルの信頼性と非単調性の制御

6・2 節で示した制御メカニズムは学習者モデルの信頼度が定義できることを前提としている。また、学習者の理解が非単調であることに起因するモデル推論の非単調な制御は、理解状態が変化したことへの認識に基づいて行われる必要がある。そのためにここでは学習者モデルの信頼度の概念を導入し、教師の振舞いについての考察をもとにその設定メカニズムを構成する。

我々は、教師が行っている理解状態同定過程を次のような性質を持つものであると考えている。

- ・教師は学習者の理解状態についてドメイン依存の有力仮説集合を自身の経験に応じて持ち、できるだけそのなかで理解状態を同定しようとする。
- ・集合に含まれる仮説は教師が全仮説を瞬時に検証できる数に限られ、それゆえに大きな集合を扱える教師は洞察力が高い。
- ・有力仮説集合中に学習者の理解状態を表せる仮説がなかった場合、教師は全数探索により理解状態を表現できるモデルを生成する。

教師は自分が持つ学習者の理解状態の推測の自信に関する次のようなルールを持つと考えられる。

- ・一般に、採用されている仮説を支持する学習者の言明が増加した場合、および有力仮説集合中の他

の仮説を否定する言明が増加した場合、採用されている仮説の信頼度は上昇する。

- 集合中の有力仮説の信頼度の初期値は高く、全数探索で生成された仮説の信頼度の初期値は低い。
- 有力仮説の信頼度の初期値は優先度により順序づけられており、複数の仮説が採用できるときは最も信頼度、もしくは順位の高い仮説を採用する。

このメカニズムを *HSMIS* に対応づけると、有力仮説集合は 3・1 節の探索制御知識にあたり、有力仮説がすべて否定された後の全数探索は精密化グラフの全探索に対応する。以上の考察に基づき次のようにモデルの信頼度を設定することとする。

3・1 節で示したバグ知識集合 \mathcal{C} 中の各節 C_k ($1 \leq k \leq n$) について信頼度の初期値 β_{C_k} が設定されている。ただし、任意の i, j ($1 \leq i < j \leq n$) について $\beta_{C_i} \geq \beta_{C_j}$ である。また、 \mathcal{C} に含まれない \mathcal{G} 中のすべての節について、 \mathcal{G} の根 $R_{\mathcal{G}}$ からの距離に比例した信頼度の初期値が設定されている。ただし、 \mathcal{C} に含まれない節の信頼度の初期値は、 \mathcal{C} に含まれるどの節の信頼度の初期値も越えないものとする。以上の考察に基づき、次のように学習者モデルの構築を制御する。

1. 新たな代入要素についてのオラクルが得られた場合、 \mathcal{C} 中のすべての節 C_k について新たなオラクルによる検証を行い、オラクルが C_k を支持すれば β_{C_k} に定数 X を加え、オラクルが C_k の反例となれば β_{C_k} から定数 Y を減じる。
2. 学習者モデル M を空集合とし、 \mathcal{C} において信頼度が正数であるすべての節を信頼度の降順に並べ換えた集合を \mathcal{C}' とする。
3. 現在モデル構築対象となっている代入要素の集合 $\mathcal{D}_{\mathcal{G}}$ の複製を作成し \mathcal{D} とする。
4. \mathcal{C}' から順に節 C_i を取り出し、 \mathcal{D} 中の代入要素 \mathcal{D}_k に属するオラクルが C_i を支持すれば、 C_i を M に付加し、 C_i を支持する代入要素をすべて \mathcal{D} から除去する。
5. \mathcal{D} が空であれば終了する。
6. \mathcal{D} 中のオラクルについて精密化グラフ \mathcal{G} を探索し、オラクルを支持し、かつ他のオラクルによる否定のない節を M に付加する。このとき支持する代入要素につき X をその節の信頼度の初期値に加える。

6・4 学習者の理解と振舞いに適応した非単調なモデル推論の制御

〔1〕 理解の変化への追従

教育の場面で学習者の理解状態が変化するのは、多

くの場合教師が意図して修正教育の行動をとったときと考えられる。このような場合、教師は学習者の理解が変化することへの期待をもって修正教育を施し、学習者の反応から理解状態が期待どおりに変化したかどうかを認識すると考えられる。これを次のように実現する。

学習者モデルが高い信頼度で構築できているとする。スケジューラは知識の修正方向を示す情報をもとに修正戦略を起動するが、この情報はシステムが期待している理解状態の変化方向にあたる。起動された戦略による教育行動が終了した後に学習者に出題を行えば、理解状態が実際に変化したかを判定できる。そして学習者の理解状態の変化を予測して実際に変化すれば対応するオラクルを同定し、それを支持する仮定 *student* の状態を制御して学習者の変化に追従する。

〔2〕 モデル推論不可能な状況への対応

これまで示してきた非単調な推論制御のメカニズムにより、教育的な判断に基づく柔軟な学習者モデル構築を実現することができた。この枠組みは教育に基づく理解状態の変化に追従した推論を可能にする。しかし、ケアレスミスに起因するオラクル矛盾など予測不可能な状況において、上のメカニズムは無力である。

我々は[池田 88]でオラクル集合との差を最小にし、かつ無矛盾なオラクル環境を生成するための無矛盾環境探索アルゴリズムを提案している。このアルゴリズムでは、もとのオラクル集合との差の昇順に並べられたオラクル環境キューを作成して順に探索し、モデル推論過程において発生するオラクル環境の予期せぬ矛盾を回避することでモデル推論を続行できる。

7. む す び

本稿では、我々が開発した ITS のための汎用フレームワーク *FITS* の学習者モデルモジュールである *HSMIS* について述べた。*HSMIS* は帰納推論に基づく仮説型学習者モデル推論システムであり、そのアルゴリズムは簡潔でかつ強力である。本論文で我々は、汎用性、論理性など *HSMIS* が持つ特性を維持し、なおかつ柔軟性を満足した学習者モデル推論システムの構築を目指した。そのためにモデル推論の際に必要な非単調性の定式化を行い、それに基づき *HSMIS* の推論を教育的に適切に制御するためのメカニズムを構築できた。以上のように高度な技術が組み込まれているにもかかわらず、*HSMIS* は 20 MIPS 程度の UNIX ワークステーションにおいて実時間で動作し、従来から指摘されてきた質問の数も ITS の運用上問題のない

程度にまで減少させることに成功している。本論文で示した学習者モデル構築の枠組みは、Common-ESP [AIR 91] 言語環境上で実現されている。

本論文で示している ATMS を利用した学習者モデル推論方式はまだ大きな潜在能力を秘めていると考えられ、その能力の追求は極めて興味深い問題である。我々は、学習者の持つ矛盾の分類とそのモデル構築についての問題を中心に現在も継続的に検討している。

謝 辞

本研究にご援助いただき、また Common-ESP 提供と利用上の便宜を図って下さった(株)AI 言語研究所の関係者各位に感謝致します。また、本研究を進めるにあたり有益な御助言・御検討をいただいた大阪大学産業科学研究所 平嶋 宗助手、柏原昭博助手をはじめとする産研 ITS グループの皆様に深く感謝致します。

なお、本研究の一部は文部省科学研究費(重点領域研究「CAI による知識獲得」, No. 03245106)による。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [AIR 91] AIR: CESP 言語, 第3版, AI 言語研究所(1991).
 [Brown 78] Brown, J. S. and Burton, R. R.: Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills, *Cognitive Science*, Vol. 2, pp. 155-293 (1978).
 [Brown 80] Brown, J. S. and VanLehn, K.: Repair Theory: A Generative Theory of Bugs in Procedural Skills, *Cognitive Science*, Vol. 4, No. 4, pp. 379-426 (1980).
 [Burton 82] Burton, R. R.: Diagnosing bugs in a simple procedural skill, in Sleeman, D. and Brown, J. S. (eds.), *Intelligent Tutoring Systems*, Academic Press, London (1982).
 [de Kleer 86] de Kleer, J.: An Assumption-based Truth Maintenance System, *Artif. Intell.*, Vol. 28, pp. 127-162 (1986).
 [Doyle 79] Doyle, J.: A Truth Maintenance System, *Artif. Intell.*, Vol. 12, No. 3, pp. 231-272 (1979).
 [Huang 91] Huang, X., McCalla, G. I., Greer, J. E. and Neufeld, E.: Revising Deductive Knowledge and Stereotypical Knowledge in a Student Model, *User Modeling and User-Adapted Interaction*, Vol. 1, pp. 87-115 (1991).
 [池田 86] 池田, 溝口, 山口, 角所: 知的 CAI システムにおける学生モデルの構築と帰納推論方式, 信学技法, Vol. ET86-5, pp. 25-30 (1986).
 [池田 88] 池田, 溝口, 角所: HMIS: 仮説型モデル推論システム, 信学論, Vol. J71-D, No. 9, pp. 1761-1771 (1988).
 [池田 89] 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, Vol. J72-D, No. 1, pp. 112-120 (1989).
 [池田 92] 池田, 溝口: FITS: ITS のための汎用フレームワーク, 信学論, Vol. J75-A, No. 2, pp. 314-322 (1992).
 [岡本 87] 岡本: 知的 CAI のための教授世界知識の表現とその推論の方法, 信学論, Vol. J70-D, No. 12, pp. 2658-2667 (1987).
 [Shapiro 82] Shapiro, E. Y.: *Algorithmic Program Debugging*, MIT Press (1982).
 [竹内 87] 竹内, 大槻: 振動法による学習者モデル形成と教授知識について, 情処学論, Vol. 28, No. 1, pp. 54-63 (1987).
 [時森 91] 時森, 野村, 河野, 池田, 溝口: ITS のための汎用フレームワーク FITS における対話管理メカニズム, 情処学研報, Vol. 91-CE-19, pp. 25-32 (1991).
 [VanLehn 82] VanLehn, K.: Bugs are not enough: empirical studies of bugs, impasses and repairs in procedural skills, *J. Mathematical Behavior*, Vol. 3, pp. 3-72 (1982).
 [Wenger 87] Wenger, E.: *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*, Morgan Kaufmann Publishers, California (1987).

(担当編集委員: 有川節夫, 査読者: 竹内 章・有村博紀)

著 者 紹 介



河野 恭之(学生会員)

1989年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1991年同大学院基礎工学研究科前期課程修了。現在、同大学院基礎工学研究科博士後期課程在学中。知的 CAI の研究に従事。情報処理学会会員。



時森 健夫

1990年関西大学工学部電子工学科卒業。1992年同大学院工学研究科前期課程修了。在学中、知的 CAI に関する研究に従事。現在、阪急電鉄(株)文化・技術研究所勤務。マルチメディアとその応用に関する研究に興味を持つ。

池田 満(正会員), 野村 康雄, 溝口 理一郎(正会員)は前掲(Vol. 8, No. 2, p. 221)参照。