

## 非単調推論による学習者の理解の 深いモデル化について (5)

岡本 敏雄 森広 浩一郎  
東京学芸大学

本稿では、非単調推論の機能を取り入れている学習者モデルの表現と利用について述べる。オーバーレイモデル、差異モデル、摂動モデルのような学習者のモデル化の多くの技術と考え方が提案されてきている。ここでは、非単調推論の考え方を取り入れ、真理保全機構の機能を使うことにより、システムがどのようにして学習者が教授・学習過程の中で獲得する知識の深い構造を理解するかを議論する。

我々は、ある領域に対する学習者の理解の構造は彼の既存の公理に依存すると仮定する。そこで、我々は、彼の公理系のゆがみを理解することが重要であると考えている。

本研究の認識論的な意味は、この非単調推論の手法により写像化された学習者の認知モデルの構造を正当化することと、それに対するシステムの理解の完全性を保証することである。

## On deep modelling for a learner's understanding by nonmonotonic reasoning (5)

Toshio OKAMOTO Koichiro MORIHIRO  
Tokyo Gakugei University  
4-1-1 Nukui-Kitamachi Koganei, Tokyo 184, Japan

This paper describes representation and use of student model incorporating the function of nonmonotonic reasoning. Many techniques or ideas of student modelling have already been proposed as overlay model, differential model and perturbation model. Here, we discuss how the system understand the deep structure of knowledge that student acquires in the teaching/learning process by adopting idea of nonmonotonic reasoning, and using the function of truth maintenance system.

We assume that the structure of student's understanding for a certain domain depends on his existent axiom. So we suppose that it is important to recognize the distortion of his axiom-system.

The epistemological meaning of this study is to justify the structure of student's cognitive model mapped by this technique of nonmonotonic reasoning, and to guarantee completeness of the system's understanding for it.

# 1. はじめに

一般にITSは、対象領域のエキスパートとしての知識ベース、学習者の理解状態を表現する学習者モデル、個別指導の方法を決定する指導戦略決定モジュール、及びインタフェースから構成される。これら各モジュールの協調した動作により、全体としてITSの機能が遂行される。本研究では、特に学習者モデルの生成について考察する。

これまでも学習者モデルについては、さまざまな視点からの議論<sup>[1]</sup>がなされてきている。特に、池田<sup>[2]</sup>らは、仮説推論の枠組みを用いて、一貫性が失われたデータからのモデル推論アルゴリズムを開発している。

本研究では、学習者モデルを構成する際、学習者が持つ学習世界に対する公理系をモデルに反映させることを試みる。そして、学習者の知識の欠落、知識の誤り、知識間の依存関係の誤りとしての適用の誤りを一括して管理することを試みる。これによりバグの同定、再現を目的とした学習者モデルよりも、深く学習者の理解をモデル化することが可能になると思われる。

本システムでは、公理系を反映した学習者モデルを構成する際に非単調推論、特にデフォルト推論の技法を、また一貫性を管理する際にTMSを用いている。

# 2. 研究の目的

本研究では、学習者が持つ学習世界に対する公理系を反映した形で学習者モデルを構成することを試みる。ここで学習者が持つ公理系とは、学習者の誤りも含んだ現在の学習世界に対する理解状態、すなわち知識間の依存関係を、信念と捉えたものである。

一般に、学習者が持つ学習世界に対する公理系は、その学習者独自のもの、すなわちエキスパート知識の構成する公理系とは異なるものと考えられる。この学習者独自の公理系をモデルに反映することで、学習者の知識の欠落、知識の誤り、また、知識の依存関係の誤りとしての知識適用の誤

りを表現できる。これを実現するために本システムでは、学習者モデル生成の生成にデフォルト推論とTMSの技法を用いている。これにより知識の欠落、誤り、適用の誤りを一括し管理できる。したがって、バグの同定、再現を目的とした学習者モデルよりも、深く学習者の理解をモデル化することが可能になると思われる。

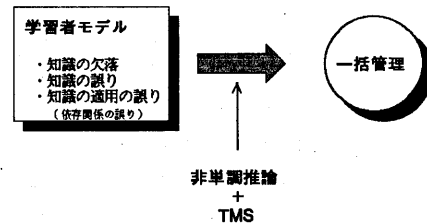


図1 研究のねらい

また学習者モデルは、教師の想定する初期値として設定された学習者の理解状態から、学習の過程において得られた情報を基に、実際の学習者の理解状態へと書き換えられて行かなければならない。この関係は図2に示すような一種の写像ととらえることができる。したがってこの写像の正当性を保証し、これを利用したより適切な教授展開を可能にすることで必要がある。この写像の正当性をシステム側のからみた言葉に言い替えるならば、学習者の理解状態の認識の完全性ということに相当する。すなわちシステムが対象領域についての認識論的構造を理解することを要求される。

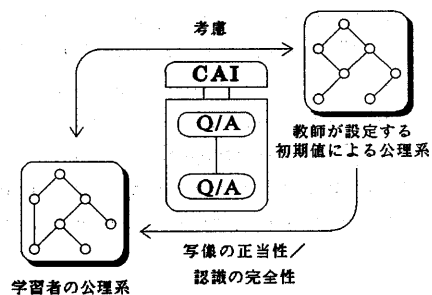


図2 システムの枠組み

本研究の目的は、上記の考え方にに基づき、学習者モデルを学習者の持つ公理系を反映した形で構成し、学習者の理解をより深くモデル化することである。そして、これを実現する具体的なシステムを構築することである。

### 3. システムの構成と動作

本システムの構成と、基本的な動作を示す。システムが教授する学習世界としては、宣言的、因果的な構造を持つ世界を対象としている。

#### 3.1 システム構成

上記の目的を達成するため、本システムは、図3に示される各モジュールから構成される。各モジュールは学習の流れの中で、必要に応じ呼び出され機能する。

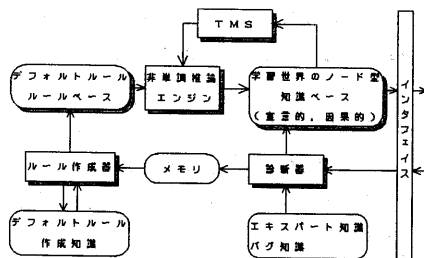


図3 システムの基本構成

学習世界を構成する知識を意味ネットワークで記述し、TMSにより管理可能な形式の知識ベースとして表現する。この知識ベースは、学習世界を構成する知識を表現するものである。この知識ベースに対し、学習者における知識依存関係の規則を適用することで知識ベースを学習者の公理系を満足する形に変形し、学習者モデルを構成する。

診断器は、システムが持つエキスパート知識、バグ知識を利用し、回答の正誤、学習者が回答を導く際に用いた知識を診断する。すなわちこの診断器は、表面的な診断を行う。

ルール作成器は、診断器から得られる情報をもとに、学習者が持つ知識間の依存関係のルールを

作成する。このルールはデフォルトルールの形式をとる。

TMSは、学習世界を構成する知識を表現する知識ベースを学習者の持つ知識間の依存関係のルールにより変形する際に、知識ベースの一貫性を管理する。これにより知識ベースは、学習者の持つ公理系を反映した形で構成されたモデルとなる。本システムでは、この学習者の知識の依存関係により歪められた知識ベースを学習者モデルとする。

#### 3.2 基本的な動作

システムから出題された問題に対し、学習者が回答を入力することで、モデルの構成が開始される。システムはまず、回答を診断器にかける。

診断器は、システムが持つ知識を用いて表面的な診断、すなわち、回答の正誤、学習者が用いたであろう知識の同定を行う。診断器により得られた情報は、メモリに一時的に蓄えられる。

ルール作成器は蓄えられた情報をもとに、ルール作成知識を用いてルールの作成を行う。生成されたルールは、学習者の持つ概念間の依存関係、すなわち学習者が持つ公理系を表現する。

これを非単調推論のルールベースとし、学習世界を構成する概念を表現する知識ベースに適用する。これにより書き換えられた知識ベースが、学習者の公理系を反映した学習者モデルとなる。

### 4. 各モジュールについて

学習者モデルの生成に関連する各モジュールについて説明する。具体的な対象として現在は、植物の光合成に関する学習世界を設定している。学習者モデル生成までの流れを図4に示す。

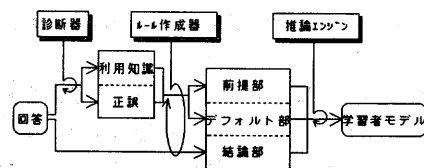


図4 学習者モデルの生成

#### 4.1 知識ベース

本研究では、対象となる一般的な学習世界として、宣言的、因果的な構造を持つ世界を設定している。ここでは具体的な世界として、植物の光合成についての学習世界を扱う。

学習者モデル生成のため、あらかじめ学習世界を構成する知識を意味ネットワークで表現し、これをTMSにより管理可能なノードの形式によって記述した知識ベースを用意する。この知識ベースに対し、学習者における知識の依存関係に基づき

- ①知識の状態を書き換える
- ②新たな知識を加える
- ③知識間の依存関係を設定する
- ④一貫性を管理する

の変形を施すことで知識ベースを学習者の公理系を満足する形に変形し、学習者モデルを構成する。

知識ベースは以下の図5に示す形式で記述されている。

```
node(Id, Fact, Reason, Io).  
    Id      : ID番号  
    Fact    : リテラル  
    Reason  : リスト, または項  
    Io      : in, または out
```

図5 知識ベースの書式

第1引数は、知識ベースにおける当該ノードのID番号である。第2引数は、具体的な概念知識である。知識表現としては、否定の記述を認めた意味ネットワークの形式である。第3引数には、当該知識を導いた理由付けを記録する。これは、知識ベース内の他のノードのID番号のリストにより構成される。第4引数は、当該知識に対する現在のシステムの信念の値であり、値は、in, またはoutである。

この知識ベースは、直接的には以下の事柄を表現する。ノードのin, out状態により、第2引数で示される知識が学習者に存在するか否かが表現される。また、第3引数で示される理由付けにより、学習者における概念間の依存関係が表現される。

#### 4.2 診断器

診断器は、エキスパート知識、バグ知識を利用して回答を診断する。ここでの診断は最終的なものではなく、学習者モデル生成に用いるルールベース作成のために行われる診断である。したがって診断の目的は、学習者の回答の正誤と、学習者がその回答を導く際に用いたと考えられる知識群を得ることである。したがって、診断器により行われる診断は、学習者の表面的な理解状態に関する診断である。

学習者の回答とシステムが生成した解答の照合がとれた場合、学習者の回答は正答と診断される。さらに、システムが解答を生成する際に用いたエキスパート知識を、学習者が持つ可能性があるとして診断する。

学習者の回答とシステムが生成した解答の照合がとれない場合、学習者の回答は誤答と診断される。この時、診断器はエキスパート知識とバグ知識とを組み合わせて用い、学習者の回答が生成可能であるか否かを推論する。すなわち、問題解決器の推論エンジンが用いる知識をエキスパート知識に限定せず、バグ知識も用いて学習者の回答を説明すべく後ろ向きに推論を行う。これにより、推論結果として学習者の回答が成立するならば、推論過程に用いられた知識を学習者が持つ可能性があるとして診断する。

診断結果が誤答であり、さらにエキスパート知識とバグ知識との組み合わせからでは学習者の回答が生成不可能である場合、学習者が持つ知識は不明であると診断する。

#### 4.3 デフォルトルールの作成

診断器により、蓄えられた情報をもとに、学習者の概念知識間の依存関係を記述するルールを作成する。作成されるルールの形式は以下の図6で示すデフォルトルールである。

$$\frac{\alpha_1(x), \dots, \alpha_m(x) : M\beta_1(x), \dots, M\beta_n(x)}{\omega(x)}$$

図6 デフォルトルールの形式

学習者が持つ可能性がある知識は、すでに診断器による診断結果として得られている。これをもとに、エキスパート知識、バグ知識と知識ベース内のノードとの関連知識を用いて、学習者に用いられた知識に関連する知識ベース内のノードのリストを生成する。これらを図6の前提部  $\alpha_1(x)$ , ...,  $\alpha_m(x)$ , および、デフォルト部  $M\beta_1(x)$ , ...,  $M\beta_n(x)$  へと割り振ることで、条件部を作成する。結論部の  $\omega(x)$  には、学習者の回答をそのまま、あるいはその否定をとって利用する。

割り振りの規則には、現在次のような規則が存在する。

- (1) 性質継承により得られる知識は、学習者の回答を導くルールのデフォルト部とする
- (2) 誤答を説明する際に利用されたエキスパート知識にのみ含まれる知識の否定は、学習者の回答を否定するルールのデフォルト部とする
- (3) 誤答を説明する際に利用されたバグ知識にのみ含まれる知識の否定は、学習者の回答を否定するルールのデフォルト部とする
- (4) デフォルト部とならない知識は前提部とする

上記の各規則は以下対応する番号に示す考えから設定されている。

- (1) 性質継承に関する知識は、学習者によって、暗黙的に使用されることが多い
- (2) 学習者がこの知識を明示的に知れば、現在の回答を覆す
- (3) このような知識は、現在の回答を導くための、学習者にとっての必要条件である

以上により作成されたデフォルトルールからなるルールベースは、学習者モデル生成のために学習世界の構成概念を表現する知識ベースに適用される。

学習者の回答を生成する知識がシステムの内部に存在しない場合、システムは学習者の知識と知識ベース内のノードとの依存関係を求めることができない。この場合、学習者の回答は直接学習者モデルに取り込まれる。

#### 4.4 非単調推論エンジン

非単調推論エンジンは、ルール作成器により作成されたデフォルトルールからなるルールベースを、学習世界を構成する知識ベースへ適用し、学習者モデルを生成する。推論の方式としては、デフォルト推論である。

学習者モデルを構築する際、デフォルト推論を用いることによって、後に予想される学習者の知識の増加にともなう回答の変更に柔軟に対応することができる。

#### 4.5 TMS

TMSは、学習者モデルの中に信念の変更、矛盾点の発生が生じた場合に起動され、学習者モデルの一貫性の管理を行う。知識ベースにおける矛盾点の発生は、排中律の不成立により発見され、TMSに通知される。動作方法としては、学習者モデルを構成する各ノードに付けられた理由づけに基づく assumption-based backtrack を行い、必要な知識の  $in$ ,  $out$  値を変更する。

ここでTMSが解消を試みる学習者モデル内の矛盾は学習者が持つ矛盾した知識の理解状態ではない。ここで発生している矛盾は、学習者の理解状態に対するシステムの信念の矛盾である。したがって、TMSを用いてこの矛盾の解消を行う。学習者が持つ矛盾した知識は、例外としてデフォルト部の不充足として表される。

## 5. 学習者モデルの解釈

知識ベース内に一度存在したノードは、システムの中から完全に消えることはない。したがってこの学習者モデルは、初期状態の知識ベースにエキスパート知識のみを適用して書き換えた理想の状態との差を比較することで解釈される。

次にあげる学習者の誤りは、以下の解釈により得られる。

#### ①知識の欠落

理想の状態では  $in$  状態で存在するが、学習者モデルの中には存在しない、または  $out$  状態で存在する知識は、学習者から欠落している知識として解釈される。

## ②知識の誤り

理想の状態では in 状態で存在するが、学習者モデルの中ではその否定が in 状態で存在する知識として表される。

## ③知識の適用の誤り

ここでの知識の適用の誤りとは、知識の依存関係の誤りである。学習者モデルにおいて存在する知識の中で、エキスパート知識によっては説明できない理由付けを持つ場合も、学習者は誤った知識を持つと解釈される。

## ④例外の知識

理想の状態では in 状態で存在するが、ある知識が in 状態にあることを理由付けとして、その知識が out 状態にあるとする。この場合、out 状態の知識の否定を例外として成立しない知識として解釈する。

## 6. 今後の課題

現在、診断器の段階では適用知識集合の競合は考慮されていない。学習者の誤答を説明するバグルールが複数存在する場合の適切な絞り込みが必要である。

学習者モデル生成のためのルールベースは、自己矛盾を含んではならない。また、学習者モデルの生成に有意義であることが必要である。したがって、ルールベースの作成方法の正答性と、作成されたルールベースの妥当性の検証が必要である。

また本学習者モデルの位置づけは、ITSの1モジュールである。したがって作成された学習者モデルの解釈に基づき次のシステムの行動を決定する際、学習中のどの段階で本稿で述べた方法により学習者モデルの生成を開始するかなどの問題も発生してくる。

このように、研究目的において掲げたシステムが要求されている認識の完全性はこれらも含めた上での問題となる。したがって今後は、教授戦略決定モジュール等、ITSとして機能するためのモジュールの作成し、その中で研究を進めていく。

## 7. 引用参考文献

- [1] Vanlehn, K., "Student modeling", Polson, M. C., Richardson, J. J.: Foundations of Intelligent Tutoring Systems, pp. 55-78, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, (1988)
- [2] Poole, D., Goebel, R., Aleliunas, R.: "Theorist: A Logical Reasoning System for Defaults and Diagnosis", in N. Cercone and G. McCalla (Edt.), The Knowledge Frontier: "Essays and the Representation of Knowledge", pp. 331-352, Springer, (1987)
- [3] 池田満: "知的CAIのための汎用フレームワークに関する研究", 大阪大学工学研究科博士論文, pp. 19-65, (1989)
- [4] 岡本敏雄: "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D, Vol. J70-D, pp. 2658-2667, (1987)
- [5] 岡本敏雄, 松田昇: "知識獲得指向の高次推論型学習者モデルの構成について", 「教育におけるコンピュータ利用の新しい方法」シンポジウム論文集, pp. 189-197, 情報処理学会, (1989)
- [6] 岡本敏雄, 森広浩一郎: "非単調推論による深い学習者の理解のモデル化について(2)", 1990年度人工知能学会全国大会(第4回)論文集, pp. 687-690, (1990)
- [7] 辻井潤一: "知識の表現と利用", 昭晃堂, (1987)
- [8] 中川幹夫 訳: "TMSを用いた問題解決", 佐伯胖 編: 認知科学の基底, 産業図書, (1986)
- [9] 高野真: "Prologで学ぶAI手法", 啓学出版, (1988)