

## ITS-学習者モデルにおける概念形成機能について

岡本 敏雄      鷹岡 亮

東京学芸大学

ITS/知的CAIにおいて、教授・学習プロセスにおける学習者の対象世界に対する認識・理解、さらに問題解決等の様々な行為をモデリングする機能は極めて重要である。それらの行為は、外在化(overt)されたものとして、コンピュータに伝達されるわけであるが、外在化された表出行為の内部には、内在的な行為が存在しているわけである。知的CAIにおいては、この行為を外在化された行為から如何に認識するかが重要となる。その認識の方法として、本研究では、人間の概念形成・知識獲得のメカニズムを検討し、モデリングの方法論に対して、それをどのように組み込むかを探究する。

### ON THE FUNCTION OF CONCEPT FORMATION FOR ITS-STUDENT MODELLING

Toshio Okamoto      Ryo Takaoka

Tokyo Gakugei University

4-1-1 Nukuikitamachi, Koganei-shi, Tokyo 184, Japan

#### ABSTRACT

This paper describes how to incorporate the function of concept formation in an ITS-student model. Its fundamental idea is to find out the relationship or the analogy among objects which are represented by FRAME theory. An instructional unit consists of several objects, the process of student's understanding is mapped to values of superordinate/subordinate slots for individual objects. The system assigns student's response to each value of object-slots after diagnosing/evaluating it, and tries to abstract similarity among each object structure and each slot-value of objects as the result of his understanding for a given instructional unit in time series.

## 1. はじめに

本研究では、ITS-学習者モデルにおける、概念形成機能を組み込んだモデリングの構成法について述べる。そこでは、学習者の理解状態を概念形成という視点から考え、どのような人工知能技術、知識処理理論等で概念形成機能のモデル化を構築していくべきかを検討する。そして、より高次の学習者モデルのモデリングを如何に構築すべきかという問題を議論する。以下本稿では、3章で心理学で扱われている5つの用語の概念を整理し、研究の理論的側面において重要な部分をまとめ直す。そして、概念形成における概念の抽出の考え方を提案する。

4章では、ITSの学習者モデルとして概念形成をどのように組み込み、さらにどのような利点が存在しえるのかを述べる。また、概念形成における構造の知識表現の方法を述べる。5章においては、実際に、どのように学習者の概念形成機能を構築していくかを述べる。そして、対話制御・管理について検討する。最後に、6章において、全体のシステムとしての構成を考える。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、概念形成と学習者モデリングの探究を行い、如何にしてITS-学習者モデルに概念形成機能を組み込み、それによってシステムの学習者認識機能を向上させるかということを目指す。

## 3. 心理学からのアプローチ

ここでは、心理学で扱われている、“般化”、“弁別”、“分化”、“連想”、“転移”などの概念から、学習者モデリングの機能としてどのような内容・性質を持たせるかを検討する。

## 3.1 般化

いくつかの事物や事象に内在する共通の本質的属性を抽出したり、その判断視点を形成することがポイントとなる（これが般化の原理である）。

さて、ある対象世界の中で、まとまった意味を有する知識やその具体例をオブジェクト (object) と考える。そこでは、手続き的な知識、宣言的な知識、経験則的な知識が存在する。1つの対象世界の中では、objectは複数個存在する場合もある。objectを何らかの視点でまとめ、知識を凝縮したものが概念 (concept) といえる (図1参照)。

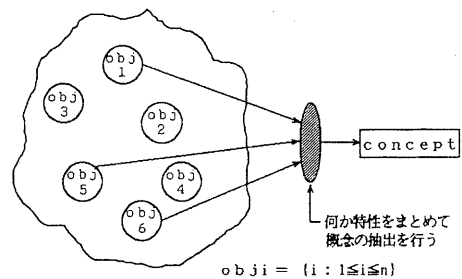


図1 般化と概念抽出

## 3.2 弁別

いくつかの事物や事象の中で、注視している対象属性の相違を見極めることを弁別という。般化と弁別は、同一のクラスに属するすべてのものに対して同種の反応ができる (般化) か、異種の反応を起こす (弁別) かという反対の関係にある。

## 3.3 連想

ある知識が、直観的に他の知識と結び付けられ、意味付け可能なものである。本研究では、知識表現上、semanticsの下位スロット (assoc)として、特別に準備する。

### 3.4 転移

以前の学習の知識，考え方，方法などが，類似した別の制約条件を有する世界で使用可能であることを転移という。

### 3.5 分化

細分化されていないobjectの集合が，さまざまな属性で部分化，精密化されることをいう。分化の後には，部分が統合される結合が存在し，再び分化が存在する。弁別と類似しているが，システムが成長する意味が加わってくる。

本研究では，この中から，般化，弁別，分化という機能をシステムに組み込むことを考える。

## 4. 概念形成の機能と構造

ここでは，はじめに，概念形成をITSの学習者モデルに組み込む利点，そしてシステムの診断や，チュータリングに与える影響を述べる。また，objectをフレーム表現で表し，上位・下位スロットをどのように組織化し，利用するのかを探究する。ここで議論するobjectの構造は，学習者モデルに関係するものであり，システムの役割としては，局所的理解状態におけるwm（ワーキングメモリ）となる。

### 4.1 概念形成の機能

ITSの学習者モデルに概念形成を組み込むことによって生じる利点は，次のようなものが考えられる。

- ① 問題解決過程（problem solving process）において，学習者が表出する様々な応答に対して，学習者の概念形成（concept for-

mation）プロセス（推移）をモデリングできる。

- ② 機械そのものに人間が有する学習機能を組み込むML（Machine Learning）の一貫として，よりシステムの汎用的問題解決機能を高めることができる。

②について，今までの定理証明や計画立案問題などは，解を解くためのお膳立てが整っている中で作業しているにすぎないが，概念形成機能があれば，問題に対して，少ない制約条件で対処することが可能である。また，効率性からみても，探索空間の減少に効果を発揮する。

図2は，一般的な知的CAIシステムの動作である。ここでは，ドメインに関する知識ベースと，学習者モデルとの2つの知識構造の差異を，診断の知識ベース（DK）で認識する。そして，チュータリングの知識ベース（TK）によって，教授内容を推論決定し，具体的なactionを起こす。ここで，学習者モデルの中に概念形成機能が組み込まれるならば，より形成状態が認識されるので，DKやTKに反映させることができる。つまり，インスタンスのレベルではなく，より高次の，抽象化された，本質的なトピック（topic）に焦点をあてたチュータリングが可能になる。このことより，学習者の対話の部分での，なぜ？，どうして？という質問に対してよりの確に回答が行える。また，一般的な原理の質問に対して，制約された中で一般的な原理が抽出可能となる。

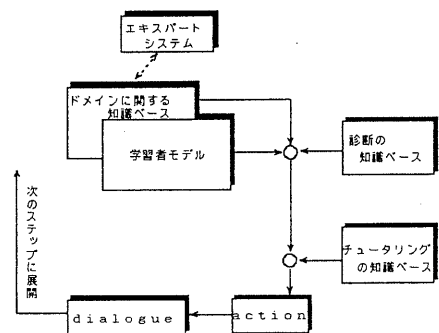


図2 一般的な知的CAIシステムの動作過程

## 4.2 概念形成の構造

ここでは、objectをどのように表現するかという知識表現の問題を検討する。objectの構造は、意味 (semantics)、機能 (function)、構造 (structure) という上位スロットを定義する。さらにそのスロットに下位スロットを持たせる。

semanticsは、その下位スロットとして、  
 class (どのような上位概念を有するか)  
 property (どのような性質を有するか)  
 assoc (どのような連想 (連合) 知識が考えられるか)

example (例としてどのようなものが存在するか)

を有する。

他の二つ (structure, function) に関してはドメインに依存する。従ってここでは、Prologにおける  $n!$  の単純再帰をobjectとして、structure, functionの下位スロットを考える。図3は、 $n!$  のPrologプログラムであり、図4は、 $n!$  における単純再帰objectのスロットの値を埋めた場面を示す (質問、結果出力、途中結果は、factorial(3, Result)を想定してスロットを埋めてある)。

## 5. 概念形成機能のモデル化

ここでは、ITS教授-学習プロセスの中で、学習者の応答から、その概念形成機能をどのように構築するかを検討する。lessonは、いくつかのtopicからなると定義する。topicは、あるまとまりのある教授ユニットである。topicの中にはいくつかのobjectが存在する。objectは局所的な質問・応答を展開する知識源でもある。lesson, topic, objectの階層関係を図5に示す。システムが1つのlessonを提示すると、それに関するtopic, objectが自動生成される。モデル化の方法論として、objectのスロットを埋め込む局所的な対話制御・管理と、object間さらにtopic間に内在する概念を

抽出する大局的な対話制御・管理を考える。それを体系化した構成図を、図6で示す。システムは、必要に応じて局所的から大局的な対話へ、また大局的から局所的な対話への切り替え制御を行う。

```

/* * n!のPrologプログラム * */
factorial(0, 1).
factorial(N, Result) :-
    N1 is N-1,
    factorial(N1, Result1),
    Result is N * Result1.
    
```

図3  $n!$  のPrologプログラム

Object Name : 単純再帰	
semantics slot	
class	再帰
property	繰り返し処理ができる
assoc	帰納法
example	自然数1~nまでの和
structure slot	
事実述語:	停止条件の述語名 factorial
カウンタ終値	0
最初の結果	1
頭部規則述語:	頭部の再帰を繰り返す述語 factorial
カウンタ	N
結果・最終結果	Result
本体規則述語:	本体の再帰を繰り返す述語 factorial
新カウンタ	N1
新結果	Result1
カウンタ:	カウンタ N
の更新	新カウンタ N1
関係	=1
処理:	Result=N*Result1
function slot	
質問 :	N=3
結果出力:	6
途中結果:	1, 1, 2, 6

図4 単純再帰のobject構造

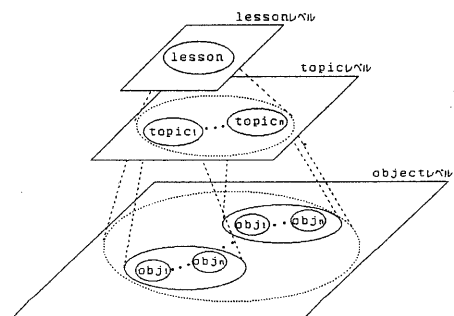


図5 lesson・topic・objectの階層関係



者は, topic間の枠にしばられない. そこでシステムは,  $object_1$ から $object_n$ に対して類比 $\phi_{ij}$  ( $1 \leq i, j \leq n$ )を抽出することが可能である. システムは, topic間の枠を越えてはobject間の類比 $\phi_{ex}$ を抽出できないものとする.

この類比( $\phi$ )抽出の一般的アルゴリズムは次のように考えられる(図7参照). 最初に,  $object_1$ と $object_2$ 間に類比 $\phi_{12}$ をとる. 次に,  $object_3$ の構造が決定されると,  $\phi_{12}$ で $object_3$ を吸収可能であるか考える. ここで $object_3$ と $\phi_{12}$ における極大類比 $\phi_{1'}$ の抽出概念が,  $\phi_{12}$ より小さな構造であるなら,  $\phi_{1'}$ に $\phi_{12}$ となる. これは抽出概念 $\phi_{12}$ が,  $object_3$ により弱められたことになる. 従って,  $object_3$ は $\phi_{12}$ には吸収不可能となる. 般化・弁別という枠組みでとらえると,  $object_3$ は弁別に相当する. 図7の状態Cは, すべてのobject間に動的に極大類比をとった後の状態である. 類似性抽出による類比知識族 $\{\phi_{12}, \phi_{34}\}$ は,  $\phi$ 空間(類比知識族空間)を形成する.

問題作成者が1つのlessonを設定するとき, lessonは数個のtopicを含み, その中に数個のobjectを包含する. topicとobjectの関係は, 問題作成者の主観的意図で決定される. objectの教授展開は,  $object_1 \rightarrow object_2 \rightarrow \dots \rightarrow object_n$ と設定する. つまり, この教授の流れがデフォルトになる.

大局的な対話制御は, 大局的対話制御・管理知識ベースで行う. この知識ベースでの制御・管理には次のものが挙げられる.

- ① objectレベルでの教授順序変更
- ② topicレベルでの教授順序変更
- ③  $\phi_{ex}$ を利用しての教授順序変更
- ④  $\phi_{i1}, \phi_{ex}$ の比較による診断・教授
- ⑤ 最終的な $\phi_{i1}$ の診断・教授

①, ②は, 前述したデフォルトの教授展開を変更するときの制御である. つまり,  $object_{i-1}$ までは順調に教授展開されてきたが,  $object_i$ で学習者は行き詰まり, スロット値を埋められない状態にあるとき, 違うobjectレベルに教授を移行する制御である. topicレベルでも同様である. ③は, 学習者が $object_i$ で誤りを多発している時に,  $object_i$

$_{i-1}$ を完全に理解しているならば,  $object_i$ の教授をやめ,  $\phi_{ex}$ を利用して,  $object_{i-1}$ と1番強い $\phi_{ex}$ を持つobjectに教授を移行する制御である. ④は, 学習進行が妨げられている原因が, 学習者の誤った概念結合の誤解に原因があると同定できれば, それを指摘して, 正しい概念結合を教授するという制御である. ⑤は, すべての局所的対話が完了し, object間の類比の抽出も終了したとき, システムは大局的理解状態におけるwmを参照して, 学習者の内在概念( $\phi_{i1}$ )の状態を, 「あなたは\*\*の考え方に基づいてこの問題を回答しました」というような最終的な診断を, インタフェイスを介してすることが可能である. この診断・教授は, 学習者が, 学習中にシステムに質問を投げかけた場合においても可能である.

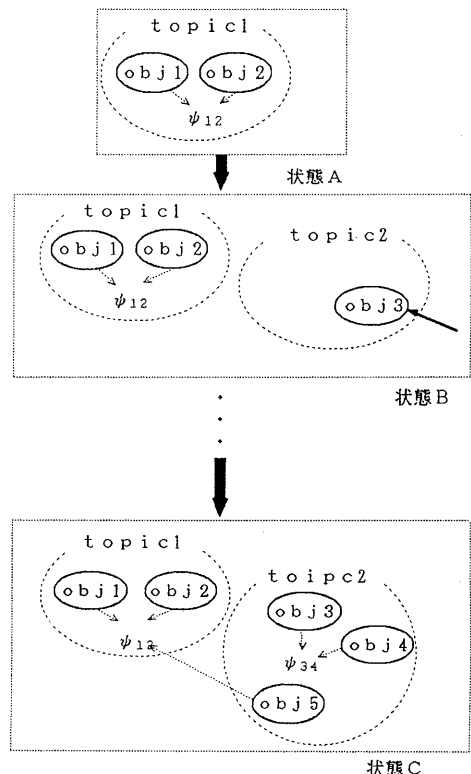


図7 内在概念 $\phi_{i1}$ の成長過程

### 5.3 高次な学習者モデルへの展開

学習者モデルは、局所的理解状態におけるwmと、大局的理解状態におけるwmの2つを有する。前者は、スロットの枠組みの中でスロット値が埋まっていく状態を格納するwmである。後者は、 $\phi_{ij}$  ( $1 \leq i, j \leq n$ ) が概念形成されていく際に、時間的変化を軸として、その時点での状態を格納するwmである。そして、学習者が時間的推移の中で、内在的に何を意図していたのか、ここで求めた類似性 $\phi$ がどのように生成・変化していったのかという認識をする。

### 6. システム構成

基本的に、5章におけるモデル化の構成図(図6)が、システムにおける構成図となる。ここでは、図6で示したモデル化の構成図を組み入れた一般的なITSの枠組みを図8に示す。

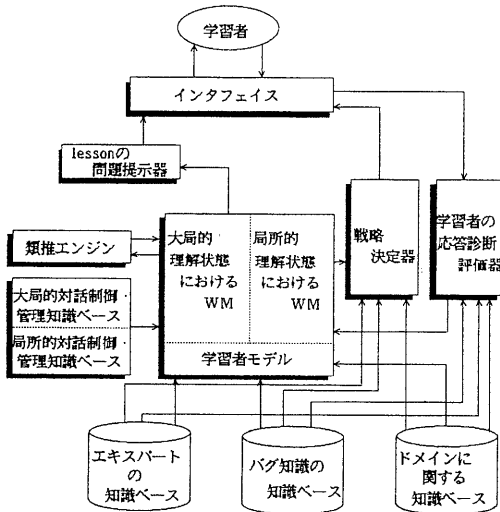


図8 システム構成図

### 7. おわりに

本論文は、具体的なシステムの実証(動作)レベルでの詳細について述べたものではない。概念形成機能をITSにどのように組み込むかを、抽象レベルで述べたものである。それは、より高次な学習モデルを、どのように構築すべきかという視点で論じたものである。実証レベルのシステム詳細は、現在検討中である。具体的なドメインとしては、1階述語論理の範囲であるprologの世界を取り上げ、BPS(Behavior Problem Solving : ある課題に対して学習者がプログラム作成行動をすること)の中で習得していく類似性(内在する概念)の抽出方法を検討中である。

また、この論文にシステムと学習者間のインタフェースの問題を論じなかったが、このシステムが、システムと学習者間の局所的な対話制御・管理におけるスロットの充足に関する対話関係や、大局的な対話制御・管理における教授・診断の際の対話関係などを有することから、インタフェースの重要性が理解できよう。従って、本システムが具体的に構築される際に、システムの本質的な動作との関係から十分な論議がなされなければならないだろう。

なお、本研究は文部省科学研究費重点領域研究[知識科学における概念形成と知識獲得に関する研究(代表:大須賀節雄)]の一貫として行われているものである。

### 8. 参考文献

- (1) R.S.Michalski 他編(電総研人工知能研究グループ他訳): "概念と規則からの学習~例からの学習~", 共立出版, (1988)
- (2) R.S.Michalski 他編(電総研人工知能

- 研究グループ他訳) :” 教示学習と知的 C A I ” , 共立出版, (1987)
- (3) 有川他:” 類推を用いる知識情報処理システムの開発” , 平成元年度文部省科学研究費補助金試験研究(2) , (1990)
- (4) 岡本, 松田:” 知的 C A I における幾何の証明計画の認識と学習機能について” , 情処学論, Vol130, No. 8, pp.1046~1057 (1989)