

手続き的知識の学習者モデル表現について

森広 浩一郎 池田 満 溝口 理一郎

大阪大学産業科学研究所

あらまし 学習者モデルの構築は、教育戦略に必要なモデル化の範囲と、モデルの構築可能性の限界の2つの問題を考慮して行なわれるべきである。しかしこれまでの学習者モデルに関する研究では、これらの問題に明示的に答えようという試みがあまりなされていない。本研究では、手続き的知識を題材として学習者モデルに対する要求仕様の整理・検討を行なう。これにより教育目的に応じたモデル化の範囲とモデルの構築可能性の限界を明らかにし、適当なレベルの学習者モデルの構築方法を示すことを目的とする。本稿では、手続き的知識のうちで特に戦略知識の修正教育を対象として、教育戦略モジュールからの学習者モデルに対する要求仕様を考察し、その要求仕様を満足するモデル構築の一例を示す。

Knowledge representation for student model about procedural knowledge

Koichiro MORIHIRO Mitsuru IKEDA Riichiro MIZOGUCHI

The Institute of Scientific and Industrial Research

Abstract Student model module should be designed by taking the following two issues into consideration. One is on the right level description required by the other functional modules of ITS and the other is on the limitation of the student modeling capability. However, the existing ITS's does not address these issues explicitly. The objective of our research is to identify the suitable level and the requisite range of student model representation. In this paper, we consider the requirement for student model module and a simple modeling method for teaching search control knowledge, which plays the crucial role of the procedural knowledge.

1 はじめに

ITSを構成するモジュールは、対象領域のエキスパートとしての教材知識モジュール、学習者の理解状態を表現するための学習者モデルモジュール、個別指導の方法を決定するための教育戦略モジュール、学習者との情報伝達を行なうためのインタフェースからなる。この中でも学習者モデルモジュールは、教授戦略モジュールが要求する学習者に適した教育戦略を選択し、実行するために必要となる学習者の理解状態に関する情報をモデル化し、表現するモジュールである。すなわち学習者モデルは、教育戦略に必要な学習者の理解状態だけを表現していれば十分であり、教育戦略において考慮されない学習者の理解状態に関する情報を推論し、表現する必要はない。したがって教育戦略モジュールに必要な情報の量が少なければ、モデル構築にかかる学習者モデルモジュールの推論の負荷は軽いものですむ。また逆に詳細な情報が求められるのであれば、学習者モデルの構築にかかる推論の負荷は重いものとなる。

このように学習者モデルモジュールは、教育戦略モジュールからの情報の要求に答えられねばならない。しかし同時に学習者モデルモジュールは、インタフェースなどから来る学習者に関する情報収集についての限界を越えることができない。インタフェースの制約が大きければ学習者モデル構築に必要な情報を有効に学習者から抽出することはできない。すなわち、学習者の理解状態をシステムが認識する方法は、インタフェースを通して観測された学習者の振舞いから推論する以外の方法はない。観測された学習者の振舞いの詳細度が学習者モデル構築に利用できる情報の量を規定し、モデル構築のために学習者モデルモジュールにかかる推論の負荷に影響を与える。

これら教育戦略における利用の範囲とインタフェースにおける情報収集の限界の2つが学習者モデルの構築において問題となる。したがって、学習者モデルモジュールにはモデル構築の必要性な範囲が存在すると同時に、またモデル構築の可能性についての限界も存在する。本来モデル化できない情報についての学習者モデル構築、教育に反映されない情報についての学習者モデル構築にかかる負荷は、無駄な負荷である。しかしこれまでの学習者モデル構築においては、どこまで学習者のモデル化を行なう必要があるのか、どこまで学習者のモデル化をすれば十分であるのか、学習者モデルの構築はどこまで可能かといった問題に明示的に答えていなかった。[Self88]

学習者モデルは、教育戦略決定モジュールから

のタスクの実行に必要な情報の要求に答えられねばならないが、インタフェースなどから来る学習者に関する情報の収集の限界を越えることはできないのである。

本稿では、ITSが扱う教育というタスクにおいて、学習者モデル構築はどこまで学習者のモデル化を行なう必要があるのか、どこまで学習者のモデル化を行えば十分であるのかを考察する。

我々は宣言的な知識を教材とするITSを対象とした帰納推論による一般的な学習者モデル構築アルゴリズムであるHSMIS[池田89]をすでに開発している。またこれを手続き的な教材教育のために用いる方法[鈴木88]を示した。しかし、そこでは前述した学習者モデルの必要な範囲、学習者モデル構築の可能性の限界に関する問題が議論なされておらず、手続き的な知識を教材とするITSを対象とした一般的な学習者モデル構築アルゴリズムとしては不十分である。

そこで本研究では、この手続き的な知識を題材としてITSの各モジュールからの学習者モデルに対する要求仕様を整理し、検討することで、学習者モデルの必要な範囲と学習者モデルの構築可能性の限界を明らかにすることを目指す。これによって構築するITSの教育目的に応じた学習者のモデル化の方法を示し、それにより教育目的に見合った学習者モデル構築を行うことを研究目的とする。そして手続き的な知識の教育を行うITSの中でも、特に戦略的な知識を教育するITSをその対象とする。

手続き的知識の教育において、その領域で用いられる手続きそのものの教育は重要な意味を持つことは明らかである。同様にその領域で用いられる戦略知識の教育も、より適切な知識の用い方を規定する知識の教育として重要な意味を持つ。これは課題となる領域が複雑になり、用いる手続きの競合が発生する可能性が高いほどより大きな重要性を持つ。本稿で考察の対象とするのは、戦略知識の修正教育だけである。ここで想定している基本的な教育方法は、学習者が用いた戦略知識、戦術知識とシステムの用いた戦略知識、戦術知識を比較して学習者に提示するという方法である。このような適切な戦略、戦術との比較を明示し、差異を提示するという方法は修正教育の有効な方法の1つであると考えられる。

また、戦略知識の教育の特徴として、戦略知識の教育はその領域で用いられる手続きの学習を学習者が既に学習していることが前提であると考えられる。したがって、戦略的教育という目的に基づく学習者モデル構築が必要な範囲の考察と、学習者から取り出すことが可能な戦略知識に関する理解

状態についての情報の限界を考えることが、比較的
行い易いと考えられる。

以上のように、本稿では戦略知識の教育を行う
ITSについて、各モジュールが教育タスクの実行に
必要とする学習者モデルに対する要求仕様と、各モ
ジュールが学習者モデル構築のために提供できる
情報の限界を考察する。

2 手続き的知識の表現

ここでは、本稿で取り扱う手続き的知識の構成
要素を定義する。そして戦略知識を教育する際に
必要となる戦略と戦術の違いと、戦略知識について
の一般的な教育方法について述べる。

2.1 手続き的知識の構成

手続き的知識は、事実や因果関係を表す宣言的
な知識と異なり、問題の解法を表した知識である。
すなわち、手続き的知識は問題を解決するための操
作とその適用条件を表す知識を持つ。このような
知識をオペレータとその適用条件と呼ぶ。また、一
般にある問題の状態に対して適用可能なオペレー
タは複数存在することが手続き的知識の特徴で
ある。したがって手続き的知識は操作を表す知識
だけではなく、適用可能なオペレータの中から実際
に適用するオペレータを選択するための知識が存
在する。このような知識を戦術知識と呼ぶ。これら
の知識を用いることで多くの問題を解決に導くこ
とができる。ただし、問題解決過程は必ずしも最適
な過程と限らず、冗長な解法を用いることがあり得
る。また問題解決過程でループに陥り、問題解決に
は至らない問題も存在し得る。これらの問題を解
決するために、問題解決の思考をある一定の方向に
向けさせる知識が存在する。このような知識を戦
略知識という。

これらの手続き的知識の構成要素を明確に区別
するため、手続き的操作の実体とその適用条件を表
す知識をオペレータとその適用条件、適用するオペ
レータを選択するための推奨条件である知識を戦
術知識、問題解決を一定の方向に沿わせるためのオ
ペレータの系列である知識を戦略知識、とし、これ
らの総体として与えられる知識を手続き的知識と
呼ぶ。以下にそれぞれの構成要素の定義を示す。

オペレータ 問題空間中のある状態を他の状態
に変化させる操作を表す知識をオペレータという。
ただし、人間が実際にオペレータとして行なってい
る操作の最小単位の大きさを持つものに限定する。

1次方程式の解法世界を例とした場合、括弧の

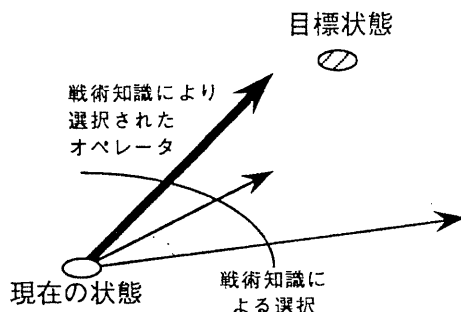


図 1: 戦術知識により選択されるオペレータ

展開、定数項を計算する、係数で割る、などの操作
がここで定義するオペレータに該当する。また、人
間が実際に行なっている操作、すなわち認知的なプ
リミティブをオペレータとすることから、符合を変
換するという操作を、“符合と項の分離”、“符合の
反転”、“符合と項の合成”というオペレータに分割
することはない。

戦術知識 オペレータを適用する前後の問題の
状態という局所的な情報だけから最適な(もっとも
ゴールに近づく)1つのオペレータを決定するため
に用いられる、オペレータ適用の理由づけを与える
知識を戦術知識という。

問題状態 $5(x-1) - 2(x-1) = 1$ に対して、適用
可能なオペレータは複数存在する。その中で、“展
開を要する部分が減り合計の計算量が減少する”と
いうオペレータの適用理由づけにより、 $(x-1)$ を
1つの固まりとして崩さずに同類項計算を行ない、
問題状態を $3(x-1) = 1$ にする場合がある。この
場合の理由づけが戦術知識に該当する。戦術知識
により選択されるオペレータを図1に示す。

戦略知識 以下のような理由づけを持つオペ
レータの列を戦略知識という。問題解決に大きく
貢献するオペレータと、そのオペレータを適用する
ために適用されるオペレータの列であって、その先
頭のオペレータの適用は局所的な情報では最適と
はいえないオペレータである。

問題状態 $5x = 4(x-3) - x$ に対し、移項、同類
項計算を行ない $6x = 4(x-3)$ として、両辺を2で
割り $3x = 2(x-3)$ とする場合がある。このように、
局所的に最適な括弧の展開ではなく、 x を移項する
ことで、両辺に共通因数が含まれる形にでき、その
因数を先に消去することで、展開すべき数が小さく
なり、計算が楽になり後の処理を簡単にできる。こ
のような場合の、移項、定数除算という一連のオペ
レータ系列が戦略知識に該当する。戦略知識によ
り選択されるオペレータを図2に示す。

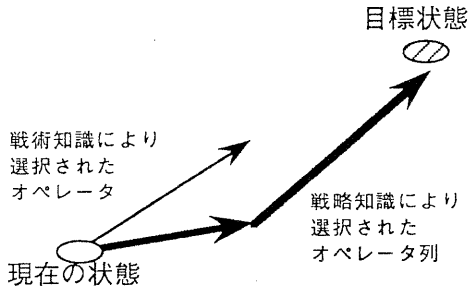


図 2: 戦略知識により選択されるオペレータ

2.2 戦術と戦略の教育とモデル構築

戦術知識と戦略知識のどちらの知識も適用するオペレータを決定する際に使われる知識であり、オペレータが表す実際の操作とは直接関連しない。また、ともになぜそのオペレータが適切であるかを表す基準¹となる知識を持つ。学習者に適切な戦略、戦術を教育する場合には、それぞれについての適切さの基準を明らかにして教育することが好ましいと考えられる。特に学習者が用いた戦略、戦術を修正していくことで教育をおこなう場合には、この適切さの基準を教育する時には、学習者に対しシステムが選択した戦略や戦術を基準を明示しながら、システムが選択した戦略や戦術との比較を行なうことが望ましい。これにより学習者とエキスパートの違いを明確にした教育を行なわなければならない。

システムの基準と学習者の基準の違いを明確にした教育を行なうためには、学習者の基準についての理解状態をモデル化できなければならない。学習者モデルモジュールに最も負荷をかけずに学習者の基準をモデル化する方法は、学習者にどのような基準を持つかを直接尋ねることである。ところが、この基準を学習者自身が明確に認識していることは稀であり、直接的に問いかけても学習者自身に述べさせることはほぼ不可能である。また、教育的な見地からも、教育対象となっている戦略、戦術を学習者に問うことは好ましくないと考えられ、学習者の理解情報をシステムが知るための情報源は、学習者がどの問題状態に、どのオペレータを適用し、問題状態をどのように変化させたかということだけである。ところが学習者とシステムとのインタラクションにおいて得られるこの情報は、戦略知識を適用した場合も戦術知識を適用した場合も、表面に出てくる情報は同様の形式でしかない。したがって、学習者の問題解決過程を見ただけでは学習者のオペレータの適用が戦略知識によるものか、戦術知

識によるものか判別することができず、そのどちらであるかをシステムが知るためには、学習者のオペレータ適用の適切さの基準を問題解決過程から推論により求めざるを得ない。これは、システムは学習者の戦略知識、戦術知識についての理解状態を知るためには、戦略知識、戦術知識の双方に関しての学習者モデルを構築せざるを得ないことを示している。

3 学習者の理解状態の分類

手続きのな知識のうち戦略知識を教育するためには、戦略知識、戦術知識についての学習者モデル構築が必要となることを示した。本節では、戦略知識、戦術知識に関して考えられる学習者の理解状態を分類したうえで、システムによる修正教育が可能な範囲について考察する。ここでの分類には、システムがその状態にある学習者を実際に認識できるか、すなわち学習者モデル構築が可能であるかという視点も含まれている。さらにモデル構築可能で、修正教育も可能な範囲に分類された理解状態にある学習者に対して、システムが如何なる教育行動をとることが考えられるかについても考察する。

3.1 戦略知識の理解状態の分類

手続きのな知識のうち戦略についての学習者の理解状態について考える。基本的な分類として、何らかの戦略を持つ学習者と、戦略を持たない学習者に分類できる。

戦略を持たない学習者の問題解決行動は、戦術知識のみを用いた問題解決を行っており、システムから見た場合、戦略的な行動を見出すことができない。また、何らかの戦略を用いている学習者であっても、用いている戦略がシステムが持つ戦略を判断するためのどの基準にも適合しない場合がある。すなわち、システムがその戦略を説明不可能な場合である。このような場合、学習者にとっては戦略を用いた問題解決となるが、システムにとってその問題解決過程は戦略を持たない場合の問題解決過程と等しい。

このような学習者に対して、正しい戦略を教える必要はあるが、用いている戦略を修正することで教育を行なうという方法を施すことができない。システムはこのような学習者についての教育には、戦略を持たない学習者に対する教育と同じ方法を選択するしかない。したがってこのような学習者は本稿における考察の対象としない。

次に、システムの持つ何らかの基準に適合する

¹オペレータ適用の問題解決に対する貢献度を表す知識

戦略についての学習者の理解状態

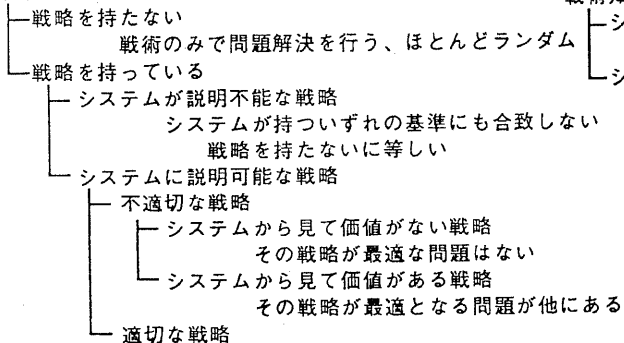


図 3: 戦略知識の理解状態の分類

ような戦略を用いる学習者は、その戦略が現在の問題に対し適切であるか否かで分類される。適切な戦略を用いて問題解決を行なっている学習者は、問題に対して正しい戦略を選択している学習者である。不適切な戦略を用いて問題解決を行なっている学習者はさらに分類が可能である。すなわち、学習者が用いたその戦略を適切な戦略として持つ問題が存在するか、そのような問題は存在しないかである。学習者の持つ戦略を最適とする問題が他にないならば、現在学習者が持つその戦略は問題解決に貢献することがない不十分な戦略である。したがって、学習者に対する教育としては、そのような戦略を放棄させるように教育を行なわなければならない。学習者の持つ戦略を最適とする問題があるならば、学習者が持つ戦略自体は正しいものであるが、用いる戦略を決定するための知識が誤っている。したがって、戦略を決定するための視点、すなわち戦略を判断するための基準となる知識を修正させる必要がある。以上の分類を図 3 にまとめて示す。

3.2 戦術知識の理解状態の分類

戦術知識についての学習者の理解状態について考える。戦術知識についても何らかの戦術知識を持つ学習者と、戦術知識を持たない学習者に分類可能であるが、戦略知識の場合と同様にシステムが説明できない戦術を用いた学習者と戦術知識を持たない学習者を分離することは不可能である。なぜならば、システムから見た場合、どちらの学習者も問題解決に役立たないオペレータまでもランダムに適用しているとはしか見えないからである。

このような戦術知識を持たない学習者についても、戦略知識の教育の場合と同様に、正しい戦術知識を教育する必要がある。しかしシステムは、修正を加えるべき学習者の戦術知識を見い出すことが

戦術知識についての学習者の理解状態

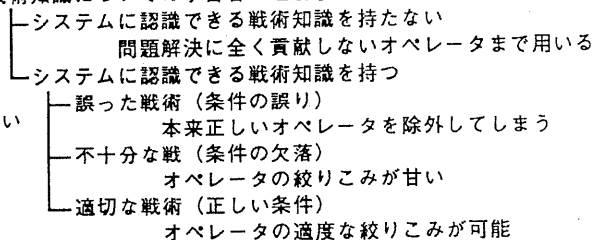


図 4: 戦術知識の理解状態の分類

できず、戦術を持たない学習者に対する教育と同じ方法を取らざるを得ない。したがって、システムから見て戦術知識を持たない学習者についても、本稿における考察の対象としない。

これに対し、システムが認識できる戦術を用いた学習者はさらに正しい戦術知識を持つ学習者、戦術知識の一部を欠落している学習者、戦術知識に本来不十分な条件を付加して持っている学習者の 3 種類に分類して考えられる。ただし、ここでは同時に欠落と付加という複合化した誤りを行なっている学習者は考えてない。

戦術知識の修正教育が必要となる学習者は、欠落または付加を行なっている学習者である。正しい戦術知識のうちの一部を欠落した形の戦術知識を持つ学習者は、本来の戦術知識としての条件よりも、弱い条件の戦術知識を用いていることになる。したがって、そのような学習者は問題解決場面における適用オペレータ決定のための絞り込みが甘いことになる。逆に正しい戦術知識に何らかに知識を付加した形の戦術知識を持つ学習者は、本来の戦術知識としての条件よりも、強い条件の戦術知識を用いていることになる。したがって、そのような学習者は問題解決場面において、適切なオペレータを戦術知識により除外してしまうことになる。以上の分類を図 4 にまとめて示す。

4 学習者モデルモジュールの要求仕様

これまで、手続き的知識、特に戦略知識を教育する ITS が、タスクの実行に必要な学習者の理解状態についての情報を検討してきた。ここで、これまでに出された学習者モデルモジュールに対する要求仕様をまとめ、その要求仕様を満足するために障害となるモデル構築に関する問題点を整理する。本稿で考える戦略知識についての修正教育では、

システムが説明できない戦略または戦術を用いる学習者はシステムから見れば戦略を持たない学習者と同じであり考察の対象とせず、システムが説明できる戦略を持つ学習者を考察の対象とした。この時に用いる戦略間の比較、戦術間の比較という方法が必要とする学習者の戦略、戦術についての理解状態に関する情報から、システムの学習者モデルモジュールに対する要求仕様として、以下のものをあげることができる。

- 学習者が用いた戦術、戦略がわかること。
- 学習者が用いた戦術、戦略を実行できること
- 複数の戦略、戦術の間の適切さの比較が可能であること。
- 個々の戦略、戦術の評価基準を明示できること。

したがって、手続き的知識の中で戦略知識の教育を目的とするシステムは、操作の実体、すなわちオペレータに関する学習者の理解状態としては、以下の事項がわかれば十分である。

- 学習者が用いたオペレータ。
- 学習者の用いたオペレータの正誤。
- 学習者が用いた正しいオペレータの使用箇所。
- 学習者が用いたオペレータの再実行

学習者モデルに上記に関する学習者の理解状態が表現されていれば、前述の教育方法を実行できる。したがって本稿での学習者モデルは、上記の仕様を満足していれば十分である。

上記の教授戦略モジュールから学習者モデルモジュールへの要求仕様を考慮しながら、インタフェイスの仕様を考える。インタフェイスは学習者との直接のインタラクションを行ない、学習者からの情報抽出と、学習者への情報伝達を行なっている。システムが必要とする情報は、すべてインタフェイスを介して取り込まれることになるが、情報の種類によってはインタフェイスの能力の限界を越えてしまい必要な情報だけを分離して取り出すことができないことがある。インタフェイスでは、次の2点が特に問題となる。

- 学習者から用いた戦略、戦術を直接的に聞き出すことは、教育的な観点から好ましくない。
- 学習者から用いた戦略、戦術の基準を直接的に聞き出すことができない。

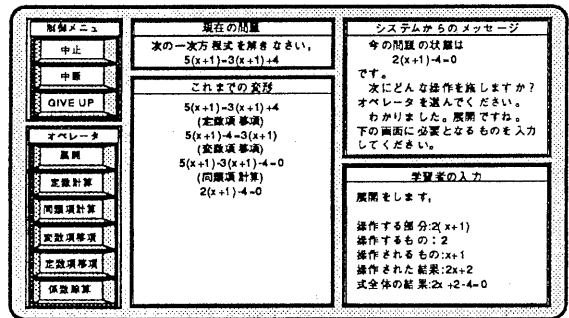


図 5: 用いるインタフェイス画面

これによりシステムは、学習者のオペレータ適用によって、適用前の問題状態がどのような問題状態に変化したかという情報だけから、学習者の用いたオペレータを推論し、さらに学習者の戦略、戦術を推論しなければならない。戦略、戦術の推論における組合せの爆発を防ぐためにも、システムは学習者が用いたオペレータレベルの知識を確実に把握していなければならず、これがなされていなければ、学習者モデルモジュールによるモデル構築が非常に困難であると考えられる。

これまでにも、手続きの推論を行なうために、いくつかの方法が考えられてきている。ACM[Langley84]は、推論の負荷がかなり大きく、また推論結果が2つある場合にそれを区別する方法がないので、問題解決の方法が1つに限られる問題を扱っている。また、MISをベースとした[鈴木88]においても、推論にかかる負荷の大きさは問題となっている。このように、手続きの推論にはかなり重い推論の負荷を要し、しかも推論が本来的に可能かどうかも保証されていない。この問題は手続きの教育が主目的ではないが、学習者の用いた手続きを知るが必要なシステムにとって大きな問題である。

本研究では、オペレータの教育を対象としていない。したがって、学習者の持つオペレータに関する誤りは、学習者モデル構築の前に除外しても問題ない。エキスパートにはない学習者の独自な問題状態の操作をインタフェイスの段階で除外する方法の1つは、学習者が入力時に用いるインタフェイスのためのプリミティブなオペレータを、学習されていることが前提となるここでのオペレータに対応させることである。これにより、学習者が適用したオペレータ、その入出力と正誤、学習者の問題解決過程をシステムは確実に知ることができる。ここでは、図5に示す環境を想定している。このような環境型のインタフェイスを用いることで、教育戦

略からの要求仕様を逸脱することなく、次の2点において学習者モデル構築の負荷を軽減することができる。

- 適用されたオペレータが確実に同定されるため、戦略を構成するプリミティブ同定のための組合せによる爆発が発生しない。
- 戦略のプリミティブであるオペレータの大きさを必要なだけ大きくできるので、戦略の区切り目を同定する際に組合せによる爆発の可能性が小さい。

これにより、学習者モデルモジュールが純粋に行なわなければならない学習者モデル構築への要求仕様は次のものとなる。

- 適用されたオペレータと適用前後の問題状態から、戦術知識とその戦術となった基準を推論すること。
- 適用されたオペレータ系列と問題解決過程の問題状態から、戦略知識とその戦略となった基準を推論すること。
- 戦略に基づくオペレータ列の適用と、戦術知識に基づくオペレータの連続適用との区別をつけること。

これが、手続き的知識の中で、特に戦略を比較しながら修正教育を行なうためのITSの学習者モデルモジュールに必要な仕様であり、十分な仕様である。

5 学習者モデルの構築方法

本稿で示すモデル構築方法は、学習者モデルモジュールにかかる負担を可能な限り抑えることを前提としている。

ここでの学習者のモデル化は、戦略のモデル化、戦術のモデル化の順に、次に示す判断基準を用いて行なわれる。

1. システムが持つ全ての戦略知識と戦術と判断する基準知識を用いて、学習者が問題解決過程において適用したオペレータ列の中に何らかの戦略知識が含まれているかを調べ、以下の3つの状態に分類する。
 - 学習者のオペレータ系列が正しい戦略に一致する。
 - 学習者のオペレータ系列が他の問題に貢献する戦略に一致する。

- 学習者のオペレータ系列が無価値な戦略と一致する。

上記の3つの状態に該当するオペレータの部分列が学習者の問題解決過程に含まれているならば、学習者はそれぞれの場面でそれぞれの戦略を用いたとする。また、本来用いるべき戦略が用いられなかった場合、他の部分でその戦略を持つことが知られていないかぎり学習者はその正答となるべき戦略を持たないとする。

2. 学習者の問題解決過程の中で戦略とみなせなかったオペレータ適用について、学習者の選択したオペレータとシステムが選択したオペレータとを比較し、以下の2つの状態に分類する。
 - 正しい戦術条件に一致する。
 - 正しい戦術条件に一致しない。

一致した場合には、学習者は正しい戦術条件のみを用いて問題解決を行なったと考える。また一致しなかった場合、学習者が問題解決に用いたオペレータの戦術知識に欠落がある、またはシステムが選択したオペレータの戦術条件に誤った条件が付加されていると考える。

なお、実際の学習者モデルは、システムが持つオペレータを利用して実行可能な学習者モデルを構築する。ここでは仮定された条件と表現を用い、一次方程式の解法過程を例として戦略知識、戦術知識のモデル化の過程を示す。

システムは1つの問題について、初期状態から回答までの学習者の解法過程が得られてからバッチ的に理解状態を解釈する。これは学習者の回答

$$5(x+1) = 3(x+1) + 4 \quad (1)$$

$$5(x+1) - 4 = 3(x+1) \quad (2)$$

$$5(x+1) - 3(x+1) - 4 = 0 \quad (3)$$

$$2(x+1) - 4 = 0 \quad (4)$$

$$2x + 2 - 4 = 0 \quad (5)$$

$$2x - 2 = 0 \quad (6)$$

$$2x = 2 \quad (7)$$

$$x = 1 \quad (8)$$

図 6: 学習者の回答例

に戦略知識に基づく式変形が含まれる場合、オンライン的に理解状態の解釈を行なうと、学習者モデルの管理が複雑な構造となるからである。

図6の場合では、(1)から(8)への式変形のうち、学習者のオペレータ適用の部分列としてシステムの戦略知識に基づくオペレータ列の適用と一致する部分があるかを調べる。

ここでは、以下の結果が得られ、学習者の理解状態が判断される。

- (1) から (2) への式変形が戦略知識による式変形ではない。
- (2) から (4) までの式変形が戦略知識による式変形に一致する。
 - まとめて移項²という戦略を持つ。
- (4) から (8) までの式変形の中に戦略知識による式変形に一致するものが含まれない。
 - 展開前に割算³という戦略を持たない
- (1) から (2) への式変形が戦術知識による式変形に一致しない。
 - 定数項移項オペレータの戦術条件が弱い
- (4) から (8) までの変形がそれぞれ戦術知識による式変形に一致する。
 - 展開オペレータの戦術知識が正しい
 - 定数計算オペレータの戦術が正しい
 - 定数項移項オペレータの戦術が正しい
 - 係数助算オペレータの戦術が正しい

6 おわりに

本稿では、戦略知識を教育することを目的とした手続き的知識のITSにおいて、教育戦略モジュールとインタフェスの仕様に基づいて学習者モデルモジュールの要求仕様について整理し、検討した。また、教育対象となる学習者の理解状態を分類し、システムが学習者をモデル化できる範囲を求め、その学習者に対してとることができる教育戦略を示した。これにより、学習者モデルモジュールが自身で処理しなければならないタスクが抽出された。た

²カッコで括られた部分を展開するのではなく、そのまま移項して同類項計算により問題解決を大きく進める戦略

³カッコで括られた部分を展開するのではなく、カッコ以外の部分を右辺に移項して係数除算により問題解決を大きく進める戦略

だし、ここで示された学習者モデル構築方法は、モデル構築の負荷を抑えることを前提としたモデル構築のための本研究の1つのベースであり、今後さらなる検討を加える予定である。

今後の方針としては、以上の要求仕様を満たす学習者モデルを構築するための知識表現を決定し、実際にシステム構築を行なう予定である。これにより学習者モデルの構築方法の妥当性を検証する。また、学習者に対する他の教育方法を考察し、その教育方法を適用するために新たに必要となる学習者モデルモジュールに対する要求仕様を同定する。そして、要求仕様を満足するモデル化の負荷を抑えた学習者モデルの構築方法を検討していく。

謝辞: 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)の援助を受けた。

参考文献

- [池田89] 池田満, 溝口理一郎, 角所収, “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, 1 1989.
- [鈴木88] 鈴木信夫, 池田満, 溝口理一郎, 角所収, “汎用フレームワークを用いた手続き的教材の知的 CAI システム”, 信学技法, ET88-1, pp. 49-56, 4 1988.
- [Langley84] Langley, P. and Ohlsson, S., “Automated cognitive modeling”, In *Proc. of the National Conference on Artificial Intelligence*, pp. 193-197, 1984.
- [Self88] Self, J. A., “Bypassing The Intractable Problem of student Modelling”, In *Proceedings of the international conference on Intelligent Tutoring System(ITS-88)*, pp. 18-24, 1988.