

矛盾した理解状態を表現する学習者モデルの構築

河野 恭之 溝口 理一郎

大阪大学産業科学研究所

我々は、汎用知的 CAI システムの学習者モデル構築モジュールとして HSMIS (Hypothetical Student Model Inference System) を既に開発している。HSMIS は Shapiro の MIS をベースにして ATMS を用いた一貫性管理機構により矛盾を含む学習者の応答からのモデル構築が可能である。しかし、この一貫性管理機構は単に矛盾回避のためにしか使われていなかったため、学習者の思考過程の矛盾をモデル化し、教育に利用できるわけではなかった。本稿では、学習者の思考過程に生じる矛盾の体系化を行なう。そして、矛盾した知識のモデリング方法とそれを利用した教育法を提案する。

Construction of Student Model which Represents Inconsistent Knowledge

Yasuyuki KONO and Riichiro MIZOGUCHI

I.S.I.R., Osaka Univ.

We have developed HSMIS (Hypothetical Student Model Inference System) for the student model construction module in our ITS (Intelligent Tutoring System). HSMIS is based on MIS (Model Inference System). HSMIS is able to construct a student model from the student's replies which might include contradictions, with the help of ATMS. Since the ability of HSMIS to maintain consistency was merely used for avoiding contradictions, it can not construct student models which express inconsistent knowledge of students. In this paper, we categorize the contradictions beared in the student's mind. Then, we propose a method for student modeling and tutoring strategies which handle contradictions in the student's knowledge.

1 はじめに

知的 CAI システム (ITS: Intelligent Tutoring System) は、知的な計算機教師を目指している。その目的のためには、学習者の理解状態の探査、新しい知識や類題の提示、誤りを修正するための説明など人間の教師の行なうさまざまな教育行動を分析し、それらを計算機上に実現する必要がある。

我々はこれまでに、上に挙げたような教育を構成するブリミティブな行動(汎化タスク)を抽出し、その汎用的な処理方法を Building Block として実現することにより、汎用性と構築容易性を両立させた ITS が実現できると考え、ITS のための汎用フレームワークの構築を進めてきた [池田89b]。既に我々は、CESP(Common-ESP) 言語環境において地理の教物の生育及び化学の中和反応を教材としたプロトタイプの開発を完了している。そしてその評価を基に、より柔軟な教育を行ない得る ITS を実現するために必要とされる教育的な振舞いの検討を行なっている。

本フレームワークでは、Shapiro の帰納推論アルゴリズム MIS(Model Inference System) [Shapiro82] をベースにした仮説型学習者モデル推論システム HSMIS(Hypothetical Student Model Inference System) [河野89] を採用することにより、極めて教材独立性の高い学習者モデル構築アルゴリズムを実現している。また HSMIS は、仮説推論の枠組 ATMS[deKleer86a] による一貫性管理機構を備えており、理解状態の変化や不注意による誤りなどに伴う一貫性を欠いた学習者の応答からも学習者モデルを構築することができる。

ところが、単に学習者の応答を再現する論理プログラムを合成する枠組では、システムの取り得る教育戦略が学習者に論理的思考を要求するものに限定され、結果として多様な教材や教育戦略に対応できなくなる。また、従来の HSMIS が行なっていた学習者の応答の一貫性管理は帰納推論を失敗させないことを目的とした機械的な矛盾回避機構であり、学習者の思考の矛盾をモデル化して積極的に教育に利用できるわけではなかった。

以上のように、我々の ITS で採用されている手法は矛盾の取り扱いに関して問題がある。そこで本稿では、人間の矛盾した知識状態について認知的な分析を行なう。さらにそれに基づいて学習者が犯す誤りを分類し、ITS を指向した知識の矛盾の体系化を行ない、それを利用した教育方法について考察する。そして、学習者の持つ知識の矛盾の記述方法とその構築機構を提案する。

- A: 「 $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ が使えないような人は研究者とはいえない。」
B: 「M 教授は $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ が使えないが、M 教授は研究者ではないのか?」
A: 「……」

図 1: 思考の矛盾を指摘する対話の例

2 矛盾の生成過程

一般に人間は自らの思考の一貫性を完全に保つことはできず、矛盾した思考過程のもとで様々な判断を行なっている。また人間は、他人の言動に表面上矛盾が含まれていなかったとしても、その言動の基となった思考過程の矛盾を検知し指摘することができる。この、人間の知識・思考が「矛盾している」という場合には、「知識の矛盾」と「思考過程の矛盾」の2種類が存在する。本節では、それら各々の矛盾が生じる過程を考察する。

図 1 に示す対話の例では、話者 A は自らの持つルール知識(「 $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ を使えないような人は研究者とはいえない」)とファクト知識(「M 教授は研究者である」「M 教授は $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ が使えない」)が矛盾していることに気付いていない。すなわち話者 A が誤った一般化によりファクト知識を完全に満足することができないルール知識を作成してしまったと考えられる。このような現象はルール知識またはファクト知識の誤りとして扱うこともできるが、矛盾であるとして指摘された方が学習者のこの誤りに対する印象が強くなると考えられるため、誤りとして扱うのではなく知識の矛盾として扱うことによってより高い教育効果を期待することができる。このような知識の矛盾に対しては、反例の提示などを行なえば、誤ったルール知識に気付かせそれを修正させることができる。

次に、「等速度運動する電車の中で上に向かって飛び上がるとどこに着地するか?」という問題や「飛んでいる飛行機からボールを落とすとどういう軌跡を描くか?」といった問題を解くと、物理学を理解している人でもしばしば「地面に対して静止した地点に降りる(電車に対しては後方にずれる)」や「まっすぐ斜めに落ちる」といった誤った回答をしてしまう場合について考察する。これは、「電車内の相対座標系では上下運動以外は静止している」や「落としたボールは重力の影響を受ける」といった問題を解く際に必要な知識の適用に失敗した結果、誤った回答を導出したと定式化できる。通常このような誤りは思考過程の矛盾ではなく、むしろ解法の誤りであると人間には感じられる。しかし、上の

ような誤りを犯した人は誤った知識を持っているわけではなく、正しい知識を持っているにもかかわらずその知識を適用できていないという点で単なる解法の誤りとは言い難い。むしろその人が問題解決空間を不当に設定してしまった結果、必要な知識を適用せずに思考・推論を行なうことが原因で誤りが発生したと考えられる。すなわち、知識適用の誤りが原因で、知識ではなく思考過程に矛盾が生じたと見ることができ、この点で上の知識の矛盾と異なった性質を持っている。このような思考過程の矛盾は、自分が完全に知識を用いていなかったことに気付いて適切な問題解決空間を設定できれば、その知識を検索・適用して矛盾を解消し、導かれるべき結論を得ることができる。以降では、「思考過程の矛盾」を単に「思考の矛盾」と記すことにする。

以上のような「知識の矛盾」と「思考の矛盾」の2種類のうち、思考の矛盾は推論を行なう際の知識の利用の誤りであり、ITSにおいてその検出及び運用に困難が伴い、そのための枠組を深く考察する必要があると考えられる。このため本稿では、思考の矛盾を主たる対象として考察し、そして学習者の矛盾に対応したモデル構築と教育の枠組を提案する。そのために、次節では教育の場面における学習者の誤りを分類し、学習者の思考の矛盾がどのような誤りをもたらすかを考察する。

3 誤りと矛盾

3.1 学習者の犯す誤り

学習者の持つ知識は、その知識の適用の観点から次のように分類できる。

1. 学習者が正しい知識を持っている
 - (a) その知識を正しく適用している
 - (b) その知識が正しく適用できていない
2. 学習者が誤った知識を持っている
3. 学習者はその問題に関する知識を持っていない

このように分類したうち、学習者が正しい知識を持っておりなおかつその知識を正しく適用できた場合のみを我々は「正解」と呼び、その他の場合をまとめて「誤り」と呼んでいる。しかし上の分類に示すように「誤り」の根源がそれぞれ異なっているため、これらの「誤り」は区別して教育を行なう必要がある。例えば、「誤った知識を持っている場合にはその誤った知識を同定し修正する」、「知識を持っていない場合には正しい知識を新たに教える」という方法で教育を行な

うことができる。しかし、「正しい知識を持っているがその知識を正しく適用できていない」場合には、その原因として2節で述べた思考の矛盾以外にケアレスミスなどが考えられるため、さらに分類する必要がある。

知識が正しく適用できなかったことに起因する誤りを、それによって起こる現象で分類すると、

- 知識の適用を失敗した結果、問題を解くことができない
- 知識の適用を失敗した結果、誤った回答を導出する

という2つの場合がある。このうち前者は、単なる知識適用の失敗としてとらえることで対処できる教材もあるが、一般には知識検索に失敗した原因を明らかにして始めて教育効果を上げることができる [平島89]。また後者の誤りは、正しい知識を持っているにもかかわらず間違えるという点でケアレスミスと呼ばれている誤りと質的に同等である。このような形式の誤りは人間の犯す誤りの一つの典型であり、これをITSが取り扱えるようにするのは意義深いことである。次では、このような知識適用の失敗に基づく誤りについて様々な視点から考察する。

3.2 ケアレスミスと矛盾

一般に学習者は、次のような原因により知識適用の失敗を犯す。

- 知識の適用時に誤って別の知識を適用してしまった
- 知識の適用に失敗し、正しい知識を完全に適用せずに推論してしまったのだが、それに気付いていない。

またこれらの誤りは、その現象によって次のように分類される。

- 知識の適用に失敗した人がそれを指摘されるとすぐに気付いて修正できるような誤り
- 指摘されてもそれが理解できず、修正させることができない誤り

指摘により学習者が知識の不完全な適用に気付くような種類の誤りは、従来は単にケアレスミスとしてモデル構築や教育の対象外とされてきた。しかし、知識の適用の失敗がこの種の誤りの根源であり、知識が正しく適用されていれば正しい結論が得られるはずであるという点で2節の矛盾の定式化と合致する。このため、従来ケアレスミスとされてきた誤りは思考の矛盾と定式化の上で同等であると結論できる。

以上から、人間がケアレスミスと感じる誤りは、人間が思考の矛盾とを感じる誤りと同様に知識適用の失敗として定式

化できる。この定式化により、従来ケアレミスとして扱われてきた誤り、すなわち単なる不注意による誤りであるとして十分に対処がなされていなかった誤りも、知識適用の失敗として教育的な対処を考慮できるようになる。しかし、この種の誤りが細かな教育的配慮を必要とするものばかりであるわけではなく、従来のように単なる不注意による偶発的な誤りとして対処した方がよいものもある。これらの現象を区別するために誤りの修復能力の観点から、ここで知識の定着度という概念を導入する。

教師は教育する事柄について学習者が持ちやすい理解状態の仮説を、過去の経験やその学習者の教育履歴などから総合的に判断したその仮説を支持する信頼度、すなわちその知識の定着度の仮説と共に持っていると考えられる。そのような状態で、信頼度の高い仮説を否定するような学習者の応答が得られた場合、教師は驚き学習者がそのような応答をした原因を探るために学習者に対し仮説の確認を含むさまざまな対話を行なう。そうすることによって教師は、学習者が単に誤った知識を持っているのか、それとも知識適用に失敗したものであるかを同定することができる。そして知識適用の失敗と同定した場合、適切な指導法を決定し実行する。すなわち、教師は教育的に意味があると感じた学習者の知識適用の失敗を、適用に失敗した知識の定着度や教育的な重要度などにより分析し、積極的な支援の必要性を感じない場合は単なる不注意として扱う。逆に積極的に支援した方がよいと感じる場合には、学習者の思考の矛盾を解消するための適切な指導を行なう。

以上の結論に基づき、4節では我々の ITS において矛盾した思考を扱うための方法について考察する。

4 教育における矛盾の取り扱い

通常の場合、人間は Prolog 等の言語で記述できるほど論理的な思考・推論を行なっているとは限らない。しかし、人間の理解状態の記述を教育の場に限定して論じれば、学習者が探索すべき知識の範囲は十分に小さくなるため、学習者が論理的に思考することが期待できる。このため、一般に学習者の理解は論理型言語で十分記述することができる。このような観点から本節では、学習者の思考・推論の矛盾について論理型言語で記述可能な範囲での分析を行なう。

4.1 学習者の思考の矛盾

3節の定式化に基づき、学習者の思考の矛盾とは、“学習者が無矛盾な知識を持っているにもかかわらずその推論過

問題

321を割っても456を割っても6余る自然数のうち最も大きい数と最も小さい数を求めよ。

学習者の解答

$$321 - 6 = 315$$

$$456 - 6 = 450$$

321を割っても456を割っても6余る数は315と450の公約数である

$$\begin{array}{r} 5 \mid 315 \quad 450 \\ 9 \mid \quad 63 \quad 90 \\ \hline \quad 7 \quad 10 \end{array}$$

$$5 \times 9 = 45 \text{ より}$$

315と450のGCMは45

45 = 3² × 5 であることから

45の最小の約数は3である

$$\begin{array}{l} \text{最大 } 45 \\ \text{最小 } 3 \end{array}$$

“剰余は除数よりも小さい”という数学の一般則を適用していない

図 2: 矛盾した思考に基づく解答例

程において必要な知識の適用に失敗しているために、適用可能な全知識を用いて思考・推論すれば得ることができる結論と異なる結論を学習者が導出すること”であると定義する。この定義の下では、学習者が常に自らの持つ適用可能な全知識を用いて推論していれば思考の矛盾が導出されることはない。しかし、適用可能なすべての知識を用いて思考・推論することは一般に不可能であり、また不可能であることを知るが故に人間は思考する際に意識して全知識を用いようとすることはない。このため人間は、自分の思考の矛盾を他から指摘されるまで気付かないことがよくあり、また、矛盾した推論を行なっているも平然としていることができる。

例えば、図 2 の例において学習者は、「3で割って余りが6になるはずがない」すなわち「剰余は除数よりも小さい」という数学の一般則の適用を忘れたため誤りを犯している。このような場合、上の定義に従えば学習者は矛盾した思考に基づき解答を導出したと考えられる。そして、このような矛盾した思考を同定し記述することができれば、矛盾を指摘するなどの方法で学習者の持つ矛盾に気付かせることにより効率的かつ柔軟な教育を行なうことができる。次節以下では、我々の ITS でこれらの矛盾を扱うという目標を念頭に置き、学習者の思考過程において発生する矛盾、及び学習者モデル構築において HSMIS が扱うことのできる矛盾の双方からの分析を行なう。

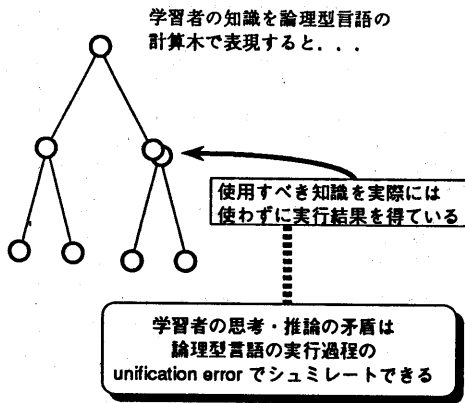


図 3: 論理型言語による矛盾のシミュレーション

4.2 論理型言語によるシミュレーション

学習者の思考すべき範囲を学習の場限定すると、“学習者の全知識は論理型言語の計算木上に構成でき、学習者が全知識を用いて正当に思考・推論を行なう過程はその計算木の実行に相当する”，と仮定することができる。この思考過程をシミュレートする論理型言語の計算木を以下では思考木と呼ぶ。

前節の矛盾の定義に従うと、学習者が持つ適用すべき全知識を使用しなかった場合に矛盾が発生することになる。この“適用すべき全知識を使用しない”という状況は、意識・無意識を問わず推論過程での知識の検索・実行に失敗する、すなわち行なわれるべき推論が不当に短絡・中断されることに相当すると考えられる。

このような推論の短絡・中断は、思考木の実行過程において思考木上のあるノードから出ている枝の実行を全くあるいは一部しか行わずにそのノードの実行結果を導出してしまふことにあたる。すなわち、図 3 のように学習者の思考・推論において発生する矛盾は、その学習者の知識を表現する思考木の実行過程でノードまたは枝の unification を完全に行なわずに実行結果を導出することでシミュレートすることができる。

4.3 モデル構築を指向した矛盾の分類

ここでは、従来の HSMIS で扱うことのできた“矛盾”と、前節で述べた学習者の思考の“矛盾”の双方について、学習者モデル構築の観点から分析を行なう。

4.3.1 HSMIS による学習者モデル構築における矛盾

HSMIS は学習者の応答（以下オラクルと呼ぶ）の非単調性に起因する矛盾検出ルールをいくつか持っている。それらの矛盾は、帰納推論の失敗を基に検出することができる矛盾に全て含まれ、モデル推論失敗による矛盾検出と論理的には変わるところはない [池田88][河野89]。そして矛盾が検出された場合 HSMIS は無矛盾なオラクル環境を生成し、その環境の下でモデル推論を続行する。すなわち、HSMIS が従来行っていた一貫性管理は、モデル推論の失敗をトリガーとして起動され、モデル推論を続行させるためになされる矛盾回避操作であることになる。

HSMIS によるモデル推論において、ある時点におけるオラクル環境ではモデル構築が不可能となる状況を分類すると、以下のようになる。

- (1) 学習者の理解が変化した場合、オラクル集合の整合性が取れなくなる場合。
- (2) HSMIS の持つモデル推論のための概念知識だけでは学習者の理解を表現することができない場合。
- (3) 学習者が一般則の知識だけでなく、インスタンスやコンテキストに依存した特例規則の知識を持つ場合。
- (4) 学習者の思考に矛盾が存在する場合。
- (5) 学習者の知識に矛盾が生じている場合。

これらのうち (1)(2) の場合は、そのままではオラクル集合を満足するモデルを構築することはできないが、学習者の思考が矛盾しているわけではないため、モデル推論失敗の原因さえ同定できれば、

- (1) では、理解の変化したオラクルを棄却する。
 - (2) では、モデル推論のための概念知識 (refinement graph) をインクリメンタルに成長させる。
- ことにより、従来の枠組でモデル構築が可能である。

しかし (3) の場合、学習者の理解を表現することは純粋な論理型言語では不可能であり、学習者モデル記述言語 SMDL [池田89a] に制御機能を追加する必要が生じる。このため、本稿ではこの場合についての考察は行なわない。

次に、(4)(5) の場合においては学習者の全知識を単一空間の論理プログラムで記述する現在の学習者モデル表現では、学習者の理解を正確に記述し、その思考過程を完全にトレースすることはできない。

		学習者の理解	
		正常	矛盾
モデル構築	正常	◎	unification error
	矛盾	理解の変化 概念の不足 例外事象	知識の矛盾 単元の変化 学習したことを忘れた

図 4: モデル構築の観点から見た学習者の矛盾

4.3.2 思考の矛盾とモデル推論

4.2節で、学習者の思考の矛盾は、論理型言語の実行過程における unification error で表現できると述べた。

ここで、学習者が矛盾した事実を言明するなどにより学習者モデル構築が失敗し、しかも学習者の思考も実際に矛盾している場合について考察する。知っているはずの知識を関係ないと思っていたり不注意で気が付かなかったのが原因で検索できていないのであるから、これらの場合は本質的に unification error で表現できることになる。また、このようにモデル推論において矛盾が生じる場合以外にも、因果連鎖途中で推論が中断している場合などモデル推論は正常終了するが学習者の思考は矛盾している場合がある。また、unification error で表現することのできるような学習者の理解状態のうち、教材の知識構造に依存した特殊な場合のみ、従来の HSMIS はモデル構築の失敗という形で検出することができる。しかし、この場合でも思考の矛盾を表現したモデルを構築できるわけではない。

以上をまとめると、学習者の理解と帰納推論によるモデル構築は図 4 に示すような関係となる。

4.4 矛盾を扱うための問題点

以上 4 節では、学習者の思考過程、及び学習者モデル構築の両面から矛盾について考察してきた。ここで、これまでに挙げた問題点を整理すると、以下のようになる。

- SMDL インタプリタは他の論理型言語同様プログラム実行中の unification は完全であるため、学習者の思考の矛盾をそのままでは表現できない。
- 学習者の思考が矛盾している場合のうち、従来の HSMIS の矛盾検出機構で検出できるのは一部である。

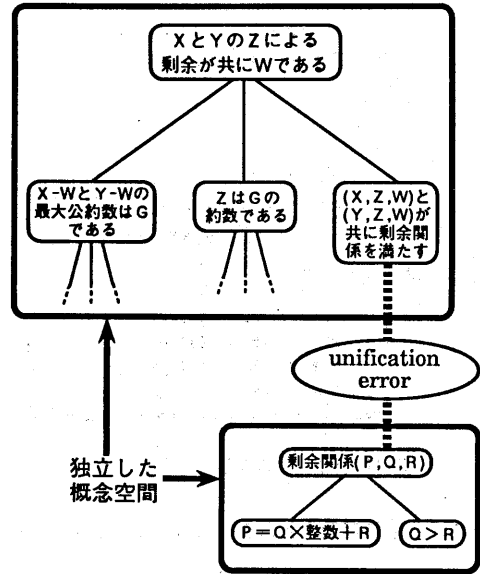


図 5: 思考の矛盾のモデル表現例

- 学習者の思考が矛盾していることを気付かせ、正しい理解状態に導く教育戦略が提案されていない。

また、これらの問題点を解決した上で知識の矛盾に関する枠組を考察する必要がある。

以下 5 節では、学習者の矛盾した思考のモデル表現法を提案する。そして、上に挙げた問題点を分析し、我々の ITS において矛盾を扱う枠組について考察する。

5 矛盾のモデル化とその教育

5.1 思考の矛盾のモデル表現

SMDL インタプリタが、学習者モデルの実行過程で unification error を起こすためには、計算木上にある枝の検索に失敗しなければならない。このため、学習者の矛盾した思考をモデル表現するためには、計算木内の枝の unification に制限を加える枠組が必要となる。

その枠組は次の操作でモデル構築を行えば実現可能である。学習者の扱っている全知識を学習者が unify 可能な知識のみで構成される複数の概念空間に分割し、それぞれの空間で閉じたモデル構築を行なう。そして、それぞれの空間で構成された SMDL プログラムの集合により学習者モデルを表現する。

以上のモデル構築操作は、HSMIS の一貫性管理機構に装

SYSTEM: あなたは数P, Q, Rが剰余関係を満たすためには、ある整数Nが存在し、
 $P = Q \times N + R$ かつ
 $Q > R$
 なる関係が成立しなければならぬことは知っていますか？

学習者: はい

SYSTEM: それでは、あなたはX-WとY-Wの最大公約数がGであり、ZがGの約数であり、(X,Z,W)と(Y,Z,W)が共に剰余関係を満たせば、この問題が解けると思っていますか？

学習者: はい

図 6: 矛盾検出のための対話の例

備されている巡回型 ATMS[deKleer86b]を次のように流用すれば可能である。従来の HSMIS において巡回型 ATMS は矛盾解消のためにのみ環境遷移を行っていたが、この ATMS の巡回方式を変更し、矛盾解消のためだけではなく思考の矛盾のモデル表現及び構築を行なうために環境を巡回することとする。例えば図 2 のような解答をする学習者の思考の矛盾は、図 5 に示すように ATMS によりモデル推論空間を分離し、unify していない知識群どうしを各々独立した概念空間としてモデル表現することにより、表現することができる。

5.2 モデルの構築法

4.3.2節で述べたように、学習者の思考の矛盾のうちモデル推論時の矛盾検出により検出できるのは特殊な場合で、ほとんどの unification error は従来の HSMIS では検出できず、モデル構築が正常に終了してしまう。また、3.2節で述べたように、学習者が犯す知識適用の失敗には、教育的に見て積極的な修正支援を行なう必要のあるものもないものがある。このため、思考の矛盾をモデル表現し教育に効果的に運用するためには、教育的に意味のある unification error を発見するルールを定式化する必要がある。そのために、3.2節で分析した教師の矛盾検出法を HSMIS に応用すると、図 6 に示すような対話により unification error を検出し、学習者の矛盾した理解に対応したモデルを構築することができる。その一般的な方法を次に示す。

まず、教材知識に学習者の持ちやすい理解状態の知識とその確信度を記述しておく。そして、モデル中にあった確信度の高い知識がモデル推論の結果削除される場合には、まず

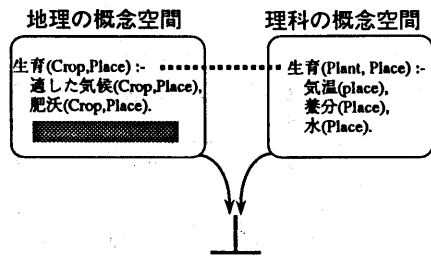


図 7: 概念空間の初期設定の例

その知識を学習者が持っているかどうかを直接確認する。その結果とモデル推論の結果が異なる場合には、学習者の思考に矛盾が存在する可能性が高いため、5.1節で提案した方法で概念空間を分割し、矛盾を表現するモデルを作成する。

また図 7 に示すように、複数の単元にまたがる知識などのようなあらかじめ知識単位が分離できる領域では、モデル推論開始当初から別々の概念空間でモデルを取り扱うようにする。それにより、各々の概念空間における探索空間を小さく保つことができるためモデル構築効率が上昇し、しかも矛盾検査や空間分離のオーバーヘッドを押えることができる。

5.3 矛盾を基にした教育的対話

ここでは、学習者の思考が矛盾していることを知った上でそれを修正し学習者を矛盾していない適正な理解状態、すなわち単一空間でモデル構築できる状態に導くための教育戦略について考察する。

思考の矛盾を修正する戦略として従来からソクラテス式対話法が挙げられてきた。この対話法は、ある 2 つの知識を両方持っていることを相手に確認させ、そしてその両方の知識が同時に成り立つとしたら矛盾が起こることを直接的または間接的に指摘し、相手の自己修正を促す手法である。この手法を我々のシステムに応用するには次のようにすればよい。

思考の矛盾を表現するモデルが構築されるとシステムは、矛盾の原因となっている知識について学習者がシステムの推論通りに理解しているかどうかを、学習者にまず確認の質問をする。そして学習者の思考が本当に矛盾していることが確認できれば、図 8 に示すように矛盾している箇所から学習者の思考過程をたどり、その上位概念において学習者の理解と異なる結果を導出する過程を示す。そうすることにより、学習者に自らの思考の矛盾を容易に認識・修正させ、適用に失敗していた知識の定着度を向上させることができる。

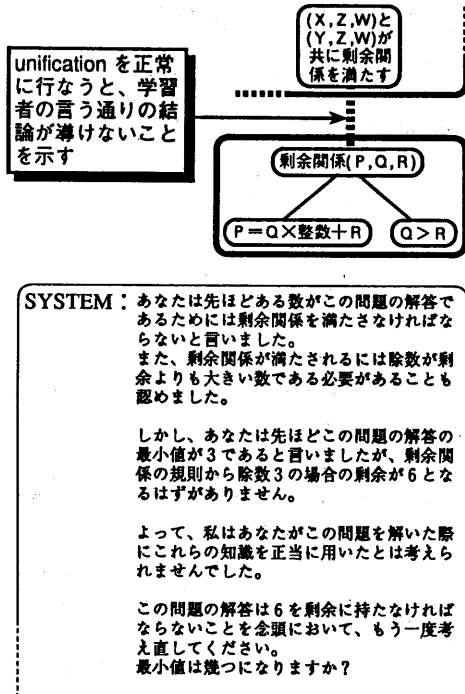


図 8: 矛盾を修正するための対話の例

以上述べた思考の矛盾に対する枠組は、検出法は異なるものの表現・教育法はそのまま知識の矛盾に適用できると考えられる。また、学習者の“矛盾”を指摘するためには学習者の持つ矛盾を検出・同定する必要があり、その意味で真のソクラテス式教授法を実現するためには、本稿で提案したような学習者の知識もしくは思考の矛盾を記述する枠組が必要である。

6 まとめ

本稿では、人間の知識および思考の矛盾を分析し、その定式化を行なった。そして、人間の犯す誤りと思の矛盾に関する分析に基づき、学習者の思考・推論過程の矛盾、および学習者モデル構築過程に生じる矛盾の双方について考察を行なった。そしてその考察に基づき、学習者の矛盾した思考の学習者モデル表現と構築法を示し、また学習者の矛盾を利用した教育法の提案を行なった。この学習者の矛盾を取り扱う枠組が ITS に装備されれば、学習者の理解状態のより深い把握に基づく適正な教育的対話が可能であるため、学習者個々に対応したより柔軟な教育が実現できると考えられる。

参考文献

- [池田88] 池田満, 溝口理一郎, 角所収, “IIMIS:仮説型モデル推論システム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J71-D, N.9, pp. 1761-1771, 9 1988.
- [池田89a] 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”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J72-D, N.1, pp. 112-120, 1 1989.
- [池田89b] 池田満, 奥畑健司, 河野恭之, 野村康雄, 溝口理一郎, “ITSのための汎用フレームワークの設計と実現”, 情報処理学会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報告集, 89-9, pp. 113-121, 12 1989.
- [河野89] 河野恭之, 池田満, 溝口理一郎, “知的 CAI における学習者モデル構築-帰納推論-一貫性管理の高速化とその評価-”, 人工知能学会第3回全国大会論文集, pp. 761-764, 1989.
- [平島89] 平島宗, 中村祐一, 池田満, 溝口理一郎, 豊田順一, “ITSを指向した認知モデルと教育戦略”, 情報処理学会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報告集, 89-9, pp. 55-64, 12 1989.
- [deKleer86a] de Kleer, J., “An Assumption-based Truth Maintenance System”, *Artificial Intelligence*, Vol.28, pp. 127-162, 1986.
- [deKleer86b] de Kleer, J., “Back to Backtrackings: Controlling the ATMS”, In *Proc.AAAI-86*, pp. 910-917, 1986.
- [Shapiro82] Shapiro, E. Y., *Algorithmic Program Debugging*, MIT Press, 1982.