

使用目的に応じた指導方略

渡辺 健次 岡崎 泰久 田中 久治
只木 進一 近藤 弘樹

佐賀大学

ITS がシステム主導でその動作を決定する場合、システムがどのような目的で使用されるかが重要な役割を果たす。本論文では、分数計算を指導する ITS を例として、システムの使用目的と指導方略との関係を論じる。更に使用目的のいくつかの類系について、指導方略を例示する。

A role of the aim in an ITS

Kenzi Watanabe Yasuhisa Okazaki Hisaharu Tanaka
Shin-ichi Tadaki Hiroki Kondo

Saga University
1, Honjo, Saga, 840 Japan
E-mail: bunsu@saga-u.ac.jp

Abstract

We point out that the aim of a system plays an important role in an ITS. We discuss the deep connection between the aim and the teaching strategy the ITS adopts. We classify the aim of the ITS we are developing, which is a typical drill and practice type for fraction calculation.

1 はじめに

近年わが国においても、人工知能技術を用いた実用システムが数多く稼働し始めている。知的 CAI についても、その技術を用いて実用段階のシステムを構築すべき段階に来ている。

我々は、分数計算を指導する知的 CAI システムを、実用システムとして稼働させるべく開発を行なっている。現在、2 分数の加減算の世界に限っているが、プロトタイプを作成して、実用化に向けての問題点を洗い出している [1][2][3]。

実際の教育現場で知的 CAI システムを利用して教育を行なうことを考えた場合、システムを実際にどの様に役立てるかということが問題となる。我々のシステムは対象学習者として、小学校の分数の課程を、学校教育としては修了した学習者を想定している。しかし、実際に使用する際には、その想定だけでは不十分である。

知的 CAI においては、システムが知的な判断を行い、システム主導で学習の場を設定する。その際、システムの判断の材料として学習者の学習状況は非常に重要である。しかし、その情報の上にシステムが如何なる振舞いをするかを定めるためには、システムが使用される目的を明確にしておく必要がある。

本小論では、我々が開発中の分数計算を指導する知的 CAI システムを例として、知的 CAI におけるシステムの“使用目的”について議論する。さらに“使用目的”を明確にすることの重要性について論じる。

2 では、我々のシステムの概要を紹介する。2 分数加減算世界の教材知識の構造について述べ、それが多重階層知識モデルで記述され、学習の進行は教材世界の移動で表現されることを述べる。この教材世界の移動をどのように行なうかを長期的指導方略としていることを 3 で触れる。4 では、「使用目的」の役割と我々のシステムにおける「使用目的」の典型的な例について述べる。「使用目的」と関係がある、あるいは類似な知的 CAI の研究の中で提起されているモデルや概念との関係や相違について 5 で論じる。

2 システムの概要

2.1 システムの全体構成

我々の目標は実用版知的 CAI システムの構築であり、実際の教育現場で効果的な教育を行うことを想定して、知的 CAI システムの諸機能を具体的に実現しながら研究を進めている。したがって、具体的な使用状況を想定してシステムの仕様を決定している。

本システムは、教材である 2 分数の加減算についての問題を作成してそれを学習者に提示し、学習者に解答を入力させ、それを指導することを通して学習を進めてゆく、いわゆるドリルタイプの知的 CAI システムである。学習者としては、小学校の分数計算を習い終った児童・生徒を対象にしている。

システムのおおまかな構成は、インターフェイス、問題作成、入力認識と誤り同定、指導、教材知識、学習者モデルの各モジュールに分けることができ、インターフェイスは C 言語で、他は全て Prolog で記述されている。現在プロトタイプ版がパーソナルコンピュータ PC9801 上で動作している。

インターフェイスは問題提示、解答入力、そして指導に用いられ、児童・生徒のノートと教師の黒板をイメージして作られている。問題作成モジュールは、問題の世界(詳細は 2.4)を選択して問題を作成し、学習者にそれを提示する。学習者は単に解答を入力するだけではなく、解答に到る式変形過程も入力する。式変形過程は、入力認識と誤り原因同定モジュールで解析される。入力解析には、教材知識に記述されている知識が用いられ、正誤だけでなく学習者の解法の文脈、誤りのあった計算およびその誤り原因が、バグ知識を用いて解析される。これを基に、指導モジュールが学習者への指導内容を決定し、指導を行う。式変形過程が入力されているため、単に結果のみを指導するシステムとは異なり、分数計算の細かなステップまでも含んだ指導を行うことができる。学習者はこの指導内容を見て、誤りのあった箇所を訂正する。これを繰り返すことで、学習を進めていく。

システムについての更に詳しい内容は、文献 [1]

[2][3]を参照されたい。

2.2 教材知識

本システムの教材知識は、教材である2分数の加減算に関する正しい知識とバグ知識によって構成されている[1][4]。

実際にシステムに記述されている教材知識は、我々が実際に計算問題を解く時の思考体系に沿って、“解法戦略”、“解法戦術”と呼ばれる層からなる階層構造で記述されている。すなわち、「通分」「仮分数化」などの数学的操作概念について記述してある知識を解法戦術と呼び、問題を解く際に順次適用する解法戦術の望ましい集合で、解法戦略を定義している。

解法戦術は分数計算における具体的な式変形計算にかかわる教材知識であり、我々はこの知識を中心にシステムを構築している。しかも、教材を2分数の加減算としているので、計算する上で必要な全ての解法戦術について、システムに記述することが可能となっている。典型的な解法戦術と解法戦略を図1に示す。

また、誤り原因同定についても複雑な方法は避け、バグ知識をシステムに用意して行なっている。バグ知識は、実際の小学生に対して分数のテスト実施し、その誤りを分析して記述されている。

2.3 指導方略の展開

我々のシステムでは、既に小学校で分数を習い終えている学習者を対象にしている。つまり、学習者はある程度分数計算の知識と、実際の計算の経験を持っているものと仮定されている。そのような学習者に対する指導方略として、我々のシステムは学習者自身に誤りを気づかせる間接指導を中心に、指導方略を展開する。

実際の指導は、適応指導[5]の概念を拡張した段階的指導方略に基づき、学習者の理解度に応じて段階的に指導内容を変化させながら、学習者に自ら誤りに気づかせることを念頭に置いて、適切な指導を展開して

	解法戦術	解法戦略
$3\frac{2}{3} - 1\frac{3}{4}$		仮分数化法
= $\frac{11}{3} - \frac{7}{4}$	仮分数化	
= $\frac{44}{12} - \frac{21}{12}$	通分	
= $\frac{23}{12}$	同分母分数引算	
= $1\frac{11}{12}$	帯分数化	

図1 典型的な解法戦術と解法戦略

いく[6]。

2.4 2分数の加減算の世界

既に述べたように、本システムの教材は2分数の加減算である。教材は問題の形によって分類されており、そのそれぞれを“世界”と呼ぶ。各世界には、その世界を基にして創られる問題を解く上に必要な解法戦術の集合が付随している。

それに加えてMHM (Multi Hierarchical Model)[7]を基にした、各世界の関係を定義している。この関係は、世界が内包する解法戦術の継承関係に従っているだけでなく、教科書の内容も参考にして決定されている。継承関係の一部を図2に示す。

2.5 学習の進行

我々のシステムは、「システムの問題提出 → 学習者の解答入力 → システムの指導」、という一連の活動を繰り返すことで学習を進行させてゆく、ドリルタイプの知的CAIシステムである。したがって、システムが作成する問題の基となる教材の世界を移ることが、システムの教授内容を変化させることになる。すなわち、我々のシステムでは、学習の進行は教材世界の移

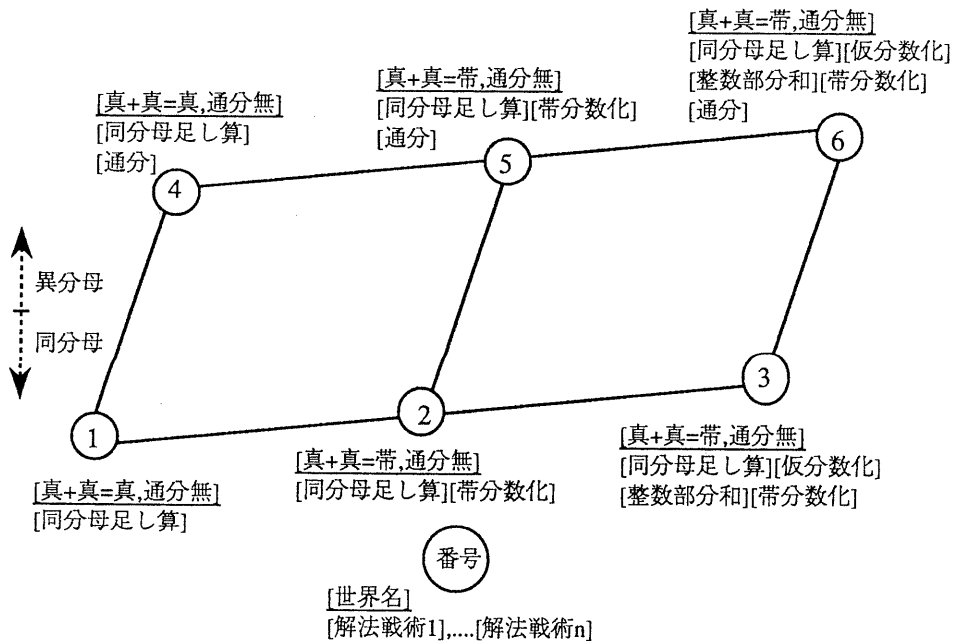


図2 教材世界の継承関係(一部)

動によって表現される。

教材世界には上述の通り継承関係が定義されている。それゆえ、これに沿って世界を移動しながら問題を作成することで、系統的に学習を進行させることができる。

3 長期的指導方略

2.3 で述べたように、我々のシステムは学習者の解答に対して、学習者の程度に応じた指導方略を選択し、実行することができる。ただしこの指導方略は、1つの問題に対して適切な指導を実現するものである。1つの問題という意味で我々はこれを“短期的指導方略”と呼ぶ。

これに対して、学習の流れを長期的に見て、その中で指導方略を展開することも重要である。すなわち、学習の流れに目的を持たせ、それに沿った学習の進行により長期的な指導を行なうのである。我々はこれを“長期的指導方略”と呼ぶ。

2.5 で述べたように、我々のシステムでは、学習の進行は教材世界の移動によって表現される。したがって、明確な目的の下で教材世界を移動することによって系統的な学習の進行を行ない、長期的指導方略を実現する。

長期的指導方略を決定する上で、非常に重要な役割を果たすものが、次の節で述べるシステムの使用目的である。

4 使用目的の役割

4.1 使用目的の導入と意義

我々のシステムは学習の進行を主にシステムが主導して行なう。そのため長期的指導方略を実現するには、システムが何らかの意図を持って世界の移動を行う必要がある。それを規定する要因として、我々は“システムの使用目的”を導入する。すなわち、使用目的を定義し、それに沿った明確な方針の下で学習を進める長期的指導方略を展開し、効果的な教育の実現を計るのである。

また、使用目的はシステムの運用上も非常に重要である。我々は、システムのタイプ、問題の世界、対象学習者などを具体的に設定して、それらを満たす状況での使用を想定して、研究を進めている。これに加えてシステムの使用目的を導入することは、さらにシステムの枠組みを明確にし、“硬い”システムを構築することを意味する。これは知的 CAI システムの究極の目標からすると、後退していると思われるかもしれない。

しかしこれは実際の教育現場で教師が知的 CAI システムを使って教育活動を行うことを考えると、この“硬さ”は逆にメリットとなる。なぜなら、実際の教育現場においては、教師は全ての授業を知的 CAI システムを使って行なうわけではない。ある程度システムの方針が固まっていれば、教師が普段自らが行なっている授業の流れに沿った利用がし易くなる。また、実際に授業を受ける児童・生徒とシステムとの間での意図の食い違いが押えられるという利点もある。

4.2 典型的な使用目的の例

現在我々は、以下のような使用目的を持ったシステムについて考察している。これらはそれぞれ使用目的に沿った指導方略と、システム運用を実現する。

- 習得型

学習者に知識を系統的に習得させる型。

学習者が既に理解している知識に新しく習得させる知識を段階的に加えることにより、学習者が知識を系統的に習得することを支援する。

この場合システムは、各世界が内包する解法戦術の継承関係に沿って、新たに習得させる解法戦術を加える方向で系統的な世界の移動を行う学習の進行を行ない、学習者の円滑な知識獲得を支援する。

例えば、分数の足し算を最初から学習しなおす場合、世界 (1) から出発して、(2) → (3) というように、学習する解法戦術を段階的に加える方向で世界の移動を行う。

- 治療型

誤って理解している知識に注目して、それを繰り返し指導することで、知識の正しい理解を支援する型。

解法戦術の継承関係をたどることにより、誤って理解している解法戦術を含んだ世界を系統的に移動することができ、色々な状況の下での学習を行うことができる。

例えば、通分を誤って理解している学習者に対しては、通分以外の解法戦術が最も少ない世界 (4) から出発し、徐々に他の解法戦術を加える方向で、また引き算も組み合わせることで、様々な状況を作り出して治療を行う。

- 定着型

学習者に完全に理解させたい、定着させたい知識に注目して、それを繰り返し集中的に指導することで、知識の定着を図る型。

この型においても、解法戦術の継承関係を利用して、当該解法戦術を含んだ世界を系統的に移動しながら、さまざまな局面で指導を行い、知識の定着を図る。

例えば、帯分数化を定着させたい学習者に対しては、帯分数化以外の解法戦術が最も少ない世界 (2) から出発し、次に (3) へ進み、というように

帯分数化が関係する世界を巡ることで、定着を図る指導を行う。

● 診断型

学習者の状態を的確に診断することは、教育を行う上で極めて重要である。この型は、学習者の状態を診断して教師に指導上有益な情報を提供する。

診断型では、診断内容と診断方法にしたがって、いくつかの世界の移動が考えられる。例えば、解法戦術の継承関係に忠実に沿って教材世界をまんべんなく移動し、客観的な診断を行なう場合がある。また、特定の解法戦術に注目して、それが関係する世界だけを重点的に巡ることもある。

5 他の研究と「使用目的」との関係

この小論で提起した「使用目的」に関する概念や類似の概念が、これまでの知的 CAI の研究の中で提起されている。

この節ではそれらの概念と本研究で提起した「使用目的」との関係および相違について述べる。

5.1 「柔らかいシナリオ」と「使用目的」

知的 CAI システムに「人間の先生の役割の一部に近い」機能を持たせるために、「柔らかいシナリオ」の生成が提起されている [8]。

これは、「高度個別環境」および「双方主導対話」の実現のために「システムが、学習者の理解度や特徴、知識の修得状況等を理解して、それに適合する学習環境を構成し、学習者に働きかけるといふ適応的な環境」を用意するものである。

“やわらかいシナリオ”の枠組では、その「概要設計」、「詳細設計」、「対話設計」の各段階で、システムが学習状況からシナリオを決定する。この時の決定要因のとして、本小論で提起している“使用目的”が非常に重要である。

一般に、ある時点での学習者の状態や学習状況が与えられたとき、システムが如何なるアクションをとるかは、そのシステムがどのような目的に使用されているかに依存する。

例えば、ある学習状況が与えられたとして、それに基づいて、学習者がある世界における成績がどの程度の時、システムが次の世界に移るべきかを決めるのは、学習者の目的に依る。もし学習者が診断型を期待しているならば、学習者のその世界での成績が悪くても、システムは次の世界に移行するべきであろうし、学習者の意図がある知識を徹底して理解したいのであれば、その世界での成績が良くても、その世界に留まるべきであるということになる。

学習者のその時々での学習状況は、システムが現在の状態を認識するために必要な情報である。その情報の下に、システムが次に如何なる「方向」のシナリオを作成し、アクションを起こすかを決定するためには、システムの「使用目的」が明確である必要がある。

システム使用のトップレベルでの使用の目的をシステムとその使用者の間で一致させるものとして、「使用目的」の明示的合意は大切である。システムが行なう知的判断は、その合意の上になら始めて学習者が好意的に受け入れ可能なものとなる。

「双方向主導」という点からは、「使用目的」は学習者主導に属するべきものであると考える。ここで主導する学習者は学習者本人または学習者にシステムの使用を指導する教師も含む。

我々のシステムでは、当面、システムの「使用目的」を固定的に与えようとしている。つまり、システムは学習者に「使用目的」について選択させることはあるとしても、システム側で使用目的を主導的に選択することはしない。その意味ではシステムは“硬い”目的を持つ。

知的 CAI システムが“柔らかさ”を持つに至るためには、システムの使用目的についての研究の蓄積が進み、システムの「使用目的」が多様に開発される必要がある。

そして、それらがどのような状況の下に適用されるか

が明らかになったとき、システムが、双方向主導対話により、「使用目的」を示唆あるいは選択することになる。“柔らかいシナリオ”は、「使用目的」の研究の集積の上に作成されることになる。

5.2 「教育目的」と「使用目的」

島崎らは、「教授パラダイム」(島崎らの表現では「教育戦略」)がどのような目的で適用されるかを整理して、その目的を「教育目的」と名付けている[9]。ここで言う「教授パラダイム」とは、「誤りの場所の示唆」など、学習者の誤りをシステムが発見した場合に、学習者に対して指導する教授方法の分類である[10][11]

彼らの「教育目的」は「正しい知識を修得させる」をトップレベルとして、つぎのレベル、「誤りを認識させる」、「誤りを修正させる」と続き階層構造を成しているが、主な部分はその次の階層の「誤りの存在を認識させる」など、教授パラダイムが直接目的とするものを表わしている。その意味で、システムの動作から見た時「教育目的」は局所的である。

この小論で提起した「使用目的」はシステムの大域的な動作をも規定するものである。大域的な目的は局所的な目的を設定するかどうか、また、その内容はどうか、などを決めるものとなる。例えば、「誤りの存在を認識させる」としてもそれをどこまで徹底的に追求するかは、システムの「使用目的」に依存する、などである。すなわち、局所的な目的は大域的な目的に依存する。

彼らの「教育目的」は“柔らかいシナリオ”の設計段階の分類に依れば、詳細設計の段階での目的に対応する。この小論で提起した「使用目的」は、システムの利用目的から規定されるものであり、“柔らかいシナリオ”での概要設計をも規定するものである。

6 おわりに

我々のシステムは分数計算を指導するドリル型の知的 CAI システムである。

「人間が新しい概念や手続きを理解する過程」を「導入ステップ、適用ステップ、定着ステップ」の3段階に分ければ、我々のシステムは、適用ステップと定着ステップを対象とすることになる。

第4節で行なった使用目的の分類はこのシステムを対象としたものであり、導入ステップにおけるシステムの使用目的の明確化はまた別に行なわなければならない。

謝辞

本研究は(株)CSK 科学技術研究助成金より、一部援助を受けている。

参考文献

- [1] 渡辺、近藤、竹内、大槻:文脈認識により式変形過程を指導する分数計算の知的 CAI,「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, 1989年12月
- [2] Kondo, H., Watanabe, K., Takeuchi, A. and Otsuki S.: *ITS: recognizing the context and guiding reduction processes for fraction calculation*, in Lewis, O. and Otsuki, S. ed. *Advanced Research on Computers in Education*, (NorthHolland, 1991)
- [3] 岡崎、渡辺、只木、近藤、竹内、大槻:分数計算を指導する知的 CAI - システム構成 -, 電気関係学会九州支部連合大会, 1990年10月
- [4] 渡辺、岡崎、只木、近藤、竹内:分数計算を指導する知的 CAI システム - 教材知識の構造とその応用 -, 情報処理学会第42回(平成3年度後期)全国大会, 1991年3月
- [5] 大槻、竹内:ヒューマンフレンドリな CAI, 情報処理学会夏のシムポジウム, 1986
- [6] 渡辺、近藤、大槻、竹内:分数計算を指導する知的 CAI - 指導方略とその展開について -, 情報処

理学会第 40 回(平成 2 年度後期)全国大会, 1990
年 3 月

- [7] 大槻、竹内:自然言語対話のモデルと知的 CAI への応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 25, No.4, pp. 665-673(1984)
- [8] 大槻、竹内:知的 CAI における“柔らかいシナリオ”の作成, ヒューマンインターフェースと認知モデル研究会, 1990 年 2 月
- [9] 島崎、坂根、奥畑、太田、野村、池田、溝口:教育目的の整理とそれに基づく教育戦略の運用について, 知識ベースシステム研究会, 1991 年 4 月
- [10] 竹内、近藤、大槻:知的 CAI の教授パラダイムの選定に関する研究, 教育工学関連学協会連合第 2 回全国大会, 1988 年 10 月
- [11] 鈴木、池田、溝口、角所:手続的教材教育のための ITS における学生モデル構築と教育戦略, CAI 学会研究会, 1989 年 2 月