

ITSにおけるシステムの 成長機能と指導戦略の関連について

—初等幾何合同証明の学習世界において—

松田 昇
金沢工業大学

岡本 敏雄
東京学芸大学

筆者らは既に、初等幾何証明の学習世界における知的CAIシステム/GEOMEX IIを開発している。GEOMEX IIは、領域専門知識を利用することにより、学習者の証明計画を認識する能力を有する。そして、個々の学習者の証明計画に即した教授を展開する。

学習者の理解状態を表現する学習者モデルは、教授戦略を決定する際の重要な情報源である。学習者の理解状態を認識する場合に、学習の進展に対応して、システム自体の学習者に対する認識構造(チュータモデル)を変換させ、学習者の理解レベルの変容に即した教授を展開する機能が望まれる。筆者らは、類似した証明プロセスに着目して、チュータモデルを変換させる方法をGEOMEX IIに取り入れた。

本稿では、証明履歴の類似性に基づくチュータモデルの変換について述べ、次に教授戦略との関連を述べる。

“On the relationship between the growing function of the system and the tutoring strategies for ITS”
— In the fundamental geometry theorem proving —

by Noboru MATSUDA (The center for CAI, Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ohgigaoka, Nonoichi-machi, Ishikawa-gun, Ishikawa-ken, 921, Japan) and Toshio OKAMOTO (Tokyo Gakugei University)

We have constructed the Intelligent Tutoring System which is called GEOMEX-II regarding fundamental geometric proofs. GEOMEX can recognize the plan of a student's problem solving by using the expert knowledge. We regard the concept of the system-growing as the transition process for recognition of the system in consideration of the reconstruction of knowledge acquired by the student. In order to realize it, the system generates analogies between the present strategies of the problem solving and the previous strategies of the problem solving used by the student.

1. はじめに

知的CAIは、教師の知的な振舞いをコンピュータにシミュレートさせ、学習者との相互主導な学習環境を実現することを目的とした教育システムである。そのために、エキスパートモジュール、学習者モデルモジュール、教授モジュールから成るシステム構成が一般に研究されている¹⁾。これらのモジュールすべてに対して、十分な教育機能を組み込んだシステムを構築することは、困難であり、いずれかのモジュールに焦点を当てた研究が進められている。

学習者モデル研究においては、教授・学習プロセスの中で、より学習者の理解状態を理解させようとする認識スキーマの探究に発展している。学習者の表層的な理解状態に基づく初期の学習者モデルにおける欠点を克服するために、帰納推論、定性推論といった高度な推論技術を組み込んだモデル、および人間の思考過程を考慮したモデル、メンタルモデルといった認知科学的なアプローチ等が研究されている²⁾³⁾⁴⁾。

これらのモデル生成技術は、古典的な学習者モデルでは表現することが困難であった深いレベルでの理解状態を表現することが可能であり、また領域に依存しない学習者モデルを生成する可能性を示唆している。しかし、現状では各々に解決を要する問題点を含み、実用化に向けてさらに検討を必要としている。

こういった動向を踏まえながら、筆者らはこれまで、初等幾何証明世界における知的CAIとしてGEOMEX⁵⁾⁶⁾を研究・開発してきた。それは、学習者モデルを構築する際に、学習者の誤りを同定するだけでなく、学習者が何を意図しているのか、いかなる手段(証明計画)を用いてその意図を解決しようとしているのかを認識する機能をもつ知的CAIシステムである。

GEOMEXを用いた学習実験を通じてシステムに対するいくつかの問題点が明らかになった。最も重要な問題点の一つとして、学習者の理解状態を認識する場合に、学習の進展に対応して、システム自体の学習者に対する認識構造(チュータモデル)を変換させ、学習者の理解レベルの変容に即した教授を展開する機能が望まれた。そこで本稿では、類似した証明プロセスに着目して、チュータモデルを変換させる方法を提案し、次に教授戦略との関連を述べる。

2. システム構成

本システムの構成を図1に示す。システムは、①解法エキスパート知識処理モジュール、②対話手続き知識処理モジュール、③学習者モデル、④診断文生成モジュール

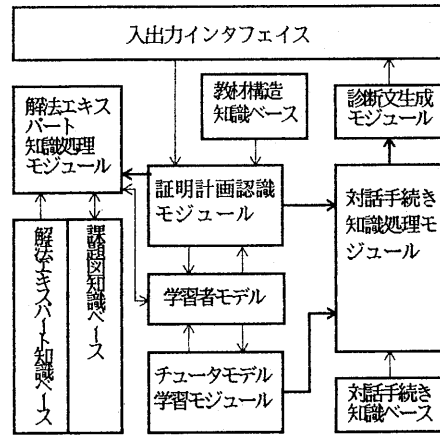


図1 システム構成

ル、⑤推論のための各種知識ベース、⑥入出力インタフェース、⑦証明計画認識モジュール、⑧チュータモデル変換モジュール、以上8つのモジュールから成る。①～⑦の各モジュールは、岡本他(1987,1988)⁵⁾⁶⁾で詳述されている。

学習者は、システムが提示する初等幾何学における課題の証明を1行づつ入力する。システムは、学習者の証明を評価・診断し、学習者モデルを生成する。その際、教材構造知識ベースを用いたオーバーレイモデル的なモデル生成手法と、解法エキスパートを用いた差異モデル的な手法とを利用して推論を行う。

対話手続き知識処理モジュールは、上述した方法で生成された学習者モデルに基づいた教授を展開する。筆者らはこれまで、学習者の証明計画に基づいた指導戦略を中心に、対話規則を記述してきた。しかし、今回発表するシステムでは、学習者の学習プロセスの進展に対応した教授を実現するために対話規則を修正した。さらに、新たにチュータモデル変換モジュールを付加した。

チュータモデル変換モジュールは、累積された学習履歴に類推の手法を適用し、学習者の理解構造の変容を認識する。

以下、3章でチュータモデル変換モジュールについて、4章でチュータモデルの成長・変換と教授戦略の関連について各々詳述する。

3. 類推に基づくチュータモデルの成長機能

前述したように、知的CAIを構成する上で、学習者の学習プロセスの進展に対応して、システム自体の学習者に対する認識を成長・変化させる機能が望まれる。その図式を図2に示す。図において、 $L_i(t_i)$ は時点 t_i に

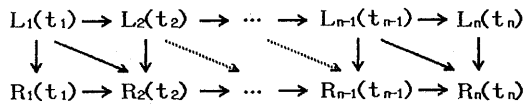


図2 チュータモデルの成長過程

における学習者の理解状態を表し、 $R_i(t_i)$ はシステムの認識を表している。

こういったモデルを具体的に構成するために、本研究では、類推の概念を導入する。ここで言う類推とは、与えられたいくつかのオブジェクト間に類似性を見だし、その類似性に基づいて一方のオブジェクトで成立している事実や規則を、もう一方のオブジェクトに適用させることにより、未知なる事実や規則を予測推定する推論方式である⁷⁾。

3.1 類推の利用

証明履歴の類似性により、どのような証明に対して、どのような誤りを犯しているかを再現する機能が実現できる。具体的には、以前に誤ったときの前提の立て方、結論(中間仮説)の出し方を、現在の状況と比較する。前提の類似性と中間仮説の類似性から、任意の時点で類似な主張があったときに助言することが可能になる。

また学習者が犯し易い誤り、及び学習者に欠落している知識等の同定が可能である。システムは、類似した証明プロセスの正誤に基づき、学習者の理解状態の変容を認識する。例えば、特定の証明構造をもつ類似した証明プロセスにおいて、繰り返し誤りを犯すような場合、その証明構造が理解されていないことになる。これらに関しては、4章で述べる。

3.2 類推の方法

類推を利用し、上述した機能を実現するためには、①類似性 ϕ の定義、②類推の対象である2つのオブジェクト S_1, S_2 から ϕ を求めるアルゴリズム、を明らかにする必要がある。

本システムでは、類推の対象を証明プロセスにおける前提及び中間仮説とする。ここで、

『 P_1, \dots, P_n より G_p である』

といったステートメントにおいて、 P_1, \dots, P_n を前提、 G_p を中間仮説と呼ぶ。

本研究における類似性は、学習者の主張する前提及び中間仮説に対して定義される。本システムでは、幾何学図形を意味ネットワークにより表現している。即ち、証明履歴の類似性は、幾何学図形を表現する意味ネットワークの類似性として定義される。

具体的には、類似性 ϕ (または ω)を、2組の前提(

または中間仮説)に属する変数を含まない項の対応付けと定義する。本システムにおける項とは、幾何学図形を表現している意味ネットワークのノード及びリンクを指す。

さて、幾何証明における類推では、①証明の対象となっている幾何学図形の構造的な類似性に加えて、②証明プロセスの類似性を考慮する必要がある。そのために、解法エキスパート知識を用いた類似性を定義する。さらに、システムが学習者の証明計画を同定することができなかった場合のために、③中間仮説の類似性を定義する。以下、順にこれらの類似性をシステムが推論する方法について説明する。

3.2.1 幾何学図形の構造における類似性

幾何学図形の構造的な類似性を、同一のリンクで結合されているノード(アトム知識)の対応付けにより、次のように定義する。即ち、

$$\phi = \{ \langle t^1, t^2 \rangle; t^1 \in N(F_1), t^2 \in N(F_2) \}$$

$$(s.t) \exists r, X, Y, r(X, t^1) \wedge r(Y, t^2) \}$$

ここで、 $N(F)$ は図形 F を表現している意味ネットワークに属するノードを、 $r(P, Q)$ はノード P, Q が r なるリンクで結合されていることをそれぞれ意味している。記号 \wedge はand関係を表す。 X, Y は任意のノードである。

対応付け ϕ によって、2つの幾何学図形 F_1, F_2 に共通する構造 S が抽出される。その過程は次のように示される。先ず図形 F_1 を表現しているネットワーク W_1 の全ノードを変数化し(リンクは変えずに)、新たなネットワーク W_v を生成する。次に、 W_v と $W_i (i=1, 2)$ のノードを単一化(Unify)し、代入

$$\theta_i = \{ t^1_i / X_1, \dots, t^1_n / X_n \}$$

$$(t^1_j \in N(W_i), X_j \in N(W_v); i=1, 2; j=1, \dots, n)$$

を得る。最後に θ_1 と θ_2 から $\phi \subseteq N(F_1) \times N(F_2)$ なる対応付け

$$\phi = \{ \langle t^1_j, t^2_j \rangle \mid j=1, \dots, n \}$$

を得る。

システムは、上述した方法で、意味ネットワークに対する対応付けを行なう。しかし、実際には線分と直線の包含関係等により、例えば2つの角の対応付けを求めるために、意味ネットワーク上で多くのむだな対応付けが行なわれる。そこで、実際のプログラムにおいては、推論の効率を高めるために、いくつかの制約をおいている。例えば、①各アトム知識のisa属性(角、線分などのカテゴリに関する属性)に注目した推論、②類推の対象となっている幾何学図形に限定した推論等である。①の制約は、異なるisa属性のノードに対する対応付けを行なわない。②の制約は、上述した包含関係による意味ネットワーク上の推論の拡散を防ぐ。

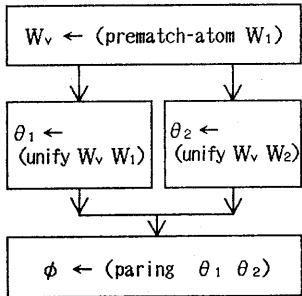


図3 類似性を求めるLISPプログラム

図3に上記の推論手続きを実現するLISPプログラムの構成を示す。関数prematch-atomは、 W_v を生成する。関数unifyは、 W_v と W_i ($i=1,2$)を単一化し、代入 θ_i をリストにして返す。そして関数paringは、2つの代入を基に対応付け ϕ を求める。

3.2.2 証明プロセスの類似性

証明プロセスの類似性は、同一の解法エキスパート規則の適用を受ける前提及び中間仮説の対応付けにより定義する。

証明プロセスの類似性を求めるために、システムは証明計画認識モジュールを利用して、学習者の証明計画に基づく証明木を生成する。証明木とは前提から中間仮説に到る証明プロセスを表現したAND/OR木である。即ち、各ノードは学習者の主張する前提及び中間仮説、または飛躍した証明における暗黙の中間仮説であり、リンクには前提から中間仮説を導く際に利用される解法エキスパート規則の番号が付けられている。これは、教材構造知識ベースの部分木と同じ構造をしている。図4に証明木の例を示す。

証明木の生成は、3通りの方法で行われる。1つは教材構造知識ベースを用いる方法である。即ち、学習者の証明プロセスが教材構造知識ベースのある部分木と一致する場合、その部分木を証明木とする。もう一つは、解

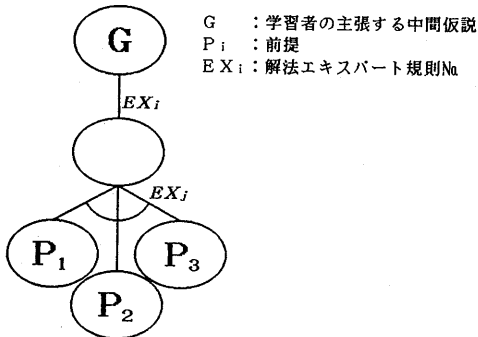


図4 証明木

法エキスパートを利用する方法である。この場合、学習者の証明プロセスは教材構造知識ベースに存在せず、一般的に誤っている。しかし解法規則の適用方法における誤りではなく、規則の適用条件における誤りは、解法エキスパートで同定することが可能である⁶⁾。そのような場合には、解法エキスパートによる解法プロセスを証明木に変換する。3番目の方法は、部分木の絞り込みを利用する。この場合、証明計画認識モジュールと同じ手法により、学習者の想定していると思われる部分木を求め、その部分木を証明木とする。

システムは、学習者の証明過程において、逐次証明木を生成し、それらの類似性を検証する。2つの証明木は、対応するすべてのリンクにおける規則番号が等しいときに、類似であると定義する。そして、類似な2つの証明木における前提及び中間仮説の対応付けにより、証明プロセスの類似性を定義する。

図5、6に、ある課題に対して、三辺相等の合同条件を適用した2つの異なる証明を示す。図5は、正しい証

- 学習者の証明
 $AB=AC \dots \textcircled{1}$
 $BD=CD \dots \textcircled{2}$
 $AD=AD \dots \textcircled{3}$
 $\textcircled{1}\textcircled{2}\textcircled{3}$ より $\triangle ABD \equiv \triangle ACD$

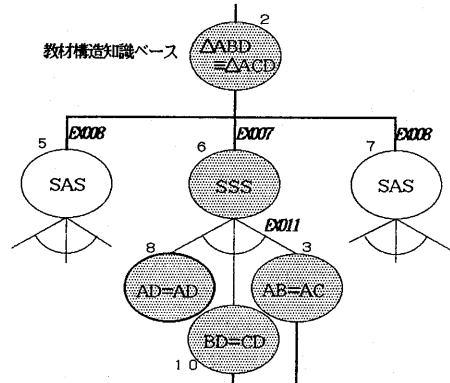


図5 教材構造知識ベースによる証明木の生成

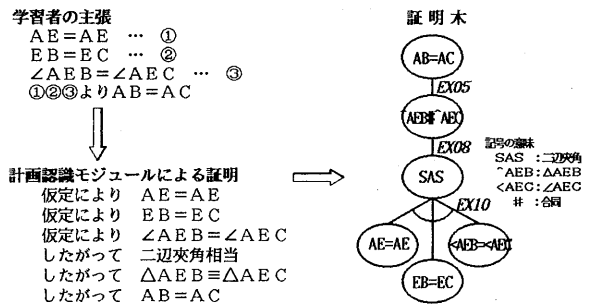


図6 計画認識モジュールを利用した証明木の生成

	学習者の証明	システムの認識	学習者の理解レベル
時 間	t_1 $P^1_1, \dots, P^1_{n_1} \rightarrow G_1^w$		
	t_2 $P^2_1, \dots, P^2_{n_2} \rightarrow G_2^w$	$P^1_{n_1} \otimes P^2_{n_2} \rightarrow \Pi t_2$	very not understand
	t_3 $P^3_1, \dots, P^3_{n_3} \rightarrow G_3^c$	$P^1_{n_1} \otimes P^2_{n_2} \otimes P^3_{n_3} \rightarrow \Pi t_3$	little understand
	t_4 $P^4_1, \dots, P^4_{n_4} \rightarrow G_4^c$	$P^1_{n_1} \otimes P^2_{n_2} \otimes P^3_{n_3} \otimes P^4_{n_4} \rightarrow \Pi t_4$	understand

図7 認識構造の成長過程

明をしている場合で、教材構造知識ベースに該当する部分木が存在する。図6は学習者の主張が教材構造知識ベースにない場合である。この場合、計画認識モジュールが学習者の証明計画を同定し、証明木を生成する。

3.2.3 中間仮説の類似性

前述したいずれの方法においても類似性が見いだせない場合、システムは中間仮説の類似性を求める。この場合には、学習者の主張は、計画認識モジュールにおいても同定することができない誤りを含んでいる。そして前提には、特定の幾何学的構造における類似性が見いだせない。したがって、前提の代わりに中間仮説を類推の対象とし、それらに対して、幾何学図形における類似性を求める。

中間仮説の類似性により、特定の中間仮説に対する証明における誤りを抽出することができる。これは例えば、角が等しいことが証明できないといった、最も基本的な事柄に関する知識の誤りである。

3.3 類推に基づくチュータモデルの成長

本節では、システムが証明履歴の類似性を基に、チュータモデルを成長・変換させる仕組みについて述べる。

図7は、類推に基づくチュータモデルの変換過程を概念的に表している。図の中で、 $\{P^j_i\}$ ($j=1, \dots, n_i$)は、時点 t_i における学習者の主張する前提を表す（以下、 $P^i_{n_i}$ と表す）。結論 G_i^w 又は G_i^c において、その添字 w は誤った結論を、 c は正しい結論を各々表している。

記号 \otimes は、疑似的な直積関係を表し、ここではそれまでの各々の中間仮説を証明しようとする前提集合及び中間仮説の累積・結合状態を表している。 Πt_i は時点 t_i におけるシステムの認識状態を表している。

システムは、学習者の証明プロセスの中における前提及び中間仮説の間に存在する類似性 ϕ を見だし、それにより学習者の根元的な証明概念を表現する。ここで、根元的な証明概念とは、証明の理論を組み立てる基になる公理や定理レベルでの理解状態を指す。即ち、それは学習者モデルで表現されている理解状態よりも深いレベルでの学習者の理解状態（証明計画まで含めて）を表現する。本システムでは、類推の手法を適用し、限定化さ

れた証明課題間における証明行為の類似性（根元的な証明概念）を認識することを試みる。

さて、一般に、上述した前提条件の類似性 ϕ は可能な前提及び中間仮説の組合せに対応して複数存在する。即ち、学習過程において、いくつかの“似ている状況”が存在する。それらを ϕ_k ($k \in \mathbb{N}$: Positive Integer)と表す。

ここで、学習者の主張した前提($P^i_{n_i}$)の集合を Γ_P とし、 Γ_P の要素 $P^i_{n_i}$ に対し、集合 $\Phi(P^i_{n_i}, \phi_k) = \{\forall P^{n_x} \in \Gamma_P \mid P^{n_x} \phi_k P^i_{n_i}\}$ を、 ϕ_k による類似前提集合と呼ぶ。但し、 $P^{n_x} \phi_k P^{n_y}$ は、 P^{n_x} と P^{n_y} の間に類似性 ϕ_k が存在することを示す。ここで、

$$P^i_{n_i} \phi_k P^j_{n_j} \Leftrightarrow \Phi(P^i_{n_i}, \phi_k) = \Phi(P^j_{n_j}, \phi_k)$$

であるから、以後 $\Phi(P^i_{n_i}, \phi_k)$ の表記において、 $P^i_{n_i}$ を省略し、さらに簡略化して、 Φ_k と記述する。即ち、

$$\Phi_k = \{\forall P^i_{n_i}, P^j_{n_j} \in \Gamma_P \mid P^i_{n_i} \phi_k P^j_{n_j}\}.$$

同様に学習者の主張した中間仮説 (G_i) の集合を Γ_G とし、 Γ_G の各要素に対し、集合

$$\Omega_k = \{\forall G_i, G_j \in \Gamma_G \mid G_i \omega_k G_j\}$$

を ω_k による類似仮説集合と呼ぶ。但し、 $G_i \omega_k G_j$

は、 G_i と G_j の間に類似性 ω_k が存在することを示す。

本システムにおけるチュータモデルの認識構造の成長は、 ϕ_k 及び ω_k による類似前提集合及び類似仮説集合の遷移として実現される。即ち、 ϕ_k (又は ω_k)を増殖しつつ、 Φ_k (又は Ω_k)の構造を変換させることにより、学習者の認識構造の推移を認識する。即ち、上述した Πt_i は、 Φ_k 、 Ω_k の遷移として実現される。

ここで、 Φ_k の構造変換とは、既存の類似前提集合における要素の追加・変更、新たな類似前提集合 Φ_k' の生成等を指し、具体的には、図8に示される4つの状態が考えられる。即ち、学習者が時点 t_0 において、新たな主張 S_0 、

$$S_0: \text{『} P^a_1, \dots, P^a_{n_a} \text{より } G_0 \text{である』}$$

を提示したときの Πt_0 の状態は、次の4つが考えられる。

①既存の類似前提集合 Φ_k に、 $P^a_{n_a}$ を追加する。この場合、

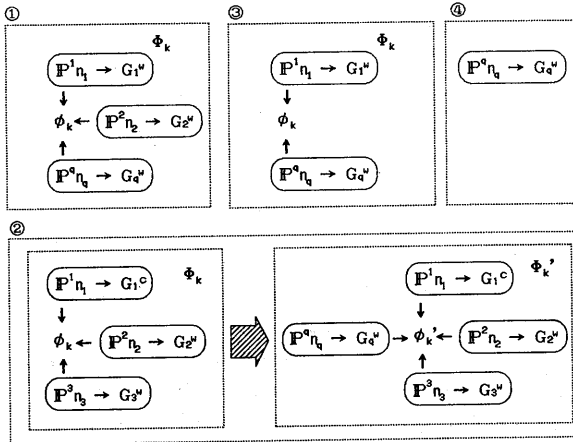


図8 類似前提集合の成長過程

$$\forall P^{i n_i} \in \Phi_k$$

に対して、

$$P^{a n_q} \phi_k P^{i n_i}$$

である必要がある。

- ② 既存の類似前提集合 Φ_k の ϕ_k 自体を ϕ_k' に変え、 Φ_k' に $P^{a n_q}$ を追加する。この場合、

$$\forall P^{i n_i}, P^{j n_j} \in \Phi_k'$$

に対して、

$$P^{i n_i} \phi_k' P^{j n_j} \text{ かつ } P^{a n_q} \phi_k' P^{i n_i}$$

である必要がある。

- ③ 特定の類似前提集合に属さない、単独の $P^{i n_i}$ が存在し、かつ $P^{i n_i} \phi_x P^{a n_q}$ なる類似性 ϕ_x が存在するならば、新たな類似前提集合、

$$\Phi_x = \{P^{a n_q}, P^{i n_i}\}$$

を生成する。

- ④ 上記①, ②, ③に該当しない場合、 $P^{a n_q}$ を単独で保存する。

```
(defun modify-anaset (ansn ; 類似前提集合更新
                    base pini)
  (setq pini (ana-base ansn))
  ((some '(lambda (Fk
                fi)
            ((setq fi (unify-analog Fk pini))
              (add-ana Fk fi ansn))
          ((setq fi (analogy Fk pini))
              (ren-ana Fk fi ansn)))
         *analogue*))
  (new-ana pini ansn))

(defun new-ana (pini ansn ; 新たな類似前提集合生成
              Fn)
  (setq Fn (prematch-atom pini))
  (push Fn *analogue*))

(defun add-ana (Fk fi ansn ; 要素の追加
              (put Fk 'inst (cons ansn (get Fk 'inst)))
              (put Fk 'fi fi))
```

図9 類似前提集合変換プログラム

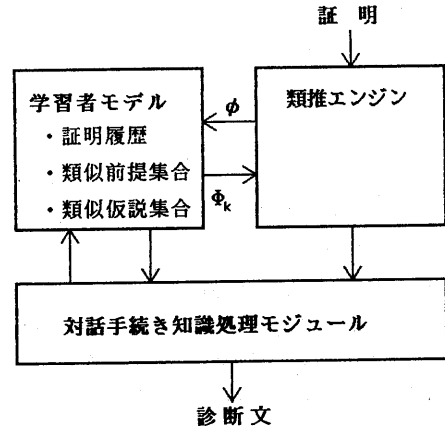


図10 チュータモデルの変換にともなう教授の流れ

上述した処理を行なうためのプログラムを図9に示す。modify-anaset は、既存の類似前提集合のリスト(*analogue*)に対し、順に、学習者の主張(ansn)における前提(pini)を追加できるか(unify-analog), または新たな類似性が見いだせるか(analogy)を調べる。学習者の主張を含み得る類似前提集合が見いだせなかった場合、単独で学習者の主張を保存する(new-ana)。各類似前提集合 Φ_k は、fi属性に類似性 ϕ_k を、inst属性に要素のリストをもつ連想リストとして表現されている。

4. チュータモデルの成長と教授戦略

本章では、上述したチュータモデルの成長・変換に基づいて教授戦略を決定する仕組みについて述べる。図10にチュータモデルの成長・変換にともなう教授の流れを示す。

システムの基本的な動作は、次のとおりである。学習者の入力する証明文に基づき、計画認識モジュールが証明履歴を生成・更新する。チュータモデル変換モジュールは、証明履歴に基づき、類似前提集合及び類似仮説集合を生成し、学習者の理解レベルを求める。その際、類似前提集合または類似仮説集合の構成に変化があれば、対話手続きモジュールを起動し、学習者の理解レベルの変容に即した教授を行なう。

4.1 教授目標と理解レベル

前述したように、システムは特定の証明概念における学習者の理解状態を認識し、それに即した教授を展開する。教授戦略を決定する際に、①学習者に教授すべき事柄は何か(教授目標)、②今何を教授すべきか、③なぜそれを教授するのか、といったことを明確にする必要がある。そこで、教授目標とそれらの理解レベルを定義す

る。

本システムにおける教授目標は、教材構造知識ベースにおけるノードおよび、解法エキスパートの解法知識として表現されている。前者は、特定の中間仮説を証明するための下位目標として示されている。後者は、より一般的に、証明すべき中間仮説を条件部に、その中間仮説を証明するために設定すべき下位目標を実行部にもつプロダクション規則として表現されている。

システムは、これらの証明概念に対する学習者の理解レベルを求める。その際、前述した類似前提集合及び類似仮説集合を利用する。理解レベルは、証明履歴における特定の証明概念について、連続する2つの正誤の変化によって表1のように決定される。

4.2 教授戦略

上述した類似前提(仮説)集合及び、理解レベルに対応して、教授戦略を決定する。本稿では、チュータモデルの成長・変換に基づいた教授戦略のみ説明する。その他の教授戦略(例えば、証明計画に基づくもの等)に関しては、ここでは議論しない。

チュータモデルの変換を用いた教授の対象は、過去と現在で類似な証明概念の正誤に関する以下の状況である。

- ①以前誤って証明した事柄を現在も誤っている
 - ②以前正しく証明した事柄を現在誤っている
 - ③以前誤って証明した事柄を現在正しく証明している
 - ④以前正しく証明した事柄を現在も正しく証明している
- これらの状況に対して、学習者の理解状態に対応した教授戦略を各々具体的に考える必要がある。

さて、類似前提集合は、前提における幾何学図形の構造的類似性または解法プロセスの類似性に基づいて定義され、そのどちらに基づいているかにより、理解状態の表現する証明概念が異なる。さらに、類似仮説集合は、中間仮説の類似性により定義され、上述した2つの類似前提集合とは異なった証明概念における理解状態を表現する。以下に、各々の類似集合が表現する証明概念を示す。

- (1) 幾何学図形の構造的類似性に基づく類似前提集合は、証明過程における部分木のAND節に関する証明概念の理解状態を表現する。これは例えば、特定の合同条件(三辺相等など)の適用の仕方といった、手続きのな証明概念である。
- (2) 証明プロセスの類似性に基づく類似前提集合は、解法規則に関する証明概念の理解状態を表現する。本類似前提集合の定義により、それらの適用の仕方については、正しく理解されている。従ってこれは、解法規則の適用条件に関する理解状態を表現する。
- (3) 類似仮説集合は、計画認識モジュールが証明計画を

表1 正誤と理解レベルの対応

正誤	理解レベル
c w	not_understand
w w	very_not_understand
w c	little_understand
c c	understand

認識することが不可能な誤りを表現している。これは、例えば三角形の合同が証明できなといった、最も基本的な証明概念の欠落を意味する。

現時点では、上述した各理解状態に対応して、次のような教授戦略を適用している。

①続けて2度類似した誤りを犯している場合(w w)

この場合には、該当する証明概念は学習者に理解されていないと思われる。そこで、欠落した知識を直接提示することを試みる。そのために、各証明概念を説明するためのテキストを用意し、対話手続き規則に、どの局面において、どの説明文を提示するかを記述している。

②誤りから正答への変化(w c)

この場合には、学習者が該当する証明概念を理解しつつあると思われる。そこで、学習者の解法に対する簡単なKRを表示するだけで、特に助言は行わない。

③正答から誤りへの変化(c w)

学習者が以前正しく証明した事柄に類似したことを誤った場合である。この場合には、以前証明した場合の学習者の理解が不完全であったか、または現時点の誤りが不注意によるケアレスミスである可能性がある。システムは、後者の可能性を検証するために、学習者に該当の証明概念に対する質問を行う。現時点においては、自然言語インタフェイスの機能が十分ではないので、選択問題等による質問を行っている。学習者が正しく答えられた場合には、ケアレスミスの可能性があり、もう一度証明を行わせる。学習者が正しく答えられなかった場合には、学習者の理解が不十分であったとみなし、①と同じ方法により、学習者に当該の証明概念の説明を行う。

④続けて2度正しく答えている場合(c c)

この場合には、学習者が該当する証明概念を理解していると思われる。そこで、特に助言は行わずに、証明を続けさせる。

5. おわりに

証明履歴の類似性を定義し、特定の証明概念における理解レベルを認識する方法について述べた。これにより、学習者の学習の進展に伴う理解レベルの変容に対応した教授を展開することが可能になった。

証明履歴の類似性は、証明プロセスにおける前提、中間仮説の立て方、及び用いられた証明計画に基づいて推論される。本システムにおける教授目標は、教材構造知識ベースのノード、及び解法エキスパート解法規則として表現されている証明概念である。システムは、それらの証明概念に対する学習者の理解状態を認識し、対話規則にしたがって教授を行う。

現時点においては、理解レベルは、正誤に対する二値的な情報を基にしており、学習者の理解が不完全な場合を認識することが十分ではなく、今後の課題とされる。

6. 参考文献

- 1) Clancey, W.J., Barnett, J.J., & Cohen, P.R. :
“Applications-oriented AI research: Education”,
In A. Barr and E. Feigenbaum (Eds.), The handbook
of artificial intelligence, Vol. II, Kaufmann
(1982).
- 2) Hollan, J.D., Hutchins, E.L. and Weitzman, L.M. :
“STEAMER: An Interactive, Inspectable, Simula-
tion-Based Training System” in Kearsley, G. (Eds.),
Artificial Intelligence and Instruction:
Application and Method, pp.111-134, Addison-
Wesley (1987).
- 3) 池田他: “知的CAIのための知識表現と帰納推論”,
信学技報, COMP86-79, pp.71-78 (1987).
- 4) 平島他: “ITSのための学習者モデル生成法とそれ
に基づく指導戦略”, 情報処理学会「教育における知
的方法」シンポジウム, pp.33-42 (1988).
- 5) 岡本他: “幾何論証の学習世界における知的CAIの
構成について”, 情報処理学会論文誌, Vol.29,
pp.311-324 (1987).
- 6) 岡本他: “幾何論証の学習世界における知的CAIの
構成について ~学習者の証明計画の認識を中心にし
て~”, 信学技報, ET88-1, pp.57-64, 1988.
- 7) P.H. Winston : “Learning and Reasoning by
Analogy”, Comm. ACM, Vol.23, No.12, pp.689-703
(1980).