

## 解説



# 知的 CAI における知識表現と教授法†

豊田 順一†† 中村 祐一††

## 1. はじめに

知的 CAI システムを知識伝達システム (knowledge communication system)<sup>1)</sup> とみなすと、伝達すべき知識 (専門知識) の表現と伝達の方法 (教授法) が問題となる。本稿では、最近の米国の研究動向を中心に、専門知識の表現法および教授法について解説する。

知的 CAI システムを教授法という観点から分類すると、対話を中心として教育を進めていく教授型教育システムと、計算機上の仮想的な実験環境を提供する環境型教育システムとに分けることができる。前者では専門家の行う問題解決の方法を教えることに重点が置かれており、後者では対象とする装置などの動作を理解させることに重点が置かれている。これらのシステムにおいて扱われる専門知識の形態は、教授法の違いを反映して、かなり違っている。ここでは、前者で扱われる知識を問題解決知識、後者で扱われる知識を動作モデルと呼ぶことにする。教授型教育システムの研究においては、問題解決知識を適切に表現すること、および対話を行うための戦略を抽出することが重要である。これに対して、環境型教育システムの研究では、動作モデルと人間の常識的な思考を関連づけることが重要であり、特にメンタルモデルについての研究が盛んに行われている。

知的 CAI システムの専門知識は問題解決知識と動作モデルに分けられるが、どちらを表現する場合でも「専門知識による推論がどれだけ人間の推論に近いか」ということが最も重要となってくる。したがって、専門知識は人間の推論行動を詳細に分析した結果を基に表現されるべきであり、現在の研究もこのような認知科学的方法が主流となりつつある。こうした研究の流れは本稿全体に浸透しているが、特に 2.1 の

GUIDON から NEOMYCIN への移行をとおして象徴的に示されている。

## 2. 教授型教育システム

教授型教育システムの目的は、対話をとおしてシステムのもつ問題解決知識を学生に教えることである。ここでは、問題解決知識の表現法に関する研究として Clancy の一連の研究<sup>2)</sup>を、対話のための戦略に関する研究として Meno-tutor<sup>17)</sup> を取り上げ、それぞれ解説する。

### 2.1 認知科学的考察に基づく問題解決知識の表現

GUIDON<sup>3)</sup> は既存のエキスパートシステムを利用した教育システムとして特徴付けられる。Clancy は GUIDON の開発において主権混在型の対話を実現することに重点を置いた。その結果、知的な対話を実現するという目標は達成されたが、一方で問題解決知識の表現が不適切であるという新たな問題が提起された。この問題に対して、彼は医者診断方法を詳細に分析することにより、医者診断過程を忠実に再現するようなシステムの開発を目指した<sup>4)</sup>。この試みは認知科学的な考察に基づき問題解決知識を表現しようとするものであり、彼の研究において最も注目すべき部分である。

#### 2.1.1 GUIDON の特徴と問題点

GUIDON は MYCIN の問題解決知識を教育することを目的として作られたシステムである。GUIDON の概略については文献<sup>3)</sup> に紹介されているので、本節では GUIDON の教授法について簡単に説明し、GUIDON の問題点について考察する。

GUIDON は数多くの症例教育をとおして、実際の患者に接した場合の適切な治療方法を教育することを目的としており、学生との対話はソクラテス式教授法<sup>5)</sup> に基づいて行われる。GUIDON の症例教育の流れを図-1 に示すが、ここで最も注目すべき点は、学生とシステムの対話の主権混在型となっていることである。対話のための戦略は約 200 の教育ルール (t-rule) によ

† An Overview of Knowledge Representation and Tutoring Strategy in Intelligent CAI by Jun'ichi TOYODA and Yuichi NAKAMURA (The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University).

†† 大阪大学産業科学研究所

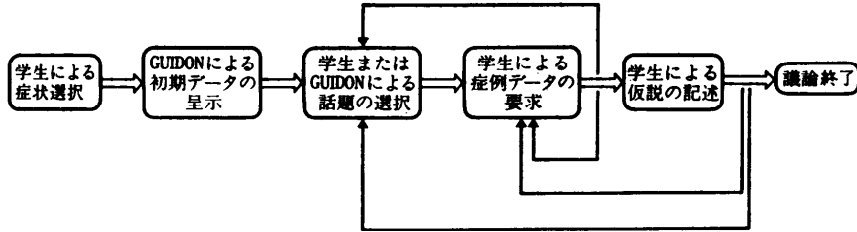


図-1 GUIDON による症例教育の流れ (文献”より引用)

PLEASEDISCUSS. PROC 022

T-RULE 22.02

If: The new topic is not a subgoal of (or the same as) the goal currently being discussed

Then: Say: will-proceed  
SUGGESTHYP. RULEPK 030

T-RULE 30.02

If: The hypothesis topic is a true/false parameter

Then: Generate a question about the hypothesis topic, using the “facts of the rule’s premise” format in the premise part and the “correct conclusion” format in the conclusion

図-2 GUIDON の教育ルール

(文献”より一部省略して引用)

り表現されている。図-2 の PLEASEDISCUSS は学生が話題変更を要求した場合に起動されるルールである。T-RULE 22.02 は学生がトピックの変更を要求した場合に、システムがそのトピックを追従できることを示している。すなわち、このルールは学生に主導権が与えられていることを明示的に示したものとなっている。これに対して、SUGGESTHYP は学生に仮説提出を促す手助けを行うためのルールである。T-RULE 30.02 は、前提と結論を組とした質問に対して、学生に yes/no を答えさせるためのルールである。このルールは、前提と結論の因果的な関係を学生に気づかせるための戦略となっている。

GUIDON の問題解決知識は MYCIN の枠組みに基づいており、MYCIN のもつ本質的な欠陥がすべて受け継がれている。すなわち、1) ルールの適用を制御するための戦略がルールのなかに暗黙的に埋め込まれていること、2) MYCIN と医者の推論方法が大きく違っていることなどである。1) について具体的に説明するために、“もし、患者が17歳以上で、アルコール中毒ならば、双球菌により感染症が起こるかもしれない”というルールを考える。医者は患者の年齢だけからこのルールを適用することはない。すなわち、年齢についての節は、結論を指示するために使われているのではなく、このルールを効率的に適用するために使

われている。言い換えると、年齢についての節はルールの適用を制御するための節であり、因果的な関係はアルコールと双球菌の間にしか存在しない。2) の欠点は MYCIN が特定の仮説に焦点を合わせて推論を進める機能を有していないことに基づいている。すなわち、MYCIN は病気の候補の一つ一つに対してトップダウンの探索を行うが、医者は直感によって少ない情報から特定の病気に焦点を当てることができる。

2.1.2 問題解決知識の再構成: NEOMYCIN

GUIDON の欠点を補うために、Clancy は医者と学生との対話を詳細に分析し、その結果、医者の行う診断戦略を抽出した。抽出された診断戦略は、領域に依存しない言葉を用いて医者の行う診断行動を表現している。言い換えると、診断戦略には医学用語(髄膜炎、脳圧など)は全く使われておらず、医学知識から明確に分離された知識として表現されている。Clancy の試み、すなわち MYCIN を再構成して医者の診断行動を忠実に再現しようとする試みは、彼自身より decompilation<sup>2)</sup> と呼ばれている。そして、この decompilation の結果として開発されたシステムが NEOMYCIN<sup>1)</sup> である。

Clancy は医者の診断戦略を図-3 に示すメタ戦略 (meta strategy) として表している。各ノードはタ

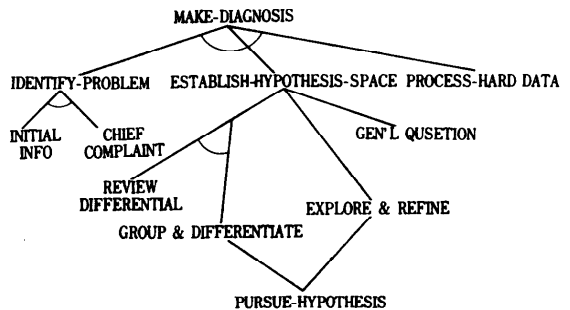


図-3 NEOMYCIN のメタ戦略 (文献”より引用)

スク (task) と呼ばれ、医者の行う基本的な診断行動に対応している。タスク間の階層はタスクの呼び出し関係を表している。たとえば、Make-diagnosis は Identify-problem などの三つのサブタスクを呼び出し、これらのタスクはさらに詳細なサブタスクを呼び出す。ここで重要なことは、タスクが、何について尋ねるのか (what he should ask about) などの領域に依存した行動を表しているのではなく、何をしようとしているのか (what he is trying to do) という一般的な行動を表していることである。したがって、システムからユーザに対しての質問も実行するタスクにより意味が違って来る。たとえば、GROUP & DIFFERENTIATE を実行しているときの質問は候補を絞り込むための質問であり、EXPLORE & REFINE における質問は候補を検証するための質問となっている。

図-4 を用いて、NEOMYCIN による診断過程の概要を説明する。この図のなかで、病気についての知識はプロセスを基にした分類木として表現されている。たとえば、一番上のレベルは内的な異常 (先天的な病気) や外界からの影響 (感染症、外傷など) に基づくプロセスの分類を示している。個々のプロセスは部位、期間、動因などにより、さらに特殊な分類がなされている。病気の診断は INITIAL FOCUS, GROUP & DIFFERENTIATE, EXPLORE & REFINE の三つの過程を経て行われるが、これらの過程は図-3 の IDENTIFY-PROBLEM, GROUP & DIFFERENTIATE, EXPLORE & REFINE の実行に対応して

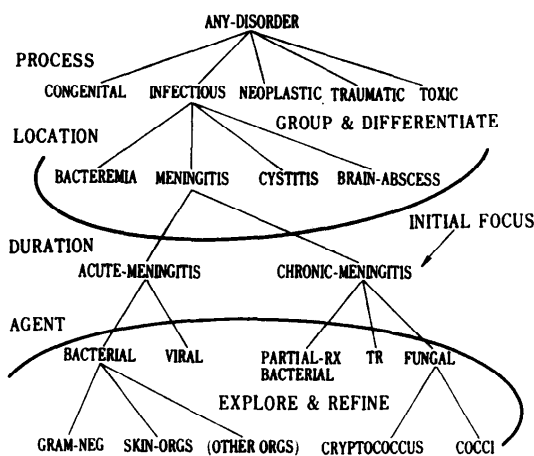


図-4 病気についての分類木  
(文献 2) より引用)

いる。このなかで、IDENTIFY-PROBLEM は患者の症状から病気の候補を生成するためのタスク、GROUP & DIFFERENTIATE は病気の候補を一つに絞り込むためのタスク、EXPLORE & REFINE は選択された候補を検証するためのタスク、となっている。

NEOMYCIN では、診断戦略と医学知識が分離されたことにより、医学知識そのものの構成も組織化されたものとなっている。たとえば、双球菌のルールにおける年齢に関する節は別のルールとして表現されている。その結果、MYCIN においては暗黙的に埋め込まれていた「一般的な条件は特殊な条件よりも先に調べられるべきである」という戦略も、NEOMYCIN では明示的に表現されている。また、MYCIN の後向き推論と違い、NEOMYCIN は、INITIAL FOCUS, GROUP & DIFFERENTIATE, EXPLORE & REFINE という三つの過程により診断戦略を実現している。こうした三つの過程による診断戦略は人間の思考を反映したものであり、直感的にも受け入れやすい。したがって、NEOMYCIN は認知的科学的な研究としての十分な価値をもっていると考えられる。

Clancy は NEOMYCIN の開発を通して得られた医者の診断戦略をシェル化し、HERACLES<sup>2)</sup> と呼ばれるシステムを開発している。HERACLES は診断戦略を汎用の知識とみなし、領域に依存する知識 (医学知識) だけを入れ替えることにより、さまざまな種類の医療診断の実現を可能にしている。一方、彼の最近の研究は HERACLES により実現された専門知識を教育することに重点が置かれており、この教育システムは GUIDON 2<sup>4)</sup> と呼ばれている。GUIDON 2 のサブシステムとして、現在のところ GUIDON-WATCH, GUIDON-DEBUG, GUIDON-MANAGE が開発されているが、これらの詳細については文献<sup>4), 11)</sup>を参照されたい。

## 2.2 コミュニケーションを重視した教育戦略: Meno-tutor

学生とシステムとのコミュニケーションについての研究例は少ないが、Clancy は GUIDON の開発とおしてこの問題に対しての先駆的な研究を行っている<sup>3)</sup>。GUIDON は学生との過去のやりとりや現在の理解状態に応じた柔軟な対話を実行できる。さらに、AND/OR のグラフを用いて、トピックの変更も可能である。こうした対話を実現するために、Clancy は教師と学生との対話を詳細に分析して、約 200 の教育

戦略ルールを抽出した。

一方、Woolf は効果的なコミュニケーションを実現するためのフレームワークを開発している。彼女の開発した Meno-tutor<sup>16),17)</sup> はさまざまな教育戦略を実現するための汎用フレームワークとして位置づけられ、GUIDON の教育戦略の形式化とみなすこともできる。すなわち、Meno-tutor では、コミュニケーションのために必要な要素を整理し、うまく階層化することにより、わずか 40 の教育行動と 20 のヒューリスティックで GUIDON と同等の柔軟な対話が可能となっている。

2.2.1 DMN (Discourse Management Network)

Meno-tutor における中心的なアイデアである DMN (discourse management network) を図-5 に示す。ネットワーク中のノードは状態 (state) と呼ばれるが、状態とは学生と教師の対話を分析して得られたプリミティブな教育行動に対応している。Meno-tutor の対話プランニングは図に示す三つの階層レベルにおける段階的精密化の過程とみなすことができ

る。すなわち、上位レベルでなされた決定は下位レベルに継承され、下位レベルにおいてさらに精密化される。ネットワーク中のリンクは階層的な依存関係を示しており、あるレベルの行動は上位レベルの行動の精密化の候補となっている。たとえば、システムが教育学 (pedagogical) レベルにおいて対話モード (Tutor) であり、学生が誤った答えを返してきたために、方略 (strategic) レベルにおいていくつかのデータを教えるための行動 (Teach data) の必要性が生じたとする。こうした場合、戦略 (tactical) レベルの多くの行動がこの目標を達成するために選択可能となっている。すなわち、正しい答えを与える (Teach specific knowledge)、いくつかの適当な事実を用いて一般的なことを言う (Teach general knowledge)、学生の主張に関して因果的な依存関係を質問する (Question dependency)、などの行動が選択可能である。

2.2.2 対話プロセスの管理

Meno-tutor は、対話を形成するために、現在の状況、すなわち学生の理解の状態やこれまでのやりとり

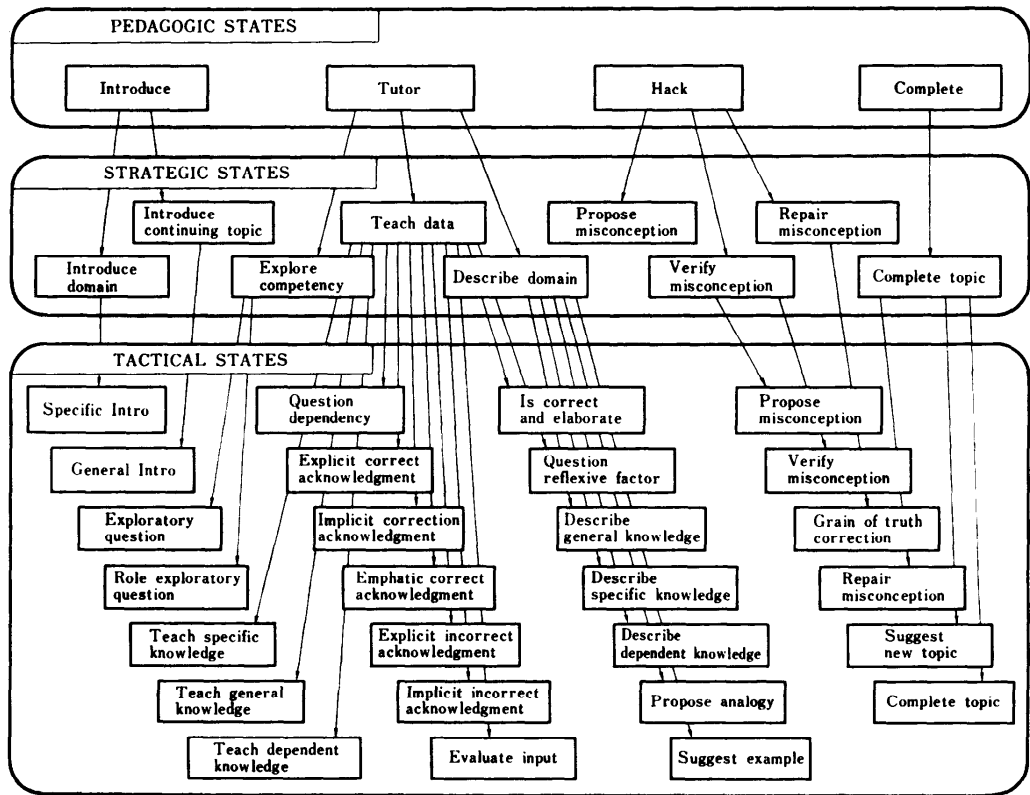


図-5 DMN (Discourse Management Network)  
(文献<sup>17)</sup> より引用)

の履歴に基づいて対話プランを決定する。システムと学生の行う一連の対話は DMN 上の状態の遷移として表される。DMN 上の状態遷移は以下の二つのオプションに対応し、状況に応じて動的になされる。

- スタイル：どのような対話方法を取るのか（説明，質問，…）
- トピック：どの話題について対話するか（トピック，サブトピック，具体例，…）

これらの状態遷移には、以下で述べる状況独立型遷移と状況依存型遷移がある。

#### 【状況独立型遷移】

状況独立型遷移は状態間のアークによって前もって決められている遷移である。状態間のアークはシステムによって行われる通常の状態遷移の方法を定義したものである。教育的な観点からみると、こうした遷移は局所的な情報に基づく教育的決定に対応している。

#### 【状況依存型遷移】

状況依存型遷移は通常の状態遷移と違い、メタレベルでの制御に基づく遷移である。こうした制御は 20 のメタルールにより行われ、システムは全体的な状況に応じた状態の変更が可能となる。図-6 にメタルールの例を示す。図-6 には S1-Explore と T6-A. Implicit という二つのメタルールが示されているが、ここでは S1-Explore について簡単に説明する。S1-Explore は方略レベルの状態を遷移させるためのルールであり、ここでは teach-data

Strategic metarule S1-Explore

from: teach-data

to: explore-competency

Description: Moves the tutor to begin a series of shallow questions about a variety of topics.

Activation: The present topic is complete and the tutor has little confidence in its assessment of the student's knowledge.

Behavior: Generates an expository shift from detailed examination of a variety of topics on the threshold of the student's knowledge.

Tactical metarule T6-A. Implicit

from: explicit-incorrect-acknowledgment

to: implicit-incorrect-acknowledgment

Description: Moves the tutor to utter a brief acknowledgment of an incorrect answer.

Activation: The wrong answer threshold has been reached and the student seems confused.

Behavior: Shifts the discourse from an explicit correction of the student's answer to a response that recognizes, but does not dwell on, the incorrect answer.

図-6 メタルールの記述例  
(文献<sup>17)</sup>より引用)

から explore-competency への遷移が記述されている。このルールには、「学生の評価に自信がないとき、一つのトピックを詳細に考察するよりも、いくつかのトピックについて簡単に考察すべきである」という状態の変更が示されている。

Meno-tutor の最も大きな特徴は、システムのモジュール性を高めて、すっきりした形のフレームワークを実現したことである。このことは、1) 領域知識や言語生成部から対話戦略を分離したこと、2) 局所的な情報に基づく状態遷移と全体的な状況に応じた状態遷移を違った機構を用いて実現したこと、に基づいている。こうすることにより、Meno-tutor はさまざまな教育法（たとえば、ソクラテス式教授法やコーチ法など）を実現するための汎用フレームワークの開発という目標を達成している。

### 3. 環境型教育システム

環境型教育システムとは、学生に計算機上の仮想的な実験環境を提供することにより、学生の自発的な学習活動を支援するシステムである。学生が行う実験はシステム内の動作モデル上でのシミュレーションとして実行され、システムはグラフィックや説明機能などを用いてシミュレーションの過程を学生に提示する。教授型教育システムと違い、環境型教育システムは、その構成上、特別な対話戦略を必要としないという特徴をもつ。この特徴は、動作モデルをうまく表示するインタフェースさえ用意すれば、かなり効果的な教育が行えるという事実に基づいている。現在の研究は動作モデルと学生の常識的な思考を関連づけようとする試みを中心であり、特にメンタルモデルの考え方を利用したシステム開発が盛んに行われている。

#### 3.1 複雑な仕組みをもつ物理システムの教育：STEAMER

STEAMER<sup>7)</sup>の目的は蒸気推進プラントを操作するための膨大な数の手続きを学習させることである。Hollan らは、この目的を達成するためにはプラントについてのメンタルモデルを形成させることが必要であると主張しており、STEAMER の開発もこの主張に基づいて行われている。

##### 3.1.1 STEAMER の提供する学習環境

STEAMER は動作モデルについてのシミュレーションを分かりやすく表示することにより、学生にメンタルモデルを形成させようとする。STEAMER のインタフェースはさまざまなグラフィック機能を用い

て、蒸気プラントの動作モデルを表示する。こうしたインタフェースは会話的に観察可能なシミュレーション (Interactive Inspectable Simulation) を実現しており、以下のような特徴をもつ。1) ディスプレイ中のインディケータはシステム内の定量的な動作モデルと連結されており、シミュレーションの進行と共に更新される。2) 学生はインディケータの値を自由に設定でき、その操作結果を観察できる。3) システム内の動作モデルは階層的に解体することができ、学生は階層をたどることにより動作モデルの詳細な部分を探索できる。STEAMER には、こうした特徴以外にも多くの先進的技術が取り入れられているが、詳細については文献<sup>7)</sup>を参照されたい。

3.1.2 STEAMER による教育効果

グラフィックを用いた教育は、学生にとって分かりやすく、効果的であることが容易に想像できる。STEAMER の実現方法と Hollan らの議論を基に STEAMER による教育を図式化すると図-7 のようになる。この図から、STEAMER はプラントの動作モデルと操作手続きをもっており、動作モデル上での操作を学生に表示することにより、メンタルモデルを形成させていくことが分かる。ここで注意すべき点として、プラントの動作モデルが定量的な表現であるのに対し、学生の形成するメンタルモデルが定性的であることがあげられる。このことは STEAMER が動作モデルを表示する際に使うインタフェースの機能に基づいている。すなわち、学生はインタフェースをとおして表示された定量的な動作を定性的な動作として捉える。たとえば、インディケータの値が 20 から 50 へと変化した場合を考えると、学生は変化した値そのものよりも値が増加したことに注意を払うことが多い。こうした傾向はダイヤルゲージなどにより表示された場合に特に顕著であると考えられ、STEAMER のイ

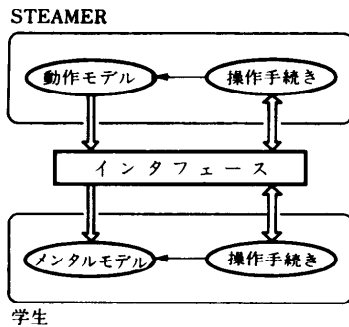


図-7 STEAMER による教育

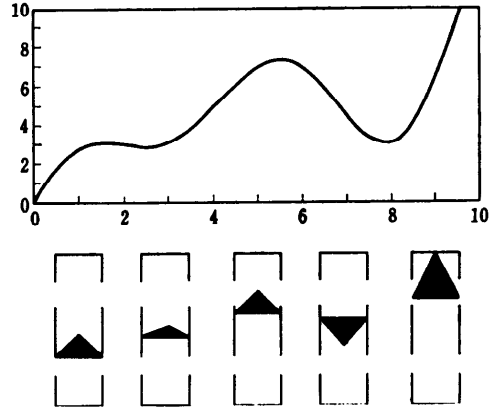


図-8 STEAMER の表示例 (文献<sup>7)</sup>より引用)

ンタフェースはこうした表示が可能である。

メンタルモデルとともに、Hollan らの強調している考え方に概念的迫真性 (Conceptual Fidelity) がある。概念的迫真性とは、物理的な視点 (physical view) よりも概念的な視点 (conceptual view) が重要であるという考え方である。言い換えると、物理システムを学生に表示する場合、正確な物理的なモデルを表示するよりも、専門家がどのような視点からモデルをみるかを基にした表示法が必要であることを示している。概念的迫真性の考えに基づいた STEAMER の表示例を図-8 に示す。この表示方法は実際のゲージの表示方法とは全く違っているが、専門家の推論においては重要である。このような概念に忠実な表示方法により、図-8 では連続に関する説明 (continuous explanation) が可能となっている。

STEAMER は教育におけるシミュレーションとグラフィックの利用という観点からは興味深いものであるが、メンタルモデルと概念的迫真性についての理論的な研究が十分になされていないという問題点がある。すなわち、システム内のモデルが定量的であり、グラフィックインタフェースをとおして定量的モデルを定性的モデルに変換しているにすぎない。そのため、Hollan らの強調している概念的迫真性も断片的にしか扱われていない。こうした問題点を補うためには、システム内にメンタルモデルを明示的に表現する必要があり、こうすることにより概念的迫真性についての統一的な扱いが可能となると考えられる。

3.2 定性的モデルに基づく教育

White らの研究<sup>15)</sup> はメンタルモデルの考え方を教育に応用しようとする試みである。以下では、これら

の試みを実現するために White らの行った考察について概説し、彼女らの開発した QUEST の構成について述べる。

### 3.2.1 進化するメンタルモデル

White らのメンタルモデルに関する研究は教育学的である。彼女らの提案している進化するメンタルモデルの考え方をまとめると次のようになる。まず、専門知識には扱える回路の複雑さなどにより優秀さのレベルが存在すると考える。すなわち、高いレベルの専門知識ほど難しい問題を扱えると仮定する。さらに、それぞれのレベルの専門知識に対応したメンタルモデルを考えることにより、メンタルモデルについても優秀さのレベルを定義できる。このようなメンタルモデルのレベルを考えることにより、学生の理解の進み具合をメンタルモデルの進化として表すことができる。

メンタルモデルのレベル付けを行うためには、レベルを決定するための尺度 (dimension) を明示的にしなければならない。White らは考慮すべき尺度として type, order, degree の三つをあげている。以下ではこの三つの尺度について述べる。

- type: モデルの type は、モデルの動作という観点から、次の三つに分けられる。すなわち、増加や減少などの定性値を基にモデルの動作を記述する定性的 (qualitative) モデル、“よりも大きい”のような比較量を扱う比較的 (proportional) モデル、厳密な動作を記述するための定量的 (quantitative) モデル、の三つである。

- order: モデルの order は変化を記述するために使われる導関数の order を反映している。たとえば、電気の領域において、0次 (zero-order) のモデルとは電圧や電流の存在だけを考慮したモデルであり、スイッチの切換えなどによる劇的な変化だけを扱う。さらに、一次のモデルは電圧などの変化を扱うことができ、二次のモデルは変化の割合までも扱える。このような連続的な order に分解する理由は order がモデルのレベルづけのための最も基本的な尺度となるからである。

- degree: モデルの degree は入念さ (elaboration) のレベルを表す。あるモデルの type と order が一定である場合、モデルのレベルはいろいろな制約を考慮に入れていくことにより上がっていく。これらの制約は、構造情報、シミュレーションと説明の原理、制御構造、という三つの構成要素により決定される。し

たがって、詳細な構造情報、精密化された原理、複雑な制御構造によりモデル内での制約は増えていき、それに応じて degree も増加する。

進化するメンタルモデルの考え方は、学生の学習経路をシステム内に明示的に用意できる可能性を示しており、従来の診断と治療による教育法と全く違った教育方法を実現できる可能性をもっている。

### 3.2.2 0次定性モデルに基づく学習環境: QUEST

White らは図-9 に示すような電気回路を扱う0次定性モデルを実現し、このモデル上での進化に基づいた学習環境を開発している<sup>15)</sup>。ここでは、0次定性モデルの構成と、QUEST により提供される学習環境について述べる。

0次定性モデルの構成要素は構造情報、シミュレーションと説明の原理、制御構造の三つであり、これらは入念さの degree を表すための構成要素と同じである。すなわち、0次定性モデルは type と order が一定であるという仮定の基で degree の増加だけを用いてモデルの進化を表現しようとするモデルである。

#### (1) 構造情報

構造情報はシステム内ではデバイスモデルとして表現されている。デバイスモデルは電池やスイッチなどのデバイスをモデル化したものであり、個々のデバイスはデータテーブル、ルール、付加的なルールからなる。データテーブルはデバイスの状態を表すための変数の集合であり、ルールと付加的なルールはこれらの変数を決定するために使われる。

#### (2) シミュレーションと説明の原理

シミュレーションと説明の原理は回路全体の機能を考慮した領域依存の概念を含んでいる。こうした原理を用いることにより、図-10 に示す電導経路のような概念が利用可能となる。

#### (3) 制御構造

制御構造はシミュレーションの過程を管理する。シミュレーションは、スイッチの切換えなどによりデバイスモデルの状態が変化した場合に起動される。シミ

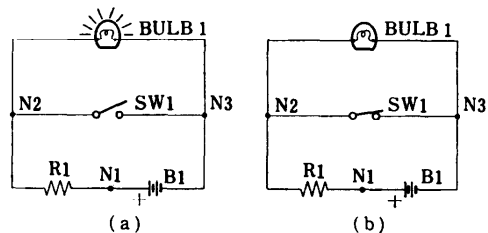


図-9 QUEST で扱われる回路 (文献<sup>15)</sup>より引用)

Zero-order voltage rule:

- IF there is at least one conductive path to the negative side of a voltage source from one port of the device (a return path),  
 and IF there is a conductive path from another port of the device to the positive side of that voltage source (a feed path),  
 and IF there is no non-resistive path branching from any point on that "feed" path to any point on any "return" path,  
 THEN the device has a voltage applied to that pair of ports.

図-10 電導経路の概念  
(文献<sup>11)</sup>より引用)

ュレーションの過程では実時間の増加と状態変化が交互に起こり、このサイクルはシミュレーションが安定するまで続けられる。

QUEST により提供される学習環境は定性的モデルによる対話的なシミュレーションに基づいている。さらに、進化するメンタルモデルを用いることにより、学生のレベルに応じた出題や説明が可能となっている。こうした構成により、QUEST は学生の学習モードの選択に対して柔軟に対処できる。QUEST により提供される学習モードには、問題駆動型モード、例題駆動型モード、学生主導型モード、自由探索モード、の4つがある。

QUEST のモデル表現の特徴は、部品指向の考え方(構造情報)とプロセス指向の考え方(シミュレーションと説明の原理)を融合したことにある。部品指向の考え方はモデルの記述容易性を高めており、ここでは特に degree の変化に対応したモデルの変更を容易にしている。これに対して、プロセス指向の考え方は電導経路のような回路固有の概念を分かりやすく説明することを可能にしている。以上のようなモデル表現手法を用いることにより、QUEST は学生のメンタルモデルの成長過程を柔軟に追従することができる。その結果、QUEST においては、柔軟な学習環境が提供され、学生のレベルに応じた教育が可能となっている。

#### 4. ドメイン原理に基づく教育

学生が行き詰まった場合や誤りを犯した場合に、原理に戻って教えることは効果的であり、実際の教育でもよく行われる。こうした教育法を実現するためには、知的 CAI におけるドメイン原理の扱いについて考察しなければならない。中村らは知的 CAI のためのドメイン原理を用いた説明機能について考察し、質の高い説明を生成するための枠組みについて検討して

いる<sup>9)</sup>。知的 CAI システムが質の高い説明を行うためには、単に原理に基づく説明を生成するだけでは不十分であり、学生の理解の程度に応じた説明の生成が必要となる。このような説明機能を実現するためには、ドメイン原理に関する学生モデルの構築について考えなければならない。しかしながら、ドメイン原理は詳細度の高い (grain size の小さな) 知識であり、モデル構築のためには効率の面で大きな問題がある。こういった観点から、中村らは学生の誤った類推を対象として学生モデルを構築する機構の開発を進めている。このモデル化機構では、ドメイン原理上での類推が導出過程の変換と呼ばれる手法を用いて実現されており、従来の類似性に基づく変換 (Analogical mapping) との組み合わせにより、ドメイン原理上での学生モデルを構築することが可能となっている。

#### 5. むすび

知的 CAI システムを教授型教育システムと環境型教育システムに分類し、それぞれのシステムについて教授戦略と知識表現を簡単に述べた。特に、環境型教育システムでは、教授戦略が明示的でないので、モデルを設定するアーキテクチャにこれが反映されているものとして概説した。最近の知的 CAI 研究は認知科学的方法に沿ったものが多く、本稿で紹介したほとんどのシステムもこれに従っている。日本の知的 CAI の研究<sup>6), 8), 10), 12)</sup> も工学的な技術水準という観点からは高水準のものが多いが、教授戦略や知識表現に対しての認知科学的接近が更に望まれる。

本稿の執筆にあたって有益なご助言をいただいた、大阪大学大学院工学研究科博士課程、池田満氏、ならびに大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程、平島宗氏に感謝します。

#### 参考文献

- 1) Clancy, W.J. and Lestingier, R.: NEOMY-CIN: Reconfiguring a Rule-based Expert System for Application to Teaching, Proc. of the Seventh IJCAI, pp. 829-836 (1981).
- 2) Clancy, W.J.: From GUIDON to NEOMY-CIN and HERACLES in Twenty Short Lessons: ONR Final Report 1979-1985, AI Magazine, Vol. 7, No. 3, pp. 40-60 (1986).
- 3) Clancy, W.J.: Knowledge-based Tutoring: The GUIDON Program, MIT Press, Cambridge, Massachusetts (1987).
- 4) Clancy, W.J.: Diagnosis, Teaching and



- Learning; An Overview of GUIDON 2 Research, Proc. of the International Conference & Exhibition on Artificial Intelligence, Japan, pp. 145-156 (1987).
- 5) Collins, A.: Processes in Acquiring Knowledge, in Anderson, R. C. et al. (eds.), *Schooling and the Acquisition of Knowledge*, pp. 339-363 Lawrence Erlbaum, Hillsdale, N. J. (1976).
  - 6) 平島, 中村, 上原, 豊田: 意図と方略の概念を用いた学生の誤りのプロセスモデルの提案とその実現, 信学技法, ET 88-1, pp. 65-72 (1988).
  - 7) Hollan, J. D., Hutchins, E. L. and Weitzman, L. M.: STEAMER: An Interactive, Inspectable, Simulation-Based Training System, in Kearsley, G. (ed.), *Artificial Intelligence and Instruction: Application and Method*, pp. 111-134, Addison-Wesley (1987).
  - 8) 池田, 鈴木, 溝口, 山口, 角所: 知的 CAI のためのフレームワークの検討: 学生モデル, 帰納推論, 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, pp. 49-58 (1987).
  - 9) 中村, 平島, 上原, 豊田: 導出過程の変換を用いた類推の実現と知的 CAI への応用, 情報処理学会, コンピュータと教育研究会資料, 1-1 (1988).
  - 10) 尚本: 知的 CAI のための教授知識世界の表現とその推論方法, 信学論 (D), Vol. J 70-D, No. 12, pp. 2658-2667 (1987).
  - 11) Richer, M. H. and Clancy, W. J.: GUIDON-WATCH: A Graphic Interface for Viewing a Knowledge-based System, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 5, No. 11, pp. 51-64 (1985).
  - 12) Sleeman, D. H. and Brown, J. S.: *Intelligent Tutoring Systems*, Academic Press, London (1982).
  - 13) 竹内, 大槻: 擬動法による学習者モデル形成と教授知識について, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 1, pp. 54-63 (1987).
  - 14) Wenger, E.: *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*, Morgan Kaufmann Publishers, California (1987).
  - 15) White, Y. B. and Frederiksen, J. R.: Intelligent Tutoring Systems based upon Qualitative Model Evolutions, Proc. of AAAI-86, pp. 313-319 (1986).
  - 16) Woolf, B.: *Context-dependent Planning in a Machine Tutor*, Ph. D. Dissertation, Computer and Information Sciences, University of Massachusetts, Amherst, MA (1984).
  - 17) Woolf, B.: Theoretical Frontiers in Building a Machine Tutor, in Kearsley, G. (ed.), *Artificial Intelligence and Instruction: Application and Method*, pp. 193-267, Addison-Wesley (1987).

(昭和 63 年 7 月 7 日受付)