

コンピュータ利用 学習指導システムの構想と展開

Conception and Development of Computer Guided Instruction System

The CGI (Computer Guided Instruction) system is intended as an aid for school teachers in their work, including private instruction and individual guidance. Practically, the system analyzes and evaluates instruction data such as exam papers mainly by batch processing, and feeds back the result to the individual student. With the following features, the CGI system is expected to find wide application in school education, broadcasting education, correspondence education and the like.

- (1) Instructional guidance is possible with less teacher participation.
- (2) CGI instructional materials can be prepared without much difficulty.
- (3) Special terminal devices are not necessarily required.

河崎 善司郎* Zenshirô Kawasaki

大野 昭二** Shôji Ôno

1 緒 言

最近、コンピュータをはじめとする各種教育機器の導入により、教授学習プロセスを効果的に運用しようという気運は、諸外国をはじめ我が国においても、急速に高まりつつある。一方、我が国の高等教育就学人口の急増、生がい教育に対する国民の強い要望、ならびに学習内容の高度化と多様化により急速に顕在化しつつある諸問題は、既存の教授学習方式では対処しきれない段階に達しており、ここに新しい方式の確立とその具体化が要求される。

コンピュータを利用した教授学習システムとしては、学習過程をリアルタイムで制御する Computer Aided Instruction (以下、CAI と略す) や、教育評価、管理などに必要な情報を教師に提供するため Computer Managed Instruction (以下、CMI と略す) などが知られている。これに対して、ここに報告する Computer Guided Instruction (以下、CGI と略す) は、通常教師が個別面接や、テスト、宿題の添削などを通じて実施している個別学習指導の一部を、コンピュータによって代行しようというものである。具体的には、問題に対する回答などの学習データを、主としてバッチ処理により各学習者別に分析、評価し、その結果を学習者各個人に直接フィードバックすることにより、個別学習指導を徹底して行なおうという方式である。

この CGI 方式は、学校教育をはじめ放送教育や通信教育など、種々の教育方式の特徴に応じて融通性に富んだ利用が可能である。特に、(1) 教師なしでも学習指導が行なえる点、(2) CGI 教材の作成が比較的簡単に行なえる点、(3) 特別な専用端末を必ずしも必要としない点などにおいて、従来のコンピュータ利用による教育システムに見られない、広範囲にわたる導入の可能性を有する。

2 コンピュータ利用教授学習システム

コンピュータを利用した教授学習システムは、図 1 に示すように教材の提示、学習過程の制御を中心とした「学習シ

テム」、学習診断、処方せんの提示および学習の補助のための「学習指導システム」、さらに、主として教師のニーズにこたえる「学習評価・管理システム」の三つのサブシステムに分類することができる。「学習システム」としては、CAI や CLI (Computer Led Instruction) が実用化されており、また「学習評価・管理システム」としては、CMI がよく知られている。しかし、「学習指導システム」としては、これまでに確立されたものはなく、ここに提案する CGI は、「学習指導システム」の具体化の一つの方向を示唆するものである。

次章 3 でも述べるように、CGI はコンピュータに入力可能な学習データをもとにして、学習全般にわたる指導を行なうという方式である。したがって、CGI は特定の学習方式を前提とはせず、従来の講義式授業にも、また CAI などを利用した個別学習方式にも、それぞれの学習方式の特徴に合致した融通性に富んだ導入形態が可能である。要するに、教授学習方式 (学習形態、教授方法、教材提示方式など) は、教育の目的や方法、学習内容、学習効果、対象とする学習者、学習環境など種々の条件を考慮して決定されるべきものであり、それに応じて CGI の具体化の方向が定まってくる。

このような観点から、コンピュータを利用した教授学習方

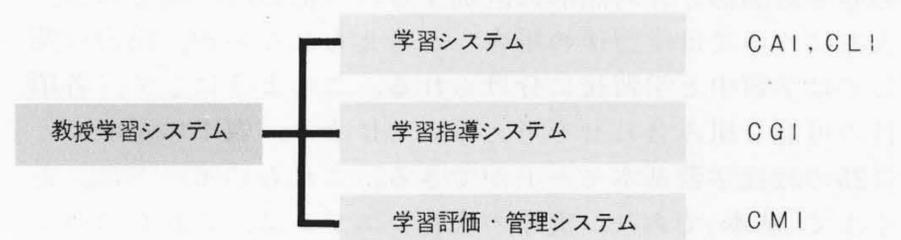


図 1 コンピュータ利用教授学習システムの分類 コンピュータ利用教授学習システムは、教授、指導、管理という教師の機能に対応して、三つのサブシステムに分類できる。

Fig. 1 Classification of Instruction Systems Utilizing Computers

* 日立製作所システム開発研究所 Ph.D

** 日立製作所システム開発研究所

表1 コンピュータを利用した教授学習の基本モード 学習形態、教材提示の方法、学習データの
 の入力及びフィードバック情報の出力方式に応じて、コンピュータを利用した教授学習方式は25の基本モードに
 分類できる。

Table 1 Basic Teaching-Learning Modes Utilizing Computers

基本モード	教授学習の型	学習形態		教材提示		学習データの入力			フィードバック				
		個別	集団	個別	一斉 (同時)	学習中	個別		一括 (学習後)	個別		一括	
							対話形	非対話形		学習中	学習後 対話形	非対話形	学習中
1	C A I 型	○		○		○				○			
2		○		○		○						○	
3	P S I 型	○		○			○				○		
4		○		○			○					○	
5		○		○				○				○	
6	同時進行個別学習型	○		○				○			○		
7		○		○				○					○
8	放送教育型	○			○	○				○			
9		○			○	○						○	
10		○			○	○							○
11		○			○	○							○
12		○			○		○				○		
13		○			○		○					○	
14		○			○			○				○	
15		○			○				○			○	
16		○			○				○				○
17	C L I 型		○		○	○				○			
18			○		○	○						○	
19			○		○	○							○
20			○		○	○							○
21	集団学習型		○		○		○				○		
22			○		○		○					○	
23			○		○			○				○	
24			○		○				○				○
25			○		○				○				

式を、表1に示すように25の基本モードに分類した。まず、学習形態を個別学習と集団学習に分ける。これは、学習が異なった場所または異なった時間に個別になされれば個別学習、そうでない場合には集団学習と定義する。さらに教材提示の方法を、個別提示と、一斉または同時提示の二つに分類する。学習データの入力、フィードバック情報の出力については、まず個別に行なう場合と一括して行なう場合とに分け、個別の場合を学習中と学習後に分ける。さらに、学習後の入出力形態を対話形と非対話形に区別する。一括処理の場合には、入力については学習後の場合しか考えられないが、出力に関しては学習中と学習後に分けられる。このようにして、各項目の可能な組み合わせを考えることにより、表1に示すように25の教授学習基本モードができる。これらのモードは、あくまで「基本」であり、実際の教育システムは、これらのいくつかの組み合わせとして構成される。ここでは、まずこの25の基本モードを、現実の教授学習方式に即応して、さらに次のような六つの型に分ける。

(1) C A I 型 (基本モード：1, 2)

これは、いわゆるC A Iに対応するものである。学習者は個別に教材提示を受け、学習データの入力およびフィードバック情報の提示は、学習時に即座に行なわれる(モード1の場合)。また、学習終了後、学習過程全体にわたる総合的学習

診断や評価に関して、学習者や教師に有用な情報を出力することもある(モード2の場合)。

(2) P S I 型 (基本モード：3, 4, 5)

これは、F. S. Kellerによって提唱された個別教授システムP S I (Personalized System of Instruction) において、Proctor (助手)の代わりにコンピュータを利用してシステムの省力化、効率化を図ろうというものに相当する。学習者は、個別に自己ペースで学習を行ない、コンピュータは学習の進捗状況のチェックや学習指導のために利用される。

(3) 同時進行個別学習型 (基本モード：6, 7)

この型は、学習の形態および教材提示はそれぞれ個別になされるが、学習の進行速度に関しては、ある一定の期間(たとえば、1週間)ごとにそろえて、学習者のすべてが同一のペースで学習を進めて行くものである。学習データの入力は一括してなされるが、フィードバック情報は個別に与えられる(モード6の場合)。また、学習者全体に関する情報や教師へのフィードバックも別に出力される(モード7の場合)。この型は、後述の集団学習型とともに、現在の学校教育に最も受け入れられやすいものであろう。

(4) 放送教育型 (基本モード：8~16)

この型の典型的な方式としては、テレビジョンやラジオさらにはC A T V (Cable Television)などを電話回線と一体

化して、教材の提示や学習データの収集、学習者に対するフィードバックを行なうことが考えられる。放送大学や地域教育システム、通信教育など、将来の教育システムの重要なパターンとなるものである。

(5) C L I 型 (基本モード：17～20)

この型では、学習形態としては集団学習の形をとり、かつ教材提示も一斉に行なわれる。また、学習データの入力も学習中に一斉になされる。これは、現在の教授方式の最も典型的な講義方式をベースとした方式であり、日立製作所の社内教育の一部で利用されている C L I システムがこの型に該当する。しかし、このシステムではフィードバック情報は学習者に個別には提示されず、一括して学習中または学習後に回答表示器やコンピュータのデータ タイプライタを通じて提示されるのみである (モード19, 20)。学習者各個人別にフィードバック情報が提示されるようにシステムを拡張することも可能である (モード17, 18)。

(6) 集団学習型 (基本モード：21～25)

これは、学習形態や教材の提示は集団をベースにするが、学習データのコンピュータへの入力は、学習後に個別にまたは一括して行なう方式である。しかし、フィードバック情報はモード25を除いてすべて個別に提示される。

以上述べたように、コンピュータを利用した教授学習方式を、基本モードや型に分類することにより、新しい教授学習システムの立案や各種の教育機器の導入に際して、きわめて示唆に富んだ見通しが得られる。

3 CGIの構想

教授学習方式として、どのようなものが適当であるかという点については、単に学習の目標や内容によるばかりではなく、学習者のレディネス・性格、利用可能な教材・設備、学習環境などの要因を考慮して決定しなければならない。しかし、どのような方式においても、学習指導が効果的に行なわれるためには、個々の学習者の学習状態の把握が的確になされ、最適なフィードバックが迅速に行なわれることがぜひ必要である。これまで、学習者個人にわたるきめ細かい学習指導の必要性が叫ばれながら、その実現が阻まれてきたのは、組織上や経済上の問題以外に、技術的な問題が大きな障害であったと考えられる。特に、(1)多量データの収集およびその正確、迅速な処理法、(2)学習データの分析および評価手法、(3)フィードバックの方法にその問題点を集約することができ

る。これらの点を、コンピュータにより効率的に行ない、的確な処方せんを学習者に個別に提供しようというのが CGI の目的である。

CGI の概念図は、図 2 に示すとおりである。CGI システムの利用に先だって、学習者はなんらかの教授学習方式により、一とおり学習内容をマスターしていることが前提とされる。この学習の結果として得られる学習データ (たとえば、問題に対する回答など) を適当なデータ入力装置よりコンピュータに入力する。次に、このデータをあらかじめ用意された処理プログラム (CGI 診断プログラム) によって解析し、必要なフィードバックを学習者に返す。学習者はこの情報をもとにして、さらに学習を進めていくわけである。

コンピュータに入力する学習データとしては、次のようなものがある。

- (1) CGI 診断プログラム名 (番号)
- (2) 学習者名 (番号)
- (3) 問題の回答

多肢選択式問題の場合にはその選択肢の番号、その他計算結果の数値データや、文字列などが回答として入力される。

(4) 自己採点結果

学習データは、必ずしも「問題の答」である必要はない。学習者は自分の学習結果の診断を受け、学習の効果を上げようとしているのであるから、テスト結果を自分で採点し、その結果 (たとえば、正解や誤答の問題番号、得点など) を入力することにより診断を受けることもできる。

(5) 教師による採点結果

記述式問題において、教師が学習者の答案を採点しながら、あらかじめ定められたコード番号に従ってデータを作成し、これをコンピュータに入力するという方式である。

(6) 理解できない学習内容 (問題)

テキストの内容が理解できない場合や、問題を解くのに困難を感じた場合、その節番号や問題番号を入力することにより、ヒントや補助説明を与えたり、補助教材、参考書などの提示をして学習の補助を行なう。

(7) 各種のコマンド

CGI システムの利用者が、どのような診断情報を必要としているのか (たとえば、単にテストの採点と集計だけなのか、問題の正解やヒント、補助説明を求めるのか、問題点の指摘などを含む総合的診断を望むのかなど) に応じて、フィードバック情報の指定を行なうためのコマンドである。

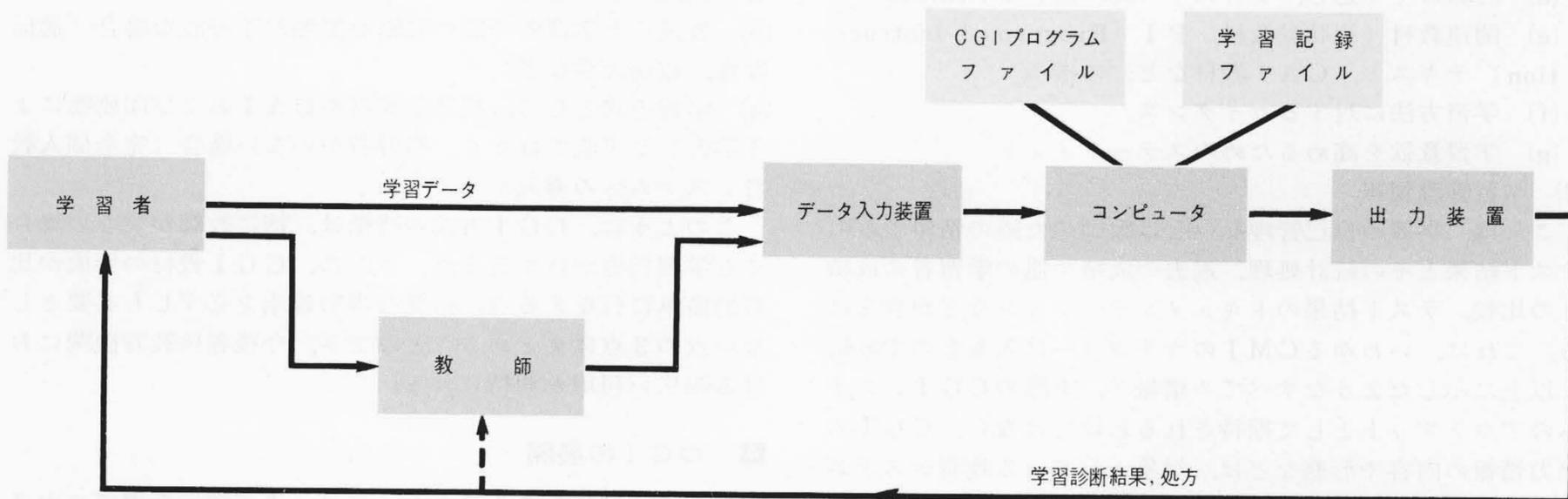


図 2 CGI の概念図 CGI システムを構成する要素と情報の流れを示す。
Fig. 2 Conceptual Chart of CGI

STATISTICAL PHYSICS UNIT 5

738 オオキ トラオ

- (1) モンタイ オ ヨク ヨンテ, ナニ オ モトメル コト ガ ヨウキウ サレテ イルカ ニ チウイ シナサイ.
 タンイ ニ チウイ.
 1 シュール = 10×10^7 エルグ
 セイカイ: $7.5 \times 10 \times 10^3$ シュール
- (2) タイハン ヨク テキマシタ.
- (3) サイコ ノ シヨウタイ テノ キタイ ノ エネルギ- ハ, ハシメ ノ エネルギ- ニ, ヒーストン ガ ウシナツタ ホテンシャル エネルギ- オ クワエタ モノ テ アル.
 タンゲンシ キタイ ノ モル アタリ ノ ハイケン ノ エネルギ- ハ, $EQ = 5.25$ テ アタエ ラレル.
 ヒーストン ノ イトウ キヨリ オ ケイサン シ, コレガ ウシナツタ ホテンシャル エネルギ- オ モトメヨ.
- (4) カイトウ: ミズ ノ エントロピー ノ ヘンカ = $+297$ J/DEG, ネットヨク ノ エントロピー ノ ヘンカ = -287 J/DEG, センケイ エントロピー ノ ヘンカ = $+10$ J/DEG.

図3 CGI出力リスト例(1) 学習者各個人別にこのような処方せんリストが渡される。

Fig. 3 An Example of CGI Output List(1), Prescription

以上がCGI診断プログラムへの入力データである。一方、フィードバック情報として出力されるものには、次のようなものがある(図3, 4参照)。

- (1) 学習診断結果
 - (a) 問題に対する回答の正誤の提示
 - (b) 理解不足な学習事項の指摘
 - (c) 理解の仕方に問題のある学習事項の指摘
 - (d) テスト結果の統計的処理結果の提示
- (2) 処方
 - (a) 回答に対する誤りの訂正(正解の表示)
 - (b) 問題に対するヒント, 補助問題
 - (c) 練習問題
 - (d) 計算のくり返し, テキストの読み返しなど諸注意
 - (e) 関連教材(視聴覚教材, PI(Programed Instruction)テキスト, CAI教材など)の指示
 - (f) 学習方法に対するガイダンス
 - (g) 学習意欲を高めるためのステートメント
- (3) 学習管理情報

これは、学習の自己管理ないしは教師のための情報であり、テスト結果とその統計処理、過去の成績や他の学習者の成績との比較、テスト結果のドキュメンテーションなどが含まれる。これは、いわゆるCMIのカテゴリーに入るものである。

以上に示したようなすべての情報が、実際のCGIシステムのアウトプットとして期待されるわけではない。CGIの出力情報の内容や形態などは、対象としている教育システムにおける学習方式、学習目標、学習教材などとのかねあいによって慎重に決定されなければならない。

CGIの実施形態は、大別して学習者各個人でCGIシス

テムを利用する「個人モード」と、教師がまず学習者からのデータを集め、一括して処理をして後アウトプットを各学習者に返す「集団モード」に分けられる。個人モードCGIは、学習者が必要に応じて自由に利用できる点で、幅広い適用分野が考えられる。一方、集団モードCGIは、学校教育を中心に、現在最も一般的な教授方法である、一斉集団授業への導入が中心となる。CGIは、これら二つのモードを通じて、特に次のような状況での学習指導に効果的な利用が期待される。

- (1) 学習者が多人数にわたる場合(学校教育, 企業内教育, 通信教育, 放送大学など)
- (2) 学習の進行度が、学習者ごとに異なる教授学習方式の場合(教授学習の基本モード: 1~5)
- (3) 教授者と学習者の間の頻繁な接触が不可能な場合(通信教育, 放送大学など)
- (4) 学習方式として、視聴覚機器やCAIおよび印刷物による学習しか可能ではなく、指導者がいない場合(完全個人教育システムへの導入)

このように、CGI方式の特徴は、特に教師がいない場合でも学習指導が行なえる点、さらに、CGI教材の作成が比較的簡単に行なえる点、特別な専用端末を必ずしも必要としない点の3点にまとめることができ、今後各種教育機関における幅広い利用が期待される。

4 CGIの展開

CGIを具体化するにあたっては、まず学習指導プロセスを構成する要素、ならびにそれらの相互関連の詳しい分析が必要である。特に、「学習ソフトウェア」と並んで、「教授学

習方式」の研究が重要であり、具体的なCGIシステムの立案は、これらの点に関する計画と一体化してなされるべきである。従来、教授学習システムにおけるコンピュータその他の教育機器の利用に際して、この点に関する考察が十分なされないまま、ハードウェアの導入が先行してしまい、結果的に、これらの機器の対費用効果が十分発揮できなかった場合が多かった。

当面、CGIの導入分野としては、放送大学などにおける利用の外に、学校や企業内教育における一方通行的教育の補助としての利用が期待される。このような観点から、日立製作所の社内教育の場で、個別学習指導計画IGIP(Individually Guided Instruction Program)の構想を立案し、その効果的な運営を図るためにCGIの導入を行なった。

この計画は、現在の典型的な教授方式である一斉集団授業をベースとしながらも、出来得る限りの個別指導の実現を図ろうという試みである。IGIPにおいては、知識の源泉は専ら学習者の自学自習により、講義の時間はおもに学習意欲を高め、学習の指針、学習の援助を与えることに重点がおかれる。また、IGIPは、単に基礎事項の理解や習得、その応用能力をつけるのみだけでなく、学習者が自分で独自に学習を進めることの自信と習慣および方法を身につけることを目指すものである。

IGIP方式では、教科内容をユニットと呼ばれる約2週間

分の学習量に対応する学習単位に分割し、学習者は、このユニットを単位として、順々に学習を進めてゆく。ユニットの学習途中で、理解不足な点や問題点を明確にし、それに対する処方せんを各学習者に提供する目的で診断テストを行なう。さらに、ユニットの学習の最後には、全体の理解度をチェックするためのレビューテストを行なう。この診断テストとレビューテストの結果がコンピュータにより処理され、学習者の一人一人に学習診断結果とそれに応じた処方がフィードバックされる。

IGIPの方法は以上述べたようなものであるが、前述したように、CGIは、このIGIPにおける学習指導を効率的に行なう目的で導入した。この結果、(1)CGI教材作成手順のパターン化、(2)データ入力方式の簡易化(マークカードの使用)を行なうことにより、大学程度の講義方式授業へのCGI導入については、運用上さしたる問題はないとの見通しを得た。また、CGIの利用効果については、まだ定量的な結論を出せる段階ではないが、学生から要望が多かった学習診断情報、すなわち、(1)問題を解くのに必要なポイント、(2)問題解決の方法があっているかどうか、(3)学習内容の要点との関連、(4)計算問題における式の誘導プロセス、(5)理解不足な学習内容、(6)問題解決に必要な重要公式、(7)正解などかなりの部分がCGIで提供でき得ることを確認した。これまでの研究では、その対象教科を物理学に限ったが、そこで得られた結果は他の自然科学、工学系の科目に共通に適用できるものと考えられる。他の領域の教科や、高等学校以下の学習者を対象とした場合のCGIの利用方法やその教材についてはまた別の観点からの考察が必要であろう。

IGIPに導入したCGIのソフトウェアとしては、集団モードCGIプログラムEDIOS(Educational Data Input Output Subroutines)の開発を行なった。これは、集団授業における利用を対象としたもので、プログラム記述言語としてFORTRANを用いている。このEDIOSを用いてCGI学習プログラムを記述する教師は、特にFORTRANプログラミングの知識がなくても、用意されているサブルーチンを組み合わせることにより容易にプログラミングができる。さらにFORTRANの知識がある教師の場合には、自分で必要なサブルーチンを追加することも可能である。このように、EDIOSは、ユーザーのコンピュータ言語に対する知識に応じて、柔軟に運用することができる。

5 結 言

教育におけるコンピュータの利用方法については、すでに種々の試みがなされ、特にCAIについては、国の内外で幾多の優れた研究が行なわれてきた。

本稿で概説したCGIは、コンピュータを用いて学習指導の個別化の徹底をねらったものであり、今後各種の教育機関におけるコンピュータ利用の重要な方式として利用されるものと期待している。しかし、そのためには、本稿で述べたように、教授学習方式および学習ソフトウェアの実践的な研究が不可欠である。その意味でも、日立製作所内外の教育機関におけるCGIの利用を通じて、その導入形態、対象とする教科や学習者などの特殊性に起因する問題点を、幅広く評価して行くことが必要であろう。

終わりに、ここに提案したコンピュータを利用した学習指導方式が、現在の教育方式に内在する諸問題の解決にいささかでも役だち得るものとなれば幸いである。関係各位のご批判とご協力をお願いする次第である。

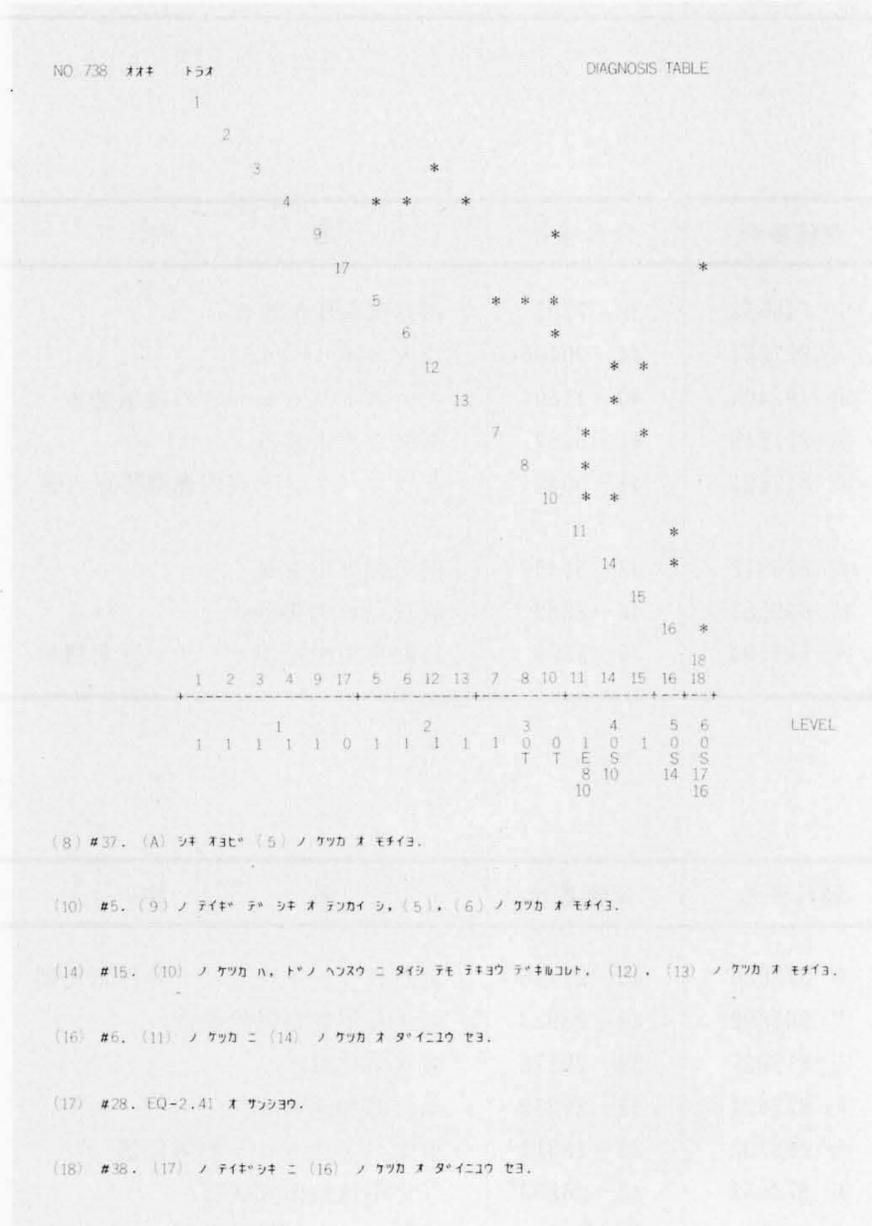


図4 CGI出力リスト例(2) 学習者の回答パターンの分析結果を示す診断テーブルと、それに基づいて選択された処方を示す。

Fig. 4 An Example of CGI Output List(2), Diagnosis Table