

CAI システムの運用・実践 (中学1年数学) と学習データの分析

青山 寛六* ・中田 寛隆**
緒方 宏一*** ・山内 一高****

Analysis of Datum of Studies Which Were Recorded by a CAI-System

Kanroku AOYAMA, Hirotaka NAKATA
Kohoichi OGATA and Kazutaka YAMAUCHI

(Received September 30, 1988)

We used CAI-(network-) system to teach math (grade 7). We analyse the records of studies which were recorded on a 2D-floppy disk when the computer assisted instruction was done. First, we use the graph-theory to see the flow of the lessons by CAI-soft. Secondly, we show individual differences of answering one problem. We show that we can revive the all conversations about each problem by BASIC-program, what tells us many things. Lastly, we show the SC-table which helps us to see the status of the class.

These researches are called by the CARI, which stands for Computer Assisted Research of Instructions. When we wish the man-to-man instruction in the class where 42 pupils study with one teacher, these investigations using the CAI-system are very useful not only for in the practice but also for the investigation of the instructions.

はじめに

個に応じた授業が望まれている現在, CAIの有効性は言うまでもない。特に一人一台のコンピューターを使う場合は, 特に有効である。しかし, 一人一台のコンピューター使用という環境は, まだ, あまり一般的ではない。一斉学習でしかも, ひとり一台の場合はなおさらである。しかし, コンピューターを使う・使わないにかかわらず, 一斉授業の中で個に応じるための問題点を探る研究は今日的課題である。その道具としてコンピューターが利用されて良いと考える。すなわち, コンピューターが授業を記録する道具と考え, 本論文では, CAIソフトによって記録されたデータ(学習履歴)を如何に利用すべ

きか考察し, その事例を示す。

この種の研究により, 学習者一人ひとりに応じた学習指導の方法論に問題提起が出きるし, 教科特有の問題点も明らかになる。

そこで, コンピューターの利用形態にかかわらず, コンピューターを利用した授業で, 授業(学習・指導)の記録(Record)し, その記録を再生(Replay)して授業を研究(Research)する場合, これらの研究をコンピューターの援助で行う教育研究という意味でCARI(キャリー)と呼ぶ(COMPUTER ASSISTED RESEARCH OF INSTRUCTIONSの略)。

研究の目的と概要

CAIシステムにおける学習履歴の分析を通して, 学習者一人ひとりに応じたCAI学習の在り方を明らかにするとともに, 数学教育におけるCAI教材ソフトの改善・開発に寄与することをめざす。

ここでは, 以下, ネットワークでCAIシステムを

* 数学科

** 熊本市教育センター

*** 熊本市立三和中学校

**** 熊本市立春竹小学校

運用した授業（中学1年数学）の実践記録を解析し、CAIシステムの持つべき条件、CAIソフトの作成の方略、CAI研究の仕方を探求する。

初めに、CAIソフトにグラフ理論を対応させて論じる。次に、このグラフ理論に基づいて、個人差を見る学習状況の表示方法をいくつか示す。最後に、CAIシステムの進行状況を見るSC表について述べる。

研究の環境（ハードウェアと支援ソフトウェア）

本研究では、筑波大学学術情報処理センターとシャープエンジニアリングK.K.の共同開発によるシステム¹⁾を採用した。そのシステムの大要は次の通りである。

基本ハードウェアとして、教師用コンピューターと学習者の人数分のコンピューターを使用し、各生徒用パソコンにエグゼキュータ (ROM) と拡張メモリ (512KB・RAM) の一体ボードを使用している。更に、各パソコンにシンプル LAN ボードを使用している。

ソフトウェアとして、次の3つが用意されている。

- (1) オーサリングシステム：これは教材作成及び学習制御作成の支援ソフトである。これによりコースロッピーディスク (コースウェア) を作成する。
- (2) ネットワークシステム：授業の集中管理をする。
- (3) エグゼキュータ (ユーティリティ)：個別学習 (スタンドアロン)用のディスク「エグゼキュータ」を作る。

一般的にCAIソフトでは、学習指導の流れを構成する「単位」は、コースウェアの画面構成上の「単位」と同時に、学習内容上の「単位」も考えられるが、ここではどちらかと言えば後者の意味で「フレーム」と呼ばれている。各フレームにおいては、絵図や文字で、問題、説明、解説、KR (メッセージ) 等がなされる。一つのフレームから次に進むフレームの決定は、児童・生徒の反応とその児童・生徒の成績による。これらの指示は支援ソフトのオーサリングシステムにより可能となる。

本システムでは、学習時に学習制御を行うエグゼキュータによって、改行キーが入力される度にホストコンピューターに入力データが送られ、表示されると同時に2Dのディスク1枚の上にデータが記録される。1回分の記録内容は、生徒番号、フレーム移動をした時の2つのフレーム番号、入力された解答、解答に要した時間などである。

本研究のCAI運用においては、次のような点が重視されている²⁾。

- ① コンピューターは、単なる問題提示機 (ページめくり機) ではなく、一斉学習の中で、一人ひとりの生徒が、学習の速さや学習スタイルに応じて、思考を深め、確かな理解を得るための助けとなるものでなければならない。
- ② 一人ひとりの生徒が常に教材に働きかけ、主体的に学習を進めていくために、一人一台のコンピューターを用いる。

研究の実際

1. システムの運用

各丸テーブルに4台ずつで生徒用端末が45台と、教師用ホストコンピューター1台がネットワーク回線で結ばれ、本システムが視聴覚教室に設置された。このホストコンピューターのディスプレイには生徒の入力の度にその内容が映し出され、学習の様子が分かるようになっている。また、ホストコンピューターからは、コース学習の途中に割り込むことができるようになっている。

本システムを運用した学習は、中学校の第1学年1クラスを対象に、昭和61年11月29-30日の2日間、2校時分の正規のカリキュラムの授業として実施された³⁾。第1日はコンピューターを使った授業としての練習をも兼ねていた。第2日は公開授業で、多くの参観者の中で行われた (授業者は中田寛隆)。

2. 教材ソフト (コースウェア)

教材ソフトの主な内容は、次の7つから成る、約5時間分である⁴⁾。

- (1) 復習と定義
 - 円・半径・直径・中心等の用語の復習
 - 円周測定・円周の長さの計算
 - 用語・記号「 π 」(パイ)の導入
 - 円周の長さの公式、円の面積の公式の復習
 - 用語「弧、弦、中心角、おうぎ形」の導入
- (2) 弧の長さの求め方
 - 半径と中心角から弧の長さを求める公式 (π 使用)
- (3) おうぎ形の面積の求め方
 - おうぎ形の面積の決定要素の発見
 - 中心角、面積のそれぞれの割合関係
 - おうぎ形の面積は円の面積とその割合分であること
- (4) 診断テスト
- (5) 応用コース 公式「 $S = \frac{\ell r}{2}$ 」
 - (半径 (r)、おうぎ形の面積 (S)、弧の長さ (ℓ))
- (6) 治療コース 「中心角との比例関係」

(7) 地球の円周に関する発展問題

3. コースウェアのグラフ表示

— グラフ理論の応用について —

数学の一分野に、グラフ理論がある。「グラフ理論」の研究対象の「グラフ」とは、点集合 V とその集合 V の 2 点の組のいくつかを集めた集合 E を合わせた複合概念 (V, E) である。 E の要素をグラフの辺と言う。 辺を決定している 2 点在同一の点であるとき、その辺をループと言う。 2 つのグラフにおいて、辺、点共に一方が他方の部分集合になっているとき、部分であるグラフを部分グラフと言う。

連結グラフ (V, E) の点 v は、 V から点 v と、 E から点 v とつながっている辺をすべて除いてできるグラフが連結でなくなるとき、カット点である言う。 グラフ理論では、グラフの部分グラフでカット点を持たない最大の連結部分グラフをそのグラフのブロックと呼んでいる。 我々の場合、コースウェアのフレーム（学習の単位）を点と考え、フレームからフレームへの移動を辺と考える。 各コースウェアに対して、グラフ理論の（有向）グラフ（向きをもったグラフ）が対応する。 一つのフレームを直ちに繰り返す場合、即ち誤答に対してもう一度経験させるという場合、グラフ理論での「ループ」が考えられるが、ここでは先ずこのループを無視し、省略して考えることにした。 コースウェアを大域的視点で見るときはループを無視する方がいいと考えたからである（図 1）。 図中の点「 \cdot 」が本教材ソフトの各々のフレームに相当し、各点を結ぶ線分は学習の流れを示すものであり、グラフの辺に相当している。

また、これらの線は方向性を持つから、矢印をつけて表すべきであるが、ここでは学習が図の上から下へ進行するものとして（誤解の恐れのない限り）矢印は省略した。

コースウェアで準備したフレームとその流れの可能性全てに対して決まるグラフをコースウェアグラフ、または学習グラフと呼ぶ。

各々の生徒の学習経路はコースウェアグラフの部分グラフとなる。 そのグラフをその生徒の学習履歴グラフと呼ぶ。 また、生徒全員の学習履歴の和集合を考えると、そのクラスの学習履歴グラフができる。 以後、このグラフを単に学習履歴グラフと呼ぶ。 図 1 のグラフは、今回の実践授業 2 日分の学習履歴グラフであり、図 1 の 5 本は上に述べた学習内容のうち、(1)–(5)に対応している。

どの生徒も必ず通過するフレームは、概ねコースウェアグラフのカット点に対応する。 このカット点

に対応するフレームに関してデータを集計すると、全ての生徒の到達度・達成度を一度に示すことができる。 つまり、この「カット点」に対応するフレームを特定することにより、学習状況の指標となるフレームを抽出することができる。

この図 1 のグラフはいくつかのブロック（点線で囲んだ部分）をつなぎ合わせた形をしている。 これらのグラフを構成しているブロックをその形の特徴から分類して考察する。

第一に分岐を持つかどうかで分岐型と不分岐型に

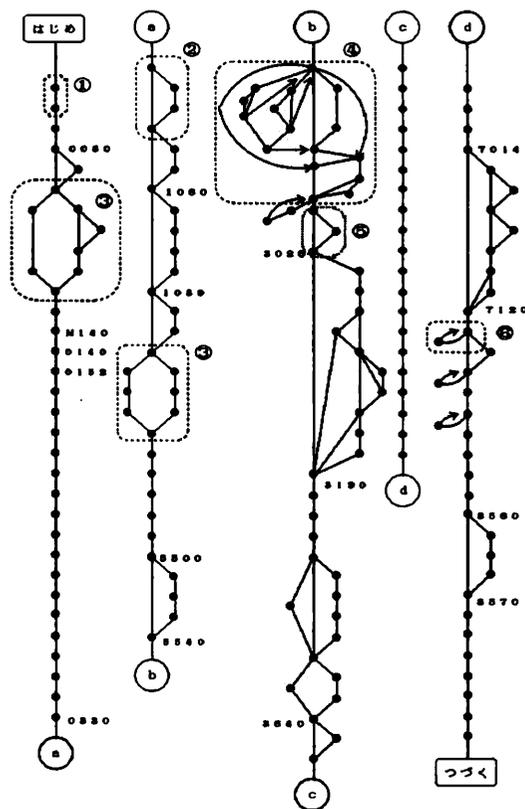


図 1 学習履歴グラフ

分かれる。不分岐型①は直線的な部分で、2 点からなる。これは学習の流れにおいて、ループ以外には制御が行われないことを示している。

次に、孤の長さの求め方の学習には最初のブロック②を多く含んでいる（注意：この分岐は 1 回の解答の正誤によるのではなく、準備された応答により正答に至ることができたかどうかで分岐してる）。正答に至れなかった者には指導または治療がなされるのである。これを正誤分岐型と呼ぶ。

これら分岐型にも2種考えられる。正答した者は単に次に進めさせ、誤答した者だけに、指導するという治療分岐型②と、正答した者にも確認の為の指導をしたり、更に発展的な指導をする複線指導型③とが考えられる。

今一つの分岐の型として、ブロック④のような選択分岐型がある。この場合は、分岐が正誤のみによるのではなく、児童・生徒の意志で分岐を起こす。このような学習の流れはプログラム学習理論において、分岐（プランチング）と呼ばれていたが、これは問題に対する解決方法が多様である場合に用いられる学習様式である。

以上の分岐型では、そのフレームでの児童・生徒の意志と反応により分岐が生じたが、このシステムには更に、今一つの分岐が用意されている。即ち、児童・生徒のそれまでの学習履歴を変数に持つことにより、それまでの学習履歴、いわば成績の特性による分岐が見られる(ブロック⑤)。これを履歴分岐型と呼ぶ。

図1の中のブロック⑥は、不分岐型の初めの1点と本質的には同じである。1つのフレームでの対応が困難なときに指導・説明のためのフレームを用意するためにこの形を採る。強いて分類すれば、補足型とでも呼ぶべきものである。

以上の考察から、ループを無視したグラフのブロックの形による学習活動の分類は完全ではないことが分かった。コースをグラフ表示するには有向ループグラフが良いであろう。分岐の分類は、コース作成上重要であるのでグラフに表現できることが望ましいと考える。

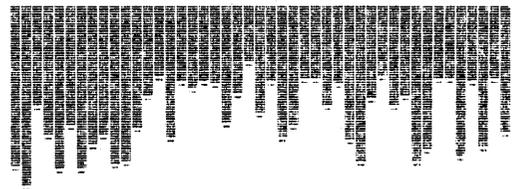
4. 学習進行状況の再現

本研究では、先ず、どんなフレームがあるか、どんなフレーム構造になっているかを表す学習履歴グラフを学習記録から作った。

次に、この学習履歴グラフを基に、各フレームに直線的な到達度（カット点は直線的であったから、このカット点の順番で評価点）を与えた。この評価点をもとに、学習記録のデータを1回分ずつ読みだし、各々の生徒がどんな場所を学習しているか（到達度）を示すために、ソフト「REPLAY」をBASICで作成した。再現中、棒の長さは、到達度を表し、どの生徒かは、棒の先を点滅させる（図2）。

このソフトにより授業実施時のホストコンピューターの画像を再現して見ることができ、そして又、このソフトにより、一斉学習時の45人の生徒の学習速度をいつでも見ることが出来る。

111111111122222222223333333333444444
123456789012345678901234567890123456789012345



No	FRAME>FRAME	TIME	CU	CAT	ANSWER
41	F1180>F1200	33	3	0	r~2p
34	F0240>F0250	113	14	n	
32	F1200>F5350	44	1	C	2pr
32	F5350>F5500	3	14	n	

図2 REPLAYによる学習進行状況

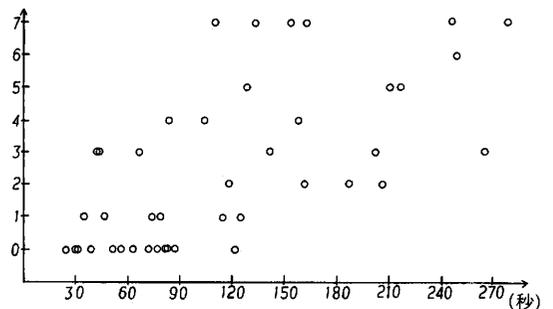


図3 F0140での誤答回数と所要時間の関係

この図2からも明らかなように、極端な進行の遅れを示す生徒の存在が分かる。また、「REPLAY」で学習進行の全体を見ると、これらの図よりも著しい学習進行状況の差がみられた。これは、本システム、及び、教材ソフトの評価とともに、授業者の学習進行状況の把握の問題点を示しているように思われる。

コースウェア作成時にこの評価作業がなされていること、及び、図2が授業実施時に表示されることが望まれる。しかし、この「REPLAY」を可能とせしめたのは、授業が忠実に記録されているからで、このようなシステムは、授業の研究・改善に有効なデータを提供すると考える。

5. 1フレームにおける学習状況の再現

1つのフレームにおける会話がどの様に行われたかを再現するBASICソフトを開発した。具体的には、生徒別の学習記録をディスクに作成し、学習制御の判断をBASIC言語に変換して、任意の生徒の学習の様子を再現するソフト「REPLAY 2」を開発した。

例として、多様なメッセージが用意されているカット点(F1040)に於ける生徒の反応過程を次に示す(このフレームでの対応計画は12通りであった)。

問題「半径は r 、円周率を π として、円周 L を文字式で表してみましょう。(円周)=(直径) \times (円周率)」

生徒(31秒)「 $r \times \pi$ 」

応答「文字式では『 \times 』を省略するのが約束です。」

生徒(4秒)「 $r\pi$ 」

応答「 r は半径です。直径は半径の2倍ですよ。」

生徒(37秒)「 $2r\pi$ 」

応答「 π は他の文字より前に書きましょう。」

生徒(20秒)「 $r2\pi$ 」

応答「数字は文字より前に書きましょう。」

生徒(10秒)「 $2 \times r\pi$ 」

応答「文字式では『 \times 』を省略するのが約束です。」

生徒(26秒)「 $2\pi r$ 」 応答「そのとおりです。」

この生徒は、コンピューターとの会話による、比較的良好な指導を受けている。彼は5回の応答(128秒)の後、正解に達している。この場合は、会話が成立したと考えられる。

全生徒のこのフレームにおける文字レベルでの学習過程の再現を見て以下が分かった。

① すべての生徒が、コンピューターからのメッセージにより、正答に至っているというわけではなく、生徒同士の会話による正答入力がかかりあった。

このことは、本システムの基本的考え「一斉授業の中の個別化」を反映していて、望ましい結果である。

② 途中、ちぐはぐな会話も多くあった。ちぐはぐの原因は、「コース作成での対応不足」と、「理解無しに学習済みとしてきた生徒達」によると思えた。原因が何であれ、メッセージが空しいものとなった例があった。

この場合、メッセージによって、思考は深化することなく、反応は単純化され、期待していた改善の糸口の指摘は得られず、戸惑う。これらの生徒にとっては、途中から、メッセージは何の意味も持たなくなる。寧ろ、混乱を引き起こしてしまう。

このような再現ソフトにより、個々の事例をつぶさに観察することができ、真に個に応じた指導への示唆が得られるし、各教材の問題点が明確になる(後述)。

このフレームがどのような学習されたのか、全体的側面を表現する方法として、各学習者の回答数と所要時間の関係図(図3)を作成した(このフレームでは7回の誤答をすると正解を示して、指導する

表1 全学習記録における正答率

名前	回答数	正答数	正答率	時間	正答率のグラフ
1	25	22	88.0	109.2	-----
2	43	33	76.7	67.2	-----
3	70	53	75.7	40.8	-----
4	43	32	74.4	64.8	-----
5	78	56	71.8	30.7	-----
6	72	51	70.8	38.2	-----
7	78	54	69.2	41.1	-----
8	45	31	68.9	67.4	-----
9	43	29	67.4	75.3	-----
10	55	37	67.3	56.1	-----
11	45	30	66.7	66.4	-----
12	71	47	66.2	44.9	-----
13	78	51	65.4	40.3	-----
14	75	49	65.3	42.2	-----
15	46	30	65.2	63.6	-----
16	85	54	63.5	34.3	-----
17	102	63	61.8	31.0	-----
18	83	50	60.2	40.5	-----
19	48	28	58.3	61.9	-----
20	64	36	56.3	45.1	-----
21	38	21	55.3	93.4	-----
22	67	35	52.2	49.0	-----
23	108	56	51.9	29.1	-----
24	48	23	47.9	80.3	----
25	59	28	47.5	63.2	----
26	107	49	45.8	27.6	----
27	64	29	45.3	54.0	----
28	105	47	44.8	34.0	----
29	106	45	42.5	26.6	----
30	107	45	42.1	29.6	----
31	69	29	42.0	46.3	----
32	89	37	41.6	39.4	----
33	70	29	41.4	55.6	----
34	81	33	40.7	40.6	----
35	114	46	40.4	26.9	----
36	50	20	40.0	54.4	----
37	70	28	40.0	50.1	----
38	115	44	38.3	25.4	----
39	67	25	37.3	48.0	----
40	97	32	33.0	26.4	----
41	122	38	31.1	27.0	----
42	146	44	30.1	21.6	----
43	71	16	22.5	30.8	----
44	125	28	22.4	24.2	----
45	115	23	20.0	31.7	----

表2 コースウェア評価・コース学習のSC表

内容	カット点	123456789012345678901234567890123456789012345	通過率
πの導入	1	0140 111111110111111111111101011011110111111111011	86.7-----
	2	0152 11111101111101110111111011110111101111011111000011	77.8-----
	3	0156 1111111111111101101110101111101111011101110011	80.0-----
	4	0190 11111111111111111111111111111101111111111111011	95.6-----
	5	0192 1110011111110001101101001111101111011101000011	64.4-----
	6	0196 111111111111000011111001111101111111101100011	75.6-----
割合	7	1000 111111111110111111111111101111111010110111010	84.4-----
	8	1040 1111111111110111011111011101001111111111111110	84.4-----
	9	1060 11111111010111111111111000001101111110011111	77.8-----
	10	1080 111111111111110110111010111101111011111000010	75.6-----
長さの計算	11	1100 11001000101111010101100100101000000100000000	34.1--
	12	1110 11111011110010110011110111111011111111111110	79.1----
	13	1120 111101111111111111011110111011111110111111100	83.7-----
	14	1160 1111111111111111111111111111111111111111111111	100.0-----
	15	1180 01010011110000101101001000111011110100100	47.5----
	16	1200 1111101001001011001110010011111111110100	62.5-----
	17	5500 1100000000010000001000110001011110100000	30.8--
面積の計算	18	3760 1111111111010101101101101110010101	70.6----
	19	3870 11111111111111111111111111111111	100.0-----
	20	3020 1111111110101011101101111011	78.6-----
	21	3190 111111111111110101101110011	82.1-----
	22	3242 11111011110011001111111100	73.1-----
	23	3600 110100000100000000111000	29.2--
	24	3640 11100101000000001011000	34.8--
	25	5900 1000110000101000001000	27.3--
診断	26	5910 1011111001111001101110	68.2-----
	27	5920 111111111111011000110	76.2-----
	28	5930 111111111111010000110	71.4-----
	29	5980 111001000000000000	22.2--
	30	5985 111111111111111100	88.9-----
各個人	相対評価↓		

ようになっている)。

図の左上に位置する生徒はせっちな者、右下には慎重派が位置する。生徒の多様さが現れている。実態を知る上で、誤答回数とか所要時間とか、一次的評価だけでは十分ではないことが分かる。

少し待ってやれば正答に達したであろう場合が2例あったが、他の例と考え合わせると、誤答回数の上限を7回としたことは妥当であったと考える。

上記をまとめると、半数以上の者は何らかの形でメッセージによる学習が成立し、正答に至っている。一般の調査においては正答者は45名中、誤答無しの人13名ということになるが、本システムの学習制御により、最終的に正答に至ったと考えることができる者は39名と、その効果が認められる。

6. 全体の学習状況

学習状況の把握のため、解答数・正答数を各生徒ごとに集計した(表1)。表1の正答率とは、応答した数に対する正答数の割合(%)であり、時間は、1フレーム所要時間(秒)の平均である。この正答率は、純粋な理解度を示すものではなく、「正解です」といった意味のKRを得た割合という意味で、学習者の満足度といった性格をも含んでいる。実行した主要問題に対して、正答に達したかどうかの割合は、以下においては通過率という(生徒の名前は、正答率の高い順番で替えた)。

表1で、正答率の高い者の特徴を見ると、解答数が少なく、1フレーム当たりには掛ける時間が長く、慎重に反応している。反対に、正答率の低い者は、反応回数が多く、反応に要する時間が短い。画面のメッセージをよく読まないで反応する生徒が少なからずいることがわかる。このことは、CAIソフト作成上、常に注意をしなければならない。すなわち、あまり読まなくてすむようなソフトの開発、あるいは、読ませることを目的としたソフトの開発等、その目的を明確にして作る必要がある。

次に、学習ソフトの学習のされ方の状況を見るために、学習グラフのカット点を適当に選び表2を作成した。

表2の縦にはカット点をそのまま並べた(これは時系列であるから順を変えない)。横には、到達点の多い生徒から並べ、同じ到達点のものは正答率の高いものから並べた(この種の表をSC表と呼ぶ:Sは生徒(Student)のS、Cはカット点のCである)。表の中の1は生徒がそのカット点で正答通過したことを表し、0は正答が得られなかったことを表す。

表の中で相対評価は、各生徒が正答通過した割合(%)であり、各自の学習進度での正答の割合である。表中の通過率は、各カット点に到達した生徒の内どれくらいの割合で正答通過したかを表すものである。

このSC表の利用法としては、まず、通過率の低いフレームの問題点を見つけ、学習ソフトの改善に役立てる。

例えば、11番目のカット点での通過率はその前後と比べて極端に低いが、これは、このカット点で学習内容の極端なギャップがあったためであろう。そのギャップを埋めるべきかどうか検討の余地がある。しかし、その後、通過率は上昇している。指導が出来た姿と見て良いと考える。17番目のカット点で通過率(12/39)が落ちて、次の学習内容に移ったように見えるが、治療コースで27人中25人は正答を得ていた。次の面積の学習も概ね良い形で始まっているが、終わりの方においては通過率が低い。23番目のフレームは改善の必要がある。

また、システムの改善という点で考えると、このSC表がリアルタイムで表示され、教師に示されることが望ましい。特に、到達度及び通過率の極端な生徒(表の中では、右から3名の生徒や、左から29番目の生徒)の存在を知らせてくれるシステムが望まれる。少なくとも、右から3番目のような生徒については、何らかの情報を教師に与えてくれなければ困る。

考 察

1. 教材ソフトの改善について

(1) 学習内容・学習過程の明確化の必要性

学習ソフトの改善の要点は、多くの生徒の反応に出来るだけ対応した指導が出来る事だと考える。

出来るだけ対応するためには、学習する生徒にとって、どのような知識項目があるのか十分分析する必要がある。

本ソフトの場合、主題の一つ「孤の長さ」に先だって、確認しておかねばならなかった項目を以下に挙げてみる。

- ① 円周率の存在、すなわち円周と直径との比が一定であること。
- ② その円周率は、小学校では3.14としたが、小数では正確に表せないの、今後は π で表すこと。
- ③ 半径 r の円の円周の長さを $2\pi r$ と式で表すこと。

- ④ 半径 5 cm の円の円周の長さを 10π cm と表すこと。
- ⑤ $r+r$ を $2r$ と表すこと。
- ⑥ $r \times r = r^2$ と表すこと。
- ⑦ 公式 $L=2\pi r$ の r に数 4 を代入して π を残して L を 8π と表すこと。

これらの要点は、学習記録を見ることで、明確になる。要点が明確になれば、どんな評価項目を準備すべきかが分かって来るし、更に誤答に対するメッセージは、より有効なものとなる。

各生徒の反応に固有の誤りを適切に指摘するような助言が、CAI 学習におけるメッセージの役目であり、学習効果の一つの要因となるのである。

今回の授業の場合、 π という文字のみを残して計算結果とすること⑦は、未経験であったことから、生徒の抵抗も大きく、困難性の高い内容であったようである。このような困難性も学習記録から分かって来る。

以下に、記録からの 2 つの改善案の例を述べる。
事例 1 (「 π 」と「3.14」と「円周率」の間の関係を充分把握していない事例)

問題「半径を r 、円周率を π として、円周 L を文字式で表してみましょう。(円周) = (直径) × (円周率)」

回答 (41秒) 「 $3.14r$ 」

KR「円周率をかけるのだから、 π が入りますよ。」

回答 (19秒) 「 $\pi=3.14r$ 」

KR「 r は半径です。直径は半径の 2 倍ですよ。」

回答 (50秒) 「 $3.14r^2$ 」

KR「円周率をかけるのだから、 π が入りますよ。」

回答 (13秒) 「 $\pi \cdot 3.14r^2$ 」 KR「まちがっています。」

回答 (59秒) 「 $3.14r^2$ 」

KR「円周率をかけるのだから、 π が入りますよ。」

回答 (37秒) 「 $r^2\pi$ 」 KR「まちがっています。」

回答 (24秒) 「 $2\pi r$ 」 KR「そのとおりです。」

これら π と 3.14 を混在させている者に対処するために、3.1 を含む回答に対して、メッセージ「3.14 はおよその円周率でした。今日は π を使って書きますよ。」を用意するとどうであったろうか。かなり多くの、反応に対処できたと思うし、効率よく指導できたであろう。

本教材ソフトを通して、もっと広範囲に通用するような対処するには、小数点を含む回答に対してこのメッセージを提示してもよかった。例えば、「8 π 」と答えるべきところで、「25.12」と回答した者に対して、この回答の中的小数点を読み取って「3.14

はおよその円周率でした。今日は π を使って書きますよ。」と指示すればよい。

円周率 π の理解をもっと確かにするには、上記⑦で 8π cm を得た後、もう一度、それは古い考えで何 cm なのかを尋ねるとよい。新しく学習した内容を古い知識と対比させて、考えさせると、新しい内容の理解が深まるものである。

事例 2 (文字式に不慣れな事例)

問題「半径を r 、円周率を π として、円周 L を文字式で表してみましょう。(円周) = (直径) × (円周率)」

回答 (110秒) 「 $r \times 3.14$ 」

KR「文字式では「 \times 」を省略するのが約束です。」

回答 (33秒) 「 πr 」

KR「 r は半径です。直径は半径の 2 倍ですよ。」

回答 (7秒) 「 πr^2 」 KR「面積を求める式です。」

回答 (17秒) 「 $\pi r r$ 」

KR「 r は半径です。直径は半径の 2 倍ですよ。」

回答 (35秒) 「 πr^2 」

KR「数字は文字より前に書きましょう。」

回答 (6秒) 「 $2\pi r$ 」 KR「そのとおりです。」

これらの生徒は平方を示す指数の意味を十分理解していないとも考えられた。あるいは、かけ算表示することと足し算表示することの区別がついていないのかも知れない。もしそうだとすると、面積の公式について言及することよりも、 r^2 が $r \times r$ であることを指摘するメッセージが必要であったのかも知れない。例えば、 r^2 を含む回答に対して、次のようなメッセージを用意すると良かったのではないだろうか。

「 r^2 は $r \times r$ です。 $r+r$ は $2r$ と書きますよ。」

それが式自体の見直しにつながり、正答に至ることができたと考えられる。そうすれば、回答「 $r^2\pi$ 」にも同様の対処ができたと考える。

以上の 2 例で示すような生徒の誤りは、後の学習にもずっと現れていたことを考慮に入れると、復習的な事柄は、ある程度の指導をしながら、誤りに対して、正しい知識を示す方が能率的である。

(2) 式への対応

CAI ソフトで、式の回答に対応することは、なかなか難しいけれども、本システムは、かなり対応できていると思う。本教材では、文字式 $2\pi r$ の入力に挑戦し、また分数の入力ができるようにした。しかし、そこで文字式の場合、その表現に厳密性を持たせたこと、また分数式の場合、その自由さから、かえって、コンピューターが何でも判断してくれるのでは

ないかという感情を与えたのではなかったか。後の学習で「半径4cmのときの円周の長さを π を用いて表せ。」や「図のおうぎ形の半径は、18cm、中心角は、70°です。おうぎ形の弧の長さを求める式を使って、このおうぎ形の弧の長さを求めなさい（円周率は π を使う）。ノートに式を書いて計算しなさい。」の問題に対して、計算した結果を問うているのか、式の理解を生徒に求めているのか曖昧になり、生徒の計算式の入力がかかり見られた。

従って、文字式だけでなく、数値を求める為の数式・計算式にも対応できるとよい。数学の場合、求めた結果のみを評価していたのでは、結果主義に陥る危険がある。誤答の中に、数と数の積の記号も省略している生徒がかなりいることは心配である。これらについても今後のソフト改善で留意されなければならない。

(3) 個人差に応じる分岐のさせ方について

本教材ソフトでは、大部分の分岐の型が、誤答者に対し治療的に作用する治療分岐型になっていた。そのため、REPLAYや表2に見たような学習の進度の差が出てきた。

また、肝心の指導内容「弧の長さ・扇形の面積の計算」はかなり抵抗が大きいものであった。特に、 π を用いた計算の練習がもう少し必要だった。

従って第一に、学習進度に関係なく、演習フレームが必要である。一つのフレームでいくら丁寧な指導をしても、その指導は、なかなか定着しない。繰り返し、繰り返し誤解を取り除く機会（充分なドリル）を与えてやらねばならない。

更に、進度補正のためには複線指導型を多く取り入れるようにした方がよい。

CAIの設計思想がAFO (Ad hoc Framed Oriented)・CAIからI (Intelligent)・CAIに転換しているとはいえず、学習にドリル的繰り返しは必要である。形式の類似した内容のフレームの連続的提示の効果は大きい。寧ろ、簡単な繰り返しの中から、一般性・類似性を発見できるのである。このことが期待できるのは、一人一台のCAIならば、より可能なことである。

2. CARIの重要性

以上のような研究は、教育研究に重要な役割を演じると考える。教育実践の研究はややもとすると、授業のやりっぱなしに終わることが多い。我々の場合、授業を終えた後に研究が始まると考えるのである。

例えば、以上の考察は、取り上げた教材そのもの

の研究にも重要であるし、それ以前に前提とする指導内容の教材研究にも少なからず有効である。

また、この種の研究が、CAIにおける学習ソフトの作成上の留意すべき点を明らかにするのである。更に、生徒の反応を分類することにより、対応の仕方が洗練されるであろうし、支援ソフト改善に有効な示唆ができるのである。

このような授業後始まる研究を有効ならしめるためには、できるだけ忠実な授業記録があること、その記録ができるだけ忠実に再現できる必要がある。また、その再現が客観的に評価できることも重要である。この記録(Record)、再現(Replay)、反省的研究(Research)及び実践のサイクルのためにコンピューターが有効である。なぜなら、コンピューターにより記録が正確にでき、この記録の研究には試行錯誤が許され、データはソフト種々の加工ができるからである。

3. エグゼキュータについて

最近の支援ソフトは簡単になったとはいえ、やはり膨大なエネルギーを必要とする。また、先生方すべてに学習ソフトの作成を期待するのは困難である。即ち、各々の先生方が自作することを望むのは難しい。また、困難であると同時に無駄である。すると、他人が作った学習ソフトで授業をするようなことが起きる。また、他人の作った学習ソフトや自作ソフトにしても前に作った学習ソフトを改良して使おうとすることも起きるのである。

そこで、作られた教材ソフトはどんな流れのものが容易に分かるようにする必要がある。例えば、フレームの流れ図が容易に図で表現できると良い。コースウェアグラフ及び学習履歴グラフの作成が容易になることが望ましい。先に述べたカット点は、指導の目標や指導の要点、評価ポイントに対応することになるであろうから、要点を容易に見ることができる。このことは、次に述べるように、実際の授業の進行状態を知る上でも重要な役割を演ずる。

授業の実行に関しては、授業の進行状態を示す機能を強力にしなければならない。いつもコンピューターを使って授業をするわけではないであろうから、いかに担任の教師とはいえ、コンピューターを前にした児童がどんな行動をしているか45人分把握することは困難である。故に、コースウェアグラフを簡単に図にし、45名の各々がどこをどのように学習しているかを表示出来なくてはならないであろう。

次に、生徒の入力したものが殆ど全て記号の集まりとなっていることは、計算機の機能を十分生かせ

ていないのではないかと、考える。例えば、式による入力に対して、インタープリターの如くその式の意味するものがある程度判断してもらいたい。

更に、欲を言えば、変数を用意すべきである。使用方の一例として、円を描く場合、その中心や半径を、生徒の意志で選べると素晴らしい。出力される映像がすべて決められたものしかないのは、いかにも寂しい。生徒の意志が反映される映像結果を保証してやらねばなるまい。この様なフレームが可能となれば1つのフレームで(試行錯誤を含めて)有意義なループが保証される。

今回の学習ソフトは記憶媒体が5インチ2Dのディスクであった。そこに殆ど5時間分の教材(1単元)が盛り込まれていた(実は5時間分は少し入らなかったために2枚に分けてあった)。上記のソフト「再生」で授業の進行を見るとよく分かることであるが、進行速度は非常にマチマチで「個に応じる」という点では見事であった。

早く終了する生徒が出てそれではそれでいいのではあるが、この本システムのような一斉にダウンロードする場合のCAIでは、終了した生徒に特別な教材を与えることが困難である。とすれば、かなり小さい単位でスピードを揃えるべきであろう。そのためには、上位の生徒に対する十分な配慮が必要となる。そのためにも、コースウェアグラフを眼前にする必要があるのである。ある種の仕事を揃えれば、ディスクの容量の心配も少なくてすむであろう。

おわりに

以上のような点に留意し、本教材ソフトの改善(評価のためのカット点の決定、応答の設定、進度をそろえるためのフレーム設定、等)を考察したが、まだ十分とは言えないし、今後、実施する場所と機会に恵まれれば改善ソフトを實踐し、実証をしたいと

考えている。

参考文献

- 2) 中山和彦, 東原義訓 (1986)
「未来の教室」, 筑波出版会
「マイコン・クラスルーム CAI-開発の目的と特徴」
新しい展開を図る CAI セミナー
日本科学教育学会 筑波大学学術情報センター
- 5) 菅井勝雄 (1983)
CAI 研究の可能性と今後の課題 パラダイム論の観点からみた CAI 設計思想の転換をめぐって
日本教育工学雑誌 7(4)
水越敏行 (1987) 「個を生かす教育」
教育新書 3 明治図書

注

- 1) X 1-CAI システムと呼ばれている。
- 3) 第40回熊本県中学校数学教育研究(熊本)大会
- 4) 本システムを運用するに当たって、使用した教材ソフトは、北海道教育大学附属教育工学センターの清水純一助教授の指導により札幌の研究会で、作成され、実践された(1986年2月17日:教育におけるコンピューター利用研究会/北海道大会)。これを中山和彦氏(筑波大学)のご助力で、借用し、熊本県の研究大会に於いて実施したものである。時間的余裕があればソフトの改善が出来たのではあるが、研究大会に間に合わせるために、残念ながら、完全な改善案ができなかったと同時にソフトの改善案の全てを実施することはできなかった。

謝 辞

中山和彦・東原義訓両氏には、熊本に来て頂いて、著者「未来の教室」に述べられたCAIの基本的考え等を御講演頂いた。器材の設置及び撤去は概ねシャープの方達と東原氏によった。実施のためのソフトの改造は、東原氏により、実施前日まで御尽力頂いた。ここに感謝の意を表したい。