

C A I について*

佐藤 隆 博**

1. ま え が き

1950年代後半から1960年代前半における、教育技術の発展のおもなものは、B. F. Skinnerの研究から生れたプログラム学習(Programmed Instruction)とティーチングマシン(Teaching Machine)である。1960年代後半から1970年代前半にかけての最大の発展は、Computer-Assisted Instruction(CAI)であろうといわれている。

教育における電子計算機の利用については、現在、アメリカにおいて最も研究され発達しているが、各国でも、ようやく注目を集めるようになった。その研究内容も学校における管理業務、事務処理の機械化だけでなく、学習者が直接電子計算機とやりとりして課題を解決したり、助言を得、訓練を受ける、いわゆる、CAIの研究開発が、新しい教育技術であるプログラム学習の普及とあいまって伸展し、主流をなしている。

本文では、このCAIについて、その理論的背景、代表的な開発経過および最近の例について紹介する。

2. プログラム学習とティーチングマシン

2.1 プログラム学習

プログラム学習(Programmed Instruction, 以下PIと略す)は、行動主義学習理論、とくに、B. F. Skinnerの刺激—反応—強化の理論による実践的な教育方法、教育技術である。刺激に対して反応がおこる、その刺激—反応の結合が強められるためには、ある種の強化が必要である。反応の適否が直ちに知られるか、賞罰が直ちに与えられるかといった即時強化が行なわれると、行動を強く保持させることができる。すなわち、授業において、各学習者の学習が正しく進行しているか否かを、教師は的確にとらえ、適切な指導を与えることによって強化を行ない、学習を定着させなければならない。この強化機構を各学者に個別に与える方法として、PI、さらにはTeaching Machine(TM)

による学習が考えられた^{15), 20)}。PIが伝統的な一斉授業と異なって特徴とするところは^{28), 29)},

- ・個別指導：学習は原則として個別に展開されるべきである。
- ・能力に応じた学習：個人ペースの学習であること。
- ・小刻みの学習：(Small Step)教える内容を細かく分析して、それらを順序よく並べる。
- ・学習者の積極的の反応：学習心理に基づいて学習の手がかり(Cue)を与え、学習を促進するための促進刺激(Prompt)を巧みに活用する。
- ・効果的なフィードバック：学習の即時確認、強化を与える。
- ・誤った応答の少ない学習：誤りの答を出す機会を少なくする。
- ・学習の自動化：自学自習を行なう。

である。これらの原則は、CAIの基礎理論の背景となっているのである。

2.2 学習プログラムの形式とTeaching Machine

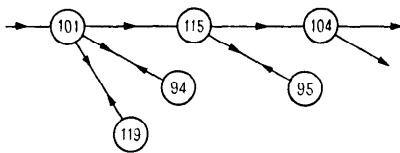
PIの原則から考えられることは、学習の自動化・機械化ということである。AV(Audio-Visual)機器のように、学習者に一方的に情報を与えるだけでなく、PIの原則に基づいた機能を備えた教育用機器(TM)が研究・開発された³⁰⁾⁻³²⁾。

学習プログラムは、その構造、反応形式から、大体つぎの3つの類形に大別できる¹⁵⁾。

- ・Pressy形(多肢選択反応形)：学習プログラムのその各フレームに構成された学習要素の配列のしかたが、テストにおけるような多肢選択法による形式。
- ・Skinner形(構成反応形または再生形)：与えられた解答群の中から正答を選ぶのではなく、学習者の自由な思考活動によって解答を構成させる——学習を求める事項を文中に空欄にしてそれを満たす解答を構成させる——、その答と欄外の正解とを比較させて強化を行ない、定着を高めようと工夫された学習プログラム。PIに用いられる代表的な形式である。

* Introduction to CAI (Computer-Assisted Instruction), by Takahiro Sato (Nippon Electric Co.)

** 日本電気株式会社



第 1 図 Crowder の Intrinsic Program

・Crowder 形 (矯正的分枝形): Pressy 形および Skinner 形の学習プログラムは, その形式は異なるが, 構成するフレームのシーケンスは直線的である。とくに, Skinner 形の学習プログラムにおいては, 誤答をさけ, 常に正しい反応を行なうことが積み重なって学習の成果が上がり, 目標に到達すると主張されている。

これらに反して, N. A. Crowder のプログラムでは, 誤反応の場合でも, その誤りを正すことによって, 意義ある学習が展開される, という考えから, 第 1 図のようなプログラム (Intrinsic Programming) をとねえ, 代数のチュートテキスト (あるいは, Scrambled Text book) と呼ぶ印刷物を編集した。このテキストは, 1 ページずつ順を追って直進的に学習されるものでなく, 最初与えられた問いには, 多肢選択の解答群が準備され, それぞれの解答を選んだときの進むべきページが指示されてある。誤答を選んだときは, なぜ誤っているかの解説が準備され, それを理解したらもとのページにもどって, もう一度考え直すよう指示される。正答を選んだ場合は, 初め学習したことを基礎として, さらに発展した内容を持ったページに進むよう指示される。そのページには, 再び多肢選択法による解答群と, それぞれの解答に対応する進むべきページとが提示される。

それぞれの理論, 学習プログラムの構造, 反応形式に基づいた種々の TM が研究され試作された。

Crowder の学習プログラムは, 前述の基本的な理論のほかに, 学習者の特性に応じた適した学習プログラムを提供しようとしていることが推測される。TM が適応性を持つことを追求しているわけであるが, 電子計算機を TM の心臓部に導入することによって, TM に適応性を持たせること, TM 自体の指導の質を向上することの可能性が示されたのである。

3. CAI の理論的背景

3.1 PI および教授過程研究からの理論的基礎

CAI の研究開発, およびその発展は, PI の発展と

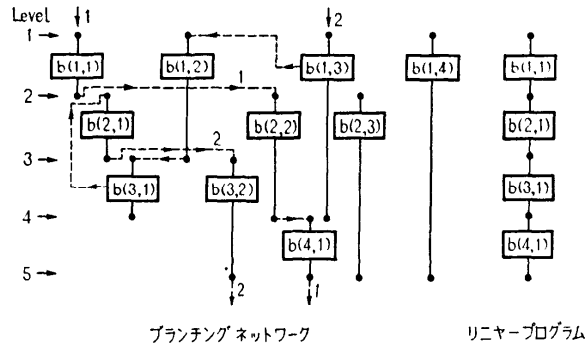
成果によるところが多であるといわれているが, 東は CBI (CAI) のプログラミングの原理の理論的基礎の流れを, つぎのように 3 つに大別している¹⁾。

- ・行動主義学習理論の系譜。
- ・教授活動のシミュレーションの系譜。
- ・認知理論の流れをくむ言語を媒介とした知的活動の形成の理論。

(1) 行動主義学習理論の系譜

学習を基本的に刺激と反応の結合, およびその強化であるとみて, その立場から, 最も効果的に新しい結合を追求しようとするもので, 前述の PI は, その代表的なものである。前述のように, B. F. Skinner の学習プログラムは直線的であり, 学習者がどんな解答をしても, つぎのステップは決められている。N. D. Crowder の学習プログラムはブランチング (枝分れ) であるが, 学習者の最終の応答によって, つぎのステップが一義的に決まっている (つぎのステップの学習プログラムの選択が, 直前の回答のみに規定される)。その学習プログラムの設定, 流れはすべて著者によって決められる決定論的プログラムである。基本的には, 学習者の能力を判断して, 適切な学習プログラムを個々の学習者に与えることは, 完全に期待できないし, また, それを期待するには, 学習者が答えるであろうすべての反応を予想して, プログラムしなければならないということから実際のでなくなる。

これに対して, R. D. Smallwood は刺激-反応理論 (PI) による学習過程を確率的に定量化して扱い, 学習者の能力や過去の学習経歴などの条件から, PI による学習過程の各時点に, 学習プログラムをどのように選択し, 提示すればよいか, その決定過程について研究している¹⁾。彼の理論によれば, 教授・学習の場は, 教師 (または TM) と学習者との間に, 相互のフィードバック過程を持ち, 個々の学習者の能力, 過去の学習経歴に応じて, 教材と質問とを提示し, 学習者の回答を評価して, それぞれの学習者に, 最も適したつぎのステップの教材と質問を決定することである。すなわち, 教師 (TM) の重要な特性は, 学習者に対する適応性と経験を有効に利用する (教授の質を高める) ことである。Smallwood は, この決定過程を表わすために, つぎのような確率的モデルを導入した。学習者の能力および過去の学習経歴から, 学習過程における各ステップの理解のレベルを推定し, このレベルでの最適な教材と質問を決定しようというものである。



第 2 図 学習プログラムの流れ

レベル i の学習者に、教材・質問 $b(i, j)$ を与え、その質問に確率 $P_{ij}(k)$ で k 番目の解答を選ぶと、その学習者のレベルが $V(i, j, k)$ になると考えると、決定過程は、 $i_{n+1} = V(i_n, j_n, k_n)$ とおいて、レベル i で $b(i, j_1)$ を学習したときのテストの得点の増加率の期待値 $\lambda(i, j_1)$ が最大となる j_1 、すなわち、教材 $b(i, j_1)$ を選択することである。これは

$$\lambda(i, j_1) = \sum_{k_1} P_{i,j_1}(k_1) \lambda(i_2, j_2)$$

と表わされ、一種のダイナミックプログラミングの形に似ている。ここで、 $b(i, j)$ 、 $P_{ij}(k)$ 、 $v(i, j, k)$ は
 $b(i, j)$: i 番目のレベルから j 個のレベル飛びこすことのできる内容の教材。
 $P_{ij}(k)$: レベル i になる学習者が block question $b(i, j)$ の k 番目の解答を選ぶ確率。
 $v(i, j, k)$: $b(i, j)$ に k 番目の解答を選んだ学習者が到達したレベル。

である²³⁾ (第 2 図参照)。

(2) 教授活動のシミュレーションの系譜

通常の学習指導における教師と学習者とのやりとりを分析し、すぐれた教師と様々な学習者との問答形式の授業を想定し、電子計算機が相手のでかたに応じて発問したり、助言したり、応答する教師の役割を演じるのである¹⁾。その代表的なプロジェクトとして、PLATO および SOCRATES がある。つぎに L. M. Stolorow による SOCRATES における教授過程の理論を紹介する¹⁶⁾。

教授過程のモデル

教授過程を指導前の段階と指導の段階の 2 つの過程を考える。指導前の段階とは、それぞれの学習者の特性に応じた要求目標を達成することのできる教授プログラムの選択をいう。指導の段階とは、指導前の段階にて選択された教授プログラムの実行と、それぞれの

学習者の遂行の監視をいう。

指導前の段階 : 指導前の段階は、要求結果(目標)、前提行動および教授プログラムの 3 つの変数の集合によって説明できる。すなわち、これら 3 変数の集合の間の関係を処理することで、与えられた前提行動に対して、一定の最小目標を成就する教授プログラムを選択することである。

要求結果 (目標) とは、与えられた時間内に、与えられた教材の領域 (またはトピック) (T) に対して、達成されるべき学習者の遂行の最小水準 P_{min} をいう。

前提行動 (B_e) には、前提遂行水準 (プレテストの水準) (P_e) と適性水準 (A_e) なる特性がある。

教授プログラムとは、学習者の前提遂行水準 (P_e) を、ある特定の最終水準 (P_f) に移すために用いる学習プログラムである。教授プログラムは、相互に作用する 2 つの部分から構成される。すなわち、一連の学習内容の単位と、それに対する一連の決定規則 (方略) である。

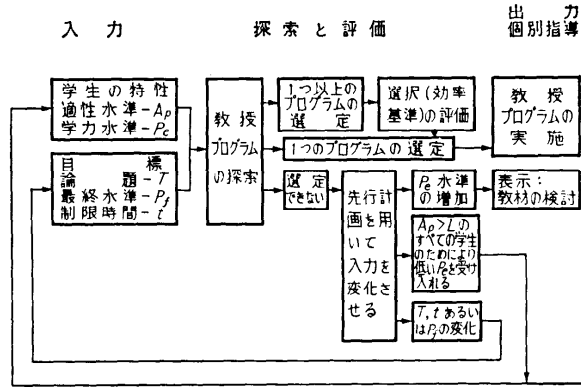
指導前の決定過程 : 適したプログラムの選択が、その目的である指導前の決定過程を第 3 図に示す。

ステップ 1. 学習プログラムの探索 : 教授プログラムの選択にあたり、少なくとも学習者については A_e と P_e 、目標については T 、 P_f および t を知っておく必要がある。これらを入力情報として、学習プログラムの探索を始める。

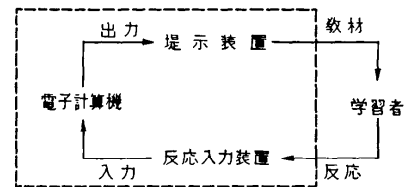
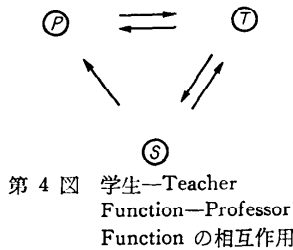
ステップ 2. 評価 : 評価規準および種々の操作によって、学習プログラムが決まる。

ステップ 3. 実行、すなわち、指導過程。

指導の段階 : 学習者に対して教授プログラムが選ばれると、それは実行される。指導の過程は、教授プログラムの実行と監視である。前者の機能を Teacher Function と呼び、後者、実行の監視を Professor



第 3 図 指導前の決定過程



第 5 図 電子計算機を導入したTMのモデル

Function と呼ぶ。プログラムの実行とは、それぞれの学習者の目標を達成するために、初期情報を基礎にして、決定規則を用いて学者内容のフレーム、あるいはフィードバック情報を選択提示することである。実行の監視とは、学習者の反応の測定値などのデータから将来の学力、目標の予測およびプログラム(学習内容、方略、あるいはその両方)の継続、変更の決定を行なうことである。

第 4 図に学習者と Teacher Function および Professor Function の間の相互関係を示す。P はその決定を、常に T を通じて学習者に伝えている。

3.2 適応性のある TM の実現

教師に代わるべき TM の特性としては

- ・学習者個人個人の学習特性によって提示を適応させる能力。
- ・経験によって指導の質を向上させる能力。

を持っていることである。これらの能力は、多数の学習プログラムを所有し、学習者の過去の遂行データを利用して、その学習者に最適な教材を選ぶことを意味し、また、学習が進行するにつれて、選択決定過程の質が向上することを意味している。これらの機能は、電子計算機を導入することによって、初めて実現される。電子計算機を用いた TM として、つぎのようなモ

デルが考えられる¹⁰⁾。第 5 図において、

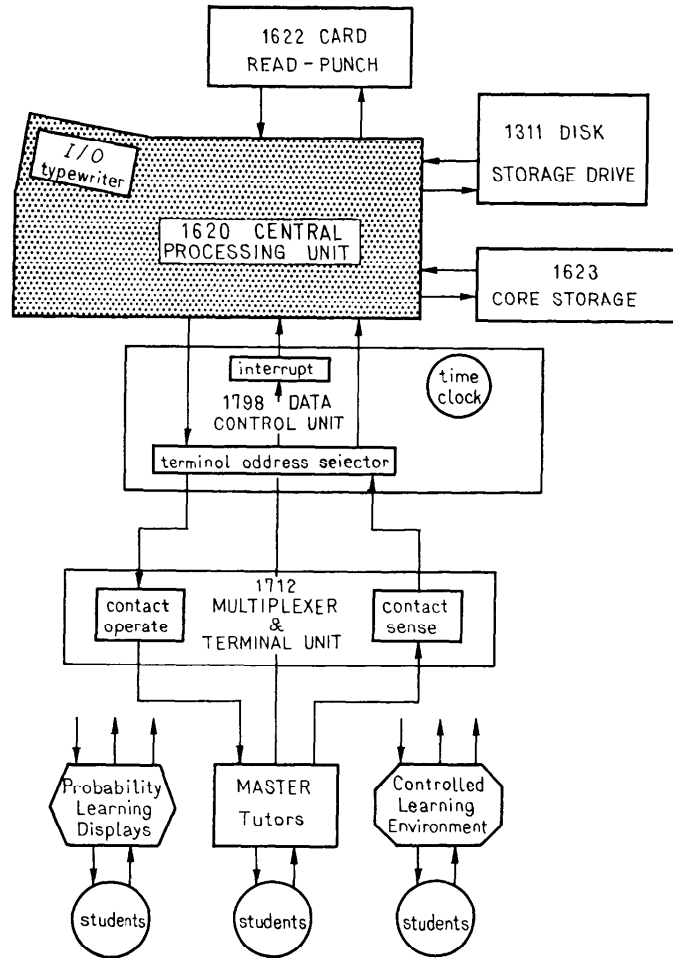
- ・電子計算機：教材の選択、学習者の反応の記録と処理。
- ・提示装置：電子計算機によって選択決定された教材の提示(タイプライタによる印字、スライド、CRT、音声)および KR (Knowledge of Result) 情報(音声、ランプ)の提示。
- ・反応入力装置：学習者の反応(タイプライタ、Keyboard, light pen など)の入力。

CAI の特徴は、電子計算機における多量の情報貯蔵およびアクセスの速いことにより

- ・個別指導が可能なこと。
 - ・時分割方式により、同時に複数の学習端末を別々に制御できる。
 - ・学習者のペースで学習が行なえる。
 - ・複雑なプランチングが可能である。
- ・多量の教材の貯蔵と学習者の学習経過の記録保存。

日常の学習活動の記録

- ・教材のプログラミング因子に関する処理(教材の修正、改訂など)が可能である。
- ・指導のプロセス自体の発展向上。などをあげることができる。



第 6 図 SOCRATES の構成図

CAI システムの代表的な例として、イリノイ大学の PLATO がよく紹介されているが、同大学の訓練研究所では、教育調査研究を目的とした前述の Stolurow の教授活動モデルによる適応性のある TM システムとして、SOCRATES が開発されている¹⁶⁾。その構成を第 6 図に、フローチャートを第 7 図に示す。

3.3 CAI による学習の仕方

CAI による教育活動は、学習の仕方、内容、目的によって、種々のタイプに分類される。そこで、現在開発されている CAI のおもなタイプを、つぎのようにあげることができる^{17), 20)}。

(1) Problem Solving (問題解決形)

電子計算機の計算能力を活用する場合で、学習者は問題に対するデータと電子計算機が問題を解くために

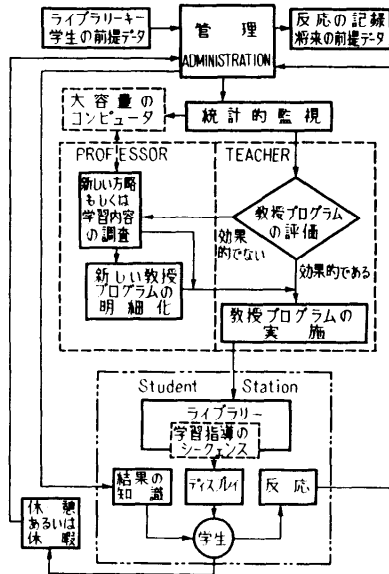
必要とするステップをシステムに入力する。そのためには学習者は、必要な Computer language を知っていなければならない (たとえば、FORTRAN)。

この場合、学習者は問題の解き方、電子計算機とのコミュニケーションの仕方については知っていなければならないが、教師は特別に教材をプログラムしておく必要はない。

(2) Drill and Practice (ドリル演習形)

数学における計算技能のように、基本的な手続きをマスタさせるためには、多くの練習が必要である。

この種の学習プログラムは、教授が教えるカリキュラムの単なる補助であるが、学習者の特性に応じた (個別化) 演習が可能である。この場合、教師は学習者達が最小目標に達するに必要であると考えられる幾



第 7 図 SOCRATES システムのフローチャート

種類もの演習問題を準備しておかなければならない。

学習者は自然言語、またはそれに近い CAI 言語を使用するため、特特な約束・操作を除いて、Computer language を知っておく必要はない。

(3) Inquiry (対話形)

学習者が比較的自由に電子計算機に質問して、その質問に対して電子計算機が応答する高度なタイプである。電子計算機は学習者が質問している意味を正確に認識することが必要であり、教師は文章の意味を認識するプログラムを準備し、学習者の質問を予期するアルゴリズムを探索するためのプログラムを必要とする。

(4) Simulation and Gaming (シミュレーションおよびゲーム形)

実験困難な現象のシミュレーションおよび計算などを行なうとき、教師が電子計算機に準備したある実在の、あるいは理想化した複雑な状態のモデルに対して、学習者は自然言語またはそれに近い言語によって、電子計算機と相互にやりとりし、状態を表わす変数間の複雑な関係を解くタイプである。教師はモデルを明確に系統だてて、プログラム化しなければならない。

(5) Tutorial Instruction (個別指導形)

電子計算機が教師の機能の大きな部分を代行する。電子計算機の特長から、個別化が容易になり、個々の学習者の特性(前提能力、学習速度、学習の形)に

じた指導を行なう。すなわち、個々の学習者の学習経歴に応じて、また、それぞれの過去経歴を基礎にして、つき与えるべき新しい学習内容を選択して与える。

4. CAI の開発経過

CAI の開発経過の詳細については、他の論文、文献を参照されたい^{6), 9), 10), 18)}。ここでは、おもな CAI の開発経過を概略紹介する。

4.1 IBM における CAI の開発

1958 年、IBM タイプライタ事業部で、B. F. Skinner の協力を得て開発、その後、ランダムアクセスの音声装置とプロジェクタを持った 6 つの学習端末からなる TSS システムを開発し、CAI 言語 Course writer を作成した⁹⁾。

4.2 Hanscom 空軍基地における開発

1957 年以來研究開発を行ない、SAGE (Semi-Automatic Ground Environment) 半自動防空装置の操作訓練に特殊目的の TM を開発し、さらに CAI の研究に着手し、学習端末と言語を開発した。BB & N 社の協力により、PDP-1 による CAI のソフトウェアおよび CRT ライトペン技術の開発を行なった⁹⁾。

4.3 BB & N (Bolt Beranek and Newman) 社における CAI の開発

1959 年、研究に着手、PDP-1 を使って音声を発生するプログラムを作り、学生にその発生音を聞かせ、自分の発声の正誤を比較させた⁶⁾。また、解析幾何学の学生の反応のグラフ構成など、種々の使い方を研究した^{10), 13)}。さらに、発音訓練における発音の良否の判定と指示を、電子計算機が行なう自学自習システムを研究している⁷⁾。

4.4 SDC (System Development Corporation) における CAI の開発

1958 年、米空軍の SAGE とそのほかのシステムの教育訓練のためにプログラムを開発した⁶⁾。1959 年、自動教育の branching mode の研究に着手、1961 年、教育システムの研究開発のため、学習端末 20 からなる CLASS を完成した。

4.5 ILLINOIS 大学における CAI の開発

1960 年、ILLIAC-I に学習者用端末を接続して、高校生に数学を教えるプログラムを作成し実施した。後に、PLATO-I, II と発展した⁶⁾。PLATO に関する詳細は数多くの文献に紹介されている。

4.6 MIT における R. D. Smallwood の研究

MIT の R. D. Smallwood は、学習者の全反応経歴

第 1 表 CAI 開発過程における主なプロジェクト

研究機関 システム名	IBM T. J. Watson Res. Center	イリノイ大学 CSL ¹⁾ PLATO	イリノイ大学 TRI ²⁾ SOCRATES	System Development Corporation CLASS	Bolt Breanek Newman Socratic System	スタンフォード大学 Stanford System	Cybernetic Dev. Ltd. Automated Classroom	電気試験所	香川大付属 高松中	能力開発工学 センター	機械振興協会
学習端末数	40	10	14	20	1	6	20	3	1	2	32
入力装置 (学習端末機器)	ステノタイプラ イダ IBM 1050 I/C タイプライ タおよびマトリ ックス鍵盤	特殊鍵盤	変更したオート チュータ (マス ターチュータ) 特殊鍵盤	特殊鍵盤	タイプライダあ るいはテレタイ プ	鍵盤, 用紙, テ ープ, ライトペ ン, マイクロホ ン	テレプリンタあ るいはタイプラ イダ	フレキシライ タ	タイプライタ	鍵盤	鍵盤
ライブラリー (メディア)	スライドおよび 音声テープ	ランダムアクセ ス可能なスライ ド	ランダムアクセ ス可能な 35mm フィルムストリ ップ	35mm フィルム ストリップ個人 別音声テープあ るいは印刷教材	磁気ドラム	ランダムアクセ ス, マイクロフ ィルムおよび音 声テープ	せん孔テープお よび(あるいは) 符号化されたカ ード	ランダムアクセ スフィルム トリップ	ランダムアクセ ススライド, ラ ンダムアクセ ス音声テープ (機 備中)	ランダムアクセ ススライド, ラ ンダムアクセ ス音声テープ (機 備中)	スライド, 音声 テープ他
電子計算機	IBM 1410/1440	CDC 16/4	IBM 1620 IBM 1710 コントロールシ ステム	Philco 2000	PDP-1	PDP-1 (改良) IBM 7090	通板 制御器	TOSBAC -3300	NEAC-1210	NEAC-2200 M 50	HITAC-10
プログラム言語	Coursewriter	Codap Fortran	シンボリック プログラミング FORTRAN	JOVIAL	特別	DEC MARCO	Prewired Logic	LALEP	アセンブラ	アセンブラ	CAI 言語標準 化委員会が開発 中
表示	印字テキスト 投影画像	TV スクリーン 上に投影された スライド画像 電子黒板	投影されたフィ ルムストリップ 画像	印字テキスト スライド投影画 像	印字テキスト	スライド画像 音声 文字表示	印字カードおよ び印刷紙 テープ キュートランプ	投影されたフ ィルムストリ ップ画像	スライド画像 2面 2面	スライド画面 プリンタ	スライド画面 CRT 印字テキスト

(注) 1) Coordinated Science Laboratory. 2) Training Research Laboratory.
 本表は, L. M. Stolurou and D. Davis: "Teaching Machine and Computer-Based Systems": Teaching Machines and Programed, Learning, II (1965) の表に, わが国のプロジェクトを追加したもので
 ある. 米国のプロジェクトのその後の新しいシステムについては 5.1 を参照されたい.

昭和 45 年度完成目標

を評価し、以前に学習した学習者の反応経歴と比較するために、電子計算機に decision structure を持たせ、個々の学習者の branch の確率を推定し、最も学習効率のよい branch を選び方法を考え実験している。IBM 709 を使用し、学習者に対する提示用にマイクロフィルムリーダー、回答用にタイプライタを使用している^{4), 23)}。

1963年には、CAI プロジェクトの数と教育用教材は2倍になった。さらに、1965年には、それぞれ1963年のそのまた2倍になった。また、イリノイ大学では、正規の授業に CAI コースが採用された¹³⁾。第1表におもな CAI を示す。

5. 最近の CAI システム

Computer and Automation (June, 1968) に CAI センターと研究所の一覧表がのったが、これによると、CAI センターおよび研究所は、米国が 36、仏 2、英 1、加 1 となっている²⁾。他にソ連においても研究が進められていると聞く。一方、わが国においても数年前から研究が始まり、現在、数箇所の研究機関において研究されている。

5.1 米国における最近の CAI

現在、米国における CAI の研究・実施の機関は 36 で、このうち大学が 18、民間企業・研究所 10、軍関係 5、他 3 となっている²⁾。それに加えて、公私立学校においても研究が実施されている¹⁴⁾。

以下、最近の入手文献から、二、三のおもな研究状況を紹介する。

(1) イリノイ大学

イリノイ大学における CAI システムは、PLATO と SOCRATES とがあるが、PLATO システムには電子計算機は CDC-1604 を使用し、特殊 Keyboard と TV スクリーンからなる学習端末を 20 組接続し、同時に 20 人の学習者が、おのおの異なる教材を学習できる。教師は約 70 種の言語からなるコンパイラ TUTOR を使用して、学習プログラムを準備する。

一方、学習者は数式、計算などは CATO (FORTRAN-II を簡単にした計算用言語) を使用して、Keyboard の打鍵と数字、および簡略化した英語によって応答する。

現在、図書館学・電気回路・産業看護学の 3 科目が、正規の単位を与えるコースとして使用されている¹⁹⁾。

さらに、1973 年までに、CDC 6600 によって、4,000 の遠隔端末装置により、同時に 200 の異なる

コースの授業を行なう計画がある。1 端末あたり平均 500 語わりあてるとしても、中央の計算機は 200 万語のメモリが必要となる。

(2) SDC

現在、言語学者・教育学者・工学者・心理学者、電子計算機プログラマおよび情報処理のスペシャリストを集めて、SDC Q-32 TSS によって研究を行なっている。研究の主目的は、教育者の電子計算機の利用率と、自然言語による CAI の研究である。教師は授業の構成、編集、教材の提示、あるいは計算に PLANIT という CAI 言語を用いて準備する。PLANIT を使用すれば、専門のプログラマを必要としないといわれ、また、学習者の答に対して $3(X+Y)^2=3X^2+3Y^2+6XY$ のような判断もできる。現在、統計学・経済学、電子計算機プログラミング、および電子計算機の操作の学習に使用している¹²⁾。

(3) スタンフォード大学

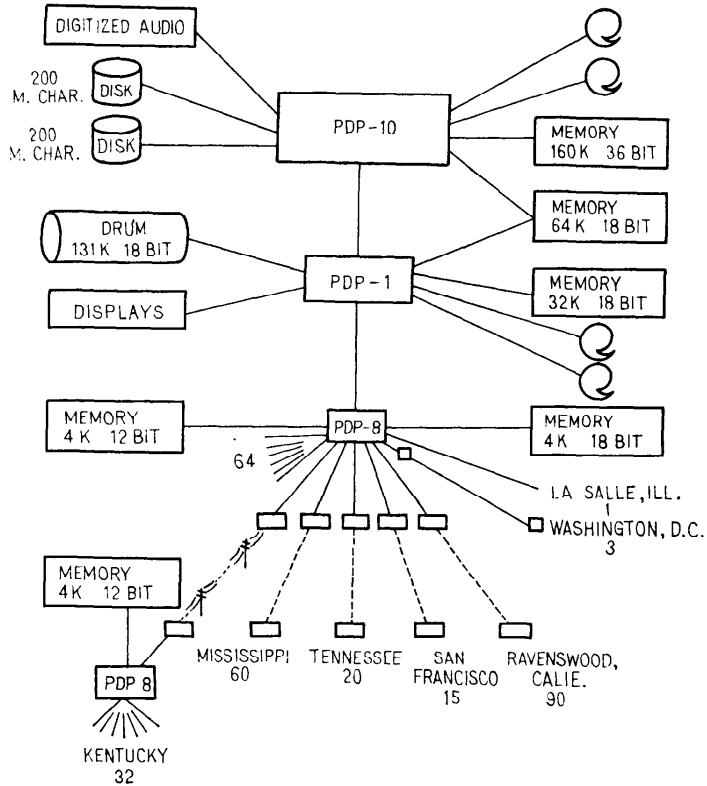
スタンフォード大学の CAI システムは、第 8 図のように大規模なもので、各地の学習端末は電話回線、スタンフォードキャンパスに接続されている。ここでは、すでに一部実用段階にはいっている。その利用状況について紹介する。使用している教材は、小学校の算数、大学の論理代数、初等ロシア語などである。

個別指導プログラム: 論理代数は 3 学年分準備され、Ravenswood, San Francisco と二、三の地方の学校を除いて、すべての学習端末で学習できる。ロシア語は、1967 年、30 名の学生が週 5 日、毎日 50 分学び、現在、第 1 学年分を 41 名の学生が、第 2 学年分を 19 名の学生が学習している。学習端末では、テレタイプ、Keyboard、音声テープを使用している。

ドリル演習プログラム: 1967~1968 school year に 3,823 名の生徒が 31 の小中学校で、約 300,000 の授業を受けた。1969 年には 1~3 年生には、Computer generated speech device (digitized Audio) による音声の説明を与えられるように計画している。また、1 日約 8,000 名の学生が、算数や論理代数を学ぶことのできる電話回線の装置が完成し、現在、1 日に平均 2,500 名の学生が算数・論理代数を、61 名の学生がロシア語を学んでいる²²⁾ (第 2 表)。

(4) その他

その他、フロリダ州立大 CAI センターでは、IBM 1440 と学習端末 1050 5 台で研究を開始したが、1967



第 8 図 Stanford Univ. の CAI System

第 2 表 Stanford 1967~68 Programs in Computer Assisted Instruction
(The number of students shown is for May 15, 1968)

Program	Number of students		Terminals
	Jan.	May	
Drill-and-practice Mathematics, Grades 1-8			
California	985	1,441	TTY*
Kentucky	810	1,632	TTY
Mississippi	592	640	TTY
Tutorial Mathematics, Grade 2	76	76	CRT†+Audio+Film
Tutorial Reading, Grade 1	73	73	CRT +Audio+Film
Tutorial Logic and Algebra, Grades 5-8	195	195	TTY
Tutorial Russian, University level	30	30	TTY+Audio
Dial-a-Drill	15	15	(Cyrillie keyboard) Telephone

* Teletype
† Cathode-ray tube

年 IBM 1500 を導入, CRT, Keyboard, light pen など現在 23 端末, さらに, PDP-8 を加えて, 16 の Teletype 端末を遠隔制御できるようにした. 高校の科学と小学校の読み方, および算数, 大学の物理の個別指導を実施している.

CAI はカリキュラムライタにフィードバックを与

えるために, 学生の反応データを集める評価用具としても利用されている⁵⁾.

マサチューセッツ州 (Mass. Dept of Education) では, 高校生のプログラミング教育を, 多数の Teletype 端末の TSS によって行なっている. CAI 言語としては, TELCOMP を使用している⁷⁾.

ダートマス大学では、GE 635 と 16 の Teletype 学習端末による TSS で、大学1年生からプログラミング教育を実施している。使用言語は BASIC である²⁾。

5.2 わが国における CAI の研究

わが国における CAI の研究開発は、昭和 38 年に電気試験所において着手され、昭和 40 年香川大学付属高松中学校において、集団用自動教育システム (KANE-COM-1) によって、ニアプログラムによる授業の自動化の実施研究が開始された。最近、能力開発工学センターにおいて研究に着手し、また、機械振興協会では昭和 45 年度を目標に、CAI システムの開発に着手した。一方、大阪科学技術センターにおいても、CATS (Computer Aided Teaching System) の開発計画がある。

(1) 電気試験所

電子計算機 1 台によって、3 人の学習者を同時に対象とするシステムで、電子計算機には Tosbac-3300 を使用し、学習者用の端末には、ランダムアクセススライドプロジェクト、フレキシライタ、および正誤表示用ランプが準備され、学習者はスクリーンの絵を見て、フレキシライタをたたいて応答する。学習者の応答の正誤によって、青赤のランプが点灯する。学習者の応答の履歴は、紙テープにパンチ記録される。

学習プログラム用言語として、LALAP (Language for Learning Program) が開発されている^{24), 25)}。

(2) 香川大学付属高松中学校

昭和 38 年より研究に着手、昭和 40 年、一せい授業のための、集団自動教育システムを開発、昭和 43 年、小型電子計算機による CAI を開発した。前者は実用の段階にはいっていない。

集団自動教育システム：一せい授業における教師の役目を、特殊設計された単能式電子計算機によって代行させ、各生徒の反応経過の記録・採点を自動的にこなすシステムである。テレビ、プロジェクト、音声装置に教材を準備しておき、また、学級集団の特性にあわせて、各フレームの目標正答率、および配当時間などを定めておき、そして生徒達の反応を検知して、授業の進行を制御するのである。学習進行中、必要に応じてサブプログラムが出される。教師は学習の進行を制御するプログラムを、数字のみによる簡単な FORMAT に準備できる。同校の第 2 学年の数学の授業は、すべて自動化されているが、その効果は教師と同等、

それ以上であると報告されている²⁶⁾。

小型電子計算機による TM：同校では、電子計算機に NEAC-1210 を、学生用端末にタイプライタ 1 台、ランダムアクセスプロジェクト 2 台、およびランダムアクセス音声装置からなる CAI を開発、研究を進めている²⁷⁾。

6. CAI 言語

CAI がその特性を発揮し、効果をあげ、また、ひろく普及するための条件の 1 つとして、CAI 用言語の開発がある。現在の電子計算機の Assembler、および一般の Compiler language を使って、教育用プログラムを記述するためには、相当熟練したプログラマが必要であり、教育用プログラムの著者自身が、これを行なうことは困難であり、実際的ではない。

また、学習者が CAI による学習において、種々の約束ごとの規制を受けることも問題である。電子計算機の入出力機器などのハードウェアによるある程度の規則があるが、できるだけ自然言語を用いて、対話できなければならない。

現在、20 以上の CAI 言語が開発されているが²⁷⁾、それぞれ CAI による学習の仕方 (CAI の type) によって特徴がある。たとえば¹⁴⁾、BB&N の“MENTOR”は、学習者と Computer Program との対話を記述するのに便利である。

IBM の“Coursewriter”は、12 種の Operation Code でプログラムできる。

rd : 学習内容を印字して、学習者の反応を待つ。
qu : 質問を印字して、学習者の回答を求める。
ca : 正答と一致すれば、つぎの rd, qu に移る。
br : 指示されたところに branch する。
un : 答えなおし、さらに誤まると br に進める。
など、簡単な言語でプログラムできる⁸⁾。

第 3 表に Computer language の表を示す。CAI 言語のリストとその実施機関については、Datamation (Sept. 1968) に記載されている²⁷⁾。

7. 今後の課題

教育における電子計算機の利用、とくに、CAI の研究開発は、ますます盛んになっているが、そこで、早急に解決しなければならない課題が数多くある²⁰⁾。とくに、教育方法、学習プログラミング技術、データの処理など、教育情報処理に関する理論を明確にして、具体的な技術を開発すること、電子計算機と人間との

第3表 Computer language

通常の Compiler language	ALGOL, COBOL, FORTRAN, JOVIAL, LISP, MAD, OPL
上記の Compiler language を改変したもの	MENTOR ← LISP ELIZA ← OPL CATO ← FORTRAN FOIL ← FORTRAN
計算と提示用の language	ADEPT, APL, BASIC, CAL, JOSS, QUIKTRAN, TELCOMP, TINT
教育用に工夫された language	CAL, COMPUTEST, COURSEWRITER, DIALOG, FOCAL, INFORM, LYRIC, PLANIT, LALEP

C. H. FRYE: CAILANGUAGES: Capabilities and Applications, DATAMATION, Sept, 1968 の内容から抽出。

コミュニケーションに関すること、および経済的な問題などの課題である。

7.1 教育情報処理の研究開発

教育における情報処理の理論および技術は、他の分野に比べて大きな差がある。教育学の立場から、つぎのような課題を解決することが急務であろう。

(1) 指導方法、学習プログラミング技術に関する事項として、たとえば

- ・ある概念をどのような順序で、学習者に与えたらよいか。
- ・どのように強化を与えればよいか。
- ・学習者の反応の程度を、どのように判断すればよいか。
- ・できあがった教材の評価は、どのようにするか。などをあげることができる。

(2) データの処理と保存、活用などに関して

- ・どのようなデータが最も有益であるか、すなわち、莫大に得られたデータのうち、必要なものとあまり必要でない情報とをどのようにして区分するか。
- ・永久に保存しておくべき情報は何か。
- ・学習者の過去の学習経歴を、どのように活用するか。

などがあげられる。

ちなみに、教育評価という課題について調べてみても、テストに関する理論、学習者の評価に関する理論は数多くあるが、実際の現場で、それらの理論に基づいた処理を行なっている例は少ない。それにもまして、教える側の評価、すなわち、指導者自身の指導法、指導内容および学習プログラミングなどに関する客観的な評価法、方法論およびその処理技術については、実行されている例が少ない。

CAI という新しい教育技術に限るのでなく、一般の学校教育において、日常の指導の検討、教材の検証、修正および学習者の学習状況、理解の把握、評価などに他の分野で適用されている情報処理技術の考え方やその成果を取り入れるべきであろう。

最近、その一つの方法として、一せいで学習指導の場、集団学習反応測定装置³⁴⁾ (Response Analyzer 以下 RA) を活用する例が多くなってきた。RA は一せいで学習指導における授業効率、授業進度の最適化³⁵⁾と指導者および学習者の評価検討^{33), 36)}を可能にする機器である。昭和44年度には、文部省においても全国22の中学校に RA を貸与して研究を実施している。

学習プログラミング技術においても、授業の指導案、教案およびそのうちの教授活動のパターンを、電子計算機プログラミングにおけるフローチャート式に表現して、教育用機器の利用に併行して効果をあげている(香川県、愛知県の小・中・高校において)。これらは、一般の教育の現場における教育情報処理の考えに基づいた第1歩であり、CAI の大きな基礎となるであろう。

(3) CAI 言語の開発

CAI が実用化され、効果をあげるためには、教師が簡単にプログラミングできる標準化された CAI 言語の開発が必要である。現在、開発されている言語のうち、COURSEWRITER, FOCAL および PLANIT を用いて、教師がプログラムを書くには、2~3時間学べば十分であると報告されている³⁾。

わが国においても、現在、日本電子工業振興協会における標準 CAI 言語委員会によって、標準 CAI 言語の開発が進められている。

7.2 Hardware に関する課題

(1) 電子計算機と人間のコミュニケーション

現状では、電子計算機の反応入力装置に最大の限界がある。学習者の任意に構成する反応(音声、文字および図形)およびその意味を認識する能力が要求される。つぎに、日本における場合は、タイプライタに日常使われていないこと、そのうえ文字における制約(漢字、ひらかな、かたかななど)があり、CAI で行なう教科・内容が制限される。CAI にも同じことがいえるのであるが、操作法、操作上の約束などが複雑で、これらを得得するために、長時間を要することは実際的でなくなる。また、誤操作などに対する考慮も必要である。

電子計算機からの出力については、とくに小学校な

どの低学年には音声が必要である。低学年では、見て読む読解力よりも、聞くことで理解することが大であるといわれている。現在、スタンフォード大学では電子計算機による合成音声を実験しているが、学習プログラミングが容易で、適したランダムアクセスの音声装置の開発が急がれる。

現状の出力装置は、それらの機器構成によっては、アクセスタイムのばらつきが大きい。

(2) メモリの問題

多人数の学習者が、同時に多数の異なる学習内容を学習するには、学習内容をすべてメモリに入れておくことは不利である。最近の動向としては、多数の学習端末を接続する場合は、学習内容はできるだけ他の媒体を活用して、どうしても計算機でなければならない場合だけ、計算機にメモリする方法がとられている¹⁹⁾。

7.3 信頼性

多数の学習者の学習を管理すること、また、“教育”ということを考えて、非常に高い信頼性を必要とする²⁰⁾。これは Cost の問題にも関連してくる問題である。

7.4 経済性

CAI の経済性については、将来の問題として種々の意見があるが^{7), 19)}、安価な端末装置の開発が必要である一方、その利用対象と利用内容、および利用効率を十分考慮することが必要である。現在、利用効率の高い(何回でも繰り返して使うなど)電子計算機のプログラミング教育に対する適用例が多い。

8. むすび

以上、教育技術の観点から CAI について概説した。拙稿が何らかのご参考になれば幸甚である。

終わりに、本稿の執筆にあたってご教示を賜った慶応義塾大学工学部 工博 藤田広一教授、日本電気株式会社中央研究所コンピュータサイエンス部 藤野喜一研究マネージャーにお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 東洋: CBI について, NEC TM ニュース, 1967, No. 2.
- 2) Computer and Automation Ed.: Rostor of Computer Assisted Instruction Center and Laboratories, Computer and Automation, June, 1968, p. 135.
- 3) C. H. Trye: CAI Languages: Capabilities and Applications, DATAMATION, Sept. 1968, p. 34~37.

- 4) D. D. Bushnell: "The Computer Based Teaching Machine", The Role of the Computer in Future Instructional Systems, AV Communication Review, Vol. 11, No. 2 (1963).
- 5) D. Hansen, W. Dick and H. Lippert: Computer in Education at Florida State University, Educational Technology, p. 47-48 (April 1969).
- 6) G. J. Rath: The Development of Computer-Assisted Instruction, IEEE Trans. Human Factor in Electronics, Vol. HFE-8, No. 2, p. 60~63 (1967).
- 7) 石田晴久: MIT の教育における計算機セミナー, 信学会教育技術研究会資料 (1968).
- 8) "IBM 1401, 1440 or 1460 Operating System, Computer-Assisted Instruction", IBM System Reference Library.
- 9) J. E. Coulson: "A Computer-based laboratory for reserch and development in education", JE. Coulson Ed.: Programmed Learning and Computer-Based Instruction, New York Wiley (1962).
- 10) J. C. R. Licklider: "Preliminary experiments in computer-aided teaching", J. E. Coulson Ed.: Programmed Learning and Computer-Based Instruction, New York Wiley (1962).
- 11) J. F. Feldhusen and M. Szabo: A Review of Developments in Computer-Assisted Instruction, Educational Technology, p. 32-39 (April 1968).
- 12) J. Rosenbaum and F. D. Bennik: CAI at System Development Corporation, Educational Technology, p. 11-13 (Feb. 1969).
- 13) K. L. Zinn: Instructional Uses of Interactive Computer Systems, Datamation, p. 22-27 (Sept. 1968).
- 14) K. L. Zinn: Comparative Study of CAI Programming Languages, Educational Technology, p. 14-16 (June 1968).
- 15) 金子孫市: 学習プログラムの構成と展開, 日本文化科学社 (昭 38).
- 16) L. M. Stolorow and D. Davis: "Teaching Machine and Computer-Based Systems": R. Glaser, Ed. Teaching Machine and Programed Learning, II (1965).
- 17) L. M. Stolorow: What is Computer-Assisted Instruction, Educational Technology, p. 10-11 (Aug. 15, 1968).
- 18) 野田克彦: 電子計算機による教育, 計測と制御, 第7巻, 第6号 (昭 43-6).
- 19) 尾山守夫: イリノイ大学の CAI 現地に見る, エレクトロニクス, p. 89-93 (昭 44-9).
- 20) パトリック スピース: "教育における計算機の利用", SCIENTIFIC AMERICAN 編, 南

- 雲仁一監訳：情報の世界——コンピュータのすべて——，共立出版（昭44）。
- 21) P. Suppes: Computer-Assisted Instruction: An Overview of Operations and Problems, Proc, IFIP Congress, p. 244-253 (1968).
 - 22) P. Suppes and M. Jerman: Computer Assisted Instruction at Stanford, Educational Technology, p. 22-24 (Jan. 1969).
 - 23) R. D. Smallwood: A Decision structure for Teaching Machine, MIT Press (1962).
 - 24) 田村浩一郎：電気試験所ティーチングマシンについて，電気試験所彙報，第30巻，第7号，p. 634-645.
 - 25) 田村浩一郎，辻三郎：電子計算機による教育，信学誌（昭42-4）。
 - 26) 高橋，小林，吉森，吉本，宮西，森：電子計算機をベースとする教育機器による学習指導過程およびその効果についての実験的研究——第1実験，香川大学教育学部研究報告，第1部，第25号（1968）。
 - 27) 高橋，小林，吉森，吉本，宮西，森：個人用自動教育装置について，香川大学教育学部研究報告，第2号，第177号（1968）。
 - 28) 西本三十二監訳：学習プログラミングとティーチングマシン [A. A. Lumsdaine and R. Glaser, Ed., Teaching Machines and Programmed Learning, NEA, (1960)], 学習研究社（1961）。
 - 29) 西本三十二，西本洋一：教育工学，紀伊国屋書店（1964）。
 - 30) 宮脇一男：Teaching Machine, 昭39四連大，シンポジウム予稿，p. 48-50.
 - 31) 宮脇一男：Teaching Machine, 信学誌（昭40-3）
 - 32) 宮脇一男，長尾信次：教育とエレクトロニクス，電学誌（昭43-4）。
 - 33) 藤田広一：集団学習反応測定器による教育評価，信学会教育技術研究会資料（1969）。
 - 34) 藤田広一：集団学習反応測定器の現況と問題点，昭44信学全大，分冊6，p. 147-148.
 - 35) 平田啓一：集団学習反応計測装置と学習指導，昭44信学全大，分冊6，p. 149-150.
 - 36) 佐藤隆博：集団学習反応計測装置による教材と学習の評価，昭44信学全大，分冊6，p. 145-146.
 - 37) Computer and Automation, Ed.: Rostor of Programming Languages, Computer and Automation, p. 120-123 (June 1968).