マイコンによるＣＡＩの実践と課題
―アメリカの実践に学ぶ―

川　合　治　男

はじめに

七十年代半ばにマイクロコンピュータが登場して以来、コンピュータはわれわれの身近な存在となり、生活のあらゆる分野で日常的に使われている。ワープロがそのよい例である。教育においては成績処理などの実務的な利用だけでなく、学習の媒体としても使われようとしている。コンピュータの優れた機能を生かして学習指導の効率化を計ろうとしたＣＡＩも、大型計算機を使っていた当時は限られた少数の専門家による実験の域を出なかったが、マイクロコンピュータを使うようになってから急激に普及しようとしている。

アメリカでは八十年代に入ってから、学校教育の様々な領域で活用されている。マイクロＣＡＩの実践が着実に広がっているという。わが国はコンピュータリテラシーが低いために、ＣＡＩの取り組みが遅れたが、行政側のイニシアティブでＣＡＩとの積極的な取り組みが始められた。

そこで、本稿では今後のＣＡＩの展開に生かすために、これまでのアメリカにおけるＣＡＩの実践を整理し、そこで生じてきた問題点を明らかにしたい。

Ⅰ　ＣＡＩの理論と展開

Ａ　プログラム学習とＣＡＩ

プログラム学習を提唱したスキナーは、当初から学習者の反応を如何に刺激コントロール下に置くかということを重視し、そのためにキューイング、フェーディング、強化スケジュールなどという強化理論を応用したプログラミング法を考案したのであった。

六十年代には更に多くの理論研究がプログラム学習の概念を広くした。その中でも主なものは次の通りである(5, p. 30)。

・行動目標に関する研究　メージャー　六一年。
・課業分析　ミラー　六二年。
・マセティックス　ギルバート　六二年。
・ルーレグシステム　エバンス等　六二年。

プログラム学習の研究は初期には学習者が何をするかということが中心であったが、後にはプログラム作成者が何をするかということへと重点が移動した。これはPLからPIへの変化、つまり、学習から教授への変化であった。プログラム学習教材を作成する手順は次のように四つのステップにまとめることができる。

(1) 最終到達目標を明記する。学習が終わった時点で何ができるようになっているのかを行動的な言葉で明記しておく。こうすれば学習経験の選択や、そこで取り入れている教授法の効果の評価などが容易になる。

(2) 前提必要行動を分析し、プリテストとポストテストを作成し、このプログラムが対象としている学習者の能力レベルを明確にする。

(3) 教材分析、及び生徒が習得すべき学習の行動分析を行ってから教材提示順序を決める。

(4) 最後に重要なのがプログラム評価である。実地テストの誤答分析、学習に要する時間、生徒のプログラムへの態度などを分析し、それをプログラム修正に反映させる。

B　教育におけるマイクロコンピュータ

マイコンの教育利用についてのベッカーの全国調査の八六年の報告では次のようなことが明らかにされている。

・八三年から八六年の三年間に小中高校のマイコンの数は四倍になった。
・小中高の学校に百万台以上。
・一台以上持つ学校に全国の生徒の九十パーセント以上が在籍。
・ハイスクールの半数以上が十五台以上所有。
・典型的なハイスクールは二十台以上所有。
・大半の小学校が五台以上所有し、典型的な小学校は六台以上所有。
・十台以上所有する大学は八九パーセント。
・五十台以上所有する大学は三八パーセント。
・公立四年制大学の六九パーセントが五十台以上所有。十八パーセントが二百五十台以上所有。
・八三年には教師の六七パーセントが所有していたが、八六年には九十パーセントが所有。

また、同年の別の調査は次のようなことを報告している（24, p. 14）。

・全米の学区（小中高）に百二十万台以上。

・小学校での台数の増加が顕著。八二年から八三年の一年間に三倍になった。

・マイコンの用途は、小学校はコンピュータリテラシーと学習の深化のために、ハイスクールはプログラミングとワープロとして使うのが中心である。

その三年前の報告では、教育におけるコンピュータ利用の形態は、（1）リテラシー　（2）ＣＡＩ　（3）プログラミング　（4）データベース端末として、という順になっていた（24, p. 14）。

一方、教師を対象にした別の調査によると、教師たちがマイコンを使わない理由は次に示すように、ソフトにあるとみていることが明らかにされている。

・ソフトが授業の目標に適合していない。

・ソフトが生徒の理解レベルに合わない。

・教育的に意味の無いソフトが多い。

・生徒一人一人の必要性に直ちに応ずることができない—個別化できない。

・論理的な構造をきちんと保った質の高いソフトが不足している。

・学級運営上の問題…一学級に一台とか、グループに一端末というように、学習活動がパソコンの台数の制約を受ける。

・他の教材では得られないような学習を生徒にさせることができない。つまり、他の教材の方が使いやすく効果的である。

教育のあらゆる分野の関係者を対象にした意識調査は、教育界でコンピュータ技術を活用するにはどうすべきかということへの関心が高いことを明らかにした。しかし、今のところコンピュータの何を、いつ、そして更に大事なことは、なぜ用いるのか、ということについては明らかにされていない。多くの人たちが学校の既存のカリキュラムの中で授業効果をあげるためにコンピュータを使おうとしている。そのためにその要求にかなうソフト作りの方法を模索している。コンピュータを使うことによって教育に急激な変化が起こるとみる者は少ないが、その技術を無視したり、逆に過信したりする者もいない（24, p. 18）。

大型コンピュータの代わりにマイクロコンピュータを用いるＣＡＩはすでに実施されている。しかし、まだ歴

史が浅く実験段階にとどまっている。それを実施する際の問題はまだ解明の途上にある。生徒の学力の観点からのＣＡＩ効果はいろいろ論議されており、効果と費用の関係も今後明確にされて行かねばならない。ソフトウェアは市場に多く出回っているが、信頼に足るようなものはまだ少ないという（14, p. 8）。

マイコンのＣＡＩを行うためには何がコンピュータ・リテラシーかということについての共通理解は得られていない。簡単に言えば、「コンピュータ・リテラシーとはコンピュータについての知識があり、それを使う能力があることを意味している。」（4, p. 34）。

シミュレーションや問題解決というような高い認知レベルのＣＡＩにおいては、生徒自身もコンピュータについての知識やコンピュータを操作するスキルが必要である。その反面、ドリル練習のような低い認知レベルのＣＡＩでは、コンピュータを操作してプログラムを自作するような高度な知識とスキルは必要ではない。このように、認知レベルの高い段階のＣＡＩに進むにつれ、コンピュータ・リテラシーの内容も高度になってくるのである。ＣＡＩに取り組む生徒にとってのリテラシーを低いレベルから高いレベルまで並べると次のようになるだろう。

知識に関して…
- コンピュータとは何か
- コンピュータの基本語彙
- ハードとソフトの関係
- コンピュータシステムの構成部分
- オペレーティングシステム
- コンピュータ内部の仕組み
- データ処理システム

能力に関して…
- キーボード使用
- ディスクの扱い
- 情報の蓄積と検索
- 入出力装置の操作
- 既製プログラムの使用
- オーサリング言語を使う
- プログラムを作る
- シミュレーションや問題解決をコンピュータで行う

コンピュータ・リテラシーはコンピュータ技術の進歩と共に、また、コンピュータの利用と重要性の増大と共に変化してくるものである。しかし、ＣＡＩにとってのリ

テラシーというのは、学習の展開と関係あるコンピュータについての知識と技術であり、それが欠如しているとCAIの効果に影響するようなものを意味している。

C　CAIの特徴と学習理論

学習理論は行動理論から認知理論へと傾斜してきた。そして、学習階層化についての教室研究、ピアジェ概念、幼児認知カリキュラムと社会カリキュラム、個人差、適性処遇交互作用、認知スタイルなどが出現した。スキナーの教授工学は行動変容における強化の役割を強調する。情報処理理論は学習過程における認知段階の重要な役割に注目する。最近ではガニエの学習の条件、ピアジェの認知発達理論、バンデュラの観察学習理論などがある。ところが、CAIの教材開発は、初期にはスキナー流のオペラント理論を根拠にしてプログラムの作成と評価をしていたのであるが、最近ではCAIコースウェアの開発はこのような学習理論の知見とは無関係に進められてきている。

CAIプログラムがどの学習理論の観点で説明できるのかを検討することによりプログラムの性格を明白にしたいということから、ベルはプログラムが取り扱うことのできるスキル、ならびにそれと関係ある学習理論は何かということを考察している（表1）（1, p. 37）。

表1　CAIで教えることのできるスキルとそれに関連した教授理論

教えられるスキルのタイプ	関係ある教授理論
〔ドリル練習型〕 識別スキル	教授工学
〔チュートリアル型〕 具体的概念…三角形、円 抽象的概念…自由、愛国心 法則の応用、問題解決	情報処理理論、概念学習 情報処理理論 ガニエの学習の条件 …知的スタイル
〔シミュレーション〕 複雑な装置の操作 または修理 問題分析と修正	バンデュラの 観察学習理論 ガニエの学習の条件 …認知ストラテジー

ガニエは教授という行為を分析し、それを構成している要素として九つの作用を分類した（9, p. 7）。彼はこのカテゴリーを用いて教授ストラテジーの分析を試みて

いるので、本稿でもこのカテゴリーに当てはめてCAIの教授ストラテジーを考察してみよう。

1　注意を引き付ける
2　学習目標をわからせる
3　前提必須スキルの想起を刺激
4　刺激材の提示
5　学習の誘導
6　活動を促す
7　フィードバック
8　学習活動の評価
9　把持と転移を高める

以下、これらのそれぞれをCAIに当てはめてみる。

（1）注意を引き付ける

コンピュータの多彩な機能は学習者の興味を引き付けるのに大いに役立つ。コンピュータのグラフィックス、カラー、音声の機能を生かして、アニメーションやファンタジーのように現実には不可能な教材を作ることもできる。また、三次元表示法を使えば擬似的ではあるが立体感を出せるので、設計図などのように立体表示をすることによって現実性を高めることもできる。このように、二次元より三次元、白黒よりカラーの表示は学習者の学習意欲を高めるのに役立つといえよう。

（2）学習目標をわからせる

このプログラムの学習をすれば何ができるようになるか、プログラムでは何を取り扱うのかというようなことはグラフィックスで示したり、特定の技術を示範したり、簡易シミュレーションで示すことができる。従って、プログラムに取り組む生徒は、いま何をしているのか、これからどこへ向かうのかという目的意識を持つことができる。方向性を持ち、自らの判断で意志決定をすることも容易になる。

（3）前提必須スキルの想起を促す

学習を始めるにあたって知っていなければならない知識やスキルを想起させるために、関連事項を復習したりプリテストをすることができる。コンピュータは新しい学習を始めるために必要なレベルまで必須学習を完成しているかどうかを評価する。生徒が前提条件を満たしていなければ復習学習へ分肢させる。いくつかの選択肢のメニューを用意しておくことによって、一人一人の学習レベルを学習開始に適したものに揃えることができる。

（4）刺激材の提示

学習情報はテキスト文、グラフィックス、音声、視覚

教材などの形で提示することができる。提示の様式と速度を生徒に選ばせることもできる。

コンピュータは印刷教材ではできないようなやりかたでテキスト文を提示する。ひとまとまりのテキストを一度に提示するのでなく、スクリーン上にいつまでも静止させておく必要もない。ある部分だけを強調するために、テキストの一部を移動したり変えたりすることもできる。類似したものをいくつかスクリーン上に併置して比較しやすくすることもできる。

グラフィックスとアニメーションも情報提示の方法である。現実のものがあまりにも複雑であったり、動きが早すぎるか遅すぎるものを理解しやすくするために、グラフィックスやアニメーションで部分と全体との関係を表現したり、抽象的な概念を具体的に表現することもできる。空間的概念や力動的概念についての情報を提示するのには特に有効な方法とされている。関係や概念はカラーによって一層明瞭に表現することができる。概念の特性を例証するためにはカラーは不可欠である。音声とビデオは教材を具体化するのに効果的である。ビデオはコンピュータグラフィックスが表現できないような写実性をもって視覚的教材を提示することができる。特にビデオディスクは必要な映像を取り出すのに要するアクセス時間が短いので、学習を中断することなく、興味を持続したり、新たな興味を喚起することができる。

（5）学習の誘導

学習を誘導するにはキューやヒントが使われる。CAIではディスプレー画面上に視覚的なキューを様々な形で提示することができる。注意を引きつけるために、文字などの点滅、反転、字体の変化（普通とは違ったタイプのフォント、太字、大文字、斜体字）、カッコや箱で囲むなどの手法を用いることもできる。反応の手がかりを与えるキューイング、キューを徐々に減少させるフェーディング、混乱から抜け出したり誤解を改めさせるためのヘルプ機構、表示のスピードの変化、などである。

（6）活動を促す

生徒に活動をさせることと関係しているものに質問形式と反応形式とがある。CAIプログラムの質問形式は多彩であり、おそらくどんな形式でもコンピュータは対応することができるであろう。その中には例えば、○×式、短文回答式、穴埋め式、多肢選択式などがある。短文回答式と穴埋め式の場合には、プログラム作成時に予想できなかったような反応にうまく対応するために、可

能なかぎり多くの反応をコンピュータに記憶させておく。反応形式はコンピュータのハードウェアシステムと関連がある。コンピュータの問いかけに生徒が応答するのには、通常はキーボードをタイプラターとして使う。簡易な方法としては、限られた少数のキー、例えばテンキーとか矢印キーだけを打つ。用意された選択肢から選ぶのにはマウスやジョイスティックを使うのが簡単である。これはグラフィックスへの反応にも役立つ。キーボードをいっさい使わない方法としてはタッチパネルがある。これはディスプレー上の必要箇所を指で押し示すだけなので、リテラシーの低い幼児や老人でも抵抗は少ない。

（7）フィードバック

反応に個別的なフィードバックをするためにはコンピュータが最も効果的であり得る。コンピュータを使ったフィードバックの利点の一つは質問提示と反応との間の時間間隔を調整できることである。設定した時間内に反応がなければ、コンピュータはヘルプ機構を働かせるか、質問の出し方を変える。誤答にはその程度に応じたフィードバックを個別に与えることができる。フィードバックは文字や文のテキストでもよいし、グラフィックス、カラーのような視覚的なものでも、ビープ音などの聴覚的なものでもよい。必要があれば、生徒の反応に対し、その反応がどんな結果になるかをシミュレーションで見せることもできる。

（8）学習活動の評価

学習の進行状況や理解度を調べるために、任意の学習項目を抽出して提示したり、反応に基づいて任意の数の項目を選択したり、学習の進行中に、任意のところで任意のテスト問題を提示することもできる。そしてそれらの全てに対する反応を分析し、もっとも適切な系列へと分肢させる能力もコンピュータは持っている。

（9）把持と転移を高める

学習したことが応用できるためには、どんな状況下でも正しい反応ができるように、反復深化学習をしておく必要がある。そこで、既習の概念や法則を復習するために、学習のどの段階でも取り出すことのできるような例題や例文を多数用意しておく。

D　授業の中のCAIの位置

現在のCAIはその大半がドリル練習とチュートリアルの段階のものである。単純な知識の習得は暗記的、反復的な学習でも有効であり、そこでは教師との接触や教

師による指導は必ずしも必要ではない。しかし、認知のレベルが応用、分析、総合へと高まるにつれ教師の役割が高まってくる。直観的思考や洞察という心理的メカニズムが解明されない限り、そして、ＡＩ（人工知能）が現在よりも進歩して、人間特有の認知機能をコンピュータが代行できるようにならない限り、コンピュータは人間の行う専門的判断や洞察という心理的な行為に優ることとは有り得ない。つまり、教授学習における認知レベルとコンピュータの役割とは反比例の関係にある。

認知レベルの低い段階でもコンピュータが万能というのではない。子供の学習状況や心理的な状況を読み取り、教材提示の順序を変えたり、適切なヒントを与えたりというような臨機応変の対応をすることは、コンピュータプログラムにはできない。プログラムは過去に作られたものであり、現在進行中の学習の変化を主観的に判断して子供の学習をリードすることはできない。コンピュータの関わり方は客観的な教材を子供が主観的に内面化する過程に教師が如何に関与するかということによって決ってくる。

一つの授業の中では教材提示の他に、スキルの獲得と訓練、概念の検証、概念やスキルの応用などさまざまな目的と形態の活動が展開される。これらの全てをコンピュータの助けを借りて行うということは現実的ではないし、行うべきでもない。そこで、授業の中の重要なコンセプトやスキルだけを取り出してＣＡＩで行い、それを授業の実地場面で検証したり応用したりすることによって定着させる、というのもＣＡＩの一つのあり方である。知識獲得のレベルの学習ではＫＲをフィードバックすることが不可欠であるので、このような反復的、暗記的な学習ではＣＡＩが有効であるが、その深化、発展学習では他の形態の活動を多くするのが有効であろう。

教授学習過程において、認知レベルが高まるにつれコンピュータよりも教師の役割が増してくるといわれるが、「認知レベル」はそのまま「発達レベル」と置き換えることができる。したがって、子供の発達段階が高くなるにつれコンピュータよりも教師との人間的関係の方が重要になるということになる。その一方で発達段階が高くなるにつれコンピュータリテラシーが高まり、コンピュータの特性を生かして情報収集や問題の処理に当たることができるようになる。このことから、コンピュータと発達段階との関係を言い表すのならば「発達段階の低い間はコンピュータの伝達能力が発揮されるが、その能力

の役割が小さくなるにつれ、コンピュータの相互作用の能力が大きくなり、発達段階の高い子供はコンピュータとのやり取りを通して問題を解決したり情報を処理するようになる」ということになる。つまり、発達の初期にはコンピュータは情報の伝達の媒体として機能するが、発達段階が高くなるにつれ、子供との思考のやり取りや相互作用の手段として機能し、問題解決の能力を高めたり、スキル獲得を促す働きをするようになるのである。

E　CAIの様式

スーピーズが六六年に初めて明らかにしたCAIの概念はコンピュータを使ったプログラム学習、つまりコンピュータ版プログラム学習であった。彼はそれには三つの様式の構想を描いていた。第一は「ドリルと練習型」である。第二は「チュートリアル型」である。これは生徒の個性や能力を熟知した教師が行う個別指導をコンピュータに真似させるものである。第三は「ダイアログ型」であり、人と人との一対一の関係でコミュニケーションをする対話をコンピュータで行おうとするものである。当時のCAIは第一のドリル練習型がほとんどであり、第二のチュートリアル型はまれであった。第三の対話型は理論的には可能であっても、現実には存在しないものであった。

その後しばらくの停滞期を経て七十年代後半から、マイクロコンピュータの登場につれてCAIが見直されるようになる。

スプリットガーバーはコンピュータを使って教材を伝達する方式を四つに分けている（26, p. 23）。（1）ドリル練習　（2）チュートリアル　（3）シミュレーションとゲーム　（4）問題解決。　ここで注目すべきことは、現実を再現するコンピュータの能力を応用して、従来には考えられなかったシミュレーションと問題解決という方式が生まれたことである。これはオペラント理論からの遊離であり、新たなCAI概念の展開の始まりとみることができよう。

ワトキンソン達は六つの方式を分類している（20, p. 26）。（1）ドリル練習　（2）チュートリアル　（3）ゲーム　（4）シミュレーション　（5）問題解決　（6）CMI。

ここではCMIがCAIの一部と見なされていることが注目に値する。これは彼らだけに特有の考え方であったようではあるが、子供の学習とは直接関わりの無いマ

ネジメントをCAIの一部と見なすのは新しい考え方である。ここにも学習（L）から教授（I）への重心移動がうかがわれる。そして、生徒の学習だけに限定されず、教育全般にわたるものまでCAIと見なすようになったことがわかる。

コーエンは五つに分類している（3, p. 11）。（1）ドリル練習　（2）チュートリアル　（3）ゲーム　（4）シミュレーション　（5）問題解決。この分類はスプリットガーバーのそれと類似してはいるが、これは伝達の様式というより相互作用の様式であるという。つまり、スプリットガーバー達が教授作用の「伝達」の機能に着目したのに対し、コーエンはコンピュータと生徒との「相互作用」に着目しているのである。ここにきて初めてCAIに於ける生徒の能動的な「参加」が強調されるようになったとみることができる。その後、CAIに於けるコンピュータと生徒とのコミュニケーションの関係を表すために「相互作用」という語が好んで使われるようになった。しかし「伝達」も依然としてCAIに於けるコンピュータの重要な機能であることに変わりはないので、どちらか一方だけというのではなく、「伝達と相互作用」というように並列して使うことが多くなった。このようなことから、現代的なCAIの様式は先の五つにワープロを加えて六様式とするという考え方が生まれた（20, p. 26）。（1）ドリル練習　（2）チュートリアル（3）ゲーム　（4）シミュレーション　（5）問題解決（6）ワードプロセシング。ワープロを新たに加えたのは、言語を処理して語や文を作成する過程に於ける生徒とコンピュータとの相互作用のメカニズムに着目したからである。「伝達と相互作用」という言葉は、生徒がコンピュータと能動的にコミュニケートすることによって、知識を獲得し、復習し、応用し、創作することを意味している。この六つの様式は次のような性格のものである。

（1）ドリル練習

これは既に学習した教室授業を補うのが目的であって、新教材を導入することが目的ではない。生徒が基礎的知識を復習したり、強化したり、習得した技術を維持したり、深化するのを援助することを目的としている。学習の目的と範囲をこのように限定しておけば、その範囲内でのCAIの効果は大きく期待することができる。反応―フィードバックという行為は法則の応用練習、識別、概念の理解などに特に適している。ドリル練習型は創造性開発の観点から批判されるが、ドリル練習型にはそれ

固有の目的と使命があるのであって、「創造性を開発できない」というのは不当な批判であるという擁護論もある(20, p. 26)。

（2）チュートリアル

個人教師が特定の生徒の能力や理解に合った教材を提示し、わかりやすく説明しながら概念や法則を学習させるのと同じように、ＣＡＩでも生徒の理解に適した内容へと分肢させ、学習を個別に援助させるのである。チュートリアルは一般に問答的というより説明的であることの方が多い。説明の後にいくつかの質問項目が設けられる。教師と生徒との相互関係、生徒の思考様式などをモデルにして学習の系路を無数に用意しておく。この様式の認知的目標は「知識」獲得と「理解」である。

（3）教育ゲーム

ゲームそのもののルールやストラテジーを理解させるものと、ゲームを動機づけの手段とするもの、というように二種類のゲームがあるが、教育ゲームとしては後者が重要である。ゲームという現実的な場面で、既に学んだ知識を使ったり問題解決のスキルを使ったり磨いたりさせるのである。従って、ブルームの認知のカテゴリーに当てはめると「応用」のレベルに相当する。

（4）シミュレーション

実際の場面を模倣し、本物の現象の基本的な性質をまねることができるので、この様式は問題解決について教える能力が優れている。植物の成長と水や肥料や日光との関係などのように、多くの要因が複雑に影響しあっている現象を現実に近い形で表現し、それらの要因をコントロールするために概念やスキルを統合して応用するので、これは「どこででも手にはいる実験室」という性格を持っている。シミュレーションは基礎的な原理や概念を学習した後に行えば、それらの原理を意味のある分脈の中で統合するのに役立てることができる。認知的にはブルームのタクソノミーの「応用」と「分析」のレベルを含んでいる。

（5）問題解決

コンピュータと対話しながら指示を与えて問題を解決するために、生徒はプログラミング言語を使って自らプログラムを作る。生徒はプログラムの作成者であり、同時に問題解決者となるのである。

（6）ワープロ

ワードプロセッシング（文字処理）はコンピュータを使った文章作成を意味するが、これもＣＡＩの伝達と相

互作用の一つの様式とみなすことができる。というのは、書く過程には学習者の側の様々な行為が含まれているのである。筆記、綴り字、句読法、大文字表記というようなメカニズム、あるいは正しい文法と文章構造で文章を作成するというように、それは高度に創造的な行為である。生徒が自分の言葉でキーボード上に文をタイプする時、コンピュータとの間に相互交流が行われる。修正や言語操作などという生徒からの命令をコンピュータは実行するからである。

スミス達はプログラム様式だけではなく、プログラムの中でとられる教授ストラテジーをも含めてCAIを分類した。その結果、探索、ソクラテス問答法、事例研究という独自のカテゴリー項目を作り出している。そして、これらの教授ストラテジーのそれぞれはガニエの九つの教授作用のどれと関係があるのかを考察している(表2)。ガニエの教授作用と関連づけたこの表からみる限り、学習と教授の性格を備え、教授の全ての作用を含んでいるのはチュートリアルだけということになる。

ゲーブル達は教授プログラムを四つのレベルに分けている(20, p. 25)。第一段階のプログラムはフレームが連続したものであり、そのフレームは順序がきちんと決

表2　CAIストラテジーの中に表わされる教授作用(25, 84)

教授ストラテジー ＼ 教授作用	ドリル練習	チュートリアル	探索	シミュレーション	ソクラテス法	事例研究法	ゲーム
注意を引き付ける	×	×					×
学習目標をわからせる		×		×			
前提必修条件の想起を		×					
刺激材の提示		×	×	×	×	×	×
学習の誘導		×	×		×		
活動を促す	×	×	×	×	×	×	×
フィードバック	×	×	×	×	×	×	×
学習活動の評価		×					
把持と転移を高める		×					

められている。次のフレームへ進むためには当該フレームを理解していることが条件となる。第二段階は多肢選

択の分肢法を用いた「スクランブルドブック」に代表されるように、生徒の反応によって次の教授内容が選択される。この段階までのＣＡＩは学習者がその学習主題についての知識をほとんど持っていない初期の段階に、簡単な知識やスキルを教えるのには適している。第三段階は「順応的」と言われるものである。単一の反応によってではなく、これまでの反応歴に基づいて次に何処へ分肢するのかが決まる。第四段階は「発生的」と呼ばれる。これは学習者ではなく教材をよりよく「理解」しようとする。そのために、文章発生システムと教科知識についての無数のルールとからできあがっているアルゴリズムを通して学習プログラムを作成するのである。

現存のＣＡＩコースウェアのほとんどは第一と第二段階にあてはまるものである。ということは、スクランブルドブックのコンピュータ版ということになる。スクリーンに表示されるプログラム内容（フレーム）は予め計画されている。これはフレーム型（frame-based）と呼ばれる。フレーム型プログラムはワークブックやプログラムブックのような他の学習プログラムと類似しているので、第一段階のものは電気的な「ページめくり」というような低い評価しか得ていないことが多い。しかしながら、コンピュータ技術の向上とプログラミング技術、特に人工知能の発達につれ、ＣＡＩプログラムは第三段階または第四段階にすら進むようになる。つまり、ＣＡＩプログラムはいずれは教科の内容のみならず学習者をも理解するようになるので、「利口な」（インテリジェント）プログラムへと進歩するであろうとみられている。

Ⅱ　ＣＡＩ教材のプログラミング

Ａ　ＣＡＩのハードウェア構成

新聞記事、書籍や論文、教育用資料などのデータバンクが近年設立されつつある。教師が授業に際して地域の産業分布や人工分布を示す地図が必要になった時、地域のデータバンクから電話回線を通じてそれを数分もたたないうちに取り寄せる、ということは既に夢ではなくなった。この仕組みによって、多くの知恵を結集してできた教材をソフトバンクに蓄積し、それらを豊富に授業で用いることができるのである。地域の様々なニーズに応ずることのできるデータバンク、あるいは全国規模のデータバンクが構築されればＣＡＩソフトウェア作成が容易になり、すぐれた教材がより多く生まれることになろ

う。

データバンクの利用の範囲を最大にするためには、マイコン言語の共通性を実現し、データの互換性を高めなくてはならない。まず共通仕様のオペレーティング・システムを開発し、どんなコンピュータでも使えるようにする。こうして、データの送受信や教材の交換を可能にするのである。わが国では教育用共通言語の開発が進行しているので、このようなことが実現されるのも間近い。

データバンクから受信した資料を多くの生徒が共有するためにはＬＡＮが必要になる。教師用のパソコンと生徒用の端末をケーブルで接続して、情報のやり取りや学習のコントロールを可能にする仕組みをＬＡＮ（ローカル・エリア・ネットワーク）という。このシステムではビデオディスクやスライドなどの視覚教材を全端末に同時に、または任意に送出することができる。このようにして、ビデオディスクのような周辺装置を多数の端末で共有することができる。また、各端末の学習進行状況を教師が一カ所で知ることもでき、全端末の学習をコントロールすることができる。従って全員が一斉に端末で学習をする時にはＬＡＮが不可欠となる。しかし、周辺装置を使うこともなく、学習データを集中管理することもないような場合、例えば、純然たる補習のような個別学習の場合にはＬＡＮは必要でない。そもそもネットワークは学習成績の処理と管理を教師が行う必要性から生まれたものである。集団の一人一人の生徒の学習を逐一記録して教師がそれを把握しなければならない時にはネットワーク構成が必要であるが、そうでなければあえてネットワークにする必要はないし、一クラス全員が同時に個別学習をすることができるように人数分の端末を揃える必要もない。そこでシステムを構成するにあたっては、まず将来の使用の態様を明確にしておかなければならない。

ＬＡＮでなくても教材の送出のできるような仕組み、たとえばＯＨＰやビデオプロジェクターを使うこともできる。こうすれば二十端末とか五十端末を同時に購入して大規模なシステムを構成しなくとも二―三ないし十端末程度でも十分にＣＡＩを行うことが可能である。またこの方が現実的である。さらに、ＣＧとは違った効果のあるビデオやスライドなどを使う場合には、ビデオディスク、ＶＴＲ、スライドや写真のランダムアクセス装置、テープレコーダや音源ボードなどの周辺装置のシステムの構成を計画的に行う必要がある。

B　オーサリングシステム

コンピュータ言語やプログラミングの知識のない素人がＣＡＩの教材を作成するのを援助するのがオーサリング（教材作成支援）システムである。このシステムでは教材を作成する際に使われる熟語、文、記号、図形や図表、フレーム作成の手順、ＫＲなどが予め準備されているので、単純なキー操作をするだけでグラフィックス教材やテキスト教材を作ることができる。これはプログラミングの時間と労力を軽減するだけでなく、コンピュータの素人にもプログラミングの門戸を解放することになる。コンピュータ知識のない、教科のエキスパートや優れた授業実践家をＣＡＩの教材作成に動員することもできる。現在は特定のハードウェアの特定のコンピュータ言語のオーサリングシステムしか存在しないが、共通語とそのオーサリングシステムの完成が待たれる。

C　教材の作成の方法

プログラミングが強化理論に基づいているのではないならば、教材はスモールステップでなくても、また、易から難へ論理的な系統性を厳密に保ってなくても構わないのではないだろうか。時には複雑なものから単純なものへ、全体から部分へという順序もあり得るだろうか。教材配列の順序は学習にとってはきわめて重要であるから、このことについては、初めから単一の方式だけに頼ることなく、学習内容の性質、これまでの学習歴、学習状況、学習者の能力や興味など、学習に関係する要因を多角的に分析した上で結論を出すべきである。

ＣＡＩプログラムを作成するにあたり次のようなことを留意することが望ましい。

〔チュートリアル〕

・具体的な概念を取り上げたもの…

（1）既習の知識との橋渡しをする。

（2）特徴的な例を提示する。

（3）単純なものから複雑なものへの例を提示する。

・抽象的な概念を取り扱ったもの…

（1）先行オーガナイザーのような、既習学習とのつながりをつける。

（2）具体的な例をあげる。

（3）他の概念との比較と対照をする。

・法則応用を取り扱ったもの…

（1）関連した概念と情報を思い出させるキューを与える。

（2）関連した概念を結合するように、言葉のキューを与える。
（3）例をあげさせる。
・問題解決を取り扱ったもの…
（1）前提となる法則を思い出すようキューを与える。
（2）多くの仮設の中から少数の有望なものに絞るようにキューを与える。
（3）必要な時には軌道修正をする。
〔シミュレーション〕
・複雑な機器の操作と修理を取り扱ったもの…
（1）視覚的モデルを与える。
（2）ステップを暗唱する機会を与える。
（3）ストラテジー想起のキューを与える。
・問題の分析と修正を取り扱ったもの…
（1）生徒の行動に応じて変化が起きるような複雑な場面を設定する。
（2）場面に適した情報とスキルを求める機会を与える。

D　フィードバック

ＣＡＩの学習にとってフィードバックは不可欠の要素であるということは暗黙のうちに了解されており、それに反対する者はいない。ＣＡＩに限らず個別学習とフィードバックは一心同体であるかのように見られている。それは個別学習の運動を推進する発端となったプログラム学習が、フィードバックを学習成立のための絶対条件としているからであり、その後に続く個別学習教材はどれもフィードバックの必要性には疑問をはさむことなく、当然のこととしてそれを受け入れてきた。

しかしながら、フィードバックについては、改めて二つの疑問が生じて来る。第一は、学習の成立にとってフィードバックが不可欠のものであるという前提そのものであり、第二はフィードバックの方法である。

プログラム学習はスキナー流のオペラント条件づけがその理論的根拠となっている。それはハトやネズミのような下等動物を使った実験の中から生まれた行動理論である。オペラント条件づけというのは、有機体が行った行動のうち、当人（ハトやネズミ）にとって意味のあるものや価値のあるものの再起可能性（再びその行動を行う確率）は高いが、そうでないものはその可能性が低いために忘れ去られてしまう。そこで、当人にとっての意味を強めるために、行動の結果を当人に知らせるのであるが、そのことをフィードバックという。しかも、行動

とフィードバックとの時間的間隔が短いほど行動は強化しやすいという。ハトやネズミが空腹にされている実験室の状況と教室の学習とを同一視して、前者の経験をそのまま後者に応用できるというような対応関係はプログラム学習関係者によってこれまで当然視されてきた。しかし、強化理論そのものの理論としての確かさは認めるものの、ハトやネズミの学習を人間の学習に援用することの妥当性については、プログラム学習を批判する人々によって早くから疑問視されてきたことである。行動―フィードバック―行動―フィードバックの反復が長期間続き、しかもこの連鎖が断続することなく、時間的に接近していなければならないとしていることについて、人間は反応のたびにフィードバックを受ける必要はないし、反応の反復によってのみ行動が成立するわけでもない。しかも、フィードバックは一秒を争うほど時間差が決定的な要因ということもない、というのが批判の根拠であった。強化理論は下等動物の学習の成立を説明することはできるものの、知的に高度な認知行動をとる人間の学習の成立を説明するのには不適当であるというのである。また、正しい反応のフィードバックが強化という形で作用するかどうかということについては根拠らしいものは何もないともいうのである。

フィードバックの仕方は「即時フィードバック」という方法で、反応とフィードバックとの時間的なズレは短ければ短いほど効果的であるという強化説の立場が、プログラム学習においてもそのまま維持されており、生徒が反応をすればすぐにフィードバックを受けられるような仕組みが考えられてきた。しかも、反応の内容を小刻みにして頻繁にフィードバックをするのである。このようにして、好ましくない反応を起こりにくくし、正しい反応を連続させることによって学習の成立を保証しようとするのである。しかし、これは認知的に高いレベルの学習にとっては妨害要因となり得る。

さらに、誤反応は行動の成立にとって有害であるから、プログラム作成にあたっては誤反応が起こらないように留意すべきである、というオペラント条件づけに基づくプログラミングの原則も問い直されなくてはならない。誤反応が生起することが問題となるのではなく、誤反応をそのまま放置することこそ問題とされなくてはならないのである。反応が正しいときに「正解」とフィードバックされるよりも、誤反応に対して「何処が、なぜ、どのように」不適当なのかについて解説を受けた方が強く

印象に残り、再び誤反応をする可能性は低くなるという指摘がある（4, p. 34）。

こうして、CAIのプログラム作成者達の中から、オペラント学習理論に基づかない別の学派が生まれた（4, p. 34）。彼らによると、フィードバックの役目は正しい反応を強化することではなく、生徒が自分で誤りを訂正できるように、誤りがどこにあるかについての情報を与えることにある。

フィードバックの使い方とその影響を区別すると二種類に分けることができる。一つは、何処が間違っているか、何が正しいかを生徒に教える働きである。これは「正しい」「間違い」という簡単なメッセージで行うことができる。他の一つは生徒が間違えた時に、その内容の理解を促すためにその反応を説明するような情報を与える。前者は一般にKRといわれているものであり、何処が間違っているかを生徒に教え、自分でそれを訂正させようとする時には有効である。生徒はKRによって、自分の反応がどの程度正しいのかを判断することが可能になる。後者は生徒に反応に対する十分な情報を与えることによって自分で間違いを訂正できるようにする。このフィードバックのことを「解説的」「情報的」フィードバックと呼んでいる。ここでは「解説フィードバック」と呼ぶことにする。生徒の反応に対して「正解」「間違い」というだけでは、その反応の性質についての十分な説明にはならないし、学習に対して意味ある影響を与えることにはならない。

CAIにおける直後フィードバックについても最近になってやっと論議されるようになった。そして、フィードバックを遅延させた方が、学習の成立と記憶の把持との両方を促すのだという主張もある（4, p. 34）。遅延フィードバックの正当性を左右するのは学習の段階、習得の程度、学習内容の性質（複雑、抽象的）などということであるという。

ゲーナーはブルームのタクソノミーの認知領域に当てはめて、直後フィードバックと学習終了時、または単元終了時の遅延フィードバックとの比較を行っている。彼によれば、直後フィードバックは知識レベルの学習には有効である。一方、遅延フィードバックは理解と応用レベルの学習には有効であるという。後者の場合には、頻繁な直後フィードバックは学習のペースを乱すので有害である。学習の初期の知識の獲得の段階や、理解に苦しんでいる学習者にとっては即時フィードバックは効果的

であるのに対して、学習の末期の把持の段階や、習得の程度の高い学習者、および、抽象的、概念的な学習には遅延フィードバックが有効であるという。

以上のことを整理すると、即時フィードバックと遅延フィードバックの効果的な用い方には次のような一般論が成り立つ。

（1）誤反応には解説フィードバックを与える。生徒に自分で訂正させるためには、その誤反応についての十分な情報を与えることが必要だからである。

（2）正反応への解説フィードバックは重要ではない。冗長なフィードバックは学習の流れを停滞させるので、時間の浪費になり、理解している生徒をいらいらさせかねない。知識基盤を膨らませるのではなく、正か誤かの確認をするだけでよい時には解説フィードバックはかえって有害である。

（3）理解と習熟のレベルが解説フィードバックをするかどうかを決定する要因である。事前の知識を全く持っておらず、理解度の低い、学習の初期の段階では直後フィードバックと解説フィードバックは有効であるが、学習の後期の、理解度の高い段階では直後フィードバックは学習のペースを乱す。

（4）学習の終了時や単元の終りには解説フィードバックが必要である。これによって、生徒はどのように進歩したか、欠陥は何処にあったかを知ることができ、学習の整理をすることができる。

（5）学習の目的が初期理解、記憶の再生、識別、短期の記憶の把持などであるなら、直後フィードバックが有効である。ただし、間違いに気づかせるためのＫＲは必要であるが、もう一度反応について考えさせるためには、間違いを訂正するヒントとなるような解説フィードバックを遅延させる。

Ｅ　グラフィックス

コンピュータ・グラフィックス（ＣＧ）はＴＶメディアで活用され、その威力は大いに発揮されている。設計図を立体的に表現したり、現実には見ることのできないものの内部や、ミクロの世界を詳細に表現してくれる。物体の動きを正確に再現するので、機械の部分やエンジンなどの動きをリアルに表すし、天体の惑星間の関係を分かりやすく伝えてくれる。ＣＧのこの機能は教育のあらゆる分野で活用することが期待されている。

その反面、実物の色の濃淡、大小関係、遠近感、動き

などの微妙な細部を写実的に表現することに関しては、今のところまだビデオやスライドに一歩を譲っている。理科の観察や技術の実習、あるいは機器操作や理科実験のシミュレーションなどではビデオによってリアルな場面作りをすれば効果的であることがしばしばある。そこで、ビデオディスク、VTR、スライド、写真というような視覚教材、あるいはビデオカメラによる教材提示装置と連動したコンピュータとのシステムを構成する必要がある。

F　ICAIへの発展

ICAIというのは人工知能をベースにしたCAIということである。ICAIは教育工学でも教育心理学でもなく、コンピュータ科学の分野において生まれ成長しつつある（22, p. 15）。教育の分野では技術的な蓄積とスキルが不足しているために、人工知能（AI）はまだほとんど取り上げられていない。歴史的にみてもCAIとICAIとは起源を異にしている。人工知能という概念が生まれたのは六十年代末であった。その当時のAIの研究は自然言語による会話と図形認知に焦点を置いていた。七十年代終わりに研究の二つの支流が生まれた。一つはエキスパートシステムであり、専門家の思考をデータベースにしようとするのである。他の一つはICAIである。これは人工知能とCAIとを結合したものであり、八十年代初めから展開されるようになった。人工知能の研究が教育に生かされてこなかったのは、教育哲学や学習理論を欠き、コンピュータ科学の分野だけで研究が進められてきたためであるという（22, p. 21）。その一方で、教育界にもCAIに人工知能の研究を取り入れようという姿勢がなかったというのである。CAIのプログラム開発のためにはAIのデータベースを構築する必要がある。また、生徒とコンピュータの自然な会話による相互交渉を実現するためにもAIの会話モデルを取り入れなければならなくなる。今後は教育の場におけるAIの研究と開発を進めることが課題となる。

おわりに

わが国でこれから盛んになるであろうCAIはマイクロコンピュータをベースにしたものである。マイクロコンピュータの歴史はまだ十年余にしかならない。しかし、それは大型コンピュータやミニコンを土台として発展し

たものである。ＣＡＩの歴史も新しいが、これもプログラム学習の理論と実践が背景にある。

このようなことから、本稿ではプログラム学習当時から持ち越された課題であるフィードバックを再検討し、その遺産をマイコンＣＡＩにおいて活用する方法を探った。さらに、プログラム学習以後発展したエレクトロニクス技術の成果をＣＡＩで生かすべき方法も検討した。マイクロコンピュータ技術の発達は日進月歩であり、ＡＩの研究と相まって、ＣＡＩもＩＣＡＩへと展開する兆しが見えてきたので、その展望も試みた。

参考文献

(1) Bell, M.E.
The Role of Instructional Theories in the Evaluation of Microcomputer Courseware. Educational Technology, May 1985, 25(5), 36−40.

(2) Bruwelheide, J.H.
Teacher Competencies for Microcomputer Use in the Classroom: A Literature Review. Educational Technology, October 1982, 22(10), 29−31.

(3) Cohen, V.B.
Computer Courseware Development and Evaluation. Educational Technology, Jan. 1982, 23(1), 9−14.

(4) Cohen, V.B.
A Reexamination of Feedback in Computer-Based Instruction: Implications for Instructional Design. Educational Technology, Jan. 1985, 25(1), 33-37.

(5) Cruz, J.
A Critical Review of Programmed Instruction. Educational Technology, Sep. 1984, 24(9), 29−31.

(6) Dede, C
Artificial Intelligence Applications to High-Technology Training. ECTJ, 35, 3, 163−81.

(7) Ediger, M.
Computers at the Crossroads. Educational Technology, May 1988, 28(5), 7−10.

(8) Evans, J.L., Glaser, R., and Homme, L.E.
The Ruleg System for the Construction of Programmed Verbal Learning Sequences. J. of Educational Research, 1962, 55, 513−518.

(9) Gagné, R.M. and Briggs, L.J.
Principles of Instructional Design. New York: McGraw-Hill, 1977.

(10) Gagné, R.M., Wager, W., and Rojas, A.
A Planning and Authoring Computer-Assisted Instruction Lessons. Educational Technology, Sep. 1981, 21(9), 17−21.

(11) Gagné, R.M.
Conditions of learning (4th ed.). New York: Holt, 1985.

(12) Gilbert, T.F.

Mathetics: The Technology of Education. J. of Mathematics, 1962, 1, 7–73.

(13) Glaser, R.
Teaching Machines and Programmed Learning II. Washington, D.C.: NEA, 1965.

(14) Holmes, G.
Computer-Assisted Instruction: A Discussion of Some of the Issues for Would-be Implementors. Educational Technology, Sep. 1982, 22(9), 7–13.

(15) Heartley, J.
Programmed Instruction 1954–1974: A Review. Programmed Learning and Educational Technology, 1974, 6, 278–291.

(16) Kagan, D.M.
Learning How to Program or Use Computers: A Review of Six Applied Studies. Educational Technology, Mar. 1982, 28(3), 49–51.

(17) Koohan, A.A.
A Study of the Attitudes of Pre-Service Teachers Toward the Use of Computers. ECTV, 35, 3, 145–49.

(18) Kozma, R.B.
The Implications of Cognitive Psychology for Computer-Based Learning Tools. Educational Technology, Nov. 1987, 27(11), 20–26.

(19) Mager, R.F.
Preparing Objectives for Programmed Instruction. Delmont, CA: Fearon, '61.

(20) Manion, M.H.
CAI Modes of Delivery and Interaction: New Perspectives for Expanding Applications. Educational Technology, Jan. 1985, 25(1), 25–28.

(21) Offir, B.
Application of Psychological Theory in Computer-Based Instruction. Educational Technology, Apr. 1987, 27(4), 47–48.

(22) Park, O. and Seidel, R.J.
Conventional CBI Versus Intelligent CAI: Suggestions for the Development of Future Systems. Educational Technology, May 1987, 27(5), 15–21.

(23) Preskill, H.
Teachers and Computers: A Staff Development Challenge. Educational Technology, March 1987, 27 (3), 24–26.

(24) Rockman, S., White, D.J.D. and Rampy, L.
Computers in the Schools: The Need for Policy and Action. Educational Technology, Nov. 1983, 23(11), 13–18.

(25) Smith, P.L. and Boyce, B.A.
Instructional Design Considerations in the Development of Computer-Assisted Instruction. Educational Technology, July 1984, 24(7), 5–11.

(26) Splittgerber, F.L.
Computer-Based Instruction: A Revolution in the Making? Educational Technology, Jan. 1979, 19(1), 20–25.

(27) Tennyson, R.D. and Ferrara, J.

Introduction to Special Isue: Artificial Intelligence in Education. Educational Technology, May 1987, 27 (5), 7–8.

(28) Yang, Jung-Shing
Individualizing Instruction through Intelligent Computer-Assisted Instruction: A Review. Educational Technology, March 1987, 27(3), 7–15.