



Title	知的CAI研究の可能性と課題
Author(s)	菅井, 勝雄
Citation	大阪大学人間科学部紀要. 1986, 12, p. 117-134
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/5665
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

知的CAI研究の可能性と課題

菅 井 勝 雄

知的 C I A 研究の可能性と課題

1. C A I 研究をめぐる今日の状況

わが国においては、今日、人工知能(Artificial Intelligence; AI)の応用による知的 CAI (Intelligent CAI; I・CAI)の本格的な研究開発の必要性が叫ばれている。

この点に関しては、アメリカなどこの分野の先進開発国に比べて、わが国の CAI 研究には、かなりの遅れがみられるのは事実である¹⁾。

この知的 CAI 開発の研究の遅れについて、次節で、理論上の観点から、これまでの CAI の進歩を軸に、CAI の設計思想や理論の変遷と絡ませながら、少し分析することにした。

ここでは、まず、別の観点から、今日のわが国において、知的 CAI 研究を促進しなければならない状況や背景を一瞥してみる。

(1) わが国のコンピュータの教育利用についての政策的対応とそれによる知的 CAI への関心の広がり。

本年、昭和60年度に、関連する2つの重要な政策的対応が、文部省から公表されている。その一つは、「学校教育設備整備費等補助金(教育方法開発特別設備)」で予算額約20億円で、昭和60年度からパーソナル・コンピュータなどを中心に、学校教育への導入に対し、国庫補助が開始されることになった。他のもう一つは、この昭和60年8月に、「情報化社会に対応する初等中等教育の在り方に関する調査研究協力者会議第一次審議とりまとめについて」が公表され、高度情報化社会の進展の中で、学校教育へのコンピュータ導入に関する審議の中間報告がなされている。この中間報告では、小学校、中学校、高等学校など、各学校段階別に、いいかえれば、子どもの発達段階に応じたコンピュータ利用が配慮されているのが、その内容の一つの大きな特徴といえよう。小学校段階では、コンピュータ・リテラシー教育を中心とし、中学校段階では生徒の個に応じた利用を、さらに高校では、職業科との関連もあってより高度の利用をという考え方、並びに CAI の利用事例的な提案などは、これまでの CAI 研究をかなり適格に踏まえ、総体として妥当なものとなっているといえそうである。

しかし、CAI を中心としたコンピュータの教育利用を、現実の学校教育の場に導入するには、まだまだ解決しなければならない問題が山積しているのも事実である。

とはいえ、こうした具体的な政策的対応が、とられはじめたことは、CAI などコンピュータ利用について、教育界ばかりでなく産業界や社会一般にも、急激な関心が広がり、ブーム

といってもよい程のムードの高まりを起し始めている。

こうした情報化社会への、まさに急激な対応への動きを生じさせているものとして、とくに、コンピュータを中心とする技術的な進歩、並びに国際環境との関連があるように思われる。

ことに CAI を中心に前者をみてみれば、CAI 研究が、その経済性の問題などで、大きな曲り角に立たされていた1977年頃から、マイクロ・エレクトロニクス技術の進歩により、小型で性能がよく、しかも低価格のマイクロコンピュータが出現しはじめた。

これによって、それまでの大型、中型、小型(ミニ)というコンピュータ中央処理装置の記憶容量や処理能力のレベルの相違によるコンピュータの分類は、次第に意味がなくなり、コンピュータはマイクロコンピュータと超大型(スーパー)コンピュータへと分極化しはじめる。

こうしたマイクロコンピュータによる革新によって、CAI は一挙にといってもよい程、従来から立ちはだかってきた経済的問題やコンピュータの性能の問題から解放されて、その実用化が可能となるに至った。

すでにみたわが国の政策なども、技術的にはこのような動向による成果に支えられて、でてきたものであるといつてよい。しかし、今日マイクロコンピュータは、日を追って、益々その性能がよくなっているが、その上に実用化可能である CAI は、次節(第2節)でみるように、個別教授(チュートリアル)、訓練演習、シミュレーション・ゲームなど、1970年頃までに開発された CAI なのである。

ただし、初期の知的 CAI で、今日世界的規模で利用されている CAI もすでに存在している。Papert, S らによるロゴ・タートル(Logo・Turtle; 1970～)である²⁾。

これは、その後に本格的に研究開発されてくる知的 CAI からみれば、ユニークなものといえるかもしれない。というのは、知的 CAI は、人工知能やそこから派生した知識工学などの関連もあって、大量の知識から構成されることが多く、通常、次に示すような3つの知識分野から構築される傾向がみられる³⁾。

- ① 学習者に学習してもらう教材内容に関する専門的知識
- ② 学習者が何を理解し、何を理解していないかなど、学習者の理解の状態を示す学習者モデル(student model)
- ③ 学習者モデルに基づいて教材の提示法などの教授方略

この観点からみれば、ロゴ・タートルは、確かに学習者モデルなどをシステム内に構築していないが、新しい知的 CAI の幕開きとして、その可能性の一端を覗かせてくれるものといえよう。

このようにみてくると、今日先端の研究にある知的 CAI も、やがて実用化される可能性があることが、うかがえる。

(2) UNESCO, OECD などの動向およびアメリカのコンピュータ教育利用に関するピッツバーグ会議など国際的環境における知的 CAI への関心の広がり。

情報化社会への教育への対応は、今日 UNESCO や OECD などの国際的機関によっても取り上げられている。その場合、新しい高度な情報技術やニュー・メディアという広い視野から、問題とされており、例えば UNESCO では、これまでも「生涯教育」という概念を提唱して、世界の教育界に影響を及ぼしたが、今度は「メディア教育 Media Education」という概念を提出している。

その場合、メディア教育とは、メディアについての教育（メディア・リテラシー）とメディアによる教育と大きく二分されて考えられているようで、この見方に立てば CAI などのコンピュータ教育なども、メディアの主要な一種としてとらえられ、コンピュータについての教育（コンピュータ・リテラシー）とコンピュータによる教育ということになる。

また、先進26カ国からなる OECD の教育関係部門の CERI などでは、「教育と新情報技術 Education and New Information Technology」の名のもとに、最近ではコンピュータを中心に教育との対応についての、議論と情報交換が行われている⁴⁾。

さらに、UNESCO の APEID では、アジア諸国間の教育工学セミナーが、毎年わが国で開催されており、かつては低価格の教材教具の開発が問題とされてきたが、最近では、コンピュータ教育が取り扱われはじめている⁵⁾。

こうした動きとも関連して、わが国の国際協力事業団（JICA）などでも、コロンボ計画における理科教育との絡みで、開発途上国への教育工学の専門家の派遣を行ってきており、例えばマレーシアの教育省の教員養成局では、コンピュータ教育への準備を進めている⁶⁾。

以上きわめて概略的にみただけでも、国際環境においては、先進国も開発途上国も、今日、情報化社会への対応をかなり強力に進めてきており、その中でコンピュータの教育利用が次第にその中心を占めつつある傾向がみられる。ことに先進国からなる OECD などでは、まさに高度技術である知的 CAI などもその視野の中に取り込みつつある。

ことに知的 CAI に関しては、人工知能の最先進国であるアメリカの動向が重要である。アメリカでは、コンピュータの教育利用に関して、1982年連邦教育局によるピッツバーグ会議が開催され、第一線のコンピュータ科学者、心理学者、教育研究者などに加え、教師や学校管理者および子どもの親など40名のもとに、研究討議がなされた⁷⁾。

それは、「教育における コンピューターその可能性の実現—: Computers in Education, Realizing the Potential 1983」として公表され、ピッツバーグ大学の Lesgold, A らの議長報告と、会議への招待論文からなっている。

その内容の概略は、コンピュータは数世紀に一度の人類の発明であり、その教育への利用においても大きな潜在的な可能性があると述べた上で、ただこれまでの CAI 研究などコン

ピュータ利用研究は、残念ながら二流の研究であったとし、新しく人工知能、認知科学、知識工学の応用による知的 CAI など画期的なプロトタイプの協同開発等に、連邦政府の援助を勧告している。もち論、こうした主旨に沿って、もっと詳細な議論が展開されているし、そうした議論の根拠を、10編の重要な招待論文が支えている。

かつて、スプートニク・ショックに端を発した、アメリカのウッツフォールの教育会議が、科学技術への教育の対応で、1960年代の世界各国やわが国に影響を与えた⁸⁾。

それと同じように、わが国などは、とくに今日、このピッツバーグ会議報告から、示唆される点がきわめて多いように思われる。

2. 知的CAI研究開発におけるわが国の遅れ

CAI 研究は、本来、総合的なものであり、諸科学・技術の進歩に依存するところがある。CAI のそもそもの起源を辿れば、1950年代に現われたティーチング・マシンに行きつく。

その場合、その設計思想を支えたものは、行動主義系の Skinner, B. F. の学習理論であり、一種の Skinner Box 的なその装置自体が、それを具体的に実体化するものであった。その後現われた Crowder, N. A. の分岐型ティーチング・マシンでは、装置そのものは当時の電気工学の成果を応用してより複雑高度なものになっているが、その設計思想には、理論上少し認知的な考え方を入れた分岐型学習理論と呼べるようなものが存在した⁹⁾。

1959年にイリノイ大学に誕生した最初の CAI の SOCRATES などの設計思想は、まさにこの理論上の発展の上に、学習者のさまざまな個人差に応じて、コンピュータを用いて学習制御を行い、複雑に分岐した学習コースを最適に進ませることを意図した第一歩のものといえる。

このように、CAI は本質的に、子どもをはじめとする学習者の学習や思考や果てまた発達段階など、心理学や教育学の諸科学や諸理論と関わりあう点で、その他のコンピュータの利用分野とは異質であるといえる。つまり、子どもなどの学習者のまさに微妙な心理学的諸要因と必然的に絡むのであり、ここに CAI 研究の特色と困難さが存在するのである。最近の知的 CAI 研究においても、この本質は変わらないが、認知心理学における「情報処理アプローチ」は、1975年以降、ことに人工知能研究と密接な関係をもちはじめ、認知科学を誕生させたり、知識工学と結びつきはじめている。このような事実からすれば、CAI 研究をめぐる諸科学・諸技術は、かつては、自然科学系のコンピュータと、文化系の学習心理というように、かなり離れたものによる総合であった。しかし、今日では、コンピュータを軸にして、有機的な相互関連を有する新しい学際的な科学技術による総合という形態に大きく移行してきている。

以上みてきたような視座から、即ち、CAI の設計思想や理論を重視し、科学のパラダイム（理論の枠組みとその概念装置群）変換の理論（Kuhn, T. S. 1962）を採用し、CAI の先端の開発に着目して、筆者は、CAI 研究をレビューしたことがある¹⁾。

その結果、アメリカなどに比べて、わが国の CAI 研究は、開発着手時においても当然遅れがみられるが、知的 CAI の研究においては、さらに大きく遅れがみられることが判明した。

そこで、ここではまず、それを再度新たな観点などを入れて、概括した上でその遅れの理由などを分析することにした。

(1) 行動主義・訓練パラダイム（～1959）下での CAI 研究

行動主義系の学習理論と訓練研究などを背景に、プログラム学習における Skinner の直線型から、Crowder の分岐型への発展の上に、コンピュータを利用した初期の CAI として、SOCRATES が登場する。

学習は、刺激、反応（行動）、強化などの概念装置群によってとらえられ、「刺激—反応—強化」の繰り返し（Skinner）や「刺激—反応（同時生起）」（Guthrie, E. R., Estes, W. K.）などの枠組みでと成立するとされる。そこで、この CAI では、学習者への刺激としてフレーム（アイテムともいう）が、一定のディスプレイ装置上に提示され、学習者が反応すると、コンピュータに入力され、強化が与えられたり、次のフレームが提示されたりして、学習が進行していくので、いわゆるフレーム型の CAI となる。この場合、フレームの提示順序（シーケンス）は、教材内容や学習者を考慮して、前もって周到に準備され、複雑な分岐型を構成することが多い。

このように、条件づけ的な「刺激—反応」の直接的な結合によって学習の成立を考えるので、そのため Skinner のプログラミング理論にみられるように、誤りをさけようとする傾向がある。そこで CAI では、誤りは単に分岐させる手段となる。以上述べたような理論的枠組みと概念装置群を用いて設計される典型的な CAI は、個別教授（チュートリアル）や訓練演習などの分野で用いられ、教え込み型となりがちである。

(2) パラダイム変換期における CAI 研究（1960～1969）

行動主義・訓練パラダイムから、認知・発達パラダイムへの移行期の 10 年間における CAI 研究である。次に列挙するような研究開発がみられる。

- ① 個別教授、訓練演習というフレーム型 CAI が、基本的な設計思想を、それ程変えず技術的に洗練化されていく。PLATO（1960～実用化）、ストランド CAI（1967～実用化）など。
- ② 行動主義から認知系への学習理論の移行の中間期として、観察学習（モデリング）の学習理論が進歩し、モデル、代理強化、代理経験などの概念装置群により、「モデル—代理経験（代理強化）」の枠組みで、学習を考える立場があらわれた。これを用いて、シミュレー

ジョン・ゲーム CAI が登場する。PLATO (実用化), BASIC 言語開発 (1958~59) による シミュレーション・ゲーム CAI (Huntington 計画, 実用化) など。

③ 初期の認知論の立場から, 発達研究や幼児教育における「応答する環境理論」を用いた, ERE (Edison Responsive Environment) が開発された。これは, コンピュータと連動した トーキング・タイプライタとディスプレイ装置によるもので, Head Start Project の一環として, 幼児の言語学習に成果をあげた¹⁰⁾。

子どもの環境への働きかけに適切に応答してやることが, 子どもの学習や発達に重要であるとする, その理論は, CAI 全体についてもいえることを示唆している。発達理論も CAI の設計に利用できることを示し, 認知発達パラダイムの先駆けといえる。(一部実用化)

④ この時期になると, 1946年に誕生したコンピュータも次第に記憶容量などを増し, それにともなってデータ・ベースの構築がはじまる。そこでコンピュータの教育利用のもう一つの形態である CMI (Computer Managed Instruction) が登場する。代表的なものに, IPI (Individually Prescribed Instruction 個別処方教授) における CMI がある。

(3) 認知・発達パラダイム下における CAI 研究 (1970~)

この時期に入ると, CAI の先端的研究は, 認知・発達理論を設計思想の基盤にしながら, 人工知能研究とも関連をもちはじめ, 知的 CAI の開発に向かっていくことになる。行動主義に対して, 認知心理学における学習観は, 前者が「刺激-反応」の大枠で学習を考えることから, 受動的な学習者観に立つ傾向がみられるが, 後者では認知 (認識), 理解, 知識, スキーマなどの概念装置群を用いて, 認知主体側にスキーマ (schema) とか認知構造というような既存の能動的な認知や活動の枠組み構成体を想定し, そうした認知構造などが外界の環境を取り込み変換されていくのが学習と考えるので, 能動的な学習者観に立つ傾向がある。

例えば, Piaget, J. 理論では, 生物学的な観点から, 環境と人間である認知主体との相互作用を考え, 認知主体の環境への働きかけによって, 認知構造が環境を取り込み (同化), それによって自己の認知構造も変化を受け (調節), そして構造の均衡化に向う (均衡化) という, 「同化-調節-均衡化」の繰り返しという基本的枠組みで, 学習なり発達なりが進んでいくとみる立場といえる。

そこで, 刺激-反応という直接的結合を問題とするのではなく, 認知構造なりを想定していることから, その構造さえ適切に構成されるのであれば学習者の誤りなども認めていこうとする傾向がみられる。

こうした設計理論のもとに, 具体的に展開された知的 CAI 研究は, 次の二つの時期に分けられるであろう。

① 初期の知的 CAI 開発期 (1970~1974)

この時期には, 次の二つの代表的な知的 CAI が開発されている。

a. ロゴ・タートル (Logo・Turtle 1970～実用化)

すでに一部触れたが、先の Piaget 理論に基づく知的 CAI であり、学習者である子どもが主体的・能動的に数学的な問題解決の世界で、「ベビー・リスプ Baby LISP」言語として特に開発された容易なロゴ言語を用いて、コンピュータに向って、動的モデルとしての Turtle (亀のロボット) を動かしながら、学習を進める。障害児の学習などにも用いられる。

b. ISO (Information Structure Oriented) CAI としての SCHOLAR (1970)

認知心理学における記憶研究、ことに長期記憶の表現の研究の成果として提出された、意味ネットワーク Quillian, M. R. (1968) の考え方を基に、人工知能における知識表現法として洗練された手法によって、情報構造を構成した CAI である¹¹⁾。具体的には、マイクロワールドとして、「南米の地理の世界」を教材として取りあげ、この小世界の知識を、人間教師の記憶の場合と同じように、コンピュータのデータベース上に、事実、概念、手続きなどのネットワークとして構築し、貯蔵することにより、推論なども一部行いながら自然言語による質問・応答が、自動生成的に可能となる。

このように、フムー型 CAI などのように学習プログラムを組むのとは全く異質であり、この意味で、それまでの CAI と知的 CAI との時代を画するものとなっている。

また、この SCHOLAR では、学習者とコンピュータ側が、相互に主導権を取りあえるように設計されている。

ただし、まだ、学習者モデルをもち、適切な教授方略をとるまでは至っていない。

そうした知的 CAI が登場するのは、次の時期からである。

② 知識工学と認知科学の誕生以後の知的 CAI の開発 (1975～)

1965年以降、人工知能は、かなり順調な進歩を示しはじめるが、それは知的行動には、「知識」が必要であるということが、判明してからである。

そこで、コンピュータの増大した記憶容量の中に、この知識を貯わえて知的行動を示すには、どのようにそれを表現すればよいかが問題となる。この知識表現問題は、結局、すでに一部触れたように、人間の記憶にどのように表現されているのかという問題とも絡むことになり、1975年認知科学を誕生させることの大きなきっかけともなる。

それとともに、知識表現からみた場合、専門家 (エキスパート) の知識は、論理的で精密な構造をもっているのも、むしろ扱い易く、それに対して、常識的知識は取り扱いが困難であることが明らかとなった¹²⁾。

ここから、プロダクション・ルールなどの知識表現法を用いて、専門家の知識や信念などをコンピュータ上に貯え、推論機能などももたせて、その利用をはかる知識工学も、同じく1975年に誕生した。

また、この時期の学習研究は、かなり長期間にわたる学習の研究、すなわち、熟練者やエ

キスパートまでを視野に入れた研究が対象とされはじめていることは、重要であろう。

以上の背景のもとに、本格的な知的 CAI 研究開発が進められる。

a. まず、知識工学利用の知的 CAI としては、医者感染症関係のエキスパート・システムとしての MYCIN (1976) の知識ベース内の知識を学習できるようにした GUIDON (1976) がある¹³⁾。

b. SCHOLAR の発展として WHY (1978) が開発された。前者が、知識ベース内の事実や事実関係の知識を扱うのに対し、後者では、原因や理由などの因果関係を学習できるようにしてある。専門教師 (エキスパート) と学生の実際の対話分析などを行い、そこから方略などを抽出し、それを基礎に構築されている。

c. 子どもの計算スキルを取り上げ、手続き上の誤り (bug) を系統的・組織的に調査し、その基礎の上に診断モデルを構築して、診断矯正をめざす BUGGY (1977) がある¹⁴⁾。

d. 電子回路の故障修理という問題解決状況において、学生の故障の仮説を評価診断したりして、問題解決技能を習得させる SOPHIE-I (1975) およびそれを発展させた SOPHIE-II (1976) がある¹⁵⁾。これは、回路のシミュレータを内的に装備し、それとの対応で学習者に応答する部分を含む。

以上、ここに列挙した知的 CAI は、いずれも、先にあげた教材内容に関する専門的知識に加え、一定の学習者モデルや診断モデルおよび教授方略などを含む、本格的なものといえる。

(4) わが国における知的 CAI 研究の遅れの原因

一方、わが国では、香川大学における一斉指導の中における CAI 的試み (KANECOM 1965) を皮切りに、電気試験所、大阪大学、やコンピュータ・メーカーの開発が次々と試みられ、その中には、国策による大きな計画、PEARL (1969~72) の開発も行なわれ、CAI 研究の開始は欧米に比べてもそれ程遅れがあるようには見えない。しかし、その内容についてみると、アメリカでの先端の研究が、完全に知的 CAI に切り変わった1970年において、機械振興協会の PEARL は、フレーム型の CAI であったし、その後、教員養成大学に次々と設置される教育工学センターなどで開発されるものも、ほとんどといってよい程、この型のものである。

かなり近年になってから、例えば筑波大のデータベース型、岐阜大の CMI との結合型 CAI、茨城大の応答する学習環境室など、他の型のものが開発されるようになる¹⁶⁾。

これが知的 CAI の開発ともなると、1985年現在すでに九大、阪大 (産業科学研究所)、東学大、NTT などでの開発が着手されているけれども、全体としてまた本格的には、これからといってよい状況である。

これには、わが国における CAI 研究が、これまで教育工学研究の一環として行われてき

たことがあげられよう。そして、その教育工学は、わが国では、とくにプログラム学習との関係が理論上也強かったように思われる。そして、1975年に知識工学や認知科学が誕生したが、それは伝統的な教育工学とは全く別な領域においてであった。

今日、教育工学は、こうした領域とも関係をもちつつあるといえようが、その分野の知識は知的 CAI の開発に、まさに不可欠であるといえる。

これとともに、知的 CAI 研究には、これまでと異なるコンピュータが必要である。

人工知能研究などを進めようとしている工学部関係であれば、こうしたコンピュータ環境は整備されているであろうが、教育工学センターなどでは、今日この問題が知的 CAI 研究への障壁の一つとなっているといえよう。ただし、最近では幸いなことに、マイクロコンピュータによるかなり高度な人工知能専用機種が登場しはじめており、LISP, PROLOG, SMALLTALK などの言語の他に、様々な支援システムが容易に用いることができるようになり始めている。まだ外資系のメーカー中心であるが、やがて国産のものもでるであろうし、それとともに低価格化が進めば、知的 CAI 開発のコンピュータ環境問題も解決されていくであろう。

3. 知的 C A I の学習者モデル構築への方略

第2節ですでにみたように、これまでの CAI 研究と本格的な知的 CAI との本質的な相異として、学習者モデルが存在するかどうかの問題がある。この問題は、丁度、熟練のエキスパート教師が、教える内容に関する十分な専門的知識を有するだけではなく、学習者の理解の状態やその変化および誤りなどについて、適切な学習者モデルをもち、学習者との相互作用において、両者の比較から、その状況にあった的確な教授方略を選んで、学習者の学習に導こうとすることに似ている。

最近の知的 CAI 研究では、こうした学習者モデルをどう構築するかという問題が、最重要な課題の一つとなっている。

そこで、知的 CAI の学習者モデル構築への方略を探り展望するために、第2節を下敷に、この方向への研究の推移を概略的にみてみることにしよう。

(1) 行動主義・訓練パラダイム期—自動生成 CAI (generative CAI) への努力

今日の学習者モデルの考え方からみれば、この時期におけるその方向への努力は、フレームの自動生成をめざす研究を中心に見い出せる。そこへ至る経緯からみてみよう。

① CAI の端緒となった Skinner の直線型のプログラムは、ハトやネズミなどの行動形成 (Shaping) という単純な学習をモデルにしたこともあって、学習前の行動から目標まで一直線の行動系列であった。ここでは、学習者は、それらの系列を進んでいく速さのみが異な

るものとして想定され、そのプログラムは学習内容（行動系列）を中心とするものであった。この意味で、いわば教材知識ベースのみで、学習者モデルが存在せず、そのため柔軟な方略で学習者に応答することができず、能力の高い創造的主体的な学習者の学習を拘束することも起りえたといえよう。

② 続く Crowder の分岐型では、学習者の誤りなども考慮されるようになるが、さらに複雑な分岐をさせる CAI では、学習者の様々な個人差に応じて適切に分岐させ、最適なコースを歩ませようとする。この場合、学習者は一定の与えられた範囲の選択が許容され、次のフレームへ移ることもあるが、一般に一定の反応（誤りなどを含む）にどのようにしたら的確に次のコースに歩ませうかが問題となるに至った。また、そのような複雑な分岐をする膨大なプログラムを作成するのは、多量の時間と労力を要することがわかってきた。主としてこのような理由から、教材フレームの自動生成問題が登場することになった。この問題への対処としては、これは一種の初歩的な学習者モデルといえる部分を有するが、何らかの一貫した数学モデルが採用された。まず、単純な試みとしては、算数や数学のドリル型 CAI で用いられた方略には、問題の自動生成に乱数発生を用いたものがある。例えば、ストランド構造の CAI 算数ドリル・プログラム (Suppes, 1967) では、ドリル問題を教材ファイルに類型化、パラメータ化しておき、そこで乱数発生させて、問題を自動生成する機構が存在した¹⁷⁾。また、方程式の係数を乱数発生によって生成し、コンピュータがその問題をその得意の演算速度を活かして、先まわりして解き、後から入力されてくる学習者の答えと比較して、正誤を判定しドリルを進めていく CAI もある (UTTAL et al, 1969)¹⁸⁾。このような場合、適切な類型化など一定の工夫によって、学習者に応じた提示問題の困難度などの調整も可能となる。

その他、当時その研究が盛んであった、数理学習理論モデルによるもの (Crothers 1965, Groen and Atkinson 1966)、ダイナミック・プログラミング的な確率モデルを用いるもの (Smallwood, 1962)、マルコフ過程的な数学モデルを用いるものなど、種々の試みが行なわれた¹⁹⁾。

この種の数学モデルにおいて、特徴的なことは、学習者の学習は通常、連続して行なわれているのにもかかわらず、ある時期のある反応の 1 点で、次の提示フレームが決定されるのである。その点が、学習者の学習にとって重要な点であるという保証はなく、この意味で学習者の個人差に応じるには、余りに初歩的であり、単純すぎたといっていよい¹⁾。

こうした数学的モデルとも密接に関連するが、その他、分岐方略を決定するのに、この時期に用いられた方法は、総体的に量的なアプローチであったと結論できよう。というのは、学習者の学習状態は、上に述べたことに加えて、誤りの数、正答の数など量的な把握から診断・評価される傾向があったからである。これに対して、知的 CAI においては、学習者の学習や理解状態は、学習者モデルとして示されるが、一種の認知構造とその変化として、つ

まりコンピュータ上の記号データ構造と変化構造として構築され、そこで学習者との相互作用において、質的・構造的に応答できるようにすることをめざすといえる。

(2) パラダイム変換期

行動主義・訓練パラダイム期のフレーム型 CAI とその洗練化されたものについては、すでにみた。ここでは、この時期に現われた CAI について、みてみよう。

① シミュレーション・ゲーム CAI では、通常、ディスプレイ上に動的モデルを提示し、そのモデルの観察などの代理的経験によって、学習者は学習を進める。学習者モデルは存在しない。具体的なこの型の CAI としては、例えば、理科の力学における物体の運動と摩擦の学習で、ディスプレイ上に水平な床と物体が現われ、その物体の質量が M 、それに加える力 F 、床の摩擦係数 μ が与えられ、学習者はこれらの数値を与えられた範囲の選択肢から選ぶことができる²⁰⁾。それらを選択すると、それらの数値のもとに力 F が、質量 M の物体に作用し、摩擦係数 μ の床面の上を動いていく。与えられたそれぞれの数値を選んで、それに応じた動的シミュレーションを観察することによって、学習者は理科においては、通常実験できない内容を効果的に学習できることになる。このように、学習者には選択の自由などが与えられるが、個別の利用だけでなく、グループ利用、集団利用も可能である。コンピュータ内には、運動力学の数学的モデルとそれに基づいて動くアニメーション表示の機構が存在する。

② 応答する環境 CAI では、幼児や障害児の学習状態に合わせて、大きく段階的に切り換わる学習プログラムを準備している。例えば、筆者らが開発した「応答する学習環境室」CAI では、学習環境室に子どもが入ったときに、コンピュータが環境のコントロールを開始し、音楽をならしたり、暗室の中の学習者ブース上のライトをつけ、子どもを誘導するプログラムに続き、第1段階では、自由探索の段階として、子どもの主体的な働きかけを尊重し、それに応じた応答がなされる²¹⁾。これを10分間づつ何日間に行っている間の子どもの行動や反応数などのデータを教師はみていて、もう十分だとか飽きが見えてきたと判断したときには、次の発見・照合の段階に切り換える。誘導のプログラムはこの段階でも同じであるが、今度は環境側から働きかけ子どもに反応を求め、一定の目標への収束を図っていく。この際の教材の提示系列は事前に簡単に教師が、子どもの様子を見ていて、それぞれの子どもに適切に合わせて入力しておくことができる。障害児などでは、障害の種類やレベルなど個人差が大ききこともあり、こうした方式を採用している。いわば、子どもをよく知っている教師に「学習者モデル」は依存している。

(3) 認知・発達パラダイム期—学習者モデルの構築にむけて

① 初期の知的 CAI である SCHOLAR では、意味ネットワーク構造で、「南米の地理」という一つのマイクロワールド的教材内容の知識ベースを構成し、学習者と質問応答するが、学習者が理解したとされる知識については、知識ベース上のネットワークのノードに印（ク

ラブ)をつけ、それとの対応で適切に応答しようとする。しかし、これだけでは、学習者の誤りに対して、適切に応答できないし、また人間教師との対話では、話題が系統的に順序を踏んで展開されるのに対し、ぎこちない対話にならざるを得ない。この意味でまだ十分な学習者モデルが組み込まれているとはいえない。

② 知識工学的な知的 CAI としての GUIDON では、「オーバレイ 学習者 モデル overlay student model」が採用されている。この初歩的なものは、SCHOLAR にもみられるといえようが、基本的に、学習者が学習過程で習得していく知識のすべては、エキスパート（この場合 MYCIN）の知識ベースの中に存在するとみなすモデルである。このモデルを基盤として、指導のための方略の知識、対話のタイプや目標の選択、指導ルールなども準備されている。こうした構成のもとに、種々の工夫がみられる。連続した対話ができるように、話題や目標を記録したり、信念の度合などを用いたり、AND/OR 木を逐次構築し、学習者の学習の進行にともなう知識のモデル化とその変化を扱うなどして、良い学習者モデルをめざしている。

しかし、まだ、学習者の多様な推論過程や、その誤りを診断し矯正する能力に欠けるし、あらゆる学習者向きとは現在いいがたい。

③ このように GUIDON などは、「オーバレイ 学習者 モデル」を採用している。BUGGY などは、専門家の知識の困乱状態ないし、逸脱状態を虫（バグ）としてモデル化しているという点でやはりこの学習者モデルに近いように思われる。

しかし、初歩的な学習者の知識が、エキスパートの有する知識の部分集合であるとするその仮説は、明らかに今日の認知心理学の学習研究に照らしても不十分である。

それは丁度、かつて Bruner, J. S. が、発見学習の提案において、子どもたちに、エキスパートの研究者が最先端の研究分野で研究していると同じように、教室でも学習させようとしたことにも対応するように思われる。

今日、学習者モデルの構築とそれにもとづく教授の方略は、知的 CAI 研究における重要問題となってきた。こうした方面への接近法として、コンピュータ側からの合理的論理的接近もあるであろうが、問題の本質上、最近の認知科学における学習者の学習や教材の分析、および教室学習での人間の問題解決過程のコンピュータ・シミュレーションなどの進歩による経験理論的な接近法が、むしろ大いに期待されるように思われる。

4. 知的 CAI の開発をめざして

コンピュータは、人類にとって、一世紀に一度ではなく、数世紀に一度の発明であり、革新に導くものである、と Simon, H. A. は述べている⁷⁾。

このコンピュータを教育の分野に利用し、教育の可能性を追求しようとする主要な領域として、CAI 研究があるといえよう。

すでにみたように、この CAI は、今日 マイクロコンピュータやメディア工学などの急速な技術進歩と、情報化社会への教育の対応という国際的な環境の動向とも絡んで、わが国においても、学校教育の中に普及していこうとしている。

この CAI は、最近の新しいメディア (new media) の一つとして、これまでのメディアとの対比からみれば、その応答性にその顕著な特徴があるように思われる。

これまでの映画や VTR などと異なり、学習者の働きかけに応じて応答してくれる。これが、コンピュータ通信ともなると、遠距離、場合によっては外国とも結んで、こちらの働きかけに応じて、応答してくれる。これは、学習者にとって楽しい経験になるに違いない。このように、応答性の高い学習環境がこれから、構成できることになる。

また、わが国においては、画一的であるとされた一斉授業体制に対して、個別指導を基本とする CAI が入っていくことによって、より柔軟な指導への糸口となり、それが硬直した学校教育を活性化していくことが、期待される。

しかし、そのためには、コースウェアの開発問題をはじめ、多くの解決すべき問題がある。こうした学校教育への導入のための研究と同時に、すでに論じたように、今日知的 CAI の開発研究が重要な課題となってきた。今日、学校教育に普及しようとしている CAI には、さまざまなタイプのものがあるが、いずれも過去に開発され実用化にこぎつけたものであるが、この中に知的 CAI も入りはじめており、やがて現在開発中の本格的な知的 CAI も実用化され、実践の質を高めることが期待される。

しかし、この知的 CAI の開発と普及には多くの困難が存在している。開発の困難さに関しては、「知的 CAI プログラムのもつ大きさと複雑さのため、ほとんどの研究者たちは、完全に使えるシステムを構築するためのほんの一部分の開発に力を集中させる傾向がある。」という言葉が、そのことを適切に述べているように思われる²²⁾。

学習者と言語で質問・応答する知的 CAI を開発しようとするれば、学習者モデルをコンピュータ上にどう構築すればよいかの問題に加えて、言語理解システムとの連動という問題も当然生じてくるからである。

こうした多くの知識を蓄積していく知的 CAI の普及などの場合、もはやこれまでの CAI の教材コースウェアの開発のように、一応ハードウェアと切り離して製作して利用するということとはできなくなるであろう。すべては、システムとして一体化してしまうからである。

こうした問題を含みながら、今日わが国においても、これから本格的な知的 CAI の開発研究に取り組み、それを一步一步地道に進めていくことが必要とされている。

注および参考文献

- 1) 菅井勝雄：「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る」日本教育工学雑誌 7, 171-181, 1983.
- 2) Papert, S. : Mindstorms-Children, Computer and Powerful Ideas. Basic Books Inc. 1980.
奥村貴世子(訳) マインドストーム—子供, コンピュータ, そして強力なアイデア。
- 3) こうした構成をみると, CAI は知的 CAI に至って, 益々人間教師をモデルにし始めたといえようか。この構成については, 次の文献などに詳しい。
D. Sleeman and J. S. Brown (eds.) : Intelligent Tutoring Systems, Academic Press, 1982.
- 4) その動向は, 次のものなどからもうかがい知れるであろう。
OECD・CERI : Education and New Information Technologies Trends and Policies, 1983.
- 5) APEID : Computers in Education — An outline of country experience, UNESCO, Bangkok
- 6) マレーシアの教員養成局への専門家派遣は, 菅井(1982 : 当時茨城大学) が最初でありそのときコンピュータの教育利用に着手することが決まり, その後近藤勲氏(1983 : 岡山大), 岡本敏雄氏(1984-85 : 東学大) と協力活動が続いている。
- 7) ASERI : Computers in Education : Realizing the Potential, Report of a Research Conference, U. S. Government Office 1983.
- 8) Bruner, J. S. ; The Process of Education, Harvard University Press 1961.
佐藤三郎・鈴木祥三訳 「教育の過程」岩波書店 1962。
- 9) Crowder, N. A. ; Automatic Tutoring by means of intrinsic programming, in E. H. (Galanter (Ed.), Automatic Teaching, Wiley 1959.
- 10) Moore, O. K. ; Autotelic responsive environment and exceptional children, in Harvey, O. J. (Ed.), Experience, Structure and Adaptability, Springer Publishing Co. New York 1966.
- 11) Carbonell, J. R. AI in CAI ; An artificial intelligence approach to computer aided instruction. IEEE trans Man-Machine Sys. MMS-11(4) : 190-202.
- 12) 次の拙稿で触れている。
菅井勝雄 : 人工知能と人間の思考, 「思考・知能・言語」, 現代基礎心理学 7, 坂本昂編 東大出版会 1983。
- 13) Shortliffe, E. 豊. ; Computer-based medical consultations ; MYCIN New York ; American Elsevier, 1976.
神沼二真, 倉科周介訳 : 診療コンピュータ・システム 文光堂 1982。
- 14) Brown, J. S., Burton, R. R. and Larkin, K. M. ; Representing and using procedural bugs for educational purposes. Proceedings of 1977 Annual Conference, AcM. Seattle, 245-255.
- 15) • Brown, J. S., Burton, R. R. and Bell, A. G. ; A sophisticated instructional environment for teaching electronic troubleshooting (an example of AI in CAI) BBN Rep. No. 2790 1975.
• Brown, J. S., and Burton, R. R. ; Multiple representations of knowledge for tutorial reasoning. In D. G. Bobrow and A. Collins (Eds.), Representations and understanding Studies in Cognitive science, New York ; Academic Press 311-349, 1978.
- 16) • 成瀬正行, 後藤忠彦 : 反応構造による教授項目の系列化 日本教育工学雑誌, 2 (4) 1979。
- 17) Suppes, P. ; On using computers to individualized instruction, in Don Bushnell and Dwight W. (Eds). The Computer in American Education, 11-24. John Wiley and Sons. 1967.
- 18) Uttal, W. R., Pasich, T., Rogers, M. and Hieronymus, R. ; (Generative computer-assisted instruction. Mental Health Res. Inst. Ann. Arbor, Mich., Commun., 243. 1969.
- 19) • Crothers, E. J. ; Learning model solution to a problem in constrained optimization. J. Math. Psychol. 19-25 1965.
• Groen, G. J. and Atkinson, R. C. ; Models for optimizing the learning process. Psychol. Bull. 309-320. 1966.
• Smallwood, R. D. ; A Decision Structure for Teaching Machine. MIT Press 1962.

- 20) このシミュレーションの例は、1978年アメリカのピッツバーグ大学の学習開発センターを訪れたときに、理科教育の教材開発の一例として、演示してもらった。当時わが国では、この種のCAI はほとんど開発されていなかった。
- 21) 菅井勝雄，馬場道夫，新妻陸利，松村多美恵，本田敏明：コンピュータ利用による「応答する学習環境室」の開発研究の経過と展望 —IRE-I から IRE-II へ—，日本教育工学雑誌9，137-153，1984.
- 22) Barr. A and E. A. Feigenbaum; The handbook of artificial intelligence, William Kaufman, Inc. 1982.
田中幸吉・淵一博監訳 人工知能ハンドブック・第II巻 共立出版 1983。

THE POTENTIAL AND TASK IN INTELLIGENT CAI

Katsuo SUGAI

Today, in Japan, the development of ICAI (Intelligent CAI) by applying artificial intelligence, knowledge engineering, cognitive science is expected. In current paper, the potential and task in ICAI will be discussed in the following four sections.

1. Introduction

Two main reason will be suggested that encourage to develop ICAI in our country now.

The first will be found out in our government policy to introduce CAI into schools, mainly elementary schools and secondary schools. The second will be found out in policy of international organizations, "Media education" in UNESCO and "Education and new information technology" in OECD, CERI, etc.

2. The delay of ICAI development in Japan

The delay of ICAI development in Japan will be analyzed by reviewing the past CAI research in foreign countries, mainly in America, applying the paradigm shift theory. And reason of the delay will be found out.

3. The student model in ICAI

The difficulty of student model construction will be argued by reviewing the past ICAI research and development.

And the strategy of student model construction will be suggested.

4. The development of ICAI

As result of above three sections, the potential and task in ICAI development will be discussed.