The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	認知理論に基づくCAIの開発と試行
Author(s)	菅井, 勝雄; 森田, 英嗣; 黒上, 晴夫 他
Citation	大阪大学人間科学部紀要. 1989, 15, p. 207-231
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/8216
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

認知理論に基づくＣＡＩの開発と試行

菅井 勝雄　森田 英嗣　黒上 晴夫　井上 正道

目次

はじめに
1．「チュータ・シリーズ」CAIの設計思想
2．具体的な「チュータ・シリーズ」CAIシステム
3．試行実験の方法
4．試行実験の結果とその検討
5．認知理論に基づくCAIとオープンセッティング

認知理論に基づくＣＡＩの開発と試行

はじめに

今日，世界的規模で「コンピュータ教育」は実践の段階に入った。わが国でも，コンピュータが学校の中に入り，コンピュータによる学習指導が行なわれるようになってきた。

このような背景の中で，執筆者らが今日的課題だと考えるのは，これまで支配的であった行動主義的パラダイムによるCAIに代わって，認知心理学を土台とする，新たなパラダイムのもとでのCAIの開発であり，またその開発手法の明確化，およびそれを用いた学習指導法の開発である。というのは，前者のCAIでは，一般に次のような問題点が指摘されるからである。

行動主義的パラダイムのもとでは，刺激－反応図式を理論枠とすることもあって，どちらかというと受動的な学習者観に立って，コンピュータ側が主導権をとり，学習者に教え込んでいくという，いわば教授中心の指導形態になる。訓練・演習様式（Drill & Practice Mode）や個別指導様式（Tutorial Mode）のCAIでは，コンピュータ側の主導により，刺激を学習者に提示し，それに対する反応を求め，それを受けて強化を与えることを繰り返すことによって，知識を教授・伝達しようとするのである。そこでは，フラッシュ・カードに典型的に見られるように，学習者は条件づけを基盤とする機械的な学習に身を委ねることになる。

もちろんこの種のCAIも，一定の条件のもとでは成果を上げるのは言うまでもない。しかし，教授・学習理論も近年では次第に認知心理学を土台とする方向に進んでおり，授業実践にも浸透し始めている(菅井，1987)。また，コンピュータ・リテラシィを中心とする情報（活用）能力とか，自己学習力など，学習者の生涯にわたって必要とされる能力の育成といった教育目標への関心も高まっている。このような状況を鑑みたとき，より能動的な学習者観や学習観に立つ，すなわち認知心理学を土台とするパラダイムによるCAIが適切であると思われるのである。また，従来と全く異なるパラダイムによるCAIの開発は，今後の教育の可能性を広げるのはいうまでもない。

そこで執筆者らは，認知パラダイムを下敷とするさまざまなCAIの例として，実際のCAIシステム（チュータ・シリーズ）開発と，その評価を行ない，このようなCAIが構成する学習環境全般について考察した。

1.「チュータ・シリーズ」CAIの設計思想

「チュータ・シリーズ」CAIの設計思想は，以下に示すようなものである。

① 情報生成体としての人間観に立つ

認知パラダイムのもとでは，行動主義の場合とは異なり，きわめて能動的・主体的な，いわば情報生成体（information generator）としての人間観，学習者観に立つ。

そこで，本システムでは，学習者側が問題を生成し，CAIに解決させるという設計を施すことにする。

② 学習の「誤り」を重視する

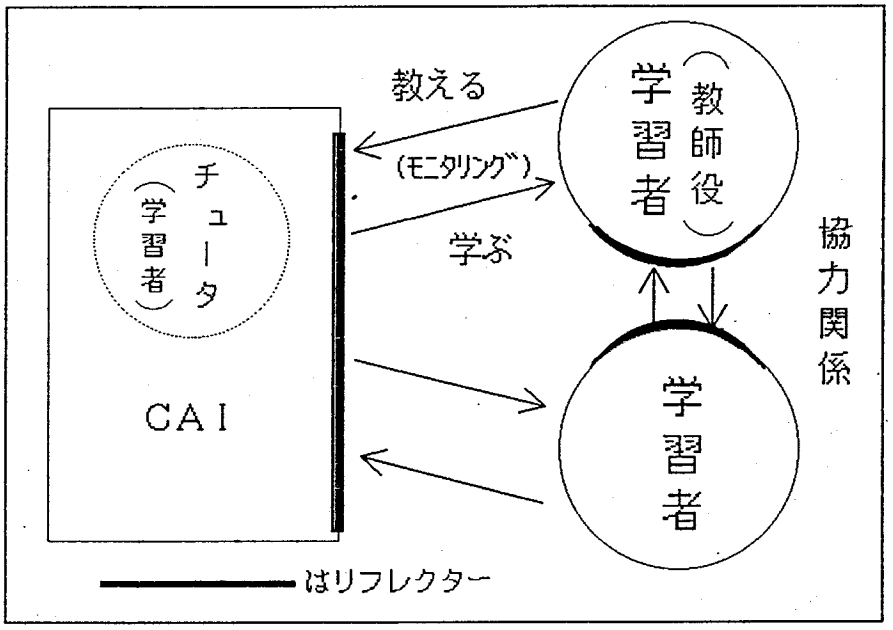
認知パラダイムのもとでは，能動的な情報生成体としての学習者観に立つことから，学習において「誤り」が生ずることを容認するだけでなく，むしろ学習や発達に必然的にともなうものと考え，逆にこれを自ら修正し訂正できるようにする能力（debug能力）の育成をめざす。なお，この種のCAIを開発するためには学習者の「誤り」が明確に類型化されている領域が望ましい。このことから，認知科学のもとに，いわゆる算数の多桁の引き算において，体系的ともいえる成果をあげたバグ研究（Brown & Burton, 1978）を援用し，本ソフトのカリキュラムをこの領域において開発する。

③ 学習者の思考活動を中心とする

ミード G.H.（1983）の社会的相互作用理論によれば，動物と人間の学習を峻別するのは，人間が身ぶりやシンボル機能を有し，単なる動物の条件づけを越えて，思考やそれによる内省や反省（reflection）を行なうことだとしている。さらに，思考が生ずるためには，(a) まず，人間は自己を責任を持てる立場におき，他者の立場に自己をおくことが必要だとする。そうすれば，「彼がああやるなら，私はこうやる」というような思考も生ずるという。これに続いて，(b) 更に，個人がシンボル機能を働かせて，他人の中に呼び起こしつつある反応を，自分自身に立ち返らせ，その反応の立場（他人の立場）から，自己のその後の行為を指導することができるように，有声の身ぶりなどがともなう必要があるとしている。

以上の考えは，近年ではメタ認知方略（meta-cognitive strategy）とかモニタリング（monitoring）などの概念として認知心理学で強調されてきているし（例えば稲垣，1982），また，彼の考えにみる自己内省（self-reflection）等による，「自己調整・制御」は，自己学習力の基盤となる重要な概念であるといえよう。

そこで，本システムの設計では，図表1に示すように，教師役という，責任を持たざるをえない立場に子どもをおくことにする。そしてそのために，従来のCAIでは常に教師役であったコンピュータに，学習者の役を与えることを考える。ここでは，その学習者として，ネズミのキャラクターを想定する。子どもはそのネズミに問題を与え，そのネズミが問題を解決していく思考過程やパフォーマンスをモニターしながら，誤りなどを指摘していくのである。



図表1.「チュータ・シリーズ」CAIシステムによる学習

つまりこのCAIは，子どもが「教授」する過程を子ども自身にリフレクトさせる機能を持つ。それによって，子どもはその学習内容を結果的には習得してしまうことを期待するのである。これは，通常「教えることによって学ぶ」といわれる方式である。ところでミードの理論は，本来対人的な関係の中でのものなので，本システムでも，学習者（1つのコンピュータに向かう子ども）は複数にし，そこでの対人的な相互作用を重視することにした。

④　コンピュータを，人間（自己および他者）の思考過程を記録し，表現するリフレクター（reflector）として用いる

コンピュータには，本来の機能として，人間の知識や思考を記録し，それらを動的なプロ

セスとして表現し，そのモニタリングを可能にするという機能がある。その機能を活用すれば，自己や他者の問題解決やパフォーマンスが動的に表現され，それをモニターすることによって，自己の解決過程やパフォーマンスを客体化して見ることが可能になると期待される。いわゆる自己に立ち返らせるという自己モニタリングを可能とし，自らの思考やパフォーマンスを吟味内省し，その修正をはかることができるのである。

この意味では，コンピュータはまさにミードがいう「内省」に導くリフレクターとして用いることができる。

こうしたコンピュータ特有の機能に注目し，学習の道具に用いることをCollins,A. & Brown,J.S.（1987）は提唱している。それによれば，次のようになる。

(a) 学習者は，自己と他者（エキスパートなど）の課題遂行過程を比較できる。

(b) 過程そのものを以前にみられなかった視点や角度からとらえることができるようになる。

(c) 多様なパフォーマンスを同時に比較することによって，問題解決の過程を抽象することができる。

(d) この抽象はメタ認知的ストラテジーを発達させるような形態の中で行なわれる。

ここでの「チュータ・シリーズ」のCAIでは，エキスパートの課題遂行過程ではなく，学習者である子どもが作成し提出した課題を，学習途上であり，バグを有するネズミのキャラクターが解決していく過程が示されることになる。

以上が，「チュータ・シリーズ」CAIの設計思想の概略であり，その基礎となる理論である。

要するに，認知パラダイムという大枠の中で，情報生成体として位置づけられる学習者（子ども）が，能動的にその環境であるCAI上のネズミのキャラクターと相互作用するプロセスの中で，ネズミに「教える」ことによって，自己内省を働かせ，知らず知らずのうちに学習すると同時に，このプロセスに学習者同士の相互作用を参入させ，その対人的協力活動のもとに，その目標の達成を更に援助しようという構想である。

これによって，学習者は，かなり高次の精神作用としての思考による自己内省能力を働かせることになり，誤りの自己修正を始め，自己調整・制御による学習が可能となり，自己学習能力の育成にもつながっていくことになると考えられる。

問題は，具体的にどのようなシステムであれば自己モニタリングを引き起こすリフレクターになり得るのか，そしてまた，そのようなシステムが準備されたとしても，そこで実際に学習が起こるのかということである。以下では，この考えに基づく「チュータ・シリーズ」CAI の概要と，それを用いて行なった試行実験の結果を見ていくことにする。

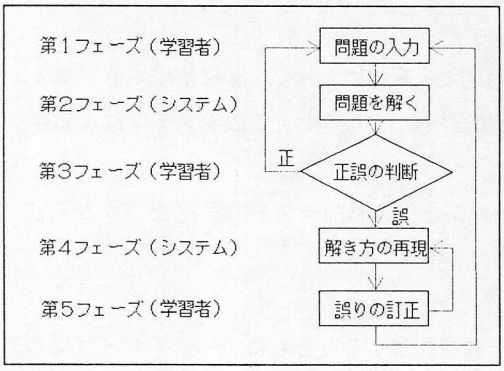
2．具体的な「チュータ・シリーズ」CAIシステム

「チュータ・シリーズ」は，MSX 2（FS－5500）上にBASIC 言語を用いて開発した（森田他，1987，井上，1988）。

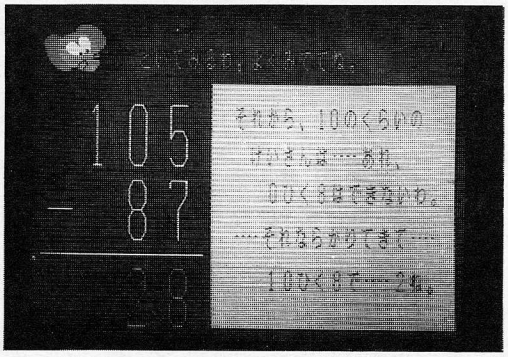
そして，このシリーズは，ネズミのキャラクターによる「チュータ」,「チューコ」,「チュージ」の3本のソフトからなり，それぞれ多桁の引き算（3桁から2桁の数を引く）において，Borrow Across Zero, Borrow No Decrement, Smaller From Largerという体系的な計算手続き上の誤り，すなわちバグを持つようにした。

図表2は，この「チュータ・シリーズ」のフローチャートを示している。

まず，フェーズごとに見ていくと，学習者（子ども）同士が事前に相談して，問題を作成し，それをシステムに入力してやる。そのときに，その問題は自分たちで予め解いておくことが前提となっている。これによって，でたらめな問題の入力を防ぐのである。（第1フェーズ）。続いてシステムはその問題を解いていくのだが，その時行なわれる演算のプロセスは，図表3に示すように，ネズミの思考過程とそのパフォーマンスといえる引き算の結果としてCRTディスプレー上に示される－内言－（第2フェーズ）。ここで，子どもが出した問題がネズミの持つバグ相応の問題の場合には，システムは間違った解法を示し，間違った答えを出す。そうでないときは正答を出す。次に，システムは学習者に正誤の判断を求める（第3フェーズ）。正誤の判断において，誤りとの判断がなされたときには，システムが問題を解



図表2．「チュータ・シリーズ」のフローチャート



図表3　「チューコ」が内言を提示しながら問題を解決している場面

た過程が再現される。ただし，演算のプロセスが1つ進むたびに，そこまでの手順が正しかったか否かを学習者に問いかけるようになっている。ここにおいて，学習者は，「教える」のである（第4フェーズ，第5フェーズ）。システムがどこで誤りを犯したかが全て指摘されると，問題の入力に戻る。ただし，システムは正しく誤りを指摘されると，次回の同種の問題において誤る確率を減少させる。こうした，学習者による問題の生成→システムによる求解とその過程の表示→学習者による誤りの修正→システムの学習，というサイクルを繰り返すことによって，システムは最終的には正解のみを出すようになる。すなわち，システム自体が学習するのであり，子どもにとってはネズミが学習したように見えるのである。

なお，この「チュータ・シリーズ」では，音楽をならしたり，問題を入力するときなど「ぽん」というサウンドを入れたり，また，ネズミの目をまばたきさせたりして，楽しい学習環境となるように工夫した。

3．試行実験の方法

① 試行実験の協力者：山口県内の公立小学校に通学する2年生の児童84名（男子；38名，女子；46名）

② 試行実験日：昭和62年10月

③ 試行実験の手続き：

(a) 事前テスト，事後テスト，ソシオメトリ調査

2年生の算数における指導直後に，3桁の引き算に関して，事前テスト2回，事後テスト1回実施した。

前者は被験者の持つバグの種類を知ることが目的で，それによって実験に使用するソフトを選択した（「チューコ」のソフトを用いることになった）。後者は，このシステムによる学習の成果として，事前テストとの比較で用いた。

また，事前にソシオメトリ調査を行ない，その結果と先の事前テストで調べたバグから，実験時のグループ（29グループ）を構成した。

(b) 実験時の発言記録

さらに実験時には，すべてのグループの音声記録を採録するとともに，一部グループについてはVTR記録を行った。

(c) アンケート

また，学習者である子どものこの試行に対する反応調査（アンケート）を全員に求めた。

(d) 学習記録

子どもたちのこのシステムとのやりとりは，システム内部に記録された。すなわち，後に子どもたちがどのような問題を生成し，これに対してシステムがどのような解答を出し，更に，子どもたちがその解答にどう反応したかが記録された。

4．試行実験の結果とその検討

試行実験の結果は次の2点から分析された。

①「チューコ」がどのように子どもたちに受け入れられたか。
②実際にどのような反応が起こったか。

前者は，子どもたちの発言内容やアンケートから，後者は，システムの内部記録から見る。

(1) 学習過程における反応

ここでは，「チュータ・シリーズ」の中の「チューコ」ソフトを用いたCAIによる学習指導（45分）の試行を，特に音声記録などによるプロトコル分析と反応調査を中心に検討していくことにしたい。なお，「チューコ」ソフトを用いることになったのは，子どもにこのバグがみられたからである。算数の引き算の授業後ということもあってか，子どもたちに最も多いバグ，Smaller From Largerがほとんど見られなかったので，「チュージ」ソフトは用いず，また「チュータ」ソフトは一部練習用に用いた。

①学習への導入－学習者が教師役になる責任を負う

「チュータ・シリーズ」のような，学習者が能動的に学習するCAIでは，一般に学習への導入の過程が必要となる。(例えば，ロゴによる幼稚園のコンピュータによる学習指導で，堺市立金岡幼稚園では，みごとな導入に基づく実践を進めている。)

ここでは，ネズミの「チューコ」の母親から，「みなさんに算数の勉強を教えてやってほしい」というお願いの手紙がきたという設定で，模造紙にかいた絵を示しながらその手紙を読み上げるというかたちで導入が行なわれた。

これによって，学習者である子どもたちは「チューコ」の教師となり，学習途上の「チューコ」に算数の引き算について，「教える」という立場にたち，その責任をおわされることになる。

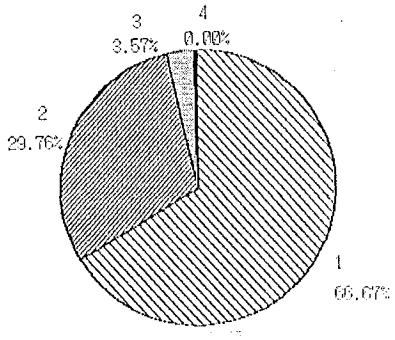
図表4は，この導入の説明に対して，子どもたちが理解を示したかどうかを表わしている。これによると，ほぼ全員がその説明を理解し，教師役になることを引き受けたといってよいであろう。

図表 4　学習への導入説明について

○　森田先生が始めに説明したことはよく分かりましたか。

1. よくわかった。
2. だいたいわかった。
3. あまりわからなかった。
4. ぜんぜんわからなかった。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	9	14	9	9	7	8	25	31
2	3	1	3	6	5	7	11	14
3	1	1	0	0	1	0	2	1
4	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	13	16	12	15	13	15	38	46



② 問題の生成・作成

「チューコ」に解かせる問題を，学習者である子どもたちは，まず相談しながら紙上に作成し，そのあとでコンピュータに入力する。

図表 5 は，この問題作成に関する問いへの回答である。この結果から，子どもたちは，かなりよく考えて問題を作成していることがうかがえる。

また，そのとき子どもたちの間でなされた発言内容のプロトコルの一部を，図表 6 に示す。これからは，ほとんどのグループで，より難しい問題を作成しようと努力している様子がうかがえる。問題作成前，作成中の発言と，問題作成後のその問題に対する学習者同士の評価，および引けるか引けないか，繰り下がりがあるかないか，などに対する議論がなされているのがよく分かる。またそこでは，同一グループ内でも，その問題に対する評価や議論が必ずしも一致していない点がうかがえる。

③ 「チューコ」の問題解決過程，思考過程，パフォーマンス過程のモニタリング

グループでどのような問題を「チューコ」に与えるかが決まるとそれを入力する。入力が完了すると，「チューコ」はいよいよ問題を解き始める。「チューコ」が問題を解いていくプロセスは，「内言」として表示されるのであるが，その内容に対する，各グループでの発言を図表7に示す。これによると，あるグループでは正誤の予測をしているし，また，そうでないグループもあるようである。そして，「チューコ」の課題解決過程をモニターしていく中での，「間違えたとき」の子どもたちの発言内容に注目していただきたい。それは，子どもたちの驚きを如実に示しているといえよう。そこには，計算が得意なはずのコンピュータが，間違えていることからくる驚きもあるだろうし，「チューコ」に対する優越感も見られるようである。

その後の過程をモニターしての発言内容が，そのほかに示されてる。「あんまりよう分かっていない」とか，「あれー」「もう一回計算してみよ…」「わからなくなったわい」「あっちょった，あっちょった」というような発言に見られるように，自己モニタリングによって，先に自分が同じ問題を解いたときのプロセスとの比較において，「チューコ」は分かっていないと評価したり，少し混乱してしまって，自分のプロセスを再チェックして，自分の方が正しいことを確認したりしていることが分かる。

そこで，「チューコ」が「内言」でその思考過程とそのパフォーマンスについて提示したことを，子どもたちが，分かったかどうか尋ねたのが，図表8である。これを見ると，「よく分かった」，「だいたい分かった」が多く，ほとんどの学習者がほぼ分かったといってよいようである。

④ 「チューコ」に対する「教える」活動

ネズミのキャラクターである「チューコ」の課題解決の過程のモニタリングに続いて，次にその正誤判断を，「チューコ」は子どもに求めてくる。ここから，学習者である子どもは，教師役としての「教える」という活動を展開することになる。「チューコ」の過程をモニタリングしながら，子どもたちは，「チューコ」の間違いを判断し，正しく指摘し，「教える」ことに専念する。

その一連のプロセスに対する，子どもたちの認識が，図表9に示されている。

これによれば，「全部正しく直してあげた」と「だいたい正しく直してあげた」で約93%である。ちなみに，児童の入力記録をコンピュータ保存データからみてみると，84.1%が，誤答を正しく判定している結果となり，ほぼ，子どもの意識と対応しているといえよう。

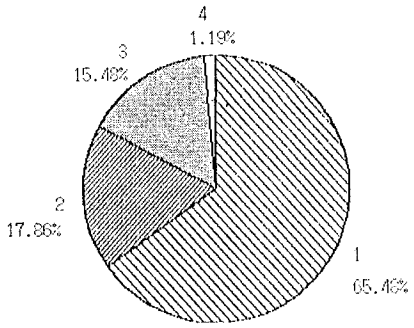
また，このような子どもたちの「教える」活動によって，「チューコ」はうまく問題を解

図表5　問題作成について

○　チューコさんに問題を出すときどんな問題を出すかよく考えて出しましたか。

1. よく考えて出した。
2. いちおう考えて出した。
3. あまり考えずに出した。
4. ぜんぜん考えずに出した。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	10	15	4	11	9	6	23	32
2	0	1	2	1	3	8	5	10
3	2	0	6	3	1	1	9	4
4	1	0	0	0	0	0	1	0
合計	13	16	12	15	13	15	38	46



けるようになったかという問への回答が，図表10に示されている。

これによれば，「チューコ」は，はじめ間違えていた問題にも正しく答えるようになったという回答が90%に達している。

⑤　学習者の相互作用による「誤り」の自己修正

コンピュータディスプレー上の，「チューコ」との相互作用によって，また学習者である子ども同士の相互作用によって，子どもたちは，自己内省を働かせて，「誤り」の自己修正を行なっている。このことを図表11に示す，対人的相互作用による発言内容のプロトコルの中で見てみることにしよう。

ここには，いくつかのグループにおける，まさにこうした例が見られる。例えば，最初の2組1班の場合，「うそ，間違えちょるか」，「ほら，間違えちょる」，「あ，ほんとじゃ，…」，また「ここも違うよ」，「うそー」，「五百も違うよ」，「あ，ほんとじゃ」，「414よ」とある。この一連の発言は，「チューコ」が，一つのきっかけとなって，子ども同士の相互作用，つまり「教え合い」が起こり，それを各自が自己にリフレクトさせ，自らの「誤り」に気づき，自己

図表6．問題作成に関する発言

グループ	問題作成前・作成中 （簡単or難しい）	問題作成後 （簡単or難しい）	引けるor引けない 繰り下がり，その他
1組1班 男子3名	「ちょっと簡単にしようね」 「かち難しくしちゃる」 「あまり難しくするなっちゃ」	「難しい問題つくったな」 「難しいよ，こいつ解けん」 「簡単じゃーや」 「こいつは解けるぞ」	「同じ問題出そう」（チューコが間違えていた問題に誤って○を押してしまったから）
1組2班 男子3名	（「簡単」という言葉が17回も使われている。「難しい」という言葉は1度も出てこない。）		
1組4班 男子2名	「今度は変なんにし，変なんに」 「引けん問題にし，引けん問題，もう頭っから借りてくる」		「引けん問題」
1組7班 女子3名	「今度は難しいの出す」	「分からん，やっぱりこの問題は難しい」 「簡単じゃった」 「簡単すぎたね」	「今度0が2つつくのがいいな」 「繰り下がりやろう？」
2組1班 男子3名	「おれ次簡単なぶん作るっちゃ」 「バカ，簡単，バカか」	「せっかく難しい問題出したのに」（簡単な問題を作って）「間違えた」 簡単すぎたかな」	「あ、引けるわ，引ける問題書いてしもた
2組2班 男子3名	「ぶち難しい問題…」 「よし，次ずっと難しいの出しちゃろうぞ」	「ぶち簡単なんにしちゃったんぞ」 「間違えたら損じゃ」	「あ，引けるからだめ」 「借りるのはチューコは引けないだろうな」
2組6班 女子3名	「難しいのね」	「んー，難しい」 「こりゃ簡単だったね」	

修正がはかられようとしている過程と考えられる。

このように，各グループのプロトコルを逐一点検・検討することによって，執筆者らが「チュータ・シリーズ」CAIにおいて，その設計思想の中でめざしていたことが，かなり達成されていることが分かる。すなわち，学習者は以上のようなシステムでは，思考に基づく自己内省，反省作用を充分に働かせて，それによって，「誤り」の自己修正を援助され得るのである。この意味では，このシステムは自己調整・制御による学習のもとに自己学習能力の育成にも有効な方法の一つになり得るように思われる。

さて，それでは，最後にこのシステムによる学習に関して，子どもたちの反応や感想について見てみよう。

⑥　このシステムによる学習への子どもの反応と感想

図表7．「内言」に対するモニター発言

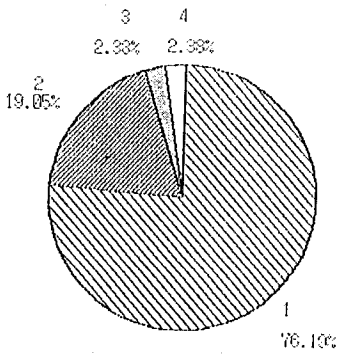
グループ	正誤の予想	間違えたとき	そ の 他
1組1班 男子3名		「違うわー，違う」「えー，わやいいよる」「なーにこれ，バカ」	「だんだん分かってきたなー」
1組2班 男子3名		「はー，間違っちょる」 「違うわー，違う」	「もし、貸してる」「賢い」
1組4班		「何やって，2じゃったー？1じゃないん？」「いけんのう」 「違う」	「あれー」「もう1回計算してみよ」「わかんなくなったわい」 「あ，あっちょった」
1組7班 女子3名	「また間違えるんやろ」	「えーえー」「違う」「違うからバツだ」 「9，違うね」	「はー，よかった」 「今度こうなった，頭ええ，頭ええ」
2組1班 男子3名	「違うな，違うな，こりゃ」 「絶対600って書くかもしれん…」	「バカじゃ，間違えちょる」	
2組2班 男子3名	「借りるのはチューコは引けないだろうな」 「また間違えるぞ，あいつが」	「おかしい」「ブーブー，違うぞ」 「おおうそ，バカじゃーこいつ」	「ここ，こことここ，あんのう，これとこれ見ればええだけっちゃ，これとこれ」
2組6班 女子3名	「こら，あたりかもしれんね」 （最後の問題で）	「ハハハ間違えちょう」 「バカー」「真ん中が違う」	
2組8班 女子3名		「ここ間違って…」「2なのに」 「何なんこれ」「違うよこの人」	
2組9班 女子3名	「これ絶対できんちゃ」	「違いまーす」 「違うよー」「違うんだよー」	「簡単すぎたね」 「でも分かってきたもんね」
3組1班 男子3名	「絶対これ間違えるっちゃ」	「何で？」「違いまーす」 「あってない」	「だいぶん賢くなってきた」 「これ賢くなるっちゃ」
3組3班 男子3名		「あっちょらん」 間違えちょる，これペケ」	
3組4班 男子2名	「間違えるかもしれんぞ」	「あ，違います…違いまーす」 「違うよね」	「違っている？おれが違えるちょる？」「足し算しとるじゃん」 「はー，間違えろ」
3組5班 男子2名		「違ーう」 「10の暗い間違えちょるっちゃ」	
3組8班 女子3名		「うそー，違いまーす」「違いまーす」「ペケよね」「うんペケ」	「あんまりよう分かってない」
3組10班 女子3名	「絶対これ解くっちゃ」	「え，違うよねー」「違う」	「頭賢く…」 「間違えちょったら怒る…」

図表8　「内言」に対する理解について

○　チューコさんのいうことは、よく分かりましたか。

1. よくわかった。
2. だいたいわかった。
3. あまりわからなかった。
4. ぜんぜんわからなかった。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	7	15	6	13	10	13	23	41
2	4	1	6	2	1	2	11	5
3	1	0	0	0	1	0	2	0
4	1	0	0	0	1	0	2	0
合計	13	16	12	15	0	15	38	46

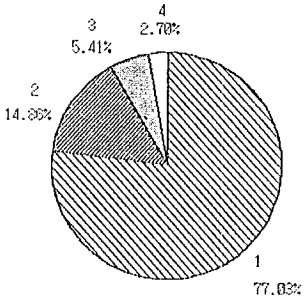


図表9　「チューコ」に対する「教える」活動について

○　チューコさんの間違いを、正しく直してあげることができましたか。

1. ぜんぶ正しく直してあげた。
2. だいたい正しく直してあげた。
3. あまりできなかった。
4. ぜんぜんできなかった。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	5	9	7	12	10	14	22	35
2	7	7	3	2	1	1	1	10
3	1	0	2	1	0	0	3	1
4	0	0	0	0	2	0	2	0
合計	13	16	12	15	13	15	38	46

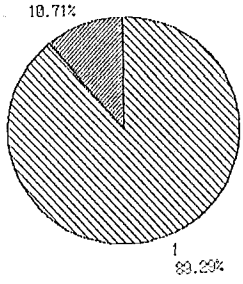


図表10

○チューコさんは間違えていた問題にも正しく答えるようになりましたか。

1. 答えるようになった。
2. 答えるようにならなかった。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	13	14	11	13	12	12	36	39
2	0	2	1	2	1	3	2	7
合計	13	16	13	15	13	15	38	46



図表11. 誤りの自己修正に関する発言

2組1班	「うそ，間違えちょるか」「ほら，一間違えちょる」「あ，ほんとじゃー」 「ここも違うよ」「うそー」「500も違う」「あ，ほんとじゃ」「414よ」
8班	「うそ，9よ」「うーん？」「だって，1から多くなるじゃーん」「あそう」「じゃから…」 「だってさー，ここ借りたから2になったやろう」「ほー」「10から6引いて4，4，5，6」 「そうですよー」「え，うそー，あたし909になったー」「えー，何でみんな違うの，あたしと，何でー，こうよー，1から2引いたら3じゃね」「たしとるんじゃね，引くんよ」
9班	「引かれんよ」「引けるっちゃ，ええ，10から…」「あ，そうかそうか」
3組3班	「なーんで，あっちるやろ？」「違う違う違う」「うそ…」「あっちょらん」「あっちょらん」 「…30…やのう」「うそー，3 4よね」「えーんじゃーやおめー，8から5引いて見ろ，3じゃねえか…」「そうか」 「おい，9から5引いたら4？」「8やろー」「9から5」「4よ」「絶対4」「え，4て書いちょらーや，そこ」「4，4，絶対4」「うそー」「4て書いちょらーや」「だって，8から…」…「じゃから8になるんじゃーや」「8？」「うん」「答えは8になるん？」「ばー，3じゃーや」「え，だったら…」「パツ，パツっちゃ」
4班	「違っている？おれが違っちょる？」…「考えてみー，5引く3，3じゃろ…5引く3は3じゃろ」 「…あ，あった，1問，1問あった…」「…違いまーす」「あってるじゃねーか，これ」「違った…」「ああああ，考えれ，おまーえ」「え」「あー，違う，違いまーす」「やめろいや」 「ほら，違う」「え？…あーあ」「また変になってしまった」
5班	「あっちょるっちゃ」「何で何で」「何…50…」「何で」「何か，おまえ156…」「うそ」「ほんとよ，…100うー，100」「何で，156なん」「いいんよ，…46じゃ，あ，40…46よ」 「え」「うそだーい」「間違えちょるじゃねーか」「ちょっと待った，やってみよ，自分らでやってみようよ，もう1 計算して…いやー，間違ってた，分かった，間違えちょった」

図表12に示すのは,「チューコ」と勉強して，どこが面白かったか尋ねた結果（複数回答）である。これによれば,「チューコ」の目が変わること，人間のように話したり計算したりすること，引き算の問題を出してあげること，間違いを直してあげること，と万遍なく回答しているといってよいであろう。

図表13は「チューコ」システムで学習したとき，よかったことを選択してもらった結果（複数回答）である。この場合も，引き算が分かるようになってきたこと，インストラクターに助けてもらったこと，友だちに教えてあげること，友だちに教えてもらったことなど，万遍なく回答されている。

この２つからは，執筆者らの設定した学習環境の様々な特徴が，一応「おもしろい」とか「よかった」という形で受け取られていることが分かるかる。

また,「チューコに，何かいいたいことがあったら書いてください」という問への回答結果が図表14である。これは，例えば「チューコさん，もっとがんばればできるようになりますよ」などの自由記述の回答を，類型化したものである。これからは，これまでの行動主義・訓練パラダイムのもとではとうてい出てこないような優越観とともに，思いやりの見られることばが投げかけられているのが理解される。

これに対して，このシステムでよくなかったことは，図表15のように示されている。全体として，少数であるが，友とけんかになったこと，引き算が分からなくなったことという点が目立つ。「けんかになった」（10反応）というぐらい，論点が煮つめられたものであれば，自己内省・反省の観点からみた場合，必ずしも望ましくないわけではないが，子どもたちがよくなかった点としてあげ，感情的なしこりが残るのであれば，問題かもしれない。「引き算がよく分からなくなった」（７反応）という点とともに，今後残された問題である。

(2) 子どもの入力から

このような学習におけるもう一つの興味は，実際に子どもがどのような問題を作り，システムの応答に対して，どのように反応したか，つまり，子どもは「教える」ことによって，本当に学習したのかどうかということである。なぜなら，問題を解けることと，問題を生成することは異なる次元であり，後者はより高次な能力を必要とするわけだから，小学校２年生では無理だと考えられがちであるし，ましてやこのシステムは問題を解決するプロセスについて意識化することを要求しているのであるから，無目的にこのシステムに向かっている子どもの存在が心配されるからである。

この点については，システムの内部に記録された子どもの入力の記録から分析してみよう。図表16は，子どもの入力の記録を整理したものである。

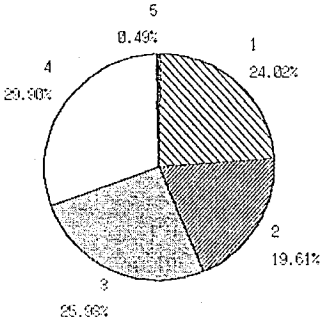
まず子どもの生成した問題についてであるが全体的にみると「繰り下がり二段」の問題が非常に多く生成されていることが分かる。ランダムにこの種類の問題（３桁ひく２桁）を作っ

図表12　面白かった点について

○　チューコさんと勉強してどこが面白かったですか。（複数解答）

1. 引き算の問題を出してあげること。
2. チューコさんの間違いを、直してあげること。
3. チューコさんが、人間のように話したり、計算したりすること。
4. チューコさんの目が変わること。
5. 面白くなかった。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	10	10	5	5	9	11	24	25
2	6	10	5	3	5	11	16	24
3	6	11	7	11	7	11	20	33
4	10	12	10	10	8	11	28	33
5	0	0	0	0	1	0	1	0
合計	32	43	27	28	30	44	89	115

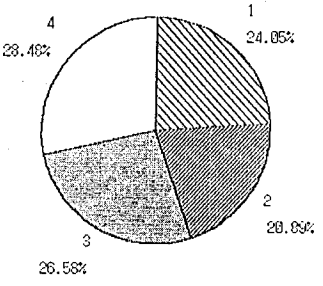


図表13　よかった点について

○　チューコさんを囲んで勉強するとき、よかったことがありましたか。

1. 友達に、教えてあげること。
2. 友達に、教えてもらったこと。
3. 先生に、助けてもらったこと。
4. 引き算が、分かるようになってきたこと。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	6	8	5	5	7	7	18	20
2	9	7	5	5	2	5	16	17
3	11	7	7	10	3	4	21	21
4	7	8	6	10	6	8	19	26
合計	33	30	23	30	18	24	74	84



図表14.　「チューコ」に対する意見

○　チューコさんに、何かいいたいことがあったら書いて下さい。

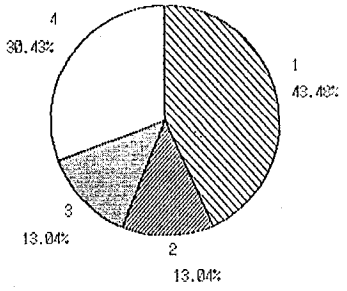
項目（代表的な例）	人数
1．努力賞賛（「よく頑張ったね」「よかったね」）	26
2．再会願望（「また勉強しようね」）	25
3．勉強奨励（「頑張ってね」「勉強したらいいよ」）	16
4．自分との関係づけ（「私もわかった」）	9
5．評価，問いかけ（「分かりましたか」）	8
6．疑問（「なんで算数が分からんの」）	3
7．その他	8
8．無回答	12
	（複数回答可）

図表15　よくなかった点について

○　チューコさんを囲んで勉強するとき、よくなかったことがありましたか。（複数解答）

1. 友達と、けんかになったこと。
2. 友達と、あまり話をしなかったこと。
3. 先生がちゃんと教えてくれなかったこと。
4. 引き算が、よくわからなくなったこと。

項目	1　組		2　組		3　組		学年全体	
	男	女	男	女	男	女	男	女
1	0	2	1	1	3	3	4	6
2	1	0	1	0	1	0	3	0
3	0	0	0	1	1	1	1	2
4	0	2	1	0	3	1	4	3
合計	1	4	3	2	8	5	12	11



図表16. 児童の入力の記録

組	班	人数	性別	出題数	繰下なし	繰下一段	繰下二段	正修正数	誤修正数	見落し数	正答誤指摘数
1	1	3	男	10	5	5(2)		2		1	
	2	3	男	4		4(1)		1	2		
	3	3	男	7	2		5(2)	3			1
	4	2	男	7	1	5(1)	1(1)	3		1	
	5	2	男	10	6	4		3	1		
	6	3	女	8	3	4(1)	1	2		2	
	7	3	女	7	3	3(1)	1	3			
	8	3	女	6	1	4(1)	1(1)	3			
	9	3	女	5	3	1	1	0	2		
	10	4	女	6	2	4(1)		3			
2	1	3	男	6	1	2(2)	3	3			
	2	3	男	5	1	4(1)		3			
	3	3	男	3		1	2(1)	2			
	4	3	男	4		3	1(1)	3			
	5	3	女	4			4(1)	3			
	6	3	女	4		4(1)		3			
	7	3	女	9	4	4(1)	1	3	1		
	8	3	女	4		2	2(1)	3			
	9	3	女	5	1	2(1)	2	3			
3	1	3	男	5		4(1)	1(1)	3			
	2	3	男	8	3	5(1)		3	1		
	3	3	男	6	1	5(1)		3		1	
	4	2	男	8	6	2(1)		1			2
	5	2	男	8	4	3(1)	1(1)	2			
	6	3	女	8	3	2(2)	3	3			
	7	3	女	9	4	4(2)	1	2	1		
	8	3	女	9	4	5(2)		3			
	9	3	女	4		3(1)	1	3			
	10	3	女	7	1	2(1)	4(2)	2	1		
	合	計		186	59	91	36	74	8	6	4
	平	均		6.4	2.0	3.1	1.2	2.6	0.3	0.2	0.1

（注）1.「繰下一段」,「繰下二段」欄のカッコ内の数字は,「チューコ」が正解した数を示す。
2.「正修正数」とは,「チューコ」の誤答を正しく修正した数を示す。
3.「誤修正数」とは,「チューコ」の誤答を正しく指摘したが，正しい修正ではなかった数を示す。
4.「見落し数」とは,「チューコ」が誤答をしたにもかかわらず,「正しい」とした数を示す。
5.「正答誤指摘数」とは,「チューコ」の正答を「間違い」と判断した数を示す。

たときに,「繰り下がり二段」の問題になる理論的割合は4.6%であるのに対して，実際には全体の19.4%（39問題）生成されていたのである。グループごとに見ると，かなりの偏りがあるものの，この結果は「チューコ」の提供する環境が（特に「チューコ」は繰り下がりのプロセスにおいてバグを持っているという点に関して），問題の種類についてセンシティブになり得るものであることを示している。

次に「チューコ」の計算手続きに対する反応を見てみると,「誤修正数」,「見落し数」がかなり少ないことが分かる（「チューコ」の誤答総数のうち15.9%）。また,「正答誤修正数」が4反応あるが，これらはいずれも修正の過程で正答であったことに気づいたのか，最終的に誤って修正されたものではない。

以上の結果から考えると，このシステムのようにある前提（文脈）が与えられると，小学校2年生の子どもでも，一定の意味を持つ問題を生成することができるし，更に，問題を解いていくプロセスにも期待以上の理解を示すと言えそうである。

5．認知理論に基づくCAIとオープン・セッティング

この節では，執筆者らの開発したようなシステムが，いささか冒険ではあるが，実際の学習指導の中でどのような意味を持つのか，総合的に考察してみようと思う。まず，執筆者らの開発したCAIの特徴をもう一度整理してみよう。

このCAIには，2つの大きな特徴がある。1つは，このCAIが学習者の能動的な働きかけを前提にしているということである。本稿の冒頭でも見たように，認知心理学を土台とするパラダイムは能動的な学習観に立っている。すなわち，学習は本来能動的に行われているということを改めて見直そうという立場である。このことはまた，学習が能動的に行なわれたときに，最もよく学習者の持つシェマなり知識なりが変革され得るとする立場でもある。このCAIはまさに認知心理学的パラダイムのこの側面を具体化したものと言ってよい。すなわち，学習者に対しては，彼らのおかれた文脈が説明され,「もんだいをだしてね」というチューコからの言葉かけがあるだけで，その後は学習者がコンピュータに働き返さなければ何も起こらないのである。

もう1つの特徴はこれが複数の学習者を対象としたCAIであるということである。もともと，CAIは個別教授を念頭において設計されるのが普通であった。学校の中での完全なカリキュラムの個別化（無学年制）でのCAIはもちろん，アメリカにおける大規模な個別化教育のシステムがそうであったのは周知の通りであるし，今日ますます開発の盛んな，家庭内のパーソナル・ユーズ・コンピュータを利用するCAIソフトも当然のことながら個別教授を前提としている。つまり，コンピュータに向かっている特定の個人に対して，何らかの知識を

伝達することがコンピュータに課せられた使命なのである。それに対して，執筆者らの開発したCAIは，コンピュータを囲む複数の学習者の間に議論（相互作用）を生起させるための「意図的環境」なのである。学習者の持っている不揃いな知識やシェマを揺さぶるような「事実」（真理か虚偽かは問わない）を提示することによって，学習者が互いの持つそれらの違いに気づき，暗々裡に設定された学習目標（この場合，チューコに「教える」ことによって，引算の手続きを理解すること）に到達するために，誰の知識やシェマが正しいのか，あるいは全員が間違っているのか，議論になることを想定しているのである。従って，従来のCAIとは異なり，このCAIは学習者の反応（入力）に対して一切コメントをしてこない。それをすることによって，各学習者とコンピュータの１対１関係が，学習者とコンピュータの多対１関係に優先してしまうことを恐れるからである。むしろ，コンピュータを交えた学習集団における社会的相互作用を期待するのである。

ところで，この２つの特徴の元になっている認知理論のパラダイムはインフォーマル・エデュケーションの学習観と符合する。インフォーマル・エデュケーションの考え方は，1967年のプラウデン報告（Plowoden et al., 1967）に最も明確にみることができるが，一言で言うとやはり環境との相互作用を大事にし，そこでの学習者の主体性，能動性を重視するということに集約されるかと思う。そうすると，執筆者らの開発したCAIは依って立つ考え方の共通なオープン・セッティングにおいてこそ，最も有効に機能すると考えられる。そこでは，理想的には，CAIに子どもたちが自由に接することが容認され，学習集団が自由に編成され，時間を自由に学習に割り当てることができる。子どもはあらゆる学習の主体であり，自らの学習をリードし，コントロールするのである（黒上，1988）。もとより子どもの能動的なはたらきかけを前提としているこのCAIは，教師が前に立つ一斉授業で，しかも授業時間が45分と限られているような場面で十分機能するとは思われず，オープン・セッティングに見られるこのような様々な条件の自由度の高さを必要としているのである。

しかしながら，このCAIをそのままオープン・スクールの中にセットしておくだけでは，十分効果をあげる学習環境とはなりえないということも同時に指摘できる。すなわち，CAIそれ自体やCAIを取り囲む様々な学習環境が，潜在的（子どもにとってあからさまでないという意味で）にうまく整えられていることも必要なのである。ちなみに，この「チュータ」シリーズがどのような学習環境に対する配慮を必要としているかをいくつかあげてみよう。

① 「チュータ・シリーズ」がある文脈の中に位置づけられていること。

「チューコ」の試行の際にも，お母さんが手紙をよこしてチューコに計算の仕方を教えてやってくれと頼むという導入を行なったが，このようなかたちの文脈作りは必要不可欠である。特に「チュータ・シリーズ」を全部同時においておく場合，「チュータ」，「チュージ」，「チューコ」の３匹がそれぞれ違ったところで計算が分からなくなっており，困っているか

ら助けて欲しい，といった話を聞かせることが必要になる。このような文脈を与えることで，子どもはそれぞれのネズミに対する責任を感じるようになり，なんとかうまく働きかけて，彼らに計算を分からせてやろうとするのである。

② 「チュータ・シリーズ」が授業設計の中に位置づけられていること。

「チュータ・シリーズ」をセットする時期や仕方は，授業との関係で決って来る。また逆に，授業のやり方も「チュータ」シリーズの用い方で変わって来る。単元の途中で用いるのと単元終了後に用いるのでは，子どもの接し方も異なるし，そこでの相互作用のあり方も異なって来る。また，教師がその中でどのようなことに気づいて欲しいと考えるかも違って来るのである。従って「チュータ」シリーズをいつ，どう使うかは，授業設計の時点で考えられている必要がある。子どもの能動的なはたらきかけを前提としたものでも，もう一つ上のレベルでの設計は，教師が握っておかねばならないのである。

③ 子どもたちが分からなくなったときのサポートを準備すること。

先にも述べた通り「チュータ・シリーズ」では，たとえネズミの間違いに引きずられて，子どもたちの計算の仕方に混乱が生じたとしても，一切コメントは返してこない。このことは，子どもとコンピュータの多対1関係を保障するためという他に，子どもたちが対面しているのは，計算のよく分からないネズミだという文脈を守るためでもある。しかしそこで必要になるのは，子どもの混乱をサポートする人，あるいはそれに代わるものである。この点について，現在「ピタゴラス先生」なるシステムを構想中であるが，これは子どもたちが混乱したときに，こんなことで分からなくなってしまったから教えてと尋ねに来るためのCAIである。

このように，執筆者らの開発したCAIは，その「能動」性故に様々なサポートが必要となる。しかしながらこのことは，このCAIのメリットを減ずるものではなく，逆に新しい可能性を提起する。すなわち，このようなCAIを核にして子どもをとりまく様々な学習環境を見直すことで，従来ともすれば受動的でありがちであった学習を能動的なものにし，その中で主体的な学習者としての人間形成を考えて行けるのではないかということである。それを，オープン・セッティングでの授業設計と絡めて考えて行くことを今後の課題としたい。

参 考 引 用 文 献

Brown J. S., & Burton R.R. (1978). Diagnostic models for procedual bugs in basic mathematical skills, Cognitive Science. 2, 155-192.

Collins,A. & Brown,J.S, (1987) The Computer as a tool for learning through reflection. In H.Mandl, & A. Lesgod (Eds.). Learning issues for intellingent tutoring systems. Springer New York.

稲垣佳世子 (1982). メタ認知とモンタリング, 波多野誼余夫 (編)『認知心理学講座 4 学習と発達』所収. 東京大学出版会。

井上正道 (1988) 引き算学習用CAIソフト「チュータ・シリーズ」の開発研究, 1987年度, 大阪大学人間科学部卒業論文. 未発表。

黒上晴夫 (1988). 個別化教育の研究動向と課題 ——小学校の事例, 学校運営研究 №347, 明治図書。

ミード. G. H (1983). 精神・自我・社会 (稲葉三千男他訳) 青木書店。

Plowden. G. et al (1967). Children and their Primary School. (A Report of the Central Advisory Counsil for Education (England)) HMSO.

菅井勝雄 (1987). コンピュータ教育のための授業モデルの理論的研究—パラダイム論の観点から— 教育情報研究. 3.16-22.

森田英嗣, 井上正道, 村田厚史, 菅井勝雄 (1987). 誤り治療システム〝チュータ〟の開発, 日本教育工学研究報告集, JET 87-5.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A CAI SYSTEM BASED ON COGNITIVE THEORIES

Katsuo SUGAI, Eiji MORITA, Haruo KUROKAMI and Masamichi INOUE

The new type of CAI systems named "Chuta series" which are based on cognitive theories and BUG studies were developed in our laboratory.

This CAI consist of three learning software, "Chu-ta", "Chu-ji" and "Chu-ko", which correspond to different kind of bugs, respectively. One of the main characteristics of cognitive paradigm is to regard learner as active information generator. And computer can be used as mirrors of minds.

These important point were stressed in designing our CAI system. That is, learners are supposed to "learn by teaching as a teacher" actively and cooperatively in multi-digit subtraction probrem in mathematics. Current paper reports one of the experimental studies which was tried at classroom setting in a primary school.

Result were analyzed in three ways.

a) protocol of pupiles during the experimental session.

b) quetionairs to pupiles.

c) record of pupiles performance during the session.

In adequate context even children in 2nd grade can generate problems intentionaly and understand the procedure of problem solving.

Farthermore capabilities of CAI like this was argued in Open Setting. To set the CAI in Open-school requires some suports of learning circumestances. And this means that introduction of this CAI to instruction enlarge the potentials of all aspects of teaching-learning process.