

■原著■

## 中学生のための数学の非C A I 的授業の 教材開発について

佐伯卓也\*

(1989年1月20日受理)

Takuya SAEKI

On the Material Development for a Non-CAI Mode Teaching in Mathematics for Junior High School Students

プレサース教師教育をかねて、附属中学の数学科の教官のご協力も得て、ここ8年程、数学のパソコン利用の教材開発と授業展開の研究を続けてきた。その間、教材ソフトのみならず、中学生対象のC A Iと言うより、むしろ、非C A I 的授業と言える授業のノウハウの蓄積がなされてきている。本稿ではその幾つかを述べ、考察を加える。

〔キーワード〕 中学校数学、教育へのコンピュータ利用、C A I、教師教育

### 0 はじめに

筆者は1981年から算数数学の授業へのパソコンの利用を考え、取り組んで来ている。1983年にいたり一応の「非C A I 的授業」とでも言える形態を確立し、プレサース教師教育とかねて研究室配属の学生を組織的に指導し、そのための教材ソフト作りを開始した。そのとき考えた学生の教育の目標は①パソコン教材開発能力をつけること（この能力を、かりに「PCMリテラシ」ということにする）、②パソコンを用いた授業能力をつけること（この能力を、かりに「PCTリテラシ」ということにする）、の二つの目標であった。この二つの目標を有機的に結合しての学生の教育に年々確信を強めながら現在に至っている。ところで、一般に教育現場の研究や教師教育にお

けるコンピュータリテラシ教育の研究と言えば、教材開発なら開発だけの研究になり、教材開発への授業からのフィードバックが少ないように見える。筆者は、教材ソフトの開発は、まず初めに授業があってそれと有機的に関係づけ授業の研究からもフィードバックがありソフト開発も工夫されて来るのが筋道ではないか、という考えのもとに研究を進めて来ている。従ってソフト開発だけ、とか、あるソフトを用いて行う授業だけ、という研究のスタイルではない。

また、教育現場ではなるほどC A I と称する研究が多くなっている。しかしよく見るとC A I と称していても中身は、パソコンをOHP的な、単なる提示用具として用いている実践研究も多い。このOHP的な用いがかたが、ほぼ、ここでいうパソコンの非C A I 的利用と同じものになることを

\*岩手大学教育学部数学科

指摘しておきたい。ここにも非CAI的授業として概念化した意味を見いだすのである。

本稿では、筆者の1981年からのパーソナルコンピュータをとりまくプレサービスとしての教師教育を振り返り、それから得られる幾つかの命題を指摘し、今後の研究への示唆としたい。

## 1 非CAI的授業の概要

まず、ここで言うCAIとは、AFO型のような、教師がいちいち細かい評価KRの伝達をなくとも、ソフトウェア自身に、生徒の応答に対し評価KRの伝達機能が含まれていて、授業にあたっては、教師はある程度パソコンにまかせてしまうようなCAIの意味で用いる。一般に授業の教育工学的モデルでは、提示→受容→応答→評価→KRの流れが原型になっているが、この後の2つの段階をパソコンにまかせる、という意味である。

「非CAI的授業」の用語の提唱は佐藤(1987)のマイコンレーダーへの一文が最初と思う。佐藤は元技術者そして現教師としての立場から、「現行のCAIシステムは、まさに技術者によるシステムである」といい、その問題点を指摘し、パソコンの特性を生かし、学習効果を上げ、かつ、教師と生徒の個性がぶつかり合うという、理想的なCAIのためには、

①生徒と教師とは、お互いの顔が見えること、

②生徒と教師とは、自由に会話が出来ること、そして

③学習ソフトウェアには、教師の個性が表現されていること、

が必要条件であるとしている。佐藤のいう非CAI的授業は、CAIの設計思想の変更を求めるものであると思う。しかし、生徒の応答の評価KR情報の伝達はパソコンがするのか教師がするのかについては触れていない。筆者は佐藤のいう「非CAI的授業」の思想をとり、生徒の応答の評価KR情報の伝達、つまり教育工学的授業モデルの

後の2つの段階、すなわち、評価とKRの段階は主として教師が行う授業、従って、従来の授業形態をあまり変えずに出来る、パソコンは授業を助ける(assist)教具と位置付ける、つまり、パソコンをOHPのように情報を提示したり(グラフィック等)、教師や生徒に代わり、計算の代行をしたりする教具と位置付ける授業を「非CAI的授業」(non-CAI mode teaching: "NCT"と略す)と呼ぶことにしている。繰り返すが、CAIとNCTの区別は、授業の中でのKR情報の学習者への伝達はコンピュータがするのか、生身の教師がするのか、で行っている。

ところで授業形態は教室の中にパソコンが何台あるか、という条件にもかなり支配される。教室に1セットしかないのにCAIを実施しようとしても無理であろう。教室に複数台、少なくとも生徒二人(三人)に1セットぐらい(あるいは生徒一人に1セット、中には生徒1人にパソコン2セットというものもある)になると、CAIでもNCTでも可能になる。このとき、ソフトがどのようなになっているか、また教師はどのような教授行動をとるかにより、CAIかNCTかに分かれる。また、当然のことだが、CAIとNCTのミックスされた授業も可能になろう。このように授業がCAIになるかNCTになるかの区別には、ソフトウェアの構成も入っていることを指摘しておきたい。ここからもパソコンソフトの開発はその授業の展開と切り離すことの出来ない関係にあることが分かる。

ここで、NCT(T=teaching)と言ってNCI(I=instruction)と言わなかった理由について触れておく。Christiansen(1975)が教師の機能を分類し、①instructorとしての機能(一方交通的で、テレビの教師のような機能、つまりinstruction)②teacherとしての機能(授業の教育工学的モデルの5つの段階の機能で相互作用を重視するteaching)③educatorとしての機能(子供の全人格の形成に寄与する機能、つまり

education)とした。この考えから、② teacherの機能、つまり、生徒と教師の交互作用を強調したいためにNCTとした。

## 2 具体的実践例

NCTの筆者の実践例を示すことにする。筆者はプレサービス教師教育と位置付けて学生に指導して来た。一応実施の仕方が固まってきたのが1983年度である。この年以後は“班”ごとにPCMを作成することになった。各年度ごとの取り組んだテーマは次のようになっていて、すべてが附属中学校の1年・2年の生徒を対象に、マイクロクラスのマイクロティーチング形式の授業実践を経たものである。なお授業は1セットのパソコンでのNCTであり、学生が教師になり実施している。中にいくつかはVTRとかOHPを併用した、メディア・ミックス的授業もあった。準備したパソコンはPC8801系1セット(8ビットマシン)、ディスプレイは時々大型の28型のテレビ受像機(RGB端子つき)を利用した。プログラム言語はN88BASICである。生徒の人数は8人~16人であり、パソコン利用の授業時間は原則として1単位時間であった。

### ◎1983(昭和58)年度

A班:石橋朗子、小野寺浩子、小原嗣美 「平方の定理の図形的証明」

B班:菊池恵子、千葉淑子、早坂美音 「関数のグラフ —  $y=x^2$   $y=ax^2$  に関するパソコン教材」

C班:工藤信義、山本博幸 「立方体の平面による切断で生じるいろいろの多角形」

D班:佐々木猛、時枝直樹、戸来良治 「回転体 — 線・面の運動による立体の生成」

E班:時田教子、林 純子、宮原ゆう子、村井佐千子 「三角錐の体積は同じ底面積・高さを持つ円柱の体積の1/3である証明」

### ◎1984(昭和59)年度

A班:辻村誠一、佐藤 敬、西村祥子 「確率・統計 — さいころとコインのシミュレーション」

B班:菊地雅彦、村松康司 「資料の整理 — ヒストグラムの理解」

1985年度より中学生対象の“ふくらまし教材”の開発となる。

### ◎1985(S60)年度

A班:神林雅紀、平田裕司 「中学生のための傾き関数(微分に相当)の概念の理解」

B班:阿部チエリ、黒沢真由美、佐々木明子 「中学生のための面積関数(積分に相当)の概念の理解」

C班:小野寺咲子、佐藤洋子、佐藤ユミ 「円の面積と $\pi$  — 区分求積法による内接・外接多角形からの近似」

D班:富田正彦、上西創司 「円の加法 — 円と極座標グラフ」

### ◎1986(S61)年度

A班:阿部ゆかり、柿崎純子、菊池美智子、細越千春 「区分求積法による内・外接正多角形による円周率 $\pi$ の意味の理解」

B班:千葉政弥、田中 洋、千葉 仁 「二次関数から高次関数(三次・四次)への発展」

C班:青沼 徹、添田 尊、南館義孝 「面積関数・区分求積法による二次・三次関数の積分へのアプローチ」

D班:田村 慎、本堂 敬 「円錐の体積の区分求積法によるアプローチ」

### ◎1987(S62)年度

A班:小林 隆、酒井 健、棟方昌恵 「傾き関数の応用 — 直方体の最大の体積」

B班:昆野広秋、中村宗宏 「円の加法 — 同心の円と楕円の場合」

C班:佐々木寿子、田畑真紀子、谷地直子 「中学生のためのサイクロイド曲線・内サイクロイド曲線のパソコン教材」

D班:笠原理恵子、藤本恭子、山内美保子

「中学生のための等差数列のパソコン教材」

上述のリストでは1984年度までは中学校の現行の指導要領の中から題材を選んでいるし、1985年度からは指導要領を意識せずに、パソコ

ンを使用すれば中学生でも学習が成り立つだろうという立場で広く一般の数学から題材を選んでいることが示されている。

第1表 パソコン教材題材の分類

	A. 数と式	B. 関数	C. 図形	D. 確率統計	その他
1983		1	4		
1984				2	
1985		2	1		1
1986		3	1		
1987		1			3
計	0	7	6	2	4

1985年度以後のような教材を、一応ふくらし教材(enriched material)と呼んでいる。これらの題材を、現行の中学校数学の指導要領の区分に合わせて分類したのが第1表である。ふくらし教材も指導要領に合わせて分類したが、どうしても合わない題材は表では「その他」とした。この表にははっきり示していないが、開発した教材はD領域の確率・統計以外はすべてパソコンのグラフィック機能を用いたものになっている(もちろんその中にはパソコンの計算機能の利用が含まれている)ことであり、これはよその普通の現場の研究題材とは著しい違いとなるだろう。特にふくらし教材はすべてがグラフィックでアプローチしている(ふくらし教材の実践は附属中学校ということで指導要領からの若干の越脱が許されるという特種条件があって出来るもの)。

### 3 数学のパソコン教材開発における数学特有の問題の克服

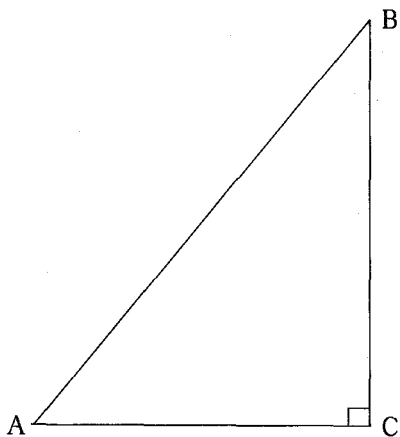
生徒にふくらし教材の数学の概念を理解させる時、厳密に説明すると程度が高くなり理解させることが困難なものが出てくる。そのときパソコンのグラフィック機能を活用して、生徒に直感的

に理解させようとする意図でいろいろ工夫がなされた。次にその代表的な例を二三述べることにする。

#### (1) 極限のあつかい

数学で出てくる極限は厳密には、 $\epsilon - \delta$ 式論法によるのだが、この論法は大学生でもなかなか大変で、教養部の数学でこれを持ち込むと数学が嫌いになるとさえ言われている。ところで、パソコンのディスプレイのグラフィックではドットの細かさには限度があるので、例えば、小数点以下6桁までは一致し7桁以下だけで異なる2数のグラフィック表示が同じドットになる限界がある。これを同じ(または収束した)と見なすことにすると、極限の意味が図形的直感的に理解させることが可能になる。前節の例では、傾き関数、区分求積法、最大値を求める、等はすべてこの方法で一応目的を達した。

(2) パソコンのブラックボックス的利用(生徒の理解を越えて「計算」等の取り扱いについて)



第1図 直角三角形

例えば、中学2年の生徒に、数学的に厳密に言いたい時はまだ習っていない三平方の定理を用いての説明が必要になるときがある。この時三平方の定理を表に出すかどうかの問題である。例えば区分求積法で必要になる。この時はグラフィックで図が出ているから、その線分なら線分の長さを求めるのだが、パソコンが変わって求めたらこのように求まった、という大体の生徒は納得してくれる。例えば第1図の直角三角形で、AC、BCの長さを与えてABを求める時にパソコンに計算させ（計算代行）で長さだけ示すのである。ABの長さを求めるのが最終目的だとこれはまずいが、区分求積法では、この段階は途中の経過であるので、大体うまく運んでいる。ふくらまし教材の開発では、教師はこのくらいの融通が必要であるように考える。

### (3) 数学的な意味をよく捕らえ、それを直感に訴えること

ここでは特にふくらまし教材の開発の時間問題になる事項について触れる。ふくらまし教材は、もともとそのままの形で生徒に与えれば理解が困難であると予想される教材が多い。その上、指導のための資料やいわゆる赤本のたぐいもないのが普通である。そのため指導要領内教材に上回って必要となるのは、指導目標の明確な設定である。こ

の背後にある考えは、大阪大学の竹之内（1985）のいう、「後々の洞察のために」役立つ教材の先行経験をさせるためとか、純粹数学の立場で重要なキーになる概念の先行経験をさせるためとか考えられる。特に後者の例となるものとして、例えば今年（1988年度）のテーマの一つ「パスカルの定理」を取り上げて見る。これはあの有名な射影幾何学の定理であるが、学校数学の範囲ではどこにも無い。ただこれは審美性という鑑賞用という目的もあろうが、このほかに幾何学基礎論的にみてアルキメデス幾何の存在に必要なものであった。この辺の背景までも捕らえることが、「数学の意味をよく捕らえ」と書いた筆者の真意であったことに一言触れておきたい。ところが、学生の実態はなかなかそこまでは行っていないのが現状である（他大学教育学部学生に聞いても事情は同じようである）。従ってこのようなふくらまし教材を扱うときはこの例のような「パスカルの定理」のもつ幾何学基礎論の意味までも考慮にいれて指導をすることが必要であると痛感した。さらに付け加える要点としては、このような教材の提示場面ではよく生徒の直感に訴えるようにグラフィックを使用するようにしなければならない、また、脳生理学の言葉を用いて表現すれば“右脳によく訴えなければならない教材”と言うことになるだろう。

## 4 教師教育としてのパソコン教材開発への示唆 —— 結語

前にも触れたことだが、教材開発は授業の実践があって初めて存在するもので、授業と切り離して考えることはできない。そこで教師教育の立場からは、両者の混然一体的指導が望まれる。特にプレサービスではこのような指導が特に大事になることは言を待たない。筆者のように附属中学校の教官と附属の生徒に協力を得て行うのも一つの方法であろう。パソコン利用の授業という時、よ

く学会等で指摘されるのは、パソコンは一回目の授業はパソコンの物珍しさ（新奇性）とあいまい性（教科書、学習シートと異なりなじみが薄いことによる）により、生徒はついてくるのは当然であるが、二回目からは飽きてきてついて来なくなる、という事実である。二回目以降でも生徒が飽きずについてくるようなパソコン利用の授業はどのように設計すべきか、が問題になる。筆者のふくらまし教材への取り組みもこの一つの現れである。筆者は最近の学会で発表後「アニメとかの生徒の目を引く内容が含まれていない教材で生徒の関心を引くことができるか」という内容の質問があった。筆者の研究室では、以前から、アニメとかゲームのような特に生徒の関心をかうようなソフトを考えてはいなかった。「アニメというような数学なら数学の筋道とあまり関係のない内容で生徒の関心を引いても、生徒は二度と見てくれるかどうか分からないことと、生徒の記憶に何が残るかという立場から、数学の内容という焦点がぼけないように考えから、特にそのようにはしていない、要は生徒の関心をひくのはパソコンでなく教師自信の力量ではないか」と答えておいたが、あまり納得して戴けたようでもなかった。やはりこのアニメとかゲームを含めたソフトの問題も今後に残る問題であろう。

次にメディア・ミックスの考えであるが、水越（1986）によると、モニタージュの思想が入っているかどうかで単なるマルチメディアと区別されるという。一方他のメディアであるOHPとかVTRはよくパソコンの足りない点をよく補ってくれるのも事実である。それにこのごろは、RGB端子付きのテレビ受像機とか、スーパーインポーズ機能、カラーのイメージスキャナとかが出て、取り組みやすくなってきた。今後はパソコン教材の開発にはこのようなハードを生かしたメディア・ミックス的授業はますます実現しやすくなっていくと考えられるので、この方面の研究もより一層必要になる。ただメディア・ミックス的授業

はCAIよりもNCTになじむ、という事実を指摘しておきたい。特に伝統的な授業で多く見られる教師自作の教具等を併用しようとするれば100%NCTに軍配はあがるように見える（今年度の研究室の学生の幾つかのNCTでは、附属中学の先生をも感心させたオリジナルな手製の教具を、パソコンと併用して成功した授業例があった）。

現場では、パソコン利用というとCMIそしてCAI、さらにCAIというとAFO型CAIのようなCAIを連想する傾向がある。実際、現場では多くのオーサリングシステム/エグゼキュタのソフトが出回り、容易に入手が可能になったし、多くの研究発表が見られる（CAIという研究の中では、実はどう見てもNCTである、いう研究も半分ぐらいはあるのも事実だが）ことになったことも原因の一つであろう。このようなCAIを実現するには、少なくとも生徒2人にパソコン1台、できれば生徒1人にパソコン1台は必要である、それにパソコンを置く半ば専用化した教室も必要である（普通教室ではパソコンはただか20台ぐらいしかセットできない）、また、CAIのコースウェアの開発には大変なエネルギーがいる（1単位時間のCAIソフト開発時間は100時間とも200時間とも言われている）、となるとなかなか手が出ないと考えているのが多いようである。そのような時、将来はCAIを目標にするとして、当面上述のようなNCTを目標にしても良いのではないかと考える（ちなみに筆者の所の学生はNCTソフト開発は1単位時間あたり、2日もあればよく、場合によっては1日も可能である）。さらにNCTはパソコンの台数が揃わなくとも、教室に1セットのパソコンでも、ディスプレイを工夫すればすぐに実現できる簡便さがあるのも魅力の一つであろう。その上NCT、すなわち、非CAI的授業はパソコンが数多くあっても可能である。それは提示から応答までのソフトを作っておき、それを複数台のパソコンでランさせ個別学習をさせる、次いで、適当な所で教

## 参 考 文 献

師が一斉授業を行い、教師がモニターを見ながら評価やKR情報を生徒に伝達する形になる。次にまた、パソコンで個別学習をする、という繰り返しになる、というのが一つの例である。

最近、深谷(1988)はCAIのコースウェアに関連して、「授業というものは、一往のシナリオはあるが実際にはアドリブの多いドラマのようなもの」と言い、一斉授業でも、「実際には極めて雑然とした集団学習の中で機能しているのは、ただ単に学問的に洗練された授業・学習理論だけでなく、こうしたノイズのような情報のやりとりであることを忘れてはならない」と発言している。筆者は以前から一斉授業における、深谷の指摘する「ノイズ効果」とでも言える効果について触れたことがあるが、NCTではまさにこのノイズ効果をも伝統的な普通の授業と同様に期待される。しかし、この辺の事情は大変複雑でATI等を加味した今後の研究の結果を見なければこれ以上は何とも言えない。

さらに、上述のNCTの例では、パソコン利用の部分はちょうど伝統的な普通の授業の学習プリントを配布して、個別学習をしている場面と似ているように見える。このような状態で用いるソフトは、KR部分がないだけ簡単になるであろう。

その上NCTは、なによりも教師にとっては、佐藤(1987)の指摘する、「理想的なCAIのため」の3条件、①生徒と教師とは、お互いに顔が見えること、②生徒と教師とは、自由に会話ができること、③学習ソフトウェアには、教師の個性が表現されていること、の総てが充たされるし、授業途中のハプニング時(突然の停電等)にもよく堪えるし、さらに授業途中でも、生徒の反応によっては自由にコースウェアの変更ができるという、柔軟性のある授業が実践できるのも魅力である。そのうえ、NCTは大多数の教師にとってはなじみの薄いCAIとは異なり、伝統的な普通の授業の雰囲気をも多分に残しているのも殊更に魅力となるであろう。

- Christiansen, B. (1975) National objectives and possibilities for collaboration, *Int. J. Math. Ed. Sci. Tech.*, 6, 59 ~76
- 深谷 哲(1988) コースウェア開発の現状を考える、*教育と情報*、368(11月号)、2~7
- 水越敏行(1986) ニューメディアとこれからの教育、*教育情報研究*、1(No.2)、40~49
- 佐伯卓也(1987a) 数学における非CAI的授業としての「パソコン化授業」について、*日本科学教育学会研究会研究報告*、1、No.7、7~10
- 佐伯卓也(1987b) 数学における非CAI的授業としての「パソコン化授業」——1台の8ビットパソコンでも効果的な授業ができる、*マイコンレーダー*、12月号、12~15
- 佐藤佳弘(1987) 非CAI的授業のすすめ、*マイコンレーダー*、5月号、53~55
- 竹之内脩(1985) 教育工学と数学教育、竹之内脩編: *コンピュータと数学 6* ]、*コンピュータと数学教育*、26~30 *数学教育*、26~30