

数学的探究の記録の手段としての マルチメディアソフト・ハイパーメディアソフトの可能性

愛知教育大学 数学教室 飯島 康之

Multimedia-software and hypermedia-software as a tool to record mathematical inquiry

Department of mathematics Yasuyuki IJIMA

要 約

コンピュータ利用において、「マルチメディア」あるいは「ハイパーメディア」という概念が使われることが多くなった。それらは本当に有効なのだろうか。このことを検討し、次の結論を得た。

- (1) 数学的探究の道具としてはあまり有効とは思えない。
- (2) 「リアルなデータを扱えるか」ということよりも、「インタラクティブな数学的探究を生むかどうか」ということの方がソフトの有効性に大きく関わっている。
- (3) 一つの数学的問題に対して、基本的な操作を行う程度のコンピュータ利用であっても多様な事実の発見、問題の発見がありうるインタラクティブな数学的探究を生む。
- (4) インタラクティブな数学的探究の教材化のためには数学的探究そのものの記述と分析の蓄積が必要であり、それが容易に行えるようなシステムが必要である。
- (5) そのようなシステムとしてマルチメディア・ハイパーメディアが有効に使える可能性がある。
- (6) しかし、現在のマルチメディアソフト、ハイパーメディアソフトは必要とするコンピュータ資源等に関して、様々な問題がある。
- (7) 筆者が開発した作図ツール Geomertic Constructor における対処の方法を明らかにした。

1. 数学的探究の道具として マルチメディアソフトは有効か

1. 1 マルチメディアソフトは数学的探究に有効か
どんなソフトをマルチメディアソフトと呼ぶかは議論があろうが、ここでは、音や映像も扱うソフト、そしてそのために、CD-ROM などにより大規模なデータを使うソフトを念頭におく。

数学以外の教科では、従来のソフトではできなかったことがマルチメディアソフトによって可能になることが多い。理科や社会科などでは、実際の画像データが使えることによってリアリティが大きく変わる。英語でも正確な発音、適切な情景など、いろいろな面において影響がある。また、文集作りをマルチメディア化すれば、これまでにない表現が可能になる。様々な可能性を秘めたものとしてのマルチメディアが想定されているから、議論され、多くのソフトが開発されている。

しかし、数学的探究の道具として使う場合を考えてみたとき、マルチメディアソフトは果たしてどれほど有効なのだろうか。私自身これまで懐疑的な印象を持ってきたし、ある意味では現在も持ち続けている。まずそのことに触れておこう。

1. 2 数学的対象は本来内在的存在である

他教科の場合と対照的な一つの要因は、他教科で扱う対象の多くが外在的（実在的）であるのに

対して、数学の場合は本来内在的（概念的）だという点である。外在的な実体がある場合、今まで以上にいかにリアルに扱えるようにするかという点がソフトを特徴づける要因となる。しかし、数学的对象の場合には、そのような究極的な実体はない。数の概念であれ図形概念であれ、抽象的な存在である。それに対応する実在物として何らかのモノを扱うことも多いが、モノ自体に究極的な意味があるわけではない。そこに内在する関係性が重要なのである。その関係性がより容易に認識可能であれば別のモノを使っても構わない。ソフトで作られる人工的な環境も実在のモノと同等の位置づけを持っている。

1. 3 数学的对象の内在性から導かれること

このことは二つのことを意味する。一つは、「リアルかどうか」は他教科の場合ほどの大きな意味は持たないという点である¹⁾。リアルなデータの利用によって様々な教科での可能性を広げるとするマルチメディアソフトが数学ではそれほど効果を期待できない第一の理由がある。

もう一つは、「モノを使った学習環境よりも適切な学習環境を構築できる可能性もある」という点である。この点については少し論述しておこう。

通常の数学学習でも様々な教具等を使っている。そこでは、モノを使うことが多い。しかし、モノ自体に意味があるわけではなく、モノに中にある関係性等が数学学習に使えるから教具として使っているのである。図形の作図では定規やコンパスを伝統的に使っているが、コンパスは一点から等距離にある点の集合を作るための道具の一つとして使っている。簡単な図を作図する場合、コンパスは数学的探究の道具として機能しているが、少し複雑になるとかなり精密に描かないと正確な図は書けない。たとえば三角形の内心は三つの角の二等分線が一点で交わる場所のことだが、なかなか一点では交わってくれない。「精密に描けるように努力すること」はコンパスを上手に使うために必要だが、数学学習の内容としては、あまり重要ではない。むしろそのようなことにこだわるよりも、「一点で交わるはずかどうかを論理的に考える」方に思考を切り換える方が妥当とも言える。

コンパスと定規では適切には書けない図に関しても、いろいろと作図し、観察することから学習を成立させたいと思ったら、コンパスとは別の道具に変更することも十分に候補になる。そのような道具を比較するときに、少なくとも数学では、モノによって作る様々な教具・学習環境と、コンピュータによる人工的な環境は、ほぼ同等の位置を持っている²⁾。

このような道具の比較をする際に、「リアルなデータを扱えるかどうか」という問題よりも重要な要因として、インタラクティブ性を挙げることができる（次章参照のこと）。この観点に立てば、マルチメディアソフトがよりインタラクティブな数学的探究を実現するためのインターフェイスを提供するとすれば、大きな可能性が見えてくるわけだが、数学的探究を数学内での対象を扱う場合に限定してみると、画像や音声インターフェイスとすることによって大きな改善が得られる可能性は少ない。このような観点からも、現在使われているようなマルチメディアソフトは、数学的探究の道具として、それほど大きな改善をもたらすとは考えにくい。

このように、数学的探究そのものの道具として考えた場合、マルチメディアソフトの果たす役割はあまり大きくないと言えるが、ソフトによってもたらされるインタラクティブ性は、別の意味で数学の客観的側面を大きく変える。このことに関して、次章以降で考察する。

2. インタラクティブな数学的探究とそれを可能にするソフトウェア

2. 0 インタラクティブでありうる3つのもの

コンピュータは定型的な処理を迅速かつ正確に行ってくれる。しかし、それを主体的にコントロールする存在としての人間の役割、あるいは定型的な処理から解放された人間の探究はどう変化するかを考えると、基本的な視点として、「インタラクティブ」という概念を挙げられる。そして、コンピュータを使った数学的探究あるいは授業の在り方を検討する上で、インタラクティブかどうかを検討すべきこととして、(1)数学的活動、

(2)教授=学習過程, (3)ソフト=学習環境の開発, という3つを挙げることができる³⁾。

「インタラクティブ」であることの定義, あるいは定義からの理解は難しい。そこで, 例を検討することによって明らかにしたい。

2. 1 インタラクティブにソフトを使った 数学的探究

例1: \sqrt{n} を数百桁計算するプログラムを作った。「いろいろな数の平方根を求めよ」と学生に提示した。しかしそこから追究が広がらなかった。

プログラミングの課題としては面白いが, それを利用する課題として不適切だった。結果を観察しても, 「循環しない無限小数になる」ということ以外に気がつくことが少ないからだ。

上記の例と比較して, プログラムは簡単だが, より発想が広がる例として, 次のものがある。

例2: N/M という分数に対して, 任意桁数までの小数 $0.****$ を表示するソフトがある。「いろいろな値を入力し, 結果を観察せよ」というだけで, 少なくとも次のことに気づくだろう。

1. どんな分数もどこかで循環している。
2. ほとんどの分数は無限小数になる。
(分母に2, 5以外の約数がある場合)
3. すぐに循環節があるものもあれば, そうでないものもある。
4. 分母の数と循環節の長さに関係がある。

「できるだけ長い循環節を持つ分数を見つけられるのは誰だろう」という発問をするだけで, おそらく生徒は目的を持った作業を数分間続けることができると思われる。

2つのソフトはそれぞれ定型的な処理を迅速にしてくれる。プログラムとしては前者の方が多少難しいし, 規模もやや大きい。プログラミングとして評価するなら前者の方が優れている。しかし, 「それを使って何分楽しむことができるか」あるいは「それを使うことでどのような数学的な問題を考えることができるか」という観点から評価すると, 後者の方が優れている。前者は, いろいろな \sqrt{n} の値を正確に与えてくれるが, それだけでしかなかったからだ。後者は, 結果を観察するだけで, 次に考えてみたいと思うような問題を次々

と発見でき, 多くの課題を生んだからである。このようなサイクリックな数学的探究あるいはソフトの利用をインタラクティブと言える。

2. 2 インタラクティブな利用が可能な ソフトの持つ条件

ソフトが数学的探究をより深いものにするかどうかは, ソフトの機能や規模にはあまり関係がない。ソフトを使って様々な現象を観察すること, そこから多くの問題を発見すること, また発展的な内容を導くことができるかどうかから判断すべきこと, つまり数学的探究そのものの問題であり, ソフトの問題は, そのための道具という二次的な問題だからである。

ソフトが有効かどうかは, ユーザーと目的によって左右されるので簡単に結論を出せないが, ガイドラインは示せる。たとえば, 「インタラクティブな利用が難しい」=「それを使っても新しい世界を広げてくれない」を意味するが, そのようなソフトには2つのタイプがある。

- (1) 使う前から分かっていたことしか提示してくれないソフト
- (2) 奇抜なものを与えてくれるが, その原理が分からず, コントロールできないソフト

このような反例を考えると, インタラクティブな利用が可能なソフトが持つ条件として, 「原理は分かっている, 自分なりにどうコントロールすればいいかが分かっていると同時に, その原理を使いこなしてみると, 思いもよらなかったような現象が広がってくるようなソフト」を挙げられる。

2. 3 ツールと言えるための条件

インタラクティブに使えるかどうかに関して, ソフトの機能や規模は関係がないと述べたが, それらが関係する要因もある。インタラクティブな数学的探究を進める場合, 問題を設計者が想定しているように解くとは限らない。いろいろな発想が浮かんだり, 関連問題を考えるのが普通である。発想を広げようとしたときに対応してくれないソフトも少なくない。別のソフトの利用を要求されたり, プログラムの変更の必要性から, 本来の数学的探究での思考の流れを妨げることが少な

くない。そのような妨げができるだけ少ないこと、かなりの範囲の発想に対応するソフトが「ツール」と呼ぶに値する。

3. インターラクティブな数学的探究の多様性が生まれる背景

一四角形の中点を結んでできる四角形の変形から発見しうることのケーススタディー

3.0 作図ツールを使うことで変わること

作図ツール⁴⁾を使った多くのインターラクティブな探究を、私自身も経験してきたし、多くの方々も経験している⁵⁾。それを旨とした研究授業も行ってきた。そのようなインターアクションを可能にしているのは機能の多さではない。作図ツールが定規・コンパスと最も違うのは「変形」ができる点であるが、逆に言えば、「変形」程度のことではない。なぜこの程度の機能で数学的探究が大きく変わりうるのか。それは、簡単な図であっても、変形によって、様々な事実、関係あるいは問題を発見しうるからである。このことをまず、四角形の中点を結んでできる四角形の事例について実証してみよう。ここでは基本的も元の図は変えない範囲で分析する。また、基本的な問題の考え方、動かす方によって分類しておく。

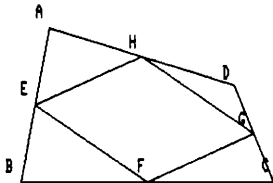


図1

3.1 外の形と中の形の関係を調べる

- (1A1) 外の四角形が〇〇ならば中の四角形は〇〇になる。(〇〇として調べるべき候補のリストとして、長方形、菱形、正方形等が挙げられる。)
- (1Q2) 中を〇〇にするには、外をどんな形にしたらいいだろう。(1A1の逆の対応が一つの答えとなる。その十分性を問うために、次が挙がる。)
- (1Q3) 中が長方形(菱形)になるのは外が菱形(長方形)のときだけだろうか。
- (1A4) 他にもありうる。(名前にこだわれば、

たこ形と等脚台形。条件に目がいけば対角線に関する条件))

- (1Q5) 中が正方形になるのは外が正方形のときだけだろうか。
- (1A6) 他にもありうる。(対角線が直交し、長さが等しければいい。)

3.2 図1の点Aを横に動かす

- (2A1) 中の四角形はいつも平行四辺形。
- (2A2) 中の四角形が長方形になることもあれば、菱形になることもある。
- (2A3) 点Aが右に移動すると $\angle EHG$ は大きくなっていく。
- (2A4) 線分EHの長さも方向も変わらない。(平行移動をする。)
- (2A4) 外の形が三角形になってしまうことがある。しかし中は平行四辺形。
- (2A5) 外の形がくさび形になってしまうことがある。しかし中は平行四辺形。
- (2A6) 外の形が図2のようになってしまうことがある。しかし中は平行四辺形。
- (2Q7) この図は言葉でどう説明したらいいか。
- (2Q8) ねじれた四角形、二つの三角形、蝶々形、4点などの概念を使った説明。
- (2A9) 点Aを動かしてみると、紙を折って動かしているようにも見える。
- (2A10) 点Aを動かしてみると、四面体を動かしているように見える。
- (2A11) 補助線を追加してみると、四面体という確信は確固たるものとなる。
- (2A12) 補助線を追加した図形を「平面図形」として見ると、「1つの対辺と2つの対角線の中点を結んだ形」と解釈できる。
- (2Q13) 中の形がつぶれてしまうこともある。それはどういうときだろうか。

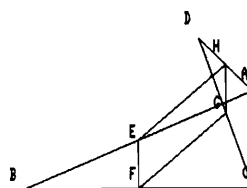


図2

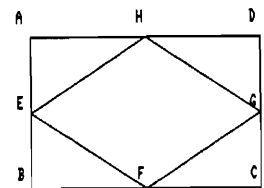


図3

3. 3 図3を観察する

- (3A1) 外の四角形の面積は中の四角形の半分になる。(この場合は明らか)
 (3Q2) 外の形を変えても成立するのか。(直観的には明らかではない)
 (3Q3) 外が長方形のときには「明らか」なのはなぜか。(図4のように補助線を引く。)
 (3Q4) 外を変えてみたときに、図4は使えないか。(使えない、図5)
 (3Q5) 外を変えたとこの性質は成立しないのか。(否定的な予想を元に、チェックするために測定してみると、成立する。)
 (3Q6) すべての場合に通用するように補助線を引くにはどうしたらいいのか(図6)。

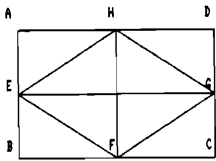


図4

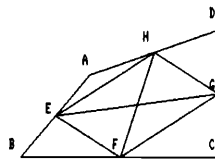


図5

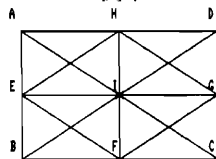


図6

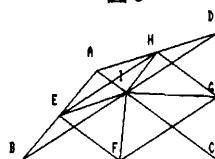


図7

- (3Q7) 外の形がくさび形になっても成立するのだろうか。(成立する、図7)
 (3Q8) それはどう解釈したらいいのだろうか。
 (3Q9) 外の形がねじれ四角形になったときにも成立するのだろうか。(成立する)
 (3Q10) それはどう解釈したらいいのだろうか。

2. 4 線分ADを動かす

- (4A1) 長方形のとき上下に動かすといつも長方形になる。そして中は菱形になる。
 (4A2) 特殊な場合として正方形がある。
 (4A3) 長方形のとき左右に動かすといつも平行四辺形になる。中の形には特に特徴はない。
 (4A4) 台形等のときに動かしてもあまり注目することはない。
 (4Q5) いつも菱形になるように動かす方法はあるだろうか。(簡単な方法はない)

3. 5 図1の対角線ACを動かす

- (5A1) どんな形の場合にも、ACを動かしても中の四角形の形が変わらない。(合同)
 (5A2) 長方形のとき左右に動かすと、等脚台形ができる。中は菱形のまま。
 (5A3) 菱形のとき上下に動かすと、たこ形ができる。中は長方形のまま。
 (5A4) 正方形を水平におき、左右に動かすと中が正方形になるような等脚台形ができる。
 (5Q5) この等脚台形にはどんな特徴があるのか(対角線が直交している)。
 (5A6) 正方形を斜めにおき、上下に動かすと中が正方形になるようなたこ形ができる。
 (5Q7) このたこ形にはどんな特徴があるのか(対角線の長さが等しい)。
 (5A8) 5A5, 5A7の中に、三角形になる場合もある。
 (5A9) 5A5, 5A7の形をさらに上下、左右に動かすと、中が正方形になるような、より一般的な形ができる。

3. 6 数学的探究の教材化の可能性と 数学的探究を生むソフトの条件

この程度の問題でもかなり多様な事実・関係・問題を発見しうる。次のことが示唆される。

第一は、これまでは作業の煩雑さ等によってあまり多様な活動が行えなかったような問題も、コンピュータを使うことによって、より自由に追究することが可能になる点である。このことは、数学的探究のプロセスそのものを一つの学習目標として扱える可能性を示している。

第二は、インタラクティブな数学的探究を生むソフトの条件に、次のことが含まれる。

「基本的な操作のみであっても、多様な事実・関係・問題を発見しうるソフト」

4. 作図ツールのインタラクティブな 利用によって引き出される数学像

4. 1 数学的知識の特徴としての客観性 に対峙するもの

数学的知識の特徴と言えば、客観性、普遍性、

抽象性等が挙げられる。定型的な処理を迅速かつ正確に行うものとしてコンピュータを捉えると、コンピュータは「計算のための道具」でしかない。いつどこで誰が計算しても結果は同じという事実は、上記の特徴を裏付ける。しかし、インタラクティブに使う場合には、これまでの数学像とは異なった面を明らかにする。本章では、インタラクティブなソフトの利用がどんな数学像を導くかを明らかにする。

4. 2 数学の実験科学的側面

デモンストレーションのために作図ツールを使うだけでも、数学の実験科学的な側面を実感できる。帰納的に定理を発見する場面を生成できる。一般化・特殊化を容易に行える。理解しにくい内容を、より具体的に、また動的に提示し、それを解説することによって、理解を容易にできる。

4. 3 「変形」の仕方の多様性と個人的判断と解釈の重要性

個人追究の時間を設けると、たとえば「点Aを動かしてみよう」と投げかけるだけでも、デモンストレーションのときとはかなり違った側面が出てくる。デモンストレーションの場合、動きをコントロールしているのは教師である。その動きの中からどういう現象を観察し、どのような数学的な意味を読み取るかという点で、いろいろな意見が生じる可能性はあるが、基本的に一つの文脈で考えていると言っていい。しかし、動かす方を生徒の選択に委ねることにすると、動かせる点の一つだけであっても、それによって生じる図は非常に多い。

さらに重要なのは、そこで人間的要素、つまり探究をしている生徒自身の判断と解釈が不可欠であり、それが多様性を生むという点である。どのような場合に注目するか、そこから何を感じるのか、次にどんな行動を取りたいか、どんな問題に取り組みたいかなど、様々な方向性への広がりを見せるが、そこに介在するのは数学的な客観的事実や法則だけでなく、それを読み取ろうとする判断や解釈という人間的な要素が大きな役割を演じている。20台のコンピュータがあれば、20通りの

実験を行っているわけだが、20通りの客観的事実があるだけでなく、20通りの判断や解釈がある。そのため、個人的側面が大きく現れる。

4. 4 技能としての数学

別の観点から考えると、認知的な技能としての数学的能力も示唆している。こういう現象を観察したときに、次にどういうことを調べるといいのだろうか。どういう観点から考えるといいのだろうか。どの点をどう動かしてみるといいのだろうか。このソフトのどの機能を使うといいのだろうか。そのような様相は、サッカー選手の試合中での認知的な技能（どういうときにどこにパスを通すといいか、どんな蹴り方をするといいか、……）とかなり共通する面がある。

4. 5 コミュニケーションとしての側面

20台のコンピュータがあるとき、それぞれが全く別々に並行して作業するのもそれなりの意味があるだろう。実際、計算練習などの場合は「別々」に行うのが原則だ。答え合わせをする時以外に覗くのはカンニングになってしまう。しかし、20台のコンピュータ画面を見比べると面白い。「あいつがあの場合に注目しているが、それはどうしてだろう。」「ここに補助線を追加するにはどうしたらいいんだろう。……そうか、ああいうふうにすればいいんだ。」などというような喧嘩が生まれる。計算練習のときのように、全く同じ作業を平行して行っている場合と違って、それぞれの画面も異なり、また判断や解釈が異なるから、それらの判断や解釈等を比較するために、むしろいろいろな画面を覗いてみる方がいい。それはカンニングではなく、コミュニケーションになる。それを通じながら、様々な数学的現象を観察し、判断や解釈を共有することができる。そして、ソフトの操作などに関しても、マニュアルから知るだけでなく、互いに知識を交換しながらより効率的に知識を共有できる。

4. 6 インタラクティブな探究の状況依存性

インタラクティブな探究を行おうとする学習は、このような様々な側面において、これまでの

数学学習とは異なった様相が多くなる。単に知識・技能の習得ではないし、単にコンピュータと会話を繰り返すというだけの学習でもない。元は単なる一つの図に過ぎなくても、それにどのような形で取り組むか、どういうプロセスを経ながら取り組むか、そしてどういうコミュニケーションをしながら取り組むかによって、大きく変化する。このような状況依存性が、いわゆる数学的知識の客観性、普遍性と対照的な存在なのである。これまでの授業においても、インタラクティブなものには存在した。しかし、客観的知識としての数学を、どのような状況でも同じように成立する学習、あるいは授業として行っているとすれば、そのような授業の背景にある数学観や授業観と、インタラクティブな探究の持つ状況依存性には大きなギャップがある。

5. 数学的探究の記録と分析の 必要性と困難点

—インタラクティブな数学的探究のための 教材開発のために—

5. 1 数学的探究そのものの教材化の可能性と 数学的探究の記録と分析の必要性

前章から示されるように、数学的知識そのものは客観的な存在であっても、それらを扱うプロセス、またプロセスの中での判断、そしてそれらに関するコミュニケーションは客観的、普遍的な存在ではない。主観的であり、状況依存的な存在である。そして、これらが関与することによって、数学的探究そのものはマルチメディア的な性格を帯びてくる。数学そのものの探究にはマルチメディア的性格は重要ではないが、「数学的探究」の探究には重要なのである。

また3章で述べたように、これまで作業の煩雑さなどから実際には実行できなかったことをコンピュータが行うことによって、様々な数学的探究を教材化できる可能性が広がってきた。しかし同時に、3章の例からも示されるように、簡単な問題であっても、これまで以上に追究の可能性が広がるため、事前の教材の分析・研究の必要性も大きくなる。しかも、数学的内容だけの分析ではな

く、探究プロセスの分析やコミュニケーションの在り方の分析も行いながら、授業の設計をすることが必要になってくる。そのためには、様々な数学的探究の記録・分析・整理・アクセスが容易に行えることが必要不可欠である。そうでなければ、「一つ」の教材を「研究」として行うことは可能であっても、そのような教材化をより多くの場面でを行い、プロセスの教材化を日常的に行うことが難しいからである。

5. 2 数学的探究の記録と分析の困難性

数学的探究の記録・分析そのものは珍しいことではない。一般に問題解決研究を臨床的に行う場合にはよくなされている。しかし、その手続きは必ずしも容易とは言えない。よく用いる道具の一つにVTRがある。一つの場面を記録すること自体は容易だが、再生にも記録と同じ時間がかかる。データのコピー・編集にはその数倍の時間が必要になる。通常は、せいぜい数人の記録を分析するのが限界である。学校の授業のように生徒数が40人前後などとなると人数分のカメラを揃えることも不可能であるし、また分析も時間的制約等から実質的に不可能である。

5. 3 数学的探究の記録の手段としてのマルチメディアソフト・ハイパーメディアソフト

ここで考えられる一つの方法は、ソフト自体の機能の中に数学的探究の記録を行う機能を含めることである。どのように操作して、どのような発見をしたのか、VTRとほぼ同様の記録ができないか。思いついたことをノート等にメモするのが普通だが、文書の記録をソフトの中でできないか。また数学的探究の過程では、いろいろなつぶやきを発しているが、そのような音声の記録を残すことはできないか。このような観点から考えると、マルチメディア的な要素が、数学的探究の記録と分析のために有効に使えることが示唆される。また、様々な記録やそれに関するドキュメントをハイパーテキスト化することによって、これまでの文書形態よりもより優れたものを生み出せる可能性が示唆される。

5. 4 現在のマルチメディアソフトの問題点

マルチメディア化する方法の一つとして、Windows 環境下でAVIファイルによる動画の利用やBMPファイルによる画像の利用などを使う方法もある。しかし、これらの方法を使う場合には、かなりの資源が必要になる。実際、Windows 環境が快適に動作するためにはCPU、メモリ、大規模容量記憶媒体（ハードディスク、CD-ROM、MOなど）などが優れていなければならない。AVIファイルを使う場合、数分程度の記録でも数MBの容量を必要とする。アクセス速度やCPU等が遅ければ、リアルな再生は難しい。

このような事情は三つの点を示唆する。第一は、そのような学習環境は、現実の教育場面で想定可能かという点である。そして第二は、そのような資源を準備して獲得した学習環境とVTR等を用意して行うメディアミックスの環境を比較した場合に、本当にマルチメディア環境の方が優れていると言えるのかという点である。そして第三には、AVIファイルやBMPファイルによる扱い以外の方法はないのかという点である。

5. 5 ソフト開発における考え方

— Geomertic Constructor の開発の場合 —

上記の問題点に関して、私自身が Geomertic Constructor の開発に際して次のように考えた。

(1) コンピュータ資源の問題

次の資源でも稼働すること：メモリは640KB、ハードディスクなし、CPUは80286。

(2) 記録の容易さの問題

通常のAVIファイルやBMPファイルはVTRカメラやスキャナーを入力にしていることがほとんどである。そのため、数学的探究の記録をするときの入力形態を考えるともっとも自然なのはVTRカメラを使う方法だが、それならVTRテープに保存する方がいい。データのを入力をするための機器手続きがより簡素化される必要がある。

(3) 記録のためのデータ構造の問題

ソフト自体の機能と動画ファイル等との関連性が明確でなければ、この程度の環境下ではマルチメディア化する必要性はない。VTRを別途用意する方がずっとましである。還元すれば、ソフト

との関連性を明確にした記録形式を採用し、動画の場合にしろ画像の場合にしろ、フロッピィベースで使う場合にもあまり支障がない程度の大きさのファイルでまかなえることが必要。つまり、ファイルの大きさはせいぜい数KB～数十KB程度であることが必要である。

このような考え方に基づいて実際に Geomertic Constructor で実装した機能について述べよう。

6. 数学的探究の記録・分析を支援するための Geomertic Constructor の機能

6. 1 図形ファイル

まず当たり前のことだが、様々な図形のファイルを保存することができる。パス名やファイル名を工夫するだけでも、数学的探究の様子をかなり保存することができる。

6. 2 利用履歴の記録・再生機能

まず最初に挙げられるのが、利用履歴の記録・再生機能である。Geomertic Constructor ではキー操作、マウス操作を記録・再生する。この機能には、二つの使い方がある。

(1) 履歴のすべてを記録・再生する

起動時にスイッチ/Wを追加すると、利用履歴を最初から最後まで記録する。また、スイッチ/Rを追加すると利用履歴の一覧表が出て履歴を再生する。主として授業中に生徒がどのように利用したかをすべて記録することを目的として実装した。再生時には「リアル/クイック/任意速度」の3つのモードで再生可能であり、再生時には利用者名、利用時の経過時刻等が表示される。

この機能はかなり初期から実装していた。しかし、目的は明確なのに、思ったほど使わなかった。VTRの代わりとして手軽に使えるのだが、その分析方法が確立していないとなかなか気軽に多数のデータを分析できないからである。これを改善したのが次のスナップショット機能である。

(2) 特定の場面だけを記録・再生する（スナップショット機能）

ある図形に対して、どんな操作をするとういことに気がつくのか。それを記録・分析するた

めには、利用の全てを記録するよりも、一部のプロセスだけを記録する方が便利である。そこで次のようなスナップショット機能を実装した。

- 標準メニュー表示時に、シフト+F 4 キーを押すと記録を開始する。
- 標準メニューに戻って、F 4 キーを押すと記録を終了する。
- 標準メニュー表示時に、F 4 キーを押すと、使っている図形に関連して今まで記録している記録（スナップショット）の一覧を表示し、選択するとそのプロセスを再生する。

この機能によって、図形ごとの様々な探究プロセスをより容易に記録・収集することが可能になった。また、この機能によって、「この図形に関しては、このようなプロセスでこう探究するとこのようなことが発見できる、このような問題を発見できる」というように、探究過程を容易に提示することができるようになった。

6. 3 文書の保存・検索

文書の保存・検索に関しては、Geomertic Constructor では次の3種類の使い方がある。

- (1) 状況感知によるオンラインヘルプ (F 1)
- (2) ヘルプ文書一覧の表示と選択 (シフト+F 1)
- (3) 図形ごとの文書一覧と選択 (F 5)

自分自身の探究過程を記録する場合やそれらの結果をまとめてコンピュータ環境下で他の人々に情報を提供したいときに、(3)をよく使う。使いながら思いついたことを気楽にメモする感覚である。また、問題やそのためのヒント、解答等を蓄積すると、「ゲームブック」のような感覚で使うための問題集が作成できる。また、履歴を取りながら文書を作成すると、その文書の部分で停止し、その文書を提示するので、再生時用のメッセージとして使うと、様々な探究プロセスをメッセージ付で提示することが可能である。字幕入りの無声VTRとほぼ同等と言えるが、それと違うのはインターラクティブに使えることと同一環境下で統合化されていることなどである。

Geomertic Constructor での文書はハイパーテキスト化はされていない。しかし、それぞれの問題に応じた文書リストを挙げるができるの

で、単なるエディタの追加よりは統合されている。

6. 4 画面データ保存機能

もっとも一般的に使うのは図形ファイルだが、図形ファイルは図形そのもののデータしか記録しないため、軌跡として表示されている部分など、画面の中に表示されている他の情報を捨ててしまう。しかし、それも含めて保存したいことが少なくない。そのためにこの機能を追加した。当初はいわゆるベタファイルを保存したので1画面当たり100KB程度を使ったが、記録方法を再検討することによって数KB～数十KB程度に抑えた。画面のハードコピーを取るのに必要な数分間という時間は数学的探究を中断し、大きな妨げとなる。その代わりに画面データを保存し、後でまとめて印刷するだけでも効果がある。また、気楽に保存だけをしておいて後で名前を付けながら必要なものだけを選択し、整理すると便利である。

6. 5 落書き機能

これはデータの入出力というよりも授業等での利用を円滑にするための機能である。一人とか二人で一つのパソコンを使って議論しているときには、画面を指差して会話をすればいい。しかし、教室でLANを使いながら話をしているときには指差すものがない。また黒板ならばすぐに何かを書き込めるのにそれができないのが不便だった。

そこで Geomertic Constructor では利用時に F 8 キーを押すと「落書きモード」に移行することにした。このモードに移行すると、通常の機能は停止し、マウスで「落書き」が可能になる。左ボタンを押しながら動かすと「鉛筆」として字が書ける。あるいはカーソルキーで画面内を移動し、キーボード入力でも文字を書き込める。「Esc」キーを押せば落書きは消して元の状態に戻る。

落書き機能を使うのは、一斉指導のときの利用が多いが、スナップショット機能と組み合わせると、プロセスのデモンストレーションにおいてマウスによる指示を行ったり、コメント等を字幕スーパーの感覚で提示することが可能になる。

6. 6 必要とするコンピュータ資源

以上で示した Geomertic Constructor の機能はマルチメディア的ではないという批判もあると思う。同感の部分も多い。しかし、この程度の機能でも、VTRによるディスプレイの録画とほぼ同程度のことができる。その再生・整理・アクセスはVTRよりずっと容易だ。フロッピー1枚であつてもかなりの量の探究過程を蓄積できる。そして、640KBのメモリがあれば、98系、FMR系、DOS/V系のいずれの機種でも稼働する。実質的には数万円の最低機能のパソコンとフロッピー1枚で、Geomertic Constructor を使った数学的探究の記録と分析ができる。

このようなコンピュータ資源に関する議論あるいは設備に必要な経費に関する議論は無用と思われる方もいるかもしれない。一般に、マルチメディアソフトを使うには、かなりのコンピュータ資源が必要である。むしろ、資源をどれほど使ってもいいから、こういうことができるという世界を実現することに意義があるのが現在だからだ。しかし、実際に学校での運用を前提とするならば、このような資源の問題、それを考慮したソフト開発の必要性があることを指摘しておきたい。

7. 今後の課題

本稿では、数学的探究を記録する手段としてのマルチメディアソフト・ハイパーメディアソフトの可能性について述べ、Geomertic Constructor ではどのような機能を実装しているかを明らかにした。2, 4章でも述べたように、それらを考察する一つの目的は、数学的探究そのものの教材化にある。ある程度の機能が実装できた現在、実際に多くの探究記録を蓄積しながら、数学的探究の教材化を行っていくことが、今後の課題である。

付記：本研究は、文部省科学研究費補助金（奨励研究A, 05858029, 0658017, 研究代表者、飯島康之、総合研究A, 05301100, 研究代表者、橋本是浩、一般研究C, 05680174, 研究代表者、多鹿秀継）による補助を受けた。

注

- 1) 数学でも「リアル」が意味を持ちうる。「応用」、つまり実在物を扱うことが意味を持つ場合と、数学史など、数学と人間との関わりを扱う場合である。
- 2) もちろん、実在のモノを扱う学習と人工的な環境内での学習には根本的な相違点はある。コンパスを使うのはそれが「一点から等距離にある点の集合」を求めるための道具の一つだからというだけの理由ではない。だが、そのような実在物との結びつきは他教科のそれよりかなり弱い。

また、現実では不可能だが、コンピュータで作られた環境内でのインタラクションによって今までにないことが可能になることは他教科でもありうる。

- 3) 飯島(1994)「コンピュータ利用による数学教育学における基本的な研究課題」、『高度技術・科学時代に向けた数学の教材開発』, 平成5年度特定研究成果報告書, 愛知教育大学数学教室, pp. 13-40
- 4) 幾何的な図形の作図・変形等を行えるソフトを総称して作図ツールと言う。

飯島(1994)「作図ツールを用いた教材開発の実験」, Ibid. pp. 100-119

飯島(1991)「図形の動的な扱いとコンピュータ上での実現について」, 愛知教育大学教科教育センター研究報告, 15, pp. 341-352

飯島(1991)「作図ツールの導入に伴う作図の新しい役割について」数学教育論文発表会論文集, 24, pp. 275-280

飯島(1992)「数学的探究のための環境としての作図ツール」数学教育論文発表会論文集, 25, pp. 445-450

- 5) 飯島(1993)「作図ツールを使った探究例と問題例」, 数学教育研究, 上越教育大学数学教室, 8, pp. 37-48

梶瀬久男(1992)「高等学校数学科におけるコンピュータの効果的な利用について」, 研究紀要H3-3, 島根県立松江教育センター

井尾雅一(1994)「中学校数学科における『課題学習』の教材開発について」, 長期研修報告, 鳥取県教育研修センター

地曳善敬(1994)「作図ツールで探る外心・内心」, 『数学教育』, 7月臨時増刊号, pp. 40-47