

高専の数学教育とグラフィック電卓

—グラフィック電卓TI-92の有用性について—

一関高専 梅野善雄

目次

1	はじめに	2
2	グラフィック電卓 TI-92	2
2.1	TI-92 の特徴	2
2.2	幾つかの画面例	3
3	数式処理ソフトとの比較	5
3.1	OHP への投影	5
3.2	操作性	5
3.3	機能	6
3.4	教師にとっての有用性	6
4	グラフィック電卓と高専の数学教育	7
4.1	従来の高専の数学教育	7
4.2	グラフィック電卓が可能にする高専の数学教育	7
4.3	グラフィック電卓が可能にする高専の工学教育	8
4.4	電卓使用に関する幾つかの懸念	9
5	テクノロジーを活用した数学教育の現況	10
6	グラフィック電卓導入における幾つかの問題点	10
7	おわりに	11

高専の数学教育とグラフィック電卓

—グラフィック電卓 TI-92 の有用性について—

—関高専 梅野善雄

1 はじめに

近年のマルチメディアの発展にはすさまじいものがある。最新の数式処理ソフトでは、単なる式の計算のみならず微分積分の数式計算や微分方程式の解析的な解でさえ求めさせることができる。3次元空間の曲面も簡単なコマンドで表示でき、それを回転させることもマウス操作だけで自在である。高専で学生に教えている程度の数学は、すべて計算機に行わさせることができるといっても過言ではない。

この機能を教室で気軽に利用することができれば、学生の数学的概念の理解度を高める上において格段の効果が期待される。数式処理ソフトを組み込んだパソコンを教室に持ち込むか、あるいは電子計算機室の端末からそのようなソフトが利用できればよいが、本格的な数式処理ソフトを1クラスの人数分そろえるには教育機関用の価格であっても相当の予算処置を伴なう。

近年のマルチメディアの発達は、本格的数式処理ソフトに迫るほどの機能を持つ電卓の開発を可能とした。テキサス・インスツルメント社が開発したグラフィック電卓 TI-92 がそれである。この電卓は高度の数式処理を行わさせることができ、3次元空間の曲面でさえ表示可能である。しかも、それを回転させることさえできる。高価な数式処理ソフトと比較して極めて安価に入手でき、OHP への投影も容易である。また、学生一人一人に所持させることも可能な価格帯にある。

この論考では、グラフィック電卓 TI-92 の機能の概要を既成の数式処理ソフトなどと比較しながら、この電卓の利用により高専の数学教育にとってどのような効果が期待できるかを考察したい。

2 グラフィック電卓 TI-92

2.1 TI-92 の特徴

この電卓は、縦 12cm、横 21cm、厚さ 3cm の大きさであるが、その中には数式処理ソフト「ドライブ」や図形学習ソフト「カブリジオメトリ」の機能(の一部)が詰め込まれている。これらのソフトの開発者も参加して TI-92 は開発されている。この電卓の機能は多岐にわたるが、例えば微積分関連では以下の機能を持つ。ただし、*印はオプションのモジュール(Plus module)を追加することにより実現される¹。

¹TI-92 + Plus module の機能からカブリジオメトリーの機能を除いた電卓(TI-89)が昨秋発売された。TI-92 より安価で小型である。

微分・積分：関数や数列の極限值、微分係数の値、(偏)導関数の計算、(高次)導関数の計算、接線の方程式、極値、変曲点、テイラー展開、指定された範囲における関数の最大値と最小値、総和(有限和と無限和)、不定積分、定積分、多重積分、特異積分、数値積分

関数とグラフ：1変数関数のグラフ表示(陽関数、陰関数、媒介変数、極座標)、グラフと座標軸との交点の座標、二つのグラフの共通部分の陰影表示、2変数関数のグラフ表示(陰線処理、ワイヤーフレーム、等温線図*、球座標、円柱座標)、グラフの拡大・縮小・回転*

微分方程式*：1階常微分方程式の一般解、定数係数2階線形常微分方程式の一般解、連立1階微分方程式の解曲線表示、高階微分方程式を1階連立微分方程式に変換することによる解法、初期条件・境界条件を与えた解法、ベクトル(勾配)場の表示、解曲線のグラフ表示

他にも、数と式、方程式、線形代数、集合演算、統計解析、図形処理等に関して多くの機能を持つ。図形処理に関しては、初等幾何の教育において極めて有効と思われるカブリジオメトリーの機能も含まれている。簡単な器具を OHP に載せるだけで液晶画面をスクリーンに投影することもできる。文字列操作にも優れ、If 文、For 文、While 文、Loop 文などによるプログラミングも

可能である。パソコンとのデータ通信もできるので、WWW 上から入手した様々のプログラムを利用することもできる。

特に、別売オプションのデータ収集器 CBL(Calculator-Based Laboratory) を利用すれば、いろいろなセンサーを通して温度・圧力・速度・距離等の実データが収集でき、それらのデータに統計処理を施して即座にグラフ化することができる。この機能は、現実世界と数学との関わり方を示す上において、数学のみならず工学系専門科目の導入段階で極めて有効な機能ではないかと思われる。



図 1: グラフィック電卓 TI-92

2.2 幾つかの画面例

TI-92 は具体的にどのような計算を行うことができ、その結果をどのように表示するかを見るため以下に幾つかの例を上げる。なお、微分方程式の解法やその解曲線の表示には追加モジュールが必要である²。

図 2 では、複素数を含む繁分数式の計算や因数分解が行なわれている。繁分数式は「見たまま」の表示がなされる。因数分解では実数と複素数の範囲のそれを区別させることもできる。図 3 では、二つのグラフの共通部分が示されている。この画面では、最大値・最小値・接線・変曲点・ x 軸と囲まれた部分の面積・曲線の長さなどを簡単な操作で求めるこ

²TI-89 ではモジュールを追加する必要はない。この節の例は TI-89 の本体だけで可能である。

図 2: 繁分数式と因数分解の計算

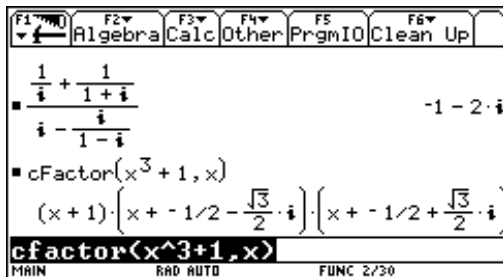
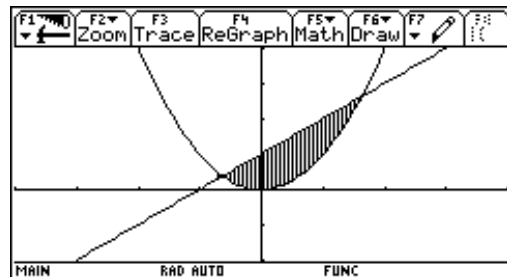


図 3: グラフの共通部分



とができる。表示されているグラフの座標データを瞬時に表データで表すこともできる。

図 4 では微積分の計算がなされている。極限值が正の無限大に発散するときは ∞ が返される。微分する階数を指定すれば高階の導関数も求められ、微分する変数を指定して偏導関数の計算もできる。電卓の能力で結果を分数や無理数で表すことができるときはそのような表示がなされる。電卓の能力で計算不能のときは入力式がそのまま返され、数値的にしか求められないときは数値解が計算される。例えば、 $\int_0^{\infty} e^{-x^2} dx$ を計算させると、9 秒後に $\sqrt{\pi}/2$ ではなく .886227 が返される。図 5 では、テイラー展開や 2 階定数係数線形微分方程式の一般解が求められている。テイラー展開では指定された点において指定された次数までの展開式が降べきの順に表示される。その関数を即座にグラフ表示することも容易である。高階の非線形微分方程式を一階の連立微分方程式に直して、その解曲線を表示させることも可能である。なお、@1 や @2 は任意定数を表す。

図 4: 微積の計算

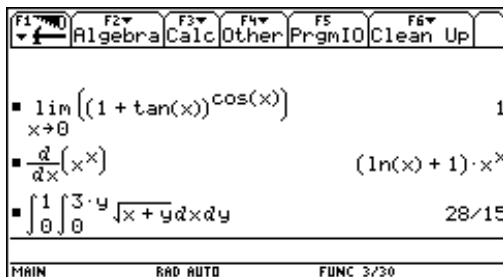


図 5: テイラー展開・微分方程式

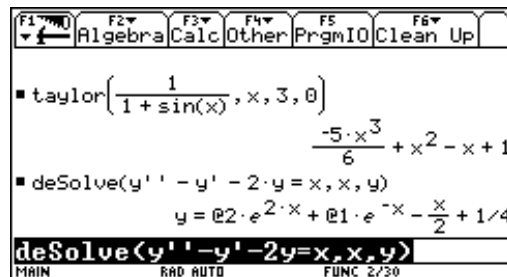


図 6 は、複素関数の絶対値関数 $z = |(x + iy)^3|$ を表示したものである。この曲面の拡大・縮小・回転等も容易である。ただし、分割数を多くすると表示されるまでにかかなりの時間がかかるのはやむをえない。図 6 の曲面は $-1.5 \leq x \leq 1.5, -1.5 \leq y \leq 1.5$ の範囲で $-1 \leq z \leq 2$ の部分を表示したものであるが、 x, y の分割数を 20(標準では 14) にして計算させると表示までに 55 秒を要した。画面を分割表示させることも可能である。図 7 の左側は、ロトカ・ヴォルテラの微分方程式 $x' = -y + 0.1xy, y' = 3y - xy$ のベクトル場と $x(0) = 2, y(0) = 3$ のときの解曲線を示したものである。この画面は約 28 秒で表示された。右側では、個々の解曲線 $x = x(t), y = y(t)$ が示されている。デフォルトではルンゲ・クッタ法で近似解が求められるが、オイラー法で求めさせることもできる。

図 6: 曲面の表示

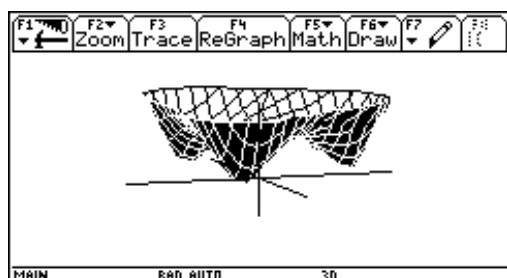
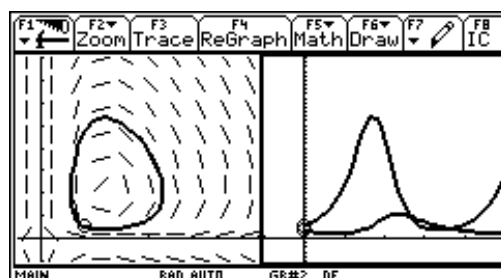


図 7: ベクトル場と解曲線



3 数式処理ソフトとの比較

数式処理ソフトとしては Mathematica, Maple 等、長年の使用実績をもつものがある。これらは機能も豊富であり、専門研究の一つのツールとしても使用されている。TI-92 の数式処理能力をこれらと比較するのはフェアではないが、教室で利用する場合の機能的側面から若干の比較を試みてみたい。

3.1 OHP への投影

数式処理ソフトを OHP への一つの表示ツールとして教室で利用するには、まずパソコンと数式処理ソフトの他にパソコンの CRT 画面をスクリーンに投影する装置が必要である。液晶プロジェクターか OHP 投影用の機器が必要であるが、これらはかなりの高価格であり高性能パソコン一台分以上の投資を必要とする。

TI-92 を教室で利用する場合にも OHP 投影用の機器 (LCD パネル) が必要である。しかし、この電卓のオプションで用意されているそれは、液晶プロジェクターなどと比べると極めて安価である。

3.2 操作性

教室での操作性をみると、数式処理ソフトでは一つ一つコマンドを打ち込まなければならない。それに対して TI-92 では、数式や関数式の入力時を除けば、ほとんどのコマンドは幾つかのキーを押すだけで実現できる。すべてのコマンドが、辞書的に整理されて登録されている。しかも、小型・軽量であるので、手に持って立ったまま操作することができる。LCD パネルと TI-92 との接続コードは標準でも長さが 2m 以上はあるので、手に持って OHP の近くを歩き回りながら操作・説明することができる。このことは、授業現場においてはかなり重要なことと思われる。

特に、学生一人一人に利用させる場合には、ハンドヘルドでキー操作だけでほとんどの機能が利用できることは極めて重要であろう。入力コマンドを覚えさせる必要がなく、スペルミスで学生が悩むこともない。電卓を与えて即座にそのメインの機能を利用させることができる。

3.3 機能

処理速度、機能の豊富さ、そしてカラー表示可能という面からみるとパソコン搭載の本格的数式処理ソフトが優るのはいうまでもない。しかし、TI-92 は、数式処理ソフトには無い幾つかの機能を持っている。

たとえば、TI-92 はグラフ画面を即座に表データに変換することができる。この機能はグラフと数値データとの対応関係を明確にし、関数理解を深めるのに有効と思われる。また、センサーから実データを収集してそれをグラフ化、数値データとしての表の作成、統計機能による回帰曲線の表示等、これらのことを新たなプログラムを書くことなく、すべて幾つかのキーを押すだけで実現できる³。これは、「学生が自分で現象を解析する」ことを容易に可能とする。

また、たとえば1変数関数のグラフを表示させて、その状態で指定した範囲における最大値、最小値、定積分の値、さらには曲線の弧の長さをすぐに求めることができる。 x 軸との交点や変曲点の座標、指定された点における微分係数の値や接線までもが即座に描画される。接線は描画されるだけでなく、その式までもが表示される。これらの機能は、グラフに対する総合的な理解を深めさせることを可能にすると思われる。

カブリジオメトリの機能も数式処理ソフトにはない機能である。この機能は、図形の幾何学的な性質(たとえば、線分の中点とか、互いに直交する等の性質)を保存したままその図形を変形することができる。この機能を利用すれば、中学生に初等幾何のいろいろな性質を自分で発見するように導くことも可能であろう。この機能は単体のソフトとしても発売されている。これを積極的に中学生に使用させた授業を行った場合には、現在の幾何教育は一変する可能性がある。

他にも、教育的な配慮に基づく多くの特徴的な機能を持っている。

3.4 教師にとっての有用性

この電卓は、教室での利用ばかりではなく、教師の教材作りに極めて有用なツールとなりうる。高専の数学の授業で扱う程度の問題は、その計算やグラフ表示を容易な操作で行わせることができるので、数と式、方程式の解法、微分積分、ベクトルと行列、統計計算等の面倒な計算問題をいちいち自分で解く手間が省ける。関数や方程式の係数等を変えながら、その結果を即座に見ながら問題作りができることになる。数式処理ソフトにおいてもそれは可能であるが、パソコンを起動させることなく、机上での手軽なキー操作で各種の計算やグラフ表示をさせることができることの利点は大きい。教師の教材作りにおいても極めて有用なツールといえる。

この電卓の計算能力に信頼感を持たた場合には、教材作りばかりではなく論文等に出てくる単純ではあるが煩雑な計算の実行やフォローに利用することもできよう。そのような式が多い場合には、論文の作成や読解に費していた時間が相当効率化されることも期待される。

³センサーを用いたデータ収集では新たなプログラムが必要であるが、それはセンサーに付属して提供される。

4 グラフィック電卓と高専の数学教育

4.1 従来の高専の数学教育

高専における従来の数学教育は、微積や微分方程式等の、いわゆる解析系の計算をできるようにさせることに力点が置かれている。その先の応用に進みたくとも、限られた授業時間の中では、とりあえず工学で必要とされる計算ができるようにさせることで精一杯であるというのが現実であろう。

高専の数学教育には、本来どのような能力を育成することが望まれているのだろうか。単にいろいろな式や微分積分の計算ができて微分方程式が解ければよいというものではないであろう。「微分」や「積分」の数学的な意味をよく理解してその計算ができた上で、さらにそれらを様々な工学現象の解析に応用できる能力が求められていると思われる。

従来の高専の数学教育は、この前半をこなすだけで精一杯であったといえよう。「工学への応用」にかかる時間は決定的に少ない。触れる時間がないからである。また、そのような工学の応用に触れる時間が取れたとしても、それは数学の授業におけるような簡単な計算ではない場合が多い。計算自体が複雑のみならず、その結果も複雑な式となり、学生にはそのグラフすら容易にはかけない場合が多い。工学への応用では、学生が自力で解けそうな問題がそう多くないことも、応用にあまり触れることができない原因の一つと思われる。それゆえ、「数学教育 ≠ 計算練習」を承知しつつも、「数学教育 = 計算練習」と理解されてもやむをえないような授業であったといえれば言い過ぎであろうか。

数学の学習目標は、いろいろな計算ができるようにさせることにあるのではない。増減や極値を調べてグラフをかけるようにさせることにあるのでもない。ある目的のために、必要があって計算したりグラフをかくのである。本来は、種々の条件を勘案の上、問題を数学的に定式化できる能力の開発にこそ重点がおかれるべきであろう。そして、その定式化された式の計算結果やグラフを見ながら、さらに種々の検討を加えることにこそ重点がおかれるべきであろう。しかし、実際は、そのような段階に至る前に、まずそこで必要な計算ができるようにさせることに重点を置かざるをえないというのが、現在の状況であろう。

その意味でも、数式処理を行ない、微分方程式の一般解を求めることができ、そのベクトル場の表示や2変数関数のグラフまで描画できる電卓が出現したことは、従来の数学の教授内容やその学習目標を一変させ、今後の数学教育にとって革命的なツールになりうる可能性がある。

4.2 グラフィック電卓が可能にする高専の数学教育

このグラフィック電卓は、教室における単なる OHP への表示ツールとして使用されるべきものではない。単なる表示ツールとしてならば、数式処理ソフトを組み込んだノートパソコンの方がより高速に多くの情報を表示できるであろう。この電卓は、学生一人一人に所持させてこそ最高の効果が期待される。学生がこれを使いこなす状況になった場合、そこには数学教育のかつてない新世界が広がっているのではないかとさえ思われる。

たとえば、この電卓は関数電卓以上に多くの単純な計算時間を節約することができる。分数式の計算、高次方程式や連立方程式の解法、関数のグラフ、数列・級数の和、極限値の計算、微分・積分の計算、関数の級数展開、微分方程式の解法、行列の積や逆行列の計算、高次の行列式の計算等々。TI-92 は、これらの計算結果を一瞬で表示し、関数のグラフのみならず、微分方程式のベクトル場や解曲線をも即座に描画する。ハンドヘルドの安価な電卓でこのような機能が可能になったことは、画期的なことである。

このような面倒な計算を電卓に任せることにより、これまで数学の授業時間の多くを占めていた単純計算時間が大幅に節約できることになるであろう。その時間は、いろいろな問題の定式化、工学への応用、あるいはさらに高度な内容の説明等にあてることができる。

この電卓は、授業の中で単なる計算機として使用されるべきものではない。一つの思考ツールとして使用されるべきものである。学生が「この場合はどうなるのかな？」という疑問を抱いたとき、TI-92 は即座にその疑問に対する回答を与えることができる。その解決には相当の計算を必要とするか、あるいは学生には計算困難な式の場合においても、この電卓は難なくその回答を示しうるであろう。しかも、数式としての表示ばかりではなく、それをグラフ化したり、表として数値データで表示させることも容易である。つまり、この電卓は、学生の理解度に応じて一つの問題に様々な角度から取り組ませることを可能にするばかりか、数学に関して学生の創意工夫をも可能にするツールといえる。この電卓を積極的に使用すれば、計算能力から数学的思考に重点をおいた新しい数学教育が可能になるのではないと思われる。

4.3 グラフィック電卓が可能にする高専の工学教育

この電卓は、数学教育のみならず、広く工学教育にとっても画期的な効果が期待される。工学では、数学は一つの道具として、あるいは一つの言葉として使用されている。そこでは、数学理論にあてはめた単なる結果が必要なだけであろう。学校の実験・実習等における計算の多くは、この電卓のキーを押すだけですむ場合が多いのではないだろうか。つまり、工学においてこの電卓を積極的に使用することは、幾つかの複雑な計算に時間をとられていた学生を煩雑な計算から解放し、その時間を工学そのものに集中させることができる。また、学生には計算困難な式を含む実験でも学生に課すことが可能となるであろう。これは、学生実験の内容が広がることを意味し、学生の工学知識がさらに高まることが期待される。

特に、実験等でデータ収集器 CBL(Calculator-Based Laboratory) を利用すれば⁴、データ収集やその解析のための時間が大幅に節約でき、実験の本質である工学現象の解析そのものに学生を集中させることができるであろう。また、この電卓によりいろいろな方程式の解や関数のグラフ描画が即座に可能になることは、工学現象と数学との関わり方を身をもって体験させられるということでもある。この電卓を積極的に利用した教育を行えば、工学現象を自分で解析してモデル式を定式化したり、あるいはその背後の法則性を見出させたり、その理論的な証明を考えさせるというようなことが、十分可能になるのではない

⁴ただし、収集可能データの数には限りがある。

かと思われる。

その意味でも、中学校を卒業したばかりの高専新生にこの電卓を与え、数学と工学との両面からこのグラフィック電卓を積極的に活用した教育を行うことができれば、全く新しい高専教育が可能になるのではないだろうか。大学入試に対応した授業をせざるを得ない高校教育と比べて、多くの者が工学系技術者を目指して入学してくる高専において、数学と専門科目の両面において入学時から計算よりも思考に重点を置いた教育を5年間行うことができれば、従来の実践力・即戦力ばかりではなく、大学生を大きく上回るような創造的技術者を育成することも可能なのではないかと思われる。この電卓の利用法に関する研究は、数学のみならず、工学教育においても急務と思われる。

4.4 電卓使用に関する幾つかの懸念

このような電卓を使用することに関しては、おそらく幾つかの懸念が出されるであろう。最大のものは、このような電卓を使用することは「基礎的計算力の低下につながるのではないか」という指摘ではないかと思われる。

電卓を使用した数学教育は、現在欧米(米、英、仏等)で急速に普及しており、電卓を使用することの功罪についても数多くの研究が行なわれている。それらの研究結果が示すところによると、電卓の使用が「罪」であるとの結果はまだ見い出されておらず、それよりもむしろ「功」に関して多くの結果が報告されている⁵。

たとえば、電卓の使用は学生の数学への興味・関心を引き起こす。また、電卓を使用しないで授業を受けた場合と比較して、(電卓を使用しないテストにおいても)基礎的計算力や問題解決能力の向上が見られることが報告されている。適切な指導のもとに電卓を利用した場合は、さらに以下のような傾向まで見られるという。

- (1) グラフと方程式との関係、関数の大域的な性質、グラフ全体の特徴等のグラフ全般に関して学生の理解が深まる。
- (2) 学生は難しい問題を恐れなくなり、数学に対して自信を持つようになる。問題解決に対する持続力が高まり、数学に対する態度が改善される。
- (3) 学生を、講義を受動的に聞く立場から数学に積極的にアプローチする立場に変身させ、いろいろなアイデアや解を自分で見い出させることを可能にする。
- (4) 数学の性差に関する女子の能力を改善し、女子の空間能力や計算力の向上が見られる。

以上のような結果が事実とすれば、電卓の使用に関する多くの懸念は全くの杞憂ではないかと思われる。

いろいろな懸念の多くは、現状の教育内容をそのままにして、その中でこの電卓を使用した場合のものではないだろうか。確かに、現状では多くの時間を占める単純な計算問題やグラフを描かせる問題は、このグラフィック電卓を使用させればもはや問題とはなりえないであろう。単なる、電卓の使い方の問題でしかない。つまり、この電卓を学生に使用させるということは、従来からの数学教育の内容を抜本的に見直す必要があるということ

⁵Bert. Waits: The Role of Calculators in Math Education, TexasInstruments, 1997

でもある。このような電卓の出現は、高専において「学生に教授すべき数学とは何であるのか」を、根本から見直すことを求めているとも言える。

5 テクノロジーを活用した数学教育の現況

グラフィック電卓を授業に利用した数学教育は、特にアメリカにおいて急速に発展している。1987年に、オハイオ州立大学の Dr. Bert Waits 教授と Dr. Franklin Demana 教授が高校数学の授業で試みたのが最初とされるが、1992年には中学・高校の教師を含めた本格的な研究グループが組織され T³(Teachers Teaching with Technology) という名がつけられた。1999年1月にシカゴで開催された第11回の年大会には25ヶ国から65名の招待者を含め2,700名以上の参加者で大盛況であったという。特に、幾つかの州では予算処置を講じて州内すべての小・中・高の生徒に無償でグラフ電卓を持たせることが決定されているという。大学の単位が高校で取得できる AP Calculus の講座ではグラフ電卓の浸透率は90%にも及び、新学期には電卓を個人で求める学生も多いために品切れになる店もあるという⁶。

このような状況のもとで、日本でも1997年に T³ の日本支部として T³Japan が結成された。1998年8月に行なわれた第2回年会では、主に中学・高校の数学の先生方が200名以上も参加し、活発な議論が行なわれたという。また、同年8月下旬には筑波大学において「第3回: 数学におけるテクノロジー利用に関するアジア会議(ATCM'98)」が開催され、アジア諸国のみならず米国からも多数の参加者がみられ、活発な発表・討議が行われた。

著者はこの会議に全日参加したが、「日本における数学教育は、諸外国と比べて極めて遅れているのではないか?」という危機感を強く感じた。テクノロジーを利用した数学教育に関する会議なのでそのような話題ばかりが話されたとはいえ、他国ではテクノロジーを使用した数学教育が活発に行われており、特に米国では TI-92 を積極的に活用した教育が行われている。小学校の頃から電卓に慣れ親しみ、さらに数式処理を行なうグラフィック電卓を使いこなして理工系の大学に進学した場合、数学の問題を単なるパターン認識としてしか理解していないといわれる日本の高校生と比べると、分析力や問題解決能力の上においてすでに相当の開きが生じているのではないかと危惧される。応用問題に弱いと言われる日本の学生の数学力は、このままではさらにその差が拡大していくのではないだろうか。

6 グラフィック電卓導入における幾つかの問題点

現行の教育内容のままこの電卓を安直に学生に利用させることは、場合によっては単なる「解答表示機能つき電卓」にしかなりえない可能性がある。以下では、この電卓を利用した授業を行う場合に、教育上どのようなことが問題になるのかについて考察する。

⁶Technology In Math Education (T.I.M.E.), vol.12, テキサスインスツルメンツ, 1997

第一には、電卓の利用法に関する教材研究の問題がある。高専の場合に、電卓利用を前面に打ち出した教科書は存在しない。この電卓を効果的に利用するには、どのような題材のときにどのような使用のさせ方をすべきかという、事前の教材研究が必要である。この電卓の真価は、おそらく通年を通して継続的にいろいろな場面で利用させることにより発揮されると思われるが、そのための教材研究が決定的に不足している。すべてを一から行わなければならない。それを個々の教官が行なうのでは負担が大きすぎるので、共同作業による教材研究が必要になるのではないと思われる。

第二には、指導する教官側の問題である。特定の教官が特定の学年でこの電卓を利用した授業を行なっても、あまり大きな効果は期待できないであろう。少くとも、その学校の数学科教官が一丸となって取り組むことが必要と思われるが、高専の数学教官は専門の数学研究者としての教官も多いため、このような事前に相当の準備を必要とするような新規の授業を行うことには心理的抵抗があるであろう。ある意味では、電卓利用に対する数学科内の体制を整え得るかどうか、最大の問題であるのかもしれない。

第三には、学生側の負担の問題である。この電卓は学生一人一人に所持させて自由に使える状態にあることが望ましいが、そのような状態を取り得るかどうかということである。数式処理のできる電卓としては安価であるが、電卓そのものの価格としては高価な部類に属するこの電卓を学生全員に購入させるには、学校側としてもその電卓を利用した教育についてある程度の見通しが必要であろう。少くとも、通年で継続使用できるような体制を取り得なければ、学生個々に負担させることには問題があるかもしれない。とりあえずは、1クラス分の電卓を学校側で用意して、そのつど学生に利用させるのが現実的であろう。TI-89 であれば、パソコン数台分の投資で1クラス分の台数をそろえることが可能と思われる。

7 おわりに

高専創設時には、三角関数や対数関数の値は計算尺や数表を用いて求めていた。現代のテクノロジーは、数式処理ソフトをハンドヘルドの電卓に詰め込むことを可能にした。今や、いろいろな式の計算や微積分の計算のみならず、微分方程式の解ですらキー操作だけで解法可能な時代にすでに突入したのである。日本においてもこの電卓が教育現場に急速に普及するのは、もはや時間の問題であろう。

米国では、すでに10年程前から電卓を利用した数学教育が積極的に行なわれている。その利用法について様々な教育技法が蓄積されているのに比べて、日本における現状には肌寒いものがある。このまま彼我の差が拡大すれば、両国の数学力の差は、ひいては国力の差はとんでもないことになるのではないかという危機感さえ感じられる。

このようなテクノロジーの発達を受け、数学教育は今変革の時期にあるといえる。特に、高専が創設された頃からほとんど変わらない内容の教育が行なわれている高専数学教育は、その教育内容を根本から見直すべきであろう。今、まさに、新しい数学教育の世界が目前にある。このグラフィック電卓を活用した数学教育の研究は急務である。