

\*\*\*\*\*

\* 論 文 \*

\*\*\*\*\*

## 数学教材 Web コンテンツに関する研究開発

相洋高等学校 青木栄成，早稲田大学高等学院 武沢護，  
千代田区立練成中学校 永井信一，サレジオ学院中学高校 浜田明巳  
南三千代，渡辺暁生

### 1 はじめに

中央教育審議会は2003年10月7日，学校で児童生徒に学ばせる内容を示した学習指導要領の記述の一部を改めるよう文部科学大臣に答申した．子どもの理解が進めば指導要領に示されていない内容を教えてもよいとするための書き換えがおもな趣旨である．これは，学習指導要領の「基準性」に関する記述及び「はだめ規定」等の記述を見直した訳で，学習指導要領の位置づけが「児童生徒の実態に応じ，示されていない内容を加えて指導することも可能である」という性格（基準性）を有しているとの判断をしめし，指導要領を「上限」から事実上，「最低基準」であるとした．

何をいまさらという感じは否めないが，学校現場にカリキュラムの編成の裁量がゆだねられることは歓迎してよいだろう．そして，これからは益々，それぞれの学校が工夫を凝らし，特色のある教育活動をどのように展開するかが課題となる．このことは数学教育においても，学習指導要領にとらわれることなくカリキュラムの自主編成が重要になってくることを意味する．さらに現在は，インターネットをはじめとする最近の情報通信ネットワークの進展によりこれらの技術が数学教育に活用できるようになっており，これらの技術の活用を前提にしたカリキュラムの作成は重要となる．

本研究会（カリキュラム・学習指導法研究会）では21世紀の数学教育に向けて，コンピュータをはじめとする新しいテクノロジーの活用を前提とした中学・高等学校の数学科におけるカリキュラムの改善について研究を従来から進めており，一昨年度は永井信一氏がWebページに関する研究に取り組んだ．（[1]）今回これを受けて，Web技術を応用した中学校・高等学校の一貫性を見据えた数学のカリキュラムに沿った数学教材について研究した．

## 2 研究の内容

### 2.1 Web 教材作成の視点

当研究会では、中学校・高等学校数学科におけるカリキュラムの改善を目的とした研究をすすめてきた。特に中高を見通した関数指導においてコンピュータを含めたテクノロジーに注目して、その活用の有効性を検討し、また一貫カリキュラムとしての「テーマ別カリキュラム」を提案した。( [2] ) さらに、「中学校、高等学校数学科におけるカリキュラムの改善」というテーマのもとで研究を継続してきた。( [3] )

今回は Web 教材を作成するにあたって次のような二つの視点に着目した。まず、カリキュラム作成に対する基本的な考え方である。それは、縦軸・横軸のカリキュラムとして、

- ・ 一貫カリキュラム ( 縦軸 ) ・ ・ ・ 系統性を重視
- ・ 横断カリキュラム ( 横軸 ) ・ ・ ・ 関連分野との連携 ( 特に物理、情報分野 )

であり、さらに一貫カリキュラムとして、

- ・ 小中高連携 ・ ・ ・ 関数分野とりわけ角、角度、三角関数分野 ( [4] )
- ・ 高大連携 ・ ・ ・ 解析分野とりわけ微分積分

の重視である。

また、もう一つ重要な視点として Web 教材作成そのものに関してである。従来の Web 教材の問題点を検討し次の三つに着目した。それは、

- ・ 教材作成のためのプログラミング言語の選択
- ・ ユーザとの対話性の実現
- ・ 複雑な数学計算やグラフ描画の実現

である。二番目の「対話性」とは、Web ブラウザ上でマウス等を用いて教材を動かすことができたり、ユーザが好む数値等をキーボード入力し、望む結果を出したりすることをさす。この視点から今回、Web 教材作成のツールとして Flash MX ( Macromedia Inc ) と webMathematica ( Wolfram Research Inc ) の活用をおもに研究した。これらの採用は、Java よりも初心者には取り扱いやすいものであると考えたからである。

### 2.2 一貫カリキュラムについて ( ここでは「関数のグラフ」を中心に検討する )

#### 2.2.1 折れ線グラフの双曲線

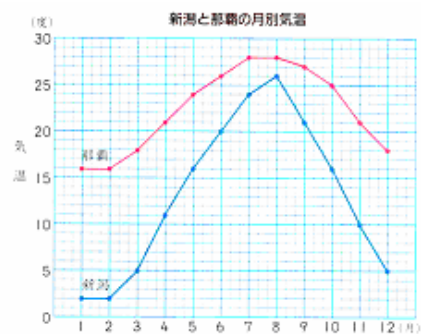
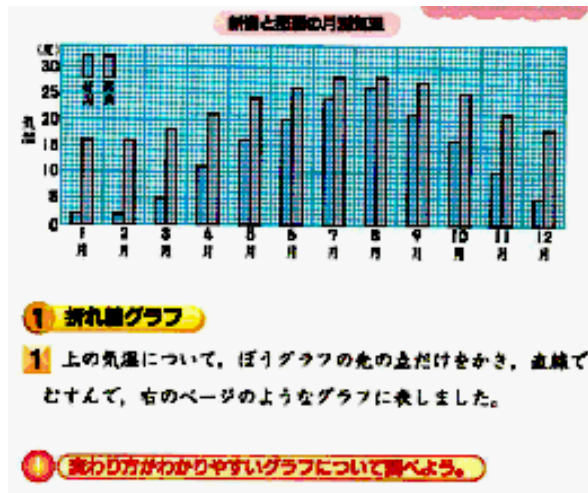
関数指導において、グラフを描かせることは非常に重要であり、関数とそのグラフとの関係を明確に理解させなければならない。

ここでは、中学数学における指導の一例を取り上げる。中学 1 年の関数についての授業で

$y = \frac{6}{x}$  のグラフを書かせると、「点をとった」後、( 意識的な指導なしに、作業を続けさせると )

「点と点を線分で結ぶ」生徒がでてくる．これは一つの例であるが，カリキュラムが小中高で分断されていることに起因しているようにも考えられる．このような状況を分析，検討することにより，「一貫カリキュラム作成」の方向と，それに伴う「コンピュータ利用」の必要性，重要性を探っていきたい．教科書では「グラフについて」次のように学習を進めている．

#### 【A 小学校4年（学校図書）より】



- ① 横のじくとたてのじくは，それぞれ，何を表しているでしょうか。

上のように，気温などが変わっていくようすを表したグラフを，折れ線グラフといいます。

- ② 新潟の3月の気温は何度でしょうか。

#### 【B 小学校6年（学校図書）より】

- 1** 水そうに入れた水の量と深さの関係を表すグラフをかきましょう。

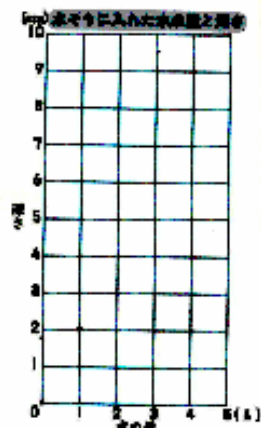
**水そうに入れた水の量と深さ**

|        |   |   |   |   |   |    |
|--------|---|---|---|---|---|----|
| 水の量(ℓ) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5  |
| 深さ(cm) | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |

- ① 右のグラフに，上の表の水の量の数と対応する深さの数の組を表す点をかきましょう。



- ② グラフの点は，どのようにならんでいますでしょうか。



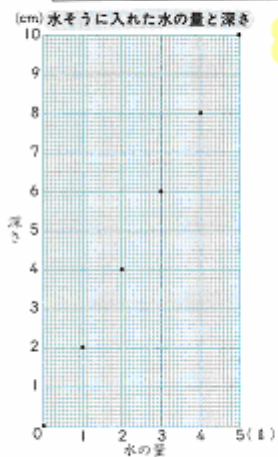
水の量は，深さの2分の1に等しい。



- ③ 下の表を完成させ，水の量の数と対応する深さの数の組を表す点を下のグラフにかきましょう。

**水そうに入れた水の量と深さ**

|        |   |     |     |     |   |     |     |
|--------|---|-----|-----|-----|---|-----|-----|
| 水の量(ℓ) | 0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2.4 | 3.9 |
| 深さ(cm) | 0 |     |     |     | 2 |     |     |



これは，水の量と深さの関係を表しています。



- ④ それぞれの点は，1本の直線で結べるでしょうか。

水の量は，深さの2分の1に等しい。



比例の関係をグラフに表すと，たての軸と横の軸が交わる0の点を通る直線になります。



【C 中学校1年（東京書籍）より】

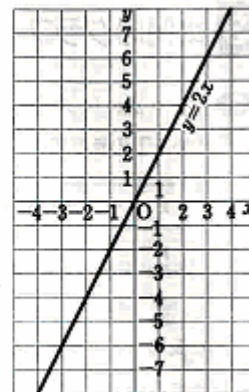
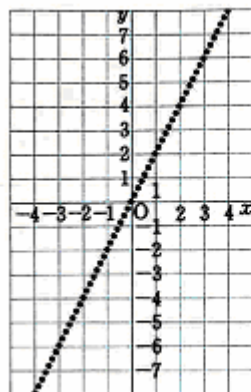
[illegible]

上と同様に、 $\mathbb{R}^n$  の部分集合を直線とみなす点がある。右の図のようにある。

**例題**  $p \rightarrow q$  と  $r$  が与えられ、 $p$  の値が真であるとき、 $r$  の値が真であることを示す。これを証明する。 $p$  の値が真であるとき、 $p \rightarrow q$  は  $q$  を導くための条件となる。したがって、 $q$  の値が真であることを示せばよい。



$y = 2x$  が成り立つような  $x, y$  の組の個数を数値とする点で  
 んだん歩くとっていき、結果は、 $x = y$  の直上の点のように、  
 される点の数は必ず1つの数値となる。このようにして得られ  
 た数値は、 $y = 2x$  のグラフである。



また学習指導要領（平成10年）には次のように記されている。

【a 小学校第4学年 2 内容 D 数量関係】

(1) 伴って変わる二つの数量について、それらの関係を表したり調べたりすることができるようにする。

ア 簡単な場合について、対応させる数量を考えたり、値の組を表などに表したりして関係を調べること。

イ 変化の様子を折れ線グラフに表したり，それから変化の特徴を読みとったりする。

【b 小学校第 6 学年 2 内容 D 数量関係】

(1) 簡単な場合について，比の意味を理解できるようにする．

(2) 伴って変わる二つ数量について，それらの意味を考察する能力を伸ばす．

ア 比例の意味について理解すること。また、簡単な場合について、表やグラフを用いてその特徴を調べること。

【c 中学校第 1 学年 2 内容 C 数量関係】

( 1 ) 具体的な事象の中にある二つの数量の変化や対応を調べることを通して、比例、反比例の関係を見だし表現し考察する能力を伸ばす。

ア 比例，反比例の意味を理解すること。

イ 座標の意味を理解すること.

ウ 比例，反比例を表，式，グラフなどで表し，それらの特徴を理解すること。

エ 比例，反比例の見方や考え方を活用できること。

以上を総合してみると、「折れ線の双曲線」があらわれやすい状況が存在することが推察される。

### 2.2.2 分析

(1) 「(比例,反比例のような)関数のグラフ」と「(月別の気温の変化のような)統計的なグラフ」との違いを明確にしていく観点がない。

(2) 当然,「点の集まりである線」と「上がり下がりが見やすくするための線」との区別がいまいちになってしまう。

(3) 直線のグラフだけを初めに学習するため(小6),「グラフの概念」が誤解されやすい.

(4) 比例→反比例の順に学習する人が多い(中1)ので、一般的な関数のグラフの意味が理解しづらい。

### 2.2.3 「一貫カリキュラム」の視点からみた改善の方向.

(1) (小中高の一貫性を保つために必要と思われる)指導要領の内容を追加したい。

内が追加提案．
 
 内が現行．なお，以下の追加は，その趣旨を最低基準としての学習指導要領に追加するという意味である．

(ア) 小学校 4 年

「折れ線グラフ（統計的なグラフ）」と小学校 6 年，中学校でとりあげる「比例，反比例のグラフ（関数のグラフ）」との違いを理解する．

(イ) 小学校 6 年

「伴って変わる」の意味を固定的にとらえず，グラフが直線にならない場合があることを知る．

(ウ) 中学校 1 年

具体的な事象の中にある二つの数量の関係が比例，反比例だけでないことを知る．

(エ) 中学校 2 年

中学校第 2 学年 1 目標  
 (3) 具体的な事象を調べることを通して，一次関数について理解するとともに，関数関係を見だし表現し考察する能力を養う．また…（省略）  
 中学校第 2 学年 2 内容 C 数量関係  
 (1) 具体的に事象の中から二つの数量をとりだし，それらの変化や対応を調べることを通して，一次関数について理解するとともに，関数関係を見だし表現し考察する能力を養う．  
   ア 事象の中には一次関数を用いてとらえられるものがあることを知ること．  
   イ 一次関数のとる値の変化の割合とグラフの特徴を理解するとともに，一次関数を利用できること．  
   ウ 二元一次方程式を関数を表す式とみることができること．

に加えて，

- ・関数のグラフがコンピュータを利用してかけるようにする．
- ・いろいろな関数をコンピュータを利用してかき，それらのグラフを利用して「いろいろな関数がある」ことを理解する．
- ・一次関数の特徴をグラフ（コンピュータを利用してかいた）を使って理解する．

(オ) 中学校 3 年

中学校第 3 学年 1 目標  
 (3) 具体的な事象を調べることを通して，関数  $y = ax^2$  について理解するとともに，関数関係を見だし表現し考察する能力を伸ばす．  
 中学校第 3 学年 2 内容 C 数量関係  
 (1) 具体的に事象の中から二つの数量をとりだし，それらの変化や対応を調べることを通して，関数  $y = ax^2$  について理解するとともに，関数関係を見だし表現し考察する能力を養う．  
   ア 事象の中には関数  $y = ax^2$  としてとらえられるものがあることを知ること．  
   イ 関数  $y = ax^2$  のグラフの特徴と関数のとる値の変化の割合について理解すること．

に加えて

- ・いろいろな関数  $y = ax^2 + bx + c$  のグラフをコンピュータを利用してかき， $a$  の値でグラフの形と向きが決まることを理解する．
- ・三角関数のグラフをコンピュータを利用してかき，音や波などとの関係を考察する．
- ・関数がどのように使われているかを，コンピュータを利用して展望する．

(2) 一貫カリキュラムの視点から，付け加えておきたい問題の「例」

(ア) 小学校 4 年（【A】のところで）

縦 2 cm の長方形がある．このとき次の問いに答えなさい．

1 横の長さだけを少しずつ伸ばしていくとき，下記のそれぞれの場合の面積を計算し，下の表を完

|       |   |   |   |   |   |
|-------|---|---|---|---|---|
| 成しなさい |   |   |   |   |   |
| 横 cm  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 面積    |   |   |   |   |   |

2 表を見て右の図に点をときなさい。(図は省略)

3 それをもとに、横の長さから面積の関係を考えグラフを完成させなさい。(点と点との間はどうか考えればよいでしょうか?)

4 折れ線グラフとの違いはなんでしょう?

(イ) 小学校 6 年 (【B】のところで)

面積が  $24\text{ cm}^2$  の長方形がある。横の長さを少しずつ伸ばしていくとき、下記のそれぞれの場合の縦の長さを計算し、下の表を完成しなさい。また横の長さを横の軸に、縦の長さをたての軸にして横とたての関係をグラフで表しなさい。

|   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |
|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| 横 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| 縦 |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |

(ウ) 中学校 1 年 (座標の後、比例、反比例のグラフの前。)

一辺の長さが  $0.1\text{ cm}$  の正方形がある。辺の長さを少しずつ伸ばしていくとき、下記のそれぞれの場合の面積を計算し、下の表を完成しなさい。また辺の長さ  $x$  軸に、面積を  $y$  軸にしてグラフをかきなさい。

|    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 辺  | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| 面積 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

(エ) 中学校 2 年 (関数の説明の後、一次関数の前)

1 次の関数のグラフをかきなさい (手書き)

(1)  $y = \frac{12}{x}$  (2)  $y = 0.5x$  (3)  $y = 0.1x^2$  (4)  $y = \frac{1}{4}x^2 - 2x - 8$

2 コンピュータを利用して (1) ~ (4) のグラフをかき、(手書き) と比較しなさい。

中学校 2 年 (一次関数のところで)

1 次の一次関数をコンピュータを利用してかき、一枚の紙にプリントしなさい。

(1)  $y = \frac{1}{4}x - 5$  (2)  $y = \frac{1}{4}x - 3$  (3)  $y = \frac{1}{4}x$  (4)  $y = \frac{1}{4}x + 3$  (5)  $y = \frac{1}{4}x + 5$

2 上のグラフを利用し、一次関数  $y = ax + b$  のグラフで  $a$  と  $b$  の値が何を表すかを調べなさい。

(オ) 中学校 3 年 (数学の利用のところで)

次の関数のグラフをコンピュータを利用してかきなさい

(1)  $y = \sin x$  (2)  $y = \cos x$  (3)  $y = 10\sin x$  (4)  $y = \sin 10x$  (5)  $y = \sin 0.5x$   
(6)  $y = 3\sin 0.9x + 5\sin 1.1x$

## 2.2.4 高校での「関数のグラフ」

(1) 関連する箇所について学習指導要領の記述について

【高等学校 数学基礎 2 内容】

(2) 社会生活における数理的な考察

社会生活において数学が活用される場面や身近な事象を数理的に考察することを通して、数学の有用性などを知り、数学的な見方や考え方を豊かにする。

ア 社会生活と数学

イ 身近な事象の数理的な考察

【高等学校 数学 2 内容】

(2) 二次関数

二次関数について理解し、関数を用いて数量の変化を表現することの有用性を認識するとともに、それを具体的な事象の考察や二次不等式を解くことなどに活用できるようにする。

ア 二次関数とそのグラフ

イ 二次関数の値の変化

【高等学校 数学 2 内容】

(3) いろいろな関数

三角関数，指数関数及び対数関数について理解し，関数についての理解を深め，それらを具体的に事象の考察に活用できるようにする．

ア 三角関数

イ 指数関数と対数関数

(4) 微分・積分の考え方

具体的な事象の考察を通して微分・積分の考えを理解し，それを用いて関数の値の変化を調べることや面積を求めることができるようにする．

ア 微分の考え

イ 積分の考え

【高等学校 数学 2 内容】

(2) 微分法

いろいろな関数についての微分法を理解し，それを用いて関数値の増減やグラフの凹凸などを考察し，微分法の有用性を認識するとともに，具体的な事象の考察に活用できるようにする．

ア 導関数

イ 導関数の応用

(3) 積分法

いろいろな関数についての積分法を理解し，その有用性を認識するとともに，図形の求積などに活用できるようにする．

ア 不定積分と定積分

イ 積分の応用

(2) 高等学校数学での問題点

高等学校数学の場合，現状のように多様な生徒の実態に合わせた多様な取り組みを考えなくてはならない．さらに，小中高校連携の視点として，また高大連携の視点としても考える場合である．とりわけ，特に次の点に着目する必要がある．

(ア) 数学 の内容は「一貫カリキュラム」作成上の中核の部分と考えられるが，学習指導要領ではこの観点が薄く，大学の数学への展望という面もあまり感じられない．とりわけ三角関数は上述したように中学あたりで導入し，高等学校においては「フーリエ級数」を意識した教材が必要である．また多項式で表された関数の扱いでは，テーラー展開の視点をもった教材も扱いたい．

(イ)(ア)に関して，関数のグラフを考察するにあたってはコンピュータを充分活用することで，「中高大の一貫性」を「視覚的に」もっと組み込むことが可能になる．

そこで，追加して入れたい単元を次のように提案する．

- ・三角関数を発展させたフーリエ級数
- ・多項式関数を発展させたテーラー展開
- ・積分の延長としての微分方程式
- ・三角関数と指数関数をつなぐオイラーの公式

このように小中高大を通した一貫カリキュラムを考える場合，これを実現するためには「コンピュータの活用」は不可欠である．今後のコンピュータソフト開発は，カリキュラム自体にも影響を及ぼすと思われる．カリキュラムとコンピュータソフトは「一体化して」開発されるべきであろう．

## 2.2.5 今後の課題（一貫カリキュラムと関連した）

次にいくつか課題を列挙する．

（ア）後続の学習に「味を残す」取り上げ方（その箇所では必ずしも完結させなくてもよい）をどうするか．その意味で，数学的な「厳密性」をそれぞれの時点で，どのように追求するか？ということがポイントになる．

（イ）学習のモチベーションを高める内容をどのように提示するか．（展望を示す）．

（ウ）他分野（物理学，情報 B など）とのどう関連させるか

（エ）基本的な概念の定義（例えば，「角」「面積」など）をどの時点で導入し，どのように定義するか（厳密化の精度）

（オ）「総合的な学習」とどのように関連させるか

以上は基本的な考え方として，F．クラインによる数学の構造についての科学的な概観を土台にする．（＊ 引用部分を含む文を読むとさらに意味がはっきりする．）

＊）引用（F．クライン：高い立場からみた「初等数学」，東京図書）

… 学校教育の必要は教師のかなりの多面性と純粋数学と応用数学の領域に広く通ずることを要求している．そしてそのことは科学のますますの発展する分裂にたいする解毒剤を含んでいるのである．

… 純粋数学を教える能力と応用数学を教える能力とをあわせて身につけることが教師の資格となるよう…勧告した．それに加えてさらに次の三つの課題が示されている．

- 1．数学の構造についての科学的な概観．
- 2．個々の問題を完全に数値的・グラフ的に処理できるような，ある程度の実力．
- 3．自然認識と現代文明一般に対する数学的思考の意義についての正しい認識．

## 2.3 Web コンテンツの研究開発と作成

上記の視点（一貫カリキュラム）から，我々はいままでにさまざまなソフトウェアや教材を開発してきた．そして今回，いくつかの Web 教材の開発を研究した．これは，学習者がコンピュータで学習する際，特定のアプリケーションソフトウェアに依存しないようにするためである．

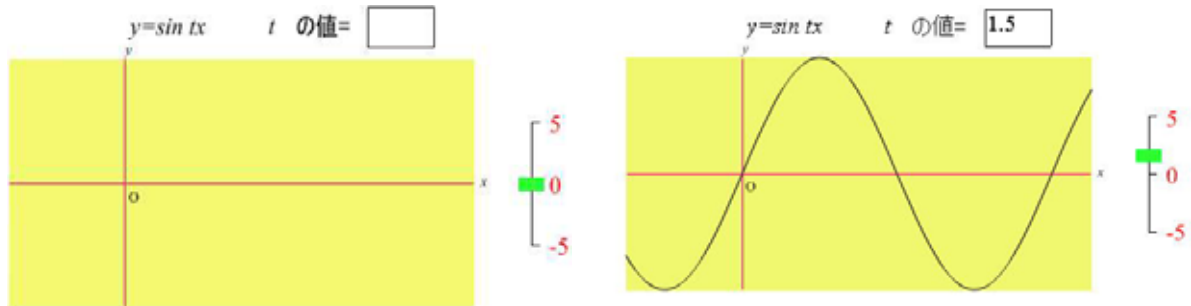
### 2.3.1 Flash MX による教材コンテンツ

もともと Flash MX（以下，Flash）はアニメーション作成ツールとして開発されたものだが，現在はバージョンアップを重ね ActionScript と呼ばれる強力なスクリプトが使えるようになっている．さらに Flash コンテンツの表示に必要な FlashPlayer の普及率が 97% であることから Web 教材の作成には適したツールであると考えた．

最初に行ったことは，丹羽時彦氏（関西学院高等部）のテキスト「Java 入門」にあるリアルタイムに関数のグラフを生成する例題を Flash のスクリプトでどのように再現できるかを調べることである．Flash の ActionScript は JavaScript と非常によく似ており，さらに機能は豊富であ

る．画面を見ながら，固定部分は描画ツールで作成し，動きのある部分はスクリプトで表現するということで比較的簡単に教材を作成することが可能であった．

【例】 つまみをドラッグするとグラフが再描画される



【図 2 - 3 - 1 Flash の描画ツールで描く部分】

【図 2 - 3 - 2 実行時の画面イメージ】

```
_root.createEmptyMovieClip("myDraw", 1); //ステージにmyDrawという空のムービークリップを作成
tumami1._x = 500; //緑のつまみの初期位置設定
tumami1._y = 150;
tumami1.onEnterFrame = function() { //ドラッグされているときにグラフを再描画
    if (dragging == true) {hyouji2();}
}
tumami1.onPress = this.dragFunc; //つまみが押されたらドラッグ開始
tumami1.onRelease = this.dropFunc; //つまみを離したらドラッグ終了
tumami1.onReleaseOutside = this.dropFunc; //つまみの外で離したらドラッグ終了
function dragFunc() {
    this.startDrag(false, 500, 100, 500, 200); //つまみのドラッグ範囲指定
    dragging = true; //ドラッグ中のフラグを立てる
}
function dropFunc() {
    this.stopDrag(); //ドラッグ終了
    dragging = false; //ドラッグ中のフラグをおろす
}
function hyouji() { //グラフ表示部その1
    for (i=0; i<=400; i++) { //横幅 400 ドット分を計算，関数値を順に結ぶ
        x_old = i; x_new = i+1;
        y_old = (100*(1-Math.sin(t*Math.PI*(-100+x_old)/200))); //関数値の計算
        y_new = (100*(1-Math.sin(t*Math.PI*(-100+x_new)/200)));
        myDraw.moveTo(x_old, y_old); //始点を設定
        myDraw.lineTo(x_new, y_new); //終点まで直線を描く}}
```

```
function hyouji2() { //グラフ表示部その2

    myDraw.clear(); //ムービークリップmyDrawの描画を削除，初期化

    myDraw._x = 50; //ムービークリップmyDrawの初期位置設定

    myDraw._y = 50;

    myDraw.lineStyle(1, 0x000000, 100); //ムービークリップmyDrawの線種を設定

    pt = (150-tumami1._y)/10; //つまみのy座標をパラメータtの値に変換

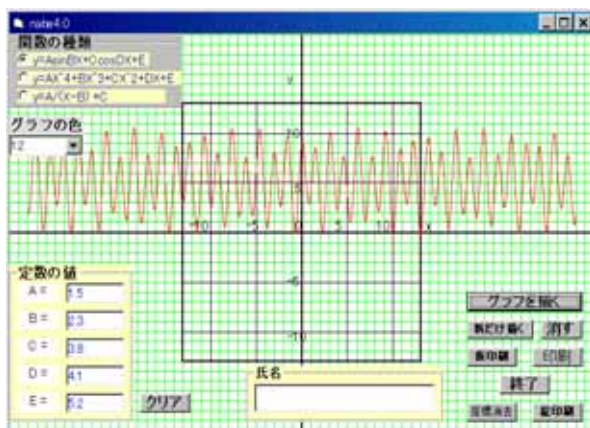
    t = pt; //変数ptはテキストフィールド表示用
    hyouji(); //表示部その1へ}

```

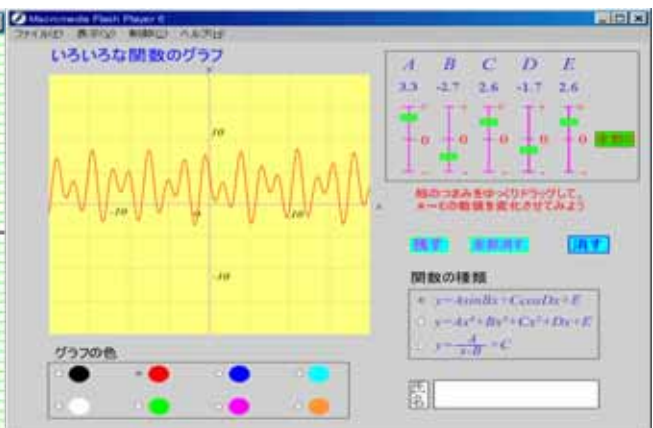
### 【ActionScript のプログラム】

Java 言語の習得と比べて Flash のスクリプトを習得することはとても容易であり，グラフィック素材の作成も Flash の中で行えることから，Web 教材作成ツールとして Flash が大変有効であることがわかった．作成した教材の一部は早数教の Web ページで公開している．

次に行ったのは，渡辺暁生氏の関数グラフ表示ソフト(通称なべソフト)の Web 教材化である．もともとは QuickBasic (MS-DOS) で開発され，授業実践を繰り返しながら VisualBasic 版 (Windows) へと機能向上を続けていた．今回は元のソースプログラムから移植するのではなく，実行時の動作から同じような機能を Flash で再現するとともに，つまみのドラッグによる変化の機能を追加している．



【図 2-3-3 なべソフト】



【図 2-3-4 なべソフト Flash 版】

## 2.3.2 webMathematica による教材コンテンツ

### (1) webMathematica とは

われわれはいままで Mathematica (Wolfram Research Inc) を用いてさまざまな教材を開発し，早数教の Web ページで公開してきた．そこでは主にユーザが双方向性 (インタラクティブ) に教材を扱えることを目的に，VRML (Virtual Reality Modeling Language) 言語や

LiveGraphics3D をもちいたものであった。

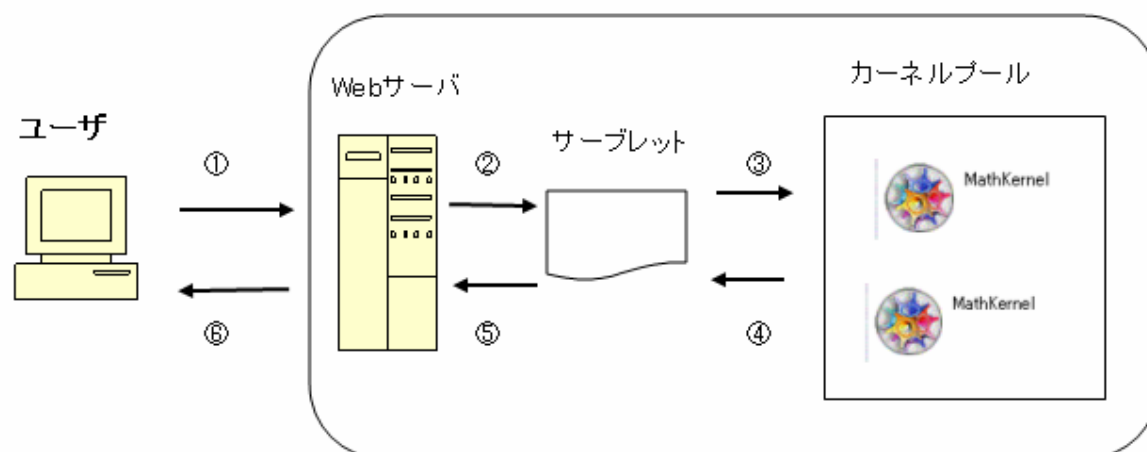
今回は取り組んだものは webMathematica である。これは数式処理システムで有名な Mathematica のカーネルと Java Servlet の技術にもとづいて開発された Web システムである。この技術を用いることにより、Web サイトを構築することで数学的処理（数値計算、数式処理、グラフィック描画など）が対話的に行うことが可能になる。

従来、Mathematica を用いて教材を作成した場合、その教材を Web 上でインタラクティブで使用するとなると、VRML の技術や LiveGraphics 3D の技術を使うことであった。特にこれらの環境では Mathematica で作成したグラフィックスが利用できるだけであった。

webMathematica ではユーザはインターネットに接続し、Web ブラウザのみのインターフェースで Mathematica の主な計算機能を Web 上で利用することができる。

## (2) webMathematica の仕組み

webMathematica は、Java サブレットと JSP(Java Server Pages)もしくはその拡張である MSP (Mathematica Server Pages) という Java の技術を用いる。サブレットというのはサブレットコンテナと呼ばれる Java に対応した Web サーバで実行される Java のプログラムである。また JSP とは、HTML 文書中に Java 言語を用いた処理コードを記述するための技術のことをいう。Java のバイトコードにコンパイルするため実行速度は速い。



【図 2-3-5 webMathematica の仕組み】

- : Web ブラウザによるユーザ入力
- : サブレットコンテナ (Tomcat 等) によるサブレット起動 (JSP または MSP)
- : カーネル獲得・J/Link を用いたコマンド入力や計算結果のやりとり・カーネル返却
- : HTML ソースの作成
- : Web ブラウザへの結果表示

【具体的な設定】(インストールするもの) ...ローカルな Web サーバ上を想定

- ・ サブレットコンテナ : Tomcat
- ・ Java : Java 2 SDK
- ・ Mathematica 関係 : Mathematica4.2 , webMathematica2.0

### (3) webMathematica の優位性と可能性

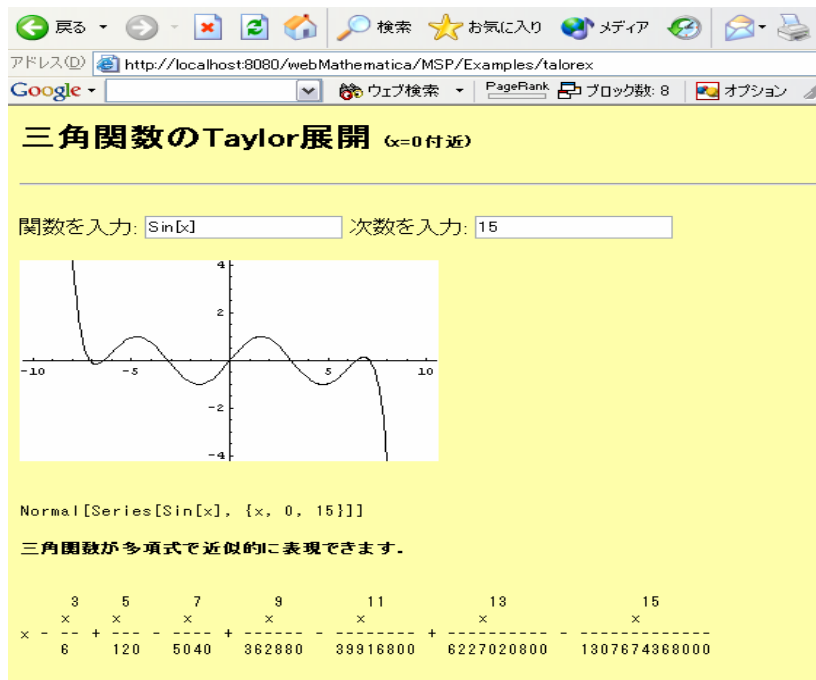
webMathematica を用いる優位性と可能性をいくつか列挙する .

- ・ Web またはイントラネットでの数学計算環境の構築
- ・ Web 上での数学サイトの構築
- ・ Web を利用した Mathematica ベースのインタラクティブな数学コースウェアの構築
- ・ Web 上でのインタラクティブな数学教科書の提供

実際は Mathematica を持っていないなくても webMathematica で教材を作成すれば ユーザ(生徒)は Web ブラウザのみで学習可能になる . また , Mathematica とほぼ同様な複雑な計算やグラフィックス描画環境を実現できる .

### (4) webMathematica の教材作成例

次に具体的な教材の事例とその MSP の記述例を示す .



【図 2-3-6 webMathematica でのテーラー展開】

```
<html>
<head>
<META http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=Shift_JIS">
<title>taylor</title>
</head>
<body bgcolor="#ffffaa" >
```

```

<h2>三角関数の Taylor 展開 <FONT size="-1">(x=0 付近)</FONT></h2>
<hr>
<form action="talorex" method="post">
関数を入力:
<input type="text" name="fun" size="24" value =
  "<%Mathlet MSPValue[ $$fun, "Sin[x]" %>"
>
次数を入力:
<input type="text" name="x1" size="24" value =
  "<%Mathlet MSPValue[ $$x1, "10" %>"
>
<br>
<br>
<%Mathlet
  MSPBlock[ { $$fun, $$x1},
    $$$ff=Series[$$fun,{x,0,$$x1}]/Normal;
    MSPShow[Plot[$$$ff,{x,-10,10}]]
  ]%>
<br>
<%Mathlet MSPBlock[{ $$fun,$$x1},HoldForm[Series[$$fun,{x,0,$$x1}]/Normal]]%>
<h5>三角関数が多項式で近似的に表現できます . </h5>
<%Mathlet MSPBlock[{ $$fun,$$x1},Series[$$fun,{x,0,$$x1}]/Normal]]%>
<hr>
<input type="submit" name="btnSubmit" value="Evaluate">
</form>
<I><FONT color="#800040">by webMathematica Waseda Live Math</FONT></I></body>
</html>

```

### 【MSP のプログラム例】

ここでは高等学校と大学初年級の数学との連携を見据えたテーマを考えた．実際に作成した教材は次の通りである．

- ・ Taylor 展開（多項式の関数の拡張と初等関数の多項式化）
- ・ 三角関数の合成（フーリエ級数を視野に入れて）

近い時期に Web に公開する予定である．

#### 2.3.3 今後の課題（Web 教材作成に関して）

Flash は JavaScript に言語構造が似ているだけあって，比較的簡単にさまざまな数学的アニメーションを作成することができ，大きい可能性をもつツールであると感じた．また webMathematica は Mathematica とほぼ同様な複雑な計算を Web 上で実現する点では画期的な技術であり，言語についても Mathematica を習熟している人であれば容易に理解可能である．ただ，作成環境を整えるためにはライセンスの問題や価格の問題などで個人ユーザレベルではまだまだ敷居が高い．筆者の一人は，早稲田大学の Mathematica のサイトライセンス契約に基いた環境を利用した．当面は，教材のアイディアや MSP スクリプトを提供していただいて，われわれの Web に公開するという方法が考えられる．

### 3 おわりに

近年の理数科離れや学力低下の議論が巻き起こってから久しい．新カリキュラムや学校五日制の影響もあり子供たちが学校で学ぶ数学の時間数は近年減少してきている．さらに深刻なことは，わが国の子どもたちの家庭での学習時間数の激減である．そのためにも，教室でも家庭でも活用でき，知的に楽しめるような Web コンテンツの作成を今後とも続けていきたい．最後にこの研究を支援していただいた早稲田大学数学教育学会の諸先生方に深く感謝する．また，本研究は早稲田大学数学教育学会課題研究費の助成を受けたものである．

#### 【公開 Web サイト】

<http://www.f.waseda.jp/takezawa/sousuukyo/>

「数学の杜」をご覧ください．

#### 参考文献

- [1] 永井信一：教材 Web ページの研究開発，早稲田大学数学教育学会誌，第 18 巻，2000．
- [2] 青木，佐藤，武沢，永井，箭内，渡辺他：一貫カリキュラムとしてテーマ別カリキュラム，早稲田大学数学教育学会誌，第 15 巻，1997．
- [3] 武沢他：中学校・高等学校数学科におけるカリキュラムの改善，早稲田大学数学教育学会誌，第 17 巻，1999．
- [4] 渡辺暁生：三角関数のグラフを含む「角の大きさに関するカリキュラム」，早稲田大学数学教育学会誌，第 19 巻，2001