

## 数式処理と連携した WEB 教材の開発

高吉 清文\* 南 貴之\* 中本 和典\*\*  
片岡 義和\* 橋本 竜太\*

### Development of the Internet Web learning material that cooperates with a symbolic formula manipulations system.

Kiyofumi TAKAYOSHI Takayuki MINAMI Kazunori NAKAMOTO  
Yoshikazu KATAOKA and Ryūta HASHIMOTO

#### Synopsis

We developed some learning materials that cooperated with a symbolic formula manipulations system on the Internet Web site. By using the web interface, cost and studying time spent on the symbolic formula manipulations system can be greatly reduced. The learning materials can be classified into two kinds. One is for confirmation to understand basic concepts by trial and error. The other is for exercise that can be repeated as many times as needed.

#### 1. はじめに

社会環境、教育環境の変化に伴って、学生の学習に対する考え方も変化している。学習には試行錯誤が不可欠であり、情報の取捨選択の過程で考える力が育まれると考えられる。しかし、多くの学生は答えのみを求め、それを暗記するのが勉強と考えているようである。最近の統計に示されている家庭学習時間の減少は、手っ取り早く答えだけを得ようという態度の現れと見られる。このような状況の改善を目的とした教材の開発を試みた。期待される効果は、学習を始めるきっかけになる、考えるパターンを学習するのに役立つ、自学自習を支援する等である。

#### 2. なぜ WEB で数式処理か

数学、物理の学習には長時間の集中力と忍耐が要求され、学生の中には理解する快楽を知る前に挫折してしまう者もいる。学習の先に喜びがあることを知らせ、少しでも数学、物理に興味を抱いてもらう手段としているいろいろな方法が試みられてきている。

そのひとつとして数式処理システムを用いた教育がある。数式処理システムを使うことで、煩雑な計算のための時間を省ける、複雑な計算にとらわれずに本質を理解できる、画像、動画、音声等の視覚、聴覚に訴える出力ができるなどの利点があると考えられる。これらの利点は教育効果をあげるのに役立つと期待されるが、使用例は教師による演示実習に止まっているようである。自学自習に用いられた例が少ない理由のひとつは習得時間の問題であろう。幾多ある数式処理システムのいずれも自学するためには使用法、文法等の習得が不可欠であり、数学、物理学等の学習にその効果を発揮する以前に、それ自身の学習段階で多大な努力を必要としている。もうひとつの理由は、費用の問題である。市販されている数式処理ソフトは高価であるだけでなく、一般に、コンピュータの台数分のライセンス料が必要である。したがって、数式処理システムがいかにも有効であっても、クラス単位の授業用での導入は難しいのが現状である。

現在広く行き渡っているインターネットウェブ技術を融合させることで上記の不具合は解消される。WEB ブラウザはほとんど共通のインターフェイスを持っているので、WEB ブラウザから数式処理ソフトを使うことにより、数式処理システム個々で異

\* 一般教科

\*\* 山梨大学

なっているユーザーインターフェイスを吸収することができる。WEB ブラウザはほとんど全てのパソコンに装備されており、これを使用したことのない学生はいないと考えられる。したがって、WEB のインターフェイスを使えば、クライアント側で、初期投資および初期学習を必要とせず数式処理システムにアクセスすることができるようになる。さらに、サーバ側でも WEB 配信のために特別なソフトウェアを購入する必要がない。

### 3. webMathematica の処理の流れ

数ある数式処理ソフトの中でも Mathematica は最も WEB との統合に力が注がれているシステムである。Mathematica と WEB のインターフェイスとなるのが java サブレットテクノロジーを基盤とした webMathematica である。

webMathematica は以下のような流れでブラウザと Mathematica の連携をとる。

- 1 ブラウザが webMathematica のサーバにリクエストを送る。
- 2 webMathematica のサーバがプールから Mathematica カーネルを獲得する。
- 3 Mathematica カーネルが入力パラメータで初期化され、計算し、結果をサーバに返す。
- 4 webMathematica のサーバが Mathematica カーネルをプールに返す。
- 5 webMathematica のサーバが結果をブラウザに送る。

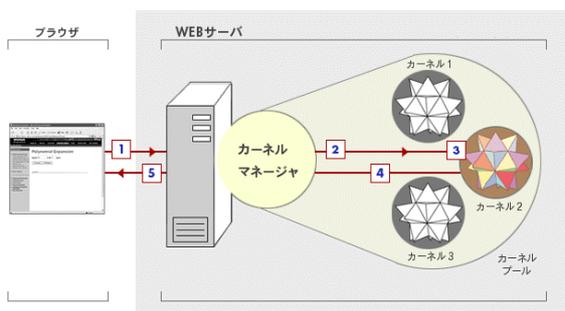


図1. 処理の流れ

### 4. 開発された教材の例

物理の学習に関する2種類のパターンの教材を作成した。一つは、基礎的な概念やイメージを養うための確認教材で、もう一つは、反復練習を行うため

の演習教材である。これらは [http://www.dg.takuma-ct.ac.jp/t/phys\\_q/](http://www.dg.takuma-ct.ac.jp/t/phys_q/) で公開している(図2)。現在は実験段階で教材数が少ないが、今後、充実をはかる予定である。



図2. 問題選択画面

#### a) 確認教材

確認教材は題材によってそれぞれ異なったページ構成になっている。その中の一つ、等加速度運動の問題解法パターンを学習する教材について説明しよう。これは問題解法のパターンを追っていく過程で考える方法も学習させることを意図したものである。

物理や数学の問題はおおむねパターンが決まっている。物理の場合は、次のようなものである。

- (1) 問題を読んで現象をイメージする。
- (2) 変数と物理量の対応をつける。
- (3) 適用する法則を選択する。
- (4) 数値を代入する。
- (5) 方程式を解く。

学生にとって最大の難関は(3)のようである。冒頭でも指摘したように、暗記に頼る勉強をしてきた学生は、例えば、適用する法則が2つ以上になったり、法則の選択を間違えて途中で躓いたりなど、記憶にない問題、表現、状況に陥るとそこから先に進むことも前に戻ることもできなくなるようである。このとき学生は、自分が得た結果や使っている法則が適当か否か判断できない状態にあると思われる。このような状態にある学生に対して、適当な判断を与えてやれば再び思考が働き出すと考えられる。この教材では、解法パターン中の各段階ごとに正解、不正解を示し、不正解の場合は前の段階に戻ることで、思考停止を回避できるように図られている。

画面の構成は以下のようにになっている。問題選択ページ(図2)から「等加速度運動」の問題を選択すると、まず、問題と運動の様子をイメージするよう促す画面が提示される(図3)。

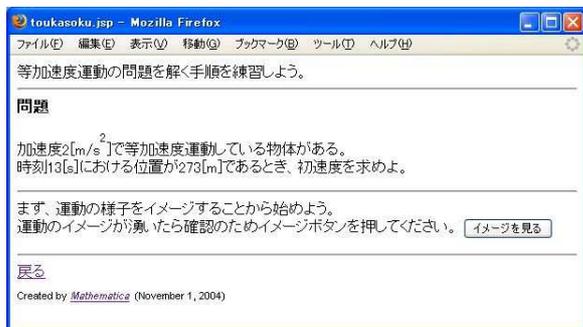


図3. 問題提示

「イメージを見る」ボタンを押すと数直線上に質点の位置、速度、時間等が表示される(図4)。同時に、等加速度運動を表すのに必要な5つの変数の説明と等加速度運動の公式の選択肢が表示される。ここでこの公式は時刻0での位置が0となるように設定されている。学習者は問題文から適当な公式を一つ選択するよう促される。

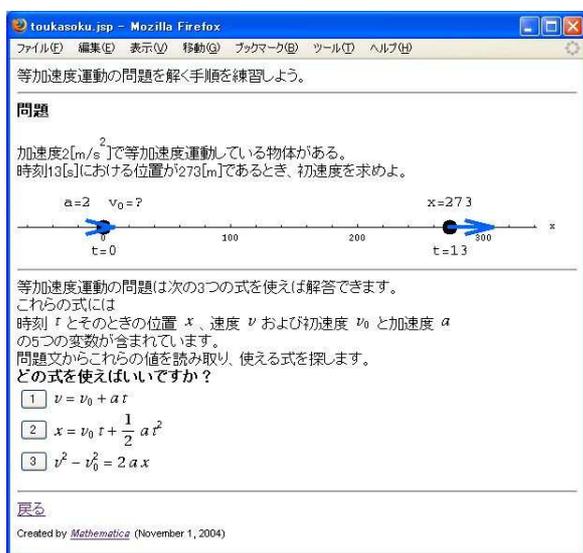


図4. 公式選択

公式の選択を間違えると「それでは解けません。もう一度よく考えて。」のメッセージが表示されて再選択をするよう指示される。「式選択へ戻る」ボタンを押すと再び図4の画面になる。これを繰り返すことが式の選択方法の学習に有効であることを期待している。

この問題では1個の公式で解ける場合だけを正解にしている。正しい選択がなされると数値を代入する画面になる(図5)。選択した公式とそれに対応した入力欄が表示される。入力欄には入れるべき変数が書き込まれているので上書きする必要がある。

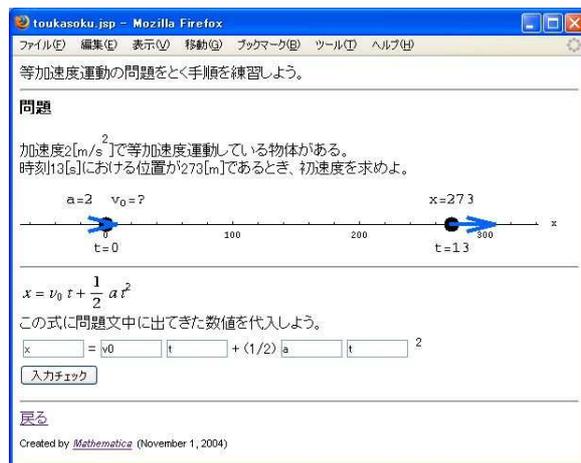


図5. 数値入力

入力を間違えると再入力になるのは式選択の場合と同様である。正しく入力されると、それまでのステップと解答欄が表示される。最後の計算は学習者自身が実行する必要がある。入力された解答が正答の場合は正解のメッセージと「次の問題に進む」ボタンが表示される(図6)。誤答の場合は再入力を促すメッセージだけが新たに表示される。

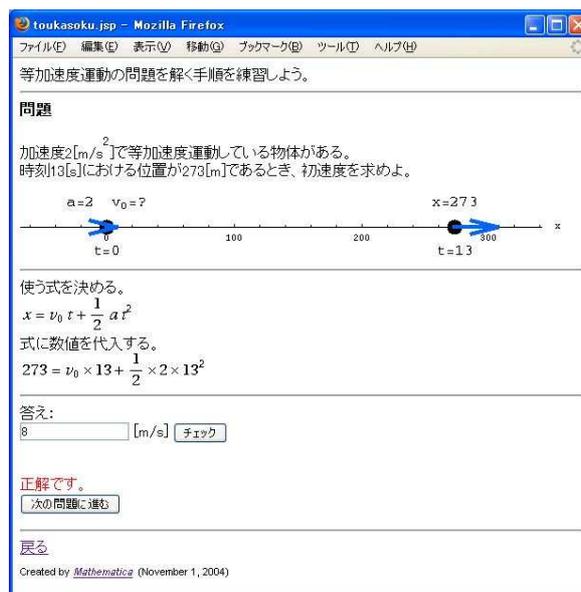


図6. 解答入力画面

「次の問題に進む」ボタンで最初の画面に戻る。

ただし、表示される問題は、ランダムに生成された数値とランダムに選択された公式を使用する、別の問題である。

問題は以下のような手順で生成される。問題の種類は3つの公式と1つの公式に含まれている4つの変数の組み合わせによる12パターンである。まず、時間、初速度および加速度の値が前もって決めてある範囲からランダムに選ばれる。等加速度運動の公式を使って速度、位置が計算される。この時点で、整合性の取れた変数の組が得られる。次に、等加速度運動の3式からランダムに1つの式が選ばれ、その式に含まれる変数の中から未知数となる変数がランダムに1つ選ばれる。得られた数値が問題テンプレートに代入されて問題文が作成される。「次の問題に進む」ボタンで生成される問題は前回解答した問題とは違ったパターンの中からランダムに1つの問題が選択される。

適用する法則が変わっても、物理の計算問題の解答パターンはほぼ同様であるので運動方程式、運動量保存則、エネルギー保存則などを使った問題も同様に作成できる。さらに、複数の法則を使用する問題であっても選択肢を増やすだけで対応できる。

## b) 演習教材

演習教材は、どの題材もほとんど同じページ構成になっている。以下は上記のページ(図2)の「等加速度直線運動2」についての説明である。この教材は、正解を得るのに等加速度運動の公式を2つ以上使う必要がある問題である。

「等加速度直線運動2」ボタンを押すと問題と解答欄が表示される。次に進むためには数値の入力が必要である。入力された解答が正しい場合は「正解です」のメッセージと「次の問題に進む」のボタンが表示される。誤った答えの場合は「もう一度やってみよう」のメッセージと「ヒントを見る」のボタンが表示される。再度解答を入力したときの動作は初回と同様である。「ヒントを見る」ボタンを押すと数直線上に質点の位置、速度、時間等が表示されるとともに使用すべき等加速度運動の式が表示される。ヒントを見た後でも、解答入力後の動作は初回と同じであるが、図は表示されたままである。この画面には、「答えを見る」ボタンも用意されていて、自力で正解を求められない場合には簡単な解答を見ることができる(図7)。学習者が毎回異なる問題を解くことができるのは前節で解説した教材と同様である。

図7. 解答画面

問題作成アルゴリズムは前節の解説とほぼ同様であるが、初速度、加速度を含め未知数が3つあるので解答を得るのに3元連立方程式を解く必要がある。まず、初速度と加速度がランダムに選択される。初速度と加速度を答えさせる問題は生成しないが、学習者は中間段階でそれらを求めるなり、消去するなり適当に処理する必要がある。次に、前後関係を保って3個の時刻がランダムに生成される。それぞれの時刻における物体の位置、速度が等加速度運動の公式より計算される。第3の時刻における時刻、位置、速度のうちの一つをランダムに選び解答用未知変数に設定する。このとき、求解に4次以上の方程式を必要とする問題は除外される。最後に、未知変数とそれ以外の数値が問題テンプレートに代入され問題が確定する。

正誤の判定は入力解答に対する方程式の正否で判断される。

## 5. 授業での使用実験

この教材を授業等で利用する場合には数十のアクセスが同時に発生することが予想される。このような場合の教材の使用可能性について実験を行った。初めてこの教材に接する11名の学生に同時に図2のサイトから任意の教材を試してもらい感想を提出させた。

ほとんどの学生に共通の感想は反応が遅いというものであった。原因として考えられるのはライセン

ス形態による制限である。現在サーバで稼働中の *Mathematica* は最大 2 個のカーネルが起動可能なライセンスである。3 章で説明したように、カーネルマネージャーはリクエストのたびにカーネルプールからカーネルを呼び出し、計算終了後プールに戻すという処理を行っている。したがって、現状では、一度にたくさんのリクエストが集中したときには待ち時間が生じることになる。特に長い待ちが生じるのは、動画処理のように重い計算でカーネルが占有されたときである。画像処理を含まない計算であればカーネルは速やかにプールに戻されるので 10 人程度であればそれほど待たされることはない。教材を取捨選択すればクラス単位の授業でも使用可能の感触を得た。待ち時間を短縮させる方法としては、ライセンスの追加、複数サーバ化などのリクエストの分散や、サーバ性能の向上による処理そのもの高速化などが考えられる。

少数ではあったが、入力欄の変数の意味がよくわからない、ENTER キー入力でページ移動がしたい、画面構成がわかりにくい、教材の情報量が少ない等の意見があった。これらについては、今後改良する予定である。

内容については、使用してみたい、面白い等の好意的な意見が多かった。

## 6. 結語

数式処理システムと連携する教材をインターネット WEB サイト上に構築し、実習実験をおこなった。

授業等での使用に向け今後の課題は以下のようなものである。

1. 応答速度の改善を図る。
2. 実習実験を数多く行い問題点を抽出する。
3. 教材数の充実を図る。
4. 演習履歴を残し学習効果を計れるようにする。

## 参考文献

- 1) スティーブンウルフラム, MATHEMATICA ブック  
第 4 版, 東京書籍 (2000)
- 2) webMathematica,  
<http://www.wolfram.com/products/webmathematica/>