

# 可視化・疑似体験教材作成システム

Visualization and Virtual Experience Courseware and Support System

桜井雅史<sup>1)</sup> 大塚和高<sup>2)</sup>

Masashi SAKURAI Kazutaka OTSUKA

- 1) 九州大学大学院 理学府 凝縮系科学専攻 (〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1  
九州大学大学院 理学府 凝縮系科学専攻 凝縮系基礎論講座 I  
E-mail: m.sakurai@cmt.phys.kyushu-u.ac.jp )
- 2) 株式会社ソフトウェア 商品企画事業部 (〒108-0075 東京都港区港南 3 丁目 8 番 1 号  
森永乳業港南ビル 6F E-mail: k-ohtuka@software.co.jp )

**ABSTRACT.** The visualization courseware and support system were developed. We developed the visualization and numerical calculation library and some courseware as applet. Employing the courseware, users can experience some phenomena and meet some interactive experiments. In addition, we developed the support system that helps to make a custom courseware with some questions and that manages editing contents and browsing.

## 1. 背景

### (1) 教育の IT 化

これからの教育はコンピューターが重要な役割を演じることになる。近年、異常な盛り上がりを見せる IT 化の波は、一般の学習環境にも押し寄せ、コンピューターによる教育は、各家庭や学校へ急速に浸透しつつある。また、国による教育の情報化政策により、小中高等学校等では 2005 年を目標に、すべての教員がコンピューターを活用して教育できる体制が整えられるといわれている。これらの状況から、今後コンピューターを使った教育は一層重要になることは確実であろう。

### (2) いくつかの試み

現在のコンピューターを活用した教育には以下のようなものが挙げられる。

#### 電子テキスト的なもの

教科書を電子的にして、映像、音、双方向性を追加したもの。既存の方法の拡張であり、簡単に導入でき、失敗や導入コストが少ない。しかし、単なる教科書の焼き直しでは意味がない。授業の情報掲示板

授業についての情報を Web など補助的に発信したり、また電子掲示板やアンケートなどを使って一方向になりがちな授業に双方向性を持たせたもの。これも従来の授業の拡張といえる。自己完結的なゲーム形式のもの

コンピューターが先生となり、問題を出題して生徒が答えを入力するといったものが多い。他にも、ゲームの中でクイズや問題、あるいは疑似体験等を通して勉強を意識せずに学習しようというものもある。通信手段として利用

コンピューターネットワークを利用し、離れた地点で講義を受けたり、また、離れた地点の他の学校と共同で何かのプロジェクトを行うなど。

#### データベースとして利用

インターネットや百科事典、天気、経済、技術などのデータベースを利用したもので、必要な情報を素早く引き出し、コンピューターを駆使してデータを加工して何らかの結果を得る、といったもの。

#### コンピューターによる疑似体験

コンピューターに現実の系を模した世界をシミュレートさせ、疑似的な体験を行うもの。バーチャリアリティーによる本格的なものか

ら、単に方程式を解いてアニメーションさせるものなどがある。

表現の道具として利用

絵や、音楽、また動画やプレゼンテーション資料の作成をコンピューターを使って行い、Web などを利用して発表も行うもの。コンピューターの利用により、従来では出来なかった表現の幅を得ることができる。

ここに分類した以外にも数多くの試みがあり、それぞれ成果をあげているようである。

### (3) 求められる教材とは

しかし前述したこれらの試みは、教師の方々の教育に対する前向きな姿勢や技術力に大きく拠っている。教育現場で授業を行う教師の方々は、自らコンピューターを使った授業を考案したり、ソフトウェアを作成したりすることは稀である。また、決定的な教育スタイルも確立されていないことから、パイロット授業のために高価なパッケージソフトを購入したり、ましてやソフトウェア企業に一から教材作成を依頼したりすることも難しい。つまり、コンピューターを活用するには技術とコストという高い垣根を越えなければならない。

このような現状では、全ての生徒が同等の教育を受けることは期待できない。これがいわゆるデジタルデバイド（デジタル格差）である。お金をかければ縮まるというものではなく、知識による差であることから短期間で埋めることはなかなか難しい。

また逆に、すべての教師の方々に全く同じソフトや方法を提供するというのもナンセンスである。訓練とは異なり、教育は人と人が向かい合い、お互いの意思疎通で成り立つ行為である。そのため、すべてのケースで同じような場面になることはありえず、また各々の授業のやり方に密着できる教材でなければ本当の教材とは言えない。

よって、すべての教育現場でコンピューターを活用した教育を推し進めていくには、多くの教師の方々がコンピューターに精通するだけでなく、教育現場ではさみと糊のように安価で簡単に使える教材作成の道具が必要なのである。

## 2.目的

本プロジェクトの目的は、これらのコンピューターを活用した授業に障害となる技術とコストの垣根を低くし、しかもそれなりのクオリティーを実現できる教材の作成を支援するソフトウェア、並びにシステムを構築することである。

## 3.開発について

### (1) 開発対象

本プロジェクトでは、高校・大学初年度で習うような、数式や各種データを可視化したり、物理現象をシミュレーションするような教材を主なターゲットとして開発した。応用の仕方によっては、高校中学校の数学などの、今回の対象以外の教材を開発することも容易である。

また、利用形態としては次の3つを念頭においた。

#### 普通の講義担当者

教材生成システムを用いて教材を作成する。

#### プログラミングの出来る講義担当者

生成システムだけではなく、ライブラリを用いて複雑なアプリケーションを開発する。

#### 教材開発企業

請け負って複雑な教材を開発したり、色々な分野の教材をパッケージングして販売したり、このシステムを用いた講義のセミナーなどを行う。

このように複数の利用形態を考えることで、システムの広い適用を目指す。

また、開発成果はすべて GPL:GNU Public License にしたがってフリーソフトとして公開配布する。こうすることで、広く利用者や開発者を募り、ソフトウェアの利用を促進し、開発の効率を上げることができる。GPLのもとでは、ソフトウェアを直接売って利益を上げることはできないが、そのソフトウェアを用いたサービスでは利益を上げてかまわないので、企業としての活動も問題なく行えると考える。

### (2) 開発内容

このプロジェクトの目的は、手軽な教材の生成である。そこで、以下の4つの項目について開発を進めた。

#### プロトタイプ教材

まず、必要となる教材のフレームワークや技術を調査するため、基本ライブラリからのプログラミングによって必要な教材をいくつか開発した。この開発により、教材生成に求められる汎用性を調査すると同時に、必要な機能のライブラリの拡張も行った。

#### 基本ライブラリ

生徒の注意を引き付ける教材には、魅力的な GUI 部品が欠かせない。桜井がこれまで個人的に開発してきたライブラリを大幅に拡張し、プロトタイプ教材に必要な機能を盛り込んで行く

と同時に、各種の可視化を簡単に行う機能を付加した。また、開発に必要なドキュメントも同時に用意した。

#### 教材生成システム

一般の講義担当者にとって、プログラミングによる教材の開発は非常に難しい。そこで、簡単な対話式の入力によって、ある程度の教材を自動生成できるような仕組みを開発した。あらゆる教材を生成することは出来ないが、日常的に使う簡単なものであれば多くのケースに対応できる。

#### 教材管理システム

前述のシステムによって生成された教材をサーバで管理し、一般の閲覧や検索を支援したり、講義担当者同士で情報交換が出来るような仕組みがあれば有用である。そこで、このようなシステムを Web アプリケーションとして実装した。

実装に関しては、インターネットとの親和性の良い Java を採用し、ブラウザ上で動く教材についてはアプレット形式を、また Web アプリケーションはサーブレットとして開発した。アプレットでは、今だ多くのブラウザが JDK1.1 相当の環境であることを考慮し、JDK1.1 以上の環境で問題なく動くよう開発を行った。

## 4.開発成果

### (1) プロトタイプ教材

これまで桜井が開発してきた教材は、ほとんどが古典的な力学の教材であった。そこで、今回は更に高度な内容である統計力学や量子力学を対象にしていくつかの教材を開発した。教材のデザインやアイデアは九州大学理学研究院の小田垣孝教授に協力を頂いた。

今回開発した教材の一部を以下に示す。

#### 気体分子のシミュレーション

初めは左側にあった気体分子が、時間が経つと全体に拡散して行く様子をシミュレーションする教材。このシミュレーションにより、統計力学において重要な粒子同士の相互作用、平衡状態と非平衡状態の概念や、エントロピーが増大する熱力学の概念などを直観的に理解することが出来る。

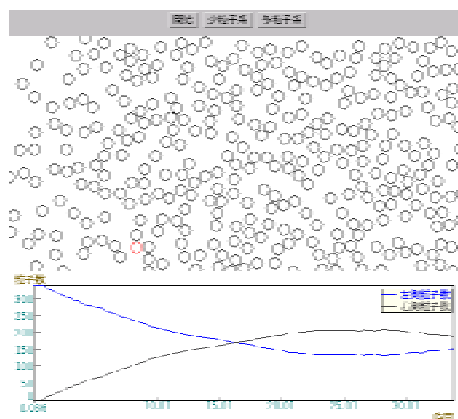


図 1: 気体分子のシミュレーション

#### Bose, Fermi 統計の振舞い

原子レベルのミクロな世界を知るには量子力学が用いられるが、量子力学は身の周りの現実と全く違う世界なのでイメージが難しい。量子力学で重要な Bose, Fermi 統計の違いをシミュレーションにより示すことによって、量子系の世界を直観的に理解することが出来る。

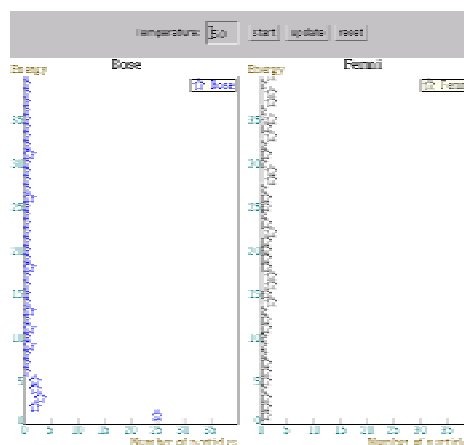


図 2: Bose, Fermi 統計

#### カノニカルアンサンブル

統計力学は、個々の粒子の性質から集団の性質を記述する非常に強力な手法である。しかし、これも普段の生活には現れないミクロな集団の振舞いを扱っているため、イメージが非常に難しい。この教材では、統計力学で用いられるカノニカルアンサンブルの様子をシミュレーションにより示している。

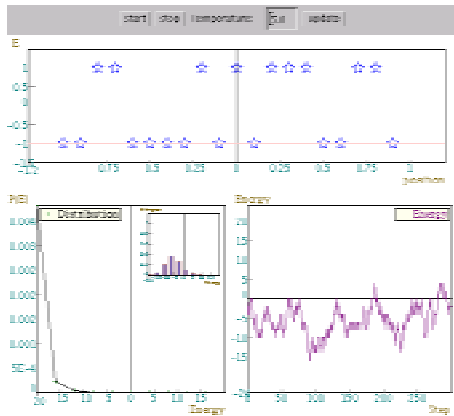


図 3: カノニカルアンサンブル

これらの開発により、教材として必要な汎用化の仕組みを抽出し、また基本ライブラリの拡張を行った。

## (2) 基本ライブラリ

桜井が個人的に開発を続けてきたライブラリに、更に高度な可視化や物理シミュレーションを行うために大幅な拡張を加えた。

### a) 3次元グラフィック

高度な可視化や、生徒の注意を引き付けるための魅力的なグラフィックには3次元グラフィックスが不可欠である。今回の開発では以前の設計とソースコードをほとんど捨て、新たにこのプロジェクトのために書き直した。その結果、他のライブラリや複雑なグラフィック環境の必要無しに、可視化に必要な多彩な表現を行うことが出来るようになった。

図4では、異なる描画方法を示したものである。速度や見ためから任意の描画方法を選ぶことが出来、また動的に変更することも出来る。ゲームなどで流行の高度なグラフィック機能は利用できないが、複数の光源や点光源、半透明処理などある程度のことは出来るようになっている。

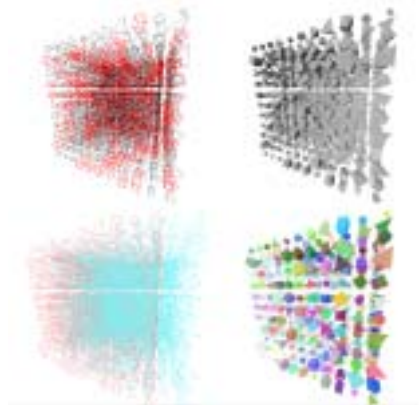


図 4: 3次元グラフィックス

### b) 可視化

これも以前開発したグラフ描画部分を設計からやり直し、多次元への拡張や多くの機能追加を施した。これにより、2次元3次元をシームレスに扱うことが出来、より高度な可視化を手軽に行うことが出来るようになった。以下にその機能の一部を図とともに列挙する。

- プロットの方法を好きな物から選んだり、同時に用いたり出来る。グラフ同士も重ね合わせが可能。(図5上)
- $y=f(x,y)$ のような関数の等高線や陰影、グラデーションを描くことが出来る。また、この仕組みを利用して、 $f(x,y)=0$ のような陰関数表示のグラフも描くことが出来る。(図5下)
- 3次元以上の関数の可視化も同様に行うことが出来る。グラフの重ね合わせから等高線描画、等値面描画、3次元での陰関数描画など、ほとんどの可視化のニーズを満たすことが出来る。(図6)

その他の特徴として、簡単にさまざまな描画モジュールを組み込むことが出来るため、ライブラリに無い機能を簡単に機能追加することが出来る。

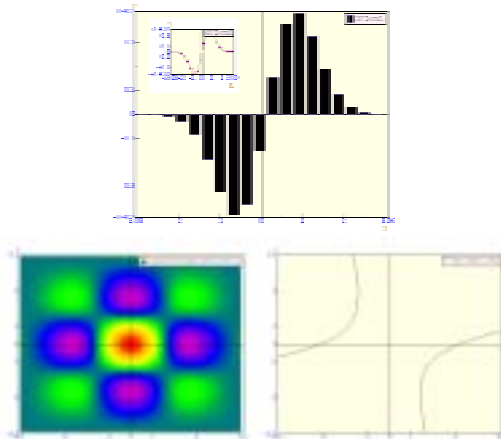


図 5: 2次元可視化の例

上: グラフの重ね合わせ

下: 2次元スカラー関数と陰関数

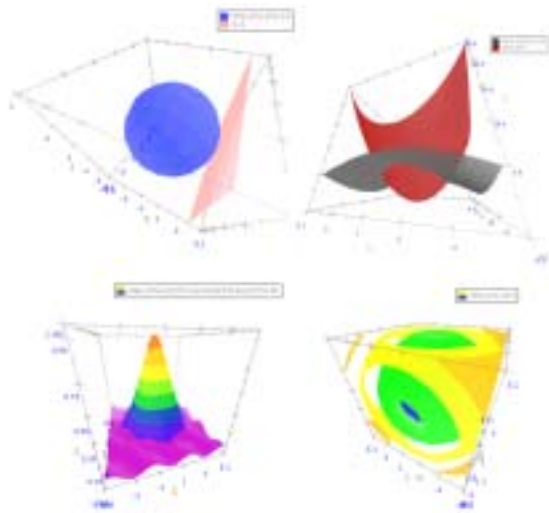


図 6: 3次元可視化の例

### c) 数値計算、物理シミュレーション

本事業以前に開発した数値計算モジュールについてさらなる拡張を行い、特に実験データの解析に有効な線形・非線形回帰分析モジュールを開発した(図7左)。文字列を構文解析するモジュールを応用し、フィットしたい式とデータを入力するだけである程度の解析を行うことが出来る。このモジュールを用いることで、実験のデータ整理などを行う教材を手軽に開発することが出来る。

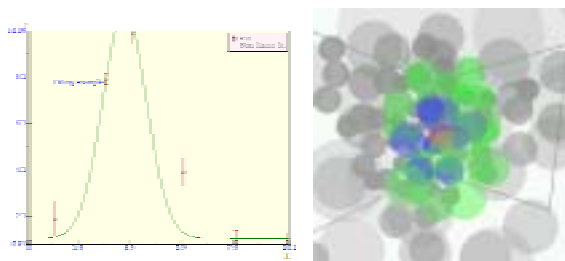


図 7: 非線形回帰分析と分子シミュレーション

また、分子シミュレーション用のフレームワークを開発した(図7右)。プロトタイプ教材で示したようなデモ用の小さな規模のシミュレーションであれば簡単に開発できる。更に、応用として大規模な計算においても、Javaの分散オブジェクト機構を利用してある程度専門的な計算にも十分適用できると考え、現在開発を続けている。

### (3) 教材生成システム

教材生成システムの概観は図8のようである。

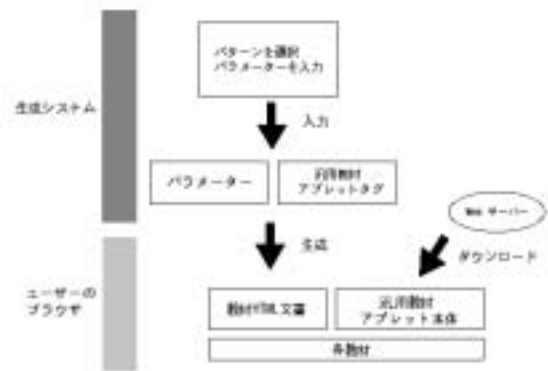


図 8: 教材生成システム概観

まず、いくつかの教材のパターンを用意しておき、講義担当者はその中から欲しい教材に一番近いパターンを選ぶ。その後、パラメータをセットして生成システムに渡すと、システムはパラメータを汎用教材アプレットの入力形式にエンコードし、HTML文書としてユーザに返す。このHTML文書には、アプレットをどこからダウンロードするかという情報と、ユーザが設定したパラメータが書かれている。後は、このHTML文書を必要な場所に持って行って、Javaの動作する好みのブラウザで実行するだけである。ブラウザは、指定の場所から汎用教材アプレットのプログラム本体をダウンロードしてきてパラメータをセットし、汎用教材を実行する。これらの画面を図9-10に示す。



図 9: 教材パターン選択





図 10: パラメーターによるカスタマイズ

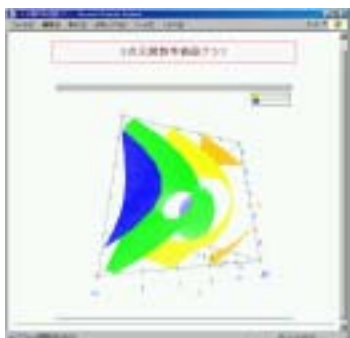


図 11: 完成した教材

このシステムの要は、数多くのパターンを網羅することと、あらゆるパターンを実行することの出来る汎用教材アプレットにある。今回開発したパターンは以下のようなものである。

- データを与えて色々なプロット(2D,3D)
- 関数を与えてプロット、各種可視化(2D,3D)
- データを与えて回帰分析(線形、非線形)
- 簡単な分子シミュレーション
- 微分方程式を解いて図示、簡易アニメーション

これらそれぞれ非常に汎用性の高いものなので、実際の適用には更に教材生成のヒントやドキュメントを充実させて行く必要がある。

#### (4) XML スキーマ設計ツール

本プロジェクトの実装では、汎用教材のパラメーターは独自エンコード方式を用いたが、XML を用いることで、非常に汎用性のある実装にすることが出来る。しかし、XML 文書を読んでそれを解釈する部分は、ほぼルーチンワーク的であるにもかかわらず、かなり技術と工数が必要とされる。XML スキーマである RELAX<sup>1</sup>から、XML 文書を読み書きする Java プログラムを生成する Relaxer<sup>2</sup>と言うツールを使うことでプログラミン

<sup>1</sup> <http://www.xml.gr.jp/relax/>

<sup>2</sup> [http://www.asahi-net.or.jp/~dp8t-asm/java/tools/Relaxer/index\\_ja.html](http://www.asahi-net.or.jp/~dp8t-asm/java/tools/Relaxer/index_ja.html)

グの手間は大幅に解消されるが、依然 RELAX スキーマを編集する困難が残る。そこで、この RELAX を GUI で編集するツールを作成し、この XML の入出力にかかる手間を大幅に解消するツール:MkRelax<sup>3</sup>を開発した。



図 12: RELAX スキーマ設計ツール

このツールは直観的な GUI で RELAX 文法を表現・編集でき、スキーマコンパイラの Relaxer とも連携することができる。このツールを用いた開発の手引を「MkRelax/Relaxer を用いた開発のサンプル<sup>4</sup>」として公開している。

現在の広く使われているブラウザは JDK1.1 相当の環境が数多くあるが、これらのブラウザの環境が将来的に次のバージョンに移行できれば、XML を用いて実装を取り換える予定である。

#### (5) 教材管理システム

JAVA Applet によって作成された教材は、Web ブラウザ上で動作するもので、ネットワークを利用できる環境で動作する。そこで、教材作成システムで作成した教材を管理し、ネットワーク上での教材の公開、情報共有ができる管理システムを開発した。

##### a) 設計・仕様

教材管理システムを開発するにあたり、下記の3点に基づいた教材管理ソフトの開発を進めた。

- ・ シンプルな機能、扱いやすさを重視
- ・ マルチプラットフォームに対応
- ・ 強固なセキュリティ

教材を管理する上で、登録方法を簡素にし、登録した教材をテストした上で、公開の有無を選択できるように設

<sup>3</sup> <http://www.cmt.phys.kyushu-u.ac.jp/~M.Sakurai/java/vkrelax/index.html>

<sup>4</sup> <http://www.cmt.phys.kyushu-u.ac.jp/~M.Sakurai/java/vkrelax/docs/usingMkrelax.html>

計した。また各画面で説明文が入るようにデザインした。

マルチプラットフォームとセキュリティを考慮し、開発言語は JAVA を、データベースは検索処理性能に優れる MySQL を、Web サーバは Jakarta プロジェクトが開発している Tomcat を採用した。いずれも Windows を含めた多くのプラットフォームに対応している。システムは JAVA 言語の JSP 及び Servlet で開発した。データベースへの接続は JDBC による SQL を用いてのデータ管理をおこなう。Tomcat のサーブレットコンテナと Web サーバを利用した Web アプリケーションとなる。Web ブラウザからシステム全般を操作することができる。

開発環境及び、サーバの詳細は下記になる。

- Development Language: J2SE 1.3.1\_02
- Database: MySQL 3.23.43
- Web Server: Tomcat 3.2.4
- OS: Turbo Linux Server 7.0

Open Source が中心だが、高性能な開発環境を容易に入手でき、システムの導入コストを下げる上で、大いに有益である。このような素晴らしいソフトウェアを公開している開発者の方々、支援団体に感謝したい。

## b) システム概要

可視化・擬似体験教材管理システムは、3タイプのユーザ毎に、コンテンツを構成している。

- 管理者
- 教材提供者
- 一般ユーザ

ユーザ毎にインデックスとメニューを持つ。管理者と教材提供者のみ、サーバ側で認証を行う Basic 認証を使用している。セキュリティについては、Basic 認証と Session 情報の管理の両面でおこなっている。

### 管理者ユーザ

管理者は教材提供者のユーザ管理にとどめた。図 13 が管理者のユーザ情報インデックス画面である。管理者はユーザの登録・更新・削除が主な機能となる。



図 13: 管理者のユーザ情報インデックス画面

### 教材提供者

教材提供者はフォームからの教材の登録・更新・削除ができる。図 14 が教材提供者の教材インデックス画面となる。



図 14: 教材提供者の教材インデックス画面

次に教材で使用するプログラムや画像等のファイル管理(登録・削除)をおこなう事ができるファイルインデックスが、図 15 になる。HTTP 転送を使用している。教材提供者のネットワーク環境に左右されずに、ファイルをサーバに登録することができる。また、登録した教材のテストは、教材インデックス上から可能となっている。今回の管理システムでは、この教材提供者のシステムを最も重要なシステムとして開発した。教材提供者が Web ブラウザを扱える程度の知識だけで、難なくこの管理システムを使用できることが、このシステムに求められることだと考えており、できうる限りシンプルで使いやすい画面構成にした。



図 15: 教材提供者のファイルインデックス画面

### 一般ユーザ

一般ユーザは教材インデックスより、教材データを教材提供者リストやキーワードをもとに検索し、自由に閲覧できる。各教材のタイトルは、各々のタイトルの教材を紹介するページにリンクされている。教材の紹介ページでは、文章による解説ページと教材プログラムをロードするページへのリンクが表示される。作成者の氏名は教材提供者の登録情報 (E-mail 等) のページにリンクされている。ここで一般ユーザは教材の提供者に対して、E-mail による意見や感想などを送ることができる。

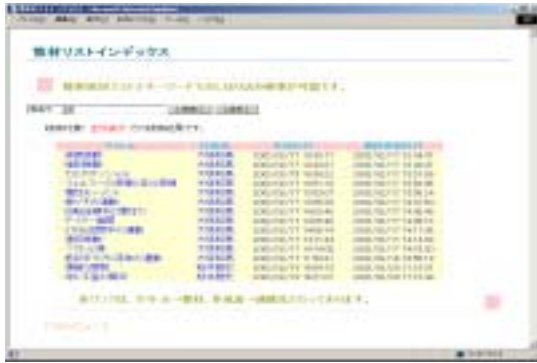


図 16: 一般ユーザの教材インデックス画面

図 17 は教材プログラムのサンプルである。教材のページが選択された時に、自動的にプログラムがロードされる。一般ユーザは Applet 上のフォームに数値を設定し、プログラムを操作できる。

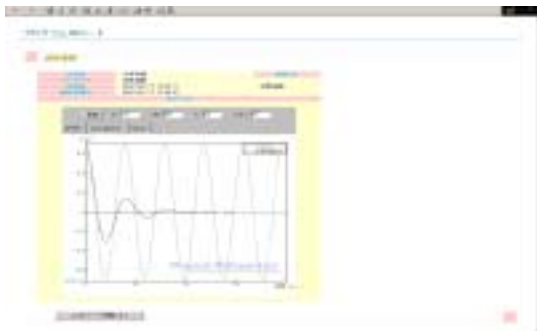


図 17: 教材表示例

### c) 今後の展開

今後の展開として、下記のものを予定している。

- ・ FAQ や BBS などの、教材提供者と一般ユーザの情報交換の拡張
- ・ 教材データを数回の選択肢から簡単に登録できるメニュー（オート登録機能）
- ・ テスト形式の教材と採点機能
- ・ 教材の利用率やアクセス解析等の集計とグラフ作成機能
- ・ デザイン・設定などの登録機能
- ・ SSL などのセキュリティー強化

方向的には教育現場の情報化のハブとしての役割を狙って生きたいと考えている。

## 5. 考察と展開など

本プロジェクトの開発により、非常にコンパクトなライブラリで高度なことが手軽にできるようになったと確信している。Pure Java で構築することによるプラットフォームに非依存でありながら、数値計算・可視化をフリーでこのようなレベルまで構築できるライブラリはほとんどない。また、教材生成システムや、管理システムによって

より多くの人が使える環境になったと自負している。

しかしながら、開発期間が短く、2人で開発を行ってきたため、全体的な視点でのまとまりに欠けたきらいがある。また、現場でのテストや運用経験、パッケージ化やユーザーインターフェイスなどの細かな作りこみなど、まだまだ改善すべきところは数多くあり、今後もこれらの点を中心に開発を続ける予定である。

本プロジェクトは現在 2 人による開発であったが、これからは広く開発の賛同者を募り、ソフトウェアの開発だけでなく、コンピューター教育のノウハウも共有し、日本の理系教育をよりいいものに変えていきたいと思っている。

## 6. 参加企業及び機関

- ・ 株式会社ソフトウェア

## 7. 参考文献