

# 数理分野を対象とした問題解決支援システム “MathGUIDe” の 数学教育での利用

杉山 貴俊<sup>†</sup> 岸本 貞弥<sup>††</sup> 櫻井 鉄也<sup>†</sup> 北川 高嗣<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1

<sup>††</sup> 元筑波大学大学院システム情報工学研究科

E-mail: <sup>†</sup>sugiyama@mma.cs.tsukuba.ac.jp

あらまし 本論文では数理分野を対象とした問題解決支援システムの数学教育への応用について述べる。これまで我々は問題解決支援システムのプロトタイプである “MathGUIDe” の実装を行ってきた。本システムでは、GUI による数式の作成が可能であり、作成した数式を用いた数式検索、計算、グラフ描画が可能である。本システムの具体的な応用例の一つとして、数学教育での利用が挙げられる。そこで、本研究では数学教育として高等学校における授業を取り上げ、“MathGUIDe” を拡張して、対象ユーザを数学教師とした授業支援システム “MathGUIDe/class” を実装する。また、実装したシステムを用いて実験授業を行いその結果について述べる。

キーワード 問題解決、数学教育、授業支援システム

## An Application of “MathGUIDe”, Problem-Solving Support System for Mathematical Sciences, to Mathematics Education

Takatoshi SUGIYAMA<sup>†</sup>, Sadaya KISHIMOTO<sup>††</sup>, Tetsuya SAKURAI<sup>†</sup>, and Takashi KITAGAWA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba Tennodai 1-1-1,  
Tsukuba, Ibaraki, 305-8577 Japan

<sup>††</sup> Former Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

E-mail: <sup>†</sup>sugiyama@mma.cs.tsukuba.ac.jp

**Abstract** We describe an application of problem-solving support system for mathematical sciences to mathematics education. We have implemented “MathGUIDe”, the prototype system of problem-solving support system. Using “MathGUIDe”, we are able to write formula with GUI, use formula as query for information retrieval systems, calculate something, and draw graphs. One of a practical application of this system is to use it for mathematics education. We take math classes in high school as a mathematics education, and we implement a classes support system “MathGUIDe/class” by expanding “MathGUIDe”. We also show some experimental results obtained by experimental lessons by using this system.

**Key words** Problem-Solving, Mathematics Education, Support System for Classes

### 1. ま え が き

現在、研究や教育において計算機が広く用いられている。このような中で、問題解決環境 (Problem Solving Environment: PSE) [1] の研究の重要性が高まってきている。PSE とは『コンピュータ関係の特別の知識やスキルを必要とせず、問題を解決するための計算ハードウェアとソフトウェア環境』のことである。数理的な分野の問題解決においては、計算をする際、ユーザ自らがプログラミング言語を習得し、プログラムを作成しなければならない。加えて、数理ソフトウェアごとにプログラム

記述の方法が異なるため、複数のソフトウェアを使う場合には、ユーザはそれぞれのプログラミング言語を習得しなければならない。このように数理分野における問題解決環境は整備されていないのが現状である。

そこで、我々は数理分野を対象とした問題解決支援システムを提案し、問題解決支援システムのプロトタイプである “MathGUIDe” を実装した [2]。 “MathGUIDe” によって GUI による数式の作成が可能となり、数式の検索、計算、グラフ描画が可能となった。

問題解決支援システムの応用分野の一つとして数学教育が挙

げられる．問題解決支援システムの持つ数式の検索，計算，グラフ描画の機能を，数学を理解するために使用することで数学教育を支援するシステムとして使用可能である．そこで，本研究では“MathGUIDe”を用いた数学の授業支援システムを実装し，高等学校において実験授業を行う．

## 2. 問題解決支援システム

### 2.1 問題解決支援

まず本研究では，数式の意味や用途など数式に関する情報，数値計算データ，グラフデータを問題解決支援情報と位置づける．数理分野における問題解決においては様々な問題解決手順が存在する．問題解決の過程の例を図1に示す．

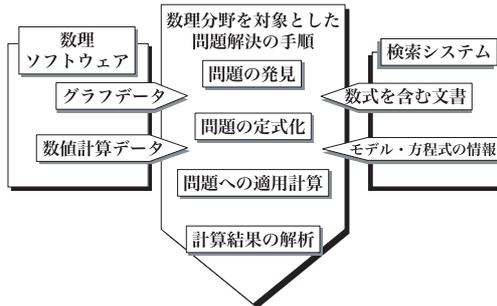


図1 問題解決の過程

図1に示すように，問題解決の過程において，ユーザは検索システムや数理ソフトウェアを用いることにより，検索結果，計算結果，グラフデータなどの問題解決支援情報を得ながら問題解決を進めていく．検索，計算，グラフ描画の機能を持つシステムを用いることは，ユーザにとって問題解決の支援となる．

### 2.2 メタシステムとしての数理分野を対象とした問題解決支援システム

本研究では，数理ソフトウェアや検索システムを問題解決支援ツールと考える．数理分野における問題解決においては，問題解決支援ツール群を使用する．一般に数理ソフトウェアでは，ソースコードによって命令を記述する．これには，数式の構造が複雑になるほどデータの構造も煩雑になり，記述するのが困難になってしまうという問題点がある．さらに，ユーザ自身が命令コードを覚えなくてはならず，数理ソフトウェアごとにソースコードの仕様が違うため複数の数理ソフトウェアを使用するためには，複数の仕方を覚えなくてはならない．また検索においても，従来の検索では言葉での検索を採用しており数式まで考慮した検索ではなかったため，適切な情報が得られるとは限らなかった．

そこで，我々はこれらの問題点を解消するメタシステムとして，数理分野における問題解決支援システムを提案した[2]．提案システムでは，入力を行うアプリケーションと問題解決支援ツール群がトランスレータを介することで繋がっている．図2にメタシステムの概略図を示す．

問題解決に際して，ユーザはこのシステムを用いて情報検索や計算などを行うことができる．ユーザはシステム上で数式を

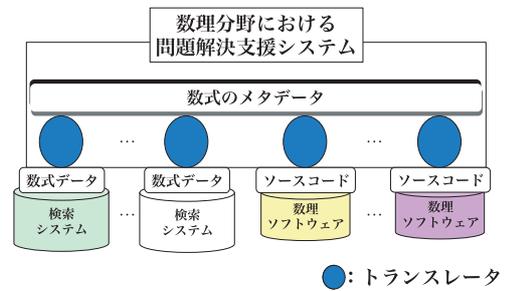


図2 問題解決支援システムの概略図

作成し，数式を中心として各検索システムや数理ソフトウェアを利用できる．そのため，検索システムと数理ソフトウェアを共通のインターフェースで利用可能となり，ソフトウェアごとの書式を考慮する必要がない．

## 3. 問題解決支援システム“MathGUIDe”

先行研究において，問題解決支援システムのプロトタイプである“MathGUIDe”を提案した[2]．“MathGUIDe”では，Box型構造文法[3]によって数式の作成・変換を可能としている．このBox型構造文法によって，他の数理ソフトウェアを利用可能としている．“MathGUIDe”では，計算・グラフ描画にフリーの数値計算ソフトウェアである“Scilab”[7]を用いている．Scilabを用いることによって，高度な数値計算やグラフ描画が可能となる．“MathGUIDe”の概観を図3に示す．

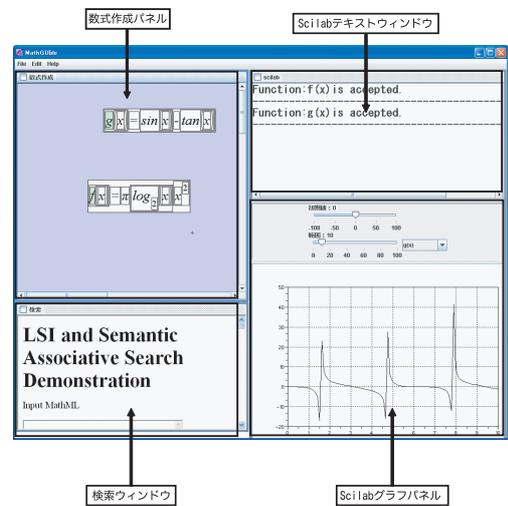


図3 “MathGUIDe”の概観

### 3.1 Box

Box[3]は，数式の表記に関するデータ構造を表すものであり，XML形式を用いて表現する．Boxを用いることによって，2次元的な数式表記が可能となる．また，Boxを入れ子構造にすることで，複雑な数式構造を表現することができる．図4にBoxの例を示す．

Boxは2次元的な数式表記が可能となるが，意味に関する情報を持っていないため，そのBoxが何を意味しているのかわからないことがある．例えば図5のBoxを表1のようなBox構

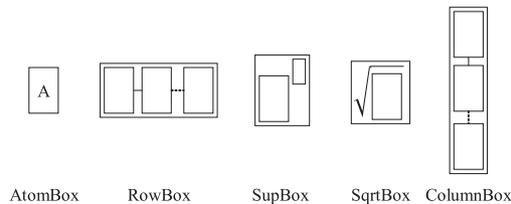


図 4 Box の例

造で表すと、A の右上に T があるという表記に関する情報のみを持っており、この構造は転置行列を表すのか、A の T 乗を表すのかこれだけでは判断できない。

そこで Box データに意味に関する情報も持たせることができるよう、XML 形式で表した Box データに対して属性として意味を付加する方法が提案された [4]。

例として、表 2 に、表 1 の Box 構造に transpose(転置)であるという意味を持たせた Box 構造を示す。このように、自然な数式表現が可能な Box データを用いて、意味を持った数式ソフトウェアの数式データを表すことができるようになる。



図 5 意味を確定できない Box の例

表 1 意味を持たない SupBox

```
<SupBox>
  <AtomBox char="A" />
  <AtomBox char="T" />
</SupBox>
```

表 2 意味を持つ SupBox

```
<SupBox content="transpose">
  <AtomBox char="A" />
  <AtomBox char="T" />
</SupBox>
```

### 3.2 Rings Menu

“MathGUIde”では、Rings Menu [5] を用いて数式を作成する。Rings Menu には数式や命令の Box テンプレートを登録でき、外側の Ring 中のテンプレートを選択すると、そのサブメニューが内側の Ring に出現する。このようにすることで、複数階層の構造を表現することができる。Rings Menu においては、内側から外側でなく外側から内側にメニューを展開してゆく。内側から外側にメニューを展開していくと、外側のメニューを選択する際に Ring 中の反対側にあるメニューを選択したい場合、内側に入らないように回り込んで選択をしなければならぬ。これを逆にすることで、内側に入り込んで親メニューが変わらずにすむので、高速な入力が可能となる。

### 3.3 MathML

本研究では、数式用マークアップ言語 MathML (Mathematical Markup Language) [6] を数式のメタデータとして使用する。MathML は、XML の応用言語の一つで、数学的な表記をする際に構造と内容の両方を書き表すことができるものである。現在、W3C(World Wide Web Consortium) の勧告として、MathML Version 2.0 が公開され普及が進められている。MathML の記述方式として、Presentation Markup(表記記述)と Content Markup(内容記述)の2つの方式があるが、本研究では意味を表現できる Content Markup を使用する。

### 3.4 Scilab

Scilab [7] は、フランスの INRIA と ENPC で開発された高機能な数値計算ソフトウェアである。Scilab は、高度な数値演算ライブラリを使用しており、数値演算のみならず、行列の固有値計算や各種のシミュレーション、最適化計算、制御系設計、信号処理等に使用することが可能である。また、関数のグラフィック表示機能も充実している。現在、フリーソフトとして配布されており、コマンドが数値計算ソフトウェア “MATLAB” に似ているという特徴がある。

さらに、Scilab には Java アプリケーションとのインタフェースを構築するためのパッケージが用意されており、Java アプリケーションから Scilab のコマンドを実行することが可能である。

## 4. 数学教育への応用

プロトタイプシステム “MathGUIde” では、数式の計算やグラフ描画が可能である。これらの機能を数学を理解するために使用することで数学教育を支援するシステムとして利用可能である。そこで本研究では、高等学校における数学教育を対象として、“MathGUIde” を数学教育へ応用する。問題解決支援システム “MathGUIde” の高校数学教育への応用の仕方としては、以下のようなことが考えられる。

- 授業支援システム
- コンテンツ作成システム
- 自習システム

高校数学教育における授業の重要度は高いと考えられるので、本研究では “MathGUIde” を授業支援システムへ応用したシステム “MathGUIde/class” を実装する。

一般に数学の授業では、数式の提示や計算、グラフ描画を通して生徒の数学的な内容理解を図る。“MathGUIde” は、数式の表示・計算・グラフ描画といった情報提示機能を持つため、授業支援システムとして用いることが可能である。また、“MathGUIde” は、数式に含まれるパラメータを変化させてグラフの変化を見ることが可能であり、板書ではできないグラフの動的な表示も行うことができる。

授業支援システムの実装にあたって、本研究ではレイアウト・インタフェースの2つの観点に基づいて実装を行った。本研究におけるレイアウトとは画面の構成や見た目、表示内容を指し、インタフェースはシステム操作や操作デバイスを指す。

実装の例を以下に示す．

- レイアウト
  - 教室という場所を考慮した画面の再構成，文字の拡大
  - Box の表示枠の消去による，より自然な数式表示
- インタフェース
  - ワンクリックでグラフの動的表示
  - ワイヤレス操作デバイスとして，Wii リモコンの導入
  - 書き込み可能な表示デバイスとして，WOL マグネットスクリーンの導入

スクリーンの導入

図 6 に “MathGUIDe/class” の画面例を示す．

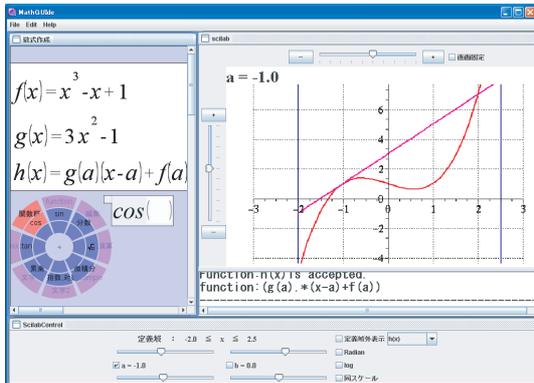


図 6 問題解決支援システム “MathGUIDe/class” の画面例．

## 5. 実 験

筑波大学附属坂戸高等学校において実験授業を行った．授業の内容としては，数学 I の 2 次関数や 2 次不等式である．実験授業後，生徒にアンケートをとり，教師に使用感について意見をいただいた．実験授業は，一般的な教室で行い，システムの操作は基本的に教師が行った．また，ビデオ撮影も行った．図 7 は授業の様子である．

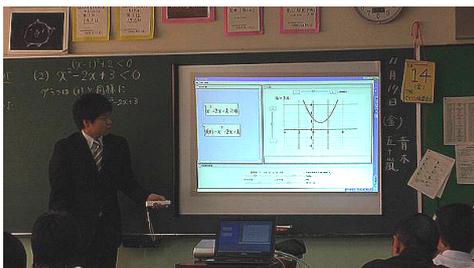


図 7 授業の様子

### 結果と考察

図 8 に授業内容を理解するのに役立ったかという質問に対する，1 年 A,D 組のアンケート結果，表 3 に生徒へのアンケートの自由記述に書かれていた意見，表 4 に教師からの意見を示す．

実験およびアンケート，教師の意見を踏まえ，本システムは授業支援システムとして適用可能であることが確認できた．図 8 から多くの生徒は本システムを使った授業が役に立つと感じており，本システムは授業支援システムとして有用であると言える．

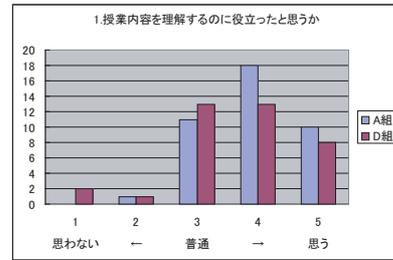


図 8 理解するのに役立ったと思うか

表 3 アンケートの自由記述

- 楽しかった
- グラフが変わっていく様子が見れてよかった
- 教師が一人で動かしたほうが，アシスタントが動かすより早い
- グラフに直接書き込めるのがよい
- Wii リモコンが出てくるとは思わなかった
- 画面，文字，数字が小さくて見えない

表 4 教師からの意見

- 視覚的・動的にグラフを見せられたのはよい
- 生徒の理解が早かったように感じられた
- 書き込みできるのは，教える上で便利
- Wii リモコンでは，微妙な調整が難しい
- 授業時間が短く使うタイミングが難しい

特に動的な表示など，黒板では表現が難しいことに対して有効であると考えられる．また，教師が Wii リモコンを取り出したときに歓声があがった．授業中に Wii リモコンを使ってみたいという声もあがっていた．このように，Wii リモコンのようなゲームで使う機器など，生徒が興味を持つデバイスを用いることで，授業に対する注目度をあげることが期待できる．実験を通して，授業支援システムとして重要なことは，授業という特定の使用状況であることを考慮する，教師が一人で授業の流れを止めずに授業できる，画面への書き込みのように従来の授業においてできたことが新システムを導入してもできるということであると分かった．

また，数学教育においては生徒に自分で考える力を身に付けさせなくてはならず，システムが答えを全て提示する必要はない．そこで，本システムのような PC を用いた授業支援システムは，例えば単元や章の導入部などにおいて，これから学ぶことのイメージをもたせるために使用する方法が適していると考えられる．

なお，こういった授業支援システムを導入する際に特別な機器を用意したりする必要があり導入コストが高くなってしまう場合が多いが，本研究ではリモコンやスクリーンの導入程度ですむため，導入コストは安い．

肯定的な意見が多かったが，否定的な意見もみられた．ボタンをポイントし難いといった問題点があり，インタフェースに関して改良が必要と考えられる．

## 6. まとめと今後の課題

本稿では，問題解決支援システム “MathGUIDe” の数学教育

への応用について述べた。数学教育として、高等学校における授業を取り上げ、授業支援システム “MathGUIDe/class” の構築を行った。また、高等学校において “MathGUIDe/class” を用いた実験授業を行い、本システムは授業支援システムとして適用可能であることを確認した。今後の課題としては、他の授業内容での実験や教育的評価が挙げられる。

#### 文 献

- [1] 川田重夫, 田子精男, 梅谷征雄, 南 多善 共著, “PSE BOOK [基礎編], [応用編]” 培風館, 2005.
- [2] S. Kishimoto, M. Murakata, T. Nakanishi, T. Sakurai, T. Kitagawa, “Problem-Solving Support System for Mathematical Sciences”, Proc. the Third IEEE International Workshop on Databases for Next-Generation Researchers, Istanbul, pp. 79-84, 2007.
- [3] 櫻井鉄也, 趙燕結, 杉浦洋, 鳥居達生, “自然な数式表記のためのユーザインタフェース,” 日本応用数理学会論文誌, vol.6, no.1, pp.147-157, 1996.
- [4] 大塚透, 櫻井鉄也, “拡張可能な GUI システム “exGUIDe” を用いた数理ソフトウェア利用支援”, 日本応用数理学会 2004 年度年会講演予稿集.
- [5] 大塚透, “数理ソフトウェアのための入力支援システム生成系に関する研究”, 筑波大学修士論文, 2005.
- [6] W3C. “W3C Math Home”, <http://www.w3.org/Math/>
- [7] Inria. “Scilab Home Page”, <http://www.scilab.org/>