

# 数理分野における問題解決支援 Web アプリケーションの構築

岸本 貞 弥<sup>†</sup> 村方 衛<sup>†</sup> 芳村 亮<sup>†</sup>  
宮崎 裕 久<sup>††</sup> 佐久間 雄和<sup>††</sup> 塩川 浩 昭<sup>††</sup>

近年, 研究者が高度な情報環境を利用して研究を行うために, 問題解決環境 (problem-solving environment: PSE) の重要性が高まっている. しかしながら, 数式を含む数理文書に対する情報検索や数式の計算については, ユーザの専門的な知識やプログラミング・スキルが必要となり, 数理分野を対象としたコンピュータを用いた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, 本稿ではメタシステムとして問題解決支援システムを提案する. また, これまで我々は MathML で記述された数式を問い合わせとして数式データを対象とした複合連想検索システムを実現した. さらに, 複合連想検索システムへの問い合わせ機能を持つ数式エディタ “MathGUIDe” を実現した. そこで提案システムを, 数式データを対象とした複合連想検索システムと数式エディタ “MathGUIDe” を用いてプロトタイプとして実現する.

## A Web-based Application of Problem-Solving Support for Mathematical Sciences

SADAYA KISHIMOTO,<sup>†</sup> MAMORU MURAKATA,<sup>†</sup> RYO YOSHIMURA,<sup>†</sup>  
HIROHISA MIYAZAKI,<sup>††</sup> YUTO SAKUMA<sup>††</sup> and HIROAKI SIOKAWA<sup>††</sup>

Recently, the demand for problem solving environment (PSE) is rising. We present problem-solving support system for mathematical sciences as a meta system. We have implemented a function of similarity-based retrieval for formulas with Latent Semantic Indexing (LSI), using formulas encoded by MathML as queries. And we have implemented a function of semantic associative search applied to mathematical terms. In addition, we have implemented composite association retrieval system for data of mathematical formulas and propose a GUI system which is suitable for use with this retrieval system. In this paper, we present problem-solving support system for mathematical sciences with those system we have implemented.

### 1. はじめに

研究者が高度な IT (Information Technology) を利用して研究を行うために問題解決環境 (problem solving environment: PSE)<sup>1),2)</sup> の重要性が高まっている. PSE の定義とは, 『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』である.

数理的な分野の問題解決においては, 例えば計算をする際に, ユーザ自らがプログラム技術を習得し, プログラムを作成する必要がある. また, 数理的な文書やプログラムを検索する際には, 数理的な表現を言葉に置き換えて検索エンジンに問い合わせをしなければ

ならず, 必ずしも適切な情報が得られるとは限らない. このように数理的な分野におけるコンピュータを用いた問題解決環境は整備されていないのが現状である.

現在, Mathematical Markup Language (MathML)<sup>3)</sup> の仕様が公表され, Web 上の数式を含む文書における数式が利用できる状況にある. これまで我々は Latent Semantic Indexing (LSI)<sup>4)</sup> を用いて MathML で記述された数式を問い合わせとして類似数式検索<sup>5)</sup> を実現した. また, 特定分野を対象とした連想検索のためのメタデータ空間生成し, 意味の数学モデルに適用する

---

この定義は文献 2) の記述である. 文献 1) では下記の通り. “A PSE is a computer system that provides all the computational facilities needed to solve a target class of problems. These features include advanced solution methods, automatic and semiautomatic selection of solution methods, and ways to easily incorporate novel solution methods. Moreover, PSEs use the language of the target class of problems, so users can run them without specialized knowledge of the underlying computer hardware or software.”

<sup>†</sup> 筑波大学大学院 システム情報工学研究科  
Graduate School of Systems and Information Engineering,  
University of Tsukuba

<sup>††</sup> 筑波大学 第三学群 情報学類  
College of Information Sciences, Third Cluster of Colleges,  
University of Tsukuba

ことで数学用語等の言葉を適用した意味的連想検索<sup>6)</sup>を実現した。さらにこの類似数式検索と、数学用語等の言葉を適用した意味的連想検索を連結した数式データを対象とした複合連想検索<sup>7)</sup>を実現した。

本稿では、メタシステムとして問題解決支援システムを提案する。そして、数式データを対象とした複合連想検索システムとこの検索システムへの問い合わせ機能を持つ数式エディタ“MathGUIDe”<sup>8)</sup>を用いてプロトタイプとして問題解決支援システムを実装する。これにより、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。

まず、2節では問題解決支援システムについて述べる。次に、3節では数式データを対象とした複合連想検索について述べ、4節では数式エディタ“MathGUIDe”について述べる。5節では、数式データを対象とした複合連想検索と数式エディタ“MathGUIDe”を用いた問題解決支援システムのプロトタイプについて述べる。6節には、フリー百科事典「ウィキペディア (Wikipedia)」<sup>9)</sup>中に現れる数式を対象とした類似数式検索の実験例を示す。これは数式データを対象とした複合連想検索の対象を、実際の Web 上のデータを対象とするための実験である。

## 2. 数理分野における問題解決支援システム

本節ではまず数理分野における問題解決支援について述べる。次に、数理分野における問題解決支援システムをメタシステムとしての提案する。

### 2.1 数理分野における問題解決支援

数理的な分野における問題解決においてはさまざまなプロセスやアプローチが存在する。例として、一般的な問題解決の手順を以下に示す。

- (1) 問題の探索・発見
- (2) 問題の本質の見極め
- (3) 問題の数理モデル化
- (4) 数式の計算モデル化
- (5) プログラミング
- (6) プログラムの正当性の検証
- (7) 問題への適用計算
- (8) 計算結果の解析

図1に示すように、問題解決の過程においてユーザは情報を得ながら問題解決を行う。ユーザは検索システムを用いて文書を参照したり、数理ソフトウェアを用いて計算やグラフの描画を行ったりする。問題解決のための情報を提供することはユーザにとって問題解決の支援となる。本稿での問題解決支援とは、問題解決のための情報を提供することである。

#### 2.1.1 数理分野における問題解決支援システム

現在様々な数理ソフトウェアが存在するが、それぞ

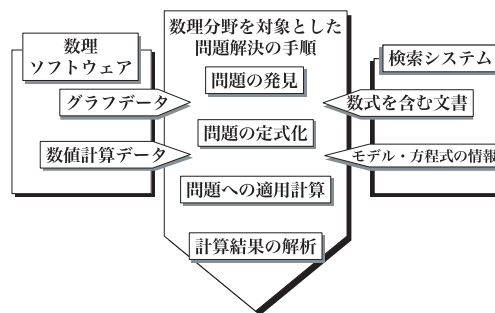
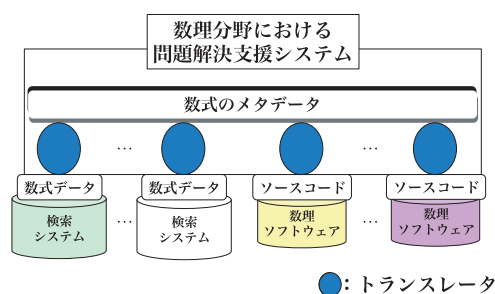


図1 問題解決の手順と問題解決のための情報

Fig. 1 a way of problem-solving and some information for problem-solving



●: トランスレータ

図2 問題解決支援システムの概略図

Fig. 2 a picture of problem-solving support system

れのソフトウェアごとにソースコードの書式が異なる。同じ数式を計算する場合でも、ソフトウェアごとに異なるソースコードをユーザ自身が書き分ける必要がある。また、数理分野における問題解決において数式は重要な情報であるが、現存する検索システムにおいてそのほとんどが、言葉による問い合わせのみを採用している。そのため、必ずしも適切な情報が得られるとは限らない。

そこで、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する。メタシステムの概略図を図2に示す。メタシステムとそれぞれの検索システムや数理ソフトウェアは、トランスレータを介してつながっている。

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. 数式データを対象とした複合連想検索

本節では、提案システムと親和性の高い検索システムである数式データを対象とした複合連想検索につい

て述べる。

類似数式検索と数学用語等の言葉を適用した意味的連想検索を連結して、検索システムを実現することにより、言葉と数式からなる問い合わせに合致した統合された検索結果を得ることが可能となる。数式と言葉に対して類似検索を用いることで、個々に検索を適用する場合よりも優れた結果が得られる<sup>7)</sup>。

### 3.1 類似数式検索の実現方式

ここでは、類似数式検索の実現方式について概要を述べる。本方式は MathML で書かれた数式を対象として、与えられた数式とタグの構成が類似した数式を検索するシステムである。本方式の特徴は、数式の演算子に注目して検索を行うことにより、添え字や変数に使う文字の違いなどによる、記述方法が異なる数式においても同様の意味と捉えて検索可能な点にある。

#### 3.1.1 類似数式検索の概要

- (1) 検索対象の数式群よりデータ行列を自動作成  
まず、検索対象の MathML で記述された数式から、その数式の特徴を表すメタデータを抽出する。次にそれらを並べて構成するデータ行列を生成する。この行列により、検索対象となる数式データ群の類似度を計量する空間に表現することができる。
- (2) 問い合わせの数式よりメタデータを抽出  
検索対象の数式データと同様に、問い合わせとして与えられた MathML で記述された数式から、その数式の特徴を表すメタデータを抽出する。
- (3) 類似度を計量  
上記項目 (1),(2) により抽出されたメタデータから、類似度を計量し、その値の大きい順にソートする。これにより、問い合わせの数式とタグの構成が類似した数式が検索される。本方式では、類似度の尺度としてコサイン尺度を用いている。

### 3.2 数学用語等の言葉を適用した意味的連想検索の実現方式

ここでは、数学用語等の言葉を適用した意味的連想検索の実現方式について概要を述べる。特定分野を対象とした連想検索のためのメタデータ空間生成し、意味の数学モデルに適用することでこれを実現している。これによって、問い合わせの語に関連する語を検索することができる。

#### 3.2.1 意味の数学モデルの概要

本節では、人間が様々な印象を表す際に用いられる単語(以下、印象語)によって表現した問い合わせに対応した情報群を検索することを目的とした意味の数学モデルの概要を示す。詳細は文献<sup>10)~12)</sup> に述べられている。

- (1) メタデータ空間  $MDS$  の設定  
メタデータ空間生成方式については、3.2.2 節

で示す。

- (2) 検索対象データのメタデータをメタデータ空間  $MDS$  へ写像

設定されたメタデータ空間  $MDS$  へ、検索対象データのメタデータをベクトル化し写像する。これにより、検索対象データ間の意味的な関係を空間上での距離として計算することが可能となる。

- (3) メタデータ空間  $MDS$  の部分空間の選択  
利用者は与える文脈を複数の印象語を用いて表現する。ユーザが与える印象語の集合をコンテキストと呼ぶ。このコンテキストを用いてメタデータ空間  $MDS$  に各コンテキストに対応するベクトルを写像する。これらのベクトルは、メタデータ空間  $MDS$  において合成され、部分空間が選択される。
- (4) メタデータ空間  $MDS$  の部分空間における相関の定量化

選択されたメタデータ空間  $MDS$  の部分空間において、検索対象データベクトルと検索語列との相関を計量する。メタデータ空間に写像された検索対象データベクトルの部分空間におけるノルムを求めることにより、文脈に対応した検索対象データの探索を行う。部分空間における検索対象データベクトルのノルムの大きさをその文脈と検索対象データとの関連の強さとする。

#### 3.2.2 メタデータ空間生成方式

本節では、特定分野を対象としたメタデータ空間を、語とページの関係が記述されている書籍の索引を用いて生成する方式を示す。本方式では、検索対象を包含する特定分野について書かれた書籍が存在することを前提としている。本方式は以下の流れで実現する。

- (1) 初期行列の設定  
まず、対象とする特定分野について書かれた書籍の索引を参照する。索引に出現するキーワードとなる語を特徴語とみなし、索引情報から各ページ数を用いて特徴付ける。

$$p_i = (f_{i1}, f_{i2}, \dots, f_{in}) \quad (1)$$

ここで  $i$  はページ数、 $f_{ik}$  は特徴語に対応したページ数について特徴付けた値である。特徴付ける  $f_{ik}$  の値は、以下のように決定される。

- 索引中で特徴語がそのページ数を参照している場合: "1"
- 索引中で特徴語がそのページ数を参照していない場合: "0"

以上から、 $p_i$  を用いて、 $(p_1, p_2, \dots, p_m)^T$  とすることによって、図 3 のような  $m$  行  $n$  列の初期データ行列  $M_0$  を作成する。

- (2) 初期データ行列の修正によるデータ行列の生成  
(1) で作成した初期データ行列  $M_0$  には、ペー

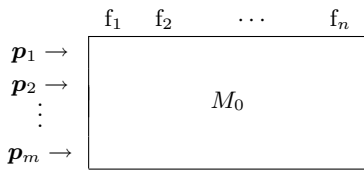


図 3 初期データ行列  $M_0$  によるメタデータの表現.

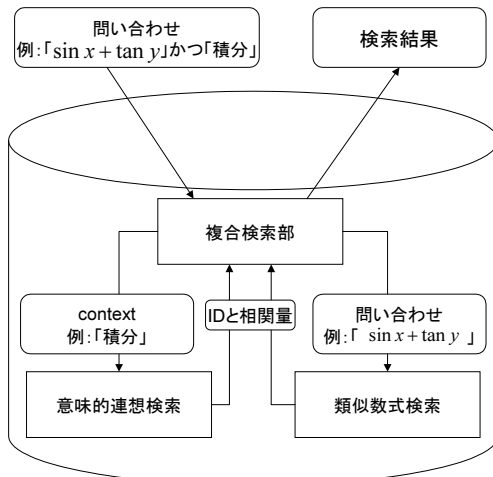


図 4 複合連想検索方式の全体図

Fig. 4 a picture of Composite Association Retrieval

ジと語の関係を表す行列となっており、ページ同士の関係が反映されていない。初期データ行列  $M_0$  にページ同士の関係を反映するように修正してデータ行列  $M$  を生成する。

一般的に書籍には目次が付いており、これらの情報を反映することにより、ページ同士の関係を反映したデータ行列  $M$  が生成可能となる。以上により、 $m$  行  $n + \alpha$  列のデータ行列  $M$  を生成できる。ここで、 $\alpha$  は特徴を追加した場合の要素の増加分を表す。

### (3) 相関行列 $M^T M$ からメタデータ空間生成

(2) で生成されたデータ行列  $M$  の相関行列  $M^T M$  を計算すると、 $n + \alpha$  行  $n + \alpha$  列の行列となる。これは特徴語と特徴語の関係を示す行列となる。よって、この相関行列  $M^T M$  を固有値分解し、非ゼロ固有値に対応する固有ベクトルによってメタデータ空間を生成する。

これにより、語と語の関係を計量するメタデータ空間の構成が可能となる。

### 3.3 数式データを対象とした複合連想検索の実現方式

数式を対象とした複合連想検索方式の全体概要図を図 4 に示す。本方式は次の流れで実現される。

#### Step1: 問い合わせ発行

ユーザに検索のための問い合わせを入力してもらう。本方式では、ユーザからの問い合わせは、

数式と言葉 (数学用語) から与えられることを想定している。

#### Step2: 問い合わせの振り分け

ユーザからの問い合わせを数式は類似数式検索機構に、言葉は意味的連想検索機構に振り分ける。ここで、意味的連想検索における問い合わせは、1 つ以上の言葉により構成される文脈としている。そのためこの問い合わせを context と呼ぶ。

#### Step3: 各検索機構による結果の統合

各検索機構の結果を基本統合演算子によって統合し、問い合わせに対する検索結果としてユーザに返す。

## 4. 検索システムへの問い合わせ機能を持つ数式エディタ “MathGUIde”

本節では、まず、検索システムへの問い合わせ機能を持つ数式エディタ “MathGUIde” の GUI システムに用いている “exGUIde”<sup>13)</sup> について述べる。次に、MathGUIde について述べる。

### 4.1 exGUIde

exGUIde では、構造文法を与えるだけで、対象とする数理ソフトウェア用の入力支援システムを構築できる。そのため、GUI の部分を開発する必要がなくなり、これまでよりも簡単に入力支援システムを構築することができるようになる。また、数理ソフトウェアの仕様に変更が生じた場合も、構造文法を変更するだけで新しい入力支援システムを生成できるため、入力支援システムの開発を効率的に行うことができる。

#### 4.1.1 exGUIde のシステム概要

図 5 に exGUIde のシステム概要を示す。exGUIde では、まず、対象とする数理ソフトウェアの 4.1.2 節で述べる BSG 中の構造規則をテンプレートに適用する。こうすることで、構造規則で定義された Box をテンプレートとして入力できるようになる。ユーザはこの Box テンプレートを利用して Box を入力する。入力が終わったら、入力した Box データに対してパーサに記述された変換規則を適用する。これにより、Box データは対象とする数理ソフトウェアのソースコードに変換される。そして、変換されたソースコードを exGUIde が出力し、ユーザは目的とする数理ソフトウェアのソースコードを得ることができる。

#### 4.1.2 Box 型構造文法 BSG

exGUIde では、構造文法として Box 型構造文法 (BSG:Box-type Structure Grammar) を用いる。BSG は構造規則と変換規則から構成される。以下ではそれぞれの要素について示す。

#### ● 構造規則

構造規則中には、Box<sup>14)</sup> と呼ばれるデータ構造を用いて 2 次元的な表記を持った数理ソフトウェアの仕様を記述する。図 6 に構造規則に定義でき

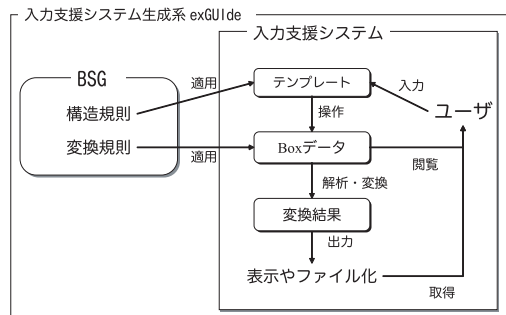


図 5 exGUIDe のシステム概要

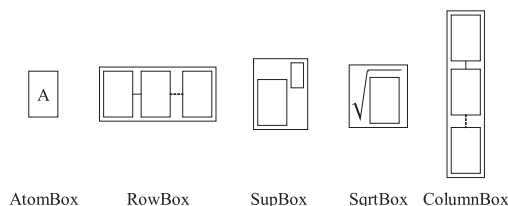


図 6 Box の例

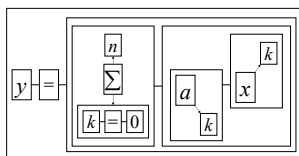


図 7 複雑な Box 構造の例

る Box の例を示す．これらの Box を入れ子構造にすることで，複雑な数式構造も表現することができる．例として数式  $y = \sum_{k=0}^n a_k x^k$  を Box 構造を用いて表したものを図 7 に示す．構造規則中では，これらの Box を XML 形式で記述する．数式  $A^T$  を Box で表したものを表 1 に示す．ここで，XML では属性を用いて Box 構造の意味を記述することができる．表 2 では content="transpose" の部分がこの Box 構造の意味を示している． $A^T$  という構造だけではこれが何を意味するのかを判断することはできないが，属性によってこの構造は A の転置行列を意味するということを明示できる．

● 変換規則

変換規則は入力された Box データを解析し，対象とする数理ソフトウェアのソースコードに変換するための規則を記述する．

4.2 MathGUIDe

“MathGUIDe” はマウスやキーボードを用いて数式

表 1 SupBox

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

表 2 意味を持った SupBox

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

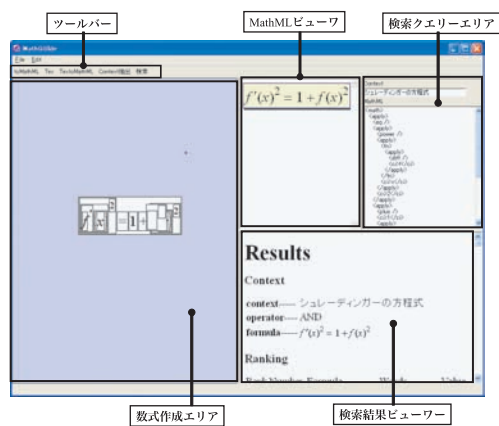


図 8 MathGUIDe の画面例と各コンポーネントの説明

を作成できるソフトウェアであり，複合連想検索システムへの問い合わせ機能を持つ．また，検索システムの結果出力ウィンドウを持つ．図 8 にその画面例を示す．

4.2.1 MathGUIDe のシステム概要

MathGUIDe は，exGUIDe に MathML 用構造文法の定義を行い，exGUIDe によって生成された入力支援システムの機能を基本モジュールとしている．数式入力は，Box 型構造文法で記述した数式の 2 次元的構造を記述した構造規則と構造規則を MathML に変換する変換規則からなる MathML 用構造文法を定義し，exGUIDe によって生成された入力支援システムを用いて行う．

5. 数理分野を対象とした問題解決支援システムのプロトタイプ

2 節で述べたような問題解決支援システムのプロトタイプを，数式エディタ “MathGUIDe” を用いて実現する．数式のメタデータとしては Box データを用いる．検索システムとして数式データを対象とした複合連想検索システム，数理ソフトウェアとして Scilab を

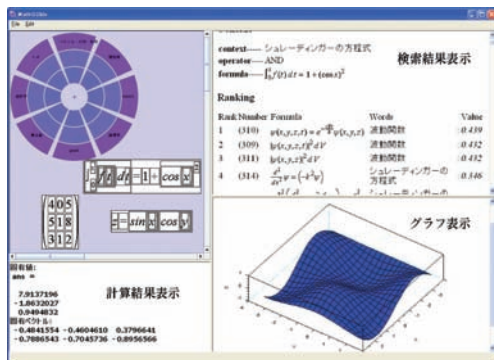


図 9 問題解決支援システムのプロトタイプイメージ

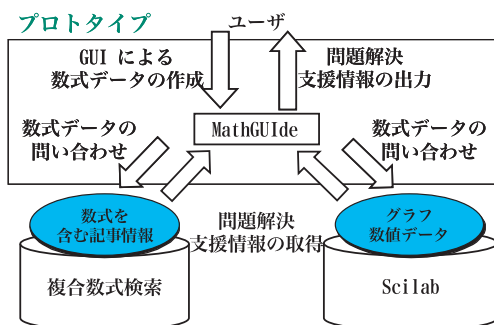


図 10 問題解決支援システムのシステム図

表 3 プロトタイプ A の実装環境

OS	WindowsXP HomeEdition SP2
CPU	Pentium4 2.80GHz
Memory	1GB
計算システム	Scilab-4.0
入力インタフェース	MathGUIDe
Language	Java2SE 5.0
JRE	1.5.0_10
DOM	Cerces
Java 開発環境	eclipse 3.2
構造規則	XML1.0
変換規則	Java2SE 5.0

用いる。図 9 に画面例のイメージを示す。また、プロトタイプシステムのシステム図を図 10 に示す。

### 5.1 提案システムのプロトタイプ A (スタンドアロン型) の実装

本節では、数理分野を対象とした問題解決支援システムのプロトタイプの実装のために、MathGUIDeの機能拡張を行った。ここで述べるスタンドアロン型のプロトタイプを“プロトタイプ A”とする。

#### 5.1.1 実装環境

表 3 にプロトタイプ A の実装環境について示す。MathGUIDe は Java を用いて実装されているために機能拡張も Java を用いた。

#### 5.1.2 実装項目

実装項目としては、トランスレータと出力ウィンド

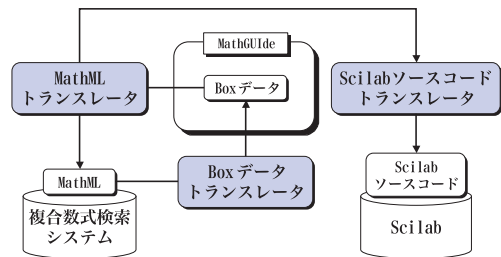


図 11 トランスレータの関連図

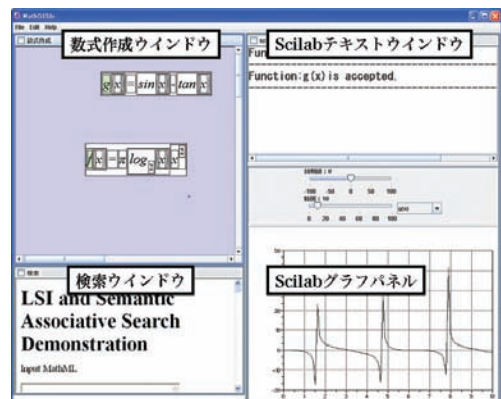


図 12 出力ウィンドウの外観

ウがある。トランスレータとしては、以下の 3 種類を実装した。トランスレータの関連図を図 11 に示す。出力ウィンドウは Scilab のターミナルへの出力を取得するテキストウィンドウと Scilab のグラフとスライダをセットにしたグラフパネルである。出力ウィンドウの外観を図 12 に示す。

- MathML トランスレータ  
Box データから MathML への変換を行う
- Box データトランスレータ  
MathML から Box データへの変換を行う
- Scilab ソースコードトランスレータ  
MathML から Scilab ソースコードへの変換を行う

#### 5.1.3 プロトタイプ A の使用例

使用例とその画面例を付録 A.1 に示す。

### 5.2 提案システムのプロトタイプ B (Web アプリケーション型) の実装

本節では、プロトタイプ A を参考に Web アプリケーション型のプロトタイプを実装する。ここで述べる Web アプリケーション型のプロトタイプを“プロトタイプ B”とする。数式作成部分の JavaApplet 化を行った。

#### 5.2.1 実装環境

表 4 にプロトタイプ B の動作環境 (クライアント) について、表 5 にプロトタイプ B の動作環境 (サーバ) について示す。開発環境はプロトタイプ A (表 3) と

表 4 プロトタイプ B の実装環境 (クライアント)

OS	WindowsXP Professional SP2
CPU	PentiumM 1.60GHz
Memory	512GB
JRE	1.5.0.06
DOM	Xerces
構造規則	XML1.0
変換規則	Java2SE 5.0
Web ブラウザ	IE7.0

表 5 プロトタイプ B の実装環境 (サーバ)

OS	WindowsXP Professional SP2
CPU	PentiumM 1.60GHz
Memory	512GB
Web サーバ	Apache 2.0.54

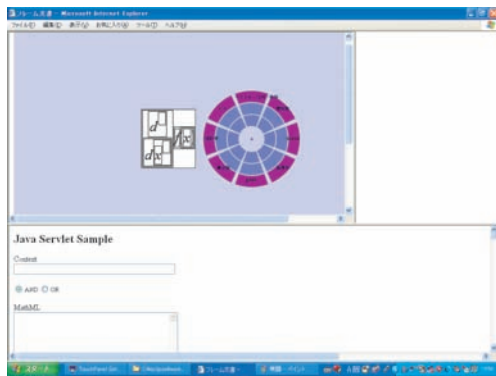


図 13 プロトタイプ B の外観

同様である。Java を用いて実装していた MathGUIDe の数式作成部分を JavaApplet 化した。

### 5.2.2 プロトタイプ B の動作例

動作している画面例を図 13 に示す。数式の作成、検索結果の取り込みが可能である。

## 6. 実 験

フリー百科事典「ウィキペディア (Wikipedia)」中に現れる数式を対象に類似数式検索の実験を行った。Wikipedia 中の数式は TeX 形式で書かれているため、TeX 形式で書かれた数式を TeX to MathML トランスレータ (Ttm)<sup>15)</sup> を用いて MathML に変換した。

### 6.1 実験環境

実験環境を表 6 に示す。また、MathML データの変換は Linux を用いて行った。

### 6.2 実験例

#### 6.2.1 実験方法

検索対象データとして、ウィキペディア日本語版のデータベースダウンロード<sup>16)</sup> から収集した 11,096 個の数式を用いた。検索対象データからの数式データの

表 6 実験環境.

OS :	Windows XP	Home Edition
数値計算ソフト :	Matlab	6.5
言語 :	Perl	version5.8.8
	Java	version1.5.0
Web ブラウザ :	Internet Explorer	version6.0
プラグイン :	MathPlayer	version2.0b
MathML		
トランスレータ :	Ttm	Linux version

表 7 実験結果 1-1.

問合せ : 「 $\sum_{k=1}^N k^2$ 」			
順位	ID	式	相関量
1	(115)	$\sum_{k=1}^N k^2$	1.000
2	(1480)	$\sum_{k=1}^{\infty} n^{-k!}$	0.982
2	(10501)	$\sum_{k=1}^{\infty} n^{-k!}$	0.982
4	(5407)	$\sum_{i=0}^n a_i x^{i+1} + \sum_{i=0}^n a_i x^i =$	0.974
4	(5408)	$\sum_{i=1}^{n+1} a_{i-1} x^i + \sum_{i=0}^n a_i x^i =$	0.974

表 8 実験結果 1-2.

問合せ : 「 $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ 」			
順位	ID	式	相関量
1	(176)	$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$	1.0000
1	(8937)	$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$	1.0000
3	(1165)	$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$	0.9852
3	(1166)	$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$	0.9852
5	(4591)	$e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$	0.9835

抽出には Perl, メタデータの抽出には Java を用いた。また、特異値分解には Matlab を用いた。

### 6.2.2 実験結果

検索結果として問合せ「 $\sum_{k=1}^N k^2$ 」の場合、問合せ「 $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ 」の場合をそれぞれ表 7, 表 8 に示す。また、問合せ「 $F = G \frac{Mm}{d^2}$ 」の場合を表 9 に示す。さらに、検索結果として問合せ「 $s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ 」の場合、問合せ「 $16r^2 y^4 (a^2 - 1) + 1 - u^2 = 0$ 」の場合をそれぞれ表 10, 表 11 に示す。これらは、検索結果の上位 5 件を示している。

実験結果 1-1, 1-2 において、類似している式が上位に上がっていることがわかる。しかしながら、類似した数式が多数ある場合は適合率の低下を招く恐れがある。

実験結果 1-3 において、実験結果 1-1, 1-2 と同様に

表 9 実験結果 1-3.

問合せ : 「 $F = G \frac{Mm}{d^2}$ 」			
順位	ID	式	相関量
1	(847)	$F = G \frac{Mm}{d^2}$	1.0000
1	(3504)	$\alpha \frac{1}{r} e^{-\kappa r}$	1.0000
3	(175)	$p = \frac{vE}{c^2}$	0.9997
3	(857)	$g = \frac{GM}{d^2}$	0.9997
3	(8936)	$p = \frac{vE}{c^2}$	0.9997
3	(9735)	$\frac{d\theta}{dt} = hu$	0.9997

表 10 実験結果 1-4.

問合せ : 「 $s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$ 」			
順位	ID	式	相関量
1	(212)	$s^2 = c^2 t^2 - x^2 - y^2 - z^2$	1.0000
1	(1423)	$x^2 + y^2 = r^2$	1.0000
1	(3214)	$x^2 + y^2 = z^2$	1.0000
1	(5602)	$x^2 + y^2 \ll r^2$	1.0000
1	(9658)	$x^5 + y^5 = z^5$	1.0000

表 11 実験結果 1-5.

問合せ : 「 $16r^2 y^4 (a^2 - 1) + 1 - u^2 = 0$ 」			
順位	ID	式	相関量
1	(1125)	$16r^2 y^4 (a^2 - 1) + 1 - u^2 = 0$	1.0000
1	(1377)	$x^2 + ay^2 - 1 = 0$	1.0000
3	(8990)	$x^3 + y^3 - 3axy = 0$	0.9999
4	(6659)	$3(3^3) = 3^2 7 = 7625597484987$	0.9994
4	(6660)	$(3^3)^3 = 27^3 = 19683$	0.9994

類似している式が上位に上がっていることがわかる。しかしながら、ID(3504)の式は構造が異なるが上位に上がってきている。これは、式の木構造を考慮していないため、式の構成要素がたまたま似ている場合にこのようなことが起こると考えられる。

実験結果 1-4, 1-5 において、どちらも累乗を含む式であるが、異なる結果が得られている。これによって、比較的簡単な式でも同じ式が上位に現れる現象が起こっていないことが確認できる。

### 6.2.3 考察

実験結果から、Web 上のデータに対しても類似数式検索の適用が可能であることがわかった。しかしながら、どの程度有効であるかは定量的な検証が必要である。また、大規模なデータにおいては、同じような数式が多く現れるため、類似数式検索のみでは対応が困難であると考えられる。

## 7. おわりに

本稿では、メタシステムとして問題解決支援システムを提案した。そして、数式データを対象とした複合連想検索システムとこの検索システムへの問い合わせ機能を持つ数式エディタ “MathGUIde”<sup>8)</sup> を用いてプ

ロタイプとして問題解決支援システムを実装した。さらに、その外観と使用例を示した。

これにより、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。また、Web 上のデータに対して類似数式検索を行った。

今後の課題として、Web 上のデータに対する複合連想検索の適用と評価、他の数理ソフトウェアを用いた計算機能の強化と多様化、文書を対象とした検索が挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、魅力ある大学院教育イニシアティブ「実践 IT 力を備えた高度情報学人材育成プログラム」による。

## 参考文献

- 1) Gallopoulos, E., Houstis, E. and Rice, J. R.: Computer as Thinker/Doer: Problem-Solving Environments for Computational Science, *IEEE Computational Science and Engineering*, Vol.01, No.2, pp.11-23 (1994).
- 2) 川田重夫, 田子精男, 梅谷征雄, 南 多善: PSE BOOK [基礎編] [応用編], 培風館 (2005).
- 3) W3C: W3C Math Home, <http://www.w3.org/Math/>.
- 4) Berry, M., Dumais, S. and O'Brien, G.: Using Linear Algebra for Intelligent Information Retrieval, *SIAM Review*, Vol.37, No.4, pp.573-595 (1995).
- 5) 岸本貞弥, 中西崇文, 櫻井鉄也, 北川高嗣, 栃木敏子: MathML を用いた類似数式検索方式の実現, 第 14 回データ工学ワークショップ (DEWS2003) 論文集, 電子情報通信学会, pp.6-P-07 (2003).
- 6) 中西崇文, 岸本貞弥, 櫻井鉄也, 北川高嗣: 複数の書籍の索引部を用いたメタデータ空間拡張統合方式, 日本データベース学会 Letters (DBSJ Letters), Vol.3, No.1, pp.141-144 (2004).
- 7) Kishimoto, S., Nakanishi, T., Murakata, M., Otsuka, T., Sakurai, T. and Kitagawa, T.: An Implementation Method of an Integrated Associative Search for Mathematical Expressions, *Proceedings of the IASTED International Conference on Databases and Applications*, pp.160-167 (2006).
- 8) 村方 衛, 岸本貞弥, 大塚 透, 中西崇文, 櫻井鉄也, 北川高嗣: 複合数式検索を対象とした入力支援 GUI “MathGUIde” の実現, 第 17 回データ工学ワークショップ (DEWS2006) 論文集, 電子情報通信学会, pp.6B-i7 (2006).
- 9) Wikipedia: フリー百科事典ウィキペディア日本語版, <http://ja.wikipedia.org/>.
- 10) Kitagawa, T. and Kiyoki, Y.: The Mathematical Model of Meaning and its Application



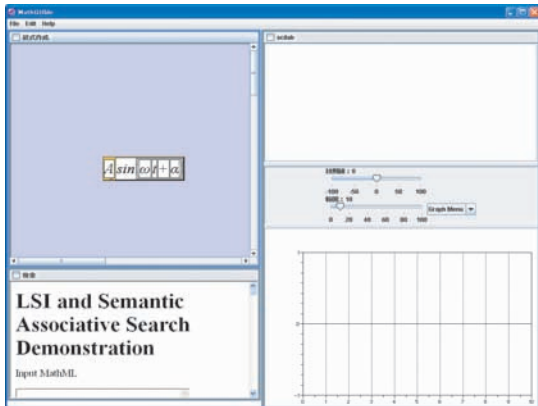
- to Multidatabase Systems, *Proceedings of 3rd IEEE International Workshop on Research Issues on Data Engineering, Interoperability in Multidatabase Systems*, pp.130–135 (1993).
- 11) Kiyoki, Y., Kitagawa, T. and Hayama, T.: A Metadatabase System for Semantic Image Search by a Mathematical Model of Meaning, *Multimedia Data Management: Using Metadata to Integrate and Apply Digital Media* (Sheth, A. and Klas, W., eds.), McGraw-Hill, pp.191–222 (1998).
  - 12) 清木 康, 金子昌史, 北川高嗣: 意味の数学モデルによる画像データベース探索方式とその学習機構, 電子情報通信学会論文誌 (D-II), Vol.J79-D-II, No.4, pp.509–519 (1996).
  - 13) 大塚 透, 櫻井鉄也: 拡張可能な GUI システム “exGUIDe” を用いた数値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, 日本応用数理学会 (2004).
  - 14) 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).
  - 15) Hutchinson, I.: TtM, A TeX to MathML Translator, <http://hutchinson.belmont.ma.us/tth/mml/>.
  - 16) Wikipedia: ウィキペディア日本語版のデータベースダウンロード, <http://download.wikimedia.org/jawiki/>.

## 付 録

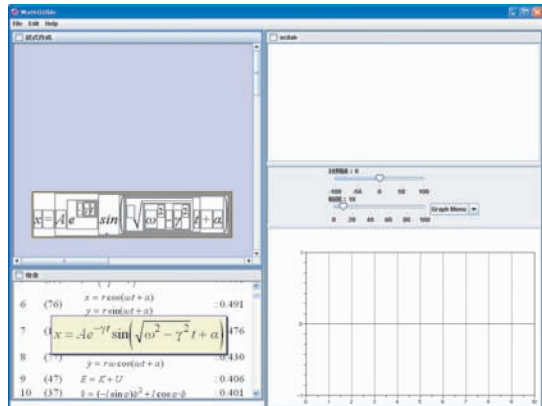
### A.1 プロトタイプの使用例

減衰運動を抵抗値を変えてシミュレーション行った。使用例を以下に, その画面例を図 14 に示す。図 14 の (d), (e), (f) より  $\gamma$  の値を大きくすると減衰が早くなる事がわかる。

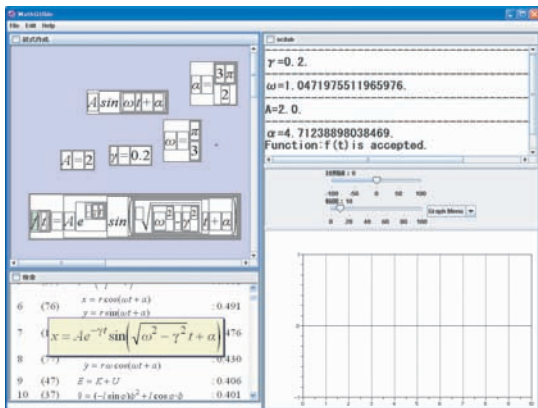
- (a) 減衰運動の数式を求めるために複合数式検索システムへ問い合わせる数式を作成する。
- (b) 減衰運動の数式を MathGUIDe 上にドラッグすることによって, MathGUIDe 上に取り込む。
- (c) パラメータの宣言と関数を Scilab に定義する。
- (d)  $\gamma = 0.6$  に設定したグラフを表示する。
- (e) パラメータの再定義を行い,  $\gamma = 0.2$  に設定したグラフを表示する。
- (f)  $\gamma = 0.9$  に設定したグラフを表示する。



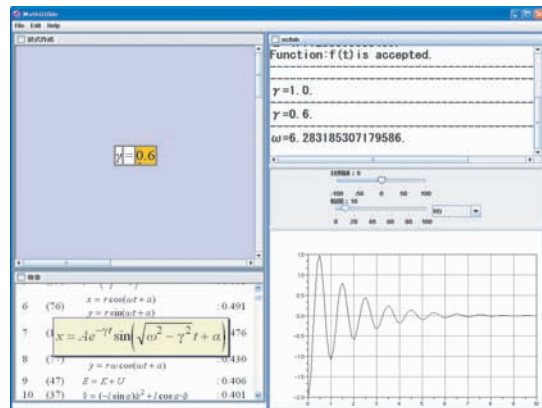
(a) 数式データの作成



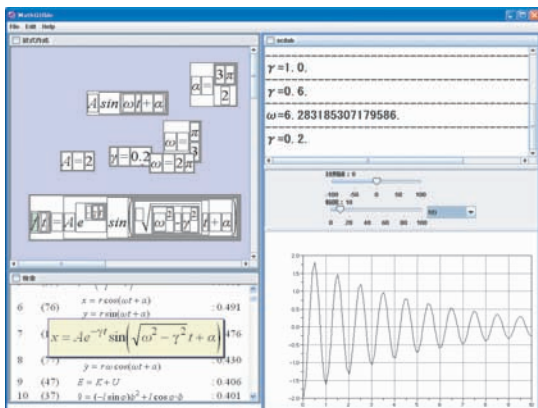
(b) 減衰運動の数式の取り込み



(c) パラメータの入力と関数の定義



(d)  $\gamma=0.2$ のグラフデータ



(e)  $\gamma=0.6$ のグラフデータ



(f)  $\gamma=0.9$ のグラフデータ

図 14 使用例