

機関番号：52501
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20500818
 研究課題名(和文) 挿図教材の実態調査に基づく TeX と数式処理を用いた教材作成支援ソフトの改良と開発
 研究課題名(英文) Development of CAS macro package supporting mathematics teachers' making TeX materials with figures based on the survey of graphics use in mathematics education
 研究代表者
 金子 真隆 (KANEKO MASATAKA)
 木更津工業高等専門学校・基礎学系・准教授
 研究者番号：90311000

研究成果の概要(和文)：

本研究では、高専・大学初年級の数学を担当する教員を対象としたアンケート調査、および教科書調査によって、教材中の図の利用に関する実態とニーズを明らかにし、図利用のネックとなっていることが明らかになった 3 次元描画を中心に、LaTeX 挿図用の CAS マクロパッケージ KETpic の機能を拡張して、使用環境を整備した。

研究成果の概要(英文)：

Our questionnaire survey and textbook research have clarified the actual situations and needs for the graphics use in collegiate mathematics education. Based on these results, the functions of KETpic, which is a CAS macro package designed for high-quality TeX drawing, have been extended.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：教育工学

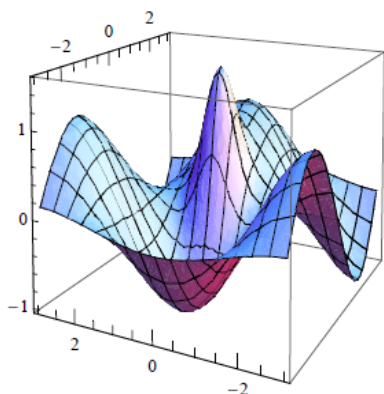
キーワード：数式処理ソフト(CAS)、TeX、挿図教材

1. 研究開始当初の背景

我々は 2005 年より、数式処理システム (CAS) を用いることによって TeX 文書中に正確で美しい図を手軽に挿入するためのマクロパッケージ KETpic を開発してきた。周知のごとく、高品質な数式を出力できる TeX は、近年数理科学の研究者・教育者にとって必須のツールとなりつつあるが、図を入れづらいことが弱点であった。より具体的には、TeX 文書中に図を挿入する一般的な方法として、CAS を含む描画ソフトが出力する画像データを EPS ファイルなどの形式にフォーマットし、これを TeX のコマンド $\backslash includegraphics$ を用いて TeX から呼び出すという手段が良く用いられてきたが、本文

中と同じ質の数式を書き込めなかったり、大きさや位置などの微調整が非常に難しいなど、不便な点が多かった。また、TeX 文書中で使う場合に限らず、CAS などの出力する 3 次元描画は、色彩や陰影が豊かで、ディスプレイ上で提示するのには適するが、ひとたび白黒の大量印刷媒体にコピーして使うという段になると、とたんに見づらくなるという問題もあり、コスト的な制約の多い教材中で使う場合の問題も小さくなかった(下図の Mathematica による出力例参照)。加えて、生成される画像ファイルの容量は一般に大きく、電子化された教材をメール等でやりとりする際に、大きな障害となることが珍しくないという問題もあった。本研究が開始され

た 2008 年の時点で、CAS の一種である Mathematica と Maple に付随するパッケージとして KETpic を既に開発していたが、これは上記の TeX の弱点を補うことを意図したもので、一定程度その目的を達してはいた。しかし、KETpic をより多くの数理科学の教育者にとって更に使いやすいものとするためには、図入り教材の利用の実態や、ニーズを調査する必要があった。



そもそも CAS は、その画像出力の正確さによって教育への利用の可能性が追求されてきた。実際、2006 年に京都大学数理解析研究所の共同事業として「数式処理と教育」の研究集会が始められた。KETpic は、CAS の利用によって数学に裏打ちされた正確な図を TeX 文書中に手軽に挿入可能にするという点で、その意義が小さくないものと考えられた。

2. 研究の目的

前項の背景から、本研究の目的を次の 3 点に定めた。

- ①数理科学の教育において、図入り教材がどのように作成・使用されているかという実態、および、教材中の図やその作成手段について、数理科学の教員の間にどのようなニーズがあるか、調査分析すること。
- ②①の調査結果に基づき、KETpic の改良と機能拡張を行うこと。
- ③KETpic のユーザーマニュアルを出版・公開することにより、使用環境を充実させること。

いうまでもなく、教育に特化したツールとしてその機能を向上させるためには、教員が実際の授業で感じているニーズ—高い教育効果を望める図とは何か—を把握し、そのニーズに応えられる形で改良・開発を重ねなくてはならない。本研究では、このようなニーズの把握を出発点とし、教材の教育効果を高められるような図を作成するために必要な機能を明らかにした上で、教育者にとっての使いやすさにも配慮しつつ、KETpic を整備していくことを目指したのである。

3. 研究の方法

前項に記した 3 点の目的に沿って、次のような手順で研究を進めることとした。

(1) 教材中の挿図に関する調査

①教員対象のアンケート調査

高専・大学で数理科学を担当している教員を対象に、授業で使用する教材中での図の利用について、アンケート調査を行うと同時に、挿図教材のサンプルを収集する。質問項目の詳細は下記 Web ページ上に掲載してあるが、図の使用頻度、作成・提示方法、利用してみたいテーマ、描画ソフトへのニーズ、あまり使わない場合にはその理由、などが中心である。

②教科書調査

高専・大学初年級で用いられている数学の教科書を収集し、分野別の図の利用頻度や、どのような教育的意図をもって図が用いられているか調査する。日本語の教科書については、生協連の調べで売り上げが多いものを中心に、授業でよく使われているものを購入した。加えて、図の利用が進んでいない線形代数の分野については、東京大学数理科学研究科図書室に出向き、教養課程程度の内容を含む洋書をピックアップして、分野ごとの図の使用頻度や使用意図について調査した。

③図利用の実態・ニーズの分析

以上の調査結果を踏まえ、配布教材や教科書における図の利用に支障となる要素はないか、教育効果の高い図を作成するために、描画ソフトに対して教員がどのようなニーズを持っているかという視点で分析を行う。

(2) KETpic の改良と機能拡張

①表現力の向上

アンケート調査や教科書調査の結果、曲面の描画が教材中の図の利用にとって一つのネックとなることがわかってきたので、CAS で用いられている曲面のワイヤフレーム図を KETpic に組み込む。また、KETpic がモノクロの線画を基本とすることを踏まえ、KETpic に適した曲面の表現方法を追求する。

②他の CAS への移植

Mathematica や Maple は優れたインターフェースをもつ CAS であり、KETpic はその機能をフルに活用していたが、購入するのに少なからず費用がかかることが、教育者による KETpic 利用に際して障害となると懸念された。KETpic のスキームは援用する CAS の特質にそれほど大きく依存しないとい

う特質があるので、無償のものを含めた多くのCASに移植することで、より多くの教育者の利用に供することを旨とする。

③CASのグラフィック機能の一層の利用
CASは、その豊かな数値計算能力やプログラミング能力を背景として、陰関数表示や等高線表示など、教材での利用に便利だと想定される多くのグラフィック機能を備えている。これらをKETpicに組み込むことにより、教材作成への利用可能性を一層向上させる。

(3)ユーザーマニュアルの出版・公開
研究開始時点で、すでにWeb上にコマンドリファレンスを公開していたが、KETpicが数理学の教育者にさらに広く利用されるためには、コマンドを一層整理した上で、利用法について分かりやすく編集された印刷冊子が不可欠だと考えられた。そこで、日本語版ユーザーマニュアルの出版・公開を目指すこととした。

4. 研究成果

本研究で得られた成果について、研究方法の各項目に対応付ける形で述べる。

(1)教材中の図利用の実態とニーズ

①アンケート調査

2008年の9月から12月にかけて、全高専と一部の大学の教員を対象にアンケート用紙を郵送し、26大学・56高専の教員667名から回答を得た。この中には、高専で数理学以外の化学や工学専門科目を担当する教員による回答も含まれるが、回答が多岐にわたるわりに分野ごとのサンプル数が少なく、詳細な分析には至らなかった。本研究では、数学を担当する378人分(うち高専234人、大学144人)の回答を主に分析することとした。なお、高専からの回答については、工学専門科目の分も含めた統計データをWebページ上で公開している他、以下の分析結果について、論文・学会等で発表した(論文④⑤⑦⑩、発表⑤)。詳細はこれらに譲るが、概略、以下のような傾向が明らかになった。

- ・教材中で図をよく使うとした回答者は全体の1/3にとどまり、少ない。
- ・基礎数学や微積分に比べ、微分方程式や線形代数で図の利用が相対的に少ない。
- ・図の提示は印刷配布物と板書が主流で、プロジェクターの利用は少ない。3次元の図形の場合、この傾向は顕著である。
- ・印刷物に入れる図の作成方法は描画

ソフト(花子など)、CAS、TeXの描画機能が主流であるが、3次元の描画の場合、いずれも利用率が下がり、特にTeXの描画機能を使う場合にこの傾向は顕著である。

- ・印刷物にはあまり図を入れないが、板書では図をかなり用いるとした回答者は多数にのぼった。印刷物中で使わない理由としては、必要性、時間、技術をあげる回答が拮抗した。これに対し、板書でも図を用いないとする回答者は、理由として必要性の乏しさを指摘するケースが多かった。

②教科書調査

ベクトル解析を含む微積分(発表⑩)と線形代数(論文④⑤⑭)の教科書について調べたが、アンケート調査の結果を裏付けるかのように、線形代数で図の利用が少ないことがわかった。微積分については、教科書によって使用頻度に差はあるものの、分野ごとの利用については、ある程度共通性があることもわかった。特に、以下の諸点は注目に値する。

- ・微分の単元では、関数のグラフ等はいかに正確に見せるかという事が意識されるケースが多いのに対し、積分の単元では、概念図の判り易さが意識されるケースが多い。
- ・級数や微分方程式の単元でほとんど図が使われていないケースが多い。
- ・ベクトル解析を含む多変数解析の単元では、3次元の対象を扱っているにもかかわらず、3D図の利用が半数に満たないケースが多く、3D描画の困難さが、教科書における図の利用にとって大きな障害となっている可能性が強く示唆される。

全体として、正確な描画の困難さと3D描画の困難さとが、微積分の教科書における図利用のネックとして浮かび上がった。

これに対し、線形代数の場合には、3D描画の困難さが引き続き問題とはなるものの、そもそも図の利用を伴うような幾何的な「テーマ」を取り上げる必要性について、多くの教科書作成者が感じていない可能性が示された。実際、ベクトルの幾何的な説明の単元で多くの図を用いている教科書であっても、ユークリッド空間以外の空間にも適用されるような線形空間論の概念の説明においては、ほとんど図が用いられていないケースが多く、例外的に使われている図には高度に抽象的なものが多かった。この背景には、

描画が可能な3次元ユークリッド空間では、線形空間論の基礎概念の多くが自明なものとなってしまい、こうした概念を学ぶ動機付けとなるようなテーマを探すことが容易でないという事情があるものと分析された。相当の工夫は要するが、KETpicを活用することによって発掘可能なテーマの事例を示すことができた(論文④⑤)。

③調査結果の分析

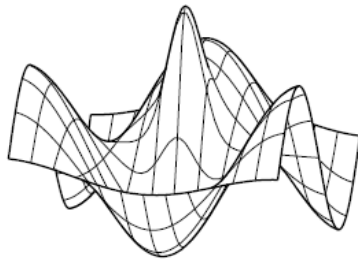
印刷配布教材と教科書との違いを問わず、教材中の図に求められる教育的意図は

- ・正確な図を見せること。
 - ・板書では描画が困難であるような、判りやすい概念図を見せること
- の2点に集約されることが分析された。これらは、まさにKETpicによって充足が可能な要素であり、上記の論文・発表の中で、実際にKETpicを用いて描かれる高品質な図を提案した。また、描画ソフトに求められるニーズとしては、上記のような図を描ける機能に加えて、
- ・TeXとの親和性
 - ・クリック操作で修正やコンテンツ挿入が出来るなどの、簡便な操作性を求める声が多かった。

(2)KETpicの改良と機能拡張

①曲面の表現とCASの機能の活用

下図はKETpicによる曲面描画の一例であるが、局所的な構造を明らかにするためにワイヤフレームを導入している上に、境界線・稜線のみを用いて大域的な構造を分かりやすく描いている。



線の太さを変えることで大域的構造を与える線を強調することにより、図の見やすさを向上させられることがわかった。また、曲面を見る角度を簡単に調節できるKETpicの機能の有効性もわかってきた(論文⑥⑬)。

これに加えて、陰関数や等高線の描画機能をKETpicに装備し、ベクトル解析を中心とした有効な教材を作成できる事例を示した(発表⑪)。

②他のCASへの移植

より多くの教育者の利用に供すべく、

MATLAB(論文⑰)、MAXIMA、SCILAB(論文⑱⑲)、R(論文⑨)などのCASへの移植を進めた。現在ではSCILAB版が最も機能の進んだものになっており、SCILABが無償であることによって、利用者の層が格段に広がることが期待される。移植作業に当たり、SCILABがMathematicaやMapleなどと比べて数式処理機能に劣ることから、ユーザーインターフェースの整備に工夫を要した。現在では、グラフィックスに関する限り、MsthematicaやMaple版と遜色ない状況に至っている。

③LaTeX総合支援ツールとしての機能拡張
LaTeXは高品質な数式を出力できる点で優れてはいるが、数式以外の記号の出力や作表、文書全体のレイアウト等の点で既存の文書作成ソフトに劣っていることが否めなかった。本研究では、当初目的になかったが、こうした要素をLaTeX上で簡単に制御できるコマンド・マクロを生成するための機能(メタコマンド)をSCILAB版KETpicに付与し(論文①)、単なる描画ツールにとどまらず、LaTeXによる教材作成をより総合的に支援できるツールにまで高めることに成功した(論文⑧、発表②③④⑥)。

(3)ユーザーマニュアルの出版・公開

2011年3月に、下記の図書にあげた日本語版ユーザーマニュアルを出版・公開した。これはSCILAB版KETpicに対応したものであり、教材作成ツールとしてのKETpicの使用環境が相当程度整備されたものと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計20件)

① M. Kaneko, S. Takato,

A CAS Macro Package as LaTeX Graphical Command Generator and Its Applications, To appear in Proc. ICCSA 2011 (IEEE), 査読有

② Y. Nakamura, S. Takato,

Graphical user interface for drawing 3D plots with KETpic, To appear in Proc. ICCSA 2011 (IEEE), 査読有

③ S. Yamashita, S. Takato,

Making Figures for Class Materials Using KETpic Based on Symbolic Thinking, To appear in Proc. ICCSA 2011 (IEEE), 査読有

④ M. Kaneko, S. Takato,

The Effective Use of LaTeX Drawing in Linear Algebra,

To appear in eJMT 5—2, 2011, 査読有

⑤ 金子真隆, 高遠節夫,

「KETpic の利用と教材発掘」,
京都大学数理解析研究所講究録1735, 2011,
pp. 57—72, 査読無

⑥ 北原清志, 高遠節夫,

「極値問題の図表示と線形代数への応用について」,
京都大学数理解析研究所講究録1735, 2011,
pp. 162—172, 査読無

⑦ 高遠節夫, 他

「授業での図の利用に関するアンケート調査について」,
東邦大学教養紀要, 第42号, 2011,
pp. 31—40, 査読無

⑧ M. Kaneko, S. Takato,

The extension of KETpic functions -- Meta commands and their applications,
Asian Journal of TeX 4—2, 2010,
pp. 111—120, 査読有

⑨ S. Ouchi, S. Takato, 他

High-quality statistical plots in LaTeX for mathematics education using R-based KETpic plug-in,
Proc. ATCM 2010, pp. 266—275, 査読有

⑩ K. Kitahara, S. Takato, 他

Towards a More Effective Use of 3D-Graphics in Mathematics Education,
IJTME 17—4, 2010, pp. 217—223, 査読有

⑪ M. Kaneko, S. Takato 他

CAS-aided Visualization in LATEX Documents for Mathematical Education,
TMCS 8—1, 2010, pp. 1—18, 査読有

⑫ H. Koshikawa, M. Kaneko, 他

Handier Use of Scilab to Draw Fine LaTeX Figures,
Proc. ICCSA 2010 (IEEE), pp. 39—48,
査読有

⑬ K. Fukazawa, S. Takato, 他

Teaching Materials of Physics about Lorentz Contraction Generated by KETpic,
Proc. ICCSA 2010 (IEEE), pp. 24—32,
査読有

⑭ 金子真隆, 高遠節夫, 他

「線形代数学の教科書における挿図の利用について」,
京都大学数理解析研究所講究録 1674, 2010,
pp. 12—25, 査読無

⑮ 北原清志, 高遠節夫, 他

「全微分に関する図入り教材の作成例とその研究授業報告」,

京都大学数理解析研究所講究録 1674, 2010,
pp. 132—145, 査読無

⑯ T. Abe, S. Takato, 他

Migration of KETpic to Scilab and Comparison of Scilab with other CASs,
日本数学教育学会高専・大学部会論文誌,
第16号, 2009, pp. 97—106, 査読有

⑰ A. Galvez, S. Takato, 他

New Matlab-Based KETpic Plug-In for High-Quality Drawing of Curves,
Proc. ICCSA 2009 (IEEE), pp. 123—131,
査読有

⑱ S. Takato, 他

Use of ImplicitPlot in Drawing Surfaces Embedded into LaTeX Documents,
Proc. ICCSA 2009 (IEEE), pp. 115—122,
査読有

⑲ 金子真隆, 高遠節夫, 他

「KETpicによる曲面描画と教育利用」,
京都大学数理解析研究所講究録 1624, 2009,
pp. 1—10, 査読無

⑳ M. Kaneko, S. Takato 他

A simple method of the TeX surface drawing suitable for teaching materials with the aid of CAS,
Lecture Notes in Computer Science 5102,
2008, pp. 35—45, 査読有

〔学会発表〕 (計 20 件)

① S. Ouchi, S. Takato, 他

High-quality statistical plots in LaTeX for mathematics education using R-based KETpic plug-in,
ATCM, 2010 年 12 月 18 日, Malaya

② 高遠節夫, 他

「KETpic の機能拡張、とくにメタコマンドとその応用」,
TeX ユーザーの集い, 2010 年 10 月 23 日,
東大生産研

③ M. Kaneko, 他

Wider use of LaTeX graphics,
MSEC, 2010 年 9 月 10 日, Salamanca

④ 高遠節夫, 他

「KETpic の図表作成機能の拡張について」,
日本数学教育学会第 92 回総会,
2010 年 8 月 2 日, 新潟市朱鷺メッセ

⑤ 金子真隆, 他

「教材における挿図利用に関するアンケート調査について」,
日本数学教育学会第 92 回総会,
2010 年 8 月 2 日, 新潟市朱鷺メッセ

⑥ S. Takato, 他

KETpic as a tool to make teaching materials and its recent developments, CADGME, 2010年6月29日, Hluvoka

⑦ 山下哲, 他

Symbolic Thinking for Better Understanding,

第19回日本数式処理学会大会, 2010年6月12日, 名古屋大

⑧ 深澤謙次, 他

「KETpicを用いたSchwarzschild時空に関する物理教材の作成」,
第19回日本数式処理学会大会, 2010年6月12日, 名古屋大

⑨ K. Fukazawa, 他

Teaching Materials of Physics about Lorentz Contraction Generated by KETpic, ICCSA 2010, 2010年3月23日, 九州産業大

⑩ S. Yamashita, 他

Handier Use of Scilab to Draw Fine LaTeX Figures,

ICCSA 2010, 2010年3月23日, 九州産業大

⑪ 金子真隆, 他

「大学初年級の数学教科書における図利用の実態」

日本数式処理学会教育・Mathematica合同分科会, 2009年12月19日, 東邦大

⑫ Y. Nakamura, S. Takato,

Development of web application for LaTeX plotting software KETpic, E-Learn2009, 2009年10月29日, Vancouver

⑬ K. Kitahara, S. Takato, 他

Educational Meanings of Printed Materials with Three Dimensional Figures,

CADGME, 2009年7月11日, Hagenberg

⑭ S. Takato, 他

Use of ImplicitPlot in Drawing Surfaces Embedded into LaTeX Documents,

ICCSA 2009, 2009年6月30日, Yongin

⑮ A. Galvez, S. Takato, 他

New Matlab-Based KETpic Plug-In for High-Quality Drawing of Curves,

ICCSA 2009, 2009年6月30日, Yongin

⑯ 深澤謙次, 他

「Lorentz収縮に関するシミュレーション教材とKETpicを用いた教材の作成」,
日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月28日, 立教大

⑰ 山下哲, 他

「空間曲線の稜線描画の一方法について」
日本数学会2009年度年会, 2009年3月27日, 東大

⑱ 金子真隆, 他

「Scilabへの混合リスト処理の実装について」,
日本数学会秋季総合分科会, 2008年9月24日, 東工大

⑲ S. Yamashita, 他

Monochrome Line-Drawings of 3D objects due to the Programmability of KETpic, ICCSA 2008, 2008年6月30日, Perugia

⑳ M. Kaneko, 他

A simple method of the TeX surface drawing suitable for teaching materials with the aid of CAS,

ICCS 2008, 2008年6月27日, Krakov

〔図書〕(計1件)

①CASTeX 応用研究会編、イーテキスト研究所、「KETpicで楽々TeX グラフ」、2011、104

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ketpic.com>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 真隆 (KANEKO MASATAKA)

研究者番号：90311000

(2) 研究分担者

高遠 節夫 (TAKATO SETSUO)

東邦大学薬学部教授

研究者番号：30163223

北原 清志 (KITAHARA KIYOSHI)

工学院大学工学部准教授

研究者番号：90133321

深澤 謙次 (FUKAZAWA KENJI)

呉工業高等専門学校准教授

研究者番号：50238440

山下 哲 (YAMASHITA SATOSHI)

木更津工業高等専門学校准教授

研究者番号：40259825

(3) 連携研究者

中村 泰之 (NAKAMURA YASUYUKI)

名古屋大学大学院情報科学研究科准教授

研究者番号：70273208