

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：52501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350370

研究課題名(和文) 挿図教材のための作図プログラミング書法の確立と教材作成支援ポータルシステムの構築

研究課題名(英文) Establishment of the Drawing Programming Style and Construction of the Portal Site System for Teaching Materials with Figures

研究代表者

山下 哲 (Yamashita, Satoshi)

木更津工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：40259825

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：TeXと数学ソフトウェアによる挿図教材作成支援システムKeTpicを利用して作成した図ファイルをユーザー間で共有するためには、KeTpicの作図プログラミング書法が必要であった。多数の作図プログラムを調査したところ、わかりやすい作図プログラムを書くための9つの要件を見出した。この要件により、新システムKeTCindyが開発され、「KeTCindyによる図入り教材作成」というポータルサイトを立ち上げた。

研究成果の概要(英文)：KeTpic is a plug-in for a mathematical software to make a class material with figures using TeX. In order to share a figure file created by KeTpic between KeTpic users, they needed the KeTpic programming style. We have looked into many KeTpic programs, and we found nine requirements for making a KeTpic program. These requirements have created a new system KeTCindy, and we launched a portal site called "Making of Teaching Materials with Figures by KeTCindy".

研究分野：教育工学

キーワード：TeX 数学ソフトウェア KeTpic KeTCindy 挿図教材 作図プログラミング書法 ポータルサイト

1. 研究開始当初の背景

(1) TeX で挿図教材を作成するために、数学ソフトウェアの付属パッケージとして KeTpic を 2006 年から開発し、数学ソフトウェア Scilab 版 KeTpic として、2D または 3D 描画機能、作表機能、ページレイアウト機能、TeX マクロ作成機能が 2010 年にほぼ完成した。

(2) 2008 年に高専・大学初年級の数学教員を対象に「授業における図の利用に関するアンケート」を実施した。この結果、高専・大学初年級の数学教員の約 80% は TeX で教材を作成していたが、挿図教材を作成した教員はほとんどいなかった。その理由として、挿図する技術がないことと時間的余裕がないことが挙げられた。

(3) 図を作成するための TeX プログラミングもあるが、複雑なコマンドを組み合わせる入力しなければならず、初心者には敷居が高かった。KeTpic コマンドは symbolic であるため、数学的な作図手順に従ってコマンドを入力することで、図の全体像を明確に認識しながら図の質的な改良に集中できる (symbolic thinking) という利点があった。

(4) 高専・大学初年級の数学教員を中心に KeTpic ユーザーが増え、KeTpic で作成した図ファイルをユーザー間で共有できるようになった。しかし、ユーザー独自の KeTpic プログラムで図ファイルを作成していたため、図ファイルを共有しても KeTpic プログラムが読めず、変更して利用することができなかった。ユーザーからは読みやすい KeTpic プログラムで作成されることが望まれていた。

2. 研究の目的

(1) 挿図教材を利用した授業実践と教材作成方法について、効果的な図入り教材の要件を明らかにする。

(2) symbolic thinking を基盤とする作図プログラミング書法を確立する。

(3) 上記の作図プログラミング書法に則って作成した共有可能な挿図教材事例集・チュートリアル集・マニュアル・KeTpic の最新版などを備えた挿図教材作成支援ポータルサイトシステムを構築する。

3. 研究の方法

(1) 挿図教材を利用した授業実践と教材作成方法について、アンケート・授業観察・教員へのインタビューなどを実施する。これらの結果を分析し、効果的な図入り教材の要件を明らかにする。

(2) 挿図教材を作成した KeTpic の作図プログラムを収集し、これを綿密に調査・分析して、symbolic thinking を基盤とする作図プログラミング書法を確立する。

(3) 挿図教材作成支援ポータルサイトを立ち上げ、挿図教材事例集・チュートリアル集・マニュアル・KeTpic の最新版などを掲載

し公開する。

4. 研究成果

(1) 2008 年に実施した「授業における図の利用に関するアンケート」の結果を受けて、数少ない挿図教材を作成していた数学教員にインタビューを試みたが、数学ソフトウェアで作成した図の画像ファイルを挿入するだけで、図の質的改良を試みるどころまでは至っていなかった。また、動画を作成して提示する教員もいたが、授業で見せるだけで終わっており、学生の理解の定着まで追求している教員はいなかった。以上のことから、学生の理解を深める目的で挿図教材を利用しているが、理解の定着までは追求しきれていないという実態が明らかになった。この結果、KeTpic ユーザーを中心に、理解の定着まで追求した挿図教材の開発が新たな研究テーマとなった。

(2) KeTpic の作図プログラムを 104 個(うち初心者作成 51 個、プログラミング経験者作成 53 個)を収集し綿密に分析した結果、次の 9 つの要件を見出した。

- ① コマンドの配置
- ② 適切な名前
- ③ CAS (Computer Algebra System) の計算機能
- ④ KeTpic コマンドの知識
- ⑤ プログラムのブロック化
- ⑥ 基準点の利用
- ⑦ リスト構造
- ⑧ for 文の利用
- ⑨ ローカル変数の利用

上記①～⑤は基礎的要件であり、初心者でも周知徹底してもらいたい要件である。⑥～⑨は応用的要件であり、プログラミング経験者には徹底してもらいたい要件である。KeTpic の作図プログラムが上記の要件を満たしているかどうか調べた結果、表 1 が得られた。

表 1. KeTpic プログラムの調査結果

| requirements | beginner | | programmer | |
|-----------------------|-----------|----------|------------|----------|
| | bad/total | rate (%) | bad/total | rate (%) |
| 1. Arrange commands | 26/51 | 51.0 | 9/53 | 17.0 |
| 2. Suitable names | 31/51 | 64.7 | 20/53 | 37.7 |
| 3. Calculation of CAS | 14/39 | 38.9 | 14/27 | 51.9 |
| 4. KeTpic commands | 37/51 | 72.6 | 29/53 | 54.7 |
| 5. Readable blocks | 19/51 | 37.3 | 0/53 | 0.0 |
| 6. Reference points | 32/51 | 62.8 | 11/50 | 22.0 |
| 7. List structure | 1/1 | 100.0 | 1/2 | 50.0 |
| 8. for syntax | 1/1 | 100.0 | 0/2 | 0.0 |
| 9. Local variables | 35/47 | 74.5 | 17/32 | 53.1 |

表 1 から、プログラム経験者よりも初心者の方が作図プログラミング書法に忠実であることがわかる。作図プログラムを共有するためには、プログラム経験者でも読みやすいプログラムを作成するよう心掛ける必要があることがわかった。

(3) 2013 年にポータルサイト「KeTpic+TeX による図入り教材の作成」を立ち上げ、2014

年まで作成した。このサイトには、以下のページが作成されている。

- ダウンロード (Scilab 版, Mathematica 版, R 版)
- 教材集
- KeTpic 初心者のためのページ
- 数学の得意な KeTpic 初心者のためのページ
- KeTpic 中級者のためのページ
- KeTpic 上級者のためのページ
- コマンドリファレンス
- 研究業績

「KeTpic 初心者のためのページ」に入ると、「KeTCindy」という項目から入谷昭作成の「KeTCindy のページ」へリンクされている。

2015 年から「KeTCindy による図入り教材の作成」を作成している。このサイトには、以下のページが作成されている。

- KeTCindy の紹介
- KeTCindy の準備
- KeTCindy を始めよう
- 幾何図形の書き方
- 関数のグラフの書き方
- 表の作り方
- 自由曲線の利用
- 空間図形 (多面体)
- KeTCindy 関係のマニュアル
- コマンド一覧
- KeTCindy 動画
- 教材作成例

これ以外に左側メニューバーから「KeTCindy インストール」より KeTCindy と関連ソフトウェアのパッケージがダウンロードできる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 23 件)

- 1) M. Kaneko, S. Yamashita, K. Kitahara, Y. Maeda, Y. Nakamura, U. Kortenkamp and S. Takato, KeTCindy -- Collaboration of Cinderella and KeTpic Repots on CADGME 2014 Conference Working Group, 査読有, The International Journal for Technology in Mathematics Education, Vol.22, No.4, 2015, pp.179-186.
- 2) 牧下 英世, 高等学校数学科における活性化教材の開発—数学を数学に活用する取り組み—, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1978, 2015, pp.96-107.
- 3) 小林 茂樹, 濱口 直樹, 前田 善文, 金子 真隆, 高遠 節夫, KeTpic を用いた学生の自習用教材の作成とその利用, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1978, 2015, pp.135-139.
- 4) 高遠 節夫, KeTCindy の開発について, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1978, 2015, pp.173-182.
- 5) 山下 哲, KeTCindy による反転授業

教材の作成, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1978, 2015, pp.183-189.

- 6) 金子 真隆, 高遠 節夫, KeTCindy による TeX 上のアニメーション生成とその教育利用, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1978, 2015, pp.215-227.
- 7) 北原 清志, 高橋 正, 高遠 節夫, 印刷教材における挿図の教育効果の検証, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1951, 2015, pp.62-76.
- 8) 前田 善文, 濱口 直樹, 高遠 節夫, KeTpic を用いた教材作成, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1951, 2015, pp.77-84.
- 9) 山下 哲, 北原 清志, 前田 善文, 碓氷 久, 阿原 一志, 牧下 英世, 高遠 節夫, KeTpic による作図プログラミング書法の確立, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1951, 2015, pp.200-208.
- 10) K. Kitahara, T. Takahashi, M. Kaneko, On some Attempts to Verify the Effect of Using High-Quality Graphics in Mathematic Education, 査読有, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014, pp.578-585.
- 11) H. Makishita, Practice with Computer Algebra Systems in Mathematics Education and Teacher Training Courses, 査読有, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014, pp.594-600.
- 12) S. Ouchi, Y. Maeda, K. Kitahara and N. Hamaguchi, Creating Interactive Graphics for Mathematical Education Utilizing KeTpic, 査読有, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014, pp.607-613.
- 13) S. Yamashita, K. Kitahara, Y. Maeda, H. Usui, K. Ahara, H. Makishita and S. Takato, The Establishment of KeTpic Programming Styles for Drawing, 査読有, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014, pp.641-646.
- 14) 山下 哲, 北原 清志, 前田 善文, 碓氷 久, 阿原 一志, 高遠 節夫, KeTpic による作図プログラミング書法について, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1909, 2014, pp.1-7.
- 15) 前田 善文, 高遠 節夫, ワードによる教材作成と TeX+KeTpic による教材作成, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1909, 2014, pp.8-16.
- 16) 高遠 節夫, 小柴 俊彦, 野町 俊文, 統計教材の要素と作成ツールの評価, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究

- 録 1909, 2014, pp.147-156.
- 17) 大内 俊二, 高遠 節夫, 統計教育における動画の効果的な利用, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1909, 2014, pp.157-164.
 - 18) 深澤 謙次, 高遠 節夫, pict2e を用いた Maxima 版 KeTpic の再実装について, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1909, 2014, pp.217-222.
 - 19) 北原 清志, 高遠 節夫, プロジェクタと配布資料との連携による2重積分に関する授業の試み, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1865, 2013, pp.34-42.
 - 20) 深澤 謙次, 高遠 節夫, Maxima 上での KeTpic の実装について, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1865, 2013, pp.43-48.
 - 21) 前田 善文, 高遠 節夫, KeTpic の有用性と可能性について—授業における教材提示と増減表の自動生成—, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1865, 2013, pp.72-78.
 - 22) 山下 哲, 図入り教材の作成における Symbolic Thinking の重要性について, 査読無, 京都大学数理解析研究所講究録 1865, 2013, pp.79-83.
 - 23) S. Yamashita, K. Kitahara, Y. Maeda, H. Usui, K. Ahara, H. Makishita and S. Takato, The Elements of Programming Style for Making Class Materials with Figures, 査読有, The 2013 International Conference on Computer Science and its Applications, 2013, pp.73-80.

[学会発表] (計 23 件)

- 1) 牧下 英世, 高等学校数学科における活性化教材の開発—数学を数学に活用する取り組み—, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2015 年 9 月 1 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).
- 2) 小林 茂樹, 濱口 直樹, 前田 善文, 金子 真隆, 高遠 節夫, KeTpic を用いた学生の自習用教材の作成とその利用, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2015 年 9 月 1 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).
- 3) 高遠 節夫, KeTCindy の開発について, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2015 年 9 月 1 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).
- 4) 山下 哲, KeTCindy による反転授業教材の作成, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2015 年 9 月 1 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).
- 5) 金子 真隆, 高遠 節夫, KeTCindy に

よる TeX 上のアニメーション生成とその教育利用, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2015 年 9 月 2 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).

- 6) M. Kaneko, S. Yamashita, S. Takato, KETCindy -- supporting tool to convert students' findings into knowledge in collegiate mathematics education, International Society for Information Studies 2015, 2015 年 6 月 5 日, Vienna (Austria).
- 7) S. Yamashita, K. Kitahara, Y. Maeda, H. Usui, K. Ahara, H. Makishita and S. Takato, The Elements of Programming Style for Making Class Materials with Figures, Fifth Central- and Eastern European Conference on Computer Algebra- and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Education, 2014 年 9 月 27 日, Halle (Germany).
- 8) 山下 哲, 北原 清志, 前田 善文, 碓氷 久, 阿原 一志, 牧下 英世, 高遠 節夫, KETpic による作図プログラミング書法, 日本教育工学会, 第 29 回全国大会講演論文集, pp.473-474, 2014 年 9 月 21 日, 秋田大学 (秋田県秋田市).
- 9) 北原 清志, 高橋 正, 高遠 節夫, 印刷教材における挿図の教育効果の検証, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2014 年 9 月 1 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).
- 10) 前田 善文, 濱口 直樹, 高遠 節夫, KeTpic を用いた教材作成, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2014 年 9 月 2 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).
- 11) 山下 哲, 北原 清志, 前田 善文, 碓氷 久, 阿原 一志, 牧下 英世, 高遠 節夫, KeTpic による作図プログラミング書法の確立, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2014 年 9 月 2 日, 京都大学数理解析研究所 (京都府京都市).
- 12) K. Kitahara, T. Takahashi, M. Kaneko, On some Attempts to Verify the Effect of Using High-Quality Graphics in Mathematic Education, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014 年 8 月 9 日, Seoul (Korea).
- 13) H. Makishita, Practice with Computer Algebra Systems in Mathematics Education and Teacher Training Courses, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014 年 8 月 9 日, Seoul (Korea).
- 14) S. Ouchi, Y. Maeda, K. Kitahara and N. Hamaguchi, Creating Interactive Graphics for Mathematical Education Utilizing

- KeTpic, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014年8月9日, Seoul (Korea).
- 15) S. Yamashita, K. Kitahara, Y. Maeda, H. Usui, K. Ahara, H. Makishita and S. Takato, The Establishment of KeTpic Programming Styles for Drawing, The 2014 International Conference on Mathematical Software, 2014年8月9日, Seoul (Korea).
 - 16) 山下 哲, 北原 清志, 前田 善文, 碓氷 久, 阿原 一志, 高遠 節夫, KeTpicによる作図プログラミング書法について, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2013年8月19日, 京都大学数理解析研究所(京都府京都市).
 - 17) 前田 善文, 高遠 節夫, ワードによる教材作成と TeX+KeTpic による教材作成, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2013年8月19日, 京都大学数理解析研究所(京都府京都市).
 - 18) 高遠 節夫, 小柴 俊彦, 野町 俊文, 統計教材の要素と作成ツールの評価, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2013年8月20日, 京都大学数理解析研究所(京都府京都市).
 - 19) 大内 俊二, 高遠 節夫, 統計教育における動画の効果的な利用, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2013年8月20日, 京都大学数理解析研究所(京都府京都市).
 - 20) 深澤 謙次, 高遠 節夫, pict2e を用いた Maxima 版 KeTpic の再実装について, RIMS 研究集会「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, 2013年8月21日, 京都大学数理解析研究所(京都府京都市).
 - 21) 山下 哲, 北原 清志, 前田 善文, 碓氷 久, 阿原 一志, 牧下 英世, 高遠 節夫, KETpic による作図プログラミング書法について, 日本高専学会, 第19回年会講演会講演論文集, pp.55-57, 2014年8月31日, 高知工業高等専門学校(高知県)南国市).
 - 22) 山下 哲, 北原 清志, 前田 善文, 碓氷 久, 阿原 一志, 牧下 英世, 高遠 節夫, KETpic による作図プログラミングについて, 日本数学教育学会誌, 第95回大会特集号, p.453, 2014年8月3日, アイメッセ山梨(山梨県甲府市).
 - 23) S. Yamashita, K. Kitahara, Y. Maeda, H. Usui, K. Ahara, H. Makishita and S. Takato, The Elements of Programming Style for Making Class Materials with Figures, The 2013 International Conference on Computer Science and its Applications, 2013年6月24日, Ho Chi Minh City (Vietnam).

[図書] (計8件)

- 1) 高遠 節夫, 石村 隆一, 野田 健夫, 前田 多恵, 三橋 秀生, 安富 真一, 山方 竜二, 山下 哲, 培風館, 理科系の基礎 線形代数, 2015, 158.
- 2) 嶋野 和史, 高遠 節夫, 西垣 誠一, 橋本 竜太, 濱口 直樹, 大日本図書, 新応用数学問題集, 2015, 100.
- 3) 佐藤 志保, 高遠 節夫, 西垣 誠一, 濱口 直樹, 前田 善文, 向山 一男, 大日本図書, 新応用数学, 2014, 205.
- 4) 新井 一道, 市川 裕子, 高遠 節夫, 西垣 誠一, 野町 俊文, 向山 一男, 村上 亨, 大日本図書, 新確率統計問題集, 2014, 82.
- 5) 新井 一道, 市川 裕子, 高遠 節夫, 野町 俊文, 向山 一男, 村上 亨, 大日本図書, 新確率統計, 2013, 176.
- 6) 阿部 弘樹, 新井 一道, 高遠 節夫, 西浦 孝治, 野澤 武司, 濱口 直樹, 大日本図書, 新微分積分II問題集, 2014, 107.
- 7) 齋藤 純一, 高遠 節夫, 野澤 武司, 濱口 直樹, 前田 善文, 山下 哲, 大日本図書, 新微分積分II, 2013, 181.
- 8) 高遠 節夫, 石村 隆一, 野田 健夫, 安富 真一, 山方 竜二, 培風館, 理科系の基礎 微分積分, 2013, 174.

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

- 1) KeTpic+TeX による図入り教材作成支援 <http://www55.atwiki.jp/ketpic>
- 2) KeTCindy による図入り教材の作成 <http://www55.atwiki.jp/ketcindy>

6. 研究組織

(1)研究代表者

山下 哲 (YAMASHITA, Satoshi)
木更津工業高等専門学校・基礎学系・教授
研究者番号: 40259825

(2)研究分担者

北原 清志 (KITAHARA, Kiyoshi)
工学院大学・基礎・教養教育部門(一般教育部・自然)・准教授
研究者番号: 90133321

高遠 節夫 (TAKATO, Setsuo)
東邦大学・理学部・研究員
研究者番号: 30163223

前田 善文 (MAEDA, Yoshifumi)

長野工業高等専門学校・一般科目・教授
研究者番号：60249787

碓氷 久 (USUI, Hisashi)
群馬工業高等専門学校・一般教科(自然)・
教授
研究者番号：00280355

阿原 一志 (AHARA, Kazushi)
明治大学・総合数理学部先端メディアサイ
エンス学科・教授
研究者番号：80247147

牧下 英世 (MAKISHITA, Hideyo)
芝浦工業大学・工学部・准教授
研究者番号：80631580