

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：53601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00944

研究課題名(和文) 3Dモデルとタブレットおよび紙媒体を効果的に併用した数学教材の開発とその評価

研究課題名(英文) Producing teaching materials for mathematical figures and the educational effects of combining materials--physical models, tablets, and handouts

研究代表者

濱口 直樹 (Hamaguchi, Naoki)

長野工業高等専門学校・一般科・教授

研究者番号：00369977

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：高専や大学初年級の数学教育においては空間図形の理解が必要である。現在では、3Dプリンタによる立体モデル教材やタブレット上で扱う図形教材など様々なスタイルで提示されるようになってきた。本研究においては、教員がこれらの教材を容易に作成できるようにするため、教材作成支援システムの整備を進めるとともに、実際に作成した立体モデル教材やタブレット教材およびプリント教材を併用して設計した授業を通して、それらの教材の教育効果を確認した。

研究成果の概要(英文)：In mathematics classes at the collegiate level, teachers often use teaching materials for 3D figures such as graphs of two-variable functions and spatial figures. Recently, these are presented in various ways--handouts, slides, physical models, figures on tablets. We improved our system for easily making of these teaching materials. Moreover, we designed classes in which all of these materials were combined, and confirmed the educational effects of them.

研究分野：科学教育

キーワード：立体モデル併用教材 空間図形教材 KeTCindy KeTpic

1. 研究開始当初の背景

高専および大学初年級の数学教育においては、関数のグラフや図形などの理解が必要不可欠であるが、特に、曲面や立体図形について戸惑う学生の姿を見ることは少なくない。これに対して、多くの数学教員がプリント教材作成に用いる LaTeX には、正確な挿図が困難であるという欠点があったが、我々が開発した挿図用のマクロパッケージである KeTpic により、Scilab や R などの数値計算システムによって裏付けされた正確さと、単純な線画であるという見やすさを兼ね備えた挿図が可能となった。

KeTpic を用いた挿図教材については様々な検証が行われ、その教育効果も確認されている。また、挿図教材は紙媒体だけでなくスクリーン上にも効果的に提示されるようになり、さらに KeTpic を用いることで、タブレット上で扱える図形のデータや 3D プリンタで作られる立体モデル教材のデータを生成することが可能となった。

以上の状況を踏まえ、本研究では、新たな形の教材の開発とそれらをどのように併用していくことが効果的であるかを追究することとした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高専および大学初年級の数学教育における図形を用いた教材の作成を容易にし、その有効性をさらに高めることにある。特に、偏微分や重積分の授業では、2変数関数のグラフとなる曲面や立体図形の理解が必要である。3D プリンタやタブレットなど、教育で利用できるツールが普及してきてはいるが、これらによって提示される空間図形教材は、必要となる十分な数学的情報を併せ持つとは言えず、単独では教材として不十分である。本研究では、これらの教材を、多くの数学的情報をもたらす紙媒体の挿図教材と併用することにより一層効果的なものとするための利用方法を確立し、その教育効果を検証することとした。

3. 研究の方法

(1) 普及版の 3D プリンタで作成される立体モデルについて、教材として利用することのできる大きさ、厚み等を設定し、教育上効果的な図形を検討する。3D プリンタについては、性能や材料も様々であるが、本研究では教材の精度を考慮して、レジン材料とする光造形方式の 3D プリンタを使用する。

(2) 上記で検討したいいくつかのテーマに対して立体モデル教材、タブレット上の図形教材、紙媒体の教材を作成し、これらを併用した実験授業を行う。学生の理解度についてはアンケートを用いて調査を行う。

(3) 上記に沿って研究を進める中で必要となる機能を追加して KeTpic の整備を進めるとともに、研究打ち合わせを通して、効果的な教材の検討をさらに進める。

(4) 実験授業の結果や用いた教材の作成方法については、国内外での学会等で発表するとともに、ホームページを利用して公開する。

4. 研究成果

(1) 図形を用いた教材の作成を容易にするため、整備を進めてきた KeTpic であるが、動的幾何ソフト Cinderella の開発者であるポツダム大学の Kortenkamp 教授との打ち合わせを通して KeTCindy を開発し、これまで以上にインタラクティブな教材作成環境の整備を進めることとした(雑誌論文④)。主に数値計算システムである Scilab を用いて LaTeX による教材への挿図を考えてきたが、図形データの作成段階において、Maxima や Risa/Asir、Fricas などの数式処理システムを用いて計算させ、そのデータを読み込む手法を取り入れた(雑誌論文⑤)。特に空間図形については複雑な数式を扱うことも多く、この有効性は非常に大きいものとなっている。

(2) 効果的な空間図形教材としては、2変数関数のグラフの導入段階で使用される回転面や鞍形が基本的なものである。さらには、原点において極限が存在しない関数のグラフとなる曲面(図 1)や、原点において偏微分可能であるが全微分可能でない関数のグラフである曲面(図 2)を作成した。いずれも KeTCindy を用いて 1 つの図データからプリント教材、タブレット教材、立体モデル教材が作成できる。システムに関する整備をさらに進め、数学的には黒板やノートへの描画が困難と思われる曲面や空間曲線、さらには正多面体についても、様々な形の教材として学生に提示できることとなった(雑誌論文③)。

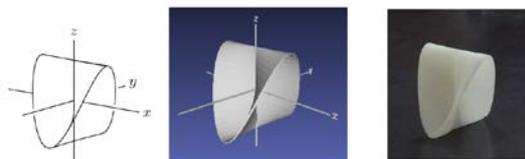


図 1. 教材例 1

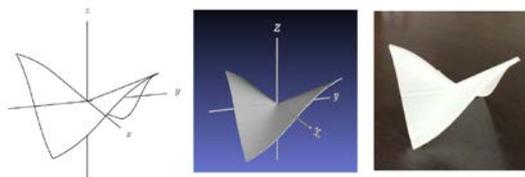


図 2. 教材例 2

(3) 整備を進めていく中で、pdf 形式のスライドを容易に作成する機能を KeTCindy に追加した。スライド教材は、教員間の授業設計に関する意見交換や改善に向けた検討の際にも非常に有効である。このスライドを授業展開の中心に置き、立体モデル教材とタブレット教材およびプリント教材を併用して設計し、実験授業を行なった。以下に用いた教材とアンケート調査における主となる設問の回答状況を記す。

① 極座標変換を用いた重積分
対象学年：大学1年生24名

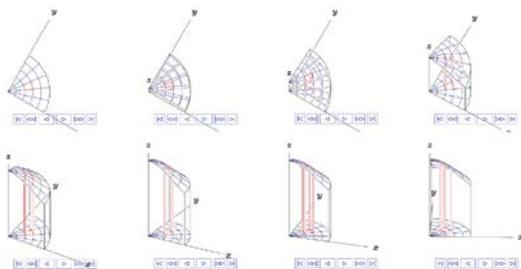


図3. スライド教材

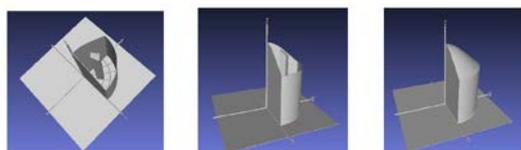


図4. タブレット教材

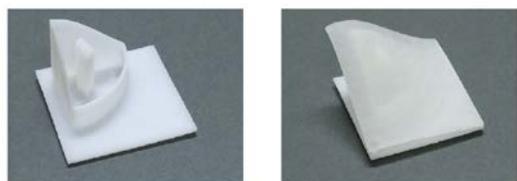


図5. 立体モデル教材

アンケート設問：次の内容を理解するためにそれぞれの教材がわかりやすかったかどうかについて

- ◎：とてもわかりやすい
- ：わかりやすい
- △：ふつう
- ×：わかりにくい

の中から1つ選んで下さい。

『2重積分によってどの部分の体積が求められるか』

	◎	○	△	×	無答
プリント	4	13	7	0	0
スライド	10	12	2	0	0
タブレット	12	8	4	0	0
立体モデル	9	9	5	0	1

『極座標変換による積分公式がどのようなものか』

	◎	○	△	×	無答
プリント	4	12	5	1	2
スライド	11	10	3	0	0
タブレット	5	7	7	3	2
立体モデル	6	7	6	4	1

上記の結果から、立体モデルやタブレットは、それ自体が表すものの理解に有効であることは言うまでもないが、直接は示していない内容についても理解の助けとなっている様子がうかがえる（雑誌論文②）。

② 回転体の体積
対象学年：高専2年生39名

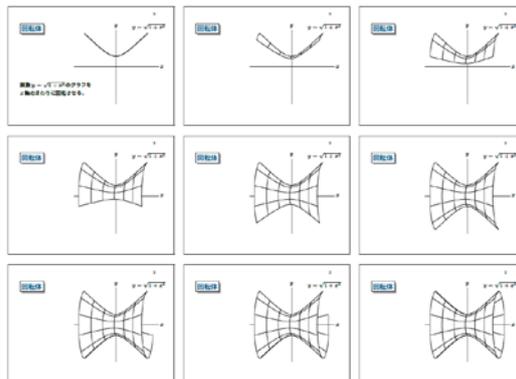


図6. スライド教材

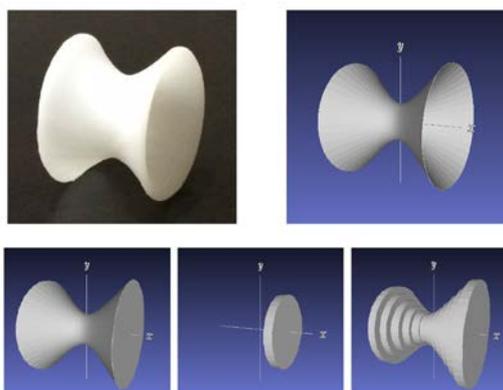


図7. 立体モデル(左上)とタブレット教材

アンケート設問：

『回転体の体積がどのようにして求められるか』

	◎	○	△	×	無答
プリント	13	23	3	0	0
スライド	24	14	1	0	0
タブレット	27	11	1	0	0
立体モデル	19	17	0	0	3

『断面の面積が $S(x)$ で表される立体の体積がどのようにして求められるか』

	◎	○	△	×	無答
プリント	15	19	4	1	0
スライド	18	18	3	0	0
タブレット	19	13	7	0	0
立体モデル	10	21	4	0	4

前述の授業内容と同様に、その形状が表す内容の理解には有効であるとともに、直接は示していない内容の理解の助けにもなっている。また、スライドについて、ポジティブな回答が安定して多いことも注目されるべき点である。実際のアンケートにおいても、それぞれの学生が理解しやすいとする教材は様々であり、さらには好む教材の組み合わせも多岐にわたる。異なる形の教材を学生自身の手で扱うことができるこの授業のスタイルは、学力も含めて多様な学生に対して有効であると考えられる（雑誌論文①）。

(4)本研究機関においては、教材作成システムである KeTCindy の整備が進み、計画当初に考えていた教材のスタイルに、数学的な情報を持たせることのできるスライド教材が加わったことが、教材の可能性を大きくしていると言えよう。また、ここに述べた実験授業以外の授業においても、実際に学生自身が手に取って扱うことのできる数学教材の重要性を感じる機会が増えてきている。さらに、空間図形を扱う最初の段階、新しい概念を説明する最初の段階の基本的な内容について、様々なスタイルの教材を用いることで、その後の学習内容にも良い影響を及ぼすことが期待される結果となった。今後は、空間図形に留まらず、手に取れる効果的な教材の検討も進めたい。

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 5 件)

① 濱口 直樹、大島 利雄、高遠 節夫、立体モデルおよびスライド・タブレットを併用した数学教材の開発、城西大学数学科教職課程紀要、査読無、1(2)、2017、pp. 2006-2013
DOI:10.20566/sugakukyoshoku_1(2)_2006

② Naoki Hamaguchi, Setsuo Takato, Producing Teaching Materials for Spatial Figures with KeTCindy and the Educational Benefits of Combining Materials, Lecture Note in Computer Science 10407, 査読有, 2017, pp. 262-272
DOI:10.1007/978-3-319-62401-3_20

③ Naoki Hamaguchi, Setsuo Takato, Generating data for 3D models, Lecture Note in Computer Science 9725, 査読有, 2016, pp. 335-341
DOI: 10.1007/978-3-319-42432-3_41

④ Setsuo Takato, What is and How to Use KeTCindy-Linkage Between Dynamic Geometry Software and LaTeX Graphics Capabilities-, Lecture Note in Computer Science 9725, 査読有, 2016, pp. 371-379
DOI:10.1007/978-3-319-42432-3_46

⑤ Setsuo Takato, J. A. Vallejo, Masataka Kaneko, Interfacing KeTCindy and CASs, and its Applications to Scientific Problems Modeling, Proceeding of Applications of Computer Algebra 2016, 査読有, 2016, pp. 23-27
www.wzim.sggw.pl/wp-content/uploads/.../Takato_ACA_2016.pdf

[学会発表] (計 5 件)

① 濱口 直樹、空間図形の理解を助ける授業設計とその評価 -スライド・タブレット・立体モデルの併用-、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」、2017

② 濱口 直樹、KeTCindy で作成した空間図形教材による授業設計、日本科学教育学会第 41 回年会、2017

③ Naoki Hamaguchi, Producing Teaching Materials for Spatial Figures with KeTCindy and the Educational Benefits of Combining Materials, The 17th International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2017), 2017

④ 濱口 直樹、3Dモデル数学教材の作成とその効果、日本科学教育学会第 40 回年会、2016

⑤ Naoki Hamaguchi, Generating data for 3D models, The 5th International Congress on Mathematical Software (ICMS 2016), 2016

[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

濱口 直樹 (HAMAGUCHI, Naoki)
長野工業高等専門学校・一般科・教授
研究者番号：00369977

(2) 研究分担者

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

大島 利雄 (OSHIMA, Toshio)
城西大学・理学部・客員教授
研究者番号：50011721