

数式処理システムを活用したe-learning教材について

木原 宏佳^{*1}・北本 卓也

On the e-learning material using a computer algebra system

KIHARA Hiroyoshi^{*1}, KITAMOTO Takuya

(Received January 5, 2017)

キーワード：数式処理システム、e-learning、教育の情報化

はじめに

現在、教育現場では電子黒板やタブレット端末などICTを活用した教育の必要性が叫ばれている。特に数学教育においてはICTを活用することで、黒板で表現することが難しい場面（グララの移動や、図形の回転など）での視覚的な理解が深まり、数学に対する苦手意識の克服につながると期待できる。

本研究では、オンライン学習システムであるMoodleを用いたe-learningシステムを構築する。Moodleは無料で使用できる学習管理システムであり、プラグインとして様々なものがあるが、その中で数式処理システムMaximaを搭載した数学オンラインテスト・評価システムであるSTACKに着目する。従来のオンラインテストは選択式の問題が中心となっているが、STACKでは解答を数式として要求することができ、受験者が数式を直接入力することができる。またプラグインとして動的数学ソフトウェアであるGeoGebraにも注目し、これらを活用したe-learningシステムの数学教育に対する効果について考察する。

1. 教材のベースとなったシステムについて

1-1 Moodle

Moodleは学習管理システム (Learning Management System, LMS) と呼ばれるソフトウェアの1つであり無料で使うことができる。Moodleをインストールする必要があるのは管理者だけであり、受講者はインターネットへの接続環境とブラウザを準備すればMoodleを使用することができる。

- ・教材のアップロード
- ・出席管理
- ・小テスト・課題の出題、解答
- ・投票
- ・チャット

1-2 STACK

STACK (System for Teaching and Assessment Using a Computer algebra Kernel) とは英国バーミンガ

*1 山口大学大学院教育学研究科教科教育専攻数学教育専修

ム大学のChristopher Sangwinらによって開発されたオンラインテストシステムである。オンラインテストでは選択式の問題や解答を数値として入力する問題が多いが、STACKでは図1の様にテストの受験者が解答を数式の形で入力することができる。数式を入力する際、入力形式に誤りがある場合にはエラーメッセージが表示される。STACKは数式処理システムMaximaを搭載しており、受験者が入力した数式の正誤判定を行うことができる。図2は正解の場合であり、図3は不正解の場合である。不正解の場合は正答が表示される。

次の関数を微分しなさい。

$$f(x) = 3x^3 + 6x^2 + 5x + 8$$

$f'(x) =$

図1 解答を数式で入力

次の関数を微分しなさい。

$$f(x) = 3x^3 + 6x^2 + 5x + 8$$

$f'(x) =$

あなたの入力した数式は次のとおりです：

$$9x^2 + 12x + 5$$

よくできました。正解です!

図2 正解の場合

次の関数を微分しなさい。

$$f(x) = 3x^3 + 6x^2 + 5x + 8$$

$f'(x) =$

あなたの入力した数式は次のとおりです：

$$9x^2 + 6x + 5$$

残念，間違いです。
正解は $9x^2 + 12x + 5$ です。

図3 不正解の場合

右の図が示すように、数式にはいろいろな表現がありうる。選択式の問題では勘で答えを選択したり、自分の答えがどれにあてはるか考えたりする必要があるが、STACKのように数式を直接入力することができる、正しい式さえ入力すれば正解と判定してくれる。このことにより、受験者の負担が軽減する。

$$\frac{2x + 1}{x^2(x + 1)^2} = \frac{1}{x^2} - \frac{1}{(x + 1)^2}$$

$$3 \cdot 5^n - 3 \cdot 5^{n-1} = 12 \cdot 5^{n-1}$$

数式の異なる表現の例

1-3 GeoGebra

GeoGebraは幾何学だけでなく代数学、解析学なども扱うことができる動的数学ソフトウェアである。グラフや図形を描くのが容易であり、正確に描くことができる。図4はGeoGebraを用いて作成したグラフの例である。また、GeoGebraは3次元にも対応しており図5のように空間図形も描くことが可能で、様々な方向から図形を考えることができる。

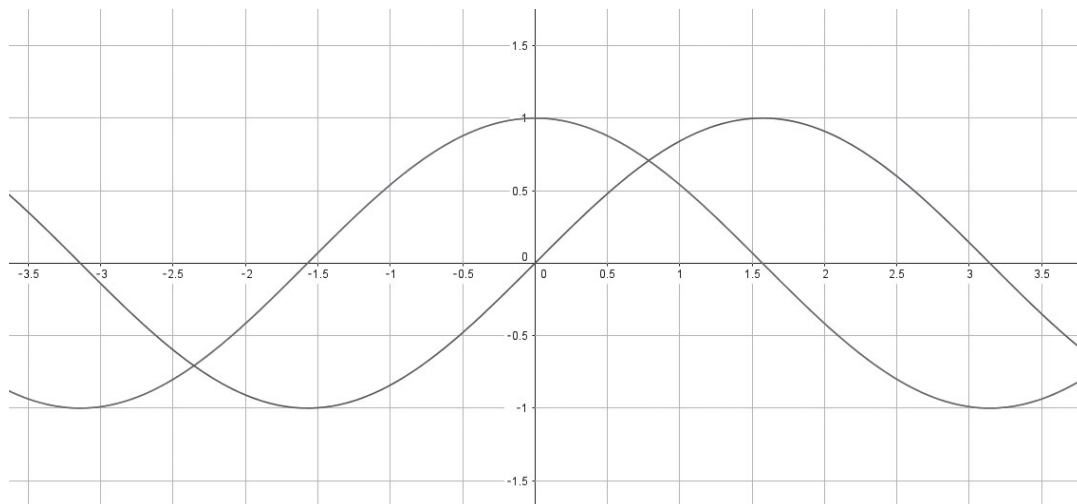


図4 三角関数のグラフ

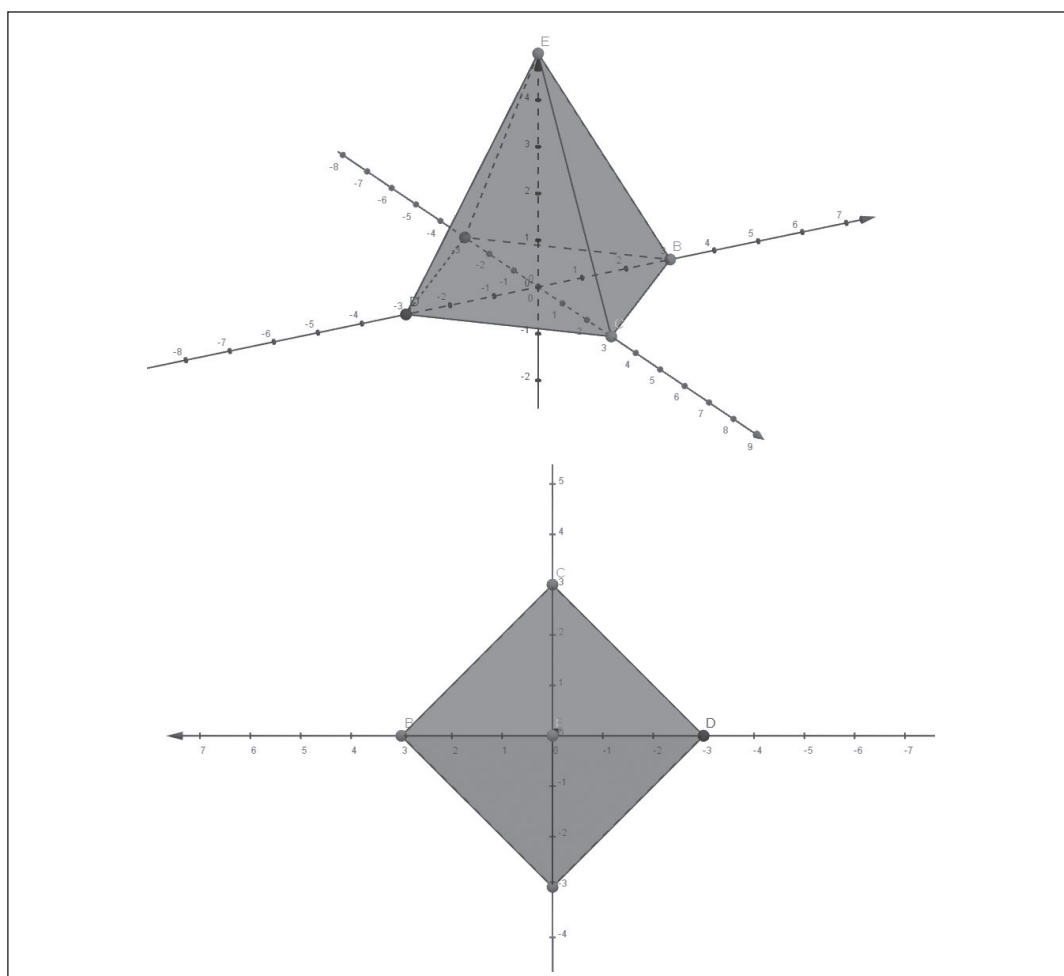


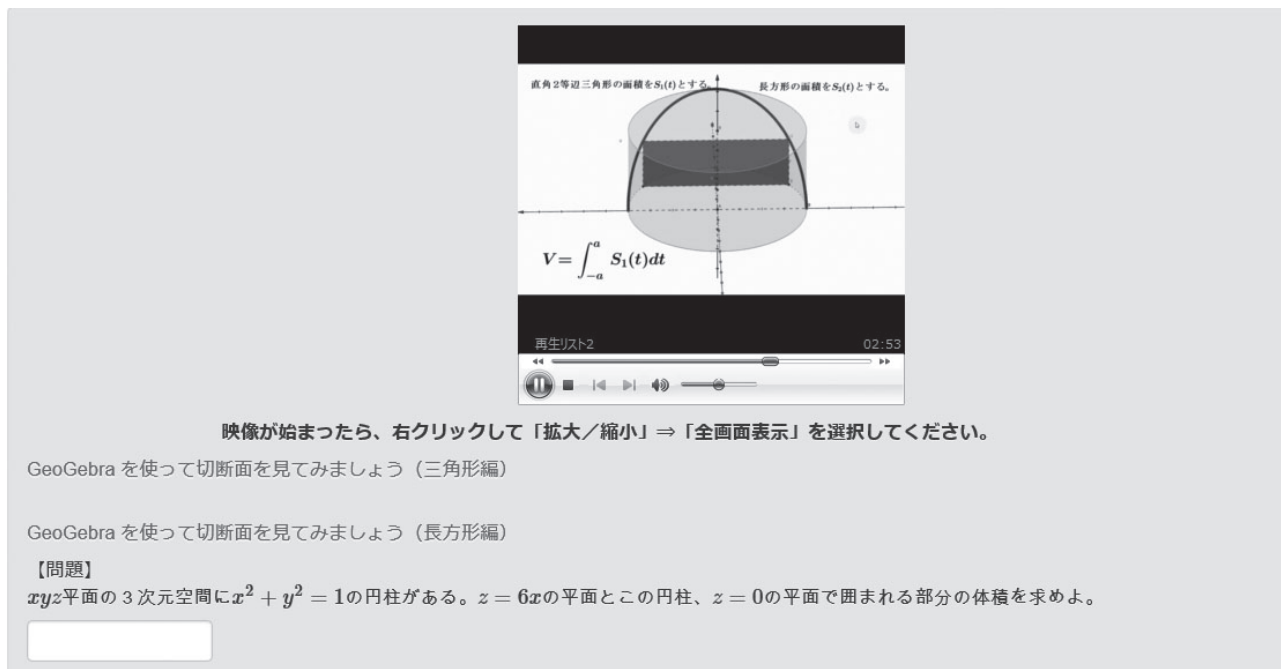
図5 空間図形

2. e-learningシステム

構築したe-learningシステムの一例を紹介する。図6はMoodleにログインした画面である。課題を選択すると図7の教材が表示される。



図6 Moodleにログインした画面



映像が始まったら、右クリックして「拡大/縮小」⇒「全画面表示」を選択してください。

GeoGebra を使って切断面を見てみましょう（三角形編）

GeoGebra を使って切断面を見てみましょう（長方形編）

【問題】
 xyz 平面の3次元空間に $x^2 + y^2 = 1$ の円柱がある。 $z = 6x$ の平面とこの円柱、 $z = 0$ の平面で囲まれる部分の体積を求めよ。

図7 STACK, GeoGebra, ビデオ教材を組み合わせた課題

図7では、円柱が平面によって切り取られる部分の体積を求める問題を提示している。この問題は3次元空間で考える必要があり、黒板等に正確な図を描くのが難しいため学習者が躓きやすい問題である。

開発した教材ではこの問題に対する理解を深めるために、Moodle上でSTACKとGeoGebraにビデオ教材を組み合わせている。このビデオ教材ではGeoGebraの教材を実際に動かしながら音声を加えて問題の考え方に

ついて説明しており、ビデオ教材の下にある「GeoGebraを使って切断面を見てみましょう（三角形編）」、「GeoGebraを使って切断面を見てみましょう（長方形編）」のリンクをクリックすると図8、図9のようにGeoGebraの教材が表示される。

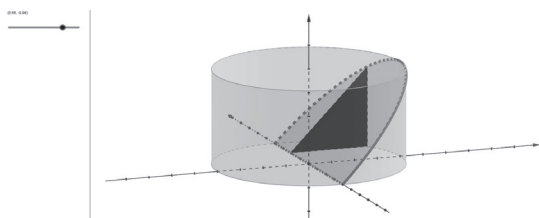


図8 GeoGebra(三角形編)

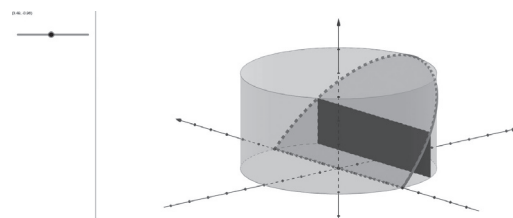
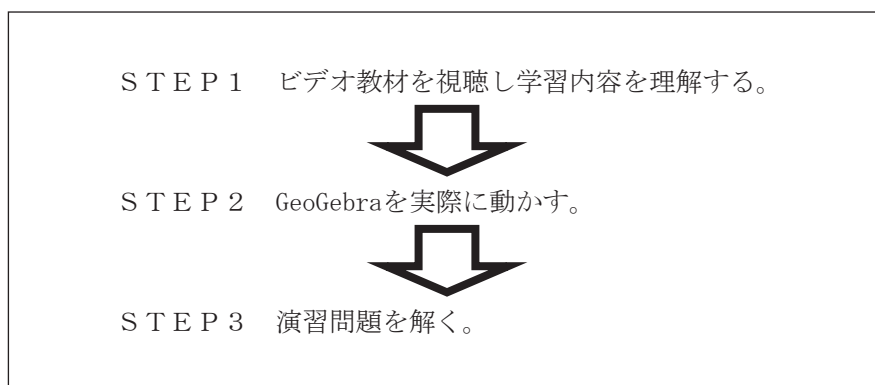


図9 GeoGebra(長方形編)

図8、図9の図形はマウスを操作することにより、3次元空間内で視点を動かせるようになっており、問題が直感的に理解しやすくなるように工夫が施されている。この問題は図8のように断面が3角形になるように切っても、図9のように断面が長方形になるように切っても体積を求めることができるが、後で示すアンケート結果からもわかるように、図9のように切る方法はなかなかイメージしにくい。2つ解法を示すことにより、1つの問題に対していろいろな解法がありうるということを示す良い例となっている。

この教材の活用方法は以下のようになる



STEP 1は「授業」に該当する。STEP 2では実際に自分で教材を動かしながら視覚的に理解することを目的としている。今回扱った問題では3次元を考えるためGeoGebraの教材が特に理解の助けになると考えられる。STEP 2まで終えた後は学習内容を理解できているか確認するために演習を行う。この演習を行う際にGeoGebraを活用しても良い。しかし最終的にはGeoGebraの教材を活用せずに自力で解けるようになる必要がある。STACKの演習問題は乱数を用いて作成しているので受験する度に違う数値の問題が出題される。ドリル学習の様に繰り返し演習を行うことで問題を解く力が身につくことが期待できる。

3. 教材の実践と評価

数学の授業においてレポートや演習としてe-learningシステムを活用し、教材についてアンケートを行った。表1はSTACKに関するアンケート結果、表2はSTACKとGeoGebraにビデオ教材を組み合わせた教材に関するアンケート結果である。以下に示す項目に対して1（当てはまらない）～5（当てはまる）の5段階評価をしてもらった。

表1 STACKに関するアンケート

項目	平均評価
課題は難しい。	3.5
課題の問題数は多い。	3.4
課題を通して理解が深まる。	3.8
課題は紙媒体のレポートより良い。	3.2

また、1週間の間にSTACKを利用した時間については、30分未満が受講生の8%、1時間未満が56%、2時間未満が36%であった。

表2 STACKとGeoGebraにビデオ教材を組み合わせた教材に関するアンケート

項目	平均評価
直角三角形に分割して問題を解くとき、ビデオ教材を基にイメージすることができる。	3.9
立体を切った断面が直角三角形になることが分かる。	4.2
直角三角形の軌跡が求める立体になることが分かる。	4.2
直角三角形に分割したとき積分範囲がどこからどこまでになるのか分かる。	4.1
長方形に分割して問題を解くとき、ビデオ教材を基にイメージすることができる。	3.6
立体を切った断面が長方形になることが分かる。	4.2
長方形の軌跡が求める立体になることが分かる。	4.0
長方形に分割したとき積分範囲がどこからどこまでになるのか分かる。	3.9

また、受講生の84%が三角形で考える方が分かりやすいと回答し、ビデオ教材とGeoGebraの教材はどちらがより理解の助けになるかという質問に対しては、受講生の56%がビデオ教材で44%がGeoGebraの教材と回答した。

e-learningによるレポートと紙媒体によるレポートについて、以下の様な意見が出た。

【e-learnigの方が良い】

- ・自分の解答の正誤がすぐに判別できる。
- ・正解するまで何度もでき、問題の数値が受ける度に違うので問題に対する理解が深まる。
- ・レポートを提出しに行く必要がない。

【紙媒体の方が良い】

- ・パソコンでの数式の入力に手間取る。
- ・入力方法を間違えると不正解になる。
- ・実際にグラフや図を描いて提出するので達成感がある。

【考察】

アンケートから課題が難しいという意見が多いが、それぞれの問題の最終的な正答率は80%を超えていた。当初は難しいと思われていた課題も何度も繰り返し演習を行うことで解けるようになっていくということが分かる。このことは、アンケート結果の「課題を通して理解が深まる」の平均点が高いことからわかる。また、課題の問題数が多いということがアンケート結果に出ている一方で60%以上の学生が1週間の間にSTACKを利用した時間を1時間未満と回答している。このことは、受講生が印象として課題が多いと感じているだけで、実際にはそうでもないことを示している。

ビデオ教材を組み合わせた教材においては、「問題を解くときビデオ教材を基にイメージすることができた」の項目が三角形、長方形ともに平均評価が3点台であった。これは他の項目に比べ低い値にとどまっている。すなわち、ビデオ教材のみでは十分な理解が得られず、実際に自分でいろいろ操作して図を動かすことが十分な理解に必要であることを示している。実際、ビデオ教材とGeoGebraの教材はどちらがより理解の助けになるかという質問に対しては、受講生の56%がビデオ教材で44%がGeoGebraの教材と、ほぼ半数に割れており、GeoGebraの教材がビデオ教材と同程度有効であることを示している。

おわりに

Moodle, STACK, GeoGebraを活用したe-learningシステムの数学教材を作成した。STACKは数式を解答として要求することができ、また乱数を用いた問題を作成できドリル学習の様に繰り返し演習できる。STACKの演習問題にビデオ教材、GeoGebra教材を組み合わせ、1つのホームページで一通り学習できる教材についても実践し、アンケート結果をもとに教材の分析、評価を行った。アンケート結果から受講生にとっては、課題の正誤がすぐに判別できるという点がありがたいという意見が多かった。課題を通して理解が深まったという意見もあり、e-learningによる学習の効果があつたと言える。一方でパソコンでの数式の入力に手間取る、入力方法を間違えると不正解になる、実際にグラフや図を描いて提出するので達成感があるという理由から紙媒体の方が良いという意見があつた。e-learning上でもグラフや図形を描けるようなものを装備し受講者の考えをより生かすことができるように改善することが課題である。また、パソコンでの数式入力などについては、e-learningを活用する前に十分な説明が必要であるとともに、今後の情報化社会に向けて受講者（学生）が求められる能力であると考えられるので、それに向けたトレーニングや教育が必要になってくると思われる。

参考文献

文部科学省ホームページ：「教科の情報化に関する手引き」検討案

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/056/shiryo/attach/1249668.htm

Moodle：<https://moodle.org/>

STACK：<https://ja-stack.org/>

GeoGebra：<https://www.geogebra.org/>

GeoGebra日本：<https://sites.google.com/site/geogebrajp/>

William H. Rice IV 著，福原明浩 訳，喜多敏博 訳・監訳：『Moodleによるeラーニングシステムの構築と運用』，技術評論社，2009.

井上博樹，奥村晴彦，中田平 共著：『Moodle入門 オープンソースで構築するeラーニングシステム』，海文堂出版，2006.

濱岡美郎：『Moodleを使って授業する！なるほど簡単マニュアル』，海文堂出版，2008.

中村泰之：『数学eラーニング 数式解答評価システムSTACKとMoodleによる理工系教育』，東京電機大学出版局，2010.

中西大輔，大澤真也 編著：『Moodle事始めマニュアル Ver. 1.9および2.4対応』

岡本和夫：『岡本和夫の基礎数学シリーズ 微分と積分』，実教出版株式会社，1998.