

# 工学系大学における数学基礎教育の e-Learning

## に対する数学コンテンツの配信について

亀田真澄<sup>\*1</sup>, 宇田川暢<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 山陽小野田市立山口東京理科大学, <sup>\*2</sup> 山口県立大学

## About the distributing of mathematical contents for mathematical education with engineering university

Masumi KAMEDA<sup>\*1</sup>, Mitsuru UDAGAWA<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Tokyo University of Science, Yamaguchi, <sup>\*2</sup> Yamaguchi Prefectural University

工学系大学において STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育は重要であり, 教室外で実行されている最新の教育環境では, 学習管理システム (LMS, Learning Management System) および情報通信技術 (ICT, Information and Communication Technology) を利活用した多数の実践例が報告されています. 本研究報告では STEM 教育の数学基礎教育における数学コンテンツに関する活用実践例を報告します.

キーワード: 工学系大学, 数学基礎教育, LMS, ICT, コンテンツ

### 1. はじめに

第一著者は山口県内に所在する『工学系の個性的小規模大学』で初年次教育に従事しています. 所属大学は 2016 年度から公立化として『山陽小野田市立山口東京理科大学』(以下, 「本学」という)として組織改編し, 3 学科(機械工学科, 電気工学科, 応用化学科)が設けられ, 大学母体の建学の精神である『理学の普及を以て国運発展の基礎とする』を掲げて, 地方大学として『地域のキーパソンの育成』に貢献することを目的にしています.

さらに第一著者は, STEM 教育において少人数クラス制を取り入れた数学基礎教育の授業科目「基礎数学(必須 2 単位)」「線形代数 I・II (必須各 2 単位)」「微分積分学 I・II (必須各 3 単位)」「機械数学 II (選択 2 単位, 2015 年度担当終了)」を担当し, 全ての担当授業において対面授業に連携した e-Learning システム(以下, 「本システム」という)を提供しています. そして第二著者は本システムを遠隔操作で管理・運用しています<sup>(1)(2)</sup>.

### 2. 学習ネットワーク環境

#### 2.1 大学におけるネットワーク環境

本学は, 全学生に対して入学時においてある基準以上の学習能力をもつノート PC (以下, 「学生 PC」という)を所持することを指導し, 大学講義において授業内外で利活用させることを開学当初から教育方針として掲げています.

さらにネットワーク環境では, キャンパス全域で利用できる無線 LAN 環境(以下, 「大学 WiFi」という)が整備されています. その結果, 全学生が学生 PC および学生個人が所持するスマートフォン(以下, 「学生スマホ」という)を大学 WiFi に接続させてキャンパス全域で安全にかつ簡便に学修環境を保持することができます.

#### 2.2 研究室からのネットワーク環境

本システムのサーバ群は第一著者の研究室内に設置され, 大学内外に対して本システムのサービスを提供

しています(10)。

また本システムは CentOS をベースに LMS のプラットフォーム “Moodle<sup>1</sup>” で運用し、平成 22 年度から配信し続けています。図 1 は本システムの構成イメージです。この構成において「複数系統による負荷分散」「メンテナンス負荷軽減」「データ保全」「セキュリティ重視」を重視してインターネットに本システムを公開させています(3)(4)。

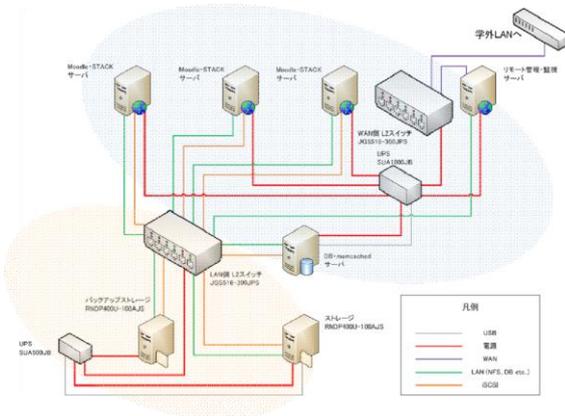


図 1 本システムの構成イメージ

### 3. オンラインテキスト

本システムは数学に関連したコンテンツを配信し、特に Moodle が持つ機能である「ページ(Page)」と「ブック(Book)」の両りソースを多用しています。この配信された Web ページでは美的かつ拡張可能な数式表現を実現させるために、HTML ソースにおいて組版システム “AMS-LaTeX<sup>2</sup>” の数式モードの “TeX” コマンドを組み込み、さらにクライアント側の閲覧機器では JavaScript 数式ライブラリ “MathJax<sup>3</sup>” を使用して対処しています。

すなわち学習コース受講者はいつでもどこからでも学生 PC または学生スマホにインストールされた Web ブラウザを通して数学基礎教育に適した学習環境を利活用できるように設定されています。

図 2 は、授業科目「微分積分学 II」の学習単位「二重積分」におけるオンラインテキストのスクリーンショットです。ここでは同じ学習テキストを学生 PC における画面 (左)、学生スマホにおける画面 (中)、さらに学生スマホにおける拡大化させた画面 (右) が比

較できるように並列描画されています(3)。



図 2 オンラインテキストのスクリーンショット

次に、配信させる Web ページにおいて関数グラフなどの数学図形を組み込ませる場合には、主に 2 種類のグラフ生成システムで対処しています。

すなわち静的な数学図形 (静止図形) の表示に対してはグラフ生成システム “graph.tk<sup>4</sup>” を活用します。このシステム “graph.tk” は関数グラフを多数生成、かつ多色表現が行える仕様を持っています。さらに領域を明示できる描画機能も備えています。図 3 (左) では対数関数に関する数学的特性を表現させた静止図形を描画させています。一方、この描画では画像ファイルを引用しているのではなく、HTML ソース内にグラフ生成 “graph.tk” の命令コマンド (テキスト) を組み込んでいるだけです。

また動的な数学図形 (可動図形) の表示に対しては動的数学ソフトウェア “GeoGebra<sup>5</sup>” を活用します。このソフトウェア “GeoGebra” は数学図形において可動的にシミュレーションができる仕様を持っています。すなわち図 3 (右) では三角比に関する数学的特性を表現させた可動図形を描画させています。ここでは単位円における中心角を変動させることで、その中心角に応じた正弦の数値が連動して表示させています。この可動性特性を実現するためには HTML ソース内に GeoGebra コンテンツを生成させる JavaScript コマンドを組み込んでいるだけです。この描画においても画像ファイルを引用していません。

<sup>1</sup> <https://moodle.org/>

<sup>2</sup> <http://www.ams.org/publications/authors/tex/tex>

<sup>3</sup> <https://www.mathjax.org/>

<sup>4</sup> <http://graph.tk/>

<sup>5</sup> <https://www.geogebra.org/>

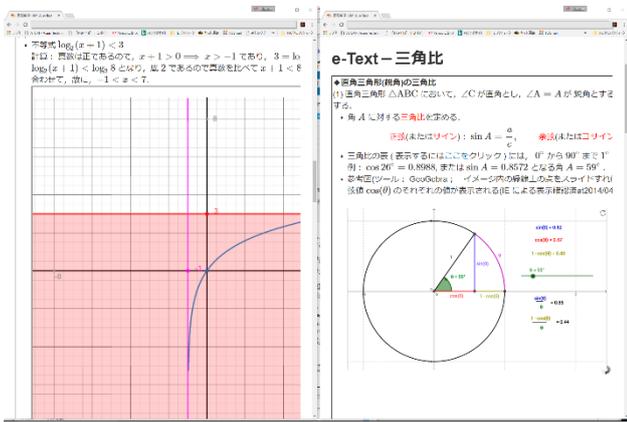


図3 静的(左)または動的(右)な数学図形を描画させたオンラインテキストのスクリーンショット

#### 4. オンラインテスト

本システムには Moodle が持つ機能である「小テスト(Quiz)」活動によるオンラインテストを活用しています。先の数式表現を行うことができる組版システム“AMS-LaTeX”の TeX コマンドを HTML ソースに組み込んだ後に、さらに数式オンラインテスト評価システム“STACK”と数式処理システム“Maxima”を利用することで、高度な数学基礎教育向けのオンラインテストが提供されています。すなわちランダム出題、記述式解答入力(これは表計算 Excel と同等なレベルの Maxima コマンドの入力である)、即時自動採点、随時採点結果の振り返り、かつ反復受験可能な試験環境を実現しています。

図4は授業科目「線形代数 II」の学習単元「掃き出し法」を対象にしたオンラインテストのスクリーンショットです。画面(左)では学生 PC での出題直後の画面であり、画面(右)では学生スマホでの採点済の画面を並列させて描画しています<sup>(10)</sup>。

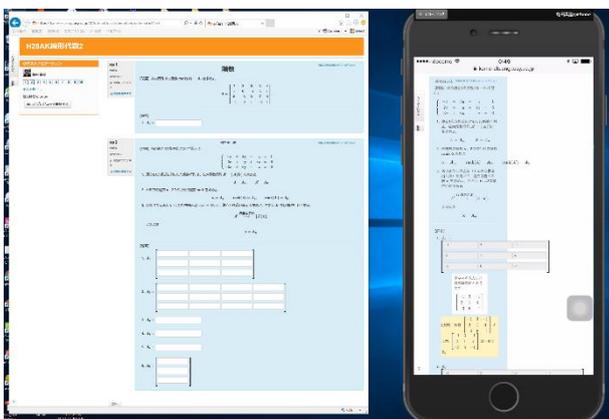


図4 オンラインテストのスクリーンショット

またここで扱っている連立3元1次方程式の係数はランダム出題により変動しています。さらにフィードバックの採点結果にはランダム出題に対応して、かつ行列の成分毎に対して正誤結果が採点されています。

次にオンラインテストにおいて、先のオンラインテキストと同様に関数グラフなどの数学図形を組み込む場合には、主に2種類のグラフ生成システムで対処しています。静的な数学図形(静止図形)に対してはグラフ生成システム“graph.tk”またはコマンドライングラフ生成システム“gnuplot”を活用します。この両システムはコマンドラインにてグラフを生成させる機能を持ち、図5(左)ではランダム出題に応じた関数に対して静止図形グラフを複数、かつ多色で描画させています。さらにパラメータ表示の関数グラフを描画させています。しかし3Dグラフには対応していません。

また動的な数学図形(可動図形)に対しては動的数学ソフトウェア“GeoGebra”を活用しています。このソフトウェア“GeoGebra”は描画させた数学図形において動的にシミュレーションできる機能が備わっています。図5(右)では3次関数の曲線とx軸に平行な直線との交点を直線の切片を変動させることで交点個数の変化を観察できるように設定されています。

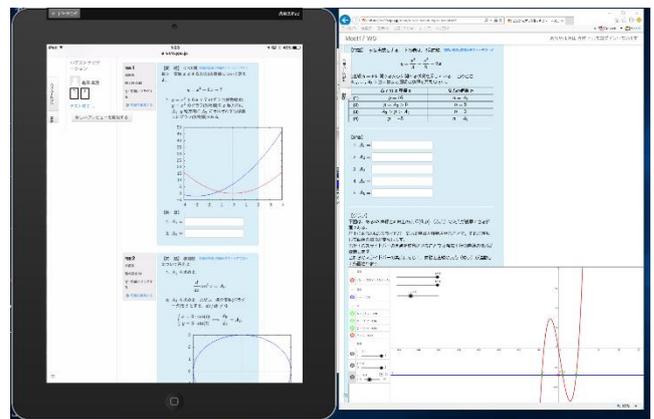


図5 オンラインテスト(含数学図形)のスクリーンショット

#### 5. 学習データ分析

Moodle には簡便なかつ強力な学習分析の機能を保持しています。例えばオンラインテストの受験結果に対して統計的処理(受験者数・所要時間・平均・標準偏差・ヒストグラム生成・ファシリティ指標・識別率

などを生成させる計算機能)が実行できます。この学習分析機能を活用した分析例を紹介します。

図6は本システムへの曜日別時間帯別アクセス状況を描写した累積グラフです。この状況より夜間時間帯にアクセスピークが観察できることで、教室外の学習活動を可視化できていることがわかります(4)。

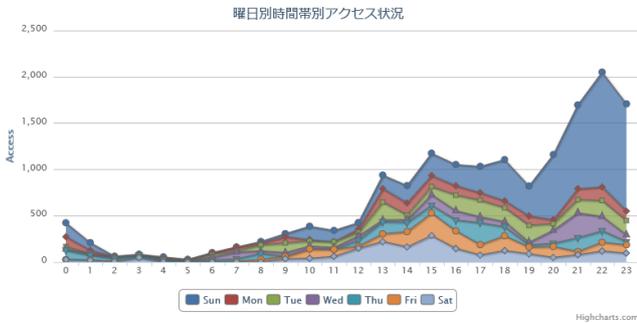


図6 曜日別時間帯別アクセス状況を示す累積グラフ

図7は数学学習に対するオンラインテストの評点に対するヒストグラムです。横軸の右側(高評点側)に棒状が配置されていることは、反復受験可能に設定したことによる学習成果として捉えています。

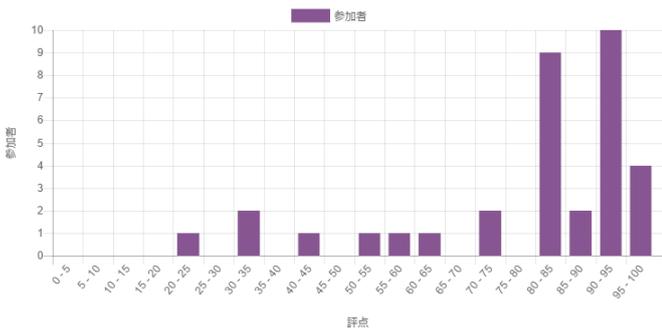


図7 オンラインテスト評点のヒストグラム

図8は講義「線形代数II」で実施した4回分のオンラインテストの総評点(横軸)と紙面で行った定期試験の得点(縦軸)の散布図です。相関係数  $r=0.50$  により「相関がある」ことが分かり、相関係数の t 検定が  $t=2.7; p<0.05$  によりオンラインテストと紙面定期試験における相関は有意性があると判断できます(5)。

図9は微分方程式論を学習する講義「機械数学II」で実施した反復受験可能なオンラインテストの評点に対する箱ひげ図です(6)。これは3期分(1期:常微分方程式, 2期:ラプラス変換, 3期:ラプラス逆変換)における初回評点と最高評点に対するそれぞれの分布状況を示しています。

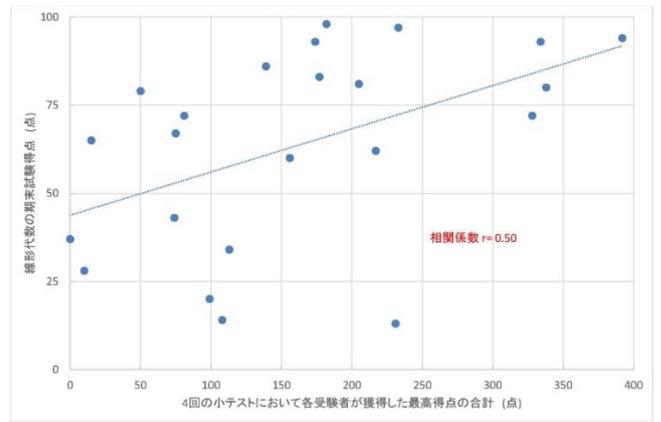


図8 線形代数IIのオンラインテストと紙面テストの両得点の散布図

この分布状況により、同期の初回評点と最高評点の母平均の差に対する t 検定に対して3期とも有意差があることが判断できました(1期:  $df=30; t=6.776; p<0.001$ , 2期:  $df=28; t=6.69; p<0.001$ , 3期:  $df=26; t=8.05; p<0.001$ )(9)(10)(11)。

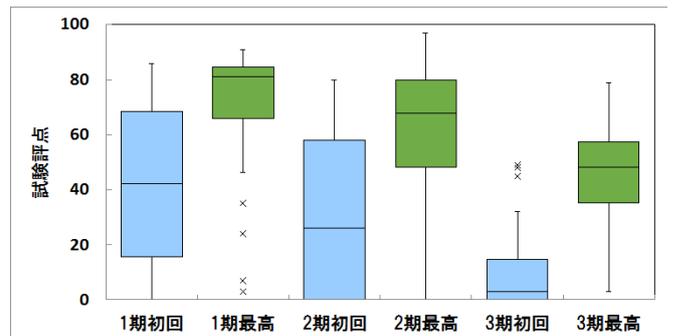


図9 機械数学IIの期別回数別オンラインテスト評点分布

## 参考文献

- (1) 亀田真澄, 宇田川暢: Moodle, TeX, STACK による数学の e ラーニングの取り組み, Proceedings of Moodle Moot Japan 2013, pp.22-27 (2013)
- (2) 亀田真澄, 宇田川暢: 大学の数学教育に対する主体的な学びとなる学修環境作り, 私立大学情報教育協会論文誌 ICT 活用教育方法研究, 第16巻第1号, pp.36-41 (2013)
- (3) 亀田真澄, 宇田川暢: 大学教養講義である「微分積分学」の融合型授業に対応した e-Learning の実践, 東京理科大学紀要(教養編), 第46号, pp.203-217 (2014)
- (4) 亀田真澄, 宇田川暢: 大学初学年における自動化された数学オンラインテスト等による自主的学修時間の可視化及び分析について, 教育システム情報学会2014年度全国大会論文集, pp.229-230 (2014)
- (5) 亀田真澄, 宇田川暢: 工学系の大学初年次に対する線形

- 代数 e-Learning の実践例について, 東京理科大学紀要 (教養編), 第 47 号, pp.235-252 (2015)
- (6) 亀田真澄, 宇田川暢: Moodle による e-Learning における数学ソフトウェアの活用事例について, 京都大学数理解析研究所講究録「数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究」, No.1951, pp.112-121 (2015)
- (7) 亀田真澄, 宇田川暢: 微分方程式におけるオンライン試験の取り組みについて, 情報処理学会研究報告教育学習支援情報システム, 2015-CLE-17(31), pp1-7 (2015)
- (8) 亀田真澄, 宇田川暢: 工学系大学における微分方程式 e-Learning の実践例について, 東京理科大学紀要 (教養編), 第 48 号, pp.265-277 (2016)
- (9) 亀田真澄, 宇田川暢: ランダム出題, 自動採点かつ反復受験可能な数学オンライン定期試験とその功罪, 私立大学情報教育協会平成 28 年度 ICT 利用による教育改善研究改善研究会資料集, pp.134-137, (2016)
- (10) 亀田真澄, 宇田川暢: STEM 教育における授業担当者レベルの融合型授業と学習分析について~ICT, LMS, BYOD の活用と連携, 情報処理学会研究報告教育学習支援情報システム, 2017-CLE-22(1), pp.1-7 (2017-05-06)
- (11) 亀田真澄, 宇田川暢: 自主的学修時間の確保に向けた数学基礎教育 e-Learning の取り組み, 私立大学情報教育協会平成 29 年度 ICT 利用による教育改善研究改善研究会資料集, 4pages (2017)