

数学基礎に対する非接触型オンライン教育の 実践について

亀田真澄*

山陽小野田市立山口東京理科大学共通教育センター

(Received July 3, 2021 Accepted September 21, 2021)

概 要

The author has long been in charge of basic mathematics education in science and engineering universities. About 35 years ago, he has been providing basic mathematics education using personal computers (laptop), which are owned by each student. The concept of “Digitization” had not yet been introduced in the basic mathematics education. About 10 years ago, he began using the learning management system “Moodle” for basic mathematics education. This has helped us to incorporate the concept of “Digitization”. In this system, he used “STACK”, an online test evaluation system for mathematical expressions based on the mathematical processing system “Maxima”, to provide online tests that are automatically graded for basic mathematical concepts. As a result, he was able to confirm the phenomenon of increased independent study time by learners outside the classroom. However, after 2020, the new coronavirus infection (COVID-19) forced the remote teaching in basic mathematics education. At this time, he felt that there was an obstacle in the transmission of basic mathematical concepts in simultaneous interactive distance learning. In order to solve this problem, the author introduced the new tools “CommentScreen” and “Google Slides” in basic mathematics education. Although this educational system required sufficient learning of the mathematical processing system “Maxima”, he was able to create the concept of “Digitalization”, which is a new value for basic mathematics education. In this paper, The author introduce the teaching methods of these communication tools in basic mathematics education.

1 はじめに

筆者は公立薬工系大学である山陽小野田市立山口東京理科大学（以下、「本学」）において学習（修）環境を次の時系列過程に沿って数学基礎教育を改善させてきた。1987年から「学生所持のノートパソコン（以下、「ノートPC」）の教育的活用（Bring Your Own Device, BYOD）」を取り入れた学修環境を、2011年から「学習管理システム（Learning Management System, LMS）」を取り入れた学修環境を、2015年から無線LANシステムが大学構内全域で構築され、「情報通信技術（Information and Communication Technology, ICT）」を全ての教室で活用できるようにな

*kameda@rs.socu.ac.jp

り（学校の情報化），さらに全ての学生がスマートフォン（以下，「スマホ」）を所持する事実から，これらの技術を数学基礎教育に活用できるように学修環境を改善させた．



図 1: DX および EdTech の概念図

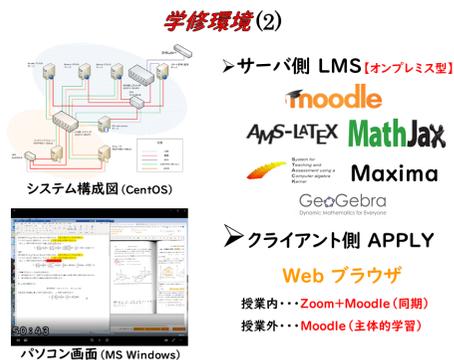


図 2: 数学基礎教育向け学習管理システム

この学修環境の変革により，履修者は「いつでも（希望する学習時間に）」、「どこからでも（希望する学習場所）」数学基礎科目を学習できるように進化した．つまり，「デジタル技術による事業変革 (Digital Transformation, DX)」に含まれる教育事業における「教育デジタル変革 (Education Technology, EdTech)」の実践となっている．結果的には教育事業において「学びを止めない」を基軸にした変革が起きている（図 1）．

前述の LMS は，“Moodle”をプラットフォームとした e-Learning システム（以下，「本システム」）である．また，「数学基礎教育」において数学的概念を伝達するためには「(2次元形式)数式」，あるいはこれに準ずる数学的言語を利用する必要がある．そのため，高度な数式を本システムにおいて表示させるために，数式組版システム“ $\text{\AA}M\text{S-L}\text{A}\text{T}\text{E}\text{X}$ ”および数式 JavaScript ライブラリ“MathJax”を構築させている．また本システムにおいて「コンピュータ基盤テスト (Computer Based Testing, CBT)」、「インターネット経由テスト (Internet Based Testing, IBT)」を提供させるため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”を組み込んでいる．この結果，履修者が教室環境およびネットワーク学習環境の両方において数学的概念を認識・定着できるように本システムが設計されている（図 2）．

2 同時双方向型遠隔授業について

2020 年度，「新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)」に対応した教育活動が求められた．本学の授業は同時双方向型 (リアルタイム) 遠隔授業に統一された．ここで「教師側」および「履修者側」における遠隔授業における学習環境の問題点について考える．

2.1 遠隔授業における教師側環境について

第 1 学期 (期間 : 5 月 11 日 ~ 7 月 5 日) から，本学の教員 (含筆者) は学内特定教室のブースから「Zoom Webinar」方式で遠隔授業を配信した．また同学期後半から Web 会議システム「Zoom



図 3: 遠隔授業における教師側環境のイメージ

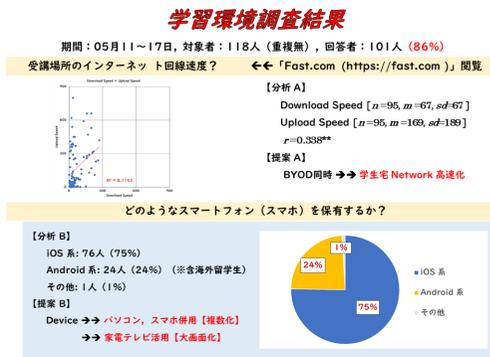


図 4: 遠隔授業における履修者側環境の分析結果

Video System」における「ホスト切り替え」機能により筆者の研究用ノート PC (高スペックな Microsoft Surface Laptop 3) が利用できるようになり, 数学基礎教育において有益なソフトウェア群 (後節において解説する) を同時双方向型遠隔授業で利用できるようになった. さらに第 2 学期 (期間: 7 月 6 日 ~ 9 月 6 日) 以降, 筆者の研究室から配信し, かつ「Zoom Meetings」方式に切り替えたことで, より高度なソフトウェア群を利用できるようになった (図 3).

一方, 吉田 [10] は Web 会議システム「Zoom Video System」を利用した遠隔授業において, 配信メディア (音声, ビデオ, 画面共有) 別にネットワーク通信量を計測した結果を紹介した. この知見により, 大学教育環境における同時双方向型遠隔授業では「画面共有」配信が重要であると判断できた.

2.2 遠隔授業における履修者側環境について

本学の第 1 学期 (筆者の担当科目は「線形代数 I」「基礎数学」「微分積分学及び演習」である) では, 多くの学生は自宅 (含大学寮) で, ごく少数の学生は Wi-Fi 設備された学内教室で, および訪日できない留学生 (担当科目履修者 2 名) は国外の自宅で, 遠隔授業を受講している状況であった. それ故, 学生と教師 (筆者) の両者にとって初めてとなる学修環境を把握するために, 履修者側の「インターネット回線速度」(https://fast.com による自動測定), および履修者の「保有スマホ」を問い合わせる Web 調査を行った. 調査期間 (5 月 11 日 ~ 17 日) において履修者 118 人 (重複なし) に対して回答者は 101 人 (回答率: 86%) であった (図 4). 以下に詳細な分析結果を報告し, その分析結果に伴う学修環境を提言する.

1. 【インターネット回線速度】 外れ値を除外したデータ群 (サイズ $n = 95$) に対して, 「ダウンロード速度」に関して $n = 95$, 平均 $m = 67.45$, 標準偏差 $sd = 67.09$ であり, 「アップロード速度」に関して $n = 95$, $m = 169.2$, $sd = 188.5$ であった. また母平均の差の t 検定 ($t = 5.588$, $df = 94$, $p < 0.001$) からダウンロード速度が有意に遅く, さらに両速度間における無相関の t 検定 ($t = 3.464$, $df = 94$, $p < 0.001$) から有意な相関係数 $r = 0.3380$

が分かった．この分析結果より，新入生には「BYOD」と合わせて「学生宅の高速化された Network 環境」を検討するように提言したい．

2. 【保有スマホ】 「iOS 系」が 75% ，「Android 系」が 24% ，「その他（非所有者を含む）」が 1% であった．この状況からスマホ活用の学修環境では，iOS 系スマホをデモンストレーションした解説で問題は生じないと判断した．さらに遠隔授業で使用する媒体に「ノート PC」に加えて「スマホ」「家電テレビ（保有時）」などを取り入れてマルチ媒体，大画面化などを提言したい．

3 遠隔授業における数学的概念の伝達について

数学基礎教育の同時双方向型遠隔授業では，履修者および教師（含筆者）が指定された時間にネットワーク上の学習空間に集まり，その学習空間を共有しながらリアルタイムで授業を進行させる．このとき，教科書に記載されている「数式（数学的概念）」をオンラインにおいて双方向に伝達するには，「数式処理コマンド（ここでは Maxima コマンド）」および「組版システムコマンド（ここでは $\mathcal{A}_{MS-L}^{\text{ATEX}}$ コマンド）」へ対応させる能力（知識）が必要となる（図 5）．例えば，以下に担当科目「基礎数学」および「線形代数 I」において使用した数学的概念の 2 つの対応事例を紹介する．

1. 【基礎数学の対応事例】 2 つの数学的定数「円周率 π 」および「ネイピア数（オイラー数） e 」の加法 $\pi + e$ に対して，Maxima コマンド「`%pi + %e`」および $\mathcal{A}_{MS-L}^{\text{ATEX}}$ コマンド「`\(e + \pi\)`」へそれぞれ対応させる．
2. 【線形代数 I の対応事例】 3 次元ベクトル $\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$ に対して，Maxima コマンド「`matrix([1], [2], [3])`」および $\mathcal{A}_{MS-L}^{\text{ATEX}}$ コマンド「`\(\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}\)`」へそれぞれ対応させる．

次に，これらの数学的概念を遠隔授業において双方向に伝達する 2 つの学修環境に分類する．

- 【オンデマンド型学修環境】 数学基礎の学修活動を履修者が希望する時間に実行する形式である
- 【リアルタイム型学修環境】 数学基礎の学修活動を同時双方向型遠隔授業に実行する形式である

次節から，教務内容および学修環境（伝達ツール）などについて紹介する．

4 数学基礎教育の教務内容について

第 1 学期に担当した数学基礎科目は「線形代数 I」「基礎数学」「微分積分学及び演習」の 3 科目であった．図 6 には担当科目別の授業計画，評価教材（最終試験と 2 種の Web テスト：「e-Test」¹⁾「e-Report」²⁾）および単位評価方法についてまとめている．

¹⁾直近の学習内容を問う 2 題を試験条件（試験期間：7 日間，所要時間：最大 30 分）の下で設定した Web テスト

²⁾単元学習内容を問う 5 題を試験条件（試験期間：14 日間，所要時間：最大 90 分）の下で設定した Web テスト

例えば「線形代数 I」において、【授業計画】(図 6(上))には単位数が 2 であり、同時に実行される授業が 5 クラスであり(筆者は 1 クラスを担当する)、遠隔授業が「月曜日」「木曜日」に開講され、遠隔授業が 15 回提供され、そして履修者が 40 人であることを示している。また【単位評価等】(図 6(下))には「e-Test」が 12 回提供され、「e-Report」が 8 回提供され、最終試験(定期試験)が教室内で実施した紙ベースの試験(Paper Based Testing, PBT)を実施した。そして単位評価には Web テスト(CBT)の試験結果を 40% に、最終試験の試験結果を 60% にそれぞれの割合で評価することを示している。

リアルタイム型伝達ツール (B.1)

① 基礎数学の対応表: 「Math」⇒「Maxima」⇒「AMS-LATEX」

| 基礎数学 | Math | Maxima | AMS-LATEX |
|---------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 1. 複素数 | $\pi + e$ | $\%pi - \%e$ | $\sqrt{\pi + e}$ |
| 2. 微分 | $\sin(x) - \cos^2 x$ | $\sin(x) - \cos(x)^2$ | $\sqrt{(\sin(x) - \cos^2(x))}$ |
| 3. 微積 | $a(x+2)$ | $a*(x+2)$ | $\sqrt{(a(x+2))}$ |
| 4. 微分 | $x^2 - 3^x + \sqrt{5}$ | $x^2-3^x+\sqrt{5}$ | $\sqrt{(x^2-3^x+\sqrt{5})}$ |
| 5. 微分積分 | $x^2 + 3x - \frac{1}{4}$ | $x^2+3x-1/4$ | $\sqrt{(x^2+3x-\frac{1}{4})}$ |

② 線形代数の対応表: 「Math」⇒「Maxima」⇒「AMS-LATEX」

| 線形代数 | Math | Maxima | AMS-LATEX |
|------------|--|---|---|
| a. 3次元ベクトル | $\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$ | $\text{matrix}(\text{E1}, \text{E2}, \text{E3})$ | $\sqrt{\text{length}(\text{matrix}(\text{E1}, \text{E2}, \text{E3}))}$ |
| b. 2次元行列 | $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$ | $\text{matrix}(\text{E1}, \text{m2}, \text{m3}, \text{D1}, \text{D2}, \text{D3})$ | $\sqrt{\text{length}(\text{matrix}(\text{E1}, \text{m2}, \text{m3}, \text{D1}, \text{D2}, \text{D3}))}$ |
| c. 2次元行列 | $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ | $\text{determinant}(\text{matrix}(\text{E1}, \text{m2}, \text{E2}, \text{E3}, \text{m3}, \text{E3}))$ | $\sqrt{\text{length}(\text{matrix}(\text{E1}, \text{E2}, \text{E3}, \text{m3}, \text{E3}))}$ |

図 5: 数学的概念, 数式処理コマンド及び組版システムコマンドの対応

オンデマンド型伝達ツール (2)

【第1学期・授業計画】

| 科目 | 単位数 | クラス数 | 授業曜日 | 遠隔授業回数 | 履修者数 |
|-----------|-----|------|-------|--------|------|
| 線形代数 I | 2 | 5 | 月・木 | 15 | 40 |
| 基礎数学 | 2 | 2 | 月・水 | 15 | 33 |
| 微分積分学及び演習 | 3 | 5 | 月・水・木 | 23 | 45 |

【オンライン小テスト提供回数・最終試験・単位評価】

| 科目 | e-Test | e-Report | 最終試験 | 単位評価 |
|-----------|--------|----------|---------------|----------------------------|
| 線形代数 I | 12 | 8 | 教室内 紙版 | e-Test & e-Report → 40% |
| 基礎数学 | 12 | 7 | 紙版/電子 レポート | 最終試験 → 60% |
| 微分積分学及び演習 | 16 | 7 | 教室内 紙版 | |

図 6: 第 1 学期担当科目別の授業計画, 評価教材および評価方法の概要

5 オンデマンド型学修環境について

この節では、数学基礎の学習が履修者が希望する時間に実行されるオンデマンド型学修環境について解説する。

5.1 Web テストの概要

数学基礎教育で活用した Web テストでは、出題文に含まれる数値または関数などがランダムに設定された記述式問題が出題され、試験期間および所要時間を自動的に管理し、受験終了後に自動的に採点され、その試験結果情報(随時振り返り可能)を自動的に記録している。なお反復受験が許可されているため単位評価には最高採点を採用している。

実際、図 7 には設問「スカラー関数の勾配を求めよ。」に対する受験プロセスを図示している。すなわち数学的概念を元にした記述式問題が出題され(記載箇所: 左上)、履修者は Web ページに対して数学的解答を数式処理(Maxima)コマンドで回答し(右上)、入力された Maxima コマンドのエラーチェック後、変換・生成された 2 次元形式数式が返答され(左下)、最後のプロセスにて評価システム STACK による自動的に採点された試験結果を、正解(または誤答)の場合には黒色(または赤色)で表示され、かつ模範解答付きで返される(右下)。なお記載箇所: 右下の上部にある誤答 3 次元ベクトルでは、第 1 と第 2 成分が誤答であり、第 3 成分が正答である。

一方、履修者には全ての Web テストにおいて「80% 以上の最高評点を取得する」ことを求めている。その結果、履修者はこの要件を満たすために反復受験を実行する。それ故、数学的概念を習得（または定着）させる「ドリル学習」が実行されていると解釈している。つまり図 6 より、このドリル学習は担当科目において多数繰り返される学修環境であると解釈している。

オンデマンド型伝達ツール (1)

数学基礎科目のオンライン小テスト (ドリル学習)

① ランダム出題【AMS-TeX】

② 解答コマンド入力【Maxima】

③ サーバ認識【MathJax】

④ フィードバック採点【STACK】

図 7: Web テストの受験プロセス

オンデマンド型伝達ツール (1)

① 基礎数学の対応表: 「MathJ」⇒「Maxima」

| 基礎数学 | Math | Maxima |
|----------|--------------------------|------------------------|
| 1. 傾きの定数 | $x + x$ | $\%d + \%c$ |
| 2. 傾数 | $\sin(x) - \cos^2 x$ | $\sin(x) - \cos(x)^2$ |
| 3. 傾強 | $a(x + 2)$ | $a * (x + 2)$ |
| 4. 傾果 | $x^2 - 3^2 + \sqrt{5}$ | $x^2 - 3^2 + \sqrt{5}$ |
| 5. 傾期演算 | $x^2 + 3x - \frac{1}{4}$ | $x^2 + 3*x - 1/4$ |

*1) は三角定数の代用である

② 線形代数の対応表: 「MathJ」⇒「Maxima」

| 線形代数 | Math | Maxima |
|-------------|--|---|
| a. 3次元ベクトル | $\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$ | $\text{matrix}(\text{C1}, \text{C2}, \text{C3})$ |
| b. 2 × 3 行列 | $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}$ | $\text{matrix}(\text{C1}, \text{C2}, \text{C3}, \text{R1}, \text{R2}, \text{R3})$ |
| c. 2次元行列式 | $\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$ | $\text{determinant}(\text{matrix}(\text{C1}, \text{C2}, \text{R1}, \text{R2}), \text{C1}, \text{C2})$ |

図 8: 数学的概念と Maxima コマンドの対応例

知識の定着・確認を行うための「テストによる学修活動」を次の 2 つの形態に分類した。

- 【紙ベースのテスト (PBT) による学修活動】 通常の紙ベースで実施する数学テストでは、履修者は数学的概念を問う問題を解いて、計算過程とあわせて解答を通常の数式を用いて返答する学修活動である。このとき、受験機会は通常 1 回であり、テスト終了後に採点活動を行い試験結果の認知は相当日数を必要とする。
- 【Web テスト (CBT) による学修活動】 Web テスト (図 6 (下)) では、インターネット接続されたノート PC で数学問題を観て (遠隔授業の実施時間に関係なく)、その数学問題を解いて、計算過程を求めない (数学的) 解答を論理的数式である数式処理 Maxima コマンドに変換させて、そのコマンドをノート PC に返答する学修活動である。このとき、受験機会は複数回であり、試験終了後に自動採点された試験結果を認知することができる。

次に、両学修活動における長短等について比較・分析する。

例えば紙ベースのテストの場合、計算過程に対する学習指導が実行可能であり、一方 Web テストの場合、ペーパーレス化であり、試験結果が即座に認知でき、かつ複数回の受験機会が与えられている。

さらに、Web テストにおいて数学的概念と Maxima コマンドとの変換・対応 (図 8) を十分に理解すれば、同時双方向型遠隔授業において Maxima コマンド (2 次元形式数式ではなく、1 行の数学的論理数式) を用いて、数学的概念に関するコミュニケーションを教師と履修者間、履修者同士において成立させる学修活動を実現できることである (後節において実践例を紹介する)。

5.2 Web テストの学習データ分析

この小節では、オンデマンド型学修環境に対応した「微分積分学及び演習」科目で実施した「e-Test」(提供回数：16期)に関する次の学習データ分析を報告する。

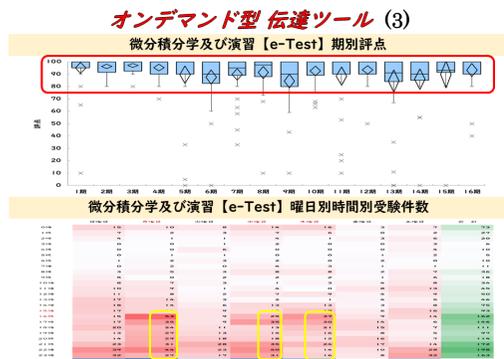


図9: 「微分積分学及び演習」科目における Web テスト「e-Test」の学習データ分析(データ：最高評点, 受験件数)

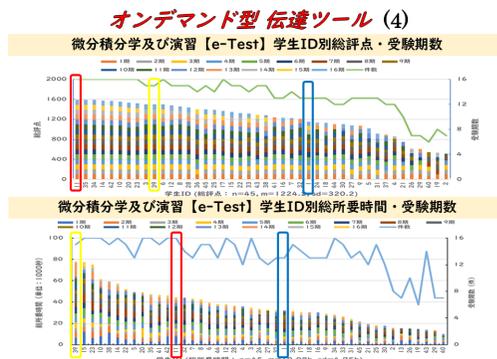


図10: 「微分積分学及び演習」科目における Web テスト「e-Test」の学習データ分析(データ：最高評点総和, 所要時間総和)

5.2.1 受験期別最高評点データに関する分析

表1は「微分積分学及び演習」科目(履修者：45人)で実施した Web テスト「e-Test」の受験期(1期～16期)別最高評点に関する記述統計量であり、図9(上)グラフは受験期別最高評点に関する箱ひげ図である。このとき、受験期における平均が全て80点以上である学習成果は「80点以上の最高評点であることを望む教師(筆者)側からの条件」が十分に満たされた信頼できる学修活動であると解釈できる。しかし、外れ値が受験中期以降において増加傾向であり、受験者人数が受験後期において減少している事実は「定期(期末)試験」の準備活動に起因していると推測するが、少し危惧する学修活動と考える。

表1: 「微分積分学及び演習」科目の e-Test における期別最高評点

| | 1期 | 2期 | 3期 | 4期 | 5期 | 6期 | 7期 | 8期 | 9期 | 10期 | 11期 | 12期 | 13期 | 14期 | 15期 | 16期 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 人数 (n) | 44 | 43 | 42 | 41 | 42 | 43 | 43 | 40 | 43 | 35 | 38 | 37 | 38 | 27 | 19 | 30 |
| 平均 (m) | 95.0 | 96.2 | 97.1 | 95.4 | 89.6 | 87.7 | 89.9 | 91.4 | 84.4 | 92.6 | 88.4 | 93.5 | 84.5 | 85.9 | 89.9 | 93.3 |
| 標準偏差 (sd) | 14.7 | 6.0 | 5.1 | 8.4 | 22.7 | 18.5 | 15.1 | 15.6 | 17.9 | 11.2 | 23.0 | 10.3 | 27.1 | 20.9 | 22.6 | 14.5 |

5.2.2 曜日別時間別受験件数データに関する分析

表2は「微分積分学及び演習」科目で実施した Web テスト「e-Test」の受験開始時刻を元にした曜日別時間別受験件数であり、図9(下)グラフはヒートマップである。

このとき、履修者一人当たり受験件数が平均38.26件であり、さらに受験期当たり受験件数が平均2.39件である。これは知識の質維持のために反復受験制度が利用されていると推測してい

表 2: 「微分積分学及び演習」科目の e-Test における曜日別時間別受験件数

| 時間 | 日曜日 | 月曜日 | 火曜日 | 水曜日 | 木曜日 | 金曜日 | 土曜日 | 合計 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
| 0 時 | 15 | 10 | 8 | 14 | 16 | 3 | 7 | 73 |
| 1 時 | 7 | 2 | 3 | 7 | 6 | 0 | 2 | 27 |
| 2 時 | 4 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 6 | 20 |
| 3 時 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 3 | 6 |
| 4 時 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 4 | 10 |
| 5 時 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 5 |
| 6 時 | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 | 2 | 0 | 10 |
| 7 時 | 0 | 2 | 0 | 4 | 3 | 1 | 1 | 11 |
| 8 時 | 3 | 5 | 3 | 8 | 8 | 2 | 7 | 36 |
| 9 時 | 5 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 6 | 18 |
| 10 時 | 8 | 7 | 3 | 1 | 3 | 4 | 8 | 34 |
| 11 時 | 10 | 9 | 1 | 4 | 0 | 8 | 13 | 45 |

| 時間 | 日曜日 | 月曜日 | 火曜日 | 水曜日 | 木曜日 | 金曜日 | 土曜日 | 合計 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 12 時 | 11 | 8 | 2 | 7 | 9 | 4 | 9 | 50 |
| 13 時 | 17 | 14 | 3 | 2 | 1 | 4 | 5 | 46 |
| 14 時 | 18 | 14 | 6 | 13 | 13 | 3 | 8 | 75 |
| 15 時 | 17 | 14 | 9 | 12 | 19 | 6 | 16 | 93 |
| 16 時 | 15 | 53 | 9 | 25 | 37 | 9 | 14 | 162 |
| 17 時 | 17 | 35 | 9 | 35 | 30 | 14 | 6 | 146 |
| 18 時 | 20 | 24 | 11 | 13 | 21 | 15 | 7 | 111 |
| 19 時 | 13 | 27 | 13 | 15 | 16 | 8 | 5 | 97 |
| 20 時 | 14 | 29 | 18 | 18 | 12 | 16 | 7 | 114 |
| 21 時 | 23 | 31 | 28 | 35 | 24 | 17 | 14 | 172 |
| 22 時 | 39 | 44 | 23 | 40 | 14 | 10 | 28 | 198 |
| 23 時 | 32 | 27 | 17 | 31 | 16 | 8 | 32 | 163 |
| 合計 | 289 | 359 | 180 | 294 | 251 | 139 | 210 | 1722 |

る．次に、「微分積分学及び演習」科目の遠隔授業は「月曜日」「水曜日」「木曜日」に提供されている．これに同期して曜日受験件数（月曜日：359 件，水曜日：294 件，木曜日：251 件）が多いことが分かる．また，遠隔授業終了時刻（16:30）直後にピーク（月曜日 16 時：最大 53 件）が出現していることが分かる．このピーク現象は授業内学習活動（Zoom を主に活用）から連続して授業外学修活動（Moodle を主に活用）に引き続けられていることである．この連続した学修活動は対面授業の場合（帰宅時間などで学習を必ず中断させる必要がある）には実行不可能であるので，遠隔授業の学修環境における特有の学習効果であると解釈している．

5.2.3 最高評点総和とデータに関する分析

表 3 は「微分積分学及び演習」科目で実施した Web テスト「e-Test」における学生別（履修者：45 人）の最高評点総和および受験期数であり，図 10（上）グラフは学生別の受験期別最高評点の積上げ棒グラフ（左縦軸），および学生別の受験期数の折れ線グラフ（右縦軸）の組み合わせである．

表 3: 「微分積分学及び演習」科目の e-Test における学生別の最高評点総和および受験期数

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 学生 ID | 11 | 35 | 34 | 14 | 42 | 10 | 20 | 23 | 3 | 39 | 6 | 12 |
| 最高評点総和 | 1,593 | 1,590 | 1,590 | 1,590 | 1,574 | 1,570 | 1,554 | 1,535 | 1,524 | 1,500 | 1,500 | 1,499 |
| 受験期数 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 15 | 15 | 16 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 学生 ID | 8 | 28 | 36 | 45 | 25 | 17 | 15 | 22 | 33 | 43 | 38 | 41 |
| 最高評点総和 | 1,481 | 1,460 | 1,438 | 1,400 | 1,400 | 1,391 | 1,371 | 1,348 | 1,328 | 1,317 | 1,291 | 1,286 |
| 受験期数 | 15 | 15 | 15 | 14 | 15 | 14 | 16 | 15 | 15 | 14 | 15 | 15 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 学生 ID | 16 | 7 | 32 | 1 | 24 | 18 | 44 | 30 | 27 | 9 | 5 | 31 |
| 最高評点総和 | 1,243 | 1,233 | 1,227 | 1,212 | 1,155 | 1,134 | 1,133 | 1,107 | 1,107 | 1,078 | 1,072 | 1,020 |
| 受験期数 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 |

| | | | | | | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 学生 ID | 37 | 4 | 21 | 26 | 29 | 40 | 19 | 2 | 13 |
| 最高評点総和 | 917 | 895 | 862 | 749 | 614 | 610 | 546 | 533 | 514 |
| 受験期数 | 13 | 12 | 12 | 10 | 7 | 7 | 6 | 8 | 7 |

このとき，最高評点総和に関して「 $n = 45$, $m = 1,224.2$, $sd = 320.2$ 」が，受験期数に関して

「 $n = 45$, $m = 13.4$, $sd = 2.7$ 」がそれぞれの記述統計量である。また、最高評点総和と受験期数に関する相関係数 $r = 0.9540$ は、無相関の t 検定 ($t = 20.83$, $df = 43$, $p < 0.01$) により有意であった。

さらに、「最高評点総和」に関する最大値と最小値の比率 (R_1 と記す) を求めると $R_1 = 3.1$ であり、「受験期数」に関する最大値と最小値の比率 (R_2) を求めると $R_2 = 2.7$ であった。この格差は残念な学修活動の結果ではないかと考える。

5.2.4 所要時間総和データに関する分析

表 4 は「微積分学及び演習」科目で実施した Web テスト「e-Test」における学生別 (履修者: 45 人) の所要時間総和 (単位: 秒) および受験期数であり、図 10 (下) グラフは学生別の受験期別所要時間の積上げ棒グラフ (左縦軸), および学生別受験期数の折れ線グラフ (右縦軸) の組み合わせである。

表 4: 「微積分学及び演習」科目の e-Test における学生別の所要時間総和 (単位: 秒) および受験期数

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 学生 ID | 39 | 15 | 23 | 10 | 38 | 14 | 22 | 5 | 20 | 35 | 41 | 42 |
| 所要時間総和 | 77,993 | 77,414 | 75,142 | 61,482 | 59,372 | 57,196 | 52,129 | 49,323 | 49,232 | 47,289 | 46,628 | 46,121 |
| 受験期数 | 16 | 16 | 15 | 16 | 15 | 13 | 16 | 16 | 15 | 16 | 16 | 14 |
| 学生 ID | 11 | 32 | 7 | 8 | 6 | 44 | 12 | 28 | 4 | 3 | 24 | 27 |
| 所要時間総和 | 44,516 | 44,454 | 43,255 | 42,534 | 39,415 | 37,945 | 37,797 | 36,678 | 35,867 | 34,691 | 33,565 | 32,748 |
| 受験期数 | 15 | 16 | 13 | 15 | 15 | 13 | 16 | 15 | 12 | 16 | 13 | 12 |
| 学生 ID | 37 | 1 | 36 | 17 | 18 | 16 | 9 | 34 | 33 | 31 | 45 | 21 |
| 所要時間総和 | 32,260 | 32,164 | 31,693 | 30,492 | 30,289 | 30,194 | 29,024 | 28,026 | 26,506 | 24,171 | 21,771 | 19,359 |
| 受験期数 | 13 | 13 | 15 | 14 | 13 | 13 | 13 | 16 | 15 | 13 | 14 | 12 |
| 学生 ID | 25 | 30 | 2 | 13 | 26 | 19 | 43 | 29 | 40 | | | |
| 所要時間総和 | 18,176 | 17,806 | 15,724 | 15,227 | 14,951 | 14,679 | 14,385 | 13,683 | 10,079 | | | |
| 受験期数 | 15 | 12 | 8 | 7 | 10 | 6 | 14 | 7 | 7 | | | |

このとき、最高評点総和に関して「 $n = 45$, $m = 36,299$, $sd = 17,106$ 」が記述統計量である。また、所要時間総和と受験期数に関する相関係数 $r = 0.6598$ は、無相関の t 検定 ($t = 5.757$, $df = 43$, $p < 0.01$) により有意であった。

さらに、「所要時間総和」に関する最大値と最小値の比率 (R_3 と記す) を求めると $R_3 = 7.7$ であった。この格差は、「最高点総和」に関する比率 $R_1 = 3.1$ および「受験期数」に関する比率 $R_2 = 2.7$ よりさらに拡大している事実は非常に残念な学修活動の結果ではないかと考える。

さいごに、「最高評点総和」と「所要時間総和」に関する相関係数 $r = 0.6213$ は、無相関の t 検定 ($t = 5.199$, $df = 43$, $p < 0.01$) により有意であった (図 10)。

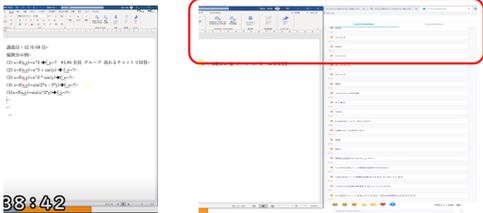
6 リアルタイム型学修環境について

この節では同時双方向型遠隔授業において実施したリアルタイムで数学的概念を双方向型で伝達できる学習環境について解説する。

リアルタイム型伝達ツール (A.1)

CommentScreen (ニコニコ動画風チャット)

【例】 $f(x,y)=\sin(x^3y)$ の f_y ? → (解答入力) → 出力: $x^3\cos(x^3y)$

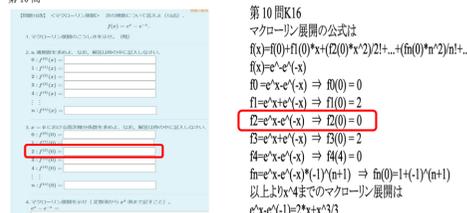


① 問題⇒解答入力 ② 解答が一斉に流れる (実践動画)

リアルタイム型伝達ツール (A.2)

Google Slides (グループワーク)

【例】 $f(x)=e^x - e^{-x}$ の3階導関数? → 解答記入: $e^x + e^{-x}$



① Webで出題 ② 共有 Slides に解答同時記入

図 11: 「CommentScreen」伝達ツールを用いた実践例

図 12: 「Google Slides」伝達ツールを用いた実践例

同時双方向型遠隔授業においてリアルタイムにコミュニケーションする手段は、Web 会議システム「Zoom Video System」に付随する「チャット」機能を利用することが標準であるが(ここでは音声と画面の基本機能は取り除いている)、Zoom Meetings の「画面共有」機能との共存かつ共用がしづらい学習環境であると考える。つまり配信元である教師側ノート PC 上において Zoom Video System の「チャット」機能を使用した場合、その「チャット」画面領域部分がデッドスペース(黒い領域)として学生側に配信される。それ故、数学基礎における有益な共有画面情報を伝える情報量を下げってしまう学修活動と考えている。

以下に同時双方向型遠隔授業において共存できるリアルタイム型学修環境の実践例を紹介する。

6.1 CommentScreen による伝達ツール

この小節では「ニコニコ動画風チャット」と同等なコミュニケーション機能をもつ「CommentScreen」伝達ツールを紹介する。この「CommentScreen」公式サイト [11] では、「もっと楽しく、もっと盛り上がる、インタラクティブなプレゼンテーションに」をモットーに、「オンラインイベントや授業を盛り上げることができるツール」「コメントやリアクションをスクリーンで流そう」「リアルタイムでアンケートを取ろう」を伝えている。以下に、この「CommentScreen」伝達ツールを用いた実践例を紹介する(図 11)。

1. 教師(筆者)は Zoom Meetings で画面共有するノート PC において「CommentScreen」伝達ツールを起動させて(専用管理ダイアログボックスが開く)、次に専用ルーム「SOCU20」³⁾を開く(Web ブラウザには新規タブ・ウィンドウ(図 11(右))が開く)

³⁾2020 年 5 月頃に新規作成した数学基礎科目向けの CommentScreen の専用ルーム名称である。

2. 履修者らは専用ルームに指定された Web サイトを、所持しているノート PC またはスマホの Web ブラウザで開く（遠隔授業との同時利用可）
3. 遠隔授業を提供している教師は、数学問題を口頭で伝える（例：3 次関数 x^3 を微分せよ）、または画面共有している授業ノート（図 11（左））にその数学問題を記載して伝える（例： $(x^3)'$ を記載する）
4. 履修者らは出題された数学問題を解き、解答（例： $3x^2$ ）を Maxima コマンド（例： $3 * x^2$ ）で対応させる
5. 履修者らは専用ルームの Web ブラウザに Maxima コマンド（例： $3 * x^2$ ）を入力する
6. 返答した同一 Maxima コマンド（例： $3 * x^2$ ）がクラウドサーバ経由で全ての参加者のノート PC に送信される
7. 履修者らおよび教師の Web ブラウザにおいて、同一 Maxima コマンド（例： $3 * x^2$ ）がタイムラグを気にすることなくリストアップされる（図 11（右））
8. さらに、同一 Maxima コマンド（例： $3 * x^2$ ）が教師のノート PC 画面上においても流れる
9. 特に、教師のノート PC が Zoom Meetings の画面共有されている場合、リアルタイムに流れていく同一 Maxima コマンドを配信された共有画面を通して履修者らも視認・共有できる（図 11（右））

この「CommentScreen」伝達ツールによる授業実践は、遠隔授業の受講場所に依存することなく、リアルタイムかつインタラクティブに、かつ複数のメッセージ（正解 / 不正解の Maxima コマンド）を同時共有できる学修活動である。この学修環境が成立している要因は、履修者らが Web テストをドリル学習として利活用した成果である。

6.2 Google Slides による伝達ツール

この小節ではリアルタイムに複数で共有できるコミュニケーション「Google Slides」伝達ツールを紹介する。この「Google Slides」公式サイト [12] では、「美しいプレゼンテーションを作ろう」をモットーに伝えている。以下に、「Google Slides」伝達ツールを用いた協調学習のコミュニケーション実践を紹介する（図 12）。

第 1 に、協調学習を行うために次の事前作業を行う。

1. Moodle の「グループ」機能 [13] により、履修者らを複数のグループに編成しておく（図 13）、なお、グループ当たり 4,5 人程度で構成するグループをランダムに自動生成する
2. グループに割り当てる数学問題を選定しておく（図 12, 図 14）、例えば、「関数 $f(x) = e^x + e^{-x}$ のマクローリン級数を問う」などがある
3. 「Google Slides」伝達ツールを用いて、複数のスライドを含むファイルを作成して、各スライドには「数学問題」と「計算・答えが記入できる空白エリア」を編集しておく（図 12, 図 13）

4. 編集したスライド・ファイルに対して、「Google Slides」伝達ツールにある「編集可能」な権限の設定を行う（これにより各スライドは独立に、かつ同時に共同編集できるようになる）
5. そのスライド・ファイルに割り当てられた固有 URL を履修者らに伝達する

第 2 に、協調学習「同一グループに割り当てられた数学問題をグループ内で協力しながら解答する活動」を同時双方向型遠隔授業において次の手順に従って実行する。

1. 履修者らは所持しているノート PC の Web ブラウザで固有 URL 先にあるスライド・ファイルを開く
2. 同一グループのメンバーは、各自のノート PC 上でグループに割り当てられたスライドに個々に移動する
3. グループメンバーはグループに割り当てられた数学問題を協調活動にて解答する
4. 例えば、グループは数学問題（小問例：2 次導関数 $f^{(2)}(x)$ を問う）を考察すると同時に、数学的解答を変換させた Maxima コマンド（解答例： $e^x + e^{-x}$ ）も考察する（図 12）
5. グループに割り当てられたスライドにある空白エリアに、所属するメンバーが Maxima コマンド（解答例： $f2 = e^x + e^{-x}$ ）を記入する（図 12（右））
6. これらの回答活動は、複数のスライドにおいて複数の履修者により同時に、かつ独立に実行される
7. これらの学修活動は、Zoom Meetings に関係なく、また履修者らと教師（筆者）は同時に、かつ独立に共有、かつ観察できる
8. このとき、教師（筆者）が同時双方向型遠隔授業における Zoom Meetings の画面共有を設定している場合には、履修者らは教師が観察している学修情報（複数の問題に対する解答など）をリアルタイムに配信される共有の画面を通して観察できる
9. この結果、履修者らと教師は、数学問題の解答例が記載された Google Slides を随時ネットワークにおいて共有でき、必要に応じて Google Slides を後日に印刷することもできる

ここで、「微分積分学及び演習」担当科目の遠隔授業（2020 年 6 月 29 日開講）において、「Google Slides」伝達ツールによる学習成果物を紹介する（図 13, 図 14）。この学習成果物は過年度定期試験（PBT）に対して協調学習（履修者：45 人、グループ：9 班）による Maxima コマンドで回答した解答作りである。この学習成果物は、4 部のブロックで構成され、18 枚のスライドで編成されている（なおスライド 4 枚分が欠落している）。

つまり、第 1 群（スライド：1 枚）には 9 班（A 班～I 班）分のメンバー編成表が記載されたスライド、第 2 群（スライド：9 枚、予備スライド：1 枚）には各班に割り当てられた問題に対する解答作りのスライド集（図 12（右））、第 3 群（スライド：2 枚）にはスライド使用方法を簡

便に説明したスライド集，第4群（スライド：5枚，欠落あり）には各班に割り当てた問題（画像で掲示）を示したスライド集でそれぞれ編成されている（図12（左））。

なお，図13には第1（メンバー編成表），第2（A班の解答内容），第4（C班の解答内容），第5（D班の解答内容）のスライド集であり，図14には第10（I班の解答内容），第11（予備），第13（使用方法解説），第14（A班向け問題）のスライド集である。

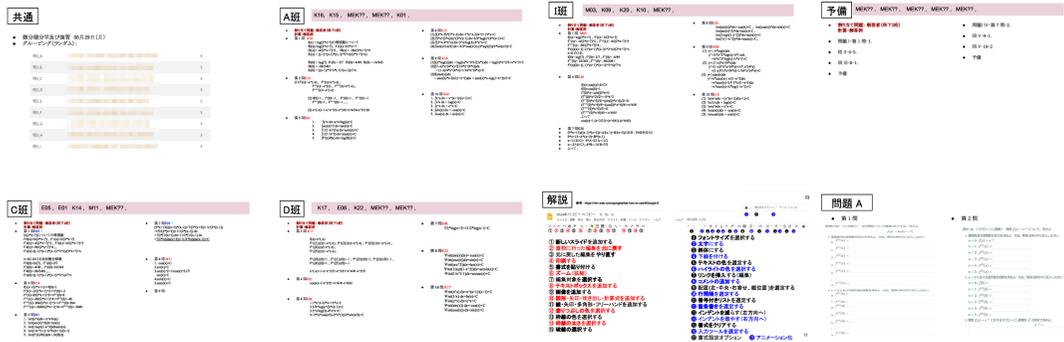


図 13: 「Google Slides」伝達ツールによる学習成果物イメージ (slides 1-2,4-5)

図 14: 「Google Slides」伝達ツールによる学習成果物イメージ (slides 10-11,13-14)

結果的にこの Google Slides における Maxima コマンドによる数式概念の伝達も，Web テストにおけるドリル学習によって育成された学修スキルを基盤にしている。

7 おわりに

本稿で報告した学修活動は，主に「ICT」「BYOD」「LMS」を融合的に活用した学修環境に始まり [1, 2, 3]，2020 年度から「遠隔授業」が強制的に付加された学修環境へ変革した。これは DX または EdTech を橋渡し役となったのは，数学基礎教育における数式処理システム「Maxima」の利活用であると考えている。これらは Web 会議システム「Zoom Video System」に関する学修活動の研究 [4, 7] で始まり，「Zoom Video System」と Moodle を融合した学修活動の研究 [5, 6] へ続き，有益な Web ツールを活用した学修活動の研究 [8, 9] に引き続かれ，現時点においても学修環境は進化途上であるが，対面授業では実現不可能な学修環境が，遠隔授業であるが故に実現できている効果を同時双方向型遠隔授業を実演しながら実感している。すなわちリアルタイムな，インタラクティブな，かつデジタル化された学修情報を参加者全員で共有していることである。

参考文献

[1] 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 (JUICE), 論文誌 ICT 活用教育方法研究, 第 16 巻, 第 1 号, pp.36-41 (2013)

[2] 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)

- [3] 亀田真澄, 宇田川暢: 「STEM 教育の大学初年次向け e-Learning ~ ICT・BYOD・SDGs・記述式問題の活用実践~」, 東京理科大学紀要(教養篇), **52**号, pp.393-408 (2019)
- [4] 亀田真澄, 宇田川暢: 「海外在住留学生への遠隔授業における学習支援の実践 ~ 大学初年次の数学基礎教育~」, 情報処理学会 研究報告教育学習支援情報システム, **2020-CLE-32**, pp.1-8 (2020)
- [5] 亀田真澄, 宇田川暢: 「数学基礎教育の同時双方向型遠隔授業における学習分析 ~ Web 会議システムと学習管理システムの共生関係~」, 学習分析学会, 2020 年度第 2 回研究会, pp.1-4 (2020)
- [6] 亀田真澄, 宇田川暢: 「理工系大学の数学基礎教育に対する遠隔授業の実践 ~ 個別学習・集団学習の使い分け~」, 東京理科大学紀要(教養篇), **53**号, pp.375-395 (2021)
- [7] 亀田真澄, 宇田川暢: 「同時双方向型遠隔授業に融合させた学習管理システムの学習分析 ~ 大学初年次の数学基礎教育~」, 情報処理学会 研究報告教育学習支援情報システム, **2021-CLE-33**, pp.1-6 (2021)
- [8] 亀田真澄, 宇田川暢: 「同時双方向型遠隔授業で活用した数学基礎教育向けツールの紹介」, 京都大学数理解析研究所講究録, **2178**, pp.1-10 (2021)
- [9] 亀田真澄, 宇田川暢: 「同時双方向型遠隔授業における数式コマンドの活用 ~ TeX および Maxima コマンドによる伝達~」, 京都大学数理解析研究所講究録, **2185**, pp.81-93 (2021)
- [10] 吉田壘: 「オンライン授業において Zoom の通信量を抑えるには」,【第 9 回】4 月からの大学等遠隔授業に関する取組状況共有サイバーシンポジウム, 国立情報学研究所(NII), 2020
- [11] CommentScreen: 「CommentScreen」, <https://commentsscreen.com/> (確認日: 2021 年 07 月 03 日)
- [12] Google Slides: 「Google スライド - オンラインでプレゼンテーションを作成, 編集できる無料サービス」, https://www.google.com/intl/ja_jp/slides/about/ (確認日: 2021 年 07 月 03 日)
- [13] グループ - MoodleDocs: 「グループ - MoodleDocs」, <https://docs.moodle.org/3x/ja/グループ> (確認日: 2021 年 07 月 03 日)