

# 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～

山陽小野田市立山口東京理科大学・共通教育センター 亀田 真澄  
Masumi KAMEDA, Center for Liberal Arts and Sciences, Sanyo-Onoda City  
University

新潟大学・学術情報基盤機構情報基盤センター 宇田川 暢  
Mitsuru UDAGAWA, Center for Academic Information Service, Niigata University

## 1 まえがき

理工系大学の初年次に対する数学基礎教育が重要であることは明白である。さらに今まで受けていた学習（修）スタイル<sup>1</sup>とは異なり、大学ではより一層の主体的な、自律的な学習スタイルを必要とされ、かつ高度な専門知識の取得かつ定着させる学習スタイルへ変化する。特に数学基礎教育では論理体系に基づいた知見の構築が求められる。この教育的環境に加えて、新型コロナウイルス感染症（以下、「COVID-19」という）により2020年度は以前まで実行していた大学における学習スタイルが通用しなくなり、COVID-19回避策を講じた授業（遠隔授業）を中心とする学修スタイルに強制的に変化した。この遠隔授業において数学的知見、特に数式を双方向に伝達することは非常に困難な状況（これを「学習上の障壁」という）であった。本稿はこの学習上の障壁に対して実践した学修スタイルを報告する。

## 2 学習環境システムについて

第1筆者は公立理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」という）にて数学基礎教育を永年担当し、そして10年前から第2筆者との協働活動であるe-Learningシステム（以下、「本システム」という）を運用し続けている。この本システムでは筆者らがシステムおよびコース管理者であり、担当科目クラスの履修者らが学習サービスの専有利用者である（図1）。

本学は1987年度の新設から建学精神「地域のキーパーソンの育成」の下で、入学生に対してノートパソコン（以下、「ノートPC」という）の必携化および教育的活用（Bring Your Own Device: BYOD）を指導し、さらに2年前より本学構内においてワイヤレスネットワーク網（Wireless LAN: WLAN）が設置され全学生は本学構内全教室においてICT教育を受講できる大学教育環境へと整備された。

図1aは担当科目で使用している学習システムの概略である。すなわち学習サービスのサーバ側（教師、管理者側）では学習管理システム（Learning Managing System: LMS）

---

<sup>1</sup>教室の学習を重視し、デジタル的な教育ツールをあまり利用しない学習スタイルである。



(a) 学習環境システム

(b) 旧来型授業風景

図 1: 学習環境システム

のプラットフォームが「Moodle」であり、Web ページに数式を表示させるために組版システム「AMS-LaTeX」、および数式 JavaScript ライブラリ「MathJax」が、Web テスト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」、および数式処理システム「Maxima」が、さらに Web ページに動的な数学的図形を描画させるために動的数学ソフトウェア「GeoGebra」がそれぞれ組み込まれていることを示す。また学習サービスのクライアント側（学習者側）では利用媒体の標準的な Web ブラウザだけを利用するシステムであることを示した。これらにより授業内・外で本システムが利用できる学習環境となった（なお Zoom の利用は 2020 年度だけである）。

図 1b は 2019 年度まで実施していた BYOD を活用した授業風景であり、パソコン実習室で大学パソコンと併用して学生が保有しているノート PC を活用している場面、普通教室で学生が所持しているスマートフォン（以下、「スマホ」という）を活用した模擬試験を受験している場面、そして普通教室でノート PC を活用して定期試験（Web テスト）を受験している場面である。これらはすべて対面式授業であった。

### 3 DX について

近年において多様な事業における情報通信技術（Information and Communication Technology: ICT）を利用した「デジタル技術による事業変革（Digital Transformation: DX）」が求められている [1]。DX には金融事業におけるデジタル技術変革（以下、「FinTech」という）、および教育事業におけるデジタル技術変革（以下、「EdTech」という）があげられる。

#### 3.1 FinTech および EdTech について

図 2a において、はじめに FinTech について、金融事業における「銀行（対面式現場）」「現金自動預け払い機（Automatic Teller Machine: ATM）」「オンラインバンキング」、そして「仮想通貨・キャッシュレス決済」を順次活用していくデジタル技術変革を紹介し、さらに COVID-19 に対応して「金融緩和」「GoTo キャンペーン（例：トラベル・Eat・イベントなど）」を取り入れていく事業変革へと進化し続けているフローチャートであ



(a) DX, FinTech, そして EdTech

(b) 授業スケジュール・授業時間割

図 2: COVID-19 に対応した学習環境

る。なお FinTech のキャッチフレーズは「経済を止めない」である。次に EdTech について、教育事業における「学校・大学 (対面式現場)」「学校の情報化」「e-Learning」、そして「コンピュータで行う試験 (Computer Based Testing: CBT)・学習データ分析 (Learning Analytics: LA)」を順次活用していくデジタル技術変革を紹介し、さらに COVID-19 に対応して「遠隔授業 (受講配信方式: 同時双方向型・オンデマンド型・ハイフレックス型など)」を取り入れていく事業変革へと進化し続けているフローチャートである。なお EdTech のキャッチフレーズは「学びを止めない」である。

### 3.2 COVID-19 回避策について

2020 年度の教育現場では COVID-19 に対応した感染回避行動が要求された [2]。

図 2b は、COVID-19 回避策について本学内・外の事象、授業スケジュール、そして初年次第 1 学期授業時間割をまとめた。

第 1 に、本学外に起因する事象について、世界保健機関 (World Health Organization: WHO) が緊急事態 (PHEIC) を宣言し (2020 年 1 月 30 日)、日本政府 (法務省・厚生労働省・文部科学省・内閣府など) が COVID-19 に対応した次の方策「入国制限 (02 月 13 日)」「新型インフルエンザ等対策特別措置法改正 (03 月 13 日)」「令和 2 年度における大学等の授業の開始等について (03 月 24 日)」「緊急事態宣言 (04 月 07 日・17 日)」「授業目的公衆送信補償金制度の早期施行 (04 月 28 日)」,そして「緊急事態宣言解除 (05 月 17 日・21 日・25 日)」を施行した。さらに文部科学省は「大学が認めた遠隔授業」「学習者への授業内・外でのフォロー」「授業目的公衆送信補償金の無償化」、そして「訪日できない留学生への支援」を要請した。

第 2 に、本学内に起因する事象について、留学生 (担当科目履修者は 2 人) の訪日が制限され、第 1 学期の期間は 5 月 11 日 (月) ~7 月 5 日 (日) へ設定され、大学が提供する遠隔授業の配信方法は Zoom Meetings から Zoom Webinar に統一された。

第 3 に、初年次第 1 学期授業時間割は図 2b (右) のように編成された。その結果、第 1 筆者は、「基礎数学 (月・水曜日実施)」「線形代数 1 (月・木曜日実施)」,そして「微分積分学及び演習 (月・水・木曜日実施)」の担当科目に組み替えられた。それ故担当科目 (全て必須科目, かつ同一科目の複数クラスに対して 1 クラスを担当) を週 7 回提供し、担当クラスの履修者は 30~45 人に編成され、全ての履修者はのべ 118 人 (再履

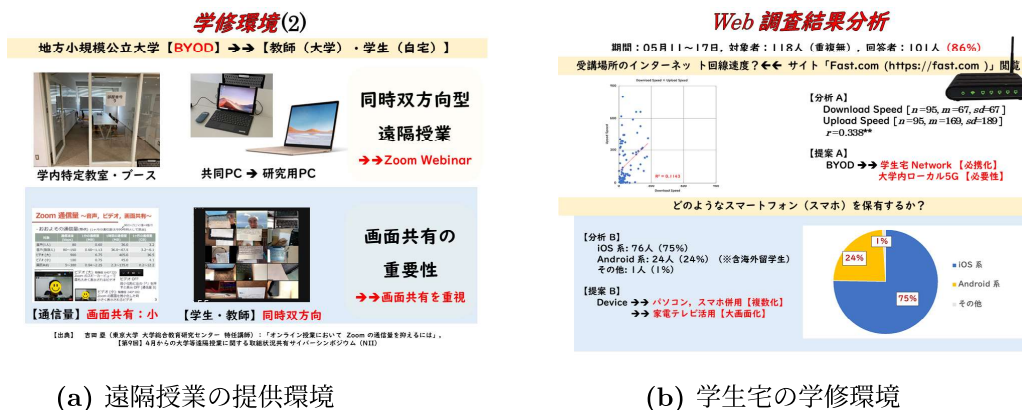
修者数人を含む)に設定された。一方、初年次は、90分授業の必須科目を週12回分受講し、さらに90分授業の選択科目を週最大5回受講する状況に編成された。なお担当科目の定期試験(複数クラスにおける統一試験)は、「基礎数学」ではレポート試験に、「線形代数1」および「微分積分学及び演習」では対面式試験に変更された。

### 3.3 遠隔授業通信環境について

第1学期のすべての授業はZoom Webinar型の配信方式を用いた同時双方向型(リアルタイム)の遠隔授業(オンライン授業)に統一された(図3a)。

Zoom Webinar型の配信方式とは、教師が学内特定教室のブースから、受講者は希望する場所から同時双方向型遠隔授業を配受信する。このとき教師は大学保有ノートPC(Microsoft Surface Pro 7, 中スペック)を教員間で共同利用しながら配信していたが、第1学期後半からWeb会議システムZoom Video Systemの「ホスト切り替え」機能により研究用ノートPC(Microsoft Surface Laptop 3, 高スペック)に切り替えることができた。その結果、数学基礎教育に対して有効的なソフトウェア群を同時双方向型遠隔授業で利用できるようになった。

一方、吉田[3]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COVID-19に対応した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」配信方式が重要であると判断できた。



(a) 遠隔授業の提供環境

(b) 学生宅の学修環境

図 3: 遠隔授業通信環境

他方、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、および入国制限された留学生(含担当科目履修者2名)は国外の自宅で、同時双方向型遠隔授業をそれぞれの場所において受講している状況であった。このとき本学のBYOD指導により、学生が保有するノートPC(Webカメラは必携としていないが、初年次向け大学推奨ノートPCにはWebカメラが内蔵されている)を活用して遠隔授業を受講していることは認識していた。その上で、遠隔授業第1週においてWeb会議システムの初動操作を実行し、本システムの初動操作についても指導した後、本システム(Moodle)の「フィードバック(Feedback)」機能を利用して、インターネット回線

速度および保有スマホに関する Web 調査<sup>2</sup>を行った (図 3b)。以下に回答結果の分析内容を記載する。

**【インターネット回線速度】** 「ダウンロード速度」の記述統計量に関して、人数  $n = 101$ 、平均  $m = 74$ 、標準偏差  $sd = 84$  であり、同様に「アップロード速度」に関して、 $n = 96$ 、 $m = 163$ 、 $sd = 178$  であった。また母平均の差の検定 ( $t = 4.5117$ ,  $df = 195$ ,  $p < 0.001$ ) からダウンロード速度が有意に遅い。さらに有意な相関係数  $r = 0.338^{**}$  であった。しかし問題とすべきことは、低速域のインターネット回線速度である受講通信環境の場合にはネットワークに関連するトラブル (事例: 音切れ、フリーズ、遅延など) が発生することである。

**【保有スマホ】** 「iOS 系 (iPhone)」が 75%、「Android 系」が 24%、「その他 (非保有者を含む)」が 1% となる保有状況であった。この保有状況からスマホに関する学習指導は iOS 系スマホを主に解説してよいと判断した。しかし問題とすべきことは狭い画面であるスマホに起因する受講者ストレス (事例: 学習画面の狭さ、レスポンスの遅さなど) が発生することである。

初年次の学生さんは、現在 16 歳~24 歳の「Z 世代 (Gen Z)」に属したデジタルネイティブ世代であり、育ったデジタルワールドには高速インターネット、スマホ、ビデオ・オン・デマンド (VOD)、さまざまなゲーム機器、そしてソーシャル・ネットワーキング・サービス (SNS) の存在が当たり前のよう存在している時代を過ごしている。それ故、初年次の学生さんは入学後の緊急事態宣言直前の 2 日間 (4 月 25 日・26 日) において、本学のデジタルイゼーション (Digitalization) された履修関連システム: 「メールシステム (Microsoft 365)」「学園生活支援システム (UNIVERSAL PASSPORT)」, そして「授業支援システム (SOCU-Moodle)」に関する操作方法などを対面式で 1 回指導されただけで、即時利用できるように成長している。さらに第 1 学期開始前に、初年次の皆さんは「オンライン授業の Zoom 会議システムの利用方法」および「遠隔授業に対する授業時間割表 (Zoom 会議システムへのリンク情報を含む)」に関する履修システム指導書 (PDF 形式テキスト) をメールシステム経由にて受領していたことで、各自の保有ノート PC の簡単な操作だけで、希望する受講場所において簡単に遠隔授業を受講できるように成長していた。

### 3.4 教科書制度について

通常、教科書・参考書は授業開始前後において本学構内にて学生自身が購入していた。しかし 2020 年度、COVID-19 のため第 1 学期開始日が 5 月 11 日へ、販売場所が普段の教室から体育館へそれぞれ変更された。この販売形態は国内在住履修者に対して 3 密回避であるが登校自体が避けられているため本学内での教科書購入機会を失うことになる。その結果、学生は通信販売を利用して教科書を取り寄せたり、最悪の場合、一部の履修者は教科書を保有しないで遠隔授業を受講した可能性があるかと推測している。

<sup>2</sup>対象人数は 118 人 (重複なし)、調査期間は 5 月 11 日~17 日、回答者数は 101 人 (回答率は 86%) であった

また海外在住留学生はこの販売形態（本学構内または通信購入）サービス自体を利用できない状況であるため、本学事務方が海外在住留学生の教科書を代理購入し外国郵便にて配布した。しかし国際郵便における混乱で相当の配達日数を取られ、さらに一部の海外地域において配達されなかった。この混乱状況に対して担当科目の海外在住留学生2人へ本システム（Moodle）の電子掲示板（Forum）を經由して教科書複写（必要最低限の履修範囲の箇所）のPDF形式ファイル（印刷不可設定）を配布した。これにより海外在住留学生2人はデジタル教科書を参照しながら遠隔授業を受講できたはずである。これは前述した「文部科学省文化庁（著作権課）からの2020年4月24日付『授業目的公衆送信補償金制度』の早期施行」の適用範囲内と考えている。

ニューノーマル時代（新たなあたり前）の大学教育では、教科書の扱い方も変化させる必要があると判断している。私見として、大学教育における教科書は、以下の3つの選択ができる学習環境を望む。(1) デジタル教科書（可能であれば印刷可能）、(2) 教科書自体とデジタル教科書（印刷不可）、(3) 教科書自体とデジタル教科書（ダウンロード不可）へのアクセス権。このとき履修者はデジタル教科書に注釈付け（Annotation）機能を個別に使える可能性が高い。一方、教科書自体がなく、さらにデジタル教科書が印刷不可の状況の場合、ノートPCの1画面だけでは同時双方向型遠隔授業を受講する学修スタイルの場合には不向きである。

## 4 数学的概念の双方向型伝達環境

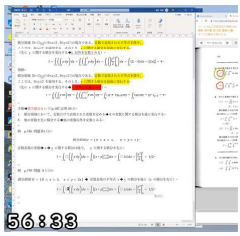
### 4.1 数学的概念の画面共有による伝達について

対面式授業における数学的概念の伝承とは、数学教科書または配布資料を活用しながら教室内黒板に数学的概念および数式を板書することで伝承されていた。しかし同時双方向型遠隔授業においては物理的対面による集会在実行できないためネットワーク上の学習空間（仮想教室）で対面、かつ集会し、かつネットワーク上の学習空間に作成された電子黒板（共有画面など）に対して数学的概念および数式を記載（配信）する形態を取らざる負えない。

#### リアルタイム型伝達ツール (RT\_3)

MS Word (Math on Word, LaTeXスタイル数式入力)

- WYSIWYG :  
What You See Is What You Get
- Math on Word :  
「数学記号を挿入する - Word」  
<http://bit.ly/37x0jwa>
- 数式変換の手順 :  
1) [Alt]+[Shift]+[=]キー  
2) LaTeX コマンド  
3) [e<sup>n</sup> 2次元形式(P)]アイコン  
4) 2次元形式の数式に変換



実践例(図)

(a) 画面共有による数学的概念の伝達画面例

#### リアルタイム型伝達ツール (RT\_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	$a + bi$	$\%pt + \%i$	$\sqrt{a^2 + b^2}$
2. 関数	$\sin(x) - \cos^2 x$	$\sin(x) - \cos(x)^2$	$\sqrt{(\sin(x) - \cos^2(x))}$
3. 因数	$a(x+2)$	$a * (x + 2)$	$\sqrt{a(x+2)}$
4. 累乗	$x^2 + 3^2 + \sqrt{5}$	$x^2 - 3^2 + \sqrt{5}$	$\sqrt{x^2 - 3^2 + \sqrt{5}}$
5. 四則演算	$x^2 + 3x - \frac{1}{4}$	$x^2 + 3x - 1/4$	$\sqrt{x^2 + 3x - \frac{1}{4}}$

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	$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}$	$\text{matrix}([a], [b], [c])$	$\sqrt{\left(\begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix}\right)^T \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}}$
b. 2次元行列	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$	$\text{matrix}([a_{11}, a_{12}], [a_{21}, a_{22}])$	$\sqrt{\left(\begin{matrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{matrix}\right)^T \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}}$
c. 3次元行列	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}$	$\text{matrix}([a_{11}, a_{12}, a_{13}], [a_{21}, a_{22}, a_{23}], [a_{31}, a_{32}, a_{33}])$	$\sqrt{\left(\begin{matrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{matrix}\right)^T \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}}$

(b) 数学的概念のコマンド対応表

図 4: 数学的概念の伝達実例 (1)

図 4a は遠隔授業（第 4 学期担当科目「工学数学及び演習」）において Zoom の画面共有で数学的概念を配信（伝達）させる実践例である。特に、遠隔授業の電子黒板（教師の PC 画面共有）において「WYSIWYG (What You See Is What You Get)」を実現させるために Microsoft 社文書作成ソフトウェア「Word」を活用して、その Word にある「数式変換」機能を利用して LaTeX コマンドから瞬時に「2次元形式の数式」を変換表示させている。この変換は 4 つの手順で操作する：① 数式プレースホルダーを挿入させるためにショートカットキー [Alt] [Shift] [=] を同時に打鍵，② 数式に対応した LaTeX コマンドを入力，③ オプション「 $e^x$  2次元形式 (P)」アイコンを選択，④ 2次元形式の数式へ変換。この操作には、コマンド対応表（図 4b）にある「Math」列と「LaTeX」列の対応関係を理解しながら利用する必要がある。

## 4.2 数学的概念に対するコマンド対応について

履修者に対して数学基礎教育における伝達すべき「数式（数学的概念）」は、対面授業であれば数式を教室内の黒板に板書すればよい。一方、遠隔授業または本システムにおいて「数式」を伝達するには、次の 2 つのシステム「組版システム」および「数式処理システム」を使用した。例えば、本システムの Web テストでは数式処理システム「Maxima」であり、具体的には Maxima コマンドを使用する。また Zoom の画面共有では組版システム「TeX」「LaTeX」、そして「AMS-LaTeX」（ロゴマーク：「 $\text{\TeX}$ 」「 $\text{\LaTeX}$ 」、そして「 $\text{\AMS-LaTeX}$ 」）であり、具体的には  $\text{\AMS-LaTeX}$  コマンドを使用する。さらに両システムを併用する学習場面も考えられる。

図 4b に数学基礎教育で使用（伝達）した数学的概念をリストアップした。

【使用例 (1)】 2 つの数学定数（組み込み定数）「円周率  $\pi$ 」および「オイラー数  $e$ 」の加法  $\pi + e$  では、数式処理システムの Maxima コマンド「`%pi + %e`」または「`pi + e`」を、および組版システムの  $\text{\AMS-LaTeX}$  コマンド「`\(\pi + e\)`」をそれぞれ対応させている

【使用例 (2)】 べきおよび累乗根の例として「 $x^2 - 3^x + \sqrt{5}$ 」では、数式処理システムの Maxima コマンド「`x^2-3^x+sqrt{5}`」または「`x^2-3^x+5^(1/2)`」を、および組版システムの  $\text{\AMS-LaTeX}$  コマンド「`\(x^2-3^x+\sqrt{5}\)`」をそれぞれ対応させている

【使用例 (3)】 3次元ベクトル  $\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$  では、数式処理システムの Maxima コマンド

「`matrix([1],[2],[3])`」，および組版システムの  $\text{\AMS-LaTeX}$  コマンド「`\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}`」に対応させている，ただし実際の Web テストでは行列ではなく，その成分を回答させている，つまり Maxima コマンド「1」「2」，そして「3」だけを回答させている

### 4.3 本システムのコースページについて

筆者らは数学基礎教育に対して本システム（Moodle）を授業内・外で活用している。このため数学基礎教育の遠隔授業では、履修者および教師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、かつ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、本システムのコンテンツなどを画面共有しながら活用している。さらに履修者は授業外においても本システムを活用する。その学習活動の実行結果、担当科目の学習終了時には本システムのコースページが充実した状態で構築される。例えば、構築された担当科目におけるコースページ（学生ロール時）の分量はA4判印刷物として、「線形代数1」では20枚程度、「基礎数学」では21枚程度、そして「微分積分学及び演習」では23枚程度であった（図5a）。

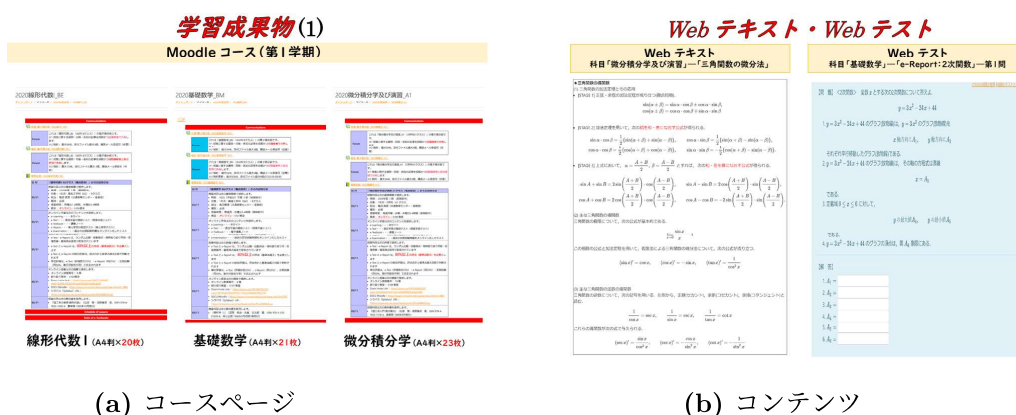


図 5: 本システムのコースページおよびコンテンツ

### 4.4 Web テキストについて

数学的概念を履修者へ伝承されるために、本システムの2つのコンテンツ「Web テキスト」および「Web テスト」を利活用した。

特に、本システムで使用している Web テキストでは、高度、かつ複雑な数式を表現するために、組版システム「AMS-LaTeX」および数式 JavaScript ライブラリ「MathJax」で運用した結果「数式レンダリング」機能が利用できている。これは図4bにある対応表における「Math」列と「AMS-LaTeX」列の対応関係を理解しながら利用する必要がある。例えば、図5b（左）には担当科目「微分積分学及び演習」で学習する「三角関数の微分」に関して紹介された数学的概念のスクリーンショット（以下、「スクショ」という）である。

### 4.5 Web テストについて

本システムで使用している Web テストはコンピュータ基盤テスト (Computer Based Testing: CBT) であり、履修者が希望する時間に、かつ希望する場所から、インターネット



トに接続された学生保有ノート PC を利用して受験できる学習活動である。本システムの Web テストを提供するためには、図 4b にある対応表における「Math」列、「AMS-LaTeX」列、さらに「Maxima」列の対応関係を理解しながら利用する必要がある。例えば、図 5b (右) には担当科目「基礎数学」で学習する単元「2 次関数」に関する Web テストのスクショである。

特に、本システムの Web テストは、数学問題にある数値および関数がランダムに出題され、試験期間および所要時間が自動管理され、受験終了後には入力された回答が自動採点される。また、試験期間内において反復受験を許可していることで、採点結果の履歴をいつでも振り返ることができる。なお各受験期の最高評点が学習評価において採用されている。

次に、この Web テストの工程 (システム手順) を解説する (図 6a)。第 1 に本システムは履修者が学習する数学的概念に関する数学問題をランダムに出題し (①)、第 2 に履修者は Web ページに対して数学的解答を数式処理 (Maxima) コマンドを代用入力して回答し (②)、第 3 に入力された Maxima コマンドを本システムが認識した数式として返答し (③)、さいごに自動採点された結果を、正解の場合には黒文字で、誤答の場合には赤文字で、さらに模範解答付きで戻している (④)。

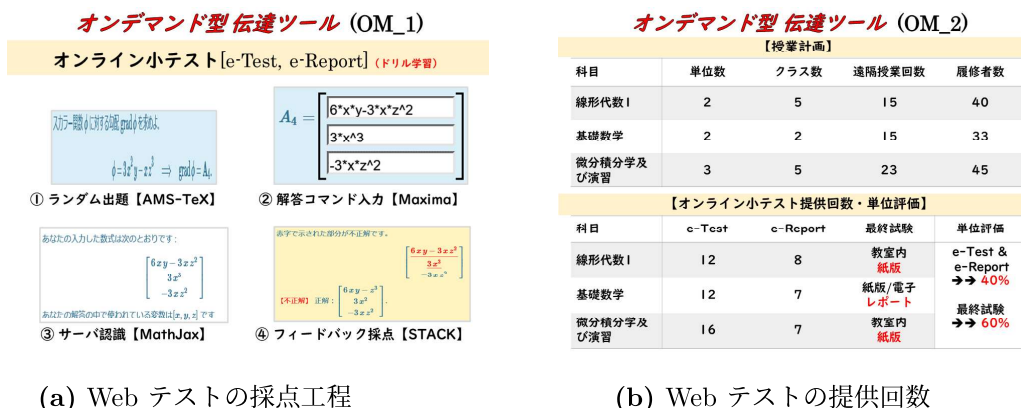


図 6: 本システムの Web テストによる学習環境について

さらに、この Web テストは 2 つの出題形態「直近学習内容の 2 題テスト (以下、「e-Test」という)」および「単元学習内容の 5 題テスト (以下、「e-Report」という)」によって分担されている。例えば、担当科目「線形代数 1」において「e-Test」が 12 期分を、「e-Report」が 8 期分をそれぞれ提供されている。この結果、複数の数学的概念の学習過程で、かつ各受験期において「反復受験」制度が取り入れられていることで、数学的概念の主体的な「ドリル学習」として機能している。それ故、Web テストに関する受験期ごとの最高評点は単位評価における評価割合 40% として活用されている。さらに残り 60% は定期試験 (基礎数学ではレポート試験を、他の 2 科目では対面による紙ベース試験を実施している) の評点で判断されている (図 6b)。

## 5 数学的概念の特殊な伝達環境について

この節では、同時双方向型遠隔授業において数学的概念を学生と教師間で双方向に伝達できる学習環境を解説する。

同時双方向型遠隔授業においてライブ感覚でコミュニケーションする手段には、Web 会議システム Zoom に付随する「チャット」機能があり、標準的なツールである。Zoom 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（例えば、画面共有の領域減、Zoom のチャット自体の画面共有ができない）。以下において「画面共有」機能と共存、かつ共用できる Web ツールを幾つか紹介する。

### 5.1 CommentScreen について

この小節では、「ニコニコ動画風チャット」と同等な機能をもつコミュニケーション Web ツール「CommentScreen」を紹介する。このツールの公式サイト [4] 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。

担当科目の同時双方向型遠隔授業において次の手順に従って Web ツール「CommentScreen」を利用した（図 7a）。

- 【手順 (1)】 履修者または教師が発したいメッセージを「CommentScreen」サイトの固有グループ（グループ活動名：SOCU20）に割り当てられた Web ページに入力する
- 【手順 (2)】 教師（グループ活動のオーナー）側の PC 画面にインターネット経由で即時的に同一メッセージが流れる
- 【手順 (3)】 このとき、教師が Zoom の「画面共有」機能を利用している場合には、同一メッセージが流れる画面を共有できる
- 【手順 (4)】 その結果、遠隔授業に参加している学生側の Zoom 画面にも同一メッセージが流れるのを観察できる
- 【手順 (5)】 最終的に、遠隔授業に参加しているメンバー全員が流れる同一メッセージを共有する

この仕様を利活用すれば、教師が遠隔授業の実行中において口頭などで数学問題（例：3次関数  $x^3$  を微分せよ）を発出した場合、履修者はその数学的解答（例： $3x^2$ ）に対する数式処理（Maxima）コマンド（例： $3 * x^2$ ）として Web アプリ「CommentScreen」を通して回答する。

このような実践例により、同時双方向型遠隔授業に参加している履修者は同時、かつ複数で実行できる。それ故、正解または不正解である多数の回答メッセージ（数式処理コマンド）が画面に流れる。この特殊な伝達ツールにより、数学的概念の質疑応答ができていていることを示している。

また、この特殊な伝達ツール「CommentScreen」による学習活動を確立させるためには、履修者側および教師側が図 4b にある対応表における「Math」列と「Maxima」列の対応関係を理解しながら利用する必要がある。

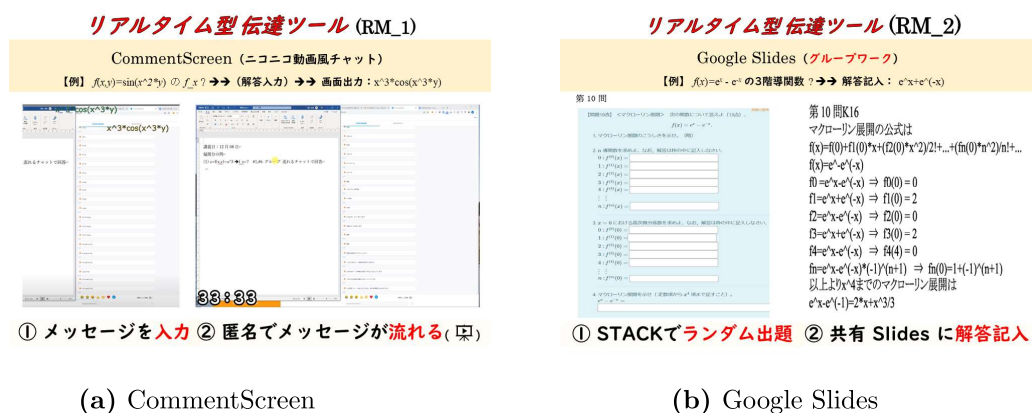


図 7: 数学的概念の特殊な伝達ツール (1)

## 5.2 Google Slide について

この小節では、グループ活動（協調学習）を基本にしたコミュニケーション Web ツール「Google Slides」を紹介する。

はじめに、同時双方向型遠隔授業で数学的概念の取得するための協調学習を行う前に、次の作業を行う。

- 【作業 (1)】 Moodle の「グルーピング」機能により、全履修者を複数のグループ（4,5人程度で構成するグループ）に編成しておく
- 【作業 (2)】 過去の定期試験問題を Web テスト化させた問題をピックアップし、各グループに複数問題を割り当てる
- 【作業 (3)】 Google Slides で新規のスライド・ファイルを作成し、各スライドには過去問のイメージを埋め込み、さらに空白のスライドも組み込む
- 【作業 (4)】 編成されたスライド・ファイルに対して「編集可能」な共有設定を行う
- 【作業 (5)】 そのスライド・ファイルに割り当てられた URL を履修者に公開する

次に、同時双方向型遠隔授業において次の手順に従って協調学習を行う（図 7b）。

- 【手順 (1)】 履修者は公開された URL により、Google Slides を各自の保有ノート PC で開く
- 【手順 (2)】 1 グループのメンバーが協力して、割り当てられた問題の解答を共有された空白スライドに数学的解答を数式処理（Maxima）コマンドで代用しながら記入していく
- 【手順 (3)】 その結果、過去問に対する解答を同時に、かつ複数人で作成していく

【手順(4)】 教師は、スライドに問題解答を行う協調学習の活動状況を、Zoom の「画面共有」機能を利用して全履修者にライブで配信する

【手順(5)】 最終的に、全ての問題に対して解かれた解答結果が Maxima コマンドで代用解答された学習成果物としてネットワーク共有されたことになる

例えば、担当科目「微分積分学及び演習」における高次微分問題「関数  $f(x) = e^x + e^{-x}$  について、その3次導関数  $A_1$  および  $x = 0$  における3次微分係数  $A_2$  を求めよ」であれば、解答について  $A_1 = e^x - e^{-x}$  および  $A_2 = 0$  を記入することになる。また、この特殊な伝達ツール「Google Slides」による学習活動を確立させるためには、履修者側および教師側が図 4b にある対応表にある「Math」列と「Maxima」列の対応関係を理解しながら利用する必要がある。

### 5.3 Moodle Chat について

この小節では、高度なコミュニケーション Web ツール「Moodle Chat」を紹介する。本システムで活用したコンテンツ「Web テキスト」および「Web テスト」では、その Web の html ソース内に組版システム「AMS-LaTeX」コマンドを組み込ませて Web ページを表示させるとき、数式 JavaScript ライブラリ「MathJax」による数式レンダリングにより、高度かつ複雑な数式がその Web ページにおいて表示させている。

この仕様を利用して、本システムにある「Moodle Chat (チャット)」機能アプリ [5] を通して数学的概念の伝達を行う学習活動が実行できる。すなわち同時双方向型遠隔授業において次の手順に従って「Moodle Chat」機能アプリを利用する (図 8)。

【手順(1)】 履修者が発したいメッセージを「Moodle Chat」アプリに入力する

【手順(2)】 他の履修者のノート PC 画面にある「Moodle Chat」アプリにおいても同一のメッセージが即時的に、かつ同時に表示される

【手順(3)】 さらに教師が Zoom の「画面共有」機能を起動している場合、教師側の PC 画面内にある「Moodle Chat」機能アプリにおいても同一メッセージが表示され、その画面が Zoom を経由して履修者側に配信される

この仕様を利用すれば、教師が同時双方向型遠隔授業の実演中において口頭で数学問題 (例：三角 (正弦) 関数の3乗  $\sin^3(x)$  を微分せよ) を発出した場合、履修者はその解答を「AMS-LaTeX」コマンド (例： $\backslash(3 \sin^2(x) \cos(x)\backslash)$ ) として「Moodle Chat」アプリに入力する。このとき、数式レンダリング機能により全ての「Moodle Chat」アプリにおいて2次元形式の数式 (例： $3 \sin^2(x) \cos(x)$ ) が履修者間で表示、かつ共有することができる (図 8)。


この仕様により、参加している履修者の回答結果において正解および不正解を含めた多数の2次元形式の数式が共有画面に流れるので、数学的概念の質疑応答が数学基礎教育における普段通りの数式で共有することができる。また、この特殊な伝達ツール「Moodle Chat」による学習活動を確立させるためには、履修者側は図 4b にある対応表

にある「Math」列と「Maxima」列を経由した「AMS-LaTeX」列の対応関係を理解しながら利用する必要がある。

**リアルタイム型伝達ツール (RT\_2)**

Moodle Chat with MathJax (数式レンダリング)

- **WYSIWYG :**  
What You See Is What You Get
- **Chat with MathJax :**  
「チャット活動 | Moodle.org」  
<http://bit.ly/2J9sFU2>
- **数式変換の手順 :**
  - 1) Chat 活動を開く
  - 2) 「アクセシビリティの高いインターフェースを使用する」を選択
  - 3) LaTeX コマンドを入力  
例:  $[*]-[\sin(x)]-[*]$   
※ 右クリックでペーストの複製
  - 3) [送信] - [リフレッシュ] ボタン
  - 4) 2次形式の数式に変換表示



実践例(図)

図 8: Moodle Chat with MathJax

## Acknowledgment

This work was supported by the Research Institute for Mathematical Sciences, an International Joint Usage/Research Center located in Kyoto University.

## 参考文献

- [1] 佐藤昌宏:「EdTechが拓く未来の教育」講演資料, TIES シンポジウム 2019「EdTechと教育 TIES」, 2019
- [2] 教育再生実行会議: 高等教育ワーキング・グループ (第2回) 関連参考資料, 2020
- [3] 吉田墨: 「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
- [4] CommentScreen サイト: <https://commentsscreen.com/> (参照日: 2021年2月15日)
- [5] Moodle サイト: 「チャットの設定」, <https://docs.moodle.org/3x/ja/チャットの設定> (参照日: 2021年2月15日)