

理工系大学の数学基礎教育における TeX の活用変遷 ～ TeX による教育的デジタル事業変革～

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¹⁾
新潟大学学術情報基盤機構情報基盤センター 宇田川暢²⁾

1 はじめに

第1筆者は理工系大学（現、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」）に所属し、約10年前から数学基礎教育に対して「学習管理システム（Learning Management System, LMS）」を利活用した大学授業を提供している。第2筆者（所属先、新潟大学）はそのLMSを遠隔から運用・改善させながら、筆者らは数学基礎教育における共同研究を行っている。

1987年（本学前身の短期大学新設時）から、本学教員は「学生が所持するノート型パーソナルコンピュータ（以下、「ノートPC」）の教育的活用（Bring Your Own Device, BYOD）」を取り入れた大学教育を提供し続けている。そして2011年（本学前身の学部改組時後）から、筆者らは本格的に複数の数学基礎科目に対してe-Learningシステム（以下、「本システム」）を教室内外で利活用し始めた。さらに2015年（本学の公立大学改組時後）から、本学に無線LANシステムが大学構内全域で構築されたことから、「情報通信技術（Information and Communication Technology, ICT）」を全ての教室で利活用できるように改善された。その結果、筆者らは学生所持ノートPCに加えて、学生が所持するスマートフォン（以下、「スマホ」）も利活用できるように本システムを改善し続けている。

本稿では、数学基礎教育の学修環境が組版システム TeX を段階的に取り入れることで導き出された教育デジタル変革（EdTech）を報告していく。すなわち、これはデジタル技術による事業変革（Digital Transformation, DX）として教育事業において実行された数学基礎教育におけるEdTechについて時系列的に実践されたことを報告する。

1. TeX による美的化： 基礎数学教育における物理的教材（紙ベース）において高度、かつ複雑な数式を利活用
2. TeX による即時化： 基礎数学教育におけるデジタル教材（Web ベース）において高度、かつ複雑な数式を利活用
3. TeX による動的化： 基礎数学教育における Web テストにおいて高度、複雑、かつ動的な数式を利活用
4. TeX による遠隔化： 基礎数学教育における同時双方向型遠隔授業において、教師から履修者への高度、かつ複雑な数式を利活用（伝達）
5. TeX による双方向化： 基礎数学教育における同時双方向型遠隔授業において、履修者間の双方向において数式を利活用（伝達）

¹⁾E-mail: kameda@rs.socu.ac.jp

²⁾E-mail: udagawa@cais.niigata-u.ac.jp

DX とは、EdTech とは



図 1: DX および EdTech の概略図と CBT の変遷

このとき、EdTech を成功に導く他のキーワードには、「学習データ分析 (Learning Analytics, LA)」「コンピュータ基盤テスト (Computer Based Testing, CBT)」「学びを止めない」がある (図 1)．例えば、後半の 2 つのキーワードに関連する実践例を紹介する．つまり、図 1 左には、数学基礎科目「線形代数 2」(2 年次選択科目) において実施していた定期 (期末) 試験の CBT である．上部写真は大学内教室において対面式で受験している CBT の受験風景であり (2019 年度実施), 下部写真は「学びを止めない」となる教育実践であり, 学生宅などにおいて遠隔 (オンライン) で受験している CBT の実施風景であり, Web 会議システム Zoom Meetings のカメラギャラリーのスクリーンショットである (2020 年度実施)．

2 T_EX による美的化

第 1 筆者が本格的に数式を表現するために T_EX を活用したのは 2 つの書籍 [1] [2] である．書籍 (1994 年出版, 2020 年 40 刷) [1] および書籍 (2001 年出版, 2019 年 9 刷) [2] はともに線形代数に関する数学概念を紹介する著作物である (図 2)．それ故, 主に「ベクトル」「行列」「行列式」に関する数式が多数利用されている．しかし解析学 (微分積分学) および幾何学に関する数式表現にも流用できる高度, かつ複雑な数式表現をするための T_EX のノウハウも同時に取得することができた．実際, 担当した数学基礎科目における試験問題は全て T_EX で作成・処理させている．その処理の 1 例には, 通常の試験問題 (計算余白付き黒字表示), および解答付き試験問題 (解答は計算余白に赤字印刷) の 2 種類の印刷物を出力できるように T_EX 内のオプションで対応させた．

次に, 2016 年度から 2020 年度, 高等専門学校教育現場で使用する教材 (特に試験問題) を, 活用場面に応じた印刷物が出力できるように設定した T_EX の活用方法について研究活動を行った [5]．つまり 3 つの活用場面および印刷物に対応させている: (1) 試験実施時に使用する「計算・答えを記載する空白の領域付き試験問題用紙 (本番用印刷物)」, (2) 試験終了後に使用する「コメント (赤字で計算過程および解答) 付き試験問題用紙 (解答付印刷物)」, (3) 再利用または振りかえり時などにおいて使用する「余白を詰めた試験問題用紙 (縮小版印刷物)」．すなわち, 1 つの T_EX ファイルにて, オプションの設定 (切替) により活用場面に応じた印刷物が出力される T_EX の活用方法に関する研究成果である (図 3)．

TeX で書籍



図 2: TeX で作成された共著教科書

TeX 活用教材で論文

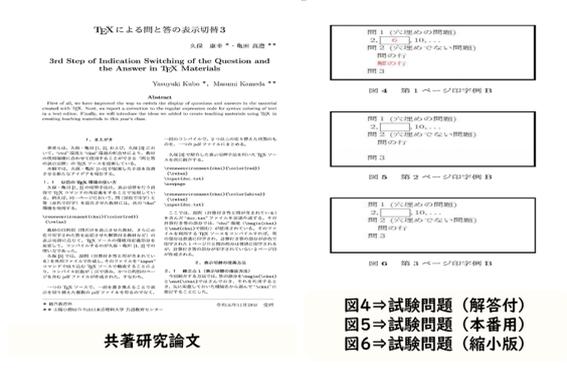


図 3: TeX を活用した教育研究に関する共著論文

3 TeX による即時化

2010 年頃から数学基礎教育において使用し始めた本システムは、プラットフォームに“Moodle”が採用されている。この“Moodle”により配信されるコンテンツ「Web テキスト」について紹介する。

この本システムから配信される Web ページにおいて、数学基礎教育における数学的概念を伝達するためには高度、かつ複雑な「(2次元形式の) 数式」を表現する必要がある。そのため、本システムに数式組版システム“AMS-LaTeX”および数式 JavaScript ライブラリ“MathJax”を組み込んでいる。



図 4: 学習管理システムの構成図

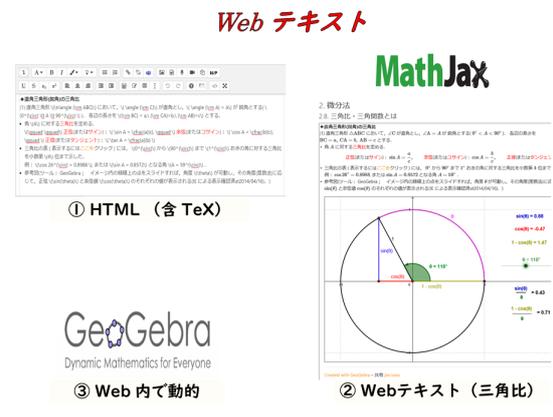


図 5: 動的コンテンツが組み込まれた Web ページ

図 4 では、本システムのネットワークにおけるサーバ構成図を示し (左上)、サーバ側 (オンプレミス) に組み込まれているアプリケーション群 (ロゴ標記付き) を記載し (右上)、クライアント側 (履修者のノート PC) では Web ブラウザだけで本システムを利活用できることを示している。さらに 2020 年度以降に始まった遠隔授業に関して、履修科目の授業では Web 会議システム

“Zoom” と “Moodle” を同期的な利用を行う学修環境であることを示し、授業外では “Moodle” だけを利用していく主体的学習となる学修環境であることを示している（右下）．参考に、2019 年度の CBT の受験風景の写真をのせている（左下）．

実際、配信する Web ページの HTML ソースに $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ コマンドを差し込ませることにより、履修者らは Web ブラウザにおいて高度、かつ複雑な数式が表現された Web ページを閲覧できている（図 5）．

また、数学基礎教育で使用される Web ページは、静的な情報だけを配信するのが通常であるが、本システムには動的数学アプリケーション “GeoGebra” による JavaScript コンテンツを組み込むことで動的なコンテンツを配信できるように設計されている．例えば、図 5 は「三角比」に関する動的コンテンツを組み込んである Web ページのスクリーンショットである．すなわちこの動的コンテンツでは、中心角 θ （度数法）の大きさを示す可動スライダーが組み込まれていて、可動した中心角 θ に応じて単位円の円周上にある点 $(\cos \theta, \sin \theta)$ が連動して描画されて、中心角 θ に対応する 2 つの三角比 $\cos \theta, \sin \theta$ の数値が見える化されている．なお、この動的コンテンツにおいても、 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ が対応しているので動的コンテンツ内においても高度、かつ複雑な数式を表現できるようになっている．

4 $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ による動的化

数学基礎教育向け CBT を提供・運用させるために、本システムにおいて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” を組み込んでいる．この結果、履修者は大学教室およびネットワーク上の学習空間の両方において数学的概念を確認・定着できるように設計されている（図 4）．すなわち、履修者は「いつでも（希望する学習時間に）」「どこからでも（希望する学習場所で）」数学基礎科目における Web テストを受験できるように設計されている．

これは “Maxima” の小テスト機能の “STACK” 問題タイプに従って構成する．すなわち Web テストの HTML ソースに 3 種のコマンド： $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ コマンド（例： $\left[\backslash(\backslash\sin(\backslash\pi/2)\backslash)\right]$ ）、STACK コマンド（例： $\left[\{\@sin(\pi/2)\@\}\right]$ ）、Maxima コマンド（例： $\left[\sin(\pi/2)\right]$ ）を組み込ませる（図 6 左）．このとき履修者は Web ブラウザにおいて高度、かつ複雑な数式が使用された Web テストを受験できる（図 6 右）．

実際、Web テストの設問（例： $\left[\sin^2(x)\text{を微分せよ.}\right]$ ）に対して、履修者は Maxima コマンド（例： $\left[2*\sin(x)*\cos(x)\right]$ ）を返答することになる．この結果、本システムがこの返答に対して自動的に採点を実行させることができる．

また、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、受験終了後に本システムが自動的に採点し（前述済み）、その試験結果情報が記録される．なお反復受験が可能であるため単位評価には最高評点を採用している．

Web テスト

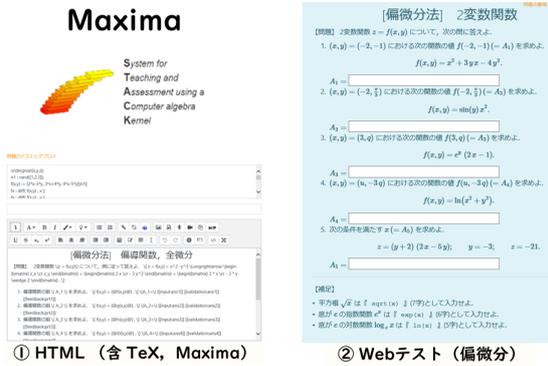


図 6: Web テストのソースおよび出題ページ

Web テスト (学習分析)

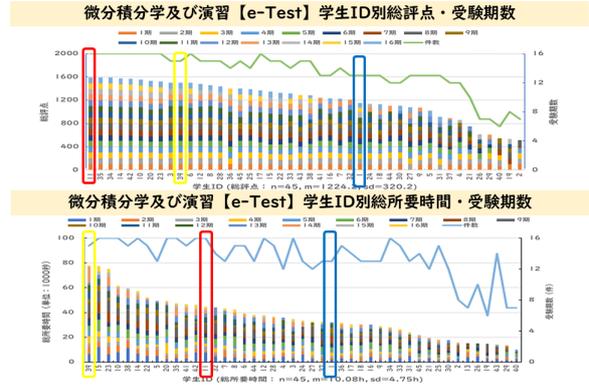


図 7: Web テスト「e-Test」の学習データ分析

4.1 Web テストの学習データ分析

第 1 筆者は 2020 年度第 1 学期において「線形代数 1」³⁾「基礎数学」⁴⁾「微分積分学及び演習」⁵⁾の 3 科目を担当し、すべての担当科目において多種多様な Web テストを提供した。この小節では、「微分積分学及び演習」科目で実施した「e-Test」(提供回数：16 期)に関する試験結果に対する学習データ分析を報告する。

表 1 は微分積分学及び演習(履修者：45 人)で実施した Web テスト「e-Test」⁶⁾の受験期(1 期～16 期)別最高評点に関する記述統計量である。このとき、受験期別平均が全て 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している。

表 1: 微分積分学及び演習の 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

4.2 最高評点総和データに関する分析

表 2 は微分積分学及び演習で実施した Web テスト「e-Test」における学生 ID 別の最高評点総和および受験期数である。図 7 (上) グラフは学生 ID 別受験期別最高評点の積上げ棒グラフ(第 1 軸)、および学生 ID 別受験期数の折れ線グラフ(第 2 軸)の組み合わせである。

このとき、最高評点総和に関して「人数 $n = 45$, 平均 $m = 1,224.2$, 標準偏差 $sd = 320.2$ 」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

³⁾学習単元：3次元ベクトル空間，行列，行列式

⁴⁾学習単元：数学のリメディアル教育

⁵⁾学習単元：1変数関数の微分法と不定積分法

⁶⁾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

表 2: 微分積分学及び演習の e-Test における学生 ID 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	8	28	36
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	1,481	1,460	1,438
受験期数	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	15	16	15	15	15
学生 ID	45	25	17	15	22	33	43	38	41	16	7	32	1	24	18
最高評点総和	1,400	1,400	1,391	1,371	1,348	1,328	1,317	1,291	1,286	1,243	1,233	1,227	1,212	1,155	1,134
受験期数	14	15	14	16	15	15	14	15	15	13	13	14	13	13	13
学生 ID	44	30	27	9	5	31	37	4	21	26	29	40	19	2	13
最高評点総和	1,133	1,107	1,107	1,078	1,072	1,020	917	895	862	749	614	610	546	533	514
受験期数	13	12	12	13	13	13	13	12	12	10	7	7	6	8	7

点総和と受験期数に関する相関係数 $r = 0.954$ は、無相関の t 検定 ($t = 20.8, df = 43, p < 0.01$) により有意であった。

さらに、最大値と最小値の比率 p について、「最高評点総和」に関して $p = 3.1$ であり、「受験期数」に関して $p = 2.7$ であった。この学習の格差があること自体、履修者が学習成果物の定着および学習する機会を損失しているのではないかと危惧する。

4.3 所要時間総和データに関する分析

表 3 は微分積分学及び演習で実施した Web テスト「e-Test」における学生 ID 別所要時間総和 (単位: 秒) および受験期数であり、図 7 (下) グラフは学生 ID 別受験期別所要時間の積上げ棒グラフ (第 1 軸)、および学生 ID 別受験期数の折れ線グラフ (第 2 軸) の組み合わせである。

表 3: 微分積分学及び演習の e-Test における学生 ID 別の所要時間 (単位: 秒) 総和および受験期数

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

このとき、最高評点総和に関して「 $n = 45, m = 36, 298.8, sd = 17, 106.3$ 」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 $r = 0.660$ 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、最大値と最小値の比率 p について、「所要時間総和」に関して $p = 7.7$ であった。この格差は、前述の「最高点総和」と「受験期数」より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危惧する。

この小節のさいごに、「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 ($t = 5.1990, df = 43, p < 0.01$) により有意であった (図 7)。

5 TeX による遠隔化

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。

第 1 学期 (期間: 5 月 11 日~7 月 5 日) は “Zoom Webinar” 方式で、第 2 学期 (期間: 7 月 6 日~9 月 6 日) 以降は “Zoom Meetings” 方式で遠隔授業をそれぞれ配信した。特に第 1 学期後半から研究用ノート PC (高スペックな Microsoft Surface Laptop 3) を利用して遠隔授業を配信した (図 8 上)。

一方、吉田 [6] 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した (図 8 下)。

遠隔授業 学習 (修) 環境

【BYOD】⇒【教師: 大学、学生: 自宅】【同時双方向型 遠隔授業】



学内特定教室・ブース

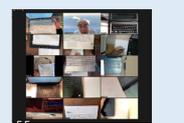


【教師PC】共同 → 研究用

1 学期 → Zoom Webinar
2~4 学期 → Zoom Meetings



Zoom 通信量 ~音声, ビデオ, 画面共有~



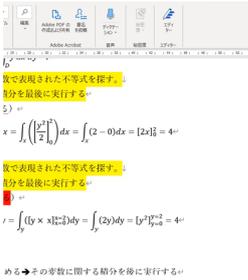
同時受講時の画面共有の重要性

【通信量】小 (画面共有) 【学生・教師】同時双方向 →画面共有を軸に

【出典】 吉田 真 (東京大学 大学総合教育研究センター 特任講師) : 「オンライン授業において Zoom の通信量を抑えるには」, 【第9号】4月からの大学等遠隔授業に関する数値状況共有サイエンスプログラム (NII)

リアルタイム型伝達 (教師発)

MS Word (Math on Word, LaTeXスタイル数式入力)



事例動画

●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⁺ 2次元形式]アイコン
4) 2次元形式の数式に変換 (7分30秒~)

図 8: 本学の同時双方向型遠隔授業システム 図 9: Math on Word を活用した実践イメージ

このとき、数学基礎科目に対する同時双方向型遠隔授業において、リアルタイムに高度、かつ複雑な (2次元形式の) 数式を共有 (伝達) している学修環境を紹介する。利用するツールは文書作成ソフトウェア “Word for Microsoft 365” であり、このソフトウェアに付加されている WYSIWYG⁷⁾ エディター “Math on Word” 機能⁸⁾ を利活用する (図 9)。

1. 教師 (第 1 筆者) は同時双方向型遠隔授業を配信し、教師側のノート PC を画面共有する

⁷⁾ 見たままのものを実際に作成出力するという言葉の “What You See Is What You Get” の略称

⁸⁾ <https://support.microsoft.com/ja-jp/office/word-で-unicodemath-および-latex-を使用して行形式の数式を入力する-2e00618d-b1fd-49d8-8cb4-8d17f25754f8> (閲覧: 2021 年 07 月 13 日)

- 画面共有の中で Word for Microsoft 365 を立ち上げて、文書ファイルを新規作成し、その編集過程を画面共有で配信する（以下、これを「Web 黒板」と略称する）
- Web 黒板に通常の文章を記載する場合には、通常通りに書き込む（例：「定積分を計算する」）
- Web 黒板に2次元形式の数式を記載する場合には、はじめに開始コマンドとなるショートカットキー：[Alt] [=] を押す
- 続けて、数式に対応した T_EX コマンドを入力する（例：`\int_0^1 2x dx`）
- T_EX コマンドの入力終了後、変換形式を選択する（例：`[ex 2次元形式(P)]` 変換）
- 即座に、Web 黒板には2次元形式の数式に変換された高度、かつ複雑な数式が表示される（例： $\int_0^1 2x dx$ （インライン数式モード）、または $\int_0^1 2x dx$ （ディスプレイ数式モード））
- 最終的に、Web 黒板において通常文章と2次元形式の数式が融合的にリアルタイムで配信される

この操作手順で作成された高度、かつ複雑な数式に対して、通常文書で使用される装飾機能（例：文字色、蛍光色など）を簡便に設定できる。

また遠隔授業終了後、教師はこの画面共有で使用した文書ファイルをブラッシュアップし、さらにデジタル変換を実行し（PDF 形式文書ファイル）、この PDF 形式文書ファイルを本システムの専用コースにアップロードする。その結果、履修者全員は、所持しているノート PC またはスマホを通して、リアルタイムで共有した数学的概念（2次元形式の数式を含む）をさらにブラッシュアップした数学概念がまとめられた PDF 形式文書ファイルとして持続的に共有できる。

一方、高度、かつ複雑な（2次元形式の）数式を Web ページにおいて表現させるには、図 10 にリストアップされている T_EX コマンドへの対応が必要となる（後節のため Maxima コマンドへの対応も追記している）。例えば、次の2つの対応事例を紹介する。

- 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「総和 $\pi+e$ 」に対して、Maxima コマンド「`%pi+%e`」および T_EX コマンド「`\(e+\pi\)`」へそれぞれ対応させる。
- 線形代数の対応事例** 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 T_EX コマンド「`\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}`」へそれぞれ対応させる。

6 T_EX による双方向化

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。このとき学習している数学概念に対して、履修者の数学的知識の定着度合いをリアルタイムで確認したい場面が生じる。この節ではこの学修環境を実現できている実践例を紹介する。

10. さらに、教師のノート PC を Zoom の画面共有に設定している場合、全ての遠隔授業の参加者が Moodle Chat コンテンツのリストアップされた解答に関して相互に正誤判定が実行することができる

これは数学基礎教育において複数の学習者がリアルタイムに、ライブで、視覚的に、かつ双方向に学習を実行している学修環境である。一方、履修者は Web テストを受験しているので Maxima コマンドへの変換は容易であると判断できるが、さらに $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ コマンドへの変換を行うことは数学概念の学習に対してハードルが高すぎると判断した、その結果 Moodle Chat を用いた学習活動は 1,2 回実行して取り止めた。

7 おわりに

筆者らの数学基礎教育における学修環境では、第 1 に「Paper ベース」における組版システム $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ の利活用を基本に、第 2 に「Web ベース」における組版システム $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ の利活用へと発展させ、第 3 に「Remote ベース（同時双方向型遠隔授業ベース）」における組版システム $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ の利活用へと改善させ続けている。このとき「Web ベース」における利活用では、「ICT」「BYOD」「LMS」を有効的に教育的ツールとして利用した結果である [3, 4]。さらに「Remote ベース」における利活用では、Web 会議システム Zoom を COVID-19 に対抗すべく突発的な教育的ツールとして利用した結果である [7, 8, 9]。

この数学基礎教育における同時双方向型遠隔授業（Remote ベース）では、2次元形式の数式の代替えとして、1次元形式の数式に類似する数式処理システム「Maxima」を用いて、双方向のコミュニケーションを成立させている [10, 11]。

これらの数学基礎教育における実践は DX あるいは EdTech を実現させていて、この実現を可能にさせているのは、本稿で紹介した数学向けツール「STACK」「Word for Microsoft 365」「Moodle Chat」であった。

数学基礎教育の DX を成功させるために、これからも開発・公開される「学修環境」および「数学向けツール」などを調査・活用していきたい。

参 考 文 献

- [1] 川原雄作, 木村哲三, 藪康彦, 亀田真澄: 「線形代数の基礎」, 共立出版株式会社, (1994)
- [2] 川原雄作, 木村哲三, 新妻弘, 亀田真澄: 「詳解 線形代数の基礎」, 共立出版株式会社, (2001)
- [3] 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)
- [4] 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)
- [5] 久保泰幸, 亀田真澄: 「 $\text{T}_\text{E}_\text{X}$ による問と答の表示切替 3」, 弓削商船高等専門学校 紀要, 第 42 号, pp.13–18 (2020)

- [6] 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
- [7] 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～」, 日本数式処理学会, pp.13-17 (2021)
- [8] 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)
- [9] 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)
- [10] 亀田真澄, 宇田川暢：「同時双方向型遠隔授業で利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)
- [11] 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)