

遠隔疑似監視かつ個別分散の試験環境下における 線形代数の IBT に関する実践報告

～Zoom および Moodle 等を利活用～

亀田 真澄^{1,a)} 宇田川 暢^{2,b)}

概要：新型コロナウイルス感染症回避のため 2020 年度および 2021 年度の一部の授業スタイルは遠隔授業に切り替わった。第 1 筆者が担当する「線形代数 II」科目では Web 会議システム「Zoom」を用いた同時双方向型遠隔授業に切り替わり、第 2 筆者が遠隔・管理する学習管理システム「Moodle」を活用して、融合型授業を 15 回実行した。その後、定期試験はインターネット基盤テスト方式にて実施した。この試験システムでは、履修者は個別分散した遠隔地（学生宅、大学教室など）にてインターネット経由で受験し、同時に第 1 筆者は試験環境をインターネット経由で遠隔地（大学研究室）から疑似監視した。本稿はこの遠隔疑似監視かつ個別分散受験の環境下で実施された線形代数 II のインターネット基盤テストについて実践報告する。

キーワード：数学基礎教育、遠隔授業、疑似監視、個別分散、Moodle、Zoom、IBT

The practice report about the IBT of linear algebra under the examication enviromental of remote pseudo-surveillance and Individually distributed

– Using of Zoom, Moodle, etc. –

Masumi Kameda^{1,a)} Mitsuru Udagawa^{2,b)}

1. はじめに

第 1 筆者は、地方の小規模かつ公立薬工系^{*1}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）に所属し、数学基礎教育を永年において担当している教員である。その中で第 1 筆者は、数学系担当科目において 3 つのキーワード：「学生が所持するノートパソコン（以下、「ノート PC」という）の教育的活用（Bring Your Own Device: BYOD）」「学習管理システム（Learning Management System: LMS）」「情報通信技術（Information and Communication Technology: ICT）」を積極的に利活用

した。

実際、本学では 30 数年前の新設時の短大時代から「ノート PC を購入して入学する」教育的方策を掲げ、さらに数年前から全教室において無線 LAN 環境が整備され、またほとんどの学生がスマートフォン（以下、「スマホ」という）を所持している事実から、学生が所持しているスマートデバイス（ノート PC、スマホ、タブレット端末）を、積極的に数学系科目の学修環境において利活用させている。

第 2 筆者は、遠隔から LMS（プラットフォームはオープンソフトウェア「Moodle」である）を管理・運用し、この LMS を数学系科目向け e-Learning システム（以下、「本システム」という）に構築させている。

実際、本システムでは組版システム「LaTeX」および数式 JavaScript ライブラリ「MathJax」を組み込むことで複雑、かつ高度な 2 次元数式を Web ページ内で表現できている。また、本システムでは数式オンラインテスト評価

¹ 山陽小野田市立山口東京理科大学
Sanyo-Onoda City University

² 名古屋大学
NAGOYA University

^{a)} kameda@rs.socu.ac.jp

^{b)} udagawa@trans-networks.net

^{*1} 薬学部および工学部を連携させた教育環境をもつ公立大学

システム「STACK」および数式処理システム「Maxima」を組み込むことで「コンピュータ基盤テスト (Computer Based Testing: CBT)」または「インターネット基盤テスト (Internet Based Testing: IBT)」が数学系科目において提供できている。

図1はクライアント/サーバ (C/S) モデルで配信されている学習管理システム (LMS) におけるサービスの概略を示したイメージである。

学習管理システム (C/S モデル)

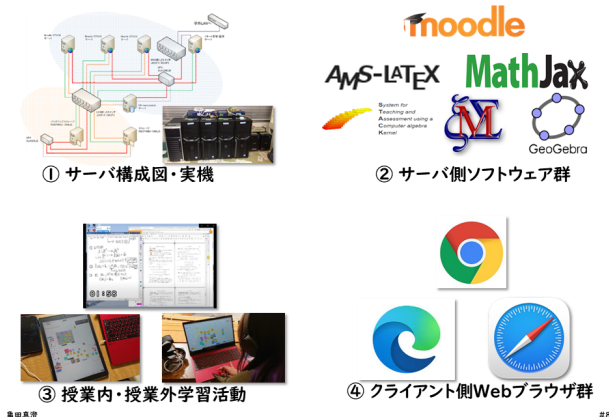


図1 学習管理システム (C/S モデル)

2. 同時双方向型遠隔授業へ

2020年度、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のため、教育的なデジタル変革である「教育デジタルトランスフォーメーション (Digital Transformation: DX)」の更なる進化が求められた。この社会的要望に対して筆者らは数学系科目において教材・文具のデジタル化である「デジタイゼーション (Digitization)*²」、およびデジタル技術による新しい価値を生む「デジタライゼーション (Digitalization)*³」を取り入れた教育環境を進化させた。

実際、2020年度第1学期 (4学期制) から本学の対面授業が Web 会議システム「Zoom Video System (以下、「Zoom」という)」を利用した「同時双方向型遠隔授業 (単に、「遠隔授業」という)*⁴」に統一されて、特に、第1筆者は全ての担当科目において、Zoom の「共有画面」機能*⁵を基本にした遠隔授業を提供した。例えば、TeX コマンドで変換された2次元数式をリアルタイムに描写させた講義ノートを遠隔授業中において画面共有させて授業を進行させた。

*² BYOD、LMS および ICT の利活用がデジタイゼーションの1例であると判断している。

*³ CBT および IBT の利活用がデジタライゼーションの1例であると判断している。

*⁴ 一部の実験系科目を除き、また2020年度第2学期から多くの科目において対面授業が再開された。

*⁵ 通信量を減らす (ネットダイエット) 授業配信方式となる。

2.1 線形代数 II の授業スタイル

本稿で取り扱う「線形代数 II」科目は、2年次・単学科対象 (学科年次定員: 80人)、選択2単位、そして第3学期 (9月下旬~11月上旬) 開講科目である。

この授業スタイルについて、2019年度までは「履修者および教師 (以下、「履修関係者」という)」が特定の時間に特定の大学教室に集会した「対面式」授業で実行され、2020年度以降では履修関係者が特定の時間に大学内外の遠隔地から特定ネットワーク空間 (つまり仮想教室) に集会する「遠隔式」授業で実行した。

また、この定期試験について、2019年度以前までは対面式・直接的監視で実施され、2020年度以降では非対面式・間接的監視 (つまり遠隔疑似監視) で実施した [2], [5]。

一方、担当している過年度において、共通した学習環境は本システムの利活用である。すなわち、線形代数に関する複雑、かつ高度な2次元数式 (ベクトル、行列、行列式など) が表示されたオンラインテキスト (以下、「Web テキスト」という) を、さらに線形代数に関する数学問題 (行列の階数、逆行列と掃き出し法、対角化行列など) を問うオンライン小テスト (以下、「Web テスト」という) を提供したことである。

図2は出題された問題 (4×5型行列の階数を問う)、解答枠、正解で構成されているイメージである。

試験問題



図2 出題システム (採点結果、問題、解答枠、正解を描写)

表1は線形代数 II の直近4年度分の授業スタイルおよび定期試験受験者数を示す。残念ながら履修者数の減少傾向を示している。

表1 線形代数 II の年次別授業スタイルおよび受験者数

年度	2018	2019	2020	2021
授業スタイル	対面式	対面式	遠隔式	遠隔式
受験者数	37人	28人	22人	15人

3. ニューノーマル時代の IBT について

本節では、ニューノーマル（新しい日常）時代に入る 2021 年度において、線形代数 II で実践した IBT 方式のオンライン定期試験について解説する。

3.1 IBT 方式の参加スタイル

試験会場は各々の受験者が希望する受験場所である。つまり学生自宅（単独居室）、または本学内教室（同一教室内に複数受験者がいる場合には適度な座席間距離を要する）などの分散型遠隔地であり、また安定的なネットワーク利用環境をもち、COVID-19 対策ができる安心かつ安全な会場である。また、トラブル発生時には各自で対処することになるがスマホ単体での受験は可能である。

一方、担当教員（第 1 筆者）は本学の研究室に単身で在室する。

受験者は、試験開始時刻になると、Moodle の Quiz 機能で配信されているコンテンツを選択することで、その Web ブラウザが強制的に最大化され、数学問題がノート PC 画面に表示される。

図 3 は今回実施した試験システムの概略図（Zoom, Moodle, ノート PC, iVCam, スマホなどが含まれる）のイメージである。



図 3 試験システムの概略図（Zoom, Moodle, ノート PC, iVCam, スマホなどが含まれる）

履修関係者は各自が所持しているノート PC などをインターネット回線に対して常時接続しておく。始めに同一の Zoom ミーティング情報で参加し（すなわち仮想教室に集会する）。次に試験問題を配信する本システムの専用コースにログインしておく（すなわち仮想教室で着席する）。

別途、受験中に使用する Zoom Meetings のビデオカメラ機能はノート PC の内蔵カメラを使用するのではなく、無償の「iVCam」アプリ*6を用いて、各自が所持している

*6 公式サイト：<https://www.e2esoft.com/ivcam/>

スマホを Zoom Meetings のビデオカメラ化させて利用する。このとき、スマホ・カメラの指定フレームは各自の手元を映し出されているように設定する。この結果、全ての受験者の手元付近の映像が Zoom Meetings のカメラギャラリーとして配信・共有されるようになる。結果的には仮想教室の着席会場で実行されている試験環境を遠隔疑似監視していることになる。

なお、数学問題とその解答枠が同一の Web ページ内で構成されているので、受験者は出題された問題を読み解き、その解答（計算結果）を同一の Web ページ内に 1 次元数式（記述式・論理的数式であり、実質的に Maxima コマンドとなる）として回答（記入）する [1], [6], [8]。

3.2 IBT 方式の遠隔疑似監視

図 4 は今回実施した試験システムに対する不正行為防止方策（主な 3 ケース「フルスクリーン化」「ランダム出題」「2 度の受験」）のイメージである。

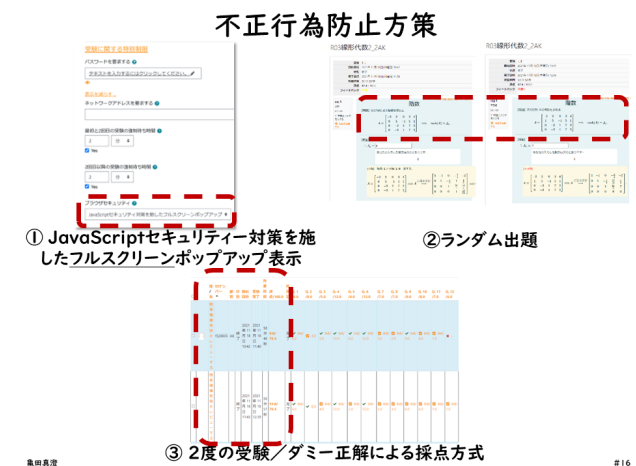


図 4 不正行為防止方策（主な 3 ケース）

すなわち、今回の IBT 実施に対して次の不正行為防止方策を施している。

- (1) Moodle の Quiz 機能にある「JavaScript セキュリティ対策を施したフルスクリーンポップアップ表示」オプションを選択・設定している。その結果、受験者のノート PC には Web テスト画面が強制的に PC 画面全体に表示され、さらに「右クリック操作」「他アプリ同時起動」などが禁止された状態になっている
- (2) 出題されている数学問題の係数または数値などはランダムに使用している
- (3) 受験者は必ず、2 度受験する
- (4) 試験時間（開始時間、終了時間、所要時間など）は Moodle が自動的に管理している。その結果、受験可能な期間は 2 時間に、受験 1 回の受験可能最大時間は 60 分にそれぞれ設定している

(5) 解答に対する採点は Moodle の自動採点機能で実行されている。なお、2 回分の採点結果の中から最高採点を試験結果として採用している

これらの方策の実施は不正行為防止の完璧な徹底策ではないが、不正行為へのリスクを低くしていると判断している。

図 5 は今回実施した試験システムに対する疑似監視方式(主な 3 ケース「Zoom のカメラギャラリー」「受験中の設問・回答状況」「Moodle の受験結果ログ」)のイメージである。

疑似監視方式 (2021 年度実績)

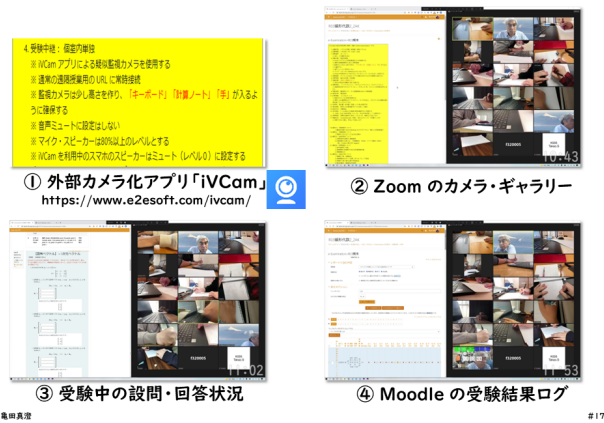


図 5 疑似監視方式(主な 3 ケース「Zoom のカメラギャラリー」「受験中の設問・回答状況」「Moodle の受験結果ログ」)

3.3 試験中の計算用紙

図 6 は今回実施した試験システムにおける 2 名分の受験者(上位と下位の評価者)のエビデンス(計算用紙のデジタル化)の視覚的な比較イメージである。

エビデンス (計算用紙のデジタル化)

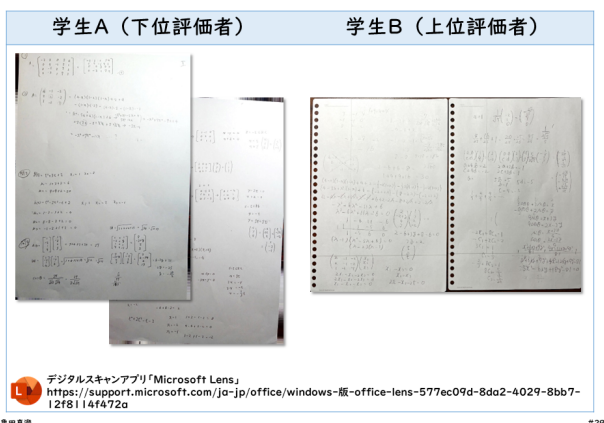


図 6 2 名分の受験者(上位と下位の評価者)のエビデンス(計算用紙のデジタル化)

試験中において問題を解くためには計算活動が必要であるので、複数枚の計算用紙(使用前にはメモ書きされてい

ない空白用紙と捉えている)の使用することを許可している。

試験終了後、計算過程が記載された計算用紙を「Windows 版 Office Lens」アプリ*7を用いて、キャプチャ(デジタル化)した画像データファイルを専用サイト・コースにある電子掲示板(Moodle のフィードバック機能)にアップロードさせた。

その結果、試験採点と計算用紙の画像データを視覚的に比較して、関連性について目視的な分析を実行した。

4. 学習データ分析

試験終了後、試験結果に対して次の学習データ分析を行った結果を報告する。

4.1 記述統計量

表 2 は線形代数 II のオンライン定期試験結果の記述統計を示す。

受験者	平均	標準偏差	クロンバックの α 信頼性係数
15 人	67.5 点	16.4 点	81 %

図 7 は今回実施したオンライン定期試験における最高採点のヒストグラムである。

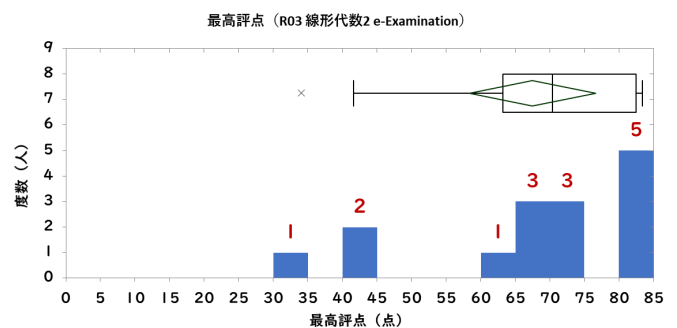


図 7 オンライン定期試験における最高採点のヒストグラム

4.2 設問構造分析

今回のオンライン定期試験では、設問数が 13 題であり、設問別に異なる配点され、満点が 100 点として提供された。

図 8 はオンライン定期試験における設問構造分析のイメージ結果である。

この分析結果より、設問の難易度を指標する「ファシリティ指標」(設問の平均点を最高採点で割った数値)によれば、設問 4「4 次元ベクトル空間の内積」が、易しい設問と判断される指標 92% を示し、設問 12「無限(無数)の解

*7 解説サイト: <https://support.microsoft.com/ja-jp/office/>

をもつ連立方程式の掃き出し法」が、難しい設問と判断される指標 27% を示している。

また、全体評点と相関性を指標する「識別率」(全体評点と設問評点との相関係数)によれば、設問 1「4×5 型行列の階数」が、弱い負の相関性と判断される指標 -28% を示し、設問 10「2次元空間の一次変換」が、強い正の相関無と性判断される指標 91% を示している。

学習データ分析(2)

設問 構造 分析													
問番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
配点	6	8	5	12	6	12	7	7	9	8	7	6	7
平均点	4.4	6.7	3.8	11.0	3.7	10.1	5.4	3.3	6.4	4.1	2.9	1.3	4.3
標準偏差	2.8	2.5	2.0	1.9	2.6	3.4	1.1	1.8	3.0	2.4	2.0	1.8	1.5
ファンリ ディ指標	73	76	76	92	62	84	77	48	71	68	42	27	62
識別率	-28	76	43	44	80	86	48	46	76	91	39	67	62

亀田真澄 問01: 4×5 行列の階数 問04: 4次元ベクトル空間の内積 問12: 無限の解をもつ連立方程式の掃き出し法
亀田真澄 問10: 2次元空間の一次変換 #20

図 8 オンライン定期試験の設問 構造 分析

4.3 2度受験に対する分析

今回のオンライン定期試験では、全員が2度受験するよう指示した。

図9はオンライン定期試験における2度受験に対する4種のグラフである。

学習データ分析(3)

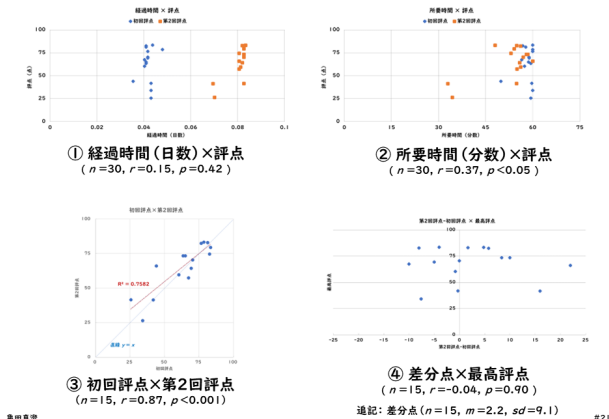


図 9 オンライン定期試験の2度受験に愛する分析

この節の最後に、この4種のグラフから導かれる4つの分析結果を記述する。

(1) 図9①は「経過時間(日数)」を横軸に、「評点(点数)」を縦軸に設定した散布図であり、この統計量はサイズ: $n=30$, 相関係数: $r=0.15$, p 値: $p=0.42$ である。この分析結果として、ほとんど相関がないが、

2つのグループ「開始55分後終了」「開始110分後終了」はきれいに分かれていることが分かる。

(2) 同②は「所要時間(分数)」を横軸に、「評点(点数)」を縦軸に設定した散布図であり、この統計量は $n=30, r=0.37, p<0.05$ である。この分析結果として、所要時間と評点には有意な弱い相関であることが分かる。

(3) 同③は「初回評点(点数)」を横軸に、「第2回評点(点数)」を縦軸に設定した散布図であり、この統計量は $n=15, r=0.87, p<0.001$ である。この分析結果として、初回評点と第2回評点には有意なかなり強い相関であることが分かる。

(4) 同④は「評点差分(第2回評点-初回評点)」を横軸に、「最高評点」を縦軸に設定した散布図であり、この統計量は $n=15, r=-0.04, p=0.90$ である。この分析結果として、差分評点の範囲は-10以上、23点以下であり、差分評点の平均は2.2点であるので2度受験の効果は少しあると判断している。

5. おわりに

単位評価を行う大学教育の試験では「公平・公正」な試験環境である必要がある[7]。

筆者は、「ランダム出題」「自動採点方式」「記述式回答方式」を採用した試験スタイルを提供していることで、ある一定の「公平・公正」制を満たしていると判断している。

しかし、対面授業が実施されてきたオールドノーマル(古い日常)時代の試験スタイルでの試験監視では、ハードルは高くなかった(多少の問題は有ったと思われる)。一方、遠隔授業が求められるニューノーマル(新しい日常)時代の試験スタイルでの試験監視では、より高いハードルに変革した。それ故、新しい価値を生成することができるような試験スタイルが求められることになり、今後において適切な試験スタイルを探究する必要性が出てきた。

参考文献

- [1] 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), Vol.52, pp.393-408 (2020).
- [2] 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 第32回研究会, Vol.8, pp.1-8 (2020).
- [3] 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).
- [4] 亀田真澄、宇田川暢: 数理的記述式問題のオンラインテストの実践報告~線形代数の定期試験~, 数式処理学会, pp.13-17 (2021).
- [5] 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），Vol.53, pp.375–395 (2021).
- [6] 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，Vol.2185, pp.81-93 (2021).
- [7] 亀田真澄：同時双方向型遠隔授業のオンラインテストの試行～線形代数の定期（期末）試験～，日本テスト学会第 19 回大会 発表論文抄録集，pp.114–117 (2021).
- [8] 亀田真澄，宇田川暢：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～，城西大学数学科数学教育紀要，Vol.3, pp.33–43 (2022).