

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～

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により、2020年度の高等教育機関では対面授業から遠隔授業へ劇的に変革した。これはニューノーマル時代における高等教育機関の「Digital Transformation (DX)」である。つまり筆者らは、これまで活用していた学習管理システムをより柔軟に遠隔授業に融合させたブレンディド型学習に変革することで実践した。本稿は、この学修環境を利用することにより生成された学習データを分析することから導かれた考察について報告する。なお本稿は CLE32 研究会で講演した研究報告の続編である [2]。

キーワード: DX、高等教育機関、遠隔授業、学習管理システム、学習分析

Learning analytics of a learning management system blended with simultaneous interactive distance learning - Basic Mathematics Education in the First Year of University -

MASUMI KAMEDA^{1,a)} MITSURU UDAGAWA^{2,b)}

Abstract: The new coronavirus infection has led to a dramatic transformation from face-to-face teaching to distance learning in higher education institutions in 2020. This is the "Digital Transformation (DX)" of higher education institutions in the new normal era. In other words, the authors transformed the learning management system they had been using into a blended learning system that is more flexible and integrated with distance learning. This paper reports on the insights gained from the analysis of the learning data generated by using this learning environment. This paper is a continuation of the research report presented at the CLE32 conference[2].

Keywords: DX, Higher education institutions, Distance learning, Learning Management System, Learning analytics

1. はじめに

第1筆者は地方小規模公立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）の工学部において数学基礎教育を担当し、10年前より第2筆者の協働活動で

ある e-Learning システム（以下、「本システム」という）を運用および活用し続けていた。この本システムでは、筆者らがシステムかつコースの管理者を担当し、担当クラスの履修者らが専有的にその学習サービスを利用している。

ところが2020年度の大学教育は、世界保健機関（World Health Organization: WHO）が緊急事態（「新型コロナウイルス感染症（以下、「COVID-19」という）」に起因する）を宣言した頃から激変し始めた。すなわち日本政府（内閣府・法務省・厚生労働省・文部科学省など）は COVID-19

¹ 山陽小野田市立山口東京理科大学

² 新潟大学

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

^{b)} udagawa@cais.niigata-u.ac.jp

に対応した方策を大学教育に対して講じた。つまり「対面授業から大学が認めた遠隔授業へ」「学習者への授業外でのフォロー」「授業目的公衆送信補償金の無償化」「訪日できない留学生への支援」である。

この学修環境の変化に対して、本学は次の学務内容の変更などで対応した。

	1-2 09:00-10:30	3-4 10:45-12:15	5-6 13:15-14:45	7-8 15:00-16:30	9-10 16:45-18:15
月曜日	線形代数 I BE クラス	基礎数学 BM クラス	一般化学及び演習	微分積分学及び演習 A1 クラス	
火曜日	電気回路 I / 化学	電気回路 I / 基礎化学	Reading I		
水曜日	基礎物理	基礎数学 BM クラス	一般化学及び演習	微分積分学及び演習 A1 クラス	
木曜日	基礎物理	線形代数 I BE クラス	一般化学及び演習	微分積分学及び演習 A1 クラス	
金曜日	キャリア基礎	基礎化学	Reading I	化学	
土曜日					
日曜日					

図 1 授業時間割 (2020 年度第 1 学期工学部初年次向け)

- 本学の第 1 学期は 5 月 11 日 (月) ~ 7 月 5 日 (日) に再編され、授業時間割 (図 1) は非実験および非演習系授業で組み替えられた。その結果、第 1 筆者の担当科目は 3 科目「基礎数学 (2 単位必修、月・水曜日開講)」「線形代数 1 (2 単位必修、月・木曜日開講)」および「微分積分学及び演習 (3 単位必修、月・水・木曜日開講)」に、授業時間数は週 7 コマ (90 分×7) にそれぞれ変更された。結果的に履修者はのべ 118 人 (再履修者を含む) になった。
- 本学の遠隔授業は Zoom Webinar 方式を用いた同時双方向型 (リアルタイム) に統一された。なおこの配信方式では教師は学内特定教室から配信し、履修者は学生宅、学内教室、および留学生宅 (入国制限のため国外自宅) にて受講した。
- 本学は学生 PC の必携化および教育的活用 (Bring Your Own Device: BYOD) を新設時 (1987 年) から指導していたことで、学生は各自の保有ノートパソコン (担当履修者では大学推奨パソコンと個人選定パソコンの保有で等分される) を用いて受講した。
- 本学は初年次に対して 3 つのコア履修システム「メールシステム (Microsoft 365)」「学園生活支援システム (UNIVERSAL PASSPORT)」および「授業支援システム (SOCU-Moodle)」を緊急事態宣言直前の 2 日間において対面式で指導した。
- 本学の全学生宛に、緊急事態宣言後に 2 つの電子文書「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)」がメール添付として配布された。この電子文書に記載された情報を用いて、初年次は保有ノートパソコンにおいて簡便な操作を実行することで受講できた。

2. 担当科目の教務システムについて

2.1 遠隔授業の配信形式

同時双方向型の遠隔授業では、多数の履修者がネットワークを同一時刻に共有することになるので、その送受信される通信量 (データ量) が極力小さくなるように工夫する必要がある。これを「データダイエット」と俗称されている。例えば、吉田 [1] は、データダイエットに関するスライド「Zoom 通信量～音声、ビデオ、画面共有～」を公開し、対象 (配信メディア) 別に計測した Zoom 通信量を記述した研究成果を講演した (図 2)。このデータダイエットに関する知見に基づいて、実際の遠隔授業では「画面共有」配信方式を軸に活用した。

Zoom 通信量 ~音声, ビデオ, 画面共有~

90分×15コマ/週×4週/月
・おおよその通信量(受信) (1ヶ月の通信量は月90時間として算出)

対象	通信速度 (kbps)	1分の通信量 (MB)	1時間の通信量 (MB)	1ヶ月の通信量 (GB)
音声(1人)	80	0.60	36.0	3.2
音声(複数人)	80~150	0.60~1.13	36.0~67.5	3.2~6.1
ビデオ(大)	900	6.75	405.0	36.5
ビデオ(小)	100	0.75	45.0	4.1
画面共有	5~300	0.04~2.25	2.3~135.0	0.2~12.2

ビデオ (大): 解像度 640*320
Zoom のスピーカービューで最も大きく表示されるビデオ

ビデオ (小): 解像度 240*180
Zoom の画面を最小化した時小さく表示されるビデオ

図 2 スライド「Zoom 通信量～音声、ビデオ、画面共有～」

2.2 学習管理システム

表 1 は数学基礎科目の第 1 学期授業計画である。第 1 筆者は科目別複数クラスの 1 クラスをそれぞれ担当した。

表 1 数学基礎科目の第 1 学期授業計画

科目名	クラス数	授業回数	最終試験
基礎数学	2	15	レポート
線形代数 1	5	15	対面式
微分積分学及び演習	5	23	対面式

本システムには、Web ページに高度な数式を表示させるために組版システム「AMS-LaTeX^{*1}」および数式表示 JavaScript ライブラリ「MathJax^{*2}」を、さらにオンラインテスト (Web テスト) を提供するために数式解答評価システム「STACK^{*3}」および数式処理システム「Maxima^{*4}」をそれぞれ組み込ませている。

この組み込みによって基礎数学教育向けのオンラインテ

*1 <http://www.ams.org/arc/resources/amslatex-about.html>
*2 <https://www.mathjax.org/>
*3 <https://ja-stack.org/question/type/stack/doc/doc.php/Installation/index.md>
*4 <https://maxima.sourceforge.io/>

ストにおいて、表2に記載された2つのタイプ「e-Test」および「e-Report」を学習内容別に積極利用している。

表2 オンラインテストの概略

略称	概要
e-Test	直近学習内容に応じた2題を出題し、試験期間は7日間、所要時間は最大30分に設定した。
e-Report	単元学習内容に応じた5題を出題し、試験期間は14日間、所要時間は最大90分に設定した。

またオンラインテストにおいて複数の有効的なオプション機能：「数値変動によるランダム出題」「数式処理コマンドによる回答形式」「試験時間自動管理」「自動採点」「随時振り返り可能」および「反復受験可能」が設定されている。この有効的なオプション機能により、担当科目別に設定された担当クラス、e-Test および e-Report のそれぞれの提供回数を表3に記載した。

表3 科目別オンラインテスト提供概要

科目名	担当クラス	e-Test	e-Report
線形代数1	BE	12	8
基礎数学	BM	12	7
微分積分学及び演習	A1	16	7

なお、反復受験可能が設定されていることで、毎回のオンラインテストにおいて最高評点が80%以上の試験結果であることを履修者に求めている。その試験結果の下に、オンラインテストを40%に、最終試験を60%にそれぞれの割合で反映させた単位評価を実行している。

オンラインテスト (ドリルの学習)

①ランダム出題 【TeX】

スカラー関数に対する勾配 $\text{grad} \phi$ を求めよ。

$$\phi = 3x^2y - z^2 \Rightarrow \text{grad} \phi = A_1$$

②解答コマンド入力 【Maxima】

$$A_1 = \begin{bmatrix} 6*x*y-3*x*z^2 \\ 3*x^2 \\ -3*x*z^2 \end{bmatrix}$$

③サーバ認識 【MathJax】

あなたの入力した数式は次のとおりです：

$$\begin{bmatrix} 6xy - 3xz^2 \\ 3x^2 \\ -3xz^2 \end{bmatrix}$$

あなたの解答の中で使われている変数は $\{x, y, z\}$ です

④フィードバック付採点 【STACK】

赤字で示された部分が不正解です。

$$\begin{bmatrix} 6xy - 3xz^2 \\ 3x^2 \\ -3xz^2 \end{bmatrix}$$

【不正解】 正解： $\begin{bmatrix} 6xy - z^2 \\ 3x^2 \\ -3xz^2 \end{bmatrix}$

図3 試験 (出題・回答・確認・採点) サイクル

図3にはオンラインテストの受験サイクルを図示している。【第1に】履修シラバスに記載された数学概念に関する数学問題 (ここでは、スカラー関数の勾配を問う設問) を Web ページに出題され (図示箇所：①ランダム出題 [TeX])、【第2に】数学的解答 (ここでは、3次元ベクトルの各成分を答える) と同等な数式処理コマンド (ここでは、第1成分が $6*x*y-3*x*z^2$ である) を回答記入させ

(②解答コマンド入力 [Maxima])、【第3に】Webサーバが入力された数式処理コマンドを数式 (ここでは、第1成分が $6xy - 3xz^2$ である2次元形式の数式である) に変換させた結果を返し (③サーバ認識 [MathJax])、【最後に】自動採点された結果が、黒色数式 (正解時) または赤色数式 (誤答時) で、さらに模範解答付きで完了している (④フィードバック付採点 [STACK])。

特に、オンラインテストで設定された「反復受験可能」オプション機能は、数学概念の習得かつ定着させるための「ドリルの学習」として解釈している。

3. 学習管理システムのログ情報について

3.1 本システムの稼働分析

本システムには複数のサーバが連携して機能別に稼働している。図4は本システムの構成図である。

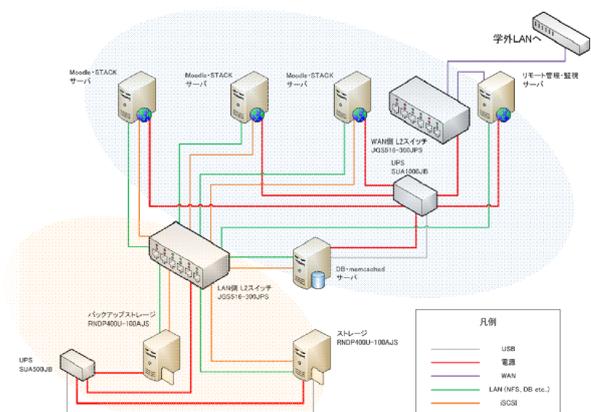


図4 本システム構成図

さらに本システムには Moodle (2020年度版) に対応した Web サーバが2台で分散運用されていて、常時その稼働状況を監視している。

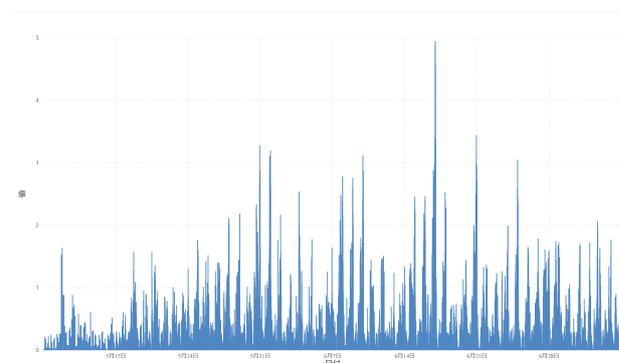


図5 Webサーバの5MLAs

例えば、監視指標として 5 Minutes Load Average (以下、「5MLA」と記す) のログ情報がある。なおこの Web サーバには1台当たり4コアおよび8スレッドのスペック

クをもつ CPU が稼働している。このため Web サーバの 5MLA の合計値 (以下、「5MLAs」と記す) が 16 未満であれば処理待ちとなっていない状態となり、利用者はストレスなく利用できていることを示す。

図 5 は第 1 学期において 30 分間隔で計測された 5MLAs に対する棒グラフである。このグラフでは横軸に 30 分間隔の時間を、縦軸に 5MLAs の数値 (最大目盛が 5 である) をそれぞれ設定している。このとき、6 月 16 日 (火曜日) 23 時 30 分に観測された指標 4.95 が最大値である。実際、この最大指標の観測当日には「線形代数 1 の e-Report (単元学習: 行列の積)」「基礎数学の e-Report (単元学習: いろいろな関数)」および「微分積分学及び演習の e-Report (単元学習: 三角・逆三角関数の微分)」における同一期限日 (期限時間は 23 時 55 分である) が設定されていた。それ故、最大指標が Web サーバのスレッド合計数 16 未満であることから、本システムの稼働状態は第 1 学期において逼迫している状況ではないことが判断できる。

	日曜	月曜	火曜	水曜	木曜	金曜	土曜	小計
0時	11.7815	15.5203	11.7677	16.1208	11.6148	12.2840	7.4995	86.5887
1時	6.1427	7.0067	4.8664	7.7730	6.0445	4.7308	4.9482	41.5123
2時	4.9601	4.6086	3.4541	3.0332	3.6601	2.7302	3.9153	26.3618
3時	3.7965	3.5723	2.2368	1.8168	2.4768	2.7432	3.7101	20.3524
4時	2.2158	2.8287	2.4813	2.7832	2.2754	2.1174	3.6020	18.3038
5時	2.1279	2.9133	2.8304	2.7211	2.3666	2.2211	2.5521	17.7325
6時	1.9719	2.9300	3.3596	2.9605	1.6535	2.6481	2.0543	17.5780
7時	2.6230	2.9165	2.8242	2.6049	1.9065	2.8453	1.6350	17.3553
8時	3.0478	3.4757	2.7002	2.6797	3.3904	2.7537	3.8562	21.9037
9時	2.2355	3.8627	3.9680	3.9210	3.0078	2.8153	7.3898	27.2001
10時	3.9107	4.2462	5.4196	2.6377	2.7810	3.3708	9.0576	31.4237
11時	8.1194	6.9117	3.5826	6.7979	4.3571	5.0638	10.3402	45.1727
12時	8.0907	5.2056	3.3463	6.0725	4.6095	5.5438	10.5598	43.4282
13時	6.9501	4.5985	3.5185	4.1286	4.7688	4.5907	9.2840	37.8393
14時	10.8998	4.1646	3.4040	2.1287	2.8901	2.0926	11.0729	36.6528
15時	13.2589	5.8357	7.6602	5.9171	6.2087	3.9927	10.7901	53.6634
16時	10.7338	6.1310	13.0737	5.1933	6.8221	7.0223	11.9767	60.9528
17時	12.2636	14.9574	13.0194	13.6546	13.4887	7.4905	12.0452	86.9194
18時	10.7671	12.0685	10.3399	16.2193	9.9779	7.5229	11.0036	77.8992
19時	10.5633	9.3748	10.0642	14.1470	7.1753	7.8875	9.1367	68.3489
20時	11.1111	14.0639	10.8971	12.8704	8.5275	6.2909	8.6958	72.4567
21時	17.6993	16.0907	16.6396	13.7163	9.9126	7.2634	12.1950	93.5170
22時	23.8333	17.4116	25.2650	21.0470	13.4251	10.8175	19.5955	131.3948
23時	24.6326	20.3342	27.4525	20.0801	15.8779	10.3448	21.0029	139.7250
小計	213.7364	191.0293	194.1712	191.0250	149.2188	127.1832	207.9185	1274.2624

図 6 Web サーバの曜日別時間別 5MLAs

図 6 は 5MLAs を曜日別時間別に累積したグラフ (ヒートマップ) である。このとき、火曜日 23 時台の累積 27.4525 が最大値である。明らかにこの時間帯は担当科目の遠隔授業が実施されていない曜日かつ時間帯である。それ故、遠隔授業をサポートする「Web 会議システム」と遠隔授業外で利用されている「学習管理システム」との関係性が共生的であると判断できる。

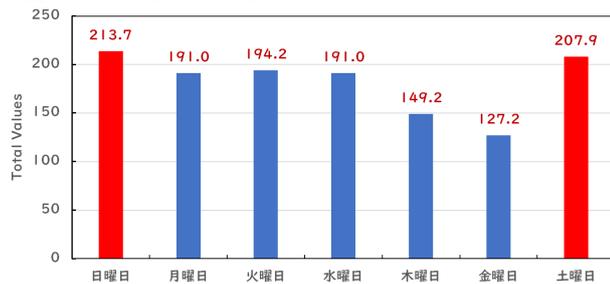


図 7 Web サーバの曜日別 5MLAs

また、図 6 には列要素 (曜日列 (左から日曜日、月曜日から土曜日まで)、さらに時間帯における小計) と行要素 (時間列 (上から 0 時、1 時から 23 時まで)、さらに曜日における小計) が設定されている。このとき、曜日列と時間列に関する独立性を検定することで、帰無仮説「独立である」を有意に棄却できる ($df = 138, \chi^2 = 71621.5, p < 0.001$)。すなわち、曜日と時間との間には関連性が存在して、金曜日以外での深夜帯における Web サーバの稼働 (学習活動量に相当である) が強いことを示している。さらに、行要素と列要素の関連の強さを示す指標「クラメールの V (Cramer's V) は 0.0968 であることから、関連の強さは「小さい強さ」と判断できる。

図 7 は Web サーバの 5MLAs を曜日別に集積したグラフ (棒グラフ) である。このとき適合度を検定することで、帰無仮説「活動量は曜日に独立である」を有意に棄却できる ($df = 6, \chi^2 = 33.3418, p < 0.001$)。すなわち、稼働状況 (学習活動量に相当である) は平日より週末の方が多いことが分かる。それ故、平日に稼働する「Web 会議システム」と週末に多く稼働する「学習管理システム」との間に共生の関係性が存在すると判断できる。

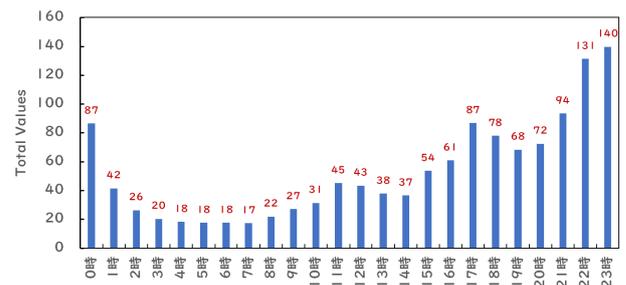


図 8 Web サーバの時間別 5MLAs

図 8 は Web サーバの 5MLAs を時間帯別に集積したグラフ (棒グラフ) である。このとき、数学基礎教育の学修活動が 24 時間において実行されていることが観察できる。さらに、適合度を検定することで、帰無仮説「活動量は時間に独立である」を有意に棄却できる ($df = 23, \chi^2 = 537.0241, p < 0.001$)。すなわち、17 時から翌日 0 時台までの稼働状況 (学習活動量に相当である) が他の時間帯より多いことが分かる。それ故、昼間に稼働する「Web 会議システム」と、夜間での稼働が多い「学習管理システム」の間において共生関係が存在すると判断できる。特に、「微分積分学及び演習」の遠隔授業終了時間である 16 時半直後から (図 1 参照)、継続的に学習管理システムが履修者の学修をサポートしていることが分かる。これは遠隔授業を実行していることで起こりえる「移動時間が不要である」利点が起因していると推測する。それ故、授業内の学習活動を示す「Web 会議システム」から授業外の学習活動を示す「学習管理システム」への連携性がネットワーク上で実現していると判断できる。

3.2 本システムのネットワーク分析

本システムにおける学習活動イベントは特定サーバを通して実行されている。さらに、本システムの稼働状況を監視している指標の中に、インターネット側から特定サーバへの通信量（以下、「Inbound」という）、および特定サーバからインターネット側への通信量（以下、「Outbound」という）のそれぞれのログ情報を記録している。

図9は、第1学期内の各日午前9時における通信量（単位：bits per second）を観測し、Inboundを折れ線で、Outboundを積み上げ面で組み合わせたグラフである。このとき、Inboundの記述統計量について $n = 56$, $m = 64,485$, $sd = 112,201$ であり、Outboundの記述統計量について $n = 56$, $m = 17,220$, $sd = 52,004$ である。さらに、Inboundでは5月18日（月曜日）9時に観測された通信量 605,687 bps (0.61 Mbps) が、Outboundでは5月17日（日曜日）9時に観測された通信量 372,163 bps (0.37 Mbps) がそれぞれの最大値である。

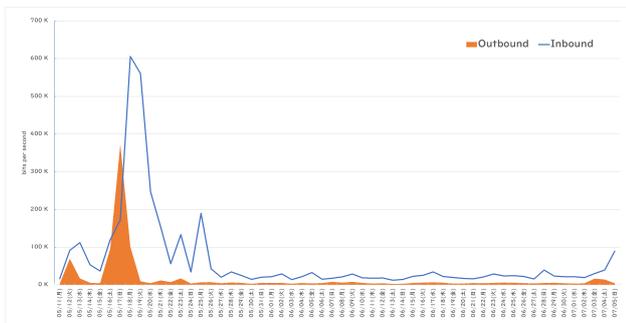


図9 本システムのトラフィック（第1学期各日午前9時観測）

ここで、2週間以前のログ情報を本システムのサイトから取得する場合には「測定間隔：1日」のログ情報（図9）だけが取得できる仕様であるので、トラフィック（通信量）を比較するために、「測定間隔：30分」の次のログ情報（図10）を掲載する。

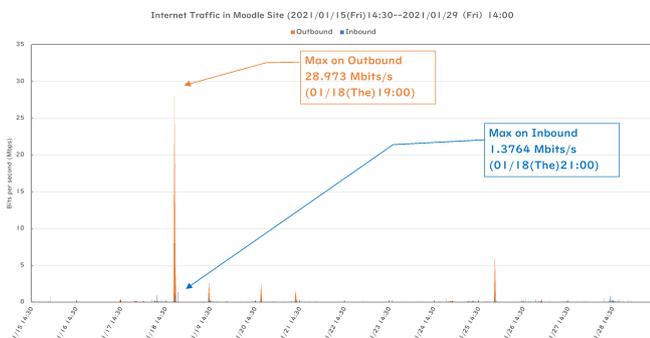


図10 本システムのトラフィック（2021年1月15日～29日）

図10は、第4学期内の観察期間が2021年1月15日（金曜日）14時30分～29日（金曜日）14時00分であり、測定間隔が30分である通信量（単位：bits per second）の

グラフ（Inboundが青系グラフ、Outboundが赤系グラフ）である。このとき、Inboundの記述統計量について $n = 672$, $m = 51,566$, $sd = 113,190$ であり、Outboundの記述統計量について $n = 672$, $m = 85,777$, $sd = 1,175,601$ である。さらに、Inboundでは5月18日（月曜日）9時に観測された通信量 1,376,442 bps (1.376 Mbps) が、Outboundでは5月17日（日曜日）9時に観測された通信量 28,973,736 bps (28.97 Mbps) がそれぞれの最大値である。

トラフィックのグラフにおける最大値を考慮して、第1学期を通して本システムのトラフィックは学習活動を制限するような逼迫するような状況ではないと判断できる。

4. 学生の学習環境

この節では、前回の研究会で発表したWeb調査結果 [2] を再掲する。このWeb調査は、実施期間：第1学期第1週、対象者：初年次131人（重複なし）、回答者：101人（回答率は86%）、調査内容：各自の学習環境を問う（短縮URLサービス <https://bit.ly/31GsJR2> にて詳細参照可）、として実行した。

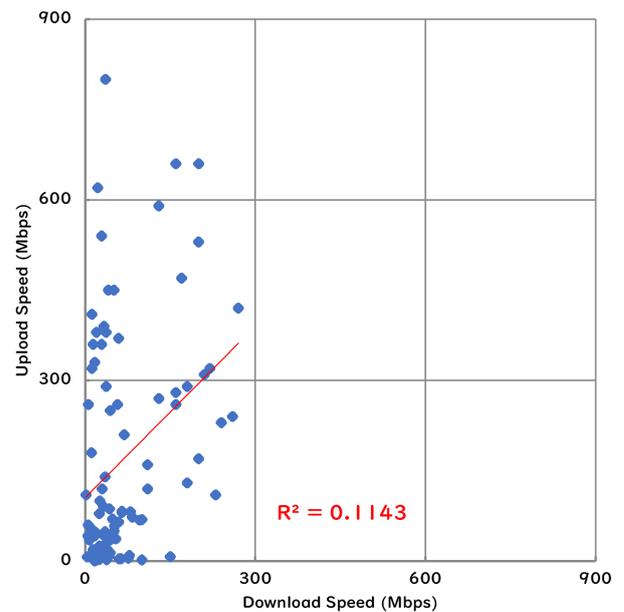


図11 受講場所のインターネット回線速度 (Download x Upload)

4.1 受講場所のインターネット回線速度について

「インターネット回線の速度テスト — Fast.com」サイト*5を活用して、遠隔授業の受講場所におけるインターネット回線速度の回答を求めた。このとき、Download（インターネットから学生宅への通信）に関して $n = 95$, $m = 67$ Mbps, $sd = 67$ 、Upload（学生宅からインターネットへの通信）に関して $n = 95$, $m = 169$ Mbps, $sd = 189$ 、およ

*5 <https://fast.com/>

び有意な相関 $r = 0.338^{**}$ であることが分析できた。この学修環境よりパソコン必携化 (BYOD) と同様に、ニューノーマル時代における学修環境では学生宅における高速インターネット回線, および本学構内におけるローカル 5G の必要性を提案する。

図 11 はインターネット回線速度のグラフ (散布図: Download × Upload) である。

4.2 学生保有のスマートフォンについて

パソコンを含めたマルチ媒体の使用は履修者側および教師側にも多様なコミュニケーションが取れる点において有効である。それ故、Z 世代に属する履修者に対して「どのようなスマートフォンを保有をするか」と尋ねた。この回答結果では、iOS 系スマートフォンが 75%、Android 系スマートフォンが 24% (含海外留学生)、その他が 1% であった。

この状況から同時双方向型遠隔授業において、スマートフォン向けの SNS アプリ: LINE オープンチャット*6 および仮想 Web カメラアプリ: iVCam*7 などを使用した結果、多種多様な学修環境が構築できた。実際、本稿で扱った学習データはこの学修環境によるものと考えている。

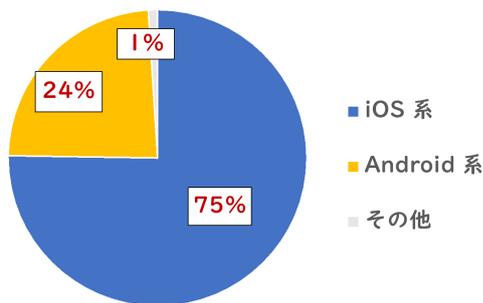


図 12 学生保有のスマートフォン内訳

参考文献

- [1] 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 (5/29 オンライン開催)、国立情報学研究所 (参照日: 2020 年 11 月 12 日)
- [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 (IPJS) 教育学習支援情報システム研究会 (CLE) 研究報告、2020-CLE-32, pp.1-8

*6 LINE OpenChat 公式ブログ (<https://openchat-blog.line.me/archives/1742267.html>)

*7 iVCam - Use mobile phone as a PC webcam — E2ESOFT (<https://www.e2esoft.com/ivcam/>)