

多肢選択問題と順序並び替え問題を併用した学習活動の分析¹

A preliminary study on learning analysis of linear algebra courses with multiple-choice and ordering questions in Moodle

神戸大学・人間発達環境学研究科 長坂 耕作

Kosaku Nagasaka

Graduate School of Human Development and Environment,
Kobe University

1 はじめに

本稿では、2020年度から2023年度にかけての線形代数学の授業において、Moodleに記録された学習者の活動ログを分析した結果について報告する。分析の対象としたのは、Moodleで実施した多肢選択問題と順序並び替え問題の採点結果や取り組み時期、動画教材などへのアクセス記録などである。これらと最終的な成績との関係性について、相関係数や活動記録の可視化などを通して判明したことを取り上げている。なお、無関係であるほどではないが、顕著な関係性については認められていないことを先に述べておく。

2 分析対象の授業

分析対象の授業は、神戸大学国際人間科学部環境共生学科向けに開講されている、全学共通授業科目の線形代数1と線形代数2で、基本的な科目情報は次のとおりである。

線形代数1 行列の基本変形による連立1次方程式の解法（掃き出し法）を扱う。クォーター科目（前期第1クォーター配当，8週，1単位，40人から50人程度の履修者）。主に理系志向の1年生が履修する選択科目（対象学科は文理融合の学科）。

線形代数2 逆行列の基本変形による計算法と行列式や余因子行列を扱う。クォーター科目（前期第2クォーター配当，8週，1単位，40人から50人程度の履修者）。主に理系志向の1年生が履修する選択科目（対象学科は文理融合の学科）。

2.1 授業形式

分析対象の2020年度から2023年度までの全ての授業において、反転授業形式を採用した。後述の差異を除き、基本的に授業外活動として、授業資料（スライドのPDF形式）、動画資料（スライドに基づく書き込みをしながらの解説）、Moodle上での小テスト

¹This work was partially supported by JSPS KAKENHI Grant Numbers 18K02941 and 21H00921.

ト（多肢選択問題と順序並び替え問題）を設定し、授業時間帯の授業内活動として、補足的な講義、机間指導を含む演習と解説を設定して授業を実施した。参考までに、図1と図2は、実際に利用した Moodle 上のコースの授業1回分に対応する外観である（図中の「通し資料」がPDF形式の授業資料で、ファイルサイズと時間等が併記されているものが動画資料）。

2020年度 Moodle 上での小テストは多肢選択問題のみであった。授業内活動は Zoom によるオンライン実施で、期末試験は実施せずに毎回の演習を採点して代替した。

2021年度 Moodle 上での小テストの結果に4割以上の得点を課した（ランダム出題であり、繰り返し受験可能で、その中の最高得点が最終得点）。授業内活動及び期末試験は Zoom を用いてオンラインで実施した。

2022年度以降 授業内活動の演習に、授業後に閲覧可能な解説動画を提供した。Moodle 上での小テストの結果に4割以上の得点を課した（ランダム出題であり、繰り返し受験可能で、その中の最高得点が最終得点）。授業内活動と期末試験は対面実施。

2.2 Moodle の小テスト

Moodle 上で使用した小テストは、全て報告者が Python 等のプログラムで生成したものである。時期と問題の種類により異なるが、基本的に、1種類の問題に200個の数値の異なるバリエーション（実際に出題される問題）数を用意している。これら自動生成の仕組みについては、多肢選択問題は参照文献 [1, 2, 3] で、順序並び替え問題は参照文献 [4, 5, 6] で発表している。図3と図4は、実際に利用した問題のサンプルである。

3 分析対象のデータ

分析対象のデータは、延べ8コース（Moodle 上の科目に対応する単位）の小テスト（多肢選択問題と順序並び替え問題）の結果に関する Moodle のレポートと、Moodle の記録した履修者のコース活動記録である。なお、小テストを一度も受験していない履修者や、Moodle のコース自体にアクセスしていない履修者については、欠損値扱いとし、欠損値に対応する履修者のデータは分析対象から取り除いた。

3.1 小テストに関するデータ

小テストに関するデータには、図5で確認できる幾つかのフィールドがあるが、今回利用したのは「開始日時」、「完了日時」、「所要時間」、「得点」の4つである。このうち日時のデータに関しては、初回の授業日より1週間前を起点とした相対日時に修正して分析した（絶対日時ではコース間の比較が難しいため）。

▼ **5月14日**

【～5月14日】

- 「第2回目の通し資料」や解説動画を用いて平面の線形変換について学習してください（教科書p1-p10の内容ですが、平面に限定した内容です）。
- 「第2回目の小テスト」を行ってください。この小テストは授業最終回まで何度でも解くことができます（毎回問題は異なります）。最終的にその最高点のみが素点として成績評価に使われますので、ドリル代わりに何度も解くことを推奨します。

【5月14日の授業時間（10:55 - 12:40）】

- 「第2回目の授業参加確認テスト」を行ってください。
- 「第2回目の授業内演習課題」を紙とペンなどを使って解いてください。解いた結果（途中式を含むこと）を撮影した画像を提出してください（最大20枚）。授業内演習課題は原則として**授業時間内に提出**する必要があります。気をつけてください。
- 「第2回目の授業時間帯の質疑応答」（授業時間内の随時）

【5月14日～】

- 次回の「5月21日」の指示に従って予習をしてください。

	第2回目の通し資料
	第2回目_線形変換とは (5.6MB, 約10分)
	第2回目_線形変換の性質 (8.2MB, 約15分)
	第2回目_演習例 (5.9MB, 約10分)
	第2回目の小テスト
	第2回目の授業参加確認テスト
	第2回目の授業内演習課題
	第2回目の授業時間帯の質疑応答

図 1: 2020 年度線形代数 1 の Moodle のコース外観（テーマは当時と異なる）

小テストは授業設計上、何度でも受験できるため、同一履修者に関して同一小テストの記録が複数存在することになる。そして、基本的に、多肢選択問題が7週分と順序並び替え問題が6週分実施されている。これらを統合するため、多肢選択問題全て、順序並び替え問題全て、小テスト全て、の分類で、日時に関しては最も早い時期、最も遅い時期、平均時期を、所要時間に関しては最短、最長、平均時間を、得点に関しては最小、最大、平均を集計して分析対象とした。加えて、それぞれの小テストの繰り返し数も同様に最小、最大、平均を集計して分析対象とした（表 1 は集計結果のサンプル）。

3.2 コースでの活動記録データ

コースでの活動記録データには、図 6 で確認できるように、「アクセス日時」、「アクセス対象」、「対象種別」などが存在する。今回利用したのは、アクセス日時とアクセス対象のデータであり、これらを集計することで、それぞれのコンテンツへの延べアクセス回数と授業期間中の各日におけるアクセス回数を分析対象とした。アクセスの対象としたものは、コース自体の閲覧、授業資料の閲覧、動画資料の閲覧、演習の解説動画の

▼ 6月22日

【事前学修（教室外，授業までに各自で実施）】

- 第2回目の通し資料 ✓ Done: View
- 第2回目_逆行列の性質 (4.1MB, 約7分) To do: View
- 第2回目_逆行列の計算方法 (5.7MB, 約10分) To do: View
- 第2回目_逆行列の計算例 (3.9MB, 約7分) To do: View
- 第2回目ノパラメータを伴う逆行列の計算例 (4.4MB, 約8分) To do: View
- 第2回目の小テスト（順序並び替え問題） To do: Receive a grade
To do: Receive a passino grade

【授業時間帯（教室内）】

- 第2回目の演習ファイル
- 第2回目の授業中の演習 To do: Make a submission

【事後学修（教室外）】

- 第2回目の小テスト（多肢選択問題） To do: Receive a grade
To do: Receive a passino grade
- 問1のA (7.2MB, 約5分, 授業中の演習の解答動画)
- 問1のB (3.3MB, 約2分, 授業中の演習の解答動画)
- 問1のC (8.1MB, 約6分, 授業中の演習の解答動画)
- 問2の1 (8.3MB, 約6分, 授業中の演習の解答動画)
- 問2の2 (15.5MB, 約12分, 授業中の演習の解答動画)
- 問3 (8.7MB, 約7分, 授業中の演習の解答動画)

図 2: 2023 年度線形代数 2 の Moodle のコース外観

閲覧，授業時間内の演習結果の提出，小テスト等の評定の閲覧，の 6 つである。なお，Moodle で記録されているのは「アクセス日時」であって，アクセスした後の状態は不明である。アクセスしただけなのか，きちんとコンテンツを読破したのかは判定不可能である（表 2 は集計結果のサンプル）。

4 分析結果

4.1 相関係数による分析

試験素点（または演習素点）と分析対象としたデータとの Pearson の相関係数を計算し，小テストや活動記録と最終的な到達度との関係性を概観した。なお，どの年度に

次の行列の逆行列を選択してください。

$$\begin{pmatrix} 0 & -3 & -1 \\ 0 & -6 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \end{pmatrix}$$

ただし、次の左側の行列を簡約すると、右側の行列になることを参考にしても構いません。

$$\begin{pmatrix} 0 & -3 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -6 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & -\frac{3}{4} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \frac{3}{2} \end{pmatrix}$$

(問題整理番号:133)

Select one:

$\begin{pmatrix} 0 & 3 & 1 \\ 0 & 6 & 0 \\ 0 & -4 & 0 \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{4} \\ -1 & 0 & -\frac{3}{4} \\ 0 & 1 & \frac{3}{2} \end{pmatrix}$

$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{4} \\ 1 & 0 & \frac{3}{4} \\ 0 & -1 & -\frac{3}{2} \end{pmatrix}$

階数が行数と異なり正則ではない。

そもそも正方行列ではない。

図 3: 多肢選択問題のサンプル

についても最終評価には、小テストと試験素点（または演習素点）の結果が加味されているため、最終評価との相関係数は参考にならないが、参考までに、2020年度の分については掲載している（表3と表4）。

まず、2020年度については、小テスト（多肢選択問題の評点）と演習素点との間に、一定の相関が見られることと、開始時期が早いほど演習素点が高くなる様子が観測される。しかしながら、第1クォーターに比べ、第2クォーターでは相関係数の大きさが小さくなり、全般的に見て、顕著な関係性を強く主張するには至らない結果となっている。

多肢選択問題に加え順序並び替え問題が小テストに加わり、定期試験も実施した2021年度以降の結果が、表5と表6である。2021年度第1クォーターの結果については、分析対象としたデータそれぞれとの相関係数を参考までに掲載（表5）したが、特筆するほどの相関が見られないため、2023年度第2クォーターまでについては、小テストの評点のみとの相関係数だけを掲載（表6）している。なお、表内の項目名の接頭語の「MC」は多肢選択問題を表し、「OR」は順序並び替え問題を表している。

2021年度から2023年度の相関係数（表6）に関しては、傾向に一貫性がなく、その解釈が非常に難しい。まず、授業設計上、履修者の学習は、1) 授業資料及び授業動画の閲覧、2) 順序並び替え問題での確認、3) 授業内演習、4) 演習の解説動画の閲覧、5) 多肢選択問題での復習、と進むことが期待されている。つまり、順序並び替え問題は予習した例題の手順等を把握しているかを確認するための比較的簡単な問題であり、多肢選択問題は当該授業回の知識定着を確認する標準的な難度の問題となる。この観点から、2021年度第1クォーターや2023年度第2クォーターのように、順序並び替え問題の評点と試験素点との相関係数は低いことが期待される。しかしながら、2023年度第1クォーターの結果のように、この関係が逆転している場合もあり、授業設計（多肢選択問題と

次の行列の逆行列が存在する α の条件を求める過程として適切な順に並び替えて下さい。

$$\begin{pmatrix} -2 & \alpha \\ 6 & -12 \end{pmatrix}$$

(問題整理番号:086)

The gray background item are already in the correct order. Reorder the white background item.

$$\begin{pmatrix} -2 & \alpha \\ 6 & -12 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 6 & -12 \\ -2 & \alpha \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 6 & -12 \\ -6 & 3\alpha \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 6 & -12 \\ -6+1 \times 6 & 3\alpha+1 \times (-12) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & -12 \\ 0 & 3\alpha-12 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 6 & -12 \\ -2 & \alpha \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 6 & -12 \\ 3 \times (-2) & 3 \times (\alpha) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 & -12 \\ -6 & 3\alpha \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 6 & -12 \\ 0 & 3\alpha-12 \end{pmatrix} \rightarrow \text{主成分が全て0でなくなる}\alpha\text{の条件は, } \alpha \neq 4 \text{となる。}$$

図 4: 順序並び替え問題のサンプル

開始最小	開始最大	開始平均	終了最小	終了最大	終了平均	時間最小
3.18E+06	3.25E+06	3.22E+06	3.24E+06	3.25E+06	3.24E+06	400.5385
3.14E+06	3.18E+06	3.16E+06	3.14E+06	3.18E+06	3.16E+06	347.4615
1.23E+06	1.23E+06	1.23E+06	1.23E+06	1.24E+06	1.24E+06	3303.462
1.18E+06	1.41E+06	1.29E+06	1.32E+06	1.41E+06	1.36E+06	1013.154

時間最大	時間平均	評点最小	評点最大	評点平均	回数最小	回数最大
55217.46	27809	7.025385	7.923077	7.474231	1	2
1898.769	1110.718	8.179231	10	9.042564	1	3
8458.846	5042.513	9.615385	10	9.794872	1	3
139960.8	70489.65	7.826923	9.461538	8.663462	1	4

表 1: 小テストを集計した分析対象データのサンプル (各行は各履修者に対応)

順序並び替え問題の役割や難易度)の見直しが必要と考えている。なお、表内最後の行は、授業形式に変更がなかった2022年度第1クォーターから2023年度第2クォーターまでの全データを対象とした数値となっている。

4.2 活動記録の時系列での可視化による分析

授業期間中の毎日の活動記録の回数データを、密度グラフとして可視化を行った。可視化に際しては、履修者毎の回数データを1行(横方向)分として表現し、これら行データを対応する試験素点の高いものが一番上の行になるように並び替えを行った。このため、列(縦方向)は同じ日の履修者毎のアクセス数を表している。密度グラフであり、黒ければ黒いほどアクセス数が多く、白ければ白いほどアクセス数が少ないことを表している。その結果が図7と図8である。それぞれ上から順に、コース閲覧数、授業資料閲覧数、動画資料閲覧数、小テストのアクセス数、これらを含む全てへのアクセス数、を可視化した結果となる。図中に現れる縦方向の黒い線は、アクセスの集中する授業日当

First name ^ / Last name	email address with your student ID number, XXX@stu.kobe- u.ac.jp)	State	Started on	Completed	Time taken	Grade/10.00	Q. 1 /1.00	Q. 2 /1.00	Q. 3 /1.00	Q. 4 /1.00	Q. 5 /1.00	Q. 6 /1.00	Q. 7 /1.00
<input type="checkbox"/>	Review attempt	Finished	20 June 2023 11:00 PM	20 June 2023 11:04 PM	3 mins 53 secs	9.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✗ 0.00	✓ 1.00	✓ 1.00
<input type="checkbox"/>	Review attempt	Finished	29 June 2023 10:50 PM	29 June 2023 11:00 PM	10 mins	10.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00
<input type="checkbox"/>	Review attempt	Finished	15 June 2023 11:36 AM	15 June 2023 11:39 AM	2 mins 2 secs	6.00	✗ 0.00	✓ 1.00	✗ 0.00	✓ 1.00	✗ 0.00	✗ 0.00	✓ 1.00
<input type="checkbox"/>	Review attempt	Finished	15 June 2023 11:39 AM	15 June 2023 11:40 AM	1 min 27 secs	10.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✓ 1.00
<input type="checkbox"/>	Review attempt	Finished	26 July 2023 4:15 PM	26 July 2023 4:28 PM	12 mins 20 secs	5.00	✗ 0.00	✗ 0.00	✓ 1.00	✓ 1.00	✗ 0.00	✗ 0.00	✗ 0.00

図 5: 小テストの結果に関して Moodle が生成するレポート

コース閲覧	資料閲覧	連動動画	解答動画	課題提出	評定閲覧
67	9	27	0	0	0
113	12	22	18	3	0
104	12	26	5	7	11
64	22	41	53	5	0

表 2: コースでの活動記録を集計した分析対象のサンプル（各行は各履修者に対応）

日に対応している。なお、顕著な違いが見られないため、分析対象データのうち、2020年度第1クォーターと2023年度第1クォーターの結果のみを掲載している。

活動記録の時系列での可視化により、履修者の学習行動を一定程度俯瞰することは可能となっているが、残念ながら、学習指導に直結する知見は得られていない。何らかの周期的な行動に差異が見られる可能性もあったため、離散 Fourier 変換を行った結果の可視化や、1時間毎のアクセス数での可視化も試みてみたものの、意味のある傾向の発見には至っていない。

参考文献

- [1] 長坂耕作: 数式処理と学習管理システム - 静的評価の再評価 -. 京都大学数理解析研究所講究録 **2067**, 160–169 (2018).
- [2] 長坂耕作: Moodle XML Question Generator for Python. 京都大学数理解析研究所講究録 **2142**, 67–70 (2019).

Time	User full name	Affected user	Event context	Component	Event name	Description	Origin	IP address
13 July 2023, 10:44:57 AM		-	File: 第3回目 巡回置換と互換 (4.6MB, 約8分)	File	Course module viewed	The user with id viewed the 'resource' activity with course module id '7762'.	web	
13 July 2023, 10:44:50 AM		-	File: 第4回目の通し資料	File	Course module viewed	The user with id viewed the 'resource' activity with course module id '7777'.	web	
13 July 2023, 10:44:43 AM		-	Course: [第2クォーター][2U744][2G744] 線形代数 2	System	Course viewed	The user with id viewed the course with id '123'.	web	
13 July 2023, 10:44:41 AM			Quiz: 第5回目の小テスト (順序並び替え問題)	Quiz	Quiz attempt reviewed	The user with id has had their attempt with id '17861' reviewed by the user with id for the quiz with course module id '7800'.	web	
13 July 2023, 10:44:38 AM		-	Quiz: 第5回目の小テスト (順序並び替え問題)	Quiz	Course module viewed	The user with id viewed the 'quiz' activity with course module id '7800'.	web	

図 6: コースでの履修者の活動記録に関して Moodle が生成するレポート

	開始最小	開始最大	開始平均	終了最小	終了最大	終了平均	
演習素点	-0.634	-0.631	-0.646	-0.595	-0.633	-0.624	
最終評価	-0.643	-0.64	-0.655	-0.603	-0.642	-0.632	
	時間最小	時間最大	時間平均	評点最小	評点最大	評点平均	回数最小
	-0.376	-0.410	-0.406	0.694	0.826	0.777	-
	-0.378	-0.415	-0.41	0.711	0.845	0.795	-
	回数最大	回数平均	コース閲覧	資料閲覧	連動動画	課題提出	評定閲覧
	-0.128	-0.0515	0.261	0.294	0.174	0.188	0.207
	-0.125	-0.0467	0.255	0.293	0.189	0.192	0.202

表 3: 2020 年度 Q1 の線形代数 1 の相関係数

- [3] Kosaku Nagasaka: Multiple-choice questions in Mathematics: automatic generation, revisited. Electronic Proceedings of the 25th Asian Technology Conference in Mathematics, 21785-1–21785-15 (2020).
- [4] 長坂耕作: 数学教育における順序並び替え問題. 京都大学数理解析研究所講究録 **2208**, 68–76 (2021).
- [5] 長坂耕作: 数学的思考力と順序並び替え問題の自動生成. 数式処理 **28(2)**, 95–108 (2022).
- [6] Kosaku Nagasaka, Takahiro Nakahara: Ordering Question with Clue in Moodle. Proceedings of the 27th Asian Technology Conference in Mathematics, 18–31 (2022).

	開始最小	開始最大	開始平均	終了最小	終了最大	終了平均		
演習素点	-0.541	-0.523	-0.540	-0.509	-0.523	-0.524		
最終評価	-0.565	-0.549	-0.566	-0.544	-0.563	-0.562		
時間最小	時間最大	時間平均	評点最小	評点最大	評点平均	回数最小		
-0.112	-0.132	-0.138	0.386	0.520	0.475	-		
-0.192	-0.189	-0.211	0.485	0.634	0.585	-		
回数最大	回数平均	コース閲覧	資料閲覧	連動動画	課題提出	評定閲覧		
0.224	0.289	0.162	0.152	0.164	0.480	0.0931		
0.230	0.296	0.181	0.160	0.194	0.480	0.115		

表 4: 2020 年度 Q2 の線形代数 2 の相関係数

試験素点	開始最小	最大	平均	終了最小	最大	平均			
	-0.393	-0.393	-0.404	-0.410	-0.393	-0.409			
時間最小	最大	平均	評点最小	最大	平均	回数最小	最大	平均	
-0.052	-0.281	-0.206	0.308	0.337	0.367	0.013	-0.104	-0.159	
MC 開始最小	最大	平均	MC 終了最小	最大	平均				
-0.383	-0.404	-0.410	-0.427	-0.413	-0.428				
MC 時間最小	最大	平均	MC 評点最小	最大	平均				
-0.069	-0.348	-0.278	0.515	0.445	0.516				
MC 回数最小	最大	平均	OR 開始最小	最大	平均				
0.013	-0.149	-0.163	-0.395	-0.369	-0.389				
OR 終了最小	最大	平均	OR 時間最小	最大	平均				
-0.389	-0.364	-0.383	-0.003	-0.042	-0.011				
OR 評点最小	最大	平均	OR 回数最小	最大	平均				
0.044	0.093	0.061	0.200	-0.072	-0.111				
コース閲覧	資料閲覧	連動動画	課題提出	評定閲覧					
-0.096	-0.139	0.120	0.099	0.080					

表 5: 2021 年度 Q1 の線形代数 1 の相関係数

	合算			多肢選択問題			順序並び替え問題		
	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
2021 年度 Q1	0.308	0.337	0.367	0.515	0.445	0.516	0.044	0.093	0.061
2021 年度 Q2	0.297	0.191	0.252	0.262	0.235	0.242	0.283	0.039	0.235
2022 年度 Q1	0.534	0.489	0.619	0.525	0.488	0.589	0.276	0.353	0.391
2022 年度 Q2	0.176	0.481	0.337	0.098	0.468	0.284	0.232	0.348	0.289
2023 年度 Q1	0.226	0.263	0.286	0.091	0.220	0.176	0.326	0.276	0.349
2023 年度 Q2	0.394	0.409	0.450	0.484	0.443	0.513	0.073	0.168	0.096
2022-2023 年度	0.286	0.405	0.377	0.276	0.410	0.374	0.194	0.257	0.243

表 6: 2021 年度から 2023 年度の小テストと試験素点の相関係数

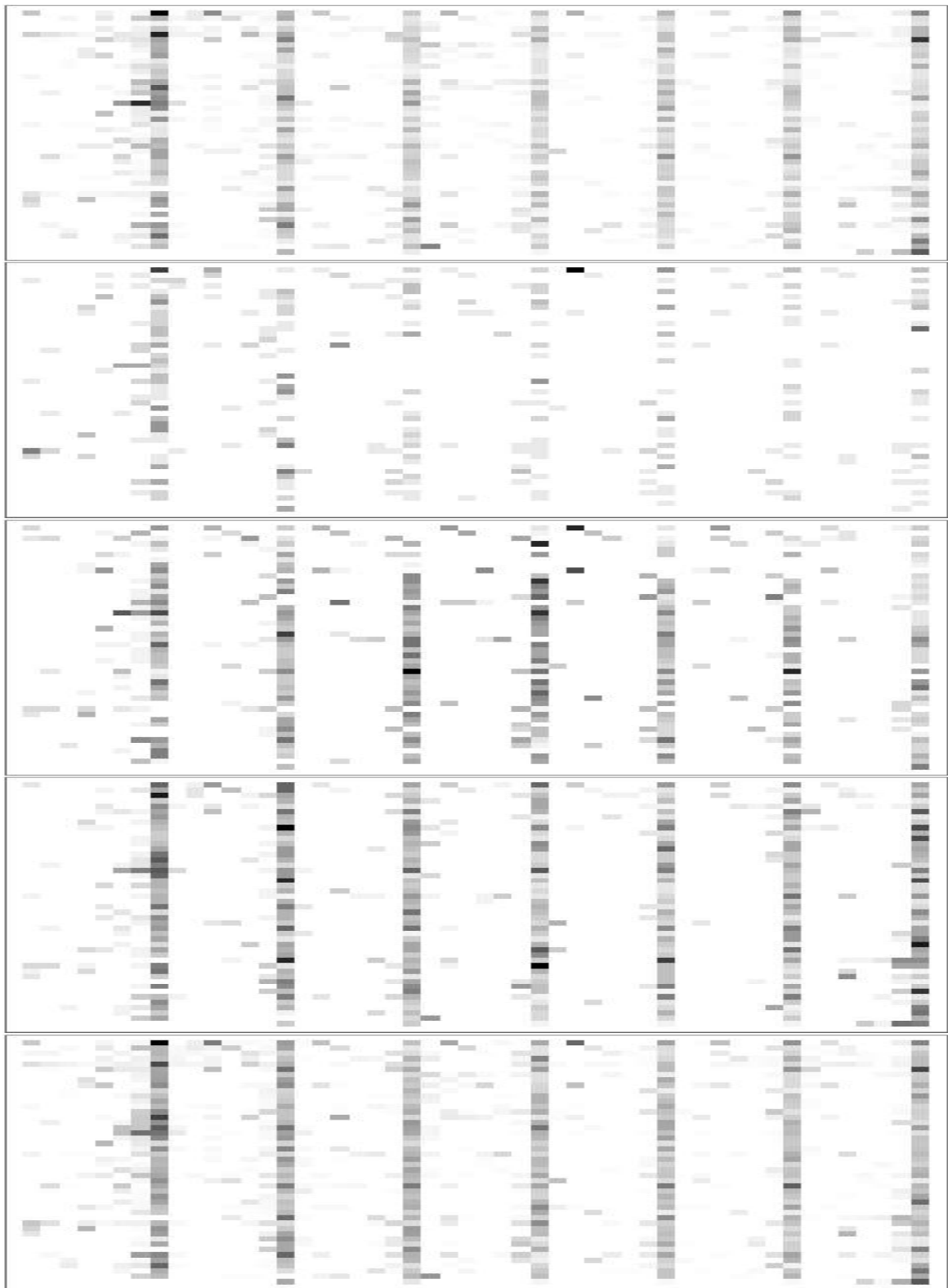


図 7: 2020 年度 Q1 の可視化（上からコース・資料・動画・小テスト・全アクセス）

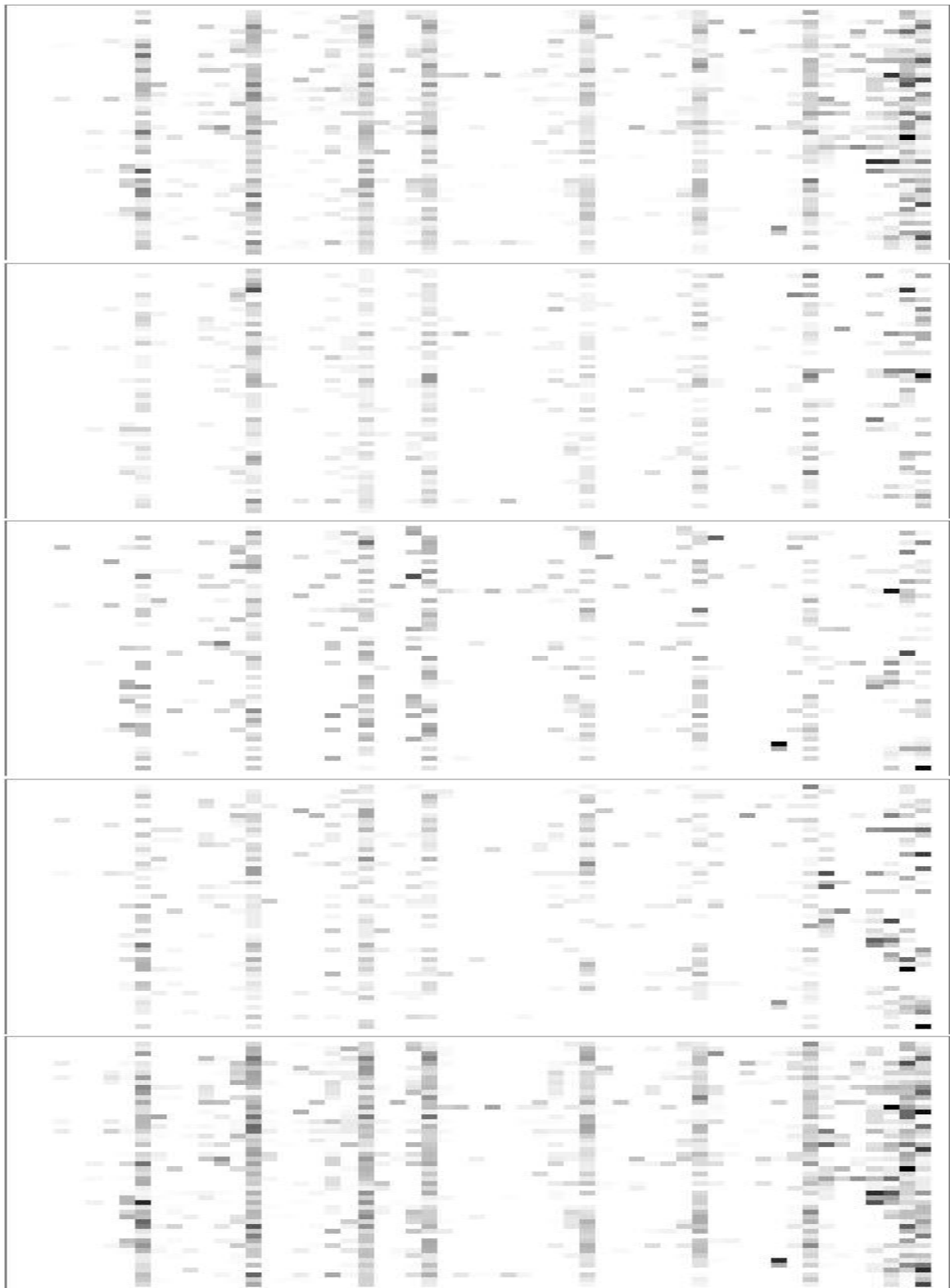


図 8: 2023 年度 Q1 の可視化（上からコース・資料・動画・小テスト・全アクセス）