擬似対話型教材の設計と実践

– 階層型演習と **AI** 活用 **FAQ** 演習による深い学びの促進 – [1]

Designing Adaptive Dialog-Based Learning Materials:

Promoting Deeper Understanding through
Hierarchical Multiple-Choice Questions and AI-Driven FAQ Activities

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

本講演では，大学初年次の線形代数における反転授業形式を対象とし，教室外活動（事前・事後学習）においても擬似的な対話を促進する教材の設計とその実践結果について報告する。擬似対話型教材として，助言指導を取り入れた階層型多肢選択問題 [3] を再構築し，さらに生成 AI を活用した「AI と FAQ 演習」を新たに組み入れることとした。これらの教材を 2025 年度前期の授業において実践し，その成果をアンケート調査および学習データ分析を通じて検討する。

なお，実践を行った授業科目について述べておく。神戸大学の全学共通授業科目（共通専門基礎科目）の「線形代数 1」と「線形代数 2」で，それぞれ 1 単位のクォーター科目（試験含め各 8 週）であり，その中の国際人間科学部環境共生学科クラス（履修者数 31 人と 32 人）を対象とした。授業形式は，反転授業形式であり，教室外活動として Moodle に掲載される授業資料（PDF 形式）・動画資料・各種演習と，教室内活動として補足講義・演習・解説などから構成される。成績評価は，期末試験（80%）と教室外活動の演習（20%）で行われる。Moodle 上の演習は，どの活動についても合格点なし，締切あり，複数回受験可能で最大得点が評価に用いられる形式となっている。実際の活動は，毎週の授業開始時刻が締切となっている事前学習として実施される「階層型多肢選択問題」及び「AI と FAQ 演習」と，次回授業開始時刻が締切となっている事後学習として実施される「従来型の多肢選択問題」から構成されている。

2 擬似対話型教材

擬似対話型教材として開発した助言指導ありの階層型多肢選択問題と，生成 AI を活用する「AI と FAQ 演習」について，それぞれの背景と実際の内容，及びアンケート結果について取り上げる。

[1]This work has been partially supported by JSPS KAKENHI Grant Number 24H00168.

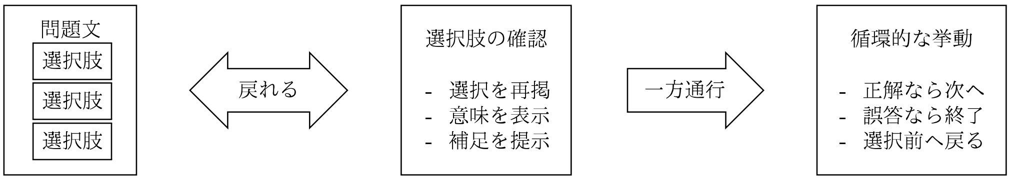

図 1: 各階層における基本的な枠組み [3]

2.1 助言指導ありの階層型多肢選択問題

基本的な枠組みとしては，以前に提案 [3] した「演習の枠組みで，例示が自然にありつつの，指導中心の問題」としての助言指導ありの階層型多肢選択問題形式となる。しかしながら，以前の提案には次の課題が存在した。

- コンテンツの形式として H5P を採用した結果，受験者が選択していない部分のデータも受験者に送られるため，通信サイズが不必要に大きくなりやすいこと。
- コンテンツの形式として H5P（の Branching Question）を採用した結果，使用可能な HTML タグなど，その表現に制約が大きいこと。

今回の実践に際しては，H5P 形式に代えて，Moodle の Lesson 形式[2]を採用した。Moodle の Lesson は，H5P の Branching Scenario と同じく，受験者の選択に応じて表示される内容を変化させられるコンテンツ形式である。しかしながら，Moodle の Lesson は，H5P 形式や Moodle の Quiz 形式などと異なり，それ単体でのファイル形式が存在しておらず，Moodle 外で生成したデータのインポートを行うことがサポートされていない。このため，従来の教材開発においては H5P 形式を採用していた。今回，H5P 形式の課題を鑑み，多少イレギュラーであるが，Lesson を 1 つのみ含む Moodle のバックアップファイルを生成することで，Lesson としての階層型多肢選択問題の Moodle 外での生成を可能とした。Lesson はサーバ側で動作するため，H5P 形式の場合と異なり，受験者が選択していない部分のデータを送信することがなく，通信サイズを抑制しやすい。また，H5P の Branching Question に比べて，使用可能な HTML タグなども多く，より伝えやすい表現を採用しやすい特徴がある。なお，問題生成には Python を用いており，階層型多肢選択問題（Lesson 形式）を 1 つのみ含む Moodle バックアップファイルを生成するモジュールと，実際に線形代数の問題を作成するプログラムから構成される。詳細は本講演では割愛する。

2.1.1 擬似的な対話を促す形式

図 1 は，2024 年度に提案した助言指導ありの階層型多肢選択問題の枠組みである。今回の取り組みでは，擬似的な対話を事前学習において取り入れるために，この問題形式を採用した。具体的には，例えば仮に教室内活動として問題演習を行った場合，机間巡回を行うと考えられる。その際，各履修者が思い思いに解いている状況を確認した上で，

[2] Lesson 形式については，https://docs.moodle.org/405/en/Lesson_activity を参照されたい。

授業担当者はアドバイスなどをその場で伝えるはずである。履修者はそれに応じて解き方を変化させたり，また，それに対して，授業担当者が再度のアドバイスなどをするはずである。この対話を擬似的に助言指導ありの階層型多肢選択問題の枠組みを活用して実現しようとする試みである。

以下が今回の実践で用いた問題となる。基本的にそれぞれランダムに生成された同種の問題が 10 問含まれており，繰り返し受験したとしても，多くの場合異なる問題を解くこととなる。なお，以前に開発した問題については，H5P 形式向けに作成したプログラムを，Lesson 形式向けに作り直し，再利用を行った（再利用と記載した分）。

- 平面ベクトルの復習
- 行列とベクトルの計算基礎（再利用）
- 行列計算の基礎的性質
- 平面ベクトルの線形変換
- ベクトルと行列の用語
- 一般サイズの行列の計算基礎（再利用）
- 行列の分割による計算基礎
- 一次結合（線形結合）の基礎
- 係数行列と拡大係数行列
- 線形方程式の式変形と行基本変形
- 行列の簡約化（前進消去）（再利用）
- 行列の簡約化（後退代入）（再利用）
- 線形結合による解の表現（自由度 1）（再利用）
- 線形結合による解の表現（自由度 2）（再利用）
- 基本解と特殊解
- 掃き出しによる逆行列計算（再利用）
- 掃き出しによる逆行列計算の理論背景
- 置換の基礎
- 行列式の基礎
- 行列式の工夫した計算（再利用）
- 余因子行列を余因子展開から導く
- 逆行列と行列式の復習

図 2 は，第 1 クォーターの線形代数 1 で実際に用いた「行列計算の基礎的性質」の小問 1（全 3 問中）の例である。問題に対して選択を行った直後に，受験者が選択した内容（選択肢）に対する解説と確認が行われる。この段階では「選択をし直す」をペナルティなく選ぶことが可能となっている。仮に間違った選択をしていても，解説を確認した上で気づいて選択をし直すことが期待される。「このまま進む」を選ぶことで正誤判定が行われ，どちらの場合もフィードバックが表示され，正解であれば次の問題に進み，誤答であれば評点が表示され終了する。なお，Moodle の通常の Lesson 形式となっているため，終了直後は受験者の選択を自らレビューすることも可能となっている。

次の等式を成立させる2行2列の行列A, Bを選んでください。

$(A-B)(A+2B)=A^2+AB-2B^2$

○ $A=\begin{pmatrix}-2 & -1\\ 5 & 2\end{pmatrix}$, $B=\begin{pmatrix}1 & -2\\ 2 & -5\end{pmatrix}$

○ $A=\begin{pmatrix}5 & -2\\ 2 & -1\end{pmatrix}$, $B=\begin{pmatrix}1 & -2\\ 2 & -5\end{pmatrix}$

○ $A=\begin{pmatrix}0 & -5\\ 1 & 3\end{pmatrix}$, $B=\begin{pmatrix}-2 & 0\\ 2 & 4\end{pmatrix}$

○ $A=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 3 & -5\end{pmatrix}$, $B=\begin{pmatrix}-2 & 0\\ 2 & 4\end{pmatrix}$

○ どの行列A, Bでも等式は成立する。

送信

※小問に対して正解だと思う選択肢を選び送信する

選択した内容の解説と確認

「$A=\begin{pmatrix}5 & -2\\ 2 & -1\end{pmatrix}$, $B=\begin{pmatrix}1 & -2\\ 2 & -5\end{pmatrix}$」とは，次のことを意味しています。次に進んで大丈夫ですか。

$A=\begin{pmatrix}5 & -2\\ 2 & -1\end{pmatrix}$, $B=\begin{pmatrix}1 & -2\\ 2 & -5\end{pmatrix}$のとき，「$(A-B)(A+2B)=A^2+AB-2B^2$」が成り立つ。

コメント: 左辺を丁寧に展開してみましょう。

$$\begin{aligned}(A-B)(A+2B) &= A(A+2B)-B(A+2B)\\ &= A^2+2AB-BA-2B^2\\ &? \; A^2+AB-2B^2\end{aligned}$$

従って，$AB=BA$であるか，$AB\neq BA$であるかによって等号成立が変化することがわかります。

選択をし直す

このまま進む

※この段階では選択をし直すことが可能となっている

フィードバック

正解です。

式の簡単化（因数分解や展開の公式などを含む）は，積の可換性（$AB=BA$であること）に依拠しています。行列の計算では多くの場合で，$AB\neq BA$であり，常に$AB=BA$が成立するとは限りません。

確認したら，次の問題に進みましょう。

確認して次の問題に進む

図 2: 指導助言ありの階層型多肢選択問題「行列計算の基礎的性質」の挙動

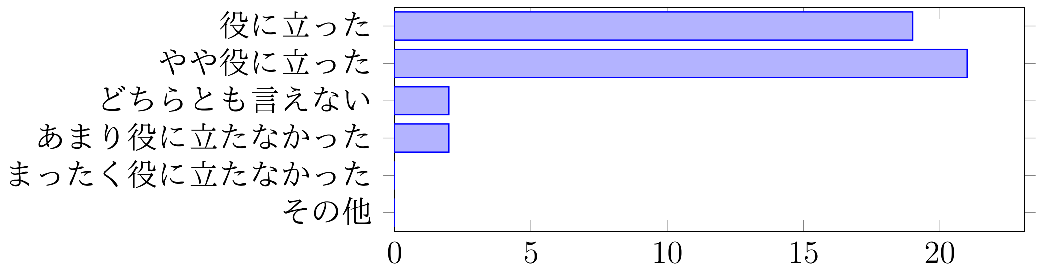

図 3: 総合的に判断して階層型多肢選択問題は授業内容の理解に役立ちましたか

2.1.2 アンケート結果より

授業終了時（クォーター末）に実施される大学全体での授業振り返りアンケート（匿名）において，授業で用いた Moodle の各種演習に関する設問を設定した。線形代数 1 は回答者数 27 人で，線形代数 2 は回答者数 17 人であった（延べ 44 人）。アンケート結果の一部（数値評価の図 3 と自由記述）について報告する。

指導助言ありの階層型多肢選択問題が総合的に鑑みて役に立ったか否かに関しては，図 3 のように，概ね高評価を得られている。実際に，自由記述では，以下のような肯定的意見（要約・集約）が多数見られた。

- 事前学習は面倒であったが，躓くところが重点的に出ていて深く理解できた。
- 予習・復習の習慣がなかったが，演習の設定により，習慣がついて良かった。
- 課題の量が少し多いとも感じたが深い理解のためには必要不可欠とも思った。
- 複数回の受験が行え，満点の達成感もあり，理解も深まるのでよかったです。

一方で，次のような改善点を指摘する意見も見られた。

- 間違えてしまった場合に表示される解説をもう少し多めにして欲しかった。
- 間違えた場合に最初からではなく，途中からやり直せるようにして欲しい。
- 間違えてしまった結果，9 点（満点は 10 点）だった時に立ち直れなくなる。
- 階層型多肢選択問題は問題の大変さ・計算のややこしさにムラがあると感じた。
- 選択式ではない，数式や数値を入力する形式があっても良かったと思った。

2.2 AI と FAQ 演習

反転授業形式では，教室内活動において履修者間の意見交換や教員との質疑応答の機会は多いものの，必ずしもすべての履修者が積極的に活用しているとは言えない。加えて，教室外活動においては，履修者毎の学習活動となってしまうことから，対話的な学習機会は少ないと考えられる。また，近年では高等教育を含む様々な段階において生成 AI を活用する機運が高まっている [4, 5, 6]。これらのことを鑑み，生成 AI との擬似的な対話を通して，学びを深める演習を設定した。

「AI と FAQ 演習」では，図 4 のように授業回毎に設定した質問を生成 AI にした上で，履修者は生成 AI と議論をする。一定の議論を行った状態で，議論の内容を生成 AI

1. Microsoft 365 Copilot などの生成 AI に次の質問を行い，議論を行ってください（議論を深めるようにしてください）。
    - 高校までの計算問題で順序について細かく言われた記憶がありませんが，2×2 の行列の積の計算では順序が重要と習いました。これはとても特殊なことなのではないでしょうか。
2. 一定の議論を行った後に，次のように議論をまとめさせてください。
    - ここまでの議論を FAQ の形式で取りまとめてください。
3. 生成 AI が取りまとめた結果を課題提出のところに貼り付けて提出してください。

図 4: AI と FAQ 演習の例（第 1 クォーターの第 1 回目）

に FAQ として取りまとめさせ，結果として得られる FAQ を課題提出するものである。なお，演習指示において「Microsoft 365 Copilot」を例示しているのは，Microsoft 365 Education を神戸大学が契約しており履修者が必ず使用可能なシステムのためである。このため，演習としては ChatGPT・Gemini・Claude・Grok などが使われても問題ないとしている。また，第 2 クォーターではプロンプトを若干修正し，次の役割の指定を行うようにした。

> あなたは線形代数の授業のチューターです。学生からの以下の質問に対して適切に指導を行い，理解を促し，質疑応答を繰り返した後に，FAQ として質疑の内容をまとめる任に就いています。ただし，質問への回答や指導においては，確からしさが 99%以上と判断できることのみを伝えてください。また，質疑応答が十分に行えるように，魅力的な応答を心がけてください。これには一度の回答があまりにも長くて読むのが大変にならない程度の簡潔さを心がけることや，想定される質問を例示することも含みます。では，学生からの質問は次のとおりです。よろしくお願いします。

2.2.1 アンケート結果より

AI と FAQ 演習が総合的に鑑みて役に立ったか否かに関しては，図 5 のように意見が割れている。特に，自由記述においては，次のような否定的な意見（要約・集約）が多く見られた（第 2 クォーターでのプロンプト変更で，多少は改善されている可能性はある）。

- AI と FAQ 演習に関しては，課題で取り上げるほどのものではないと感じた。
- AI と FAQ 演習は必要ないと思います。事後学習の問題数を増やして欲しい。
- AI と FAQ 演習の意義があまり理解できなかった。
- 生成 AI が専門的な用語を使うことが多く理解が難しかったと思う。
- 生成 AI があまり初学者向けの解説をしてくれなかったので効果が薄いと感じた。

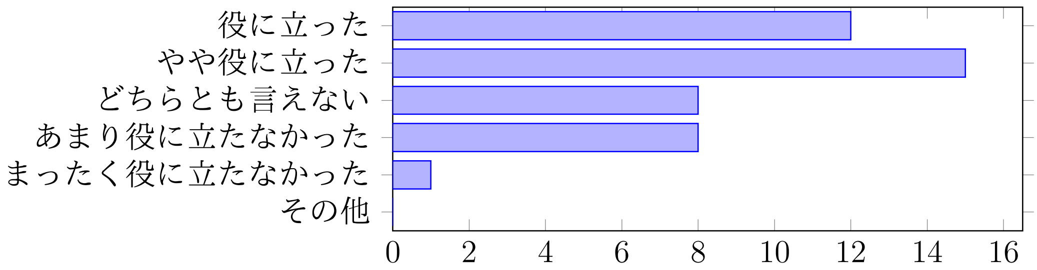

図 5: 総合的に判断して AI と FAQ 演習は授業内容の理解に役立ちましたか

3 学習データ分析

以前の学習活動の分析 [2] においては，Moodle が標準で生成するレポート出力を用いたが，今回は Configurable Reports プラグイン[3]を用いて詳細な情報を取得し，記述試験との相関係数（スピアマンの順位相関係数）を Mathematica 12.2 で計算して分析した（なお，記述試験欠席者は欠損値として除外した匿名化処理済みデータを分析した）。

3.1 相関係数による分析

3.1.1 階層型多肢選択問題（事前学習）

事前学習として実施した階層型多肢選択問題に関して，クォーター毎にそれぞれの問題（小問複数を含む）の試行数，平均点，最高点，完了時刻，最短選択時間の履修者毎の平均を求め，記述試験との相関係数を分析した結果が表 1 である。この分析では，Q1 と Q2 のどちらにおいても，平均点と記述試験との間に正の相関が確認された。なお，完了時刻は，対象の授業実施日からの相対的な時間を表しているため，締切よりも早めに完了させた履修者ほど記述試験の結果が良いならば，相関係数は負となることに留意してほしい。最短選択時間は，各階層の小問に対して選択肢を選ぶまでに経過した時間を意味するが，あくまでも操作間の経過時間に過ぎず，思考時間とは限らないことに留意してほしい。

クォーター毎の分析により有意と思われる平均点と，個人的な興味から最短選択時間については，問題毎についても同様の分析を行った結果が表 2 である。紙面の関係上，最短選択時間については P 値のみを掲載している。Lesson 正解率は，問題毎の延べ試行に対する正解率を表しており，当該問題がどの程度に解かれ易かったを表す数値として解釈できる（正解率が高いほど易しい）。

記述試験への寄与の高い問題の傾向を読み取ることが目的であったが，結果を見る限り，確実なことは判明していない。個々の問題の性格（作成者としての意図と難易度）と平均点の相関係数や Lesson 正解率を俯瞰する限りでは，正解率が高くない認知負荷の高い問題，ないしは，指導助言による正解への誘導が強めの問題，の相関が強いように思える。

[3]Moodle の Configurable Reports プラグインについては，https://moodle.org/plugins/block_configurable_reports を参照されたい。

表 1: Q1 と Q2 の階層型多肢選択問題（事前学習）と記述試験との相関

	平均試行数	平均平均点	平均最高点	平均完了時刻	平均最短選択時間
相関係数 (Q1)	−0.054856	0.422846	0.294591	−0.215767	0.137639
P-Value(Q1)	0.775395	0.019065*	0.114685	0.254677	0.471671
相関係数 (Q2)	−0.015406	0.626234	0.294630	−0.365886	0.363499
P-Value(Q2)	0.938596	0.000237**	0.128978	0.055070	0.056837

表 2: Q1 と Q2 の個々の階層型多肢選択問題（事前学習）と記述試験との相関

トピック（Q1）	平均平均点		Lesson	平均最短選択時間
	相関係数	P-Value	正解率	P-Value
1) 平面ベクトルの復習	0.148	0.438	–	0.779
1) 行列とベクトルの計算基礎	−0.147	0.441	–	0.544
2) 行列計算の基礎的性質	0.555	0.001**	30.2	0.703
2) 平面ベクトルの線形変換	0.145	0.448	–	0.129
3) ベクトルと行列の用語	0.071	0.712	72.2	0.696
3) 行列の分割による計算基礎	0.500	0.004**	36.5	0.281
3) 一般サイズの計算基礎	0.171	0.370	–	0.837
4) 拡大係数行列	−0.116	0.546	–	0.915
4) 一次結合の基礎	0.123	0.522	–	0.435
4) 式変形と行基本変形	0.187	0.327	–	0.885
5) 行列簡約化（前進消去）	0.371	0.043*	96.6	0.605
5) 行列簡約化（後退代入）	0.070	0.714	75.0	0.488
6) 解の表現（自由度 1）	0.225	0.234	–	0.449
6) 解の表現（自由度 2）	0.302	0.106	–	0.094
7) 基本解と特殊解	0.248	0.189	–	0.083
トピック（Q2）	相関係数	P-Value	正解率	P-Value
1) 掃き出しによる逆行列計算	0.096	0.630	31.9	0.933
2) 逆行列計算の理論背景	0.302	0.120	28.6	0.720
3) 置換の基礎	−0.016	0.935	66.7	0.990
4) 行列式の基礎	0.398	0.035*	17.3	0.002**
5) 行列式の工夫した計算	0.417	0.026*	51.3	0.132
6) 余因子行列を展開から導く	0.465	0.012*	21.2	0.084
7) 逆行列と行列式の復習	0.416	0.027*	42.3	0.082

（※ – は今回の分析対象としていないため未分析）

3.1.2　AI と FAQ 演習（事前学習）

事前学習として実施した AI と FAQ 演習に関して，それぞれの演習の評点（この活動を提出したか否かの 2 値），完了時刻，提出サイズについて記述試験との相関係数を分

表 3: Q1 と Q2 の AI と FAQ 演習（事前学習）と記述試験との相関

トピック（Q1）	評点		完了時刻		提出サイズ	
	相関係数	P-Value	相関係数	P-Value	相関係数	P-Value
1) 2×2 の行列の積の順序	−0.077	0.688	0.017	0.928	0.100	0.602
2) 線形変換でない平面操作	0.247	0.190	−0.230	0.223	0.031	0.873
3) 一般次元を学ぶ意義	0.023	0.906	−0.292	0.119	0.010	0.958
4) 方程式でなぜ行列を？	0.247	0.190	−0.299	0.109	0.052	0.785
5) 簡約行列や階数の意味	0.204	0.282	−0.388	0.034*	0.074	0.701
6) 自由度の自由とは何ですか	0.173	0.363	−0.310	0.096	0.182	0.338
7) 一般解，基本解，特殊解	0.248	0.188	−0.378	0.039*	0.137	0.475
Q1 通しての平均との相関	0.089	0.644	−0.331	0.074	0.098	0.608
トピック（Q2）	相関係数	P-Value	相関係数	P-Value	相関係数	P-Value
1) 逆行列は不完全では？	–	–	0.008	0.968	0.053	0.792
2) 線型方程式と逆行列は循環？	0.413	0.028*	−0.309	0.110	0.244	0.213
3) 置換をなぜ学ぶのか	0.179	0.366	−0.198	0.315	0.126	0.525
4) 行列式を扱う意義	0.413	0.028*	−0.151	0.446	0.145	0.465
5) 履き出し法と異なり列変形？	0.491	0.007**	−0.080	0.687	0.344	0.073
6) 逆行列計算の多様性	0.561	0.002**	−0.243	0.215	0.535	0.003**
7) 前期線形代数で何が出来る？	0.549	0.002**	−0.009	0.963	0.388	0.041*
Q2 通しての平均との相関	0.527	0.003**	−0.177	0.371	0.254	0.193

（※ – は全員が同じ評点（条件を満たした提出があったということ））

析した結果が表 3 である。Q1 と Q2 の最後に付されているのは，各クォーターの演習の平均評点，平均完了時刻，平均提出サイズとの相関係数となる。なお，この演習の提出は Moodle のオンラインテキストへの記入（AI の回答のペースト）になるため，SQL の `LENGTH` 命令で測った長さを提出サイズとして扱っている。

分析の結果から，Q1 と Q2 では傾向が異なるように見受けられる。また，Q2 の評点に相関が見られるように感じるが，これは真面目に演習を行った履修者とそうでない履修者の違いに過ぎない可能性が否定できない。この演習に難易度は存在せず，取り組むか取り組まないかの違いだけのため，個々の履修者の学習に寄与したのか，真面目な履修者だから記述試験が良かったのかは不明である。

3.1.3 従来型の多肢選択問題（事後学習）

事後学習として実施した従来型多肢選択問題に関して，それぞれの問題（小問複数を含む）の平均点と平均完了時刻について記述試験との相関係数を分析した結果が表 4 である。Q1 と Q2 の最後に付されているのは，各クォーターの問題の平均平均点と平均平均完了時刻との相関係数となる。これら各クォーターの相関係数は概ね以前の報告 [2] と大差ないが，問題毎の分析を行い，P 値を併記したことにより，かなりのバラツキが見られることが判明した。個々の問題の性格（作成者としての意図と難易度）と平均点の相関係数を俯瞰する限りでは，難易度の高い（または面倒な）問題で相関が高い可能性が考えられる。

表 4: Q1 と Q2 の従来型の多肢選択問題（事後学習）と記述試験との相関

トピック（Q1）	平均点		平均完了時刻	
	相関係数	P-Value	相関係数	P-Value
1) 2×2 までの用語や計算基礎	−0.30295	0.10413	−0.16923	0.37461
2) 2×2 までの計算と線形変換	0.06132	0.74969	−0.28492	0.12786
3) 一般サイズの用語や計算基礎	0.11483	0.54896	−0.28715	0.12473
4) 線型方程式と行列，行の基本変形	0.28638	0.12580	−0.44884	0.01204*
5) 主成分，簡約な行列，階数など	0.19709	0.29942	−0.37991	0.03769*
6) 簡約化，解の自由度とその表現	0.05415	0.77820	−0.34361	0.06272
7) 線型方程式の求解	0.40200	0.02685*	−0.51672	0.00296**
Q1 通しての平均との相関	0.33865	0.06696	−0.38606	0.03438*
トピック（Q2）	相関係数	P-Value	相関係数	P-Value
1) 正則性と掃き出しでの逆行列計算	−0.09802	0.62294	−0.25189	0.19805
2) 掃き出しでの逆行列計算（ヒント無）	0.23581	0.22950	−0.17487	0.37701
3) 置換の合成，逆置換，符号など	0.23148	0.23850	−0.06441	0.74708
4) 基本的な行列式の計算（サラスなど）	0.40505	0.03169*	−0.12553	0.52805
5) 余因子展開と行列式計算（種々）	0.41257	0.02827*	−0.15001	0.44981
6) 余因子行列とクラーメルの方法	0.55018	0.00198**	−0.47999	0.00893**
7) 上記のすべてを含む	0.17544	0.37543	−0.17085	0.38830
Q2 通しての平均との相関	0.47581	0.00966**	−0.24334	0.21438

3.2 選択ルートによる分析

事前学習で実施した階層型多肢選択問題では，2.1.1 節で説明したように，受験者が問題に対して選択を行った直後に，選択した内容（選択肢）に対する解説と確認が行われ，この段階では「選択をし直す」をペナルティなく選ぶことが可能となっている。助言によって選択を変更したことによる教育効果を期待したいところであるが，その分析については行えていない。今回はその前段階として，実際に受験者がどのような選択ルートを辿り，正解ないしは不正解の評価に至ったかについての分析を行った。

発表時は多数の問題での分析を紹介したが，紙面の関係上，平均点と最短選択時間のP 値が共に十分小さかった Q2「行列式の基礎」のみを掲載する。この問題は小問 5 つから構成され，その画面遷移（ただし，確認画面やフィードバックは紙面の関係上から割愛）は図 6 の通りである。選択ルートの分析結果は表 5 にまとめた。表において，`L1` から `L5` は各小問を表しており，正解率は個々の延べ数での正解率を意味する（括弧内は延べ数）。各ルートの属性は今回の分析では，正答（`C`）と誤答（`F`）に単純化した。集計は「`FFC`:2」のような形式で表しているが，左から順に次のものを表す（`X` は `C` か `F` か`-`）。

`X` : 最初の選択の正誤, `X` : 途中の選択の正誤, `X` : 最終の選択の正誤, n : 延べ数

最初の選択を変更しなかった場合は `X--` となり，1 度しか変更しなかった場合は `X-X` となり，2 度以上変更を行った場合は `XXX` となる。このとき，途中の選択は変更の回数が

表 5: Q2「行列式の基礎」の選択ルート分布

正解率（全 5 層）：通しては 17.3% (N : 133)

L1: 72.3%(148), L2: 56.9%(137), L3: 55.3%(85), L4: 72.4%(58), L5: 43.4%(53)

属性ルートの各個数（C: 正答, F: 誤答）

L1: 記号行列の行列式に現れる要素の積（添字が違う）を選択

– C--:94, C-C:3, F-C:4, FFC:1 ↔ CCF:1, F--:27, F-F:3

L2: 行の入れ替えに伴う行列式の符号変化の証明における式変形（穴埋め）

– C--:60, C-C:3, F-C:5, FFC:4
↔ C-F:1, F--:20, FCF:2, F-F:4, FFF:3

L3: 列ゼロベクトルを含む行列式の定義に基づく証明における式変形（穴埋め）

– C--:41, C-C:1, F-C:1, FFC:3 ↔ F--:23, F-F:1

L4: 双線形性による行列式の和に関する分割として不適切なものを選択

– C--:31, C-C:2, CFC:1, F-C:2, FCC:1, FFC:1 ↔ F--:8

L5: 基本変形の前後での行列式の変化を踏まえた等式として適切なものを選択

– C--:17, F-C:1, FFC:2 ↔ C-F:2, F--:14, FCF:1

多い場合，正答を優先検出している。また，小問毎の「↔」の左側が正答で終わったもの，右側が誤答で終わったものに分類した。

選択ルートの分布を俯瞰すると，総数に対して選択をやり直している回数はとても少ないことが観測される。正答から変更を行わないのは問題ないと捉えることが可能であるものの，誤答から変更が行われず，そのまま不正解となることは階層型多肢選択問題の目的からは看過できない結果と捉えている。どのような理由から選択の変更が行われなかったのかについては，データからは判断できないため，何らかの質的調査が必要と考えている。

4　まとめと今後の課題

本発表では，事前・事後学習においても擬似的な対話を促すような教材設計とその実践結果のデータ分析を紹介した。学習データの分析結果の概観としては，どの活動に関しても何らかの面では記述試験との相関が確認されたが，問題毎に有意性などにはバラツキが見られ，場合によっては，授業への積極度との単純な因果関係に過ぎない可能性も示唆された。階層型多肢選択問題の選択ルート解析では，指導助言による選択のし直しが一定数は見られるものの，誤答の多くは選択を変更せずにそのまま不正解となっている。一方で，正解率が高くない認知負荷の高い問題，あるいは，指導助言による正解への誘導が強めの問題との相関が強い傾向が見られたため，今後の問題作成にあたっての方向性が得られたことは，教育実践上の有益な示唆と捉えられる。

今後の課題は，学習データの分析では把握しきれない，質的な教育効果の検証にある。このため，履修者が実際の事前・事後学習において，どのように問題に取り組み，どの

ように考え，どのように振る舞ったかについての質的な調査が，階層型多肢選択問題，AI と FAQ 演習，従来型の多肢選択問題の全てにおいて必要と考えている。特に，本発表の中心的なテーマである「擬似的な対話を促す教材」の教育効果については未解明な点が多く，質的調査を通じて今後の教材設計に資する示唆が得られることが期待される。

参考文献

[1] 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).

[2] 長坂耕作: 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. 京都大学数理解析研究所講究録 **2273**, 80–90 (2023).

[3] 長坂耕作: 助言指導ありの階層型多肢選択問題とその実践. 京都大学数理解析研究所講究録 **2301**, 98–109 (2025).

[4] 文部科学省: 令和 7 年版 科学技術・イノベーション白書. https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa202501/1421221_00015.html (2025).

[5] 文部科学省: 大学・高専における生成 AI の教学面の取扱いについて. https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/2023/mext_01260.html (2023).

[6] 文部科学省: 初等中等教育段階における生成 AI の利活用に関するガイドライン（Ver.2.0）. https://www.mext.go.jp/a_menu/other/mext_02412.html (2024).

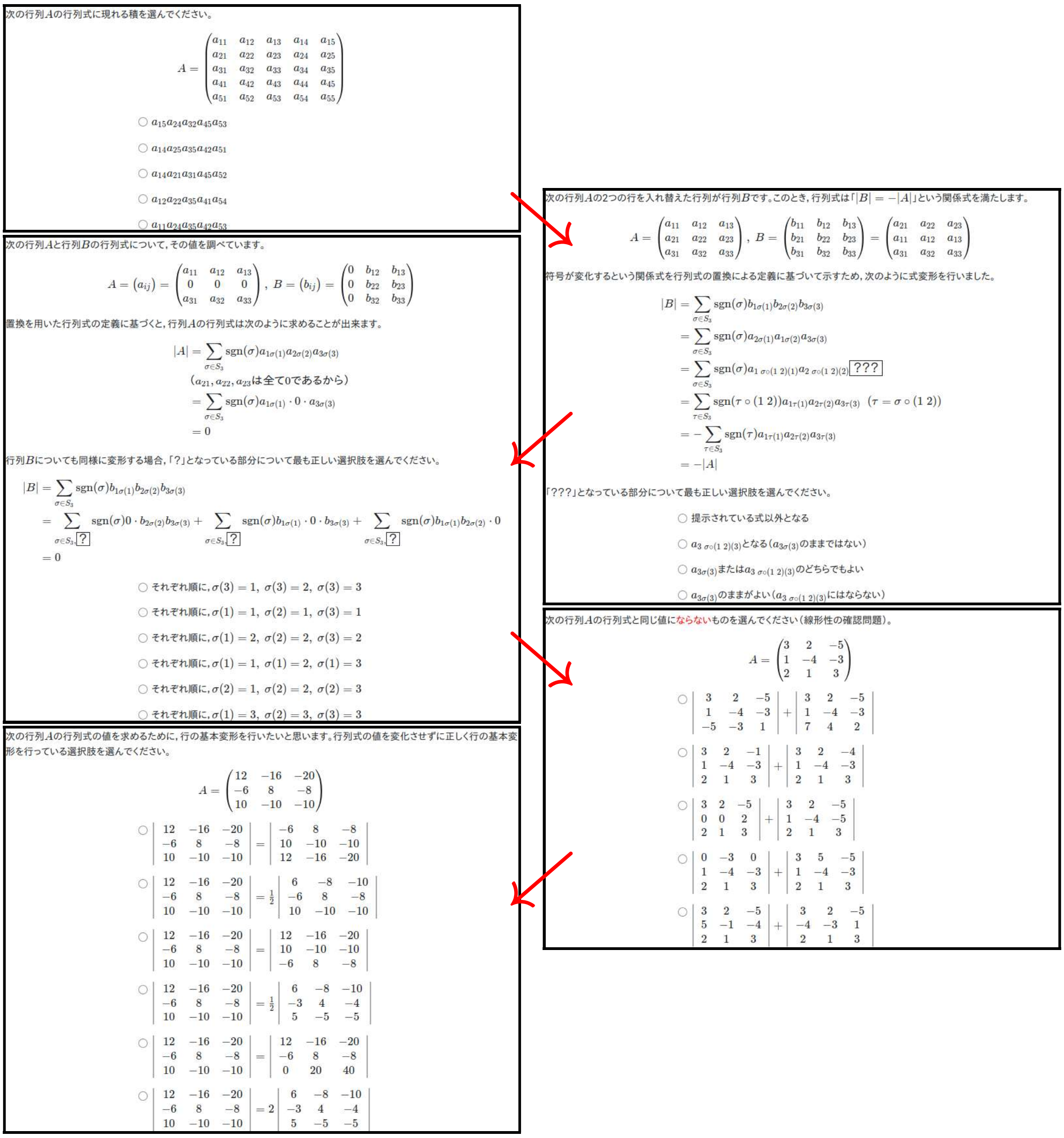

図 6: Q2:「行列式の基礎」の問題構成（確認画面やフィードバックは除く）