階層型多肢選択問題による動的例題の提案とその可能性

神戸大学大学院　人間発達環境学研究科　丹家　諒
Ryo Tange, Graduate School of Human Development and Environment,
Kobe University

1　はじめに

昨年の本共同研究において，複数の小問から構成される問題や評価項目が複数個存在する複合問題などの，数学分野でよく見かける記述式問題を多肢選択問題で評価するための新しい問題形式として，“階層型多肢選択問題”を提案した [1]。昨年は学習管理システム Moodle の標準機能である Moodle フィードバックで作成した階層型多肢選択問題を紹介したが，その後の調査で Moodle で使用可能な H5P[1] の Branching Scenario が，実装環境としてより効果的と判断した。そのため現在は H5P Branching Scenario を用いて階層型多肢選択問題を実現している。

昨年は演習問題に言及し提案したが，今年は例題に焦点を当てる。2019 年に文部科学省が掲げたギガスクール構想によって，全国の学校現場に 1 人 1 台の学習用 PC が整備され，それに伴い，デジタル教科書内のコンテンツや動的数学ソフトウェア Geogebra のコンテンツといった動的教材[2]の数が増加したと感じる。しかし，演習問題や内容の理解促進のツールは増加した一方で，演習問題の前に教師が生徒に解かせる例示的問題である**例題**はいまだに静的な教材がほとんどだと感じる。教科書に記載されているままの問題となっており，図やグラフが動く，説明文が変化するといった動的な要素は見受けられない。そこで図やグラフに動きがあり，また学習者によって説明の仕方が変化する動的な例題も存在して良いのではないかと考え，そこで学習者によって理解を助ける仕組みや手続きが変化する動的な例題である**動的例題**の可能性について考察した。本稿では，階層型多肢選択問題として実現された動的な教材である動的例題について “階層型動的例題”という例題を新たに発案し，その可能性をサンプルを用いて提案する。

2　H5P による階層型多肢選択問題の実現

2.1　H5P とは

H5P は，インタラクティブなコンテンツを作成するための枠組みでオープンソースで開発されている。H5P を用いることで教育者は，インタラクティブなビデオ，小テスト，プレゼンテーションなどのコンテンツを作成することが可能である [2]。

[1] HTML5 Package の略
[2] 本稿では，教育者や学習者らの数学的活動に応じて内容が変化する教材と定義する。

2.2 H5P Branching Scenario とは

H5P には様々なコンテンツタイプが標準機能として搭載されている。その中の一つに“Branching Senario”が存在する。H5P Branching Scenairo は，インタラクティブなコンテンツや選択肢を学習者に掲示することができる柔軟なコンテンツタイプであり，学習者が選ぶ選択によって，表示されるコンテンツが決まる [3]。またオーサリングツールで，複数の分岐と終了を持つツリー構造として捉える事ができるのが特徴である。（図 1 がオーサリングツールの編集画面）

2.3 H5P Branching Scenario による階層型多肢選択問題の実現

前述の図 1 は実際の編集画面であり，H5P の Branching Scenario 内の “Branching Question” と “Advanced Text” の 2 種類を用いて階層構造を作成している。青色のマスが “Branching Question” であり，選択肢を表している。また黒色のマスが “Advanced Text” であり，解答終了後に学習者に与えるフィードバックを表している。これら “Branching Question” と “Advanced Text” を複数組み合わせ，階層型多肢選択問題を作成している。

図 1: H5P Branching Scenario 編集画面

3 数学における例題の役割とは

動的な例題である動的例題の提案に先立って，数学における例題の役割についてどういった役割が求めらているのか，Hasenbank(2006)[4] が提唱した数学学習モデルから考察する。Hasenbank が提唱した数学学習モデルでは，Conceptual「概念的知識」と Procedural「手続き的知識」の知識レベルが Shallow「浅い理解」と Deep「深い理解」の 2 段階に区別している。そして学習段階が Novice「初心者」から Practiced「熟達者」に移り変わっていく過程で，Conceptual「概念的知識」と Procedural「手続き的知識」の深い理解が結合され，数学の学習理解が進められるとされている。

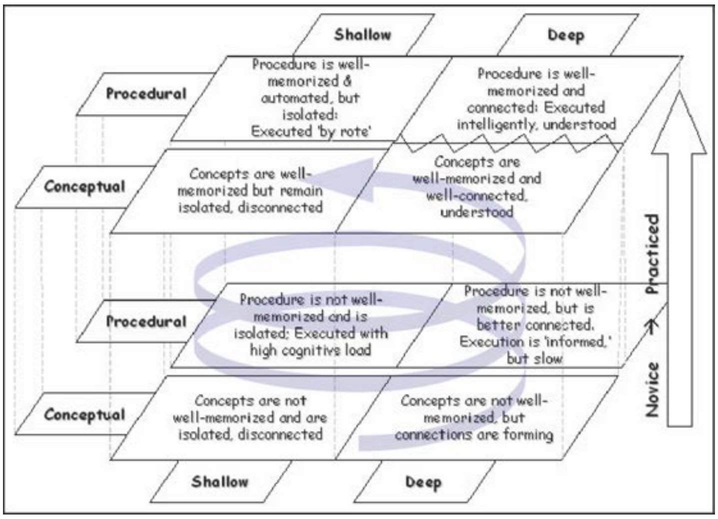

図 2: Hasenbank が提唱した数学学習モデル

図 2 において，らせん状に回る矢印が表すように，学習過程において Conceptual「概念的知識」と Procedural「手続き的知識」の双方の知識を理解し，知識の結合を行い，学習が進んでいくことが期待される。そこで，モデル図 2 のらせんの矢印を構成する要素を考慮して，例題の役割を以下の 4 つにまとめた。

数学における例題の役割

- 問題に触れる機会の提供
  例題は生徒に問題を解く機会を提供し，生徒の問題解決能力の向上を促す。
- 概念的知識の促進（Factual → Conceptual）
  例題は図やグラフ，説明を通し，理解を促す。
- 手続きの実践（Factual → Procedural）
  例題は解法の手順を具体的に提示し，手続きの実践を促す。
- 概念的知識と手続き的知識の結合（Conceptual ↔ Procedural）
  例題は具体的な問題を通し，概念的知識と手続き的知識の結びつきを促す。

4 数学における動的例題について

数学における動的な例題である動的例題の提案に入る。始めに数学における動的例題の定義を行い，続いて数学における動的例題の主な性質，メリット・デメリットを示す。

4.1 動的例題の定義

数学における動的例題の定義

教育者や学習者らの数学的活動[a]に応じて，理解を助ける仕組みや手続きが変化する例題。

[a]事象を数理的に捉え，数学の問題を見出し，問題を自立的，協働的に解決する活動

そもそも本稿では，数学における動的教材の定義として “教育者や学習者らの数学的活動に応じて内容が変化する教材” と定義している。動的例題は動的教材でもあるため，動的教材の定義を少し改変する形で定義することとした。その中で，教育者や学習者らの数学的活動に応じて，例題のどの部分が変化するのかと考えた際に，理解を助ける仕組みと手続きの内容が変化すると考え，上述のように定義した。

4.2 動的例題の主な性質

数学における動的例題の主な性質について，先ほどの例題の役割ごとに挙げる。必ずしも全てを満たす必要はなく，これらの要素を幾分か兼ね備えていれば良い。

- 問題に触れる機会の提供
  1. 学習者主体のライブ感のある問題解決。
     動的例題は，学習者が主体となって記述式のように STEP by STEP で解答を進めていくライブ感のある問題解決ができる。
  2. 個別フィードバック。
     動的例題は，解答に応じて個別にフィードバックを与えることができる。
- 概念的知識の促進（Factual → Conceptual）
  1. 図やグラフなどが動く。
     動的例題は，学習者の理解に応じて図やグラフなどを動かすことができる。
  2. 説明の仕方にバリエーションがある。
     動的例題は，学習者の理解に応じて説明の仕方にバリエーションを持つことができる。
- 手続きの実践（Factual → Procedural）
  1. 解答過程が段階的に示される。
     動的例題は，学習者の進捗に合わせて解答過程が段階的に示すことができる。
  2. 解答過程にバリエーションがある。
     動的例題は，学習者の進捗に合わせて解答過程にバリエーションを持つことができる。

- 概念的知識と手続き的知識の結合（Conceptual ↔ Procedural）
    1. 説明の仕方に連動した解答過程のバリエーションがある。
    動的例題は，学習者の理解に応じた説明の仕方に連動して解答過程にバリエーションを持つことができる。
    2. 解答過程に連動した説明の仕方のバリエーションがある。
    動的例題は，学習者の進捗に合わせた解答過程に連動して説明の仕方にバリエーションを持つことができる。

4.3 動的例題のメリット

学習者，教授者にとってのメリットが挙げられる。

	学習者にとってのメリット	教授者にとってのメリット
問題に触れる機会の提供	即時フィードバックが得られる。	説明の時間を個別指導に割ける。
概念的知識の促進	図やグラフなどを動かして確認できる。 説明の仕方のバリエーションが多い。	数学的活動を促すことができる。 複数の説明の仕方を教授することができる。
手続きの実践	進捗に応じた解答過程が表示される。 解法手順のバリエーションが多い。	状況に応じた判断力などの発露を期待できる。 複数の解法を教授することができる。

4.4 動的例題のデメリット

作問者にとってのデメリットが挙げられる。動的例題では，理解を助ける仕組みや手続きが変化するように問題を作る必要があり，時間的コストや技術的コストがかかる。

	作問者にとってのデメリット
問題に触れる機会の提供	生徒主体のライブ感のある問題解決が可能なようにシステムを構築する必要がある。 個別フィードバックが可能になるような問題構成にする必要がある。
概念的知識の促進	図やグラフなどが動くようにシステムを構築する必要がある。 説明の仕方にバリエーションがあるような問題構成にする必要がある。
手続きの実践	解答過程が段階的に示されるようにシステムを構築する必要がある。 解答過程にバリエーションがあるような問題構成にする必要がある。
概念的知識と手続き的知識の結合	説明の仕方に連動した解答過程のバリエーションがあるような問題構成にする必要がある。 解答過程に連動した説明の仕方のバリエーションがあるような問題構成にする必要がある。

5　階層型多肢選択問題による動的例題の実現

5.1　階層型動的例題の定義

階層型動的例題の定義

階層型多肢選択問題による数学における動的例題のことを**階層型動的例題**と定義する。

5.2　階層型動的例題の性質

前章で述べた動的例題の主な性質に合わせて階層型動的例題の性質をまとめる。

- 問題に触れる機会の提供

  1. 学習者主体のライブ感のある問題解決。
     階層型動的例題は，階層型多肢選択問題の特徴からライブ感が仕様上存在する。そのため，学習者が主体となって記述式のようにSTEP by STEP で解答を進めていくライブ感のある問題解決が可能である。
  2. 個別フィードバック。
     階層型動的例題は，階層型多肢選択問題の特徴から解答した選択肢に応じてフィードバックを与えることができる。そのため，個別にフィードバックを与えることが可能である。

- 概念的知識の促進（Factual → Conceptual）

  1. 図やグラフなどが動く。
     階層型動的例題は，学習者の解答した選択肢に応じて図やグラフなどを変化し得ることが可能である。
  2. 説明の仕方にバリエーションがある。
     階層型動的例題は，学習者の解答した選択肢に応じて説明の仕方にバリエーションをもつことが可能である。

- 手続きの実践（Factual → Procedural）

  1. 解答過程が段階的に示される。
     階層型動的例題は，階層型多肢選択問題の特徴から学習者の解答した選択肢が問題文の下に段階的に表示することが可能である。
  2. 解答過程にバリエーションがある。
     階層型動的例題では，学習者の解答した選択肢に応じて解答過程にバリエーションをもつことが可能である。

- 概念的知識と手続き的知識の結合（Conceptual $\leftrightarrow$ Procedural）

  1. 説明の仕方に連動した解答過程のバリエーションがある。
     階層型動的例題は，学習者の理解に応じた説明の仕方に連動して解答過程にバリエーションがある問題を，作問者次第で作成可能である。
  2. 解答過程に連動した説明の仕方のバリエーションがある。
     階層型動的例題は，学習者の進捗に合わせた解答過程に連動して説明の仕方のバリエーションがある問題を，作問者次第で作成可能である。

5.3 階層型動的例題のサンプル

学習指導要領（平成 30 年公示）[5] の高等数学 III の数列の単元で扱われる内容から階層型動的例題を作成した。実際に使用した問題は以下の通りである。

数列の極限

【問題】
$\lim_{n\to\infty}\sqrt{n^2+n}-n$ を求めよ。

【解答解説】
$\lim_{n\to\infty}\sqrt{n^2+n}-n$
$= \lim_{n\to\infty}\frac{(\sqrt{n^2+n}-n)(\sqrt{n^2+n}+n)}{\sqrt{n^2+n}+n}$
$= \lim_{n\to\infty}\frac{n}{\sqrt{n^2+n}+n}$
$= \lim_{n\to\infty}\frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{n}}+1} = \frac{1}{2}$

作成した階層型動的例題は，“Branching Quesiton” の個数が 27 個，“Advanced Text” の個数が 8 個から構成されている。階層数は 10〜12 となっており，学習者の選択によって多少少なくなる。学習者の解答画面の遷移例を図 3[3]にて示す。

図 3 において，始めに①のように例題の問題文と選択肢が表示される。選択肢の個数は 1〜3 個で構成されており，学習者は段階的に選択肢を選んでいく。②において，正しい解き方が複数個存在する場合，選択肢数を増やし，どれを選んでも解き進むことができる。また③において，解答途中で間違った選択をした場合，④に画面遷移し選択に対するフィードバックを即座に学習者に与えている。⑤のように最後の選択肢まで解答が進み，選択し終えると，⑥に画面遷移し，解答の確認画面が表示される。解答を確認し「採点に進む」ボタンを押すと，即時に採点され，点数とフィードバックが表示される仕組みである。

[3]画像１つ１つのの詳細は付録にて確認してください。

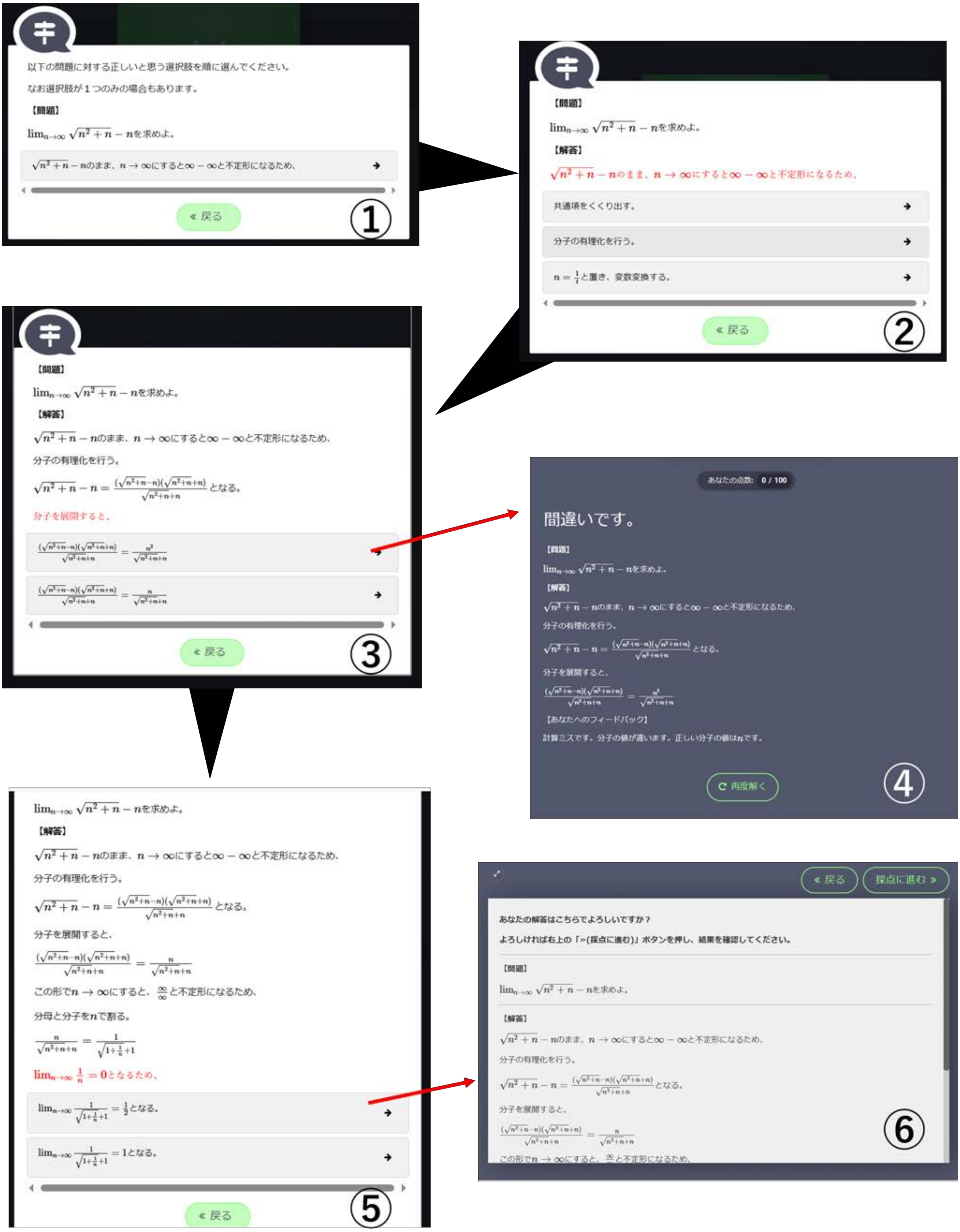

図 3: 階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図

5.4　階層型動的例題の作成方法

階層型動的例題は階層型多肢選択問題の作成方法とは少し異なり，6 つのステップから作成する。

1. 問題文作成

   学力層や問題使用タイミングを踏まえた上で，単元内容にふさわしい例題となる問題文を用意する。

2. 解答作成

   問題に対する模範例題[4]を作成する。その際，概念的知識と手続き知識の結合を促す問題とするために，概念的知識の確認のために解答方針を問う選択肢と手続き的知識の確認のために計算などの手続きの結果を問う選択肢を交互に問うことを念頭に模範例題の論理構造や文章表現を作成すると良い。

3. ツリー生成

   上で作成した模範例題から，H5P BranchingSenairo 内の BranchingQuestion を用いて階層構造を持つツリーを生成し，問題に対する選択肢を作成していく。

4. 選択肢追加

   単元内容の理解促進や解答の練習のために必要だと感じる選択肢を追加する。

   ＜選択肢例＞

   - 正しい解き方が複数パターンあるため正答選択肢として追加
   - 単元の内容で似ている語彙を誤答選択肢として追加
   - 絶対に解いて欲しくない解き方を誤答選択肢として追加
   - 学習者が陥りやすい間違った解き方を誤答選択肢として追加

5. 誤答を選択した場合の対応

   間違った選択肢を選んだ場合に「解答終了」とするか「上の階層に戻る」とするか，選択肢の内容から学習者の次の行動を決定する。

6. フィードバック設定

   学習者が選んできたツリー上の選択肢に対して, 学習者の学びに繋がる的確なフィードバックの文言を作成する。

[4]丁寧でだれが見ても理解し納得できる解答解説

6　今後の課題と展望

- 教育効果の可能性の検証

  実際に高校の先生方にアンケート調査を行い，ご意見をいただく予定である。筆者自ら作成した，階層型多肢選択問題 3 題と階層型動的例題 2 題を，それぞれ多肢選択問題，記述式テスト，教科書に載っている例題と比較していただき，新しい問題形式の教育的価値についてご回答いただく予定である。

- ガイドライン作成

  筆者が考案した階層型多肢選択問題を洗練された問題形式とするために，選択肢の作り方や階層構造の組み方などが記載されたガイドラインを作成する。より多くの方に階層型多肢選択問題を使っていただけるように，問題形式の特徴や良さをきちんと伝えられるガイドラインとしたい。

参考文献

[1] 丹家諒，長坂耕作．(2022)．階層型多肢選択問題の提案とその可能性．研究集会 数学ソフトウェアとその効果的教育利用に関する研究．京都大学数理解析研究所．2022 年 8 月．京都大学数理解析研究所講究録，No. 2236, 50–55.

[2] Moodle．(2023，November 20)．“H5P - MoodleDocs”．Moodle．https://docs.moodle.org/3x/ja/H5P.

[3] H5P．(2023，November 20)．“H5P – Create and Share Rich HTML5 Content and Applications”．H5P．https://h5p.org/branching-scenario.

[4] Hasenbank, John Fredrick．(2006)．The effects of a framework for procedural understanding on college algebra students’ procedural skill and understanding. Montana State University - Bozeman, College of Letters & Science．https://scholarworks.montana.edu/xmlui/handle/1/1441．162p.

[5] 文部科学省．(2018)．高等学校学習指導要領（平成 30 年公示）解説 数学編.

付録　階層型動的例題サンプルの拡大画像

図 3 の階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図の図①から⑥までの拡大画像を載せる。解答画面をより細かく確認したい場合の参考にしてほしい。

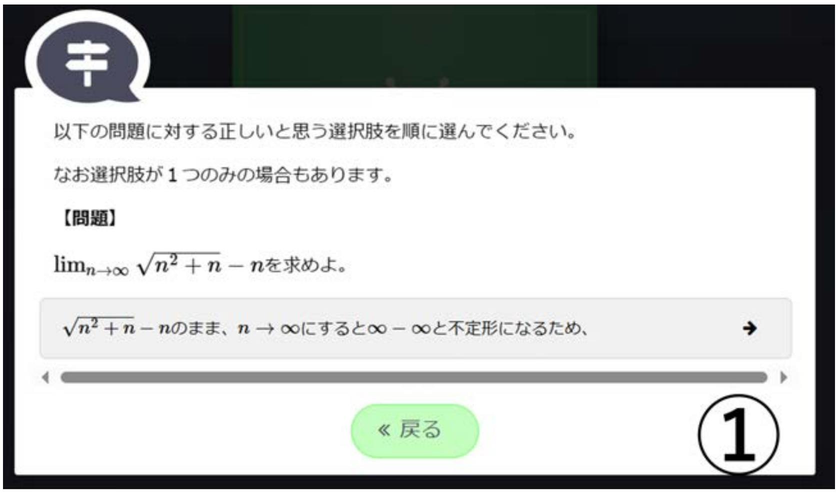

図 4: 階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図 図①

図 5: 階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図 図②

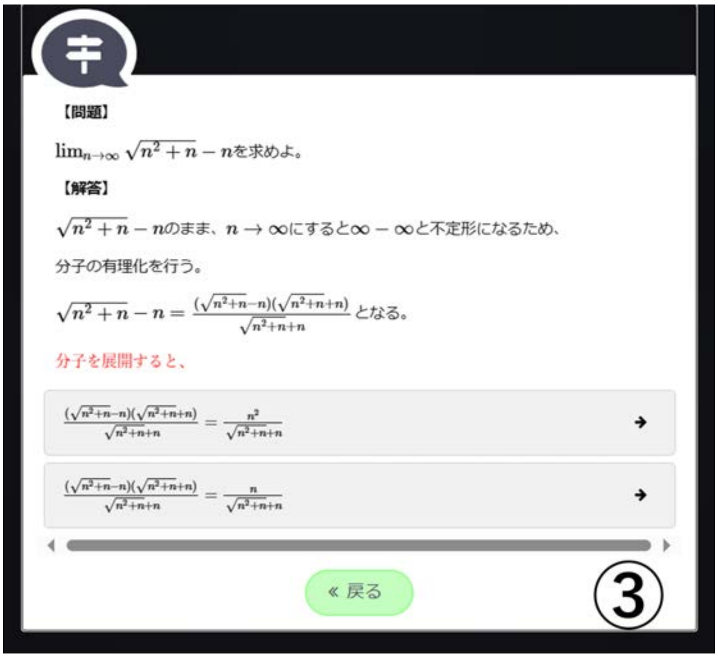

図 6: 階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図 図③

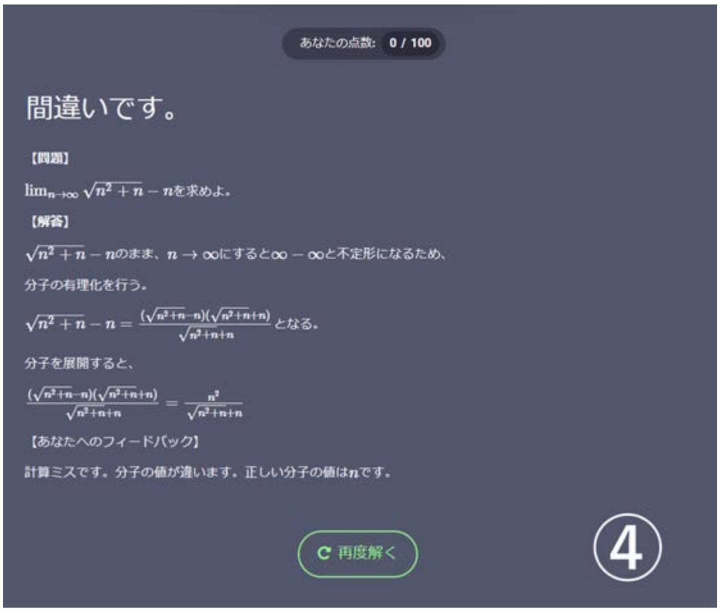

図 7: 階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図 図④

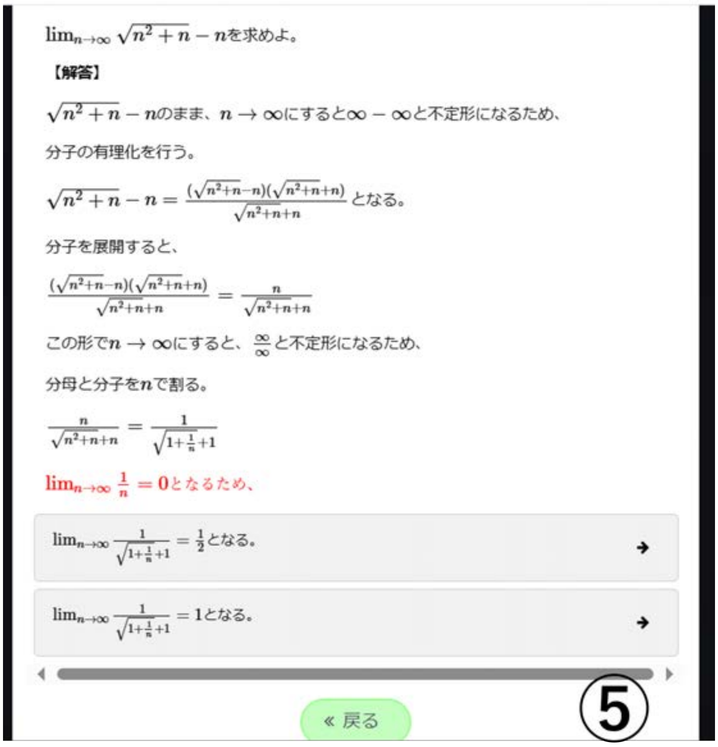

図 8: 階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図 図⑤

図 9: 階層型動的例題 数列の極限 解答画面遷移図 図⑥