

数学学習における主観的フィードバックを用いた個別最適な 問題推薦システムの提案と試作

Proposal and Prototype of a Personalized Problem Recommendation System Utilizing Subjective Feedback in Mathematics Learning

三浦 翔大^{*1}, 大輪 拓也^{*2}, 高木 正則^{*1}
Shota Miura^{*1}, Ohwa Takuya^{*2}, Masanori Takagi^{*1}

^{*1} 電気通信大学 情報理工学域

^{*1} The University of Electro-Communications
九州工業大学 工学部

^{*2} Kyushu Institute of Technology
Email: s.miura@uec.ac.jp

あらまし: 本研究では、学習者が解答したい問題へのニーズや解答意欲などを考慮した問題推薦システムを提案し、試作システムを開発した。本システムは、学習者の主観的フィードバックを大規模言語モデル (LLM) が解釈し、個々の状態に応じた問題と推薦理由を生成する。本システムにより、学習者の主観に寄り添った問題推薦を実現でき、学習効率の向上やモチベーション維持への貢献が期待できる。

キーワード: 問題推薦, 適応型支援, 生成 AI, 数学科教育

1. はじめに

近年、学習者一人ひとりの特性に応じた「個別最適な学び」の実現が教育現場で求められている⁽¹⁾。

「個別最適な学び」の実現には、個々に適合した問題の推薦が有用である。従来の推薦手法では、学習者の各問題への正誤情報に基づく学力レベルに応じた問題推薦が多数提案されている⁽²⁾⁽³⁾。しかし、学習者がどのような問題を解きたいか、どの分野に興味があるのか、またはどのスキルを向上させたいか、などの学習者のニーズや解答意欲を考慮した柔軟な問題の推薦は実現されていない。

一方、近年、大規模言語モデル (LLM) の教育分野への応用が注目されている⁽⁴⁾。LLM は、高度な言語・文脈理解能力と柔軟なテキスト生成能力を主要な特徴とする。これらの特徴を応用することにより、学習者の曖昧なフィードバックから状況を的確に推定し、それに基づいた推薦根拠や個別化された学習目標の提示が期待できる。

そこで、本研究では、学習者の解答ニーズを考慮した問題の推薦とその推薦理由の提示を目的とした問題推薦システムを提案する。具体的には、学習者の多角的な主観的反応を LLM が分析・解釈し、現在の状態に応じた最適な問題を選定するシステムを構築する。これにより、学習者の主観に寄り添った効果的な動機付けに繋がる問題推薦が期待できる。

2. 関連研究

Takami ら⁽⁵⁾は、学習者の知識状態を確立的にモデル化する BKT (Bayesian Knowledge Tracing) パラメータから問題特性に基づいて生成した推薦理由の説明付与が学習者の問題への取り組みを促進する上で効果があることを示した。また、Labaj ら⁽⁶⁾は主観的難易度に基づく協調フィルタリングで難易度を推定

した。Fazlija ら⁽⁷⁾は問題解決前の主観的困難度が成績予測に繋がりうることを示し、主観的フィードバックの有用性を示唆した。

一方、本研究は学習者に応じた多様な理由提示を目指す点や、難易度以外の多角的な主観的フィードバックを LLM が解釈し、問題推薦と個別具体的な推薦理由を生成する点に新規性がある。

3. 提案と試作

3.1 システムの概要

本研究で提案するシステム概要図を図 1 に示す。図 1 中の塗潰部が実装済みの機能である。本システムでは、まず、学習者が選択した学習分野の診断問題を提示する。学習者は提示された診断問題を確認し、4つの所感(問題文理解度, 解法計画立案度, 困難度, 意欲)と解きたい問題の要求を自由記述で入力する。その後、「推薦問題検索機能」が診断問題の特徴と学習者からのフィードバックを LLM に提供し、LLM から出力された推薦問題とその理由を学習者に提示する。

3.2 推薦方略

本研究では、問題文の理解が困難な学習者には、より平易な同種問題を推薦する。また、問題文は理解できるものの、解法計画に問題がある場合には、学習者の意欲や主観的な難易度認識に応じて、基本問題による動機付けや関連知識の確認問題を推薦する。問題文理解と解法計画が共に良好な学習者には、応用問題による発展的な学習を奨励する。これらの方略に該当しない場合は、学習傾向や未学習領域を考慮し、バランスの取れた問題を推薦する。また、

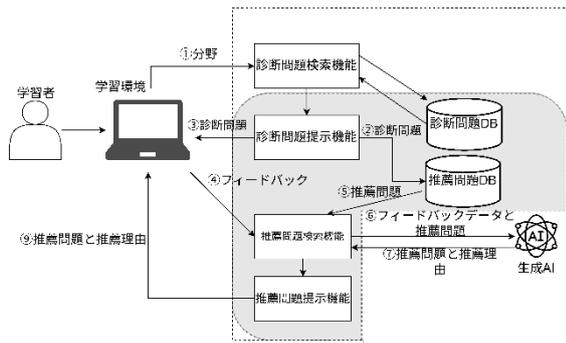


図 1: システム概要図

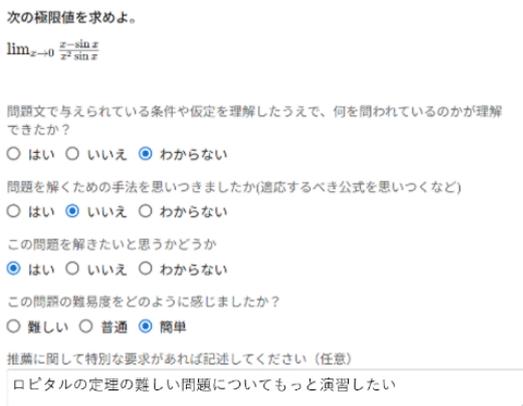


図 2: 診断問題と主観的フィードバックの画面例

自由記述に特別な要求がある際は、理解状況とその要望から複合的に推薦する。

3.3 試作

本研究では、生成 AI モデルとして「Gemini 2.5 Pro Preview 0506」を採用してシステムを試作した。また、理工系大学 1 年生が学習する数学科目の演習問題 117 問を、解答時に使用する公式や関連分野、生成 AI が推定した難易度で分類したうえで、推薦問題 DB を構築した。診断問題と学習者からのフィードバックを入力させる画面例を図 2 に示す。学習者は提示された診断問題に対し、システムから提示される 4 つの質問に回答する。診断問題とその特徴（難易度や関連分野）、学習者から回答されたフィードバックを JSON 形式、推薦候補問題(117 問)を CSV 形式で生成 AI のプロンプトに組み込み API 経由で LLM に送信する。LLM は推薦問題 DB から学習者に適切であろう問題を選定し、その推薦理由を生成

する。LLM から推薦された問題とその理由は JSON 形式で受け取り、画面に表示する。

4. 検証

仮想の大学学部 1 年次の学習者を想定し、本システムがどのような問題を推薦するのかを検証した。表 1 に診断問題の特徴と学習者からのフィードバックに基づいて LLM から推薦された問題と推薦理由を示す。表 1 より、学習者が問題に対する理解が深く、より難しい問題を要求している際には、式の変形や置き換えが必要な解答までのプロセス数の多い問題を推薦していることが確認できる。一方、学習者が問題文の理解ができておらず、意欲が低いと回答した際は、より典型的で推定難易度の低い問題を推薦していた。以上から、学習者の主観的な意図を反映した問題推薦ができる可能性が示唆できる。

5. おわりに

今後は学習者の解答ニーズをより正確に取得するための質問項目や生成 AI のプロンプトの最適化、実証実験による効果検証を行う予定である。

参考文献

- (1) 文部科学省: “「個別最適な学び」と「協働的な学び」の一体的な充実,”[Online].
- (2) Corbett, A.T., Anderson, J.R. Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge. *User Model User-Adap Inter* 4, 253–278 (1994).
- (3) Lord, F.M. (1980). *Applications of Item Response Theory To Practical Testing Problems* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203056615>
- (4) E. Kasneci, K. Seßler, S. Küchemann, M. Bannert, D. Dementieva, F. Fischer, U. Gasser, G. Groh, S. Günemann, E. Hüllermeier, S. Krusche: ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education, *Learning and Individual Differences*, Vol.103, pp.1-9, 2023
- (5) Takami, Kyosuke & Flanagan, Brendan & Dai, Yiling & Ogata, Hiroaki. (2021). Toward Educational Explainable Recommender System: Explanation Generation based on Bayesian Knowledge Tracing Parameters.
- (6) Labaj, Martin & Bielikova, Maria. (2014). Utilization of Exercise Difficulty Rating by Students for Recommendation. 13-22. 10.1007/978-3-319-13296-9_2.
- (7) Fazlija, Bledar. (2024). Feeling the difficulty of mathematics. *Proceedings of the 17th International Conference on Educational Data Mining*, 408-414. 10.5281/zenodo.12729846.

表 1: 学習者からのフィードバック情報と推薦された問題

問題番号	入力				出力							
	問題の特徴		学習者からのフィードバック		推薦された問題の特徴		推薦理由					
	問題分野	難易度(推定値)	問題の特徴	問題文理解度	解法計画度	困難度	意欲	自由記述	問題分野	難易度(推定値)	問題の特徴	推薦理由(要約)
A	ロピタルを使用する極限	標準	0/0の不定形	はい	はい	簡単	はい	ロピタルの定理の もっと難しい問題を解きたい	ロピタルを使用する極限	応用	$0 \times \infty$ の不定形	式変形や置換などのいくつかのテクニックを使った応用的な問題を推薦した
B	拡大係数行列	標準	拡大係数行列の rank の条件を使用して、文字の値を求める問題	いいえ	いいえ	難しい	いいえ	問題文からなにを求めたらいいかわからなかった	拡大係数行列	基本	拡大係数行列を用いて連立方程式を解く典型問題	連立一次方程式と簡約行列との関係の理解が大切なので、まずは典型問題を推薦した。