

生徒の思考の先回りを抑制する AI チュータリングの設計 —数学的帰納法を例としての実証実験—

Designing AI-Based Tutoring to Prompt Students' Thinking - A User Study Using Mathematical Induction as an Example

清水 琉聖^{*1}, 戴 憶菱^{*2}

Ryusei Shimizu^{*1}, Yiling Dai^{*2}

^{*1} 広島大学情報科学部

^{*1} School of Informatics and Data Science, Hiroshima University

^{*2} 広島大学大学院先進理工系科学研究科

^{*2} Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

Email: b221402@hiroshima-u.ac.jp

あらまし : AI チュータリングの活用が多くなっている中、生徒の思考を先回りして教え過ぎてしまうことによる学習効果の低下という課題がある。そこで本研究では数学的帰納法を題材とし、チューターの指導方法について「小タスク」と呼ばれる解答のステップの細分化による「先回りの抑制」を実現するプロンプトを提案する。先回り抑制のプロンプトが学習者の達成感・自己効力感をどう変化させるのか、大学生 20 名を対象とした実験における実際のチュータリングのやり取りの履歴やアンケートの結果から分析を行った。

キーワード : 生成 AI, チュータリング, 先回り, 達成感・自己効力感

1. はじめに

チュータリングとは、教師が知っていることを、それについて知らない生徒に向けて指導することを指す⁽¹⁾。指導において、教師は生徒に正解を直接与えることなく、答えに到達するために必要なヒントや、生徒自身の持つ知識を思い出させることで正解に導き、深い理解を促す役割を持つ⁽²⁾。よって、生徒自身が自分で思考・推論し、正解にたどり着けるようにすることが重要である。

また、生成 AI 技術の発展により、AI によるチュータリングが期待されている。実際に、ChatGPT などの生成 AI を利用した学習方法は生徒の学習意欲の向上に寄与するという先行研究もある⁽³⁾。

一方で、AI チュータリングでは教師役の AI が生徒に対して正解に至るためのヒントではなく、正解をそのまま教えてしまう恐れがある。これに関する先行研究では、制御を行っていない生成 AI を利用する群、教師の入力に基づき、直接的な解答ではなくヒントを提示する設計をした AI チューターを利用する群、生成 AI を利用しない群の 3 群における学習パフォーマンスの違いを評価している⁽⁴⁾。その結果、直接的な解答を提示する AI を使用した群は、学習を著しく阻害されていることが示唆された。

ここで、先行研究で使用されたプロンプトには、必要に応じて生徒が現在までに導き出した次の段階を超えるヒントを含めることも可能であるという記述がある。これは生徒の思考を先回りした指導を発生させ、その問題に対する学習者自身による思考・推論の機会を奪い、学習者自身の達成感・自己効力感の向上を阻害する可能性がある。先行研究では、自己効力感の欠如がスキルの向上にネガティブな影響を及ぼすことが示されている⁽⁵⁾。そこで、本研究

では先回り指導をなくすためのプロンプト設計を試み、学習者の自己効力感を向上させることを考える。

2. 実験概要

2.1 AI チューターの設計

先行研究のプロンプトを元に、以下の構成で AI チューターのプロンプトを構成した。

- AI の役割について
 - ・チューターとしての振る舞い
 - ・先回り抑制のための指示
- チュータリングで取り扱う問題の提示
- 問題の解き方の提示
 - ・小タスクの定義
 - ・各ステップに小タスクを提示

本研究における小タスクとは、先回り指導の抑制のため、提示した問題をステップごとにさらに細分化した簡単なタスクのことである。実際のチュータリングで、行き詰まりが発生した際にこれが提示されることを期待する。これらの設計を実現するため、大規模言語モデル Gemini 2.5 Flash を選択し、Hugging Face を用い Web 上のチュータリングシステムを実装した。

2.2 演習実験の設計

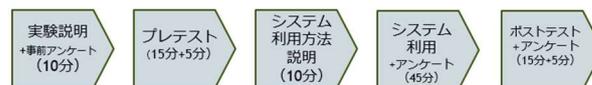


図 1 実験フロー

提案手法の有効性を検証するため、大学生 20 名を対照群・実験群に無作為に分割し、対照群は先回り指導の抑制を指示していない AI チューターを、実

験群は2.1で述べたAIチューターを用いて演習に取り組んだ。学習者の先入観を無くすため、学習者がどちらの群に振り分けられたのかは伝えていない。プレテストでは数学的帰納法の定義について学習者に対して説明を行い、二段の仮定を必要とする数学的帰納法の問題に取り組んでもらった。その後、システムの利用方法の説明を行い、プレテストとは異なる二段階仮定の帰納法の問題を三段階の難易度でそれぞれ一問ずつ用意し、演習を行った。その後、達成感に関するアンケートを実施した。そして最後にポストテストにて、プレテストと同じ問題に取り組んでもらった。

指導前後のテストスコアの変化、そして指導直後の達成感について測定するアンケート項目を用いて評価を行った。また、アンケート項目には12の達成関連感情を用いた⁶⁾。高い数値を期待する項目（肯定的な感情）を「よろこび」、「おどろき」、「くやしき」、「承認への期待」、「統制感・向上心」、「後悔」、「誇り・友人への意識」とし、低い数値を期待する項目（否定的な感情）を「不愉快・困惑」、「罰の予感」、「あきらめ」、「無能感」とした。

3. 実験結果

3.1 演習結果の分析

本実験の結果から、演習前後のスコアの変化によるチュータリング自体の効果、演習後の達成感にまつわる項目のアンケートによる学習者自身の感情の動きを分析する。t検定を用いて、実験群・対照群それぞれのプレ・ポストテストのスコア、スコアの増加量、達成感に関するアンケート結果を比較した。

結果として、ほとんどの項目で有意差は見られなかったが、肯定的な感情の変化について、実験群が高い傾向が確認できた。

変数	対照群 (n=10)		実験群 (n=10)		t	df	p	Cohen's d
	M	SD	M	SD				
プレテスト	1.1	1.79	0.6	1.26	0.72	16.19	0.481	0.32
ポストテスト	5.4	3.6	5.2	3.79	0.12	17.95	0.905	0.05
スコア増加量	4.3	3.33	4.6	3.69	-0.19	17.82	0.851	-0.09
肯定的感情	3.37	0.37	3.67	0.38	-1.79	17.98	0.091	-0.8
否定的感情	2.75	0.86	3.05	0.57	-0.92	15.73	0.372	-0.41

表 1: t-検定結果

3.2 演習過程の分析

学習者とチューターのやり取りの履歴から、プロンプトの指示が機能していたかどうか、そして指導の中で先回りが発生していたかどうかをはじめとする2群の差を分析する。ユーザー・チューターそれぞれのチャットの合計文字数・メッセージ数・メッセージ単位の平均文字数（チューターのみ）、チューターによる先回りの回数、学習者の入力ミスの回数、完了した問題数について、チャット履歴の分析を行う予定である。

ターによる先回りの回数、学習者の入力ミスの回数、完了した問題数について、チャット履歴の分析を行う予定である。

4. 考察

本研究では先回りの指導による学習者の感情の動きに着目した。肯定的な感情に差が生まれているということは、先回りの指導を抑制したチューターの方が達成感の向上につながる可能性がある。しかし、有意差はないものの否定的な感情についてのスコアも実験群の方が高い値が出ていることも確認できた。実験群のAIチューターには、先回りによる答えやヒントの提示が少ない分、学習者自身が自分で考える負荷が大きくなったことによるものであると推測できる。

5. まとめと今後の課題

本研究では先回りの指導を抑制するAIチューターの設計を行った。結果として、先回りの指導を抑制したチューターの方が達成感の向上につながる可能性があることが分かった。

今後の課題として、一つ目は、否定的な達成関連感情を抑えるようにチューターの設計を改善することである。そして二つ目は、小タスクをAI自身に作り出させるための方法・手段を考案し、数学的帰納法に限らず様々な分野に適用できる汎用性を確保することである。そして三つ目は、さらに多くの学習者を対象とした実験の実施が挙げられる。

参考文献

- (1) Wood, D., Bruner, J. S., Ross, G.: "The role of tutoring in problem solving", *J. Child Psychol. Psychiat.*, Vol. 17, pp. 89-100 (1976)
- (2) Hume, G., Michael, J., Rovick, A., Evens, M.: "Hinting as a Tactic in One-on-One Tutoring", *J. Learn. Sci.*, Vol. 5, No. 1, pp. 23-47 (1996)
- (3) Almarashdi, H. S., Jarrah, A. M., Gningue, S. M., Abu Khurma, O.: "Unveiling the potential: A systematic review of ChatGPT in transforming mathematics teaching and learning", *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, Vol. 20, No. 12, em2555 (2024)
- (4) Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakci, Ö., Mariman, R.: "Generative AI Without Guardrails Can Harm Learning: Evidence from High School Mathematics", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol.126, No.26, pp. 1-8 (2024).伊藤 崇達: "学業達成場面における自己効力感, 原因帰属, 学習方略の関係.", *教育心理学研究*, Vol.44, No.3, p. 340-349 (1996)
- (5) 岩淵 央: "達成感を味わうことのできる授業づくり." *山形大学大学院教育実践研究科年報*, No.2, p.224-227.(2011)