

自律的な学習を支援するための数学問題解説文生成手法の提案

Proposal of a Method for Generating Explanatory Texts for Math Problems to Support Self-directed Learning

水野 咲希^{*1}, 豊田 哲也^{*2}

Saki MIZUNO^{*1}, Tetsuya TOYOTA^{*2}

^{*1} 東邦大学理学研究科, ^{*2} 東邦大学理学部

^{*1}Graduate School of Science, Toho University, ^{*2}Faculty of Science, Toho University

E-mail : tetsuya.toyota@is.sci.toho-u.ac.jp

あらまし : 個別最適な学びが重要視されている一方で, 教育現場での生成 AI の導入は, 新たな学習形態を構築する可能性を秘めており, 特に自律学習の支援に役立てられると思われる. 本研究では, 生成 AI を活用した中学数学における問題解答の解説を生成する手法を提案する. ChatGPT で生成された 4 種類の解説について, 既存の問題集の解説と類似度を比較した結果, 一定の成果を確認し, 生成された解説文が教育現場で適応可能であるという評価を得た.

キーワード : 個別最適な学び, 生成 AI, 数学解説生成, 自律学習

1. はじめに

近年, 生成 AI の急速な発展により, 教育現場でもその活用が注目されている. 「個別最適な学び」の重要性が高まる中, ChatGPT(Chat Generative Pre-trained Transformer)は学習者や教員の学習支援を補完する手段として期待されている⁽¹⁾. 一方で, 生成 AI は誤った情報を生成する可能性があることから, 正確さや論理性が求められる数学教育においてはその導入に慎重な対応が求められている⁽²⁾. また, 問題生成や解答生成に関する研究も進んでいるが, いずれも生成される解説は 1 種類にとどまり, 多様な理解度を持つ学習者への対応には限界がある⁽³⁾. そこで本研究では, 生成 AI を用いて, 数学問題に対する内容の詳しさが異なる複数の解説を生成することを目指す. バリエーション豊かかつ正確な解説を生成することができれば, 学習者の多様な理解度へ対応し, 自律学習の支援に役立てられると考える.

2. 提案手法

本研究では, 対象単元の数学の問題文を既存の問題集データベースから抽出する. 抽出した問題文を生成 AI に入力し, 高精度な解答・解説を出力させるプロンプトを設計する. このとき, 学習者の理解度に対応できるように詳しさを異なる 4 種類の解説文を生成させる. 生成 AI に入力するプロンプト(指示文)の設計においては, 生成される解説文(数式・解答)の精度向上を目指し, プロンプトと出力解説文との関係性の解明を重視する.

本研究で設計するプロンプトは, 高精度出力を導くプロンプトを解明するため, 4 つのプロンプトを設計する. 全てのプロンプトに「役割」「問題文」「出力形式」の 3 つで構成する. 「役割」とは, 生成 AI がどの立場で解説文を生成するのかを明確にすることであり, 役割として「学校の教師」を入れる. 「問題文」は抽出した問題文を TeX 形式で入力する. 「出

力形式」とは, どんな情報が欲しいかを指定することであり, 本研究では 4 種類の解説を出力させるため「簡潔な解説」「標準的な解説」「詳細な解説」「極めて詳細な解説」として出力させる. また, 細かい指示をすることで, より望ましい回答が得られるため, 出力形式のそれぞれに補足説明を加える. 例えば, 簡潔な解説については, 「簡潔な解説: 途中式のみを数行で示し, 計算過程を最小限で記述. 説明文や文章は一切不要」のように指示する. また, 計算式と解説文の出力を同時に行うよう指示する.

設計するプロンプト 1 は, 1 回の入力, 1 回の出力で 4 種類の解説を出力させる. 出力順は「簡潔な解説」「標準的な解説」「詳細な解説」「極めて詳細な解説」の順番で出力するように指示する. プロンプト 2 は, 生成 AI が回答に対してどのように対話するかで引き出せる情報の質が変化することを利用し, 1 回の入力あたりの指示を短くし, プロンプトを 2 つに分割する. 1 回目の入力では, 出力形式を記憶させ, 2 回目の入力で役割と問題の指示をし, 出力させる. 出力はプロンプト 1 と同様 1 回で出力する. 4 種類の解説の出力順はプロンプト 1 と同様である. プロンプト 3 は, さらに 4 回に分けた入力を行い, 3 回に分けた出力とする. 1 回目の入力で役割と問題文を記憶させ, 2 回目の入力で「簡潔な解説」と「標準的な解説」を出力させる. 3 回目の入力で, 「標準的な解説」を指示して出力させる. 4 回目の入力で「極めて詳細な解説」を指示して出力させる. 出力形式の順番はプロンプト 1 や 2 と同様である. プロンプト 4 は, 2 回に分けた入力, 2 回に分けた出力とし, 4 種類の解説の出力順は他のプロンプトとは異なり, 「極めて詳細な解説」「詳細な解説」「標準的な解説」「簡潔な解説」の順とする. 1 回目の入力で問題文と役割, 「極めて詳細な解説」と「詳細な解説」を指示して出力させる. 2 回目の入力で「標準的な解説」と「簡潔な解説」を指示して出力させる.

3. 評価実験

使用する数学の問題は「StudyaidD.B.プリント作成ソフト中学校数学」(以下,スタディエイド)から収集する.対象は,中学校3年生の単元「平方根」「2次方程式」とする.使用する生成AIはChatGPTとする.

3.1 高精度出力を導くプロンプト出力結果と考察

プロンプト1から4までの出力精度を測るため,数式の精度に着目して点数付けを行った.各問題について,1(正しい),0(部分的に誤り,判定不能),-1(正しくない)の3段階で採点し,対象の20問分の点数を合計した.結果を表1に示す.表1より,プロンプト4が最も高精度であることが分かる.プロンプト1,2,3は結果に大きな差はなく,生成AIに指示する回数や出力させる回数はそれほど重要でないことが分かる.プロンプト4の点数が最も高いことを踏まえて,プロンプト1とプロンプト4の結果に有意差があるかどうかを検証する.対応のあるt検定を実施したところ,t統計量5.8852,p値0.0003より,有意な差があることが示された.このことから,解説を出力させる順番が重要で,特に「極めて詳細な解説」から順に出力させると精度が上昇することが示された.

3.2 解説の詳しさと問題集との類似性分析

ChatGPTを用いて生成した4種類の解説(「極めて詳細な解説」「詳細な解説」「標準的な解説」「簡潔な解説」)は,内容の詳しさが異なるように指示しているため,スタディエイドの解説と最も近い解説を特定することで,生成された解説がどのような基準に基づいて詳しさを変化させているのかを確認することができる.類似度の計算には自然言語処理モデルであるBERTを使用した.BERTでは数式の類似度を直接比較することは不可能である.しかし,生成された解説の解法は同じであり,「解説の詳しさの変化」を評価することを目的とするため,解説文全体の意味や内容の差異を比較する方法が適切と判断し,BERTを使用する.入力するプロンプトは精度が最も高かったプロンプト4とし,また,ChatGPTのバージョンは,入力数制限を考慮して有料版を使用する.スタディエイドの解説を基準解説とし,生成された4種類の解説との類似度を算出する.対象問題は,「平方根」「2次方程式」の計52問とし,各解説に対して平均と標準偏差を算出する.分析結果を表2に表す.表2より,いずれの解説も標準偏差が小さいことが確認された.これは,各解説とスタディエイドの解説との類似度において,どの問題も安定した値が出力されていることを示しており,出力結果が安定していることが読み取れる.次に類似度の平均については,生成された解説は標準的な解説を中心にして徐々に低下していることがわかる.これらより,スタディエイドの解説と最も類似しているのは標準的な解説であり,それ以外の解説がプロンプトの指示通りに変化していることが読み取れる.

表1:プロンプト1から4の採点結果

	数式は正しいか
プロンプト1	10点
プロンプト2	8点
プロンプト3	10点
プロンプト4	18点

表2:基準解説との類似度

	平均	標準偏差
極めて詳細な解説	0.8904	0.0344
詳細な解説	0.9207	0.0217
標準的な解説	0.9298	0.0316
簡潔な解説	0.9235	0.0383

3.3 アンケート調査

出力された解説文に関するアンケート調査を,大学生10名の数学教職経験者を対象に,無記名アンケート形式で実施した.対象問題は,平方根および2次方程式に関する計15問とし,生成された4種類の解説がランダムに並んだ資料を提示し,(1)解説文を詳しいと思う順に並び替え,(2)解説文にわかりにくい表現や専門用語はないか,(3)解説文に学ぶべきポイントは扱われているか,の3点について回答を求めた.結果は,ChatGPTは指示に応じた詳しきで解説を生成できており,またわかりにくい表現がなく学ぶべきポイントは扱われていると一定の評価を得られたが,一部においては表現の分かりにくさや,指導上の要点が十分に扱われていない箇所があることが明らかとなった.

4. おわりに

本研究では,生成AIを用いて学習者の理解度に応じた,数学問題の解説を生成するプロンプトを設計した.実験結果から,段階的な解説生成が解説内容の正確性向上につながり,また生成された解説は「標準的な解説」が既存の問題集と最も類似していることが示された.アンケート調査により,生成された解説が一部わかりにくい表現や,学習上必要な項目が欠如してしまう課題を確認した.今後は,より出力精度を高めつつ,実際の教育現場での実証実験を行う予定である.

参考文献

- (1) 尾関基行,山本あすか:遠隔グループディスカッションでのChatGPTの利用に関する一検討,日本教育工学会研究報告集,Vol.2023,No.1,pp.77-83(2023).
- (2) 文部科学省初等中等教育局:初等中等教育段階における生成AIの利用に関する暫定的なガイドライン,文部科学省(オンライン),
https://www.mext.go.jp/content/20230710-mxt_shuukyo02-000030823_003.pdf(2025-4-1参照).
- (3) 倉次野恵,江口奈穂,林浩一:対話型生成AIを解答者とする作問学習による生徒の知識の活用力向上の試み,情報教育シンポジウム論文集,Vol.2023,pp.215-220(2023).