

複数の演算を混合した算数文章題の作問学習のための 生成 AI と知識構造による課題の自動生成機能の提案

Proposal of Automatic Assignment Generation for Problem-Posing with Mixed Arithmetic Operations Using Generative AI and Knowledge Structures

笹木 悠聖^{*1}, 山元 翔^{*2},
Yusei SASAKI^{*1}, Sho YAMAMOTO^{*2}

^{*1}近畿大学大学院 総合理工学研究所

^{*1}Graduate School of Science and Engineering, Kindai University

^{*2}近畿大学情報学部 / 情報学研究所

^{*2}Faculty of Informatics / Cyber Informatics Research Institute, Kindai University

Email: sasaki_yusei@kindai.ac.jp

あらまし：学習者の個別最適化教育のために AI 技術を統合した Intelligent Tutoring System (ITS) が知られており、近年の AI 技術の進展に伴い、テーラーメイドな教育が実現され始めている。筆者らは、作問学習を対象に、学習者が算数文章題の構造を捉え、深い学びを促すものとして作問学習に着目し、加減と乗除を統一的に学習可能なシステムを開発している。このような学習は学習者に最適な課題を設計、適切に準備することが難しいが、本研究では実装している知識構造に基づき、LLM を活用することで、学習者に合わせた課題生成フレームワークを提案する。

キーワード：作問学習、算数文章題、テーラーメイド教育、LLM、Intelligent Tutoring System

1. はじめに

学習者の個別対応が可能なテーラーメイド教育は、AI 技術の発展とともに実現可能性をもって注目されている。このようなシステムの枠組みの一つとして ITS が広く知られており、学習対象のドメインモデルと学習者の状態をシステムが捉えることで、適切な教育的介入を生成する。

筆者らもこの枠組みに沿って、算数文章題の作問学習を対象に、1 回で計算できる加減と乗除の算数文章題の学習について個別学習支援システムを開発してきている⁽¹⁾⁽²⁾。システムは作問という複雑な課題に対する回答の自動診断を実現しており、算数文章題の構造の学習を促すことを確認している⁽²⁾。

一方で、作問は問題解決と比較して学習者の考慮すべき制約が多いため、課題設計の負担が大きい。よって問題解決で行われているように、課題の自動生成は有用な解決策になりうると言えるが、自動診断可能な作問学習のための課題の自動生成は、広く行われているとはいえない。

そこで本研究では、算数文章題における作問という高次の学習行動を対象とし、知識構造に基づいた概念レベルの制約の考慮不足を特定し、対応する課題を動的に生成するフレームワークを提案する。

2. 課題の自動生成とその困難さ

問いの自動生成 (AQG) は古くから取り組まれている研究であり、教師の課題作成の負担低減はもちろんのこと、学習者の学習状況・理解度に合わせた課題生成など、有用な側面が多い。このような AQG において、(1) 生成された質問の意味妥当性、(2) 回答可能性、(3) 難易度制御、(4) 多様性制御は

重要な課題となる。

これに対して、現在は Attention 機構を組み込んだモデルを用いて、これらを満たすような穴埋め問題の生成などが行われている。和久らは元の文章から BERT や EmbedRank++ を用いることで適切な穴埋めを実現しようとしている⁽³⁾。また、近年では LLM を用いた柔軟な問いの生成も活発に研究されている⁽⁴⁾。Maity らは LLM 内部でプロンプトを工夫し、Few-shot や CoT を行わせることで生成された問題の質や難易度を制御したり、フィインチューニングによって教育目標に沿った高品質な問題生成を実現したりしている。

一方で、BERT などを用いる場合には元となる問題を準備しておく必要がある点、学習者の回答に応じて柔軟に課題を変更するアルゴリズムなど、テーラーメイド的に課題生成を行うことは依然として難しい課題であると言える。

3. 統合的作問課題における課題の自動生成

3.1 統合型作問課題の学習支援システム⁽¹⁾

図 1 に本研究で扱う統合型作問課題の例を示す。本演習では、学習者は複数枚の単文カード (1 つの量概念で構成されるカード) を組み合わせることで、1 回の加減乗除いずれかの演算で計算できる算数文章題を作問することが求められる。なお、本稿で扱う演習では、一般的なすべてのタイプの加減乗除の算数文章題を作成すれば、演習終了となる⁽¹⁾。

システムは三文構成モデルという知識構造を保持しており、これにより文章題の成立条件を意味ベースで判定できる (例えば、オブジェクトの不一致など)。この制約を全て把握していることが対象を理

解している状態といえる。また、学習者の回答の構造と比較することで、学習者が回答時に考慮できていない制約を抽出することも可能である。



図1 統合型作問課題のインターフェース

3.2 統合型作問課題における課題生成

前節で述べた作問課題における AQG のフレームワークを提案する。フレームワークは ITS の枠組みに基づいており、三文構成モデルと、学習者の理解の状態に基づいて、適切な課題を生成する。三文構成モデルでは、一つ一つの単文は、[オブジェクト][数量][プロパティ(述語で表現)]で構成されている。この要素の関係性が、物語(例えば合わせるなど)によって異なるため、この不一致が制約違反として現れる。また、筆者らは、0-1 の範囲でこの制約をどの程度考慮して作問の課題解決ができているかを計算できる定量モデルも構築している⁽²⁾。よって、抽出される制約の考慮度を学習者の理解状態として、その理解に合わせたカード生成を行うことが、今回の課題生成のフレームワークになる。

生成手順は、学習者がまず演習を行う。1つ目の課題の解決を終えると、システムは学習者の回答に基づき、考慮度を更新する。考慮度が(仮に)0.4以下の制約があれば、その中で考慮度が最も小さい制約の誤りを起こすようなダミーのカードのみを生成する。また、考慮度が0.4より大きければ、複数の誤りを起こすダミーカードを生成する。

このカードは、先に述べた3つ組で構成されているため、数量やその組み合わせ、また、オブジェクトや述語のタイプなどは、生成したいダミーのタイプによって定義・生成可能だが、オブジェクトと適切な述語(「みかん」や「食べる」など)は、自然な文章表現をデータベースなどに保持しておかなければ、生成できない。一方、LLM は知識構造を持っているわけではないが、自然な文章の表現は可能である。よって、この生成に LLM を用いる。

カードの表現の変化は表層構造の変化であるため、学習者はこれに惑わされず、深層構造(つまり問題成立のための制約)を意識しなければ適切な回答ができない。そのため、表層構造を変更することで、十分に異なる課題の生成が実現するはずである。図1に示した課題は、実際にこのフレームワークで生成している。

このように、理解すべき制約とその誤りを意味的に抽出可能な知識構造、その制約をどの程度考慮できているかの定量モデルに基づき、LLM を活用す

れば、(1)生成された課題が意味的に正しいものであることを担保し、(2)回答可能であり、(3)制約とその考慮度の推定により難易度、すなわち学習すべき深層構造は意味的に適切に制御され、(4)表層構造は多様な表現をもつ、自動診断とフィードバック可能な作問課題の自動生成が実現できると考えた。

4. 試験的評価

試験的評価については、先に述べた AQG の(1)-(4)の条件と、LLM を用いていることから、生成速度を追加して、妥当な問題が生成できているかを検討する。モデルは日本語モデルとして著名であり、ある程度軽量な Llama-3-ELYZA-JP-8B を用いた。

簡易的に10回課題を生成した結果として、(1)については、オブジェクトと述語は自然なものを生成することができた(9/10)。しかし、2つのオブジェクト間の関係性において、もともとイモムシを足し合わせるような、組み合わせとして不自然な生成も見られた(3/10)。しかし、(2)は三文構成モデルに基づき問題ないものが生成でき、(3)についても実際に演習はしていないものの、考慮度に基づいて適切なダミーが生成されていた。(4)についても、全く同じ問題は生成されなかったことから担保できていると考える。また、1つの課題の生成速度は約15秒であったが、1回の演習時間も長いため、演習に耐えうる時間であると考えている。なお、より詳細な生成結果は当日発表で報告する。

5. まとめ

本稿では、複数の演算を混合した算数文章題の作問学習を対象とした AQG の開発に取り組んだ。筆者らは算数文章題の知識構造を構築しており、課題の生成構造を定義することは可能であったが、その表層構造に多様性を持たせることは困難であった。しかし、LLM を用いることで、表層構造である文章表現を多様に生成できるようになり、複雑な作問課題であっても、適切な AQG が実現できる可能性を見出した。今後は学習効果の検証や異なる課題設計への適用を進めていく。

参考文献

- (1) 笹木悠聖, 山元翔, 平嶋宗: “一回の演算で計算できる四則の算数文章題を 統一的に扱う算数文章題の学習支援システムの開発”, 第49回教育システム情報学会全国大会, F3-2, pp.179-180 (2024)
- (2) 山元翔, 田和辻可昌, 平嶋宗: “算数文章題における定性・定量モデルを融合した知識状態推定手法の提案”, 人工知能学会研究会資料 先進的学習科学と工学研究会, 93, pp.07-12 (2021)
- (3) 和久友親, 田村哲嗣, 川瀬真弓: “学習者の理解度に応じた自動問題生成 AI システムの開発”, 日本教育工学会論文誌, 第48巻, 第2号, pp.423-435 (2024)
- (4) Maity, S. and Deroy, A.: “The Future of Learning in the Age of Generative AI: Automated Question Generation and Assessment with Large Language Models”, Preprint on arXiv, arXiv:2410.09576, (2024)