

テンプレート方式の解答への図形フィードバックによる数学的表現の理解向上の支援システムの開発・評価

Development and Evaluation of a Support System of Understanding of Mathematics for Graphical Feedback Template-based Answers

黒川 魁^{*1}, 東本 崇仁^{*2}, 堀口 知也^{*3}, 平嶋 宗^{*4}

Kai KUROKAWA^{*1}, Takahito TOMOTO^{*2}, Tomoya HORIGUCHI^{*3}, Tsukasa HIRASHIMA^{*4}

^{*1} 東京工芸大学大学院 工学研究科

^{*1}Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University

^{*2} 東京工芸大学 工学部

^{*2}Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

^{*3} 神戸大学大学院 海事科学研究科

^{*3}Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

^{*4} 広島大学大学院 工学研究科

^{*4}Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Email: m1765003@st.t-kougei.ac.jp

あらまし：数学で学習者が自身の解答や考えについて能動的に誤りを修正できるような学習環境の構築を目指し、先行研究で、数学の記号表現を図的にフィードバックする手法について提案した。本稿では、学習者が記号と図の関係性について理解を深めるために、各解答文に対応したフィードバック機能や学習者が意図する解答を表現できるテンプレート機能を有したシステムを実装したため、その評価を行う。
キーワード：誤りからの学習、誤り可視化、学習支援システム、数学表現

1. はじめに

近年の数学学習における問題点として、学習者が考える解答を言葉や文にして表現できないことが挙げられている。その理由として、通常の授業や独学等では、学習者の考えに対して、ここが不自然、なぜ誤っているのか等フィードバックしてくれる環境がないためであると著者らは考える。数学の解答は、結果やその導出過程も含めて重要であるため、学習者の解答についてフィードバックが十分に得られない環境下では、参考書にある例題の解答順を覚えるのみの学習となってしまう。このことから、解答文の意味を全体としてのみ捉え、一文(単文)が指す意味の理解までを深めようとする学習者は多くはない。

上記から著者らは、数学学習で学習者が自身の解答や考えについて能動的に誤りを修正できるような学習環境の構築を目指し、先行研究では、数学の記号表現を図的にフィードバックする手法を提案した。本稿では、学習者が記号と図の関係性について理解を深めるために、全体の解答ではなく各単文に対応した図形フィードバックと学習者が意図する解答を表現するテンプレート機能を実装し、そのシステムについての学習効果を検証する評価実験を行った。

2. 記号表現を基にした図形フィードバック

本研究では、学習者が記述する解答(記号)や図形といった表現を他方の表現へ変換する学習支援システムの開発を目指している。著者らの先行研究では、学習者の記述した解答文をシステムが図形表現へ変換し、その内容を学習者へフィードバックする仕組

みを提案した⁽¹⁾。これにより学習者が誤った解答を記述した場合におかしな要素を持った図が生成されることがなるため、学習者が内発的に誤りに気づくことが期待される。さらに、単に図を生成し提示しただけでは、学習者は、たまたまそのような図になったのか、その図は確定的に書かれたのか知ることができない。本研究ではこの表現の変換機能に加え、生成した図を学習者の記述した文の内容に合わせ、操作できる機能を提案した。提案した2つのフィードバック機能(表現の変換、図形操作)をもとに、システムの開発を行い、上記の機能を実現した。

3. システム概要

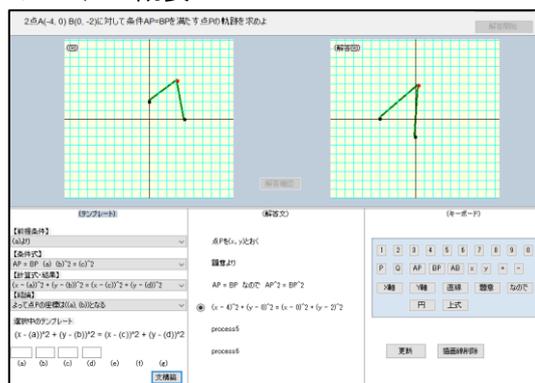


図 1 システム画面

システムには、2章で挙げたフィードバック機能の他に、学習者が意図する解答を表現するためのテンプレート機能や解答文の各単文に対応した模範解答図が用意されている(図1)。学習者の解答をシステ

ム上により正確に反映するよう、テンプレート機能は解答構築時に利用し文の内容の一部(図形の変化が伴う数値や語句)を空白にし、学習者が文を選択後、空白部分に内容を記述することができる。さらに、構築した解答文の各単文が意味する図形を学習者がより捉えやすくする目的で、解答を行う文の内容が意味する図形を提示する模範解答図がある。

4. 評価実験

4.1 目的

本システムの数学学習への妥当性・有効性を評価するため、初日のテスト(事前・事後)と4週間後に遅延事後テストを実施した。その評価内容と結果について報告する。

4.2 方法

数学IIの学習経験者の工学部大学生12名(実験群:7, 統制群:5)を被験者とした。実験の流れは、事前テスト(問1:1分, 問2:4分, 問3:5分, 問4:5分)解答後、統制群は解答フィードバックの無いシステム、実験群は本システムによる学習(30分)を行う。その後、両群に事前と同じ内容で事後テストを解答してもらう。さらに4週間後に遅延事後テストを実施し、初日と同様の内容のテストを実施し、後にアンケート(6件法, 6:高評価~1:低評価)の回答を行ってもらう。テストの内容は事前・事後・遅延事後で同様の内容であり、問1が提示された文と図の関係が一致しているかを問う矛盾評価問題、問2が提示された単文に対して図示する問題、問3が空欄補充問題、問4が記述問題である。システム上の問題については、座標算出問題を1題、軌跡問題を2題扱った。

4.3 テスト結果

表1 テスト結果の平均点

問	実験群(7名)			統制群(5名)		
	事前	事後	遅延	事前	事後	遅延
問1	2.86	3.86	3.00	2.80	2.40	2.60
問2	2.29	3.86	2.86	2.00	2.00	1.80
問3	1.00	2.71	2.29	1.40	1.80	1.80
問4	0.86	3.14	2.00	1.00	2.20	1.00
計	7.00	13.57	10.14	7.20	8.40	7.14

初日のテストから遅延事後テストまでの結果を表1に示す。表1より、初日のテスト(事前→事後)では、各問に対して、実験群で1点以上の得点向上が見られ、統制群では問4以外見られないことが確認できる。遅延事後テストを含む結果からは、実験群では事前テストよりも得点が向上しており、統制群では、実験群ほどの得点の向上が見られなかった。

表2には実験群のシステム上の活動の一部を提示している。特に解答の誤りが多かった計算式や結果は、学習者が誤った自身の解答図や模範解答図の操作から誤りを修正しようとする活動がみられた。

表2 各図の平均操作回数(問2:軌跡)

平均操作回数	学習者解答図	模範解答図
点の定義	1.78	1.89
既出情報	2.00	0.89
条件式	2.11	2.00
計算式	2.11	1.33
結果	3.89	3.11
結論	0.67	0.67

また表1の結果に対してANOVAを適用したところ、両群の個人内に有意な差が認められた($p<.01$)。その後、単純主効果から実験群の事後で有意な差が認められ($p<.01$)、多重比較から、実験群の事前→事後、事後→遅延、事前→遅延で有意な差が認められた($p<.01$)。この結果から、本システムによる数学学習が、学習者の理解に繋がることがわかった。

表3では、本システムの学習に関する実験群からの評価を提示している。学習者が解答の各文についてテンプレートを使用して構築し、各文が図的にどのような状況を生成するか意識しながら学習することができたことが表1のテスト結果や表3の学習者の評価から推測できる。このように数学で記述する文を図に置き換える能力や活動、文を細かく見ていくことの重要性について、機能の評価や本研究の手法が学習者に受け入れられていることから、システムの妥当性・有効性を実証できる結果となった。

表3 アンケート結果(実験群)

No	項目	評価
(1)	解答テンプレートを用いて自身の意図した内容を表現できたか	4.56
(2)	記号から図形に変換できる能力は数学理解において重要だと感じたか	5.22
(3)	記号から図形に変換する”活動”は数学理解において重要だと感じたか	5.06
(4)	単文毎に解答へのフィードバックが得られるのは理解に繋がったか	4.67

5. おわりに

本稿では、数学において学習者が自身の解答や考えについて能動的に誤りを修正できるような学習環境の構築を目指し、学習者の記述する文を図形に変換しフィードバックするシステムについて評価した。システムの数学学習への妥当性・有効性を図るための評価実験を実施し、事前・事後・遅延事後テストとアンケート結果から評価を行った。その結果、本稿で開発したシステムの機能の妥当性、数学理解の有効性が示唆された。

参考文献

- (1) 黒川魁, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “軌跡を題材とした数学の表現変換と能動的誤りの発見支援機能を有する学習支援システムの開発と評価”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J101-D, No. 6, pp.864-873 (2018)