

学習者の能動的な数式変形を促す 学習援用 Web アプリケーションの開発

田仲拓磨† 宮崎佳典‡

静岡大学大学院総合科学技術研究科† 静岡大学大学院情報学領域‡

1. はじめに

数学において数式を変形する技術は学習分野を問わず必要となる。しかし、数式変形の方法を習得することは学習者にとって容易ではない。特に紙媒体での学習では、与えられた数式に対しどのように変形すべきかの筋道がつかず学習が停滞する恐れがある。これに対して渡部ら[1]は、学習者の不足している知識を補うことで数式変形の学習を継続可能とするシステムの開発を行ってきた。本研究では[1]のシステム(以下、現行のシステムと呼ぶ)に対し、システム上の学習履歴を分析に活用可能な形で取得する機能を追加する。そして学習履歴を分析することによりシステムの有効性を検証する。

2. 現行のシステムの概要

現行のシステムは Web アプリケーションとして実装している。システムにおいて数式は XML アプリケーションの 1 つである MathML [2] によって記述される。システムは図 1 の数式変形画面と図 2 の変形履歴画面よりなる。

数式変形画面には変形の対象となる数式が表示される。学習者はマウスのドラッグアンドドロップにより矩形を作成し、数式中の変形したい部分を矩形選択することができる。矩形選択が完了すると選択された部分がハイライトされ、適用可能な変形候補の一覧が表示される。学習者が一覧から変形候補を選択すると、対象となっている数式に適用されて変形が行われる。学習者は矩形選択と変形候補選択を繰り返して数式変形を進める。

変形履歴画面には学習者が行った変形の履歴が数式をノードとする樹形図で表示される。樹形図で表示することで学習者や教師は変形履歴を容易に確認できる。学習者は変形履歴画面に表示されている数式をクリックすることで、その数式から変形をやり直すことが可能である。数式選択により変形をやり直した場合、直近の変形が右に配置される形でエッジが分岐する。また、マウス操作により履歴表示範囲の変更や履歴全体の拡大縮小が可能である。

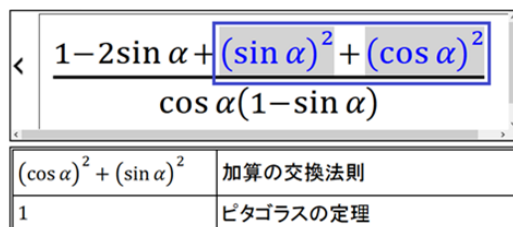


図 1: 数式変形画面

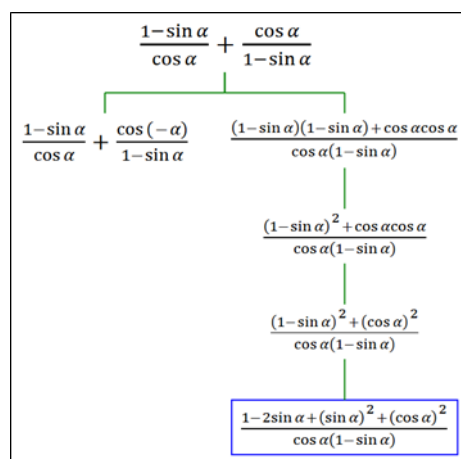


図 2: 変形履歴画面

3. 追加実装の方針

[1]では数式変形を支援するシステムの提案と開発を行ったが、ユーザ実験によるシステムの評価には至っていない。システムを利用した学習の様子を現行のシステムでは取得・再現できないことが原因であると考えられる。本研究では現行のシステムに対し、学習者がシステム上で行った学習の履歴を取得する機能を追加する。また、取得した学習履歴から学習者の動作を再現するプログラムを開発する。そして追加した機能の有効性を示すためのユーザ実験を行い、システムの評価を行う。

3.1. 学習履歴の取得・学習再現モジュールの実装

学習履歴はシステム上における学習者の動作を再現可能な形で記録する。この記録を以下、動作ログと呼ぶ。取得する動作の一覧を表 1 に記載する。取得する動作はマウス操作に関わるもののみである。動作はすべて行われた時間とともに記録し、学習者が動作にかかった時間を含めた形で再現を可能としている。取得する動作の内容およびその目的を以下に記載する。矩形選択は数式のどの部分が選択さ

Development of Web Application to Help Learners Actively Transform Mathematical Expressions

† Takuma Tanaka, Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

‡ Yoshinori Miyazaki, College of Informatics, Shizuoka University

れたかを確認することが目的である。変形候補選択は学習者が変形に使用した式を示す ID と共に取得し再現に使用する。数式選択は履歴画面からどの数式を選択し変形をやり直したかを確認するために取得する。履歴中の数式には選択した数式を特定するための ID が振られている。履歴表示範囲変更および履歴拡大・縮小は、学習者が履歴のどの部分に注目していたかを示す可能性がある。解答終了は変形にかかった時間を得ることを目的とする。また、本研究では学習者の動作を再現可能なモジュールを新たに作成した。変形の対象となった数式と取得した動作ログを入力することで、学習者がシステムで行った変形を動作ごとに再現することが可能である。

表 1: 動作ログ一覧

対象	動作の種類	取得する値
数式変形画面	矩形選択マウスダウン	マウスのXY座標
	矩形選択マウスアップ	マウスのXY座標
	変形候補選択	変形候補ID
変形履歴画面	数式選択	数式ID
	履歴表示範囲変更	履歴表示の座標
	履歴拡大・縮小	拡大倍率
	解答終了	

4. 実験

動作ログの取得機能および作成した再現モジュールに関するパイロット実験と、本システムの有効性を検証する評価実験を行った。

4.1 パイロット実験

動作ログが正しく取得され、学習者の動作が再現されていることの検証がパイロット実験の目的である。実験協力者は某国立大学の大学生・大学院生 3 名である。実験ではシステムを利用して数式変形の問題 1 問に解答してもらい、解答中の画面を録画する。また、評価実験につながる知見を得るために解答終了後問題の難易度をヒアリングした。

パイロット実験の結果、録画した動作と再現された動作が一致した。また、取得した動作ログから以下の知見を得た。

- 学習者が答えた問題の難易度と「解答時間」「変形のやり直し回数」に相関が見られた。
- 特定の数式から複数回変形をやり直す動作が見られ、履歴の木構造から学習者の迷いを判定できる可能性が示唆された。

4.2. 評価実験の目的

紙とシステムを比較し、システムの有効性を検証ことが評価実験の目的である。パイロット実験で得られた知見等から比較分析する項目を設定した。主な比較内容を以下に列挙する。

- 紙で変形が停滞した問題とシステムで解答した類題の変形の履歴
- 迷った箇所とそれ以外の箇所における矩形選

択回数、変形をやり直した回数、次の変形を進めるまでの時間

- 問題の難易度ごとの解答時間
- 紙とシステムで取得可能な情報量の差

分析には紙に記載された解答とシステムにより取得した学習履歴、変形途中で迷った箇所の情報を利用する。また、システムに関するアンケートを実施し、ユーザ評価を行う。

4.3. 課題設定

実験協力者は某国立大学の大学生・大学院生 12 名である。実験課題は数式を簡単な形に変形する問題 (A1,A2,B1,B2,C1,C2 の計 6 問) を使用した。問題のうち A1 と A2, B1 と B2, C1 と C2 はそれぞれ難易度が近い類題のペアである。実験協力者をランダムに 2 つのグループに分け、片方のグループは A1,B1,C1 を紙で解答し、A2,B2,C2 をシステム利用で解答する。もう一方のグループは紙とシステムで解く問題を入れ替える。

4.4. 実験の順序

- (1) 実験協力者には公式や定義式が記入された一覧を配布する。一覧は解答中、自由に参照でき、式にはすべて ID が振られている。
- (2) 紙で問題を 3 問解く。解答には途中式と一覧から使用した式の ID を記入するよう指示する。
- (3) 解答終了後、「問題の難易度」「変形途中で悩んだ箇所」をヒアリングする。
- (4) システムを利用して問題を 3 問解く。
- (5) 解答終了後、「問題の難易度」「変形途中で迷った箇所」「意図した変形ができなかった箇所」をヒアリングする。
- (6) 「システムが問題を解くのに役立ったか」「システムを利用して不便に感じた点」などを確認するアンケートを行う。

4.5. 実験結果

本実験の結果および結果に対する分析と評価については発表時に行う。

5. まとめ

本稿では、現行の数式変形支援システムに対して追加した学習履歴の取得・分析機能について述べた。本システムにより効果的な数式変形学習が行われることが期待される。

参考文献

- [1] 渡部 孝幸, 宮崎 佳典, 林 佳樹, 導出規則に着目した証明視覚化・式変形支援システムの提案, 京都大学数理解析研究所講究録 1865 「数学ソフトウェアと教育」, pp. 137-145, (2013).
- [2] Mathematical Markup Language (MathML), <https://www.w3.org/TR/MathML2/>