

# 一次方程式の解放を題材とした

## 「教えることにより学ぶ」学習支援システムに関する研究

梶岡 瑞貴<sup>\*1</sup>, 松原 行宏<sup>\*1</sup>, 岩根 典之<sup>\*1</sup>, 岡本 勝<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 広島市立大学大学院情報科学研究科

### Learning Support System based on "Learning by Teaching" for Linear Equations

Mizuki KAJIOKA<sup>\*1</sup>, Yukihiro MATSUBARA<sup>\*1</sup>, Noriyuki IWANE<sup>\*1</sup> and Masaru OKAMOTO<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University

本研究では、一次方程式の解法手順をユーザが対話的に「教える」システムを開発する。システムは一次方程式に対する操作を提案し、ユーザはそれに対するフィードバックを行う。システムはフィードバックを基に学習して新たな操作を提案する。システムの学習精度をシミュレーションした結果、適切な操作を必ず操作候補の中を含むことを確認した。意識調査では、システムの使用前後で一次方程式の解法に対する意識の変化を確認した。

キーワード: Learning by Teaching, ITS, 人工知能, 一次方程式

#### 1. はじめに

「教えることにより学ぶ」という学習形態は古くから提唱されている<sup>(1)</sup>。近年、この形態の学習支援システムに人工知能を実装したものが開発されてきた。そのいずれもが *teachable agent* と呼ばれる擬似的な学習者を実装し、学習者が対話的に教授できる機能を有している。

この学習形態の学習支援システムの学習効果の向上には様々なアプローチがなされている。Matsudaらは、*SimStudent* と呼ばれる擬似的な学習者を開発し、それを実装した *APLUS* と呼ばれる「教えることにより学ぶ」学習形態の学習支援システムを開発し、学習効果の調査を行った<sup>(2)</sup>。このアプローチでは、ユーザに問題の解き方を支援するより、問題の教え方を支援する方が、学習効果が高いことを示している。この他にも様々なアプローチで「教えることにより学ぶ」学習形態の学習支援システムがあり、その学習効果が期待されている。

そこで本稿では、「教えることにより学ぶ」を志向した学習支援システムでユーザがどのように学習するの

かを調査するためのシステムの開発をする。題材としては一次方程式の解法手順を用いる。シミュレーションでは、一括に大量の問題を学習した後にどの程度システムが学習できたかを確認した。また、ユーザがシステムに「教える」ことを通して一次方程式の解法に対する意識の変化について調査した。

#### 2. 提案システム

提案システムは、ユーザがシステムにインタラクティブに一次方程式の解放手順を教授するシステムである。図1にシステム構成を示す。また、システムのUI画面を図2に示す。図1より、システムは方程式部が問題情報データベース（以下、データベースを *DB* と略記）にある 36 パターンの問題からランダムに選択し、方程式表示部が図2の方程式表示部分に表示する。その表示された方程式に対応した操作をシステムが一般化知識 *DB* の情報を元にシステム操作選択部で選択し、その選択結果をチャット表示部がチャット表示画面に出力を行う。図2のチャット表示画面より、システムからの情報はチャット表示画面の左側に白い背景

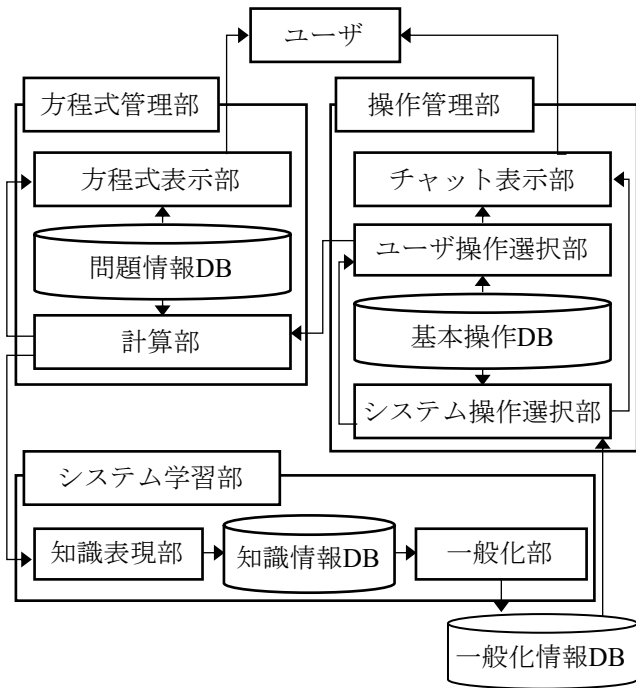


図 1 システム構成図

で表示する。本稿で使用する操作は、「左辺のカッコを計算する」や「2を右辺に移項する」など18個を基本操作DBに実装し、各操作選択部から呼び出す。実装した操作は、「左辺から右辺に移項する際に符号を変えずに移項する」などの間違えた操作で間違えた解答に到達するような操作は実装していない。ユーザーは、システムが選択した操作に対して回答を図2の操作選択部分から行う。ここで提示される操作選択部の表示例を図3に示す。ユーザーはシステムが選択した操作が正しいと判断した場合は、操作選択部で「AIの言うとおりに」という操作を選択してシステムに選択した操作が正しいことを教授する。システムが選択した操作が間違っていると判断した場合は、ユーザーが正しいと思う操作を選択してシステムに教授する。操作が決定したら計算部で計算を行い、計算結果を方程式表示部から画面に表示し、ユーザーが選択した操作をチャット表示画面に表示する。ユーザーが選択した情報は、チャット表示画面の右側に緑色の背景で表示する。また、計算前の方程式とその時に選択した操作を用いてシステム学習部でシステムが学習を行う。

システムの学習は、方程式の状態を表現する属性表現と知識の一般化で実装する。まず、システム学習部の知識表現部で現在の方程式の状態を左辺右辺それぞれ75個の属性で表現する。システムに実装した属性の一部を表1に示す。属性は、辺全体に関する属性と1

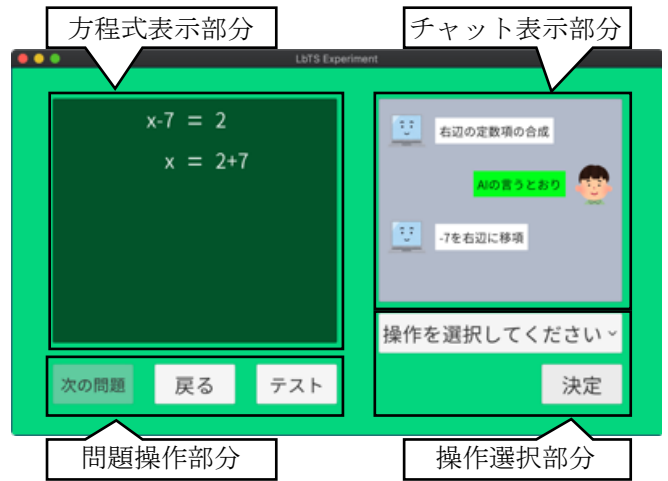


図 2 システムの UI 画面

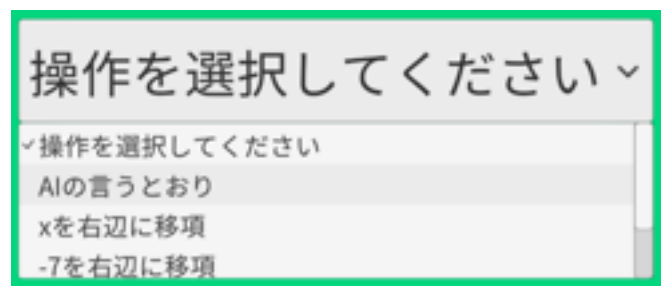


図 3 操作選択部分の表示例

表 1 属性例

	属性内容	属性値
辺全体に関する属性	項の個数	数値
	一次項の個数が1	1または0
	辺にカッコがある	1または0
1つの項に着目した属性	その項が一次項か	1または0
	項の値が正の値か	1または0
	カッコの中か	1または0

つの項に着目した属性で方程式を表現する。表1の属性値は属性内容を満たす数値がそのまま入るものと、属性内容を満たす場合は1、それ以外は0が入るものがある。このようにして方程式を属性表現したものと適応した操作のセットを知識情報として知識情報DBに保存する。知識情報DBに保存されたデータを基に一般化部が一般化を行い、そのデータを一般化知識DB

表2 学習前の操作選択例

方程式	システムの選択	ユーザの選択
$3x - 4 = 2$	3xを右辺に移項	-4を右辺に移項
$3x = 2 + 4$	3xを右辺に移項	右辺の定数項の合成
$3x = 6$	両辺に-1をかける	両辺を3で割り 終了

表3 学習後の操作選択例

方程式	システムの選択	ユーザの選択
$4x + 3 = 8$	3を右辺に移項	AIの言う通り
$4x = 8 - 3$	右辺の定数項の合成	AIの言う通り
$4x = 5$	両辺を4で割り 終了	AIの言う通り

に保存する。一般化は、ある操作に対する知識情報が複数ある場合、そのすべての条件部で共通している条件を抽出し、それをこの操作の条件部としたものを一般化知識とする方法を用いた。このようにすることで操作をどのような条件が揃えば使用するかを操作の適応条件以外にユーザの特徴を学習できるようにした。そして新たに計算後の方程式に対応した操作をシステム操作選択部が選択し、チャット表示画面に表示する。このようにして方程式をシステムに解かせていく。解答が終了した時は問題操作部分で次の問題に移行する。そして複数の問題をシステムに解かせて解法手順を教授していく。表2, 3に実際に提案システム使用時に、表示されている方程式に対して操作の選択例を示す。表2は、システムが解法手順を学習する前の様子を示す。表3は、ランダムに選ばれた40問を学習した後の様子を示す。表2では、ユーザはシステムの選択した操作が間違っていると判断し、異なる操作を選択し教授している。表3では、ユーザはシステムの選択が正しいと判断しシステムの選択が正しいことを教授している。このようにしてシステムの選択が、ユーザが教授したものと同じものになるまで教授していく。

### 3. シミュレーション

提案システムが、一次方程式の解法操作を知識表現

表4 シミュレーション結果

	(1)	(2)
パターン1	1.00	1.10
パターン2	1.00	1.11
パターン3	1.00	1.01
パターン4	1.00	1.00

と一般化を用いて学習できるかをシミュレーションにより確認した。シミュレーションは、同じ問題を用いて教授する時に、適応する操作の順番に差をつけて行った。操作の差は変数項と定数項（項の合成が変数項と定数項同時にできる場合にどちらを優先して使用するのか）の差と、項の移項と合成（変数項が合成可能な時にまだ他の辺に変数項がある場合に先に合成するのかと、移項してまとめて合成するのか）の差である。

それぞれの差を以下のパターン

- ・パターン1：変数項，合成優先
- ・パターン2：変数項，移項優先
- ・パターン3：定数項，合成優先
- ・パターン4：定数項，移項優先

で教授した時、システムが問題に操作を適応させるたびに、(1) 必要な操作をシステムが選択できるか、(2) 不必要な操作も選択していないかについて調べた。(1) は方程式に操作を適応する度に必要な操作を選択している確率、(2) は操作を適応する度にシステムが選択した操作数の平均を調べ、結果を表4に示す。表4の(1)より、すべてのパターンで値が1となっていることから必要な操作を選択していることがわかる。また(2)より全てのパターンで値が1に近いことから、適応する操作に差をつけてもシステムからの提案をある程度1つに絞れていることがわかる。以上よりシステムが教授された内容を学習した結果、必要な操作を教授された内容まで学習して、選択する様子を確認することができた。

### 4. 意識調査実験

本実験は、ユーザが提案システムを用いて学習を進めることで「教える」という行為から方程式解法に対する意識の変化を検証した。被験者は理系大学生、大学院生15名とし、提案システムを用いて学習を行い方

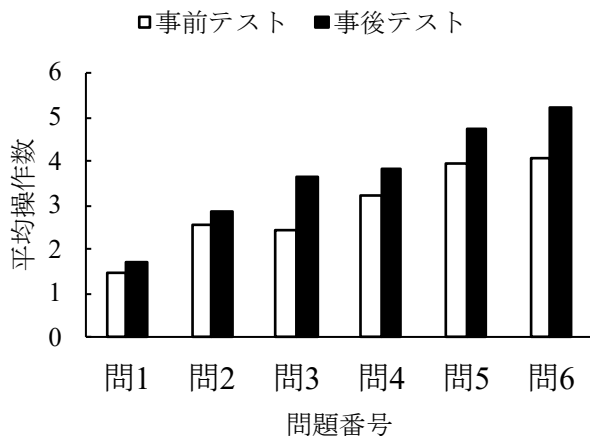


図4 平均操作数

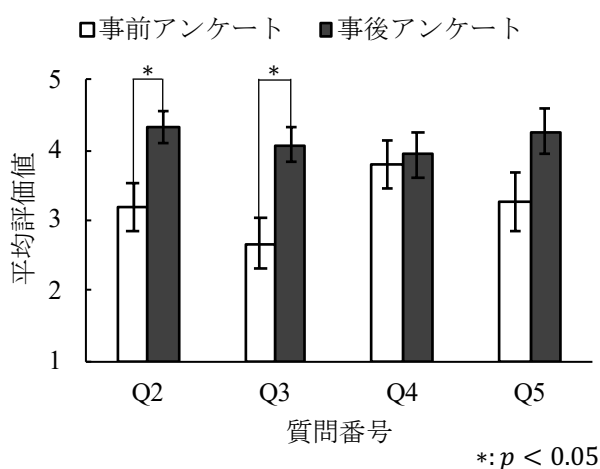


図5 Q2からQ5のアンケート結果

程式に対する知識の状況やシステムを使用した感想について回答させた。実験は事前テスト、事前アンケート、提案システムを用いた学習、事後テスト、事後アンケートの流れで行った。被験者に、事前、事後テストとしてシステムで作成する36パターンの問題から6問選択して「なるべく詳細に」と条件を付けた状態で回答させた。条件は、被験者に方程式の解法手順を細かく示させて、システムを使用する前後で無意識のうちに省略している操作を確認するために追加した。そして方程式を解答する際に考えていることなどを確認するためのアンケートを行った。その後、提案システムを用いてシステムに方程式の解法手順を教授させる。事前テストと同じパターンで数値が異なる問題を6問解答させた。そして、事前アンケートと同様の内容の質問とシステムを使った感想などに関する内容を追加した事後アンケートに回答させた。

事前、事後テストでの操作適応回数の平均を図4に

示す。図4から全ての問題において操作適応回数が増加したことが確認できる。よって操作数が増加したことから、被験者が無意識に省略している操作をシステムに「教える」ことを通して省略させない様にする事ができること考えられる。また図5にアンケート結果の一部を示す。ここで示すのは、方程式を解く際の意識について5段階(すごく当てはまる:5,当てはまらない:1)で回答させものを示す。図5からQ2(変数項の数をどの程度気にしながら解きますか)とQ3(定数項の数をどの程度気にしながら解きますか)では有意水準5%で差が確認できた。すなわち、提案システムを用いて「教える」ことを行うと変数項と定数項の数に対する意識を変えることができたと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、ユーザがシステムにインタラクティブに一次方程式の解放手順を教授するシステムの開発を行った。システムの学習は方程式を150個の属性で表現する知識表現とその知識を一般化することで実装した。また、システムの学習精度を確認するためのシミュレーションを行った。シミュレーションは、方程式の解法を教授する順番に差をつけて行った。結果より、システムが必要な操作を教授された手順の差まで選択するように学習することを確認した。さらに、システムを用いることで方程式に対する意識に変化あるのかを確認するための意識調査実験を行った。テストの結果、無意識に省略している操作を省略させないようにすることがわかった。また、アンケートの結果から提案システムを用いることで方程式解法に対する意識に変化を見ることができた。提案システムでは、方程式の解法に対する方針などの意識を変化させることが今後の課題として挙げられる。

## 参考文献

- (1) S. Brophy, et al., : Teachable Agents: Combining Insights from Learning Theory and Computer Science, Proceedings of the International Conference on Artificial intelligence in education, pp. 21-28, (1999)
- (2) N. Matsuda, E. Yarzebinski, V. Keiser, et al., : Cognitive Anatomy of Tutor Learning: Lessons Learned With SimStudent, Journal of Educational Psychology, Vol. 105, No. 4, pp. 1152-1163, (2013)