

学習者と誤りをおかすソフトウェアエージェントの協調による 数学学習システム

Cooperative Math Learning Support System with an Erroneous Software Agent for a Human Learner

佐野 真理*¹
Mari Sano

山田 隆志*¹
Takashi Yamada

吉川 厚*¹
Atsushi Yoshikawa

松田 昇*²
Noboru Matsuda

寺野 隆雄*¹
Takao Terano

*¹ 東京工業大学 総合理工学研究科

*² School of Computer Science, Carnegie Mellon University

This research is concerning the effects of cooperative strategies called learning by teaching. To explore such strategies, in this paper, we focus on the importance of erroneous knowledge. We present the implementation of both correct and erroneous knowledge for SimStudent environment, which is now under development at Carnegie Mellon University. We concentrate on the problem solving processes of high school students in algebraic operations. Based on the observation data, we have implemented both correct and erroneous software agents to be used in the further investigations.

1. はじめに

「教えることで学ぶ」学習が効果的であることは、多くの先行研究により実証されている[Ohlsson 1996], [Siegler 2002]. 本研究では、特に、「他者の誤りから学ぶ」ことの効果に着目するところが、人間の学習者同士で学習を行う場合、心理的状況などのさまざまな要因が混在するために、その効果の原因を特定することが困難である。そこで本研究では人間の学習者を教え手、コンピュータエージェントを教わり手とする。そのために帰納論理に基づく学習技術を実装したコンピュータエージェント(SimStudent) [Matsuda 2009]を利用して、その学習効果を評価する。

本研究の独創性は、コンピュータエージェントに不完全な問題知識を与え、不完全な教師から学習者がどのように学ぶことができるかを調べることにある[Matsuda 2009]. 本報告では、平方完成問題を対象に学習者のタスク分析を行い、そのための背景知識を抽出し、それをどの程度、不完全にしたらよいかを検討した結果について述べる。

2. SimStudent 学習環境

SimStudent は、与えられた例題から受動的に一般化を行う学習戦略と、教師付きで問題解決を行う対話的な学習戦略を用いることができる[Matsuda 2010].

人間の学習者は、エージェントに問題を与えて解かせ、エージェントが求めればヒントを与え、またフィードバックを与えることによって、エージェントに教えながら自らも学習をする。

SimStudent は、例題から得られる知識を以下のように蓄積する。正例については、①学習者があるステップに対してどの技術を適用するかヒントを与えたとき ②SimStudent が正しく技術を適用することができたとき。また、負例については、③SimStudent が知識を間違って適用し、学習者から否定的な応答を得たとき ④SimStudent が認識したものは異なる知識の適用を、学習者がヒントとして与えたとき。

蓄積した知識は、その技術を適用するために、「いつ」「何を」「どのように」適用するのか、という項目に整理され、プロダクシ

ンルールとして保存される。

また、SimStudent にはビジュアル的かつ対話的なインタフェースが実装されている。

3. 平方完成の学習システム

本研究では SimStudent 上で二次関数の平方完成問題を扱う。以下の作業により、平方完成のインターフェースを実現した。

SimStudent はこれまで、一次方程式の分野を対象としていたため、この問題を解く知識は既に実装されている。これを参考に平方完成の領域に適用するのに必要な知識を収集し、実装する。

そこで、まず、問題を声に出しながら解くことで、平方完成を行うタスクを分析した。これにより、平方完成を行う上で行われる認知作業を洗い出し、7つのステップに分類した。図1にその結果をまとめる。

問題 $Ax^2 + Bx + C = \dots$ が与えられたとき

タスク	作業内容
Task1	x^2 の係数でくくる
Task2	x の係数をTask1で求めたもので割る
Task3	定数はそのまま足す
Task4	Task2で求めたものを2で割る
Task5	Task4で求めたものを二乗しTask1で求めたものをかけたものを引く
Task6	定数はそのまま足す
Task7	Task5で求めたものとTask6で求めたものを計算する

計 7個

図 1: 平方完成問題のタスク分解

図 1 のタスクを処理するための背景知識は、表 1 にまとめられる。表 1 の結果をもとに平方完成の利用者インターフェースを実現した。図2に、平方完成の学習システムの学習画面を示す。

表1: 平方完成のための背景知識

ステップ	背景知識
Task1, Task3, Task6	数字を取り出す
Task2	求めた数字同士を選択して割り算を行う
Task4	選択した数字を2で割る
Task5	選択した数字を二乗する

図2では学習者は、左辺の空欄に数字を入れて SimStudent に問題を与える。学習エージェントは、問題解決のプロセスで、蓄積した知識の適用を試みるが、それが不可能な場合は、学習者に問題を解く上でのヒントを求め、この繰り返しにより、徐々に学習エージェントの知識ベースが変化していき、平方完成問題のさまざまなバリエーションに対応できるようになる。

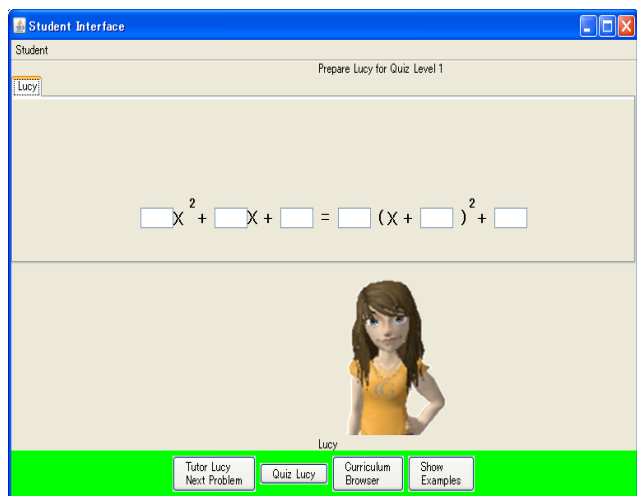


図2: 平方完成問題むけの SimStudent の利用者インターフェース

4. 誤りの原因となる知識の設計

SimStudent に人間の学習者の犯す誤りを再現させるため、人手の教授における学習者の学習過程を観察し、主要な誤りを抽出した。

4.1 学生の誤り

平方完成の分野を学習済みの現役高校生12人に、平方完成の問題を解かせ、その結果を分析した。ステップごとに誤りとその原因を分類した。そして誤りが起きる条件、誤りが起きるステップ、誤りを起こさせる原因となり得る例題、その誤りを起こすのに必要な背景知識を分析した。表2 にステップごとに分類した誤りを、表3には、最も多かった Task 5 における誤りを原因別にまとめたものを示す。

表2: 平方完成における学生の誤答

Task1 における誤り	1個
Task2 における誤り	5個
Task3 における誤り	1個
Task4 における誤り	5個
Task5 における誤り	24個
Task6 における誤り	5個
Task7 における誤り	2個
その他の誤り	2個
合計	45個

表3: Task5における誤りのまとめ

問題 $Ax^2+Bx+C=...$ が与えられたとき

問題の条件	学生の誤り	正解	誤りのタイプ	個数
なし	B/A	-A(B/2A) ²	Task2 をそのまま引く	2
なし	0	-A(B/2A) ²	Task5 忘れ	4
B<0	+A(B/2A) ²	-A(B/2A) ²	符号を正にする	4
なし	-(B/2A) ²	-A(B/2A) ²	A のかけ忘れ	7
なし	2A(B/2A)	-A(B/2A) ²	2乗の代わりに2倍	7

4.2 SimStudent に誤りを起こさせる背景知識の例

特に着目した誤りを SimStudent に起こさせるため、SimStudent に誤りの原因となる背景知識は次のとおりである。

今回着目した誤りは、Task5 において、2乗する代わりに2倍するものである。これは、Task5 において、Task4 で求めたものを2乗し、 x^2 の係数をかけたものを引く代わりに、Task4 で求めたものを2倍し、 x^2 の係数をかけたものである。SimStudent がこのような誤りを起こすには、以下のような問題を与える。

$$3x^2+12x+3=3(x+2)^2-9$$

この問題では、Task4 の結果が2となり、その2倍も2乗も同じ4となる。ここで正しい背景知識を持つ SimStudent は、Task5 において、2を2乗するという知識を適用するが、誤りを起こす背景知識を持つ SimStudent は、2を2倍するという誤解をする。そのため、SimStudent に上記のような誤りを起こさせるには、「2倍する」という背景知識を設計した上で、Task4 の結果が2になるような問題を与える。

5. おわりに

本報告では、「教えることで学ぶ」学習方法の効果の解明にむけて、誤りから学ぶ SimStudent の学習環境について、平方完成の学習分野を対象に研究の現状について述べた。これにより、正しい背景知識を持つ SimStudent と、誤りを起こす背景知識を持つ SimStudent の2種類の設計ができた。今後は、この2種類を使って学生に学習をしてもらい、どちらを相手に学習を行う方が学習効果を上げることができるかどうかを分析する予定である。

6. 参考文献

- [Ohlsson 1996] Stellan Ohlsson, "Learning From Performance Errors", Psychological Review Vol.103, No.2 (1996), pp.241-262
- [Siegler 2002] Robert S. Siegler, "Microgenetic studies of self-explanation", N. Granott & J. Parziale (Eds.), Microdevelopment: Transition processes in development and learning, pp. 31-58
- [Matsuda 2009] Noboru Matsuda, Andrew Lee, William W. Cohen, Kenneth R. Koedinger, "A Computational Model of How Learner Errors Arise from Weak Prior Knowledge", Proc. of the Actual Conference of the Cognitive Science Society(2009)
- [Matsuda 2010] Matsuda, N., Keiser, V., Raizada, R., Tu, A., Stylianides, G., Cohen, W. W., et al. (2010 submitted). Learning by Teaching SimStudent: Technical Accomplishments and an Initial Use with Students Intelligent Tutoring Systems.