

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：32643

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12426

研究課題名(和文) 概念モデルを具体化するプロセスを対象とした「作ることによる学習」の支援手法の考案

研究課題名(英文) Proposal of a method for learning by construction, which supports processes to instantiate abstract models

研究代表者

小島 一晃 (KOJIMA, Kazuaki)

帝京大学・理工学部・助教

研究者番号：30437082

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：モデルを作ることによる対象の理解は学習活動としても有望であるが、学習者に高度なスキルを要求するため高負荷で困難という問題がある。本研究では認知科学の領域において、モデル構築を経験する学習の枠組みを設計した。ここでは、人間の思考過程を抽象的に記述したモデルと、それを実装した計算機モデルが事前に教授者によって用意される。学習者には抽象モデルと、実装モデルを実行して得られる思考過程が与えられ、実装モデルを具体化する。この活動は、抽象モデルに埋め込まれた思考への理解を深めることが期待される。この枠組みによる学習の効果を実験的に検討した結果、モデルの背後にある思考の理解を改善する可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：Understanding of targets by construction of models is promising as a learning activity. However, it can be a difficult activity which imposes heavy load on learners because it requires eminent skills. This study designed a basic framework for learning by experiencing construction of models in the domain of cognitive science. In this framework, a model abstractly describing human thinking processes and its computer model implemented is prepared by an instructor in advance. A learner is given the abstract model and thinking processes produced by executing the implementation model, and then engaged in instantiating the abstract model into an implementation model. This activity is expected to deepen learner understanding of thinking embedded in the abstract model. We empirically studied the effect of learning in the framework. The results indicated the possibility that this framework can improve learner understanding of thinking behind the model.

研究分野：教育工学

キーワード：作ることによる学習 認知モデル 例からの学習

### 1. 研究開始当初の背景

科学における対象理解の方法には、観察を通じた分析的方法の他に、対象をシステムとして作って動かすという構成的方法がある[1]. 「作ること」は対象を理解するための有効な活動であり、学習者自身に何かしらの生成活動を行わせる「作ることによる学習」は、広範な領域で様々な方法が提案されている。しかし、作ことは何らかの高度なスキルを要求するため、初学者には負荷が高く困難であるという問題がある。この問題の克服には大きな意義があるため、多くの研究において、作ることによる学習を対象とした支援の試みがなされている。このような研究は、対象の性質や仕組みなどを抽象的なレベルで記述する「設計」を学習者の課題とし、それを実際に作成する「具体化」は計算機システムに代行させることで学習者の負荷を軽減している。ここでは前者の設計記述を「概念モデル」、後者の作成物を「実装モデル」と呼ぶことにする。

図1に、作ることによる対象理解のプロセスの概念図を示す。先行研究では、学習者には抽象的な概念モデルの設計を課題として与え、その具体化と評価は計算機システムに代行させ、学習者にフィードバックを与えることが多い(たとえば[2,3])。これは、概念モデル自体が対象理解であり、それが正しく構築されることが正しい理解であるという考えに基づいている。しかし、作ることによる対象理解の特徴と意義は、概念モデルの設計のみに留めず実装モデルへと具体化するプロセスによってもたらされると考えられるが[4,5]、一般に具体化には専門的なスキルが要求されるため、初学者には困難である。したがって、作ることによる学習において具体化のステップを学習者の課題とし、その支援手法を確立する取り組みには、作ることによる対象理解の本質を学習者に体験させ、学習効果を拡張することが期待される。

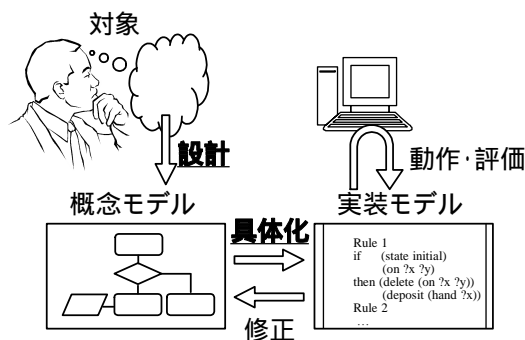


図1 作ることによる対象理解のプロセスの概念図

### 2. 研究の目的

本研究では、構成的方法によって発展した分野のひとつである認知科学において、計算機

モデルの構築による人間の思考の理解を対象として、作ることによる学習の支援手法の考案を行う。人間の思考の仕組みを記述した概念モデルを学習者に与え、それを計算機上で動作させることが可能な実装モデルとして具体化させる課題を設計し、その支援手法を検討する。

### 3. 研究の方法

学習者に計算機モデルを構築させることで人間の高次思考過程を理解させることを目的として、学習者に概念モデルを与え、それを実装モデルに具体化させる課題を設計した。この課題を実行可能な学習支援システムを試作し、実験的な評価を通じて、初学者でも実行可能で、かつ、モデルの具体化による学習効果が得られる課題設定や支援手法を検討した。学習者が実装モデルを構築する環境には、プロダクションシステムを採用する。プロダクションシステムは、人間の認知の計算機モデルを実装する際に使用される代表的なアーキテクチャのひとつであり、いくつかのアーキテクチャが開発され、認知科学における研究ツールとして実際に使用されている(たとえば[6,7])。

図2に、本研究で設計した課題の基本フレームワークを示す。学習者にはまず、概念モデルが示される。同時に、これを具体化した実装モデルを実行した過程が与えられる。学習者はこの実行過程を参照しながら、概念モデルを実装モデルへと具体化する。これは、例を学習者自身が「作る」活動を体験することで、例に対する理解が深まるという知見に基づいている[8]。この課題を通じて概念モデルの具体化を経験することで、概念モデルの背後にある現象の理解が深まることが期待される。

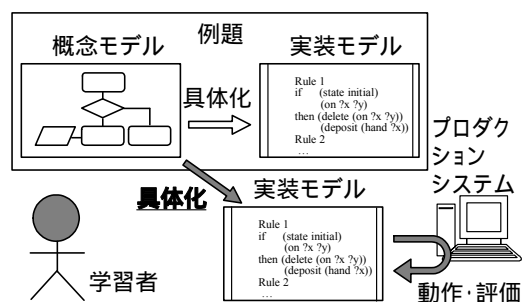


図2 概念モデルを具体化する課題の基本フレームワーク

### 4. 研究成果

図2に示す基本フレームワークに則り、概念モデルを実装モデルへと具体化する活動を支援する学習支援システムを試作した。本システムは、初学者のモデル構築学習用に設計されたプロダクションシステムであるDoCoPro[9]を使用し、モデルの実装と評価を

支援する．図 3 に，このシステムの実行画面の一部を示す．本システムは学習者に与えられる前に，教授者によって概念モデルと実装モデルが準備されることが前提となる．システムはこの実装モデルを実行し，実行過程の情報を抽出する．図 3 の左側には，この実行過程の情報が示されている．学習者はこの情報を参照しながら，図の右側のエディタ上でプロダクションルールを実装することで，比較的低い負荷で概念モデルの具体化を経験することが可能となる．

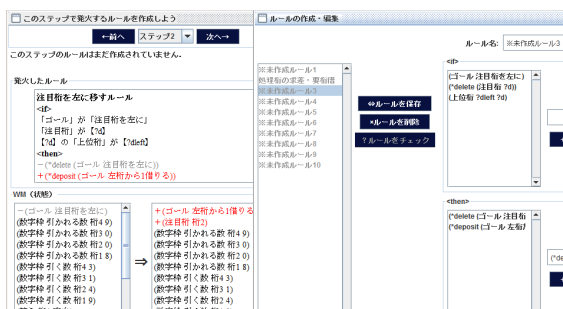


図 3 支援システムの実行画面の一部

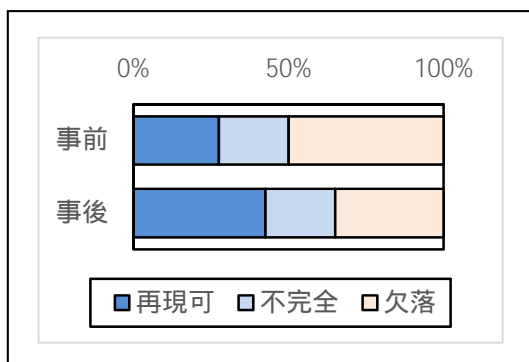


図 4 手続き説明課題における回答記述の各カテゴリの割合

そして，本システムを使用してモデルの具体化を経験することの効果，実験的に検証した．本実験の参加者は，プログラミングに特に熟達していない一般大学生 8 名であった．参加者には，繰り下がりを含む引き算の筆算の概念モデルが提示され，本システムを用いてこれを実装モデルへと具体化する学習課題が与えられた．また，学習課題の前後に，引き算の筆算の手続きを説明する課題に回答した．

参加者に与えられた概念モデルは，引き算の筆算を実行する手続きに相当する 10 のルールで構成されていた．そこで，参加者の回答から各ルールに相当する記述を取り出し，ルールの手続きを再現可能な手続き（再現可）か，ルールに相当するが完全には手続きを再現できない手続き（不完全）かを判断するか，相当する手続きがなければ欠落としてカテ

ゴリに分類することで，引き算の手続きがどの程度再現されていたかを分析した．

この実験において，参加者は全員が実装モデルの具体化に成功した．また，手続き説明課題の回答記述における各カテゴリの割合は図 4 に示すとおりであった．事前では筆算の 10 のルールのうち完全に再現されていたのは 3 個弱であり，5 個のルールが欠落していた．欠落していたルールの多くは，繰り下がりの処理に関するものであった．事後では再現されたルールの数が 4 個強に増え，欠落が 4 個に減っていた．全体的に繰り下がりの処理についての記述が拡張されていた．この結果から，本システムを用いて概念モデルの具体化を経験することが，学習者の対象に対する理解を深められる可能性が示唆された．

#### < 引用文献 >

- [1] 橋本敬 (2002). 構成論的手法. ナレッジサイエンス, 紀伊国屋書店.
- [2] Biswas, G., Leelawong, K., Schwartz, D., & Vye, N. (2005). Learning by Teaching: A New Agent Paradigm for Educational Software. Applied Artificial Intelligence, 19, 363-392.
- [3] Hirashima, H., Imai, I., Horiguchi, T., Toumoto, T. (2014). Error-based simulation to promote awareness of errors in elementary mechanics and its evaluation. Proceedings of 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education, 409-416.
- [4] 中島秀之 (2008). 構成的研究の方法論と学問体系. Synthesiology, 1, 305-313.
- [5] 三輪和久 (2009). 仮説演繹器・認知シミュレータ・データ分析器としての認知モデル. 人工知能学会誌, 24, 229-236.
- [6] Anderson, J. R., & Lebiere, C. (1998). The Atomic Components of Thought. Lawrence Erlbaum.
- [7] Newell, A. (1994). Unified Theories of Cognition. Harvard University Press.
- [8] Kojima K., Miwa, K., & Matsui, T. (2013). Supporting Mathematical Problem Posing with a System for Learning Generation Processes through Examples. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 22, 161-190.
- [9] 中池竜一, 三輪和久, 森田純哉, 寺井仁 (2011). 認知科学の入門的授業に供する Web-based プロダクションシステムの開発. 人工知能学会論文誌, 26, 536-546.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

小島一晃、三輪和久、中池竜一、神崎奈奈、寺井仁、森田純哉、齋藤ひとみ、松室美紀認知モデル構築を経験することによる学習の予備的検討、第79回人工知能学会先進的学習科学と工学研究会、2017年3月8-9日、花びしホテル(北海道函館市)

Kazuaki Kojima, Kazuhisa Miwa, Ryuichi Nakaïke, Nana Kanzaki, Hitoshi Terai, Junya Morita, Hitomi Saito, Miki Matsumuro, Basic Framework for Learning by Constructing Cognitive Models Based on Problem-Solving Processes, Workshop W8 of 24th International Conference on Computers in Education, November 28-December 2, 2016, Mumbai (India)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小島 一晃 (KOJIMA, Kazuaki)  
帝京大学・理工学部・助教  
研究者番号：30437082

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

( )