

# 認知科学の入門的授業におけるモデル作成による認知処理の内省を促す授業実践

## Class Practice of Cognitive Science through Building a Computational Model for Constructing a Mental Model about Cognitive Processing

神崎 奈奈<sup>†</sup>, 三輪 和久<sup>†</sup>, 寺井 仁<sup>†\*</sup>, 小島 一晃<sup>‡</sup>, 中池 竜一<sup>††</sup>,  
齋藤 ひとみ<sup>‡‡</sup>, 森田 純哉<sup>†††</sup>

Nana Kanzaki, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai, Kazuaki Kojima, Ryuichi Nakaike,  
Hitomi Saito, Jyunya Morita

<sup>†</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科, <sup>‡</sup>早稲田大学人間科学学術院, <sup>††</sup>京都大学大学院教育学研究科,  
<sup>‡‡</sup>愛知教育大学教育学部, <sup>†††</sup>北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科, \*JST/CREST

Graduate School of Information Science, Nagoya University

Faculty of Human Sciences, Waseda University

Graduate school of education, Kyoto University

Aichi University of Education

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

CREST JST

kanzaki@cog.human.nagoya-u.ac.jp

### Abstract

We designed and practiced a cognitive science class for undergraduate students. In this class, the participants were required to build a model about subtraction processing and its bug model with a learning system, DoCoPro. Through building and simulating the cognitive models, the participants learned to construct a mental model about a cognitive process of subtraction and to simulate the mental model. The results of the pre and post tests show that the participants who completed to build a bug model with DoCoPro, successfully constructed the mental model and ran the mental simulation exactly. Thus, to build and simulate a computational cognitive model is effective for constructing a mental model about the cognitive processing and its mental simulation.

**Keywords — Cognitive Science Class, Cognitive Model, Mental Model, Mental Simulation, Learning Environment**

### 1. はじめに

人は、自然現象を理解するとき、その現象についてのメンタルモデルを構成する[7]。アインシュタインの相対性理論やマクスウェルの電磁気学的法則の発見において用いられた思考実験は、ここでいうメンタルモデルを使った心的なシミュレーション、メンタル・シミュレーションに相当すると考えられ、メンタルモデルが、歴史的な科学発

見においても重要な役割を果たしてきたことがうかがえる[5]。一方、同様のことが、自然現象の理解に限らず、社会現象や対人理解においても生じる。本論文では、対人理解、とりわけ人間の問題解決行動を理解する時のメンタルモデルを取り上げる。これらのメンタルモデルは、メンタルモデルを構築する対象とそれを構築する主体が一致しているという点において、他の科学的な概念についてのメンタルモデル構築と異なる特徴を有する。

自然現象に対するメンタルモデルは、当人が把握する対象の自然現象を生み出す法則やメカニズムに基づき構成される(図1(a))。一方、人間の問題解決に関するメンタルモデルは、観察対象となる人間の問題解決行動の背後にある認知的情報処理の理解に基づき構成されると考えられ、認知的情報処理の理解とは、すなわち対象の認知モデルを理解することを意味する(図1(b))。従って、対象の認知モデルを理解し、構成することは、このようなメンタルモデルの構成に重要な役割を果たすことが期待される。

そこで本授業実践では、学部学生を対象とした認知科学の入門授業において、認知科学における

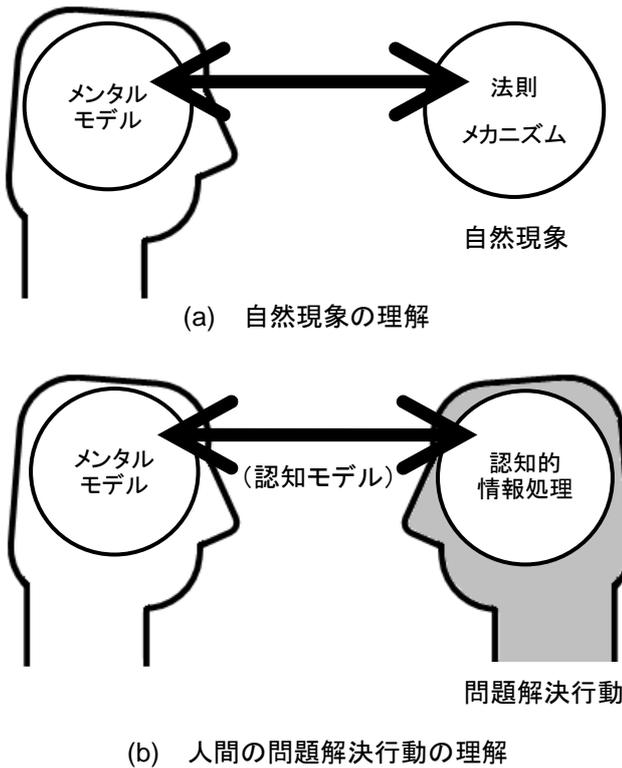


図1 メンタルモデルの構成

重要なテーマの一つである認知モデルを対象として、上記のようなメンタルモデルの構築とメン

タル・シミュレーションを行うことを目指す授業を設計・実施した。本実践では、メンタルモデル構築の対象となる認知的処理として、ルールベースの認知的処理のモデルを取り上げる。ルールベースの認知モデルを検討する際に、もっとも一般的にその題材として使用されているものの一つが、加算、減算処理であり[1][2]、本実践では、減算の筆算の認知的処理を題材として使用した。

認知的処理を対象としたメンタルモデルを構築することは、認知についての認知、すなわちメタ認知である[6]。特に、減算等の手続き的知識に基づく処理は自動化され、意識せずに行われており、メタ認知が困難であると考えられる。そこで、本実践では外的に認知モデルを構築し、そこでシミュレーションを行うことによって、メンタルモデルの獲得をサポートする。

中池・三輪・森田・寺井は認知科学初学者が簡単に認知モデルの作成を実習できる教育用 Web based プロダクションシステム、どこでもプロダクションシステム (DoCoPro) を開発した[4]。三輪・寺井・森田・中池・齋藤は、情報系大学院前

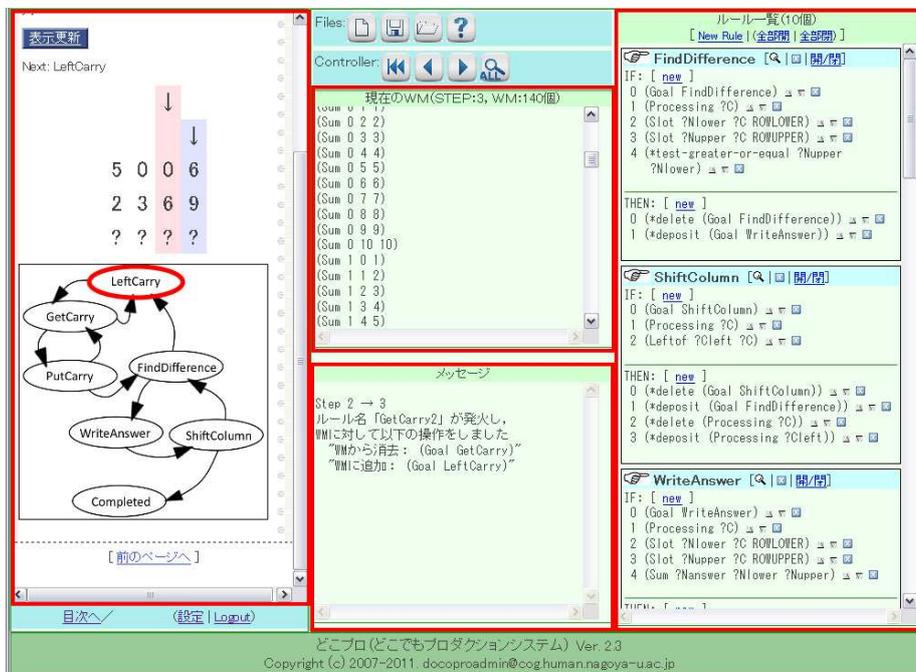


図2 システム画面

- ①現在のワーキングメモリの状態、②プロダクションルール一覧、
- ③適用したルールとワーキングメモリの変化、④現在のワーキングメモリを視覚化したもの

期課程の大学院学生に対して、このシステムを用いた授業実践を行い、その有効性を確認している[3]。本授業実践では、三輪らの実践の中から、基礎的な授業として位置づけられていた、減算処理に関する手続き的知識についての認知モデル作成の授業を発展させ、プログラミングに習熟していない文系学生を含む情報系学部学生に対して授業実践を行った。このシステムは、中央に現在のワーキングメモリの状態、右側にルールの一覧が表示される(図2)。学習者はワーキングメモリにルールを順次適用させていくことでワーキングメモリの状態を変化させ、モデルの処理を進めていく。ワーキングメモリとルールは、プログラミングに習熟していなくても簡便に作成できるようになっている。しかし、著者らが学部学生に対して三輪ら[3]のシステムを使用した授業を実施した経験から、学部学生はワーキングメモリの状態を意識せずにシミュレーションを行っていることが確認されており、その点を補強するために、左側にワーキングメモリの状態が図示されるようにインターフェースの改良を行った。

## 2. 授業構成

### 2.1 参加者

参加者は情報系学部の3, 4年生 37名であった。

### 2.2 システム概要

三輪ら[3]で使用されたシステムのインターフェースを改良し、演算処理中のワーキングメモリの状態が適宜確認できるものを使用した(図2)。

### 2.3 授業概要

最初の2回は授業の導入であり、参加者は、積み木の組み替えを行うモデルを作成した。導入を通して、参加者は、プロダクションシステムプログラミングの基本を学ぶと共に、DoCoProの操作に習熟した。続く2回の授業で記憶の意味ネットワークのモデルを作成した。本研究の分析対象である減算の筆算のモデルに関する授業は5回目から7回目の計3回に分けて行われた。

参加者は、筆算モデルの第1回の授業において、

表1 バグ同定課題で使用されたバグ

	9008	806303
	<u>- 3149</u>	<u>- 182465</u>
バグ 1	5959	623938
バグ 2	3969	623748

バグ 1: 上段0からの繰り下がりのバグ。さらに上段からの繰り下がり処理をせずに上段の0を9にしている。

バグ 2: 上段0からの繰り下がりのバグ。さらに上段からの繰り下がり処理をするときに、またいできた0を9にせず、計算中の桁に10を足している。

繰り下がりのない減算の筆算のモデルを作成し、第2回において、繰り下がりのある減算の筆算にも対応できるモデルを作成した。そして第3回において、人間が特定の演算を行う時に典型的に現れるエラーをシミュレートする「バグモデル」の作成に従事した。ここで作成されたバグモデルは、後述のプレ・ポストテストのバグ同定課題2問と同一のバグを持つものである。なお、半数の参加者は1問目のバグモデルを作成し、残りの半数の参加者は2問目のバグモデルを作成した。

### 2.4 プレ・ポストテスト

授業を評価するために、モデルを作成する前後で、プレ・ポストテストが実施された。バグを含む減算処理二種に対して、それぞれ下記の課題が課せられた。二種のうち、一種に関しては授業内でバグモデルとしてモデルの作成を行っているため、授業内でモデルを作成した問題は同型問題、モデルを作成しなかった問題は転移問題として分析を行った。

#### ・バグ同定課題

特定のエラーを起こしている計算結果(表1)が呈示され、バグの内容を記述することが求められた。

#### ・バグ再現課題

バグ同定課題とは異なる減算問題2題において、バグ同定課題で同定したバグを含んだ処理を行った際に算出される結果の予測が求められた。

表2 バグ同定課題における正解記述者の度数

	プレ	ポスト
同型問題		
バグモデル完成群 ( $n=16$ )	2	14
未完成群 ( $n=21$ )	3	7
転移問題		
バグモデル完成群 ( $n=16$ )	5	10
未完成群 ( $n=21$ )	2	4

表3 バグ同定課題における特異記述者の度数

	プレ	ポスト
同型問題		
バグモデル完成群 ( $n=16$ )	9	0
未完成群 ( $n=21$ )	14	6
転移問題		
バグモデル完成群 ( $n=16$ )	7	2
未完成群 ( $n=21$ )	14	6

### 3. 授業評価

バグモデル作成に関して、37名中16名が授業内でバグモデルを完成させることができた。この16名をバグモデル完成群、残りの21名をバグモデル未完成群として以下の分析を行った。

#### 3.1 バグ同定課題

まず始めに、バグ同定課題における正解に関する記述の有無について分類を行った(表2)。同型問題について、それぞれの群において、2(プレポスト)×2(正解記述あり/なし)の直接確率検定を行ったところ、バグモデル完成群においては、プレテストよりもポストテストの正解記述者が多いことが確認されたが( $p < .001$ , 片側)、バグモデル未完成群においては、プレテストとポストテストの間に正解者の割合の差は確認されなかった( $p = .139$ , 片側)。転移問題についても同様の検定を行ったところ、同型問題と同様の傾向が確認された(完成群: $p = .078$ ; 未完成群: $p = .331$ , 片側)。

次に、モデル的な思考態度をもつようになったかをみるために、2題を一貫して説明するバグの記述ではなく、現象の記述(「4桁目が間違っている」等)のみや、トリビアルなルール(「百の位だけ1増える」等)が記述されているものを特異記述としてカウントした(表3)。同型問題について、それぞれの群において2(プレポスト)×2(特異記述/その他)の直接確率検定を行ったところ、両群において、プレテストからポストテストへの減少が確認された(完成群: $p < .001$ ; 未完成群: $p = .015$ , 片側)。転移問題についても、同型問題と同様の傾向が確認された(完成群: $p = .057$ ;

未完成群: $p = .015$ , 片側)。

#### 3.2 バグ再現課題

バグ再現課題は各問題につき2題ずつあり、1題1点として2点満点で採点された。

図3は同型問題における各群のプレ・ポストテスト平均を示したものである。2(被験者内:プレポスト)×2(被験者間:バグモデル完成/未完成)の2要因混合の分散分析を行ったところ、プレポストの主効果のみが有意であり( $F(1, 35) = 17.47, p < .01$ )、バグモデル完成/未完成の主効果( $F < 1, ns$ )、2要因の交互作用( $F(1, 35) = 2.70, ns$ )は有意ではなかった。

図4は転移問題における各群のプレ・ポストテスト平均を示したものである。同型問題と同様の分散分析を行ったところ、プレポストの主効果( $F(1, 35) = 6.45, p < .05$ )とバグモデル完成/未完成の主効果( $F(1, 35) = 4.20, p < .05$ )がともに有意であった。そして、2要因の交互作用が有意傾向であった( $F(1, 35) = 3.49, p = .070$ )。単純主効果の検定を行ったところ、バグモデル完成群におけるプレポストの単純主効果( $F(1, 35) = 9.72, p < .01$ )とポストテストにおけるバグモデル完成/未完成の単純主効果( $F(1, 70) = 7.49, p < .01$ )のみが有意であった。

### 4. 考察

本授業実践では、認知科学初学者の学部学生に対して、認知モデルを作成する授業を実施し、評価を行った。バグ同定課題の結果は、減算の筆算処理についてのメンタルモデルの獲得を示していると考えられる。バグモデル完成群において、同

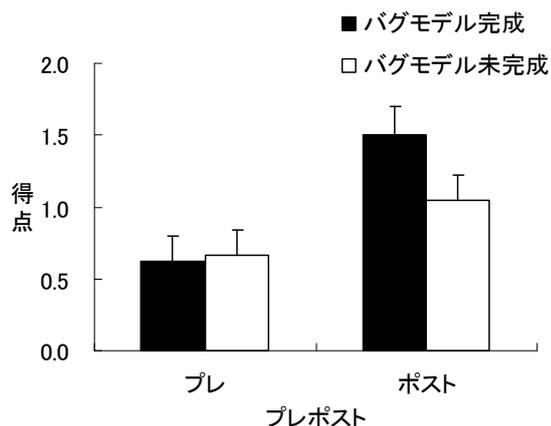


図3 バグ再現課題における同型問題の平均点

型問題においても、転移問題においても、プレテストからポストテストへ正解者が増加したことから、バグモデルを完成させることができた参加者は、本授業実践により、メンタルモデルを獲得したこと意味している。特に転移問題における正解者の増加は、単に作成したモデルを記憶した訳ではなく、より一般的なレベルでのメンタルモデルを獲得したことを意味していると考えられる。バグモデル未完成群においては、正解者の増加は見られなかったものの、特異記述者はプレテストからポストテストにかけて減少しており、モデル作成を経験することにより、より一般的なモデルを指向する態度となったと考えられる。

一方、バグ再現課題の結果は、特定のバグを持つメンタルモデルをシミュレートした結果を表しており、メンタル・シミュレーションが正確になされたかどうかを示していると考えられる。こちらも、バグモデル完成群においては、同型問題においても、転移問題においても、プレテストからポストテストへの得点の上昇がみられたことから、より正確にメンタル・シミュレーションができるようになったことが示唆された。

バグモデル未完成群においては、同型問題のみでプレテストの効果が確認されたが、バグ同定課題の結果と合わせて検討すると、2題のうち1題は曖昧なルール、もしくは部分的にあっていないルールで回答できるものであったため、このような

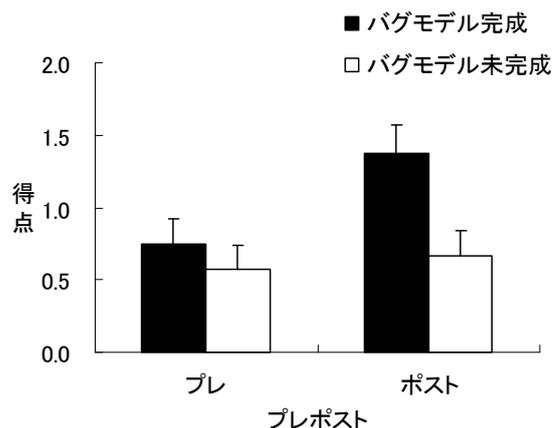


図4 バグ再現課題における転移問題の平均点

結果となったと考えられ、必ずしも本授業の効果が確認されたとはいえない。

以上から、学部学生に対して本システムを用いて認知モデルを作成する授業を実施することの有効性が確認された。ただし、その効果は、バグモデルを完成できた学習者のみに対するものであった。ここで、そもそもメンタルモデルを持っていた学習者が、外的なモデルの作成に成功したのではないかという疑義が生まれるが、プレテストにおいては、バグモデル完成群も未完成群も正解者の割合は同程度に低かったため、本授業の効果によって、理解が深まったと考えられる。

## 5. まとめ

本研究によって、認知的情報処理についてのメンタルモデルの獲得とメンタル・シミュレーションの実行に対して、外的に認知モデルを作成し、シミュレートすることの効果が確認された。ただしその効果は、より応用的なモデルを完成できた学習者のみに対するものであった。応用的なモデルが完成できなかった学習者も、モデルが完成できるようになれば、完成者と同様の効果が期待できる可能性がある。今後の課題として、応用的なモデルを完成させることができなかった学習者に対する支援が挙げられるが、より直感的に認知モデルが把握できるインターフェースの改良と授業の設計の両面からアプローチすることが望まれる。

## 参考文献

- [1] Klahr, D., Langley, P., & Neches, R. (1987)  
“Production system models of learning and development”, Cambridge: MIT press.
- [2] 三輪和久(1995) “記憶のコンピュータシミュレーション”, 認知心理学 2 記憶, 東京大学出版会.
- [3] 三輪和久・寺井仁・森田純哉・中池竜一・齋藤ひとみ (2012) “モデルを作ることによる認知科学の授業実践”, 人工知能学会論文誌, vol.27, pp.61-72.
- [4] 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, vol.26, pp.536-546.
- [5] Nersessian, N. (2008) “Creating Scientific Concepts”, Cambridge: MIT press.
- [6] 三宮真智子・編著 (2008) 『メタ認知』, 北大路書房
- [7] Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1994)  
“Mental model of the day / night cycle”, Cognitive Science, vol.18, pp.123-183.