

認知科学研究において「組み立てることによる学習」 を考えることの意義

Why do we explore learning by construction? — from cognitive scientific view

三輪和久*1

Kazuhisa Miwa

*1名古屋大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nagoya University

Creating cognitive models means to construct the human mind. The author and colleagues have performed educational practices for investigating “Learning by Creating Cognitive Models”. We developed a web-based production system, called “DoCoPro”, for establishing the basis of the practices. Through the class practices for undergraduates and graduates, it was confirmed that participants constructed sophisticated mental models for cognitive information processing in the human mind by constructing cognitive models, and performed more actively their theory-based thinking, implying that cognitive models function as a mediator that connects a theory and empirical data.

1. 学習ツールとしての認知モデル

伝統的な行動主義心理学においては、人間の心はブラックボックスと見なされ、心に対する入出力関係を検討することが、心の科学が取り組むべき問題であるとされた。心の中でどのような処理が行われているかについては目をつむり、ある刺激に対して、どのような反応（行動）が得られるかの関係を理解することこそが、心理学の主題とされたのである。

一方、認知科学では、ブラックボックスの中でどのような情報処理が行われているかを明らかにすることに、探求の中心が移った。そこに登場したのが、認知モデルである。認知モデルをコンピュータで実行可能なプログラムの形式で記述することにより、心の科学は、計算機シミュレーションという新たな研究の手段を手に入れた。本論文で認知モデルという場合、このような計算機上に実装された計算モデルを指す。

このようなモデルベースの研究は、いわば「組み立てることによる心の研究」と表現することができ、認知モデルの価値は、広く認知科学の研究者に共有されている。このような認知モデルの意義は、「研究ツール」としての認知モデルの機能を意味する。

一方で、「組み立てることによる学習」とは、認知モデルを作ることによって、モデラー（モデルを作る人）自身に何らかの学習が起こるということを予期させる。いわば、人間の心を学習する「学習ツール」としてのモデルの機能である。実際に、モデルベースの研究アプローチを取る研究者は、このような認知モデルの学習ツールとしての側面を経験的に実感しているケースが少なくはないと思われる。モデルを作っている中で、もともと考えていた理論が精緻化されたり、時にはその理論の前提を根本的に見直すというようなことが、しばしば起こるのである。これは、組み立ててみることによって、より深く心を理解できるようになることを意味する。

これまで、このような心の学習ツールとしての認知モデルの機能は、ほとんど着目されてこなかった。著者らは、このような認知モデルの機能を実践する場として、大学の認知心理学、もしくは認知科学の授業での教育実践を重ねている。

2. DoCoPro の開発

このような実践を遂行するためには、学習者にモデル構築を体験させるための学習環境を整備する必要がある。著者らは、“DoCoPro”と呼ばれる教育用プロダクションシステムを構築した。DoCoProの特徴は、以下のようにまとめられる。

研究用プロダクションシステムとしては、ACT-R や SOAR といった標準的アーキテクチャが公開されている。しかし、これらは研究者用に開発された専門的システムであり、一般のユーザの利用には閾が高い。一方、DoCoPro は、サーバ・クライアントフレームワークに基づく、Web アプリケーションとして実装されている [中池 11]。

認知モデル教育を行うにあたって、システムが稼働するための計算機資源を確保することの困難さや、システムのインストール時の煩雑さなどの実用上の障害は、教育の場にプロダクションシステムを導入する時の高いハードルであった。DoCoPro は、サーバ・クライアント型の Web-based アプリケーションとして Web ブラウザを介して稼働する。インターネットに接続された計算機環境があれば、特別のソフトウェアのインストールなどの事前準備を一切行うことなく、メンテナンスフリーで利用できる。新旧の計算機が混在する演習室での授業や、性能や OS が異なる個人所有のノートパソコンを持ち寄って行われる普通教室での授業、さらに教室外での自習にも対応する。

さらに、DoCoPro では、GUI を通して簡単にルール設計が可能になる機能を実現し、モデル構築の支援機構を充実させている。具体的には、一覧性を重視したユーザインタフェースや、柔軟なプロセス管理、さらにデバッグ支援など、初心者がモデル構築の学習初期段階で遭遇する困難をできる限り取り除き、認知モデリングの学習に参入する際の閾を可能な限り低くする機能を持たせている。

3. 心の情報処理に関するメンタルモデルの構築

筆者らは、DoCoPro を中核に据えたモデルベース認知科学の学習支援システムを実装し、いくつかの授業実践を通して、学習ツールとしてのモデルの機能に関する実証的知見を積み重

連絡先: 三輪和久, 名古屋大学大学院情報科学研究科,
miwa@is.nagoya-u.ac.jp

ねてきている [三輪 12][Miwa 14a]。

人は対象を理解するとき、その対象についてのメンタルモデルを構成する。メンタルモデルを動かしてみることで、すなわち対象に対するモデルの動作を心的にシミュレートすることで、対象の挙動を予測することが可能となる。科学教育においては、自然現象の理解において、適切なメンタルモデルの構築を支援する授業の重要性が認識されつつある。

同様のことが、人間の認知過程の理解においても生じる。ある特定の行動の背後にある認知過程に関するメンタルモデルを構築することは、心理学教育の課題としても、万人が置かれている日常的な文脈において要請される他者理解、人間理解といった観点からも、重要な課題であると考えられる。

我々は、大学生に、引き算の筆算の認知モデルを実装させた。実践に参加した大学生にとって、筆算の引き算を行うという課題は、特段の困難を覚えることなく、極めて容易に遂行可能である。一方で、そこで遂行される手続きは、例えば、ゼロを飛び越えて桁下がりを行う処理などを考えてみれば、意外と複雑であることがわかる。ほとんど意識することなく実行しているその手続きを相対化することは、それほどたやすい課題ではない。

筆者らは、大学生に引き算筆算の認知モデルを構築させることにより、そこで遂行される認知的情報処理に関する理解が精緻化されることや、バグを含んだ計算過程メンタルシミュレーションがより正確になることを確認している [神崎 12]。

4. 理論とデータをつなぐメディエータとしてのモデル

Anderson, J. R. は、「理論」と「データ」を結ぶ媒介としての「認知モデル」の機能を指摘している [Anderson 93][三輪 09]。心理学における理論とは、概念モデルの形をとる。多くの場合、この概念モデルは、心のシステムのモジュールを現す「ボックス」や、モジュール間の情報のやり取りを現す「矢印」といった図的表象をもって表現される。このような概念モデルは、実験の結果に関して定性的な予測を行うが、詳細な量的予測を行うことはできない。一方、そのような概念モデルに一定の制約条件を加えて構成された計算モデルは、計算機シミュレーションを通して、具体的な実験結果を予測する。予測の結果は、実際の実験の結果と直接的に照合され、理論の妥当性が確認されたり、反証されたりする。いわば、認知モデルが、理論と実証データをつなぐことで、理論の反証可能性を保証するのである。

一方で、このようなモデルの機能は、心の科学における研究スキルを学ぶ大学生や大学院学生といった学習者に対してでも有効に機能する可能性がある。

筆者らは、文の真偽判断のパフォーマンスを説明する「意味ネットワーク」の理論 [Collins 69] と、系列位置効果の理論的説明となる「2重貯蔵モデル」 [Atkinson 68] をテーマに取り上げた授業実践を行っている。これらは、認知心理学の教科書に決まって取り上げられる、人間の記憶に関する代表的な理論である。

一つの実践では、大学生に意味ネットワークのモデルを構築させた。文の真偽判断課題の実験結果を説明させたところ、モデルを構築する前後で、理論で定義された概念語を用いた説明や、理論に関連づけた説明が増加することが明らかとなった [齋藤 13]。

また、別の実践では、2重貯蔵モデルの計算機シミュレーションを通して、語の記銘における短期記憶と長期記憶の相互

作用を観察させた。その後、異なる実験条件における系列位置効果を予測させたところ、予測がより正確になった。これらは、より正確なメンタルシミュレーションが可能になったことを示唆する [Miwa 14b]。

参考文献

- [Anderson 93] Anderson, J. R.: *Rules of the mind*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers (1993)
- [Atkinson 68] Atkinson, R. C. and Shiffrin, R. M.: Human memory: A proposed system and its control processes., *In K. W. Spence and J. T. Spence (Eds.), The Psychology of learning and motivation: Advances in research and theory (vol. 2).*, pp. 89 – 105 (1968)
- [Collins 69] Collins, A. M. and Quillian, M. R.: Retrieval time from semantic memory, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 8, pp. 240–247 (1969)
- [Miwa 14a] Miwa, K., Morita, J., Nakaike, R., and Terai, H.: Learning through Intermediate Problems in Creating Cognitive Models., *Interactive Learning Environments* (2014), in press
- [Miwa 14b] Miwa, K., Morita, J., Terai, H., Kanzaki, N., Nakaike, R., Kojima, K., and Saito, H.: Use of a Cognitive Simulator to Enhance Students' Mental Simulation Activities, in *Proceedings of the 12th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS 2014* (2014), in press
- [三輪 09] 三輪 和久: 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*, Vol. 24, pp. 229–236 (2009)
- [三輪 12] 三輪 和久, 寺井 仁, 森田 純哉, 中池 竜一, 齋藤 ひとみ: 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 (2012)
- [神崎 12] 神崎 奈奈, 三輪 和久, 寺井 仁, 小島 一晃, 中池 竜一, 齋藤 ひとみ, 森田 純哉: 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, *日本認知科学会第 29 回大会発表論文集*, pp. 298–303 (2012)
- [中池 11] 中池 竜一, 三輪 和久, 森田 純哉, 寺井 仁: 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 (2011)
- [齋藤 13] 齋藤 ひとみ, 三輪 和久, 神崎 奈々, 寺井 仁, 小島 一晃, 森田 純哉: モデル作成は理論に基づくデータの解釈を促進するか: 授業実践による予備的分析, *人工知能学会第 68 回先進的学習科学と工学研究会* 68, pp. 13–18 (2013)