

知能を組み立てることにより知能を知る —学習ツールとしての認知モデリング

Learning human intelligence by building intelligence
—Cognitive modeling as a learning tool

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

We have developed the “Learning by Building Cognitive Models” paradigm through which students learn human cognitive information processing. We have developed a web-based production system architecture for education, called “DoCoPro”. Through 5 years’ cognitive science class activities, we have confirmed that we are able to improve students’ mental models of human mental activities, and successfully enhance their theory-based explanation on empirical data by having them build production system models of human thinking.

1. モデルを構築することの3つの利益

認知科学では、心を情報処理システムとみなし、心の働きを情報の処理として理解しようとする。その文脈において、心とコンピュータのアナロジーが生まれる。その前提の下に、認知科学は「知能を組み立てることにより知能を知る」といった、いわゆるモデルベースアプローチを発展させてきた。とりわけ、モデルを計算機で実行可能な形式で記述し、認知活動を計算機上でシミュレートすることで、心の機能を理解しようとする。

Fumらは、モデルを作ることの利益を、Clarity and Completeness, Better exploration and Evaluation, Serendipity and Emergence という3つの観点からまとめている [Fum 07]。

• Clarity and Completeness

モデルベースアプローチでは、認知処理を、計算機上で実行可能な形式、具体的には、計算機プログラムの形式で記述する。このことは、モデルという抽象的な概念的構成物を、プログラム言語の文法に従って、外化することに他ならない。その外化の過程を通して、抽象的に記述された認知活動は、情報処理過程としてより具体化、詳細化される。

そのような精緻化の過程で、隠れていたモデルの不備や矛盾が顕在化することにより、モデルは改良される。例えば、独立したサブシステムのローカルな処理においては不備がなくても、他のサブシステムとの関係においては問題が現れる場合がある。このような相互作用の中に現れる問題は、実際にシステムを動かしてみないとわからないことが多く、この点において、モデルが計算機上で実働することは、大きな意味を持つ。シミュレーションを通して、システム全体の整合性が担保されるのである。

• Better exploration and Evaluation

認知科学は、人間の心を探求する諸科学の中でも、とりわけ理論志向の強い科学であるとされる。実験等で観察された現象は、常に理論に基づいて説明されることが求められる。

心の科学における理論は、多くの場合、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。このような理論の記述は、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。

Anderson, J. R. は「理論」と「データ」(実験で観察される現象)を結ぶ媒介としての「モデル」の機能を指摘している [Anderson 93][三輪 09]。理論に一定の制約条件を加えて構成されたモデルは、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、理論に基づく現象の説明の信頼性が向上する。

• Serendipity and Emergence

モデルは、単に理論を検証するためだけのツールではない。シミュレーションを通して、モデルは時に予期せぬ結果をもたらすことがある。このような驚くべき結果 (surprising result) は、理論の発展や改良に寄与することが知られている。

2. 学習ツールとしての認知モデリング

モデルベースアプローチをとる認知科学者は、ここまで述べてきたモデルを構築することの利益を享受することで、心の科学の発展に寄与してきた。一方、これらの利益は、心の理論を学ぶ心理学や認知科学の初学者や、さらには心の科学を専門としない一般の大学生にとっても、重要な意味を持つものと考えられる。認知科学者が、モデルを研究のためのツールとして用いてきたと考えれば、一般の大学生が、モデルを学習ツールとして用いることの可能性が期待されるということである。

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と言ってもよい。著者らは、“Learning by Building Cognitive Models” という枠組みで、学習ツールとしての認知モデリングの可能性を検討してきている [Miwa 14a]。

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

3. 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 [中池 11]。

モデルのアーキテクチャは、Formal logic, Schema-based, Network-based, Rule-based など、様々な知識表象を用いるタイプがある。我々が Rule-base の知識表現を用いるアーキテクチャを採用したのは、これまでの数多くの研究を通して、ルールベースの知識表象の心理学的実在性が支持されていることや、個々の知識に一定の独立性があること、グレインサイズが適切であること、そこより個々の知識の理解性が高いことなどの理由による。

DoCoPro の特徴は、以下のようにまとめられる。

- **メンテナンスフリー:** DoCoPro は、サーバ・クライアントフレームワークに基づく、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 [中池 11]。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。
- **学習支援機能:** DoCoPro では、GUI を通じ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。
- **DoCoPro Text:** DoCoPro は、DoCoPro Text と呼ばれるモデルベースの認知科学の電子教科書の一部に組み込まれることとなった。DoCoPro Text では、学習者は、教科書形式で書かれたインストラクションを受けながら、実際に自分でモデルを構築しつつ、人間の心の理論に関する理解を深めてゆくことになる。

DoCoPro を導入することで、これまで 5 年間に渡り、名古屋大学を中心に、愛知教育大学、北陸先端科学技術大学院大学等の学部生、大学院生を対象とした実践を重ねてきた。毎回、レポートという形で授業に参加しての感想を記述させているが、多くの参加者が、人間の認知情報処理に関する重要な特徴を発見的に学んでいる [三輪 12]。

4. Learning by Building Cognitive Models の実践

では、冒頭に取り上げたモデルを構成することの 3 つの利益は、学習ツールとしての認知モデルにどのように現れているのだろうか。以下では、Clarity and Completeness, および Better exploration and Evaluation という 2 つの点に関して、実践例を取り上げつつ検討する。

4.1 Clarity and Completeness—メンタルモデルの精緻化

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、心理学教育や教師教育の課題としても、さらには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、重要なテーマである。

目の前の生徒が引き算のある問題に対して、誤った答を算出したとする。その誤りの背後にある心的なバグを同定することは、対象とする生徒が行う筆算の認知過程に関するメンタルモデルを構築することに他ならない。

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、そのようなメンタルモデルが精緻化されることを明らかにした。具体的には、対象とな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の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。

4.2 Better exploration and Evaluation—理論とデータをつなぐメディアータとしてのモデル

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」の理論と、系列位置効果の理論的説明となる「2重貯蔵モデル」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り、DoCoPro Text において教材化されている。

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。

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、理論とデータをつなぐメディアータとしてのモデルの機能を例証するものである。

参考文献

- [Anderson 93] Anderson, J. R.: *Rules of the mind*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers (1993)
- [Fum 07] Fum, D., Missier, F. D., and Stocco, A.: The cognitive modeling of human behavior: Why a model is (sometimes) better than 10,000 words., *Cognitive Systems Research*, Vol. 8, pp. 135–142 (2007)
- [Miwa 14a] Miwa, K., Morita, J., Nakaike, R., and Terai, H.: Learning through Intermediate Problems in Creating Cognitive Models., *Interactive Learning Environments*, Vol. 22, pp. 326–350 (2014)
- [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)
- [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)