

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月13日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02927

研究課題名(和文) ユビキタス実験室に基づくモデルを作ることによる学習の探求

研究課題名(英文) Investigation of learning by building cognitive models using ubiquitous psychological laboratory

研究代表者

三輪 和久 (Miwa, Kazuhisa)

名古屋大学・情報学研究科・教授

研究者番号：90219832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：本プロジェクトでは、モデルを作ることによる学習を、心理学や学習科学などの心の科学の領域に展開した。まず、モデルを作ることにより、理論ベース思考やメンタルモデルの構築が促進されることを、実験的に検証した。そこでの成果をベースに、新しい体験的学習パラダイムとしてのハイブリッド心理学演習とモデルアート認知科学演習への展開を図り、その有用性を実践的に検討した。そのための実験・実践基盤として、インターネットを介して全国に分散するユビキタス実験室を開発、実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大学等の高等教育期間において、心理学部に代表される人間の心を探求する教育部局は日本全国に広がっており、基礎的なトレーニングとしての心理学実験演習が広く行われている。そこでは、デモ的な実験においてデータを収集し、それを分析、考察するという形で実践が重ねられている。本プロジェクトは、そこにモデルベースの実験演習が有用であることを示したものである。本プロジェクトの成果は、実験ベースで行う演習に、モデルベースの実験演習を加えることによって、より大きな学習効果をもたらすことを示しており、今後の認知科学、心理学教育に、新しい視点をもたらした。

研究成果の概要(英文)：In this project, learning by building computational models was expanded to the domain of psychological and learning sciences. First, we experimentally verified that creating a model promotes the development of theory-based thinking and the construction of mental models. Based on the results there, we developed hybrid psychology practice and model art cognitive science practice as a new learning paradigm, and examined their usefulness through class practices. We developed and realized a ubiquitous laboratory distributed throughout the related schools via the Internet as an experiment and practice basis for that purpose.

研究分野：認知科学

キーワード：認知モデル 理論ベース思考 メンタルモデル構築 心理学演習

1. 研究開始当初の背景

対象を構造的、システムの的に捉えることで、現象を理解したり、予測したりすることは、科学の本質に関わる重要な活動である。このような活動を体験的に理解させるためのアプローチとして、モデルに基づくコンピュータシミュレーションを用いた学習環境が広く利用されている。このようなモデルの教育利用は、生物、物理、化学、地球科学などの自然科学、機械工学、情報工学などの工学に関わる幅広い分野で普及している。一方で、心理学や学習科学などの心の科学におけるそれは、極めて脆弱である。認知モデル研究の先駆者の一人であるジョン・アンダーソンは、理論とデータをつなぐメディアとしてのモデルの機能を指摘している。心の科学における理論は、多くの場合、フローチャートのような図的表象による記述を含む言語的記述に基づく概念モデルとして記述される。これに対して、ここでいうモデルは計算機上で実行可能な計算モデルであり、本研究では特に、ルールベースで記述された伝統的記号処理モデルのことを言う。データは、実験によって得られた反応時間や正誤パターン等の実験結果を示す。ここで、理論は、現象に関する定性的な予測を行うが、データと直接照合されるような定量的な予測を行うには至らない。モデルは、理論を仮説演繹する装置として、シミュレーションを通して実験結果と照合可能な予測を導き、経験的データから理論へのフィードバックを作り出す。このようなモデルの理論とデータを媒介する機能は、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も有効に機能する可能性がある。本研究では、「理論」と「データ」をつなぐメディアとしての「モデル」の機能を、学習ツールとして利用することの可能性を検証する。

これまでモデルベースの学習と言えば、与えられたモデルを利用した「モデル操作」による学習を指す場合がほとんどであった。そこでは、与えられたモデルを使ってシミュレーションを実行、観察することにより学習が進められる。本研究では、それを自らモデルを作る「モデル構築」による学習、すなわちモデルを作ることによる学習に拡張する。

認知モデルを「作る」ためのプログラム環境として、これまでに、様々な認知アーキテクチャが提案されている。しかし、それらは研究者用に高度に専門化していて、初心者の利用には敷居が高い。また、その環境を実現するためには、一連の専門的ソフトウェア群がインストールされた高性能の計算機環境が必要とされ、本プロジェクトがターゲットとするような教育実践を行うためには、これらのファシリティを特別に整備した学習環境が必要になる。本プロジェクトでは、これまでの4年の取り組みを通して開発・運用してきた教育用プロダクションシステム、“どこプロ”(どこでもプロダクションシステムの略称)を活用し、インターネットを介して、いつでも、どこでも、「モデルを作ることによる学習」に関わる実験、および実践を遂行できる環境、すなわち全国に点在するユビキタス実験室を構築することで、上記の課題を克服する。

2. 研究の目的

本プロジェクトでは、モデルを作ることによる学習を、心理学や学習科学などの心の科学の領域に展開する。本プロジェクトの第1の目的は、モデルを作ることにより、理論ベース思考やメンタルモデルの構築が促進されることを、実験的に検証することである。第2の目的は、ここでの成果をベースに、ハイブリッド心理学演習とモデルアート認知科学演習への展開を図ることで、新しい体験的学習パラダイムを提案し、実践的に検討することである。そのための実験・実践基盤として、インターネットを介して全国に分散するユビキタス実験室を開発、実現する。

3. 研究の方法

人間の記憶に関わる実験課題である系列位置効果を題材とするユビキタス実験室を開発し、実際に理論ベース思考やメンタルモデル構築が促進されることを確認する。その後、ユビキタス実験室が扱う題材を多様化する。さらに、実践の場としてのハイブリッド心理学演習を、まずチームメンバーが所属する多様な大学における授業で実践する。さらに、モデルアート認知科学演習に関しては、実践課題をパッケージ化し、最終的に授業実践への展開を図る。

4. 研究成果

- (1)実験心理学の導入的授業において広く取り上げられる記憶の系列位置効果を題材として、ユビキタス実験室を構築し、ハイブリッド心理学演習を実践した。開発されたシステムを用いて、理論ベース思考の促進に関する実験を行った。学習者は、記憶の理論(二重貯蔵モデルの概念モデル)を学ぶと共に、ユビキタス実験室の教材コンテンツを参照しながら、自ら記憶の二重貯蔵モデルを実装し、シミュレーションを通して、系列位置効果を再現した。学習の前後で、記憶の位置効果を示す典型的な実験結果を呈示し、初頭効果、親近性効果の説明を行わせたところ、これらの理論に関する理解が深まると同時に、理論に基づく実験デー

タの説明が促進されることが確認された。

- (2) 学習者が、認知モデルを作ることによって、手続き的知識の理解が深まることを確認した。まず、暗号演算タスクを解決する様々なタイプの手続き知識を形式的に記述することを可能にする学習環境を構築した。特に、個人ごとの学習に加え、グループでの学習を行うことができる機能を加えた。その学習環境で認知モデルを作ることにより、参加者の4分の3が有効なモデルを構築し、参加者は訓練タスク（暗号演算タスク）だけでなく、転移タスク（複数列減算問題のバグ識別）においても、手続き的知識の理解が促進されることが確認された。
- (3) 上記のアイデアに基づき、モデルアート認知科学演習を、「認知モデルを作成することによる学習」のパラダイムとして再設計し、その有用性を検討した。学習環境内で、学習者は、自身の認知情報処理を反映する認知モデルを構築した。暗号演算タスクを使用し、認知科学のクラスで、実証実験を行った。学習者は、自分自身がどのように行動したかを説明し、その行動を再現する計算モデルを構築した。その結果、生成された22のモデルのうち、9つのモデルが、学習者の問題解決過程を正確に反映していた。さらに、これらの活動は、学習者のモニタリング活動を促進することが確認された。これらにより、認知モデルを生成することによる学習について、一定の有用性を確認することができた。
- (4) ここまで展開されてきた学習パラダイムを、Computational Thinking の学習支援という枠組みに拡張し、その有効性を検討した。一般大学生を対象とするCT促進の手法として、ルールベースの問題解決モデルの構築を学習活動として採用することを提案した。問題解決をルールベースのモデルとして実装するためには、問題を解決する過程、すなわち解法を切り離しが可能な操作に分割し、それぞれの操作が適切に適用される条件を認識した上で、本質的でない情報を削ぎ落として計算機モデルで処理可能な操作として記述し、問題解決の実行手続きを明確にする必要がある。これら問題の分割(decomposition)、パターン認識(pattern recognition)、抽象化(abstraction)、手続き化(procedures)は、多くの研究者がCTを構成する基本要素に挙げている。ここでは特に問題の分割に注目し、問題解決モデルの構築によって解法を外化することが、CTを促進する効果を持つかを実験的に検討し、その有効性を明らかにした。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

福岡未紗・三輪和久・前東晃礼 in press. グラフ理解と判断におけるボトムアップおよびトップダウン処理の検討. 教育心理学研究. 【査読あり】

三輪和久・寺井仁・岡本翔馬. (2015) 生成と解決をリンクさせることによる自然演繹の作問支援. 人工知能学会論文誌, 30, 526-535. 【査読あり】

神崎奈奈・三輪和久・寺井仁・小島一晃・中池竜一・森田純哉・齋藤ひとみ. (2015) 認知モデル作成による認知情報処理の理解を促す大学授業の実践と評価. 人工知能学会論文誌, 30, 536-546. 【査読あり】

齋藤ひとみ・三輪和久・神崎奈奈・寺井仁・小島一晃・中池竜一・森田純哉. (2015) 理論に基づく実験結果の解釈の支援: 認知科学の授業実践におけるモデル構築の効果に関する検討. 人工知能学会論文誌, 30, 547-558. 【査読あり】

寺井仁・三輪和久・松林翔太. (2015) 説明転換における事実参照に関する実験的検討. 認知科学, 22, 223-234. 【査読あり】

[学会発表](計10件)

Yokoyama, M., & Miwa, K. (2018). Relationship between Goal Orientation, Conception of Learning and Learning Behavior. Proceedings of 15th international conference of cognition and exploratory learning in digital age (CELDA 2018), 233-240.

Matsumuro, M., Miwa, K., & Tombe, Y. (2017). Development of a System to Construct Explanation for Physics Phenomenon through Thought Experiment. In Proceedings of the 25th International Conference on Computers in Education (ICCE2017). pp. 92-94.

Fukuoka, M., Miwa, K., Maehigashi, A. (2017). Experimental Investigation on Top-down and Bottom-up Processing in Graph Comprehension and Decision. In Proceedings of 39rd annual conference of the cognitive science society (CogSci 2017), pp. 2049-2054.

Miwa, K., & Terai, H. (2017). Learning by Building Cognitive Models that Reflect Cognitive Information Processing: A Preliminary Class Exercise. In Proceedings of the ninth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications (Cognitive 2017), pp. 50-53.

Miwa, K., & Terai, H. (2016). Can students build cognitive models that reflect their own cognitive information processing? Results of preliminary class practice. The 9th Workshop on Technology Enhanced Learning by Posing/Solving Problems/Questions, ICCE 2016.

Matsumuro, M., & Miwa, K. (2016). Three barriers to effective thought experiments,

as revealed by a system that externalizes students' thinking. Proceedings of 38rd annual conference of the cognitive science society (CogSci 2016), 176-181.

Miwa, K., Terai, H., & Shibayama, K. (2016). Understanding Procedural Knowledge for Solving Arithmetic Task by Externalization. LNCS (ITS 2016), 9684, 3-12.

Miwa, K., Shibayama, K., Terai, H. (2015). A learning environment for externalizing procedural knowledge in problem solving. The 8th Workshop on Technology Enhanced Learning by Posing/Solving Problems/Questions, ICCE 2015.

Miwa, K., Kanzaki, N., Terai, H., Kojima, K., Nakaike, R., Morita, J., and Saito, H. (2015). Learning mental models on human cognitive processing by creating cognitive models. Lecture Notes in Computer Science (AIED 2015), 9112, 287-296.

Kojima, K., Miwa, K., & Matsui, T. (2015). Experimental Study of Learning Support through Examples in Mathematical Problem Posing. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 10:1. (doi:10.1007/s41039-015-0001-5)

〔図書〕(計0件)

特になし。

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

特になし。

取得状況(計0件)

特になし。

〔その他〕

特になし。

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：齋藤ひとみ

ローマ字氏名：SAITO, Hitomi

所属研究機関名：愛知教育大学

部局名：教育学部

職名：准教授

研究者番号(8桁): 00378233

(2)研究分担者

研究分担者氏名：中池竜一

ローマ字氏名：NAKAIKE, Ryuichi

所属研究機関名：平安女学院大学

部局名：国際観光学部

職名：准教授

研究者番号(8桁): 00378499

(3)研究分担者

研究分担者氏名：寺井仁

ローマ字氏名：TERAI, Hitoshi

所属研究機関名：近畿大学

部局名：産業理工学部

職名：准教授

研究者番号(8桁): 30397442

(4)研究分担者

研究分担者氏名：小島一晃

ローマ字氏名：KOJIMA, Kazuaki

所属研究機関名：帝京大学

部局名：理工学部

職名：講師

研究者番号(8桁): 30437082

(5)研究分担者

研究分担者氏名：神崎奈奈

ローマ字氏名：KANZAKI, Nana

所属研究機関名：名古屋女子大学

部局名：短期大学部

職名：准教授

研究者番号(8桁): 30708665