

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：32639

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22500894

研究課題名(和文)メタ認知活動学習を容易にする訓練環境条件の研究

研究課題名(英文)A Learning Environment to Facilitate a Learner's Metacognition-Driven Learning

研究代表者

茅島 路子 (KAYASHIMA, MICHIKO)

玉川大学・文学部・教授

研究者番号：80266238

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：自分の問題解決過程を知覚レベルではなく抽象レベルで言語化することをメタ認知駆動学習と呼び、そのモデルを提案した。メタ認知駆動学習を生じさせる訓練環境条件を検討した結果、既存のシステムにメタ認知駆動学習を促すプロンプトを組み込むだけではメタ認知駆動学習を生じさせることは難しいことが分かった。また、自分の問題解決過程を抽象レベルまで上げきるといった思考の質を変える支援が重要であることを再確認できた。

研究成果の概要(英文)：We propose an advanced learning model, a model of metacognition-driven learning in which a learner observes his/her own problem solving process and drives abstractions about it. If abstractions can be constructed in a form that develops good metacognitive strategies, a learner will be able to regulate his/her problem solving process.

Through the experiment, we have confirmed that it was difficult to facilitate metacognition-driven learning only by incorporating the prompt which inspires metacognition-driven learning into one of the existing learning systems. Moreover, we reconfirm that it is important to support a learner to drive abstractions about his/her own problem solving process.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学，教育工学

キーワード：メタ認知活動 メタ認知駆動学習 モデル化 抽象化

1. 研究開始当初の背景

「メタ認知」とは自分の思考過程を観察・評価し、調整するという認知活動であり、主体的・構成的な学習を進めていくために、不可欠な能力の一つであると言われている。メタ認知に関する研究は、複数の雑誌で特集が組まれるなど国内・外においてさまざまな研究が行われ、2006年に、メタ認知を雑誌名に掲げた“Metacognition and learning”の創刊にまで至っている。しかしながら、メタ認知の研究拡大に伴い研究者間で研究成果の共通理解、共有が難しい現状にあることが指摘されている。この背景には、メタ認知研究の研究者間でメタ認知関連用語とそれが示す現象、および、自己調整とメタ認知との上位・下位概念の関係などが異なっていることがある。このことは、研究者間での研究成果の共通理解、共有のみならず、研究成果の蓄積、再利用も難しいことを示している。このような現状の打開策の一つとして、メタ認知のモデルや framework を構築し、研究者がそれに基づいて各自の研究を説明することが考えられる。

メタ認知や Self-regulated learning(SRL)のモデルや概念枠組みは、既に複数提案されており、本研究の代表者たちも、また、メタ認知関連領域における研究成果の共有・蓄積を目指して、ドメイン独立を指向したメタ認知活動の枠組みを構築してきた。本研究の代表者の枠組みの特徴は、メタ認知活動の活動自体は認知活動と同一であり、その相違は対象の違いであることを仮定し、問題解決をベースに、何を対象にどんな認知活動を実行するときにかなる難しさがあるかを表現したことにある。しかしながら、このメタ認知活動の枠組みは、「メタ認知活動が駆動することで生じるとされる高度な学習」とそれを生じさせるメタ認知活動のタイプを表現できていなかった。これが本研究に至る背景であった。

2. 研究の目的

本研究では、2つのことを目的とする。(a)メタ認知活動が生じた後、いかなる学習が必要なのかを検討しモデルを構築する。(b)構築したモデルを基に、メタ認知活動を生起することで可能となる学習が、どのような訓練環境の条件の下で容易になるのかを検討する。

3. 研究の方法

(1) メタ認知駆動学習のモデルの構築

「メタ認知活動が駆動することで生じるとされる高度な学習」を「メタ認知駆動学習」と呼び、その新たなモデルを構築した。

(2) メタ認知駆動学習の訓練環境条件の検討

メタ認知活動を生じさせやすいニュートン力学の学習支援システム Error - Based

Simulation(以下、「EBS」と略記)を活用した授業実践論文をメタ認知活動に伴う学習が生じているか「メタ認知駆動学習」のモデルに基づき、分析した。

学習者がメタ認知駆動に伴う学習を行うように、EBSでの具体的な問題解決を抽象化して言語化するように方向づける機能を組み込み、その有効性を調べた。

EBSにおける問題解決試行を、試行回数、試行時間の個人内平均値、および個人内標準偏差の観点で分析した。

4. 研究成果

(1) 新たなモデル「メタ認知駆動学習」の提案

「メタ認知駆動学習」という学習の新たなモデルを提案した。メタ認知駆動学習とは、メタ認知活動が駆動することで初めて生じる高度な学習である。メタ認知活動を獲得する方法の一つに、学習者にメタ認知活動を生じさせるメタ認知方略を知識として獲得させ、繰り返し問題解決に適用させるということがある。この方法は、メタ認知方略を繰り返し類似問題に適用することでメタ認知方略の手続き化、メタ認知方略の定着、そして、それを適用する効率を向上させる。この方法は、メタレベルで生じる学習か、ドメインレベルで生じる学習であるかの相違はあるが、学習のモデルとしては、Anderson(1982)が提唱した手続き的知識の学習モデルと同型であり、これらの学習モデルはメタ認知活動を伴わずに可能な学習である。したがって、メタ認知駆動学習とメタレベルで起こった学習とは区別する。

「メタ認知駆動学習」とは、問題解決における自分の認知活動を抽象レベルで言語化する学習である。自分の問題解決過程の特徴を抽象レベルで言語化することは、認知活動とそれを適用した問題状況の特殊性を捨てさせ、認知活動とそれが適用可能な状況に共通する特性のみを浮き彫りにする。

この抽象レベルへの言語化は、自分の具体的な問題解決過程を抽象的な語彙で表現することであり、知覚レベルの言語化と区別するために、「抽象レベルの言語化」と呼ぶことにした。例えば、 $5x^2-3x+4x-7x^2$ を $(5-7)x^2+(4-3)x$ と変形したとき、自分の式変形の特徴を「 x^2 に注目し分配法則を適用し、次に x に注目して分配法則を適用した」と言語で表現することである。このような抽象レベルの言語化ができれば、「式を見て同じ変数が複数あるかを調べ、あったら分配法則が適用できないかを考える」というような経験に基づいたメタ認知方略を構成でき、自分の認知活動の調整が可能となると考える。この経験に基づいたメタ認知方略の構成には、従来のメタ認知活動である観察、評価、選択、実行に加え、抽象化のみならず、メタ認知知識の修正、具体化といった新たなメタ認知活動が必要であると考えられる。観察、評価、

選択,実行という従来のメタ認知活動に,抽象化,具体化,修正というメタ認知活動を加えたモデルを提案した.

(2)メタ認知駆動学習の訓練環境条件の検討

提案したメタ認知駆動学習のモデルを基に,メタ認知駆動学習を生じさせる訓練環境条件を検討する.

メタ認知活動を生起させ易いEBSを活用した実践論文の分析

EBSは,生徒が保有する誤った力学的知識で物体に働く力を描くと,物体が地面に埋没する,空中に飛んでいくといった不自然な動きを提示するシステムである.この奇妙な動きが学習者に描いた力が誤りであるというフィードバックを与えるので,自分の問題解決過程を振り返らせる可能性が高い.したがって,メタ認知活動の駆動支援システムと言える.

EBSでメタ認知駆動学習が生じている可能性があるので,EBSの実践論文(今井,2008)における生徒に対する事後テスト後の聞き取り調査を分析した.その結果,生徒はEBSでの問題解決を知覚レベルで観察,評価,調整しているが,メタ認知駆動学習に必要な抽象化までは生じていないと言える.たとえば,聞き取りに対し,ある生徒は,「最初は重力しか入力しなかったら,物体が落下してしまったので,床が物体を支える力を入力しなければいけないことがわかった」と応えている.この発言は,問題解決過程を知覚レベルで観察,評価,選択,実行の表明と言える.この例のような知覚レベルの言語化の発言が大半であった.だが,唯一自分の問題解決過程を抽象化レベルで言語化した例があった.「上の物体の重力とそのしたにある物体が支える力でつりあい.上の物体が下の物体を押す力がある.その2つの物体の重力の大きさを床が支える力がつり合うようになっている」

この記述は,問題解決に必要な2つの法則:「力のつりあい」と「作用・反作用の法則」を区別している.したがって,この記述は,上述の知覚レベルの例より抽象度が高く,メタ認知駆動学習が生じたと言えよう.

上の物体が下の物体に及ぼす力を描く問題は,事後テストの正答率が高いが,遅延テストの正答率が大幅に低下する.このことは,大半の生徒が抽象化レベルの言語化に至らず,EBSでの学習が遅延テストまで維持できなかったからだと考えられる.以上より,EBSの奇妙な動きのシミュレーションのみでは,「メタ認知駆動学習」を支援しているとは言えないことが分かった.

EBSにメタ認知駆動学習を促す機能を組み入れた実験

EBSでの問題解決試行を通じた学習を抽象化レベルで言語化させるために,問題解決に

成功したときに,EBSに「こちらに,正解したあなたが見つかった原則(法則)を記入してください」というプロンプトを組み入れた.

このプロンプトの有効性を確かめるために,7名の文系大学生にプロンプトを組み込んだEBSの問題を解決させた.その結果,全般的に,力を描く際に考えたことを具体的に記述したものや,シミュレーションというEBSの特徴を反映してか,「作用・反作用の法則」に含まれる具体的な記述が大半であった.

一方,EBSの問題解決を通して学習した成果を事後テストまで維持できる学習者と維持できない学習者との記述を比較してみると,維持できた学習者の記述は,反発といった「作用・反作用の法則」の具体的な表現を含んでいた.

維持できた学習者の記述例:「重力により下に押す力.その反発で地面から上に押す力が働く.力Fにより壁を押す力が働く.その反発にブロックを押す力が働く.」

維持できなかった学習者の記述は,力の描き方などといった,抽象化しても直接的に法則とは結びつかないものであった.

維持できなかった学習者の記述例:「重力は物体の中心からの力だが,物体が維持されるための力は地面との接触部分である」

これらから,プロンプトだけでは抽象化レベルの言語化を促すことが難しいことが分かった.また,事後テストまで学習を維持できている者は,維持できない者に比べ,2つの法則を区別するまでには至らないが,「作用・反作用の法則」へ向かって抽象度が高くなっており,上述したプロンプトのみでは難しいが,自分の問題解決を抽象レベルで言語化することがメタ認知駆動学習を促進することが示唆された.

EBSの問題解決試行時間の分析

メタ認知駆動学習が生じた場合,振り返った自分の問題解決を抽象レベルに上げるので,解決試行の時間が通常の問題解決に比べ長くなると考えられる.そこで,EBSの問題解決試行の時間を分析することにした.その結果,事後テストまで学習を維持できた学習者(EBSの問題全てを解決でき,かつ,事後テストをすべて正解した)と維持できなかった学習者との間に,試行回数,試行時間の個人内平均,および個人内標準偏差には有意な差がみられなかった.

一方,EBSで出題する4問すべてを対象にした試行時間の個人内平均と個人内標準偏差との間には有意な相関がみられ,試行時間が全般的に長い分析対象者は,試行ごとの時間の変化も大きかった.すなわち,振り返った自分の問題解決を知覚レベルよりは抽象化の方向へレベルを上げたり,上げなかったりと柔軟に解決試行をしていることが示唆された.一方,試行時間が全般的に短い分析対象者は,試行ごとの時間の変化も小さく,自分の問題解決を振り返ったりせずに,試行

錯誤に終始していることが示唆された。

以上から、事後テストまで学習を維持できた学習者は、維持できなかった学習者に比べ自分の問題解決過程を試行時間の個人内平均の差となって現れる抽象レベルまで上げることができなかつたと考えられる。したがって、メタ認知駆動学習を生じさせるには、自分の問題解決過程を抽象レベルまで上げるといった思考の質を変える支援が重要であることを再確認できた。今後は、メタ認知駆動学習を促すには、どのような環境条件がより適切であるのかをさらに検討していく必要がある。

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 6 件)

茅島 路子, 宇井美代子, 東本崇仁, 平嶋宗, *Error-Based Simulation と問題解決試行 その 2*, 査読無, 人口知能学会先進的学習科学と工学研究会(第 69 回)人口知能学会研究会資料 SIG-ALST-B302, 2013, pp.7-12.

茅島路子, 平嶋宗, 東本崇仁, 溝口理一郎, *EBS におけるメタ認知活動「抽象化操作」*, 査読無, 教育システム情報学会研究報告, vol.26, no.7, 2012, pp.103-110.

Michiko Kayashima, Alejandro Peña Ayala, and Riichiro Mizoguchi, *Problem-Solution Process by Means of a Hierarchical Metacognitive Model*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.6738, 査読有, 2011, pp.484-486. DOI:10.1007/978-3-642-21869-9_77

Alejandro Peña Ayala ・ Michiko Kayashima ・ Riichiro Mizoguchi, Rafael Dominguez, *Improving Students' Meta-cognitive Skills within Intelligent Educational Systems: A Review*, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.6780, 査読有, 2011, pp.442-451.

DOI:10.1007/978-3-642-21852-1_51

Michiko Kayashima, Riichiro Mizoguchi, *A New Framework of Metacognition With Abstraction / Instantiation Operations*, 査読有, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.6095, 2010, pp.362-364.

DOI: 10.1007/978-3-642-13437-1_23.

Michiko Kayashima, Riichiro Mizoguchi, *A New Perspective for Metacognition-Driven Learning*, In S. L. Wong et al. (Eds.) *Proceedings of the 18th International Conference on Computers in Education*. 査読有 2010, pp.41-45.

[学会発表](計 11 件)

茅島 路子, 宇井美代子, 東本崇仁, 平嶋宗, *Error-Based Simulation と問題解決試行 その 2*, 人口知能学会先進的学習科学と工学研究会(第 69 回), 2013, (2013.10.26, 横浜市)

茅島 路子, 宇井美代子, 東本崇仁, 平嶋宗, *Error-Based Simulation と問題解決試行*, 日本教育工学会第 29 回全国大会発表論文集, 2013, pp.1013 - 1014 (2013.9.23, 秋田市)

Alejandro Peña, Michiko Kayashima, Riichiro Mizoguchi, Rafael Dominguez, *A Conceptual Model of Metacognition to Shape Knowledge and Regulation*, *The Intelligent Tutoring Systems-2012 conferenc* (2012.6.15, Crete, Greece)

茅島路子, 平嶋宗, 東本崇仁, 溝口理一郎, *EBS におけるメタ認知活動「抽象化操作」*, 教育システム情報学会研究会 (2012.3.17, 大阪市)

Michiko KAYASHIMA, Riichiro MIZOGUCHI, *A New Perspective for Metacognition-Driven Learning*, *Asia-Pacific Society for Computers in Education*. (2010.12.2, Putrajaya, Malaysia)

茅島路子, 溝口理一郎, *メタ認知駆動学習とメタ認知活動を表現した枠組*, 日本教育工学会第 26 回大会 (2010.9.19, 名古屋市)

茅島路子, 溝口理一郎, *メタ認知駆動学習を表現したメタ認知活動の枠組み*, 教育システム情報学会第 35 回全国大会 (2010.8.27, 札幌市)

Michiko Kayashima, Riichiro Mizoguchi, *A New Framework of Metacognition With Abstraction / Instantiation Operations*, *Intelligent Tutoring Systems*, (2010.6.17, Pittsburgh, USA)

茅島路子, 溝口理一郎, *メタ認知活動「抽象化操作」, 「修正操作」, 「具体化操作」*人工知能学会第 24 回全国大会, 2010, 3F3-3 (2010.6.1, 長崎市)

[その他]

受賞実績

・人工知能学会 2010 年度全国大会優秀賞受賞 (2010.7.16)

6. 研究組織

(1)研究代表者

茅島路子 (KAYASHIMA MICHIKO)

玉川大学・文学部・教授

研究者番号: 80266238

(2)研究分担者

宇井美代子 (UI MIYOKO)

玉川大学・文学部・准教授
研究者番号：80400654

(3)連携研究者

平嶋宗 (HIRASHIMA TSUKASA)
広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号：10238355

溝口理一郎 (MIZOGUCHI RIICHIRO)
北陸先端科学技術大学院大学・教授
研究者番号：20116106