

メタ認知活動を活性化する知的教育支援システム に関する研究

Intelligent Learning Environment for Activation of Meta-Cognition

研究代表者 平嶋宗 広島大学大学院工学研究科情報工学専攻 教授
共同研究者 堀口知也 神戸大学海事科学部 助教授
岡本真彦 大阪府立大学人間科学部 助教授

HIRASHIMA Tsukasa, Dept. of Information Engineering, Hiroshima University
HORIGUCHI Tomoya, Faculty of Maritime Sciences, Kobe University
OKAMOTO Masahiko, Dept. of Human Sciences, Osaka Prefecture University

和文アブストラクト

本研究では、メタ認知を活性化する知的教育支援システムの実現を目指して、学習者の誤りの可視化手法についての研究を行った。メタ認知活動とは、自身の行っている問題解決や持っている知識を点検し、問題を発見し、その問題を解消するといった自分の認知活動を対象とした認知活動である。このメタ認知活動の重要性は広く知られているが、この活動の活性化が簡単でないこと事実である。本研究では、学習の絶好の機会とされている誤りに注目し、この誤りを可視化することで、メタ認知を活性化する方法を研究し、その枠組みの定式化、具体的な手法の提案、および実験的な有効性の確認を行なった。

Abstract

In this research, we had investigated activation of meta-cognition by using error-visualization. Meta-cognitive activity is cognitive activity for cognitive activity. It plays a crucial role in problem-solving or knowledge acquisition. Without the activities, a learner cannot perform good problem solving behaviors or acquire high-quality knowledge. To activate the meta-cognition, then, is often difficult for learners. In this research, we pay special attention for errors that are important opportunities for learning and propose an approach for activate meta-cognition by visualize the errors. We call the approach "Error-Visualization". We formalized the framework of activation of meta-cognition and error-visualization. Besides, several concrete methods of error-visualization were proposed and implemented. Error-based simulation that is a method we proposed is confirmed the effectiveness for activation of meta-cognition through experiments.

1. 研究目的

メタ認知は、自分の行っている問題解決や持っている知識を点検し、問題を発見し、その問題を解消するといった自分の認知活動を対象とした認知活動、つまり、「認知に対する認知」のことである。問題解決やそれを通じた学習といったことが効果的に行われる上で、好めた認知活動が大きな役割を果たしていることがわかってきている。しかしながら、このメタ認知は多くの学習者にとって簡単な活動とは言えず、十分に行なえ場合も多いことが知られている。本研究の目的は、人工知能とヒューマンコンピ

ュータインタラクションの技術を用いて、学習者のメタ認知活動を活性化する知的教育支援システムを設計・開発することである。メタ認知活動を活性化する方法の中でも、学習の絶好の機会となる「誤り」に注目し、その誤りについてのメタ認知活動を活性化させるために「誤りの可視化」に焦点を当てた研究を進めた。

2. 研究経過

2.1 メタ認知活性化の枠組み

本研究では、メタ認知の活性化以下を図1のようなモデルにおいて捉えている。まず、ある

環境が存在し、その環境についての知識を学習者が持っていることが前提となる。そして、(1) 認知モジュールにおいて何らかの推論が行われ、その結果が得られるとする。これを「実験」にたとえると、知識は「仮説」であり、結果は「予測」に相当する。この際、必要があれば環境に対する具体的な操作が行われることになる。次に、(2) 環境の変化が観測される。そして、(3) この観測結果は「予測」と照合して評価される。この評価において許容できない食い違いが発生していると認識されたとき、認知的葛藤が生じる。そして、(4) この認知的葛藤がメタ認知モジュールを起動し、認知モジュールで行われた推論や、そこで使われた知識を再検討し、知識の再構成が行われることになる。

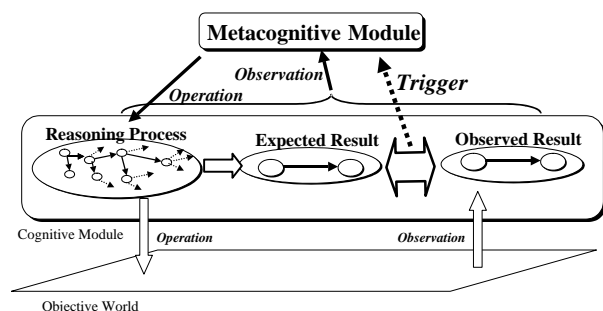


図1 メタ認知活性化の枠組み

2.2 誤り可視化の枠組み

観測結果と予測結果にズレが生じていれば、自分の考えや知識を再検討するに十分なはずである。しかしながら、(I)ズレを認識できない、あるいは(II)その重要性を認識できない、といった理由で認知的葛藤が喚起されない場合が多いといえる。このような認知的葛藤を喚起する上での障害を解消する一つの方法として、表現形式を変えてそのズレが学習者にとって認識しやすいものにする方法が考えられる。これを「誤りの写像による誤りの可視化」と呼んでいる。

力学問題に対する立式を対象とした「誤りの写像による誤りの可視化」の例であるEBS(Error-Based Simulation)の枠組みを図2に示した。まず、力学の立式問題に対して学習者が誤った方程式を立てたとする。この方程式の誤りを数式の世界で学習者に気づかせるのは、多くの場合難しいといえ、誤りを直接指摘する否定的フィードバックが一般的である。これに対してEBSでは、

学習者の立てた誤った式を、シミュレーション世界の挙動に写像する。具体的には、誤った式より速度あるいは加速度などを計算し、得られた値を用いてその式の対象となっている物体を運動させることにより、生成している。このようにして生成されるEBSは学習者の立てた式に従うとしたら物体はどう挙動してしまうかを提示しており、学習者の誤りを肯定的に捉えたフィードバックとなっている。

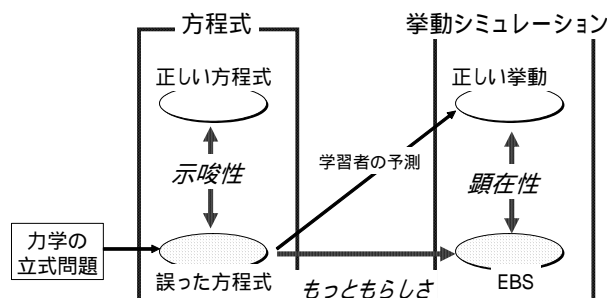


図2 EBSによる誤り可視化の枠組み

2.3 誤り可視化の試み

本研究では、(a)力学問題に対する立式の誤りの可視化する、他に、(b)多桁減算手続きのバグの可視化する、(c)英作文の誤りの可視化する、といった研究を行なった。力学の立式誤りの可視化においては、(a1)誤った式に基づいてもロバストに振る舞いに関するパラメータの計算する方法、(a2)生成される誤りに基づく振る舞いが正しい振る舞いと比べて誤りを可視化する上で十分異なっているかどうかの判定、を主な研究課題とした。

筆算手続きのバグの可視化においては、多桁減算をブロックボックスモデルによって表現し、そのブロックボックスのおかしな操作としてバグが可視化される。英作文の誤りの可視化においては、誤った英文に基づいてアニメーションを生成することで、誤りの可視化を行なっている。

これらは、メタ認知の活性化を目的とした誤りの可視化の可能性を確かめる研究と位置づけることができる。この中でも力学の立式の誤りの可視化は、より一般的に連立方程式の誤りの可視化と捉えることができる。このような一般化の上での誤り可視化の試みが、ロバストシミュレータであり、これについては、次節で説明する。

2.4 誤り可視化メカニズムの一般化

誤りの可視化においては、学習者からの入力には誤りが含まれている。したがって、誤りを含んだ入力に対しても適切な計算を行なう仕組みが必要となる。力学問題に対する立式を取り扱った研究においては、学習者の誤りは方程式の誤りとなり、誤った方程式を計算することは一般には不可能である。本研究では、この問題を、任意の連立方程式に対する制約充足問題と捉えた上で、制約解析を行った上で計算可能な部分だけを取り出す方法を、TMS (Truth Maintenance System) に基づいて定式化 (この方法を部分制約解析法: Partial Constraint Analysis と呼んでいる)、力学問題を対象として実装した。この方法は、矛盾を含んだ連立方程式に対して一般的にシミュレーション結果を導くことのできるロバストなシミュレータとなっており、電気回路などの連立方程式で動作原理を表現できる系一般に拡張可能なものとなっている。

さらに、生成されたシミュレーション結果が誤りの可視化に有効であるのかを、(1)正しいシミュレーション結果との差異の大きさ、および(2)差異と誤りとの関係、を分析する教育的評価器についても設計・開発を行なった。

差異概念の整理については、Forbusらの定性プロセスモデルに基づき整理を行った。すなわち、対象系を、物理現象(プロセス)を通して相互作用し合う存在物(オブジェクト)の集まりとして捉えるとき、その振る舞いを観察する視点として、(v1)1つのオブジェクトの在り方に注目する視点、(v2)複数オブジェクトの(時間を陽に含まない)関係の在り方に注目する視点、(v3)1つのオブジェクトの時間変化の仕方に注目する視点、(v4)複数オブジェクトの(時間を陽に含まない)関係の時間変化の仕方に注目する視点、の四つを考える(これらよりも高次の視点(例えば、1つのオブジェクトの時間変化率など)も考え得るが、知覚が困難であることから、ここでは扱わない)。視点(v1)(v2)は、ある時点におけるオブジェクトの状態やオブジェクト同士の関係を見るものであり、視点(v3)(v4)は、複数の時点におけるオブジェクトの状態変化やオブジェクト同士の関係の変化を見る。これらの在り方が、2つの振る舞いにおいて異なっているとき、「差異」が認知されるものとする。

上記の視点に基づくと、「差異」概念は図3のように分類される。

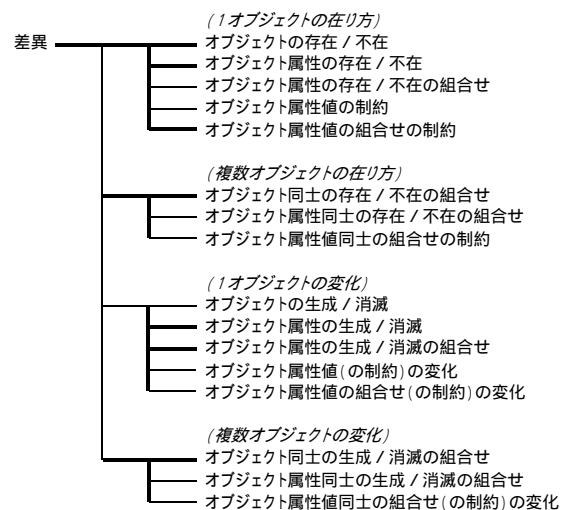


図3 差異概念の整理

2.5 メタ認知活性化の効果

誤り可視化の効果の実験的検証としては、力学問題を用いて、(1)ミクロな熟達変化に関する実験、と(2)転移プロセスに関する実験を行なった。(1)では、初等力学の学習場面においてEBSを用いることにより、学習者にどのような概念変容が引き起こされるかを調べた。(2)では、EBSを用いた力学の学習が、他の力学問題の解決にも転移するかどうかを調べた。結果としては、力学の成績が低い群に対しては、EBSを用いることが、自身の問題解決能力や問題解決プロセスを再考する振る舞いにつながり、また、正解率の向上にもつながることがわかった。つまり、メタ認知の活性化として効果があったことが分かった。しかしながら、誤りの示唆効果については、必ずしも十分ではなく、メタ認知を働かせたものの、うまく修正できない学習者も多く見られたこともわかっている。

3. 研究成果

本研究の成果としては、まず、(1)メタ認知活性化のための誤りの可視化の方法を複数提案することができた。これは、メタ認知活性化の方法としての誤り可視化の可能性を示すものといえる。また、(2)誤り可視化のためのシミュレータとして、学習者の矛盾を含んだ入力に対しても出力を導くことができるロバストシミュレータと、その出力の教育的妥当性を検証する教育的評価器を設計開発することができた。これは、誤りの可視化によるメタ認知の活性化

が、事例的に利用可能なだけでなく、一般的に適用可能となる可能性があることを示唆したものと見える。さらに、(3)力学の事例において誤りの可視化がメタ認知の活性化として有効であることを示した。小規模な実験であるため、これだけで十分なことを主張できるわけではないが、メタ認知の活性化としての有効性を実証するものとして重要といえる。

これらの研究成果については、11篇の国際会議論文で公表済みであり、また、すでに1篇の学会誌論文を投稿中であり、あと2編の学会誌論文の投稿を予定している。また、メタ認知の活性化および誤りの可視化について3編の解説記事を学会誌に掲載しており、本研究がメタ認知と学習支援に関する重要な研究であるとの位置づけを獲得していることを示すと考えている。

4. 今後の課題と発展

本研究の直接的に今後の課題としては、(1)新しい誤り可視化手段の開発、(2)ロバストシミュレータと教育評価器を用いた具体的な教材の開発、(3)誤り可視化効果のより大規模で長期的な測定、である。

社会的な還元の一つの方法としては、具体的な学習課題に対して、誤りの可視化によるメタ認知の活性化を可能にするインタラクティブな教材を具体的に作りこみ、教育現場において利用する試みが考えられる。これについても、中学校教諭らの協力を得て、計画中である。また、本研究を通して得た知見にもとづいた、より一般的なメタ認知のモデルを構築する試みも始めている。このモデルは、種々のメタ認知活性化に関する研究の位置づけを行う上での参照モデルとしての役割を果たせるようになることを期待している。これらの研究を展開することで、本申請研究の成果を今後も継続的に活かしてゆくことができると考えている。

5. 発表論文リスト

Tsukasa Hirashima, Akira Takeuchi : Visualization of Bugs in Subtraction with Block-Box Model Proc. of ED-MEDIA2003, pp.777-783(2003).
Hidenobu Kunichika, Akira Takeuchi, Tsukasa HIRASHIMA : A Method of Supporting English Composition by Animations as a Trigger for Reflection Proc. of AIED2003, pp.29-36(2003). (Artificial Intelligence in Education, Frontiers in

Artificial Intelligence and Applications Vol.97, ISO Press)

- T.Horiguchi, T.Hirashima: A Computational Framework of Thought Experiment Environments, Proc. of ICCE 2003, pp.1074 - 1078(2003).
Horiguchi, T., Hirashima, T.: A simulation-based learning environment assisting scientific activities based on the classification of 'surprisingness', Proc. of ED-MEDIA04, pp. 497-504(2004)
Tomoya Horiguchi, Tsukasa Hirashima: Error-visualization in multi-agent social simulations for developing childrens' statistical skills, ICCE2004, pp.105-111(2004).
Tomoya Horiguchi, Tsukasa Hirashima : Graph of Microworld, Proc. of AIED2005, pp. 670-677(2005) (Artificial Intelligence in Education - Supporting Learning through Intelligent and Socially Informed Technology-, IOS Press, 2005).
Tomoya Horiguchi, Tsukasa Hirashima, Masahiko Okamoto : Conceptual Changes in Learning Mechanics by Error-based Simulation, Proc. of ICCE2005, pp. 138-145(2005). (Towards sustainable and scalable educational innovations informed by the learning sciences, IOS Press, 2005)
Tsukasa HIRASHIMA, Tomoya HORIGUCHI: Error Visualization to Scaffold Metacognitive Activity, The 2nd Joint Workshop of Cognition and Learning through Media-Communication for Advanced e-Learning, pp.1-6(2005,Invited).
Hidenobu Kunichika, Tsukasa Hirashima, Akira Takeuchi : Visualizing Errors and its Evaluation, Proc. of ITS2006(Accepted).
Tomoya Horiguchi, Tsukasa Hirashima: Robust Simulator:A Method of Simulating Learners' Erroneous Equations for Making Error-based Simulation Proc. of ITS2006(Accepted).
平嶋 宗: 「誤りへの気づき」を与えるインタラクシオンを目指して、ヒューマンインタフェース学会誌 Vol.6 No.2 特集「学習・創造・インタラクシオン」, pp.31-34 (2004) .
平嶋 宗, 堀口 知也, "「誤りからの学習」を指向した誤り可視化の試み", 教育システム情報学会誌 Vol.21 No.3, pp.178-186 (2004) .
平嶋宗: メタ認知の活性化支援, , 人工知能学会誌, Vol.21, No.1, pp.58-64(2006).