

物理における制約の理解を指向した Teachable Agent Modeling for Error-visualization による学習手法の提案

Proposal of a Learning Method with Teachable Agent Modeling for Error-visualization for Understanding Constraints in Physics

荻田 将徳^{*1}, 前田 新太郎^{*1}, 相川 野々香^{*1}, 古池 謙人^{*1}, 東本 崇仁^{*2}

Masataka OGITA^{*1}, Shintaro MAEDA^{*1}, Nonoka AIKAWA^{*1}, Kento KOIKE^{*1}, Takahito TOMOTO^{*2}

^{*1}東京工芸大学大学院工学研究科

^{*1}Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University

^{*2}東京工芸大学工学部

^{*2}Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

Email: m2265003@st.t-kougei.ac.jp

あらまし： 学習者が人に教えることにより学ぶことは有益であり，そのための手法として著者らはこれまで Teachable Agent Modeling for Error-visualization (TAME)を開発してきた．TAME では，学習者に問題解決型の学習を行わせ，その後に学習者の誤りに基づいた可視化としてエージェントが誤答ベースの誤った行動を生成する．学習者は自らの誤りに基づいて振舞うエージェントに，適切な制約を教える活動を通して自らの誤りについての理解を促進する．TAME ではこれまで算数の作問活動を中心とした制約理解のためのシステムを開発してきたため，本研究では力学における作問を対象としたシステムについて検討する．

キーワード： Teachable Agent, Learning-by-teaching, 誤りの可視化, 制約, TAME

1. はじめに

物事において制約（ルール）を理解することは重要であり，それは学習においても同様である．数学や物理においても制約は存在するが，これらを理解せず問題を解いていることが多く，理解を深めるには制約を理解することは重要である．

そこで，制約を学習において指向した研究として，Teachable Agent Modeling for Error-visualization(TAME)がある⁽¹⁾．TAME では様々な学習手法・技術が取り入れられている．他者に対して物事を教示することで，自身の理解を深める学習手法である Learning-by-teaching⁽²⁾や，教えられる側の存在を担う技術としての Teachable Agent⁽³⁾，学習者の入力を実際にシミュレートし，誤りに気付かせる誤りの可視化⁽⁴⁾が該当する．既存の TAME は，作問問題を対象としている．学習者に作問活動を行わせ，そこでの間違いがもつ制約に基づいて TAME は誤った作問結果を学習者に提示する．学習者は TAME の誤った作問に対して，どのような制約が充足していないかを教える．TAME は教えられた内容に応じて作問結果を変化させる．この試行錯誤により学習者は理解を促進する．

そこで，本稿では他分野における TAME の実現性を検討するために，力学の分野におけるシステムの提案を行う．

2. 関連研究：作問を対象とした TAME

現状の TAME で実現した範囲として作問問題があげられる．作問 TAME では，あらかじめ必要なテンプレート文，テンプレート内の概念間の関係性を表した制約，テンプレートに用いられるデータセット

を用意しており，学習者の作問中の誤答は制約の充足不足という形で取得される．例えば，作問中のオブジェクトの単位がそろふ必要があるという制約に対して，学習者の作問における単位がそろっていない場合は単位の制約の未充足となる．このように取得された作問活動時の誤答の制約不足を基に，次の活動である教示活動では不足した制約に基づいてエージェントは誤答を生成する．教える活動において，学習者は誤った制約を指摘すると，エージェントは制約を充足した作問を行う．複数の充足の不足がある場合は，これを繰り返し学習者はエージェントが正しい作問が行えるように誘導する．現在，作問分野においては一定の効果が確認されている．

3. 提案システム

3.1 概要

本稿では，物理を対象とした TAME について提案する．手法として，解答フェーズと教えるフェーズの二種類のフェーズを用意し，解答フェーズでの学習者の誤答が満たしていない制約を取得し，教えるフェーズで取得した制約に基づいた誤答をエージェントが作成する．学習者は，エージェントの生成した誤答に対して，制約の誤りを指摘し，エージェントを正解に導く．

3.2 解答フェーズと制約の取得

学習者は，図 1 のような画面を用いて解答を行う．図 1 の物理状況の正解は図 2 となるが，これを正解が満たすべき制約として一部抜粋したものが表 1 である．学習者は図 1 の問題において多くの誤りを犯すと考えられる．システムは学習者の誤答がどの制

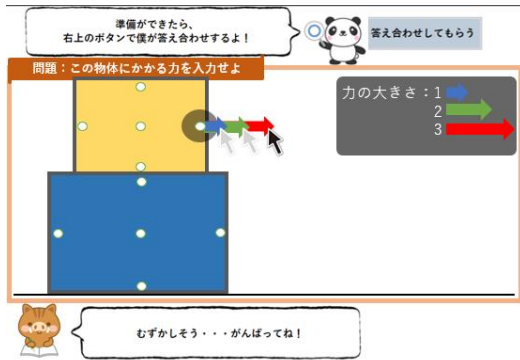


図1 解答フェーズ



図3 教えるフェーズ



図2 解答フェーズ-正解例

約を充足していないかを取得し、のちの教えるフェーズに活用する。

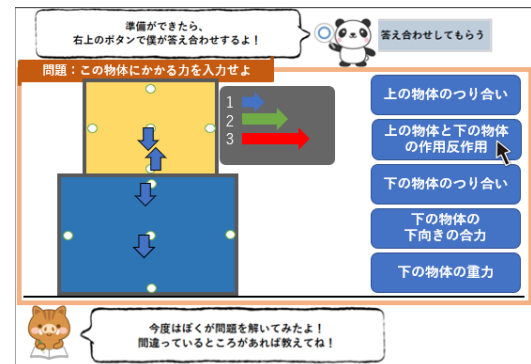


図4 指摘後のエージェントの誤答

解に近づくことになる。この指摘を受けた後のエージェントの誤答生成は図4のようになる。

表1 制約(一部)

制約名	制約式
上の物体のつりあい	[上の物体]の[下向き]の力の総和 = [上の物体]の[上向き]の力の総和
上の物体と下の物体の作用反作用	[上の物体]の[下部]に働く[上向き]の力の大きさ = [下の物体]の[上部]に働く[下向き]の力の大きさ
下の物体のつりあい	[下の物体]に働く[下向き]の力の総和 = [下の物体]の[上向き]の力の総和
下の物体の downward 合力	[下の物体]の[下向き]の力の総和 = [下の物体]の[中央]に働く[下向き]の力 + [下の物体]の[上部]に働く[下向き]の力
下の物体の重力	[下の物体]の[中央部]に働く[下向き]の力の大きさ > 0

3.3 解答フェーズ

TAME は解答フェーズで学習者の誤答が満たしていない制約に基づいて、誤答を学習者に提示する(図3)。学習者が正解に至るまでに複数回間違えた場合は、すべての誤答による制約の未充足を反映する。仮に学習者のこれまでの誤答が、制約「上の物体のつりあい」は常に満たし続けているが、その他の制約を満たしていない場合は、図3のような誤った解答をエージェントが行う。学習者はこの誤答に対して「上の物体と下の物体の作用反作用を満たしていない」などの指摘を行い、エージェントの解答を正

4. おわりに

本稿では、先行研究である作問活動を対象としたTAMEによる「テンプレート」と「制約」に基づいた問題解決学習と、その結果を制約の未充足として得たのちに、制約に基づいた誤った解答を行う Teachable Agent という仕組みが、力学の領域でも実現可能であるかを検討した。

今後の課題として、実際に力学を題材としたTAMEを実装し、他分野における制約の理解の向上が可能であるかの検証を行っていく事があげられる。

参考文献

- (1) 古池謙人, 樋村いづみ, 東本崇仁: “誤りの可視化を重視した Teachable Agent モデリング手法の提案”, 電子情報通信学会技術研究報告(ET), Vol.121, No.294, pp.57-62 (2021)
- (2) L. Fiorella and R.E. Mayer, “The relative benefits of learning by teaching and teaching expectancy”, *Contemporary Educational Psychology*, Vol.38, No.4, pp.281-288 (2013)
- (3) G. Biswas, K. Leelawong, D. Schwartz, N. Vye, and T.T.A.G. at Vanderbilt, “Learning by teaching: A new agent paradigm for educational software”, *Applied Artificial Intelligence*, Vol.19, No.3-4, pp.363-392 (2005)
- (4) T. Hirashima, T. Horiguchi, A. Kashihara, and J. Toyoda, “Error based simulation for error-visualization and its management”, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol.9, No.1-2, pp.17-31 (1998)