

# 教える活動を通じた物理における制約理解を指向した Teachable Agent Module for Error-visualization の開発

## Development of Teachable Agent Module for Error-visualization Oriented to Understanding Constraints in Physics Through Teaching Activities

荻田 将徳<sup>\*1</sup>, 前田 新太郎<sup>\*2</sup>, 相川 野々香<sup>\*1</sup>, 古池 謙人<sup>\*3</sup>, 東本 崇仁<sup>\*4</sup>  
Masataka OGITA<sup>\*1</sup>, Shintaro MAEDA<sup>\*2</sup>, Nonoka AIKAWA<sup>\*1</sup>, Kento KOIKE<sup>\*3</sup>, Takahito TOMOTO<sup>\*4</sup>

<sup>\*1</sup> 東京工芸大学大学院工学研究科

<sup>\*1</sup> Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University

<sup>\*2</sup> 千葉工業大学大学院情報科学研究科

<sup>\*2</sup> Graduate School of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology

<sup>\*3</sup> 京都大学学術情報メディアセンター

<sup>\*3</sup> Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University

<sup>\*4</sup> 千葉工業大学情報科学部

<sup>\*4</sup> Faculty of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology

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

**あらまし**：学習において制約（ルール）を理解することは重要である。そのための手法として著者らはこれまで Teachable Agent Module for Error-visualization (TAME)を開発してきた。TAME ではこれまでに作問活動を題材として検証を行い、有用であることが示された。しかし、他の分野では同様に効果が見られるか検証は行われてこなかった。そこで本稿では、新たに物理を題材としてシステムの開発を行い、それに伴い必要な制約を作成した。

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

### 1. はじめに

学習において制約（ルール）を理解することは重要であり、十分に制約を理解できていない場合、基本問題や応用問題で躓くといった事象が起こりうる。例えば、初等物理における基本的概念である垂直抗力を理解していない場合、物体が接している面から反作用の力を記述することは困難である。

そこで、制約の理解を指向した研究として TAME (Teachable Agent Module for Error-visualization) がある<sup>(1)</sup>。TAME では、他者に物事を教示することによる学び (Leaning by teaching)<sup>(2)</sup>に着眼した。ほかにも TAME では、教示活動を行う上で必要不可欠な教えられる側の存在を担保する Teachable Agent<sup>(3)</sup>、誤りに気付かせる誤りの可視化<sup>(4)</sup>など、複数の手法を用いて制約の理解を促している。

これまで TAME では、題材として作問活動における効果の検証が行われてきた。しかし、他分野において TAME が有用か検証はされていない。

そこで本研究では、物理を題材として TAME が実現可能であるか検討を行う。検討するにあたり、筆者らはこれまでに物理版 TAME に必要な制約の検討や、制約に基づく制約条件について考えてきた。本稿では、作成した制約を基に開発したシステムについて、手法や概要を記す。

### 2. 関連研究：作問を対象とした TAME

これまでの TAME では作問活動を題材として扱っ

ている。作問 TAME では、学習者が行う活動として、問題を解く活動に加えて教える活動を行う。問題を解く活動では、学習者は教師型エージェントに解答の正誤判定をしてもらう。正答時は教える活動に移行し、学習者は生徒型エージェントの解答に対して、どの制約が誤っている等の指摘を行う。それに対して生徒型エージェントは、選択された制約に沿った解答の修正を行う。また、これらの制約は既存の学習支援システム“モンサクン”<sup>(4)</sup>における制約構造を用いてシステムの作成を行っている。

これらの活動を通し、作問活動において TAME は一定の効果があることがわかっている。

### 3. 提案システム

#### 3.1 概要

本稿では、物理を題材とした TAME について、開発したシステムを基に説明を行う。手法として、既存の TAME 同様に問題を解く活動と教える活動の二種類の活動を用意し、それぞれを解答フェーズ、教えるフェーズとする。解答フェーズで正答した後に、教えるフェーズに移行する。教えるフェーズでは、生徒型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ことで教示していることを認識する。

#### 3.2 解答フェーズと制約の取得

本システムでは学習者が最初に行う活動として、

問題を解く活動を行う。問題を解く活動では表示されている図形に対して力の記入を行う。力の記入方法は物体に存在する作用点に対して力の強さ(1~3)と力の向き(上下左右)を指定し、力の描画を行う。必要な矢印の記入を終えたら解答を行う(図1)。

解答を行った際、システムからのフィードバックとして、教師型エージェントから正解、不正解のフィードバックが返ってくる。学習者が問題を正解した際は、教えるフェーズに移行し、誤答だった場合、再度問題を解く流れになる。

もし誤答した場合は、システム内で誤答履歴を記録しておく。これは学習者の間違った制約に基づいた誤答を教えるフェーズで生成するためである。

また、この際システム内では、表1に含まれる4つの制約ごとに正誤判定を行っている。

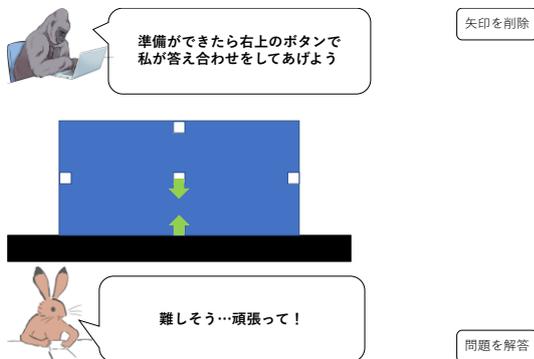


図1 解答入力後の画像

### 3.3 教えるフェーズ

次に教えるフェーズでは、学習者は生徒型エージェントが解いた問題に対して、制約を用いて誤りを指摘する。生徒型エージェントが解いた問題として生成される図形の例として、図2のような図形が提示される。これは学習者が解答フェーズにて反作用以外の制約を誤って解答し、その後正答にたどり着いたものである。図2では反作用の制約のみ満たされており、これに対して学習者が“重力”の制約が誤っていると指摘すると、重力の制約条件である“物体に含まれる重量が中心から下向きの矢印として表現しているか判断”を満たした描画を生徒型エージェントは行う(図3)。他にも指摘する制約が存在した場合、指摘を続け、全ての指摘を終えたら解答を行い、教師型エージェントが正誤判定を行う。

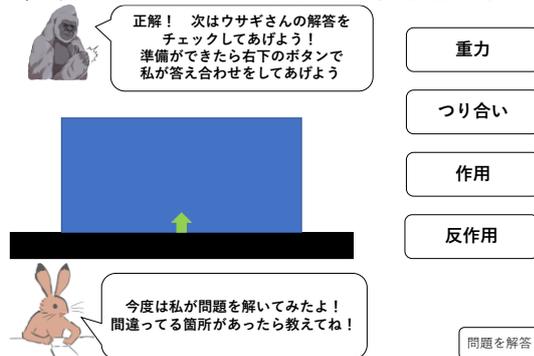


図2 教えるフェーズ初期画面

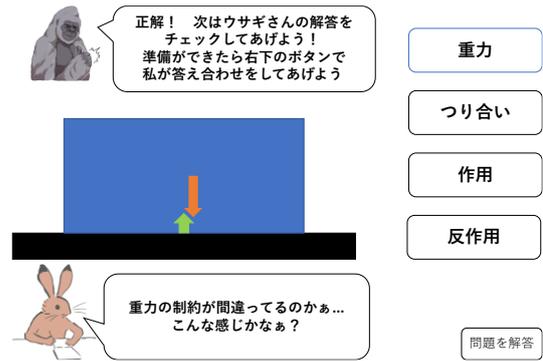


図3 制約選択時の画面  
表1 制約

制約名	制約条件
重力	物体に含まれる重量が中心から下向きの矢印として表現しているか判断
つり合い	垂直, 水平方向の力の総和が0になっているか判断(静止物体の場合)
作用	物体がほかの物体に影響を与えている力を記述しているか判断
反作用	作用が影響を及ぼしている物体から反対向きの力が記述しているか判断

### 4. おわりに

本稿では、先行研究のTAMEにおける題材である、作問学習の領域以外でもTAMEの手法を活用できるか思索するため、“物理”の領域においてシステムの開発、及びシステムにおける制約の設定を行った。

今後の課題として、実際に評価実験を行い、結果に応じて他分野でもTAMEを用いることが可能であるか分析していくことに加え、より教える活動において実感を持って学習者が教える活動を行っていくようにシステムを改善していくことがあげられる。

### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP21H03565, JP20H01730 の助成による。

### 参考文献

- (1) 古池謙人, 樋村いづみ, 東本崇仁: “TAME: 誤りの可視化を重視した Teachable Agent の挙動制御手法”, 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol.J106-D, No.2, pp.110-122 (2023)
- (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)
- (5) 山元翔, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋宗: “教室授業との融合を目的とした単文統合型作問学習支援システムモンサクン Touch の開発と実践利用”, 信学論 (D), Vol.J96-D, No.10, pp.2440-2451 (2013)