

# 力学における学習者の誤りに適応的な問題提示システムの授業実践の報告

## Report of Classroom Practice of Adaptive Problem Presentation Systems for Learners' Errors in Mechanics

相川 野々香<sup>\*1</sup>, 前田 新太郎<sup>\*1</sup>, 茂木 誠拓<sup>\*1</sup>, 古池 謙人<sup>\*1</sup>, 東本 崇仁<sup>\*2</sup>, 今井 功<sup>\*3</sup>, 堀口 知也<sup>\*4</sup>, 平嶋 宗<sup>\*5</sup>  
Nonoka AIKAWA<sup>\*1</sup>, Shintaro MAEDA<sup>\*1</sup>, Tomohiro MOGI<sup>\*1</sup>, Kento KOIKE<sup>\*1</sup>, Takahito TOMOTO<sup>\*2</sup>, Isao IMAI<sup>\*3</sup>,  
Tomoya HORIGUCHI<sup>\*4</sup>, Tsukasa HIRASHIMA<sup>\*5</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> 東京工芸大学工学部

<sup>\*2</sup> Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

<sup>\*3</sup> 千葉市立さつきが丘中学校

<sup>\*3</sup> Chiba Municipal Satsukigaoka Junior High School

<sup>\*4</sup> 神戸大学大学院海事科学研究科

<sup>\*4</sup> Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

<sup>\*5</sup> 広島大学大学院先進理工系科学研究科

<sup>\*5</sup> Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

Email: n.aikawa@st.t-kougei.ac.jp

あらまし：本稿では、力学を対象として、学習者に補助問題を適応的に提示することで学習者の行き詰まりを解消し、試行錯誤を促進する学習支援システムを開発し、授業実践を行った。その結果をテストおよびシステムログから分析した。

キーワード：授業実践, Error-based Simulation, 補助問題, 初等力学

### 1. はじめに

学習において、学習者が試行錯誤を行うことは重要である。そこで、学習者に演習問題を行わせ、その解答に対して誤りの可視化を行うことで学習者の試行錯誤を促す学習支援の枠組みである Error-based Simulation (EBS)がこれまで研究されてきた<sup>(1,2)</sup>。EBSは力学をはじめとして数学や英作文などでその学習効果が示されている。しかし、試行錯誤の過程で同じ誤りを繰り返し、問題解決が進展しない行き詰まりの状態が発生してしまうことがある。学習者が行き詰まりを解決するためには、適切な手がかりを与える必要がある。一方で、学習者に手がかりとして正答を与えると、試行錯誤を阻害してしまう可能性もある。

本研究では、行き詰まった学習者に適切な補助問題を与えれば、試行錯誤を継続しながら行き詰まりの解消ができると考えた。補助問題とは、もとの問題を理解するのに役立つ問題である。本研究ではこの補助問題の問題系列を設計し、力学を対象として行き詰まった学習者の誤り箇所に適応的な補助問題を自動提示する学習支援システムを開発した<sup>(3)</sup>。また、本システムの学習効果を調査するため、中学校における授業実践を行った。本稿では、授業実践の結果について、実施したテストおよび演習システムのログから学習活動の分析を行った。

### 2. 授業実践で使用したシステム

システム画面を図1に示す。本研究では、力学EBS

システムについて、行き詰まった学習者の誤り箇所を分析し適応的に補助問題を提示するシステムを開発した。

#### 2.1 補助問題と問題系列

本研究で扱う問題は物体に働く力の作図問題となっており、問題の中の力を欠落した時に、その力を学ぶための補助問題を作成した。もともとなる問題は、床の上に二つの物体が重ねて置かれ、下の物体が外力によって横向きに押されて、二物体ともが加速しているという問題である（図1は外力をネズミが押すことで表現している）。この現象には9つの力が働いており、これらの力のそれぞれに対して補助問題を作成し、問題系列を作成した。

#### 2.2 誤り箇所の分析と提示方法

本システムでは、学習者の解答履歴から学習者の最も多かった誤りの数をカウントすることで、誤り箇所を分析している。まず、学習者は本システムに提示された問題に対して、矢印を用いて作図することで解答を行う。システムは、学習者が解答するごとに正解の作図と学習者の作図を照らし合わせ、正解の作図に対して欠落している矢印をカウントする。システムは学習者が解答するごとにそのような分析を行い、学習者の解答履歴の中で最も欠落した回数多かった矢印を抽出する。本システムは、この最も多かった矢印を学習者の誤り箇所とする。そして、誤り箇所の力に対応する補助問題を問題系列から選択し、学習者に提示する。



図1 システム画面

### 3. 授業実践の手順

本研究では、初等力学について学んでいる最中の中学生を対象に、システムの学習効果を調査するため、中学校における授業実践を行った。公立中学校の3年生3クラス（1クラス29名）を対象に、3時限分（135分）の授業で事前/事後テストとシステム利用を行った。

学習効果について、事前/事後テストおよび実践から8週間後に実施する遅延テストの成績から評価を行う。テストは全部で7問あり、4問がシステムで扱った問題、3問がシステムでは扱っていない応用問題になっている。

### 4. 結果

事前事後テストおよび遅延テストの結果を表1に示す。まず、合計結果から、事前テストでは0.64だった平均点が事後テストでは3.41となっており、ほとんどの生徒がシステム利用を通して点数が向上していることが分かった。さらに学習課題と発展課題をみたところ、学習課題は全4問で事前テストの平均が0.59なのに対して事後テストが3.11になっており、著しい成績の向上があったことが分かる。一方発展課題も成績の向上が見られた。

また、本研究における生徒の学習活動を評価するため、システムログの分析を行った。その結果を表2に示す。表2は、演習中にもとの問題を解いてシステム演習を終えられた生徒とそうでない生徒の人数とその割合である。比較として、従来研究<sup>(1)</sup>で大学生を対象に行った結果も共に示す。図2は生徒が演習中にいくつの問題に移行したかの回数の分布である。演習完遂できた人のみをまとめた。

演習完遂率は、72.8%（59/81人）であった。これは大学生の評価実験での完遂率77.8%（7/9人）と比較しても遜色ない結果だと考える。

図2の問題移行回数については、このシステムに実装した全ての問題をまわると移行回数は合計12回になる。ヒストグラムを見ると、～15回の部分に17人いるので、この生徒たちは問題系列を一通り解き、それによってもとの問題が解けたと考えられる。それ以下の回数で解けた生徒も11人いた。つまり、

演習問題を完遂できた生徒の中で半数以上は15回以下の問題移行回数で目標問題を解けるようになったと言える。

一方、中学生の演習問題を演習完遂ができた人の中でも、～30回の分布に位置する生徒が9人いた。これは問題系列の全ての問題を一通り解く回数に加えて、さらに全ての問題をもう一回以上解いた数である。

表1 テスト平均（標準偏差）

	学習課題	発展課題	合計
事前	0.59 (0.81)	0.05 (0.22)	0.64 (0.93)
事後	3.11 (0.86)	0.30 (0.51)	3.41 (1.05)
遅延	1.58 (1.16)	0.22 (0.41)	1.80 (1.36)

表2 学習者の演習完遂比率

	比率	人数
授業実践参加者（中学生）	72.8%	59/81
評価実験参加者（大学生）	77.8%	7/9

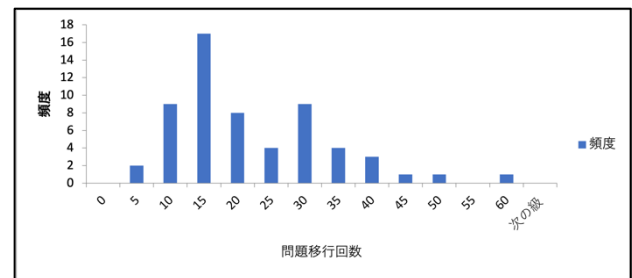


図2 演習完遂できた人の問題移行回数の分布

### 5. おわりに

本稿では、力学を対象に、行き詰まった学習者に適応的に補助問題を提示することで行き詰まりを解消する学習支援システムを開発し、中学校にて授業実践を行った。その結果をテストおよびシステムログから分析したところ、大学生がこのシステムを使用するのと同等の学習効果があることが示唆された。

### 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 JP22K12322, JP21H03565, JP19H04227 の助成による。

### 参考文献

- (1) 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)
- (2) 篠原智哉, 今井功, 東本崇仁, 堀口知也, 山田敦士, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗: “運動する物体にはたらく力を対象とした error-based simulation の中学校理科における実践利用”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.99, No.4, pp.439-451 (2016)
- (3) 相川野々香, 古池謙人, 東本崇仁: “Error-based Simulation (EBS)における学習者の誤り傾向に基づく問題の行詰まり解決支援システム”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.103, No.9, pp.644-647 (2020)