

力学の学習を支援する誤り可視化演習と構造的記述演習による 学習効果の実験的評価

Experimental Evaluation of Learning Effectiveness of Error Visualization Exercises and Structural Description Exercises to Support Learning of Mechanics

井門 匠^{*1}, 倉山 めぐみ^{*2}, 林 雄介^{*1}, 平嶋 宗^{*1}

Takumi IMON^{*1}, Megumi KURAYAMA^{*2}, Yusuke HAYASHI^{*1}, Tsukasa HIRASHIMA^{*1}

^{*1}広島大学大学院先進理工系科学研究科

^{*1}Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

^{*2}函館工業高等専門学校

^{*2}National Institute of Technology, Hakodate College

Email: m245231@hiroshima-u.ac.jp

あらまし：物理の力学では、運動方程式を立てる前段階として、物体に働く力を正しく把握する必要がある。物体に働く力の学習支援手法として、学習者の誤りを反映し挙動や問題状況を生成、正しい挙動との差分として誤りを顕在化するEBS (Error-Based Simulation) が提案され、さらに、EBSでは暗黙的である力・加速度・速度の関係性を表形式で学習する運動状態構造的記述演習 (SDE) が提案された。本研究では、2つのシステムの実践利用によって学習効果を分析する。

キーワード：誤りの可視化, EBS, 運動状態の構造的記述演習, SDE

1. はじめに

力学において物体の運動を理解するためには、運動方程式を立てて解く必要がある。そして、運動方程式を正しく立式するためには、物体に働いている力を正しく把握することが不可欠である。しかし、物体に働いている力を過不足なく把握することは、学習者にとって難しいものとなっている⁽¹⁾。この問題を解決するために、学習者が自身の解答の誤りに自ら気づき、納得して修正することを重要とし、その学習を支援する手法として、Error-Based Simulation (EBS) が提案されている⁽²⁾。この手法は、学習者の解答がなぜ誤りであるかを可視化し、学習者に気付かせるものとなっている。さらに、EBSでは暗黙的であった力・速度・加速度の関係性を明示的に演習する学習手法として、運動状態構造的記述演習 (Structural Description Exercise, SDE) が提案された⁽³⁾。本研究では、2つの学習手法による学習効果を評価するため、実践データを収集し、分析を行う。

2. 多視点 EBS

EBSは、誤りが学習者にとって、理解を深めるための機会とすることを目的に提案された学習支援手法である。この手法は、学習者の解答が正しいとしたらどのようなおかしな振る舞いになるかを可視化し、解答となる振る舞いと比較することで、学習者が誤りの箇所を視覚的に判断することができるように支援する手法となっている。

本研究の対象である力学においては、初等力学の学習者を対象として、物体に働く力の把握を学習するためのEBS⁽⁴⁾が提案されている。このEBSによる

演習システムでは、学習者は力・加速度・速度の物理量について作図をする。すると、その作図に基づいて挙動が生成される。もし、学習者が誤った作図をした場合、正しい挙動との差分として誤りを顕在化することが可能となっている (図1)。このように、3つの物理量を考慮して演習を行うことから多視点EBSと呼ばれている。

多視点EBSでは、学習者の作図における誤りを可視化することで、その回答のおかしさを伝えることが可能となっている。しかし、具体的に誤りとなった原因が力・加速度・速度のうち、どの物理量によるものであるかは学習者が自ら考えなければならず、関係付け自体は暗黙的なものにとどまっている。そこで、物理量の関係性を考えやすくすることを目的として、3つの物理量のそれぞれの関係性を表形式で統合的に表現し、多視点EBSでは暗黙的であった関係付けを明示的に行なわせる、運動状態構造的記述演習 (Structural Description Exercise, SDE) が提案されている。

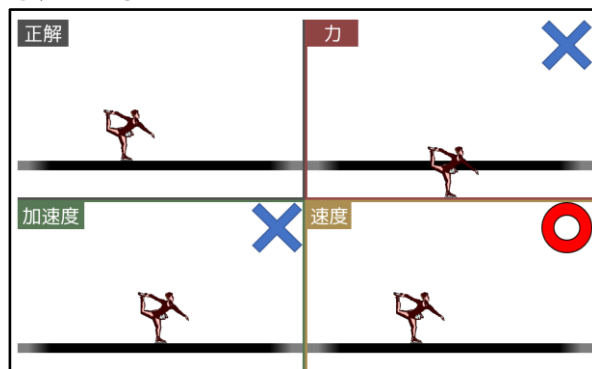


図1 EBS演習システムの診断画面

3. 運動状態構造的記述演習

運動状態構造的記述演習 (SDE) は力・加速度・速度、それぞれの関係性を表形式で統合的に記述する学習支援手法である。運動状態を静止・等速・加速・減速の4つと定義し、これらを力・加速度・速度の有無とその方向によって決定する。SDEでは3つの物理量の関係性を表を用いて表す。列で時系列順に各運動状態を分け、物体に働いている力・加速度・速度の有無と方向を各行に記述することで運動状態を表現することが可能となる (図2)。

先行研究では、高等専門学校三年生を対象とし多視点 EBS, SDE の順で演習を行い、その学習効果を測る実験が行われた³⁾。多視点 EBS 利用後の SDE 利用で追加の学習効果を得ることが予想されていたが、実験の結果、多視点 EBS による学習効果の大きい群と SDE による学習効果の大きい群の、2つの学習効果の違う群がいることが分り、大きな疑問点となった。

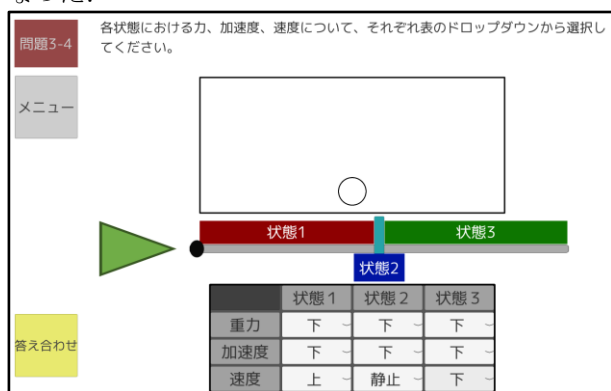


図2 SDE 演習システムの表作成画面

4. 本研究の目的

本研究では、初等力学を履修済みである高等専門学校三年生を対象に2つのシステムに対して学習者がどのような学習効果を得ているかを調査するために、先行研究で行われた実験の順序を逆にし、SDE, 多視点 EBS の順に以下の手順で実験を行う。

1. 事前アンケート
2. 事前テスト (事前)
3. SDE の説明
4. SDE 利用
5. SDE 後テスト (SDE 後)
6. 多視点 EBS 利用
7. 多視点 EBS 後テスト (EBS 後)
8. アンケート
9. 遅延テスト

事前テストでは学習課題として、力に関する基礎的な内容となる6つの作図問題を出題し、そのほかのテストでは学習課題に加えて発展課題として、力に関する作図問題のより発展的な内容を追加で4つ出題する。

5. 学習課題に対する結果の分析

本実験の、分析結果について述べる。各テストにおける学習課題の誤答数の要約統計量を表1に示す。また、多重比較 (対応のあるt検定, 両側検定, p値はホルム法により調整) を行った結果を表2に示す。

表1 学習課題誤答数 (Max = 6)

	事前	SDE 後	EBS 後
平均値	4.93	3.49	2.42
標準偏差	0.95	1.77	1.86

表2 学習課題誤答数多重比較

	t値	p値	効果量d
事前-SDE 後	5.72	.000	1.52
事前-EBS 後	9.13	.000	2.64
SDE 後-EBS 後	5.33	.000	0.60

表2より、事前テストとSDE後テスト間で誤答数が有意に減少していることから、SDEによる学習効果を確認することができる。また、SDE後テストと多視点 EBS 後テスト間でも誤答数が有意に減少していることから、EBSによる学習効果の積み上げ効果が示唆された。

6. まとめと今後の課題

本研究では、多視点 EBS と SDE を先行研究とは逆順の SDE, EBS の順に実践利用を行うことによる学習効果を分析した。分析の結果、SDEによる学習効果が確認され、EBSによる学習効果の積み上げ効果が示唆された。今後はさらに分析を進め、遅延テストによる誤答数の値を含めた分析や、発展課題における誤答数の分析、先行研究の EBS, SDE の順に実験を行った場合と同様に学習者が複数の群に分かれるかの調査を行う予定である。

参考文献

- (1) 大道一弘: “力の見つけ方に関する学習者の既有知識の検討”, 日本教育心理学会総会発表論文, Vol.50, pp.586 (2008)
- (2) 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)
- (3) 磯貝通也, 倉山めぐみ, 林雄介, 平嶋宗: “Error-Based Simulation を用いた力学学習における運動状態構造的記述演習の開発と実験的評価”, 教育システム情報学会, Vol.42, No.2 (2025) 掲載予定
- (4) 広瀬賢太郎, 平嶋宗, 柏原昭博, 豊田順一: “力学における問題理解過程のモニタリング”, 情報処理学会全国大会, Vol.47, pp.57-58 (1993)