

Error-Based Simulation による初等力学学習における パラメータの提示を用いた学習支援システムの開発と評価

Development and Evaluation of a Learning Support System by Means of Parameter by Error-Based Simulation in Physics

植野 和^{*1}, 東本 崇仁^{*2}, 堀口 知也^{*3}, 平嶋 宗^{*4}

Urara UENO^{*1}, Takahito TOMOTO^{*2}, Tomoya HORIGUCHI^{*3}, Tsukasa HIRASHIMA^{*4}

^{*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

^{*3} 神戸大学大学院海事科学研究科

^{*3} Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

^{*4} 広島大学大学院工学研究科

^{*4} Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Email: m1865002@st.t-kougei.ac.jp

あらまし: 従来の初等力学の学習において誤りの気づきのために用いられてきた Error-Based Simulation では, 学習者による概念の解答をもとにしてふるまいや実現象のシミュレーションを生成した. 本研究では初等力学の学習において, シミュレーションに加えてパラメータの情報を与えることで学習者が誤りに気づくことができる場合に注目し, パラメータの提示を行う学習支援システムの評価を行う.

キーワード: 初等力学, 学習支援システム, 適応的フィードバック, Error-Based Simulation

1. はじめに

学習者が初等力学を学習する際に, 力学的概念である力・加速度・速度を既知の現象とともに正しく対応付けて理解することは困難であり, 特に学習者が現象に対して誤った概念をもつ場合に, その修正は容易ではないとされている. このような誤概念を持つ学習者に対して, Error-Based Simulation (EBS) により学習者の誤概念に対応する誤った現象をフィードバックすることで, 学習者が自発的に概念の誤りに気づくことができ, 誤ったシミュレーションをもとにした試行錯誤によって正しい概念を習得することが可能となる.

筆者らは, EBS を用いた学習における自発的な誤りの修正を促すため, EBS の生成した現象とともに概念のパラメータを観測器や矢印を用いて提示し, 概念理解の支援を行ってきた. 本稿では, これまでのパラメータを提示する手法による学習に対して, 学習者の理解への有効性を評価する.

2. Error-Based Simulation(EBS)

力学における EBS では, 現象を問題として提示し, 学習者は矢印を用いて力学的概念の解答を行う. EBS は解答された概念に対応した現象をシミュレーションとして生成し学習者に提示するが, このとき「床を貫通して物体が沈む」「宙に物体が浮かぶ」などの現実には起こりえない現象もシミュレートすることが可能である. これにより, 学習者にとって違和感のあるシミュレーションを提示することで, 学習者自身の力学的概念の誤りを強く認識できる⁽¹⁾.

3. EBS におけるパラメータの提示

3.1 観測器を用いた速度・重量の可視化

これまで EBS においては, 学習者の概念の解答に対応したシミュレーションを生成する際に, シミュレーションが正しい現象と同じ動きとなる場合や同じ方向への運動をフィードバックする場合などにおいて, 誤りに気づくことが難しいと考えられる解答が存在した⁽²⁾. そこで, 誤りに気づくことが難しいと考えられる解答が行われた場合に, 従来, 学習者に提示していたシミュレーションに加えて物体にかかる重量を示す重量観測器や物体の速度を示す速度観測器によってパラメータを提示する. 観測器を用いた EBS では, 学習者は正しい現象と学習者の解答をもとにしたシミュレーションのそれぞれにおける観測器のパラメータの違いを通して, 誤概念の解答の修正を行うことが可能となる⁽³⁾. 図 1 に重量観測器を用いたシステムフィードバック例を示す.

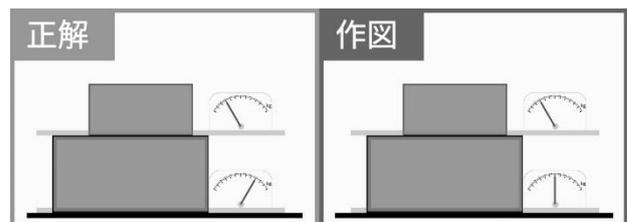


図 1 観測器による正解・作図間の違いの提示

3.2 パラメータ矢印の提示による概念間の理解

従来の EBS において, 学習者の入力する力・加速

度・速度をもとに提示するシミュレーションは運動に限定されており、運動に対応した力学的概念の理解を行うことはできるが、力と加速度などの概念間の関係性を直接理解することは困難であった。そこで、概念間の関係性を理解させるため、フィードバックにおいても解答時と同様に概念の大きさを矢印で示す手法を用いる⁽⁴⁾。このことで、運動からの各概念の解答に加えて、概念をもとにした他概念の解答を行うことが可能となる。図2に矢印を用いたフィードバックの例を示す。上部にはある概念の正しい状態、下部では解答を行った別の概念を正解と同じ概念に変換した状態で、いずれもパラメータを矢印として示している。学習者は正解および解答に対応したフィードバックにおける矢印の大きさを見比べることで解答した概念の誤りに気づくことができ、概念間の関係性の理解を直接行うことが可能となる。

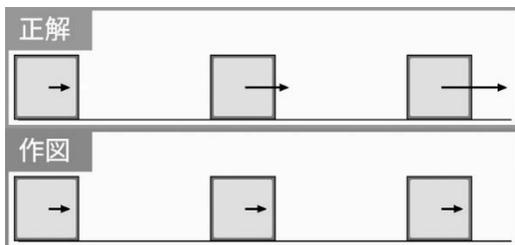


図2 矢印を用いた力学的概念のフィードバック

4. パラメータ提示 EBS における学習の評価

4.1 観測器によるパラメータ提示 EBS

シミュレーションによって誤りに気づきづらいと考えられる解答を行った場合にシステムが速度または重量の観測器とともにシミュレーションを行う機能をもつ EBS による学習を行った実験群 9 名と、通常通りのシミュレーションを行う EBS によって学習を行った統制群 7 名を比較する形で評価実験を行った。EBS では、共通の学習課題を静止系 2 問→運動系 2 問の順で出題し、運動系において等速運動および等加速運動の問題を扱った。学習の事前および事後に行った共通のテストについて、平均正答率および効果量分析の結果の抜粋を表 1 に示す。

表 1 観測器を用いた EBS のテスト結果

	実験群			統制群		
	正答率	静止系	運動系	正答率	静止系	運動系
事前	50.0%	61.1%	38.9%	41.7%	64.3%	19.0%
事後	87.0%	100.0%	74.1%	70.2%	85.7%	54.8%
差分	37.0%	38.9%	35.2%	28.5%	21.4%	35.8%
cohen's d	2.18	2.82	1.45	1.56	1.03	1.56

テストの正答率において、実験群および統制群の両群において事後テストが事前テストを上回り、上昇幅は運動系のみ結果がほぼ等しいことを除けば実験群が高い結果となった。cohen's d による効果量分析の結果では、運動系においては観測器を用いるフィードバック時の現象にも違いが現れるため差が見られなかったが、静止系においては大きな差が見られた。また、EBS 利用時に静止系において、誤りに気づくことが難しいと考えられる誤答が実験群 9

名中 8 名 (1 名あたり 3.9 回)、統制群 7 名中 6 名 (1 名あたり 10.0 回) みられ、このような誤答に対する支援を行うことの必要性、および解答を修正する際に観測器が有効に働いたことが示唆される。

4.2 矢印によるパラメータ提示 EBS

運動系の等速運動 1 問を学習課題として、運動に対応する力・加速度・速度を解答し、3 つの関係を学習する従来の EBS を用いた統制群 7 名と、前述の運動との 3 つの関係に加えて力・加速度・速度相互間の解答を行い、合計 6 つの関係を学習する EBS を用いた実験群 7 名を比較する形で評価実験を行った。共通の問題を用いたテストの正答率と効果量分析、および分散分析の結果の抜粋を表 2、表 3 に示す。

表 2, 表 3 矢印の提示 EBS のテスト結果

	実験群	統制群	変動要因	有意差
事前	36.1%	37.0%	実験群/統制群	n.s.
事後	65.5%	47.9%	事前/事後	p<.05
差分	29.5%	10.9%	交互作用	p<.05
cohen's d	1.70	0.47		

テストの正答率においてはいずれの群においてもシステムを用いた学習による学習効果が見られ、分散分析を行った結果、交互作用に有意差が確認された。EBS 利用前後の効果量では、統制群が効果量小 (<0.5) であったが、概念間の関係性を学習した実験群では効果量大 (>1.0) を示し、学習内容を追加したことによって高い学習効果を得られることが示された。

5. まとめ

本稿では、EBS における学習者の理解を促進するためのパラメータの提示を行う 2 つの手法について、その評価を示し有効性を述べた。このことから、学習者の理解状況に応じてパラメータを可視化したフィードバックを行うことが、現象や概念の理解および関係性の理解に対して有用であると考えられる。そのため、今後は現象に対して提示するパラメータを学習者が選択することで理解を促進する学習を行わせるために、パラメータの可視化手法として 2 つの手法を統合し、観測器や矢印によるパラメータ提示を用いた学習支援システムの開発を検討する。

参考文献

- (1) 今井功, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “中学理科における Error - based Simulation を用いた授業実践—「ニュートンに挑戦」プロジェクト—”, 教育システム情報学会誌, Vol.25, pp.194-203, 2008
- (2) 堀口知也, 平嶋宗, 柏原昭博, 豊田順一: “定性推論技法を用いた誤り可視化シミュレーションの制御”, 人工知能学会誌, Vol.12, pp.285-296, 1997
- (3) 植野和, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “速度・重量の観測器による誤りの可視化を目的とした力学学習支援システムの開発と評価”, 先進的学習科学と工学研究会, 第 82 回, pp.73-78, 2018
- (4) 平本千裕, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “Error-Based Simulation に対する力・加速度・速度・運動間の関係性理解支援機能の開発”, 先進的学習科学と工学研究会, 第 82 回, pp.79-84, 2018