

研究速報

多視点 Error-Based Simulation の設計・開発と実験的評価

山田 敦士^{†a)} 篠原 智哉[†]
堀口 知也^{††} (正員) 林 雄介[†]
平嶋 宗[†] (正員)

Design and Development of Multi Viewpoints Error-Based Simulation and Experimental Evaluation

Atsushi YAMADA^{†a)}, Tomoya SHINOHARA[†], Nonmembers,
Tomoya HORIGUCHI^{††}, Member,
Yusuke HAYASHI[†], Nonmember,
and Tsukasa HIRASHIMA[†], Member

[†] 広島大学大学院工学研究科, 東広島市

Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan

^{††} 神戸大学大学院海事科学研究科, 神戸市

Faculty of Maritime, Kobe University, 5-1-1 Fukae-minamimachi, Higashinada-ku, Kobe-shi, 658-0022 Japan

a) E-mail: yamada@lel.hiroshima-u.ac.jp

DOI: 10.14923/transinfj.2016JDL8008

あらまし 本研究では, 初等力学を対象として, 同一問題に対して, 力・加速度・速度を作図させ, それぞれの作図に基づいた挙動シミュレーションを生成することで自身の誤りに気付かせる多視点 EBS を作成し, 実験利用を行ったので報告する.

キーワード Error-Based Simulation, 多視点と単視点, 初等力学

1. まえがき

初等力学の問題を解くためには, 対象としている系にはたらく力の把握が重要である. 対象系にはたらく力に関する学習支援は, これまでに数多く取り組まれているが [1], [2], これらの多くは, 誤りを見つけ, その誤りに対する正解を学習者に教授するものであった. この場合, その誤りがなぜ誤りであるかは伝えられず, 間違いとして否定されていたといえる.

これに対して, 学習者の誤りがなぜ誤りであるかを可視化し, 学習者自身に気付かせる仕組みとして提案されているのが, Error-Based Simulation (EBS) である [3]. EBS は, 学習者の誤った解答を正しいと仮定した場合に, どのようなことが起こるのかをシミュレーションするものであり, 誤りがおかしなシミュレーションとして可視化され, 学習者自身による誤りへの気づきを促すことになる. 力学を対象とした試みとしては, 対象系に対する力の入力に基づいて, おかしな挙動を生成する EBS システムが実現されており, 中学校での実践を通して, その有効性が確認されてい

る [4]. しかしながら, EBS は誤りの可視化に関しては効果があっても, どう修正したらよいかについては十分な情報を提供しているとはいえず, EBS を利用する効果が見られない学習者が程度存在することもわかっている [5]. そこで本研究では, 学習者自身に気付かせ, 修正させるという EBS の理念を残したまま, 誤りをより詳細に学習者に可視化し, 修正への手掛かりを与えることを指向して, 力だけでなく, 加速度及び速度に関しても学習者に入力させ, それらに基づく挙動を生成し, 互いを比較できるようにする多視点 EBS システムを実装した.

初等力学の問題では速度に関する初期設定が与えられているのが普通であり, 力を求めることができれば, そこから加速度も求めることができ, 挙動シミュレーションを生成するには十分であるといえる. しかしながら, ある力を与えたときにどのような振る舞いが生じるかが分かっていたら, EBS を提示するまでもなく誤りであることが分かるはずであることを考えれば, 力に対応する加速度や速度というものについて学習者が正しく把握できていないことが誤りの原因にもなっているといえる. そこで本研究では, 力に加え, 加速度と速度についても学習者に入力させ, それぞれの入力を反映した挙動を提示し, それらを比較可能にすることで, より情報豊富な誤りの可視化を試みる. 従来の力を反映した EBS のみを生成するシステムを単視点 EBS システムと呼び, 加速度と速度の反映した EBS も同時に生成するシステムを多視点 EBS システムと呼ぶ.

本論文では, **2.** において, 本研究で開発した多視点 EBS システムについて紹介する. **3.** においては, 本研究で開発したシステムを評価するために, 単視点 EBS システム及び多視点 EBS システムを用いて行った利用実験とその結果について報告する.

2. EBS システム

本章では, 単視点 EBS システムと多視点 EBS システムについてそれぞれ説明する.

2.1 単視点 EBS システム

図 1 に力を入力として挙動シミュレーションを生成する単視点 EBS システムの作図画面を示した. この画面で学習者は力の矢印の入力を求められる. 図 1 は, 摩擦のない氷の上を, 初速をもった人が動く場面となっているが, この系に対しての力の入力が, 重力 (下向き矢印) と進行方向への力 (右向き矢印) となっており, 地面からの抗力が欠落している. 単視点 EBS システムは, これらの入力された力に基づいて挙動を



図1 単視点 EBS の作図画面

Fig.1 Drawing Interface of Single-View EBS.

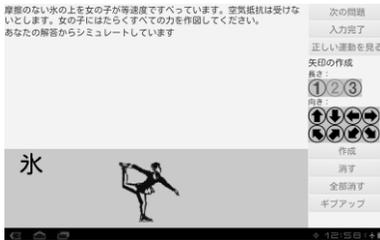


図2 単視点 EBS のシミュレーション

Fig.2 Simulation in Single-View EBS.

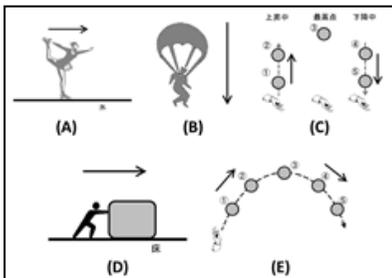


図3 システムに実装されている問題

Fig.3 Implemented Problems to System.

生成するので、図2のように、地面に沈み込みながら進行方向に加速する挙動が生成される。この挙動が系の設定に合わないこととして誤りが可視化される。また、この単視点 EBS には、図3に示す (A) 摩擦のない氷の上を等速直線運動する人、(B) パラシュートを開いて等速で落下する人、(C) 垂直に投げ上げられたボール、(D) 摩擦のある水平面上で物体を等速で押す、(E) 斜方投射されたボール、が実装されている。

2.2 多視点 EBS システム

多視点 EBS では、力の矢印に加えて、加速度と速度についても方向と大きさを表す矢印を描かせる。図4はその作図画面であり、画面の左の「力」「加速度」「速度」はそれぞれ表示切替用のタブとなっている。図4では、「加速度」が選ばれているので、加速度の矢印を



図4 多視点 EBS の作図画面

Fig.4 Drawing Interface of Multi-View EBS.

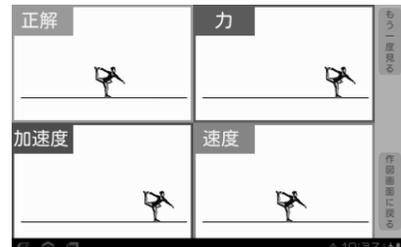


図5 多視点 EBS のシミュレーション

Fig.5 Simulations in Multi-View EBS.

入力することができる。

学習者が診断ボタンを押すと、力、加速度、速度の矢印を反映したそれぞれの挙動と正しい挙動の四つが同時に図5のように表示される。この挙動の表示により自身の行ったそれぞれの作図が挙動においてどのような意味をもつかを、他の挙動との比較において考えることができる。図5は速度については等速であることを正しく作図したが、力及び加速度においては右向きに大きさをもった矢印を書いてしまった場合に生成される挙動のスナップショットであり、速度については等速となる正しい挙動になっているが、力と加速度については加速するおかしな挙動となっている。この挙動により、速度は適切であるが、力と加速度に誤りがあることが分かるだけでなく、力と加速度において挙動が同じであり、それらと速度についての挙動が異なっていることも可視化されている。このことを多視点 EBS による情報豊富な誤りの可視化と呼んでいる。単視点 EBS では、入力力は力の矢印だけであり、挙動の整合性は力の入力に対する挙動と正しい挙動との間だけでとればよかったが、多視点 EBS では、力、加速度、速度の三つの入力し、四つの挙動の整合性をとる必要がある。したがって、同じ系であっても単視点 EBS よりも複雑な課題となっているといえる。なお、図5の右上のボタンを押すとシミュレーションが再表

示され、右下のボタンを押すと作図画面に戻って、描いた矢印の確認や変更が行える。

3. 多視点 EBS システムの実験的利用

3.1 実験の目的と手順

本実験では単視点 EBS システムを用いた学習活動を行った後、図 3 の五つの課題に対して多視点 EBS システムを用いた学習活動を行わせ、上乘せとしての学習効果がみられるかを調べた。今回の実験は、以下のような手順で、計 1 時間 14 分かけて行われた。

- (1) 事前テスト (Pre) (7 分)
- (2) 単視点 EBS システムの利用 (17 分)
- (3) フロー体験・重要性認知度の調査① (3 分)
- (4) 事後テスト① (Post ①) (7 分)
- (5) 多視点 EBS システムの利用 (17 分)
- (6) フロー体験・重要性認知度の調査② (3 分)
- (7) 事後テスト② (Post ②) (7 分)
- (8) 多視点 EBS システムのアンケート (6 分)
- (9) 遅延テスト (Delay) (7 分)

(1), (4), (7), (9) のテストで用いた課題は、システムで実施した課題と同一の系に対する力の作図課題 (全 5 課題, 正解で 1 点, 不正解 0 点, 5 点満点) である (以下, 学習課題と呼ぶ。正誤の情報は被験者に提供していない)。これらの課題に誤りが多く発生することと、単視点 EBS を用いるだけでは十分に誤りが解消された状態にならないことは、先行研究 [5] で確認済みである。遅延テストは、システム利用後の 45 日後に実施した。

(2), (5) は、単視点 EBS と多視点 EBS の学習効果を比較する目的で順番に利用させた。それぞれのシステムで出題された力学系は、テストで用いたものと同じ 5 課題あるが、単視点 EBS がテストと同様に力の作図を行わせるだけであるのに対して、多視点 EBS では、力、加速度、速度についての作図を行わせている。

(3), (6) は、単視点 EBS と多視点 EBS を用いて行う演習が被験者にとって集中して取り組めるものであるか、システムで行う演習が学習者にとって重要な内容であるか、を確認するために実施した。調査には、Rheinberg らによって作成された Flow Short Scale [6] を日本語に訳したものをを用いた。

(8) は、多視点 EBS で行う演習が、被験者にとって意義のあるものであるかを確認するために行った。

3.2 結果と分析

本節では、工業高等専門学校の 3 年生 32 名を対象と

表 1 平均正答数 (学習課題, $N = 32$, $\text{Max} = 5$)
Table 1 Mean number of correct answers. (Learned Problems, $N = 32$, $\text{Max} = 5$)

	Pre	Post①	Post②	Delay
mean	0.72	2.59	3.47	2.44
S.D.	1.04	1.69	1.52	1.71

したシステムの実験的利用の結果を述べる。まず、事前・事後①・事後②・遅延テストの結果について述べる。学習課題における被験者全体の各テストの平均正答数の推移を表 1 に示す。正答数の違いに対して多重比較を行ったところ、事前・事後①間 ($p = 0.000 < 0.05$, 効果量は大 ($d = 1.3 > 0.8$)), 事後①・事後②間 ($p = 0.0010 < 0.05$, 効果量の中 ($d = 0.53$)). また、事後②・遅延間 ($p = 0.0001 < 0.05$, 効果量の中 ($d = 0.64$)) に有意差が見られた (なお、事後①と遅延以外の全ての組み合わせにおいて有意差は見られていない)。

次に、単視点・多視点 EBS システムで行った演習結果について述べる。ログデータを分析したところ、1 名のデータに欠損があったため、31 名を有効データとした。単視点 EBS システムでは、力の矢印を作図するものとなっており、矢印の始点、向き、大きさが正しく記述されていれば「正答」としている。多視点 EBS システムでは、それに加えて加速度と速度についても正解できるかどうかを問うている。どちらの EBS においてもある課題に正答できなければ次の課題に進めないようにしている。したがって、正答数が学習者が取り組み達成した課題数となるので、ここでは達成数という言葉を用いる。単視点 EBS システムを利用したときの平均課題達成数 (全 5 課題) は 2.58 (S.D. = 1.56) であった。多視点 EBS システムを利用したときの平均課題達成数は 2.71 (S.D. = 1.42) であった。課題達成数において差があるかどうかを、ウィルコクソン符号付順位和検定を用いて検定したところ、有意差は見られなかった ($p = 0.67$)。このことから、多視点 EBS においても被験者が取り組んだ課題は単視点 EBS と差がなかったといえ、また、単視点 EBS で達成した課題においても多視点 EBS で達成することは簡単ではなかったことを意味している。

フロー体験及び重要性認知についての調査では、単視点 EBS 利用後のフロー体験が 4.84 (S.D. = 1.45)、重要性認知が 3.81 (S.D. = 1.43) であった。多視点 EBS 利用後のフロー体験が 4.80 (S.D. = 1.40)、重

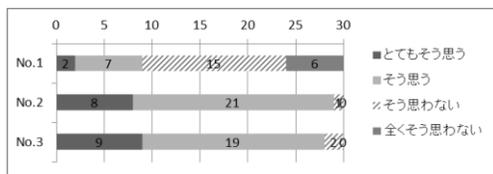


図 6 多視点 EBS のアンケート結果

Fig. 6 Result of questionnaire about multiple viewpoints EBS.

要性認知が 3.54 (S.D. = 1.33) であった。同様の質問紙を用いた行われた調査 [7] の結果として、バックマンのフロー体験が 5.21 (S.D. = 1.03), 重要性認知が 1.43 (S.D. = 0.83), 統計の授業のフロー体験が 4.60 (S.D. = 1.16), 重要性認知が 3.45 (1.44) という結果が示されている。また、筆者らのグループが行ったリズム演習 [8] でのフロー体験が 4.96 (1.06), 重要性認知が 3.16 (S.D. = 1.26) であった。多視点 EBS で行った演習は、これらの結果と比べて悪いとは言えない値になっている。

アンケートの結果としては、(No.1) 物体の動きを予想するとき、力・加速度・速度を普段から関係付けているか、(No.2) 今回のシステムを利用することで、物体の動きを予想するとき、力・加速度・速度を関係付ける必要があることに気付いたか、(No.3) 今回のシステムを利用することで、物体の動きを予想するとき、力・加速度・速度を関係付けることが必要だと思うようになったか、といった質問に対して、図 6 のような回答が得られた。

3.3 考 察

事前テストと事後テスト①のスコアより、単視点 EBS を利用することによる学習効果が再確認された。また、事後テスト①と事後テスト②のスコアから、多視点 EBS を利用することで、単視点 EBS の学習効果を更に積み上げさせることができることが分かった。演習における課題達成数に差がなかったことから、両システム利用で学習者が取り組んだのは力学系としては差がなく、明確な違いは多視点化だけであるため、多視点化の貢献が示唆される。

フロー体験と重要性認知の調査結果は、本実験の被験者が、多視点 EBS に熱心に取り組んだことを示している。また、アンケートの結果は、この多視点 EBS の意図を学習者がおおむね正しく受け取り、更にそれを有用なものとして認めていること示している。これらの結果は、多視点 EBS を用いた演習が有用なもの

として学習者に受け入れられるとともに、単視点 EBS に対して学習効果の積み上げが期待できること示すものとなっている。

4. む す び

本研究では、運動する物体にはたらく力の理解支援を目指している。その具体的な方法として、誤りからのシミュレーションである EBS を提案している。本論文では、力とは別に加速度や速度という複数の視点で物体の運動を捉えさせることで誤りの修正を促す EBS システムの設計・開発、及びその実験的利用の結果の報告を行った。今後は、本システムの教授との連動や、素朴概念に対する効果の検証などに加えて、演習時の学習者の振る舞いと学習効果の関係といった、システム上での学習者の振る舞いとして収集できるプロセスデータに基づく評価・分析を行っていくことも重要な課題になっている。

文 献

- [1] 山崎翔平, 定本嘉郎, 牧井 創, “MIF 素朴概念をなくす教材の開発と中学校での授業実践,” 物理教育, vol.57, no.3, pp.215–219, Sept. 2009.
- [2] 加藤伸明, 定本嘉郎, “力の誤概念の解消を促す教材の開発と指導方法の改善,” 物理教育, vol.59, no.3, pp.181–186, Sept. 2011.
- [3] T. Hirashima, T. Horiguchi, A. Kashihara, and J. Toyoda, “Error-based simulation for error-visualization and its management,” Int. J. Artificial Intelligence in Education, vol.9, no.1-2, pp.17–31, 1998.
- [4] T. Horiguchi, I. Imai, T. Toumoto, and T. Hirashima, “Error-based simulation for error-awareness in learning mechanics: An evaluation,” Educational Technology & Society, vol.17, no.3, pp.1–13, July 2014.
- [5] 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利用,” 信学論 (D), vol.J99-D, no.4, pp.439–451, April 2016.
- [6] F. Rheinberg, “Flow, performance and moderators of challenge-skill balance,” Motivation and Emotion, vol.32, no.3, pp.158–172, Sept. 2008.
- [7] S. Engeser and F. Rheinberg, “Flow, performance and moderators of challenge-skill balance,” Motivation and Emotion, vol.32, no.3, pp.158–172, Sept. 2008.
- [8] 中川 響, 濱田侑太郎, 山元 翔, 林 雄介, 平嶋 宗, “音楽リズム課題における単純化方略を用いた自己克服支援とその実験的評価,” 信学論 (D), vol.J98-D, no.1, pp.142–152, Jan. 2015.

(平成 28 年 3 月 17 日受付, 7 月 30 日再受付,
9 月 1 日早期公開)