

- (3)事前テスト③：転移課題(5分)
- (4)システム利用(20分)
- (5)事後テスト①：学習課題(5分)
- (6)事後テスト②：応用課題(5分)
- (7)事後テスト③：転移課題(5分)
- (8)事後テスト④：説明課題(5分)
- (9)システム・テストに関するアンケート

実験の前に、実験やシステムの操作に関する十分な説明を行った。

(1)-(3)および(5)-(7)では、出題された現象に対して矢印を直接記入する形で力を回答する問題で構成されたペーパーテストを行った。テストは1回あたり静止系2問と運動系2問で構成されており、合計で静止系6問と運動系6問の合計12問を使用した。実験で使用した課題を図9、図10、図11に示す。これらのテストは、篠原らによる先行研究[2]で用いたテスト課題から抜粋して利用した。(1)と(5)、(2)と(6)、(3)と(7)の各テストは事前と事後で同じ問題を使用した。(8)のテストでは、図12の誤答を被験者に示した上で、その誤答がなぜ間違いであるかを説明させるペーパーテストを実施した。

(4)では、図9に示した4問を学習課題として、タブレットを用いたシステムで順に解答を行う。このとき実験群と統制群で別のシステムを用い、実験群には観測器のあるEBSを使用させ、統制群には観測器のない従来のEBSを用いて学習を行わせた。課題自体には違いがなく、実験群統制群ともに学習課題を(a)、(b)、(c)、(d)の順に解き、20分間でなるべく多くの問題に取り組むよう指示を出した。

アンケートは自由記述を除いて各項目で6件法(6:とてもそう思う, 5:そう思う, 4:ややそう思う, 3:ややそう思わない, 2:そう思わない, 1:とてもそう思わない)による選択式での回答を依頼した。

テスト結果より(a)学習効果について調査した。また、アンケートの結果をもとに(b)観測器の評価について調査を行った。

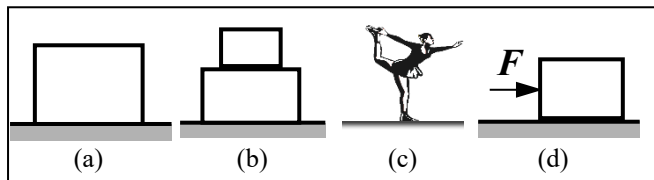


図9 学習課題

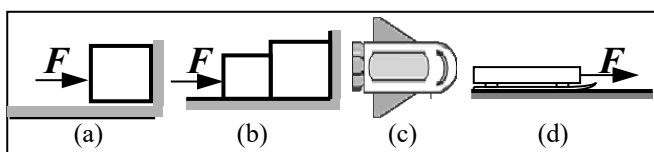


図10 応用課題

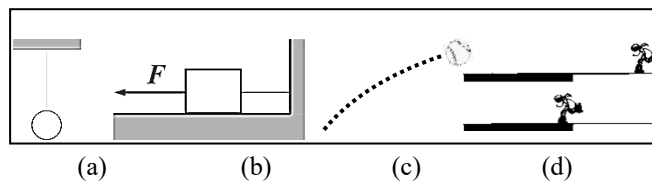


図11 転移課題

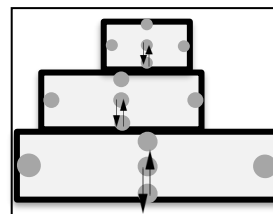


図12 説明課題

4.3 結果

実験の中で行った事前および事後テストのそれぞれの問題に対する正答者数を表1に示す。実験群の被験者は、システム利用後の事後テストにおいて全員が全ての静止系課題に正解していた。問題ごとに見ると、正解者数の増加が特に静止系を中心として統制群よりも実験群が大きい結果となっている。

表1 事前事後テスト正解者数

正解者数	静止系						運動系						
	学習		応用		転移		学習		応用		転移		
	A	b	a	b	A	b	a	b	a	b	a	b	
実験群 (9名)	事前	8	1	6	4	8	6	2	4	4	5	3	3
	事後	9	9	9	9	9	9	7	7	8	9	2	7
統制群 (7名)	事前	6	0	4	4	7	6	0	2	2	3	1	0
	事後	7	5	6	4	7	7	5	5	4	4	1	4

次に、テストの平均点を表2に示す。事前テスト全体の実験群平均は6.0点、統制群平均は5.0点であった。事後テストでは実験群平均が10.4点、統制群平均が8.4点となり、実験群統制群ともに点数は向上したものの、差分、すなわち点数の伸び幅については実験群が大きい結果となった。表3は、表2を満点からの割合で示した正解率の表である。テスト結果を静止系と運動系に分けて見ると、特に静止系において実験群に良い結果が得られた。このため、本システムは静止系に対する理解を促す効果が大きかった可能性がある。

表2 事前事後テスト平均正答数

点数	実験群			統制群		
	事前	事後	差分	事前	事後	差分
正解数	6.0	10.4	4.4	5.0	8.4	3.4
静止系	3.7	6.0	2.3	3.9	5.1	1.3
運動系	2.3	4.4	2.1	1.1	3.3	2.1

表3 事前事後テスト平均正答率

割合	実験群			統制群		
	事前	事後	差分	事前	事後	差分
正解率	50.0%	87.0%	37.0%	41.7%	70.2%	28.6%
静止系	61.1%	100%	38.9%	64.3%	85.7%	21.4%
運動系	38.9%	74.1%	35.2%	19.0%	54.8%	35.7%

また、観測器の効果について、6件法で行ったアンケートの結果の一部を表4に示す。まず、観測器の存在するシミュレーションが学習者自身の誤りの気づきに繋がったかどうかを項目(1)から考察する。このアンケート項目では、6に近いほど「不正解の理由が分からない問題があった」ことを、1に近いほど「不正解の理由が分からない問題がなかった」ことを示し、統制群と比較して実験群はシミュレーションを通じた理解を行うことができたとして自己評価していることがわかる。この項目で「分からない問題がなかった」に相当する3,2,1を回答した人数は、実験群が9人中5人、統制群が7人中1人であった。

次に、重量と速度の観測器それぞれの機能が学習の際に有用であったかを、実験群に対してのみ行ったアンケート項目(2)および(3)から考察すると、いずれも平均値より高い評価が得られた。また、項目(2)における「誤りに気づくきっかけになると思う」に相当する6,5,4を回答した人数は8人中6人であり、同じく項目(3)においては9人中8人であった。このことから、実験に参加した多くの被験者が観測器を誤りに気づくためのツールとして肯定的に捉えており、特に速度の観測器についてはよい評価が得られていたことがわかる。

表4 アンケート結果

(1)シミュレーションを見ても不正解の理由が分からない問題があったか	実験群	3.44
	統制群	5.14
(2)重量の観測器の動きの違いが解答の誤りに気づくきっかけになると思うか	実験群	4.38
(3)速度の観測器の動きの違いが解答の誤りに気づくきっかけになると思うか	実験群	4.89

5 まとめと今後の課題

本研究は、従来のEBSにおける学習者の解答をもとにしたふるまいを用いた誤りの可視化に加えて、特定の誤りに対して速度および重量の観測機を用いて誤りへの気づきを促すことで、従来よりも広い誤りの可視化を行う手法について提案した。パラメータを明示的に表す観測器を加えたシミュレーションを提示することによって、学習者が新たに誤りに気

づくことができれば、EBSにおける学習を通してより多くの学習者が高い学習効果を得られることを期待できる。

今後の展望として、従来可視化できなかった誤りに対する検討を行い、可視化できない要素に対応して適切な観測器などを加えることで、あらゆる学習者の解答に対応できる誤りの可視化の実現が挙げられる。更に、この手法を用いた際に初学者に対して正しい理解がなされるかどうかを検討するため、初等力学の学習を行う中学生を対象とした評価実験を行う必要があると考えられる。

また、東本らが先行研究において観測道具を用いて属性値を求める現実世界の仮想実験環境を提案しており[5]、同様に現象に対する適切な観測機の使用がモデルとして確立された場合、観測機を用いて、見た目の変わらない複数の現象から力の働きに誤りのある現象を探す学習を通して、現実存在し得ない現象を用いた仮想実験環境を構築することを検討する。

謝辞

本研究の一部は科研費・基盤研究(C)(15K00492)、挑戦的萌芽研究(16K12558)、基盤研究(B)(17H01839)の助成による。

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, no.2, pp.194-203, (2008)
- [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利用, 電子情報通信学会論文誌, vol.J99-D, no.4, pp.439-451, (2016)
- [3] 山田敦士, 安田健汰, 篠原智哉, 山元翔, 堀口知也, 林雄介, 平嶋宗: 物体にはたらく力・加速度・速度の関連付けのための Error-Based Simulation, 先進的学習科学と工学研究会, vol.76, pp.42-47, (2016)
- [4] 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, no.2, pp.285-296, (1997)
- [5] 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗, 竹内章: 実験方法の考案による学習を支援する仮想実験環境の構築, 教育システム情報学会誌, vol.24, no.2, pp.83-94, (2007)