

観測器を用いてパラメータ探索の試行錯誤を実現する 初等力学学習支援システム Physics Learning Support System Aim for the Trial and Error of Parameter Search Using Measurement

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：これまで、力学学習における概念理解や有意義な試行錯誤を目指して、学習者の誤りを基に振舞いを生成する Error-Based Simulation (EBS) を拡張し、観測器を用いて荷重・速度・加速度のパラメータを示すことによるフィードバックを検討してきた。本稿では、EBS の振舞いに対して学習者自身が観測器を設置してパラメータを探索する学習活動を提案する。さらに学習支援システムの開発および評価を行う。

キーワード：初等力学、適応的フィードバック、Error-Based Simulation、パラメータ探索

1. はじめに

初等力学の学習では、力学的概念と既知の振舞いとを正しく対応付けて理解するために試行錯誤を通じた学習が行われている。試行錯誤を促す学習支援システムとして、Error-Based Simulation (EBS) による学習では、学習者の誤概念をもとにした誤った振舞いをフィードバックすることで、試行錯誤を学習者自身で行い、自発的な誤りの気づきを促す。また、これまで筆者らは、EBS が振舞いを用いて可視化困難な誤答を対象とし、観測器を用いてパラメータを振舞いととも提示することで解答の誤りを示す手法を提案し、学習者による誤りの気づきを指向した。

本稿では、EBS における学習活動に加えて学習者自身がパラメータを観察するための観測器の設置を行う手法を提案する。本手法による学習活動によって、試行錯誤を行う思考の育成を目指し、また解答に対応するパラメータの観察を行うことを通して力学的概念を学習することを指向した。この目的から、提案手法による学習支援システムを従来の EBS と比較した試用実験を行い、学習者の解答を評価する。

2. 力学 Error-Based Simulation(EBS)

初等力学を対象とした EBS では、振舞いを問題として提示し、学習者は力などの力学的概念の解答を行う。その後、EBS が学習者の解答に対応した振舞いを生成し提示する。学習者が誤った解答を行った場合には、問題として提示した振舞いと異なる誤った振舞いがシミュレートされる。この振舞いを通して、学習者が自身の解答の誤りを認識し、また解答の自発的な修正を行うことが可能となる⁽¹⁾。

3. 観測器を提示する力学 EBS

2章で示した力学 EBS において、学習者の解答に対応した振舞いを生成すると正しい振舞いと同じ動きとなる場合や、同じ向きの運動をフィードバックする場合などが存在し、これらの振舞いからは誤りに気づくことが難しい⁽²⁾。そこで、物体にかかる荷重を示す荷重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表示させる手法を提案した。誤りが認識困難な解答に該当するかをシステムが診断し、該当する場合に力学 EBS による物体の振舞いのフィードバックとともに観測器をフィードバックすることで、誤りへの気づきを指向した。

4. 提案手法：EBS における観測器の設置課題

本提案手法では、3章においてシステムが診断して自動的に与えていた観測器を学習者自身で設置することで、観察するパラメータを自ら決定する活動によって試行錯誤を促す。これにより、学習者自身が誤りを発見し、修正することが期待できる。

観測器の設置課題においては、まず2章に示した力学 EBS において力の解答を行い、その後図1に示した観測器の設置画面で観察するパラメータ(荷重・速度・加速度)と観察対象を指定し、振舞いにお

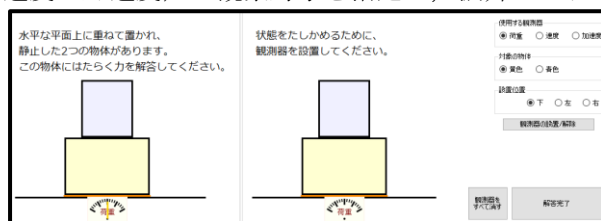


図1 観測器の設置を行う学習支援システム

実験群			統制群				
問	ID	記述内容	Level	問	ID	記述内容	Level
(a)	1	上の2つの箱がしずむ	2	(a)	51	静止しているが物体が物体を押す力が働いていない	1
	2	観測機(重さを測る)を各物体の下において時に重さが0になる	3		52	垂直抗力が作用していないため、物体が下に落ちていく	2
	3	物体は動かないが物体や床にかかる重さがなくなる	2		53	力の大きさがつりあっていない?	1
	4	3つの物体の間に働いている力がないので、重量計を置いた時に正しい値を示さない	3	(b)	51	静止しているが人が押す力が働いていない	1
(b)	1	箱を押していない事になる	2		52	静止はしているが、人が物体を押す力や壁が物体を押し返す力が無い為不正解	1
	2	観測器(重さを測る)を各物体の右において時に重さが0になる	3		53	人が物体をさわろうとしているだけでなにもおきない	2
	3	人の押している力がそもそもなくなる	1	(c)	51	静止しているが物体に重力が働いていない	1
(c)	1	重力と垂直抗力が存在しなくなる	1		52	力がまったく作用されていない為、何も起こらない 力を加わえ、物体を静止させるには、中心から下にのびる重力と物体が地面を押し返す垂直抗力が必要	1
	2	観測機(重さを測る)を物体の下において時に重さが0になる	3		53	無重力でふゆうしている	2
	3	重力がなくなってしまうので空中に浮いてしまうことになる 無重力になる	2	(d)	51	さらに右方向に力が働いてしまい、加速する	2
(d)	1	加速する	2		52	等速運動する物体の力はつりあっていないといけないので、このままだと加速する	2
	2	物体の速度がじょじょに上がる	2		53	Xくんと同じ答えなため、なにが正しいのかわからない	0
	3	どんどん加速をしていってまう	2	(e)	51	押される力が大きくなっているため加速度が一定ではなくなる	2
(e)	1	一定ではない速度で加速していく	2		52	右向きの矢印の大きさを変えると加速度	0
	2	観測器(加速度を測る)をおいた時に加速度がじょじょに上がっていく	3		53	(無回答)	0
	3	一定に加速ではなく加速する力がどんどん大きくなってしまふ	1	(f)	51	重力が働いていないためずっと上に飛び続ける	2
(f)	1	頂点のタイミングでボールがその位置にとどまる	2		52	(無回答)	0
	2	投げられたボールはじょじょに加速してある場所から急に減速する	2		53	頂天にたつたときにういている	2
	3	重力がないので上にのぼりつつけてしまふ	2				

表1 誤りの説明課題における記述内容

る観測器の挙動を確認する。学習者の力の解答に誤りが含まれ、誤りが可視化可能な観測器が置かれた場合には、適切な観測器が置かれたことをフィードバックすることで、学習者に観測器への注目を促す。

5. 試用実験

理系の大学生7名を被験者として、4章で示した観測器の設置課題によるシステムを用いる実験群4名と、2章に示した力を解答するEBSを用いる統制群3名に振り分けて試用実験を行った。システム学習では学習課題として、静止系においては2物体を重ねて置いた問題、運動系においては抵抗のない等速運動を扱った。それぞれのシステムを用いた学習後に、誤りの説明課題として図2の誤った力の解答に対して誤りを説明させ、また振舞いに働く正しい力を記入させた。振舞いは全て抵抗がなく重力が働いており、(d)は等速運動、(e)は等加速度運動、(f)は鉛直投げ上げ運動であることを問題文で示している。

誤りの説明課題における解答を表1に示す。IDは被験者番号を、背景の濃い解答は不正解を示す。また、解答の記述内容によるLevelでは、1が力を用いた不正解の指摘、2が力以外の振舞いや力学的概念をもとにした指摘、3が振舞いに対する試行錯誤をもとにした指摘としている。観測器の設置課題を行った実験群では、問題(a)などにおいて4名中3名の被験者が観測器によって観察できる「重さ」を用いて説明を行っていた。このように、誤りを力そのものではなく、振舞いや別の概念を用いて説明した解

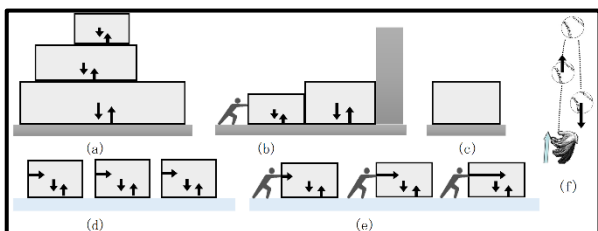


図2 誤りの説明課題で示した誤答

答(表1のLevel2以上の解答)は、実験群で正解18解答中15解答であったのに対し、統制群では正解12解答中7解答であったことから、特に実験群が力を振舞いや概念間で結び付け、かつ正しく理解したことが示唆された。さらに、Level3のように振舞いに対する試行錯誤を前提とした解答を行った被験者が実験群のみに2名おり、学習者自らが振舞いに対して操作を行うことで、試行錯誤的な思考を促進する可能性が示唆された。一方で、従来EBSで学習できる力のつりあいをを用いた解答が比較的難しい運動系の問題(d)において統制群の被験者1名にみられ、力学EBSでの学習が有効に働いたと考えられる。

6. おわりに

本稿では、学習者がパラメータの差分発生箇所を自ら考え観測器を置かせる活動を提案し従来の力学EBSと比較を行った。本稿の提案システムにより学習者の試行錯誤をより促進する可能性が示唆された。今後は、システム利用時の活動を検証することや、図4の課題に対して観測器を設置させて観察を促し観測器の設置活動を強化すること、3章で示した観測器提示を行うシステムとの比較実験、力のつりあいを学習させる場合などに従来の力学EBSの強みを失わない学習手順の検討などを行う予定である。

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: “誤りへの気づきを支援するシミュレーション環境 - 表現手法と視覚効果を考慮した Error-Based Simulation の制御 -”, 教育システム情報学会誌, Vol.18, No.3, pp.364-376, 2001
- (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”, 人工知能学会 先進的学習科学と工学研究会, Vol.82, pp.73-78, 2018