

りを振舞いと力学概念の双方で学習者に説明させることを指向する。

3.2. システム画面

故障診断による学習支援システムの概要を、図 6 に示した 1 物体の静止系における問題例を用いて示す。左側の画面で問題文とともに誤答に対応する振舞いを表示し、右側の画面に示した正答に対応する振舞いととも荷重・速度・加速度のいずれかの観測器を設置させる。その後、設置した観測器に応じて、振舞いととも解答や正答に対応するパラメータを可視化する形でフィードバックする。このとき、設置した観測器は画面左に示す誤答に対応する振舞いと、学習者の解答あるいは正答をもとにした振舞いの双方に表示され、それぞれの力をもとにパラメータとして可視化した値を示す。その後、図 4 に示した力の解答画面に移り、右画面を用いて問題の正答と提示した誤答の 2 つを順に学習者に解答させる。

図 6 で示した例では荷重を示す観測器が物体の直下に設置した場合を示しており、下の物体にかかる荷重のパラメータを確認すると、左側に示した誤答に対応する荷重のパラメータが右側に示した正しい振舞いでの荷重のパラメータと比較して小さいことが確認できる。このことから、提示された誤答には垂直方向の力が欠落し、かつつり合いが取れた状態であることが分かる。つまり、本来存在すべき重力

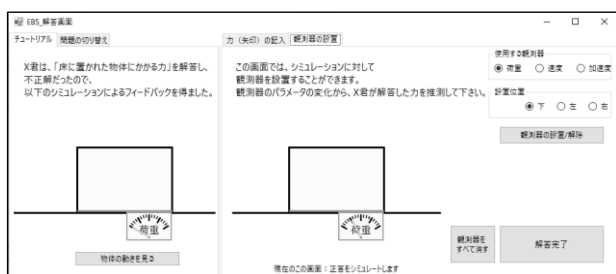


図 6 故障診断システム画面

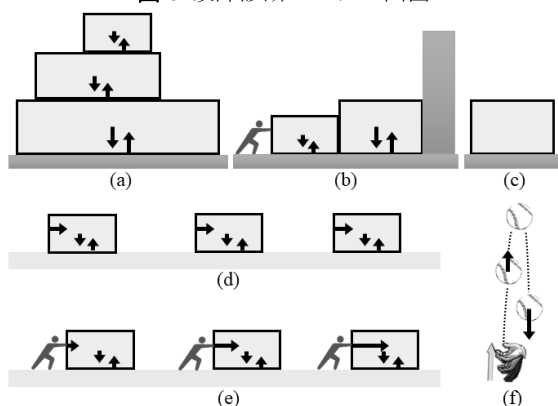


図 7 誤りの説明課題で示した誤答例

と垂直抗力がいずれも欠落した状態が図 6 に示した問題で提示した誤答の内容であり、この内容で力の解答を行うことでシステムは誤答を再現できたことを学習者に対してフィードバックする。

さらに、本システムの利用時には解答用紙を配付しており、「与えた誤答が含む誤りについて文章により説明する」記述式の解答欄を用意した。この解答用紙の解答内容とシステム内での学習活動をもとに、次章にて本提案手法の検証を行った。

4. 実験

本稿で提案した故障診断システムによる学習を通して、(a)学習における試行錯誤と解答に関係性がみられるか、(b)試行錯誤を促す手法として本提案手法が学習者に受け入れられるか、の 2 点を評価する実験を行った。

4.1. 実験手順

初等力学を学んだ経験のある工学部の大学生 10 名を被験者とし、以下の手順で実験を行った。

- (1)事前テスト：誤りの説明課題 (15 分)
- (2)システム利用による正解の探索 (10 分)
- (3)システム利用による誤答の探索 (10 分)
- (4)配付した解答用紙への解答記入 (5 分)
- (5)事後テスト：誤りの説明課題 (15 分)
- (6)アンケート

実験の前に、テストの解答方法及びシステムの操作に関しての説明を行った。

被験者のうち 5 名は、実験前に 2.4 に示した観測器を学習者自身によって設置する学習支援システムを用いた学習活動を事前に行った (A 群)。残りの 5 名は、解答から振舞いのみを可視化する機能を持つ力学 EBS を用いた学習活動を事前に行った (B 群)。

(1)(5)のテストでは、出題された振舞いと誤りを含む力の解答に対して、振舞いにかかる正しい力を直接記入する形で解答し、誤りを文章によって説明させるペーパーテストを行った。誤りの説明課題は図 7 に示した静止系(a)(b)(c)及び運動系(d)(e)(f)のそれぞれ 3 問、合計 6 問の同じ問題を使用した。(a)及び(c)は床の上での静止系、(b)は左側から物体が外力を受けている静止系、(d)は摩擦のない等速運動、(e)は摩擦のない等加速度運動、(f)は鉛直投げ上げ運動を扱った問題を用いた。

(2)(3)のシステム利用では図 8 に示した課題を用いた。実験時には合計で 20 分間のシステム利用時間において正答が解答できた後に提示した誤答をシステム上で解答するよう指示を与えていたが、最初の 10 分間では正答を解答できた学習者がおらず、結果的

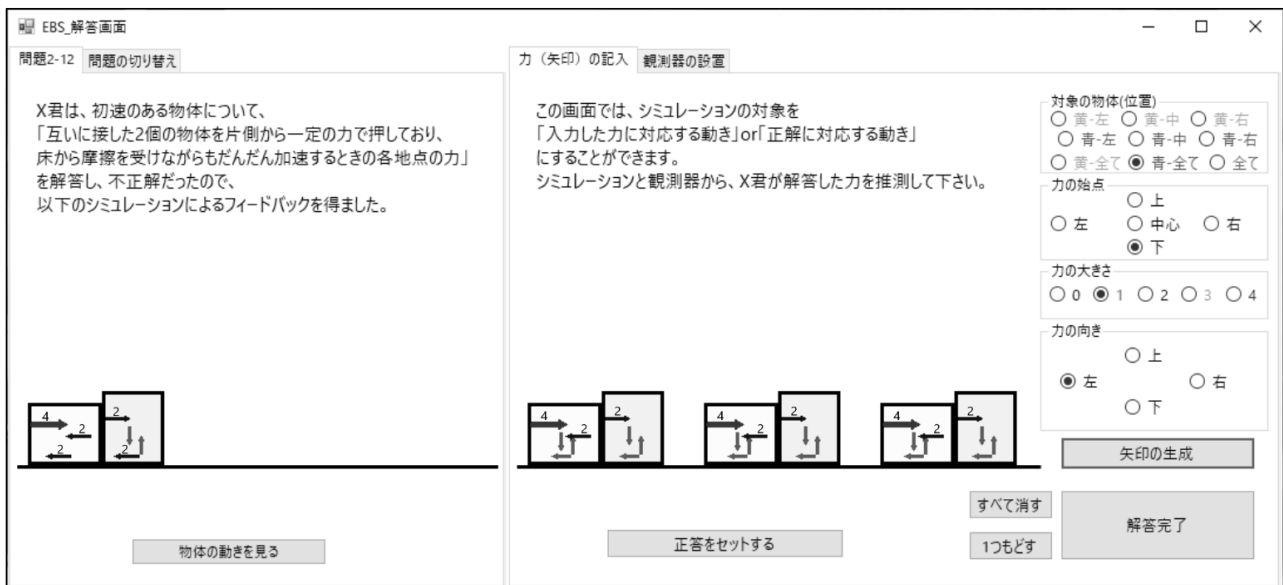


図 8 システム学習画面

に全ての被験者が 10 分の間正答を探索する活動を行った。システム利用開始から 10 分経過した後、正しい振舞いにかかる力の解答を示した紙を配付し、誤答を探索する活動を促した。なお、図 8 では左画面に学習者の誤答の内容を、右画面にこの振舞いに対する正しい力の解答を示しているが、実際のシステム利用時に学習者が観察できる内容は誤答や正答に対応する振舞い及び、各観測器を用いた場合のパラメータのみである。

(4)では、システム利用後に誤答の内容を説明させる課題について、システムで学んだ内容をもとにした記入を行う時間を設けた。

4.2. 結果と考察

学習活動について、実験におけるシステム利用時に本システムが与えた誤りを含んだ解答を完全に再現できた被験者が存在しなかったため、システム利用時に配付した解答用紙の記述内容をもとに考察を行う。誤りの内容を記述させる設問において、10人中 5 人の被験者から設問に言及した解答が得られた。このうち、誤りに対する適切な説明を含んだ 3 人の被験者の記述内容を表 1 に示す。(a)(c)の解答では、誤りを含んだ解答が加速しないことに着目しており、(a)ではさらに原因を横方向の力の大きさのつり合いによって説明していた。(b)の解答では、荷重観測器を用いた場合に誤りを発見できる物体の重力と垂直抗力に関しての言及を行っていた。このことより、これらの記述を行った被験者が、観測器を用いたパラメータ観察によって誤りを発見する活動を行って

いたことが示された。

次に、図 7 に示した誤りの説明課題を用いたテスト(1)(5)の記述について、誤りに対する妥当な説明を含んでいるかを 1 問 1 点（静止系，運動系それぞれ 3 点満点，合計 6 点満点）として採点を行ったテスト結果について、正答率を表 2 に示す。ここで、静止系の 10 名中 3 名（A 群 2 名，B 群 1 名）の被験者と運動系の 10 名中 3 名（A 群 3 名）の被験者について、それぞれ事前テストと事後テストのいずれも満点であり、これらの被験者については既に概念の誤りに対する十分な理解が行えているものとして結果

表 1 故障診断課題の説明内容

	属性	記述内容
(a)	A 群	加速度が 0 なので押す力とまさつ力が つり合っている
(b)	B 群	左の物体に重力と垂直抗力が存在しない
(c)	B 群	加速度が出ていなかったで、 加速させる力が必要

表 2 テストの平均正答率（満点の被験者を除く）

	人数	事前テスト	事後テスト	差分
全体	10 名			
(静止系)	7 名	42.9%	52.4%	9.5%
(運動系)	7 名	33.3%	52.4%	19.0%
A 群	5 名			
(静止系)	3 名	66.7%	77.8%	11.1%
(運動系)	2 名	16.7%	66.7%	50.0%
B 群	5 名			
(静止系)	4 名	25.0%	33.3%	8.3%
(運動系)	5 名	40.0%	46.7%	6.7%

表3 誤りの説明テストの説明内容

	問題	テスト	記述内容
(d)	静止系 ①	事前	力の大きさが物体の大きさに 対応しておらず、力の大きさが足りない
		事後	下の物体が上の物体の力を受けていない
(e)	運動系 ②	事前	徐々に加速し、速度を上げて進む
		事後	一定の力で物体を押していない

の考察及び表2のテスト結果から除外した。A群の被験者は事前に2.4のシステムにより観測器によるパラメータ観察を行っており、事前テストの段階で誤りの説明を妥当に行えていた場合が多かったが、その中でも両群及び静止系、運動系のそれぞれの問題において、誤りの説明を妥当に行えた解答が事前から事後にかけて増加した被験者が一定数おり、説明課題の理解に効果を及ぼしたことが示唆された。

また、これらの解答において、誤りの説明が事前から事後にかけて妥当な説明へ変化した答の例を表3に示す。(d)(e)のいずれもB群の被験者であり、(d)の被験者においては事前から事後にかけて上から押される力の存在を、(e)の被験者では等加速時にかかる力が一定であることをそれぞれ知識として獲得し、対応する記述を行っていたと考えられる。

最後に、実験後に行った6件法によるアンケートの内容から、被験者の主観的な評価を考察する。システム利用において誤答に含まれる力の内容に辿り着くことが可能かどうかを問う項目においては、可能を6、不可能を1として、平均で2.2の評価であった。このことは、今回のシステム利用で用いた問題自体が難易度の高い1問であったことも一定の影響を及ぼしたと考えられる。一方で、前述のテスト(1)(5)においては全ての被験者が誤答に対する何らかの説明を行っていたことから、システム学習における誤答された力を探す活動・テストで用いた提示された力の誤りを指摘する活動の間に大きな難易度の差があることがわかった。さらに、アンケートの自由記述欄においても、「システム利用によって(正答を見つける従来システムと異なる)誤答を見つける活動の難しさを感じた」との回答が6件あり、故障診断により誤りを見つける学習を行う場合における学習者に対する適切な問題設定や、この学習を支援する手法を再考すべき結果であったといえる。

5. おわりに

本稿では、学習者に故障状態を与え、正しい状態との差分を発見するための観測器を置かせる活動を提案した。この活動を通して、学習者が観測器の示す力学概念のパラメータから誤りを発見することに

より、誤りに対する修正を行う能力の獲得を指向した。評価実験から、この活動を通してパラメータを通した誤りの指摘を行う能力や、誤りを修正するために必要な説明に関する能力の育成を促す可能性が示唆された。

現状の課題として、システムが提示する誤答に関する制約が不十分であり、システム利用時の学習者の意図をシステムが十分に把握できなかった可能性がある。また、システム学習において扱った問題の難度、及びシステム学習時間についても再考の余地があるものとする。今後の課題として、本提案手法における学習者のパラメータ探索をより有意義な試行錯誤とすべく、実験方法考案課題において用いられていた、距離計や時計などの定量値を扱うことに優れた観測器の導入を検討したい。また、観測器によって探索できるパラメータと解答対象の力との対応関係をより明確にすること、また問題系列を効果的に用いた概念理解の枠組みの中にこの学習活動を位置付けることで、より学習すべき概念に特化した活動を提案することなどが挙げられる。

謝辞

本研究の一部は基盤研究(B)(17H01839)、基盤研究(C)(18H11586)、及び基盤研究(B)(19H04227)の助成による。

参考文献

- [1] 篠原智哉, 山田敦士, 林雄介, 平嶋宗: Error-Based Simulation による MIF 素朴概念の修正の効果の検証, 電子情報通信学会論文誌 D J100-D(3), 447-450, (2017)
- [2] 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)
- [3] 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)
- [4] 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, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B509-13, pp.73-78, (2018)
- [5] Ueno, U., Tomoto, T., Horiguchi, T., and Hirashima, T.: A Support System for Learning Physics in Which Students Identify Errors Using Measurements Displayed by a Measurement Tool, Workshop proceedings of the International Conference on Computers in Education ICCE 2019, pp.426-434, (2019)
- [6] 堀口知也, 平嶋宗: 誤りへの気付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)