

行詰り解決を指向した Error-based Simulation システムの 補助問題提示機能による学習活動の分析

Analysis of Learning Activities by Auxiliary Problem Presenting Function of Error-based Simulation System oriented at Break of Impasse

相川野々香¹ 古池謙人¹ 東本崇仁²

Nonoka AIKAWA¹, Kento KOIKE¹, and Takahito TOMOTO²

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

Abstract: Heretofore we have been developed an Error-based Simulation system that analyzes the impasse point from the answer history and presents auxiliary problems adaptively, and then, we confirmed its effectiveness in the experiment. However, it is uninvestigated whether the system worked that properly detects impasse and solves it by presenting auxiliary problems. For this reason, in this paper, we investigated the learning activities in the system by analyzing and considering learners' system logs. As a result, we confirmed that the system properly worked for learners.

1. はじめに

Error-based Simulation (EBS)とは、「学習者の誤概念を具現化したシミュレーション」を生成し、それを正常なシミュレーションに修正する作業を学習者に行わせることで学習者の試行錯誤を促す枠組みである[1]。特に、本稿で扱う力学学習を対象にしたEBSは力学EBSと呼ばれている。力学EBSを扱う学習支援環境では、これまで一定の学習効果が確認されてきた。一方で力学EBSは、正解を提示しないことで試行錯誤を促すという枠組みであるが故に、シミュレーション結果が有効に働かずに解答に行詰ってしまう学習者に対する支援には課題があった。よって、筆者らはこれまで力学EBSにおいて行詰った学習者が自力で行詰りを解決することが難しいことに着目し、学習者の行詰り解決を支援するシステムを開発および評価してきた[2]。

本研究では行詰りを、試行錯誤しても正しい解答に辿り着けない状態と定義している。その状態が長く続くと、負荷量の増大により学習者が学習を諦めてしまうことが懸念される。よって、行詰った学習者には新たな手掛かりを与える必要がある。そこで筆者らは、学習者の解答履歴から行詰りの原因を分析し、それを解決する補助問題を適応的に提示する

システムを開発した。このような補助問題提示による学習効果は、EBSではない問題演習システムですでに研究されて明らかになっている[3]が、EBSを対象とした研究ではまだ明らかになっていない。本稿では、EBSにおける補助問題提示機能による学習活動を詳しく分析する。

2. 先行研究

2.1 力学 Error-based Simulation (力学EBS)

Error-based Simulation (EBS)[1]は「誤りの可視化」を指向したシステムである。誤った知識が正しいと仮定した不自然な振舞いのシミュレーションを見ることで、学習者がその不自然さを認識し自身の誤りに気づくことを狙っている。例えば、床の上に物体が静止している場合、その物体には重力と床からの垂直抗力が働いている。学習者が重力のみを入力するという誤答をしたとき、EBSは物体が重力に従って床に沈むという奇妙な振舞いのシミュレーションを生成する。このような間違ったシミュレーションを正しいシミュレーションに修正するためには、誤りの発見が必要である。EBSはそれを学習者自身に行わせることで、高い学習効果を発揮する。

2.2 補助問題の提示

学習者が問題に行詰る原因は、その問題中に含まれる要素全体ではなく、何らかの理解が不十分な要素が存在するためだと考えられる。よって、その原因となる要素の理解に注力するための、もとの問題の一部を単純化した問題、すなわち補助問題は、学習者が行詰りを解決する際の手掛かりになりうる。

実際に、武智ら[3]は補助問題の提示を行う問題演習システムを開発している。また、その評価実験から、補助問題が問題に行詰った学習者の支援として有効であることを示している。

2.3 行詰り解決を指向した力学 EBS

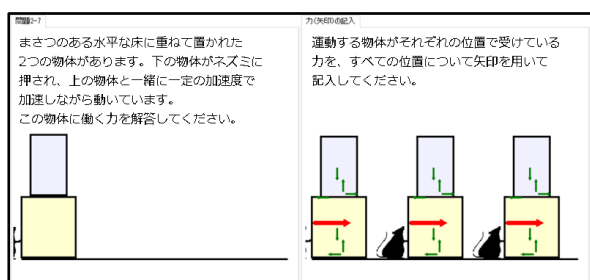
筆者らはこれまで、EBS での問題の行詰り解決を支援する手法として、従来の EBS に適応的な補助問題提示機能を導入したシステムを開発した[2] (図 1)。問題を一定回数正答できなかった学習者には、もとの問題に包含される少し簡単な補助問題を提示する。その際にシステムは、学習者がそれまでに入力した解答から行詰りの原因を分析し、その解決を支援する補助問題を選択し提示する。それを学習者が解き、正答が得られた場合には、作成した問題系列に

従って段階的にもとの問題へと戻る。正答が得られなかった場合には、また入力された解答に適応的な補助問題に移行する。これにより、学習者はシステムの支援のみで行詰りを解決することができる。

2.3.1 問題移行

本システムは、問題に対してベクトルを用いて作図する形で解答する。そのため、システムは学習者が解答するごとに解答と正答のベクトルを照らし合わせ、欠落ベクトルをカウントする。例えば図 2(A)より、問題 P6 には記入すべきベクトルが 5 つあり、それらの力を、重力、垂直抗力、上の物体が下の物体を押す力のようにそれぞれ分類する。そして、もし学習者の誤答で②が入力されていなかった場合、システムは「②の上の物体が下の物体を押す力が欠落している」と分析する。このような分析を繰り返し、学習者の誤答履歴の中でもっとも多かった欠落ベクトルを「行詰りの原因」として抽出する。そして、図 3 の問題系列に従い、抽出した行詰りの原因に対応した補助問題に移行する。

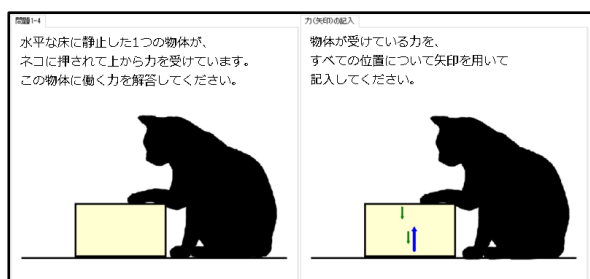
提示された補助問題に正解したら、図 3 の問題間の矢印に従って段階的に複雑化した問題に移行していき、補助問題から問題 P1 に戻る。その途中でまた誤答があった場合には、最初と同様に行詰りの原因を分析し対応する補助問題に移行する。このようにして、システムは学習者の行詰りの原因に適応的な問題移行を行う。また、同じ回数欠落しているベクトルが複数ある場合には、あらかじめそれぞれのベクトルに学習すべき優先順位を設定しておき、優先順位の高いベクトルに対応する補助問題へ移行する。



(A) 問題提示画面

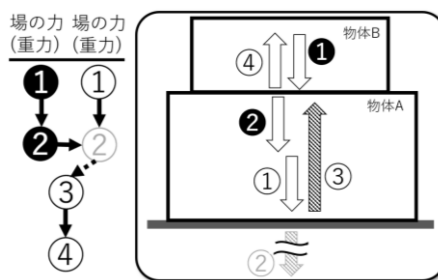


(B) 問題移行選択画面

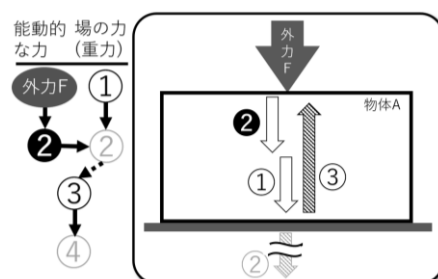


(C) 単純化問題移行後

図 1 システム画面



(A) 問題 P6



(B) 問題 P7

図 2 補助問題の例

2.3.2 補助問題

本システムの補助問題は、因果推論理論[4]を参考に作成している[5]。例えば図 2(A)の問題 P6 について、学習者の誤答では②の上の物体が下の物体を押す力が欠落している場合、②の力が学べる補助問題として問題 P7 を設定している。②が発生するのは物体 B の重力①があるからである。よって①を問題 P7 では外力 F にすることで、②の発生をより明示的にしている。これにより、学習者は②の上の物体が下の物体を押す力について学ぶことができる。

3. 評価実験とその詳細分析

3.1 実験概要

筆者らが開発したシステムについて、学習効果を検証するために実験を行った[5]。初等力学を学習した経験のある工学部の大学生 4 名を対象に 2.3 節で説明した学習者の解答から補助問題に適応的に自動移行する EBS を用いて 40 分間学習してもらった。この被験者のシステム使用時のログを詳しく分析し、本システムによる学習活動を分析した。

3.2 結果

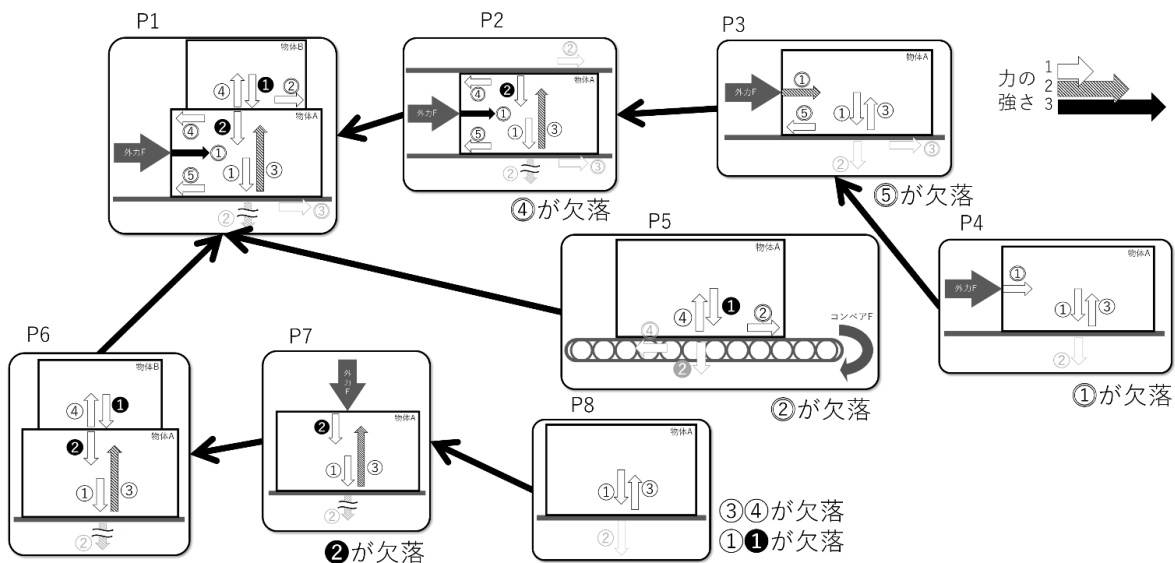
被験者それぞれの問題移行の概要を図 3(B)に示す。被験者 4 名をそれぞれ A~D に割り振った。

項目について順に説明する。「検知した行詰り原因」は、最初に提示される問題 P1 に取り組んだ際にシステムが検知した、学習者の行詰り原因である。本システムでは、一定回数問題に取り組んだあと、行詰り原因に対応する補助問題に移行するようになっている。「解消までの移行回数」は、「最初の行詰り原因」が解消されると示唆される問題へ移行するまでの問題移行回数である。「(総数)」は被験者の問題移行の総回数である。「演習の完遂」は、システムで最初に提示された問題 P1 を、演習時間の 40 分以内に正答できたか否かである。

図 3 より、被験者 3 名について「解消までの移行回数」が 1 と少ないことが分かる。このことから、本システムは学習者の行詰り原因に対応した補助問題に適切に移行できたことが示唆された。よって次の節では、より詳細な分析について述べる。

3.3 被験者ごとの分析

それぞれの被験者の問題移行履歴から、詳しい学



(A) 問題系列

被験者	検知した行詰り原因	解消までの移行回数 (総数)	問題の移行系列 (*: 行詰り原因の解消)	演習の完遂
A	②	1 (2)	P1 ▶ P5* ▶ P1	Yes
B	④	1 (2)	P1 ▶ P2* ▶ P1	Yes
C	⑤	1 (8)	P1 ▶ P3* ▶ P2 ▶ P1 ▶ …	No
D	②	--(8)	P1 ▶ P7 ▶ P6 ▶ P7 ▶ P6 ▶ …	No

▶は不正解時の問題移行, ▶は正解時の問題移動

(B) 問題移行に関する分析結果

図 3 問題系列および問題移行に関する分析結果

習活動を個別に見ていく。

3.3.1 被験者 A

図 3 より、被験者 A は最初の問題 P1 で摩擦力②④について行詰り、摩擦力②に対応する補助問題である問題 P5 に移行した。そして問題 P5 に正解し、また問題 P1 に戻ってから正解している。この活動から、被験者 A は摩擦力②についての行詰りを問題 P5 に移行することで解消できていることが示唆される。

3.3.2 被験者 B

次に、被験者 B は問題 P1 で摩擦力④について行詰り、摩擦力④に対応する問題 P2 に移行した。そして問題 P2 に正解し、問題 P1 に戻ってその問題にも正解している。この活動から、被験者 B は摩擦力④についての行詰りを問題 P2 に移行することで解消できていることが示唆される。

3.3.3 被験者 C

次に、被験者 C は問題 P1 で摩擦力②④⑤について行詰っていた。そこでシステム内の優先順位に従って、まず摩擦力⑤に対応する問題 P3 に移行した。そこで問題 P3 に正解し、図 3 の問題系列に従って問題 P2 に移行し、これにも正解した。そして問題 P1 に戻って取り組んだとき、正解には至っていないものの、システムが診断した行詰り原因の中に摩擦力⑤はなかった。この活動から、被験者 C は問題 P1 には正解できなかったが、摩擦力⑤の行詰りは解消できていることが示唆される。

3.3.4 被験者 D

被験者 D は問題 P1 の上の物体が下の物体を押す力②で行詰り、問題 P7 に移行した。しかし問題 P7 に正解し問題 P6 に移行すると、そこでまた上の物体が下の物体を押す力②で行詰った。以降、被験者 D は繰り返し問題 P7 に戻り、正解して問題 P6 に移行することをやっている。これは補助問題が効果を発揮しなかったことが原因であるとみられ、問題系列の評価には不適切であると思われる。よって、被験者 D は本稿の評価の対象外としている。

3.4 考察

3.3 節の結果より、システムが分析した行詰り原因は問題移行によって解消されるという傾向がみられた。また行詰り原因の解消までの移行回数が少ないことから、学習における負荷量も低くなっていると考えられる。このことから、本システムの問題系列および補助問題提示システムは行詰りの解消に有効であると考えられる。今後もっと被験者を増やして検証していく必要がある。

また、被験者 D については本稿では分析の対象外としたが、本システムにおいては重要なケースである。被験者 D は補助問題から適切な手掛かりが得ら

れなかったために問題移行しても行詰り原因が解消できなかったとみられ、このケースについては今後検討していく必要がある。

4. おわりに

本研究ではこれまで、EBS での問題の行詰り解決を支援する手法として、従来の EBS に適応的な補助問題提示機能を導入したシステムを開発した。また評価実験で補助問題の有効性を評価してきた。本稿では、システムが狙った行詰り原因の解消を支援できているかを評価実験のシステムログから調査した。その結果、システムが分析した学習者の行詰り原因が、システムが提示した対応する補助問題によって解消されていることが分かった。これにより、本研究で構築した問題系列が行詰り原因の解消に役立つことが示唆された。

今後の課題は、さらに被験者を増やした評価実験の実施や、問題系列の拡張が挙げられる。また、補助問題が有効ではないケースについて検証し、効果を発揮する補助問題について考えていく。

謝辞

本研究の一部は科研費・基盤研究(C)(18K11586)、基盤研究(B)(17H01839)、基盤研究(B)(19H04227)の助成による。

参考文献

- [1] 平嶋宗, 堀口知也: 「誤りからの学習」を指向した誤り可視化の試み, 教育システム情報学会誌, Vol. 21, No. 3, pp. 178-186, (2004)
- [2] 相川野々香, 古池謙人, 東本崇仁: Error-based Simulation (EBS)における学習者の誤り傾向に基づく問題の行詰り解決支援システム, 電子情報通信学会論文誌 D, Accepted, (2020)
- [3] 武智俊平, 林直也, 篠原智哉, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗: 単純化方略を用いた問題解決失敗の自己克服支援システムとその実践的評価—初等力学を対象として—, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J98-D, pp. 130-140, (2015)
- [4] 溝口理一郎, 平嶋宗, 堀口知也: 力と運動に関する因果推論理論, 人工知能学会論文誌, No. 31, No. 4-A, pp. 1-13, (2016)
- [5] 相川野々香, 東本崇仁: Error-based Simulation における学習者の誤り傾向に基づく適応的な補助問題提示システムの開発と評価, 人工知能学会第 88 回先進的学習科学と工学研究会, pp. 97-102, (2020)