

EBS における学習者の誤り傾向に基づく

問題の行詰まり解決支援システムの提案と予備的評価

Proposal and Preliminary Evaluation of a System that Presents Auxiliary Problems to Break Learners' Impasse based on Tendency of the Error in Error-based Simulation

相川 野々香¹ 東本 崇仁¹

Nonoka AIKAWA¹, Takahito TOMOTO¹

¹ 東京工芸大学工学部

¹ Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

Abstract: EBS is a system that generates a simulation based on the learner's error and engages to aware of the error by him/herself. However, there is a case that learners repeat the same mistake and cannot aware of that cause. To solve this problem, we considered it is effective that a function of present auxiliary problems based on learners' mistakes. And, to realize that function, it is necessary to develop a function of analyzing learners' mistakes and a function of diagnosing concepts that are lacking in learners' understanding. Therefore, in this paper, we develop the EBS with these functions to supports effective trial and error. In evaluation of this system, the result indicated learning effects.

1. はじめに

学習者がある知識の理解を深めるためには、学習者自身が自身の誤りを認識し、その誤りを修正するように試行錯誤することが有効である。よって、学習者自身の試行錯誤を促す支援が有効であると考えられる。力学学習においては、学習者自身の試行錯誤を促す枠組みの1つとして、Error-based Simulation (EBS)が挙げられる。EBSとは、「もしも学習者の(誤った)知識が正しいと仮定すればどのような現象が生起するか」を学習者の解答に基づいてシミュレートするシミュレーション環境の枠組みである。EBSは「誤りの可視化」を指向した手法であり、誤った知識が正しいと仮定したシミュレーションを見ることで、学習者と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。自身で気づくことにより、知識が深まり大きな学習効果が得られると考えられる。例えば「床上に静止した物体には重力と垂直抗力が働いている」という事象があったとき、言葉による説明のみでは垂直抗力は理解されにくい。そこでEBSは、垂直抗力が解答に記述されなかったとき「重力とつり合う力がないため物体は一定の加速度で床に沈んでいく」というシミュレーションを学習者に提示する。この誤ったシミュレーションを見ることで学習者は自身の誤りを認識し、それを修正することで正しい理解へとたどり着くことができる。

EBSは「学習者の持つ誤りを可視化する」という性質上、繰り返し解答を記述させ、シミュレーションをフィードバックすることが前提であり、正解の提示は行われない。しかし学習者の中には、何度解答を繰り返しても、どこを直すべきか分からないために正しい解答にたどり着けない学習者も存在する。またいくつもの要素を組み合わせた複雑な問題では、どこが誤っているかをシミュレーションから読み取ることが困難な場合も存在する。このような理由から、試行錯誤の過程で行詰まったとき、学習者が自力で行詰まりから抜け出すのは困難な場合が多い。

学習者の行詰まりを解消する方法の1つに補助問題の提示がある[1]。補助問題とはもとの問題を単純化した補助的な問題であり、これを提示することにより問題解決に行詰まった学習者に新たな手掛かりを与え、その解決を支援する効果が見込める。

そこで、本稿では従来のEBSを拡張し、学習者の誤り傾向から理解の不足している概念を診断することで、適応的に補助問題を提示する学習支援システムを提案する。

2. 単純化方略

単純化方略とは、問題を少しずつ単純化してできる問題を発見した後、できる問題とできない問題の差分を取ることで、学習者が失敗要因を認識する演

習方法である[2].

問題解決に失敗した場合には、学習者が自分にとって困難だった部分はどこにあるかを認識することが重要である。問題解決に失敗した学習者は、失敗した問題の全てについてできないのではなく、その問題の一部が困難であるため問題解決ができなかったと考えられる。一方で、その学習者がどの一部が自分にとって困難であるかを必ずしも認識しているわけではない。そこで、困難である一部分を認識しやすく示すことで、できない問題とできる問題の関係性に気づき、その問題の解決に繋がる可能性が考えられる。解決に繋がらなかった場合においても困難である部分を中心に再び学習を行えば良いので、効率的な学習にも繋がる。

その困難である一部分を認識しやすくするためにはできる問題とできない問題の差分に気づきやすい問題系列で問題を出題する必要がある。そのため、問題解決失敗の際には問題を一段階単純化することを繰り返し、学習者ができる問題を発見する。できる問題を見つけた場合、単純化した問題と単純化のもとになった問題の差分に、学習者の困難は存在している。このようにして学習者のできる部分とできない部分を切り分けながら演習を行う。

3. 提案手法

本研究では、EBS での問題の行き詰まり解決を支援する手法として、これまでに述べた単純化方略を従来 EBS に導入したシステムを提案する。問題を一定回数正答できなかった学習者には、もとの問題を包含した少し簡単な問題を提示する。その際にシステムは、学習者がそれまでに入力した解答の傾向を解析し、より学習者の行き詰まりの原因に対して適当だと考えられる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、学習者の困難はもとの問題と少し簡単な問題との差分に存在していると考えられる。正答が得られなかった場合には、また入力された解答を解析し、さらにその問題と包含関係にある少し簡単な問題に移行する。

これにより、学習者の行詰まりの部分がより効率的に明らかになり、学習者の今後の学習の指針になることが可能となる。さらに学習者自身で差分を発見することができれば、それは大きな学習効果を持つことを期待できる。また、同系統の問題を複数解くことにより、記憶の維持に繋がると考える。

単純化方略を行うには、問題系列が重要である。複雑さの異なる複数の問題を段階的に学習させるには、問題の差分を明確にし、学習者の知識状態に合わせて適応的に学習順序を設定しなければならない。

本研究では、堀口ら[3]の誤り原因同定ルールを参考に、誤りの治療方針を決定し、それに基づいて問題系列を作成した。

3.1. 単純化方略の実装

堀口らは EBS において、適切に誤り原因を示唆し修正を支援するためには、その効果を見積もるときに学習者の誤り原因を同定する必要があるとした。そして力の伝播・発生に関して一連のルールとして定式化し、学習者の誤りをこの力の伝播・発生ルールに関する誤りとして捉えることで、誤り症状と原因、そして誤りの治療方法をまとめた。例えば、垂直抗力が欠落している場合、誤り原因として(1)垂直抗力概念を知らない、(2)物体 1 と物体 2 が隣接/接続していることを見落としている、(3)垂直抗力を引き起こす力が欠落している、の 3 つが考えられる(表 1)。そして、例えば誤り原因が(1)だった場合、学習者には概念・定義を教えることやその力がないときの動きを見せることで誤りが修正できると考えられる。これらのルールをもとに、特定の力について学習できる単純化問題をそれぞれ作成した。次節でこれらの問題への移行の方法を詳しく説明する。

3.2. 問題移行

問題移行では、まず学習者が入力したベクトルを正解のベクトルと比較し、欠落・余分ベクトルを抽出する。それをもとに、図 1 の単純化問題移行系列図と照らし合わせて、学習者の誤りをより効率的な試行錯誤で解決できる単純化問題に移行していく。

例えば図 1 の問題 10 の場合、9 つのベクトルがあり、それらを縦ベクトルと横ベクトル、さらに縦ベクトルの中でも重力・垂直抗力・押される力など力の分類を明確にする。そして学習者の解答が、例えば②か④の垂直抗力のみ欠落している場合、⑥⑦⑧の横のベクトルについては理解できているとすれば、図 1 の問題 10 を繰り返し解かせるのは考慮する要素が多いため効率が悪い。それならば問題 7 に移行し、縦ベクトルのみを考えさせるべきである。さらに垂直抗力の中でも④のみが誤っている場合は、学習者は物体間の力の働きが理解できていないと推測できるので、問題 6 に移行するとより良い試行錯誤が可能になると思われる。このようにして、単純化問題に移行していく。

3.3. インターフェース

本システムは Visual Basic にて作成した。図 2 に本システムのインターフェースを示す。はじめに、(I)のように問題文と対応するシミュレーションを学習者に提示する。その後(II)のように力の大きさの矢印

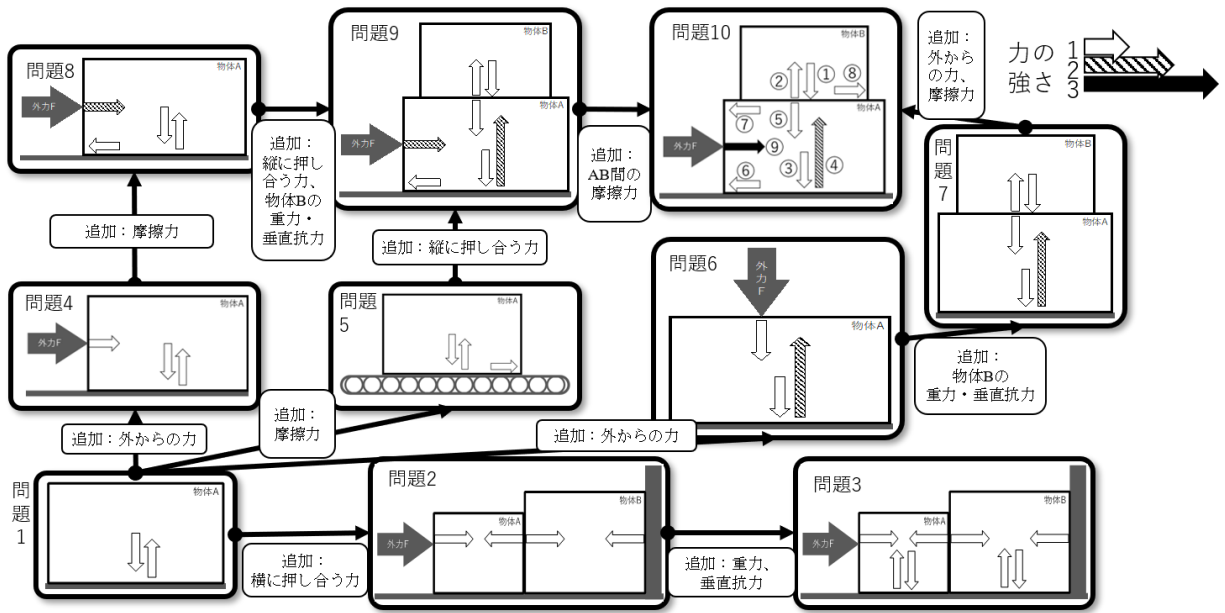


図1 単純化問題移行系列図

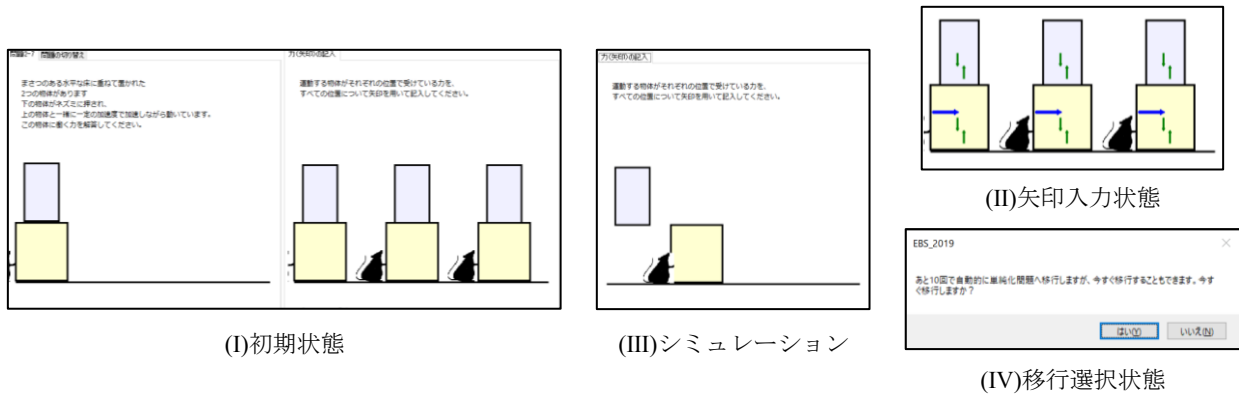


図2 システム画面

を用いて学習者に解答を行わせる。このとき、運動系においては移動する物体を3つ示し、それぞれの状態で受ける力について解答させた。解答終了後、「解答完了」ボタンを押すことで(III)のようにシミュレーションによるフィードバック及び正誤の提示を行う。その後一定回数解答を繰り返すと、(IV)のようにシステムによって選出された単純化した補助問題に移行するかどうかの選択肢を提示する。

4. 予備的評価実験

4.1. 実験概要

単純化問題を導入したEBSを利用した際の学習効果を検証するために、いずれも初等力学を学習した経験のある工学部の大学生11名を被験者として、以下の手順で実験を行った。

- (1) 事前テスト (5分)
- (2) システム利用 (30分)
- (3) 事後テスト① (5分)
- (4) 事後テスト② (5分)
- (5) システム・テストに関するアンケート

実験の前に、解答の方法とシステムの操作について十分な説明を行った。(2)のシステム利用では、被験者を単純化問題のあるEBSを用いる実験群に6名、単純化問題のない従来EBSを用いる統制群に5名をそれぞれ割り振った。

(1)及び(3)(4)のそれぞれのテストでは、提示した現象に対してはたらく力を矢印として直接記入する問題によるペーパーテストを行った。事前テストと事後テスト①は全く同じ問題4問で構成されており、事後テスト②はそれよりも難しい発展問題を2問設定した。

4.2. 実験結果

テストは全て1問1点として採点した。事前及び事後テスト2種類の平均点及び標準偏差を表1に示す。

表1 テスト結果

	事前テスト		事後テスト①		事後テスト②	
	平均	偏差	平均	偏差	平均	偏差
実験群	1.17	0.75	2.33	0.52	0.33	0.52
統制群	1.20	1.30	2.00	1.00	0.40	0.55

それぞれの平均点について、表1からそれぞれ事前テストから事後テストにかけていずれにおいても点数が上昇しているものの、実験群と統制群の間に大きな違いは見られなかった。そこで、Cohen's *d* を用いて効果量を算出した。算出結果より、統制群が0.69で効果量中であるのに対して実験群が1.81と効果量大であり、実験群の数値が統制群の数値を大きく上回ったことから、実験群が用いたEBSの単純化問題移行は有効に働いたことが示唆された。

次に、6件法で行ったアンケートの結果の一部を表2にまとめる。このアンケートでは6が「とてもそう思う」、5が「そう思う」、4が「ややそう思う」、3が「ややそう思わない」、2が「そう思わない」、1が「とてもそう思わない」ことを示す。項目(a)(b)(c)は提案手法そのものの有効性について調査したものである。結果の平均から概ね肯定的な回答が得られたと言える。また項目(d)(e)はシステムの有効性について調査するものである。項目(d)より、提案システムを用いることで正解にたどり着けると考えているが、従来システムでは正解にたどり着くことに困難を抱えていることが分かった。このことから、本システムで行詰まりが解消できることが示唆された。また、項目(e)よりシミュレーションそのものは従来と変わらないものであるが、適切な補助問題を提示することで、誤りに気づききっかけになったと言える。また実験群のみに対して行ったアンケート項目(f)から、単純化した補助問題が学習の際に有用であったかを考察する。このアンケートでは(f)は反転項目になっていて、1に近いほど「学習の妨げだと感じなかった」ことを示す。この項目について実験群の被験者6名全員が2以下を選んでいることから、単純

化した補助問題に移行する機能は学習の妨げにはならなかったと考えられる。さらに、実験群のみに行った質問である「単純化問題移行のタイミングは適切だったか」という項目については、6名全ての被験者から「適切だった」との回答が得られた。

5. おわりに

本稿では、従来のEBSに単純化方略を組み込むことで、問題解決に行き詰まった学習者の効率的な試行錯誤を支援する試みを行った。その結果、単純化した補助問題を提示されることで、学習者はその問題から理解が深まったことが示唆された。また被験者の主観的評価から、本提案手法そのものが好意的に受け取られたことや、提案システムにより行詰まりが解消されること及び誤りへの気づきが増幅されることが分かった。

今後の課題として、単純化問題に移行する系列が適切であるかをさらに検討し、システムに実装する。また、本システムによる学習効果をさらに検討するため、評価実験の被験者を増やすことが課題として挙げられる。

謝辞

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

参考文献

- [1] 平嶋宗, 東正造, 柏原昭博, 豊田順一: 補助問題の定式化, 人工知能学会誌, Vol. 10, No. 3, pp. 413-420, (1995)
- [2] 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)
- [3] 堀口知也, 平嶋宗: 誤りの修正を支援するシミュレーション環境—誤り原因の示唆性を考慮した Error-Based Simulation の制御—, 人工知能学会論文誌, Vol. 17, No. 4, pp. 462-472, (2002)

表2 アンケート結果 (1~6の6段階評価)

項目	実験群	統制群
(a)問題が分からなかった時、簡単な問題に立ち返って考えるのは有効だと思うか	5.17	4.40
(b)簡単な問題から徐々に複雑な問題を解いていく学習方法は効果があると思うか	4.67	5.00
(c)理解していない箇所を学べる問題を解くのは有効だと思うか	5.83	4.20
(d)システムを用いた学習で、正解にたどり着けると思うか	4.50	2.80
(e)システムのシミュレーションが、解答の誤りに気づききっかけになると思うか	4.50	3.00
★(f)システムが提示した単純化問題が、学習の妨げだと感じたか	1.83	—