

# 力学問題の単純化習得演習における思考分析のための解答プロセスの可視化

## Visualization of answer process for thought analysis in simplified mechanics problem acquisition exercise

西本 拓真<sup>\*2</sup>, 志水 規祥<sup>\*2</sup>, 林 雄介<sup>\*2</sup>, 平嶋 宗<sup>\*2</sup>

Nishimoto Takuma<sup>\*2</sup>, Shimizu Noriyoshi<sup>\*2</sup>, Yusuke Hayashi<sup>\*2</sup>, Tsukasa Hirashima<sup>\*2</sup>

<sup>\*2</sup> 広島大学院工学研究科

<sup>\*2</sup>Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Email: [nisimoto@lel.hiroshima-u.ac.jp](mailto:nisimoto@lel.hiroshima-u.ac.jp)

**あらまし:** 問題解決に行き詰った場合、(1)解けるように問題を単純化し、(2)その単純化した問題と元の問題を差分に焦点を当てて行き詰まりの原因を検討し、(3)その結果に基づいて行き詰まりを克服する、といった単純化方略が有効であるとされている。この単純化方略を習得するための演習支援システムがすでに開発されているが、本研究では、この演習における学習者の活動を分析するためのツールを開発した。演習では学習者の活動が探索的になることがすでに確認されているが、この探索活動が正しい方向に向かっているかどうかを分析することは、演習活動の支援において重要になると考えられる。すでに収集されたログデータを分析、可視化することで学習者の探索活動に規則性や、集中的な部分がないかどうか検証するためにツールを用いた可視化を行った。

### 1. はじめに

問題を解くために必要な知識を持っている学習者でも問題演習に行き詰ってしまう可能性がある。この場合、学習者は再度教授活動を受けるか、問題の解答を見ることで問題の解決に至るのが一般的だが、学習者自身が誤りの原因に気づかないまま解法を受動的に受け入れてしまう可能性があり、効果的な学習を行えたとはいえない場合がある。そのため行き詰りのあった問題のどの部分で行き詰ったかを学習者自身が認識し、自ら知識を使い直して克服することが有効であるとされ、この活動は自己克服と呼ばれている。

自己克服を行うための手法として単純化方略<sup>(1)</sup>がある。これは Polya<sup>(2)</sup>が述べているように、問題に行き詰ったとき、関連した問題やもっと易しくて似た問題を解くことが効果的だという考え方を元にした手法である。学習者が問題に行き詰ったとき、一段階単純な問題を提示し取り組ませ、解ける問題が見つかるまで繰り返す。解ける問題とその直前の解けなかった問題とを比較することで、問題間の差分がその学習者にとっての行き詰りの原因であると特定することができるため、その上で再び直前に解けなかった問題に挑戦し自己克服を目指す。この方略を習得するための演習支援システムがすでに開発されているが、本研究では、この演習における学習者の活動を分析するためのツールの開発を行った。

### 2. 問題の単純化

単純化方略の獲得のために問題の単純化<sup>(3)</sup>ができる必要がある。単純化は状況の単純化(複雑化)、解法の単純化(複雑化)の二つに分類される。

状況の単純化では、図1のように問題が持つ属性

一つを考えなくてよい値にデフォルト化することで単純な問題を定義している。また、逆に新たな属性を加えることでより複雑な問題を定義することも可能で、それぞれを特殊化/一般化と呼ぶ。

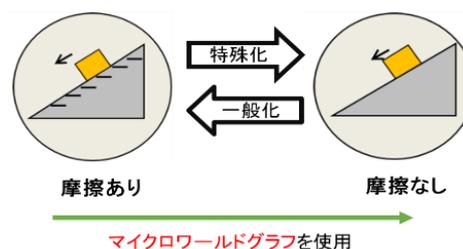


図1 状況の単純化・複雑化

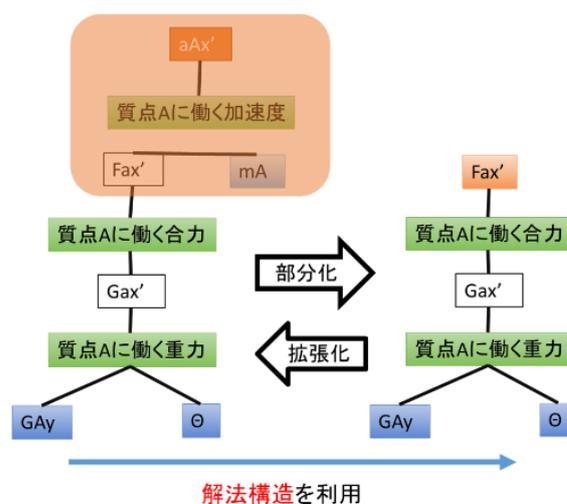


図2 解法の単純化・複雑化

解法の単純化では、図2のように解法構造の一部を抜き出すことであり、この単純化/複雑化のことを、

部分化/拡張化と呼ぶ。

状況および解法の単純化により、生成された問題は元問題と包含関係にあるため、元問題が解ければそこから派生する単純な問題も解けると考えられる。

### 3. 力学問題の単純化演習の分析

#### 3.1 演習の概要

先行研究では、単純化の演習に成功すれば成功するだけ学習効果があること、また演習で行き詰る学習者には効果が薄いなどのことが分かっている。今回設計開発したシステムは学習者の学習プロセスを分析し、可視化するようなものになっている。演習プロセスが探索的なものとなることは、過去の演習データより、ある課題を正解するために平均 7.5 回の試行を行っていたことから裏付けられる、また、無作為な試行を行った場合、平均 507682 回の試行が必要となることから、学習者は考えながら活動を行っていることも裏付けられる。

#### 3.2 単純化演習課題

単純化支援システムの解答はすべて選択肢形式である。図 3 は実際の単純化支援システムの演習問題提示画面の一部である。選択肢の構造は「対象となる物体」、「物体にかかるものの種類」、「物体にかかるものの軸」の 3 つの要素から構成される。

物体Aの動摩擦係数： $\mu_A$   
上記の要素が元問題の状況から省略されることにより、元問題の状況に含まれる式のうち、以下の式が省略されたり、変化されたりします

②単純化により省略されたり変化したりする下記の式の中で、元問題を解く際に用いた式を選択してください  
選択肢は「〇〇に働く△△(□□)」という形になっています。

- 物体Aに働く動摩擦力（斜面に平行な方向）： $[F_{Ax}] = [\mu_A] \cdot [N_{Ay}]$
- 物体Aに働く動摩擦力（水平）： $[F_{Ax}] = [F_{Ax}] \cdot \cos[\theta]$
- 物体Aに働く動摩擦力（鉛直）： $[F_{Ay}] = [F_{Ax}] \cdot \sin[\theta]$
- 物体Aに働く合力（斜面に平行な方向）： $[F_{Ax}] = [G_{Ax}] - [F_{Ax}]$

図 3 単純化演習システムの問題画面

#### 3.3 解答遷移の可視化

システムログデータは、学習者がシステム利用時に解答を行った毎にチェックした項目で、その抽出・集計を行い今回作成したツールで可視化を行った。可視化は学習者が正解までに行った選択の変更の様を表示する。図 4 は北海道の高専で実践利用したときのログデータから解答の遷移を可視化したものであり、正解率 87.5% の課題について 16 名分のデータを合わせたものである。中心の一番濃い色のノードである 0 は解答の開始を表し、少し濃い色のノードである 5 が正解の選択肢を指している。番号は選択肢の種類を示し、矢印は矢印の向いている方への変更を示している。番号も矢印も色が濃いもの程試行回数が多かったものである。

このグラフから、正解である 5 番が一番試行回数が多かったことにより、全体を通して学習者はこの

問題を正解までたどり着けていることが分かる。また今回は、2・6 番、5・9 番、10 番、11 番、14 番も試行回数の多いものであるが、これらは正解ではないので、これらを選んでいる学習者で正解にたどりついていなければ、おおよそこれらの選択肢に悩まされていることが分かる。そういった学習者の発見につながり、指導もしくは、フィードバックを行うことも可能である。

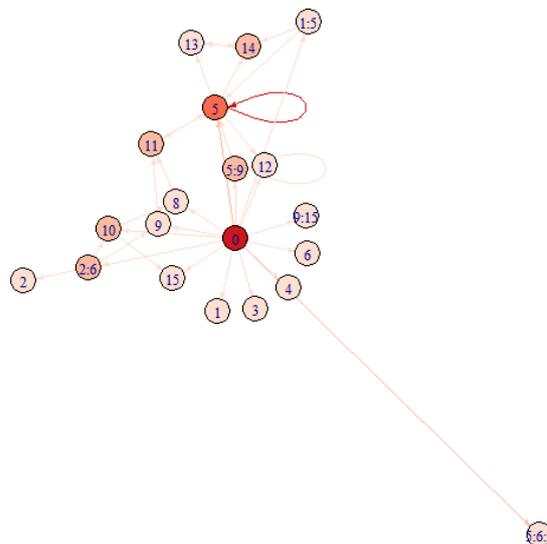


図 4 ログデータからの解答遷移の可視化

### 4. まとめと今後の課題

本研究では力学を対象とした問題単純化演習における学習者の探索的活動を可視化するための分析ツールの設計・開発を行った。データの可視化により、学習者の探索を表すことができた。正解でない選択を行う学習者の探索の傾向を見つけることで学習者の行き詰りの原因の発見が期待できる。さらに、個人の探索空間を明示できるようなツールもあれば、学習者個人個人の探索の癖を発見でき、自身の探索を見直すことでフィードバックになり、改善が期待できる。今後は、個人に焦点を当てた可視化を行って行きたい。

#### 参考文献

- (1) 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 D, J98-D No. 1, pp. 130-141 (2015. 1)
- (2) Polya: "How to solve it", Princeton University Press (1957)
- (3) 平嶋 宗, 東 正造, 柏原 昭博, 豊田 純一: "補助問題の定式化", 人工知能学会誌, vol. 10, No. 3, pp. 413-420 (1995)
- (4) 津守 庸平, 志水 規祥, 林 雄介, 平嶋 宗: 単純化方略習得を支援する自己説明演習システムの設計・開発と実験的利用, 人工知能学会 先進的学習科学と工学研究会 SIG-ALST, B5 (03), 49-54 (2018. 3. 13)