

初等力学を対象とした問題間関係の説明タスクの設計・開発と実験的評価

Design and Experimental Evaluation of
Explanation Task of Relations between Problems in Elementary Mechanics志水 規祥^{*1}, 津守 庸平^{*1}, 林 雄介^{*1}, 平嶋 宗^{*1}Noriyoshi Shimizu^{*1}, Youhei Tsumori^{*1}, Yusuke Hayashi^{*1}, Tsukasa Hirashima^{*1}^{*1} 広島大学院工学研究科^{*1}Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Email: shimizu@lel.hiroshima-u.ac.jp

あらまし：ある問題について理解しようとした場合、それ単体だけでなく、関わりのある別の問題との関係も併せて考えることが有用とされる。問題間には様々な関係が存在するが、本研究では初等力学の問題間における単純/複雑の関係を取り扱う。この関係性を用いて学習者の問題解決を支援するシステムがすでに開発され、その有効性が検証されている。本研究では学習者によるこの関係性の理解を促進することを指向して、問題間の単純/複雑関係の説明演習システムを設計開発し、実験的に評価した。

キーワード：問題間関係、単純化/複雑化、単純化方略、構造可視化

1. はじめに

問題が解けなかった場合、どこに自分の行き詰まりの原因があるか把握できない学習者が存在する。分からない問題には学習者に対して教授者が解き方を教えるのが一般的であるが、この方法では学習者が問題解決の行き詰まりの原因が分からないまま受動的に解き方を受け入れてしまい、効果的な学習にならない可能性がある。そこで元問題と包含関係にある少し簡単な問題を考えるという手法が用いられている。簡単にした問題が解けるならば問題間における差分要素が学習者の行き詰まり原因であるといえる。この単純/複雑関係における問題間関係の理解の促進を、初等力学を対象として本研究の目的としている。

実際に問題間関係を利用している活動として単純化方略が挙げられる。方略は学習者が問題を解けなかった場合一段階単純な問題を提示し、解ける問題になるまで繰り返し挑戦する。そして解ける問題と直前の解けない問題を比較することで問題間の差分から行き詰まりの原因を確認させ、前回解けなかった問題に再び挑戦するというフローである。困難の原因を自覚するだけでも知識を正しく当てはめ直し問題解決に成功するというケースもある程度存在しており⁽¹⁾、これは自己克服といって優秀な学習者が行うとされる自己調整活動の一部であると位置づけられている。

このような活動のベースとなる問題間関係の理解を促すため、本研究では問題間構造の可視化と差分に対する説明演習システムを設計・開発し、また実践的利用を行ったので報告する。

2. 単純化の定義

元問題と包含関係にある簡単な問題を定義するにおいてまず単純化そのものを定義しなければならない。そのためには問題を情報構造として考える必要がある。初等力学における問題構造は表層構造(問題文)、制約構造(物理状況)、解法構造(解法)の三つに分類できるとされており、このうち問題の解き方に特に影響する物理状況と解法の二つに着目した⁽²⁾。「状況」は質量 m や角度 θ などの属性と属性を結ぶ数量関係(重力 $G=mg$ など)を持っており、「解法」は問題文中の属性を「状況」の持つ数量関係で繋ぎあわせることで定義されている。これを解法構造と呼び、木構造によって表すことができる(図 1)。このそれぞれに対して操作を行うことで、系列的に元問題に関連した問題(派生問題)を作ることが可能である。

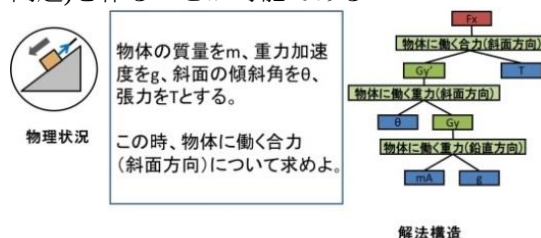


図 1 問題と解法構造

「状況」の単純化では、問題が持つ属性 1 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。例えば物体が摩擦のある床を滑る問題であれば、摩擦係数を 0 とした問題を単純な問題とすることができる。逆に新たな属性を加えることで複雑な問題を定義することもで

き、それぞれ特殊化/一般化と呼ぶ。一方「解法」の単純化は解法構造の一部を抜き出すことである。図1を例とすると、解法構造の出力ノードである合力 F_x を求める元問題から、物体に働く斜面方向の重力 G_y を求める問題に変えることが解法の単純化にあたる。解き方の手順に沿って単純な問題を定義しているともいえる。この単純化/複雑化を部分化/拡張化と呼ぶ。上記のような単純化によって生成された問題は元問題とは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. システム

3.1 問題間構造図の可視化

システムでは状況の単純化と解法の単純化2つのモードに分かれて演習を行う。まずは問題が関係によって繋がっていること自体を認識させるため、選択した初期問題における問題間構造図をシステム上で示している(図2,3)。円が示す各々が派生問題で、最上段に位置するのは元問題である。階層的にこれらを可視化することで単純化が段階的なものであることを示唆する狙いがある。また図中の問題間ノードをタップすると上下の問題間差分に対する説明演習に入る。

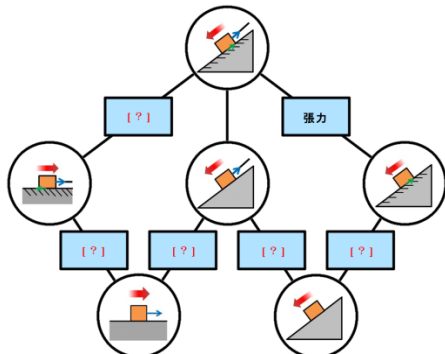


図2 特殊化/一般化関係を示した構造図

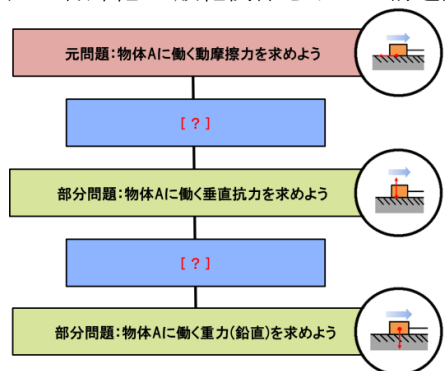


図3 部分化/拡張化関係を示した構造図

3.2 差分説明演習

繋がりの存在を確認した後は、実質的にそれぞれ問題同士がどう違うのかを理解する演習を行う。理解と獲得のためには対象について説明をさせる手法が広く用いられている。本システム上でもこれをスムーズに実装するため、内容の定式化と選

択形式による解答から演習のモデル化を行っている。特殊化の説明演習では、まず問題間でどの状況要素が変化・省略されたかを選択させる。次に問題を解くプロセスがどのように簡単になったかを説明するために、立式の内から変化・省略された式を選択させる。部分化の説明演習の場合問題それぞれにおいて求める対象を選択させたのち、同じく式の変化を選ぶ。

システムで提示する問題は初等力学の中でも基礎的なものを採用している。これは本研究の目的が出来ない問題を解けるようになることではなく、問題の単純/複雑関係の理解にあるためである。

4. 実践的利用

4.1 実践方法

高校時に物理を履修したことのある工学系大学生・大学院生16名を対象に、事前テスト(10分)、システム演習(20分)、事後テスト(10分)、事後アンケート(5分)で行った。システムでは特殊化の問題を7題、部分化の問題を5題の計12題を扱い、事前・事後テストでは与えた問題から単純な問題を作る課題を3問出題した。

4.2 結果・考察

両テスト(3点満点)の結果として事前テストの平均点が2.25点($S.D.=0.86$)だったのに対し、システムを利用した後にいった事後テストでは平均点は2.81点($S.D.=0.40$)に上昇しており5%有意であった($p=0.027<0.05$)。またアンケートの結果から「構造図が納得できるものだったか」、「説明機能を用いることで単純化への理解が深まったか」、「問題の関係性について以前より意識できるようになったか」など、一つを除いた項目全てについて75%以上の肯定的意見を得られた。唯一75%未満の意見だった項目「このシステムは使いやすかったか」に関しては、ユーザビリティの点でシステムに改良の余地があることが考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究では問題間構造の可視化と説明演習による問題間の単純/複雑関係の理解を促進するシステムを設計開発、そして効果を検証するための実験的利用を行った。実験結果よりシステムの効果を見ることが出来た。今後の課題としては、比較実験の実施、ユーザビリティの向上、教育現場での実践的利用、などがあげられる。

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)
- (2) 大河内祐介, 上野拓也, 平嶋宗, “派生問題の自動生成機能の開発とその実験的評価”, 人工知能学会論文誌, 27巻, 6号A, pp.391-400(2012)