

## 自己調整活動の経験型支援システムの設計・開発

-単純化方略を用いた行き詰まりの自己克服を対象として-

Design and development of the experience type support system of self-adjustment activity

- Targeting self-overcoming of impasse in problem solving by using a problem simplification strategy-

津守 庸平\*1 林 直也\*1 篠原 智哉\*1 山元 翔\*2 堀口 知也\*3 林 雄介\*1 平嶋 宗\*1  
Youhei Tsumori Naoya Hayashi Tomoya Shinohara Sho Yamamoto Tomoya Horiguchi Yusuke Hayashi Tsukasa Hirashima

\*1 広島大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering Hiroshima University

\*2 近畿大学工学部情報学科

Department of Informatics, Faculty of Engineering, Kindai University

\*3 神戸大学大学院海事科学研究科

Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

As a self-adjustment activity, there is a problem simplification activity to simplify the original problem that is difficult for a learner to solve into a problem that is able to solve. In this research, we have designed and developed a function to support the learner to conduct the activity. In addition we have developed an analyzer that supports a teacher to analyze learning process data, and we carried out the experimental use of the functions. The results are reported in this paper.

## 1. はじめに

一般的な学校教育において、知識を獲得した学習者は、その知識を使えるようになるために問題演習に取り組むことが多い。しかし、問題を解くために必要な知識を持っている学習者が、知識をうまく使うことが出来ずに問題解決にしばしば行き詰る。このような状況に対して、その問題の解決法を教授するという支援が一般的である。これに対し、学習者が解決可能となるように元の問題を単純化し、その問題を解ければ、再度問題を複雑化してゆくことで元の問題の解決を試みる単純化方略が提案されている[Polya 54]。この単純化方略は自己調整活動の1つとされている。先行研究において、単純化方略を用いた自己克服支援のためのシステムが初等力学とリズム課題を対象に設計・開発され、実験的な運用が行われ、自己克服の促進に有用であることが確認された[武智 15, Hayashi 14, 中川 15]。

しかし、これらは誘導による学習支援であるため、学習者が自身の行った自己克服を十分に理解できていないのではないかとこの可能性がある。この問題の解決として、学習者自身に行動を説明させる自己説明が知られている。そこで本研究では、初等力学を対象として、自己克服活動を行った学習者に自身の行った自己克服についての自己説明を行わせ、自己克服への理解促進を目指した。しかし、自己克服は複雑な活動であるため、それを説明することはさらに複雑な活動となってしまう、単に実施を促したり、方法を教えるだけでは学習者にとって難しい活動となる。そのため、自己克服についての自己説明の支援を目的とした、学習者に自身が行った自己克服に対する自己説明を促し、その妥当性を診断してフィードバックを返す機能を自己克服支援システムに実装した。そしてこのシステムを教育現場などで実験的な運用を行ったので報告する。

## 2. 問題演習と自己克服

本章では、学習活動において、問題演習がどのような活動なのか、また問題演習に行き詰った際の効果的な学習方法として、学習者が自身の行き詰まりの原因を発見し、行き詰まりを克服する自己説明について述べる。

## 2.1 問題演習

一般的に、学習者が教授活動により知識を獲得した際、その知識を活用できるようになるために取り組む学習活動が問題演習である。そのため、問題演習に取り組む際、学習者はその問題で使用できる知識を持っているはずなのだが、その知識をうまく活用できないため、しばしば問題解決に行き詰る。このとき、学習者は問題すべてが分からなかったのではなく、問題の一部が原因で問題解決に行き詰ってしまったと考えられる。しかし、学習者自身がこの行き詰まりの原因を認識できていないことは少なくない。これらに対する支援として、教授者が学習者に解き方を教えなおすという方法が一般的であるが、この方法では、学習者が解き方を丸暗記してしまうといった問題があり、効果的な学習にならない可能性がある。

## 2.2 自己克服

前節で述べたように、学習者は問題演習に取り組む際、問題解決に必要な知識は持っているはずである。そこで、学習者が、自身がどこで行き詰っているのかを認識するだけで、その行き詰まりの自己克服が行えるのではないかとと言える。しかし、一般的な学習者が自身の行き詰まりの原因を発見することは困難な活動であるといえる。

自己克服を行う際、自身の行き詰まりの原因を認識するためにメタ認知を用い、できなかった問題を自力で克服することから自己効力感が高まり、学習者自身が積極的に動機づけを行なえる。そして学習者は自己克服を行うために行動を起こしている。こういったことから、自己克服を行なえる学習者は、メタ認知、動

連絡先：津守 庸平，広島大学工学研究科，  
tsumori@lel.hiroshia-u.ac.jp

機づけ、行動に能動的に関与できる学習者であるといえる。このような活動は、自己調整活動と呼ばれ多くの研究において優れた学習者が行う学習であるとされている[バリー 06, バリー 08, Dale 14]。このような理由から、本研究で取り扱う自己克服も自己調整活動の1つであるといえる。

### 3. 単純化方略

前章で述べた自己克服の手段の1つにポリアの単純化方略がある。筆者らは先行研究において、初等力学を対象に単純化方略を実現、システム化し、実際の教育現場において試験的に運用している。本章では、単純化方略の詳細と問題の単純化の定義、試験的運用の結果について報告する。

#### 3.1 概要

単純化方略とは、学習者が問題解決に行き詰った際、その問題を単純化し、解ける問題を発見させる。その解決可能な問題と、直前にできなかった問題との差分が学習者の行き詰まりの原因として抽出できる。この行き詰まりの原因を学習者自身に認識することで、もとの行き詰った問題の克服を目指す。学習者は演習中に教授を受けていないので、もし克服を行えたのなら、この克服は自己克服であるといえる。

#### 3.2 単純化の定義

単純化方略を実現するには、問題の単純化を定義する必要がある。先行研究において、初等力学を対象に、問題の単純化が定義されており、本研究ではそれらの定義を用いている。

先行研究において、力学の問題を状況と解法の二つで定義している[平嶋 95, Hirashima94]。状況はその問題で与えられる物理状況、解法は状況が持つ数量関係をつなぎ合わせることで定義され、これを解法構造と呼ぶ[Horiguchi 05]。先行研究では状況と解法それぞれの単純化を定義した。

状況の単純化は、問題の物理状況がもつ属性を特定の値にすることで物理状況を単純化することである。具体的には、摩擦係数を0とすることで、摩擦を無視できるようにするといった操作である。この操作をデフォルト化と呼ぶ。状況の単純化はデフォルト化を行っただけなので、単純化された状況が含んでいる数量関係は、元の状況が含んでいる数量関係に包含されたものとなっている。よって、単純化された問題は元の問題に包含されているといえ、元問題が解ければ、単純化した問題はその解決に含まれていることになる。

解法の単純化は、元の問題を解く過程で導かれる中間属性を求めると、もしくは所与の属性にする操作である。これにより、解法構造が部分化されることになる。たとえば、複数の力の結果として物体が加速している場合を考えると、加速度を求めるとは物体に働く合力をまず求める必要がある。よって求める対象を合力にする、あるいは合力を予め与えることで、解法構造が部分化される。こちらも状況の単純化と同様に、単純化された問題は元の問題の一部を抜き出したものなので、単純化された問題は元の問題に包含されているといえる。

また、単純化とは逆の操作を行う複雑化も同様に定義されており、この操作を行うことで問題系列を遡ることが可能になる。

#### 3.3 差分注視機能と差分接続問題

単純化方略を用いて自己克服を行うためには、問題間の差分から、自身の行き詰まりの原因を認識することが重要である。そこで、単純化方略では、問題間の差分に着目させることを目指した機能である差分注視機能と差分接続問題が実装されている[武智 15]。

差分注視機能は学習者が解決可能な単純化問題を発見した際、二つの問題を合わせて表示、違いをハイライトすることで問題間の差分に注目させる機能である。この機能により、学習者は問題間の差分を意識して行き詰った問題に取り組むことが期待されている。

差分接続問題は差分注視機能を用いても自己克服できない学習者を支援するものである[Horiguchi 05]。この機能はそのような学習者に対し、行き詰った問題と出来た問題をつなぐ問題を提示し、問題間の差分の認識を支援する。この機能で提示される接続問題は、学習者が行き詰った部分を解法に持つ問題で、できた問題と行き詰った問題の解法構造の差分をとることで生成される。

#### 3.4 単純化方略を実装したシステム ICP

筆者らの研究において、単純化方略を用いた自己克服支援システム ICP が開発されている。このシステムは実際の教育現場で使用することを考慮しタブレット上に実装されている。

このシステムではまず、学習者に初期問題を選択させる。初期問題は学習者にとって少し難しいものとなっている。この問題に間違えると、その問題の単純化問題を提示する。複数単純化問題がある場合は学習者に選択させる。そして学習者は単純化問題に取り組み、それが出来なかった場合はさらに単純化を行う。このように単純化を繰り返して解決可能な問題を発見させ、たどった経路を遡らせることで自己克服を促す。

初期問題でも接続問題でもない問題に正解した場合は直前にできなかった問題の差分を、差分注視機能を用いて注目させ、できなかった問題に取り組む。それでも元の問題を解決できなかった場合、差分接続問題を提示し、それが出来れば再びできなかった問題に取り組む。解けなかった場合は単純化方略に基づき接続問題を単純化する。この流れを繰り返して問題間の差分を認識させ、自己克服を目指す。

#### 3.5 高等専門学校における実験的利用

前節で述べたシステムを用いて、単純化方略が受け入れられるか、ICP が自己克服活動を支援しうるものなのかの検証を目的とした実験的利用を行った。対象は高等専門学校の生徒 130 名、アンケートを用いて単純化方略が受け入れられるかの検証を行った。

実験的利用の結果、有効データを 103 名から得られた。このデータでは、すべての生徒が 1 回以上問題解決に失敗しており、また、そのうち、自己克服に相当する活動が 1 回でも観測された生徒が 61 名に上った。このことから、ICP における問題解決演習において、単純化方略に基づく自己克服に相当する現象、つまり、ある問題が解けなかった場合、その問題を単純化した問題を解いてみると、元の解けなかった問題が解けるようになるという現象、が約 6 割の生徒において確認できたことになる。また、アンケートにおける、「この問題演習は力学の学習の役に立ちましたか」という項目において、自己克服を行えなかった生徒も含めた 77 名から肯定的意見が得られた。その理由として自身がどこで躓いていたのかが分かったといったことが挙げられており、このことから問題間の差分の明示が学習の助けになったといえ、単純化方略が学習者に受け入れられたといえる。

#### 4. 自己克服に対する理解の促進支援

実験的利用の結果から、単純化方略は自己克服支援として有用であることが示されたが、システムによって誘導を行っているため、学習者が自己克服活動を理解せずに行っている可能

性がある。そこで本研究では自己克服を行った学習者を対象として自己克服活動への理解促進の支援を行う。

#### 4.1 システムを用いた自己克服の問題点

ICP は実験的利用の結果から、自己克服活動の促進に有用であることが示された。しかし、これらの実験において学習者はシステムの誘導ありで自己克服を行ったと言えるため、学習者自身が自己克服を十分に理解していない可能性がある。

このような誘導による学習支援の問題の解決方法として自己説明が知られている[Aleven 02, 中津 06, Atkinson 03, Kashihara 94, 金西 96]。本研究では自己克服活動を行った学習者に対し、自己説明を行わせ、自己克服への理解を深める支援を行う。

#### 4.2 自己克服に対する自己説明

学習者が自己克服を行うにあたって最も重要なのは、単純化問題が元の問題に包含されているという関係を意識し、問題間の差分を認識することである。しかし、システムの誘導による自己克服を行った学習者は、問題間の関係性を明確に意識できていない可能性がある。そこで、自己克服を行った学習者に行き詰った問題がどのように単純化されたのかを自己説明させることで学習者に自己克服への理解を促進させる。単純化は状況の単純化と解法の単純化の二つが存在するので、それぞれの自己説明を設計する。

状況の単純化についての自己説明では、(1)どの要素がデフォルト化されたのか、(2)それにより省略された数量関係のうち用いる数量関係を述べるというものである。状況の単純化は 1 つの要素をデフォルト化し、それによって式が一部削除され、それによって解法中使う式が単純になる。よって(1)、(2)を行うことで単純化についての自己説明を行なえるといえる。

解法の単純化は元の問題を解く過程で必要となる属性を求める対象にする操作であるため、この操作によっていくつかの数量関係を用いる必要がなくなる。よって(1)求める属性を述べる、(2)単純化により用いる必要がなくなる数量関係を述べる、といったことを行うことで、解法の単純化についての自己説明が行えるといえる。

#### 4.3 自己克服に対する自己説明の困難さの検証

いくつかの研究において、自然言語による自己説明を行うことは難しいとしている[Aleven 02]。そこで本研究が対象とする初等力学の演習においても同様であることを確認するために、自己克服に対する自己説明の困難さの検証を行った。

被験者は工学系の大学生 5 名、大学院生 12 名で、実際に自然言語での自己説明を行ってもらい、その困難さを問うアンケートを実施した。

この結果から、状況の単純化、解法の単純化の双方において、問題を解ける人にとっても自然言語で自己説明を行うのは大変であると感じた人が多いことが分かった。よって自己克服を行った学習者に対して問題間の関係性を問う自己説明はより困難な活動であるといえる。

#### 4.4 ICP の拡張

本研究では ICP を拡張し、自己克服を行った学習者に単純化についての自己説明をさせる機能の設計開発を行った。自己説明は PC を用いた組み立て形式であっても自己説明を促すことが出来るといわれており[Atkinson 03]、また、システムによる診断、フィードバックを容易にするために組み立て形式を採用した。なお、この説明の組み立てでは、1 回の説明に対して

平均 30000 パターンの可能性があり、ランダムな組み合わせで正解に至る可能性は極めて低いといえる。

自己克服を行った直後に自己説明の画面へ移行し、自己説明を行わせる。自己説明の内容は 4.2 節で述べた内容と同様である。まず(1)を行わせ、それに正解すると(2)へ挑戦するといった形である。具体的なシステム画面を図 1、図 2 に示す。

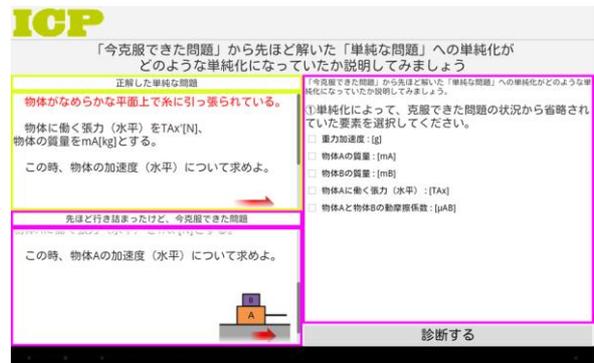


図 1 状況の単純化についての自己説明の画面 1

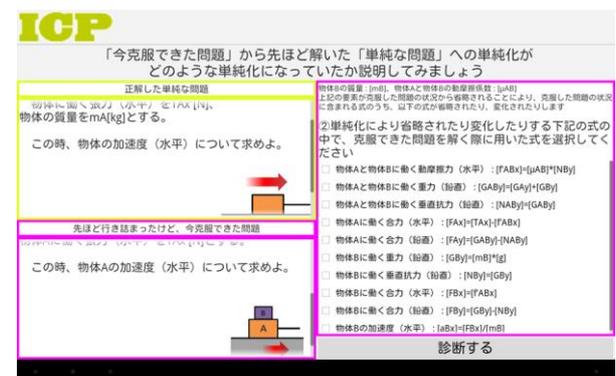


図 2 状況の単純化についての自己説明の画面 2

### 5. 実験的利用

前章で設計・開発した機能の妥当性、有用性を検証するため、大学生、大学院生を対象にした予備実験、高等専門学校での実験的利用を行なった。

#### 5.1 大学生・大学院生を対象にした予備実験

本研究で開発した自己説明機能の妥当性、有用性を検証するため、大学生 5 名、大学院生 12 名を対象にした予備実験を行った。被験者には実際にシステムを用いて自己説明機能を体験してもらい、アンケートを用いて評価してもらった。この結果から、自己説明機能は単純化の説明になっており、元の問題と単純化問題が包含関係になっていることを自己説明することの助けになっていることが確認できた。問題間が包含関係であることを認識することが自己克服活動のメインの活動であるため、自己説明機能は自己克服の説明であるといえ、問題解決が可能な学習者にとってこの機能は自己克服活動の理解を促すものであると言える。

#### 5.2 高等専門学校生による実験的利用

実際の教育現場の学習者にとって、自己説明機能が自己克服に対する自己説明に有用であるかどうかを検証するため、高等専門学校生 30 名を対象に実験的利用を行なった。被験者に実際にシステムを利用してもらい、その前後に行ったメタ認知

能力, 自己効力感・内的動機づけ, システムに関するアンケート, フロー調査を用いて評価を行った[Stefan 12]. 被験者はシステムで提示した初期問題を解くために必要な知識の教授は受けている。

結果, 29名の有効データを得ることが出来た。また, システムのログデータから, 自己克服できた学習者が9割以上存在することから, 被験者が自己説明を行う被験者として最適であったことが伺える。

結果として, すべての学習者が自己説明演習に取り組んでおり, そのうち22名の学習者が自身の行った自己克服について自己説明出来たことから, 自己克服についての自己説明をある程度行わせることができたといえる。また, 事前に行った自己調整能力に関する調査と, 事後に行ったアンケートの結果より, 自己調整能力の高い学習者ほど, 本システムをより肯定的にとらえていることがわかった。また, 自己調整能力が一定以上の学習者は違和感なく自己説明に取り組んでおり, これらの学習者の結果はあまり変わらないことから, このような学習者に対して, 自己説明機能は有用である可能性が高いことが分かる。

## 6. まとめと今後の課題

筆者らは, 実際の教育現場において単純化方略を実装したシステム ICP の運用を行うことで単純化方略による自己克服の有効性を確認している。しかし, システムの誘導ありの自己克服であるため, 学習者自身が自己克服を理解していない可能性が残る。そこで本研究では, 自己克服に対する自己説明を行わせる機能を設計・開発し, ICP に実装し, 自己克服を行った学習者が自己克服への理解を深めることを目指した。

拡張した ICP を用いた実験的利用の結果から, 自己説明機能は自己克服の説明として妥当であり, 自己調整能力が一定の水準に達している学習者にとって機能が自己説明を促すものになっていることを確認した。

今後の課題としては, よりスムーズに自己説明を促すため, 学習者に自身の演習状況をみせ, 振り返りを促す機能の開発や, 学習者に自身が行ってきた学習プロセスを提示し, 学習者に単純化方略そのものを学ばせる機能の開発, 自己説明機能がどれほど有用かの検証, そもそも自己克服を行なえない学習者に対する新たな支援の考案が挙げられる。

## 参考文献

[Atkinson 03]Atkinson, Robert K., Alexander Renkl, and Mary Margaret Merrill. "Transitioning From Studying Examples to Solving Problems: Effects of Self-Explanation Prompts and Fading Worked-Out Steps." *Journal of Educational Psychology* 95.4 774, 2003.

[Atkinson 03]Atkinson, Robert K., Alexander Renkl, and Mary Margaret Merrill. "Transitioning From Studying Examples to Solving Problems: Effects of Self-Explanation Prompts and Fading Worked-Out Steps." *Journal of Educational Psychology* 95.4 (2003): 774.

[Aleven 02]Aleven, Vincent AWMM, and Kenneth R. Koedinger. "An effective metacognitive strategy: Learning by doing and explaining with a computer-based Cognitive Tutor." *Cognitive science* 26.2, pp.147-179, 2002.

[Barier 06]Barier・J. ジーマーマン (著), デイル・H. シャンク (著), Barry J. Zimmerman (原著), Dale H. Schunk (原著), 塚野 州一 (翻訳), 中西 良文 (翻訳), 伊田 勝憲 (翻訳), 伊藤 崇達 (翻訳),

中谷 素之 (翻訳), 犬塚 美輪 (翻訳), "自己調整学習の理論", 北大路書房 (2006/09)

[Barier 08]Barier・J. ジーマーマン (著), ロバート コーバック (著), セバスチアン ボナー (著), Barry J. Zimmerman (原著), Robert Kovach (原著), Sebastian Bonner (原著), 塚野 州一 (翻訳), 牧野 美知子 (翻訳), "自己調整学習の指導—学習スキルと自己効力感を高める", 北大路書房 (2008/09)

[Dale 14]Dale H. Schunk (原著), Barry J. Zimmerman (原著), 塚野 州一 (翻訳), 伊藤 崇達 (翻訳), "自己調整学習ハンドブック", 北大路書房 (2014/9/9)

[Hayashi 14] Naoya Hayashi, Tomoya Shinohara, Sho Yamamoto, Yusuke Hayashi, Tomoya Horiguchi and Tsukasa Hirashima: Self-overcoming of Impasse by Using Problem Simplification, ICCE2014 Main Proceedings, pp.50-58, 2014.

[Horiguchi 05]T. Horiguchi, T. Hirashima: Graph of Microworld: A Framework for Assisting Progressive Knowledge Acquisition in Simulation-based Learning Environments. The 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education, pp.670-677(2005)

[Hirashima 94] T Hirashima, T Niitsu, K Hirose, A Kashihara, J Toyoda. "An indexing framework for adaptive arrangement of mechanics problems for ITS." *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* 77.1, pp.19-26, 1994.

[平嶋 95]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)

[金西 96]金西 計英, 矢野 米雄: "説明洗練による自己説明を用いた地理の知的学習環境の構築", *電子情報通信学会論文誌. A, 基礎・境界* J79-A(2), pp.227-240, 1996.

[Kashihara 94]A.Kashihara, K.Matsumura, T.Hirashima and J.Toyoda: "Load-Oriented Tutoring to Enhance Student's Explanation Understanding - An Explanation Planner and a Self-explanation Environment -", *IEICE Trans. Inf.&Syst. Vol. E77-D, No.1*, pp.27-38, 1994.

[中川 15]音楽リズム課題における単純化方略を用いた自己克服支援とその実験的評価中川響, 濱田侑太郎, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗 *電子情報通信学会論文誌 D* 98 (1), 142-152(2015).

[中津 06]中津 檜男, 多鹿秀継: 自己説明を利用した算数の割合文章題の解決支援プログラム, *愛知教育大学研究報告*, 55 (教育科学編), pp.155-159, 2006.

[Polya 54]George Polya, "いかんにして問題をとくか" 柿内賢信訳, 丸善, (1954)

[Stefan 12] Stefan Engeser, "Advances in Flow Research", Springer, 2012

[武智 15]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).