

# 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

Self-explanation exercise system for learning of problem simplification strategy

津守庸平<sup>1</sup> 志水規祥<sup>1</sup> 林雄介<sup>1</sup> 平嶋宗<sup>1</sup>

Youhei Tsumori<sup>1</sup>, Noriyoshi Shimizu<sup>1</sup>, Yusuke Hayashi<sup>1</sup>, and Tsukasa Hirashima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院工学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Engineering Hiroshima University

**Abstract:** Problem simplification is a useful strategy to conduct self-overcoming to a problem that could not be solved once. In this research, in order to support students to acquire the problem simplification strategy, we design and develop a technology-enhanced and interactive exercise of the problem simplification with self-explanatory exercise. This paper also reports an experimental use and its results.

## 1. はじめに

問題演習は、教授等で獲得した知識を使いこなせるようになるために不可欠な学習の一段階であるとされている。この問題演習における誤答などの問題解決の行き詰まりは、学習者が自身の知識を見直し、修正するための重要な機会とされているが、必要な知識やその使い方を再度教授することが一般的な対処法となっている。この方法は正答を導かせるためには有効であっても、知識の使い方の修得という観点においては、行き詰まりという学習機会を十分に活用できていないという指摘もされている。行き詰まりという学習機会を活用するためには、学習者自身が行き詰まりの原因を認識し、修正することが必要となるが、これは認知負荷の大きな活動であるとされており、難しいとされている。情報技術を用いた学習支援の枠組みにおいても、この行き詰まりに対して学習者自身による認識・修正を支援することが、非常に重要な研究課題となっている。

学習者が問題解決に行き詰まった場合に、その問題を解ける問題まで単純化し、行き詰まった問題と解ける問題の差分を明らかにすることで、学習者にとっての行き詰まりの原因を絞り込み、問題解決につなげるといった方法は、「単純化方略を用いた自己克服」[1]と呼ばれており、誤りを学習機会とする有力な方法の一つとされている。先行研究においては、この単純化方略を初等力学に適用した、単純化方略による自己克服支援システムが設計・開発され、自己克服の促進に有効であることが示された[2]。しかしながら、この支援システムを用いた演習では、問

題の単純化を行うのはシステムであったため、学習者自身が単純化方略を用いたとは言えなかった。学習者自身が行き詰まりを学習の機会として活用できるようになるためには、学習者自身が問題の単純化を行えるようになることが求められることにある。

そこで本研究では、学習者自身で単純化方略を行えるようになるため、単純化方略において重要な活動である問題の単純化方法の習得を目的とする。この目的達成のため、この単純化の操作を例題ベースで学習させ、その後学習者自身に単純化を行わせ、学習者が自身の行った単純化について自己説明させる演習システムの設計・開発を行った。また、今回開発したシステムの効果を検証するため、実際の教育現場において実験的利用を行なった。その結果として、本システムが単純化習得において有用であることに加えて、本システムの学習効果が学習者のメタ認知能力に関係していることが示唆された。後者の結果は、メタ認知能力が不十分な場合、学習効果が低くなっていることを意味している。そこで学習者のメタ認知を補助することを目的としたフィードバック機能を実装し、さらなる実験的利用を行なった。その結果、メタ認知能力の低い学習者においても学習効果があることを示唆する結果を得た。

## 2. 問題演習と自己克服

### 2.1. 問題演習

一般的な教育現場において、学習者は授業などの教授活動から知識を獲得し、その知識を活用できる

ようになるために取り組むのが問題演習である。そのため、問題演習に取り組む際は問題を解くために必要な知識を学習者は持っているはずだが、問題演習に行き詰ることがしばしば発生する。このとき、問題演習での行き詰まりに対する一般的な対処法では、知識の再教授や解法の教授を行うため、学習者が問題のどこが原因で行き詰ったのかを認識することが難しく効果的な学習とならない可能性がある。

## 2.2. 自己克服

問題演習に取り組む学習者は問題を解くために必要な知識を獲得しているはずであり、問題解決に行き詰る原因は知識を上手く使えていないことを前提とすると、学習者は自身の行き詰まりの原因を認識するだけで、その行き詰まりを克服できる可能性があるといえる。本研究ではこのように自身の行き詰まりを自力で克服することを自己克服と呼んでいる。しかしこの自己克服は、学習者が自身の行き詰まりの原因に気づき、行き詰まりを克服する必要があることから、一般的には難しい活動であるといえる。しかし、この自己克服は、自身の行き詰まりの原因を認識できていることから、メタ認知を積極的に用いている。また、一度自身が行き詰った問題に外部からの補助を受けずに克服することで、自己効力感が高まる可能性があり、学習者は自身に対して動機づけを積極的に行っているといえる。そして自己克服を行うための行動を自身で発生させている。これらのことから、自己克服を行える学習者は、「メタ認知」「動機づけ」「行動」に能動的に関与しているといえる。このような学習は自己調整活動と呼ばれ、多くの研究において、優秀な学習者が行う活動であると言われている[3]。このことから、自己克服は自己調整活動の一つであるといえる。

## 3. 単純化方略

### 3.1. 単純化方略

自己克服の手段として、ポリアは「もしも、与えられた問題がとけなかったならば、何かこれと関連した問題を解こうとせよ。もっと易しくてこれと似た問題は考えられないか。」と述べており[1]、本研究ではこれを単純化方略と呼んでいる。ポリアの言う「もっと易しくて似た問題」とは、行き詰った問題に包含される単純な問題であると言え、行き詰った問題と単純化された問題の差分が抽出可能である。

単純化方略を用いた演習では、学習者が問題に行き詰った際に、その問題を単純化し、解ける問題の

発見を目指す。学習者が解ける問題を発見できれば、行き詰った問題と解ける問題との関係性から差分が抽出可能であるため、その差分が学習者の行き詰まりの原因であると特定できる。学習者はこの行き詰まりの原因を認識したうえで、元に行き詰った問題の克服を目指す。もし行き詰った問題を克服できたならば、学習者は外部から問題を解くことに必要となる知識を教授されていないことから、この活動は自己克服であるといえる。このように単純化方略は(1)解けるような問題(包含される問題)に単純化する、(2)行き詰った問題と正解できた問題間の差分を認識する、(3)克服する、の3段階で構成されている。しかしポリアの言う単純化方略では、「問題の単純化」について定義がされていないため、単純化方略に則った演習を行うことは困難である。そこで、先行研究で定義された、初等力学を対象とした問題の単純化について述べる。

### 3.2. 単純化の定義

#### 3.2.1. 力学の問題の定義

先行研究では、力学の問題の構造を「状況」「解法」の2つで定義している[4]。「状況」は、質量  $m$  などの属性と、それらを結ぶ数量関係を持つ。また「解法」は、問題文中から与えられる属性を、「状況」が持つ数量関係でつなぎ合わされることで定義される。これは解法構造と呼ばれ、木構造で表せられ[5]、葉は問題文中で与えられる入力属性で、根は求められる属性である出力属性となり、それ以外の部分は計算途中に出てくる属性である中間属性と、属性間を結ぶ数量関係、ノード間を結ぶエッジで構成される。

#### 3.2.2. 状況の単純化

「状況の単純化」とは、問題の物理状況が持つある属性をデフォルト化することで、状況に含まれる要素を省略し、問題を単純にすることであり、特殊化と呼んでいる。デフォルト化とは、属性の値のある特定の値にすることである(摩擦係数を0にするなど)。特殊化は属性のデフォルト化を行っただけなので、解法に用いる数量関係は元の問題と同様のものを用いることができる。そのため、特殊化された問題は元の問題に包含されていると言える。

#### 3.2.3. 解法の単純化

「解法の単純化」とは、元の問題を解く過程で必要となる中間属性を求めさせるようにすることであり、部分化と呼んでいる。解法は前述の通り、解法構造で表せる。部分化は解法構造の一部を抜き出すことであるので(加速度を求める問題を、加速度を求めるために必要な合力を求める問題に変更するなど)、部分化された問題は元の問題に包含されている。

### 3.3. 高等専門学校における実験的利用

#### 3.3.1. 目的・手順

高等専門学校1年生130名を対象に、単純化方略を用いた問題解決行き詰まりの自己克服支援システムの実験的利用が行われた。手順は、システムの操作説明(10分)、システム演習(20分)、事後アンケート(10分)で行った。目的は単純化方略が自己克服を支援しうるものかの調査である。

#### 3.3.2. 結果・考察

データに不備がある被験者を除き、103名が有効データとされた。学習者の振る舞いを、自己克服できた「自己克服型学習者」、問題に正解することで出来る問題が分かり、取り組むべき課題が明確になった「課題顕在型学習者」、1問も正解することができなかった「未解決型学習者」に分類した。それぞれ、59.22%、22.33%、18.45%の割合で存在し、本来、難しいであろう自己克服をした学習者が6割弱存在したことから、単純化方略による行き詰まりの自己克服支援は期待した効果を発揮したことが分かった。

### 3.4. 高等専門学校における再実験

#### 3.4.1. 目的・手順

前節で述べた実践的利用の被験者のうち、123人を対象に、再びシステムの実験的利用を行った。手順はシステムの操作説明(10分)、システム演習(25分)、事後アンケート(10分)で行った。目的は、過去に一度システム演習をしたことがある被験者に対して、本システムが自己克服活動を支援するものになっているかの調査である。

#### 3.4.2. 結果・考察

データに不備がある被験者を除き、118名を有効データとした。被験者の振る舞いを特徴ごとに分類した結果は、「単純化せずに初期問題正解した学習者」、「自己克服型学習者」、「課題顕在型学習者」、「未解決型学習者」がそれぞれ1.7%、58.5%、34.7%、5.1%の割合で存在し、前回同様、自己克服学習者が6割弱存在しており、単純化方略を用いた演習が自己克服活動を支援しうるものであることを再確認された。

## 4. 単純化方略習得支援システムの

### 設計・開発と効果の検証

#### 4.1. システムでの単純化方略の問題点

先行研究のシステムを使った実験的利用の結果から、このシステムは自己克服を支援するものとして有効であることが示された。しかし、このシステム

では、学習者はシステムの誘導に従って、提示された問題を系列的に解くことで自己克服を行っている。そのため、学習者は単純化方略を体験することはできるが、自身で単純化方略を用いて問題演習に取り組んでいるとは言い難い。

この問題点を解決するためには、学習者が単純化方略を習得させる必要がある。そこで本研究では、単純化方略の手順である(1)解けるような問題(包含される問題)に単純化する、(2)行き詰った問題と正解できた問題間の差分を認識する、(3)克服する、のうち、(1)と(2)の段階を演習化して学ばせることで単純化方略習得を支援すること目的とする。本研究の目的達成のための手段としては、例題ベースによる学習[6]と、問題の単純化演習、自身が行った単純化に対して説明させる自己説明を用いる。例題ベースによる学習は新たなことを学ぶ初期段階において有効な方法な方法であるとされており、単純化方略という一般的でないことを学ぶ手段として、適切であると言える。その後、単純化を学ぶために学習者自身に単純化させる単純化演習を行わせ、自身が行った単純化について説明させる自己説明演習を行わせる。この自己説明を行わせるのは、対象の理解を促進させることに有効であるとされていることと、問題間の差分を認識することを演習化する手段として、適切であると考えたからである。

##### 4.1.1. 「状況の単純化」に対する自己説明

摩擦を要素に持つ問題で摩擦をデフォルト化すると、元の問題から摩擦が省略された問題に単純化される。本研究ではこのような問題状況の変化を表層的变化と呼んでおり、説明演習においてこの摩擦が省略されたという表層的变化について説明させる。具体的には、元問題に含まれている要素一覧の中から、特殊化によって省略された要素や変化した要素を選択させるというものである。また、この特殊化によって、問題の解法も変化している。摩擦が省略されると、摩擦力を求める部分が省略され、摩擦力を使う式が消滅、または変化する。このような単純化によって起こった解法の変化を深層的变化と呼んでおり、これについても学習者に説明させる。具体的には、元問題に含まれる数量関係中の特殊化によって省略された、または変化した数量関係の中から、元問題の解法に含まれる数量関係を選択させる、つまり元の問題の解法から特殊化によって省略、または変化した数量関係を選択させるというものである。

##### 4.1.2. 「解法の単純化」に対する自己説明

加速度を求める問題が部分化されると、合力を求める問題に変化する。部分化における表層的变化はこの求めるものの変化であるので、この変化について説明させる。具体的には元の問題で求めるものを

選択させ、部分化問題で求めるものは何かを選択させるものである。部分化においても特殊化と同様に、深層の変化が起こる。加速度を求める問題から合力を求める問題に部分化されると、解法の加速度を求める運動方程式の部分が省略されている。これが部分化による深層の変化であるので、これについて説明させる。説明の方法は「状況の単純化」の深層的变化の自己説明と同様である。

## 4.2. 問題の単純化習得支援システム

本研究では例題ベースに則り、問題単純化の手順と単純化による問題の変化について学ばせ、その後、単純化演習と、行った単純化に対する自己説明を行わせることで、問題の単純化を習得させるシステムを設計・開発した。

## 4.3. 高等専門学校での実験的利用

### 4.3.1. 目的・手順

初等力学を習得済みの高等専門学校生 39 名を対象に実験的利用を行なった。手順は、メタ認知調査 [7](5 分)、力学の理解度調査(FCI 調査)[8](20 分)イントロダクション(5 分)、事前テスト(10 分)、問題単純化の手順についての教授(15 分)、システム操作説明(5 分)、システム利用(30 分)、システム演習時に関するアンケート(5 分)、事後テスト(10 分)である。この実験的利用の目的は、単純化について教授を行い、本研究で開発されたシステムを用いて演習をすることで、本システムの目的である問題の単純化を習得できるかを検証することである。

### 4.3.2. 結果・考察

データに不備があった被験者を除き、34 名を有効データとした。各テスト結果から正規性は認められなかったため、ノンパラメトリック検定である Wilcoxon の符号付順位和検定を用いて、各テスト間の平均点に差があるのか検定を行った。今回のデータは、事前テスト・事後テスト・遅延テストの 3 群間の検定となるので、多重比較の問題を避けるため、検定結果に Bonferroni の調整を施す。その結果を表 1 に示す。この結果から、教授を受け、本システムを利用すれば、問題の単純化習得に対して、十分な学習効果があること、1 年後でも教授と演習で得た知識が失われず、定着したということが言える。

また、本システムで行わせた自己説明演習は、メタ認知に深く関わる活動である。そこで、さらなる詳しい分析を行うため、メタ認知能力調査の結果から、学習者をメタ認知上位群・メタ認知下位群に分け分析を行った。この群分けはメタ認知能力調査の平均点を閾値として行った。その結果、メタ認知上

位群は 19 名、メタ認知下位群は 15 名となった。全体的場合と同様に、それぞれの群に対して Wilcoxon の符号付順位和検定を用いて、各テスト間の平均点に差があるのか検定を行った。このときも多重比較の問題を避けるため、検定結果に Bonferroni の調整を施す。メタ認知上位群での結果を表 2 に、メタ認知下位群での結果を表 3 に示す。この結果から、教授と本システムを用いた演習は、学習者のメタ認知能力が高い場合に効果を発揮することが示唆された。

さらに、本システムによる学習効果がどの要素によって引き起こされたのかを分析するため、重回帰分析を行った。この結果を表 4 に示す。成功回数とメタ認知能力が有意となり、他の説明変数が有意ならなかったため、メタ認知能力だけでなく、成功回数が学習効果に関係しており、試行回数、FCI、事前テスト点数が学習効果に関係しないことが分かった。つまり、メタ認知能力が高く、演習を適切に遂行できていた場合に成績向上が見込めることになる。これは、本システムの自己説明演習がメタ認知を活性化させるものになっており、教授とシステム利用による演習が問題の単純化習得に対し適切だったことを示唆していると判断している。これと同時に、メタ認知能力が低く、説明演習に行き詰ってしまう学習者にとっては、あまり有効とはいえないという課題点も発見された。

表 1:各テスト間の検定結果

	p 値
事前テスト・事後テスト間	0.001
事後テスト・遅延テスト間	0.852
事前テスト・遅延テスト間	0.014

表 2:メタ認知上位群における各テスト間の検定結果

	p 値
事前テスト・事後テスト間	0.010
事後テスト・遅延テスト間	2.010
事前テスト・遅延テスト間	0.045

表 3:メタ認知下位群における各テスト間の検定結果

	p 値
事前テスト・事後テスト間	0.206
事後テスト・遅延テスト間	2.397
事前テスト・遅延テスト間	0.378

表 4:重回帰分析結果

	t 値	p 値
定数項	-1.585	0.124
成功回数	3.384	0.002
試行回数	0.007	0.994
事前テスト点数	0.380	0.706
メタ認知能力	1.881	0.070
FCI スコア	-1.214	0.235

## 5. メタ認知支援機能の拡張と効果の検証

前章での実験的利用の結果から、メタ認知能力が低い学習者にとってはあまり効果的でないという問題点が浮かび上がった。そこで本章ではその問題点を解決することを目的としたメタ認知支援機能を追加実装し、効果の検証を行った。

### 5.1. 自己説明での選択肢の構造

前章で開発されたシステムの、メタ認知能力が低い学習者にとってはあまり効果的でないという問題点を解決するためには、学習者のメタ認知を補助することが効果的ではないかと考えられる。メタ認知を補助する方法として、深層的变化の自己説明で間違っただけ、どこが間違っているのかを指摘するフィードバックが考えられる。この方法を行うためには、学習者が深層的变化の自己説明においてどこで行き詰っているのかを指摘する必要がある。

そこで本研究では、自己説明の際に選択させる選択肢の構造を利用する。深層的变化の自己説明の際に選択させる選択肢は、(1)対象となる物体、(2)物体にかかるものの種類、(3)物体にかかるものの軸、の3つの部分から構成されている。メタ認知を補助するフィードバックでは、この構造を利用し、どの部分で学習者が間違っているのかを指摘することで、学習者のメタ認知の補助を行う。

### 5.2. フィードバック機能

メタ認知能力が低い学習者にとっては効果的でないという問題点を解決するため、メタ認知を補助するフィードバック機能を、前章のシステムに追加実装した。このフィードバックは、深層的变化の自己説明において、前述の構造のうち、学習者がどこで間違っているのかを指摘することで、学習者のメタ認知の補助することを目的としたものである。このフィードバックにより、学習者は自身がどの部分で間違っているかを知るといったメタ認知の補助を行えると筆者は考えている。

### 5.3. 高等専門学校での実験的利用

#### 5.3.1. 目的・手順

初等力学を習得済みの高等専門学校生 36 名を対象に実験的利用を行なった。手順は、メタ認知調査 [7](5 分)、力学の理解度調査(FCI 調査)[8](20 分)、事前テスト(15 分)、イントロダクション(5 分)、問題単純化の手順についての教授(15 分)、システム操作説明(5 分)、システム利用(30 分)、システム演習時に関

するアンケート(5 分)、事後テスト(15 分)である。

#### 5.3.2. 結果・考察

アンケートやログデータに不備があった被験者を除き、27 名を有効データとした。各テスト結果から正規性は認められなかったため、ノンパラメトリック検定である Wilcoxon の符号付順位和検定を用いて、各テスト間の平均点に差があるのか検定を行った。今回のデータは、事前テスト・事後テスト・遅延テストの 3 群間の検定となるので、多重比較の問題を避けるため、検定結果に Bonferroni の調整を施す。その結果を表 5 に示す。この結果から、前章での実験的利用と同様に、システムにフィードバックを追加しても、改良前のシステムと同様に学習効果があることが示唆された。

新たに実装したフィードバックは、メタ認知能力が低い学習者を補助するものなので、被験者をメタ認知上位群とメタ認知下位群に群分けし、前章の結果との差について調査した。この群分けはメタ認知能力調査の平均点を閾値として行った。前章の実験的利用の被験者と、今回の実験的利用の被験者は異なっているが、それぞれの被験者間でメタ認知能力の平均には差が認められなかったため、同様の指標で群分けしたと言える。群分けの結果、メタ認知上位群は 10 名、メタ認知下位群は 17 名となった。全体的場合と同様に、それぞれの群に対して Wilcoxon の符号付順位和検定を用いて、各テスト間の平均点に差があるのか検定を行った。このときも、検定結果に Bonferroni の調整を施す。メタ認知上位群での結果を表 6 に、メタ認知下位群での結果を表 7 に示す。この結果から、前回ではメタ認知能力が低いメタ認知下位群では効果が得られなかったのに対し、今回では、メタ認知下位群でも学習効果が得られたことが示唆された。これは、今回の実験的利用で追加実装されたフィードバック機能が想定通り機能したことを示していると言える。このとき、今回の実験的利用でのメタ認知上位群では、事前テスト・遅延テスト間が有意傾向となった。これは、メタ認知上位群の人数が前回の実験的利用と比べて 9 名減少していることが原因であると考えられる。

前回の実験的利用と同様に、今回も重回帰分析を行った。この結果を表 8 に示す。しかしこのとき、 $p$  値が 0.378885639 となり、有意な結果とはならなかった。そこで、 $t$  値が大きく、学習効果と関係性があると思われる成功回数のみを説明変数として単重回帰分析を行った。その結果を表 9 に示す。この結果では  $p$  値が 0.029332018 で有意となり、成功回数の  $p$  値も 0.029332018 であったことから、今回の実験的利用ではドメイン知識となる FCI に加えメタ認知能力も、学習効果に関係するとは認められず、成功回

数のみが学習効果に関係していることが示唆された。これは、追加されたフィードバック機能が想定通り機能したことを示している。

以上をまとめると、教授とシステムでの演習による学習効果は維持しつつ、新たに実装したフィードバック機能によって、メタ認知能力が低い学習者でも学習効果が得られるようになった。

表 5:各テスト間の検定結果

	p 値
事前テスト・事後テスト間	5.465E-05
事後テスト・遅延テスト間	0.577
事前テスト・遅延テスト間	0.0003

表 6:メタ認知上位群における各テスト間の検定結果

	p 値
事前テスト・事後テスト間	0.023
事後テスト・遅延テスト間	0.710
事前テスト・遅延テスト間	0.054

表 7:メタ認知下位群における各テスト間の検定結果

	p 値
事前テスト・事後テスト間	0.002
事後テスト・遅延テスト間	1.913
事前テスト・遅延テスト間	0.007

表 8 重回帰分析結果

	t 値	p 値
定数項	-0.343	0.735
成功回数	-0.066	0.948
試行回数	2.202	0.039
事前テスト点数	0.289	0.776
メタ認知能力	0.634	0.533
FCI スコア	-0.523	0.606

表 9 単回帰分析結果

	t 値	p 値
定数項	-0.134	0.894
成功回数	2.316	0.029

## 6. まとめと今後の課題

単純化方略は自己調整学習の 1 つである自己克服を支援するものとして有効であることが示された。しかし、先行研究でのシステムは学習者が単純化方略を体験することはできたが、学習者自身で単純化方略を行っているとは言い難かった。そこで本研究では、単純化方略習得のため、単純化方略の手順のうち、(1)解けるような問題(包含される問題)に単純化すること、(2)元問題と単純化問題の差分を認識することを演習化したシステムを設計・開発し、教授後の演習として用いることで、問題の単純化習得を試みた。その結果、問題の単純化習得に効果があ

ることが示唆されたが、同時にメタ認知能力が低い学習者にとってはあまり効果的でないことも示唆された。この問題を解決するため、学習者のメタ認知を補助することを目的としたフィードバック機能を追加実装し、効果の検証を行った。その結果、メタ認知能力が低い学習者でも学習効果を確認出来た。

今後の課題としては、問題の単純化習得は行えたので、この問題の単純化を利用して自己克服を行う単純化方略の習得が挙げられる。

## 参考文献

- [1] George Polya, “いかにして問題をとくか” 柿内賢信訳, 丸善, (1954)
- [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 D, J98-D No.1, pp.130-141(2015).
- [3] バリー・J. ジマーマン (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)
- [4] 大川内 祐介, 上野 哲也, 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)
- [5] 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)
- [6] 田村 幸寛, 林 龍平: “「解法つき例題」を用いた学習の効果に及ぼす要因の検討”, 大阪教育大学紀要, 第 4 部門, 62(2), pp.156-167, (2014)
- [7] 清水紀宏. "数学的問題解決における方略的能力に関する研究: 問題解決能力とメタ認知能力の関連の実証的検討を中心として (8. メタ認知, 論文発表の部)." 数学教育論文発表会論文集 29 (1996): 259-264.
- [8] 石本美智, 植松晴子, 塚本浩司, 新田英雄, 覽具博義: 力と運動についての概念調査, pp.1-16(2011)