

平成 27 年度

修士論文

問題演習における行き止まりの自己
克服を対象とした自己説明機能の
設計・開発と実験的評価

指導教員 平嶋 宗 教授

広島大学大学院 博士課程前期

工学研究科 情報工学専攻

M146437

林 直也

平成 28 年 2 月 9 日 提出

概要

授業等で問題を解くために必要な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のが一般的である。この問題演習においては、知識を持っているはずの学習者がそれを上手く使うことが出来ず、しばしば問題解決に行き詰まる。このような問題演習における問題解決の行きづまりに対する支援は、これまでも学習支援システムに関する研究の中で取り扱われてきており、行き詰まった問題については学習者の知識が不十分であるとして、その問題に対する解決法の教授を行うのが一般的な支援方法であった。これに対して、学習者は既に必要な知識を持っているはずであり、その知識をうまく適用できていないだけであるとの前提のもと、(1) 学習者が解決可能なように元の問題を単純化する、(2) 学習者が単純化した問題を解ければ、その問題を再度複雑化してゆくことで、元の問題の解決を試みる、といった「単純化方略を用いた問題解決の行きづまりの自己克服」も有望な方法として知られている。先行研究においては、高校物理の初等力学を対象に、単純化方略を用いた自己克服支援のためのシステムが設計・開発され、実験的な運用を通して自己克服の促進に有用であることが確認されている。

しかしながら、誘導による自己克服を実現した場合、学習者自身が自分の行った自己克服を十分には理解していない可能性が残る。このような問題点は、誘導による学習支援において共通のものであり、この問題点を解決する有効な方法が、学習者に自身の行動に対する自己説明をさせることであることが知られている。本研究では、先行研究で行われた単純化方略を用いた自己克服に対して学習者の自己説明を支援する機能の実現を目指した。

自己克服自体が既に複雑な活動であるが、それを説明することはさらに複雑な活動となる。このため、単に学習者にその実施を促したり、その方法を教えたりするだけでは、自己説明自体が多くの学習者にとって難しい活動である。そのため、自己説明への支援がこれまでも様々に試みられているが、自己克服を対象とした自己説明の試みはこれまでに行われた例はない。本研究では、自己克服支援システムの一つの機能として、学習者が行った自己克服に対する自己説明を促し、また、その妥当性を診断してフィードバックを返すことができる機能を設計開発し、教育現場などでの実験的な運用を通して評価した。結果として、(A) 本機能が促している自己説明が自己克服の説明になっていること、(B) 本機能を用いることで、自己克服に対する自己説明が促されたといえること、(C) 行われた自己説明に対する診断・フィードバックは有用であったこと、が示唆された。

目次

概要.....	i
目次.....	ii
図索引.....	iv
表索引.....	vi
第1章　はじめに.....	1
第2章　問題演習と自己克服.....	3
2.1　問題演習の概要.....	3
2.2　自己克服.....	3
第3章　単純化方略.....	6
3.1　単純化方略の概要.....	6
3.2　単純化の定義.....	7
3.2.1　力学の問題の定義.....	7
3.2.2　状況の単純化.....	7
3.2.3　解法の単純化.....	8
3.3　差分注視機能と差分接続問題.....	9
3.4　単純化方略を実装したシステム.....	10
3.4.1　演習の流れ.....	10
3.5　高等専門学校における実験的利用.....	11
3.5.1　目的・方法.....	11
3.5.2　結果・考察.....	11
3.6　高等専門学校における再実験.....	12
3.6.1　目的・方法.....	12
3.6.2　結果・考察.....	12

目次

第4章	自己克服に対する理解の促進支援	33
4.1	システムを用いた自己克服の問題点	33
4.2	自己克服に対する自己説明	33
4.2.1	「状況の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明	34
4.2.2	「解法の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明	34
4.3	自己克服に対する自己説明の困難さを測る実験	35
4.3.1	目的・方法	35
4.3.2	結果・考察	36
4.4	単純化方略を実装したシステムの拡張	37
4.4.1	演習の流れ	37
4.4.2	自己説明機能	37
4.5	関連研究	38
第5章	実験的利用	49
5.1	大学生を対象とした予備実験	49
5.1.1	目的・方法	49
5.1.2	結果・分析	50
5.2	高等専門学校生による実験的利用	50
5.2.1	目的・方法	50
5.2.2	結果・分析	51
5.3	考察	53
第6章	まとめ・今後の課題	62
謝辞		63
参考文献		64
付録		67

図索引

図 2-1	学習者が行き詰まった問題.....	5
図 3-1	単純な問題.....	14
図 3-2	力学の問題の定義.....	14
図 3-3	状況の単純化の例.....	15
図 3-4	本研究で用いたマイクロワールドグラフ.....	16
図 3-5	モデル化仮定とモデル.....	16
図 3-6	解法の単純化の例.....	17
図 3-7	行き詰った問題の例.....	18
図 3-8	行き詰った問題例の特殊化問題.....	18
図 3-9	図 3-8 から導き出される省略した属性を求めさせる差分接続問題.....	19
図 3-10	図 3-8 から導き出される変化する数量関係を使用させる差分接続問題.....	20
図 3-11	行き詰った問題例の部分化問題.....	21
図 3-12	図 3-11 から導かれる差分接続問題.....	22
図 3-13	演習フロー.....	23
図 3-14	初期問題選択画面.....	23
図 3-15	問題画面.....	24
図 3-16	単純化された問題の選択画面.....	24
図 3-17	解説画面.....	25
図 3-18	差分注視機能の画面.....	25
図 3-19	差分接続問題選択の画面.....	26
図 3-20	以前の正解した問題の表示画面.....	26
図 3-21	条件を満たすことによって問題画面に追加されるボタン.....	27
図 3-22	一度目の実験的利用で用いた初期問題.....	28
図 3-23	一度目の実験的利用の様子.....	29
図 3-24	二度目の実験的利用で追加した初期問題.....	30
図 3-25	二度目の実験的利用の様子.....	30
図 3-26	事後アンケート結果.....	31
図 4-1	本研究における自己説明の流れ.....	40
図 4-2	「状況の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明.....	40

図 4-3	「解法の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明	41
図 4-4	実験で用いた「状況の単純化・複雑化」である問題のペア	41
図 4-5	実験で用いた「解法の単純化・複雑化」である問題のペア	42
図 4-6	「状況の単純化・複雑化」における自己説明へのアンケート結果.....	42
図 4-7	「状況の単純化・複雑化」における自己説明への追加アンケート結果	43
図 4-8	「解法の単純化・複雑化」における自己説明へのアンケート結果.....	43
図 4-9	「解法の単純化・複雑化」における自己説明への追加アンケート結果	44
図 4-10	拡張したシステムの演習フロー	44
図 4-11	学習者が自己克服した後の画面	45
図 4-12	「状況の単純化・複雑化」における自己説明画面 1	45
図 4-13	「状況の単純化・複雑化」における自己説明画面 1 の診断画面	46
図 4-14	「状況の単純化・複雑化」における自己説明画面 2	46
図 4-15	「解法の単純化・複雑化」における自己説明画面 1	47
図 4-16	「解法の単純化・複雑化」における自己説明画面 1 の診断画面	47
図 4-17	「解法の単純化・複雑化」における自己説明画面 2	48
図 5-1	予備実験での「状況の単純化・複雑化」における自己説明機能の評価	55
図 5-2	予備実験での「解法の単純化・複雑化」における自己説明機能の評価	56
図 5-3	実験的利用の様子	57
図 5-4	学習者へのシステムアンケート結果	58
図 5-5	システムアンケートの質問(9)の再集計結果	60
図 5-6	システムアンケートの質問(10)の再集計結果	60

表索引

表 3-1	一度目の実験的利用時の学習者のタイプとその分布	29
表 3-2	二度目の実験的利用時の事後アンケート内容	31
表 3-3	二度目の実験的利用時の学習者のタイプとその分布	32
表 4-1	追加アンケート内容	42
表 5-1	予備実験のアンケート内容.....	55
表 5-2	各質問の符号検定の結果	55
表 5-3	図 5-2 の各質問の符号検定の結果	56
表 5-4	学習者へのシステムアンケート内容	58
表 5-5	学習者へのシステムアンケートの各質問の符号検定の結果	59
表 5-6	質問(8)の回答.....	59
表 5-7	フロー調査の結果	61
表 5-8	参考：様々な活動でのフロー体験.....	61
表 5-9	学習者のタイプ分類	61

第1章 はじめに

授業等で問題を解くために必要な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のが一般的である。この問題演習においては、知識を持っているはずの学習者がそれを上手く使うことが出来ず、しばしば問題解決に行き詰まる。このような問題演習における問題解決の行きづまりに対する支援は、これまでも学習支援システムに関する研究の中で取り扱われてきており、行き詰まった問題については学習者の知識が不十分であるとして、その問題に対する解決法の教授を行うのが一般的な支援方法であった。これに対して、学習者は既に必要な知識を持っているはずであり、その知識をうまく適用できていないだけであるとの前提のもと、(1) 学習者が解決可能なように元の問題を単純化する、(2) 学習者が単純化した問題を解ければ、その問題を再度複雑化してゆくことで、元の問題の解決を試みる、といった「単純化方略を用いた問題解決の行きづまりの自己克服」も有望な方法として知られている[1]。先行研究においては、高校物理の初等力学を対象に、単純化方略を用いた自己克服支援のためのシステムが設計・開発され、実験的な運用を通して自己克服の促進に有用であることが確認されている[2]。

しかし、これらの実験では、学習者はシステムが提示する単純化問題を解き、問題間の差分に着目させる機能を用いたことで自己克服を行ってきたと言え、学習者は誘導ありでの自己克服を行ってきたと言える。そのため、学習者自身が自分の行った自己克服を十分には理解していない可能性がある。このような問題点は誘導による学習支援において共通のものであるが、この問題の解決として、学習者に自身の行動に対して説明させる「自己説明」が知られている。対象への理解を促進するには学習者自身で説明することが重要であるとされ、Chi らは、自己説明させる群とさせない群で比較を行い、自己説明を行った群の結果に行わなかった群との有意な差が見られたことを確認し、この効果を自己説明効果と名付けている[3]。本研究では、自己克服活動を行った学習者を対象に、行った自己克服に対して自己説明を行わせ、自己克服への理解を深める支援を目指した。

自己克服自体が既に複雑な活動であるが、それを説明することはさらに複雑な活動となる。このため、単に学習者にその実施を促したり、その方法を教えたりするだけでは、自己説明自体が多くの学習者にとって難しい活動である。そのため、自己説明への支援がこれまでも様々に試みられているが、自己克服を対象とした自己説明の試みはこれまでに行われた例はない。多くの研究における自己説明は認知活動を対象としている[4][5]。しかし、自己克服はメタ認知活動であるため、本研究で試みる自己説明はメタ認知活動が対象

第1章 はじめに

であると言え、これが本研究における新たな試みの一つであると言える。本研究では、自己克服支援システムの一つの機能として、学習者が行った自己克服に対する自己説明を促し、また、その妥当性を診断してフィードバックを返すことができる機能を設計開発し、教育現場などでの実験的な運用を通して評価した。結果として、(A) 本機能が促している自己説明が自己克服の説明になっていること、(B) 本機能を用いることで、自己克服に対する自己説明が促されたといえること、(C) 行われた自己説明に対する診断・フィードバックは有用であったこと、が示唆された。

本稿では、高校物理の初等力学を対象に、単純化方略を用いた自己克服に対して学習者の自己説明を支援する機能を実現し、実際の教育現場での実験的利用の結果を報告する。まず第2章では、学習活動における問題演習の位置づけと自己克服について述べ、第3章で、自己克服の具体的な手段として先行研究で提案・実現された単純化方略、および方略を実装したシステムの実験的利用の結果について述べる。第4章では、自己克服への理解の促進を目指した自己説明機能とそのシステムについて詳しく述べ、第5章で高等専門学校学生を対象に行った実験的利用とその結果について報告する。

第2章 問題演習と自己克服

本研究の目的は、問題演習において、単純化方略を用いた自己克服への理解の促進を目指した自己説明機能の実現である。そこで、まず本章では、学習活動において、問題演習がどのような活動かを述べる。また、問題演習において行き詰まった時の効果的な学習方法として、学習者自身で行き詰まりの原因に気づき、行き詰まりを克服する自己克服についても述べる。

2.1 問題演習の概要

問題演習は一般的に、学習者が授業等で問題を解くために必要な知識を獲得した後に、その知識を使えるようになるために取り組む学習活動である。そのため、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持っているはずであるが、その知識を上手く使うことができず、しばしば問題解決に行き詰まる。このとき、学習者はその問題のすべてが原因で行き詰まったのではなく、問題の一部が原因で行き詰まったと考えられる(図2-1)。しかし、学習者は、問題のどこで行き詰まったかを認識していないことも少なくない。このとき、問題解決の行き詰まりの克服方法として、教授者や学習支援システムが解き方を教え直すことが一般的である。この方法は、行き詰まった問題に対する学習者の知識が不十分であるという立場からのアプローチであるが、この方法では、学習者が問題のどこで行き詰まったかを把握できなかつたり、解き方を丸暗記してしまつたりすることがあり、効果的な学習にならない可能性があると言える。

2.2 自己克服

前節で述べたように、問題演習を行う学習者は問題を解くために必要な知識を持っているはずであり、問題解決の行き詰まりは知識を上手く使えていないだけとすると、学習者はどこで行き詰まったかを認識するだけで、その行き詰まりを克服できる可能性があると言える。本研究は、これを自己克服と呼んでいる。自己克服は、学習者自身で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、一般的な学習者にとっては困難な活動であると言える。

何かしらの方法で自己克服を行える学習者は、自身の行き詰まりの原因を認識している

第2章 問題演習と自己克服

ことから、メタ認知を積極的に用いることができる。また、一度行き詰まった問題を助けなしで克服することで自己効力感が高まる可能性が高いことから、学習者は自身に積極的に動機付けを行える。そして、自己克服を行うために、学習者は積極的に行動を起こしている。以上のことから、自己克服を行える学習者は、「メタ認知」「動機付け」「行動」に関して、能動的に関与できる学習者であると言える。このように、「メタ認知」「動機付け」「行動」に関して能動的に関与する学習は、自己調整学習と呼ばれ、多くの研究において、優れた学習者が行う学習であり、「自ら考え、自ら学ぶ学習」と言われる[6][7][8]。本研究で扱う自己克服は、自己調整活動の一つであると言える。自己調整活動を行える学習者は、自身の行動や学習の進め方に対して、メタ認知を用いて自己モニタリングを頻繁に行い、結果を踏まえて学習の取り組み方をより組織的なものに変え、目標達成に向かって取り組むことができる。もし、今の目標が達成されると、新たな目標を設定する。また、自己調整出来る学習者は、自身に動機付けを行えるため、この自己調整学習のサイクルを回すことができる[8]。

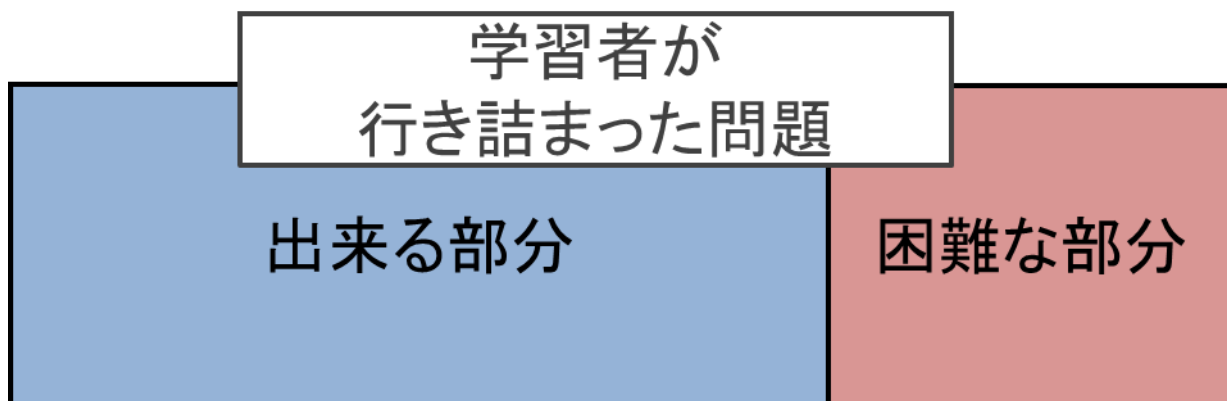


図 2-1 学習者が行き詰まった問題

第3章 単純化方略

第2章で述べた自己克服活動の具体的な手段として、「ポリアの単純化方略」がある。この方略では、まず、学習者が問題に行き詰ったときに、その問題を単純化していき、解決可能な単純化問題を発見させる。そして、その単純化問題の解決を足掛かりにして、元の行き詰った問題を克服する方法である。筆者らは先行研究で、初等力学を対象に、「問題の単純化」を定義し、ポリアの単純化方略を実現、システム化している。また、筆者らは、単純化方略を実装したシステムを実際の教育現場で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、システム利用の結果について報告する。

3.1 単純化方略の概要

問題演習における自己克服の具体的な手段として、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]、本研究ではこの方法を単純化方略と呼んでいる。単純化方略における「もっと優しくて似た問題」である単純な問題は、元の解けない問題に包含されているような問題であると言え、解けない問題とより単純な問題の差分が明確に抽出可能である(図 3-1)。このとき、単純さは包含関係で定義されているため、正答率の高さのみで議論していないことが特徴である。

単純化方略を用いた演習では、学習者が問題に行き詰まったときに、その問題を単純化していく。学習者が解決可能な問題を発見できたとき、元の行き詰った問題との差分が明確に抽出可能なため、その差分が学習者にとっての行き詰まりの原因となる。学習者はこの行き詰まりの原因を認識した上で、元の行き詰った問題の克服を目指す。もし、元の問題を克服できたならば、学習者はこの演習中、問題を解くことに関する知識を教授されていないことから、この克服は自己克服であると言える。もし、自己克服出来なかったとしても、学習者の学ぶべき事柄が焦点化できることから、十分意義のある演習であると言える。

この演習は問題系列を考慮した演習である。一般的に、学びの順序を考慮することで、その学びの効率や学び取れること自体に影響を与えられていると言われており、Scheiterらは問題の系列がランダムに並べられた場合よりも徐々に複雑になっていくように配置された問題の系列の方が問題解決パフォーマンスに良い影響を与えること、その効果を得るためには

学習者が、問題が系列化されていることに気づくことが重要であることを明らかにしている[9]。また、“学習課題・問題系列のデザイン”では、問題演習に関する系列の分類が行われており、その中でも本研究は問題指向型の出題方法の演習にあたる[10]。

しかし、このポリアの単純化方略は、具体的に「問題の単純化」を定義されていないため、学習者はこの方略を用いた演習を行うことができない。そこでまず、初等力学を対象に、先行研究で定義された問題の単純化について述べる。

3.2 単純化の定義

ポリアの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。先行研究では初等力学を対象に、問題の構造と問題の単純化を定義しており、本研究ではそれらの定義を用いている。本節ではそれらについて述べる。

3.2.1 力学の問題の定義

先行研究では、力学の問題を「状況」、「解法」の2つで定義している[11]。これを図3-2に示す。「状況」は、質量 m や重力加速度 g 、斜面の傾斜角 θ などの属性と、それらの属性を結ぶ数量関係(重力 $G=mg$ や運動方程式 $F=ma$ など)を持つ。「解法」は、問題文中に与えられる属性(図3-2における質量 m 、重力加速度 g 、斜面の傾斜角 θ 、張力 T)を、「状況」が持つ数量関係(図3-2における物体に働く重力(鉛直方向)、物体に働く重力(斜面方向)、物体に働く合力(斜面方向))でつなぎ合わせることで定義される。これは解法構造と呼ばれ、図3-2のように木構造で表せられる[12]。木構造の葉は問題文中に与えられている属性(入力属性)、根は求める属性(出力属性)、それ以外は計算途中に出てくる属性(中間属性)と属性間を結ぶ数量関係、およびノード間を結ぶエッジで構成される。

力学の問題を「状況」と「解法」で定義したため、問題の単純化は「状況の単純化」と「解法の単純化」と定義できる。以下、それらについて具体例を用いて説明する。

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により、物理状況を単純にすることで、特殊化と呼んでいる。デフォルト化とは、属性の値をある特定の値にすることである。例えば、図3-3では、属性に斜面の傾斜角と張力を持つ問題(左の問題)から、張力だけを持つ問題(右の問題)に単純化されている。このとき、斜面の傾斜角 θ に0を当てはめており、これをデフォルト化と呼んでいる。デフォルト化を行うことで、その属性およびそれに関連するいくつかの属性が省略され、問題解決を行う際に考慮すべき要素が少なくなり、問題は単純化されたと言える。図3-3においては、斜面の傾

斜角 θ に 0 を当てはめられることで、物体に働く重力(斜面方向) G_y' も省略され、問題解決を行う際に重力に関して考慮する必要がなくなり、問題は単純化されたと言える。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。よって、元の問題が解ける学習者は特殊化問題を必ず解くことが出来ると言える。

「状況の単純化」を定義したことで、「状況の複雑化」も定義できる。これを一般化と呼んでいる。一般化は特殊化の逆であり、問題解決を行う際に考慮されていないある属性を物理状況に付与することで、物理状況を複雑にする。例えば、図 3-3 では、属性に張力を持つ問題(右の問題)に斜面の傾斜角を付与することで、斜面の傾斜角と張力を持つ問題(左の問題)に複雑化している。一般化は特殊化の逆なので、一般化問題は元の問題を包含していると言える。そのため、元の問題を解けない学習者は、一般化問題を解くことはできない。

特殊化・一般化における状況の推移は、マイクロワールドグラフと呼ばれるモデルを用いている[13][14]。マイクロワールドグラフは、ある物理状況から派生しうる状況を網羅的に記述したものである(図 3-4)。マイクロワールドグラフでは、ある状況を規定している基本属性とその値をモデル化仮定と呼び、そのモデル化仮定から導出でき、その状況を制約する様々な数量関係をモデルと呼ぶ(図 3-5)。特殊化はこのモデル化仮定をデフォルト化することである。

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 3.2.1 項で述べたように解法構造で表される。例えば、図 3-6 の左の問題では物体に働く合力(斜面平行)を求める必要があるが、これを求めるためには物体に働く重力(斜面平行)を求める必要がある。よって、図 3-6 の左の問題の解法構造の中間属性 G_y' を出力属性化することで、右の問題である物体に働く重力(斜面平行)を求める問題に部分化することができる。このように、部分化は、元の問題の解法構造の一部を抜き出すことであるので、部分化された問題は元の問題に包含されていると言える。よって、元の問題が解ける学習者は部分化問題を必ず解くことが出来る。

「解法の単純化」を定義したことで、「解法の複雑化」も定義できる。これを拡張化と呼んでいる。拡張化は一般化の逆であり、元の問題の解法構造の出力属性を中間属性化し、別の属性を求めさせるような問題にすることである(図 3-6)。拡張化は部分化の逆なので、拡張化問題は元の問題を包含していると言える。そのため、元の問題を解けない学習者は、拡張化問題を解くことが出来ない。

3.3 差分注視機能と差分接続問題

前節で問題の単純化を定義したため、単純化方略を用いた演習は実現可能となる。この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ときに、その問題を単純化していき、単純化された問題に正解した場合、元の行き詰った問題に再び取り組む。このとき、学習者が元の行き詰った問題と解決可能な単純された問題の差分を行き詰まりの原因として意識できることが重要であるが、これらの問題感の差分を認識することが困難な学習者がいることも想定できる。そこで、単純化方略では、問題間の差分に着目させる機能として、差分注視機能と差分接続問題が提案・実装されている。

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時、元の行き詰った問題に再挑戦する前に、2つの問題を並べ、違いにハイライトすることで、問題間の差分に注視させる機能である[2]。差分注視機能により、学習者は問題間の関係を意識し、出来た問題を用いて、行き詰った問題に取り組むことを期待できる。

この差分注視機能を用いても、行き詰った問題を自己克服できない学習者がいることも考えられる。そこで、克服できなかった学習者に対して、行き詰った問題と出来た問題をつなぐような問題として差分接続問題を提示する[15]。学習者が問題に行き詰まるとき、学習者は行き詰った問題の解法のどこかに困難な部分があると考えられる。差分接続問題はその解法の困難な部分を解法に持つことで、行き詰った問題の解法と出来た問題の解法をつなぐ問題となる。接続問題の解法は、出来た問題の解法と行き詰った問題の解法、つまり解法構造の差分を取ることで生成される。接続問題は部分化問題の一種であるが、通常の部分化と違い、学習者の困難な部分に着目させるように部分化を行う。差分接続問題を解くことが出来れば、学習者は行き詰まりの原因になっている解法がどの部分にあるかを認識し、出来た問題の解法と繋ぎ合わせることで、行き詰った問題の解決へとつなげられると言える。差分接続問題が解けなければ、単純化方略に基づき、接続問題を単純化していく。これを繰り返すことで、より適切に困難な部分を発見することができる。

接続問題は、出来る問題と行き詰った問題の関係が部分化/拡張化の場合と、特殊化/一般化の場合がある。具体例として、図 3-7 の問題に行き詰まったと仮定して、以下説明をしていく。

出来る問題と行き詰まった問題の関係が特殊化/一般化の場合の具体例として図 3-8 を用いる。特殊化することで、行き詰まった問題の解法構造の一部の属性が省略され、また、解法構造の数量関係の一部が変化している。図 3-8 の場合、解法構造の薄くなっているところが省略された部分で、物体に働く合力(斜面方向)の数量関係は属性が 3 つ組から 2 つ組に変化している。接続問題は、この省略される属性を求めさせる問題(図 3-9)と変化する数量関係を使わせる問題(図 3-10)の 2 種類となる。図 3-9 の省略される属性を求めさせる問題は、行き詰まった問題の解法構造の動摩擦力 f を出力属性化することで生成される。このようにすることで、省略される属性に焦点を当てることが出来る。図 3-10 の変化する数量関係を使わせる問題は、行き詰まった問題の解法構造において、動摩擦力 f を入力属性化し、

物体に働く合力(斜面平行) F を出力属性化することで生成される．このようにすることで，変化した数量関係に着目させることができる．省略される属性を求めさせる接続問題か変化する数量関係を使わせる接続問題の片方を解くことで出来なかった問題を克服出来る場合もあれば，両方を解かなければ，克服できない場合もある．

出来る問題と出来ない問題の関係が部分化/拡張化の場合の具体例を図 3-11 に示す．部分化問題の解法構造で薄くなったところは，部分化によって無くなった解法構造である．この場合，接続問題はこの無くなった部分を解法に持つ問題となる(図 3-12)．この具体例の場合，出来なかった問題の解法構造の動摩擦力 f を入力属性化することで，接続問題を生成している．このようにすることで，問題間の差分となる解法に着目させることができる．

3.4 単純化方略を実装したシステム

筆者らの研究では，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を開発している．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，持ち運びに優れ，場所を選ばないタブレット上で作成した．システムでは，単純化方略に基づき，出来ない問題を一段階ずつ単純化することが可能である．また，問題間の差分に着目させる機能として，差分注視機能を実装した．差分注視機能で元の出来なかった問題を克服できない学習者に対しては，差分接続問題を出題する．以下，演習の流れと各機能について具体的に説明する．

3.4.1 演習の流れ

演習の流れを図 3-13 に示す．

学習者はまず，最初に解く初期問題を選ぶ．初期問題選択画面を図 3-14 に示す．これら初期問題は，学習者にとって少し難しいものを選んでいく．学習者は問題に間違えると，一段階単純化した問題に取り組む．この時，単純化問題が複数ある場合，学習者自身が次に解く問題を選択する．単純化方略は，出来る問題を学習者に見つけさせ，行き詰った問題との差分を学習者に考えてもらうことを目的とするため，学習者が出来る問題を意図的に選択したり，不正解が連続してしまったりすることに問題はない．

初期問題に正解した場合，その問題と初期問題に包含される問題を理解しているとみなすことができるため，別の初期問題に取り組む．初期問題や差分接続問題以外の問題に正解した場合，差分注視機能により，出来ない問題と出来た問題を比較させ，問題間の差分に注目させる．その後，出来なかった問題に再び取り組み，克服を目指す．この際，もし，克服できなかった場合，差分接続問題を提示する．差分接続問題を解けたら，再び，出来なかった問題に取り組む，克服を目指す．接続問題が解けないときは，単純化方略に基づき，接続問題を単純化していく．この流れを繰り返す，問題間の差分を考えながら学習す

ることを促す。演習中の各画面は、図 3-14 から図 3-21 に示す。

3.5 高等専門学校における実験的利用

単純化方略の妥当性やシステムの有用性の検証のため、高等専門学校の物理の授業 1 時限において、システム利用を実施した。以下詳細について報告する。

3.5.1 目的・方法

本実験的利用の目的は、単純化方略が学習者に受け入れられるか、および、単純化方略を用いた本システムが自己克服活動を支援しうるものかの検証である。

・被験者

商船系高等専門学校 1 年生の学生，3 クラス 130 名。

・手順

実験的利用は、高等専門学校の教室で物理の授業 1 時限を用いて実施した。

本実験的利用は、筆者と共同研究を行っている学生の計 2 名，加えて補助員として同研究室の学生 2 名，指導教官 1 名の合計 6 名でシステム利用の補助を行った。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。用いた初期問題は、高等専門学校の教員に確認してもらい同意を得ている 3 問を用いている。(図 3-22)

実験的利用の様子は、図 3-23 に示す。いずれも集中して取り組んでいる様子がわかる。

3.5.2 結果・考察

アンケートに不備がある被験者やログデータから対象を特定出来ない被験者を除いた，103 名を有効データとした。「この問題演習は力学の学習に役立ったか？」のアンケート項目に 77 名から肯定的意見を得た。また，ログデータから被験者の振る舞いを特徴ごとに分類した。自己克服活動を行った「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」である。それぞれ，59.22%，22.33%，18.45%の割合で存在した(表 3-1)。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と言える。また，課題顕在型学習者は自身の課題が明確になった点で，未解決型学習者はそもそも問題演習をする段階に達していないとわかった点で，それぞれの学習者群においても本演習を行う

意義はあったと言える。

3.6 高等専門学校における再実験

前節で述べた実験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。この再実験は被験者にとって約1年ぶりのシステム利用であり、また、大部分の被験者にとって約1年ぶりの力学の学習となる。

3.6.1 目的・方法

本実験的利用の目的は、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検証である。

・被験者

商船系高等専門学校2年生の学生、3クラス123名。
(一度目も二度目もほぼ同じ被験者)

・手順

二度目の実験的利用は、筆者と共同研究を行っている学生の計2名、加えて補助員として同研究室の学生2名、指導教官3名の合計7名でシステム利用の補助を行った。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。表3-2は用いた事後アンケートの項目である。用いた初期問題は、新たに1問用意し(図3-24)、計4問出題した。また、2度目の実験的利用では、共同研究者が開発した、学習者の解いた問題経路を分析できるアナライザも用いている[16]。

実験的利用の様子は、図3-25に示す。いずれも集中して取り組んでいる様子がわかる。

3.6.2 結果・考察

アンケートに不備がある被験者やログデータから対象を特定出来ない被験者を除いた、118名を有効データとした。事後アンケートの結果を図3-26に示す。各質問に対して「とてもそう思う」「そう思う」を肯定的意見、「そう思わない」「とてもそう思わない」を否定的意見として符号検定を行ったところ、質問(8)のみが有意差なしで、他はすべて1%有意であった。質問(1)、(2)より、力学を敬遠したり、苦手としたりする学習者が多数いることがわかる。質問(3)～(6)に関しては、演習の有用性や問題間の関係性を問うているが、有意差ありで肯定的意見が多数見られた。質問(8)は有意差こそなかったものの、もともと力学を敬遠している学習者が多いことやシステム利用が1時限しかなかったこと、肯定的意見が過半数を超えていることから、否定的な結果ではないと解釈している。そのため、質問(7)

～(9)からは、力学への学習意欲が高まったり、印象が良くなったりしたことが伺える。質問(1)、(2)、(7)～(9)の結果から、単純化方略を用いた演習は学習者の動機付けに有効なことが示唆された。このことはリズム学習を対象に単純化方略を用いた演習を実現している研究[17]からも示唆でき、単純化方略の動機付けへの有効性をさらに検証していくことは今後の重要な課題だと筆者らは認識している。

次に演習結果の分析を行うが、分析には生徒の学習状況をリアルタイムに分析できるアナライザ[16]を用いた。問題の総出題数は 3750 問(うち、正解数 628 問、不正解数 2869 問、演習終了時に解決途中だった問題 253 問)となった。被験者の振る舞いを特徴ごとに分類した結果を表 3-3 に示す。過去に一度システム演習をしたことがあるにもかかわらず、昨年同様、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できた。

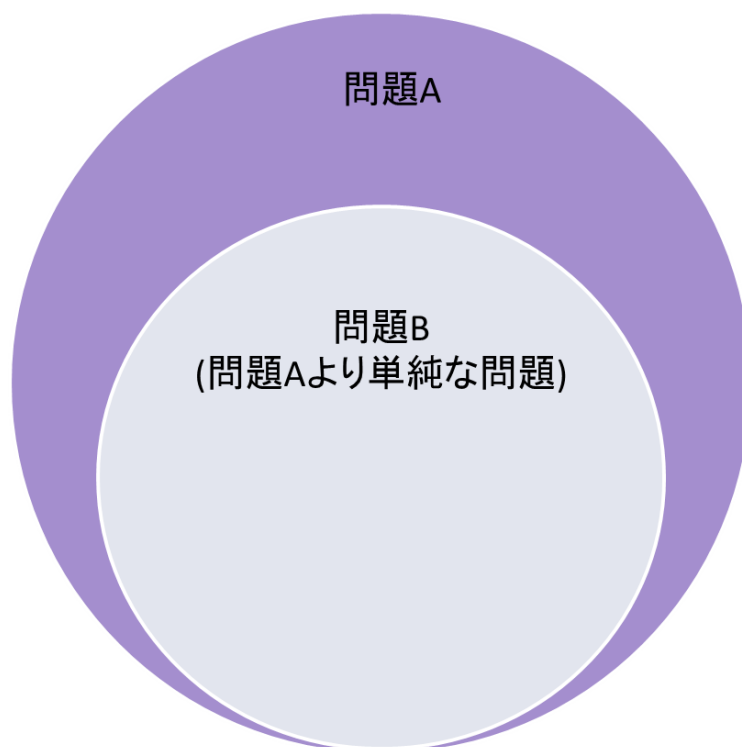
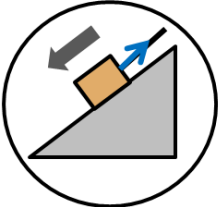


図 3-1 単純な問題



物理状況

物体の質量を m 、重力加速度を g 、斜面の傾斜角を θ 、張力を T とする。

この時、物体に働く合力（斜面方向）について求めよ。

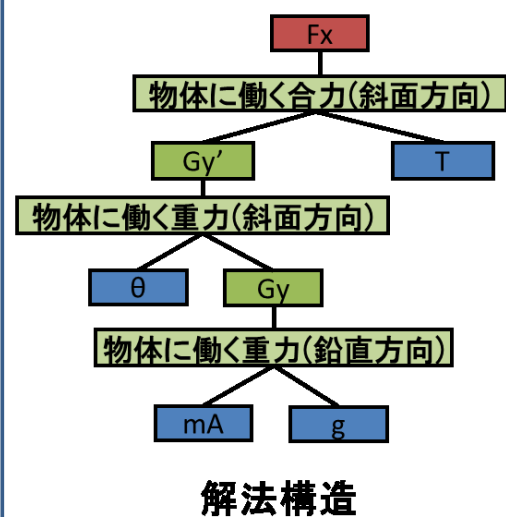
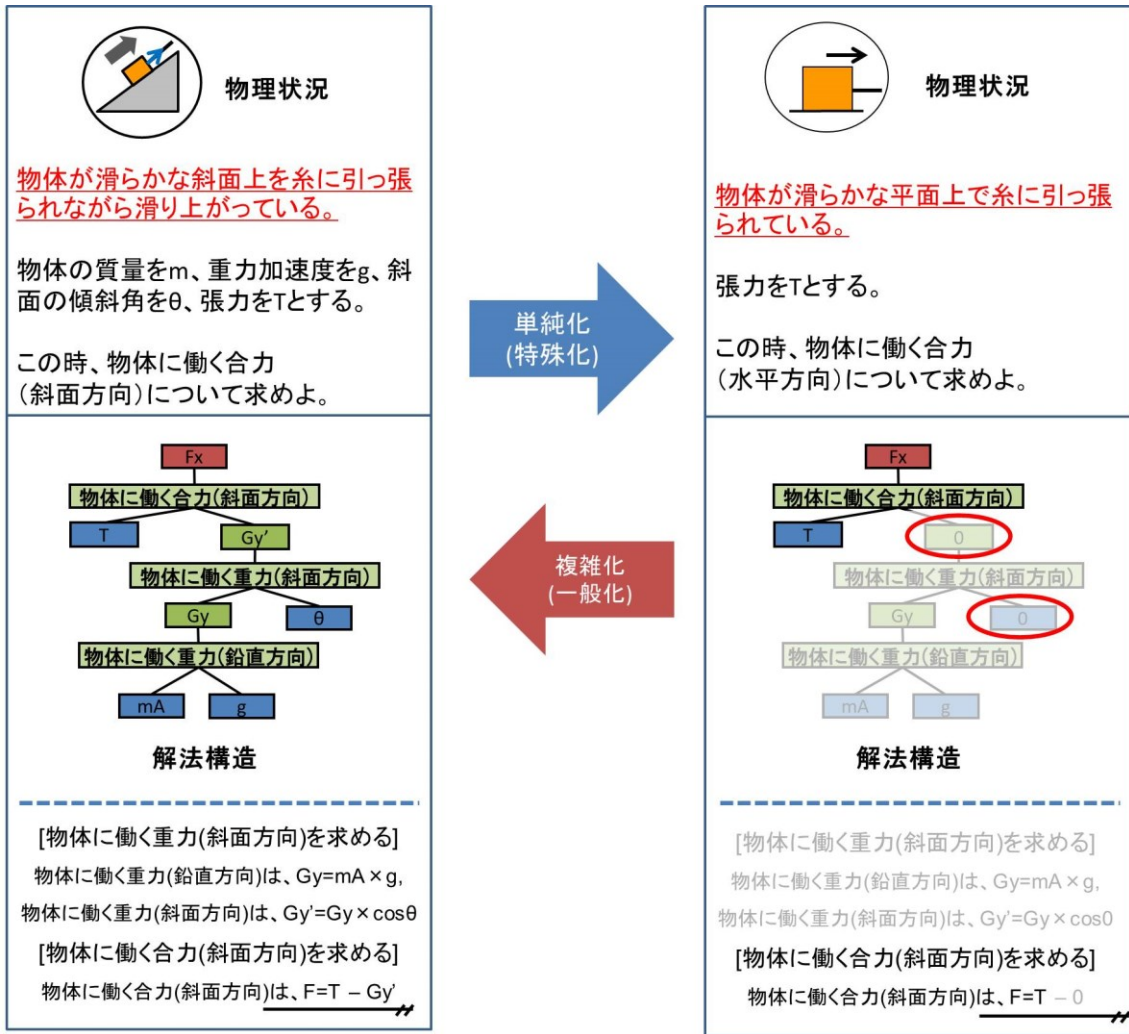


図 3-2 力学の問題の定義



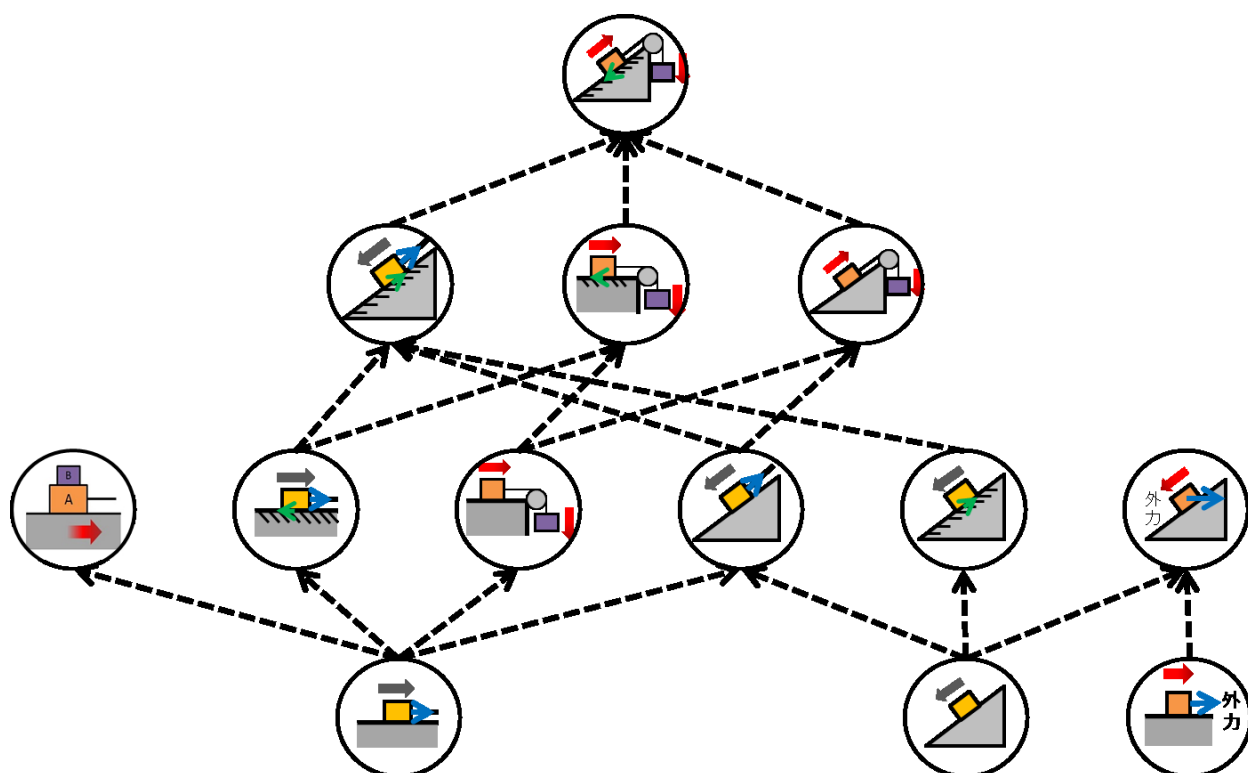


図 3-4 本研究で用いたマイクロワールドグラフ

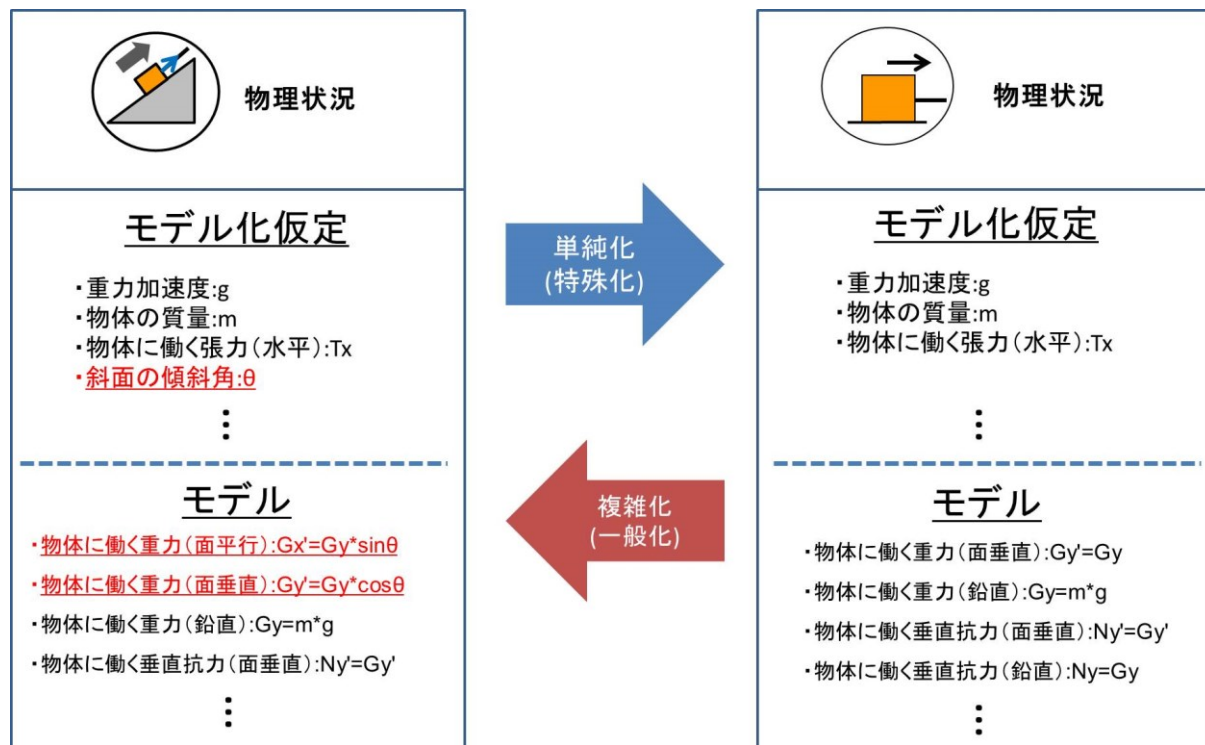


図 3-5 モデル化仮定とモデル

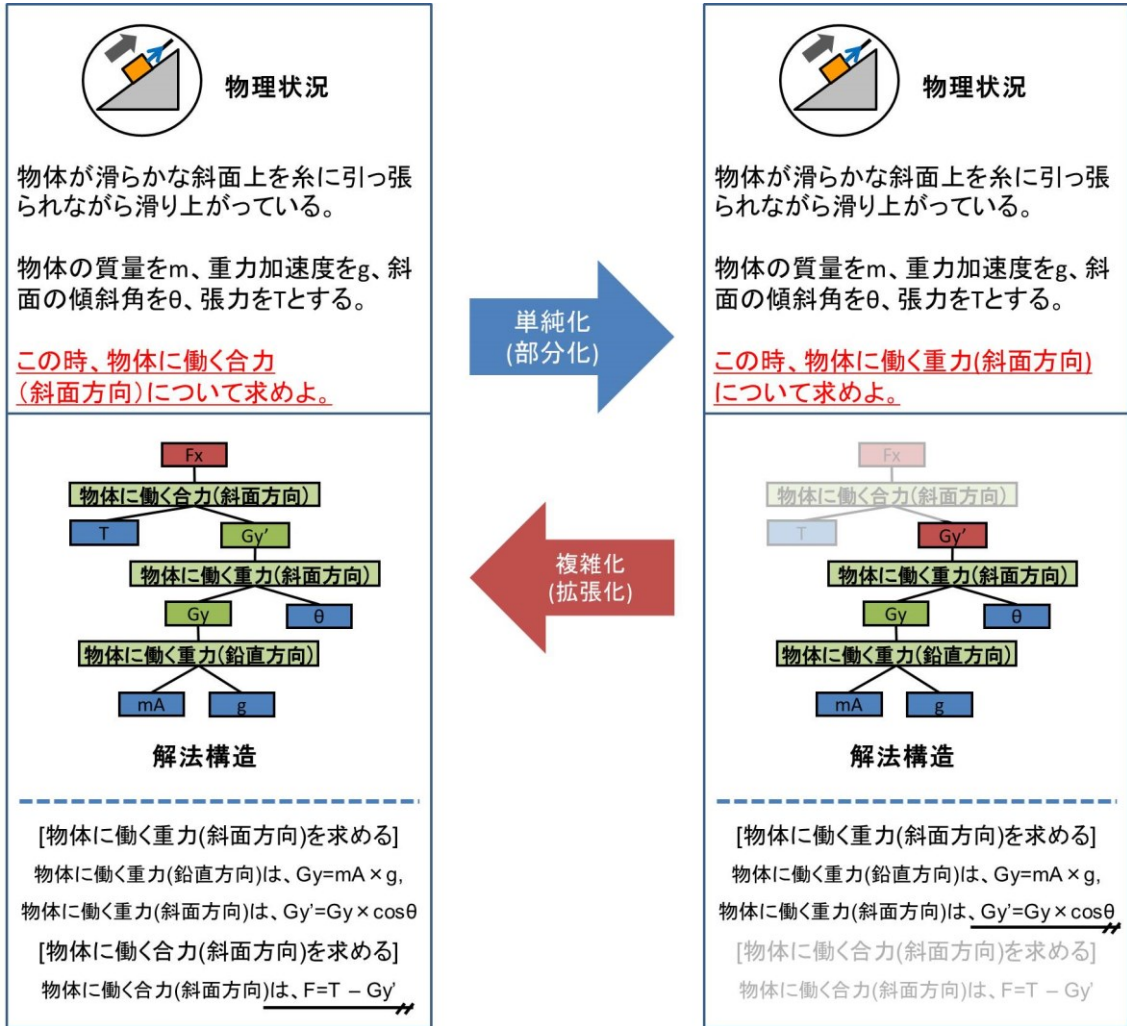
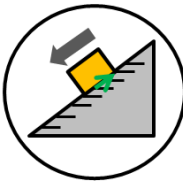


図 3-6 解法の単純化の例



物理状況

物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。

物体の質量を m 、重力加速度を g 、斜面の傾斜角を θ 、動摩擦係数を μ とする。

この時、物体に働く加速度 a について求めよ。

図 3-7 行き詰った問題の例

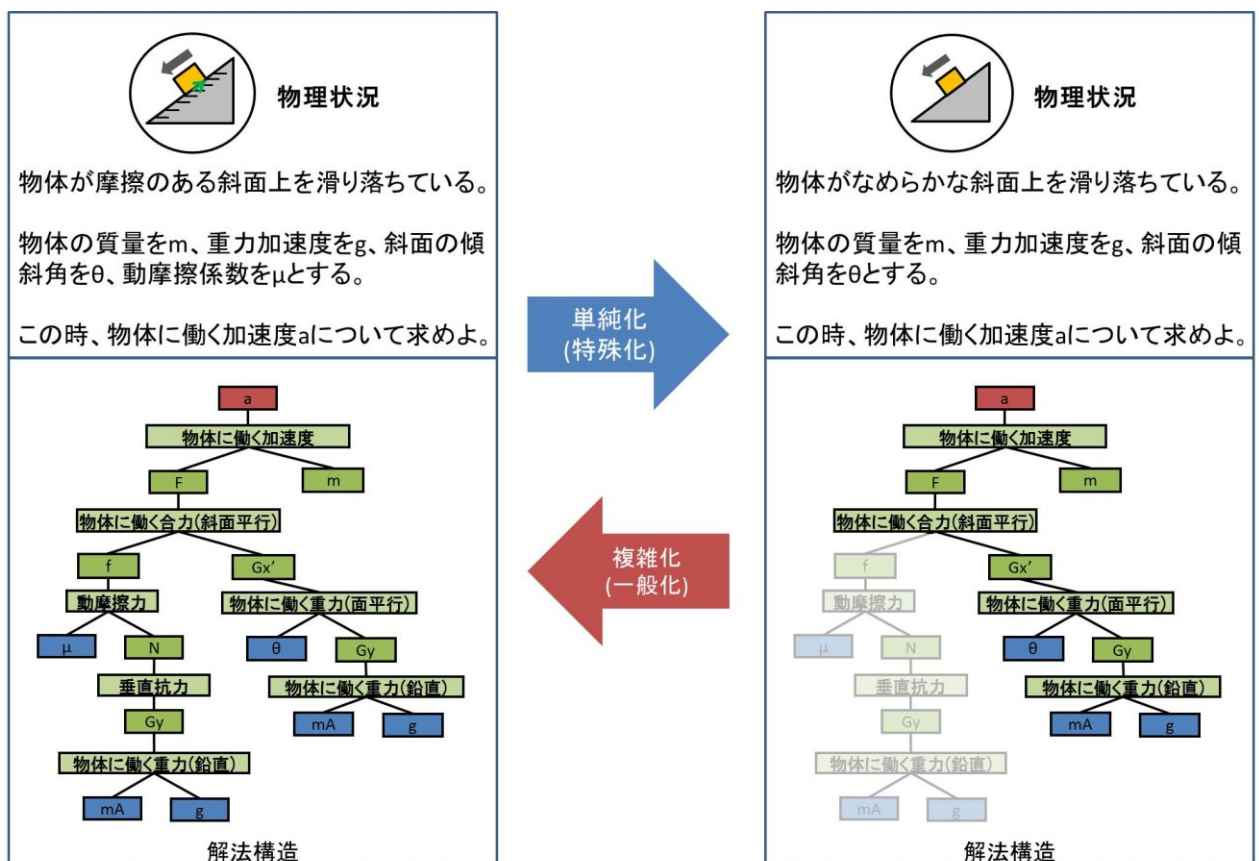
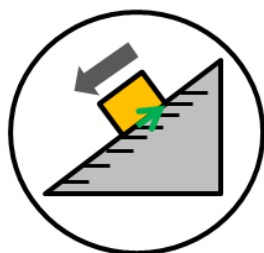


図 3-8 行き詰った問題例の特殊化問題

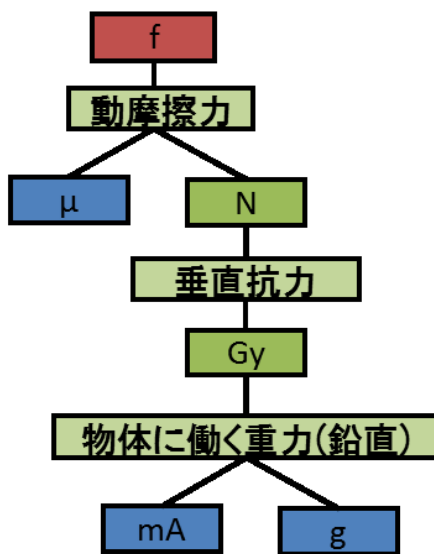


物理状況

物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。

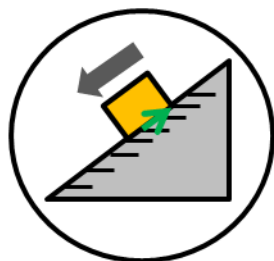
物体の質量を m 、重力加速度を g 、斜面の傾斜角を θ 、動摩擦係数を μ とする。

この時、物体に働く動摩擦力 f について求めよ。



解法構造

図 3-9 図 3-8 から導き出される省略した属性を求めさせる差分接続問題

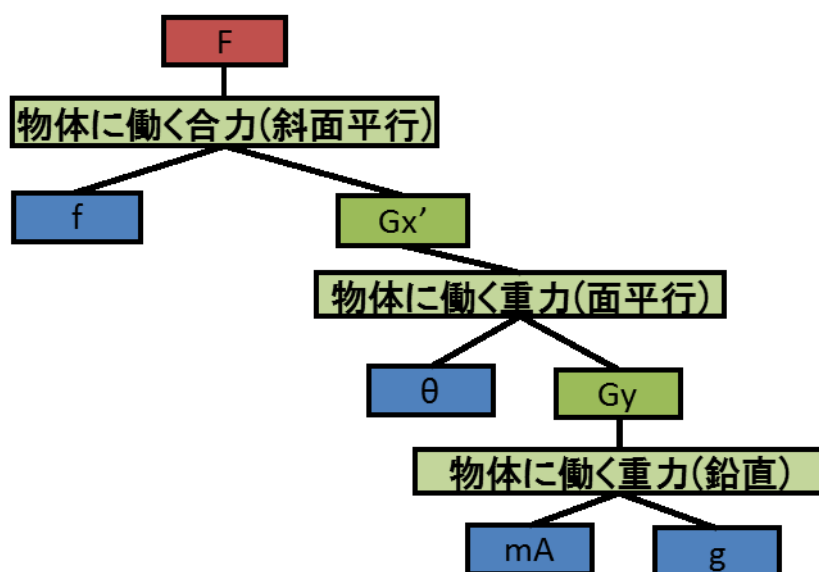


物理状況

物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。

物体の質量を m 、重力加速度を g 、斜面の傾斜角を θ 、動摩擦力を f とする。

この時、物体に働く合力 F について求めよ。



解法構造

図 3-10 図 3-8 から導き出される変化する数量関係を使用させる差分接続問題

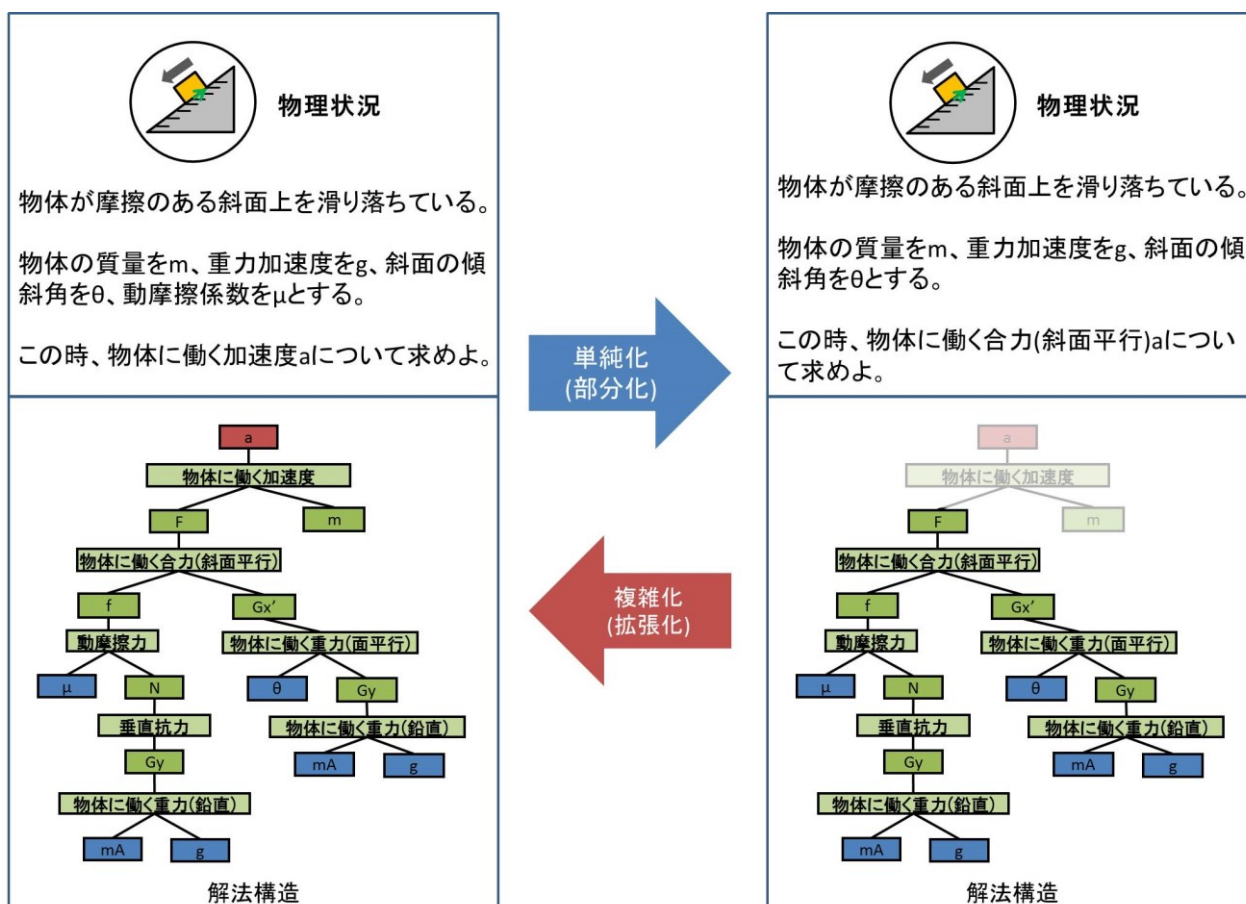
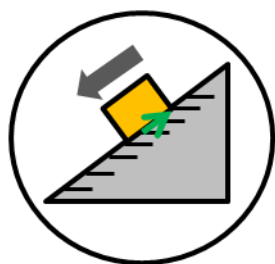


図 3-11 行き詰った問題例の部分化問題

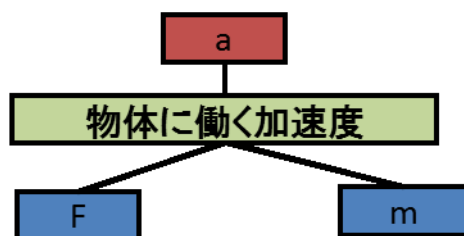


物理状況

物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。

物体の質量を m 、物体に働く合力(斜面平行)を F とする。

この時、物体に働く加速度 a について求めよ。



解法構造

図 3-12 図 3-11 から導かれる差分接続問題

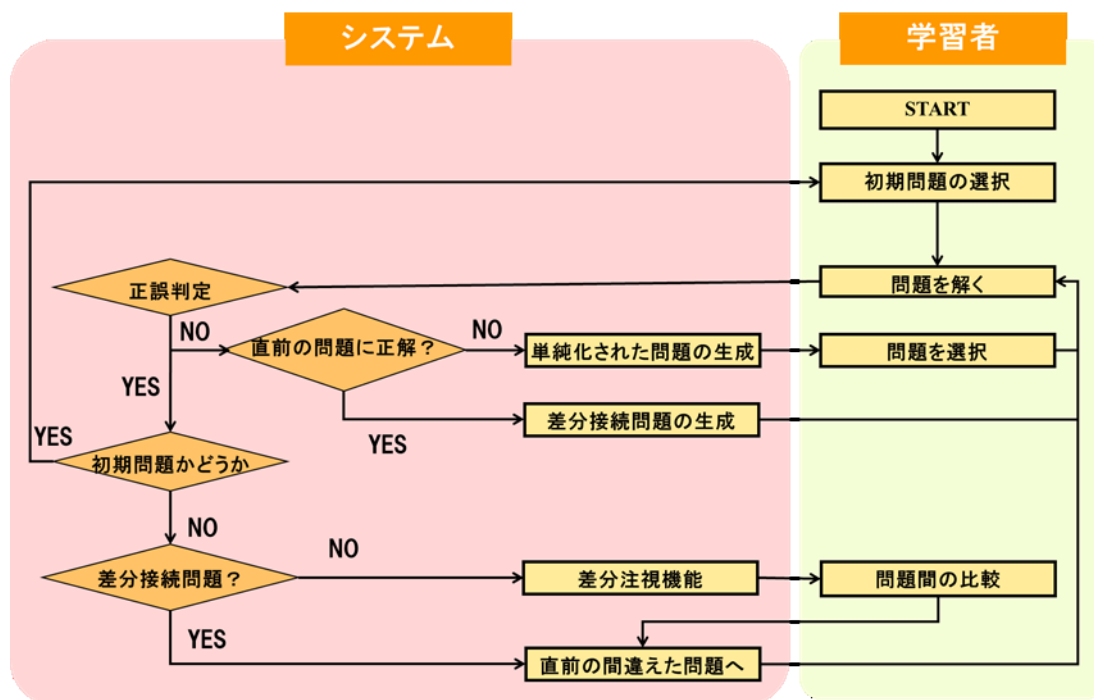


図 3-13 演習フロー

ICP

課題選択

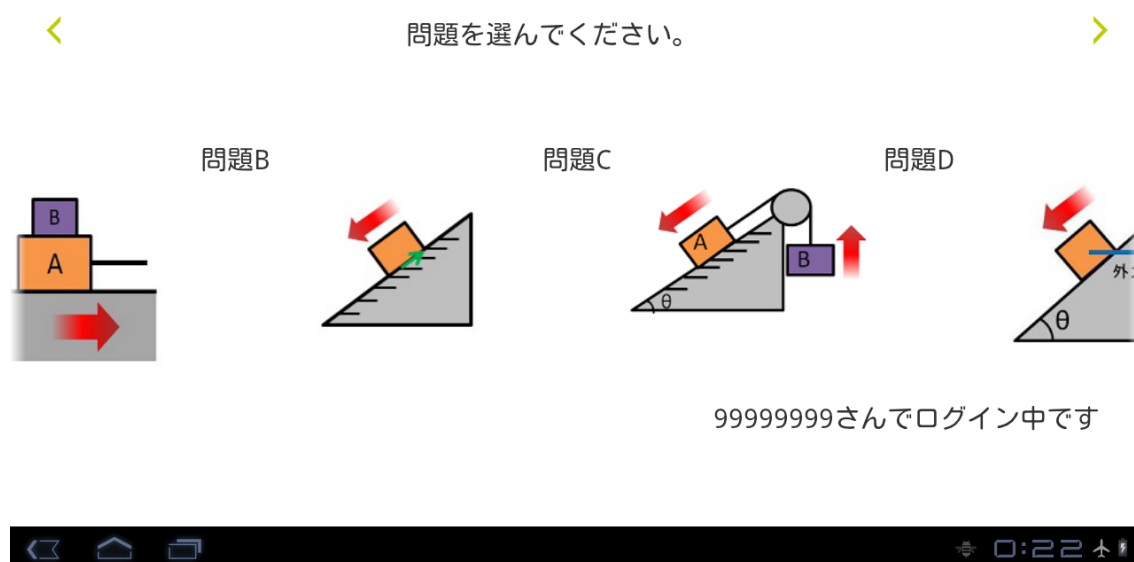


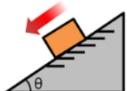
図 3-14 初期問題選択画面

ICP
問題解決

物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。

重力加速度 $9.8[\text{m/s}^2]$ 、
 物体の質量を $10.0[\text{kg}]$ 、
 斜面の角度を 60° 、
 物体の動摩擦係数を 0.1 とする。
この時、物体の加速度（面平行） $a_{Ax'}$ について求めよ。

※ただし、 $\sin 60^\circ = 0.9$ 、 $\cos 60^\circ = 0.5$ とする。
 小数第二位を四捨五入して小数点第一位まで求めよ。



斜面上に平行な方向の
物体の加速度

もしわからなかったら...

単純化

$25.0 + 65.0 \times 3.0 = 220.0$

C	CE		
7	8	9	+
4	5	6	-
1	2	3	*
0	.	=	/

220

物体の加速度（面に平行な方向）
 入力した値：値を入力してください

回答を決定する

図 3-15 問題画面

ICP
単純化問題選択

単純になった問題 1

単純になった問題 2

物体がなめらかな斜面上を滑り落ちている。

物体の質量を $10.0[\text{kg}]$ 、
 重力加速度 $9.8[\text{m/s}^2]$ 、
 斜面の角度を 60° とする。

この時、物体の加速度（面に平行な方向）について求めよ。

※ただし、 $\sin 60^\circ = 0.9$ 、 $\cos 60^\circ = 0.5$ とする。
 小数第二位を四捨五入して小数点第一位まで求めよ。



斜面上に平行な方向の
物体の加速度

この問題を解く

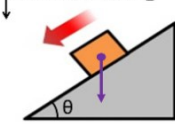
図 3-16 単純化された問題の選択画面

ICP

解説

解説①
解説②
解説③
解説④

重力加速度: g



物体の質量: m

～物体にかかる重力～

物体にかかる重力(鉛直方向)は、

(物体の質量) × (重力加速度) で求めることができる。

すなわち、

物体にかかる重力(鉛直方向) = $m \times g$ である。

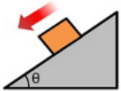
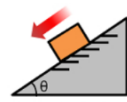
戻る

図 3-17 解説画面

ICP

差分を比較してみましょう

前回間違えた問題と異なっているところは色が変わっている部分です。
その部分に注目してもう一度間違えた問題に挑戦しましょう。

正解した問題	不正解だった問題
物体がなめらかな斜面上を滑り落ちている。 物体の質量を mA [kg]、 重力加速度 g [m/s²]、 斜面の角度を θ とする。 この時、物体の加速度（面に平行な方向）について求めよ。  斜面に平行な方向の 物体の加速度	物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。 重力加速度 g [m/s²]、 斜面の角度を θ、 物体の質量を mA [kg]、 物体の動摩擦係数を μA とする。 この時、物体の加速度（面に平行な方向）について求めよ。  斜面に平行な方向の 物体の加速度

OK

図 3-18 差分注視機能の画面

25

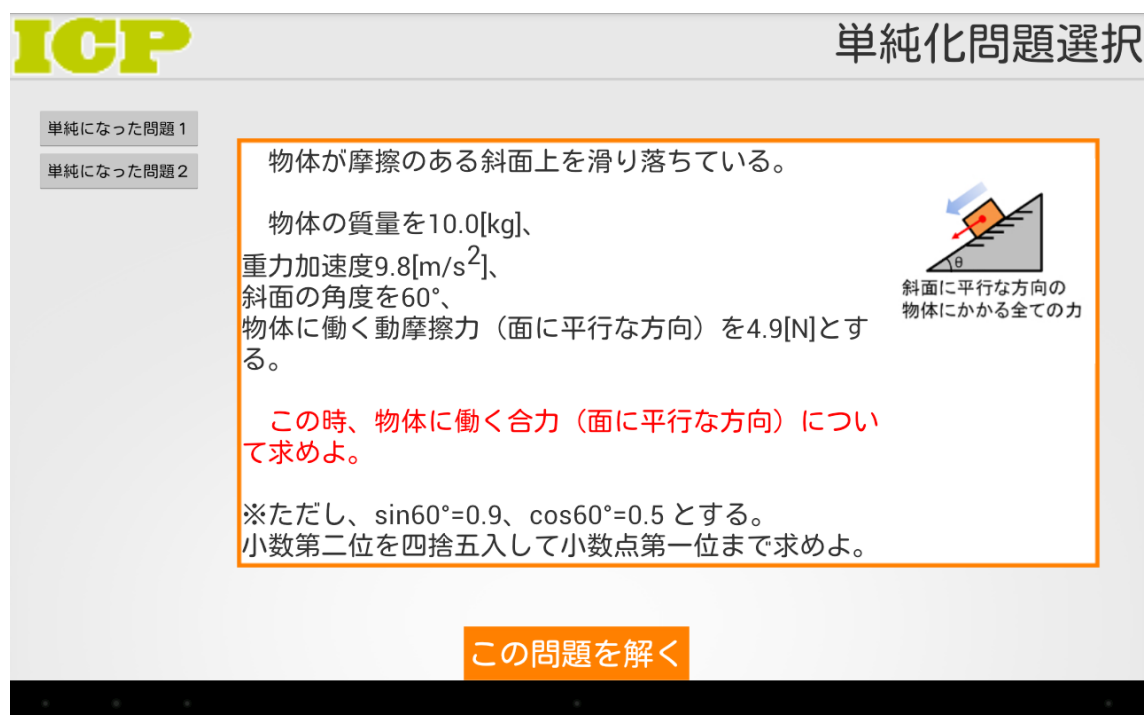


図 3-19 差分接続問題選択の画面

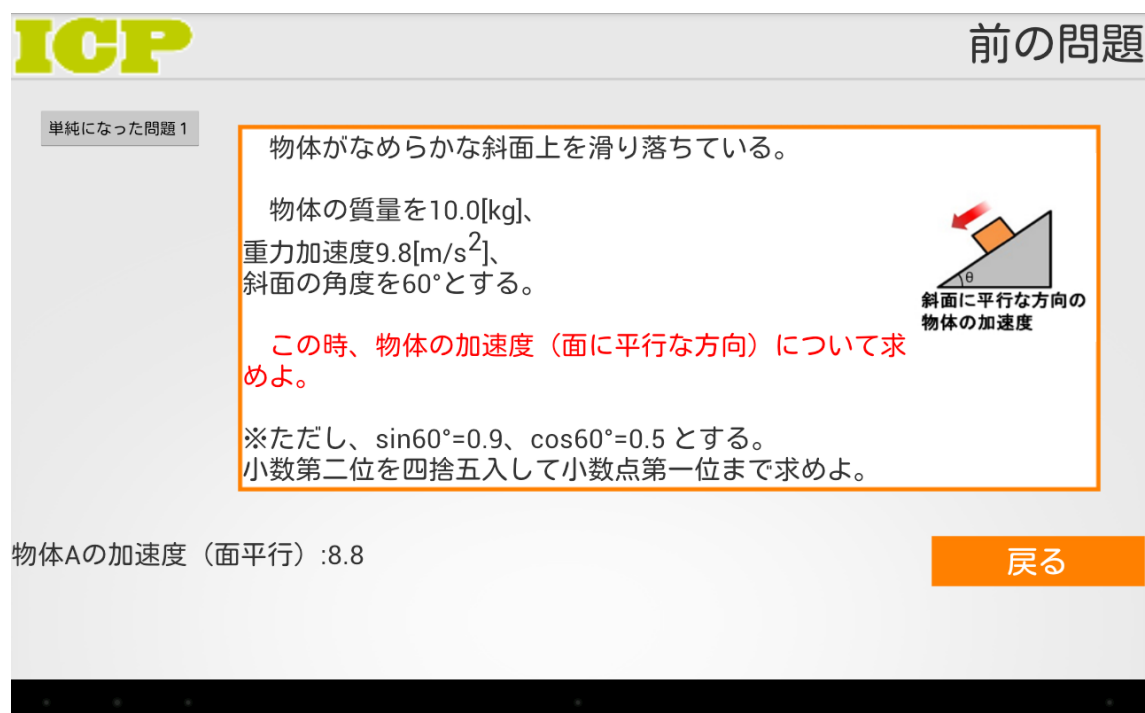


図 3-20 以前の正解した問題の表示画面

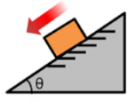
ICP

問題解決

物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。

重力加速度 $9.8[\text{m/s}^2]$ 、
物体の質量を $10.0[\text{kg}]$ 、
斜面の角度を 60° 、
物体の動摩擦係数を 0.1 とする。
この時、物体の加速度（面平行） $a_{Ax'}$ について求めよ。

※ただし、 $\sin 60^\circ = 0.9$ 、 $\cos 60^\circ = 0.5$ とする。
小数第二位を四捨五入して小数点第一位まで求めよ。



斜面に平行な方向の
物体の加速度

もしわからなかったら...

単純化

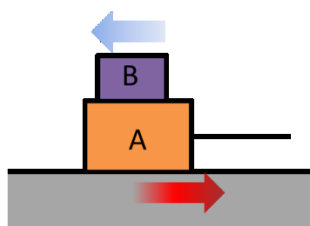
0			
C	CE	0	
7	8	9	+
4	5	6	-
1	2	3	*
0	.	=	/

物体の加速度（面に平行な方向）
入力した値：値を入力してください

前の問題の解答

回答を決定する

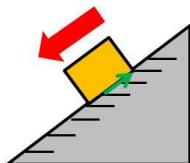
図 3-21 条件を満たすことによって問題画面に追加されるボタン



物体Aの加速度

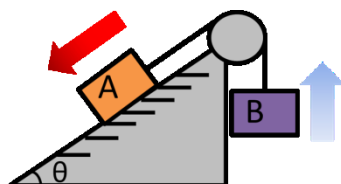
物体Aの上に物体Bがある状態で、物体Aが糸に引っ張られている。
この時、物体Bは物体Aの上を滑り始めた。
重力加速度を $9.8 \text{ [m/s}^2]$ 、物体Aの質量を 10 [kg] 、物体Bの質量を 5 [kg]
物体Aと物体Bの間に働く動摩擦係数を 0.1 、物体Aに働く張力を 20 [N] とする。

この時、物体の加速度（面に平行な方向）について求めよ。



物体が摩擦のある斜面上を滑り落ちている。
重力加速度を $9.8 \text{ [m/s}^2]$ 、物体の質量を 10 [kg] 、
斜面の角度を 60° 、物体の動摩擦係数を 0.1 とする。

この時、物体の加速度(面に平行な方向)について求めよ。



斜面に平行な方向の
物体Aの加速度

物体Aが摩擦のある斜面上で、滑車につながった物体Bを引っ張っている。
重力加速度を $9.8 \text{ [m/s}^2]$ 、物体Aの質量を 10 [kg] 、物体Bの質量を 5 [kg] 、
斜面の角度を 60° 、物体Aの動摩擦係数を 0.1 、物体Bに働く張力を 20 [N] とする。

この時、物体の加速度（面に平行な方向）について求めよ。

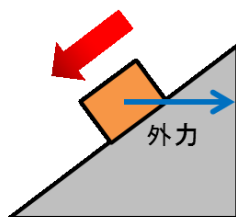
図 3-22 一度目の実験的利用で用いた初期問題



図 3-23 一度目の実験的利用の様子

表 3-1 一度目の実験的利用時の学習者のタイプとその分布

学習者のタイプ	人数	全体に対しての割合
自己克服型学習者	61	59.2%
課題顕在型学習者	23	22.3%
未解決型学習者	19	18.5%



水平方向に外力を受けながら、滑らかな斜面上を物体が滑り落ちている。

重力加速度を $9.8[m/s^2]$ 、物体の質量を $10.0[kg]$ 、
斜面の角度を 60° 、物体に働く外力を $20.0[N]$ とする。

この時、物体の加速度(面平行)について求めよ。

図 3-24 二度目の実験的利用で追加した初期問題



図 3-25 二度目の実験的利用の様子

表 3-2 二度目の実験的利用時の事後アンケート内容

番号	アンケート項目
質問 1	物理の力学が好きですか？
質問 2	物理の力学が得意ですか？
質問 3	この問題演習は力学の学習に役立ちましたか？
質問 4	正解したあとに出題された問題を解くとき、正解した問題を参考にしましたか？
質問 5	間違えたあとに出てくる問題は、間違えた問題よりも簡単になっていましたか？
質問 6	間違えたあとに出てくる問題を解くことで、間違えた問題を解くのに役立ちましたか？
質問 7	このシステムで単純化した際に次に解く問題を自分で選択できたことは、問題演習に取り組む意欲を高めましたか？
質問 8	このシステムを使ったことで力学に対する印象が良くなりましたか？
質問 9	今後もこのような問題演習を行ってみたいと思いますか？
番号	アンケート項目
質問 1	物理の力学が好きですか？
質問 2	物理の力学が得意ですか？

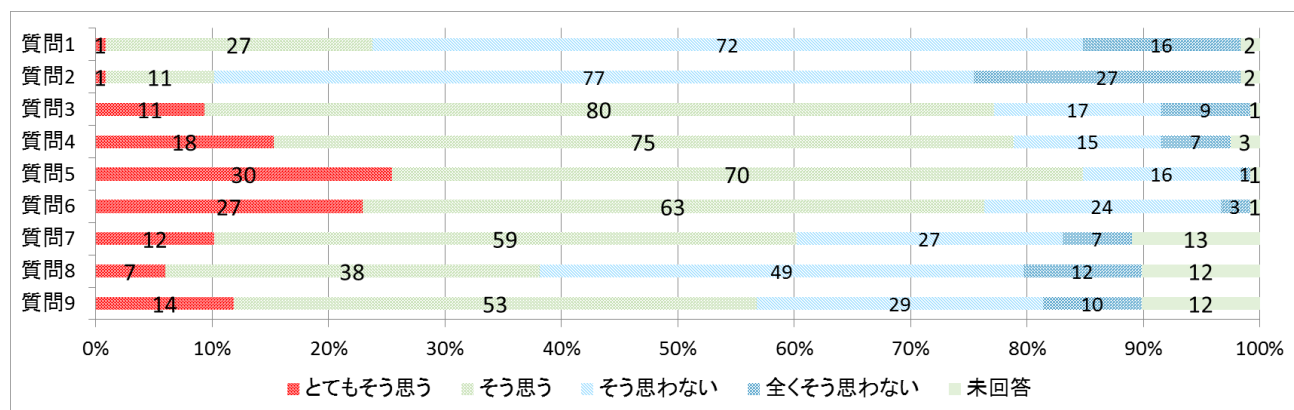


図 3-26 事後アンケート結果

表 3-3 二度目の実験的利用時の学習者のタイプとその分布

学習者のタイプ	人数	全体に対しての割合
単純化せずに 初期問題正解	2	1.7%
自己克服型学習者	69	58.5%
課題頭在型学習者	41	34.7%
未解決型学習者	6	5.1%

第4章 自己克服に対する理解の促進支援

2 度にわたる実験で単純化方略は自己克服活動を支援しうるものであることが確認されたが、学習者が自己克服活動を理解せずに行っていた可能生がある。そこで、本研究では、自己克服活動を行った学習者に対して、単純化方略を用いた行き詰まりの自己克服活動への理解を促進させる支援を行う。

4.1 システムを用いた自己克服の問題点

単純化方略を実装したシステムは、2 度にわたる高等専門学校の実験的利用により、自己克服活動の促進に有用であることが確認されている。しかし、これらの実験では、学習者はシステムが提示する単純化問題を解き、問題間の差分に着目させる機能を用いたことで自己克服を行ってきたと言え、学習者は誘導ありでの自己克服を行ってきたと言える。そのため、学習者自身が自分の行った自己克服を十分には理解していない可能性がある。

このような問題点は誘導による学習支援において共通のものであるが、この問題の解決として、学習者に自身の行動に対して説明させる「自己説明」が知られている。対象への理解を促進するには学習者自身で説明することが重要であるとされ、Chi らは、自己説明させる群とさせない群で比較を行い、自己説明を行った群の結果に行わなかった群との有意な差が見られたことを確認し、この効果を自己説明効果と名付けている[3]。

本研究では、自己克服活動を行った学習者を対象に、行った自己克服に対して自己説明を行わせ、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

単純化方略における自己克服活動は、以下のプロセスで行われる。

- (1) 行き詰った問題を、包含関係を伴うように単純化していき、解決可能な問題を発見する。
- (2) 直前の行き詰った問題との比較を行い、問題間の差分を行き詰まりの原因と認識した上で、行き詰った問題に再挑戦する。
- (3) 行き詰った問題を克服する。

学習者が(3)の自己克服を行うにあたって最も重要な活動は、「問題の単純化」が包含

関係を伴うということを意識し、行き詰まった問題と単純化問題の問題間の差分を認識することである。もし、学習者が行き詰まった問題に対して包含関係を伴うように単純化でき、問題間の差分を認識できるならば、学習者は自身の行き詰まりの原因を認識できる。そして、その行き詰まりの原因となる部分の知識を問題解決に上手く適用できたならば、学習者は自己克服を行うことができる。第2章でも述べたように、自己克服活動は自己調整活動の一つであると言えるため、自己克服活動は学習者に自ら考え、自ら学ばせることのできる優れた学習活動の一つであると言える。

しかし、システムによる誘導を用いることで自己克服を行った学習者は、問題間の関係性がどのようなになっているかを明確に意識していない可能性が残る。そのため、本研究では、システムが提示する単純化問題を解くことで行き詰った問題を自己克服した学習者に対して、行き詰まった問題がどのように単純化された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深めさせる(図4-1)。

初等力学の問題を対象とした単純化は、第3章で述べたように、「状況の単純化」と「解法の単純化」で構成されている。そのため、自己説明させる対象もこの2つになる。以下、具体例を用いて、それぞれに対しての自己説明を述べる。

4.2.1 「状況の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明

図4-2を用いて具体的に説明する。学習者は、問題Aとその特殊化問題である問題Bの差分を行き詰まりの原因と認識することで、問題Aを自己克服できたとする。このとき、学習者に、問題間の差分、つまり、問題Aから問題Bへの単純化がどのように行われたか、を説明させることで、学習者が行った自己克服活動について理解を促進させる。

問題Aから問題Bへの単純化は、(1) 問題Aの状況のモデル仮定が持つ動摩擦係数が0にデフォルト化されることで起きている。(2) それにより、モデルの $f = \mu N$ や $f_x = f \times \sin \theta$ の式も省略される。(3) 問題Aや問題Bの解法は、状況が持つ属性や数量関係をつなぎ合わせることで構成されるので、解法中で使う式のいくつかも単純になる。よって、学習者が問題Aから問題Bへの単純化についての自己説明を行うということは、(1) モデル化仮定の中で省略される属性を述べる、(2) モデルの中で省略される数量関係を述べる、(3) (2) で選んだ数量関係の中から解法で用いる数量関係を述べる、ということである。

4.2.2 「解法の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明

図4-3を用いて具体的に説明する。問題Aは物体に働く合力(面平行)を求める問題、問題Bは動摩擦力を求める問題である。学習者は、問題Aとその部分化問題である問題Bの差分を行き詰まりの原因と認識することで、問題Aを自己克服できたとする。このとき、先ほどと同様学習者に、問題間の差分、つまり、問題Aから問題Bへの単純化がどのよう

に行われたか、を説明させることで、学習者が行った自己克服活動について理解を促進させる。

問題 A から問題 B への単純化は、(1) 解法構造のある中間属性が出力属性化し、(2) 問題解決中にいくつかの数量関係を用いなくても良くなったことで起きている。よって、学習者が問題 A から問題 B への単純化についての自己説明を行うということは、(1) それぞれの問題で求める属性を答える、(2) 単純化されることで解法に使わなくなる数量関係を述べる、ということである。

4.3 自己克服に対する自己説明の困難さを測る実験

いくつかの研究では、多くの学習者にとって自然言語による自己説明を行うことは難しいことを示している[19][19]。そこで、まず、自己克服活動を対象とした自己説明の困難さを調べるため、単純化方略を実装したシステムが提示する力学の問題を解ける被験者に対して、問題間が包含関係にあることを自己説明することが大変かどうかを調査した。

4.3.1 目的・方法

本実験的利用の目的は、単純化方略を実装したシステムが提示する力学の問題を解ける被験者にとっても、自然言語で問題間の関係に包含関係があることを自己説明することは大変であるかどうかの検証である。

・被験者

工学系の大学生、5 名。

工学系の大学院生、12 名

・手順

本実験は、工学系の大学生・大学院生を対象に、単純化方略を用いたシステムに実際に実装されている問題を用いて、自然言語による自己説明の大変さを調査した。問題は調査紙に記載し、その紙に自然言語で自己説明を行ってもらった。

実施は、筆者と共同研究を行っている学生の計 2 名で行っている。手順は、問題間の関係性が「状況の単純化・複雑化」、「解法の単純化・複雑化」である問題のペアを 2 組用意し、それぞれ問題間の関係性に対する自己説明(12 分)、アンケート(3 分)で行った。用いた問題のペアはそれぞれ図 4-4、図 4-5 に示す。アンケート内容は、「問題間の違いについての説明を行うことは大変でしたか？」であり、説明の大変さを問うものとなっている。

4.3.2 結果・考察

問題間の関係性が「状況の単純化・複雑化」である問題のペアに対して、包含関係があることと問題間の差分について説明できた被験者は17名中12名であった。残り5名は問題間に包含関係があることを説明できなかった被験者である。この包含関係を説明できた群とできなかった群に分けて、アンケート結果を図4-6に示す。どちらの群においても肯定的意見と否定的意見で符号検定による有意差は見られなかったが、これは各群の人数が少ないからだと考えている。包含関係を説明できた被験者群は、半数の人が自己説明を行うことは大変だったと回答している。包含関係を説明できなかった被験者群は、8割の人が大変ではなかったと答えている。この群の被験者が大変ではなかったと感じた理由として、この群の被験者は、「問題の状況が変わっている」等の問題の表層的な違いを説明していたからだと考えている。「状況の単純化・複雑化」は問題の状況が変わることから、問題間に表層的な違いが大きく、その説明だけをする労力は小さい。そのため、自己説明を行う大変さは感じなかったと言える。そこで、別日に、包含関係を説明できなかった被験者を対象に、問題間の関係が包含関係であること説明した上で、追加のアンケートを実施した。アンケート内容、結果をそれぞれ表4-1、図4-7に示す。こちらのアンケート結果も肯定的意見と否定的意見で符号検定をかけたが、有意差は見られなかった。これは各群の人数が少ないからだと考えている。質問1は問題間の関係性が包含関係であることに妥当性を感じるかという内容の質問であるが、全員肯定的意見を示している。質問2は、自己説明を行う際に、問題間に包含関係があることに気づいていたかという内容の質問であるが、そのときほとんどの被験者は考えていなかったことがわかる。質問3では、問題間の包含関係を知った上で、これを説明するのは大変であるかを聞いているが、ほとんどの人が大変であったと答えている。以上より、問題を解ける人にとっても、「状況の単純化・複雑化」の関係にある問題のペアに包含関係があることを自由記述で自己説明することは大変であると感じる人は多いことがわかる。

問題間の関係性が「解法の単純化・複雑化」である問題のペアに対して、包含関係があることと問題間の差分について説明できた被験者は17名中9名であった。残り8名は問題間に包含関係があることを説明できなかった被験者である。「状況の単純化・複雑化」である問題のペアに対する自己説明よりも、包含関係があることに答えられた被験者が少ないのは、「解法の単純化・複雑化」である問題のペアは、状況のそれに比べて、表層的な違いが少なく、違いに気づきにくかったからであると考えている。この包含関係を説明できた群とできなかった群に分けて、アンケート結果を図4-8に示す。どちらの群においても肯定的意見と否定的意見で符号検定による有意差は見られなかったが、これは各群の人数が少ないからだと考えている。包含関係を説明できた被験者群もできなかった被験者群も、ほとんどの人が自己説明を行うことは大変だったと回答している。こちらも先ほどと同じく、包含関係を自己説明できなかった被験者群を対象に、問題間の関係が包含関係であることを説明した上で、追加のアンケートを実施した。アンケート内容は同じく表3-1であり、結

果は図 4-9 に示す。こちらのアンケート結果も肯定的意見と否定的意見で符号検定をかけたが、有意差は見られなかった。これは各群の人数が少ないからだと考えている。質問 1 には、全員肯定的意見を示している。質問 2 では、半数以上の被験者は自己説明を行ったときに包含関係を考えていなかったことがわかる。質問 3 では、問題間の包含関係を知った上で、これを説明するのは大変であるかを聞いているが、ほとんどの人が大変であったと答えている。以上より、問題を解ける人にとっても、「解法の単純化・複雑化」の関係にある問題のペアに包含関係があることを自由記述で自己説明することは大変であると感じる人は多いことがわかる。

よって、以上より、単純化方略を実装したシステムが提示する力学の問題を解ける被験者にとっても、自然言語で問題間の関係に包含関係があることを自己説明することは大変であることを検証できた。初見で問題を解ける人でも多数の人が問題間の差分について自己説明を行うことは大変だと答えていることから、一度問題に行き詰まり自己克服した学習者にとっては、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言える。そこで、本研究では自己克服活動を行った学習者を対象に、行き詰った問題と単純化された問題の差分について自己説明させるための支援を行う。

4.4 単純化方略を実装したシステムの拡張

本研究では、単純化方略を用いたシステムを拡張し、自己克服活動を行った学習者を対象に、行き詰った問題とシステムにより単純化された問題の差分について自己説明させる機能の設計・開発を行った。自己説明は自然言語ではなく、PC を用いた選択形式であっても自己説明を促すができる[5]と言われており、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、本研究でも選択形式を採用する。本節ではこれについて報告する。

4.4.1 演習の流れ

演習の流れを図 4-10 に示す。図の赤く塗られた部分が今回実装した機能である。学習者が自己克服を行ったとき、システムは自己説明演習の画面を提示し、学習者は自己説明を行うことができる。学習者が自己説明を行った後、システムは自己説明した内容を診断し、フィードバックを返す。もし、不正解ならば、学習者は正解するまで自己説明を行う。正解ならば、単純化方略に即した演習に戻る。

4.4.2 自己説明機能

学習者が問題を自己克服したとき、システムは図 4-11 の画面を提示する。このとき、システムは学習者が単純な問題を用いて自己克服したことを教え、単純化がどのように行われたかの説明を促す。このときに行う自己説明は、4.2 節で述べた内容になっている。

克服できた問題と単純化問題の関係性が「状況の単純化・複雑化」の場合、自己説明演

習の画面は図 4-12 となる。画面左上では正解した問題、画面左下では克服できた問題を並べており、右の画面で省略されたモデル化仮定を選ぶ活動を行う。学習者が回答を入力し、「診断する」のボタンを押すと、システムは学習者の選択した回答と行われた問題の単純化との整合性が取れているかを診断し、正解・不正解のフィードバックを返す。もし、学習者が正解すると(図 4-13)、図 4-14 の画面に移る。この図の画面右では、モデル仮定が省略されたことにより、省略されたり変化したりするモデルの一覧を載せており、学習者はこの中から自己克服した問題を解く際に用いた式を選ぶ。この場合も同じように学習者が回答を入力し、「診断する」のボタンを押すと、システムは学習者の選択した回答が行われた問題の単純化と整合性が取れているかを診断し、正解・不正解のフィードバックを返すことができる。

克服できた問題と単純化問題の関係性が「解法の単純化・複雑化」の場合、自己説明演習の画面は図 4-15 となる。画面左上では正解した問題、画面左下では克服できた問題を並べており、右の画面では克服した問題と単純化問題のそれぞれの求める属性を選択し、どう変わっているかを認識する活動を行う。学習者が回答を入力し、「診断する」のボタンを押すと、システムは学習者の選択した回答と行われた問題の単純化との整合性が取れているかを診断し、正解・不正解のフィードバックを返す。もし、学習者が正解すると(図 4-16)、図 4-17 の画面に移る。この図の画面右では、問題の求める属性が変わったことにより、自己克服した問題の解法に使う必要が出てくる式を選ぶ。この場合も同じように学習者が回答を入力し、「診断する」のボタンを押すと、システムは学習者の選択した回答と行われた問題の単純化との整合性が取れているかを診断し、正解・不正解のフィードバックを返すことができる。

4.5 関連研究

自己説明を支援する研究として、中津らは算数の割合文章題を対象に自己説明支援ソフトウェアの設計・開発を行っている[4]。また、Atkinson らは、数学の確率の問題を対象に、自己説明支援を行うシステムを開発している[5]。これらの研究の自己説明の対象は問題の解法となっているが、本研究では問題の構造化に着目し、その構造の単純化・複雑化の関係を自己説明の対象とすることで、問題や問題間の構造まで考えさせることができる[20]。また、これらの研究は自己説明の対象が認知活動であるのに対し、本研究の自己説明の対象は自己克服でもあるため、メタ認知活動であると言える。そのため、本研究はメタ認知活動に対する支援[21]を行っていると言える。

また、自己克服活動は自己調整活動の一つであるため、本研究は自己調整活動を支援する研究であるとも言える。自己調整活動を支援する研究として、Hadwin らは「CoNoteS2」と呼ばれるテキストの文章を理解させるためのシステムを開発した[6]。これは目標設定や単語の関連付け等ができ、自己調整の足場掛けになる。Tuckman らは「Strategies For

Achievement」と呼ばれる, 学びと動機づけの方略を対面授業で直接講義し, その後 Web 上で演習や頻繁な小テストを行う支援を行っている[23][23]. これらの研究の支援では, 幅広いドメインに適用可能な一方, 学習者の学習プロセスまで分析できない. しかし, 本研究の構造を用いた手法では, 構造化したドメインのみ適用可能な支援である一方, 学習者の学習プロセスまで分析が可能である. そのため, 本研究で開発した自己説明機能は, 学習者の学習活動である自己克服を対象にできる.

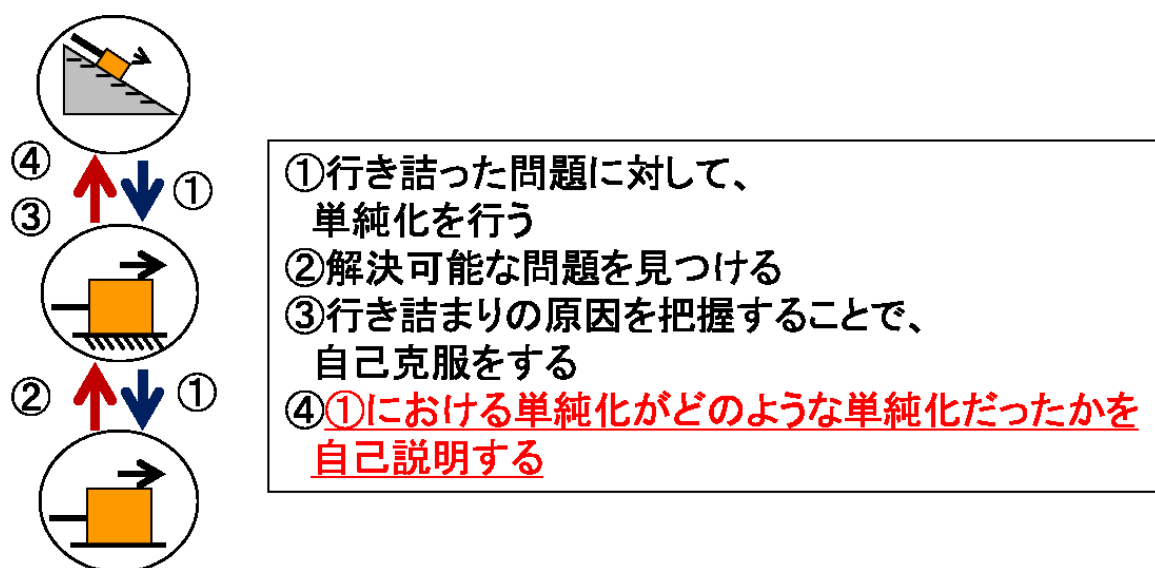


図 4-1 本研究における自己説明の流れ

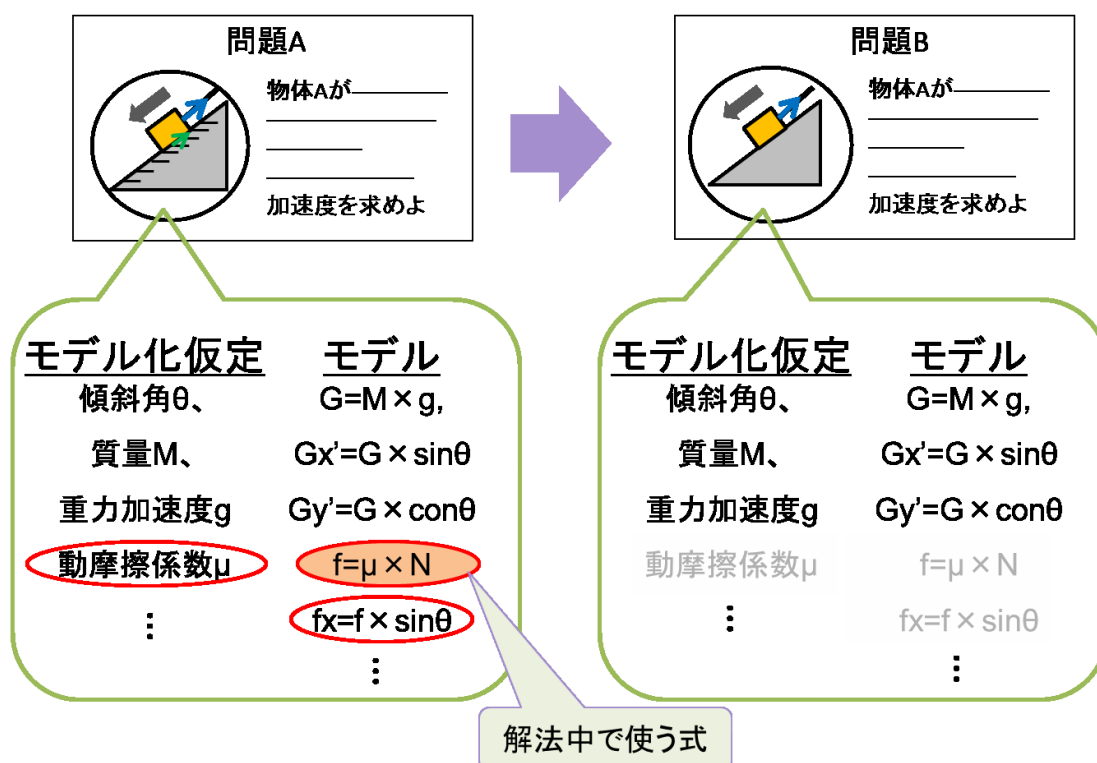


図 4-2 「状況の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明

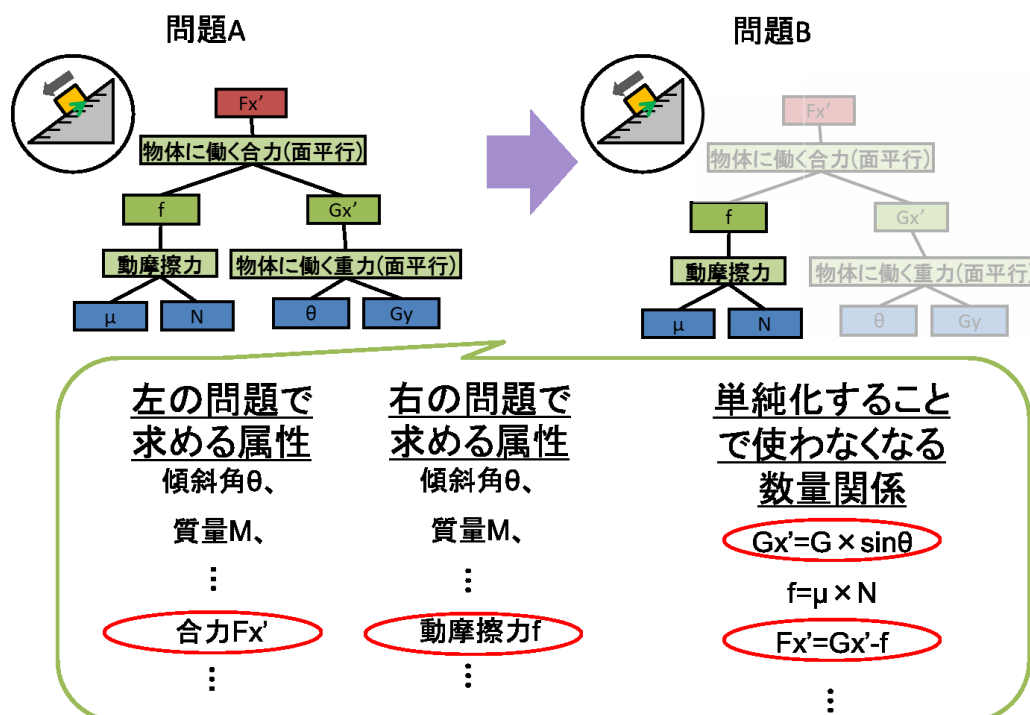
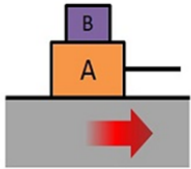


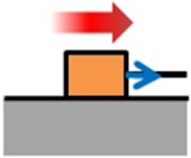
図 4-3 「解法の単純化」を用いた自己克服活動に対する自己説明

問題1



物体Aの上に物体Bがある状態で、物体Aが糸に引っ張られている。この時、物体Bは物体Aの上を滑り始めた。
重力加速度を $g[m/s^2]$ 、物体Aの質量を $m_A[kg]$ 、
物体Bの質量を $m_B[kg]$ 、物体Aと物体Bの動摩擦係数を μ_{AB} 、
物体Aにかかる張力を $T[N]$ とする。
この時、物体Aの加速度(水平)について求めよ。

問題2



物体がなめらかな斜面上で糸に引っ張られている。
物体の質量を $m_A[kg]$ 、物体にかかる張力を $T[N]$ とする。
この時、物体の加速度(水平)について求めよ。

図 4-4 実験で用いた「状況の単純化・複雑化」である問題のペア

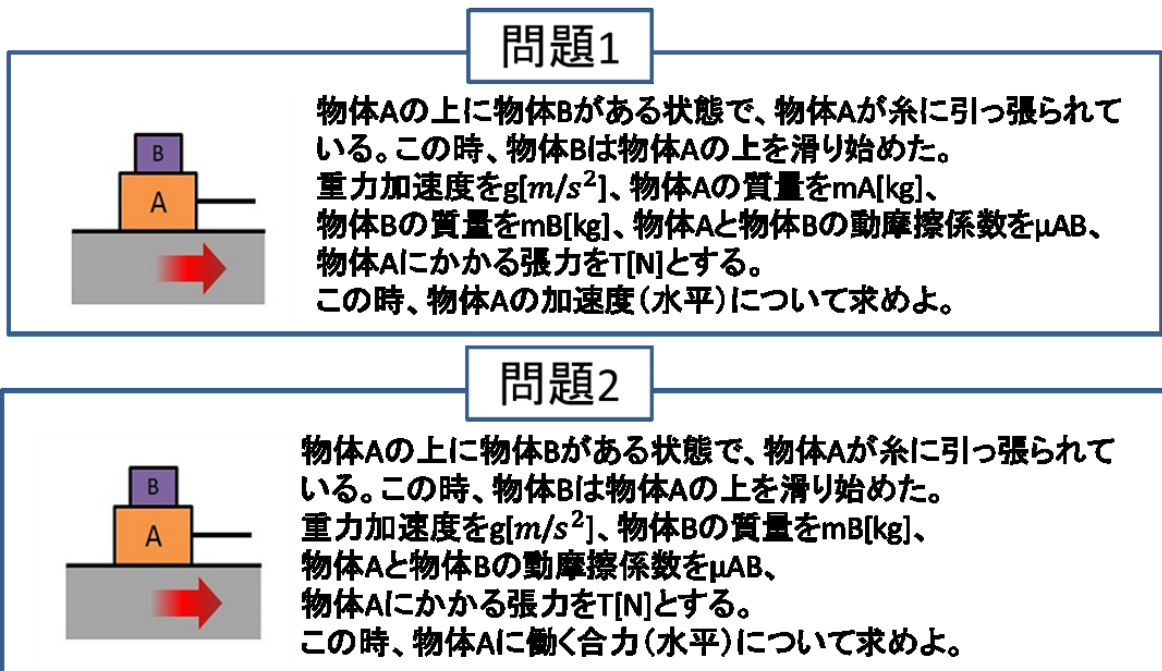


図 4-5 実験で用いた「解法の単純化・複雑化」である問題のペア

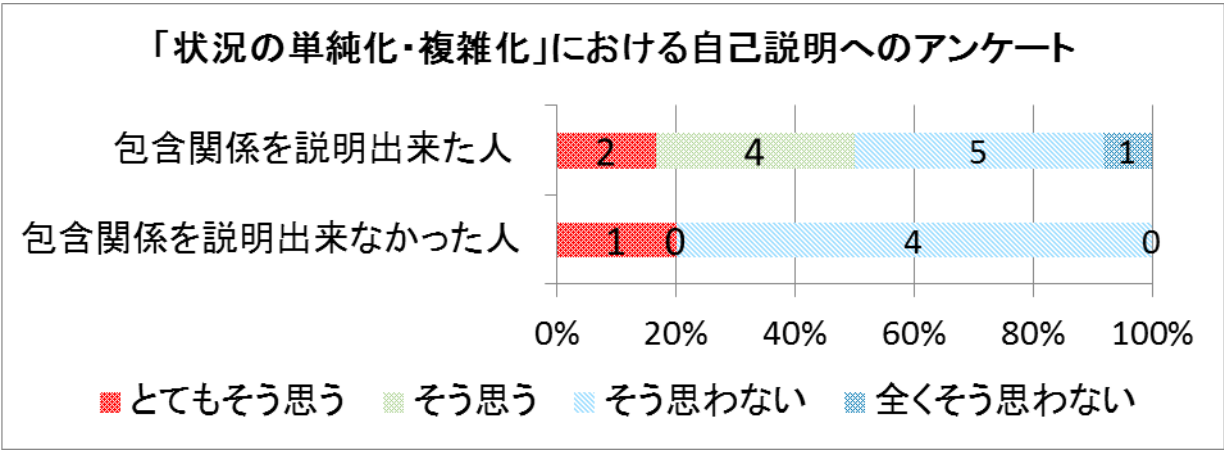


図 4-6 「状況の単純化・複雑化」における自己説明へのアンケート結果

表 4-1 追加アンケート内容

番号	アンケート項目
質問 1	「問題 2 が問題 1 に含まれる」という説明は妥当だと思いますか？
質問 2	「問題 2 が問題 1 に含まれる」ことを以前の実験日に考えていましたか？
質問 3	問題間の違いを説明する際に、「問題 2 が問題 1 に含まれる」ことを説明すること は大変だと思いますか？

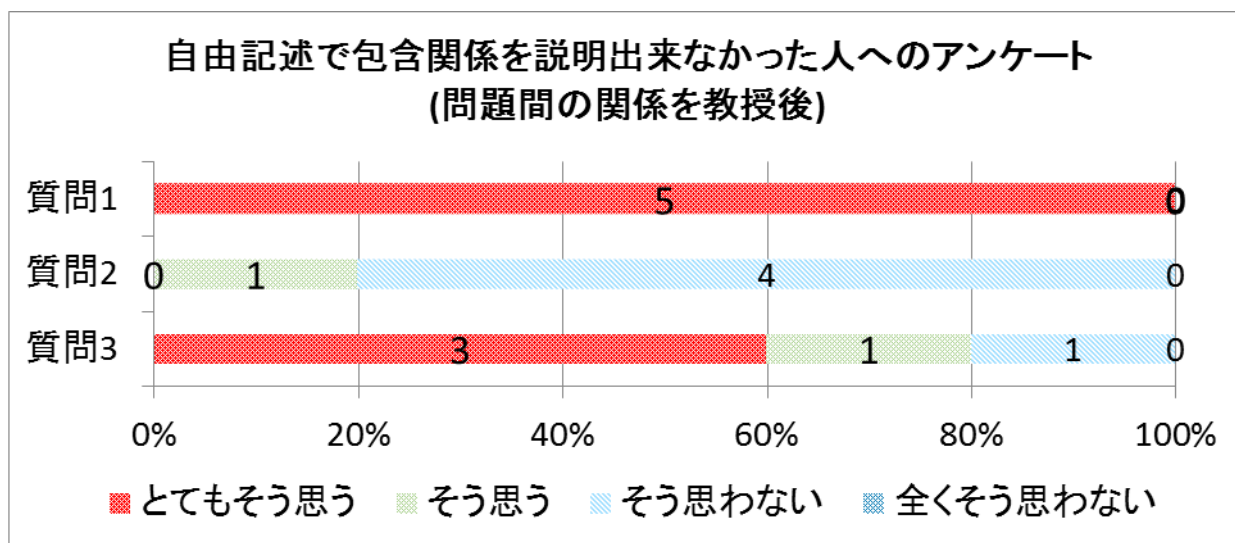


図 4-7 「状況の単純化・複雑化」における自己説明への追加アンケート結果

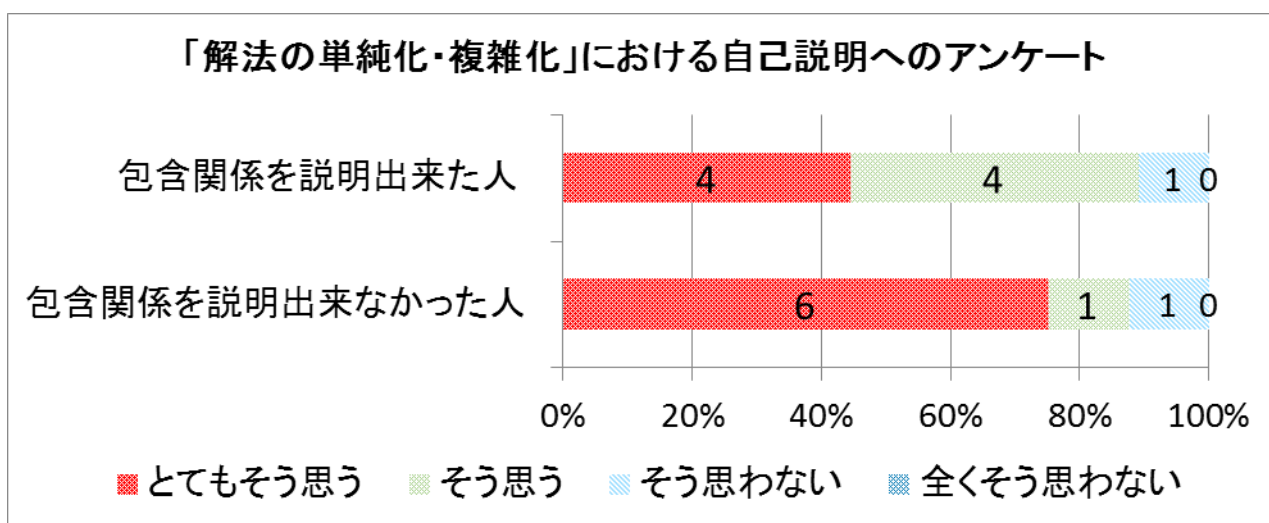


図 4-8 「解法の単純化・複雑化」における自己説明へのアンケート結果

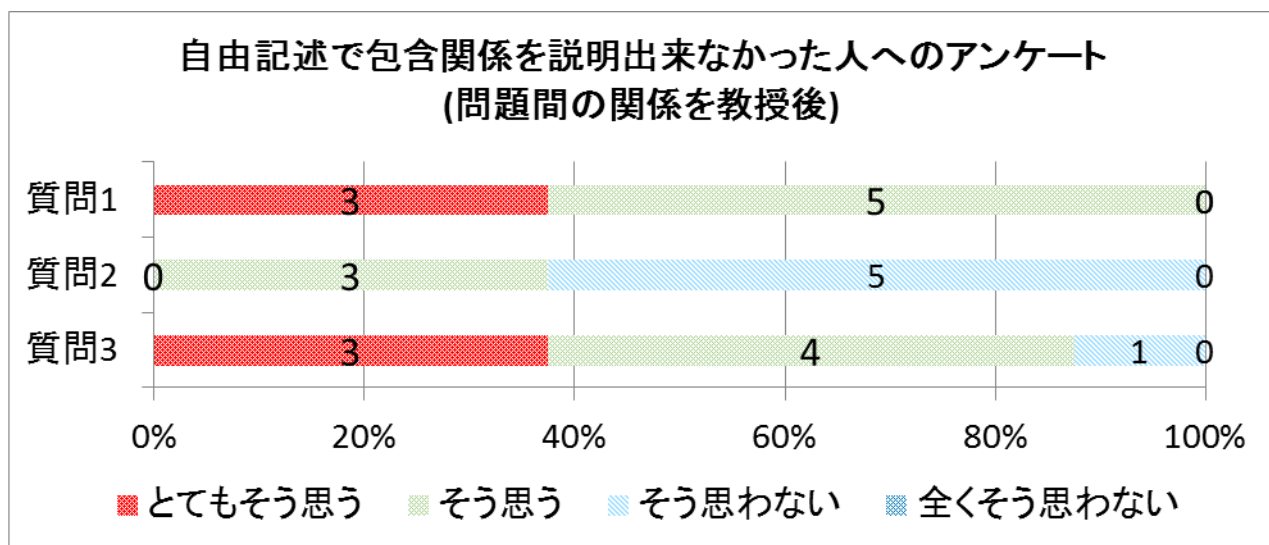


図 4-9 「解法の単純化・複雑化」における自己説明への追加アンケート結果

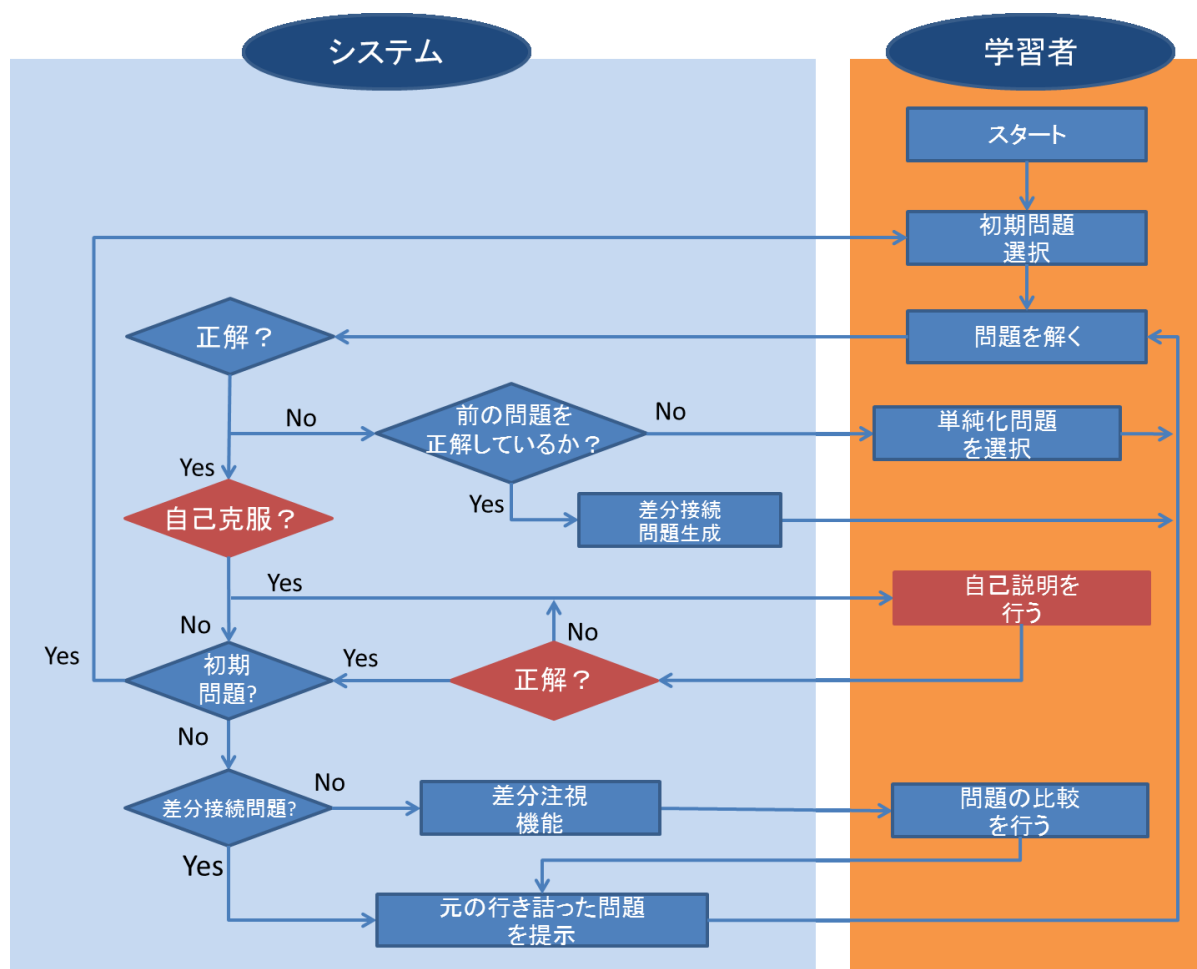


図 4-10 拡張したシステムの演習フロー

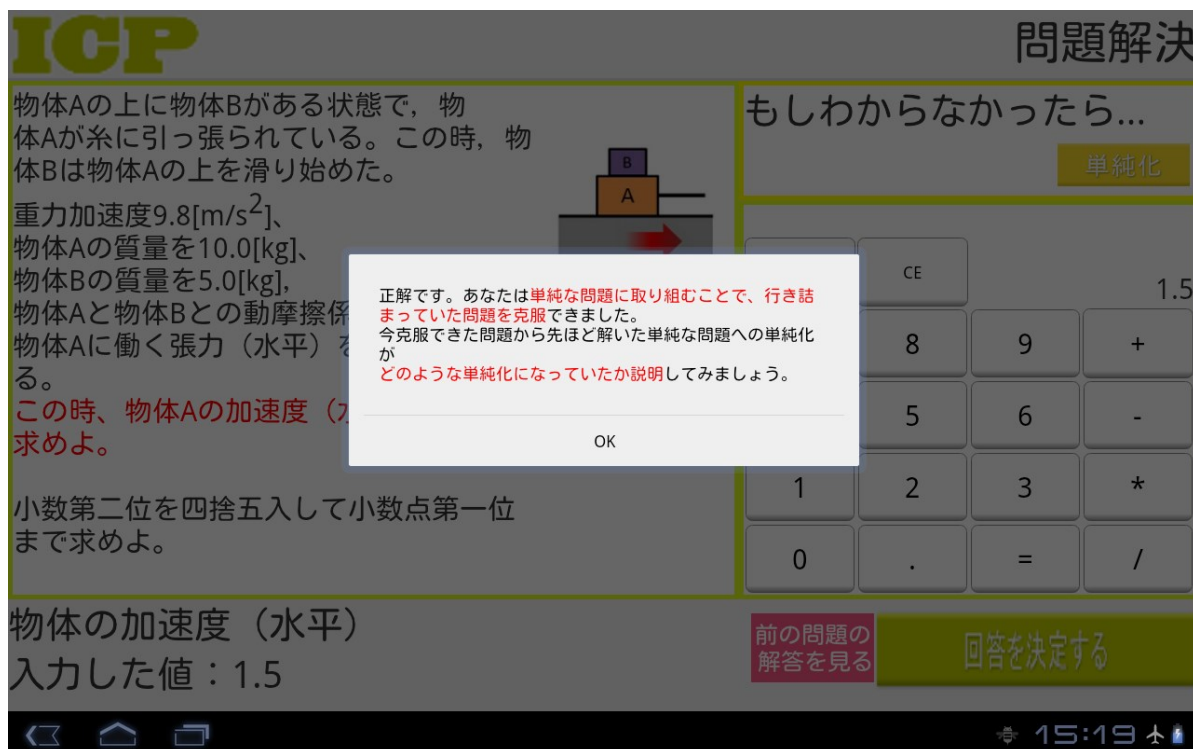


図 4-11 学習者が自己克服した後の画面

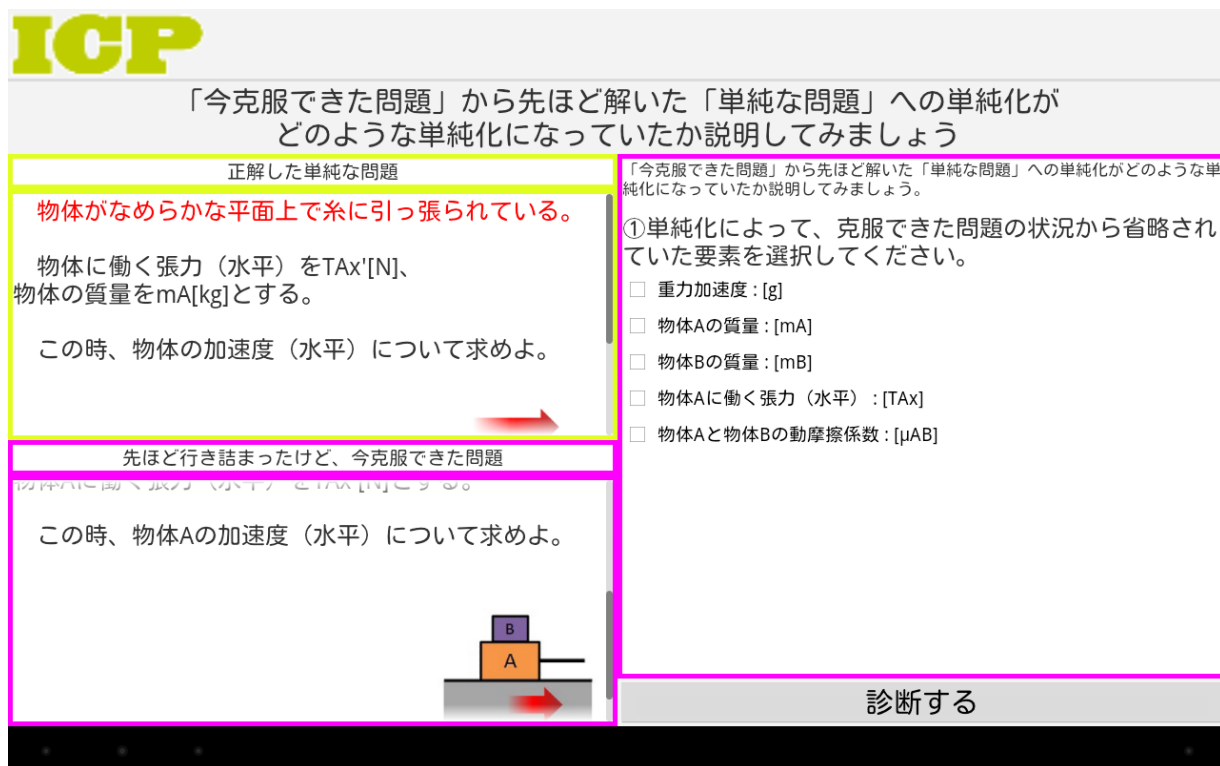


図 4-12 「状況の単純化・複雑化」における自己説明画面 1

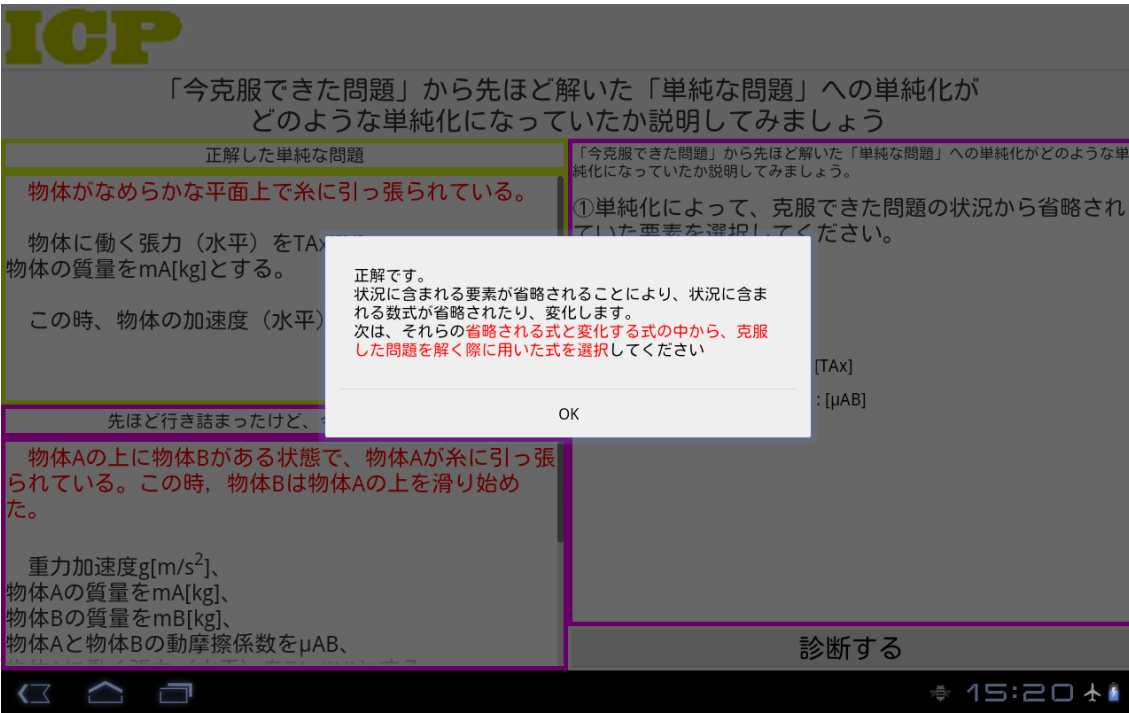


図 4-13 「状況の単純化・複雑化」における自己説明画面 1 の診断画面

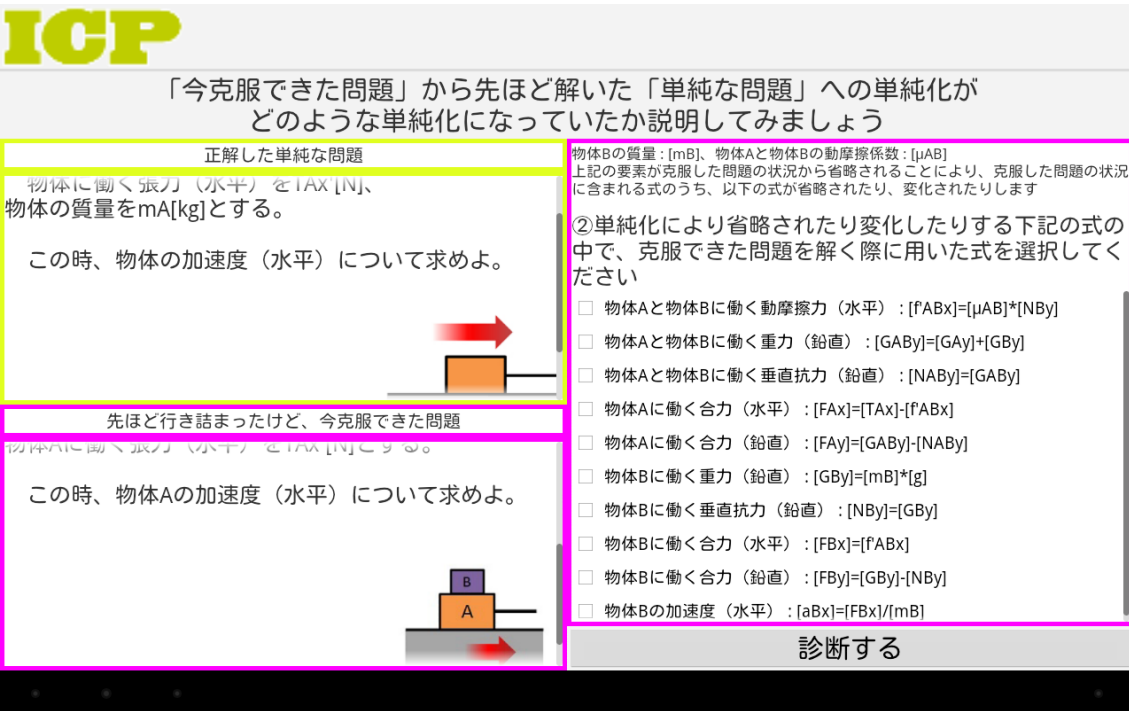


図 4-14 「状況の単純化・複雑化」における自己説明画面 2

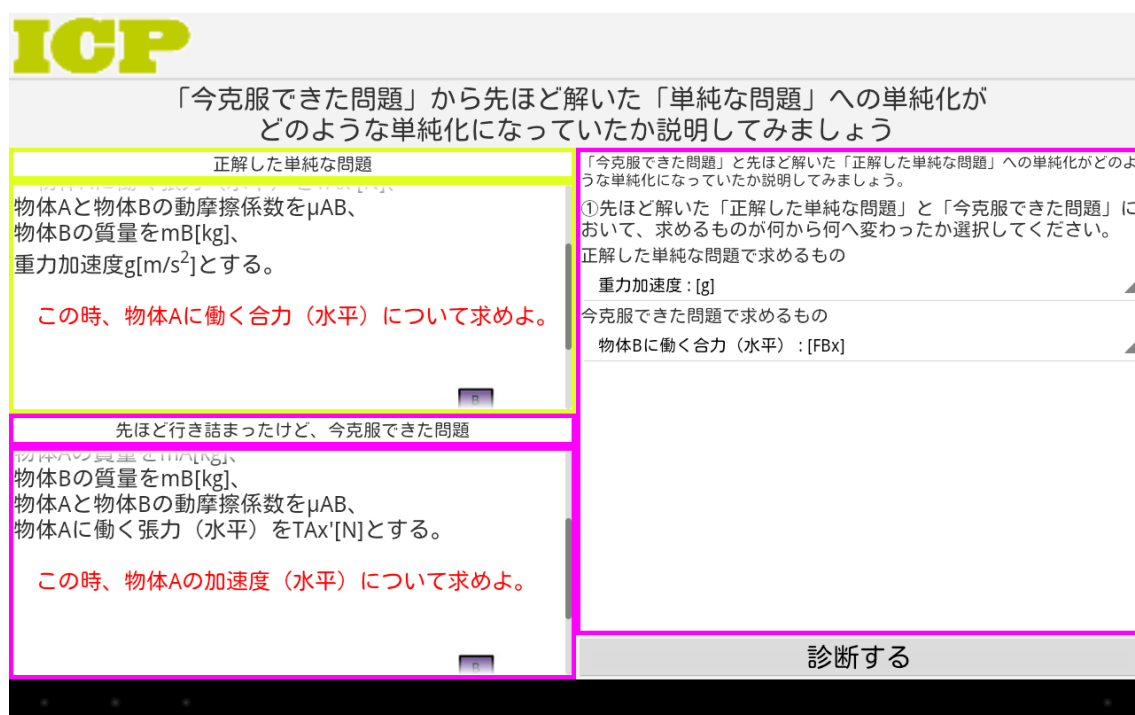


図 4-15 「解法の単純化・複雑化」における自己説明画面 1

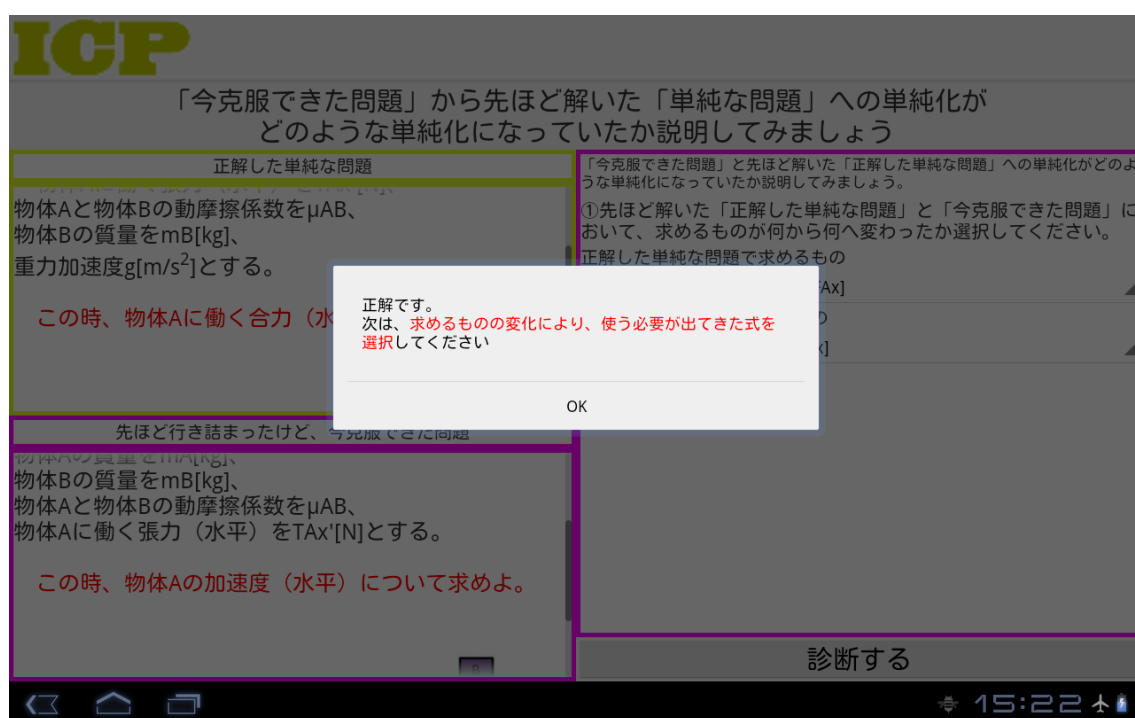


図 4-16 「解法の単純化・複雑化」における自己説明画面 1 の診断画面

ICP

「今克服できた問題」から先ほど解いた「単純な問題」への単純化が
どのような単純化になっていたか説明してみましょう

正解した単純な問題

物体Aと物体Bの動摩擦係数を μ_{AB} 、
物体Bの質量を $m_B[\text{kg}]$ 、
重力加速度 $g[\text{m/s}^2]$ とする。

この時、物体Aに働く合力（水平）について求めよ。



先ほど行き詰まったけど、今克服できた問題

物体Aと物体Bの動摩擦係数を μ_{AB} 、
物体Aに働く張力（水平）を $T_{Ax}'[\text{N}]$ とする。

この時、物体Aの加速度（水平）について求めよ。



正解した単純な問題で求めるものは、物体Aに働く合力（水平）で、
今克服できた問題で求めるものは、物体Aの加速度（水平）です

②求めるものが変わったことにより、使う必要が出てくる式を以下から選択してください。

☐ 物体Aに働く重力（鉛直）： $[G_{Ay}] = [m_A] * [g]$

☐ 物体Aに働く垂直抗力（鉛直）： $[N_{Ay}] = [G_{Ay}]$

☐ 物体Aと物体Bに働く動摩擦力（水平）： $[f_{ABx}] = [\mu_{AB}] * [N_{By}]$

☐ 物体Aと物体Bに働く重力（鉛直）： $[G_{ABy}] = [G_{Ay}] + [G_{By}]$

☐ 物体Aと物体Bに働く垂直抗力（鉛直）： $[N_{ABy}] = [G_{ABy}]$

☐ 物体Aに働く合力（水平）： $[F_{Ax}] = [T_{Ax}] - [f_{ABx}]$

☐ 物体Aに働く合力（鉛直）： $[F_{Ay}] = [G_{ABy}] - [N_{ABy}]$

☐ 物体Bに働く重力（鉛直）： $[G_{By}] = [m_B] * [g]$

☐ 物体Bに働く垂直抗力（鉛直）： $[N_{By}] = [G_{By}]$

☐ 物体Bに働く合力（水平）： $[F_{Bx}] = [f_{ABx}]$

☐ 物体Bに働く合力（鉛直）： $[F_{By}] = [G_{By}] - [N_{By}]$

診断する

図 4-17 「解法の単純化・複雑化」における自己説明画面 2

48

第5章 実験的利用

前章の自己説明機能の妥当性，及び有用性について検証するために，システムが提示する力学の問題を解ける大学生・大学院生を対象に予備実験を行い，高等専門学校で実験的利用として，物理の授業において1時限利用した．本章ではそれらについて報告する．

5.1 大学生を対象とした予備実験

システムが提示する力学の問題を解ける大学生・大学院生を対象に，本研究で開発した自己説明機能の妥当性及び有用性の検証を行った．本予備実験での被験者は第4章での「自己克服に対する自己説明の困難さを測る実験」の被験者と同一になる．

5.1.1 目的・方法

本実験的利用の目的は，(1)本研究における自己説明機能を用いた自己説明は，問題の単純化に対しての自己説明になっている，(2)本研究における自己説明機能を用いることは，自己説明をする助けになる，ことの検証である．

・被験者

工学系の大学生，5名．

工学系の大学院生，12名

・手順

本実験は，工学系の大学生・大学院生を対象に，開発した自己説明機能を用いて，その妥当性および有用性を調査した．自己説明をするにあたって，被験者はシステムが提示する問題は解けるため，被験者にわざと問題の単純化と自己克服を行ってもらうことで，自己説明機能の評価を行ってもらっている．

実施は，筆者と共同研究を行っている学生の計2名で行っている．手順は，問題間の関係性が「状況の単純化・複雑化」，「解法の単純化・複雑化」である問題のペア2組に対して，それぞれシステムを用いた演習(12分)，アンケート(3分)で行った．用いた問題のペアは，

自然言語とシステムによる自己説明の比較を行いたかったため、前章の図 4-4、図 4-5 とした。アンケート内容は、表 5-1 に示す。

5.1.2 結果・分析

アンケート結果は図 5-1 および図 5-2 となる。また、各項目に対して「とても思う」「そう思う」を肯定的意見、「そう思わない」「とてもそう思わない」を否定的意見として符号検定を行った結果を表 5-2、表 5-3 に示す。

状況の単純化問題を用いて自己克服したときの自己説明機能の結果(図 5-1)においても、解法の単純化問題を用いて自己克服したときの自己説明機能の結果(図 5-2)においても、質問 1 の機能の妥当性を問うものに対して、肯定的意見が多数見られ、有意差も見られている。質問 2 ではシステム上での自己説明の大変さを問うているが、大変だという意見が多数見られ、統計的有意差は見られなかった。このことから、システムが提示する問題を解ける被験者にとっても、自己説明を大変だと考える人もいることが伺える。しかし、質問 3 や 4 の機能を用いるときと用いないときの比較では、1%有意で肯定的意見が見られた。

以上より、自己説明機能は単純化の説明になっており、また、問題を解ける人にとって機能は問題間が包含関係であることを自己説明する助けになることがわかる。問題間が包含関係であることを認識することは自己克服活動においてメインの活動となるため、自己説明機能は自己克服の説明であると言え、問題を解ける人にとって機能は自己克服活動へ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

前節での実験は、システムが提示する問題を解ける被験者を対象としていたため、被験者は実際に自己克服を行ってはおらず、その活動のプロセスをなぞっただけである。そこで、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活動に対する自己説明を促すものになっているかどうかの検証を行った。

5.2.1 目的・方法

本実験の目的は、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活動に対する自己説明に有用であるかどうかを検証することである。

被験者

商船系高等専門学校 3 年生の学生、1 クラス 30 名。

手順

実験的利用は、高等専門学校で物理の授業1時限を用いて実施した。

本実験的利用は、筆者と共同研究を行っている学生の計2名、加えて補助員として同研究室の学生2名の合計4名でシステム利用の補助を行った。手順は、メタ認知能力調査(3分)、自己効力感・内的動機付けの調査(3分)、単純化方略の手順の教授(5分)、システムの操作説明(5分)、システム演習(30分)、フロー調査(3分)、システムアンケート(8分)で行った。学習者は既に初等力学について学んでおり、システムで用いた初期問題を解くための知識は習っている。実験的利用の様子は、図5-3に示す。いずれも集中して取り組んでいる様子がわかる。

行ったメタ認知能力調査は、アンケートからメタ認知能力を4段階で点数化しており、調査紙は問題解決をする際のメタ認知的思考を測る尺度の作成を試みている研究のものに質問項目21を加えたものを用いている[24]。自己効力感・内的動機付けの調査も、他の研究同様、アンケートから6段階で点数化をしており、自己調整学習の調査のために作成されたMSLQを用いている[25]。これらの調査紙の内容は付録に記載する。単純化方略の手順の教授は、方略の手順を記載した紙を学習者に渡し、読んでもらった。フロー調査は、学習者がシステム演習中、どの程度フロー状態にあったかを測るもので、調査紙はshort-FFSを用いている[26]。質問項目は、フロー体験に関するもの10項目、重要性認知に関するもの3項目(7段階)から構成される。これについても付録に記載する。システムアンケートの内容は表5-4に示す。アンケートは、質問(1)~(3)は問題間の関係性を意識できているかを問う質問項目、質問(4)、(5)は自己説明機能に関する質問項目、質問(6)はシステムの特徴を問う項目、質問(7)はシステムの意図がわかっているかを問う質問項目、(8)~(10)はシステムを通しての所感を問う項目になっている。

5.2.2 結果・分析

アンケートの回答に不備がある被験者を除き、29名を有効データとする。

システムのログデータを分析したところ、学習者の学習活動の振る舞いを表5-9のように分類できた。自己克服型学習者が9割以上存在していることから、本システムによる自己克服支援の妥当性を再確認出来たとともに、本実験の被験者が自己克服に対する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。

メタ認知能力の平均は2.7(S.D.=0.81)であり、自己効力感の平均は3.03(S.D.=1.15)、内的動機付けの平均は3.54(S.D.=1.28)であった。これらのスコアは、学習者が「メタ認知」「動機付け」「行動」に能動的に関与できるかどうかである自己調整能力と関わっており、また、学習者は全員、支援ありではあるが、単純化方略を経験するという「行動」に関与していると言える。そこで、平均より高いスコアの学習者群を上位群、低い学習者群を下位群としたとき、メタ認知能力上位群かつ自己効力感上位群かつ内的動機付け上位群を自

自己調整能力上位群，メタ認知能力下位群かつ自己効力感下位群かつ内的動機付け下位群を自己調整能力下位群，それ以外を自己調整能力中位群とした．メタ認知能力と動機付けの評価は学習者による主観評価であるが，これは他の研究同様の評価方法である[25] [28][28]．自己調整能力上位群は 7 名，中位群は 14 名，下位群は 8 名であった．第 2 章で述べたように，自己克服活動は自己調整活動の一つであるため，自己調整能力が高い学習者ほど自己克服への自己説明を行いやすく，受け入れられやすい可能性が高いと言える．

システムアンケートの結果を図 5-4 に示す．また，各項目に対して「とてもそう思う」「そう思う」を肯定的意見，「そう思わない」「とてもそう思わない」を否定的意見として符号検定を行った結果を表 5-5 に示す．質問(1)~(3)の問題間の関係性を意識できているかを問う項目は肯定的意見が多数見られ，有意差もある．質問(4)，(5)の自己説明機能に関する質問項目も肯定的意見が有意に多い．質問(6)については，表 5-6 のような意見が見受けられた．自身が行き詰まった理由がわかる等の単純化方略の目的について述べることでできた学習者が 6 名存在している．質問(7)はシステムの意図がわかっているかを問う質問項目についても有意的に肯定的意見が多数見られた．質問(8)~(10)はシステムを通しての所感を問う項目は，質問(9)，(10)に関して有意差が見られなかった．そこで，質問(9)，(10)を自己調整能力上位群，中位群，下位群に分けて再集計した．その結果を図 5-5，5-6 に示す．自己調整能力が高い学習者は，本システムをより肯定的に捉えていることがわかる．

システム演習中のフロー調査の結果を表 5-7 に示す．フロー体験とはフロー体験に関する項目の値の被験者全員の平均であり，重要性認知とは重要性認知に関する項目の値の被験者全体の平均である．表 5-8 は参考値であるが，自己調整能力に関わらず，本システムを用いた活動に対するフロー体験のスコアと重要性認知のスコアが高い水準であることがわかる．また，自己調整能力上位群・中位群・下位群で，分散分析を行ったところ，1%有意であった($F=12.75$)．そこで，下位検定である多重比較検定を行ったところ，自己調整能力上位群は中位群・下位群に比べて，有意にフロー体験のスコアが高かった($q=4.91$, $q=4.29$)．

また，システムの自己説明機能のログデータを分析したところ，自己説明に取り組んだ学習者は 28 名で，1 回でも最後まで自己説明を行えた学習者は 21 名であった．最後まで自己説明を行えた回数の一人当たりの平均は 2.03 回($S.D.=2.02$)であり，自己説明中の不正解の回数の一人当たりの平均が 49.07 回($S.D.=52.70$)であった．この結果についても自己調整能力上位群，中位群，下位群に分けて再集計を行った．最後まで自己説明を行えた回数の一人当たりの平均は，上位群，中位群，下位群でそれぞれ 1.57 回 ($S.D.=0.97$)，2.29 回 ($S.D.=2.40$)，2 回($S.D.=2.14$)であった．分散分析を行ったところ，これらのスコアに有意差は見られなかった．上位群で自己説明を最後まで行えた回数が少ないのは，自己調整能力が高い学習者は問題の単純化をあまり行わず，比較的複雑な問題に取り組んでいたからだと考えられる．自己説明中の不正解の回数の一人当たりの平均は，上位群，中位群，下位群でそれぞれ 30 回 ($S.D.=24.74$)，34 回($S.D.=37.73$)，92.13 回($S.D.=70.74$)であった．分散分析を行ったところ，5%有意であり($F=4.67$)，下位検定である多重比較検定を行った

ところ、自己調整能力上位群と下位群、中位群と下位群で 5%有意であった($q=-2.56$, $q=-2.80$)。自己調整能力の高低で自己説明時の不正解の回数の一人当たりの平均に差はあったが、自己調整能力上位群の不正解の回数の平均でさえ 30 回ということから、学習者は考えずに回答しているように見える。しかし、自己説明における探索空間は広い。例えば、多くの学習者が解いた図 4-4 の問題のペアに対する自己説明では、省略されるモデル化仮定を答える段階では 32 通り、モデル化仮定が省略されることにより影響を受ける解法を選ぶ段階では 1024 通りもの探索空間があるため、自己調整能力上位群の不正解の回数が 30 回であることは、学習者が考えながら回答しなければ出てくる数値ではない。これらのことから、まだまだ機能に改善の余地はあるものの、自己調整能力が高い学習者ほど違和感なく自己説明を行えたと言え、自己調整能力中位群の学習者も上位群と変わらない結果を出していることから、自己説明機能は自己調整能力をある程度持つ学習者に対して、有用である可能性が高いことがわかる。

5.3 考察

工学系大学生・大学院生による実験的利用では、「単純化」がどのようなものかを知っており、システムが提示する問題を解ける被験者に対して、システムを用いた自己説明が「単純化」の説明として妥当なものになっているかどうかのアンケートを行い、有意的に肯定的意見を多数得られている。単純化がどのようなものかを認識することは自己克服活動においてメインの活動となるため、「単純化」について説明することは「自己克服」を説明することとほぼ同義であると考えている。高等専門学校での実験的利用では、自己調整能力が高い学習者はほぼ全員、アンケートによりシステム演習を肯定的意見に捉えていることがわかり、演習中のフローのスコアも有意的に高かった。システムを用いた自己説明では、自己調整能力の高低に関わらず自己説明を最後まで行えた回数にさほど差はなかった一方、自己調整能力が高い学習者ほど自己説明の不正解数が有意的に少なかった。これは、自己克服活動は自己調整活動の一つであり、自己調整能力が高い学習者はそうでない学習者より自身の行った自己克服について理解していた可能性が高いため、そのような学習者ほど違和感なく自己克服に対する自己説明を行えていたと考えられる。高等専門学校生での実験的利用の結果をまとめると、自己克服について理解していた可能性が高い学習者は、違和感なく自己克服への自己克服を行い、演習中のフロー状態のスコアも高く、演習について肯定的に捉えていることがわかる。以上 2 つの実験結果を踏まえると、本研究で開発した機能が促している自己説明が自己克服の説明として妥当なものになっていることがわかる。

また、工学系大学生・大学院生による実験的利用におけるアンケートでは、システムを用いても自己説明を行うことは大変だったものの、機能を用いることが自己説明の助けになるとの意見が得られた。高等専門学校での実験的利用では、学習者全体のフロー状態の

スコアが低くなく、自己調整能力中位群の学習者の自己説明の不正解数が自己調整能力上位群とさほど変わらなかった。これは自己説明機能が、特に中位群の学習者に対して自己説明の助けになっていたと言える。しかし、自己調整能力上位群・中位群の自己説明の不正解数がまだまだ少なくないことや下位群に対してあまり助けになっていないことから、学習者に自身の演習状況を振り返らせる等の改善すべき点があると考えている。2つの実験結果を踏まえると、機能に改善の余地はあるものの、本機能が一部の学習者に対して有用であることがわかる。

以上をまとめると、システムが提示する問題を解ける大学生・大学院生による実験的利用や高等専門学校 학생による実験的利用から、本研究で開発した機能が促している自己説明が自己克服の説明になっていることがわかった。また、システムが提示する問題を解ける大学生・大学院生から本機能が自己説明の助けになるとの意見が得られたことや自己調整能力を一定以上持つ高等専門学校の学生が機能を用いて自己説明を行っていたことから、機能に改善の余地はあるものの、本機能が一部の学習者に対して有用であることが示された。

今後の展望としては、学習者に対して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見せ、自身の活動について振り返らせる機能の開発等を行う必要があると考えている。また、自己説明機能が自己説明を促すものとして有用であることは確認できたものの、自己克服への理解にどれほど有効かは定かではないため、自己説明機能による学習効果の検証を行うことや、そもそも自己克服を行えない学習者に対しての支援の考案も行う必要があると考えている。

表 5-1 予備実験のアンケート内容

番号	アンケート項目
質問 1	システムを用いた自己説明は、「単純化」の説明として妥当なものになっていたと思いますか？
質問 2	システム上で、「単純化」について説明することは、大変でしたか？
質問 3	システムを用いることで、用いないときよりも、「問題間に包含関係がある」ことを詳細に説明できましたか？
質問 4	システムを用いることは、「問題間に包含関係がある」ことを説明する助けになりましたか？

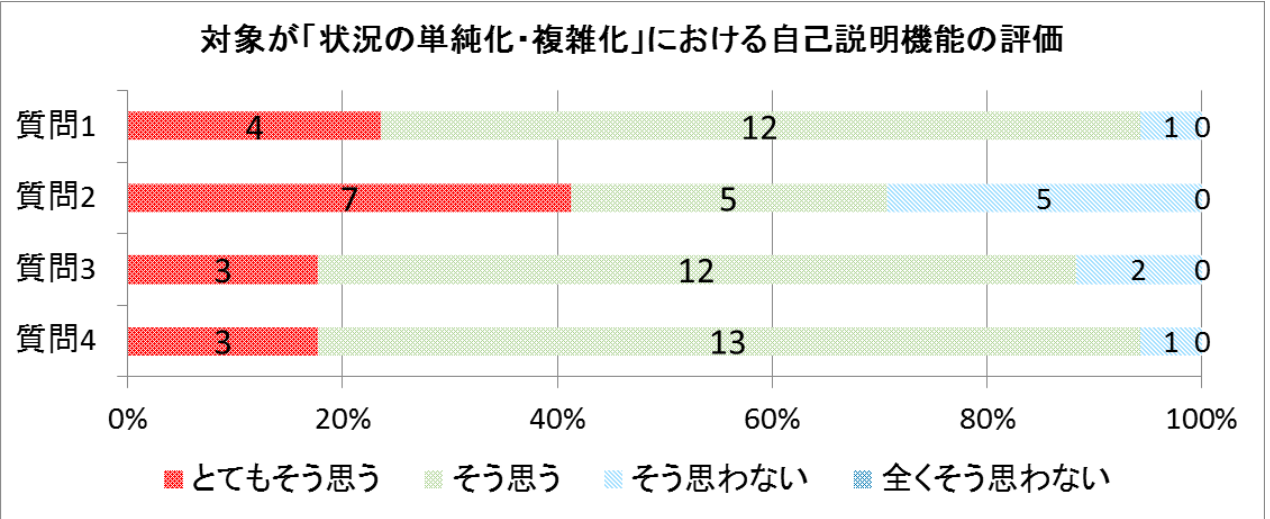


図 5-1 予備実験での「状況の単純化・複雑化」における自己説明機能の評価

表 5-2 各質問の符号検定の結果

質問番号	カイ 2 乗値	有意差
質問(1)	11.53	**
質問(2)	0.24	ns
質問(3)	8.47	**
質問(4)	11.53	**

※ **…1%有意 *…5%有意 ns…有意差なし

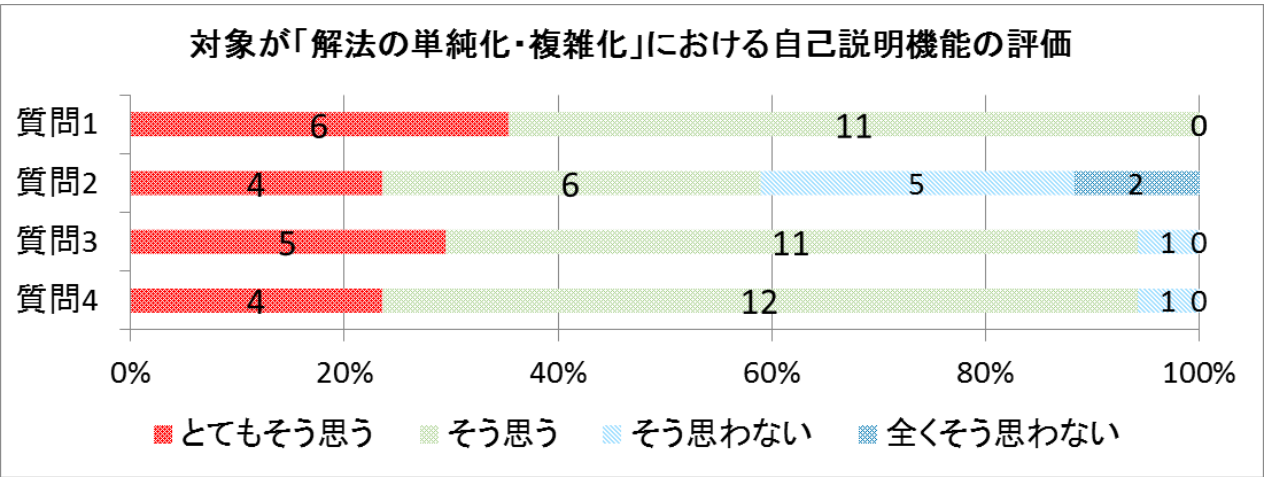


図 5-2 予備実験での「解法の単純化・複雑化」における自己説明機能の評価

表 5-3 図 5-2 の各質問の符号検定の結果

質問番号	カイ 2 乗値	有意差
質問(1)	15.06	**
質問(2)	0.24	ns
質問(3)	11.53	**
質問(4)	11.53	**

※ **…1%有意 *…5%有意 ns…有意差なし



図 5-3 実験的利用の様子

表 5-4 学習者へのシステムアンケート内容

質問番号	質問内容
(1)	間違えたあとに出てくる問題は、間違えた問題よりも簡単になっていましたか？
(2)	正解した後に出题された問題を解くとき、正解した問題を参考にしましたか？
(3)	間違えた後に出てくる問題を解くことで、間違えた問題を解くのに役立ちましたか？
(4)	「単純化」がどのようなものかを説明する機能を用いることで、「単純化」への理解が深まりましたか？
(5)	本システムを用いて演習を行うことで、本日読んで頂いた資料に記載してあった単純化方略の手順を追う経験ができましたか？
(6)	過去に利用したことのある問題集（プリントなど）と比べて、このシステムは具体的にどの部分が良かったですか？(自由記述)
(7)	問題演習に行き詰まった時、システムで提示していた単純化した問題を解くことに意味があると思いますか？
(8)	このシステムは使いやすかったですか？
(9)	このシステムを使ったことで力学に対する印象が良くなると思いますか？
(10)	今後もこのような問題演習を行ってみたいと思いますか？

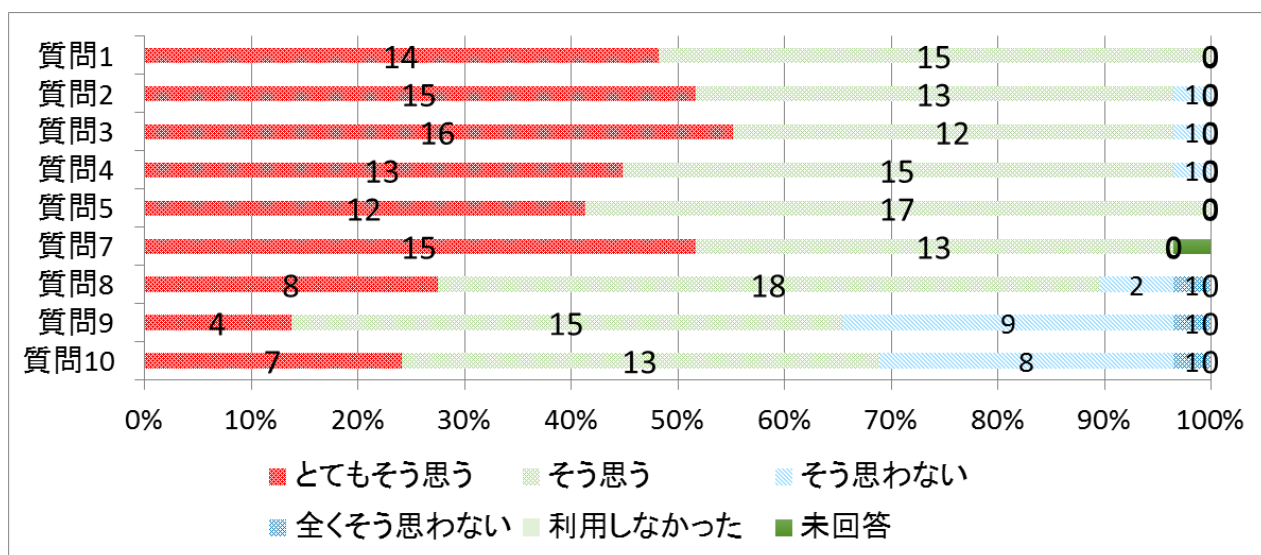


図 5-3 学習者へのシステムアンケート結果

表 5-5 学習者へのシステムアンケートの各質問の符号検定の結果

質問番号	カイ二乗値	有意差
質問 1	27.03	**
質問 2	23.31	**
質問 3	23.31	**
質問 4	23.31	**
質問 5	27.03	**
質問 7	26.04	**
質問 8	16.69	**
質問 9	2.21	ns
質問 10	3.45	ns

※ **…1%有意 *…5%有意 ns…有意差なし

表 5-6 質問(8)の回答

回答内容	人数
解説がわかりやすかった	2
問題を単純化する	13
行き詰まりの原因を把握できる	6
問題間の差分を答えさせたところ	1
自分にあった問題ができる	2
その他（特に無し，解き方を覚えられる等）	4

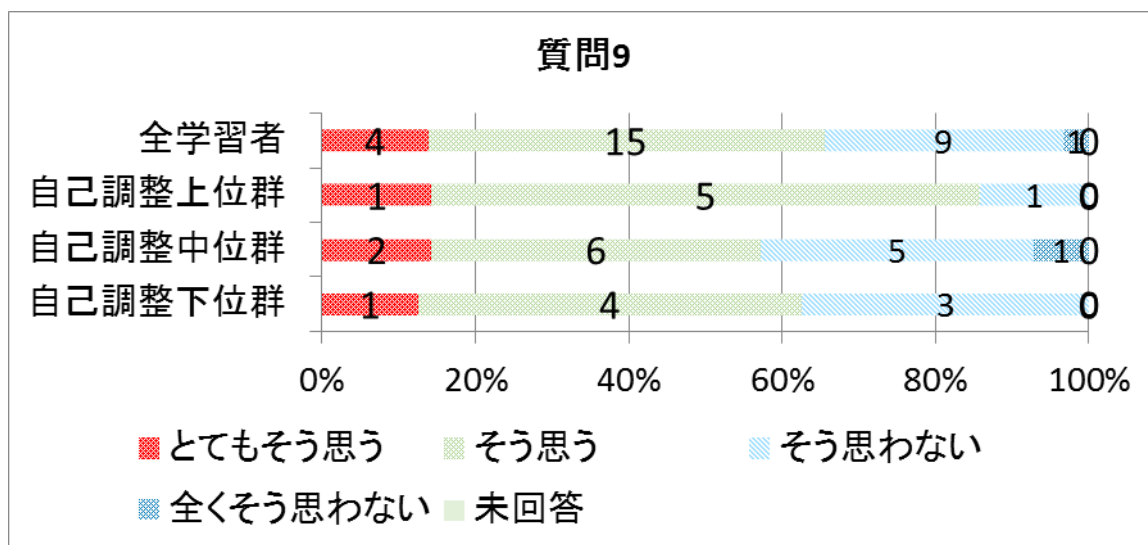


図 5-4 システムアンケートの質問(9)の再集計結果

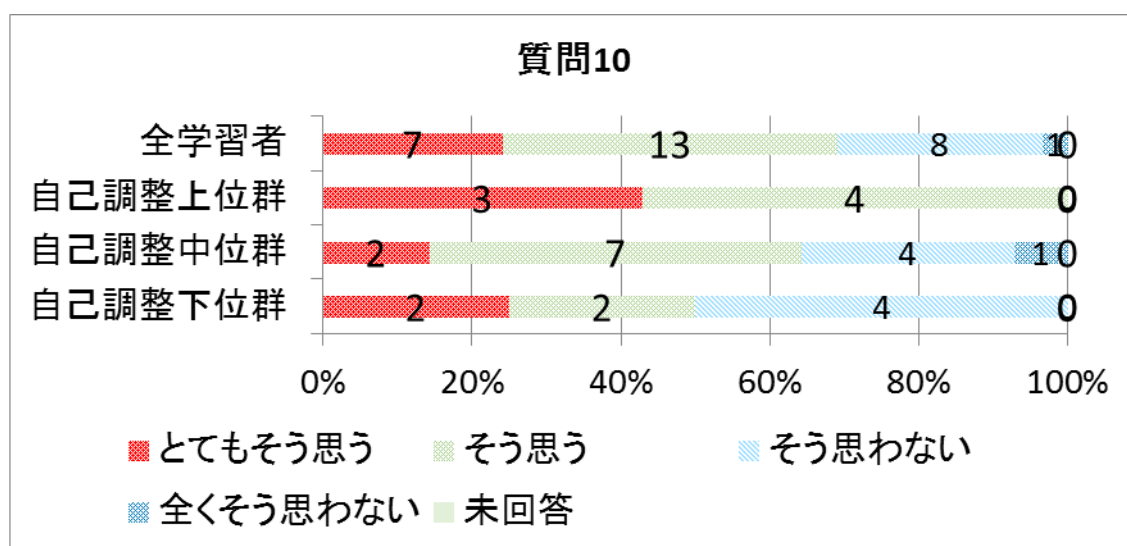


図 5-6 システムアンケートの質問(10)の再集計結果

表 5-7 フロー調査の結果

	フロー体験	重要性認知
全学習者	4.54	3.41
自己調整能力上位	5	4
自己調整能力中位	4.4	3.12
自己調整能力下位	4.39	3.42

表 5-8 参考：様々な活動でのフロー体験

		フロー体験	重要性認知
統計学の授業 (必修)	平均	4.60	3.45
	標準偏差	1.16	1.44
パックマン (難易度中)	平均	5.21	1.43
	標準偏差	1.03	0.83
フランス語の 授業 (任意)	平均	4.12	2.45
	標準偏差	1.10	1.46

表 5-9 学習者のタイプ分類

学習者のタイプ	人数	全体に対する割合
単純化なしで 初期問題に正解	2 人	6.7%
自己克服型学習者	28 人	93.3%
未克服型学習者	0 人	0%
後進・停滞学習者	0 人	0%

第6章 まとめ・今後の課題

筆者らは、実際の教育現場で単純化方略を実装したシステムの運用を行うことで、単純化方略による問題解決行き詰まりの自己克服支援の有効性を確認している。しかし、システムによる誘導ありで自己克服を行った学習者が、本当に自己克服について理解していたかは疑問が残る。そこで本研究では、自己克服を行った学習者を対象に、学習者自身が行った自己克服を理解させることを指向して、自己克服に対する自己説明機能を設計・開発し、既存の単純化方略を用いたシステムに組み込んだ。

また、開発したシステムを大学生・大学院生を対象に試験的に用いた後、実際の教育現場で実験的に運用した。その結果、開発した機能が自己克服を説明するものになっていたこと、また、自己調整能力が一定の水準に達する学習者に対して、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、学習者に対して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見せ、自身の活動について振り返らせる機能の開発等を行う必要がある。また、自己説明機能が自己説明を促すものとして有用であることは確認できたものの、自己克服への理解にどれほど有効かは定かではないため、自己説明機能による学習効果の検証を行うことや、そもそも自己克服を行えない学習者に対しての更なる支援の考案も行う必要があると考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導していただいた平嶋宗教授，林雄介准教授に心から感謝致します．

ならびに，本論文の審査をして頂いた，宮尾淳一教授に感謝致します．

また，多くの意見，助言，多大な協力を頂いた倉山めぐみ助教授，山元翔助教授，武智俊平氏，前田恵介氏，並びに津守庸平氏，篠原智也氏，山田敦士氏，安田健汰氏をはじめとする学習工学研究室の皆様心から感謝致します．

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] Chi, Michelene TH, et al. "Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems." *Cognitive science* 13.2 (1989): 145-182.
- [4] 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).
- [5] 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.
- [6] バリー・J. ジーママン (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)
- [7] バリー・J. ジーママン (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)
- [8] 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)
- [9] K. Scheiter, P. Gerjets: The Impact of Problem Order: Sequencing Problems as a Strategy for Improving One Performance, *Proc. of the 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pp.798-803(2002).
- [10] 松居 辰則, 平嶋 宗: ” 学習課題・問題系列のデザイン”, 人工知能学会誌, Vol.25, No.2, pp.259-267(2010).
- [11] 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)

- [12] 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)
- [13] 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)
- [14] 東本 崇仁, 堀口 知也, 平嶋 宗: "シミュレーションに基づく学習環境における漸進的な知識獲得支援のためのマイクロワールドグラフ", 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-D, No. 2, pp. 303-313 (2008)
- [15] 林直也, 武智俊平, 篠原智哉, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗 "単純化方略を用いた失敗克服型演習と失敗要因の抽出機能", 人工知能学会全国大会 2014(JSAI2014), (2014.05).
- [16] 前田恵佑, 林直也, 篠原智哉, 山元翔, 林雄介, 堀口知也, 平嶋宗," 単純化方略を用いた初等力学学習支援システムのための教師用アナライザの設計・開発", 2014 年度 JSiSE 学生研究発表会, pp.123-124, (2015.2.28).
- [17] 濱田侑太郎, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗, "音楽リズムを対象とした誤り克服型演習支援システムの拡張と実験的評価", 2014 年度 JSiSE 学生研究発表会, pp.127-128,(2015.02.28).
- [18] 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 (2002): 147-179.
- [19] 伊藤貴昭. "自己説明効果の理論と実践." 慶応義塾大学大学院社会学研究科紀要 59 (2004): 29-36.
- [20] 平嶋宗: "学習課題の内容分析とそれに基づく学習支援システムの設計・開発 :算数を事例として", 教育システム情報学会誌 30(1), 8-19, 2013
- [21] 平嶋宗: "メタ認知の活性化支援", 人工知能学会誌 21(1), 58-64, 2006-01-01.
- [22] Cerezo, Rebeca, et al. "New media for the promotion of self-regulated learning in higher education." Psicothema 22.2 (2010): 306-315.
- [23] 吉田国子. "自己調整学習力獲得を促す e ラーニングツールー 各国の試みからー." 京都市大学環境情報学部情報メディアセンタージャナル 12 (2011): 69-73.
- [24] 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.
- [25] Pintrich, Paul R., and Elisabeth V. De Groot. "Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance." Journal of educational psychology 82.1 (1990): 33.
- [26] Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Engeser, S. "Die Erfassung des Flow-Erlebens [The

assessment of flow experience]”. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Eds.), Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept (pp. 261–279). Göttingen: Hogrefe. (2003).

- [27] 伊藤崇達. "学業達成場面における自己効力感, 原因帰属, 学習方略の関係." 教育心理学研究 44.3 (1996): 340-349.
- [28] 小川内哲生. "高校生における学業的延引行動に及ぼす動機づけ, 学習方略の影響.", 兵庫教育大学 教育実践論文集第 15 号 113-120(2014).

付録

1 実験的利用で用いたメタ認知を測るアンケート

普段問題を解くときに、以下の項目が「頭に思い浮かんでいるかどうか」を答えてください。

次の各項目に対して、

「とてもよく頭に浮かぶ」、「よく頭に浮かぶ」、「あまり頭に浮かばない」、「ほとんど頭に浮かばない」のいずれかに✓を付けてください。

- 項目 1 落ち着いて必要なことを思い出してみる
- 項目 2 この問題でわかっていることはなにか
- 項目 3 答えはどのくらいになるだろうか
- 項目 4 この問題で求めたいことは何であるか
- 項目 5 表を作ってみる
- 項目 6 問題を、もっと簡単な問題に変えられないだろうか
- 項目 7 出てきた答えが、初めの予想とあっているか
- 項目 8 もっと優しい場合で考えてみる
- 項目 9 問題に出てくる数には、決まりがあるかもしれない
- 項目 10 問題の解き方を式で表してみる
- 項目 11 簡単な数で考えてみる
- 項目 12 関係する要素を図に書き込んでみる
- 項目 13 落ち着いて考える
- 項目 14 問題を解りやすく変えてみる
- 項目 15 どんな計算になるだろうか
- 項目 16 問題の意味はわかっているか
- 項目 17 図や絵を書いてみる
- 項目 18 もう一度、元に戻って考え直してみる
- 項目 19 もう一度、図を書きなおしてみる
- 項目 20 もう少し、じっくりと考えたほうがいだろうか
- 項目 21 今解いている問題より、単純な問題を解くことが、役に立ちそう

2 自己効力感の調査紙

普段、物理を学んでいて、以下の項目を思っているかどうかを教えてください。

- | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| ☐ とてもよくあてはまる | ☐ かなりあてはまる | ☐ すこしあてはまる |
| ☐ すこしあてはまらない | ☐ かなりあてはまらない | ☐ まったくあてはまらない |
- い

質問 1 他の人と比べると、自分は物理の授業で学習する内容についてよく分かっていると思う。

質問 2 授業で教えられる内容を、自分は理解できると思う。

質問 3 物理がとても得意であると思う。

質問 4 他の人と比べると、自分はよい学習者であると思う。

質問 5 授業で出された問題や課題を、自分はうまくこなせると思う。

質問 6 自分はよい成績をとると思う。

質問 7 自分の学習能力は、他の人に比べてすぐれたものである。

質問 8 他の生徒と比べて、私は物理について幅広い知識を持っている。

質問 9 私は物理の授業に向けて、物理の教材の内容を勉強していけると思っている。

3 内的動機付けの調査紙

質問 10 新しい物事を学ぶことができるから、難しく興味のそそる課題が好きだ

質問 11 私にとって物理を勉強することは重要である。

質問 12 物理で学んでいることが好きである。

質問 13 私は物理の授業で学んだことを他の授業で使うことができると思う。

質問 14 たとえ苦勞するとわかっていても、学ぶべき章を選択して勉強することが出来る。

質問 15 たとえ、テストで良くない点数を取ったときでも、テストでの間違いから学ぼうとする。

質問 16 物理で学んでいることは、私が知って役に立つことであると思う。

質問 17 物理で学んでいることはおもしろいと思う。

質問 18 物理の内容を理解することは、私にとって重要である。

4 内的動機付けの調査紙

1. 私にとって適度な挑戦でした
2. 私の活動／思考はなめらかでスムーズでした
3. 時間が過ぎるのを忘れた
4. 集中するのが難しくなかった
5. 意識ははっきりしていた
6. 自分の行っていることに集中していた
7. 自発的に求められる思考や活動を行った
8. それぞれの段階で自分が何をすればよいか分かった
9. 自分で活動をコントロールできていると感じた
10. 夢中で考えていた
11. 自分にとって重要なことがここにあった
12. 私は間違っってはならないと思った
13. 失敗することを恐れていた