

令和4年度  
修士論文

誤答に対する共感的理解  
の演習化とシステムの設計開発

指導教員 平嶋 宗 教授

広島大学大学院 先進理工系科学研究科  
先進理工系科学専攻 情報科学プログラム

M212095

藤田 隆雅

令和5年2月6日 提出

## 概要

他者の誤答について考えることが学習において有用であることが一般に知られている。学習課題における誤答に対し、認知科学的領域の関連研究では、その誤答の多くが学習者の保有する誤った知識の利用や問題に対する誤った認識による結果として説明できることを指摘している。この方法によって他者の誤答を説明するためには、提示されている問題およびそれに対する解法を対象として振り返る思考を必要とする。このような思考は学習者が導いた誤答を単なる誤りとしてとらえるのではなく、論理的に導かれたものとしてとらえるものであり、本研究ではこれを「誤答に対する共感的理解」とした。ここで共感的理解の定義は、他者の立論を正しいものとみなし、相手の立論を辻褄が合うように解釈することとされており、この活動は他者立論を再構成するものであるといえる。これは学習上有用とされている思考である批判的思考の一種と呼ぶことができ、共感的理解を通じた活動も学習上有用であると考えられる。批判的思考の形は多様かつ不明瞭であることから、その評価は非常に難しいものといえる。一般的に知られている批判的思考と比較して、共感的理解は目標とする状態が他者の立論を再構成するという明確な動作を伴うことから定量的な評価を行うことが容易であるという特徴がある。そのため、共感的理解を学習活動として設計することができれば、他者の思考について考える活動を通じて学習課題に対してより深い理解を促すことができると考えられる。共感的理解の学習課題化のためには与えられた問題に対する学習者自身の知識を振り返ることと、それを前提として他者の立論を導くための「欠落した前提 (Missing Premise)」を推定する必要がある。また、この過程が論理的かつ計算可能である必要がある。

本研究では初等力学問題を題材として、誤答に対する共感的理解を演習化することによって共感的理解を学習活動化することを試みた。ここで初等力学問題は、あらかじめ与えられている数量である入力属性と求める数量である出力属性によって構成されており、問題の解き方はこれらの属性を関係する数量関係によって結んだものとして定義されており、これを問題内構造と呼ぶ。また、問題は単体として存在せず周辺にその問題とかわりのある複数の問題が存在している。これらの問題間の差分は問題内構造の差分を用いて定式化することができ、これを問題間構造と呼ぶ。本研究では問題内構造や問題間構造の違いによって発生する問題のとらえ方の違いに着目し

- (1) 他者の誤答が妥当といえるような問題を作問するタスク
- (2) 作問した問題と元の問題の差分を説明するタスク

## 概要

を演習として設計した。またこの演習をタブレット上で動作するシステムとしてその開発を行った。問題内構造や問題間構造は、数量関係によって構築される情報構造としてとらえることができるため、欠落した前提を計算可能な形で表現できると考えた。例えば本システムでは摩擦のある斜面を物体が滑り落ちているときの物体の加速度を求める問題を取り扱っているが、この問題に対する誤った解を導く根拠や考え方、つまり学習者にとっての欠落した前提の一つとして「考慮すべき数量関係である動摩擦力を省略してしまう」ことが挙げられる。学習者がこの欠落した前提を見つけたうえで、他者の解答が正答となるような問題をもとの問題がもつ問題内構造や問題間構造との違いから作問することによって共感的理解を達成できると考えた。これらのタスクを演習として学習者に実行してもらうことで、初等力学の問題に対し、問題を解くことのできる状態から問題の解き方を説明できる状態への移行に対する支援を行う。また、システムが利用可能であるか、システムが共感的理解を課題化できていたかどうか調査するため大学生および大学院生に対し実験的利用を行った。その結果、システムのログデータから被験者にとってシステムが提供する演習が自明なものではなかったこと、アンケートの結果からシステムの妥当性や将来性に対して肯定的な意見を多く得られたことからシステムが必要なものであり、また共感的理解の課題化を本システムの形で実現することができた。

# 目次

概要.....	ii
目次.....	iv
図索引.....	vi
表索引.....	vii
第1章 はじめに.....	1
第2章 問題の単純・複雑関係.....	3
2.1 問題内構造.....	3
2.2 問題間構造.....	3
2.3 問題における単純・複雑の関係.....	4
2.4 単純化の定義.....	4
2.5 特殊化・一般化問題.....	5
2.6 部分化・拡張化問題.....	5
2.7 単純化方略.....	5
2.8 単純化方略を用いた学習支援システム ICP.....	6
2.9 差分演習説明システム.....	6
第3章 共感的理解.....	16
3.1 共感的理解の概要.....	16
3.2 成功的教育観に基づいた活動.....	17
第4章 提案手法および提案システム.....	19
4.1 誤答に対する共感的理解.....	19
4.2 システムの概要.....	20

## 目次

4.3	誤答を正答とする問題作問演習 .....	21
4.4	元の問題と作問問題の差分説明演習 .....	22
第5章	大学生・大学院生を対象としたシステムの実験的利用 .....	29
5.1	目的・手順 .....	29
5.2	結果・分析 .....	29
5.3	考察 .....	30
5.3.1	ログデータからの分析 .....	30
5.3.2	アンケートからの分析 .....	31
第6章	まとめ・今後の課題 .....	35
	謝辞 .....	36
	参考文献 .....	37
	付録 .....	38

## 図索引

図 1 単純な問題と差分抽出のイメージ.....	8
図 2 問題と解法構造.....	8
図 3 特殊化・一般化の例.....	9
図 4 マイクロワールドグラフの一例.....	10
図 5 モデル化仮定とモデル.....	10
図 6 部分化・拡張化の例.....	11
図 7 ICP の問題演習フロー.....	12
図 8 問題演習画面.....	12
図 9 単純化問題の選択画面.....	13
図 10 可視化された問題間構造図と問題選択の画面例.....	13
図 11 問題比較画面.....	14
図 12 差分比較演習システムでの演習の流れ.....	15
図 13 共感的理解の図式.....	18
図 14 誤答に対する共感的理解の例.....	23
図 15 図 14 の問題と成立している数量関係の対応図.....	23
図 16 誤答に対する共感的理解の演習システムの流れ.....	24
図 17 演習で取り扱う問題状況のネットワーク図.....	25
図 18 誤答を正答とする作問演習画面(状況の単純化).....	26
図 19 誤答を正答とする作問演習画面(解法の単純化).....	26
図 20 誤答を正答とする作問演習画面(状況の単純化・複雑化の複合).....	27
図 21 元の問題と作問問題の差分説明演習画面(状況の単純化).....	27
図 22 元の問題と作問問題の差分説明演習画面(解法の単純化).....	28
図 23 元の問題と作問問題の差分説明演習画面(状況の単純化・複雑化複合).....	28
図 24 アンケート結果.....	34

## 表索引

表 1 アンケート内容.....	33
表 2 各問題の解答時間平均・正誤判定数平均.....	33
表 3 アンケートにおける二項検定の結果.....	34

## 第1章 はじめに

他者の思考について考えることが学習において有用であることが一般に知られているが、その評価は難しいとされている。この活動は批判的思考として広く認知されているが、その活動形態は多岐にわたり、かつ実行されたかを判断する基準があいまいであることにその原因があるとされている。先行研究[1]はこれを解決する方策として共感的理解を取り上げ、その学習課題化について提案している。共感的理解とは、他者の立論を正しいものとみなし、相手の立論を辻褄が合うように解釈することである。この活動は他者の立論を再構成することと同等であり、これは批判的思考の一つであるといえる。共感的理解は一般的に認識されている批判的思考と比較して、目標とする状態が他者の立論を再構成するという、明確な動作を伴うことから定量的な評価が容易に行えるという特徴がある。共感的理解の学習課題化が実現すれば、他者の思考について考える活動を通じて、従来の学習方法とは異なった視点から学習教材に対するより深い理解を促すことができると考えられる。

本研究では共感的理解の演習課題化のため、共感的理解の実行例の一つとして「誤答に対する共感的理解」を定義し、この活動の演習化および演習システムの開発に着手した。「誤答に対する共感的理解」とは相手の答え(誤答)が再現できる問題の認識や問題解決の知識を見つける活動のことである。ここで、学習課題における誤答に対し、認知科学的領域の関連研究では、その誤答の多くが学習者の保有する誤った知識の利用や問題に対する誤った認識による結果として説明できることを指摘している。この方法によって他者の誤答を説明するためには、提示されている問題およびそれに対する解法を対象として振り返る思考を必要とする。このような思考は学習者が導いた誤答を単なる誤りとしてとらえるのではなく、論理的に導かれたものとしてとらえるものであり、本研究ではこれを「誤答に対する共感的理解」とした。共感的理解の学習課題化のためには与えられた問題に対する学習者自身の知識を振り返ることと、それを前提として他者の立論を導くための「欠落した前提(Missing Premise)」を推定する必要がある。また、この過程が論理的かつ計算可能である必要がある。

本研究では初等力学問題を題材として、誤答に対する共感的理解の演習を行うことにより、初等力学の問題に対するより深い理解を促すことを目標とした。ここで初等力学問題は、あらかじめ与えられている数量である入力属性と求める数量である出力属性によって構成されており、問題の解き方はこれらの属性を関係する数量関係によって結んだものとして定義されている[2]。これを問題内構造と呼ぶ。また、問題は単体として存在せず周辺にその問題とかわりのある複数の問題が存在している。これらの問題間の差分は問題内構造

はじめに

の差分を用いて定式化することができ、これを問題間構造と呼ぶ。本研究では問題内構造や問題間構造の違いによって発生する問題のとらえ方の違いに着目し

(1) 他者の誤答が妥当といえるような問題を作問するタスク

(2) 作問した問題元の問題の差分を説明するタスク

を演習として設計した。またこの演習をタブレット上で動作するシステムとしてその開発を行った。また、システムの可用性や妥当性を検証するため情報系大学生および大学院生に対して実験的利用を行ったためその結果についても報告する。まず第 2 章では先行研究で定義された初等力学問題の問題内構造や問題間構造、およびそれらの構造によって定義された問題の単純複雑関係とその利用例について述べる。第 3 章では共感的理解とその学習課題化についての先行研究について述べる。第 4 章では本研究で定義した誤答に対する共感的理解の概要や開発した誤答に対する共感的理解の演習システムについて述べ、第 5 章ではシステムを情報系大学生、大学院生に対し実験的に利用した結果について述べる。

## 第2章 問題の単純・複雑関係

本研究は初等力学問題を対象とした誤答に対する共感的理解を演習化するため、問題の解き方を情報構造としてとらえることとした。また、他者の誤った解答を導くための「欠落した前提(Missing Premise)」を情報構造の違いによって表現することとした。本章では、本研究で演習化する活動で取り入れる問題の情報構造や、この情報構造の差分を定式化した例として定義された問題の単純・複雑関係、およびこの単純複雑関係を学習活動において演習化した先行研究について述べる。

### 2.1 問題内構造

先行研究[2]では、力学の問題を

- (1)問題文中に明記されたオブジェクト属性およびオブジェクト間の関係を表した表層構造
- (2)問題における解を導出するためのパラメータやそれらを結ぶ数量関係で表現されている解法構造
- (3)問題の背景となっている物理状況のもとで存在する数量関係を問題における解に関係しないものを含み記述する制約構造

以上3つの構造を用いて問題の特徴を記述する手法が提案されている。初等力学問題では、質量 $M$ や斜面の傾斜 $\theta$ を例とした物理状況が持っている属性とそれらと関係する数量関係( $F = ma$ ,  $Gx' = mgsin\theta$ など)によって定義されており、これらの中から問題文中で与えられる入力属性(問題文中で与えられる条件)および出力属性(求めたい値)を数量関係によってつなぎ合わせた構造を解法構造として定義している。この解法構造は問題における解決過程を表現したものである。

### 2.2 問題間構造

問題は単体として存在せず、周辺に複数の関係する問題が存在している。これらの問題間の差分は上述した問題内構造の差分を用いて定式化することにより、問題間のつながりを構造として表現することができる。先行研究[3]では、問題内構造の違いによって問題間の差分を単純・複雑関係として表現する手法が提案されており、この単純・複雑関係によって抽出された問題間構造を用いた学習支援もまた提案されている。

### 2.3 問題における単純・複雑の関係

問題に対する考え方としてポリアは『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。』と述べている[4]。この考え方を土台として、先行研究では、元の問題に対し問題内構造が包含されているものを単純な問題、それに対し問題の問題内構造を内包したものを複雑な問題として、問題の単純複雑関係を定義している。ここで取り扱う単純複雑関係は問題が簡単であるかどうかをその正答率によって判断するのではなく、問題がもつ問題内構造の包含関係によって解釈する特徴があるため、問題間の差分を明確に表現することが可能となっている。問題内構造の包含関係のイメージを図 1 に示す。もし、元の問題を解くことはできなかったが、単純にした問題を解くことができた場合、それらの問題間の差分は学習者が躓いている原因であるといえる。躓いている原因を表現できるようになれば、その原因に焦点をあてたピンポイントな課題や知識の当てなおしといった活動が実現できる。あるいは新しく解けるようになった問題と今までで解けた単純な問題の差分を抽出することで学習者が新たに理解できた部分を明示化する活動も実現できる。自身で自分の理解状況を把握できるようになれば、自分で問題系列について思考し、漸進的かつ自律的な学習が行えるようになると考えられる。

このように問題を解く際に、他の問題とのつながりについて思考し、問題の特徴に沿った適切な解法を選択し問題を解けるような理解を、問題を手続きの解ける理解である道具的理解に対し、関係的理解と呼ぶ[5]。

### 2.4 単純化の定義

前述した単純・複雑関係を用いるためには問題の単純化について定義することが必要である。先行研究[3]では初等力学における問題は表層構造(問題文)、制約構造(物理状況)、解法構造(解法)で分類されるとしており、これらの構造のうち問題の解き方に大きく影響するものとして制約構造と解法構造に着目した。ここでの「状況」は質量 $M$ や斜面の傾斜 $\theta$ などの属性と、これらの属性を結ぶ数量関係(重力 $G = Mg$ など)をすべて表現したネットワークを表している。また「解法」は問題文中の属性を「状況」が持っている数量関係によってつなぎ合わせることで定義されている。これを解法構造と呼び、木構造で表現することができる[2]。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と包含関係にある問題を生成することが可能となる。問題と解法構造の関係を図 2 に示す。

## 2.5 特殊化・一般化問題

「状況」における単純化・複雑化を「特殊化・一般化」と呼ぶ。特殊化は問題の状況が持っている摩擦や張力といった属性をデフォルト化することによって状況に含まれる要素を省略し、問題を単純にすることを指す。ここでデフォルト化とは、その要素を考慮しなくてもよい値に変更することである。例えば図 3 の例では左の問題では存在した角度 $\theta$ の値を 0 としている。対して一般化は元問題では考慮していない属性を付け加えることによって問題を複雑化することであり、図 3 は右の問題で考慮されていない属性である角度 $\theta$ を追加することが例として挙げられる。このように特殊化・一般化によって生成される問題はより単純な問題と同じ解法構造の一部に従って解くため、これら 2 つの問題は包含関係を満たしているといえる。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の一部を用いている[6][7]。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。その例を図 4 に示す。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過程と呼び、その状況を制約する様々な数量関係をモデルと呼ぶ。モデルはモデル化過程から導出される。図 5 にモデル化過程およびモデルについて示す。特殊化はこのモデル化過程をデフォルト化することである。

## 2.6 部分化・拡張化問題

「解法」における単純化・複雑化を「部分化・拡張化」と呼ぶ。部分化は元の問題を解く際に必要となる途中の属性(中間属性)を出力属性もしくは入力属性とすることによって元の問題が持っている解法構造の一部を抜き出し、解決可能な課題とすることである。例えば図 6 は左の問題は物体にはたらく合力 $F_x$ (斜面方向)を求めさせる問題である。この問題の出力属性を導出するためには解法構造から、まず斜面方向に働く重力 $G_y'$ を求める必要があることがわかる。そこで求める属性を中間属性である $G_y'$ に変更し問題を単純化することによって部分化が行われる。それに対し、一般化は右の問題における出力属性である斜面方向に働く重力 $G_y'$ を中間属性とし、新たな属性を求める問題を生成することである。部分化・一般化によって生成された問題はより単純な問題の解法構造の一部に従っているため、これらの問題は包含関係にあるといえる。また、部分化・一般化では出力属性や入力属性のみが変化しており、物理状況は変化しない。

## 2.7 単純化方略

問題の単純化・複雑関係を利用した演習として単純化方略が存在する。この方略は学習者が問題解決に行き詰った際にその問題を単純化していき、自力で解決可能な問題を発見させる。その後、学習者が解決できた問題から元の行き詰った問題を複雑化することによって

立ち戻っていき、行き詰った問題の克服を促すものである。この単純化方略の目的は、学習者が自力で問題解決が行えるようになる自己克服を促すことである。学習者は本来問題を解くために必要な知識である公式などを授業等から獲得しているはずである。しかし、その知識を問題に対して適切に利用することができなければ正解に至ることはできない。この場合に単純化方略によって自力で解決できる問題と解決できない問題の比較を通して、行き詰りの原因を自覚することによって自身の知識の当てはめなおしを促し、結果として問題の自己克服につながる。

### 2.8 単純化方略を用いた学習支援システム ICP

単純化方略を適用した学習支援システムとして先行研究[8]では自己克服システム ICP が設計・開発されている。ICP ではまず初等力学の初期問題を提示し、問題の解決に失敗するか、問題の単純化操作を行うたびにその問題から派生する一段階単純な問題を生成し、学習者に提示する。学習者はシステムに沿って単純化を自力で問題が解決できるまで繰り返す。解ける問題が見つかった際には解けなかった直前の問題と比較を行い、行き詰りの原因を差分として抽出し解けなかった問題に再度挑戦させることによって自己克服が促されるシステムとなっている。ICP における演習フローを図 7、問題演習画面を図 8、単純化した際の単純化問題を選択する画面を図 9 に示す。この ICP は実際の教育現場によって実践の利用が行われており、単純化方略が自己克服活動を支援するために有効であることが確認されている。

### 2.9 差分演習説明システム

先行研究によって単純化方略が学習上有効であることが確認されている。このように複数の問題を構造的に比較し、検討する活動は様々な学習方略の基礎となる技能であるが、教え方が定まっていないことも相まって直接的な学習対象とされることが少ないという問題がある。そこで先行研究[9]では問題間の関係を学習対象として、問題同士の比較・検討を行う能力の習得を目的とした演習システムが設計された。

#### システム概要

現在取り組んでいる問題とほかの問題を関連付けて、どう難しくなっているか、もしくはどう簡単になっているかを比較・検討できることは、複数の問題を扱う学習方略の基礎となる技能であり、能動的な学習のために重要なスキルであるといえる。しかし問題は「解く」ものとして一般に考えられており、複数の問題の関係について考えることや問題同士で比較することが直接学習の対象になることは少ない。また、そのやり方をどのように教えるのかについても定まっていない。このスキルの習熟が不十分であると、単純な問題を考えたつもりが適切な単純化にならない場合や、解ける問題と解けない問題を発見したにも関わらず、適切に差分を抽出できないことに起因して比較しても行き詰まりの解消に至らないと

いった恐れがある。このシステムは問題同士を比較する演習の前段階として、ある問題について解き方を段階的に表現し、解決過程を構造的に表現することを目的としてその開発が行われた。

システムで行う問題間の差分に注目した活動は、そのプロセスごとに

- (1)問題同士が単体としてだけでなく単純・複雑関係によって結びついていることを認識する
- (2)問題に含まれるパラメータレベルの差異を確認する
- (3)問題を解く段階での差異を見つけて表現する
- (4)結果や問題の成否から自身の活動を評価・応用する

以上の4つに分割してとらえることができるとした。特に(1)~(3)の段階を可視化・演習化し学習させることによって問題間の比較の支援を行う。(1)については、1つの問題から生成される単純な問題群のつながりを表した問題間構造を可視化する。その画面を図10に示す。(2)および(3)については、各問題の組における比較活動を通して問題間の差分を表現する演習を設計する。その画面を図11に示す。(4)では抽出した問題差分をどのように活用するかというものであり、用いる評価に応じた評価が要求されている。2つの問題を比較した際に差分を抽出し、説明できることまでを達成することを目標とした。この演習をタブレット上で動作するアプリケーションとして実装されている。このシステムの演習フローを図12に示す。このシステムは実際の教育現場において実践的利用が行われており、問題の比較説明を支援するものであることが確認されている。

本システムは与えられた問題間の関係的理解を学習対象としている。問題間を比較するために必要な問題やその解き方はシステム内で提供されており、ここでの問題の関係は単純化のみ、もしくは複雑化のみを行った問題間での比較を行うものである。そこで本研究では、単純化と複雑化を同時に行った問題間の比較も行うことを目的として、その活動を誤答に対する共感的理解の演習化によって達成できると考えた。その詳細は第4章で述べる。

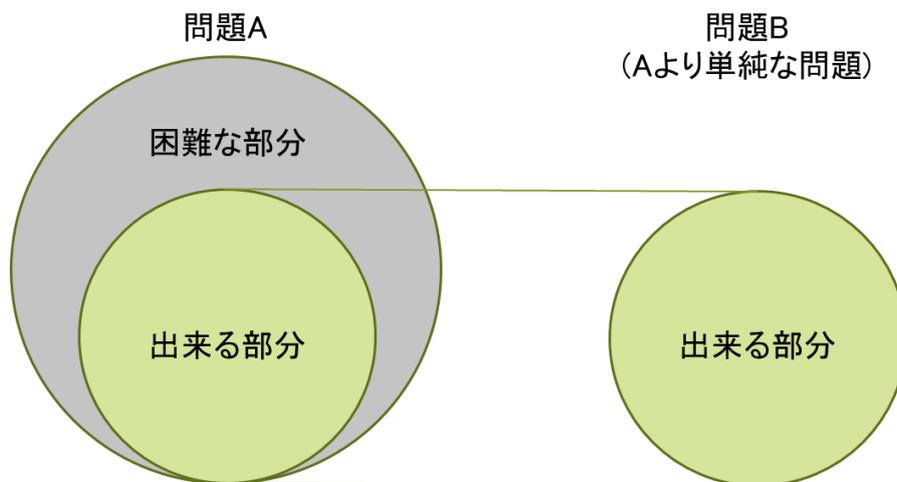
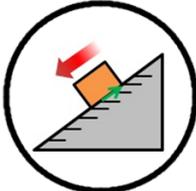


図 1 単純な問題と差分抽出のイメージ



**問.**  
 物体の質量を $m$ , 重力加速度を $g$ , 物体の動摩擦係数を $\mu$ , 斜面の傾斜角を $\theta$ とする.

この時, 物体に働く摩擦力について求めよ.

物理状況

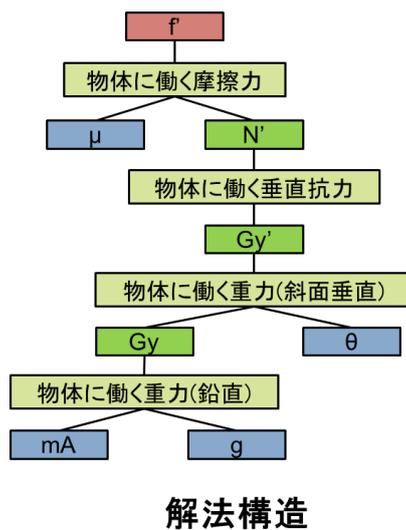


図 2 問題と解法構造

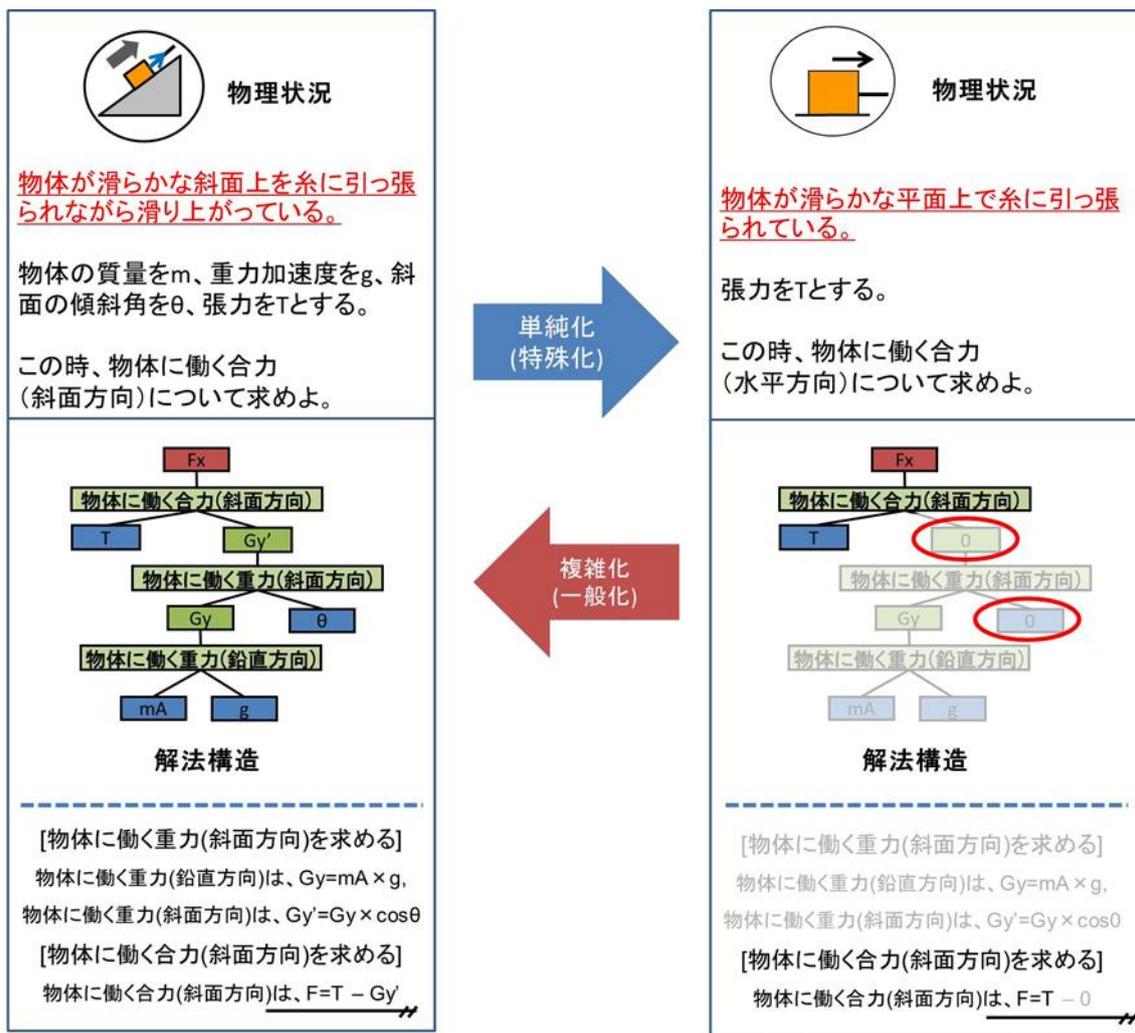


図 3 特殊化・一般化の例

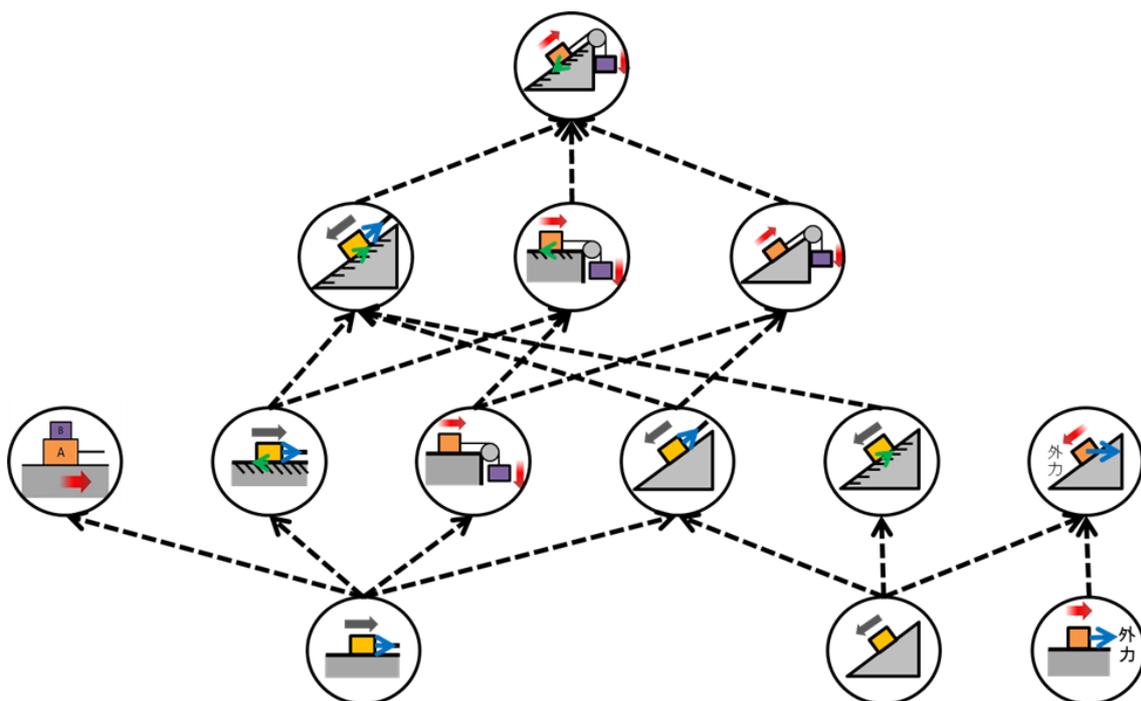


図 4 マイクロワールドグラフの一例

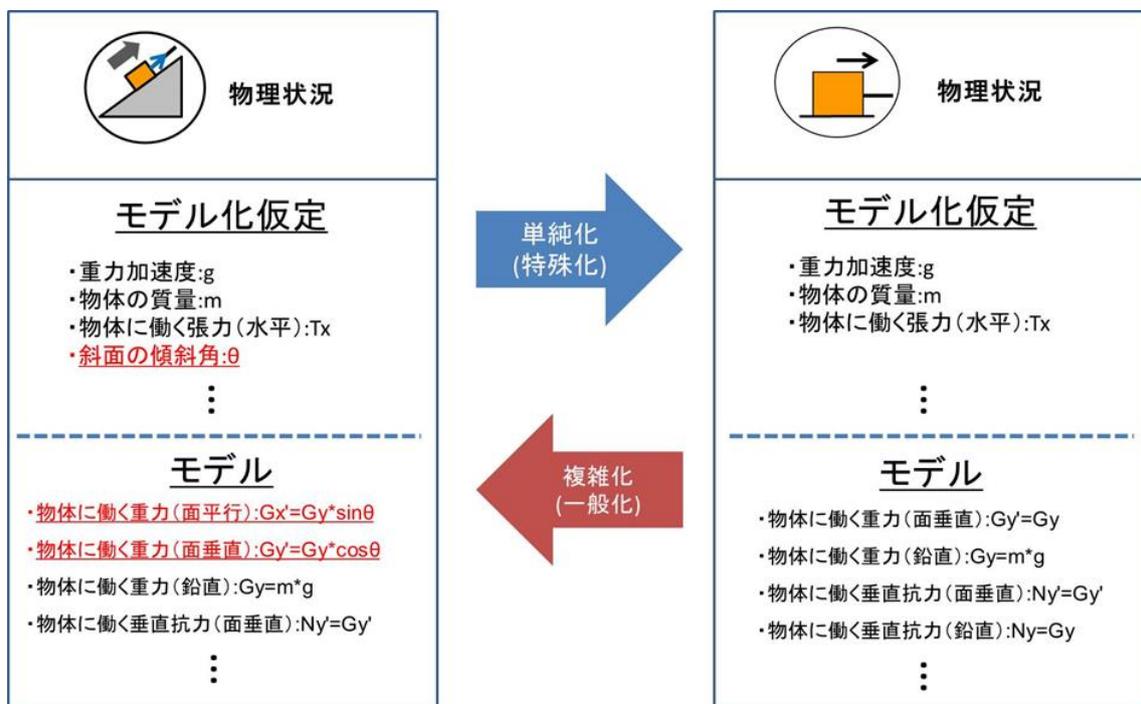


図 5 モデル化仮定とモデル

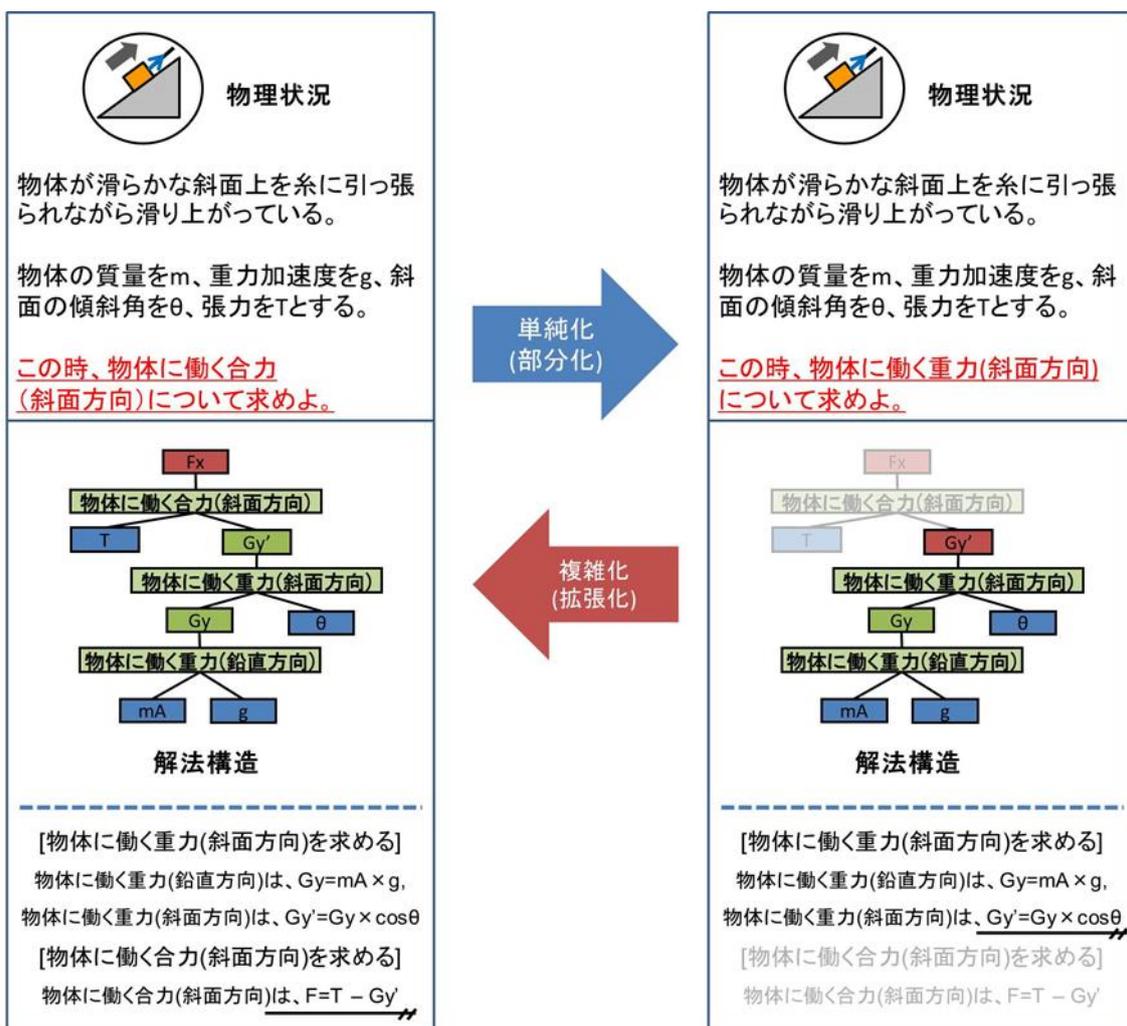


図 6 部分化・拡張化の例

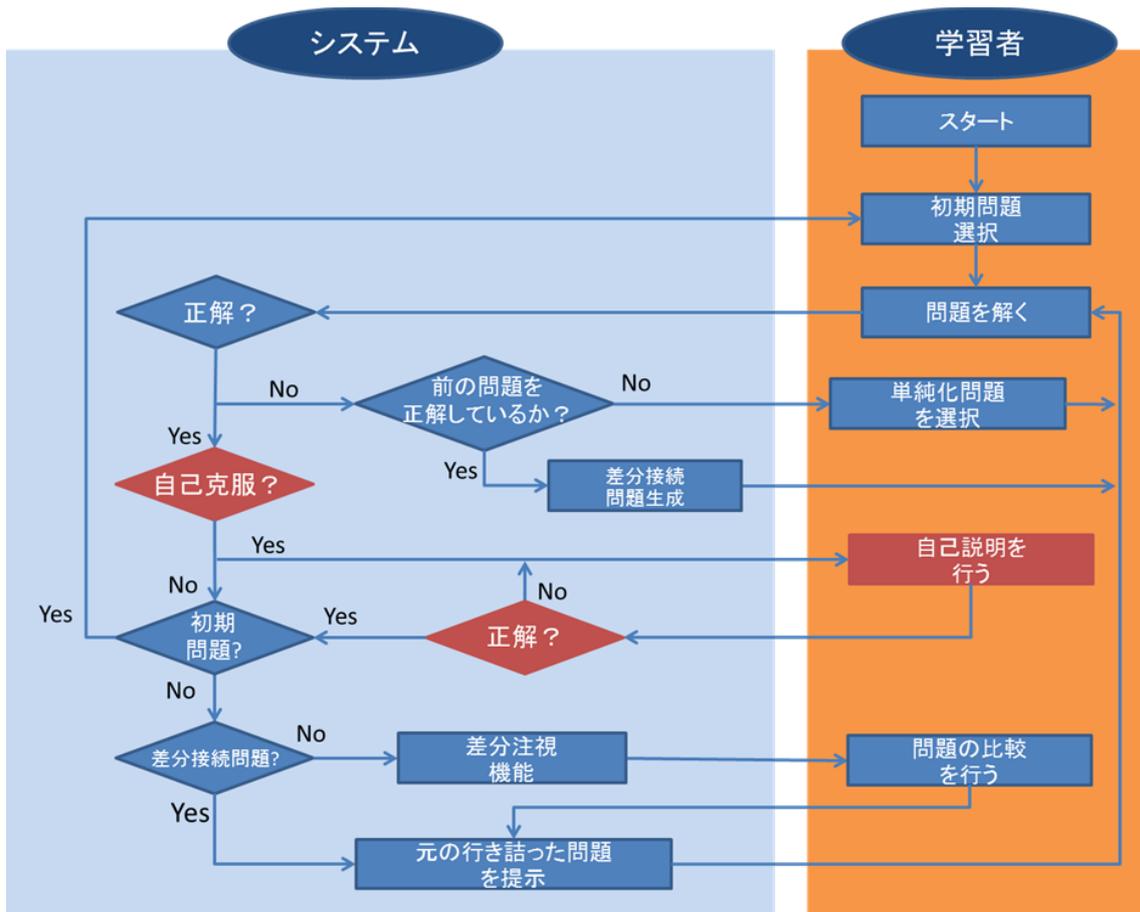


図 7 ICP の問題演習フロー

ICP
問題解決

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 $9.8[m/s^2]$ 、  
 物体Aの質量を $10.0[kg]$ 、  
 物体Bの質量を $5.0[kg]$ 、  
 物体Aと物体Bとの動摩擦係数を $0.1$ 、  
 物体Aに働く張力（水平）を $20.0[N]$ とする。  
**この時、物体Aの加速度（水平）について求めよ。**

小数第二位を四捨五入して小数点第一位まで求めよ。

物体A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	.	=	/

回答を決定する

物体の加速度（水平）  
 入力した値：値を入力してください

図 8 問題演習画面

ICP
単純化問題選択

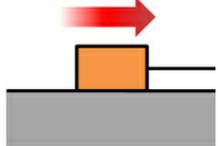
単純になった問題1
単純になった問題2

物体がなめらかな平面上で糸に引っ張られている。

物体に働く張力（水平）を20.0[N]、  
物体の質量を10.0[kg]とする。

この時、物体の加速度（水平）について求めよ。

小数第二位を四捨五入して小数点第一位まで求めよ。



物体の加速度

この問題を解く

図 9 単純化問題の選択画面

ICP
状況の単純化

[?]をタップして問題を見比べ、差を見つけてみましょう。

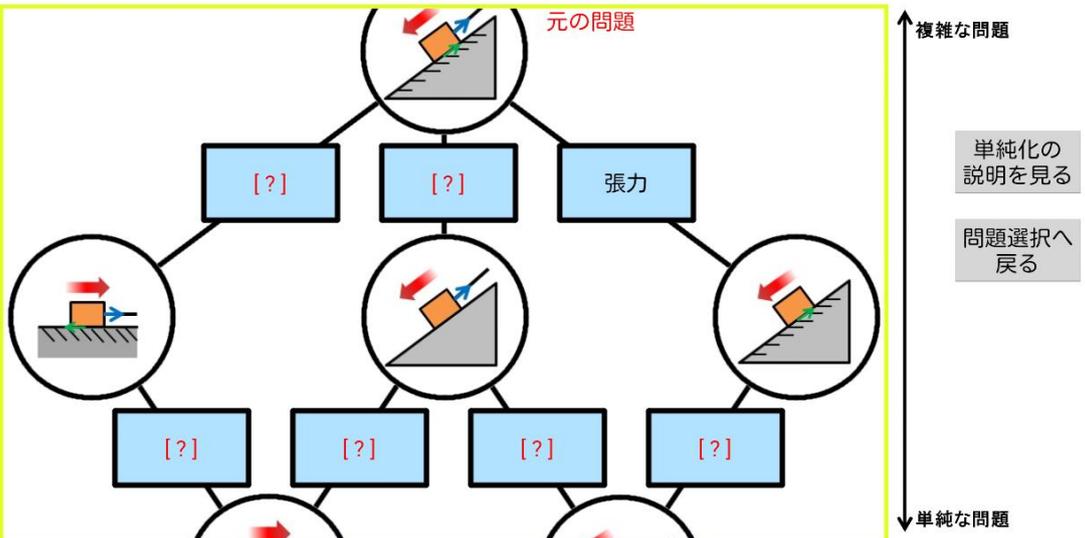


図 10 可視化された問題間構造図と問題選択の画面例

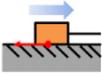
ICP		問題を見比べてみましょう	
2つの問題を見比べてください。 間にどのような差分があるかを答え、単純化を説明してみましょう。			
元の問題	単純になった問題		
<p>物体が摩擦のある平面上で糸に引っ張られている。</p> <p>重力加速度<math>g[m/s^2]</math>、 物体の質量を<math>mA[kg]</math>、 物体の動摩擦係数を<math>\mu A</math>とする。</p> <p>この時、物体に働く動摩擦力（水平）について求めよ。</p> <div style="text-align: center;">  <p>物体にかかる摩擦力</p> </div>	<p>物体が摩擦のある平面上で糸に引っ張られている。</p> <p>物体の質量を<math>mA[kg]</math>、 重力加速度<math>g[m/s^2]</math>とする。</p> <p>この時、物体に働く垂直抗力（鉛直）について求めよ。</p> <div style="text-align: center;">  <p>物体にかかる垂直抗力</p> </div>	OK	

図 11 問題比較画面

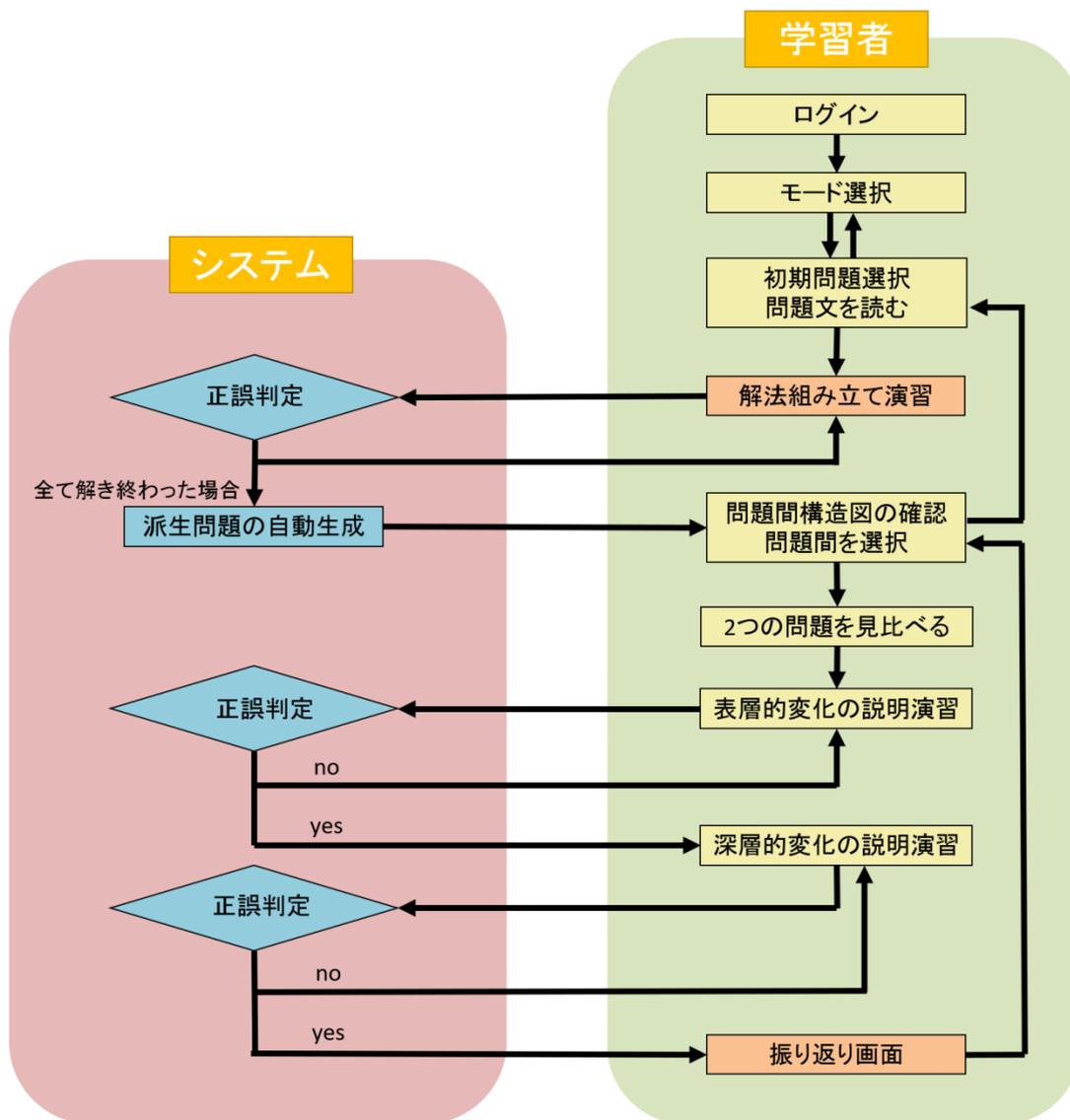


図 12 差分比較演習システムでの演習の流れ

## 第3章 共感的理解

本研究では、他者の思考について考える活動の一つとして、共感的理解を取り上げその演習化を試みた。共感的理解は一般的に知られている批判的思考と比較して、具体的な動作を伴うという特徴を持つことから、学習課題化することによって他者の思考について考えるという活動の成否を評価できるようになると考えた。本章ではこの共感的理解の定義やその学習課題化に関する先行研究について述べる。

### 3.1 共感的理解の概要

共感的理解とは、相手の主張を合理的に導かれたものとみなし、相手の主張を辻褄が合うように解釈することと定義されている。平嶋[1]は共感的理解の図式として図 13 を示している。この図は(i)自他の主張が食い違っていることへの認識、(ii)自身の主張が合理的に導かれたものであるように、他者の主張も合理的に導かれたものとして仮定、(iii)自身が持っている知識と比較しながら他者が持っている知識について認識する様子を示したものである。この活動において、道田[10]は他者の主張について共感的理解を行うためには自身の思考に対する反省的で合理的な思考、つまり批判的思考が必要であり、この思考の対象は問題および学習内容に対する自身の知識状態であるため、共感的理解は批判的思考の活動例の一つであるといえる。これらを課題化することにより、批判的思考を例とする、他者の思考について考えることを明示的な動作を伴う活動として成功的にその達成度を測ることが可能になることが期待される。またこれを基にした学習支援を行えるようになることが期待される。共感的理解の学習課題化のためには与えられた問題に対する学習者自身の知識を振り返ることと、それを前提として他者の立論を導くための「欠落した前提 (Missing Premise)」を推定する必要がある。また、この過程が論理的かつ計算可能である必要がある。本研究では、前章で述べた初等力学の問題内構造や問題間構造を用いることでこの条件を達成できると考えた。その詳細は4章で述べる。

なお、「共感」は体反応を前提とする情動的共感と前提としない認知的共感に分けることができ、さらに認知的共感は思考に関する共感と情動に関する共感に分けられるとされる[11]。本研究で取り上げる共感的理解、思考に関するものであるため、思考的共感と呼べる。さらに、本研究では「相手の言うことを辻褄があうように解釈」できる知識状態を論理的に導くこととして共感的理解を定式化することから、論理的共感と呼べると考えている。共感とは認知プロセスと情動プロセスの相互作用の結果であり、認知プロセスのみに言及

する場合は、「共感」とせず「共感的理解」とするべきであるとの指摘もある[12]。この指摘に従うと、本研究の対象は論理的共感的理解となる。本研究では、この論理的共感的理解を指して共感的理解とする。

また、共感的理解に関連する活動として認知カウンセリングという活動が存在する。市川[13]は、認知的な問題、いわゆる学習や理解、問題解決といった認知心理学が扱っている領域に関する問題に対して、理解できないという状態の原因を探り、理解できるようになるための援助を与えることを目的として認知カウンセリングを提唱している。市川はその活動が必要とされる背景として「個人的指導に対する社会的ニーズ」を論じており、学校教育では個人に応じた学習指導は近年から必要とは考えられているものの、その実行には大きな問題を抱えていることや、それをカバーする存在である塾や家庭教師はその指導が成績の向上を取るための対症療法的なものになりがちである点などを指摘している。また、認知カウンセリングに必要な素質として、教える事柄についての深い理解に加え、「どれだけわからない人の気持ちになることができるか」や「ぜひわかってほしいという気持ちをどれだけもてるか」という心持ちや、「教える対象の人が何をわかっていて、何がわからないのかを把握し、それに応じた教え方が行えるか」といった指導技術力が挙げられている。これらの資質は共感的理解を行う際に必要である他者の立論に対してその背景知識を認識するための技術と同等といえることができる。したがって、共感的理解は教授者の立場からは必要な活動であることが考えられる。

### 3.2 成功的教育観に基づいた活動

教授活動には意図的用法および功的用法の2つがあるとされている。前者は教授者が学習者の変化を意図して働きかけるものであることに対し、後者は教授者が学習者に働きかけ学習者を変化させるものである。沼野[13]は意図的用法に沿った教授活動は教授者が学習者の変化を意図した働きかけを行った時点で学習者の変化の有無に関わらず達成されるものであり、対して功的用法に沿った教授活動は学習者の変化を確認して初めて成立するものであるとして二者の区分を行った。

後者の考え方を基に教授活動を設計するためには(1)演習の目標として設定した状態を明確な動作を伴うものとする、(2)学習者が目標とする活動を演習の意図通りに行えたかという観点から演習の達成度が評価できることの二点が必要とされている。これらの条件から、成功的教育観に基づいた活動は活動の目標を明確なものとするを重要視しており、そのための有効な手段として「演習によって期待される学習者の外部から観察可能な行動」を目標状態とすることが挙げられている。共感的理解を明確な動作を伴う演習として設計することによって共感的理解を行ううえで必要とされる他者の思考について考えるという活動を、学習者が行う課題内で成否を判断することや、それをもとにした学習支援が行えるようになることが期待される。

共感的理解

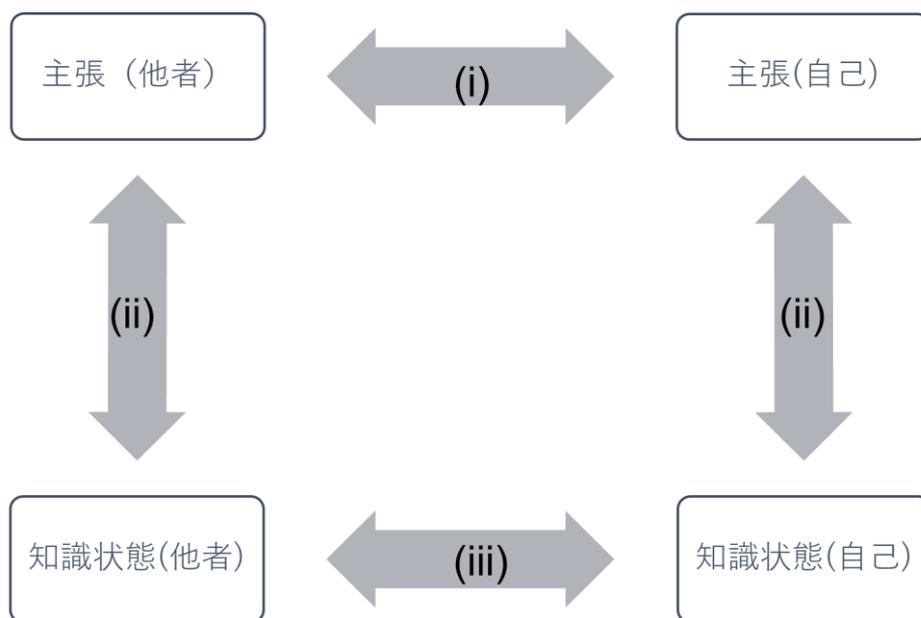


図 13 共感的理解の図式

## 第4章 提案手法および提案システム

共感的理解を学習課題として設計することにより、従来の手法では難しいとされている他者の思考について考える活動を通じて学習教材に対してより深い理解を促すことができると考えられる。共感的理解の学習課題化のためには与えられた問題に対する学習者自身の知識を振り返ることと、それを前提として他者の立論を導くための「欠落した前提 (Missing Premise)」を推定する必要がある。また、この過程が論理的かつ計算可能である必要がある。本研究では共感的理解を行う一つの例として、他者の解答が再現できる問題の認識や問題解決の知識を見つける活動である「誤答に対する共感的理解」を定義し、初等力学の問題を題材としてその活動の演習化およびシステム開発を行った。本章では誤答に対する共感的理解の概要および本研究で開発したシステムの演習内容について述べる。

### 4.1 誤答に対する共感的理解

本研究では、誤答に対する共感的理解を「相手の答え(誤答)が再現できる問題の認識や問題解決の知識を見つける活動」として定義する。その活動例を図 14 に示す。図左にある問題は「摩擦のある平面(動摩擦係数 $\mu$ )に存在する質量 $M$ の物体が張力 $T$ の糸によって引っ張られている」という状況を表している。この状況において、物体の加速度は運動方程式 $Ma = F$ に対し、適切な値を代入することによって $a = T/M - \mu g$ と求められる。しかし、その問題に対して $Ma = T$ より、 $a = T/M$ としてしまう誤答が想定される。この誤答に対して、その解答が正答といえるような問題を作問することが第一段階である。ここでは、提示された誤答を導くための考え方や知識、つまり観察者にとっての欠落した前提として「考慮すべき動摩擦力に関する数量関係を省略してしまう」ことが挙げられる。ここでの正しい作問である「なめらかな平面に存在する質量 $M$ の物体が張力 $T$ の糸によって引っ張られている状況における加速度を求める問題」を生成するためには、この欠落した前提の発見が必要といえる。

続けて第二段階として、第一段階で作問した問題と元の問題の違いを、それぞれの問題が持っている問題構造の違いを用いて説明する活動を行う。図 14 の例で示した 2 問題について、それぞれにおいて成立している数量関係を図 15 に示す。左の問題では加速度 $Ma = T - F'$ 、動摩擦力 $F' = \mu N$ 、垂直抗力 $N = Mg$ が成立しているといえ、それに対し右の問題では加速度 $Ma = T - F'$ 、垂直抗力 $N = Mg$ が成立しているといえる。このことから、左の問題と比較すると、右の問題では動摩擦力 $F' = \mu N$ が省略されていることがわかる。これは状況における動摩擦係数 $\mu$ のデフォルト化によって実現されるものであり、これらの問題は単純・複雑関係にあるといえる。したがって、誤答に対する共感的理解を行うことによって、問題の答えの違いを問題の認識や問題

解決における適応知識の違いとして説明できる。初等力学の問題はこうした「欠落した前提」を上記の例のように問題内構造や問題間構造、つまり数量関係によって構築される情報構造として表現ができるため、欠落した前提を計算可能な形で表現できるとして誤答に対する共感的理解を演習化するための題材の一つとして適切であると考えた。

ここで、誤答に対する共感的理解は

(a)問題に対する自分の解き方と、提示された他者の解き方が異なっていることを前提に進める活動であること

(b)他者の解き方が元の問題を解くためには間違っている、としてその誤答が正しいといえるような作問を行うこと

をその特徴として挙げることができる。また、(b)での作問を行うためには

(c)自分がどのように問題を解いたかを把握し、自分の解き方の違いと提示された他者の解き方の違いをそれが妥当といえる問題の違いによって説明すること

が必要である。前述した共感的理解の一連の活動である

(1)自他の主張が食い違っていることへの認識

(2)自身の主張が合理的に導かれたものであるように、他者の主張も合理的に導かれたものとして仮定すること

(3)自身が持っている知識を比較しながら他者が持っている知識について認識する活動と比較すると、それぞれ(1)と(イ)、(2)と(ロ)、(3)と(ハ)が対応する。このことから誤答に対する共感的理解の実行は学習者に共感的理解を行わせることと同等であるといえる。

## 4.2 システムの概要

本研究の目的は、他者の思考について考える活動を通して、初等力学の問題に対し問題を手続的に解くことのできる状態である道具的理解から、問題の解き方を説明することができるようになる関係的理解への移行支援である。このための活動として、他者の思考について考える活動が有効であると考えられているが、具体的な演習として設計するためにはいまだ課題が残っている。そこで、他者の思考について考えることを具体的な活動とするため、問題内構造や問題間構造の違いによって発生する問題のとらえ方の違いに着目し、

(1)他者の誤答が妥当といえるような問題を作問するタスクおよび

(2)作問した問題と元の問題の差分を説明するタスク

を演習としてタブレット上で動作するシステムとして開発を行った。演習の流れを図 16 に示す。ここで(2)の差分説明タスクにおいて、問題内構造や問題間構造の違いによって(1)での作問問題と元の問題の違いを説明するため、本システムでは取り扱う問題のネットワークを設定した。それを図 17 に示す。このネットワーク上で最も難しい問題は図の上部に位置している、「摩擦のある斜面(動摩擦係数 $\mu$ 、傾斜 $\theta$ )に質量 $M$ の物体が存在する。物体は張力 $T$ の糸によって引っ張られている。物体は斜面に沿って滑り落ちるように運動している。

運動している方向を正とした時物体の加速度を求めよ」および「摩擦のある斜面(動摩擦係数 $\mu$ , 傾斜 $\theta$ )に質量 $M$ の物体が存在する. 物体は張力  $T$  の糸によって引っ張られている. 物体は斜面に沿って登るように運動している. 運動している方向を正とした時物体の加速度を求めよ」である. この問題に含まれる属性である, 「傾斜 $\theta$ 」「動摩擦係数 $\mu$ 」「張力 $T$ 」を省略することによってこの問題の下に位置する, 単純な問題が生成される. また, 2.6 節で述べた解法の単純化によっても単純化された問題が生成され, これらを含めた問題を取り扱うこととする.

### 4.3 誤答を正答とする問題作問演習

本演習では前節で定義したネットワーク上に存在する初等力学の問題と, それに対するある誤答が提示される. 学習者は提示された誤答に対し, 正しい解き方と比較しながら誤答が妥当といえるような問題状況を説明する. その様子を図 18 に示す. システムは「属性」「物体の運動方向」「問題の出力属性」を操作対象としてインタフェースを提供しており, 学習者はこれら进行操作することにより問題内構造を操作し作問を行う必要がある.

具体的な操作を図 18 から説明する. 図で示されている元の問題は「摩擦のある斜面(動摩擦係数 $\mu$ , 傾斜 $\theta$ )に質量 $M$ の物体が存在する. 物体は斜面に沿って滑り落ちるように運動している. 物体の運動する方向を正としたとき, 物体の加速度を求めよ」である. この問題の正しい解は運動方程式 $Ma = F$ に適切な値を代入することによって

$Ma = Mgsin\theta - \mu Mgcos\theta$  が得られ,  $a = gsin\theta - \mu gcos\theta$  となる. しかし, この画面では解答として  $a = gsin\theta$  が表示されている. 学習者は正しい解答  $a = gsin\theta - \mu gcos\theta$  と誤答  $a = gsin\theta$  の解き方の違いについて思考し, 提示された誤答が導かれるための欠落した前提として「考慮すべき数量関係である動摩擦力を省略してしまう」を発見し, それを正しい解き方と比較して, この誤答が正答となる問題「なめらかな斜面(傾斜 $\theta$ )に質量 $M$ の物体が存在する. 物体は斜面に沿って滑り落ちるように運動している. 物体の運動する方向を正としたとき, 物体の加速度を求めよ」を「属性」の一つである動摩擦力のラベルが付いたボタンを操作することによって作問する. この操作は元の問題に対して動摩擦力に関する数量関係を省略することと同等である. このように学習者が作問を行う為には, 元の問題を解くことができることやその解き方について比較ができるように理解を深めることが必要である. また, この比較によって判明した答えの違いを, 問題の違いとして説明することが要求される. したがって, 本演習を実行する過程で学習者は問題に対しその認識の仕方や解法に関する振り返り思考を行うこととなる. この思考は他者の思考について考える活動と合わせて, 関係的理解のために有用であると考えられている.

演習は全 6 問で構成されており, 元の問題と作問問題の問題構造の違いによって

- (1) 状況の単純化・複雑化のいずれかのみで生成される問題
- (2) 解法の単純化・複雑化のいずれかのみで生成される問題

### (3) 状況の単純化・複雑化を同時に行うことで生成される問題

を作問するものに分類している。それぞれの演習画面を図 19, 図 20 に示す。図 19 では元の問題が加速度を求めさせるものであるのに対し、提示された誤答は物体に働く動摩擦力を示す値である。したがって、元の問題に対し問題の状況を変化させず問題の出力属性を動摩擦力と設定することによって誤答が正答となるような問題を作問できる。図 20 では元の問題の正しい解答  $Ma = Mgsin\theta - \mu Mgcos\theta$  より、 $a = gsin\theta - \mu gcos\theta$  と提示された誤答である  $Ma = Mgsin\theta - T$  より、 $a = gsin\theta - T/M$  を比較し、元の問題の状況に対し、動摩擦力に関する数量関係を省略し、張力に関する数量関係を追加することによってこの誤答を正答とする問題を作問できる。

## 4.4 元の問題と作問問題の差分説明演習

前節では、初等力学の問題に対する関係的理解を促すため、ある問題に対して誤答を提示し、その誤答が妥当といえるような問題を作問する演習の設計開発を行った。この演習は作問した問題と元の問題の違いを、図 17 で示したネットワーク上をたどることによって説明するものであり、問題間の構造についてより深い理解を促すことを目的としている。4.3 章で用いた問題を例とすると、「摩擦のある斜面(動摩擦係数 $\mu$ , 傾斜 $\theta$ )に質量 $M$ の物体が存在する。物体は斜面に沿って滑り落ちるように運動している。物体の運動する方向を正としたとき、物体の加速度を求めよ」と「なめらかな斜面(傾斜 $\theta$ )に質量 $M$ の物体が存在する。物体は斜面に沿って滑り落ちるように運動している。物体の運動する方向を正としたとき、物体の加速度を求めよ」の違いをそれぞれの問題で成立している数量関係の違いを選択形式で説明するものとなっている。

実際の画面を図 21 に示す。図中では 2 問題の差分となる数量関係を、ネットワーク上で取り扱っている数量関係をダミーとして 4 択で提示されている。学習者は元の問題からネットワーク上をどのようにたどることによって作問問題を生成できるかを、差分となる数量関係を指摘することによって説明する。前節で紹介した問題例では、2 問題の差分として動摩擦力 $F'$ の有無が挙げられ、元の問題に含まれている数量関係である動摩擦力 $F' = \mu Mgcos\theta$ が省略されることによって作問問題が生成できることを説明させる。この演習は問題内構造についての思考や問題間での構造の比較が必要であるといえ、問題の構造的な理解を促すことができると考える。

また、先ほど挙げた問題は 4.3 章で説明した

- (1) 状況の単純化・複雑化のいずれかのみで生成される問題であり
- (2) 解法の単純化・複雑化のいずれかのみで生成される問題
- (3) 状況の単純化・複雑化を同時に行うことで生成される問題

に対応する元の問題と作問問題の差分説明演習はそれぞれ図 22 と図 23 に示している。

図 21 では、元の問題の出力属性である物体の加速度を作問した問題の出力属性を用いて求めさせることによって 2 問題の差分を説明させる。図 22 では、元の問題と作問問題の間に成立している数量関係の違いを省略されたものと追加されたものに分けて指摘することにより、その説明を行う。

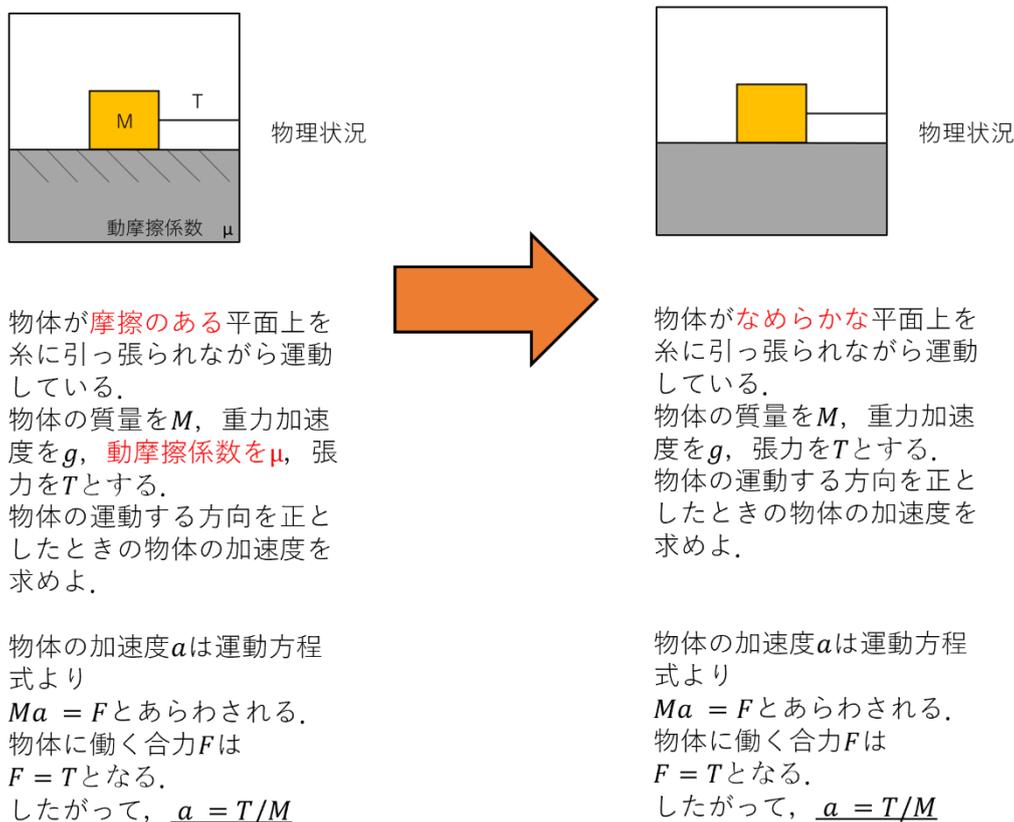


図 14 誤答に対する共感的理解の例

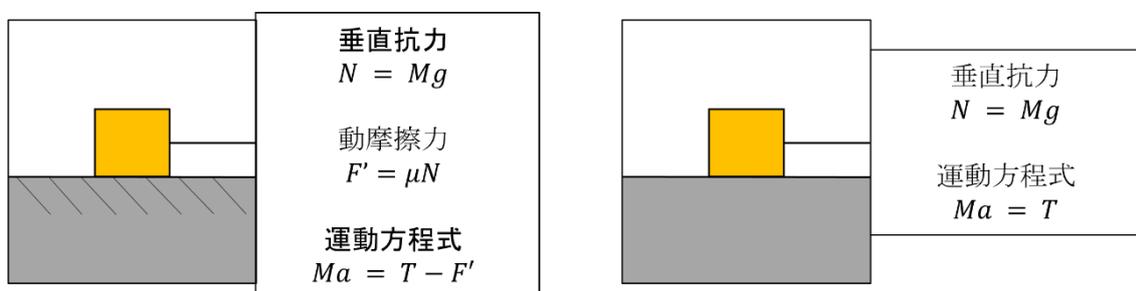


図 15 図 14 の問題と成立している数量関係の対応図

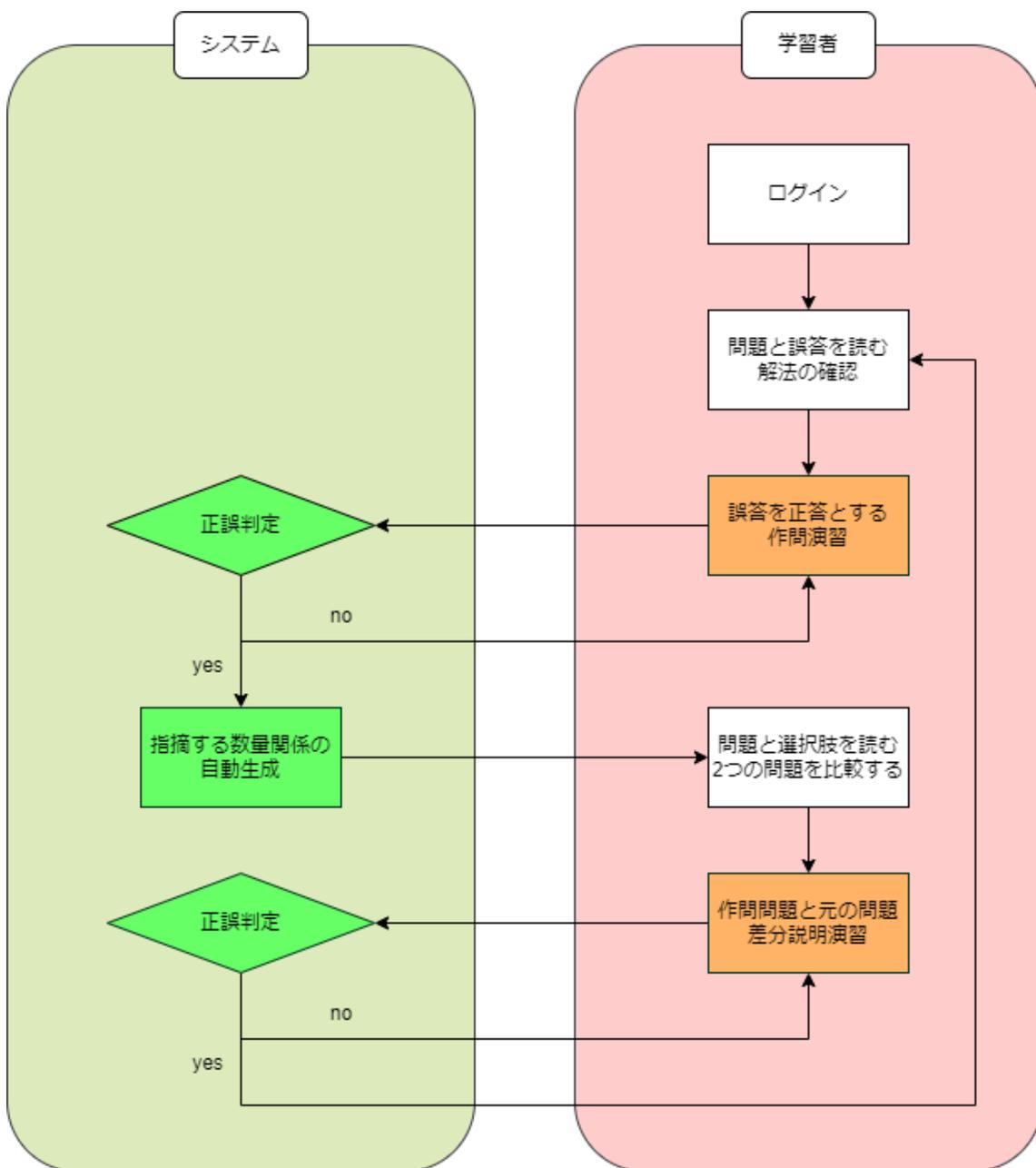


図 16 誤答に対する共感的理解の演習システムの流れ

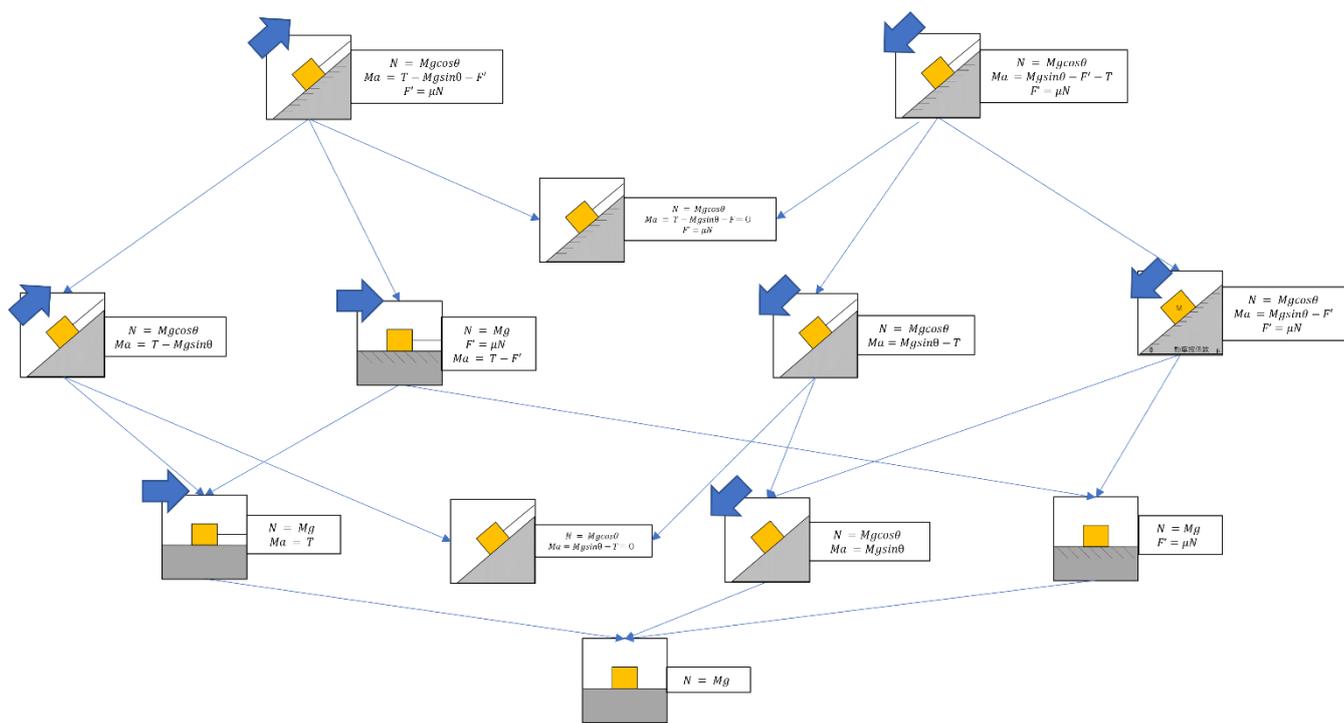


図 17 演習で取り扱う問題状況のネットワーク図

質量Mの物体がある。物体は傾斜θの斜面の上に存在する。斜面は粗い(動摩擦係数μ)。物体は斜面に沿って滑り落ちるように運動している。物体の運動する方向を正としたとき、物体の加速度を求めよ。

解答  
 $g\sin\theta$

Q.元の問題に含まれている「属性」、「運動方向」、「求める値」を変更し、提示された解答が正しくなるような問題を再現しなさい

質量Mの物体がある。物体は傾斜θの斜面の上に存在する。斜面はなめらかである。物体は斜面に沿って滑り落ちるように運動している。物体の運動する方向を正としたとき、物体の加速度を求めよ。

属性: 傾斜θ, 動摩擦係数0, 張力0  
運動方向: 左下方向  
求める値: 物体の加速度

図 18 誤答を正答とする作問演習画面(状況の単純化)

質量Mの物体がある。物体は平面の上に存在する。平面は粗い(動摩擦係数μ)。物体は張力Tの糸によって引っ張られている。物体は右方向に運動している。物体の運動する方向を正としたとき、物体の加速度を求めよ。

解答  
 $\mu Mg$

Q.元の問題に含まれている「属性」、「運動方向」、「求める値」を変更し、提示された解答が正しくなるような問題を再現しなさい

質量Mの物体がある。物体は平面の上に存在する。平面は粗い(動摩擦係数はμ)。物体は張力Tの糸によって引っ張られている。物体は右方向に運動している。物体に働く動摩擦力の大きさを求めよ。

属性: 傾斜0, 動摩擦係数μ, 張力T  
運動方向: 右方向  
求める値: 物体に働く動摩擦力

図 19 誤答を正答とする作問演習画面(解法の単純化)

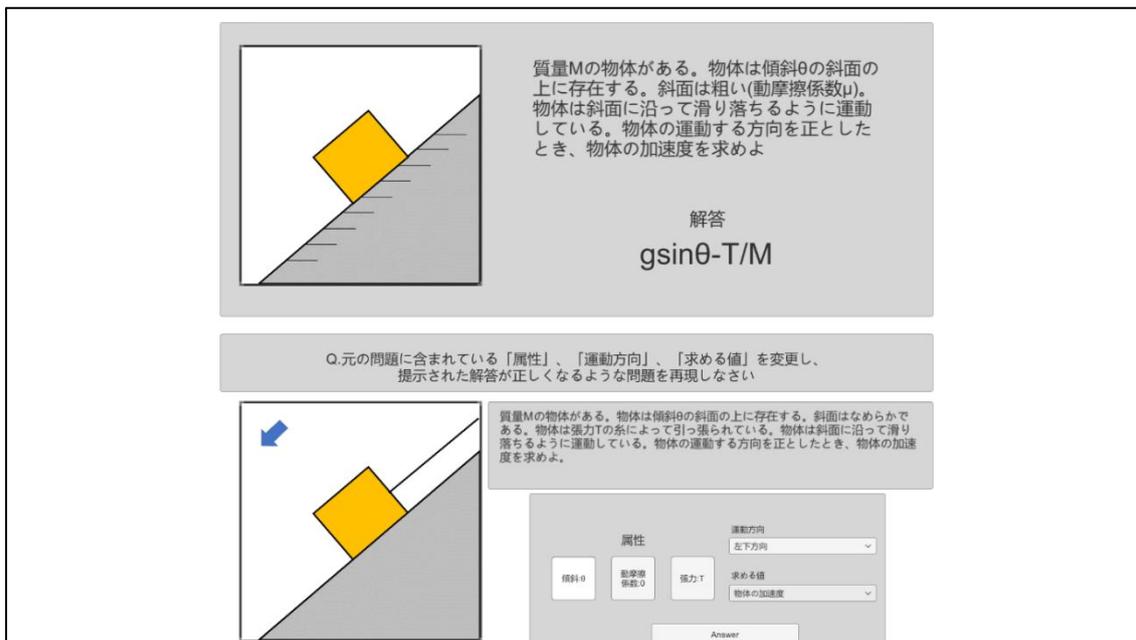


図 20 誤答を正答とする作問演習画面(状況の単純化・複雑化の複合)



図 21 元の問題と作問問題の差分説明演習画面(状況の単純化)

元の問題を解くために必要な数量関係を用いて、  
あなたが作問した問題の答えを求めるために使用する数量関係を選択しなさい

求める値:動摩擦力 $F = \mu Mg$ 必要な条件:動摩擦係数、重力 $\mu, F = Mg$	求める値:重力 $F = Mg$ 必要な条件:重力加速度、質量 $M, g$
求める値:加速度 $Ma = F'$ 必要な条件:動摩擦力 $F' = \mu Mg$	求める値:加速度 $Ma = F' - T$ 必要な条件:動摩擦力、張力 $F' = \mu Mg, T$

問題を見る

図 22 元の問題と作問問題の差分説明演習画面(解法の単純化)

もとの問題と比較して、あなたが作問した問題で  
省略および追加された数量関係を選択しなさい。

省略 動摩擦力: $F' = \mu Mg$ 追加 面方向にはたらく合力: $F = Mgsin\theta$	省略 面方向にはたらく合力: $F_x = Mgsin\theta$ 追加 動摩擦力: $\mu Mgcos\theta$
省略 摩擦力: $F' = \mu Mgcos\theta$ 追加 張力: $T$	省略 垂直抗力: $N = Mgcos\theta$ 追加 張力: $T$

問題を見る

図 23 元の問題と作問問題の差分説明演習画面(状況の単純化・複雑化複合)

## 第5章 大学生・大学院生を対象としたシステムの実験的利用

本章では、前章で述べた誤答に対する共感的理解の演習システムが利用可能なものであるかを検証するために、情報系の大学生・大学院生を対象として予備実験を行った。本章ではその結果および考察を報告する。

### 5.1 目的・手順

この実験的利用の目的は本システムが共感的理解を演習化できているかを検証することである。これを検証するため、被験者にシステムの演習を一通り実行してもらう。その後システムや共感的理解に関するアンケートを実施し、「誤答に対する共感的理解」やシステムが学習者に受け入れられるものであるかの検証も実施した。

- 被験者

情報系大学院生 12名  
情報系大学生 3名  
計 15名

- 手順

情報系大学生および大学院生計 15名を対象として、システムの可用性等の検証を実施した。実験的利用を行う手順としてシステム利用、アンケートを実施した。今回の実験的利用ではシステムの学習効果を検証することを目的としていないため、システムの利用時間に上限を設けていない。また、単純に問題が解けず演習を満足に行えない状況を避けるため、必要に応じて問題を解くために必要な公式は被験者に提供している。また、共感的理解やシステムに関するアンケートを実施した。アンケート内容を表 1 に示す。また、アンケートの各質問が検証しようとする内容も併せて表記している。

### 5.2 結果・分析

まず、システムが利用可能かどうかを検証するため、システムログから被験者がどのように演習に取り組んでいるかを確認する。システムの各問題での所要時間および正誤判定数

の平均を表 2 に示す。各被験者は 6 問の作問演習と説明演習に取り組み、終了するまでに要した時間は平均 16 分であり、その間に平均 31 回の正誤判定（1 問あたり作問演習は 3.4 回、説明演習は 1.6 回）を実施していた。本システムの作問演習で選択できる状態が 1 問あたり 336 通りであり、差分説明演習での選択肢は 4 通りである。今回の実験で得られた正誤判定の平均数は、ランダムに演習を解いた場合に予想される試行回数を十分に下回るものであったため、被験者は適当に問題を解くのではなく真剣に演習に取り組んだことがうかがえる。また、ある程度の試行回数が必要であったことは、大学生や大学院生にとっても演習が自明の課題ではなかったことが示唆される。

システム利用後に実施したアンケートの結果を図 24 に示す。アンケートの各項目に対して、「とてもそう思う」「そう思う」を肯定的意見とし、「そう思わない」「全くそう思わない」を否定的意見として考える。得られた結果に対し二項検定を実施した結果を表 3 に示す。質問 1-2, 1-4, 2-3, 2-4 に関しては 5% 有意に肯定的な回答を得られた。一方で質問 1-1, 2-1 に関しては 5% 有意で否定的な回答であった。また、質問 1-3, 2-2 に関しては肯定、否定の意見に有意な差は見られなかった。

## 5.3 考察

### 5.3.1 ログデータからの分析

システムのログデータより、実験的利用を行った 15 人全員がシステムで用意したすべての問題を実施することができていた。このことはシステムが学習者に操作可能なものであったといえる。また、1 回の正誤判定にかかる平均時間から、学習者が十分に思考を行ったうえでシステムに取り組んでいることが示唆される。しかし、演習を進めるうえで数多くの間違いが発生していることも確認できた。特に多くの正誤判定が行われた問題 2, 4 は解法を単純化することによって生成される問題を作問するものである。状況を単純化・複雑化する場合に比べ解法を単純化・複雑化した場合、問題の差分が問題の状況図にあらわれず、問題の表層構造のみが変化するという特徴がある。このことから学習者は問題の状況図から得られる情報を主な根拠として問題を解いており、問題文についてはあまり注意を払わずに問題を解いており、結果として誤った作問を行ってしまったと考察した。

また、問題ごとの正誤判定数の標準偏差から、正誤判定を行った回数は人によって大きくぶれが生じていることが考えられる。正誤判定が多かった被験者のログからは、1 回の正誤判定にかかるまでの時間から思考活動を認めることができるものの、実際にはありえない物理状況を作問してしまうことや、属性間のつながりによって成立する数量関係を適切に把握していないことが原因による誤った作問が多く見受けられた。このことは被験者のすべてが題材とした初等力学の問題に対し関係的理解までには至っていないことの裏付けとなり、本システムの必要性を確認することができたと考えている。

### 5.3.2 アンケートからの分析

続いてアンケート内容について、質問 1-1 から、誤答に対する共感的理解は簡単なものではなかったことが示唆されており、この結果はログの結果と符合する。それに関連して、質問 2-1 から読み取れる通り、この演習が学習者にとって難易度の高いものであったことが考えられる。各問題の所要時間および正誤判定数の平均から問題 1, 2, 4 がほか 3 問と比較して難易度が高かったと考察した。問題 2, 4 は先述した通り解法の単純化を行うものであり、2 問とも学習者にとって難易度が高かったことをふまえると、この演習に対するシステムの説明が不足していたことは、学習者がシステムに対し高い難易度と感じた要因の一つであると考えられる。また、問題 1 は状況の単純化によって生成される問題を作問する演習である。しかし、問題 5 および 6 は状況の単純化と複雑化を同時に行うことによって生成される問題を作問する演習であり、必要とされる手数の差から後者がより複雑な問題であるといえる。問題 1 が学習者にとって難しかった原因として、学習者がシステムの意図を理解するのに時間がかかったことが考えられる。逆手にとれば、システムの意図を掴むにつれてより複雑な問題をスムーズに捉えることができるようになったことも示唆されている。システムの意図をより適切に伝える必要があるという課題に対して、チュートリアル機能の追加を例とした演習説明の充実することが解決策として挙げられる。これに関連して、質問 2-2 の「このシステムは使いやすかったですか」について考察する。アンケートは 60% の肯定的な意見を得ることができたが有意差はなく、あまり高い数字ではない。また、質問 2-5 では自由にコメントをしてもらったが、インタフェースに対して不便を感じる被験者が散見された。今後の展望としてシステムの学習効果を検証することが挙げられるが、そのためにシステムの操作性の向上も必要なタスクであると考えられる。

また質問 1-3 は、共感的理解を今までに学習活動として取り入れたことがあるかを問うものであったが、その結果は有意差なしであり、学習者の立場から共感的理解を行うことについては一般には浸透していないと考えられる。そこで、教授者の立場からは共感的理解が有用であるとの立場にある、3 章で述べた認知カウンセリングの指摘を検証するため追加で質問を行った。アンケートに対し、否定的な回答をした被験者には「誰かに物事を教えるために共感的理解やそれに近い活動を行う必要があるとおもいますか。」という質問に対し、「とてもそう思う」「そう思う」「そう思わない」「全くそう思わない」の 4 段階で回答してもらった。また、肯定的な回答をした被験者には次の質問「どのような状況で共感的理解やそれに近い活動を実施しましたか。」を自由記述で回答してもらった。否定的な回答をした被験者 8 人は追加で実施した質問に対し全員が肯定的な回答をしている。また、前者の自由記述で得られたコメントを一部抜粋すると、「数学を知り合いに教えている時に、相手が間違えて分からない問題を教えるときに、どうして間違えているのかをまず探ってからその間違いが生まれた原因を説明して、正しい解き方に戻す」や「試験前の教え合い活動などが共感的理解の活動に当たるのではと思います、とてもそう思うで回答しています」など、個

人間での教授活動において共感的理解が行われていることが示唆された。したがって、認知カウンセリングの指摘と同様に、教える立場においては共感的理解が重要なものであることが確認できた。

「誤答に対する共感的理解」の学習上の有用性やシステムが共感的理解の演習化を実現しているかについては肯定的な意見を多く得ることができた。例えば 1-2, および 1-4 で肯定的な意見が多かったことは学習者にとって共感的理解や本研究で定義した誤答に対する共感的理解は学習活動として有用であることの示唆といえる。また、システムに関するアンケート 2-3, 2-4 はシステムの妥当性及び将来性について問うものである。これらの質問に対する肯定的な意見が多かったことと、演習システムの実行難易度を問う質問であったアンケート 2-1, 2-2 に対する肯定的な意見が少なかったこと、および先述した学習者の解答姿勢の考察を総合すると、本システムが提示した演習の難易度は高いものの、その提示した演習自体は妥当なものであったと考えられる。この結果と先述した被験者の解答姿勢の考察を総合すると、本研究での目標を達成するために提案した共感的理解の学習課題化が、本システムの形で実現できたと結論付けることができる。

表 1 アンケート内容

番号	設問	確認目的
1-1	共感的理解を行うことは簡単だと思えましたか？	活動の難易度調査
1-2	「誤答に対する共感的理解」を行うとき、普段より他者の思考について考える、または考えようと思えましたか？	活動の有用性
1-3	共感的理解やそれに近い活動を今までに学習で取り入れたことがありますか？	活動の認知度調査
1-4	共感的理解を行うことは学習の上で役に立つと思えますか？	活動の有用性
2-1	システムで行った作問は簡単でしたか？	システムの可用性
2-2	このシステムは使いやすかったですか？	システムの可用性
2-3	システムで提示された問題状況図や問題文は自分が納得できるものでしたか？	システムの妥当性
2-4	今回のシステムを行うことで共感的理解を行えたと思えましたか？	システムの有用性
2-5	このシステムに欲しい機能、その他感想・コメント等あればお願いいたします。	

表 2 各問題の解答時間平均・正誤判定数平均

	問題 1	問題 2	問題 3	問題 4	問題 5	問題 6
解答時間 平均 (秒/問)	174.74 (標準偏差 $\sigma=184.90$ )	283.54 ( $\sigma=178.60$ )	97.64 ( $\sigma=100.52$ )	170.47 ( $\sigma=88.55$ )	102.69 ( $\sigma=67.90$ )	99.54 ( $\sigma=76.50$ )
正誤判定 数平均 (回/問)	3.8 ( $\sigma=2.71$ )	6.9 ( $\sigma=5.83$ )	4.9 ( $\sigma=7.66$ )	6.1 ( $\sigma=4.35$ )	4.7 ( $\sigma=3.13$ )	3.5 ( $\sigma=1.74$ )

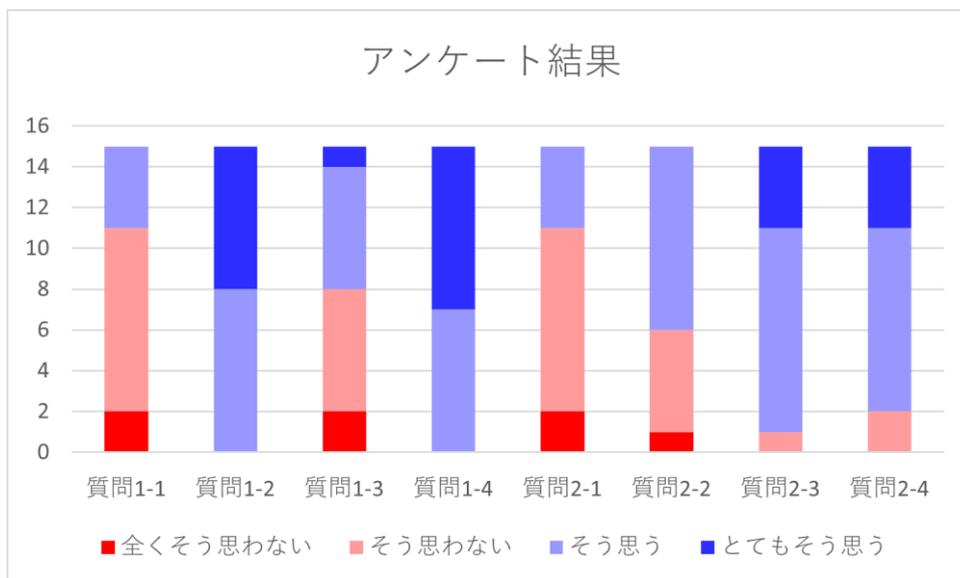


図 24 アンケート結果

表 3 アンケートにおける二項検定の結果

質問番号	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4
肯定(人)	4	15	7	15	4	9	14	13
否定(人)	11	0	8	0	11	6	1	2
p 値	0.041	0.000	0.196	0.000	0.041	0.152	0.000	0.000

## 第6章 まとめ・今後の課題

他者の誤答について考えることが学習において有用であることが一般に知られている。このような活動は批判的思考として知られており学習上有効であることは認められているが、その実施方法についてはいまだ議論段階にあり、具体的な方策が定まっていない。先行研究では共感的理解を取り上げ、共感的理解を演習化することによって具体的な動作を伴う課題として他者の誤答について考える活動が評価可能となとした。本研究では、共感的理解の演習化のために相手の答え（誤答）が再現できる問題の認識や問題解決の知識を見つける活動として「誤答に対する共感的理解」を定義し、これを学習課題として設計した。また、「誤答に対する共感的理解」の演習を通じて、初等力学の問題に対し道具的理解から関係的理解への移行を支援することを目的とし、そのシステム化を行った。このシステムを情報系大学生および情報系大学院生に対して実験的に利用した結果、システムが利用可能であることや、「誤答に対する共感的理解」が学習者に受け入れられるものであることが確認できた。

今後の課題としては、演習の説明充実が第一に挙げられる。共感的理解の必要性や有用性については肯定的意見を多く得ることができたが、システムの説明不足が原因でシステムの使い方を把握するのに多くの時間がかかってしまう事象も見受けられた。また、今後の展望として実際の教育現場において学習効果検証のための実践利用があるが、そのためには問題を解けない学習者に対する支援、例えばヒント機能や解答に沿ったフィードバック機能を追加することによって教育現場における実用性が高まると考えられる。

## 謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導して頂いた平嶋宗教授，林雄介教授に心から感謝いたします。

ならびに，本論文の審査をしていただいた，向谷博明教授に感謝いたします。

また，多くの意見や助言，多大な協力を頂いた，磯貝通也氏，並びに学習工学研究室の皆様方に心から感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 平嶋宗 共感的理解を通じた学習の設計 - 「学習者による共感的理解のタスク化」 - 第45回教育システム情報学会全国大会講演論文集 169-170, 2020-09 教育システム情報学会
- [2] 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)
- [3] 大川内祐介, 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)
- [4] George Polya, “いかにして問題をとくか” 柿内賢信訳, 丸善, (1954)
- [5] Skemp R: “新しい学習理論にもとづく算数教育 - 小学校の数学 -”, (平林-榮監訳), 新曜社, (1992)
- [6] 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)
- [7] 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)
- [8] 津守庸平, 林直也, 篠原智哉, 山元翔, 堀口友也, 林雄介, 平嶋宗 “自己調整活動の経験型支援システムの設計・開発”, 人工知能学会全国大会論文集 JSAI2016 (0), 1C5OS13b5-1C5OS13b5, 2016 一般社団法人 人工知能学会
- [9] 志水規祥, 林雄介, 平嶋宗: “関係的理解を指向した問題間比較タスクの設計開発および実践評価”, 人工知能学会研究会資料, Vol. 82, pp. 55-60(2018)
- [10] 道田泰司 批判的思考における soft heart の重要性 琉球大学教育学部紀要 60, 161-170, 2002-03
- [11] 長谷川寿一: “共感性研究の意義と課題”, 心理学論評, 58(3), 411-420(2015)
- [12] Cuff, B. M., Brown, S. J., Taylor, L., & Howat, D. J. (2016). Empathy: A review of the concept. *Emotion Review*, 8, 144-153.
- [13] 市川伸一 “認知カウンセリングの構想と展開”, 心理学評論 32(4), 421-437, 1989
- [14] 沼野一男 (1986) 教育の方法と技術. 玉川大学出版

## 付録

アンケートの質問 2-5 で得られたコメント

- 正解した後、次の問題に移る前に解答を眺めたいので「次の問題に進む」ボタンがあればよいと思いました。
- 問題を逐一解いているようで共感的理解をしている感じではなかった。でもどうすればよいかを考えてはいないため、私からの改善策はない。
- 文字が小さくて見えにくかった。
- 段階的に解ける機能や動画などによって正誤判定を確認できる機能が欲しい。
- 斜面を平面にしたら自動で力の方向も平面方向になる機能が欲しい。力の向きを示す矢印が図にあるとより分かりやすいと思った。
- 問 2 がわかりにくい。物理的にあり得ない状況が作られてしまった時の判断をどうすべきか明示してほしい。選択肢が中身でしぼれてしまって、実質 2 択になってしまう問いもあった。差分もプルダウンにすればそうはならなさそう。(難易度は跳ね上がるけど)
- 作問問題ともの問題の差分演習システムの UI を見やすくするとより使いやすくなると思います。
- システムの使い方、意図している解答を考えることが非常に難しかった。1 問目が一番難しく感じたため、システムの使いやすさに問題あり。
- ドロップダウンが小さいのももう少し大きくしてほしい。ヒントボタンを付けてあげる。(じゃないと、わからない人はずっとわからない)
- 図に角度を入れて欲しい。下方向などの選択がしにくかった。
- 共感的理解を行えたかがわからなかった。
- システムに慣れるのに少し時間がかかった。最初に与えられた問題からいったん正しい答えを求めるという作業を前段階の活動として別途行わせてもいいのかなと感じた。
- ボタンの大きさが少し小さいかも
- 追加・省略された属性を選んだ後、正解不正解だけでなく自分が選んだ選択肢を再確認できると助かると思いました。(とりあえず適当に選んでみたら正解してそのままにして次に行ってしまう、ということがあったので)
- 値を変化したら問題であった図が変化してわかりやすかったです。

アンケートの質問 1-3 に対し、肯定的な回答を行った被験者に対し行った質問  
「どのような状況で共感的理解やそれに近い活動を実施しましたか。」で得られたコメント

- 試験前の教え合い活動などが共感的理解の活動に当たるのではと思い、とてもそう思うで回答しています
- サークル活動で施策を考えていて相手の意見が全く理解できなかった時、全てダメって言うんじゃなくて、相手がどうしてこのように考えたかをヒアリングしつつ、要素分解をして、ここが違うよねって相手に納得感を持たせながら説明すること
- 他人にテストなどの勉強を教えていただいた時が共感的理解やそれに近い活動になると思います。
- 塾講師をする際に、相手の理解と答えの差分を教えることで負担なく学習できるとかかんがえており、それを実践していた
- 小学校の算数で似たようなことをしました。教科書の誤答に対してどうしてそのような解答になったのか、その解答が正しい場合問題はどのようになるのか考える授業がありました
- 数学を知り合いに教えている時に、相手が間違えて分からない問題を教えるときに、どうして間違えているのかをまず探ってからその間違いが生まれた原因を説明して、正しい解き方に戻す
- 一般的な学校の授業内で、あらかじめ解いて来た問題について、それぞれの解答と照らし合わせながら、グループディスカッションを行いました。共感的理解というより、協働学習に近いかもしれませんが。