

初等力学問題を対象とした問題間構造組立演習システムの 設計開発と実験的評価

元川 凱喜^{*1}, 藤田 隆雅^{*2}, 林 雄介^{*1}, 平嶋 宗^{*1}

^{*1} 広島大学大学院工学研究科

^{*2} 広島大学工学部

Composition Exercise of Inter-Problem Structure in Preliminary Physics and Its Experimental Evaluation

Kaiki Motokawa^{*1}, Fujita Ryuga^{*2}, Yusuke Hayashi^{*1}, Tsukasa Hirashima^{*1}

^{*1} Graduate School of Engineering Hiroshima University

^{*2} Engineering Hiroshima University

問題は単一で存在するのではなく、その周辺には関係を持つ問題が複数存在しており、それらの関係は問題間構造として記述できる。問題を解くだけではこの問題間構造の理解の促進が十分ではないことから、本研究では、問題間構造の理解促進を指向した問題間構造組立演習システムを、力学を対象領域として設計開発し、実験的利用を通してその有用性を検証したので報告する。

キーワード:問題間構造, 構造組立演習, メタ認知, 問題解決支援, 自己調整学習

1. はじめに

問題を解けた際に、その問題を十分に理解したと言えるのだろうか。問題を解くとは、その問題に合った適切な解法を適用することである。このとき、ただ手続的に解法を適用して問題を解決することと、問題を吟味し適切な解法を選択して解決するのでは大きな隔りがある。先行研究において理解は2つに分類されており、前者を道具的理解、後者を関係的理解とした[1]。問題は単体で存在するのではなく、その問題と関わりの深い問題が複数存在する。問題とその問題と関わりの深い問題を比較することで、その問題の特徴を把握し、問題に合った解法を適用するのが関係的理解である。このように問題同士には関係があり、その問題間の関係を理解することが学習において重要であるとされている。この問題間の関係は一つの問題に対して、複数の関係のある問題が存在し関係し合うことで問題間構造を構築する。この問題間構造を用いた自己克服法が研究された。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[2]。この考えに基づいた関係的理解を必要とする自己克服法として、単純化方略が研究された[3]。単純化方略では、問題に行き詰った際に、その問題と単純化の関係にあり、且つ、解決可能な問題と元の問題とを比較することで行き詰まりの原因を自ら発見する方法である。

先行研究では初等力学の問題を対象に、この単純化方略を実装した問題演習システム“ICP”が研究された。学習者が問題に行き詰った際に、システムにより、その問題を単純化した問題を学習者が解決可能になるまで提供し、再度元の問題まで複雑化するという演習システムが設計/開発された。実践的に利用した結果、単純化された問題を解くことで直接的な支援を行うことなく、学習者自身で元の問題が解けるようになるという自己克服が確認された[4]。さらに、ただ学習者に単純化された問題を解かせるだけでなく、単純化された問題と元の問題を比較/検討させるシステムが設計・開発された。このシステムでは、システムが提示した2つの問題の関係を説明する演習が行われた[5]。

本研究では、より全体の問題間の関係を理解するた

めに、問題間構造を、問題とそれらの問題の関係に分解したパーツを提供し、それを学習者が組み立てる演習を設計した。先行研究での用意された2点の問題間の関係だけでなく、与えられた問題群の全体から関係のある問題を探すことで、自身で関係のある問題を発見する能力を習得することを目的とした。また、高等専門学校において本システムの実験的利用を行い、システムの妥当性とその効果を確認した。

2. 単純化

2.1 道具的理解と関係的理解

Skemp[1]は理解を大きく2つに分類しており、道具的理解と関係的理解が存在する。道具的理解とは「規則を身につけそれを用いる能力で、いわゆる理由なき規則を用いる能力」と定義されており、言い換えると、なぜその解法を用いるのかわからないが手続き的に解法を適用することで問題を解いている状態である。対して、道具的理解は「やっていることもその理由も、どちらも理解している状態」と定義されており、他の問題との違いといった関係を把握し問題の特徴をとらえることで、適切な解法を選択し問題を解ける状態である。

2.2 単純化の定義

先行研究[6]において初等力学の問題を表層構造（問題文）、制約構造（物理状況）、解法構造（解法）に分類しており、このうち問題の解き方に特に影響する物理状況と解法の二つにおいて単純化を定義している。

「状況」は重力加速度や質量といった問題を構成する属性と、それらの属性を結ぶ数量関係によって構成されたネットワークであり、「解法」はそのネットワーク内で問題から与えられた入力属性と求めるべき出力属性をつなぎ合わせた木構造で表現される解法構造である[7]。これらの構造に操作を行うことで関連した問題を作ることができる。さらに、状況や解法から一要素を削除したり、入力/出力属性を変更したりすることで、元問題よりも一段階簡単な問題ができる。こういった操作を「単純化」とよび、単純化された問題の構造は元の問題の構造に含まれるため、元問題を解くということは、単純化された問題を解くことを含んでいる。

2.3 特殊化と一般化

「状況」に対する単純化/複雑化を、特殊化/一般化と呼ぶ。特殊化では問題が持つ属性の値を式上において省略してよい値にデフォルト化することで単純化としている。つまり、特殊化された問題を解くことは元の問題の特殊な状況の問題を解くこととなる。逆に、滑らかな床の摩擦係数を任意の値にするといった、状況の属性を追加することが一般化である。たとえば、摩擦係数が0という値に特定されているのが特殊な状態であり、摩擦係数が0でない場合の解決過程では、0である場合の解決過程を含んでいる一般化された解決過程になる。特殊化/一般化における状況の変化は、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[8][9]。マイクロワールドグラフとは、物理状況間の関係をその状況を成立させている力学的な仮定の変化とし、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。

2.4 部分化と拡張化

「解法」に対する単純化/複雑化を、部分化/拡張化と呼ぶ。部分化は問題解法構造中に現れる中間属性を出力属性もしくは入力属性として元の解法構造の部分で解決可能な問題にすることで単純化としている。つまり、部分化された問題を解くということは元の問題の一部を解くこととなる。逆に元問題で出力属性や入力属性だった属性を中間属性として、新しい属性を追加することで拡張化を行うことができる。

3. オープン情報構造アプローチ

3.1 オープン情報構造アプローチ

オープン情報構造アプローチ[10]とは課題設計の方法である。学習課題を意味的で記号的な情報構造として記述し、学習者にインタラクティブにその構造を操作できる環境を提供することで、よりアクティブな学習活動が実現できる。オープン情報構造アプローチは次の手順で学習課題に適用する。(1)対象となる情報構造を外在化して学習者に提供する。(2)外在化された情報構造を、学習者にとって操作可能なものにする。(3)学習者が操作した結果を情報構造に反映・フィードバックする。これにより学習を阻害する負荷を軽減し、学習を促進する負荷を維持することが可能になる。

3.2 キットビルド方式

キットビルド方式とは、対象の構造を、「要素」と「要素間の関係」によって記述した上で、その構造を、「要素部品」と「関係部品」に分解して部品集合（キット）とし、その部品集合を用いて元の構造を再組立することである。このキットビルド方式を概念マップに適用したのがキットビルド概念マップである。概念マップとは、二つ以上の概念とそれらの関係によって構成された命題の集まりから意味構造を表した図的表現である[11]。概念マップを作成することは、学習知識や理解の外化・整理活動として学習効果があるとされている[12]。キットビルド概念マップでは、教授者が伝えたい内容を概念マップとして構造的に表現し、その構造を概念（ノード）と関係（リンク）に分解し、キットを作成する。そして、そのキットを学習者に提供し、概念マップを組立させる。元の概念マップが決定されているため、組立てられた概念マップの計算機による自動正誤判定や即時のフィードバックが可能となる[13]。本研究では、文献[14]に基づいて問題間構造を記述し、それを部品化して学習者を組み立てさせることを問題間構造組立演習としており、5章において説明する。

4. 問題比較演習システムの実験的利用

本章では、先行研究で実施した問題比較演習システムの実験的利用とその結果について紹介する。

4.1 実験目的

これまで問題の単純化の関係を利用した自己克服方略を実装したシステムが開発され、自己克服の効果が確認された。しかし、これらのシステムは問題を解くための単純化を用いているものであり、問題間の関係自体を学習対象としものではなかった。そこで先行研究[5]では問題の関係自体を対象とし、問題同士の比較・検討を行う能力の習得を指向した演習システムが設計され、効果の検証がされた。このシステムでは単純化の関係にある2つの問題を与え、それらの問題間の関係を説明させるものであった。しかし問題間の関係は2点間の関係だけでなく、複数の問題と関わり合っており問題間構造を構築するものである。そこで本実験では先行研究のシステムで2つの問題の関係だけ

でなく、より複数の問題との関係に対しても効果があるのかを検証した。

4.2 システム概要

現在取り組んでいる問題と他の問題を関連付けて、どう難しくなっているのか、あるいはどう簡単なの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であり、能動的に学習を行っていく上で重要なスキルである。しかし一般的に問題は「解く」ものであり、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的な学びの対象となることは少ない。そこで、まず1ステップとして単純・複雑関係で結びついた問題同士における比較活動を可能とする環境を整え、経験学習として支援を行う。

問題間の差分に注目した活動をプロセスごとに、(1)問題同士が単体としてだけでなく単純・複雑の関係によって結びついていることを認識する。(2)問題に含まれる要素やパラメータレベルの差異を確認する。(3)問題解決レベル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つに分割して捉えた時、特に(1)～(3)の段階を可視化・演習化して学ばせることで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繋がりを表した問題間構造の可視化、(2)および(3)については各問題ペアにおける比較活動を通して問題間の差分を表現する説明演習を設計する。このシステムでは2つの問題を比較したとき差分を抽出し説明できることまでのステップをまず可能とすることが目標として開発された。

4.3 実験手順

初等力学を習得済みの高等専門学生計37名を対象に検証を行った。手順として、事前テスト(10分)、システム利用(55分)、事後テスト(7分)を行った。事前・事後テストで同じ内容のものを使用した。この事前事後テストでは問題の単純化が行えるか否かを測った。出題した問題を図1に示す。このテストでは、まず初期問題を与え、「その問題を解けた人なら必ず解けると思われる問題はどれか？」という質問をした。これは「初期問題を単純化した結果、生成される問題はどれか？」という問いと同義であり、学習者は初期問題と

与えられた問題群の複数の問題間関係を考慮する必要がある。与えられた問題群は初期問題と関係のある問題であるものの、初期問題を複雑化した問題も含まれており、単純複雑といった順序関係による問題間構造を理解していなければならない。更になぜその問題を選択したかという理由も記述させた。この際、単に問題を解く知識が不足しているために比較が満足に行えないことを避けるため、必要な公式も同時に提示した。

図 1 事前事後テストで実施した問題

問題S

以下の状況において物体Aに働く運動方向の加速度を求めよ。
(矢印は物体の運動方向を表す)

- 物体Aの質量をm、物体Bの質量をM、重力加速度をgとする。
- 物体Aは摩擦のある平面上を滑っており、動摩擦係数を μ とする。
- 2物体ある状況では、それぞれの物体は重さのない糸でつながっており、滑車は滑らかに回転する。
- 土台は固定されている。

Q: 単純化した結果得られる問題はどれか？
選択した理由は？

4.4 実験の結果と分析

事前事後テストについて2通りの採点方法で採点した。まず、採点法1では、理由も含めて単純化された問題を選択できていたら1点とした。図1のテストでは、①、④、⑧が正解となるため、満点は3点となる。また、このテストでは任意の数の選択を許しているため、正解を選択しているかどうか（再現率）だけでなく、選択したものが正解である（適合率）も考慮する必要があると考え、適合率・再現率・F値での採点も行った。この際には理由づけは採点の対象としていない。採点法1の結果の度数分布を表1に示す。平均点についてウィルコクソンの順位和検定を行ったところ5%の有意差($p = 0.0126$)を確認できた。採点法2における適合率、再現率、F値の事前事後テストにおける平均を表2に示す。同じくウィルコクソンの順位和検定を行ったところ、再現率においてのみ5%の有意差($p = 0.031$)が確認できた。これらの結果から、単純化し問題間の関係まで説明できた学習者が増加したことがわかった。本システムでは問題の比較する能力を習得することが目的であったため、単純化された問題の差分

まで説明できたのだと考える。しかし、適合率とF値においては有意差が確認されなかった。単純化には向きが存在し、ある問題に対しては単純化の関係にあるが、他の問題に対しては、関係はあるものの単純化の関係ではなく複雑になる場合もある。このような順序関係と言った関係構造の習得までには至らなかったと考えられる。したがって、より問題間構造全体を考える演習の必要性が言える。

表 1 比較演習における事前事後テストの得点分布

(採点法1)

	事前	事後
0点	24	20
1点	10	6
2点	1	4
3点	2	7
平均点	0.486	0.946
標準偏差	0.792	1.18
p-value	0.0126	

表 2 事前事後テストにおける
適合率/再現率/F値の変化 (採点法2)

	適合率		再現率		F値	
	事前	事後	事前	事後	事前	事後
平均	0.563	0.651	0.505	0.649	0.522	0.628
標準偏差	0.429	0.400	0.407	0.395	0.407	0.380
p-value	0.196		0.031		0.126	

5. 問題間構造組み立て演習システムの 設計・開発とその効果の検証

5.1 システム概要

本研究の目的は、問題の関係の理解を促進することである。この問題間の構造を理解するために、第3節で述べたオープン情報構造アプローチに基づいた演習を設計開発する。オープン情報構造アプローチは学習対象をインタラクティブに操作可能な学習環境を提供することのできる課題設計方法である。このオープン情報構造アプローチに基づいて設計するため次の手順で演習を設計する。まず、(1)対象となる情報構造を外在化し学習者に提供する。(2)外在化された情報構造の学習者による直接的な操作を可能にする。(3)学習者の操作結果をその情報構造に反映・フィードバックする。本システム演習の学習対象は問題間の構造である。ここで2.3節にて述べた、特殊化による問題間の構造を外在化したマイクロワールドグラフは各問題をノード、それらの問題の関係をリンクとすることで特殊化による問題感構造を外在化している。また、このマイクロワールドグラフはノードとリンクによって構成されて

おり、問題間の関係命題によって構築された概念マップとして捉えることができる。更にマイクロワールドグラフは特殊化の定義に基づいて構成されるため、一意にゴールマップを決定できるので、キットビルド概念マップとして操作可能な情報構造といえる。したがって本システムは(1)対象となるマイクロワールドグラフを(2)キットビルド方式で学習者に提供し再構築演習を行い、(3)解答に合わせたフィードバックを提供する。

5.2 組み立て演習

本システム演習ではマイクロワールドグラフをキットビルド方式で組み立てる演習を行う。問題状況と問題文を組み合わせたものをノード、特殊化の関係によって省略された属性をラベルとしたリンクを学習者に提供する。学習者は与えられたキットで、一意にきまるマイクロワールドグラフを構築することが目標となる。この組み立て演習を行う中で学習者はそれぞれのノードを比較しながら適切なリンクで問題ノードを繋げなければならない。具体的な操作を、図1を用いて説明する。この場合、②、③のノードはどちらも①から摩擦が特殊化されているので一見するとどちらも正解に思える。しかし、①から③では、摩擦だけでなく、張力も特殊化されており、対して①から②は摩擦のみが特殊化されている。したがって、より適切な①と②を接続するのに摩擦リンクを使用する図2が正解のマップとなる。このように学習者は、2つ問題ノードを接続する際に、それらの問題だけでなく他の問題ノードと関係も考慮しなければならない。つまり組み立て演習を行うことは、2つの問題比較だけでなく網羅的に問題を比較が必要となり問題間構造全体を意識することとなる。

図2 問題間構造の構成部品の提供例

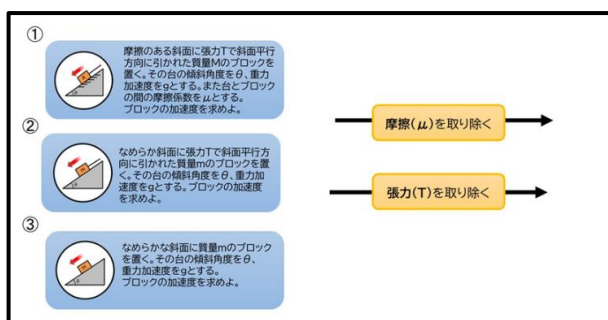
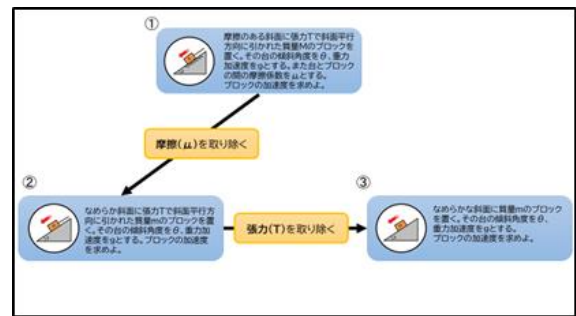


図3 問題間構造の組み立て例



5.3 フィードバック機能

学習者が回答した答えに対してリンクの色を変更することでフィードバックを行う。マップを組み立てる際の誤りの種類として、不足、過剰がある。まず、不足については本来ならばリンクが必要な場所にリンクを接続していない場合が該当する。つぎに、過剰の誤りは本来ならばリンクがないところにリンクが存在する場合が該当する。リンクが必要な場所に誤ったラベルのリンクがある場合も、そのラベルから見た場合、誤った場所に接続されているため過剰リンクの誤りとして表示する。また特殊化には方向があるため、リンクに接続するノードはあっているが向きが異なる誤りもフィードバックをつけた。これらの誤りに対して、リンクの色を不足が青、過剰が赤、向きの誤りが緑に変化させることでフィードバックを与えた。

5.4 実験目的と手順

初等力学を習得済みの高等専門学生計44名を対象に検証を行った。手順として、事前テスト(7分)、システム利用(20分)、事後テスト(5分)、アンケート(10分)を行った。事前事後テストは4章で用いたものと同じものを使用した。採点では全体の成績推移だけでなく、システム演習との関係を調べるために、システムログから演習の進行度を収集し、学習者を演習の進行度別にグループ分けを行って分析した。なお、正確にログを収集できなかった2名を覗いた42人を対象にこの分析を行った。それぞれの演習問題まで進んだ学習者の人数を表3に示す。分析の際にどのデータも正規性は確認されず、対応した集合であるため、検定にウィルコクソンの符号順位検定を用いた。

表3 問題間構造組立演習の達成問題数の分布

演習問題番号	0問	1問	2問	3問	4問
人数	0人	0人	7人	20人	15人

5.5 テスト結果の分析

事前事後テストについて、5章と同様に理由を含めた3点満点の採点（採点法1）と、採点法2による適合率、再現率、F値の検定を行った。まず、採点表1の結果の度数分布を表4に示す。平均点は事前の0.256点から事後では0.930点に上昇し、検定を行ったところ1%の有意差($p=0.0000760$)が確認された。続いて、学習者全体と各グループ別の採点法2による適合率、再現率、F値の事前事後テストにおける平均を表5に示す。この結果、学習者全体においては各指標ともに1%の有意差（適合率： $p=0.000720$ ，再現率： $p=0.0000380$ ，

F値： $p=0.0000770$)を確認できた。システム演習のすべての問題をおえることができた学習者は適合率、再現率は5%有意(適合率： $p=0.390$ ，再現率： $p=0.150$)，F値は1%有意($p=0.00680$)が確認された。続いて4問中3問目まで正解できた学習者においては再現率のみ5%有意($p=0.03174$)であった。一方、問題2までしか正解できなかった学習者は有意差が確認されなかった。また、事前・事後テスト間で有意な上昇が見られたことから、本システムが問題間構造の関係を理解するのに有効であることが言えた。また、システム演習の進行度別で分析を行ったところ、すべての演習問題を終えることができた学習者ほどそれぞれの指標が上昇しており、逆に演習をあまり進められなかった学習者は上昇が見られなかった。このことからシステムを進めることと単純化を行うことは同等の能力が必要となることがわかる。

表4 問題間構造組立演習における
事前事後テストの得点分布（採点法1）

	事前	事後
0点	34	23
1点	8	7
2点	0	6
3点	1	7
平均点	0.256	0.930
標準偏差	0.574	1.15
<i>p-value</i>	0.0000763	

表5 事前事後テストにおける
適合率/再現率/F値の変化（採点法2）

		適合率		再現率		F値	
		事前	事後	事前	事後	事前	事後
学習者全体 (44人)	平均	0.440	0.698	0.356	0.667	0.368	0.636
	標準偏差	0.437	0.395	0.385	0.389	0.370	0.359
	<i>p-value</i>	0.000720		0.0000382		0.000077	
問4まで終了した 学習者(15人)	平均	0.534	0.844	0.467	0.844	0.472	0.816
	標準偏差	0.453	0.319	0.435	0.295	0.412	0.299
	<i>p-value</i>	0.0391		0.0156		0.00684	
問3まで終了した 学習者(20人)	平均	0.369	0.599	0.333	0.596	0.331	0.53
	標準偏差	0.387	0.386	0.359	0.384	0.336	0.313
	<i>p-value</i>	0.121		0.0317		0.0557	
問2まで終了した 学習者(7人)	平均	0.429	0.571	0.238	0.381	0.286	0.429
	標準偏差	0.495	0.495	0.343	0.415	0.364	0.417
	<i>p-value</i>	1.00		1.00		1.00	

5.6 アンケート結果の分析

アンケートでは表6の内容を4段階評価で質問した。また、なぜそのように回答したのかも任意で回答させた。アンケートの集計結果を図3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、「そう思わない」「とてもそう思わない」を否定的意見とする。これらの結果に対して二項検定を行った結果、質問7以外は有意な差が見られた。

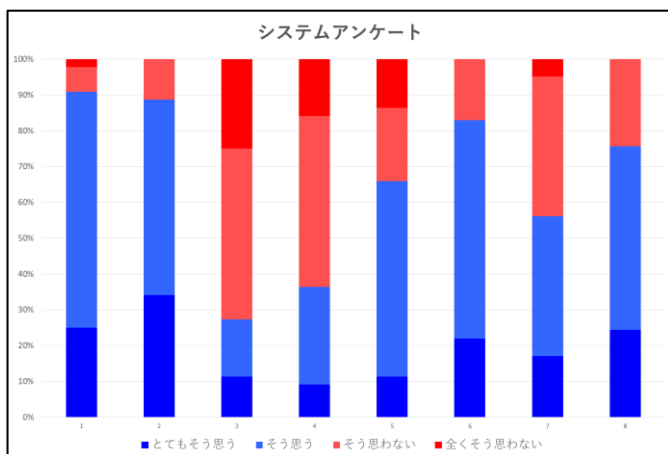
この結果より、単純化の有益性やシステム演習の意義を肯定的に捉える意見が多く見られた。一方、否定的な意見が最も多かった質問3は、「以前から、今解いている問題と似たシンプルな問題ならどうなるかを考えた勉強をよくしていましたか?」という質問であり、単純化が一般的に定着していない思考であることが言える。加えて、質問2,8において問題間の関係を考えることが有益であるという意見が多く見られたため、本演習による単純化による問題間関係の理解支援は必要な演習であることが言える。質問3に次いで否定的な意見が多かった質問4はシステムの使いやすさについてであった。回答とともに記載されていたコメントとして、組み立ての際のタッチ操作のやりにくさや誤作動に不満を持つ声が多く上がっていたので、今後の課題としてシステムの操作性の向上が挙げられる。これに関連して質問5の「今後もこのシステムを使って演習を行ってみたいか」という質問について考察する。アンケートの結果は60%ほどの肯定的な意見であったものの、あまり高い数字とは言えない。しかし、否定的な意見とともに記載されたコメントでは、システ

ムの使いづらさが理由として大半を締めしており、演習内容としては他の問題でもやってみたいとの意見もあった。このことから本システムのユーザービリティの向上を図ることで、改善が見込まれる。これに従い、より効果的に演習できると考える。

表 6 実施したアンケートの内容

質問	内容
1	システムを使うことでシンプルなやさしい問題を考えることができるようになりますか
2	シンプルなやさしい問題を考えることに意味があると思いますか
3	以前から今解いている問題と似たシンプルな問題ならどうなるかを考えた勉強をよくしていましたか
4	1つ目のシステムは使いやすかったですか
5	今後も1つ目のシステムのような問題演習を行ってみたいと思いますか
6	問題に関係性があることを、システムを使う前より意識できるようになりましたか
7	これら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
8	問題の比較が出来るようになったら便利だと思いますか

図 4 アンケートの集計結果



6. まとめと今後の課題

問題に対してただ解法を道具的に適用するのではなく、問題を関係的に理解して問題を解くことが学習を行う上で重要である。先行研究において、関係的理解を必要とする自己克服法や問題間の関係自体を学習対象とした研究が行われた。本研究では、特定の問題間の関係だけでなく、複数の問題間の構造の理解を支援するためにオープン情報構造アプローチに基づいて問題間構造の再構成演習を設計・開発した。

このシステムの高等専門学校における実験的利用を通して、システムが問題間構造を理解することに効果があることが確認でき、またシステム演習自体も学習者に受け入れられるものだったことがわかった。

今後の課題としては、本システムのユーザービリティの向上が第一に挙げられる。システムの演習内容に対しては肯定的な意見が多かったものの、システムの使いづらさが原因で余計な負荷がかかったためにうまく演習を進められなかった学習者が存在した。また演習を進めるに伴い、テストスコアの上昇が見られたため、ユーザービリティを改善することで、より高い学習効果が期待できる。

参考文献

- (1) 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)
- (2) George Polya: “いかにして問題をとくか”, 柿内賢信訳, 丸善, (1954)
- (3) 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, Vol. J98-D, No. 1, pp. 130-141 (2015)
- (4) 林直也, 篠原智哉, 山元翔, 林雄介, 堀口知也, 平嶋宗: “単純化による問題解決行き詰まりの自己克服支援”, 第39回教育システム情報学会全国大会, I1-28, pp. 55-56, (2014)
- (5) 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)
- (6) 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, Vol. 27, Issue. 6, pp. 391-400 (2012)

- (7) 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)
- (8) 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)
- (9) T.Horiguchi,T.Hirashima : “Graph of Microworld : A
Framework for Assisting Pro-gressive Knowledge
Acquisition in Simulation-based Learning
Environments” ,The 12th International Conference
on Artificial Intelligence in Education,pp.670-
677(2005)
- (10) 平嶋宗,林雄介:“メタ問題設計としてのオープン情報構
造アプローチ” ,人工知能学会研究会資料,SIG-ALST-
B509(2018)
- (11) Novak, J.D,Canas,A.J : “The Theory Underlying
Concept Maps and How to Construct Them” ,
Technical Report IHMC CmapTools” ,2006-01(2006)
- (12) 山口悦司,稲垣成哲,福井真由美,舟生日出男:“コンセプ
トマップ:理科教育における研究動向とその現代的意
義” ,理科教育学研究, Vol. 43,Issue. 1 ,pp. 29-51(2002)
- (13) Kan Yoshida, Kouta Sugihara, Yoshiaki Nino,
Masakuni Shida, Tsukasa Hirashima : “Practical
Use of Kit-Build Concept Map System for Formative
Assessment of Learners’ Comprehension in a
Lecture” ,Proc of ICCE2013,pp. 892-901(2013)
- (14) T.Hirashima, T.Niitsu, K.Hirose, A.Kashihara,
J.Toyoda : “An indexing framework for adaptive
arrangement of mechanics problems for ITS” ,
*IEICE TRANSACTIONS on Information and
Systems*, 77(1), 19-26 (1994).