

「問題を作ることによる学習」を対象とした インタラクティブ支援環境の設計・開発

(Design and Development of Interactive Environment for Learning by
Problem-Posing)

やまもと しょう

山元 翔

2014 年 03 月

広島大学大学院工学研究科

内容梗概

情報化社会の発展に伴い、計算機による学習の支援に関する試みが盛んに行われるようになってきており、e-Learning, ICT活用教育と呼ばれている。学習支援システム的设计・開発の試みは、大きく二つのアプローチに分けることができる。一つは現場で行われている活動を情報技術によりなるべく充実に、かつ低コストで実現・支援しようという試みである、Ad-hoc Frame Oriented アプローチである。もう一つは、学ぶ対象の情報構造を明らかにすることで、その情報構造を前提とした学習の形態を設計・開発しようとする Information Structure Oriented アプローチである。Ad-hoc Frame Oriented アプローチは、すでに使われているなじみのある方法を対象としている点で教育現場において受け入れやすく、また情報技術を用いる場合と用いない場合の比較も行いやすいと言える。しかしながら、従来の教え方・学び方に準拠するため、必ずしも情報技術の可能性を十分に活かしているとは言えなかった。Information Structure Oriented アプローチの場合、従来の教え方・学び方に必ずしも準拠しないため、受け入れやすさや評価のしやすさという点でのデメリットはあるが、情報技術を適切に活かした新しい学習・教育支援の可能性を持っている。筆者は、Information Structure Oriented アプローチを採用することで、従来の教育現場では行えていなかった学習活動とその支援を実現することを目指している。

Information Structure Oriented アプローチでは、学習者が学ぶ対象を情報構造として表現するので、システムがその構造を処理可能ようになっていく。ここで、元々の Information Structure Oriented アプローチでは、システムが学習対象を説明したり、学習者の回答などを情報構造に基づいて分析・応答するためといった、システムによる情報構造の処理が基本であった。これに対して、この情報構造を学習者により直接的に操作させようという試みもある。筆者の行った一連の研究は、Information Structure Oriented アプローチの中でも、作成した情報構造を学習者に組み立てさせることが、学習者の情報構造の意識化と習得を促進することを目指したものとなっている。

情報構造を学習者に操作させる形態の学習を実現している研究は既にいくつかあるが、それらはプログラミング言語や、独自に定めた概念マップなどの特別な記法を習得し、その言語を通して操作することが前提となっていた。このため、一般的な学校における教科のように特定の学習目標が定められており、その学習目標となっていた対象を学ぶことに重きが置かれている場合には、使いにくいものであった。筆者の研究では、学ぶ対象をより直接的に構造化し、その構造を部品化し、学習者が操作できるようなものにする試みを行っている。より具体的には「問題」を対象として問題の部品化をおこない、この部品の変更・操作・組み立てとして問題を作らせる試みを行っている。

問題を作るという活動自体が教育的に意義のある学習方法であることは、古くから知られている。しかしながら、学習者にとっての問題を作るという演習の負担、作成された問題を診断するという教授者にとっての負担から、有用的な演習であるとは言いがたかった。本研究では問題を情報構造として捉えることで、問題を作ることを情報構造の組み立てとし、そしてその診断とフィードバックを可能としたため、この活動の実用的な実施の可能性を示している。この時、問題を作るという活動は、(a)用意されている部品を用いて問題を組み立てる活動と、(b)ある問題を変更する活動の二つに分けられる。本研究では、言語表現と数式表現を結びつけることが課題となる、物理力学、及び算数文章題を対象に、これら演習を対象としたインタラクティブな支援システムの設計・開発を行った。

以下に、本論文の各章の内容を示す。

第1章では、本研究を行うに至った経緯、研究の意義、概要について述べる。

第2章では、本研究で取り扱う問題の定義と、それに基づいた「問題を作ることによる学習」の意義と、演習方法の整理を行う。この時、問題は状況から取り出した、前提情報と結論情報で構成されるとしている。

第3章では、初等力学の文章題を対象とした、問題を変えることによる演習の支援システム「ProNavi-II」について説明する。物理力学における問題の定義として、まず物理状況の情報構造を定義し、そこから問題中で与えられる前提情報と結論情報の設定を行う必要がある。この際、学習者が変更することのできる要素はいくつかあるが、自由に変更させてしまえば、学習者が考えるべき対象を絞れず、演習の意義が薄れてしまう。そこで、演習に適切な課題設定を設けるための分析を行い、システムを開発した。このシステムについては、大学生を対象として行った試験的評価の結果も報告する。

第4章では、算数文章題でも、加減の二項演算を対象とした、問題を組み立てることによる演習の支援システム「モンサクン Touch」の、小学校1年生を対象とした授業利用のための設計・開発を行う。本研究では、三つの単文を組み合わせることによって問題を作成する、単文統合型の作問のモデルを提案している。これにより学習者が問題を作成し、システムがそれを診断することを可能としている。ここではシステムを、まだ対象領域の理解が十分ではない小学校1年生の児童にも適用可能とするため、三つの課題に取り組んだ。作問学習支援システムの教室での利用可能化、児童の演習結果の集計・閲覧の可能化、そして、単文統合型の作問による授業の実現である。これは授業での教授を踏まえてシステム上で演習を可能とすること、演習中、そして演習結果を踏まえた指導を教員が行えるようにすることを主眼においている。このシステムについては、小学1年生の算数の授業において実践的に用いたので、この結果についても報告する。

第5章ではモンサクン Touch の発展として、(1)特別支援学級での実践利用、および(2)乗算への拡張と実践利用、を行った。モンサクンは単文統合型の作問を行わせているため、作問意義を保ちつつ、文章を一から考えるという負荷を軽減している。よって文章理解に遅れの見られる特別支援学級の児童には有効であることが見込まれたので、実践的な利用

を試みた。また、2年生を対象とした乗算の範囲においても、二項演算の範囲であるので、同様に単文統合型の作問が利用可能である。よって試験的ではあるが拡張を行い、算数の授業の一環として実践利用を行った。これらの実践の結果についても5章で報告する。

第6章では、これらの研究のまとめを行う。

目次

内容梗概	i
目次	iv
図目次.....	vi
表目次.....	vii
1. 序論	1
2. 問題を作ることによる学習	5
2.1. 概要	5
2.2. 問題を作ることによる学習の定義	6
3. 問題変更演習支援システム : ProNavi-II.....	8
3.1. 前書き	8
3.2. 物理力学における問題変更演習の定義	9
3.2.1. 問題と解法の定義.....	9
3.2.2. 問題変更演習の定義	10
3.3. 問題変更課題の定義.....	11
3.3.1. マイクロワールドグラフにおける差分	11
3.3.2. 差分吟味の課題化.....	12
3.3.3. 近傍選択	12
3.4. 問題変更演習支援システム「ProNavi-II」	13
3.5. 評価実験.....	15
3.5.1. 実験内容	15
3.5.2. 関係付テスト.....	16
3.5.3. ログとアンケートの結果	16
3.5.4. プレ・ポストテストの結果.....	17
3.6. むすび.....	18
4. 作問学習支援システム : モンサクン Touch	19
4.1. まえがき	19
4.2. 単文統合型の作問	20
4.2.1. 問題の定義	20
4.2.2. 作問の定義	21

4.3. 作問学習支援システム「モンサクン Touch」	22
4.3.1. システム構成	23
4.3.2. モンサクン Touch	23
4.3.3. 課題設定	24
4.3.4. 問題の診断	25
4.3.5. モンサクン Analyzer	26
4.4. 実践授業	28
4.4.1. 実践内容	28
4.4.2. 担当教諭による作問法の教授	29
4.4.3. テスト内容	30
4.4.4. ログの結果	31
4.4.5. テスト結果	32
4.4.6. アンケートとログの結果	35
4.5. 結び	37
5. 作問学習支援システムの拡張	39
5.1. まえがき	39
5.2. 特別支援学級での実践利用	40
5.2.1. Analyzer の利用と課題設定	40
5.2.2. 実践内容	41
5.2.3. ログとテストの結果	43
5.2.4. アンケート結果	44
5.3. 乗算への拡張と実践利用	45
5.3.1. 利用システム：モンサクン Touch 2	45
5.3.2. 実践内容	46
5.3.3. 課題設定，教授内容と試験紙の設定	47
5.3.4. プレ・ポストテストの分析結果	48
5.4. 結び	50
6. 結論	51
参考文献	54

図目次

図 1.1	SCHOLAR における南米の地理の情報構造	4
図 2.1	各演習の模式図	6
図 3.1	問題解決画面	14
図 3.2	課題選択画面	15
図 3.3	状況選択画面	15
図 3.4	アンケート結果	17
図 4.1	単文統合型の作問の例	21
図 4.2	作問タスク	22
図 4.3	システムの構成図	23
図 4.4	モンサクン Touch のインタフェース	24
図 4.5	問題を診断する手続き	26
図 4.6	メインインタフェース	27
図 4.7	誤り確認画面	28
図 4.8	進捗確認画面	28
図 4.9	モンサクン Touch のログ(N=36)	32
図 4.10	児童のアンケート結果	37
図 4.11	教員のアンケート結果	37
図 5.1	モンサクン Manager インタフェース ^(注)	41
図 5.2	児童の演習ログ	44
図 5.3	乗算の文章題の例	46
図 5.4	作成された乗算文章題の診断フロー	46

表目次

表 3.1 グループ数・リンク数の平均(*1%有意)	18
表 4.1 モンサクン Touch のレベル設定	25
表 4.2 全体のプレ・ポストテスト結果	33
表 4.3 プレ・ポストテストの分散分析 (N of high=22, N of low=14)	33
表 4.4 プレ・ポストテスト結果(N=36, 上位 N=22, 下位 N=14)	34
表 5.1 レベル設定	41
表 5.2 作問テスト結果 (個別)	44
表 5.3 問題解決と過剰問題解決テスト結果 (平均)	44
表 5.4 児童に行ったアンケート抜粋	45
表 5.5 モンサクン Touch 2 のレベル設定	48
表 5.6 全体のプレ・ポストテスト(N=39)	49
表 5.7 上位群(N=25)と下位群(N=14)のプレ・ポストテスト	49

1. 序論

今日、情報工学の技術を用いることで、人の行う知的な活動の一つである「学習」を計算機により支援しようという研究や試みが盛んにおこなわれるようになってきており、e-Learning, Technology-Enhanced Learning あるいは ICT 活用教育・学習などと呼ばれている [1][2]. このような情報技術に基づく学習支援システムの開発には、大きく分けて二つのアプローチがあるといわれている[3]. 一つは Ad-hoc Frame Oriented アプローチであり、もう一つは Information Structure Oriented アプローチである. Ad-hoc Frame Oriented アプローチは、教育現場で行われている学習・教育活動を参考とし、情報技術を用いて同様の学習・教育活動を実現していこうというアプローチであり、個別対応、学習の記録、マルチメディアの利用といった付加価値を与えることが主な目的となる. これに対して Information Structure Oriented アプローチでは、学ぶ対象の情報構造を明らかにし、その情報構造を学習者に獲得させたり、伝えたりする方法を設計・開発しようという立場をとっており、情報技術に立脚した新しい学習・教育の方法を提案できる可能性を含んでいる. また、既存の学習・教育方法に対しても、その学習・教育方法の背景を説明することで、より柔軟な対応の実現の可能性を含んでいる.

ここで、それぞれのアプローチにおけるシステムの具体例を示す. まず、Ad-hoc Frame Oriented においては、例えば PLATO と呼ばれるコースウェアが開発され、広く利用されている[4]. このシステムでは、数学や英語、地理などの 1000 を超える教材が開発されている. これらは学校などで用いられる教材をデータ化したものになっている. また、Moodle[5] で、e-Learning のためのプラットフォームである. Moodle を用いることで、教師はなどの教授者はオンライン上で学習過程を作成することができる. こちらも四択問題などの教材を作成することで、データ化して利用することができるようなものになっている. このように、既に行われている教育・学習活動を対象とするため、具体化・実用化しやすく、情報技術の教育への応用における最も盛んなアプローチであるといえることができる.

これに対して Information Structure Oriented の考え方に基づき開発されているシステムの例を述べる. Information Structure Oriented では、学習対象を情報の構造としてモデル化し、それをシステムに実装することで、システムに処理をさせることができる. そのため、学習者がシステム上で行った結果に対して、その構造を用いることでシステムは返答を返すことができるため、インタラクティブな学習支援システムを実現することができる[6]. 例えば、SCHOLAR[7] と呼ばれるシステムが開発されており、これは南米の地理を学習するための支援システムとなっている. システムは図 1.1 のような、南米の地理に関する意味ネットワークを保持しており、これを用いることで、学習者の質問に答えたり、学習者に質問を投げかけたりすることができる. このような活動が学習として意味あること

は明らかであるが、従来の教育・学習においてこのような活動が行われていたわけではなく、学ぶ対象である地理に関する知識の情報構造化とその構造に基づいて設計された新しい形の教育・学習活動となっている。また、このシステムは、図 1.1 のような意味ネットワークが、人の記憶の一つである意味記憶の構造を表すためのモデルとして提案された[8]、ほぼ直後に開発されたもので、**Information Structure Oriented**におけるシステムとして、最初に提案されたものであると言われている。また、**GUIDON2**[9]と呼ばれるシステムは、感染症について学習するための支援システムになっているが、こちらも **SCHOLAR** と同様に、応答形式で学習を行うための支援システムになっている。**GUIDON2** は感染症についての知識と、またそれをどのように教授すべきかの教授ルールを情報構造として保持している。そのため、学習者の応答とその教授ルールに従って、システムが保持している感染症についての知識を修得させるための質問を生成することができるようになっている。これらのシステムは作成にコストがかかるものの、実装する情報構造は学習すべき対象そのものとなっているため、その構造をシステムが処理することで、学習者に構造の教授を行うことができる。また、その際、学習者が行ったことに対して、情報構造を処理することで、即時フィードバックを返すことも可能となり、学習において有効なインタラクションが成立させることが可能となる。

ここで、これらのシステムの特徴として、学習対象の情報構造は、システムで処理するためのものとして構築、利用されていたという点がある。これに対して、学習者がこの情報構造を操作することで、学習対象であるその構造の理解をより深めることができるという考えが提案されている。例えば教育学における構成主義という考え方として、学習とは学習者自身が知識を構成していく過程であることが主張されている[10-13]。また、**Papert**はその著書、**MINDSTORM**の中で、知識を頭に入る大きさに砕いて考えることで、より伝達しやすい、簡単に組み立て易いものになる、と述べている[14]。また、概念マップを提案した **Novak** からも、知識は構造的であり、これを増加させることが知識の習得として表現されることを主張している[15]ことから、学習者自身に学習対象を組み立てることは、学習において有効な手段であるといえる。これについて、実際に様々な学習支援システムが提案されている。例えば **Papert** は、同書 **MINDSTORM** の中で、**LOGO** というプログラミング言語を考案し、この言語を通して、タートルと呼ばれる機械で図形を描くことができる仕組みを提案している。この仕組みを用いることで、**LOGO** 言語により、幾何学の学習を行うことができる。また、**Alan Kay** も、**Squeak** と呼ばれるプログラミング言語を用いて、幾何学だけではなく、回路など他の様々な学習を行うことができると述べている[16][17]。そして **Forbus** の提案した **VModel** というシステム[18]では、彼自身が考案した独自の概念マップを用いることで、熱交換などの様々なマップを作成し、それを通して学習者に定性的なモデリングの方法を学習させることを目的としている。これらの研究は、情報構造の部品を提供することで、その部品の組立として学習者自身に、学習対象となる知識を組み立てさせ、学習を行わせている。故に学習者が行った結果はシステム上で診断を行うこと

が可能であるため、学習者自身に知識を組み立てさせ、その結果を診断・即時フィードバックすることができるインタラクティブな学習支援システムの開発を行っている。これは学習を行う上で非常に有効な手法であると言える。

しかしながら、これらの研究では、学習者が組み立てるために使う必要のある部品や組み立てるべき構造が、複雑なものになってしまうという問題点があった。LOGOやSqueakはプログラミング言語であるため、柔軟に様々な対象の学びに利用できる反面、どうしても、ある程度プログラミング言語特有の作法を学ぶ必要がでてくる。このため、ある学習対象を定めてそれを学ぶ、という場合においては使いにくいものであったといえることができる。VModelの場合も、定性モデリングが学習対象となっており、高い専門性を求める学習場面となっている。

どのような学習対象においても情報構造が見出すことができるはずであり、その情報構造が適切に取り出せ、それを組み立てる活動を行わせることができれば、その対象の学習に貢献すると思われる。そこで本研究では、教育現場で実際に扱われている「問題」を対象として構造化を行い、その情報構造を作ることによる、インタラクティブな学習支援システムの設計・開発を行っている。ここで、問題の構造を組み立てることは、すなわち問題を作ることであるので、以下では「問題を作る」あるいは「作問」と呼ぶことにする。問題を作る、という活動は、次の二つに分類される。(a)用意されている部品を組み立てることにより問題を作る、という活動と、(b)ある問題を変更することにより問題を作る、という活動である。これらの、問題を作ったり変えたりすることが教育的に意義のあることは古くから知られているが[19-23]、学習者・教員共に非常に負荷のかかる作業であるため、従来実用的な実施は困難とされてきたものである。本研究は、問題を情報構造として捉えることで、情報技術を用いてそれを組み立てることができることを可能にしている。また、診断・フィードバックによってインタラクティブ化できたことで、これらの活動の、実用的な実施への可能性を示したといえる。本研究では力学や算数の文章題といった、言語表現と数式表現を結びつけることが課題となる問題を具体的な対象とし、(a-1)物理力学を対象とした問題を変えることによる学習支援システム、(b-1)二項演算における加減算の文章題を対象とした問題を組み立てることによる学習の支援システム、(b-2)(b-1)の拡張（適用範囲と利用範囲の拡張）、の三つを行った。

(a-1)物理力学を対象とした問題を変えることによる学習支援システム（以下、問題変更演習支援システム）では、与えられた問題を変更することにより、その変更要素が、その問題中でどのような役割を持っており、解法にどのような影響を与えたかを学習させることにより、問題の理解を促す学習である。具体的には、物理力学の文章題を対象とした問題変更演習支援システム「ProNavi-II」の開発を行い、物理力学の問題における情報構造より、どのような演習を設定することが、より構造の定着に有効であるかを分析・定義し、間接的な評価を行った[24-26]。

(b-1)二項演算における加減算の文章題を対象とした問題を組み立てることによる学習の

支援システム（以下、作問学習支援システム）では、与えられた解法によって解決可能な問題を作成させることにより、その解法で成立可能な問題を考察させ、問題の成立条件を意識させる演習を行わせる。具体的には、和と差の二項演算で解決できる文章題を対象とした作問学習支援システム「モンサクン Touch」の開発を行い、より現場に則したシステムへの改良と、実際の教育現場で小学生を対象とした利用実践、作問能力や問題解決能力への影響に関する調査を行った[27-29]。

(b-2)二項演算の算数文章題における作問学習支援システムの拡張では、次の二つのことを行っている。一つは、システムの利用範囲の拡張として、特別支援学級でのモンサクン Touch の利用を行い、構造化された問題を作成することが、特別支援学級の生徒にとって有効な演習となるかを調査した[30]。もう一つは、システムの適用領域の拡張として、加減算から、乗算の範囲へシステムを拡張し、こちらも実際の教育現場で小学生を対象とした利用実践、作問能力や問題解決能力、問題の構造の理解への影響について調査を行った[31]。

これらの研究を通して、問題を対象として構造化し、それを作らせることによる学習のインタラクティブな支援環境が、学習者の問題解決、作問の向上、および構造を理解するために有効なツールになることが示せた。また、実践授業の内容が構造を前提としたものに置き換わったことから、本システムが従来の授業を変えうるものであるということも同様に示すことができた。

以下、本論文では、第2章において、問題の定義、「問題を作ることによる学習」の意義と演習方法について整理する。第3章では問題変更演習支援システム「ProNavi-II」について、第4章では作問学習支援システム「モンサクン Touch」について、第5章ではモンサクン Touch の特別支援学級での利用と、乗算への拡張について述べる。そして第6章でまとめる。

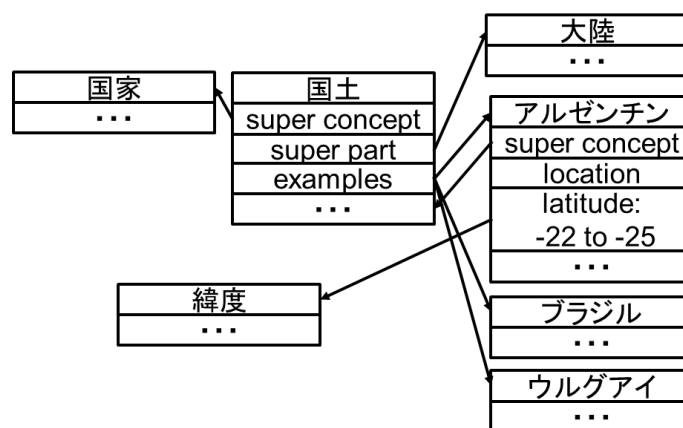


図 1.1 SCHOLAR における南米の地理の情報構造

2. 問題を作ることによる学習

2.1. 概要

ある知識を定着させようという時、その知識を使ってみるのが、知識の定着につながる。その最も一般的な方法として、問題を解くことによる演習が行われており、効果も確認されている。しかしながら、その知識を用いる方法としては、その知識が必要な問題を解決するだけでなく、解法に基づき問題を作成する、あるいは問題を変えてみることも提案され、解法を理解する上で有効な方法だとされている[19-23]。

図 2.1 に、(a)問題解決演習、(b)作問演習、(c)問題変更演習の模式図を示す。問題解決演習は、与えられた問題に対して、解法を適用することによる演習である。よって学習者は解法の適用方法を知っていればよく、ある程度キーワードを覚えていれば問題を解決することができる[32]。これに対して作問学習は、学習者は与えられた解法、あるいは状況に基づいて問題を作成することが求められる。よって問題ごとに解き方を暗記しているだけでは不十分であり、与えられる解法において、どのような問題が成立しうるか、問題の成立条件を知る必要がある。そのため問題がどのようにして成立しているか、構成されているかを理解するために有効な演習となっている。最後に問題を変えることによる学習では、学習者は、問題の解決と変更、比較を求められる。この演習により、学習者は問題の変更要素がどのように解法に影響をおよぼすかという観点から、問題の構成要素について、より詳細に理解を深めることができる。よって作問学習、問題変更演習とは、問題解決より、より深く問題について理解を深めることができる演習となっているため、有効な演習であるといえる。

しかしながら、現実に作問学習が教育現場で広く行われているとは言いがたい。これはそれぞれの演習に原因がある。作問学習では、学習者が作成する問題というのは、それぞれの学習者ごとに異なるため、作成される問題というのは多岐にわたる。故に作成された問題の診断を行うことは容易ではない。また、問題変更演習においても、変更後の問題が妥当なものであるかどうかの診断、そして学習者が任意で作成した問題の解法の診断が必要となる。しかし学習者が行う変更、変更後の問題については学習者によって異なるため、こちらも学習者の演習結果の評価が非常に困難な演習になっている。よってシステムを構築する際には、問題の定義、演習の定義、そして診断とフィードバックの定義が重要となる。

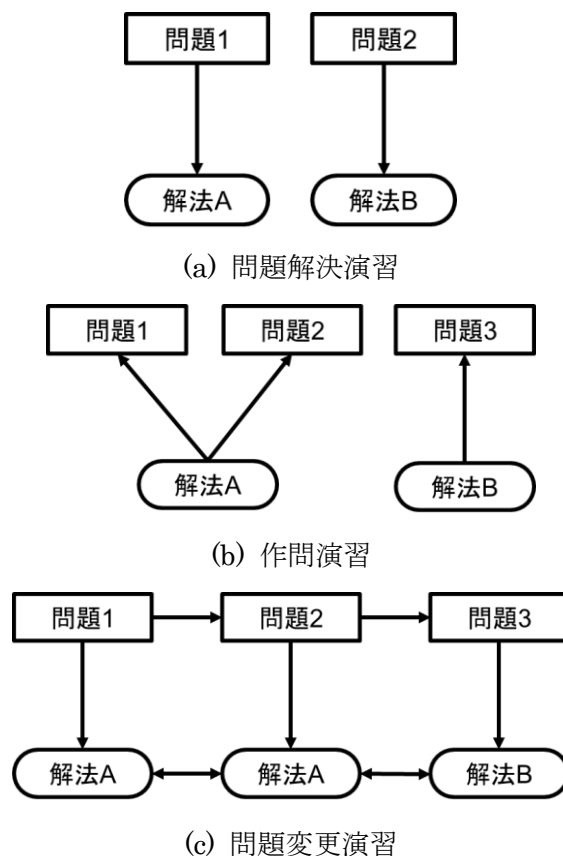


図 2.1 各演習の模式図

2.2. 問題を作ることによる学習の定義

問題を作ることによる学習として、作問演習、問題変更演習を定義する前に、問題とは何かを定義する必要がある。そこで本研究では平嶋の定義を用い、「問題=前提情報(既知)+結論情報(未知)」とする[33]。この時、前提情報や結論情報というのは、問題の背景となっている状況に存在しているものであり、ここから設定するものである。よって解法とは、与えられている前提情報にもとづき、結論情報を演繹的に導くプロセスになる。

これを踏まえ、作問学習と問題変更演習を定義する。作問学習では、学習者は与えられた解法、あるいは状況に基づいて問題を作成することが求められる。つまり、問題解決の結果として得られる解法、あるいは状況に基づき、成立可能な前提情報と結論情報を適切に設定する活動であると言える。よってシステムが持つべき情報は、問題の構成要素とその成立条件であり、この成立条件を用いて、診断とフィードバックも定義する必要がある。次に問題変更演習は、学習者は問題の解決と変更、比較が求められる。この時、問題の変更は、背景となっている状況の変更と、前提情報、結論情報の変更として定義できる。そして解法の変化は、問題の変更により変化した、結論情報を導くプロセスの変化として抽出できる。従ってこちらも同様に、問題の構成要素とその成立条件、そして問題解決のプ

ロセスと、変更のプロセスを定義する必要がある。ここで、解法の変化は、問題変更前後の問題解決プロセスの差分として定義できる。診断とフィードバックは、問題解決時、問題変更時の双方で定義する必要がある。

3. 問題変更演習支援システム : ProNavi-II

3.1. 前書き

本研究では、物理力学を対象とした問題変更演習支援システムの開発を行う。そのために、物理力学の問題を情報構造として定義し、その構造を用いた処理として問題変更演習を定義、また、学習者が行った結果に対する診断やフィードバックを設定することが課題となる。

ここで、関連研究について述べる。物理力学における著名なチュータリングシステムとして、Andes が開発されている[34][35]。このシステムは物理力学の問題の構造を保持しているため、物理力学の問題解決能力を持つ。よって学習者が入力する解答に対して、適宜診断・フィードバックすることが可能となっている。しかしながらシステムには問題間の関連付けを行うような仕組みは実装されておらず、問題変更演習ではなく、問題解決演習を行うためのシステムになっている。また、シミュレータを用いた問題変更の支援も行われている[36-38]。これらは問題の変更をシミュレータにより行うため、変更すべき要素が明確となり、また変更後の状況も保証されている。例えばカライドサイクルを対象とした問題を考えるとき、カライドサイクルの変更と、その結果はシミュレータにより保証されるが、それに基づき設定された問題や、差分の吟味については、手作業になってしまっている。従っていずれの研究も、問題を定義できているか、あるいは変更を行えるのみにとどまり、演習や評価の自動化を合わせて行っているものではない。

これについて、筆者らは問題の解決と変更、そしてその結果の診断やフィードバックを実現するシステムとして、ProNavi を設計・開発してきている[24-26][39][40]。現在、問題の情報構造の定義、変更可能な要素の定義は行えており、試験的評価を実施した。この演習においてシステムが適切に問題とその変更を処理可能であること、システム上で表現された変更や差分が学習を行う上で有効であることについて利用者に受け入れられるという結果は得られた。しかしながら、問題間の差分が解法の変化にどのように影響しているかを意識させることは十分に行えていなかった。

そこで、本稿では、物理力学の問題の情報構造に基づいた演習の再設計を行ったので、これについて述べる。方針としては、問題変更演習に課題を設定することで、学習者にとって明確に、問題の変更と、その結果現れた差分を考察させるような演習を定義し、支援システムの改良を行った。また、システムの利用負荷や、実際に問題間の差分に対する動機付けが変化したかについても調査を行ったので、合わせて報告する。

3.2. 物理力学における問題変更演習の定義

本節では、物理力学の問題を対象とした、問題変更演習の定義について述べる。

3.2.1. 問題と解法の定義

まず、システム上で扱っている、物理力学の問題の定義と、それに基づいた解法について述べる。まず問題の背景となる物理状況について定義を述べる。図 3.1 に問題の定義を示す。物理状況は、ブロックや地面、バネといった複数のオブジェクトによって構成されており、それぞれのオブジェクトは位置関係、属性を持つ。この属性は、傾斜角や質量、重力加速度といったものであり、それぞれ値を持つ。更にこれらの属性は、(物体 A に働く重力 (鉛直))=(物体 A の質量)*(重力加速度)といった、数量関係を持つ。ある特定の状況においてこれらを全て記述したものが、物理状況の記述となる。これについて問題の定義を照らし合わせると、問題は、物理状況の持つ属性から、前提情報と結論情報を定義することになる。

次にこれらの定義に基づいた解法について述べる。図 3.2 に図 3.1 の問題における解法の構造を示す。解法は前提情報を用いて結論情報を導き出すプロセスであり、これらの情報は、状況における数量関係によって関係付けられている。よって前提情報を含んだ数量関係を組み合わせ、結論情報を導き出すプロセスが解法と定義され、図 3.2 のような解法構造として問題が定義される。

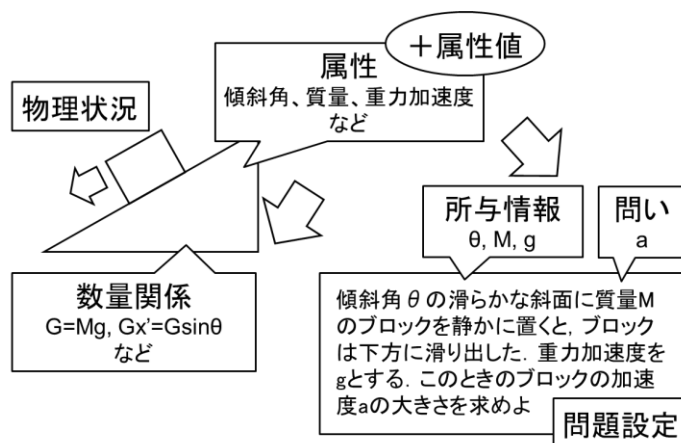


図 3.1 物理力学における問題のモデル

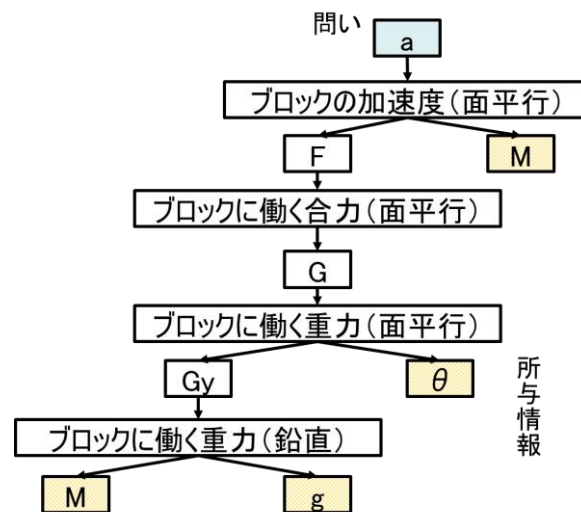


図 3.2 図 3.1 の問題における解法構造

3.2.2. 問題変更演習の定義

前節の定義のみでは，問題間の関係までは記述されていない．そこで本研究では，前節の問題の物理状況を包含し，また，その物理状況間の関係を表現・記述するための手法として，マイクロワールドグラフを利用している[41][42]．マイクロワールドグラフは，物理状況の特徴と，物理状況間の特徴を，それらのモデルを成立させる仮定を用いることによって表現したものである．この時モデルを成立させる仮定のことをモデル化仮定と呼び，これはある状況を成立させている属性と，その属性の値（の範囲）を意味する．状況はこのモデル化仮定によって記述されているため，状況のモデル化と，そのモデル間の比較が可能となっている(図 3.3)．本研究ではこれをシステムに実装することで問題変更演習の支援システムを実現している．

問題の変更は，状況，そして前提情報，結論情報の変更として処理できる．状況の変更は更に，オブジェクトの変更と属性の変更に分けられる．オブジェクトの変更は，オブジェクトの追加と削除，そして移動のみである．また，オブジェクトの属性の変更は，値を 0 にするか，0 以上にするか，0 以下にするか，の三パターンに分けられる．値を 0 にすることが，その属性をなくすことになる．そして前提情報は追加と削除，結論情報は変更のみになる．これらの変更の結果は，マイクロワールドグラフの状況の遷移として，システムでは処理される．

これに基づき，これまでのシステムにおける問題変更演習では，まず学習者は，様々な問題を作成しうる状況から，問題を決定し，解決する．その後，その状況を変更することで，結果として現れる差分を吟味する．そして変更後の状況を変更対象として，その状況に存在する問題を解決し，同様のフローを繰り返す，というプロセスで演習を行っていた．

この時、問題の変更は、システムで扱える範囲内であれば、変更後に問題が成立していれば、どのような変更でも許容するとしていた。従って変更する数にも制限を設けていなかった。

しかしながら、問題変更演習として差分を吟味することを考えると、差分が大きすぎれば、問題中のどの要素が解法にどのような変化をもたらしたかを判断することは難しくなる。また、差分の吟味も学習者に提示するだけでは、学習者がどのように問題間の差分を捉えればよいのかについて示唆が与えられず、学習者によっては吟味自体が行われない。よって問題変更時に課題を設けることにより、学習者が考えるべきことを明確にした上で演習を行わせる必要がある。

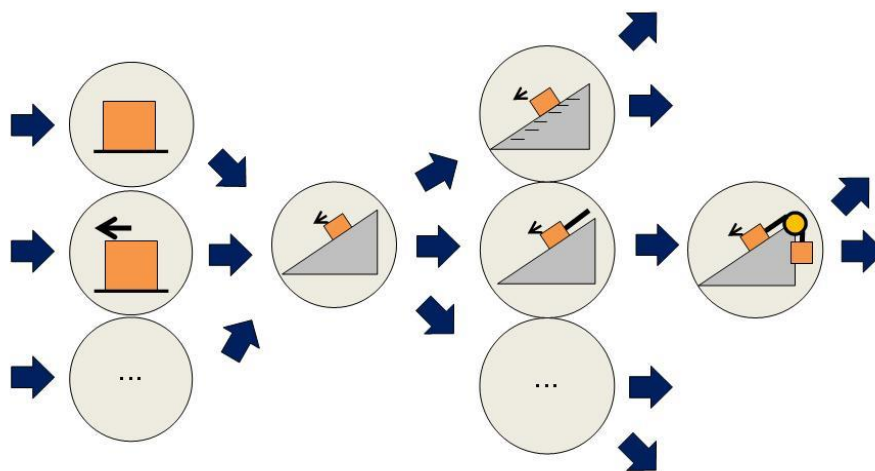


図 3.3 マイクロワールドグラフの系列の例

3.3. 問題変更課題の定義

問題変更演習時に、問題の変更要素と解法の変化をつなぎ合わせることを本研究の課題である。これについて、本節で詳述する。

3.3.1. マイクロワールドグラフにおける差分

マイクロワールドグラフにおいて、力学的状況はモデル化仮定と、その数量関係で表現されている。この時、より多くのモデル化仮定を取り扱っている数量関係は、より広い範囲の力学的状況を取り扱うことができる。また、より少ないモデル化仮定を取り扱っている数量関係は、より狭い範囲の力学的状況に対してしか適用することができない。マイクロワールドグラフにおいては、前者をより一般的な状況、後者をより特殊な状況としている。さらに、この状況の一般化・特殊化を、モデル化仮定の一般化・特殊化として定式化をしている[41]。モデル化仮定を変更することで、数量関係の変化を引き起こすものである。マイクロワールドグラフでは、モデル化仮定についての一般化・特殊化を定めており、こ

れに基づくことで、状況の一段階の一般化・特殊化が定義される。これらの変更は状況における最小の変更となっており、本研究では、この変化によって定義される状況を、近傍の状況と呼ぶ。ここで、問題で与えられる前提条件などの差分も考えられるが、結論情報として設定されるものが、一般的な問題集などに表れるものと異なるため、今回は取り扱わない (e.g. 斜面を物体が滑り落ちる問題で、物体に働く面平行方向の重力を求める問題)。

3.3.2. 差分吟味の課題化

問題を変更することで学習者が意識すべきことは、変更要素が解法の変化にどのように影響するかである。そこで、それを指向するような課題を設定する。問題を変更した際に起こりうる解法の変化は、以下の4つのみである。

- (1) 「解法を複雑化する」
- (2) 「解法を簡単化する」
- (3) 「解法を変更しない」
- (4) 「解法が成立しなくなる」

学習者が問題を変更する際、これらの課題を学習者に提示し、変更を行わせることで、学習者は解法の変化と問題の差分を必然的に考察することになる。

これらの課題は、マイクロワールドグラフを用い、予めシステム内部で起こりうる変更を全て探索し、変更後の問題の解法構造を生成、変更前後の問題で比較することにより、自動生成することが可能である。なお、「変更しない」とは、マイクロワールドグラフ上では、同一状況内に含まれる変更であることを意味する。また、「成立しなくなる」とは、状況の変化に伴って対象となる解法が使えなくなる場合である。例えば、摩擦が存在しない状況から存在する状況に一般化すると、運動量保存則は成立しなくなり、それをを用いた解法は使えなくなる、という変更があげられる。

3.3.3. 近傍選択

ここでは学習者が行う変更操作について述べる。問題変更は、マイクロワールドグラフの一般化・特殊化の一段階のみに制限して行わせる。これは差分の吟味を最小限の単位で行わせることで、吟味すべき問題の構成要素を明確にするためである。しかしながら、この近傍への変更は、モデル化仮定の一つを変更することによる一般化・特殊化であるため、実際にはそれに伴って複数の属性が変化する場合がある。そのため、単に変更属性の一つに制限した場合、それに伴った問題の変化を、学習者自身に行わせる必要がある。そこで、システム上で起こりうる近傍への変更を選択肢として提示し、そこから、学習者の選択した近傍選択課題に適したものを選択させる。そして、学習者の選択した課題と、学習者の選択した状況における解法が一致している場合に正解とする。これを近傍選択課題と呼ぶ。

この方式をとることで、学習者の行う問題の変更における自由度は制限されているが、学習者に行わせたい「どのような問題変更が可能であるか」および「その問題変更が解法にどのように影響するのか」を考えさせる課題にはなっているため、問題変更演習の導入段階としては適当であると判断している。

3.4. 問題変更演習支援システム「ProNavi-II」

前節で述べた近傍選択課題を実装した問題変更演習支援システム「ProNavi-II」について述べる。システムは JAVA 言語により構築しており、デスクトップ PC 上で動作するものである。システム上での問題変更演習は、(1)問題の解決、および(2)変更課題を伴った問題の変更、(3)差分の吟味、の三つの段階で行われる。問題の解決、および差分の吟味は、これまでに開発したものとおおむね同じである。従って、差分の吟味は(2)で行ったことの確認として行われる。ここでは演習の簡単な流れと、(2)変更課題を伴った問題の変更について述べる。

ProNavi-II 上で、学習者はまず変更前の問題の解決を行う。問題解決画面は図 3.4 に示す。システムはインタフェース中央で状況を提示しており、学習者は左のエリアで問いとなる属性を選択することで問題を作成できる。その後、右のエリアで公式の選択と数式の入力により、問題の解決を行う。次に学習者は解決した問題の変更を行うが、これについては後述する。変更後、学習者は問題とその解法構造を提示されるので、差分について再確認を行う。以後は変更後の状況について同様の操作を繰り返す。演習の目的は、問題の変更と差分の吟味を行うことであり、演習はこれを繰り返すものになっている。従って演習に明確な終わりは設けていないため、差分吟味終了時に、学習者が任意に終えるものとしている。

ここで、問題の変更について述べる問題の変更は、(2-1)変更課題の選択、および(2-2)変更された状況の選択、の二つの段階に分かれている。図 3.5 は課題選択画面、図 3.6 は状況選択画面である。ここで選択した課題と選択した状況が一致しない場合は、課題と状況が一致しない旨のフィードバックを学習者に返す。(2-1)では、学習者は図 3.5 のようにシステムの提示したリストから課題を選択する。課題は 3.3.2 で述べた形式で提示される。具体的には、(変更前の問題の解法で用いた)運動方程式が簡単化するように変更を行いなさい、などである(ただし括弧内は暗黙的なもので、記述はしていない)。(2-2)の具体的な変更手順を述べる。図 3.4 のような、意図とバネが繋がったブロックを、上に引くような状況で、加速度を求める問題があるとする。図 3.5 では、近傍選択課題(1) - (4)のうち、図 3.4 の問題の近傍に存在する変化を、システムが解析し、学習者に提示する。図 3.4 であれば、近傍に(2)解法を簡略化する、(3)解法を変更しない、という状況への変更を課題として提示する。そして学習者が課題を選択すると、図 3.6 の状況選択画面に移る。ここでは変更前の状況の近傍の状況を左の問題変更の要素として提示し、学習者はここから近傍変更課題に沿った

状況を選択することで、変更を行う。ここでは近傍の状況を候補として提示してあり、バネを削除、張力（鉛直）が加わるという特殊化、質点に加わる（滑車の付加、あるいは別のブロックを縦に連結）という一般化がそれにあたる。例えば、近傍選択課題(1)の場合には、数式の項が増加、あるいは項の長さが長くなるような状況へと変更するのが正解となる。つまり、運動方程式を複雑化する場合は、 $M \cdot g$ が $M \cdot g \cdot \sin \theta$ に変わる、 $M \cdot a = M \cdot g \cdot \sin \theta$ が $M \cdot a = M \cdot g \cdot \sin \theta - \mu \cdot N$ に変わる、といったものがあげられる。(2)はその逆である。(3)では、変更前の問題解決に用いた解法（例えば運動量保存則など）が成立したままであるような変更を選択することで正解となる。つまり、外力が力積を与えないという運動量保存則の成立条件を保持する限り、運動量保存則は成立し続ける。(4)では、その解法が成立しなくなるような変更を選択する。例えば物体の運動をなくすような変更をすれば、運動方程式は成立しなくなる。変更後の状況における解法はシステムが自動で生成し、学習者に提示される。この後、学習者は変更後の問題を基準として変更を続ける。



図 3.4 問題解決画面

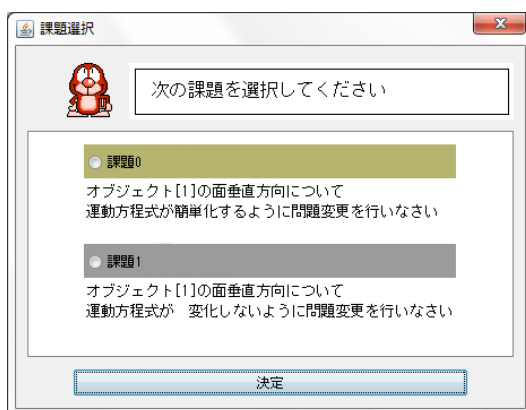


図 3.5 課題選択画面

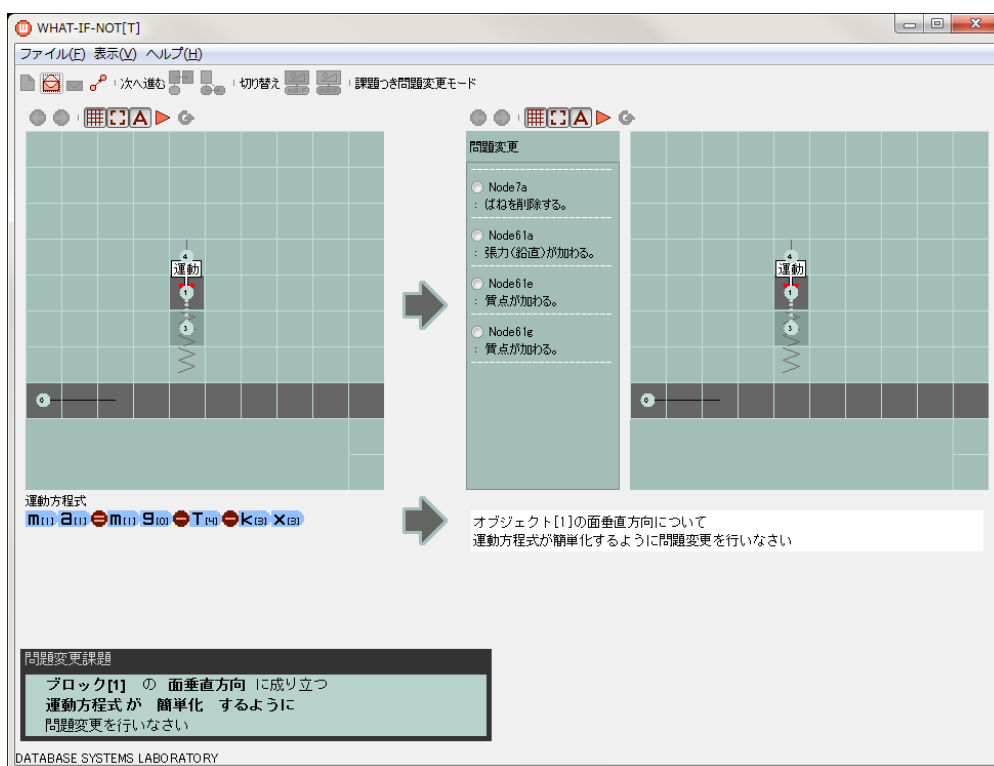


図 3.6 状況選択画面

3.5. 評価実験

3.5.1. 実験内容

提案した演習が、問題の変更要素と、解法の差分についての意識を行わせることができるか、課題化に伴いシステムの利用の負荷が大きくなりすぎていないかを調査した。被験者は工学系の大学生 29 名が対象である。実験手順は、プレテストを 5 分実施した後、本システムを 20 分使用、その後 5 分間ポストテストを実施し、最後にアンケートに答えてもら

うというものである

システムの設定としては、問題は状況に依存しており、状況数は 33 個、問題は一つの状況につき属性の組み合わせの数だけ作成可能である。従って、各々与えられている状況内に存在する属性を求める問題を任意に作成可能である。また初期状態はブロックが一つ垂直落下するものが与えられている。

3.5.2. 関係付テスト

本演習の効果を測るために行った、問題間の関係づけテストについて、図 3.7 を用いて述べる。テストは演習の前後にプレテスト及びポストテストとして用いた。テスト内容は、学習者に 6 つの問題を解かせた上で、それらの問題間の関係を記述してもらうものである。それぞれの問題には A~F のラベルが記載されているので、解き方が同じ公式の問題を丸で囲み、理由となる特徴を記述するグループ化と、例えば問題 A と問題 B において、問題 A と問題 B を線で繋ぎ、理由となる特徴を記述するリンク付けを行わせた。プレテストで扱う問題とポストテストで扱う問題は、解決に用いる解法を変更せず、物理状況や与えられる属性を変更している。この内容はこれまでに開発している、課題設定をしていないシステムと同様のものである[39]。

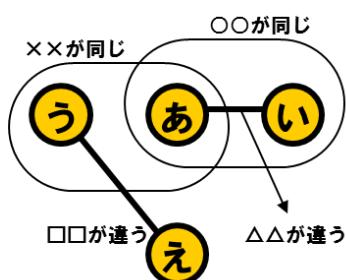


図 3.7 関係付の例

3.5.3. ログとアンケートの結果

システムの使用ログとアンケートから、課題設定についての負荷やシステムのユーザビリティについて考察する。被験者がシステムの使用により問題を解決し、変更課題に対して正しい変更を行った回数は、平均 3.07 回だった。自由な変更を許していた場合の短期実験の結果である 2.28 問よりも 1 問増加している[39]。またシステムを 45 分間 5 回に分けて行った長期使用実験の結果と比較しても、平均 10.7 回であり 20 分に直すとおよそ 4.8 回だった[40]。このことから、課題を付加したことによる演習の負荷はほぼないと言える。なお、本システムでは繰り返し同じ問題を作ることを防ぐ仕組みは組み込まれていないが、今回の実験においては、5 名が 1 問ずつ同じ問題を作っていただけであり、現時点では問題

変更演習に大きな影響を与えていないと判断している。また、上記の問題変更回数には、同じ問題を作った回数を含んでいない。

アンケート結果の一部を図 3.8 に示す。システムの使いやすさについては否定的な意見が多かったものの、システムの使用や演習の面白さについては、肯定的な意見を多数得られた。また、問題を変更する演習の有用性についても多数の肯定意見が得られている。自由記述では、「操作がわかりにくい」「なぜ違っているのかという説明が欲しい」といった意見があり、システムのユーザビリティやフィードバックの充実に改善が必要であると考えられるが、演習は有用なものとして受け入れられており、演習を行う上で適切なモデル化が行えたといえる。

質問番号	質問内容
(1)	このシステムは使いやすかったですか？
(2)	このシステムを使うことは面白かったですか？
(3)	この演習を行うことは、面白いですか？
(4)	問題の変更を行うことで、物理力学の理解に役立つと思いますか？

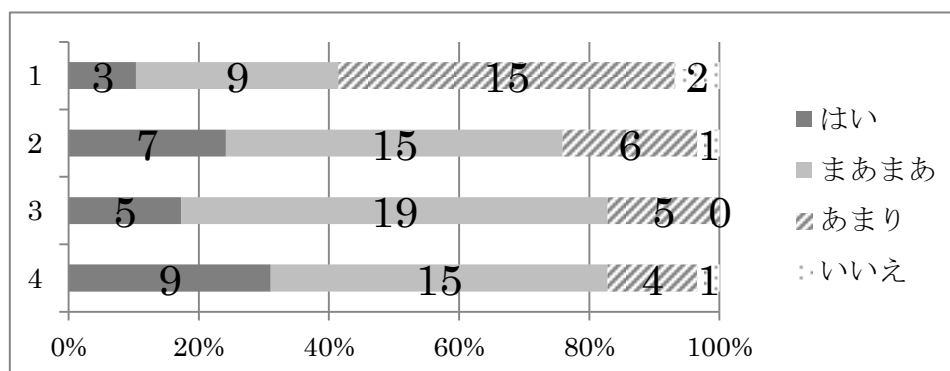


図 3.8 アンケート結果

3.5.4. プレ・ポストテストの結果

問題間の差分について記述させるテストから、問題間の関係について、解法の観点から捉えられるような演習になっていたかを確認する。表 3.1 に被験者一人当たりの各関係付けの平均数を示す。採点基準としては、理由がないもの、もしくは理由が不適切なものは除外し、それぞれ 1 つのグループ化、リンク付けを 1 つとしてカウントする。ただし関係付けの理由が公式、あるいはその問題文中の解法に関する関係式であるものの記述は、正解の関係付けとしてカウントした。具体的な記述内容としては、「問題 A も B も運動方程式で解ける」、「 m にかかる力が異なっている」というものがあげられる。グループ化による関係付けの正解率は若干量の上昇しか見られなかったが、リンク付の正解率については、

プレ・ポストテスト間で明らかに増加しており，検定を行なっても危険率 1%で有意差あり ($p=0.004$, 同順位補正, 両側, ウィルコクソン符号付順位和検定), 効果量[43]は中 ($|r|=0.32$) であった. これは解法を変化させることを求める課題が多かったためであると考えられる. 学習効果としては, システムを用いた演習を行うことで, 問題間の差分に対して, 少なくとも解法という深層的な観点から着目するような効果が得られた. 従って, 近傍選択課題の導入により, 問題間の差分を, 解法の観点から捉えることができるようになるという結果が確認できた.

表 3.1 グループ数・リンク数の平均(*1%有意)

	グループ化		リンク付け	
	プレテスト	ポストテスト	プレテスト	ポストテスト
正解	0.31	0.38	0.03*	0.52*
誤り	1.85	1.62	0.9	0.93
正解率	0.15	0.19	0.04*	0.36*

3.6. むすび

問題を作ることによる学習の一つとして, 問題変更演習のインタラクティブ支援システムを, 物理力学を対象に設計・開発した. 利用実験の結果から, 大学生であれば, 問題変更課題の導入により, システムの利用負荷を増加させることなく, 問題を理解させる上でより適切な演習が行えることは示された. また, 現在のところ, 実際に初等力学を学習する高校生を対象として授業で利用, 学習効果を上げるためには, 使い勝手や, 学習者の演習結果から教師が指導を行う仕組みを取り入れるといった課題が残されている. しかしながら, ProNavi-II の設計・開発を通じて, 初等力学を対象とした問題変更演習支援システムの一部として基板を用意することはでき, また, 情報構造を学習者が操作することによる学習に十分に意味があるということについても, 一例を示せたといえる.

4. 作問学習支援システム：モンサクン Touch

第3章では、問題変更演習という形で、情報構造に基づいて学習者に考えさせる演習ということが意義のあることは確かめられたものの、問題変更演習自体の難しさや、実践対象となる現場の確保が難しいという問題があった。そこで本章では、現場から要請のあった、算数の分野における作問学習の支援環境を設計・開発し、授業への導入を行った。

4.1. まえがき

本章では、和差の二項演算における算数文章題の作問学習支援システムの開発について述べる。これについて、和差の二項演算における算数の文章題の情報構造を定義し、その構造を用いた処理として作問演習を定義、そして学習者が行った結果に対する診断やフィードバックを設定する。また、システムを一般教室における算数の授業で利用するために、タブレットへの実装、演習システム上での演習結果をモニタリングするシステムの開発も課題となる。

ここで、関連研究、また実際に学校で行われている作問授業について述べる。作問学習の計算機支援においては、問題を作成することの支援は行うが、作成された問題の妥当性は他の学習者によって評価をさせる方法が取られている。そしてこの方法を取るために、大学生などの学年の高い学習者が対象となっている[44-46]。従ってこれらのシステムには作られた問題を評価する仕組みは実装されておらず、作成された問題の質は学習者が保証することになっている。また、小島ら[47]は作られる問題の質に関する考察とその質的向上の計算機による支援の可能性を、中学校程度の方程式を用いて解く文章題を大学生に作らせることによって実験的に検証しているが、問題の作成や、診断の負荷、妥当性について解決できているわけではない。次に小学校で実際に行われている指導[48][49]では、教師は児童に場면을提示し、各児童はこの場面に基づいて作問を行う。この際、問題の診断は教師が行うが、各々の児童が作成した問題から教師が選択した2、3の問題のみに限られる。そのため、作成された問題の質は教師によって保証されるが、学習者ごとの診断の個別対応はできておらず、評価できる数が限られてしまっている。従って作問を授業で行う場合の課題としては、問題の作成と、その作成された問題の個別診断が重要な課題となる。また、対象とする、和差の二項演算における算数文章題は小学校1年生において行われる[50]。よって学習者同士で作問の評価を行う場合には、評価が十分に行われない。また、問題を作成すること自体に困難性を感じる児童もいると考えられる。

そこで本研究では、三つの文を組み合わせることによる、単文統合型の作問を用いて、

作問とその評価の自動化を行うことのできるシステムを開発している[27-29][51-55]. 現在、システムは単文統合型の作問と、それによって作成された問題の診断を、デスクトップ上で行うことができる. また、複数年にわたって算数の正課の授業で 7 時限以上、継続的に利用されている[56][57]. これはシステムが実用的なものとして認められているためだと考えられるが、これらの利用は、小学校 1 年生で学習する文章題をより高い学年において再度復習するという形での、付加的な学習としての位置づけであった. よって、小学校 1 年制を対象に、通常教室で、普段行われる算数の授業に取り入れることができる学習環境を構築するために、次の課題の解決が必要になる. (I)授業との連動をスムーズに実現するために、通常教室でのシステムの利用, (II)学習者の学習状況を把握するための支援システムの開発, (III)作問の教授法の考案, である. 本章ではこれについて, (i)タブレットへの移植による通常教室での利用可能化, (ii)ネットワーク経由で学習状況を収集しモニタリングするシステム的设计・開発, (iii)単文統合型の作問の授業での利用, を試みた. またシステムが児童や現場教員に受け入れられるものであるか, 問題解決能力や作問能力へ影響をおよぼすかについても, 実践授業, 及び公開授業を通じて調査を行った.

4.2. 単文統合型の作問

本研究における和差を対象とした二項演算の算数の文章題の表現と, それを用いた作問演習について述べる.

4.2.1. 問題の定義

単文統合型の作問演習において, 学習者は自然言語で問題を記述する必要はなく, 問題は三つの文章の統合として表現される. 図 4.1 に単文統合型の作問の例を示す. 下部に示されているのが, 作成された問題である. 二項演算の算数の文章題は, $8-5=?$ といったように, 三つの数量で構成され, 更にそれら三つの数量は, 二つの存在を表す数と, 1つの関係を表す数によって構成されている. 従って, 対象となる問題は, 二つの存在を表す文(存在文)と, それらの関係を表す文(関係文)によって表現される. そして各々の文章は, 数量と, それが何の数量かを表すオブジェクト(りんご, みかん, など), そしてそれが存在を表すのか, 関係を表すのかを表現する述語(あります, 買いました, など)によって構成されている. 本研究ではこれら一つ一つの文を単文と呼び, これら単文を三つ組み合わせることによって行う作問を, 単文統合型の作問と呼ぶ. また, この問題は, ある数量とある数量を合わせることで, 合わせた数量が得られるという事象を対象としている. この事象で取り扱った問題を, 合併の問題と呼ぶ. 和と差の算数の文章題においては, 合併の他に比較, 増加, 減少の事象に分類されるのが一般的であり, 本研究でもこの4つを取り扱う[58].

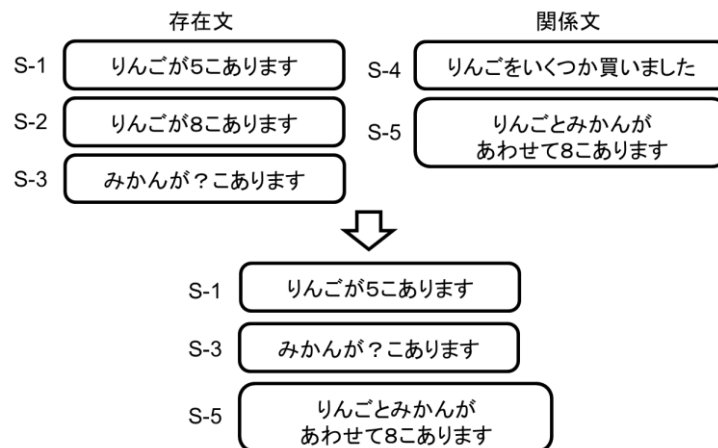


図 4.1 単文統合型の作問の例

4.2.2. 作問の定義

ここではまず、単文統合型の作問における作問方法について述べ、そして問題が成立するための条件として定義した、作問タスクについて述べる。単文統合型の作問では、学習者は自然言語で問題を記述する必要はなく、与えられた単文カード群から適当なものを選び、それらを適切な順序に並べることで問題を作ることになる。具体的な例は図 4.1 に示している。学習者は S-1 から S-5 の単文カードを与えられており、この例では、S-1, S-3, S-5 を選び、表記の順序で並べることで、「8-5」で解ける問題を作ることができる。この式を本研究では計算式と呼ぶ。また、この問題は、合併という事象を対象としているが、本研究ではこのような事象を、物語構造と呼んでいる。物語構造には未知数は設定されず、数量関係を持っている。それに対して未知数が決定されることで問題となると、それに対応する方程式ができあがる。この場合では「 $5+?=8$ 」となるが、これを本研究では関係式と呼ぶ。モンサクンでは、提供する単文カード群に加えて、これらの物語構造と、計算式あるいは関係式を指定することで、作問課題を設定している。例えば、「5-3」で計算できる「あわせていくつ」のお話をつくろう、といった課題である。

次に、このような問題を作成するための、作問タスクのモデルを図 4.2 に示す。作問する場合、まず、足し算の問題を作るか引き算の問題を作るかを決定する必要がある。これが計算式の決定タスクにあたる。足し算か引き算かが決定されると、それに見合う関係式を決定することが必要となる。これが関係式決定タスクとなる。関係式を決めると、それに対する物語構造を選ぶことになる。これが物語構造決定タスクとなる。これらが決まれば、これらの決定に対応するように単文カードを取捨選択することになる。この際、物語構造に沿った文の選択及び順序付け、オブジェクトおよび数値の対応付けが必要となる。ここではタスクモデルをトップダウンに説明したが、実際には作問課題として関係式や物語構造が指定されることで考慮すべきタスクが限定されており、また、与えられた単文カード

群からのボトムアップな作成もありうるものである。よってこのタスクのモデルは作問活動のプロセスを表したものとはいえないが、問題を作るうえで満たすべき制約を洗い出したものとなっているため、モンサクンでの作問課題の設定、また作成された問題の診断においては、このタスクモデルを用いている。

ここで、和差の二項演算における算数の文章題での、問題の種類について言及する。このような作問課題においては、計算式と関係式の演算が異なる問題を作る課題の場合、それらが一致する問題を作る場合に比べてその難しさが飛躍的に上昇する。このような計算式と関係式の演算が異なる問題を逆思考の問題と呼び、一致する問題を順思考の問題と呼ぶ。課題設定において計算式と関係式を同時に提示することはないが、計算式を足し算にした上で、減少の問題もしくは比べる問題を作らせる場合には、逆思考問題の作成課題となる。つまり、物語としては「減る」のに答えを足し算で求めることになるため、このような問題は解決においても難しいとされている。

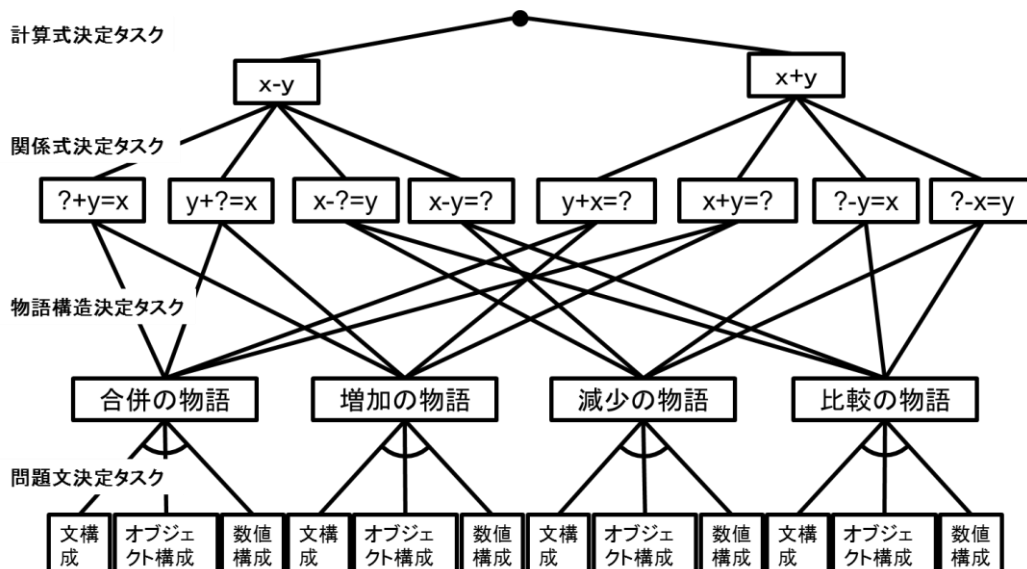


図 4.2 作問タスク

4.3. 作問学習支援システム「モンサクン Touch」

ここでは和差の二項演算における算数文章題のモデルに基づいて開発した作問演習支援システムモンサクン Touch と、実践で利用する課題設定について述べる。また、作問タスクに基づいて行われる、作成された問題の診断、及びその診断結果から定義される誤りと、学習者の演習結果を収集・可視化するシステムであるモンサクン Analyzer についても説明する。

4.3.1. システム構成

本研究において開発したシステムの構成図を図 4.3 に示す。本システムは、一般教室で利用可能とするため、学習者用インタフェース「モンサクン Touch」をタブレット上で実現している。作問課題の決定及び作成された問題の診断はタブレットにおいて行われる。また、教師が学習者の演習結果を把握するために、モンサクン Touch 上での演習結果は、リアルタイムで無線 LAN を経由し、データベースサーバーに蓄積される。そして教師は可視化ツール「モンサクン Analyzer」を用いることで、学習者の作問状況をモニタリングすることができる。

作問状況として送られるデータは、作問の正誤の数、作問タスクから定義された各誤りの数、そして実際にどのような問題を作成したか、がデータベースサーバーに送られる。モンサクン Analyzer はそれらのデータをグラフによって可視化する。教師はこれらのデータをもとに学習者の学習状況を確認し、学習者の行き詰まりに対する教授を行ったり、次回の授業構築のための元データにしたりする。なお、モンサクン Touch は Android、モンサクン Analyzer は PHP で開発しており、RDBMS は MySQL を用いている。

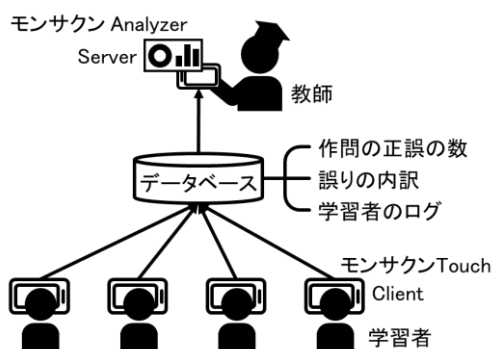


図 4.3 システムの構成図

4.3.2. モンサクン Touch

タブレット端末用に開発したモンサクン（モンサクン Touch）のインタフェースを図 4.4 に示す。システムは左上に課題となる解法を提示し、右部に単文カードのセットを与えている。このカードセットには正解となる 3 つのカード以外にダミーのカード[59]を追加しており、これにより学習者が総当たりで正解することをほぼ不可能にしている。学習者はこのカードセットから三枚のカードを選択し、システム左部の中央にあるカード置き場に 3 つのカードをセットすることで作問を行う。3 つのカードを置くと答え合わせボタンがアクティブになり、学習者は診断を行うことができる。以上の仕様は以前のモンサクンと同様だが、今回、授業に合わせて特定の課題に移動する機能や、モンサクンによる誤りに対する

フィードバックを正誤の指摘のみに制限する機能を追加している。このフィードバックを制限する機能は、教諭の要求によるものであり、間違いの原因について考えさせる授業を行うために用いられている。

システムの一連の流れとしては、まず学生番号を選択することによりログインを行う。すると 1~6 の作問課題レベルの選択画面が提示される。この画面でフィードバックの ON/OFF の設定、特定の問題への移動などができる。特定のレベルを選択するとそのレベルの課題に取り組むことができ、レベル内の課題をすべてクリアすると、そのレベルは終了となる。演習途中にレベル選択画面に戻ることや、復習のためにクリアしたレベルの演習を行うこともできる。このレベルの選択は、教諭の指示にしたがって学習者自身が行うものである。レベル設定については次で説明する。

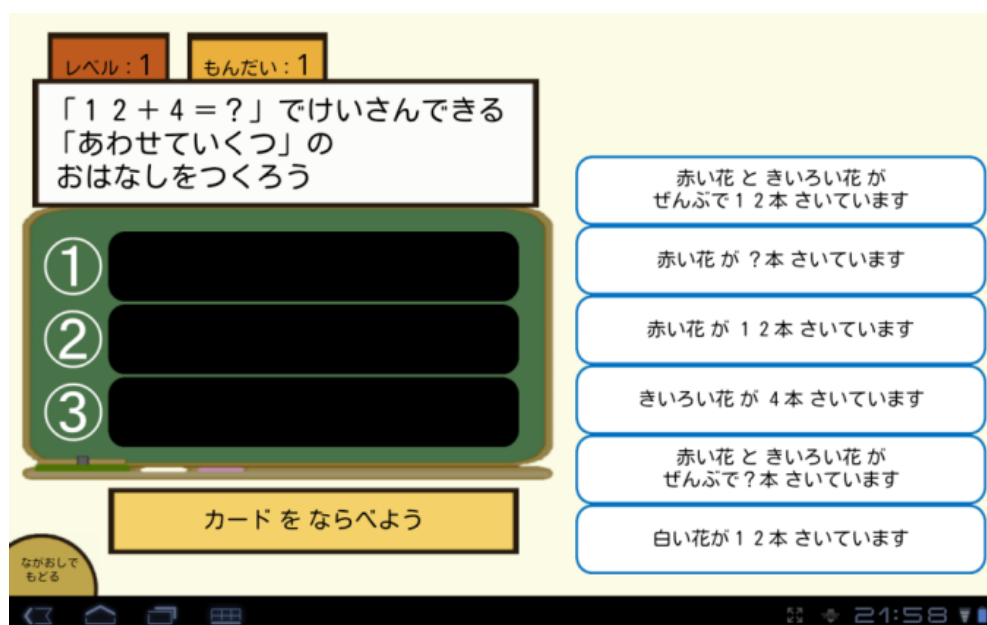


図 4.4 モンサク Touch のインターフェース

4.3.3. 課題設定

ここではモンサクに実装しているレベルや課題の設定について述べる。課題設定は作問タスクにおける難易度に基づいて試案を作成し、それに基づき今回の実践担当の教諭と確認・調整をした上で決定している。その内訳を表 4.1 に示す。作問課題はまず、順思考の問題を作る場合と逆思考の問題を作る場合に分けられ、順思考問題を作るほうが、関係式と計算式の変換を必要としないため、簡単である。さらに逆思考の問題を作る場合、関係式を課題として与えると、関係式の演算と問題の示唆する演算は一致するため、必ずしも難しい課題とは言えない。よって計算式を与えて逆思考問題を作る場合が最も難しくなり、これをレベル 5 としている。レベル 6 のランダムとは、レベル 1~レベル 5 で用意された各

課題がランダムに提示されるレベルとなっている。

レベル 1 は足し算の関係式に対して増加もしくは合併の問題を作る課題と、引き算の関係式に対して、減少もしくは比較の問題を作る課題が提示される。レベル 3 では、左辺に未知数がくる関係式に対して、足し算の関係式であれば、増加もしくは合併、引き算の関係式であれば、減少もしくは比較の問題を作る課題が提示される。レベル 2 及びレベル 4 の物語は、「みかんが 2 つあります。みかんがあと 4 つあります。みかんはぜんぶで？こあります。」のように合併とも増加とも解釈されるような表現を用いた問題であり、言語的な要素での区分となっているために本研究の枠組みで明確に説明できるものではないが、教師の希望により少数の課題設定を行っている。問題数はレベル 1, 3, 5, 6 が 12 問, レベル 2, 4 が 3 問となっている。なお、作問活動の最初の段階であることを踏まえて、一つの作問課題に対して一問しか適切な課題を作成できないようにしている。

表 4.1 モンサクン Touch のレベル設定

Lv	問題の種類	課題	カバーストーリー
1	順思考問題	関係式	合併 増加 減少 比較
2	順思考問題	関係式	増加-合併
3	逆思考問題	関係式	合併 増加 減少 比較
4	逆思考問題	関係式	増加-合併
5	逆思考問題	計算式	合併 増加 減少 比較
6	ランダム	ランダム	ランダム

4.3.4.問題の診断

問題を診断する手続きについて、図 4.5 に示す。診断は(1)物語構造が成立しているか(作問タスクの文構成の成立)、(2)計算可能となっているか(作問タスクのオブジェクト構成、数値構成の成立)、をチェックすることで計算可能な問題となっているかどうかを判断した後、提示されている課題に一致する問題が作成されているかどうかを判断する。これらの過程で起こる間違いが学習者にフィードバックとして返され、集計ツールで学習者の誤りの分類結果として提示される。

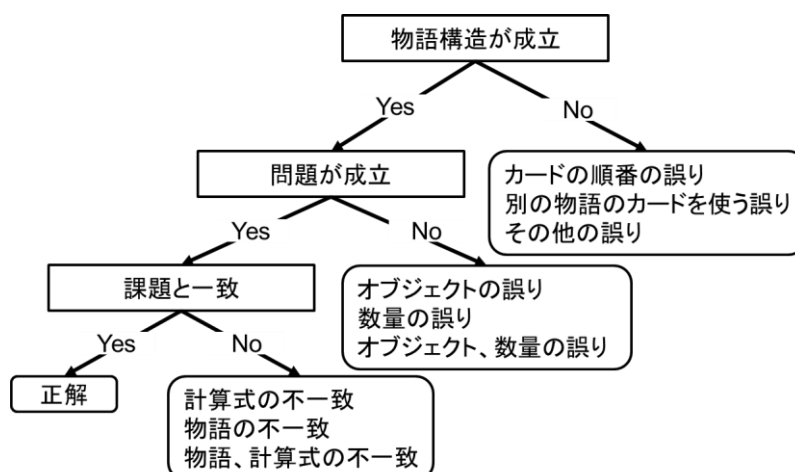


図 4.5 問題を診断する手続き

4.3.5.モンサクン Analyzer

モンサクン Touch 上で行われた作問活動の結果を集計・可視化するシステムについて述べる。システムは大まかに 2 つの機能を持っており、一つは学習者のモンサクン Touch 上の学習者の誤りを集計・表示する誤り確認画面で、もう一つは学習者がモンサクン Touch 上で現在どの課題に取り組んでいるかを確認する進捗確認画面である。システムはセッション管理をしているので ID と PASSWORD を入力してログインしなければデータの閲覧ができないようになっている。ログイン後、図 4.6 に示すメイン画面に移動、画面上部のリンクをクリックすることで誤り確認画面と進捗確認画面に移動できる。システムはリアルタイムでデータを取得・可視化しているため、教師は授業内のその時点での学習者の状況を即時把握して授業の内容や進度を調整したり、授業後に各々の誤りの種類や割合を確認することで次回の授業構成の参考にすることができる。この機能は、担当教諭がモンサクン利用中の生徒たちの様子を把握するために必要として要望した、作成した問題数およびその正誤数、間違った場合の間違いの種類、そして作問演習の進捗状況を、クラス全体に関して集計し、表示するものとなっている。間違いの種類としては、図 4.5 で示した種類分けで十分とのことだったので、その分類に従って集計している。

メイン画面では行った授業の学習者全体の問題作成数、その内訳として正解数と誤り数を、総合と平均両方で確認することができる。また誤りについても授業内の誤り率を簡易的に確認することができる。これについては図 4.6 に示すインターフェースの左部で、左から順にそれぞれ、作問の作成、誤り、正解数を棒グラフで、右部ではその授業でどのような誤りが多かったかを割合としてドーナツグラフで表示している。また、ログ閲覧をクリックすることで、学習者がモンサクン上で取り組んだ課題とその回答、診断結果について、その一覧を作問履歴として参照することもできる。

誤り確認画面では、モンサクン Touch から送られたデータをもとに学習者の誤りの内訳

をグラフとして可視化している。その画面を図 4.7 に示す。システムはまず今回のレベルとその概要を一覧として表示し、各レベルでの誤り数を併せて提示している。それをクリックすると選択レベルの内訳が提示され、各レベルでの合計誤り数、そしてその割合がそれぞれ棒グラフとドーナツグラフで表示される。また各レベルでの誤り確認の下部に"課題ごとの間違いを確認する"というリンクが表示されている。これをクリックすることで、そのレベルの各課題の誤りが一覧として表示される。この画面でもレベル一覧とほぼ同様に、課題 1 から順番にリストが表示され、クリックすることでその課題の誤り数とその割合が表示される。ただし課題の場合にはその下に更に、作問課題と正解のカードセット、誤りのカードセットも併せて表示している。

次に進捗確認画面について説明する。モンサくん Touch からは学習者が課題に正解することに取り組んでいるレベルと課題番号を送信しているため、現在学習者の取り組んでいる課題を集計ツールが把握することができる。集計ツールは学習者の進捗状況をまずレベルごとに提示する。ここではレベルの一覧と取り組んでいる人数が表示されており、特定のレベルをクリックすることで、そのレベルに取り組んでいる学習者の名前を一覧で表示する。これらについて図 4.8 に示す。さらに、各レベル内で何名の学習者が何番目の課題に取り組んでいるかについても、一覧を表示することができる。さらに、各課題に関して誰が取り組んでいるかも表示可能となっている。これを用いて、全体の進捗状況や誤りが多い課題、および個別の進捗状況を把握することができる。

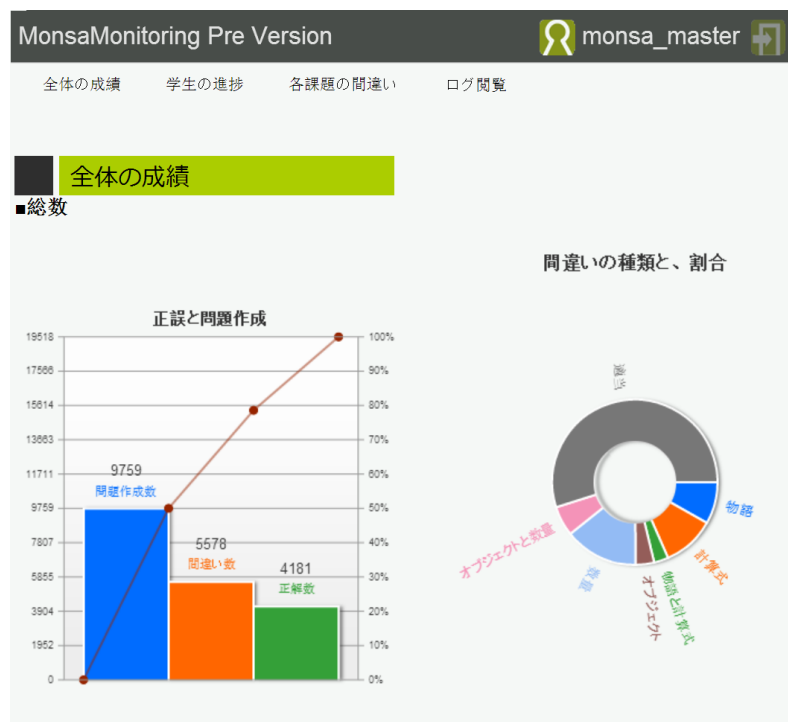


図 4.6 メインインタフェース

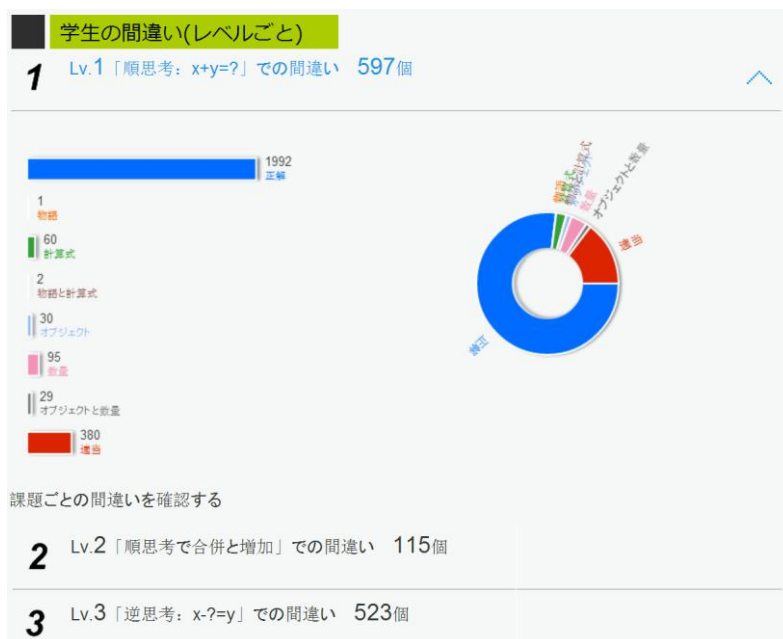


図 4.7 誤り確認画面

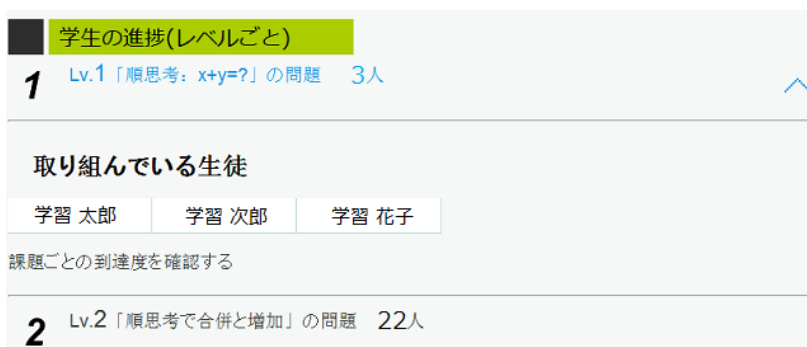


図 4.8 進捗確認画面

4.4. 実践授業

4.4.1. 実践内容

提案した演習，そして学習環境を用いた授業が，児童や現場教員らに有効なものとして受け入れられるか，また演習が問題解決能力，作問能力に及ぼす影響について調査した．実践の対象者は広島大学附属小学校の一年生 1 クラスで，人数は 39 名である．授業はプレ・ポストテストを除いて，合計 9 時限（1 時限 45 分，3 週間）かけて行った．プレテストとポストテスト・アンケートは一連の授業を実施する前後に別の授業として行っている．授業内容の内訳としては，30 分程度の教授と 10 分程度のモンサクンを用いた演習を基本とし

ているが、実際には授業の進行に応じて変化している。

時限の配分としては、レベル 1 に 2 時限、レベル 2 を 1 時限、レベル 3 を 2 時限、レベル 4 を 1 時限、レベル 5 を 3 時限行なっている。レベル 1 は導入であるため、多くの時間が取られている。レベル 5 については、1 時限目の冒頭にレベル 5 の演習を 3 分間行い、問題を作ることが困難であることを学習者に気付かせた上で、作問法に関する教授を実施している。さらに 2 時限目に追加の教授約 20 分と作問演習 20 分程度を行っており、3 時限目は全時間を作問演習に用いている。この際、レベル 5 の 12 問を作成し終わった学習者にはレベル 6 に進むことを許している。

これらの授業では、LAN 環境の設定やシステムの運用をサポートするために常時 3 名の TA が参加しているが、内容的な指導は行っていない。また、システム的环境としては、ノートパソコンをサーバーとしてデータベースおよびモンサクン Analyzer を実装し、教師が教室においてタブレット上でモンサクン Analyzer を用いることで、データを参照できるようにしている。これは、通常教室の情報基盤の整備がまだ行われていなかったためである。

4.4.2. 担当教諭による作問法の教授

本実践を担当した教諭は、2009 年度に 4 年生 1 クラスを対象として 7 時限、2010 年度には 2 年生 1 クラスを対象として 8 時限のモンサクン（デスクトップ版、コンピュータ室）の利用を行っている。これらの経験を踏まえて、加減で解ける算数の文章題の解決を学習した後の連続的で発展的な学習という位置づけのもと、1 年生にモンサクン（タブレット版、通常教室）を利用した作問学習を試みたのが本実践である。デスクトップ版でもタブレット版においても図 4.2 のタスクモデルに基づいて作問課題が設計されている点は同じであるが、今回用いたタブレット版では、担当教諭の監修の下、作問課題において用いられている問題場面を、1 年生の教科書に準拠したもののみで全面的に入れ替えている。また、課題のレベル分けと作問課題数も、授業と組み合わせたうえでの演習であり、また、基本として 1 レベルを 1 時限で行うことを前提としたものに調整している。

今回のモンサクンを用いた作問授業においては、(1)モンサクンにおける作問活動を前提とした問題の構造及び作問に関する教授、(2)モンサクンを用いた作問演習、が行われた。(1)については、まず、教師は紙に書いた単文カードをモンサクンと同様にいくつか用意し、黒板に磁石で張り付ける。さらに、作問課題として、関係式もしくは計算式と物語構造を設定する。その上で、その設定を満たす問題を作る上でどのカードが必要で、どのカードが不必要であるかを学習者に考えさせる、といった授業を行った。カードの要不要を考えさせる際には、物語構造と単文カードの関係、単文カード間のオブジェクトの対応関係、数値の関係や順序などに注意を払うことが必要であることを指摘する。用意されているダミーカードは、これらの制約に注意を払わない場合の作問に利用可能なものとなっており [59]、4.2.2 節で述べた作問タスクに基づいて用意されたものとなっている。このようなダミーカ

ードは当該の課題において利用できないとしても、他の課題において利用できるものとなっているので、担当教諭はこれらダミーカードについても、どのような場合に使えるものであるのかについての説明を行う。

授業では、これらの作問法に関しての教授を行った上で、モンサクンを利用した作問演習に移行する。基本的には一つのレベルを1時限で実施し、次の時限では次のレベルで同様の授業と演習を実施している。このように、問題の授業を構造で教え、その教授内容をモンサクンで確認できるという授業設計となっている。

これらの教授は作問法の説明であると共に、問題自体の説明となっている。従来の問題解決を前提とした教授および演習においては、学習者が取り組む問題はすべて「正しい」問題となっているため、問題が成立する条件や問題が持つべき構造といったものを必ずしも意識する必要はなかったといえる。これに対してモンサクンでは問題が成立する条件を意識しなければ間違った問題を作ってしまうことになり、また、それを前提とすることで問題の構造がどうなっているのかに関する教授の発想が生まれ、この教授法の提案になっている。またこの教授法についても、教授された内容を用いた演習としての作問が無ければ定着させることは難しいといえ、モンサクンを用いた作問演習が実施可能であることが前提となっている。

なお、本実践では1年生に対してこの教授法を用いているが、これは担当教諭による担当児童の能力の見極めに負うことが大きく、現時点ではこの教授法が小学1年生一般に適用できるものとはいえない。したがって、本システムの適用可能性については、今後さらに実践・検証を進めていく必要がある。また、本実践において教諭がどのような発話や黒板の利用を行い、また生徒がそれに対してどのような発話を行ったのかなどは、授業分析の対象として非常に有用な情報を含んでいると思われる。今後分析してゆく予定であるが、膨大な分量になることと、本論文がシステム開発に焦点を当てていることから、割愛する。しかしながら、本研究において定義した算数文章題の情報構造と、その作問プロセスが有用なものとして認められ、授業自体が構造を前提としたものに置き換わったことは、情報構造に基づいて演習を行うことの有用性において、十分に意義のある結果であると言える。

4.4.3.テスト内容

プレ・ポストテストには、問題解決テスト、作問テストの二つをそれぞれ実施した。問題解決テストは通常の問題解決と同様だが、文章を単文同様三つに区切って表現している。ただし"?"は用いず、問題文同様、いくつでしょう、という表現のままである。問題としては合併、増加、減少、比較の各物語構造の問題を用意しており、比較は更に、"より多い"と"より少ない"の二種類を用意している。これら5つを各二問ずつ、更に順思考問題と逆思考問題でそれぞれ用意しているため、問題数は20問になっている。

作問テストは、紙の上にならされている 17 個の番号を割り振られた単文を用い、その番号を三つ選択することで四つの問題を作成させるものとなっている。形式は単文統合型の作問同様だが、こちらも "?" は用いずに "いくつでしょう" という表現を用いている。現場でのテスト実施の都合上、これらの二つのテストを一連の一つのテストとし、25 分かけて行なってもらった。

4.4.4. ログの結果

Analyzer により取得したログから、小学校 1 年生の児童がシステム上でうまく演習を行っていたかを確認した。モンサクンを用いた作問演習での、一人当たりの問題作成数と正解率を図 4.9 に示す。授業の都合で時限ごとに演習時間が異なるため、作成数等の値はレベル 1 の最初の時限は少なく、レベル 3 の間は安定している。先行研究で行ったレベル 1 に相当する課題のみを用いた 1 年生に対する作問では、30 分間の利用で 1 分あたり 2.98 問作成し、正解率が 53% であったという記録が残っている [60]。タブレットによる操作の簡便性、インターフェースの改良、被験者群の違い、使用時間の違いなど、条件が大きく異なるため単純な比較はできないが、量的には十分な活動が行われたと判断している。担当教諭による評価としても、学習者らは真剣に取り組んでおり、9 時限を使うに足る内容であったとの判断である。また、単純に取り組んだ問題数だけ考えても、問題解決において同様の数の問題に取り組ませるのは不可能に近いので、学習活動としては有意義なものであると言える。

計算式からの逆思考問題の作成を行わせるレベル 5 の 1 回目の授業 (7 時限目) の冒頭に行われた作問演習では、作問数 (3 分間で 13.5 問) が多く、正解率 (9%) が極端に低いが、レベル 5 の作成課題に学習者が対応できず、試行錯誤的な作問を行ったためと思われる。この対応の難しさは、この演習に続く授業において、足し算で解ける問題を作る課題において減少を表す単文の要不要の教師からの問いかけに対して、ほとんどの学習者が不要とし、一部使えるとの学習者の主張に対しても納得しなかったことから伺われる。授業の方針として学習者の自発的な気づきを尊重していたため、この時限内ではこの意見の対立は解消されず、レベル 5 に関する 2 時限目において再度教授を行い、この時限内では「計算する式とお話の式が異なっている」ことを結論付けた上で、演習を行っている。つづく 9 時限目においてはレベル 5 の 12 問を作成し終わり、時限内にレベル 6 に進んだ学習者が 22 名おり、レベル 6 において合計 735 問の問題を作成し、そのうち正しい問題は 268 問であった。このレベル 6 においては種々の問題が含まれている点と、実施時間がまちまちであったりすることから、図 4.9 および以降の分析は、これらレベル 6 の作問数等を除いている。

レベル 5 を行った 8 時限目、9 時限目では 7 時限目より正解率は上昇しているものの、レベル 4 までを対象とした 6 時限目までの正解率が概ね 70% であったのに対して、明らかに低い数字となっている (8 時限目 15%、9 時限目 13%)。このことから、レベル 5 について

は、必ずしも十分に学習者が理解できているとはいえない。教諭による評価も同様であるが、問題解決だけを行っている場合には意識させるのが難しかった「計算の式とお話の式の違い」を学習者が意識できたことが重要であり、現時点でそれが十分に消化できていないとしても、次の学習につながる結果であるとの判断であった。これらのことから、モンサクン Touch を用いた作問学習は、小学校 1 年生の児童を対象としても、十分に行えていたことが確認できた。

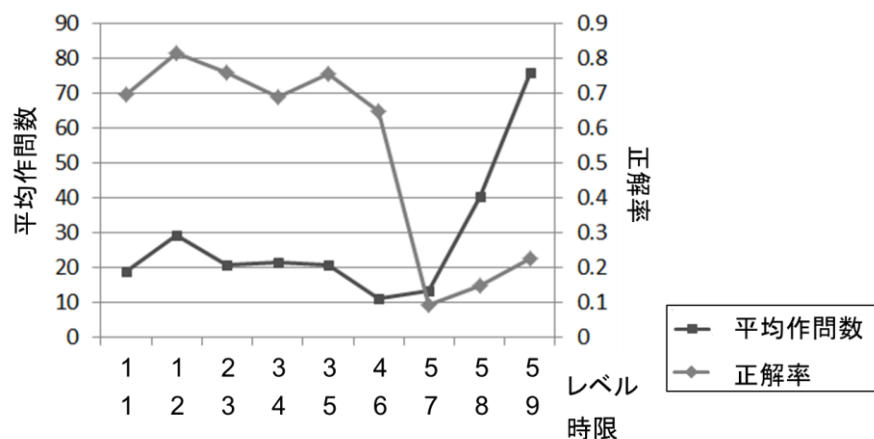


図 4.9 モンサクン Touch のログ(N=36)

4.4.5.テスト結果

プレ・ポストテストの結果から、システムが学習者の問題解決能力、及び作問能力に与えた影響を調査する。問題解決、作問テストの結果をそれぞれ表 4.2 に提示する。問題解決テストでは、順思考、逆思考共に成績が向上しており、ウィルコクソンの符号付き順位和で検定を行ったところ $p=0.04$ と $p=0.0002$ で有意差有りだった。効果量はそれぞれ $|r|=0.23$ (効果量小) と $|r|=0.41$ (効果量中) であった。また作問テストについても、最初は順思考問題の作成数が多かったものの、演習後には逆思考の問題を多く作成するようになっていた。逆思考問題の作問数のプレとポストの違いは、ウィルコクソンの符号付き順位和検定により、 $p=0.0006$ で $|r|=0.39$ (効果量中) であった。これらの結果は、モンサクンを用いた授業が問題解決能力および作問能力の向上に有効であったことを示している。

次にモンサクンの利用とテストの成績について検討する。モンサクンによる作問設定では、6 枚のカードから 3 枚を選んで並べることになるが、作成できる問題の数は 120 通りとなり、ランダムな組み合わせでは正しい問題を作成することは難しいといえる。現在得られている正解率はランダムに行った場合の正解率より十分高く、学習者は問題について考えながら作問しているといえる。しかしながら作った問題が間違っている場合、試行錯誤的に単文カードを入れ替える学習者が一定程度見受けられた。このような作問活動を取る学習者と、よく考えながら作問を行う学習者とでは、問題解決や作問の能力および作問

学習の効果に違いがあるのではないかと考え、正解率の平均値で上位群と下位群に分けた上で、各プレテスト、ポストテストの成績を分析した。なお、ここでレベル 5 に関してはほとんどの学習者がある程度の試行錯誤的な活動を行っており、また、十分に理解できたといえないとの判断から、正解率についてはレベル 4 までを行った 6 時限目までのデータを用いている。

これらのデータおよび分散分析の結果を表 4.3, 4.4 にまとめた。順思考・逆思考問題の問題解決および逆思考問題の作問に関しては、事前事後および上位下位で有意差がみられ、順思考の作問ではいずれも有意差がみられなかった。これらのことから、モンサクンにおいて高い正解率で作問を行える学習者は問題解決能力および作問能力が高いことが示唆された。上位群と下位群の成績の差に関しては作問演習の効果はみられなかったが、順思考・逆思考問題の問題解決および逆思考問題の作問のいずれにおいても数値的に差が大きくなっていることから、効果がある可能性は残る。特に逆思考の作問成績の上位群と下位群の差を事前と事後で個別に検定すると、事前では有意差はなく ($p=.20$)、事後では有意差が表れている ($p=.003$)。これらの点についてはさらに検証が必要であるといえる。

以上の結果より、システムを用いた作問学習が問題解決能力の向上、及び作問においてより難しい問題を作成することのできる能力の向上に有用であるということが確かめられた。また、作問能力の上位群と下位群で比較すると、高い正解率で作問を行える学習者は問題解決能力、及び作問能力が高いことが確認できた。これらのことから、支援システムに実装している問題の情報構造は妥当であるとかんがえられる。

なお、ここでのプレ・ポストテストの結果は、システムを用いて行われた作問学習がそれ自体において意義のある学習活動であったことを示しているが、別の学習活動、たとえば問題解決演習やシステムを用いた作問学習、に対して優位性を持っていることを直接的に示すものとはなっていない。実践の中で統制群を設けることは簡単ではないが、本システムを用いた作問学習の意義を明確にする上で、統制群との比較による検証を行っていくことが必要と考えている。

表 4.2 全体のプレ・ポストテスト結果

テストの種類	問題の種類	プレテスト		ポストテスト		
		M	SD	M	SD	
問題解決テスト (N=38)	順思考問題	8.76	0.43	8.89	1.93	*
	逆思考問題	6.92	1.55	8.32	2.30	**
作問テスト (N=39)	順思考問題	1.54	1.01	1.14	0.96	n.s.
	逆思考問題	0.74	0.84	1.44	0.96	**

** $p<.01$, * $p<.05$

表 4.3 プレ・ポストテストの分散分析 (N of high=22, N of low=14)

(a) 問題解決順思考の得点

要因	SS	df	MS	F	
プレテスト×ポストテスト	1.80	1	1.80	3.97	+
上位×下位	6.72	1	6.72	14.81	**
交互作用	0.38	1	0.38	0.84	n.s.
全変動	39.78	71			

(b) 問題解決逆思考の得点

要因	SS	df	MS	F	
プレテスト×ポストテスト	25.64	1	25.64	11.07	**
上位×下位	66.13	1	66.13	28.54	**
交互作用	1.37	1	1.37	0.59	n.s.
全変動	250.65	71			

(c) 順思考問題の作問数

要因	SS	df	MS	F	
プレテスト×ポストテスト	0.96	1	0.96	1.05	n.s.
上位×下位	0.01	1	0.01	0.02	*
交互作用	0.33	1	0.33	0.36	n.s.
全変動	63.65	71			

(d) 逆思考問題の作問数

要因	SS	df	MS	F	
プレテスト×ポストテスト	6.44	1	6.44	8.91	**
上位×下位	7.35	1	7.35	10.16	**
交互作用	0.91	1	0.91	1.26	n.s.
全変動	63.88	71			

** $p < .01$, * $p < .05$, + $p < .10$

表 4.4 プレ・ポストテスト結果(N=36, 上位 N=22, 下位 N=14)

	群	プレテスト	ポストテスト	
問題解決テスト	上位	8.12	9.55	n.s.
順思考問題	下位	8.64	9.07	**
問題解決テスト	上位	7.23	9.36	**
逆思考問題	下位	6.29	7.86	**
作問テスト	上位	1.45	1.59	n.s.
順思考問題	下位	1.36	1.21	n.s.

作問テスト	上位	0.95	1.77	**
逆思考問題	下位	0.57	0.93	n.s.

** $p < .01$

4.4.6. アンケートとログの結果

システムによって行われた演習における、学習者と教員の反応、及び、提案授業における教育関係者の反応を調査する。まず、学習者のアンケート結果を図 4.10 に示す。全体として演習には肯定意見だが、算数の問題を作ることを簡単だと答えた児童は少なかった(項目 2)。これについては、レベル 5 の作問活動が困難であったためだと考えられる。それにもかかわらず全員が「楽しかった(項目 1)」「次も使いたい(項目 7)」に関して肯定的に回答したことから、モンサクンによる授業は学習者に受け入れられたと考えている。

今回授業を担当した教諭を対象に行なったアンケートでも、(1)モンサクンを用いた授業は意義があったと思うか、(2)タブレット化はモンサクンと教授との有効に有効であったと思うか、(3)集計ツールは授業の状況を把握するのに役立ったか、(4)今後もモンサクンを用いた作問授業を行っていききたいか、という四つの質問項目について、強い同意から強い否定までの 4 件法で聞いたところ、(1)(2)(4)については「強い同意」、(3)については「同意」が得られた。また自由記述の感想としては、“単文統合の形式による議論の焦点化が図れる”、“教室で(PC 教室ではなく)通常の授業と同じ形態で行えること(黒板と組み合わせた授業構成ができる)がモンサクンを用いた作問授業を行う上で非常に重要”との回答を得た。これらのことは、モンサクンおよびそれを用いた授業が学習者及び教諭に受け入れられていることを示している。

モンサクンに関する問題点としては、誤った問題に対する指摘は妥当ではあるものの、学習者にとってわかりやすいものではなかったことが指摘された。診断結果に基づくフィードバックの設計に関しては改善の必要があり、図式化等の工夫を検討している。集計ツールについても、有用な情報が提示されてはいるものの、教諭が授業中あるいは授業後に用いるとした場合に、操作性や情報の表示についてまだ見難い点が残るということで、改善する必要がある。また、実践中接続が不安定になった場合があり、ログはタブレットからハードを介して取得するケースがあった。これは学習者のログデータなどを逐次送信しているためであると考えられ、データ送信の仕組みを改善する必要も課題として残った。

次に Analyzer については、利用した担当教諭一名にアンケートをとっている。アンケートは四件法で、「モンサクンで授業を行う際、学習者の作問状況を確認できるモニタリングシステムは有用だと思いますか」、「軽く触って頂いて、システムは使いやすそうでしたか」という質問については、ややそう思う、の解答だった。これは、システムとしては有効だが、LAN のつながり具合、モニタリングの表示の不十分さが問題としてあげられていたためである。しかし、学習者の進捗確認、誤りの確認機能は、学習者の状況を把握し、個別

に指導が行えるために十分に意味があるというコメントを頂いた。このことから、モンサクン Analyzer についても、改善の余地はあるものの、基盤としては有用なものが作成できているということが確かめられた。

また今回、1 時限分（7 時限目）を公開授業という形式で、約 100 名の教員の方々に見て頂く機会があった（この時限は体育館において実施）。この時限はレベル 5 への導入であり、計算式と異なる演算を示唆する物語構造を持った問題を作ることになることから、多くの学習者に混乱が見られたといえる授業であった。しかしながら、授業後の討論会においては、単文カードを用いた作問法の授業に関しては肯定的な意見のみが出た。また、レベル 5 の作問に関して発生した学習者の混乱については、学ぶ上での有意義な混乱であるとの肯定的な意見がだされた。さらに討論会の後、参加者にモンサクンの利用を呼びかけたところ、13 名の教員と 1 名の教育関係者、3 名の学生に利用してもらい、アンケートを取ることができた。この内訳はアンケートの選択肢による。回答者のモンサクンの利用時間は平均 10 分であった。このアンケートの質問項目と結果を図 4.11 に示す。(3)に関する 1 件を除き肯定的意見であった。これらのことから、モンサクンを用いた作問授業の可能性は多くの教諭らに受け入れられたと言える。

1 件の否定的意見はあったものの、概ね演習に肯定意見が得られ、自由記述においても、タブレット利用の授業の良い例になるとの意見を頂いた。しかし肯定意見の中にも、自由記述においてタブレットおよび無線 LAN 環境を確保する見込みがないため無理であるとのコメントはあった。タブレットおよび無線 LAN といった情報インフラの未整備による実施困難性を指摘するコメントは自由記述において他にもいくつか見られた。これらのインフラについては現時点で直ちに整備することは難しいが、徐々に整備の方向に向かうことは疑う余地がないことである。これらの将来的に整備されるであろうインフラの上でこそ可能となる学習支援の在り方を提案するという意味で、本研究の意義は大きいと判断している。

質問番号	質問内容
(1)	算数の問題を作ることは楽しかったですか
(2)	算数の問題を作ることは簡単でしたか
(3)	算数の問題を作ることは算数の勉強になると感じますか
(4)	算数の問題を作ることで問題が解きやすくなったと感じますか
(5)	「モンサクン」は使いやすかったですか
(6)	間違った時に教えてくれるヒントはわかりやすかったですか
(7)	算数の問題を作る授業はまたやりたいですか

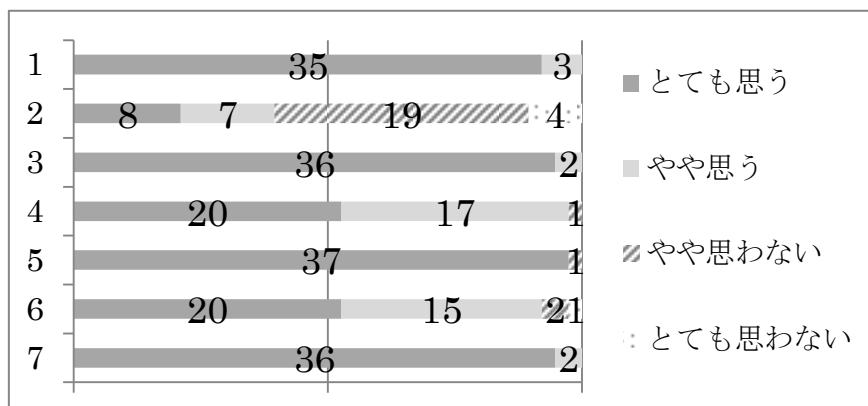


図 4.10 児童のアンケート結果

質問番号	質問内容
(1)	算数の文章題を作らせる学習（作問学習）は意味があると思いますか
(2)	モンサクンが作問学習の役に立つと思いますか
(3)	機会があれば「モンサクン」を利用して授業を行いたいと思いますか

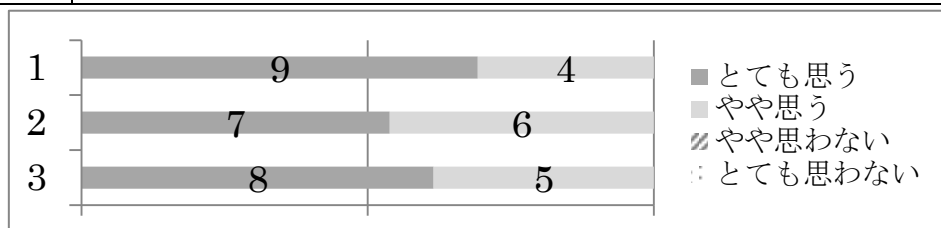


図 4.11 教員のアンケート結果

4.5. 結び

問題を作ることによる学習の1つとして、作問学習のインタラクティブ支援システムを、和差の二項演算における算数文章題を対象に設計・開発した。システムは、まだ対象領域に対して理解が十分ではない小学校1年生を対象とするため、学習者が作問学習を行うためのモンサクン Touch と、教師が学習者の作問状況をモニタリングするためのモンサクン Analyzer で構成されている。これにより、教師は行き詰まりを感じている学習者に対して指導を行うことができる。利用実践の結果としては、ログから、システムを用いて、小学校1年生の児童が十分に作問活動を行えるものであることが確認できた。また、プレ・ポストテストからは、演習が児童の問題解決、および作問能力を向上させるものであること、特によく考えて演習に取り組んでいた児童に対して有効であることが確認できた。アンケートより、システムが児童にとって受け入れられる、演習を楽しめるものとして受け入れられたこと、教員には作問を用いた授業を行う上で有用なものであることも確かめられた。更に、授業自体が本研究で定義した作問活動を前提としたものとなっており、和差の二項

演算における作問学習支援システムと、それをを用いた授業を提案，効果を実証でき，学習者が情報構造を組み立てることによる学習のテストケースを提案できたといえる。

しかしながら研究上としては，比較実験の実施，ログデータやテスト結果のより詳細で組織的な分析，さらに文章題の構造やその解決および作成過程のより詳細なモデル化といったことが今後必要といえる。実践面では，実施可能環境（タブレット＋無線 LAN）の整備と指導手順の提供が大きな課題となるが，環境整備については今後社会的に進むことが予想されるので，そのような環境において初めて実施可能となる学習法としての意義を持つてくるであろうと思われる。指導手順に関しては，実践をさらに重ねることで一般的な教師でも利用可能なものを整備してゆく予定である。

5. 作問学習支援システムの拡張

第5章では、前章で述べた作問学習支援システムの、適応範囲と適用領域の拡張について報告する。開発システムの適応可能な学習者や、演習の適用領域を拡張することは、問題を作成する学習をより一般的に利用可能にするため、また情報構造を直接操作することの有効性を議論する上で、重要な意義を持つ。そこで、ここでは加減の作問学習支援システムの特別支援学級への利用と、加減だけではなく乗算へと適用領域を拡張した上での小学校2年生を対象とした実践について記述する。

5.1. まえがき

第4章において、単文統合型の作問演習におけるインタラクティブな学習環境が、授業に取り入れるという形で利用可能であり、また、学習効果もあることが確認できた。このことから、加減算の作問学習においては、情報構造を組み立てさせることによる演習支援システムが有効であることが示せたといえる。そこで本稿では、システムが他の適応範囲と適用領域においても意義があるものであることを示すため、前者に関しては特別支援学級での加減算のモンサクン Touch の利用、後者に関してはモンサクン Touch の乗除算への拡張を行う。これらの拡張について、それぞれ詳しく述べる。

問題を作成することによる学習の効果は広く認められているものの、学習者、あるいは教授者にとって負荷の大きな学習活動であるため、通常の授業においてあまり取り入れられていなかったことは、先にも述べた通りである。また、特別支援学級では、単純に授業の進度を緩やかなものにするだけでなく、学習者に負わせる負荷も大きなものにしないことに注意が払われており[61-63]、作問学習の実施例はほとんどなかったといえる。

これについて、筆者らが開発しているモンサクンは、算数の文章題の作問を単文の統合として行わせる「単文統合としての作問」による作問学習支援システムであり、学習者らが作成した問題はシステムによって診断され、個々の問題に対して診断結果に基づくフィードバックが返される。この単文統合としての作問では、情報構造を問題という形で組み立てさせている。従って、自然言語文の作成は単文の認識と組み合わせという形で単純化されているものの、構造を組み立てるといふ算数的な理解を必要とする部分については、そのまま重要なタスクとして残されている。このため、学習としての意義を残しながら、問題を作成する際の言語的な困難さを大幅に軽減できており、これまでの実践事例から、非常に活発な作問活動が行われることも確認できている[27-29][55-57]。これらの実践事例

を踏まえて、モンサクンを用いた作問学習を特別支援学級で試みた^(注1)。5.2 節ではこの実践授業とその結果として、特別支援学級の児童の問題解決や作問の能力、及び問題の構造把握能力の変化について調査を行う。

次に、モンサクンの乗算への拡張について述べる。二項演算の算数文章題でも、加減算を対象とした場合、問題は三つの文章の組み合わせとして表現することができた。これは演算が二つの数と、その関係を表す数で表現されていたためである。この関係は、二項演算の文章題の範囲であれば乗算も同様であるはずである。また、前章で報告した実践利用から継続して、同様の児童に対して、本システムの利用を求められたこともあり、試験的に単文統合型の乗算のモデルを構築した。

乗除算の文章題においては、小学校学習指導要領解説算数編より、[乗数や除数が整数の場合の小数の乗法、除法]の解説部分には、「乗法の意味は、基準とする大きさとそれに対する割合から、その割合に当たる大きさを求める計算と考えることができる。(P.142)」とある[64][65]。つまり基準となる量、比較される量、それらの割合の三つの関係によって文章題が表現される。よって問題の診断には量の関係について成立しているかどうかのフェーズを追加し、文章題は対象となる小学校2年生で学習した範囲においてモデル化を行った。5.3 節では乗算に対応したモンサクンについて、試験的なモデルの構築、開発したシステム、及び調査について述べる。

5.2. 特別支援学級での実践利用

5.2.1. Analyzer の利用と課題設定

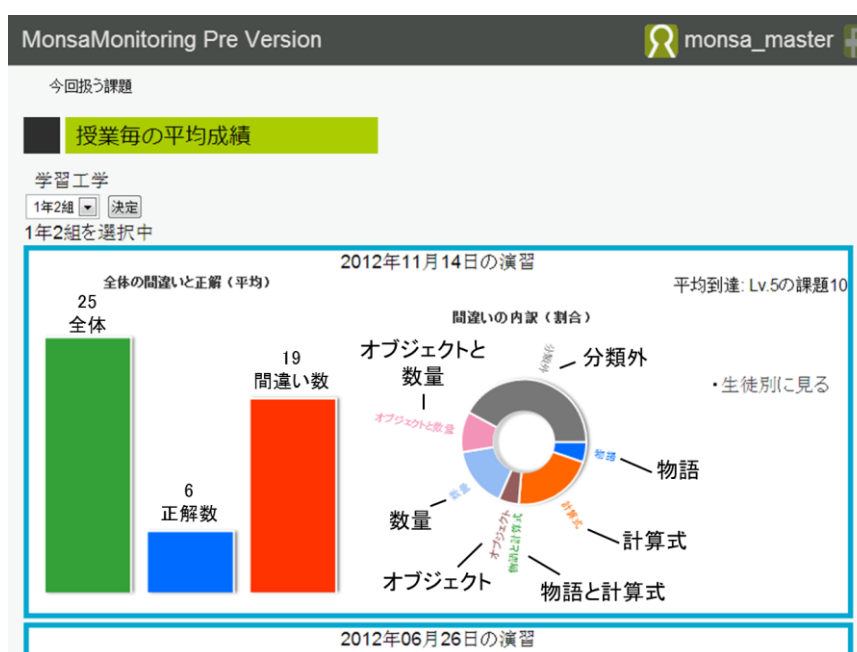
教員のモンサクン Analyzer の利用方法と、本実践演習で行った課題設定について述べる。まず教員のモンサクン Analyzer の利用方法については、進捗の確認におけるリアルタイムでの学習者への行き詰まりの指導、そして図 5.1 に示す画面で、授業ごとの演習結果の確認を行うことで、次の授業の構築を行った。

また、モンサクン Touch における作問課題は、通常は1年生が対象となる、1回の加減で解ける文章題であり、さらに表 5.1 に示す五つのレベルに分けられている。これらのレベル分けは前節における通常学級で用いたものとほぼ同様であるが、問題数や語句の表現は担当教諭と相談の上、若干の調整を行っている。

^{注1} 本実践の契機は、モンサクンを用いた1年生に対する作問授業を本実践の対象である特別支援学級を担当している教諭が見学し、著者らに対して自身の受け持っている学級での実践を打診していただいたことである

表 5.1 レベル設定

Lv	問題の種類	演算式	物語	問題数
1	順思考問題	関係式	合併, 増加 減少, 比較	各 3 問
2	逆思考問題	関係式	合併, 増加	各 5 問
3	逆思考問題	関係式	減少, 比較	各 5 問
4	逆思考問題	計算式	合併, 増加	各 5 問
5	逆思考問題	計算式	減少, 比較	各 5 問

図 5.1 モンサクン Manager インタフェース^(注2)

5.2.2. 実践内容

4章で提案した作問学習支援システムの設計において定義した、算数文章題の情報構造が、特別支援学級の児童を対象としても受け入れられるかどうかについて、また作問能力、問題解決能力、問題の構造把握能力に影響をあたえるかどうかについて調査を行った。実践対象となる児童は、長崎県公立小学校の5年生男子児童1名と6年生男子児童1名である。担当教員によると、6年生は四則の計算問題は多桁、1桁ともに可能だが、5年生は二桁までは安定しているものの、三桁以上になると繰り上がりに難がある。また、いずれも言語能力が十分ではなく、小学校1,2年生レベルの文章問題は解けるが、作問学習については実施が困難である、という評価を、担当教諭より受けている。したがって、両名ともモン

^{注2} 解像度の関係で、紙面で見えにくい部分には注釈を入れる加工を行っている

サクンを用いた加減の算数の文章題の作問学習に取り組むことに有効性が見込める児童である。

実践は合計 6 時限（1 時限 45 分，3 週間）かけて行われた。プレテストとポストテスト・アンケートは一連の授業を実施する前後に別の授業として行っている。授業では 2，3 分の前後はあるものの，最初の 30 分を作問法の教授，残りの 15 分をモンサクンによる演習時間としている。授業の配分としては，最初の五回は 1～5 のレベルを 1 時限 1 レベルで順番に行い，最後の 6 回目の授業では復習としてレベル 1 を行った。

今回対象となる児童の一人が広汎性発達障害の診断を受けているので，できる限り教室内の人的環境を変えない方が望ましいため，TA はいないほうがよいとのことであった。したがって TA はなしで，現場の教諭のみで本実践授業を行なっていただいた。また教室も児童らに合わせた場となっており，教室を移動する必要がないタブレット PC での運用は必要な要素であった。加えて本実践授業を行うにあたり，教室には無線 LAN 環境が整備されていなかったが，人数が少人数であるため，担当教諭のスマートフォンでテザリングを行うことで対処可能であった。テザリングは，児童用 2 台，教師用 1 台の計 3 台の機器を接続して特に支障なく利用できた。なお，スマートフォンで行ったテザリングでは，理論上同時に 5 台の Wi-Fi 機器が接続可能となっているが，5 台での実践的な利用可能性については未確認である。

プレ・ポストテストは，問題解決テスト，過剰問題解決テスト，作問テストの三つを実施した。問題解決テストでは合併，増加，減少，比較の各物語構造の問題をそれぞれ順思考と逆思考の場合で 2 問ずつ用意しているため，問題数は 16 問になっている。このテストでは学習者の問題解決能力の調査を行う。過剰問題解決テストは，この問題解決テストに余分な情報を 1 つ追加した問題であり，問題数は同様である。過剰問題解決テストは余分な情報を見ぬいた上で問題解決を行う必要が有るため，学習者の問題構造の把握を調査することができる[66]。問題解決テスト，過剰問題解決テストは，プレ・ポストテストでオブジェクトと数値，問題の順番を変更している。作問テストは，自然言語文を書かせるのではなく，提示される 17 個の単文を組み合わせることで行う。これらの単文を三つ選択，並び替えることで問題は作成することができる。よって作問形式としては単文統合型となり，児童は四つの問題を作成することを求められる。

教授活動は単文統合型の作問方式を用いて行われ，モンサクン上で扱う作問課題の類題を教えていた。類題は教師が作成したもので，オブジェクトや数値が変更されている。ここではホワイトボードと自作の単文カードを用いて作問課題への取り組みが行われた。児童は課題に回答し，どういったことを考えてその問題を作成したのかについての説明を求められる。その後，他の二文の関係を表す単文である関係文を中心として，作られた問題のお話がどういうものであるかを教師が教授する。そもそもの問題の成立条件について教授を行わないのは，今回の実践の対象者となる児童がすでに対象範囲の算数の文章題の学習を終えていること，教授の方針が物語の意味を理解することを中心としていたためであ

る。そのため教員の指摘も基本的には課題として与えられている物語が、どのような言葉で表現されているかに着目させ、数量やオブジェクトの対応をとるという形で作問法の教授を行った。その後問題における物語と数量関係の対応を、円などを用いて図示して物語を理解させ、改めて問題の演算式を確認させてから、課題で提示されている演算式との一致を行わせた。このことから、特別支援学級の教諭に対しても、単文統合型の作問によって授業を行うことが有効であり、また授業内で利用するに足るものであるという判断を頂いていると言え、本研究が従来の授業を変えうるものであるということが言える。

5.2.3. ログとテストの結果

ログからは、そもそも作問活動を行うことが難しい児童が作問活動を行っていたかどうか、そして各テストからは、問題解決、作問、問題構造の把握能力についての調査を行う。ログと作問テストの結果を図 5.2 と表 5.2 にそれぞれ示す。ログからは、児童は 1 時限あたり平均して 23 問作成し、そのうち平均 11 問が正解（正解率 48%）であった。今回用いた作問課題では、標準で 6 枚のカードが提示され、そのうち 3 枚を選んで正解となる 1 つの並びを作成することが求められるため、ランダムにカードを並べて正解する可能性は約 1% である。したがって、この正解率は児童が十分に考えた上で作問を行っていることを示唆している。レベル 4 及びレベル 5 で正解率が落ち込んでいるが、計算式から逆思考の問題を作る課題となっており、これは普通学級でも同様な傾向が見られる。また最終日にレベル 1 を復習として行った際には、非常に高い正解率を示しており、これはこのシステムを用いた演習を通して、児童の単文統合としての作問能力が上がったことを示しているといえる。このことから、従来実施が困難であった特別学級における作問学習を、モンサクンの利用を前提とすることで 6 時限分の授業を計画することができ、さらにその授業で十分な数の作問数が確保できたことが確認できた。

また、作問テストでは、表 5.2 のように両名ともプレテストと比べて、ポストテストで作問数、正解数が増えており、これも作問能力の向上を示唆しているといえる。また、表 5.3 に問題解決テストと過剰問題解決テストの結果を提示する。問題解決テスト、過剰問題解決テストともに正解率が向上しており、問題解決能力についても向上を確認することができた。

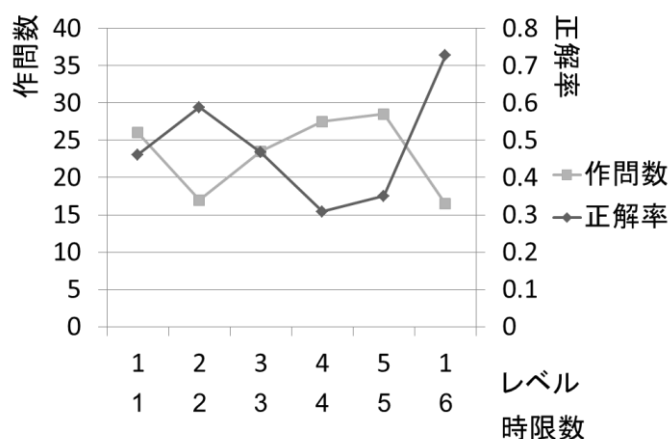


図 5.2 児童の演習ログ

表 5.2 作問テスト結果 (個別)

被験者	テスト	作問数	誤り	正解
5年生	プレテスト	3	2	1
	ポストテスト	4	0	4
6年生	プレテスト	3	3	0
	ポストテスト	4	2	2

表 5.3 問題解決と過剰問題解決テスト結果 (平均)

被験者	問題	プレテスト		ポストテスト	
		正解数	正解率	正解数	正解率
問題解決	順思考問題	4.5	0.56	6.5	0.81
テスト	逆思考問題	3.0	0.38	5.0	0.63
過剰問題	順思考問題	6	0.75	7.5	0.94
解決テスト	逆思考問題	3	0.38	4.5	0.56

5.2.4. アンケート結果

児童と教員に対して行ったアンケート結果から、児童や教員が演習を有効なものだと判断するか、違和感のある活動になっていないかを調査した。児童に行ったアンケートから、作問と児童の計算能力について抜粋したものを表 5.4 に示す。アンケートは四件法（4：そう思う，3：ややそう思う，2：あまりそう思わない，1：そう思わない）を用いて行い、全てにおいて”4”の回答が得られた。このことから、児童が本実践授業に意欲的に取り組んでいたこと、本システムで作問を行うことが児童にとっても容易で楽しいものであり、問題解決能力の向上も感じられるものであったことが分かった。

また教員に対して同様に四件法で行ったアンケートでは、「単文を組み合わせて問題を作るという方法は、特別支援学級の児童が作問学習を行うのに有効であると思うか」、「モン

サクンで授業を行う際、学習者の作問状況を 確認できるモニタリングシステムは有用だと思いますか」について“4”が回答された。また可視化ツールの利用の仕方について尋ねたところ、「授業後にじっくり見て、どこができてどこができなかったかを分析するのに用いた。子どもの回答状況が一目でわかるので、ありがたかった。その結果を見て、次の授業の時、例題をどうするか、気をつけさせることを追加するかしないか？再度言うことは？といったことを考えた」といった回答が得られ、また、誤りを表示する機能についても、「こどもの傾向をつかむ一つの方法、視点を増やしている点で有効だったと思う」といった意見が得られた。以上より、担当教諭にシステムが受け入れられ、単文統合型の作問方式が特別支援学級の児童に有効であること、またモンサクン Analyzer が児童の傾向をつかむ一つのツールとして有効であることについて同意が得られた。

表 5.4 児童に行ったアンケート抜粋

問題番号	質問内容
(1)	算数の計算は得意ですか。
(2)	算数の問題を作る授業は楽しかったですか。
(3)	モンサクンを使って算数の問題を作ることは簡単ですか。
(4)	モンサクンで勉強して、算数の問題が解きやすくなったと思いますか。

5.3.乗算への拡張と実践利用

5.3.1.利用システム：モンサクン Touch 2

ここでは、モンサクン Touch を乗算の範囲へと拡張するために、試験的に、乗算における情報構造の定義を行う。対象となる乗算の問題を、単文統合型の形式で図 5.3 に示す。小学校 2 年生で取り扱う乗算の文章題はこの二種類が主である。まず図 5.3(a)の問題については、箱とリンゴ全体の数が存在していることがわかる。これらの関係は、1 箱あたりのリンゴの数として表されている。次に図 5.3(b)の問題についてはリンゴとみかんの数が存在しており、それらの関係が倍によって表現されている。これらを踏まえ、一つあたりの関係文と、倍の関係文、そして全体を表す存在文を、関係文として定義することができる。

また、これらの問題の診断についても、図 5.4 のように拡張している。ここで、乗算の文章題には、「基準量×割合＝比較量」という関係がある。例えば図 5.4(a)の問題であれば、1 箱あたりのリンゴの数が基準量、箱の数が割合、リンゴ全部の数が比較量になる。このように、乗算ではそれぞれの量の持つ役割が異なっていることが言える。このことについては、Greer や Vergnaud といった研究者らも言及している[67-69]。これは、小学校学習指導要領解説算数編[64][65]にも、「乗法は、一つ分の大きさが決まっているときに、その幾つ分かに当たる大きさを求める場合に用いられる。(P.87)」、「また、累加としての乗法の

意味は、幾つ分といったのを何倍とみて、一つの大きさの何倍かに当たる大きさを求めることであるといえる。(P.87)」として、[2年乗法]の解説部分に記載されている。よってこのような組み合わせで単文を組み合わせているかどうか、問題の成立条件の1つとして定義でき、これを比の物語構造と呼ぶ。このとき誤りを起こせば、上記のような物語ができていないとしてフィードバックを行う。また、乗算には単位が存在するので、次の問題が成立しているかどうかの診断において、診断を追加している。また今回、児童が基準量と割合を把握しているかどうかを判断するために、基準量、割合、比較量の順番でカードを置かせるようにしている。よって課題との一致に関しても、単に提示されている計算式と異なる場合だけではなく、カードの順番が異なる場合にも、課題の計算式と一致していないとして、別途フィードバックしている。

システムの全体のフレームワークは加減算と同様で、モンサクン Touch 2 で学習者が作問学習を行い、その診断結果がデータベースサーバーへ送られる。モンサクン Analyzer はその結果を用いて、5.2.1 節で述べたようなデータを可視化する。このとき、誤りの種類は上述の分、加減から拡張している。

- (a) 1箱あたりリンゴが5つ入っています。箱が3つあります。リンゴは全部でいくつですか。
- (b) リンゴが5つあります。みかんはリンゴの3倍あります。みかんはいくつですか。

図 5.3 乗算の文章題の例

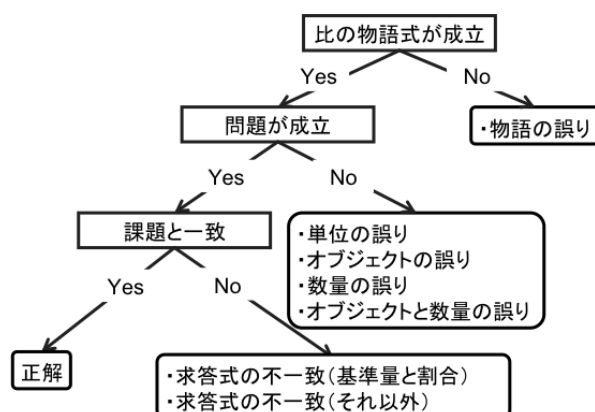


図 5.4 作成された乗算文章題の診断フロー

5.3.2. 実践内容

試験的に定義した問題構造を用いた乗算の作問学習支援システムが、問題解決能力、作

問能力、及び問題の構造把握能力に及ぼす影響を調査した。被験者は広島大学附属小学校 2 年生 1 クラス 39 名である。これらの児童は昨年加減算のモンサクンを用いた実践演習を行っており、乗算の学習を終えたばかりでもある。授業は 1 時限 45 分として、3 週間で 9 時限を行なっている。一回の授業は、モンサクン Touch2 を用いた演習への導入、教師による作問法の教授、教師の教授を踏まえたモンサクン Touch2 による演習で構成されている。授業では 1 時限に一つのレベルを扱っているが、もし授業で取り扱っているレベルのすべての課題を終えた場合には、過去のレベルに取り組むことを許している。この一連の授業により、学習者に問題構造を定着させる。授業の前後には別時限としてプレ・ポストテストを 1 時限ずつ行っており、それぞれ乗算の二項演算における算数文章題を対象とした、作問テスト、問題解決テスト、過剰問題解決テストの三つで構成されている。

5.3.3. 課題設定、教授内容と試験紙の設定

ここでは実践授業を行う上で設定した、システムで取り扱う課題のレベル分け、教授内容、プレ・ポストテストについて触れる。まず取り扱う課題のレベル分けについて述べる。システム上で課題として作成すべき問題はすべて教科書から抽出しており、担当教諭との相談の上で問題を選択、実装している。その際のレベル分けについても、担当教諭との相談の上、表 5.5 のように設定している。レベルは 1-7 に分けられており、尺度としては、求答式、問題式、各課題の作問数、各レベルの作問数があげられる。学習者に提示されるのは、基本的に求答式である。レベル 1 は量の関係を意識させるため、物語を作成する課題となっている。そのため、関係式は $x \times y = z$ で表記しており、これは問題式である。レベル 2 では同様の設定で問題を作成させ、レベル 3 ではこの問題を一つの課題に付き 2 問作成することを求める。レベル 4, 5 では、実際の計算は乗算だが問題文中の表現は除算、あるいは実際の計算は除算だが問題文中の表現は乗算といった、逆思考の問題を取り扱っている。被験者はまだ除算の演算を学習していないため、レベル 5 については関係式を課題として提示している。最後にレベル 6, 7 では分配法則を扱っている。パターンは一項目が加減となる場合と、二項目が加減となる場合のみであるので、この二つのレベルとなる。各々のレベルにおける課題数はすべて 10 問である。

次に教師の指導内容について述べる。まず担当教諭は本研究で提案している単文統合型の作問方式を利用して教授を行なっている。これは担当教諭に、本研究で提案しているモデルを受け入れていただいているためである。担当教諭は黒板に自作の単文カードを貼り付け、課題を書いて学習者に提示する。この時の課題はシステムで扱う課題を担当教諭の判断のもと利用している。その上で学習者は必要な単文の選別また不要なカードの選別を行い、その理由を説明することを求められる。そしてその結果作成された問題については、問題の図的表現がどうなるのかについて議論を行い、何故問題が成立するのかを考えさせている。これはモンサクンを利用してはいないものの、モンサクンの設計の基礎である問

題のモデルに基づいた問題づくり，発問内容になっており，加減算同様，これらの構造によって発想された授業であるといえる。

最後にプレ・ポストテストで行なっている試験紙だが，これは第4章で行った，問題解決テスト，単文統合型の作問テストと同様のものに加えて，情報過剰問題解決テストを行っている。問題解決テストは一般的な問題解決テストと同様のものであるが，問題を三つの文章に区切って表現している。作問テストでは，本システムで作問されるすべてのレベルの問題を作成できるように28個の単文を与え，4つの問題を作成させるものである。なお，本システムで作成した問題は作れないようになっている。また情報過剰問題解決テストは，問題解決テストの問題の一つ余分な情報を加えたものである。これは本テストの場合には問題を解く際に必要のない単文であり，オブジェクトや数値を変更したものになる。そのため，学習者は単文間の関係と，単文に含まれている情報の妥当性を判断しなければならず，問題の構造を意識できているかを確認するために有用なテストである[66]。本実践授業では，本研究ではこれらのテストで問題解決能力と，問題構造の定着について調査・分析する。

表 5.5 モンサクン Touch 2 のレベル設定

レベル	計算式	関係式	1 課題における 必要作問数	作問数
1	$x \times y$	$x \times y = z$ (物語式)	1	10
2	$x \times y$	$x \times y = ?$	1	10
3	$x \times y$	$x \times y = ?$	2	10
4	$x \times y$	$? \div x = y$ $? \div y = x$	1	10
5	$x \div y$	$? \times y = x$ $y \times ? = x$	1	10
6	$x \times y$	$(a+b) \times y = ?$ $(a-b) \times y = ?$	1	10
7	$x \times y$	$x \times (b+c) = ?$ $x \times (a-b) = ?$	1	10

5.3.4. プレ・ポストテストの分析結果

プレ・ポストテストの分析結果から，システムが学習者の作問能力，問題解決能力及び問題構造把握能力に与えた影響を調査する。全体での作問，問題解決，過剰問題解決テストの結果を表 5.6 に示す。なお，作問は最高点 4 点，問題解決と過剰問題解決は最高点 10

点である，対応のある2群のt検定を行ったところ，作問テストの正解数（正しい作問数）はプレ・ポスト間で有意に上昇しており（ $p=.11$ ），効果量は $|d|=0.50$ で中という結果だった．このことから，作問能力の向上は見られたため，正しい問題を作成するだけの構造把握はできるようになったと言える．しかしながら，問題解決テストと過剰問題解決テストについて同様にプレ・ポストで比較を行ったところ，有意差は見られなかった．これは作問テストに比べて比較的標準偏差が高かったことが原因であると考え，過剰問題解決テストの平均値で上位群と下位群に分け，再度これらのテストについて比較を行った．過剰問題解決テストで上位群と下位群を分けた理由としては，事前の問題構造の習得度合いによって，演習の効果が変わると考えたためである．今回テストの平均は高かったため，上位群はすでにある程度の構造を把握しているので差が現れず，下位群は有意に上昇するのではないかと仮定した．この再比較の結果を表5.7に示す．まず，実際に上位群は平均点が高いまま維持されていたが，下位群は1-2点の減少が見受けられた．問題解決テストでは，下位群には $p=.09$ で有意傾向が見られ，効果量も $|d|=0.49$ で小という結果だった．また過剰問題解決テストでは， $p=.004$ で効果量 $|d|=1.19$ という結果であり，有意差あり，効果量は大だった．これらの結果から，問題構造をあまり把握できていない学習者は，本システムの利用を通してその改善が見られることが確認できた．

表 5.6 全体のプレ・ポストテスト(N=39)

テスト	プレテスト		ポストテスト		
	M	SD	M	SD	
作問テスト	2.54	0.96	2.94	0.99	**
問題解決テスト	8.18	1.68	8.51	1.38	n.s.
過剰問題解決テスト	7.72	1.74	8.23	1.75	n.s.

** $p<.01$

表 5.7 上位群(N=25)と下位群(N=14)のプレ・ポストテスト

テスト	グループ	プレテスト		ポストテスト		
		M	SD	M	SD	
問題解決テスト	上位	8.80	1.30	8.92	1.32	n.s.
	下位	7.07	1.71	7.79	1.15	+
過剰問題解決テスト	上位	8.84	0.83	8.60	1.45	n.s.
	下位	5.71	0.96	7.57	1.99	**

** $p<.01$, + $p<.10$

5.4. 結び

本節では、第4章で述べた作問学習支援システムの適応範囲の拡張として特別支援学級での実践利用、適用領域の拡張として乗算への試験的拡張を行った。特別支援学級での利用は、作問における言語的な難易度を軽減し、言語の発達が遅れが見られる特別支援学級の児童に対して有効であると考えられたためである。これは対象となる問題を情報構造として表現しているために実現したことであり、利用実践の結果から、特別支援学級の児童にとっても、本研究で定義された問題が不自然なものではなく、十分に演習を行えることが確認できた。またプレ・ポストテストから、システムを用いた授業により、作問、問題解決、問題構造の把握能力がいずれも向上する可能性を示せた。乗算への試験的な拡張においては、乗算の領域で必要となる「基準量×割合＝比較量」の関係についても考慮して、乗算における問題構造の定義を行い、システムの拡張を行っている。この利用実践の結果から、試験的に定義した構造を組み立てる演習において、小学校2年生で、全体的な作問能力の向上、また問題構造の理解が不十分な児童に対して、児童の問題構造が洗練されるという結果が得られた。

以上の結果から、本研究で定義した問題構造がより妥当なものであること、それをを用いた演習が、対象領域の学習に対して十分有効なものであることが示せた。また、これが通常学級にとどまらず、特別支援学級でも利用可能であること、乗算の範囲にも拡張可能であることもあわせて確認することができた。また、現場教員は本研究で定義した情報構造を用いて授業を行っており、情報構造を用いた学習の提案、システムの開発が十分に意義のあるものであることが確認できたといえる。しかしながら、特別支援学級においては、児童に対する学習効果に関して、現時点では示唆されるにとどまっており、十分な検証ができたとは言えない。当該教諭は本システムの継続的利用を望んでおり、より長期的な実践を通して、特別支援学級に対する適用の有効性を検証していく予定である。また、乗算への拡張についても、あくまで試験的な拡張であるので、対象となる問題の情報構造のさらなる洗練、比較実験の実施や、得られたデータの詳細な分析が今後の課題として必須であるといえる。実践面についても、実践を重ねることで指導手順を明らかにし、一般的な教師でも利用可能な演習として整理していく予定である。

6. 結論

近年，学習をシステムによって支援するということは，e-learning や ICT を利用した教育の情報化などによって，広く行われている．このようなシステムを開発する際，演習を情報化するだけではなく，何故そのような演習になるのかという理由・背景といったものまで情報構造として表現し，システムに実装するという，Information Structure Oriented というアプローチがある．この方式では，システムが学習対象となる情報の構造を保持しているため，情報構造を介したインタラクティブな学習が実現する．また，このアプローチにおいても，システムが情報構造を処理することで学習者に演習を行わせる方法と，学習者自身にこの構造を組立てさせることにより，学習をさせようという方法の二つが提案されており，本研究ではより一般的な「問題」を対象として，後者の手法をとっている．より実際の教育現場に則した，問題を対象とし，問題を作ることを対象としたインタラクティブ支援環境を開発することで，授業に取り入れて利用することが可能な学習支援システムを実現できると考えたためである．本研究では，問題を作ることは，問題を組み立てることと変えることの二種類があると定義し，教育の分野でも提案されている各々の演習と照らし合わせながら，対象となる問題の定義，その処理としての演習の定義，診断とフィードバックの定義を行った．また，各々のシステムを学習者に利用してもらい評価を行うことで，定義した構造の妥当性，及びその学習効果について調査した．

第2章では，問題を作ることによる学習として，問題を組み立てることによる学習，問題を変更することによる学習が，学習活動としてどのような意義があるかについて概説した．また，問題の構造と，各々の演習の定義について分析した．以降で提案するシステムは，ここで分析した結果に基づいて議論している．

問題を変換することによる学習のインタラクティブ支援システムの具体例として，第3章では物理力学を対象とした問題変更演習支援システム ProNavi-II について述べた．ここでは物理力学の問題と，その変更についてはすでに定義しているため，学習効果の得られるような適切な演習の定義を行い，システムを開発している．開発したシステムの試験的利用結果からは，提案演習が問題なく受け入れられる活動であること，また学習効果が期待できることが確認できた．

第4章では問題を組み立てることによる学習のインタラクティブ支援環境の具体例として，和差の二項演算における算数文章題を対象とした作問学習支援システム，モンサクン Touch を開発している．作問学習支援システムの基盤はすでに開発，対象学年より上の学年については利用可能であることを確認しているため，実際に対象となる小学校1年生を対象として，授業に取り入れて演習を行えるようにすることが課題となった．これについては，タブレットへの移植と，システム上での学習者の作問状況を確認するためのシステム，

モンサクン Analyzer の開発を行った。実際に小学校 1 年生を対象とした実践演習では、システムが小学校 1 年生を対象として、十分に利用可能であること、多くの現場教員に受け入れられるものであることがわかった。また、実践利用では、教員はここで定義した情報構造を前提として一連の授業を行っていた。このことから、情報構造を用いて学習することが学習として意義があるだけでなく、既存の授業を変えうるものであることも同時に示されたといえる。モンサクン Analyzer については試験的な評価にとどまったが、児童の作問傾向を把握する上で有用なシステムであるという意見を得られた。また、プレ・ポストテストから、システムを用いた学習が、特に演習に熱心に取り組んだ学習者に対して、学習者の問題解決及び作問能力の向上に有効であるという結果も得られている。

第 5 章では、第 4 章で用いたシステムを、特別支援学級で用い、また、乗算への拡張を行っている。特別支援学級での利用では、言語的な表現に困難を感じるため作問活動を行うことができない児童に対しての試験的利用を行った。これは本システムにおける演習が情報構造を直接操作することで実現しているため、特別支援学級の児童にとって困難を感じる言語表現における負荷を大幅に軽減していることから、行われたものである。この実践利用の結果から、システムを用いることで特別支援学級の児童も十分に作問演習を行えること、システムを用いた演習を通して、児童の問題解決、作問、及び問題構造の把握能力が向上する可能性を確認できた。また、作問の教授は本研究で提案した情報構造を用いて行われており、問題の情報構造を組み立てる学習が意義のあるものであることを示している。モンサクン Analyzer についても、演習に行き詰まった児童への指導、次回の授業の構築のために有用であるという結果が得られた。次に乗算への拡張では、「基準量×割合＝比較量」の関係を踏まえて問題のモデル化を行い、システムを拡張した。ここでは新たに、診断、誤りの分類とフィードバックの設定、実践利用における課題設計を行っている。また、実践利用の結果から、システムを通じた演習が、対象となる小学校 2 年生の児童の作問の向上につながることで、特に構造を把握できていなかった児童に対して、問題解決能力及び問題構造の把握能力の向上に有効であるということが確認できた。

これらの結果から、学習対象となる問題の情報構造を定義し、それを作らせることとして問題変更演習、また作問演習を捉えることで、従来行えていなかったこれらの演習を実現することができた。また、その演習の有効性も示すことができ、特に作問学習を対象としたシステムでは、システムを用いた授業自体も、本研究で定義した構造を前提としたものに置き換わっていた。よって、情報構造に基づき対象を考察することが、学習において十分に意義のあるものであることを示すことができたのではないかと考えている。

今後の課題としては、問題変更演習においては、それぞれ物理力学を対象として、問題を変更することによる演習の実現と試験的利用を行ったが、その評価については問題が残る。本研究ではこの尺度の一つとして、問題間の関係づけテストを行ったが、より詳細に学習者の理解を確認するためには、問題の構造から与えられた問題の難易度を決定させる問題の並び替えテストや、理解度を確認するための設問を用意した上でのインタビューな

どが考えられる。また演習自体の定義がまだ十分ではないことや、今回の演習が問題変更演習としては初歩的なものになっていることから、演習の段階的な定義、モデルの精緻化による演習の改善なども課題としてあげられると言える。また、算数の文章題に対して、問題を変更することによる演習の支援システムを開発し、作問学習支援システムとの連携や比較を行うことも、各々の演習の位置づけを明確にする上で重要となる。また、教師が演習結果をモニタリングするシステムの開発、タブレットへの移植も、一般授業で利用するためには必要な課題であるといえる。

作問学習における支援システムでは、加減算においては通常学級と特別支援学級でそれぞれ9時限と6時限、乗算においては9時限の実践利用を行っており、それだけの学習ログが取得できている。これらのデータを分析することで、本研究のモデルに従った学習者の演習モデルの構築や、誤りの分析、一般的に行われる問題解決演習との差異の考察を行うことができると考えられ、これらに基づいてより有効なシステムを開発することができる。また、作問課題を作成するためのオーサリングシステムの開発や、除算への拡張なども重要な課題となる。特別支援学級での利用については、実践を行った人数が2名と少ないために、より多くの学校で実践演習を行うことで、学習効果や利用可能生について、より妥当な結果を得ることが必要であると言える。

参考文献

- [1] 総務省（教育情報化の推進）：
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/kyouiku_joho-ka/index.html
- [2] 総務省（フューチャースクール）：
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/kyouiku_joho-ka/future_school.html
- [3] ミネルバ書房， 技術標準化とシステム開発. 教育工学とシステム開発, 2012.
- [4] MURPHY, Richard T.; APPEL, Lola Rhea. Evaluation of the PLATO IV Computer-based Education System in the Community College. Final Report. 1977.
- [5] 米満潔, et al. "Moodle と XOOPS を基盤とし大学の要求を考慮した学習管理システムの開発と運用 (教育支援,< 特集> ユーザ指向の分散システム/インターネットの運用・管理)." 情報処理学会論文誌 Vol.48, No.4, pp.1710-1720, 2007.
- [6] Wenger, E.: Artificial Intelligence and Tutoring Systems ? Computational and Cognitive Approaches to the Communication of Knowledge, Morgan Kaufmann Publishers, 1987. (岡本敏雄, 溝口理一郎監訳 : 知的 CAI システム—知識の相互伝達への認知科学的アプローチ, オーム社, 1990.)
- [7] Carbonell, J. R.: Ai in CAI: an artificial intelligence approach to computer-assisted instruction. IEEE Transaction on Man- Machine Systems, Vol.11, No.4, pp.190-202, 1970.
- [8] Quillian, M.R.: Semantic Memory, Semantic Information Processing, MIT Press, pp.227-270, 1968.
- [9] Clancey W.J.: From GUIDON to NEOMYCIN and HERACLES in twenty short lessons: ONR final report 1979-1985, AI Magazine, Vol.7, No.3, pp40-60, 1986.
- [10] Jonassen, David H. "Designing constructivist learning environments." Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory 2, pp.215-239, 1999.
- [11] Jonassen, David H. "Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?." Educational technology research and development 39.3, pp.5-14, 1991.
- [12] 中村恵子. 教育における構成主義.新潟大学大学院現代社会文化研究科, Vol.21, pp.283-297, 2001.
- [13] 久保田賢一. 構成主義が投げかける新しい教育. コンピュータ & エデュケーション 15, pp.12-18, 2003.

- [14] 奥村喜世子訳：マインドストーム—子供，コンピューター，そして強力なアイデア，未来社，1982.
- [15] Novak, Joseph D., and Alberto J. Canas. "The theory underlying concept maps and how to construct them." Florida Institute for Human and Machine Cognition 1, 2006.
- [16] KAY, Alan. Squeak Etoys authoring & media. Viewpoints Research Institute, 2005.
- [17] 軽野宏樹；木實新一；上林弥彦. ALAN-K プロジェクト: Squeak を活用した創造的な情報教育の試み. 情報処理学会研究報告. コンピュータと教育研究会報告, 2003, 49 pp.1-8, 2003.
- [18] Kenneth D. Forbus, Karen Carney, Bruce L. Sherin, Leo C. Ureel II: VModel: A Visual Qualitative Modeling Environment for Middle-school Students. AI Magazine No.26, Vol. 3, pp.63-72, 2005.
- [19] Polya, G.: How to Solve It. Princeton University Press, 1945.
- [20] E.A. Silver, J. CAI, "An analysis of arithmetic problem posing by middle school students," Journal for Research in Mathematics Education, vol.27, no.5, pp.521-539, 1996.
- [21] 中野洋二郎,坪田耕三,滝井章編著, "子どもが問題をつくる," 東洋館出版社, 1999.
- [22] Brown S. I., Walter M. I.: "いかにして問題をつくるか: 問題設定の技術", 東洋館出版社, 東京, 1990.
- [23] 竹内芳男, 沢田利夫: "問題から問題へ—問題の発展的な扱いによる算数・数学科の授業改善", 東洋館出版社, 東京, 1984.
- [24] 山元翔, 脇浩美, 平嶋宗, "問題変更演習への近傍選択課題の導入とその実験的評価", 教育システム情報学会論文誌 29 卷 4 号, pp.201-206, 2012.
- [25] Sho Yamamoto, Hiromi Waki, Tsukasa Hirashima, "An Approach to Promote Learning by Problem-Based Problem-Posing", Proc. of TELearn2009, P33, 2009.
- [26] Sho Yamamoto, Hiromi Waki, Tsukasa Hirashima, "An Interactive Environment for Learning by Problem-Changing", Proc. of ICCE2010, pp.1-8, 2010.
- [27] 山元翔, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋宗, "教室授業との融合を目的とした単文統合型作問学習支援システムモンサクン Touch の開発と実践利用", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.10, pp.2440-2451, 2013.
- [28] Sho Yamamoto, Takehiro Kanbe, Yuta Yoshida, Kazushige Maeda, Tsukasa Hirashima, "A Case Study of Learning by Problem-Posing in Introductory Phase of Arithmetic Word Problems", Proc. of ICCE2012, Main Conference E-Book, pp.25-32, 2012.

- [29] Sho Yamamoto, Takehiro Kanbe, Yuta Yoshida, Kazushige Maeda, Tsukasa Hirashima, “Learning by Problem-Posing with Online Connected Media Tablets”, HIMI/HCI 2013, Part III, LNCS 8018, pp. 165174, 2013.
- [30] 山元翔, 平嶋宗, “特別支援学級でのモンサクンを用いた作問学習実践事例”, 教育システム情報学会論文誌 30 卷 4 号, pp.243-247, 2013.
- [31] Sho Yamamoto, Takuya Hashimoto, Takehiro Kanbe, Yuta Yoshida, Kazushige Maeda, Tsukasa Hirashima, “Interactive Environment for Learning by Problem-Posing of Arithmetic Word Problems Solved by One-step Multiplication”, Proc. of ICCE2013, pp. 51-60, 2013.
- [32] Hegarty, M. & Mayer, R.. Comprehension of arithmetic word problems: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers. Paper presented at the annual convention of the American Educational Research Association, New Orleans, 1993.
- [33] 平嶋宗. 「問題を作ることによる学習」 の分類と知的支援の方法. 教育システム情報学会研究報告, Vol.20, No.3, pp.3-10, 2005.
- [34] VanLehn, K., Lynch, C., Taylor, L., Weinstein, A., Shelby, R., Schulze, K., Treacy, D., & Wintersgill, M.: Minimally invasive tutoring of complex physics problem solving. Proc. of Intelligent Tutoring Systems 2002, pp.367-376, 2002.
- [35] VanLehn, K.: The behavior of tutoring systems, International Journal of Artificial Intelligence in Education. Vol.16, No.3, pp.227-265, 2006.
- [36] 大西俊弘. 実践事例アイデア集 Vol.11 「What-if-not 方略による媒介変数の導入」. 日本教育工学振興会,
- [37] 大西俊弘. Super Science Seminar(S-Cube)第 60 回セミナーテキスト. 日本原子力研究開発研究機構,
- [38] 清水克彦. 数学におけるオープンな問題の概念の再検討ーテクノロジーによる支援の可能性を視野にー. 筑波数学教育研究 第 17 号, 1998.
- [39] 脇浩美, 浦智幸, 堀口知也 et al : “初等力学を対象とした問題変更演習支援システムの設計・開発”, 教育システム情報学会学会誌, Vol.26, No.4, pp.329-338, 2009.
- [40] 脇 浩美, 山元翔, 平嶋宗, “問題間の関係への気づきを指向した問題変更演習支援システムの設計・開発”, 人工知能学会研究会資料 SIG-ALST-A903-14, pp39-44, 2010.
- [41] 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 D, Vol.J91-D, No. 2, pp.303-313, 2008.

- [42] Horiguchi.T. & Hirashima.T: “Intelligent Support for Authoring 'Graph of Microworlds' based on Compositional Modeling Technique.”, Proc. of QR'08, pp.49-57, 2008.
- [43] 水本篤, 竹内理: “研究論文における効果量の報告のために—基礎的概念と注意点—”, 関西英語教育学会紀要, 「英語教育研究」 31, pp57-66, 2008
- [44] Yu, Fu-Yun. "Scaffolding student-generated questions: Design and development of a customizable online learning system." Computers in Human Behavior Vol.25, No.5: pp.1129-1138, 2009.
- [45] 高木正則, 田中充, 勅使河原可海. "協調的に作問する過程で競争可能なオンラインテストシステムの実装と評価." 教育システム情報学会誌 Vol.24, No.1, pp.13-25, 2007.
- [46] 平井佑樹, 樫山淳雄. "作問に基づく協調学習支援システムとその分散非同期学習環境への適用." 情報処理学会論文誌 Vol.49, No.10, pp.3341-3353, 2008.
- [47] 小島 一晃, 三輪 和久, “作問事例を用いて数学文章題を生成するシステムの実現と評価,” 人工知能学会論文誌, 21 巻, 4 号, pp.361-370, 2006.
- [48] 調布市立上ノ原小学校算数科 1 年指導案, 2007:
<http://members.jcom.home.ne.jp/pc-library/library2gakusyuu/jyugyouryoku/uenoharayoneyama.pdf>
- [49] 金沢市立泉野小学校算数科 1 年指導案:
<http://www.kanazawa-city.ed.jp/izumino-e/sidouan/13isii.pdf>
- [50] 文部科学省, “新・学習指導要領・生きる力 小学校学習指導要領解説 算数(2),” 2008.
- [51] A. Nakano, T. Hirashima, A. Takeuchi, “Problem-Making Practice to Master Solution-Methods in Intelligent Learning Environment,” Proc of ICCE'99, pp891-898, Chiba, Japan, 1999.
- [52] 中野明, 平嶋宗, 竹内章, “「問題を作ることによる学習」の知的支援環境”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J83-D-I, no.6, pp.539-549, 2000.
- [53] 中野明, 平嶋宗, 竹内章, “演算の理解を指向した知的作問学習支援環境,” 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.5, pp.598-607, 2002.
- [54] 横山 琢郎, 平嶋 宗, 岡本 真彦, 竹内 章, “単文統合としての作問を対象とした学習支援システム的设计・開発,” 教育システム情報学会誌, Vol.23, No.4, pp.166-175, 2006.
- [55] T. Hirashima, T. Yokoyama, M. Okamoto, and A. Takeuchi, “Learning by Problem-Posing as Sentence-Integration and Experimental Use,” Proc. of AIED2007, pp.254-261, Los Angeles, USA, 2007.

- [56] 倉山めぐみ, 前田一誠, 平嶋宗, "作問学習支援システムを用いた授業実践の利用報告", 人工知能学会研究会資, SIG-ALST-A903-14, pp.79-84, 2010.
- [57] 倉山めぐみ, 平嶋宗, "逆思考型を対象とした算数文章題の作問学習支援システム設計開発と実践的利用", "人工知能学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.82-91, 2012.
- [58] M.S. Riley, J.G. Greeno, "Developmental Analysis of Understanding Language about Quantities and of Solving Problems Cognition and Instruction," Vol.5, Issue 1, pp.49-101, 1988.
- [59] 吉田 祐太, 神戸 健寛, 山元 翔, 平嶋 宗, "単文統合型作問学習におけるダミーカードの自動生成とその使われ方の分析," 第37回教育システム情報学会全国大会, C6, pp.402-403, 2012.
- [60] 横山琢郎, 平嶋宗, 岡本真彦, "作問学習支援システムの小学1年生での利用報告", 教育システム情報学会誌, Vol.24, pp68-74, 2007.
- [61] 文部科学省, "小・中学校におけるLD(学習障害), ADHD(注意欠陥/多動性障害), 高機能自閉症の児童生徒への教育支援体制の整備のためのガイドライン(試案)", 2004.
- [62] 文部科学省, "特別支援学校小学部・中学部学習指導要領", 2009.
- [63] William N. Bender: "Learning disabilities: characteristics, identification, and teaching strategies (6th ed)", Boston Pearson, Allyn and Bacon, 2007.
- [64] "小学校学習指導要領解説 算数編 第1章～第2章", 文部科学省, 2008, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2009/06/16/1234931_004_1.pdf.
- [65] "小学校学習指導要領解説 算数編 第3章～第4章", 文部科学省, 2008, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2009/06/16/1234931_004_2.pdf
- [66] Muth K.D., "Extraneous information and extra steps in arithmetic word problems", Contemporary educational psychology, Vol. 17, pp.278-285, 1992.
- [67] Greer, B.: Multiplication and Division as Models of Situations, Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning, pp.276-295, 1992.
- [68] Vergnaud, G.: Multiplicative Structures, Acquisition of mathematics concepts and processes, pp.127-174, 1983.
- [69] Davies, C.. Arithmetic: Designed for Academies and Schools, A.S. Barners, 1841.