

令和4年度  
修士論文

三角ブロックを用いた情報不備課題の  
演習化に関する研究

指導教員 平嶋 宗 教授

広島大学大学院 博士課程前期

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

M212410

清水 拓海

令和5年2月6日 提出

## 概要

算数文章題の解決過程は、変換過程、統合過程、プラン化過程、実行過程の4段階で構成されるとされている。このうち、問題文章から数量概念と数量関係を抜き出してそれらを結ぶ統合過程が最も困難であり、さらに統合過程での思考は学習者の内面のみでの活動であるため、第三者による直接的な支援が難しいとされていた。そこで、先行研究では、問題文章中の数量概念を操作対象化し統合過程を支援するための算数三角ブロック組立演習が開発された。三角ブロックとは、1回の演算で使用する3つの数量概念を、1つの数量関係で結ぶ図式表現であり、「さんすうさんかくブロックシステム」とは、その三角ブロックを、ICT 端末を用いて外在化し、学習者による操作を可能にしたシステムである。このシステムは、実際に小学校や中学校で複数回実践が行われ、学習効果が確認されている。しかしながら、これまでシステムで取り扱っていたのは、問題が必要十分な情報で構成された情報完備問題のみであった。

本研究では、情報過剰問題や情報不足問題などの、情報完備問題中の情報を不備化した情報不備課題について詳細に分類し、情報完備問題・情報不備課題について自動診断を可能にした「算数三角ブロック-web」を開発した。本研究で扱う情報不備課題を解くためには、情報完備問題に変換する完備化活動が必要になり、情報過剰問題では情報の取捨選択が、情報不足問題では情報の補完が、その完備化活動にあたる。そのため、情報不備課題では、一つ一つの数量概念について吟味することが必要になる。加えて、情報の補完については、学習者が補完する情報によって問題状況が変化するため、1つの問題に複数の解法が存在する状況も考えられる。そのため、数量概念に着目するだけでなく、解法について思考することも支援可能になると考える。本システムでは、それらの活動を支援するシステムを Web アプリケーションとして実装することで、授業中に教材として用いるだけでなく、宿題やテストなど、様々な指導状況に対応することを可能にしている。

また、本システムを、小学校等で指導する現場教員に使っていただいた。多くの肯定意見が得られたことから、本システムの有用性や将来性について検証することができた。加えて、多数の改善案も得られたため、それらを検討しシステムの改善を行った。

# 目次

概要 .....	ii
目次 .....	iii
図索引 .....	iv
表索引 .....	vi
第1章 はじめに .....	1
第2章 関連研究 .....	3
第3章 三角ブロック表現 .....	5
第4章 情報不備課題の定義 .....	9
4.2. 算数文章題の分類 .....	9
4.3. 情報完備問題 .....	9
4.4. 情報過剰問題・情報不足問題の分類 .....	10
4.5. メタ認知との関連 .....	13
第5章 システム概要 .....	15
5.1. 算数三角ブロック-web について .....	15
5.2. 情報完備問題の学習ステップ .....	15
5.3. 情報過剰問題の学習ステップ .....	19
5.4. 情報不足問題の学習ステップ .....	20
第6章 予備的評価 .....	24
6.1. 小学校教員による試験的利用 .....	24
6.2. 教職大学院生による試験的利用 .....	30
第7章 まとめと今後の課題 .....	34
謝辞 .....	36
参考文献 .....	37
付録 .....	39
付録1. システムへのアクセス方法 .....	39
付録2. 評価に利用したアンケート .....	40
付録3. プログラム説明書 .....	45
付録4. デモビデオ .....	47

## 図索引

図 3-1：数量概念と暗黙化されている数量関係の図式表現.....	6
図 3-2：単一三角ブロックの定義.....	6
図 3-3：演算の交換可能性.....	7
図 3-4：複合三角ブロックの定義.....	7
図 3-5：例題を複合三角ブロックで表した図（1）.....	8
図 3-6：例題を複合三角ブロックで表した図（2）.....	8
図 4.1-7：情報不備課題の定義と分類.....	9
図 4.2-8：情報完備問題の分類（※1：単一演算では中間数量概念は存在しない）.....	10
図 4.3-9：単一演算で表せる情報不備課題の分類.....	12
図 4.3-10：複合演算で表せる情報不備課題の分類.....	12
図 4.3-11：情報不足問題における補完方法 1.....	12
図 4.3-12：情報不足問題における補完方法 2.....	13
図 4.4-13：情報不備課題とメタ認知との関連.....	14
図 5.2-14：ノード整理画面.....	16
図 5.2-15：三角ブロック組み立て画面.....	17
図 5.2-16：ノード整理画面における追加するノードの種類を選択（分節化）.....	17
図 5.2-17：ノード分節化画面.....	17
図 5.2-18：空白ノードを使用する問題.....	18
図 5.2-19：構造組立の判定結果表示画面.....	18
図 5.2-20：計算入力フェーズ.....	18
図 5.3-21：ノード整理画面におけるノード取捨選択活動.....	19
図 5.3-22：情報過剰問題のシステム上での解法 1.....	20
図 5.3-23：情報過剰問題のシステム上での解法 2.....	20
図 5.4-24：ノード整理画面における追加するノードの種類を選択（補完）.....	22
図 5.4-25：ノード補完画面.....	22
図 5.4-26：補完するノードについてシステムは数量を連結して提示.....	23
図 5.4-27：情報不足問題のシステム上での解法 1.....	23
図 5.4-28：情報不足問題のシステム上での解法 2.....	23

## 図索引

図 6.1-29 : 小学校教員アンケート結果 (1) のグラフ .....	26
図 6.1-30 : 小学校教員アンケート結果 (2) のグラフ .....	26
図 6.1-31 : 小学校教員アンケート結果 (3) のグラフ .....	26
図 6.1-32 : 小学校教員アンケート結果 (4) のグラフ .....	27
図 6.1-33 : 小学校教員アンケート結果 (5) のグラフ .....	27
図 6.1-34 : 小学校教員アンケート結果 (6) の文字数グラフ.....	27
図 6.1-35 : 改善後の分節化画面 .....	28
図 6.1-36 : 改善後の補完画面 .....	29
図 6.1-37 : 改善後のノードの取捨選択 .....	29
図 6.2-38 : 教職大学院生向け予備的評価のアンケート集計.....	32
図 6.2-39 : 教職大学院生向け予備的評価のアンケート集計 (利用学年) .....	33
図 6.2-40 : 感想・意見についての文字数 (教職大学院生向け実験) .....	33
図 7-41 : 2 実験の共通項目の集計 .....	35

## 表索引

表 6.1-1：小学校教員による予備的評価のアンケート項目 .....	25
表 6.2-2：教職大学院生による予備的評価の問題形式 .....	30
表 6.2-3：教職大学院生による予備的評価のアンケート項目 .....	30

# 第1章 はじめに

算数文章題の解決過程は、理解過程と解決過程に分かれており、理解過程は変換過程と統合過程から、解決過程はプラン化過程と実行過程から構成されている。変換過程は、学習者による問題文1文毎の解釈をする過程であり、統合過程は、解釈された情報から数量概念と数量関係を抜き出し言語的・数量関係的に統合する過程である。プラン化過程は、式を立式する過程であり、実行過程は、プラン化過程で立てた式を解いて正解を導く過程である [1]。これらの過程のうち、最も学習者の躓きが多い過程は統合過程であるとされているが [2]、この過程は学習者の頭の中で施行される過程であり、教授者を含む第三者からの支援が難しい。統合過程に躓く学習者としては、数量概念同士を数量関係で関係づけることが重要だが、定型的な文章題であっても、誤った数量関係で結んでしまう者が多く存在するのが現状である [3]。

そこで、先行研究では、統合過程における言語的統合・数量関係的統合を支援するシステムとして、「さんすうさんかくブロックシステム」が開発された [4]。本システムで学習者は、文章問題中の数量概念をそれぞれ言葉（ノード）で表し、それらを演算関係（ブロック）で結ぶ「言葉の式」を作る演習を行う。本システムは、統合過程における学習者の思考である、数量概念を数量関係で結ぶ思考活動を外在化し、操作対象化したものであり、教授者やシステムなど第三者視点からの支援、またシステムによる自動診断が可能なものとなっている。また、本システムは小学校や中学校などで実践的利用が行われ、演習が可能であること、およびその学習効果が確認されている [4][5][6][7]。さらに、解くための情報が全てノードに変換されてシステムから与えられている場合だけでなく、ダミーノード・空白ノードを用いることにより問題から必要なノードを生成する、もしくは不要なノードを識別することを必要とする組立課題も提案されている [8]。

これらの先行研究で開発された算数三角ブロック組立演習は、問題としては正解を導くために必要な数量概念が過不足なく揃って学習者に提供される情報完備問題を扱っていた。これに対して、問題自体に余分な数量が含まれていたり、あるいは解くために必要な数量が欠落していたりといった情報不備な問題の方が、学習者にとって注意深く数量とそれらの関係を考える必要があり、学習課題として有用であるとの指摘がなされている [9][10]。本研究は、この情報不備課題をより詳細に分類・定義したうえで、三角ブロックで演習化することを試みたものである。なお、これまでのところ、情報不備課題に対するインタラクティブ

はじめに

ブな演習化の報告は見当たらない。情報過剰においても情報不足においても、複数の解法が存在する場合があるため、情報完備問題のように解を一意に決めることができないことから、インタラクティブ化は演習課題化において重要であると判断している。

本研究は、情報不備課題を定義・分類し、三角ブロックを使って演習化することを目的とする。そのために、従来の算数三角ブロック組立演習をベースとして、情報不備課題を演習化させたシステムである算数三角ブロック-web を作成した。情報不備課題を実現するために、問題文章からノードになる数量概念を入力し作成するノード分節化機能や、問題文章にない数量概念をノードとして入力し補完するノード補完機能などを開発した。

本稿では、システムで扱う情報完備問題・情報不備課題の分類、および、システムの概要について述べる。また、開発したシステムが学習者にとって利用可能であるか、本システムで扱う問題に意義があるかなどを検証するために、教員らによる実験的利用を通した予備的評価を行った。本稿の最後に、その内容と結果について述べる。

## 第2章 関連研究

本研究で扱う情報不備課題は、情報過剰問題と情報不足問題から構成される（第4章で詳しく述べる）。本章では、情報不備課題について議論している関連研究、およびそれらとの違いを述べる。

算数・数学文章題の分野において、情報過剰問題や情報不足問題について議論されている研究は少なからず存在する。坂本は、算数文章題の解決過程のうち統合過程に多く躓きがあることを述べたうえで、過剰な情報が含まれる文章題では、その過剰情報が理解過程に影響を及ぼすことを報告している [2]。同様に岡田も、過剰情報が含まれる問題で正答者数が減ること、およびその不正解者のうち、過剰情報による失敗に気づいた者は少ないことを報告している [11]。また、竹綱らは、情報過剰問題や情報不足問題などについて、情報完備問題に比べて正答率が減少することを報告している [12]。

ここで、情報不備課題で表される事象は情報完備問題のものに比べて、現実の世界における事象に近く、小学校学習指導要領で述べられている日常的・社会的な事象を数理的に捉えることをより演習化していると考えられる [13]。石田は、情報過剰問題・情報不足問題ともに、文章題を分析的に読んで数量概念について吟味する活動に適しているとしたうえで、情報過剰問題における過剰情報の作成方法と分析的な読みの指導方法について検討している [9]。また、金田は、

算数の学習指導要領解説(1999)には、「問題を解決するのに必要な情報がすべて与えられ、それらの条件や数値を数理的に処理すれば解決できるような場面を提示することがよくおこなわれている。しかし、このようにして問題が解決できたとしても、先に述べた情報の選択や創造、問題の解決などにかかわる能力を育成するには必ずしも十分ではない。問題の設定についてみると、例えば、情報が不足していてそれだけでは解決できない問題を意図的に提示し、どんな情報が必要かを考え、問題を構成できるようにするなどの指導の工夫がある」とある。

（[10]からの引用）としたうえで、問題文の情報を欠落させた複数解を含む問題について、演習対象の学習者を検討している [10]。しかしながら、情報不備課題を支援する研究は見当たらない。

算数・数学文章題以外の学習領域については、力学や論理学の分野において、情報不備課題を演習化した研究が存在する [14][15]。特に中道らが演習化している情報不足問題では、

## 関連研究

解くために必要な情報を補完する活動において、その補完する情報によって異なる解法が存在するものを扱っている。この問題では、解法とそれを適用するために必要な情報の組み合わせを定着させられることが議論されているが、算数文章題においてそのような問題を扱っている研究は見当たらない。なお、複雑な図形の面積を等積変形により求める問題では、様々な問題に対応するために、既有知識として公式や解法をより多く持っておくことが重要であり、その指導は重視されている [13].

犬丸らが、三角ブロックを用いて情報過剰問題・情報不足問題の演習化を試みている [8] が、本研究は、それら情報不備課題をさらに分類し、かつ、完備化の方法によって異なる解法が存在する問題についても演習化を試みたものである。

## 第3章 三角ブロック表現

算数文章題の最小単位は、2つの存在量と1つの関係量の、合わせて3つの数量概念の組み合わせであるとされている [16]。ここで、方程式において、数量概念間の関係は和差・乗除で変換可能であることを考慮すると、算数文章題の最小単位は、以下の式で表される。

$$[\text{数量 1}] [\text{数量関係 A}] [\text{数量 2}] = [\text{結果}]$$

この方程式を図式化したものが、図 3-1 である。方程式では数量 1 と数量 2 を数量関係 A で結んでいるが、図 3-1 では、数量 1 と結果、数量 2 と結果も、それぞれ暗黙的に数量関係 B と数量関係 C で結べることを示している。このことについて、3 辺のうち 1 辺の数量関係を顕在化させ、三角ブロックとして図式化したものが、図 3-2 の図式表現である。以降、数量と結果の部品をノードと呼ぶことにするが、単一三角ブロックとは、図 3-2 のように 3 つのノードが三角形の各頂点につながった状態の図式表現を指す。また、数量関係の部分には、和差乗除のいずれかの演算子が格納されることとなるが、和と差、乗算と除算は、三角ブロックの頂点に接続するノードを交換することで、互いに演算を変換できる。その状況を和差で表現したものが、図 3-3 である。

また、算数文章題には、以下の方程式で表せるもののように、演算の結果を、別の式で使う問題も考えられる。

$$[\text{数量 1}] [\text{数量関係}] [\text{数量 2}] = [\text{結果 1}]$$

$$[\text{結果 1}] [\text{数量関係}] [\text{数量 3}] = [\text{結果 2}]$$

このように複数の演算が存在する問題も、図 3-4 のように複合三角ブロックの形式で表現することができる。このとき、結果 1 のノードのように、2 つの三角ブロックの中間に存在するノードを、特に中間数量概念と呼ぶ。三角ブロックは、このように中間数量概念が可視化・操作対象化される。中間数量概念自体は、問題文章中に直接記述される場合もあれば、記述されない場合もある。例えば、

**例題**「A を 30 個販売しています。追加で A を 20 個仕入れました。定価は 50 円です。全て売った場合、売上高はいくらになりますか。」

という問題がある場合、三角ブロック構造で表すと図 3-5 のようになる。また、図 3-1 について前述した斜辺での暗黙的演算を用いると、図 3-6 の形式でも表すことができる。ここで、中間数量概念である「A の合計個数」についての数量概念は問題文章中には明示されていない。このように、問題文章中に明示されていないものもノードとして与えられるため、学習

## 三角ブロック表現

者自身がそのノードの必要性について吟味する活動が必要になる。また、三角ブロックでは、計算の数量や結果を、それぞれ全てノードという形で表現する必要があるため、数量概念間の関係を結ぶ際に、結んだ結果どのような概念が導出されるのかを考えさせることができる。

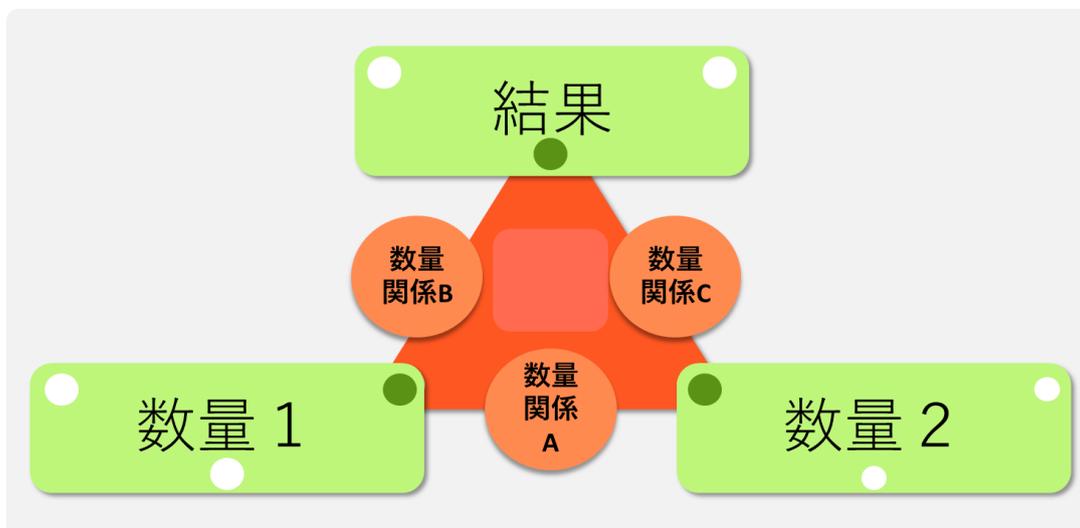


図 3-1 : 数量概念と暗黙化されている数量関係の図式表現

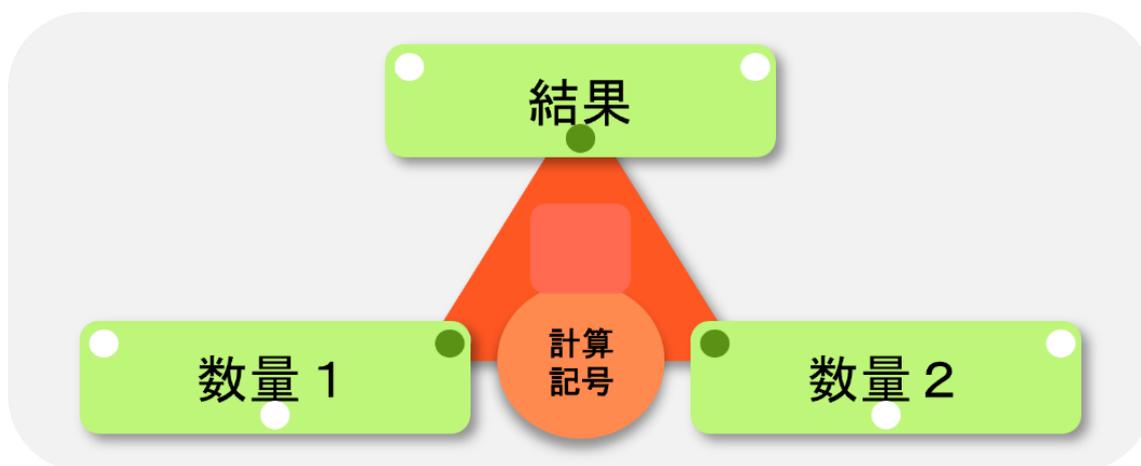


図 3-2 : 単一三角ブロックの定義

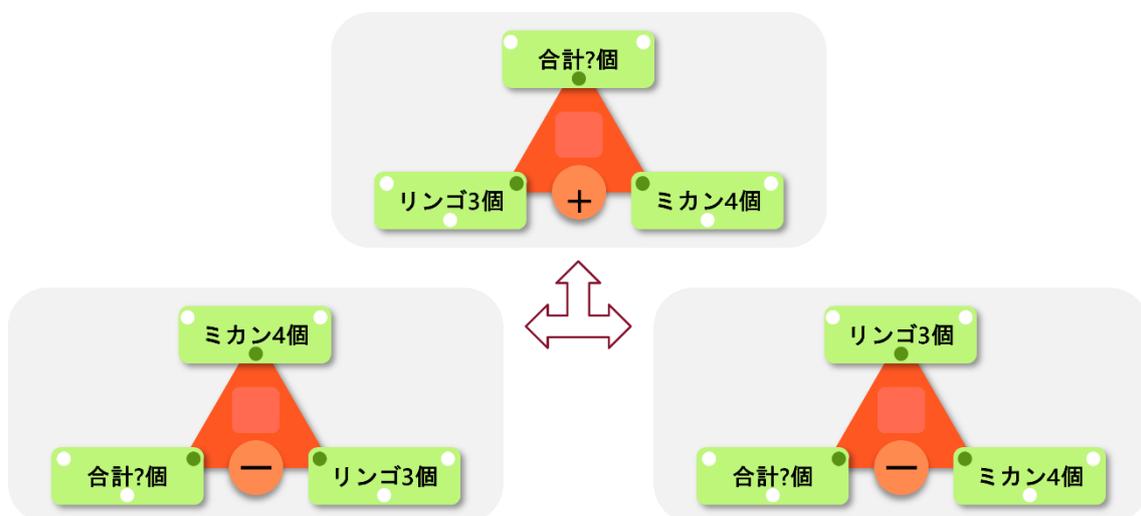


図 3-3 : 演算の交換可能性

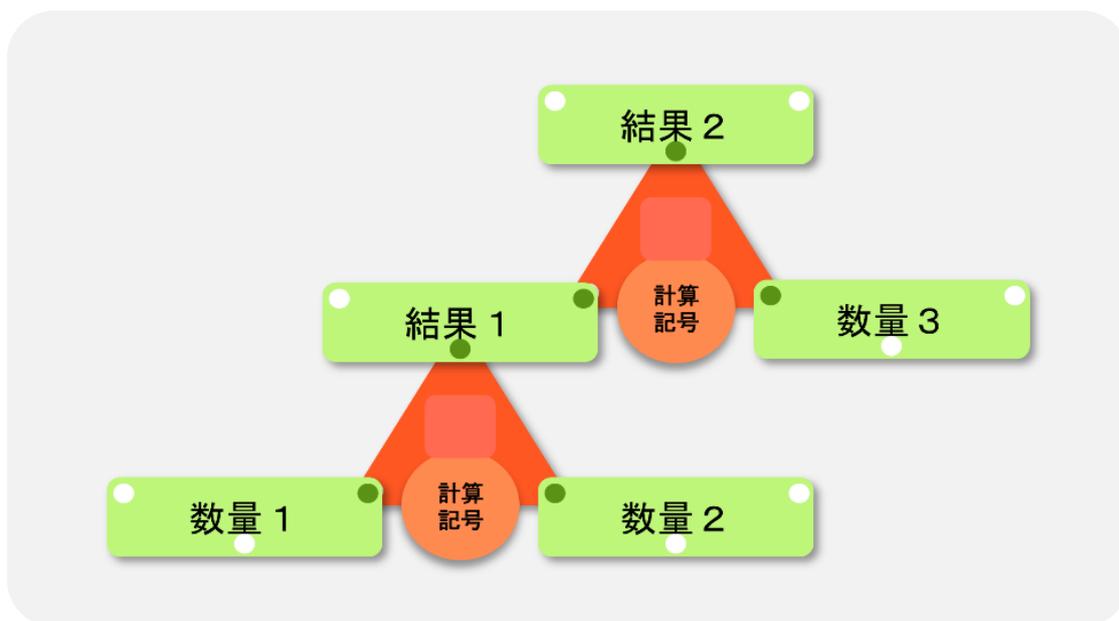


図 3-4 : 複合三角ブロックの定義

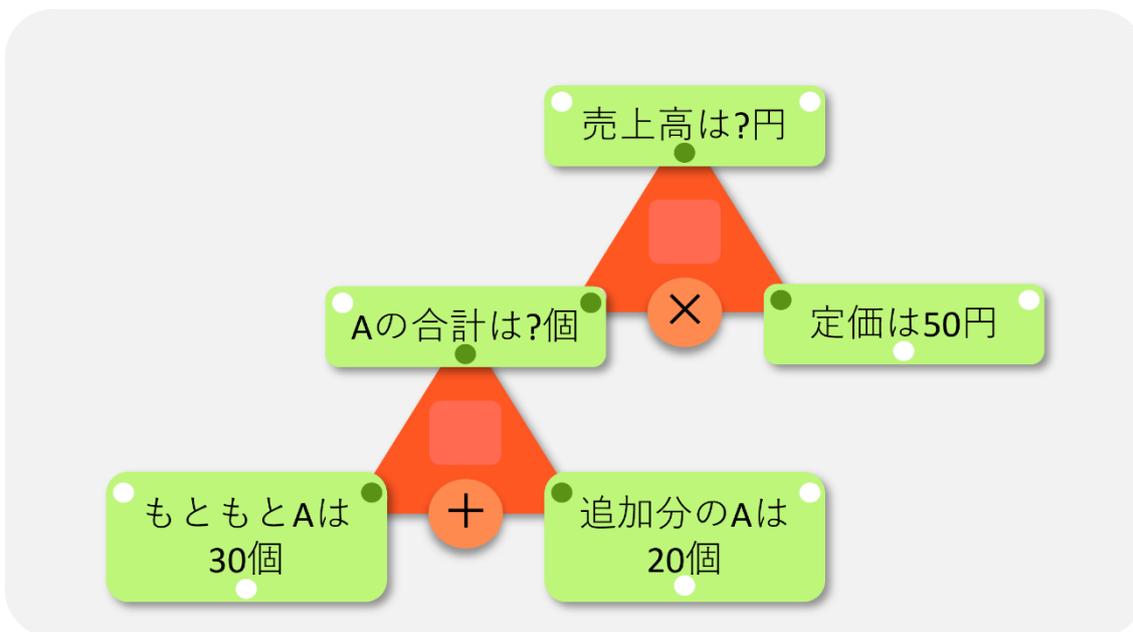


図 3-5 : 例題を複合三角ブロックで表した図 (1)

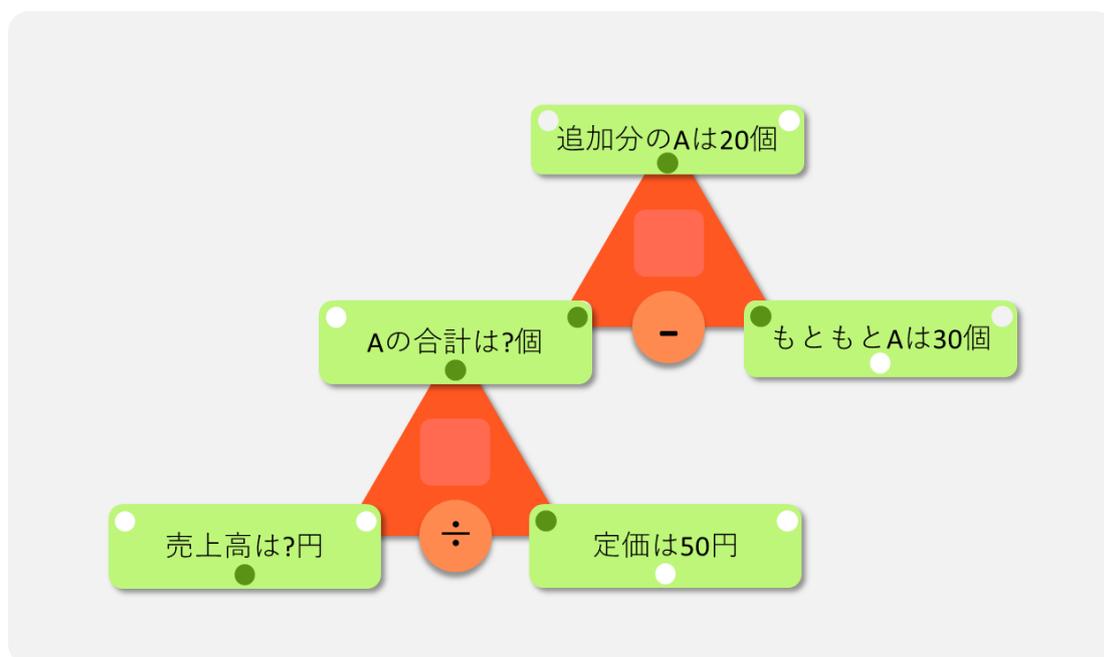


図 3-6 : 例題を複合三角ブロックで表した図 (2)

## 第4章 情報不備課題の定義

### 4.1. 算数文章題の分類

情報完備問題とは、解くための情報に過不足のない問題を指す。一般的な算数文章題はこの形式の問題が多く、学習者は既知の数量概念と未知の数量概念を数量関係で結びつけて式を作成し、答えを導く。それに対して情報不備課題とは、情報完備問題をベースに、含まれる情報を不備化した問題である。そのままでは解くことができないため、学習者は不備である点を修正して情報完備問題に変更し、解くことが必要である。この修正活動のことを完備化活動と呼ぶ。また、情報不備課題は、解くための情報に過剰なものがあり、完備化活動として情報の取捨選択が必要な情報過剰問題と、解くための情報に欠落があり、完備化活動として欠落した情報の補完が必要な情報不足問題に分けられる。以上の分類をまとめると、図 4.1-7 のようになる。



図 4.1-7：情報不備課題の定義と分類

### 4.2. 情報完備問題

本研究では、情報完備問題を図 4.2-8 のように分類する。

分類の下位過程の 1 段目の、「①演算の回数」は、文章題中の数量概念を組み合わせた結果、1 回の 2 項演算で答えが求められるものと、2 回以上の演算で答えが求められるものに分類されることを表す。三角ブロック構造で表すと、前者は 1 つのブロックを含む三角ブロック構造になり、後者は 2 つ以上のブロックを含む三角ブロック構造になる。

2 段目の「②中間概念について」は、2 つ以上の三角ブロックで構成される複合三角ブロック構造において、その中間数量概念にあたるノードがシステムから与えられるか、与えられないかを指す。与えられる場合は、「中間概念の文章化」の項目となる。与えられない場合は、「中間概念の空白化」の項目となり、学習者は空白ノード（詳細は第 5 章で述べる）として中間数量概念を自身で作成する必要がある。本来、中間数量概念は、問題文章中に示される場合もあるが、示されない場合もあるために、本分類項目を作成している。なお、単一演算では、中間数量概念は存在しないため、中間数量概念の分類はしていない。

また、3 段目の「③分節化が必要か」では、システムからノードが与えられているかを指す。従来の算数三角ブロック組立演習では、問題文章中の数量概念は全てノードという形で学習者に与えられていたため、学習者はそれらのノードを組み合わせるだけで問題を解くことができていた。しかしながら、その状況下においては、学習者の思考の範囲が狭くなる恐れがある。先行研究では、問題文を 1 文毎に選択することでノードを作り出す機能を開発している [8]。だが、1 文に 2 つ以上の数量概念が存在する場合もあり得るため、その自由度は低い。加えて、先行研究のシステムでは、文章題をランダムにタップすることで分節化することもできていたため、分節化の難易度は低いといえる。よって本研究では、第 5 章に示すように、学習者の入力によって問題文章中の数量概念をノードに変換する分節化機能を作成している。「ノードは与えられない」に分類されている問題では、システムからノードが与えられていないため、学習者はその分節化機能を使ってノードを作成し、三角ブロック構造を組み立てる。

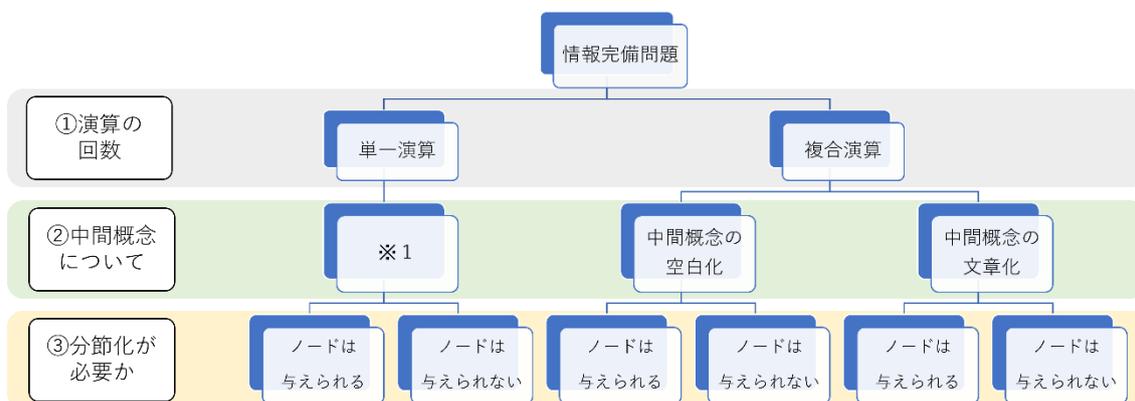


図 4.2-8：情報完備問題の分類

(※1：単一演算では中間数量概念は存在しない)

#### 4.3. 情報過剰問題・情報不足問題の分類

次に、情報過剰問題と情報不足問題の分類について示す。どちらも、本研究では同型の分類となっており、どちらも単一の演算になる場合と、2 回以上の演算になる場合が存在する。前者の分類を図 4.3-9 に、後者の分類を図 4.3-10 に、それぞれ示す。

まず、単一演算となる情報不備課題の分類について述べる。

図 4.3-9 の下位分類 1 段目の「①情報不備の対象」は、情報不備の形式を表す。「所与ノードの不備」に分類される問題は、問題文章は解くための情報に過不足のない情報完備問題になっているが、与えられるノードに不備がある問題を表す。つまり、問題文章中の数量概念が完全にノードに変換されていない問題である。この時、情報過剰問題では与えられるノードにダミーがあり、情報不足問題では、問題文章中の数量概念の一部がノードとして提供されない。対して、「問題文章の不備」に分類される問題は、問題文章中の数量概念にも、与えられるノードにも不備がある問題である。

下位分類 2 段目の「②完備化過程で複数解法が出現するか」は、情報過剰問題であればダミーノードを使うか否かで、情報不足問題であればどのノードを補完するかによって、異なる三角ブロック構造が作れるかどうかを分類している。情報不備課題では、ノードの取捨選択や補完などの完備化活動が必要だが、その完備化の方法によって解法が異なる可能性がある。異なる解法が存在する場合、学習者に、どのような解法があるか、またその解法を適用するためにはどのような完備化活動が必要かを考えさせることができ、解法の理解の促進につなげることができる [14] [15]。例えば、

**例題「A さんと B さんは、同じ時間で本をどれだけ読めるか競争している。A さんは 15 ページ読めた。B さんは 10 ページ読めた。2 人は何分で競争したか」**

という情報不足問題がある。この時、ノードとしては、「A さんの読んだページ数」「B さんの読んだページ数」「2 人の本を読んだ時間」のそれぞれに関してのノードが与えられるが、このままでは解けない。そこで、「A さんの 1 分間で読むページ数」に関してのノードを補完することで、図 4.3-11 のように三角ブロック構造を作ることができる。それに対し、「B さんの 1 分間で読むページ数」に関してのノードを補完すると、図 4.3-12 のような三角ブロック構造を作ることができる。

下位分類 3 段目は、「③分節化が必要か」であり、これは 4.2 節で述べた情報完備問題のもと同義であるため、説明を省略する。

次に、複合演算となる情報不備課題(図 4.3-10)の分類について述べる。下位分類のうち、「①情報不備の対象」「②完備化過程で複数解法が存在するか」「④分節化が必要か」は前述の単一演算となる情報不備課題の分類の各項目と同義であり、「③中間概念について」については、4.2 節で述べた情報完備問題のもと同義であるため、説明は省略する。

以上のように、情報完備問題、情報不備課題のそれぞれの問題を性質によって分類することで、学習者のレベルに合わせた問題を提供することができる。

情報不備課題の定義

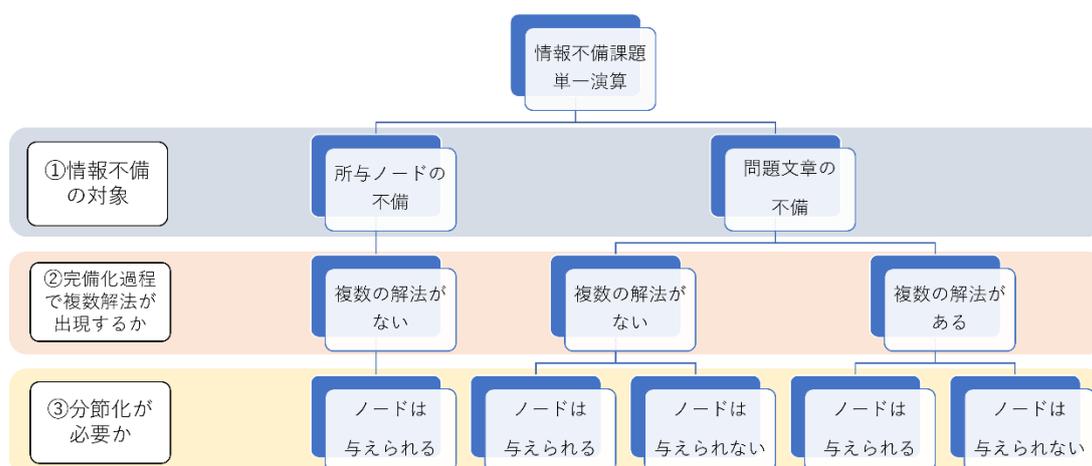


図 4.3-9 : 単一演算で表せる情報不備課題の分類

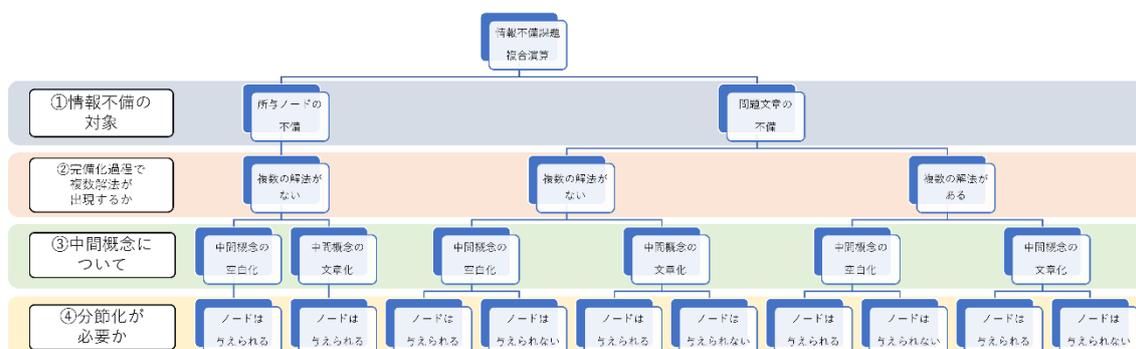


図 4.3-10 : 複合演算で表せる情報不備課題の分類

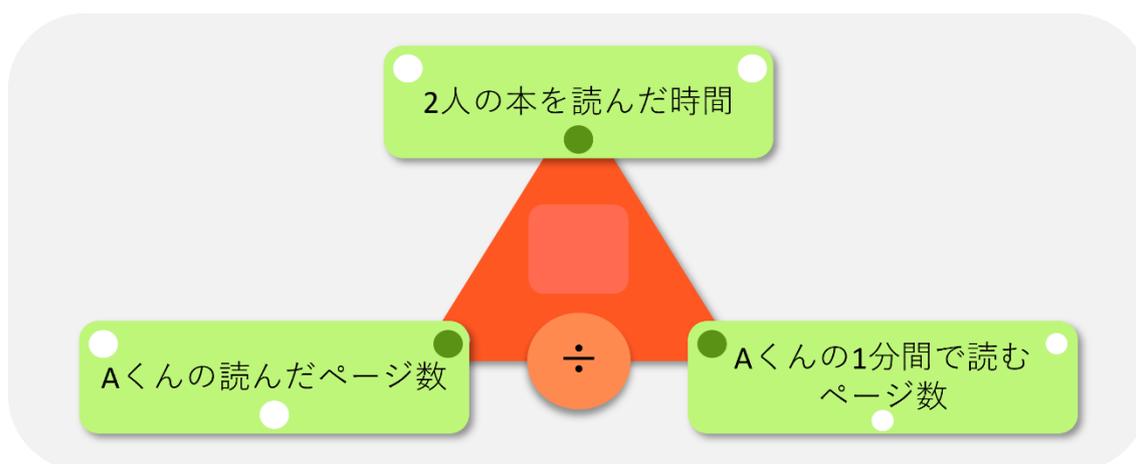


図 4.3-11 : 情報不足問題における補完方法 1

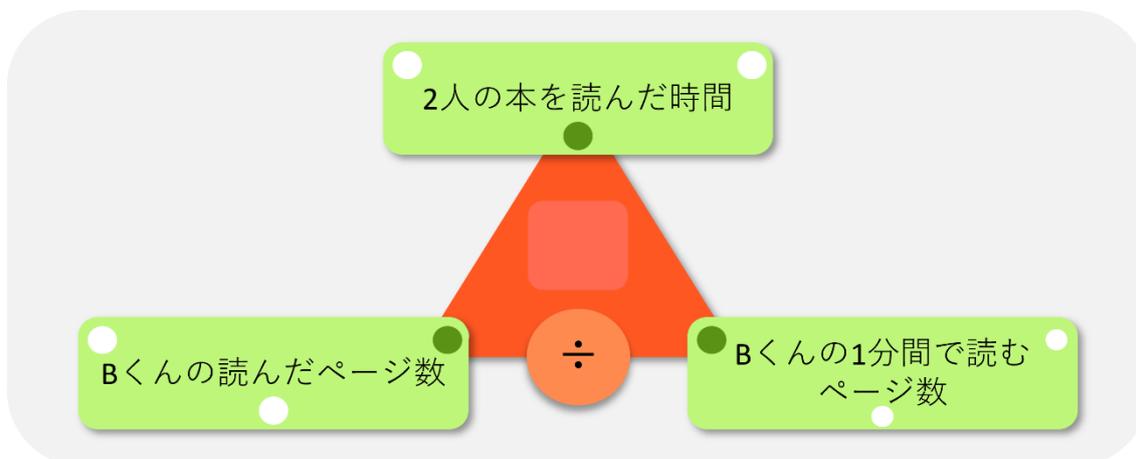


図 4.3-12：情報不足問題における補完方法 2

#### 4.4. メタ認知との関連

メタ認知とは、自身の認知活動をより上位の視点から認知することである [17]。メタ認知は、リフレクションや点検などが含まれるメタ認知的活動と、その活動が知識として内化されたメタ認知的知識から構成される。メタ認知的活動は、自身の認知過程を観察するメタ認知モニタリングと、観察の結果から次の認知活動について制御するメタ認知コントロールの2種類の活動を含んでいる。算数文章題の解決過程においても、メタ認知が大きく関与しているとされている [17]。特に、既知の数や未知の数を整理し、数量概念間の関係について思考する過程である統合過程において、メタ認知的な能力が高い学習者ほど正解率が高いことがわかっている [18]。また、メタ認知は、自身の学習をメタ的に捉えることから、自己調整学習にも関与するとされており [19]、自己調整に代表される「主体的に学習に取り組む態度」の育成については、新学習指導要領でも必要性が示されている [20]。

本研究で扱う情報不備課題は、メタ認知モニタリングの支援と、メタ認知コントロールの課題化に関与している。そのイメージを図 4.4-13 に示す。前述したように、本研究で扱う情報不備課題では、学習者は情報の取捨選択や補完などの完備化活動を行う必要がある。この時、その完備化活動の結果は、ただちに画面にフィードバック・可視化される。その結果をリフレクションしながら学習者は、次の認知活動として完備化活動を行うか三角ブロックを組み立てるか決定する。つまり、本研究での情報不備課題では、メタ認知モニタリングにおけるリフレクション支援として、三角ブロックという図式表現を使って観察対象を可視化・操作対象化しており、メタ認知コントロールの課題化として、完備化活動を課題化しているといえる。

本研究で開発したシステムにより、統合過程におけるメタ認知の課題化と支援が可能となった。課題化されたメタ認知コントロールについて、情報の分節化・取捨選択・補完の活動における思考過程を分析することは、今後の課題である。

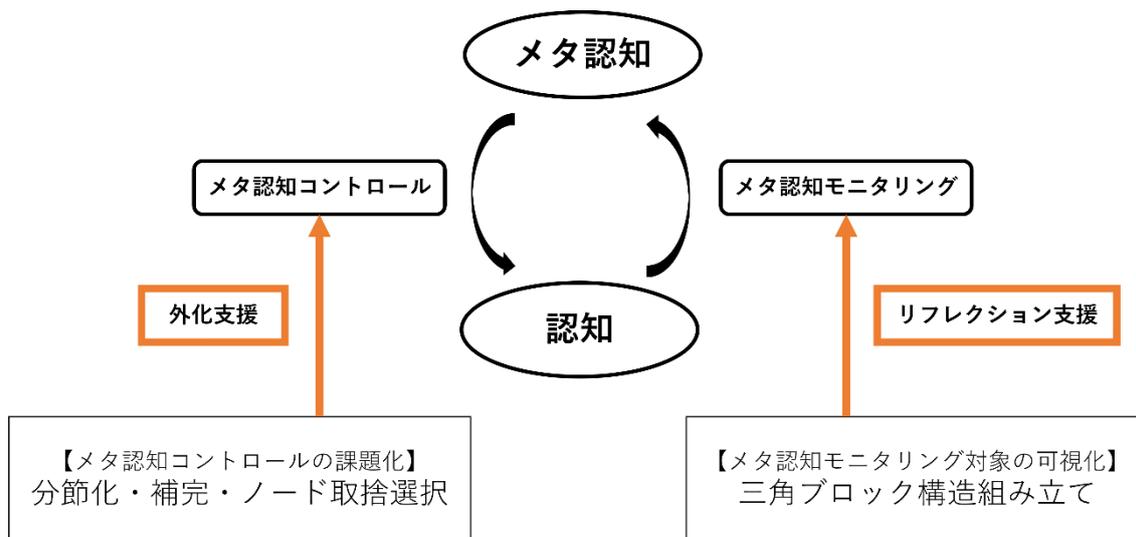


図 4.4-13 : 情報不備課題とメタ認知との関連  
( [21]をもとに作成)

## 第5章 システム概要

### 5.1. 算数三角ブロック-web について

本研究では、情報完備問題・情報不備課題を、三角ブロックを用いて演習化したシステムである、算数三角ブロック-web を開発した。ここからは、システムの概要について述べる。

近年、文部科学省において GIGA スクール構想が推進されており、学習者 1 人につき 1 台ずつ ICT 端末が使えるようになりつつある [22]。また、GIGA スクール構想によって、学校や自宅など、場所を選ばない学習が実現可能となる。しかしながら、OS やプラットフォームについては定められていないことから、特定の OS に依存した形で開発すると、利用できない学習者や学校団体が生まれてしまう。そこで、本システムは、学習者が持つ ICT 端末の OS に依存しない Web アプリケーションとして開発を進めた。

### 5.2. 情報完備問題の学習ステップ

情報完備問題における本システムの演習の流れは、1 問あたり、

- (1) 三角ブロック構造を組み立てるフェーズ
- (2) 三角ブロック構造の見直しを行うフェーズ
- (3) 作成した三角ブロック構造内の既知数から計算して未知数を入力するフェーズ

の 3 段階で構成される。

(1) 三角ブロック構造の組立についての画面構成を、図 5.2-14、図 5.2-15 にそれぞれ示す。学習者は、図 5.2-14 のノード整理画面において、構造内で使用する数量概念ノードを確認しながら、図 5.2-15 の三角ブロック組立画面でノードと三角ブロックを組み立てる。各ノードはドラッグ・ドロップが可能である。学習者は右側の演算子ボタンからどの演算についてのブロックを出すか選択し、その三角ブロックの 3 つの頂点に、ノードをそれぞれドラッグ・ドロップすることで、三角ブロック構造を作成する。

また、4.2 節および 4.3 節で述べた通り、問題文に存在する数量概念が、システムからノードとして提供される場合もあるが、されない場合もある。後者の場合、学習者は自身でノードを分節化する必要がある。本システムでは、図 5.2-16 の「ノードをつくる」ボタンの、「もんだい文にある情報」ボタンを選択後、図 5.2-17 の分節化画面内で、問題文にある情報から数量概念に分節化させる。本システムでは、分節化を、学習者の入力を要求するものとし、入力された情報から予測される数量概念から選ばせる活動として定義している。その

## システム概要

ように定義することで、学習者に対し、問題文章をよく読んで必要な情報を取り出す活動を課題化できる。また、従来の、問題文章中の数量概念をタップして分節化する手法 [8]よりも、学習者が数量概念について探索する空間が広がることから、本システムの分節化は、より難易度の高いものになっている。

加えて、4.2 節および 4.3 節で述べた通り、問題を表す三角ブロック構造が複数の三角ブロックで構成される問題では、その中間数量概念となるノードが空白ノードとなる場合も存在する。本システムでは、図 5.2-18 の右にある「空白ノードを出す」ボタンを押すことで、「[ ]」として表された空白ノードを出すことができる。

(2) 三角ブロック構造見直しについての画面構成を、図 5.2-19 に示す。(1) の正解判定後に、自動的にこの画面に遷移する。このフェーズでは、学習者は、組み立てた三角ブロック構造内で使用した数量概念について見直しを行う。また、図中左下に配置された「三角ブロック構造をみなおす」ボタンを押すことで、(1) で組み立てたブロック構造を見直すことができる。

(3) の計算入力フェーズの構成画面を、図 5.2-20 に示す。既知の数量に関しては、あらかじめシステムによって入力されている。学習者は、「？」として表されている未知数について計算を行い、図中の数値入力モーダルに入力する。本フェーズを演習に含めることで、統合過程の後に続くプラン化過程・実行過程についても演習化することができた。



図 5.2-14 : ノード整理画面

## システム概要



図 5.2-15 : 三角ブロック組み立て画面



図 5.2-16 : ノード整理画面における追加するノードの種類を選択 (分節化)



図 5.2-17 : ノード分節化画面

## システム概要



図 5.2-18 : 空白ノードを使用する問題



図 5.2-19 : 構造組立の判定結果表示画面



図 5.2-20 : 計算入力フェーズ

### 5.3. 情報過剰問題の学習ステップ

次に、情報過剰問題における演習の流れを述べる。基本的な演習構成としては 5.2 節の 3 構成と同じであるが、(1) のみ異なる。

情報過剰問題では、問題を解くために必要な数量概念よりも多い情報がシステムから提供される。よって、学習者は、三角ブロック構造内で使用する数量概念ノードを取捨選択し、使用しないノードについては、図 5.3-21 のようにノード整理画面で「使用しないノード」に設定することで、三角ブロック構造を作り出す。

また、(2) の見直し画面に関して、情報過剰問題を解くためには、完備化活動として数量概念の取捨選択をすることによって完備問題を作問することになる。(2) の見直し画面は、その作問結果を可視化するものとなり、学習者のリフレクションを支援するものとなる。

ここで、本研究の情報過剰問題における特徴の 1 つである、取捨選択の結果によって別の作問結果が生まれる問題について説明する。図 5.3-22 は、情報過剰問題について本システムで三角ブロック構造を作成した結果であるが、図 5.3-22 で使用していない過剰な数量概念を使って、図 5.3-23 のように別の問題構造を作問することができる。



図 5.3-21 : ノード整理画面におけるノード取捨選択活動

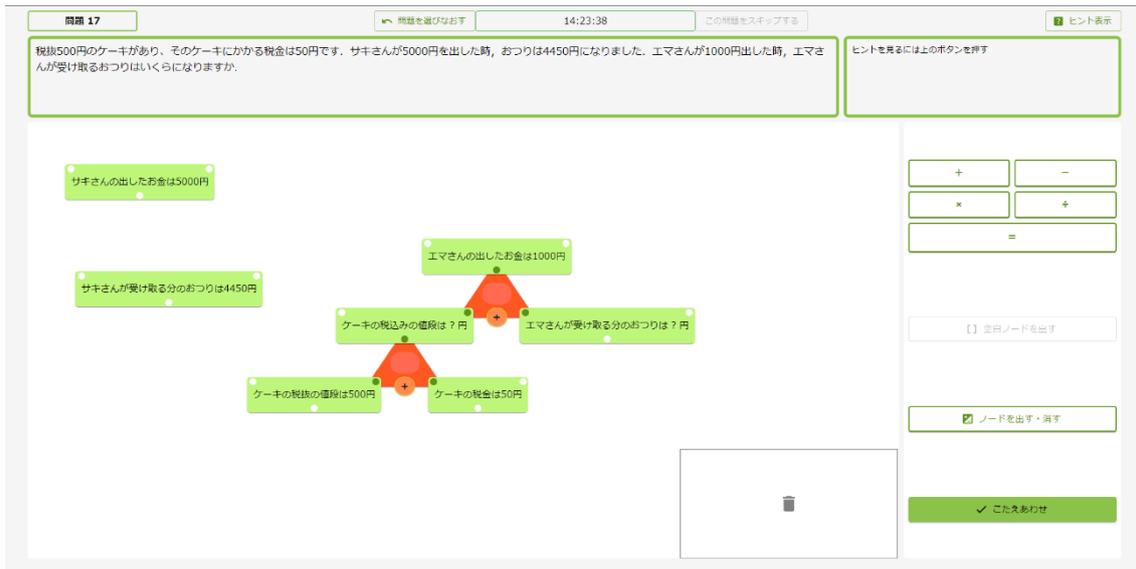


図 5.3-22：情報過剰問題のシステム上での解法 1

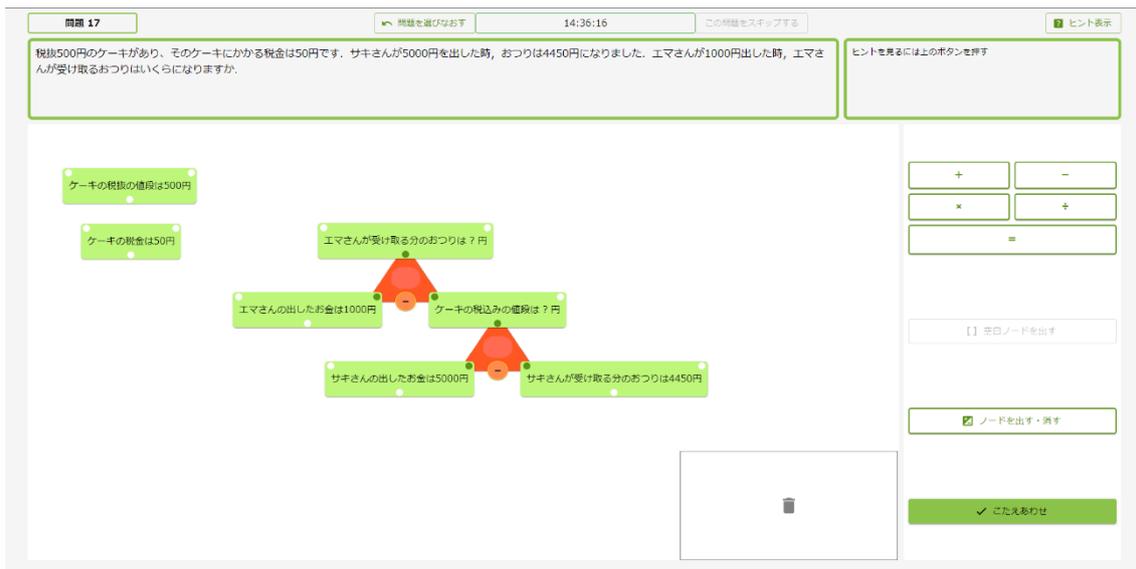


図 5.3-23：情報過剰問題のシステム上での解法 2

#### 5.4. 情報不足問題の学習ステップ

本節では、本システムにおける情報不足問題の演習の流れについて述べる。基本的な流れは 5.2 節の情報完備問題で示した 3 構成と同じであるが、(1) のみ異なる。

情報不足問題では、問題を解くために必要な数量概念が十分にシステムから提供されない。よって、学習者は、三角ブロック構造内で使用する数量概念ノードを補完する必要がある。本システムでは、必要な数量概念をノードとして補完するために、図 5.4-24 のノード整理画面の「もんだい文にない情報」ボタンを押すことで、図 5.4-25 のノード補完画面を出し、情報を入力する。情報を入力して数量概念ノードを補完する手法を、キーワード検索

結果選択法と呼ぶ。

キーワード検索結果選択法の具体的な仕組みについて述べる。学習者は、ノード補完画面を出す前に、マップ・問題文章を見直して、補完する数量概念を考える。その後、ノード補完画面にて、補完したい数量概念をキーワードとして入力すると、図 5.4-25 に示すように、システムが数量概念の候補として提示する。学習者は提示された候補から、補完したい数量概念を選択する。この方法を用いることで、学習者に対し、足りない量を思考させ見つけさせることを課題化できるため、能動的な情報不備の発見と補完が行われると期待できる。また、学習者が補完したい量が提示された候補にない場合は、キーワードの変更を指示する。

ここで、システムは、問題に関連する量に関する情報を予め網羅的に保持している。例えば、図 5.4-24 に示す問題においては、システムは以下のような数量概念の情報を、提示する数量概念のリストとして保持している。

- ・買った分のキウイの個数
- ・買った分の金額
- ・買った分のキウイの値段
- ・1個当たりのキウイの個数
- ・1個当たりの金額
- ・1個当たりのキウイの値段
- ・合計のキウイの個数
- ・合計の金額
- ・合計のキウイの値段

ここで、既にノードとして提供されている数量概念は

- ・買った分のキウイの個数
- ・合計の金額

である。既に存在するノードは補完できないことからそれを除き、かつダミーの情報も除いたものが、学習者が補完できる量である。システムは、その補完可能な量に関する情報と同時に、解答として数量概念とその三角ブロック構造の情報も保持しているため、補完できない量に関してはフィードバックが可能である。このように、全ての量は問題に関連する言葉を含んでいることから、この手法は妥当であると判断している。

また、図 5.4-25 のノード補完画面については、画面構成は分節化画面と似ているが、情報が入力された後にシステムから提供される予測ノードのリストに違いがある。分節化は、問題文から数量概念を数量と共に取り出す活動であり、入力時点で学習者が数量概念に対応する数量を把握している必要があるため、数量が連結された形で予測リストが提供される。しかし、補完においては、学習者が補完する時点ではその数量については不明である。そこでシステムは、予測リストとしては図 5.4-25 のように数量を連結しない形で提供し、その後「ノードを追加する」ボタンが押された後に、図 5.4-26 のようにシステムが数量を連結した形で学習者に提示を行う。

## システム概要

三角ブロック組立フェーズの次の段階である (2) の見直し画面に関しても、画面は完備の際と同一であるが、学習者の思考活動が異なる。情報不足問題を解くためには、完備化活動として数量概念の補完をすることで完備問題を作問することになる。(2) の見直し画面は、その作問結果を可視化するものとなり、学習者のリフレクションを支援するものとなる。

ここで、本研究の情報不足問題における特徴の1つである、補完の結果によって別の作問結果が生まれる問題について説明する。図 5.4-27 は、情報不足問題について本システムで三角ブロック構造を作成した結果であるが、図 5.4-27 で補完しなかった「イヤホンの全部の売上高」についての数量概念を使って、図 5.4-28 のように別の問題構造を作問することができる。



図 5.4-24 : ノード整理画面における追加するノードの種類を選択 (補完)



図 5.4-25 : ノード補完画面

## システム概要

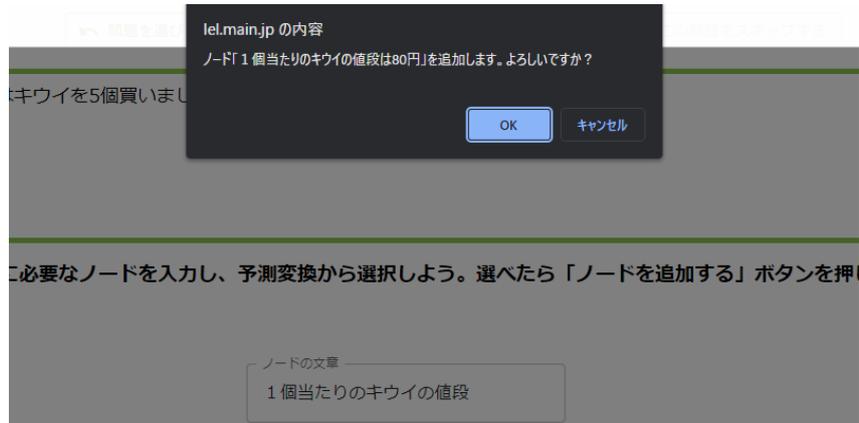


図 5.4-26：補完するノードについてシステムは数量を連結して提示

図 5.4-27：情報不足問題のシステム上での解法 1

図 5.4-28：情報不足問題のシステム上での解法 2

## 第6章 予備的評価

### 6.1. 小学校教員による試験的利用

算数の文章題における情報不備課題の有用性はこれまでも指摘されているが、情報不備課題を用いた授業の方法や児童にどう取り組ませるか具体的な報告は見当たらない。このため、本研究での三角ブロックで開発された情報不備課題およびそれに対する演習活動が、学習活動として価値のあるものといえるかどうかを評価する必要がある。児童に利用してもらう前段階として、ここでは教員らによる利用実験を通した予備的評価を行ったので報告する。

#### 6.1.1. 実験概要

県内の市立小学校1校の教員11名に対し、試験的利用を行った。本システムは、単一演算を扱う単文統合型作問学習支援システムであるモンサクン [23]と密接に関連したものである。モンサクンは単一演算における単文同士の関係を思考させることを目的としているが、三角ブロックはそれを複合演算に拡張したものである。そのため、それらの関連するシステムについても同時に実践を行った。実験の内容としては、和差・乗除をそれぞれ演習化したモンサクン、本システムの情報完備問題、モンサクンと三角ブロックの間の接続演習教材、本システムの情報不備課題の計5つのシステムについて、それぞれの使い方の説明、利用、アンケート調査、質疑応答を2時間で行った。ここで、情報不備課題に関しては、完備化方法によって解法が変化する複合問題を2問説明し、その後各自で複数問解いてもらった。そして、利用後にアンケートに回答してもらった。その調査項目を、表 6.1-1 に示す。各項目については、設問(2)と(6)以外の項目については5件法で調査した。(2)については、1-6年生のそれぞれか、もしくは「わからない」の7つの選択肢について、複数回答ありの項目と設定した。加えて、最後の(6)の項目については、記述式で回答してもらった。

表 6.1-1：小学校教員による予備的評価のアンケート項目

(1)	算数に役立つ課題であったと思いますか？
(2)	どの学年に利用できそうですか？
(3)	アプリが無くても同様な授業を実施できそうですか？
(4)	アプリを使った授業をしてみたいですか？
(5)	将来的に利用できる可能性があると思いますか？
(6)	改善すべき点、感想などをお書きください。

### 6.1.2. 結果と考察

表 6.1-1 の設問 (1) から (5) についての結果のグラフを、それぞれ図 6.1-29 から図 6.1-33 に示す。また、設問 (6) の文字数をカウントしたグラフを、図 6.1-34 に示す。(6) の図 6.1-34 から、平均しておよそ 232.5 文字(SD=129.5)の意見・感想をいただくことができた。

(1) に関しては、情報完備問題、情報不備課題共に、9割程度肯定の意見が得られた。教科書で扱われていない内容にもかかわらず、算数に役立つ内容であると判断する教員が多いことが確認できた。(5) についても、情報完備問題、情報不備課題共に、8割以上の肯定意見が得られた。このことから、少数数での実践ではあるものの、本研究で開発したシステムが現場の教員にもおおむね受け入れられていることが確認された。今後、ユーザビリティを改善したり、内容の説明を追加したりすることで、将来的に利用できることが期待される。

また、(3) に関しては、肯定的な意見と否定的な意見が見られた。ここで、この肯定意見は、同様な活動を授業に取り入れていることについて肯定的に捉えている教員が多くいることを示すと解釈できる。本研究としては、児童の取り組みとその評価を可能にすることを目的としており、児童の取り組みを含めて考えた場合、本アプリの必要性が高まると考えている。この観点からの調査は、別途行っており、6.2 節で説明する。

しかし、(4) のアプリを利用したいかの項目に関しては、半数程度の肯定意見しか得られなかった。これに関しては、原因が複数考えられる。1つ目は、設問(2)の結果(図 6.1-30)において、小学校高学年でも利用できるかと答えた方が半数程度であるように、システムの支援対象が小学生であることを踏まえると、説明時に解いてもらった情報不足問題の難易度が高すぎた可能性が考えられる。また、2つ目の原因としては、本稿第5章に示している通り、ノードを取捨選択・補完する画面が三角ブロック組み立て画面と分かれており、完備化における認知負荷が高いことが考えられる。

本システムでは、本稿第4章に示しているように、単一三角での情報不備課題や、部分的に分節化が必要な問題も用意している。そのため、1つ目の原因については、今後それらの問題も併せて実践を行うことで解決できると考える。しかしながら、2つ目の原因の解決のためには、システムを改善して認知負荷を低減させる必要があると考える。

また、本アプリへの意見としては、「ヒントを段階的に、図式的に表示してほしい」や、「スコア表示等、学習を持続させる機能を付けてほしい」などが得られた。これらに関しては、今後機能を追加する予定である。

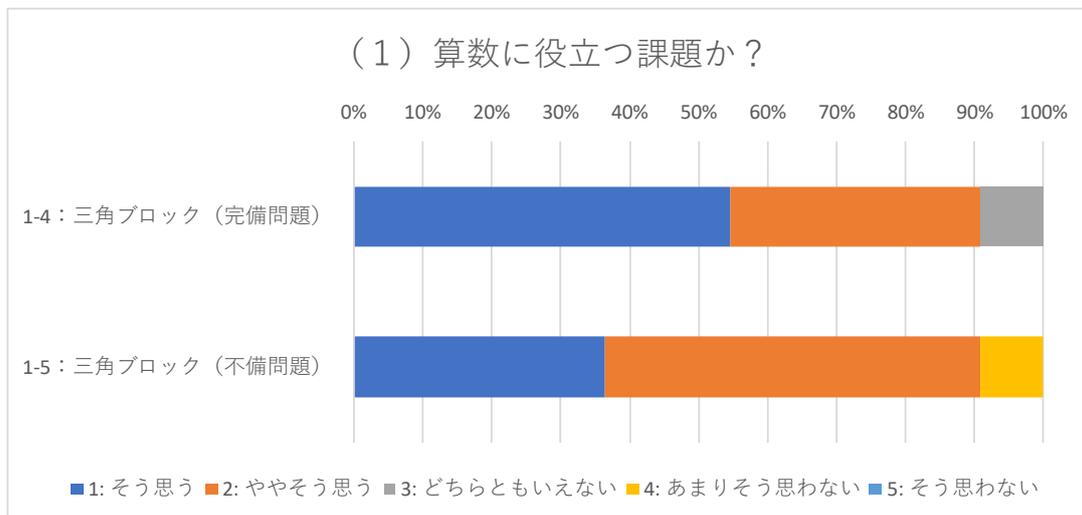


図 6.1-29 : 小学校教員アンケート結果 (1) のグラフ

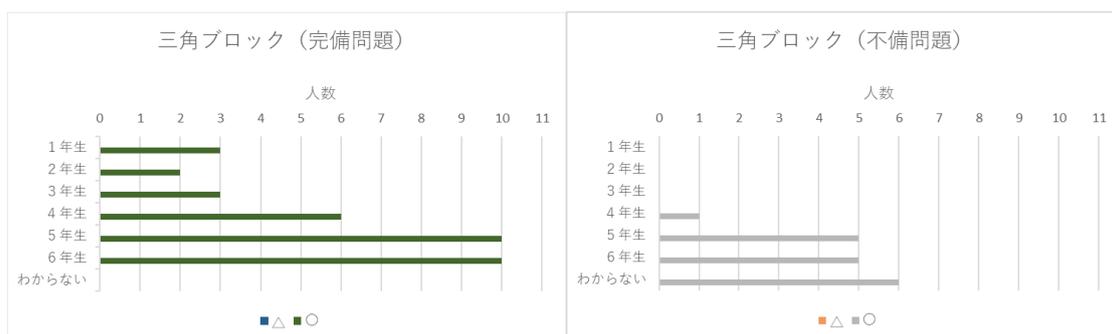


図 6.1-30 : 小学校教員アンケート結果 (2) のグラフ

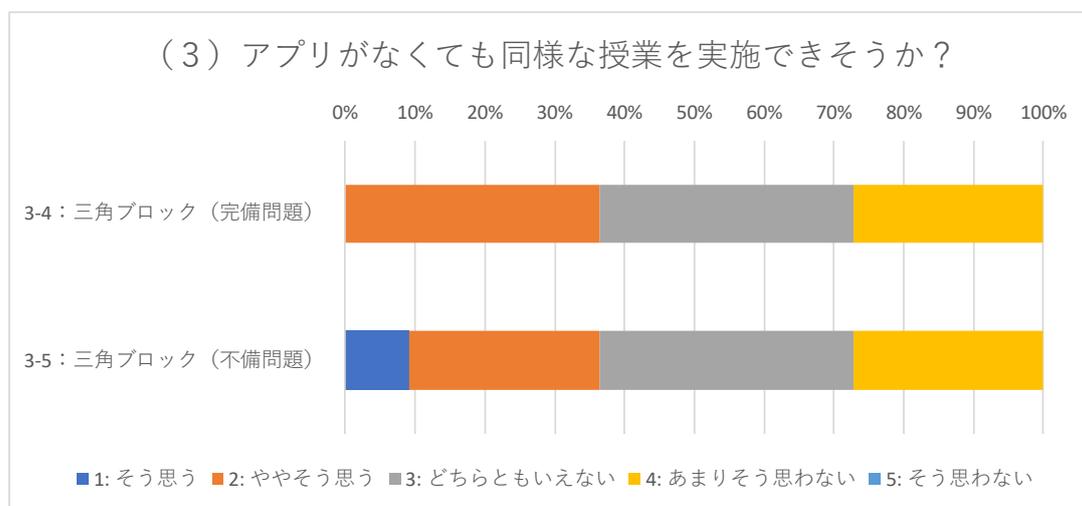


図 6.1-31 : 小学校教員アンケート結果 (3) のグラフ

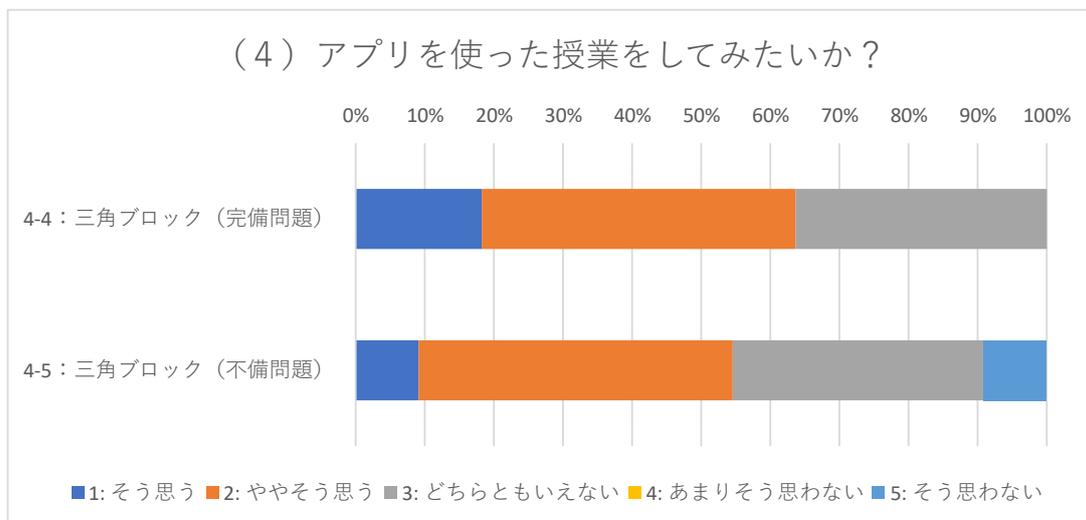


図 6.1-32 : 小学校教員アンケート結果 (4) のグラフ

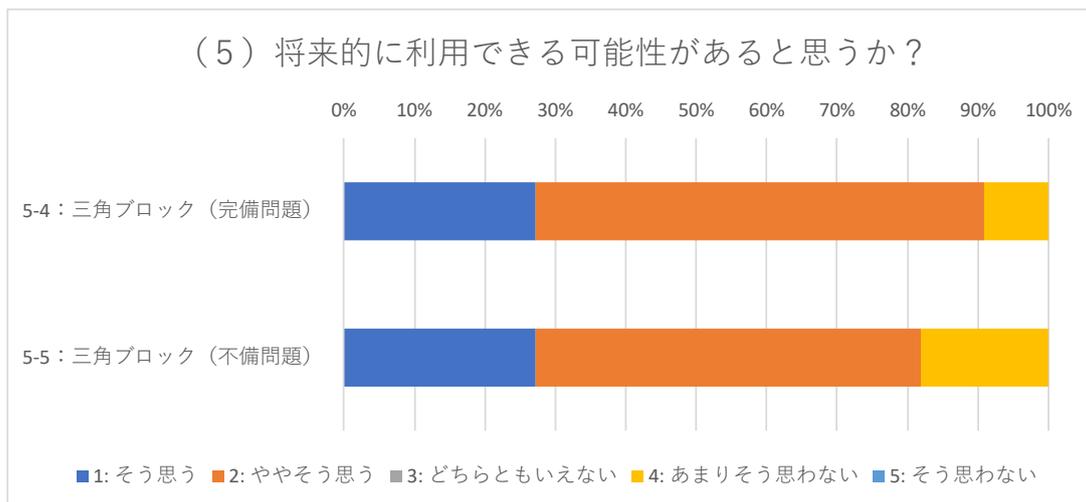


図 6.1-33 : 小学校教員アンケート結果 (5) のグラフ

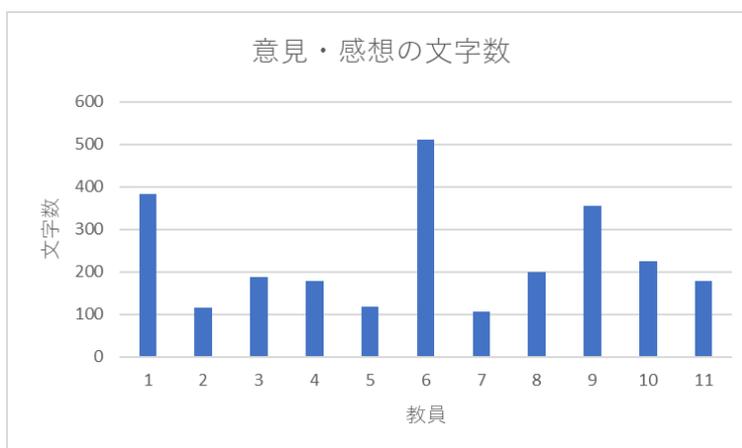


図 6.1-34 : 小学校教員アンケート結果 (6) の文字数グラフ  
(M=232.4545, SD=129.5209)

### 6.1.3. システムの改善

小学校教員への試験的利用によって、システムの課題点が浮き彫りになった。その課題点とは、数量概念を整理する画面と三角ブロック構造を組み立てる画面を行き来することが、学習者にとって認知負荷が高くなる恐れがあることである。例えば補完をする際には、学習者は三角ブロックを観察して必要なノードを決定し、その必要なノードを記憶しながら2画面遷移しなければならない、認知負荷が高くなっている。

そこで、三角ブロック組立画面から遷移せずに、数量概念の追加と削除・分節化を実行可能にした。分節化の様子を図 6.1-35 に、補完の様子を図 6.1-36 に、削除の様子を図 6.1-37 にそれぞれ示した。削除については、ノードを選択することで、図 6.1-37 のようにノードのコピー・削除のボタンが出現する。この画面構成にすることで、学習者は三角ブロック構造を観察しながら数量概念を整理することができるようになるため、認知負荷を下げられることが期待される。

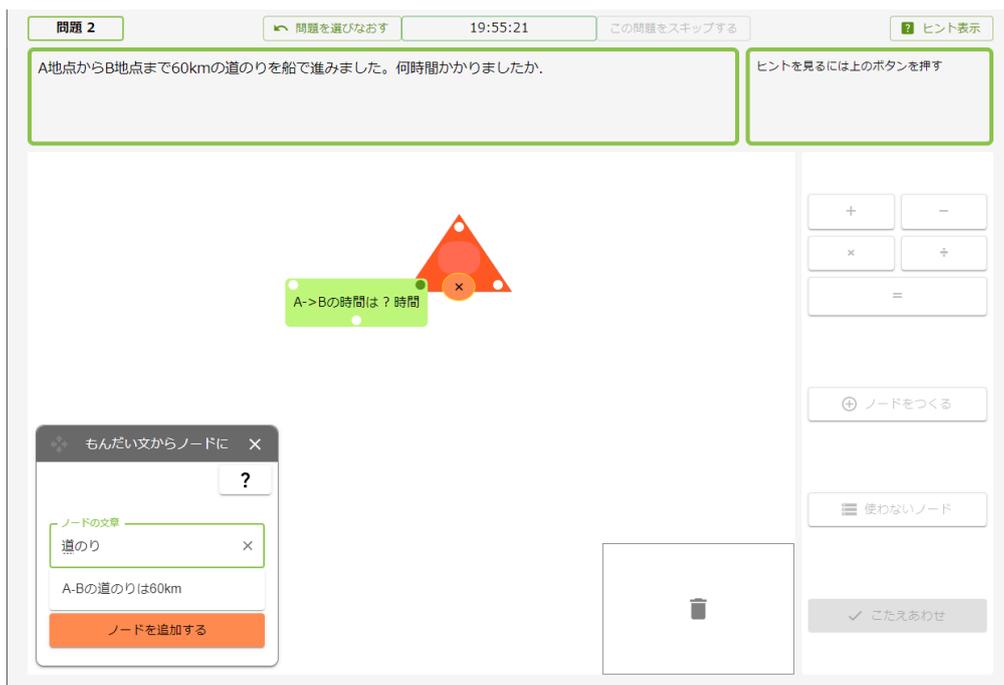


図 6.1-35 : 改善後の分節化画面

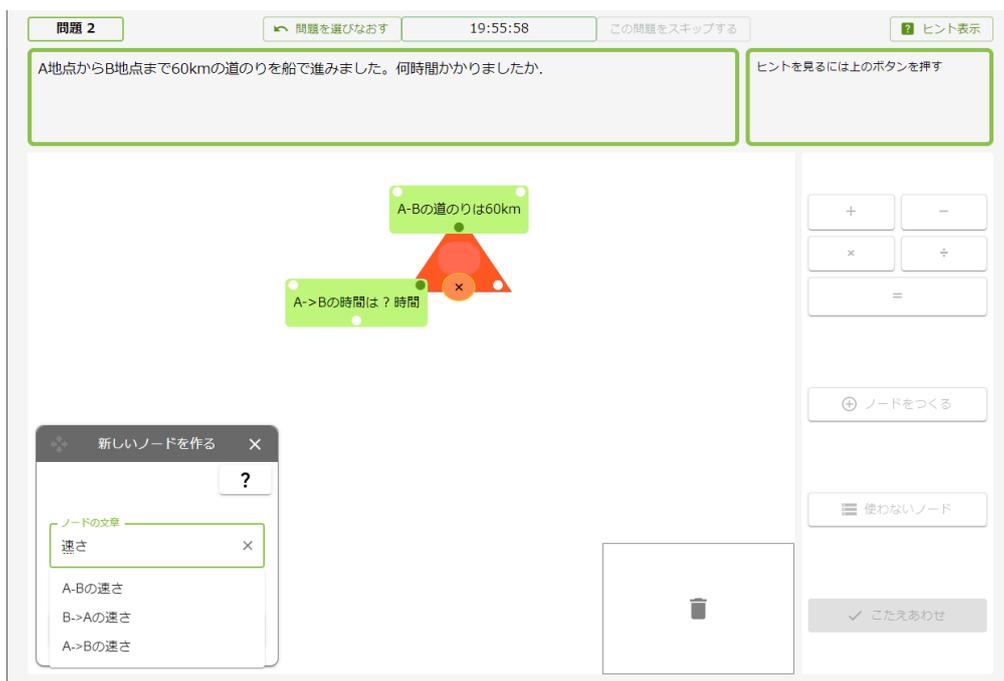


図 6.1-36 : 改善後の補完画面

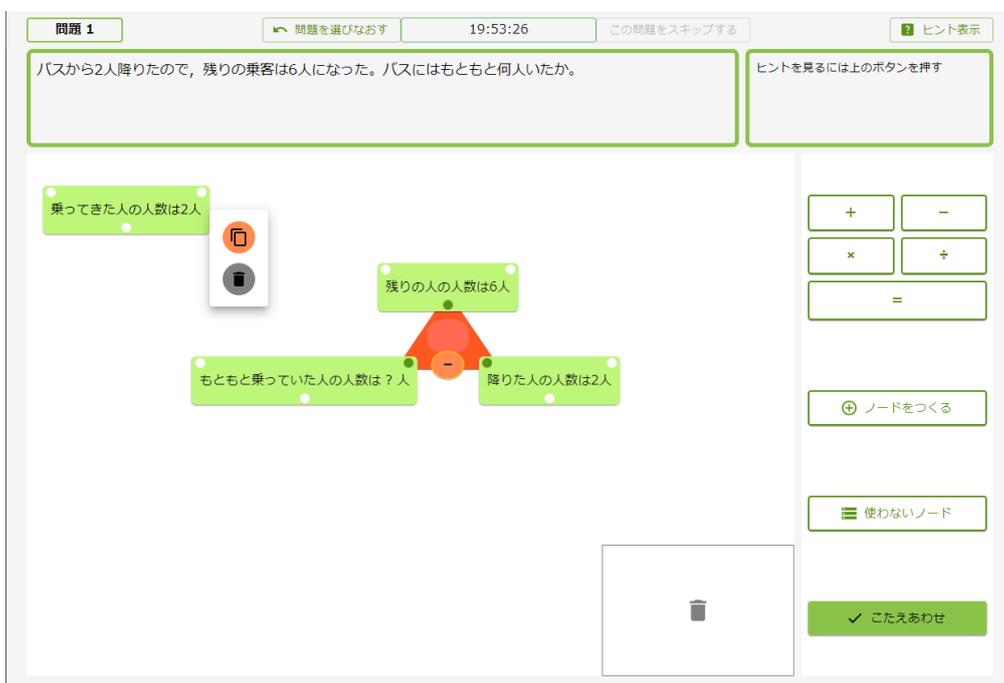


図 6.1-37 : 改善後のノードの取捨選択

## 6.2. 教職大学院生による試験的利用

次に、改善したシステムについて、学校で実際に教鞭をとる現職の先生を含む教職大学院生に対し、同様に試験的利用を行った。なお、この実験では、開発したシステムである算数三角ブロック-web だけでなく、数量概念とその関係を外在化させた学習支援システムである、モンサクン・三角ブロック接続教材と三数量関係づけアプリについても同時に利用実験を行っている。

### 6.2.1. 実験の概要

教職大学院生 13 名に対し、試験的利用を行った。うち、1 日目の被験者は 5 名、2 日目は 3 名、3 日目は 5 名であった。本実験では、前述した 3 つのシステムについて、算数三角ブロック-web、モンサクン・三角ブロック接続教材、三数量関係づけアプリの順に、それぞれ 30 分ずつ実験を行った。30 分の内訳は、5 分の利用説明と、20 分のシステム利用、5 分のアンケートである。ここで、算数三角ブロック-web については、20 分の利用の中で、表 6.2-2 に示す 4 つの問題を解いてもらい、かつ解法が複数存在する問題については、それらの解法も考えてもらい、解いてもらった。

また、アンケート項目については、表に示す。項目 (1 3) は小学校 1 年生から 6 年生、中学生以上、わからないの 8 つについて複数回答とし、項目 (2 1) については自由記述とした。その他の項目については、5 件法で回答してもらった。

表 6.2-2：教職大学院生による予備的評価の問題形式

問題種類	複数解法の有無
情報完備問題／複合三角ブロック／中間ノードが文章	無
情報不足問題／複合三角ブロック／中間ノードが文章	無
情報不足問題／単一三角ブロック	有
情報不足問題／複合三角ブロック／中間ノードが文章	有

表 6.2-3：教職大学院生による予備的評価のアンケート項目

(1)	児童の算数の学習に役立つと思いますか？
(2)	算数の授業に利用できると思いますか？
(3)	算数の家庭学習に利用できると思いますか？
(4)	本アプリで演習化されている内容を、これまでの授業でも行われていましたか？
(5)	アプリがなくても同様な授業を実施できそうですか？
(6)	アプリで演習化している内容の課題を児童に取り組ませる上で、このアプリは有用だと思いますか？
(7)	この課題を児童に取り組ませる上で、このアプリは必須だと思いますか？

(8)	この課題に対する児童の取り組みを評価するうえで、このアプリは有用だと思いますか？
(9)	この課題に対する児童の取り組みを評価するうえで、このアプリは必須だと思いますか？
(10)	アプリを使った授業をしてみたいですか？
(11)	アプリを使った家庭学習を行わせてみたいですか？
(12)	将来的に利用できる可能性があると思いますか？
(13)	どの学年に利用できそうですか？（複数回答可，部分的に利用できる場合も，利用可能としてお答えください）
(14)	本アプリは，教材分析に役立つと思いますか？
(15)	本アプリは，教材分析を他の先生と共同でする場合に役立つと思いますか？
(16)	本アプリは，教材分析の結果を他の先生と共有する場合に役立つと思いますか？
(17)	情報不足問題は通常の問題（情報完備問題）よりも，学習に役立つと思いますか？
(18)	本アプリは，情報不足問題を解くことを演習化できていると思いますか？
(19)	数量同士の関係を三角形で可視化することは，問題を理解するのに役立ちますか？
(20)	本アプリに，改善の余地があると思いますか？
(21)	改善すべき点，感想などをお書きください

### 6.2.2. 結果と考察

5 件法で回答してもらった項目群のうち，データとして不備のあった項目（6）～（8）を除いたものについての集計グラフを図 6.2-38 に示す．また，項目（13）のグラフを図 6.2-39 に，（21）の自由記述についての文字数をグラフ化したものを図 6.2-40 にそれぞれ示す．図 6.2-40 の文字数については，中央値が 151 文字であり，上方に外れ値もあることから，熱心な参加が裏付けられる．

まず，児童の算数の学習に役立つこと，授業に利用することについては，半数以上の肯定意見が得られた．かつ，本システムで演習化した情報不足問題が算数の学習に有用であること，および三角ブロックを用いた可視化についても，半数以上の肯定意見が得られたことにより，情報不足問題を，三角ブロックを用いて演習化したことが受け入れられていると考えられる．

また，教材分析についての 3 項目ともに，多くの肯定意見が得られた．三角ブロックは従来より，学習者にとっての利用・学習効果が確認されてきた [6][7]．本研究で扱う情報不備課題は，解法が異なる問題を含んでおり，それが外在化されていることから，学習者だけでなく教授者の教材分析でも利用する価値があることが示唆された．実験中にも，システムで

## 予備的評価

演習化している問題の内容について意見交換する光景が見られていたことから、教材分析に利用できる可能性があると考えられる。

加えて、いただいた意見としては、補完における類義語の自由度を拡げる提案や、不正解時のフォローの提案などが代表として挙げられた。特に、類義語の自由度について、現在のシステムは、キーワード検索結果選択法について自由度を考慮していない。例えば、システム利用者から「合計の量」に関する情報が補完された場合、その類義語として「全ての量」「全部の量」が考えられるが、システムはそれらの類義語を網羅していないため受理することができない。それらの類義語を受理可能にすることは、今後の課題である。

ここで、図 6.2-38 の項目について、肯定群(そう思う、ややそう思うと回答)・非肯定群(どちらともいえない・あまりそう思わない・そう思わない)に分け、有意水準 5%として直接確率検定を行った。このうち、有意だったのは (2), (3), (5), (10), (12), (14), (15), (16), (20) である。

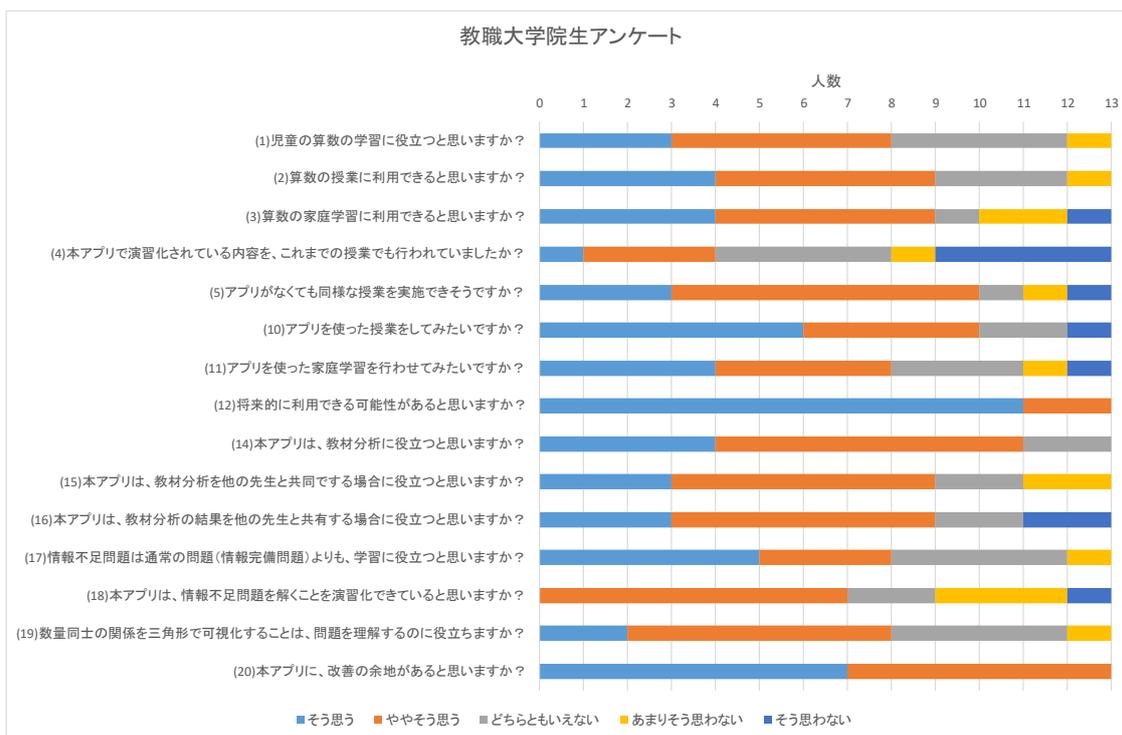


図 6.2-38：教職大学院生向け予備的評価のアンケート集計

予備的評価

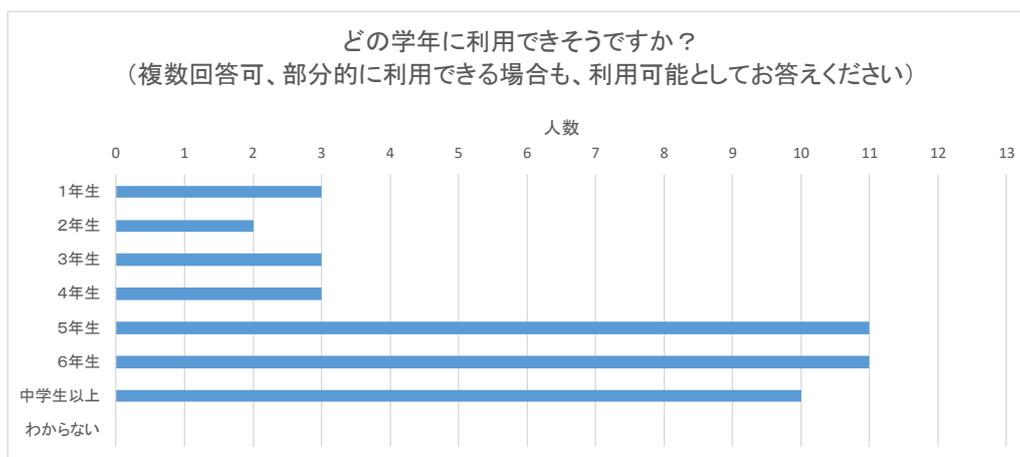


図 6.2-39：教職大学院生向け予備的評価のアンケート集計（利用学年）

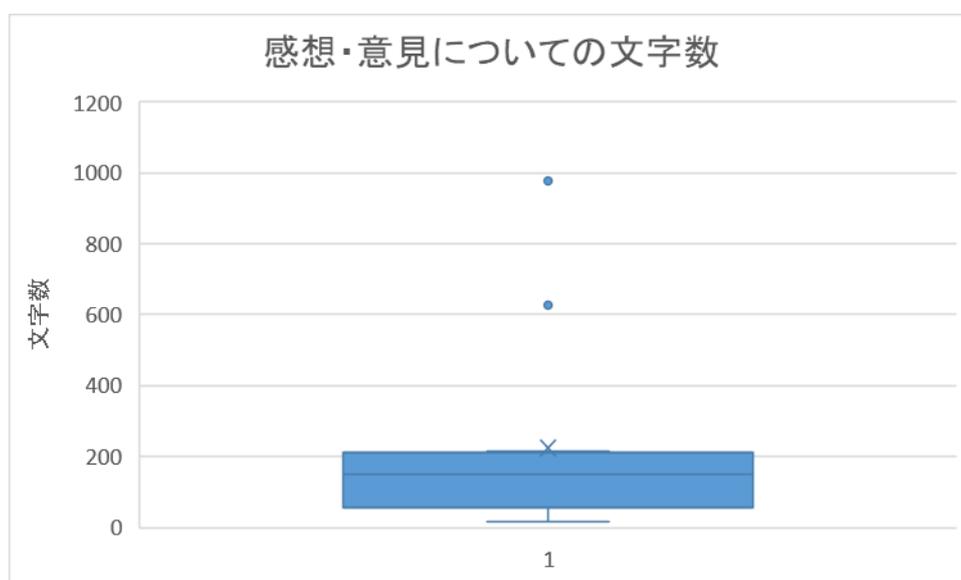


図 6.2-40：感想・意見についての文字数（教職大学院生向け実験）

## 第7章 まとめと今後の課題

本研究では、算数文章題の解決過程の下位過程である統合過程での躓きに着目し、その過程を支援するために算数三角ブロック-web を開発した。従来の算数三角ブロック組立演習に、文章題に含まれる情報が不備化されている問題を追加・演習化するために、その情報不備課題について詳細に分類した。情報不備課題とは、解くための情報に必要な情報が与えられている情報完備問題の情報を不備化し、学習者に対してその完備化を行わせることで、問題文章をよく読み数量概念と関係について考えさせる問題である。本研究で扱う情報不備課題には、その完備化の方法によって完成される三角ブロックの構造が異なる問題を含んでいる。そのため、統合過程だけでなく、解法定着の支援にもつなげることが可能である。本研究ではそれらをシステム上で支援するために、学習者による分節化機能・補完機能・数量概念の取捨選択機能を開発した。本システムは、教育のDXの面から、異なるデバイス間で動作するWebアプリケーションとして開発している。

次に、開発したシステムについて小学校教員と教職大学院生、合わせて24名に利用してもらい、アンケート調査を行った。アンケートの結果、システムがおおむね受け入れられていること、将来的にはあるがシステムを学校授業等で利用できる可能性について確認できた。また、認知負荷を低減するために、小学校教員向け実験の後にシステムを改善することができた。ここで、小学校教員向けアンケートの情報不備課題についての項目と、教職大学院生向けアンケートの項目で、共通の項目のみを取り出して集計したグラフを以下の図7-41に示す。算数に役立つこと、アプリを使った授業をしてみたいこと、将来的な利用について、6割以上の肯定意見があったことが確認できる。また、本システムは現在、共同研究者による授業利用を計画中である。

本研究の今後の課題は、情報不備課題における学習者のふるまいをシステム上で取得し、どのような成績の学習者がどのように情報不備課題を解いているかを調査することである。先行研究によれば、情報過剰問題においては、成績の高い学習者ほど、式を考える前に数量概念を取捨選択する傾向にあることが分かっている [18]。本システムでは、完備化過程について操作対象化しているため、そのふるまいを取得することも可能である。そのため、不足問題や異なる解法を思考している際のふるまいを観察し、より効果的な支援につなげたいと考える。特に、学習支援システムは、認知的側面・メタ認知的側面・情動的側面の3つの側面について支援できることが望まれている [24]。本システムで演習化したメタ認知コ

## まとめと今後の課題

ントロールのふるまいを解析することで、メタ認知モニタリングの効果的な支援につなげたい。加えて、システムのユーザビリティを改善していくことも、今後の課題として挙げられる。

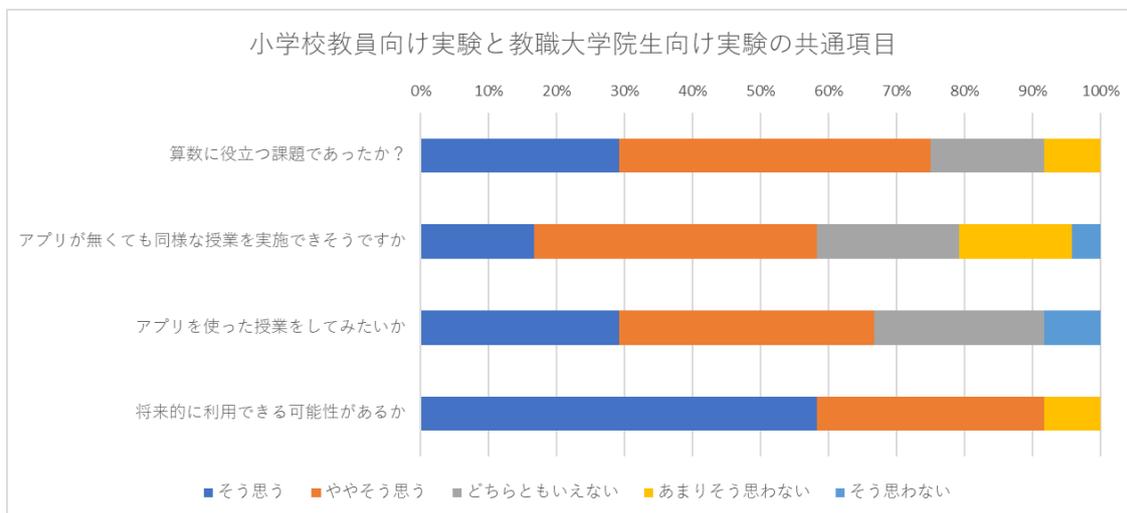


図 7-41 : 2 実験の共通項目の集計  
(小学校教員向け実験(6.1 節)は、情報不備課題に絞り集計)

## 謝辞

本研究を行うにあたり，多くのご指導をいただきました，平嶋宗教授，林雄介教授に，心から感謝いたします。並びに，本論文の審査をしていただきました，江口浩二教授に感謝いたします。

また，研究及びシステムの開発に多くのご助言，ご協力をいただきました山元翔先生（近畿大学情報学部），前田一誠先生（環太平洋大学次世代教育学部），尾坂隆児氏，守山映見里氏，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] 多鹿秀継, “算数問題解決過程の分析,” *愛知教育大学研究報告*, 44 (教育科学編), pp. 157-167, 1995.
- [2] 坂本美紀, “算数文章題の解決過程における誤りの研究,” *発達心理学研究*, 第4巻, 第2号, pp. 117-125, 1993.
- [3] 植阪友理, 鈴木雅之, 清河幸子, 瀬尾美紀子, 市川伸一, “構成要素型テストCOMPASSに見る数学的基礎学力の実態 —「基礎基本は良好, 活用に課題」は本当か—,” *日本教育工学会論文誌*, 37 (4), pp. 397-417, 2014.
- [4] 山元翔, 尾土井健太郎, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗, “算数文章題における統合過程のモデル化と外化支援システムの実践利用,” *The 27th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, 2013.
- [5] 山本晏宏, 吉村穰, 林雄介, 平嶋宗, “代数文章題と算数特殊文章題への三角ブロックモデルの適用,” *JSiSE Research Report*, 31, 6, pp. 19-24, 2017.
- [6] T. Hirashima, K. Furukubo, S. Yamamoto, Y. Hayashi and K. Maeda, "Practical Use of Triangle Block Model for Bridging between Problem and Solution in Arithmetic Word Problems," *Proc. of International Conference on Computers in Education (ICCE2016)*, pp. 36-45, 2016.
- [7] T. Hirashima, Y. Hayashi, S. Yamamoto and K. Maeda, "Bridging Model between Problem and Solution Representations in Arithmetic/Mathematics Word Problems," *Proc. of International Conference on Computers in Education (ICCE2015)*, pp. 9-18, 2015.
- [8] 犬丸拓磨, 林雄介, 平嶋宗, “数学文章題における三角ブロックモデルを用いた情報過不足課題の演習化,” *教育システム情報学会2020年度学生研究発表会*, 2021.
- [9] 石田淳一, “算数科における「読み」の指導に関する研究—情報過剰問題を中心として(1)—,” *愛知教育大学研究報告*, 33 (教育科学編), pp. 239-251, 1984.
- [10] 金田茂裕, “小学2～5年生の複数解を考える数的思考,” *教育心理学研究*, 55, pp. 11-20, 2007.
- [11] 岡田猛, “児童の算数の課題解決に及ぼす過剰情報の効果,” *日本教育心理学会第27*

- 回総会発表論文集, pp. 380-381, 1985.
- [12] 竹綱誠一郎, 齋藤寿実子, 吉田美登利, 佐藤朗子, 瀧沢絵里, 小方涼子, “児童の作文学力と算数文章題学力との関係,” *人文*, 10, pp. 85-92, 2012.
- [13] 文部科学省, *小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 算数編*, 平成29年7月.
- [14] 中道孝之, 平嶋宗, “力学の情報不備問題を対象とした演習支援システム,” *教育システム情報学会誌*, vol. 27, No. 2, pp. 155-163, 2010.
- [15] 中野謙, 姫宮恵, 北村拓也, 林雄介, 平嶋宗, “論理組立演習における情報過不足問題の開発,” *教育システム情報学会誌*, vol. 38, No. 3, pp. 243-247, 2021.
- [16] T. Hirashima, S. Yamamoto and Y. Hayashi, "Triplet Structure Model of Arithmetical Word Problems for Learning by Problem-Posing," *Proc. of HCI2014*, pp. 42-50, 2014.
- [17] 三宮真智子, *メタ認知 学習力を支える高次認知機能*, 北大路書房, 2009.
- [18] 岡本真彦, “発達の要因としての知能及びメタ認知的知識が算数文章題の解決におよぼす影響,” *発達心理学研究*, 第2巻, 第2号, pp. 78-87, 1991.
- [19] B. J. Zimmerman and A. R. Moylan, "Self-Regulation," in *HANDBOOK OF METACOGNITION IN EDUCATION*, 2009, pp. 299-305.
- [20] 文部科学省国立教育政策研究所教育課程研究センター, 「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 小学校, 令和2年3月.
- [21] 平嶋宗, “メタ認知の活性化支援,” *人工知能学会誌*, 第21巻, 第1号, pp. 58-64, 2006.
- [22] 文部科学省, *教育の情報化に関する手引き—追補版—*, 令和2年6月.
- [23] 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*, vol. J96-D, No. 10, pp. 2440-2451, 2013.
- [24] I. Arroyo, B. P. Woolf, W. Burelson, K. Muldner, D. Rai and M. Tai, "A Multimedia Adaptive Tutoring System for Mathematics that Addresses Cognition, Metacognition and Affect," *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 24, pp. 387-426, 2014.

## 付録

### 付録1. システムへのアクセス方法

本システムのアクセス方法を付録として載せる.

- URL: <http://lel.main.jp/AdvancedATB/front/>

## 付録

### 付録2. 評価に利用したアンケート

本稿 6.1 節の，小学校教員への予備的調査に使用したアンケートの様式を，付録として載せる．

付録

平岩小学校アプリ利用アンケート (2023年1月6日)

ご氏名：

ご担当の学年：

(1) 算数に役立つ課題であったと思いますか？

(1-1) モンサクン和差の課題は算数に役立つ

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(1-2) モンサクン乗除の課題は算数に役立つ

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(1-3) 三角ブロック導入教材の課題は算数に役立つ

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(1-4) モンサクン三角ブロックの課題は算数に役立つ

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(1-5) 情報過不足教材の課題は算数に役立つ

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(2) どの学年に利用できそうですか？(複数回答可)

(2-1) モンサクン和差

1年生, 2年生, 3年生, 4年生, 5年生, 6年生, わからない

(2-2) モンサクン乗除

1年生, 2年生, 3年生, 4年生, 5年生, 6年生, わからない

## 付録

### (2-3) 三角ブロック導入教材

1年生, 2年生, 3年生, 4年生, 5年生, 6年生, わからない

### (2-4) モンサクン三角ブロック

1年生, 2年生, 3年生, 4年生, 5年生, 6年生, わからない

### (2-5) 情報過不足教材

1年生, 2年生, 3年生, 4年生, 5年生, 6年生, わからない

## (3) アプリが無くてもしっかり授業を実施できそうですか?

### (3-1) モンサクン和差

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

### (3-2) モンサクン乗除

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

### (3-3) 三角ブロック導入教材

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

### (3-4) モンサクン三角ブロック

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

### (3-5) 情報過不足教材

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(4) アプリを使った授業をしてみたいですか？

(4-1)モンサクン和差

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(4-2) モンサクン乗除

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(4-3) 三角ブロック導入教材

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(4-4) モンサクン三角ブロック

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(4-5) 情報過不足教材

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(5) 将来的に利用できる可能性があると思いますか？

(5-1) モンサクン和差

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(5-2) モンサクン乗除

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

(5-3) 三角ブロック導入教材

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

## 付録

### (5-4) モンサクン三角ブロック

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

### (5-5) 情報過不足教材

1. そう思う, 2. ややそう思う, 3. どちらともいえない, 4. あまりそう思わない, 5. そう思わない

### (6) 改善すべき点, 感想などをお書きください.

### 付録3. プログラム説明書

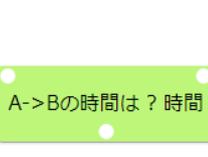
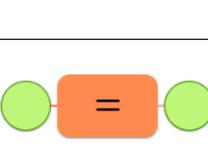
本システムのプログラムの概要を付録として載せる。

本システムは、フロントエンド(React)、バックエンド API(PHP)、データベース(MySQL)の3要素で構成される。

バックエンド API は、システムへのログイン・ログアウトのデータベースへの登録の役割と、フロントエンドからの問題データ問い合わせを受けて、対応する問題データをデータベースから取得し返す役割の2つの役割を持つ。

フロントエンドはシングルページアプリケーションとして動作するため、内部にルーティング機能を持つ。主なコンポーネントについては、次のページの表にまとめている。特に、問題解決過程を司るコンポーネントである **Leveling** コンポーネントには、含まれるコンポーネントが多いため、主なもののみまとめている。

付録

名前	コンポーネントのデザイン	概要
LoginPage		ログインページをまとめるコンポーネント。
ProblemSelectPage		問題レベルと問題番号の選択ページをまとめるコンポーネント。
PresentCorrectResult		三角ブロック構造判定後の作問状況を表示するモーダルコンポーネント。
Leveling		三角ブロック組み立てページをまとめるコンポーネント。
DraggableModalComplement		補完したい数量概念の入力を受け付け、入力されたテキストに合った予測リストを表示するコンポーネント。
DraggableModalDisabledNodes		分節化したい数量概念の入力を受け付け、入力されたテキストに合った予測リストを表示するコンポーネント。
DraggableModalSegmentation		除去されたノードについて、その一覧と、マップに復元するオプションを表示するコンポーネント。
BeautifulTriangle		三角ブロックを表示し、ノードの接続やゴミ箱ゾーンへのドロップを検出するコンポーネント。計算記号は和・差・乗・除のいずれか。マップでは、triangleId(マップ中の三角ブロックの通し番号)と、計算記号の2つの情報の組み合わせが一意のものとなり、問い合わせが可能である。
BeautifulNode		ノードを表示し、三角ブロックへの接続検出やコピー・除去オプションを管理するコンポーネント。ノードについては以下の4種類存在し、nodeIdによって区別する。nodeIdはマップ内で一意のものとなる。 1. システムからの所与ノード 2. 学習者が生成した空白ノード 3. 学習者が生成した分節化ノード 4. 学習者が生成した補完ノード
EqualLink		イコールを表示し、三角ブロックへの接続やゴミ箱ゾーンへのドロップを検出するコンポーネント。
PresentProblem		問題文章とヒント文章を表示するコンポーネント。
InputNumberBox		計算入力フェーズにて、学習者の数値の入力を受け付けるコンポーネント。学習者が左側の数値のボックスを選択するまでは、右の入力モーダルは非表示となる。
MapButtonsPaper		三角ブロック組立画面において、マップ右側のボタン群(計算記号、ノード追加、答え合わせなど)を表示するコンポーネント。

## 付録

### 付録4. デモビデオ

本システムを利用して問題を解いている状況の動画へのアクセス先を、付録として載せる。

- URL: [https://www.youtube.com/watch?v=5\\_x1Nuemjj4](https://www.youtube.com/watch?v=5_x1Nuemjj4)