

# 算数文章題の構造的理解を指向した作問学習支援システムの乗除算への拡張とその実践利用

山元 翔<sup>†a)</sup> 赤尾 優希<sup>††</sup> 室津 光貴<sup>††</sup> 前田 一誠<sup>†††</sup>  
林 雄介<sup>††</sup> 平嶋 宗<sup>††</sup>

Interactive Environment for Posing 1-step Multiplication or Division Word Problem for Promoting Structural Understanding and Its Experimental Use

Sho YAMAMOTO<sup>†a)</sup>, Yuki AKAO<sup>††</sup>, Mitsutaka MUROTSU<sup>††</sup>, Kazushige MAEDA<sup>†††</sup>, Yusuke HAYASHI<sup>††</sup>, and Tsukasa HIRASHIMA<sup>††</sup>

あらまし 筆者らは単文統合型の作問学習支援システムを加減算と乗算の領域で設計・開発し、システムが問題の構造理解に有用であることを確認してきた。本研究では学習の次の段階として、システムを乗除算の領域に拡張することが目的である。ただし、システムは単に加減を乗除に置き換えて実現できるものではなく、対象とする乗除算文章題の構造モデルを作成し、モデルに基づいたシステムの設計が必要となる。このモデルを提案し、作成したシステムを授業に組み込むことで、単文統合型の作問学習による乗除算算数文章題の教授が実現した。この効果を、対象領域を学習した小学生に対して 11 時限に及ぶ実践利用から検証した結果、対象授業が問題なく受け入れられ、特に構造理解の不十分な学習者に対して成績の向上が見られたので報告する。

キーワード 作問、三文構成モデル、乗除算文章題、構造的理解、授業実践、マルチメディア

## 1. ま え が き

作問学習は問題を作ることによる学習であり、問題解決スキルの習得や対象概念の理解などに有用であることが広く知られている [1]~[4]。筆者らはこれまでに、算数の文章題を対象とした部品組み立て方式の作問学習支援システムの開発とその実践利用を継続的に行ってきた [5]~[7]。これらの試みの特徴は、(1) 作成する問題の構成要素を学習者に提供し、その組み立てとして作問を行えるようにすることで、問題の構成要素については提供されたものを認識するだけでよ

いようにし、構造を考える必要がある組み立てを主たる活動としている点、(2) 学習者が作成した問題を自動診断し、診断に基づくフィードバックを返せるようにしている点、の二つである。本研究以外にも作問学習の支援システムに関する研究は幾つかみられるが [8]~[11]、これらは、学習者自身による問題記述を前提としている点で、様々な種類の問題に対応できるという長所をもっているものの、言語的に問題を記述する負荷が大きくなることになる。このため、本研究が対象としているような小学生は対象としては適切とは言えない。また、作成された問題の診断についても、言語的な記述を前提としているため、自動診断ができていない例は存在しない。これらの研究においては、学習者同士がお互いの作った問題を診断することをもって問題の診断としている。したがって、学習者が適切に問題を診断できることが前提となる。この意味でも、小学校での利用は困難であるといえる。

筆者らは現在、この部品組み立て方式の一つとして、単文統合型の作問方式を定式化し、1 回の演算で解決可能な算数文章題を対象としてシステムを設計・開発、

<sup>†</sup> 近畿大学工学部情報学科, 東広島市  
Faculty of Engineering, Kindai University, 1 Takaya Umenobe, Higashihiroshima-shi, 739-2116 Japan

<sup>††</sup> 広島大学大学院工学研究科, 東広島市  
Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan

<sup>†††</sup> IPU・環太平洋大学次世代教育学部教育経営学科, 岡山市  
Faculty of Education for Future Generations, International Pacific University, 721 Setocho-Kanonji, Okayama-shi, 709-0863 Japan

a) E-mail: yamamoto@hiro.kindai.ac.jp  
DOI:10.14923/transinfj.2016JDP7066

対象単元を学習中の小学生を対象とした実践利用までを行っている [12]～[14]。単文統合型の作問方式では、算数文章題を、被演算数、演算数、結果数の三種を表現する三つの文章で構成されるものとして定式化しており [15]、これら三つの文章の取捨選択と組み立てとして作問学習を実現している。したがって本研究では学習対象の構造を定式化し、これに基づいて作問学習の演習を定義、診断可能化する点で、他の研究とは異なったアプローチとなっている。また、(1)、(2)の実現により、学習の初期段階である小学生低学年を対象とすることができている。

システムの開発は算数の指導要領に基づいて行っており、小学校1年生で加減算の文章題、2年生で乗算の文章題を対象として、システムの開発と実践利用による利用可能性、学習効果の検証を行っている。したがって次に対象となるのは、3年生の乗除算文章題の作問である。乗除算文章題の範囲は2年生の乗算文章題の拡張となるが、拡張の方法は明らかではなく、また、拡張したことによる演習の実現可能性や学習効果も自明というわけではない。また、乗除に関する算数文章題の作問学習に関して、実践的な利用を通じた定量的な効果を報告した研究事例は存在しておらず、この意味でも新規性をもっていいえる。

以上より本研究では、小学校3年生で取り扱われる乗除算を対象とした算数文章題の作問の定式化と、従来システムの乗除算領域への拡張、小学校3年生を対象とした実践利用を行ったので、これらの結果について報告する。実践利用では、(I) 乗除算文章題を対象とした作問学習支援システムの利用可能性と、(II) 学習効果を検証する。

以降、2. では定義した乗除算の算数文章題のモデルについて述べ、これを受けて、3. で単文統合型の作問とシステムに実装する課題系列の設計について述べる。4. ではこれらの設計に基づいて開発したシステムを紹介し、5. でこの実践利用の結果から、上記目的について検証、6. でまとめる。

## 2. 乗除算の算数文章題のモデル

### 2.1 乗除算の算数文章題の構造

本章では、本研究のベースとしている乗除算の算数文章題の構造について説明する。例として「(a) 1箱あたりみかんが4こずつ入っています。(b)?箱あります。(c) みかんが8こあります。」を用いる。各文章は「4こ」や「1箱」のような数量と、「みかん」や「箱」

のような、その数量の対象となるオブジェクトを含んでいる。これら一文一文を単文と呼ぶ。

(b) や (c) は同タイプの単文であり、オブジェクトである箱やみかんがどの程度の数量、存在するかを表すものである。これらの単文を存在文と呼ぶ。これに対して (a) は箱一つ分のみかんの量を表している。これは (b) と (c) の量の関係を示すものであり、このような単文は関係文と呼んでいる。したがって二項演算の乗除算文章題は二つの存在文と一つの関係文によって成立しうるものであると定義できる。

また、乗除算文章題は、「一つ分の数  $\times$  いくつ分 = 全部の数」という量的な関係性をもってしているとして教えられている [16], [17]。例題においては、(a) が一つ分の数、(b) がいくつ分、(c) が全部の数という量を表す単文である。また、一つ分の数は関係文が担っているが、いくつ分、及び全部の数は存在文が担う。故にいずれの存在文が「いくつ分」、「全部の数」になるかは、関係文のオブジェクトの関係性によって決定される。したがって乗除算文章題を理解するためには、文章題から各量を見出し、これを適切に関係づけることが必要となる。

### 2.2 乗除算文章題と割合の三用法

乗除算文章題には、先程述べた「一つ分の数  $\times$  いくつ分 = 全部の数」という関係性の他に、「全部の数  $\div$  一つ分の数 = いくつ分」、「全部の数  $\div$  いくつ分 = 一つ分の数」という関係性がある。これらはいずれの量が求めるべき未知数として設定されているかによって、使い分けられる。この三つの関係性は、割合の三用法として知られている [18]。なお、全部の数を求める乗算の関係性が第二用法、いくつ分の数を求める除算の関係性が第一用法、一つ分の数を求める除算の関係性が第三用法とされている。

乗算文章題を対象としたシステムでは、2.1 で述べた構造のみ理解すれば良かったのに対して、乗除算文章題では新たにこの三用法について学ぶ必要がある。つまり、乗除算文章題は先に述べた三つの関係性をもっており、いずれの量が求めるべき未知数となるかによって、問題解決に用いられる数量関係が変化する、ということが新たに学習すべき内容となる。

## 3. 乗除算文章題の作問の課題設計

### 3.1 単文統合型の作問

図1に2. で取り扱った例題を解とする単文統合型の作問の例を示す。本演習方式では、作成された問題の

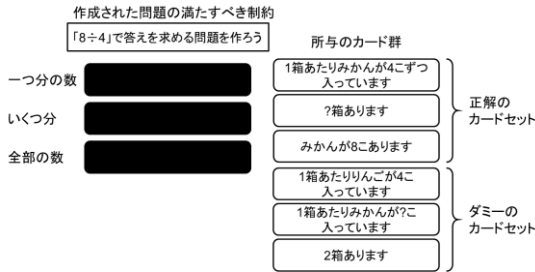


図 1 乗除算における単文統合型の作問例

Fig. 1 Example of problem-posing for sentence integration.

満たすべき制約と、問題を作成するために必要なカード群が与えられる。例題では、前者は「 $8 \div 4$ 」という演算式が与えられている。また、所与のカード群は問題を作成するために用意される単文カードの集合であり、正解を作成するためのカード（正解のカードセット）と、誤りを起こすためのカードであるダミーカード（ダミーのカードセット）によって構成されている。なお、所与のカード群は 2. で定義した関係文と存在文のみである。学習者は演習において、例の場合であれば演算式と乗除算の算数文章題の構造に基づいて、所与のカード群から適切なカードを三つ取捨選択、並び替えることで、問題を作成する。

また、単文の取捨選択時には、選択した単文がいずれの量の役割を担っていると考えたかを明確にする必要があるため、「一つ分の数」、「いくつ分」、「全部の数」をあらかじめ記載しておき、記載された量の役割を担う単文を対応する空欄に選択・配置させる。例えば図 1 の場合、「1 箱あたりみかんが 4 こずつ入っています」が「一つ分の数」であると考えた場合には、「一つ分の数」と記載された位置に単文を配置する。したがって適切なカードの取捨選択とは正解の問題を作成する上で必要な量の役割をもった単文を見抜くこと、並び替えとはそれらの単文カードを、「一つ分の数」、「いくつ分」、「全部の数」の順序に並べることとなる。

本作問演習では作成するものとして物語と問題の二種類があるので、制約として与えられる演算式には、未知数を含む式と含まない式の 2 通りがある。なお、ここでの物語とは、未知数を含まない問題のことである。2.1 の問題を例に取ると、「1 箱あたりみかんが 4 こずつ入っています。2 箱あります。みかんが 8 こあります。」が物語となる。未知数を含まない演算式は量的関係を表すため関係式、未知数を含む演算式は、答

表 1 乗除算作問の課題系列

Table 1 Sequence for learning 1-step multiplication or division word problem by problem posing.

Lv	課題	学習内容
1	式選択	加減と乗除の演算の対応付け
2	関係式（乗算）	乗除算物語を構成する各量の持つ役割
3	関係式（乗算）	各量の役割の文章表現
4	関係式（乗算）	各量の役割の関係性
5	共通の単文	いくつ分と全部の数の表現
6	関係式（乗除）	物語構造の持つ三つの演算関係
7	関係式（乗除）	物語の構成要素について補強
8	求答式	問題はいずれかの数を未知数にして成立
9	共通の単文	3 種の求答式

えを求めるための式であるため求答式と呼ぶ。図 1 の正解となる問題を関係式で表すと、未知数を既知とし、かつ割合の三用法により、「 $8 \div 4 = 2$ 」, 「 $4 \times 2 = 8$ 」, 「 $8 \div 2 = 4$ 」の三つで表すことができる。そして求答式は課題で提示されるように「 $8 \div 4$ 」である。

### 3.2 乗除算文章題の作問の課題設計

表 1 に本研究で設計した乗除算文章題の作問課題を示す。レベル 5 までは 2. で述べた乗除算文章題の構造の学習であり、乗算のみを考えさせる課題となっているため、乗算文章題を対象とした先行研究と同様の内容の復習として位置づけることができる。乗除をとにも考えさせるのはレベル 6-9 となっている。なお、本研究では前節で述べた手続きを作問学習としており、算数文章題の組み立て活動となるため、作成するものは物語と問題としている。

レベル 1 は、実践利用の授業で乗除算を扱う導入として、同数累加によって乗算という演算の意味付けを行っている。学習者は物語と選択肢が与えられ、選択肢から、物語を表す適切な乗算と同数累加の式を一つずつ選択する。レベル 2-4 からは 3.1 で述べた形式の作問に取り組む。この際の演習イメージとしては図 1 と同様であるが、求答式ではなく関係式を制約として提示している。ただし、レベル 2 は作成すべき物語の一つの単文のみが空欄になっており、乗算の関係式が与えられている。空欄となっている単文を所与のカード群から選択することで、各量の役割を意識させる課題になっている。レベル 3 も同様の形式だが、一つの量に対して幾つかの文章表現を用意している。レベル 4 では、三つ全ての単文を空欄として、乗算の関係式に

基づいた作問を行う。レベル5ではある単文（いくつ分か全部の数）を含む物語を二つ作成する課題となっており、いくつ分と全部の数が同様の表現形式（存在文）であることを学習する課題である。例えば、「2人います」というカードを使ってかけ算のお話を二つ作ろう」とのような課題を与えられ、二つの物語を作ることになる。なお、課題ごとに単文カードは異なる。

レベル6-9は乗除算文章題の構造がどのような演算を表現しているかを学習させる段階であり、乗除算文章題の割合の三用法を取り扱っている。これらのインタフェースも、図1と同様で、左上に示す制約が異なる。レベル6では、乗除算物語が三つの数量関係をもつことを学ぶ。課題はレベル4と同様で、与えられた関係式とカード群から物語を作成することを求めるが、提示される関係式は、割合の三用法の全用法を取り扱う。そのため、「 $18 \div 6 = 3$ 」の式で計算できるお話をつくろう」とのような課題文が提示され、課題により提示される関係式は、乗算、除算（等分除）、除算（包含除）、の3種類となる。なお、等分除と包含除は共に除算なので、除算の式を与え、等分除、あるいは包含除として物語の両方を作成可能な課題も考えられる。例えば  $18 \div 6 = 3$  の場合、3を一つ分の数に割り当てると、いくつ分に割り当てるとの2通りの物語を作成可能とするような課題である。したがって作成可能な課題の種類は4種類となる。

レベル7は、ここまでの内容について十分に理解したかを確認するため、課題の制約を満たす物語を作成するための単文の一つを、「ぴったりなカードがない」という単文カードに置き換えた物語を作成させる。したがって学習者はこれまで学習した内容に基づいて、どのような単文が欠けているかを、与えられたカード群から推測する必要がある。これは学習者自身の習得した乗除算文章題の構造に基づいて行われるので、レベル6より構造を意識することを求められる演習となっている。なお、課題には上記のカードを用いずに作問できるものも織り交ぜている。上記のカードを用いること以外は、レベル6と同様の課題となっているため、課題文も「 $24 \div 8 = 3$ 」の式で計算できるお話をつくろう」とような形式となる。

レベル8からは実際に問題を作成させる。物語との差分は、問題は物語におけるいずれかの数量が未知数となったこと、これにより用いられる式が関係式から求答式になること、の2点が挙げられる。したがって演習は、求答式を制約として与え、与えられる所与の

カード群から三文を選択し、並べ替えることで制約を満たす問題を作成させる。例えば「 $12 \div 4$ 」で答えを求める問題を作ろう」とのような課題となる。よってレベル8は図1で示したものと同様のインタフェースである。

レベル9は、ある単文を用いる問題を二つ作成することで、問題の比較を行う。演習では、二つの同じ物語で、未知となる量の異なる問題を作らせるため、どの量が未知数かによって用いられる演算が異なるということを利用させる。よって課題文自体はレベル5とほぼ同様で「男の子が4人います」というカードを使って問題を二つ作ろう」とになるが、作成するものが問題2問となっていることが異なる。また、こちらでは乗算だけではなく、除算の問題の作成も必要となるため、問題を二つ作ろうという文言になっている。

レベル1-5と6-9の違いとしては、1-5ではあくまで乗算のみを扱っており、除算の関係式及び求答式は一切提示していない。また、レベル6-9は提示される物語や問題に対して、どのような演算が成り立つかを、乗除算の範囲で考えさせるものとなっている。以上により、乗除算文章題の構造と、その構造のもつ三つの数量関係について学習することのできる課題系列が作成できた。

#### 4. 開発した作問学習支援システム

開発したシステムは、課題系列に沿って演習を行う点、作成した物語・問題の自動診断を行える点、診断に基づいたフィードバックを行える点は、これまでに開発してきたモンサクン Touch 1, 2と同様である。異なっているのは、課題系列や診断の中身が、前章までで設計したものに置き換わっている点である。

システムの操作フローとしては、従来同様、システム起動後、ログイン、レベル選択、図2に示す演習画面、演習終了後にレベル選択画面へ戻る、という流れである。図2で示すメイン画面では、学習者は各課題に基づいた演習を行う。このとき、画面左にあるカードをセットする空欄の左には、一つ分の数、いくつ分、全部の数、という文字が添えてあり、各空欄に当てはめるべき量を示している。配色はそれぞれ黄、赤、青となっているが、これは今回実践を行う教員の授業方針に合わせている。

これらの空欄に、右部に与えられた所与のカード群から三つ、適切なものを選択、並び替えてセットすることで作問を行う。作成された問題の満たすべき制約

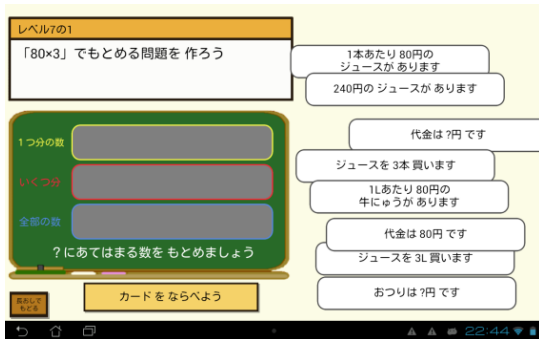


図2 モンサクン Touch 3 メイン画面  
Fig. 2 Main interface of monsakun Touch 3.

は画面左上部に記されている。作問後、画面左下部にある「カードをならべよう」ボタンが「ここをおして答え合わせ」というボタンに変わり、これをタップすることでシステムは作成された物語/問題を診断する。正解した場合には次の課題へと進むが、誤りだと、システムはその理由を学習者へとフィードバックする。フィードバックは正誤のみを指摘する Flag Feedback と、「お話に出てくる人や物をもう一度見てみましょう。絵や図を書いてごらん」といったように、誤り箇所に学習者の注意を向ける Pointing Hint を実装しており [19]、後者はレベル選択画面で ON/OFF の切り替えが可能である。なお、フィードバックの文言は、システムが診断可能な各誤りについて、現場教員が小学生向けに整えている。全ての課題に正解するとそのレベルはクリアとなり、レベル選択画面へ戻る。

## 5. 実践利用

### 5.1 実践内容

対象者は広島大学附属小学校3年生39名であり、既に乗除算文章題の学習を終えている児童たちである。この乗除算文章題の学習は、学校の教育のカリキュラムに基づき行われており、本研究の提案内容は含まれていない。実践手順は、まず、プレテストを1時限45分かけて行った。このテストは、問題解決テスト、過剰問題解決テスト、作問テストの三つであり、対象は乗除算文章題である。プレテスト後、モンサクン Touch 3 の授業利用を、1時限1レベルの進度で、表1の課題系列に沿って行っている。その後、ポストテストをプレテスト同様1時限かけて行った。

授業の基本構成としては、先行研究の実践利用と同様の形式をとっている。授業の始めで、モンサクン

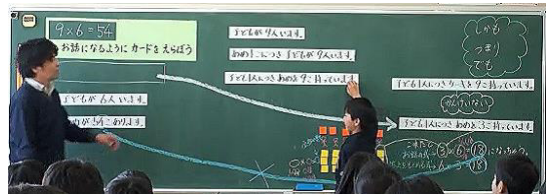


図3 黒板での作問の様子  
Fig. 3 Scene of problem-posing by blackboard.

Touch 3 上でその授業で取り扱うレベルに取り組ませ、授業で学習する内容の導入とする。次にそのレベルで学習する内容を踏まえ、物語/問題を作成する手法を教授する。この際の教授は、モンサクン Touch 3 から抜き出した課題を1問、黒板上で取り扱うもので、教師は紙と磁石で単文カードを作成し、これを教材として用いた。この様子は図3に示す。授業後、教授した内容の確認と定着のため、同レベルのモンサクン Touch 3 を利用する。なお、モンサクン Touch 3 を用いた演習時には、教師は教師用モニタリングシステムを利用して学習者への指導を行っている。

上述した授業構成はあくまで基本であり、授業の進度などの状況に応じて、システムの利用が前半のみ、後半のみの場合もある。また、システムの利用時間や教授時間についても、授業進度や教員の授業意図に応じて適宜設定される。なお、授業の後半に行うシステム利用では、被験者が該当レベルを2回クリアした場合、過去に取り組んだレベルに取り組むことを許可している。

したがって本研究では三文構成モデルとその作問演習支援システムにより、授業構成自体が問題構造を直接学習させるものへと変更されている。よって提案した作問学習支援システムとこれを組み込んだ作問学習の授業について、対象を学習中の児童にとって理解可能で、演習が問題なく行われるかを検証する。また、この授業により実現する学習効果についてもあわせて検証する。今回は、担当教員が児童や父兄に対して説明責任をもつ授業であるため、担当教員が有用と判断したこの形式で授業を行った。もちろん、モデルを用いた教授活動及びシステムのみの効果を検証することも重要であるが、こちらは今後の課題としている。

本実践利用の仮定としては、(I) 提案学習が問題なく受け入れられる、(II) 問題構造の理解が向上する、となる。(II) については、既にある程度問題構造を理解している事前テスト上位群は効果を測定できず、下

位群の成績の向上を確認できていると考えている。

授業は11時間かけて行われており、レベル4のみ3時限を費やして学習させている。この理由としては、「分ける」や「配る」といった言葉を掛け算の数量関係として捉えることが、被験者にとって困難であったことが原因と考えられる。

## 5.2 プレ・ポストテスト

試験紙には先行研究同様、三種類のテストを用いた。問題解決テストは、通常の授業で扱われる乗除算の問題解決課題と同様である。問題構成は、乗算、等分除、包含除の物語から、「いくつ分×一つ分の数＝全部の数」を除いた5種類について、各単文を未知数とした $5 \times 3 = 15$ 問となっている。この物語を除いた理由は、乗算については交換法則が成り立つためである。

情報過剰問題解決テストは、問題解決テストに解決に必要な情報を付け加えた問題となっている。このテストは付与した余分な情報を判別するために、学習者の習得した問題の構造が必要となるので、問題構造の理解を測定するためのテストとして提案されている[20]。ここでは物語ではなく、求答における全ての数量関係を対象として、求める数以外の過剰情報を追加したので、総数は12問になった。なお、問題解決テストと情報過剰問題解決テストは、プレテストとポストテストで問題の出題順序を変更している。

作問テストは、時間内に乗算、あるいは除算の問題を可能な限り作成させるテストである。こちらは10分の制限時間を設けている。解答用紙は白紙であり、被験者が自由記述するものとしている。

これらのテストについて、問題解決テストは教科書でも学習者の理解度を測るテストとして利用されている。情報過剰問題解決テストは、問題の構造に対する理解を、過剰情報の発見という形で確認できるテストとして提案されており、様々な研究者に利用されているものである。作問テストは、問題の構造を分かっているかという問題を作成できないということが知られており、本研究では継続して、問題の構造を確認するための指標の一つとして利用しているものである。またこれらのテストは順番に、より問題構造を理解していなければ高い成績を取ることができないものになっているため、本研究の効果を計測するために利用している。

## 5.3 実践結果

実践の結果から (I) 乗除算文章題を対象とした作問学習支援システムの利用可能性を、各テストの結果からシステム利用の (II) 学習効果をそれぞれ検証する。

表2 被験者全体での各テストの平均 (N = 38)  
Table 2 Score of each test at all subjects (N = 38).

	課題数	事前テスト		事後テスト		
		M	SD	M	SD	
問題解決	15	13.45	1.46	13.47	1.78	n.s.
情報過剰問題解決	12	9.76	3.17	10.53	2.69	*
作問	なし	2.29	1.54	3.11	1.56	**

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

表3 被験者全体での作問テストの各平均作問数 (N = 38)  
Table 3 Score of problem-posing test at all subjects (N = 38).

	事前テスト		事後テスト		
	M	SD	M	SD	
正答率	0.75	0.40	0.91	0.25	*
乗算作問数	1.00	0.81	1.79	1.09	*
除算作問数	1.29	1.09	0.91	0.25	n.s.

\* $p < .05$

今回の実践において一人あたり1時限平均33問の作問を行い、正答率は73%であった。このときの正答率は、(全時限で各学習者の作成した全ての問題の正解数) ÷ (全時限で各学習者の作成した全問題数) で算出している。また、1分あたりの作問数は2.8問であった。加減算の作問学習支援システムの場合は1分あたり2.8問、乗算であれば4.4問であり、従来のシステムを用いた演習と比べても遜色のない結果が得られた。したがって、今回の乗除算作問学習支援システムにおいても、活発な作問活動が行えたと判断している。

次に、被験者全体での各テストの平均と有意差を表2に示す。一名の欠席があったためN = 38である。各テストの最高点は、問題解決テストが15点、過剰情報問題解決テストが12点となっている。作問テストは制限時間内に複数の問題を作成するものなので、上限はない。表2から、クラス全体では、作問テストに有意差があり (Paired t-test,  $p = .005$ )、効果量の中 ( $|d| = .52$ ) であった。

作問テストについて、誤りも含めた正答率、及び乗算、除算の作成数を表3～5に示す。全体では正答率が75%から91%に有意に向上しており、より正確な作問が可能となっている。また、作問テストが乗算と除算の問題を作成するものであったため、乗算と除算の作成数を確認したところ、正解率に有意差があった (Wilcoxon signed rank test,  $p = .02$ )。なお、効果量

表 4 上位群における作問テストの各平均作問数 (N = 26)  
Table 4 Score of problem-posing test at high group (N = 26).

	事前テスト		事後テスト		
	M	SD	M	SD	
正答率	1.00	0.00	0.95	0.20	n.s.
乗算作問数	1.31	0.68	1.88	0.99	+
除算作問数	1.77	0.91	1.50	1.14	n.s.

+ $p < .10$ 

表 5 下位群における作問テストの各平均作問数 (N = 12)  
Table 5 Score of problem-posing test at low group (N = 12).

	事前テスト		事後テスト		
	M	SD	M	SD	
正答率	0.22	0.29	0.82	0.29	**
乗算作問数	0.33	0.65	1.58	1.31	**
除算作問数	0.25	0.62	0.92	0.90	+

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

は小であった ( $|r| = 0.27$ )。乗算の作問数にも有意差があり (Wilcoxon signed rank test,  $p = .002$ )、効果量は大であった ( $|d| = 0.82$ )。

作問テストの事前の成績で上位群と下位群に分けて検定を行った。これは作問能力の程度によって学習結果が異なると考えたためである。上位群では乗算の作成数のみ有意傾向が見られ (Wilcoxon signed rank test,  $p = .06$ )、効果量は小であった ( $|r| = .26$ )。正解率と除算について差は見られなかった。正解率については、元々の正答率が高く、これが維持されたためだと言える。また、多少の減少については、より困難な問題の作成を試みたためと捉えている。

これに対して下位群では、正解率に有意差があり (Paired t-test,  $p = 3.753e-05$ )、効果量は大 ( $|d| = 1.99$ ) であった。また、乗算の作成数は有意差があり (Wilcoxon signed rank test,  $p = .008$ )、効果量が中 ( $|r| = .54$ )、除算の作成数は有意傾向があり (Wilcoxon signed rank test,  $p = .07$ )、効果量は中 ( $|r| = .38$ ) であった。除算が有意傾向になった理由としては、演算自体が乗算より難しかったためであると考えられる。これらの結果から、上位群は効果を測定することはできなかったが、下位群については正答率及び乗除算の作成数において有意な能力の向上が確認できた。

表 6 上位群における各テストの平均 (N = 26)  
Table 6 Score of each test at high group (N = 26).

	課題数	事前テスト		事後テスト		
		M	SD	M	SD	
問題解決	15	13.77	1.24	13.88	0.99	n.s.
情報過剰問題解決	12	11.58	0.70	11.35	0.8	n.s.

表 7 下位群における各テストの平均 (N = 12)  
Table 7 Score of each test at low group (N = 12).

	課題数	事前テスト		事後テスト		
		M	SD	M	SD	
問題解決	15	12.75	1.71	12.58	2.68	n.s.
情報過剰問題解決	12	5.83	2.86	8.75	4.22	**

\*\* $p < .01$ 

表 8 上位群における情報過剰問題解決テストの平均 (N = 26)

Table 8 Average score of extraneous problem-solving test at high group (N = 26).

	事前テスト		事後テスト		
	M	SD	M	SD	
乗算正解数(Max=4)	3.81	0.49	3.73	0.45	n.s.
除算正解数(Max=8)	7.77	0.51	7.62	0.64	n.s.

作問テストは、システム上の作問とは異なり、被験者から自ら全ての要素を記述するテストである。よって単純に単文カードの組み合わせがうまくなかっただけではなく、乗除算文章題の構造の理解ができていなければ、このような効果は見られないといえる。したがって、下位群において有意差及び有意傾向が見られ、中～大の効果量が得られたことは、システムによる乗除算文章題の構造の学習効果が得られたことを示している。

問題解決、情報過剰については、天井効果があったので、上位下位に分けた分析を行った。群分けは、事前の過剰問題解決テストの平均点を基準とした。上位群は問題構造をある程度理解しているため天井効果が現れるが、下位群はそうではないと仮定したためである。この結果を、表 6, 7 にそれぞれ示す。上位群は N = 26, 下位群は N = 12 となっている。

上位群は問題解決及び情報過剰問題解決テストにおいて事前で既に天井効果が出ており、差を確認することはできなかった。表 8 に上位群の乗算、除算の成績を示す。乗算の問題は 4 問、除算は 8 問である。この

表 9 下位群における情報過剰問題解決テストの平均 (N = 12)

Table 9 Average score of extraneous problem-solving test at low group (N = 12).

	事前テスト		事後テスト		
	M	SD	M	SD	
乗算正解数(Max=4)	2.00	1.20	2.83	1.64	*
除算正解数(Max=8)	3.83	2.03	5.92	2.64	**

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

結果においても、事前で既に天井効果が出ており、差を確認することができなかった。よって作問テストの結果も踏まえると、仮定通り、問題構造をある程度理解している学習者は、今回のテストで効果を測定することはできなかった。下位群では、問題解決テストは、事前テストでは天井効果はなかったものの、有意差も見られなかった。これは既にテストで高得点をとっていたことが原因としてあげられる。過剰情報問題解決テストでは事前事後間で有意差があり (Paired t-test,  $p = .0002$ )、効果量は大きであった ( $|d| = .81$ )。事前テストでは天井効果は見られなかったため、構造理解の向上が確認できたといえる。下位群の乗算、除算の成績を表 9 に示す。下位群では、乗算が有意差あり (Paired t-test,  $p = .03$ ) で、効果量が中程度 ( $|d| = .58$ ) あった。除算でも有意差 (Paired t-test,  $p = .0002$ ) があり、効果量は大 ( $|r| = 1.13$ ) であった。この結果より、下位群に対しては乗算と除算についての問題構造の理解を向上させることが確認できた。

これらの結果から、下位群には構造理解の効果が見られたといえる。上位群に関しては、効果を測定できていないが、担当教員は該当児童の授業内における言語活動がより問題構造を明確に捉えたものに変化しているとの感触を得ており、学習に意義があったと判断している。そのため、更に次の段階に当たる複数演算の文章題に対するモデル化とシステム化、及び実践についても継続して参加している [21]。このことから、上位群に対する効果をどのように測定するかが大きな課題といえる。また、テストの結果から、クラス全体が問題構造を完全に理解するまでには至っておらず、継続した演習への取り組みや、システムのフィードバック等の改善といった課題も残っている。

## 6. む す び

本論文では、これまでに開発した加減算、乗算の作

問学習支援システムを乗除算文章題にも対応できるように拡張したこと、そのシステムの実践利用について報告した。システムの拡張では、新たに乗除算文章題における乗算と除算の関係の明示化と、乗除算文章題の構造に基づいた課題設計を行い、これらをシステムに実装した。実践利用の結果としては、テスト内容が被験者に対して容易であったものの、作問能力についてクラス全体で有意なスコアの向上が見られたこと、過剰問題解決テストにおいては成績下位群において有意なスコアの向上が見られたことが確認できた。また、上位群においては事前テストで既に天井効果が見られていたため、更にテストを工夫する必要があることも示唆された。演習自体でも、内容の教授の前後での利用として 11 時限の利用が行えたことや、先行研究との比較において活発な作問活動が行えたことが確認できた。

これらの結果より、本研究で新たに定義した構造、課題系列において、(I) 乗除算文章題を対象とした作問学習支援システムの利用が実践レベルで十分に可能であること、(II) 学習効果として作問能力の向上と、構造理解が十分でない児童の成績の改善が確認できた。したがって、作問学習支援システムの乗除算への拡張は成功したといえる。これらの結果は、本システムを用いた作問学習が学習効果をもつことを示しており、本研究の有用性は示せたといえる。更に、同様なシステム及び同様な実践結果はこれまでに報告されておらず、また、先行研究の結果から自明なものとして導いてよいものではないといえることから、本論文での報告内容は新規性をもつものであるといえる。

今後の課題としては、本実践の結果に基づいて複数の小学校において、複数の教師による実践を行っていくこと、本研究の結果の信頼性を高めることと、利用可能性を高めることが重要であると考えている。更に、試験紙を改めての課題設計やダミーカードの有効性の詳細な調査、実践で得られた演習のプロセスデータと学習者のパフォーマンス変化を関連付けたより詳細な効果の分析も必要であり、現在は先行研究となる和差の範囲で取り組んでいる [22]。また、小学校 4 年生になると複数の演算を含んだ文章題を取り扱うことになるが、これらの問題を対象とした場合、本論文で述べた単文統合型の作問を改良する必要がある、これについても既に研究を進めている [21]。

## 文 献

- [1] G. Polya, How to Solve It, Princeton University

- Press, 1945.
- [2] E.A. Silver, "Fostering creativity through instruction rich in mathematical problem solving and problem posing," ZDM-The Int. J. Mathematics Education, vol.97, no.3, pp.75-80, 1997.
  - [3] S.I. Brown and M.I. Walter, The art of problem posing, Franklin Institute Press, Philadelphia, PA, 1983.
  - [4] V. Cifarelli and J. Cai, "The evolution of mathematical explorations in open ended problem solving situations," J. Mathematical Behavior, vol.24, pp.302-324, 2005.
  - [5] A. Nakano, T. Hirashima, and A. Takeuchi, "Problem-making practice to master solution-methods in intelligent learning environment," Proc. ICCE1999, pp.891-898, 1999.
  - [6] 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, 信学論 (D-I), vol.J83-D-I, no.6, pp.539-549, June 2000.
  - [7] A. Nakano, T. Hirashima, and A. Takeuchi, "A diagnosis function of arithmetical word problems for learning by problem posing," PRICAI 2000 Topics in Artificial Intelligence, pp.745-755, Springer Berlin Heidelberg, 2000.
  - [8] 高木正則, 星野大輔, 望月雅光, 勅使河原可海, "学生が作成した問題の改善を促すピアレビューナビゲーション機能の開発と評価," 教育システム情報学会誌, vol.27, no.1, pp.87-99, 2010.
  - [9] 平井佑樹, 植山淳雄, "学習者による作問に基づく協調学習支援システムの大学の講義への適用効果," 情処学研報. コンピュータと教育研究会報告, vol.CE-98, no.2, pp.9-16, 2009.
  - [10] M. Barak and S. Rafaei, "On-line question-posing and peer-assessment as means for web-based knowledge sharing in learning," Int. J. Human-Computer Studies, vol.61, no.1, pp.84-103, 2004.
  - [11] F.Y. Yu, Y.H. Liu, and T.W. Chan, "A web - based learning system for question - posing and peer assessment," Innovations in Education and Teaching International, vol.42, no.4, pp.337-348, 2005.
  - [12] 横山琢郎, 平嶋 宗, 岡本真彦, "単文統合としての作問を対象とした学習支援システムの設計・開発," 教育システム情報学会誌, vol.23, no.4, pp.166-175, 2006.
  - [13] 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," 信学論 (D), vol.J96-D, no.10, pp.2440-2451, Oct. 2013.
  - [14] 山元 翔, 橋本拓也, 神戸健寛, 吉田裕太, 前田一誠, 平嶋 宗, "作問学習支援システム「モンサクン」への乗法の実装とその実践利用," 信学論 (D), vol.J99-D, no.2, pp.232-235, Feb. 2016.
  - [15] T. Hirashima, Y. Hayashi, and S. Yamamoto, "Triplet structure, model of arithmetical word problems for learning by problem-posing," Proc. HCI2014 (LNCS 8522), pp.42-50, 2014.
  - [16] 橋本吉彦, ほか 18 名, たのしい算数 2 下, 大日本図書, 2011.
  - [17] 橋本吉彦, ほか 18 名, たのしい算数 3 上, 大日本図書, 2011.
  - [18] 小学校学習指導要領解説算数編 (前半), [http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_icsFiles/afieldfile/2009/06/16/1234931\\_004\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2009/06/16/1234931_004_1.pdf).
  - [19] K. Vanlehn, C. Lynch, K. Schulze, J.A. Shapiro, R. Shelby, L. Taylor, and M. Wintersgill, "The andes physics tutoring system: Lessons learned," International Journal of Artificial Intelligence in Education, vol.15, no.3, pp.147-204, 2005.
  - [20] K.D. Muth, "Extraneous information and extra steps in arithmetic word problems," Contemporary educational psychology, vol.17, pp.278-285, 1992.
  - [21] T. Hirashima, Y. Hayashi, S. Yamamoto, and K. Maeda, "Bridging model between problem and solution representations in arithmetic/mathematics word problem," Proc. ICCE2015, pp.9-18, 2015.
  - [22] A.A. Supianto, Y. Hayashi, and T. Hirashima, "Visualizations of problem-posing activity sequences toward modeling the thinking process," Research and Practice in Technology Enhanced Learning, vol.11, no.14, pp.1-23, 2016.

(平成 28 年 4 月 28 日受付, 8 月 30 日再受付,  
10 月 3 日早期公開)



山元 翔 (正員)

平 20 広島大学工学部第二類情報工学過程卒業。平 27 同大学院工学研究科博士後期課程了, 現在, 近畿大学工学部助教。AR を用いた自動車の安全運転支援, タブレットを用いた特別支援などにおける学習支援に関する研究に従事。博士 (工学)。



赤尾 優希

平 26 広島大学工学部第二類情報工学過程卒業。現在, 広島大学大学院工学研究科情報工学専攻の博士課程前期に所属。



室津 光貴

平 26 広島大学工学部第二類情報工学過程卒業。現在、広島大学大学院工学研究科情報工学専攻の博士課程前期に所属。



前田 一誠

平 16 福岡教育大大学院教育学研究科卒、福岡県の公立小学校教諭を 13 年間務める。広島大学附属小学校を経て、現在 IPU・環太平洋大学次世代教育学部准教授。LINK 授業づくり研究会（学校教育研究所）を立ち上げ、理事として活動中。



林 雄介

平 10 阪大・基工・システム工学卒，平 15 同大大学院博士後期課程了，北陸先端大助手。大阪大学特任助教，名古屋大学准教授を経て，平 24 より広島大学大学院工学研究科准教授。知識モデリング，知的教育システムの研究に従事。博士（工学）。



平嶋 宗 （正員）

昭 61 阪大・工・応物卒，平 3 同大大学院博士課程了，同年同大産業科学研究所助手。同講師，九工大・情工助教授を経て，平 16 より広島大学大学院工学研究科教授。人間を系に含んだ計算機システムの高度化に関する研究に従事。工博。