

## 単文統合型作問学習支援システムの乗除算への拡張と実践利用

## Extension to the Multiplication and Division of Interactive Environment for Learning by Problem-Posing Word Problems and practice use

赤尾優希\*<sup>1</sup> 神戸健寛\*<sup>1</sup> 吉田祐太\*<sup>1</sup> 山元翔\*<sup>1</sup> 前田一誠\*<sup>2</sup> 林雄介\*<sup>1</sup> 平嶋宗\*<sup>1</sup>  
 Yuki Akao Takehiro Kanbe Yuta Yoshida Sho Yamamoto Kazushige Maeda Yusuke Hayashi Tsukasa Hirashima

\*<sup>1</sup> 広島大学大学院工学研究科  
 Graduate School of Engineering, Hiroshima University

\*<sup>2</sup> 広島大学附属小学校  
 Elementary School Attached to Hiroshima University

We have developed an interactive learning environment for problem-posing by one-step addition or subtraction arithmetical word problem that is called “MONSAKUN”. We also perform the practical use of this system for 1st and 2nd grade students on an elementary school continually. In the purpose of this research, for the 3rd grade students, we have designed and developed MONSAKUN for problem-posing by one-step multiplication or division word problems. In this paper, we introduce the system, and report the results of a practical use in an elementary school of 3rd grade students.

## 1. はじめに

問題を作ることによる学習として、作問学習が提案されている。作問学習では、学習者は解法を与えられ、その解法を用いて解くことができる問題を作る。この時、学習者は解法の適用条件を理解している必要があるため、解法の定着を図ることができると言われていた[中野 00]。しかし、ある解法から学習者が作成しうる問題は多様であるため、それぞれが作成した問題に対して個別の対応が必要となり、教授者にとっての負荷が大きく、有効な学習手段ではあるものの、実際の教育現場ではあまり実施されてこなかった。このような問題を解決するため、二項演算の算数文章題を対象とした作問学習支援環境モンサクンが開発されている[山元 13][橋本 13]。このシステムは、小学校で学ぶ四則演算のうち、加減算と乗算の範囲での作問学習を可能とするものである。これまでに小学校 1, 2 年生を対象に、継続してシステムの実践利用を行っており、学習効果も確認されている。本研究では、次の段階として、小学校 3 年生での実践利用を行うにあたり、乗除算の範囲における作問学習に対応するため、システムの拡張を目標としている。本稿では、このシステムの設計・開発と、小学校での実践について報告する。

## 2. 先行研究

モンサクンとは二項演算の算数文章題を対象とした単文統合型作問学習支援環境である。モンサクンは学習者の作問学習を支援する、モンサクン Touch と、その学習結果を集計・確認できる教師用モニタリングツール、モンサクン Analyzer からなる。

図 1 にモンサクン Touch の作問画面のインターフェースを示す。モンサクン Touch では単文統合により作問を行う。二項演算の算数文章題は、三文構成モデルにより単文を三つ統合したものとして表現される。単文とは対象(オブジェクト)、数量、述語によって構成される文章のことで、ある量の存在を表す存在文、2 量の関係を表す関係文に分けられる。このモデルにより学習者は与えられた単文を選択、組み合わせることで作問を行う事ができる[横山 07]。あらかじめ使える単文を用意しておくことで、自然言語能力を重視することなく単文の統合として作問が行え、作成された問題に対してはシステムによる自動診断・フィ

ードバックを行うことが可能となり、短時間で多くの作問量を期待することができる。

これまでに小学校低学年の学習者を対象として加減算と乗算の範囲でモンサクン Touch の実践利用が行われており、問題解決能力の向上に有効であるという結果が得られている。

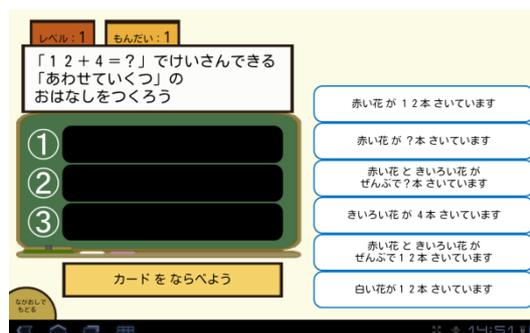


図 1 モンサクン Touch のインターフェース

## 3. 乗除算文章題の分析

システムを乗除算の領域に拡張するため、乗除算文章題について分析する必要がある。まずは乗除算の意味について確認する。小学校学習指導要領解説算数編[文部科学省 08]によると、乗算の意味は「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」とであると述べられている。また小学校の教科書[橋本 11]においても、「1 つ分の大きさがいくつ分かあるときの全体の大きさを求める計算」と表現されている。これらから乗算は「基準量(基準とする大きさ) × 割合 = 比較量(割合に当たる大きさ)」の関係を意識することが重要となる。

一方、除算の意味は「ある数量がもう一方の数量の幾つ分であるかを求める場合の計算(包含除)、または、ある数量を等分した時にできる 1 つ分の大きさを求める場合の計算(等分除)」であると述べられている。つまり除算は「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係において、割合を求める場合と基準量を求める場合の 2 つであると考えられ、割合を求める場合の計算は「比較量 ÷ 基準量 = 割合」、基準量を求める場合の計算は「比較量 ÷ 割合 = 基準量」という関係性を持つと言える。

つまり、乗除算文章題は「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係を持ち、比較量を求める場合の計算が乗算、割合及び基準

量を求める場合の計算が除算となる。ここで、それぞれの数量を求める場合の 3 つの計算方法は、一般的に割合の三用法と呼ばれている。割合を求める計算「比較量 ÷ 基準量 = 割合」は第一用法、比較量を求める計算「基準量 × 割合 = 比較量」は第二用法、基準量を求める計算「比較量 ÷ 割合 = 基準量」は第三用法とされている。

これらの関係性より、乗除算文章題もまた、三文構成モデルで表現可能である。三文構成モデルにより乗除算文章題は図 2 に示すように、基準量・割合・比較量となる数量を持つ、3 つの単文で表現される。

文章題を構成する 3 つの単文の順序、つまり基準量・割合・比較量の 3 つの数量の順序により、乗除算文章題には表 1 に示す 6 種類の物語が存在すると考えられる。文章題としては、各物語において基準量・割合・比較量のそれぞれの数量が未知数となる場合が存在するので  $6 \times 3 = 18$  パターンとなる。この中で特に、「比較量、基準量、割合」の順になっているものを第一用法物語、「基準量、割合、比較量」の順になっているものを第二用法物語、「比較量、割合、基準量」の順になっているものを第三用法物語と定義する。この 3 つの物語は、物語に沿った計算が可能であり、また、その時に立てられる式の形が割合の三用法の形となるので、乗除算文章題の基本的な物語であると考えられる。これら 6 種類の物語は、基準量・割合・比較量の 3 つの数量の順序が異なるだけであり、全て「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係を持っている。

従って、乗除算文章題の理解には、文章中に出てくる数量の順序に囚われず、基準量・割合・比較量の 3 つの数量を正確に捉え、「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係を見つけ出すことが重要となる。そこで、この「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係を捉えることを学習者が行うべき作問活動の基本とし、システム的设计を行う。

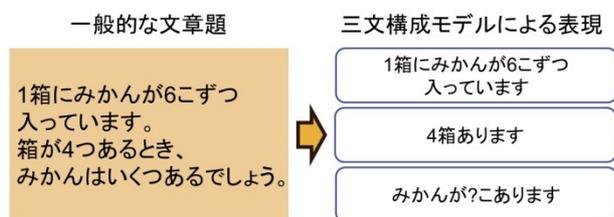


図 2 乗除算文章題の三文構成モデルによる表現

表 1 乗除算文章題の物語の種類

	1文目	2文目	3文目	
	比較量	基準量	割合	第一用法物語
	基準量	割合	比較量	第二用法物語
	比較量	割合	基準量	第三用法物語
	基準量	比較量	割合	
	割合	基準量	比較量	
	割合	比較量	基準量	

## 4. 乗除算におけるシステムの設計

### 4.1 システムの概要

本システムのインターフェースを図 3 に示す。本システムでは三文構成モデルに基づき、文章題の作成に必要な単文を操作可能なカードとして用意している。本システムでの作問学習は、学習者が提示された課題に合わせて、与えられたカードセットから適切なカードを 3 枚選択し、空欄に当てはめることにより行われる。与えられるカードセットは正解に必要なカードだけではなく、正解に不要なダミーカードを含んでいるため、課題の解決には十分な思考が必要となる。乗除算文章題の作問においては、3 つの単文の間に「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係が存在すれば、カードを当てはめる順序に関わらず文章題として成立するが、本システムではカードを当てはめる空欄の横に、「1 つ分の数」、「いくつ分」、「全部の数」と表記することで、当てはめる順序を「基準量、割合、比較量」の順に固定し、第二用法物語の形で考えさせるようにしているため、各単文の果たす役割を意識し、文章題の持つ「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係を正確に把握することが必要とされる。

### 4.2 課題設計

本システムでは、小学校 3 年生レベルでの乗除算文章題を作問課題として設定し、学習の目的及び難易度によりレベル分けを行っている。このレベル分けにより、段階的に乗除算の学習を進めていくことが可能となっている。各課題において単文を組み合わせて作問を行うが、文章中に未知数「?」を含まず単に事実関係を表しているものを「物語」、未知数「?」を含み文章題の形式になっているものを「問題」と呼ぶ。レベル 2~7 では物語、レベル 8,9 では問題の作成を課題とする。

レベル 1 では、3 つの単文で表現された乗算の物語を与え、物語に合う式を選択させる。選択肢として与える式は「基準量 × 割合 = 比較量」の形、「割合 × 基準量 = 比較量」の形、及びそれぞれの式を同数累加で表現した形、の計 4 つである。「基準量 × 割合 = 比較量」の数量関係の理解・定着を図るため、「割合 × 基準量 = 比較量」の式は誤りとしている。このレベルでは本システムへの導入、乗算の意味及び加算との対応の学習を目的としている。

レベル 2~4 では課題の条件として「 $6 \times 2 = 12$ 」のお話を作ろうのように未知数「?」を含まない具体的な数値のみで構成される問題式を与える。

レベル 2 は正解に必要な 3 文のうち、2 文を最初から与え、条件に合うように 1 文のみを選択させる課題である。このレベルでは基準量・割合・比較量の各役割の学習を目的としている。

レベル 3 はレベル 2 と同様に 2 文が与えられ 1 文を選択する課題であるが、条件に合う単文を 2 つ用意している。この 2 つの単文は言語的な表現は異なるが同じ意味を表し、どちらを使用しても正解となる。このレベルでは単文の言語的な表現に囚われず、単文の持つ意味を意識させることを目的としている。

レベル 4 は 3 文を選択することで物語の作成を行う課題で、本システムでの基本的な課題形式となる。このレベルでは 3 文構成により物語を作成し、各単文の果たす役割を正しく理解することが求められる。以降のレベルも三文構成により作問を行う。

レベル 5 では 1 つの単文を共通して使用し、物語を 2 つ作成させる。ここでは条件の式は与えず、共通して使用する単文を指定し、その単文が一方の物語では割合の役割を果たし、もう一方の物語では比較量の役割を果たすような 2 つの物語を作成させる。このレベルは同一の単文であっても、異なる役割を果たすことを意識させる課題となっている。

レベル 6 では条件として、「 $6 \times 2 = 12$ 」の式で計算できるお話をしようのように、物語中のある数量を求める場合の式を与える。1 つの乗除算物語から、割合を求める場合の「比較量  $\div$  基準量 = 割合」、比較量を求める場合の「基準量  $\times$  割合 = 比較量」、基準量を求める場合の「比較量  $\div$  割合 = 基準量」の 3 つの式を立てることができる。このレベルでは 1 つの物語から乗算と除算の式が立てられることの学習を目的としている。

レベル 7 はレベル 6 と同様の課題であるが、与えられた単文カードでは解けない課題を含んでいる。ここでは単文カードと共に「ぴったりなカードがない」と書かれたカードを与える。また、正解に必要な 3 枚のカードのうち 1 枚を抜き、解けない課題を設けている。解けない課題においては、条件に合う物語を作成するために足りないカードの代わりとして、「ぴったりなカードがない」と書かれたカードを使用することで正解となる。一方で、解ける課題において使用した場合は不正解とする。安易にこのカードを使うことが無いように、解ける課題と解けない課題はランダムに出題しており、与えられたカード内で作成できるかどうかを十分に考えさせるようにしている。このレベルでは何故条件に合う物語が作成できないのか、どのようなカードがあればよいのかを考えさせることによって、より深い物語の理解を目的としている。

レベル 8 は問題の作成を行わせる課題である。課題の条件として「 $6 \times 2$ 」で答えを求める問題を作ろうのように未知数「?」を求めるための求答式を与える。このレベルでは三文構成による問題の作成及び割合の三用法の学習を目的としている。

レベル 9 はレベル 8 の発展で、共通の単文を使って問題を 2 つ作成させる課題である。ここでは、ある「基準量  $\times$  割合 = 比較量」の数量関係を持つ場面において、異なる用法で未知数を求める問題を作成させることで、割合の三用法の理解の定着を目的としている。

### 4.3 ダミーカード

作問時に与えるカードセットは正解に必要なカードだけでなく、不要なダミーカードを含んでいる。ダミーカードは学習者が誤った考え方をした際に必要となるカードで、正解のカードからオブジェクト、数量、述語のいずれかを変更したものである。ダミーカードはその課題で学習者に考えさせたいことに応じて適宜設定しているため、種類・枚数は各課題で異なる。ダミーカードが存在することで、試行錯誤的にカードを当てはめたり、課題の条件として与えられた式の数値順にその数値を持つカードを当てはめたりすることで正解してしまうといった確率を下げると共に、学習者は正解に必要なカード・不要なカードの取捨選択を行う上で、より深い思考が必要とされるので更なる学習効果が期待できると考えられる。

### 4.4 診断とフィードバック

本システムでは学習者が作成した問題に対して診断を行う。診断では正誤判定だけでなく学習者が起こした誤りの分類を行い、誤りの種類に応じたフィードバックを行う。作成された問題に対する診断手順及び分類される誤りの種類を図 4 に示す。

誤りへのフィードバックとしては、どの箇所が間違っているかを直接指摘し、単に正解に導くのではなく、その誤りを解消するためにどのようなことに注意して作問を行えばよいかをヒントとして与え、学習者のより深い思考を促すようにしている。図 5 にオブジェクトの誤りの場合のフィードバックを示す。

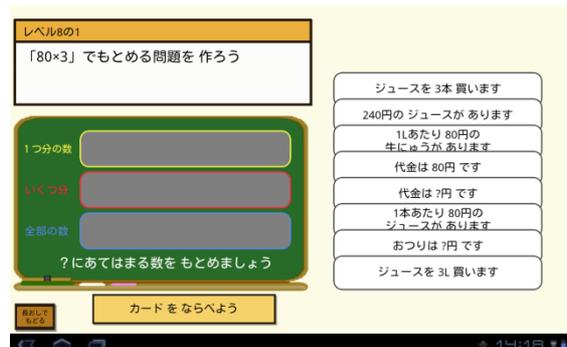


図 3 本システムのインターフェース

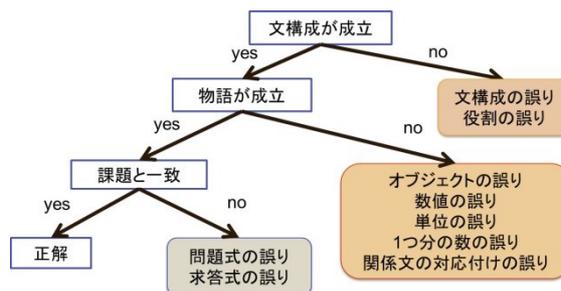


図 4 乗除算の診断手順と分類される誤りの種類

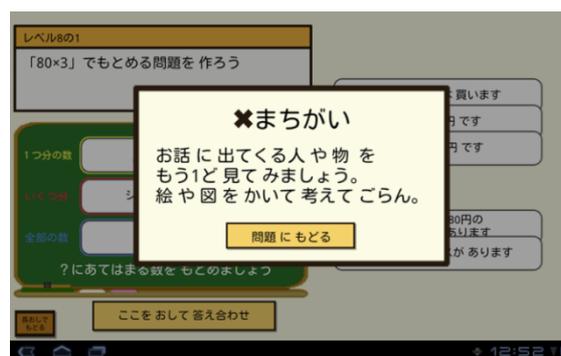


図 5 オブジェクトの誤りの場合のフィードバック

## 5. 実践利用

### 5.1 実践概要

本システムを用いて、実際に小学校の授業内で作問学習を行うことが可能であるか、本システムを利用した作問活動による学習効果の検証を行うため、実践利用を行った。実践の対象者は広島大学附属小学校の 3 年生 1 クラス(39 名)である。実践手順はプレテスト、作問授業計 11 時限(1 時限 45 分)、ポストテストである。作問授業は、教諭による一斉授業とシステムの利用で構成されており、システムは授業への導入または確認として利用され、利用時間は授業進度に応じて適宜設定している。まず授業開始後にシステムを利用し、その日の授業で扱うレベルの課題を行う。一斉授業ではシステムで扱う課題の 1 つを取り上げ議論の対象とし、黒板上で紙に書いた単文カードを用いて単文統合形式で作問の授業を行う。ここでは正解に必要な・不要なカードを取捨選択、その理由について図的表現などを用いて議論し、課題の条件に適した文章題の成立条件の確認を行う。授業の最後には確認として、もう一度システムを利用し同じレベルの課題を行う。また、本システムを利用した作問活動による学習効果の検証を行うため、プレテスト・ポストテストを実施した。

## 5.2 プレテスト・ポストテスト

本システムを利用した作問活動により、問題解決能力、構造把握能力、作問能力が向上すると仮定し、その検証を行うためプレテスト・ポストテストを行った。テストの構成としては問題解決テスト 10 分、情報過剰テスト 10 分、作問テスト 10 分の計 30 分である。問題解決テストでは教科書から抜粋した基本的なレベルの文章題を出題し、問題解決能力を測定する。情報過剰テストでは解決に必要な情報を付加した文章題を出題し、解決に必要な情報を選別し正しく文章題の構造を捉える能力、つまり構造把握能力を測定する。問題解決テストは 15 問、情報過剰テストは 12 問で構成されており、各問題において答えが正しい場合に 1 点を与える。また、プレ・ポストテストでは出題順序を変更して同じ問題を出題する。作問テストでは制限時間内で課題の条件に合う問題をできる限り作成させ、正しい作問数により作問能力を測定する。このテストでの作問方式は単文統合型ではなく、自由記述方式で行う。

## 5.3 結果と考察

本システムを利用した作問活動における学習者 1 人あたりの平均作問数とその正誤の割合を図 6 に示す。実践期間での平均作問数は 409 問、正答数は 283 問で、正答率は約 7 割であった。システムの利用時間は累計 3 時間程度であったことから、1 分あたりに正しい問題が約 1.5 問作成されており、従来の作問学習と比較しても量、質共に十分な作問活動が行われたと考えられる。

問題解決テスト、情報過剰テスト、作問テストの結果を表 2 に示す。情報過剰テスト、作問テストではプレ・ポスト間で成績が向上しており、ウィルコクソンの符号付き順位和検定(両側)を行ったところ  $p=0.0365$  と  $p=0.00446$  で有意差有りだった。効果量はそれぞれ  $|r|=0.24$ (効果量小)と  $|r|=0.32$ (効果量中)であった。問題解決テストにおいては、有意差は見られなかったが、これはプレテストの時点で既に正答率が 9 割程度であったことから、天井効果があったと考えられる。これらの結果から、本システムを用いて実際に小学校の授業内で作問学習を行うことが可能であったこと、本システムを利用した作問活動により構造把握能力、作問能力の向上が確認されたことから、本システムの有用性が示されたといえる。

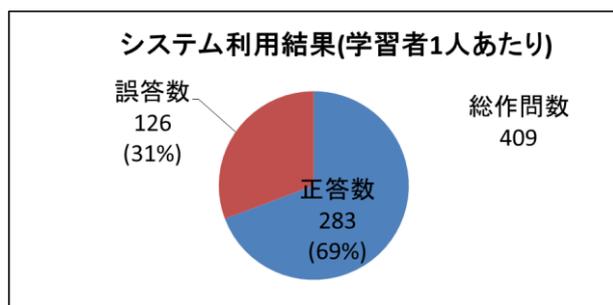


図 6 システム利用結果

表 2 プレ・ポストテスト結果

テスト	満点	プレテスト		ポストテスト		
		M	SD	M	SD	
問題解決テスト (N=38)	15	13.4	1.45	13.5	1.76	ns
情報過剰テスト (N=38)	12	9.76	3.13	10.5	2.65	$p<.05$
作問テスト (N=38)	-	2.29	1.52	3.11	1.54	$p<.05$

## 6. まとめと今後の課題

本研究では、四則演算のうち、加減と乗算の範囲の文章題のみを対象としていた作問学習支援システムを、除算を含めた乗除算の範囲の文章題に対応できるようにシステムの拡張を行った。実践利用を通し、本システムを用いて実際に小学校の授業内で作問学習を行うことが可能であったこと、テストの結果より構造把握能力・作問能力の向上が見られたことから本システムの有用性が示された。

今回の実践利用では乗除算の範囲の文章題のみを対象として課題の設計を行ったが、本研究によりシステムとしては四則演算全ての範囲での文章題の作問学習に対応可能となった。今後の課題としては、四則演算をひと通り学んだ学習者を対象とし、四則演算を混合した課題の設計を行っていく。

## 参考文献

- [中野 00] 中野明, 平嶋宗, 竹内章: "「問題を作ることにによる学習」の知的支援環境", 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J83-D-I, No.6, pp.539-549(2000)
- [山元 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", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.10, pp.2440-2451(2013)
- [橋本 13] 橋本拓也, 山元翔, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋宗: "乗算文章題を対象とした作問学習支援システムの比の三用法に基づく設計・開発", 教育システム情報学会研究報告 27(6), pp.97-104(2013)
- [横山 07] 横山 琢郎, 平嶋 宗, 岡本 真彦, 竹内 章: "単文統合による作問を対象とした学習支援システムの長期的利用とその効果", 日本教育工学会論文誌,30(4),pp.333-341 (2007)
- [文部科学省 08] "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](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2009/06/16/1234931_004_1.pdf)>
- [文部科学省 08] "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](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2009/06/16/1234931_004_2.pdf)>
- [橋本 11] 橋本 吉彦, ほか 18 名: "たのしい算数 3 上", 大日本図書株式会社,pp.47(2011)