

研究速報

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

山元 翔^{†a)} (正員) 橋本 拓也^{††}
 神戸 健寛^{††} 吉田 裕太^{††}
 前田 一誠^{†††} 平嶋 宗^{††} (正員)

Interactive Learning Environment for Posing 1-step Multiplication Word Problem and Its Experimental Use

Sho YAMAMOTO^{†a)}, Member, Takuya HASHIMOTO^{††},
 Takehiro KANBE^{††}, Yuta YOSHIDA^{††},
 Kazushige MAEDA^{†††}, Nonmembers,
 and Tsukasa HIRASHIMA^{††}, Member

[†] 近畿大学工学部情報学科, 東広島市

Faculty of Engineering, Kinki University, 1 Takaya Umenobe,
 Higashihiroshima-shi, 739-2116, Japan

^{††} 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

^{†††} 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.2015JDL8013

あらまし 筆者らはこれまでに、1回の加減で解決できる算数文章題を対象として、三文構成モデルによる作問学習支援システムを開発している。本研究では、システムを小学校2年生で学習する乗算の領域へと拡張するものであり、システムの拡張から1クラス9時限の実践利用までを行ったので、報告する。結果としては、システムを利用することで問題解決能力はあっても、構造の理解が浅い学習者に対して、構造理解を深められることを示唆する結果が得られた。

キーワード 作問学習, 三文構成モデル, 乗算文章題, 授業実践, マルチメディア

1. まえがき

筆者らはこれまでに、1回の加減で解決可能な算数文章題を対象とし、三つの単文を統合して一つの文章題を作る単文統合型作問を定式化、その学習支援システム「モンサクン」の設計・開発と、その実践利用を行っている[1],[2]。本研究では、これを小学2年生で学ぶ乗算を使って解く算数文章題の作問に拡張し、小学2年生による算数授業での1クラス9時限の実践利用まで行ったので報告する。

算数文章題における作問学習の最も重要な意義の一つは、文章題の構成要素の役割に明示的に気づくことである。本研究で用いている単文統合型の作問形式では、1回の演算で計算できる算数の文章題を(1)被演

算数、(2)演算数、(3)結果数、の三つを表す三つの文で構成するものとして定式化している[3]。加法及び減法の文章題については、これらの三文の構成は同じであり、既に定式化及びその定式化に基づくシステム作成、実践運用まで実現し、報告済みである[1],[2]。これに対して、乗算の場合は、加減とは三文の構成が異なったものとなるので、この乗算文章題の三文の定式化、それに基づくシステム開発、システムを用いた作問活動の実践、を新たに行う必要があり、これらを通して、(I)乗算文章題における作問活動の実施可能性を検証し、その(II)学習効果を調査すること、が本研究の目的となる。

学校教育では加減を小学1年生でまとめて学習することになるが、乗算はこれらとは大きく異なった演算として2年生で学習する。除算については乗算の逆演算となり、三文構成は同じとなるが、演算としての難しさがあるため、異なる学年(3年生)で教えられる。これらのことから、乗算のみを扱うことは重要な拡張と位置づけることができる。

なお、作問学習支援システムに関する筆者らの一連の研究の最大の特徴は、作られた問題のシステムによる診断(Agent-Assessment)[3]を実用レベルで実現していることである。作問学習支援システムの開発事例は既に幾つか存在するが[4],[5]、それらは作られた問題の診断を教師(Teacher-Assessment)や同等学習者(Peer-Assessment)が行うものであり、Agent-Assessmentを実現し、実践している例は他に見当たらない。

2. 乗算を対象とした作問活動の設計

2.1 乗算文章題を構成する三文

乗算文章題は、「 $\frac{1}{n}$ の数 \times n 個の数 = 全部の数」という量的な関係性をもっているとして教えられている[6]。これは、算数の文章題が、これら三つの数量を表す単文によって構成されていることを意味している。したがって、乗算を対象としたモンサクンにおいてもこれらの三つの単文の取捨選択・統合として作問活動を設計することが必要となる。

次の例を用いて三文で表現した乗算文章題を説明する。「(a)1皿当り3個のりんごがあります。(b)皿は6皿あります。(c)りんごは?個あります。」(a)が一つの量を表す文、(b)がいくつ分を表す文、(c)が全部の数を表す文となる。ここで、(b)と(c)は同じ形式の文であり、ある数量が存在することを表しているのので、本研究では存在文と呼ぶ。これに対して(a)は皿1枚当りのりんごの量という量間の関係を表現した文

となっており、これを関係文と呼ぶ。本研究では、乗算問題は、二つの存在文と一つの関係文によって構成されるものとして定式化されている。ここで、存在文は、「いくつ分」、若しくは「全部の数」を担うものであり、また、関係文がその数量を1としたときのその数量を表したものであるかを考慮することが、適切な存在文との組合せに必要となる。

2.2 乗算における作問課題の設計

前節で述べた乗算文章題を作成する課題では、学習者には作成すべき問題の満たす制約として数式を、問題を作成するための部品として複数の単文が与えられる。この単文は、正解するために必要な三文以外に、誤りを起こすための文も含まれる。これをダミーカードと呼ぶ。学習者はこの単文から三つを選択し、「一つ分の数」、「いくつ分」、「全部の数」の順番に並べ換えることで、制約を満たす問題を作成する。算数の教科書では、この順で問題を捉えることを求められるためである。この過程で算数文章題の三文の役割を理解するため、表1のような段階的なレベル設計を行った。表1では、レベル、求答式、問題式を示している。

レベル1で学習者は、前節で述べた三文の基本的な構成を学習するため、「？」を用いない、物語の形式で作問を行う。このとき学習者に提示される数式は、「 $2 \times 3 = 6$ 」のような数量関係になる。よってどの単文がいずれの役割をもつかを考えることになる。レベル2では、レベル1で学習したことを踏まえ、実際に「？」を含んだ問題式を課題として与えられ、問題を作成する。レベル3では一度に2問の問題を作成する。このとき、一方の問題作成に用いなかったカードを、もう一方では利用する可能性があるため、より単文の役割に基づいた単文の選択を要求される。レベル4、5は逆思考と呼ばれる課題であり、レベル4では、「分ける」などの割り算を想起する表現を含むが、問

題式が割り算、計算式は掛け算となる問題を作る。レベル5では、問題の表現は掛け算となるが、計算式は割り算となる問題を作る。また、レベル6、7は分配法則に関する作問である。これらのうち、レベル4までが、2年生の教科書でも取り扱われているものである。レベル5以降は、2年生の教科書には含まれていないが、担当教員はアドバンストな課題として授業において取り扱うため、対応する作問課題として用意している。なお、各レベルの課題数は10個であり、レベル3以外は1課題当たり1問の作問を求める。

2.3 乗算問題の正誤診断モデル

文章題を三文構成として表現し、それぞれの要素や役割を明確にしたことで、作成された問題の構造に基づいた正誤診断のモデルが作成できる。図1にこのフロー図を示す。作成された問題は、三つの役割、「一つ分の数」、「いくつ分」、そして「全部の数」が揃っている必要がある。もし揃っていないならば、かけ算の物語ができていないことになるため、まずはこの役割を揃える必要がある。

三つの単文が選択できていれば、次はそれぞれの単文の要素（オブジェクト、数量）の関係が適切であるかを確認する。このとき、オブジェクトと数量については共に誤りの場合もあるので、これも診断が行われる。また、単位についての学習も行わせたいということで、単位の誤りを起こす文章を追加的なものとして入れているので、単位の関係も確認する。単位はオブジェクトに依存しているため、オブジェクトと単位が同時に誤りとはならず、オブジェクトの誤りとなる。数量と単位の誤りも、数量とオブジェクトの誤りに含まれる。

以上の制約を満たしていれば、作成された問題は、正しい問題として成立している。よって、最後は学習者に

表1 乗算の算数文章題におけるレベル設計

Table 1 Levels for 1-step multiplication word problem.

| Lv | Calculation operation | Problem operation |
|----|-----------------------|--|
| 1 | | $x \times y = z$ (operation) |
| 2 | $x \times y$ | $x \times y = ?$ |
| 3 | $x \times y$ | $x \times y = ?$ |
| 4 | $x \times y$ | $? \div x = y, ? \div y = x$ |
| 5 | $x \div y$ | $? \times y = x, y \times ? = x$ |
| 6 | $x \times y$ | $(a+b) \times y = ?, (a-b) \times y = ?$ |
| 7 | $x \times y$ | $x \times (b+c) = ?, x \times (a-b) = ?$ |

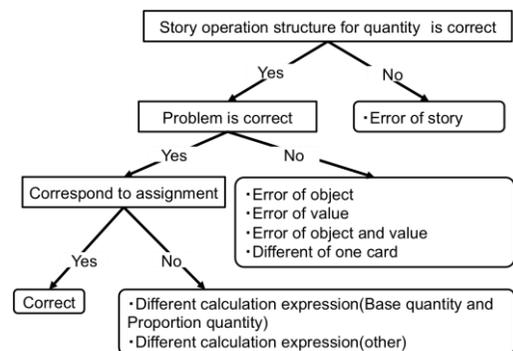


図1 乗算文章題の診断フロー

Fig. 1 Flow of assessment for multiplication word problem.

提示される課題と同様の数量関係をもつか、また、学習者は三つの役割を意識して作問を行ったかを、単文の順番によって確認する。これら全ての制約が満たされた場合、その問題は課題に対して適切な問題と判断できる。

3. 作問学習支援システム：モンサクン Touch 2

前章のモデルに基づいて開発したシステム：モンサクン Touch 2 について述べる。システムは、基本的な構成である、課題系列、診断、フィードバックを有する点は加減算用モンサクン Touch と同様だが、それぞれの処理や実装された問題群は、前章のモデルに基づき、乗算文章題のものに置き換えている。

図 2 に作問画面のインタフェースを例示する。システムは Android 3.2 で開発しており、タブレットソフトウェアとして動作する。動作確認は Acer ICONIA TAB A500 で行っており、後述する実践も同様のタブレットを用いている。

学習者は学年と学籍番号を選択してシステムにログイン後、レベル選択画面に移動する。ここで演習を行うレベルを選択すると、図 2 のインタフェースに移る。画面左上部分には、取り組んでいる課題のレベルと課題番号、そして課題文が提示されている。左中部には三つのブランクがあり、右部には単文カードが複数枚提示されている。この枚数は、課題によって変化するが、おおよそ 6~9 枚程度である。学習者はこのカードを指でドラッグすることで、ブランクへと当てはめ、作問する。問題が作成できると、左下部に設置しているカードの選択・並び替えボタンが診断ボタンへと表記が変わるので、これをタップすることで診断が行える。診断は 2. のモデルに基づいて行われ、誤りの場合にはその理由が提示される。実装されている課題数全てに正解すると、レベル選択画面に移動する。

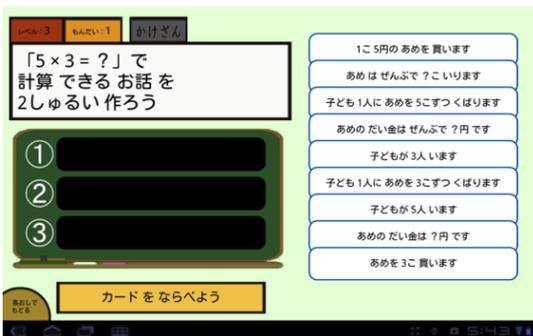


図 2 モンサクン Touch2 の作問画面

Fig.2 Interface for problem-posing on MONSAKUN Touch 2.

4. 実践利用

4.1 実践内容

実践は広島大学附属小学校の 2 年生 39 名を対象に行った。この児童らはかけ算の文章題解決の授業を終えたあと、同単元学習の一環として作問に関する授業を、モンサクンを利用しながら行った。問題解決の授業では、レベル 1-7 に相当する問題が取り扱われている。作問授業は全 9 時間かけて行われ、一時限は 45 分である。授業は 3 週間かけて行われた。基本的に 1~2 時限で一つのレベルを扱った。

一単位時間の授業の構成は、(1) 5 分程度のシステム利用、(2) 教師による黒板上での単文カードを用いた問題の構造及び作問に関する授業、(3) 5 分程度のシステム利用、である。(1) は授業で取り扱うレベルの確認、(3) では教授内容の確認と定着としてモンサクンを利用している。この際、教師は別途児童の作問状況を確認するシステムを利用して児童の作問の様子を確認し、授業内容の確認や、行き詰まった児童の支援を行っている。また、教師の授業はモンサクンと同様、単文カードとシステム中の課題を用いて行われる。これらの形式は加減算の実践時と同様である。

また、これらの授業の前後には、演習の成果を測るためのテストを実施している。事前・事後テスト間の問題の差異は、出題順の変更のみである。テストは通常扱われる文章題と同様の問題解決テスト、問題解決テストに解決に必要な情報を単文一つ分付加した過剰問題解決テスト、そして提供された単文から問題を作成する作問テストの三つを行った。問題解決テスト、過剰問題解決テストは、レベル 1-3 相当の問題を 3 問、レベル 4 相当の問題を 2 問、そしてレベル 5 相当の問題を 4 問、レベル 6, 7 に相当する分配法則に関する問題を 1 問の計 10 問でそれぞれ構成される。

作問テストは 28 個の単文を与え、4 問の問題を作成してもらうものである。このとき作成できる問題は、システムで作成可能な全ての種類の問題である。問題解決テストでは通常の問題解決能力の測定、過剰問題解決テストでは、問題の構造に基づいて解決に必要な情報の取捨選択を行うので、問題構造の理解能力の測定、そして作問テストでは作問能力を測定することを目的としている。これらのテストは紙面上で行い、結果の開示や解説は行っていない。9 時限の利用実践とその間の作問活動の様子から、2. の提案モデルに基づいた作問活動の実施可能性を、これらのテスト結果から、モデルに基づいた作問学習が学習効果をもたらす

ものであることを検証する。

4.2 結 果

今回の実践において一人当たり 1 時限平均 47 問の作問を行い、正答率は 60%であった。また、1 分当りの作問数は 4.4 問であった。加減の作問学習支援システムの場合の値は 1 分当たり 2.8 問であり、ほぼ同等であったといえ、今回の乗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。

表 2 は児童全体での事前・事後のスコアの平均と分散を示している。このとき、作問テストでは有意差が見られた (one-sample t-test, $p = .01$)。このとき、効果量は中であった ($d = .50$)。問題解決テスト (10 点満点) と過剰問題解決テスト (10 点満点) については、有意差は見られなかった。この結果を、構造理解ができていない群と、あまりできていない群が同様に扱われていたことが原因であると考え、過剰問題解決テストの平均により、成績上位群 ($N = 25$) と成績下位群 ($N = 14$) に分け、再度比較検定を行った。この結果を表 3 に示す。

結果として、成績上位群は両テスト共に有意差は見られず、点数自体もほぼ満点を維持していた。一方、成績下位群は問題解決テストでは有意傾向があり (one-sample t-test, $p = .09$)、効果量は小であった ($d = .49$)。また、過剰問題解決テストでは有意差が見られ (one-sample t-test, $p = .004$)、効果量は大

($d = 1.19$) であった。

5. む す び

本論文では、これまでに開発した加減算における作問学習支援システムを乗算へ拡張し、実践を通してその実用性と学習効果を検証した。結果として、(1) 授業前後の演習としての利用として、9 時限の利用が行えたこと、(2) 活発な作問活動が行えることが先行研究との比較において示せたこと、(3) 作問能力についてクラス全体として有意なスコアの向上が見られたこと、(4) 問題解決テスト及び過剰問題解決テストについては、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 (成績上位群においては有意な向上は見られなかったが、天井効果 (平均 + 1SD > 満点) が表れているため、更にテストを工夫することで効果を見出せる可能性がある)、がいえた。これらのことから、本研究が目的とした、(I) 乗算文章題を対象とした作問活動の実施可能性、及び (II) 学習効果、が見出せたといえ、乗算文章題における三文の定式化及びそれに基づくシステム開発による作問学習支援システムの乗算への拡張は成功したと判断している。

小学 3 年生になると、乗除算を含んだ問題が扱われることになるので、これらの問題を対象としたシステムの拡張を行う予定である。また、現在、経験的に用意している作問課題やダミーカードの体系的に用意することの必要性も認識している。

文 献

- [1] 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.4, no.23, pp.166-175, 2006.
- [2] 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.
- [3] T. Hirashima, Y. Hayashi, and S. Yamamoto, “Triplet structure, model of arithmetical word problems for learning by problem-posing,” Proc. HCII2014(LNCS 8522), pp.42-50, 2014.
- [4] 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.
- [5] 平井佑樹, 榎山淳雄, “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,” 情処学論, vol.49, no.10, pp.3341-3353, 2008.
- [6] 橋本吉彦, ほか 18 名, “たのしい算数 2 下,” 大日本図書, 2011.

(平成 27 年 6 月 12 日受付, 10 月 2 日再受付,
11 月 4 日早期公開)

表 2 全体でのプレ・ポストテストの結果 ($N = 39$)
Table 2 Result of Pretest and Posttest in total ($N = 39$).

| Test | Pretest | | Posttest | | |
|----------------------------|---------|------|----------|------|------|
| | M | SD | M | SD | |
| Problem posing | 2.54 | 0.96 | 2.94 | 0.99 | ** |
| Usual Problem solving | 8.18 | 1.68 | 8.51 | 1.38 | n.s. |
| Extraneous Problem Solving | 7.72 | 1.74 | 8.23 | 1.75 | n.s. |

** $p < .01$

表 3 成績上位群 ($N = 25$) と成績下位群 ($N = 14$) におけるテスト結果

Table 3 Result of Pretest and Posttest in high group ($N = 25$) and low group ($N = 14$).

| Test | Group | Pretest | | Posttest | | |
|----------------------------|------------|---------|------|----------|------|------|
| | | M | SD | M | SD | |
| Usual Problem solving | High group | 8.80 | 1.30 | 8.92 | 1.32 | n.s. |
| | Low group | 7.07 | 1.71 | 7.79 | 1.15 | + |
| Extraneous Problem Solving | High group | 8.84 | 0.83 | 8.60 | 1.45 | n.s. |
| | Low group | 5.71 | 0.96 | 7.57 | 1.99 | ** |

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