

児童の問題づくりを個別に促進する文章題作成 コンピュータソフト及びカリキュラムの研究開発 (Ⅶ)

— 乗除算文章題の構造的理解を指向した作問学習支援システム設計・開発実践運用 —

前田 一誠 平嶋 宗 小山 正孝 影山 和也
市村 広樹
(研究協力者) 山元 翔 赤尾 優希 室津 光貴

1. はじめに

学習者の解法の定着を促すために、問題を「解く」ことによるアプローチが一般的なものとして知られている。問題を解くことは予め解を一意に決めておけるという点で、教師による診断が容易であるという利点はあるが、必ずしも学習者に問題の理解を促すことにはならない。これについては、林らの分析¹⁾や、実際に問題解決を行える児童が、その問題を作ることができないという事実²⁾も理由としてあげられる。これに対して、作問学習という演習が提案されている。作問学習においては、学習者は提示された状況や解法に基づいて問題を作成することを求められるため、問題がどのような成立条件のもとで成立しているかを考える必要がある^{3),4)}。そのため問題の理解には非常に有効といえる。

しかしながら、通常行われる作問活動は、行うべき活動が明確なタスクとして定義されておらず、学習者は算数文章題で考えるべき情報とは異なった点で悩むこともある。例えば、問題を作るのに自転車を選ぶべきか、りんごを選ぶべきか、といったものである。

筆者らは、問題を作るという学習を対象とした学習支援システム「モンサクンTouch」を開発している^{2),5)}。このシステムは問題の作成を1つの量を表す文章(単文と呼ぶ)の選択と組み合わせとしており、これにより考えるべき情報の制限と、作問学習の診断を可能としている。システムは学習者用の演習支援システムと、そのデータ収集のためのデータベースサーバー、そして教師用の学習結果表示システムによって

構成されており、学習者用・教授者用システムはタブレットで動作が可能である。そのため、教授者は算数の授業をして、学習者がシステム上で演習を行い、システム上のフィードバックだけでは行き詰まりを感じた場合には、教師がそれを発見し、支援することができるようになっている。これまで二項演算の加減算、乗算をそれぞれ対象としたシステムは、既に開発し、通常授業で実践利用を行って、問題の理解が促進されるという結果になっている。

そこで、二項演算の乗除算で解決できる算数文章題を対象として、作問学習支援システムを開発することとした。そのため、まず算数文章題の構造分析を行い、これに基づいたシステムの機能、課題系列の設計を行う。そして、開発したシステムを用いた実践とその効果を検証する。本稿では、2節で算数文章題の構造分析、3節でシステムの設計、4節で開発したシステムの概要を説明し、5節でその実践利用とその検証について述べる。

2. 算数文章題の構造分析

2.1 二項演算の算数文章題の構造

二項演算で解決できる算数文章題は、「 $3 \times 2 = 6$ 」といった数量関係を含んでいる。

例えば、

1人あたり3個あめをもっており、人は2人います。
あめは全部で6個あります。

といった状況が挙げられる。この内、例えば「全部のあめの個数」を与えず、求める数とすることで、文章

Kazushige Maeda, Tsukasa Hirashima, Masataka Koyama, Kazuya Kageyama, Hiroki Ichimura, Sho Yamamoto, Yuki Akao, and Koki Murotsu: Research and development into computer software to create story problems to promote the individual development of children (VII) — The Creation of an Interactive Learning Environment to Pose Multiplication or Division Word Problems for Promoting the Understanding of Problem Structures and their Practical Use —

題は成立する。このような文章題は、二つの量とその二つの量の関係の量を表しているものであり、次の三つの文章としても表現できる。

1人あたり3個あめをもっています。

人は2人います。

あめは全部で?個あります。

これら一つ一つの文章は一つ一つの量を表現したものとされており、本研究ではこれを単文と呼んでいる。それぞれの単文は、量と、その量は何の量かを表すオブジェクト、そして述語で構成される。また、この単文は二つの量の存在と、その二量の関係を表す量がある。上記の問題の場合は、「人は2人います」と「あめは全部で?個あります」が「人」と「あめ」の量の存在を示している。これを存在文と呼ぶ。そして「1人あたり3個あめをもっています」の単文は、「人」と「あめ」の量の関係を表している。これを関係文と呼ぶ。これらの役割は、述語によって設定される。二項演算の算数文章題のこのような構成を、三文構成モデルと呼ぶ⁶⁾。

本研究ではこのモデルを用いて、加減乗除の演算における算数文章題の定義と、作問学習の実現を行っている。

2.2 乗除算における算数文章題の構造定義

二項演算の算数文章題は三文構成モデルにより表現されるので、乗除算の算数文章題の構造もこのモデルに基づいて定義される。乗除算の文章題において、それぞれの単文は異なった役割の量を含んでいる。まず関係文は二量の関係を表し、かけ算においては基準の量として設定される。これを基準量という。次にこの基準量がいくつつ存在するかを表したものを、割合という。そして基準量がある割合存在した結果の量を、比較量という。これらの役割は、日本の学習指導要領や教科書でも述べられるものであり^{7),8)}、それぞれの量の役割が異なっていることは一般的にも知られている^{9),10)}。

つまり乗除算の算数文章題には、「基準量」、「割合」、「比較量」の三つの量が含まれており、基準量は関係文、割合と比較量は存在文によって表される。これらの量は関係付けられることで数量関係を表し、次の三つとして表現される。

比較量 ÷ 基準量 = 割合

基準量 × 割合 = 比較量

比較量 ÷ 割合 = 基準量

これらは日本では一般的に比の三用法としても知られているものであり、上から順番に、第一用法、第二用法、第三用法とも呼ばれる。これが各々の問題を表

現する数量関係であり、乗算と除算を区別するための物語を表している。したがって学習者が乗除算の文章題を理解しようとするならば、文章題から各々の単文を見だし、量の役割を決定し、そしてそれらを適切に関係づけることが求められる。

本研究ではこれらの要素を学習者が認識し、適切に関係付けて理解できるようになることを、乗除算文章題の構造的な理解ということとする。

3. 構造に基づいたシステムの設計

3.1 単文統合型の作問

本研究で実現する作問活動は、三文構成モデルに従い、単文を組み合わせる形式で行う。概要図を図1に示す。学習者は課題として解法を、そしてその解法に沿った問題を作成するためのカード群が与えられる(図1中の所与のカード群)。なお、図1は既に学習者が解答した後のものを示しており、左三つの単文が回答となる。この回答例は正解を示す。また、乗除算ではどの単文を何の量と捉えているかが重要となるので、どこにどの量の単文を置くべきかを指定するため、「基準量」を「1つ分の数」、「割合」を「いくつつ」、「比較量」を「全部の数」として表現している。したがって学習者はこの問題を作成するために、いずれの数も何の量とみなすかを考慮する必要がある。このように与えられた課題にそって、与えられるカードの選択と組み合わせとして行う作問活動を、単文統合型の作問学習と呼ぶ。

この手法により作問学習という活動を、与えられたカードの組み合わせと並び替えという形に作問学習を簡易化している。また次節で説明するが、作成された問題の診断をシステムティックに行うことも可能にする。しかしながら、学習として考慮すべき要素は簡易化されていない。単文という形式でオブジェクト、数量、述語、そして各々の量といったものは一文にまとめられているが、それらの関係付は行われていないためである。その点は学習者が考えるべき部分として保持されている。

また、単文ごとに表現しているのはそれぞれ考慮す

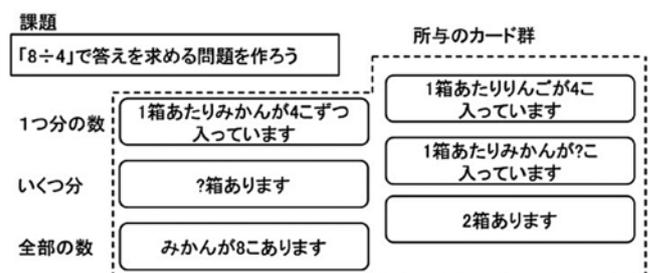


図1 乗除算文章題の単文統合型の作問

べき要素を個別に並べているだけであり、もし学習者が総当たりでこの関係付けを行うのであれば、6枚のカードが与えられた場合には、作成可能な問題数は ${}_6P_3 = 6 \times 5 \times 4 = 120$ 通り存在し、その内の1つが正解となる。しかし実際に学習者はそれだけの回数演習を行っているわけではなく、ある程度の予測を立ててカードの取捨選択を行っている。このように、あるカードから作成可能な問題を、予測を立てて考えることができる演習となっているため、与えられた情報から解を求める問題を解決することよりも深く考えることのできる演習となっている。また各量の認識とその組み合わせの考察が行えるため、算数的な問題の理解のための要素は保持されているといえる。

3.2 作成された問題の診断

通常の作問活動では、学習者は自然言語の記述として問題を作成するため、その問題の診断はほぼ不可能である。そのため多くの場合、作成のプラットフォームが用意され、共同学習者による診断が行われている^{11), 12)}。しかしながら、単文統合型の作問において、作成された問題はシステムティックに診断可能である。これは、オブジェクト、数量、述語の構成として表現された単文の組み合わせを作問としているので、これらの要素の組み合わせの正しさとして問題の評価が行えるためである。

診断は主に三つの段階に分けて行われる。その概要図は図2として示す。文構成の診断、物語の診断、課題との一致診断の三段階である。これらの診断は基本的には2節で述べた問題の構造にしたがって行われる。まずは文構成の診断について述べる。これは二つ存在する。一つは、存在文二つと関係文一つから問題文が成立しているか、ということである。もう一つは、基準量に関係文、割合と比較量に存在文が割り当てられているかである。これらが成立していない時、システムはその点についてフィードバックする。

次に物語の診断について述べる。基本的な構成が適切であれば、オブジェクトなど各単文カードの構成要素の診断を行っていく。これは四つある。一つ目はオブジェクトの誤りで、問題に含まれるオブジェクトの対応が不適切な場合に指摘される。例えば、「1冊あたり300円の本」といった場合、「本の冊数」と「本の値段」があればよいが、ここで「本の重さ」を問題に含めれば、それはオブジェクトの誤りとして診断される。数値の誤りは、数量が計算不可能な値にならないかどうかを診断する。例えば、「1冊あたり300円の本がある」、「本の金額は1000円」、「何冊あるか」としてしまうと、本の冊数が適切ではなくなる。次に単位の

誤りは、「1冊あたり300円の本」が正解の時に、「kg」や「cm」という単位が与えられる場合である。最後は関係文の対応付けの誤りであり、「基準量」を「1冊あたり300円の本」といった時に、「割合」を「3000円」、「比較量」を「何冊かの本」とした場合、これは割合と比較量のオブジェクトが逆になっている。このように「割合」と「比較量」として提示される量が「基準量」で記述される関係と一致しない場合、関係文の対応付けの誤りとしてフィードバックされる。

最後に課題との一致診断について述べる。問題が成立すれば、最後はそれが課題にあったものになっているかを確認する。例えば図1で正解として示した問題の場合、計算上答えを求める式は、課題で提示されている「 $8 \div 4$ 」となる。しかし、問題をそのまま表現すれば、それは「 $4 \times ? = 8$ 」となる。これらをそれぞれ関係式、求答式と呼んでいる。課題では求答式が提示される場合と、問題式が提示される場合の二通りがあるため、誤りをこのように分類している。

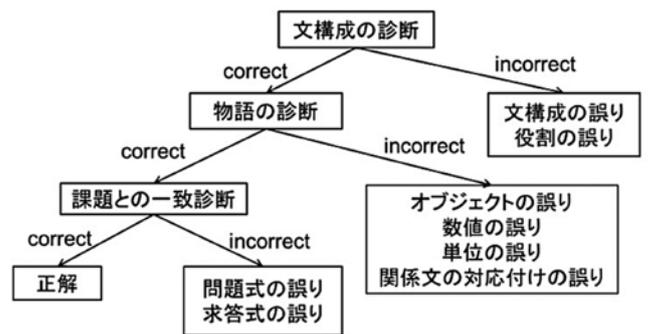


図2 作成された乗除算文章題の診断フロー

3.3 本実践で行った課題設計

2節で述べた問題の構造を習得するために、表1で示すような課題系列の設計を行った。課題系列は、「基準量×割合=比較量」の関係を中心に設計している。しかしながら、課題設計の議論は基本的には2節で述べた問題の構造に基づいて行われている。表1はレベル番号、課題の内容、そのレベルにおける課題数で構成されている。

まずレベル1では、学習者はかけ算の物語と、四つの数式を与えられる。数式は4種類あり、適切なものを二つ選ぶことを求められる。例えば「 $2 \times 3 = 6$ 」と、「 $2 + 2 = 6$ 」というようなものである。これは学習者に乗法と加法の関係を理解させることを目的としている。次にレベル2では、学習者は課題と、一つだけカードの埋まっていない物語、そしてカード群を与えられる。課題はある数量関係の物語を作ることを求めるものであり、学習者は適切な物語を作成するために、

どのカードが空白部分の量(例えば基準量)を表すカードであるかを回答する。これにより、それぞれの単文の役割について学習させることを目的としている。

レベル3では、レベル2と同様に、学習者は課題と1文抜けた問題、カード群を与えられる。ただし正解は2通り存在し、同じ役割の量でも、文章表現の異なる単文を二つ入れている。これは例えば「割合」の場合、「2箱あります」と「箱が2こあります」のようなものである。これは言語的な表現によらず、単文のもつ役割が決定されることを学習させることを目的としている。

レベル4では、学習者は物語を作成する課題と、カード群のみを与えられる。これにより、学習者は、レベル2, 3で学んだ内容に基づいて、一から物語の作成を行う。したがって特定の役割を持った単文を選択するのではなく、自ら各々の単文に対して役割を設定し、それを適切に関係付けて並び替えることが目的となる。

レベル5では、学習者は課題とカード群を与えられ、二つの物語を作成することを求められる。この二つの物語は、同じカードを用いた物語になるようにカード群を設定している。例えば、「バラが8本あります」という単文を用いる問題としては、「1本あたり500円のバラがあります。バラが8本あります。バラは400円です」という問題と、「1人あたり2本のバラがあります。大人が?人います。バラは8本あります」という二つの問題である。これらは同じ単文を用いているが、それぞれ割合と比較量という量の役割を担っている。このように、同じ表現の単文でも、異なった量の役割を持つことを考えさせることが目的となっている。これは割合と比較量がともに存在文であるために考えるべき点となっている。

レベル6では、ここまでのレベルでは乗法の数量関係のみを課題として提示していたが、除法の数量関係も取り扱い、物語を作成させる。形式はレベル4と同様で、課題とカード群を与えられる。これにより、わり算の数量関係を取り扱わせることが目的である。

レベル7も課題とカード群を与えるところは同様である。ただし、カード群には課題を作成できるカード群と、作成できないカード群の場合があり、後者の場合は「ぴったりなカードがない」というカードを用いて、足りないカードを埋め合わせる形で作問を行わせる。

レベル8では問題を作成させる。与えるものは、課題とカード群であるが、これまでと異なり、課題は数量関係ではなく、答えを求めるための式となっている。ここでは問題とはいずれかの数が未知となった物語であることを考えさせる。

最後にレベル9では、レベル5が物語作成から問題作成になったものとなる。

以上の課題系列を通じて、学習者は2節で述べた問題構造を段階的に習得していく。

表1 本実践演習で用いる課題系列

レベル	課題の内容	課題数
1	与えられた物語の数式を選択	12
2	課題に合う物語を作成 正解の2文は与えられているので1文のみの選択	12
3	レベル2と同様の形式 ただし表現の異なる同じ役割の単文カードを2枚用意	12
4	課題に合う物語を作成	10
5	共通の単文カードを用いて2つの物語を作成	10
6	課題に合う物語を作成 除算の式も課題として与える	12
7	レベル6と同様の形式 解決できない課題も含む	12
8	課題に合う問題を作成	12
9	レベル5と同様の形式 ただし作成するものは問題	12

3.4 モンサクンMonitoringの設計

学習者のデータを可視化するシステムの設計には、提示すべき情報、その範囲、提示情報のフィルタリングの三つを考慮している。まず提示すべき情報としては、3.2節の診断を用いている。学習者システムの保持する情報としては、作成した問題と、その診断結果のみである。よって提示できる情報は、診断結果から、正誤数と各々の誤りの数、作成した問題からは作問活動のログが挙げられる。

次にこれらの情報をどの範囲で提示するかだが、授業で利用することを考え、授業単位、学習者単位の二通りがある。また、フィルタリングについては、レベル分けが行われているので、レベルごと、課題ごとにデータを整理できることが適切だと考えた。

4. 乗除算を対象とした単文統合型作問学習支援システム：モンサクンTouch 3

4.1 学習環境のフレームワーク

図3に、学習環境のフレームワークを提示する。学習環境は三つのシステムから成り、それぞれ学習者の作問支援、演習データの収集、教師への学習結果の提示のためのシステムとなっている。まず学習者用システムはアンドロイドアプリとして、ネイティブ言語であるアンドロイド用JavaSEで開発している。これをモンサクンTouch 3と呼ぶ。また、ここでの演習データはネットワークを通じてデータベースサーバーへと送られる。RDBMSはMySQLを用いている。ここで

は学習者ごとの演習の正誤数、そして3.2節で説明した各誤りの数、実際の演習ログを格納している。これはモンサクンServerと呼んでいる。モンサクンMonitoring 3はモンサクンServer上に設置されているものであり、PHPとJavascriptを用いてweb上で動作するシステムとして開発している。システムは格納されたデータをグラフの形式などを用いて可視化し、教師に提示可能なものになっている。

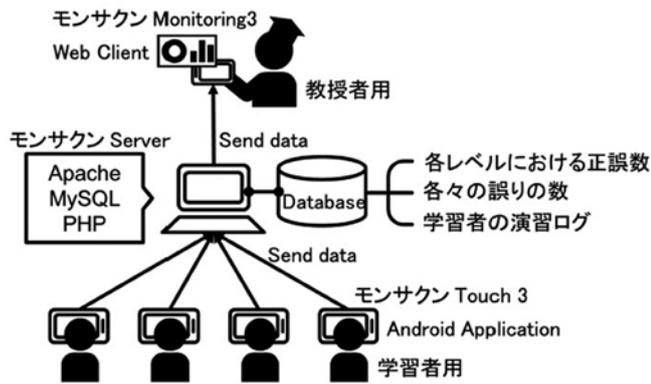


図3 モンサクンTouch 3のフレームワーク

4.2 モンサクンTouch 3の概要

モンサクンTouch 3の基本的な操作としては、まず学習者は学年、組、番号を入力することでログインを行う。次にレベルの選択画面が提示されるので、適当なレベルを選択すると、図4に示すような演習画面が提示される。

ここで学習者は3.1節で述べたような演習を行う。左上には現在のレベルと課題番号、課題文が与えられている。その下に三つのプランクがあるが、学習者はここにカードをセットする形式で問題を作成する。右に与えられているのは作問のための単文カード群である。

学習者が全てのカードをセットし終わると、「カードをならべよう」が「ここをおして答え合わせ」とい

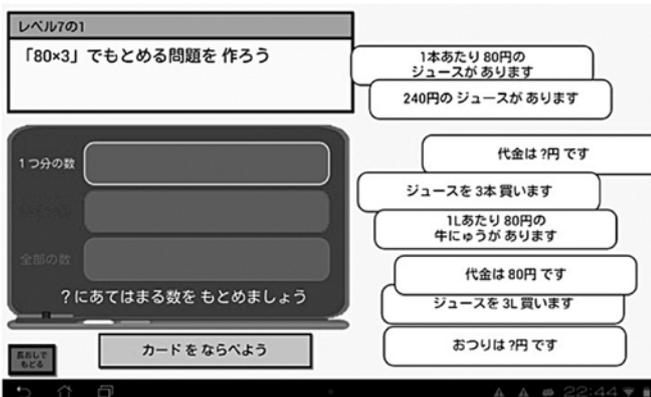


図4 モンサクンTouch 3の演習画面

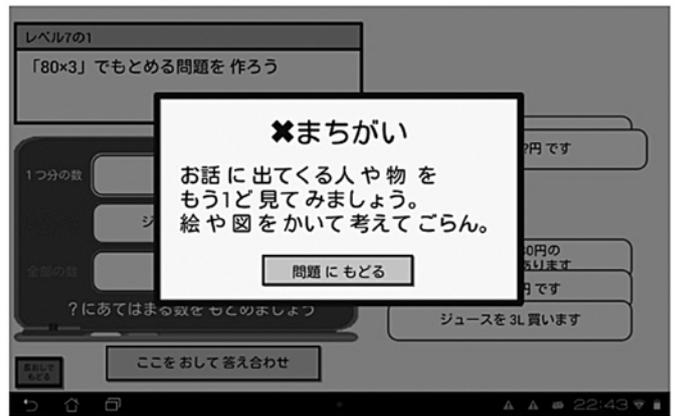


図5 モンサクンTouch 3のフィードバック画面

うボタンに変わり、正誤診断が行える。正解すると次の課題へ、誤るとその理由をシステムはフィードバックする。フィードバックの例は図5に示す。フィードバックは正誤のみを指摘するFlag Feedbackと、誤り箇所に学習者の注意を向けるPointing Hintを実装しており¹³⁾、後者はレベル画面でON/OFFの切り替えが可能である。全ての課題に正解するとそのレベルはクリアとなる。

4.3 モンサクンMonitoring 3の概要

モンサクンMonitoring 3の基本操作、及び提示データについて述べる。システムはモンサクンTouch 3を用いて演習を行う学習者の演習状況をリアルタイムで更新・提示することが可能なものである。

システムはログイン後、図6に示す画面を提示する。ここでは利用者の担当学級を選択することができ、その後、図中に示すグラフが提示される。このグラフは青色の線で区切られた四角が1つの単位となってお



図6 モンサクンMonitoring 3の授業ごと確認画面

り、授業ごとに羅列される。1つの授業ごとに示される情報は、授業の年月日、学習者全体の平均到達課題(例として、レベル5-5)、平均正誤数、各誤りの割合となる。平均正誤数は左の棒グラフで表され、緑が問題の作成数、青色がその内の正解数、赤色がその内の誤り数を表している。また各誤りの割合もそれぞれが色分けされ、タグ付きで円グラフとして表示されている。これらのデータはレベルごと、課題ごとに閲覧することも可能である。また、課題の正誤数はレベルごと、課題ごとに、棒グラフでその推移を確認することも可能となっている。この画面へは、「成績の推移」リンクを押すことで、授業ごとに確認可能である。

授業ごとの成績提示機能は主に次の授業の構築に利用するものであるといえる。システムの提示する情報により、教師は授業ごとに成績が向上しているか、どの課題に対して行き詰まっているか、フォーカスを当てた誤りは克服されているか、といった情報を確認できるからである。

また、正誤数や誤りの割合、到達レベルなどは学習者ごとのデータも確認することができる。これは授業ごとの画面にある、各々の授業の「生徒別に見る」のリンクを選択することで移動できる。その場合は、その授業における学習者ごとの成績が一覧として表示される。このデータも同様に、レベルごと、課題ごとに絞り込んでの閲覧が確認可能である。また、成績の推移についても学習者ごとに確認可能である。また、リンクから図7に示すようなログを一覧することも可能である。このログも、レベルごとのログに制限することができる。

学習者ごとの成績・ログ提示機能は主に授業中、学習者がシステムを利用しているときに利用するものである。この提示情報を用いることで、教師は各学習者の平均到達課題、誤り数と正解数を確認できる。これ

により、普段成績の良くない学習者や、前回成績が悪かった学習者にフォーカスを当てて、正解数は変わらず誤りが増えていないか、到達レベルが停滞していないかといった情報から、行き詰まりを確認することができる。これにより行き詰まっている学習者を発見することができる。次に誤りの内訳や、直近のログから学習者の誤りの原因を考察し、直接的な支援を行うことが可能である。

5. モンサクンTouch 3の実践利用

5.1 実践の設計

広島大学附属小学校3年生39名を対象にして実践した。この中には、過去の実践でモンサクンを利用して群も半数含まれる。彼らは加法・減法と乗法のモンサクンを利用している。また、利用手順としては、まずプレテストを1時限行い、次にモンサクンTouch 3の実践利用を3.3節で述べた課題系列に沿って行った。1時限ごとに1つのレベルを扱った。そして最後に、ポストテストを1時限行った。

モンサクンTouch 3を用いた授業は、基本的には、その時限で扱うレベルにおいてモンサクンTouch 3を利用し、授業でそのレベルにおいて考慮すべき事項を踏まえた作問法を教授、再度確認のためにモンサクンTouch 3を利用する。モンサクンTouch 3の利用は、教授状況に応じて前半だけ、後半だけ、の場合もある。また、システムの利用時間も、授業進度や教員の授業意図に応じて適宜設定される。授業の最後に行う作問演習では、児童は同じレベルを二回クリアすると、過去に取り組んだレベルに取り組むことを許される。この授業は11時限をかけて行われた。理由としては、レベル4の取組み時に、「分ける」や「配る」といった言葉を乗法として捉えることに被験者(児童)が困難を示し、3時限を費やしたためである。

試験紙については、問題解決テスト、情報過剰問題解決テスト、作問テストの三つを行っている。問題解決テストは通常の授業で扱う問題を三文構成モデルで表したものである。問題は比の第一用法、第二用法、第三用法の問題から、「割合×基準量=比較量」を除いた5通りの物語を扱い、更にそれぞれの量が未知数の場合を設定し、 $5 \times 3 = 15$ 問を用意した。上述の関係を除く理由は、交換法則が成り立つからである。

情報過剰問題解決テストは、この問題解決テストと同様の形式の問題に、問題解決に必要な余分な情報を付け加えた問題である。この情報を判断するには、問題の構造を理解する必要があるため、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¹⁴⁾。ここでは全ての数量関係を対象として、求める数以外



図7 モンサクンMonitoring 3のログ確認画面

の過剰情報を追加したので、総数は12問になった。

最後に作問テストは、制限時間内でかけ算、あるいはわり算の問題をできる限り作成させるものであり、10分間で行わせた。この時、問題は自由記述させている。各々のプレテストとポストテストの違いは、問題の出題順序のみである。

この演習の仮説は、(1) モンサクンTouch 3を用いた演習が問題解決能力及び作問能力を向上させるものであること、(2) 過去の実践でモンサクンを経験している群は構造をより理解していること、(3) 構造理解が不十分な児童に対して有効であること、の三つである。以下では、これらについて実践の結果を分析し考察する。

5.2 実践の結果

それぞれのテストにおけるモンサクン経験群 (N=18) と非経験群 (N=20) で分けたスコアを表2に示す。

表2 各テストのスコア

テスト	経験の有無	プレテスト		ポストテスト	
		M	SD	M	SD
作問	有	2.50	1.57	3.56	1.42
	無	2.10	1.45	2.7	1.52
問題解決	有	13.61	1.34	14.28	0.80
	無	13.30	1.52	12.75	2.05
過剰問題解決	有	10.83	2.14	11.38	0.76
	無	8.80	3.54	9.75	3.40

表3 各々のテストの二要因分散分析結果

(a)作問テスト結果

要因	SS	df	MS	F	
経験群×非経験群	7.47	1	7.47	2.28	n.s.
プレ×ポストテスト	12.98	1	12.98	9.19	**
交互作用	0.98	1	0.98	0.70	n.s.
全変動	190.04	75			

(b)問題解決テスト結果

要因	SS	df	MS	F	
経験群×非経験群	16.02	1	16.01	4.56	*
プレ×ポストテスト	0.06	1	0.06	0.05	n.s.
交互作用	7.01	1	7.01	5.32	*
全変動	196.88	75			

(c)過剰問題解決テスト結果

要因	SS	df	MS	F	
経験群×非経験群	63.88	1	63.88	4.54	*
プレ×ポストテスト	10.74	1	10.74	5.63	*
交互作用	0.74	1	0.74	0.39	n.s.
全変動	651.41	75			

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

す。また、表3には二要因分散分析による解析結果を示す。作問テストでは、経験群と非経験群の間に有意差はなかった。しかしながら、プレ・ポストテスト間では有意差があり (p=.005)、効果量も中であった ($|\eta^2| = .07$)。

問題解決テストにおいては、交互作用があったため、主効果の分析を行った。その結果、ポストテストにおいて経験群と非経験群に有意差があった (F(1, 36) = 3.193, p=.008)。

最後に、情報過剰問題解決テストでは、経験群と非経験群に有意差が見られ (p=.04)、効果量は中であった ($|\eta^2| = .10$)。また、プレ・ポストテスト間にも有意差が見られ (p=.02)、効果量は小であった ($|\eta^2| = .02$)。また、過去の分析同様⁵⁾、被験者をプレの情報過剰問題解決テストの平均点で上位群 (N=23) と下位群 (N=15) に分け、スコアについて検定を行った。その結果、下位群にはプレ・ポストテストで有意差が見られた (p=.003)。また、効果量も大であった ($|r| = .53$)。上位群では有意差はなく、これは天井効果が見られたためであるといえる。

5.3 結果の考察

結果について、上述の三つの仮説に沿って考察を行う。まず、(1) モンサクンTouch 3を用いた演習が問題解決能力及び作問能力を向上させるという仮定について述べる。作問テストではそれまでのモンサクンの経験の有無にかかわらず、ポストテストにおける問題作成数が向上した。そして問題解決テストにおいては、プレ・ポストテスト間には有意差はなかった。しかし、ポストテストにおける点数は、モンサクンを経験したほうが高く、プレテストでこの差がないことを考えると、モンサクンを経験している方が問題解決能力の向上が見込めるといえる。

次に、(2) 過去の実践でモンサクンを経験している群は構造をより理解しているという仮説について述べる。情報過剰問題について分析を行った結果から、全体的なテストの点数が伸びているにも関わらず、モンサクンを経験している方が、構造理解能力が高いことが示された。このことから、モンサクンを利用することは構造理解に有効であり、継続して利用することで効果はより高いということが明らかになった。

最後に、(3) 構造理解が不十分な児童に対して有効であるという仮説について述べる。情報過剰問題の構造理解の程度として、プレテストの成績で上位群、下位群に分けて各々で検定を行ったところ、下位群の成績が向上していた。この結果から、あまり構造が理解できていなかった群については、それを改善する効

果があることが示された。

6. まとめと今後の課題

筆者らは作問学習を対象として、そのインタラクティブ支援システムの開発を継続して行っている。また、これらのシステムは授業を踏まえて開発されており、継続して実践授業も行っている。これまで加法・減法、乗法と取り組んできたので、今回は乗法と除法を併せた乗除算を対象としてシステムを設計・開発した。

本稿では、二項演算として解決できる乗除算の算数文章題を対象とした構造分析と、その構造に基づいた作問学習支援システムの診断・課題設計について述べ、開発したシステム、そしてその実践結果について報告した。

結果としては、モンサクンTouch 3は問題構造を理解するために有用なシステムであり、継続して利用することでより高い効果が得られた。また、そのシステムは問題構造の理解が不十分な児童に対して有効であることも確認できた。

今後の課題としては、情報過剰問題解決テストで、事前から点数の高かった被験者への効果の検証や、加減乗除を含んだ算数文章題の作問学習支援システムの設計・開発に取り組むことが考えられる。

参考文献

- 1) 林雄介, 山元翔, 平嶋宗 (2013) 算数文章題における物語の構造分析, 先進的学習科学と工学研究会, 68, 7-12.
- 2) 山元翔, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋宗 (2013) 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.
- 3) Polya, G. (1945) *How to Solve It*. Princeton University Press.
- 4) E.A. Silver, J. Cai (1996) An analysis of arithmetic problem posing by middle school students. *Journal for Research in Mathematics Education*, 27(5), pp.521-539.
- 5) Sho YAMAMOTO, Takuya HASHIMOTO, Takehiro KANBE, Yuta YOSHIDA, Kazushige MAEDA, Tsukasa HIRASHIMA (2013) Interactive Environment for Learning by Problem-Posing of Arithmetic Word Problems Solved by One-step Multiplication, *Proc. of ICCE2013*, pp.51-60.
- 6) Tsukasa HIRASHIMA, Yusuke HAYASHI, Sho YAMAMOTO (2014) Triplet Structure, Model of Arithmetical Word Problems for Learning by Problem-Posing, *Proc. of HCI2014(LNCS 8522)*, pp.42-50.
- 7) 橋本吉彦, ほか18名 (2011) たのしい算数3上, 大日本図書株式会社, p.47.
- 8) 文部科学省 (2008), 小学校学習指導要領解説 算数編, 東洋館出版社 http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2009/06/16/1234931_004_2.pdf
- 9) Vergnaud, G. (1983) Multiplicative Structures. *Acquisition of mathematics concepts and processes*, pp.127-174.
- 10) Greer, B. (1992) Multiplication and Division as Models of Situations, *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning*, pp.276-295.
- 11) Fu-Yun Yu (2009) Scaffolding student-generated questions: Design and development of a customizable online learning system, *Computers in Human Behavior*, 25(5), pp.1129-1138.
- 12) 平井佑樹, 樋山淳雄 (2008) 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, 49(10), pp.3341-3353.
- 13) Vanlehn, K., Lynch, C., Schulze, K., Shapiro, J. A., Shelby, R., Taylor, L. and Wintersgill, M. (2005) The Andes physics tutoring system: Lessons learned, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 15(3), pp.147-204.
- 14) Muth K.D. (1992) Extraneous information and extra steps in arithmetic word problems, *Contemporary educational psychology*, 17, pp.278-285.