

## 単文統合型作問学習支援システムの利用効果の問題構造把握の観点からの評価

神戸 健寛<sup>†a)</sup> 山元 翔<sup>†</sup> 吉田 祐太<sup>†</sup> 林 雄介<sup>†</sup>  
平嶋 宗<sup>†</sup>

Evaluation of Problem Structure Comprehension as Effect of Learning by Sentence Integration Problem-Posing

Takehiro KAMBE<sup>†a)</sup>, Sho YAMAMOTO<sup>†</sup>, Yuta YOSHIDA<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開発し、このシステムを利用した算数授業を実践的に行っている。本研究では、このシステムを用いた作問学習の効果として期待される、算数の文章題の構造的把握の度合いの測定を、作問学習を行ったグループとそれ以外、及び作問能力が高いグループとそれ以外、の比較において行ったので報告する。算数の文章題を構造的に把握していれば、問題に関する部分的な情報から残りの情報を予測できるであろうと仮定し、算数の文章題に関するプライミングテストを作成・実施した。結果として、作問学習を行ったグループが行わなかったグループより高いスコアを示し、また、作問に関して高い能力を示している場合においても、作問学習の効果が高かったことが示された。

キーワード 作問学習, 和差文章題, 学習効果, 予測的理解

## 1. ま え が き

問題を解くのではなく作ることによる学習方法を作問学習と呼ぶ。作問形式の一つである解法ベースの作問では、与えられた解法からその解法を用いる問題を作成させる学習により、解法の定着を期待できる [1]。この学習方法は有効な手段であると言われているにもかかわらず、実際の教育現場ではあまり行われていない。これは一つの解法から複数の正しい問題を作成することが可能であるために、教授者は学習者に対し個別支援が必要となるからである。この問題を解決するため、我々は和差の文章題を対象とした作問学習を支援する、単文統合型作問学習支援システム「モンサクン」[2]~[4]の開発を行ってきた。本システムでは、1回の四則演算で解ける文章題を、それぞれ一つの数量を表現する三つの文（単文）で構成されるとモデル化

した上で、学習者に与えた単文から必要なものを取捨選択し、並べさせることで問題を作成させるといった単文統合型の作問を採用している。この作問方法は、文章題解決過程において最も重要な過程である統合過程 [5] の理解に焦点を当てつつ、各単文を生成する過程（変換過程に相当）を単純化している。そのため低学年の児童に対しても作問学習を用いた授業が可能となるとともに、作問学習自体の意義も保つことが可能であると考えられている。

これまでの作問学習支援の研究においては、情報構造指向 [6] に基づいた文章題構造の分析と文章題構造の指導手法の議論が主であった。本システムを用いた実践によって、3文構成モデルに基づいた文章題構造を指導するための環境構築は達成することができている。また、児童の問題解決能力の向上を確認できていることから、単文統合による作問学習が問題解決の場面において有効であるといえる。

本研究では、問題解決能力としての学習効果の議論だけではなく、児童が問題構造を捉えているかを考察することによって、作問学習による学習効果をより具

<sup>†</sup> 広島大学大学院工学研究科, 東広島市  
Graduate School of Engineering, Hiroshima University,  
Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan  
a) E-mail: kanbe@hiroshima-u.ac.jp

体的に確認することを研究目的としている。これまでも、算数の文章題を解決する際に、キーワードベースで捉えている児童と構造ベースで捉えている児童がいるとの観測は既に行われているが [7]、作問学習は構造ベースで捉えることを促進すると期待できる。

そこで本論文では、児童の文章題構造理解を分析するため、文章題構造理解を直接的に問うことのできる課題とその課題を実施するシステムの開発及び算数授業での利用とその結果分析を行ったので報告する。本研究が提案する文章題構造理解の測定のための課題は、単文統合型作問 [8] の基本モデルとなる 3 文構成モデル [9] における「予測的な物語理解」が可能である特徴を用いて作成されたものである。予測的な物語理解とは文章題を構造的に捉えているならば、物語の一部が与えられたとき、物語を成立させるために必要な残りの単文を予測可能な性質のことである。本研究ではこの性質を用いたテストを作成し、児童間における文章題構造理解の差分を明らかにすることで作問学習支援システムを用いた作問学習による学習効果の説明を行う。2. にて本研究が対象とする和差文章題の分析、3. にて分析に基づいて開発を行った作問学習支援システムの概説、5. にて 3 文構成モデルの考察（予測的な物語理解の詳細）を述べ、6. にて児童間の文章題構造理解の差分を出す実験手法の提案、7. にて実験・分析の結果を報告し、8. で全体をまとめる。

## 2. 和差文章題の分析

小学校低学年では和差の文章題は以下のような 2 項演算の足し算・引き算を解法とする問題が扱われ、指導が行われている。

つばめが 5 わ とんでいます  
カラスが 4 わ とんでいます  
あわせて なんわ ですか？

このような 2 項演算で解決可能な文章題は「合併、増加、減少、比較」の 4 種類の物語のどれかに属している [10]。更に比較物語に関しては超過物語と不足物語の二つに分類することができる。各物語は数量を表す文（存在文）と数量の関係を表す文（関係文）によってできており、2 項演算で解答可能な文章題は存在文二つ関係文一つを合わせた三つの文によって成り立っていると考えられる。この構造を文章題の 3 文構成モデルと呼び、このモデルに基づいて文章題の分析を行う。3 文構成モデルにおける存在文と関係文を我々は単文と呼んでいる。単文の構成要素として

表 1 物語構造  
Table 1 Story structure.

Combine Story 合併	Part existence sentences 部分存在文	Part existence sentences 部分存在文	Combine relation sentences 合併文	Random order
Increase Story 増加	Original existence sentences 変化前 存在文	Increase relation sentences 増加文	Changed existence sentences 変化後 存在文	order
Decrease Story 減少	Original existence sentences 変化前 存在文	Decrease relation sentences 減少文	Changed existence sentences 変化後 存在文	
Exceed Story 超過比較	Exceed existence sentences 優量存在文	Less existence sentences 劣量存在文	Exceed relation sentences 超過比較文	Random order
Less Story 不足比較	Exceed existence sentences 優量存在文	Less existence sentences 劣量存在文	less relation sentences 不足比較文	

「オブジェクト」「数量」「述語」の三つが存在し、例えばオブジェクトを「りんご」、数量を「3」、役割を「存在」とした場合、実際の単文としては「りんごが 3 こあります」となる。単文一つだけでは量の意味が決定せず、単文の組み合わせによって文章題全体の物語と各単文の意味が決定される。四つの物語において単文のもつ意味がそれぞれ異なっており、物語がもつ単文の組み合わせとその意味をまとめたものが表 1 の物語構造である。例えば合併の物語であれば、あるオブジェクトの量を示す部分存在文二つと、合併の数量関係を示す合併関係文の組み合わせによって物語が成立している。存在文は一般的な文章題表現とは異なり、構造における役割を一意に決定できるような修飾を取り除き、どのような物語においても用いることができるものとなっている。

また、物語間の性質として、合併・増加の物語は足し算の数量関係を持ち、減少・比較の物語は引き算の数量関係をもつ。3 文構成モデルを用いることにより、物語に出てくる数量のうち一つを未知数としたとき、その物語は未知数を求める文章題と定義することができる。この定義に従うことで 2 項演算を解法とする和差文章題は全て物語を基準にして説明することが可能となる。

以上のように 3 文構成モデルに基づいて文章題を単文形式に表現することが可能であり、逆に言えば単文統合によって問題を作成することが可能であるといえる。次章にてこのモデルに基づいて開発された単文統合による作問学習支援システムの概要について述べる。

### 3. 単文統合型作問学習支援システムモンサク Touch

2. で行った文章題の分析により、算数の文章題は三つの単文で表現が可能であった。我々は単文統合型の作問学習を支援するシステムとして「モンサク touch」[4]の開発を行っている。以下、このシステムの概要について述べる。

本システムは学習者に対して作成すべき問題の条件及びその問題を作成するのに必要な単文群を与え、学習者は与えられた条件を満たすように三つの単文を取捨選択・並び替えを行うことによって作問を行う。本システムのインターフェースを図1に示す。この例では、「 $12 + 4 = ?$ 」で立式可能な「あわせていくつ（合併）」の問題を図中右側の単文群を用いて作成させる課題となっている。学習者は三つの単文を取捨選択後、図中左のスペースに単文を当てはめ、図中下部にある診断ボタンを押すことによって正誤判定及び誤り原因の診断を受けることができる。単文統合型作問における一つの単文には、オブジェクト（対象物）、数量、述語（単文の意味）の情報が含まれており、システムは、学習者が並べた三つのカード各々の情報を用いて、問題自体が成立しているかどうか、また、問題が成立している場合でも課題条件にあっていないかどうかを判断する。この機能によって、学習者が作成した問題の自動診断が可能である。診断機能によって学習者は誤り原因のフィードバックを受けることができ、教授者の負担のために実施困難であった作問学習を授業の中に取り入れることが可能となった。また、システムはタブレット上に実装されており、一般教室内で黒板による授業の中に組み込んで使用できるものとなっている。

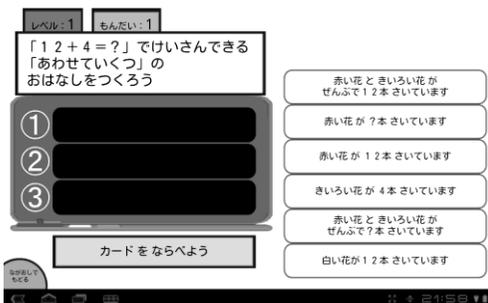


図1 モンサクの作問画面  
Fig.1 Screenshot of Problem-Posing.

### 4. 実践授業の考察と課題

#### 4.1 実践結果の考察と課題

モンサクを用いた作問授業実践が行われ、一連の授業の結果、児童の作問能力の向上を確認することができている[11]。しかしながら、作問活動を行うことによって身についた作問能力が、実際に児童の問題構造把握に関係していることをこれまでの研究では説明できていなかった。問題解決能力が高いにもかかわらず、作問能力の低い児童がいることもこれまでの実践から分かっており、これら児童と作問能力の高い児童との差分についても考察できていないといった問題点があった。

#### 4.2 研究目的

算数文章題の作問学習における一連の研究において、我々は児童が文章題を構造的に捉えるようになることが作問活動による学習効果であると位置づけており、文章題の構造に対する理解度を測定可能にすることは重要な課題である。そこで文章題の構造を直接的に問うことができ、更に作問能力との関連を分析することの可能なテスト手法を考案し、実施することが本研究の目的である。この目的を達成するため、3文構成モデルのもつ「予測的な物語理解」が可能である特徴を利用して児童間の文章題構造理解の差分を出す手法を考案し、実験を行った。次章ではまず3文構成モデルの特徴に関する考察について述べ6., 7.にて実験の詳細を述べる。

### 5. 3文構成モデルに対する考察

2. で和差における算数の文章題が三つの単文で表現することが可能であることを示したが、児童間の文章題理解についての差分を明らかにするため、このモデルに対する更なる考察を行う。3文構成モデルでは文章題は四つの物語に分けられ、この物語が文章題の構造を決定づける大きな要因であった。単文形式で文章題を表現し、その物語に着目した場合、物語を構成する単文が与えられるにつれ、物語として成立するために必要な残りの単文の範囲が決定されていくといった性質がある。この性質を「予測的な物語理解」と呼ぶ。以後は単文形式の物語に出てくる単文の順に第1文、第2文、第3文であるとして考察を進める。図2は物語の第1文が存在文である場合に、物語を成立させるために必要な第2文、第3文が取りうる単文の範囲をまとめたものである。第1文が存在文であったとき、

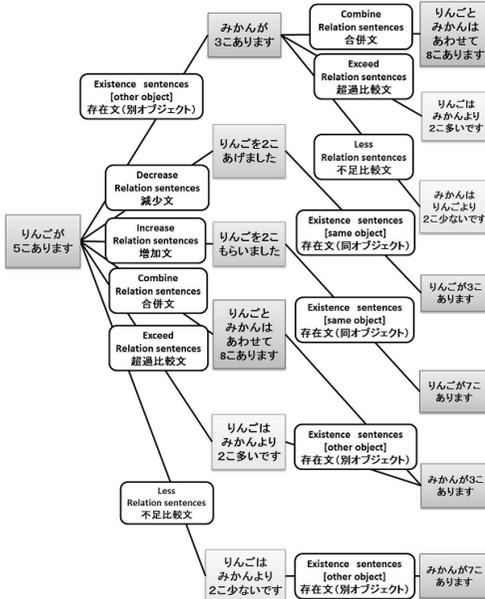


図2 3文構成モデルに基づく予測的理解

Fig. 2 Forecast based on Triplet Structure Model of Arithmetical Word Problems.

次に取りうる単文は「別オブジェクト・存在文」「同じオブジェクト・増加文」「同じオブジェクト・減少文」「1文目のオブジェクトを含む合併文」「同じオブジェクトを含む超過比較文」「同じオブジェクトを含む不足減少文」の6種類となる。このうち、第2文が関係文であった場合は第3文が一意に決定されるが、第2文が存在文であったときには第3文に「合併文、超過比較文、不足比較文」の三つの関係文がとりうる可能性がある。第1文が関係文である場合においても同様に考えることができる。これらをまとめると、物語中の第1文若しくは第2文中に関係文が含まれている場合には第3文の単文を特定することが可能であり、その他（第1文、第2文が存在文）の場合には一意に第3文を決めることができない。

上記の性質の具体例として合併の物語を挙げると、「りんごとみかんをあわせて8こあります」「りんごが3こあります」といった二つの単文が与えられた段階で、物語を成立させるために必要な残りの単文は「みかんが5こあります」と決定でき、第3文に当たる単文を予測することが可能である。

もし学習者が3文構成モデルの物語構造を理解しているのであれば、物語の一部（第1文、第2文）から第3文を予測することが可能であると考えられる。こ

の予測を予測的な物語理解と呼ぶこととし、次章からは物語の予測的理解が可能であるかどうかを測定するテストの内容及び、このテストを用いた児童間の文章題構造理解の差分を明らかにする実験の報告を行う。

## 6. 実験手法

### 6.1 研究仮説

本研究の目的は作問能力の能力差が文章題構造の理解に関係しているかどうかについて調査することであった。そこで作問能力の高い児童は文章題を構造的に捉えることができているとの仮説を立て、その仮説が正しいかどうかを判別するためのテスト手法の考案、実験参加者間の要因についての分析を行った。児童の問題構造理解のテストの作成、実験参加者間の要因として作問テストを用いることとした。詳細については次節から順に説明を行う。

### 6.2 プライミングテスト

3文構成モデルにおいて、物語の一部（第1文と第2文）が与えられたとき、単文が予測可能かどうか決まっていた。この予測的な物語理解を問う、プライミングテスト[12]手法を利用する。このテストは物語を与えたときに文章題の成立を「はい」「いいえ」の2択で選択させ、その正答率と解答速度を測る課題である。物語の成立を問う課題となっているため、単純に出てくる数値に演算を行うだけではなく、どのような物語が構成されているかについても考慮する必要がある。よってこのテストにおいて実験参加者は問題の成立条件、つまり問題構造について把握していなければ正確かつ速く解答することが出来ず、学習者の文章題のもつ物語の構造の洗練度を問うことができる課題となっている。

2文をあらかじめ与えておく方法としては先に第1文、第2文を実験参加者に与えた後、一定時間後に第3文を表示する形式をとっている。この課題を実験参加者に行わせるため、タブレット端末を用いた算数文章題プライミングテストを行うシステムの開発を行った。以下プライミングテストをPT、PTを行うためのシステムをPTシステムと呼ぶ。PTシステムのインターフェースを図3に示す。画面上には物語の第1文と第2文が最初に与えられている。二つの単文を与えてから一定時間プログレスバーが増加し、最大となった段階で第3文を与えると同時に解答ボタンを表示する。システムは学習者の正答率と解答にかかった時間を集計し、ログに取ることが可能である。

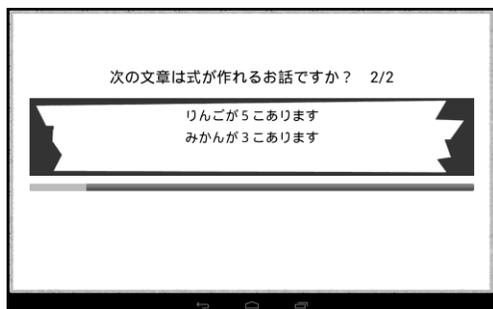


図3 PTシステムのインターフェース  
Fig.3 Screenshot of PT system.

実際にPTシステムで使用した課題を表2にまとめている。課題の種類・数としては、第1文及び第2文が存在文である物語を用いた予測困難課題3問（合併(No.13)、超過比較(9)、不足比較(2)）第1文または第2文が関係文である物語を用いた予測可能課題5問（合併(3)、増加(6)、減少(7)、超過比較(10)、不足比較(11)）の計8問である。予測可能課題に関しては第1文に関係文を含む場合と第2文に関係文を含むパターンを考えることができるが、PTシステムでは第1文に関係文を含む物語のみを採用している。また、成立する物語のみではテストとして機能しないため、物語が成立する文章から数量とオブジェクトを変化させ、物語として成立しない文章（ダミーの文章）を五つ(No.1, 4, 5, 8, 12)用意した。これらを加えた全13問が本実験で用いた課題である。表2の色をつけているものが物語の成立する単文群であり、その他は物語の成立しないダミーの単文群である。ダミー単文群においても、最初の2文と第3文の整合性が取れないだけであり、それぞれについては正しい組み合わせが存在するものとなっている。これは実験参加者が、物語が成立していないと判断する手法としてキーワードベースの解法用いることによっても判断可能な場合があるため、本実験の目的とは反する可能性があるからである。また、この物語の種類や難易及び正誤が順番から予想できないように、規則性のない配置をしている。

### 6.3 作問テスト

筆者らの行っている作問学習支援システムに関する研究では、過去4年間の実践利用の際に、様々な種類の問題を作ることができる単文を番号付きで児童に提示し、その番号を組み合わせることで問題を作られる、といった課題を作問能力を測るテストとして用いてきた。このような形式課題を用いているのは、低学年の

表2 PTシステムで用いた物語  
Table 2 Stories used in PT system.

No	First sentence	Second sentence	Third sentence
1	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります	りんごはみかんより 2こ少ないです
2	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります	みかんはりんごより 2こすくないです
3	りんごとみかんが あわせて8こあります	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります
4	りんごが 5こあります	りんごを 2こもらいました	りんごが 3こあります
5	りんごはみかんより 2こすくないです	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります
6	りんごが 5こあります	りんごを 2こもらいました	りんごが 7こあります
7	りんごが 5こあります	りんごを 2こあげました	りんごが 3こあります
8	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります	りんごはなしより 2こすくないです
9	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります	りんごはみかんより 2こおおいです
10	りんごはみかんより 2こ少ないです	りんごが 5こあります	みかんが 7こあります
11	りんごはみかんより 2こ多いです	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります
12	りんごはみかんより 2こおおいです	りんごが 5こあります	みかんが 7こあります
13	りんごが 5こあります	みかんが 3こあります	りんごとみかんが あわせて8こあります

児童の場合、児童に文を考え、書かせる形式の作問では、一つ一つの文を考えたり、それを字として書いたりすること自体に多大の労力がかかってしまい、作問能力を測るテストとして不適切であるとの筆者の一人である担当教諭の知見に基づいて提案されたものである。児童に提示する単文群を表3に示した。

作られる問題の形式は三文構成モデルに従っているものの、作問演習とは、(1)式や物語などの作問の際の条件提示がない、(2)多くの数の問題を作ること求めている、(3)提示している単文の数が多い、といった点異なっており、三文構成モデルを前提とした作問能力を測る手段の一つとして使えると判断している。

表 3 作問テストに用いた単文群  
Table 3 Sentence used in Problem-Posing-Test.

1. りんごが 5こ あります.
2. りんごが 3こ あります.
3. りんごが ?こ あります.
4. みかんが 5こ あります.
5. みかんが 3こ あります.
6. みかんが ?こ あります.
7. りんごとみかんが あわせて 5こ あります.
8. りんごを ?こ もらいました.
9. りんごを 3こ もらいました.
10. りんごを 3こ たべました.
11. りんごを ?こ たべました.
12. りんごは みかんより 3こ おおいです.
13. りんごは みかんより ?こ おおいです.
14. りんごとみかんが あわせて ?こ あります.
15. りんごを 5こ もらいました.
16. りんごを 5こ たべました.
17. りんごは みかんより 5こ おおいです.

この作問テストは時間制限のもとで可能な限り問題を作ってもらふ形式とし、採点基準としては問題の作成数ではなく、より多くの種類の物語構造を生成できたかどうかによって判断することとした。この採点基準は実験参加者に対して全く説明を行っていない。実験参加者に与える単文群のみで、文章題の構造のうち「合併、増加、減少、比較」の四つの物語が作成可能であり、物語各々に対して順思考、逆思考問題を生成できるため、最大で8種類の問題を生成することが可能となっている。

なお、この作問テストを行うこと自体がある程度の学習効果をもたらす可能性があるが、小学生に関しては全ての児童が平等にこのテストを受けていることと、児童が受けた作問演習の授業（1年前に9時限、2年前に9時限、1時限45分）と比べてテスト時間は20分と十分に短いことから、今回の効果検証の結果に影響を与えるようなことはないかと判断している。

#### 6.4 実験手順

前節までに説明を行った二つのテスト手法を用いて作問能力と文章題の問題構造の把握についての関連を分析するため、大学生に対する実践と児童に対する実践の二つの実験の計画を立て、実験を行った。

まず大学生に対する実験であるが、これは本研究で分析を行った3文構成モデルの正当性を確認するもの

である。構造的に文章題を捉えていると考えられる大学生において、3文構成モデルに基づいた文章題理解がなされているかを明らかにするため、PTシステムを用いた実験を行った。一方児童に対する実践であるが、これまで述べたように作問能力が文章題に対する構造的な理解に関係があるかどうかを分析するため、作問テストとPTを行うこととした。具体的な対象、実験手順は次章で詳しく説明する。

## 7. 実 験

### 7.1 大学生に対する実験手順

文章題を構造的に捉えられているのであれば、PTの予測可能問題において第3文が予測可能であるため、予測困難問題に比べ速く解答することが仮説として挙げることができる。この仮説を検証するため、大学生による実践を行った。実験参加者は情報系大学生49名である。この実験参加者には、最初にモンサクンを用いて順思考問題・逆思考問題をそれぞれ作成する活動を行わせ、暗黙的に問題構造に関する理解を再確認してもらった。その後PTを実施しこの結果の分析を行っている。

### 7.2 大学生に対する実験結果・分析

大学生に対するPTシステム実験の分析結果について報告する。大学生に対する実践で明らかにしたいことはPTにおける予測可能課題と予測困難課題の時間差分であった。予測可能課題と予測困難課題は三つの単文の組は同じであるが3文の並びのみが違っている。Riley & Greenoの研究[13],[14]では物語の種類での難しさに関する議論は行われているが、文の順序による難しさに関しては議論されていない。一方、小学校で使用されている算数教科書中には様々な文の順序をもつ物語（問題）が扱われていることを確認できる。本研究における文章の並び順による物語の分析については新規性があるものであると考えている。

そこで予測可能課題と予測困難課題との解答時間の平均値をt検定によって比較を行ったところ、 $(t(47) = -10.6, p < .05, d = 1.84)$ となり、予測可能課題のほうが予測困難課題に比べ、有意に解答時間が短くなっていることが分かった。この結果から、物語の第3文を予測することが可能であったといえ、本研究が提唱する3文構成モデルの妥当性は説明できたとはいえる。

### 7.3 小学生に対する実験手順

前節に続いて小学生に対する実験を行った。本実験

の目的は、作問能力の差によって算数文章題における構造理解の差分を取り出すことであった。この目的を達成するために作成した作問テスト、PT システムを利用する。実験対象は小学校 3 年生 2 クラスの児童 76 名である。本小学校は 1 学年に 2 クラスあり、1 年生時に和差文章題（全 9 時限、1 時限 45 分）、2 年生時に積文章題（全 9 時限、1 時限 45 分）のモンサクンによる作問授業を行ったクラスがある。1 年前にクラス替えが行われ、現在は作問学習経験者が混合したクラスとなっている。この作問活動経験を実験参加者間要因とし、作問テストと PT を実施した。作問テストの時間制限は 20 分とし、思いつくだけの問題を作ってもらった。その後小学校教諭の説明の後、PT システムの練習を行ってもらい、課題内容を理解した上で PT システムを実施した。詳しい分析及び考察については次節で述べる。

#### 7.4 小学生に対する実験結果・分析

本実践によって明らかにしたいことは作問能力と文章題に対する構造把握能力の関係であった。まず、大学生同様に 3 文構成モデルに基づいて文章題が理解可能であるかどうかについて分析を行った。

PT における予測可能物語と予測困難課題の平均解答時間の差分を片側の t 検定によって比較したところ、 $(t(135) = -3.35 p < .05 d = 0.55)$  となり、予測可能問題の平均解答時間が有意に予測困難課題よりも短いことがわかった。この結果より小学生の児童においても同様に物語の一部から第 3 文を予測可能でき、3 文構成モデルに基づいた理解が行われているといえる。なお、正答率は 92% であり、ほぼ間違えなかったといっている。正答率を分析には用いていない。また、解答時間が 0.5 秒以内で、操作ミス若しくは理解せずに適当に解答したと考えられるデータ（1 件）は外れ値として分析からは除いている。

この結果を受け、次のような二つの仮説を立て、その分析を行った。

（仮説 1）PT の予測可能課題と予測困難課題において、作問能力の高い群及び作問経験のある群は課題間の解答時間差が大きい。（物語の予測が可能）

（仮説 2）PT において予測可能課題に着目したとき、作問能力の高い群及び作問経験のある群は解答時間における成績が高い。（解答時間が短い）

仮説検証のための分析を行う際、実験参加者を「作問学習支援システムを利用した学習者であるかどうか」、「作問テストの成績の高低」の 2 要因で 4 群に分

表 4 群間の人数分布

Table 4 Number of people distribution between group.

Unit :people (単位 : 人)	Group studied by Problem-Posing (作問経験有)	Group did not study by Problem-Posing (作問経験無)
High score in Problem-Posing test (作問高成績)	24	9
Low score in Problem-Posing test (作問低成績)	12	30

けた。作問テストの成績の群分け手法は作問テストの平均解答率 ( $\mu = 0.52$ ) を利用し、実験参加者を上位群下位群の 2 群に分割している<sup>(注1)</sup>。このとき上位群の成績は作問テストの 8 種類中 5 種類以上問題を作成した児童に当たる。この児童は少なくとも四つの物語のうち一つは順思考と逆思考の問題の両方を生成できている。文章題に対して構造的に理解している可能性が高いと考えられることから、妥当な群分けであるといえる。本節で述べた四つの群の人数分布は表 4 に示す。

まず仮説 1 に関する分析について述べる。予測可能課題と予測困難課題の合計解答時間の比較を行った。予測可能課題と予測困難課題の両方が存在している、合併・超過比較・不足比較の物語に着目し、それぞれの解答時間の差分の合計時間を全ての解答時間で正規化（差分を合計解答時間で割る）した値を用いて分散分析を行った。正規化を行った理由としては、学習者ごとに解答時間の絶対量にばらつきがあるため、予測可能課題及び予測困難課題間でどの程度解答時間が短縮されたかを相対的に比較するためである。この正規化した値を予測差分と呼ぶこととする。予測差分に関して分散分析を行ったところ、作問学習支援システム利用経験と作問成績の 2 要因に関して交互作用が見られたため、 $(F(1, 71) = 5.41 p < .05 \eta^2 = 0.07)$  更に下位検定を行ったところ、以下の二つが明らかとなった。予測差分の各群の平均値は表 5 に示す。

(1) 作問テスト上位群において、作問学習を行った群は、行っていない群よりも有意に予測差分が大きい。 $(F(1, 71) = 4.78 p < .05 \eta^2 = 0.063)$

(2) 作問学習を行った群において、作問テスト成

(注1)：高低の群分けを中央値を使った場合の分散分析も行っているが、仮説に対する結果は同様であったので本論文では割愛する。

表 5 群間の予測差分平均値  
Table 5 Mean of difference time between group.

	Group studied by Problem-Posing (作問経験有)	Group did not study by Problem-Posing (作問経験無)
High score in Problem-Posing test (作問高成績)	0.281	0.085
Low score in Problem-Posing test (作問低成績)	0.092	0.191

表 6 群間の PT 成績平均値  
Table 6 Mean of PT score between group.

Unit :ms (単位 : ms)	Group studied by Problem-Posing (作問経験有)	Group did not study by Problem-Posing (作問経験無)
High score in Problem-Posing test (作問高成績)	9558	14857
Low score in Problem-Posing test (作問低成績)	17773	15227

績上位群は下位群に比べ有意に予測差分が大きい。  
( $F(1, 71) = 4.47 p < .05 \eta^2 = 0.059$ )

以上の結果より、仮説 1 は妥当であったといえる。

続いて仮説 2 に関する分析について述べる。仮説 1 での分析と同様に作問学習支援システム利用経験と作問成績の 2 要因による群分けを行い、予測可能課題の合計解答時間に関して分散分析を行った。その結果、この 2 要因に関して交互作用が見られたため、( $F(1, 71) = 3.82 p < 0.1 \eta^2 = 0.061$ ) 更に下位検定を行ったところ、以下の二つが明らかとなった。PT 解答時間の各群の平均値は表 6 に示す。

(1) 作問テスト上位群において、作問学習を行った群は、行っていない群よりも有意に解答時間が短い。  
( $F(1, 71) = 4.38 p < .05 \eta^2 = 0.057$ )

(2) 作問学習を行った群において、作問テスト成績上位群は下位群に比べ有意に解答時間が短い。  
( $F(1, 71) = 6.71 p < .05 \eta^2 = 0.38$ )  
以上の結果より仮説 2 は妥当であったといえる。

これらの結果に加え、作問学習を行った児童の作問能力の定着について分析を行った。作問テストの成

績の平均差分に関して片側の t 検定を行ったところ、( $t(74) = 2.9 p < .05 d = 0.66$ ) となり有意に作問経験がある群は作問学習経験がない群に比べ、作問成績が高いことが分かった。この結果より、作問能力が作問授業後 1 年以上経過した後でも定着していることが明らかとなった。

## 7.5 実験のまとめ

前節までに大学生、小学生に対してそれぞれ実験を行い、その結果を報告した。実験結果をまとめると以下ようになる。

(1) 大学生向けの実験によって、三文構成モデルの正当性を確認。

(2) 小学生向けの実験によって、作問能力の高い児童は物語を構造的に捉える能力が高いことを確認。

(3) 作問学習を行った児童は、構造的に物語を捉えることができるようになることを確認。

この結果より、単文統合による作問学習の学習効果は、「作問学習による文章題構造に対する指導を行うことにより、文章題を構造的に捉える能力が高めることが可能である」と主張できると考えている。

## 8. む す び

我々は一連の研究において、文章題を構造的に理解させることを目的とした作問学習支援システムの設計・開発及びその実践を行ってきた。この目的は本研究において、作問学習の効果として説明可能となり、達成できたといえる。また、作問学習支援システムを用いた作問演習と作問テスト及び PT は、問題の構造が同じであるが演習の形式が異なっており、これらの中で転移が行われていると主張できると考えている。簡単な問題解決テストではキーワードベースによる解法によって解けてしまうため、転移の確認としては適さないが、複雑な情報過剰テストなどを用いることによって転移を確認することが可能であると考えられる。作問学習による文章題構造の理解が問題解決の際に「どのような問題に対して」「どの程度効果があるか」といったことを調査・分析することは今後の研究課題である。

本実験の中で明らかになったように、作問授業を行うことによって文章題構造の理解が身についた児童がいることが確認できた一方で、作問授業を行ってもなお文章題を構造的に理解できなかった児童もいると考えられ、その児童に対する支援のための新たな課題設定や授業案を考案する必要がある。現状のシステム

では授業の進度に合わせたレベル設定（課題分類）となっているが、今後は問題の難易度に合わせて更に詳細に区分し、学習者に対するフィードバックを強化するなど、作問学習を生かしていない児童に対する支援を行う余地があると考えている。また、作問授業の内容についても担当教諭と相談し、理解しづらい児童に対する指導法の確立などの検討が必要であると考えられる。このような問題点は残ってはいるが、これまで一般的に行われてこなかった作問授業を利用することで、明示的に指導が難しい文章題の構造について理解ができるようになる児童を確認できたことから、他の文章題の学習方法に比べ優位性の高い学習方法であると主張できると考えている。

### 文 献

- [1] 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.
- [2] 倉山めぐみ, 平嶋 宗, “逆思考型を対象とした算数文章題の作問学習支援システムの設計開発と実践利用,” 人工知能学会論文誌 27 卷 2 号 D, pp.82-91, 2012.
- [3] 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, vol.30, no.4, pp.333-341, 2007.
- [4] 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.
- [5] 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, vol.44, pp.157-167, 1995.
- [6] 平嶋 宗, “学習課題の内容分析とそれに基づく学習支援システム設計・開発:算数を事例として,” 教育システム情報学会誌, vol.30, no.1, pp.8-19, 2013.
- [7] M. Hegarty and R. Mayer, “Comprehension of arithmetic word problems: A comparison of successful and unsuccessful problem solvers,” Paper presented at the annual convention of the American Educational Research Association, New Orleans, 1993.
- [8] 横山琢郎, 平嶋 宗, 岡本真彦, 竹内 章, “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.
- [9] T. Hirashima, Y. Hayashi, and S. Yamamoto, “Triplet structure model of arithmetical word problems for learning by problem-posing,” Proc. HCI2014, 2014.
- [10] 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山 功, 杉本 卓, 教科理解の認知心理学, 新曜社, 1989.
- [11] 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.
- [12] 横山琢郎, 平嶋 宗, 岡本真彦, 竹内 章, “単文統合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, vol.30, no.4, pp.333-341, 2007.
- [13] M.S. Riley, J.G. Greeno, and J.J. Heller, “Development of children’s problem solving ability in arithmetic,” In The development of mathematical thinking, ed. H.P. Ginsburg, pp.153-196, Academic Press., New York, 1983.
- [14] M.S. Riley and J.G. Greeno, “Developmental analysis of understanding language about quantities and of solving problems,” Cognition and Instruction, vol.5, no.1, pp.49-101, 1988.

(平成 26 年 3 月 1 日受付, 6 月 30 日再受付)



神戸 健寛

平 24 広島大学工学部第二類情報工学課程卒業。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。



山元 翔

平 20 広島大学工学部第二類情報工学過程卒業。平 22 同大学工学研究科博士課程前期修了。現在、同大学博士課程後期在学中。知的学習支援システム、特に問題の解決・作成・変更を行うことによる学習に関する研究に従事。



吉田 祐太

平 24 広島大学工学部第二類情報工学課程卒業。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。



林 雄介

平 10 阪大・基工・システム工学卒, 平 15 同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. 工学博士.