

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650556

研究課題名(和文)統合とプラン化過程の外在化による算数文章題の学習支援に関する研究

研究課題名(英文) Learning Environment of Arithmetic Word Problems by Externalizing of Integration and Planning Process

研究代表者

平嶋 宗 (Hirashima, Tsukasa)

広島大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10238355

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、算数の文章題の問題解決過程における統合過程とプラン化過程を構造的に表現するモデルを提案し、そのモデルに基づいて学習者がそれらの過程を構造的に外化することのできる学習環境を実現した。さらに、その実現した学習環境を小学校6年生の算数の授業で利用し、学習者がこの構造を作成できること、構造を適切に作成できることが算数の能力に関係していることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, a model of an arithmetical word problem that can be solved by one of four basic arithmetic operations has been proposed. Such problem is called "basic problem". Because the basic problem is composed of three arithmetic concepts each of that corresponds to one of three numbers in the basic operation, that is, two operands and one result, the structure of a basic problem is modeled as the relation between the three concepts. The structure is called "basic triangle block". In this research, a software system where a student is able to build a structure of an arithmetical word problem by using the triangle blocks has been implemented and carried out practical use of the system in an elementary school.

研究分野：学習工学

キーワード：算数文章題 統合過程 プラン化過程

1. 研究開始当初の背景

算数の文章題の問題解決過程に関する研究はこれまでも国内外で盛んに行われており、またその難しさが主に、問題の構造化を行う「統合過程」と、問題構造に沿って必要な数量および演算を取り出して計算手順を組み立てる「プラン化過程」にあることが指摘されている。このため、算数の文章題を指導する上で、この「統合」および「プラン化」が重視されることになり、その方法もいくつか提案されている。しかしながら、この過程は学習者の思考の中で行われる過程であるため、その過程に対する個別的で直接的な指導は困難であったといえる。本研究は、ソフトウェアを用いてこの過程を可視的で操作可能な対象として外在化するとともに、その過程に対する個別的で直接的なフィードバックを実現しようとしたものである。

算数の文章題に関しては、2項演算で解決可能な算数文章題の作問学習支援システムに関する研究をこれまで継続的に行ってきた。すでに数年間に渡って小学校での実践利用も行っていった。この先行研究における作問とは、システムが提供する単文カードを取捨選択し組み合わせる一つの問題を作成するものであり、文章題の問題解決過程の統合過程に相当する活動を行わせるものとして位置付けられていた。本研究は、この研究を複数の演算が必要となる、より複雑な問題に発展させる試みの一つとなっている。また、学習者に部品を与え、それを組み立てさせるといった活動については、概念マップの組み立て環境という形で理科を対象としたシステムの設計・開発及び実践利用まで研究を別途行っており、本研究における統合およびプラン化過程の外在化及び操作可能化は、この研究で用いた要素技術やそこで得られた知見をベースとしたものであった。

2. 研究の目的

本研究では、算数の文章題の問題解決過程における「統合」と「プラン化」を具体的かつ可視化された作業として学習者が実行できるソフトウェア環境を設計・開発し、その実践的な運用までを目指した。算数の文章題の問題解決は、(I)変換、(II)統合、(III)プラン化、(IV)計算実行、の四つの過程を経て行われるとされており、この中でも特に(II)統合、および(III)プラン化、が重要とされている。本研究では、統合過程を(A)提供された部品の組み立てとしての問題構造の構成、プラン化過程を(B)問題構造上における段階的な2項演算実施順序の決定、としてモデル化し、(a)学習者がそれらの作業を実行し、さらに(b)その作業に関するフィードバックを受けることのできるソフトウェア環境を設計・開発を目指した。このような着想に基づく試みは国際的にも例がなく、先駆的な試みとして位置付けることができる。

3. 研究の方法

図1は、算数の文章題とその問題が含む数量関係の例である。この数量関係は、図2のように階層的に表現することができる。この階層構造のリーフにあたるノードについては、問題中に対応する言葉が存在する。中間ノードに関しては、下位ノードの持つ数量の演算結果を表わしており、問題中の言葉と演算を用いて対応する言葉を用意することができる。それらの言語表現および演算を部品として用意したものが図3となる。これらを部品として提供し、数量関係の階層構造に沿った構造を学習者に組み立てさせることを本研究では「統合」として捉える。図4がこのように作成される問題構造の例となる。ここで、一つの間接ノードの数量は、連結されている下位の二つのノードの数量から指定された演算によって導かれる数量であり、この三つ組は、算数の文章題の解決過程の説明でしばしば用いられる「言葉の式」に対応する。なお、「おつり」が等号の左右に現れ冗長になっているが、これは、問題中に明示的に現れる数量をすべて同じ階層に並べるためと、問題の持つ数量関係を等式として完成させるためにこのようにしている。プラン化過程においては、等号と右辺に相当する部分は取り除いた形で表現する予定である。

図4の問題構造は、問題を構成する概念間の関係を数量関係として結合したものとなっているが、これだけでは計算手順は自明ではない。計算を行うためには、この問題構造のどの部分からどの演算で計算するかを決める必要がある。たとえば図4の場合では、「持っていたお金：2000」-「バラとカスミソウの値段：？」=「おつり：200」という部分構造に着目し、「持っていたお金：2000」-「おつり：200」=「バラとカスミソウの値段：？」という、問題構造が直接表わしていない計算を行うこととなる。この計算を問題構造に反映させると、該当の部分構造が、「バラとカスミソウの値段」を上位ノード、「持っていたお金」と「おつり」を下位ノードとし、演算を「差」とする部分構造に変換されることになる。同様な変換を行うことにより、計算手順と一致するようになった問題構造が、図5である。このような変換作業をプラン化過程として定式化する。(なお、現時点では方程式で表した場合に1次の変数が1回だけ現れる問題に対象を限定している。それ以外の方方程式となる場合には、プラン化過程の実行に特殊な概念の導入が必要となることが既に分かっており、本研究の次の段階として取り組むことを予定している。)

このように統合過程およびプラン化過程をモデル化すると、正解をあらかじめ用意することができる。また、学習者は正解を構成するものと同じ部品を用いて自身の問題構造や計算プランを組み立てるため、学習者の作成した表現とシステムの持つ正解との差は、部品の接続関係の差ということになる。

したがって、比較的単純に両者を比較し、誤りを抽出し、指摘することが可能となる。本研究では、正解との比較による、誤りの存在の指摘、誤り箇所の指摘、および正解の指摘を行うフィードバックを実現した。

2000円持って買い物に行きました。？円のバラ2本と、20円のカスミソウ10本を買いました。おつりは200円でした。

$2000 - (? \times 2 + 20 \times 10) = 200$



図1 問題例

図2 数量関係

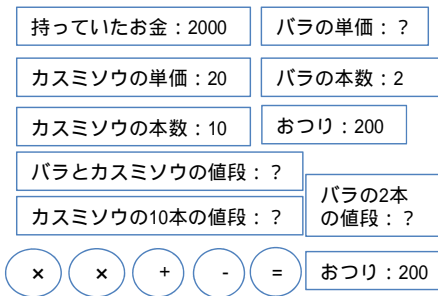


図3 問題の構成部品

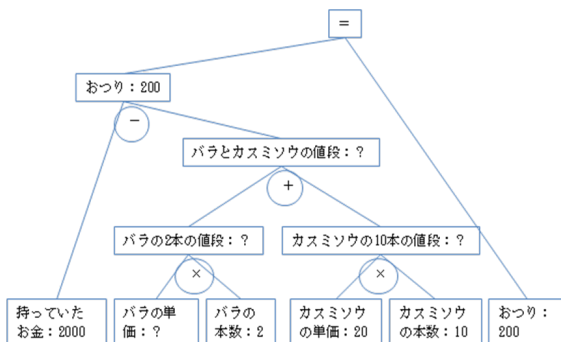


図4 問題構造

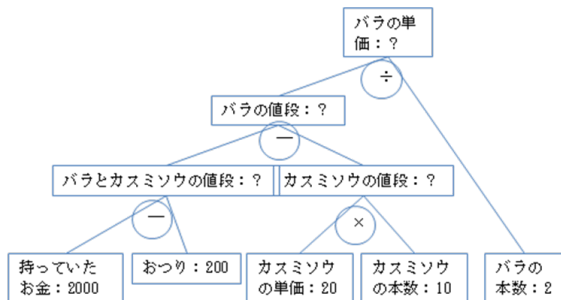


図5 プラン化過程後の問題構造

4. 研究成果

算数文章題を対象として、統合過程とプラン化過程を部品から組み立てることのできる学習環境を実装した。組み立てられた構造は、正解構造と比較することで、その正誤を判断することができる。正解構造には複数種類存在するが、これについては、一つの正解

構造を用意するだけで、同一の数量関係を持った別構造を生成できる機能を実装し、正誤判定に用いることができるようにしている。

構造の誤りについては、単に正解でないことを判定するだけでは、正解の構造をどの部分が異なっているかを診断できるようにしている。この誤っている部分の検出は、何を正解構造とするかによって異なってくるが、現在実装しているシステムでは、最も違いの少ない正解構造に対しての差分を抽出できるようにしている。

このシステムを小学校6年生2クラスにそれぞれ2時限利用してもらった。結果として、(1)学習者が違和感なく構造の組み立てを行うことができる、(2)3種類の正解構造が現れる、(3)どの正解構造を作るかと算数の成績に関係がある、ことが明らかとなった。

ここで提案・実装した構造は、認知的な考察に基づいているものの、教育現場においてはこれまでに教えられてきたものとは言えない。今回の実験的利用においても、事前の教授を行っていない。にもかかわらず、全学習者が複数の問題に対して正解構造を作成できたことは、ここで提案している構造が学習者の算数文章題の理解と親和性があることを示しているといえる。

また、可能な正解構造は、各問題に複数存在するが、実際に学習者が作成したものは、(I)答えを導くための演算で構成される構造(求答形)、(II)問題文が示唆している演算で構成される構造(物語形)、(III)和と積だけで構成される構造(積和標準形)の三つであった。この三つの出現確率は、他の構造の出現確率よりも圧倒的に大きく、また、これらの三つの構造はそれぞれ文章題の捉え方として理にかなったものとなっている。このことも、本研究で提案する問題構造が学習者の認知と親和性が高いことが示唆される。

また、個々の学習者によって、作成する構造に偏りが見られ、それらの学習群ごとに算数に関する成績に違いが見られた。求答形を一貫して作成する群は、問題が簡単な際には求答形を作るが、問題が難しくなると物語形を作り出すといった群よりも成績が低かった。また、積和標準形を作成する群は、これらの群よりも成績が高かった。これらのことから、どのような問題構造を作るかによって、学習者の問題に対する理解度が推定できることが示唆された。

これらの結果は、すでに算数文章題を十分に理解していると思われる6年生を対象としたものであり、また、この構造自体を教えてはいない。本研究の結果、この構造自体が学習者の理解と親和性があり、また、十分に有用であることが示されたことから、この構造自体を教授の中に組み込むこと、そして、教授した内容の確認として、学習者に本システムを使わせること、が可能と思われる。先

行研究として、三つのカードを組み合わせることで、1回の演算で解ける問題を作問させるシステムをすでに実現しているが、このシステムは2回以上の演算を対象とした場合、カードの数が増えすぎて、適当ではないことが分かっている。したがって、複数演算を対象とした場合には、本システムで用いた問題構造表現が有用と思われる。複数演算を取り扱う算数文章題は、小学校4年生から取り扱うことになることから、本研究の成果をもとに、小学校4年生の授業にどうできるシステムの設計・開発を目指す予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

1. 神戸健寛, 山元翔, 吉田祐太, 林雄介, 平嶋宗: 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, 電子情報通信学会論文誌 D, J98-D No.1, pp.153-162(2015)(査読有)
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", 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.10, pp.2440-2451(2013)(査読有)
3. 山元翔, 平嶋宗, "特別支援学級でのモンサクンを用いた作問学習実践事例", 教育システム情報学会論文誌 30 巻 4 号, pp.243-247 (2013)(査読有)

[学会発表](計9件)

1. Sho Yamamoto, Yuki Akao, Mitsutaka Murotsu, Takehiro Kanbe, Yuta Yoshida, Kazushige Maeda, Yusuke Hayashi and Tsukasa Hirashima: Interactive Environment for Learning by Problem-Posing of Arithmetic Word Problems Solved by One-step Multiplication and Division, ICCE2014 Main Proceedings, pp.89-94 30 Nov - 4 Dec 2014, Nara, Japan.
2. Sho YAMAMOTO, Yuki AKAO, Mitsutaka MUROTSU, Takehiro KANBE, Yuta YOSHIDA, Kazushige MAEDA, Yusuke HAYASHI & Tsukasa HIRASHIMA: Practical Use of Interactive Environment for Learning by Problem-posing for One-step Multiplication and Division Word Problems, ICCE2014 Workshop Proceedings, pp.369-378, 30 Nov - 4 Dec 2014, Nara, Japan.
3. Nur Hasanah, Yusuke Hayashi, Tsukasa Hirashima: Analysis of Problem-Posing Process of Arithmetical Word Problem as Sentence Integration: Viewpoint of First Selected Sentence. Proc. of ICSLE2014, pp 85-88, 24-25 July 2014, Hong Kong.

4. Hirashima, T., Hayashi, Y., Yamamoto, S.,: Triplet Structure, Model of Arithmetical Word Problems for Learning by Problem-Posing, Proc. of HCII2014(LNCS 8522), pp.42-50, 22-27 Jun 2014, Cleta, Greek.

5. Sho YAMAMOTO, Takuya HASHIMOTO, Takehiro KANBE, Yuta YOSHIDA, Kazushige MAEDA, Tsukasa HIRASHIMA: Interactive Environment for Learning by Problem-Posing of Arithmetic Word Problems Solved by One-step Multiplication, Proc. of ICCE2013, pp.51-60, 18-22 Nov 2013, Bali, Indonesia.

6. Akimitsu JOYA, Kazushige MAEDA, Tsukasa HIRASHIMA: Fraction Block as a Tool for Learning & Teaching Fraction and Its Experimental Use in an Elementary School, Proc of ICCE2013, pp.103-109. 18-22 Nov 2013, Bali, Indonesia.

7. Sho Yamamoto, Takehiro Kanbe, Yuta YOSHIDA, Kazushige Maeda, Tsukasa Hirashima: Learning by Problem-Posing with Online Connected Media Tablets. HIMI/HCII 2013, Part III, LNCS 8018, pp. 165-174, 21-26 July 2013, Las Vegas, USA.

8. Megumi Kurayama, Masayuki Murakami, Tsukasa Hirashima: Analysis of Lesson using Interactive Environment for Learning by Problem-Posing in Elementary School Arithmetic, Proc. of E-LEARN2012, pp.1511-1517, 9-12 October 2012, Montreal, CANADA

9. Sho YAMAMOTO, Takehiro KANBE, Yuta YOSHIDA, Kazushige MAEDA, Tsukasa HIRASHIMA: A Case Study of Learning by Problem-Posing in Introductory Phase of Arithmetic Word Problems, Proc. of ICCE2012, Main Conference E-Book, pp.25-32, 26-30 Nov 2012, Singapore.

[産業財産権]

出願状況(計1件)

名称: 学習支援システム、学習支援方法、および学習支援プログラム

発明者: 平嶋宗

権利者: 広島大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-045723

出願年月日: 2013年03月07日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平嶋 宗 (Hirashima Tsukasa)

広島大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 10238355