

原著論文

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

横山 琢郎 (九州工業大学大学院情報工学研究科)  
平嶋 宗 (広島大学大学院工学研究科)  
岡本 真彦 (大阪府立大学人間社会学部人間科学科)  
竹内 章 (九州工業大学情報工学部)

2006年10月1日

**JSISE** 教育システム情報学会



## 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

横山琢郎\*, 平嶋 宗\*\*, 岡本真彦\*\*\*, 竹内 章\*\*\*\*

### An Environment for Learning by Problem-Posing as Sentence-Integration and Its Evaluation

Takuro YOKOYAMA\*, Tsukasa HIRASHIMA\*\*,  
Masahiko OKAMOTO\*\*\*, Akira TAKEUCHI\*\*\*\*

This paper describes an environment for learning by problem-posing as sentence-integration. Although we have already developed a learning environment for problem-posing as concept combination, it is difficult for pupils of the lower grades in an elementary school. To realize learning by problem posing in the lower grades, we propose a framework of problem-posing by sentence-integration in this paper. It is easier than problem-posing by concept combination, but it keeps the learning effect to refine problem schema. The learning environment was used by one hundred sixty-three second grade pupils of an elementary school to examine whether or not the lower grade pupils can pose problems in the environment. The effect of refinement of problem schema by the problem-posing was also analyzed by pre- and post-test with excessive information problems. As the results, the pupils and teachers who were observers of the experiment accepted the learning environment as a useful learning tool to realize learning by problem-posing. The effect of refinement of problem scheme was also suggested.

キーワード：作問学習，問題診断，単文統合，単文カード方式，算数の文章題

#### 1. はじめに

「問題作り」が問題解決能力の向上につながることは、これまでもさまざまな形で指摘されてお

り<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>、指導要領においても発展的な学習として位置づけられていることから、広く認識されているといえる。筆者らは、この「問題作り」が多様な正解を持つオープンエンドな課題の一種であり、したがって、高度な個別対応が求められる学習方法であると考え、その必要性に応える意味で、「問題を作ることによる学習を支援する計算機ソフトウェア」に関する研究を行ってきている。具体的には、これまでに、学習者の作成した問題を診断し、その診断に基づく正誤判定や修正指導を行うことのできる作問学習支援システムを、算数の文章問題を対象として設計・開発してきた<sup>(5)(6)</sup>。また、和と差の2項演算で解ける文章問題を対象とした作問学習支援システムについては、シス

\* 九州工業大学大学院 情報工学研究科  
Graduate School of Computer Science and System Engineering, Kyushu Institute of Technology  
\*\* 広島大学大学院 工学研究科  
Faculty of Engineering, Hiroshima University  
\*\*\* 大阪府立大学 人間社会学部 人間科学科  
Dept. of Human Sciences, Osaka Prefecture University  
\*\*\*\* 九州工業大学 情報工学部  
Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology



テムを使用して作問学習を行うことが、作問能力の向上だけでなく、問題解決能力や問題分類能力の向上に効果があるとの結果を得ている<sup>(7)(8)</sup>。これらの結果は、計算機を用いた作問学習の支援が有望であることを示している。

しかしながら、これら一連の研究における比較的大きな問題の1つとして、作問学習の対象者が小学4年生以上に限定されている点が上げられる。算数の文章問題は、小学1年生から学習が始まり、単純な形ではあるものの、文章問題を対象とした問題作りもこの時期の指導要領に記載されている。したがって、この時期においても作問学習を支援するシステムの必要性があるということになる。このようなシステムを実現するためには、(1)作問学習の意義を保ちつつ、(2)作問作業を単純化する、工夫が必要となる。

従来のシステムにおける作問は、概念間の関係付けとして行われており、概念を組み合わせることによる単文の作成と、単文を組み合わせることによる問題文の作成（つまり、単文の統合）の2つの段階を混在させたものとなっていた。これに対して、あらかじめ与えておいた単文を取捨選択して組み合わせるといった、単文の統合に限った作問を行わせることで、より作問作業が単純化されるとともに、算数の文章問題を理解する上で最も重要とされている統合段階は保持することができ、より低学年による意味のある作問学習を可能にすることができるのではないかと考えた。これを認知的なプロセスに対応させると、問題の統合に焦点化した作問学習を実現しようという試みであるといえる。

以下本論文では、単文統合としての作問の位置づけを明らかにするために、2章において、まず、一連の研究において扱ってきた「問題」とは何かについて論じる。さらに、その問題の定義に基づいて作問の形態を整理する。3章では単文統合としての作問学習を支援する学習支援システムである、モンサクンの設計・開発について述べる。4章では、本システムを実際の算数の授業の一環として小学2年生の授業で利用してもらった結果について、(I)作問活動を行えたか、および(II)学習効果があったか、の観点から分析する。

## 2. 単文統合としての作問

### 2.1 問題の定義

作問を議論するためには、問題とは何か分かっていなければならない。しかしながら、一般に問題といった場合、それが何を指すかは自明とはいえない。本研究では、問題を以下のように定義している。

問題 = 前提情報（既知）+ 結論情報（未知）

さらに、前提情報から結論情報を導くことを問題解決と考へ、その問題解決は、演繹的に行うことができると限定する。そして、その演繹的に結論情報を導く方法を「解法」とする。教育現場で行われている問題演習における問題の多くは、このような問題の定義に属するものである。

このように問題を定義すると、問題を作るということとは、(1)前提情報、(2)結論情報、(3)解法、の3つの要素を適切に組み合わせることとなる。何の制約もなしに問題を作らせるといったことは通常ありえないことであり、作った問題が満たすべき何らかの制約が課されているのが普通である。これら3つの要素を作問において用いられる制約であると考え、あらかじめある要素が与えられている状況において、その要素に合うように別の要素を組み合わせる、あるいは、他の要素を矛盾しないようにある要素の一部を変更する、といったことが作問であると考えられる。このような考えのもとで、作問の形態についてさらに検討してみる。

作問課題としてよく見受けられるものとして、(1)ある解法を適用できる問題を作りなさい、(2)ある問題を変更して別の問題を作りなさい、(3)ある物語や絵に基づいて問題を作りなさい、といったものがある。これらは、それぞれ、適用できる解法を制約として課した作問、ある問題（前提情報+結論情報）を制約として課した作問<sup>(注1)</sup>、物語としての前提情報を制約として課した作問、ということが出来る。本研究では、それぞれの作問を、(I)解法ベースの作問、(II)問題ベースの作問、(III)物語ベースの作問、とし、作問に

(注1) この場合、前提情報や結論情報の一部を変更することが許されているわけであるが、その他の情報を元の問題のものを利用することになるわけであり、問題が制約となっているということができると考えている。



おける主な制約によって分類している。与える制約としては、これら3つの他にも、(a)結論情報を与える、(b)前提情報と解法を与える、(c)結論情報と解法を与える、といった場合も考えられる。また、それぞれの要素の一部だけを制約した作問というものも十分考えられる。このように様々な形態の作問を整理し、さらに適切に運用していくことは、今後の課題となっている。

本研究で取り扱っている作問は、ある2項演算を用いて解ける問題を作らせるといった解法ベースの作問に属するものとなっている。次節では、解法ベースの作問における作問形態をさらに検討し、単文統合としての作問の位置づけを試みる。

## 2.2 解法ベースの作問

解法ベースの作問においては、学習者は「ある解法が適用可能な既知の前提情報と未知の結論情報の適切な組み合わせ」としての問題を作ることが求められる。この「組み合わせ」を学習者にどのように作成させるかが、解法ベースの作問学習支援システムを実現する上で、大きな課題となる。

完成形としての問題が自然言語文であることから、まず、自然言語で問題を作成させることが考えられるが、子供が書く問題文には多くの誤字脱字や誤文が含まれることから、現在の自然言語処理技術では、問題の診断は事実上不可能といってよい。また、算数の文章問題においては、個々の文の意味は十分に解釈できることを前提として、複数の文で構成される問題を算数的に理解できるようになることを学習の主眼として考えると、自然言語文を書くこと自体は不可欠な要素ではないといえる。このような考えのもと、筆者らは、これまでに、解法ベースの作問の方式として、(1)単文テンプレート方式<sup>(5)(6)</sup>、および(2)問題テンプレート方式<sup>(7)(8)</sup>、による作問を実現しており、本研究では、(3)単文カード方式、を実現している。以下本節では、これらの作問方式について概説する。

単文テンプレート方式とは、単文のテンプレートと、そのテンプレート内の空欄を埋めるのに使うことが許されている概念の集合をあらかじめ用意しておき、それらを使って単文を完成させ、そのようにして完成した単文を組み合わせることで問題を作っていく作問方

式である。単文テンプレートとは、“( )と( )の( )は( )です”といったものであり、空欄を埋めるために用意されている概念とは、“ツル”、“カメ”、“足の本数”などや数字である。このような単文テンプレート方式を用いて、鶴亀算や和差算などの比較的複雑な算数の文章問題を対象とした作問学習支援環境をこれまでに実現している。この方式は、作成できる問題のバリエーションが多様である反面、学習者にとって作問自体が複雑になる傾向があり、小学校における作問学習の方式としては必ずしも適当なものとはいえなかった。

問題テンプレート方式は、問題の典型的な文型をあらかじめテンプレートとして用意しておき、そのテンプレート内の空欄に用意された概念集合から適当なものを選択して埋めていくことで、問題文を完成する方法である。例えば、和や差の2項演算で解ける算数の文章問題は、(I)変化の問題、(II)結合の問題、(III)比較の問題、の3つに分類されるが、これらはそれぞれ特有の単文構成を持っている。変化の問題であれば、第1文が始状態、第2文が変化、第3文が終状態を表したものとなっている。問題テンプレートとは、問題の種類にあわせて単文テンプレートを組み合わせたものであり、問題テンプレート方式の作問とは、あらかじめ作る問題の種類を決めておき、その種類の問題テンプレートと概念集合を与えた上で、問題を作らせる方式である。筆者らはこれまでに、和と差の2項演算で解ける変化の問題についての作問を問題テンプレート方式で行わせる作問学習支援システムPOP-Bを作成し、小学4年生の算数の授業の一環として本システムの利用を行い、(a)児童がこの方式で作問を行える、(b)児童および教諭がこの作問方式を有用なものとして受け入れる、(c)本システムを利用することにより作問能力だけでなく問題解決能力や問題分類能力にも向上が見られる、といった結果を得ている。

POP-Bの教育現場での利用に関する結果は、テンプレートを用いた作問方式でも十分に作問学習として意味があることを示しているが、同時に、小学校の低学年においてこの方式の作問を行わせるには、(A)問題テンプレートの意味を理解するのが難しい、および(B)概念の組み合わせの数が多すぎる、といった理由で適当ではなく、作問作業をより単純化する必要があ



ることが実践利用や事前のシステムの説明に立ち会った教諭らから指摘されている。このような指摘に基づき、作問学習としての意義を保持しつつ、作問作業を単純化する試みが単文カード方式である。

単文カード方式では、単文を書いたカードを取捨選択し、組み合わせることで、問題を作成する。したがって、これまでの方式で要求されていた、概念を組み合わせることで単文を作成するという作業が、単文を読んでその意味を理解するという作業に置き換わり、この部分が単純化されているといえる。単文を組み合わせることで問題文を作成する段階は、単文テンプレート方式と同様であり、問題テンプレート方式と比べれば、自由度が高くなっているといえる。Kintschら<sup>(9)</sup>の算数の文章問題を対象とした問題理解のプロセスに対応させて考えると、単文を作る過程は、変換過程に対応し、単文を組み合わせる過程は、統合過程に相当する。問題を理解する上で、最も重要な過程が統合過程であるとされており<sup>(10)</sup>、また、単文カード方式は、統合過程にのみ焦点を当てた作問であるといえることから、作問学習の意義を保持しつつ、作問作業を単純化していると期待できる。

以下3章では、単文カード方式を用いた統合レベルでの作問学習支援システムについて述べる。4章では、小学2年生の実践利用の結果について報告する。

### 3. 作問学習支援システムの設計・開発

本章では、単文カード方式を用いた統合レベルでの作問学習支援システム：モンサクンについての、作問インタフェース、課題設定、問題の診断、診断結果に基づくフィードバック、について説明する。

#### 3.1 作問インタフェース

モンサクンで用いている作問演習インタフェースを図1に示す。黒板のメタファーを用いて構成しており、左側には、上部に作問の目標となる2項演算が示され、その下に単文カードを入れることができる空欄が3つ用意されている<sup>(注2)</sup>。右側には、文章問題を完成させるための単文カードが用意されており、これらの単文カードはドラッグ&ドロップによってインタフェース上を自由に動かすことが可能となっている。また、黒

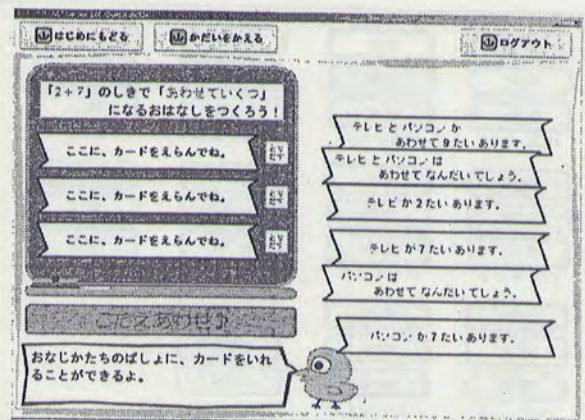


図1 モンサクンインタフェース

板下部には答え合わせボタンが用意されており、文章問題を完成するとアクティブになり、診断をシステムに依頼することができるようになっている。その下は、システムからの補助メッセージを表示する部分となっている。図1の場合、「2+7」で解ける「あわせていくつ」の問題を作ることが課題であるので、1文目の空欄に「テレビが2だいあります」、2文目に「パソコンが7だいあります」、3文目に「テレビとパソコンはあわせてなんだいでしょう」、の単文カードを入れることで、適切な問題を作ることができる。

#### 3.2 課題設定

学習者の行う作問課題は、システムから提示された和もしくは差の2項演算で解ける問題を、提示された単文カードを組み立てて作成することである。この作問課題は、(1)問題タイプ、(2)空欄パターン、(3)カードの見せ方、の3つの要因によって特徴付けられている。まず問題タイプであるが、和と差の2項演算で解ける問題は、合併、変化、比較の3つのタイプに分けられるとされており、また、変化問題はさらに、「増える問題」と「減る問題」に分けられることが多い<sup>(11)</sup>。本システムでは、合併、増える、減る、比較の四つに問題のタイプを分けている。また、問題の難しさは、合併、変化、比較の順であるとされることが多いので、今回の課題設定においても、この順で各タイプの問題を作らせるようにしている。さらに、小学

(注2) 課題設定によっては、あらかじめ単文カードが入れられている場合もある。



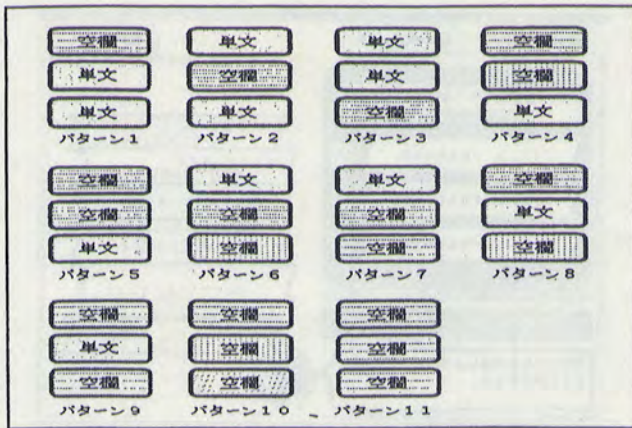


図2 空欄パターン

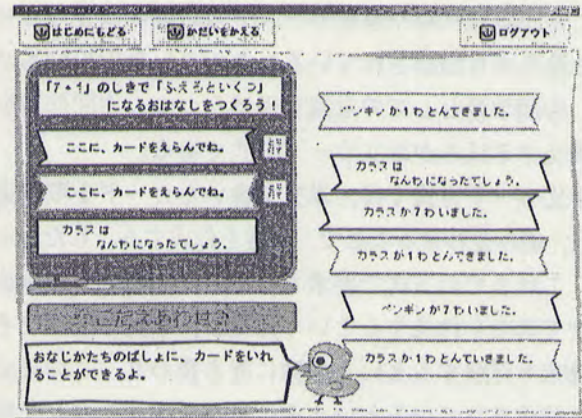


図3 モンサクNインタフェース

2年生であることを考慮して、問題文中に現れる未知量については、必ず、3文目にくるようにしている。

次に空欄の数であるが、学習者が単文カードで埋めなければならない空欄の数は、1箇所空欄が3パターン（1文目、2文目、3文目）、2箇所空欄が3パターン、3箇所空欄が1パターンとなる。また、複数箇所空欄がある場合には、それぞれの空欄の形と色を変え、それぞれに形と色に応じた単文カードを用意することで、空欄と単文の照合を単純化することができる。今回の課題設定では、2箇所空欄と、3箇所空欄の場合に、それぞれ単純化した場合としない場合の2種類を用意している。これらの空欄パターンについてまとめると全部で11パターンになり、これをまとめたものが図2である。

図3に、2箇所空欄でそれぞれの空欄に置くことのできる単文カードが種類分けされている例を示した。この場合、第3文には、「カラスはなんわになったでしょう」が予め入れられており、学習者が埋める必要があるのは、残りの第1文と第2文である。さらに、第1文の空欄と第2文の空欄は色と形が違っており、それぞれに対応する単文カードが右のカード置き場を用意されている。これにより、それぞれの空欄に置く候補となる単文カードが限定され、課題としては単純化されているといえる。3箇所空欄の場合も同様に、3箇所それぞれに独自の単文カードが用意されている場合と、同種のカードの中から選ぶ必要がある場合の2パターンが用意されている。

本システムにおける課題設定としては、図2の空欄パターン1～10までの課題を1課題ずつ、そして、最

も難しい課題である空欄パターン11の課題を5課題用意していることで、1つの問題タイプにおいて15の作問課題が用意されていることになる。また、空欄パターン11の課題では、カードの見せ方を工夫した課題を2課題含めている。ここでのカードの見せ方の工夫とは、すべての単文カードが一覧できるように提示するのではなく、ある単文カードの内容が別の単文カードの影に隠れて見えないという状況を作ることであり、一覧できる単文カードだけでは問題を完成させることができないことに気づき、その足りないカードを探す、といった作業が必要となるので、難易度を上げる要因になると考えている。

また、本システムでは、ある作問課題を満たす問題を作ることができて始めて次の作問課題に進めるようにしており、60（問題タイプ4×15課題）の作問課題を1つのセットとして用意し、この60の問題を正しく作成できた学習者に対しては、概念や数値が異なったもう1セットの作問課題に取り組みさせるようにしている。

提示する課題の種類はあらかじめ決められているが、具体的な単文カードにおける概念および数値についてはシステムに用意しているものの中から適宜に選ぶようにしており、個々の学習者が全く同じ作問を行っているわけでない。また、作問における単文カードの総組み合わせ方は、1単文カード選択の場合でも5とおり、最も難しい3単文カード組み合わせの場合においては、210とおりの可能性があり、作問として考えないと正解を導けない課題となっている。



### 3.3 問題の診断

問題の診断は、(1)文章構造、(2)概念関係、(3)数量関係、の3つの観点から診断している。文章構造とは、各問題タイプにあった文章の構成になっているかの診断である。例えば、「増える問題」では、2文目に必ず増加に関する単文がくる必要があり、また、その他の位置に増加に関する単文がきてはいけない。概念関係とは、単文に現れるオブジェクトに関する診断であり、変化の問題においては、3文とも同じオブジェクトを対象とした文でなくてはならないし、また、合併の問題においては、加算可能なオブジェクト同士でなくてはならない。

文章構造と概念関係が適当であれば、その問題から数量関係を取り出すことができるが、その数量関係が、目標となっている2項演算と一致しているか否かを調べるのが、数量関係の診断である。間違いとしては、さらに、演算の違い、および数量の違いを診断することができる。

### 3.4 フィードバック

本システムでは、問題が適切であった場合はその旨を伝え、適切でなかった場合は、診断結果に基づいて修正を誘導するコメントを提示する。まず、文章構造が適切でなければ問題は成り立たないので、文章構造が間違っていれば、その間違いを指摘し、修正を促す。例えば「増える問題」を作成することを目的としている場合に「りんごが3ありました。りんごが5ありました。りんごはなんこになったでしょう。」という問題が作成されたとき、2文目には必ず増加に関する単文がくる必要があり、この例のように事実を示す単文がきてはいけない。そこで「2ばんめのカードではふえるもんだいにならないよ」といった指摘を行う。文章構造が適切であった上で概念関係が間違っていれば、概念関係についての指摘を行う。例えば、変化の問題において、1文目と3文目にでてくるオブジェクトが「りんご」であったのに、2文目の変化が「みかん」に関するものであった場合、「2ばんめのカードのみかんはおかしいですよ」といった指摘を行う。文章構造と概念構造が適切で、数量関係が不適切であれば、数量関係についての指摘を行う。例えば、差で解ける問題を作るはずが、和で解ける問題を作っている

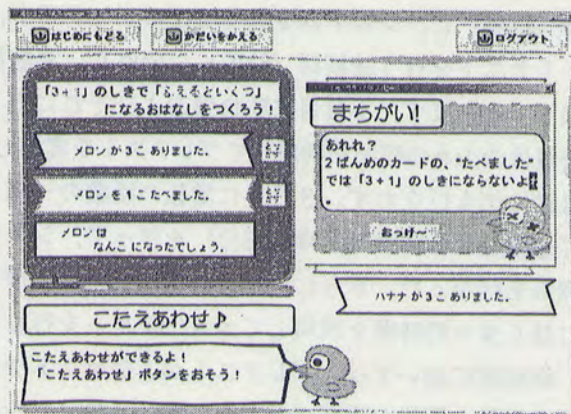


図4 誤り指摘の例

場合には、「この問題は、足し算で解けます。作るのは、引き算の問題でしたよね」といった指摘を行う。図4に具体的な誤り指摘の例を示した。この指摘は、別ウィンドウとして作問インタフェースの上に提示され、クリックするまで消えないようになっている。

## 4. システムの実践的利用

本システムを小学校の教諭に事前に利用してもらい、小学2年生によっても利用可能であり、かつ効果があるであろうとの見通しを得た後に、実際に小学2年生の算数の授業の一環として利用してもらった。本利用の目的は、(I)小学2年生が本システムを用いた作問を行うことができるかどうかを確かめること、および(II)本システムを利用することの学習効果を調べること、である。作問が行えたかどうかについては、システムの利用状況およびシステム利用評定の結果から分析する。学習効果については、本システムが単文統合としての作問を行っており、単文統合能力の向上、つまり問題スキーマの洗練に貢献すると期待していることから、学習者の持つ問題スキーマの洗練度を調べる上で有効とされている過剰情報問題の解決テストを用いて、統制群と実験群におけるプレテスト、ポストテストの得点の変化に基づいて分析する。

### 4.1 利用状況

被験者は、2つの小学校の2年生計6クラスの児童(計163名)である。この被験者を3クラスずつ、システムの利用前後にプレテスト、ポストテストを行う実



験群 (79名) と、システムを利用せずにプレテスト、ポストテストを行う統制群 (84名) に分けた。実験群においては、まず、1日目に朝自習およびそれに続く1時限目の少々の時間を利用してプレテストを実施し、2日目は何も行わず、3日目に算数の授業の一環として連続した2時限 (1時限45分) を使って、システム利用を行なった。さらに、4日目の朝自習およびそれに続く少々の時間を利用してポストテストを行なった。統制群においては、プレテストおよびポストテストを実験群と同様の手順で行なったが、3日目のシステム利用は行なわなかった。実験期間中に休日は含まれておらず、システム利用を除いては通常の授業が行なわれた。したがって、実験群と統制群の差は、システムを用いた作問を行なったかどうかとなる。なお、今回の実験は授業の一環としての取り組みであるため、被験者に提供する学習機会を均等にする必要があり、統制群においても後日、2時限のシステム利用を行なってもらっている。

システムの利用環境は、校内のパソコン教室であり、被験者1人に対して1台の計算機を割り当てた。システム利用時には、3名のTAが巡回して、システムの操作に関する質問の対応を行ったが、作問自体についてのアドバイスは行なわなかった。システム利用に際しては、システムの利用方法の説明や利用後に行なったシステム利用評定に加え、パソコン教室への移動時間や教諭による紹介および総括の時間があるため、被験者が自由に作問を行なったのは、50分間である。なお、システム利用という面でのシステム利用評定は統制群に対しても同様に実施し、集計時にはそれらを区別していない。

#### 4.2 利用結果

まず、今回の利用において、モンサクンの利用が十分に行われ、十分な問題を作る経験がなされていたかどうかについて報告する。利用結果の分析においては、システム利用当日に欠席した者や使用ログに一部欠落がある場合などデータが全て揃わない被験者を除いた、実験群66名、統制群66名を対象として行った。

表1はモンサクンの利用状況をまとめたものである。表1中の「診断要求数」とは、被験者が答え合わせボタンを押した件数である。また、「正解の件数」とは、

表1 モンサクン&POP-Bの利用状況比較 (10分あたり)

	利用時間	被験者数	平均診断要求数	平均正解数	平均誤り件数
モンサクン	50分	132	14.2	10	4.2
POP-B	80分	147	6.5	5.4	1.1

診断要求件数のうちの正解と判断された作問の件数であり、「誤りの件数」とは、誤りと判断された作問の件数である。なお、連続して同じ問題についての診断要求があった場合には、正解/誤りにかかわらず、最初の1回だけをカウントしている。

表1より、モンサクンをはじめて使う被験者であっても、約50分という時間の中で、平均71件の問題を作り (診断要求数)、そのうち50件の正しい文章問題を作成することができていた。概念の組み合わせによる作問方式を採用したシステム (POP-B) を用いて小学4年生において行った使用事例では、利用時間:80分、被験者数:147名、平均診断要求数:52、平均正解数:43、平均誤り数:9.1、という結果であった<sup>(7)</sup>。これは、学年が違うこと、および課題が和と差の2項演算という点では同じであっても、未知量が3文目以外にもくるようになっており、逆思考の問題も含まれているという点で難易度が異なっているため、一概に比較することはできないが、作問の作業量としては遜色ないと判断している。

表2 システム利用評定結果 (n=132)

質問	結果		
	はい	いいえ	どちらでもない
さんすうのもんだいをつくるのはたのしかったですか?	131	0	1
これからもときどきもんだいをつくるべんきょうをしたいとおもいますか?	121	2	9
さんすうのもんだいづくりはだいいじなことだとおもいますか?	120	5	7
まちがったときにパソコンがおしえてくれることがやくにたちましたか?	121	4	7
もんだいづくりはだんだんとうまくなっていきましたか?	123	1	8
きょうのつづきをもっとしたいとおもいますか?	129	0	3



次に、システム利用後に行った被験者に対するシステム利用評定の結果について説明する。

システム利用評定の項目ならびにその回答結果を表2に示す。各評定項目に対する回答は、はい・どちらでもない・いいえの3件法で答えてもらった。

これは小学2年生による回答であり、その信頼性は必ずしも高いとはいえないが、ほとんどの被験者が利用時間中、飽きずに作問を行っていたことや、作問の終了を残念がる声が多くあがっていたこと、さらに、授業に立ち会った教諭らの感想も、このシステム利用評定の結果を肯定するものであったことから、本システムを利用するという点に関しては、小学2年生においても十分可能であり、また、児童や教諭らに文章問題の学習方法の1つとして受け入れられるものであったと考えている。

#### 4.3 学習効果

情報過剰問題の解決テストの目的は、被験者が文章問題中に存在する過剰情報に気づき、正確に問題を解けるかどうかを調べることにあり、問題スキーマの洗練度を測る1つの手段とされている。この課題は、本システムで行った作問作業とは直接結びつくものではないが、学習効果の評価方法としては適当であると考えている。以下に情報過剰問題の一例を示した。

##### <情報過剰問題例>

- りんごが2こあります。
- みかんが3こあります。
- バナナが7ほんあります。
- りんごとみかんはあわせてなんこでしょう？

情報過剰問題解決テストでの反応については、式と答えがそれぞれ正しい場合に1点、間違っている場合に0点を与えた。岡本<sup>(10)</sup>によれば、立式の正しさを文章問題解決の統合段階の指標として利用できるとされているので、本研究でも立式の得点を分析の対象とした。プレ・ポストテストとも12問で構成されており、12点満点となる。テストは2セット用意しており、クラスごとにどちらのセットをプレテストおよびポストテストに使うかを変えることで、カウンターバランスをとっている。

実験・統制群の過剰問題解決テストのプレテストと

表3 情報過剰問題解決テスト成績

条件	プレ	ポスト
実験 (n=66)	6.56 (4.43)	8.21 (4.01)
統制 (n=66)	7.44 (4.28)	8.06 (4.03)

ポストテストの式の得点を表3に示した。表3を見ると、プレテストにおいて、既に条件間に差があることから<sup>(注3)</sup>、全被験者のプレテストの平均点の上下で分けた成績群を設け、ポストテストの得点を従属変数とした、2(条件:実験 vs.統制)×2(成績:高 vs.低)の2要因分散分析を行った。その結果、成績の主効果は有意であったが(F(1,128)=97.04, p<.01)、それ以外の効果は有意ではなかった。この結果からは、ポストテストの得点にシステム利用の効果が見られないとも考えられるが、事前の成績がプレテストに非常に強く影響しているために、システム利用の効果が少なく見積もられていると考えられることもできる。そこで、システム利用の効果を純粹に取り出すために、ポストテストの得点を従属変数、プレテストの得点を共分散とした条件(実験 vs.統制)の1要因共分散分析を行った。プレテストの得点を共分散として加味したポストテストの調整平均を条件ごとに示したものが図5である。分析の結果、条件の主効果が有意であり(F(1,129)=84.71, p<.05)、実験群の得点が統制群の得点

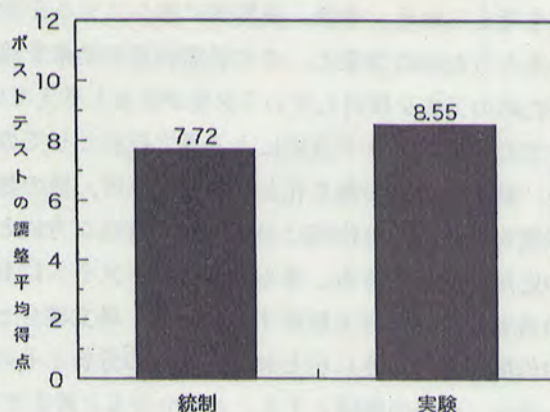


図5 ポストテストの調整平均得点

(注3) 今回のシステム利用は、授業の一環として行なわれており、予め、いつどのクラスがシステムを利用するかといった授業計画を定めておく必要があったため、プレテスト結果に基づく実験・統制群の調整は行なえなかった。



よりも高いことが明らかになった。すなわち、本システムを用いた実験群の方が、ポストテストでの成績が高くなっており、本システムが問題解決の成績を向上させる効果を持つことが実証されたといえる。

## 5. まとめ

本研究では、作問学習の意義を保ちつつ、作問作業を単純化し、小学校低学年でも利用可能な作問学習支援システムの実現を目指して、単文カード方式による単文統合としての作問を支援するシステムを設計・開発を行った。さらに、本システムを小学2年生の算数の授業において利用してもらった結果、本システムを用いた作問学習が成立していること、および、問題スキーマの洗練に貢献していること、が示唆された。本システムは、学習者の作った問題を診断し、その診断結果をフィードバックする機能を備えている点で、知的学習支援システムであるということができ、このようなシステムが小学2年生を対象として運用可能であり、また、その学習効果も期待できることを示せた点では、意義が大きいと考えている。

ただし、これらの結果は、短期的なシステム利用の直後に調べた結果によるものである。問題を作るということは、通常行われている授業の形態から考えると、特殊な作業であり、このような演習を行わせることの効果は、より長期的な使用と効果の測定が必要であるとも考えられる。今後、長期的に本システムを利用してもらうための方策と、その長期利用の効果を測定するための工夫を検討していく必要があると考えている。

また、単文カード方式による単文統合としての作問を、統合段階への焦点化として捉えれば、他の様々な課題を対象とした作問においても、有効な方式としての応用が期待できる。さらに、このシステムにおける学習者の作問過程を解析することで、単文統合としての作問がどのように行われているかの分析とそのモデル化も、今後の課題とすることができると考えている。

## 謝辞

システムの評価にご協力いただいた飯塚市立片島小学校、ならびに飯塚市立伊岐須小学校の皆様には深く感謝いたします。なお、本研究の一部は、科学研究費基

盤(C)ならびに日産学術振興財団の援助を受けた。

(2005年11月10日 受付)

## 参考文献

- (1) G. Polya: “いかにして問題を解くか”, 丸善株式会社, 東京 (1954)
- (2) S. Brown, M. Walter: “Problem Posing: Reflections and Applications”, L.E.A. (1993)
- (3) Silver, E.A., Cai, J.: “An Analysis of Arithmetic Problem Posing by Middle School Students”, *Journal of Research in Mathematics Education*, Vol.27, No.5, pp.521-539 (1996)
- (4) 中野洋二郎, 坪田耕三, 滝井章編著: “子どもが問題をつくる”, 東洋館出版社, 東京 (1999)
- (5) A. Nakano, T. Hirashima, A. Takeuchi: “Problem-Making Practice to Master Solution-Methods in Intelligent Learning Environment”, *Proc. of ICCE '99*, pp.891-898 (1999)
- (6) 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”, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J83-D-I, No.6, pp.539-549 (2000)
- (7) 中野明, 柳原健志, 平嶋宗, 岡本真彦, 竹内章: “和と差の二項演算に関する作問学習支援環境利用による算数能力への影響調査”, *日本教育工学会論文誌*28巻3号, pp.205-216 (2004)
- (8) 中野明, 平嶋宗, 竹内章: “演算の理解を指向した知的作問学習支援環境”, *人工知能学会論文誌*, Vol.17, No.5, pp.598-607 (2002)
- (9) Kintsch, W., Greeno, J.G.: “Understanding and Solving Word Arithmetic Problems”, *Psychological Review*, Vol.92, No.1, pp.109-129 (1985)
- (10) 岡本真彦著: “算数文章題の解決によるメタ認知の研究”, 風間書房, 東京 (1999)
- (11) 細川藤次, 熊田伸彦, 清水静海 他29名: “新版さんすう1ねん”, 株式会社新興出版社啓林館, 東京 (1999)



## 著者紹介



横山 琢朗

2004年九州工業大学情報工学部知能情報工学科卒業。2006年同大学大学院博士前期課程修了。在学中、知的教育システムの研究と開発に従事。



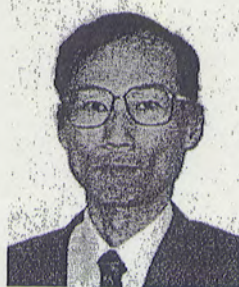
平嶋 宗

1986年大阪大学工学部卒業。1991年同大学院博士課程修了。大阪大学産業科学研究所助手、講師、九州工業大学情報工学部助教授を経て、2004年より広島大学大学院工学研究科教授。知的学習支援システムおよびユーザモデルを用いた情報フィルタリング・情報整理支援の研究に従事。工学博士。人工知能学会、電子情報通信学会、情報処理学会、教育システム情報学会、教育工学会、日本教育心理学会、IAIED、APSCE、AACE 各会員。



岡本 真彦

1990年高知大学教育学部卒業。1992年大阪教育大学大学院修士課程修了。1993年広島大学大学院博士後期課程中退。大阪府立大学総合科学部助手、講師、助教授を経て、2005年人間社会学部助教授。問題解決過程におけるメタ認知の役割、記憶・学習におけるマルチメディアの役割などの研究を行う。博士（心理学）。日本心理学会、日本教育心理学会、認知科学会、AERA、SRCD 各会員。



竹内 章（正会員）

1976年九州大学工学部造船学科卒業。1978年九州大学大学院修士課程修了。九州大学工学部助手、講師を経て、1989年九州工業大学情報工学部助教授。現在、九州工業大学情報工学部教授。工学博士。知的教育システム、ヒューマン・マシンインタフェースなどの研究に従事。情報処理学会、人工知能学会、教育システム情報学会などの会員。