

一般論文

算数の文章題を作る学習のための計算機支援を系に含めた授業実践

中 野 明
平 嶋 宗^{*1}
竹 内 章^{*2}

A Practical Class of Problem-Posing Exercise in Arithmetical
Word Problems with Intelligent Learning Environment

Akira NAKANO
Tsukasa HIRASHIMA
Akira TAKEUCHI

Recently, it is commonplace for a school to own a computer room where students study something with a computer. Therefore, technology of ICAI (Intelligent Computer Assisted Instruction) has lately considerable attention. Our research is one of the research of ICAI. In our research, we are developing an Intelligent Learning Environment for the learning by problem posing. The ILE deals with simple arithmetical word problems solved by an addition or a subtraction. In the learning by problem posing, a learner poses problems through the interface provided by the ILE. The ILE has a function to diagnose the problems posed by the learner. By using the results of the diagnosis, the ILE helps the learner to correct wrong problems, or leads him/her in the next step of problem posing. In this paper, we report a result of using in elementary school. The aim of using is an investigation of practical use of the ILE in elementary schools.

1. はじめに

今日、情報工学の分野では、計算機を単なる計算の道具として利用するだけでなく、人間の知的な活動を手伝うものとして利用する試みが盛んになりつつある。人間の行う最も知的な活動の一つである「学習」に対しても、その計算機支援に関する研究が盛んに行われており、学習や教育という文脈に応じた人間と計算機との間の情報交換（インタラクション）の高度化が試みられている^[1-3]。近年の教育現場における計算機やネットワーク等のインフラの整備に伴い、実際の現場への導入が現実味を帯びようになってきており、計算機による学習支援に関する研究成果への期待も高まってきているといえる。

本研究は、その計算機による学習の支援に貢献することを目的とした教育システム工学や教育工学と

称される分野の研究の一つである。具体的には、「算数の文章題を作るという学習活動（以後、作問学習）」を支援する計算機システムの設計・開発、並びに、その授業利用の報告と効果検証を行っている。本論文では、まず、第2章において、作問学習の現状について示し、第3章において、著者らの開発している作問学習の形態と目的について述べる。第4章では、具体的に、作問学習支援システムの仕様を述べる。第5章では、本年度実際の小学校にて実施したシステムを系に含めた作問学習授業についての報告を行い、第6章にてまとめと今後の課題について言及する。

2. 作問学習の現状

「問題を作ることによる学習」の重要性は、米国の場合Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics (1989), Professional Standards for Teaching Mathematics (1991)において「学習者自身が問

平成17年 1 月20日 受理

^{*1} 広島大学大学院工学研究科情報工学専攻

^{*2} 九州工業大学情報工学知能情報工学科

Copyright 2005 国立久留米工業高等専門学校

題を構成する経験を持つことの重要性」と指摘されており、また、日本でも小学校算数の指導要領において、「問題を作ることによる学習」の実施の必要性が指摘されている。

しかしながら、実際の教育現場においてこの学習方法が採用されることは必ずしも多くない。これは、問題解決による学習に比べて、より細かな個別への対応を要するためであると考えられる。問題解決による学習の場合、問題に対する正解は一意に用意できることが多い。このため、学習者の解答の正誤は、その用意された解答との照合によって行うことができ、また、誤りに対する指導も、その正解を説明することである程度可能であった。これに対して、作問においては正解を一意に決めることが難しく、正誤を判定するためだけでも個々の問題を評価する必要がある。また、正しくない場合でも、それをどのように修正すべきかはどのように正しくないかを調べてみなければ判断できない。つまり、「問題を作ることによる学習」を行おうとすれば、それを指導する教諭は、学習者の作った個々の問題に目を通す必要が生じることになる。このように、「問題を作ることによる学習」は、その効果が広く認められているにもかかわらず、高度な個別対応が要求されることから、実際の教育現場においては、必ずしも盛んに行われているとはいえない学習形態である。

3. 計算機が作問学習を扱うことを前提とした形態整理

著者らは、この「問題を作ることによる学習」を知的に支援する学習環境の実現を目指した研究を進めている^[4-6]。一口に「問題を作る」といっても、問題をどのような観点から作るかによって学習の性質が異なっており、その性質を明らかにしつつ、学習環境を設計開発して行かなければならないのは、「問題解決演習」を対象とした場合と同様である。本章では、著者らの提案している作問の形態について述べる。

作問学習を行わせる場合には、問題を作りさえすればそれでいいといった自由作問の他に、様々な制約を与えた作問学習の形態がありうる。著者らは、

算数・数学などの中でも、状態空間法¹による解の導出と見なせる問題を対象とした作問学習を、制約の与え方により大きく3つに分類している。作られた問題が満たすべき制約において、どのように解けるのかとは、作問形態の制約を満たして問題が作られたか、ということである。以下、3つの作問形態について詳述する。

(a) 問題ベースの作問

(Problem-Based Problem Posing)

問題空間の一部を取り出す作問。作られる問題の問題空間は、もとの問題の問題空間に包含されるという制約を満たさなくてはならない。具体的には、ある問題に対しての部分問題を作ることに相当する。

(b) 物語ベースの作問

(Story-Based Problem Posing)

状態空間を遷移させるオペレータ以外の情報を操作し包含関係にない問題空間を作る作問。作られる問題の問題空間は、もとの問題の問題空間と異なるという制約を満たさなくてはならない。具体的には、ある問題の条件節を修正させ、修正前後の演算の系列が異なる問題を作ることに相当する。

(c) 数式ベースの作問

(Solution-Based Problem Posing)

特定の状態空間の遷移の系列を作る作問。作られる問題の問題空間は、特定の状態空間の遷移の系列を含むという制約を満たさなくてはならない。特定の演算や解法が適用できることを条件として問題を作ることに相当する。

1 問題解決の定式化法の一種。問題を状態空間として表現し、状態空間の間のとりうる遷移を決定するオペレータにより、状態空間とその遷移として問題の解決過程を表現する。始状態から終状態までの状態空間の遷移の系列を問題空間と呼ぶ。

この3つの整理によって、その形態に沿った学習活動を行ったか否かという正誤の基準を、作問学習という漠然とした学習活動に与えることが可能となったと考えており、作問学習を支援する計算機を設計する上でも活用が可能であると考えている。そこで、その利用事例として、著者らは、数式ベースの形態で作問学習を支援するシステムの設計^[5]、実際の小学校での利用を行い、学習効果の検証を行っている^[6]。

4. 算数の文章題を対象とした作問学習支援の支援環境

本章では、数式ベースの作問学習の実例として、和と差の算数の文章題を対象領域として開発した作問学習支援環境POP-Bについて述べる。

4. 1. 和と差の算数の文章題を対象とした数式ベースの作問

算数・数学で用いられる基本的な概念をわかりやすく説明しようとした場合、日常生活などの具体的な場面と対応づけを行いながら説明することが多い。小学校低学年における2項演算の学習においても、日常生活などの具体的な場面と対応づけられた説明を通して学習者は形式的な演算の持つ意味を認識し、また、日常生活におけるある種の意味が形式的な演算に置き換えうることを学ぶ。ここでは、意味と形式との対応関係の把握として演算自体の理解を捉えているといえる^[7]。

通常は、和や差という数量変化に関する概念ならびにその計算手続きの理解（以後、演算の理解と略す。）を深める上で、文章題を解決することによる学習は、重要な役割を果たしている。文章題を解決する作業は、文章題中に含まれる意味（概念や数量の関係）を形式的な演算操作に置き換える作業、つまり、意味の世界から形式の世界への対応を要する作業である。しかしながら、対応関係の把握を行う方法として、一般的に、対応関係の一方のみを学習しただけでは十分といえず、その逆方向を学ぶ機会が必要である。つまり、演算の理解を目的に、意味と形式との両者の対応関係の把握を行うためには、

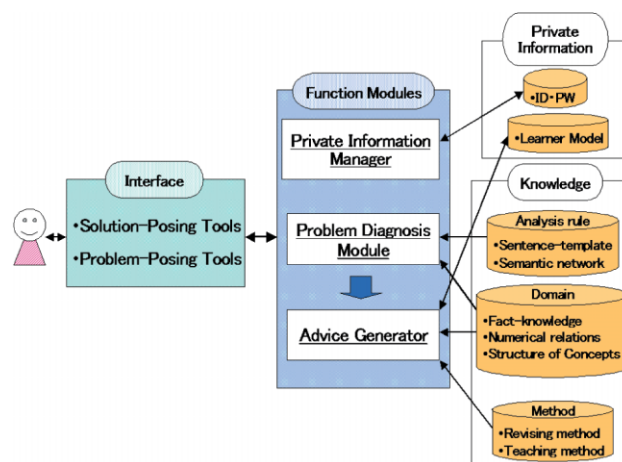


図1 システム構成図

文章題を解決する作業による学習では意味から形式への対応を考えさせる学習だけでなく、形式から意味への対応を直接的に考えさせる文章題を作る作業による学習も必要ということである。

作問学習支援環境POP-Bは、この「形式から意味への対応を直接的に作業させ、演算の理解を促す」という学習の流れにおいて、教員の負担となっている、こども一人一人に文章題を作らせる作業と、こどもが作った文章題の正誤の診断と指導を行う作業、とを補助する目的で設計されたシステムである。

4. 2. システム概要

POP-Bの概念構成を図1に示す。本システム設計における主要な課題は、図1にあるように、和と差の2項演算を対象とする文章題の作問形態のデザイン（Solution-Posing Tools, Problem-Posing Tools）、学習者の作った問題に対する文章題診断（Problem Diagnosis Module）、個別指導（Advice Generator）の3点である。システムはJavaで設計しており、JRE（Java Runtime Environment）をあわせて配布することで、近年の一般的なスペックのPCであれば十分利用することが可能である。

本システムのインタフェースは、2つのフェーズから構成されている。一つは、問題を作る前に、学

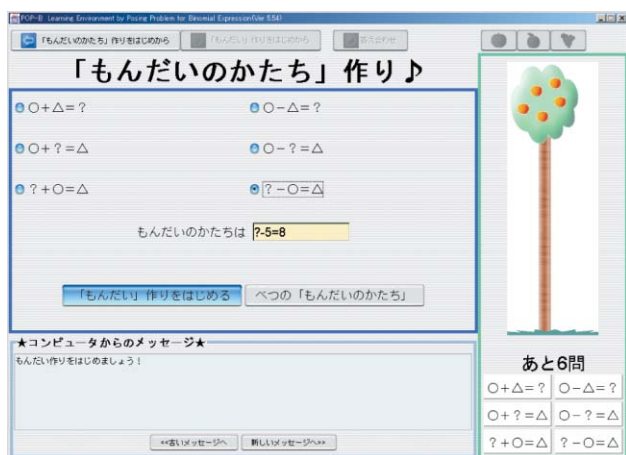


図2 インタフェース
(Solution Posingフェーズ)

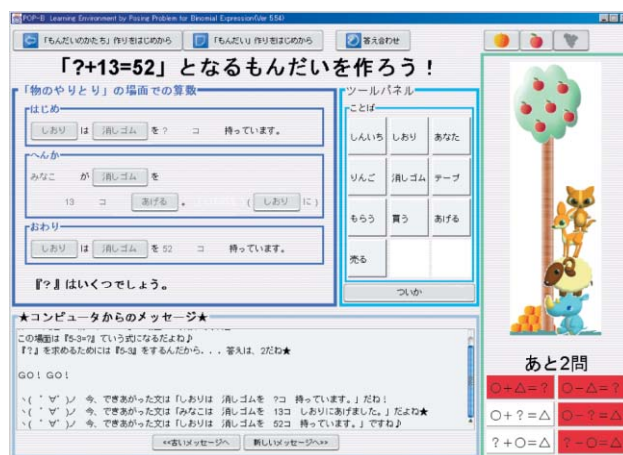


図3 インタフェース
(Problem Posingフェーズ)

習者に作問の目標となる2項演算を入力させるSolution Posingフェーズ, もう1つは, その2項演算を用いることのできる問題を作るProblem Posingフェーズである。それぞれ以下に詳述する。

Solution Posingフェーズにおいて, 学習者自身は, これから行う作問の評価基準として2項演算を入力する。例えば, 学習者が“ $5 - ? = 3$ ”と入力した場合には, 文章題の流れが“ $5 - ? = 3$ ”となるものを作問するということを意味している。

つまり, この2項演算の入力は, システムにとって, 学習者の行った作問が妥当であるかどうか, つまり, 学習者が作った問題を, “ $5 - ? = 3$ ”で解決できるかどうかを診断するという診断の基準となり, 誤りの支援の際には, なぜ“ $5 - ? = 3$ ”で解決できないのか, どのような変更が必要であるのか, また, 演算理解のための支援の際には, 次にどのような作問をおこなうべきか, といったフィードバックの生成が可能となる。図2は, Solution Posingフェーズの例である。

Problem Posingフェーズにおいて, 学習者は, Solution Posingフェーズで入力した解法で解決できる文章題を作る。POP-Bはそのために, 文章題のテンプレートを提供している。テンプレートは, 対象となる概念の数量が, ある動作によって変化・変更する際の演算関係の問題である「変化問題」と呼ばれる

算数の文章題のものである。算数の文章題の型としては, 変化問題の他に, 比較問題, 合併問題の2種類があるとされており, 変化問題は最も単純な型とされている文章題の型である。テンプレートは, 変化前の状態を示す文, 変化の原因となる動作を示す文, 変化後の状態を示す文と, 質問文の4つの文の組み合わせで構成される。本研究では, 質問文以外の3つの文を単文テンプレートと呼び, この単文テンプレートをレイアウトして情報の関係を明示的に表現している。(単文テンプレート化される3つの単文を, 本研究では, 始状態, 変化, 終状態, と呼ぶ)。学習者は, それぞれのテンプレートの空欄に対して概念や数量を割り付けることで文章題を作る。なお, 作問に用いる「概念」は, システム側から提供される。図3は, Problem Posingフェーズの例である。

Problem diagnosis moduleでの診断では, まず, (1) 3つの単文(始状態の情報, 動作の情報, 終状態の情報)ごとの診断を行う。次に, (2) 文章全体を診断し, 最後に, (3) その文章が表現する問題式と解法とを比較する。本研究では, 作問の誤りを, この3項目に大きく分けており, (1)と(2)においては, 項目内でさらに細分している^[5]。

Advice Generatorが判断する支援は, 学習者の作った問題に誤りがあった場合と, 誤りの無かった場合

とに分けられる。誤りがあった場合には、原因をテキストで説明するだけでなく、テンプレート上において誤りが気づけるよう誤り個所の強調表示を行っている。学習者の作問した問題に誤りの無かった場合には、他の解法での作問を行うようテキストで指示するだけでなく、学習者がこれまで作問に用いた解法の型や、何種類の解法を使った作問が行えているかを表示させ、演習の誘導を行っている。

5. 授業実践の報告

本システムは、これまで実際の教育現場での利用を繰り返すことで、システムが小学生に十分利用可能であること、システムを利用したことで問題を作る能力の向上に役立っていること、システムを利用したことで問題を解決する能力ならびに問題を整理・分析する能力の向上に役立っていること、を示してきた。しかしながら、小学校の算数教育のプログラムを考慮し、その学習の流れの中でシステムを利用し、効果を調べるといった実践的な授業設計には至っていない。そこで、本年度11月、久留米市立笹山小学校の協力の下、3年生の算数授業の教材としてシステムを位置付けた利用を試みている。本章はその実践の報告を行う。

5.1 システムの位置付け

システム利用の対象者は、小学3年生2クラスの52人であった。小学3年の2学期終盤における算数の学習では、「2けたの数にける計算」を行っている。この段階において、協力校では、文章題の解決ならびに作問を取り入れている。そのため、本システムは、乗算の文章題を扱う導入のための教材と位置付け、学習のねらいとしては、加算・減算の文章題を用いた形式と意味との関係への気づきとし、加減算での経験を乗算へ転移させることを目標とした。具体的な学習のねらいとしては、(A)文章題を作るとき(解くとき)には、数量変化の対象物が何であるかを見て、それを基準に考えなければならないこと、(B)文章題の話の流れで求める数の位置(始状態、変化、終状態)が違ったら、どこに影響するかを考えられること、(C)演算に関係している動作

は何か、誰の動作なのかを文章題から取り出せること、の3点であった。

5.2 システム利用形態への工夫

これまでの小学校でのシステム利用実験でのシステムの利用形態は、こども1人に対して1つのシステムといった形態であった。しかしながら、このような形態の利用実験の中で、テンプレートに対する概念の組合せを無作為に行おうとしたり²、テンプレートに概念を埋めた後にできた文章を再読しなかったり、といったことが観察されている。このような観察事例に対して、システムは、抑止のためのフィードバックを十分に行えていない。現在のシステムにおけるフィードバックでは、こどもが診断ボタンをクリックした後に、その時点での概念の組合せを対象とした診断に基づいたフィードバックをおこなっているため、作問途中で作業の目的や方向性を見失った場合、こどもは活動ができなくなってしまう点、

診断によって返されるフィードバックを十分に理解しないまま作業を進めていると思われる行動が観察されており、こどもは計算機のフィードバックを軽視していると思われる点、という根本的な2点の問題があるといえる。そこで本実験では、作問途中のこどもを、別のこどもが、示唆・指導しやすくなるようシステム利用形態の工夫を行った。

具体的には、こども2人に1台のパソコンを割り当て、作問を交互に行わせる。その際、パソコンを操作する方のこどもはこれまでと同様に作問を行うが、パソコンを操作しない方のこどもは、操作しているこどもの作業を記録させる。

作問作業を記録するという作業を通して、記録しているこどもは、無作為な概念の組合せではなく、文章題として成立する状況とはどういう状況なのかということを、システムを操作しているこどもとは異なった視点、つまり、紙の上にかかれた文章題と

² 正解の組合せは誤りの組合せに対して1%以下のため、無作為な作業での正解はほとんど不可能

もんだいのかたち					
もんだいぶん					
はじめ、	だれ?	が	なに?	を	いくつ?
もっていました。					
あとから、	だれ?	が	なに?	を	いくつ?
どうした?					
今、	だれ?	が	なに?	を	いくつ?
もっています。					
『?』はいくつでしょう。					
しきと答え					

図4 補助教材

して見ることができる。この作業を通して気づいたことは、指摘や質問といった形で、システムを操作している子どもにも知らせると期待しており、現在のシステムではカバーできない逐次的で、無視しづらいフィードバックの可能性といえるのではないかと考えている。

尚、作問作業の記録のためには、図4のような補助教材プリントを準備した。このプリントは、対象としている数式、作った問題、そして、その問題の解き方と答えを記録できるようになっている。

5.3. 授業実践の状況

システムの操作説明は、例として一問の作問を行いながらおこなった。また、操作係の子どもは、教員の操作を見ながら、一緒に操作を行い、記録係の子どもは、その作業の記録を行った。説明に要した時間は、約15分であった。その後、25分間の本システムの利用を行い、最後に授業のまとめを行った。操作説明ならびに授業のまとめは、実際の小学校の教諭が行っている。

システム利用中は、技術補助員2名、小学校教諭2名が巡回し、被験者からのシステムの操作に関する質問、算数に関する質問に対応した。

5.4. 授業実践の結果

授業実践を観察された小学校教諭より以下の意見が得られた。

- ・システムのテンプレートや概念の種類には制限があるとはいえ、十分作問学習と見なせる。
- ・作った問題が妥当か否かをシステムが判断し、

その結果をフィードバックできていた。

- ・作る問題のバリエーションの違いをシステム側で整理しており、次課題として示唆できていた。
- ・作問作業の記録を取っていることから、システムを操作している子どもに対して、作問を補助する会話を多く確認した。
- ・組になっている子どもとの会話の中には、算数の問題として解ける、または、どういう算数の解決ができるといった視点を持って、相談し、作問作業を進めている事例が確認できた。
- ・授業のまとめにおける子どもの観察より、学習のねらい(A)に関しては十分達成できたと判断できる。また、学習のねらい(B)に関しては半数程度の理解状況であった。
- ・学習のねらい(C)に関しては活動自体がそこまで至っていなかった。

5.5. 授業実践の考察

この授業実践では、学習効果の測定までは行えていない。しかしながら、授業を観察した教諭より、システムを子ども達が利用できていること、算数の授業として成立していたことの確認は行えている。

また、システム利用の形態において、操作係と記録係の2人1組でシステムを利用するといったグループ学習の要素を加えた結果、学習に意義があると判断できる子ども間のコミュニケーションの事例を確認することができた。このような事例は、紙を使った作問の授業や、子ども1人に1台のシステムを割り当てた授業、子ども2人に単に交互にシステムを利用させる授業、ではほとんど確認されていない。この計算機を使った「和と差の二項演算の作問学習」の事例が、学習効果として「和と差の演算に対する理解」や「乗除の2項演算の学習」において顕在化しているかどうか確認することが、今後の課題といえる。

また、今回の授業実践は、45分の1回のみであったが、授業を2回に増やすことで、学習のねらい(B)(C)への達成も期待できるのではと考えられる。

6. おわりに

本論文では、情報工学の技術を用いて、教諭の添削作業や次課題提示作業を代替する作問学習支援システムの説明ならびに、グループ学習の形態でシステムを利用した利用実践の報告を行った。

著者らは、学習支援システムの研究においては、単にシステムを開発するだけではなく、実践的な利用を通し、考察と改良ならびに効果検証を行うことも必要であると考えている。そこで今後は、この利用実践の経験を踏まえ、グループ学習の要素を取り入れた作問学習の効果の検証を行う必要があると考える。

謝 辞

本稿の実験においては、福岡県久留米市立笹山小学校の協力のもと実施しております。実施における貴重な指導・助言に感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 大槻説子, “高度個別教育における知識情報処理 -ITSの機能とふるまい-”, 人工知能学会誌, Vol. 1, No. 2, pp. 196-201, 1986.
- [2] 溝口理一郎, “誤りを科学する -学習者モデルの構築-”, 人工知能学会誌, Vol. 10, No. 3, pp. 348-353, 1995.
- [3] 波多野誼余夫, “理解と教授の相互差量”, 人工知能学会誌, Vol. 10, No. 3, pp. 354-360, 1995.
- [4] 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.
- [5] 中野明, 平嶋宗, 竹内章, “演算の理解を指向した作問学習支援システム”, 人工知能学会論文誌, 17巻, 5号, pp. 598-607, 2002.
- [6] Nakano, A., T. Hirashima, A. Takeuchi, “An Evaluation of Intelligent Learning Environment for Problem Posing”, Proc. of ITS ' 2002, pp. 861-872, 2001.

- [7] 吉田甫, 多鹿英継, “認知心理学からみた数の理解”, 北大路書房, 1995.