

統合レベルでの作問を支援する学習環境の設計・開発と

小学校低学年での学習効果

Development of an Environment for Learning by Problem-Posing as Integration of Sentences

横山 琢郎^{*1} 平嶋 宗^{*2} 岡本 真彦^{*3} 竹内 章^{*1}
 Takuro YOKOYAMA Tsukasa HIRASHIMA Masahiko OKAMOTO Akira TAKEUCHI

^{*1} 九州工業大学大学院 ^{*2} 広島大学大学院 ^{*3} 大阪府立大学
 Kyushu Institute of Technology Hiroshima University Osaka Prefecture University

This paper describes an intelligent environment for learning by problem-posing as sentence-integration. Problem-posing by sentence-integration 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 elementary schools to examine whether the learning environment could be used by the lower grade pupils or not, and the effect to refine problem-scheme. As the results, the pupils and teachers who were observer 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 is also reported.

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にについては、これまでもさまざまな形で指摘されているとともに [Polya 54, Silver 96, 岡本 99, 中野 99], 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おり、広く認識されているといえる。筆者らは、問題作りが多様な正解を持つオープンエンドな課題であり、高度な個別対応が求められる学習方法であるため、知的な学習支援が強求められ、また、その実現が強いインパクトを持ちえると考え、問題を作ることによる学習を支援する知的学習支援環境に関する研究を行っている。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環境を、算数の文章問題を対象として設計開発してきた [Nakano 99, 中野 00]。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、システムを利用した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も効果があることが実験的に示した [中野 04]。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示している。

しかしながら、これら筆者らの行った研究における比較的大きな問題点の一つは、作問の対象者を小学4年生以上に限定している点である。算数の文章問題は小学1年生から学習が始まっており、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載っている。つまり、この時期においても作問学習の意義が認められているわけであり、この時期の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である。このようなシステムを実現するためには、(1)作問作業を単純化しつつ、(2)作問学習としての意義を保つ、工夫が必要となる。

従来のシステムの作問は、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形での作問となっていた。これに対して、あら

かじめ単文を与えてそれを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なる統合段階は保存することができ、より低学年による意味のある作問学習を可能とすることができるのではないかと考えた。

以下本稿では、算数の文章問題の標準的な問題解決モデルに対応付けながら、従来の概念間の関係付けとしての作問方式と、本稿で提案する統合レベルの作問方式を説明する。さらに、統合レベルの作問を支援する作問学習支援システム「モンサクン」の設計・開発について述べる。また、この「モンサクン」を小学2年生に算数の授業の一環として利用してもらった結果について報告する。この利用による学習効果を調べる意味で、過剰問題の解決テストと、プライミングテストを実施した。過剰問題解決テストについては、実験群において統制群よりも成績が有意に向上するという結果が得られた。プライミングテストについては、有意な結果が得られなかったがこれについてはさらに検討が必要であると考えている。

2. 統合レベルに焦点をあてた作問

算数や数学の文章問題の解決過程は、(1)変換、(2)統合、(3)計画、(4)実行の4つのレベルで捉えることができるとされている [Kintsch 85, 岡本 99]。この中でも特に、問題文間を関係づけ、全体的な問題表象を構成するレベルである、統合レベルが最も重要とされている。本研究では、この統合レベルに対応する作問学習を対象としている。

本研究で扱う作問学習では、学習者は与えられた複数の単文を取捨選択し、適当な順序に並べることによって文章問題を構成することになる。この際に要求される能力は、基本的には問題解決における問題統合と同等のものといえる。しかし、通常の文章問題においては、文章問題を構成する全ての単文は問題解決に関連しており、既知の方法で必ず解けることも分かっているため、必ずしも問題の全体的な表象が正確に構成されていなくても正解を導けるといったことが見受けられる。これに対して、統合レベルに対応する作問を行う場合には、問題表象を正確に把握できていなければ適切な単文の選択ができず、不適切な問題を作ってしまうことになる。したがって、本研究で扱う統合レベルに焦点をあてた作問は、問題のより正確な表象の構成

を学習者に求める課題となっており、問題統合レベルの能力向上を図る上での有用性を期待できる。なお、問題統合レベルの能力向上は、問題スキーマの獲得・洗練と表現されることが多いので、本稿でもこれに準ずる。

3. システムの設計・開発

本研究において扱う作問学習は、学習者の選択した2項演算を満たすことを条件として単文を組み合わせることで文章問題を作る活動である。そこで問題統合レベルに焦点をあてた作問学習支援システム「モンサクン」の設計・開発を行なった。

本章では、モンサクンの作問インタフェース、学習者の作成した文章問題の診断方法、そして診断結果に基づくフィードバックメッセージの生成について紹介する。

3.1 システム概要

モンサクンでは、学習者に特に文を組み合わせて文章問題を作ることを意識させるため、単文をカードとして表現している。また、作問の方法は、学習者にあらかじめ複数の単文カードを与えておき、目標とする2項演算の数式を満たすように学習者が単文カードを組み合わせることで文章問題を作成するものである。そして、モンサクンの最大の特徴は、学習者が作成した文章問題を診断し、その診断結果に基づいたフィードバックを生成することで、知的な学習支援を実現していることである。

3.2 モンサクンの作問インタフェース

モンサクンの作問インタフェースを図1に示す。左側(黒板のメタファーを用いている)には、上部に作問の目標となる2項演算が示されており、その下に単文カードからなる未完成の文章問題が表示される。黒板の右側には文章問題を完成させるための選択肢カードが用意されており、これらのカードは、ドラッグ&ドロップによって画面上を自由に動かすことが可能となっている。また、黒板下部には、答え合わせボタンが用意されており、文章問題が完成すると使用することができる仕様になっている。その下には、作問演習全体を通して学習者の活動をサポートするためにシステムからのメッセージを表示する部分を用意した。

この作問インタフェースを用いて、提供された単文カード集合から、文章問題の未完成部分に入れるべき適切な単文カードを選択することで、目標となる2項演算で解ける問題を作成することが、学習者にとっての課題となっている。

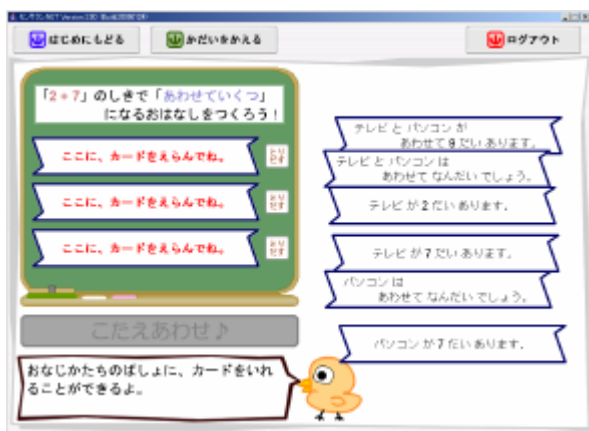


図1 モンサクンインタフェース

3.3 学習者の解答に対する診断

学習者の作成した文章問題に対する診断は、本システムにあらかじめ与えた文章構造、概念関係、数量関係の3つの観点

の診断知識を用いることで学習者の作成した文章問題の診断を行っている。以下に各観点の診断について述べる。文章構造の診断は、学習者の作成した文章問題が文章として正しい構造になっているか否かの診断を行なう。概念関係の診断は、文章問題中に出現する概念が文章全体を通じて正しい関係を満たしているか否かの診断を行う。数量関係の診断は、学習者の作成した文章問題から得られる2項演算が、学習者に対して課題として与えられている2項演算を満たすような関係になっているか否かの診断を行う。

モンサクンでは3単文を組み合わせて文章問題を作るため、各単文において上記の3つの観点からの診断結果が得られる。しかし、単文レベルでの作問であるため、ひとつでも誤りと診断された結果を含む単文は誤りであると診断する。

学習者の解答に対する診断例を以下に示す。2文目の「買いました」では、「3+5」のおはなしになってしまうため、数量関係を満たさない2文目を誤りと判断するのである。

[例題] 3 - 5 となるおはなしを作りなさい

構造 概念 数量

りんごが3個ありました
りんごを5個買いました ×
りんごは何個になったでしょう

3.4 フィードバック

学習者の作成した文章問題に対して診断を行うだけでは、学習者への知的な学習支援を行うことができない。そこで、本システムでは、前節での単文ごとの診断情報を基に、誤りに対するフィードバックメッセージを生成し、学習者へ提示することで知的学習支援を実現している。フィードバック生成の際の方針は、以下のとおりである。いずれか1つの単文が誤りの場合には、誤りを具体的に示したフィードバックを生成し、いずれか2つの単文が誤りの場合には、正しいと診断された残りの単文を基準にして再度考え直すように促すメッセージを生成する。そして、全ての単文が誤りを含む場合には、全ての単文について考え直すように促すメッセージを生成する。例えば、前節の例題において生成されるフィードバックメッセージは、「「買いました」では、りんごの数は増えてしまうね」というものになる。

4. モンサクン利用と学習効果の測定

4.1 利用目的

今回の利用目的は、モンサクンを利用した統合レベルの作問学習が、低学年の児童に対して成立するかどうかを調べるために行った。そこで、(1)小学校低学年の児童がモンサクンを利用できていたか、(2)モンサクンを利用することで、問題スキーマの形成・洗練に有効であったか、の2項目に関して調査した。

4.2 利用状況

利用者は、小学校2年生6クラスの児童(計163名)である。利用環境は、小学校のパソコン教室で、児童1人に対して1台の計算機を割り当て、約50分のモンサクン利用を行った。また、今回の利用目的でもある学習効果の測定を行うために、被験者らを3クラスずつ、モンサクンの利用前後にテストを行う実験群(79人)と、モンサクンを利用しないでテストを2回行う統制群(84人)とに分け、統制群よりも実験群の問題スキーマの形成・洗練に有効であったかどうかを調べた。テストについては次に述べる。

4.3 学習効果測定のためのテスト

問題スキーマの形成・洗練についての直接的な効果測定方法はなため、以下の2つのテストで間接測定を行った。

(1) 過剰問題解決テスト

過剰問題解決テストの目的は、被験者が文章問題中に含まれる過剰情報に気づき、正確に文章問題を作成することができるかどうかを測定することである。過剰問題解決テストは、以下の例で示しているように、文章問題中に過剰な文章を含む文章問題を解かせるテストである。そこで、問題スキーマがうまく形成されていない学習者は過剰情報の判断ができないことから、問題スキーマの形成・洗練を調べる上で有用とされている方法である。

[過剰情報問題例]

アサガオが2ほんあります。
ヒマワリが3ほんあります。
チューリップが7ほんあります。
アサガオとチューリップをあわせてなんほんあるでしょう?

(2) プライミングテスト

プライミングテストの目的は、被験者が文章問題であるための必須情報の欠落を発見できるかどうかと、その判断時間を測定することである。プライミングテストは、以下の例で示しているように、文章問題として成立しているか否かを判断させるテストであり、問題スキーマがうまく形成されていない学習者は、正確に判断できないことを示すことができる。

[プライミングテスト問題例]

つぎのものはいはたしいですか?
りんごが2こあります。
みかんが3こあります。
みかんはバナナよりなんこおおいでしょう?

4.4 利用実施方法

効果測定方法として、まず実験群の調査手順を示す。

(1) プレテスト

過剰問題解決テストとプライミングテストを実施した。過剰問題解決テストは、特に説明することなく、加減の2項演算で解決できる問題を12問出題し、10分間で行った。また、プライミングテストは、判断時間を正確に測定するためコンピュータを用いたテストを作成した。そして、事前に操作方法とテストの内容を十分に説明した上で、12問の出題を行った。

(2) モンサクン利用

モンサクンの利用方法に関して約10分間の説明を具体例に沿って行った。その後、約50分間の利用を行った。また、利用中は、3人のTAが巡回し、被験者からのモンサクンの操作に関する質問に対応した。

(3) ポストテスト

プレテストと同様に過剰問題解決テストとプライミングテストを行った。

(4) アンケート

モンサクン利用後、児童全員と現場に立ち会った担任教師に対してアンケートを行った。アンケートの質問は以下のとおりである。

< アンケート質問 >

1. 算数の問題を作るのは、楽しかったですか?
2. これからも時々問題を作る勉強をしたいと思いませんか?

3. 算数の問題作りは大事なことだと思いますか?
4. まちがったときに、パソコンが教えてくれることが役に立ちましたか?
5. 問題作りはだんだんとうまくなっていききましたか?
6. 今日の続きをもっとしたいと思いませんか?

統制群については、実験群の手順(1)~(3)のうち、手順(1)を初日に行い、2日後に手順(3)を行った。その後、小学2年生でのモンサクン利用が可能であることを確かめるため、統制群においてもモンサクン利用とアンケートを実施した。

両群共に、プレテストとポストテストの間に授業などでの作問学習は一切行っていない。

4.5 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。

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、学習者が診断要求ボタンを押した件数である。また、「正解の件数」とは、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、逆に、「誤りの件数」とは、誤りと判断された作問の件数である。

表1より、モンサクンをはじめて使う児童であっても、約50分という時間の中で、71件の問題作りの取り組み(診断要求数)を行い、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。この結果は、概念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実験の結果(利用時間:80分、被験者数:147名、平均診断要求数:80、診断要求数の分散:14、平均正解数:43、平均誤り数:9.1)と比較して、利用状況としては遜色ない。したがって、単文組み合わせ方式をとることによって、小学2年生においても実施可能な作問学習支援システムが実現できていると考えている。また、今回の結果では、平均誤り件数が多くなっているが、本システムの問題設定においても、一つの作問設定に対して、可能な単文の組み合わせは最低でも5パターン(課題数27)であり、最高は210パターンとなる(課題数36)。したがって、考えずに単文の組み合わせを行えば、誤りの数は飛躍的に多くなるはずであり、十分考えながら作問が行われていたと考えられる。

表1 モンサクン利用状況

利用時間	被験者数	平均診断要求数	診断要求数の分散	平均正解数	平均誤り件数
50分	163	71.2	21.2	50.1	21.1

最後に、システム利用後に行ったアンケートの集計結果について表2に示す。

表2 アンケート結果

質問	結果		
	はい	いいえ	どちらでもない
1	161	1	1
2	148	5	10
3	147	6	10
4	149	4	10
5	150	3	10
6	159	0	4

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くはないが、ほとんどの子供が利用時間中、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、立ち会った教諭らの感想も、このアンケート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ことに関しては、小学2年生においても十分可能であり、また、子供や教諭らに受け入れられるものであるということが出来る。

4.6 学習効果測定結果

本節では、モンサクンを利用した実験群と利用しなかった統制群との過剰問題解決テストおよびプライミングテストの成績変化を比較し、モンサクンが問題スキーマの形成・洗練の向上に影響しているか調査した結果を報告する。

まず、過剰問題解決テストの結果についてまとめる。実験・統制群の過剰問題解決テストの成績変化は、表3に示す結果であった。今回、実験・統制各群における分析をするにあたり、プレテスト成績の平均点より高・低の2グループに分けて行った。

表3 過剰問題解決テスト成績変化

条件	群	時期	被験者数	平均点	分散
実験	高	プレ	40	9.94	2.57
		ポスト		10.73	3.24
	低	プレ	38	1.73	3.35
		ポスト		4.23	11.65
統制	高	プレ	46	10.39	2.93
		ポスト		10.41	4.85
	低	プレ	38	2.50	4.93
		ポスト		4.13	15.64

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て、2(条件:実験 vs. 統制)×2(解決能力群:高 vs. 低)の分散分析を行った結果、実験群が統制群よりも成績がよいことが分かった。また、条件の主効果が有意であったため、実験群が統制群よりも成績がよく、群についても有意であったことから、高群の方が成績がよいといえる。しかし、交互作用が有意でないことから、能力にかかわらず、システムによる学習効果が見られるということが分かった。

次に、プライミングテストの結果についてまとめる。実験・統制群のプライミングテストの成績変化は、表4に示す結果であった。ここでの実験・統制群における成績のグループ分けは、過剰問題解決テストにおけるものと同じとした。

表4 プライミングテスト成績変化

条件	群	時期	被験者数	平均点	分散
実験	高	プレ	40	9.73	4.24
		ポスト		9.98	5.02
	低	プレ	38	8.26	5.14
		ポスト		8.36	7.81
統制	高	プレ	46	9.62	4.59
		ポスト		10.36	3.93
	低	プレ	38	6.89	5.82
		ポスト		7.23	6.28

プライミングテストについても過剰問題解決テストと同様の分析を行ったが、有意な結果は得られなかった。

5. まとめ

今回の利用を通して、問題統合レベルの作問が小学2年生で十分実行でき、また、学習者、教師ともにこの作問学習を肯定的に捉えていることが分かった。さらに、学習効果の測定結果から、過剰問題解決テストでは、実験群の方が統制群よりも成績が有意に向上することを示すことができた。しかし、プライミングテストでは、有意な結果が得られなかったため、これについてはさらに検討が必要であると考えている。これらのことから、プライミングテストの課題は残るものの、本稿で述べた問題統合レベルの作問学習支援システム「モンサクン」が、作問学習を支援する上で有望であることが示せたと考える。

ただし、これらの結果は、短期的なシステムの利用を、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、實質的に行われている通常の授業形態から考えると、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、もう少し長期的な使用と、長期的な効果の測定も必要である感がえられる。今後は、授業の一環として行うという方法のほかに、教室に計算機を置いておき、任意の時間に児童らが利用できるようにした場合、どれくらい利用があるのか、あるいは利用したことによる効果は見られるのかといった調査を長期的に行うことも考えている。

さらに、このような長期的な運用を可能にするためには、学習者の利用状況を捉えて適応的な課題設定を行うといった機能も作成する必要があると考えている。また、現時点では、学習者による作問過程のモデル」が十分明らかになっているとはいえないため、学習者の作問に対する支援も、きめ細かなものとはなりえていない。そこで、作問過程のモデルの構築と、そのモデルに基づくきめ細かな作問支援の実現も、本研究の重要な課題となっている。

参考文献

- [岡本 99] 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，1999
- [Kintsch 85] Kintsch, W., Greeno, J.G.：“Understanding and Solving Word Arithmetic Problems”，Psychological Review, vol.92, No.1, pp.109-129, 1985
- [中野 99] 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，1999
- [Nakano 99] A.Nakano, T.Hirashima, A.Takeuchi：“Problem-Making Practice to Master Solution-Methods in Intelligent Learning Environment Proc”，ICCE'99, pp.891-898, 1999
- [中野 00] 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
- [中野 04] 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
- [Polya 54] G. Polya：“いかにして問題を解くか”，丸善株式会社，1954
- [Silver 96] 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

謝辞

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。