

単文統合型の対話的作問学習支援システムとその評価

Interactive Learning Environment for Problem-Posing Environment and Its Evaluation

平嶋宗^{*1}
Tsukasa Hirashima

横山琢朗^{*2}
Takuto Yokoyama

岡本真彦^{*3}
Masahiko Okamoto

竹内章^{*2}
Akira Takeuchi

^{*1} 広島大学
Hiroshima University

^{*2} 九州工業大学
Kyushu Institute of Technology

^{*3} 大阪府立大学
Osaka Prefecture University

Problem-posing is a promising way to master knowledge or solution methods that are applied to solve the problems. Because this "learning by problem-posing" is highly required to realize individual and intelligent interaction for the posed problems, we have been investigating computer-based learning environment for interactive problem-posing. We have already developed several learning environments for interactive problem-posing in arithmetical word problems. In this paper, a learning environment for problem-posing as sentence-integration: MONSAKUN is introduced. The outline of practical uses and the results are also reported.

1. はじめに

学習の文脈においては、「問題を解くこと」と「問題を作ること」を比べると、問題を作ることのほうが難しく、また、問題に対する深い理解が必要である。「問題を解く」といった場合、その「問題」の多くは、既知の解き方で解けるように定式化され、かつ、解く上での必要十分な情報だけで構成されている。このような前提を利用すれば、問題に対する十分な理解なしでも、解法を適用して問題を解くことができる。これに対して、問題を作る場合、その問題を構成する要素の取捨選択および関係付けを注意深く行わなければ、妥当な問題を作ることはできない。たとえば、ある解法で解ける問題を作る際には、その解法が適用できる問題の構造を十分に把握していなければ、解けない問題を簡単に作成してしまう。これらのことから、「問題を作る」ことは、問題解決と比べてより高度な学習活動であるといえ、その効果はすでに広く認識されている。

しかしながら、「問題を解かせる学習」と比較して、「問題を作らせる学習」は、学習の支援側にとって非常に手間のかかる方法であるといえる。問題を解かせる場合であれば、答えは一つに定まる場合が多く、その答えを用意しておけば、正誤判定が容易である。間違っている場合であっても、正解が決まっていれば、その正解を伝えることで、基本的な誤り修正指導も可能である。このため、一斉授業や自習用の教材として、「問題を解かせる学習」は大きな役割を果たしている。これに対して問題を作る場合には、学習者が様々な問題を作る可能性があり、まずその正誤判定のために学習者の作る個々の問題を吟味する必要がある。さらに、作られた問題が適切でなかった場合、様々なある妥当な問題のうち、その問題に対して誘導すべきかを判断することも求められる。これらのことから、「問題を作らせる学習」は高度に個別な対応を必要とする学習形態であるといえることができる。

筆者らは、算数や数学あるいは力学の文章問題を対象として、「問題を作ることによる学習」を実施するための学習支援システムについての研究を進めている[中野 00, 横山 06, Hirashima07]。本稿では、ある解法で解ける問題を作成する、といった解法ベースの作問を、与えられた単文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といった単文統合として

の問題作りとして実現した学習支援システムとその運用事例について報告する。

2. 作問学習

2.1 問題の定義

単に「問題」といった場合、それが何を指すかは自明とは言えない。本稿では、以下のように限定的に定義することとする。

問題 = 物語(既知情報) + 問い(未知情報)

ここで、ある一連の物語あるいは説明によって与えられている既知情報から、問いによって指定された明示的に現れていない未知情報を求めることが問題の解決であり、その方法を解法ということになる。このように定義すると、作問とは、物語、問い、解法の三つの要素を適切に組み合わせることとなる。

2.2 作問における制約

作問においては、通常作る問題についての何らかの制約が与えられる。問題の構成要素は物語、問い、解法であるから、これらについてどのような制約を与えるかで、異なった作問課題となる。表1は筆者らが行っている大まかな作問課題の分類である。

表1 作問課題の分類

	物語	問い	解法
解法ベース	作成	作成	所与
物語ベース	所与	作成	作成
問題ベース	所与	所与	所与
物語作成	作成	所与	作成
問題解決	所与	所与	作成

このうち、解法ベースの作問とは、ある解法を与えた上で、その解法で解決可能な問題を作らせる方法である。筆者らはこの解法ベースの作問に関して、いくつかのシステムを作成してきた。次章では、解法ベースの作問について述べた後、単文統合としての作問方式を採用したシステムである MONSAKUN、およびその利用事例について報告する。

連絡先: 平嶋宗, 広島大学大学院工学研究科, 東広島市鏡山
1 - 4 - 1, 082 - 424 - 7670, tsukasa@isl.hiroshima-u.ac.jp

3. 単文統合型の作問学習支援システム

本章では、まず解法ベースの作問の形態について述べる。さらに、その一つの形態としての、単文統合型の作問について述べ、作問学習支援システム MONSAKUN を紹介する。

3.1 解法ベースの作問

解法ベースの作問では、ある解法が使えるような物語と問い(既知情報と未知情報)の組み合わせを作成することが求められる。この組み合わせを考えることで、解法の適用可能な構造およびその適用限界を意識することができることから、解法の理解を深める上で有効と考えられている。

本研究が対象としている算数の文章問題の完成形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することが考えられるが、学習者が記述する問題文には多くの誤字脱字などが含まれており、その診断は非常に困難であるといえる。また、算数としての文章題では、個々の文の意味自体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解釈できることを学習の主眼としていることから、自然言語文自体を書くことは不可欠な要素とはいえないと考えることができる。このような考えの下、筆者らはこれまでに、(1)単文テンプレート方式、(2)問題テンプレート方式、(3)単文カード方式、による作問を実現している。次節では、MONSAKUN で採用している単文カード方式について説明する。

3.2 単文カード方式による作問

単文カード方式では、与えられた単文カードを集合から必要なものを選び出した上で適切な順序で並べることによる作問形態であり、問題解決過程における単文統合に相当することから、単文統合による作問とも呼んでいる。この方式では、単文はあらかじめ用意されているので、単文の作成についての作業が軽減されていることになる。

Kintsch らの算数の文章題の問題解決モデルは、図1のように図式化できる。このモデルにおいては、問題を文単位で言語的に解釈する変換段階(Transformation)、言語的な解釈したに各文を算数的に構造化する統合段階(Integration)、算数的な構造化に基づいて計算方法を計画する計画段階(Plan)、計算方法を実行する計算段階(Execution)の四つの段階に分けることができるとしている。この中で、算数として最も重要な段階は、統合段階であるとしている。単文カード方式は、変換の段階を省略しているものの、この部分は単文の言語的な解釈であると考え、算数的な要素は少ないとすると、重要な統合を保持しているため、十分意味のある作問となっているといえる。

3.3 MONSAKUN

本節では、単文カード方式を採用した作問学習支援システム MONSAKUN について概説する。MONSAKUN では、2 項

の加減算で解ける算数の文章題の作成を学習課題とする。図2がそのインターフェースである。黒板メタファーを用いて構成されており、左側の上部に作問課題としての 2 項演算が示されている。その下に単文カードを当てはめる三つの空欄が用意されている(課題によっては、あらかじめ単文カードがいくつか入れられている場合もある)。右側には文章題を完成させるための単文カードが用意されており、これらのカードはドラッグ&ドロップによってインターフェース上を動かすことが可能となっている。また、黒板下部には「こたえあわせ」ボタンが用意されており、空欄をすべてカードで埋めるとアクティブとなり、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的メッセージを表示する部分となっている。図2の場合は、「 $2 + 7$ 」で解ける「あわせていくつ」の問題を作るのが課題となっている。

作問課題は、主に(1)問題タイプ、(2)空欄の数、によって分類されている。問題のタイプとしては、合併、増える変化、減る変化、比較、の四つが用意されている。空欄の数は少ないほど作問課題としては簡単となるので、1 空欄から 3 空欄までの課題が用意されている。

3.4 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、の三つの観点から行われる。文章構造とは、各問題のタイプにあった文章の構成になっているかどうかの診断であり、たとえば、「増える問題」では、二文目に必ず増加に関する単文がくる必要があり、その他の位置に増加の文が来てはいけない。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、変化のもんだいにおいては、3 文とも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。

文章構造と概念構造が適当であれば、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を調べるのが、数量関係の診断であ

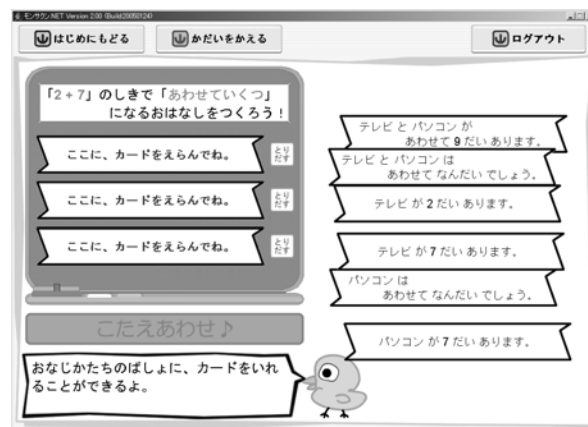


図2 作問インターフェース

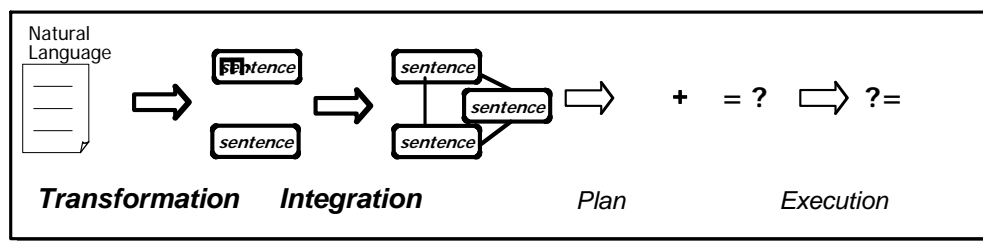


図1 算数の文章題の問題解決過程のモデル

る。演算の違い、および数量の違いをここで診断することとなる。

本システムでは、作られた問題が適切でなかった場合には、診断結果に基づいて修正を誘導するコメントを提示している。文章構造が不適切な場合は、その間違いを指摘し、交換すべきカードを指定する。概念関係が間違っている場合には、概念関係についての不適切さを直接指摘する。数量関係が不適切な場合も、不適切な数量関係になっている旨を学習者に提示する。

4. 使用事例

本章では、2ヶ月間、小学2年生の教室に本システムをインストールしたノートパソコンを配置し、授業外の時間に自由に利用させた実践利用におけるシステムの効果について報告する。本実践利用では、(1)本システムの長期利用が児童の問題解決能力を向上させるかどうかについて検討すること、(2)システム利用が効果を持つならば、その効果はどのような成績レベルの被験者に見られるのかについて検討すること、そして、(3)本システムが児童による自主的利用でも可能かどうかを検討すること、の3つの目的があった。

第1の目的に関して、本研究では、図3に示した問題文に解決には必要でない文が含まれている過剰問題解決テストを用いることにした。過剰問題解決テストは、通常の問題解決テストよりも問題文の統合が困難であり、解決成績も低くなることが知られており、本システムが問題文の統合を向上させたかどうかを検討するのに適した課題であるといえよう。

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？

図3 情報過剰問題解決テスト例

第2の目的に関して、本システムで学習する内容自体が1年生での学習範囲にあっているため、1年生で十分に学習している児童に関してはシステム利用の効果は見られないと予想される。そこで、本研究では、プレテストの成績によって、被験者を上位群と下位群に分類した上で、システム利用の効果について検討することにした。第3の目的に関して、本システムの利用状況の指標は、システムを利用して行った作問数とした。

4.1 実施状況

被験者は、小学2年生3クラスの児童99名であった。本実践利用の環境は、各クラスに2台ずつノート型計算機を設置し、1台に約15～17名程度の被験者を割り当て、クラス担任教諭の協力のもとで、登校してきてから始業までの時間、中休み時間、昼休み時間、に被験者らが計算機を自由に使えるような環境を用意した。教室に計算機を設置した期間は、2005年10月17日～12月21日の約9週間で、この間の登校日は46日であった。この利用期間の開始前に、練習利用として各クラス連続した2時限(1時限:45分)で本システムを用いた作問学習の授業を行い、その数日後、各クラスに計算機を設置した。利用期間内においては、被験者に自主的に本システムを使ってもらうために、本システムの使用を強要したり、クラス担任教諭が指導をしたりすることはなかった。ただし、「3つ作ったら待っている人と交替する」といった、計算機の使い方に関する細かなルールなどはクラスごとに教師が中心となって決めてあった。

システム利用の効果を測定するために、練習利用直後にプレテスト、利用終了時にポストテストを行った。プレテストとポストテストでは、情報過剰問題解決テストを実施した。

4.2 システムの利用状況

利用期間内における6つのシステムの総作問数は8386問であった。期間内の登校日は46日であったので、1日の1システムあたりの平均作問数は約30.4問であった。実践利用期間内の被験者ごとの利用日数から1人当たりの平均利用日数は、8.5日になり、1週間に1日弱の利用ということになる。これは、1日に1システムについて異なる3名が利用し、それぞれが10問作っていたということに相当する。

次に、2週ごとの作問数についてみる。表2に示すように、第3・4週、第5・6週では、作問数が大きく減少しているものの、それぞれ、1日1システムあたり19問、12問の作問は行なわれており、システムは継続的に利用されていたといえる。最後の第7・8・9週において利用が回復している理由は明らかではないが、期間が11月末から12月中旬となっており、季節的に室内で過ごすことが多くなったからではないかとのコメントが3人の教諭から得られている。

表2 期間ごとの利用者数と平均作問数(n=99)

期間	1,2週	3,4週	5,6週	7,8,9週
総作問数	2666	1149	722	3849
システム1日あたりの作問数	44	19	12	43

利用可能な時間帯が本来被験者にとって遊びや休憩の時間であり、かつ、システムを共有している人数(15～17名)が多いため、利用したいときに使えるとは限らない、といった状況の下であることを考慮すると、これらの結果は、システムとしては活発に利用されていたことを示す結果である。一方で利用日数の分布を見ると、すべての被験者が平均的に利用していたわけではないことも明らかになった。

利用期間終了時に行った被験者に対するシステム利用評価の項目とその回答結果を表3に示した。各評価項目に対する回答は、はい・どちらでもない・いいえの3件法を用いて回答させた。なお、当日欠席した被験者のデータを除いた91名を対象とした結果である。表3からは、ほとんどの被験者が、算数の勉強になると思い利用していたことや、利用することで算数の勉強が楽しくなったと答えていることがわかる。さらにクラス担任教諭らの感想も評価の結果を支持しており、評価結果には一定の妥当性があると考えられる。

まとめると、授業外での自主的な学習活動であるにもかかわらず、活発に本システムを利用した作問を行なっている被験者が存在することが確認できた。このことは、本システムを長期間にわたり利用するということが、小学2年生においても十分可能であることを示している。また、被験者自身も本システムを肯定的に捉えており、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だったといえるだろう。

質問	回答		
	はい	いいえ	どちらでもない
モンサクンをつかってみて さんすうがたのしくなりましたか？	84	1	6
モンサクンはゲームだと おもいましたか？	52	21	18
モンサクンはさんすうの べんきょうになるとおもいましたか？	82	3	6
モンサクンをもっと つかいたいとおもいましたか？	80	2	9
もんだいづくりはだんだんと うまくなっていききましたか？	75	3	13

表3 システム利用評価結果(n=91)

4.3 問題解決能力の向上

分析を行うにあたり、過剰問題解決テストのプレテストの式の正答数の平均値 8.32 の高低によって高成績群と低成績群の2群に分類した。利用期間内の全作問数にはばらつきが見られたので、中央値 77 の高低によって高作成群と低作成群の2群に分類した。その結果、高成績高作成群が 32 名、高成績低作成群が 20 名、低成績高作成群が 12 名、低成績低作成群が 21 名となった。

過剰問題解決テストの反応については、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。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・中間・ポストテストすべて12問で構成しており、12点満点となる。各群の情報過剰問題解決テストのプレテストとポストテストの成績を表4に示した。

表4 情報過剰問題解決テスト成績(上段の数値は得点、下段のカッコ内の数値は標準偏差)

条件	プレ	ポスト
高成績高作成群 (n=32)	11.06 (1.16)	10.96 (1.28)
高成績低作成群 (n=20)	10.65 (1.18)	10.50 (2.25)
低成績高作成群 (n=12)	4.41 (2.78)	7.25 (2.52)
低成績低作成群 (n=21)	4.14 (3.04)	4.71 (3.81)

まず、最初に、前述のグループ分けの妥当性を検討するために、プレテストの得点について、2(成績:高 vs. 低) × 2(作問数:高 vs. 低)の2要因分散分析を行った結果、成績の主効果のみが有意であり($F(1,81)=195.42, p<.01$)、高成績群の方が低成績群よりも得点が高かった。このことは、成績によるグループ分けが妥当であったことを示している。また、作問数の主効果は有意ではなかったため、プレテスト時点の成績には、作問数の影響はないことが確認された。

ポストテストの得点についても同様に2要因分散分析を行った。その結果、成績の主効果が有意であり($F(1,81)=67.81,$

$p<.01$)、高成績群が低成績群よりも得点が高かった。また、作問数の主効果についても有意であり($F(1,81)=6.78, p<.05$)、高作成群の方が低作成群よりも得点が高かった。さらに、成績 × 作問数の交互作用が有意傾向にあったので($F(1,81)=3.21, p<.10$)、TukeyのHSD法を用いて下位検定を行うと、高成績高作成群と高成績低作成群の間には差が見られなかったが、高成績高作成群、高成績低作成群と低成績高作成群の間には有意な差が見られ(どちらも $p<.01$)、さらに、低成績低作成群は高成績高作成群、高成績低作成群のどちらよりも有意に得点が低く(どちらも $p<.01$)、かつ、低成績高作成群よりも有意に得点が低かった($p<.05$)。すなわち、ポストテストでの過剰問題解決テストの成績は、高成績高作成群 > 高成績低作成群 > 低成績高作成群 > 低成績低作成群の順になることが明らかになった。この結果は、プレテストの時点では、低成績低作成群と低成績高作成群の得点がほぼ同じであったのに対し、ポストテストの時点において低成績高作成群の得点の方が有意に高くなっており、高成績群の得点と同じまでにはならないまでも、上昇していることを示している。これらの結果から、本システムの長期的利用が低成績高作成群の被験者の問題解決成績の上昇に強く影響していたといえる。

5. まとめ

本稿では、まず作問学習およびその計算機支援の枠組みについて述べた。その上で、筆者らがこれまでに開発してきた単文統合としての作問学習を対象とした作問学習支援システムについての概略を述べた。加えて、実践利用のデータから、本システムの長期的な利用が問題解決能力の向上をもたらすことを明らかにした。しかしながら、本システムが学習者のどの心的機能を促進するのかという点については十分に解明できなかった。この点については、さらに今後検討が必要である。加えて、利用状況からは、徐々にシステムを利用しなくなる児童の存在も明らかになり、継続してシステム利用を行わせるような工夫についても検討していく必要がある。また、本研究の結果からは、成績の高い児童に対しては効果が見られないという結果になっているが、本システムを1年生に利用した場合でも同様の結果が得られるのかどうかは明らかではなく、今後この点について検討する必要がある。すなわち、当該年度の学習内容を本システムで学習した場合には、成績の高い児童をさらに向上させることができるかどうかについても検討する必要がある。最後に、本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、課題であると考えている。

参考文献

- [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, J83-D-I-6:539-549 (2000).
- [横山 06] 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 (2006.10).
- [Hirashima 07] Tsukasa Hirashima, Takuro Yokoyama, Masahiko Okamoto, Akira Takeuchi: Learning by Problem-Posing as Sentence-Integration and Experimental Use", Proc. of AIED2007, pp.:254-261(2007).