

作問学習の知的支援環境における学習支援機能の評価*

中野 明¹ 平嶋 宗² 竹内 章³
九州工業大学¹

3R-01

1. はじめに

小学校の算数の授業において、文章問題を解かせる最大の目的は、学習者に概念間に存在する数量的な関係に着目させ、理解し使いこなせるようにすることである。このような目的に対しては、文章問題を解かせること以上に、作らせることが有効であるとされている。しかしながら、問題を作らせることは、解かせることと比較して教授者側の負担が大きくなる。このため作問演習はそれほど盛んに行われていないのが現状である。

著者らは、計算機を用いた作問演習の実現を指向した研究を行っている[1-3]。二項演算で解ける文章問題についての作問演習支援環境については、すでにそのプロトタイプが完成している。本システムの主な特徴は、学習者が作問した問題を診断する機能があることである。この診断結果に基づいて、学習者が誤りに気づくようなフィードバックを生成したり、学習者が次に作問する問題の種類を選定したりすることが可能となる。本稿では、小学校 4 年生を対象とした本システムの使用実験とその結果について述べ、学習支援システムとしての有用性を検証する。

2. システム概要

我々は、作問演習の形態を大きく 3 つに分類している[3]。(1)ある問題に対しての部分問題を作問させる「問題ベースの作問(Problem-Based Problem Posing)」, (2)ある問題の条件を部分修正させる作問「物語ベースの作問(Story-Based Problem Posing)」, (3)特定の演算関係や解法が適用できることを条件として学習者に作問させる「数式ベースの作問(Solution-Based Problem Posing)」である。

上述した分類を用いると、現在本研究で取り扱っているのは、「数式ベースの作問」である。また現段階のインタフェースでは、全ての二項演算を対象としてはおらず、「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(以後は「変化問題」と呼ぶ)のみを取り扱っている[4]。この「変化問題」とは、変化前の状態、変化の原因となる動作、変化後の状態と 3 つの大きな情報で構成されている。本システムでは、それら情報の関係を明示的に表現するテンプレートを導入している。学習者は、それら各情報(状態や動作)に関する概念と数量を決定することで文章問題を作る。「概念」はシステム側から予め付与した中からの取捨選択する。

本学習支援環境は Java からなるインタフェース部と、Prolog からなる推論部から構成されており、Client/Server 形式により通信を実現している。

2.1. システムを用いた作問作業の評価

問題解決演習の結果を評価する場合には、学習者がより多くの問題を一定時間で解けるようになるという量的な向上と共に、より難しい問題が解けるようになるという質的な向上が重要となる。作問演習の結果を評価する場合にも同様に、学習者がより多くの問題を一定時間で作るようになるという量の向上と、より難しい問題を作れるようになるという質の向上との 2 点に関して考察するべきである。

問題解決演習の場合、システム側が学習者に問題を与えるので、問題の質の制御は簡単であるが、作問演習の場合、学習者の作る問題の質を予め制御することは難しい。本システムでは、学習者の作った問題をシステムが解釈して、その質を判定している。本節では、その質の評価基準について述べる。

数量変化を示唆する「動詞」の用い方によって、変化問題のように動作が演算関係と関係している問題を作る上

で難しさが伴うと考えた。「動作(動詞)」が決定したからといって「演算関係」が決定することはない。決定するためには、「動作」の方向や「演算関係」の対象といった情報が付与されなければならない。しかし、最も単純な場合、つまり、自身のオブジェクトに対する自身の動作と仮定した場合には、自身のオブジェクトに対しての「演算関係」が表れる。我々は、この最も単純な場合の演算関係を、動詞の単純連想演算関係と呼ぶ。例えば、「あげる」ならば減算、「もらう」ならば加算、となる。しかし、実際には、この単純連想演算関係と、実際の問題の演算関係が一致する場合、と一致しない場合がある。本研究で行っている作問のような「数式ベースの作問」、つまり、数式(演算関係)に沿うことを条件とする作問において、問題を作る際の考慮点となり、作問の難しさの要因になりうると思った。

例えば、「太郎が 5 個のアメを持っていて。太郎が 2 個のアメを花子にあげた。太郎の 2 個のアメを持っている。」といった問題を、問題の演算関係と単純連想演算関係とにギャップのない問題と呼び、「太郎が 2 個のアメを持っていた。花子が 2 個のアメを太郎にあげた。太郎の 5 個のアメを持っている。」といった問題を、問題の演算関係と単純連想演算関係とにギャップのある問題と呼ぶ。本研究ではこの軸を「問題の演算関係と単純連想演算関係とのギャップ」と呼ぶ。

3. 教室での使用

3.1. 目的

これまで、本システムに関する予備的調査では、システムの利用前後において、紙上テスト(システムと同形式の作問活動)を行い、作問能力の向上に関して調査していた。しかし、システム利用を行う小学校の所有パソコンの台数不足により、各ユーザに 1 つのシステムを割り当てることができなかった。今回の利用実験では、各ユーザに 1 システムを割り当てることができ、本システムの利用に関するより詳細で正確なデータの収集ができた。本稿では、(1)システムを用いた作問活動が成立していたといえるか(usability)と、(2)この作問演習により作問能力が向上したといえるか(effectiveness)の 2 点に関して分析を行う。

3.2. 実験環境

被験者は、小学 4 年生 2 クラス(55 名)である。調査は、小学校の授業各 2 コマ(90 分)において、作問に関する授業、紙上テスト(以後、事前テストと呼ぶ)、システム利用実験、紙上テスト(以後、事後テストと呼ぶ)、アンケートの手順で行う。時間配分は、作問に関する授業が 20 分、事前テスト・事後テストは 10 分、システムの操作説明が 10 分・システム利用が 30 分・残った時間をアンケートに割り当てた。

紙の上での問題作りでは、被験者に対して予め 6 種類の数式を与え、各数式が成り立つ変化問題を作ることを前提条件としている。例えば、数式「 $5 - ? = 3$ 」が与えられ、この数式で解決できる問題を作ることが課題となる。

システム利用は、小学校のパソコン教室で行っており、パソコン教室は ISDN 接続された LAN 環境となっていた。この環境において、各自 1 台のパソコンを操作する。

3.3. 実験結果

実験結果に用いている「妥当な問題」とは、本システムの診断を用いて妥当と判断される問題のことである。紙上テストの場合には、作問の条件である数式で解決でき、かつ、「変化問題」である問題である。また、「妥当」に対しては、前述した「問題の演算関係と単純連想演算関係とのギャップ」がない場合とある場合とに細分する。「誤りのある問題」とは、本システムの診断を用いた際に不適切と判断される問題のことである。また、本システムを用いた作問の集計では、被験者が全く同じ問題を何度も診断していた場合、その重複した問題を集計の対象としていない。

* An Evaluation of Learning Support Function in an Intelligent Learning Environment for Learning by Problem Posing

¹ Nakano Akira, Hirashima Tsukasa, Takeuchi Akira

² Kyushu Institute of Technology

表 1: システムの利用状況に関する集計

System 利用状況	System 利用の 被験者数	システム利用の平均作問数	
		妥当な問題	誤りのある問題
10問以上	13	5.4	6.4
9~7問	22	7.7	2.0
6~4問	16	5.1	0.8
3~1問	4	1.5	0

表 2: 事前テストの結果ごとのシステム利用状況に関する集計

事前テストの 妥当な作問数	事前テストの 被験者数	システム利用の平均作問数	
		妥当な問題	誤りのある問題
6~5問	21	5.9	1.7
4~3問	23	4.3	2.4
2~0問	11	4.4	4.6

3.3.1. システムの usability

被験者 55 人全てがシステムを用いて妥当な問題を 1 問は作っていた。その利用状況ごとに調べるために、システムの利用状況を診断機能に問合せた件数（妥当な問題・誤りのある問題の両方が含まれる）を縦軸に取り整理する（表 1）。これより、システム利用状況が 10 問以上の被験者は妥当な問題の作問が多だけでなく、誤りのある問題の作問も多く、9~4 問はより慎重に作問作業を行っているのではないかと考えられる。

これに対して、2 問以下の作問数の被験者が 4 名存在した。これらの被験者の作問の内訳は、2 問が 2 名、1 問が 2 名であり、作られた問題は全て妥当な問題であった。また、事前テストで全員平均以上の数の作問を行っている。これらのことから、これらの被験者は本システムを用いた作問を行えなかったわけではなく、授業に参加していなかったと解釈することができる。

また、事前テストの成績とシステムの利用具合をまとめる、表 2 のようになり、事前テストで良い成績をとれなかった学習者の方が、むしろ多くの問題を作成していることがわかった。このことは、作問能力を十分持っているとはいえない学習者でも、本システムを十分使えることを示唆している。

また、事前テストで妥当な問題を作れなかった被験者の利用ログでは、誤りのある問題を作問してしまった場合に、システムの誤り修正支援によって、妥当な問題へと修正し、結果的に、他の被験者と同等量の妥当な問題を作ることが確認できている。

ここでは、詳細な報告は省略するが、実験に立ち会い、システムを利用した教師 6 人を対象としたアンケート結果より、システムが教材として十分に価値があると評価された。また、被験者を対象としたアンケート結果からは、システム利用やシステムの各機能に対して良い評価を得ている。

以上のことより、非積極的な被験者が少々存在したものの全く利用できない被験者がいない点（少なくとも 1 問は妥当な問題を作っている点）、作問能力の低い被験者が十分に利用できている点より、本システムの usability は高いものであったと考える。

3.3.2. システムの effectiveness

表 3 は、作られた問題の数の分布状況を示しており、事前テスト（システム利用前の紙上での作問）、システムを用いた作問、事後テスト（システム利用後の紙上での作問）の 3 回の作問作業の結果を縦軸に取り整理している。

まず、事前テスト・事後テストとの結果を比較することで、システム利用による作問量の変化を検証する。両テストにおいて被験者 55 名のうち 54 名は題意を満たす作問を行うことができていた（残り 1 名は事前テスト・事後テストともに「変化問題」ではないが解決できる問題を作問していた）。また、妥当な問題の作問数が、事前テストから事後テストにかけて増加していることが分かる。t 検定の結果、事前テストと事後テストとの「妥当な問題」の作問数の平均の差は有意であった（事前テストの平均 = 4.0、事後テストの平均 = 4.7、両側検定: $t(55) = 2.00$, $p < 0.01$ ）。したがって、事後テストの方が事前テストより「妥当な問題」の作問を多く行うことができているといえ

表 3: 作られた問題の数に関する集計

Test	妥当な問題			誤りのある 問題	総数
	ギャップなし	ギャップあり	計		
事前	206	14	220	31	251
System	69	201	270	114	384
事後	228	32	260	29	289

表 4: 作問量と作問した問題の質の変化と被験者の分布

質	量	上昇	無変化	下降
		上昇	8	3
無変化	17	17	7	
下降	2	0	0	

る。システム利用による作問した問題の質の変化した被験者は、事前テストで「問題の演算関係と単純連想演算関係とのギャップ」のある問題を作らなかった被験者 46 人のうち 12 人、26% 程度であり、有意な変化とはいえない結果であった。

次に、量と質の両方を加味した上で、被験者の能力に向上があったかどうかの検証を行うために、表 4 のような整理を行った。表 4 における、横軸「量」とは、妥当と判断される問題を作問した個数の変化量を取る。例えば、事後テストにおいて、事前テストより多く妥当な問題を作問できた場合には量の「上昇」があったとする。縦軸「質」とは、作った妥当と判断される問題の質（「問題の演算関係と単純連想演算関係とのギャップ」の有無）の変化を取る。例えば、事前テストにおいては「問題の演算関係と単純連想演算関係とのギャップ」のある問題を全く作っていないかった被験者が事後テストで 1 問以上そのような問題を作っている場合には質の「上昇」があったとする。

表 4 網掛部を、システム利用による能力の上昇があった被験者群とした場合、全体の 5 割程度の被験者の事後テストにおいてシステムの効果が現れていたことが分かるが、これは検定により裏付けられる程の結果ではなかった。

この結果を量の面から考察すると、事前テスト・事後テストの双方が課題数の上限（6 問）に到達してしまっただった被験者 11 人、中でも、質が無変化であった 8 人に対して、表 4 は量・質共に無変化（つまり、システムの効果がなかった被験者）と評価しなければならなかったことより、実験方法が十分ではなかったことが考えられる。

次に、質の面から考察する。多くの被験者は、表 3 より、システムでの作問作業において「問題の演算関係と単純連想演算関係とのギャップ」のある問題を数多く作問していた。これは、紙の上での作問作業に付随する、算数の学習以外の要素、例えば、問題に用いる概念や文章構成を発想・記述させる作業を、システムによって制限・支援したことによる成果といえる。しかしながら、システムを利用した時間が短かったとはいえ、システムでの経験が事後テストにあまり再現されていない。このことから、システムでの作問と紙上での作問とに隔たりがある可能性があること我々は考える。

4. おわりに

今後は、本稿で報告した実験結果と考察を踏まえ、紙上での作問への再現性の高い学習環境への改良・実験手法の再考を予定する。

参考文献

- [1] Hirashima, T., A. Nakano, A. Takeuchi, "A Diagnosis Function of Arithmetical Word Problems for Learning by Problem Posing", Proc of PRICAI2000, pp.745-755, 2000.
- [2] 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-1, No.6, pp.539-549, 2000.
- [3] Nakano, A., T. Hirashima, A. Takeuchi, "An Intelligent Learning Environment for Problem Posing and Its Evaluation - in the case of Arithmetical Word Problems Solved by an Addition or a Subtraction", Proc of ICCE2001, pp.1242-1249, 2001.
- [4] Kintsch, W., Greeno, J.G., "Understanding and Solving Word Arithmetic Problems," Psychological Review, vol.92, No.1, pp.109-129, 1985.