

算数文章題における解決の支援 (2)

— 1年後の遂行成績に基づく効果の検証 —

坂本 美 紀 (愛知教育大学 学校教育講座)

A longitudinal study of the effect of a computerized tutoring program on solving mathematical word problems

Miki SAKAMOTO (Department of school education, Aichi University of Education)

要約 算数文章題に関する解決支援訓練の効果について長期的な視点から検討するために、実験の1年後に遅延ポストテストを実施し、指導した内容の定着と一般化の程度を測定した。訓練で扱った小数の割合文章題で指導の定着を、訓練後の学習内容で指導内容の一般化をそれぞれ測定し、訓練群と対照群の遂行を比較したところ、一般化課題のうち割合文章題では、対照群で見られた成績低下を防ぐことができた。他の指標で訓練の効果が見られなかったことについて、訓練内容や遅延ポストテストの実施時期の点から考察した。

Keywords: 解決支援, フォローアップ, 割合文章題

問題・目的

学校教育に求められるものは、時代とともに少しずつ変化しているが、教科教育において、基礎的・基本的な知識・技能の定着が重要であることは、現在でも変わっていない(e.g. 文部省, 1998)。教科教育における指導のあり方を考えていくために、心理学の領域においても、認知心理学的なアプローチ等に基づいて教科理解を検討した研究が増えつつある。算数・数学における文章題解決の指導を例にとると、例えば坂本(2002)でレビューしたように、問題表象テクニックの指導、認知方略やメタ認知方略の指導、コンピュータを利用した指導といったアプローチを試み、それぞれの指導効果を実証する研究が行われている。

しかしながら、それらの研究の大半は、指導後のプレテストのみで効果を示すにとどまり、遅延テストで指導内容の定着(maintenance)を調べた研究は多くない。学習障害児や学習に問題のある児童を対象にした研究では、何回かプレテストを行って指導後の経過を追ったものがみられ、例えば、文章題の意味的なタイプ(問題スキーマ)を表象するスキーマ図による指導を行ったJitendraらによる一連の研究(Jitendra, DiPipi, & Perron-Jones, 2002; Jitendra, Hoff, & Beck, 1999; Jitendra, Griffin, McGoey, Gardill, Bhat, & Riley, 1998; Jitendra and Hoff, 1996)では、1ないし2週間後から、長い場合は10週間後までフォローアップを実施した。この他、線分図による問題表象テクニックを指導したZawaiza and Gerber(1993)では1週間後、線分図作成を含む認知方略の訓練を行ったHutchinson(1993)では6週間後、自己制御による認知方略を指導したCase, Harris and Graham(1992)では、対象児により時

期は異なるものの8~13週間後に、指導内容の定着を調べている。これらの研究では、ほとんどの被験児において指導の効果が報告されているものの、被験者数が少なく、統計的手法による検証はほとんど行われていない。健常児を対象とした研究では、中川・新谷(1996)とTajika, Nakatsu, & Nozaki(2000)が、統計的手法を用いて訓練内容の保持を検証している。まず、モニタリング能力の育成をめざした自己統制法による訓練が小学生の文章題解決を促進することを実証した中川・新谷(1996)において、小学5年生では訓練効果が実験の6ヶ月後にも保持されていたが、3年生では訓練効果が長くは保持されなかったことが報告されている。また、コンピュータを用いて割合文章題の線分図を作成する訓練を小学校5年生に実施したTajika et al.(2000)では、実験の5ヶ月後と1年後に遅延ポストテストを行い、訓練群が統制群を上回る成績を修めたことを示した。この他の研究では、訓練効果の保持は検討されていないが、対象が健常児(者)の場合でも、指導内容の定着について検討することはやはり重要であろう。

文章題解決の指導に関する研究の中には、指導された内容を、異なるタイプの問題を解決する際に利用できるかという、一般化(generalization)について検証したものがあ。例えばJitendra et al.(2002)では、学習障害を持つ中学生に対して乗除算の文章題を解く際のスキーマ方略を指導し、教えられた問題解決技能を新奇な問題に一般化できるかどうかを検討した。一般化テストにおいては、指導の際に用いた問題と同じ構造をもち文脈や未知数の位置が異なる文章題で近い転移(near transfer)を、指導されていない複雑な文章題で遠い転移(far transfer)を、それぞれ測定した。学習障

害児を対象としたこの他の研究では, Jitendra et al.(1998;1999)やCase et al.(1992), Hutchinson(1993)等でも, 一般化についての検討が行われている。Owen & Fuchs(2002)では, 問題解決方略の指導にワーディング等の異なる問題への転移の指導を組み合わせた群を設け, プレテストからポストテストにかけての向上が指導のみの群よりも大きくなることを示した。健常児(者)を対象とした研究では, 大学生を対象に数直線を用いた問題表象の仕方を教授したLewis(1989)が, より複雑な問題や訓練で扱わなかった問題への転移を検討し, ベースラインや統制群を上回る遂行を示したことを報告している。一方, 文章題の理解や解決プランニングを測定する課題を転移問題として用いたTajika et al.(2000)では, 実験群の成績は他の群と同レベルに留まり, この理由については, 転移問題が多肢選択形式であったために群間差が現れなかったのではないかと考察されている。指導内容や指導対象が異なるので単純に結論することはできないが, 他の研究のように通常の文章題を転移課題とすれば, 転移が生じた可能性はある。ただし, 既習の文章題を用いた場合は, 既にその問題をマスターしている児童等の存在により, 訓練前の遂行を統制することが困難になる。訓練の一般化がもたらす効果を抽出するためには, 例えば訓練終了後に履修する単元内容を扱う問題を用いて, 問題解決の促進が起きるかどうかを検討するといったやり方が考えられる。

以上より, 本研究では, 小数倍を扱う割合文章題で正しい式を立てられない小学5年生児童に対して行った解決支援の訓練についてのフォローアップを実施し, 訓練効果の持続を調べるとともに, 訓練で学んだ解法を, その後の単元で学習する問題の解決で利用できるかどうかについて検討する。Fig.1は本研究を含

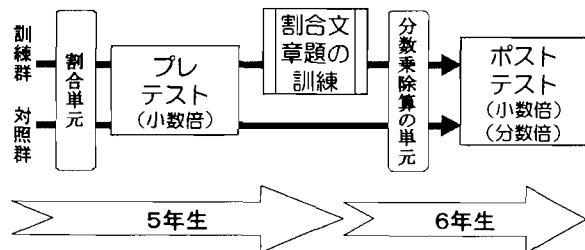


Fig. 1 実験計画の概要

む実験計画の全体を図示したものである。解決支援訓練の約1年後に遅延ポストテストを実施し, 訓練に先立って実施したプレテストでの遂行や, 訓練を実施しなかった対照群における遂行との比較から, 訓練で指導した解法の定着と一般化について明らかにする。実験群に対して行った解決支援訓練の内容とその効果については, 坂本(2002)で述べられている。訓練は, 解決に必要な知識を持っているにもかかわらず, 問題解決場面でその知識を使えない児童への支援として, コ

ンピュータ・プログラムにより実施した。解決支援プログラムでの指導の流れをFig.2に示す。主要な介入

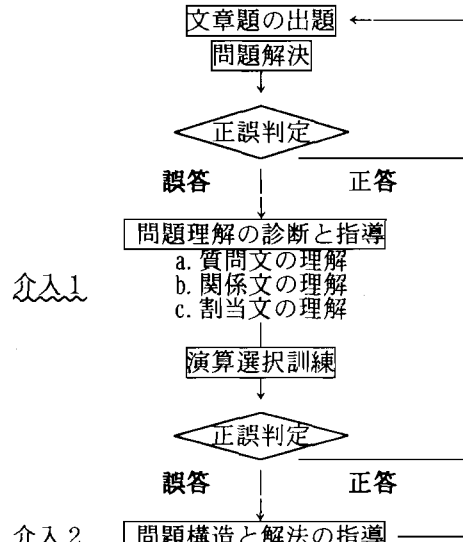


Fig. 2 解決支援プログラムによる指導の進行

は, プレテストで正しい立式ができなかった学習者に対し, 問題理解の様子を小問でチェックするとともに, 文による割合問題に準じた形で文章題の表象を作成し, 割合の用法に関する知識が利用しやすい状況で演算選択を行わせる訓練(実際の画面はFig.3参照)であ

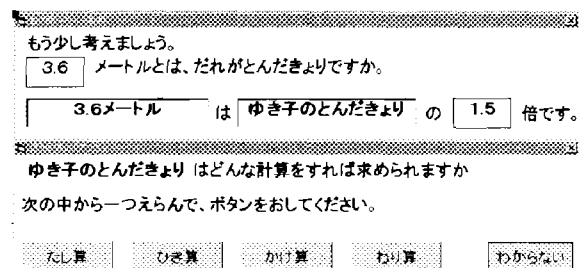


Fig. 3 演算選択訓練の画面
注: 文章題提示画面の下部に追加提示される。

り, この介入により, 第3用法の文章題の遂行を向上させることができた。これを受けて, 本稿では, 訓練1年後の6年生時点で実施した遅延ポストテストの結果について報告し, 訓練効果の定着および異なるタイプの文章題への一般化に関して検討を行う。定着を測定する課題は, 訓練で扱った小数倍の文章題から出題する。一般化については, 訓練後に学習する単元の内容から課題を選んだ。小数倍の文章題を取り扱う小数の乗除算の単元および割合の単元は, 改正前の小学校学習指導要領(文部省,1989)では5年生に配当されており, その後6年生に配当されている分数の乗除算を扱う単元の中で, 分数倍を扱う問題や文章題を練習することになっていた。このカリキュラムに基づいて, 本研究では, 分数倍の文章題と割合問題を用いて訓練内容の一般化を測定することとした。なお, 訓練を行わなかった対照群では, 訓練群と同内容のプレテストと

Table プレテストおよび遅延ポストテストで用いた文章題

	プレテスト	定着課題	一般化課題
第2用法	コーラが2.4リットルあります。サイダーの量は、コーラの量の0.8倍にあたります。サイダーは何リットルありますか。		はばとびで、よう子は3メートルとびました。つき子のとんだきよりは、よう子の2/5倍です。つき子は何メートルとびましたか。
第3用法	オレンジジュースが1.5リットルあります。オレンジジュースの量は、リンゴジュースの0.6倍にあたります。リンゴジュースは何リットルありますか。	リンゴジュースが2.8リットルあります。リンゴジュースの量は、オレンジジュースの量の0.7倍です。オレンジジュースは何リットルありますか。	はばとびで、かずおは4メートルとびました。かずおのとんだきよりは、みちおの5/6倍です。みちおは何メートルとびましたか。

遅延ポストテストのみを実施した。

方法

被験児 訓練群…愛知県下の公立小学校6年生84名(男子43名,女子41名), 対照群…同一小学校の6年生87名(男子48名,女子39名)。各群への割り当ては、5年生時点にクラス単位で行った。

課題 定着課題として小数倍第3用法の割合文章題を、一般化課題として分数倍を扱う割合文章題と割合問題を、それぞれ実施した。割合文章題は、第2・第3用法各1問の計2問を出題し、問題を解くための式を立てさせた。プレテストおよび遅延ポストテストで出題された文章題の一覧をTableに示す。割合問題では、「aはbのx倍」という倍の関係を表す文ないし線分図を、1つの数を□で置き換えて提示し、□にあてはまる数を求めさせた。用法は、第1・第2・第3用法の全てを出題し、小問数は文形式が3問、線分図形式が4問であった。

手続き ポストテストの各課題をA4版の課題冊子にまとめ、担任教師の指導のもと授業時間内にクラス単位で実施した。所要時間は約45分であった。

結果

5年生時点で解決支援訓練を実施した訓練群と実施しなかった対照群とで、6年生時点における遅延ポストテストの成績を比較した。最初に定着課題、続いて一般化課題で成績比較を行った。

1. 訓練効果の持続

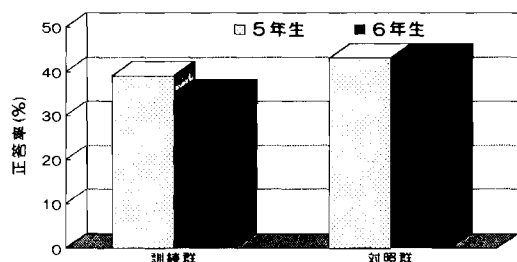


Fig.4 解決支援訓練の有無による小数割合文章題の成績変化

定着課題として実施した小数文章題第3用法について、5年生および6年生時点における各群の正答率をFig.4に示す。正答を1点、それ以外を0点として得点化し、学年×訓練の有無の2要因分散分析を実施したところ、主効果も交互作用も見られなかった(全て $F(1,169) < 1, n.s.$)。

2. その後の履修内容への一般化

訓練が6年生で学習した分数倍の問題解決に与える影響を検討した。まず、訓練で扱った割合文章題で、一般化の検討を行った。5年生時点での小数文章題および今年度の分数文章題の平均正答数はFig.5の通り。

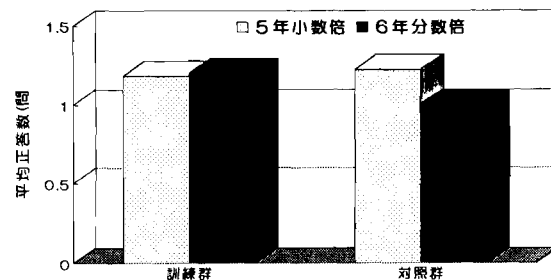


Fig.5 解決支援訓練の有無による割合文章題の成績変化

各時点での正答数について、学年×訓練の有無の2要因分散分析を実施したところ、主効果はともに見られなかったが(学年: $F(1,169)=2.119$, 訓練: $F(1,169)=0.819$, ともに $n.s.$), 学年と訓練の有無の交互作用が有意傾向であった($F(1,169)=3.365, p < .10$)。下位検定を行ったところ、対照群では、6年生の分数文章題で、5年生での小数文章題より成績が有意に低下していたが、訓練群では、成績差は有意でなく、分数文章題でも、前年度の小数文章題と同程度の成績であったことが示された。

続いて、訓練で直接扱わなかった割合問題について分析した。5年生および6年生時点における各課題の正答数を、満点をそろえるために率に換算して群ごとにFig.6に示す。文形式、線分図形式のそれぞれで、5年生時点の小数倍問題での成績と6年生の分数倍問題での成績とを比較したところ、文形式では学年の主効果のみが有意であり($F(1,169)=6.401, p < .05$), 訓練の有無に関係なく成績が低下したことが示された。線分図形式では学年の主効果のほか($F(1,169)=4.693$,

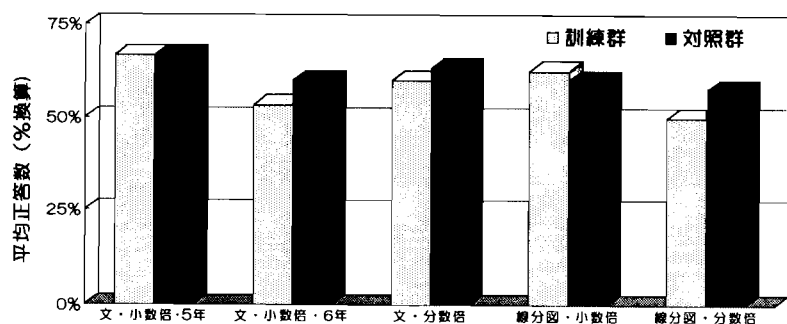


Fig.6 各群における割合問題の成績変化

$p < .05$), 学年と訓練の有無の交互作用が有意傾向であり ($F(1,169)=3.154, p < .10$), 訓練群では分数倍問題になると小数倍の場合より成績が低下したのに対し, 対照群では成績低下が認められなかった。なお, 訓練の主効果は, どの課題でも有意にならなかった。

考 察

本研究では, 5年生で実施した解決支援訓練の約1年後に, 定着課題と一般化課題からなる遅延ポストテストを行い, 訓練効果の持続およびその後の履修内容への影響について検討した。まず, 定着課題での遂行において, プレテストからの向上が訓練群・対照群ともに認められなかったことより, 訓練の効果が一時的なものであり, 1年後には消失してしまったことが明らかになった。また, その後の履修内容である分数倍問題への影響について, 訓練を実施した文章題に関しては, 訓練群では, 対照群では見られた分数倍問題における成績低下を防ぐことができ, この点に関しては訓練の効果と考えられる。しかし訓練群のみで, 訓練で扱わなかった割合問題のうち線分図形式の課題において, 有意傾向ではあるが, 小数倍問題から分数倍問題にかけての成績低下が生じたことより, 文章題で見られた効果は相殺されてしまったことになる。このように, 小数倍文章題に対する解決支援訓練は, 1年後という長期的な視点から検討したところ, 指導内容の定着においても一般化においても, 期待していたような成果を挙げるができなかった。

訓練群において長期的な成果が得られなかったのはどうしてだろうか。この理由については, 下の3点が考えられる。まず最初に, 実施した訓練そのものの問題が挙げられる。本研究での解決支援訓練は, 基本的にステップバイステップの問題解決をベースとし, 質問に答えさせる中で文章題解決を支援していくものであった。ところが, 数学を不得手とする生徒を対象とした実験において, 既に解いてある例題(worked example problems)で学習した群は, プレテストからポストテストにかけて大きな向上を示したが, それに対して, 5つのステップで文章題を解かせる指導をコンピュータ・ベースで行うシステムであるWPSEで学

習した群の向上は小さかったことが報告されている(Yadrick, Regian, Robertson-Schule, & Gomez, 1996)。Yadrickらはこの結果を, 問題解決の作業がもたらす認知的な負荷が学習を阻害するとする cognitive load theory (e.g. Sweller, 1989) をはじめとする先行研究の知見に添うものと考察しており, もしそうであれば, 実験対象者の異なる本研究にも, 同じ指摘があてはまる可能性がある。つまり, 本

研究の訓練では, 学習者によっては認知リソースの大半を問題に費やしてしまい, 指導された解法を訓練後も定着させられるような形で処理することができないという事態が生じた。そのため, 直後ポストテストでは向上が見られたとしても, その後の定着や一般化には至らなかったのではないだろうか。訓練効果の保持が実証された先述の2研究のうち, Tajika et al. (2000) が行った訓練が, 問題解決を課さずに問題表象テクニックのみを指導するものであったことも, この考察を傍証する知見と言えるかもしれない。

訓練効果の保持を実証したもうひとつの研究である中川・新谷(1996)では, 問題解決場面の中で, 文章題解決におけるメタ認知方略を教授した。訓練効果が実験の6ヶ月後にも保持されていたのは, 実験授業の約1ヶ月間前から毎日自己統制訓練を実施していた群であり, 実験授業を3セッション受けただけの群では, 自己統制は十分に定着しなかったことが報告されている。本研究で実施したような特定のタイプの文章題に対する解法の指導と, より一般的なメタ認知方略の指導とでは, 定着までに必要な訓練期間は同じではないだろうが, 本研究では訓練の期間が十分でなかったことも, 定着や一般化が見られなかった理由のひとつではないだろうか。直後ポストテストでの成績向上をもたらした指導内容についての分析(坂本, 2002)で示されたように, 訓練直後のポストテストで第3用法の文章題の遂行が向上した児童群では, 訓練時における第3用法2問目の正答率が高かったことより, 演算選択の訓練で学んだ内容を, 次に同じ構造の問題が出題された際に適用できた者が多かったと考えられている。演算選択訓練だけでなく, 学んだ知識を次の問題解決に適用して正誤のフィードバックを受けた経験も, 遂行の向上に寄与しているのだとしたら, 本研究の訓練で第3用法の文章題が2題しかなく, 特に第3用法の2問目で訓練を受けた学習者には, その後の問題解決でフィードバックを受ける機会がなかったことは問題である。この点を考慮し, 訓練の問題数等を多くする等の配慮が必要であっただろう。

第3の理由としては, 遅延ポストテストまでの期間が挙げられる。先述のTajika et al. (2000)では, 本研究と同じ1年後の遅延ポストテストに加え, 実験の5ヶ

月後にもテストを実施した。そして、5ヶ月後のポストテストでは、直後ポストテストに比べて第3用法の文章題の成績が向上したが、5ヶ月後から1年後にかけては、成績差が認められなかったことが報告されている。この結果から考えると、本研究では遅延テストまでの間隔が長すぎたのではないだろうか。テストの実施が3ヶ月や半年後であれば、今回とは異なる結果が得られたかもしれない。

以上の点を考慮し、解決支援訓練を、訓練効果を高め、かつ訓練で扱わなかった内容に関する知識や力を退行させないような内容へ改善していくと同時に、遅延ポストテストまでの期間を短縮したり実施回数を増やしたりして、訓練効果の保持の様相をきめ細かく検討していくことが今後の課題である。

文 献

- Case,L.P.,Harris,K.R. & Graham,S. 1992 Improving the mathematical problem-solving skills of students with learning disabilities: self-regulated strategy development. *The Journal of Special Education*,26,1-19.
- Hutchinson,N.L. 1993 Effects of cognitive strategy instruction on algebra problem solving of adolescents with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*,16,34-63.
- Jitendra,A. & Hoff,K. 1996 The effect of schema-based instruction on mathematical word problem solving performance of students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*,29,22-431.
- Jitendra,A.K.,Griffin,C.C.,McGoey,K.,Gardill,M.C.,Bhatt,P., & Riley,T. 1998 Effects of mathematical word problem solving by students at risk or with mild disabilities. *Journal of Educational Research*, 91,345-355.
- Jitendra,A.K.,Hoff,K. & Beck,M.M. 1999 Teaching middle school students with learning disabilities to solve word problems using a schema-based approach. *Remedial and Special Education*,20,50-64.
- Jitendra,A.K., DiPipi,C.M.,& Perron-Jones,N. 2002 An exploratory study of schema-based word-problem-solving instruction for middle school students with learning disabilities: An emphasis on conceptual and procedural understanding. *Journal of Special Education*, 36,23-38.
- Lewis,A.B. 1989 Training students to represent arithmetic word problems. *Journal of Educational Psychology*,81,521-531.
- 文部省 1989 小学校学習指導要領.大蔵省印刷局.
- 文部省 1998 小学校学習指導要領解説算数編. 東洋館出版社.
- 中川恵正・新谷敬介 1996 児童の算数文章題の解決に及ぼす教授法の効果－自己統制訓練法の検討－. *教育心理学研究*,44,23-33.
- Owen,R.L. & Lynn,S.F. 2002 Mathematical problem-solving strategy instruction for third-grade students with learning disabilities. *Remedial and Special Education*,23,268-278.
- 坂本美紀 2002 小学校高学年における割合問題の解決に関する縦断的研究.愛知教育大学研究報告, 51,85-92.
- Sweller,J. 1989 Cognitive technology: some procedures for facilitating learning and problem solving in mathematics and science. *Journal of Educational Psychology*,81,475-466.
- Tajika,H., Nakatsu,N. & Nozaki,H. 2000 A longitudinal study of the effects of computer-based diagrams on solving word problems. *Educational Technology research*,24,1-8.

付記 本研究は、平成12-13年度文部科学省科学研究費補助金(奨励研究A)の助成を受けて行われたものである。実験にご協力頂いた小学校の先生方および児童の皆さんに厚く御礼申し上げる。