

算数授業における能動的聴取と多様な解法からの学び

河 崎 美 保

はじめに

本稿の目的は、児童から多様な解法が発表される算数授業に関する近年の研究を概観することである。そうした場面で児童が発表する解法は教科書で解説されるような規範的な解法とは限らない。インフォーマルな解法や誤りを含む解法が発表されることもある。こうした解法を、本稿では非規範的解法と呼ぶことにする。

非規範的解法の発表は、算数授業場面で日常的に生じている。また、教育方法学では「子どものつまずきを生かした授業」を行う優れた教師の実践が記述されている。しかし、教授学習分野の心理学では、解法学習時に別解法や非規範的解法を提示することの有効性を実証する研究の一方で、必ずしも効果的ではないことを示唆する研究も見られている。このように、別解法や非規範的解法の提示に対する見解には、現実の教室での営みやそれを記述する教育方法学による実践研究と、教授学習過程に対して実験的なアプローチをとる心理学の間で齟齬も見られる。教室での教授学習過程に関する研究を概観したものには、佐藤（1999）、白水（2006）がある。また算数・数学教育の実践に寄与しうる国内の心理学研究の知見を概観し、心理学研究と教科教育学研究の統合による互恵的發展を論じたものとして、藤村（2005）がある。特に算数授業で非規範的解法などの多様な解法を発表することの意義に関する国内外の研究に絞り、報告することが本稿の目的である。

そこで、本稿ではまず、現在の算数科の授業が依拠する授業モデルを踏まえた上で、その是非を心理学の教授学習研究の知見に基づき検討する。そして算数授業において多様な解法が提示されることの効果を明らかにする上で、心理学の教授学習研究がもつ課題について議論する。なお、自分の解法とは異なる解法を取り入れることで、統合的に、より抽象的な理解をすることは、認知、社会、情緒な面での影響が期待できる（DeCorte & Verschafel, 2006）。以下では主に認知的な影響に焦点をあてる。

算数科の授業モデル

日本の算数授業では、多様な解法をクラスで共有して練り上げる形態がとられることが多い。Stigler & Hiebert（1999）は算数・数学授業の国際比較を行い、日本の授業の基本型が、教師による問題の提示、児童・生徒による自力解決、何名かの解法の発表であることを見出した。発表された解法を吟味することを通じて、問題に対して適切な解法を理解することがねらいとされている。

このような授業のねらいは、アメリカ（National Council of Teachers of Mathematics,

2000), オーストラリア (Australian Education Council, 1991), ベルギー (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1997), ニュージーランド (Ministry of Education, 1992) といった諸外国における算数教育の指針とも一致が見られる (Anthony, 1996; De Corte & Verschaffel, 2006)。たとえば, Principles and Standards for School Mathematics (National Council of Teachers of Mathematics, 2000) は, 複数の視点から数学的なアイデアを検討し, それらに関係づける授業を奨励している。これは, 数学的なアイデアを多様な視点から検討する話し合いに参加することで, 児童・生徒が自らの思考を高めることができると考えられているからである。児童・生徒は自分の考えを説明することによって, 明瞭で説得力があり, 正確な方法で数学的言語を使用するようになると考えられている。また, 他者の説明を聴くことは自分の理解を発展させる機会を提供すると期待されている (NCTM, 2000)。

それでは, 日本の授業の基本型はこのようなねらいを達成しているといえるのであろうか。優れた教師による実践記録や実践に基づく教育方法学研究からは, その有効性がうかがえる。たとえば, 児童が積極的に発言を行う授業では, 対立した意見や「つまずき」を含む意見の出ることが予想される。著名な教師である斎藤喜博は, この「つまずき」の意義に注目し, 「子どものつまずきを生かす授業」を提唱した。斎藤は, 児童の「つまずき」を「○○ちゃん式まちがい」として定式化し, どうして間違っているのかを話し合わせる実践を行っている (斎藤, 1970)。

「学習集団づくり」による授業研究を推進した教育方法学者である吉本均もまた, 「つまずき」の意義をより確かな解釈, 認識をつくりだすための契機として, 授業展開のなかで生かすべきだと述べている (吉本, 1989)。「学習集団づくり」では, 多くの児童が意見を発言し, 「同一」「類似」「累加」「差異」「対立」「比較」などの思考活動を通して, 異質な認識をより高い共通認識に止揚する「集団思考」が展開されるとともに, 児童間の仲間意識の形成が目指される (吉本, 2006)。授業において真に価値ある結論を学級のすべての子どもたちが共有するためには, 児童が自分の意見を発表することで満足することに終わらず, 他の子どもの意見を聴いて考えを深めることが必要であり, そのためには異なる意見をめぐる問答が欠かせないという (吉本, 1989)。

クラスで複数解法を共有し比較することは, アメリカの優れた数学教師にも重視されている (e.g. Lampert, 1990)。以上のような知見は, 解法の多様性を重視する算数授業の有効性を間接的に支持しているといえるだろう。しかし, このような実践者による支持に比して, 多様な解法を扱うことが学習の成果を高めるという因果関係を直接実証した研究は少ない。以下では, 解法の多様性を重視する算数授業の有効性を検討した心理学研究を, 中学生や大学生を対象とした研究も含めて示す。

多様性重視の算数授業を支持する見解

日本の算数授業の主流モデルは多様な解法が児童から発表される授業であることをみた。Galton, Hargreaves, Comber, Wall, & Pell (1999) によると, 教師による直接教授は手続き的知識の伝達には適するとしても, そのより深い理解や問題解決を促すには十分ではない。概念的理解や数学の問題解決のように複雑な活動には, クラスメイトとの協調的活動が有効だとされる。こうした授業の有効性を検討した心理学研究に以下のようなものがある。

藤村・太田 (2002) は, 小学校5年生を対象に, 単位あたり方略による混み具合比較課題の解

決を促進する教授法を検討した。倍数関係に着目した方略（倍数操作方略）でも単位あたり方略でも解決できる問題にまず取り組み、それらの方略を児童が発表・比較検討する条件と、単位あたり方略のみで解決可能である問題に取り組み、発表・比較検討する条件とを比較した。その結果、前者の方が、事後テストの混み具合比較課題の正答率が高かった。また、事後テストでの単位あたり方略の適用率は、授業中に単位あたり方略を意味理解した児童で高く、この意味理解群には、事前テストの段階で倍数操作方略や単位あたり方略を多く用いていた傾向があった。

藤村・太田（2002）は、多様な解法が発表され、比較検討される授業の学習促進効果を実証した。また、複数解法が発表されるための工夫として、既有知識でも解きやすい数量関係の問題を用意することが有効であることを示唆している。さらに、事後、単位あたり方略の適用率が高かった児童の事前理解や授業中の遂行の分析から、特に効果のある児童は一定の範囲に限られたことが示唆される。したがって、多様な解法を検討する授業によって学習が促進され易い児童の範囲を検討することが、こうした授業の有効性を評価する上で、重要な観点であると考えられる。

多様な解法の有無による学習成果の違いを比較した研究ではないが、次の3つの研究は、多様な解法を扱う授業が学習促進効果を生じる条件に示唆を与える。

森田・稲垣（1997）は、小学校4、5年生を対象に、異分母分数の加法の解決を促す教授法を検討した。予め複数の答えを選択肢として呈示し予想分布を公表した上で、討論する条件と、児童らが自ら生成した答えを複数発表させて討論する条件とを比較した。その結果、後者の方が討論中の発言が多くなされ、事後テストでの正答率が高かった。同様の対象、題材を用いた Inagaki, Hatano, & Morita（1998）では、選択肢を呈示した場合でも、各選択肢の是非を議論し、事後テストで適切に解決できた。

Rittle-Johnson & Star（2007）は、7年生を対象に、1次方程式の柔軟な解決を促す教授法を検討した。同じ問題に対する2つの解法を同時に呈示し、比較を促す条件と、2つの解法を1度に1つずつ順に呈示し、それぞれを理解するよう促す条件とを比較した。生徒はペアで話し合いながら取り組んだ。その結果、比較を促した条件の方が一次方程式の正答率（手続き的知識）や2つの解法の生成・認識や特性の理解（手続きの柔軟性）がより上昇した。ただし、一次方程式の抽象的な構造理解（概念的知識）の向上に違いは見られなかった。

以上、森田・稲垣（1997）、Inagaki et al.（1998）は、異なる解法の差異を明確にするような説明が多くなされることが、多様な解法の学習促進効果を引き出す重要な要因であることを示唆し、Rittle-Johnson & Star（2007）はそのことを実験的操作によって明確に示したといえる。多様な解法が単に呈示されたり、show-and-tell形式で発表されるだけの授業（Rittle-Johnson & Star, 2007）では、多様な解法を呈示する成果は認められにくいだろう。この点は、NCTM（2000）の意義がアメリカでも一般に受容されているものの、こうした実践が実際に見られることは多くなく、多様な意見を尊重しつつ、数学的に価値のある話し合いを組織することに困難を感じている教師もいる（Silver, Ghouseini, Gosen, Charalambous, & Strawhun, 2005）一因とも考えられる。異なる解法に対する説明活動を促すための工夫として、比較を求める明示的な教示（Rittle-Johnson & Star, 2007）、児童自身の考えを取り上げ自我関与を高めること（森田・稲垣, 1997）が有効であることが示唆される。その他に、Rittle-Johnson & Star（2007）は、複数解法を並列的に呈示することも重要な要素として挙げている。しかし厳密には、

彼らの実験では、比較を求める教示の有無と呈示方法（並列呈示か系列呈示か）の要因が交絡しているため、この提案には検討の余地がある。また複数解法の比較の有無とペア活動との相互作用の可能性も検討課題であろう。

以上、解法の多様性を重視した授業の有効性を検討した心理学研究をみた。各研究ごとに明らかになった課題は既に述べた。ここで、すべての研究に共通する課題として2点挙げることができる。1点目は、多様な解法の検討が、解法理解のどの側面を促したため、課題の通過率や正答率が向上したかの説明である。異なる解法間の差異に関して説明を生成することが、たとえば、より高次の解法の記銘と再生を容易にしたのか、より高次の解法の選好を高めたのか、より高次の解法を構成する各操作がどのように下位目標を満たし、課題解決に寄与するかの理解を促進したのか（Crowley & Siegler, 1999）など、いくつかの可能性がある。Rittle-Johnson & Star (2007) は、上述のように手続き的知識、手続きの柔軟性、概念的知識を測定する問題を実施し、効果の見られた範囲を示している。この3側面で上記の研究を整理したものがTable 1である。各研究における、学習時に使用した課題と同型の課題の正答率を手続き的知識の指標ととらえると、4つの研究はすべて手続き的知識において成果を報告しているといえる。しかし、教師による直接教授では得難い効果が、単に効率のよい解法や一般性のある解法の獲得にとどまらず、概念的知識の向上であると考えらるならば（Galton, et al. 1999）、現在の心理学研究は多様な解法の検討による限定的な効果しか実証できていないといえる。これを超える効果が得られる教授法の検討により、優れた教師による実践を構成する要素の解明にも近づくことが期待される。

Table1 多様な解法を比較検討した授業で特に向上した理解の側面

	効果の見られた理解		
	手続き的知識	手続きの柔軟性	概念的知識
藤村・太田 (2002)	○	—	△
森田・稲垣 (1997)	○	—	—
Inagaki et al (1998)	○	—	—
Rittle-Johnson & Star (2007)	○	○	×

注) —；対応した課題を実施していないことを示す。

△；藤村・太田 (2002) では他領域への転移課題を実施したが、効果は示されなかった。

2点目は、多様な解法を検討することが、たとえ高次の解法の記銘と再生においてであれ、効果を持つのはなぜかというメカニズムの説明である。算数授業における多様な解法は多様な表示形式（数式、図、言語など）と重なる場合も多いことから、次のようなAinsworth (2006) の指摘は参考になるであろう。

複数の表示形式を用いる利点としてAinsworth (2006) は次の3点を挙げている。①相互補完性、②誤った解釈を回避できるという相互制約性、③相互に結びつけ、新たな視点から解釈することで、一般化・抽象化できるという理解深化の3側面である。

実際に、Koedinger & Tabachneck (1994)、Tabachneck, Koedinger, & Nathan (1994) は、数学の文章題解決に対して多様な表示の使用が有効に解決に結びつくことを示した。フォーマルな表示は、統語的性質を持ち計算を促進するが、抽象的な処理のため、意味のない解釈やエ

ラーにつながる可能性がある。こういったエラーを防いだり修正したりする方法は、数式を再度注意深く適用することではなく、むしろ問題場面を理解したり、概念的な誤りを特定するために言語など他の表示を用いる方略へと切り換えた方がよいという結果が得られた。こうした複数のアプローチによる効果は、数式など一般にフォーマルな表示を用いたアプローチの計算上の効率のよさと言語など一般にインフォーマルな表示を用いたアプローチの意味理解機能の間の相互補完性、相互制約性から説明される (Koedinger & Tabachneck, 1994)。こうした分析を踏まえると、正しい2つの解法を比較することで、同一の問題に適用可能な解法が2つ存在することが理解されることにより、確かに、Rittle-Johnson & Alibali (2007) が示したように、手続き的知識や手続きの柔軟性の向上が期待される。また、その高次の解法の使用による正答率(手続き的知識)の上昇は、他の解法によるバックアップにより支えられている可能性もあるだろう。

3つ目の利点である一般化・抽象化による理解深化に関しては、なぜ新たな方略の発見の前兆として複数方略の使用が見られるのかを考察したCrowley, Shrager, & Siegler (1997) の示唆が参考になる。Crowley et al. (1997) によれば、1つ1つの方略はいくつかの操作から構成されるが、ある問題に対し適用される方略がただ1つである場合には、その方略の複合性は表象されにくい。これに対し、同じ領域の問題に対する複数の方略の間で比較を行うことは、それぞれの方略が各操作の選択の積み重ねとして表象されることにつながる。こうした分析を踏まえると、複数の方略間の比較は、その問題領域の構造(各操作が満たす下位目標と課題の解決という最終的な目標)の分析を可能にするため、1つの方略の学習からでは得られない抽象的理解、概念的知識に至り得ると考えられる。

多様性重視の算数授業に懐疑的な見解

前節では、多様性重視の算数授業の効果を実証する心理学研究を紹介した。ここでは、これらの研究が、次のような懸念へ与え得る示唆について検討する。

算数教育の専門家からは、児童の解法発表を中心とした算数授業の効果を疑問視する声も聞かれる。古藤・新潟算数教育研究会(1998)は、子どもたちが既習の知識技能を駆使して多様な解法を発表するが、まとめの段階になると規範的な解法を確認して終わってしまう授業の存在を指摘している。また、自分では適切な解法を考えることができなかった児童にとって、他の児童の発表する解法を聞くことが正しい解法の使用を促進するのかといった点が懸念されている(菊池, 2006)。

さらに、多様な解法を比較する教授法を検討し、効果が見られなかった心理学研究もある。Grosse & Renkl (2006) は、大学生を対象に、場合の数および確率を算出する方法の教授法を検討した。その結果、場合の数の算出方法に関しては2つの解法を学習させた方が、正答率が高かったが、確率の算出方法に関しては正答率に違いが見られなかった。この結果は、多様な解法を提示することは学習内容の複雑さによって異なる効果を持つことを示唆している。多様な解法を関係づけ、それらの間の類似性を理解するには学習者が内容を深く処理することを求めるが、学習内容が複雑であれば、その処理に必要な認知容量とのトレードオフにより解法間を関係づける説明の減少などが起こり得る(Grosse & Renkl, 2006)。

まず、古藤・新潟算数教育研究会(1998)の指摘は、多様な解法が単に呈示されたり、show-

and-tell形式で発表されるだけの授業では、多様な解法を呈示する成果は認められにくいという Rittle-Johnson & Star (2007) の示唆によって裏付けられるといえる。森田・稲垣 (1997)、Inagaki et al. (1998) は、異なる解法の差異を明確にするような説明が多くなされることが、多様な解法の学習促進効果を引き出す重要な要因であることを示唆し、Rittle-Johnson & Star (2007) はそのことを実験的操作によって明確に示した。

これに関連し、Grosse & Renkl (2006) は、学習目標とする内容の複雑さが、多様な解法の比較に重要な説明活動を低下させるおそれを示した。確かに、藤村・太田 (2002) 以外は、分数の加法 (Inagaki et al., 1998; 森田・稲垣, 1997) や一次方程式 (Rittle-Johnson & Star, 2007) といった演算方法を題材としている。こうした解法は比較的単純な構造を持っており、比較検討しやすいため、多様な解法の比較効果が得られやすい可能性もある。また、概念的知識の獲得 (Rittle-Johnson & Star, 2007) や他領域への転移 (藤村・太田, 2002) を学習目標とするならば、多様な解法を比較する授業はまだ成果の実証には至っていないともいえる。ただし、Grosse & Renkl (2006) の結果自体も、Rittle-Johnson & Star (2007) の提案するような、異なる解法の操作をすべて書き出し並列的に呈示するという教授支援を付加することによって異なる可能性があり、検討の余地があるだろう。

また、菊池 (2006) の指摘は、藤村・太田 (2002) の結果によって裏付けられるといえる。藤村・太田 (2002) では、事後テストでの単位あたり方略の適用率は、授業中に単位あたり方略を意味理解した児童で高く、この意味理解群には、事前テストの段階で倍数操作方略や単位あたり方略を多く用いていた傾向があった。ただし、何らかの適切な解法を考えることができなければ、多様な解法を比較する授業の効果は見込めないと結論づけることには必ずしもならないであろう。つまり、どういう理解の層の児童をターゲットに、どういう代替方略を取り上げるか、という観点からその効果を解釈する必要がある。倍数操作方略や単位あたり方略はともに、関係表象過程 (藤村, 1997) において、面積と人数という異種の量の関係に着目しそれを操作する方略といえる。よって、藤村・太田 (2002) の提案する教授法は、こうした異種の量の関係表象を有する児童を前提とした授業であった可能性がある。このように考えれば、異種の量の関係表象を持たない児童に対しては、倍数操作方略以外の方略と単位あたり方略との比較が有効である可能性も残される。

ところで、藤村・太田 (2002) において、事後テストでの単位あたり方略の適用率は、授業中に単位あたり方略を意味理解した児童で高かった。ただし、この意味理解群には、事前テストの段階で倍数操作方略や単位あたり方略を多く用いていた傾向があった。かつ授業で単位あたり方略と比較した方略は倍数操作方略であった。このため、授業中の他者の呈示する単位あたり方略の意味理解が、事前理解のある程度の高さのみ規定されるのか、別の個人差にも規定されるのか、という点に検討の余地がある。そこで、他者の呈示する方略の意味理解が、能動的聴取によって支えられる可能性を以下に検討する。多様な解法を比較する授業の成否に関わる要因として、特に能動的聴取を取り上げることは、授業中の認知プロセスに即して、前節で述べた2つの課題 (効果の範囲, 効果を生むメカニズム) を検討できることが期待されるからである。

能動的聴取に着目したアプローチ

まず、学習場面での能動的聴取の重要性を示唆する近年の研究を以下にみる。

学習場面での聴取の重要性が、動機づけとの関連を示した研究（布施・小平・安藤，2006）から示唆されている。授業における児童の参加行動を動機づけとの関連から検討した布施ら（2006）は、「注視・傾聴」の方が「挙手・発言」より授業への動機づけと高い相関を持つことを示した。この結果は、他者発言の聴取が授業中の学習場面で重要であることを示唆している。

布施ら（2006）は質問紙法により以上のことを示したが、実際の学習との関連を直接検討した研究（Chi, Roy, & Hausmann, in press; Chi, Siler, Jeong, Tamauchi, & Hausmann, 2001）でも学習場面での聴取の重要性が示唆されている。

Chi et al. (2001) は個別指導の学習成果が教師の指導力のみで説明できず、生徒の応答性が関わることを示した。生徒の応答性の背後にある認知プロセスを解明するために、Chi et al. (in press) は、大学生を対象に、個別指導の様子を撮影したビデオを視聴することの効果を検討した。その結果、高い学習成果の要因は、教師と生徒の直接インタラクションそのものでもないことが示された。個別指導のビデオをペアで話し合いながら見る協同観察が、個別指導を直接受けた場合と同等の学習成果をもたらすことが示されたのである。ただし、単独観察条件であっても、メモを取る、ビデオの停止・巻き戻し・早送りをする、自分の理解を自問するといった行動を多く行った学習者の学習成果は高かった。よって、学習者の学習成果を分けた要因は、ビデオ視聴中にいかに能動的な観察（active observing）を行っていたかだといえた。

以上の結果から、Chiらは観察を通じた学習には能動性が重要であることを指摘した。協同観察条件での話し合いや単独観察条件でのメモ、自問等は能動的な観察が現れた行動であり、こうした観察を行えば高い学習成果が得られると考えられる（能動的観察仮説, Chi et al. in press）。

Chiらの実験は能動的観察を活動レベルでとらえたが、学習者は内的には何を行っていたのであろうか。Kingらの一連の研究はこれに示唆を与えてくれる。Kingは大学（King, 1989, 1990, 1992, 1994b）や中学・高校（King, 1991; King, Staffieri, & Adelgais, 1998）、小学校（King, 1994a; King & Rosenshine, 1993）において、授業内容への質問を自己生成することが授業の理解を促進することを示した。

授業中に教師の説明を聴きながら質問生成することは、重要なアイディアの同定、アイディア間の関係の推定、重要性の評価といった生成的な認知プロセスを促す。こうして授業内容がより正確で有意義に符号化され、再生や理解につながると考えられる（King, 1992）。Kingの述べる、重要なアイディアの同定、アイディア間の関係の推定、重要性の評価といった生成的な認知プロセスは、Chiらの言う能動的観察の内的過程の一部だと考えることができるだろう。

Kingの一連の研究は、教師による解説的な授業を聴取の対象とした。しかし、聴取時に有効な方略は、聴取の対象となるものによって異なる可能性がある（Danks & End, 1987）。たとえば、他の児童による考えの発表を聴取する場合にもKingの結果と同様のことがいえるのだろうか。特に、児童は規範的ではない考え方を発表することもあるが、非規範的解法についてもよく聴取することが学習成果に寄与するのであろうか。規範的解法さえ聴いていけばよいという可能性もあり得るだろう。また、もし寄与するとすれば、どのようなプロセスを経るのであろうか。この場合にもKingの述べる、重要なアイディアの同定、アイディア間の関係の推定、重要性の

評価といったタイプの能動的な聴取が学習成果に関与するのかという疑問はKingによって明らかにされていない点である。

河崎（2007）は、算数授業中の非規範的解法発表の聴取が学習を促進する可能性を検討するために次のような実験を行った。児童が文章題の解法を発表する様子を撮影したビデオをクラスで流し、その前後にビデオ中に出てくるものと同型の文章題を解いてもらった。ビデオの内容は、非規範的解法発表1名分と規範的解法発表1名分であった。この実験の結果、事後の学習成果は、非規範的解法の再生、評価と関連することが示された。

河崎（2007）の結果で注目される点は、規範的解法の再生だけでなく、非規範的解法の再生、評価の高さも学習成果と関連がみられた点である。この結果は、Kingの指摘した重要なアイデアの同定、アイデア間の関係の推定、重要性（解法であれば、正確さや効率性）の評価といった認知プロセスが非規範的解法の聴取においても当てはまることを支持しているといえる。

このように、河崎（2007）では、再生と評価の指標を用いて、算数授業中の他者解法発表からの学習を促進する能動的聴取を検討した。その結果、非規範的解法の正確な再生と妥当な評価が能動的聴取の指標となることを確認した。しかし、自発的にこれらの反応を示した児童は少なかった。

能動的聴取に関して、実際に、算数授業において「聞く力」の育成を図る実践も見られる（小松，2006）。また「聴く力尺度」の作成も試みられている（丸野，2005）。これらにおいて列挙されている望ましいとみなされるいくつかの聴き方が、カテゴリカルなものなのか、1つのプロセスの中に含まれる要素であるのかといった点は、心理学的な検討によって明らかにすることが有効な課題だといえる。この点が明らかになると、的確な支援の内容とタイミングの判断に関して教育実践に有益な示唆を与えることが期待される。

おわりに

本稿は、教育方法学の実践研究に見られる多様な解法の検討を重視した算数授業のモデルをふまえた上で、近年の心理学の実験的アプローチをとる教授学習研究の知見からその有効性を検討した。その結果、まだ数少ないが、その有効性を実証した研究がみられること、ただしその効果の範囲（成果として得られる理解の深さ、学習者の事前理解や能動的聴取といった個人差による制約、複雑さの異なる題材への一般化可能性）は、現段階では限定的であることを指摘した。また成果が得られるための要因として、特に能動的聴取を取り上げ、検討した。特に算数科においては、児童の多様性への対応方法の一つとして習熟度別授業を取り入れる学校も見られるようになり、1つのクラスで多様な児童に対応しながら、その多様性を学習成果に結びつけることの難しさを示唆しているといえる。この点でも、多様な解法を重視した授業から積極的な効果が得られる条件が、精緻に解明されることが期待される。

Grosse & Renkl（2006）は、心理学の基礎的研究の知見に依拠し、認知的負荷の観点からも多様な解法を扱う授業の有効性を吟味することが必要であると指摘した。こうした要因は、実践研究で見落とされ易い可能性があり、示唆に富むであろう。しかし、Rittle-Johnson & Star（2007）の提案するように、認知的負荷を軽減する呈示方法をとるなど、実際の授業では柔軟に教授法を工夫し、多様な解法を比較する授業の有効性を引き出すことが可能である。また、その

ような有効性を生み出すための、未だ明らかでない要因が現実の教室には埋め込まれている可能性もある。多様な解法を検討することの効果に関する心理学の教授学習研究が、実際の教室での授業場面やそれに近い状況で実証的な検討を行い、統制された学習環境と実際の教室での検討の結果を比較することで、児童が有能な学習者となることを支えている重要な要因を新たに見出していくことも課題の一つといえるであろう。

謝辞

本論文を作成するにあたり、ご指導いただきました京都大学大学院教育学研究科教授 子安増生先生に深く感謝いたします。

文献

- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, **16**, 183-198.
- Anthony, G. (1996). Active learning in a constructivist framework. *Educational Studies in Mathematics*, **31**, 349-369.
- Australian Educational Council. (1991). *A National Statement on Mathematics for Australian Schools*. Melbourne: Curriculum Corporation.
- Crowley, K., Shrager, J., & Siegler, R. S. (1997). Strategy discovery as a competitive negotiation between metacognitive and associative mechanism. *Developmental Review*, **17**, 462-489.
- Crowley, K., & Siegler, R. S. (1999). Explanation and generalization in young children's strategy learning. *Child Development*, **90**, 304-316
- Galton, M., Hargreaves, L., Comber, C., Wall, Debbie., & Pell, A. (1999). *Inside the Primary Classroom: 20 Years on*. London, New York: Routledge.
- Grosse, C. S. & Renkl, A. (2006). Effects of multiple solution methods in mathematics learning. *Learning and Instruction*, **16**, 122-138.
- McCrone, S. S. (2005). The development of mathematical discussions: An investigation in a fifth-grade classroom. *Mathematical Thinking and Learning*, **7**, 111-133.
- Chi, M. T. H., Roy, M. & Hausmann, R.G.M. (In press). Learning from observing tutoring collaboratively: Insights about tutoring effectiveness from vicarious learning. Submitted to *Cognitive Science*.
- Chi, M. T. H., Siler, S., Jeong, H., Yamauchi, T., & Hausmann, R. (2001). Learning from human tutoring. *Cognitive Science*, **25**, 471-534.
- Danks, J. H. & End, L. J. (1987). Processing strategies for reading and listening. In R. Horowitz & S. J. Samuels (Eds.), *Comprehending Oral and Written Language* (pp. 157-175). New York: Academic Press.
- De Corte, E., Verschaffel, L. (2006). Mathematical Thinking and Learning. In Renninger, K. A., Sigel, I. E., Damon, W., Lerner, R. M. (Eds). *Handbook of child psychology, 6th ed.: Vol 4, Child psychology in practice* (pp. 103-152). NJ: John Wiley & Sons Inc.
- 藤村宣之 2005 算数・数学教育. 日本児童研究所 (編) 児童心理学の進歩2005年度版. 金子書房, Pp. 88-107.
- 藤村宣之・太田慶司 2002 算数授業は児童の方略をどのように変化させるか : 数学的概念に関する方略変化のプロセス. 教育心理学研究, **50**, 33-42.
- 布施光代・小平英志・安藤史高 2006 児童の積極的授業参加行動の検討 : 動機づけとの関連および

- 学年・性による差異 *教育心理学研究*, **54**, 534-545.
- Inagaki, K., Hatano, G., & Morita, E. 1998 Construction of mathematical knowledge through whole-class discussion. *Learning and Instruction*, **8**, 503-526.
- Jitendra, A. K., Griffin, C. C., Haria, P., Leh, J., Adams, A., & Kaduvettoor, A. (2007). A comparison of single and multiple strategy instruction on third-grade students' mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, **99**, 115-127.
- 河崎美保 2007 算数文章題の解法発表を聞く能力：他者発言の再生・評価と理解変化の関係 *京都大学大学院教育学研究科紀要*, **53**, 338-351.
- 菊池乙夫. (2006). 算数科「問題解決学習」に対する批判と提言：科学的数学教育の視点からその非教育性を告発する. 東京：明治図書.
- King, A. (1994a). Guiding knowledge construction in the classroom: Effects of teaching children how to question and how to explain. *American Educational Research Journal*, **30**, 338-368.
- King, A. (1994b). Autonomy and question asking: The role of personal control in guided student-generated questioning. *Learning and Individual Differences*, **6**, 163-185.
- King, A., & Rosenshine, B. (1993). Effects of guided cooperative questioning on children's knowledge construction. *Journal of Experimental Education*, **61**, 127-148.
- King, A. (1991). Improving lecture comprehension: Effects of a metacognitive strategy. *Applied Cognitive Psychology*, **5**, 331-346.
- King, A. (1992). Comparison of self-questioning, summarizing, and notetaking-review as strategies for learning from lectures. *American Educational Research Journal*, **29**, 303-323.
- King, A. (1990). Enhancing peer interaction and learning in the classroom through reciprocal questioning. *American Educational Research Journal*, **27**, 664-687.
- King, A. (1989). Effects of self-questioning training on college students' comprehension of lectures. *Contemporary Educational Psychology*, **14**, 366-381.
- King, A., Staffieri, A., & Adelgais, A. (1998). Mutual peer tutoring: Effects of structuring tutorial interaction to scaffold peer learning. *Journal of Educational Psychology*, **90**, 134-152.
- Koedinger, K. R., & Tabachneck, H. J. M. (1994). Two strategies are better than one: Multiple strategy use in word problem solving. Presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA.
- 小松信哉 (2006). 子どもが「やさしくなる」算数の「話す」「聞く」「書く」活動. 東京：明治図書
- 古藤 怜・新潟算数教育研究会. (1998). コミュニケーションで創る新しい算数学習：多様な考えの生かし方まとめ方. 東京：東洋館出版社.
- Lampert, M. (1990). When problem is not the question and the solution is not the answer : Mathematical knowing and teaching. *American Educational Research Journal*, **27**, 29-64.
- 丸野俊一 2005 授業の効果を上げる 高垣マユミ（編著） 授業デザインの最前線 京都：北大路書房 Pp.123-157.
- 村松賢一 (2001). 対話能力を育む話すこと・聞くことの学習：理論と実践. 東京：明治図書
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap [Ministry of the Flemish Community]. (1997). *Gewoon basisonderwijs. Ontwikkelings doelen en eindtermen: Besluit van mei '97 en decreet van juli '97 [Educational standards for the elementary school]*. Brussels, Belgium: Departement Onderwijs, Centrum voor Informatie en Documentatie.
- Ministry of Education (1992). *Mathematics in the New Zealand Curriculum*. Wellington: Learning Media.
- 文部省 (1998). 小学校学習指導要領. 東京：大蔵省印刷局
- 森田英嗣・稲垣佳世子 1997 選択肢提示の有無が算数での集団討論の過程と所産に及ぼす効果. *教育心理学研究*, **45**, 129-139.

- National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Rittle-Johnson, B. & Star, J. R. (2007). Does comparing solution methods facilitate conceptual and procedural knowledge? An experimental study on learning to solve equations. *Journal of Educational Psychology*, 99, 561-574.
- 斎藤喜博 (1970). 未来につながる学力：島小の授業 (斎藤喜博全集別巻1) 東京：国土社 Pp. 235-239.
- 佐藤公治 (1999). クラスルームの中の学習. 日本児童研究所 (編) *児童心理学の進歩1999年版*. 東京：金子書房 Pp.133-158.
- Silver, E. A., Ghouseini, H., Gosen, D., Charalambous, C., & Strawhun, B. T. F. (2005). Moving from rhetoric to praxis: Issues faced by teachers in having students consider multiple solutions for problems in the mathematics classroom. *Journal of Mathematical Behavior*, 24, 287-301.
- 白水 始 (2006). 教室の中での学習：協調による理解深化. 日本児童研究所 (編) *児童心理学の進歩2006年版*. 東京：金子書房 Pp.85-111.
- Stigler, J. W., & Hiebert, J. (1999). *The teaching gap: Best ideas from the world's teachers for improving education in the classroom*. New York: The Free Press. 湊三郎 (訳) 2002 日本の算数・数学教育に学べ：米国が注目する *jugyou kenkyuu*. 東京：教育出版
- Tabachneck, H. J. M., Koedinger, K. R., & Nathan, M. J. (1994). Toward a theoretical account of strategy use and sense-making in mathematics problem solving. In *Proceedings of the 16th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 836-841). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 吉本 均 (2006). 学習集団の思想 In 岩垣 攝・豊田ひさき (編・解説) *授業と学習集団*. 東京：明治図書 Pp. 15-26
- 吉本 均 (1989). *呼びかける指導案を構想する*. 東京：明治図書

(教育認知心理学講座 博士後期課程3回生)

(受稿2007年9月7日、改稿2007年11月30日、受理2007年12月12日)

Active Listening and Learning Multiple Solutions in Mathematics Classroom

KAWASAKI Miho

This paper aimed to review previous research on mathematics learning with multiple solutions. In Japan, as well as other countries, mathematics educators believe that exploring mathematical ideas from multiple perspectives promotes the students learning in elementary school classrooms. There existed an excellent practice, which used multiple ideas between children to deepen their understanding. However, psychological studies on learning and instruction suggested that the presentation of multiple solutions was not necessarily effective for mathematical learning and possibly harmful due to the imposition of an excessive load on the learners' cognition. In addition, some studies suggested that learning from listening to others' ideas requires the skills of active listening. Future research should reveal the cognitive processes of active listening and effective instructional supports for learning from others' ideas in elementary mathematics classrooms.