児童の算数問題解決とメタ認知方略の評価

多鹿秀継[1]　中津楢男[2]　加藤久恵[3]
藤谷智子[4]　堀田千絵[5]　野崎浩成[2]

Children's Mathematical Problem Solving and Assessment of Metacognitive Strategies

Hidetsugu TAJIKA[1]　Narao NAKATSU[2]　Hisae KATO[3]
Tomoko FUJITANI[4]　Chie HOTTA[5]　Hironari NOZAKI[2]

要　旨

本論文の目的は，算数問題解決において使用されるメタ認知方略としての自己説明が，小学校高学年の児童にとって，効果的な方略として問題解決時に働いているかを吟味することであった。この目的を達成するために，小学4年生の3学期から小学5年生の3学期にかけて，メタ認知方略としての自己説明を組み込んだコンピュータ利用の算数問題解決の訓練ツールを児童に学習させた。メタ認知方略の効果を評価する方法として，多鹿・中津（2013）に従って，①コンピュータ利用による児童の学習履歴，②児童が行ったノートへの自己説明の内容，及び③自己説明テスト用紙への児童の自己説明の3点を用いた。これら3点の評価結果と算数問題解決の得点の違いによる上位群，中位群，及び下位群の3群との関連を分析することで，メタ認知方略としての自己説明の効果を吟味した。その結果，推論等を行うことによって問題解決過程を適切に自己説明する児童は，4年生の3学期から5年生の3学期にかけて，上位群と中位群の③の自己説明テスト課題において見られ，適切な自己説明を行った児童の問題解決の得点は高いものであった。このことから，小学校高学年の児童であっても，メタ認知方略としての自己説明は問題解決に有効な方略であると結論づけることができる。

キーワード：メタ認知方略，自己説明，算数問題解決，児童，評価

1　本研究の問題と目的

本研究の目的は，算数問題解決において使用されるメタ認知方略としての自己説明が，効果的な方略として問題解決時に働いているのかを吟味することであった。

メタ認知方略を使って子どもの算数問題解決を吟味した最近の研究は，子どもが算数問題解決を適切に解決することを報告している（例えば，Desoete, Roeyers, & De Clercq, 2003; Tajika, Nakatsu, Neumann, Nozaki, Kato, Fujitani, & Hotta, 2012; Tajika, Nakatsu, Nozaki, Neumann, & Maruno, 2007)。ここで述べるメタ認知方略とは，メタ認知に基づく学習活動であり，認知方略が認知を基礎とする学習活動と対比されるものである（多鹿・中津，2009，2013）。認知の活動が，例えば「ある学習内容を覚える」とか「ある学習課題を解く」といった認知に基づく活動であるため，認知方略とは「覚え方」であり「解き方」を意味しており，学習時の課題を適切に処理するために呼び出される方法に言及するものである。

これに対し，メタ認知は認知についての認知である故，メタ認知の活動はある学習課題を覚える場合に，「こちらの覚え方の方がよい」，あるいは「この覚え方でよいだろうか」といった，学習課題に対する内省的なモニタリングやコントロールの活動を意味する（Simons，1997a，1997b)。それ故，メタ認知方略は，認知方略を適用することによって得られた成果を，内省的なモニタリングやコントロールによって吟味する方法や活動である。即ち，学習者によって採用された「覚え方」や「解き方」が，当該の学習の処理方法として適切であるかどうかを吟味することといえる。認知方略が学習者の学習を促進する活動であるとする一方，メタ認知方略とは採用した認知方略が学習を促進する方法として適切であるかどうかをモニターし，不適切であるとするときは学習方法をコントロールする心内活動であるといえる。

このようなことから，メタ認知方略を使って子どもの算数問題解決を吟味した研究とは，子どもが自身の算数の問題解決過程をモニターしコントロールすることによって，算数問題を正しく解決することに導くことができたかどうかを吟味した研究といえる。

ところで，小学生の算数問題解決において適用されるメタ認知方略が適切に適用されているといえるのかどうかについて，これまで必ずしも明確な回答は得ていないのが現状である。Tajika et al. (2012) は，コンピュータを利用し，メタ認知方略として自己説明による算数問題解決の研究を実施した。研究は小学校高学年の5年生から6年生にわたっての1年間の縦断的研究であったが，多くの子どもはメタ認知方略を適切に適用できなかったと結論づけた。しかしながら，そのように結論づけてよいであろうか。むしろ，Piagetのいう形式操作期にある高校生や大学生を実験参加者として使用する自己説明の研究と，具体的操作期にある小学生の自己説明の研究とでは，メタ認知方略の適用の仕方が異なるととらえることができるかもしれない。算数文章題解決時に適用するメタ認知方略は，上述したメタ認知方略の定義に沿ったものというよりも，異なる仕方であるかもしれない。

Desoete, Roeyers, and De Clercq (2003) は，メタ認知方略を訓練された小学3年生が，他の様々な種類の学習訓練の条件群に割り当てられた小学3年生よりも，算数問題解決においてよい成績を得たことを示した。彼女たちの訓練したメタ認知方略とは，①「間違わずに問題が解けるだろう」とか「きっと間違うだろう」といった問題解決に対する予測，②「間違わずに解けたと思う」とか「間違って解いてしまったと思う」といった問題解決後の評価などを，実際の遂行結果と照らし合わせて，適切に行うことができるようにすることであった。具体的な研究は以下の通りであった。

Desoete et al. (2003) は，算数文章題の解決におけるメタ認知教授介入の効果を吟味した。彼女たちは小学3年生に「太郎は25個のボールをもっている。これは次郎よりも7個多く，三郎よりも3個多い。次郎は何個ボールをもっているか。」のような問題文を与え，問題を解かせた。子どもに問題を解かせるに先立ち，上記で述べたような教授介入を5種類用意して様々に操作した。メタ認知方略教授群に割り当てられた子どもは，メタ認知方略教授，アルゴリズムの直接認知教授，動機づけプログラム教授，量関係の数訓練教授，並びに小集団教授，の5種類のすべての教授介入法を経験した。当該の研究で使用されたメタ認知方略教授とは，出された問題の回答に対する予測の

程度（どの程度問題を正しくないしは間違って答えるだろうかについて，４段階の評定から選択）と結果の評価の程度（どの程度問題を正しくやり遂げたかないしは間違ってやり遂げたかについて，４段階の評定から選択）の訓練であった。また，アルゴリズムの直接認知教授は，足し算と引き算の手続き的な知識の直接教授であった。動機づけプログラム教授は，算数問題をコンピュータによって学習する教授法であった。量関係の数訓練教授とは，単純な算数の足し算と引き算の訓練を行う教授であり，小集団教授は10名の小集団で算数問題を学習する教授であった。

Desoete et al.（2003）の研究は，上記の５種類の教授法をすべて教授される群から小集団教授のみの群まで５種類の群を操作することに加え，テスト課題としてメタ認知及び認知の技能を測定することや，訓練課題と類似したテスト並びに転移テストを用意した複雑な研究であった。その結果，主に５種類の教授群の結果をまとめると，５種類の教授をすべて訓練したメタ認知方略教授群が，他の４群（５種類の教授介入法から，教授介入法を１つずつ減らすことで構成された４群）に比べてメタ認知の技能でまさっており，またメタ認知の技能についてもアルゴリズムの直接認知教授群よりも優れていた。ただし，転移テストに関しては，訓練されていない他の学習への転移は見られなかった。

メタ認知方略としてよく知られている具体的な方略には，学習内容を要約する，質問する，明瞭化する，説明する，あるいは学習結果を予測する，評価する，などがある。本研究も含め，これまで筆者たちが小学校高学年の児童の算数問題解決で使用してきたメタ認知方略は，自己説明であった。自己説明とは，一般に問題解決や文章理解の過程で，提示された課題内容を理解するために，学習者が自分に分かるように説明する積極的な学習活動を意味する（Atkinson, Derry, Renkl, & Wortham, 2000; Chi, 2000; 2000; Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989; 多鹿・中津・加藤・藤谷・堀田・野崎，2011)。本研究では，児童の行う自己説明をいくつかの観点から分析することによって，算数問題解決とメタ認知方略の有効性の評価を吟味しようとした。児童のメタ認知方略としての自己説明の有効性を吟味する方法として，①コンピュータ利用による児童の学習履歴，②児童が行ったノートへの自己説明の内容，及び③自己説明テスト用紙への児童の自己説明の３点を用いた。その結果，算数問題解決において適用されるこのようなメ自己説明としてのメタ認知方略の使用を，適切に評価するための指針が提案できればと考える。

2 方　法

2-1 研究参加者

愛知県内の公立Ａ小学校の小学４年生21名（男子10名，女子11名）が研究に参加した。自己説明の研究を実施した小学校は，各学年が１クラスで構成されている小規模学校であった。５年生の１学期に転入生が１名あったが，データの分析には入れていない。また，１名の児童は，予備テストの結果がクラスの他の児童の算数成績から極端に悪い成績であったために，ここで報告するデータは５年生の３学期までのほぼ１年間にわたる20名の縦断的なデータであった。

2-2 テスト問題と自己説明テスト用紙

４年生の３学期に実験で使用した算数問題解決のテストは，２種類のテストタイプで構成されていた。それらは，予備テスト及び本テストであった。５年生時には本テストのみをテスト問題として使用した。

予備テスト並びに本テストは同一の算数問題タイプで構成され，主に①連立方程式の解決につながる問題，②小数の除法に関する問題，③２次元表の作成と読解に関する問題，及び④逆向きの思考を利用し方程式につながる問題から選択して構成された。

①連立方程式の解決につながる問題とは，たとえば「りんご７個をかごにつめてもらったら，かご代をふくめて940円でした。同じかごでりんご

を5個にすると，700円になるそうです。りんご1個のねだんは何円ですか。また，かご代は何円ですか。」のようであった。②小数の除法に関する問題とは，たとえば「すなが1.6Lあります。重さをはかったら，2.4kgありました。このすな1Lの重さは何kgですか。」のようであった。③2次元表の作成と読解に関する問題とは，たとえば「おとな8人と子ども12人がお茶かジュースを買いました。お茶を買ったのは10人で，そのうち7人はおとなです。ジュースを買った子どもは何人でしょう。」のようであった。最後に，④逆向きの思考を利用し方程式につながる問題とは，たとえば「文ぼう具店で，同じねだんのノートを6さつ買い，次にスーパーに行って，100円のジュースを買うと，全部で940円でした。ノート1さつのねだんは何円ですか。」のようであった。

もちろん，4年生の問題として学習指導要領を逸脱する問題を含めることはできないので，上記の4種の問題タイプのうち，主に2タイプの問題で構成された。

4年生時に実施した予備テストは4題で，4年生時と5年生時に実施した本テストはともに8題で構成された。4年生時と5年生時に実施された予備テストと本テストは，上記の4種類（4年生は2種類）の問題タイプからなる問題であった。予備テストも本テストも，ともに易問題と難問題で構成された。予備テストは4題（2問の易問題と2問の難問題）からなり，本テストは8題（4問の易問題と4問の難問題）からなった。

なお，採点は式と答えの両方があっていれば2点を，どちらかがあっていれば1点を，どちらも間違っていれば0点を付与した。

本研究では，テスト問題とは別に，算数文章題の解決ステップで構成される自己説明テストを作成して，児童に算数文章題の解決ステップを自己説明させた。自己説明テストは，Tajika et al.（2007）で使用した自己説明テストと同一タイプのものであった。即ち，Tajika et al.（2007）で使用した自己説明テストはpaper and pencilによる自己説明課題であり，問題の難易によって自己説明のステップは6～10ステップで構成されていた。たとえば，5年生の3学期に実施した自己説明テストの例題では，「遊園地でジェットコースターに乗ります。おとな1人分の料金は，子ども1人分の料金の2倍です。おとな2人分と子ども3人分の料金をあわせると，2,100円になるそうです。おとな1人分と子ども1人分の料金は，それぞれ何円ですか。」という問題に対して，解決ステップは以下の通りであった。

「S1（step 1の略）：求めるものは，おとな1人分の料金と，子ども1人分の料金です。S2：おとな1人分の料金は，子ども1人分の料金の2倍です。S3：おとな2人分と子ども3人分の料金をあわせると，2,100円になります。S4：おとな1人分の料金を子ども2人分の料金でおきかえます。S5：これらの関係を線分図であらわすと，下のようになります（線分図を省略)。S6：2,100円は，2×2＋3＝7で，子ども7人分の料金です。S7：子ども1人分の料金は，2,100÷7＝300で，300園です。S8：おとな1人分の料金は，300×2で求められます。S9：300×2＝600なので，こたえは，おとな1人分600円，子ども1人分300円です。」

各解決ステップの文（あるいは線分図）の内容に対して，「この文（線分図）の意味がわかりますか。①か②をえらんで丸をつけてください。」「①はい，わかる。②いいえ，わからない。」「①をえらんだ人はどういうことかを説明してください。②をえらんだ人はどこがわからないのかを説明してください。」の説明文が記述されており，児童は①か②を選択して解決ステップの内容を説明した。paper and pencilによる自己説明テストで使用する算数文章題は，基本的に4種の問題タイプの問題及び割合の文章題から選択して構成した。問題は難問題（2段階の解決ステップで解決する問題）と易問題（1段階の解決ステップで解決する問題）の2種類のタイプをいくつか用意し，各学期の2回目（2週目）のコンピュータ訓練後に，1つのタイプの自己説明テストが児童に課せられた。4年生3学期と5年生1学期は易問題で

あり，５年生２学期と３学期は難問題であった。なお，割合の文章題は５年生から使用した。

2-3 手続き

４年生の３学期に実験がスタートした。２月下旬に，予備テストを一斉に実施した。解答時間は20分であった。次の週に，コンピュータ利用による算数文章題の解決訓練を週に１回，２週にわたって実施した。この訓練は各児童に１台のコンピュータがあてがわれ，児童のペースで行う個別の訓練であった。コンピュータ利用のコンピュータ利用による算数文章題の解決訓練は総合学習の時間を利用し，各週 40 分の解決訓練を２週にわたって行った。

コンピュータから提示される訓練課題は，上記の４種のタイプの問題に加えて，４年生と５年生で学習する算数文章題であり，基本的に Tajika et al.（2012）と同一であった（図１を参照）。

コンピュータで提示される問題は，各学年に対応する異なった問題で構成された。図１に示すように，コンピュータから文章題の解決ステップの１つずつが提示され（図１の右下の画面），児童は解決ステップの質問に正しく説明している選択肢をマウスで選択した。選択した選択肢に対して，正誤のフィードバックが音声で与えられた。また，児童の正しい選択結果は，コンピュータのディスプレーに表示した。

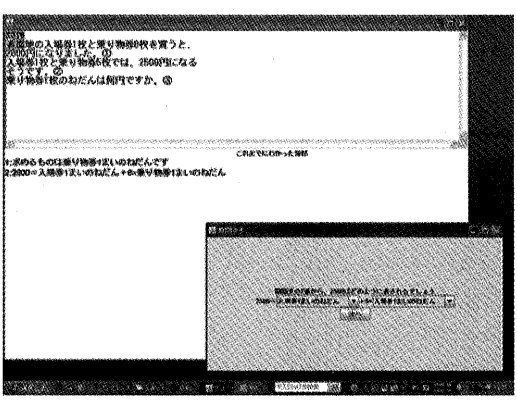

図１　本研究で使用したコンピュータ利用の算数文章題解決課題

こうして，各解決ステップの質問に対して正しく選択肢を選択して正解に達したのち，児童には，予め配布されている手元のノートに，どのようにして解いたのかを説明させた。ノートへの自己説明は，２週にわたって解決した問題ごとに実施された。

２週目のコンピュータ利用の訓練並びにノートへの自己説明後，児童は新たなテスト用紙（自己説明テスト）を受け取った。そこでは，１つの問題と，当該の問題を細かく区分された解決過程（解決ステップ）が示され，各解決ステップの内容に対して，児童は１つ１つの内容が分かる場合にはどのようなことが記述されているかを，分からない場合はどこが分からないかを自分の言葉で説明するように求められた。自己説明を記述する時間は10分であった。その１週間後に，本テストを40分で実施した。

2-4 メタ認知方略の評価

メタ認知方略の評価は，①コンピュータ利用による算数文章題解決の解決履歴，②コンピュータ利用による解決訓練後に児童が解決過程を記した自己説明のノート，及び③２週目の最後に児童が算数文章題解決のステップを自己説明した自己説明テストへの説明内容，の３点から評価した。

3　結果と考察

3-1 算数文章題のテスト得点の結果と考察

予備テスト（満点は８点）の結果は，平均点が6.57（SD＝2.09）であった。

表１には，４年生３学期から５年生３学期までの，４期にわたる児童の本テストの得点結果（各16点満点）を示した。表１から，５年生の１学期の成績が低いのは，本テストの問題が難しかったことによると考えられる。５年生の２学期には，１学期と類似した本テスト問題に対して成績の向上が認められる。５年生の３学期の成績は，２学期と類似したものであった。３学期では，学校では既習問題として，割合の問題をテスト問題として難易各 1 問を挿入した。割合の文章題は小学

生の児童にとって，解決の難しい問題であるといわれている。しかしながら，授業で割合の学習を行った直後であったことから，それほど成績の落ち込みは認められなかった。

表1　本テストの平均得点と標準偏差（SD）

	本テスト（満点は16点）			
	4年生	5年生		
	3学期	1学期	2学期	3学期
平均	12.29	9.35	12.00	11.95
SD	2.96	2.78	3.91	4.24

次に，4年生の予備テストの成績に従って，20名の児童を上位群，注意群，並びに下位群の3群に割り振った。上位群の予備テストの平均値は，8.00（SD＝.00），中位群の予備テストの平均値は，7.29（SD＝.95），及び下位群の予備テストの平均値は，5.17（SD＝1.33）であった。それら3群の人数，本テストの平均得点とSDを示したものが表2である。上位群，中位群，及び下位群の3群に振り分けたところ，予備テストの成績に関して違いが認められた（$F(2,\ 17)=13.81$，$p<.01$，$\eta^2=.62$)。上位群と中位群には平均値の違いが見られなかったが，下位群に対しては予備テスト成績が有意に高かった。

表2は，4年生の3学期から5年生の3学期までの4学期間の3群の本テストの平均得点を示したものである。4年生の3学期は，コンピュータ利用による訓練課題の後に，本テストは実施された。予備テストの成績に基づいて上位群・中位群・下位群の3群に児童を区分したが，4年生の3学期の本テストでも，上述した予備テスト結果と同様に，上位群と中位群の平均得点に差がなく，同一の平均得点であった。

4年生の3学期の本テスト結果を除くと，表2からわかることは，4年生の予備テストの結果から，5年生の成績がある程度予測できることである。すなわち，上位群の7名は1学期から3学期まで，他の2群の児童に比べ本テストの高い平均得点を取っているのに対し，他の中位群と下位群の2群はそれよりも-平均得点であったことがわかる。また，中位群の7名は5年生の3学期の本テストでは上位群の児童と同一の平均得点であったが，他の学期では上位群よりも低く，一方で5年生の1学期を除き，下位群よりも高い得点であった。

表2　各群における本テストの平均得点と標準偏差（SD）

	本テスト（満点は16点）			
	4年生	5年生		
	3学期	1学期	2学期	3学期
	上位群（n=7）			
平均	13.14	11.86	15.14	13.86
SD	1.46	1.86	1.57	1.21
	中位群（n=7）			
平均	13.14	7.43	12.57	12.57
SD	1.21	2.50	2.22	3.26
	下位群（n=6）			
平均	11.67	9.00	10.33	10.67
SD	2.88	2.09	2.94	1.21

これら3群の5年生3学期間の平均得点に基づき，3（条件群）×3（5年生の3学期間の学期）の分散分析を行ったところ，条件群の主効果，学期の主効果，並びに条件群と学期の交互作用がすべて有意であった（条件群では，$F(2,\ 17)=7.36$，$p<.01$，$\eta^2=.46$；学期では，$F(2,\ 34)=65.76$，$p<.01$，$\eta^2=.64$；条件群と学期の交互作用では，$F(2,\ 34)=19.70$，$p<.01$，$\eta^2=.19$)。条件群では，多重比較の結果，上位群が最も成績がよく，下位群の成績が最も悪かった。また，学期では，2学期と3学期が1学期に比べてよい成績をとっていた。条件群と学期の交互作用では，1学期における3条件群の成績の開きが他の学期の開きに比べて大きく，学期が進むにつれて，徐々に3群の成績の差が小さくなってきていることが理解できる。

これらの結果は，上述したように，4年生の3

学期に実施した予備テストの結果が，5年生の3学期の成績を予測したものとなっていることを示す。中位群は，5年生の1学期の成績において下位群の成績を下回る結果であった。この結果は，中位群の児童の一人が，16点満点の4点しかとっていないことを反映したものである。しかしながら，この児童は5年生の3学期には，満点の16点をとっていた。

3-2 メタ認知方略の評価

メタ認知方略の評価に関して，①コンピュータ利用による解決履歴，②ノートへの自己説明の内容，③自己説明テスト用紙への説明の内容，の3点を分析の資料として使用し，本テスト結果の得点との関連を分析した。

3-2-1 コンピュータ利用による児童の解決履歴の評価

①のコンピュータ利用による解決履歴とは，図1に示したコンピュータ利用の問題解決課題に対する自己説明内容の分析である。児童は，コンピュータに提示される文章題の各解決ステップの問題に対し，いくつかの自己説明の選択肢から正しいと思う選択肢を選択するように教示される。児童が正しく選択した自己説明選択肢は，図1のコンピュータの左側の空欄に選択履歴として表示される。児童が選択した誤った自己説明選択肢は，正解の選択肢を選択するまでコンピュータの画面には履歴として表示されない。しかしながら，児童がコンピュータを通して反応したすべての活動は，たとえ誤った選択を行ったとしても，当該の児童の学習履歴としてすべてコンピュータに記録される。なお，誤って選択した選択肢に対しては，誤りのフィードバックがコンピュータのナレーションによって与えられる。こうして，1つの問題解決課題の訓練終了後に，児童の問題解決過程は，児童一人ずつの学習履歴として利用することが可能でとなる。4年生3学期の解決履歴は，選択した問題も限られていることから，ここでは，5年生の1学期から3学期にかけての解決履歴を，上位群，中位群，及び下位群の3群の特徴にあわせて吟味しよう。

まず，5年生1学期の解決履歴は，3群の間でそれほど顕著な差異は認められなかった。各群の児童が解いた問題は，基本的な問題である問題1や問題2が中心であった。各群1回の解決訓練における1人あたりの平均問題解決数は，上位群が1.9問，中位群が1.6問，下位群が1.8問であり，3群間に解決数の違いはなかった。また，それぞれの解決ステップの質問に対して，4回以上の割合で正しく回答できなかった問題を誤答問題としてカウントしたとき，上位群では.5問，中位群では.4問が誤答問題としてカウントされた。これに対して，下位群では.7問が誤答問題としてカウントされた。誤答問題数に関しては，すでに5年生の1学期において，上位群・中位群と下位群の間で少なからず差異が見られるようである。しかしながら，誤答問題数の条件群間の差異に関して，下位群の誤答数が多かったのは，問題1を解かずに問題2から問題4までを解いてすべて誤答問題としてカウントされた児童の結果によるところが大きい。基本的には5年生の1学期においては，コンピュータ利用による自己説明課題への回答に差異はないと考えられる。

では，学期が進むにつれて条件群間で違いが見られたであろうか。答えは否であった。5年生の2学期及び3学期と，学期が進むにつれても，3群間の問題解決数や誤答問題数に違いがみられなかった。即ち，1人当たりの1回の問題解決数に関して，上位群の2学期では2.3問であり，3学期では2.2問であった。中位群の2学期では2.7問であり，3学期では1.9問であった。下位群の2学期では3.5問であり，3学期では2.6問あった。他方，各条件群の誤答問題数に関して，上位群の2学期では.4問であり，3学期では1.0問であった。中位群の2学期では1.4問であり，3学期では.7問であった。下位群の2学期では1.0問であり，3学期では1.0問あった。

このように，3群間の問題解決数や誤答問題数に1学期から3学期にかけて明確な違いがみられなかった理由の1つは，条件群にかかわらず，児

童がそれほど難しい問題にチャレンジしなかったことをあげることができる。下位群の児童が３学期に解いた問題の多くは，問題１や問題２の基本的な問題であった。その結果，１学期から３学期にかけて，学期の進捗状況に応じて様々な問題の解決にチャレンジすることをせず，誤答の少ない基本的な問題を何度も繰り返して解く方略を選択した。このような結果から，３条件群間に学習履歴についての明確な差異を見出すことができなかった。

コンピュータを利用して問題解決過程を自己説明させる課題では，今後は解決すべき問題をあらかじめプログラムしておき，解決の訓練ごとに解決すべき問題の範囲を設定しておく等の措置が必要であると考えられる。

3-2-2 ノートへの自己説明の評価

②のノートへの自己説明の内容は，コンピュータ利用による訓練後，児童はコンピュータで学習した問題をどのようにして解いたのかを，自分の言葉で書くことであった。コンピュータに提示される解決ステップごとに選択肢課題を選択することを通して，児童は問題を解決した。しかしながら，児童はコンピュータに提示されている問題と解決過程を振り返りながら，コンピュータに提示される選択肢の選択にかかわらず，再度自分の言葉で解決過程を各自のノートに自己説明しなければならなかった。

このノートへの自己説明の内容は，４年生から５年生の３学期にかけて，ノートに解決に至る説明を適切にまとめた児童はほとんどいなかった。上位群，中位群，あるいは下位群にかかわらず，ほとんどすべての児童は新たにノートに解決に至る自己説明をすることなく，コンピュータに表示されたいくつかの解決結果を，反復して記述するだけであった。コンピュータで学習した問題の各解決ステップの過程を振り返り，どのようにして当該の問題を解いたのかを自己説明させる課題は，５年生までの児童にとってやや難しい課題であったといえる。ただ，ノートに解決過程を自己説明させる時間も５分であり，児童にとってやや短い時間であったことも，自己説明している児童がほとんどいない原因の１つであったと考えてよいだろう。

3-2-3 自己説明テストの評価

③の自己説明テストへの説明の内容は，先行研究で自己説明の効果があった（Tajika et al., 2007）とされる paper and pencil による自己説明課題であった。４年生の３学期から５年生の３学期にかけて，２回のコンピュータ利用の訓練課題終了後に，それぞれ１種類の自己説明テスト課題が実施された。４年生の３学期に実施した自己説明テストへの説明は「白紙」や「問題に書いてある」といった説明が多かったため，詳細な分析が十分にできなかった。そのため，５年生の１学期の自己説明テストも，４年生の３学期に実施した自己説明テストと同一のテストを実施した。結果として，４年生の３学期から５年生の３学期に実施した自己説明テストは６種類であった。

自己説明テストにおける適切な自己説明は，主に各問題における線分図等への回答によってチェックできる。特に，線分図の説明は，図の内容を適切な文章表現によって説明しなければならず，メタ認知的知識を最も反映した説明となる。適切な自己説明者と適切でない自己説明者を区別した Renkl（1997）の研究では，適切な自己説明の基準として，問題ステップに記述される内容を当該の領域内の原理と結びつけて説明することと位置づけている。また，適切な自己説明とは，モニタリングや推論といった児童の自己内対話を通して構成されたテキストの内容を超える児童の意味理解の成果を反映した結果であるとも指摘される（McNamara & Magliano, 2009; Nathan, Mertz, & Ryan, 1994；多鹿・中津，2013）。このような適切な説明の概念に共通することは，説明を通して新たに構成される意味の理解と構築であり，知識の構成といってよい。

ところで，上述したテキストとは，一般的な文章理解の研究で提示されるテキストであり，本研究に見られる問題解決ステップでの文（章）とは様相が多少異なる。その結果，テキスト理解の研

究では，テキストに記述されている内容が十分に理解できない場合に，しばしば「よくわからない」といったモニタリングがなされる。このモニタリングは確かに理解が不十分であることを反映したメタ認知的経験であり，モニタリングとして分類される（Nathan et al., 1994）。しかしながら，本研究に見られる問題解決課題における「わからない」という意味でのモニタリングは，解決に向けてのメタ認知方略として適切であると考えることはできない。本自己説明テストでは，解決ステップにおいて記述された文（章）に対して，文（章）内容に含まれてはいないが，解決に向けて有益な内容を推論した説明を適切な自己説明とし，「わからない」といったモニタリング活動を適切な自己説明からは除外した。

一般に，小学校高学年の児童の自己説明は，高校生や大学生の自己説明とは異なり，解決ステップに記述された文（章）とは異なる内容を適切に推論することで文（章）を説明することは少ないことが知られている（多鹿・中津，2009；Tajika et al., 2007）。小学生が，上記に示した原理との関連で構成することの可能な自己説明（principle-based self-explanation）を行うことは，珍しい事例と考えられる。ただ，線分図等の説明において，たとえば割合の原理に言及する推論を原理に基づく自己説明（「比べる量は，もとにする量に割合をかけたもの」といった原理に基づいて，線分図の内容を説明する）といえなくもない。そのように考えると，解決ステップの1つとして提示される線分図の説明の箇所を中心に，児童が推論を使って解決ステップの図や文（章）内容を理解しようとする場合，児童は適切な自己説明を行ったたととらえることは可能である。

各学期2種類の自己説明テストを実施した結果，4年生の3学期の自己説明テストでは，「白紙」や「問題に書いてある」といった説明が，上位群，中位群，下位群の区別なく，数多く散見された。しかしながら，4年生の3学期において，それほど顕著な差異として認められていなかったこのような上位群，中位群，及び下位群の3群間の自己説明の適切な内容は，単に算数の学習能力だけでなく，おそらくは児童の言語能力の発達とも関連して，学期の進捗につれて適切な自己説明の割合に違いが拡大してくることが予測できる。

たとえば，上述した5年生の3学期に実施した自己説明テストの例題「遊園地でジェットコースターに乗ります。おとな1人分の料金は，子ども1人分の料金の2倍です。おとな2人分と子ども3人分の料金をあわせると，2,100円になるそうです。おとな1人分と子ども1人分の料金は，それぞれ何円ですか。」を見てみよう。9つの解決ステップで，子どもの推論が入り込む可能性の高いステップは，S4「おとな1人分の料金を子ども2人分の料金でおきかえます。」と，線分図を説明するS5のステップである。S4「おとな1人分の料金を子ども2人分の料金でおきかえます。」の説明では，「おとな1人分の料金は子ども1人分の料金の2倍である」に基づいた説明が適切な説明と言える。また，S5の線分図の説明では，大人2人分の料金が子ども4人分の料金を表現していること，並びに大人の料金をすべて子どもの料金に置き換えて，全体として子ども7人分の料金が2,100円であることを説明できることが適切な説明といえる。

このような説明を行ったのは，上位群の児童は14の自己説明（S4とS5の2種類の説明に対する自己説明×7人）中で13の自己説明に見られた。中位群の児童では，14の自己説明で7つの自己説明に見られた。下位群では，わずかに4つの自己説明をしたに過ぎなかった。適切でない自己説明の典型例は，「問題に書いてある。」や「おとな2人分たす子ども3人分は，2,100円です。」であった。このような傾向から，上位群の児童は，表2に見られるように，本テストの問題に対しても高い得点を取ったことと，適切な自己説明の割合が高いこととが結びつき，他方，下位群の児童は，本テストの得点が低いことと適切な自己説明の割合が少ないこととが深い関連をもっていることが示される。

4 結　論

本研究結果から，小学校高学年の児童が算数問題の解決時にメタ認知方略としての自己説明を使用することは，当該の問題を解決するときに効果的な方略として働いていると結論づけることができるだろう。確かに，小学4年生の3学期から小学5年生の3学期までの，①コンピュータを利用した学習履歴や，②ノート利用による自己説明の方法では，自己説明を反映した問題解決の結果を必ずしも予測できなかった。しかしながら，paper and pencil タイプによる③自己説明テストでは，適切な自己説明を行う児童と算数問題解決の成績の高い児童との正の関連が認められた。本研究では効果的なメタ認知方略として働かなかった①や②の測定課題に関しても，たとえば，6年生の児童でかつ3週（3回）にわたって収集した①のデータ（コンピュータによる学習履歴）を分析した Tajika et al.（2012）では，解決数や誤答数の学習履歴と問題解決の成績に意味のある関連を見出している。①や②の測定課題も，さらなる学習方法の工夫を加えることにより，高学年の小学生であれば，効果的な自己説明の生成と高いレベルの問題解決成果とのかかわりを明確に示すことが可能であると考えられる。

5 引用文献

Atkinson, R.K., Derry, S.J., Renkl, A., & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research, 70*, 181-214.

Chi, M.T.H. (2000). Self-explaining expository texts: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In R.Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol.5, pp.161-238). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science, 13*, 145-182.

Desoete, A., Roeyers, H., & Clercq, A. (2003). Can offline metacognition enhance mathematical problem solving? *Journal of Educational Psychology, 95*, 188-200.

McNamara, D.S., & Magliano, J.P. (2009). Self-explanation and metacognition: The dynamics of reading. In D.J.Hacker, J.Dunlosky, & A.C.Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp.60-81). New York: Routledge.

Nathan, M.J., Mertz, K., & Ryan, R. (1994, April). *Learning through self-explanation of mathematics examples: Effects of cognitive load.* Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA.

Renkl, A. (1997). Learning from worked-out examples: A study on individual differences. *Cognitive Sciences, 21*, 1-29. Simons, P.R-J. (1997a). Metacognition. In E. De Corte & F.E.Weinert (Eds.), *International encyclopedia of developmental and instructional psychology* (pp. 436-441). Oxford, England: Elsevier.

Simons, P.R-J. (1997b). Metacognitive strategies: Teaching and assessing. In E.De Corte & F.E.Weinert (Eds.), *International encyclopedia of developmental and instructional psychology* (pp. 441-444). Oxford, England: Elsevier.

多鹿秀継・中津楢男（2009）．算数問題解決と転移を促す知識構成の研究　東京：風間書房

多鹿秀継・中津楢男（2013）．算数問題解決に適用されるメタ認知方略の評価　神戸親和女子大学研究論叢，*46*，47－57.

多鹿秀継・中津楢男・加藤久恵・藤谷智子・堀田千絵・野崎浩成（2011）．自己説明と算数・

数学の問題解決　神戸親和女子大学研究論叢, *44*, 77−87.

Tajika, H., Nakatsu, N., Neumann, E., Nozaki, H., Kato,H., Fujitani, T., & Hotta, C. (2012). Mathematical word problem solving in children engaged in computer-based metacognitive support: A longitudinal study. *Educational Technology Research, 35,* 11-19.

Tajika, H., Nakatsu, N., Nozaki, H., Neumann, E., & Maruno, S. (2007). The effects of self-explanation as a metacognitive strategy for solving mathematical word problems. *Japanese Psychological Research, 49,* 1-9.

6 付　記

本研究は，2013年度（平成25年度）科学研究費補助金（基盤研究（C），課題番号：23530881）の補助を受けて実施したものである。

7 注

1　神戸親和女子大学
2　愛知教育大学
3　兵庫教育大学
4　武庫川女子大学短期大学部
5　関西福祉科学大学