

自己説明と算数・数学の問題解決

多 鹿 秀 継¹⁾, 中 津 檜 男²⁾, 加 藤 久 恵³⁾,
藤 谷 智 子⁴⁾, 堀 田 千 絵⁵⁾, 野 崎 浩 成²⁾,

Self-Explanation and Mathematical Problem Solving

Hidetsugu TAJIKA¹⁾, Narao NAKATSU²⁾, Hisae KATO³⁾,
Tomoko FUJITANI⁴⁾, Chie HOTTA⁵⁾, Hironari NOZAKI²⁾,

要 旨

本論文の目的は、メタ認知方略の1つとして知られている自己説明の概念を明確にし、自己説明を用いて算数・数学の問題解決を行った研究の成果と問題点を明確にすることであった。自己説明とは、問題解決課題として提示された課題を学習者がどのような内容であるのかを理解するために、自分に分かるように説明することである。また、自己説明を利用して算数・数学の問題解決を実施するとき、一般に、例題を自己説明させてから問題を解かせることが多い。このような自己説明は、算数・数学の問題解決の過程で活性化されるメタ認知の活動であり、メタ認知方略としての自己説明は、算数・数学の問題解決に促進的な役割を担うことを明確にした。

キーワード：自己説明、算数・数学問題解決、子ども、メタ認知、メタ認知方略

1 本論文の目的

自己説明とは、自分自身に説明することである。では、何を自分に説明するのか。一般に、問題解決課題として提示された問題内容を理解するために、学習者自身が自分に分かるように説明する積極的な学習活動を自己説明と呼ぶ (Chi, 2000; Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989; Roy&

Chi, 2005)。本研究では、問題解決事態、特に算数・数学の問題解決事態における自己説明の文脈のもとに自己説明を位置づける。

このような自己説明の概念の中で、説明そのものの概念に関しては、これまで様々な研究領域において吟味されてきている (例えば、Craig, 1943; Holyoak & Thagard, 1995; 伊藤, 2009; Keil, 2006; Keil & Wilson, 2000; Schank, 1986)。例えば、人

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) 愛知学泉大学

工知能の研究領域では、理解対象の領域の知識を用いて説明を生成し、説明過程を一般化する「説明に基づく学習」などの研究が知られている (例えば, Mitchell, Keller, & Kedar-Cabelli, 1986)。また、発達心理学の研究、領域においても、説明による理解の研究が知られている。幼児が発する言葉の中で多いのは、「なぜ?」という言葉である。「なぜ」「どうして」そのような現象が認められるのか、「なぜ」「どうして」そのような結果が生じたのかについて保護者に説明を求めることは、幼児によく認められる (例えば, Keil, 2006)。ここでは、そのような諸研究の成果を踏まえた説明についての一般的な概念規定には言及せず、自己説明、それも算数・数学の問題解決の過程において生成される自己説明にテーマを限定するものである。

本論文の目的は、メタ認知方略 (metacognitive strategies) の1つとして知られている自己説明 (self-explanation) の概念を明確にし、自己説明を用いて算数・数学の問題解決を行ったいくつかの研究の成果を明示することである。

メタ認知方略として知られる自己説明を生成することによって、読みの課題や算数・数学の問題解決の課題の処理にどのような影響を与えるのかに関する研究が、最近に至り、多数報告されるようになってきた (研究の展望文献として、例えば, Atkinson, Derry, Renkl, & Wortham, 2000; Chi, 2000; McNamara & Magliano, 2009; Roy & Chi, 2005; 多鹿・中津, 2009)。

本研究では、まず研究報告の増加がみられる自己説明の研究に鑑み、自己説明とは何を意味するのかを明確にする。自己説明とは何かを明らかにする過程で、自己説明はメタ認知 (metacognition) あるいはメタ認知方略として、知識の構成を育む学習者の積極的な学習活動であるとの位置づけを明確にするであろう。メタ認知の基本的な概念を明らかにし、自己説明を実験的に操作した研究とメタ認知の関連に言及することにより、メタ認知方略としての自己説明を明確にすることができるであろう。

自己説明の概念やメタ認知・メタ認知方略としての自己説明を明確にした後に、自己説明を用いた算数・数学の問題解決の研究を紹介する。自己説明を用いた算数・数学の問題解決の主だった研究を示す過程で、小学生に自己説明をさせることにより算数問題解決を行った研究が少ないことが理解されるであろう。筆者らが行った研究は、小学生に自己説明させて算数問題解決を実施した数少ない研究の中の1つである。小学生に自己説明をさせることで、算数問題解決の促進を図った筆者らの研究を詳述する。最後に、自己説明を使った算数・数学の問題解決の研究をまとめ、今後の研究課題等を明示する。

2 自己説明とは何か

2-1 自己説明の概念

自己説明は Chi et al. (1989) により導入された概念であり、読みの理解に関するメタ認知の研究において、しばしば取り上げられるメタ認知方略である (Chi, 2000; Chi & Bassok, 1989; Chi, de Leeuw, Chiu, & La Vancher, 1994; McNamara & Magliano, 2009)。即ち、自己説明とは、理解するには不完全な内容で構成されているテキストを与えられたとき、学習者がどのようにしてテキストの不完全な内容を理解するのかを明確にするために導入された積極的な学習活動である。自己説明を生成するためには、テキストの不十分な理解を明確にして理解水準を評価し、理解や解決に導くためのプランを構成しなければならず、自己説明はメタ認知方略といえる。

Chi et al. (1989) の研究では、物理学の力学の問題を大学生に解決させる際に、大学生に問題と解決過程を示した問題例 (例題) を与えた。大学生は例題を発話法によって学習した。即ち、提示された例題の質問に答えるために、自分の言葉で説明することが求められた。実験に参加した学生を、正しく解決した得点に基づき、高得点群の学生と低得点群の学生に分けた。その結果、高得点群の学生は低得点群の学生に比べて、自己説明を

多く発話し、かつそれらの多くは解決に結びつく正確な自己モニタリングの説明であることが分かった。このことは、例題の内容を自己説明することが、正しい問題解決につながることを示しているといえる。

では、自己説明とは何であろう。Chi et al. (1989) では、自己説明を自己モニタリングによる正確な説明と捉えるが、より詳細には、「説明をするということは学習のメカニズムであり、学習者に例題の各（解決）手続きのステップの条件や結果を推論させたり解釈させることであり、条件や結果を正当化するために、概念の原理や定義を適用させることである」（151頁；括弧や括弧内の言葉は著者がつけ加えた）といえる。

Chi (2000) は、自己説明を英語表現の違いにより明確に区別して記述している。Chi (2000) によれば、自己説明という言葉は「self-explaining」と「self-explanation」に区分される。「self-explaining」は、自分自身に説明を生み出す活動に言及し、一般にはテキストからの学習の文脈において使用される用語である。類似した用語としては、精緻化 (elaborating) を挙げることができる。自己説明と精緻化とは、読みや学習する内容を有意義にすることで類似するが、精緻化が材料の記憶に言及する用語であるという違いがある。

「self-explanation」を説明するに先立ち、精緻化という用語に言及しておこう。記憶研究における精緻化の概念は、更に記憶の体制化の概念と対比して理解される。記憶の体制化が、記銘情報のまとまりに言及する概念であるのに対し、記憶の精緻化は、記銘情報の加工や豊富化に言及する概念である。記憶の体制化も精緻化も、ともに情報の有意味化に関わり、記憶方略としてよく利用される。Chi (2000) の指摘や上述の説明から理解されるように、精緻化が記憶研究で使用される概念であり、記銘材料の記憶促進をもたらす符号化方略として位置づけられることに対し、自己説明は推論などを使って理解の不十分な箇所を理解しようとする点に力点が置かれる。Chi (2000) も指摘するように、自己説明は理解の過程において、

説明を豊富にすることから精緻化された説明の形態をとることも多いといえる。

「self-explanation」の説明に戻ろう。Chi (2000) によれば、「self-explanation」は「self-explaining」されることによって生み出された発話の単位と捉えられる。テキストを読んだ後で学習者によって発話されたテキストの内容に適した言語音である。それ故、「self-explanation」の単位は、自己説明のなかに推論を含んでいる場合もあれば、推論を含んでいない場合もある。勿論、Chi et al. (1989) の研究における高得点群の学生による説明は、推論することによる自己モニタリングを含む発話に基づくものである。この推論は、提示されたテキストで明確に記述されている内容を超えて、学習者の知識を記述内容に加味した内容で構成されたものと考えてよい。

自己説明の理解を深めるために、ここでは Chi (2000) を参考にして、自己説明と類似する概念を整理しておこう。それらは、精緻化と発話思考である。自己説明と精緻化の関係は既述した通りである。それ故、ここでは発話思考を取り上げて説明しよう。

自己説明と類似する概念として発話思考法が知られている。確かに、自己説明は発話思考に基づいてデータを収集することが多い。また、発話思考がメタ認知のルーツの1つとして取り上げられることはよく知られている（例えば、Brown, Bransford, Ferrara, & Campione, 1983）。問題解決の課題における発話思考法は、時間経過に伴って記憶から引き出された解決の過程を、メタ認知を活用させて、忠実に発話することである。これに対し、自己説明による発話には、推論や精緻化を伴うテキストを再構成した発話の内容が生み出される。それ故、自己説明は問題解決に向けてメタ認知をより強く活性化した結果として生み出される発話を伴っているといつてよい。このように、自己説明を精緻化や発話法のような他の類似した概念と対比させるとき、自己説明の概念が一層明確にされるであろう。

さて、上述のように、自己説明とは問題解決課

題として提示された課題を学習者がどのような内容であるのかを理解するために、自分に分かるように説明することである。問題解決課題の内容を理解するために自己説明を行うことは、ある種の理解モデルを自ら構築することと考えられる (Craik, 1943)。この理解モデルはスキーマと言い換えてもよい。スキーマは知識構成の結果として構築された知識の構造あるいは構造化された知識である。また、自己説明によって形成されるスキーマは領域固有の知識である。というのも、当該のスキーマは問題解決に向けて生み出される活動に基づく。

では、自己説明そのものは領域固有の活動といてよいであろうか。おそらく、そうではないだろう。自己説明は課題ごとに生成され適用される様々な一般的知識に基づく活動である。それ故、自己説明そのものは、本来的に領域一般の知識構築の活動といえるだろう (Roy & Chi, 2005)。自己説明を行うことによって、学習者は積極的に課題に取り組み、問題解決に必要とされる既有知識を検索して問題と照合し、解決のために構成したモデルをモニターしながら問題解決に利用する。このように考えると、本研究で言及する自己説明は、推論や自己モニタリングを行うことで知識構成を促す領域一般の活動であることが理解される。

なお、本研究のように、日本語で自己説明を表現するとき、英語表現に見られる「self-explanation」(自己説明する活動によって発話された内容・単位)と「self-explaining」(自己説明する活動)による「自己説明」の区分は特別に意味をもつわけではない。英語による自己説明の2つの表現も、共に自己説明にかかる学習活動に言及することを考えると、自己説明する活動であり結果として生み出された発話の内容を含めて自己説明として理解してよいだろう。本論文の以後の自己説明の説明では、断わりのない限り、自己説明に言及する「self-explanation」と「self-explaining」の両者を、「self-explanation」の英語表記によって意味するものとする。

自己説明は積極的な学習活動であるが、自己説

明の質と量が個人差があり、学習成績と正の相関を示すことが一般的に知られている (Roy & Chi, 2005)。ということは、自己説明を学習成績との関連から理解するとき、自己説明を生成すれば学習成績の促進につながる場合とそうでない場合があり、自己説明の質と量が問われなければならない。上述した自己説明の内容から、質の高い自己説明とは、理解するには不完全な問題内容を推論の生成によって理解可能な内容に構成したり、既有知識を使って何が問題であるのかをモニタリングすること等の自己説明のタイプを意味する。推論をせずに提示された問題を再読するだけの自己説明は、質の高い自己説明とはいえない。また、自己説明の量は、Chi et al. (1989) の研究に見られるように、発話量を意味する。Chi et al. (1989) では、発話量の多い学習者は、質の高い自己説明を生成してもいた。しかしながら、自己説明の質と量に関して、Chi (2000) によると、たとえ自己説明の質と量が貧弱であるか不適切な自己説明の多い場合でも、自己説明を生成することで学習成果が促進されるようだ。

なお、学習者に自己説明させる問題内容は、その後の研究においては必ずしも不完全な問題内容だけではない。解決に結びつく完全な問題例を提示して、それらの問題例の自己説明を求めることもある (例えば、Nathan, Mertz, & Ryan, 1994)。更に、Chi et al. (1989) の研究では発話による自己説明を求めているが、学習者の筆記による自己説明 (コンピュータへの自己説明の書き込みであれ、紙媒体への書き込みであれ) の研究も多い (例えば、Aleven & Keodinger, 2002)。

2-2 メタ認知方略としての自己説明

では、算数・数学の問題解決を促すとされる知識構成活動としての自己説明には、どのようなメカニズムが働いているのだろうか。問題の解決に向けて、自己説明にはいくつかの認知メカニズムやメタ認知メカニズムが働いていることは理解されるであろう。例えば、推論を生成すること、既有知識と所与の課題に含まれる意味内容とを照ら

し合わせて意味内容を統合すること、あるいはモニタリング（監視）やコントロール（制御）の働きにより、問題内容を解決に向けて理解するために内省的に思考することなどである。構成された理解モデルの修正は、このようなモニタリングやコントロールの作用を含むものといえる。

なお、最初の2つは一般的には認知のメカニズムであり、3つ目のメカニズムはメタ認知のメカニズムである。自己説明は認知のメカニズムとメタ認知のメカニズムが複雑に相互作用することで構成される活動である。なかでも、メタ認知の働きは重要である。初めに、メタ認知のメカニズムの作用から説明しよう。

前節では、自己説明による問題解決の活動を、知識構成を促すメタ認知の活動であると捉えた。Chi et al. (1989)の研究を始めとする自己説明の研究において、課題として提示される文章や問題文を自己説明することによって、当該の課題の成績が飛躍的に向上することからも理解されるように、自己説明することによって、所与の課題の解決過程において自己内省的により深い理解を求めて思考することにより、学習内容を既有知識と統合し、問題解決に有用なスキーマを形成するといえる。知識の構成を促す活動は、このような堅固で問題解決に有用なスキーマを形成する活動といえる。問題に含まれる情報を既有知識に統合する過程において、学習者は推論や自己モニタリングを働かせることによる有意味でアクティブな方法により、学習内容を深く理解し長期間の知識貯蔵を可能にするためのスキーマを形成しようとする。自己説明のこのような意識的でかつ目的的な内省的活動は、メタ認知を伴った活動である。即ち、自己説明は、メタ認知を活性化させることによる理解モデルないしはスキーマを構成する積極的な活動である。

ところで、メタ認知とは一般に個人の認知についての認知、即ち個人の認知や認知過程についての知識や経験 (Flavell, 1979) を意味し、様々な研究を通して最近はよく知られる概念である。本論文では、Nelson and Narens (1990, 1994) のメ

タ認知の定義を敷衍し、メタ認知を認知システムにおける情報（知識）のモニタリングとコントロールの相互作用の過程として位置づけるものである。また、算数・数学の文章題の解決とメタ認知方略との関連からいえば、本論文で取り上げるメタ認知は、「算数・数学の問題解決の過程で活性化されるモニタリングとコントロールの能力」とまとめよう。

Nelson and Narens (1990, 1994) によれば、メタ認知の基本的な構造は、対象レベルとメタレベルと呼ばれる2つの相互関係を有するレベルで構成され、対象レベルとメタレベルの2つのレベルの間を情報が往来する状況を想定する。対象レベルからメタレベルへの情報の流れをモニタリング過程、メタレベルから対象レベルへの情報の流れをコントロール過程と呼ぶ。モニタリング過程は現在の学習状況に気づくことに関わり、コントロール過程は学習状況を修正することに関わる。モニタリングとコントロールは、それ故、算数・数学の問題解決の過程に Nelson and Narens (1990, 1994) のメタ認知の概念を適用すると、子どもが所与の問題の学習状況をチェックしあるいは評価し、適切に問題を解決するための計画を立てること、あるいは解決の計画を修正することに関わる。自己説明による算数・数学の問題解決は、このようなモニタリングとコントロールの営みを活性化させることによって、自分自身が問題の意味を理解しさらには問題を解くことができるようになることに結びつく。

自己説明はメタ認知を伴った知識構成として理解することに加えて、自己説明は認知メカニズムとしての符号化方略の1つであることを指摘できるであろう。ここで述べる符号化方略とは、通常の記憶研究において言及される符号化方略、即ち、認知方略として短期記憶から長期記憶への情報転送に関わる符号化方略の意味でなく、メタ認知方略としての符号化方略に言及するものである。所与の問題の内容を説明する場合に、問題の内容の理解をモニターし、十分に理解した内容と理解が不十分な内容とを明確に区分し、理解を深めるた

めの推論等をどのように導入すればよいのかを方略的にコントロールするのである。認知方略とは、思考過程や思考の内容をコントロールする目的で使用される予め方向づけられた計画 (VandenBos, 2007) であり、通常は問題解決を適切に促進するために使用される。これに対して、メタ認知方略とは、問題解決を実行するために呼び出される認知方略を適切にモニターしコントロールするために呼び出されるもので、問題解決の促進を目的に発動される認知方略と異なるものである。

ではここで、メタ認知方略としての自己説明とはどのようなものかを、McNamara and Magliano (2009) の具体例を用いて示そう。彼らの用いた具体例は、「先天的な疾病は生まれつきである。多くの赤ん坊は正常な心臓をもって生まれてくるが、200組のうちのほぼ1組の割合で、どこか具合の悪い場合がある。」という文章であった。大学生にこのような文章を与えて説明を求めた。大学生が生成した様々な説明のうちで、McNamara and Magliano (2009) による本来の自己説明とは、「だから、誕生したときにどこか悪いところがあると、それは生まれつきに違いない。」や、「心臓に障害をもって生まれると、先天性の心臓疾患と呼ばれる。これはまれなケースだ。思うに、これはときとしてよくない弁により、血液が正しく流れないかも。」といった説明である。本来の自己説明の内容とは、記述されている内容の単なる言い換えや繰り返しによる自己説明ではなく、意味を理解するために発動された推論を伴った言い換えや精緻化による自己説明を意味する。これら推論を伴った言い換えや精緻化による自己説明が、文章理解課題においてはメタ認知方略による自己説明であり、知識の構成活動を活性化する自己説明に分類されるといえる。

3 自己説明による算数・数学の問題解決

算数・数学の問題解決における自己説明の研究は、通常例題を用意して当該の例題の内容を学習

者に自己説明させるか、所与の問題を直接自己説明させることによって、自己説明の効果を吟味することが多い (例えば、Alevan & Koedinger, 2002; Mwangi & Sweller, 1998; Nathan et al., 1994; Neuman & Schwarz, 2000; Renkl, 2002; Rittle-Johnson, 2006; Tajika, Nakatsu, Nozaki, Neumann, & Maruno, 2007; Wong, Lawson, & Keeves, 2002)。例題を用意し、当該の例題の内容を学習者に自己説明させる場合、算数・数学の問題を解決させるに先立ち、問題と類似しかつ解決過程を記述した例題を用意する。学習者は、予め例題を自己説明して解き、後に算数・数学の問題を解くのである。

Alevan and Koedinger (2002) は、Cognitive Tutor と呼ばれる認知モデルに自己説明機能を組み込んで、高校生に幾何の問題を解かせた。Cognitive Tutor は、中学校や高校の数学他の教科において、教師によるマン・ツー・マン指導と同程度の効果を目指して開発された認知モデルである。このCognitive Tutor に自己説明の機能を追加し、コンピュータ画面に映し出された例えば幾何の錯角の例題を高校生に自己説明させる授業を展開したところ、通常の教科書を用いただけの授業と比較して、より深い理解を要求される問題に優れていることが分かった。また、Cognitive Tutor の幾何の自己説明機能を用いて学習した場合、幾何の問題に正確に説明できるようになっただけでなく、幾何領域におけるルールについてより深く理解し、新しい問題に転移させるようになった (Koedinger & Corbett, 2006)。

Mwangi and Sweller (1998) は、9歳から10歳までの小学3年生を使って算数文章題の例題を自己説明させた。即ち、小学3年生に「一郎は8歳です。花子は一郎よりも3歳年下です。太郎は花子よりも2歳年上です。太郎は何歳ですか。」の2段階のステップで解を求める文章題を提示した。上記の問題文を構成する各文の隣に、例えば8歳を示す8個の○(丸)を添えた例題を子どもに与え、当該の例題を自分で分かるように説明させた。その結果、自己説明した条件群が正解に速く達することを示した。

Nathan et al. (1994) では、2つの実験で、代数問題と文章題の2タイプの問題に対する自己説明の効果を吟味した。大学生に自己説明の有無と例題の有無を組み合わせた実験計画のもとで、例題を自己説明させる条件群、自己説明させることなく例題を解く条件群、テキストを自己説明する条件群、テキストを自己説明することなく学習する条件群を設けて、実験1では代数問題を、実験2では文章題の解決を見た。その結果、自己説明の効果は文章題でみられたが、代数問題である方程式の計算問題では認められなかった。

Neuman and Schwarz (2000) は、2段階で解決できる数学の文章題の解決において、自己説明の役割を吟味した。その結果、9年生は自己説明することで、問題表象の深い構造を伴うことが可能となり、文章題の内容を文で表現された表象だけでなく表で示された表象へと問題表象を変換して解決に利用していることが明らかとなった。

Renkl (2002) は、平均年齢 23.3歳の学生教師に例題をコンピュータ提示して確率の問題を解かせた。自己説明の条件群と自己説明の教示を与えない群とを比較したところ、後のテストでは自己説明群が適切に問題を解いた。

Rittle-Johnson (2006) は、自己説明が転移を促進するという結果に対して、いつどのように自己説明が効果的かを明らかにするため、小学3年から5年生に算数の等価の課題を用いて介入セッションを行い、教授法（発見学習 vs 直接教授）と自己説明（有 vs 無）の組み合わせによる教授介入、並びにテストの時期（直後 vs 遅延）を操作して実験を行った。算数の等価課題とは等号の両側にいくつかの加数がおかれている課題であり、例えば「 $4 + 9 + 6 = 4 + \underline{\quad}$ 」や「 $3 + 4 + 8 = \underline{\quad} + 8$ 」のようであった。発見学習は子ども自身が問題の解決方法を見出すものであり、直接教授はどのようにして問題を解くかを直接教示した。また、自己説明では、正しい結果と間違った結果を示す2つの解答を提示し、どのようにしてそのような答えを得たのか、また各々の解答がなぜ正しいあるいは正しくないのかを説明するように教示

した。

Rittle-Johnson (2006) は従属変数として算数の等価の問題の理解を測定する3種のテストを用意し、子どもたちに概念的知識、手続き的学習、及び手続的転移の各テストを実施した。概念的知識のテストでは、たとえば等号とは何かに答えさせた。手続き的学習のテストでは、上記の「 $4 + 9 + 6 = 4 + \underline{\quad}$ 」のような問題に答えさせた。手続き的転移のテストでは、例えば「 $\underline{\quad} + 9 = 6 + 9 + 3$ 」のような問題に答えさせた。

実験の結果、自己説明をさせると、教授法に関わらず手続き的学習と手続き的転移において効果的であり、その効果は2週間の遅延テストにわたって維持された。ということは、自己説明と教授法の相互作用は認められず、どの教授法を介入に使っても自己説明の効果がみられたにすぎなかった。他方、概念的知識に関しては、自己説明しても知識の改善にはつながらなかった。

Wong et al. (2002) は、オーストラリアのハイスクールに在籍する9年生に、自己説明を訓練することによって幾何の新しい定理を学習させ、後に学習内容と類似した事後テストと、学習内容と異なる転移テストをそれぞれ実施した。この研究における自己説明の訓練とは、幾何の定理に関する疑問を自己説明することについてデモンストレーション用のテープを聞くことであった。疑問への自己説明は、幾何のテキストを分析して説明し、その内容の理解をチェックすることを促すものであった。例えば、「このページのどんところが私にとって新しいのか?」、「これは何のことをいっているのか?」といった疑問に積極的に自己説明した。その結果、通常の学習を行った条件群に対して、自己説明の訓練を受けた条件群は、事後テストと転移テストでよい成績を示した。

算数・数学の問題解決における自己説明の研究例として、最後にTajika et al. (2007) を取り上げよう。Tajika et al. (2007) は、自己説明をメタ認知方略として使用し、自己説明が小学6年生の算数割合文章題の解決にどのような影響を与えるのかを吟味した。

Tajika et al. (2007) は、算数割合文章題のテスト（本テスト）を実施する前に、小学6年生の割合文章題の解決過程を例題（Atkinson et al., 2000）として構成し、その例題に自己説明を課すことにより、子どもの算数問題解決に自己説明を適用した。具体的には、3つの条件群を設定した研究を実施した。研究の流れは、まず予備テストを実施して、3つの条件群間の違いがないことを確かめておいた。次いで割合文章題の例題を与えて、3つの条件群の実験操作を施した。例題の学習後本テストを実施して、例題の操作による条件群間の違いを確かめた。本テストの実施後1カ月を経てから転移テストを実施し、3条件群の違いを確かめた。

では、実験操作を施すことにより3条件群に分けた例題の説明に移ろう。

自己説明群の子どもには、本テストの割合文章題を解くのに先立って、本テストと異なる他の割合文章題2問（易問題と難問題）を例題として用意し、これら2題の例題の解決過程を6つ（易問題）ないしは8つ（難問題）の解決ステップに区切った内容（文ないし文章、式、あるいは線分図）を自己説明の課題として与え、1つ1つの解決ステップに記述された内容が理解できるかどうか、理解できる場合にはその説明を、理解できない場合にはどこが理解できないのかの説明を、それぞれ記述させた。

自己説明群以外の他の条件群として設定された2条件群は次の通りであった。自己学習群は、自己説明群に与えられた例題と同じ解決ステップで構成された例題の内容を、担任の先生が1つ1つ説明し、その後子ども自らが自分で学習する群であった。また、統制群は、自己説明群及び自己学習群に与えられた例題の書式とは異なるが、両条件群と同一の問題について、解決のための式と答えを予め記載した例題を与えられた。統制群に割り振られた子どもは、担任の先生がそれらの例題の解き方を説明し、子ども自身が理解するようにした。

各条件群の例題学習の後、割合文章題の本テス

トを実施し、その1ヵ月後に割合文章題とは異なる算数文章題を転移テストとして実施した。

実験の結果、自己説明群の子どもは、自己説明を行った割合文章題の解決に関して、本テストでは他の2条件群の子どもに比べ、有意に優れた成績を示した。また、割合文章題とは異なる他の文章題の解決に関しても、他の2条件群に比べて正の転移を示し、自己説明を行うことが算数問題解決に有用であることを示した。

自己説明群の子どもを、生成した自己説明の質と量によって自己説明適切群と自己説明不適切群の2群に割り振り、割合文章題の本テスト結果と転移テスト結果を比較した。

自己説明の質と量による自己説明適切群と自己説明不適切群の2群の区別は、McNamara and Magliano (2009) において自己説明に分類された推論と類似の推論を使って例題の解決ステップを説明しているかどうか、また推論による自己説明の割合が多いかどうか、の2点から分類した。推論による自己説明の多い子どもを自己説明高群とし、少ない子どもを自己説明低群とした。

例えば「水道管にせんを開いて水そうに水を入れるのに、Aのせんを開くと10分、Bのせんを開くと15分でいっぱいになります。両方のせんをいっしょに開いて水を入れると、何分でいっぱいになるでしょう。」という割合の例題（難問題）を例にあげて生成された推論について説明しよう。上記の割合の文章題の例題を、既述したように、8つの解決ステップ（1つの解答を含む）に分割して、自己説明と自己学習群の子どもに与えた。自己説明群の子どもは、それらの解決ステップの1つ1つに、自己説明を行った。

自己説明高群に分類された自己説明は、例えば「1分間では、Aのせんだけでは、水そう全体の $\frac{1}{10}$ の割合だけ水がたまります。」という解決ステップに対して、「10分で水がいっぱいになるから、1分では $\frac{1}{10}$ だ。」といった説明であった。このような説明は、解決ステップには表現されていない10分が全体の割合である1を示し、1分との関係を対比させるといって、部分－全体の割合の関係を推論し

ていることを示すものである。10分が全体の割合である1を示すことは、授業で学習した割合の先行知識から引き出さなければ生まれてこない内容である。

さらに、解決ステップの1つに線文図が記述され、その内容を説明させる課題も含まれている。このような線文図の自己説明も推論を必要とする課題である。

他方、自己説明低群の子どもの自己説明の一例としては、「1分間では、Aのせんだけでは、水そう全体の $\frac{1}{10}$ の割合だけ水がたまります。」という解決ステップに対して、「1分では $\frac{1}{10}$ の割合だけ水がたまると書いてある。」といった、解決ステップに記述された内容を反復する説明が多数を占めた。

小学6年生の子どもの場合、高校生や大学生ほどには推論を利用して自己説明を生成することはない。しかし、数少ない推論による自己説明ではあるが、自己説明高群の子どもは、2つの例題の解決ステップ（合計で14の解決ステップ）のなかで、5つから6つの解決ステップにおいて推論に基づく説明を行っていた。

Tajika et al. (2007) の研究結果の説明に戻ろう。上記のように、自己説明の質と量に基づいて、自己説明群の子どもを自己説明高群と自己説明低群に区分したとき、自己説明高群の子どもは自己説明低群の子どもに比べて、本テスト得点も転移テスト得点も有意に優れていた。

また、自己説明低群の子どもが得た本テストと転移テストの平均得点は、自己学習群と統制群の平均得点と類似した結果を示した。このことは、たとえ自己説明の質と量が自己説明高群ほどよくないとしても、自己説明によって本テストや転移テストの解決に何らかのプラスの効果を生み出したといえる。

Tajika et al. (2007) の研究において、メタ認知方略としての自己説明が算数問題解決に効果を示したのは、1つに、子どもが1つ1つの解決ステップの内容を説明するときに、解決につながる適切な推論を生成したことによるだけでなく、たとえあるステップの内容の説明が理解できなくて

も、どこが分からないかを自分なりに内省的に思考することによって説明を生成することにより、問題解決につながったことを指摘できる。子どもの説明の大半は、各解決ステップに記述されている文章の反復であった。上述した McNamara and Magliano (2009) による自己説明の分類では、メタ認知方略としての自己説明には分類されないであろう。しかしながら、線分図の理解を求める解決ステップでは、分からないなりに記述された内容を理解しようとする説明も認められた。解決ステップの内容の理解を求めて、一貫した説明を自分なりに構築しようとすることによって、問題解決につながる知識の構成が多少なりとも可能になったといえるかもしれない。

4 結論と今後の課題

自己説明は自分自身に問題や課題の内容を説明することであり、メタ認知の活性化に基づく領域一般の学習活動である。メタ認知方略としての自己説明を行うことにより、問題解決に結びつくスキーマの形成を容易にすると考えられ、複雑な内容をもつ当該の問題の理解を深めかつ問題解決に導くといえる。

算数・数学の問題解決において、学習者に自己説明させることによって、後の問題解決が促進される結果が多く報告されている。しかしながら、自己説明する学習者は高校生や大学生が一般的に多く、小学生が学習者である研究は、Tajika et al. (2007) や Mwangi and Sweller (1998) を含め、報告される研究数が少ない状況にある。自己説明をするためには、当該課題の知識とともに言語的な知識を欠くことはできない。また、不十分な理解を自己省察して深い理解を構成するために、必要とされる推論等を働かせるメタ認知の知識も必要とされる。これらを総合的に勘案するとき、メタ認知方略を適切に活性化し難しい小学生を使った自己説明の研究例が少ないことは理解できる。ただ、例題を用いて自己説明させる算数問題解決では、例題の解決ステップの内容が分かる・分か

らないにかかわらず、解決ステップを言語化しやすく工夫することにより、小学校の子どもにも、自己説明によるメタ認知方略の使用が可能となるかもしれない。

最後に、自己説明群が算数・数学の問題解決に優れた効果を生み出すという結果は、自己説明が他の学習者特性、例えば、先行知識の量、動機づけの高さ、あるいは言語や数に関する知能の程度などと交絡している結果による可能性があるのではといった疑問に答える必要がある。即ち、自己説明の質と量が豊富な学習者は、自己説明の質と量が貧弱な学習者に比べて、先行知識や一般的な知識が豊富である、動機づけの程度が高い、あるいは一般的な知的能力が高いといった特性と交絡していないであろうか。Tajika et al. (2007)の研究では、自己説明高群と自己説明低群の予備テストの得点結果を比較した。自己説明の操作を導入する前の予備テストの段階で、やはり自己説明高群の成績が優れていた。この結果は、子どもの算数成績の違いを実験に先立って見出しているが、算数の成績がどのような個人の特性を反映した結果であるかは明確でない。Chi et al. (1994, p.475)も、「自己説明による効果は能力(成績)や予備テストで測定される領域に関係する知識とは独立であると考えられるが、自己説明の少なくとも30%は、既有一般的で常識的な知識との統合による」と指摘し、自己説明における既有一般的知識の重要な役割を否定しない。今後は、このような学習者特性を考慮して、自己説明と問題解決の関連を吟味することが必要である。

5 引用文献

- Alevin, V., & Koedinger, K.R. (2002). An effective metacognitive strategy: Learning by doing and explaining with a computer-based cognitive tutor. *Cognitive Science*, 26, 147-179.
- 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.
- Brown, A.L., Bransford, J.D., Ferrara, R.A., & Campione, J.C. (1983). Learning, remembering, and understanding. In J.H.Flavell & E.M.Markman (Eds.), *Handbook of child psychology, Vol.III, Cognitive development* (pp.77-166). New York: Wiley.
- 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. (1989). Learning from examples via self-explanations. In L.B.Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser* (pp. 251-283). Hillsdale, 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.
- Chi, M.T.H., de Leeuw, N., Chiu, M-H., & La Vancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Craik, K.J.W. (1943). *The nature of explanation*. London: Cambridge University Press.
- Flavell, J.H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906-911.
- (木下芳子 (訳) (1981). メタ認知と認知的モニタリング 波多野諺余夫 (監訳) 現代児童心理学 3 子どもの知的発達 (pp.43-59). 金子書房)
- Holyoak, K.J., & Thagard, P. (1995). *Mental leaps: Analogy in creative thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- (鈴木宏昭・河原哲雄 (監訳) (1998). アナロジーの力ー認知科学の新しい探究ー 新曜社)
- 伊藤貴昭 (2009). 学習方略としての言語化の効果ー目標達成モデルの提案ー教育心理学研究, 57, 237-251.
- Keil, F.C. (2006). Explanation and understanding. *Annual Review of Psychology*, 57, 227-254.
- Keil, F.C., & Wilson, R.A. (2000). *Explanation and cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Koedinger, K.R., & Corbett, A. (2006). Cognitive tutors: Technology bringing learning sciences to the classroom. In R.K.awyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp.61-

- 77). New York: Cambridge University Press.
- McNamara, D.S., & Magliano, J.P. (2009). Self-explanation and metacognition. In D.J.Hacker, J.Dunlosky, & A.C.Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp.60-81). New York: Routledge.
- Mitchell, T.M., Keller, R., & Kedar-Cabelli, S. (1986). Explanation-based generalization: A unifying view. *Machine Learning*, 1, 47-80.
- Mwangi, W., & Sweller, J. (1998). Learning to solve compare word problems: The effect of example format and generating self-explanations. *Cognition and Instruction*, 16, 173-199.
- Nathan, M.J., Mertz, K., & Ryan, R. (1994, April). *Learning through self-explanation of mathematics examples: Effects on cognitive load*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA.
- Nelson, T.O., & Narens, L. (1990). Metamemory: A theoretical framework and new findings. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 26, pp.125-173). New York: Academic Press.
- Nelson, T.O., & Narens, L. (1994). Why investigate metacognition? In J.Metcalf & A.P.Shimamura (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 1-25). Cambridge, MA: MIT Press.
- Neuman, Y., & Schwarz, B. (2000). Substituting one mystery for another: The role of self-explanations in solving algebra word-problems. *Learning and Instruction*, 10, 203-220.
- Renkl, A. (2002). Worked-out examples: Instructional explanations support learning by self-explanations. *Learning and Instruction*, 12, 529-556.
- Rittle-Johnson, B. (2006). Promoting transfer: Effects of self-explanation and direct instruction. *Child Development*, 77, 1-15.
- Roy, M., & Chi, M.T.H. (2005). The self-explanation principle in multimedia learning. In R.E.Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp.271-286). New York: Cambridge University Press.
- Schank, R.C. (1986). *Explanation patterns: Understanding mechanically and creatively*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 多鹿秀継・中津植男 (2009). 算数問題解決と転移を促す知識構成の研究 風間書房
- 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, 222-233.
- VandenBos, G.R. (2007). *APA dictionary of psychology*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Wong, R.M.F., Lawson, M.J., & Keeves, J. (2002). The effects of self-explanation training on students' problem solving in high-school mathematics. *Learning and Instruction*, 12, 233-262.

6 付記

本研究は、2010年度（平成22年度）科学研究費補助金（基盤研究（C）, 課題番号：2030613）の補助を受けて実施したものである。