

# 児童の算数問題解決におけるメタ認知方略の活性化

## Activating a Metacognitive Strategy during Children's Math Problem Solving

多鹿 秀継\*

Hidetsugu TAJIKI

中津 檣男\*\*

Narao NAKATSU

### <要旨>

本研究の目的は、児童がメタ認知方略を使用することによって算数問題を適切に解決しようとするとき、児童がメタ認知方略を容易に活性化して使用できるための方策を明確にすることであった。この目的を達成するために、まず本研究目的を構成するメタ認知方略の概念を明確にした。次に、メタ認知方略としての自己説明を簡潔に記述し、児童が算数問題解決の過程を自己説明することにより、解決が容易になる理由を説明した。また、算数問題解決過程において、児童は自発的に自己説明しないといわれていることから、児童が自発的に問題解決時に自己説明するための活性化の方策を議論した。その結果、児童が積極的に自己説明できる学習環境、すなわちコンピュータ利用において提示される例題（プロンプト）を自己説明する学習環境の設定を提案した。

キーワード：算数問題解決、メタ認知方略、自己説明、例題、児童

### 1 本研究の目的

本研究の目的は、児童が算数問題を適切に解決するためにメタ認知方略を使用すれば効果的であるような場面に遭遇したとき、児童がメタ認知方略を容易に活性化して使用できるための方策を明確にすることである。

昨年度の本紀要において、多鹿・中津（2015）は児童が算数問題を適切に解決するためには、算数問題にかかるさまざまな知識を適切に獲得しているかどうかを考慮することが必要とされていることを指摘した。すなわち、算数問題を構成している問題内容を解決するために必要とされる文（章）表現された内容や公式理解の知識である宣言的知識、ならびに四則の計算に必要とされる手続き的知識の獲得と利用に加え、メタ認知に関する知識も適切に問題を解くために必要とされる（たとえば、Flavell, 1976; 多鹿・中津, 2009; 多鹿・中津, 2015）。算数問題解決において利用される宣言的知識と手続き的知識は、学校学習の中で学習可能な知識である。しかしながら、メタ認知に関する知識、すなわちメタ認知的知識やメタ認知的経験（Flavell, 1979）—ここではそれら2つのメタ認知の特性を含めて、メ

タ認知に関係する広い意味での知識ととらえておこう—は、児童が学校学習において教師から直接に教授・学習される知識であるとは考えられない。

一般に、メタ認知は幼児期から出現するといわれる（たとえば、Whitebread, Almeqdad, Bryce, Demetriou, Grau, & Sangster, 2010）が、8歳から10歳にかけて急速に発達すると考えられる（Veenman, Van Hout-Wolters, & Afflerbach, 2006）。この時期、児童は学校生活を中心とする日々の生活の過程で、メタ認知に関する知識を獲得していくといえる（Brown, Bransford, Ferrara, & Champione, 1983）。ただし、たとえば日常生活からかけ離れていると考えられる教科書に記述されている算数問題を、児童がメタ認知に関する知識を自発的に使用して解くようなことは、それほど期待されない。また、年少の子どもは、自分自身の問題解決過程についてよく知らないことから、メタ認知の働きを基礎にした多様な方略（メタ認知方略）をそれほど使用しないことが知られている（Brown, 1997）。さらに、年少の子どもは、自分自身の活動をモニターすることについても知らないようである。Siegler（1995）は、Piaget タイプの保存課題を幼児に遂行させる際、5歳児が自分の推理を説明することによ

\* 本学大学院担当教授

\*\* 愛知教育大学教授

る学習効果と、実験者がおこなう推理を説明させる場合による学習効果を吟味した。その結果、子どもは実験者のおこなう推理を説明することで、保存の遂行がよくなった。このことは、年少児が自分自身の活動をモニターするというメタ認知方略を課題遂行に活かすことは、あまり認められないことを示している。

一方で、Flavell, Green, & Flavell (1995) は、年少児ではなく年長の7, 8歳の児童にもなれば、認知方略の価値を評価できるようになるという。この考えは、メタ認知方略の利用にも適用できることが期待される。

しかしながら、これまでの算数の問題解決の研究において、児童は算数問題を解決するときに自発的にメタ認知に関係する知識を使って問題を解く—ここではメタ認知方略を意味するが—ことは見出されていない（たとえば、多鹿・中津, 2009）。児童がメタ認知方略を使って自発的に算数問題を解く場合、児童のメタ認知方略を活性化させる何らかの方策を課すことによって、可能であることを指摘できるだろう（多鹿・中津, 2015）。

本論文では、多鹿・中津（2015）の研究成果を発展させ、メタ認知方略を自発的に使用しないと指摘される状況において、児童が算数問題解決時にメタ認知方略を容易に活性化して使用する方策を明確にしようとするものである。なお、本論文で使用するメタ認知に関係する知識とは、問題解決にかかる知識としてのメタ認知方略を意味し、メタ認知的知識とメタ認知的経験を含んだメタ認知の一般的な概念として位置づけている（Dunlosky & Metcalfe, 2009/2010; Flavell, 1979）。

なお、上記のメタ認知的知識とは、特定の認知について思考するときに発動する情報である。情報にはヒトについての情報もあり、課題についての情報もあり、方略についての情報もある。メタ認知的経験とはヒトが取り組んでいる課題の認知過程の進展に伴う気づきであり判断である。また、メタ認知を容易に活性化する具体的な手段として、本論文ではメタ認知に関係する知識としてのメタ認知方略を取り上げる。メタ認知方略にはさまざまな具体例が存在する。ここでは、メタ認知方略の1つである自己説明に焦点を当てることで、児童が算数問題解決時にメタ認知を容易に活性化して使用するための方策を明確にしよう。

## 2 メタ認知方略とは何か

メタ認知方略にはどのようなものがあるかについて答えるに先立ち、メタ認知の概念について簡潔に整理しておこう。メタ認知とは、一般に自分の認知についての認知であり、自分自身の思考過程や認知過程についての思考であり、認知過程についてのモニタリングとコントロールの過程である（Dunlosky & Metcalfe, 2009/2010; Flavell, 1979）。このように、メタ認知に関する多くの定義は、メタ認知を①自分自身の認知過程に関する知識と意識、および②認知過程のモニタリングとコントロールという、相互に分離はしているが関連する側面に定義の焦点を当てている。

上記のメタ認知の概念に対して、メタ認知方略とはメタ認知に基づく学習活動であり、認知方略を基礎とする学習活動に対比して用いられる概念である（多鹿・中津, 2009; 多鹿・中津, 2015）。

認知方略に基づく学習活動とは、たとえば学習材料を記銘するときに用いるリハーサルや体制化のような記銘方略や、問題解決のためのアルゴリズム方略など、記憶や問題解決の容易さに直接結びつく活動である。認知方略は、それ故、学習時の課題を効果的かつ適切に処理するために呼び出される学習方法に言及するものである。

これに対して、メタ認知方略とはメタ認知の発動を必要とする学習の枠組みに従って、学習を助けるためのメタ認知の特定の種類や使用の仕方を意味する（たとえば、Schoenfeld, 1985）。すなわち、具体的には、メタ認知方略として、「計画すること」、「チェックすること」、「モニターすること」、「選択すること」、「改定すること」、「評価すること」をあげることができる（Schoenfeld, 1985）。また、多鹿・中津・野崎・池上・竹内・石田（2004）では、大学生が算数問題を解決するときに使用するメタ認知方略を質問紙によって回答を求め、得られた結果を因子分析することによってメタ認知方略を抽出した。その結果、メタ認知方略とは、「算数問題解決に必要な情報を適切に選択することにかかわる」メタ認知方略、「算数問題解決時の問題文理解にかかわる」メタ認知方略、並びに顕在化された手がかりを利用したり潜在的な手がかりを生成することにかかわる」メタ認知方略の3種類に分類された。これら3種類のメタ認知方略は、Schoenfeld が指摘した上記の具体的なメタ認知方略を、使用するタイプごとに分類

したものといえる。

以上のことから、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。メタ認知方略は、直接的に学習の効果を生み出すものではなく、使用している認知方略が適切であるかどうかの吟味を経ることで、間接的に学習効果を生み出すといえる。それ故、認知方略もメタ認知方略も、ともに学習時に使用する学習者の方略という意味で、学習方略といってよい。

青年期以降の年齢になると、問題解決に必要な情報を獲得し、分析し、解決に適用するためにメタ認知方略を使用することで問題を素早く効果的に解決することが可能となる。たとえば、多くの生徒はメタ認知方略として知られる要約したり、分析したり、関連する意味を構成して問題に適用することによって、所与の文章を理解し、あるいは問題解決に導くのである (Dimmitt & McCormick, 2012)。自己モニタリング、自己評価、自己教示といった、自己調整活動において重要と考えられているさまざまな活動も、青年期以降に使用されるメタ認知方略として位置づけられる。

では、算数の問題解決におけるメタ認知方略としては、どのような方略が使用されるであろうか。多鹿他 (2004) が明確にした 3 種類のメタ認知方略がそれに該当する。算数問題解決を構成する下位過程の区分に従ってメタ認知方略を記述すれば、問題理解において使用されるメタ認知方略としては、一般に、文 (章) 理解のメタ認知方略のなかでも、何について書かれているかの理解のプランを立てるメタ認知方略、書かれている言語を理解するためのメタ認知方略、モニタリング、文章内容の要約のメタ認知方略などをあげることができる。また、問題解決のメタ認知方略としては、どのような立式を構成するかプランを立てるメタ認知方略、モニタリング、あるいは評価といったメタ認知方略を必要とするといえる。さらには、問題解決後に解いた結果を吟味するメタ認知方略も指摘できるだろう。

では、算数問題解決にかかわるさまざまなメタ認知方略のなかで、メタ認知方略としての自己説明を算数問題解決において使用することの意味は何か。

### 3 メタ認知方略としての自己説明はなぜ算数問題解決を促進するか

前節において、メタ認知方略の概念、ならびに問題解決において具体的に使用されるさまざまなメタ認知方略を紹介した。本節では、そのように多種類のメタ認知方略の中で、自己説明に焦点を当てる。メタ認知方略としての自己説明とは何か、また自己説明をどうして取り上げたのか、その理由は何か。さらに、問題解決時にメタ認知方略としての自己説明を児童が使用することで、どうして当該の算数問題の解決が容易となるのか等のいくつかの疑問に対する回答を吟味する。

自己説明とは、メタ認知方略の 1 つとして一般によく知られている (Fonseca & Chi, 2011; McNamara & Magliano, 2009; 多鹿・中津, 2015)。本研究では、自己説明を問題解決や文章理解時に、問題文や文章内容の意味を発語や書記によって自分自身に説明する具体的な学習活動と定義する。そのような自己説明の発動によって、どうして算数文章題の解決が促進されるのであろうか。

自己説明とは、Chi, Bassok, Lewis, Reimann, and Glaser (1989) によって導入された概念であり、テキスト理解を深める方略として多くの研究において採用されてきた (テキスト理解に関する概括的な説明は、Chi (2000) を参照のこと)。テキストを理解するために自分の言葉でテキストの内容を説明することは、テキストの内容を内省的に吟味 (モニター) することによって、テキストの不十分さについての理解を明確にし、またテキストの理解水準を自己評価し、理解や解決に導くためのプランを構成することを意味する。

自己説明に関するこれまでの研究結果から、自発的に学習材料を自己説明したり、あるいは例題等を与えられ、当該の例題を自己説明するように教示されて自己説明する学習者は、自己説明をしない条件群の学習者よりも学習材料をよりよく理解したり、自己のスキーマをより適切に構成することが明確にされている (Chi et al., 1989; Chi, 2000)。自己説明はメタ認知方略であることから、通常はメタ認知の発達している高校生や大学生に対して学習材料の処理に用いられることが多い。小学生の場合、メタ認知の獲得過程にあることから (Flavell, 1976)、自発的に学習材料を自己説明することはほとんど認められない。小学生を使った自己説明の研究では、

一般的に実験者が児童に自己説明するように教示することで学習材料を処理させることが多い（たとえば、Mwangi & Sweller, 1998 ; Tajika, Nakatsu, Nozaki, Neumann, & Maruno, 2007）。それ故、小学生に自己説明させる場合、学習材料を提示する仕方にも工夫を必要とする。

小学生に容易に自己説明させる学習材料の提示の工夫として、例題を使用することが多い（Renkl, 2011 ; Mwangi & Sweller, 1998）。小学生の場合、例題そのものを自己説明するよりも、例題をいくつかの解決ステップに区分し、それぞれの解決ステップを自己説明させる課題がよく用いられる（Tajika, Nakatsu, Neumann, Nozaki, Kato, Fujitani, & Hotta, 2012 ; Tajika et al., 2007）。たとえば、Tajika et al. (2007) では、小学6年生に、「水道管の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。」という問題を解決させるとき、この問題をいくつかの解決ステップに分割して、それぞれの解決ステップを自己説明させた。解決過程の初期の段階で提示される解決ステップでは、たとえば「1分間では、Aのせんだけでは、水そう全体の1/10の割合だけ水がたまります」の文内容が提示された。この内容に対して、ある児童が「10分で水がいっぱいになるから、1分では1/10だ」と説明した場合、「10分で水がいっぱいになるから」という問題文の内容を前提にして、解決ステップの内容を推論に基づいて自己説明したことがわかる。

このように自己説明の具体例を理解するとき、自己説明の発動は知識の構成的な活動であることがわかる（多鹿・中津, 2009, 2015）。理解の不十分な学習材料を自己説明することは、自らが積極的に学習材料の意味理解にかかわることが求められる。自己説明することによって推論等が容易に導き出され、不十分な理解でしかなかった学習材料を、自らが納得のいく理解に改定することとなる。

Chi (2000) は、上記の研究を含めた自己説明の研究結果から、自己説明が文章理解等に効果的である理由として、①学習材料の観点と、②学習者のメンタルモデル（本論文でのスキーマを意味する）の観点の2点から説明を試みている。

①学習材料の観点とは、学習材料の意味が十分に理解できない理由として、学習材料が不完全な内容

で構成されていることを指摘できる。不完全な内容で構成されている学習材料を、学習者が理解している点と理解していない点を識別する意図をもって自己説明することにより、両者のずれを確認し、学習材料の中で明確にされていない情報や欠けた情報を推論によって補うことになる。結局、学習者は不完全な内容で構成された学習材料の理解を深めることとなる。

通常、学習材料の内容は、だれもが完璧に理解可能な内容として提示されることはない。理解につながる記述が不明確なために理解されない学習材料であったり、文間の結びつきに省略があったり、文章の構造の結束性が明確でなく意味のとらえにくい学習材料であったりする。小学6年生を対象にした上述の割合文章題の解決では、「1分間では、Aのせんだけでは、水そう全体の1/10の割合だけ水がたまります」という文が解決ステップの1つとして提示されても、割合問題に熟達していない学習者にとっては意味が不明であると考えられる。しかし、学習の過程で、学習者は問題文である「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。」と解決ステップの文との意味内容を照らし合わせ、解決ステップの中で意味不明な「1/10の割合」の内容を問題文に記述されている内容から推論することによって、「10分で水がいっぱいになるから、1分では1/10だ」と理解に基づく説明をおこなうとき、意味の理解が不十分な学習内容を、意味の理解できる内容に変換することで理解できたといえる。

また、②学習者のもつスキーマとは、学習材料に関する学習者のスキーマの不完全さ意味する。学習者は既存のスキーマを発動して学習材料の意味を理解したり問題解決につなげる。しかしながら、解決に至らないときに、自己説明することによって既存のスキーマを改定し、理解や問題解決につなげるのである。割合の概念を十分に理解していない児童にとって、「1分間では、Aのせんだけでは、水そう全体の1/10の割合だけ水がたまります」という文が解決ステップの1つとして提示されても、部分一全体に関する割合の概念が不十分なために、10分が全体を示す1で表現されることは理解できないであろう。しかし、1分が1/10を示す解決ステップの文が提示されるとき、その内容を自己説明する

過程で、10 分が全体を示す1 の割合であるとの部分-全体の関係についての割合のスキーマを構成することができるようになるとき、文の理解が深められることとなる。①の学習材料の不完全さを補うツールとしての自己説明による理由に加え、ここでは、学習者自身のスキーマの不完全さをカバーするためのツールとして自己説明による学習の効果をみることができる。

学習者は、自分の考えや自分のスキーマをさまざまな経験に基づいて構成している。これらのスキーマは、学習材料の理解にとって、必ずしも完全なスキーマとして構成されたものとは言い難い。それゆえ、学習者は既存のスキーマを使っては理解できない学習材料に遭遇したとき、どのように理解すればよいのかについて悩むことが多いと考えられる。このような事態において、学習者は当該の学習材料の理解に向けて自己説明する過程において、自分自身のスキーマを改定し、学習材料の理解を得るのである。

既有のスキーマが不完全で改定を必要とするとき、学習者はスキーマがどのように不完全であるのか、不完全なスキーマはどのように不完全な学習材料と一致しているのか、あるいは齟齬を生じているのか、さらには学習過程において、学習者のスキーマと学習材料とが一致するとか齟齬を生じるとかは何を意味しているのかを、今後の研究において明確にする必要がある。

Chi (2000) は、上記の2つの理由によって、自己説明が文章理解や問題解決に効果的に作用するととらえる。しかしながら、これら2つの理由はまったく別個の意味内容をもつものではなく、自己説明がともに学習する個人と学習内容によって構成されている学習の活動であることからくるといってよい。学習者が自己説明するとき、学習者は知識のギャップを明確にしてそのギャップを埋めるのである。ギャップを埋めるのは問題文の不完全さを手がかりにする場合もあれば、自分の既有のスキーマの不完全さを手がかりにする場合もある。ギャップを埋める作業の過程で知識は再構成されるといえる。

学習者が学習材料をアクティブに学習する過程において、知識を構成する具体的な活動としては、「自分の言葉でノートを取る」、「質問をする」、「2つ以上の課題の特性を比較する」、「2つの課題内容を統合する」、「その後の展開や推移あるいは結果を予測する」、「問題文にあった線分図を描く」等

(Chi & Wylie, 2014)、メタ認知方略と呼べるメタ認知を伴ったさまざまな学習活動を取り上げることができる。自己説明はこれら知識構成活動の1つである。

構成活動としての自己説明には、メタ認知の働きに加えて、学習者が課題の内容を推論する過程が含まれている。自己説明をすることにより、学習者は学習材料を改定したり (revising)、修正したり (repairing)、再体制化したり (reorganizing)、熟考したり (reflecting)、あるいは解釈 (interpreting) することが、推論を通してアクティブに行うことが可能となる (Chi & Wylie, 2014)。もう少し別の言い方をすれば、構成活動としての自己説明は、ただ情報を符号化し貯蔵するだけの学習活動ではない。自己説明は長期記憶に貯蔵しているさまざまな知識を使って、学習すべき新しい情報を改定し、再体制化し、解釈するための推論をおこなう活動である。

さて、構成活動としての自己説明を支える推論過程は、①学習内容をまとまりのある内容として体制化すること、②体制化された学習内容を既有知識に統合すること、③統合された新しい知識を学習内容と比較し、類推し、一般化することで、学習内容を再体制化し、さまざまな意味を作り出すことである。その結果として、④再構成された知識はより堅固なスキーマとして、さまざまな転移課題に容易に適用することができるといえる。

推論を働かせることにより、符号化することによって記録された学習内容は、学習内容には記述されていないが学習内容に密接に関連する情報を引き出すことができるようになる (多鹿・中津・加藤・藤谷・堀田・野崎, 2015)。

構成活動としての自己説明を算数問題解決に使用する場合、学習者として児童を対象にするため、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ことが一般的であると述べた。また、提示される例題も、既述のように、児童を研究参加者として使用する場合、例題を直接自己説明させるよりも、例題をいくつかの解決ステップに分割し、各ステップの内容を自己説明させる方法がよく用いられることを指摘した。自己説明がこのような算数文章題の解決を促進する理由の1つは、児童が区分された例題の解決ステップに対して自己説明を行うときに、それぞれの解決ステップの記述内容と記述内容を理解する場合の児童の既有知識との間のギャップを自己説明によって埋め、当該の算数問題解決の解決を

容易にするといえる（多鹿ほか,2015）。すなわち、児童は、①問題文を読んで内容を理解しようとする、②その場合、自分のもっている既存のスキーマを検索して理解に動員する、③問題内容の理解に向けて、既存のスキーマを使って問題文の内容を自分自身に説明する（一般には推論した内容が発話あるいは書記される）、④既存のスキーマと推論された結果としての意味内容とを照らし合わせて意味内容を統合して理解する、といったステップを経て、問題解決に至ると考えられる。

もちろん、このような推論を適切に実行することで上記のように回答する児童の数は、小学6年生といえどもたいへん少ない。しかしながら、このような推論を働かせることは、当該の問題解決において適切にスキーマを再構成した結果に基づくものであると考えられ、上述の割合問題を解決するための基本的なステップの1つとなっている。

#### 4 算数問題解決時にメタ認知方略としての自己説明を活性化させるには

自己説明は、構成活動をおこなうときに使用する他の学習方略に比べて、一般に学習効果が顕著であることが知られている（Chi & Wiley, 2014；Fonseca & Chi, 2011）。Fonseca and Chi は、自己説明のような知識の構成を目的とした学習活動の学習効果を、効果量を目安にして、自己説明と他の構成活動とで比較した。自己説明と構成活動を伴う他の学習方略との比較研究は比較的少ない。構成活動を伴う学習方略として比較のまな板にのせられたのは、予測させる活動やノートを取るといった活動であった。予測させる活動やノート取り活動と自己説明による学習活動を比較した結果、自己説明の効果量  $d$  はすべて 1 前後を示し、自己説明の優位が明白であった。

では、構成活動として学習に効果的なメタ認知方略である自己説明を、算数問題解決時に児童に活性化させて利用させるようにするためには、どのような条件を必要とするであろうか。児童の学力の程度に関係なく、どのような児童でも、どのような状況のもとでも、自己説明を自由に活性化させて、算数問題解決に利用させることが可能であろうか。

本論文では、自己説明はメタ認知方略として議論を展開している。上記に述べた自己説明の活性化の条件は、とりもなおさずメタ認知の活性化の条件を吟味することととらえることができる。メタ認知の

活性化の前提条件として、これまでのメタ認知の研究から、①新しい情報を正しく解釈するための適切なスキーマの活性、ならびに②文章や問題を理解するための適切に関連する知識の活性、の2点に要約することができる（たとえば、McKeown & Beck, 2009）。

第1は、学習者の既存のスキーマの活性化に関係する条件で、領域一般のスキーマの活性化といっていよう。学習者はさまざまな経験を通してスキーマを構成している。われわれは構造化されたそのような既有知識をスキーマと呼んでいる。メタ認知の活性化は、新しい情報をどう取り入れるかを正しく解釈するために、既有知識を活性化してモニターする必要がある。ここでの知識は、当該の問題や文章内容とはかかわりのない、それ故領域一般の知識の活性化である。

第2は、当該の問題解決の名用や文章理解に直接かかわりを持つスキーマの活性化であり、領域固有の知識である。上述した割合の文章題解決では、論理数学的な知識とともに、割合に関するスキーマ、例えば、割合の概念、比べ（られ）る量、もとにする量、などの概念の知識である。

メタ認知を活性化する場合、当該の文章内容や問題内容に直接関連する第2の知識の活性化のみが必要であるように思われる。しかし、実際は提示された文章や問題文の背景となる文脈の理解といった第1の知識のように、問題領域とは異なる一般的な知識の活性化も必要とされるのである。

Veenman et al. (2006) によれば、メタ認知方略の活性化は3つの原理に従うことによって可能であると指摘する。1つは、教科の中にメタ認知方略を埋め込み、メタ認知を利用することで当該の教科との結びつきを強化するようにすることである。2つ目は、メタ認知方略を使用するように直接教示することで、最初の理解をするために余分な努力を必要とするところをスムーズに処理させることである。3つ目はメタ認知方略の訓練であり、長期の訓練を通してメタ認知方略のスムーズな使用と維持を保証することである。

Veenman et al. (2006) の指摘は、基本的にはメタ認知方略の訓練に集約されるだろう。メタ認知方略の訓練による活性化は、研究者や教師による直接的な場合もあれば、コンピュータ利用によるメタ認知方略の訓練もある（McCormick, Dimmitt, & Sullivan, 2013）。何を訓練の対象にするかといえ、

学習者と教科である。一方で、学習者がメタ認知方略を自発的に使用できるようにする訓練であり、他方で、学習者が教科に埋め込まれたメタ認知方略を積極的に利用する訓練である。問題はメタ認知方略の訓練をどのようにおこなうかである。

学習者の訓練とは、児童の有するメタ認知の活性化の訓練である。すなわち、子どもが所与の算数問題の学習状況をチェックし評価すること、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等に関わる訓練である。メタ認知方略を利用した算数・数学の問題解決は、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、学習者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。メタ認知方略は、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。前述のように、メタ認知方略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。学習者の有するモニタリングとコントロールの働きを活性化させるために、メタ認知を使った訓練が必要とされる。

たとえば、小学生を研究対象にした Desoete, Roeyers, and De Clercq (2003) は、算数文章題の解決におけるモニタリングとコントロールの働きを活性化するメタ認知教授介入の効果を検討した。Desoete et al. は、小学3年生にメタ認知方略を訓練し、当該の小学3年生が他のさまざま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。彼女たちが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」あるいは「きっと間違えようだろう」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」あるいは「間違ってい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含むものであり、実際の遂行結果と照らし合わせて、児童が訓練されたメタ認知方略を適切に使用して問題を解く

ことができるようにした。その結果、Desoete et al. は、小学生においても、メタ認知方略を適切に使用できるような訓練を行うことによって、メタ認知方略群が他の条件群よりも当該の算数問題正しく解決することができることを示した。

大学生の数学問題解決の促進を目指した Schoenfeld (1985) の研究では、数学について初学者の学生と専門家の問題理解と解決過程の比較結果に基づいて、実行機能（行動を体制化し実行する高次の認知過程であり、推論やプラン化を含む）とコントロールを訓練することで、初学者は数学問題解決の理解と解決に内在する分析、探究、プラン作り、といった過程に時間をかけることができるようになった。

また、児童の主體的な活動を活かすために、コンピュータを利用した自己説明の活性化が考えられる。コンピュータを利用する児童が、コンピュータから提示されるプロンプトに従って自己説明を積極的におこなうことで、当該の算数問題の解決を促進可能にする。知的チュータリングシステム (intelligent tutoring system, 以下では ITS と略記する) は、当該の学習領域の専門知識を提供し、児童の反応に基づいて児童のさまざまな特性を推論することから児童の学習モデルを構築し児童との対話を促進する環境としてよく知られている (Ma, Adesope, Nesbit, & Liu, 2014)。ITS は、①領域固有の知識によって問題を解くことができる、②学習者に解答過程を説明できる、③学習者の誤りを推定し、学習者の理解状態のモデルを構築する、④学習者の誤りに対応した教授を提供できる、などの特徴を有している (多鹿・中津, 2015)。

ただ、ITS を利用した研究の一環として、メタ認知方略を組み込んだコンピュータ利用による問題解決の多くは、メタ認知方略の利用が自発的に可能な高校生以上の年齢層を研究参加者として使用したものであった。たとえば、Aleven and Koedinger (2002) は、幾何を学習する高校生を対象に、メタ認知方略を組み込んだコンピュータ利用の環境を実験的に実証した。実験研究として、彼らは2群を構成した。1つは自己説明を組み込んだ Geometry Cognitive Tutor から提示される課題を解決することで、幾何の問題を解決する実験群であった。他の群は、自己説明を組み込んでいない通常の Geometry Cognitive Tutor から幾何の問題を解決するだけの統制群であった。実験群と統制群の Geometry

Cognitive Tutor は、自己説明の課題を含んでいるかいないのみが異なり、他の内容は同一であった。2条件群ともに、プリテストとポストテストが実施された。どちらのテストも3種類のテスト項目で構成されていた。実験の結果、プリテストでは、3種類のテスト項目について2条件群間で違いはなかった。他方、ポストテストでは、「情報が不十分」のテスト項目と、「理由づけ」のテスト項目で違いが見られ、自己説明を組み込んで構成されたGeometry Cognitive Tutor を学習した実験群がよい成績であった。「情報が不十分」のテスト項目とは、生徒が幾何問題の角度を測定するに、与えられた情報が不十分であると認知できるかどうかについてのテストであった。また、「理由づけ」のテスト項目とは、生徒がGeometry Cognitive Tutor を学習したときに行ったのと同じように、テスト項目の理由づけを説明できるかどうかを評価するテストであった。このテストは、ある意味で転移テストとして位置づけられている。

このように、メタ認知の訓練はモニタリングとコントロールの働きを活性化する目的で実施されてきており、自己説明による訓練もその一環として位置づけられる。メタ認知方略としての自己説明の活性化にかかる児童への訓練はどうであろうか。児童に自己説明を活性化させるための訓練は、通常例題を与えてそれを解決させる手法が取られてきている（たとえば、Renkl, 2011, 2014）。教師作成であろうがコンピュータによる提示であろうが、問題解決の例題（worked-out example）をプロンプト（prompt）として与えることで、例題を自己説明させるのである。例題は解決過程をわかりやすく例示したものである。小学生を学習者とした場合、例題の解決過程をさらに細かく分解していくつかの解決ステップを構成し、そのひとつひとつを児童に自己説明させる課題がよく用いられる（たとえば、Mwangi and Sweller, 1998； Renkl, 2011, 2014； Tajika et al., 2007）。

たとえば、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。すなわち、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、たとえば8歳を示す8個の○（丸）を添えた例題を児童に与え、

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早く達することを示した。Mwangi and Sweller の例題は解決過程を細分化して解決ステップを構成しているというよりも、例題とその解決過程をペアにしたものを自己説明させている。

また、Tajika et al. (2007) は、既述のように、算数割合文章題のテスト（本テスト）を実施するのに先立ち、小学6年生の割合文章題の解決過程を例題（Atkinson, Derry, Renkl, & Wortham, 2000）として構成し、その例題を児童に自己説明させることにより、子どもの算数問題解決に自己説明を適用した。すなわち、自己説明群には、本テストの割合文章題を解くのに先立ち、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種類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、ひとつひとつの解決ステップに記述された内容（課題）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。3節では、2種類の例題のうちの難問題の解決ステップの1つを例示した。その結果、少数の児童に制限されるが、推論等を使用することで解決ステップを適切に自己説明し、後の問題解決に対して、正しく問題を解くことができた。自己説明による問題解決の促進結果は、Tajika et al. (2012) のコンピュータ利用の自己説明でも同様に得られた。

このように、小学生に自己説明させる場合、単に例題を与えるだけでなく、例題の解決過程を解決のしやすい解決ステップに区分した例題を与えることで、児童が自己説明しやすい環境を用意することが可能であるといえる。

## 5 結論と今後の課題

本論文では、メタ認知方略として自己説明を取り上げ、児童が自己説明を積極的に使用して算数問題を解決するための方策として、各解決ステップに区分された例題を提示することを提案した。今後は、児童に提示する例題の質を工夫することが求められる。ここで指摘する例題の質とは、解決ステップの区分の仕方にかかる各解決ステップの内容の工夫である。通常、算数の教科書では、ごく少数のステッ



ブで解決ステップが区分されている。その解決ステップを教師が説明したり、児童の間でやり取りをして説明する。しかし、例題から解答までの解決ステップの数が少ないため、解決の筋道がよく理解できないままで解答が示されていることが多い。この解決ステップを、児童の解決の思考過程をたどることが可能のように、丁寧に構成することが求められる。その結果、児童が各解決ステップを容易に説明できるようになると思われる。ただし、単なる解決ステップの繰り返しに見られる自己説明では、学習効果は不十分である。

## 6 引用文献

- Aleven, 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., & Champione, J.C. (1983). Learning, remembering, and understanding. In J.H. Flavell & E.M. Markman (Eds.), *Cognitive development. Volume 3 of the Handbook of child psychology* (4<sup>th</sup> ed., pp. 77-166). Editor-in-Chief: P.H. Mussen. 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., 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., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49, 219-243.
- Desoete, A., Roeyers, H., & De Clercq, A. (2003). Can offline metacognition enhance mathematical problem solving? *Journal of Educational Psychology*, 95, 188-200.
- Dimmitt, C., & McCormick, C.B. (2012). Metacognition in education. In K.R. Harris, S. Graham, & T. Urdan (Editors-in-Chief). *APA educational psychology handbook, Vol. 1 Theories, constructs, and critical issues* (pp. 157-187). Washington, D.C: American Psychological Association
- Dunlosky, J., & Metcalfe, J. (2009). Metacognition. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. (湯川良三・金城光・清水寛之 (訳) (2010). メタ認知－基礎と応用－ 北大路書房)
- Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L.B. Resnick (Ed.), *The nature of intelligence*. (pp. 231-235). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 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 波多野誼余夫 (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)
- Flavell, J.H., Green, F.L., & Flavell, E.R. (1995). Development of children's awareness of their own thoughts. *Journal of Cognition and Development*, 1, 97-112.
- Fonseca, B.A., & Chi, M.T.H. (2011). Instruction based on self-explanation. In R.E. Mayer & P.A. Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (pp. 296-321). New York: Routledge.
- Ma, W., Adesope, O.O., Nesbit, J.C., & Liu, Q. (2014). Intelligent tutoring systems and learning outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 106, 901-918.
- McKeown, M.G., & Beck, I.L. (2009). The role of understanding and supporting reading comprehension. In D.J. Hacker, J. Dunlosky, & A.C. Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp. 7-25). New York: Routledge.
- 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.
- McCormick, C.B., Dimmitt, C., & Sullivan, F.R. (2013). Metacognition, learning, and instruction. In I.B. Weiner (Editor-in-Chief), W.M. Reynolds &

- G.E.Miller (Vol. Eds.)., *Handbook of psychology Vol. 7: Educational psychology* (2nd ed., pp. 69-97). Hoboken, NJ: Wiley.
- 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.
- Renkl, A. (2011). Instruction based on examples. In R.E.Mayer & P.A.Alexander (Eds.), *Handbook of research on learning and instruction* (pp.272-295). New York: Routledge.
- Renkl, A. (2014). The worked examples principle in multimedia learning. In R.E.Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2nd ed., pp. 391-412). New York: Cambridge University Press.
- Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical problem solving*. Orlando, FL: Academic Press.
- Siegler, R.S. (1995). How does change occur?: A microgenetic study of number observation. *Cognitive Psychology*, 28, 225-273.
- 多鹿秀継 (1996). 算数問題解決過程の認知心理学的研究 風間書房
- 多鹿秀継・中津樗男 (2009). 算数問題解決と転移を促す知識構成の研究 風間書房
- 多鹿秀継・中津樗男 (2015). 児童の算数問題解決におけるメタ認知方略使用を支える学習環境の吟味 神戸親和女子大学大学院研究紀要, 11, 47-56.
- 多鹿秀継・中津樗男・加藤久恵・藤谷智子・堀田千絵・野崎浩成 (2015). 児童の算数問題解決を育むメタ認知方略の吟味 神戸親和女子大学研究論叢, 48, 1-10.
- 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.
- 多鹿秀継・中津樗男・野崎浩成・池上知子・竹内謙彰・石田靖彦 (2004). 算数問題解決におけるメタ認知方略の分析 愛知教育大学教育実践総合センター紀要, 7, 19-26.
- Tajika, H., Nakatsu, N., Nozaki, H., Neumann, E., & Maruno, S. (2007). Effects of self-explanation as a metacognitive strategy for solving mathematical word problems. *Japanese Psychological Research*, 49, 222-233.
- Veenman, M.V.J., Van Hout-Volters, B.H.A.M., & Afflerbach, P (2006). Metacognition and learning: Conceptual and methodological considerations. *Metacognition and Learning*, 1, 3-14.
- Whitebread, D., Almeqdad, Q., Bryce, D., Demetriou, D., Grau, V., & Sangster, C. (2010). Metacognition in young children: Current methodological and theoretical developments. In A.Efklides, & P.Misailidi (Eds.), *Trends and prospects in metacognition research* (pp.233-258). New York: Springer.

## 7 付記

本研究は、2015 年度（平成 27 年度）科学研究費補助金（基盤研究(C), 課題番号：26380912）を受けて実施したものである。