子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割

多　鹿　秀　継

The Role of Metacognition in Children's Mathematical Problem Solving

Hidetsugu TAJIKA

要　旨

本論文の目的は，子どもが算数問題を解決するとき，メタ認知を活性化させることによって当該の算数問題の解決に与える役割を，先行研究に基づいて明確にすることであった。この目的を達成するために，メタ認知の定義・概念に言及した先行研究を吟味した後，本研究で使用するメタ認知を「算数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」と定義した。次いで，算数問題解決の過程に適用されるメタ認知方略の研究に焦点を当てた。その結果，子どもに算数問題を解かせるとき，メタ認知方略を訓練することによって，メタ認知方略が算数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：メタ認知，算数問題解決過程，子ども，メタ認知方略，自己説明

1　本論文の目的

1－1　本論文の目的

本論文の目的は，主に小学生を中心とした子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割を明確にすることである。即ち，子どもが算数問題を解決するとき，メタ認知を活性化させることによって当該の算数問題の解決に与える影響を，先行研究に基づいて明確にすることである。

ところで，子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割を吟味するのに先立ち，子どもの算数問題解決において，メタ認知を研究する意味は何であろうか。メタ認知を研究する基本的な意味は，子どもが算数問題を正しく解決する過程で適切に活性化させるメタ認知を明確にすることにより，効果的な問題解決の指針を生成することが可能となることである。メタ認知の研究が Flavell (1971) のメタ記憶の研究に端を発したことから，例えば算数問題解決方略の選択や使用に関わるメタ認知研究が重要であると考えられそうであるが，必ずしもそうではあるまい。むしろ，問題解決に効果的な解決方略の選択や使用が，問題解決時にどのようにモニター（監視）されコントロール（制御）されるのかといった，メタ認知のメカニズムを理解することが重要である。

生涯学習の観点から眺めると，メタ認知の研究は，たとえ大人であろうと，算数問題解決に限らず，メタ認知的にガイドされた問題解決は効果的な解決に導くであろうかといった疑問の解明に結びつく。ヒトは自分の問題解決過程について何を知っておりどの程度知っているのか，また解決過程をコントロールするためにメタ認知をどのように発動するのかについて明確にすることは，ヒト

の認知過程を実験心理学的に理解するに留まらず，子どもの自己調整能力を育成するために科学的な支援方策を探る教育心理学や発達心理学にとっても有益である。

1－2　本論文で使用するメタ認知の概念

本研究の枠組みを説明するに先立ち，本論文で使用するメタ認知の概念・定義を簡潔に整理しておこう。

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）と捉えることができるが，先行研究から必ずしも一義的に確定しているわけではない（Cavanaugh & Perlmutter, 1982；楠見・高橋，1992)。例えば，Flavell（1979）は，メタ認知を構成しているメタ認知的知識やメタ認知的経験といったいくつかの要因に基づいてメタ認知を定義した。また，Nelson and Narens（1990，1994）は，ヒトの認知システムにおける情報のモニタリングとコントロールの相互作用としてメタ認知（メタ記憶）を定義した。彼らはメタ認知とメタ記憶を同義に捉えている。

このような視点に基づいて定義されるメタ認知は，多様な認知課題の遂行において中心的な役割を担っている。特に，メタ記憶と呼ばれる記憶課題を使用したメタ認知研究を嚆矢として，その後のメタ認知研究が飛躍的に進展したことはよく知られている（Brown, 1978；Flavell, 1971)。

メタ認知の概念を，発達心理学的なアプローチと情報処理心理学的なアプローチからもう少し丁寧に吟味しよう。

発達心理学的なアプローチでは，メタ認知（もともとはメタ記憶）を知識の観点から定義する。即ち，学習のし易さやし難さに影響を与える要因や，学習に役立ちそうな記憶方略を知っているといった知識の観点である（Flavell & Wellman, 1977)。勿論，記憶についての知識の意味合いとしては，何を知っているのか（記憶の知識）と知っていることをどのように使うのか（実行過程）の両側面を併せもつが，ここでは主に前者に力点が置かれる。Flavell and Wellman（1977）はメタ記憶を2つの知識のカテゴリに区分し，認知の変数と呼ばれるカテゴリと感受性と呼ばれるカテゴリに基づいて定義した。この定義を敷衍してまとめたものが，上記で説明したFlavell（1979）のメタ認知といってよい。認知の変数のカテゴリとは，「自分の記憶力は悪い」といったヒトの記憶に関する知識，課題の難易の知識，あるいは記憶方略の知識からなる。また，認知の感受性のカテゴリは，例えば，ある課題を学習している過程で，いつ記憶方略を必要とするかについての知識などを意味する。このカテゴリはメタ認知的な経験による知識のため，以前にうまくいった経験に基づき，学習過程で記憶方略を自動的に発動する。Flavell and Wellman（1977）の区分したメタ記憶のこのような2つの知識は，宣言的知識と手続き的知識の区分をメタ記憶に適用したものと考えられる（Schneider & Bjorklund, 1998)。変数のカテゴリの知識は，意識的でかつ事実に基づく顕在的な知識（宣言的知識）に言及したメタ記憶の知識である。他方，感受性のカテゴリの知識は，自動的でかつ無意識による潜在的な知識（手続き的知識）に言及した知識といえる。

他方，情報処理心理学的なアプローチでは，メタ認知とは記憶能力や記憶処理の概念として位置づけられ，上述のNelson and Narens（1990，1994）のメタ認知（1990年の論文では，メタ記憶と記述していた）の概念がよく知られている。

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した。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，情報の処理や実行の過程であり，知識面に焦点を当てた

メタ記憶の側面よりも，学習状況をチェックしたり評価し，学習を適切に遂行するための計画を立てたり修正することに関わるメタ認知の実行レベルの側面を強調する。

本論文も，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。勿論，発達心理学的なアプローチにおいても，メタ認知における処理や実行の過程について焦点を当てた研究は少なからず存在する（Cavanaugh & Perlmutter, 1982；Kail, 1990；Pressley & Hilden, 2006；Schneider & Bjorklund, 1998）。このようなことから，本論文で取り上げるメタ認知は，「算数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，幅をもたせた概念・定義にしておこう。

2　子どもの算数問題解決過程とメタ認知

2－1　算数問題解決の下位過程

算数問題解決への情報処理心理学的なアプローチの特徴の1つに，算数問題解決過程を構成している問題解決の下位の過程に問題解決過程を区分して，それらの特徴を記述することが多い。また，算数問題解決過程は，単純な四則の計算問題の解決過程よりも，算数文章題の解決過程として理解されることが一般的である（多鹿，1996)。四則計算の解決過程も，下記に示すように，算数文章題の解決過程における一つの下位過程（最後の過程）を構成している。

通常，算数文章題の解決過程は，算数文章題を理解する過程と解決する過程に区分される（Hinsley, Hayes, & Simon, 1977；Mayer, 1992；Paige & Simon, 1966；多鹿・石田，1989)。

算数文章題の理解過程とは，与えられた文章題を読んで問題文に記述されている内容に適したメンタルモデルを構成することである。ここで述べるメンタルモデルとは，子どもが文章題を読んで一文毎の意味を理解し（この下位過程を変換過程と呼ぶ)，文章題に記述されている内容に関連する知識を利用して文間の関係をまとめあげた（この下位過程を統合過程と呼ぶ）知識構造である。このように，算数問題の理解過程は，更に2つの下位過程である変換過程と統合過程と呼ばれる下位過程から構成されると考えられ，問題解決に結びつくメンタルモデルを構成する過程である（Mayer, Tajika, & Stanley, 1991)。

算数問題の理解過程は，これまでの諸研究（Mayer, 1992，2007）から，算数問題の文章表現を理解するための言語的な知識，言語により文章表現された算数問題を算数・数学の領域における特有の概念的な知識と統合するための論理数学的な知識を必要とする。これらの文章理解の知識，論理数学的な知識，並びに算数文章題の表現されている状況を理解する日常的な知識は，一括して宣言的知識と考えられる。

また，算数問題の解決過程は，算数文章題の理解過程において構成されたメンタルモデルに基づいて，正解を得るための方略を選択して立式し（この下位過程はプラン化過程と呼ばれる)，立式に演算を適用する過程（この下位過程は実行過程と呼ばれる）からなるといえる（Mayer et al., 1991)。

算数問題解決のプラン化過程では，理解過程において構成されたメンタルモデルに基づいて解決のためのプランを立てるための知識を必要とする。一般的に，プラン化過程で必要とされる知識は方略的知識と呼ばれる。問題解決における方略的知識は，通常アルゴリズムとヒューリスティックスが知られている。アルゴリズムとは，1つ1つの解決ステップを踏むことによって正解に達する手続きであり，その方略を適用するときには自動的に正解を得ることのできる手続きである。他方，ヒューリスティックスとは，過去経験に基づいて適用の容易な規則を利用して正解に到達しようとする手続きであり，その方略を適用したからといって必ずしも正解を得るとは限らない手続きを意味する。公式の適用が容易な算数問題（例えば，四則の計算問題）であれば，子どもはアルゴリズムを適用することによって当該の問題を解くであろ

う。しかしながら，通常はただ公式を適用するだけでは算数問題は解けない場合が多い。公式の自動的な適用のみでは解けない場合，子どもは最適の解を得るためにヒューリスティックスに関するスキーマを発動するだろう。

最後の実行過程では，四則の演算をプラン化過程において構成された立式に適用して解を得るのである。ここでは手続き的知識を必要とする。

このように，算数問題の解決過程における知識は，一般に方略的知識である宣言的知識と演算に関わる手続き的知識からなるといえる。

2－2　子どもの算数問題解決過程とメタ認知

では，子どもの算数問題解決過程において，「算数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」と定義されたメタ認知は，どのように算数問題解決の各下位過程と関連するのであろうか。

Mayer（1992，2007）によれば，問題解決過程の下位過程であるプラン化過程において，メタ認知のモニタリングが働くとする。即ち，彼によれば，子どもがもつ算数問題解決についての信念や態度といった個人特性が，算数問題のプラン化に影響を与えるという。プランを構成するときに働く方略的知識の活性化に影響を与えるのが，そのような算数への信念や態度である。信念とは，例えばSchoenfeld（1985，1992）によれば以下のようである。「普通の子どもでは算数を理解できない」，「算数は暗記の科目であり，機械的に学習したことを，理解することもなく適用することである」といった例を挙げる。Lester, Garofalo, and Kroll（1989）が報告しているように，多くの小学3年生は，すべての算数文章題は文章題の中にあるキーワードに基づいて演算を適用することで解ける（例えば，「すべてで」とあれば足し算，「残りは」とあれば引き算のように）と信じているという。この結果，このような子どもたちは，自分の問題解決の過程をモニターすることはなく，なぜそのような答えになるのかを考えたりすることに悩まされることはない。というのも，文章題の解決に対する上記の信念があり，この子どもたちはそうする必要性を感じないからである。

ところで，プラン化過程において動員されるモニタリング過程は，Mayer（1992，2007）の述べるような子どものもつ算数問題解決の信念や態度だけでなく，モニタリングの本来の意味合い（Nelson & Narens, 1990，1994）である学習過程への気づきや吟味の働きも含むと考えてよい。

子どもが，利用できる様々な方略的知識を使って解決のためのプランを立てて立式したとき，どのような解決方略を選択して立式するのかを決定する場合に，子どもはモニタリングを働かせるといえる。通常の解決方略は解決を促進させるために利用される認知の働きである。

他方，メタ認知方略として位置づけられるモニタリングに基づく解決方略は，解決のプランを適切に立式に移すことのできる方略選択であり，立式の適切性を吟味することである。これらは，確かにプラン化過程で活性化されるメタ認知ではある。しかしながら，メタ認知はプラン化過程で活性化されるだけに留まらない。

メタ認知は，立式した内容が問題の理解過程で構成したメンタルモデルを適切に反映しているのかどうかを吟味するために発動されることもある。更に，問題を解き，得られた解答が問題に対する適切な解答であるかどうかの評価も行うことが多い。このように考えると，算数問題解決において発動されるメタ認知は，単にプラン化過程といった1つの下位過程のみで活性化されるだけではなさそうである。

子どもの算数問題解決過程において活性化されるメタ認知は，問題解決の下位過程の各段階において発動されると理解する方が，メタ認知の役割を明確にする場合に適切といえるだろう。問題の変換過程から実行過程に至るまで，算数問題解決の各過程において発動されるメタ認知は，例えば算数問題の理解過程では，文章理解時に読んでいる内容を理解しているかどうかを内省する理解モニタリングであったり，理解のための問題吟味をするための時間を適切に配分するコントロール機

能であったりするだろう。また，問題文で理解した内容を既有知識として貯蔵している論理数学的知識に適切に統合する過程をモニターすることもあるだろう。算数問題の解決過程では，上述したプラン化過程で発動されるメタ認知方略であったり，演算を適用した後の結果を確認するための自己評価であったりするといえる。

このような算数問題解決過程において使用されるメタ認知として，一般にメタ認知方略がよく知られている。メタ認知方略が最もよく使用される下位過程は，勿論のことではあるが，上述したようにプラン化過程においてである。

子どもが自分の問題解決過程を内省し，不十分であるときには解決のプランを練り直し，知識の統合を再度図り直すかもしれない。また，実行過程において手続き的知識を動員して問題を解決した後，得られた解答でよいのかどうかを，問題全体に振り返ることによって照らし合わせる（モニターする）かもしれない。このような活動を通じて，より確実な問題解決がなされるといえる。

3　子どもの算数問題解決におけるメタ認知の役割

3－1　子どもの算数問題解決におけるメタ認知の促進効果

メタ認知を「算数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」と定義することにより，メタ認知を訓練することによって，子どもの算数問題解決が促進したという報告を多数見出すことができる（文献展望に関しては，Lesh & Zawojewski, 2007；William, 2007）。Lester and Kehle（2003）は，算数・数学の問題解決に関する先行研究結果に基づき，適切に問題を解決する優れた問題解決者はあまり適切に問題解決できない者よりも，①問題解決者としての自らの強い点と弱点に気づいていること，②問題解決の努力の成果をモニターし調整することに優れていること，及び③問題に対するエレガントな解決を図ることについて関心をもっていること，の3点が一般的によく見られる特徴であるとし，算数問題解決におけるメタ認知の重要性を指摘する。

上記のようなLester and Kehle（2003）に見られる指摘，並びに本論文の2節までに述べた内容から，メタ認知は算数問題解決の促進効果を生む要因であり，子どもの算数問題解決を正面から支える重要な能力の1つといってよい。勿論，メタ認知を訓練することにより算数問題解決の促進を図った先行研究では，必ずしも促進効果を見た研究ばかりではない。子どもの年齢，活性化するメタ認知の種類，問題の難易，あるいは問題解決の進捗状況によっては，メタ認知の訓練が必ずしも算数問題解決の促進効果に結びつくとは限らないとする研究も報告されている（文献展望に関しては，Lesh & Zawojewski, 2007)。

以下では，メタ認知の訓練によって促進効果を生み出したいくつかの算数問題解決の研究を，簡潔に紹介しよう。

Ross, Hogaboam-Gray, and Rolheiser（2002）は，小学5年生と6年生に自己評価を体系立てて実施させる訓練を行い，12週間後に算数問題を課した。その結果，自己評価の訓練を受けた子どもは自己評価の訓練を受けていない他の子どもよりもよい成績を示した。また，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。

更に，Lester et al.（1989）は，メタ認知的技能を導入することにより，通常の算数の学力をもつ7年生と通常より算数の成績のよい7年生各1クラスの算数問題解決をみた。教師は算数の単元を教えている間に，問題解決中において外的なモニター役として自らの役割を位置づけ，メタ認知

の技能を内化するのにどのような行動が重要であると考えるかを，どちらのクラスの子どもたちにも議論させた。その結果，算数の内容を学習することとメタ認知過程を学習することがダイナミックにつながり，両クラスともに効果的であったことを報告している。Lester et al. (1989) は，メタ認知過程と計算技能は実際的な数学の学習の文脈で学習されるべきであると考え，メタ認知の訓練が特定の数学の概念と方法を学習する文脈で実施されるとき，最も効果的であろうと結論づけている。

このように，メタ認知は子どもの算数問題解決に促進効果を生み出す役割を担っているとの報告が多い。算数問題解決のためにメタ認知の訓練を実施することで，効果的な問題解決が可能となったのは，おそらく，問題の内容そのものの効果的な解決方法を身につけたと考えるよりも，子どもに学習している内容を内省させるようになり，1つ1つの学習内容をモニターしコントロールすることから生まれる学習内容のより有意味な処理が問題の理解を深め，当該の問題領域におけるよりよい問題解決の成績に導いたと考えられる。Schoenfeld (1985, 1992) も指摘するように，子どもは問題解決活動全般に亘って自分でメタ認知方略，例えば問題についての質問をするような活動を行い，それら1つ1つの活動が常に問題解決と結びつくような生産的なものになったといえる。

子どもが小集団で算数問題解決に挑んでいるとき，教師は「何をやっているのかを正確に書けるかな」,「なぜそうするのかな」,「やっていることと問題を解くこととどのように関係するのかな」,「そのやり方によって解けるようになるのかな」などと質問することによって，子どもたちに質問に対する解答を考えさせる機会を提供する。このようなやり取りをすることで，子どもたちは質問への解答を小集団で進んで議論し，自らの解答が正しいということを主張するようになってくる。日々の問題解決活動の中で，このような訓練を継続することによって，子どもは算数問題についてより主体的でかつ柔軟に対処できるようになるといえる。

3－2　子どもの算数問題解決を高めるメタ認知方略

既述したように，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。

算数問題解決の理解過程に関わるが，Palincsar and Brown (1984) は，文章理解に必要な様々な機能，例えば，文章内容の意味の理解や文章内容に関連する既有知識の活性化などを含むものとして，要約，質問，明瞭化，並びに予測といった4種類のメタ認知方略を特定し，それらを文章理解の授業の中で訓練することによって，読解力の低い中学生の成績を向上させることができるだろうと予想した。

理解すべき文章を要約すること，文章内容について質問を生成すること，文章内容を明確化すること，及び文章の内容を予測すること，これらはすべて学習者である中学生のメタ認知を活性化する手続きとして，文章理解の訓練に利用された。文章を要約するためには，文章内容の重要なポイントをまとめ，既有知識と統合することでテーマをまとめ上げることが必要である。文章内容について質問を生成するためには，要約に含まれるメタ認知の要素や分かり難いところに注意を配分することが必要となる。文章内容を明確化するためには，質問と同様に，分かり難いところに注意を集中し，テーマを批判的に吟味することが必要である。文章の内容を予測するためには，文章内の内容と既有知識とを統合し，文章で表現されている内容を基礎にして推測を行うことが必要となる。これらすべてのメタ認知方略は文章を理解する活動に必要とされるといえる。

Palincsar and Brown（1984）の研究結果は彼女らの仮説を支持し，小学４年生レベルの文章理解能力しかなかった中学生が，文章理解に関する通常の授業のみを受けた群に比べて，高いレベルの理解得点を獲得した。この研究では，単にメタ認知方略の訓練だけでなく，子どもが先生役を担う教授法（相互教授法）に従ってメタ認知方略を訓練することにより，相互教授法とメタ認知方略とが相乗効果を示し，この条件群の中学生が他の３つの条件群に比べ，最も高い理解得点を生み出したのである。

ところで，上記のような文章理解に使用されるメタ認知方略は，算数問題解決の研究で見出せるであろうか。前述した問題解決の手続きや問題解決の課題の困難性を予測し評価することは，問題解決においてよく使用されるメタ認知方略である。例えば，「君はこの例題を解けると思いますか」，あるいは「この答えは確かだと思いますか」といったメタ認知方略である。また，子どもの自己内省的思考や自己内対話を生み出すメタ認知方略も，算数問題解決においてよく知られている。

要約や質問と類似したメタ認知方略として，これまでの研究から，算数・数学の問題や例題を自己説明させる方法もよく利用される。メタ認知方略としての自己説明とは，学習者が様々な課題の遂行において，自分に向けて課題を説明する活動のことである（Atkinson, Derry, Renkl, & Wortham, 2000；Chi, 2000；Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989; Roy & Chi, 2005）。算数・数学の問題解決における自己説明とは，それ故，学習者が問題解決の過程において，算数・数学の問題を自分に対して説明することである。

算数・数学の問題解決において，算数・数学の問題を自己説明させることにより，算数・数学の問題解決の成績が促進効果を見た研究を見出すことができる（Aleven & Koedinger, 2002；Mwangi & Sweller, 1998；Neuman & Schwarz, 2000；Tajika & Nakatsu, 2005；Tajika, Nakatsu, Nozaki, Neumann, & Maruno, 2007）。

例えば，Neuman and Schwartz（2000）は，代数の問題を中学生に解かせるときに，自己説明の役割を吟味した。中学生に，代数問題を解いていく過程で，発話思考させながら解かせた。実験の結果，自己説明をして問題を解いた中学生は，自己説明をせずにただ与えられた問題を解法の手続きに従って解いた中学生に比べて，よい成績であった。発話思考に基づく問題解決のプロトコルを分析した結果，自己説明して問題を解いた中学生は，代数問題に関する表象を深いレベルで構成していることが分かり，また頭の中で解決に結びつくフローチャートのような表象を構成して問題を解いていることが分かった。

岡本（1999）は，算数文章題の解決における小学５年生のメタ認知の機能を吟味した。「この式を立てるときにはどんなことに気をつけていましたか」といった質問に答えさせるメタ認知課題を実施し，Mayer et al.（1991）の算数問題解決の下位過程を参考にして，結果の予想，問題理解，プラン，実行，並びに結果の評価からなる各下位過程の算数問題を解かせた。その結果，文章題解決能力の高い子どもがメタ認知的知識を働かせて解決していること他を見出した。

また，算数文章題とは直接的に関連しない課題を使っているが，Swanson（1990）は，小学４年生と５年生をメタ認知能力の高低と学習適性（一般的な認知能力や読み書き・算数の才能）の高低を組み合わせた４群に分け，問題（共にPiagetタイプの認知課題）を解かせた。その結果，子どもの学習適性の高低に関係なく，高メタ認知能力群の子どもが低メタ認知能力群の子どもよりも，仮説演繹的な解き方を行いよい成績を示した。

更に，Tajika et al.（2007）は，自己説明をメタ認知方略として使用し，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，自己説明を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）として構成した課題に

適用した。

即ち，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，2種類の条件群を設定した。それらは，同じ解決ステップで構成された内容を担任の先生が1つ1つ説明し，その後自分で学習する自己学習群，並びに自己説明群及び自己学習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用紙を子どもに配布し，担任の先生がそれらの例題の解き方を説明する対照群であった。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。

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，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推論して説明することにより，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，各ステップに記述されている文章の反復が多い。しかしながら，場合によっては「10分で水がいっぱいになるから，1分では1／10だ。」と推論して説明する子どもも比較的多く認められた。このような子どもの問題解決の成績は，単に記述された文章を反復する子どもに比べて高い成績であった。

ところで，Chi（2000）は，学習者が既有のメンタルモデルを使って自己説明する過程で，既有のメンタルモデルを問題解決につながるメンタルモデルに修復することを強調する。しかしながら，Chi（2000）の解釈が適用できるのは大学生や高校生を実験参加者として使用した研究に限られる。Tajika et al.（2007）のように，小学生を使った自己説明の研究は報告自体が少数であるが，自己説明によるメンタルモデルの修復の特徴は見られていない。

4　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. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol. 1, pp. 77－165). Hillsdale, NJ: Erlbaum.（湯川良三・石田裕久（訳）(1984). メタ認知－認知についての知識－　サイエンス社）

Cavanaugh, J.C., & Perlmutter, M. (1982). Metamemory: A critical examination. *Child Development, 53*, 11－28.

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

Flavell, J.H. (1971). First discussant's comments: What is memory development the development of? *Human Development, 14*, 272－278.

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., & Wellman, H. M. (1977). Metamemory. In R. V. Kail & J. W. Hagen (Eds.), *Perspectives on the development of memory and cognition* (pp.3－33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Hinsley, D.A., Hayes, J.R., & Simon, H.A. (1977). From words to equations: Meaning and representation in algebra word problems. In M.A. Just & P.A.Carpenter (Eds.), Cognitive *processes in comprehension* (pp. 89－106). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Kail, R. (1990). *The development of memory in children* (3rd ed.). New York: W.H.Freeman. (高橋雅延・清水寛之（訳）(1993). 子どもの記憶－おぼえること・わすれること－　サイエンス社)

楠見　孝・高橋秀明 (1992). メタ記憶　安西祐一郎他（編）認知科学ハンドブック (pp.238－250). 共立出版

Lesh, R., & Zawojewski, J. (2007). Problem solving and modeling. In F.K.Lester, Jr. (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 763－804). Charlotte, NC: Information Age Publishing.

Lester, F.K., Garofalo, J., & Kroll, D.L. (1989). Self-confidence, interest, beliefs, and metacognition: Key influences on problem-solving behavior. In D.B.McLeod & V.M.Adams (Eds.), *Affect and mathematical problem solving: A new perspective* (pp.75－88). New York: Springer-Verlag.

Lester, F.K., & Kehle, P.E. (2003). From problem solving to modeling: The evolution of thinking about research on complex mathematical activity. In R.Lesh & H.Doerr (Eds.), *Beyond constructivism: Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning and teaching* (pp.501－518). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Mayer, R.E. (1992). *Thinking, problem solving, cognition* (2nd ed.). New York: W.H.Freeman.

Mayer, R.E. (2007). *Learning and instruction* (2nd ed.). Upper Saddle River NJ: Merrill.

Mayer, R.E., Tajika, H., & Stanley, C. (1991). Mathematical problem solving in Japan and the United States: A controlled comparison. *Journal of Educational Psychology, 83*, 69－72.

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.

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.Metcalfe & 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.

岡本真彦 (1999). 算数文章題の解決におけるメタ認知の研究　風間書房

Paige, J.M., & Simon, H.A. (1966). Cognitive processes in solving algebra word problems. In B. Kleinmuntz(Ed.), *Problem solving: Research, method, and theory* (pp.51－119). New York: John Wiley & Sons.

Palincsar, A.S., & Brown, A.L. (1984). Reciprocal teaching of comprehension-fostering and comprehension-monitoring activities. *Cognition and Instruction, 1*, 117－175.

Pressley, M., & Hilden, K. (2006). Cognitive strategies. In W.Damon & R.M.Lerner (Editors-in-Chief) & D.Kuhn & R.S.Siegler (Vol. Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 2. Cognition, perception, and language* (6th ed., pp.511－556). New York: Wiley.

Ross, J.A., Hogaboam-Gray, A., & Rolheiser, C. (2002). Student self-evaluation in grade 5-6 mathematics: Effects on problem solving achievement. *Educational Assessment, 8*, 43－58.

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.

Schneider, W., & Bjorklund, D.F. (1998). Memory. In W.Damon (Editor-in-Chief) & D.Kuhn & R.S.Siegler (Vol. Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 2. Cognition, perception, and language* (5th ed., pp.467-521). New York: Wiley.

Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical problem solving.* New York: Academic Press.

Schoenfeld, A.H. (1992). Learning to think mathematically: Problem solving, metacognition, and sense-making in mathematics. In D.Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics Teaching and learning* (pp.334 － 370). New York: McMillan.

Swanson, H.L. (1990). Influence of metacognitive knowledge and aptitude on problem solving. *Journal of Educational Psychology, 82*, 306－314

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・石田淳一（1989）．子どもにおける算数文章題の理解・記憶　教育心理学研究，37，126－134.

Tajika, H., & Nakatsu, N. (2005). Using a metacognitive strategy to solve mathematical problems. *Bulletin of the Aichi University of Education, 54*, 1－9.

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.

William, D. (2007). Keeping learning on track: Classroom assessment and the regulation of learning. In F.K.Lester, Jr.(Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp.1053 － 1098). Charlotte, NC: Information Age Publishing.