子どもの算数問題解決における知識の適用を促すメタ認知の働き

The Function of Metacognition in Promoting Knowledge Utilization in Children's Mathematical Word-Problem Solving

多鹿　秀継*　　堀田　千絵**
Hidetsugu TAJIKA　　Chie HOTTA

Abstract
We investigate the function of metacognition in promoting knowledge utilization in children's mathematical word-problem solving. First, we review types of knowledge, which children use during solving mathematical word problems. We discuss declarative knowledge and procedural knowledge which are included in two types of children's mathematical word-problem solution subprocesses, an understanding process and a solving process. Declarative knowledge mainly consists of mathematics knowledge and general knowledge in the understanding process, such as language knowledge and knowledge of number and arithmetic concepts. Procedural knowledge mainly consists of knowledge needed for solution execution in the solving process. Finally, we discuss how metacognition plays a direct function in promoting knowledge utilization in children's mathematical word-problem solving. When children acquire mathematics knowledge and general knowledge and then apply them to solve mathematical word problems, they can solve mathematical word problems correctly by activating metacognitive strategies.

Key Words: metacognition, metacognitive strategies, children's mathematical word-problem solving, knowledge type

1　本研究の目的

本研究の目的は、メタ認知の働きの１つとして、児童がメタ認知を活性化させることによって、算数問題解決にかかる既有知識を適切に適用できることを明確にすることであった。算数問題解決にかかる既有知識を適切に適用できることとは、児童が算数問題を正しく解決することを意味する。

本研究における知識とは、表題に掲げたように、子どもの算数問題解決において活用する既有知識を意味する。算数問題を解く場合、そのような既有知識を問題解決に適用するに先立ち、当然のことであるが、算数問題を解くために必要な知識を獲得して既有知識として貯蔵しておかなければならない。子どもによる既有知識の活用とは、子どもが学校教育や日常生活の経験を通して獲得した算数・数学の知識を算数問題の解決に適用することである。子どもは、獲得している知識を算数の問題解決場面において適用することによって、算数問題を解く。それゆえ、子どもの算数問題解決における知識の活用は、知識の獲得と適用の問題として議論しなければならない。

この目的を明らかにするために、まず本研究における算数問題解決で使用される知識のタイプを明確にした。ついで、子どもがそのようなタイプの知識を獲得して問題解決に適用する場合に、メタ認知を活性化させることが、算数問題を適切に解決するためには必須の行為であることを指摘した。すなわち、メタ認知は、子どもの算数問題解決における知識の活用を促す働きを有することを明らかにした。最後に、まとめと今後の課題を記述した。

2　算数問題解決で使用される知識のタイプ

前節の「本研究の目的」で指摘したように、ここでの知識とは、子どもの算数問題解決において活用する既有知識を意味する。知識の獲得と適用の問題として議論するに先立ち、子どもの算数問題解決にかかわる既有知識のタイプを明確にする理由は、筆者たちがこれまでに取り組んできた知識獲得と知識適用に関する研究が、主に小学校高学年の子どもが解く算数文章題、中でも割合を含む算数文章題を中心とした算数問題の研究であったことによる。

では、算数文章題解決において獲得しかつ解決に

*　本学非常勤講師（愛知教育大学名誉教授）
**　本学非常勤講師（奈良教育大学准教授）

適用する知識のタイプとはどのような知識をいうのであろうか。

知識のタイプを取り上げるとき、知識のタイプを区分する仕方は、さまざまな区分の仕方が知られている。たとえば、長期記憶を構成する知識の区分は、よく知られた知識のタイプ分けである。すなわち、それは Ryle（1949/1987）による宣言的知識と手続き的知識の区分に結びつくものである。Ryle の1949年の著書『心の概念』の2章で、彼はわれわれが日常的に知るというときに、2つの知り方「方法を知ることと（knowing how）」と「内容を知ること（knowing that）」があることを指摘する。この2種類の知り方の区別は、現在の宣言的知識と手続き的知識とに対応するものである。Ryle の知り方の区別は、哲学だけでなく、心理学においても影響を与えている。長期記憶を構成する知識の区分による例を取り上げれば、知識のタイプの違いによって、長期記憶を宣言的記憶と非宣言的記憶（手続き記憶）に区分する例などがよく知られている（Squire, 1987）。

また、Tulving（1983/1985）による長期記憶の区分は、宣言的記憶と非宣言的記憶（手続き記憶）の区分をさらに詳細に論じたものである。彼は、情報における相違点（Ryle による知識のタイプ分けの基準）、操作における相違点（同じく、Ryle による知識のタイプ分けの基準）、さらには知識の応用における相違点に基づいて、長期記憶を3種類の記憶に区分した。それらは、出来事の知識の記憶であるエピソード記憶、事実や概念の知識の記憶である意味記憶、および手続きの知識の記憶である手続き記憶である。宣言的記憶と非宣言的記憶（手続き記憶）の区分と対応させると、エピソード記憶と意味記憶が宣言的記憶であり、手続き記憶は非宣言的記憶に対応するといえる。

出来事、事実、さらには概念に関する知識は、一般に宣言的知識と呼ばれる。この宣言的知識は、Ryle（1949/1987）の「内容を知ることに関する知識」を意味しており、「knowing that 〜（〜について知ること）」という知識である。長期記憶の知識の区分では、長期記憶において貯蔵されている宣言的知識は、出来事（たとえば、「私は昨日カレーを食べた」）ならびに事実・概念（たとえば、「イヌは四つ足動物の仲間です」の知識の貯蔵に結びつく貯蔵に結びつく知識である。前者は時と場所に規定される個人的な知識であり、エピソード記憶に貯蔵されている知識である。後者はだれもに共有されている世界に関する知識であり、意味記憶に貯蔵されている知識である。また、手続き的知識とは、Ryle の「方法を知ることに関する知識」であり、「knowing how 〜（〜の仕方を知る）」という知識である。長期記憶における手続き的知識も、Ryle の説明と同様に方法にかかる内容の知識であり、たとえば自転車の乗り方であり算数文章題の解き方に関する知識を意味する。非宣言的知識（手続き的知識）は技能や問題解決の方法に関する知識といえる。このような宣言的知識と非宣言的知識（手続き的知識）の2つの知識の区分は知識の有益な区分であり、本研究においても再度言及するものである。

知識のタイプを区分する仕方は、宣言的知識と非宣言的知識の区分に加え、たとえば、「浅い知識と深い知識」（Chi, Feltovich, & Glaser, 1981）、「問題解決に利用できる豊かな知識と乏しい知識」（vanLehn, 1989/1991）、あるいは「領域一般の知識と領域固有の知識」（Goswami, 1998/2003）等の知識の区別の仕方を指摘することができる。

たとえば、「領域一般の知識と領域固有の知識」についての知識の研究は、チェス、野球、物理学、あるいは音楽などのトピックにおける知識を取りあげて吟味されている。あるトピック内の知識を専門的に貯蔵した（知識のネットワークを形成した）熟達者と、そのトピックの知識を十分に持ち合わせていない初学者の知識の構成を比較研究することで、1970年代から1980年代にかけて多数報告されてきた（たとえば、Chi et al., 1981; Spilich, Vesonder, Chiesi, & Voss, 1979）。算数問題の領域に関する熟達者と初学者の比較研究では、算数ではなく数学を材料としているが、Schoenfeld（1985）の研究が知られている。彼の研究で、熟達者による幾何の問題解決は、問題文を読んだ後、問題文の質的な分析を試み、どの情報が必要であるかを考えたうえで、解決への計画を立てたことが示された。この「領域一般の知識と領域固有の知識」の分類は、「宣言的知識と非宣言的知識（手続き的知識）」の知識分類と同様に、算数問題解決ではしばしば認められる。

算数の知識とは、一般に数量や図形の概念・原理を意味するといえる。数量や図形の概念・原理とは、数量や図形を理解する上での基本的な知識を構成している。それゆえ、算数の問題を解くために必要とされる知識は、算数問題の種類に応じて、児童が適切に獲得しておかなければならない知識である。つ

まり、算数問題の領域にかかる多種類の豊かな知識を深く獲得しておくことは、算数問題を正しく解決するうえで、必要かつ十分な条件であるといえる。多様で深い算数の知識を獲得していることが、算数問題の適切な解決につながることが予測される。

一般に、算数問題の解決に使用される知識として、算数問題解決一般に使用される知識と、算数固有の問題に使用される制約された知識とに分類できる。たとえば、四則計算時に用いられる足し算や引き算の知識を考えてみよう。これらは、算数の特定の領域に固有な知識ではなく、広い範囲の算数問題の解決において使用される知識を意味する。算数文章題の解決では、四則の計算は文章題の内容に特化した知識を使用することなく、解決に向けて立式した内容に適用される演算の知識である。

算数問題の領域において、問題解決における領域一般の知識とは、学習者の有する一般的な知識、たとえば、パズルなどを解決するときに使用する知識と同じく、ある特定の領域に固有な知識を必要としない、算数領域全般の解決に必要とされる知識を意味する。つまり文章を理解する言語の知識、数や大小関係の推理に必要とされる知識は、算数の特定領域の解決に必要とされる知識ではない。繰り返しになるが、算数文章題の解決を例にとれば、算数文章題の内容を読み取る言語の知識であり、得られた式の四則計算（演算）や数の大小関係の知識である。

筆者のプロジェクトがこれまで取り扱ってきた算数問題解決は、主に割合文章題の解決を育む研究であった。割合文章題は高学年になってから学習することが一般的である。2020年度から実施された小学校算数の新しい学習指導要領を詳細には検討していないが、これまでと同様に、小学校の５年生や６年生で割合の概念に特化した算数問題を学習すると理解するとき、割合の概念をよく理解できていない児童が、相変わらず多数みられる可能性が高いと考えられる。本研究において言及する算数問題解決の知識は、多くの小学校教員から子どもが解くのに困難をきたすといわれている割合の概念を含む文章題に関係する知識である。割合文章題の解決に必要とされる知識は、以下でのようである。

割合文章題を解決するために必要な知識も、領域一般の知識と領域固有の知識を必要とする。たとえば、割合の文章を理解するための言語知識や四則計算の知識は、一般的な知識であり、割合の概念を理解するための知識は、割合という算数概念の領域に固有の知識といえる。割合問題を解く場合にも、算数領域に一般的な知識と特有の知識を必要とする。

算数科の割合の基本的な概念は、算数・数学で直接取り上げられる割合の概念的な知識と、大小関係や集合の理解のような算数・数学的な知識によって構成されていると考えられる。

割合に関する算数・数学の概念的な知識とは、『二つの数または同種の数ＡとＢについて、ＡがＢの何倍であるかを表した数Ｐを、ＡのＢに対する割合という』（日本数学教育学会，2004）と記述されている。すなわち、ＡのＢに対する割合をＰとするとき、割合を理解するとは、

Ｐ＝Ａ÷Ｂ（割合を求める）
Ａ＝Ｂ×Ｐ（比較量を求める）
Ｂ＝Ａ÷Ｐ（基準量を求める）

の関係を理解することである。

しかし、このような概念の理解は、子どもにとって大変に難しい。まず、子どもには基準となる数（以下、基準量）がどれであるか（ＡであるのかＢであるのか）を正しく判断することは、並大抵のことではない。そのため、割合（Ｐがどれであるか）がわかっていても、その割合を数にかけることで答えを求めるのか、あるいは与えられた数を割合で割ることによって答えを求めるのかがわからないことが多い。

上記の割合の３つの用法（割合の３種の計算法）の表現を借りて記述し直すと、比較量や基準量がどれであるか不明のため、比較する数（以下、比較量）を求めるのか、あるいは基準量を求めるのかが理解できないことが一般的である。割合を求める場合も同様であり、基準量と比較量が決まらないために、どちらの数が序数（割る数）で、どちらが被序数（割られる数）かに迷うのである。たとえば、「まさお君のクラスの人数は30人です。クラスの人数の40％は女子です。まさお君のクラスの女子は何人ですか」といった問題を考えてみよう。30人は、基準量なのか比較量なのか。この問題は基準量を求める問題であろうか、それとも比較量を求める問題であろうか。子どもには、非常に難しい選択を迫られる。

さらに割合の問題を難しくするのは、割合の程度が分数（2／5）や小数（.40）による表現、あるいは歩合表現（４割）や上述のような百分率（40％）による表現など、さまざまな数値表現による。これらの表現による割合の四則計算は、まず数値表現にかかる概念的知識を計算の容易な小数に表現し直し、

さらには、子どもにとって時にケアレスミスを誘う手続き的知識（かけ算や割り算）の適用を必要とする。なお、割合の数値の多様な表現に関する知識は、論理数学的な知識というよりも一般的な概念的知識である。

割合の概念は、比較量が基準量の何倍であるかを示した意味をもつだけでなく、「砂糖と塩の量が3対2の割合」にみられる比の概念、あるいは「速度＝距離÷時間」の速度を求める課題のように、たとえば時速という速度が、1時間という単位時間に進む距離で示される意味合いも、割合の概念として知られている。これらの概念を理解したうえで四則計算をすることになるために、割合の理解をさらに難解にしているといってよいだろう。

このように割合の概念を見ると、子どもを悩ますさまざまな難しい課題が割合にはあることがわかる。それゆえ、割合の基本となる基準量や比較量の理解も、求める問題文で表現されている数値がそれらのどれにあたるのかを、しっかりと理解しておかなければならないといえる。

また、比較量や基準量の概念的な理解だけでなく、比較量や基準量の大小関係を理解することも、算数・数学の知識としては大切である。比較量が基準量よりも小さい場合、割合は1以下となり、比較的理解のしやすい数値の配列となる。しかし、比較量と基準量が同じ場合であったり（割合は1）、あるいは比較量が基準量よりも大きい場合（割合は1よりも大）には、子どもの理解は難しいものになるかもしれない。

子どもは、割合文章題を読むことで、何が書いてあり、何を求める問題であるかを理解する。このような理解に加えて、多鹿（1996）は、子どものもっている割合に関する算数・数学の知識を発動することによって、割合文章題全体の状況モデルあるいはスキーマを構成しなければならないことを指摘した。算数・数学の知識は、上記のように多様な知識を意味する。まして、割合概念の知識は、算数の割合領域固有の知識に留まらず、算数領域一般の知識とも密接に結びついている。それらの知識の理解に基づくスキーマを構成することで、問題解決に向けて適切な式を立てることが可能となり、四則計算を実行することで、解答することができるのである。

以上、割合文章題に焦点を当てて、算数問題解決に必要とされる知識のタイプを明確にした。以下では、メタ認知を取り上げ、メタ認知の働きの1つに、上述した算数問題解決の知識の獲得と、算数問題解決への知識の適用を促す側面のあることを明確にしよう。

3 算数問題解決の知識の獲得と適用を促すメタ認知の働き

3－1 算数問題解決における知識の獲得と適用

著者たちによるこれまでの算数問題解決の研究結果（たとえば、多鹿, 1996；多鹿・中津, 2009；多鹿・中津・加藤・藤谷・堀田・野崎, 2011）から、算数問題解決における知識の獲得と適用について、以下の2点を指摘することができる。

1つは、算数問題解決の過程を、算数問題の理解過程と算数問題の解決過程の2つの下位過程に区分することによって、算数問題解決で使用される知識の獲得ならびに獲得した知識の適用による問題解決の理解が容易になることである。

算数問題解決を理解過程と解決過程の2種類の下位過程に区分して、知識の獲得ならびに獲得した知識の適用による問題解決を分析することは、これまでの他の多くの先行研究（たとえば、Hinsley, Hayes, & Simon, 1977; Mayer, 1982; Paige & Simon, 1966）において実施されてきたことである。本研究においても、算数問題解決を構成する2種類の下位過程における知識の獲得、ならびに獲得した知識の適用による問題解決に言及するものである。

第2に、算数問題解決の下位過程の1つである問題理解の過程が、算数問題を適切に解決するためのキャスティングボートを握っていること、すなわち、問題の意味内容を理解し、理解した内容を学習者の有する算数スキーマに統合することによって、算数問題を適切に解決できることが多いことを指摘した。

多鹿（1996）は、算数問題解決におけるこのような2つの下位過程—算数問題の理解過程と算数問題の解決過程－において働く知識をまとめた。算数問題の理解過程では、宣言的知識が一般に利用される。すなわち、提示された問題文の意味内容を読み取る言語的知識と、問題文の問題タイプの内容に結びつく算数の概念的な知識を獲得していなければ、問題文を理解することができない。また、算数問題の解決過程では、解くための方針に結びつく方略的な知識と、手続き的知識である立式を解決するための四則の演算の知識をしっかりと獲得していなければ、たとえ文章題の内容が理解できたとしても、問題文

を解くことができないであろう。

このような言語的知識、概念的知識、方略的知識、および手続き的知識といった宣言的知識と手続き的知識の獲得は、算数文章題を解決する場合に問題解決に適用される知識である。解決に必要とされるそれらの知識は、算数問題の解決にとって一般的に必要とされる知識であり、かつ算数問題のタイプによっては、問題に特化した固有の知識でもある。

これらの知識について、算数問題の理解にかかる知識とは、子どもが学校生活を含む日常の生活を通して獲得してきた領域一般のである語知識あるいは数の知識と、主に学校での算数の授業を通して獲得して構成した、算数に固有の概念的な知識である。子どもは獲得した知識を算数問題の解決時に適切に活用できるように、スキーマを作っておくことが必要となる。

他方、解決に利用可能な知識は、一般に関連する算数概念間のつながりをつけた概念のネットワークを構成して貯蔵している知識、いわゆるスキーマとよばれる構造化された知識である。構造化された知識であるスキーマを適切に構成していなければ、問題解決時に活用することができないであろう。算数のスキーマとは、文章題を読んで理解する言語知識と算数の授業を通して構成した算数の知識からなる概念ネットワークを意味する。

子どもが算数問題を与えられたとき、まず算数問題で記述されている意味内容を理解するために、当該の問題を丁寧に読み、領域一般の言語知識を働かせることが求められる。次いで、記述されている問題文の意味の理解に加えて、当該の算数問題がどのような問題タイプであるかを自らの有するスキーマに照らし合わせて吟味し、スキーマに貯蔵している当該の問題タイプの算数・数学の概念にアクセスして問題解決のための理解が求められる。問題解決に導くためのより深い理解のためのスキーマの構成がアクセスを容易にする。

このスキーマは、授業内容を単純に記憶して構成された知識ではなく、子どものさまざまなエピソードを授業内容に組み込み、算数概念の理解可能な構造化された知識である。出題された算数問題の文章を読むことでスキーマにアクセスし、どのようなタイプの問題であるか、また当該の問題内容の状況を言葉やイメージを使って表現できるようにすることが大切である。これらは、算数問題の理解にかかるスキーマの構成に関係するものである。

古典的な研究においても、算数問題解決の研究は、算数問題文の意味理解をいかに深めるかという理解過程の理解が、問題解決にとって重要な鍵を握っていることが指摘されてきた。たとえば、Polya（1945/1954）では、算数・数学の問題解決において、問題解決のパターンを学習者に確実に獲得させることで、適切に問題解決に導かれることを指摘した（類似の研究では、Schoenfeld, 1985）。Polya は、算数・数学問題の解決における下位過程を理解過程と解決過程に二分してはいないが、問題解決のいくつかの段階で実行すべきパターンを指示し、ヒューリスティックの方法で問題を解くことを推奨した。Polyaの著書である『How to solve it: A new aspect of mathematical method（いかにして問題をとくか）』において、彼は各問題解決段階における理解の獲得を目指した問題解決の方法を指摘している。彼の著書は小学生の割合文章題の内容に言及しているわけではないが、割合文章題の内容を含めた算数問題解決の理解に多大の示唆を与えてくれる著書である。

Polya（1945/1954）の問題解決のステップを説明しよう。よく知られているように、Polya は、算数・数学問題を解くために、①問題を理解すること、②計画を絶えること、③計画を実行すること、④振り返ってみること、の4段階を提唱している。これら4段階は、それぞれに具体的な方策が指南されている。たとえば、第1段階の「問題を理解する」段階では、「未知のものは何か」、「与えられているものは何か」、「条件は何か」といった、「質問を忘れずにおこない、注意深く繰り返していろいろな角度から検討すべき」ことが列挙されている（翻訳の11ページ）。

さらに、Polya（1945/1954）の他のページにおいても、問題を理解するための方策が、さまざまな表現で例示されている。たとえば、翻訳27ページ以降の「第Ⅱ部　いかにして問題をとくか」では、「問題を理解する段階」として、「問題に慣れること」と「もっとよく理解するように努めること」の2つの段階を指摘している。それらの具体的な対処方法として、「どこから出発したらよいか」（どちらの段階も、問題に述べてあることを手掛かりとして出発せよ）、「どうすればよいか」（「慣れる」段階では、問題の全貌をとらえること。「理解に努める」段階では、問題の主な部分を分離すること）、「そうすれば何ができるか」（「慣れる」段階では、目標を心に

きざみつけること。「理解に努める」段階では、後で必要なると思われる細かい部分をあらかじめ考えておくこと）のように、細かな処方箋を提案している。

このように、Polya（1945/1954）においては、問題理解のための具体的な処方、あるいは解決に結びつけることのできる計画の立案や計画の実行、さらには問題解決後の振り返りについて丁寧に言及している。その一方で、問題理解にかかる算数・数学の知識の構成に関しては言及していない。

算数問題を理解するための知識の構成について、われわれはスキーマの構成に言及した。このスキーマは、授業内容を単純に記憶して構成された知識ではなく、子どもの日常生活を通して得たさまざまなエピソードを授業内容に組み込み、算数概念を理解するために構成された構造化された知識である。出題された算数問題の文章を読むことでスキーマにアクセスし、どのようなタイプの問題であるか、また当該の問題内容の状況を言葉やイメージを使って適切に表現することで問題解決に適用できるようにすることが大切である。これらは、算数問題の理解にかかるスキーマの構成に深く関係するものである。

以下では、言語理解の文脈から、算数文章題を適切に解決するためのスキーマの構成に言及しよう。言語理解の文脈から算数文章題の解決を吟味する場合に、Kintsch（1986, 1988, 1994, 1998）の研究成果が参考になる。

算数文章題解決は、算数文章題の問題を理解する行為と、算数問題を理解して問題を正しく解く行為からなることを指摘した。算数文章題を適切に解決するためには、既述のように、まず文章を読んで理解することが必要である。文章を理解するとは、基本的には、文章で表現されている文字や単語、あるいは数的記号等の意味を処理して１文ごとの内容を理解し、一文ごとに理解できた概念単位（命題と呼ばれる）を関連づけ、結果として子どもが文章全体の一貫性のある理解を形成することになる。Kintsch（1994, 1998）はこのようにして形成された文章理解の表象をテキストベースと呼んでいる。テキストベースとは、テキストで表現された内容の表象であり、テキストに書いてある内容を正しく再生できるのも、このテキストベースの形成によるのである。

しかしながら、算数文章題のテキストベースを構成するだけでは、問題文の意味内容の何が問題になっているかにが理解できても、算数文章題を解くことができない。構成したテキストベースに加え、算数文章題から、子どもは「この算数問題はどのようなタイプの問題で、この問題を解くにはどのような知識が必要であるか」あるいは「この問題は以前に解いたことのある問題と類似しているか」といった、問題文の意味内容から問題を解くために必要な知識を活性化させなければならない。このような問題文の文脈あるいは状況に結びつく知識の活性化によって構成される文章理解の表象を、Kintsch（1994, 1998）は状況モデルと呼んでいる。状況モデルとは、文章問題を理解するために構成したテキストベースとは異なり、算数文章題を解決するために、算数概念の知識を広い文脈に基づいて推論することで構成された表象である。

たとえば、Nathan, Kintsch, and Young（1992）は、算数文章題解決ではないが、「道のり＝速さ×時間」の文章題解決のコンピュータのテュータリングシステムを開発することで、大学生に「道のり＝速さ×時間」の代数文章題を解かせた。コンピュータのテュータリングシステムは Kintsch（1986, 1988）のテキストベースと状況モデルを組み込んだ理解モデルであり、それに算数数学の知識を統合させることで構成されたものである。その結果、テュータを使用した群は方程式のみの学習群に比べて、文章題解決のための知識の表象が適切に形成され、文章題の解決は容易なものとなったことがわかった。

このように、状況モデルと呼ばれるスキーマを構成することは、算数問題解決を可能にするものである。算数文章題を適切に解決するためには、このような文章理解に基づいて構成された状況モデルに、子どもが授業等を通じて獲得した算数数学の概念的な知識を適切に適用することで可能となる。算数文章題の解決するためには、文章理解で構成したこのような状況モデルに、算数・数学の概念にかかる知識を適切に適用することで、解決可能なスキーマを構成しておかなければならない。

３－２　本研究における知識の獲得と適用におけるメタ認知の働き

では、文章理解で構成した状況モデルに、算数・数学の概念的知識を適切に取り込んで構成されたスキーマを、問題解決に適切に適用するためには、どのような手立てが必要であろうか。本研究では、手立ての１つとしてメタ認知の活性化に求めるもので

ある。

メタ認知とは、認知についての認知であり、自分自身の認知を内省する思考であり、あるいは認知過程についてのモニタリングとコントロールによる自己内対話である（たとえば、Dunlosky & Metcalfe, 2009/2010; Flavell, 1979/1981）。

メタ認知の定義・概念はさまざまにとらえられ、特定の定義・概念のみに集約することは不可能である。その理由は、メタ認知が多種の認知についての認知にかかる概念であることによる。そのため、メタ認知の定義の１つとして学習者の認知能力の知識ととらえ、あらゆる認知のタイプに対応する概念として理解する定義も認められる（Bjorklund & Causey, 2018)。

ところで、認知は知ることに関する働きに言及する概念であり、言語、記憶、問題解決、あるいは推論や判断にかかる幅広い知的行為である。これに対して、メタ認知は、たとえば言語による説得ができたかどうか、会話を理解できたかどうか、本を読んでいて内容が理解できたかどうか、あるいは記憶について、もっと覚えやすい記憶の方法があるのでは、さらには私は記憶力が弱いなど、理解のモニタリングや記憶の判断に加え、次にどのように対処すべきかを予測したり自己評価する働きをも含むような、自己の内省的な思考を伴う営みである。それゆえ、このようなメタ認知を伴った行為は、上述した記憶や問題解決の行為、たとえば「課題を記憶すること」や「算数問題を解くこと」といった知的な行為ではなく、「課題をどのようにすればより記憶できるようになるか」や「算数問題の解き方はこれでよいか」といった、自分自身の認知行為について、自己内省的な対応を求めるときに生み出される認知の行為といえる。それゆえ、認知の行為内容や行為の種類によって、メタ認知はさまざまに定義されることになる。

算数問題解決とメタ認知に記述を戻そう。算数問題を解決する場合に、このようなメタ認知を活性化することが、算数問題解決において使用する知識の適用を可能にする。算数問題解決に向けて活性化させるメタ認知とは、獲得している知識を算数問題の解決に結びつけるためにはどのように適用すべきかを内省的に思考する行為である。本研究においては、メタ認知の具体的な活性化としてメタ認知方略に言及し、メタ認知方略による算数問題解決に向けた既有知識の適用・吟味の過程を明らかにするものである。初めに、認知方略とメタ認知方略を比較することでメタ認知方略を理解し、次いで、メタ認知方略による算数問題解決の知識へのかかわりを吟味しよう。

認知方略は、認知を基礎とする学習活動であり、算数問題解決を例にとれば、問題解決に有用とされる知識の記憶や思考を促進するために適用される学習活動といえる。たとえば、リハーサル方略を使って算数の九九や公式を覚えることは、認知方略の適用にあたる。メタ認知方略は、メタ認知の働きに基づいてメタ認知を活性化させるために適用される学習活動である。すなわち、メタ認知方略とは、メタ認知を伴った認知行為であり学習活動である（多鹿・中津, 2009)。それゆえ、「課題をどのようにすればより記憶できるようになるか」や「算数問題の解き方はこれでよいか」といった、自分自身の認知行為について、自己内省的な対応を求めるときに生み出されるメタ認知の行為は、メタ認知方略と呼べる。言い換えれば、さまざまな認知課題に対してとる認知方略を取り込んだ自分自身の内的な認知行為、たとえば、要約する、説明する、予測する、評価するなどは、すべてメタ認知方略の具体的行為といえる。

Anderson et al.（2001）は、Bloom et al.（1956）の「Taxonomy of educational objectives（教育分類学）」を改定した「A taxonomy for learning, teaching, and assessing」において、理解過程の具体例として、「解釈する、例示する、分類する、要約する、推論する、比較する、説明する」といった活動を取り上げている。これらの理解の行為は、まさに認知方略を取り込んだメタ認知に基づくメタ認知方略といってよいだろう。それらの学習活動によって、学習内容の理解がより深化される。

算数ではないが、メタ認知方略を使用することで、数学の問題解決が適切に実行されることを明確にした Schoenfeld（1985）は、メタ認知を学習を助けるメタ認知の特定の種類・使用としてとらえ、「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」をメタ認知方略として指摘している。これらメタ認知方略の使用によって、算数問題解決における知識の獲得を容易にし、かつメタ認知方略は獲得した知識を適切に利用することに影響を与え、正しく算数問題を解くことができるようになるという。

多鹿他（2004）では、メタ認知方略の特性を直接に調査によって吟味した。多鹿他では、算数問題解

決にかかるさまざまなメタ認知方略に関する質問紙を作成して大学生に調査し、得られた結果を因子分析することによって、3種類のメタ認知方略を見出した。

1つは、算数の問題文の中から問題を解くための鍵（キー）になる言葉や数字を見つける」、「解決に必要な数字と必要でない数字を意識的に区別する」、「何に注意し、何を無視するかを意識的に決定する」等に因子負荷が高く、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であった。2つ目のメタ認知方略は、算数の「問題文を何度も読み直す」、「問題文をゆっくりと注意深く読む」、「得られた結果が問題に適合するかを確認する」、「問題文をいくつかに区切り、区切った内容の1つ1つを理解して解く」等に高い因子負荷を示し、算数問題解決のモニタリングにかかわるメタ認知方略であった。3つ目は、算数の「問題文の内容を反映した図を描く」、「問題文にアンダーラインを引いたりチェックをつける」、「問題文を自分の言葉に言い換えて問題を解く」等に因子負荷が高く、「外化」された手がかりあるいは「内的」な手がかりなど、手がかりの生成によって問題文を解くメタ認知方略であった。このような3種類のメタ認知方略は、既有知識を活性化することで、適切に問題を解決するための行為として位置づけられるだろう。要約すれば、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。多鹿他（2004）の3種のメタ認知方略はこのようにとらえられ、Schoenfeld（1985）の具体的なメタ認知方略と結びつくものであるといえる。

多鹿他（2004）のメタ認知方略の1つとして見いだされた、「問題文を何度も読み直す」、「問題文をゆっくりと注意深く読む」、「得られた結果が問題に適合するかを確認する」等のモニタリング機能を利用した方略は、獲得している算数の知識を当該の問題解決に正しく適用できるかどうかを確認するための活動である。このような活動は、本研究に直接に関係はしないが、記憶研究におけるソースモニタリングの枠組み（Johnson, 2006; Johnson & Raye, 1981）を彷彿させる。

記憶研究におけるソースモニタリングとは、記憶や知識の源、つまりは今覚えている対象を実際に経験したのか、本で読んだのかなどを判断することであり、ある種の信念の源を判断することを意味している。このソースモニタリングの概念を算数問題解決に適用すると、問題解決のために問題文を何度も読み直すことで、解決に利用できる知識を思い出そうとするが、「以前に解いた問題のソース」を検索する場合に、当該の知識が割合の概念に適用できるかどうかを正しくチェックできない場合には、問題を解くことができないかもしれない。

認知方略とメタ認知方略とは、上記で言及した通り、認知の営みに関して相互に関連していることは自明である。本研究のテーマである算数文章題解決から眺めると、両者が相互にかかわりあっており、どこまでが認知方略を適用した行為で、どこまでがメタ認知方略を適用した行為に基づいて問題解決に寄与しているかを線引きすることは、困難であるといえる。

4 結論と今後の課題

子どもの算数問題解決における知識の適用を促すメタ認知の働きについて、算数・数学の知識の獲得と適用によって正しく問題を解くためには、認知方略とメタ認知方略の利用による相互作用が必要かつ十分な条件であることを指摘した。子どもが算数文章題を解く場合、所与の問題文の意味を理解するための認知方略を働かせて問題文を理解し、一方で「この問題はどのような問題であるか」、「この問題は以前に解いたことのある問題と類似しているか」、「どうすれば問題が解けるか」といったメタ認知を活性化させ、当該問題のもつ論理数学的な知識にアクセスすることによって、問題解決につながるスキーマを構成する。メタ認知の働きは、このような問題解決を適切に実行するための基礎となる特性である。

本研究では、メタ認知の働きを中心に論を展開した。子どもの算数問題解決における知識の適用を吟味する過程で、①子どもがさまざまなタイプの文章題を解くためにはどのような知識が必要か、また②その知識はどのように獲得されるか、についても言及した。これらの問題意識は、子どもの算数文章題解決の研究で常に共有されるものである（Cummins, 1991; Riley, Greeno, & Heller, 1983）。たとえば、Cummins（1991）は、ごく単純な算数文章題の研究を実施して、言語的な知識や部分－全体の知識の獲得の重要性を指摘している。なお、ここでいう「ごく単純な算数文章題」とは、1980年代に

活発に研究された「結合、比較、変化」の四則計算の文章題である。このような算数文章題解決においては、それほどメタ認知の活性化を重視していなかった。

本研究では、さまざまな知識に加え、メタ認知の活性化の重要性を指摘した。しかし、子どもにとって、メタ認知の活性化を促すことで、スキーマを問題解決に適用可能な状態にすることは容易ではない。

では、算数問題解決において、どのようにしてメタ認知を活性化できるように子どものスキーマを構築するのか（つまりは、メタ認知方略の活性化によるスキーマの構築と言い換えられる）。これは今後の課題であるが、ここでは、1点だけ指摘しておこう。

算数文章題解決におけるメタ認知の働きは、子どもの有するこのような既有知識の活性化を促す特性を有するが、授業の場面でこのようなメタ認知を活性化するための指導を導入することは、大変難しい。

おそらく、算数を指導しているほとんどすべての教員は、算数問題解決におけるメタ認知の重要性は認知していると思われる。しかしながら、子どもにメタ認知を指導することは、多くの場合成功しているとはいえない（たとえば、OECD教育研究革新センター，2014/2015）。メタ認知を導入する多くの教師がとる方略は、子どもに「どのように問題を解くとよいかを計画させる」、「どのような問題であるか、あるいは何を求める問題であるかをモニタリングさせる」、「線分図を描く」、「解決した結果を振り返らせる」といったさまざまな認知方略やメタ認知方略の訓練が一般的である。しかし、このような方略指導によって、必ずしも問題解決に結びつくスキーマを子どもが構築できていないことが示されている。メタ認知を組み込んだスキーマを構築するためにも、まず子どもの算数問題解決にかかる知識獲得の履歴を明確にし、「説明する」といった具体的なメタ認知方略を指導することが必要かもしれない。一方で、当該の子どもにとって、メタ認知方略の指導が有効であるかどうかの見極めも必要であろう。

5 引用文献

Anderson, L.W. et. al. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives.* (Abridged edition). New York, NY: Longman.

Bjorklund, D.F., & Causey, K.B. (2018). *Children's thinking: Cognitive development and individual differences* (6th ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.

Bloom, D.S. (Ed.), Englehart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H., & Krathwohl, D.K. (1956). *Taxonomy of educational objectives: Handbook I: Cognitive domain.* New York, NY: David McKay.

Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science, 5,* 121-152.

Cummins, D.D. (1991). Children's interpretations of arithmetic word problems. *Cognition and Instruction, 8,* 261-289.

Dunlosky, J., & Metcalfe, J.（湯川良三・金城光・清水寛之（訳））(2009/2010). メタ認知：基礎と応用　北大路書房

Flavell, J.H.（木下芳子（訳））(1979/1981). 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

Goswami, U.（岩男卓実・上淵寿・古池若葉・富山尚子・中島伸子（訳））(1998/2003). 子どもの認知発達　新曜社

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. 86-106). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Kintsch, W. (1986). Learning from text. *Cognition and Instruction, 3,* 87-103.

Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review, 95,* 163-182. and learning. *American Psychologist, 49,* 294-303.

Kintsch, W. (1994). Text comprehension, memory, and learning. *American Psychologist, 49,* 294-303.

Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition.* New York, NY: Cambridge University Press.

Mayer, R.E. (1982). Memory for algebra story problems. *Journal of Educational Psychology, 74,* 199-216.

Johnson, M.K. (2006). Memory and reality. *American Psychologist, 61,* 760-771.

Johnson, M.K., & Raye, C.L. (1981). Reality monitoring. *Psychological Review, 88,* 67-85.

Nathan, M.J., Kintsch, W., & Young, E. (1992). A theory of algebra-word-problem comprehension and its implications for the design of learning environments. *Cognition and Instruction, 9,* 329-389.

日本数学教育学会（編）(2004). 算数教育指導用語辞典第三版 教育出版

OECD教育研究革新センター（編）（篠原真子他（訳））(2014/2015). メタ認知の教育学ー生きる力を育む創造的数学力ー 明石書店

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, NY: Wiley.

Polya, G.（柿内賢信（訳））(1945/1954). いかにして問題をとくか 丸善

Riley, M.S., Greeno, J.G., & Heller, J.I. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. In H.P.Ginsberg (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153-196). Oelando, FL: Academic Press.

Ryle, G.（坂本百大・宮下治子・服部裕幸（訳））(1949/1987). 心の概念 みすず書房

Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical problem solving.* Orlando, FL: Academic Press.

Spilich, G.J., Vesonder, G.T., Chiesi, H.L., & Voss, J.F. (1979). Text processing of domain related information for individuals with high and low domain knowledge. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 18,* 275-290.

Squire, L.R. (1987). *Memory and brain.* New York, NY: Oxford University Press.

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・中津楢男 (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,* 97-108.

多鹿秀継・中津楢男・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センター紀要, *7,* 19-26.

Tulving, E.（太田信夫（訳））(1983/1985). タルヴィングの記憶理論ーエピソード記憶の要素ー 教育出版

vanLehn, K.（村山功（訳））(1989/1991). 問題解決と認知技能の獲得（ポズナー, M.I.（編）佐伯胖・土屋俊（監訳） 認知科学の基礎 3 記憶と思考 (pp. 137-201). 産業図書）