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

Learning Environments Supporting Metacognitive Strategy Use in Children's Math Problem Solving

多鹿秀継*　　中津楢男**
Hidetsugu TAJIKA　　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できるための学習環境を吟味することであった。この目的を達成するために、本研究目的を構成する概念（key words）である算数問題解決とメタ認知方略を最初に明確にした。すなわち、算数問題解決では、問題解決の過程が通常問題理解の変換、問題理解の統合、問題解決のプラン化、ならびに問題解決の実行の4つの過程で構成されていることを示した。メタ認知方略では、さまざまな方略の中から筆者らがこれまで実施してきた自己説明の研究を取り上げ、その効果を示した。算数問題解決とメタ認知方略の概念を前述のように明確にしたのち、研究目的である児童がメタ認知方略を容易に活性化できるための学習環境を吟味した。学習環境として、算数問題解決における自己説明方略使用を支えるコンピュータ利用の環境を吟味し、児童とコンピュータ利用による自己説明方略の相互作用により、問題理解の統合過程が促進されることにより問題解決が容易になることを示した。

キーワード：算数問題解決、メタ認知方略、自己説明、コンピュータ利用環境、児童

1　本研究の目的

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る。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は、宣言的知識と呼ばれる文（章）表現された内容や公式の理解に必要とされる知識であり、また四則の計算に必要とされる手続き的知識であったりする。問題解決にはそのような2種類の知識の獲得と利用に加えて、メタ認知の活性化も、適切に問題を解くために必要とされることが多くの研究で明らかにされてきた（たとえば、Flavell, 1976; 多鹿・中津, 2009）。しかしながら、一方で児童はメタ認知方略を自発的に使用しないことも、多鹿・中津（2009）では指摘されている。

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よい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できるための学習環境を吟味することである。この目的を達成するために、以下で研究目的を構成する概念（key words）である算数問題解決とメタ認知方略を明確にしたのち、研究目的である児童がメタ認知方略を容易に活性化できるための学習環境を吟味するものである。

2　算数問題解決

本研究において取り上げる算数問題は、算数文章題を基本とする。数記号の加減乗除のみで構成される四則計算問題ではなく、割り当て文、関係文、ならびに質問文からなる文章で表現された算数問題である（Mayer, 1982; 多鹿・石田, 1989）。たとえば、「まさお君のクラスの人数は30人です。まさお君のクラスの人数の 4 割は男の子です。まさお君のクラスの女の子の人数は何人でしょう。」といった割合の文章題では、割り当て文は「まさお君のクラスの人数は30人です。」であり、関係文は「まさお君のクラスの人数の4割は男の子です。」である。最後に質問文は「まさお君のクラスの女の子の人数は何人でしょう。」である。

認知心理学における情報処理アプローチに従って

* 本学大学院担当教授
** 愛知教育大学教授

算数文章題解決過程の解明を試みる場合、１つの方法として、解決過程を構成している各下位過程の特徴を各下位過程で使用する知識とのかかわりの観点から説明することがある。通常、算数文章題の解決過程は、文章題を理解する過程と解く過程に区分され、一般に、前者は文章題解決における理解過程と呼ばれ、後者は文章題解決における解決過程と呼ばれる（Hinsley, Hayes, & Simon, 1977; Mayer, 1982; Paige & Simon, 1966; 多鹿, 1996）。算数文章題の理解過程とは、一文ずつの文章で表記された算数問題の意味内容を理解することであり、かつ文間の関係を理解することからなる。他方、算数文章題の解決過程とは、理解した内容に即して立式を構成し、構成した式を計算することからなる。算数文章題解決は、このように文章題の理解過程と解決過程の二過程に区分される。

算数文章題解決過程を上記のように理解過程と解決過程に区分したとき、理解過程と解決過程での営みは、各過程において利用される知識の種類によって、それぞれ更にいくつかの下位過程に区分することが可能である（例えば、Bransford & Stein, 1984; Lewis, 1989; Mayer, 1985; Mayer, Larkin, & Kadane, 1984; Polya, 1945／1954; 多鹿, 1996）。問題の理解過程と解決過程を、使用する知識の種類によってさらにいくつかの下位過程に区分することで、問題解決におけるつまずきがより理解しやすくなる。

知識の種類からの区分であるかどうかは必ずしも明確ではないが、算数・数学の問題解決においていくつかの下位過程に言及した古典として、たとえば、Polya（1945/1954）は算数問題解決過程を問題の理解、計画の立案、計画の実行、及び振り返りまでの４段階（過程）に区分している。また、Bransford & Stein（1984）は、問題解決過程の下位過程を区分するとき、問題を発見すること（Identify）、問題を定義すること（Define）、さまざまな方略を探すこと（Explore）、計画を実行すること（Act）、及び結果を検討すること（Look）の５段階（過程）に分類した。

更に、Mayer（1985）は、問題解決において使用されるさまざまな知識の種類から、算数問題解決を４つの下位過程に区分した。それらは、問題理解の変換過程、問題理解の統合過程、問題解決のプラン化過程、及び問題解決の実行過程の４つの下位過程である。本研究では、筆者らの一連の研究から、Mayer（1985）の主張する４つの下位過程に従って算数問題の解決過程を理解するものである。以下では、筆者らの先行研究で採用した算数問題解決の４つの下位過程を簡潔に示そう。

まず、問題理解の変換過程とは、与えられた問題文から文単位に個々の内容を理解する過程である。変換過程では、一文毎に表現されている内容を理解しなければならない。それ故、Mayer（1985）や多鹿（1996）が述べるように、変換過程では算数の事実の知識（例えば、１Lが 1000mLであることや、１m が100cm であること）や文を読解するための言語知識を必要とする。

問題理解の統合過程とは、変換過程において構成された文単位のスキーマである textbase と、算数・数学に関して学習者が営々として築きあげてきたスキーマとを統合し、問題解決に結びつく問題状況について、意味のあるスキーマ（以下では、メンタルモデルと呼ぶ）を構成する過程である。変換過程において理解された情報を統合する場合、メンタルモデルに従って、どの情報を選択しどの情報を捨象するか決定しなければならない（van Dijk & Kintsch, 1983）。

問題解決のプラン化過程とは、正解を得るための数式を適切につくる過程である。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、解決に適切な方略を選択して決定し、正しく立式するのである。ここで述べる方略とは、正解を得るために問題解決に向けて構成するさまざまな手続きである。当然ではあるが、当該のメンタルモデルを適切に立式に表現するためにはどのような方略がよいかを決定するために、子どもは選択した方略をモニターしなければならない。モニタリングとは、自己の認知行動を監視することであり、この意味からも、ここで使用される知識の一部が、方略をモニターするメタ認知的知識といわれるゆえんである。

最後に、４つ目の下位過程としての実行過程とは計算の方法や技能にかかわり、プラン化過程において構成された数式に演算を適用する過程である。実行過程では、四則計算の実行に直接関係する手続き的知識を必要とする。

算数問題解決は、通常このような４つの下位過程での知識の働きを解決に適用することによって、進行するものと考えられる。なかでも、問題理解の統合過程における知識統合の過程は、既有知識と問題に提示されて読み解いた知識との統合にかかる過程

から、問題解決にとって重要な過程として位置づけられる（石田・多鹿, 1993)。

3 算数問題解決において使用されるメタ認知方略

メタ認知とは認知についての認知であり、自分自身の思考や認知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)。本研究において取り上げ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)。

たとえば、Schoenfeld (1985) はメタ認知の学習方略の枠組みに従って、メタ認知方略を学習を助けるメタ認知の特定の種類・使用ととらえ、具体的には、「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」をあげている。

また、多鹿・中津・加藤・藤谷・堀田・野崎 (2014) は、多鹿・中津・野崎・池上・竹内・石田 (2004) のメタ認知方略の因子分析結果に基づいて、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としてメタ認知方略をとらえる。メタ認知方略とは、認知方略によって使用された「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。

多鹿他 (2004) は、算数問題解決において使用されるメタ認知方略を分析するために、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実施した。得られた結果を因子分析することによって、児童が算数問題を解決するときに関係すると大学生が考えるメタ認知方略を抽出した。それらは3種類のメタ認知方略あった。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。

これら3つのメタ認知方略は、算数問題の解決時に学習者である児童が、意識的に実行すると大学生が考えたいくつかのメタ認知方略を、具体的に分類したものである。

このように、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 (2014) のこのようなとらえ方は、、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。

一般に、メタ認知を改善することに焦点を当てた多くの算数・数学の教授介入プログラムは、メタ認知方略を適切に訓練することで学習効果をあげてきた。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メタ認知教授介入の効果を吟味した。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。

メタ認知方略を使って児童の算数問題解決を吟味した研究とは、上記の研究に見るように、児童が自分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。

では、具体的にどのようなメタ認知方略によって、児童が自分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が可能になるであろうか。上記の Desoete et al. (2003) に見られるような、これから解こうとする学習（問題解決）の予測や学習（問題解決）結果の評価を促すことをメタ認知方略として指摘することができる。しかしそれだけであろうか。これまでの研究では、メタ認知方略としてよく知られている具体的な方略として、学習内容を要約する、質問する、明瞭化する、あるいは説明するといった活動が知られている（たとえば、Palincsar & Brown, 1984)。これらの具体的な方略は、前述したような「出題された問題の解答に対する予測」あるいは「問題に対する解答の自己評価」といったメタ認知方略を除き、問題に取り組んでいる過程において創発されるものが多い（多鹿・中津・加藤・藤谷・堀田・野崎, in press)。

たとえば、メタ認知方略としての「質問」活動は、当該の学習内容を理解するために、理解に必要とされる質問を生成することを意味する。質問活動は、以下のステップで実施されるといえる（Otero, 2009)。たとえば、テキストの学習を考えよう。学習者はテキストの読解の過程で、理解の不十分な個所をモニターする。次いで、モニターの結果、理解していない箇所を理解するために必要とする情報を求める。すなわち、テキストの内容理解に関係する情報が必要であるのか、あるいはテキストの背景となる文脈を理解するのに必要とする情報で、それは自分の先行知識であるのか、学習者はさまざまに理解に必要とされる情報を吟味するであろう。理解に必要とする情報を吟味するために、モニターした結果をコントロールすることを含む。質問の生成は、このようなステップを経て生成される。質問活動は、まさにメタ認知の活動といってよい。

本論文では、これまで多鹿他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としての自己説明を取り上げ、簡潔に説明しよう。

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。メタ認知方略としての自己説明の研究は、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（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説明するためには、テキストの内容を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しなければならない。この意味で自己説明は文章理解や問題解決課題においてしてしばしば利用されるメタ認知方略である。

Tajika et al. (2007) は、メタ認知方略としての自己説明を使用し、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. は、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。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、1つ1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（paper and pencil 課題)。各条件群の例題学習ののち、割合文章題の本テストを実施し、その1カ月のちに割合文章題とは異なる算数文章題のテストを転移テストとして実施した。転移テストで使用した算数文章題は、Mayer, Tajika, and Stanley (1991) で使用した問題であった。

実験の結果、自己説明群の子どもは、本テストも転移テストも他の群に比べて有意に優れた成績を示した。また、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と

転移テストの結果を比較した。その結果、自己説明適切群の子どもは自己説明不適切群の子どもよりも本テストも転移テストもよい成績であった。なお、自己説明不適切群の子どもの本テストと転移テストの成績は、他の群のそれぞれの成績と類似していた。また、Tajika, Nakatsu, Neumann, Nozaki, Kato, Fujitani, and Hotta（2012）は、コンピュータ提示による算数問題解決の各解決ステップ課題に対して、やはりコンピュータに提示される自己説明の選択肢から正解を選択させた（computer-based self-explanation 課題）。その結果Tajika et al.（2007）の paper and pencil 課題の結果と同様に、算数問題解決における自己説明群の成績優位をみた。自己説明による算数問題解決の促進結果は、提示された問題を解釈するための知識と算数に関する既有知識とを適切に統合できたことによると考えられる（多鹿・中津，2009）。

4　算数問題解決においてメタ認知方略使用を支える学習環境

学習環境とは、子どもが学習を通して成長する過程において影響を与えるヒトとモノ（コト）の要因が相互作用する状況ととらえることができる。本研究で扱っているテーマは学校学習における算数問題解決である。それ故、ここで取り扱う学習環境のヒト要因とは、子どもと教師、あるいは他の教授エージェント（たとえば、コンピュータ等）を意味する。また、モノ（コト）要因とは、ヒト要因がやり取りをするときに使用する教材、教具、あるいはコンピュータプログラムであり、また、ヒトとモノ（コト）がやり取りをする場である空間（物理的環境や生活環境）の要因も含めることができるだろう。ただ、このモノ（コト）要因の空間とは、単に物理的な空間である教室や学校あるいは生活環境である家庭や地域社会を意味するだけでなく、カリキュラム等もこのモノ（コト）要因に含まれる。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を吟味するというタイトルに答えることは、児童が容易に算数問題を解決できるためには、メタ認知方略を適切に使うことのできる学習環境のデザインとはどのようなものであるかに一定の回答を提示することといえるだろう。求める学習環境は、メタ認知方略の使用を通して、児童が算数課題に積極的に取り組み、自発的に解決を目指す環境をデザインしたものでなければならない。

算数問題解決とメタ認知方略を前述したように理解するとき、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デザインとは、どのようなものであろうか。

前述のように、学校場面におけるヒト・モノ（コト）の2種の要因が相互作用する状況を本研究の学習環境ととらえる場合、中でもヒト要因の児童と教師の両者の相互作用（interactive）を基礎にし、児童と教師のどちらかの要因に視点の比重を置いた2つの学習環境を考えることができる。1つは、児童のもつメタ認知をどのように活性化し開発するかについて熟考する教師を中心とする学習環境である（McCormick, Dimmitt, & Sullivan, 2013）。この学習環境では、教師が中心となって児童のメタ認知並びにメタ認知方略の活性化・開発に焦点があてられる。教師は小集団学習やディスカッション法などさまざまな教授法を駆使することで、児童のメタ認知方略使用を支えるのである。教授の目的、教授方略、学習材料、児童の特性等、さまざまな要因を考慮し、教師は教授の効果を最大限にもたらす児童のもつメタ認知を活性化することで、メタ認知方略使用を支える。

児童と教師の相互作用を基礎としたヒト要因の他の学習環境は、児童を中心とした学習環境である。児童も中・高学年になると、徐々にメタ認知を活性化することが可能となる（Flavell, 1976）。児童に適切な宣言的知識と手続き的知識を含めた知識を提供できる機会を教師が与えることで、児童自らがメタ認知を再活性化することが可能となる。問題解決時に再活性化されたメタ認知に基づいて適切なメタ認知方略を適用することで、児童は正しく問題解決を行うことが可能となる。

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を、このように教師主導に基づく学習環境と児童主導に基づく学習環境に二分するとき、本研究は後者の児童主導の学習環境をどのようにデザインするかにくみするものである。

ところで、算数問題を適切に解決する児童を支援するための学習環境をデザインする場合、近年学習者中心の学習環境、知識中心の学習環境、評価中心の学習環境、ならびにコミュニティ中心の学習環境を、考慮すべき4種類の学習環境要因として取り上げられることが多くなった（Bransford, Brown, & Cocking, 2000/2002）。

学習環境をデザインする場合に考慮しなければならないこれら4種類の要因を、簡潔に説明しておこう（Bransford et al., 2000/2002)。

まず、学習者中心の学習環境とは、学習者が教室に持ち込む知識、技能、態度、あるいは信念に対して、十分に注意を払ってデザインすべき学習環境を意味する。わが国の多くの地域ではまだそれほど一般的ではないが、いくつかの地域で認められるような多文化の背景をもつ児童（たとえば、ブラジル出身の保護者をもつ児童）で構成される教室における学習環境である。

知識中心の学習環境とは、児童が社会に出てたくましく生きていくために身につけるべき知識を核とした学習環境を意味する。ある領域の熟達している学習者の知識を分析すると、熟達者の知識は単に量的に貯蔵された多くの知識であることよりも、柔軟な思考を成立させているプランや方略的思考に役立つ高度に体制化された知識である（例えば、Chi, Feltovich, & Glaser, 1981)。このような知識の構成に注意を払った学習環境をデザインすることが重要である。

評価中心の学習環境とは、学習者が問題解決を行って得られた結果に対して、フィードバックを与えたり、結果の修正の機会を持たせるような環境を意味する。単に児童を成績によって序列化するだけの評価の環境ではない。もちろんのことではあるが、評価の内容は学習目標に沿った内容でなければならない。

最後にコミュニティ中心の学習環境とは、子どもを取り巻く教室であったり学校であったり家庭であったり地域社会を意味する。最も重要な環境は、もちろん子どもが長時間過ごす家庭の環境である。学校での生活は、授業での生活だけでなく、中学生や高校生にみられるクラブ活動による生活時間もあるが、基本的には午前8時から午後4時ころまでの8時間であろう。それ以外の時間の多くは、子どもは家庭で過ごす。

学習環境をデザインする場合に考慮すべきこれら4種の要因は、今日の教育目標に対応して設定される学習環境として必要欠くべからざる要因であるといえる。すなわち、19世紀から20世紀前半にかけての教育目標は、児童は知識に乏しく、教師によるしっかりとした知識注入の教育を受けることによって、一人前の大人へと成長するといった前提のもと、機械的な暗記による知識の注入が教育目標の眼目であった。結果的に、児童一人ひとりの個性に着目せずに暗記の学習を強制し、児童を暗記の学習結果に基づく成績の序列化の評価であり、学校中心の学習環境と考えられた。

しかしながら、21世紀の今日では、大量生産に寄与する知識注入の画一的教育をよしとする教育目標が様変わりをし、わが国においても、一人一人の個性を尊重した教育目標のもとで「生きる力をはぐくむ」目標が設定され、今日のカリキュラムが組まれることとなった。

本研究において吟味する学習環境は、これら4種の考慮すべき要因のなかで、知識中心の環境を考慮した学習環境といえる。知識中心の学習環境を考慮した学習環境をどのようにセットすることによって、児童がメタ認知方略を容易に使用できる学習環境を用意できるであろうか。知識中心の学習環境を考慮した学習環境とは、換言すれば、児童が有する既有知識を活性化し、所与の算数問題を解決する活動を行う場合に、既有知識と所与の問題に含まれる内容を統合してメンタルモデルを適切に構築し、メタ認知方略を容易に活性化することができる環境を意味する。

では、知識中心の学習環境を考慮し、メタ認知方略の使用が適切になされる学習環境とは、どのような学習環境であろうか。知識構築を目的とした古典的な学習環境に、Ausubel の先行オーガナイザを含む学習環境をあげることができる（Ausubel, 1968)。先行オーガナイザは、学習者の既有知識と新しく学習する内容とを統合する枠組みであり、有意味受容学習として知られる Ausubel の学習理論の根幹と考えられる。学習者にとって未知の内容を授業で学習するとき、先行オーガナイザを配置した学習環境は、知識中心の学習環境を考慮した学習環境といってよいだろう。しかしながら、先行オーガナイザの20年の成果を回顧した研究（Mayer, 1979）からも理解できるように、学習内容に先行して与えられ、抽象的でかつ学習内容を包摂する枠組みとしての先行オーガナイザは、構成することが難しい枠組みである。しかし、このような先行オーガナイザを含む学習環境を設定することによって、後の学習内容の学習が促進されることは多くの研究で報告されてきた（Mayer, 1979)。ただし、先行オーガナイザはメタ認知方略として位置づけられているのではない。また、先行オーガナイザは教師主導に基づく学習環境であり、児童主導の学習環境ではない。

児童主導の学習環境の1つに、コンピュータを利用した学習環境がある。コンピュータを利用する児童が、コンピュータに積極的に働きかけることで、当該の算数問題の解決を促進可能にする児童とコンピュータの相互作用の環境である。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、よく知られたコンピュータ利用の学習環境である（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（日本教育工学会, 2000)。

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は、これまでいくつかの研究において散見される（たとえば、McCormick et al. (2013) を参照のこと)。それらの多くの学習環境は、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報告している。

Aleven and Koedinger (2002) は、自己説明を組み込んだチューターとしてのコンピュータプログラム（Geometry Cognitive Tutor と呼ばれている通常の幾何の問題解決ソフトウェアに、メタ認知方略としての自己説明を組み込んだ改良版と位置づけられる。ここでは実験群とする）を作成し、高校生に幾何の問題を解かせた。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かのみが異なり、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。

メタ認知方略の活用を促す目的で、筆者らはこれまで一貫して、コンピュータ利用による算数問題解決学の学習環境を開発してきた（たとえば、多鹿・中津, 2009)。多鹿・中津 (2009) では、その後のコンピュータ利用によるメタ認知方略活性化の算数問題解決研究（Tajika et al., 2012）も含めて、問題解決の各ステップを自己説明する内容は、児童が自分で説明を生成するのではなく、コンピュータシステムに組み込まれた選択肢から児童が正しいと考える説明を選択するものであった。コンピュータシステムは児童の選択した自己説明が正しければ「正解です」、間違った自己説明を選択すると「間違っています」とフィードバックを受けた。

では、コンピュータ利用による筆者らの自己説明訓練（Tajika et al., 2012）が、実際に算数問題解決に効果的であるのか。自己説明群と自己説明を行わない通常の算数問題解決の統制群との比較では、自己説明群が統計的に有意な促進効果を見ている。しかし、その効果は実質的であろうか。自己説明群の実質的な効果量を吟味するために、以前の paper and pencil 課題で実施した訓練結果（Tajika et al., 2007）を含めて、Tajika et al. (2012) の研究から得られた結果をメタ分析を実施した。

表1は、paper and pencil タイプの自己説明課題として実施された Tajika et al. (2007) の効果量 (effect size, ES) と、コンピュータ提示による自己説明課題として実施されたTajika et al. (2012) の ES を示したものである。Cohen (1988) の d によって算出された ES の値は、両研究結果共に比較的高いこと（Cohenの d では中程度の効果）が理解できる。しかしながら、一方で Tajika et al. (2007)

は Tajika et al. (2012) よりも、2種類のテスト (本テストと転移テスト) で高い ES を示していることも理解できるだろう。このことは、コンピュータ利用による自己説明の訓練が効果的でないとすることを意味するものではない。

Tajika et al. (2007) と Tajika et al. (2012) においてこのような ES の差異が生じた理由は、児童の自己説明の手続きにある。コンピュータを利用した場合、児童が自己説明を自ら生成することで発声 (記述) するよりも、実験者が用意した選択肢 (その多数の課題は3肢選択で構成) から、自己の説明に合致したと考える正解を選択する課題であった。選択肢から正解を選択する課題では、メタ認知がどの程度活性化されたのかは不明である。ただし、コンピュータ利用によるメタ認知方略としての自己説明が算数問題解決において効果的な方略であることは、明確にされたと考えてよい。

表1 Tajika et al. (2007) と Tajika et al. (2012) の研究におけるESの値 (多鹿他, in press)

発表年・テストの種類・時期	ES
2007 年	
本テスト (6 年生 11 月)	d = 1.80
転移テスト (6 年生 11 月)	d = 1.08
2012 年	
本テスト (5 年生 2 月)	d = .32
本テスト (6 年生 12 月)	d = .60
転移テスト (6 年生 12 月)	d = .40

(注) ES=効果量

4 結論と今後の課題

筆者らは、学習環境を子どもが学習を通して成長する過程において影響を与えるヒトとモノ (コト) の要因が相互作用する状況ととらえて、算数問題解決においてメタ認知方略としての自己説明が活かされる学習環境を吟味してきた。その結果、コンピュータ利用による自己説明の訓練が、たとえ情報環境に十分になじんでいない小学校高学年の児童といえども、算数問題をより適切に解決できることを明確にした。今後は、筆者らのこれまでの先行研究の成果を基礎に、メタ認知方略をより容易に利用することで、児童が算数問題解決の学習において獲得する知識 (宣言的知識と手続き的知識) をうまく取り入れることが可能な学習環境を準備することが求められる。

5 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.

Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view.* New York: Holt.

Bransford, J.D., Brown, A.L., & Cocking, R.R. (Eds.). (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school.* (expanded ed.). Washington, DC: National Research Academy. (森敏昭・秋田喜代美 (監訳) (2002). 授業を変える 北大路書房)

Bransford, J.D., & Stein, B.S. (1984). *The ideal problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity.* New York: W.H.Freeman.

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

Cohen, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

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

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)

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.

石田淳一・多鹿秀継 (1993). 算数文章題解決における下位過程の分析 科学教育研究, 17, 18-25.

Koedinger, K., Aleven, V., Roll, I., & Baker, R. (2009). In vivo experiments on whether supporting metacognition in intelligent tutoring systems yields robust learning. In D.R.Hacker, J.Dunlosky, & A.C.Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp.383-412). New York: Routledge.

Lewis, A.B (1989). Training students to represent arithmetic word problems. *Journal of Educational Psychology, 81,* 521-531.

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.

Mayer, R.E. (1979). Twenty years of research on advance organizers: Assimilation theory is still the best predictor of results. *Instructional Science, 8,* 133-167.

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

Mayer, R.E. (1985). Mathematical ability. In R.J.Sternberg (Ed.), *Human abilities: An information-processing approach* (pp. 127-150). New York: W.H.Freeman.

Mayer, R.E., Larkin, J.H., & Kadane, J. (1984). A cognitive analysis of mathematical problem solving ability. In R.J.Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence, Vol. 2* (pp.231-273). Hillsolale, NJ:Erlbaum.

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.

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.

日本教育工学会（編）(2000). 教育工学事典 実教出版

Otero, J. (2009). Question generation and anomaly detection in texts. In D.R.Hacker, J.Dunlosky, & A.C.Graesser (Eds.), *Handbook of metacognition in education* (pp.47-59). New York: Routledge.

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: Wiley.

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

Polya, G. (1945). How to solve it. Princeton, NJ: Princeton University Press. (柿内賢信（訳 (1954). いかにして問題を解くか 丸善)

Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical problem solving.* Orlando, FL: Academic 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・石田淳一 (1989). 子どもにおける算数 題の理解・記憶 教育心理学研究, *37,* 126-134.

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 (2014). 児童の算数問題解決と

メタ認知方略の評価　神戸親和女子大学研究論叢, *47,* 35-45.

多鹿秀継・中津楢男・加藤久恵・藤谷智子・堀田千絵・野崎浩成　(in press). 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.

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.

Van Dijk, T., & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension.* New York: Academic Press.

6　付記

本研究は、2014 年度（平成 26 年度）科学研究費補助金（基盤研究（C), 課題番号：26380912）受けて実施したものである。