

算数問題解決における転移を促すための方策

Promoting Positive Transfer in Mathematical Problem Solving

多鹿秀継*

Hidetsugu TAJIKA

<要旨>

本研究の目的は、算数問題解決における転移を促すための2つの方策を明確にすることであった。これまでの研究で、問題解決において正の転移を得ることは難しいとされてきた。本研究では、まず正の転移が得られない原因を転移のタイプに求め、近転移と遠転移による転移のタイプ分けに従うことで、正の転移を見出すことが可能であることを示した。また、算数問題解決において正の転移を促す方策として、先行学習の量と質の観点並びにメタ認知の活性化の2つの観点から、算数問題解決における転移の問題を吟味した。最後に、まとめと今後の課題を議論した。

キーワード：転移、算数問題解決、スキーマ、メタ認知

1 本研究の背景と目的

学習の転移 (transfer of learning) は、以前に学習して獲得した知識 (先行学習で獲得した知識) を別の場面や状況 (後続の学習であり原学習と呼ぶ) で生かすことである (多鹿, 2010)。新しい問題に遭遇した子どもは、当該の問題が以前に解いたことのある問題と類似しておれば、以前に解いたときに使った知識を適用して、新しい問題を解こうとするだろう。既有知識を適用して新しい問題を容易に解くことができたとき、正の転移が得られたという。学習の転移は、子どもが先行学習において獲得しているさまざまな能力を、その後の生活場面でどのように発達させるかを理解する教育心理学の中心テーマの1つである。子どもが学習する知識は、学校という枠の中だけにその適用が制限されるものではない。学校で学習し獲得した知識を、その後の日常生活のさまざまな場面で適切に生かしてこそ、学校で学習することの意味がある。

本研究の目的は、子どもの算数問題解決において、正の転移を生み出す多様な方策から2つの方策に焦点を当て、得られにくいとされる正の転移を生み出すための方策を明確にすることである。

算数問題解決と転移に関する研究は、すでに多鹿・中津 (2009) の2章において言及され、いくつかの

関連文献が展望されている。2章では、問題解決一般における転移の研究が最初に展望され、その後に、算数・数学の問題解決における転移研究としてアナロジー転移に焦点を当てることで、アナロジー転移にかかる算数問題解決の研究が示された。多鹿・中津の問題解決における転移研究の展望の結果、問題解決の正の転移は生じにくいことが示されている。問題解決における正の転移は生じにくいとする研究は、これまで多数報告されている (例えば、Detterman, 1993; diSessa & Wagner, 2005; Gick & Holyoak, 1980, 1983; Reed, 1987, 1993; Reed, Ernst, & Banerji, 1974)。例えば、Reed (1987) の研究では、授業で学習する問題を使って、6%と12%のほう酸混合液に関する文章題を正しく解けるように訓練し、その解決方法と同じ手続きを用いれば解けるテスト課題を与えても、1ポンドあたり1.65ドルのピーナッツと1ポンドあたり2.10ドルのアーモンドを混ぜたナッツの問題を解くことができなかった。また、問題解決事態に制限されず、一般的に学習の転移は生じにくいことが示されている (Bransford & Schwartz, 1999)。

正の転移結果の得られない理由はどこにあるのだろうか。これまでの転移研究から、以下の観点並びに転移の捉え方にかかる立場の違いを指摘すること

* 神戸親和女子大学大学院教育学専攻教授

ができるだろう。

正の転移結果の得られない理由の1つは、転移にかかる先行研究は、主に先行学習と後続の原学習における知識の転移に焦点を当てたものであることによる（例えば、Packer, 2001）。知識の転移に焦点を当てることで、先行学習と後続の原学習の類似性あるいは先行学習の量と質が吟味されてきた。その結果、先行学習で学習した知識の様々な特性、例えば知識の表象や知識の構造的特性、といった特性が十分に認知処理されないときに、問題解決における正の転移が生じないことが示されている（Gick & Holyoak, 1980, 1983）。

2つ目は、転移の捉え方の立場の違いによる理由であり、上記のような知識の転移に焦点を当てた転移研究は、実験室研究に制約された狭いものであり、実験操作によって転移が得られるかどうか依存するとし、結果的に正の転移結果が得られなかったとする（Bransford & Schwartz, 1999; Schwartz, Bransford, & Sears, 2005）。この立場では、学習の転移をある状況から他の状況への知識の移動と捉えるのではなく、先行知識や経験を使って後の遂行に影響を与える新しいリソースや情報から学習することと捉える。この立場では、転移を様々な問題を解決するための将来の学習への準備（preparation for future learning）と捉え、単に知識の転移といった狭い枠組みに限定しない。また、この立場では、正の転移が得られない理由の1つとして、従来の転移研究が研究者ないしは教師の側からみた転移研究であるとし、子どもの側から転移の有無を見る研究を重視せよとの指摘も報告されている（例えば、Lobata, 2003, 2006）。Lobata（2003）によると、例えばある状況で学習した知識を新しい状況に適用するといった従来の転移の定義に対して、学習状況を同じと見るように、活動すべてにわたって類似性の関係を個人的に構成することを転移と捉える視点があると、正の転移の捉え方も変わるという。

なお、正の転移が得にくいとされる1つ目の知識の転移研究に関して、動機づけの考えを知識の転移に取り組んで研究する必要性を主張する Nokes and Belenky（2011）の報告も見られる。

本研究は、算数問題解決における正の転移を促す方策に焦点を当てたものである。即ち、先行研究において正の転移を生み出す要因として知られている要因のいくつかを促進させる方策を明確にしようとするものである。この目的を達成するために、以下

では、まず本研究で言及する転移のタイプと心理学のアプローチを取り上げることにより、算数問題解決の転移効果を生起すると考えられるいくつかの要因を取り出して説明しよう。次いで、それらの要因によって転移効果を生み出した算数問題解決の研究を展望しよう。最後に、今後の課題をまとめる。

2 転移のタイプ

正の転移を生み出す要因を特定するために、まず正の転移がどのような種類の転移（転移のタイプと呼ぼう）で得られたときに、正の転移を生み出したとするのかを明確にしなければならない。

正の転移がどのような種類の転移で得られたときに、正の転移が見出されたとするのであろうか。この問題は、転移のタイプによる区分に基づいて、正の転移の有無が理解されることを意味する。

通常、学習の転移は、一般転移（nonspecific transfer）と特殊転移（specific transfer）に区分されることがよく知られている。一般転移とは、何が転移したのか分からないが、転移が認められる場合に言及するタイプの転移である。一般転移では、何が転移したのかわからないといっても、一般に先行学習の解決経験によって形成された問題解決の原理やパターンが転移したと考えられ、学習の仕方やウォーム・アップのような要因が転移したとされる。他方、特殊転移は、ある学習状況における刺激と他の学習状況における刺激の類似性が存在する学習場面で、類似する刺激が転移したと特定できる転移である。Bruner（1960/1963）は、一般転移と特殊転移を以下のように説明する。「…学習が将来役立つのには、二つの道がある。その一つは、われわれがはじめに学習してできるようになった仕事によく似た仕事だけ特別に適用性をもつようになるのである。心理学者たちは、この現象を訓練の特殊転移といっているが、おそらくそれは、習慣の拡張または連合とよぶべきものであろう。…第二の道は、便宜的に、非特殊転移、もっと正確に言えば、原理や態度の転移とよばれているものを通ることである。…」（翻訳書 21-22 頁）なお、非特殊転移とは一般転移を意味する。

一般転移と特殊転移との区分による転移のタイプ分けは、何が転移したかによる転移の区分である。それ故、一般転移と特殊転移による転移の区分では、正の転移の発生の有無のみが問題とされる。

これに対し、学習課題の類似性による学習の転移

のタイプ分けとして、近転移 (near transfer) と遠転移 (far transfer) が知られている。近転移とは、先行学習と原学習とがかなりの程度で類似している場合に生じる転移を意味し、遠転移は先行学習と原学習の類似性が低いあるいはほとんどない場合に生じる転移に言及する概念である (例えば、Mayer, 2011)。このことは、近転移も遠転移も、ともに特殊転移における先行学習と原学習の類似性の程度に関係したタイプ分けであることが理解できる。

しかしながら、類似性の程度の違いに基づく近転移と遠転移の定義や概念を、だれもが納得して理解することは容易ではない。近転移と遠転移という用語は、研究者により多義的に使用されている。近転移と遠転移のこのような曖昧な概念理解は、類似性あるいは類似性の程度をどのように厳密に理解するかについて、現在のところ直観的な理解に留まっていることに関係する。ここでは、類似性をどのように捉えるのかについての複雑な議論には踏み込まず、類似性の程度の違いによる近転移と遠転移の一般的な区分に留めておこう。

近転移と遠転移の区分は、上述のように、何が転移したかという転移の内容による一般転移と特殊転移による区分ではなく、類似性の程度の違いによる転移の区分である。このことは、類似性を何の類似性として捉えるかを考察することによって、いくつかの類似性を考慮することが可能である。

1つは、転移における学習課題の類似性である。学習課題あるいは問題解決の課題がどの程度類似しているかによって近転移と遠転移に区分できる。また、いつどこで転移したかといった転移の文脈の類似性も考慮することができる (Barnett & Ceci, 2002)。転移の文脈とは、Barnett and Ceci (2002) によれば、学習時の様々な特性の文脈と転移時の様々な特性の文脈の間での類似性や関連性を意味している。例えば、知識の文脈では、算数教材の内容間の知識の転移は類似性が高いために近転移であり、算数から国語への知識の転移は教科の内容が異なることから遠転移といえる。また、時間文脈による転移では、同じ日の間に生じる転移は、類似した文脈のもとでの事象であるために近転移であり、学校で学習した内容が社会に出て生かされるような何年も先の転移は遠転移であるといえる。

本研究における正の転移は、この近転移による転移結果と遠転移による両者の転移を含めて転移と呼び、どちらか一方の転移であっても、原学習の促進

結果を生み出したときに正の転移が生じたとするものである。近転移と遠転移による正の転移が議論されるのは、教育の場面における正の転移をどのように捉えるかに依拠している。これまでの問題解決における転移研究では、例題などを学習することで獲得された原理やルールを、類似した問題に適用して正しく問題解決することができるようになる近転移の結果を、正の転移として評価してこなかった (例えば、Detterman, 1993; Perkins & Grotzer, 1997)。換言すれば、学校教育において生じる近転移を教室内で学習する類似の問題への正の転移のみに言及する転移として位置づけ、学校外の日常活動における正の転移としての遠転移の結果よりも、一段と低く捉えられないしは無視することがしばしば認められた。例えば、算数問題解決における単位分数の四則計算の学習による仮分数や帯分数の四則計算の学習への正の転移よりも、日常生活で分数の概念や計算を適用する場面において、分数を自在に使用できるようになることをよしとするようなものである。

このような状況では、問題解決における転移を適切に評価することは難しいといえる。本研究では、近転移の結果も積極的に評価しようというものである。小学生にとっては、近転移による原学習の促進結果も遠転移による原学習の促進結果も、ともに正の転移として重要であることにはかわりない。要するに、転移のタイプを何が転移したかという転移の内容のみに依拠するのではなく、Barnett and Ceci (2002) の分類に見られるように、いつ転移したのか、またどのようなところから転移したのかといった転移の文脈に、その類似の程度はどの程度であったのかという転移のタイプを組み合わせることによって、問題解決における正の転移を捉えることが必要であるといえるだろう。

3 学習の転移への2つの心理学的アプローチ

正の転移をどのように説明するかに関しては、現在のところ、必ずしも明確な理論が提示されているわけではない。様々な転移の結果を1つの理論によって適切に説明することは、むしろ不可能に近いかもしれない。このような中で、2つの心理学的アプローチが、正の転移結果を説明する理論として知られている。1つは行動主義心理学のアプローチであり、他は認知心理学のアプローチである。

行動主義心理学では、知識は刺激と反応の連合によって形成されるとする。新しい知識を獲得するた

めには、できるだけ多くの頻度で学習することが必要である。その結果、原学習で獲得するのに必要とされる知識と類似する知識がすでに先行学習で獲得されていれば、正の転移が得られるのである。先行学習での知識獲得と原学習での知識獲得との連合を適切に形成するには、先行学習の回数を増やすこと、あるいは先行学習と原学習との連合の類似性が高いときに、正の転移が認められる。Thorndike (1903) のよく知られた同一要素説 (identical elements theory) や、Osgood (1949) の転移逆向曲面 (transfer and retroaction surface) などは、学習課題の類似性あるいは刺激と反応の類似性によって、正の転移結果を説明するものである。例えば、Thorndike (1903) の同一要素説は、刺激と反応が類似した要素を有する状況において、正の転移が生み出されると考える。学習の転移のタイプ分けに従えば、同一要素説は近転移を説明する場合に適すると考えられるだろう。転移する知識は先行学習と原学習に共通する要素をもつ知識であり、四則計算に見られる手続き的知識の転移が一般的であろう。

これに対して、認知心理学によるアプローチでは、スキーマ (schema) の形成を正の転移結果の説明として提案する (例えば、Anderson, 1976)。スキーマとは学習者が学習過程で構成する心的表象である。正の転移は、様々な学習事態で問題を理解するために先行学習において形成された知識の構造やネットワークが、後続の原学習の問題理解において適用される結果として生じるとされる。先行学習において形成された知識の構造やネットワークは、心的表象の1つの形態でありスキーマである。問題解決時には、先行学習において問題解決に適用できるスキーマを構成していなければならない (Gick & Holyoak, 1980, 1983)。問題解決に適用できるスキーマは例題を解いたりアナロジー問題を解くことで形成されることが多い。転移する知識は、それ故、スキーマを構成する命題であったりアナロジーであったりする。ただ、同一要素説に見られる手続き的知識の転移については明確でない。手続き的知識の転移については、先行学習で獲得される手続き的知識と後続の原学習で獲得される手続き的知識において共有される条件-行為のプロダクションの量や種類が転移に影響する (Singley & Anderson, 1989) ことから考えると、四則計算の手続き的知識の転移に見られるように、行動主義心理学のサイドから説明が可能であろう。

ところで、スキーマを構成することによる転移は、近転移から遠転移まで幅広く正の転移が認められる。しかしながら、Gick & Holyoak (1980, 1983) の研究で見られるように、先行学習の内容を検索し、原学習との関係を写像し、写像に基づいて共通性を推論し、新しい表象を抽出して作り出す過程において、どの1つの過程においても適切に処理できないとき、正の転移を生み出すことができない。

構造化された知識としてのスキーマによる正の転移は、先行オーガナイザ (advance organizer) の研究とも関連が深いことが知られている。先行オーガナイザとは、学習すべき材料に先立って与えられる内容で、抽象度が高く、後の学習材料を包摂し安定した知識として一般化できるような内容である (Ausubel, 1968, 2000)。先行オーガナイザを与えることによって、後の学習が正の転移となることが多数の研究で示されている (例えば、Mayer, 1979)。

4 正の転移を促すための方策

前述のように、言語学習の領域において古典的な研究として知られる Osgood の転移と逆行性曲面の研究 (transfer and retroactive surface) は、刺激と反応の類似性を操作することで、正負の転移量を提案したものである (Osgood, 1949; Wimer, 1964)。そこでは、転移における先行学習と原学習の類似性の程度が正と負の転移に影響することを示したものである。学習課題間の類似性の程度は、学習の転移に多大の影響を与えることは自明である。

ここでは、先行学習の量を増やし、また先行学習の質を高めることによって正の転移を促すこと、並びにメタ認知を活性化することによって正の転移を促すこと、の2点の方策を取り上げ、それらの方策によって算数問題解決の転移が促進された具体的な研究を展望しよう。なお、それぞれの方策に関する多くの文献を展望することよりも、知識にかかる方策とメタ認知にかかる方策の少数事例を取り上げて、それぞれの特徴を明確にするものである。

4-1 先行学習量を増やし先行学習の質を高めること

先行学習の量を増やした質を高めることは、先行学習の知識の獲得にかかる特性である。先行学習が後続の原学習に何らかの転移効果を生み出すことを期待するためには、かなりの時間を先行学習にかける必要がある。先行学習を徹底してマスター

していなければ、後続の原学習への転移は困難であろう。Carroll の学校学習モデル (1963, 1989) の言を俟たなくとも、学習の機会即ち学習内容を理解するのに必要とされる時間は、学習の転移にとっても正の転移を生み出す重要な要因の1つである。

例えば、小学2年生で学習する算数の九九を先行学習として徹底して学習しておくことがなければ、後続の算数の様々な四則計算において正の転移が望めないであろう。また、コンピュータ言語の1つである LOGO を学習する場合でも、LOGO 言語をしっかりマスターしていなければ、LOGO を使った後の問題解決を必要とする課題の解決に適切に転移せず、LOGO をマスターしていない子どもと比較して、問題解決に違いがなかったという報告もある (Mayer, 1988)。

Rickard and Bourne (1996) は、先行学習として十分に学習を行っている一ケタの乗除を使い、乗除の提示形式 (数字による乗除と言葉による乗除) を操作して転移を吟味した。Rickard and Bourne によると、数の事実の表象が提示形式に依存する場合には、数の事実による問題 (例えば、 6×7) の学習による効果は言葉による学習 (ろく \times ひち) に転移しないだろう (勿論、言葉による学習は英語である)。一方、数の事実の貯蔵が提示形式と独立であるとき、正の転移はどのような提示形式においても見られるであろう。

実験参加者である大学生は、一ケタの数の乗除の問題を数字あるいは言葉の提示形式で徹底して学習し、その後両方の提示形式でテストされた。2つの実験を通して、RT (反応時間) とエラーの分析によって仮説が吟味された。実験1では、テスト問題の提示形式が先行学習時の提示形式とマッチしないときには、正の転移が得られなかった。実験2では、テスト問題の提示形式が先行学習時の提示形式とマッチしたときには、完全な正の転移が認められた。このことから、ある特定の提示形式で学習した場合、当該の提示形式に依存した形式においてのみ、正の転移が認められることが分かった。

Sciama, Semenza, and Butterworth (1999) は、提示形式と1ケタの数字の足し算に関する転移を吟味した。即ち、具体的には、1ケタの数字の足し算を使って、数の反復プライミングと再認記憶をみたものであった。反復プライミングとは、先行学習において学習した内容は、後の学習において意識的に検索しなくとも検索が促進されることを示す。一般

的には、単語や図形において反復プライミングの効果が認められている (例えば、Roediger & McDermott, 1993)。

Sciama et al. (1999) は4つの実験を実施したが、正の転移に関係する最初の2つの実験をここでは紹介しよう。第1実験で、実験参加者である大学生は、数字ないしは言葉の提示形式で一ケタの足し算を学習した。次いで、同一形式、異なる形式、あるいは学習していない形式で提示された問題でテストされた。実験2では、実験1の言葉の提示形式から数字の数をあらわすドット (点) に替えて実験がなされた。2つの実験の結果、数字が言葉やドットとして提示されるとき、同じ表記の同じ問題が予め提示される方が、数字表記の同じ問題が予め提示よりも、RTが速かった。これに対し、数字が数字で提示されると、先行学習で3つの提示形式で予め提示された場合に差が見られなかった。このような結果は、提示形式に依存する数の計算の表象が、言葉やドットといった非典型的な提示形式を媒介していることを示唆するといえる。

学習の転移は、また先行学習の質によっても異なる影響を受ける。先行学習の質とは、先行学習の構造化の程度に言及するものである。子どもがある学習課題を体制化しスキーマとして貯蔵しているとき、スキーマが新たに学習する課題を統合してより堅固な知識の構造を構成する。理解を伴った学習により先行学習の内容を体制化するとき、後続の学習の転移は容易となる。他方、学習課題を単純なりハーサルや暗記学習によって個々ばらばらな知識として貯蔵していると、後続の学習に生かされず、結果として転移しない。

Wertheimer (1945/1952) のよく知られた古典的な研究では、平行四辺形の面積を求めるときに、単に「底辺 \times 高さ」の公式で計算させて学習させた場合と、平行四辺形の概念的な理解を伴ってから面積を計算する場合とを比較したとき、後の転移課題では理解を伴う学習をした群の方がよい成績を収めた。即ち、「理解」を伴う方法で平行四辺形の面積を学習する群では、平行四辺形の構造的な関係を理解するように教示された。平行四辺形の構造的な関係とは、平行四辺形の上辺の端から底辺に向けて垂線 (高さ) を下して平行四辺形の一端に直角三角形をつくり、それを平行四辺形の他の端の個所に移動してあわせると長方形になることを意味する。このような「理解」による方法を教示された群は、平行四

辺形の面積の出し方（底辺×高さ）を機械的に暗記した群に比べ、転移課題を適切に解いた。

理解とは、課題の内容に対して首尾一貫した解釈や説明ができることである。課題の首尾一貫した説明ができることは、学習者に課題のスキーマができているといえる。Wertheimer (1945/1952) の研究における平行四辺形の構造的な理解が可能であるとは、平行四辺形の構造的特性に関するスキーマが学習者に形成されたと言い換えてもよい。

このようなスキーマの形成により問題解決の転移が認められるとする研究は、熟達者-初学者の比較研究からも指摘することができる（例えば、Wineburg, 1991）。Wineburg では、算数・数学ではないが、歴史学の熟達者と歴史の得意な高校生を使って、アメリカの独立戦争の歴史的事項に関するテストを行った。その結果、細かな的指摘事象に関するテストでは、両者に差はなかったが、歴史の文献の理解力を測る2種類のテストでは、アメリカ史が専門でない歴史学の熟達者は、アメリカ史の専門家と同様の成績を収め、かつ高校生よりも圧倒的に優れた理解を示した。例えば、文献を学習後、歴史学者と高校生に3枚の絵のコピーを提示し、この絵の内容を言うように教示し、そのあとでどの絵が文献のなかの歴史的事象（例えば、レキシントングリーンで起こったこと）を示すもっとも正確な記述を示す絵はどれかを選ばした。その結果、歴史学者は慎重にかつ注意深く絵を選択したのに対し、高校生は3肢選択問題として、深く考えることなく絵を選択した。

スキーマとは、記憶に貯蔵している一般的な知識構造の表象である。我々が様々な経験を通して獲得した知識の構造化された表象がスキーマといえる。通常、個々の知識は、命題表象とイメージ表象に代表されるように、例えば、四足動物としての「イヌ」であり、かわいいペットとしての「イヌ」のイメージとして、長期記憶に貯蔵されている。スキーマはそのような表象がつながりを持ち、複雑なネットワークを構成した結果としての知識表象を意味するといえる。それ故、問題解決において転移効果が認められるには、先行学習において当該課題に関する知識のネットワーク化、即ちスキーマの構成が必要不可欠といえる。

例えば、低学年の算数問題解決の研究として知られる Riley, Greeno, & Heller (1983) では、算数問題解決と学習に影響を与える問題構造の概念的な知

識を明確に区分し、子どもの問題解決の困難さに違いがあることを示した。問題構造として、「変化」（量が増えたり減ったりすることの加減の構造）、「結合」（変化しない2つの量があり、それらの合計を求める構造）、及び「比較」（2つの量があり、それらの差異を求める構造）を区別し、これらが問題解決のスキーマとして、子どもの知識構造に貯蔵されていなければ、問題が解けないことを示した。これらのスキーマが確実に子どもの知識表象として貯蔵されることにより、他の類似した問題の正しい解決に転移したといえる。

また、Morley, Lawless, and Bridgeman (2005) は、大学生に算数文章題の問題（原学習の問題）を解かし、転移課題として原学習の問題と類似の程度をいくつかに変形した問題を解かせた。原学習時に解いた文章題に対して、変形した転移問題の1つは表面的な特徴が類似する（文章題で使用されている個々の名前、数、及び状況の類似）問題であった。また、表面的には類似しているが異なる構造をした問題、及び原学習の問題と内容とは類似しているが難しい問題の3種類を用意した。それら3種類の転移問題を実験参加者内で組み合わせて転移問題として大学生に課した。その結果、原学習の問題解決から正の転移が認められたのは、表面的な特徴が類似する問題のみであった。表面的には類似しているが異なる構造をした転移問題を解いた後には、他の問題が干渉を起こして成績が悪くなった。問題構造が異なるとき、正の転移は得られない。この場合、Morley et al. も指摘しているように、算数問題解決の得意な学習者であると、構造が異なる問題に対しても正の転移が認められる可能性は高い。算数問題解決の得意な学習者は、当該の問題を解決するのに適した適切なスキーマを検索して適用するであろう (Novick & Holyoak, 1991; Reed, 1987)。

4-2 メタ認知の活性化

メタ認知とは、認知についての認知を意味しており ((Flavell, 1979)、学習者自身の認知過程に関する知識や信念と言い換えてもよいだろう (Greeno, Collins, & Resnick, 1996; 多鹿, 2010)。子どもが算数の文章題を解くとき、メタ認知はその問題を解くための知識、例えば算数であれば、部分-全体の知識や比較量に関する知識を意味するのではなく、その問題なら解けるだろうか、どのように解けばよいかのプランを立てたり、得られた答の数値を見

て、こんな数値でよいのかなと内省したりすることである。これらの例は、問題解決時や解決後にメタ認知的な知識を使っていることを意味する(多鹿・中津, 2009)。即ち、算数・数学の学習に関して、自分自身の問題解決の結果を予測できるかどうか、うまく解けたかどうかを評価できるかどうか、自分の解き方がよいか悪いかをモニタできるかどうかなどをチェックすることによって、問題内容や解決過程を内省的に吟味することが、他の問題解決にも影響を与えるといえる。

Tajika, Nakatsu, Nozaki, Neumann, and Maruno (2007) は、メタ認知方略としての自己説明を組み込んだ算数文章題の問題解決における転移を見た。自己説明は Chi, Bassok, Lewis, Reimann, and Glaser (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。最近では、テキスト材料に限らず、問題解決課題に対しても自己説明を求める研究が一般的となってきた。

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, 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。具体的には、例題の学習方法として3つの条件群を設定し、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。

例題の学習方法の1つである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。他の2つの条件群は、精製が例題の解決ステップを説明した後に自分で学習を繰り返す自己学習群と、先生が式と答えの説明をして子どもに理解させる統制群であった。

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。

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正の転移を示したのは、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、解決につながる適切な推論を生成することで、解決につながるスキーマを適切に構成できたことによる。

また、メタ認知の活性化そのものによる説明も、ここでは可能であるかもしれない。即ち、上記の解決に結びつくスキーマの形成は、適切に自己説明できた場合に限られる。Tajika et al. (2007) の研究の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り、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。たとえ適切に自己説明できなかったとしても、例えば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が試みられていた。このような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は、何がわかり何がわからないかを自己内省することによって、解決につながるスキーマを構築しようとする心内対話による成果と考えてもよいだろう。

5 結論と今後の課題

学校学習の目的の1つが、単に学校において学習した内容を理解することだけに留まらず、学校外の日常生活において遭遇するさまざまな課題へ適切に対処できることを考えるとき、教育の場において、学習の転移は最重要の概念の1つである。しかしな

がら、先行研究において、例えば算数問題解決の正の転移は生起しにくいとして捉えられてきた（例えば、Reed, 1987）。

本研究結果から、生起しにくいとして捉えられてきた算数問題解決における正の転移は、転移のタイプを考慮することによって、転移結果の見方が変わることが明らかとなった。即ち、Barnett and Ceci (2002) を参考に、転移のタイプを近転移と遠転移に区分し、いつどのようなところから転移するのかという転移の文脈と、何が転移するのかという転移の内容とを転移のタイプとして組み合わせることによって、正の転移を捉えることが可能となる。

正の転移を促す方策として、先行学習の量を増やし、かつ先行学習の質として問題解決にかかる知識を構造化することで転移可能なスキーマを構成することが重要であることを示した。また、通常の知識の構造化に加え、学習者のメタ認知を活性化させることも、正の転移を促すためには必要不可欠な方策であることを述べた。

今後は、近転移として類似の算数問題が解けた子どもが、当該の算数問題解決において獲得した原理やルールとしての宣言的知識や解き方にかかわる手続き的知識、あるいは正しく解けたかどうかの自己内対話にかかるメタ認知的知識を、どのような文脈のもとで他の課題に適切に適用できるのか、即ち、いつ、どこで、どのような条件のもとで他の多様な課題に適切に適用できるのかを詳細に吟味し、かつ長期的な視点に立って実証的な知見を得ることが必要である。

6 引用文献

- Anderson, J.R. (1976). *Language, memory, and thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Atkinson, R.K., Derry, S.J., Renkl, A., & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from worked examples research. *Review of Educational Research, 70*, 181-214.
- Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Ausubel, D.P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer.
- Barnett, S.M., & Ceci, S.J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin, 128*, 612-637.
- Bransford, J.D., & Schwartz, D.L. (1999). Rethinking transfer: A simple proposal with multiple implications. In A.Iran-Nejad & P.D.Pearson (Eds.), *Review of research in education* (Vol.24, pp. 61-100). Washington, DC: American Educational Research Association.
- Bruner, J.S. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press. (鈴木祥蔵・佐藤三郎(訳) (1963). 教育の過程 岩波書店)
- Carroll, J.B. (1963). A model of school learning. *Teachers College Record, 64*, 723-733.
- Carroll, J.B. (1989). The Carroll model: A 25-year retrospective and prospective view. *Educational Researcher, 27*(1), 26-31.
- 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, T.H., de Leeuw, N., Chiu, M-H., & La Vancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science, 18*, 145-182.
- Detterman, D.K. (1993). The case for the prosecution: Transfer as an epiphenomenon. In D.K.Detterman & R.J.Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* (pp. 1-24). Norwood, NJ: Ablex.
- diSessa, A.A., & Wagner, J.F. (2005). What coordination has to say about transfer. In J.P.Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective* (pp. 121-154). Greenwich, CT: Information Age Publishing.

- 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)
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gick, M.L., & Holyoak, K.J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Greeno, J.G., Collins, A.M., & Resnick, L.B. (1996). Cognition and learning. In D.C.Berliner & R.C.Calfee (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 15-46). New York: Mcmillan.
- Lobato, J.E. (2003). How design experiments can inform a rethinking of transfer and vice versa. *Educational Researcher*, 32(1), 17-20.
- Lobato, J.E. (2006). Alternative perspectives on the transfer of learning: History, issues, and challenges for future research. *The Journal of the Learning Sciences*, 15, 431-449.
- 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. (Ed.). (1988). *Teaching and learning computer programming*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mayer, R.E. (2011). Applying the science of learning to multimedia instruction. In J.P.Mestre & B.H.Ross (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (Vol.55, pp. 77-108). San Diego, CA: Academic 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.
- Morley, M.E., Lawless, R.R., & Bridgeman, B. (2005). Transfer between variants of mathematics test questions. In J.P.Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective* (pp. 313-335). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Nokes, T.J., & Belenky, D.M. (2011). Incorporating motivation into a theoretical framework for knowledge transfer. In J.P.Mestre & B.H.Ross (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (Vol.55, pp. 109-135). San Diego, CA: Academic Press.
- Novick, L.R., & Holyoak, K.J. (1991). Mathematical problem solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 398-415.
- Osgood, C.E. (1949). The similarity paradox in human learning: A resolution. *Psychological Review*, 56, 132-143.
- Packer, M. (2001). The problem of transfer, and the sociocultural critique of schooling. *The Journal of the Learning Sciences*, 10, 493-514.
- Perkins, D.N., & Grotzer, T.A. (1997). Teaching intelligence. *American Psychologist*, 52, 1125-1133.
- Reed, S.K. (1987). A structure-mapping model for word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 124-139.
- Reed, S.K. (1993). A schema-based theory of transfer. In D.K.Dettermann & R.J.Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* (pp. 129-149). Norwood, NJ: Ablex.
- Reed, S.K., Ernst, G.W., & Banerji, R. (1974). The role of analogy in transfer between similar problem states. *Cognitive Psychology*, 6, 436-450.
- Rickard, T.C., & Bourne, L.E., Jr. (1996). Some tests of an identical elements model of basic arithmetic skills. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1281-1295.
- Riley, M.S., Greeno, J.G., & Heller, J.I. (1983). Development of children's problem-solving ability in arithmetic. In H.P.Ginsburg (Ed.), *The development of mathematical thinking* (pp. 153-196). New York: Academic Press.
- Roediger, H.L., III., & McDermott, K.B. (1993). Implicit memory in normal human subjects. In H.Spinnler & F.Boller (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (Vol. 8, pp. 63-131). Amsterdam: Elsevier.

- Sciama, S.C., Semenza, C., & Butterworth, B. (1999). Repetition priming in simple addition depends on surface form and typicality. *Memory & Cognition*, 27, 116-127.
- Schwartz, D.L., Bransford, J.D., & Sears, D. (2005). Efficiency and innovation in transfer. In J.P.Mestre (Ed.), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective* (pp. 1-51). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- Singley, M.K., & Anderson, J.R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- 多鹿秀継 (2010). 教育心理学 第2版—より充実した学びのために— サイエンス社
- 多鹿秀継・中津梢男 (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.
- Thorndike, E.L. (1903). *Educational psychology*. New York: Lemke & Buechner.
- Wertheimer, M. (1945). *Productive thinking*. New York: Harper & Brothers. (矢田部達郎 (訳) (1952). 生産的思考 岩波書店)
- Wimer, R. (1964). Osgood's transfer surface: Extension and test. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 3, 274-279.
- Wineburg, S.S. (1991). Historical problem solving: A study of the cognitive processes used in the evaluation of documentary and pictorial evidence. *Journal of Educational Psychology*, 83, 73-87.

7 附記

本研究は、2011年度日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号:23530881)の補助を受けて実施したものである。