

算数問題解決を育む心理学の基礎理論とその応用研究の融合

Interactions Between Basic Theory and Its Application Research in Psychology That Promote Children's Mathematical Problem Solving

多鹿 秀継*

Hidetsugu TAJIKI

堀田 千絵**

Chie HOTTA

<要旨>

There were two goals of the study: (a) to show that basic and applied research in educational psychology are closely related each other, when we judge from both Pasteur's quadrant (Stokes, 1997) and the distinction between conclusion-oriented and decision-oriented inquiries (Cronbach & Suppes, 1969); and (b) to clarify the interactions between basic and applied research in educational psychology by analyzing research on promoting children's mathematical problem solving. First, after having reviewed previous research on children's mathematical problem solving to attain two goals, we pointed out that logical-mathematical knowledge and linguistic knowledge were both used to promote children's mathematical problem solving. Then, research on self-explanation as a metacognitive strategy to activate such knowledge was reviewed. The results suggest that there is nothing so practical as a good theory about children's mathematical problem solving.

Key Words : basic and applied research in educational psychology, children's mathematical problem solving, self-explanation, metacognition

1 本研究の目的

本研究の目的は、①教育心理学における心理学理論とその応用研究の結びつきを、Stokes (1997) の「Pasteur の4つの象限」の考え、並びにCronbach and Suppes (1969) の「理論的な結論を志向する研究 (conclusion-oriented inquiry)」と「実際の決定を志向する研究 (decision-oriented inquiry)」という研究の二分法の考えを参考にまとめ、②教育心理学の研究例の1つとして子どもの算数問題解決を取り上げ、算数問題解決を育むために提案された理論と、その理論に基づく実践的研究を簡潔に展望し、子どもの算数問題解決を育むための理論と融合した実践研究によって、子どもの算数問題解決が効果的に育まれることを明確にするものであった。

なお、本論文では、心理学の研究で明らかにされた個々の事実を説明し、かつ予測可能な体系的知識を理論ととらえ、心理学の理論を実際の教育の事象に当てはめて利用するという意味で応用・実践の用語を使用する。また、応用的研究と実践的研究とは同じ意味で論を展開する。それ故、応用と実践は、以下の記述の中で使い分けることなく用いた。

本研究の目的を達成するために、次章では、まず理論と応用の結びつきを明確にした。次いで、子どもの算数問題解決を育む理論として、論理・数学的な知識と言語的な知識を取り上げ、それらの知識を活性化するメタ認知的方略の一例として自己説明による算数問題解決の研究結果を実践的な研究成果として言及することで、心理学の理論とその応用とを融合した研究を展望し、今後の課題を指摘した。

2 教育心理学における心理学理論とその応用研究の結びつき

理論とその応用との関係は、教育心理学研究においてしばしば対立的に取り上げられるホットな話題である。教育の営みを効果的に推進するための知見や技術を提供すること (倉石, 1971) を教育心理学の定義として位置づける場合、教育心理学は心理学に対して応用の学であり、教育科学の一分野としてとらえることができる。一方で、教育の営みの背景にある心理学的な事実や法則を明らかにすること (倉石, 1971) も教育心理学の定義として理解するとき、この場合はまさに、教育心理学の研究は教育

* 神戸親和女子大学特任教授

**関西福祉科学大学准教授

の場において心理学の理論を実践によって吟味しようとした研究として位置づけることができるだろう。倉石による教育心理学のこのような2側面の定義を融合するとき、教育心理学は心理学に対する単純な応用の学問ではなく、心理学の理論とその実践・応用の融合によって構成される学問であることが理解できる。

理論とその応用の融合にかかる教育心理学の研究の一例として、たとえば知能の研究を例にあげて簡潔に吟味してみよう。教育心理学者であればだれもが知っているように、知能の理論的研究は知能の応用的・実践的研究としての知能検査の作成研究と歩調を共にしている。

知能の理論的研究は、知能の因子理論の研究が嚆矢といってよいだろう。知能は複数の特徴的な要素(因子と呼ばれる)で構成され、かつそれらの知能の要素を測定することが可能であろうとする考えに基づき、知能の研究が盛んになった(Mackintosh, 2011)。

他方で知能の応用的・実践的研究として理解される知能検査は、知的能力の個人差の研究成果に基づき、教育的な目的に基づいて開発されたものである。それはいわゆるビネー・シモン知能検査として知られている。ただ、Binet はなにも知能理論に基づいてビネー・シモン知能検査を作成したのではない。かねてから自分の娘たちを知能の研究対象として観察し、Galton が作成していた個人差測定テストに満足せず、上記の知能検査を作成したといわれている(Mackintosh, 2011)。

心理学の構成概念としての知能の概念は、このように知能の理論的研究と知能検査の研究とが、基礎と応用あるいは理論と実践としての対応関係を持ちながら、理解を深めてきたといえるだろう。なお、知能検査に関しては、知能検査そのものの理論にかかる研究も進められた。

ところで、教育心理学において、基礎と応用、あるいは理論と実践という二分法による研究内容のとりえ方は、教育という現実の生活場面での研究成果の適用を考えると、知能研究に見られるように、2つの区分の融合が最も望ましいものと受け止められてきた。つまり、教育心理学の研究は単純に理論面のみを取り上げて掘り下げて研究するのではなく、その応用的・実践的な適用の成果も含めて研究すべきものと考えられている。

基礎と応用、あるいは理論と実践という二分法に

関しては、Stokes (1997) の「Pasteur の4つの象限」がよく知られている。科学的な研究内容を基礎と応用に区分する次元に基づく対立的な二分法(基礎と応用が次元の左端と右端に位置づく)の従来のとらえ方に対して、Stokes は2(科学の基礎的な理解を目指した研究とそうでない研究)×2(研究成果の実際的使用を考慮した研究とそうでない研究)の2次元で構成される4つのセル(彼にならって、以下ではセルを象限と記述する)を考え、それぞれの象限に分類される研究をおこなっている研究者を位置づけることで、科学研究をとらえることを提案した。

Stokes は、図1に見られるように、たとえば基礎的な理解を目指した研究でかつ研究成果の実際的使用に動機づけられていない研究の象限に含まれるような、「純粋に基礎的な研究」の象限に分類される研究者として、デンマークの理論物理学者である Niels Bohr をあげ、基礎的な理解を目指さない一方で、研究成果の実際的使用を考慮した研究の象限に分類される「純粋に応用的・実践的な研究」の象限には、米国の発明家でありかつ企業家として知られている Thomas Edison をあげている。なお、図1では、Stokes の原図の理解を生かすために、原図の説明をそのまま掲載した。図2も同様である。

Research is inspired by:

		Considerations of use?	
		No	Yes
Quest for fundamental understanding?	Yes	Pure basic research (Bohr)	Use-inspired basic research (Pasteur)
	No		Pure applied research (Edison)

図1. Stokes (1997) の科学研究の象限モデル

教育心理学の研究が目指すべきもっとも重要で意味のある研究として位置づけられるのは、図1の Pasteur の象限といえるだろう。この Pasteur の象限の特徴は、基礎的な理解に動機づけられた研究であり、かつ基礎研究で得られた成果の実際的使用を考慮した研究でもある。すなわち、Pasteur の象限は、基礎理論に基づく理解の成果を目指すとともに、応用的・実践的に使用可能な研究成果を志向した研

究として位置づけられている。Stokes (1997) 自身は、図1の Pasteur の象限が科学研究の領域において最も重要でかつ意味のある研究であるとはしていない。しかし、上述した倉石 (1971) に見られるように、教育心理学が教育の営みを支える心理学的な事実や法則を明らかにするという心理学の理論的な研究を目指すだけでなく、教育の営みを効果的に推進するための知見や技術の提供という実際の・応用的な成果を提供することをも目指す限り、教育心理学は単に理論の知見を探究するだけでなく、教育の実践に寄与する研究を指向することが望ましい。それ故、教育心理学の目指すべき研究の方向性としては、Pasteur の位置づけられた象限を目指すことが最も理にかなった研究の営みとしてとらえられてきたのである。

もちろん、再度指摘しておくが、図1の Pasteur の象限に含まれる研究を、Stokes (1997) 自身は科学研究にとって最も重要でかつ意味のある研究であるとはしていない。4分割のどの象限であっても、科学研究の営みとしてそれなりの意味を持っている。ところが、教育心理学を含むこれまでの多くの研究分野では、図1の Pasteur の象限に含まれる研究を最重要の科学研究として理解されてきた。

たとえば学習科学 (learning sciences) の分野の研究において、Klahr (2019) がいみじくも指摘しているように、教育心理学の研究分野と同様に、主に図1の Pasteur の象限が学習科学研究の分野において最も重要でかつ意味ある研究としてとらえられてきた。しかしながら、Klahr は、学習科学研究ではどの象限に対応する研究であっても、それぞれに意味のある研究としてとらえるべきものであると指摘している。特に、Stokes では空欄になっていた象限(「科学の基礎的な理解を目指していない研究」でかつ「成果の実際的使用に動機づけられていない研究」)に位置づけられる学習科学研究として、Klahr はたとえばさまざまな教室実践のメタ分析や教授方略の効果に関する評価研究などをあげ、それらの研究も学習科学研究にとって意味のある研究と考えている。

Klahr (2019) は図1の Pasteur の象限に関する学習科学研究の位置づけをさらに一歩進めて、Stokes (1997) の著書で記述されている図2の位置づけを科学研究の重要な位置づけとして言及している。

図2は Stokes (1997) の示している新たなモデル

である。Stokes によれば、図2は図1を修正したダイナミックモデルとしての位置づけである。図2は、図1の Pasteur の象限に見られる「実際的な使用に動機づけられた基礎研究」を中央に置き、その左右に Niels Bohr の象限である「純粋に基礎的な研究」と Thomas Edison の象限である「純粋に実際の・応用的な研究」を並べ、研究のスタートラインとして「理解を目指す研究」と「技術の開発を目指す研究」に分類された研究が、それぞれ独自の研究の個別的な進展と、それぞれが Pasteur の象限に見られる「実際的な使用に動機づけられた基礎研究」を目指して研究を推進させることを示している。その後、Pasteur の象限である「実際的な使用に動機づけられた基礎研究」はより発展・深化することによって、一層深化・改善された「純粋に基礎的な研究」あるいは「純粋に実際の・応用的な研究」となるのである。

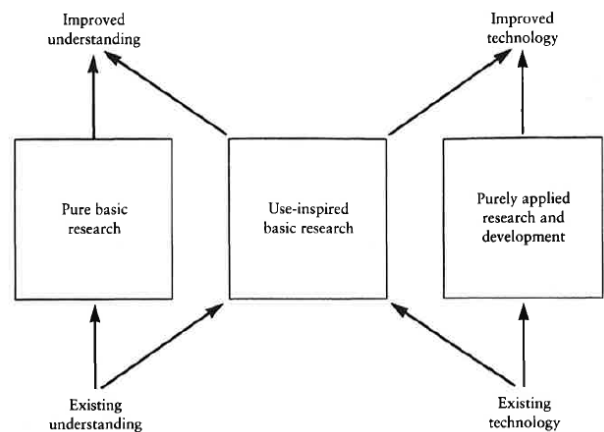


図2. Stokes (1997) の科学研究の象限モデルの修正モデル

このように、基礎的な理解を目指した研究であっても研究成果の実際的使用を考慮した研究であっても、その後の研究の継続・発展によって、基礎的な理解に動機づけられた研究がより改善された深い理解につながる研究にもなり、場合によっては成果の実際的使用としての実り豊かな研究へと化けることもある。一方、最初に成果の実際的使用に動機づけられた研究の場合も、研究を継続することによって研究内容の理解が進み、より改善された実際の・応用的な使用に益する成果を生み出す研究になり、他方では基礎的な研究のより深い理解へとつながるように研究内容が変化することもある。

図2から読み取れる大切なことは、研究をスタートさせることによって、当該の研究から得られた成果に満足せず、さらに研究を中断せずに継続し、研

究の目的・目標を明確にすることで、Stokes の Pasteur の象限を中継している研究も、さらなる深化を伴った基礎研究や応用研究に化けることが可能であるということである。

Stokes (1997) の 図2 を以上のように理解すると、計画・実施している研究を成り行きに任せきりにしては、研究の深まりを期待することはできない。基本的には純粋な基礎研究を目指すのか、あるいは純粋に応用的な実践的使用を目指した研究であるかについて、研究の目的・目標を明確にしなければならない。Klahr (2019) の指摘する学習科学と同様に、教育心理学もどの象限に位置する研究も重要であると考えよう。そのような状況の中で、基礎研究を目指すにしても、実践的な研究を目指すにしても、常に具体的な教育の営みを念頭において教育心理学の研究を遂行することが大切である。そのために、Stokes (1997) の Pasteur の象限を研究の基軸として、図2 に見られるようなその後の研究の成果に寄与する研究を志向しなければならないといえる。

再度指摘しておくが、Pasteur の象限を研究の基軸において研究することが大切であるとしても、まさに、「二兎を追う者一兎をも得ず」で、基礎研究の水準が低下し、かつ実践研究においても意味のある研究を遂行することが困難になることもある。教育心理学の研究目標を実際の成果の使用、たとえば基礎研究で明確にされた学習方略の開発であったとしても、教室で役立つ学習方略の成果を考えた場合、学習方略の効果に影響を与えるさまざまな要因を考慮することが求められる。取り上げた学習方略の効果があっても、すぐには当該の学習方略を教室場面で利用するというわけにはいかない。学習方略を使用する学習者の適性に加えて、学習方略に効果的に影響を与えるさまざまな要因を丁寧に分析し、当該の学習方略に影響を与える要因を特定することが必要である。このことは、学習方略の研究が当初の目的は応用的・実践的な使用であったとしても、基礎研究として位置づけることのできる研究の可能性を含んでいる。図2 の内容は、まさにこのようなことを指摘したものである。

このように、実施する研究の目標が基礎的な研究であったとしても、あるいは実際的な使用を目標とした研究であったとしても、教育の事象を改善することを志向した研究を継続することで Pasteur の象限に結びつき、当該のテーマに関する教育心理学

の理論を深めることも実践に結びつく研究を深めることも可能になる。

ただし、Pasteur にみられる理論と実生活に役立つ実用的な成果とは異なり、教育心理学では特に学校教育における理論と実践の研究が主だった研究である。その場合、教育心理学における心理学理論とその応用の結びつきは、知能検査の開発に見られるように、理論とその応用の相互作用あるいは理論とその応用の融合に、その特徴を見ることができる。

ところで、単線的な理論と応用といった概念の二分法に異議を申し立てた Stokes (1997) と同様に、Cronbach and Suppes (1969) は「理論的な結論を志向する研究」(conclusion-oriented inquiry; 以下では結論志向研究と呼ぶ)と「実際的な決定を志向する研究」(decision-oriented inquiry; 以下では、決定志向研究と呼ぶ)によって教育研究を区分した。「結論志向研究」とは、研究者自身の疑問や直観から派生した研究であり、他者の依頼等により研究を動機づけられたものではなく、疑問に答えるための研究である。他方、「決定志向研究」とは、学校の管理者や政策立案者のような教育の実践に関係する意思決定者から研究依頼を受け、依頼された関係者に対してその研究成果の情報をすぐにでも提供できるような研究を目指していることを意味している。そこで得られた情報は、教材の開発、学校経営のシステム改善、更には教授法の改善等の知見に直接役立つものである。

Cronbach and Suppes (1969) のこの2つの研究区分は、教育心理学研究というよりも教育の研究一般における区分であるが、教育心理学の研究においても適用可能性の高いものであるといえる。教育心理学の研究は、当該研究の基礎となる事実や原理を明確にし、それらを教育の営みに適用することが求められる。

では、「結論志向研究」と「決定志向研究」を上記のように理解するとき、現在の教育心理学の研究はどちらに分類されるであろうか。教育心理学の学術論文や学会の発表から判断すれば、教育心理学の研究はどちらかといえば「結論志向研究」に分類できるだろう。確かに、心理学の基礎研究といわれる知覚研究などと教育心理学の研究を比較すると、教育心理学には「決定志向研究」の要素が多分に含まれている。また、最近では教育の行政機関からの依頼に対して、いじめや不登校の対応に教育心理学の研究成果を直接伝えることで意思決定されることも

ある。しかしながら、まだまだいくつもステップを経なければ、教育心理学の研究成果は実践場面に適用できない状況にあると考えられる。

たとえば、効果的と言われる教授法の開発1つをとってみても、現在行われている授業に直接的には適用できず、学校臨床の場合と同様に、さらなる研究の深化が求められている状況にあるだろう。「結論志向研究」は単に理論的な研究の実を明確にするためだけの研究を目指しているのではなく、Pasteur の象限を経て、将来的には教育の場において研究成果を実践場面に適切に適用できるように、さらなる研究を実施するという、図2のダイナミックなモデルに記述されているより深化した研究を目指しているといえる。

3 子どもの算数問題解決を支える理論と応用

教育とは、子どものもっている潜在的な特性を、意図的な働きかけによって引き出すことである。算数問題解決を育むためには、このような意図的な働きかけが、子どもの算数問題を容易に解決できる手立てとならなければならない。

子どものもっている潜在的な特性には、認知、情意、あるいは精神運動など、さまざまな特性を指摘することができる。算数問題解決にとって、そのようなさまざまな特性の中でも、子どもの認知の特性が大きな比重を占めているといえる。

ところで、教育における意図的な働きかけとは、日々の授業を通して実践する教師の働きかけが、その大部を占めるといえるだろう。授業を通して子どもの特性を引き出すために用いる教師の意図的な働きかけとは、子どもが教科の内容を深く理解するために教師から投げかけられた実践的な問いかけである。それは、さまざまな理論に裏打ちされた教師の省察的な問いかけといってもよいだろう (Schon, 1983/2007)。すなわち、教師の省察的な問いかけとは、理論に裏打ちされた教師の実践的な問いである。理論に裏打ちされた教師の実践的な問いとは、算数問題解決の授業において、子どもの算数にかかる知識の獲得状況を的確に把握し、授業実践のやり取りの過程で発話する教師の直観的な知や理論に裏づけされた知の中身であるといえる。そこには、算数問題解決の理論とその応用とのやりとりが反映されている。

それでは、算数問題解決の理論とはいかなるものか。また、当該の理論に基づく効果的な応用・実践

はどのようなものか。

認知心理学における情報処理アプローチでは、通常、算数問題解決の過程を2つの下位過程に区分し、各下位過程で使用する知識とのかかわりの観点から、算数問題解決にかかる心理学の理論を構成している。ここでは、算数問題解決過程を算数文章題の解決過程ととらえ、算数文章題の解決過程の下位過程の特徴を、多鹿・中津 (2016) に従って簡潔に記述し、その後算数問題解決の理論に言及しよう。

算数問題の解決過程は、算数問題を理解する過程と解く過程に区分され、一般に、前者は算数問題の理解過程と呼ばれ、後者は算数問題の解決過程と呼ばれる (たとえば、Hinsley, Hayes, & Simon, 1977; Mayer, 1982; Paige & Simon, 1966; 多鹿, 1996)。算数問題の理解過程とは、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、かつ所与の文間の関係を理解することからなる。他方、算数問題の解決過程とは、理解した内容に即して立式を構成し、構成した式の演算を実行することからなる。算数文章題解決は、このように算数問題の理解過程と解決過程の2つの下位過程に区分される。

算数問題解決過程を上記のように理解過程と解決過程に区分する根拠として、各過程において利用される知識の種類の違いを指摘できる (たとえば、Lewis, 1989; Mayer, 1985; Mayer, Larkin, & Kadane, 1984; Polya, 1945/1954; 多鹿, 1996)。

算数問題の理解過程は、問題文として提示された各文を、言語的知識や概念的知識を使って問題文を理解する。また、理解された問題文をスキーマに貯蔵している論理・数学的な知識を使って、単に言語的な意味内容の理解に留まらず、何を求めているのか、どのような問題タイプであるのかといった、授業等で学習して貯蔵した算数・数学的な知識を使って言語的な知識の理解を深める。言語的知識とは、記述されている文章題の文章の意味の理解に関係する知識である。概念的知識とは、たとえば100cmが1mであることを知っているという知識である。また、ここで述べる論理・数学的な知識とは、学習者が授業を通して経験的に営々と築いてきた算数・数学に関する知識といえる。

また、算数文章題の解決過程では、解決のための適切なプランを立て、プランにあった解決方略を選択するための知識を必要とする。与えられた算数問題がどのような問題タイプであり、何を求めるのか

が理解できることで、どのような立式を立てるかのプランが形成されるのである。また、実際に演算を適用するためのアルゴリズムの知識である手続き的知識もここでは必要とされる。こうして正しく式を立て、誤りなく演算することで算数問題を解くことが可能となる。

このように算数問題解決過程で必要とされる知識をみたとき、算数文章題の理解過程で必要とされる知識は、一般に宣言的知識と呼ばれる。また、算数文章題の解決過程で必要とされる知識は、立式を構成する方略的な知識である宣言的知識、プランを立てるメタ認知的知識、あるいは立式を正しく解決するために必要とされる手続き的知識が複合的に利用されるといえる。

算数問題解決過程において、算数問題が適切に解けるかどうかを説明する知識の利用に関する理論として、通常は子どもの有する論理・数学的知識の発達に説明の基礎をおく理論と、子どもの言語知識の発達に基礎をおく理論の2つの理論を指摘することができる。

論理・数学的知識の発達は、Inhelder and Piaget (1964) による算数における数理解のための知識の発達に理論的な根拠を置く。Inhelder and Piagetによれば、数概念の発達は子どもの獲得する論理の発達と密接に関係し、クラスの包摂化や系列化に見られる関係概念の知識が、年齢の増加に伴って徐々に形成されていくと考えられる。それ故、算数問題解決において、たとえば、部分-全体の関係に関する知識や一対一の対応関係を適切に理解している児童生徒は、部分-全体の関係を把握するために必要とされる知識や一対一対応に関する知識を十分に理解していない児童生徒に比べ、算数問題解決の意味理解に優れている故に、問題を正しく解決できるといえる。

他方、子どもの言語知識の発達に基礎をおく理論では、子どもが算数を適切に解決できないのは、子どもの有する問題スキーマにすぐに取り入れることのできない問題内容や文章の表現を提示されることにあるとする(たとえば、Cummins, 1991; Cummins, Kintsch, Reusser, & Weimer, 1988; Nathan, Kintsch, & Young, 1992; 多鹿・山本, 1990)。

たとえば、算数問題解決を言語知識の発達に基礎をおく理論によって説明されるよく知られた例として、Hudson (1983) の「とりとむしの関係」を示した文章題をあげることができる。幼稚園児と小学

1年生に「とりが8わいます。むしが5ひきいます。とりはむしよりいくら多くいますか。」の問題を与えたときに、幼稚園児の正解率はわずか25%で、小学1年生の正解率が64%であった。しかし、問題文を「とりが8わいます。むしが5ひきいます。1わのとりが1ぴきのむしをたべるとしたら、なんわのとりがむしをたべることができませんか。」と算数問題文の構造は同じであるが表現を変えて与えたところ、幼稚園児でも96%の正解率をみた。また、小学1年生は100%の正解率であった。このように、算数問題文の意味の構造は変えずに表現を変えたとき、算数問題解決の成績に変化が認められた。

また、多鹿 (1996) では、小学校6年生に教科書に記述された割合の算数文章題に加えて、当該の文章題と同一の構造を有する割合の文章題を提示して解かせた。教科書の割合文章題は、「ひさ子さんの町から月見がおかへ行くには、全体の $\frac{3}{4}$ は電車に乗り、その残りの $\frac{2}{3}$ はバスに乗り、後の2kmは歩きます。月見がおかまでは全体で何kmあるでしょう。」であり、小学6年生の担任の教師とともに作成した自作の割合の文章題は、「バスケットボールの大会で全体の $\frac{3}{4}$ はてるあき君が得点し、その残りの $\frac{2}{3}$ はやすお君、後の2点はたかのり君としんじ君がいました。全部で何点はいったでしょう。」であった、自作問題は教科書問題の文章表現のみを変えたものであり、子どもの名前やバスケットボールは、子どもにとってなじみのあるものであった。このような2種類の割合文章題を用意して子どもに解かせたところ、教科書問題が解けた6年生の割合は35%であったのに対して、自作問題が解けた6年生の割合は70%であった。このように、自作問題は教科書問題の2倍の割合で正しく解くことができた。このことから、小学生には難しいとされる割合の概念も、問題文の表現を子どもにとって容易に理解のできる親しみのある身近な出来事に変えることにより、子どもの有する割合の論理・数学的知識を適切に活性化できることを示している。

子どもの言語知識の発達に基礎をおく理論も、上記の論理・数学的知識の利用を否定するものではない。しかしながら、子どもの有する問題スキーマは、授業で学習した教科書に記述された体系立てた論理・数学的知識ではなく、与えられた問題文を理解するために容易に活性化される子どものスキーマに取り入れられている論理・数学的知識である。言語知識の発達とは、体系立てられた算数問題解決

の論理・数学的な知識の貯蔵とは異なり、日常生活の中でさまざまな学習体験を経ることによって子どもの言葉で翻案されて貯蔵されている論理・数学的な知識と言い換えることができるだろう。

このように、子どもが算数問題を解決するとき利用する知識の種類に関する理論として、子どもの有する論理・数学的な知識に説明の基礎をおく理論と、子どもの言語知識に基礎をおく理論の2つの理論を簡潔に説明した。算数問題解決を説明する理論としては、子どものスキーマに貯蔵される論理・数学的な知識の発達であるだろう。しかしながら、後者の言語知識に関しては、難問題とされる解くことのできなかつたさまざまな算数問題も、子どもの有する論理・数学的な知識が利用可能な言語に表現し直すことによって、多くの子どもが解けるようになる。

算数問題解決を説明する基礎理論として、論理・数学的な知識の発達と言語的知識の発達の2つの理論を取り上げたが、これら2つの発達の背後には、メタ認知の発達が共通して含まれることを指摘しておこう。

メタ認知は認知についての認知を意味する概念である (Flavell, 1979/1981)。子どもの有する論理・数学的な知識では、子どもが部分-全体の知識の問題に適用するとき、どちらが部分でどちらが全体であるかを、問題文の意味内容の理解に従って、自己内省的な判断を的確に下す必要がある。また、言語的な知識を利用することで記述されている算数概念の表現を理解しようとするとき、子どもの有する言語理解のスキーマを活性化することが必要とされる。子どもは算数問題の内容を理解するために、「この算数表現はどのような意味であるか」、「このような解釈は当該の内容に適用可能か」といったメタ認知を活性化させなければならない。それ故、論理・数学的な知識を発達させる場合も、論理・数学的な知識を身近な具体例によって分かりやすい言葉でとらえ直した言語的知識の活性化による場合も、ともにメタ認知の活用が算数問題解決を育む重要な要因と考えられる。

算数問題解決の理論に従って、算数の問題解決にメタ認知を具体的に適用することで、算数問題解決を育んだ研究例として、メタ認知方略を利用した実践的研究を以下で簡潔に示そう。

自己説明 (self-explanation) はメタ認知方略の1つとして、算数問題解決でよく使用される方略である。自己説明とは、元来は 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メタ認知方略として、多くの研究で利用されてきた。メタ認知方略としてよく知られている具体的な方略には、自己説明のほかに、学習内容を要約する、質問する、あるいは明瞭化するなど、さまざまな方略を指摘することができる。学習内容の要約や質問は、自己説明と同じく提示された文章内容を理解するときによく使用するメタ認知方略である。

文章内容の理解にかかる自己説明を、算数問題解決の理解や解決に利用するメタ認知方略として使用する大きな理由の1つは、算数問題解決を説明する論理・数学的な知識と言語的知識の活性化にあるといえる。自己説明により問題解決の過程を自分の言葉で説明することによって、子どもはスキーマを再構成することとなり、結果的に自分のもつ論理・数学的な知識と言語的知識を共通して活性化させることができるようになるといえる。すなわち、算数問題を解決するとき、所与の算数問題の内容を自己説明することで、既知の知識と問題に含まれる内容とを照らし合わせて推論しかつ統合することによって理解したり、あるいは算数問題の内容をモニタリングしコントロールすることで、算数問題の正しい解決に向けてスキーマの再構成をおこなうのである。

たとえば、Tajika, Nakatsu, Nozaki, Neumann, & Maruno (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。」という算数問題を解かせた。この問題は、割合の代表的な問題といえるもので、小学6年生にとって難しい問題の1つである。

自己説明の群の子どもには、上記の問題の解決過程をいくつかの解決ステップに区分したものを冊子にして渡し、それぞれの解決ステップの意味を1つずつ自己説明させた。たとえば、「1分間では、Aのせんだけを開くと、水そう全体の1/10の割合だけ水がたまります。」の解決ステップを提示して、子どもにどのような意味かを説明させた。その結果、多くの子どもは「わかりません」や「説明のとおりです」といった、提示された解決ステップを自分の言葉で推論して説明することはできていなかった。このような自己説明ができていない子どもに対し、ごく少数の子どもは「10分で水そうの水がいっぱい

になるから、1分では1/10だ」と説明した。このような自己説明は、まさに提示された問題文の内容を適切に推論することで、子どもの知識を再構成したといえるだろう。つまり、割合に関する既存の論理・数学的な知識を、自分の言葉に翻案することで、問題解決に適用可能な活きた論理・数学的な知識に変換し直したといえるであろう。このような説明を行った子どもは、その後実施された別のタイプの割合に関するテスト課題に対しても、適切に解答していたことはいうまでもない。

4 結論と今後の課題

本論文では、本研究の目的は、①教育心理学における心理学理論とその応用研究の結びつきを、Stokes (1997) の「Pasteur の4つの象限」並びに Cronbach and Suppes (1969) の「理論的な結論を志向する研究 (conclusion-oriented inquiry)」と「実地的な決定を志向する研究 (decision-oriented inquiry)」という二分法の研究を取り上げることで、教育心理学における理論とその応用研究は相互に密接に補完しあうことを確認し、②教育心理学の研究例の1つとして子どもの算数問題解決を取り上げ、算数問題解決を育むために提案された理論と、その理論に基づく応用研究を簡潔に展望し、子どもの算数問題解決を育むための理論に基づく応用研究によって、子どもの算数問題解決が効果的に育まれることを明確にした。

後半の②に関して、子どもの算数問題解決を育む理論として、論理・数学的な知識と言語的な知識の2つの知識による理論を取り上げ、それらの知識を活性化する応用研究としてメタ認知方略としての自己説明による算数問題解決の研究を簡潔に展望し、適切な自己説明をおこなうことのできる子どもは算数問題解決も適切に解けることを示した。このような研究を背景にして、本研究では、算数問題解決の理論とその応用の実際問題への適用は、理論と応用が相互に融合しあうことを明確にした。

教育心理学における理論とその応用研究の関係は不即不離の関係にある。科学的に明確にされた理論はそれだけでは子どもの学習を改善する実践とはならず、また一方で「こうすれば、子どもの学習は改善される」といったたぐいの実践例のみによる法則化の提案では、教育心理学の理論とその応用研究とはならない。今後の課題として、理論に裏打ちされた応用研究を目指すことが、子どもにとって最も効

果的な成果を生み出すことになるだろう。本研究の結論として、Siegler, Fazio, and Pyke (2011) が指摘した「よい理論ほど実践的な研究はない」を参考にし、「There Is Nothing So Practical As A Good Theory of Children's Mathematical Problem Solving」(子どもの算数問題解決を促進することを適切に説明する理論ほど、実践的な理論はない)を強調しておこう。

5 引用文献

- 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.
- Cronbach, L.J., & Suppes, P. (1969). *Research for tomorrow's schools: Disciplines inquiry for education*. Washington, DC: National Academy of Education.
- Cummins, D.D. (1991). Children's interpretations of arithmetic word problems. *Cognition and Instruction*, 8, 261-289
- Cummins, D.D., Kintsch, W., Reusser, K., & Weimer, R. (1988). The role of understanding in solving word problems. *Cognitive Psychology*, 20, 405-438.
- Flavell, J.H. (1979). Metacognitive and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906-911.
- (波多野誼余夫 (監訳) (1981). 子どもの知的発達 メタ認知と認知的モニタリング (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. 89-106). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hudson, T. (1983). Correspondences and numerical differences between disjoint sets. *Child Development*, 54, 84-90.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1964). *The early growth of the child*. New York: Harper & Row.
- Klahr, D. (2019). Learning sciences research and Pasteur's quadrant. *Journal of the Learning Sciences*, 28, 153-159.

- 倉石精一 (1971). 教育心理学とは何か 倉石精一・苧阪良二・梅本堯夫 (編) 教育心理学 (pp. 1-15) 新曜社
- Lewis, A.B. (1989). Training students to represent arithmetic word problems. *Journal of Educational Psychology*, *81*, 521-531.
- Mackintosh, N.J. (2011). History of theories and measurement of intelligence. In R.J.Sternberg & S.B.Kaufman (Eds.), *The Cambridge handbook of intelligence* (pp. 3-19). New York, NY: Cambridge University Press.
- 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). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- 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.
- 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.
- Polya, G. (1945). *How to solve it*. Princeton, NJ: Princeton University Press. (ポリア, G. (柿内賢信 (訳)) (1954). いかにして問題を解くか 丸善)
- Siegler, R.S., Fazio, L.K., & Pyke, A. (2011). There is nothing so practical as a good theory. In J.P.Mestre & B.H.Ross (Eds.), *The psychology of learning and motivation: Cognition in education* (Vol. 55, pp.171-197). San Diego, CA: Academic Press.
- Schon, D.A. (柳沢昌一・三輪建二 (監訳)) (1983/2007). 省察的实践とは何か—プロフェッショナルの行為と思考— 鳳書房
- Stokes, D. (1997). *Pasteur's quadrant: Basic science and technological innovation*. Washington, DC: Brookings Institution 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・中津樞男 (2016). 児童の算数問題解決におけるメタ認知方略使用の活性化 神戸親和女子大学大学院研究紀要, *12*, 1-10.
- 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.
- 多鹿秀継・山本克仁 (1990). 算数文章題解法に与える文章表現の影響 I 愛知教育大学教科教育センター研究報告, *14*, 181-188.