

# 数学的問題解決授業における メタ認知的知識についての一考察

愛知教育大学 高 井 吾 朗

## 1. はじめに

これまでの数学教育におけるメタ認知研究は、「推進力」(Silver, 1985)が示すとおり、認知的活動を促進するものとして扱われてきている。そして、数学的問題解決の過程に焦点があてられ、問題解決を成功させるための1つの手法として用いられてきている。

このことから、これまでの数学教育におけるメタ認知研究では、その機能の中で動的な側面であるメタ認知的技能が重要視されてきたと推測される。では、静的な側面であるメタ認知的知識の数学教育における位置づけ、もしくは、意味とは何なのであろうか。

このような課題意識のもと、本稿ではメタ認知の定義を先行研究より概観し、メタ認知的知識とメタ認知的技能（モニタリング、コントロール）を詳細に捉え、その定義をもとに数学的問題解決授業におけるメタ認知的知識について考察を行い、数学教育におけるメタ認知研究の意義を示すことを目的とする。

## 2. メタ認知の定義

メタ認知という語の定義は、Flavell(1979)と Brown(1978)によって始まっている。この見解は、心理学、数学教育のどちらにおいても共通している。そして、広義な定義としては、「認知についての認知(cognition about cognition)」(Flavell, 1981, p.37)である。また、Flavell(1979)と Brown(1978)は両者ともにメタ認知を2つの成分に分けて定義している。それは「知識成分」と「活動成分」(三宮, 2008, p.7)であり、Flavell(1979)は知識成分を、Brown(1978)は活動成分をより精緻化している。

成分の精緻化の違いは、そもそも両者が何に関心をもっていたかの違いから来ており、「フラベルは生粋の発達心理学者で、元々教育には殆ど関心を示さない。(中略)これに対して、アン・ブラウンの方は、はじめからはっきりと教育への強い関心を示している」(波多野, 1984, p.iii)という違いがある。このような関心の違いにより、Flavell は、子どものメタ認知がどのように発達していくのかを調べるために、メタ認知的知識の獲得という知識成分に焦点をあて、Brown は子どものメタ認知的活動（メタ認知的調整、メタ認知的技能）(以下、メタ認知的技能と統一)をうながすには、どのような働きかけが有効かという活動成分の問題に焦点をあてている (三宮, 2008)。

### 2.1 知識成分

それぞれの定義を概観すると、まず、Flavell(1979)は「認知的モニタリングのモデル(a model of cognitive monitoring)」(p.906)を「メタ認知的知識(metacognitive knowledge)」, 「メタ認知的経験(metacognitive experience)」, 「目的（もしくは課題）(goals(or tasks))」, 「行動（もしくは方略）(actions(or strategies))」の4つの要素で構成している。この4つ

の要素は、全てメタ認知にかかわる要素であり（目的、行動については、認知的とメタ認知的の両方が示されている）、「モニタリングはこれら 4 つの要素の機能が制御されている状態のことを指す」（金城, 2008, p.25）。また、メタ認知的知識には主たるカテゴリーとして、「人(person)」、「課題(task)」、「方略(strategy)」（Flavell, 1979, p.907）がある。

このメタ認知的知識の 3 つの主たるカテゴリーは、さらにサブカテゴリーがあり、人カテゴリーでは、「認知の個人内の相違、個人間の相違、普遍的特性の信念」（p.907）に分けられる。言い換えれば、「個人内での認知特性についての知識」、「個人間の比較に基づく、認知的な傾向・特性についての知識」、「人間の認知についての一般的な知識」（三宮, 2008, p.8）である。次に、課題カテゴリーは、認知的営み(enterprise)の間に利用できる情報に関するメタ認知的知識と、課題で何が要求され、何が目標かということに関するメタ認知的知識に分類されている。そして最後に、方略カテゴリーは、目標達成に関するストラテジーに関するメタ認知的知識であり、どういう方略なのか、その方略をどこで、いつ、どう使うのか、何故今、ここで使うのか、などのストラテジーに関するメタ認知的知識がここに含まれている。

このように分類されるメタ認知的知識であるが、Flavell(1979)は、メタ認知的知識が実際にはそれぞれが相互作用や組み合わせっていると指摘しており、組み合わせの例として、「（兄弟と違って）私は、（課題 Y と比べて）課題 X に、（ストラテジー B ではなく）ストラテジー A を用いる。」（p.907）を挙げている。そして、メタ認知的知識の特性として Flavell(1979)は、以下のように説明している。

有効なストラテジーなどを、記憶を辿りその気になってさがす結果として、メタ認知的知識の一部が活性化されるかもしれない。他方、確かにもっと一般的には、課題状況にある検索も、それはそれ自体が意識にのぼることなく、認知的営みの過程に影響をあたえるかもしれないし、おそらくは影響しているのであろう。（中略）メタ認知的知識によって、認知的課題や目標やストラテジーを、それら相互の関係や、本人のその認知的営みに関する能力や興味などを考慮しつつ、選択し、修正し、棄却することができる。

（Flavell, 1979, pp.907-908）

## 2.2 活動成分

次に、Brown(1978)は、知識成分については Flavell のメタ認知的知識の分類を用い、活動成分については「計画(planning)」、「モニタリング(monitring)」、「調整(regulation)」の過程を定義している。また、「Brown は、予測、計画立案、点検とモニタリング、訓練において、おのおの実証実験に基づいてメタ認知についての考察を行っている点が卓越している」（金城, 2008, p.28）。

この活動成分における、モニタリング、調整（コントロール）について丸野(2007)は、モニタリングはメタレベルが対象レベルから情報を得ることであり、コントロールとはメタレベルが対象レベルを修正することであると述べている(p.193)。また、Flavell(1979)のメタ認知的経験は、この活動成分にあたるものであり、メタ認知的経験とはメタ認知的知識

が意識にあがってきたものと定義しているが、その程度には差があるとも指摘している。また、認知的モニタリングは問題を解決するまで幾度も行われるものであり、メタ認知的経験も繰り返されるものであるとしている。このことから三宮(2008)は、「もしメタ認知的知識が誤っていれば、メタ認知的活動は不適切なものになりかねない」(p.11)ということ、及び、「メタ認知的モニタリングとメタ認知的コントロールは、循環的に働くと考えられ(中略)メタ認知的モニタリングが不正確である場合には、メタ認知的コントロールは不適切なものになりがちである」(p.11)と指摘している。

### 2.3 メタ認知の定義の捉え

この両者の定義は、知識成分と活動成分の両方によって定義されている。また、どちらの成分をより精緻化しているかという違いから、両者の定義を違うものとも考えることもできるが、Brown は知識成分を Flavell のメタ認知的知識を用いていることから、両者の定義を合わせてメタ認知の定義と考えるのが一般的である。このことから、メタ認知の定義は、「メタ認知的知識」(人、課題、方略カテゴリー)と「メタ認知的技能」(モニタリング、コントロール)という2つの成分をもつものと捉えられよう。

この2つの成分については、「メタ認知的知識には三つの側面(宣言的知識、手続き的知識、条件的知識)での気づきが重要である」(丸野, 2007, p.193)という指摘や、「子どもの問題解決の位相に合わせて、行為前・中・後のメタ認知過程を識別し、行為別モニタリング段階、行為中モニタリング段階、および行為後モニタリング段階と呼んでいる」(p.195)など、Flavell と Brown の定義に基づき、さらなる精緻化や拡大解釈がこれまでの心理学に関わる研究で行われてきている。つまり、最近のメタ認知研究では、それぞれメタ認知の解釈が違っているが、その根本には Flavell と Brown のメタ認知の定義があると考えるのが妥当であり、本研究においてもメタ認知の定義として、両者の定義をもとにすべきであろう。

### 3. 数学的問題解決授業におけるメタ認知的知識

Flavell と Brown のメタ認知の定義は、メタ認知的知識とメタ認知的技能という2つの要素によって構成されているため、本節において、数学的問題解決授業(以下、「授業」と略記)におけるメタ認知を考察するときも、2つの要素に分けて考察していく。

では、授業において機能するメタ認知的技能や、その際に参照されるメタ認知的知識とはどのようなものであろうか。授業における認知的活動に対するメタ認知的技能の役割は、問題解決のためであろう。このことに対して加藤(1999)は、「問題解決が成功的に進むようなメタ認知」(p.113)として、「工夫」、「注意」、「確認」、「修正」の4つの役割を提示しており、その内容は以下のとおりである。

『工夫』のメタ認知；解決をうまく進めるために、新たな活動を行うことを決定すること。  
『注意』のメタ認知；自分の活動が横道にそれないように監視しながらその活動を行うこと。  
『確認』のメタ認知；直前に行った活動を見直すこと。

『修正』のメタ認知；これまでの活動を反省し，その活動を中断して，他の活動を考えること。  
(加藤, 1999, p.114)

加藤(1999)は，この4つをメタ認知と捉えているが，これらは全てメタ認知的技能のサイクルによって規定されていることから，本稿では，これらを授業におけるメタ認知的技能の役割として捉えることとする。そして，此处では，これらのメタ認知的技能が機能する際に，どのようなメタ認知的知識が参照されるのかを，カテゴリー（人，課題，方略）ごとに考察していくこととする。

まず，授業においてメタ認知的技能が機能するときに参照されるメタ認知的知識（以下，授業において参照されるメタ認知的知識）とは，どのようなものであろうか。平林(1986)は，数学の教授・学習についてのメタ認知的知識として，「問題ないしは対象についての判断」，「数学を使う自分についての判断」，「数学の使い方についての知識」を挙げており，この区分は Flavell の区分（上記の順に「課題」「人」「方略」に対応）に近いと述べている。しかし，この分類は，全ての授業に関するメタ認知的知識を挙げているわけではなく，いくつかの具体例として挙げられたものである。故に，此处では，全てのメタ認知的知識を分類し，それぞれについて考察していく。

### 3.1 人カテゴリー

まず，メタ認知的知識の人カテゴリーとは，個人内に関すること，個人間に関すること，及び，人の普遍的特性にさらに分類される。授業における個人内に関することとしては，「算数/数学の問題を解くのが，私は得意/苦手だ。」といった，自分自身の算数/数学に対するものを挙げることができ，自分の信念，可能性というものが含まれよう。個人間に関することは，教師と自分の間にある信頼関係，子ども同士（自分とクラスメート，クラスメート同士）の相対評価と関わりがあるものが挙げられるであろう。そして，人の普遍的特性については，「人は目的が明確だと最後まで諦めない」など，教訓と呼ばれるものに近いものが挙げられよう。

このように，授業において参照される可能性がある人カテゴリーのメタ認知的知識を挙げたが，これらは，授業においてのみ参照される知識というわけではないことがわかる。例えば，「自分は勉強が好きだ」というメタ認知的知識（自己内に関する）は，授業においても参照される可能性があるものだが，それ以外のところでも参照されるものである。故に人カテゴリーのメタ認知的知識とは，一般生活と関係深いものとして捉えておくべきであろう。

### 3.2 課題カテゴリー

次に，課題カテゴリーについては，認知的営み(enterprise)の間に利用できる情報に関するメタ認知的知識と，課題で何が要求され，何が目標かということに関するメタ認知的知識にさらに分類される。授業における課題とは，大きく分けると単元が挙げられ，さらにその単元内での文章題，現実の問題などに分類される。このことから，例えば，幾何の課題に対しては，「幾何の課題は面白い/退屈だ」というものが，前者のメタ認知的知識とし

てあてはまり、「三角形の面積を出すには、高さを出すことが求められる」というものが後者にあてはまると考えられる。

このように課題カテゴリーのメタ認知的知識とは、そのときの課題という事象に依存するものであると考えられる。このことにより、授業において課題カテゴリーのメタ認知的知識が参照される場合、授業のみで参照されるメタ認知的知識になりやすい可能性が高いということが考えられる。だが、子どもによっては課題というものを「教師から与えられるもの」というとても広い意味で認識している場合もあるであろう。このような認識をする子どもというのは、今がどういう時間なのか、ということよりも、目の前にあるものが教師と自分との関係という人カテゴリーに関するものとして認識されているのでは無いだろうか。つまり、その課題に対して、参照すべきカテゴリーのミスが起きているという仮説であり、今後メタ認知的技能と絡めて考えたいと思う。

### 3.3 方略カテゴリー

最後に、方略カテゴリーについてだが、まず、授業におけるストラテジー（方略）を、「汎用性を有する解決のための方策」（清水, 1996, p.60）と捉えることとし、具体的には「パターンを探す」、「リストをつくる」、「推測して検討する」、「図をかく」（p.60）などが挙げられる。そして、このような方略に対して、いつ、どのように、何故その方略を使うのかという非常に多様なものが方略カテゴリーにあてはまる。故にその精緻化のため、方略カテゴリーのメタ認知的知識は、さらに、「宣言的知識：どのような方略か」、「手続き的知識：その方略はどう使うのか」、「条件的知識：その方略はいつ使うのか、なぜ使うのか（どのような効果があるのか）」（三宮, 2008, p.9）にさらに分類されている。

まず、宣言的知識に類するものは、方略の内容そのものに関するものである。故に、その方略が数学に固有であるならば、その宣言的知識も数学に固有なものになりやすいと考えられる。次に、手続き的知識については、実際にその方略を用いる際に参照されるものである。言い換えれば、その方略を用いる際に注意すべきことに関するものであり、例えば、「図をかく」という方略に対して、定規を用いてかく、フリーハンドでかく、ということが挙げられる。故に手続き的知識は、授業で参照されるが、授業のみで参照されるものではないと、捉えておくべきであろう。最後に条件的知識については、その方略を使う条件に関するものであり、課題と密接な関係にあるものと考えられる。つまり、その状況に合った方略を選択することに関するものであり、その状況とは、授業においては課題を解くということに他ならないということである。では、この条件的知識は、課題カテゴリーに関するものなのかについては、「方略は、重要な「トラブルシューティング」であり、しばしば意識的に適用され共有されるが、好んでよく使われる方略は自動化され、さまざまな課題に転移されるようになる」（バーンズ他, 2006, p.275）ということからも、課題と方略とは関係しあうものであり、課題カテゴリーと方略カテゴリーのメタ認知的知識も関係しあうものであると考えるべきであろう。そして、方略カテゴリーの中でも条件的知識が課題カテゴリーに関係していると考えられる。

### 3.4 数学的問題解決授業におけるメタ認知的知識

此处までの考察をまとめると、以下のようにまとめることができる（図1）。

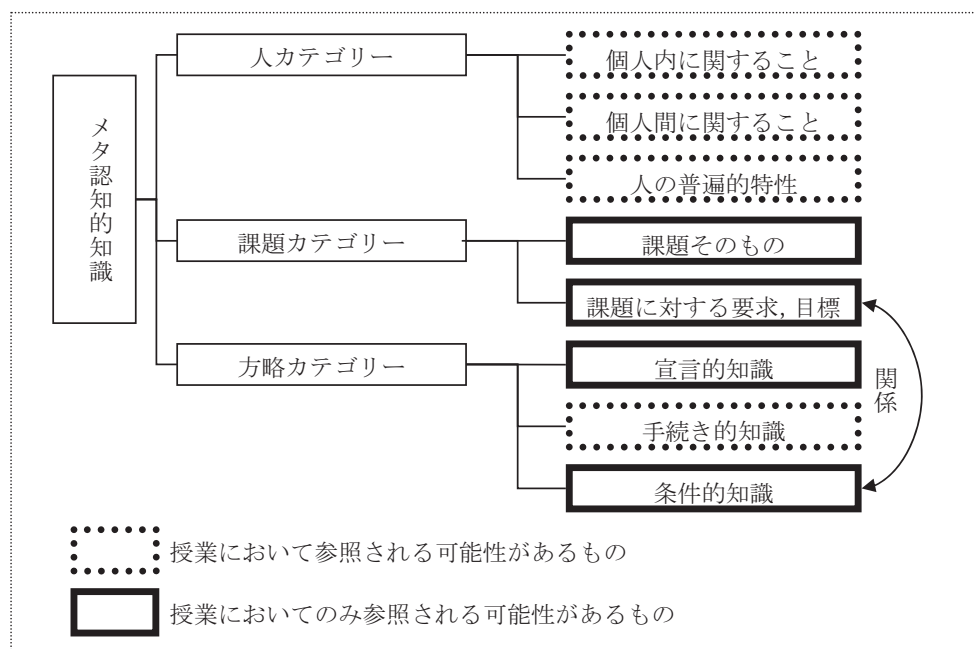


図1 数学的問題解決授業と関連するメタ認知的知識

（三宮, 2008, p.9 の「図 1-1 メタ認知の分類」を改編）

これらのことから、授業におけるメタ認知的知識は、授業において参照される可能性のあるものと、授業においてのみ参照される可能性のあるもの、の2つに分類されるであろう。そして、授業において参照される可能性のあるものに分類されるメタ認知的知識は、他教科においても参照される可能性がある。つまり、他教科でも獲得、もしくは、修正されるメタ認知的知識であるということである。このことから、授業においてのみ参照される可能性のあるものに分類される、課題カテゴリー、方略カテゴリーの宣言的知識と条件的知識に焦点をあてることで、数学教育に固有なメタ認知研究へとその歩みを進めることができるのではないだろうか。勿論、授業において、全てのメタ認知的知識が関わり合いながら参照されることを無視することはできず、実際の授業を観察、または実践をする場合には、どのメタ認知的知識に重点を置くかを留意すべきであろう。

また、方略に関する理論として、子どもは、まず宣言的知識を発達させ、次に、手続き的知識を理解し、最後に条件的知識を理解する(バーンズ, 2006, pp.275-276)ということから、条件的知識に類するメタ認知的知識とは非常に高度な内容が含まれると考えられる。故に、課題に対する要求、目標に類するメタ認知的知識と条件的知識に類するメタ認知的知識が関係するという仮説は、熟成したメタ認知的知識をもつ子どもの中でのみ関係する



ことなのかもしれない。

#### 4. 数学教育におけるメタ認知的知識

メタ認知的技能とメタ認知的知識の関係は、相互作用しあうものであり、メタ認知的知識は、メタ認知的技能が機能するなどの経験の結果が蓄積されてきたものである。また、Flavell(1979)の説明から、メタ認知的知識とは、意識する、しないに関わらず認知的活動に影響を与え、方略を取捨選択するものである。

このことから、授業においてのみ参照される可能性があるメタ認知的知識とは、授業においてのみ獲得、修正されるものであり、数学の知識・技能に対しても強く影響を与えるものであると考えられるであろう。このようなメタ認知的知識の中で、まず課題カテゴリーのメタ認知的知識とは、課題の内容、要求、目標に関するものが含まれることから、課題解決のための計画において参照されるであろう。このメタ認知的知識は、「算数の力」(長崎, 2007, p.14)のひとつとして挙げられている「現実の問題を算数の問題に直す力」を支えるものと捉えることができるのではないだろうか。つまり、ある課題から数学を抽出するという活動という、「数学化サイクル」(OECD, 2004, p.29)の現実世界の問題から数学的問題へと変容させる、矢印の活動を支えるものが、課題カテゴリーのメタ認知的知識いうことである。

同じように、方略カテゴリーのメタ認知的知識は、方略に対する付加的な要素を含むものであり、「算数を使う力」、「算数で表す力」(長崎, 2007, p.14)を支えるものと捉えることができよう。そしてそれは、数学化サイクルの数学的問題から数学的解答へと進ませるための支えでもある。これらのことから、現在子どもに求められる、数学的な考え方、数学化サイクルの一端を担い、その支えとなるものが、授業においてのみ参照されるメタ認知的知識であると言い換えることができると考えられる。

以上のことから、数学的問題解決においてまわるメタ認知的技能を通して獲得、もしくは修正されるメタ認知的知識とは、数学教育において求められる力の下地をつくるものである。故に、メタ認知を育成(メタ認知的技能の向上、メタ認知的知識の増加、質の高まり)することは、数学教育において重要な意味をもち、数学教育におけるメタ認知研究の意義は、此处にあると考えられる。

#### 5. 結論と今後の課題

本稿では、メタ認知の側面の中でも、メタ認知的知識に焦点をあて、数学的問題解決授業において、メタ認知的技能が機能する際に参照される可能性があるメタ認知的知識を考察した。その結果、授業において参照される可能性があるメタ認知的知識は、授業において参照される可能性があるものと授業においてのみ参照される可能性があるものに分類された。そして、授業においてのみ参照される可能性があるものは、授業においてのみ獲得、もしくは修正される可能性があるものであり、その役割は、数学的な考え方、及び、数学

化サイクルの一端の下地になるものであるという結論を得た。

今後は、現在子どもが身につけるべき、数学の力をより具体的に分析し、それらの力に対して、メタ認知がどのように機能し、どのような役割を果たすのかを、詳細に捉えることで、さらに、メタ認知研究の数学教育における意義と意味を示していきたい。

## 引用・参考文献

- Brown, A. L. (1978) Knowing When, Where, and How to Remember: A Problem of Metacognition. In Glaser, R. (ed.), *Advances in instructional psychology vol.1*, Hillsdale, N. J. Lawrence Erlbaum Associates, pp.77-165.
- Flavell, J. H.(1979) Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive-Developmental Inquiry, *American Psychologist*, Vol. 34, No. 10, pp.906-911.
- Flavell, J. H.(1981) Cognitive Monitoring, In Dickson. (ed.), *Children's Oral Communication Skill*. Academic Press. pp.35-60.
- Silver, E. A.(1985) Research on Teaching Mathematical Problem Solving: Some Underrepresented Themes and Needed Directions. In Silver (ed.), *Teaching and Learning Mathematical Problem Solving: Multiple Research Perspectives*. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- OECD(2003)国立教育政策研究所監訳『PISA2003年調査・評価の枠組み』, ぎょうせい
- 加藤久恵(1999)『数学的問題解決におけるメタ認知の機能とその育成に関する研究』, 広島大学学位論文(教育学)
- 金城光(2008)「メタ記憶の理論とモデル」, 清水寛之編著『メタ記憶 記憶のモニタリングとコントロール』, 北大路書房, pp.23-40
- 三宮真智子(2008)「メタ認知研究の背景と意義」, 三宮真智子編著『メタ認知 学習力を支える高次認知機能』, 北大路書房, pp.1-17
- 重松敬一(1990)「メタ認知と算数・数学教育—「内なる教師」の役割」, 平林一栄先生頌寿記念出版会編『数学教育学のパースペクティブ』, 聖文社, pp.76-107
- 清水紀宏(1996)「数学的問題解決における方略的能力に関する研究(V)」, 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』, 第2巻, pp.59-68.
- 長崎栄三(2007)「序章 算数の力」, 長崎栄三, 滝井章編著『算数の力を育てる 第3巻 算数の力—数学的な考え方を乗り越えて—』, pp.13-16
- バーンズ. J, パリス. S, パリス. A(2006)「自己調整的な学習者はどのような理論・アイデンティティ・行動を構築するか」, ジーマーマン. B, シャンク. D 編著, 塚野州一編訳『自己調整学習の理論』, pp.251-286 (原著版は2001年)
- 平林一栄(1986)「数学教育における認識論上の問題(要旨)」, 西日本数学教育学会 第31回発表会要項



丸野俊一(2007)「特集にあたって：「心の働きを司る『核』としてのメタ認知」研究—過去，現在，未来—」，『心理学評論』，第 50 卷，第 3 号，pp.191-203