

数学教育におけるメタ認知の調査についての一考察 - 練り上げに焦点をあてた調査方法について -

愛知教育大学 高井 吾朗

1. はじめに

数学教育におけるメタ認知研究では、問題を「解ける」ようにするためにメタ認知を育てようという流れが見られ、そのための方法としてメタ認知的支援（加藤，1999）やペアによる問題解決（清水，2007）が考案され、研究が進められてきた。一方，メタ認知を解くための推進力から，解いた後も考えるための推進力として捉えるべきであるという主張も出てきている（例えば，岩崎，2007；高井，2012）。解いた後というのは，授業においては自力解決の後ということであり，話し合い，練り上げと呼ばれる授業場面で，どのようにメタ認知をはたらかせるかということに焦点をあてるということである。

さて，練り上げにおいてどのようなメタ認知がはたらいっているかに焦点をあてると言っても，メタ認知は思考過程であり，単に見ているだけでは評価することができない。故に，練り上げにおいてメタ認知をどのように調査するのかということも考えなくてはならない。そこで，本稿ではこれまでの数学教育におけるメタ認知の調査方法を概観し，練り上げにおけるメタ認知の調査方法について考察することを目的とする。

2. これまでのメタ認知の調査について

これまでのメタ認知の調査方法について加藤（1999）は，調査時点（問題解決中，問題解決後），表現方法（発話，記述）という視点で分類し，比較検討を行っている（表1）。そして，この4つの調査方法にはそれぞれ問題点があると指摘している。

表1 メタ認知の調査方法（加藤，1999，p.57）

調査時点 表現手段	(1) 問題解決中	(2) 問題解決後
(a) 発話	(1-a) 発話思考	(2-a) インタビュー
(b) 記述	(1-b) 記述思考	(2-b) 質問紙

まず，「(1-a) 発話思考」とは，問題解決中に思いついた，考えたことを口に出させる方法である。問題解決中の思考を全て表現させることができれば，その際に行われているメタ認知的活動を同定することができると考えられるが，問題解決を行うことと，思考を表現することを同時

並行で行うことの困難性、異常性から全てのメタ認知的活動を同定することは困難である。

次に「(1-b) 記述思考」は、発話思考と同じく問題解決中に思いついたことや考えたことを記述させる方法である。この方法も発話思考と同様の理由で全てのメタ認知的活動を同定できるわけではない。

最後に「(2-a) インタビュー」、 「(2-b) 質問紙」については、問題解決後に行う方法であり、解決活動を阻害せず調査することができる。しかし、問題解決後に行うということは、「問題解決中に発生したメタ認知を児童自身がどの程度正確に答えられるか」(加藤, 1999, p.62) という課題がでてくる。

これらのことから、問題解決中に調査を行うと解決活動を阻害することになり、問題解決後に調査を行うと調査の信憑性について問題がでてくるということがわかる。また、発話による方法は人的、時間的問題が発生し(例えば、40人のクラスで調査する場合、問題解決中に発話させるなら40人の調査者が必要であり、問題解決後のインタビューでも膨大な時間がかかる。)、記述による方法は、問題解決中の思考を全て表現させることができるのか、という課題がでてくることもわかる。

このように、どの調査方法にも問題点があることが加藤(1999)によって示されている。それに対して数学教育ではそれぞれの調査方法の問題点を解決するために、様々な改善が行われている。

まず問題解決後の調査では、再生刺激法(重松他, 1993)を取り入れることが提案されている。再生刺激法とは、問題解決中の活動をビデオで録画し、その映像を見せながらインタビューや質問紙に答えさせる方法であり、その利点は問題解決中の思考を想起させることにより、より多くの問題解決中のメタ認知的活動を表現させることができることである。

Wilson&Clark(2004)も再生刺激法によって自らの問題解決中のメタ認知的活動を記述させることで行為の分類を行っており、過去の問題解決活動において、どのようなメタ認知のサイクル(気付き、評価、調整)が起きているのかをメタ認知的言語から明らかにしている。

しかし、再生刺激法はビデオを見せることによる時間的問題が起きるという課題が表出し、他にも「それが問題解決の『直後』に行われたにしてもある種の『追観』が行われる可能性は排除できない」(清水, 2007, p.70)ということも課題として挙げられる。具体的にはビデオを見せ、その問題活動を思い出させるということは、それ自体がメタ認知的活動になっている可能性があり、そのメタ認知的活動を含めた事柄が表出されることから、問題解決中のメタ認知的活動がそのまま表出しないということである。

次に、問題解決中の調査方法については、清水(2007)の「ペアによる問題解決」という改善が行われている。発話思考による方法は、Schoenfeld(1985)の言葉を借りるなら、「個人で問題に取り組むときに重くのしかかる環境的重圧」(p.281)が非常に強く、問題解決において非常に不自然な状況を与えることになる。それに対してペアによって問題解決を行わせることで、問題解決中の思考を自然な会話という形で表現させることがねらいとなる。またペアで解決すること

から、意思疎通の必要性が高まり、より多くの会話が生まれることが期待される。

山口（1991）も社会的相互作用交渉の観点から、教師と生徒、生徒同士の相互作用による差について言及しており、それぞれの相互作用を垂直的、水平的と表現し、それぞれの相互作用が与えるメタ認知的活動への影響を指摘している。そして、山口（1992）は社会的相互作用とメタ認知の内面化の関係について指摘し、ペアによる問題解決についての問題点として、「2人のコミュニケーションがどのような形態で進行するかによって、2人の解決過程やメタ認知に与える影響が異なってくる」（山口、1992、p.60）を挙げている。

つまり、誰とどのような会話をを行いながら問題を解決したかによって調査結果が変化する可能性があるということであり、加藤（1999）も、個人のメタ認知的活動の把握が困難であると指摘している。

以上のことから、数学教育におけるメタ認知の調査方法は、様々な改善が行われてきているが、それぞれの方法には課題が残されているということがわかる。

3. 練り上げにおける調査方法の考察

前節においてメタ認知のこれまでの調査方法を概観してきた。ここからは、練り上げにおけるメタ認知を把握するためにどのような調査方法を取るべきなのかということを考えていきたい。そのために、まず問題解決中の調査と問題解決後の調査という点から考察していこう。

3. 1 問題解決中と後の調査の違い

問題解決中と後、どちらの調査においても、これまでのメタ認知の調査に関する研究に共通することとして、その目的が問題解決中に行われたメタ認知的活動を把握するということを挙げることができる。では、どちらがより妥当な方法なのかといえば、それぞれに利点と欠点があり、先行研究をまとめると以下ようになる。

[問題解決中の調査の利点]

- ・問題解決中の思考を直接把握することができる。
- ・ペアによる問題解決によって、メタ認知的活動をはたらかせるきっかけが作りやすくなり、相手に説明することも重なって、思考を表現させやすい。

[問題解決中の調査の欠点]

- ・（ペアによる問題解決でも）全ての調査したいメタ認知的活動を把握することはできない。
- ・ペアによる問題解決では、メタ認知的活動のきっかけがどちらにあるのかを判断することに困難点がある。

[問題解決後の調査の利点]

- ・インタビューや質問紙を通すことで、調査したいメタ認知的活動を把握しやすい。

- ・何故そのようなメタ認知的活動をしたのかを、再生刺激法を用いることを通してインタビューすることで特定することができる。

[問題解決後の調査の欠点]

- ・再生刺激法を用いることで、問題解決中の思考を反省するということは、新たなメタ認知的活動が起きるため、純粋な問題解決中のメタ認知的活動が表出するとは限らない。
- ・調査時間がかかりすぎる。

このように、それぞれの利点と欠点がほとんど対応する形となっていることがわかる。では、問題解決中と後のどちらを調査方法として選択すべきであろうか。

練り上げにおいてメタ認知を調査する目的は、間主観的なメタ認知の構成、共有を把握することである。具体的には、話し合いの中で他者の意見を通して自分の考え方を価値付けていく過程を把握するということになる。故に、授業の中でどのようなモニタリング（特に他者に対して）を行っているのかを、把握することを調査の主眼に置くべきであろう。

このように考えると、問題解決中の調査である「ペアによる問題解決」の手法を中心に、プロトコル分析を行っていくことで、相手から何を聞き何を返答したかということ进行分析することでどういう他者モニタリングを行ったのかということ特定していけると考える。

3. 1 調査方法から指導方法へ

また、ペアによる問題解決は、調査方法としてだけでなく、指導方法もしくはメタ認知の学習方法として位置付けられるものである。先に述べたように、ペアで問題を解決することで会話の回数が増え、その会話をきっかけにしてメタ認知的技能が増える可能性が高まるということである。これは心理学的ではなく、数学教育的な研究としてメタ認知研究を位置付けるために重要なことであり、調査対象者の現状だけでなく、その変化を導くという合目的な活動として位置付けることができるであろう。

一方で、問題解決後の調査方法にも、調査から指導へと昇華させた方法がある。それは、重松他（1999）の「算数作文」を用いたメタ認知の調査方法である。元々算数作文は、「記述思考」に属する調査方法であり、授業の最後にその時間で考えたこと、気付いたことを記述させることで、記述者のメタ認知の程度を調査するものである。またその時間に起こったことを思い出させながら記述されることで少なからず再生刺激法の要素も取り入れられている。そして記述内容を5段階に分け、記述段階の日々の変化から子どものメタ認知がどのように変化していくのかを捉えることが試みられている。

そして最近の研究（重松他，2011）では、子どもの記述に対する評価やその記述に対する疑問を教師が行う「赤ペン指導」をメタ認知的支援として扱い、指導方法、もしくはコミュニケーションツールとして算数作文を用いており、さらに赤ペン指導自体を教師教育に結びつけようと試みている。

算数作文の調査方法としての特性は、問題解決後の調査の欠点を解消しようと試みているところであろう。まず、算数作文に記述される内容は授業時間内の事象（情意的内容、学習内容、メタ認知的内容）であり、問題解決中のメタ認知というよりは、その過程を含めた授業全体でのメタ認知的活動を捉えようとしている。そして、授業の最後に「授業で何を考えたかな」、「授業で何か気付いたことはないかな」、「難しかったのはどこだろうね」というSchoenfeld (1985) が用いた「エピソード分析」のための声かけを行うことで、擬似的な再生刺激法を行いながら、記述できるようにしている。そして、最終的には一人5分程度の時間で毎時間の授業におけるメタ認知的活動を把握することが可能となり、時間的問題の解消が図られる。

このように、算数作文は授業全体のメタ認知的活動を把握する方法であり、練り上げにおけるメタ認知を把握するための調査方法として用いることを検討すべきであろう。しかし、次に述べる指導法としての特性から主たる調査方法として困難点が表出する。指導方法としては、二宮 (2005) が指摘しているように、「あくまで算数学習を『支援』するもの」(p.247)である。端的に述べれば、授業において子ども達が何も感じなければ、学習内容のみ記述される（「〇〇を勉強した」、「算数をした」など）ことになり、その記述を元に反省したり、次の問題解決の足がかりとしたりすることに生かされないのである。

このことは調査の目的達成にも影響を与える。極端な例を挙げれば、全ての児童が学習内容のみを記述したとすれば、そこからは何もメタ認知的活動を把握することができないということである。つまり、算数作文は主たる調査方法として位置付けるよりも、補助的な方法として用いるべきであると考えられる。例えば、授業における発言をプロトコル分析した後に、算数作文の記述を用いてその発言がメタ認知的なものであることを裏付けるといった方法で用いるということである。

以上のことから、ペアによる問題解決を元にした調査を行うことが、指導をも考慮した数学教育的なメタ認知研究の方法として適していると考えられる。しかし、ペアによる問題解決はあくまで個人解決における調査方法であり、練り上げにおける調査方法として改善しなければいけない点がでてくるので、次節で考えていこう。

4. 練り上げにおける調査の問題点

4. 1 ペアによる問題解決の考察

さて、ペアによる問題解決を用いた調査では、2人の会話をプロトコル分析にかけることで、メタ認知的活動を把握することになる。ここで着目する点として、2人で行うということは、必ずどちらかが話し手と受け手の役割を任ずるということである。その役割は入れ替わることはあっても、どちらもその役割を果たすことには変わりない。しかし、仮に3人で問題解決を行った場合、そのうちの2人で会話が成立し残る1人は黙っている状況が生まれる可能性は否定できない。

故に、何も話さない調査対象者はその解決中に何を考えていたのかということはプロトコル

分析では表出させることができないことになる。この点については、すでに清水（2007）が考察しており、4人グループとペアによる問題解決を比べたとき、4人グループの方がペアよりも「『権威』の解消」（p.101）が起こるとしている。一方4人での問題解決の問題点として、「四名の場合、『社会的要因』が大きくなり、特定の個人の認知過程を把握しにくいということである。この社会的要因は、ある一名の子どもが黙ってしまうことがあるという原因でもあろう」（p.101）と指摘している。そして、個人の思考過程を分析するためには「最小単位」（p.101）のペアがよいと結論付けている。

ここで何が言いたいのかというと、練り上げという授業場面では、1回も発言しない児童が絶対的に表出するということから、プロトコル分析だけでは、全ての児童のメタ認知的活動を調査することができないということである。調査において、「必ず1回は発言しましょう」と教師から声をかけたとしても、達成は非現実的であり、さらに教室においてよく発言する児童と、あまり発言しない児童がいると考えるのが普通であろう。

この発言しない児童をどう調査するのかということは練り上げという授業場面を調査する上で非常に大きな問題である。その解決方法の1つとして考えられるのは、練り上げにおいて、ペアの話し合いと教室全体の話し合いを数分単位で切り替えることである。そうすることで、教室全体の流れに対して、隣同士で今議論されていることを相談させることで、それぞれの思考過程を表出することができるであろう。しかし、仮に教室に40人の児童がいたとするとペアの数は20組であり、観察者も最低20人が必要となる。これは調査対象者である児童にとっては、不自然な環境にいると感じさせる可能性が高く、「権威の解消」という利点が無くなり、調査の妥当性が保証されないであろう。

このことから、練り上げにおける発言のプロトコル分析以外の方法も含めて調査方法を考えるべきであろう。その方法として、算数作文を用いるというのも1つの手であるが、練り上げ中に記述させる方法を用いたいと考えている。

4.2 ふきだし法の利用について

その方法は「ふきだし法」（亀岡，1990；2009）とよばれるものである。元は「認知過程を知る方法」（1990，p.2）として開発されたものであり、「『つぶやき』として消えて行ってしまっていた思考や、メタ認知を書き留め、子どもに自分の思考を振り返らせる方法、1時間ごとに授業の中で活用していく方法」（p.2）である。また、亀岡（1990）は「『ふきだし法』は、問題解決のためのタクティクスやストラテジーだけでなく、思いうかんだことのすべてを抵抗なく問題の回りにたくさん書き込んでいくことができるため、メタ認知を含めた思考のありようが児童・教師ともに知れる簡便な方法である」（p.4）と指摘し、児童の自己反省を促し、教師の指導の手立てとして扱うことができる指導法と位置付けている。

つまり、問題解決中の調査法「(1-b) 記述思考」であり、指導法としての側面も有する方法が「ふきだし法」ということになる。そして最近の研究（亀岡，2009）では「『ふきだし法』のノートにあっては、自分の考えのふり返りのためだけにあるのではなく、友達と考え方を共有し

たり、深めるためにも機能するノート、言ってみれば『みんなのためのノート』という側面を持つ特徴がある」(p.111)と指摘し、自己評価と自己反省のためだけでなく、「思考過程を共有」(p.111)するためにもふきだし法が有効であると述べている。

このことから、授業全体を通してノートに記述された「ふきだし」を元に児童は自分の考えについて反省したり、他者と相談したりすることまでを「ふきだし法」を用いた指導法として氏は考えているということがわかる。また、個人対個人という形ではなく、教室全体で授業を作っていくということが最近ではねらいとなっており、練り上げも想定していることが以下の文章から伺える。

少人数できめ細かに「ふきだし法」で個への支援をしていく方法は、あり得るが、習熟度、到達度などのレベルで子ども達を選別し、均質な集団の中での学習は、「ふきだし法」がめざす真の学習即ち「学びの共同体」における「学び合い」の姿から遠く離れたところに位置する学習である。(亀岡, 2009, p.120)

4. 3 プロトコル分析とふきだし法を用いた複合的な調査方法

さて、ここまでの考察から、練り上げにおいてどのようにメタ認知を調査するのかということをもとめていきたい。まず、練り上げにおける授業全体へのビデオ撮影から、全ての発言のプロトコル分析を行う。その分析の観点としては、それぞれの発言の関連性を時系列から導き出すことで、何故そのような発言をしたのかという個人のメタ認知的活動を特定することである。他にも、その発言にどのような過程を経て価値付けが行われていったのかを分析することで、教室において表出した解決方法がメタ認知的知識として位置づく様子を明らかにする。

そして、発言していない児童(無論、している者も含める)の練り上げにおけるメタ認知的活動は、「ふきだし」に記述された内容から調査していく。ふきだし法は、亀岡(1990)によると一朝一夕で行えるものではないと指摘しており、ふきだし法に対する指導を必要とするものであるが、その指導においては、問題の回りにふきだしを書く際に、時系列がわかるように指導することで、より調査の精度を上げることができるであろう。この時系列でかくことは調査のためだけでなく、児童にとってもどのような流れで自分が考えたのかということをふり返りやすくさせるために重要であり、児童にとっても自然な思考であり、調査のためにかかる負荷とはならないと考えられる。

また、練り上げにおいてはその前に個人解決を図る時間を設けるために、ふきだしは自分の解決方法に書くことも考えられる。その際には、他者の発言からその解決方法を価値付けるようなふきだしを書くことが望ましいが、さらに、そこには他の児童の名前が記入するように指導したい。

その理由は、その個人の間主観的なメタ認知的知識がどの程度授業の中で構成されているのかを特定したいためである。これまでのメタ認知の調査では、メタ認知的知識に関しては、Flavell(1979)がいうところの「課題」、「方略」カテゴリーに類するものが主な対象となっている(数学的知識と直接関係するため)。しかし、間主観的なメタ認知的知識を把握するために

は、「人」カテゴリーの価値付けが行われている様子が観察されることが望ましい。故に、練り上げの中で発言していない児童が、自分の解決方法に対して様々な意見を取り入れたり、捨象しながら価値付けたりしていく様子をふきだしから確認したいために、発言者の名前も含めて書くことを指導したい。

このことも、「誰の発言か」を書くことは、自分が発言する際に、より具体的に児童の意見を流用しながら説明できる点で児童の学習を向上させるために重要であると認識させることができることから、児童にとっても自然な過程として受け容れられると考える。

以上のことから、練り上げにおけるメタ認知のはたらきについての調査方法をまとめると、プロトコル分析から教室全体から表出する価値付けられた解決方法や児童の他者モニタリングの様子を把握し、その分析結果の裏付けとして「ふきだし」に記述された内容を用いる。また、全ての児童のふきだしから、その時間に行われた練り上げにおいてどの程度教室内でメタ認知の共有が行なわれているのかを把握し、それぞれの児童がその授業の中で間主観的なメタ認知的知識としてそれぞれの解決方法を価値付けたのかを特定していくということになるであろう。

また、授業の最後にふきだしを見ながら、算数作文にその授業において疑問に感じたこと、印象に残ったものをまとめさせることで、より調査の精度は上がると考えるが、5分程度とはいえ、授業時間を減らすことになるため、ふきだしに授業最後に色をつけることで、その授業の印象深かった点を挙げさせるなど、工夫が必要と考える。

5. おわりに

本稿では、メタ認知の調査に関する先行研究から、数学的問題解決授業、特に練り上げにおいて、メタ認知がどのように変容するのかということを調査するための方法を考察してきた。

その結果として、ペアによる問題解決の方法を参考にした授業のプロトコル分析を行いながら、練り上げ中にふきだし法によって記述された内容の分析を行うという、記述と口頭表現の両方を生かした複合的な調査方法を取るべきであるという結論を得た。

今後はこの調査方法を用いて実際に調査研究を進め、その都度修正を加えていきたいと考えている。また他にも、ふきだし法が練り上げにおいてどのような影響を与えるのかを明らかにすることで、これまでの数学教育におけるメタ認知研究の流れである調査から指導法への転換を本研究でも行えるようにしていきたい。

具体的には、個人の活動と練り上げの進行の間をふきだしに記述された自分の意見や他者からの意見を元に児童達が埋めるような形が取れるのではないかと考えており、教師の練り上げにおける役割も個々の記述と流れを把握することでより具体的に何をすべきか、ということをも明らかにするのではないかと考えている。

参考引用文献

Schoenfeld, A. H. (1985) .*Mathematical Problem Solving*. Orlando: Academic Press.

- Wilson, J., & Clarke, D. (2004). Towards the Modelling of *Mathematical Metacognition*. *Mathematics Education Research Journal*, 16, 2, 25-48.
- 岩崎秀樹 (2007). 『数学教育学の成立と展望』, ミネルヴァ書房.
- 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.
- 亀岡正睦 (1990). 「算数科教育における「ふきだし法」の理論と展開」, 大阪教育大学『数学教育研究』, 第20号, 1-18.
- 亀岡正睦 (2009). 「算数科における「ふきだし法」の指導法的意義についてⅡ～自己概念の形成・変容過程と「ふきだし法」～」, 神戸親和女子大学『児童教育学研究』, 第28号, 『教育専攻科紀要』, 第13号, 109-121.
- 重松敬一, 勝美芳雄, 上田喜彦 (1993). 「数学教育におけるメタ認知の研究 (8) - 子どもへのメタ認知の内面化に関する調査研究 -」, 日本数学教育学会『第26回数学教育論文発表会論文集』, 97-102.
- 重松敬一, 勝美芳雄, 上田喜彦 (2011). 「数学教育におけるメタ認知の研究 (25) - メタ認知的支援による教師の指導観変容システムの開発 2 -」, 日本数学教育学会『第44回数学教育論文発表会論文集』, 147-152.
- 重松敬一, 勝美芳雄, 勝井ひろみ, 生駒有喜子 (1999). 「数学教育におけるメタ認知の研究 (14) - 算数作文に見る中学年2年間の児童のメタ認知の発達と教師の指導 -」, 日本数学教育学会『第32回数学教育論文発表会論文集』, 373-378.
- 清水美憲 (2007). 『算数・数学教育における思考指導の方法』, 東洋館出版社.
- 高井吾朗 (2012). 「数学教育におけるメタ認知の拡張についての一考察 - 主観的から間主観的なメタ認知的知識へ -」, 全国数学教育学会誌『数学教育学研究』, 第18巻, 第1号.
- 二宮裕之 (2005). 『数学教育における内省的記述表現活動に関する研究』, 風間書房.
- 山口武志 (1991). 「算数・数学教育におけるメタ認知に関する基礎的研究 - メタ認知の内面化に関する理論的枠組みについて -」, 中国四国教育学会『教育学研究紀要』, 第37巻, 第2部, 262-267.
- 山口武志 (1992). 「算数・数学教育におけるメタ認知に関する基礎的研究～ペアによる問題解決におけるコミュニケーションの特性とメタ認知への影響について～」, 日本数学教育学会『第25回数学教育論文発表会論文集』, 59-64.

※本研究は, 全国数学教育学会第35回研究発表会において筆者が発表した内容に加筆修正を加えたものである。