

練り上げにおけるメタ認知の指導について — IMPROVE モデルの援用 —

愛知教育大学 高井 吾朗

1. はじめに

これまで、本研究ではこれからの数学教育において身につけるべきメタ認知として、間主観的なメタ認知を挙げ、主観的なメタ認知的知識を他者モニタリングを通して、間主観的なメタ認知的知識へと変容させることが重要であると提言してきた。そして、メタ認知の学習場面を個人解決の場面だけでなく、協同解決の場面にまで広げることも提言した。(高井, 2012)

この協同解決の場面として日本の授業で最もよく行われているのは、「練り上げ」と呼ばれる場面であろう。故に本稿では、これまで数学教育において行われてきた練り上げの指導についての研究をまず整理し、練り上げの指導についての特徴を捉え、その中で間主観的なメタ認知を育てるための指導法について考察していく。

2. 練り上げの指導について

2. 1 練り上げの全体像

そもそも、練り上げとは何であろうか。一般的には問題解決型授業の中で行われる活動であり、自力解決の後に行うものであり、教室全体で行う協同学習の一種と捉えられるであろう。伊藤他(1987)は、「自力解決してきた解決の仕方を発表しあいながら、共に解決してきた努力を認め、たたえ、共によりよい解決へ向かって練り上げていく場」(p.77)とし、「どのような考え方で解決しようとしたのか、それはどのような手順で進められたのかを話し合い、共に着想の豊かさや解決の仕方を味わい、よりよい解決を作り上げていくこと」(p.77)が目的となる活動であると定義している。他にも古藤他(1990)は、練り合いの場を「個性的な一人一人の子供たちによる協力的、かつ、相補的な『共磨き』」(p.20)とする場と捉え、Shimizu(1999)も練り上げの意味を、「こねあげること、もしくは磨きあげること(kneading up or polishing up)」(p.110)としている。

このことから、練り上げとは「自力解決において用いた解法を教室全体に表出させ、多様な考えを認めながら、その考えを磨きあげる協同解決の場」と捉えることができる。また、この磨きあげる過程はいくつかの段階に分けるべきであると古藤他(1998)は述べており、子どもたちが問題にしていくレベルの違いを元にその段階を設定している。

- 1) 解決のための着想 (アイデア) に従うと解決 (解) にいたるのかどうかというレベル
- 2) 着想が妥当だとすれば、その着想と解決過程 (論理展開) とが整合しているかどうかのレベル (過程レベル)

- 3) 解法相互間で互いに関連・共通する解法はどれかのレベル（関連・共通レベル）
- 4) 解法相互間で相対的に有効な解法はどれかのレベル（有効レベル）

(古藤他, 1998, p.40)

レベルの違いは上記の通りであり、それぞれのレベルでの検討が必要になると述べている。そしてその検討は、「妥当性の検討（レベル1, 2）」, 「関連性の検討（レベル3）」, 「有効性の検討（レベル4）」の3つに分類され、さらに「自己選択」の課程を加えた4つの段階を練り上げの指導過程として規定している。そして、古藤他(1998)は各段階の指導の要点を表1のようにまとめている。

表1 練り上げにおける各段階の指導の要点(古藤他, 1998, p.45)

妥当性の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・多様な解法個々について、その解法の前提となる考えや着想は何か、またその前提に誤りはないかを問う。 ・着想と解決過程とが整合しているかどうかを問う。 ・論理的に筋道立っていれば、一つの考えとして尊重する。 ・考えが正しいかどうかは、適宜具体的な操作なども取り入れ、確かめさせる。 ・できるだけ多くの解法を体験させる。(追体験)
関連性の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・多様な解法全体を射程におき、個々の解法について着想や操作などの特徴（差異）に着目させ、そのことが表れるネーミングをさせる。 ・関連性の視点から見つめ直し、比較検討させる。(関連・並列化, 統合化, 構造化など) ・できるだけ実際に問題を解かせ、それぞれの考えの特色（長所, 弱点）を捉えさせる。
有効性の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・有効性の視点から見つめ直し、比較検討させる。(簡潔性, 明確性, 効率性, 発展性などの観点から考えのよさや不十分さを検討する) ・特殊な場面を想起させ、その場面でも解法が適用できるかどうかを吟味させる。 ・それぞれの立場から自由に検討させるが、無理にまとめようとはしない。
自己選択	<ul style="list-style-type: none"> ・ねらいにせまる解法が有効に働く問題を提示し、複数のやり方で実際にやらせる。 ・自分なりに最もよいと思う解法を選択させる。 ・なぜその解法を選択したのかの根拠をはっきりさせておく。

この指導の要点の背景には、「個性尊重」(p.15)という観点があり、まず4つの段階を作る理由としては、子どもの問題にするレベルが違うことから、好きに話し合いをさせてしまうとレベルの高い子の検討（例えば、いきなり有効性の検討から始めてしまう）に焦点が

集まり、レベルの低い子の意見が無視される危険性があるからである。他にも、妥当性が検討されたものを追体験させることは、関連性の検討、有効性の検討において全ての考えを同等に扱うことを可能にするためであり、これにより、少数だが個性的な意見を汲み上げ、発表したことに意味を持たせる狙いがある。さらに、自己選択を入れる理由は、「本人にとっては、その時点における最高の結論」(p.44)であり、「その後、いろいろと問題を解いていくなかで、自分なりの納得をもって自己選択を変更してくることを期待することになる」(p.44)ということであり、これもまた個性尊重の観点から重要な段階である。

このように個性を尊重することを念頭においた練り上げは、一つのベストな考えを磨きあげるのではなく、様々な意見の長所と短所を様々な観点から磨きあげることに繋がり、他者を認め、自分の考えを集団の中に位置づけることになる。この他者を認める指導法として他にも小池(2015)の「発見的追跡法」がある。小池(2015)は練り上げの冒頭で行う発表を「自己発表法」と「他者発表法」に分け、「子どもたちの確実な理解」(p.56)という観点から見ると、他者発表法のほうが自己発表法よりも効果が期待されるが、「聞くという活動が主体となって進行していくため、問題点の解決には至らない」(pp.56-57)と指摘している。これに対して「発見的追跡法」は、「考えの全体を示すのではなく、解決者の考えの思考過程の最初の一部を提示し、(中略)解決者が着想からその解決に至った思考過程を追跡させるものである」(p.57)。つまり、発見的追跡法は、発表において子どもたちが情報の送り手と情報の受け手という別個の状態になるのではなく、情報の送り手であり情報の受け手でもあるという状態になるということである。これにより、検討する段階から他者の意見を考察するのではなく、発表の段階から他者の意見を考察することになり、よりスムーズに検討の段階に入ることが期待されるであろう。

他にも他者の意見を認める際の注意を促しているものとして、石井&細井(2016)の提言がある。

「はかせ(はやく、確実に、正確に)」よりも私は「たおす」の方が好きなのですが、他の観点でも可能です。「たおす」は「大切だと思った解決、おもしろいと思った解決、好きな解決」です。「大切だと思った解決」は、授業のまとめに生かすことができます。「おもしろいと思った解決」は、ユニークな解決を推奨することから、次時以降に好影響を与えると同時に、授業では焦点化できなかった解決に陽を当てる効果があります。「好きな解決」は、その判断基準のあいまいさから自由で活発な思考や議論を促すと期待されます。(丸括弧内は筆者が挿入)
(石井&細井, 2016, p.33)

このように、最近の練り上げについての研究を見ても、「個性尊重」という観点が背景にあると解釈でき、練り上げにおいては常に参加している者は他者の意見を考え、自分の考えに固執するのではなく、自由な発想を持ち続けることが重要であるといえる。

2. 2 練り上げにおける活動

ここまで、練り上げ全体についての指導法について見てきた。故に次は各段階において

どのような活動をするのかを見ていこう。古藤他(1998)は4つの段階との関連において、特に次のコミュニケーション活動が重要であると指摘している。

- ① 真意をたずね合うコミュニケーション
- ② つなげ、くくり、つけたし合うコミュニケーション
- ③ ずれを意識し、こだわり（自分の考え）をぶつけ合うコミュニケーション
- ④ よさを認め合うコミュニケーション

(古藤他, 1998, p.47)

この4つのコミュニケーション活動は、①が妥当性の検討、②が関連性の検討、③が有効性の検討、そして④が自己選択・振り返りの段階と対応している。それぞれのコミュニケーション活動における留意点としては、やはり個性尊重という観点から語られるものが多い。例えば、③において「ぶつけ合う」目的は相手の意見を潰すことでなく、共通の規準で検討することにより、長所・弱点を明確にしたり、個々の解法から少し距離をおくことにより、解法全体を問題とし、新たな視点を獲得したりするということである。

このように、コミュニケーションはあくまで方法であり、何のためのコミュニケーションかということ各段階で明確にすることで、教師はそれぞれの発言内容に対応した支援を行うことを可能にしている(pp.50-51)。

以上のことから、練り上げにおける指導としては、何を検討するのかを明確にした段階を設け、それぞれの段階に応じたコミュニケーション活動を行うことで、相手の意見を認め、自分の考えを磨きあげたり、新たな知識を獲得したりしていくことになる。しかし、それぞれの段階が必ずスムーズに進むかということ、そうではないと考える。例えば、「相手の言っていることがわからない」、「相手と話がかみ合っていない」など、コミュニケーションにおけるずれが出てくることがあるからである。ここでいうずれとは、③の「ずれ」とは違うものである。③の「ずれ」とは、互いにそれぞれの解法を違う観点から見ているということであり、コミュニケーションにおいては、相手の観点と自分の観点が違うことを理解しながら進めていけるものであり、コミュニケーション自体にずれはない。つまり、コミュニケーション自体のずれをここでは問題にしているのである。

このずれの問題に対して、磯田(1996)は意味と手続きという観点から説明している。意味とは「概念的知識」(p.12)を指し、手続きとは「手続き的知識：やり方・かき方／方法／形式／算法／計算など」(p.12)を指している。では、意味と手続きがどのようにずれを生むかということになるが、磯田(1996)の練習問題『1.5ℓは1ℓ5dℓ』とパッと解く3年小数既習の子どもに、『4.2mは何m何cmでしょう』と問う。子どもの反応を予想してほしい(p.15)という例を元に説明する。

AとBという児童がおり、二人とも「リットルと同じように考えた」と理由を述べ、Aは「4m20cm」と答え、Bは「4m2cm」と答えた。このように同じ理由を述べているにも関わらず、違う答えが出てくるというずれが生まれる。この2つの答えの違いは、Bはリットルをデシリットルに変換する際の手続き的知識（この場合は、「小数点以下が下の単位の

数字になる」という知識)のみを使い、メートルとの違いを考えていないのに対し、Aはリットルとメートルという単位の違いの意味(この場合は、「リットルとデシリットルの関係から、小数点以下の数字がデシリットルになるが、メートルとセンチメートルの関係は、100cmで1mだから、小数点以下の数字に10倍しなくてはならない」という概念的知識と手続き的知識の両方)から答えを出したということである。こうしたBの間違ひは、「習熟した手続きは、身体で覚えた水泳や自転車のように簡単には忘れないが、意味は使う必要がなければ意識できなくなっていく」(p.15)ということから来ており、「手続きの意味化」(p.14)を常に意識させることが必要になってくる。

このように同じ内容を用いて説明しているにも関わらず、その内容を掘り下げると違った理由が見えてくることは練り上げにおいて、よく見られる光景であり、その違いに気付けることも練り上げのよさであろう。こうした多様な考えを磯田(1996)は意味と手続きで分類している。

類型1. 意味を欠落した手続きによる解答；手続き先行意味欠落型

手続き(計算)は適用しても、意味を十分考慮しないで得た考え。説明を求めたり、他者の考えを聞いたりすると、即、意味を思い出し、考えを変える者もいるが、多くは、手続きを意味と取り違えており、説明を求められると「こうやって、こうやった」とやり方(手続き)で応えてくる。

類型2. 意味ある手続きによる解答；手続き先行意味混迷ないし曖昧型

計算手続きの意味確認の意思はあるが、むしろ、その子なりの意味解釈を含んだ考えであり、つきつめていくと、その手続きが、既習の意味や手続きと矛盾してくる考えである。よって、悩みや不安を伴う場合が多い。

類型3. 意味に裏付けられた手続きによる解答；手続き・意味確実型

手続きを既習の適切な意味に照らして解答した場合で、矛盾はない。

類型4. 意味のみによる解答；意味先行手続き欠落(ないし混迷)型

手続きが適切に運用できない、習熟していないため、主に意味を考えることで得られた解答。

類型5. 意味も手続きも不足した不能状態；意味・手続き欠落型

(磯田, 1996, p.21)

この類型に従うと、先のリットルの問題における児童AとBは、Aが手続き・意味確実型であり、Bが手続き先行意味欠落型になる。子どもの学習が意味の手続き化と手続きの意味化の両方によって進んでいくと考えると、発表者がどの類型による内容で発表しているのかを聞き手が理解することで、適切な対応が取れ、発表者も自分の考えのどこが誤っていたのかを理解しやすくなるであろう。しかし、子ども同士だけでは、意味と手続きの違いに気付くことは難しいため、教師がそれぞれの発表者の意見を解釈することが重要となる。

2. 3練り上げの指導についての考察

ここまで、練り上げの全体像と、練り上げにおける活動について見てきたが、それぞれに実践的な指導法が考案されており、練り上げにおいて間主観的なメタ認知が必要である

ということも見えてくる。例えば、古藤他(1998)のさまざまな検討の段階では、妥当性、関連性、有効性が検討されるが、その段階は順序性を有しているため、「今は何を検討するのか」という教室全体をモニタリングする必要がでてくる。また、それぞれの段階においてコミュニケーションをしているときは、「妥当性の検討だが、何を根拠にしているのか」という他者モニタリングを行うことで、自分の考えとの差異を考えたり、自分の意見をどのタイミングで言うかを決定したりする。そして、コミュニケーションの中でずれが出てきた場合は、自己と他者間におけるモニタリングにより、ずれの原因を探ることが必要となり、そのために相手の意見を掘り下げるといった活動へと繋がっていく。

このように、練り上げにおいては、様々な他者モニタリングを状況に応じて使い分けることが必要となり、授業の流れ全体に行うマクロな視点のモニタリングと、その都度起こるコミュニケーションごとのミクロな視点のモニタリングに分けることができるであろう。この2つの視点は、「方法」に対するメタ認知と「内容」に対するメタ認知という言い換えもできると考える。練り上げという学習過程全体に対するメタ認知と、コミュニケーションの中で起こる数学(意味, 手続き)についての葛藤に対するメタ認知ということである。

この2つの視点のモニタリングに対して、どのような指導が必要になるかということを見ると、ミクロな視点についてはこれまでの数学教育におけるメタ認知の指導が適用できると考える。例えば、重松(1990)の「認知とメタ認知の関係」のモデルを適用し、認知過程を他者と自己に分け、その中でモニタリング、自己評価、コントロールをどのように回しているかを記述することができるであろう。また、コミュニケーションを取っている2者をペアとしてみると、清水(2007)の「ペアによる問題解決」の指導を適用することもできるであろう。

では、マクロな視点のモニタリングに対してはどうであろうか。これまでの数学教育におけるメタ認知研究では、いかに問題解決を行うかということに焦点が当てられ、授業の方法そのものに対するメタ認知を如何に構成するかということあまり議論されてきていない。集団解決においてどのようなメタ認知的支援を行えばよいかということ提案したものとして、重松、勝美&上田(2010)の研究があるが、その支援の例も「他の方法はありませんか」、「なぜそうするのですか」、「理由を説明してくれますか」、「理由を別の言葉で言うとどうなるの」、「どんな表現でもいいから説明してみよう」というものであり、ミクロな視点に対するものになっている。

3. IMPROVE モデルの援用

このマクロな視点のモニタリングに対する指導として、援用できそうな研究として、Mevarech&Kramarski(1997)の「IMPROVE モデル」がある。“improve”は改善、進歩という意味だが、IMPROVE は以下の指導段階の略語である：“Introducing new concepts, Metacognitive questioning, Practicing, Reviewing and reducing difficulties, Obtaining mastery, Verification, and Enrichment”(p.369)。それぞれの指導段階においてどのような活動をするかは次の通りであ

る。

導入(Introducing)：メタ認知的プロセスを活性化させる模範を示しつつ、新しい教材、概念、問題、やり方をクラス全体に導入する。

メタ認知(metacognitive)：メタ認知的な自己への問いかけを、小グループでの学習や個人学習で用いる。

実践(Practicing)：メタ認知的問いかけを用いて実践する。

評価(Reviewing)：教師と生徒がメタ認知的問いかけを用いて、新たな教材を評価する。

習得(Obtaining)：高次及び低次の認知プロセスを習得する。

証明(Verifying)：フィードバック・修正プロセスを用いて、認知的スキルとメタ認知的スキルの獲得を証明する。

深化(Enrichment)：発展学習と補習

(OECD 教育研究革新センター, 2015, p.94)

また、IMPROVEの主要な要素について Mevarech&Kramarski(1997)は、Schoenfeld(1985)やポリア(1973)の研究を元に「3つのメタ認知的問いかけ」(Mevarech&Kramarski, 1997, p.369)を使うことと述べているが、最近の研究ではそれに1つ加えた「4つのメタ認知的問いかけ」(OECD 教育研究革新センター, 2015, p.95)を使うこととしている。

理解に関する問い：その問題は一体何なのか。

関連に関する問い：目の前の問題は、以前、解いた問題と同じなのか、それとも異なるのか。推論を説明しなさい。

方略に関する問い：問題を解くのに相応しい方略はどのようなものであり、それはなぜか。推論を説明しなさい。

振り返りに関する問い：その解き方は筋が通っているか。問題を別の方法で解くことができるか。自分は、行き詰っているのではないか。それはなぜか。

(OECD 教育研究革新センター, 2015, pp.95-96)

IMPROVEは通常の数学の授業で行うことができる革新的な教授法をデザインすることが目的であり、1時間もしくは数時間の授業の中で1セットを行うものである。本研究では、このIMPROVEを練り上げの一連の流れにおける教授法として援用したいと考える。古藤他(1998)の練り上げの4段階と対応させると次のようになるであろう。

表2 古藤他(1998)の練り上げの4段階とIMPROVEの対応

妥当性の検討	関連性の検討	有効性の検討	自己選択
Introducing(導入) Metacognitive(メタ認知) Practicing(実践)	Reviewing(評価)	Reviewing(評価) Obtaining(習得)	Verifying(証明) Enrichment(深化)

妥当性の検討においては、まず多様な考えを発表することから始まるため、Introducingが行われ、妥当性があるかどうかを自己と他者によって検討するため、Metacognitiveが行われる。また、指導の要点として「できるだけ多くの解法を体験させる。(追体験)」があ

ることから、Practicing も行われる。次に関連性の検討についてだが、元々Reviewing には、“reducing”が入っており、様々な解法の関連性を検討することと合致する。そして、有効性の検討においても、Reviewing から始まり、その有効性が示されていくことで参加者はそれぞれの解法の長所と短所を知っていくため、Obtaining が行われる。最後に自己選択では、「なぜその解法を選択したのかの根拠をはっきりさせておく。」ことが要求されるため、Verifying が行われ、発展問題への適応などを通して、Enrichment が行われる。

このように、それぞれの検討場面を IMPROVE に対応させることにより、メタ認知の育成を目指した練り上げの指導が行えると考える。しかし、改良すべき点もあり、例えば、メタ認知的問いかけは、妥当性の検討、関連性の検討、有効性の検討において用いられるが、これは自己に対する問いかけであり、他者モニタリングを想定したものにはなっていない。もちろん、そのまま使えるものもあるが、他者モニタリングを想定したメタ認知的問いかけを作る必要が出てくる。また、IMPROVE を用いても、マクロな視点に対するモニタリングをどのように行うのかということについては、明らかになっていない。

4. おわりに

本稿では、間主観的なメタ認知を練り上げにおいてどのように指導すべきかということ を明らかにするために考察を行ってきた。結論としては、これまでの練り上げの指導において、間主観的なメタ認知をはたらかせることが重要であり、その指導法としては、マクロな視点においては IMPROVE を援用し、ミクロな視点ではこれまでの数学教育におけるメタ認知の指導を適用することとした。

今後は、前節で述べた課題であるマクロな視点に対するモニタリングの支援の考案と、表2を用いた具体的な指導場面を検証していきたい。また、石井(2016)の提言にある有効性の検討において「はかせ」だけでなく「たおす」という感情も考慮した練り上げについても考察していきたいが、これについては、Efklides(2006, 2011)の「メタ認知と感情」(affect)の研究が参考になると考える。こうした授業における感情をメタ認知という観点から見ることは、数学的モデル化におけるメタ認知を考える際に役立つのではないかと考え、今後も研究を続けていきたい。

引用参考文献

- Efklides, A. (2006). Metacognition and affect: What can metacognitive experiences tell us about the learning process?, *Educational Research Review*, 1, 3-14.
- Efklides, A. (2011). Interactions of Metacognition With Motivation and Affect in Self-Regulated Learning: The MASRL Model, *Educational Psychologist*, 46(1), 6-25.
- Mevarech, Z. R., Kramarski, B. (1997). IMPROVE: A Multidimensional Method for Teaching Mathematics in Heterogeneous Classroom, *American Educational Research Journal*, 34(2), 365-394.

- Schoenfeld, A.H. (1985). *Mathematical Problem Solving*, Orlando; Academic Press.
- Shimizu, Y. (1999). Aspects of Mathematics Teacher Education in Japan: Focusing on Teachers' Roles, *Journal of Mathematics Teacher Education*, 2, 107-116.
- 石井勉, 細井宏一 (編著) (2016). 『アクティブ・ラーニングによる算数科の学び合い』, 明治図書.
- 磯田正美 (編著) (1996). 『多様な考えを生み練り合う問題解決授業－意味とやり方のずれによる葛藤と納得の授業づくり』, 明治図書.
- 伊藤説朗, 埼玉県笠原小学校(1987). 『算数科・新しい問題解決の指導－どの子も楽しく学んで力がつく授業』, 東洋館出版社.
- OECD 教育研究革新センター (編著) (2015). 篠原真子, 篠原康正, 裴岩晶 (訳) 『メタ認知の教育学－生きる力を育む創造的数学力』, 明石書店. (原著版は2014年)
- 小池嘉志(2015). 「算数・数学の授業における効果的な練り上げに関する考察」, 日本数学教育学会『第48回秋期研究大会発表収録』, pp.55-58.
- 古藤怜, 新潟算数教育研究会(1990). 『算数科多様な考えの生かし方まとめ方』, 東洋館出版社.
- 古藤怜, 新潟算数教育研究会(1998). 『コミュニケーションで創る新しい算数学習－多様な考えの生かし方まとめ方』, 東洋館出版社.
- 重松敬一(1990). 「メタ認知と算数・数学教育－『内なる教師』の役割－」, 平林一榮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.
- 重松敬一, 勝美芳雄, 上田喜彦(2010). 「数学教育におけるメタ認知の研究(24)－メタ認知的支援の実践による教師の指導観変容システムの開発－」, 日本数学教育学会『第43回数学教育論文発表会論文集』, 第2巻, pp.507-512.
- 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, pp.79-88.
- ポリア, G(1973). 垣内賢信 (訳) 『いかにして問題をとくか』, 丸善株式会社.