

理科の資質能力を育む「主体的・対話的で深い学び」の実現

－メタ認知能力の発揮を促す手立ての開発と有効性の検証－

高知大学大学院総合人間自然科学研究科教職実践高度化専攻 指導教官 楠瀬 弘哲
高知市立三里中学校 教諭 楠目 安由

【研究の概要】

本研究では、中学校理科の課題である「観察・実験結果に基づいて自分の考えや他者の考えを検討して改善すること（国立教育政策研究所，2018）」の解決に向け、メタ認知に着目した。生徒のメタ認知発揮を促す手立てとして、①自己の思考の内省を促す発問の工夫②モニタリングとコントロールの発揮を促す工夫③メタ認知的知識を働かせる工夫の3つの手立てを開発した。そのうえで、これらの手立てを取り入れた理科授業を実施し、質問紙調査およびワークシートの記述の分析から、この手立ての有効性を検証した。質問紙調査の結果からは有効性は見られなかった。一方、生徒のワークシートにはメタ認知を働かせていることを示す記述が認められた。これら3つの手立てを仮説検証型授業に取り入れることで、科学的に探究するために必要な資質・能力の育成に大きく貢献することが期待できる。さらに、これらの手立てによる生徒の記述等の表現は「主体的に学習に取り組む態度」で求められる評価の判断材料として用いることが可能であることが示唆された。

【キーワード】 中学校理科授業 メタ認知 主体的・対話的で深い学び 指導と評価の一体化

1 はじめに

本研究の目的は、全国学力・学習状況調査から見えた中学校理科の課題である「観察・実験結果に基づいて自分の考えや他者の考えを検討して改善すること（国立教育政策研究所，2018）」の解決に向けた学習指導法を開発することである。本研究では、この課題の解決に向けて、メタ認知能力に着目した。本研究でいうメタ認知は、「自分自身や他者の行う認知活動を意識化してもう一段上からとらえること（三宮，2008）」とする。メタ認知はメタ認知的知識とメタ認知的活動の2つの側面から構成されている。さらに、メタ認知的知識は、人間の認知特性についての知識、課題についての知識、方略についての知識に区分され、メタ認知的活動はメタ認知的モニタリングとメタ認知的コントロールに区分される。三宮（2008）によると、メタ認知的活動はメタ認知的知識に基づいて行われるとされる。そのため、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。また、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となりがちであるとされる。翻って、学習場面で生徒はこれらのメタ認知的知識とメタ認知的活動の2つの側面のメタ認知を適切かつ正確に働かせることで、自分の考えや他者の考えを検討して改善しながら問題解決を遂行することが可能になる。このような傾向をもつメタ認知を授業に取り入れ機能させるための具体的手立てを開発する。そのために、本研究を2つの取組で構成した。取組Ⅰでは、問題解決の過程で生徒のメタ認知を促す具体的手立てを開発する。取組Ⅱでは、取組Ⅰで開発したこれらの手立てを取り入れた授業を2年生と3年生で実施し、記録する。その録画記録、教師と生徒の発話記録、生徒のワークシートの記述の分析および質問紙調査の結果から、生徒のメタ認知の発揮を促す手立ての有効性を検証する。質問紙による測定方法（off-lineメソッド）では、メタ認知的活動を正確に回答することは困難であるとされる（例えば久坂，2016）。一方、学習方略がメタ認知に有意な影響を及ぼし、メタ認知が自己効力に有意な影響を及ぼす傾向が強いことを指摘し

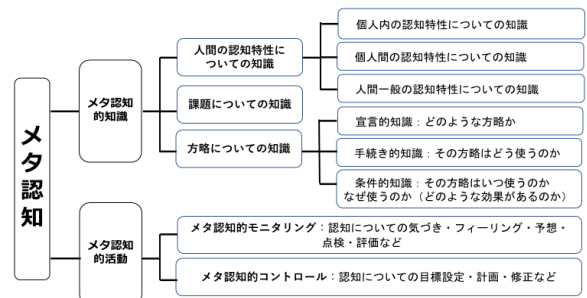


図1 メタ認知の分類

たうで、生徒のメタ認知が高まれば、自己効力が高まるとされる（森他，2015）。本研究では、質問紙で測定されることが困難なメタ認知発揮の有無を理科学習における自己効力感を測定することで、本実践で用いた手立ての有効性を測る指標とする。

2 取組内容

【取組Ⅰ】メタ認知を促す3つの手立ての開発

(1) 方法

①自己の思考の内省を促す発問

生徒が立てた仮説に対し授業者が「そのように考えたのはなぜか」と問い、自分の考えを考えさせ、ワークシートに記述させた。例えば遺伝の規則性を見いだす実験のように、理科室での検証が困難な学習内容については、実験方法を提示し、その結果を予想させ、その予想に対して授業者が「そのように考えたのはなぜか」と問い、自分の考えを考えさせ、ワークシートに記述させた。

②モニタリングとコントロールの発揮を促す工夫

観察・実験の場面におけるモニタリングとコントロールの発揮を促す工夫として、実験場面において、手順を生徒とともに話し合い、フローチャートで板書した（図2）。そのフローチャートをもとに実験準備物を生徒に考えさせ、記述させる。この記述をもとに、モニタリングとコントロールが働いている状況を分析した。具体的には、観察・実験実施の流れとして、i 観察・実験の方法を図示し、観察・実験の見通しを持たせる、ii 手順を図示する、iii 実験の操作がうまくいかなかったときに、どの手順に戻ればよいかを考えさせる、iv 実験に必要な準備物を班で考えさせる、v 実験開始後は各班の進捗状況を表に記録する、とした。

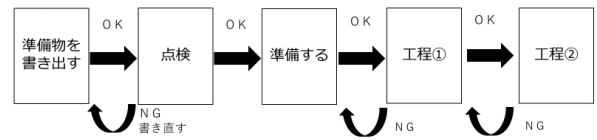


図2 フローチャートの板書計画

③メタ認知的知識を働かせる工夫

実験方法を話し合った後、「この実験におけるポイントはどこか」と発問した。この発問により、生徒が想起した「この実験に適した知識・技能」を記述させた。加えて、これまでの実験における成功体験や失敗体験から得た生徒自身が得意とすることや苦手とすることを記述させるようにした。そのうえで、この発問による、生徒の記述内容および授業後の振り返りの記述内容を比較した。

(2) 結果

①自己の思考の内省を促す発問の工夫

期日および対象：2019年7月5日に公立中学校第3学年27名を対象に実施した。

内容：第3学年「生命の連続性」マツバボタンの実験

はじめに、マツバボタンの純系の赤色の花と純系の白色の花を交配したとき、子の代は何色になるかを生徒に予想させた。予想した色に対し「そのように考えたのはなぜか」と問う。生徒は自分の考えを考え、理由をワークシートに記述する。その後、子の代の花の色はすべて赤色になることを伝えた。次に、実験で得られた子の代を自家受粉させたときの孫の代の花の色を生徒に予想させ、「そのように考えたのはなぜか」と問う。孫の代の花の色の赤色と白色の割合が3:1で現れることから、遺伝の規則性について考えさせる。本時のワークシートへの記述内容を表1に示す。

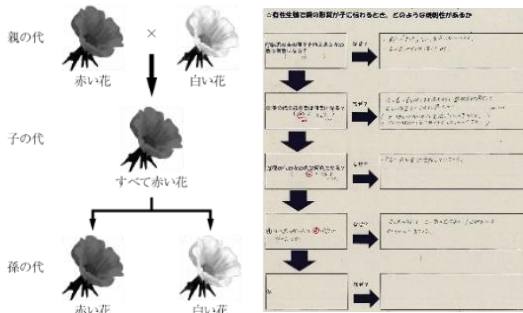


表1 ワークシートへの生徒の記述内容

子の代の色を予想したときの考え	<ul style="list-style-type: none"> それぞれの染色体を半分ずつ受け渡されるから赤と白が合わさってピンクになると思った。 赤と白が混ざった色。マゼンタになる？
孫の代の色を予想したときの考え	<ul style="list-style-type: none"> 白が出てきていないから（白）。 親が2つとも赤で、親の親の代は白なので、親の中には少しでも白が混ざっているはずだから、その白が孫に受けつがれて混ざってピンクになると思った。 赤と赤の遺伝子を受け継ぐから（赤）。 赤色の花と赤色の花が受粉しているので赤色になると思う。
孫の代に赤と白が現れる理由を予想したときの考え	<ul style="list-style-type: none"> 一応白の色も混ざっていて、赤だけ生まれるのはおかしいから。だからやっと白の登場！！ 子の代の2つともが赤色だけど、白の遺伝子も持っているのだから、両方の色が現れた。

図3 実験の手順 図4 ワークシートへの記述

②モニタリングとコントロールの発揮を促す工夫

期日および対象：2019年6月25日に公立中学校第2学年37名を対象に実施した。

内容：第2学年「化学変化と熱の出入り」化学かいろ

化学かいろを作り、温度変化を調べる実験の手順をフローチャートで板書した。その際、一つの手順を通過できたら次の手順に進む矢印を書き、通過できなかったときにはどの手順に戻るかの矢印を確認した。実験手順をノートに記述した班から、実験に必要な準備物を考え、班の代表者が授業者の点検を受けた。その際の通過基準は安全に実験が行えるかどうかとした。実験途中で必要なものが出てきた場合には追加してよいものとした。1回目の点検で通過できた班はなく、持ち返って再考した。生徒自らが話し合い、準備物を用意することができた。実験が開始されると、フローチャートの手順に沿って、実験を行っていた。手元のノートや黒板のフローチャートを指さしながら、実験を行う姿がみられた。

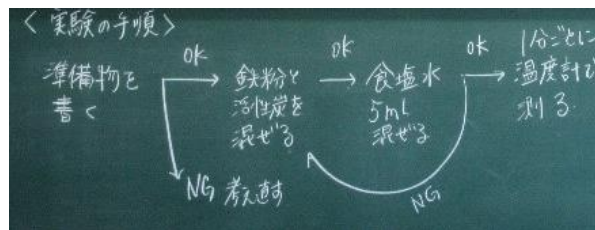


図5 化学かいろの実験板書のフローチャート

③メタ認知的知識を働かせる工夫

期日および対象：2019年11月20日に公立中学校第2学年37名を対象に実施した。

内容：第2学年「電流とその利用」抵抗の接続

合成抵抗の大きさを求める実験で、方法を生徒と話し合い、手順をフローチャートで板書した。授業で用いたワークシートの方法の欄に「気を付けること（安全・技能面）」という項目を設けて、生徒に記述させた。記述された内容は、器具の使い方や安全面に関する事等、方略に関する知識が多く、認知特性についての知識の記述は少なかった。生徒の記述内容を表2に示す。

表2 生徒の記述（実験で気を付けること）

- ・計算を間違えない。
- ・回路を正しくつくる。
- ・回路の+と-の向きを逆にしてはならない。
- ・電流計は直列につなぎ、電圧計は並列につなぐ。
- ・-端子によって目盛りの値が違うので気をつける。
- ・電圧計を回路に直列につなぐと回路に電流が流れなくなる。
- ・電流計が振り切れないように大きな値の-端子から。
- ・電熱線が熱くなるからやけどに気をつける。
- ・電流 (mA) は抵抗の大きさを求めるときにAにする。
- ・実験が始まる前に電源装置の電圧調整つまみが0になっているか気をつける。

(3) 考察

遺伝の規則性の授業では、「そのように考えたのはなぜか」と問うことで、生徒は自分の考えを考えることができていた。本時のように実験が困難な学習内容については、実験結果を予想し、自分自身がどのような根拠をもってその予想が導き出されたかを考えることで、「赤の方が強いのではないか」という発言が生徒の中から出てきた。優性の形質を見いだすことができていたといえる。

化学かいろの授業では手順の横に全班の進捗状況が分かる表を書き、手順の通過に合わせて○をつけるようにした。そうすることで、自分たちの班と他の班の進捗状況を比較したり、うまくいっていないときは近くの班にどうすればいいかを相談したりしていた。ここには、協同的な学習におけるモニタリングとコントロールが発揮されている姿を見てとることができた。

実験で気を付けることを記述する場面では、前時までの学習内容や既習事項をもとに記述していたと考えられる。一方、一人で考えるのが困難な生徒もいる。そのため、ワークシートへの記述内容を班で共有させるようにした。これにより、生徒一人ひとりに観察・実験の見通しをもたせることができた。他方、生徒の記述内容を通して授業者自身のこれまでの授業を振り返ることができた。

これらの手立てを新学習指導要領が示す「資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージ」と照らし合わせたとき、「自己の思考の内省を促す発問の工夫」は課題の設定および仮説設定の場面で、「モニタリングとコントロールの発揮を促す工夫」は検証計画の立案の場面で、「メタ認知的知識を働かせる工夫」は課題の把握や検証計画の立案、考察・推論の場面で行い取り入れることが可能である。取組Ⅱではこれらの手立てを学習過程のそれぞれの場面で取り入れた授業実践を行い、教師と生徒の発話記録や生徒のワークシートの記述内容および質問紙調査の結果から、手立ての有効性を検証する。なお、「資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージ（文部科学省、2017）」をもとに行った授業を仮説検証型理科授業と表記する。

【取組Ⅱ】 メタ認知を促す手立ての有効性の検証

調査1 3年生におけるメタ認知発揮について

(1) 期間および調査対象

2020年6月～7月に公立中学校第3学年37名を対象に調査を行った。

(2) 方法

①解析方法および調査内容

フリーの統計分析プログラムHAD(清水, 2016)を用いて、対応のある t 検定を行い、メタ認知を促す手立てを取り入れた授業の前後で平均値の差を検定した。

使用した質問紙は「理科の観察・実験における自己効力感」で、原田他(2019)を参考にした(表3)。この質問紙は一因子構造とされている。質問に対し、5件法(あてはまる 少しあてはまる どちらでもない あまりあてはまらない あてはまらない)で回答を求めた。

表3 「理科の観察・実験における自己効力感」質問項目

私は、理科の観察・実験では、集中して取り組むことができる
私は、理科の観察・実験では、すると決めたら、すぐがんばることができる
私は、理科の観察・実験では、難しいと感じることも進んで取り組むことができる
私は、理科の観察・実験では、失敗してもあきらめずに取り組むことができる
私は、理科の観察・実験では、難しいと感じることも間違えずに取り組むことができる
私は、理科の観察・実験では、実験がうまくいくまでやりとげることができる

②メタ認知を促す手立てを取り入れた授業実践

ア 運動とエネルギー：自由落下運動

生徒は「物体が落下しているときの運動はどのようなのだろうか」という課題に対して仮説を立て、ワークシートに記述した。仮説に対し、授業者は「そのように考えたのはなぜか」と発問した。

イ 運動とエネルギー：等速直線運動

学級全体で「力がはたらかない運動」について、大まかな実験の流れを確認したあと、各班で具体的な実験の手順を考えさせた。その際には手順に従い、フローチャートで図示することや、実験を行ううえでの注意点を記入するよう指示した。手順が通過できなかったときには、どの手順に戻ればよいかを矢印で書くよう指示した。

(4) 結果

①質問紙調査によるメタ認知発揮の有無の測定

メタ認知を促す手立てを取り入れた授業による生徒のメタ認知発揮の有無を判断するため、対応のある t 検定を行った。その結果、「観察・実験に対する自己効力感」は介入前後で有意差がみられた(表4)。

表4 3年生(n=34)の「観察・実験に対する自己効力感」における平均値と標準偏差及び t 検定の結果

	Mean	±	SD	t 値
介入授業前	22.15	±	4.97	-2.97
介入授業後	24.56	±	2.48	

$p=0.005$

②メタ認知を促す手立てを取り入れた授業実践

ア 運動とエネルギー：自由落下運動

生徒は前述の課題に対して3つの仮説を立て、その理由を記述した(表5)。

イ 運動とエネルギー：等速直線運動

本時は各班でフローチャートを作成したため、多様な形式のフローチャートが図示された(図6, 図7)。なお、手順が通過できなかったときにどの手順に戻るかを矢印で示した班は見られなかった。

表5 仮説に対する生徒の考え(自由落下運動)

仮説：だんだん速くなりながら落ちる
・斜面を下る運動のときと同じようにだんだん速くなる。
仮説：速さは一定
・重力しかはたらかないから。
仮説：きれいに落ちるとは限らない
・向きが変わると空気抵抗が生じる。空気に触れる面積が変わるから。

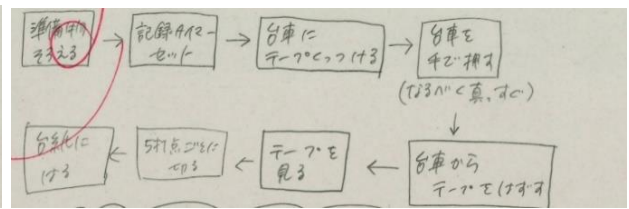
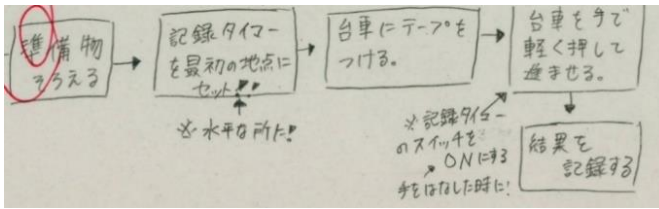


図6 生徒の実験計画フローチャート（等速直線運動）A 図7 生徒の実験計画フローチャート（等速直線運動）B

(5) 考察

図6の実験計画では、記録タイマーのスイッチを入れるタイミングについて記述されている。これは、水平な面を移動する台車がどの段階で力がはたらかない運動を始めたかが分かるようにするための工夫である。図7の実験計画では、記録タイマーのテープの処理について記述されている。これは、前時に斜面を下る運動の実験を行っており、その際のテープの処理がうまくできないなど、実験での失敗や苦手意識などが反映されているためである。このように、本時の実験計画には班ごとに通過する手順の書き方に違いが見られた。その違いは、生徒の「どこが難しそう（苦手）か」という自身の認知特性についての認知や実験のポイントに対する意識を促している。これに加え、「仮説を検証するための実験計画になっているか」と常にモニタリングとコントロールを働かせながら実験計画を行っていることを表しているのである。

とはいえ、すべての生徒がこのようにフローチャートで表せたわけではない。例えば、自分のワークシートには具体的な手順の記述がないまま他の班員のフローチャートを頼りに実験を行った生徒もいた。これらの生徒が実験を遂行できたのは、実験の実施の過程で他の班員との対話を通して、実験の目的あるいは課題や仮説に対する意識が鮮明になり、解決の見通しがもてたからであると考えられる。これらの生徒は、大まかな実験の流れは確認したものの、実験の目的が不鮮明で見通しをもつことができず、混乱していたのかもしれない。あるいは、仮説設定の段階で、既に解決の見通しに混乱が生じていたのかもしれない。実験は独立したものではなく、絶えず課題との振り返りをしながら対話を通して進行していく。そのため、課題の設定や発問、板書を工夫し、生徒の思考を支援する手立てを講じることが必要である。

調査2 2年生におけるメタ認知の発揮について

(1) 期間および対象

2020年6月～11月に公立中学校第2学年31名を対象に調査を行った。

(2) 方法

①解析方法および調査内容

調査1と同様の方法で、メタ認知を促す手立てによる生徒のメタ認知発揮の有無を判断した。

②メタ認知を促す手立てを取り入れた授業実践

ア 化学変化と原子・分子：金属の燃焼

マグネシウムの燃焼の演習実験を行い、加熱前のマグネシウムと加熱後の物質を生徒に観察させた。その後、「空気中で金属が燃えると、質量はどのように変化するのだろうか」という課題が設定され、生徒は仮説を立てた。その仮説に対し授業者は「そのように考えたのはなぜか」と発問した。

イ 化学変化と原子・分子：酸化銅の還元

酸化銅の還元の授業は2時間構成とし、1時間目に実験計画を立て、実験のポイントを記述させた。2時間目は実験を実行・考察し、結論を導いた。2時間とも授業の終わりに振り返りを記述させた。実験で使用するワークシートに「実験を行うときのポイント（実験を成功させるために気をつけること、工夫すること）」という項目を設け、実験方法を話し合った後に記述させた。生徒がワークシートに記述した実験のポイントと授業後の振り返りを「ユーザーローカルテキストマイニングツール」によって分析し、ワードクラウドで表した (<https://textmining.userlocal.jp>)。

ウ 電流とその利用：合成抵抗

抵抗の接続の実験において、「抵抗を2個つないだ回路では全体の抵抗の大きさはどのようになるのだろうか」の課題に対して仮説を立てさせた。それに対して授業者は「そのように考えたのはなぜか」と発問した。

エ 電流とその利用：合成抵抗・発熱

合成抵抗の大きさを求める実験と電熱線を用いた熱量を調べる実験では、方法を生徒と話し合い、手順をフローチャートで板書した。その後、黒板横に実験の進捗状況表を掲示し、実験を開始した後、手順を通過できた班に○を記入させた。

オ 電流とその利用：発熱

発熱実験において「電流によって発生する熱は、電力の大きさとどのように関係しているのだろうか」の課題に対して、生徒は仮説を立てた。その仮説に対し、授業者は「そのように考えたのはなぜか」と発問した。

(4) 結果

①質問紙調査によるメタ認知発揮の有無の測定

メタ認知を促す手立てを取り入れた授業による、生徒のメタ認知発揮の有無を測定するため、対応のある t 検定を行った。その結果、有意差は見られなかった（表 6）が、生徒のワークシートには、メタ認知の発揮を示す記述が見られた。

表 6 2 年生 (n=24) の「観察・実験に対する自己効力感」における平均値と標準偏差及び t 検定の結果

	Mean	±	SD	t 値
介入授業前	24.96	±	3.22	-1.29
介入授業後	26.13	±	3.48	

n.s.

②メタ認知を促す手立てを取り入れた授業実践

ア 化学変化と原子・分子：金属の燃焼

生徒の立てた仮説は次の 3 つである。すなわち、加熱前の物質に比べると、加熱後の物質の「質量は大きくなる」「質量は小さくなる」「質量は変わらない」の 3 つである。それぞれの仮説に対し、そのように考えた理由も記述した。その記述内容を表 7 に示す。

表 7 仮説に対する生徒の考え（金属の燃焼）

<p>仮説：質量は大きくなる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マグネシウムが何かとくっついたことによって質量が大きくなった。 ・金属が燃えるとマグネシウムが空気中の酸素と結びついて質量は大きくなる。 ・ふくらみそうだから。 ・加熱前は塩酸に浮かんだが、加熱後は沈んだから。
<p>仮説：質量は小さくなる</p> <ul style="list-style-type: none"> ・白くなっているから燃えて質量が小さくなることにより軽くなる。 ・加熱後はばらばらになり、小さくなったから。 ・マグネシウムと何かがついて気体が抜ける。 ・（塩酸にいれたとき）マグネシウムから気体が発生していたので、もともとマグネシウム+気体だったがマグネシウムだけになったから小さくなった。 ・灰になると質量は小さくなる。
<p>仮説：質量は変わらない</p> <ul style="list-style-type: none"> ・加熱前の金属と加熱後の金属は一緒だから、燃やしても変わらないと思う。 ・加熱しただけだから物質の量は変わらない。 ・見た目は違うけど、塩酸に入れて沈むのも同じだし、加熱しただけでは質量は変わらないと思う。

イ 化学変化と原子・分子：酸化銅の還元

生徒がワークシートに記述する「大事なポイント」の内容としては、これまでの生徒の失敗・成功体験から意識される技能面でのポイント、安全に行うための注意点、実験をよりスムーズに行うための工夫などを期待した。ところが、「酸化銅の還元」の前に実施した「スチールウールの酸化」の実験計画では、この欄への記入は 1 名、記述内容は「加熱後の試験管は熱々なので注意」であった。「大事なポイント」という言葉が抽象的で何を書けばよいのかのイメージが生徒にできなかったことが原因と考えられる。この反省から「酸化銅の還元」の実験計画では、「安全に行うためのポイント」「銅をたくさんとり出すための工夫」「どの操作が難しそうか」と視点を示し、記述させた。その結果、延べ 78 の記述が得られた（図 8）。生徒がワークシートに記述した実験のポイントと授業後の振り返りのワードクラウドを図 9 と図 10 に示す。これら 2 つの図は、出現数が多い単語を複数選び出し、その値に応じた大きさで図示している。

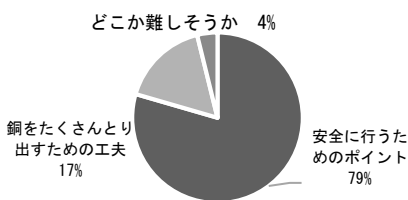


図 8 酸化銅の還元実験のポイント (78 の記述内容の内訳)

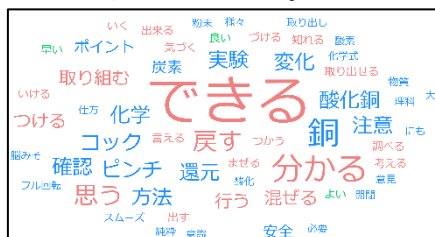


図 9 酸化銅の還元・実験計画後の振り返り

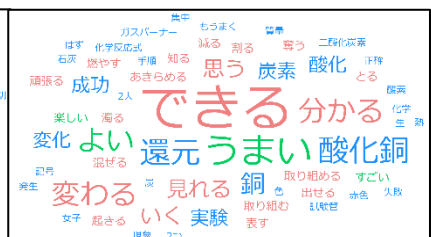


図 10 酸化銅の還元・実験後の振り返り

ウ 電流とその利用：合成抵抗

前述の課題に対して、「生徒は抵抗を2個つないだ方が1個のときよりも回路全体の抵抗は大きくなる」という仮説を立てた。この仮説に対し、生徒は理由も記述した(表8)。

エ 電流とその利用：合成抵抗・発熱

合成抵抗の実験の際には、電圧をかけ、流れる電流の値を読み終わっても、抵抗器1つの抵抗の大きさを求めず、抵抗器の直列つなぎのときの実験を行っていた。そのため、片付けまですべて終わった班しか○がつかなかった(図11)。発熱の実験では、電熱線に電流を流す時間をそろえるために、回路を組み立てることができたら必ず進捗状況表に○を記入することを徹底させた。しばらくしても表に○がつかない班には、他の班に補助に行くよう促した。そうすることで、一斉に実験を開始できた。しかし、1分経過を知らせる声を合図に温度を測り、記録し、ガラス棒で水をかき混ぜるといった操作が始まると、進捗状況表に1項目ずつ記入しにくることが難しくなり、○は1項目目だけしかつかない(図12)。

オ 電流とその利用：発熱

前述の課題に対し、生徒は「電力が大きいほど発生する熱は大きい(比例する)」「電流が流れる時間が長いほど発生する熱は大きい」の2つの仮説を立て、それに対する理由を記述した(表9)。

表8 仮説に対する生徒の考え(合成抵抗)

仮説：大きくなる。比例する。
・電圧が増えたときも電流の大きさは大きくなったから。
・豆電球のときには、電流が分かれたり、くっついたりした。
・乾電池が2つのとき、豆電球が強く光ったから。
・抵抗の量が多いと電圧はこれまで減っていたから。

回路図を大きく	1つの抵抗の値を求めよう	2つの抵抗の値を求めよう	3つの抵抗の値を求めよう	考察	片付け
1班	○				○
2班					
3班	○				
4班	○				
5班	○				
6班	○				
7班	○				
8班	○				

図11 実験の進捗状況表(合成抵抗)

電熱線に電流を流す時間をそろえる	水をかき混ぜる	電圧を測る	温度を測る	記録する	ガラス棒で水をかき混ぜる	他の班の補助を受ける
1班	○					
2班						
3班	○					
4班	○					
5班	○					
6班	○					
7班	○					
8班	○					

図12 実験の進捗状況表(発熱)

表9 仮説に対する生徒の考え(発熱)

仮説：電力が大きいほど発生する熱は大きい
・水が沸騰するとき、電力が小さいと早く沸騰しないが電力を大きくすると早く沸騰するから。
・どこかに熱がこもると思うから。
・電流で熱は発生しているから。電流の大きさ=発生する熱?
・火の強さを強めると早く沸騰するから。
・電力と熱が比例していると思うから。
・電気から熱になっているから電力が大きくなったら発生する熱も大きくなる
仮説：電流を流す時間が長いほど発生する熱は大きい
・水が沸騰するとき長い時間加熱した方が早く沸騰する。
・お湯が沸騰するのにある程度の時間が必要だから。

(5) 考察

第2学年の金属の燃焼の学習においては、考察とは異なる仮説が2つ立てられたが、生徒はその仮説に対しても理由を記述していた。例えば「質量は変わらない」という仮説を立てた生徒は、その理由として「加熱しただけだから質量は変わらない」と記述した。この生徒の仮説はマグネシウムの加熱による変化が第1学年の既習内容である状態変化と結びついていることが考えられる。あるいは、加熱によって物質が化学変化することおよび原子にはそれぞれ固有の質量があるという既習内容が理解できていないことも考えられる。このような誤概念から仮説を設定した生徒に対して、「そのように考えたのはなぜか」と問うだけでなく、その考えのもとになっている生徒自身の素朴概念を認め、価値づけ、指導していく必要がある。仮説に対する自分の考えをワークシートに記入する際、すべての生徒がすぐに記述できたわけではない。他の生徒がどのような根拠を持って仮説を立てているかを知ることで、その考えを取り入れ、自分の仮説として記述することができた。また、自分の立てた仮説以外に、他の生徒が立てた仮説を記述する生徒もいた。この生徒は自分の仮説と他の生徒の仮説を比較しているのである。

実験の進捗状況表に記入させることで、授業者が各班の進捗状況を把握することができる。それだけでなく、生徒自身が他の班の進捗状況を確認することにつながる。これにより、自分たちの班の進捗状況を点検し、次の手順に進んでいる班に操作方法を尋ねに行くなど、より対話的な授業展開が期待できる。合成抵抗の実験では、進捗状況表のほとんどの項目に記入をした班とあまりできなかった班とがあった。これは、抵抗が1つのとき、直列につないだとき、並列につないだときの電流計の目盛りを全て読んでから、まとめて全体の抵抗の値を求めた班が多かったことが要因として挙げられる。今後は、適切に実験を進めていくために、それぞれの実験手順の目的をより明確に指導する必要がある。進捗状況表の活用が2回目である発熱の実験では、生徒は実験方法を話し合う時点で、教師に記入の仕方を質問し、表への記入を意識していた。表への記入が1項目だけだった

たのは、一定時間ごとの水温を測る必要があるため、自分たちの机を離れることができなかつたためだと考えられる。今後は、表への記入が生徒の負担になることなく、自分たちの進捗状況を確認できるものになるよう、チェック項目を改善していく必要がある。

生徒がワークシートに記述した、酸化銅の還元の実験計画後の振り返りと実験後の振り返りを比較した。実験計画後と実験後の記述に共通して多く使われた語句は、「酸化銅」「実験」「銅」「変化」「取り組む」「混ぜる」「炭素」「化学」「酸素」である。実験のポイントを生徒に意図的に考えさせることで、既に実験前には、実験で得られる結果に近い見通しをもつことができたと推測できる。なお、実験後には、「うまい(うまく)」や「成功」など実験の成否を評価する記述がみられた(図9, 図10参照)。これは生徒自らがモニタリングを実行したことを示している。もしこのとき、実験に不備があったとすれば、実験操作のコントロールを行ったことを示す語句が授業後の振り返りに現れるはずである。

質問紙調査の結果から、3つの手立てによる生徒の理科の観察・実験に対する自己効力感、すなわちメタ認知の発揮の有意な高まりは見られなかった。その要因として、次の3つが考えられる。1つ目は、生徒が課題に対して仮説を立て、検証方法を考えるという流れに慣れていないことである。課題に対して自分の考えをもつことや、「そのように考えたのはなぜか」と深く考えさせることで、生徒は負担に感じたのかもしれない。実際、自分の考えを発表した生徒に「それってどういうこと?」「どうしてそう考えたの?」と発問すると、他の生徒から「しつこい」という声が聞こえてきた。この発問は、最初は負担に感じるかもしれないが、慣れることで教師の発問がなくても自発的に自分の考えを考えることができるようになる。2つ目は本実験における手立てがメタ認知的活動よりも、メタ認知的知識を働かせる機会が多くなっていたことである。これについても、メタ認知的知識を働かせることに慣れ、メタ認知的活動を働かせる手立てを講じることで、メタ認知を発揮することができるようになる。3つ目は2年生という発達段階によるものである。知識・技能が身につくことでメタ認知的知識も働かせやすくなる。今後、発達段階が進むことでよりメタ認知を発揮させることができると期待される。これら3つの要因から生じる課題を解決するためにはこれらの手立てを継続して指導することが重要である。

開発した3つの手立てを国立教育政策研究所(2020)が示す指導と評価の一体化の「主体的に学習に取り組む態度」の評価に照らし合わせたとき、自己の思考の内省を促す発問の工夫は、思考力、判断力、表現力を身につけたりすることに向けた粘り強い取組を行おうとしている側面、モニタリングとコントロールの発揮を促す工夫は自らの学習を調整しようとする側面、メタ認知的知識を働かせる工夫は知識及び技能を獲得することに向けた粘り強い取組を行おうとしている側面に対応する。本実践において生徒がメタ認知を働かせている具体的な姿や発言およびワークシートの記述を教師が評価を行う際に考慮する材料の一つとして用いることができる。

3 おわりに

本研究で開発した3つの手立てを仮説検証型授業に取り入れるには、教師と生徒双方の習熟が必要である。本実践では、生徒も新しく持ち込まれたメタ認知を促す手立てや仮説検証型授業に慣れ始めた頃に授業実践が終わってしまった。その期間以外には、この手立ては実施していない。今後、長期的に手立てを取り入れた授業を行うことでの効果を検証していきたい。

引用文献

- 国立教育政策研究所(2018),平成20年度全国学力・学習状況調査の結果,4
- 三宮真智子(2008),メタ認知 学習力を支える高次認知機能,北大路書房
- 久坂哲也(2016),わが国の理科教育におけるメタ認知の研究動向,理科教育学研究, vol156, No4, 397-408
- 森健一郎・高橋弾(2015),自己効力の測定結果を踏まえた授業改善—中学校理科の指導に着目して,北海道教育大学釧路校研究紀要,第47号, 89-96
- 文部科学省(2017),中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編, 9
- 清水裕士(2016),フリーの統計分析ソフトHAD:機能の紹介と統計学習・教育, 研究実践における利用方法の提案 メディア・情報・コミュニケーション研究, 1, 59-73
- 原田勇希・中尾友紀・鈴木達也・草場実(2019),観察・実験に対する興味と学習方略との関連の検討—因子分析による興味の構造分析を基礎として—,理科教育学研究, vol160, No2, 409-424
- 国立教育政策研究所(2020),「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料,10