

中学校理科における観察・実験の指導に関する事例的研究 —Abrahams & Millar の観察・実験の評価方法に着目して—

Teaching Observation and Experimentation in Lower Secondary School Science: A Case Study Using the Evaluation Method of Abrahams and Millar

青井 翔来*・内海 志典**
AOI Hirai * and UTSUMI Yukinori**

*各務原市立中央中学校, **岐阜大学教育学部

* Chuo Lower Secondary School, Kakamigahara City and **Faculty of Education, Gifu University

要約

『中学校学習指導要領』では、理科において、探究の過程を通じた学習活動を行い、資質・能力が育成されるよう指導の改善を図ることを求めている。しかしながら、Abrahams & Millar (2008) は、観察・実験が観察したことを科学的な考えと関連付けるという活動になっていないと指摘している。本研究では、Abrahams & Millar (2008) で用いられている評価方法を援用し、参与観察を行い、フィールドノートとインタビューの記録をもとに、授業分析を行い、中学校理科における観察・実験の指導の改善について検討した。その結果、観察・実験の指導の改善への示唆として次の5点が示唆された。(1)教師が十分な教材の事前準備をする。(2)教師が適切な指示を行い、指示に対する生徒の理解状況を把握する。(3)生徒に「活動」の目標を達成させる。(4)既習内容を振り返る際に、教師が生徒の実態に応じた段階的な足場かけとなる発問を行う。(5)定型化した予想モデルを基に個人の思考と集団での話し合いを行わせ、生徒に見通しを持たせて観察・実験を実施させる。

キーワード : 中学校理科, 観察・実験, 評価, 指導方略

Key Words: lower secondary school science, observation and experiment, evaluation, teaching strategy

1. はじめに—問題の所在と研究の目的—

国立教育政策研究所 (2016) は、『OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA2015)』の結果から、日本の15歳の生徒は科学的リテラシーの中で、科学的な調査を説明及び評価し、科学的に問いに取り組む方法を提案する能力が他の科学的リテラシーと比較すると相対的に低いことを指摘している。また、『幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について (答申)』(以下、『中央教育審議会答申』とする)では、『OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA2015)』の結果から、観察・実験の結果などを整理・分析した上で、解釈・考察し、説明することなどの資質・能力に課題が見られると述べられている(中央教育審議会, 2016a)。これらを踏まえ、『中学校学習指導要領』では、科学に関する基本的概念の一層の定着を図るとともに、観察・実験の結果を分析して解釈

するなどの科学的に探究する学習活動を重視することによって、思考力、判断力、表現力等の育成を図ると示されている(文部科学省, 2018)。

Wei & Li (2017) は「**実際的な活動**」が科学における重要な特徴であると指摘しており、理科授業において、観察・実験を中心とした探究の過程を通して学ぶことはより意義がある。

しかしながら、学校現場において、観察・実験が必ずしも適切に実施されていることは言い難い状況がある。Clackson & Wright (1992) は、多くの「**実際的な活動**」が、児童・生徒が概念を理解するのを助けることにおいて、あまり効果がないと述べている。また、Hodson (1991) は、多くの学校での実践における**実際的な活動**に関して、準備が不十分で、混乱しており、非生産的であり、多くの子どもたちにとって、実験室の中で起こることは、ほとんど科学の学習に貢献していないと指

摘している。加えて、Abrahams & Millar (2008) は、イギリスの中等学校で観察した「実際の活動」では、生徒に実験の対象物を用いて教師が意図したことを行わせることに対して、多くの場合に効果があったが、生徒に教師が意図した科学的な考えを使用させて、生徒の行動を導き、収集したデータを検討させることにはそれほど効果がなかったことを明らかにしている。

わが国の中学校の理科教育において、観察・実験の指導に関する研究として、鈴木・藤本・益田 (2019) は、中学校理科教員の意識調査から、理科の指導において、「適切に観察・実験の計画ができるようにする指導」、「自然の事物・現象から問題を見だし、適切に課題づくりができるようにする指導」、「多面的、総合的に思考できるようにする指導」等について指導が十分でないことを認識していることを明らかにしている。また、斉藤・益田・半田 (2015) は、理科授業における問題解決の過程の指導について、教職経験を重ねていっても授業を構想する能力が向上するわけではないと指摘している。内海 (2020) は、理科授業における観察・実験では、生徒が「観察すること」と「考えること」が交互に繰り返されることを指摘しているが、そのことが観察・実験の指導を難しくしている要因の1つとして考えられる。

このように、理科授業において観察・実験の指導に課題があるが、観察・実験を中心とした探究の過程を通して学ぶことにより、資質・能力を獲得することが求められている。

わが国の理科教育に関する主要な学術雑誌²⁾を分析した結果、中学校理科の観察・実験について、実際の授業における観察・実験について、参与観察により、教師の観察・実験の指導について分析した研究は見られない。

そこで本研究では、参与観察により得られた記録から、授業分析を行い、中学校理科の観察・実験の指導上の課題を明らかにし、観察・実験の指導の改善について検討することを目的とした。

2. 研究の方法

Crossley & Vulliamy (1984) は、質問紙調査から教授の現実の姿への正確な知見を得られる可能性は低いことを指摘していることから、Abrahams & Millar (2008) は、インタビューの質問者が議論されている活動を観察していたと回答者に認識されている場合、インタビューの回答は実際に起きたことに対してより効果的に一致すると述べ、授業観察とインタビュー調

査により、「実際の活動」の有効性について研究している。

本研究では、Abrahams & Millar (2008) の先行研究で用いられている評価方法を援用し、筆頭筆者が参与観察を行い、得られたフィールドノートとインタビューの記録をもとに、授業分析を行い、中学校理科における観察・実験の指導上の課題について検討する。その後、得られた知見から、観察・実験の指導の改善について検討する。

なお、分析については、筆頭筆者が参与観察をしたC県の公立中学校に勤務する現場の教師 A (教師経験 5 年) の授業 51 時間と教師 B (教師経験 16 年) の授業 9 時間の合計 60 時間の授業の観察の記録と、授業中の生徒の話し合いの記録の一部を対象として行った。なお、授業観察については、2018 年の 5 月～6 月に行った。

3. 探究活動の捉え方

『中央教育審議会答申』では、理科において、課題の把握 (発見)、課題の探究 (追究)、課題の解決という探究の過程を通じた学習活動を行い、それぞれの過程において、資質・能力が育成されるよう指導の改善を図ることが必要であると述べられている (中央教育審議会, 2016a)。また、『幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について (答申) 別添資料 (2/3)』 (以下、『答申別添資料』とする) では、中学校理科の例として、資質・能力を育むために重視すべき問題解決の学習過程等のイメージ (中央教育審議会, 2016b) が、図を用いて示されている。この図は、探究の過程、理科における資質・能力の例、対話的な学びの例で構成されている。その中から、探究の過程について示されたものを図 1 に示す。

Solomon (1999) は、「実際の活動」において「構想」が重要な役割を持つとし、これは生徒が物体や物質を操作して観察する際に、「観察できるものの表面下で」起こっていることを想像することを助けると指摘している。そのため、『答申別添資料』が示すモデルのように、観察・実験の実施だけでなく、その他の過程、特に「構想」と関わりの深い検証計画の立案や、「観察・実験の結果などを整理・分析した上で、解釈・考察し、説明すること」などの資質・能力を育成する考察・推論、表現・伝達を充実させることが重要であると考えられる。しかしながら、国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS2015) では、理科の課題として、観察・実験の結果を整理・分析した上で解釈・考察し説明すること

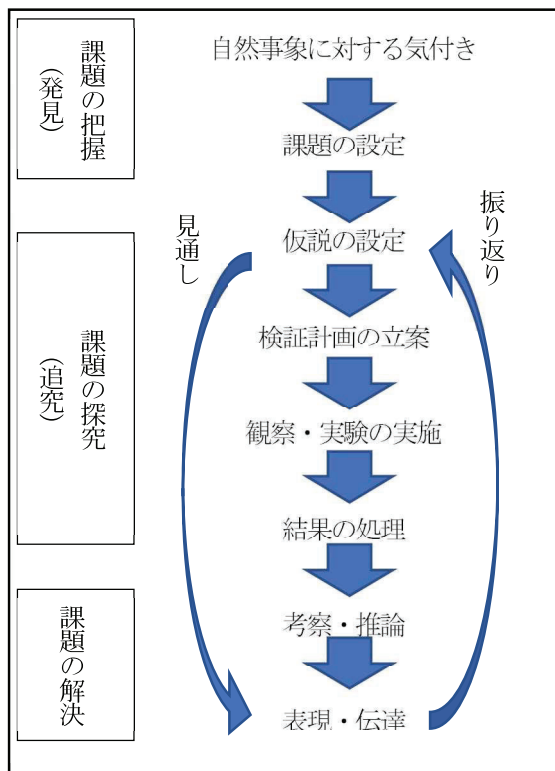


図1 資質・能力を育むための探究の過程
(中央教育審議会, 2016b を基に作成)

の結果を整理・分析した上で解釈・考察し説明することが見られる(国立教育政策研究所, 2017)。

探究活動に関して、坂本ら(2016)は、科学的探究とは、問いを生成し、仮説を設定し、観察・実験を計画・実施するとともに、得られたデータを分析し、説明を構築するプロセスであり、科学的探究のプロセスの習得は、理科教育の目標であると指摘している。

本研究では、探究活動とは、観察・実験を中核としながら、課題の把握(発見)、課題の探究(追究)、課題の解決という探究の過程をたどる理科の学習過程であると捉える。

4. 観察・実験の評価

Abrahams (2011) は、Millar, Marechal & Tiberghien (1999) の評価方法を用いて、物体や物質を操作したり観察したりするような、理科に特有の授業活動について研究し、このような活動を「実際的な活動」と称している。Millar, et al. (1999) は、観察・実験を効果的に実践するための授業設計のプロセスモデルを作成している。このプロセスモデルを基に、Abrahams & Millar (2008) は、「実際的な活動」における課題の設計と評価のプロセスモデルを作成してい

る。このプロセスモデルを、図2に示す。以下、図2のモデルの4つの段階を、それぞれ、BoxA, BoxB, BoxC, BoxD とする。

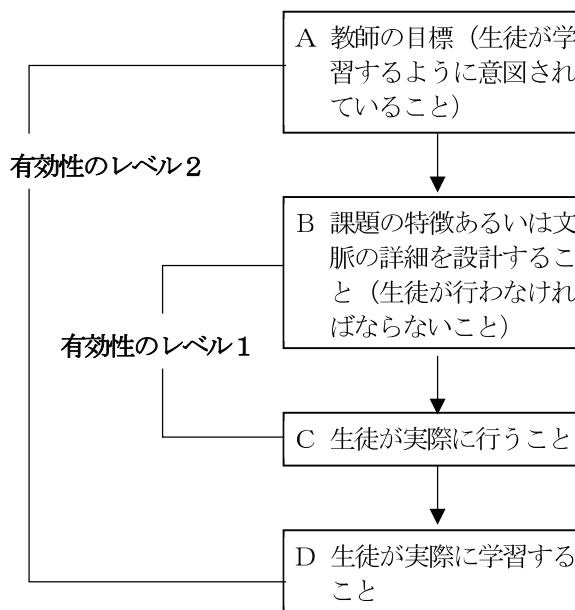


図2 「実際的な活動」における課題の設計と評価のプロセスモデル
(Abrahams & Millar, 2008を改変)

Abrahams (2011) は、授業が BoxA, BoxB, BoxC, BoxD の順に計画され、BoxB と BoxC が一致するとき、指導に有効性のレベル1において効果があり、BoxA と BoxD が一致するとき、指導に有効性のレベル2において効果があると指摘している。

また、Abrahams & Millar (2008) は、有効性のレベル1は、教師によって生徒が行うように意図されたことと生徒が実際に行ったこととの間の一致を検討することであり、有効性のレベル2は、教師によって生徒が学習するように意図されたことと生徒が実際に学習したこととの間の一致を検討することであると指摘している。本研究では、BoxB と BoxC が一致することを、教師が意図したように生徒が活動すると表現する。また、BoxA と BoxD が一致することを、教師が意図したように生徒が学習すると表現する。

また、Abrahams (2011) は、生徒の知識の領域を、目に見える活動に起因する観察できる領域 (o) と、目に見えない思考に起因する考えの領域 (i) の2つに分けて考えている。例えば、有効性のレベル1(「実施」レベル)の場合、生徒が実際に行う活動のうち、「何を行ったか」が観察できる領域(o)であり、「何を考えて行ったか」が考えの領域(i)である。なお、観察でき

る領域 (o) における有効性のレベル1の効果について論じる際にはレベル1 (o) と表現し、考えの領域 (i) における有効性のレベル1の効果について論じる際にはレベル1 (i) と表現している。

Tiberghien (2000) は、「実際の活動」を、この2つの知識領域間のつながりをつくることを助けるものとして特徴づけ、図で示している。この図を基に、Abrahams & Millar (2008) は、「実際の活動」と知識の2つの領域との間の関係を整理している。これを図3に示す。

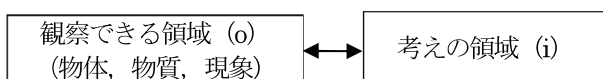


図3 実際の活動：2つの領域の関連 (Abrahams & Millar, 2008)

また、Abrahams & Millar (2008) は、「実際の活動」を行うための実際の課題に関して、それぞれ有効性のレベル1及び有効性のレベル2、観察できる領域 (o) 及び考えの領域 (i) について分析するための枠組みを作成している。この枠組みを表1に示す。

Abrahams & Millar (2008) は、有効性のレベル1と有効性のレベル2の違いは、観察できる領域 (o) においてかなり明確であるが、考えの領域 (i) においてはそれほど明確でない指摘している。加えて、有効性のレベル2における「学習すること」とは、生徒が後から、課題に関係する物体や物質、及び観察した現象で行ったことを正確に思い返し、説明できることを意味す

ることであると指摘している。

Abrahams & Millar (2008) は、表1に示した枠組みを踏まえ、並列回路の授業課題を事例として、有効性の各レベルと各知識領域における実際の活動の有効性の指標を示している。この指標を表2に示す。

Abrahams & Millar (2008) は、表1に示した枠組みの4つのセルには相互依存性があり、独立してないと指摘するとともに、例えば、課題がレベル1の観察できる領域 (o) において効果的でなかった場合、おそらくレベル1の考えの領域 (i) においても効果的ではなく、課題がレベル2の考えの領域 (i) において効果的である可能性は低いと考えられることと、レベル1の観察できる領域 (o) で効果的である場合 (つまり、生徒が思い返す行動や結果が、教師が生徒に行わせたかったことである場合)、レベル2の観察できる領域 (o) において生徒の学習が適切に行われた可能性が高いことを指摘している。

以上のことから、本研究では、教師が意図したように生徒が活動し、教師が意図したように生徒が学習するとき、授業において観察・実験が適切に実施されていると捉える。

5. 観察・実験の指導上の課題について検討した授業

本研究において、観察・実験の指導上の課題についての検討の対象とした授業の概略を表3に示す。

これらの授業は、2018年の5月と6月に観察したもの的一部である。第1学年の授業として、教師Aが担当す

表1 実際の課題の有効性を検討するための分析的な枠組み (Abrahams & Millar, 2008)

有効性	観察できる領域 (o)	考えの領域 (i)
もし..., 実際の課題は、レベル1 (「実施」レベル) で効果がある。	生徒は、教師が生徒に実施することを意図したように、物体と物質を用いて実施し、教師が意図したデータを生成する。	生徒は、課題を実施している間に、教師が生徒に用いるように意図した考えを用いて、行動や観察について考える。
もし..., 実際の課題は、レベル2 (「学習」レベル) で効果がある。	生徒は、物体と物質を用いて実施した、あるいは課題を実施した際に観察したこと、生徒が収集したデータの鍵となる特徴を後で思い出すことができる。	生徒は、生徒が学ぶことを助けるように、課題が設計されているという考えを後で理解することができる。

表2 各レベルと領域における電気回路に関する探究活動に関連する実際の課題の有効性の指標 (Abrahams & Millar, 2008)

有効性	観察できる領域 (o)	考えの領域 (i)
レベル1 (「実施」レベル)	生徒は、与えられた回路図を基に適切に並列回路を正しく組み立て、適切に電流計を組み込むことができ、正確に目盛を読み取り、教師が意図したデータを取得することができる。	生徒は、電流の考えを用いて、回路とメーターの読み取り (導線を通して流れている電荷と、連絡点での分岐と合流の流れ) について議論し、考える。
レベル2 (「学習」レベル)	生徒は、後で並列回路を組み立てることができ、2つの枝分かれにおいて電流計の目盛りの読み取り値の総和が、枝分かれの前、あるいは後に配置した電流計の読み取り値と等しいことを思い出すことができる。	生徒は、電荷の流れとして電流を理解し、例えば、この考えを並列の分岐を用いた回路に適用し、分岐の電流の総和が分岐の前、または後の電流に等しい理由について説明する。

表3 観察・実験における指導上の課題について検討した授業の概略 (筆者作成)

事例	教師	学年	学級	単 元	生徒の「実施」における目標 (レベル1における目標)	生徒の「学習」における目標 (レベル2における目標)
I	A	1	a (34)	身近な生物を 観察しよう	プレパラートを作り、顕微鏡を 用いて観察できる。	プールの水の中にも生物がいること に気付く。
II			b (34)	花のつくりと はたらき	マツの花の一部を分解し、花の つくりを観察・記録できる。	アブラナやツツジの花と、本時に観 察したマツの花にはどのような違い があるのかを説明できる。
III					被子植物と裸子植物の特徴とそ れぞれの違いをノートにまとめ ることができる。	事例IIの学習内容を基に、被子植物 と裸子植物の特徴を説明できる。
IV		2	c (33)	物質どうしの 化学変化	水の電気分解、酸化銀の熱分解、炭 素と酸素の化合、鉄と硫黄の化合の 化学反応式を書くことができる。	水の電気分解、酸化銀の熱分解、炭 素と酸素の化合、鉄と硫黄の化合の 反応について説明できる。
V		d (33)	酸素がかかわ る化学変化	炭素粉末を用いて酸化銅を還元 する実験を行うことができる。	金属の酸化物を還元するには、どう すればよいかについて説明できる。	
VI				水素とエタノールを用いて、酸 化銅を還元する実験を行うこと ができる。	炭素以外の酸化されやすい物質では なく、水素とエタノールを用いて、酸化銅 を還元する反応について説明できる。	
VII	B	1	e (34)	葉・茎・根のつ くりとはたら き	前時までにを行ったムラサキツユク サの葉の表皮とツバキの葉の断面 の観察と記録した結果を基に、話 し合いを行うことができる。	植物の葉にはどのようなつくりや特 徴があるのかについて説明できる。
VIII					光合成が葉のどのつくりで行わ れているのかを予想できる。	光合成が葉のどのつくりで行われて いるのかを予想する実験の方法につ いて説明できる。

注1) 学級の欄における()は、各学級の在籍人数である。

注2) 事例IIIと事例Vは、授業の前後の流れやつながりを考慮して記載している。

る学級 a と学級 b, 教師Bが担当する学級 e の授業を分析の対象とした。第2学年の授業として、教師Aが担当する学級 c と学級 d の授業を分析の対象とした。なお、班については、6つの班で構成されており、5名、または6名であった。

図2に示した有効性のレベル1においては、BoxBとBoxCの一致、有効性のレベル2においては、BoxAとBoxDが一致について検討し、表3の「生徒の『実施』における目標(レベル1における目標)」と「生徒の『学習』における目標(レベル2における目標)」を設定した。「生徒の『実施』における目標(レベル1における目標)」は、有効性のレベル1(「実施」レベル)において、観察できる領域(o)と考えの領域(i)から、生徒が実際に行うべき目標を示している。また、「生徒の『学習』における目標(レベル2における目標)」は、有効性のレベル2(「学習」レベル)において、観察できる領域(o)と考えの領域(i)から、生徒が実際に学習すべき目標を示している。

6. 観察・実験における指導上の課題についての分析

6.1 生徒の「実施」における目標に対する指導上の課題

の分析

事例のうち、生徒の「実施」における目標に対する指導上の課題が見られた授業について分析し、課題となった原因について検討した。課題の原因となったことをまとめたものを表4に示す。

事例Iは、教師の教材の事前準備が不足した事例である。実験に必要な器具をすべて配布し、プレパラートを作り始めた際、ある班では、配布されたスポイトの胴部が破損しており、生徒がスライドガラスに水滴を垂らすことができない場面があった。破損したスポイトを所持した生徒は、自分から教師を呼ぶことも新しいスポイトを自分で取りに行くこともなく、教員が傍に寄るタイミングを待っていた。また、班員は自分の活動に掛かりきりとなり、この生徒の様子に気付いていな

表4 生徒の「実施」における目標に対する指導上の課題が見られた事例 (筆者作成)

事例	内 容	原 因
I	スポイトで水を吸えず、プレパラートが作れなかった。	器具の不備
II	松かさの鱗片を剥がし取る作業に熱中し、観察が疎かになっていた。	不適切な指示

かった。教員が机間支援の際に気付き、新しいスポイトを支給したことで観察を行うことはできたが、それまでに時間を浪費し、進行を遅らせることとなった。器具の破損に対して生徒が自ら対応できるようにするための指導も必要ではあるが、このスポイトの破損のような実験器具の不備は、教師の教材の事前準備不足の1つであるともいえる。

事例Ⅱは、教師の指示が不適切であった事例である。教師Aは、各班にマツの雌花と松かさを取り、必要があれば鱗片を剥がし取っても構わないことを告げてから観察を始めさせた。その結果、ほぼ全ての班が雌花や松かさの一部の鱗片のみを剥がし取って観察し、子房が存在しないことに気付いた。さらに、一部の班では、鱗片が花弁と同じものであるかを考えていた。しかしながら、松かさから全ての鱗片を剥がし取ることに時間と労力を割き、観察が進まなかった班が1つだけ存在した。この授業において、何を観察すべきかといった観察の視点をもたない生徒に対して、教師は適切な指示を行うことができたとは言い難い。

一方、事例Ⅳにおいて、実験前に行われた教師の発問によって、観察できる領域 (o) において、教師が意図したように生徒が活動した場面もみられた。この授業のプロトコルを表5に示す。

表5のプロトコルにあるB1, C1のように、薬品の取り扱いについて間違った考えを持った生徒がいる。生徒が、薬品 (エタノール) が付着した実験器具 (銅) は、再度使用する前に1度水で洗わなければならないと理解していることを前提として扱い、T2の発問をせずに授業を進めていた場合、一部の生徒が誤った操作を行い、事故につながる恐れもあった。この発問は安全指導上不可欠なものでもあるが、このように生徒の実態を把握して失敗やつまづきを予見した発問や指示を行い、生徒が正しく指示を理解して教師の意図通りの

表5 事例Ⅳにおける授業のプロトコル (筆者作成)

T: 教師 A, B, C, D: 生徒	
場面:	熱した銅をエタノールに近付ける, 還元実験の説明をしている。
T1:	(銅を) エタノールに漬けて, そのままもう1度 (ガスバーナーで) 加熱するとどうなる?
A1:	燃える。
T2:	そうしないためには, どうすればいい?
B1:	乾かす。
C1:	ゆっくりやる。
T3:	え?
D1:	洗う。
T4:	そう, 水で洗ってください。

活動を行うことができるよう指導する必要がある。

6.2 生徒の「学習」における目標に対する指導上の課題の分析

表3に示した事例のうち、生徒の「学習」における目標に対する指導上の課題が見られた事例Ⅳにおいて、分析した会話のプロトコルを表6, 表7, 表8に示す。

事例Ⅳは、化学反応式についてのまとめの授業であり、それまでの授業で行った実験で起こった化学反応を、化学反応式で表し、反応について説明することを目標としていた。そのために、授業の前半を各自が化学反応式を書く時間とし、後半を班の仲間に反応の説明をする時間となっていた。表6は、事例Ⅳにおいて、酸化銀の熱分解の化学反応式を書けず困っていた生徒Eと、観察者である筆頭筆者との会話のプロトコルである。生徒Eは、酸化銀の熱分解について、酸化銀が分解し、銀と酸素に分かれることは理解していたが、物質の元素記号や化学式の理解が不足していたと考えられる。表7, 表8は、事例Ⅳにおいて、水の電気分解の化学反応式を書けず困っていた生徒F, 生徒Gと筆頭筆者と

表6 事例Ⅳにおける生徒Eとの会話のプロトコル (筆者作成)

O: 観察者 E: 生徒	
場面:	生徒Eが、酸化銀の熱分解の化学反応式を書けず困っている。
O1:	酸化銀の熱分解って、何がどうなる?
E1:	酸化銀が分解する。
O2:	そうだね。それじゃあまず、酸化銀の化学式を書こうか。
E2:	酸化銀ってどうやって書くっけ?

表7 事例Ⅳにおける生徒Fとの会話のプロトコル (筆者作成)

O: 観察者 F: 生徒	
場面:	生徒Fが水の電気分解の化学反応式を書けず困っている。
O1:	じゃあ、 H_2O が分解されると、何が出てきた?
F1:	忘れた。
O2:	電気分解のとき、何か集めたと思うのだけど、気体か固体か液体か、覚えている?
F2:	気体だった。
O3:	気体の性質とか、何を調べたかとか、覚えている? ほら、何かを気体に近付けた、とか。
F3:	マッチの火を近付けた。
O4:	そうやったね。それでどうなった?
F4:	音を立てて燃えた。
O5:	そうそう。それじゃあ、マッチを近付けるとボンと音を立てて燃える気体は何だった?
F5:	二酸化炭素。

表8 事例Ⅳにおける生徒Gとの会話のプロトコル
(筆者作成)

O : 観察者 G : 生徒
場面：生徒Gが水の電気分解の化学反応式を書けず困っている。
G1: 「 $H_2O \rightarrow H_2 + O_2$ 」 O1: ポイントは何だった？ G2: 反応の前後で種類と数が変わらない。 O2: (式の) 左にHとOはいくつある？ G3: Hが2つとOが1つ。 O3: 右は？ G4: Hが2つとOが2つ。...あっ！ O4: そうやね。それじゃあ、どうすればいい？ G5: 「 $H_2O_2 \rightarrow H_2 + O_2$ 」 O5: H_2O_2 は水じゃなくて、過酸化水素っていう別の物質なのよ...

の会話のプロトコルである。表7では、生徒Fの発言から、観察者の発言が足場かけとなって、水の電気分解によって気体が発生したことと、その気体の性質を調べるためにマッチの火を近付けたこと、そして、その結果、ポンと音を立てて燃えたことを覚えていた。しかしながら、気体の名称を二酸化炭素と答えたことから、気体の性質の理解が不足していたと考えられる。表8では、生徒Gの発言から、化学反応式を書く時のポイントは何であったか、自分が書いた化学反応式に原子がいくつあるか、といった観察者の発言が足場かけとなり、化学反応の前後で原子の種類と数が変わらないことを思い返すことができた。しかしながら、G5の発言から、生徒Gには分子をつくる原子の種類と数や、化学反応式の反応前と反応後で原子の数を同じにすることの理解が不足していたと考えられる。これらの事例から、これまでの授業における教師Aの目標の通りに、すべての生徒の学習が達成されたとは言いがたい。

表3に示した事例のうち、生徒の「学習」における目標に対する指導上の課題が見られた事例Ⅷにおいて、分析した会話のプロトコルを表9に示す。

教師Bは、事例Ⅷにおいて、検証計画の立案に関して、生徒の考えを深めるための授業設計と発問を行っていた。事例Ⅷでは、予想として挙げる選択肢として、前時までの授業で観察し、事例Ⅶで明らかにした葉のつくりを生徒に発言させ、その結果として得られた答えである細胞、気孔、葉緑体、葉脈、維管束を挙げた。ただし、このとき、教師Bは、気孔は穴であり、光合成を行うとすれば気孔そのものではなく孔辺細胞であると指摘している。この授業では、各自が思考し、ノートにまとめるまでに約20分、話し合いに約10分の計30分

表9 事例Ⅷにおける授業のプロトコル
(筆者作成)

T : 教師 H, I, J, K : 生徒
場面：本時の課題を提示した後、予想の立て方と実験方法の考え方について話している。
T1: 予想の立て方ってやったっけ？ H1: やってない。 T2: このクラスは初めてか。じゃあまず、予想は「きつと」で書き始める。 T3: 私の授業では、有無か選択肢でどれかを選ぶ予想にしています。 T4: 次に、「わけは」とつないで、そう考えた根拠や理由を書いてください。 T5: 次は、「だから」と続けてその予想を確かめるための実験を考えます。絶対にいるものは？ I1: ヨウ素液。 J1: 顕微鏡。 T6: それを使った実験方法を考えてください。できた人は、どんな結果が得られたら予想通りといえるかを考えて、「になるはずだ」で締めてください。 K1: やり方が間違っていたらどうするの？ T7: 間違っていないよ。後で話し合っ、みんなが納得できるやり方をみんなで作るから。 T8: 無言で、相談なし。困ったら相談せず、手を挙げて。

を費やし、復習等と合わせて検証計画までで授業が終了した。しかし、教師Bは、第1学年の時点からこのような指導を継続することで、第3学年では課題の提示から7分後には、生徒だけで実験方法まで考えられるようになる」と述べている³⁾。

7. 考察

7.1 生徒の「実施」における目標に対する指導上の課題の改善

Abrahams & Millar (2008) は、イギリスで観察した授業の多くにおいて、教師は、生徒が実験・観察の手順について理解したかどうかを確認することを重視しており、生徒が「何を行ったか」は明確であるが、これに対して、「何を考えて行ったか」は可視化することが難しく、明確でないと指摘している。さらに、課題の多くにおいて、教師が意図した活動を生徒が物体や物質を用いて行うことができるようにするためには効果があると考えられる。これらの課題は、教師が生徒に使用させることを意図した考えを用いて、生徒が物体や物質について考えさせる際に、同程度の効果があったという証拠は極めて少なく、その理由の1つの可能性として、生徒は教師が生徒に使用させることを意図した考えに慣れてないことがあると指摘している。本研究で観察した授業においても、これまでに行った実験に

において、異なる薬品を扱う場合、実験器具を毎回洗うという作業をしているにも関わらず、事例Ⅵの生徒B、生徒Cのように薬品の取り扱いについて間違っ
た考えを持った生徒が見られた。

本研究の授業分析から、生徒の「実施」における目標に対する指導上の課題を改善するためには、教師が十分な教材の事前準備をすることと、教師が生徒の実態を踏まえた指示を行い、指示に対する生徒の理解状況を把握することが必要であると考えられる。

7.2 生徒の「学習」における目標に対する指導上の課題の改善

Abrahams & Millar (2008) は、多くの教師は、生徒が物体や物質を用いて行った「実際の活動」において得られた結果を通して、理論的な考えを学習することを期待していると述べている。加えて、実際に観察した25例の授業では、そのすべてにおいて、物体と物質を用いて何を行うべきかを話し合い、操作することに時間が費やされているのに対し、使用する考えやモデルについての話し合いに時間を割かれた授業はわずか5例であったと指摘している。本研究で観察した授業の中で、教師Bが行った事例Ⅶでは、用いる考えなどについて十分な話し合いが行われていたと言える。

また、Abrahams & Millar (2008) は、多くの教師は帰納的な「発見に基づいた」学習観を(暗黙にまたは明示的に)保持しているようであり、生徒が意図した考えが観察や測定から「生起する」ことを期待するために、教師はただ単に観察や測定を首尾よく行えばよいと考えていると指摘している。同様の見解として、発見学習が挙げられる。山崎・黒羽(2008)は、発見学習を、学者自身が結論を導く過程に参加することによって、自らの力で学習の目的である新しい知識や概念を獲得したり、問題解決の方法を学び取ったりする学習の方法であると説明している。

しかしながら、事例Ⅳのように、生徒が前時までの授業で首尾よく実験を行ったにもかかわらず、化学反応や化学反応式について十分な知識を獲得したとは言えない事例も見られた。

坂本ら(2016)は、科学的探究とは、問いを生成し、仮説を設定し、観察・実験を計画・実施するとともに、得られたデータを分析し、説明を構築するプロセスであると指摘しており、本研究では、探究活動とは、観察・実験を中核としながら、課題の把握(発見)、課題の探究(追究)、課題の解決という探究の過程をたどる理科の学習過程と捉えている。課題の把握をし、効果的に課題を追究するためには、首尾よく観察・実験を行うだけではなく、観察・実験の前後に話し合い活動等を通して自分の考えを深める時間を取る必要があると考えられる。

教師Bが事例Ⅷにおいて行った「予想の立て方」は、予想の定型化であるといえる。寺谷・後藤・松原・野内・松原(2016)は、「守るべき基本の形式」を定型、その作成を定型化と呼び、定型化は学習の基本の形式を習得する鍵概念であると指摘している。事例Ⅷの板書を元に作成した定型化された予想のモデルを表10に示す。

これらの授業分析から、定型化された予想のモデルを活用させ、個人の思考と集団での話し合いにより、生徒に見通しを持たせて観察・実験を実施させることが必要であると考えられる。

考えの領域(i)において教師が意図したように生徒が活動したという証拠は少なかったが、観察できる領域(o)において教師が意図したように生徒が活動しなかった際に、考えの領域(i)において教師が意図したように生徒が考えて活動しないと言える証拠となる事例がある。表4に示した事例Ⅱでは、マツの花のつくりを観察できなかったため、ツツジやアブラナの花のつくりと比較し、その特徴の違いを考えることができなかったと考えられる。

これらの授業分析から、生徒の「学習」の目標を達成するためには、まず生徒の「活動」の目標を達成することが必要であると考えられる。

Abrahams & Millar (2008) は、観察した課題の約40%において、生徒は、特徴的な視覚、聴覚または嗅覚に関連する事柄から想起を行っていたことを明らかにしている。ただし、表7のF3、F4のように、火をつけたマッチを近づけるとポンと音を立てて燃えるという聴覚的要因を含むにも関わらず、気体の性質を思い

表10 定型化された予想のモデル (事例Ⅷの板書を基に筆者作成)

予想	きっと わけは だから	_____ 【選択肢A, B, C, D, E】 _____ _____ になるはずだ
----	-------------------	---

返すことができなかった事例もあり、これらの要因を含んでいても関連するすべての既習事項を想起するとは限らない。この事例の場合、足場かけによって、表7のF2のように、水の電気分解の実験を行ったときに気体が発生したことを思い返すことができている。F3, F4のように、気体を調べるために火のついたマッチを近づけた結果、音を立てて燃えたことまでは思い返すことができていた。しかしながら、F5のように、この気体が水素であることを思い返すことができなかった。生徒Fは、水素の性質について覚えておらず、火のついたマッチを近づけると音を立てて燃えるという性質を持った気体を水素と結びつけることができなかった可能性があると考えられる。また、足場かけがなかった場合、気体を調べるために何をを行い、どのような結果を得られたかを思い返すことができなかった可能性があると考えられる。

これらの授業分析から、光や爆音、匂いといった、生徒が授業内容を思い返すことができるような印象付けと、既習事項との関連付け、段階を踏んで既習内容を振り返るための足場かけが必要であると考えられる。

9. 観察・実験における指導の改善への示唆

本研究で得られた知見から、観察・実験における有効性のレベル1の効果に関する分析結果から、教師が意図したように生徒が活動するためには、次の2点が必要であると考えられる。

- ・教師が十分な教材の事前準備をする。
- ・教師が生徒の実態を踏まえた指示を行い、指示に対する生徒の理解状況を把握する。

Abrahams (2011) は、実験器具の不備をなくすために、教師が授業前に実験器具の点検と補充を行うか、あるいは実習助手へ点検を依頼することが必要であると指摘している。このように、計画した授業で用いる実験器具に関して、予め準備と点検をすることが必要であると考えられる。

教師が適切な指示を出すためには、生徒の実態を把握する必要がある。そのためには、授業前の生徒との話し合い、授業中の机間支援、授業後の振り返りから、生徒がどのような考えを持っており、何を理解しているのかを把握することでつまずきを予見し、対応する指示を行う必要があると考えられる。

また、有効性のレベル2の効果に関する分析結果か

ら、教師が意図したように生徒が学習するためには、次の3点が必要であると考えられる。

- ・生徒に「活動」の目標を達成させる。
- ・既習内容を振り返る際に、教師が生徒の実態に応じた段階的な足場かけとなる発問を行う。
- ・定型化されたモデルを基に個人の思考と集団での話し合いを行わせ、生徒に見通しを持たせて観察・実験を行わせる。

Abrahams & Millar (2008) は、イギリスで観察した授業の多くにおいて、教師は、生徒が観察・実験の手順を理解したかどうかを確認することを重視していたと指摘しており、発問を通じて、生徒が本当に指示を正しく理解していることを確認する必要があると考えられる。

既習内容を振り返る際の教師による足場かけとして、ノートの記述内容などを参考にして、生徒の理解状況を把握し、その時点で間違っていることや、既習内容について振り返ることができていないことについて、生徒が自分で気付くための発問を段階的に行う必要があると考えられる。

さらに、生徒に見通しを持たせる活動として、教師Bが行ったように、定型化されたモデルに即して、生徒が授業の課題に対する答えを予想し、その予想が正しいかどうかを確かめるための検証計画を立案することが挙げられる。また、前述したように、国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS2015) では、理科の課題として、観察・実験の結果を整理・分析した上で解釈・考察し説明することが見られる (国立教育政策研究所, 2017)。

以上のことから、観察・実験を中核として、話し合いの時間を多く設定し、見通しを持ったうえで、観察・実験の結果について整理や分析の充実を図る必要があると考えられる。

10. おわりに

Abrahams & Millar (2008) の分析方法を用いた授業分析から、観察・実験を適切に行うために、教師が指導を行う際の指導の改善への示唆を得ることができた。授業は、教師と生徒との相互作用によって創られるものであるため、教師が本研究で得た示唆を基に指導を行った場合であっても、観察・実験が必ず適切に実施されるとは言い難い。しかしながら、教師が本研究で得た示唆を基に指導を行うことで、観察・実験が適切に実

施される可能性が高くなると考えられる。

本研究は、教師 A の 51 時間と教師 B の 9 時間の理科授業をもとに、授業分析を行い、中学校理科における観察・実験の指導上の課題について検討した 1 つの限定的な事例的研究であることである。

中学校理科における観察・実験の指導上の課題について、本研究で得られた知見を一般化するためには、同様な中学校理科における観察・実験の指導について、複数の事例的研究が必要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力をいただきました先生方や生徒の皆さんに、心より深く感謝申し上げます。

註

- 1) 「実際の活動」とは、生徒が実物と教材を操作し、観察する活動である (Abrahams & Millar, 2008)。
- 2) 分析した国内の理科教育に関する主要な学術雑誌は、『理科教育学研究』、『科学教育研究』、『教科教育学会誌』の過去10年間に掲載されている論文である。
- 3) 教師 B への聞き取り調査による (2018年5月25日)。

引用文献

- Abrahams, I. (2011). Practical Work in Secondary Science A Minds - On Approach, Continuum.
- Abrahams, I. & Millar, R (2008). Does Practical Work Really Work? A Study of the Effectiveness of Practical Work as a Teaching and Learning Method in School Science. *International Journal of Science Education*, 30 (14), 1945-1969.
- 中央教育審議会 (2016a) 『幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について (答申)』 (Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyoku/chukyo0/toushin/_icsFiles/afildfile/2017/01/10/1380902_0.pdf (accessed 2018. 10. 23))
- 中央教育審議会 (2016b) 『幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について (答申) 別添資料 (2/3)』 Retrieved from http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afildfile/2017/01/10/1380902_3_2.pdf (accessed 2018. 10. 23)
- Clackson, S.G. & Wright, D.K. (1992). An Appraisal of Practical Work in Science Education, *School Science Review*, 74(266), 39-42.
- Crossley, M., & Vulliamy, G. (1984). Case-study Research Methods and Comparative Education, *Comparative Education*, 20(2), 193-207.
- Hodson, D. (1991). Practical work in science: Time for a

- reappraisal. *Studies in Science Education*, 19, 175-184.
- 国立教育政策研究所 (2016) 『OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA2015) のポイント』 Retrieved from http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2015/01_point.pdf (accessed 2018.09.10)
- 国立教育政策研究所 (2017) 『TIMSS2015 算数・数学教育/理科教育の国際比較 国際数学・理科教育動向調査の 2015 年調査報告書』, 明石書店.
- Millar, R., Le Marechal, J-F. & Tiberghien, A. (1999). "Mapping" the Domain - Varieties of Practical Work. In J. Leach & A. Paulsen (Eds.), *Practical Work in Science Education - Recent Research Studies*, 33-59. Roskilde/Dordrecht, The Netherlands: Roskilde University Press/Kluwer.
- 文部科学省 (2018) 『中学校学習指導要領』, 東山書房.
- 斉藤剛志・益田裕充・半田良廣 (2015) 「教員養成課程の学生の理科授業を構想する能力の向上に関する研究—メンターによるメタ認知能力獲得の支援を通して—」, 『日本科学教育学会研究会研究報告』, 29 巻, 第 7 号, 35-38.
- 坂本美紀・山口悦司・村山功・中新沙紀子・山本智一・村津啓太・神山真一・稲垣成哲 (2016) 「科学的な問いの生成を支援する理科授業—原理・法則に基づく問いの理解に着目して—」, 『教育心理学研究』, 64 巻, 第 1 号, 105-117.
- Solomon, J. (1999). Envisionment in Practical Work. Helping Pupils to Imagine Concepts While Carrying Out Experiments. In J. Leach & A. Paulsen (Eds.), *Practical Work in Science Education - Recent Research Studies*, 60-74. Roskilde/Dordrecht, The Netherlands: Roskilde University Press/Kluwer.
- 鈴木康浩・藤本義博・益田裕充 (2019) 「中学校理科教員の意識調査から明らかになった指導上の課題と改善の方向性」, 『理科教育学研究』, 第 59 巻 第 3 号, 401-410.
- 寺谷徹介・後藤顕一・松原憲治・野内頼一・松原静郎 (2016) 「中等教育化学領域でのモデル化学学習における要素の定型化の枠組—化学実験での一連の活動への適用—」 『科学教育研究』, 40 巻, 第 2 号, 180-185.
- Tiberghien, A. (2000). Designing Teaching Situations in the Secondary School. In R. Millar, J. Leach & J. Osborne (Eds.), *Improving Science Education: The Contribution of Research*, 27-47. Buckingham, UK: Open University Press.
- 内海志典 (2020) 「科学的に探究するために必要な資質・能力の育成に関する研究—理科教科書における中学校第 2 学年の化学的領域を事例として—」, 『岐阜大学カリキュラム開発研究』, 第 36 巻 第 1 号, 37-43.
- Wei, B. & Li, X. (2017). Exploring science teachers' perceptions of experimentation: implications for restructuring school practical work. *International Journal of Science Education*, 39 (13), 1775-1794.
- 山崎保寿・黒羽正見 (2008) 『教育課程の理論と実践』, 学陽書房.