

小学校理科授業において
学習者が実験を計画する活動の指導に
対する実践的研究

2020

兵庫教育大学大学院
連合学校教育学研究科
教科教育実践学専攻
(兵庫教育大学)

安部洋一郎

序章 問題の所在及び研究の目的、方法	7
第1節 問題の所在	7
第2節 先行研究の省察	11
第1項 実験を計画する活動の効果に関する先行研究	11
第2項 実験を計画する活動の指導方法に関する先行研究	13
第3項 実験を計画する能力に関する先行研究	15
第3節 研究の目的及び方法	17
第1項 研究の目的	17
第2項 研究の方法	17
第4節 本論文の構成	19
第1章 小学校理科授業で用いられる実験の手続き	25
第1節 本章の目的と研究の手順	25
第2節 実験を計画する活動における論理構造	28
第3節 妥当性に関わる実験手続き	33
第4節 信頼性に関わる実験手続き	38
第5節 小学校理科教科書における手続きの使用状況	40
第1項 調査の方法	40
第2項 調査の結果	40
第3項 考察	44
第6節 本章のまとめ	46
第2章 仮説の受容可能性と児童の内容理解	52
第1節 本章の目的と研究の手順	52
第2節 先行研究・教科書に基づく発芽の実験において仮説の 受容可能性を高める手続きの検討	54
第3節 事前調査の方法と結果	61
第1項 事前調査の対象・時期及び方法	61
第2項 事前調査の結果	62
第4節 植物の発芽の授業の概要	65

第 1 項 水の必要性を調査する仮説の受容可能性を高める 手続きを踏まえた授業	65
第 2 項 植物の発芽の実験の指導方法	65
第 5 節 実践・調査の手続き	67
第 1 項 授業実践・調査の対象及び時期	67
第 2 項 調査方法	67
第 3 項 授業実践の概要	68
第 6 節 調査の結果及び分析	71
第 1 項 調査の結果	71
第 2 項 考察	73
第 7 節 本章のまとめ	75
第 3 章 実験を計画する活動による仮説形成の効果	81
第 1 節 本章の目的と手続き	81
第 2 節 仮説形成の障害要因と指導方略	83
第 1 項 仮説のアイデアとしてのアブダクティブな示唆 .	83
第 2 項 仮説の形成過程に関する先行研究	84
第 3 節 実践・調査の手続き	87
第 1 項 授業実践・調査の対象及び時期	87
第 2 項 分析の方法	87
第 3 項 授業の概要	87
第 4 節 調査結果及び分析	91
第 1 項 話し合いの中でアブダクティブな示唆が現れ、それ が議論を通して吟味される過程	91
第 2 項 児童の形成した仮説のフレーム	94
第 3 項 実験素材の提示及び実験手続きを考える活動の後 に児童の形成した仮説	97
第 4 項 考察	103
第 5 節 本章のまとめ	104
第 4 章 実験を計画させる活動の指導方略	111

第 1 節 本章の目的と手続き	111
第 2 節 実験を計画させる活動の困難	113
第 3 節 児童による思考の後に教師による教示を組み合わせた指導方略	118
第 4 節 思考の後に教示を組み合わせた指導方略を実験計画場面に用いることの指導上の利点	121
第 5 節 本章のまとめ	124
第 5 章 妥当性を高める実験手続きの指導とその効果—第 6 学年燃焼の単元において—	129
第 1 節 本章の目的と研究の手順	129
第 2 節 小学校理科授業における実験の妥当性を高める手続き	131
第 1 項 複数の測定を行う実験手続きに関する先行研究	131
第 2 項 本節のまとめ	134
第 3 節 ものの燃え方の授業計画	135
第 1 項 ものの燃え方の授業における対照実験を設定しない主実験のみの検証計画における実験操作前後の比較を行う実験	135
第 2 項 妥当性を高める手続きのための複数の指導方略	135
第 4 節 実践・調査の手続き	138
第 1 項 授業実践・調査の対象及び時期	138
第 2 項 事前調査の方法と結果	138
第 3 項 授業実践の概要	138
第 4 項 事後調査の方法	141
第 5 節 調査結果及び分析	143
第 1 項 調査の総合結果	143
第 2 項 実験手続きの技能面の理解に関する結果	144
第 3 項 実験手続きの認知面の理解に関する結果	145
第 4 項 考察	147

第 6 節 本章のまとめ	149
第 6 章 信頼性を高める実験手続きの指導とその効果 — 第 5 学年振り子の単元において —	156
第 1 節 本章の目的及び研究の手順	156
第 2 節 小学校理科授業における実験の信頼性を高める手続き	160
第 1 項 振り子学習に影響を与える測定誤差に関する先行研究	160
第 2 項 小学校学習指導要領における測定誤差に対処する手続きの記載	161
第 3 項 小学校理科教科書における振り子の実験手続きの記載	162
第 4 項 平均及び、外れ値の除去手続きに関する先行研究の整理	163
第 5 項 本節のまとめ	164
第 3 節 予備調査	165
第 1 項 予備調査の手続き	165
第 2 項 質問紙	165
第 3 項 予備調査の結果	169
第 4 項 予備調査の考察	170
第 5 項 予備調査のまとめ	171
第 4 節 振り子の授業の概要	172
第 1 項 単元計画	172
第 2 項 信頼性を高める実験手続きの指導	174
第 3 項 用いた教材と活動	176
第 5 節 実践・調査の手続き	180
第 1 項 授業実践・調査の対象及び時期	180
第 2 項 調査の方法	180
第 6 節 調査結果及び分析	183

第 1 項 質問紙による事前事後調査の結果	183
第 2 項 考察	184
第 7 節 本章のまとめ	187
終章 本研究のまとめ及び今後の課題	191
第 1 節 本研究のまとめ	191
第 1 項 本研究の問題の所在及び研究課題の設定	192
第 2 項 小学校理科授業で用いられる実験の手続きとその 効果（研究 1 の成果）	193
第 3 項 実験を計画する活動による仮説形成の効果の検証 （研究 2 の成果）	194
第 4 項 実験を計画させる活動の指導方略とその効果（研究 3 の成果）	195
第 2 節 教育実践への示唆	197
第 3 節 今後の課題	199

序章 問題の所在及び研究の目的、方法

本章では、本研究の背景となる先行研究の潮流を整理し、研究の目的、方法を述べるとともに、理科教育研究の中での本研究の位置づけを行った。また、先行研究で扱われてきた方法を整理することで次章以降の研究の足場づくりを行った。

第1節 問題の所在

科学技術の変化の大きい現代社会においては、革新的な技術が次々と生まれており、昨日まで新しかった技術が今日にはもう過去のものとなっている。それに歩調を合わせて社会制度も時々刻々と変革を続けている。この時代を生き抜くためには、状況に合わせて自分の頭で考えて行動する力が必要であり、学校教育においては子ども達に単なる知識を与えるのではなく子ども達自身が知識を作り出していけるような「考える力」を育てなければならない。それは理科教育において、現象としての自然科学の知識だけでなく、それをどう見るか、自分の考えをどう確かめるのか、そして自分達の力で知識をどのように構築するかといった科学的に考える能力を学習者に育むことが求められているということだと換言できる。

Roden(2000)は仮説を立て、それが正しいかどうかを実習において試すという点では科学教育は唯一の中心的教科であると述べ、理科教育において育むべき「考える力」として「仮説を立てそれを検証する」という科学的思考力を挙げている。検証の過程として実験を計画する活動は科学的探究プロセスにおける中心的な位置を占めており(Wajeman,

Girault, D'Ham, Ney & Sanchez, 2005)、実験を計画する能力は理科教育で育成する問題解決の能力を構成する重要な要素の1つである。

科学的分野を中心分野とした PISA2015 では日本の高校生の科学的リテラシーが国際的に上位にあることが示された一方で、「科学的探究を評価して計画する」能力が他の能力に比べて相対的に低い結果であったと後藤（2017）は指摘している。なお、PISA2018 においては我が国の順位がやや低下した（2位→5位）ものの、依然として上位層には位置づけられている。しかしまた、平成27年の全国学力・学習状況調査では理科の「活用」に関する問題の中でも「予想が一致した場合に得られる結果を見通して実験を構想」する力に課題があることが指摘された（文部科学省・国立教育政策研究所，2015）。このように実験を計画する能力の育成は我が国の理科教育の取り組むべき課題である。

実験を計画する能力について、小学校学習指導要領解説理科編では第5学年の目標の解説において記述が見られる（文部科学省、2008；文部科学省、2017）。平成20年度に告示された小学校学習指導要領解説理科編では、実験を計画する能力の中でも条件制御の能力に特に焦点を当てているが、平成29年告示の小学校学習指導要領解説理科編では「解決の方法を発想する力を養う」という文言でより広範な能力の育成について言及されている（表1）。理科学習で実施される問題解決においては「解決の方法」として観察や実験が行われていることから、同学習指導要領ではより多様な実験を計画する能力を育成することの重要性が強調されていると見てとれる。

表 1 実験を計画する能力の育成に関する小学校学習指導要領の記述

	実験を計画する能力に関する記述
平成 20 年	変化させる要因と変化させない要因を区別しながら，観察，実験などを計画的に行っていく条件制御の能力を育成する
平成 27 年	自然の事物・現象から見いだした問題についての予想や仮説を基に，解決の方法を発想するといった問題解決の力を育成する

このように実験を計画する能力の育成は、今日の我が国の理科教育において十分な達成がなされていない課題であるとともに、学校現場においてさらに重点的に実施されるべき目標となっている。平成 29 年の小学校学習指導要領解説理科編には、実験を計画する能力の育成について、例えば「物の溶け方，振り子の運動，電流がつくる磁力について追究する中で，主に予想や仮説を基に，解決の方法を発想する力を養う」などと記載されている（文部科学省，2017）。このように，小学校学習指導要領では実地の活動を通して実験を計画する能力を育成することが目されている。実際の問題解決場面を離れて実験を計画する能力だけを取り出した指導は真正性を欠く指導となり，児童にとって主体性を高める学習となりづらいことは過去に指摘されている（小川，1992）。そのため，小学校学習指導要領に示されるように児童が主体的に取り組む問題解決の文脈の中で実験を計画する能力を育むことは有用であると考えられる。

しかし、問題解決において児童自身が主体的に実験を計画する活動を行わせるにあたって、そもそも実験においてはほど

のような手続きが必要なのかという実験を計画する活動そのものに対する十分な議論がなされていない。それゆえ、実験を計画する活動を通してどのような能力を育成するのかという視点からの系統的な学習カリキュラムの編成や、実験を計画する活動の指導方針が十分に示されていない。つまり、我が国の理科教育において実験を計画する活動は今後さらに授業において実施されるべきだという方針は示されているが、指導する内容やそれを指導する方法については示されていない状況にあり、学校現場で実際に指導がなされる上で混乱を招く可能性がある。このため、学校現場での指導に対して理科教育研究の立場から、実験を計画する活動に対して十分な知見を示すことが希求されており、理科授業のさらなる深化と発展にむけて貢献することのできる領域なのである。

第 2 節 先行研究の省察

第 1 項 実験を計画する活動の効果に関する先行研究

平成 30 年度の全国学力学習状況調査では、自ら考えた仮説をもとに観察、実験の計画を立てさせる指導を行ったと回答している学校の方が、教科の平均正答率が高い傾向にあったことが指摘されている（文部科学省・国立教育政策研究所，2018）。同様の指摘は、平成 27 年度の同調査においても挙げられており（文部科学省・国立教育政策研究所，2015）、大規模調査を通して実験を計画する活動の理科の学力全般への学習効果が示唆されたと言えよう。

また、海外ではさらに直截に実験を計画する活動の学習効果を論じる研究も複数著されている。それらの研究の 1 つの傾向として、科学的態度の涵養に関する調査がある。Karelina & Etkina(2007)は実験を計画する活動を含む授業に取り組んだ大学生と、実験を計画する活動を含まない授業に取り組んだ大学生を比較し、前者の学生がより多くの時間を実験に用い、特に科学概念と実験のつながりを解釈する活動に取り組むことで、科学者のような振る舞いが見られたことを報告している。Etkina, Karelina and Ruibal-Villasenor(2010)は同様に対照的研究を通して、実験を計画する活動の有無が大学生にとって通常のテストの点数には大きな影響を与えなかったものの、測定・数学的手続き・考察に注目する態度と、よりコミュニケーションを行う態度に影響を与え、科学的習慣の育成に影響を与えることを実証的に明らかにした。また、Apedoe and Ford(2010)は高校生の問題解決場面を質的に描写する研究を通して、実験を計画する活動が生徒の実証的な態度の育成を促すと考察している。

さらに別の傾向として、実験を計画する活動の効果に、実験を計画する能力の向上を挙げる研究が見受けられる。中で

も条件を制御する能力(CVS: Control of Variables Strategy)の一連の研究群において、実験を計画する活動を含めた探究的な学習と、教師による明示的な教示の比較調査が行われており、実験を計画する活動に一定の学習効果が見られることが報告されている(Kuhn, Black, Keselman, & Kaplan, 2000; Strand-Cary, M., & Klahr, D, 2008; Lorch et al., 2010; Roesch, Nerb & Riess, 2015)。これらの研究については次項においてより詳しく論じることとする。

さらに、実験を計画する活動の効果としては、内容理解への影響があることが予想される。しかし、この件に関しては十分な調査がなされていない。Arce and Betancourt(1997)において言及がなされていたが、管見の限りにおいてそれ以外の研究は日米双方において見られなかった。Arce and Betancourt(1997)においても、4名の生徒の短いコメントから「実験を計画する活動が内容理解を深めた」というわずかなコメントを記している程度であり、実験を計画する活動と実験の内容理解についての関連は十分に調査されているとは言い難い。また、仮説の形成は内容を十分に理解することによってなされるが、実験を計画する活動と仮説形成の関連を調査する論文も同様に見られない。

このように、先行研究からは実験を計画する活動の学習効果としては、科学的態度、実験を計画する能力に関してそれぞれ調査されており、その結果から学習者の広範な学力の向上に寄与することが期待される。一方、仮説の形成を含めた実験の内容理解に与える影響については十分な研究が行われていない。このことから、学習者の内容理解の側面から、実験を計画する活動の学習効果に関してさらなる調査の必要性が認められたと考える。

第2項 実験を計画する活動の指導方法に関する先行研究

平成20年告示の小学校学習指導要領解説編理科では実験を計画する能力の育成に関して以下のような記述が見られる。

物の溶け方について興味・関心をもって追究する活動を通して、物が水に溶ける規則性について条件を制御して調べる能力を育てる（文部科学省，2017）。

ここでは、「条件を制御して調べる」という実験の能力が、ものの溶け方について追究する活動を通して育成されるという、学習目標と手段の関係が示されている。このように理科授業における学習は教師による教示からではなく、学習者自身の活動を通してなされるものであるという認識は今日の我が国の教育研究において広く共有されているものである。先述の通り、児童が主体的に取り組む問題解決の文脈の中で実験を計画する能力を育むことは児童の理解を深めるという観点から有用であると考えられる。しかし、そのような認識と学習者が実験を計画する活動を行えば、実験を計画する能力は自然と醸成されうるのであるという素朴な学習観については区別して考察する必要がある。実験を計画する能力を育むうえで実際の探究的な学習における実験計画活動が必要不可欠であるとしても、実験計画活動さえすれば実験を計画する能力は向上するという保証はない。

全般的な学習に関する研究では、Kirschner, Sweller and Clark(2006)が先行研究のレビューを通して、学習者自身の活動のみを行う学習は、教師による教示を行う学習と比して学習効果が低いことを指摘している。Alfieri, Brooks, Aldrich & Tenenbaum(2011)は同じくレビュー的手法を用いて、教師

からの教示を受けた学習者と、探究に取り組んだ学習者を比較すると、教師からの教示を受けた学習者の方がより学習を深めることができることを明らかにしている。Alfieri, Brooks, Aldrich & Tenenbaum(2011)はそこからさらに、教師からの教示を受けた学習者と、教師の適切な支援のもと発見学習に取り組んだ学習者を比較しており、その結果後者の方がよい成績を収めることを明らかにした。

実験を計画する能力の育成に関する研究においても同様の報告は複数見られる。条件を制御する能力(CVS)の育成を目標とした一連の研究では、しばしば学習者の問題解決と、教師の教示のどちらが有効かといった視点からの実証研究がおこなわれてきた。Chen & Klahr(1999)は7歳から10歳の児童にCVS(Controls of Variables Strategy: 変数を制御する実験計画方略)を指導する際に、明示的な教示が有効であることを対照群を設定した授業実践研究より実証している。また、Strand-Cary & Klahr(2008)も小学生を対象とした比較研究によって同様の結果を報告している。Zohar and David(2008)はCVSの使い方と、いつ、なぜCVSを用いるのかという知識を併せてメタ戦略的知識MSKとして扱い、中学生を対象にそれを指導した群と指導せずに実験を行わせた群を比較することで、CVSの育成にはMSKの明示的教示が有効であると結論付けている。このように、実験を計画する能力の育成においても明示的な教示の重要性は示されてきた。

さらに先行研究においては教示の有効性に加えて、教示と学習者自身が思考する活動を組み合わせた指導法がより効果的であるとの指摘が見られる。Lorch et al.(2010)はCVSの指導場面において明示的な教示を与えた群と児童自身による問題解決学習を行った群に加えてその双方を経験した

群を設定し、それら 3 群を比較することで、明示的な教示と問題解決学習を両方行う指導が、実験計画能力の育成に最も有効であったと報告している。

以上のように先行研究においては、学習者の内容理解を深めるために学習者自身が思考する活動や明示的な教示だけではなくそれらを組み合わせた指導が有効であるとされている。しかし、その組み合わせ方や学習者による活動の在り方については検討の余地があり、さらなる研究によって精緻化するべき課題であると考えられる。

第 3 項 実験を計画する能力に関する先行研究

実験を計画する能力を指導するためには、その能力を分類し指導内容として発達段階に応じた系統的な編成の上で指導に臨む必要がある。今日の理科授業における多様な実験活動はしばしば一様にみなされ、十分に定義がなされていないと指摘されている (Gott and Duggan, 1996)。そのため、実験を計画する活動の論理構造を明らかにし、そこで用いられる実験を計画する能力を明らかにする研究が、指導方略の検討といったより実践的な研究を行う視座として必要であり今日的課題であると言える。

小・中学校の理科授業で行われている実験で必要なスキルについては、探究における技能の一部として整理・分類され、説明されてきた (長谷川ら, 2013)。長谷川ら (2013) は SAPA のプロセススキルズを精選・統合することで、実験を計画する過程に当たる技能として、以下のようなものを挙げている。

- ・ 実験において変化させる独立変数と一定に保つ独立変数を設定する
- ・ 観察・実験の目的に応じて従属変数等を適切な言葉で操作的に定義する

- ・測定 の 目的 に 応 じて 適 切 な 計 測 機 器 を 使 用 す る

また、実験を計画する能力の中でも、主に欧米の理科教育研究において数多くの知見が得られているのが対照実験における条件を制御する能力（Control of Variables Strategy）の育成に関する研究である（例えば Lawson, 1978; Lorch Jr et al., 2010; Schwichow, Croker, Zimmerman, Höffler, & Härtig, 2016）。また、国内でも仮説評価活動を行う手続き的知識（小林, 2009）、測定誤差を解釈する能力（益田・田之上・清水, 2013）、変数を同定する能力（大嶋, 2015）、変数の値を設定する能力（鈴木・稲田, 2016）の育成に関する研究などが見られる。これまでの研究では以上のようにそれぞれの研究で1、ないし少数の実験を計画する能力がバラバラに扱われてきた。そのためこれらの能力を統合し、それぞれの関係を示す研究は管見の限り見られない。以上より実験を計画する能力を指導内容として見据え、それを系統的に指導するためには、実験を計画する能力を分類、整理することでその詳細を明らかにする必要があると指摘される。

安部・松本・松本（2019）は、実験を計画する能力とは、それぞれの仮説に合わせて実験手続きを適切に用い、仮説を検証する能力が高まるような実験をデザインする能力であると定義している。そのため、実験を計画する能力としては実験手続きの手順を理解するだけではなく、どのような場面で、なぜ、その実験手続きを用いるのかという認知的理解が必要であるとされている。この観点に沿って分類するならば、実験手続きを分類、整理することが実験を計画する能力の理解につながることを期待される。実際の小学校の理科授業における実験がどのような手続きを用いているのかを調査することで、小学生に育成すべき実験を計画する能力を検討する視座が得られるであろう。

第 3 節 研究の目的及び方法

第 1 項 研究の目的

先行研究より見いだされた問題意識に基づいて本研究では目的を、小学校の理科授業における実験に用いられる手続きを明らかにし、児童が実験を計画する活動の学習効果を明らかにするとともに、児童が実験を計画する活動の指導方略を提案することとした。また、それらの結果から実験を計画する活動の指導に関する示唆を述べることとした。

第 2 項 研究の方法

上記の目的を達成するために、本研究では 3 つの研究課題を設定し、それぞれについて解決を試みた。

1 つめの研究課題（以下、研究 1）は、小学校の理科授業における実験に用いられる手続きを明らかにすることである。本研究では特に小学校理科授業における実験を対象とする。

2 つめの研究課題（以下、研究 2）は、実験を計画する活動を授業に取り入れることで児童が形成する仮説に与える影響を明らかにすることである。

3 つめの研究課題（以下、研究 3）は、実験を計画する活動を指導する指導方略を提案し、実証的調査からその学習効果を明らかにすることである。

上記の 3 つの研究課題を解決するための研究の方法として、第 1 に先行文献の調査を行った。実験を計画する過程と実験の手続きに関しては、理科教育に留まらず広く記述を収集しそれらを統合する理論の導出を試みた。

第 2 に、小学校理科授業における授業実践から、試みる指導方略の効果を実証的に調査した。調査は、研究課題に応じて質問紙調査、音声プロトコル、ワークシートの記述を質的、

量的に分析した。

第3に上記の方法によって得られた成果を総括し、実験を計画する活動の実施に対する教育実践への示唆を述べた。

第 4 節 本論文の構成

本論文は、序章及び終章を含め 8 章から構成している。以下、章立てを述べる。

序章では、研究を展開するに至った問題の所在、研究の目的及び方法について述べた。

第 1 章及び第 2 章は研究 1 に位置づくものである。第 1 章では文献調査により、実験の手続きの解明を試みる。第 2 章では実験の手続きの児童への影響を授業実践から調査することで、授業実践において実験を適切に構築することの重要性を明らかにする。

第 3 章は研究 2 に位置づくものである。授業実践により、実験を計画する活動の児童への効果を調査する。小学校第 6 学年「ものの燃え方」単元の実験を題材として、児童の仮説形成への影響を検証する。

第 4 章、第 5 章及び第 6 章は研究 3 に位置づくものである。第 4 章では先行文献の知見に基づき、実験を計画する活動を指導する方略を提案する。第 5 章では授業実践により、提案した指導方略の効果を仮説妥当性に関わる実験手続きの指導場面において検証する。題材とした実験は小学校第 6 学年「物の燃え方」における実験である。第 6 章では同じく授業実践により、第 5 章に変更を加えた指導方略の効果を仮説の信頼性に関わる実験手続きの指導場面において検証する。小学校第 5 学年「ふりこのきまり」における実験を題材として実践を行う。

終章では、一連の研究成果をまとめ、本研究の総括を行う。また、教育実践・教育研究への寄与を論じる。

各章の構成を図に表すと図 1 のようになる。

序章 問題の所在及び研究の目的、方法

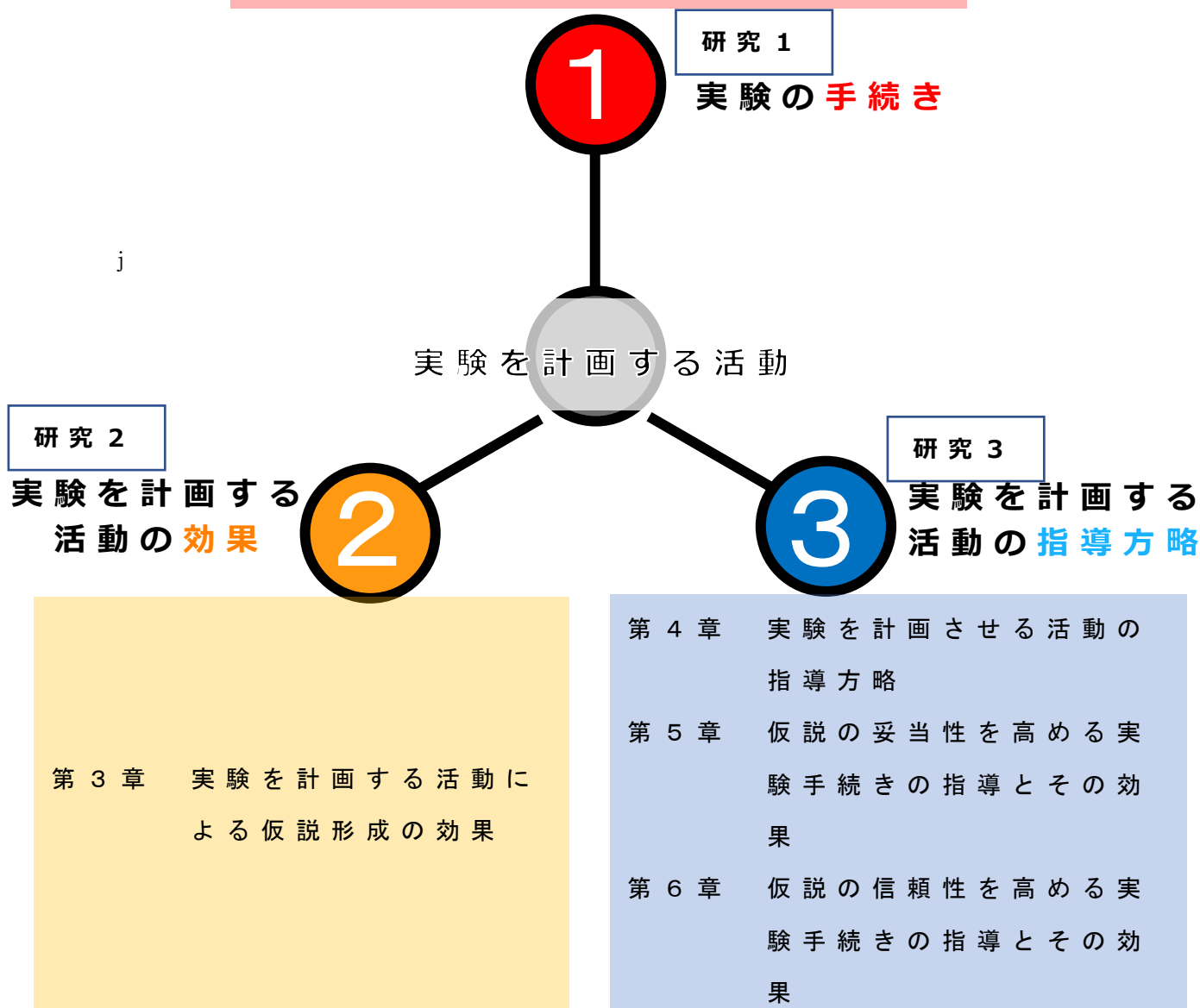
先行研究における「実験の手続き」

先行研究における「実験計画活動の効果」

先行研究における「実験計画活動の指導法」

第1章 小学校理科授業で用いられる実験の手続き

第2章 仮説の受容可能性と児童の内容理解



終章 本研究のまとめ及び今後の課題

図 1 本論文の構成

引用参考文献

- 安部洋一郎・松本榮次・松本伸示 (2019) 「小学校理科授業における実験手続きの指導方法とその効果」 『理科教育学研究』 第 59 巻, 第 3 号, 325-334.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103(1), 1-18.
- Apedoe, X., & Ford, M. (2010). The empirical attitude, material practice and design activities. *Science & Education*, 19(2), 165-186.
- Arce, J., & Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction. *Journal of College Science Teaching*, 27(2), 114-118.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, 70(5), 1098-1120.
- Etkina, E., Karelina, A., Ruibal-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: Learning in introductory physics laboratories. *The Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54-98.
- 後藤 顕一 (2017) 「OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA2015) の結果」 『理科の教育』 第 66 巻, 4-9.
- Gott, R., & Duggan, S. (1996). Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791-806.
- 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至 (2013) 「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・

実験等の類型化とその探究的特徴」 『理科教育学研究』 第54巻, 第2号, 225-247.

Karelina, A., & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist: Student approach study to experimental design. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 3(2), 020106.

Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41(2), 75-86.

小林寛子 (2009) 「「仮説評価スキーマ」 教示と協同活動が科学的な法則や理論の理解と観察・実験スキルの向上に与える影響」 『教育心理学研究』 第57巻, 第2号, 131-142.

Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18(4), 495-523.

Lawson, A. E. (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of research in science teaching*, 15(1), 11-24.

Lorch Jr, R. F., Lorch, E. P., Calderhead, W. J., Dunlap, E. E., Hodell, E. C., & Freer, B. D. (2010). Learning the control of variables strategy in higher and lower achieving classrooms: Contributions of explicit instruction and experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102(1), 90.

益田裕充・田之上大輔・清水秀夫 (2013) 「測定誤差の解釈を支援する理科授業デザイン: アクション・リサーチの視点を用いた体系的なアプローチ」 『臨床教科教育学会誌』 第13巻, 第1号, 73-80.

- 文部科学省（2008）『小学校学習指導要領解説理科編.』大日本図書.
- 文部科学省（2017）『小学校学習指導要領解説理科編』大日本図書
- 文部科学省・国立教育政策研究所（2015）「平成27年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書」 Retrieved from <https://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/psci.pdf> (accessed 2018.03.30)
- 大嶋竜午（2015）「英国の科学的探究能力育成教材における変数同定の指導方法の特質」 『理科教育学研究』 第55巻，第4号，405-414.
- Roesch, F., Nerb, J., & Riess, W. (2015). Promoting experimental problem-solving ability in sixth-grade students through problem-oriented teaching of ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37(4), 577-598.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T., & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37-63.
- Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23(4), 488-511.
- 鈴木禎弘・稲田結美（2016）「実験活動において独立変数の値を設定する能力の育成に関する研究」 『理科教育学研究』 第56巻，第4号，447-458.
- Wajeman, C., Girault, I., D'Ham, C., Ney, M., & Sanchez, E. (2005). Analysing experimental design tasks in scientific labwork. Paper presented at the Conference of European Science Education Research Association (ESERA 2005): contributions of research to enhancing students' interest in learning science.

Zohar, A., & David, A. B. (2008). Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition and Learning*, 3(1), 59-82.

第1章 小学校理科授業で用いられる実験の手続き

本章では研究1として小学校理科授業で用いられる実験の手続きを明らかにすることを目的として論じた。

本章では目的を達成するために、文献研究を行った。具体的には、まず第1に主に理科教育及び科学哲学等に関する文献を収集し、実験を計画する活動の論理構造を同定した。次にその論理構造に位置づけられる統計的な実験的研究手法について、自然科学や社会科学等の多様な分野における文献を収集し、実験手続きの詳細を論じた。最後に小学校理科教科書に掲載された実験を調査し、用いられている実験手続きを同定した。

第1節 本章の目的と研究の手順

実験を計画することは従来の研究においては演繹的推論であり、比較的単純な過程として捉えられてきた(Lawson, 2003)。しかし実験を計画することは、様々な要素が関わりあっている複雑な過程であり(Jeong, Songer & Lee, 2007)、必ずしも直線的で自動的な思考過程ではない。小学校の理科授業で行われている実験には、実験手続き(安部・松本・松本, 2019)や実験と仮説をつなぐ論理(安部・高橋・山岡・松本, 2019)に複雑なものがあることが指摘されている。この点についてGott and Dugans(1996)は理科授業における実験活動が単一のものだとみなされ十分な定義がなされていないことが、理科教育研究に混乱を生じさせていると指摘している。そのため実際に行われている実験を調

査し、実験の詳細を分析する研究は今日の我が国の理科教育研究においてとりあげるべきトピックの1つであると考えられる。特に、序章で論じた通り小学校の学習内容として実験を計画する能力を取り上げるにあたり、小学校理科授業で行われている実験を、そこで用いられている実験手続きの水準まで詳細に検討する必要がある。

小学校で指導される理科学習の内容は、より上位の学問領域からの豊かな知見に基づいて構成されている。例えば、小学校の生き物に関する指導内容は、分子生物学、生態学、解剖学、発生生物学、動物行動学といった種々の学問につながる学習であり、生物学の基礎を指導するべく系統的に配置されている。対して、実験を計画する活動については、中心となる上位の学問領域は統計学にあたる。中でも、実験における様々な手続きは Fisher によってその基礎が築かれ、実験計画法 (Design of experiment) として発展してきた。しかし、各種研究分野においては実験計画法を基礎としつつも、対象に合わせた実験手法が分野ごとに発展し用いられてきた。そのため、実験の方法論や用語は必ずしも統一されておらず、時には1つの学問領域に特化した手法が用いられることもある。小学校の理科教育においては物理・化学・生物・地学の各領域の単元が配置され、その実験も多岐にわたっている。そのため実験の詳細を調査する上で統計学だけではなく、自然科学はもちろん社会科学の各種研究分野の観点を取り入れ考察する必要がある。また、国内外の理科教育に関する先行研究において扱われてきた実験手法をそれらの観点と呼応させ、その一致を試みることで、論点が明らかになることが期待される。

Wajeman, Girault, D'Ham, Ney, & Sanchez (2005) は実験を計画する活動では学習者が抱える課題と、実験と、予想される

結果をつなぐことが求められると指摘している。実験を計画する活動を分析するためには、そこで用いられる手法やそれを用いる判断というミクロな視点だけではなく、全体としての問題解決において実験を計画する活動が果たす役割とつながりというマクロな視点からの分析が求められる。このような実験が果たす役割については科学哲学において議論の俎上にのせられ、長年その意味が問われてきた。そのため実験を計画する活動の詳細を明らかにするにあたり、科学哲学や、科学的な手法の成り立ちを研究する科学史の知見も必要に応じて参照することが求められる。

本研究の目的は実験を計画する活動の論理構造を明らかにし、小学校理科授業で用いられる実験の手続きを分類することである。また、本研究では一般的な自然科学実験ではなく、あくまでも理科授業において扱われる実験を対象としている。そのため、小学校理科教科書に掲載された実験を以て、小学校理科授業で行われる実験の実例とし、その記述の分析によって小学校における実験の手続きを判断することとした。

第2節 実験を計画する活動における論理構造

仮説から実験を通して確かめることのできる言明を引き出す推論は演繹的推論であるとされている (Lawson, 2003) ことから、実験を計画する推論は演繹的推論であると判断されることが多い。例えば A 社の小学校第 5 学年の教科書には、水溶液の単元において「物は水に溶けるとなくなってしまうのだろうか」という問いとそれを解決するための実験が掲載されている。ここでは、なくなってしまうのか、まだ水の中に残っているのかという、観察不能な「存在」を検証するために、質量を用いた実験が紹介されている。この実験の演繹的推論は図 2 のように示すことができる。

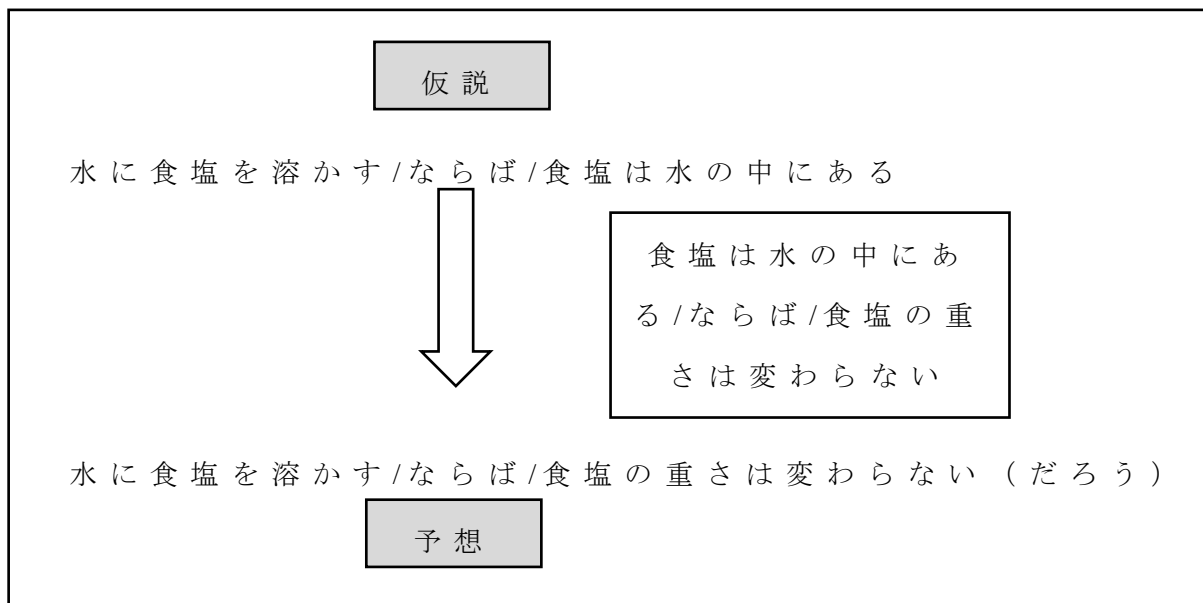


図 2 実験を計画する活動の演繹的推論

図 2 の例では、水に食塩を溶かすという言明を p 、食塩は水の中にある言明を q 、食塩の重さは変わらないという言明を r と記すならば (図 3) のような論理式で表現することができる。

$p \rightarrow q$ $q \rightarrow r$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> $\therefore p \rightarrow r$
--

図 3 図 2 の演繹的推論の論理式

図 3 の推論形式は純粹仮言三段論法にあたり、演繹的推論であることが見てとれる。ここでは、「水の中にある」という観察不能な「存在」を検証するために、観察可能である質量を用いた実験が紹介されている。このように、直接テストすることができない仮説からは、独立変数の操作方法と従属変数の観察方法を抽出することでテスト可能な言明を引き出す必要がある。Lawson et al. (2000)は大学生の実験を計画する能力を調査し、このように観察不能な仮説からの実験計画が、観察可能な仮説からの実験計画と比較して困難であることを明らかにしている。このように、実験を計画する活動は、演繹的推論により仮説を観察可能な対象に投影することで検証可能な対象に置き換えるという側面を有している。

また、実験を計画する活動における論理構造には、これまであまり言及されてこなかったもう一つの重要な要素がある。実験計画法を提唱した Fisher は、実証的調査が誤りであるとされる場合には、仮説から実験を導き出す推論が誤りであると指摘される場合と、実験結果から結論を導き出す推論が誤りであるとされる場合があると指摘している (Fisher, 1937)。Fisher の指摘通り、仮説から演繹的に導き出された予想と実験結果が一致したとしても、その実験結果から考察によって当初の仮説の正しさを実証できるとは限らない。この点に関して、Lawson (2003)は実験を計画する思考においては、1つの仮説から演繹的に導かれる推論だけではなく、他の競合する仮説と関連する推論も必要であると

指摘している。例えば、先の食塩水の例で言えば、食塩水に何か別のものが入ったため重さに影響を与えた可能性や、重さの測定が正確でなかった可能性を排除することで、「水にとけた食塩が存在する」という仮説に対する実験の検証能力が高まるであろう。このように実験を計画するためには、単に仮説を演繹的推論から具体化するだけではなく、仮説が正しいと判断できる程度が高まるような工夫を施す必要がある。このような工夫は決して一様ではなく、実験ごと、研究者ごとに工夫する余地がある。つまり、実験を計画する活動は演繹的推論という言葉からイメージされるように、仮説から自動的・必然的に結論が導かれる行為ではなく、一方で創造的な側面を有している (Lawson, 2003)。

Hempel (1937) はここで言う「仮説が正しいと判断できる程度」を受容可能性 (acceptability) と呼んでいるため、本研究でもそれに倣いこの概念に対し仮説の受容可能性という言葉を用いることとする。実験を計画する活動における論理構造としては、これまでの理科教育研究では演繹的推論の側面が強調されることが多く、仮説の受容可能性を高める側面については言及されることが多くなかった。しかし、仮説の受容可能性を高めることの重要性は研究者誰もが意識している、実験の論理構造の重要な側面であると言えるだろう。

仮説の受容可能性の尺度には、妥当性 : Validity と信頼性 : Reliability (Gott & Duggans, 1996) が挙げられる。Lubben and Millar (1996) は妥当性が「自分が観察・測定しているものが、私が観察・測定しているものと同じであるか」という概念であり、Reliability は「自分の観察・測定結果が、自分が観察・測定しているものを示すのにふさわしい結果となっているか」という概念であるとして

いる。また、Campbell and Stanley(1963)は妥当性について、「この実験の事例において処遇が本当に違いを生んだのか」という疑問に関する概念であるという説明を行っている⁵⁾。つまり、妥当性と信頼性はそれぞれが異なった見地から実験による仮説の検証能力を高め、仮説の受容可能性につながる尺度である。このことから、本研究では仮説の受容可能性の尺度として妥当性と、信頼性の峻別が採用できると判断した。

以上のような、実験を計画する活動における演繹的具体化の側面と、仮説の受容可能性の向上の側面は独立なものではなく、それぞれが密接に関りあっているものである。先の食塩水の例においては、食塩の「存在」を具体化し測定するために、質量だけでなく味覚や硝酸銀水溶液の反応を用いることもできる(図4)。また、これらそれぞれの測定方法には妥当性を低める固有の問題点があることが見てとれる。例えば、食塩水の質量を測定する方法では、食塩が水と反応して他の物質に変質していたとしてもそれを見分ける方法がない。また、硝酸銀水溶液は食塩だけでなく塩化物イオンに反応するため検出した塩化物イオンが他の物質由来のものである可能性が否定できない。そのため、できるだけ他の要素を排除できる測定方法を選択することや、複数の測定方法を用いることが妥当性を高める方法として挙げられる。つまり、演繹的に具体的な測定の方法を導き出す過程において、同時に仮説の受容可能性を高めることができるということである。

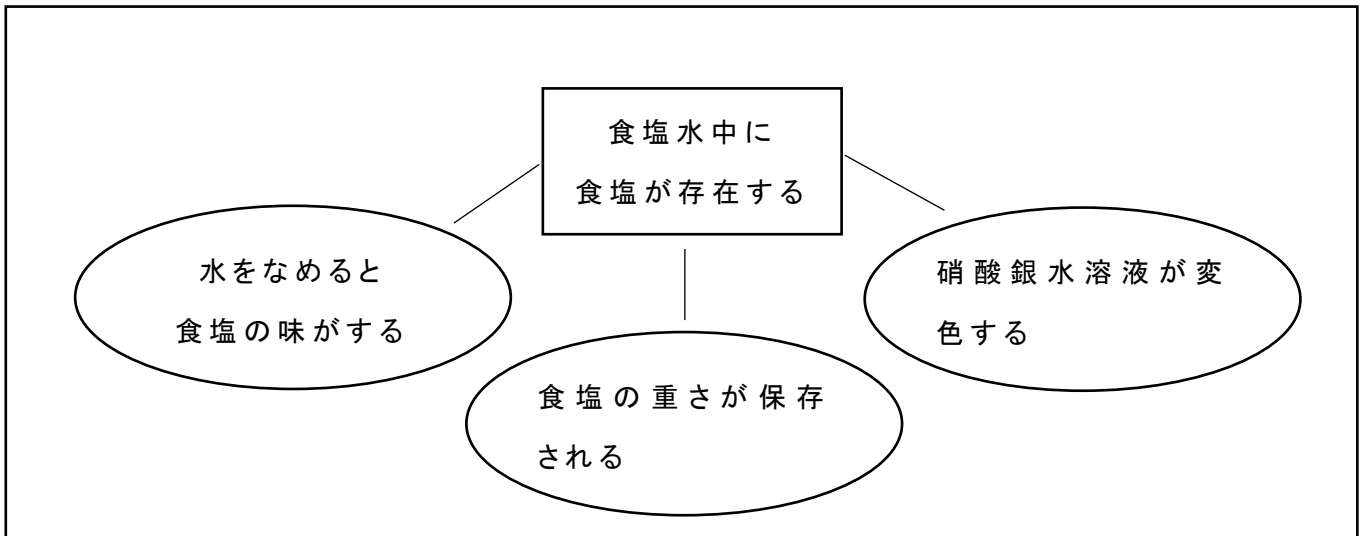


図 4 小学校の実験として想定されうる「食塩の存在」に対する測定操作

さらに、重さを測定するために、ばねばかりを用いるのか電子天秤にするかという判断は、実験において求められる信頼性の程度に基づいてなされるものである。これらのように実験における妥当性・信頼性を高めることで仮説の受容可能性がより高い実験結果が得られると言える。

以上のように、実験を計画する活動の論理構造には

- ① 演繹的推論により仮説を具体化する
- ② 仮説の受容可能性を高める

という2つの側面が認められる。それぞれの実験の手続きはこの論理構造に位置づけられることで、どのような場面で、何のためにそれぞれの手続きを用いるのかという必要性の伴った手続きとなりえる。

第3節 妥当性に関わる実験手続き

本節では、具体的な実験の手続きを論じるにあたり、前節で言及がなされた仮説の受容可能性のうち、主に妥当性に関わる実験手続きに焦点を当てて、先行研究を基に整理・分類を行うものとする。また、これらの手続きが実際に小学校の理科授業で行われているのかという点については、第5節で調査を行う。

仮説の妥当性を高める実験手続きとして第一に挙げられるのが、条件を制御する手続きである。統制群と対照群を設定して実験を行う際に、1つの変数だけを変更し、他の変数を統一するという2点はその眼目である。この手続きは海外では Controls of Variables Strategy (CVS) と呼ばれ、研究が進められてきた（例えば Lawson, 1978; Lorch Jr et al., 2010; Schwichow, Croker, Zimmerman, Höffler, & Härtig, 2016）。また、我が国においても平成29年度に告示された小学校学習指導要領解説編理科の第5学年の学習活動に「条件を制御しながら調べ」などと記載が見られる通り、小学校の理科授業において重点的に指導する考え方の1つとして挙げられている。例えば小学校第5学年の指導内容である種子の発芽の学習では、水を与える種子と与えない種子を比較する際に、空気や温度の条件をそろえることで水の有無の影響を、より妥当に評価する手続きが行われている。

平成27年度に行われた全国学力学習状況調査では、条件を制御する手続きに関する問題が出題されており、全国の小学生の正答率は約78%であったことが報告されている。これは、それ以外に出題された実験計画場面の問題の正答率（約54%）や、全問題の正答率（約61%）に対して高い結果であった（文部科学省・国立教育政策研究所, 2015）。そのため同調査からは、条件を制御する実験手続きは、我が国

の小学生において比較的 understanding が定着していると考えられる。

また、実際の探究的な活動においては3群以上の実験群を設定して調査を行うことがある。例えば、発芽における水の影響を評価する際に、与える水の量を100g、50g、0gと設定すれば、3群の実験群を比較する実験となる。このように設定された独立変数の量は一般に水準と呼ばれるが、小学校理科授業においても3群以上の実験群を設定する実験を行うのであれば、必然的に適切な水準を設ける必要がある。水準の設定方法については領域ごとに異なると考えられるが、科学者は水準に極値を設定する方略と、各群間における水準の間隔を等しくする傾向があることが指摘されている (Veermans & de Jong, 2006)。また、鈴木・稲田 (2016) は中学生に雪道の坂の角度とそりが進む距離を調査する実験を計画させる際に、角度の値の1つとして 0° を設定することを学習目標の一つとして設定した授業の研究を行っている。このように、水準を設定する際には適切な値に設定する必要があり、さらに3群以上の実験群の比較においても、調査対象の独立変数以外の条件はそろえることが求められる。

次に挙げられるのが、事前事後の測定を行う実験手続きである。小学校第5学年の学習内容である植物の成長の実験では、光の有無による植物への影響を調査する。ここでは、実験を行った後の植物の大きさを測定するだけでなく、実験を始める前の植物の大きさを測定しておくことで、光の影響に対するより妥当な評価を下すことができる。事前事後の比較を行うためには、事前事後の測定方法を統一する必要がある。この手続きに対して児童が有している理解については第5章に詳述する。

また、光の有無による植物の成長への影響を調査する際に

は、光を与えた植物の1日ごとの樹高を測定することで、光の影響を継続的に評価することができる。このように、測定の回数を3回以上に設定する実験においては、測定を行う時間間隔や測定回数の適切な設定が必要となる。また、各測定において操作を統一することも、求められる手順である。

さらに、前節で論じたように仮説から演繹的に導き出された具体的な実験操作を複数行うことも実験手続きとして挙げられる。Lawson (2010) は Sherman と Flaxman の「調理におけるスパイスの利用が抗菌を目的としている」という仮説から演繹的に導き出される予想を5つ紹介している。それらは「食料がすぐに傷んでしまうような暑い地域では、スパイスが用いられる機会が多い」「それぞれの国で用いられているスパイスが、その地域に特有な細菌に有効に働く」「それぞれの国のレシピにおいて野菜料理よりも肉料理にスパイスが用いられる割合が多い」といったものである。そのうえで、これらの予想を1つではなく全て検討することで仮説の妥当性を高めている。このように仮説から導き出される実験操作を1つではなく複数行い、それらの結果を検討すればより確実な実験結果が得られ、実験による仮説の受容可能性が高まる。

最後に挙げられるのが、複数の独立変数を同時に変更する実験手続きである。Fisher が提唱した実験計画法においては「一定の実験費用の下で得られるべき情報量を最大にすることがその原則とされている(奥野忠一, 1969)。そのため、従属変数に影響を与える独立変数が複数想定される場合にはそれらを1つずつ変更する調査ではなく、複数の独立変数を同時に変更する調査の方が、独立変数間の交互作用を観察できるという点で有効であるとされる(Fisher, 1937)。例えば第5学年の種子の成長の実験では、植物の成長という従

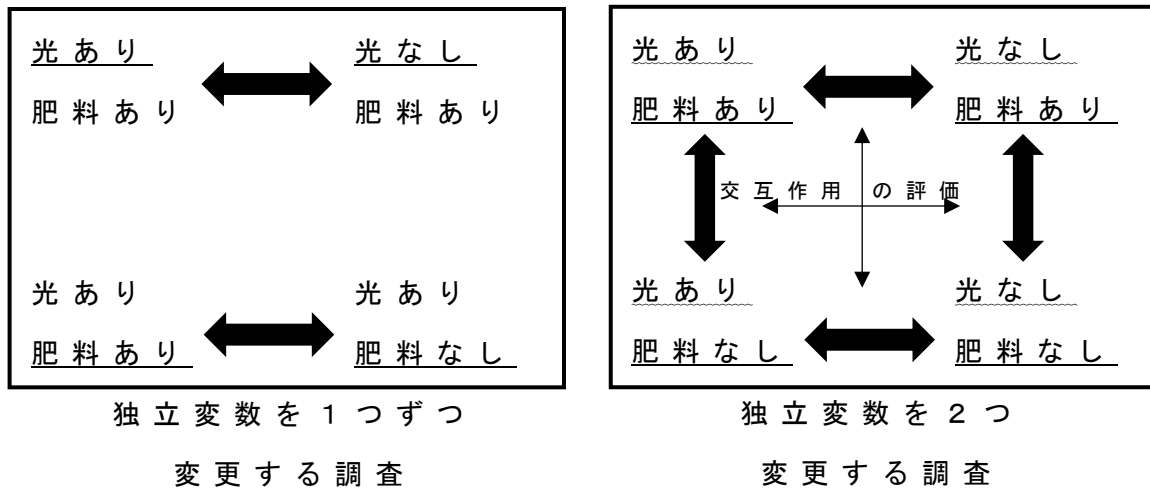


図 5 独立変数の数による調査の違い

属変数に対し、植物にあたる光の有無、肥料の有無という2つの独立変数が想定される場合であれば図5のように2つのタイプの調査の在り様が想定される。図5の例では、同数の実験回数(4回)であっても独立変数を1つずつ操作する調査においては「光あり・肥料あり」の条件での実験が2度行われているのに対し、他方では「光なし・肥料なし」の実験が加わり、どの実験においても条件が異なっている。このように、複数の独立変数を同時に変更する実験手続きは効率的であるが、全ての独立変数の条件を遺漏なく組み合わせることが求められる。3つ以上の独立変数を同時に変更する際や、1つの独立変数の水準を3つ以上設定する際には、その組み合わせの数が多く複雑な手順となる。

以上のように妥当性に関わる手続きをまとめると、表2のように実験群の数、測定回数、実験操作の数、一度に扱う独立変数の数、という4つの観点に基づく6つの実験手続きに分類される。理科授業において実験を計画させる際には、それに対応した手続きの理解が必要となる。また逆に、それぞれの実験を通してこれらの手続きを指導することも可能となると考えられる。

表 2 妥当性に関わる実験手続き

観点		手続きの詳細
実験群の数	2つの実験群を設定する手続き	変数を1つ変更した対照群を設定する 実験群間で条件を制御する
	3つ以上の実験群を設定する手続き	適切な独立変数の数値を割り当てた複数の群を設定する 実験群間で条件を制御する
測定の数	事前事後の測定を設定する手続き	事前の測定を設定する 事前と事後の測定において操作を統一する
	3回以上の測定を行う手続き	適切な間隔で複数回の測定を設定する 各測定において操作を統一する
仮説を具体化した実験操作の数	実験操作を複数行う手続き	仮説から導き出された実験操作を複数行う
一度に変更する独立変数の数	複数の独立変数を変更する手続き	すべての組み合わせを遺漏なく配置する

第4節 信頼性に関わる実験手続き

本節では信頼性を高めるための実験手続きについて述べる。測定誤差を減少させ、信頼性を高めるために実験を複数回行う手続きの理解とその指導法については、理科教育研究において取り上げられてきた（例えば中城，2014； Allie, Buffler, Campbell, & Lubben, 1998）。適切な指導の下では、測定を繰り返す手続きの必要性について小学生であってもその多くが理解することができたという研究結果が報告されている(Munier, Merle, & Brehelin, 2013)。

信頼性に関わる実験手続きには繰り返しと反復の2種類が挙げられるが、それぞれ対応する誤差の種類が異なっている。繰り返しの測定によって対処することのできる誤差は、例えば1mm尺度で測定する度に生じる0.1mm規模の違いなどの、偶然に不定な関係で起生する偶然誤差である（森川・成田，2004）。それに対して、測定機器や測定環境に問題があって生じる誤差のように、誤差の原因がわかっており、その原因によって何度も起生する誤差は系統誤差と呼ばれ区別されている（大澤，2016）。例えば10gと20gの振り子の周期を測る実験において、測定者による測定の癖が生じることが予想される場合には、どの測定者にも10gと20gの振り子の周期を測定させる（図6）ことによってその系統誤差に対処することができる（奥野・芳賀，1996）。このように系統誤差に対処するために測定環境や実験対象を変えて一連の実験を複数回行う手続きは反復（replication）と呼ばれ、同一の条件で複数回測定を行う繰り返し（repetition）と区別されている。繰り返しと反復はしばしば混同され、誤った意味で用いられてきた（Hurlbert, 1984; 塩見・陳・奥村・高田, 2009; Vaux, Fielder & Cumming, 2012）が、元来その手続きも意味も異なっている。

以上のように、信頼性を向上させるための手続きには繰り返しと反復の2種類が挙げられる。これらの手続きは測定の複数回の試行によって行われるものである。

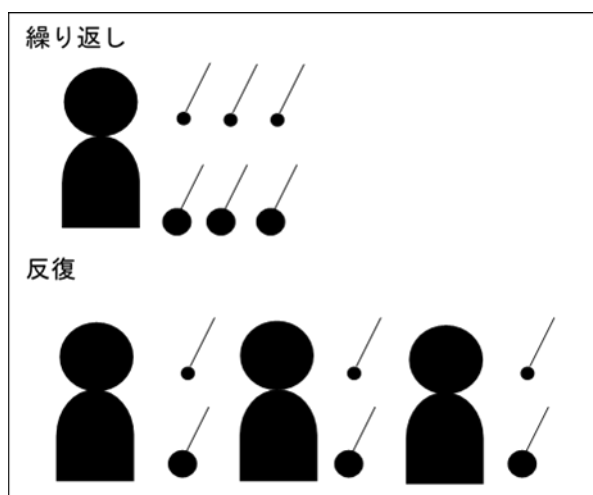


図 6 繰り返しと反復の相違

表 3 信頼性に関わる実験手続き

	手続きの詳細
繰り返しの手続き	同一の条件で複数回の試行、測定を行うことで偶然誤差に対処する
3つ以上の実験群を設定する手続き	実験者や実験器具、実験対象などの条件が異なった条件で、複数回の試行、測定を行うことで系統誤差に対処する

第5節 小学校理科教科書における手続きの使用状況

第1項 調査の方法

第3節及び第5節では妥当性、信頼性という仮説の受容可能性の観点から実験手続きを分類した。小学校理科授業における指導内容として実験を計画する能力を捉えなおすためには、これらの実験手続きが小学校理科授業においてどの程度用いられているのかを明らかにする必要がある。本節では小学校理科教科書に掲載された実験の手続きを調査することで、小学校の理科授業で行われている実験で用いられている手続きを分析することができると考えた。

調査の手続きとしては、平成26年に検定を受けた国内の小学校理科教科書（B社）に掲載された実験の手続きを調査した。調査に当たっては、前節までで分類を行った実験の手続きの視点をもとに、合致する用例を調査した。調査は平成31年8月に行った。

第2項 調査の結果

調査の結果、実験は第3学年13件、第4学年17件、第5学年12件、第6学年20件の合計62件が見いだされた（表4）。そこで前節までに分類を行った、妥当性に関わる6つの手続き及び、信頼性に関わる2つの手続きが用いられている用例を調査した（表5）。

実験群の数については、62件中30件（48.4%）の実験が2群の実験であり、3群の実験も10件（16.1%）見られた。特に、2群の実験群を設定する実験手続きは第3学年から第6学年までを通して用いられている。この結果は先述の、条件を制御する手続きが小学生児童に比較的 understood されているという学力調査の結果と整合するものである。

表 4 B社の教科書に掲載された実験

	学年	実験課題	群の数	測定回数	実験操作 の数	独立変数	繰り返し	反復
1	6	かんの下の穴を開けるとよく燃えるのは、どうしてだろうか	2	1	1	2	1	1
2	6	ものが燃える前と後では、空気の成分に、ちがいはあるだろうか	1	2	2	2	1	1
3	6	ものが燃えるとき、酸素は、どんなはたらきをしているのだろうか	3	1	2	1	1	1
4	6	食べ物、体内でどのように変化するのだろうか	2	1	1	1	1	1
5	6	「吸う空気」と「はき出した息」では、どんなちがいはあるのだろうか	2	1	1	1	1	1
6	6	葉まで届いた水は、その後どうなるのだろうか	2	1	1	1	1	1
7	6	植物が生きていくために、空気のどんな成分が必要なのだろうか	2	2	1	1	1	1
8	6	植物は、葉に日光が当たることで、自分で養分をつくらなければならないのだろうか、また、その養分は何だろうか	2	2	1	1	1	1
9	6	水よう液は、リトマス紙で、どんな仲間に分けることができるのだろうか	5	1	1	1	1	1
10	6	炭酸水には、何がとけているのだろうか	1	1	2	1	1	1
11	6	うすい塩酸には、金属を変化させるはたらきがあるのだろうか	1	1	2	1	1	1
12	6	見えなくなった金属は、どうなったのだろうか	1	1	3	1	1	1
13	6	塩酸のほかにも、金属を変化させる水よう液は、あるのだろうか	3	1	2	1	1	1
14	6	月の形の見え方が、日によって変わるの、どうしてだろうか	8	1	1	1	1	1
15	6	地層は、どのようにしてできたのだろうか	1	1	1	1	1	1
16	6	てこどう使えば、重いものを小さな力で持ち上げることができるのだろうか	2	1	1	1	1	1
17	6	左右のうで、おもりをずらす位置やおもりの重さを変えると、どんなときに水平に釣り合うのだろうか	6	1	1	1	1	1
18	6	手回し発電機には、かん電池と比べて、どんな特ちょうがあるのだろうか	2	1	2	1	1	1
19	6	発電した電気を、たくわえて使うことはできないのだろうか	2	1	1	2	1	1
20	6	電熱線は、どんなときに、よく発熱するのだろうか	2	1	1	1	2	1
21	5	種子が発芽するには、どんな条件が必要なのだろうか	2	1	1	1	1	1
22	5	発芽に必要な養分は、どこにあったのだろうか	1	2	1	1	1	1
23	5	植物がさらに成長するには、どんな条件が必要なのだろうか	2	1	1	1	1	1
24	5	受粉しなければ、実はできないのだろうか	2	1	1	1	1	1
25	5	流れる水の量が増えると、はたらきはどうか	2	1	1	1	1	1
26	5	ふりが1往復する時間は、どんな条件で変わるのだろうか	2	1	1	1	2	2
27	5	水にとけたものの重さは、どうなるのだろうか	1	2	1	1	1	1
28	5	ものが水にとける量には、限りがあるのだろうか	2	1	1	2	1	2
29	5	水の量を変えずに、とけ残ったものをとがすことはできるのだろうか	3	1	1	2	1	1
30	5	出たつばを吸い取りのぞいた水よう液からミョウバンや食塩は取り出せるのだろうか	2	1	1	2	1	1
31	5	電磁石には、ぼう磁石のようなN極とS極があるのだろうか	2	1	1	2	1	1
32	5	強い電磁石をつくるには、どうすればよいか	2	1	1	1	2	1
33	4	かん電池をつなぐ向きと、モーターの回り向きには、どんな関係があるのだろうか	2	1	1	1	1	1
34	4	モーターをもっと速く回すには、どうすればよいか	2	1	1	1	1	1
35	4	かん電池への光の当て方を変えると、電気のはたらきは変わるのだろうか	2	1	2	1	1	1
36	4	とじこめた空気をおしたとき、空気はどうなっているのだろうか	1	2	1	1	1	1
37	4	水も空気と同じように、おしちぢめることができるのだろうか	1	2	1	1	1	1
38	4	あたためたよう器のせんが飛び出したのは、どうしてだろうか	2	2	1	1	1	1
39	4	水も空気のように、温度によって、体積が変わるのだろうか	2	2	1	1	1	1
40	4	金ぞくも温度によって、体積が変わるのだろうか	1	2	1	1	1	1
41	4	金ぞくは、どのようにあたたまっていくのだろうか	3	1	2	1	1	1
42	4	水は、どのようにあたたまっていくのだろうか	1	1	2	1	1	1
43	4	水は、どのようにして、全体があたたまっていくのだろうか	1	1	1	1	1	1
44	4	空気は、どのようにあたたまっていくのだろうか	2	1	2	1	2	1
45	4	水を熱し続けると、どうなるのだろうか	1	3	1	1	1	1
46	4	水を熱したときに出てくるあわは、水が変化したものだろうか	1	2	1	1	1	1
47	4	水を冷やし続けると、どうなるのだろうか	1	3	1	1	1	1
48	4	水は熱しなくても、じょう発して空気中にでいくのか	2	2	1	2	1	1
49	4	じょう発して空気中に出ていった水じょう液を、水にもどすことができるのだろうか	1	2	1	1	1	1
50	3	風が強くなると、風がものを動かす力は、どうなるのだろうか	2	1	1	1	1	2
51	3	わがまを引っばる長さや、わがまの本数をかえると、ゴムの力はどうか	2	1	1	1	1	2
52	3	かがみではね返した日光を重ねると、何がどのようにかわるのだろうか	3	1	1	1	1	1
53	3	虫がねで日光を集めて、紙に当てるとどうなるのだろうか	2	2	2	1	1	1
54	3	豆電球に明かりがつくのは、どんなつなぎ方のときだろうか	1	1	1	1	1	1
55	3	はなれたどう線の間に、何をはさむと明かりがつくのだろうか	1	1	1	1	1	1
56	3	どんなものが、じしゃくにつくのだろうか	1	1	1	1	1	1
57	3	じしゃくのはたらき、はなれていてもはたらくのだろうか	1	1	3	1	1	1
58	3	2つのじしゃくのきまぐを近づけると、どうなるのだろうか	2	1	3	1	1	1
59	3	自由に回転できるじしゃくは、どんな向きでとまるのだろうか	1	1	3	1	1	2
60	3	じしゃくについたものは、じしゃくになったのだろうか	1	1	3	1	1	1
61	3	ものは、形がかわると、重さもかわるのだろうか	4	2	1	1	1	1
62	3	同じ体積のものは、どんなものでも、同じ重さなのだろうか	5	1	1	1	1	1

測定回数については、事後のみの実験が62件中45件(72.6%)であり、事前事後と2回の測定を行う手続きについては15件(24.2%)の実験において見られたのみであった。これは2群の実験群を設定する実験手続きと比較して少ない件数であるが、同様に第3学年から第6学年まで共通して用いられている実験手続きであると言える。また、時系列の測定を行う手続きは第4学年の2件の実験に見られたのみであり、どちらも水の温度を変化させた際の状態変化を継続的に観察するものであった。

仮説から導き出された実験操作の数については、第3学年より第6学年までの62件において、17件(27.4%)の実験が複数の実験操作を行っていた。

一度に調査される独立変数の数に関しては、62件中54件(87.1%)が独立変数を1つずつ調査しており、一度に2つの独立変数を操作して調査する手続きは8件(12.9%)見られたのみに留まった。

繰り返しの手続きについては62件中4件の実験にのみ用いられていた。例えば、第5学年では、振り子の周期を測定する場面、第6学年では、電熱線の太さによって発泡スチロールの切断に要する時間を測定する場面においてこの手続きは用いられていた。

反復の手続きについては、『反復』という言葉を用いて実験手続きを説明したものは見られなかった。しかし第5学年の振り子の単元では実験結果から考察を行う場面の記述に「結果には誤差があるかもしれないのでほかのグループの結果も参考に、全体で確かめよう」という記述が見られた。このようにそれぞれの班の実験結果を比較することで、測定者も測定機器も異なる条件下での比較を行うことができることから、これは反復の手続きであると捉えられる。同

様の記述は第3学年の実験において、ゴムや風の力で車が走った距離をまとめる場面にも見られた。

表5 教科書に掲載された実験の実験手続き

		第3学年	第4学年	第5学年	第6学年	
		13	17	12	20	62
実験群の数	1群	6	9	2	5	22
	2群	4	7	9	10	30
	3群以上	3	1	1	5	10
測定	事後	11	7	10	17	45
	事前事後	2	8	2	3	15
	時系列	0	2	0	0	2
実験操作	1操作	8	13	12	13	46
	複数操作	6	4	0	7	17
独立変数	1つずつ	13	16	8	17	54
	2つ同時	0	1	4	3	8
繰り返し	なし	13	16	10	19	58
	あり	0	1	2	1	4
反復	なし	10	17	10	20	57
	あり	3	0	2	0	5

以上より、小学校理科教科書に記載された実験では、6つの観点のもとに8つの実験手続きが用いられていることが明らかになった（表6）。

表 6 小学校理科教科書に掲載されている実験手続き

尺度	観点	手続き
妥当性	実験群の数	2つの実験群を設定する手続き
		3つ以上の実験群を設定する手続き
	測定の数	事前事後の測定を設定する手続き
		3回以上の測定を行う手続き
	仮説を具体化した実験操作の数	仮説から導き出された実験操作を複数行う手続き
一度に変更する独立変数の数	複数の独立変数を変更する手続き	
信頼性	繰り返し	繰り返しの試行を行う手続き
	反復	反復の試行を行う手続き

第3項 考察

教科書の調査から、前節までで分類を行った8つの実験手続き全てが小学校の理科教科書に掲載された実験に用いられていることが明らかになった。ただし、これらの実験手続きが用いられている回数には大きな差が見られた。これは、小学校理科授業においてこれらの実験手続きが多少なりとも用いられていることであると換言できる。また、この結果から児童に小学校の理科教科書に掲載された全ての実験を計画させるならば、8つの実験手続きのいずれも用いさせることが必要となる。

児童に実験を計画させる活動を実施するにあたり、活動を実施するにふさわしい実験の判別が求められる。その過程において、指導内容として実験手続きを捉えなおすことで、どの実験手続きを指導し、どの実験手続きをその対象から省く

のかを明確にする必要があると言えるだろう。また、教科書の記述からは繰り返しの手続きのように、科学的に必然である手続きでありながら、指導される場面が偏っているものが見られた。このような手続きについては、低学年から高学年の継続的な指導を行うことでその理解が深まることが期待される。

また反復の手続きについては、日常的に理科の授業で行われていると思われるが、教科書に多くの記載がなされていないことが明らかになった。理科授業が苦手な若手教員など、より多くの教員の授業への影響を考える上で、このような手続きを明確に教科書に示すことが求められていると言えよう。

第6節 本章のまとめ

本章では小学校理科授業で用いられる実験の手続きを明らかにすることを目的として理科教育、科学哲学の文献を省察した。その結果、以下の3点が明らかになった。

- ① 実験を計画する論理構造には、仮説を具体化する、仮説の受容可能性を向上させる、という2つの側面があること。
- ② 仮説の受容可能性を向上させるための実験手続きは妥当性を向上させるための手続きと、信頼性を向上させるための手続きに分類できること
- ③ 妥当性を向上させるための手続きは6種類、信頼性を向上させるための手続きは2種類に分類することができるが、その全てが小学校の理科教科書に掲載された実験に用いられていること。

引用参考文献

- 安部洋一郎・山岡武邦・高橋信幸・松本伸示 (2019) 「発芽条件の指導における対照実験の問題点と改善法」 『理科教育学研究』 第59巻, 第3号, 335-343.
- 安部洋一郎・松本榮次・松本伸示 (2019) 「小学校理科授業における実験手続きの指導方法とその効果」 『理科教育学研究』 第59巻, 第3号, 325-334.
- Allie, S., Buffler, A., Campbell, B., & Lubben, F. (1998). First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. *International Journal of Science Education*, 20 (4) , 447-459.
- Baird, D.(2004). *Thing Knowledge: A Philosophy of Scientific Instruments* 松浦俊輔 (翻訳) 『物のかたちをした知識 実験機器の哲学』, 青土社
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston, USA: Houghton Mifflin Company.
- Carnap, R. Gardner, M.(ed.) (1966). *Philosophical Foundations of Physics* 沢田允茂・中山浩二郎・持丸悦朗 (翻訳) (1968) 岩波書店
- Commission on Science Education of American Association for the Advancement of Science (eds.) (1963) . *Science-a process approach commentary for teachers*. AAAS/XEROX Corporation.
- Czitrom, V. (1999). One-factor-at-a-time versus designed experiments. *The American Statistician*, 53 (2) , 126-131.
- Diamond, J. & Robinson, J.A. (2011). *Using Comparative Methods in Studies of Human History*. Diamond, J. & Robinson, J.A.(eds.) *Natural Experiments of History* 小坂恵理 (2018) 『歴史は実験できるのか』慶応義塾大学出版会

- Fisher, R.A. (1937). *The design of experiments*. 遠藤健児・鍋谷清治 (翻訳) (2013) 『実験計画法—POD版』森北出版
- Gott, R., & Duggan, S. (1996). Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791-806.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. 渡辺博 (翻訳) (2015) 『表現と介入』ちくま学芸文庫
- Hempel, C.G. (1967). *Philosophy of natural science*. 黒崎宏 (翻訳) (1967) 『自然科学の哲学』培風館
- Hurlbert, S. H. (1984). Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological monographs*, 54 (2) , 187-211.
- 市川伸一 (2001) 「心理学研究とは何か」南風原朝和・市川伸一・下山晴彦 (編) 『心理学研究法入門 調査・実験から実践まで』東京大学出版会 .1-17.
- Valiela, I. (2009). *Doing Science: Design, Analysis, and Communication of Scientific Research*, Oxford University Press.
- 木村光輝・大後忠志・木村出 (2006) 「小学校における「振り子の等時性」の実験について」『福岡教育大学紀要. 第三分冊, 数学・理科・技術科編』第55巻, , 1-22.
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18(4), 495-523.
- Jeong, H., Songer, N. B., & Lee, S.-Y. (2007). Evidentiary competence: sixth graders' understanding for gathering and interpreting evidence in scientific investigations. *Research in Science Education*, 37 (1) , 75-97.

- Lawson, A.E. (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(1), 11-24
- Lawson, A. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25 (11) , 1387-1408.
- Lawson, A. E., Clark, B., Cramer-Meldrum, E., Falconer, K. A., Sequist, J. M., & Kwon, Y. J. (2000). Development of scientific reasoning in college biology: Do two levels of general hypothesis-testing skills exist? *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 37(1), 81-101.
- Lorch Jr, R. F., Lorch, E. P., Calderhead, W. J., Dunlap, E. E., Hodell, E. C., & Freer, B. D. (2010). Learning the control of variables strategy in higher and lower achieving classrooms: Contributions of explicit instruction and experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102 (1) , 90.
- Lubben, F., & Millar, R. (1996). Children's ideas about the reliability of experimental data. *International Journal of Science Education*, 18 (8) , 955-968.
- Manly, B. F. (1992). *The design and analysis of research studies*. Cambridge University Press. 塩谷実監訳 (1998) 『研究デザインと解析法』医歯薬出版株式会社.
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2015) 『平成30年度全国学力・学習状況調査報告書【小学校理科】』文部科学省・国立教育政策研究所.

森川 鐵朗・成田 進 (2004) 「物理化学教育における化学数理：分布と誤差について」 『上越教育大学研究紀要』 第 24 卷，第 1 号，183-198.

Munier, V., Merle, H., & Brehelin, D. (2013). Teaching scientific measurement and uncertainty in elementary school. *International Journal of Science Education*, 35 (16) , 2752-2783.

中城 満 (2014) 「小学校理科で測定誤差はどのように克服されるべきか—第 5 学年「振り子の運動」を例に—」 『理科の教育』 第 63 卷，第 746 号，15-17.

中山 迅 (2014) 「「はかる」ことと実感の橋渡し」 『理科の教育』 第 63 卷，第 746 号，9-11.

奥野 忠一・芳賀 敏郎 (1969) 『実験計画法』 培風館

大澤 光 (2016) 『わかる & 使える統計学用語』 アーク出版

大嶋 竜午・ロス・ロバーツ・大高 泉 (2011) 「実験活動に関する証拠の理解を基にした統計指導の導入の視点：データの不確実性，信頼性を中心に (< 特集 > 科学教育における統計的思考力育成のための理論と実践)」 『科学教育研究』 第 35 卷，第 2 号，111-118.

Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J., & Härtig, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38(2), 216-237.

Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T., & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37-63.

塩見 正衛・陳 俊・奥村 健治・高田 寛之 (2009) 「実験・調査における「繰返し」と「反復」の誤用」 『日本草地学会誌』 第 54 卷，第 4 号，348-351.

- 鈴木禎弘・稲田結美 (2016) 「実験活動において独立変数の値を設定する能力の育成に関する研究」 『理科教育学研究』 第56巻, 第4号, 447-458.
- 田中潜次郎 (1989) 「フィールド研究における準実験: 単一事例実験の関連方法」 『医事学研究』 第4巻, , 105-188.
- Vaux, D. L., Fidler, F., & Cumming, G. (2012). Replicates and repeats—what is the difference and is it significant? *EMBO reports*, 13 (4) , 291-296.
- Veermans, K., Joolingen, W. v., & de Jong, T. (2006). Use of Heuristics to Facilitate Scientific Discovery Learning in a Simulation Learning Environment in a Physics Domain. *International Journal of Science Education*, 28 (4) , 341-361.
- Wajeman, C., Girault, I., D'Ham, C., Ney, M., & Sanchez, E. (2005). Analysing experimental design tasks in scientific labwork. Paper presented at the Conference of European Science Education Research Association (ESERA 2005): contributions of research to enhancing students' interest in learning science.
- 山口 真人・田中, 保樹・小林, 辰至 (2015) 「科学的な問題解決において児童・生徒に仮説を設定させる指導の方略:—The Four Question Strategy (4QS) における推論の過程に関する一考察—」 『理科教育学研究』 第55巻, 第4号, 437-443.
- Zohar, A., & David, A. B. (2008). Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition and Learning*, 3(1), 59-82.

第2章 仮説の受容可能性と児童の内容理解

前章では実験の手続きを考察し、仮説と実験の演繹的具体化と仮説の受容可能性の観点から記述した。本章の目的は実験における仮説の受容可能性が、実験を通じた学習者の概念理解に与える影響を明らかにすることである。この目的のため小学校第5学年の植物の発芽の単元の実験における仮説の妥当性を高める実験手続きを題材として取り上げ、授業実践を通じた実証的な調査を行った¹⁾。

第1節 本章の目的と研究の手順

前章で論じたように、小学校の理科授業では様々な実験手続きを用いて実験が行われている。わけても、妥当性の観点から用いられる実験手続きは、実験群・測定回数などの組み合わせに基づいて適切に用いられる必要があり、実験の内容によって採用すべき実験手続きが異なっている。これらの実験手続きは、仮説の実証を目的とする実験において、仮説の受容可能性を高めるという実験計画活動の論理構造に位置づけられるものである。また同時に児童にとって実験は、仮説の検証という科学的な目的だけではなく、検証された仮説を通して科学的概念を理解するという教育的な目的をもはらんでいる。理科授業において適切な実験手続きを用いた実験を行うことで児童の理解がどのように深まるのかを調査することで、種々の実験手続きを用いる根拠が示されることが期待される。

そこで本章の目的を、小学校理科授業における仮説の受容可能性を高める実験の手続きの使用と、児童の内容理解との関連を明らかにすることとした。取り上げる授業場面は、小

学校学習指導要領解説理科編の第5学年の解説において「予想や仮説を基に、解決の方法を発想する力を養う」という文言が見られる（文部科学省、2017）ことから、第5学年の種子の発芽の単元とした。この調査を通して、小学校理科授業において仮説の受容可能性を高める実験手続きを用いることの重要性について明らかになることが期待される。

上記の目的を達成するために次の手順で研究を進めた。

- （1）教科書の記述・先行研究に基づき、植物の発芽の実験における適切な実験手続きを検討した。
- （2）実験手続きの検討から見出された発芽の実験の特徴に関連する児童の理解の傾向を事前に調査した。
- （3）従来の実験手続きと、適切な実験手続きを用いた実験を通して授業実践を行い、児童における発芽の概念理解に与える影響を調査した。

第2節 先行研究・教科書に基づく発芽の実験において仮説の受容可能性を高める手続きの検討

平成29年告示の学習指導要領解説編理科においては、種子の発芽に必要な条件の学習が旧来同様第5学年の学習内容として示された（文部科学省，2017）。種子の発芽条件は植物の成長条件とともに、小学校理科学習における生物教材の重要な要素の1つであり、我が国の理科教育において長年指導されてきたものである。田中・畦（2013）は種子の形成と発芽を種子植物の生活史の一部としてとらえ、その概念の形成が「生命の連続性」の理解につながると考察している。また、岩間・松原・小林（2013）は中学校で扱われる植物教材の調査を通して、「生命の連続性」の観点が不易にあたるものであると指摘している。種子の発芽を題材とした理科学習を扱った先行研究には、全国発芽マップを用い総合的な学習とつなげて指導を展開した例（山口・中山・中西・岩切，2004）や、発芽の様子を撮影した動画を用いたeラーニング教材の作成を行った例（岡・雁部・2011）などが見られる。

小学校理科授業における発芽条件の調査は一般的に対照実験を用いて行われている（西村・安藤，2007）。対照実験は「ある実験を行うにあたって、対象とするもの以外の要因がその実験系に及ぼす影響を知り、それを除外して考察する目的で並行的に行われる実験」とされ（八杉・小関・古谷・日高，1996）、中心となる実験（本実験）と結果を比較するために行われる実験である。発芽条件を調査する実験においては対照実験が、水を与えた種子と比較するために水を与えない種子も継時的に観察し、発芽の有無を調べるという手順で具現化されている。同様の例として、宮本（2014）はセロリに水を与えた場合と与えない場合の様子を比較するとい

う類似の実験がアメリカの教科書に掲載されていることを報告している。また、谷津・山野井（2016）は高校生にDNA抽出実験を指導する際、対照実験を行った方が生徒の納得度が高まることを明らかにしている。Czitrom(1999)は対照実験を用いて1つの独立変数だけを調査する実験 OFAT (One-Factor-at-a-Time) と、一度に2つ以上の独立変数を変更して行う実験 (Designed Experiment) を比較している。そして後者の方が少ないリソースで実験を進められるにも関わらず多くの科学者が OFAT を用いていることを指摘している²⁾。歴史的には、Redi (1668) が自然発生説の検証のために、蓋をしたフラスコに死んだ蛇などを入れたものと、蓋をしていないフラスコに入れたものを比較して、ウジの発生を調査した有名な実験がある。このように、対照実験は日本の小学生だけでなく、広く一般に用いられることの多い、科学において使われ続けている中心的な実験手続きの1つである。

一方で、発芽条件の学習で行われる対照実験は仮説と実験とをつなぐ論理的構造に特徴が見られ、この特徴が児童の理解に影響を与えている可能性が考えられる。理科授業で指導される法則やきまりは、一般に「～/ならば/～」の仮言命題の形で表すことができる。例えば、小学校第6学年の水溶液の学習では塩酸で鉄を溶かす実験を行うが、ここで学習するきまりは「塩酸に鉄を入れる/ならば/鉄が溶ける」というものである。塩酸に入れた鉄は泡を出して溶けることから、実験の後の考察では「塩酸に鉄を入れる/ならば/鉄が溶ける」という結論が帰納的に導き出されることとなる(図7)³⁾。しかし、塩酸に鉄を入れる実験を行うだけでは、「塩酸がなくても鉄は勝手に溶けるのではないか」、「このスチールウールには塩酸以外の物質が影響しているために溶けているのではないか」といった疑問を解消できない。このような疑

間はそれぞれ成熟の脅威 (threat of maturation) , 履歴の脅威 (threat of history) と呼ばれ, 実験から導き出した考察の妥当性を損なうものとされる (Cook and Campbell,1979) 。そこで、水にスチールウールを入れる実験操作を対照実験として併せて行う手続きを行うことで、これらの脅威を軽減し、妥当性を高めることができる。

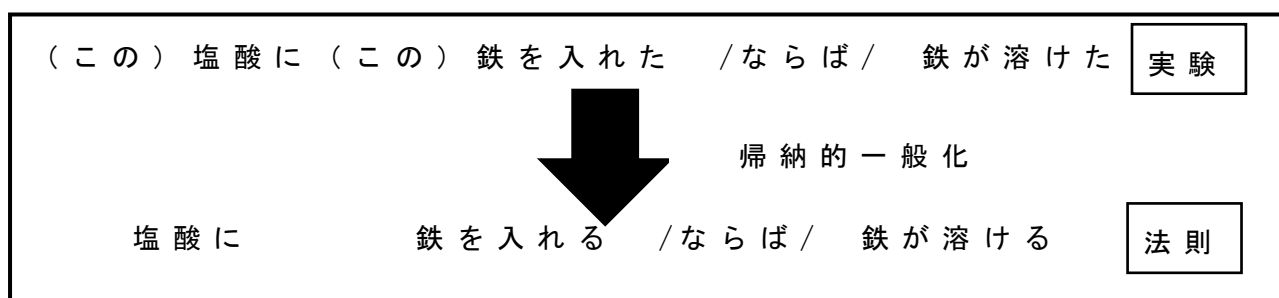


図 7 塩酸に鉄を入れる実験とその結果からの帰納的 一般化過程

発芽の条件を調べる対照実験は、上記の塩酸による鉄の溶解を調べる対照実験と構造が異なっている。この実験では水を与えた種子と与えていない種子を比較することで、種子の発芽には水が必要であるという結論を導き出すこととなっている。また、水以外に適切な温度、空気の必要性も同様の手続きで調査する。しかし、水を与えた種子が発芽したという結果を帰納的に積み上げて導き出す「水がある/ならば/種子が発芽する」という法則 (図 8) は明らかに真ではない。十分な量の水があることは発芽の必要条件ではあるが、発芽には水の他にも適切な温度や空気などの条件が必要であり⁴⁾、十分条件ではないためである。むしろ、水があることは種子の発芽にとっての必要条件の1つであり、「発芽する/ならば/水がある」ことが自明である。つまり、発芽するという前件が、必然的に水が存在するという後件を導いており、

包含している。

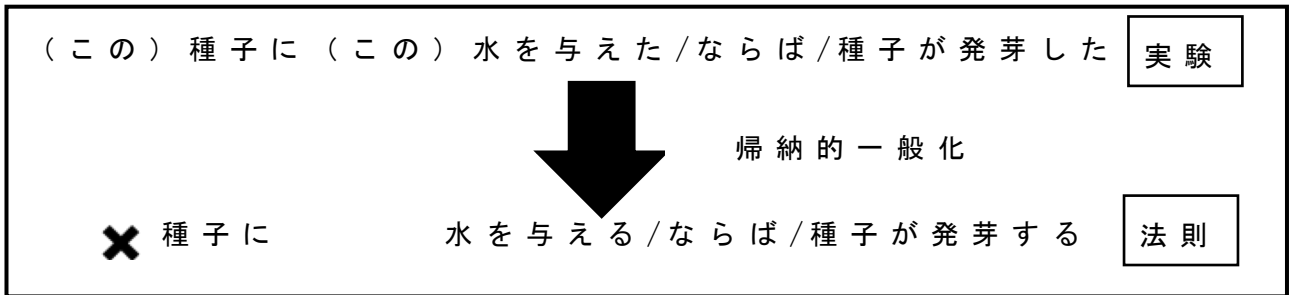


図 8 発芽の実験とその結果からの帰納的一般化過程

この実験で導き出さなければならない法則は発芽に水が必要であるということであり、「発芽する / ならば / 水がある」と表される。これは、「(この) 種子に水を与えた / ならば / 発芽した」という実験からは導き出せない。「水がある / ならば / 発芽する」が仮に真であっても、「発芽する / ならば / 水がある」が真であるとは限らず、実験と法則との関係が逆命題の関係にあるからである (図 9)。

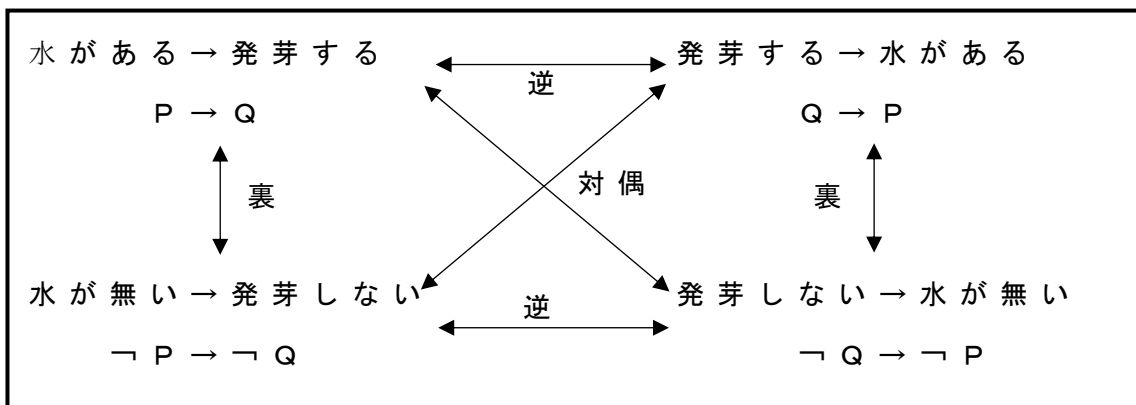


図 9 水と発芽の関係を示す命題の組み合わせ

「発芽する / ならば / 水がある」という命題にとって対偶にあたる命題は「水が無い / ならば / 発芽しない」であり、命題

の真偽とその対偶の真偽が一致することは論理的に示される。つまり、この実験は、水をやらなかった種子が発芽しなかったことを帰納的に一般化することで、水が無ければ発芽しない、ひいては発芽には水が必要であるという法則を導き出す推論が行われている。このように否定的言明から対偶論法を用いて肯定的言明を引き出す推論は *modus tollens* と呼ばれ、理科授業での実験による仮説の検証場面におけるその役割は Lawson (2003) が詳述している。しかし、この推論には鉄の溶解の場合同様に、成熟の脅威、履歴の脅威が存在する。「種子は(水の有無に関わらず)発芽しない」や、「この種子は(温度が適切でないなどの原因から)発芽できない」といった可能性があるからだ。そこで、教科書では水を与えた種子において発芽が生じることを確認し、これらの疑念を軽減する手続きが行われている。つまり、ここでは水を与えない実験が中心となる実験であり、水を与えた実験はそれと比較する陽性対照の実験であると言えるだろう。児童の論理的思考の理解については金岡(1969)が調査しており、小学生にとって対偶命題は裏命題に比べて理解しやすいとしている。しかし、もとの命題の正否を確かめるために対偶命題を確かめるという手続きについては、大学生であっても正答率が4%程度にとどまるという報告もある(Johnson-Laird & Wason, 1970)。

発芽の条件における水の役割の理解については Lin(2004)が調査を行っており、高校生の9割以上が「発芽に水が必要である」と答えられているものの、その理由を「水が栄養になる」とする誤った認識が見られたと報告している。また、松本(2002)は小学生においても同様に「水が栄養になる」ために、発芽に必要であるという認識が見られたことを報告している。田中・畦(2013)は種子の発芽にどんな条件が必

要か尋ねたところ、この授業を未習の児童であっても115人のうち111人が、水が必要であると回答できていたとしており、種子の発芽と水につながりがあることは児童が日常生活の様々な経験を通して形成しやすい概念であると考えられる。しかし、先述のように水が必要であるということは、水が無ければ発芽しないということである。種子の発芽の授業を通して児童は種子の発芽と水との関連は理解できているとされるが、水が無い場合に発芽しないことを十分に理解できているのかは明らかでない。

上記のような水の必要性を調査する実験においては、その実証性を高めるためには水がない場合の実験操作を増やす手続きが必要であると考えられる。仮に、水がある場合と無い場合を1例ずつ比較する実験だけでは、水が植物の発芽に有効であるのか必要であるのかが区別できず、ここで目的とする水の必要性が実証できない(図10)。水が無い場合の実験例を増やすことで、水の必要性に対する実験の実証可能性がより高まることが期待される。

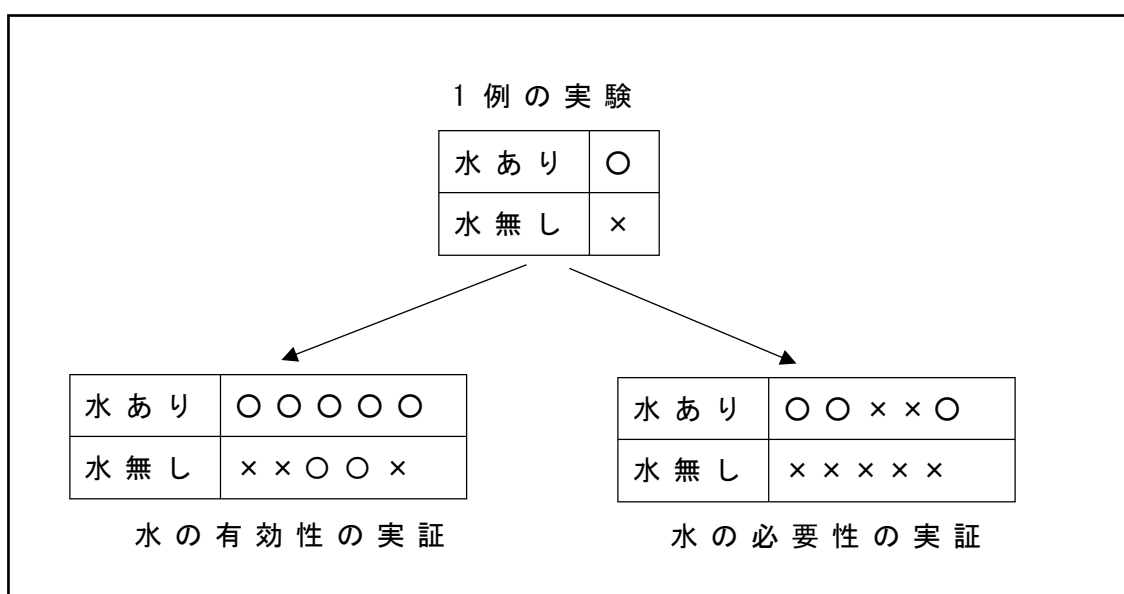


図 10 実験から実証される水の有効性と必要性の違い

そこで、本研究の目的を種子の発芽における水の必要性に関する児童の理解を、水が無い場合に注目して調査し、その指導方法に改善を加え、その効果を調査することとした。

第3節 事前調査の方法と結果

第1項 事前調査の対象・時期及び方法

兵庫県の公立A小学校の第5学年児童136名及び第6学年児童162名に質問紙調査を実施した。質問紙調査の時期は平成30年4月であった。第5学年児童は発芽の必要条件について、学校の授業では未習である。第6学年児童は平成29年度に発芽の条件を教科書通りの流れで学習している。質問紙調査に先立って、ビーカーの中にいれたオリーブオイル、メタノールを示しこれらが常温で液体の物質であること、水は含まれていないことを口頭で説明した。また、オリーブオイルは料理に使う食品であること、メタノールはアルコールランプの中に入っているアルコールであることを併せて説明した。調査に用いた質問紙は図11の通りであり質問紙1とした。解答時間は5分間であった。

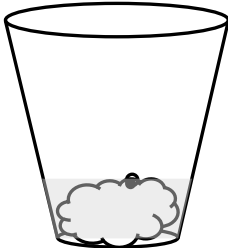
一般に有機溶媒は生物に有害だと考えられているが、岩波(1975)は花粉や種子をアセトンやエーテルなどの有機溶媒の中に保存しても正常に発芽することを報告している。山末・長谷川・植木(1987)はエタノールと同様にメタノールにも種子の休眠覚醒効果があることを実証している。また、菜種油粕についてはノビエ種子の発芽抑制効果が認められているが(赤澤, 1999), 菜種油を種子に塗布する処理は、逆に種子の発芽を促す場合もあるとされている(萩原・影山・平岡, 1949)。このように、メタノールやオリーブオイルは種子の発芽にとって一概に有害であるということとはできない。それに対して、水分は種子中の基質の加水分解を行うという発芽における最も重要な役割を担っており(Koller & Hadas, 1982), 水分が無ければ種子は発芽することができない。このようにメタノールやオリーブオイルの影響と比して、水の不足は種子の発芽を、確実に妨げると言える。そのため

ここでは水の不足を発芽しない理由として挙げることを求めている。

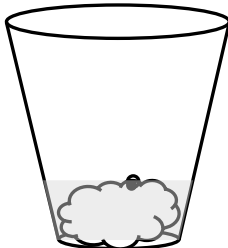
発芽に関する質問 年 組 名前 ()

みなさんに発芽に関する質問をします。この質問はテストではないので、成績には関係しません。

☆インゲンマメの種を綿の上にのせて、オリーブオイル、メタノールを種のまんなかあたりまでいれました。オリーブオイル、メタノールに水は入っていません。これらの種は発芽するでしょうか。発芽すると思う種があれば()に○をかきましょう。また、そう思った理由を書きましょう。



オリーブオイル ()



メタノール ()

図 11 質問紙 1

第2項 事前調査の結果

第5学年の児童では46名(33.9%)が、両方の条件において種子が発芽しないと正しく解答した。その一方、90名(66.1%)の児童はいずれかの種子、または両方の種子が発芽すると解答した(表7)。発芽する理由としては、図5のように、オリーブオイルやメタノールに栄養分が含まれているというものや、水以外の液体も水同様に発芽を促進すると

いったものが見られた。また、両方の条件で種子が発芽しないと解答した児童のうちでも、水が無いことを理由として挙げた児童は30人(22.1%)にとどまり、他の児童はメタノールやオリーブオイルが植物に害を与えるので発芽を妨げる、油なので火がついてしまうといった理由を記述していた。

発芽の条件を学校で既習である第6学年の児童では、87人(53.7%)の児童が両方の種子が発芽しないと正しく解答できた。しかし、依然として75人(46.3%)の児童が、いずれかの種子、または両方の種子が発芽すると考えていた。また、両方の種子が発芽しないと正しく解答できた児童のうちでも、水が無いことを理由として正しく指摘できた児童は61人(37.7%)にとどまった。ここから、発芽の学習を終えている児童であっても水が無いと種子が発芽できないという、発芽における水の必要性については理解が充分ではないことが示された。そこで、従来の指導に改善を加え、その効果を調査することとした。

表7 発芽の理解に関する事前調査の結果

	第5学年 (N=136)	第6学年 (N=162)
両方の種子が発芽しない 理由正答)	30 (22.1%)	61 (37.7%)
両方の種子が発芽しない 理由誤答)	16 (11.8%)	26 (16.0%)
オリーブオイルで発芽	57 (41.9%)	32 (19.8%)
メタノールで発芽	26 (19.1%)	29 (17.9%)
両方の種子が発芽	7 (5.1%)	14 (8.6%)

両方の種子が発芽しないと解答した児童の理由

- ・どちらも水が入っていないから（正答）
- ・メタノールも油も火が付きそうだから（誤答）
- ・植物に害を与えると思うから（誤答）

オリーブオイルによって発芽すると解答した児童の理由

- ・オリーブオイルは油で体にもいって言われていた気がするから
- ・発芽させる成分が入っているから
- ・オリーブオイルは緑色で体によさそうだから

メタノールによって発芽すると解答した児童の理由

- ・メタノールはとうめいだからそだつ
- ・わたがメタノールをきゅうしゅうして地面の土のやくわりをするから
- ・オリーブオイルはどろっとしているけど、メタノールは水と同じするっとしているから

どちらも発芽すると解答した児童の理由

- ・オリーブオイルもメタノールも液体だから
- ・植物は色水だろうと水っぽいものを水とまちがえて育ったりするからです

図 12 事前調査における児童の解答例

第4節 植物の発芽の授業の概要

第1項 水の必要性を調査する仮説の受容可能性を高める 手続きを踏まえた授業

事前調査の結果より種子の発芽における水の必要性に関して、児童の理解における問題点は「水が無い場合に発芽しない」ことであると示唆される。しかし、従来の実験は水がある場合と水が無い場合の結果を1度比較するのみであり、児童の注意が、水が無い場合に向けられていない可能性がある。そこで、水が無い事例としての実験操作を追加することで水の必要性に対する仮説の受容可能性が高まり、その結果から一般化を行う際のより強固な証拠を得ることができる。これは前章で論じた実験操作を増やす手続きに相当する。

また、このように水が無い場合の実験事例を増やす手続きは反復の手続きにも通じる方法である。しかし、意図的に他の変数を変更する点において反復とは異なっている。また、このように複数の実験操作を行う手続きは前章において小学校の教科書に掲載された実験に手続きである。

第2項 植物の発芽の実験の指導方法

本研究では従来の通り水がある場合、無い場合の比較を行う実験を用いた授業を行った後に、質問紙同様にメタノールとオリーブオイルを水の代わりに用いる実験による追加の授業を行うこととした(図13)。このように水が無い場合の実験操作を増やす手続きによって児童の理解を補うことが期待される。なお、詳細な授業の流れは表8の通りである。この学級で従来用いている教科書ではこの内容を4時間の授業で行うこととされている。

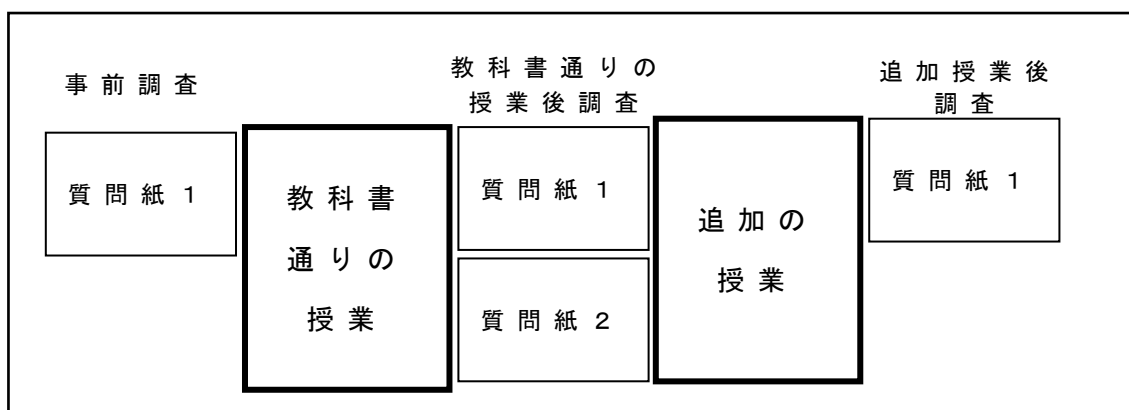


図 13 授業実践及び調査の流れ

表 8 教科書通り及び本研究の授業の流れ

	教科書に記載された授業の流れ	本研究での授業の流れ	
1 時間目	課題の把握「種子の発芽に必要なものはなんだろう」	教科書通りの授業 3 時間	課題の把握「種子の発芽に必要なものはなんだろう」 仮説の設定（水，空気，適切な温度，土，肥料，日光が必要ではないか）
2 時間目	仮説の設定（水，空気，適切な温度が必要ではないか）		実験のセッティング
3 時間目	実験のセッティング		結果の確認 考察（発芽に必要なのは水，空気，適切な温度）
4 時間目	結果の確認 考察（発芽に必要なのは水，空気，適切な温度）	追加授業 2 時間	課題の把握「水の代わりにオリーブオイルやメタノールを用いると，種子は発芽できるのだろうか」 実験のセッティング
5 時間目			結果の確認 考察（水が無ければ発芽はしない）

第5節 実践・調査の手続き

第1項 授業実践・調査の対象及び時期

兵庫県の公立A小学校第5学年児童の4学級 136名を対象として授業及び質問紙調査を実施した。当該児童は事前調査を実施した児童と同一である。授業、事後調査は事前調査同様、平成30年4月に実施した。授業を行ったのは、いずれのクラスにおいても同一の教師であった。

第2項 調査方法

教科書通りの授業の後、追加の授業の後に、事前調査同様の質問紙1を用いた質問紙調査をそれぞれ行った。その上で事前調査と併せた3時点での児童の理解の変化を基に、授業の効果を評価することとした。また、事前調査において第6学年の児童の多くが正しく解答できなかったことには、そもそも発芽の3条件を正しく記憶できていなかった、もしくは忘却してしまっていたことが原因であるとも考えられた。そこで授業実践を通じた調査では、教科書通りの授業の後に発芽の3条件を尋ねる質問紙調査も併せて実施することとした。用いた質問紙は先行研究で用いられた質問紙を参考に、種子の発芽に必要な条件を尋ね、いくつかの条件から選択して○をつける形式のものとし、質問紙2とした(図14)。いずれにおいても、調査は授業の直後に行い、質問紙に解答する時間は5分間とした。

発芽に関する質問	年 組 名 前 ()
みなさんに発芽に関する質問をします。この質問はテストではないので、成せきには関係しません。	
☆インゲンマメの種が発芽するために必要な条件を選んで、()に○を書きましょう。	
<input type="checkbox"/> 水	<input type="checkbox"/> ちょうどいい温度
<input type="checkbox"/> 肥料	<input type="checkbox"/> 土
<input type="checkbox"/> 空気	<input type="checkbox"/> 日光

図 14 発芽に関する質問紙 2

第3項 授業実践の概要

教科書通りの授業では、「種子の発芽に必要なものはなんだろう」という発問に対し、4学級とも児童からは水、空気、適切な温度、土、肥料、日光という6つの意見が出された。指導要領では水・空気・適切な温度の3条件を指導することとなっているが、田中・畔（2013）の先行研究でも発芽の条件として児童から同様の6つの意見が出されたことが報告されている。そこで、それらの6つの独立変数に対し、それ以外の条件をそろえた上で条件が1つずつ満たされた場合と満たされていない場合を比較する実験を行うこととした。実験は各児童が1条件ずつ行った。課題を把握し、仮説としての発芽条件を考える1時間、実験をセッティングする1時間、実験結果から考察を行う1時間の計3時間を用いて授業を行った。

追加の授業では質問紙調査通りに、オリーブオイルとメタ

ノールを水の代わりに用いた場合にインゲンマメの種子が発芽するかどうか実験を通して考える授業を行った。実験ではそれらの2液体を与えた種子に加え、陽性対照として水を与える種子を用意し、これらの種子を比較することとした。オリーブオイルはエクストラバージンオリーブオイルを、メタノールは純度99%のものを用いた。オリーブオイル、メタノール共に、些少の水分が含まれていると考えられるが、児童には両液体に水が入っていないものとして説明を行った。種子は皮に赤紫色のついた赤インゲンを用いた。授業では、まずオリーブオイル、メタノールを水の代わりに用いた場合に発芽するかどうかを児童に話し合わせた。次に、実験の方法を話し合わせ、比較の対象として水を与えた種子も用意しなければならないことを確認した。それぞれの液体を与えた種子は、児童の前で教師がセッティングを行い、10セットずつ用意した。3～4日後に実験結果を観察させ、その理由を話し合わせた。実験期間中は教師がそれぞれの種子を管理したが、液体が揮発し量が減るため適宜それぞれの液体を継ぎ足すとともに、夜間は容器にラップで覆いをかけて揮発を防いだ。4日後の種子の様子は図8の通りであり、4人または3人の班ごとに結果の観察を行った。観察結果を話し合わせたところ水を与えた種子は膨らんでいるがオリーブオイル・メタノールを与えた種子は膨らまない、水を与えた種子は根が見え発芽しているがオリーブオイル・メタノールを与えた種子には変化がない、水にはインゲンマメの色がしみ出しているがオリーブオイル・メタノールには色がしみ出していないという3点の意見が4学級に共通して見られた(図15)。その後オリーブオイル、メタノールを与えても種子が発芽しない理由を話し合わせ、水が無いため発芽しないことを確認した。授業は実験前、実験後の2時間で行った。

教科書通りの授業3時間とこの2時間の合計で5時間であり、従来発芽の学習が行われる4時間の配当よりも1時間余分に授業時数を用いている(表8)。

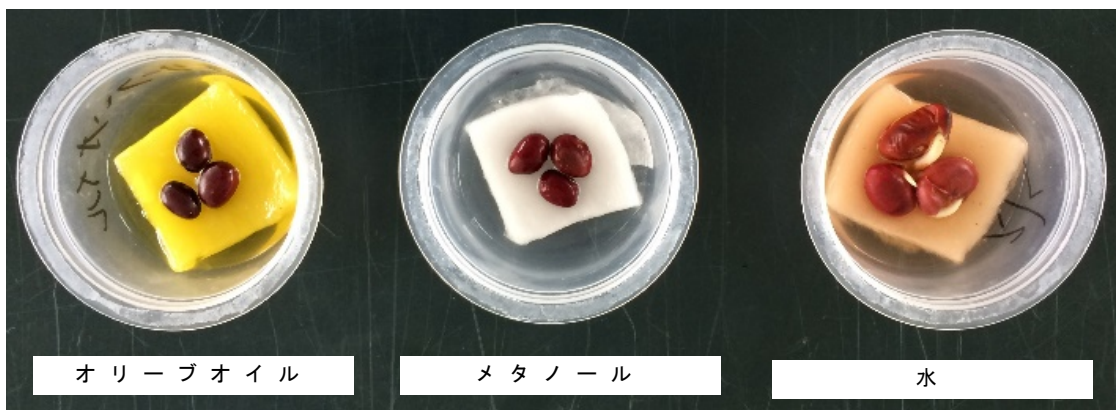


図 15 発芽実験の結果

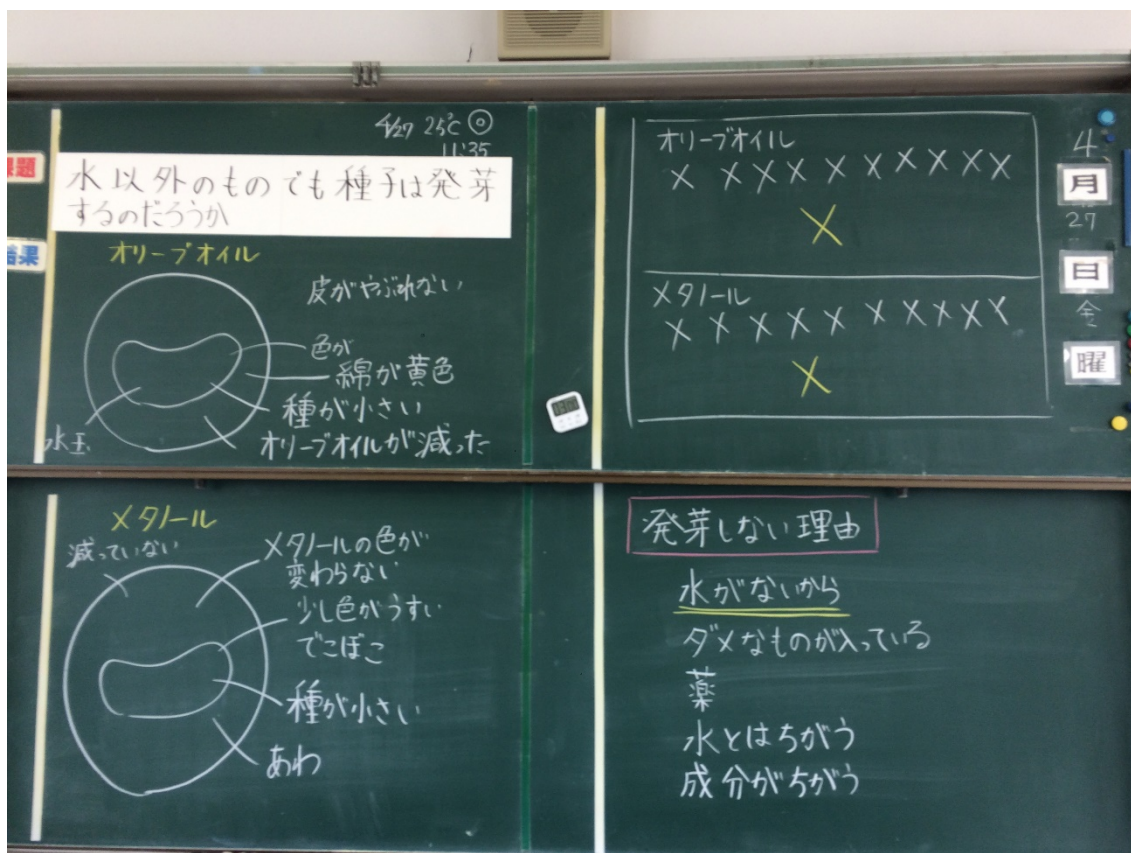


図 16 板書

第6節 調査の結果及び分析

第1項 調査の結果

教科書通りの授業後の質問紙調査では、64人（47.0%）の児童が、両方の種子が発芽しないと正しく解答することができ、そのうち55人（40.4%）はその理由として水が無いことを記述することができた（表9）。しかし依然として、これらの種子が発芽すると考えている児童が72人（オリーブオイル44人、メタノール13人、両方15人）おり、全体の中の53.0%にのぼった。ここから、従来の授業を行った後にも半数以上の児童が水の必要性を十分に理解できていないという結果が示された。しかし、これらの児童はそもそも発芽の3条件を記憶できていない可能性も考えられた。そこで質問紙2の調査結果を集計したところ129名（94.8%）の児童が、発芽の条件として水、空気、適温を正しく解答することができていた。これらの児童は従来の調査であれば、水があることが発芽の条件だと理解しているとされた児童である（Lin,2004）。しかし、そのうちの74人は質問紙1の調査において種子が発芽しないということと、その理由は水が無いことであるということとを合わせて解答することができなかった（表10）。この結果から従来の調査では調査しきれなかった水の必要性に関する児童の理解の不十分さが示されたと考えられる。次に、追加授業後の質問紙調査の結果では135人（99.3%）の児童が両方の種子が発芽しないと正しく解答することができた。また、その理由として水がないことを挙げた児童は132人であり、全体の97.1%に相当した（表9）。

それぞれの児童の解答のうち、オリーブオイルやメタノールを与えた種子が発芽しないこと、その理由として水が無いことを記述していたものを正答、それ以外のものを誤答とし

た（表5）。そして正答に着目して3回の調査における理解度を比較するためにコクランのQ検定を行った。その結果、1%水準で有意差が認められた（ $Q(2) = 158.49, p < 0.01$ ）。続いてライアン法を用いてマクネマーの検定で多重比較を行ったところ、表6のように全ての組み合わせに対して5%水準で有意差が見られた⁵⁾。これは、教科書通りの授業及び追加の授業が児童の理解の水準の向上において有効であったことを意味している。

表9 事前調査、教科書通りの授業後調査、追加授業後調査の結果

	事前調査	教科書通りの授業後調査	追加授業後調査
両方の種子が発芽しない 理由正答)	30 (22.1%)	55 (40.4%)	132 (97.1%)
両方の種子が発芽しない 理由誤答)	16 (11.8%)	9 (6.6%)	3 (2.2%)
オリーブオイルで発芽	57 (41.9%)	44 (32.4%)	1 (0.7%)
メタノールで発芽	26 (19.1%)	13 (9.6%)	0 (0%)
両方の種子が発芽	7 (5.1%)	15 (11.0%)	0 (0%)

表10 児童における水の必要性の理解と発芽の3条件の理解

	発芽の3条件で正答	発芽の3条件で誤答	計
水の必要性を理解している 理由まで正答)	55 (40.4%)	0 (0.0%)	55
水の必要性を理解していない 正答以外)	74 (54.4%)	7 (5.2%)	81
計	129	7	136

表11 各調査における正答者と誤答者の分布

	事前調査	教科書通りの 授業後調査	追加授業後 調査
正答	30	55	132
誤答	106	81	4

表12 残差分析において有意差の見られた組み合わせ

	教科書通りの 授業後調査	追加授業後 調査
事前調査	*	*
教科書通りの 授業後調査		*

* p<.05

第2項 考察

本章は種子の発芽における水の必要性に関する児童の理解を調査し、仮説の受容可能性を高める実験手続きを用いた指導方法の効果の調査を行った。事前調査及び、教科書通りの授業後の調査の結果より、従来のように水がある場合と水が無い場合を比較する対照実験を通した授業のみでは、水があることを発芽条件として記憶することはできても、その必要性についての理解が充分でないことが示された。「発芽する/ならば/水がある」という発芽における水の必要性は、水がある場合の実験結果ではなく、水が無い場合の実験結果から導き出される結論である。そこで、教科書通りの授業に加えて水の代わりに他の液体を与えた場合の実験を行うことで、水が無いという事実に注目して発芽の有無を論じる児童が増え、水の必要性の理解が深まったことが明らかになった。

本研究においては教科書で示された授業時数に1時間の時数を追加することで授業改善を行った。しかし、本研究で行った水の代わりにメタノールやオリーブオイルを用いる実験は、教科書通りの実験と並行して行うことができる。また、教科書通りの授業の後に「水の代わりにメタノールやオリーブオイルを使った実験をするとどんな結果になるか」という課題に対して討論をすることでも同様の結果が得られる可能性がある。本研究の結果をさらに発展させて授業を改善する方策を検討すべきだと考えられる。

また、教科書通りの授業の後に発芽の条件として必要なものを問うと正しく答えられても、水が無い場合に発芽しないと正しく認識できていない児童がいることが明らかになった。すなわち児童は水がある場合に発芽することは理解していても、水が無い場合に発芽しないことを必ずしも理解しているとは限らないことが指摘される。これは従来行われてい

たような「必要なものを答えましょう」と問う質問紙の問題点を示しており、必要性を問うためにその条件が満たされていない場合の結果を尋ねるという新たな質問紙の在り方が示唆された。

第7節 本章のまとめ

本章の目的は仮説の受容可能性を高める実験の手続きと、児童の概念理解との関連を明らかにすることであった。取り上げた題材は第5学年、植物の発芽実験であり、仮説の受容可能性として仮説の妥当性に着目した。目的を達成するために本章ではまず先行研究から、植物の発芽実験における実験手続きの分析を行った。その結果、仮説の妥当性の観点においてその実験手続きに問題点が見いだされた。また、実験手続きの問題点から、発芽の概念の形成が妨げられていることが示唆された。そこで、発芽の学習を既習である第6学年児童と、発芽の概念を未習である第5学年児童の、発芽の概念の理解を調査した。最後に授業実践を踏まえた調査により、仮説の受容可能性と発芽の概念の理解の関係を考察した。

実践の手順としてはまず第5学年児童に教科書通りの発芽の授業を行った後、児童の理解を調査した。さらに仮説の妥当性を高める追加の実験を用いた授業を行い、再度児童の理解を調査した。一連の調査より以下の点が明らかになった。

・教科書に掲載された従来の実験に加えて、仮説の受容可能性を高める追加実験を行うことで児童の内容理解が深まったこと。

註

1) 本章の研究は既に発表済みの以下の研究に基づいており、それに改訂を加えたものである。

安部洋一郎・山岡武邦・高橋信幸・松本 伸示(2019)「発芽条件の指導における対照実験の問題点と改善法—小学校第5学年「植物の発芽と成長」の单元において—」『理科教育学研究』第59巻, 第3号, 335-344.

2) Czitrom(1999)は OFAT に対する Designed Experiment の優位性を指摘しており, より多様な領域の研究において Designed Experiment が使用されるべきだとしている。

3) 帰納法はそれ自体が非妥当な推論であり, 実験の結果をどれだけ積み上げてても一般的法則を導き出すことはできないのではないかという疑問は, それを提唱した18世紀の哲学者の名前をとり「ヒュームの難問」と呼ばれている。理科教育における帰納法の取り扱いの困難については, すでに年代(1967)が指摘しており, 本稿の意図する議論の内容を逸脱するため, ここでは帰納的な推論をある程度妥当であるとする一般的な立場に則って議論を行う。

4) 低酸素状態において発芽率が上昇する種子については片岡・金(1978)や, 古畑・田野井・富田・小林・関(2013)が指摘しており, 発芽における空気の必要性は種子によって異なっていると言える。また, 発芽に日光を必要とするユキヤナギの種子など, ここで述べた水, 空気, 適切な温度以外を発芽における必要条件とする種子もある(鈴木, 1994)。本研究では発芽と「水, 空気, 適切な温度」の関係性を指導

することとしている指導要領に則って、これらの3条件を指導事項として取り上げた。

- 5) 平均値の差が最も大きな事前調査と追加授業後調査ではマクネマーの検定の結果 $\chi^2(1) = 18.38, p = 1.8e-5$ であった。この際の名義的有意水準は5%では0.016667であるため、5%水準で有意であることが示された。次に差の大きかった教科書通りの授業後調査と追加授業後調査ではマクネマー検定の結果 $\chi^2(1) = 43.37, p = 7.5e-11$ であった。この際の名義的有意水準は5%では0.033333であるため、5%水準で有意であることが示された。最後に、事前調査と教科書通りの授業後調査ではマクネマー検定の結果 $\chi^2(1) = 22.52, p = 2.1e-6$ であった。この際の名義的優位水準は5%では0.033333であるため、5%水準で有意であることが示された。

引用参考文献

- 赤澤昌弘 (1999) 「菜種油粕によるノビエ種子の発芽及び発根抑制効果」 『岡山農試研究』 第17巻, 1-3.
- Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-Experimentation: Design and Analysis Issues for Field Settings*. Chicago, USA: Rand McNally.
- Czitrom, V. (1999). One-factor-at-a-time versus designed experiments. *The American Statistician*, 53 (2), 126-131.
- 古畑昌巳・田野井真・富田桂・小林麻子・関正裕 (2013) 「湛水土中に播種された「越南242号」の出芽性に関連した特性の評価」 『北陸作物学会報』 第48巻, 15-17.
- 岩間淳子・松原静郎・小林辰至 (2013) 「中学校理科における植物教材の適切性」 『理科教育学研究』 第54巻, 第2号, 161-170.
- 岩波洋造 (1975) 「有機溶媒中の花粉と種子」 『日本花粉学会会誌』 第15号, 3-15.
- Johnson-Laird, P. N., & Wason, P. C. (1970). A theoretical analysis of insight into a reasoning task. *Cognitive Psychology*, 1 (2), 134-148.
- 金岡洋子 (1969) 「児童における論理的思考の発達と訓練」 『教育心理学研究』 第17巻, 第4号, 214-228.
- 片岡孝義・金昭年 (1978) 「数種雑草種子の発芽時の酸素要求度」 『雑草研究』 第23巻, 第1号, 9-12.
- Koller, D., & Hadas, A. (1982). Water relations in the germination of seeds. *Physiological Plant Ecology II*, 401-431.
- Lawson, A. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25 (11), 1387-1408.

- Lin, S.-W. (2004). Development and application of a two-tier diagnostic test for high school students' understanding of flowering plant growth and development. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2 (2) , 175-199.
- 松本勝信 (2002) 「小学校理科 A 区分のカリキュラム・授業の検討 - 種子の発芽における水の働きの認識の 2 年間の追跡分析から」 『理科教育研究年報第 26 号, 29-39.
- 宮本直樹 (2014) 「日本の小学校理科教科書と米国初等科学教科書における生物分野のデータ解釈の扱い方」 『科学教育研究』 第 38 巻, 第 3 号, 176-187.
- 文部科学省 (2017) 小学校学習指導要領解説理科編. 大日本図書
- 年代孝治郎 (1967) 「理科教育における論理についての一研究」 『秋田大学学芸学部研究紀要教育科学』 第 17 号, 55-60.
- 西村崇志・安藤秀俊 (2007) 「小学校における種子発芽の学習に関する基礎的調査」 『日本科学教育学会研究会研究報告』 第 22 巻, 第 1 号, 103-106.
- 岡正明・雁部朱美 (2011) 「種子発芽動画を用いた e ラーニング教材の作成」 『宮城教育大学情報処理センター研究紀要: COMMUE』 第 18 号, 35-40.
- Redi, F. (1668). *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti*. Bigelow, M. (translation). *Experiments on the Generation of Insects*. Chicago, USA: The Open court publishing company.
- 鈴木貢次郎 (1994) 「数種の低灌木類の種子発芽」 『ランドスケープ研究』 第 58 巻, 第 5 号, 73-76.
- 田中翔一郎・畦浩二 (2013) 「植物の生命の連続性における児童の概念形成について - 植物の発芽の学習分析にもとづいて -」 『大阪教育大学紀要 第 IV 部門 教育科学』 第 62 巻, 第 1 号, 43-52.

谷津潤・山野井貴浩 (2016) 「抽出物が DNA であることを確かめる
対照実験を伴う検証の必要性」 『理科教育学研究』 第 57 卷, 第
1 号, 63-70.

山口悦司・中山迅・中西英・岩切信二郎 (2004) 「総合的学習と理科
教育--全国発芽マップの紹介を中心に」 『宮崎大学教育文化学部
附属教育実践総合センター研究紀要』 第 11 号, 33-39.

山末祐二・長谷川亮・植木邦和 (1987) 「タイヌビエ種子の休眠と発
芽-エタノールの休眠覚醒効果について」 『雑草研究』 第 32 卷,
第 4 号, 268-273.

八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆 (編) (1996) 『岩波生
物学辞典第 4 版』 岩波書店

第3章 実験を計画する活動による仮説 形成の効果

本章では、研究2として実験を計画する活動を授業に取り入れることで児童に与える仮説形成の効果を調査した。実験は仮説の具体化にあたり、実験方法を検討することで仮説の発想に結びつくことが想定される。ここでは、児童が形成する仮説の観点に着目し、実験素材を基に実験を計画する活動による仮説形成への影響を調査した。

第1節 本章の目的と手続き

序章において論じたように、実験を計画する活動には広範な資質能力に関する学習効果があることが多くの先行研究では明らかになっている一方、内容理解への影響については研究例が少ない。理科の授業において学習者は実験を通して、仮説を検証することで、新たな法則や概念を学習する。つまり学習者が学ぶ法則は、問題解決の過程の前半部においては「仮説」として取り扱われる。実験を計画する活動は従来仮説形成活動の後に行われるため、実験を計画する活動が仮説の形成にどのような影響を与えるのか、という視点からの研究はこれまでなされてこなかった。しかし、人間の思考過程は決して一様ではなく、時に行きつ戻りつしながら推論を進めていくものである。そのため、実験についての思考が仮説の形成に影響を与える可能性も排除できない。

Hodson (2000) は科学者が推論を行う際に自分が適用できる実験方法から推論を組み立てることがあると指摘した。また後藤・久保田・水落・西川 (2007) は中学生に特定の方法

にとらわれずに実験を行わせた場合、実験方法の検討から問題解決を始める傾向が見られ、そのような問題解決によって学習のねらいが達成されたことを報告している。さらに、Cook, Goodman and Schulz (2011) は幼児であっても手にした道具にどのような使い道があるかという情報を利用して実験を行うことを明らかにしている。ここから、学習者が実験を計画する活動には、問題解決の起点となる仮説の形成に寄与する可能性が示されている。そこで、本章では実験を計画する活動による仮説の形成への効果について明らかにすることを目的とし研究を行う。

上記の目的を達成するために次の手順で研究を進めた。

- (1) 先行研究に基づき、仮説の形成過程における困難とその解消の方策としての実験計画活動を行う指導方略を検討した。
- (2) 検討した指導方略を基に授業を行い、児童が形成した仮説を分析することでこの指導方略の効果を検証した。

第2節 仮説形成の阻害要因と指導方略

第1項 仮説のアイデアとしてのアブダクティブな示唆

仮説演繹的推論においては、驚くべき事象に対して適切な仮説を形成することが、検証活動を行う上での起点となる。学習者が主体的に仮説を形成し、自分たちで検証実験を計画する学習活動は国内外において広く行われている（小川，1992；Abd-el-khalick et al.,2004）。そのような授業においては、学習者の思考が行き詰まり、その後の推論過程が進められないという困難が生じることが指摘されている（小林，2009）。山口・田中・小林（2015）は中学生の科学的推論能力における課題は、仮説の設定に関わる指導に根本的な原因があるとしている。仮説形成の可否はその領域における学習者の経験や先行知識の多寡が影響するとされている（荒井・永益・小林，2008；Klahr & Dunbar,1988；永益・小林，2007）。そのため、学習者の仮説形成を指導することは容易ではない。

Peirce²⁾は仮説を形成する過程をアブダクションと名付け、それが科学的推論に位置づくものであると主張した（Hartshorne & Weiss, 1931）。柚木（2007）はPeirceが述べた探究の過程を、それがアブダクションから始まり、ダイダクションを経て、インダクションで終わるとして論理的に整理し、理科教育の文脈における指導の在り方を提起している。米盛（2007）はPeirceによるアブダクションの記述には「洞察」と「推論」の2つの側面があると指摘した。そしてそれらの2つの側面を、心に浮かんだ仮説を思いつくままに列挙する段階（アブダクティブな示唆を得る段階）と、得られた思いつきとしての仮説を吟味して、検証を行う仮説を採択する段階という2つの段階に整理した。Osborn(1957)は問題解決のためのアイデアを出す過程をPeirce同様に、アイデアを考え出す段階と、有望なアイデアを選択する段階に

分けて説明している。彼はその中でも第1段階において「なによりももっと数多くのアイデアを出すことが必要である」と述べ、第1段階の着想が豊かになることで、その後の問題解決における解決法の幅が広がることを指摘している。

理科教育の指導に関する先行研究において、学習者が仮説を形成する場面を支援する方策としては4Q Sによる支援（金子・小林，2011；山田・寺田・長谷川・稲田・小林，2014；山口・田中・小林，2015など）が提案されており、特にアブダクションの第2段階における、仮説を吟味する過程に対する知見が得られている。また、益田・柏木（2013）は「驚くべき事象を観察し、これを解決するための説明の過程」においてクラス内の少数の意見を取り上げることが方策として授業を行った。これは一部の学習者が思いついたアブダクティブな示唆をクラス全体で共有することにあたる。少数の学習者の仮説を他の学習者に伝えることで推論の起点とすることは学習集団の特性を活かした有効な方策だとされている（宮本，2014）。これらの先行研究で得られた知見をさらに発展させ、アブダクティブな示唆におけるアイデアを豊かにする指導方略を得ることで、問題解決における児童の困難の解消につながることを期待される。

第2項 仮説の形成過程に関する先行研究

Klahr and Dunbar（1988）は学習者の仮説形成過程を詳細に検討し、その推論の傾向を報告した。その結果、仮説を形成する際にはまず仮説を立ててそれを検証する方法を考えるとというスタンダードな思考を行う学習者だけでなく、まず実験をしてみてその結果から仮説を考えるというタイプの思考を行う学習者がいることが明らかになった。彼らは、前者を理論家タイプ、後者を実験家タイプと名付け、当該分野

の先行知識が少ない学習者は実験家タイプの方略を採用する傾向があること、その方略が先行知識の少ない学習者の問題解決においては有効な方略であることを報告している。また、同研究においては学習者の中に、仮説形成の際に特定の事象にばかり着目し、他の視点をもった仮説を形成できないものが見られたことが報告された。Minsky(1974)が特定の視点をもつ知識の集合をフレームとしたように、Klahr and Dunbar(1988)は特定の視点を持つ仮説の集合を仮説フレームとしてとらえた。さらにDunbar and Klahr(1989)は、仮説形成過程において小学校児童は成人に比べて、既存の仮説フレームに固着し新たな仮説フレームの仮説を形成しにくい、実験結果を既存のフレームにおいて解釈しようとするなどの傾向が強いことを明らかにした。Kaplan and Simon(1990)は不適切な仮説フレームに固着されている学習者にとっては、適切な仮説フレームに気づくこと(仮説フレームの移行)が問題解決に必要であると指摘している。三輪・松下(2000)はKlahrとDunbarの研究を発展させ、既存の仮説フレームに固着するだけでなくその中の特定の仮説に固着すると、仮説フレームだけに固着するよりも、新たな仮説フレームの仮説が形成しにくくなることを実証的に明らかにした。また、Klahr and Dunbar(1988)はこのように特定の仮説フレームに固着した結果新たな仮説が形成できず、その後の推論過程において思考が行き詰まった学習者の存在を報告している。小学校理科の学習内容に関する仮説形成については、大島(1993)が天秤のつり合いを題材として小学生を対象に調査している。同調査では天秤のつり合いに対して、重さだけの仮説フレーム、距離だけの仮説フレーム、重さと距離の仮説フレーム、の3つの仮説フレームが観察されたことが報告されている。

先行研究より，特定の仮説フレームに固着してしまうと，新たな仮説の形成が妨げられるが，Klahr and Dunbar (1988)の実験家タイプのように実験から考えることで新たな仮説フレームに気づくことが示唆される。そこで本研究では実験素材を提示し，実験方法の検討を行わせることで新たな仮説の形成を促す指導方略を導入した（図 17）。

本方略において学習者には初めに課題に対し仮説を形成させる。そこでは特定の仮説フレームに固着してしまう学習者が予想される。次に学習者に実験素材を提示し実験方法を考えさせることで，既存の仮説フレームとは異なった仮説フレームへの気づきが促される。新たな仮説フレームへの気づきから，アブダクティブな示唆が形成され，それが吟味されることで実験を通して検証する仮説が採択されることが期待される。

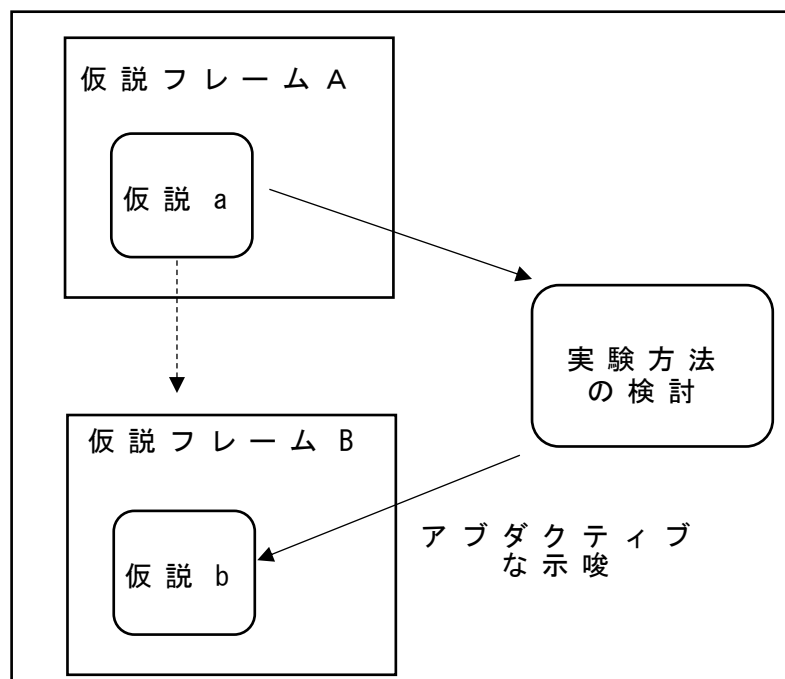


図 17 仮説形成を支援する実験計画活動の指導方略

第3節 実践・調査の手続き

第1項 授業実践・調査の対象及び時期

兵庫県内の公立小学校6年生4学級146名に対して「ものの燃え方と空気」の単元の学習の後に、燃焼に関する問題解決の授業として本研究の対象とする授業を行った。授業の実施時期は2016年5月上旬～中旬であった。授業では児童を4名～5名の実験班に分けて実験や話し合いを行ったが、実験班は4学級で37班であった。なお、燃焼の概念については単元を通して学んでいるため、燃焼における酸素の重要性と、燃焼によって二酸化炭素が排出されることについては児童に理解されていると考えられる。

第2項 分析の方法

各実験班の仮説形成、実験方法の検討場面における話し合いをICレコーダーによって音声で記録するとともに、それぞれの班が実験方法の検討の前と後に記入したワークシートを回収し、それぞれを分析の対象とした。

第3項 授業の概要

問題解決の題材は原田(1998)の実践を基に以下の通りとした。授業冒頭に演示実験として、逆さにした集気瓶の中に入れたろうそくの火が20秒程度で消えることを確認した。なお、この際ろうそくは机の上につけた指先大の粘土の上に立て、集気瓶は2個の積み木の上に置き、瓶の下部から空気が入ることができるようにした(図18)。

次に、「どうすれば集気瓶をどけることなく、中のろうそくをもっと長く燃やせるか。」と問いかけ、話し合いを通して仮説を形成させた(指導方略実施前の仮説)。仮説においてはろうそくが教師による演示よりも長い時間燃えるため

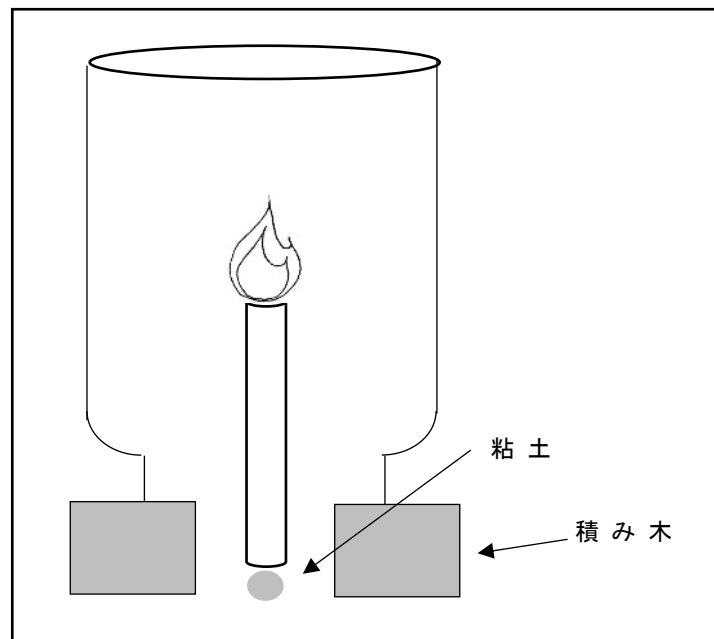


図 18 「ものの燃え方と空気」授業の実験題材

には空気がどのようになればよいかを書くことを促した。また、以下のルールを、仮説を話し合わせる前に児童に伝えた。

- (1) 集気瓶をかぶせた状態で火を長く燃やし続けるために、瓶のサイズを変えたり、瓶をどけたり、積み木を高くしたりすることはできない。
- (2) 火が燃えることでろうそくが短くなった場合にはろうそくを新品に交換して、ろうそくの長さが元の長さの半分より短くならないようにする。

次に開発した指導方略として実験素材を提示し、実験方法とその理由について話し合わせた(指導方略実施後の仮説)。その後、児童たちは実験に取り組み、実験結果に対して考察を行った。問題解決の目的は火を長く燃やし続けることであり、そのために実験素材としてうちわ、ストロー、風船の3種類を提示し、児童による実験での使用を認めた。

また、どの学級においても児童からは酸素ボンベや二酸化炭素ボンベ等の気体ボンベを使用してもよいかという質問

がなされたが、そのような道具の使用はできないこととした。積み木の位置を変えることや、粘土の大きさを変えることについては、特に制限を与えなかった。

なお、この授業において児童による形成が予想される仮説は、例えば「空気を送り込むと、火はもっと長く燃えるだろう」のようなものであった（図 19）。このうち、従属変数にあたる「火が演示実験よりも長く燃えること」は教師から示されており、児童は独立変数にあたるものを話し合い、仮説を形成することとなる³⁾。

初めに授業を行った学級では、上記のように実験素材としてうちわ、ストロー、風船の3種類を用いた。しかし、実験時に児童がストローを火に近づけすぎて危険な様子が観察されたため、残り3学級においては実験素材としてストローの代わりに実験用注射器、空気でっぼう、ゴム管にガラス管をつけたものを提示し、実験に使用した。ゴム管は実験用注射器、空気でっぼうのどちらにもつけられるようになっており、注射器セットを使用することで、ストロー同様に空気を送り込むことも、空気を吸い出すことも可能となる。

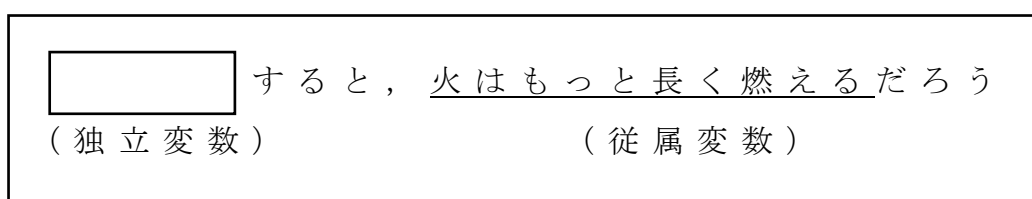


図 19 形成が予想される仮説



図 20 積み木のすき間を広げる様子



図 21 風船の風を送り込む様子

第4節 調査結果及び分析

第1項 話し合いの中でアブダクティブな示唆が現れ、それが議論を通して吟味される過程

それぞれの実験班における実験，話し合いの音声データを発話プロトコルとして書き起こし，ワークシートの記述とともに分析を加えた。仮説を話し合う場面と，実験素材をもとに実験方法について話し合う場面のプロトコルをもとに，それぞれの場面で現れたアブダクティブな示唆を分析した⁴⁾。

図22はどうすれば火を燃やし続けられるかについて話し合う実験班での児童の発話記録である。図22のS7-29ではまず実験素材を提案し，それに続いて素材選択に対する理由としての独立変数が説明されている。児童は素材選択の理由を話し合ったが，この発言に見られるように，その内容は上述した「形成が予想される仮説」にあたるものであった。また，それらは，実験を通して検証するために採択される以前の仮説である点が，米盛（2007）の指摘するアブダクティブな示唆と同様である。そこで，児童が話し合った素材選択の理由のうち，その内容が火をもっと長く燃やすための独立変数として示されたものをアブダクティブな示唆として捉えた。図22のS7-29であれば，「うちわを用いる（あおぐ）」ことを示す発言は，具体的な実験操作である。また，「（二酸化炭素よりも酸素の方が多く含まれる）空気が瓶の中が入る」ことは独立変数にあたり，それによって「火がもっと長く燃える」ことを意図しているため，本研究で捉えるアブダクティブな示唆である。図22においては他にもS7-31やS7-32などの発言でもアブダクティブな示唆が示されている。S7-32における示唆に対しては，その説明が理解できなかった児童からS7-33，S7-36の質問・反論がなされる。これを受けてS7-37ではさらに詳しい説明がされており，児童相互

の質問・反論によって、より詳細なアブダクティブな示唆が外化されているとみなされる。この実験班では、3つのアブダクティブな示唆が提案されたが S7-32 で示されたアブダクティブな示唆がそのもっともらしさから支持を集め、実験において仮説として採択された。

同様に図 23 のプロトコルにおいても、一人の児童のアブダクティブな示唆が、他の児童との議論を経て吟味されている。S3-12 の発言で、「うちわで酸素を送り込んだら」というアブダクティブな示唆が示される。それに対して S3-22 で疑問が示され、S3-27 ではうちわで送り込むことができるのは、酸素だけではないという反論が示される。そのような反論を受けて「空気中の二酸化炭素はたった 0.04% だ」という再反論がなされるのである。当初、「酸素だけを送り込む」としていた主張が、「二酸化炭素も含んで送りこむ」という主張にわずかに変化している。このように当初のアブダクティブな示唆が反論、再反論という議論を通して仮説としてより詳しく説明され、吟味される過程が見られた。

グループ討論の様子（7班）	
	（前略）
S7-29	<u>絶対にうちわになると</u> 思います。 <u>なぜなら空気の全体の割合は酸素と二酸化炭素のどちらか</u> <u>という酸素の方が圧倒的に多い</u> でしょ。 <u>うちわなら空気は</u> はいるやん。 <u>空気の量は</u> 変わっても割合は変わらないでしょ。
S7-30	ストローの使い方ってすうとかふくとかやん。これはたぶん酸素の取り入れとかに関係してるからふくやん、息を。だからそのときには酸素もちょっとはいつているけど二酸化炭素の割合が多くなると思うわけ。
S7-31	で、あの、 <u>まず風船は絶対違うねん</u> 。 <u>ふーってやったときに二酸化炭素が</u> 充満してそれをびゅーってやったらなしになる。
S7-32	あのさ、ストローでさ、空気を送ったらそれはあかんけど、 <u>上の方の空気を</u> すったら空気の入れ替えをできるから。
S7-33	<u>空気の上のへんって</u> どういうこと？
S7-34	このへん。
S7-35	ここをすったら周りの空気ははいるやろ。
S7-36	<u>でも二酸化炭素は減るけど酸素は</u> 。
S7-37	<u>だからこの辺に二酸化炭素が</u> たまってるやん。 <u>この二酸化炭素を吸って、</u> 下から酸素の入った空気がはいれば。
S7-38	なるほど、そういう手があったか。

図中の波線は素材選択とその理由としてのアブダクティブな示唆、下線は質問や反論を示している。

図 22 アブダクティブな示唆が吟味され仮説として採用されるプロトコル

グループ討論の様子（3班）	
	（前略）
S3-12	やっぱ、 <u>うちわで酸素おくりこんだら。</u>
	（中略）
S3-22	<u>うちわでなにするん</u>
S3-23	酸素をよせる？
S3-24	酸素をよせてくる。
S3-25	酸素を中に。
S3-26	酸素を送りこむ。
S3-27	<u>酸素を送り込むって言ってもさ。その中にも、 窒素とか二酸化炭素もあるんやで。</u>
S3-28	しゃあない。
S3-29	<u>たった、0.04%やん。</u>

図中の波線は素材選択とその理由としてのアブダクティブな示唆、下線は質問や反論を示している。

図 23 アブダクティブな示唆が反論を通して吟味されるプロトコル

第2項 児童の形成した仮説のフレーム

それぞれの実験班で形成されたアブダクティブな示唆のうち、2班以上で形成されたものを、実験の独立変数を観点とした仮説フレームで分類すると、3つの仮説フレームが認められた（図 24）。これらの独立変数は原田（1998）の先行実践において認められた実験操作と同じ構成であった。

第1の仮説フレームは、「空気の入れ替わりやすさ」に注目したものであった。この仮説フレームには4つの仮説が存在した。それぞれ「容器の口を広げること」「容器の口を狭めること」「容器にしきりを作ること」「容器の端で燃焼させること」を変数として扱っていた（以下それぞれA1, A2, A3, A4）。第2の仮説フレームは「空気の注入」

に注目したものであり、2つの仮説が存在した。それぞれ「人の息を入れること」「空気を入れること」を変数として扱っていた（以下それぞれB1, B2）。第3の仮説フレームは「空気の排出」に視点を持つもので、2つの仮説が存在した。それぞれ「空気を吸い出すこと」「空気を冷やすこと」を変数として扱っていた（以下それぞれC1, C2）。C2のアブダクティブな示唆は集気瓶を冷やすことで中の空気を冷やし、瓶の下方より排出することを目的としていたため、Cの仮説フレームに含まれると判断された。

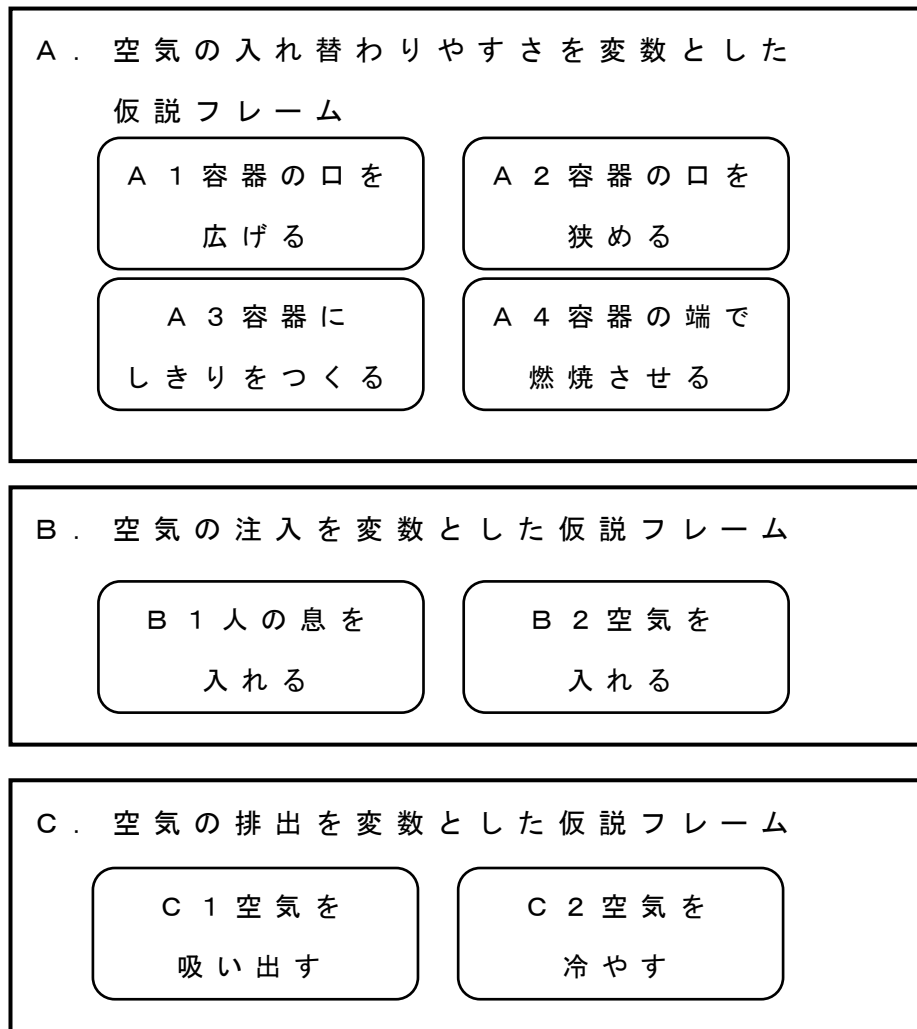


図 24 児童の形成した仮説

図 25 の発話プロトコルは S19-6 の発言の集気瓶を支える積み木をできるだけ広い間隔で設置することで集気瓶の入り口を広くするというアイデアを話し合っている。これは仮説フレーム A 1 に相当するアブダクティブな示唆である。このように、容器中の空気が自然と入れ替われば中の火が燃え続けることは実験の条件次第では十分起こり得る。しかし、本授業で使用した実験器具、条件の下では、予備実験においても、児童の実験においてもこの方法は有効に働かなかった。予備実験においては、B や C の仮説フレームに含まれる空気を送り込む実験操作や空気を排出する実験操作は、火を燃やし続けることができることが確認されていた。児童の実験においても、演示実験よりも長い時間ろうそくを燃焼させることに成功した実験班は B や C の操作を行っていた。

グループ討論の様子（19班）	
S19-1	えっとさ、本題いきましょ。
S19-2	要するに、燃やすとこの中の酸素が二酸化炭素に変わるねん。だからな、下からなこう通ってな。
S19-3	まあ空気循環をよくしたら。
S19-4	酸素ってさ、下行くやん。酸素ってさ、上に上がらず下に下がるからみんな息してるやん。
S19-5	酸素下に下がるねん。
S19-6	だから、要するにこの空気循環、酸素が二酸化炭素に変わることによって上から二酸化炭素がたまってくるわけや。だからさ、 <u>二酸化炭素とか空気の入り口を大きくしたらいいわけ。</u>
S19-7	だから、これがろうそくやとしたら、あるやん。

図中の波線は素材選択とその理由としてのアブダクティブな示唆、下線は質問や反論を示している。

図 25 A の仮説フレームに含まれるアブダクティブな示唆の見られたプロトコル

第3項 実験素材の提示及び実験手続きを考える活動の後に児童の形成した仮説

図 26 の実験班は実験素材提示前にはアブダクティブな示唆を1つも形成することができていなかった班である。しかし、実験素材提示後のプロトコル図 26 では S13-20 や S13-26 のように実験方法の検討に伴ってアブダクティブな示唆が示され、探究につながる推論を行うことができた。37個の実験班のうち、29個の実験班においては実験素材の提示によって形成されるアブダクティブな示唆が増加した（表1）。実験素材提示前に一つもアブダクティブな示唆を形成することができなかつたのは6個の班（10,12,13,30,32,34）であった。実験素材提示後にそれは1個の班（30）に減少した。

グループ討論の様子（13班）	
	（前略）
S13-17	どれ使う？
S13-18	全部使ったらあかんの？
S13-19	まず、どうするか。
S13-20	<u>ゴム管となんかを、それ使ってさ、酸素送り込</u> <u>んだらいい。</u>
S13-21	あと、風船？風船は無理か。
S13-22	風船。
S13-23	うちわつかう。
S13-24	どうする何使う。
S13-25	注射器か空気でっぼうか。
S13-26	<u>注射器と空気でっぼうを合体して、注射器の</u> <u>先っぽの細いところにゴム管つけて空気送り</u> <u>込んだら。</u>
S13-27	それやったら空気でっぼうの中に酸素を充満 させて、いや、それやったら普通の空気もい いんか。
S13-28	あと、注射器。

図中の波線は素材選択とその理由としてのアブダクティブな示唆、下線は質問や反論を示している。

図 26 実験素材の提示の後にアブダクティブな示唆が示されたプロトコル

表 13 実験素材提示前後のアブダクティブな示唆

実験班	実験素材提示前の アブダクティブな示唆	合計	実験素材提示後の アブダクティブな示唆	合計
1	A3 C1	2	A3 C1 B1 B2	4
2	B2	1	B2 B1	2
3	B2 C2	2	B2 C2 C1	3
4	C1	1	C1 B1	2
5	B2	1	B2 B1	2
6	C1	1	C1 B1	2
7	B2	1	B2 B1 C1	3
8	A1	1	A1 B1 B2 C1	4
9	A4	1	A4 C1	2
10		0	C1 B2	2
11	B1 A1	2	B1 A1 B2	3
12		0	B2	1
13		0	B2	1
14	A1 A4 B1 C2	4	A1 A4 B1 C2 B2	5
15	B1	1	B1 B2 C1	3
16	C2 B2 A2	3	C2 B2 A2 C1 B1	5
17	B2 B1	2	B2 B1 C1	3
18	B1 C1 B2	3	B1 C1 B2	3
19	B1 B2 A1	3	B1 B2 A1	3
20	B2	1	B2	1
21	B1	1	B1 C1 B2	3
22	A1	1	A1 B2 C1	3
23	C1 B2 A1	3	C1 B2 A1	3
24	A2	1	A2 C1 B2	3
25	A1	1	A1 C1 B1	3
26	A1	1	A1 B1	2
27	B2	1	B2	1
28	B2 B1 C1	3	B2 B1 C1	3
29	A1	1	A1 B2	2
30		0		0
31	A3	1	A3 B2	2
32		0	B2	1
33	A2 A3	2	A2 A3 B2	3
34		0	A1 B2 C1	3
35	A1	1	A1 B1 B2	3
36	A1	1	A1	1
37	B1 B2	2	B1 B2 C1	3
平均		1.35		2.51

表中のアブダクティブな示唆のうち、Aは空気の入れ替わりやすさ、Bは空気の注入、C空気の排出を変数としたものである。詳しくは図 24 に示している。

また、表1のように実験素材の提示前に形成されたアブダクティブな示唆は平均1.35個、実験素材の提示後に形成されたアブダクティブな示唆は平均2.51個であり、t検定を用いたところ有意な増加が認められた($t(36)=8.478, p<.01$)。

37個の実験班のうち、17個の実験班は実験素材提示前の仮説形成の場面において仮説フレームB、Cに含まれるアブダクティブな示唆を形成することができなかった。先述のようなルールにおいて火を長く燃やし続けるという条件を満たすことができたのはB、もしくはCの仮説フレームにおけるアブダクティブな示唆である。実験素材の提示後には、仮説フレームB、Cに含まれるアブダクティブな示唆を形成できなかった実験班は2個の班(30,36)のみであった。

図28図29はそれぞれ同一の実験班の実験素材提示前、後の発話プロトコルである。実験素材提示前である図9においては、S25-4やS25-6、S25-10の発言のように、仮説フレームAのアブダクティブな示唆が話し合われており、仮説フレームBやCのアブダクティブな示唆は形成できなかった。図10においてはS25-13やS25-14のようにうちわを使う実験方法が言及され、その理由として酸素を供給することに触れられており、仮説フレームB2に相当するアブダクティブな示唆の形成が認められる。ここでは実験素材を検討することで図9から図10へと話し合われる視点としての仮説フレームが変更されており、同時に新たなアブダクティブな示唆が形成され、それが吟味されている(図11)。他に8個の班(8,22,24,26,29,31,33,35)が図11の25班のように、初めに仮説フレームAのアブダクティブな示唆について話し合っていたが、実験素材の検討の後には仮説フレームBのアブダクティブな示唆に気づいていた。また、37個の実験班のうちで23個の班が、このように実験素材提示後に新たな仮

説フレームに気づき、新たなアブダクティブな示唆を形成していたことが認められた。

	グループ討論の様子（25班）
S25-1	どうすればろうそくはもっと長く燃えるのか。
S25-2	じゃあ、さっきの木の状態ではどうなっているのかということを考えてみましょう。
S25-3	<u>木を変える。位置を。</u>
S25-4	あ、木を変える。
S25-5	<u>ねんどの位置をかえる。</u>
S25-6	まずこれが、すぐに消えた要因がなんなのかということを見つけないといけませんね。
S25-7	僕としては、空気の出入りが、ここにろうそくありますから、このあたりしかできないと。
S25-8	酸素だけがどんどん使われていくという状態になってしまおうというので、これを改善するためには粘土が関係しているのか、木が関係しているのか、ということですね。
S25-9	どっちも。
S25-10	まずさ、木をさ、こう並べてあるやん。 <u>一番はしっこにしたらさ、空気の動きがでかくなるやん。</u>
S25-11	なるほど。
S25-12	二酸化炭素を排出し、酸素を取り込むことのできるようにすればもっと長く燃えるようになると考えた。

図中の波線は素材選択とその理由としてのアブダクティブな示唆、下線は質問や反論を示している。

図 27 アブダクティブな示唆が吟味され仮説として採用されるプロトコル

グループ討論の様子（25班）	
S25-13	まず <u>風船使えばどうですか。</u>
S25-14	風船がどんどん膨らんでいったらどんどん二酸化炭素の排出量が多くなるということなので、ものすごく膨らんだ時に <u>うちわを使う</u> というのは。
S25-15	ここで問題を出すとすると、風船が膨らむっていうのは二酸化炭素が増えているということです。また、 <u>うちわであおぐ</u> というのは、 <u>酸素を供給する</u> ということです。
S25-16	燃えている間に注射器にゴム管をつなげたもので二酸化炭素が多い空気を吸い込み、その後空気鉄砲で空気を入れる。

図中の波線は素材選択とその理由としてのアブダクティブな示唆、下線は質問や反論を示している。

図 29 25 班の実験素材提示後のプロトコル

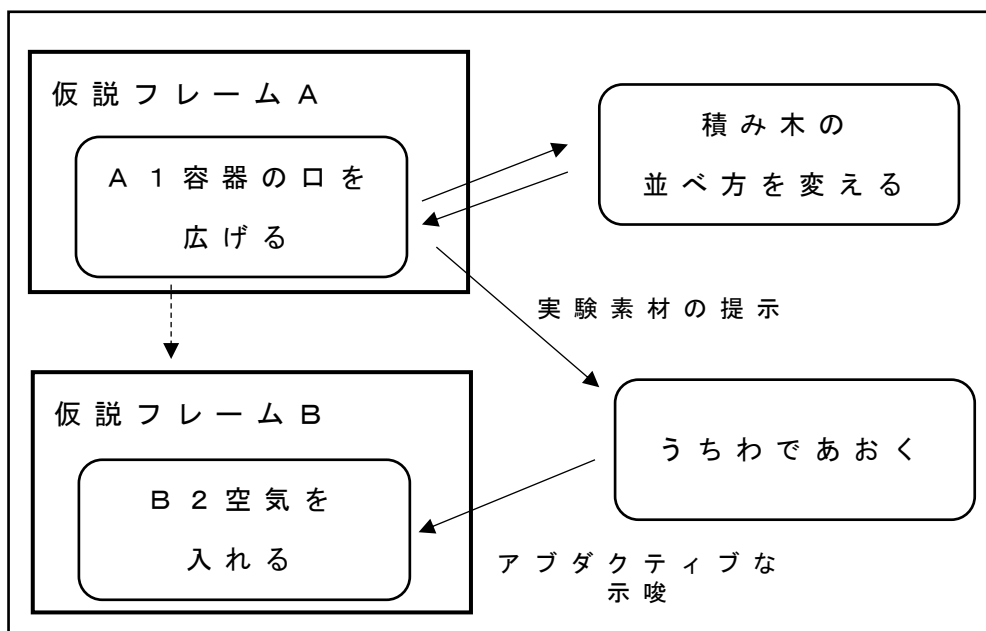


図 30 観察された新たな仮説の形成過程

第4項 考察

本章での授業実践を通じた調査の結果、明らかになったことは以下の通りである。まず、実験素材提示前に仮説を形成させる場面では空気の注入や排出を意図したアブダクティブな示唆を形成できない実験班があり、1つの仮説フレームにおいて話し合いを進めている班が見られた。また、実験方法を話し合い相互の疑問や反論が交わされることでアブダクティブな示唆が外化されるとともに、それが仮説として採択されるために吟味されることが認められた。実験素材提示の前後を比較すると、以下の2点について変化が見られた。

(1) 形成されたアブダクティブな示唆の数が増加した。

(2) 新たな仮説フレームに気づいた班が見られた。

以上の結果から、学習者が仮説を形成する場面において実験素材を提示し、実験方法を検討させる支援を含んだ指導方略が、形成される仮説の数の増加に有効であることが明らかになり、それは新たな仮説フレームへの気づきを促したことによるものではないかという示唆が得られた。この示唆は、問題解決には不適切な仮説フレームから適切な仮説フレームへの移行が必要であるとした Kaplan and Simon (1990) の先行研究の結果と一致している。しかし、手立ての後においても依然として適切な仮説を形成できていない実験班も見られ、開発された指導方略のさらなる発展の必要性も示された。

第5節 本章のまとめ

本章の目的は実験を計画する活動による仮説形成の効果を実証的に明らかにすることにあった。本章では第6学年の燃焼の単元を題材として取り上げ、児童が形成する仮説の視点に着目した。上記の目的を達成するためにまず、先行研究により仮説の形成過程における困難を調査し、それを解消するための実験を計画する活動を取り入れた指導方略を開発した。次に、開発した指導方略を用いた授業実践により、実験を計画する活動による児童の仮説形成への影響を調査した。本章の研究では以下の点が明らかになった。

・実験と仮説の関連付けから、実験を計画する活動を取り入れた指導方略によって、児童による仮説形成が促されること

註

1) 本章の研究は既に発表済みの以下の研究に基づいており、それに改訂を加えたものである。

安部洋一郎・山本智一・松本伸示(2018)「小学校理科授業における仮説の形成を促す指導方略—仮説フレームを視点にアブダクティブな示唆を形成することに主眼を置いて—」『理科教育学研究』第58巻，第3号，211-220.

2) Peirce の著作は Peirce 本人によってまとまって著されたものではなく，死後にその膨大な遺稿がハーバード大学に買い集められ，Hartshorne, Weissそして Burksによって「パーズ論文集(Collected Papers of Charles Sanders Peirce)」としてまとめられたものである。

3) 本研究で実施した授業では，一般によく行われている例に倣い，複数の児童の話し合いを通して実験を行わせた。Peirce はアブダクションを個人の推論の過程として論じており，それをそのまま本授業における児童の話し合いの分析に適応することはできない。特に，米盛の指摘するアブダクションの第2段階については，実験班で仮説を採択したとしても，児童各人にとって納得のいかない結論である可能性がある。そのため，分析においては仮説の採択の過程について，学習班として仮説を採択したという結果の記述にとどめた。同様に，特定の仮説フレームへの固着や新たな仮説への気づきについてもどの児童がどのように考えたかという個人の内面については，集団の話し合いからは見取ることができない。そのため集団の営為として，新たな仮説フレームにあたる仮説が新たに提案されたという事実を中心に分析を行った。

4) 本研究は、仮説形成が2つの段階からなる思考過程であるという枠組みにおいてアブダクションに注目した。柚木(2007)はアブダクションの本質が、驚くべき事実Aとそれを説明する仮説Cの結びつきにあると指摘している。アブダクションという語については仮説形成の推論一般を意味するものとして使われることもあるが、ここで論じている仮説の形成は必ずしも柚木の提示した推論形式にはあたらない。しかし、アブダクションに限らず新たな発想の形成においては、アイデアを思いつくプロセスと、アイデアを吟味するプロセスがあることを指摘する研究が見られる(例えばジェネプロア・モデル Finke, Ward and Smith, 1992 や、独創的問題解決 Osborn, 1953)。そこで、本研究ではアブダクションの枠組みを援用し、実験で検証するために採用される前にアイデアとして出された仮説をアブダクティブな示唆として捉えることができる考えた。

引用参考文献

Abd-el-khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N.G., Mamlok-naaman, R., Hofstein, A.V.I., Niaz, M., Treagust, D. & Tuan, H. (2004). Inquiry in science education : International perspectives. *Culture and Comparative Studies*, 88(3), 397-419.

荒井妙子・永益泰彦・小林辰至(2008)「中学生の自然事象に関わる変数への気づきに影響を及ぼす要因の検討」『理科教育学研究』第49巻, 第1号, 1-8.

Cook, C., Goodman, N. D. & Schulz, L. E. (2011). Where science starts : Spontaneous experiments in preschoolers ' exploratory play. *Cognition*, 120(3), 341-349.

Dunbar, K. & Klahr, D. (1989). Developmental differences in scientific discovery processes. D. Klahr, & K. Kotovsky, (Eds.) *Complex Information Processing: The Impact of Herbert A. Simon*. 109-143. Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Finke, R. A., Ward, T. B. & Smith, S. M. (1992). *Creative Cognition: Theory, Research, and Application*. MIT press. 小橋康章訳(1999)『創造性認知』森北出版.

後藤正英・久保田善彦・水落芳明・西川純(2007)「中学校の理科実験における子どもの課題解決過程に関する一考察～「探究の過程」を強制しないカリキュラムにおける実験の予想に着目して～」『理科教育学研究』第47巻, 第3号, 1-7.

Hartshorne, H., & Weiss, P. (Eds.) (1931). *Collected Papers of Charles Sanders Peirce Volume V*

Pragmatism and Pragmaticism. The Belknap Press
Of Harvard University Press

原田 耕三 (1998) 「子どもの意欲を支える」湯沢正通編著『認知心理学から理科学習への提言』北大路書房, 116-137.

Hodson, D. (1998). *Teaching and Learning Science: Towards a Personalized Approach*. Open University press. 小川正賢訳 (2000) 『新しい理科教授学習論—子ども一人ひとりの見方・考え方を損なわずに科学を学ばせるには—』東洋館出版社.

金子健治・小林辰至 (2011) 「The Four Question Strategy (4 Q S) に基づいた仮説設定の指導がグラフ作成能力の習得に与える効果に関する研究—中学校物理領域「力の大きさとはばねの伸び」を例として—」『理科教育学研究』第 51 巻, 第 3 号, 75-83.

Kaplan, C. A. & Simon, H. A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology*, 23(3), 374-419.

Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.

小林寛子 (2009) 「「仮説評価スキーマ」教示と協同活動が科学的な法則や理論の理解と観察・実験スキルの向上に与える影響」『教育心理学研究』第 57 巻, 131-142.

益田裕充・柏木純 (2013) 「論理的推論に基づく仮説形成を図る教授方略に関する実証的研究」『理科教育学研究』第 54 巻, 第 1 号, 83-92.

Minsky, M. (1974). A framework for representing Knowledge. *Artificial Intelligence*, 306, 1-81.

三輪和・松下正法 (2000) 「発見における心的制約の緩和過程」『認知科学』第 7 巻, 第 2 号, 152-163.

- 宮本直樹(2014)「中学校理科における仮説設定とデータ解釈の関連—因果関係を踏まえた仮説の共有化, 洗練化に着目して—」『理科教育学研究』第55巻, 第3号, 341-350.
- 永益泰彦・小林辰至(2007)「高校生の仮説設定能力に関わる要因の構造—生物1選択者における質問紙調査の分析から—」『理科教育学研究』第48巻, 第2号, 63-70.
- 小川正賢(1992)「探究学習論」日本理科教育学会編『理科教育講座 第5巻』, 1-104.
- 大島純(1993)「天秤課題における小学生の科学的推論過程の発達」『発達心理学研究』第4巻, 第1号, 13-24.
- Osborn, A., F., (1953). *Applied Imagination: Principle and Procedure of Creative Thinking*. 上野一郎訳(1959)『独創力を伸ばせ』ダイヤモンド社.
- Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008). *Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. Cognitive Development, 23 (4) , 488-511.*
- 山田貴之・寺田光宏・長谷川敦司・稲田結美・小林辰至(2014)「児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果」『理科教育学研究』第55巻, 第2号, 219-229.
- 山口真人・田中保樹・小林辰至(2015)「科学的な問題解決において児童・生徒に仮説を設定させる指導の方略—The Four question Strategy(4QS)における推論の過程に関する一考察—」『理科教育学研究』第55巻, 第4号, 437-443.
- 米盛裕二(2007)『アブダクション—仮説と発見の論理』勁草書房.

柚木朋也(2007)「アブダクションに関する考察－探究のための推論の分類－」『理科教育学研究』第48巻，第2号，103-113.

第4章 実験を計画させる活動の指導方略

本章では研究3として、実験を計画する活動における有効な指導方略を提案することを目的として研究を行った。先行研究からは、「児童による思考場面の後に教師による教示場面を設定する」という指導方略を得ることができた。

第1節 本章の目的と手続き

児童自身が実験を計画する活動は、その後の学習活動を進めるための実験を単に決定するだけではなく、この活動を通して児童自身の学力を高めることが目的となる。先行研究においては実験を計画させる活動に、実験を計画する能力や科学的態度を高める効果があることが報告されており、前章の調査では仮説形成を促す効果があることが認められた。このうち特に中心かつ直接的な効果は、実験を計画する能力の向上にあるといえるだろう。

平成29年に告示された小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2017）に「解決の方法を発想する力」と示されているように、実験を計画する能力の育成は今日的な課題の1つである。また、同学習指導要領では解決の方法を発想する活動に取り組むことも示されており、単なる教師からの教示だけではなく活動を通じた資質・能力の育成が求められていることが読み取れる。

このような情勢を鑑みると、児童が実験を計画する活動を通して実験を計画する能力を育成するための適切な指導方法が希求されていると考えられる。しかし、序章において論じたように、先行研究では様々な指導方略が提案されているものの、それらはそれぞれ異なった目的・方針に基づいてお

り未だ決定的な方略は見いだされていない。そこで、本章では先行研究を基に、実験を計画する活動を指導する方略を検討し、その方針を定めるものとする。

第2節 実験を計画させる活動の困難

実験を計画する推論は、調査対象である問題と実験、予想される結果とを結びつける思考であり、科学的探究プロセスにおける中心的な思考の一つである。平成29年に告示された小学校学習指導要領解説理科編では「解決の方法を発想」する能力の向上が第5学年の目標として明示された（文部科学省、2017）。アメリカのNGSSにおいても「調査を計画し実施する」という項目は幼稚園から高校まで、各学年に応じて実施するべき実践上の柱として取り扱われている（National Research Council、2013）。このように実験を計画する能力は科学において重要な位置を占めており、日本だけでなく海外においてもその指導が求められている。

小学校学習指導要領解説理科編においては、実験を計画する能力の育成について例えば、「物の溶け方、振り子の運動、電流がつくる磁力について追究する中で、主に予想や仮説を基に、解決の方法を発想する力を養う」などと記載されている（文部科学省、2017）。このように、小学校学習指導要領では実地の活動を通して実験を計画する能力を育成することが目されている。実際の問題解決場面を離れて実験を計画する能力だけを取り出した指導は真正性を欠く指導となり、児童にとって主体性を高める学習となりづらいことは過去に指摘されている（小川、1992）。そのため、小学校学習指導要領に示されるように児童が主体的に取り組む問題解決の文脈の中で実験を計画する能力を育むことは有用であると考えられる。

しかし学習者自身が主体的に学習を進める問題解決学習の指導における困難は先行研究において指摘されている。Schwartz and Martin(2004)は児童生徒による創造的な活動に取り組ませることが必ずしも有効な指導方法とは限らない

と指摘している。そしてその理由として、児童生徒が正しい正解を導き出すことができず、結果としてよい評価を得られない事態が起こりうることを挙げている。

理科学習における実験は科学的な疑問を解決するために実施される活動である（Karampelas、2016）。そのため、実験を含めた一連の問題解決を通して科学的知識の確実な習得がなされることが求められている。しかし、van Riesen、Gijers、Anjewierden and de Jong（2018）は、学習者が計画した実験がしばしば結果にたどりつかず当初の科学的疑問を解決するに至らないことを指摘している。ここに、科学的知識の指導と、実験を計画する能力の育成が背反な状態に陥り、実験を計画させる活動が頓挫してしまう原因がある（図31）。

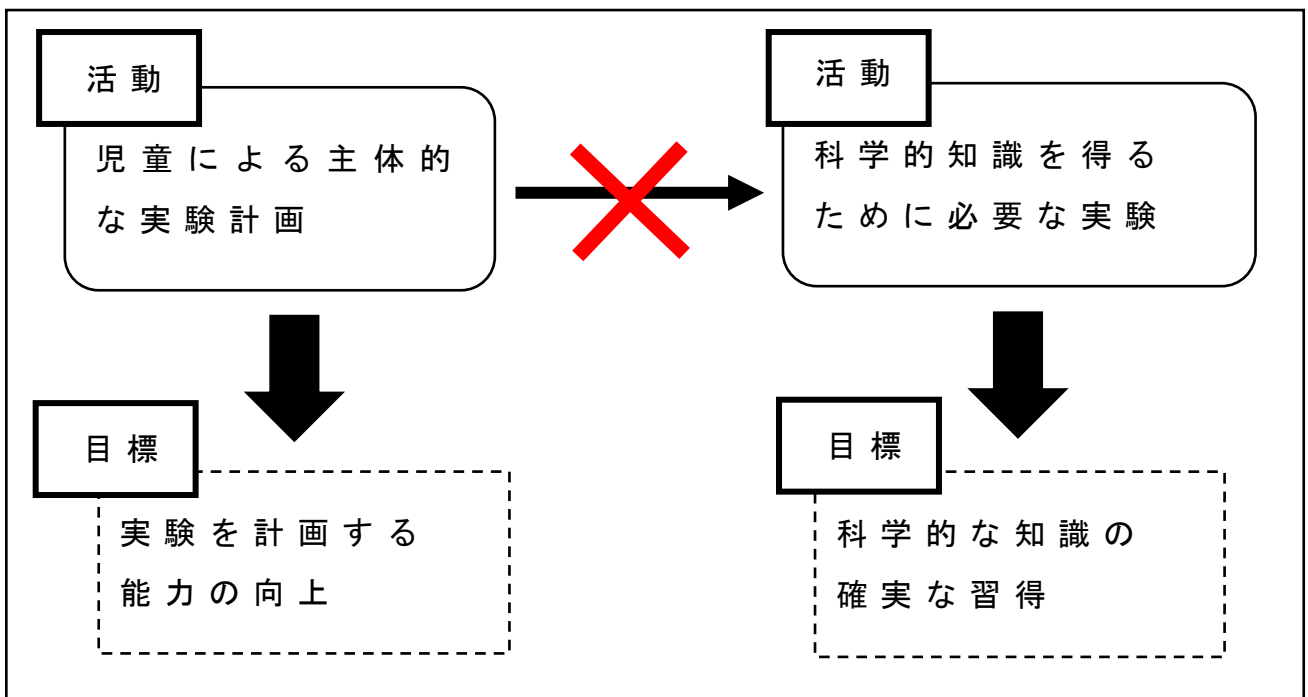


図 31 児童に実験を計画させる活動に起因する知識習得の妨げ

このように、学習者自身に実験を計画させることで十分に仮説を検証できないのであれば、教師は実験方法を指導するほかなくなり、結果としてクックブックタイプの授業の実施につながってしまうおそれがある（図 32）。

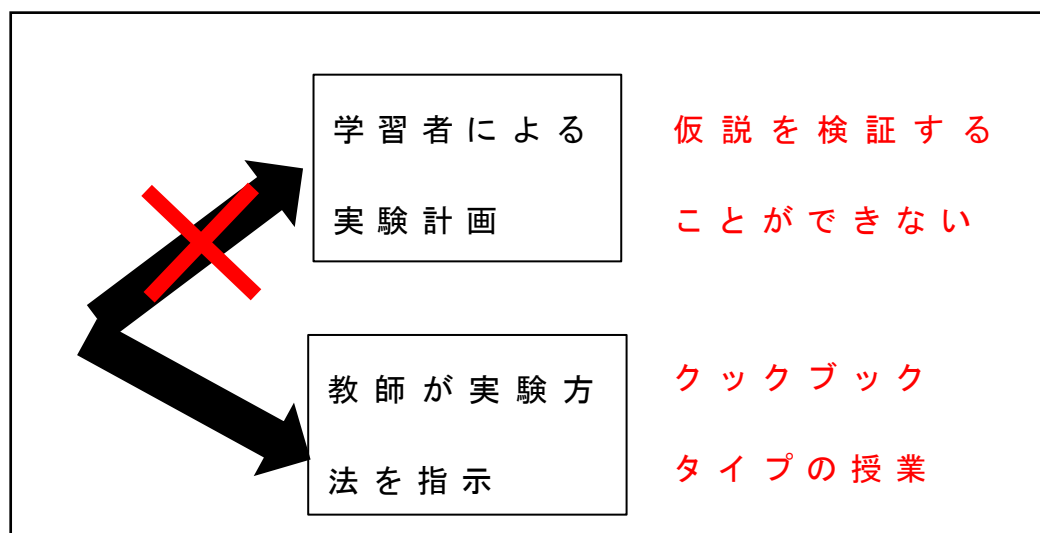


図 32 実験計画活動の困難とクックブックタイプの実験

また、Chen and Klahr(1999)は実験の結果からは、実験自体の妥当性についての示唆は得られないという点にこそ発見学習の問題点があると指摘している。このことから、学習者が有効な実験を立案することができても、実験を計画する活動の後にその実験を行うだけでは、実験を計画する能力の向上につながらないおそれがある。つまり、児童が実験を計画する活動を行うことが、科学的知識の習得につながらないばかりか、実験を計画する能力の向上にもつながらないおそれがあるということである（図 33）。

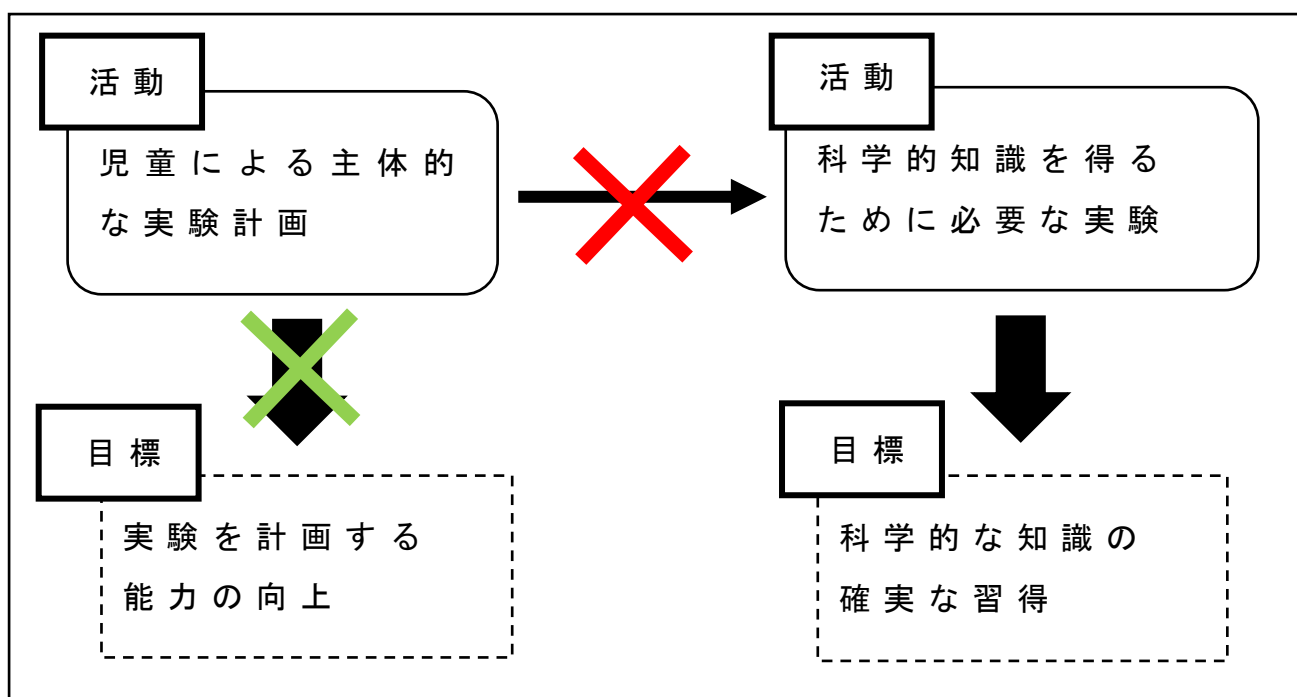


図 33 児童に実験を計画させる活動がはらむ困難

このように児童に実験を計画させる活動は特有の困難を孕んでおり、それ故十分に実施されていないことがある。Girault, D' Ham, Ney, Sanchez and Wajeman (2012) は、実験を計画する思考の困難から、児童に実験を計画させることをためらう教師の存在を指摘しており、ヨーロッパ・アメリカ・オーストラリアでは教師の指示通りに実験を行わせる、いわゆるクックブックタイプの実験が理科授業の大半を占めているとまとめている。国内でも、遠西(1997)は児童生徒の計画する実験が科学理論から見ればまったく無意味で滑稽なものになりがちであり、理科授業においては教師が実験を考えることになると述べている。

以上の通り、児童に実験を計画させる活動を指導するためには、

- (1) 児童による実験計画が科学的な知識を得るために必要な実験につながること、
- (2) 実験を計画する能力の向上につながること

の2点に留意した指導方略を採る必要が認められる。

第3節 児童による思考の後に教師による教示を組み合わせた指導方略

序章において論じたように、実験を計画する能力の育成に関しては、CVSの育成を目的とした一連の研究がなされており、教師による教示と児童による問題解決を組み合わせた指導が有効であることが明らかになっている。

明示的な教示と児童による問題解決を組み合わせた指導方略を提案しその効果について、順序も含めて詳細に検討した研究には Schwartz and Bransford (1998)がある。彼らは学習する事項に関して、主体的に思考した後に教示を受ける学習が、受動的に文章を読んだ後に教示を受ける学習よりも理解を深めることを実証的に明らかにした。同研究では、思考(発見)してから教示を受ける方が、教示の後に思考(要約)するよりも有効であることを示し、その思考と教示の順序にまで踏み込んだ結果を示している。

Kapur(2008)は足場かけなしに問題解決を行った群と、足場かけの基に問題解決を行った群の問題解決の内容を比較し、前者では問題を十分に把握することができず、後者の方が問題解決の水準を高めることができたとしている。しかし、その後改めて足場かけのある状況で児童の理解を測ると、前者の方がより高い成績を収めることができたことを報告している。

Schwartz、Chase、Opezzo、Chin(2011)は、思考場面の後に教示を行った群と、教示の後に思考を行わせた群を比較した研究を行っている。その結果、単純な言葉の理解においては両者に差は見られなかったが、学習内容を他の領域に転移する課題において、思考の後に教示を行った群の方がより高い成績を収めることを明らかにした。彼らは、解決法に対して思考する活動がその後の教示を受けるための準備の役

割を果たすのではないかと考察している。また、Roll、Briseno、Yee and Welsh（2014）は学習対象に対して先行知識の少ない学習者にとっては、初めに試行錯誤の活動を行うことで、その領域の知識を増やすことができ、その後の学習を有効に進められることを指摘している。以上の研究より、児童自身が思考する場面の後に教師が明示的に教示する場面を設定するという順序で行うことで、これらの場を組み合わせる指導の有効性が増すことが示されている。Schwartz and Martin（2004）は児童自身が思考する場面の後に教師が明示的に教示する場面を設定する IPL サイクル（Inventing to prepare for future learning）という指導方略を提案し、それが学習者の概念理解に有効であることを授業実践を通して実証している（図 34）。

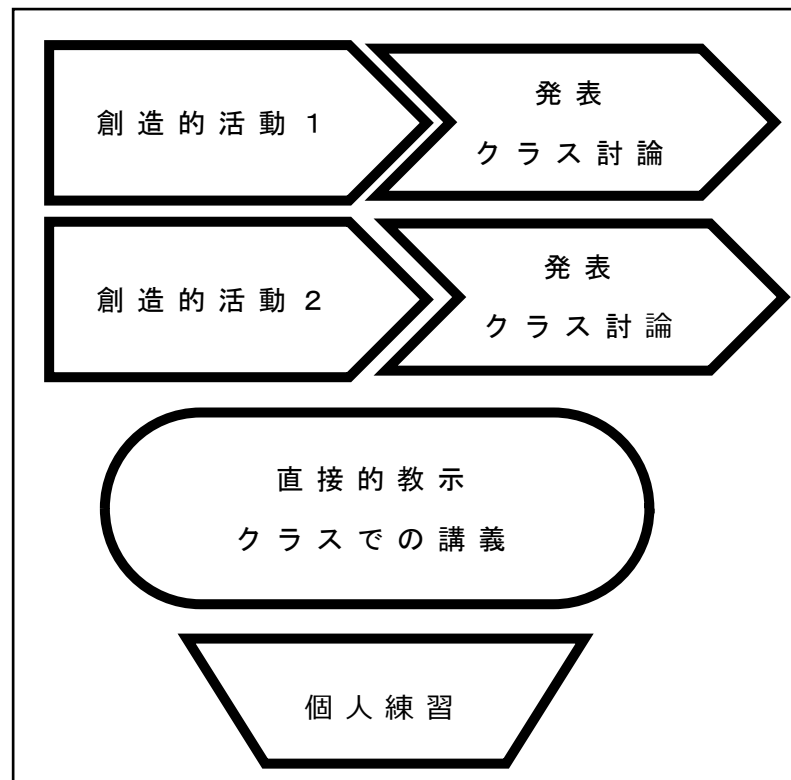


図 34 IPL サイクル

以上の先行研究に報告されている指導方略に関する知見は以下の2点に結論付けられる。

- (1) 実験を計画する手続きを指導する際には、児童による思考場面と明示的な教示場面を組み合わせた指導が有効である。
- (2) 児童による思考場面と明示的な教示場面を組み合わせる指導においては、児童による思考場面の次に明示的な教示場面を行うという順序で行うとその有効性が増す。

第4節 思考の後に教示を組み合わせた指導方略 を実験計画場面に用いることの指導上の利点

福田・遠西(2016)は力のモーメントに関する、課題/発表/討論/実験といった問題解決の各場面と、それに続く教師による解説場面において生徒の理論がどのように変容するか、運勢ライン法を用いて詳細に検討している。彼らの調査からは、問題解決の各場面を通して、古い理論へのコミットメントの弱化と新しい理論へのコミットメントの強化が生じていることが明らかになった。また、生徒の概念転換が起きる場面は生徒によって異なっているが、どの生徒も教師によるまとめの活動で科学理論へのコミットメントを強めることが明らかになった。この結果から福田・遠西は、生徒は自分たちが形成した理論は何らかのオーソライズが必要であると感じており、教師による教示は個人的理論を科学的理論へと昇華させる行為であると考察している。福田・遠西(2016)の分析した授業は課題→仮説の形成→実験→考察→まとめを含む一般的な問題解決の流れである。

前節の通り、実験を計画させる際の指導の在り方としては、児童に実験を計画させた後で教師が教示を行う方法が有効であることが示唆される。これは、問題解決の一過程である実験計画の場면을、児童による思考の後に教示を行う指導によって行うものである(図3)。このように捉えるとこの指導方略は、福田と遠西の分析したようなマクロな視点としての問題解決で行っている思考の後に教示する指導展開を、ミクロな視点としての実験計画場面においても行う指導方法であると考えられる。

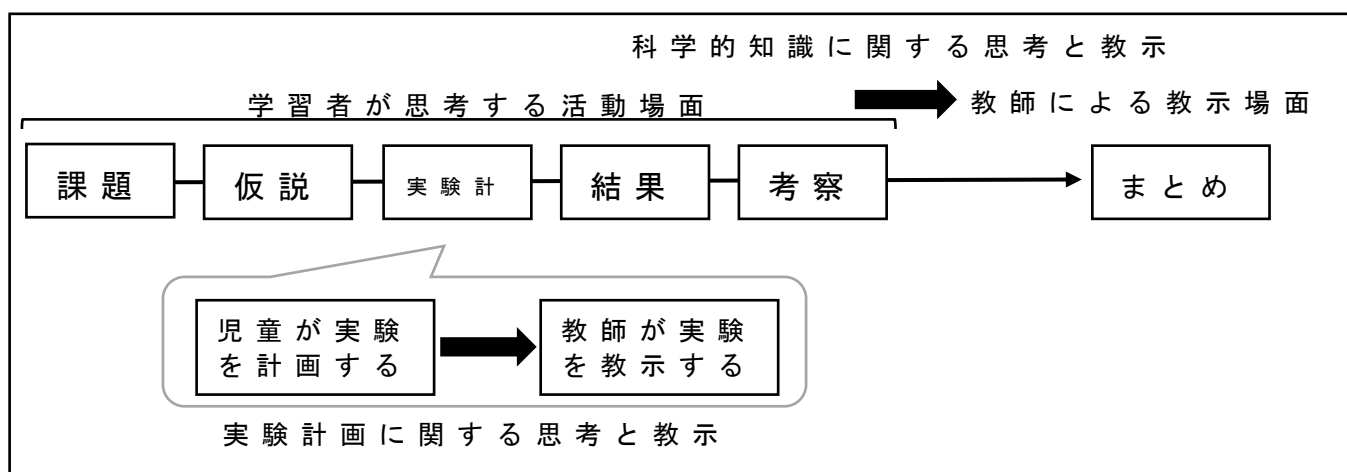


図 35 科学的知識の習得と実験計画活動における思考と教示を組み合わせた指導方略

児童による思考場面と、教師による教示場面を組み合わせた指導法は、複数の指導上の効果が期待される。特に、序章で論じた通り、実験手続きを指導する際には実験手続きを再生する技能的理解だけではなく、なぜその実験手続きを採用するのかという認知的な理解が必要である。場面に応じてふさわしい実験手続きを選択する思考を育成するためには、様々な問題解決場面において実験手続きを選択する経験が重要であると考えられる。教師による教示だけではなく、児童自身が思考する場面を設定することで児童が真正性のある思考を行うことが期待される。

また、本章第2節で論じたように児童に実験を計画させる活動には、それが科学的知識を得るために必要な実験につながらないというおそれや、実験を計画する能力の向上につながらないという可能性が指摘される。これらは、教師がクックブックタイプの実験を選択してしまう原因ともなりかねない、理科授業における重大な問題である。しかし、同指導法では、教師が教示を行う場面を設定していることで、問題解決に必要な実験の内容が担保され、科学的知識の習得を妨

げないと考えられる。また、実験を計画する際の手続きを指導することで、実験を計画する能力の向上にも寄与することが期待される（図 36）。このように、実験を計画する活動の指導において、児童の思考場面の後に教師の教示を行うことで、なぜその手続きを行うのかという認知的な理解を深めると共に、実験を計画する活動の困難も解消されるのではないかと考えられる。

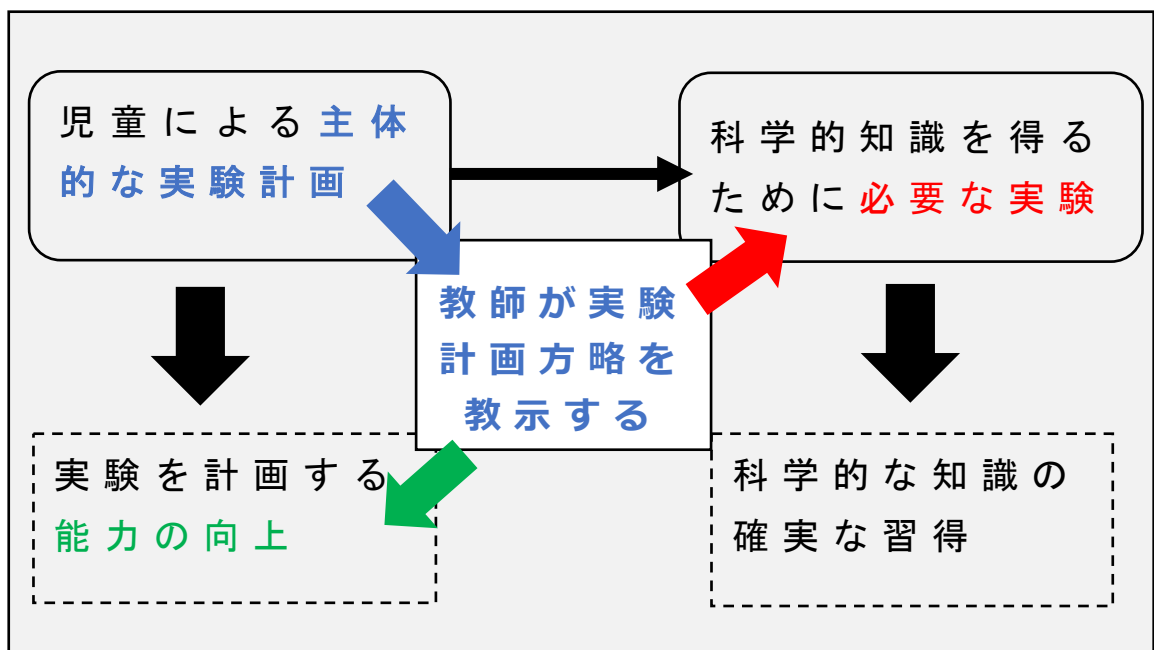


図 36 児童による思考と教師による教示を組み合わせた実験計画場面の指導

第5節 本章のまとめ

本章では、実験を計画する活動における有効な指導方略を提案することを目的として研究を行った。先行研究からは実験を計画する活動には、学習者が目的に沿った実験を計画できないこと、実験を計画する能力の育成に結びつかないこと、という2つの困難が示唆されている。これらの困難を克服し、本章の目的を達成するためにここでは先行研究の調査を行った。その結果、実験計画場面での指導における実験を計画する活動における指導方略の着想が得られた。本章の成果として以下の知見を得ることができた。

- ・ 児童による思考場面の後に教師による教示場面を設定する指導方略を採用することで、目的に沿った実験の実施及び、実験を計画する能力の育成というこの指導場面の困難を克服することが期待される

註

- 1) 本章の研究は既に発表済みの以下の研究に基づいており、それに改訂を加えたものである。

安部洋一郎・松本伸示(2019)「小学校理科授業における実験手続きの指導法 —IPLサイクルを適用した実験の前後での測定手続きの指導において—」『日本科学教育学会研究会研究報告』第33巻, 第7号, 53-58.

引用参考文献

- 安部洋一郎・松本榮次・松本伸示(2019): 小学校理科授業における実験手続きの指導方法とその効果, 理科教育学研究, 第59巻, 第3号, 325-334.
- Alfieri, L., Brooks, P. J., Aldrich, N. J., & Tenenbaum, H. R. (2011): Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103, 1, 1-18.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999): All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child development*, 70, 5, 1098-1120.
- 福田恒康, & 遠西昭寿(2016): 概念転換のパターンと構造, 理科教育学研究, 第57巻, 第1号, 45-52.
- Girault, I., d'Ham, C., Ney, M., Sanchez, E., & Wajeman, C. (2012): Characterizing the experimental procedure in science laboratories: A preliminary step towards students experimental design. *International Journal of Science Education*, 34, 6, 825-854.
- Gott, R., & Duggan, S. (1996): Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International*

- Journal of Science Education*, 18, 7, 791-806.
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007): Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational psychologist*, 42, 2, 99-107.
- Kapur, M. (2008): Productive failure. *Cognition and Instruction*, 26, 3, 379-424.
- Karampelas, K. (2016): Teaching experimental design to elementary school pupils in greece. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 4, 4, 460-468.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006): Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41, 2, 75-86.
- Kruit, P., Oostdam, R., van den Berg, E., & Schuitema, J. (2018): Effects of explicit instruction on the acquisition of students' science inquiry skills in grades 5 and 6 of primary education. *International Journal of Science Education*, 40, 4, 421-441.
- Lorch Jr, R. F., Lorch, E. P., Calderhead, W. J., Dunlap, E. E., Hodell, E. C., & Freer, B. D. (2010): Learning the control of variables strategy in higher and lower achieving classrooms: Contributions of explicit instruction and experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102, 1, 90.
- 松浦拓也・角屋重樹・岡田大爾・檜山芳之（2002）：観察・実験活動とメタ認知的技能の関係（2）：電磁石作成課題の事例を通して，科学教育研究，第26巻，第5号，350-357.

- 文部科学省（2017）：小学校学習指導要領解説理科編，大日本図書．
- National Research Council: Next Generation Science Standards, 2013, <http://www.nextgenscience.org/>, (accessed 2019.4.30)
- 小川正賢（1992）：探究学習論，理科教育学会編「理科教育学講座5」，1-99．
- Roesch, F., Nerb, J., & Riess, W. (2015): Promoting experimental problem-solving ability in sixth-grade students through problem-oriented teaching of ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37, 4, 577-598.
- Roll, I., Briseno, A., Yee, N., & Welsh, A. (2014): Not a magic bullet: the effect of scaffolding on knowledge and attitudes in online simulations. Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.
- Schwartz, D. L., & Bransford, J. D. (1998): A time for telling. *Cognition and Instruction*, 16, 4, 475-5223.
- Schwartz, D. L., Chase, C. C., Oppezzo, M. A., & Chin, D. B. (2011): Practicing versus inventing with contrasting cases: The effects of telling first on learning and transfer. *Journal of Educational Psychology*, 103, 4, 759.
- Schwartz, D. L., & Martin, T. (2004): Inventing to prepare for future learning: The hidden efficiency of encouraging original student production in statistics instruction. *Cognition and Instruction*, 22, 2, 129-184.
- Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J., & Härtig, H. (2016): The impact of sub-skills and item content on

students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38, 2, 216-237.

Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008): Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23, 4, 488-511.

鈴木 禎弘・稲田 結美 (2016) : 実験活動において独立変数の値を設定する能力の育成に関する研究, 理科教育学研究, 第56巻, 第4号, 447-458.

van Riesen, S. A. N., Gijlers, H., Anjewierden, A., & de Jong, T. (2018): The influence of prior knowledge on experiment design guidance in a science inquiry context. *International Journal of Science Education*, 40, 11, 1327-1344.

Zohar, A., & David, A. B. (2008): Explicit teaching of meta-strategic knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition and Learning*, 3, 1, 59-82.

第5章 妥当性を高める実験手続きの指導とその効果—第6学年燃焼の単元において—

前章では実験を計画する活動を指導する指導方略の在り方を検討することで、「児童による思考場面の後に教師による教示場面を設定する」という指導方略の柱が得られた。本章では得られた指導方略に基づき、思考場面の形式の異なる3つの授業を設定したうえで、授業実践を通じた調査によってそれらの効果を比較した。本章で題材として取り上げたのは、第6学年燃焼の単元における仮説の妥当性に関わる手続きである。

第1節 本章の目的と研究の手順

第2章で論じたように、妥当性を向上するための実験手続きについて、小学校では変数の制御がその指導の中心となっている。これは、実験群の数に関わる要素であるが、実験を分類する観点には測定の回数も挙げられる。教科書に記載された実験には測定を複数行うものが見られるが、このような手続きについて教科書ではそれを指導する記述が見られない。しかし、測定を行う回数が十分でなければ実験結果の妥当性を揺るがす脅威を十分に除去できない（Campbell & Stanley, 1966）。

本章では以上のような問題を踏まえ、その目的を、児童に妥当性を高める実験手続きを指導するにあたりどのような指導方法が有効であるのか明らかにすることとした。特に本

章では妥当性を高める手続きとして複数の測定を行う実験手続きを取り上げた。

上記の目的を達成するために次の手順で研究を進めた。

- (1) 教科書の記述・先行研究に基づき、指導対象としての、妥当性を高める手続きを選定した。
- (2) 児童による問題解決と教師による教示を組み合わせた指導方略による授業構想を複数検討し、それらに基づいた授業実践を行った。
- (3) それぞれの指導方略が児童の妥当性を高めるための手続きの理解に与える影響を明らかにするために、事前・事後調査を実施し、結果を分析した。

第2節 小学校理科授業における実験の妥当性を高める手続き

第1項 複数の測定を行う実験手続きに関する先行研究

一般的に用いられる実験手続きの1つに、独立変数の操作（実験操作）の前の従属変数の値を測定するものがある。例えば、小学校第5学年の理科授業で行われる、日光と植物の成長の関連を調べる実験では、日光をあてた苗と日光をあてていない苗の成長を調査する。この実験では、実験を始める前の両方の苗の葉の数や大きさを調査し、それらをそろえておくことで主実験と対照実験の等質性を担保する必要がある²⁾。直接確率検定で有名な Fisher(1937)は著作である「実験計画法」において、児童にミルクを与えた場合とそうでなかった場合の身長や体重の増加量における影響を調査する際に、児童の年齢だけでなく実験前の身長や体重を測定しておき、それらを斟酌するという手続きの例を挙げている。これらの実験では対照実験を設定する検証計画において、実験操作前の測定結果どうしの比較を行うことで、主実験と対照実験の等質性を調査している(図 37)。

実験操作前の従属変数の測定を行う実験には、もう一つの形式が見られる。例えば小学校第5学年の理科授業において実施される実験に、食塩を水に溶解させることで重さがどのように変わるのかを調べるものがある。この実験では溶解前の食塩と水の重さを測定することで、溶解後の水溶液の重さと比較することが可能となる。小・中学校の理科教育における類似の手続きについては、小林(2017)が観察において「時系列における前後の比較」という形でその重要性を指摘している。小林はヒマワリの観察を気温が上がる前と後の2度行い、比較することで独立変数としての気温と従属変数として

のヒマワリの大きさを関係づけて見出すことができるようになるとしている。対照実験を設定する検証計画では群間の比較を行うが、群間の比較を行わない主実験のみの検証計画では、実験操作前後での測定結果の比較を行うことでその変化を調査している（図 37）。

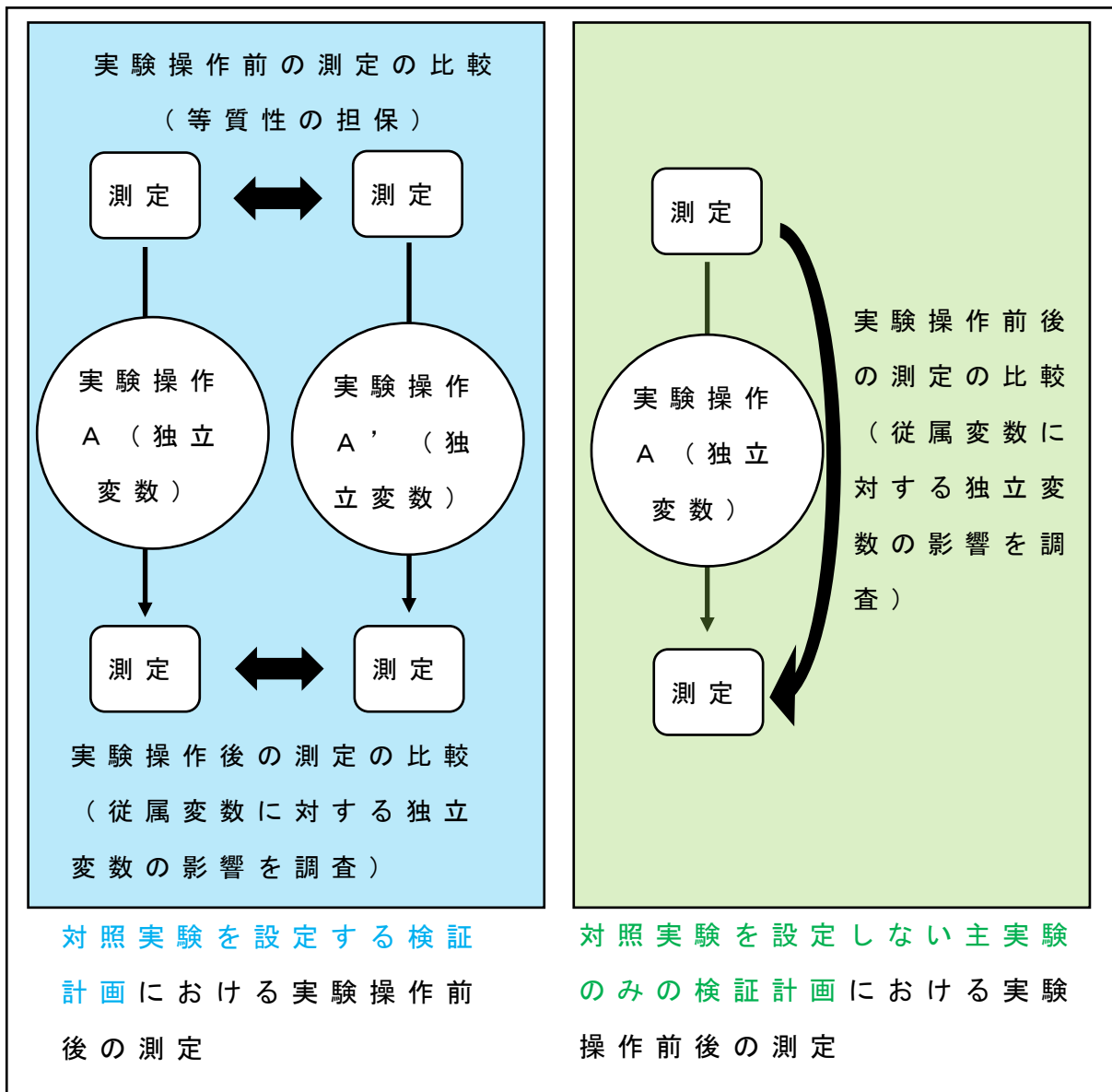


図 37 実験操作前後の測定の2つの形式

以上のように、対照実験を設定する検証計画と、主実験のみの検証計画では、実験操作前の測定がそれぞれ違った目的、性格を持つこととなる。前者における実験操作前の測定は群間を比較することに目的があるため、各群における測定手続きを統一する必要がある。それに対して後者における実験操作前の測定は、実験操作後の測定と対になっており、その変化を調査することに主眼が置かれているため、前後の測定手続きの同一性に重点がおかれることとなる。本章において指導の内容として取り上げる実験手続きは、対照実験を設定しない主実験のみの検証計画における実験操作前後の比較を行う実験において、独立変数の操作の前に測定を行う手続きとする。

また、これらの実験手続きを使いこなすには妥当性や信頼性を高める手続きを行う手続き的知識だけではなく、どのような場面で、なぜその手続きを行うのかというメタ知識が必要であり（Kuhn, Black, Keselman, & Kaplan, 2000 ; Zohar & David, 2008）、各々の実験が適切であるかを指摘することのできる認知的な理解が必要である（Schwchow, Christoph, Boone, & Härtig, 2016）。つまり、実験を計画する能力としてはそのような手続きを行う技能に加えて、個々の実験手続きを状況に合わせて使いこなすための理解が求められる（安部・松本・松本、2018）。この点について大淵・ロバーツ・大高（2011）は「科学の「事実」があり、その包括的な理解として「概念に関する理解」があるのと同様に、実践的な「スキル」があり、その包括的な理解として「実験活動の手続きに関する理解」がある」と指摘している。以上の先行研究より実験手続きの指導においては、手続き的知識と認知的知識の双方の側面が必要であることが指摘される。このように、単に手続きとして測定を行うという技能面の理解だけでは

なく、それらの手続きを目的に応じて適切に用いるという認知面の理解を持つことが、妥当な実験の計画を行う上で必要である。

第2項 本節のまとめ

Strand-Cary and Klahr(2008)は多様な科学的実験手続きの中でも変数の操作のような重要なものを中心的(core)な実験手続きとしており、子供がそれらを理解する上で、指導が大きな役割を果たすとしている。また、平成29年改定の小学校学習指導要領解説理科編においては、児童自らが問題解決の一連の活動を行うことで、問題解決を行う資質や能力を育成することが重要であるとされ、実験を計画する活動に児童自身に取り組むことが求められていると言える。

以上の通り、先行研究を踏まえ、本章で扱う妥当性を高めるための実験手続きを、対照実験を設定しない主実験のみの検証計画における実験操作前後の比較を行う実験において、独立変数の操作の前に測定を行う手続きとする。また、この手続きをなぜ行うのかという認知的な理解についても指導の対象とし、それらについて事前事後調査を通じた児童の理解の程度を調査する。

第3節 ものの燃え方の授業計画

第1項 ものの燃え方の授業における対照実験を設定しない主実験のみの検証計画における実験操作前後の比較を行う実験

本章で取り上げた授業場面は小学校理科の燃焼の単元において、燃焼によって酸素が消費され二酸化炭素が生成されることを気体検知管や石灰水を用いて検証する場面である。そこで、「ものが燃えると空気の成分が変わる」という仮説を確かめることを目的として2時間の授業を行うこととした。この実験においては、ロウソクの燃焼後だけでなく、燃焼前の酸素、二酸化炭素の量を測定することで、同じ測定方法のもとに燃焼前後の比較を行うことが、指導の対象とする実験手続きである。児童にとって、実験群と対照群に対して条件を揃えて実験操作を行うような対照実験の手続きについては既習事項であった。しかし、ここで扱う実験のように実験操作前に測定を行う実験手続きを明示的に指導されたことはなかった。

第2項 妥当性を高める手続きのための複数の指導方略

前章で検討した通り、実験操作の前に測定を行う実験手続きを指導するためには、児童自身が実験を計画する場面の後に教師が実験の手続きを説明する方法の有効性が示唆される。しかし、児童が実験を計画する活動、特に班ごとに実験を計画する活動は時間がかかることが予想されるため、実際の実験の時間が短くなるおそれがある。また実験の手順を教師が教示する指導法が、児童に実験方法を考えさせる指導法に比べて、児童の理解をより深めるとする先行研究もある(Klahr & Nigam, 2004)。そのため、教師が順を追って実験の手続きとその理由を説明することで、児童の理解が深まる可

能性も示唆される。国内の理科教育に関する書籍においても、教科書を使って実験手順を教示する指導法(山内・前川, 2011)や、授業の前半部分を教師が教示することで進める指導法(森田, 2012)が紹介されている。

そこで、児童による思考場面における児童の取り組みの度合いという観点から、3つの指導方法を設定した。1つ目の指導方法は児童が実験班ごとに実験を計画するものである。この方法においては、それぞれの実験班が話し合いにおいて実験を計画し、それをクラス全体で交流しあった後に、教師がそれを補完する教示を行うこととした。2学級においてこの授業を行い、これを「班別話し合い—教示」指導群とした。2つ目の指導方法は、どのような実験がよいかクラス全体に問いかけ、挙手による意見発表を求めた後に教師がそれらの意見を踏まえた教示を行うものである。このように、クラス全体で実験について話し合う活動は一般的な授業の進め方の1つだと考えられる。1学級に対してこの指導方法の授業を行い、「全体発表—教示」指導群とした。3つ目の指導方法は、仮説を検証する実験の在り方について児童に問いかけずに、教師が実験手続きとその理由を説明するものとした。1学級に対してこの授業を行い、「教示のみ」指導群とした。「班別話し合い—教示」指導群、「全体発表—教示」指導群の2つの指導群はそれぞれ実験班での思考場面、クラス全体での思考場面を設定したものであり、「教示のみ」指導群は思考場面を設定しなかったものだと言い換えることができる。

2時間の授業時間のうち1時間目は実験の計画に関する話し合い、指導、教示を行い、2時間目に実験とその考察を行うよう授業を設定した。後述の通り指導群間で授業の進行には10分程度の時間差が生じた(図38)。

	「班別話し合い— 教示」指導群	「全体発表— 教示」指導群	「教示のみ」 指導群
	事前調査（全国学力・学習状況調査小学校理科）		
第1時	班ごとに実験計画	計画を挙手・発言	教師が実験の手続きと その理由を説明
	教師が指導	教師が指導	
第2時	実験の実施	実験の実施	実験の実施
	考察と振り返りの記入		
7日後	事後調査（実験の目的・実験の方法）		

図 38 授業及び質問紙調査の実施



図 39 授業風景

第4節 実践・調査の手続き

第1項 授業実践・調査の対象及び時期

兵庫県の公立小学校6年生4学級155名を対象として授業及び質問紙調査を実施した。授業において児童は4～5名の実験班で活動を行い、実験班の数は4学級で37であった。事前調査、授業、事後調査は全て平成28年4月～5月に実施した。また、どの学級においても教員経験8年である同一の教員が2単位時間で指導を行った。

第2項 事前調査の方法と結果

授業に先立ち、それぞれのクラスの理科学力の差異を調査するために、平成27年度の全国学力・学習状況調査小学校理科を実施した。なお、調査問題は、主として「知識」に関する問題と、主として「活用」に関する問題の両方を使用した。欠席者を除いた実施人数は152名であった。それぞれの実験群の正答数を分散分析により調査した結果、群間における有意な学力差は5%水準で見られなかった($F(2.149) = 2.40, ns.$)。また、同調査における主として「活用」に関する問題の中には、理科に関する知識・技能を用いて「構想」することを問う問題が2問ある。本研究は、児童の実験手続きに焦点を当てて行ったことから、この「構想」の問題についても学力の差異を調査した。その結果も同様に群間における有意な学力差は5%水準で見られなかった($F(2.149) = 1.34, ns.$)。

第3項 授業実践の概要

「班別話し合い一教示」指導群では児童に実験班で実験の計画を話し合わせ、その内容をA4の白紙(実験計画書)に記入させた。実験班の数は2学級で17班(8班

19班)であった。その後、全班に考えた実験の計画の発表を行わせた。その結果、2学級で6班(4班/2班)が燃焼の後の空気の測定にのみ言及しており、燃焼の前の測定には言及できていなかった。そこで教師は燃焼の前に測定を行う実験手続きに言及している班を参考に、燃焼の前後で同じ測定を行い比較する実験手続きを指導し、実験計画書に加筆させた(図40)。

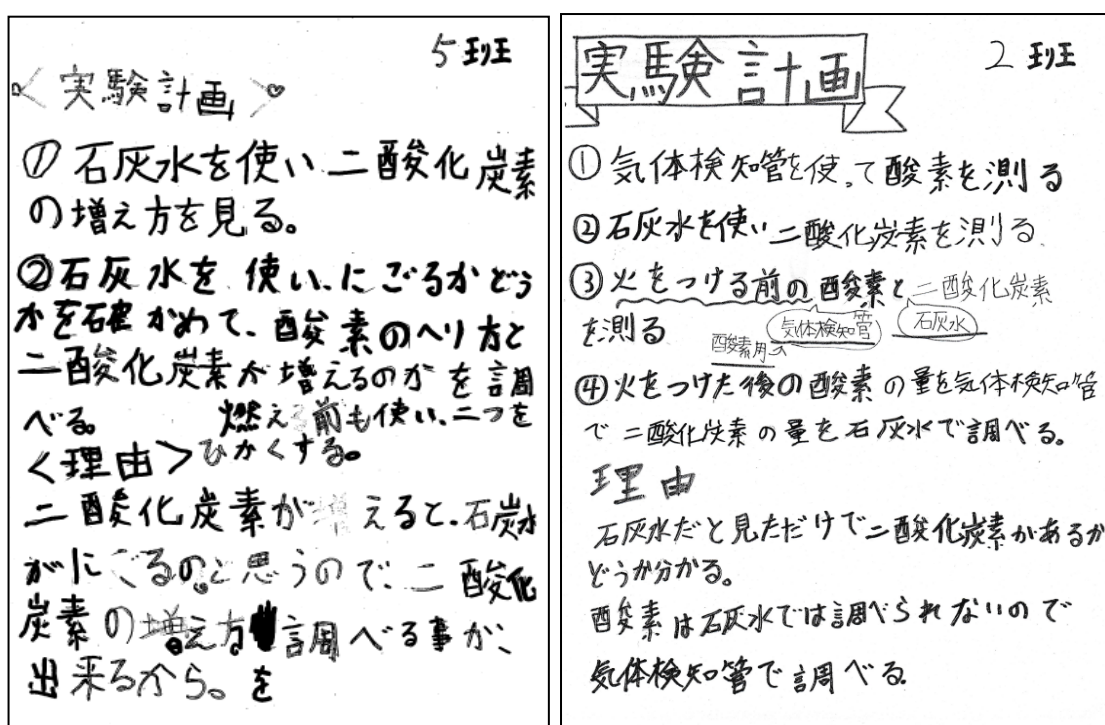


図 40 「班別話し合い—教示」指導群の実験計画書

「全体発表—教示」指導群では適切な実験の計画について教師が質問したところ、5人の児童が挙手及び発言を行った。児童からは燃焼の前後に同じ測定を行う実験手続きに言及するものがなかったため教師がその点を指導した。児童はその後個人の実験計画書に、実験の計画を記入した。

「教示のみ」指導群では燃焼の前後を比較するために、ロウソクを燃焼させた前後の気体の成分を気体検知管と石灰水で調査することを説明しその内容を実験計画書に記入させた(表3)。なお、「全体発表—教示」指導群では5分程度、「教示のみ」指導群では10分程度早く、第1時に予定した指導が終了したため、その分早く実験の実施に取り組ませた。その後、いずれの指導群においても酸素が減少(21%→17%)し、二酸化炭素が増加(0.04%→4%)することを実験班ごとの実験によって確認した。

表 14 第1時の授業の流れ

「班別話し合い— 教示」指導群	「全体発表—教示」指 導群	「教示のみ」指導
1. 課題の提示 (2分)	1. 課題の提示 (2分)	1. 課題の提示 (2分)
2. 課題に対する仮説 の検討 (全体発表)(5分)	2. 課題に対する仮説 の検討 (全体発表)(5分)	2. 課題に対する仮説 の検討 (全体発表)(5分)
3. 仮説を検証する実 験の計画と実験計 画書の記入(班ご と)(10分)	3. 仮説を検証する実 験の計画 (全体発表)(8分)	3. 仮説を検証する実 験と理由の教師によ る説明 (15分)
4. 班ごとの計画の発 表(10分)	4. 教師による追加の 説明(10分)	4. 実験計画書への記 入 (個人)(12分)
5. 教師による追加の 説明と実験計画書へ の加筆 (班ごと)(18分)	5. 実験計画書への記 入 (個人)(15分) ↓ 実験の実施	↓ 実験の実施

第4項 事後調査の方法

それぞれの学級で第1時の授業を行った7日後に質問紙を用いて事後調査を行った。質問紙には「1週間前の、気体検知管や石灰水を使った授業について聞きます。」という説明文を記載し、口頭でも同様の説明を行った。設問は、以下の2問とした。

設問1：気体検知管や石灰水を使った授業の、実験のやり方を書いてください。

設問2：気体検知管や石灰水を使った授業では、何を調べましたか。

設問1は気体検知管や石灰水を用いて酸素・二酸化炭素といった空気の成分気体の量を測定した手続きを記述することを求めている。ここでは、燃焼の前後に同一の測定手続きを行う旨が書かれているかどうか観点となる。設問2では、本実験において検証する独立変数としての燃焼と、従属変数としての成分気体の量を尋ねる設問である。ここでは、燃焼の前後での変化を調べるという本実験の目的が理解できているかどうかを問うている。これは実験の前に測定を行う手続きの認知面の理解を調査する設問であった。それぞれの設問に対する評価はA、B、Cの3段階で行い、それぞれ3点、2点、1点として集計した（表4）。

表 15 実験手続きとその必要性の理解の評価基準

	評価	観点	記述例
設問1 実験手続き	A 評価 (3点) 実験操作の前後で同一の測定を行う手続きを理解している。	「実験操作の前後に」気体検知管や石灰水を用いて「空気の成分気体の量」を測定したことが記述されている。	<ul style="list-style-type: none"> ・火を燃やす前に気体検知管で酸素の量を測り、火を燃やした後にもう一度測った。 ・石灰水を燃焼の前と後に入れ、白くにごるか確かめた。
	B 評価 (2点) 実験で行った測定を理解している。	気体検知管や石灰水を用いて「空気の成分気体の量」を測定したことが記述されている。	<ul style="list-style-type: none"> ・気体検知管で酸素の量を測った。 ・二酸化炭素があれば石灰水がにごるので、それを使って調べた。
	C 評価 (1点) 実験で行った測定を理解していない。	気体検知管や石灰水を用いて「空気の成分気体の量」を測定していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・酸素の中にロウソクをいれ、火を燃やした。
設問2 必要性	A 評価 (3点) 実験手続きが必要となる、実験内容を理解している。	「燃焼」による「空気の成分気体の量」の変化を測定したことが記述されている。	<ul style="list-style-type: none"> ・物を燃やすと酸素が減るのか確かめた。 ・物を燃やす前の酸素と二酸化炭素の量と燃やした後の酸素と二酸化炭素の量を調べた。
	B 評価 (2点) 実験内容を理解している。	「空気の成分気体の量」を測定したことが記述されている。	<ul style="list-style-type: none"> ・酸素と二酸化炭素の量を調べた。 ・石灰水を使って、二酸化炭素があるかどうか調べた。
	C 評価 (1点) 実験内容を理解していない。	「空気の成分気体の量」を測定していない。	<ul style="list-style-type: none"> ・酸素があると火は燃えるのか調べた。

第5節 調査結果及び分析

第1項 調査の総合結果

事後調査において、事前調査を実施した152名（「班別話し合い－教示」指導群74名，「全体発表－教示」指導群39名，「教示のみ」指導群39名）の回答を得た。表1の基準に従って評価を行い質問紙における各評価を得た児童の人数を求めた（表5）。なお，表中の割合はそれぞれの指導群における各評価を得た児童の人数の割合を示している。

表 16 各指導群における実験手続きの技能面，認知面の理解

		A 評価 人（割合）	B 評価 人（割合）	C 評価 人（割合）
設問 1	「班別話し合い－ 教示」指導群	41（55%）	24（32%）	9（12%）
	「全体発表－教 示」指導群	13（33%）	11（28%）	15（38%）
	「教示のみ」指導 群	1（3%）	26（67%）	12（31%）
設問 2	「班別話し合い－ 教示」指導群	44（59%）	21（28%）	9（12%）
	「全体発表－教 示」指導群	20（51%）	8（21%）	11（28%）
	「教示のみ」指導 群	8（21%）	22（56%）	9（23%）

第2項 実験手続きの技能面の理解に関する結果

設問1では実験手続きとして、燃焼の前と後に同様の測定を行うことの記述を求めた。それぞれの指導群の児童の得点を分散分析によって比較したところ、1%水準で有意な差が見られた ($F(2,149)=14.78, p<.01$)。そこでボンフェローニの方法によって多重比較を行ったところ、「班別話し合い—教示」指導群と「全体発表—教示」指導群、及び「班別話し合い—教示」指導群と「教示のみ」指導群の間に1%水準で有意な差が見られた(表17)。この結果より、実験手続きの技能面の理解という観点からは、児童に実験班で相談をさせた後に教師が指導を行う指導方法が、全体で話し合いをさせる指導方法や、話し合いをさせない指導方法よりも有効であることが示された。

表17 実験手続きの技能面の理解に関する多重分析の結果

	差	標準 誤差	統計 量	P 値
「班別話し合い—教示」指導群： 「全体発表—教示」指導群	0.48	0.14	3.47	0.00 **
「班別話し合い—教示」指導群： 「教示のみ」指導群	0.71	0.14	5.13	0.00 **
「全体発表—教示」指導群： 「教示のみ」指導群	0.23	0.16	1.45	0.45

また、表16のように話し合いをさせずに教師が実験方法を指導した「教示のみ」指導群においては、67%の児童が実験操作の前後に測定を行う実験手続きについては回答できていなくても、気体検知管や石灰水といった測定に用いる実験器具について記述ができていた(図41)。

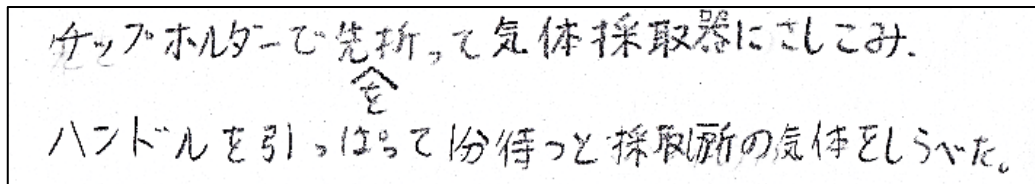


図 41 「教示のみ」指導群の児童の回答例

第3項 実験手続きの認知面の理解に関する結果

設問2では、本実験が燃焼による空気の成分の変化を調査するための実験であることの理解を求めており、実験手続きの認知面の側面の理解の程度を調査するものであった。それぞれの指導群の児童の得点を分散分析によって比較したところ、1%水準で有意な差が見られた ($F(2,149)=5.87, p < .01$)。そこでボンフェローニの方法によって多重比較を行ったところ「班別話し合い－教示」指導群と「教示のみ」指導群の間に1%水準で有意な差が見られた(表18)。この結果より、実験手続きの必要性の理解という認知面の観点からは、児童に実験班で相談をさせた後に教師が指導を行う指導方法が、話し合いをさせない指導方法よりも有効であることが示された。

表 18 実験手続きの認知面の理解に関する多重分析の結果

	差	標準 誤差	統計量	P 値
「班別話し合い－教示」指導群： 「全体発表－教示」指導群	0.24	0.15	1.65	0.30
「班別話し合い－教示」指導群： 「教示のみ」指導群	0.50	0.15	3.39	0.00 **
「全体発表－教示」指導群：「教 示のみ」指導群	0.26	0.17	1.52	0.39

また、表5のように話し合いをさせずに教師が実験方法を指導した指導群においては、56%の児童が燃焼による成分気体の変化という目的については回答ができていなくても、成分気体を測定するという実験の活動は理解できていた（図42）。

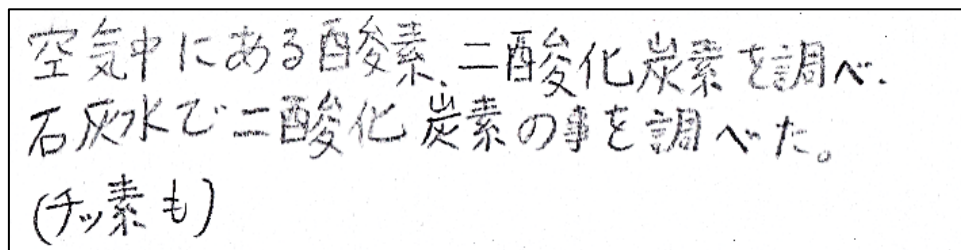


図 42 「教示のみ」指導群の児童の回答例

第4項 考察

本章では児童に実験操作の前後で測定を行う実験手続きを指導する有効な指導方法を実証的に調査した。「ものが燃えると空気の成分が変わる」という仮説を検証するための実験を計画する際に、児童たちの実験班の中には燃焼の前に測定を行う実験手続きについて言及できないものも見られた。そこで、3つの指導方法を通して対象とする実験手続きの指導を行った。

結果で示されたように、実験手続きを指導する際に児童が班ごとに実験を計画する指導方法は、実験手続きの技能面の理解にも認知面の理解にも有効であった。実験手続きを学ぶ際に、検証すべき仮説を検証するという観点から思考を行った後に指導を受けることで理解が深まったものと考えられる。これは、Schwartz and Martin (2004) の、学習者自身が解決方法を話し合う場面と、その後の教師による教示の場面の組み合わせが学習効果を高めるという指摘と一致する結果である。また、本研究の結果は理科授業において児童が主体的に実験を計画する活動を実施することを支持するものである。

次に、実験手続きについて思考する場面なしに教師から実験手続きの技能とその理由を指導され実験を行った児童は、実験手続きの技能面の理解においてもその認知面の理解においても、実験の方法について話し合いを行った児童よりもその水準が低くなる傾向があることが明らかになった³⁾。その反面、思考する場面なしに教師から実験手続きとその理由を説明された児童には、気体を測定する実験器具の使い方や、気体を測定するという実験の内容など、実験の表面的な理解はできているものが半数以上見られた。これは実験の目的とその検証方法をつなぐ論理を教師から与えてしまうこ

とで児童にとっての理解が深まらず、実験の活動のみに注意が向けられてしまったことを示唆している。

また、班別話し合い—教示指導群の授業では、他の指導群の授業よりも、実験を計画する活動に時間がかかり、その分実験時間が短くなった。これは、この指導方略の難点である。小学校の指導においては、必ずしも時間にゆとりがあるわけではなく、このような指導を行えるとは限らない。そこで、授業時間数に合わせて、問題解決の度合いを落とした、全体発表—教示群指導群のような指導の在り方を併用することが現実的な対応であると考えられる。

第6節 本章のまとめ

本章の目的は燃焼の実験を題材とし、仮説の妥当性を高める実験手続きへの理解に対する、前章で得られた「児童による思考場面の後に教師による教示場面を設定する」指導方略の学習効果を検討することであった。取り上げた題材は第6学年の燃焼の実験における仮説の妥当性を高める実験手続きであった。

目的を達成するために本章では、前章で得られた指導方略に基づき、児童による思考場面の形式の異なる3つの授業を設定した上で、授業実践を伴う調査によってそれらの効果を比較した。3つの授業における思考場面は①班ごとに実験を計画する、②クラスで実験を計画する、③実験を計画しないであった。この調査を通じて本章では以下の2点が明らかになった。

- ① 班ごとに実験を計画した後で、教師が実験手続きを教示する指導が、仮説の妥当性に関わる実験手続きに対する手続き的理解においても認知的理解においても有効であった。
- ② 児童の思考場面の設定の仕方によって所要時間に差が生まれ、実験を行う授業時間の差につながった

註

1) 本章の研究は既に発表済みの以下の研究に基づいており、それに改訂を加えたものである。

安部洋一郎・松本榮次・松本伸示(2019)「小学校理科授業における実験手続きの指導方法とその効果—実験操作の前に測定を行う実験手続きに焦点を当てて—」『理科教育学研究』第59巻, 第3号, 325-334.

2) 実験操作前の従属変数の値を測定することで、主実験と対照実験の等質性を担保する実験手続きは、理科教育において従来研究されてきた条件をそろえるという実験手続きの一部であるとも考えられる。しかし、条件をそろえる手続きは、調査する独立変数以外の独立変数をそろえる手続きとして捉えられることが多い(Chen & Klahr, 1999)。そのため、本稿においては実験操作前の従属変数を測定する実験手続きを、条件をそろえるという実験手続きと区別して記述を行った。

3) 「全体発表—教示」指導群及び「教示のみ」指導群の児童に対しては実験操作の前後で測定を行う実験手続きについて、その理解を補完するため、本授業の後にクラスで話し合う場面をあらためて設定した。その後、燃焼に関する単元末テストを実施した。観点は思考(50点満点)、技能(50点満点)、知識(100点満点)であった。それぞれの指導群を比較する分散分析を行ったところ、思考($F(2.149)=1.56, ns.$)、技能($F(2.149)=0.55, ns.$)、知識($F(2.149)=2.81, ns.$)と、いずれも5%水準で群間に差が見られなかった。また、本単元の後にあたる人体の

学習において、「ヒトが呼吸をすると酸素が減る」という仮説を検証するための実験を行い、本授業同様に実験操作の前に気体検知管や石灰水で測定を行う実験操作を扱う授業を行った。全児童に対し、班ごとに実験方法を考えた後に、教師がそれを補完する教示を行う指導を行った。

引用参考文献

- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). Experimental and quasi-experimental designs for research on teaching. Gage, N.(Eds.). *Handbook of research on teaching*. Chicago, U.S.A.: RandMcNally.171-246.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal : Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098-1120.
- 中央教育審議会（2016）「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/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf (accessed 2018.08. 10)
- Fisher, R. A. (1937). *The design of experiments*.遠藤健児・鍋谷清治（翻訳）（2013）『実験計画法－POD版』森北出版
- 後藤顕一（2017）「OECD生徒の学習到達度調査（PISA2015）の結果」『理科の教育』第66巻，4-9.
- Gott, R., & Duggan, S. (1996). Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18(7), 791-806.
- 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至（2013）「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等の類型化とその探究的特徴」『理科教育学研究』第54巻，第2号，225-247.
- Hempel, C. G. (1967). *Philosophy of natural science*.黒崎 宏（翻訳）（1967）『自然科学の哲学』培風館
- Jeong, H., Songer, N. B. & Lee, S. (2007). Evidentiary competence : Sixth grader's understanding for gathering and

- interpreting evidence in scientific investigations. *Research in Science Education*, 37, 75-97.
- Klahr, D., & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. *Psychological science*, 15 (10) , 661-667.
- 小林寛子 (2009) 「「仮説評価スキーマ」 教示と協同活動が科学的な法則や理論の理解と観察・実験スキルの向上に与える影響」 『教育心理学研究』 第57巻, 第2号, 131-142.
- 小林辰至 (2017) 『探究する資質・能力を育む理科教育』 大学教育出版
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18 (4) , 495-523.
- Lawson, A. E. (1978). The development and validation of a classroom test of formal reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 15 (1) , 11-24.
- Lawson, A. E. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25 (11) , 1387-1408.
- Lorch Jr, R. F., Lorch, E. P., Calderhead, W. J., Dunlap, E. E., Hodell, E. C., & Freer, B. D. (2010). Learning the control of variables strategy in higher and lower achieving classrooms: Contributions of explicit instruction and experimentation. *Journal of Educational Psychology*, 102 (1) , 90.
- 益田裕充・田之上大輔・清水秀夫 (2013) 「測定誤差の解釈を支援する理科授業デザイン—アクション・リサーチの視点を用いた体系的なアプローチ—」 『臨床教育学会誌』 第1巻, 第1号, 73-80.
- 文部科学省 (2017) 『小学校学習指導要領解説 理科編』 大日本図書

- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2015) 「平成27年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書」 Retrieved from <https://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/psci.pdf>(accessed 2018.03.30)
- 森田知良 (2012) 『秘伝 森田和良の理科教材研究ノート—ここから始まる授業成功への道』学事出版
- 大瀧竜午 (2015) 「英国の科学的探究能力育成教材における変数同定の指導方法の特質」 『理科教育学研究』 第55巻, 第4号, 405-414.
- 大瀧竜午・Ros Roberts・大高泉 (2011) 「実験活動に関する証拠の理解を基にした統計指導の導入の視点—データの不確実性, 信頼性を中心に—」 『科学教育研究』 第35巻, 第2号, 111-118.
- Schwartz, D. L. & Martin, T. (2004). Inventing to prepare for future learning: The hidden efficiency of encouraging original student production in statistics instruction. *Cognition and Instruction*, 22(2), 129-184.
- Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W. J., & Härtig, H. (2016). The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38 (2) , 216-237.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höffler, T., & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37-63.
- Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23 (4) , 488-511.
- 鈴木禎弘・稲田結美 (2016) 「実験活動において独立変数の値を設定する能力の育成に関する研究」 『理科教育学研究』 第56巻, 第4

号, 447-458.

山内英嗣・前川淳(2011)『理科の授業パーツ100選』明治図書

八杉龍一・小関治男・古谷雅樹・日高敏隆(1996)『岩波生物学辞
典』岩波書店

Zohar, A., & David, A. (2008). Explicit teaching of meta-strategic
knowledge in authentic classroom situations. *Metacognition
Learning*, 3, 59-82

第6章 信頼性を高める実験手続きの指導 とその効果—第5学年振り子の単元に おいて—

前章では、第5章で得られた指導方略を具現化する際に班ごとの話しあい活動を採用した授業において、実験手続きに対する児童の理解が深まることが明らかになった。しかし、思考場面として班ごとに実験を計画した場合、授業時間がかかるという問題も同時に生じた。そこで、本章では児童の思考場面においてかかる時間の少ない、クラスでの話しあい活動を設定した指導による実験手続きの理解に対する効果を明らかにすることを目的とした。前章では題材として仮説の妥当性を高める実験手続きを扱ったが、本章では第5学年振り子の単元における仮説の信頼性を高める実験手続きを指導対象として取り上げた。

第1節 本章の目的及び研究の手順

実験結果の信頼性を高めるには、実験の最中に生じてしまう測定誤差の影響を最小化し、理想的な測定値に近い測定結果を得るための工夫が必要となる。小学校の学習内容では、振り子の実験において測定誤差の影響から概念形成が妨げられやすいことが複数の研究によって指摘されている（前田・吉村・福本・中城、2016；西川・堀之内、1997；高垣、2005 植木・久保田、2012）。誤差には特定の原因を持つ系統誤差だけではなく、全く偶然に不定な関係で起生する誤差

(森川・成田、2004)があり、偶然誤差や偶発誤差と呼ばれている。偶然誤差は、1 mm 尺度を使って長さを測る際に 0.1 mm 以下のスケールで生じる誤差であり、1つの誤差と別の誤差が独立に起こることに特徴がある(森川・成田、2004)。先述の高垣・田原・富田(2006)が振り子の概念を妨げるとしているのは実験者個人が測定する度に結果が異なるという誤差であり偶然誤差にあたる。益田・田之上・清水(2013)は児童が偶然誤差を「ストップウォッチを押すタイミングのずれ」や「測定者の癖や誤動作」などという系統誤差として捉える傾向があることを明らかにしている。

以上のように、振り子の授業においては測定誤差をいかに乗り越え、科学概念の形成を促すかという有効な方法が必要とされる。前田・吉村・福本・中城(2016)は、あえて実験の精度を落とすことで測定誤差を小さくするという実験の方略を提案している。高垣・田原・富田(2006)は実験の様子をビデオで録画再生し、再生画面の時間表示から周期を測定する方法や、振り子が通ると音になる装置など、測定誤差の小さい正確なデータを取るための実験方法を提案している。これらは、そもそもの実験における測定誤差を減らすという目的に対し、お互いに逆のアプローチからそれを試みたという点に特徴がある。また、振り子の実験から生じる誤差を前提した上でそれに対応する指導方略として、植木・久保田(2012)は測定を繰り返した際の測定結果を平均せずに児童に検討させることで科学概念の形成を促すという指導方略を提案している。高垣・田原・富田(2006)は測定方法や測定値の処理方法の煩雑さから必要以上に実験に時間を要することとなり、何を測定しているのかその目的自体がわからなくなるといった問題点を指摘しており、平均せずに生の測

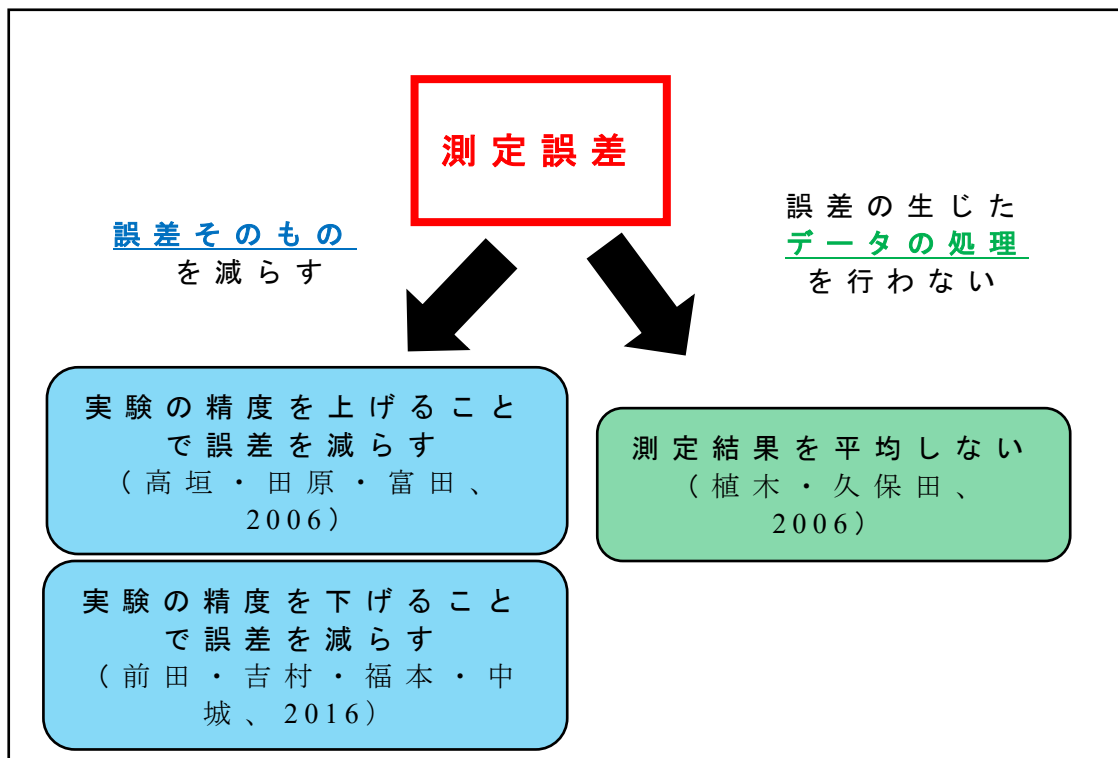


図 43 先行研究における測定誤差に配慮した指導方略

定データを検討させることで測定値の処理場面における負荷を減少させる方法の有効性は示唆されている。

これらの先行研究で提案された指導方略は誤差そのものを減少させることを意図するものか、データの処理手続きをあえて指導しないことを方策とするものであった(図 43)。それぞれの指導方略は測定誤差による影響を軽減し、振り子の科学的概念を形成するという点で効果的であることが示されている。しかし、測定誤差の影響を軽減するための実験手続きそのものも、学習内容として重要な一要素であり、児童が身に付けるべき資質・能力の一部である。平成 29 年度の小学校学習指導要領改訂に先だった中央教育審議会答申では、児童の資質・能力を育成するという方針のもと、「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」ために指導の改善を図ることが示されている(中央教育審議会、2016)。

大高（2010）は統計的な見方・考え方の育成は理科・科学カリキュラムの中で不可欠の位置を占めると指摘している。また、大畠・ロバーツ・大高（2011）は偶然誤差や系統誤差に起因する不確実性のために、データの信頼性を吟味することが実験活動における焦点であると指摘しており、そこには児童の学習すべき内容が含まれていると述べている。

そこで本章では振り子の実験を題材とし、信頼性を高めるための実験手続きへの理解を深めることを目的とし、児童の思考場面の後に、教師が教示を行う指導方略の効果を検討することとした。

上記の目的を達成するために、次の手順で研究を進めた。

- （1）指導要領・教科書の記述、先行研究に基づき、小学校理科授業において用いられている測定誤差の影響を軽減させ信頼性を高めるための手続きを分析した。
- （2）選定した手続きを調査する質問紙を作成しそれを用いて教師を対象とした予備調査を行った。
- （3）選定した手続きの指導を目的として児童の思考場面の後に教示場面に設定した授業実践を行った。また、児童の思考場面としてクラスでの話しあい活動を設定した。
- （4）この授業実践が児童の信頼性を高めるための手続きの理解に与える影響を明らかにするために、事前・事後調査を実施し結果を分析した。

第2節 小学校理科授業における実験の信頼性を高める手続き

第1項 振り子学習に影響を与える測定誤差に関する先行研究

測定誤差に関しては、児童がそれを「誤差」だと認識するか「有意な差」だと認識するかが重要(植木・久保田、2012)であり、実験において児童が正しく認識できるための手立てが必要となる。振り子の単元においてはこの、測定誤差と有意な差との区別こそが最も困難な点であり、児童の混乱を招く原因であると考えられる。小学校第5学年の学習内容である振り子の単元では、振り子の長さ、重さ、振れ幅を制御しながら実験を行い(図44)、そのうち振り子の長さが周期に関わる条件であることを学習する(文部科学省、2017)。しかし、振り子の周期に振れ幅が関係しないのは振れ幅が

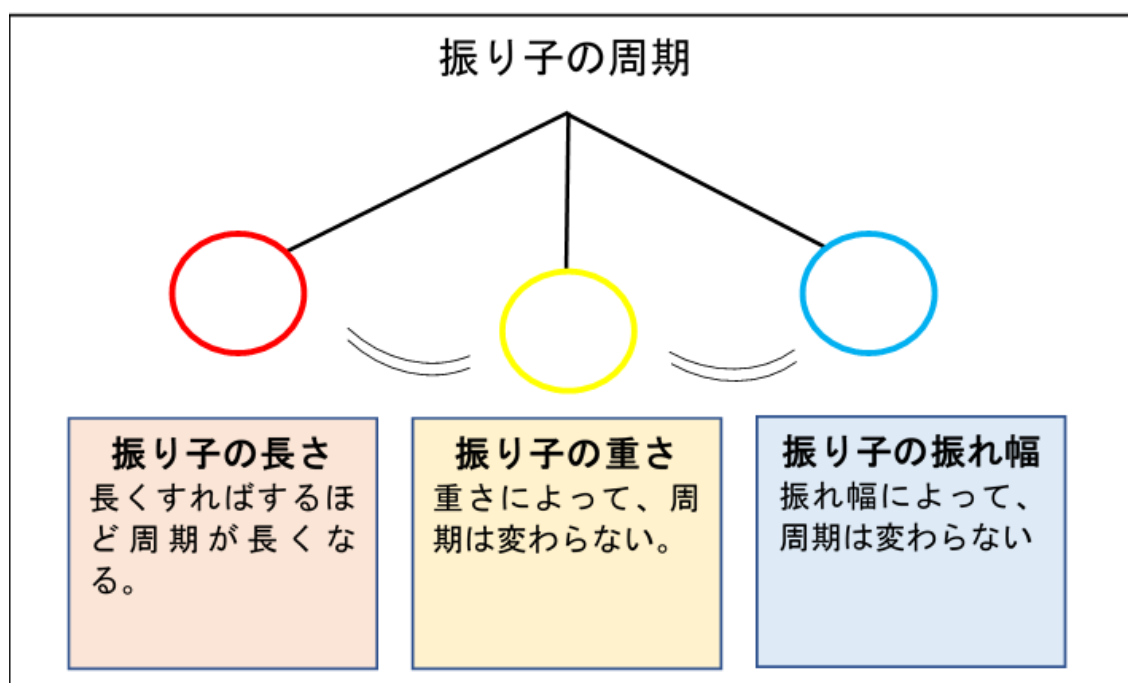


図 44 振り子の周期と制御する条件

十分に小さい微小振動に限られている上、些少とはいえ錘の質量も影響することが報告されている（木村・大後・木村、2006）。「誤差」と「有意な差」との境界は、実験の意図・実験器具・測定方法によって異なる恣意的かつ流動的なものである。そのため、植木・久保田（2012）の、その判別が児童にとって困難であるという結果は得心がいく報告である。

また、小学生の子どもにとって、振り子の動きを目で追いながら、振り子の位置に合わせてストップウォッチを操作するのは困難であり、訓練を積まないと毎回の測定値は一定にならない（高垣・田原・富田、2006）。そのように測定誤差を完全に取り除くことはできないため、理科実験ではある程度の測定誤差を前提として臨む必要がある（中城、2014）が、指導要領にもそれに関わる記述が見られる。

第2項 小学校学習指導要領における測定誤差に対処する手続きの記載

平成29年告示の小学校学習指導要領解説理科編では、第5学年の振り子の単元において信頼性を高めるための手続きに対して以下のような見解を示している。

他教科等との関連として、実験を複数回行い、その結果を処理する際には、算数科の学習と関連付けて適切に処理できるようにする。

ここで示されているのは第2章で論じた繰り返し（repetition）、もしくは反復（replication）の手続きであり、算数科で学習する平均を求める手続きとの関連が想定される。また、教科書では振り子の実験において信頼性を高めるための手続きが複数採用されている。

第3項 小学校理科教科書における振り子の実験手続きの記載

平成20年検定の小学校理科教科書(5社)を調査したところ以下の5点の実験手続きの記載が認められた(表19)。

表19 振り子の実験において教科書に記載が見られた手続き

	教科書に記載の見られた手続き	手続きの目的及び一般性
①	ふりこを10往復させて計測する	実験によって異なる領域固有の手続き
②	条件をそろえて実験する	妥当性の向上が目的
③	計測を3度行い、平均をとる	<u>信頼性の向上を目的とする一般的手続き</u>
④	秒の下1桁まで記録	測定器具によって異なる領域固有の手続き
⑤	大きな誤差(外れ値)については測りなおす(2社のみ記述あり)	<u>信頼性の向上を目的とする一般的手続き</u>
⑥	他の班の記録と比較する。	信頼性だけでなく妥当性にも関わる手続き

このうち、①についてはふりこの物理的特性に基づく実験の方法である(木村・大後・木村、2006)。また、④については測定器具としてのストップウォッチと、それを押す測定者の特性に基づく方法である。このような個々の実験に特有の手続きは一般的実験手続きではなく、それぞれの実験に固有の手続きであるため本研究では指導の対象からは省く。⑥は個々の測定者の癖など特定の理由を持つ系統誤差に対処する手続きであり、反復(replication)にあたるため、信頼

性だけでなく妥当性にも関係する手続きであると考えられる。また、②については他の変数の影響を除外する妥当性の向上に当たる手続きである。教科書の記述では、偶然誤差に対処するための手続きは③の繰り返し及び平均の手続きと⑤の外れ値除去の手続きであり、信頼性を向上するための方策にあたる。そこで、本章での指導内容とする信頼性を高める手続きは平均を求める手続きと外れ値を除去する手続きとする。

第4項 平均及び、外れ値の除去手続きに関する先行研究の整理

Lubben & Millar(1996)は7歳児、9歳児、11歳児の信頼性に関する理解を調査し、11歳児であっても外れ値に関して理解をしている児童はごくわずか(122人中15人)であることを報告している。また、物理学を専攻する大学1年生であっても外れ値を除外して結果を分析することに言及できる学生は56%であったという報告もある(Allie、Campbell、& Lubben、1998)。国内では鈴木(2016)が外れ値の理解を児童の学習観との関連から調査している。鈴木(2016)では外れ値を除去して平均値を計算することができた児童が小学校6年生児童において43人中3人に留まっており、外れ値を考慮することなく単純に平均してしまった児童が27人に上ったことが報告されている。しかし、同著者による鈴木(2015)では平均値を含めた多様な代表値を比較させその共通点相違点を考えるという指導を行うことで、外れ値を意識して結果を処理した児童が22名中15名に上ったことが報告されている。これらの先行研究から、外れ値の除去について意識のできている児童・生徒は少ないが十分な指導の下であればそれが可能であろうという示唆が得られる。

また、序章や前章で論じたように実験の手続きには技能としての側面だけでなく、なぜ・どのような場面でその手続きを行うのかという認知的な理解の側面が必要である。それを踏まえ、本章で児童に育成することを目的とするのは、以下の4点とする。

①	測定を繰り返しその結果の平均値を代表値として用いる手続き
②	測定を繰り返しその結果の平均値を代表値として用いる理由の理解
③	外れ値を除去して得た代表値を用いる手続き
④	外れ値を除去して得た代表値を用いる理由の理解

第5項 本節のまとめ

本節では、指導内容としての実験における信頼性を高める手続きの選定を行った。振り子の単元で用いられる実験手続きのうち、偶然誤差を除去し信頼性を高めるための一般的な手続きを指導すべき手続きとして選定した。また、個々の手続きを技能としてだけではなく、それを用いる理由や用いる場面の理解を併せて指導することとした。その結果、「測定を繰り返しその結果の平均値を代表値として用いる手続き【以下、平均の手続き】とその理由」、「外れ値を除去して得た代表値を用いる手続き【以下、外れ値の手続き】とその理由」を指導の対象として選定した。

第3節 予備調査

第1項 予備調査の手続き

本章の研究の中心となる児童対象の授業実践及び調査を行うにあたり、調査に用いる質問紙を作成し教師を対象として実施した。予備調査の目的は質問紙の検討をすることと、児童を指導する教師側の【平均の手続き】及びその理由・【外れ値の手続き】及びその理由についての理解を調査することであった。

予備調査は、兵庫県内の公立小学校教師10名を対象とした。調査は2017年10月に行い、本調査の直前の時期にあたった。

第2項 質問紙

作成した質問紙は、全4問であり【平均の手続き】及びその理由を問う設問と【外れ値の手続き】及びその理由を問う設問を、2問ずつ設定した(図45図46)。評価方法については後述するように、児童の評価と共通とし、予備調査・事前調査・事後調査共通のルーブリックを用いて行った(表20)。また、違う領域の問題を設定したため、2問の設問のうちどちらかが正解できていれば、理解が示されていると判断した。

理科プリント

5年 組 名前 _____

①表1はAさんの畑と、Bさんの畑でできたジャガイモの量を5年間調べた結果です。あなたはどちらの畑の方が、たくさんジャガイモがしやすいのかを調べるときにどのように考えますか。計算をして、なぜそのような計算をしたのか理由を説明しましょう。

表1 AさんとBさんの畑のジャガイモの量調べ

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
Aさん	15 kg	16 kg	14 kg	16 kg	14 kg
Bさん	16 kg	16 kg	16 kg	16 kg	16 kg

計算の方法

_____さんの畑の方がたくさんジャガイモができる

そのように計算した理由

②表2はAさんとBさんが勉強をする時間を5日間比べたものです。あなたはどちらの方が、勉強時間が長いのかを調べるときにどのように考えますか。計算をして、なぜそのような計算をしたのか理由を説明しましょう。

表2 AさんとBさんの勉強時間調べ

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
Aさん	49 分間	60 分間	56 分間	57 分間	53 分間
Bさん	60 分間	60 分間	57 分間	60 分間	53 分間

計算の方法

_____さんの方がたくさん勉強をしている

そのように計算した理由

図 45 予備調査及び事前調査（表面）

理科プリント

③表3はAさんとBさんの畑で育てたヒマワリの高さを5年間比べた結果です。あなたはどちらの畑の方が、高いヒマワリを育てやすいのかを調べるときにどのように考えますか。計算をして、なぜそのような計算をしたのか理由を説明しましょう。

表3 AさんとBさんの育てたヒマワリの高さ調べ

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
Aさん	77 cm	77 cm	77 cm	76 cm	78 cm
Bさん	78 cm	78 cm	13 cm	78 cm	78 cm

計算の方法

_____さんの畑の方が高いヒマワリを育てやすい

そのように計算した理由

②表4はAさんとBさんがグラウンドを1周走る時間を毎日測った結果です。あなたはAさんとBさんのどちらの方が速いのかを調べる時にどのように考えますか。計算をして、なぜそのような計算をしたのか理由を説明しましょう。

表4 AさんとBさんのグラウンド1周調べ

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
Aさん	28 秒	53 秒	28 秒	28 秒	28 秒
Bさん	30 秒	30 秒	32 秒	28 秒	30 秒

計算の方法

_____さんの方が走るのが速い

そのように計算した理由

図 46 予備調査及び事前調査（裏面）

表 20 予備調査・事前調査・事後調査に用いたループリック

	誤答	正答
平均の手続き	平均値を求める計算ができていない	平均値を求める計算ができています
平均の手続きを行う理由の理解	誤差をなくすために平均をすることが理解できていない 【平均値を出して、平均値を比べられるからなどの循環論法は誤答とした】	誤差をなくすために平均をすることが理解できています 【平均値をとったほうが正確になる、間違いがなくなるなどの記述も正答とした】
外れ値除去の手続き	外れ値を無視して計算ができていない	外れ値を無視して計算ができています
外れ値除去の手続きを行う理由の理解	外れ値に気づき、大きく基準とずれていることの記述ができています	外れ値に気づき、大きく基準とずれていることの記述ができていない

第3項 予備調査の結果

調査を通して、被験者である教師からは質問紙の文言などに戸惑いはなく、質問紙における問題は見られなかった。調査の結果、【平均の手続き】については全員の教師が正解したものの、それ以外の項目については誤答が見られた（図47）。【平均の手続き】については、平均値を求める理由を記述できていないもの（図48）が見られ、誤差について記述できていたものは1例に留まった。【外れ値の手続き】については、外れ値を認識せずに全ての値を平均してしまうものが見られた。また、正答として「外れ値」という言葉は記述されていなくても、それを認識して除外した計算結果を示しているもの（図48）が見られた。

表 21 予備調査の結果

年齢	平均の手続き	平均理解	外れ値の手続き	外れ値理解
20代	○	×	×	×
20代	○	×	×	×
30代	○	×	×	×
30代	○	×	×	×
20代	○	×	○	○
30代	○	×	○	○
30代	○	×	○	○
30代	○	×	○	○
40代	○	×	○	○
40代	○	○	○	○

計算の方法	$(28 \times 9 + 53) \div 5 = 33$ $(30 \times 3 + 32 + 28) \div 5 = 30$
そのように計算した理由	<p style="text-align: right;"><u>A</u> さんの方が走るのが速い</p> <p style="text-align: center;">平均値を比較すると思っただけ</p>

図 47 【平均の手続き】教師の解答例

計算の方法	$A (77 + 77 + 77 + 76 + 78) \div 5 = 77$ $B (78 + 78 + 78 + 78) \div 4 = 78$
そのように計算した理由	<p style="text-align: right;">(Aと同じ) <u>B</u> さんの畑の方が高いヒマワリを育てやすいといえる</p> <p style="text-align: center;">13cmは考えない</p>

図 48 【外れ値の手続き】教師の解答例

第4項 予備調査の考察

予備調査の結果より、本章で指導内容として取り上げた【平均の手続き】【外れ値の手続き】とそれらの理解については、教師においても必ずしも理解されているわけでないと考えられる。【平均の手続き】についてはそれが習慣となっており、誤差を解消するために行うことが意識されていない場合があると示唆されている。【外れ値の手続き】については、10名中4名の教師がそれを用いずに計算しており、値には注目せずに「比べるときには平均値同士を比較すればよい」という判断が行われている可能性がある。

第5項 予備調査のまとめ

予備調査を行うことで、以下の2点において示唆が得られた。

- (1) 作成した質問紙には問題が見られず、この調査法により手続きの理解が調査できること。
- (2) 指導内容として選定した【平均の手続き】及び【外れ値の手続き】は、小学校の教師にとっても必ずしも理解されているわけではないこと。

第4節 振り子の授業の概要

第1項 単元計画

本章で指導を行う振り子の学習は、振り子の周期に影響を与えると児童が仮説を立てた複数の条件に対し実験を行うことで概念の形成を行う単元である。そのため、個々の授業だけではなく、単元全体を見通した授業の構成が重要であり、信頼性を高める手続きの指導とそれを用いた実験の実施を適切に配置することが必要である。

振り子の周期に影響を与えるとして児童が仮説を形成すると思われるのは、振り子の長さ、錘の質量、振り子の振れ幅である。これらの実験を通して指導した手続きを繰り返し用い、手続き的側面の習得と、それを用いる理由の認知的側面の理解を図ることが重要であると考えた。そのため、初めに手続きを指導し、その後の実験ではそれを習得、理解するための実践場面とした。

また、信頼性を高める実験手続きだけではなく、振り子の概念に対しても確実な理解を図る必要があるため、単元の導入場面で児童が仮説を形成するための具体物の提示を行った。さらに、単元の終わりには学習した概念を活用する問題解決場面を設定した。

本章の授業の中心となる、手続きを指導する学習場面では、第4章において導出した児童の思考場面と教師による教示場面を組み合わせた指導を行った。ただし、第5章の授業実践では、児童による思考場面として班ごとの話し合いを設定した場合、児童の理解はより深まるものの、話し合いに時間がかかり、実験時間が短くなるという問題も見られた。本授業実践では、児童による思考場面を、クラス単位での話し合いの形で設定し、その効果を検証することとした。

以上の単元構成方針のもと、計画した単元が表 22 である。

表 22 単元計画

構成	学習内容	実験手続きの 指導の場面	時数
導入	「ふりがが 10 往復する時間は どうすれば短くなるの だろうか」		1
追究	「ふれはばを変えると ふりがが 10 往復する 時間は変わるのか」 「長さを変えると ふりがが 10 往復する 時間は変わるのか」	手続きの指導 及び用いる場面	2
	「重さを変えると ふりがが 10 往復する 時間は変わるのか」	手続きを用い る場面	1
活用	「2.8 秒で 1 往復する ふりがをつくらう」		1

1 時間目の授業では振り子の往復の時間に影響を与える変数を話し合わせた。また、実際の振り子に触れ試行錯誤を行わせた。2・3 時間目の授業では、振れ幅を変えて 1 度測定を行い、その結果から結論を導いてよいのか話し合わせた。話し合いの後に、測定では誤差が生じること、複数回の測定結果を平均することでその影響を縮小できることを指導した。また外れ値を含んだ結果を示し、それを判断する方法を問いかけた後に、外れ値に対処する手続きを指導した。外れ値に対処する手続きは、実験の最中であれば測りなおす、実験の後であれば外れ値を除外して平均する、というものであった。その後振れ幅を変えた際の実験と長さの違う振り子に

ついて実験を行った。4時間目には重さの違う振り子について実験を行った。また、5時間目には1往復が2.8秒の振り子を作成する課題に取り組ませた。

第2項 信頼性を高める実験手続きの指導

実験手続きの指導においては第5章において論じたように児童による思考場面の後に教師による教示場面を設定する指導方略を採用して指導を行った。ただし、児童による思考場面ではクラスでの話しあい活動を設定した(表23)。

表23の通り、本授業では「考えさせてから教える」という指導方針に則り、【平均の手続き】と、【外れ値の手続き】のそれぞれに対して考えさせる場面と教示する場面を組み合わせた指導を行った。図49に指導の構成の模式図を示す。ただし、本授業では、班ごとに考えさせる際にホワイトボード等を用いておらず口頭で話し合いをさせている。また、【外れ値の手続き】に関してはクラス全体で話し合いを行わせた。そのため、本授業は前章の授業を簡略化したものと捉えることができる。

表 23 実験手続きの指導の手順

	指導の内容	指導の段階
1時間目	どの仮説が正しいのか、自分たちの思う方法で調べる 結果の発表と、結果が班ごとに異なること、検証ができなかったことの確認	活動を行う中で考える
2時間目	実験を行う長さ、重さ、振れ幅を指示し、実際に10往復して計測す	

	<p>る様子を演示する</p> <p>振れ幅を変えて1度だけ班ごとに実験する</p> <p>結果を発表し、それで結論を出してもいいのか班ごとに考える</p> <p>複数回測定して、測定値を平均したものを代表値として用いることを教示</p> <p>外れ値を含むデータを例として示し、この場合であればどうするか問いかける</p> <p>複数の児童が発表</p> <p>他の測定値と大きく異なった測定値に対しては測りなおすこと、実験が終わった後であれば除外して平均することを教示</p> <p>改めて振れ幅を変えた際の実験を行う</p>	<p>考える（班ごと）</p> <p>教える</p> <p>考える（クラス全体）</p> <p>教える</p>
3 時間目	<p>前回の測定値を発表</p> <p>結論を出す</p> <p>長さを変えた場合の実験を行う</p>	用いる
4 時間目	<p>重さを変えた場合の実験を行う</p>	用いる

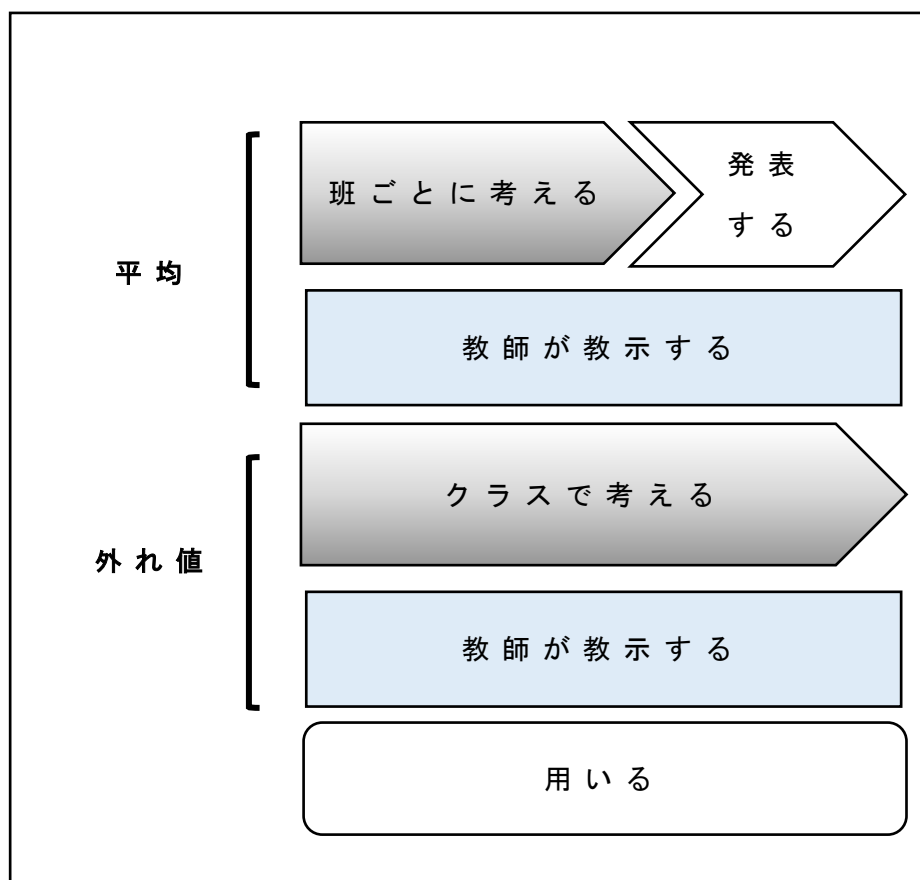


図 49 授業の構成の模式図

第3項 用いた教材と活動

本授業では以下のような教材、活動を用いて指導を行った。

① 振り子の「カニの手」（単元導入）

単元の導入においては、児童がふしぎだなどと思い、学習に興味を持つための教材を準備した。段ボールに針金で作った2つの振り子を隠し、それぞれの振り子の上にカニの手を付けた（図 50 図 51）。振り子の長さは異なっているため、同時に揺らし始めても、揺れ方は同期しない。「箱の中には錘がついていて、振り子になっている」ということを説明したうえで、なぜ両方の手は同時に動かないのかな？と問いかけた。

児童から仮説が形成された後には、実物の振り子を用いて、

仮説が正しいのかどうか試すよう指示した。児童は振り子の長さや錘の重さ、振れ幅を変えて実験を使用とするが、適切な実験手続きを用いていないため仮説の検証を行うことができない。実験班ごとに実験の様子を発表させることで、このままでは実験がうまくいかないことを確認し、次時以降に、実験の方法を考えることを予告した。

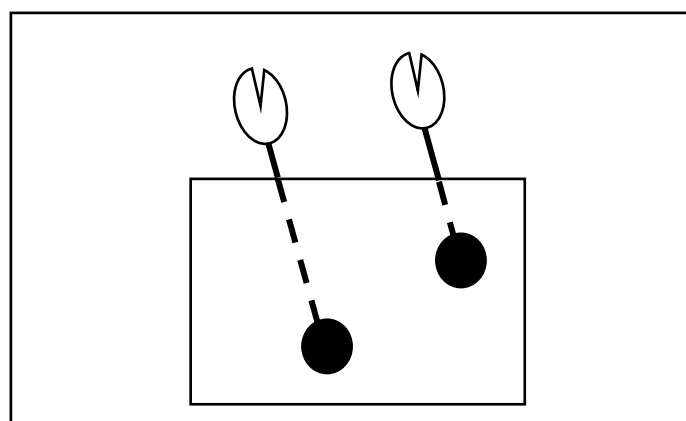


図 50 単元の導入に用いた教材の内部

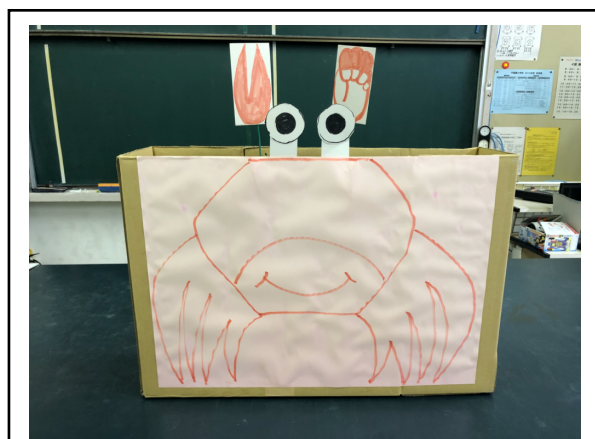


図 51 単元の導入に用いた教材

② 実験に用いた振り子

本単元の実験は手続きが煩雑で、算数科で学習した内容の理解も必要であるため、実験及び話し合いは実験班で行うものとした。そのため、振り子は個人ではなく実験班に1台使

用するものとした。

本章で既に触れた通り、振れ幅が周期に影響を与えない範囲は微小振動の範囲であるとされ、その境界は 30° であるとされている（木村・大後・木村、2006）。教科書で用いられている振り子には、周期を長さで表記しているもの、角度で表記しているものの2種類が見受けられる。本授業では微小振動の範囲に実験の振れ幅をおさめることを重要であると考え、振れ幅を角度で表記することとし、鉄製スタンドに紙製の分度器をつけることで振り子を制作した（図 52）。

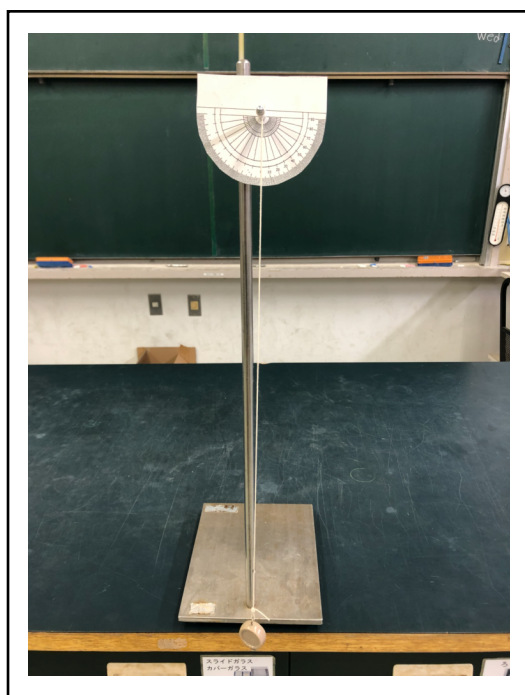


図 52 実験に用いた振り子

③ 活用の実験

本単元で学習した振り子の周期に影響を与える条件を児童が確実に理解し、それを活用できることを目的として単元の終わりに問題解決の場面を設定した。追及の場面において児童は長さ 50 cm の振り子を用いており、周期がおよそ 1.4 秒である。そこで、活用場面では周期が 2.8 秒の振り子

の制作を題材とした。振り子の周期は長さの平方根に比例するため、周期を2倍にするためには長さを4倍の2 mにする必要がある。児童の多くは長さを2倍にすることを予想するが、実際の試行錯誤を通して振り子の長さを伸ばしていき、2 mの振り子を制作することができれば問題の解決となる（図 53）。

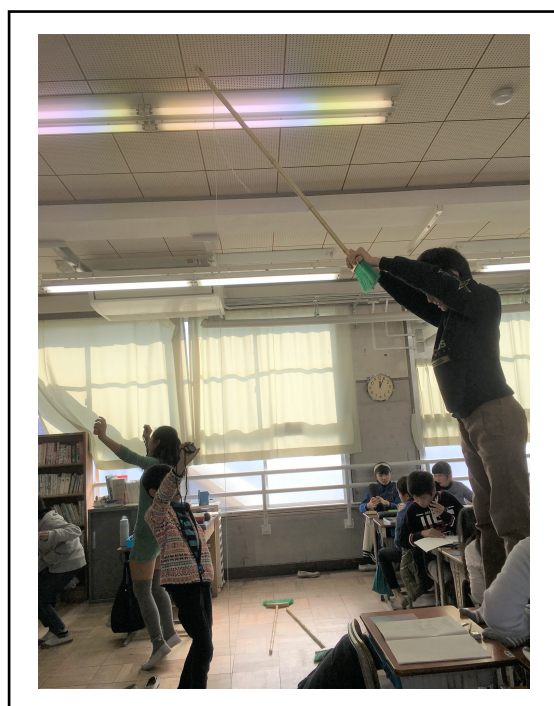


図 53 長さが 2 m の振り子を作成する児童

第5節 実践・調査の手続き

第1項 授業実践・調査の対象及び時期

本章の授業及び調査は、兵庫県内の公立小学校第5学年3クラスを対象とした。全ての授業及び調査を受けたのは89人であった。授業は2017年11月に行い、授業の直前に事前調査を、授業の直後に事後調査を行った。

第2項 調査の方法

授業に先立った事前調査では、予備調査同様の質問紙を用いて児童の理解を調査した(図45・図46)。評価は事後調査と共通のルーブリックを用いて行った(表21)。但し、事前調査の段階では対照の手続きが未習であり、領域によって手続きを使える場合と使えない場合があることが予想されたため、平均の手続き2問のうち、どちらかでも正解できた場合には理解しているとみなした。同様に、外れ値の手続き2問のうち、どちらかでも正解であれば理解できているものとした。

事後調査は振り子の単元末テストの中に、対象とする2つの手続きについての問いを挿入することで行った。問題数は2問であった(図54図55)。

(1) AとBの2つのふりがが10往復する時間を3回測ったら、下の表A、Bのようになりました。AとBのどちらの方が往復する時間が短いと言えますか。計算をして、なぜそのような計算をしたのか理由を説明しましょう。

	1回目	2回目	3回目
A	10.1秒	10.3秒	10.2秒
B	15.5秒	15.3秒	15.4秒

{

 計算の方法

 の方が短い

}

{

 そのように計算した理由

}

図 54 事後調査

(2) AとBの2つのふりがが10往復する時間を3回測ったら、下の表A、Bのようになりました。AとBのどちらの方が往復する時間が短いと言えますか。計算をして、なぜそのような計算をしたのか理由を説明しましょう。

	1回目	2回目	3回目
A	15.2秒	15.2秒	58.2秒
B	15.1秒	15.4秒	15.4秒

計算の方法
 の方が短い
 そのように計算した理由

図 55 事後調査

第6節 調査結果及び分析

第1項 質問紙による事前事後調査の結果

授業前の調査においては、平均値を求める手続きについて理解している児童の数は89人中53人と、半数以上であったことに対し、なぜその手続きを用いるのかという理由を解答できる児童は4人であった。また、外れ値を除外して平均する手続きは正答できた児童は1人であり、外れ値を認識していた児童が3人であった(表24)。

授業後の調査においては、どの項目においても正答できた児童の数が増加した。表4のルーブリックに従い、【平均の手続き】の理由については誤差への言及ができていることを正答の基準としたが、図56のように測定誤差の不可避性について理解を示す解答も見られた。【外れ値の手続き】については、外れ値について言及の見られた解答を正答とした(図57)。

そこで平均値の手続き、その理由、外れ値の手続き、その理由のそれぞれを1点とし4点満点とした。授業前と授業後の得点をt検定によって比較したところ、1%水準で有意な向上が認められた($t(88)=15.12$, $p<0.01$)。

表24 事前調査及び事後調査の結果

	平均手続き	平均理解	外れ値手続き	外れ値理解
事前	53	4	1	3
授業後	81	52	53	51

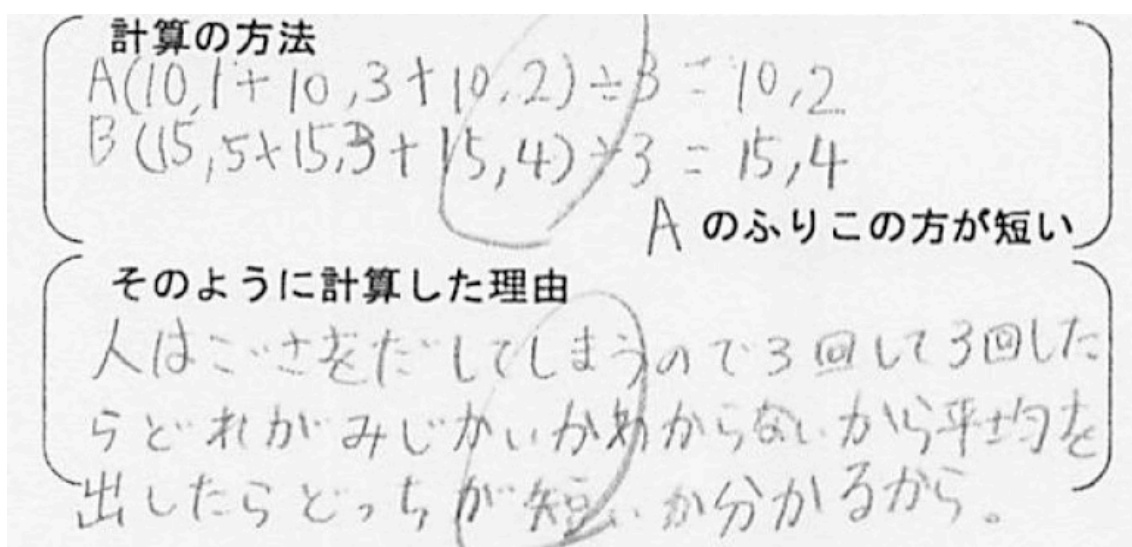


図 56 事後調査における児童の回答の例

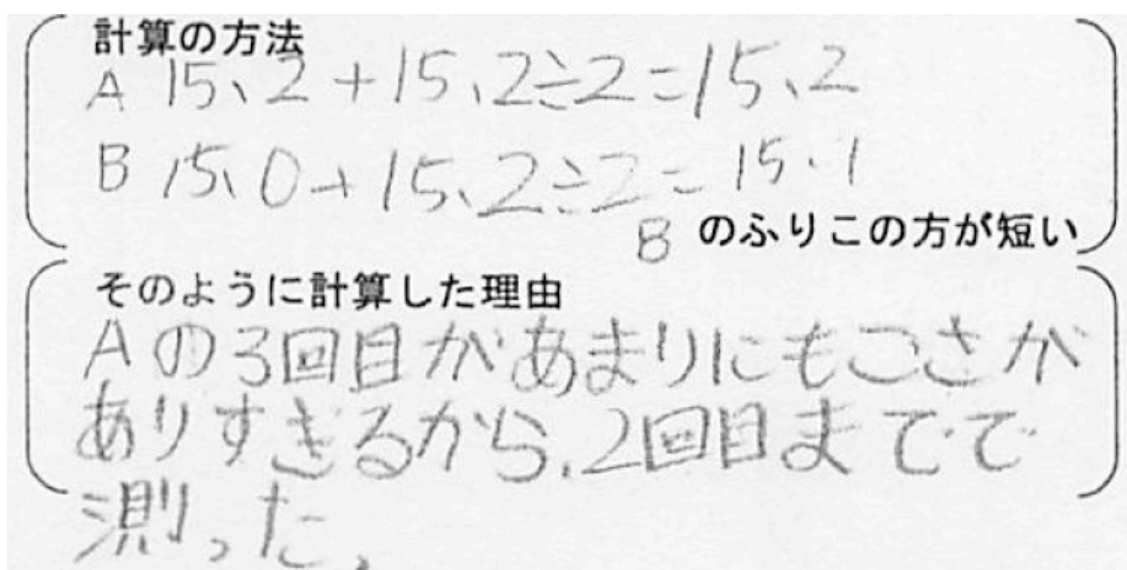


図 57 事後調査における児童の回答の例

第2項 考察

算数の授業において平均値の求め方を学習していることから、本授業の実施前から平均を求める手順は身につけている児童が半数以上見られた。しかし、問題解決の過程においてそれを行う理由や、外れ値の扱い方については指導前の段階において理解できている児童が少なかった。本調査で見ら

れた、指導前の児童の誤差に関する理解の不足は信頼性を高める手続きについて児童が学習する機会が少ないことを示唆している。

先行研究においては、算数科教育研究などの分野において平均値・誤差の理解や、外れ値の理解を深めるための指導法に関する研究は見られた。しかし、理科教育研究の分野においては、このように信頼性を高めるための手続きに関する指導は依然として数多くない(大鷲・ロバーツ・大高、2011)。また、本章で取り上げた振り子の学習は実験の信頼性を損なう測定誤差が原因で児童の概念理解が深まりにくい单元である。しかし、先行研究においては振り子の概念に関する理解を深めるための指導方略として、誤差を減らすことや、信頼性を高めるための手続きをあえて指導しないというものが見られた。教科書の記述からは、5社の教科書会社のうち、3社のものにのみ外れ値に対処する実験手続きが示されていた。また、2章で論じたように平均を求める手続き、外れ値に対処する手続きは本单元で取り上げた振り子の单元以外ではほとんど触れられていない。

事後調査からは、本授業を通して誤差を軽減するために平均値を用いるという理由、外れ値を認識しそれを除去する手続きにおいて児童の理解が深まったことが明らかになった。ここから、信頼性を高めるための平均値を用いる手続き及び外れ値を除去する手続きは、適切な指導を通して児童に理解されることが示唆されている。

信頼性に関する理解は実践的探究を行うための科学的な知識であり(Lubben & Millar,1996)、理科の学習において育成を目指す資質・能力として取り上げられるべき性質のものである。しかし、小学校の4年間の理科学習の中において振り子の学習においてのみ、このような手続きを用いること

が、信頼性を高める手続きに対する児童の理解を十分に深め、それを実際に用いる能力を育成できるとは考えにくい。理科のカリキュラムを検討する上で、信頼性を高める手続きを始めとした実験手続きの育成という観点を付け加えていく必要があるだろう。

本調査を通して信頼性に関する理解を深めるための授業の在り方が提案されたが、今後さらにその深化を行うことで、児童自身の主体的な問題解決の質が高まることが期待される。そのため、外れ値への対処法を始めとした信頼性を高めるための手続きに関する理科の観点からの指導方法についてのさらなる検討と、児童にとってそれを学ぶ機会の確保が必要であると考えられる。

第7節 本章のまとめ

本章の目的は実験を計画する活動の指導方略として、クラス全体での話しあい場面と教師の教示場面を設定した授業の学習効果を明らかにすることであった。本章では第5学年振り子の実験における仮説の信頼性に関わる実験手続きを指導内容として取り上げた。本章では以上の目的を達成するために、授業実践を伴う調査を行った。調査の結果から以下の点が明らかになった。

- ・クラスごとに実験を計画した後で、教師が実験手続きを教示する指導が、信頼性に関わる実験手続きに対する手続き的理解において認知的理解においても有効であった。

註

- 1) 本章の研究は既に発表済みの以下の研究に基づいており、それに改訂を加えたものである。

安部洋一郎・松本伸示(2019)「測定誤差とその取扱いの理解を深める振り子単元の指導」『日本科学教育学会第43回年会論文集』p616-617.

引用参考文献

- 加藤尚裕 (2000) 「「振り子の特性」に関する概念形成の研究-自由試行を中心にして」 『理科教育学研究』 第40巻、第3号、1-11.
- 川崎弘作・中山貴司・松浦拓也 (2012) 「振り子の概念獲得に関する研究: 子どもの認識に基づいた学習指導法を通して」 『日本理科教育学会理科教育学研究』 第53巻、第2号、241-249.
- 木村光輝・大後忠志・木村出 (2006) 「小学校における「振り子の等時性」の実験について」 『福岡教育大学紀要. 第三分冊、数学・理科・技術科編』 第55巻、1-22.
- 高垣マユミ・田原裕登志・富田英司 (2006) 「理科授業の学習環境のデザイン」 『教育心理学研究』 第54巻、第4号、558-571.
- 中央教育審議会 (2016) 『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)(中教審第197号)』 retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf (accessed 2021. 6)
- 前田珠里・吉村基・福本有花・中城満 (2015) 「理科授業における測定誤差の扱い方に関する研究」 『日本科学教育学会研究会研究報告』 第30巻、第7号、39-42.
- 益田裕充・田之上大輔・清水秀夫 (2013) 「測定誤差の解釈を支援する理科授業デザイン: アクション・リサーチの視点を用いた体系的なアプローチ」 『臨床教科教育学会誌』 第13巻、第1号、73-80.
- 文部科学省(2017)『小学校学習指導要領解説理科編』大日本図書
- 中城満 (2014) 「小学校理科で測定誤差はどのように克服されるべきか—第5学年『振り子の運動』を例に—」 『理科の教育』 第63巻、第746号、15-17
- 西川純・堀之内浩二 (1997) 「生徒の誤差認知とコンピュータタイメージ」 『日本教育工学雑誌』 第21巻、41-44.
- 大嶋竜午・ロス・ロバーツ・大高泉 (2011) 「実験活動に関する証拠

の理解を基にした統計指導の導入の視点：データの不確実性、信頼性を中心に（〈特集〉科学教育における統計的思考力育成のための理論と実践） 『科学教育研究』 第35巻、第2号、111-118.

大高泉（2010）『理科教育、科学教育の教科課程からみた統計的思考の育成（科学教育における統計的思考の育成、学会企画課題研究、次世代の科学力を育てる-社会とのグラウンディングを求めて-）』 「日本科学教育学会年会論文集」 第34巻、29-30

植木幸広・久保田善彦（2012）「振り子の学習における数値の処理が、数値比較の判断に与える影響：平均と誤差の認識に着目して」 『日本理科教育学会理科教育学研究』 第53巻、第2号、219-227.

植木幸広・久保田善彦（2018）「5年生「振り子の運動」における仮説設定に影響された思い込み」 『日本科学教育学会研究会研究報告』 第25巻、第5号、5-8.

終章 本研究のまとめ及び今後の課題

本章では、各章における研究成果をもとに、本研究の成果を論じ、今後の理科教育授業への示唆とともに今後の課題について考察する。

第1節 本研究のまとめ

今日、国内外を問わず理科教育研究において学習者自身が実験を計画し遂行することの重要性が認められ、その重要性が指摘されている。しかし、実験を計画する活動を指導する方法については、統一された見解が見られない。また、そのような指導法を定めるためにも、実験を計画する活動によってどのような学力が育成されるのかといった点や、実験を計画するためにはどのような能力が必要なのかという点を明らかにする必要があると考えられた。そこで本研究ではそれらの疑問をそれぞれ研究の目的の柱の1つとしてとりあげ、以下のように研究1, 2, 3としたうえで対象を小学生に絞り、研究を進めることとした。

研究1

小学校の理科授業における実験に用いられる手続きを明らかにすることである。本研究では特に小学校理科授業における実験を対象とする。

研究2

実験を計画する活動を授業に取り入れることで児童が形成する仮説に与える影響を明らかにすることである。

研究3

実験を計画する活動を指導する指導方略を提案し、実証的調査からその学習効果を明らかにすることである。

以上のように本研究では目的を、小学校の理科授業における実験に用いられる手続きを明らかにし、児童が実験を計画する活動の学習効果を明らかにするとともに、児童が実験を計画する活動の指導方略を提案することとした。この目的を遂行するために、先行研究の調査、教科書調査、授業実践を通じた調査を行うことで、実験を計画する活動についての新たな知見が得られた。本節ではこの成果について章ごとにまとめることとした。また、理科教育の潮流において先行研究が蓄積してきた知見の中で、本研究が新たに明らかにすることができた点を改めて問うた。

第1項 本研究の問題の所在及び研究課題の設定

序章では、実験を計画する活動についての先行研究を調査し、そこから得られる知見を省察することで、課題を整理し研究1, 2, 3を設定した。

実験を計画する活動の効果に関しては、先行研究からは科学的態度の涵養、実験を計画する能力の向上について複数の調査が認めていることが明らかになった。しかし、内容理解についてはその効果の示唆はされているものの、十分な調査がなされておらずさらなる研究の余地が認められた。その中でも、仮説形成については、実験を計画する活動との関連が考えられるものの、これまでに調査した研究が見られなかった。

実験を計画する活動の指導方法については、学習者に実験を計画させる活動に取り組ませるだけでなく、そこに何らかの有効な方法論が必要であると考えられた。全般的な学習についての研究では、学習者自身が思考する活動と教師による教示を組み合わせた指導が有効であるということが先行研究において示されていた。そこで、実験を計画する活動を指

導するにあたってはこの指導法を援用することで有効な指導の在り方が見出せるのではないかという知見が得られた。しかし、活動場面と教示場面の組み合わせ方や、実験を計画する活動におけるその効果については十分な調査が必要であると考えられた。

実験を計画する能力については、多様な実験活動が一様に見なされているという現状が見られた。また、条件を制御する能力についての研究が非常に多い一方で、それ以外の能力との関連性から整理する研究が見られなかった。実験を計画する能力については、それぞれの仮説に合わせて実験手続きを適切に用い、仮説を検証する能力が高まるような実験をデザインする能力であるとの定義がなされていた。そのため実験の手続きを詳細に分類・整理することで、実験を計画する能力の理解につながることを期待された。

第2項 小学校理科授業で用いられる実験の手続きとその効果（研究1の成果）

第1章では実験手続きを分類整理するとともに、小学校理科教科書に掲載された実験を調査することで、小学校理科授業で用いられている実験手続きを同定した。その結果、以下の3点が明らかになった。

- ① 実験を計画する論理構造には、仮説を具体化する、仮説の受容可能性を向上させる、という2つの側面があること。
- ② 仮説の受容可能性を向上させるための実験手続きは妥当性を向上させるための手続きと、信頼性を向上させるための手続きに分類できること
- ③ 妥当性を向上させるための手続きは6種類、信頼性を向上させるための手続きは2種類に分類することができ、

それら全てが小学校の理科教科書に掲載された実験に用いられていること。

第2章では、第1章の知見をもとに、適切な実験手続きを使用した実験による児童の内容理解の深まりを調査した。その結果、次の点が明らかになった。

- ・教科書に掲載された従来の実験に加えて、仮説の受容可能性を高める追加実験を行うことで児童の内容理解が深まったこと

先行研究においては実験を計画する能力はしばしば、その多様性が捨象され一元的に捉えられることや、その一部分だけが強調されて示される傾向が見られた。その中で実験を計画する能力を手続きの水準において分類整理し、それを統合的に捉える視点を提供できたことが本研究の成果である。

第3項 実験を計画する活動による仮説形成の効果の検証 (研究2の成果)

第3章では、第6学年の燃焼の単元を題材として取り上げ、児童が形成する仮説の視点に着目した。上記の目的を達成するためにまず、先行研究により仮説の形成過程における困難を調査し、それを解消するための実験を計画する活動を取り入れた指導方略を開発した。次に、開発した指導方略を用いた授業実践により、実験を計画する活動による児童の仮説形成への影響を調査した。その結果次の点が明らかになった。

- ・実験と仮説の関連付けから、実験を計画する活動を取り入れた指導方略によって児童による仮説形成が促されること

先行研究では、実験を計画する活動による内容理解への効果について調べた調査は少なく、その中でも仮説の形成に関するものは見られなかった。そのため、実験を計画する思考

活動によって仮説の形成が促されるという本研究の結果は、新たな知見であるとみなされる。

第4項 実験を計画させる活動の指導方略とその効果（研究3の成果）

第4章では、実験を計画する活動における有効な指導方略を提案することを目的として研究を行った。先行研究からは実験を計画する活動には、学習者が目的に沿った実験を計画できないこと、実験を計画する能力の育成に結びつかないこと、という2つの困難が示唆されていた。これらの困難を克服し、本章の目的を達成するためにここでは先行研究の調査を行った。その結果、実験計画場面での指導における実験を計画する活動における指導方略の着想が得られた。第4章の成果として以下の知見を得ることができた。

- ・ 児童による思考場面の後に教師による教示場面を設定する指導方略を採用することで、目的に沿った実験の実施及び、実験を計画する能力の育成というこの指導場面の困難を克服することが期待されること

第5章では、「児童による思考場面の後に教師による教示場面を設定する」指導方略の学習効果を検討するために燃焼の実験を題材としてとりあげて実践・調査を行った。目的を達成するために児童による思考場面の形式の異なる3つの授業を設定した上で、授業実践を伴う調査によってそれらの効果を比較した。3つの授業における思考場面は「班ごとに実験を計画する」、「クラスで実験を計画する」、「実験を計画しない」であった。この調査を通じて第5章では以下の2点が明らかになった。

- ① 班ごとに実験を計画した後で、教師が実験手続きを教示する指導が、仮説の妥当性に関わる実験手続きに対する

手続き的理解においても認知的理解においても有効であること

- ② 児童の思考場面の設定の仕方によって所要時間に差が生まれ、実験を行う授業時間の差につながること

第6章では実験を計画する活動の指導方略として、クラス全体での話しあい場面と教師の教示場面を設定した授業の学習効果を調査した。そのため第5学年振り子の実験における仮説の信頼性に関わる実験手続きを指導内容として取り上げた。授業実践を伴う調査を行うことで以下の点が明らかになった。

- ・クラスごとに実験を計画した後で、教師が実験手続きを教示する指導が、信頼性に関わる実験手続きに対する手続き的理解において認知的理解においても有効であること

先行研究では、児童による思考と教師による教示を組み合わせた指導方略が、法則の習得場面などで用いられていたが、本研究では実験を計画する活動においてこの方略を採用し、その効果を示すことができた。

第2節 教育実践への示唆

ここでは、本研究で得られた成果から、教育実践への示唆をまとめる。

第1に、分類・整理した実験手続きとその観点は実験を計画する活動を指導する際の理論的視座となることが期待される。今後、小学校の理科授業において実験を計画する活動がさらに実施されていくことが見込まれる。しかし、従来の研究では小学校で実験を計画する活動においてその推論の内実が十分に示されてこなかった。そのため、どの実験において、どのように指導を行うことで、どのような能力を育成するのかを計画する際に依って立つべき視座が必要である。本研究で示した実験手続きは、小学校理科授業における実験を見分ける視点となり、発達段階に応じて指導する実験手続きを配置するカリキュラム編成上の基礎的視座となりうるものである。このことから、研究1で得られた成果は学校現場からの潜在的な要求に応える知見となることが期待される。

第2に、実験を計画する活動の教育的効果に関するより広範な視点の提供である。従来、実験を計画する活動は学習者の実験を計画する能力の育成に有用であるとの観点から語られてきた。また、実験を計画する活動には、学習者の意欲の向上の効果があるという点についても報告はなされている。このような先行研究での知見に加えて、本稿の研究2では、仮説の形成に対しても実験を計画する活動が有効性であることが示唆された。これは実験を計画する活動が、従来捉えられてきた学習効果を超えて有効性を持つことを示すものである。この結果は、小学校理科授業において児童が主体的に実験を計画する活動を実施する方針を後押しするものであり、学習指導要領の方向性とも合致すると言えるだろう。

第3に実験を計画する活動の指導方略の提案である。研究3では実験を計画する活動の実施には困難が伴うが、「児童の思考場面の後に教師による教示場面を設定する」指導方略によってこの活動の学習効果が高まることが明らかになった。この指導方略は、理科授業に不慣れな若手教員だけではなく、実験を計画する活動に伴う困難からこれまでこの活動を十分に実施してこれなかった理科教師にとっても、新たな授業の在り方を示す方針となりうることが期待される。

以上、本研究の成果に基づき、教育実践への示唆を3点にまとめた。今後、ここで得られた成果を普及し、実験を計画する活動を行うための環境を整備することで、研究として社会に還元することができるだろう。

第3節 今後の課題

前節まででは、学習者が実験を計画する活動について本研究で得られた研究成果をまとめてきた。しかし、それぞれの研究成果には、複数の点においてさらなる研究の必要性が認められる。そこで本節では加えて研究すべき余地を示すことで、今後の課題としてまとめることとする。

本研究で得られた成果の限界として、対象とする学習者が小学生に限られてしまったことがある。また、一般的な実験を計画する能力を検討する際には小学校で用いられている実験手続き以外のものを用いるものも含まれべきであるが、本研究では対象とした学習者に合わせた実験手続きのみを扱った。中学生から成人までの実験を計画する能力や、幼稚園児の同能力を調査することができれば、より長期的視点から学習者にどのように指導を行うべきかという方針が得られるであろう。

研究1においては、妥当性、信頼性という尺度を採用し、仮説の受容可能性を分類し、実験手続きを判別した。しかし、実験を含めて科学的態度や探究の在り方も判別する際には実証性、再現性、客観性という尺度が用いられることも多い。本研究では妥当性、信頼性という尺度と、実証性、再現性、客観性という尺度の関連性を整理するに至らず、妥当性、信頼性のみにしぼって記述を行っており、さらなる省察の必要性が認められる。

研究2においては、実験を計画する活動による仮説形成への効果が明らかになった一方、内容理解への効果については直接的に調査することができなかった。また、実験を計画する活動には主体性や学習意欲などへの効果も期待される。これらのことから、実験を計画する活動の効果についてはさらなる調査の必要性が認められる。

研究3においては、児童が思考する場面と教師が教示する場を組み合わせた指導方略を用いたが、本研究では特に児童の思考場面の設定の仕方に工夫を施すことでその効果を調査した。その一方、教師の教示の行い方については十分な検討を行うことができなかった。今後の研究の発展において、ここで提案した指導方略をより多くの授業実践を通して精緻化し、実用性をさらに高めることが求められる。

謝辞

本研究は多くの方々からご指導、ご支援をいただくことで行うことができました。この場を借りて感謝の言葉を申し上げます。

松本伸示先生には教職修士課程から引き続きのご指導を賜りました。時には生意気な口をきき、時には落ち込んでいじける厄介な学生を、いつも優しい口調で「まあまあ」と励ましてくださる松本先生。穏やかながらも的確な指示をくださる先生は、しばしば脇道にそれそうになる私を導く一筋の光でありました。ご指導をいただき、本当にありがとうございました。いつかこの恩をお返しできたらと願っています。

副指導教員の岡山大学教授・稲田佳彦先生には、本研究の意義や進め方について多くのご示唆を頂きました。授業で見せていただいた実験が非常に興味深く、その後の私の授業実践に影響を与える印象的な経験となりました。貴重なご指導・ご意見をいただき、深く感謝しております。

元副指導教員の兵庫教育大学教授・山本智一先生には、様々な研究会で指導をいただき、研究の内容だけでなく研究者としての在り方についてもご指導をいただいたように思っています。貴重なご指導・ご意見をいただき、深く感謝しております。

庭瀬敬右先生、溝邊和成先生、喜多雅一先生には、学位論文審査委員会において、本論に関するご指摘や今後の発展について、ご助言をいただきました。大変、有難いご意見をいただき感謝しております。

2年間も内地留学を行い、さらには現場に戻っても研究を続ける私を温かく見守り、援助してくださった西宮市立甲陽園小学校の皆様。柴田修校長先生、池田睦郎教頭先生をはじめ同僚の皆様には、研究をしながら現場に戻ったことで様々なご迷惑をおかけしました。伏してお詫びするとともに、それでも笑顔で接してくださったことに感謝を申し上げます。

建部昇先生には、小教研理科部会の先輩として、西宮市理科支援員として、私の授業にご指導をいただきました。いつまでたっても私の授業の型は建部先生にご指導いただいた「手で考える理科」にあります。また、甲陽園小学校の日当たりのいい理科室で建部先生と一緒に実験器具の整備をする日が来ることを願っております。

また、松本先生のおかげで同研究室の先輩、同僚、後輩と知り合うことができました。研究会のたびに、ゼミの皆さんと集まれることがこんなにも心強く、心地よいものだとは思っておりませんでした。これからも仲良くしていただけますようお願いいたします。

今後、本学で学んだことを日々の教育実践、教育研究に活かし、理科教育の充実と発展に臨む所存であります。

最後に、本研究を進めるにあたって私を支えてくれた両親、妻、3人の子どもたちに感謝の言葉を添えて謝辞とします。

2020年3月
安部 洋一郎