

広島大学大学院教育学研究科 博士論文

理科の仮説設定における学習者の実態と
指導方略に関する研究

中村 大輝

目次

第1章 研究の背景と目的	5
第1節 科学教育の歴史的変遷	5
第2節 科学の方法としての仮説設定の価値	10
第3節 仮説設定に関する研究の現状と本研究の目的	13
第2章 先行研究のシステマティックレビュー	16
第1節 システマティックレビューの手続き	16
第2節 仮説設定に関する研究の動向	19
第3章 本研究のリサーチクエスションと論文の構成	34
第1節 本研究のリサーチクエスション (RQ)	34
第2節 本論文の構成と RQ の対応関係	36
第4章 仮説の概念に関する理論的検討	38
第1節 自然科学における仮説の歴史	38
第2節 理科教育における仮説の概念整理	47
第3節 本章のまとめ	53
第5章 仮説設定における学習者の思考過程	55
第1節 調査のデザイン	55
第2節 調査の結果	60
第3節 本章のまとめ	64
第6章 仮説設定における評価方法の検討	66
第1節 評価の構成要素	66
第2節 評価基準の作成	68
第3節 本章のまとめ	70
第7章 仮説設定の質に影響する要因の検討	72
第1節 調査のデザイン	72
第2節 調査の結果	76
第3節 本章のまとめ	79
第8章 仮説設定の指導方略の開発	81
第1節 仮説設定の指導方略の構築	81

第2節	効果検証のデザイン	85
第3節	実践1の結果	92
第4節	実践2の結果	95
第4節	本章のまとめ	99
第9章	研究の総括	101
第1節	本研究の成果	101
第2節	研究の限界と今後の課題	104
	引用文献	107
巻末資料1	各章の内容と対応する既発表論文	117
巻末資料2	使用した調査問題	120
巻末資料3	分析に使用したRコード	126
	謝辞	135

第 1 章 研究の背景と目的

第1章 研究の背景と目的

本章では、社会情勢の変化に伴う科学教育の目標や教授方略の歴史の変遷を整理した上で、本研究が着目する科学教育における仮説設定の価値について整理する。また、仮説設定の教育に関する先行研究の成果と課題を概観した上で、本研究の全体的な目的を述べる。

第1節 科学教育の歴史の変遷

1. 社会情勢の変化と科学教育の目標の変化¹

科学教育の目標は常に社会からの要請を受けて変化しており、これまでの歴史の中で社会情勢の変化に伴う科学教育改革が幾度となく実施されてきた (DeBoer, 2014; Kidman & Fensham, 2020)。

第二次世界大戦後の 1940 年代後半、欧米では戦時中の科学の貢献が評価され (e.g., Manhattan Project), より多くの科学者を育成する社会的な需要が発生した。このような需要を受けて、大学では科学教育の内容を現代化し、科学者の育成に力を入れる改革が実施された。1950 年代に入り、米国とソ連の間で冷戦が勃発すると、科学者育成の需要はますます高まっていった。特に、1957 年にソ連が人工衛星スプートニクの打ち上げに成功すると、米国ではウッズホール会議を開催して科学教育について議論し、膨大な予算を投入してカリキュラム改革に取り組んだ (Bruner, 1961 鈴木・佐藤訳 1963)。日本においては、高度経済成長に合わせて科学技術者養成拡充計画が始まり、第1期 (1957-1960年) に 8000 人、第2期 (1961-1963年) に 2 万人の理工系大学定員増加が実施され、多くの理工系人材が育成された (伊藤, 2013)。

1980 年代に入ると、科学技術が個人の日常生活レベルで強い影響を及ぼすようになり、科学者にならない万人のための科学 (Science for All) が重視されるようになった (e.g., AAAS, 1989)。そして、すべての市民が科学的リテラシー (Scientific literacy) を身に付けることが求められるようになっていった。ここで科学的リテラシーとは、科学の内容的な理解 (Vision I) のみならず、科学と社会の関係の理解や市民としての意思決定の能力

¹ 社会情勢が各国で異なるように、科学教育の目標の変遷についても国による差異が存在するが、ここでは米国を中心とした科学教育の目標の代表的な変遷のみを扱う。

(Vision II) といった幅広い力を包含したものである (Roberts & Bybee, 2014)。1990 年代以降, 2 種類の科学的リテラシーはそれぞれ TIMSS 調査や PISA 調査といった大規模国際調査によって得点化され, 科学教育政策に関する国家間の競争圧を高めていった。これらの国際調査の結果はマスメディアによってセンセーショナルに報道された結果, 各国における学力低下論争とカリキュラム改革を引き起こすこととなった (e.g., 原田, 2006; 大高, 2010)。

2000 年代後半に入ると, グローバル社会の加速と高度科学技術社会の到来を受けて, STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 分野の労働者を育成し国際競争力を高める需要が生じた。そこで, 国家の財政的な支援の下で STEM を構成する各学問領域の教育とそれらを統合した教育 (Integrated STEM Education) が志向されるようになった (Kelley & Knowles, 2016)。このような STEM 教育では, 各領域の内容理解に加えて, 21 世紀の労働者に必要な社会的スキル, 複雑なコミュニケーション, 非日常的な問題解決, 自己管理, システム思考などの 21 世紀型スキルを身に付けることも期待されている (Bybee, 2010)。

2020 年代に入ると, 新型コロナウイルス (Covid-19) の世界的な流行により科学教育の実施が困難になるとともに, ウイルスやワクチンに関する疑似科学や科学不信の問題, 科学の営みの性質 (Nature of Science: NOS) に関する理解不足から生じる社会課題が浮き彫りになった (Erduran, 2020; Nguyen & Catalan, 2020)。例えば, Covid-19 の有効な治療法がなぜすぐに見つからないのかという科学への不信感, 科学者集団の中でどのような手続きを経て新規の知見が受け入れられていくのかといった科学の営みの性質に関する理解があれば低減されるはずである (e.g., Weisberg et al., 2021)。世界的な科学不信の広がりを受けて, このような社会課題に立ち向かうための新たな科学的リテラシー育成に向けた科学教育改革が求められている (UNESCO, 2020)。具体的には, 従来の科学的リテラシー (Vision I, II) に加えて, 科学が関わる社会課題 (Socio-Scientific Issues: SSI) や地球規模の問題に対する社会政治的な参加と行動を重視した科学的リテラシー (Vision III) の育成が求められている (Valladares, 2021)。

ここまで, 第二次世界大戦後の社会情勢の変化とそれに伴う科学教育の目標の変化を整理してきたが, これらの変化は科学者育成と市民育成という 2 つの軸で整理することができる。科学者育成の観点からは, 戦後の科学者需要の時代から一貫して, 科学者の育成は国家の経済発展や安全保障の観点から重要な目標であり続けており, 現代では STEM 分野

の幅広い労働者の育成がグローバル社会における国家間競争において重要になってきていると整理できる。市民育成の観点からは、日常生活における科学・技術の重要性が高まり、科学に関わる社会課題が増加するにつれて、市民として必要な科学的リテラシーが増加・多様化してきていると整理できる。

2. 科学教育における教授方略の変化

社会情勢の変化に伴う科学教育の目標の変化は、学校における科学の教授方略にも変化をもたらした。

20 世紀前半より一貫して取り組まれてきた教授方略の改革の方向性は、教室において学習者が科学者と同様の探究活動に取り組むように求めるものである (Riga et al., 2017)。それまでの教科書を用いて知識を一方的に教え込む知識伝達型の教授方略に代わり、学習者が能動的に科学の実践に取り組む中で様々な科学的リテラシーを身に付けることが目指されるようになった。初期の提案としては、英国のアームストロングによる発見的教授法の提案や (Armstrong, 1910)、米国のデューイによる問題解決学習の提案 (Dewey, 1910) などがある。彼らは科学の方法や問題解決の方法に沿った訓練を行うことで、学習者個人の知性を育てることを目指していた。1960 年代には、シュワブによる探究学習の提案や (Schwab, 1962)、ブルナーによる発見学習の提案を通して (Bruner, 1961 鈴木・佐藤訳 1963)、学習者が主体的な認知活動を通して科学的知識の生成過程を体験することの重要性が主張された。1970 年代には科学教育分野における構成主義学習論 (Constructivism) の台頭により、学習者が能動的に理解を構築していくことが重視されるようになった。このように、20 世紀における教授方略の変遷は、学習者が能動的に科学の実践に取り組むことを志向していたと解釈できる。

21 世紀に入ると、学習者の能動的な学びを重視した教授方略の系譜は探究に基づく科学教育 (Inquiry Based Science Education: IBSE) に引き継がれ²、各国の教育スタンダードに影響を及ぼすなど世界的な広まりを見せている。日本においては、平成 29 年告示の中学校学

² 一般に科学的探究とは、「科学者が自然界を研究し、その研究から得られた証拠に基づいて説明を提案する多様な方法」を指す (NRC, 1996)。多様な方法の具体としては、「観察、質問、情報源を調べる、調査計画、データ収集・分析・解釈、説明、予測、結果を伝える」といった科学の方法がある (NRC, 1996)。

習指導要領の理科の目標において、「自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力」の育成が示されるなど（文部科学省，2018b），探究に基づく科学教育が重視されている。学習者が科学的探究に取り組む中で，科学の内容理解や科学的思考力の獲得など幅広い科学的リテラシーを身に付けることが期待されており，実際に高い効果が報告されている（e.g., Schroeder et al., 2007）。

これまでの改革の中で，学習者が能動的に科学的探究に取り組むことを重視する方向性は一貫しているものの，科学的探究とは何かという解釈は過去 50 年間を通して変化してきた（Andersen & Garcia-Mila, 2017）。第一の変化は，探究の方法の捉え方についてである。初期の科学教育においては，デューイが探究の過程を 5 段階で整理するなど（Dewey, 1910），単一で普遍的な科学の研究方法のステップが存在すると考えられていた。しかし，科学者の研究方法の実態に関する研究成果から，科学者は段階的な研究方法を普遍的に適用している訳ではないことが指摘されるようになった（Hepburn & Andersen, 2021; McComas, 2020, pp. 49-51; Reiff-Cox, 2020）。そこで，科学教育においても，科学的探究をより柔軟で多様な手続きとして解釈するようになった（Emden, 2021）³。第二の変化は，科学の性質や認識論を踏まえた科学的探究の解釈についてである。科学とは所定の手続きを通して人間が作り出した暫定的な説明であり，その説明は科学者コミュニティの中で他者を納得させるものでなければならない。このような特徴を踏まえれば，科学的探究から科学の営みの性質（NOS）を切り離すことはできない。そこで，NOS の要素を組み込む形で科学的探究の学習活動を拡張することが試みられるようになった。例えば，実験・観察を通して明らかになった知見に関して他者を説得する論証（Argument）を構築する活動や，科学的探究の活動を実際の科学者の実践と結び付ける活動などが行われている（e.g., McComas, Clough, & Nouri, 2020）。

このように，過去 100 年間の改革を通して，学習者が能動的に科学者と同様の科学的探究に取り組む教授方略が重視されてきたものの，科学者の研究実態や科学の営みの性質に関する理解が深まるにつれて，実際の科学の実態に近づける形で科学的探究は拡張されて

³ 例として，AAAS（1989）の Science for All Americans（すべてのアメリカ人のための科学）では，

「There is simply no fixed set of steps that scientists follow, no one path that leads them unerringly to scientific knowledge. There are, however, certain features of science that give its distinctive character as a mode of inquiry.

（筆者訳：科学者が辿る決まった手順や，科学的知識を確実に導く道はない。しかし，科学には，探究の形態として固有の性質を与えている確かな特徴がある。）（p.4）」と述べられている。

きた。

3. 科学教育研究の現代的課題

本節では、社会情勢の変化に伴う科学教育の目標や教授方略の歴史的変遷を整理した。科学教育の目標は社会情勢の影響を受けて変化してきており、育成が求められる科学的リテラシーの概念は多様化してきた。科学的リテラシーの Vision I では、科学の内容や方法の理解にとどまっていたものが、Vision II では社会との関係性の中で科学を捉えることが求められるようになり、Vision III では具体的な行動を起こすことが求められるようになった。このような多様な科学的リテラシーの育成を達成するためには、従来の知識伝達型の教授方略では限界があることから、科学的探究に基づく教授方略が志向されるようになってきた。科学的探究では、学習者が実際の科学者の活動や科学の営みを反映した活動に能動的に取り組むことを通して多様な科学的リテラシーを獲得することを目指している。ただし、実験や観察を通して科学的な知見を導く活動に取り組むだけでは Vision II, III への対応が難しいことから、科学が関わる社会課題（SSI）や科学の営みの性質（NOS）といった科学の社会的側面を強調した拡張的な科学的探究の指導も求められている。

ただし、科学教育の目標や教授方略の方向性が定まったところで、学校においてどのような授業実践が行われるべきかが直ちに導かれるわけではない。より拡張的な科学的探究の実現に向けて、学習者の実態を調べ、学習者の特性に応じた適切な指導方略を考案し、効果検証を行うといった基礎的・実践的な研究の蓄積が必要となる。これまで先行研究では科学的探究の指導に関する多くの研究が行われてきたものの、その内容には偏りがある。特に、発見の文脈と呼ばれる現象に対する問いや仮説を設定する場面の教育に関する研究は蓄積に乏しい（Oh, 2010; Park, 2006; Rachelson, 1977）。このような背景を踏まえて、本研究では、科学的探究の中でも仮説設定の場面に着目し、基礎的・実践的な研究を実施する。仮説設定は次節で述べる通り、科学的・教育学的な観点から重要な価値を持つものであり、その指導に関する研究の蓄積は、多様な科学的リテラシーを育成する科学教育の実現という現代的な課題の解決に貢献することが期待できる。

第2節 科学の方法としての仮説設定の価値

本節では、科学的探究において重要な手続きである仮説設定が自然科学においてどのような価値を持つかを整理した上で、科学教育における教育的価値について論じる。

1. 自然科学における仮説設定の価値

現代の科学の方法は仮説演繹法 (Hypothetico-Deductive Method) に従うと考えられている (Hepburn & Andersen, 2021; 森田, 2010, pp. 23-24)。仮説演繹法では、既存の観測データを説明する暫定的な仮説を設定し、その仮説が正しい場合に予測される結果が得られるかどうかで仮説の確からしさを判断する (西脇, 2004, pp. 120-121; 丹治, 1998, p. 239)。予測と一致する結果が得られた場合は仮説が確認され、予測と一致しない結果が得られた場合は仮説を保留することとなる⁴。このように、仮説設定は仮説演繹法の前半 (発見の文脈) に位置付けられており、現代の科学の方法において重要な役割を担っている。また、仮説が設定されることではじめて、実験や分析の手続きとしてどのような方法が妥当かを判断することができるようになることからその重要性が指摘されている (Hempel, 1966, pp. 12-13)。

ただし、科学の歴史上、仮説を設定することが最初から肯定的に捉えられていたわけではない。例えば、18世紀前半にはイギリスの科学者とヨーロッパ大陸の科学者との間で仮説の使用をめぐる考え方の対立が生じた (丹治, 1998, p. 239)。イギリスの科学者であるニュートンは、観察データから帰納法によって確実な証明を行うことが科学であり、仮説を立てることに否定的な見解を示していた。他方、大陸系の研究者であるライプニッツは、自然についての理論は決して確実な証明をできるものではなく、仮説の使用は必要不可欠だと考えていた。19世紀末になると、原子論に関する議論の中で直接観察することのできる現象を越えた理論的概念を導入する必要性が生じ、観察できない世界についての仮の説明とそこから導かれる予測の検証によって科学を発展させる体系が築かれていった (小

⁴ 予測と一致しない結果が得られた場合、仮説や前提となる理論体系のどこに誤りがあったのか、または実験方法自体にミスがあったかの判断が難しく、直ちに仮説が反証されることにはならない。一方、予測と一致する結果が得られて仮説が確認された場合であっても、それは蓋然性の高まった仮説にすぎず、絶対的な真理に到達できるわけではない。この問題点に関する詳細は第4章第1節で検討する。

林, 1996, pp. 39-51)。このように、科学の歴史の中で仮説設定の価値は徐々に認められるようになってきたという経緯がある。

2. 科学教育における仮説設定の価値

初期の自然科学や科学哲学の分野において仮説設定が重視されてこなかった歴史的経緯から、多くの科学教育の研究者は仮説設定のプロセスに関心を示してこなかった (Oh, 2010; Park, 2006; Rachelson, 1977)。しかしながら、1960年代にシュワブによって仮説演繹法が導入され、現代の科学における仮説設定の重要性への理解が深まるにつれ、世界各国の科学教育において仮説設定の重要性が認められるようになってきている。例として、米国の AAAS によって整理された探究のプロセススキルの1つとして仮説設定 (Constructiong Hypotheses) が挙げられている (Rezba et al., 2007, p. 5)。OECD の実施する PISA 調査では、科学的リテラシーのコンピテンシーの1つとして、「自然現象を科学的に説明すること (Explain phenomena scientifically)」が挙げられている (OECD, 2016)。国内においては、平成 29 年告示の小学校学習指導要領解説理科編において、根拠のある予想や仮説を発想するといった問題解決の力の育成が示されている (文部科学省, 2018a)。また、多くの文献で科学教育における仮説設定の価値が主張されている (e.g., 福岡・竹村, 1989; Kwon et al., 2009; Lawson, 1995; 益田・柏木, 2013; 中山, 2011; Wenham, 1993)。

科学教育における仮説設定の価値に関する主張は、「科学的な価値」と「教育学的な価値」の2つに大別することができる。「科学的な価値」とは、現代の科学における仮説設定の価値と同等の価値が科学的探究を重視する現在の科学教育においても同様に認められるという考え方である。例として、中山 (2011, p. 19) は、仮説設定が観察や実験の方法を検討しやすくする働きがあることを指摘しており、これは科学における仮説設定の価値と同等だと解釈できる。

他方、「教育学的な価値」とは、学習者が仮説設定に取り組む中で多様な科学的リテラシー (Vision I, II, III) を獲得するという価値である。Vision I の例としては、科学的概念の獲得 (福岡・竹村, 1989; 益田・柏木, 2013) や思考力・推論能力の育成 (Lawson, 2001; 中村ら, 2020) に貢献すると考えられている。仮説設定に取り組む過程で、長期記憶からの知識の探索、知識と目の前の問題状況の関連性の推論、結果のフィードバックが行われることが示唆されており (Nenciovici et al., 2019; Park, 2006)、このような認知活動は概念獲

得や思考力育成に貢献するものと推察される。Vision II および III の例としては、科学の営みの性質（NOS）の理解や科学が関わる社会課題（SSI）におけるより良い意思決定に貢献すると考えられている（McComas, 2020）。観察事実から推論して暫定的な説明を導く仮説設定の活動は、科学の暫定性や観察事実と推論の識別といった NOS の理解を高めるとともに、SSI のような正解のない問題に対して意思決定を行う上での実践的な能力を育成することが期待できる。このように、仮説設定は単に科学的探究の手続きであること以上の教育的な価値を持つと考えられる。

第3節 仮説設定に関する研究の現状と本研究の目的

1. 仮説設定の研究の発展・蓄積

1970年代以降、仮説設定の価値や重要性が広く認められるようになるにつれて、科学教育分野における仮説設定の研究は少しずつ発展・蓄積してきた。これまでの研究動向については第2章において詳細なレビューを行うが、これまでの研究の主な変遷として、1970年代後半から仮説設定の評価方法についての研究 (e.g., Quinn & George, 1975), 1980年台末から仮説設定の思考過程に関する研究 (e.g., 福岡・竹村, 1989), 1990年台末から仮説設定の指導方法の研究 (e.g., Oh, 2010) などが行われてきた。

これまでの研究を通して蓄積されてきた知見は主に2点ある。1点目は、科学教育における仮説の概念的な定義に関する議論が蓄積されてきたことである。仮説演繹法に基づき仮説と予想が異なる概念であることが整理されたことで、両者を区別することの重要性が明確になった (Lawson, 1995, 2005)。その一方で、複数の実態調査を通して、多くの教師や学生が仮説と予想を混同しているという実態が明らかになった (Baxter & Kurtz, 2001; Gyllenpalm et al., 2010; Gyllenpalm & Wickman, 2011; 小林・大高, 2006; McPherson, 2001; 仁藤・今村, 2018)。

2点目は、仮説設定における学習者の実態に関するデータが蓄積してきたことである。学習者は仮説を立てた経験に乏しく (小林・永益, 2006), 仮説設定の能力が低いものの (Darus & Saat, 2014; 福岡・竹村, 1989; Guisasola et al., 2006; 今田・小林, 2004), その能力は学年進行とともに向上し (石井, 2001; Lawson, 1993; Piekny & Maehler, 2013), 性差は見られない (Hoover & Feldhusen, 1990) といった実態がこれまでに指摘されてきた。一連の実態調査を通して一貫している知見は、仮説設定では様々な認知的操作 (e.g., 変数の同定, 因果推論) やメタ認知が求められることから学習者にとって難易度の高いタスクとなっているということである (Arnold et al., 2018; Piekny & Maehler, 2013)。

2. 先行研究の課題と本研究の目的

仮説設定の概念が明確化され、学習者の実態に関する知見が蓄積されてきた一方で、仮説設定の指導や評価に関する研究は、第2章で後述する通り、研究者間で合意の得られた方法には至っていない。また、学習者の実態に関する調査も、実験室的な文脈で行われた

ものが多く、教室文脈の科学教育（i.e., 理科教育）における知見は不足している⁵。翻って、国内の理科授業においては、仮説を立てる時間を確保することの重要性は認識されつつあるものの、どのように仮説を立てるかの指導までは行われていないのが現状である。一般の教師向け理科教育書を調べても、知識や経験を根拠に仮説を発想させると述べられているのみで、具体的な仮説の立て方をどう指導すればよいかは述べられていない（e.g., 村山, 2013; 鳴川ら, 2019）。

このような現状を改善するためには、教室文脈での学習者の実態を詳細に調査し、学習者の実態に即した指導方略を考案する必要があるだろう。ここでの指導方略とは、いかにして仮説を立てるかという推論過程の指導に加えて、学習者の躓きを把握して指導改善に生かすという評価方法も含まれる。これらの指導と評価の一体化した指導方略が確立されることで、学校現場における仮説設定の指導の質の向上と、仮説設定を通じた学習者の科学的リテラシーの向上に貢献することが期待できる。

以上を踏まえ、本研究では理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案することを目的とする。

目的を達成するために、第2章では科学教育における仮説設定の先行研究を詳細にレビューし、先行研究の成果と課題を明確にする。それらのレビュー結果をもとに、第3章では本研究の全体的な目的を達成するためのリサーチクエスチョン（RQ）を複数設定する。第4章以降は、それぞれのRQに対応する実証研究を行い、第9章にて総括を行う。

⁵ 本論文では、科学教育の中でも特に学校の教室文脈における教科の教育を理科教育と表記する。

第2章 先行研究のシステマティックレビュー

第2章 先行研究のシステマティックレビュー

本章では、科学教育における仮説設定に関する先行研究のシステマティックレビューを行い、これまでの研究の成果と課題を明確化する。

第1節 システマティックレビューの手続き

文献レビューの方法にはナラティブレビューとシステマティックレビューの2種類がある。ナラティブレビューとは、著者が論文を意図的に選択して紹介する従来型の方法であり、本論文の第1章で行ったレビューがこれに該当する。一方、システマティックレビューとは、一定の条件に当てはまる論文を系統的に収集し、レビューの手続きを透明化することで再現可能性を高めた現代的な方法である。従来のナラティブレビューには、レビュー対象の論文の選択が恣意的であるといった批判があり、現在ではシステマティックレビューの方がより望ましいと考えられている (Cooper, 2017, pp. 9-12)。一方で、システマティックレビューでは手続きの再現性を高めるために論文誌や検索条件を固定することから、他分野の重要な関連研究を見逃す可能性がある。そこで本研究では、システマティックレビューを通して収集された論文の引用文献を精査し、重要な関連研究を補いながら考察を行う混合型のシステマティックレビューを採用する。

1. 論文の収集対象と検索基準

論文の収集にあたっては、国内外の科学教育に関する主要な学術論文誌である『日本理科教育学会研究紀要』、『理科教育学研究』、『科学教育研究』、『Journal of Research in Science Teaching』、『International Journal of Science Education』、『Science Education』、『Research in Science Education』及び、国内において理科教育に関する論文が見られる『日本教科教育学会誌』『臨床教科教育学会誌』を対象にオンラインデータベースを利用した検索を行った。これらの論文誌に掲載の論文は、査読を通して一定の質が担保されていると考えられる。検索におけるキーワードとしては、日本語論文については、「仮説」「仮説設定」「仮説形成」「予想」「アブダクション」、英語論文については「Hypothesis」「Hypotheses」

「Prediction」「Abduction」を使用して検索を行った⁶。検索に際しては、論文のタイトルとキーワードを対象にした検索方法を用いた。

オンラインデータベースを利用した検索において、日本語論文は国立情報学研究所が運営する「CiNii」を、英語論文は John Wiley & Sons が運営する「Wiley Online Library」、Taylor & Francis が運営する「Taylor & Francis Online」、Springer が運営する「Springer Link」を使用した。対象となる年代範囲は、各方法で閲覧できる最大範囲を採用した。また、論文の収集は2017年1月に実施した。収集対象、年代範囲、収集方法を表2-1に示す。

表2-1 収集対象・年代範囲・収集方法

論文誌名	年代範囲	収集方法
日本理科教育学会研究紀要	1959-1999	図書館（目視）
理科教育学研究	1999-2016	CiNii
科学教育研究	1977-2016	CiNii
Journal of Research in Science Teaching	1963-2016	Wiley Online Library
International Journal of Science Education	1979-2016	Taylor & Francis Online
Science Education	1916-2016	Wiley Online Library
Research in Science Education	1971-2016	Springer Link
日本教科教育学会誌	1976-2016	CiNii
臨床教科教育学会誌	2009-2016	CiNii

論文を収集した後、各論文の具体的な記述内容を確認し、仮説設定以外の研究を除外した。以上の手続きを経て収集した28件の論文を、本研究におけるレビュー対象とした。なお、前述の検索基準によって抽出された日本語論文は重複を含めて92件であり、仮説設定以外の論文として除外された論文は74件であった。同様に、抽出された英語論文は36件であり、仮説設定以外の論文として除外された論文は26件であった。除外された論文の例

⁶ 検索キーワードに用いた「アブダクション」「Abduction」は仮説設定における推論形式であり、仮説設定と同義とは言えないものの、仮説設定に関する論文で用いられることが多いことから検索キーワードに加えた。また、「予想」「Prediction」は、予想と仮説を混同した論文が見られたことから検索キーワードに加えた。

としては、「仮説検証 (Hypothesis-testing)」や「仮説実験授業」を主題とした研究などが挙げられる。

2. 論文の分類基準

システマティックレビューを通して収集した論文の内容を精査した結果、各論文で検討されている主なテーマは「仮説の定義」「思考過程」「評価方法」「指導」の4種類に分類することができた。「仮説の定義」とは、仮説という概念の定義について言及したり、その用法や意味認識の実態について検討した研究が該当する。「思考過程」とは、仮説設定の思考過程について検討した研究が該当する。「評価方法」とは、仮説設定に関する学習者のパフォーマンスの実態を評価したり、評価方法を開発・検討した研究が該当する。「指導」とは、仮説設定の指導において重要な要素や影響要因を検討したり、指導方法を開発し効果を検証した研究が該当する。

各論文が4種類のテーマを検討しているかを分析し、論文内で主題として扱われている場合には◎印を、主題ではないが少しでも検討がなされていた場合には○印を記録した(表2-2)。

第2節 仮説設定に関する研究の動向

1. 論文の収集・分類結果

システマティックレビューの手続きに従って仮説設定に関する先行研究を検討した結果、最終的に計28件の論文がレビュー対象として収集された。収集した論文を前述の基準に基づき分類した結果を表2-2および図2-1に示す。

表2-2に示したように、「仮説の定義」は◎が2件、「思考過程」は◎が3件と相対的に論文数が少ないことが読み取れる。また、収集論文に占める「指導」に関する論文の比率は、国内において61%（18件中11件）、国外において50%（10件中5件）となっており、国内において「指導」に関する研究の比率が相対的に高いことが読み取れる。ただし、用語の定義や学習者の詳細な思考過程を扱う研究が少なく、指導方法を検討する研究が多いのは、科学教育における論文全体の傾向であり（Lin et al., 2014, 2016, 2019）、これらの研究が相対的に少ないことは、仮説設定に関する研究に特有の傾向とは考えにくい。

また、図2-1に示した年代推移に着目すると、2000年代以降に仮説設定に関する論文数が増加していることが分かる。研究内容の内訳を見ると、2000年代以降の急激な論文数の増加は、国内における仮説設定の「指導」に関する研究に起因することが見てとれる。

本節では、システマティックレビューによって収集された表2-2の論文に加え、各論文で引用されていた重要な関連研究を補いながら、各テーマにおける研究成果と課題について順に考察する。

表 2-2 収集論文と検討されたテーマ

No.	文献	仮説の定義	思考過程	評価方法	指導
1	Atkin (1958)	-	-	-	◎
2	Quinn & George (1975)	○	-	◎	◎
3	Wright (1978)	-	-	-	◎
4	Pouler & Wright (1980)	-	-	◎	◎
5	福岡・竹村 (1989)	-	○	◎	-
6	Wenham (1993)	◎	-	-	-
7	中川・西川・根本 (1996)	-	-	◎	-
8	Tomkins & Tunnicliffe (2001)	-	-	-	◎
9	Park (2006)		◎	○	-
10	Guisasola et al. (2006)	○	◎	○	-
11	小林・永益 (2006)	-	-	-	◎
12	永益・小林 (2007)	-	-	◎	-
13	五島・小林 (2009)		◎	-	-
14	Oh (2010)	-	-	-	◎
15	金子・小林 (2010)	-	-	-	◎
16	Gyllenpalm & Wickman (2011)	◎	-	-	-
17	金子・小林 (2011)	-	-	-	◎
18	福本・白神・木下 (2012)	-	○	○	◎
19	益田・柏木 (2013)	-	-	-	◎
20	山田・小林 (2014)	-	-	◎	-
21	山田ら (2014)	-	-	○	◎
22	宮本 (2014)	-	-	-	◎
23	川崎ら (2015)	-	-	◎	-
24	山田ら (2015)	-	-	-	◎
25	山口・田中・小林 (2015)	○	-	-	◎
26	益田・半田・本郷 (2015)	-	-	-	◎
27	宮本 (2016)	-	-	-	◎
28	林・桂木・木下 (2016)	-	-	○	◎
	合計	○3 ◎2	○2 ◎3	○5 ◎7	○0 ◎18

◎：論文内で主題として扱われている場合，○：少しでも検討されている場合

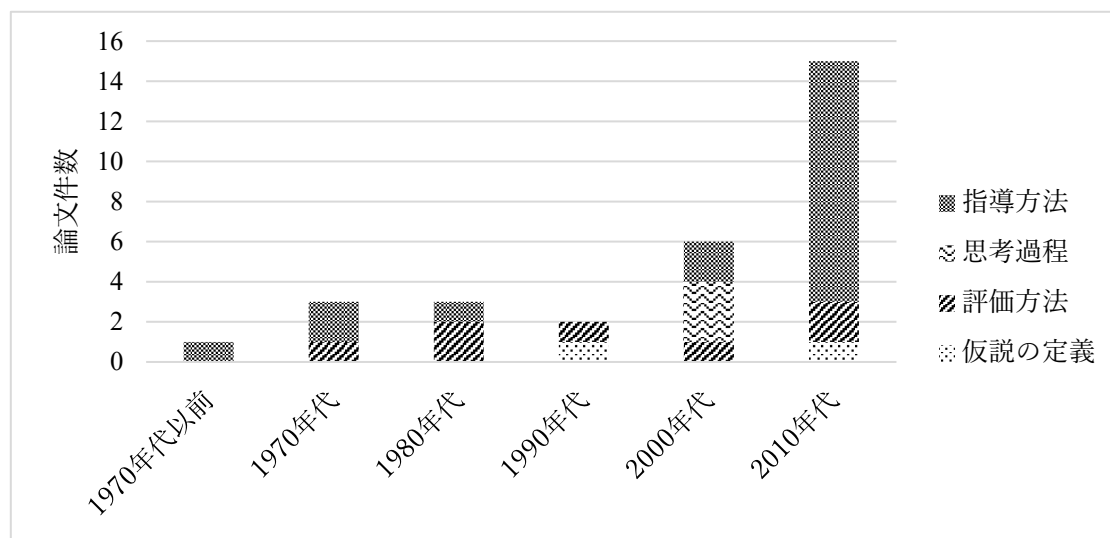


図 2-1 年代別の論文主題

2. 仮説の定義に関する研究動向

Wenham (1993) は、仮説 (Hypothesis) という用語が理科の授業において頻繁に用いられるにもかかわらず、科学教育の文脈において一貫した仮説の定義が定められていないことを指摘している。国内においても、仮説と予想の違いは明確でなく、仮説とは何かについての共通理解ができているとは言い難い (小林, 2007) ⁷。

このような混乱に対処するために、科学教育の研究者は予想と仮説が異なる概念であることを対比的に示すことで、仮説の定義を明確にしてきた (e.g., Lawson, 1995; McPherson, 2001; 丹沢, 2015)。例えば、Lawson (1995) は、仮説を「観察された現象に対して提案可能な説明」、予想を「仮説が正しいとしたときに予測される実験・観察の合理的な結果」と定義して、両者を区別している。

また、学習者によって立てられた具体的な仮説を分類することで、仮説の定義を細分化して整理する研究も試みられている。例えば、Wenham (1993) は、理科教育の文脈において用いられている仮説の種類を、説明仮説 (Hypothesis-as-explanation)、予想的仮説 (Hypothesis-as-prediction)、記述的仮説 (Descriptive hypothesis) の3つに分けて整理した

⁷ 平成 29 年告示の小学校学習指導要領解説には「根拠のある予想や仮説」という表記があり (文部科学省, 2018a), 予想と仮説が学習指導要領解説上で明確に区別されていないことが、日本の理科教育関係者の間で仮説と予想の違いが区別されない一因となっている可能性がある。

えで、包括的な仮説の定義を試みている。McComas (2014) は仮説の種類を、予測 (Prediction)、説明仮説 (Explanatory hypothesis)、一般化仮説 (Generalizing hypothesis) の3つに分類している。Park (2006) は被験者の立てた仮説を、仮説の論理構成に基づき、補助的仮説 (Auxiliary hypothesis)、論理的仮説 (Theoretical hypothesis)、経験的仮説 (Experiential hypothesis) の3つに分けて整理している。このように、仮説自体を分類してそれぞれの特徴を分析することで、仮説の包括的な定義が抱える多様性の問題に取り組もうとする試みが見られる⁸。

仮説の定義を明確化することが取り組まれてきたにもかかわらず、科学教育関係者の間で仮説とは何かの理解が進んでいるとは言い難い (McPherson, 2001)。仮説の定義に関する理解度の実態として、Gyllenpalm らは、教師や教員養成課程の大学生が仮説という用語を正しく理解していない実態を報告している (Gyllenpalm et al., 2010; Gyllenpalm & Wickman, 2011)。Gyllenpalm & Wickman (2011) は、スウェーデンの6大学の教員養成課程に在籍している32名の学生に対してインタビューを行い、多くの学生が仮説 (Hypothesis) を予想 (Prediction) の意味で使用していることを明らかにした。また、これらの混同の背景には、学習者の事前の考えを引き出すといった仮説設定の教育学的価値が過度に強調された結果、教育学的価値が達成されるのであれば仮説と予想を区別する必要が無いという考えがあることを指摘している。すなわち、これまでの研究では仮説と予想を混同することの問題点を定義の違いという観点から語るばかりで、それらの混同が教育上のどのような問題を引き起こすのかが議論されてこなかったことが問題視されているのである。

第1章第2節で言及した通り、仮説設定の学習には科学的価値と教育的価値の2つの側面があり、仮説の定義も2つの価値の中に位置付ける必要がある。科学的価値の中に仮説を位置づけるとは、自然科学の歴史の中で仮説の使用が受け入れられるようになった歴史的経緯を振り返り、現代的な科学の方法である仮説演繹法において仮説が果たす役割に基づき仮説の概念を明確化することを指す。教育的価値の中に仮説を位置づけるとは、自然科学と学校科学の異同に留意して後者における仮説の概念を再定義し、仮説と予想を混同

⁸ その他の仮説として、作業仮説 (Working hypothesis) がある。作業仮説とは、探究において一時的に機能する (working) ものであり、完全に真実であるとは信じられないかもしれないが、何が起きているのかを考えられるようにするために有用な仮説である (Peirce, 1958b)。作業仮説は、プラグマティズムの考え方に立脚している。

することで生じる教育上の問題点を整理し、仮説の概念を明確化することを指す。2つの側面から仮説の概念を明確化することで、科学教育における仮説の理解を促進できると考える。本研究では第4章において仮説概念の明確化に取り組む。

3. 思考過程に関する研究動向

仮説設定の思考過程に関する研究は、理論研究と実証研究の2種類に分類できる。理論研究の例として、福岡・竹村（1989）は次のように述べた上で、仮説設定の思考過程を図2-2のように整理している。

“仮説の設定とは、問題解決の過程において、子どもは[が]問題を把握して、問題解決のために自然の事象から情報を選択・収集して、推論して仮の結論を導き出すような一連の行為を言う。その際、子どもの持っている既存の概念を適用して仮説の設定にあたる。（福岡・竹村，1989，p.41）”

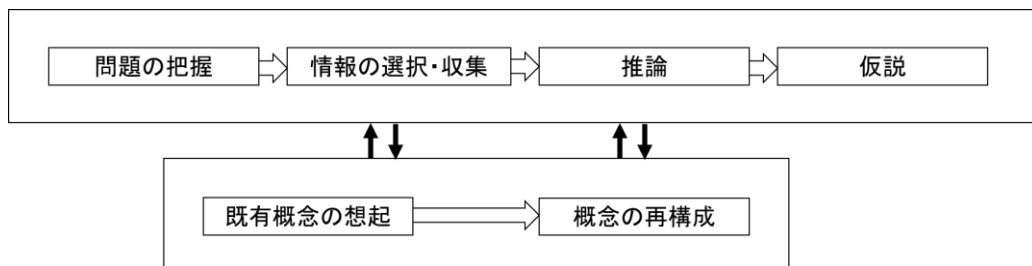


図2-2 仮説設定の思考過程（福岡・竹村，1989，p.41，図1をもとに作成）

福岡・竹村（1989）によるモデルでは、図2-2に示したように思考過程が2つの枠組みで整理されている。上段は情報処理のプロセス、下段は概念・知識へのアクセスを表していると考えられ、仮説の設定と並行して概念が再構成されることが想定されている。福岡らのモデルにおいて仮説設定の思考過程とは、目の前の問題状況に適合する既存の概念を当てはめる過程だと解釈されている。

その他のモデルとして、五島・小林（2009）は、川喜田（1967）のW型問題解決モデルを理科教育に合わせて修正した理科教育用W型問題解決モデルを提案している。このモデルでは、問題解決過程を細分化し、仮説設定に至るまでの過程として、「問題提起→情報

収集→観察→分類・整理→要約化→統合化→仮説設定」を想定している。福岡らのモデルとの相違点は、問題状況から得られた情報を自身の保持している概念に基づき解釈して仮説設定に至ると想定されている点である。仮説を構成する情報が自身の概念なのか問題状況から得た情報なのかという点が2つのモデルで異なっている。

前述の2つの研究における思考過程は著者の経験に基づいて提案された理論モデルであるのに対して、データに基づいて思考過程を検討した実証研究も存在する。初期の研究は、認知科学や認知心理学の分野において Bruner, Wason, Klahr, Dumber といった研究者によって取り組まれてきた。Bruner et al. (1956 岸本ら訳 1969) は、様々な色・形・数の図形が書かれたカードを複数示し、それらの背後にある規則性を発見させる規則発見課題を通して、仮説設定の際に使用される2つの主な方略（操作方略／焦点方略）を発見した。Wason (1960) は、自然数が書かれたカードの背後にある規則性を発見させる 2-4-6 課題を通して、被験者が使用する誤った方略として確証方略（確証バイアス）の存在を指摘した。2つの研究は規則を発見するという状況において、短期記憶を保持しながら複数の方略を用いる思考過程を検討している。

これに対して、Klahr らの研究では長期記憶の働きにも着目している。Klahr & Dunbar (1988) は、電子機器に存在する未知の機能を発見させる課題を通して、被験者が仮説を生み出す際に2つの方略が存在することを発見し、科学的発見の二重空間モデル（Scientific Discovery as Dual Search, SDDS）を提案した。二重空間モデルでは、問題状況に適合する自身の既存概念を探索する過程を「仮説空間の探索」と呼び、問題状況に働きかけて（i.e., 電子機器を実際に操作して）得られる情報を探索する過程を「実験空間の探索」と呼び、両者を区別した。このうち、仮説空間というのは自身が保持している既存概念や知識に相当する長期記憶であり、福岡らのモデルに類似している。他方、実験空間とは問題状況に働きかけて得られる情報に相当する短期記憶であり、五島らのモデルや Bruner, Wason のモデルに類似している。

一連の認知科学の知見は、仮説を立てる際に用いられる方略を短期記憶と長期記憶の利用という観点から整理した点で優れているものの、自然科学や科学教育における仮説設定の状況からは乖離している。科学における仮説設定の状況は、自然現象を対象としていることから理想化された認知科学の課題よりも複雑であり、逐次的に実験を行いながらインタラクティブに情報が得られるわけではない。そこで科学教育の研究者は、より実際の科学に近い課題を利用した研究に取り組んできた。

Park (2006) は、アルミパイプ内の磁石の落下速度が遅くなる理由について仮説を立てる課題を利用した面接調査を通して、大学生が仮説を立てる際の思考過程を検討した。その結果、参加者が立てた仮説のタイプと仮説に至る思考過程を表 2-3 に示す 3 つのタイプに分類した。

表 2-3 仮説のタイプと思考過程 (Park, 2006, Figure 6-9, pp. 481-485 をもとに作成)

仮説のタイプ	思考過程
論理的仮説 (Theoretical hypothesis)	① (自身の考えと) 矛盾した現象を観察する ② 現象が生じる理由を求める ③ 現象を説明できる仮説を既有知識から探索する ④ 現象と既有知識間の類似性に基づく推論を行う ⑤ 現象に関する既存の考えを棄却して、現象を説明できる論理的仮説を提案する
補助的仮説 (Auxiliary hypothesis)	① 現象を観察する ② 現象が生じる理由を求める ③ 現象を説明できる仮説を実験状況から探索する ④ 現象に関する既存の考えを維持して、実験状況についての補助的仮説を提案する
経験的仮説 (Experiential hypothesis)	① (自身の考えと) 矛盾した現象を観察する ② 現象が生じる理由を求める ③ 現象を説明するための補助実験を観察する ④ 問題現象と補助実験の現象の類似性に基づき、2つの現象を関係させる ⑤ 問題現象に関する既存の考えを棄却して、2つの現象の類似性に基づき経験的仮説を提案する

3つのタイプの仮説のうち、1つ目の論理的仮説とは、既存の考えを棄却して、自身の考えと矛盾した現象を説明した仮説である。このタイプの仮説では現象に関する既有知識が重要な役割を果たし、現象と既有知識を対応させ類推によって仮説を立てる思考過程が示されている。2つ目の補助的仮説とは、既存の考えを維持したまま現象を説明した仮説である。このタイプの仮説では、学習者が自身の考えに合う情報を実験状況から収集し、それをもとに仮説を立てる思考過程が示されている。3つ目の経験的仮説とは、論理的仮説と同様に、既存の考えを棄却して、自身の考えと矛盾した現象を説明した仮説であるが、関連した実験との類似性を検討している点が異なる。このタイプの仮説では、問題となっ

ている現象を関連した実験との類似性から説明する思考過程が示されている。Park のモデルでは、目の前の状況から得た情報（実験空間）と既有知識（仮説空間）のどちらが維持されるかによって仮説設定の思考過程を説明していることが特徴的である。

近年になると、fMRI（Functional Magnetic Resonance Imaging）の技術の発展にともない、認知神経科学の分野において仮説を立てる際の脳の活性化パターンが検討されるようになった。Nenciovici et al.（2019）は仮説設定の際の脳活動に関する一連の研究（Kwon et al. 2009; Lee & Kwon 2011, 2012）をレビューし、仮説設定において長期記憶の探索、短期記憶（ワーキングメモリ）の更新、長期記憶と短期記憶の関連付けが行われると結論付けている。この結果は、それまでの二重空間モデルの妥当性を支持するものである。

仮説設定の思考過程に関するこれまでの研究は、既有知識（長期記憶）と実験から得た情報（短期記憶）という2つの情報の利用という観点から仮説設定を説明することに成功してきた。その一方で、それらの情報をどのように用いて仮説として表現するかの推論過程の詳細は明らかになっていない。正しい知識が想起されたからといって常に仮説設定が成功するとは限らない。2種類の情報をどのように利用して仮説を形作るかの過程を検討する必要がある。また、仮説設定の推論を調節し自己修正する心の働きや動機づけの影響も検討されていない。これらの課題に取り組み、理科授業における仮説設定の思考過程に関する研究が蓄積されることで、仮説設定における学習者の躓きをより詳細にとらえることができるようになると考えられる。本研究では、第5章にて学習者が2種類の情報をどのように利用して仮説を設定するかの思考過程の実証研究に取り組む。また、第7章にて考えることへの動機づけが仮説設定にどのような影響を及ぼすのかを検討する。

4. 評価方法に関する研究動向

仮説設定は、明確な評価基準が定まっていないものの（小林，2017）、これまでに様々な評価方法が提案されてきた。本レビューでは、先行研究における評価方法を「学習者によって立てられた仮説やその根拠を対象とした評価方法」「仮説に至るまでの思考過程を対象とした評価方法」「仮説設定能力という構成概念を仮定した評価方法」の3種類に分類し、それぞれの詳細について検討する。

1種類目は、「学習者によって立てられた仮説やその根拠を対象とした評価方法」であり、仮説設定に関する初期の研究から採用されている。例えば、Quinn & George（1975）は、

科学哲学の研究を参考に、表 2-4 に示す仮説品質尺度（Hypothesis Quality Scale）を作成し、学習者が立てた仮説の科学性を仮説の品質として6段階で評価している。Quinnらは、3人の科学教育の研究者にこの尺度を用いて50個の仮説を得点化するよう求め、評価者間での十分な一致（i.e., 信頼性）を確認している。

表 2-4 仮説品質尺度（Quinn & George, 1975, TABLE II, p.290 をもとに作成）

点数	評価基準
1点	説明のないもの。 例えば、意味のない文、質問、報告、単一の具体的な対象についての単一の推測
2点	非科学的な説明。 例えば、「それは魔法だから」「誰かがボタンを押したから」
3点	部分的に科学的な説明。 例えば、変数の不完全な参照、否定的な説明や類推
4点	一般的・非専門的用語で少なくとも2つの変数を関連付けた科学的説明
5点	正確な科学的説明。変数の定性/定量化
6点	仮説の検証の明示的な記述 ⁹

また、Pouler & Wright（1980）は、仮説品質尺度を用いた評価や被験者の立てた仮説の数の評価を行っている。国内においても、福岡・竹村（1989）および中川・西川・根本（1996）は、英国のAPU（Assessment of Performance Unit）調査を参考に、1つの問題事象に対して被験者が立てた仮説の数を評価している。福本・白神・木下（2012）では、仮説の根拠や論理性を評価している。山田ら（2014）は、物の燃焼や消火に関する仮説について、酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できているかという観点から評価している。このような、未知の問題状況に対して被験者が立てた仮説自体を評価しようとする手法は近年も用いられ続けている（e.g., 林・桂木・木下, 2016; 川崎ら, 2015）。

2種類目は、「仮説に至るまでの思考過程を対象とした評価方法」であり、21世紀に入ってから開発が試みられている。それまでブラックボックス化されていた仮説設定の思考過程が科学哲学の分野において論理的分析の対象として扱われ始めたことを受け（e.g.,

⁹ ここでは、仮説の検証について述べた学習者は適切かつ正確に仮説を立てることが出来ているという仮定がなされている。

Hanson, 1958), 科学教育においても仮説に至るまでの過程が評価の対象となり始めた。例えば, Guisasola et al. (2006) は, 大学生の書いたレポートに見られる思考過程を分析し, 多くの学生が個人的な直感と学習された理論的枠組みを混ぜた仮説を構築していることを明らかにしている。また, Park (2006) は, 面接調査を通して仮説設定の思考過程を分析している。これらの研究では共通して, 仮説設定の思考過程を評価の対象としている。これは, 最終的に生成された仮説が同じであっても, そこに至るまでの思考過程によって評価が異なることを意味する。

3 種類目は, 「仮説設定能力という構成概念を仮定した評価方法」であり, これまでにいくつもの評価問題が開発されている。例えば, 永益・小林 (2007) は, 仮説設定能力の構成要素として独立変数の抽出に着目した測定を行っている。山田・小林 (2014) は, 仮説設定能力の構成要素として, 「従属変数を同定する能力」「独立変数を同定する能力」「因果関係を認識する能力」を仮定し, 表 2-5 に示す調査問題を用いた測定を行っている。また, Arnold et al. (2018) は, 仮説設定能力を「独立変数の同定 (Identify independent variable)」「従属変数の同定 (Identify dependent variable)」「仮説の形成 (Formulate hypothesis)」「仮説の正当化 (Justify hypothesis)」「代替仮説の提案 (Alternative hypotheses)」の 5 つの要素で整理している。これらの研究では, 仮説設定に必要な能力が複数の要素から構成されると捉えている点で共通している。

表 2-5 調査問題で設定された問い (山田・小林, 2014, p.352 をもとに作成)

測定する能力	設定された問い
従属変数を同定する能力	太陽の光は, 私たちの生活にどのような影響を与えているか。思いつくことをできるだけたくさん書きましょう。
独立変数を同定する能力	私は, 雪の斜面を下るそりの速さについて調べる実験をすることにした。少しでもそりのスピードを上げるには, どうしたらいいか。思いつくことをできるだけたくさん書きましょう。ただし, 斜面の角度だけは決まっていることとする。
因果関係を認識する能力	激しい運動をすると, 呼吸の回数や心臓の拍動はどうなるか。『…だから, …は, …になる。』という文章で説明しましょう。(※キーワードとして, 「酸素」「二酸化炭素」「肺」「血液」「栄養分」「エネルギー」を与え, これらを任意に用いて回答するように指示)

ここまで3種類の評価方法を紹介してきたが、これらの評価方法を比較すると、研究間で何をどのように評価するかが一定でないことが分かる。3つの評価方法ではそれぞれ、立てられた仮説の文章、仮説に至るまでの思考過程、仮説設定の下位能力と、評価の対象や観点が異なっていた。これは、最終的に立てられた仮説が同じでも、直感的に仮説を設定した者と、様々な変数を吟味・選択し仮説を設定した者では、前述の3つの評価方法では異なる評価が与えられることを意味する。具体的には、立てられた仮説自体を評価の対象とした場合には、両者に同じ評価が与えられることになる。一方、仮説に至るまでの思考過程を評価の対象とした場合には、後者の方が肯定的に評価される。仮説設定を能力という側面から評価する場合には、仮説設定の成否を仮説設定に必要な諸能力の高低という観点でとらえることになる。

どのような評価方法が望ましいかは、教育目標にも左右される。第1章第2節で仮説設定には科学的価値と教育学的価値があることを述べたが、どのような価値を強調するかによって仮説設定の評価基準も変わってくるはずである。また、評価の結果を指導改善に生かすのであれば、指導と評価を一体的に検討する必要がある。本研究では、第6章にてより妥当な仮説設定の評価方法を検討し、第8章で指導と評価を一体化させた指導方略の開発に取り組む。

5. 指導に関する研究動向

システマティックレビューによって収集された仮説設定の指導に関する18件の先行研究のうち、5件は仮説設定の指導全般に関わるポイントを検討したものであり、13件は具体的な指導方法を示すものであった。

前者の例としてTomkins & Tunnicliffe (2001)は、中学生を対象とした調査を通して、仮説設定に方向付けられていない観察であっても、その経験が後に仮説を立てる際の基礎となっていることを明らかにしている。これは、仮説設定の指導が当該過程において完結するものではなく、現象の観察といった前過程からの影響を考慮せねばならないものであることを示している。また、Oh (2010)は、仮説設定を促す教師の発問のカテゴリーとして、(1)生徒の背景知識の拡大と活性化、(2)類似内容の提示、(3)補助質問、(4)代替表現の促進の4つを同定している。これは、特定の種類の発問が仮説設定における補助として有効に作用する可能性を示唆している。

他方、仮説設定の具体的な指導方法に関する研究は「段階的な思考」「共有化」「4QS」「評価基準の提示」の4種類に分類できる。

1つ目の「段階的な思考」とは、順を追って段階的に仮説を考えていくことを促す指導法である。例として、福本・白神・木下（2012）は、仮説を論述する活動を7つの段階に分けたワークシートとそれらを用いた指導法を開発し、効果を検証している。また、Quinn & George（1975）は、教師と学習者が仮説設定の要点を確認しながら、仮説設定を段階的に進めていくというセッションを通して、良い仮説の立て方を教えることを試みている。これらの指導方法では共通して、推論の流れを提示したり意識化させたりすることで段階的に考えていくことを促しており、各段階で考えるべき内容や道筋が明確化されることで、仮説設定に困難を感じる学習者でも考える視点を持つことができると考えられる。また、段階を設けることで、学習者がどこで躓いているかの状況把握も容易になると考えられる。

2つ目の「共有化」とは、学習者が立てた仮説をクラスで共有・精緻化していく指導法である。例として、宮本（2014, 2016）は、生徒が個人で立てた仮説をクラスで共有し、教師との対話をもとに精緻化する指導法を実践している。このような仮説の共有による効果としては、仮説を立てられない学習者にも考えるきっかけを与えることができること、複数の仮説が吟味されること、仮説の批判的検討過程を共有できることなどが挙げられる。

3つ目の「4QS」とは、Cothron, Giese, & Rezba（2000）が提唱した“The four question strategy (4QS)”を用いて、仮説を導くための独立変数と従属変数の存在を意識化させる指導であり、図2-3に示すワークシートが開発されている。

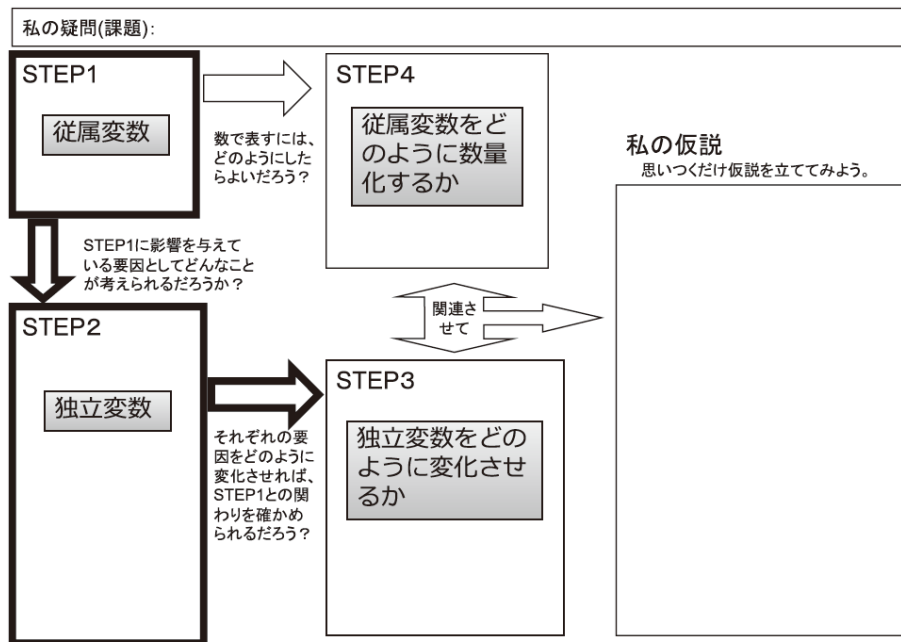


図 2-3 4QS をもとに開発されたワークシート
(山口・田中・小林, 2015, p.441, 図 3)

図 2-3 に示すワークシートの使用方法について、山口ら (2015) は以下のようにまとめている。

“STEP1 は、変化する事象を従属変数として簡潔に記述させる段階である。STEP2 は、従属変数に影響を及ぼす独立変数に気付かせる段階である。STEP3 は、STEP2 で挙げた独立変数を実験条件としてどのように変化させるのかを考えさせる段階である。STEP4 は、STEP1 で挙げた従属変数を数量としてあらわす方法を考えさせる段階である。このように、仮説設定シートは四つの STEP で構成され、最後に STEP3 と STEP4 とを関連付けて「...すれば、...は、...になる」というように仮説を記述させることができる (山口ら, 2015, pp.437-438) ”

このように、4QS による指導法は、段階的に考えていくことの促進という観点から見れば、「段階的な思考」と同じ特徴を有している。4QS 独自の特徴としては、独立変数と従属変数の意識化に重きを置いている点が挙げられる。4QS を用いた指導方法は多くの実践研究が行われ、その効果が確認されている (e.g., 金子・小林, 2010, 2011; 小林・永益, 2006)。

4 つ目の「評価基準の提示」とは、仮説の評価基準を示し、より上位の評価に達するよ

う繰り返し仮説の修正を行わせる指導法である。Pouler & Wright (1980) は、Quinn & George (1975) による仮説品質尺度を学習者に提示し、学習者が立てた仮説の得点をフィードバックすることを繰り返すことで、学習者の立てる仮説の質や量が有意に向上することを示している。これは、立てられた仮説というアウトプットの部分の直接的な改善を目指す指導法という点で、前述の3つの指導法と大きく異なる。

次に、各指導法の課題について考察する。「段階的な思考」「4QS」の課題としては、仮説設定の段階に関する理論的基盤の不足が挙げられる。これらの指導法の開発過程では仮説設定の思考過程に関する研究成果が参照されておらず、どのような段階を設定することが望ましいかに関する議論が不足している。「共有化」「評価基準の提示」の課題としては、仮説の立て方に関する指導や支援の不足が挙げられる。他者の立てた仮説や望ましい仮説が示されたところで、そこに至るまでの過程が支援されなければ、学習者はどのように仮説を立てればよいかで悩み続ける可能性がある。

今後は、各指導法の理論的基盤を明確にし、理科における学習者の思考過程に即した指導法の開発に取り組む必要がある。

第3章 本研究のリサーチクエスチョンと論文の構成

第3章 本研究のリサーチクエスションと論文の構成

本章では、前章で明らかになった先行研究の課題に基づき、本研究の目的を達成するためのリサーチクエスションを設定する。また、次章以降でそれらのリサーチクエスションにどのように答えるかの見通しを示す。

第1節 本研究のリサーチクエスション (RQ)

第2章のシステマティックレビューを通して明らかになった先行研究の課題は主に4点あった。

1点目の課題は、仮説の概念が十分に整理されていないことであった。これまでの研究を通して、仮説と予想の定義は異なるものであることが繰り返し主張されてきたものの、両者の概念的な区別が自然科学においてなぜ重要なのか、両者を混同することが教育上どのような問題を引き起こすのかという観点からの議論はほとんどされてこなかった。そこで、本研究では1つ目のRQとして「理科教育における仮説の概念はどのようなものか」を検討する。

2点目の課題は、仮説設定の思考過程の詳細が明らかになっていないことであった。先行研究においては、既有知識（長期記憶）と実験から得た情報（短期記憶）という2つの情報の利用という観点から仮説設定を説明してきた。しかしながら、それらの情報をどのように用いて仮説として表現するのかという推論過程の詳細や、推論を調節し自己修正する心の働き（i.e., メタ認知）の役割は検討されていない。そこで、本研究では2つ目のRQとして「理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか」を検討する。

3点目の課題は、どのような評価方法が望ましいかに関するコンセンサスがなかったことであった。先行研究では主に3種類の評価方法が試みられてきたものの、それぞれ評価の目標や妥当性に関する議論が不足していた。また、評価方法が定まらないことに起因して、仮説設定の質に影響する要因や因果メカニズムが明らかにされてこなかった。そこで本研究では3つ目のRQとして「仮説設定の質をどのように評価すればよいか」の問題に取り組んだ上で、4つ目のRQとして「何が仮説設定の質に影響するか」を検討する。

4点目の課題は、どのような指導法が望ましいかに関するコンセンサスがなかったことであった。先行研究では主に4種類の指導法が試みられてきたものの、各指導法が想定する学習のステップには理論的基盤が不足していた。また、指導法の中に評価が位置づけられて

おらず、学習者の状態に応じた適切な支援を行うことが検討されてこなかった。そこで本研究では RQ1~RQ4 までの成果を踏まえ、5 つ目の RQ として「仮説設定はどのように指導すべきか」を検討する。

以上の RQs を整理した結果は以下の通りである。

- RQ1：理科教育における仮説の概念はどのようなものか
- RQ2：理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか
- RQ3：仮説設定の質をどのように評価すればよいか
- RQ4：何が仮説設定の質に影響するか
- RQ5：仮説設定はどのように指導すべきか

次章以降、1 章につき 1 つの RQ を検討し、5 つの RQ の検討を通して本研究の全体的な目的である「理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案すること」の達成を目指す。

第2節 本論文の構成とRQの対応関係

本研究では5つのRQを順に検討するが、各RQは互いに関連している。RQ1を通して科学教育における仮説の概念が明確になることで、RQ2において検討すべき思考過程の範囲が定まる。また、RQ2を通して仮説設定の思考過程が明らかになることで、RQ3において評価の妥当性を検討することができる。RQ3を通して妥当性の高い評価方法が開発されることで、RQ4においてそれらの評価方法を用いた実証研究と影響要因の検討を行うことができる。RQ1~RQ4を通して、仮説設定における学習者の実態が明らかになることで、RQ5における学習者の実態を踏まえた指導法の開発が可能になる。これらのRQと章の構成の関係を整理すると図3-1のようになる。次章以降、これらの構成に従って研究を進める。

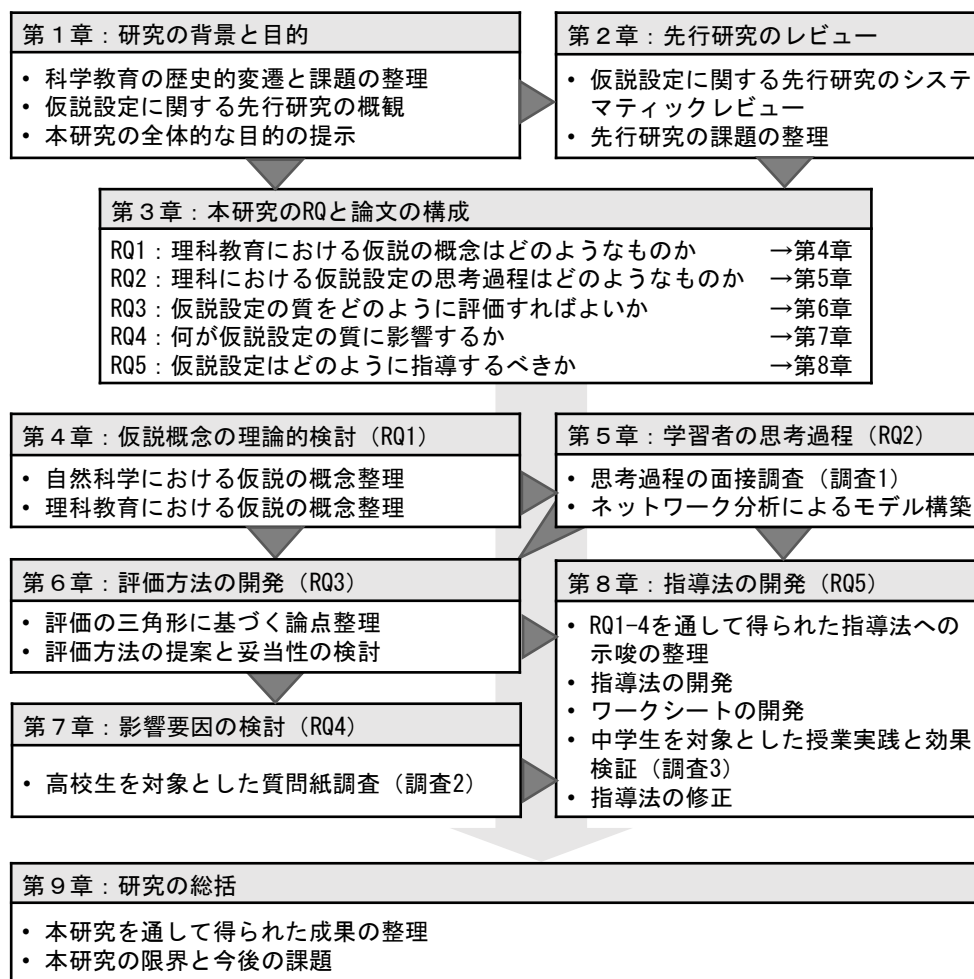


図3-1 本論文の構成と各章における検討課題

第 4 章 仮説の概念に関する理論的検討

第4章 仮説の概念に関する理論的検討

第1章では、仮説の概念を科学的価値と教育的価値の2つの側面の中に位置付ける必要があることを示した。本章では、第1節で、自然科学の歴史の中で仮説の使用が受け入れられるようになった歴史的経緯を振り返り、現代的な科学の方法である仮説演繹法において仮説が果たす役割に基づき仮説の概念（科学的側面）を明確化する。第2節では、自然科学と学校科学の異同に留意して後者における仮説の概念（教育的側面）を再定義し、仮説と予想を区別することの重要性について論じる。これらの検討を通して、「RQ1：理科教育における仮説の概念はどのようなものか」を明らかにする。

第1節 自然科学における仮説の歴史

佐々木（1996）によれば、自然科学の発展の歴史は、古代ギリシャの古典科学、17世紀の第一の科学革命によって誕生した近世自然科学、19世紀の第二の科学革命によって誕生した近代自然科学、という3つの区分で整理することができる。本節では各時代区分において仮説の概念がどのように変化していったかについて科学哲学の議論を参照しながら順に検討する。

1. 古典科学における仮説

古代ギリシャの古典科学は、主に理論数学と自然学の2つから構成されており（佐々木, 1996, pp. 28-31）、いくつかの原理や前提から演繹的に命題群を証明する形而上学的な理論を重視していた（西脇, 2004, pp. 101-105）。古代ギリシャの演繹的推論の代表的なものとして、哲学者アリストテレスによって考案された三段論法がある。三段論法は以下のように表現することができる（森田, 2010, p. 10-11）。

[P₁] G は F である（大前提）

[P₂] X は G である（小前提）

[C] ゆえに、X は F である（結論）

これを論理記号を用いて表現すると $P_1 \wedge P_2 \rightarrow C$ となり、演繹的推論は前提が正しければ常に正しい結論を導く。例えば、 $[P_1]$ すべての生物は死ぬ、 $[P_2]$ すべての人間は生物である $\rightarrow [C]$ ∴ すべての人間は死ぬ、という推論は、前提である P_1 と P_2 が正しければ常に正しい (i.e., 真理保存性)。

ここで、前提となる P はギリシャ語でヒュポテシス (ὕποθεσις) と呼ばれ、「下に置かれる (基礎に据えられる) もの」を意味していた。ヒュポテシスは、現在広く用いられている Hypothesis という単語の語源である (Harper, n.d.; 丹治, 1998)。このことから、古典科学において仮説は、議論の前提となる確実なものとして捉えられていたことが分かる。

2. 近世自然科学における仮説

17世紀のヨーロッパにおいて第一の科学革命がおこり近世自然科学が誕生すると、数学的論証と実験的検証に基づく実験的な科学が普及していった (野家, 2015, pp. 62-77)。例として、ガリレオは、地上の物体の運動を数量的に定式化し、ピサの斜塔の実験¹⁰や斜面実験を通して実験的検証を行った。このような実験を通して繰り返し観測された結果から一般化された知見 (e.g., 落体の法則, 慣性の法則) を導く過程で用いられた推論形式は帰納法である。帰納的推論は以下のように表現することができる (森田, 2010, p. 12-16)。

$[P_1]$ G であるような X_1 は F である。

$[P_2]$ G であるような X_2 は F である。

⋮

$[P_N]$ G であるような X_N は F である。

 $[C]$ ゆえに、すべての G は F である

帰納的推論では、個々の観測事実 P_N から一般法則 C を導いており、まだ観測されていない事例についてまで情報を引き出していることが特徴的である。自然界で起こる現象には

¹⁰ ピサの斜塔の実験は実際には行われていないのではないかとする説もあるが、ガリレオは1638年の著作『新科学対話』において同様の思考実験を試みている (野家, 2015, pp. 67-72)。

規則性があるという前提 (i.e., 自然の斉一性原理) が成立すれば、帰納的推論は正当化される。しかしながら、18 世紀の哲学者ヒュームは、自然の斉一性原理自体が帰納的推論によって導かれたものであり正当化することはできないと批判した (cf. ヒュームの帰納法の難問, 森田, 2010, pp. 14-16)。このような問題から、帰納的推論には真理保存性が無く妥当な論証とは言えないものの、前提には無い新しい情報をもたらすことから、有用な推論であると考えられている (戸田山, 2005, p. 51)。観測事実 P_N が繰り返し観測されることによって、結論 C の蓋然性が高まっていくことになる。

帰納的推論に基づく実験的な科学が普及していく中で、観測事実 P_N を得る前に、仮説 H を設定するべきかどうかは研究者間で意見が分かれていた。18 世紀初頭、ニュートン (1713 中野訳 1977) は「われ仮説を作らず」と述べ、帰納的な論証と仮説を区別した上で、仮説を立てる行為を否定した。当時の自然科学における仮説に対する考え方の相違について丹治 (1998) は、以下のようにまとめている。

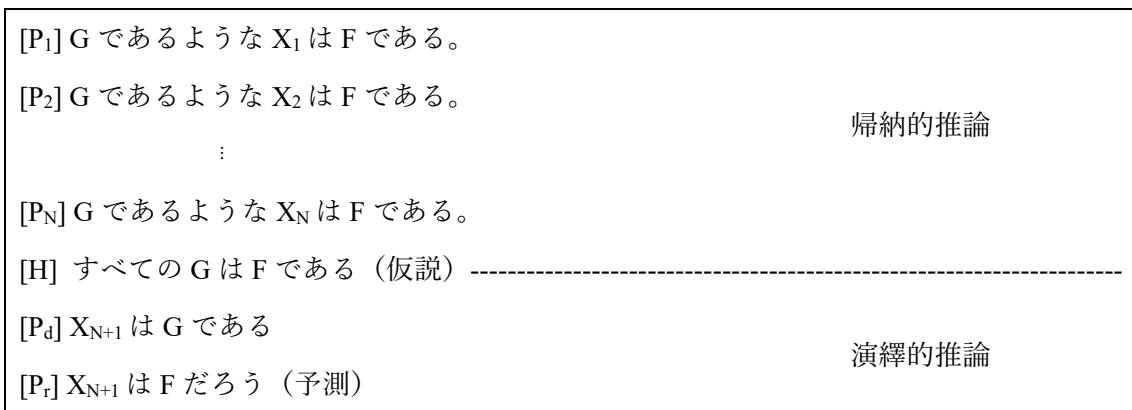
“科学における仮説の使用をめぐることは、とりわけイギリスの科学者たちと大陸の科学者たちの間で大きな対立が生じた。ニュートンの考えでは、科学的知識とは、個別の観察事例から出発して、帰納法によって確実に〈証明〉されるべきものであり、天下一の的に立てられる仮説など、科学の中には場所をもたない。それに対してライプニッツは、自然についての理論は決して確実な証明などできるものではなく、科学において仮説を利用することは不可欠であると考えた。ニュートンが、『自然哲学の数学的諸原理』第 2 版 [1713] で「われ仮説を作らず」と書いたのは、このような脈絡においてである。彼にとって、万有引力の法則が成り立っていることは帰納法によって証明されることであるが、しかし、万有引力の原因が何であるかについての〈仮説〉を立てることは、科学者のなすべきことではなかったのである。(丹治, 1998, p.239) ”

このように、近世自然科学においては、仮説を利用することについて意見が分かれていたことが分かる。ニュートンは帰納と仮説を明確に区別しており、彼の著作は「仮説とは経験的な証明を欠いた単なる推測にすぎない」という考え方を一般に広めることになった (内井, 1995, p. 20)。一方、ライプニッツを中心とするヨーロッパ大陸系の科学者は、自然についての理論は決して確実な証明をできるものではなく、仮説の使用は必要不可欠だ

と考えていた。

3. 近代自然科学における仮説

19世紀に入ると、ヨーロッパを中心に第二の科学革命が起こり、大学において科学の専門職業化が実現し、近代自然科学が誕生した（佐々木，1996）。そして、近代自然科学においては「自然についての確実な証明は不可能であり、仮説の利用が不可欠である」という認識が一般化し、観察事例から帰納的推論によって仮説を立て、そこから演繹的に観測されていない事象を予測・検証するという仮説演繹法が理論構築の標準的な方法であると考えられるようになった（Hepburn & Andersen, 2021; 森田, 2010, pp. 23-24; 丹治, 1998）。仮説演繹法は以下のように表現することができる¹¹。



仮説演繹法では、個々の観測事実 P_N から帰納的推論によって仮説 H を導き、その仮説が正しいと仮定した場合に観測されるであろう予測 P_r を演繹的推論によって導いている。実際に、実験によって予測通りの観測事実が得られた場合、仮説の蓋然性が高まることになる。例えば、ダーウィンは、生物の変異に関する膨大な観測事実 P_N から環境と変異が関連するという仮説 H を設定し、そこから仮説 H が正しいと仮定した場合の予測 P_r として「共通の祖先から異なる特徴を持った子孫へ分岐する」という進化論を提唱し、その後の実験

¹¹ この例では、仮説を生み出す推論として帰納的推論を用いたが、その他にも類推、アブダクションといった様々な非演繹的推論が用いられることがある（戸田山, 2011, p. 101）。

や観察によって検証を行った¹²。

仮説演繹法は、帰納的推論と演繹的推論を組み合わせることで、それぞれの長所と短所を補いあっている（野家，2015，pp. 118-121）。帰納法のような非演繹的推論は、真理保存的ではないため誤った推論となるリスクがあるものの、前提となる観測データ以上の情報を持った結論を導くことができるという性質を持つため、仮説の設定に有用である。他方、演繹的推論は前提となる仮説以上の情報量を与えないものの、仮説が正しいことを前提とした真理保存的な確実な結論を導くことができることから、結果の予測に有用である。これら 2 種類の推論を組み合わせることで、情報量を増やしつつより確実な推論を実現することが可能になる。

19 世紀末になると、ドイツのオストヴァルトを中心とする現象論者とオーストリアのボルツマンを中心とする原子論者の間で古典的な仮説である原子論を物理学に取り入れるかどうかで論争が生じた。第一の科学革命と近世科学の発展は、物理学の実証的な側面を強化しており、原子や分子といった観察不可能なものを物理学に取り入れることに対して抵抗感を持っていた。例えば、物理学者のマッハやオストヴァルトは、実証主義的な立場から、原子論のような仮説を物理に認めることに異を唱えた（小林，1996，p. 45）。これに対して、ボルツマンは、人間が任意に設定した「思惟描像」を出発点として、そこから演繹的に経験法則を導出するという方法で物理理論を構成し、その後で初めて経験との照合が試みられると考えていた（小林，1996，p. 46）。すなわち、理論の構成において仮説を設定することを肯定的に捉えており、仮説を設定することで将来の検証に役立つと考えていた。結果として、ボルツマンは原子論に基づく分子運動論を統計力学という形で展開し、その後の実験によって正しさが認められていくことになる。

このように、近代自然科学が観察事実や経験的法則の集積を越え、直接観測できない範囲について理論構築を目指す中で、観測可能な範囲を超えた仮説を設定することの重要性が生じたのである。また、仮説は目に見えない世界についての言明であり、直接検証することができないことから、仮説が正しいとした場合に観測可能な範囲で生じる予測を設定し、それらを観察することで、間接的に仮説の正しさを検証する仮説演繹法の枠組みが用いられることになる。その後、20 世紀においても様々な仮説が設定され（e.g., ホログラフ

¹² ダーウィンの進化論に仮説演繹法を当てはめることの是非については議論があるが（伊勢田，2003，pp. 40-57），ここでは仮説演繹法の事例を示すことを目的としているため触れない。

ック原理), 今なお仮説演繹法の枠組みに基づく検証が続けられている。

4. 発見の論理

20世紀に入ると、科学哲学の分野において、仮説演繹法を前半の「発見の文脈」と後半の「正当化の文脈」の二段階に分けて捉える考え方が浸透し、正当化の文脈のみが論理的な過程として分析の対象とされた。そして、発見の文脈に該当する仮説設定の場面は論理的分析の必要ないものとして、研究の対象から外されてきた (cf. 論理実証主義)。例えば、Popper (1968) は、科学的仮説は科学者の推測や自由な創造、詩的な直感力の結果にすぎないと主張している。また、Feynman (1965) も仮説設定はただの推測であると主張している。彼らは、実験や観察によって仮説が正当化できるのであれば、仮説自体の生成過程はどのようなものであっても良いと考えていたのである。

一方で、1950年代以降、仮説設定を論理的・合理的な過程として定式化しようとする試みが多くなされるようになった。Hanson (1958 村上訳 1986) は、科学者が実際に行う推論を分析し、アメリカの論理学者パースの提案した推論形式であるアブダクション (Abduction) によって仮説が立てられることを示している。アブダクションは以下のように表現することができる (Peirce, 1958a, pp. 188-189)。

驚くべき事実 C が観測される
 A が真であれば、C は当然のことである
 よって、A が真だと考えられる理由がある。

例えば、内陸で海洋魚の化石が見つかるという驚くべき事実 C が観測されたとき、その一帯がかつて海であったという仮説 A が真であれば、観測事実 C は当然だと解釈できる。そこで、仮説 A を真だと考え、検証を進めるといふ推論がアブダクションの例である。仮説演繹法においては帰納的推論によって仮説を設定していたのに対して、パースの提案は、より飛躍の大きい推論形式の存在を提案するものであった。また、それまで論理的分析の対象から外されてきた仮説設定の過程を論理的分析の対象として定式化したことに重要な貢献があった。

その後も多くの研究者によって、発見の文脈の推論形式の定式化が試みられていった

(e.g., Koestler, 1964 大久保・松本・中山訳 1966; Blackwell, 1969; Kuhn, 1970 中山訳 1971)。現在では、帰納的推論とアブダクションの他にも、類推に基づく推論など、多様な非演繹的推論が仮説の設定に用いられることが支持されている (e.g., Holyoak, 1985; 鈴木, 2020)。本節で登場した推論の種類をまとめると表 4-1 のようになる。これらの演繹的推論と非演繹的推論を組み合わせることで、仮説演繹法による推論が可能になる。

表 4-1 推論の種類 (戸田山 2005, p. 51 を一部改変)

	演繹	非演繹		
		帰納	アブダクション	類推
特徴	前提に暗に含まれていた情報を取り出す	個々の事例から一般化する	一番良さそうな説明を考える	類比的に知識を拡張する
真理保存性	○ (前提が真ならば結論も真)	× (前提が真であることは結論が真であることを論理的には保証しない)		
情報量	増えない	増える (結論には前提に含まれていなかった情報が付け加わる)		

5. 科学的説明論

近代自然科学において、目に見えない世界を説明するものとして仮説の価値が認められるようになったが、何をもって科学的な説明とみなすかについては科学哲学分野を中心に多くの議論が生じた。一連の議論を通して明らかになったのは、科学的説明にはいくつかの種類があるということである (戸田山, 2005, pp. 97-127)。代表的なものとしては、一般的法則から演繹的に説明を導出するヘンペルの DN モデル (Hempel, 1965 長坂訳 1973)、原因と結果の関係を説明するサモンの因果メカニズムモデル (Salmon, 1984) などがある。このうち、DN モデルについては演繹的推論が持つ情報量に関する特徴から、仮説設定における説明とは親和性が低い。そこで、因果メカニズムモデルに基づき、仮説=現象に内在する因果メカニズムの説明と解釈すると、新たに因果とは何かという問題が生じる。

因果とは何かというテーマについても、科学哲学分野を中心に多くの議論がある。その中でも、現在最も有力だと考えられているのが介入理論 (Woodward, 2003, 2015) である。介入理論とは、2つの変数 X と Y について、X に介入して Y を変化させることが可能であ

る場合、XはYの原因であると考えられる理論である。これらの考え方に基けば、科学における仮説は現象に内在する変数間の因果関係を説明するものであり、原因となる独立変数への介入によって結果となる従属変数がどのように変化するかを示すものだと解釈できる。

6. 仮説演繹法の限界

仮説演繹法の枠組みにおいては、仮説から導かれた予測が実験や観察によって支持されたかによって、仮説の正しさを判断する。しかしながら、この枠組みには構造的な限界も指摘されている。

ある実験結果が予測通りであったとしても、同一の予測を導くことのできる仮説（理論）は複数考えられることから、事前に立てた仮説が絶対的に正しいと判断することはできない。例えば、太陽が東から昇り西へ沈むという予測は、天動説と地動説の両方から導かれる。このような状態を過小決定と呼び、観測データが少ない場合は提案可能な仮説が無数にあることから特に問題となる。

反対に、ある実験結果が予測と一致しなかった場合、仮説を構築する理論体系の一部を修正することで、仮説を擁護することができてしまう。アメリカの哲学者クワインによれば、実際の自然科学における理論は複数の命題から構成されるものであり（cf. 全体論）、一部の補助的な命題が反証されても理論自体が決定的に反証されることにはならない（cf. デュエム＝クワイン・テーゼ）。

また、そもそも実験結果の解釈は研究者が持つ理論に影響されており、同じ実験結果であっても予測と一致したと判断するかは研究者によって異なるという問題もある（cf. 観察の理論的負荷性: Hanson, 1958）。これらの限界から、仮説演繹法の枠組みにおいて、仮説は決定的に確証／反証することはできず、実験や観察によって導かれるのは蓋然性が高まるかどうかの支持に留まる。繰り返しの支持が集まることで仮説は理論（Theory）として受け入れられるようになる。

7. 本節のまとめ

自然科学の発展の歴史の中で、仮説の概念やその使用に対する態度は変化してきた。古典科学において確実な前提と考えられていた仮説は、近世自然科学以降は不確実な仮の命題だと考えられるようになる。一方で、その不確実性は、自然科学が目に見えない世界の

説明を試みるようになる中で、法則からの演繹の限界を乗り越える上で重要な価値を持つとも考えられるようになった。近代自然科学以降は、非演繹的推論によって仮説を設定し、その仮説からの演繹的推論によって予測を導き、実験や観察結果との一致／不一致によって仮説の蓋然性を判断する仮説演繹法が確立し、現代の科学の方法のスタンダードになっている。ここで仮説とは、現象に内在する因果メカニズムの説明であり、独立変数への介入によって従属変数がどのように変化するかを示すものであった。

第2節 理科教育における仮説の概念整理

前節では、科学哲学分野の研究に基づき、自然科学における仮説概念について検討した。本節では、理科教育分野の先行研究における仮説の定義を抽出し、当該分野における仮説の概念について検討する。その際、自然科学と学校科学の異同に留意して後者における仮説の概念を明確化する。最後に、仮説と予想を区別することの教育学的な重要性について論じる

1. 理科教育における仮説の定義の抽出

理科教育分野における仮説の概念を検討するために、当該分野の過去100年間の文献から仮説の定義に関する記述を収集し、定義を比較した。具体的には、第2章で収集した論文に加え、国内の大学図書館3か所で収集した理科教育に関する書籍から、仮説とその関連語の定義についての記述を抽出した。収集した文献から仮説に関連する用語の定義を抽出した結果を表4-2に示す。

表4-2 仮説に関連した用語の定義

文献	用語
	定義
大嶋（1920）	假説
	従来吾人の知る法則では説明することのできない事実に遭遇した時、之等の事実を説明しやうとして設くる一種の科学的想像
高野（1969）	仮説
	科学においてある現象を説明するのに用いられ、その確実さが経験的な方法でまだ実証されない仮定
伊藤（1974）	仮説
	多くのデータを解釈し、多くの事実に一般的に通用する原理や法則が提出されたもの
徳光（1975）	仮説
	いろいろな事象を統一的に説明するために設ける仮の前提
荻須・乾（1975）	仮説
	合理的説明のために仮りに立てた説
	予想
	まえもってこうなるだろうと想像すること

Quinn & George (1975)	仮説 (Hypothesis)
	所与の問題状況における検証可能な変数関係の説明
Gilbert & Matthews (1986)	仮説 (Hypothesis)
	説明を提案し、予想を構成すること
岡田 (1986)	仮説
	複数の類似の事実や現象を統一的に説明するために設けられた、仮の前提である
高橋 (1986)	仮説
	観測された事実から一般に立とうとするようにまとめられた経験法則を、説明・理由づけするために、人間が考察するもの
	作業仮説
	具体的な作業を遂行する上での仮説
竹下 (1988)	仮説
	複数の事象が生起する原因やメカニズムを矛盾なく説明するために、暫定的に設定された命題
SEAC (1990)	仮説 (Hypothesis)
	なぜそのようにして現象が起きたのか (あるいはこれから起きるのか) についての理由の説明であり、「私はこう思います。なぜなら…」という発言で特徴づけられる。
	予想 (Prediction)
	仮説 (Hypothesis) と明確に区別されるものであり、何が起きるかといった発言で特徴づけられる。
Lawson (1995)	仮説 (Hypothesis)
	観察された現象に対して提案可能な 1 つの説明。すなわち、特定の結果に対する可能な原因の説明。
	予想 (Prediction)
	仮説が正しいとしたときに予測される実験・観察の合理的な結果
Guisasola et al. (2006)	仮説 (Hypothesis)
	探究の過程を導く暫定的な説明
角屋・林・石井 (2009)	仮説
	事物・現象から見いだした問題を合理的に説明するために、前もって仮に立てた考え。
Gyllenpalm & Wickman (2011)	仮説 (Hypothesis)
	観察された現象に関する暫定的な説明
山口・田中・小林 (2015)	説明仮説
	ある事象を説明するための仮説
	作業仮説
	作業を伴う仮説

表 4-2 に示すように、仮説に関連した用語の定義には、いくつかの共通点が見られる。例えば、仮説・仮説設定・説明仮説には共通して「説明」という用語が含まれていることがわかる。また、「一時的」「仮」「暫定的」といった説明の暫定性の強調が複数の定義に見られる。これらのことから、仮説とは暫定的な説明であると捉えられていることが分かる。説明する対象については、「変数関係」、「原因やメカニズム」、「現象が起きた理由」と表現が異なるが、これらはどれも現象に内在する変数間の因果関係を指していると解釈できる。また、仮説・説明仮説と予想はその意味に基づき明確に区別されていることがわかる。先行研究の中には仮説と予想を同等のものとして捉える考え方 (e.g., Gilbert & Matthews, 1986) も存在するものの、多くの研究においてこれらの用語は明確に区別されている (e.g., Gyllenpalm & Wickman, 2011; Lawson, 1995; McPherson, 2001; 丹沢, 2015)。これらの特徴は、前節で検討した自然科学における仮説／予想・予測の現代的な解釈と一致している。

一方、仮説設定の状況については、「現象・事象」、「所与の問題状況」、「与えられた情報」など、目の前の状況や現象・事象から情報を得られる局面であるという点で共通しているものの、表現には違いがみられる。自然科学における仮説は観測された現象に対して立てられることが多く、観測事実に基づいて仮説が立てられない事例は理論物理や宇宙物理といった各領域の特徴に起因する。また、自然科学においては科学者の興味・関心に沿って研究対象が決定される。それに対して、理科教育の文脈においては、学校教育の制約から、問題となる事象が学習者に具体的に示されるとは限らない。例えば、小学校第5学年「流れる水の働き」の単元では、川の上流と下流の石を比較し、流水の働きについて仮説を立てることが考えられる。ここでは、写真が示されることはあっても、川に出向いて上流と下流の石を目の前に仮説を立てることは現実的ではない。

このように、理科教育においては、仮説を立てる際に現象・事象がいつも目の前にあるとは限らないという制約の下で探究を実施している。また、現象・事象は学習目標に照らして教師によって選択・提示される。これらのことを踏まえれば、問題状況という表現をもって、実際の現象や現物が目の前に示されない状況における仮説を内包することが、理科教育固有の仮説の定義として必要になると考えられる。

以上を踏まえ、本研究では理科における仮説および仮説設定を次のように規定した。

仮説	：目の前の問題状況に対する暫定的な説明
仮説設定	：目の前の問題状況に対する暫定的な説明の構築

ここで説明とは、現象に内在する因果メカニズムの説明であり、独立変数への介入によって従属変数がどのように変化するかを示すものである。理科授業の中で単元の学習内容に関連する現象が教師によって示される状況で、学習者はその現象に内在する因果関係を考えることが求められることになる。そして、その仮説が正しい場合に得られる実験結果を予測し、実験に取り組むことになる。

ただし、理科授業において仮説の設定は常に必要とは限らない (Lederman et al., 2014)。探究の目的が、現象に内在する法則やメカニズムを明らかにすることではない場合や、仮説と実験方法が既知の場合、学習者が仮説を立てる必要がない。例えば、小学校理科におけるものづくりのように工学的アプローチを採用する場合、試行錯誤を経て適切に動作するプロダクトが完成すればよいのであって、わざわざ仮説演繹法の枠組みを採用する必要はない (Andersen & Garcia-Mila, 2017)。また、鉱物の分類のような記述的研究においては、仮説を立てることが必ずしも必要とされない (福田・中村, 2016)。

2. 仮説と予想を区別することの重要性

第2章第2節で指摘した通り、これまでの先行研究は仮説と予想を混同することの問題点を定義の違いという観点から語るばかりで、それらの混同が教育上のどのような問題を引き起こすのかが議論されてこなかった。その結果として、理科教育の関係者の間で、仮説と予想を識別する必要性が見出されていないという実態があった。そこで本項では、仮説と予想を区別することの重要性について整理する¹³。

現代の科学の方法である仮説演繹法の枠組みにおいて、仮説と予想は明確に区別されている。仮説とは、現象に内在する因果関係を説明するものであり、予想とは、仮説が正しいとした場合の実験結果の想定であった。仮説は目に見えない世界についての言明であるので直接確かめることができないが、予想と一致する結果が得られた場合には蓋然性が高まり暫定的な説明として保持されるという特徴があった。これらの科学の営みの性質（NOS）を理解することは、第1章第1節で述べた通り科学教育の重要な目標の1つとなっており、仮説と予想を区別することはNOS理解の観点から重要である。

また、仮説は非演繹的推論によって導かれるのに対して、予想は演繹的推論によって導かれるという違いもあった。このことは、それぞれをどのように考えればよいかの指導方法が異なることを意味する。仮説の指導においては、これまでの観測データ、知識、経験に内在する因果関係の説明を拡散的に考える必要があり、学習者の創造性やある程度の曖昧さが許容される。一方、予想の指導においては、仮説が正しい場合にどのような実験結果が得られるかを収束的に考える必要があり、理論的に厳密な推論が求められる。

仮説と予想はそれぞれ使用される言語表現も異なる。予想は、目に見える世界の実験結果の想定であり、直接観測できる対象や性質を表す言葉（観察語）で表現される。一方、仮説は、目に見えない世界についての想定であり、観察語に加えて直接観測できない理論的な対象を表す言葉（理論語）も用いられる。このような言語表現の違いは、理科教育における指導方法の違いに直結する。

¹³ 本項で議論する「区別」とは、仮説と予想の概念的な区別であり、単純に表現を書き分けることのみを重視しているわけではない。学校現場においてこれらの単語は、「予想や仮説」のように一括りに表現されることもあれば、分けて表現されることもある。一括りに表現したからといって直ちに誤った概念的な理解をしているとは限らないし、分けて表現したからといって直ちに正しい理解をしているとも限らない。表面的な表現ではなく、概念的な区別に焦点を当てる必要がある。

仮説と予想の指導方法が異なることは、両者を区別することの重要性を示すものである。教師が両者を混同している場合、適切な指導が行われず、学習者の科学的リテラシーが育成できないという問題が生じ得る。例えば、仮説と予想が同じものであると考えて指導が行われた場合、本来は直接検証することのできない仮説を実験によって直接検証することになり、理科授業における実験は生徒を納得させるためのレトリックに成り下がる可能性がある。このような事態を避けるためにも、教師は仮説と予想の違いを正しく認識し、指導に還元する必要があると考えられる。

第3節 本章のまとめ

本章のリーサーチクエスチョンは、「RQ1：理科教育における仮説の概念はどのようなものか」であった。第1節では、自然科学における仮説の歴史を整理し、これまで仮説の概念やその使用に対する態度が変化してきたことを確認した。近代自然科学以降は、非演繹的推論によって仮説を設定し、その仮説からの演繹的推論によって予測を導き、実験や観察によって検証することで仮説の蓋然性を判断する仮説演繹法の枠組みが広く採用されていると考えられる。ここで仮説とは、現象に内在する因果メカニズムの説明であり、独立変数への介入によって従属変数がどのように変化するかを示すものであった。理科教育においても仮説の定義はほぼ同一であるが、説明の対象となる現象が教師から与えられる点に自然科学との違いがあった。また、理科教育においても仮説と予想・予測は明確に区別されるものであり、それらを混同することは教育上の不利益を生じさせる可能性がある事を示した。

第 5 章 仮説設定における学習者の思考過程

第5章 仮説設定における学習者の思考過程

第4章では、仮説の概念の整理を通して、仮説が非演繹的推論を通して設定されることを確認した。ただし、これはあくまでも論理の形式であって、実際の思考過程はより複雑な過程をたどることが考えられる。第2章第2節で確認した通り、仮説設定の思考過程に関する先行研究においては、既有知識（長期記憶）と実験から得た情報（短期記憶）という2つの情報の利用という観点から仮説設定を説明してきた。しかしながら、それらの情報をどのように用いて仮説として表現するのかという推論過程の詳細や、推論を調節し自己修正する心の働き（i.e., メタ認知）の役割は検討されていなかった。そこで本章では、大学生・大学院生を対象とした面接調査を通して、仮説設定における推論過程の詳細を分析し、「RQ2：理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか」を検討する。

第1節 調査のデザイン

1. 調査の概要

仮説設定における学習者の思考過程の詳細を明らかにするために、大学生・大学院生を対象とした面接調査を実施した。面接調査では、科学が関わる身近な問題事象を6つ用意し、それぞれに対して考えていることを常に話しながら仮説を立てるよう求めた（i.e., 発話思考法, Ericsson & Simon, 1984）。また、回答終了後、仮説を立てるまでの思考を言葉にして振り返ることを調査協力者に求めた。調査終了後、得られた発話プロトコルをコーディングし、どのように情報を処理していったかの推移を数量的に記録した。そして、ネットワーク分析の手法を用いて、調査協力者間で共通した仮説設定の思考過程の全体的な傾向を検討した。

2. 調査の対象・時期

面接調査は広島県内の大学生・大学院生計16名を対象に、平成28年2月～4月に実施した。調査協力者のサンプリングに際しては、学年、専攻、男女比、文系理系比率に偏りが生じないように配慮した。調査対象を大学生としたのは、考えていることを話しながら仮説を立てるという作業の難易度の高さと調査時間の負担を考慮してのことである。1名当たりの面接時間は約80分であった。

3. 調査問題

仮説を立てる問題事象として、科学が関わる身近な問題事象を6つ用意した。第2章第2節で述べた通り、先行研究における思考過程の調査は、理想化された規則発見課題を用いることが多く、実際の自然科学における仮説設定とはかけ離れた状況であることが課題であった。そこで本研究では、科学が関わる身近な事象を問題として用いた。その際、自然科学に関する高度な知識が求められる題材を用いると、本調査が焦点を当てる情報の処理の過程の検討に適したデータが得られない可能性があると考え、誰もが考えるきっかけを持ち得る身近な事象を題材として使用した。

調査問題の作成に際しては、物理、化学、生物、地学の4領域から均等に題材を用意し、恣意的な問題事象の選択、特定分野への集中、高度な知識への依存が起これないように配慮した。また、第4章第1節で整理した通り、仮説演繹法の枠組みにおいて、仮説を導く推論形式には主に3つの種類があったことから、幅広い仮説設定の状況を網羅するためにそれぞれに対応する問題を用意した。調査問題の内容および文章については、理科教育を専門とする研究者1名、理科教育を専攻する大学院生6名で約2ヶ月間かけて妥当性を検討し、適宜内容や表現を修正した。最終的な調査問題の一覧と具体例を表5-1と図5-1に示す。

表 5-1 調査問題で扱う問題事象と推論形式

問題番号	問題事象	推論形式
Q1	水を入れて加熱したフラスコに風船をかぶせ、フラスコを水で冷やすと風船がフラスコ内に入る	アブダクション
Q2	雪の多い地域ではLED式信号機があまり普及していない	アブダクション
Q3	ある地層から生息年代が不明な生物の化石が産出した	帰納
Q4	タンポポが花を閉じる現象には規則性が存在する	帰納
Q5	人間には生まれる時になって初めて広げて使用する器官が存在する	類推
Q6	軽石も割り箸もそのままの状態では水に浮くが、粉にすると水に沈む	類推

[信号機]

現在,LED 式の信号機は従来の電球式信号機よりも電気使用量が少ないことから,全国で置き換えが進んでいます。ある日,さとるさんは LED 式信号機の普及率を調べたところ,雪の多い地域で普及が遅れていることがわかりました。そこで,LED 式信号機の持つ特性が雪の多い地域での普及を遅らせているのではないかと考えたさとるさんは,LED 信号機と電球式信号機について調べ,表のように整理しました。

	LED 信号機	電球式信号機
製造・設置コスト	高い(14万円)	安い(8万3000円)
エネルギー使用量	少ない(310kWh)	多い(904kWh)
電気料	安い(1798 円/月)	高い(14123 円/月)
寿命	7年~10年	1年ごとに交換
球切れによる事故	小さなLEDの集合体のため、全体が球切れすることはない	電球切れの事故は防げない
西日による疑似点灯	ない	構造上なくすことが出来ない
寒冷地対策	信号機を縦に設置 ヒーターを追加で設置	信号を縦に設置

雪の多い地域で LED 式信号機の普及が進まないのはなぜだと考えられますか？
仮説を立ててください。

図 5-1 調査問題の例 (Q2)

図 5-1 に示した Q2 は,電球式信号機に比べて優れた特徴が多い LED 式信号機が雪の多い地域ではあまり普及していないという問題事象を扱っている。調査協力者には,LED 式信号機の普及が進まない原因について仮説を立てることを求めた。

4. コーディングの手続き

調査終了後,得られた発話プロトコルを一文ごとに分割し,それぞれにどのような思考操作を行ったかをコーディングした。具体的には,思考操作の分類カテゴリーを生成するステップと,各発話を生成したカテゴリーに分類するステップを繰り返し,すべての発話が分類できる状態 (i.e., 理論的飽和状態) になるまで作業を繰り返した。最終的に生成された分類カテゴリーとその内容を表 5-2 に示す。

表 5-2 発話の分類カテゴリー

A) <u>問題状況の理解</u>	問題を把握し、状況を整理する中で、未知の問題状況を理解する
B) <u>目標・方向性の確認</u>	解決の方向性や用いる方略を確認し、注目すべき点や明らかにすべき点を明確化する
C) <u>変数の同定</u>	問題状況に含まれた変数に着目し、それらのうちの影響する変数を判断する
D) <u>因果関係の認識</u>	変数間の因果関係を見出し、問題状況に対する説明を構築する
E) <u>仮説の批判的検討</u>	作り上げた説明に不備がないかを批判的に検討する
F) <u>仮説の表現</u>	現象の説明を仮説として言葉で表現する

5. 思考の推移のネットワーク分析

各発話につき 1 つのカテゴリーを記録した後、時系列に沿ってカテゴリー間をどのように推移したかを記録した。例えば、表 5-3 に示す発話プロトコルでは、カテゴリー A→C→D→F という思考の推移を経て、仮説を立てたことが読み取れる。

表 5-3 発話プロトコル例 (Q1, 調査協力者 15 の例)

①「絵を描いて整理してみよう (A)」
②「水があって加熱するので気体になって出て行く (C)」
③「水が入っていて水蒸気でいっぱいになっている (C)」
④「冷えると気体の体積は小さくなってこれがまた戻っていかうとする (D)」
⑤「気体が冷やされて体積が小さくなった (D)」
⑥「熱されて外に出て行ったのと冷やされて体積が小さくなりその分へこむ (D)」
⑦「水蒸気を冷やすと液体になって気体が液体になった分の体積が縮んでゴム風船がへこむ (F)」

この推移を隣接行列の形で表現すると、表 5-4 のようになる。隣接行列は、行から列へのカテゴリ間の推移回数を表現している。

表 5-4 隣接行列 (Q1, 調査協力者 15 の例)

(回)	A	B	C	D	E	F
A	-	0	1	0	0	0
B	0	-	0	0	0	0
C	0	0	-	1	0	0
D	0	0	0	-	0	1
E	0	0	0	0	-	0
F	0	0	0	0	0	-

次に、カテゴリ間の推移回数を問題ごとに 16 名分集計し、問題ごとの隣接行列を作成した。次に、ネットワーク分析 (Network Analysis) の手法を用いて、各隣接行列間の相関係数 (鈴木, 2009) を算出した。強い正の相関が見られた場合、問題間で思考の推移に類似した傾向が存在すると解釈できる。なお、相関係数の有意確率は反復回数 1000 のモンテカルロシミュレーションに基づく QAP 検定 (Krackhardt, 1987) により算出した。

最後に、得られた相関係数と 6 問すべてを合算した隣接行列に基づき、仮説設定に共通した思考過程について検討した。分析結果を次節に示す。

第2節 調査の結果

1. カテゴリー間の推移回数の集計

カテゴリー間の推移回数を隣接行列の形で問題ごとに集計した結果を表5-5に示す。

表5-5 各問題の推移回数の隣接行列

問題・カテゴリー	A	B	C	D	E	F	
Q1 (N=16)	A	0	2	12	2	0	0
	B	0	0	4	0	0	0
	C	0	2	0	18	0	1
	D	0	0	4	0	1	15
	E	0	0	0	0	0	1
	F	0	0	1	0	0	0
Q2 (N=16)	A	0	9	8	1	0	0
	B	0	0	9	1	0	1
	C	1	2	0	26	0	2
	D	0	0	10	0	1	19
	E	0	0	2	1	0	2
	F	1	0	2	1	5	0
Q3 (N=15)	A	0	9	7	0	0	0
	B	1	0	10	2	0	0
	C	0	3	0	14	0	1
	D	0	1	1	0	3	11
	E	0	0	0	0	0	3
	F	0	0	0	0	1	0
Q4 (N=15)	A	0	5	9	2	0	0
	B	0	0	7	0	0	0
	C	0	1	0	25	0	1
	D	1	1	10	0	4	14
	E	0	0	1	3	0	2
	F	0	0	0	0	2	0
Q5 (N=16)	A	0	11	6	0	0	0
	B	1	0	9	2	0	1
	C	0	1	0	19	2	2
	D	0	0	8	0	4	11
	E	0	1	1	2	0	4
	F	0	0	0	0	2	0
Q6 (N=14)	A	0	4	8	3	0	0
	B	0	0	3	1	0	0
	C	0	0	0	12	0	0
	D	1	0	1	0	1	14
	E	0	0	0	0	0	1
	F	0	0	0	1	0	0

表 5-5 に示した隣接行列は、列のカテゴリから行のカテゴリへ推移した回数の総和を示している。例えば、Q1 において A.問題状況の理解から C.変数の同定への推移は調査協力者全体で計 12 回であったことが読み取れる。また、仮説設定ができなかった調査協力者の発話プロトコルについては、該当問題のみ欠損値として分析対象から外している。

表 5-5 の結果より、どの問題にも共通して登場頻度の高い推移パターンが存在することが読み取れる。そこで次に、各隣接行列間の相関係数を算出し、隣接行列の類似度を客観的な指標に基づき検討した。得られた相関係数を表 5-6 に示す。

表 5-6 隣接行列間の相関係数

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Q1	1	-	-	-	-	-
Q2	0.920	1	-	-	-	-
Q3	0.859	0.889	1	-	-	-
Q4	0.932	0.966	0.853	1	-	-
Q5	0.842	0.944	0.926	0.933	1	-
Q6	0.958	0.891	0.863	0.872	0.812	1

※相関係数は全項目で有意 ($p < 0.01$)

表 5-6 より、すべての隣接行列間で有意な正の相関が存在することが分かる。これは、問題間で類似した思考の推移傾向が存在することを示唆している。

2. 共通した思考過程

問題間で類似度の非常に高い思考の推移が見られたことから、すべての問題の隣接行列を合計した隣接行列を作成し、どのような推移のパターンが多いかを検討することにした。6問を合計した隣接行列を表 5-7 に示す。また、その中から出現回数がサンプルサイズの 16 を超えた推移を取り出してまとめた遷移図を図 5-2 に示す。

表 5-7 隣接行列 (6 問合計)

(回)	A	B	C	D	E	F
A	-	40	50	8	0	0
B	2	-	42	6	0	2
C	1	9	-	114	2	7
D	2	2	34	-	14	84
E	0	1	4	6	-	13
F	1	0	3	2	10	-

※推移回数が 16 回を超えた部分を太字で示している

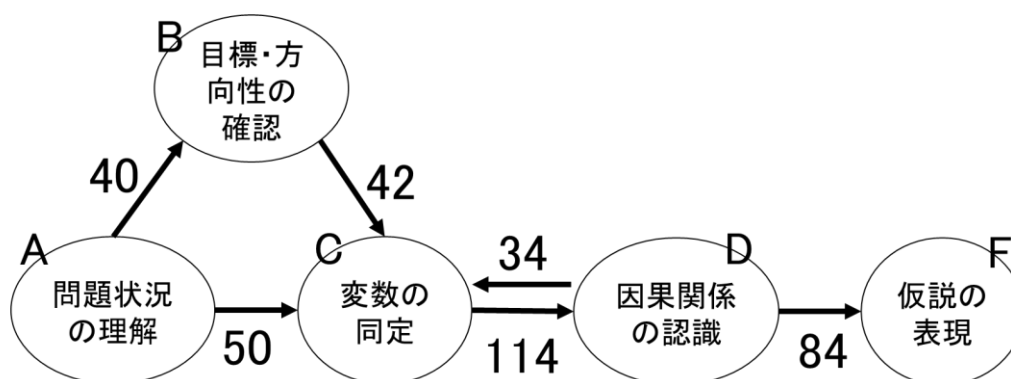


図 5-2 仮説設定に共通した思考過程 (数字は推移回数の合計)

図 5-2 に示した推移と実際の発話プロトコルを併せて解釈すると、仮説設定には共通して、A. 問題状況を理解し、B. 目標や方向性を確認する過程を経て、あるいは経由せずに C. 変数の同定へと移り、D. 因果関係の認識との行き来を繰り返した上で、F. 仮説を言葉で表現するという思考過程が存在する可能性が示唆された。図 5-2 に示した思考過程のモデルが実際の発話プロトコルにどの程度適合するかを検討した結果、本モデルに完全に適合した発話プロトコルは 92 サンプル中、44 サンプル (47.83%) であった。

3. 仮説設定の思考過程に関する考察

次に、本調査から見出した仮説設定に共通した思考過程と、先行研究の知見との対応関係を検討する。

図 5-2 に示した仮説設定の思考過程は、目の前の問題状況から情報を得て、それらの情報を整理する中で問題状況を理解することから思考が始まっていた。この過程は、自然科学

学において説明対象となる現象の観測データを得る過程に相当する。ただし、理科教育の文脈においては教師から問題状況が与えられることが自然科学の文脈と異なる。与えられた問題状況の中から、手掛かりとなる情報を探索し、自身の既有知識と照らしてそれらを解釈していく。この情報処理は、仮説設定を長期記憶と短期記憶の処理として表現してきた先行研究の知見（e.g., Klahr & Dunbar, 1988; Nenciovici et al., 2019; Park, 2006）と対応している。

先行研究にはない本研究の新規性としては、処理されている情報の中身が何であるかを示していることがある。本研究の思考過程モデルでは、長期記憶と短期記憶の探索を通して処理されている情報のうち仮説設定に関わるのは問題状況に内在した変数に関する情報であると想定している。目の前の問題状況から何が変わり得るかの情報を得て、それらが変数としてどのような（因果）関係を持つかを長期記憶と照らし合わせて検討することで、仮説として表現する処理が仮説設定における情報の処理だと考えられる。

また、仮説設定の情報処理を調節する心の働きとして、自身の用いる方略を内省的に検討する過程を想定している点も従来の思考過程研究には見られなかった要素である。認知科学の研究における規則発見課題では、仮説を立てる際に用いられる方略が複数ある事が報告されていた（e.g., Bruner, 1956; Wason, 1960）。しかし、どのような方略を用いるべきかを学習者が検討する過程は思考過程のモデルに組み込まれてこなかった。近年は、あらゆる学習においてメタ認知が関連するという指摘もある事から（e.g., Ohtani & Hisasaka, 2018）、自身の仮説設定の思考が適切であるかをモニタリングし、望ましい方向へコントロールする心の働きを検討することは重要であると考えられる。

なお、Eの仮説を批判的に検討するプロセスは独立したカテゴリーに分類されたものの、出現回数が少なく、共通した思考過程としては抽出できなかった。分類カテゴリーのうち、Eの仮説を批判的に検討するプロセスが共通する思考過程として抽出できなかった理由としては、大学生・大学院生であっても、自身の思考過程を自ら批判的に検討することは難しいためだと考えられる。このことは、学習者は進んで自身の選択（仮説）を検証しようとしないうという先行研究の知見（e.g., Garst et al., 2002; Wason, 1960）とも合致するものである。

第3節 本章のまとめ

本章のリサーチクエスションは、「RQ2：理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか」であった。RQに答えるために、本章では大学生・大学院生を対象とした面接調査を実施し、得られた発話プロトコルを分析することで、仮説設定に共通した思考過程を検討した。その結果、仮説設定には共通して、A. 問題状況を理解し、B. 目標や方向性を確認する過程を経て、あるいは経由せずに C. 変数の同定へと移り、D. 因果関係の認識との行き来を繰り返した上で、E. 仮説を言葉で表現するという思考過程が存在することが示唆された。

これらの結果は、大学生・大学院生を対象とした限定的なサンプルに対して実施した調査に基づくものであり、得られた思考過程を直ちに小学生～高校生の思考過程に一般化できるものではない。しかしながら、初等中等教育において理科を学習してきた大学生がどのように仮説を立てるかの思考過程は、小学生～高校生が仮説を立てる際のロールモデルとして十分な価値があると考えられる。これらの過程を経て仮説を立てるという手順を学習者に明示的に示すことで、仮説設定の段階的な指導に役立つ可能性がある。また、仮説設定の思考過程に関する知見は、評価方法の妥当性を検討する上でも有用だと考えられる。

第 6 章 仮説設定における評価方法の開発

第6章 仮説設定における評価方法の検討

前章までに理科教育における仮説の概念やその思考過程が明らかになった一方で、学習者の仮説設定の質を評価する方法については検討してこなかった。本章では、第1節で評価に必要な3つの要素を整理し、第2節で具体的な評価基準を作成し妥当性を確認することで、「RQ3：仮説設定の質をどのように評価すればよいか」を検討する。

第1節 評価の構成要素

仮説設定という学習活動を評価する上では、学習者の状態に関する何かしらの証拠を集め、認知理論に基づきそれらを解釈する必要がある。このような評価の証拠を解釈する際に必要な要素について、NRC（2001）は評価の三角形（Assessment Triangle）と呼ばれる3つの要素で整理している（図6-1）。

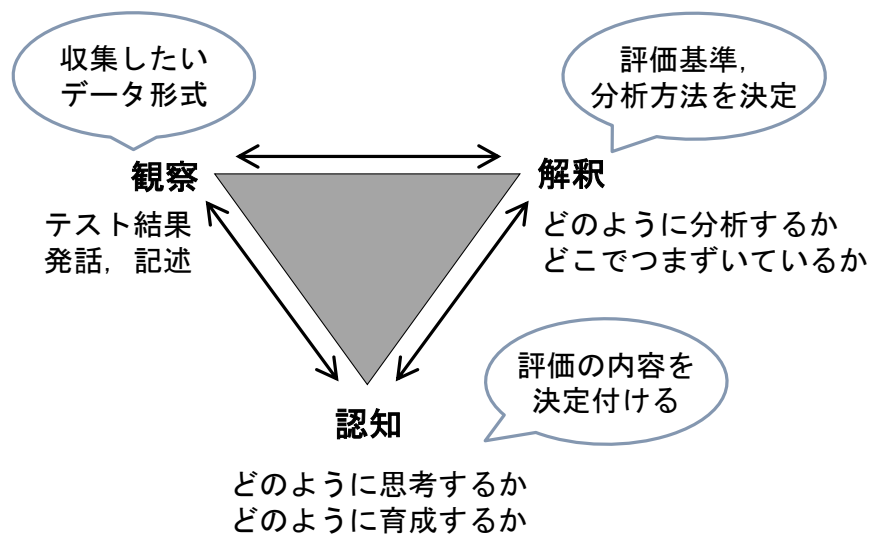


図6-1 評価の三角形（NRC, 2001, p. 44, Figure2-1 を基に著者作成）

評価の三角形の1つ目の要素は、認知（Cognition）である。これは、評価対象となる活動において学習者がどのように思考するか、学習者をどのように育成するかに関する理論であり、評価の内容を決定づけるものである。仮説設定において規範となる学習者の思考過程は、すでに第5章で検討してきた。第5章の知見に基づけば、仮説設定の思考過程の中心的な要素は、「変数の同定」と「因果関係の認識」であり、仮説設定の評価としてこ

これらの要素を評価することは内容的・本質的に妥当だと考えられる。実際、科学教育分野の先行研究では、仮説設定の能力として前述の2つの因子が存在することが支持されており（e.g., Arnold et al., 2018; 山田・小林, 2014）、構造的な観点からも十分な妥当性が認められる。

評価の三角形の2つ目の要素は、観察（Observation）である。これは、どのような方法で評価の対象となる要素や活動を学習者から引き出し記録するかの方法を指す。第2章第2節でレビューした通り、これまでの先行研究では、主に3種類のデータ収集方法が用いられていた。具体的には、「①仮説を文章で書かせる」「②仮説に至るまでの思考過程を発話・記述させる」「③仮説設定に関する評価問題に解答させる」であり、それぞれ長所・短所が存在する。①の方法は、簡便な方法で実施が容易であるが、仮説に至るまでの過程が表現されないため、仮説を立てられなかった学習者に関して得られる情報量が少ないという問題がある。②の方法は、仮説に至るまでの思考過程を捉えることができるものの、学習者への負担が大きく、複数の問題を実施することが困難であり、測定誤差を減らすことが難しい。③の方法は、仮説設定やその下位能力に関する調査問題を複数実施することで信頼性の高い測定が実現できるものの、得られた数値データを指導に直接還元することは難しい。どのような方法で学習者の情報を得るべきかは、評価の目的にも依存する。評価の目的が指導への還元にあるのであれば、ある授業での仮説設定において学習者がどのような躓きを抱えているかの情報が重要であり、測定誤差は大きな問題にはならない。しかし、調査研究において仮説設定の質の正確な測定を目的とするならば、複数の問題を留意して測定誤差を小さくすることが望ましい。

評価の三角形の3つ目の要素は、解釈（Interpretation）である。これは、収集した情報をどのように解釈するかの手続きである。本研究では、仮説を立てる際の過程を記述によって表現させたうえで、次節に示す評価基準に基づき、「変数の同定」と「因果関係の認識」の質を評価する。また、評価の目的が指導への還元にある場合、学習者がどの段階でどのように躓いているかを解釈し、その内容に応じた指導や支援を行うことになる。

第2節 評価基準の作成

前節で確認した通り、評価方法を検討する上で重要な要素は「認知」「観察」「解釈」の3つがあった。この内、認知については、第5章で明らかになった知見に基づき、仮説設定の思考過程の中心的な過程である「変数の同定」と「因果関係の認識」を評価対象にすることが望ましいことを確認した。2つの過程の評価基準を作成する上では、各過程における望ましい思考とはどのようなものかを検討する必要がある。

「変数の同定」における思考とは、問題状況に含まれた変数に着目し、それらのうちの影響する独立変数を判断することであった。その際、単一の変数のみに着目することは確認バイアスに陥る危険性があることから（Wason, 1960）、あらゆる変数を網羅的に検討し根拠をもって選択することが重要である。検討された変数群は、実験計画において条件を制御するための統制変数として機能する。反対に、複数の変数を検討していてもそこから変数を選択する際の根拠に乏しい場合や、最初から1つの変数のみを検討することは望ましい思考とは言えない。また、変数を認識できていないような場合は教師の積極的な支援が必要となる。

「因果関係の認識」における思考とは、見出された変数から、現象に影響する独立変数とその因果関係を検討し、説明を構築することであった。その際、なぜそのような因果関係があると考えられるのかを論理的に説明できる必要がある。また、第4章第1節で紹介した因果の介入理論的解釈に基づけば、独立変数を変化させたときに従属変数はどのように変化するかを説明する必要がある。反対に、変数間の因果関係の説明に飛躍や破綻がある場合や、そもそも因果関係が説明されていない場合は望ましい思考とは言えない。

以上の議論に基づき、仮説設定の質を3段階で評価する基準として表6-1を作成した。

表 6-1 仮説設定の質の評価基準

	変数の同定過程	因果関係の認識過程
2点	根拠を持って変数を選択・消去できている	変数間の因果関係を論理的に説明できている
1点	根拠なく変数を選択・消去している	変数間の因果関係の説明に飛躍や破綻がある
0点	変数を明確に意識できていない	変数間の因果関係を説明できていない

表 6-1 に示す評価基準は、自然科学における仮説概念に関する議論や面接調査で明らかになった学習者の思考過程を反映している点で、既存の評価方法よりも妥当性が高いと考えられる。この評価基準を調査で使用する際には、複数の調査問題における思考過程の記述を収集し、評価基準に基づき評価する使用法が想定される。授業で使用する際には、評価基準を学習者と共有することや、評価の結果に基づき点数の低かった学習者に支援を行うことなどが考えられる。

第3節 本章のまとめ

本章のリーサーチクエスチョンは、「RQ3：仮説設定の質をどのように評価すればよいか」であった。第1節では、仮説設定を評価する際に重要な3つの要素について、評価の三角形の考え方に基づき整理した。そして、仮説設定においてはその思考過程の中心的な過程である「変数の同定」と「因果関係の認識」の質を評価することが妥当であると判断した。第2節では、2つの過程において望ましい思考がどのようなものであるかを検討し、具体的な評価基準を作成した。作成した評価基準を使用し、第7章では実態調査を実施する。また、第8章では、これらの評価方法を用いた指導方略を提案する。

第7章 仮説設定の質に影響する要因の検討

第7章 仮説設定の質に影響する要因の検討

第5章で明らかになった仮説設定の思考過程では、「B. 目標・方向性の確認」するかどうかで2つの経路が存在した(図5-2)。先行研究の知見を参照すると、仮説設定に先立ち、どのように考えればよいかの目標・方向性を事前に確認することは仮説設定の質を向上させる可能性がある。そこで本章では、第6章で開発した評価方法を用いた調査を実施し、仮説を立てる前にどのように考えればよいかの目標・方向性を確認することが仮説設定の質の向上に寄与するかどうかを検討する。これらの検討を通して、「RQ4:何が仮説設定の質に影響するか」を明らかにする。

第1節 調査のデザイン

1. 調査の概要

本調査は、「仮説を立てる前にどのように考えればよいかの目標・方向性を確認することが仮説設定の質を向上させる」という研究仮説を検証する仮説検証型の研究である。調査のデザインとしては、1群被験者内計画を採用し、目標・方向性を確認する補助発問を設けた問題と設けていない問題で仮説設定の質に差が生じるかを検討した。

2. 調査の対象・時期

調査は、広島県内の公立の高等学校第2学年(理系)178名を対象に平成28年12月に実施した。調査実施校の県内偏差値は約50であり、平均的な学力を有した集団だと考えられる。調査対象を高校生としたのは、考えていることを書きながら仮説を立てるという作業の難易度の高さや調査時間の負担を考慮してのことである。回答時間は約30分であった。

3. 調査問題

仮説設定を求める調査問題として、第5章で使用した調査問題から思考過程を把握するのに優れていた3問を抽出して使用し、表7-1に示す6種類の分冊を構成した。調査協力者はあてがわれた分冊の2問に順に回答することを求められた。2問のうち1問目では補助発問なしで仮説を立てるよう求めた。2問目では、表7-2に示す補助発問によって事前に目

標・方向性を確認するよう操作した。補助発問では、何についてどのような方略で考えれば良いかの方略や自身の持っている知識で何が役立ちそうかの見通しを持たせることを意図している。例えば、「どのように考えれば規則性が見つかりますか？」という質問では、仮説を立てるのに使用する方略を書き出して意識化するよう求めている。このような補助発問を設けても全員が目標・方向性を確認できるわけではないが、補助発問を設けた場合の方がそのような確認を行う割合が増えると考えられることから、当該行為に仮説設定への効果が存在した場合には、条件間の成績の差として検出できると考えられる。

回答形式は自由記述形式を使用し、「どのように考えて仮説を立てたかが分かるように、途中で考えたことすべてを記述してください。箇条書きでも構いません。」という教示を与え、仮説に至るまでの思考過程を記述するよう求めた。

表 7-1 調査問題の種類

分冊	1 問目（補助発問なし）	2 問目（補助発問あり）
A	大気圧	花を閉じる条件
B	大気圧	構造と浮力
C	花を閉じる条件	大気圧
D	花を閉じる条件	構造と浮力
E	構造と浮力	大気圧
F	構造と浮力	花を閉じる条件

表 7-2 目標・方向性の確認を促す補助発問

問題	補助発問
大気圧	これまで理科で学習してきたことの中で、関連がありそうな言葉や内容を書き出して下さい。
	フラスコを熱したり冷ましたりすると何が変化しますか？
花を閉じる条件	どのように考えれば規則性が見つかりますか？
構造と浮力	これまで理科で学習してきたことの中で、関連がありそうな言葉や内容を書き出してください。
	軽石と割り箸の何を比較すればよいですか？

4. 分析の手続き

調査終了後、第6章の表6-1に示した評価基準に従って仮説設定の質を得点化し、補助発問の有無による得点傾向の差を検討した。「変数の同定」と「因果関係の認識」の質に関する得点ごとの人数は表7-3に示す形式で与えられる。ここで観測度数 n_{ij} は各セルに当てはまる得点を獲得した調査協力者の人数を表している。

表7-3 回答形式×得点の人数集計のイメージ

	0点	1点	2点	計
補助発問なし（問題1）	n_{11}	n_{12}	n_{13}	$n_{1.}$
補助発問あり（問題2）	n_{21}	n_{22}	n_{23}	$n_{2.}$
計	$n_{.1}$	$n_{.2}$	$n_{.3}$	N

表7-3において、観測度数 n_{ij} に対応する母比率 p_{ij} を考えると、周辺確率 $p_{i.}$, $p_{.j}$ は次のような性質を持つ。

$$p_{.j} = p_{1j} + p_{2j}, \quad p_{i.} = p_{i1} + p_{i2} + p_{i3}$$

$$1.0 = p_{.1} + p_{.2} = p_{.1} + p_{.2} + p_{.3}$$

ここで母比率 p_{ij} と周辺確率 $p_{i.}$, $p_{.j}$ の差分を用いて、ピアソン残差 e_{ij} は以下のように定義できる（豊田, 2016）。

$$e_{ij} = \frac{p_{ij} - p_{i.}p_{.j}}{\sqrt{p_{i.}p_{.j}}}$$

行と列の条件に関連が無い独立の場合、 $p_{ij} = p_{i.}p_{.j}$ が成立することから、ピアソン残差は0になる。反対に、行と列の条件に関連がある場合、ピアソン残差の絶対値は大きくなる。ピアソン残差が正のセルは独立な場合より多い人数が観察され、負のセルは独立な場合より少ない人数が観察されると解釈できる。本調査では、補助発問が仮説設定の質を向上させるという仮説を設定していることから、ピアソン残差 e_{23} は、正の値になることが予測される。

ピアソン残差の推定法にはベイズ推定を採用し、マルコフ連鎖モンテカルロ法（MCMC

法)によって得られた 100000 個の乱数で事後分布を近似した。なお、事前分布には豊田 (2016) を参考に無情報事前分布 (一様分布) を用いた。

次に、実際の記述を質的に分析することで、目標・方向性の確認がどのように機能して仮説設定の質に影響するかを検討する。量的分析の結果と質的分析の結果を併せて解釈することで、仮説設定の質への影響を総合的に検討する。

第2節 調査の結果

1. 残差分析

仮説設定の質の得点と回答形式のクロス集計結果を表7-4に示す。

表7-4 回答形式×仮説設定の得点（人）

	変数の同定			因果関係の認識		
	0点	1点	2点	0点	1点	2点
補助発問なし（問題1）	39	90	41	46	81	43
補助発問あり（問題2）	31	79	47	39	54	64

どちらの得点においても、補助発問ありの方がなしと比べて2点を獲得する人数が多く、0点や1点を獲得する人数が少ないことが読み取れる。

次に、これらのデータを用いてピアソン残差をベイズ推定し、回答形式と仮説設定の得点に関連があるのかを検討した。MCMC法を用いたベイズ推定における収束判定指標Rhatはすべてのパラメータにおいて $Rhat < 1.1$ であり、有効標本数が88900個以上と十分な数であったことから適切な推定が行われていると判断した。ピアソン残差のEAP推定値およびピアソン残差が0を上回る確率を表7-5に示す。

表7-5 ピアソン残差 e の推定値（上段）および $e > 0$ の確率（下段）

		変数			因果		
		0点	1点	2点	0点	1点	2点
補助発問なし	e	0.02	0.01	-0.04	0.02	0.07	-0.09
（問題1）	$p_{e>0}$	0.76	0.68	0.12	0.67	0.99	0.00
補助発問あり	e	-0.02	-0.01	0.04	-0.02	-0.07	0.10
（問題2）	$p_{e>0}$	0.24	0.32	0.88	0.33	0.01	1.00

表 7-5 に示す結果から、「補助発問あり」と「仮説設定得点（変数）の 2 点」には 88% の確率で関連がある（独立ではない）といえる。同様に、「補助発問なし」と「仮説設定得点（因果）の 1 点」には 99%、「補助発問あり」と「仮説設定得点（因果）の 2 点」には 100% の確率で関連があるといえる。これらのことから、目標・方向性の確認を促すことは、変数の同定過程においては 88% の確率で 2 点を獲得する可能性を向上させ、因果関係の認識過程においては 100% の確率で 2 点を獲得する可能性を向上させるといえる。また、仮説設定得点（因果）について、補助発問なしでは 2 点が少なく 1 点が多くなり、補助発問ありでは 2 点が多くなるという連言命題を検討したところ、確率は 99.1% であった。一連の結果から、目標・方向性の確認を促すことは、仮説設定得点 2 点を獲得する可能性を向上させ、その効果は因果関係の認識過程において特に顕著であるといえる。一連の結果は、仮説設定の思考過程のうち、B. 目標・方向性の確認が仮説設定の質を高めることを示唆している。

2. 記述分析

目標・方向性の確認による影響が読み取れる自由記述の例を表 7-6 に示す。

表 7-6 構造と浮力の問題における記述の例

補助発問 1 : 「密度, 体積, 酸素が関係しそう」
補助発問 2 : 「密度」
自由記述 : 「削る前の状態は, 繊維 1 つ 1 つに酸素が含まれている。それらが集まって出来ている。密度が小さくなる, 繊維と繊維の間に空気, 軽い? 削るとそれが壊される→沈む。削る前は, 密度が空気によって小さくなる。削るとそれが壊れるので, 密度が大きくなることにより沈む。」

表 7-6 は、仮説設定得点（変数）と（因果）が共に 2 点であった調査協力者の、構造と浮力の問題における記述の例である。補助発問では、1 において関連のある既習事項を列举し、2 においては、既習事項の中から比較の視点として密度を挙げている。その上で、「繊維・酸素・密度・空気・削ることによる構造の変化」といった変数の同定とそれらの変数間の関係性の推論を繰り返しながら、仮説を設定している様子が見て取れる。繊維の

間に空気を含むことの影響について、最初は「密度が小さくなる」だったが、中盤で「軽い？」と質量の視点に移るも、密度を比較するという方向性に立ち返り、構造の変化と密度の変化を結びつけるに至っている。このように、補助発問を設けた回答形式では、最初に定めた目標・方向性が、思考過程において軌道修正の役割を果たす場面が多く見られた。変数を同定する過程では、複数の変数を挙げて検討する必要がある為、その過程においてどのように仮説を立てればよいのかという方向性を見失いがちである。補助質問なしの問題において、仮説を立てる方向性を見失っていることが読み取れる自由記述の例を表 7-7 に示す。

表 7-7 構造と浮力の問題における記述の例

自由記述	：「削る前の軽石や割り箸は空洞があり空気が入る。粉にすると空洞が無くなるから空気が入る場所も無くなる。空気が入っていると浮く。空洞があることで重さが分散する。重さが分散することで軽くなる。木材は水を吸収することとは中に水が入る隙間がある。接水面積が関係している。接水面積が少ないと浮力が少ないので沈む。」
------	--

表 7-7 は、仮説設定得点（変数）と（因果）が共に 1 点であった調査協力者の、構造と浮力の問題における記述の例である。ここでは、様々な変数に着目しているものの、事前に目標・方向性を明確化していないため、見出した新しい変数に引きずられ、どの変数に着目すればよいのかが分からなくなっている。

以上より、あらかじめ目標・方向性を明確化しておくことで、見出した変数に引っ張られて、知識の適応が妨げられることを防ぐことができると考えられる。これは、補助発問の効果因果関係の認識過程において特に顕著であった量的分析の結果とも合致する。

第3節 本章のまとめ

本章のリサーチクエスションは、「RQ4：何が仮説設定の質に影響するか」であった。RQに答えるために、本章では高校生を対象とした筆記調査を実施し、目標・方向性を確認することが仮説設定の質の向上に寄与するかどうかを検討した。その結果、仮説設定に先行して、何についてどのような方略で考えれば良いかの方略や自身の持っている知識で何が役立ちそうかの見通しを持たせることで、仮説設定の質が向上することが支持された。一連の知見を理科授業に還元するのであれば、仮説設定の指導においては、何についてどのような方略で考えればよいかの見通しをあらかじめ持たせることや、それらの見通しから外れることの無いようにメタ認知を働かせて自身の認知をモニタリング・コントロールすることを促す指導が重要だと考えられる。

第 8 章 仮説設定の指導方略の開発

第 8 章 仮説設定の指導方略の開発

前章までの検討を通して、仮説設定の思考過程（第 5 章）とその評価方法（第 6 章）、仮説設定の質に影響する要因（第 7 章）が明らかになった。本章では、これまでの知見に基づき、第 1 節で仮説設定の指導方略を構築し、第 2 節以降で中学生を対象とした 2 つの授業実践と効果検証を行う。これらの検討を通して、「RQ5：仮説設定はどのように指導するべきか」を明らかにする。

第 1 節 仮説設定の指導方略の構築

1. 仮説設定への理解を高める指導

第 2 章で整理した仮説概念の現代的な解釈に基づけば、仮説設定とは「目の前の問題状況に対する暫定的な説明」を構築する行為であり、仮説が正しい場合の実験結果の予想・予測とは明確に区別される。仮説演繹法の枠組みにおける両者の位置づけを理解することは、科学の営みの性質（NOS）の理解を重要視する現代的な科学教育において重要だと考えられる。仮説演繹法の枠組みによって仮説が確認されることで蓋然性が高まり、暫定的な説明として保持されることになる。仮説設定の指導の前段階として、このような科学における仮説の位置づけを確認する指導が重要だと考えられる。

2. 仮説設定の段階的な指導

第 3 章で得られた知見に基づけば、仮説設定の思考過程は、問題状況を理解し、目標や方向性を確認する過程を経て変数の同定へと移り、因果関係の認識との行き来を繰り返した上で、仮説を言葉で表現するというものであった。このような複雑な過程を一度に行うことは難しく、各過程を分けて段階的に指導することが望ましいと考えられる。段階的に指導することで、仮説が立てられない学習者がどこで躓いているかを形成的に評価することが可能になり、適切な支援策を講じることができる。また、従来一般的な理科授業においては、仮説を立てるよう求めるばかりで仮説の立て方を教えてこなかったのに対して、前述の思考過程は仮説の立て方を具体的に示すものとして指導的価値を持つ。

3. 複数事象の比較に基づく明示的な仮説設定方略

従来の理科授業における仮説設定の指導では、単一の事象が示され、自身の知識や経験に基づいて仮説を立てるよう指示が与えられることが多かった。すなわち、仮説設定の時間は確保されても、どのようにして仮説を立てればよいかの方略の指導が行われてこなかった。

この問題の解決方法として、本研究では新たに複数事象の比較に基づく明示的な仮説設定方略の指導法を提案する。提案する新しい指導法は、条件が制御されていない複数の事象を示し、それらを比較して事象間で何が異なるかを考えるよう指示することで、比較という方略に基づき独立変数を同定させるものである。例えば、図 8-1 のような 2 つの事象 A, B について、事象間で何が異なるかを比較させることで、物体の浮き沈みに影響する変数を網羅的に検討することができる。

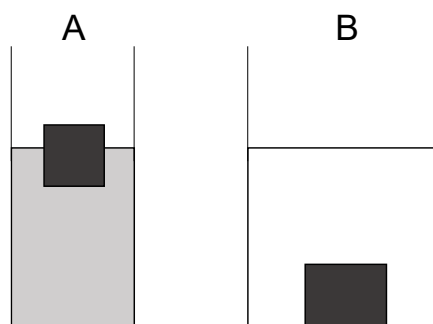


図 8-1 条件が制御されていない複数事象の例

この方法では、比較という明示的な方略が与えられており、仮説設定に先立って方略を確認することが仮説設定の質を高めるという第 7 章の知見からも有効性が期待できる。また、学習者に見出して欲しい変数を事象間の違いとして教師が埋め込むことで、単元の学習目標を達成する上で必要な理想的な問題状況を生成することができる。

このような仮説設定方略を明示的に示した指導方法を用いることで、従来の指導法ではどのようにして仮説を立てればよいか分からなかった学習者や、知識不足によって変数の存在を知らなかった学習者であっても、仮説設定に取り組むことが可能になると考えられる。

4. 思考過程を可視化するワークシートと形成的評価

仮説設定を段階的に指導し、個々の躓きに応じたフィードバックを行うためには、学習者の思考過程を外化させる必要がある。そのための手段として、仮説設定の思考過程に沿ったワークシートの利用は有効な手段だと考えられる。そこで、仮説設定の思考過程を分けて示したワークシートを新たに作成した（図 8-2）。作成したワークシートでは、1 で問題となる事象を確認したうえで、2 で事象間で何が異なるかを比較することで独立変数を見出すことを促している。3 では、介入理論の考え方にに基づき、独立変数に介入した場合に従属変数がどのように変化するかを説明させている。これらの整理に基づき、4では1の問題事象を説明するものとしての仮説を文章化するよう求めている。5では、4で立てた仮説を検証する計画を立てるが、その際に2で見出した独立変数を制御する実験方法になっているかを確認するよう求めている。また、仮説が正しいとした場合の実験結果の予想・予測を設定させている。

作成したワークシートでは、仮説を立てる際の目標や方略が明示的に示されているため、学習者が何をすればよいか分からなくなる状態を回避している。第7章の知見に基づけば、このような支援は仮説設定の質を向上させると考えられる。

また、仮説設定の思考過程をワークシートワークに記述させることで、教師が学習者の状況を形成的に評価し、躓きの状況に応じて適切な支援を行うことが可能になると考えられる。

5. 指導方略のまとめ

ここまで、RQ1~4に対応する前章までの知見に基づき、4つの観点から指導方略を構築した。提案した指導方略をまとめると、仮説設定の指導に先立ち、現代の科学における仮説や予想・予測の位置づけを確認する必要がある。仮説設定の場面においては、条件が制御されていない複数事象を示し、事象間の違いを比較させて独立変数を見出すなど、仮説設定の方略の明示的な指導と、各過程を切り分けた段階的な指導を行う。そして、各段階での学習者の状況をワークシートワークの記述に基づき形成的に評価し、躓きに応じた適切な支援を行う。一連の指導を通して、仮説設定への理解や仮説設定の思考力といった種々の科学的リテラシーの育成を目指す。

1. 問題となる事象

金属線によって上昇する水の温度（結果）が違った。

2. 金属線によって上昇する水の温度（結果）に関係しているもの（原因）は何だろうか。

事象 1		事象 2	
① 2つの事象を比較してちがったこと（差異点）をメモしよう。			
1	2	3	4
5	6	7	8
② 特に関係していそうだと思う番号に○をつけよう。			

3. 選んだ原因は、上昇する水の温度（結果）に、どのように関係しているだろう。

原因	結果 ----- ~のとき、 水の上昇温度が大きくなる ----- ~のとき、 水の上昇温度が小さくなる -----
1	
2	
3	
4	

4. 仮説（仮の説明）を文章でまとめてみよう。

「金属線によって上昇する水の温度には、（原因）が関係している。（原因）が~のとき、（結果）は~になる。なぜなら、~だから。」

5. 自分の仮説を確かめる実験方法を計画しよう。

① 今回の実験で揃える・変える条件は何か。

② どのように実験すれば条件を制御することができるだろうか。

③ 実験結果の予想をしてみよう。グラフに表すと、どのような関係性があるだろう。

図 8-2 作成したワークシートの例

第 2 節 効果検証のデザイン

本節では前節で考案した指導方略に基づく 2 つの授業実践を行い、効果検証を行う。

1. 調査の概要

中学校第 2 学年「電流とその利用」の単元（全 18 時間）において、2 回の仮説設定場面の指導を行った。実践 1 では、実験群（ $n = 82$ ）と統制群（ $n = 82$ ）で異なる指導法を実施し、単元の理解度や仮説設定の質などに対する指導効果を比較した（2 群事前・事後デザイン）。より具体的には、事前・事後の理解度テストや授業中に立てられた仮説の質の量的分析、授業中の様子や授業後のアンケートの質的分析を行った。実践 2 では、両群において同一の指導法（提案する指導法）を実践し、授業中に立てられた仮説の質の量的分析を行った。2 つの連続した実践と効果検証を通して、提案する指導方略の有効性を検討した。

2. 調査の手続き

実践 1（3 時間）：

単元の指導前に事前の理解度テストを実施し、群間で学習前の内容理解度に差がないことを確認した。次に実験群では、本研究の提案する新しい仮説設定の指導方略を実践し、統制群では従来通りの仮説設定の指導法を実践した。従来通りの仮説設定の指導法とは、単一の事象のみを示し、仮説設定の段階を切り分けず、ただ仮説を立てることのみを求める指導である。実践中の仮説設定場面の記述は、第 6 章の評価基準に基づき得点化し、群間で得点に差が見られるかを検討した。実践終了後、事後の理解度を測定する調査問題を実施し、群間で内容理解度に差が見られるかを検討した。また、自由記述式のアンケートによって、仮説設定を通して経験した躓きや授業全体の感想を尋ねた。

実践 2（3 時間）：

実践 1 において実験群だった 2 学級（元実験群）と統制群だった 2 学級（元統制群）の両群において、本研究の提案する新しい指導方略を実践した。実践中の仮説設定場面の記述は、第 6 章の評価基準に基づき得点化し、実践 1 の時と比べて得点に向上が見られるかを検討した。

2つの実践は、中学校第2学年「電流とその利用」の単元において同一の授業者が実施した。授業展開の詳細については後述する。

3. 測定方法

各測定方法の詳細は次のとおりである。

事前の理解度の測定（実践1）：平成30年度全国学力・学習状況調査（国立教育政策研究所，2018）の中学校理科の調査問題のうち、大問6-（1）（2）（3）の3問を使用した。当該問題は、電流と電圧の関係の理解度を測定する調査問題となっている。3問の合計点を事前の理解度得点とした。

事後の理解度の測定（実践1）：電流と電圧の関係の理解度を測定する調査問題を新たに15問作成した（巻末資料2参照）。作成した調査問題は、複数人の専門家で内容的な妥当性を検討し、単元の理解度を測定できる問題になっていることを確認した。また、当該単元を代表する偏りのない問題群になっていることを確認した。次に、中学校第3学年の生徒4名を対象とした予備的な面接調査を実施し、本質的な側面の妥当性を検討した。具体的には、事前に想定した回答プロセスに従って回答が行われていたかを検討した。これらの過程を経て採択された全15問を実践後の本調査に使用した。項目適合度の低かった4問を除く11問の正誤データを項目反応モデルの1つである1パラメータ・ロジスティックモデル（1PL）に当てはめて潜在特性値 θ を最尤推定し、事後の理解度得点とした¹⁴。

仮説設定の質の測定（実践1・2）：第6章で開発した仮説設定の評価基準に基づき、「変数の同定」と「因果関係の認識」の質を得点化した。得られた得点を合計し、仮説設定の質の得点とした。測定は、実践1と実践2の計2回の仮説設定場面について、それぞれ実施した。

授業後の感想（実践1）：「仮説の設定で、つまづいた場面があれば教えてください。」
「今回の探究的な学習について、感想を聞かせてください。」という質問を示し、自由記述形式での回答を求めた。

¹⁴ 項目反応理論と1PLにおけるパラメータ推定法の詳細は加藤・山田・川端（2014）に詳しい。本研究では、項目適合度の指標としてInfit/Outfit指標を使用し、両指標が0.5~1.5の範囲に収まるよう項目を抽出した。

4. サンプルサイズ設計

本研究では、事後の理解度の調査問題に対して得られた回答の正誤を項目反応理論に基づき分析することを想定している。項目反応モデルの1つである1PLに基づき20項目の調査問題を分析する場合、 $N = 150$ 程度のサンプルサイズが必要だとされている（Şahin & Anıl, 2017）。また、中村ら（2020）のメタ分析に基づけば、仮説設定の指導で期待できる効果量は $g = 0.861 [0.665, 1.058]$ であり、95%信頼区間の下側 $g = 0.665$ を t 検定 ($\alpha = 0.05$, $1 - \beta = 0.9$) によって検出するのに必要なサンプルサイズは各群で $n = 49$ と見積れる¹⁵。

よって、実験群と統制群のそれぞれにおいて49名以上、両群合わせて150名以上のサンプルサイズを達成することを目指して、調査依頼を行うことにした。

5. 調査の対象・時期

東京都内の国立大学附属中学校の第2学年の生徒164名（実験群：2学級82名、統制群：2学級82名）を対象に継続的な授業実践と調査を実施した。調査実施校の偏差値は70を超えており、高い学力を有した集団だと考えられる。2回の実践および調査は、2021年9月に実施された。授業実践はすべての学級で同一の教員（教員6年目）が実施した。

6. 授業展開

中学校第2学年「電流とその利用」の単元の18時間の展開は表8-2に示す通りである。この単元は、「一. 回路と電流・電圧」「二. 電流・電圧と抵抗」「三. 電気とそのエネルギー」の3次から構成されており、第2次と第3次で1回ずつ仮説設定の場面が設けられている。第2次第6時では、仮説設定の実践に先立ち、科学における仮説の位置づけを確認する事前指導を実施した（cf. 指導方略1）。2回の仮説設定の実践のうち、実践1（3時間）と実践2（3時間）の仮説設定場面は表8-3, 8-4に示す展開で授業を行った。一連の授業実践を行う上で、研究者と実践者の認識を共有するために、実践の前後で計10回（20時間以上）のオンラインミーティングを実施した。

¹⁵ 検定力分析（power analysis）と呼ばれる方法による。検定力分析の詳細については豊田（2009）などを参照。

表 8-2 「電流とその利用」の指導展開

次	時	主な学習活動
一 回路と電流・電圧	1	電気用図記号や回路図のかき方を確認する。 電流計と電源装置の使い方を確認する。
	2	電圧計の使い方を確認する。回路図から回路を組む練習をする。
	3	直列回路の各区間に加わる電圧の大きさ、各点に流れる電流の大きさを計測し、規則性を見出す。
	4	並列回路の各区間に加わる電圧の大きさ、各点に流れる電流の大きさを計測し、規則性を見出す。
二 電流・電圧と抵抗	5	固定抵抗の両端に加わる電圧の大きさ、流れる電流の大きさを計測し、それぞれの関係性を見出す。
	6	科学における仮説の位置づけを確認する事前指導。 事前の理解度 の測定を実施。
	7	【 <u>仮説設定</u> ・検証計画の立案】金属線に流れる電流の大きさに影響する要因を明らかにし、どのように関係しているのか調べる。
	8	【 <u>実験の実施</u> 】金属線に流れる電流の大きさに影響する要因を明らかにし、どのように関係しているのか調べる。
	9	【 <u>まとめ</u> 】金属線に流れる電流の大きさに影響する要因を明らかにし、どのように関係しているのか調べる。
	11	事後の理解度の測定と授業後の感想 の記述。
	10	抵抗を直列接続したときの合成抵抗の大きさを、実験を通して理解する。
	11	抵抗を並列接続したときの合成抵抗の大きさを、実験を通して理解する。
12	これまでの学習内容の練習問題を解く。	
三 電気とそのエネルギー	13	電流によって熱や光などを発生させることができることを理解する。 身近な家電に電力が表示されていることを確認し、電気料金を計算する。
	14	電熱線から発生する熱量と時間の関係性を、実験を通して見出す。
	15	【 <u>仮説設定</u> ・検証計画の立案】電熱線による水の温度上昇の大きさに影響する要因を明らかにし、どのように関係しているのか調べる。
	16	【 <u>実験</u> 】電熱線による水の温度上昇の大きさに影響する要因を明らかにし、どのように関係しているのか調べる。
	17	【 <u>まとめ</u> 】電熱線による水の温度上昇の大きさに影響する要因を明らかにし、どのように関係しているのか調べる。
	18	実験結果を踏まえて、電力及び電力量について理解する。 これまでの学習内容の練習問題を解く。

表 8-3 実践 1 における仮説設定場面の指導（7 時間目）

実験群の授業展開（2 組，4 組）	統制群の授業展開（3 組，5 組）
<p>● 金属線の長さ，太さ，種類が異なる 2 種類の回路について，金属線に流れる電流の大きさが異なることを演示し，結果を確認する。</p> <p>問題：金属線に流れる電流の大きさに影響を与えている要因は何だろうか。</p>	
<p>【変数の見出し】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2 種類の回路の比較を通して，金属線に流れる電流の大きさに影響を与えている要因（独立変数）を検討する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電熱線の長さ ・ 電熱線の太さ ・ 電熱線の種類（素材） ● 各要因をどのように変化させられるかを考える。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 長さ 短い⇔長い ・ 太さ 細い⇔太い ・ 種類 アルメル，ニクロム… <p>【因果関係の検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● それぞれの要因と金属線に流れる電流の大きさの関係に関する仮説を設定する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電熱線の長くなると，抵抗が大きくなり，電流が大きくなるのではないか。 ・ 電熱線の種類によって，抵抗が異なり，流れる電流の大きさも変わるのではないか。 ● 設定した仮説の中から最も探究したい仮説一つを選択し，学級で共有する。 	<ul style="list-style-type: none"> ● それぞれの要因と金属線に流れる電流の大きさの関係に関する仮説を設定する。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電熱線の長くなると，抵抗が大きくなり，電流が大きくなるのではないか。 ・ 電熱線の種類によって，抵抗が異なり，流れる電流の大きさも変わるのではないか。 ● 設定した仮説の中から最も探究したい仮説一つを選択し，学級で共有する。
<ul style="list-style-type: none"> ● 自身の設定した仮説を検証するための実験計画を立てる。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 具体的な実験方法 ・ 結果の見通し ● 授業の振り返り 	

表 8-4 実践 2 における仮説設定場面の指導（15 時間目）

授業展開（2～5 組に共通）
<ul style="list-style-type: none"> ● 2 種類の電熱線と水温の上昇の様子を提示する。 ● 事象間で上昇する水温が異なることを確認する。 <p>問題：金属線によって上昇する水の温度に関係している要因は何だろうか？</p>
<p>【変数の見出し】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 2 事象の比較を通して、金属線によって上昇する水の温度上昇に関係しているものが何か考える。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧・電流の大きさ、金属線の長さ（表面積）が関係していると考えられる。 <p>【因果関係の検討】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 水の温度上昇に関係していると考えたものが、どのように関係しているのか考える。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧の大きさが大きいと、水の温度上昇が大きくなる。 ・ 電流の大きさが大きいと、水の温度上昇が大きくなる。 ・ 金属の長さが長いと、水の温度上昇が大きくなる。 ● なぜ、そのように関係付けたのか考える。 <ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧が大きいと、電気エネルギーが大きくなるため、水の温度上昇が大きくなると考えた。 ・ 電流が大きいときの方が、ニクロム線は発熱したため、水の温度上昇が大きくなると考えた。 ・ 金属の長さが長いと、水に触れている面積が大きくなり、水をたくさん温めそうだから、水の温度上昇が大きくなる。
<ul style="list-style-type: none"> ● 設定した仮説を検証するための実験計画を立案する。 <ol style="list-style-type: none"> ①揃える条件， 変える条件について考える。 ②教師が示した実験道具や方法について， 条件が制御できているか考える。 ③実験結果を予測する。
<ul style="list-style-type: none"> ● 授業の振り返り <ul style="list-style-type: none"> ・ 設定した仮説を検証する実験計画を立案することができたか。

実践 1 における群間の指導の主な違いは、仮説設定を 2 段階に分けるか否かにある。実験群では前節で開発したワークシートを利用し（指導方略 4）、仮説設定の段階的な指導を実施した（指導方略 2）。統制群では、仮説設定の段階を切り分けず、ただ仮説を立てることのみを求めた。実践 2 においては元実験群と元統制群の両群で共通して、本研究の提案する新しい指導法を実施した。

7. 分析方法

各測定項目を得点化し、それぞれ平均値（正答率）と標準偏差を算出した後で、統計的な分析を以下の通り実施した。

実践 1 の分析：

事後の理解度を従属変数、事前の理解度を共変量、群を独立変数とした共分散分析を行い、事後の理解度に対する群の影響を検討する。検定結果が有意であり効果量が十分に大きい場合（ $f^2 > .35$ ）、提案する指導方略が従来の指導方略と比べて内容理解の促進に効果的であると解釈できる。また、仮説設定の質を従属変数、群を独立変数とした Welch の t 検定によって、仮説設定の質の群間差を検討する。検定結果が有意であり効果量が十分に大きい場合（ $g > .80$ ）、提案する指導方略が従来の指導法と比べて仮説設定の質の向上に効果的であると解釈できる。本研究では、実験群の仮説設定の質が統制群と比べて相対的に高いと予測している。最後に、自由記述式アンケートの質的分析を通して、仮説設定を通して経験した躓きや授業全体の成果と課題を検討する。

実践 2 の分析：

各群で実践 1 と実践 2 の仮説設定の質の得点に差が見られるかを対応のある t 検定によって検討する。元統制群において得点の向上が見られた場合、提案する指導法が従来の指導法に比べて相対的に高い効果を持つと解釈できる。元実験群において得点の向上が見られた場合、継続的な指導による慣れの効果や題材の効果と解釈できる。

第3節 実践1の結果

1. 量的分析の結果

実践1における評価項目の基礎集計の結果を表8-5に示す。基礎集計の結果より、事前の理解度に群間で差は見られないものの、事後の理解度や仮説設定の質は実験群の方が高い傾向が読み取れる。

表8-5 各群の平均値（標準偏差）

評価項目	実験群 (n = 74)	統制群 (n = 76)
事前の理解度	3.59 (0.62)	3.64 (0.63)
事後の理解度	2.41 (1.43)	1.96 (1.35)
仮説設定の質	3.61 (0.70)	1.84 (1.24)

表8-5について、事後の理解度を従属変数、事前の理解度を共変量、群を独立変数とした共分散分析を行った結果、群の主効果は有意であり ($p = .027$)、群間の差は決して大きくないものの ($f^2 = 0.034$)、実験群の方が事後の理解度がわずかに高かった。また、仮説設定の質を従属変数とした t 検定の結果、群間で有意差が認められ、実験群の方が仮説の質が高かった ($t(118.66) = 10.75, p < .001, g = 1.74, 95\% \text{ CI} [1.36, 2.11]$)。量的分析の結果より、実験群は統制群に比べて仮説設定の質が高く、単元内容の理解度もわずかに高いことが示された。

2. 質的分析の結果

単元の指導後に実施した実験群の自由記述式のアンケートの回答類型を表8-6に示す。全体的な傾向として、2つの事象の比較や段階的な指導の分かりやすさについて言及した記述が多く見られた。

表 8-6 新しい指導方略に対する肯定的な意見の類型（重複を含む）

類型	内容	件数
1	比較の有効性	22
2	段階的指導の有効性	11
3	要因が分かりやすかった	6
4	事象を提示することの有効性	5
5	知識や経験を生かさせた	5
6	友達との意見交換の有効性	5
7	事前指導の有効性	4
8	様々な要因を考えられた	4
9	その他	6

複数事象の比較を通した仮説設定の有効性を支持する記述（類型 1）の例としては、以下のようなものがあつた。これらの記述例から、事前の想定通り、複数事象を比較する明示的な方略を示すことで、変数を見出しやすくなっていたと解釈できる。

生徒 10：やはり、比較をすることにより、それぞれの部分の違いが分かるため、長さ、太さ、種類などが関わっているのではと考えやすかった。だから、比較することはとても大切だと感じた。

生徒 13：比較することで、何が違うと結果が出るのかを考えるのが簡単ではなかったが分かりやすかった。

生徒 24：仮説を立てるには、何が違うのかを見出した方が分かりやすくなるから良かったと思う。様々な要因を検討できた。

生徒 36：比較対象が明確に定まっていたため、自分の考えるべき点が分かりやすかった。

また、段階的な仮説設定の指導の有効性を支持する記述（類型 2）の例としては、以下のようなものがあつた。これらの記述例から、事前の想定通り、段階的に仮説を設定することで仮説が立てやすくなっていたと解釈できる。

生徒 21：段階的に仮説を設定することで、次のステップに進みやすかった。

生徒 22：比較して段階的に仮説を設定することによって土台があったので仮説を立てやすかったです。

生徒 7：突然「仮説を立てろ」といわれるよりは全然よかったと思う。

生徒 19：段階的に考えることで、思考が止まりにくく、仮説を立てやすかった。

生徒 26：今までは、仮説を立てる前に、自分が実験する条件について吟味して、頭の中を整理してから仮説を立てなければいかなかったのですが、自分の中でも混乱してしまいましたが、段階的に設定することで、一つ一つ整理して考えられた。

量的分析と質的分析の結果を併せて解釈すると、提案する指導方略は事前の想定通り有効に機能し、仮説設定の質の向上に有効であったと判断できる。

その一方で、両群のアンケートにおいては仮説設定に躓きを感じたという記述も複数見られた。躓きの傾向は群間で異なり、統制群においては、仮説の立て方や文章化など仮説設定の初期段階で躓きを感じていた。他方、実験群においては、変数が取り得る値の範囲や因果関係を考える過程で躓きを感じていた。両群に共通して仮説設定に躓きを感じた生徒がいたものの、実験群の方が躓きの内容が具体的に知覚されていた。これは、仮説設定を段階的に指導したことで、どの段階で躓いたかが明確になったものと解釈できる。今後は、それぞれの段階において生徒が経験する困難に応じた支援の在り方を検討していく必要がある。

第4節 実践2の結果

1. 量的分析の結果

実践1・2における評価項目の基礎集計の結果を表8-7に示す。基礎集計の結果より、事前の理解度に群間で差は見られないものの、事後の理解度や仮説設定の質は実験群の方が高い傾向が読み取れる。

表8-7 仮説設定の質の平均値（標準偏差）

群	元実験群 (n=77)		元統制群 (n=77)	
	実践1	実践2	実践1	実践2
変数の同定	1.90 (0.34)	1.96 (0.19)	1.49 (0.82)	1.96 (0.19)
因果関係の認識	1.74 (0.50)	1.49 (0.64)	0.33 (0.73)	1.57 (0.55)
合計 (4点満点)	3.64 (0.68)	3.45 (0.72)	1.82 (1.25)	3.53 (0.55)

表8-7について、元実験群における合計点を比較すると、前回実践と本実践で平均値に有意差は見られなかった ($t(71) = -1.98, p = .051, g = -0.27, 95\% \text{ CI} [-0.56, 0.00]$)。よって、元実験群では提案する指導法が一貫して高い効果を発揮していると解釈できる。

元統制群における合計点を比較すると、前回実践と本実践で平均値に有意な差が見られ ($t(70) = 10.67, p < .001, g = 1.65, 95\% \text{ CI} [1.18, 2.13]$)、本実践が前回実践を大きく上回った。観点別にみても、全ての観点において得点の向上が見られる。よって、提案する指導法が従来の指導法に比べて相対的に高い効果を持つことが支持された。

2. 一連の実践を通じた授業者の感想

一連の実践の終了後、仮説設定に関する新しい指導方略の成果と課題について授業者に尋ねた。実践を通しての成果や手応えとしては以下のようなものが報告された (表8-8)。

表 8-8 実践を通しての成果や手応えの認識

● 複数事象の効果

複数事象を提示することで、生徒が違いを見つけようとしていたことが良かったです。以前、単一事象で生徒に仮説を設定させる授業をしたことがありましたが、そのときは様々な変数が出てきて、対応するのが大変でした。それに比べて、今回はある程度変数を教師が操作しているため、どのような変数が出てくるのか事前に想定できただけでなく、出てくる変数もある程度授業者が学ばせたい内容に沿うものでした。

● 多面的に探究できる

変数をたくさん見つけさせれば、それだけ多面的に一つの物事を探究することにつながります。そのため、今回のような提案をすると、学級として学びを深めることができるようになって感じました。

● 条件制御

あらかじめ変数を見出すため、その見出した変数を意識して実験計画を立案することができるようになっていました。

● 生徒の主体的な探究

従来通りの指導では、教科書や教師が与えた条件だけを生徒に調べさせるものが多かったです。教師が課題を言うから仮説を設定する、教師が計画を立てましょうと言うから計画を立てる、という受け身の印象でした。

しかし、今回は、生徒が事象を見て、自分たちで学ぶものを決めていました。本来の科学の学び方である気がして、教えていて楽しかったです。思考の過程に沿っているからか、プロセスをいちいち言わなくても学びが進んでいきました。

このように、複数事象を比較させることで、複数の変数を多面的に追究する姿が見られたことが、新しい指導方略の成果として認識されていた。また、仮説設定の指導がその後の実験計画における条件制御に良い影響を与えたことが報告された。加えて、生徒が自ら仮説を立てて追究する内容を選ぶことで、主体的な学びが実現したという手ごたえを感じていた。

次に、実践を通して苦労した点や残された課題としては以下のようなものが報告された(表 8-9)。

表 8-9 実践を通して苦労した点や残された課題の認識

- 生徒が見出した多様な変数の扱い

複数事象に組み込まれた変数以外にも、生徒の知識によって見出された変数の扱いに困る部分がありました。また、見出した違いの中から、類似したものを同一変数として統合していく段階の指導に課題が残りました。

- 個の指導と全体の指導の分け方

変数を見出す場面は、個でじっくり考えるのも良いが、いきなり全体で見つけていくのも、盛り上がりがある。その際、教師はファシリテーターとなります。この場合、考えるのに時間がかかる生徒にとっては、思考の時間が奪われていることになるのではないかと悩みました。

- 違いを見つける段階での指導の重要性

違いを見つける段階で、さまざまな変数を出させることが重要だと感じています。ここで、様々な可能性を出しておかないと、その後、偏った考えばかり集まってしまい、学級として偏った方向性のみ探究することとなる。しかし、これは教師からすれば恐怖でもあると思うのです。こちらの意図せぬ方向に話が進んでしまう恐れもあります。

しかし、何度も中村先生と話をしているように、本当に検討する価値があるのか、提示された事象を説明するのにふさわしいか、似たような表現はないか、ということを丁寧に指導していけば、授業は大きく逸れることはないとも思っています。

- 理由を表現させることの重要さ

様々な変数を抽出したのちに、関係していそうだと思う変数を絞ります。その際、ただ絞るのではなく、どうしてその変数を選択したのかについて、丁寧に聞き取る必要があると思いました。そうでないと、何となくの作業となってしまう。周りの人がなんとなく捨ててしまっているけど、実はすごい気づきがあるのを見落としてしまうかもしれません。少数のものほど、丁寧に聞き取れると良いなと感じています。

- 時間の制約

これまでの意見と相反しますが、授業時間には限りがある中で、どこにどれだけ時間を割くのが鍵です。あまり丁寧に聞き取りすぎても…という感じもあります。指導の勘所は、私もまだつかめていません。さまざまな仮説を設定した後に、できれば学級で共有したいなと思っていますが、これも時間の制約でできていません。

進めにくい理由は、筆が進むのが遅い生徒がいることが原因です。早い生徒はどんどん

書き進む一方、遅い生徒は、決してサボっているわけではなく・頭で考えながら筆を動かすことが苦手そうなのです。その生徒を待っていると、どんどん時間が押します。もっと、時間設定を教師がしてあげる必要があるのかもしれませんが。また、実験計画までを一時間でおさめたいとなると、なおさらです。

実践を通して授業者が苦勞した点としては、生徒が見出した多様な変数の扱いや個別指導と一斉指導のバランスの問題が挙げられた。教師が意図的に複数事象間の違いとして埋め込んだ変数を見いだすだけでなく、教師の意図しない変数を生徒が提案してきたときに、多面的な追究という観点からそれらを肯定的に捉えたい気持ちと、教師の想定しない未知の変数が提案されることで計画していた授業から外れることへの恐怖の間で葛藤している様子が垣間見られる。それでも、生徒が見出した変数を受け止め、事象との関連性という観点から変数を吟味していくことで、授業の目標を十分に達成できる可能性が述べられている。その他の課題としては、時間的制約の問題が挙げられていた。限られた時間内で生徒の主体的な探究を実現しようと思うと、どうしても時間が足りなくなる。限られた時間の中で、仮説設定ばかりに毎回時間を割くわけにもいかない。また、生徒の中でも必要な時間には個人差がある事から、どこに合わせて授業を進めるかの意思決定が必要になる。このような時間的制約の中で、どうすれば効果的に仮説設定の能力を育成できるかについては、今後の研究において検討していく必要がある。

第4節 本章のまとめ

本章のリサーチクエスションは、「RQ5：仮説設定はどのように指導するべきか」であった。RQに答えるために、本章では第1節で仮説設定の指導方略を構築し、第2節で中学生を対象とした2つの授業実践と効果検証を実施した。中学校第2学年「電流とその利用」の単元において、実験群と統制群を設定し、実験群では考案した指導方略に基づく授業を、統制群では従来通りの指導方略に基づく授業を実施した。授業終了後、群間で指導効果を比較した結果、実験群は統制群に比べて仮説設定の質が有意に高かった。また、自由記述の結果からは、考案した指導方略が想定していた有効性を支持する感想が得られた。その後の継続的な実践においても、考案した指導方略が従来の方法と比べて仮説設定の質に対する高い効果を示していた。以上の結果から、新たに考案した仮説設定の指導方略の有効性を確認した。

第9章 研究の総括と今後の課題

第9章 研究の総括

第1節 本研究の成果

本研究は、理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案することを目的としていた。研究の目的を達成するために、先行研究のシステマティックレビュー（第2章）を通して5つのRQを設定し（第3章）、理論的・実証的研究を通してそれぞれの検討を行った。

RQ1：理科教育における仮説の概念はどのようなものか（第4章）

RQ1については、自然科学における仮説の歴史を概観し、現代の科学の方法である仮説演繹法における仮説の位置づけを確認したうえで、自然科学における仮説の概念を明確化した。そして、自然科学と学校科学（理科教育）の状況の違いを整理したうえで、理科教育における仮説の概念を整理した。仮説演繹法の枠組みにおいて、仮説は現象を暫定的に説明するものであり、その後の実験結果の予測を導く機能を持つ。ここで仮説とは、現象に内在する因果メカニズムの説明であり、独立変数への介入によって従属変数がどのように変化するかを示すものであった。仮説の基本的な定義は自然科学と理科教育でほとんど差がないが、説明の対象となる現象が教師から与えられるという状況設定が両者で異なっていた。

従来の科学教育研究では、仮説の定義を固定的なものとして扱っており、自然科学と学校科学における仮説の違いを議論してこなかった。これに対して本研究では、自然科学の歴史において仮説の定義や位置づけが変化してきたことを示したうえで、学校科学における仮説の位置づけを示した点に新規性がある。また、従来は教師が仮説と予想・予測を混同している原因を定義の理解不足に還元していたのに対して、本研究では両者を混同することで生じる教育的問題点を示すことで解決を試みている点が従来のアプローチと大きく異なる。

RQ2：理科における仮説設定の思考過程はどのようなものか（第5章）

RQ2については、大学生を大学生・大学院生を対象とした面接調査を実施し、得られた

発話プロトコルを分析することで、仮説設定に共通した思考過程を検討した。その結果、仮説設定には共通して、A. 問題状況を理解し、B. 目標や方向性を確認する過程を経て、あるいは経由せずに C. 変数の同定へと移り、D. 因果関係の認識との行き来を繰り返した上で、E. 仮説を言葉で表現するという思考過程が存在することが示唆された。

これらの結果は、大学生・大学院生を対象とした限定的なサンプルに対して実施した調査に基づくものであり、得られた思考過程を直ちに一般化することはできないものの、初等中等教育において理科を学習してきた大学生がどのように仮説を立てるかの思考過程は、小学生～高校生が仮説を立てる際のロールモデルとして十分な価値があると考えられる。また、従来の思考過程に関する研究が、規則発見課題という実際の理科学習とはかけ離れた文脈調査を行ってきたのに対して、本研究では理科学習に近い文脈で調査を行っている点が大きく異なる。また、分析の観点として、従来の研究では2種類の情報（短期記憶／長期記憶）のどちらを使用しているかを分析していたのに対して、本研究では2種類の情報をどのように利用して仮説を設定するかの詳細な推論過程や、思考過程を調整する高次認知の働きを思考過程のモデルに組み込んでいる点で、従来の研究よりも優れている。

RQ3：仮説設定の質をどのように評価すればよいか（第6章）

RQ3 については、評価の三角形（NRC, 2001）の考え方にに基づき仮説設定を評価する際に重要な3つの要素を整理したうえで、RQ1, 2 を通して明らかになった知見を踏まえた評価基準を作成した。作成した評価基準は、自然科学における仮説概念に関する議論や面接調査で明らかになった学習者の思考過程を反映している点で、従来の評価方法よりも妥当性が高いと考えられる。この評価基準は、調査での測定用途に加えて、授業時の形成的評価と個別支援に応用することが見込まれる。

RQ4：何が仮説設定の質に影響するか（第7章）

RQ4 については、高校生を対象とした筆記調査を実施し、目標・方向性を確認することが仮説設定の質の向上に寄与するかどうかを検討した。その結果、仮説設定に先行して、何についてどのような方略で考えれば良いかの方略や自身の持っている知識で何が役立つそうかの見通しを持たせることで、仮説設定の質が向上することが支持された。この結果は、理科学習におけるメタ認知の重要性を指摘した先行研究の知見を支持するものであり、

仮説設定の質を向上させる指導の在り方に示唆を与えるものである。

RQ5：仮説設定はどのように指導すべきか（第8章）

RQ5 については、RQ1~4 の知見に基づき仮説設定の指導方略を考案し、中学生を対象とした授業実践を通して効果を検証した。本研究で新たに考案した指導方略は、条件が制御されていない複数事象を示し、事象間の違いを比較させて独立変数を見出すなど、仮説設定の方略の明示的な指導と、各過程を切り分けた段階的な指導を行うものである。また、各段階での学習者の状況をワークシートワークの記述に基づき形成的に評価し、躓きに応じた適切な支援を行う。効果検証では、一連の指導を通して、学習者が仮説の立て方を理解し、仮説設定の質が高まることが支持された。

全体的な成果

RQ1~5 の一連の検討を通して、本研究の全体的な目的である「理科の仮説設定における学習者の実態を明らかにし、当該過程において有効な指導方略を提案すること」を十分に達成できたと考えられる。学習者の実態としては、仮説設定の思考過程やその質に影響する要因が部分的に明らかになった。また、それらの知見に基づき提案した指導方略はその有効性が一定程度確認された。

一連の研究成果は、学術的な新規性に加えて、理科教育における仮説設定の指導改善に貢献する価値を持つものでもある。長い間、理科授業においては学習者が仮説を設定する時間が確保されず、確保されたとしても自身の知識や経験に基づき仮説を立てることが求められるばかりで、どのように仮説を立てればよいかの指導はほとんど行われてこなかった。本研究を通して仮説設定の思考過程とそれに基づく段階的な指導方略が提案されたことで、教師は仮説の立て方を教えることが可能になり、学習者の科学的リテラシーの育成に資する理科教育の実現に貢献すると考えられる。

第2節 研究の限界と今後の課題

最後に、本研究の限界と今後の課題を4点示す。

1. 仮説設定の教育の規範

本研究の第1章及び第4章で述べたどのような仮説設定が望ましいかという規範は、現代の科学や科学教育の価値観を所与のものとして議論を展開しており、これらの価値観が変われば望ましい仮説設定の教育の在り方も変わる可能性がある。今後の研究においても、仮説設定の場面のみを取り出して議論を行うのではなく、科学や科学教育の価値観と紐づけて仮説設定の規範に関する議論を行っていく必要がある。

2. サンプルサイズと一般化可能性

本研究ではRQ2, 4, 5に対応する形で3つの調査を実施したが、どの調査においても得られた知見を日本の学習者全体に一般化するにはサンプルサイズが不足している。今後は、サンプルサイズを増やし、それぞれの知見の再現性を注意深く検討していく必要がある。その際、本研究で得られた効果量などの統計指標は、今後の追試のサンプルサイズを決定するうえで有用だと考える。

3. 説明変数の追加とモデル改善

仮説設定の質に影響する要因は様々なものが想定されるが、本研究ではその一部のみしか検討できていない。今後は、説明変数を追加してモデルを改善することで予測力を向上させる研究アプローチが求められる。その際、説明変数の増加に伴うオーバーフィッティングに留意し、効果量の大きい要因を優先的にモデルに含めることが望ましい。

4. 発達段階に関する検討

本研究では、仮説設定の思考過程や影響要因について、発達段階をモデルに組み込んでいない。発達段階が異なればこれらのモデルにも差が生じる可能性があることから、今後は、発達段階による差を検討していく必要がある。また、指導方略に関しても、小学校か

ら大学までの仮説設定に関する能力の長期的な発達を視野に入れた検討を行っていく必要がある。

引用文献

引用文献

- American Association for the Advancement of Science. [AAAS] (1989). *Science for all Americans: A project 2061 report on literacy goals in science*. Oxford university press.
- Andersen, C., & Garcia-Mila M. (2017). Scientific Reasoning During Inquiry. In K. S. Taber, B. Akpan (Eds.), *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. SensePublishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_8
- Armstrong, H. E. (1910). *The teaching of scientific method and other papers on education*. London: MacMillan. Retrieved from <https://archive.org/stream/sciencemethostea00armsuoft#page/n7/mode/2up>
- Arnold, J. C., Boone, W. J., Kremer, K., & Mayer, J. (2018). Assessment of Competencies in Scientific Inquiry Through the Application of Rasch Measurement Techniques. *Education Sciences*, 8(4), 184. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/educsci8040184>
- Atkin, J. M. (1958). A study of formulating and suggesting tests for hypotheses in elementary school science learning experiences. *Science Education*, 42(5), 414–422. <https://doi.org/10.1002/sce.3730420511>
- Baxter, L. M., & Kurtz, M. J. (2001). When a Hypothesis is NOT an Educated Guess? *Science and Children*, 38(7), 18–20. <http://www.jstor.org/stable/43171065>
- Blackwell, R. J. (1969). *Discovery in the Physical Sciences*. Notre Dame: University of Notre Dame Press.
- Brannigan, A. (1981). *The Social Basis of Scientific Discoveries*. New York: Cambridge University Press. (ブラニガン, A. 村上陽一郎・大谷隆昶 (訳) (1984) 『科学的発見の現象学』紀伊國屋書店)
- Bruner, J. S. (1956). *A study of thinking*. New York, NY: Science Editions, Inc. (ブルーナー, J. S. 岸本弘・岸本紀子・杉崎恵義・山北亮 (訳) (1969) 『思考の研究』明治図書)
- Bruner, J. S. (1961). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University. (ブルーナー, J. S. 鈴木祥蔵・佐藤三郎 (訳) (1963) 『教育の過程』岩波書店)
- Burns, J., Okey, J., & Wise, K. (1985). Development of an integrated process skill test: TIPS II. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, 169–177. <https://doi.org/10.1002/tea.3660220208>
- Bybee, R. W. (2010). What is STEM education? *Science* (New York, N.Y.), 329(5995), 996. <https://doi.org/10.1126/science.1194998>
- Cooper, H. M. (2017). *Research synthesis and meta-analysis: A step-by-step approach*. Sage publications.
- Cothron, J. H., Giese, R. N., & Rezba, R. J. (2000). *Science Experiments and Projects for Students*. Kendall/Hunt Publishing Company, 21–35.
- Darus, F. B., & Saat, R. M. (2014). How Do Primary School Students Acquire the Skill of Making

- Hypothesis. *Malaysian Online Journal of Educational Sciences*, 2, 20–26.
- DeBoer, G. E. (2014). The history of science curriculum reform in the United States. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education*. Routledge.
- Dewey, J. (1910). Science as subject-matter and as method. *Science*, 31(787), 121–127. <https://doi.org/10.1126/science.31.787.121>
- Emden, M. (2021). Reintroducing “the” Scientific Method to Introduce Scientific Inquiry in Schools?. *Science & Education*, 1–37.
- Erduran, S. (2020). Science Education in the Era of a Pandemic. *Science & Education*, 29, 233–235. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00122-w>
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1984). *Protocol analysis: Verbal reports as data*. Cambridge, MA: Bradford books/MIT Press.
- Feyerabend, P. K. (1975). *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*. New Left Books. (ファイヤアーベント, P. K. 村上陽一郎・渡辺博 (訳) (1981) 『方法への挑戦 科学的創造と知のアナーキズム』新曜社)
- Feynman, R. (1965). *The character of physical law*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 福田成穂・中村泰輔 (2016) 「高校生が有する Nature of Scientific Inquiry の理解の実態——VASI アンケートを用いた調査から——」『日本科学教育学会研究会研究報告』第30巻, 第6号, 55–60.
- 福本伊都子・白神聖也・木下博義 (2012) 「高等学校生物における仮説論述力の育成に関する事例的研究」『臨床教科教育学会誌』第12巻, 第1号, 33–40.
- 福岡敏行・竹村志保美 (1989) 「仮説設定能力に関する分析方法の開発と児童の実態——APU の評価問題 (Generating Alternative Hypotheses) を使って——」『日本理科教育学会研究紀要』第29巻, 第3号, 41–49.
- Garst, J., Kerr, N. L., Harris, S. E., & Sheppard, L. A. (2002). Satisficing in hypothesis generation. *The American Journal of Psychology*, 115(4), 475–500. <https://doi.org/10.2307/1423524>
- Gilbert, C., & Matthews, P. (1986). *Look! Primary Science: Teacher's Guide A*. Edinburgh, Oliver and Boyd.
- 五島政一・小林辰至 (2009) 「W 型問題解決モデルに基づいた科学的リテラシー育成のための理科教育に関する一考察——問題の把握から考察・活用までの過程に着目して——」『理科教育学研究』第50巻, 第2号, 39–50.
- Guisasola, J., Ceberio, M., & Zubimendi, J.L. (2006). University Students' Strategies for Constructing Hypothesis when Tackling Paper-and-Pencil Tasks in Physics. *Research in Science Education*, 36, 163–186. <https://doi.org/10.1007/s11165-005-9000-7>
- Gyllenpalm, J., & Wickman, P. O. (2011). The Uses of the Term Hypothesis and the Inquiry Emphasis Conflation in Science Teacher Education. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1993–2015. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.538938>

- Gyllenpalm, J., Wickman, P. O., & Holmgren, S. O. (2010). Teachers' Language on Scientific Inquiry: Methods of teaching or methods of inquiry?. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1151–1172. <https://doi.org/10.1080/09500690902977457>
- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge University Press. (ハンソン, N. R. 村上陽一郎 (訳) (1986) 『科学的発見のパターン』講談社学術文庫)
- 原田信之 (2006) 「教育スタンダードによるカリキュラム政策の展開: ドイツにおける PISA ショックと教育改革」『九州情報大学研究論集』第 8 巻, 第 1 号, 51-68.
- Harper, D. (n.d.). *Etymology of hypothesis*. Online Etymology Dictionary. <https://www.etymonline.com/word/hypothesis>
- 林雅文・桂木浩文・木下博義 (2016) 「中学校理科における仮説設定の論述指導に関する研究: 「酸・アルカリとイオン」の単元における実践を例にして」『臨床教科教育学会誌』第 16 巻, 第 2 号, 57–66.
- Hempel, C. G. (1965). *Aspects of Scientific Explanation and Other Essays in the Philosophy of Science*. New York: The Free Press. (ヘンペル, C. 長坂源一郎 (訳) (1973) 『科学的説明の諸問題』岩波書店)
- Hempel, C. (1966). *Philosophy of Natural Science*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.
- Hepburn, B. & Andersen, H. (2021). Scientific Method. In E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. <https://plato.stanford.edu/archives/sum2021/entries/scientific-method/>
- Holyoak, K. J. (1985). The Pragmatics of Analogical Transfer. *Psychology of Learning and Motivation*, 19, 59–87. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60524-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60524-1)
- Hoover, S. M., & Feldhusen, J. F. (1990). The scientific hypothesis formulation ability of gifted ninth-grade students. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 838–848. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.4.838>
- 今田利弘・小林辰至 (2004) 「中学校理科教員のプロセス・スキルズ育成に関する指導の実態」『理科教育学研究』第 45 巻, 第 2 号, 1–8.
- 伊勢田哲治 (2003) 『疑似科学と科学の哲学』名古屋大学出版会.
- 石井雅幸 (2001) 「児童の問題解決能力の実態と教師教育への期待——教育現場からの問いかけ——」『日本科学教育学会研究会研究報告』第 15 巻, 第 5 号, 27–32.
- 伊藤彰浩 (2013) 「高度成長期と技術者養成教育」『日本労働研究雑誌』634, 40–50.
- 伊藤富雄 (1974) 「探求学習における仮説とはどういうことか」石原文平・久田芳・三井俊郎 (編) 『よい理科指導の条件』東洋館出版社, 125.
- 角屋重樹・林四郎・石井雅幸 (2009) 『小学校 理科の学ばせ方・教え方事典 改訂新装版』教育出版, 407.
- 金子健治・小林辰至 (2010) 「The Four Question Strategy(4QS)を用いた仮説設定の指導が素

- 朴概念の転換に与える効果——質量の異なる台車の斜面上の運動の実験を例として——」『理科教育学研究』第 50 巻, 第 3 号, 67–76.
- 金子健治・小林辰至 (2011) 「The Four Question Strategy(4QS)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. <https://doi.org/10.11639/sjst.KJ00007111463>
- 加藤健太郎・山田剛史・川端一光 (2014) 『R による項目反応理論』オーム社.
- 川喜田二郎 (1967) 『発想法——創造性開発のために——』中公新書.
- 川崎弘作・角屋重樹・木下博義・石井雅幸・後藤顕一 (2015) 「初等教育教員養成課程学生の理科における問題解決能力の実態に関する研究——小学 5,6 年生・大学 1 年生の比較を通して——」『理科教育学研究』第 56 巻, 第 2 号, 151–159. <https://doi.org/10.11639/sjst.14028>
- Kelley, T.R., & Knowles, J.G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(11). <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kidman G., Fensham P. (2020). Intended, Achieved and Unachieved Values of Science Education: A Historical Review. In D. Corrigan, C. Bunting, A. Fitzgerald, A. Jones (Eds.), *Values in Science Education* (pp. 173–190). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42172-4_11
- Kitcher, P. (1993). *The Advancement of Science: Science Without Legend, Objectivity Without Illusions*, Oxford University Press.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1–48. [https://doi.org/10.1016/0364-0213\(88\)90007-9](https://doi.org/10.1016/0364-0213(88)90007-9)
- 小林和雄・大高泉 (2006) 「中学校理科における仮説設定能力の育成に関する研究——仮説演繹的推論における「仮説」と「予想」の区別を中心にして——」『日本科学教育学会年会論文集』第 30 巻, 423–424. https://doi.org/10.14935/jssep.30.0_423
- 小林和雄 (2007) 「自ら学び, 自ら考える力の育成を目指す探究的な学習——コミュニケーションによる仮説の共有化——」『理科の教育』第 56 巻, 4 号, 248–250.
- 小林和雄 (2017) 「第 4 章 豊かで質の高い仮説設定の指導」大高泉 (編) 『理科教育基礎論研究』協同出版.
- 小林道夫 (1996) 『科学哲学』産業図書.
- 小林辰至・永益泰彦 (2006) 「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望——小学校教員志望学生の子どもの頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導法の開発と評価——」『科学教育研究』第 30 巻, 3 号, 185–193. <https://doi.org/10.14935/jssej.30.185>
- Koestler, A. (1964). *The Act of Creation*. London: Hutchinson. (ケストラー, A. 大久保直幹・松本俊・中山未喜 (訳) (1966) 『創造活動の理論 (上下巻)』ラティス)
- 国立教育政策研究所 (2018) 「平成 30 年度全国学力・学習状況調査解説資料 中学校理科」

- https://www.nier.go.jp/18chousa/pdf/18kaisetsu_chuu_rika.pdf
- Krackhardt, D. (1987). QAP partialling as a test of spuriousness. *Social Networks*, 9(2), 171–186.
[https://doi.org/10.1016/0378-8733\(87\)90012-8](https://doi.org/10.1016/0378-8733(87)90012-8)
- Kuhn, T. S. (1970). *The Structure of Science Revolutions* (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press. (クーン, T. S. 中山茂 (訳) (1971) 『科学革命の構造』 みすず書房)
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H., & Jeong, J. S. (2009). Changes in brain activation induced by the training of hypothesis generation skills: an fMRI study. *Brain and cognition*, 69(2), 391–397.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.032>
- Lawson, A. E. (1993). Deductive reasoning, brain maturation, and science concept acquisition: Are they linked? *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1029–1051. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300904>
- Lawson, A. E. (1995). *Science Teaching and the Development of Thinking*. Wadsworth Publishing Company, 1–41.
- Lawson, A. E. (2001). Using the learning cycle to teach biology concepts and reasoning patterns. *Journal of Biology Education*, 35(4), 165–169. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655772>
- Lawson, A. E. (2005). What is the role of induction and deduction in reasoning and scientific inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 716–740. <https://doi.org/10.1002/tea.20067>
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry—The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of research in science teaching*, 51(1), 65–83.
<https://doi.org/10.1002/tea.21125>
- Lee, J. K., & Kwon, Y. J. (2011). Why traditional expository teaching–learning approaches may founder? An experimental examination of neural networks in biology learning. *Journal of Biological Education*, 45(2), 83–92. <https://doi.org/10.1080/00219266.2010.548874>
- Lee, J. K., & Kwon, Y. (2012). Learning-related changes in adolescents' neural networks during hypothesis-generating and hypothesis-understanding training. *Science & Education*, 21(1), 1–31.
<https://doi.org/10.1007/s11191-010-9313-4>
- Lin, T. J., Lin, T. C., Potvin, P., & Tsai, C. C. (2019). Research trends in science education from 2013 to 2017: a systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 41(3), 367–387. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1550274>
- Lin, T.-C., Lin, T.-J., & Tsai, -C.-C. (2014). Research trends in science education from 2008 to 2012: A systematic content analysis of publications in selected journals. *International Journal of Science Education*, 36(8), 1346–1372. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.864428>
- Lin, J.-W., Yen, M.-H., Liang, J.-C., Chiu, M.-H., & Guo, C.-J. (2016). Examining the factors that influence students' science learning processes and their learning outcomes: 30 years of conceptual change research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(9),

- 2617–2646. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.000600a>
- 益田裕充・半田良廣・本郷友貴（2015）「論理的推論に基づく仮説形成方略に関する研究：熟達者と新任者の対話的な教授行動を指標として」『臨床教科教育学会誌』第 15 巻，第 2 号，91–98.
- 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. <https://doi.org/10.11639/sjst.11111>
- McComas W. F. (2014). Hypothesis. In W. F. McComas (Eds.), *The Language of Science Education*. SensePublishers, Rotterdam.
- McComas, W. F. (2020). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. In W. F. McComas (Eds.), *Nature of Science in Science Instruction. Science: Philosophy, History and Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_3
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Nouri N. (2020). Nature of Science and Classroom Practice: A Review of the Literature with Implications for Effective NOS Instruction. In W. F. McComas (Eds.), *Nature of Science in Science Instruction. Science: Philosophy, History and Education*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_4
- McPherson, G. R. (2001). Teaching & Learning the Scientific Method. *The American Biology Teacher*, 63(4), 242–245. <https://doi.org/10.2307/4451093>
- 宮本直樹（2014）「中学校理科における仮説設定とデータ解釈との関連：一因果関係を踏まえた仮説の共有化，洗練化に着目して一」『理科教育学研究』第 55 巻，第 3 号，341–350. <https://doi.org/10.11639/sjst.13058>
- 宮本直樹（2016）「科学的探究における仮説設定がデータ解釈に及ぼす効果—中学校第 2 学年「唾液のはたらき」を事例にして一」『科学教育研究』第 40 巻，第 2 号，234–240. <https://doi.org/10.14935/jssej.40.234>
- 文部科学省（2018a）『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説 理科編』東洋館出版社.
- 文部科学省（2018b）『中学校学習指導要領（平成 29 年告示）』東山書房.
- 森田邦久（2010）『理系人に役立つ科学哲学』科学同人.
- 村山哲哉（2013）『小学校理科「問題解決」8つのステップ』東洋館出版.
- 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 I 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.
- 中川陽一・西川純・根本和成（1996）「小学生の事象に対する初発の疑問と理解に関する研究」『日本教科教育学会誌』第 19 巻，第 2 号，57–64. https://doi.org/10.18993/jcrdajp.19.2_57
- 中村大輝・田村智哉・小林誠・永田さくら・大野俊一・大森一磨・堀田晃毅・松浦拓也（2020）「理科における授業実践の効果に関するメタ分析—教育センターの実践報告を対象として—」『科学教育研究』第 44 巻，第 4 号，215–233. <https://doi.org/10.14935/jssej>.

44.215

- 中山迅 (2011) 「問題解決と探究における科学的論述のあり方」 猿田祐嗣・中山迅 (編) 『思考と表現を一体化させる理科授業——自らの言葉で問いを設定して結論を導く子どもを育てる——』 東洋館出版社, 16–28.
- 鳴川哲也・山中謙司・寺本貴啓・辻健 (2019) 『イラスト図解ですっきりわかる理科』 東洋館出版.
- National Research Council. [NRC] (1996). *National science education standards*. National Academies Press.
- National Research Council. [NRC] (2001). *Knowing What Students Know: The Science and Design of Educational Assessment*. Washington. National Academies Press.
- Nenciovici, L., Allaire-Duquette, G., & Masson, S. (2019). Brain activations associated with scientific reasoning: a literature review. *Cognitive processing*, 20(2), 139–161. <https://doi.org/10.1007/s10339-018-0896-z>
- Newton, I. (1713). *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Cambridge. (ニュートン, I. 中野猿人 (訳) (1977) 『プリンシピア—自然哲学の数学的原理』 講談社, 479–654)
- 西脇与作 (2004) 『科学の哲学』 慶応義塾大学出版会.
- 仁藤和弘・今村哲史 (2018) 「中学校理科における科学的探究能力に関する課題—仮説設定を中心とした調査結果をもとに—」 『日本科学教育学会研究会研究報告』 第 33 巻, 第 1 号, 109–114. https://doi.org/10.14935/jsr.33.1_109
- 野家啓一 (2015) 『科学哲学への招待』 筑摩書房.
- Nguyen, A., & Catalan, D. (2020). Digital mis/disinformation and public engagement with health and science controversies: fresh perspectives from Covid-19. *Media and Communication*, 8(2), 323–328. <https://doi.org/10.17645/mac.v8i2.3352>
- OECD (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. OECD Publishing, 17–46.
- 荻須正義・乾実 (1975) 『発見と発想と創造』 初教出版, 79–98.
- Oh, P. H. (2010). How can Teachers Help Students Formulate Scientific Hypotheses? Some Strategies Found in Abductive Inquiry Activities of Earth Science. *International Journal of Science Education*, 32(4), 541–560. <https://doi.org/10.1080/09500690903104457>
- Ohtani, K., Hisasaka, T. (2018). Beyond intelligence: a meta-analytic review of the relationship among metacognition, intelligence, and academic performance. *Metacognition Learning* 13, 179–212. <https://doi.org/10.1007/s11409-018-9183-8>
- 岡田賢樹 (1986) 「仮説とモデル」 北澤弥吉郎・栗田一良・井出耕一郎 (編) 『理科教育指導用語辞典』 教育出版, 92–93.
- 大嶋鎮治 (1920) 『理科教授の原理』 同文館, 122–146.
- 大高泉 (2010) 「ドイツ—PISA ショック後の教育改革と連邦科学教育スタンダードの導入

- 一」橋本健夫・川上昭吾・鶴岡義彦（編）『現代理科教育改革の特色とその具現化』東洋館出版。
- Park, J. (2006). Modelling Analysis of Students' Processes of Generating Scientific Explanatory Hypotheses. *International Journal of Science Education*, 28(5), 469–489. <https://doi.org/10.1080/09500690500404540>
- Peirce, C. S. (1958a). *Collected Papers of Charles Sanders Pierce. Volume 5*. pp. 188–189. Harvard University Press, Cambridge.
- Peirce, C. S. (1958b). *Collected Papers of Charles Sanders Pierce. Volume 7*. Peirce CP 7.534 Cross-Ref:†† 534. Harvard University Press, Cambridge.
- Piekny, J., & Maehler, C. (2013). Scientific reasoning in early and middle childhood: The development of domain-general evidence evaluation, experimentation, and hypothesis generation skills. *British Journal of Developmental Psychology*, 31(2), 153–179.
- プラトン 藤沢令夫（訳）（1994）『メノン』岩波文庫。
- Popper, K. R. (1968). *The logic of scientific discovery*. London: Hutchinson, 31–192.
- Pouler, C. A. & Wright, E. L. (1980). An analysis of the influence of reinforcement and knowledge of criteria on the ability of students to generate hypotheses. *Journal of Research in Science Teaching*, 17(1), 31–37. <https://doi.org/10.1002/tea.3660170106>
- Quinn, M. E., & George, K. D. (1975). Teaching hypothesis formation. *Science Education*, 59(3), 289–296. <https://doi.org/10.1002/scs.3730590303>
- Rachelson, S. (1977). A question of balance: A wholistic view of scientific inquiry. *Science Education*, 61(1), 109–117. <https://doi.org/10.1002/scs.3730610113>
- Reiff-Cox, R. (2020). Exchanging the Myth of a Step-by-Step Scientific Method for a More Authentic Description of Inquiry in Practice. In W. F. McComas (Eds.), *Nature of Science in Science Instruction* (pp. 127–139). Springer, Cham.
- Rezba, R. J., Sprague, C., McDonnough, J. T., & Matkins, J. J. (2007). *Learning and assessing science process skills*. Kendall/Hunt Publishing Company.
- Riga F., Winterbottom M., Harris E., & Newby L. (2017). Inquiry-Based Science Education. In: K.S. Taber, B. Akpan (Eds.), *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. SensePublishers, Rotterdam. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_19
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific Literacy, Science Literacy, and Science Education. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.). *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267-38>
- Şahin, A., & Anıl, D. (2017). The effects of test length and sample size on item parameters in item response theory. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 17, 321–335. <http://dx.doi.org/10.12738/estp.2017.1.0270>
- Salmon, W. (1984). *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*, Princeton University

- Press.
- 佐々木力 (1996) 『科学論入門』岩波書店.
- Schroeder, C. M., Scott, T. P., Tolson, H., Huang, T.-Y. & Lee, Y.-H. (2007). A meta-analysis of national research: Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(10), 1436–1460. <https://doi.org/10.1002/tea.20212>
- Schwab, J. J. (1962). The teaching of science as enquiry. In J. J. Schwab & P. F. Brandwein (Eds.), *The teaching of science* (pp. 3–103). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schools' Examination and Assessment Council [SEAC] (1990). *Children's Work Assessed*. London, Schools' Examination and Assessment Council.
- 鈴木宏昭 (2020) 『類似と思考 改訂版』筑摩書房.
- 鈴木努 (2009) 『R で学ぶデータサイエンス 8 ネットワーク分析』共立出版, 99–108.
- 高橋成和 (1986) 「自然科学の方法」武村重和 (編) 『最新 理科教育法』三晃書房, 30–38.
- 高野恒雄 (1969) 『理科教育の理論と実践』東洋館出版社, 83–88.
- 竹下政範 (1988) 「仮説の設定とモデル化」教員養成基礎教養研究会 (編) 『小学校理科教育研究』教育出版, 108–114.
- 丹沢哲郎 (2015) 「科学的探究の理解とそれをを用いる能力」奈須正裕・江間史明 (編) 『教科の本質から迫るコンピテンシー・ベースの授業づくり』図書文化, 132–156.
- 丹治信春 (1998) 「仮説」廣松渉・子安宣邦・三島憲一・宮本久雄・佐々木力・野家啓一・末木文美士 (編) 『岩波 哲学・思想事典』岩波書店, 239.
- 戸田山和久 (2005) 『科学哲学の冒険』NHK ブックス.
- 戸田山和久 (2011) 『「科学的思考」のレッスン 学校で教えてくれないサイエンス』NHK 出版新書.
- 徳光直 (1975) 「仮説の設定」伊神大四郎・武村重和 (編) 『大系理科教育用語辞典』明治図書, 103.
- Tomkins, S. P. & Tunnicliffe, S. D. (2001). Looking for ideas: observation, interpretation and hypothesis-making by 12-year-old pupils undertaking science investigations. *International Journal of Science Education*, 23(8), 791–813. <https://doi.org/10.1080/09500690119322>
- 豊田秀樹 (2009) 『検定力分析入門——R で学ぶ最新データ解析——』東京図書.
- 豊田秀樹 (2016) 『はじめての統計データ分析——ベイズ的〈ポスト p 値時代〉の統計学——』朝倉書店.
- 内井惣七 (1995) 『科学哲学入門』世界思想社, 16–56.
- UNESCO (2020). *Education in a post-COVID world: nine ideas for public action*. Paris, UNESCO.
- Valladares, L. (2021). Scientific Literacy and Social Transformation. *Science & Education*, 30(3), 557–587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>

- Wason, P. C. (1960). On the Failure to Eliminate Hypotheses in a Conceptual Task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12(3), 129–140. <https://doi.org/10.1080/17470216008416717>
- Wenham, M. (1993). The nature and role of hypotheses in school investigations. *International Journal of Science Education*, 15, 231–240. <https://doi.org/10.1080/0950069930150301>
- Weisberg, D. S., Landrum, A. R., Hamilton, J., & Weisberg, M. (2021). Knowledge about the nature of science increases public acceptance of science regardless of identity factors. *Public Understanding of Science*, 30(2), 120–138. <https://doi.org/10.1177/0963662520977700>
- Woodward, J. (2003). *Making things happen. A theory of causal explanation*. Oxford University Press.
- Woodward, J. (2015). Methodology, ontology, and interventionism. *Synthese*, 192, 3577–3599. <http://www.jstor.org/stable/24704672>
- Wright, E. L. (1978). The influence of intensive instruction upon the open exploration behavior of ninth grade students. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(6), 535–541. <https://doi.org/10.1002/tea.3660150615>
- 山田貴之・小林辰至 (2014) 「小学生の理科における仮説設定能力に影響を及ぼす諸要因の因果モデル——第 6 学年の児童を対象とした質問紙調査の結果に基づいて——」『理科教育学研究』第 55 卷, 第 3 号, 351–361. <https://doi.org/10.11639/sjst.14020>
- 山田貴之・田代直幸・田中保樹・小林辰至 (2015) 「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における "The Four Question Strategy (4QS) " の適用の可能性に関する研究:—自然事象に関わる因果関係の観点から—」『理科教育学研究』第 56 卷, 第 1 号, 105–122. <https://doi.org/10.11639/sjst.sp14005>
- 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——第 6 学年「ものの燃え方と空気」を事例として——」『理科教育学研究』第 55 卷, 第 2 号, 219–229. <https://doi.org/10.11639/sjst.13056>
- 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 卷, 第 4 号, 437–443. <https://doi.org/10.11639/sjst.14016>

巻末資料 1 各章の内容と対応する既発表論文

各章の内容と対応する既発表論文

第1章 研究の背景と目的

- ・ 中村大輝, 雲財寛, 松浦拓也. (2018). 理科の問題解決における仮説設定の研究動向. 理科教育学研究, 59(2), 183-196.
- ・ 中村大輝, 田村智哉, 小林誠, 永田さくら, 大森一磨, 大野俊一, ... 松浦拓也. (2020). 理科における授業実践の効果に関するメタ分析—教育センターの実践報告を対象として—. 科学教育研究, 44(4), 215-233.

第2章 仮説設定に関する先行研究のシステマティックレビュー

- ・ 中村大輝, 雲財寛, 松浦拓也. (2018). 理科の問題解決における仮説設定の研究動向. 理科教育学研究, 59(2), 183-196.

第3章 本研究のリサーチクエスションと論文の構成

該当なし

第4章 仮説の概念に関する理論的検討

- ・ 中村大輝, 雲財寛, 松浦拓也. (2018). 理科の問題解決における仮説設定の研究動向. 理科教育学研究, 59(2), 183-196.

第5章 仮説設定における学習者の思考過程

- ・ 中村大輝, 松浦拓也. (2018). 仮説設定における思考過程とその合理性に関する基礎的研究. 理科教育学研究, 58(3), 279-292.

第6章 仮説設定における評価方法の開発

- ・ 中村大輝. (2018). 発見の文脈における評価に関する基礎的研究. 理科教育学研究, 59(2), 197-204.

第7章 仮説設定の質に影響する要因の検討

- ・ 中村大輝, 松浦拓也. (2018). 理科における仮説設定の合理性に影響を及ぼす要因の検討. 日本教科教育学会誌, 41(3), 57-66.
- ・ 中村大輝, 雲財寛. (2018). 仮説設定能力の評価方法に関する基礎的研究. 科学教育研究, 42(4), 314-323.

第8章 仮説設定の指導方略の開発

該当なし

第9章 研究の総括

該当なし

卷末資料 2 使用した調査問題

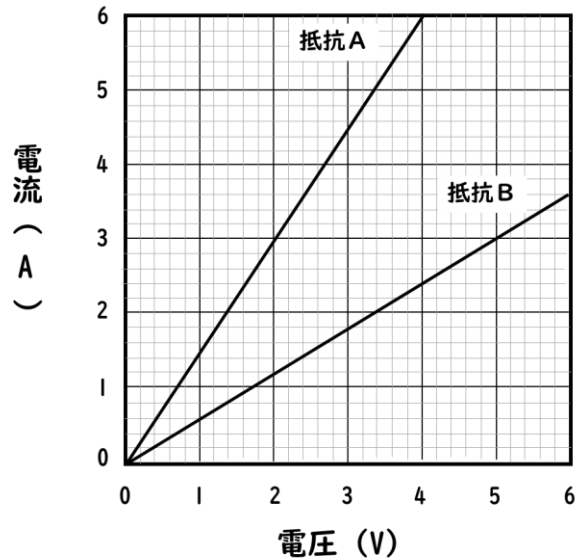
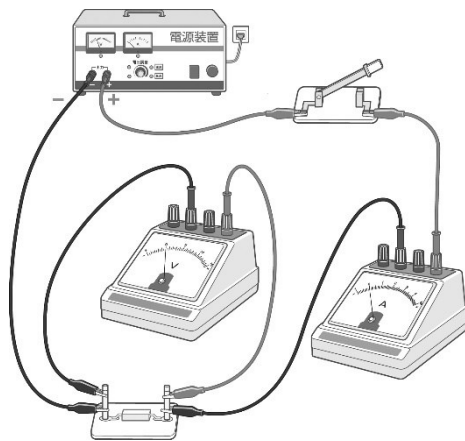
第 3 章および第 7 章で用いた調査問題

<p>[Q1:大気圧]</p> <p>丸底フラスコの中に 3 分の 1 くらい水を入れ、ガスバーナーで充分に加熱したあと、フラスコを火から下ろしてすぐにゴム風船をかぶせて、完全に密閉しました。その後で、フラスコに水道水をかけて冷やしたところ、ゴム風船が縮んでいき、フラスコの中まで入って行きました。</p> <p>ゴム風船がフラスコの中に入っていったのはなぜでしょうか？仮説を立ててください。</p>	<p>[Q2:信号機]</p> <p>現在、LED 式の信号機は従来の電球式信号機よりも電気使用量が少ないことから、全国で置き換えが進んでいます。ある日、さとるさんは LED 式信号機の普及率を調べたところ、雪の多い地域で普及が遅れていることがわかりました。そこで、LED 式信号機の持つ特性が雪の多い地域での普及を遅らせているのではないかと考えたさとるさんは、LED 信号機と電球式信号機について調べ、表のように整理しました。</p> <table border="1" data-bbox="863 584 1428 875"> <thead> <tr> <th></th> <th>LED 信号機</th> <th>電球式信号機</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>製造・設置コスト</td> <td>高い(14万円)</td> <td>安い(8万3000円)</td> </tr> <tr> <td>エネルギー使用量</td> <td>少ない(310kWh)</td> <td>多い(904kWh)</td> </tr> <tr> <td>電気料</td> <td>安い(1798 円/月)</td> <td>高い(14123 円/月)</td> </tr> <tr> <td>寿命</td> <td>7年~10年</td> <td>1年ごとに交換</td> </tr> <tr> <td>球切れによる事故</td> <td>小さなLEDの集合体のため、全体が球切れすることはない</td> <td>電球切れの事故は防げない</td> </tr> <tr> <td>西日による疑似点灯</td> <td>ない</td> <td>構造上なくすことが出来ない</td> </tr> <tr> <td>寒冷地対策</td> <td>信号機を縦に設置 ヒーターを追加で設置</td> <td>信号を縦に設置</td> </tr> </tbody> </table> <p>雪の多い地域で LED 式信号機の普及が進まないのはなぜだと考えられますか？仮説を立ててください。</p>		LED 信号機	電球式信号機	製造・設置コスト	高い(14万円)	安い(8万3000円)	エネルギー使用量	少ない(310kWh)	多い(904kWh)	電気料	安い(1798 円/月)	高い(14123 円/月)	寿命	7年~10年	1年ごとに交換	球切れによる事故	小さなLEDの集合体のため、全体が球切れすることはない	電球切れの事故は防げない	西日による疑似点灯	ない	構造上なくすことが出来ない	寒冷地対策	信号機を縦に設置 ヒーターを追加で設置	信号を縦に設置																								
	LED 信号機	電球式信号機																																															
製造・設置コスト	高い(14万円)	安い(8万3000円)																																															
エネルギー使用量	少ない(310kWh)	多い(904kWh)																																															
電気料	安い(1798 円/月)	高い(14123 円/月)																																															
寿命	7年~10年	1年ごとに交換																																															
球切れによる事故	小さなLEDの集合体のため、全体が球切れすることはない	電球切れの事故は防げない																																															
西日による疑似点灯	ない	構造上なくすことが出来ない																																															
寒冷地対策	信号機を縦に設置 ヒーターを追加で設置	信号を縦に設置																																															
<p>[Q3:化石]</p> <p>ある日、化石の採取を行っていた太郎さんは同一の地層から 4 種類の化石を採取しました。それぞれの化石について持ち帰って図鑑で調べた所、これらの化石は<①メタセコイア, ②ブナの葉, ③ピカリア, ④デスモスチルスの歯>であることがわかりました。また、さらに調べた所、各化石と地質年代の関係は次のようになっていることがわかりました。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ウミユリ: オルドビス紀~シルル紀 ・ブナ: 新第三紀~第四紀 ・メタセコイア: 白亜紀後期~第四紀 ・モノチス: 三畳紀 ・トリゴニア: 中生代 ・ピカリア: 古第三紀~新第三紀 ・イタヤガイ: 新第三紀~第四紀 <p>では、デスモスチルスはいつの時代に生息していた生物だと考えられますか？仮説を立ててください。</p>	<p>[Q4:花を閉じる条件]</p> <p>空き地に咲いているセイヨウタンポポが夕方になると花を閉じることに興味を持った健一さんは、花の開閉に関係がありそうな項目を記録することを思いつきました。日本中の友達にメールで協力を呼びかけて、よく日の当たる開けた土地でセイヨウタンポポのデータを収集した所、表のようになりました。</p> <table border="1" data-bbox="828 1200 1460 1400"> <thead> <tr> <th>地点</th> <th>天気</th> <th>日の出の時刻</th> <th>花が開いた時刻</th> <th>日の入りの時刻</th> <th>花が閉じた時刻</th> <th>最高気温 (°C)</th> <th>最低気温 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>快晴</td> <td>5:10</td> <td>6:23</td> <td>17:00</td> <td>16:26</td> <td>19.6</td> <td>12.1</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>快晴</td> <td>5:30</td> <td>6:53</td> <td>17:10</td> <td>16:58</td> <td>21.0</td> <td>13.2</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>快晴</td> <td>5:50</td> <td>7:04</td> <td>17:20</td> <td>16:59</td> <td>19.3</td> <td>15.4</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>快晴</td> <td>6:10</td> <td>7:28</td> <td>17:30</td> <td>17:34</td> <td>20.1</td> <td>16.0</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>快晴</td> <td>6:30</td> <td>7:49</td> <td>17:40</td> <td>17:53</td> <td>19.5</td> <td>12.7</td> </tr> </tbody> </table> <p>セイヨウタンポポはどのような条件によって花を閉じると考えられますか？ 仮説を立ててください。</p>	地点	天気	日の出の時刻	花が開いた時刻	日の入りの時刻	花が閉じた時刻	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)	A	快晴	5:10	6:23	17:00	16:26	19.6	12.1	B	快晴	5:30	6:53	17:10	16:58	21.0	13.2	C	快晴	5:50	7:04	17:20	16:59	19.3	15.4	D	快晴	6:10	7:28	17:30	17:34	20.1	16.0	E	快晴	6:30	7:49	17:40	17:53	19.5	12.7
地点	天気	日の出の時刻	花が開いた時刻	日の入りの時刻	花が閉じた時刻	最高気温 (°C)	最低気温 (°C)																																										
A	快晴	5:10	6:23	17:00	16:26	19.6	12.1																																										
B	快晴	5:30	6:53	17:10	16:58	21.0	13.2																																										
C	快晴	5:50	7:04	17:20	16:59	19.3	15.4																																										
D	快晴	6:10	7:28	17:30	17:34	20.1	16.0																																										
E	快晴	6:30	7:49	17:40	17:53	19.5	12.7																																										
<p>[Q5:生体組織の工夫]</p> <p>多くの生物が、使うときになって初めて器官を広げるといふ工夫を採用しています。例えば、セミやトンボは羽化の際、縮んでいた羽に網目状に体液を送ることで広げ、使用可能な状態にします。また、植物は発芽の際に閉じていた葉の葉脈に水を送ることで広げ、芽を開きます。</p> <p>同じような工夫は人間も採用しています。胎児として母体にいる最中は縮んでいて、生まれた直後に広げて使用する器官が存在します。それは何でしょうか。仮説を立ててください。</p>	<p>[Q6:構造と浮力]</p> <p>軽石をそっと水に入れると、軽石は水に浮かびます。しかし、ヤスリで削って粉末にしてから水に入れてかき混ぜると、それらは水の中に沈みます。これは軽石を作っている物質自体は水より密度が大きいからです。では木材だとどうでしょうか？木でできた割り箸を水に入れると浮かびます。しかし同様に、ヤスリで削って粉にしてから水に入れてかき混ぜると、それらは水の中に沈みます。木材を削って粉にしたものは密度 1.6g/cm³ と水より密度が大きいのです。軽石も割り箸も 1 つのかたまりのときは浮くのに、削ると沈むという同じような性質を示すのはなぜでしょうか？仮説を立ててください。</p>																																																

第8章で用いた理解度の事後調査の問題

電流と電圧の関係 調査問題

1 授業で図のような回路を組んで、抵抗の両端に加える電圧と抵抗を流れる電流の大きさの関係性を調べた。
この実験の結果は、以下のグラフのようになった。この実験について、以下の各問に答えなさい。



(1) 以下の空欄を補充しなさい。

抵抗を流れる電流の大きさは、抵抗の両端に加える電圧の大きさに (①) する。この法則を (②) の法則という。

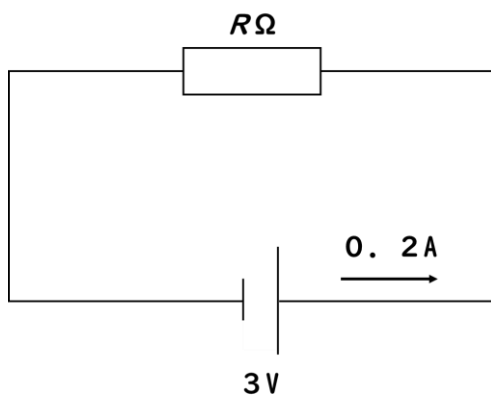
(2) 抵抗Aと抵抗Bでは、どちらの方が電流が流れやすいか。

(3) (2) のように判断した理由を書きなさい。

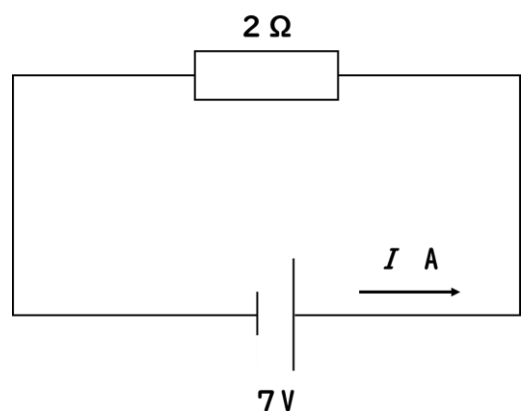
(4) 抵抗A, 抵抗Bそれぞれの抵抗の大きさを求めなさい。

2 以下の各回路における、電流 I 、電圧 V 、抵抗 R の値をそれぞれ求めなさい。

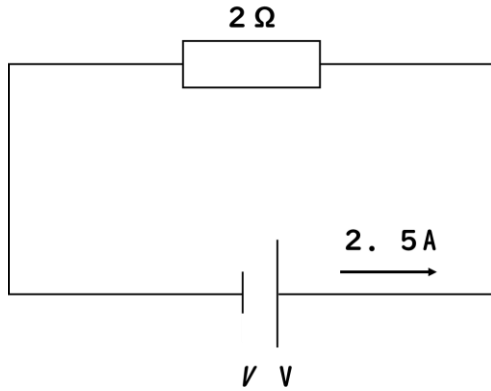
(1)



(2)



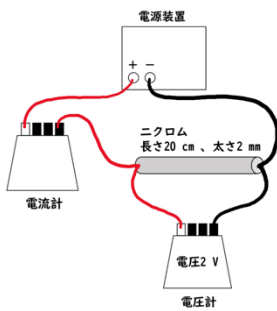
(3)



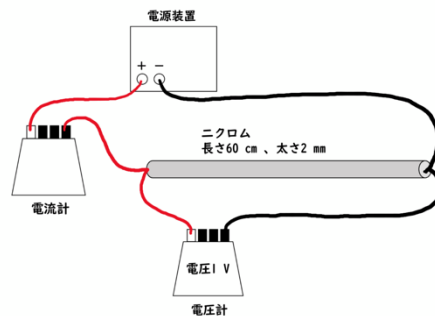
3 金属線に流れる電流の大きさが、金属線のどのような要因と関係があるのか明らかにするために実験を行った。この実験に関する、以下の問に答えなさい。

(1) 金属線の長さによって、金属線に流れる電流の大きさがどのように変わるのか調べたいとき、以下のア～カの中から、どの実験を比較して行えば良いか。比較する実験2つを記号で答えなさい。

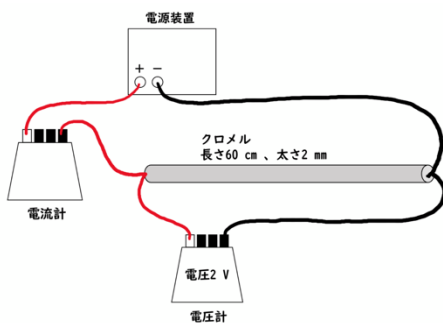
ア



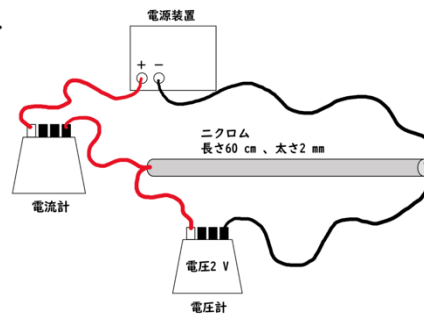
イ



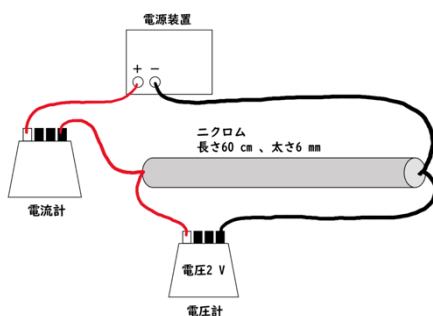
ウ



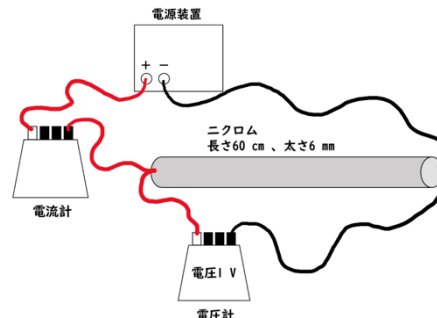
エ



オ

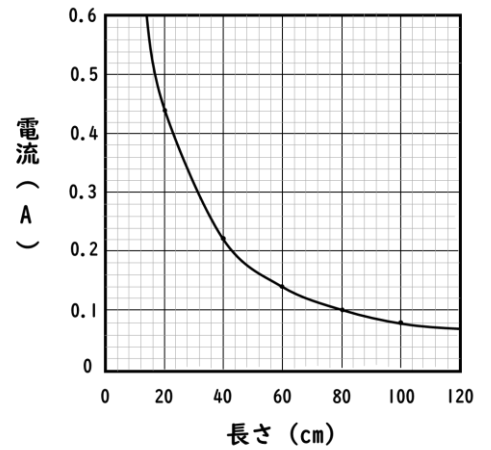


カ



(2) 以下の空欄を補充しなさい。

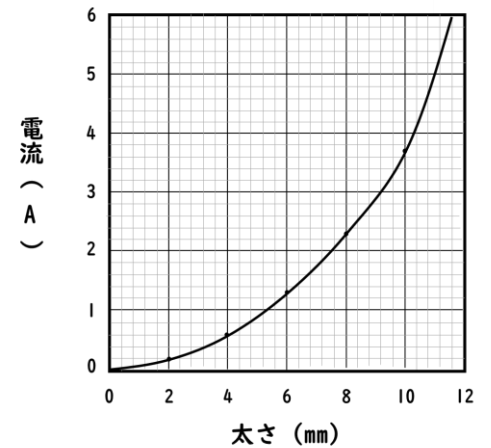
右のグラフより、金属線が長くなるほど金属線に流れる電流は(①) なることがわかる。しかし、長さ20 cm ごとの電流の流れやすさの変化量は一定ではない。長さ20 cm から40 cm よりも、長さ60 cm から80 cm の方が、その変化量は(②) なることがわかる。



(3) 金属線の長さが20 cm のときの、金属線の抵抗を求めなさい。ただし、電圧の大きさは2.2 V とする。

(4) 以下の空欄を補充しなさい。

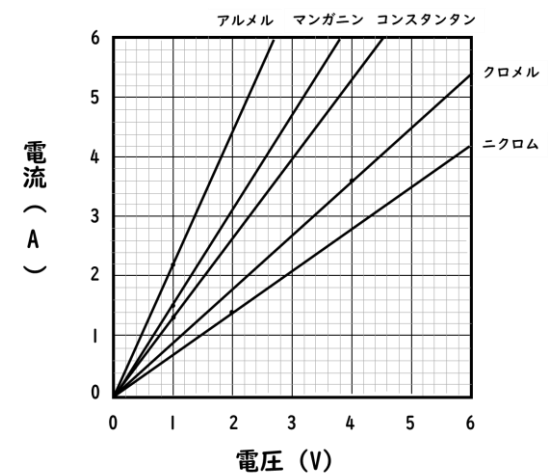
右のグラフより、金属線が太くなるほど金属線に流れる電流は(①) なることがわかる。しかし、太さ2 mm ごとの電流の流れやすさの変化量は一定ではない。太さ2 mm から4 mm よりも、太さ8 mm から10 mm の方が、その変化量は(②) なることがわかる。



(5) 金属線の太さが4 mm のときの、金属線の抵抗を求めなさい。ただし、電圧の大きさは1.2 V とする。

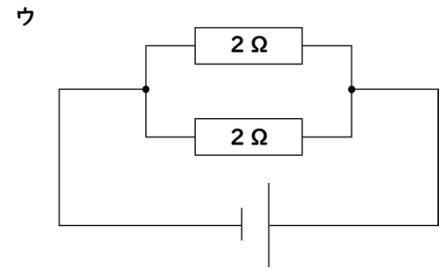
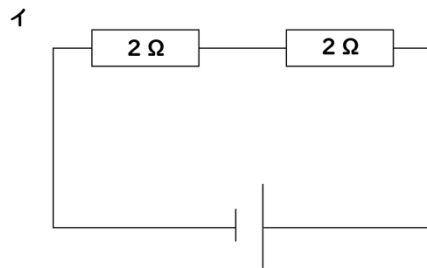
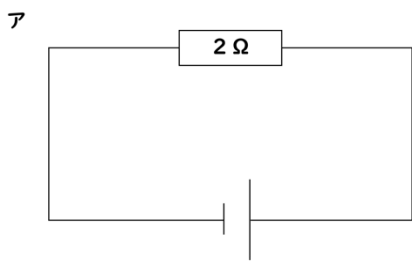
(6) 以下の空欄を補充しなさい。

右のグラフより、金属線の種類によって、電流の流れやすさが(①) ことがわかる。また、5種類の金属線で最も電流がながれやすいのは(②) とわかる。



(7) クロメルの抵抗の大きさを求めなさい。

4 1種類の抵抗2つを使って，次のア～エの回路を組んだ。これらの回路のうち，回路全体の抵抗が大きいものから順番にア～ウの記号で答えなさい。



巻末資料 3 分析に使用した R コード

分析に使用した R コード

```

# はじめに -----
# このスクリプトは, 中村(2022)「理科の仮説設定における学習者の実態と
# 指導方略に関する研究」広島大学博士学位論文. で使用されたものです。
# R および RStudio のバージョンは, 研究時点で最新のものを使用しました。
# 最終的な動作確認は, R ver.4.1.1 で実行しました。

# 第5章 仮説設定における学習者の思考過程 -----
# パッケージの読み込み
library(sna)
library(igraph)

# 問題ごとの隣接行列(6行6列)
Q1 <- matrix(c(
  0,2,11,2,0,0,
  0,0,4,0,0,0,
  0,2,0,18,0,1,
  0,0,4,0,1,15,
  0,0,0,0,0,1,
  0,0,1,0,0,0),
  nrow =6,
  byrow=TRUE)

Q2 <- matrix(c(
  0,9,8,1,0,0,
  0,0,9,1,0,1,
  1,2,0,26,0,2,
  0,0,10,0,1,19,
  0,0,2,1,0,2,
  1,0,2,1,5,0),
  nrow =6,
  byrow=TRUE)

Q3 <- matrix(c(
  0,9,7,0,0,0,

```

```

1,0,10,2,0,0,
0,3,0,14,0,1,
0,1,1,0,3,11,
0,0,0,0,0,3,
0,0,0,0,1,0),
nrow =6,
byrow=TRUE)

```

```

Q4 <- matrix(c(
0,5,9,2,0,0,
0,0,7,0,0,0,
0,1,0,25,0,1,
1,1,10,0,4,14,
0,0,1,3,0,2,
0,0,0,0,2,0),
nrow =6,
byrow=TRUE)

```

```

Q5 <- matrix(c(
0,11,6,0,0,0,
1,0,9,2,0,1,
0,1,0,19,2,2,
0,0,8,0,4,11,
0,1,1,2,0,4,
0,0,0,0,2,0),
nrow =6,
byrow=TRUE)

```

```

Q6 <- matrix(c(
0,4,8,3,0,0,
0,0,3,1,0,0,
0,0,0,12,0,0,
1,0,1,0,1,14,
0,0,0,0,0,1,
0,0,0,1,0,0),
nrow =6,

```



```

byrow=TRUE)

# 6問を合計した隣接行列
Q_All <- matrix(c(
  0,40,50,8,0,0,
  2,0,42,6,0,2,
  1,9,0,114,2,7,
  2,2,34,0,14,84,
  0,1,4,6,0,13,
  1,0,3,2,10,0),
  nrow =6,
  byrow=TRUE)

# ネットワーク相関
dat1 <- array(dim = c(6,6,6)) #3次元配列
dat1[1,,] <- Q1
dat1[2,,] <- Q2
dat1[3,,] <- Q3
dat1[4,,] <- Q4
dat1[5,,] <- Q5
dat1[6,,] <- Q6
GSCOR <- gscor(dat1)
rownames(GSCOR) <- colnames(GSCOR) <- c("Q1","Q2","Q3","Q4","Q5","Q6")
GSCOR

# ネットワーク図
name <- c("A", "B", "C", "D", "E", "F")
g1 <- graph_from_adjacency_matrix(Q_All, weighted = TRUE)
plot(g1, edge.label = E(g1)$weight, edge.curved = TRUE, edge.label.cex=2,
edge.label.family="", edge.width =
log(E(g1)$weight),vertex.color="white",
layout=layout.fruchterman.reingold, vertex.label=name, vertex.size=25)
tkplot(g1, edge.label = E(g1)$weight, edge.curved = TRUE,
edge.label.cex=2, edge.label.family="", vertex.color="white",
layout=layout.fruchterman.reingold, vertex.label=name, vertex.size=25)

```

```

# 第7章 仮説設定の質に影響する要因の検討 -----
# パッケージの読み込み
library(vcd)
library(rstan)

# データの読み込み
dat2 <- read.csv("data_chap7.csv")

# データ型の修正
dat2$VAR <- as.ordered(dat2$VAR)
dat2$CR <- as.ordered(dat2$CR)
dat2$sex <- as.factor(dat2$sex)
str(dat2) #構造を確認しておく

# モザイクグラフ(カテゴリカルデータの視覚化)
table1 <- subset(dat2,select=c("Qtype","VAR"))
set1 <- table(table1)
mosaic(set1, shad=TRUE)

table2 <- subset(dat2,select=c("Qtype","CR"))
set2 <- table(table2)
mosaic(set2, shad=TRUE)

# 問題種*変数の同定過程の合理性得点のクロス集計表の連関
x1 <- matrix(c(39, 90, 41,
               31, 79, 47),2,3,T) ;      #反応数
apply(x1,1,"sum");apply(x1,2,"sum");sum(x1) #周辺度数

# 問題種*因果関係の認識過程の合理性得点のクロス集計表の連関
x2 <- matrix(c(46, 81, 43,
               39, 54, 64),2,3,T) ;      #反応数
apply(x2,1,"sum");apply(x2,2,"sum");sum(x2) #周辺度数

# ベイズ推定の準備
rstan_options(auto_write = TRUE)
options(mc.cores = parallel::detectCores())

```

ピアソン残差の推定

```
dat3 <- list(a=nrow(x1),b=ncol(x1),x=x1)
fit1 <- stan(file="Mu02.stan", data=dat3, seed=1234, chains=5,
warmup=1000, iter=21000)
print(fit1, pars=c("res", "Up", "Um"))
```

```
dat4 <- list(a=nrow(x2),b=ncol(x2),x=x2)
fit2 <- stan(file="Mu02.stan",data=dat4, seed=1234, chains=5,
warmup=1000, iter=21000)
print(fit2, pars=c("res", "Up", "Um"))
```

連言命題が正しい確率

```
ext1 <- extract(fit1)
Up <- ext1$Up; Um <- ext1$Um
round(mean(Up[,1,2]*Um[,1,3]*Up[,2,3]),3)
```

```
ext2 <- extract(fit2)
Up <- ext2$Up; Um <- ext2$Um
round(mean(Up[,1,2]*Um[,1,3]*Up[,2,3]),3)
```

第8章 仮説設定の指導方略の開発 -----

パッケージの読み込み

```
library(ltm)
library(eRm)
library(compute.es)
library(effsize)
library(pwr)
library(psych)
```

実践1

データの読み込み

```
dat5 <- read.csv("data_chap8.csv")
dat5$Ohm1_1 <- dat5$Ohm1_1_1*dat5$Ohm1_1_2
dat5$Ohm1_4 <- dat5$Ohm1_4_A*dat5$Ohm1_4_B
dat5$Ohm3_2 <- dat5$Ohm3_2_1*dat5$Ohm3_2_2
```

```

dat5$Ohm3_4 <- dat5$Ohm3_4_1*dat5$Ohm3_4_2
dat5$Ohm3_6 <- dat5$Ohm3_6_1*dat5$Ohm3_6_2
dat5$Ohm_total <- rowSums(dat5[,7:26]) #事後知識の合計点
dat5$hypothesis <- rowSums(dat5[,27:29]) #仮説得点の合計点

# 事前知識の差の検定
dat6 <- dat5[,c("treat", "pre_knowledge", "Ohm_total")]
t.test(pre_knowledge~treat, data = dat6) #事前知識の群間比較
mes(3.658228, 3.602564, 0.62, 0.61, 79, 78) #効果量

#IRT 1PL(rasch)
dat_irt1 <-
na.omit(dat5[,c("treat", "pre_knowledge", "Ohm1_1", "Ohm1_2", "Ohm1_4", "Ohm2_
1", "Ohm2_2", "Ohm2_3", "Ohm3_1", "Ohm3_2", "Ohm3_3", "Ohm3_4", "Ohm3_5", "Ohm3_6
", "Ohm3_7", "Ohm4", "hypothesis")])
descript(dat_irt1[,3:16]) #点双列相関
fit3 <- RM(dat_irt1[,3:16]) #rasch model
p.fit3 <- person.parameter(fit3) #個人特性値
itemfit(p.fit3) #項目適合度

dat_irt2 <-
na.omit(dat5[,c("treat", "pre_knowledge", "Ohm1_1", "Ohm1_2", "Ohm1_4", "Ohm2_
1", "Ohm2_3", "Ohm3_1", "Ohm3_2", "Ohm3_3", "Ohm3_5", "Ohm3_7", "Ohm4", "hypothes
is")]) #項目を絞る
fit4 <- RM(dat_irt2[,3:13]) #rasch model
p.fit4 <- person.parameter(fit4) #個人特性値
itemfit(p.fit4) #項目適合度
dat_irt2$theta <- p.fit4$theta.table$`Person Parameter` #個人特性値の取り出
し

# 基礎集計
describe(dat_irt2~treat)

# 共分散分析(ANCOVA)
fit5 <- lm(theta~pre_knowledge, data = dat_irt2)
summary(fit5)

```

```

fit6 <- lm(theta~pre_knowledge+treat, data = dat_irt2)
summary(fit6)
fit7 <- lm(theta~pre_knowledge*treat, data = dat_irt2)
summary(fit7)
anova(fit6, fit7)
(f2 <- (0.1247-0.09514)/(1-0.1247)) # 効果量
pwr.f2.test(u=1,v=150,f2=f2,sig.level=0.05) # 検定力

# 仮説設定の得点の差の検定
t.test(hypothesis~treat, data = dat_irt2)
mes(3.608108, 1.842105, 0.70, 1.24, 74, 76) #効果量

# 実践2 #####
# データの読み込み
dat7 <- read.csv("data_chap8.csv")
dat7$var1 <- rowSums(dat7[,27:28])
dat7$hypo_total1 <- dat7$var1 + dat7$causal1
dat7$var2 <- rowSums(dat7[,31:32])
dat7$hypo_total2 <- dat7$var2 + dat7$causal2

# 基礎集計
describe(dat7~treat)

# 実験群の前回実践と本実践の比較
dat7 <- na.omit(dat7)
exp_pre <- dat7$hypo_total1[dat7$treat=="exp"] #実践1
exp_post <- dat7$hypo_total2[dat7$treat=="exp"] #実践2
t.test(exp_post, exp_pre, paired = T) #対応のある t 検定
cohen.d(exp_post, exp_pre, exp_post, paired = T) #効果量

# 統制群の前回実践と本実践の比較
cnt_pre <- dat7$hypo_total1[dat7$treat=="cnt"] #実践1
cnt_post <- dat7$hypo_total2[dat7$treat=="cnt"] #実践2
t.test(cnt_post, cnt_pre, paired = T) #対応のある t 検定
cohen.d(cnt_post, cnt_pre, paired = T, hedges.correction = T) #効果量

```

謝辭

謝辞

本論文の作成にあたりましては、多くの方々から多大なご指導・ご協力を賜りました。

広島大学においては、指導教員の松浦拓也准教授をはじめ、磯崎哲夫教授、山崎博史教授、竹下俊治教授、木下博義准教授には丁寧なご指導をいただきました。主任指導教員の松浦拓也准教授には、5年間にわたり多くのことを教えていただきました。博士課程前期からの進学であったにも関わらず、研究室に温かく迎え入れていただき、公私に渡り一方ならぬご厚情とご指導を賜りましたこと感謝しております。磯崎哲夫教授には、大学院での講義を通して諸外国の科学教育を知ることの重要性や文献との向き合い方を教えていただきました。山崎博史教授、竹下俊治教授からは、計画審査や予備審査を通して実証研究のデザインや実際の授業展開に関して貴重な意見を頂きました。木下博義准教授には、研究授業の参観や常日頃からの研究に関する会話を通して多くのことを教えていただきました。5名の先生方におかれましては、ご多忙の中、ご指導・ご助言を下さり、ありがとうございました。

次に、本研究の実施に際してお世話になった方々に感謝申し上げます。本研究の調査にあたりましては、広島県立高陽東高等学校の皆様、筑波大学附属中学校の皆様にご協力いただきました。特に、筑波大学附属中学校の佐久間直也教諭には、一連の授業実践を依頼する過程で1年の間に計20時間以上のオンラインミーティングに対応いただき、仮説設定により良い指導方略について多くの貴重な意見を賜りました。本研究の分析に際しては、鈴木努准教授（東北学院大学）、清水裕士教授（関西学院大学）、小杉考司教授（専修大学）からメール等を通じて統計手法に関するアドバイスをいただきました。その他、山田貴之准教授（上越教育大学）からは仮説設定の研究に関する貴重な資料を提供いただきました。地域や大学の壁を越えて、ご指導・ご協力を賜りありがとうございました。

次に、日々の議論を通して多くのことを学ばせていただいた研究コミュニティの皆様にご感謝申し上げます。2017～2019年に不定期開催された日本体育大学勉強会（通称「こもる会」）では、理科教育を専門とする若手で集まり短期間で集中して研究に取り込むことで、質の高い研究時間を確保することができました。2019年9月にEASE（East-Asian Association for Science Education）が開催したAutumn Campでは、東アジア諸国の大学院生との交流を通して、科学教育研究に関するグローバルな議論を行い、本研究に対しても貴重な意見をいただくことができました。2020年に入ると新型コロナウイルス（Covid-19）

の世界的な流行により対面での議論が難しくなったものの、若手研究者（Early Career Researcher, ECR）を中心とするオンラインコミュニティを形成し継続的な議論を行ってきました。2020年4月からは、研究の再現性問題について議論する国際的なコミュニティである Reproducibili Tea の Tokyo 支部（@repTeaTokyo）の活動に参加し、週1回の議論を重ねてきました。ReproducibiliTea Tokyo での活動は、自身が用いる研究方法を再現性の観点から見つめ直す良い機会となりました。2020年7月からは、理科教育・科学教育に関する本の読書会である Science Education Book Club in Japan（@ScienceEducat10）を立ち上げ、国内の理科教育分野の ECR とともに週1回の議論を継続してきました。これまでの計60回（180時間）を超える議論を通して、科学教育に関する幅広い知識と価値観を学ぶことができ、Book Club での活動は科学教育における自身の研究の位置づけを明確にすることに貢献しました。その他、PISA Club, Systematic Review Club, IRT Club, 教育研究倫理研究会といった様々なオンラインコミュニティで多くの学びを得ました。これらの定期的な活動は、自身の研究活動を豊かにするのみならず、モチベーションの維持にもつながりました。

一連の研究コミュニティでお世話になった方々の中でも特に、雲財寛助教（日本体育大学）、川崎弘作准教授（岡山大学）、長沼祥太郎講師（九州大学）、原田勇希講師（秋田大学）、渡辺理文准教授（北海道教育大学）、小川博士准教授（京都ノートルダム女子大学）、小林和雄准教授（福井大学）、西内舞さん（国立教育政策研究所）、小林優子さん（筑波大学大学院）、三浦広太さん（広島大学大学院）、藤原聖輝さん（広島大学大学院）、下平剛司さん（国立研究開発法人水産研究・教育機構）、荒谷航平先生（静岡大学教育学部附属島田中学校）、田中秀志先生（下関市立清末小学校）、三井寿哉先生（東京学芸大学附属小金井小学校）、森川大地先生（板橋区立桜川小学校）、Ms. Shan You Liu（National Taiwan University）、平石界教授（慶應義塾大学）、池田功毅さん（明治学院大学）、武田俊之先生（関西学院大学）、草薙邦広准教授（県立広島大学）、寺本貴啓教授（國學院大學）に感謝申し上げます。

最後に、経済的にも精神的にも支え続けてくれた両親に、心から感謝します。

ありがとうございました。

2022年1月