

科学的に探究するための高等学校理科学習指導法の開発

—仮説設定場面に着目して—

岩原 朋史¹⁾，楠瀬 弘哲²⁾ 柴 英里²⁾

1) 高知大学大学院総合自然科学研究科教職実践高度化専攻院生

2) 高知大学大学院総合自然科学研究科教職実践高度化専攻

Development of a High School Science Teaching Method for Scientific Inquiry —Focusing on hypothesis-setting situations—

IWAHARA Tomofumi¹⁾，KUSUNOSE Hiroaki²⁾，SHIBA Eri²⁾

1) Programs for Advanced Professional Development in Teacher Education Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University Graduate Student

2) Programs for Advanced Professional Development in Teacher Education Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University

要 約

本研究の目的は、高等学校理科における仮説検証型授業において、仮説の形成を促す指導方略の開発と授業実践を通じたその評価である。本研究では、初めに学習者に課題に対して仮説を形成させる。次に、学習者に実験素材を提示し、実験方法を検討したのち、新たな仮説を設定する指導方略を採用した。授業実践を通じた検証の結果、実験素材提示前の仮説では、要素の抽出に活動が焦点化し、説明仮説の生成が行われない、あるいは説明仮説が現れても焦点化されない傾向があった。一方で、実験素材提示後の仮説では、全ての班において作業仮説の形成が見られた。これは、要素の抽出によって抽出した要素に説明付けを行うことにより、説明仮説の形成へ進行し、さらに具体的な実験方法である作業仮説の形成が生じたことによる。ここに、「課題の把握（発見）」から、仮説を形成して「課題の探究（追究）」へ移行できない現状を打破するための有効な方略である可能性が示唆された。

キーワード：高等学校理科学習，科学的探究，仮説検証型授業，The Four Question Strategy

1. はじめに

1.1 背景

国際数学・理科教育動向調査 (TIMSS 2019) によれば、日本の中学生は情意面に関する認識の改善が見られる一方で、諸外国と比べ、その肯定的な割合は低いという課題が示唆されている。また、平成 30 年度全国学力・学習状況調査の結果、「自然の事物・現象に含まれる要因を抽出して整理し、条件を制御して実験を計画すること」に課題があることが示された。高知県においても例外ではなく、何を検証するための実験なのか、そのために必要な試薬や方法等は何であるかといった“目的意識”をもった探究的な活動と、検証実験における“見通し”をもった活動に課題があることが示されている (2020 年度高

知県学力定着状況調査結果)。これらは、科学的探究の過程における仮説設定に関わる指導に、根本的な原因があるとされる (山口, 2015)。仮説設定における重要性は、高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説 (文部科学省, 2018) において、「仮説の設定」場面は、課題の探究及び課題の解決を進める上で、見通しと振り返りを行うための重要な局面であることが示されている (Fig. 1)。さらに、仮説設定は、①実験計画や考察段階への影響 (猿田・中山, 2011)、②思考力・推論能力の育成 (Lawson, 2001)、③科学の考え方の習得 (角屋, 2003)、④概念変容への影響 (益田・柏木, 2013)、⑤主体性や自己を見つめなおす態度の育成 (木村, 2016) など、その重要性が多く指摘されている。

しかし、仮説形成の可否はその領域における学習者の経験や先行知識の多寡が影響するとされている（小林・永益, 2007）。そのため、学習者の仮説形成を指導することは容易ではない。

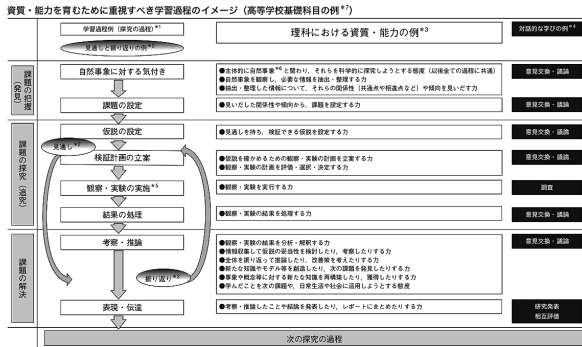


Fig. 1 資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージ図（文部科学省, 2018）

1.2 仮説形成の構造と指導方略

科学的探究の過程に関する先行研究では、例えば、五島・小林 (2009) の「理科教育用 W 型問題解決型モデル」がある。そこでは、科学的探究の過程が思考レベルと経験レベルとで構成され、包括的に表現されるとともに、「課題の把握（発見）」に当たる仮説形成に至るまでの段階が詳細に示されている（Fig. 2）。

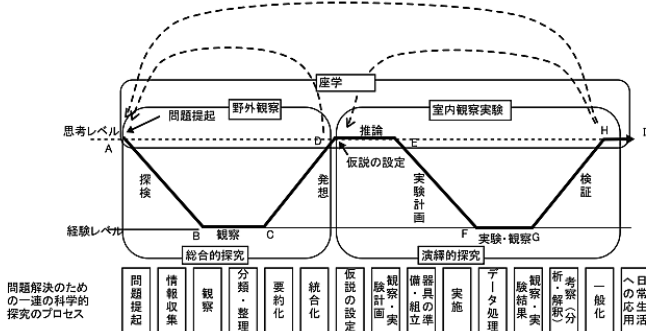


Fig. 2 理科教育用 W 型問題解決モデル（五島・小林, 2009）

山田・小林 (2014) は、仮説設定能力に影響を及ぼす要因の構造を分析し、仮説設定で重要となる「変数の同定」と「因果関係の認識」に対して、「自然や科学技術への興味・関心」、「豊かな自然体験」、及び「理科への自信」が間接的・直接的に影響を及ぼしていることを統計的に明らかにしている（Fig. 3）。

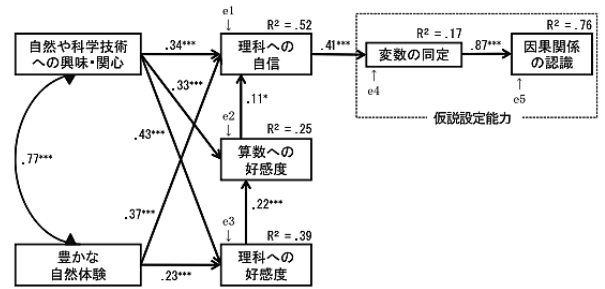


Fig. 3 「仮説設定能力」に影響を及ぼす要因の構造（山田, 2014）

学習者の仮説形成過程と推論の傾向については、Klahr and Dunbar (1988) がある。そこでは、仮説を形成するには、まず仮説を立ててそれを検証する方法を考えると、というスタンダードな思考を行う学習者だけでなく、まず実験をしてみてその結果から仮説を考えるというタイプの思考を行う学習者がいることを示した。彼らは、前者を理論家タイプ、後者を実験家タイプと名付け、当該分野の先行知識が少ない学習者は実験家タイプの方略を採用する傾向があること、その方略が先行知識の少ない学習者の問題解決においては有効な方略であることを報告している。さらに、Hodson (2000) は、科学者が推論を行う際に自分が適用できる実験方法から推論を組み立てることがあると指摘した。また、後藤・久保田・水落・西川 (2007) は、中学生に特定の方法にとらわれずに実験を行わせた場合、実験方法の検討から問題解決を始める傾向が見られ、そのような問題解決によって学習のねらいが達成されたことを報告している。さらに、楠瀬他 (2019) は、実験方法考えることにより、「何をどう操作することが、何を明らかにするためのなのか」ということが明確になることで、仮説に対する理解を具体化し、問題解決の見通しをもたせることにつながることを述べている。

具体的な方略については、科学における発見的・創造的文脈において重要とされる推論の様式であるアブダクションに着目し、児童・生徒自ら仮説を設定させる指導方略として、小林 (2006) が開発した The Four Question Strategy (以下, 4QS) などがある。これらは、小学校・中学校での実践事例が多く報告されているが、高等学校での実践事例は少ない。その上、観察にも適用するなど誤った使い方をする事例もみられる。そのため、高等学校理科において、仮説検証型授業の具体的な方略を明らかにする必要がある。

2. 本研究の目的

本研究は、高等学校理科における仮説検証型授業において、仮説の形成を促す指導方略の開発と授業実践を通じたその評価を目的とする。そこで、初めに、高等学校化学の教科書に記載されている観察・実験等について因果関係の視点から検討を行い、4QSの適用可能性を明らかにしたのち、授業実践を通じた評価と有効性について検証する。

3. 研究方法

3.1 分析方法

1) 4QSの適用可能性に関する分析

本研究では、化学基礎の教科書（2021年出版、文部科学省検定済のX社）と化学の教科書（2020年出版、文部科学省検定済のY社）に掲載されている全ての観察・実験等を対象として4QSの適用可能性を分析した。X、Y社の教科書の分析を対象とした理由は、これらが実習校で使用されている教科書であり、理科授業実践に基づいた上で、4QSの適用性について判断ができると考えたからである。分類基準は、山田他（2015）が開発した4QSの判断基準（Fig. 4）に基づいた。

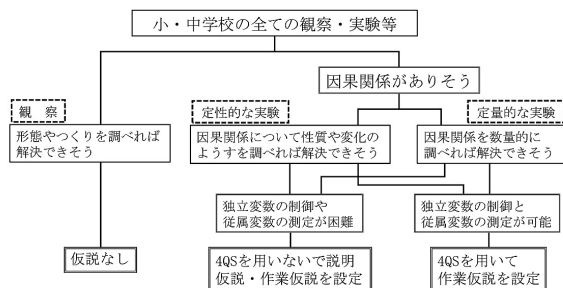


Fig. 4 4QSの判断基準（山田, 2015）

2) 班内での発話に関する分析

学校長の許可を得て、各班の発話をICレコーダーで記録し、プロトコルを作成の上、向井ら（2019）が開発した仮説形成のプロセスの評価指標を使用した。各班の発話プロトコルを①「操作」段階 ②「要素の抽出」段階 ③「説明仮説の形成」段階 ④「作業仮説の形成」段階に分け、分析を行った。ここで、①「操作」段階とは、仮説に基づかず探索的な実験を行なっていること。②「要素の抽出」段階とは、解明・説明したい事象に関係する変数や要素を言及したり、変数・要素との現象の間にある関係性を検証したりしていること（「XならばYである」という形式の仮説を形成している）。③「説明仮説の形成」

段階とは、ある変数・要素が、いかなる過程を経て現象を発生させているかの説明を構築していること（「Xならば、ZのためにYである」という形式の仮説を形成している）。④「作業仮説の形成」段階とは、説明仮説が正しいならば（あるいは間違っているならば）生じる現象を予想したり、実際に実験したりしていることである。

3) 仮説の記述に関する分析

評価方法は、Quinn and George（1975）が開発した仮説品質尺度（Hypothesis Quality Scale）を使用し、生徒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、本方略の有効性を検証した（Table 1）。

Table 1 仮説品質尺度（Hypothesis Quality Scale）

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（註：ここでは、仮説の検証について述べた子供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）

3.2 調査対象及び調査時期

調査対象：質問紙による実態調査は、高知県内の高等学校の生徒325名（男子138名、女子187名）を対象とし、授業実践は、第2学年8名（男子2名、女子6名）で実施した。

調査時期：2021年10月6日と7日である。

3.3 本研究における指導方略

授業実践における指導方略では、初めに学習者に課題に対して仮説（以下、仮説①）を形成させる。次に、学習者に実験素材を提示し、実験方法を検討したのち、新たな仮説（以下、仮説②）を設定する（Fig. 5）。ここでいう、「実験方法の検討」とは、全てを学習者に考えさせるという意味ではなく、教師の指導を介入しながら課題を解決するための実験方法について話し合うということである。このように、学習者と教師がともに実験方法の検討を行い、手立てとして4QSと変数に着目させる発問を促

すことで、検証可能かつ興味された仮説が形成されることが期待される。

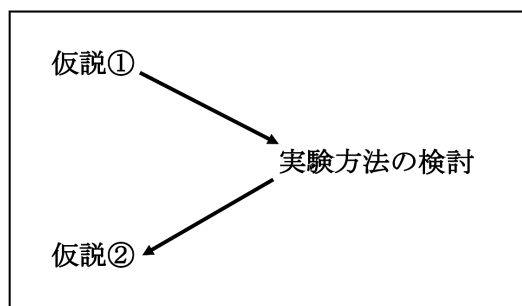


Fig. 5 本指導方略

4. 結果と考察

4.1 4QS の適用可能性

化学基礎の教科書（2021 年出版，文部科学省検定済の X 社）に掲載されている全ての観察・実験等は，合計 20 個であった。そのうち，4QS を用いて仮説を設定できる観察・実験は 14 個であり，4QS を用いないで仮説を設定する観察・実験は 6 個であった（Table 2）。

Table 2 X 社の化学基礎の教科書に掲載されている全ての観察・実験等における 4QS の適用可能性

観察・実験等のスタイル	因果関係がありそう		観察
	4QSを用いて仮説を設定	4QSを用いないで仮説を設定	
金属を取り出す	○		観察なし
水溶液の残留塩素濃度を調べる		○	
混合物を分離する		○	
固体の融解と凝固	○	○	
電子の存在を確認する		○	
金属元素の性質を比較する	○		
イオンからなる物質の性質を調べる	○		
酸性と水への溶解性の関係を考える	○		
金属の性質を調べる		○	
物質1 molを比較する	○		
化学反応と物質量の関係も調べる	○		
身の回りの水溶液のpHを調べる		○	
酸化剤と還元剤の反応を観察する	○		
色素の分離	○		
反照率を調べる		○	
化学結合と物質の性質を調べる	○		
気体の分子量測定	○		
pH計を使って、酸・塩基の性質を調べる	○		
日本とアメリカ中の鉄の濃度を測定	○		
金属の反応	○		

化学の教科書（2020 年出版，文部科学省検定済の Y 社）に掲載されている全ての観察・実験等は合計 37 個であった。そのうち，4QS を用いて仮説を設定できる観察・実験は 25 個であり，4QS を用いないで仮説を設定する観察・実験は 10 個，仮説なしが 2 個であった（Table 3）。

また，本研究では，因果関係を捉えることのできる観察・実験であっても，4QS を用いないで仮説を設定もしくは仮説なしに分類した。なぜなら，理科における科学的探究は，一般的に観察と実験を通して行われるが，観察と実験では課題の立て方と探究の方法が異なるからである。例えば，観察に関する課題では，「細胞はどのようなつくりになっているのだろうか」のように，「どのようなにつ

Table 3 Y 社の化学の教科書に掲載されている全ての観察・実験等における 4QS の適用可能性

観察・実験等のスタイル	因果関係がありそう		観察
	4QSを用いて仮説を設定	4QSを用いないで仮説を設定	
100℃より低い温度での水の沸騰		○	観察なし
空気中の平均分子量を求める	○		
金属結晶の構造			○
難溶性塩を水溶液の混合		○	
コロイドの性質	○		
熱反応			○
電気分解と電池	○		
反応速度と温度	○		
化学平衡と濃度の関係	○		
酸の電離定数の決定	○		
固溶体の性質	○		
二酸化炭素の発生と性質	○		
酸性元素の反応性	○		
鉄イオンの反応	○		
アルミニウムとスチール鋼の区別		○	
ヘキサミンとヘキサミンの違い		○	
アルコールの性質	○		
フェノールの性質	○		
メタンの性質	○		
グルコースの還元性	○		
アミノ酸の合成	○		
日常生活の酸塩基平衡	○		
反応熱	○		
石油系油	○		
反応の速さ	○		
塩化鉄イオンの酸化（モール比）	○		
塩素の性質と反応	○		
固溶体の性質	○		
ナトリウムとカルシウム	○		
鉄イオンの反応と分離	○		
アルコールとアルデヒド	○		
ニスチールの合成	○		
日常生活で観察される合成	○		
糖	○		
タンパク質	○		
合成高分子化合物	○		

ている」と表現される。それに対して，実験に関する課題では，「濃度未知の水溶液の濃度を求めるには，どのようにしたらいいのだろうか」のように表現される。このため，従属変数・独立変数を考えなければならないことを想起させる必要がある。つまり，課題の立て方が異なれば，学習者に問題を見出させる際の事象提示の方法や，その後の探究の過程が必然的に異なるからである。そのため，X 社の化学基礎の教科書に掲載されている「混合物を分離する」の実験や Y 社の化学の教科書に掲載されている「ヘキサミンと 1—ヘキサミンの違い」などの実験では，教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い，得られた結果（従属変数）を観察することに主眼を置いていることから，4QS の適用は適切ではないと判断した。

4.2 実習校の実態

高知県内の公立高校の生徒 325 名（男子 138 名，女子 187 名）に回答を求め，295 名から回答を得た。回収率は 90.77%であった。学年ごとの内訳は，1 年生 92 名（男子 36 名，女子 56 名），2 年生 110 名（男子 45 名，女子 65 名），3 年生 93 名（男子 42 名，女子 51 名）であった。質問紙調査の項目としては，①「理科の勉強が好きですか」②「理科の授業で観察や実験を行うことは好きですか」を使用した。その結果，全学年において，理科全般の興味に比べ，観察や実験に対する肯定的な回答が有意に高いことが示唆された（Table 4）。これは，「観察・実験では環境の新奇性が提供されるため状況的興味を喚起されやすく，そのため観察・実験に対する興味を測定するような質問項目では肯定的な回答が得られやすいと考

えられる(原田他, 2019)」による。また、生徒の記述からは、「観察・実験は、実際に操作を伴うため、科学概念を理解しやすい」などが得られた。

Table 4 各質問項目の平均値・標準偏差

項目	Mean (SD)		
	1年生	2年生	3年生
Q1	3.36 (0.99)	3.04 (0.93)	3.17 (1.04)
Q2	3.88 (0.89)	3.63 (0.80)	3.91 (0.88)

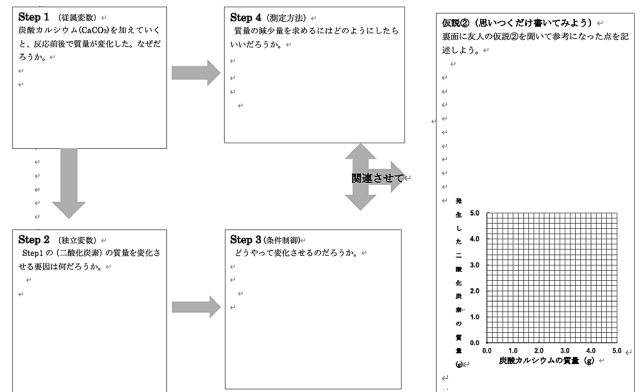


Fig. 6 授業で使った4QS

4.3 授業実践「化学反応が表す量的関係」

課題の探究場面 (Table 5 の下線部) において、各班における話し合いを IC レコーダーで録音して音声記録した。さらに、各班の4QS (Fig. 6) とワークシートを授業後に回収し、音声とワークシートの記述を合わせて分析した。それに加え、全3班について、課題の探究場面における発話プロトコルを、ワークシートの記述と照合しながら作成した。そして、発話プロトコルから、仮説形成の4段階を示す発話を抽出し、仮説形成プロセスにおける①～④の各段階に分類した。分類基準は Table 6 に基づいた。

Table 6 発話プロトコルの分類基準

①：操作・・・明確な意図なく、実験素材を用いて何らかの試行をしている。
②：要素の抽出・・・「化学反応式が表す量的関係」と関係がありそうな要素を挙げたり、関係を検証したりしようとしている。
③：説明仮説の形成・・・ある変数・要素が、どのような過程を経て現象を発生させているか、説明している。
④：作業仮説の形成：説明仮説から導かれる他の現象を予想し、検証的な実験を提案する。

Table 5 「化学反応が表す量的関係」の授業

授業過程	内容
課題の把握 (10分)	【1時間目】 中学校第2学年で学習した「銅の酸化」を引き合いにして、中学校では質量比について学習していることに気づかせた。その上で、「化学反応式の係数は質量比になるだろうか。」という課題を提示した。
課題の探究 (70分)	まず、課題に対する仮説①を個人で設定したのち、各班で共有を行い、発表を行なった。次に、実験器具や実験の様子を画像や動画で提示しながら、「気づき」に関する発問を授業者が行なった。その後、4QSを用いて仮説②を仮説①と同様に設定した。 【2時間目】 上記の活動を行なったのち、炭酸カルシウムと塩酸の反応に関する実験を行なった。この際に、適宜 iPad を用いて、反応の様子を撮影しながら実施した。
課題の解決 (20分)	仮説と照らし合わせながら、考察を行い、最終的な結論が確認された。

4.3.1 全3班における仮説形成プロセスの出現推移

全3班のプロトコルに見られた仮説①および仮説②の形成段階、すなわち①～④の各段階の推移を Fig. 7 と Fig. 8 に示した。

仮説①では、すべての班において「④：作業仮説の形成」が見られなかった。「②：要素の抽出」が1班では段階出現の5番目まで、2班では10番目まで、3班では終末まで見られた。そして、その後、1班では6番目で「③：説明仮説の形成」、2班では11番目で「①：操作の段階」が見られた (Fig. 7)。これらから、仮説①では、演繹的探究へと移行することなく、活動が停滞し、仮説検証が進んでいない状況が読み取れる。

仮説②では、すべての班で「④：作業仮説の形成」が見られた。1班では、2・4・6・7・14番目で「③：説明仮説の形成」が見られた。そして、4・14番目で形成された「③：説明仮説の形成」に対して、続く5・15・16番目それぞれで「④：作業仮説の形成」が見られた。2班では、6・7・8・11・12・13・14番目で説明仮説が出現し、6・7・8番目に対応する作業仮説が9・10番目で見られ

た。3班では、3・5・6・7番目で説明仮説が出現し、3番目に対応する作業仮説が4番目に見られた (Fig. 8)。これらから、仮説②では、総合的探究から演繹的探究への移行が活動内で達成されたと評価できる。すなわち、仮説検証的な実験が実施されており、活動が発展していることが読み取れる。

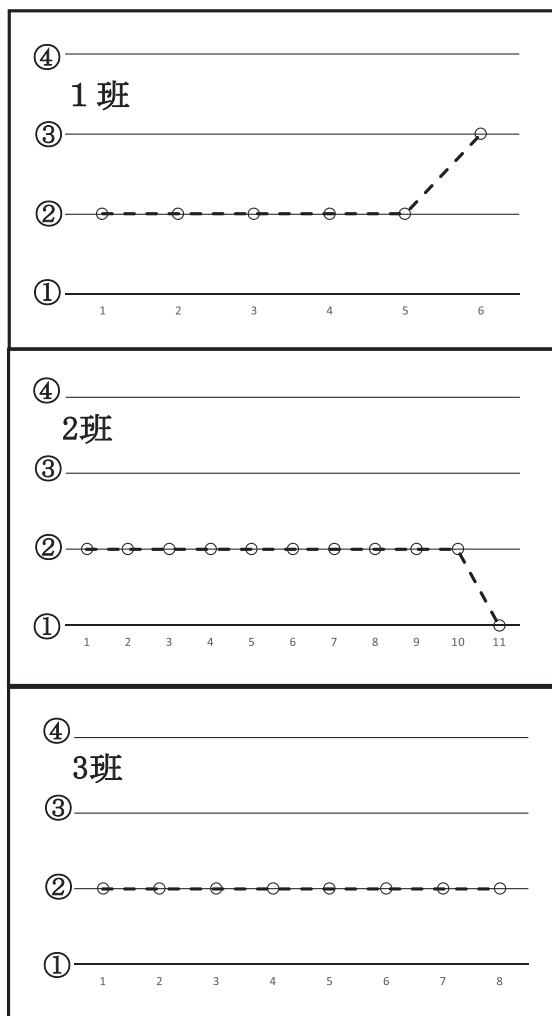


Fig. 7 全3班の仮説①形成段階の推移

*各プロット下の数字は、各班における段階の出現順番を表す。

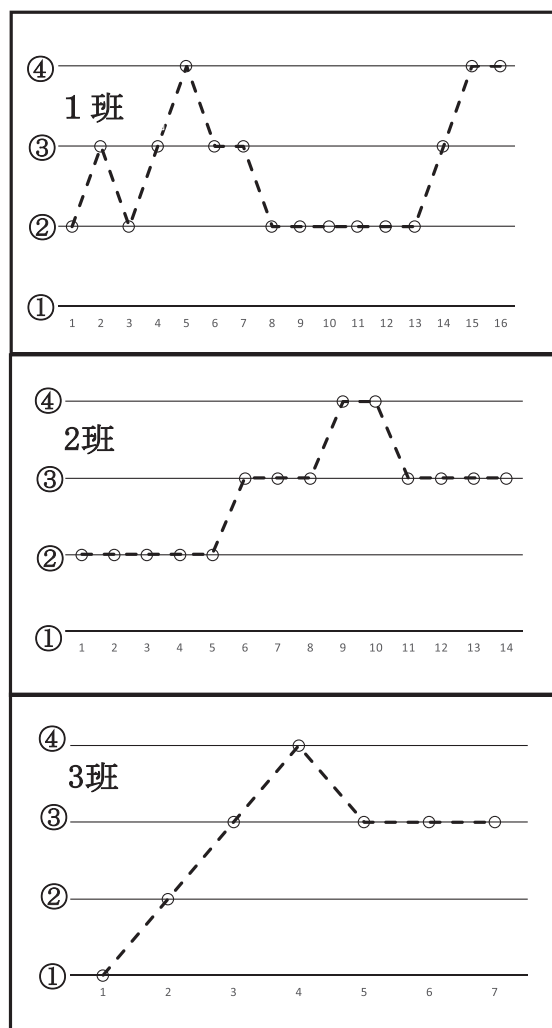


Fig. 8 全3班の仮説②形成段階の推移

*各プロット下の数字は、各班における段階の出現順番を表す。

4.3.2 実験素材提示前の仮説 (仮説①) の発話プロトコル
 実験素材提示前の仮説設定場面で、3班は「②:要素の抽出」の段階で停滞し、「③:説明仮説の形成」以後の段階へ移行しなかった。その際の会話を Table 7 に示す。本時の課題「化学反応式の係数は質量比になるだろうか。」と関係がありそうな要素を挙げている発話が見られた (C1)。まず、反応物である炭酸カルシウムに着目し、「②:要素の抽出」が行われた。この段階で、化学反応式 ($\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) の反応物の係数が話題になった。しかし、その後、C6以降の会話では、中学校第2学年で学習した「マグネシウムの酸化」に関する発話が出現した。ここから、中学校で学習した内容に関する話題に終始し、質量比と係数比を関連付けた説明は出現しなかった。これは、質量比と係数比を関連付ける

ためには、「マグネシウムの酸化」に関する化学反応式と実験結果を把握する必要がある。それに加え、高等学校で学習した物質質量 (mol) に変換するには、モル質量を考慮した議論がなされる必要がある (*ワークシートには、モル質量を記載している)。3 班では、手がかりを掴むことができず、その結果「③：説明仮説の形成」や「④：作業仮説の形成」は出現しなかった。

以上のように、仮説①では、化学反応式の係数比と関係する「金属の酸化」について抽出できたとしても、網羅的に様々な要素を検討した議論がなされず、活動が停滞していたことが明らかになった。このように全班において、「④：作業仮説の形成」が出現しなかったのは、「②：要素の抽出」に活動が終始し、説明仮説の生成が行われない、あるいは説明仮説が現れても焦点化されない傾向があった。これは、学習者が要素と現象間の説明を伴う仮説の重要性を認識していないことが要因として推察される。したがって、この問題は、日常的に仮説検証型授業を体験していくことで解消することが期待される。

Table 7 3 班で見られるプロトコル

	プロトコル	段階
C1	炭酸カルシウムが関係ありそう・・・	2 ②
C2	うーんそうやと思う	
C3	炭酸カルシウムが反応してるから	3 ②
C4	もうそれ	
C5	それでいこう	
C6	わたし、2:3やとめっちゃ思った	4 ②
C7	なんやっけ?	
C8	え、それ、私も2:3やと思ってた	5 ②
C9	2:3あったね	6 ②
C10	覚えてないわ	
C11	でもなんかそういうのあった気がする	
C12	間違ってたら恥ずかしい	
C13	2:5になるがやない?	7 ②
C14	うーん	

*段階①～④に左に付記した数字は Fig. 7 に対応して班内における 4 段階の出現順番を表している。

4.3.3 実験素材提示後の仮説 (仮説②) の発話プロトコル

仮説②では、全ての班において「④：作業仮説の形成」が見られたことから、顕著な 1 班の発話プロトコルを基に検討する。Table 8 は、「③：説明仮説の形成」「④：作業仮説の形成」が見られたプロトコルである。化学反応式の係数と体積を関連付けた「②：要素の抽出」が見られた (C1)。その後、C1 を受けて、生成物の二酸化炭素に着目することで、「生成した気体」と「質量」を関連付け、説明が伴う発言が見られた (C2・C4)。さらに、具体的な実験方法の立案に該当する「反応前後の質量の差をはかればいいと思います (C5)」が出現した。また、C10 に至るまでには「②：要素の抽出」が行われた後、塩酸の濃度と体積が変わらないから、二酸化炭素の質量は炭酸カルシウムの質量に依存することを認識したことが推察された (C10)。その後、「塩酸の濃度 3 mol/L より濃い

と量が増えると思う (C11)」といった実験方法の立案に関する発言が出現した。

Table 8 1 班で見られるプロトコル

	プロトコル	段階
C1	化学反応式の係数が体積比になるがやない?	1 ②
C2	多分気体として出ていったので、液体と固体から出ていったので、軽くなったのでは?	2 ③
C3	Step2で変化させる要因は、よく分からなかったけど、炭酸カルシウムと塩酸の量だと思	3 ②
C4	Step1は、化学反応で液体と気体が出てきたから、気体が空気中に出ていったと思う	4 ③
C5	反応前後の質量の差をはかればいいと思います	5 ④
...	(中略)	
C6	塩酸は?	8 ②
C7	塩酸は・・・変わるかな?	9 ②
C8	塩酸と炭酸カルシウムが反応するのでは?	10 ②
C9	元素に着目すると、CaCO ₃ とCO ₂ は炭素が含まれているので塩酸は関連するのかな?	11 ②
...	(中略)	
C10	そうか、塩酸の濃度が変わらないか	14 ③
C11	塩酸の濃度3 mol/Lより濃いと量が増えると思う (筆者注:生成した二酸化炭素の質量が増加すると述べている)	15 ④
C12	生成した二酸化炭素の質量は、反応前と反応後の質量をはかっただけじゃあないはず	16 ④

*段階①～④に左に付記した数字は Fig. 8 に対応して班内における 4 段階の出現順番を表している。

上記の発話は、「②：要素の抽出」によって抽出した要素に説明付けを行うことにより、「③：説明仮説の形成」へ進行し、さらに具体的な実験方法である「④：作業仮説の形成」が生じたことを示唆している。

4.3.4 実験素材提示前後の仮説品質尺度による分析

生徒が設定した仮説を、仮説品質尺度 (Hypothesis Quality Scale) に基づき、対応のある t 検定を行なった。その結果、仮説①に比べ、仮説②の方が有意に高くなった (Table 9)。

Table 9 実験素材提示前後の仮説の平均値と標準偏差及び t 検定の結果

	Mean (SD)	t 値
仮説①	2.50 (1.31)	p < 0.05 4.43
仮説②	4.63 (1.19)	

さらに、生徒の具体的な記述例を Table 10, 11 に示した。例えば、仮説①では、「質量比になる。理由は勘です。」や「質量比になる。原子の数が同じだから。」のように、化学反応式の係数比と質量比の関係性を論述した仮説はあまり見られなかった (Table 10)。これは、発話プロトコルにも見られるように、要素の焦点化ができていないことが要因であると考えられる。

一方、仮説②では、「質量比になる。炭酸カルシウムと二酸化炭素が 1 mol だとすると、100 : 44 = 25 : 11 となるが、係数比は 1 : 1 である。例えば、炭酸カルシウム 1 g を加えると、二酸化炭素は 0.44 g 発生すると思う。」のような記述が見られた (Table 11)。これは、実際に実験素材を提示

し、検討を行うことで、要素の焦点化がされたことによる。反応前と反応後の質量の差が生まれた要因を検討することで、生成した二酸化炭素の質量に着目し、質量から物質質量への変換がなされ、さらに具体的な実験方法の立案をすることができたのである。

Table 10 仮説①の生徒の記述例

仮説：質量比になる。
・理由は勘です。
・原子の数が同じだから。
・量的関係に沿って、一定の比で mol, g, mL, 個数が増えていく。
仮説：質量比にならない。
・銅の酸化の実験では、係数比は質量比にならなかったから。

Table 11 仮説②の生徒の記述例

仮説：質量比になる。
・炭酸カルシウムの量を増やすと、二酸化炭素も増加しそう。二酸化炭素の質量は反応前後の質量をはかればいいと思う。
・CaCO ₃ とCO ₂ の係数比は1:1であるから、炭酸カルシウムを1g加えると、二酸化炭素が1g発生するはず。
・炭酸カルシウムと二酸化炭素が1molだとする、100:44=25:11となるが、係数比は1:1である。例えば、炭酸カルシウム1gを加えると、二酸化炭素は0.44g発生すると思う。
・二酸化炭素の質量は、塩酸の濃度が一定なので、炭酸カルシウムの量によって増えるはず。
仮説：質量比にならない。
・CaCO ₃ とCO ₂ の分子量が違うので。また、塩酸の質量は変化しないので、反応が途中で止まる。おそらく、CaCO ₃ の量が増えると、CO ₂ も増加するはず。

5. 結論

本研究の指導方略により、検証可能かつ吟味された仮説を促すことができた。活動が停滞している班では、「②：要素の抽出」に活動に焦点化しており、要素と現象間の説明を伴う仮説の重要性を認識していないことが示唆された。このように、総合的探究から演繹的探究への移行ができない状況を解決するためには、授業者が介入しながら実験方法の検討を行い、変数に着目させる4QSを用いることで、演繹的探究へと移行できることが期待できる。

開発された指導方略は、令和4年度から年次進行で実施される高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説の「仮説の設定」場面において、有効な方略である。

6. 今後の課題

生徒が記述した仮説②は、検証可能な作業仮説が生じたものの、正確な仮説とは言い難い記述が見られた。この要因として、探究のための中核となる既存の概念から新たに構築する概念への変換に対する理解の困難さが考えられる。よって、知識・技能や概念の習得を、探究的な活動の前に、学習者に適切に指導する必要がある。

また、本研究での実践は、高知県内の高等学校1校のみであり、一般化には慎重であるべきである。これは、仮説設定の能力は、学習者の先行知識に依存する。すなわち、各学校の生徒によって、理科に対する興味や学力が異なるため、実施する学校・生徒の実態を適切に把握・考慮した上で、分析が行わなければならない。今後は本方略の実践事例を増やし、妥当性・信頼性について検討する必要がある。

謝辞

授業実践にご協力いただいた実習校の皆さんならびに多くの助言をいただきました実習担当者 岡林 健二郎教諭へ感謝申し上げます。

そして、ともに研究を続けてきた同研究室の皆さんに心から感謝の意を表して謝辞と致します。

参考文献

- Cheung, D. (2009), Developing a Scale to Measure Students' Attitudes toward Chemistry Lessons. *International Journal of Science Education*, 31 (16), 2185-2203.
- Cheung, D. (2011), Evaluating Student Attitudes toward Chemistry Lessons to Enhance Teaching in the Secondary School. *International Year of Chemistry*, 22 (2), 117-122.
- 後藤正英・久保田善彦・水落芳明・西川純 (2007), 中学校の理科実験における子どもの課題解決過程に関する一考察～「探究の過程」を強制しないカリキュラムにおける実験の予想に着目して～, 理科教育学研究, vol 47, 1-7.
- 原田勇希, 中尾友紀, 鈴木誠也, 草場実 (2019), 観察・実験に対する興味と学習方略との関連の検討, 理科教育学研究, Vol 60, 409-424.
- Hodson, D. (1998), Teaching and learnig Science: Towards a Personalized Approach, *Open University press*, 1, 1-208.
- 国立教育政策研究, 平成30年度全国学力・学習状況調査報告書, 7-9.

- 楠瀬弘哲・国沢亜矢・中城満・蒲生啓司（2019）, 思考を操作させる, 高知大学学校教育研究, 115-122.
- Klahr, D., & Dunbar, K（1998）, Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-48.
- 文部科学省（2017）, 中学校学習指導要領解説理科 編, 実教出版株式会社, 9.
- 文部科学省（2018）, 高等学校学習指導要領解説理科 編, 実教出版株式会社, 10.
- 向井大喜・村上忠幸・松本伸示（2019）, 高校生による科学問題解決における仮説形成過程の評価に関する研究, 理科教育学研究, Vol 60, 455-464.
- 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, vol 48, No2, 63-70.
- 中村大輝・松浦拓也（2016）, 科学的仮説の設定場面における思考過程に関する一考察, 日本教科教育学会, vol 41, 57-66.
- 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, vol 58, 279-292.
- Quinn, M.E., & George, K.D.（1975）, Teaching hypothesis formation, *Science Education*, 59, 289-296.
- 山田貴之・小林辰至（2014）, 小学校の理科における仮説設定に影響を及ぼす諸因子の因果モデル, 理科教育学研究, vol 55, 351-361.