

第3章 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「燃焼の仕組み」を事例として－

1. 問題の所在と目的

第2章では、研究課題2として、小・中学校の理科教科書(X社)に掲載されている全ての観察・実験等について、因果関係の有無の観点から検討を行い、4QSの適用は、第5学年以降における条件の制御を伴う実験において、最も効果が期待できることを明らかにした。

本章は、研究課題3に位置付くものであり、第6学年「燃焼の仕組み」を題材として、4QSを用いて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、及び科学的な知識の理解に与える効果を検証することとした。

中山・大場・猿田¹⁾は、TIMSS1995理科問題の燃焼に関する論述形式課題に対する日本の中学生の回答には、燃焼を酸素や二酸化炭素の「ある」または「なし」で説明する傾向があることを報告している。一方、物質と酸素との結び付きが燃焼の本質であることを根拠にして、物質と酸素を引き離すことによって燃焼が止まることを指摘する回答は、それほど多くなかったとしている。そして、このような回答の傾向から、燃焼の仕組みに関する理論的知識に基づいて、現象を因果的に説明し予測することが科学にお

いて重要であると指摘している。また、五島²⁾は、2006年に実施されたOECDのPISA調査で評価分野の1つとなっている科学的リテラシーの3つの科学的能力のうち、日本は「科学的証拠を用いること」に関する能力は高いが、「科学的な疑問を認識すること」や「現象を科学的に説明すること」は、低い傾向にあることを報告している。こうした問題の解決に向けて、小倉³⁾は「科学的リテラシー育成のためには、児童・生徒が自らの考えで観察・実験を計画したり、その結果を評価して計画を改善したりといった、主体的な探究や創造的な問題解決に取り組むことが必要である」と述べている。

これまで、第6学年の燃焼の授業を改善する研究はいくつか報告されている^{4) 5) 6) 7)}が、これらの多くは燃焼の仕組みを如何に捉えさせるかという視点で授業実践した研究である。

一方、児童自らが科学的に検証可能な「問題」を立て、それに対する「答え」を導き出したり、燃焼の仕組みを物質と酸素との結合であると因果的に説明したりするといった視点で、燃焼現象を科学的に説明する能力の育成を目的として、主体的な問題解決の活動を促す指導方法の有効性を検証した研究は見あたらない。

そこで本章では、4QSを用いることが、燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解と、燃焼現象を科学的に説明する能力の育成に有効ではないかと考えた。4QSを用いることで、児童自らが従属変数（結果）と独立変数（原因）を同定するとともに、これら2変数の因果関係を仮説として自分の言葉で文章化することができる。これまで4QSを用

第3章 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

いた研究はいくつか報告されている^{8) 9) 10)}が、燃焼現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果についての実証的な研究は存在しなかった。

以上のことを踏まえ、本章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、燃焼現象を科学的に説明する能力、及び燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。

2. 研究の方法

2-1. 調査の対象

岐阜県内の公立小学校第6学年2学級計74人（実験群37人，統制群37人）に対して授業及び質問紙調査を実施した。両群の授業実施条件は，4QSの有無以外すべて統一した。

2-2. 本単元実施前のオリエンテーションの概要

本単元実施前に，両群の児童に対して2時間のオリエンテーションを実施した。第1時では，事前調査を行った後，自作のプリントを児童に配布した（資料1）。このプリントの表面には，第6学年の1年間で学習する理科単元の実施計画やノートの記述例，実験の事故例と防止対策が印刷されている。裏面には，「このことから，○○は◇◇だと考えられる。」，「実験の結果，仮説と同じで（違って）～であった。」，「理由は，◆◆だからだ。」，「表やグラフから，～という規則性がわかる。」といった，考察の記述に関する定型文の例が6つ印刷されている。

そして，このプリントを児童のノートに貼付させるとともに，A0判に拡大したものを理科室に掲示した。教師はこのような定型文を児童に与えることで，児童が自らの論理を構築するうえで大切な「順序性」や「因果性」を意識できるよう継続的に指導した。

第2時では，まず5年生で学習した「電磁石の働きを強くするには，どうすればよいだろうか。」という課題を提示した。次に「コイルの巻き数，エナメル線の太さ，

鉄心の太さや種類，乾電池の数」といった変数を黒板に書いて紹介した。ここで，実験群の児童には，4QSを用いて仮説の文章化に導く指導を行った。統制群の児童には，仮説について学級全体で話し合わせ，それを教師が整理して黒板に書いた文章をノートに記述させた。その後，両群ともに4人一組のグループで実験を行ったが，既習内容であることから実験結果の意見交流の場は設けずにオープンエンドとした。

2-3. 本単元の授業実践の概要

表3-1に示したように，本単元は全9時間で構成されている。第1～2時では，物が燃え続けるには絶えず空気が入れ替わる必要があることを調べさせた。第2時の授業終末において，アルコールランプの蓋をかぶせると火が消える理由を話し合わせ，「蓋で空気を遮ることによって火を消す」という結論を導出させた。第3時では，3本の集気びんに，それぞれ窒素，酸素，二酸化炭素を入れて，ろうそくが燃えるか否かを調べさせた。第4時では，ろうそくの燃焼後の空気の質的な変化を石灰水で調べさせた。第5～6時では，ろうそくが燃えると空気中の酸素の一部が使われて（21%→17%），二酸化炭素ができる（0.03%→3%）ことを検証させた。第6時において，燃焼前後の空気の組成を帯グラフに整理させたり，空気の質的な変化を気体の粒の数（窒素 20→20，酸素 4→3，二酸化炭素 1→2）に着目してイメージ図で表現させたりした。第7～8時では，物が燃えるか否かについて，空気中の酸素の体積の割合と関係付けて考察させ

第3章 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

た。第9時では、単元のまとめとして、習得した科学的な知識を活用することが可能な実験を設定し、燃焼現象を科学的に説明させた。

表3-1 本単元の指導計画（全9時）

単元の進行	時	主な学習内容	教師が黒板に書いた授業のまとめ（原文そのまま）
＜第1次：3時間＞ 物が燃え続けるのは どんなときだろうか	1～2	・集気びんの上や下を開けて、ろうそくが燃え続ける条件を調べる。 ・集気びんの上や下に線香の煙を近づけ、その動きを調べる。	・物が燃え続けるには、絶えず空気が入れ替わる必要がある。
	3	・3本の集気びんに、それぞれ酸素、酸素、二酸化炭素を入れて、ろうそくの燃え方の違いを調べる。	・物が燃え続けるには空気が必要であり、空気中の酸素には、物を燃やす働きがある。 ・ちっ素や二酸化炭素には物を燃やす働きがない。
＜第2次：3時間＞ 物が燃えると空気は どうなるだろうか	4	・ろうそくの燃焼後の空気の質的な変化を石灰水で調べる。	・物が燃えた後の空気には、ろうそくが燃える前の空気よりも二酸化炭素が多くふくまれている。
	5～6	・ろうそくの燃焼前後の空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合の変化を気体検知管で調べ、その数値を表に整理する。 ・燃焼前後の空気中の気体の体積の割合を帯グラフに整理したり、それぞれの気体を粒で表し、空気の質的な変化を粒の数に着目してイメージ図で表現したりする。	・物が燃えると、空気中の酸素の一部が使われて二酸化炭素ができる。 ・空気中の酸素の体積の割合が約21%から約17%まで小さくなり、二酸化炭素の体積の割合が約0.03%から約3%まで大きくなる。
＜第3次：3時間＞ 物が燃えるときの空 気の働きについてま とめよう	7～8	・3つの混合気体（酸素20%二酸化炭素80%、酸素50%二酸化炭素50%、酸素80%二酸化炭素20%）を提示し、その中で物が燃えるか否かについて酸素の体積の割合と関係付けて調べる。	・酸素20%、二酸化炭素80%の空気であっても、酸素が17%以上あるため物を燃やすことができる。このことから、消火に影響を及ぼす要因は酸素だといえる。
	9	・単元のまとめとして、水を入れた紙コップをアルコールランプで下から熱する「水入り紙コップ」の実験、加熱した水蒸気をマッチに当てる「加熱水蒸気」の実験、点火した花火を水中に入れる「水中花火」の実験を行う。 ・燃焼の3要素に基づいて燃焼現象を科学的に説明する。	・燃焼の3要素（燃える物・酸素・十分な温度）のうち、どれか1つでも取り除くと物は燃えない。

2-4. 授業及び質問紙調査の実施時期

授業については、2013年4月中旬から5月中旬にかけて実施した。図3-1に示したように、第1～2時、第4時、第5～6時、第7～8時において、実験群では4QSを用いて児童自らが変数の同定と仮説の設定を行った。そして、グループで互いの仮説について検証可能であるのか否かについて検討を加えた後に実験を行った。

図3-2に、第7～8時における4QSの記述例を示す。また、表3-2には、実験群の児童が4QSに記述した「Step1（従属変数の抽出）、Step2（独立変数の抽出）、Step3（独立変数の変化）、Step4（従属変数の数量化）、Step5（仮説の文章化）」の一例を示す。4QSの記述内容については、本単元実施前に共同研究者によって検討がなされており、児童の思考の自由度を保障しつつ、検証可能な「問題」にするための適切な指導助言が想定されている。

一方、統制群では教師が実験の目的や変数を説明した後、仮説についてグループや学級で話し合わせ、それを教師が整理しながら、表3-2の「Step5」（仮説の文章化）に示す実験群の仮説と同じ文章を黒板に書いた。そして、その仮説を児童のノートに記述させた後に実験を行わせた。

従って、両群の差異は、児童自らが同定した変数に基づいて仮説を文章化したか、教師の教授によって仮説を設定したかのみである。

質問紙調査については、4月上旬（学習前の事前調査）、5月中旬（単元終了後の事後調査）、6月中旬（単元終了約1ヶ月後の遅延調査）に同一の質問紙を用いて行った。

第3章 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

	実験群	統制群
単元実施前	事前調査及びオリエンテーションの実施	
第1～2時	集気びんの中でろうそくを燃やし続けるには、どうすればよいだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第3時	物を燃やす働きのある気体はどれだろうか	
	教科書に即した授業の実施	教科書に即した授業の実施
第4時	物が燃えると、空気の性質はどのように変化するのだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第5～6時	物が燃えると、空気中の気体の体積の割合はどのように変化するのだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第7～8時	空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合を変えると、物が燃える時間はどのように変化するのだろうか	
	児童一人一人による4QSを用いた仮説設定と検証実験の実施	教師主導による仮説設定と検証実験の実施
第9時	本単元で習得した科学的知識を適用することの可能な実験の実施	
単元終了後	事後調査の実施	
約1ヶ月後	遅延調査の実施	

図 3 - 1 授業及び質問紙調査の実施時期

第3章 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

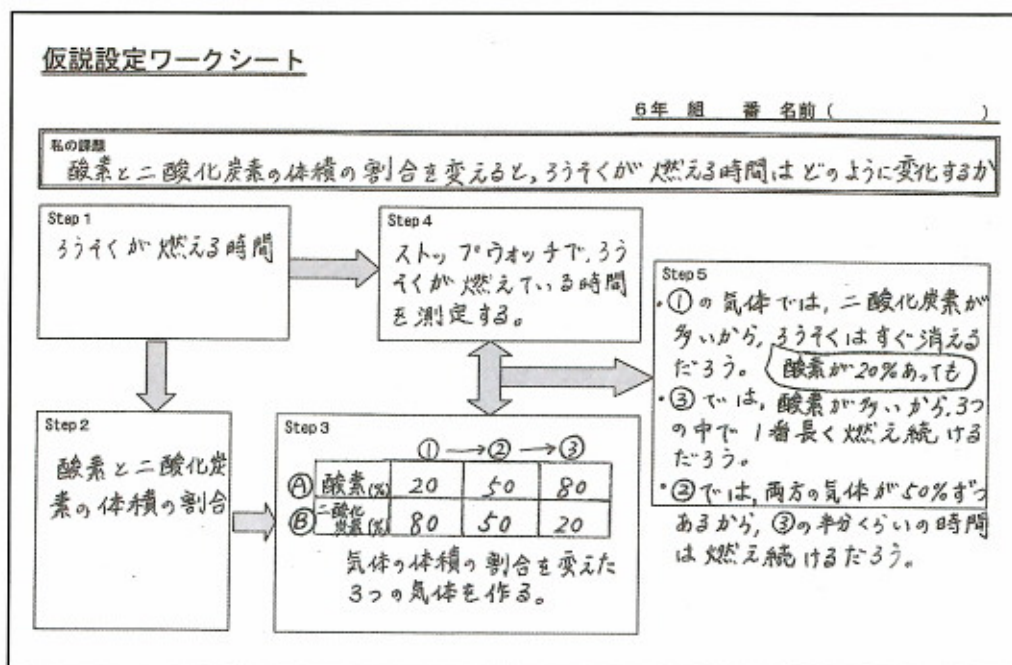


図 3 - 2 実験群の児童による 4QS の記述例

表 3 - 2 実験群の児童による 4QS の記述内容の一例

時	Step 1 (従属変数の抽出)	Step 2 (独立変数の抽出)	Step 3 (独立変数の変化)	Step 4 (従属変数の数値化)	Step 5 (Step 3, 4 を関連付けた仮説の文章化)
1~2	・ろうそくを燃やし続ける方法	・空気を送り続ける ・空気の通り道を作る	・集気びんの上を開ける ・下を開ける ・上と下の両方を開ける	・ろうそくが燃えている時間を計る	・集気びんの上と下を開けて空気の通り道を作れば、ろうそくを燃やし続けることができるだろう
4	・ろうそくが燃えた後の空気の性質	・集気びんの中でろうそくを燃やす	・ろうそくが消えるまで燃やし続ける ・燃える前と後を比べる	・石灰水が白くにごるかどうかを調べる	・集気びんの中でろうそくを燃やすと、二酸化炭素が増えて石灰水は白くにごるだろう
5~6	・空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合	・集気びんの中でろうそくを燃やす	・ろうそくが消えるまで燃やし続ける ・燃える前と後を比べる	・気体検知管で酸素と二酸化炭素の体積の割合を調べる	・集気びんの中でろうそくを燃やすと、燃える前よりも酸素の割合は小さくなり、二酸化炭素の割合は大きくなるだろう
7~8	・ろうそくが燃えている時間	・空気中の酸素と二酸化炭素の体積の割合	・気体の体積の割合 (酸素20% : 二酸化炭素80%) (酸素50% : 二酸化炭素50%) (酸素80% : 二酸化炭素20%)	・ろうそくが燃えている時間を計る	・酸素20%、二酸化炭素80%の気体では、二酸化炭素が多くふくまれているから、ろうそくはすぐに消えるだろう

2 - 5 . 分析の方法

2 - 5 - 1 . 科学的な知識の理解度の分析方法

調査に用いた質問紙(図3-3)は、TIMSS2003の酸化・燃焼に関する課題¹¹⁾を参考に、以下の3問とした。「設問1：ろうそくの消える様子」は、表3-1に示した第1～2時(物の燃焼と空気の関係性)で、「設問2：燃焼による空気の質的な変化」は、第4～6時(燃焼前後の空気の組成の変化)で習得する科学的な知識に基づいた設問である。「設問3：二酸化炭素と消火器」は、第3時(酸素の助燃性)と、第7～8時(物の燃焼に不可欠な物質としての酸素の存在)で習得する科学的な知識の活用により回答可能な設問である。なお、設問1は選択肢形式課題に、その選択理由の自由記述を付加したものであり、選択肢とその理由の両方の正答を正答者とした。


また、実験結果(科学的根拠)や科学的な知識に基づいた回答であるか否かについて、表3-3に示す評価基準に従って質問紙の自由記述を分類した。なお、誤答者はC基準、無回答者はD基準として分類した。

「ものの燃え方と空気」事前調査問題


1. 図1は、同じろうそくが4本燃えている様子を描いたものです。ろうそくは、それぞれ大きさの違うガラスの容器でおおわれています。どのろうそくが一番最後に消えるでしょうか。①～④の中から一つ選びましょう。また、その理由も書きましょう。

図1


①




②



③



④



2. 「ろうそくが燃える前」と「ろうそくが燃えた後」のガラスの容器の中の空気を比べると、どのような違いがあるのでしょうか。

3. 二酸化炭素は、ある種類の消火器に使われている気体です。二酸化炭素は、どのようにして火を消すのか説明しましょう。

図3-3 調査に用いた質問紙

出典：文部科学省（2005）「小学校理科・中学校理科・高等学校理科指導資料－PISA2003（科学的リテラシー）及びTIMSS2003（理科）結果の分析と指導改善の方向－」p. 67. より一部抜粋。

表3-3 正答者の自由記述の評価基準

設問1	A	「物が燃えるためには空気が必要で、空気の成分のうち、酸素には物を燃やす働きがあり、容器が大きいほど空気が多く入っているから長く燃え続ける」といった、燃焼現象を酸素との因果関係に基づいて説明した記述
	B	「物が燃えるためには空気が必要であり、容器が大きいほど空気が多く入っているから長く燃え続ける」といった、物の燃焼と空気の関係性に着目した記述
	B'	「容器が大きいほど空気（酸素）が多く入っているから長く燃え続ける」といった、ガラス容器の体積に着目した記述
設問2	A	燃焼前後の空気の質的な変化を気体の粒の数（窒素20→20、酸素4→3、二酸化炭素1→2）で表したイメージ図による記述
	B	「空気中の酸素が約21%から17%まで減り、二酸化炭素が約0.03%から3%まで増える」といった定量的な記述
	B'	「空気中の酸素の一部が使われて二酸化炭素ができる」といった定性的な記述
設問3	A	「二酸化炭素が物を燃やす働きのある空気中の酸素を押し除けることで火を消す」といった、消火現象を酸素との因果関係に基づいて説明した記述
	B	「二酸化炭素が空気（酸素）を押し除ける」、「二酸化炭素が燃えている物を覆う」といった、窒息作用に着目した記述
	B'	「二酸化炭素には物を燃やす働きがないから」、「二酸化炭素が火を冷やすから」といった、消火作用へ結びつけ可能な二酸化炭素の働きに着目した記述

2-5-2. 科学的な知識の維持の分析方法

まず設問ごとの正答に1点を付与し、計3点満点で事前、事後、遅延調査の各質問紙における両群の得点の平均値を算出した。

次に両群の平均値について、群間(2水準)×調査時(3水準)の2要因分散分析を行った。

2-5-3. 科学的に説明する能力の分析方法

PISAでは、科学的な知識をただ有していることを求めている¹²⁾。清水・渡邊・安田¹³⁾は、理解が深まった状態を「事物や事象についての解釈がより首尾一貫したものになり、より広い範囲に適用できる包括的なものになること」としている。

そこで本章では、清水・渡邊・安田¹⁴⁾の知見を踏まえ、科学的な知識の理解度に加え、物の燃焼や消火に関する現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明することができるか否かについて、質問紙の自由記述を分析することとした。そして、表3-3に示したA基準で記述することができた児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童」、それ以外のB、B'、C、D基準の児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できなかった児童」として分類し、その人数を集計した。

なお、「設問2：燃焼による空気の質的な変化」については、設問の内容上、因果関係の説明は困難であると判断し、本分析から除外した。

3. 結果と考察

調査の対象とした実験群 37 人，統制群 37 人の全員の回答を得た。本章の指導方法の有効性を検証するために，まず各質問紙の得点をそれぞれ求め，量的分析を行った。次に児童一人一人の理解状態を詳細に把握するために，個々の自由記述に質的分析を加えた。

3-1. 科学的な知識の理解度の変容

表 3-4 は，事前，事後調査における児童の自由記述を，評価基準（表 3-3）に従って設問ごとに分類した人数を示したものである。また表 3-5 は，表 3-3 に示した A，B，B' 基準の正答者と，それ以外の C，D 基準の非正答者とに分類し，直接確率計算 2×2 （両側検定）で有意差の有無を検証したものである。

3-1-1. 設問 1 に関する科学的な知識の理解度

事前調査の正答者数は，実験群 17 人（45.9%），統制群 22 人（59.5%）で有意な差はなかった（表 3-5）。誤答の原因を探るために，表 3-4 に示した C 基準の児童の自由記述に着目したところ，実験群 12 人中 8 人（66.7%），統制群 9 人中 7 人（77.8%）の誤答者には「容器が小さいほど，容器内の空気が熱くなりやすいからろうそくが早くとける」といった記述がみられた。このことから，誤答者の約 70% は「ろうそくの消耗による消火」という誤った知識を保持しており，「設問 1：ろうそくの消える様子」の回答の根拠となる「物の燃焼と空気の関

係性」については認識していないことが示された。残りの実験群4人中3人、統制群2人中1人の誤答者には「容器が大きい方がろうそくの横や縦に隙間がある」といった、空気の存在を示唆する記述がみられたが、B'基準の正答とするには不十分であると判断した。解読不能者が両群ともに1人ずつ、無回答者が実験群8人(21.6%)、統制群6人(16.2%)であった。

事後調査の正答者数は、実験群34人(91.9%)、統制群26人(70.3%)で有意な差があった(表3-5)。このことから、表3-1に示した第1~2時で習得した「物の燃焼と空気の関係性」に関する科学的な知識に基づいて回答できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

一方、表3-4に示した実験群3人中2人と統制群7人中6人の誤答者は、いずれも事前調査の正答者であったが、事後調査では「容器が大きいと空気がグルグル回る」という、第4学年で学習した空気の対流に関する既有知識に基づいた記述がみられた。また、残りの両群1人ずつの誤答者には、事前調査から継続して「容器が小さいほど、容器内の空気が熱くなりやすいからろうそくが早くとける」といった記述がみられ、「物の燃焼と空気の関係性」に関する科学的な知識の理解が不十分であることが示された。

事前~事後調査において、実験群では正答者数が有意に増加したが、統制群は有意でなかった(表3-5)。さらに、実験群では事前調査の正答者17人中15人(88.2%)、非正答者20人中19人(95.0%)が事後調査の正答者で

第3章 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

あったのに対し、統制群では事前調査の正答者 22 人中 16 人 (72.7%)、非正答者 15 人中 10 人 (66.7%) が事後調査の正答者であった。

表 3 - 4 設問ごとに分類した人数

			A	B	B'	C	D
設問 1	実験群 (N=37)	事前	9 (24.3)	2 (5.4)	6 (16.2)	12 (32.4)	8 (21.6)
		事後	33 (89.2)	1 (2.7)	0 (0.0)	3 (8.1)	0 (0.0)
	統制群 (N=37)	事前	5 (13.5)	2 (5.4)	15 (40.5)	9 (24.3)	6 (16.2)
		事後	6 (16.2)	16 (43.2)	4 (10.8)	7 (18.9)	4 (10.8)
設問 2	実験群 (N=37)	事前	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (2.7)	32 (86.5)	4 (10.8)
		事後	5 (13.5)	19 (51.4)	2 (5.4)	11 (29.7)	0 (0.0)
	統制群 (N=37)	事前	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	30 (81.1)	7 (18.9)
		事後	1 (2.7)	5 (13.5)	6 (16.2)	25 (67.6)	0 (0.0)
設問 3	実験群 (N=37)	事前	1 (2.7)	3 (8.1)	1 (2.7)	27 (73.0)	5 (13.5)
		事後	27 (73.0)	6 (16.2)	0 (0.0)	4 (10.8)	0 (0.0)
	統制群 (N=37)	事前	1 (2.7)	5 (13.5)	2 (5.4)	22 (59.6)	7 (18.9)
		事後	3 (8.1)	14 (37.8)	0 (0.0)	13 (35.1)	7 (18.9)

注) 単位は人, () 内の数字は%を示す。

表 3 - 5 設問ごとの正答者数

		事前調査	事後調査	調査時の有意差
設問 1	実験群 (N=37)	17 (45.9)	34 (91.9)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	22 (59.5)	26 (70.3)	$p=0.3443 \text{ n. s.}$
	群間の有意差	$p=0.3518 \text{ n. s.}$	$p=0.0352^*$	—
設問 2	実験群 (N=37)	1 (2.7)	26 (70.3)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	0 (0.0)	12 (32.4)	$p=0.0002^{**}$
	群間の有意差	$p=1.0000 \text{ n. s.}$	$p=0.0023^{**}$	—
設問 3	実験群 (N=37)	5 (13.5)	33 (89.2)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	8 (21.6)	17 (45.9)	$p=0.0482^*$
	群間の有意差	$p=0.5426 \text{ n. s.}$	$p=0.0001^{**}$	—

$^{**} p < .01$, $^* p < .05$

注) 単位は人, () 内の数字は % を示す。

3 - 1 - 2 . 設問 2 に関する科学的な知識の理解度

事前調査の正答者数は, 実験群 1 人 (2.7%), 統制群 0 人であった (表 3 - 5)。誤答の原因を探るために, 表 4 に示す C 基準の児童の自由記述に着目したところ, 「燃えた後の空気は二酸化炭素が増える」と回答した児童が実験群 4 人 (10.8%), 統制群 1 人 (2.7%), 「燃えた後の空気は酸素が少しだけ減る」と回答した児童が実験群 1 人 (2.7%) であった。また, 「空気がすべて二酸化炭素になる」, 「空気中の酸素がすべて二酸化炭素になる」という誤った知識を保持している児童が実験群 21 人 (56.8%), 統制群 25 人 (67.6%) であった。さらに, 「燃える前の空気はきれいだけど, 燃えた後の空気は汚い」

という誤った知識を保持している児童が実験群 6 人 (16.2%)、統制群 4 人 (10.8%) であった。無回答者は実験群 4 人 (10.8%)、統制群 7 人 (18.9%) であった。

事後調査の正答者数は、実験群 26 人 (70.3%)、統制群 12 人 (32.4%) で有意な差があった (表 3-5)。このことから、表 3-1 に示した第 4~6 時で習得した「燃焼前後の空気の組成の変化」に関する科学的な知識に基づいて回答できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

そこで、両群の正答者の自由記述に着目したところ、図 3-4 に示したように、燃焼前後の空気の組成を比較し、その状態を気体の粒 (窒素 20→20, 酸素 4→3, 二酸化炭素 1→2) を用いて正しく表現できた A 基準の児童は、実験群 5 人 (13.5%)、統制群 1 人 (2.7%) であった。なお、空気の組成の状態をイメージ図で表現していても、気体の粒に過不足が認められる回答については、B' 基準の定性的な理解として分類した。

また、図 3-5 に示したように、気体検知管で定量的に測定した実験結果 (科学的証拠) に基づいて正しく記述できた B 基準の児童は、実験群 19 人 (51.4%)、統制群 5 人 (13.5%) であった。図 3-4, 3-5 に示した A, B 基準の記述ができた児童を合わせると、実験群の正答者 26 人中 24 人 (92.3%)、統制群の正答者 12 人中 6 人 (50.0%) であった。このことから、実験群では、「燃焼による空気の質的な変化」を定量的に理解している児童が、統制群の約 2 倍であることがわかった。

一方、表 3-4 に示した実験群 11 人中 8 人、統制群 25

人中 14 人の誤答者には「燃えた後は酸素が減る」または「二酸化炭素が増える」といった、酸素か二酸化炭素のいずれかの変化に関する記述のみがみられた。また、残りの実験群 3 人、統制群 11 人中 4 人には「燃えた後の空気は汚い」といった記述が事前調査から継続してみられた。さらに、統制群の残り 7 人には「燃えた後は酸素が少なくなり、汚い空気になる」といった記述がみられ、「燃焼前後の空気の組成の変化」に関する科学的な知識の理解が不十分であることが示された。

事前～事後調査において、両群ともに正答者数は有意に増加した（表 3 - 5）。しかし、実験群では事前調査の非正答者 36 人中 25 人（69.4%）が事後調査の正答者であったのに対し、統制群では 37 人中 12 人（32.4%）に留まり、実験群の正答率は統制群の約 2 倍であることがわかった。

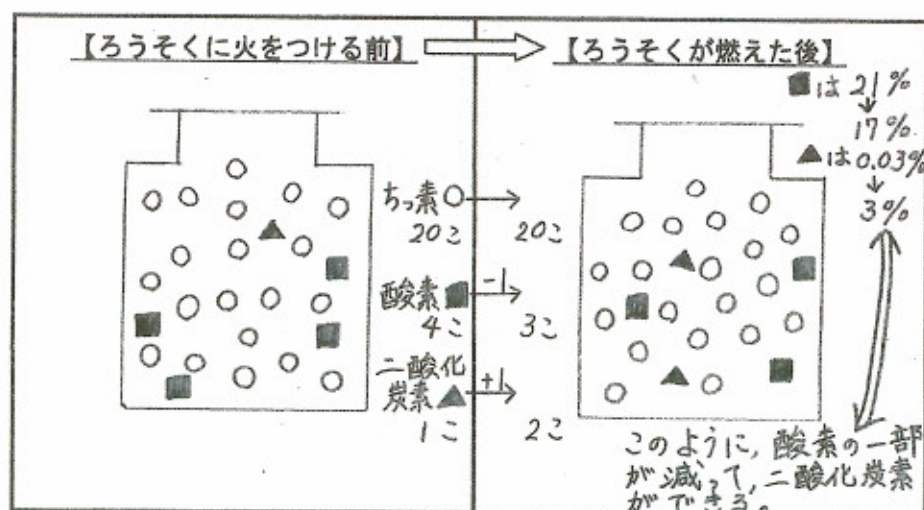


図 3 - 4 設問 2 に関する実験群の児童の A 基準の記述

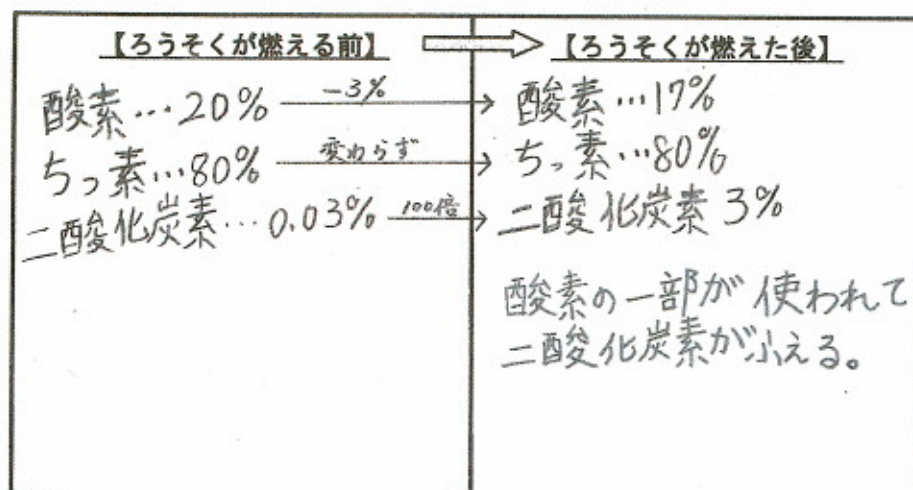


図 3 - 5 設問 2 に関する実験群の児童の B 基準の記述

3 - 1 - 3 . 設問 3 に関する科学的な知識の理解度

事前調査の正答者数は、実験群 5 人 (13.5%)、統制群 8 人 (21.6%) で有意な差はなかった (表 3 - 4)。誤答の原因を探るために、C 基準の児童の自由記述に着目したところ、二酸化炭素を「煙、水、泡、風」とする誤った知識に基づいて、例えば「消火器から出る二酸化炭素の煙で火を消す」といった記述が実験群 27 人中 19 人、統制群 22 人中 10 人の誤答者にみられた。また、残りの実験群 8 人、統制群 12 人の誤答者には「二酸化炭素には火を消す働きがある」という誤った知識に基づいた記述がみられた。無回答者は実験群 5 人 (13.5%)、統制群 7 人 (18.9%) であった。

事後調査の正答者数は、実験群 33 人 (89.2%)、統制群 17 人 (45.9%) で有意な差があった (表 3 - 5)。こ

のことから、表3-1に示した第3時、第7～8時で習得した「酸素の助燃性」、「物の燃焼に不可欠な物質としての酸素の存在」に関する科学的な知識に基づいて回答できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

そこで、両群の正答者の自由記述に着目したところ、図3-6に示したように、消火の仕組みについて「物の燃焼には酸素が不可欠」とする科学的な知識に基づいて記述できたA基準の児童は、実験群27人(73.0%)、統制群3人(8.1%)であった。

また、図3-7に示したように、窒息作用に着目して記述できたB基準の児童は、実験群6人(16.2%)、統制群14人(37.8%)であった。

一方、表3-4に示した実験群4人、統制群13人中12人の誤答者には「二酸化炭素には火を消す働きがある」という誤った知識に基づいた記述が事前調査から継続してみられ、「物の燃焼に不可欠な物質としての酸素の存在」に関する科学的な知識の理解が不十分であることが示された。

事前～事後調査において、両群ともに正答者数は有意に増加した(表3-4)。しかし、実験群では事前調査の非正答者32人中28人(87.5%)が事後調査の正答者であったのに対し、統制群では29人中9人(31.0%)に留まり、実験群の正答率は統制群の約3倍であることがわかった。

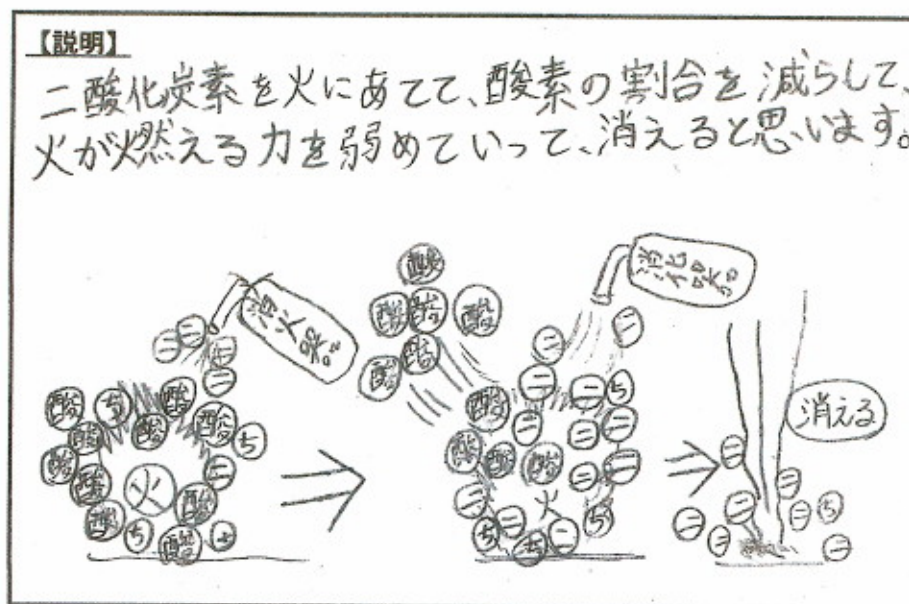


図3-6 設問3に関する実験群の児童のA基準の記述

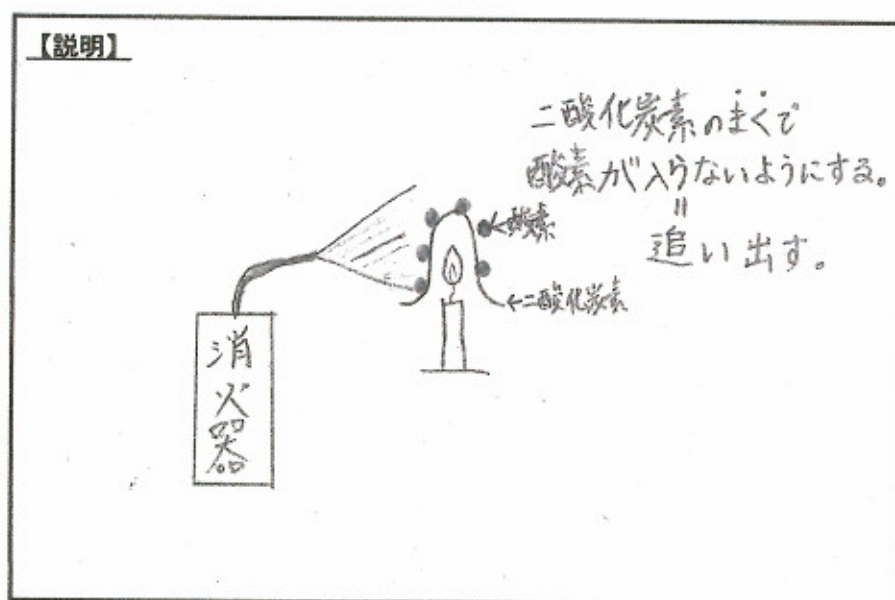


図3-7 設問3に関する実験群の児童のB基準の記述

3 - 2 . 科学的な知識の維持の比較

図3 - 8に、事前、事後、遅延調査の各質問紙における両群の得点の平均値の推移を示す。両群の得点の平均値について2要因分散分析を行った結果、交互作用が有意であった ($F(2, 144) = 30.16, p < .05$)。

さらに、LSD法を用いた多重比較の結果、事後(単元終了後)～遅延(約1ヶ月後)で、統制群では有意な低下が認められた ($MSe = .3795, p < .05$) が、実験群ではその低下は僅かであり有意でなかった。

このことから、実験群の児童は、単元終了約1ヶ月後においても燃焼の仕組みに関する科学的な知識を高い水準で維持していることが明らかとなった。

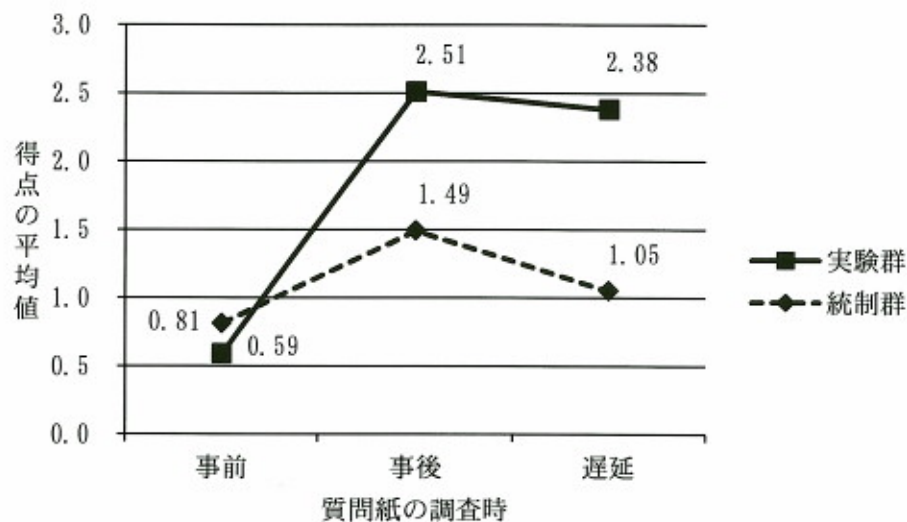


図3 - 8 得点の平均値の推移

3-3. 科学的に説明する能力の変容

表3-6は、表3-3に示したA基準で記述できた児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童」（以下、能力ありと表記）、それ以外のB、B'、C、D基準の児童を「現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できなかつた児童」（以下、能力なしと表記）として分類し、直接確率計算 2×2 （両側検定）で比較したものである。

3-3-1. 設問1に関する科学的に説明する能力

表3-6に示したように、事前調査の「能力あり」の人数は、実験群9人（24.3%）、統制群5人（13.5%）で有意な差はなかつた。事後調査の「能力あり」の人数は、実験群33人（89.2%）、統制群6人（16.2%）で有意な差があった。事前～事後調査における「能力あり」の人数は、実験群では有意に増加したが、統制群は有意でなかつた。

このことから、燃焼現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかつた。

3-3-2. 設問3に関する科学的に説明する能力

表3-6に示したように、事前調査の「能力あり」の人数は、両群ともに1人であつた。事後調査の「能力あり」の人数は、実験群27人（73.0%）、統制群3人（8.1%）で有意な差があった。事前～事後調査における「能力あり」の人数は、実験群では有意に増加したが、統制群は

第3章 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

有意でなかった。

このことから、消火現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できた児童は、実験群の方が有意に多いことがわかった。

表 3 - 6 設問ごとの「能力あり」の人数

		事前調査	事後調査	調査時の有意差
設問 1	実験群 (N=37)	9 (24.3)	33 (89.2)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	5 (13.5)	6 (16.2)	$p=1.0000$ <i>n. s.</i>
	群間の有意差	$p=0.3739$ <i>n. s.</i>	$p=0.0000^{**}$	—
設問 3	実験群 (N=37)	1 (2.7)	27 (73.0)	$p=0.0000^{**}$
	統制群 (N=37)	1 (2.7)	3 (8.1)	$p=0.6145$ <i>n. s.</i>
	群間の有意差	$p=1.0000$ <i>n. s.</i>	$p=0.0000^{**}$	—

4. 本章のまとめ

本章では、第6学年「燃焼の仕組み」において、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、燃焼現象を科学的に説明する能力、及び燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解に与える効果について明らかにすることを目的とした。

この目的を達成するために、第6学年「燃焼の仕組み」において、4QSを用いた実験群37人と、用いなかった統制群37人を対象とした授業実践及び学習前後の質問紙調査の分析を行った。

その結果、本章の指導方法が、燃焼の仕組みに関する科学的な知識の理解とその維持、及び燃焼現象を酸素との因果関係に基づいて科学的に説明できる能力の育成に有効であることが示された。

以下では、本章の指導方法と科学的な知識の理解度、及び科学的に説明する能力の育成との関連性について考察する。

本章では、児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導方法として4QSを用いた。4QSを用いることで、従属変数と独立変数との因果関係を客観的に捉え、自分の仮説を自分の言葉で文章化することができる。このように、仮説設定における児童一人一人の思考過程を可視化するとともに、その妥当性についてグループの仲間と検討する活動を行わせることで、現象を科学的に説明する能力の育成を促進することができたと考えられる。例えば、図3-2に示した実験群の児童が記述した4QSの

「Step 5」（仮説の文章化）において、グループで科学的な視点から検討された複数の仮説が記述されていることがわかる。児童は、4QSを用いて自分の仮説を設定することで、「どこに着目し、どのような手順で観察を進めていけばよいのか」、「自分が導き出した事実（実験結果）をどのように解釈すればよいのか」といった、理論的枠組みを保持することができたと考えられる。

遠西・岡島¹⁵⁾は、授業方略と概念獲得との関係について、授業方略として理論的枠組みを子どもに与える群と与えない群とでは、前者の方がよりよい概念を獲得したことを報告している。本章は、そのことを裏付ける結果になったといえる。

一方、統制群においても、表3-1、3-2に示したように、教師が実験の目的や変数を説明した後、仮説についてグループや学級で話し合い、それを教師が整理して黒板に書くことで実験群と同じ仮説を設定したり、実験を行ったりした。これは、統制群の児童にも理論的枠組みを与えたことを意味する。そして、表3-5に示したように、統制群では「設問2：燃焼による空気の質的な変化」及び「設問3：二酸化炭素と消火器」に関する科学的な知識の理解度に有意な増加が認められた。

しかしながら、図3-8に示したように、統制群の質問紙調査の得点の平均値は、実験群のそれと比べて相対的に低く、本章の指導方法の有無による差がそこに現れていると推察される。従って、本章における有効な理論的枠組みとは、従属変数（結果）としての「物の燃焼」と、独立変数（原因）としての「酸素」の2変数を、児

童自らが同定するとともに科学的な説明に不可欠な因果関係として認識することにあつたと考えられる。

加えて、上述の遠西・岡島¹⁶⁾の研究では、観察前後にすべての理論を児童に提示し、その中から観察事実についての考えを選択させているのに対し、4QSを用いた変数の同定と仮説の設定は、児童自らが発案したものであるため、問題の発見から仮説の設定、その検証に至るまで一貫して自らの活動であるという認識をもつことができたと考えられる。こうした児童自らの主体的な問題解決の活動は、2008年告示の小学校学習指導要領解説理科編¹⁷⁾が掲げる理科の目標と一致している。

これまで述べてきたように、本章の指導方法は、従来に比べ、従属変数（結果）と独立変数（原因）の2変数の因果関係の認識を促し、児童の仮説設定や事実解釈の思考をより首尾一貫させるとともに、自然忘却を抑え、しかも適用範囲の広い科学的な知識の理解と、現象を科学的に説明する能力の育成に有効であることが明らかとなった。

さらに、本章の成果を考慮すると、以下の利点が示唆される。第1に、学習課題に対する因果関係についての見通しを持ち、それを基に自ら観察、実験を進めたり、結果を解釈する視点を明確にしたりする等、自立的な学習を支持する。第2に、グループの仲間から自分の仮説の矛盾点を指摘されたり、仲間が示した考えの中から納得できる部分を自らの仮説に取り入れたりする等、個人の独立性を維持しながら協同的に追究する学習を支持する。

課題としては、質的な変化の推論について、吉田¹⁸⁾は、「燃焼の仕組みのように目に見える現象であっても、その変化の原因と結果とを関係付けて捉えることは困難である」と述べている。本章において、実験群であっても科学的な知識の理解に至らなかつたり、現象を因果関係に基づいて科学的に説明する能力の定着が不十分であったりした児童が認められた。今後、こうした定性的な実験が抱える課題の克服に向けて、他の単元における学習効果を検討していくことが望まれる。また、児童自らが変数を同定したり、仮説を設定したりする過程において、教師の指導助言は重要であり、どの場面で、どのような内容の支援的介入を行うべきかについて考案することも必要であろう。

以上のことから、本章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、第6学年の児童の現象を科学的に説明する能力、及び科学的な知識の理解に効果があることを明らかにすることができた。次章では、4QSを用いて児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が、第5学年の児童の科学的な知識の理解に与える効果を検証する。

引用文献

- 1) 中山迅・大場裕子・猿田祐嗣 (2004) 「科学理論と現象を関係付ける力を育てる教育課程の必要性－酸化・燃焼に関する TIMSS 理科の論述形式課題に対する回答分析から－」『科学教育研究』第 28 巻, 第 1 号, pp. 25-33.
- 2) 五島政一 (2008) 「PISA 調査と教育課程実施状況調査との違いについて」『理科の教育』57 (6), 東洋館出版社, pp. 375-378.
- 3) 小倉康 (2006) 「科学的探究能力の育成を軸としたカリキュラムにおける評価法の開発」『平成 17 年度科学研究費補助金特定領域研究 (課題番号 17011073) 研究報告書』 p. 228.
- 4) 森本信也・瀧口亮子・八嶋真理子 (1999) 「『対話』としての学習を志向した理科授業の事例的研究－小学校 6 年『燃焼』を通して－」『理科教育学研究』第 40 巻, 第 1 号, pp. 45-56.
- 5) 坂本美紀・村山功・山口悦司・稲垣成哲・大島純・大島律子・中山迅・竹中真希子・山本智一・藤本雅司・竹本裕子・橘早苗 (2007) 「科学的思考としての原理・法則のメタ理解－小学校第 6 学年『燃焼』を事例として－」『科学教育研究』第 31 巻, 第 4 号, pp. 220-227.
- 6) 山下春美・堀哲夫 (2010) 「OPP シートを活用した授業のグランドデザインに関する研究－小学校 6 年『ものの燃え方と空気』の単元を事例にして－」『山梨大学教育学部附属教育実践研究指導センター研究紀要』第 15 巻, pp. 20-42.

第3章 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

- 7) 小川博士・松本伸示 (2012) 「オーセンティック・ラーニングに依拠した理科授業が科学的な知識の理解に与える効果－小学校第6学年『ものの燃え方』を事例として－」『理科教育学研究』第56巻, 第3号, pp. 43-53.
- 8) 小林辰至 (2008) 「問題解決能力を育てる理科教育－原体験から仮説設定まで－」梓出版社, pp. 90-98.
- 9) 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, pp. 67-76.
- 10) 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, pp. 75-83.
- 11) 文部科学省 (2005) 「小学校理科・中学校理科・高等学校理科指導資料－PISA2003 (科学的リテラシー) 及びTIMSS2003 (理科) 結果の分析と指導改善の方向－」 p. 67.
(http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku/siryu/05071301/002.pdf)
【最終アクセス：2013年8月25日】
- 12) 国立教育政策研究所 (2008) 「国立教育政策研究所紀要 第137集 特集：科学的リテラシー」 p. 60.
- 13) 清水誠・渡邊文代・安田修一 (2007) 「外化と内省が理解に与える効果－維管束の学習を事例に－」『理科教

第3章 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

育学研究』第48号，第2号，pp.45-51.

14) 同書

15) 遠西昭寿・岡島雅秀(2002)「概念変換をめざす授業」
日本理科教育学会編『これからの理科授業実践への提案』東洋館出版社，pp.70-73.

16) 同書

17) 文部科学省(2008)「小学校学習指導要領解説理科編
大日本図書，p.7.

18) 吉田淳(1996)「小学校高学年理科における物質概念
とエネルギー概念の構成に関する考察」『愛知教育大学
研究報告(教育科学編)』第45巻，p.146.

資料1 本単元実施前のオリエンテーションで用いた自作プリント

理科の学習の進め方

1. 6年生の学習内容

	1学期	2学期	3学期
内容	①物の燃え方と空気 ②動物のからだのはたらき ③植物のからだのはたらき ④生き物のくらしと環境	⑤太陽と月の形 ⑥大地のつくりと変化 ⑦てこのはたらき ⑧水よう液の性質とはたらき	⑨電気とわたしたちのくらし ⑩人と環境

2. ノートの記述例（見開き2ページ）

<p>日付 単元名 課題：(赤ペンで囲む) 予想：～と思います。わけは、～だからです。 (①生活経験、②学習内容をもとに) 実験：絵や図を使って分かりやすく！！ 実験操作の注意点を書く！！</p>	<p>結果：表やグラフに整理する。 ①実際にやって ②何度やっても } 事実を大切に！！ ③誰がやっても } 考察：このことから、～と考えられる。 まとめ：(青ペンで囲む)</p>
--	--

3. 理科の学習で大切にしたいこと

(1)身近なものや既習経験から考えよう

理科の学習では、初めに「事象提示」と言って、「何かのきまりがあるもの」や「前時までの学習内容と関連付けて考えられるもの」を見せます。この時の発想の豊かさが、1時間の学習活動の充実ぶりを左右します。

自分が経験したこと、学んで身に付けてきたことを積極的に発言することで、一人一人の考え方を深めていける学習にしていきましょう。

(2)自分なりの予想と解決方法をもてるようにしよう

理科とは、自然界の中に存在する「ナゾ」を解き明かしていく学習です。従って、最初からきまりや規則性があるのではなく、多くの人が多くの観察実験を通して、少しずつ解明してきたものです。

もちろん、「正しい方法で、正しい結果を得る」ことは大切です。しかし、理科では結果を得るまでの道筋の方がもっと価値があるのです。「事象提示」を見て、自分の経験や知識をフル稼働することで、「自分なりの考え」をもって学習に取り組みたら、理科は楽しくなります。

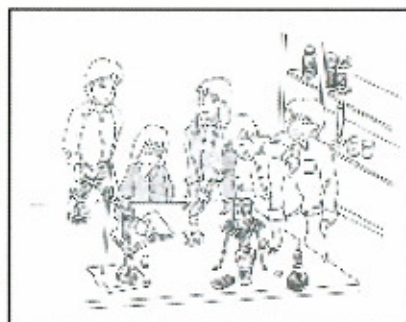
(3)安全面には十分に気をつけましょう

理科の実験中の事故の多くは、「不注意」によるものです。「自分の予想を証明しよう」、「どんな細かい変化も見逃さないぞ」という集中力をもって、観察・実験に臨んでいましょう。

その結果、理科の学習の楽しさを実感することができますし、安全面での心配もなくなります。

【演習】

右の図を見て、危険な箇所や行為を見つけましょう。



(4)理科室や道具を大切にしましょう

理科室や実験器具を大切に使うことは、お互いに気持ちよく学習する上で必要不可欠です。より確実な実験結果を出したり、安全に観察・実験したりするためにも、学習環境の充実を心掛けましょう。

4. 理科の学習を行うにあたって 身の回りには『科学がいっぱい』

理科は、私たちの身の回りにある「自然」のきまりやしぐさを学ぶ学習です。従って、今までの自分の経験や疑問に思ったことが、実は重要なカギを握っていることが多いのです。

自分が「自然」を見た時、素朴に感じたことを積極的に交流し合いましょう。その活気あふれる交流の中に、「自然」との新しい出会いがあるのです。素敵な「自然」との触れ合いを楽しみにしていきましょう。

5. こんな「学び合い」を創り出していきましょう

(1)仲間が発言している時は、何も書かない。とにかく体ごと発表者の方に向かせ、最後まで聞きましょう。

①最初の段階で、「今、私が言ったこと分かった？△△さん、もう1回説明してみてください。」
というように仲間に投げ掛けてみると、お互いの理解が深まります。

②こんな発言ができるといいね。(自分の考えの道筋が分かりやすいね。)

ア：「～に、～をしたら、～になった。」

対象 方法 結果

イ：「このことから、〇〇は◇◇だと考えられる。」

結論

ウ：「このことから、〇〇は▽▽だとわかった。」

エ：「実験の結果、仮説と同じで(違って)～であった。」

オ：「理由は、◆◆だからだ。」

カ：「表やグラフから、～という規則性がわかる。」

(2)仲間の「学び方」のよさを見つけましょう。

- ・「比べて考えている」
- ・「細かい変化を見逃さず観察している」
- ・「自分の予想に立ち返って考えを話している」
- ・「実験の条件を変えて調べている」

このような「学び方のアイテム」を利用すると、理科の思考力がグーンと上がります。

資料2 授業の様子



グループ内で意見交換し、ホワイトボードに整理した4QSの実際



第3章 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



酸素の体積の割合は？

ずっと燃え続けているね

