

研 究 紀 要

THE BULLETIN
OF
EDUCATION RESEARCH
IN THE
ELEMENTARY SCHOOL SCIENCE

No. 99

日本初等理科教育研究会

JAPAN ELEMENTARY SCHOOL SCIENCE

TEACHER'S ASSOCIATION

2024

研究紀要 第99号

目次

1. 問題解決の力に関する「評価の視点」を与えることが探究をどう支援するか…………… 1

～「仮説の発想」「解決方法の発想」「より妥当な考察」に着目して～

京都文教大学こども教育学部 大前 暁 政
関西大学初等部 孕石 泰 孝

2. 授業「電気をつくる」に関する一考察……………11

－第6学年の「電気の利用」において－

山口市立興進小学校 徳永 裕
山口大学教育学部理科教育講座 佐伯 英 人

3. 定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行う理科授業の効果……………19

宮崎大学教育学部 中村 大 輝

問題解決の力に関する「評価の視点」を与えることが探究をどう支援するか ～「仮説の発想」「解決方法の発想」「より妥当な考察」に着目して～

大前暁政（京都文教大学こども教育学部）

孕石泰孝（関西大学初等部）

【梗概】

2020年から実施されている小学校学習指導要領では、小学校でも探究的な学習の充実を図ることが求められており、学習者の主体的な探究を促す中で、問題解決の力を高める必要がある。探究的な学習では、仮説の発想や解決の方法の発想、より妥当な考察を学習者自らが行っていく。小学校段階で学習者が探究を進めるには、指導方略の工夫が必要になる。そこで、小学校第4学年「雨水の行方と地面の様子」の単元において、「評価の視点」を用意し、学習者が自身の問題解決の過程を振り返りながら探究を進められるようにした。「仮説の発想」に関しては、両群はほぼ同じ結果だったが、「解決方法の発想」と「より妥当な考察」に関しては、有意差はなかったものの、学力中位から上位の児童に関して効果を発揮した。ただし、「評価の視点」の効果を高めるには、問題解決の力を育成する手立てを取り入れた上で「評価の視点」を与える必要があると考えられる。また、学力低位の児童には他の支援も必要なことが示唆された。

I 研究の背景

2017年の小学校学習指導要領の方向性を示した2016年中央教育審議会答申では、「小・中・高等学校教育を通じて、知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、見通しを持って観察・実験を行い、その結果を整理し考察するなどの探究的な学習の充実を図る。（概要、p.20）」とされた¹⁾。

2021年の中央教育審議会答申では、「義務教育段階において、ICTの活用等による効果的・効率的な学習と、探究的な学習の充実を組み合わせるなど、カリキュラム・マネジメントに係る学校裁量の幅の拡大の一環として、教科等の特質を踏まえつつ、教科等ごとの授業時数の配分について一定の弾力化が可能となる制度を設けるべきである。（pp.80-81）」としている²⁾。本答申でも、小・中学校の段階から、習得・活用・探究という学びの過程を重視する方向性が示されている。

また、2017年の小学校学習指導要領解説理科編では、思考力・判断力・表現力等の中核である「問題解決の力」の育成が重視されており、各学年で重点的に育成すべき力が示されている³⁾。以上のことから、小学校でも探究的な学習の充実を図ることと、理科では「問題解決の力」の育成が求められていると言える。なお本研究では、「学習者が主体となって問題を発見し、予想や仮説を考え、実験方法を発想し、解決していく学習」を、探究的な学習と定義する⁴⁾。

II 問題の所在と研究仮説

1. 問題の所在

探究的な理科学習では、学習者が主体的に探究できるようにするための、教師の手立てや工夫が必要である。学習者主体で探究を進めるには、学習者に問題解決の力が育成されていないと

難しい。しかし小学校は、科学的に問題解決する力を育成する段階である。そのため、「問題の発見」や「仮説の発想」、「解決方法の発想」、「より妥当な考察」を学習者に任せたとしても、うまくできない可能性がある。

つまり、小学校段階で探究的な理科学習を進めようと思えば、問題解決の力を補う指導方略が必要となる。そこで、問題解決の力を補うために、「評価の視点」を学習者に示すことで、学習者自身が問題解決の力の活用をメタ認知しながら探究を進められるようにできると考えた。「評価の視点」とは、学習者が自らの問題解決の各過程が、より質の高い手続きになっているかどうかを客観的に振り返ることのできる指標を意味する。

このような趣旨の先行研究を概観すると、湯本・栗原（2020）は、中学校理科の実験計画立案場面の指導において、実験計画の記述方法を視覚的にとらえられるルーブリックを活用した実践を行っている⁵⁾。通常のルーブリックは、A, B, C 評定がそれぞれ文字情報として示されているが、この研究では、条件の整理の方法、具体的な操作・手順の方法、結果の見通しと整理の方法などが絵や記述例などでビジュアルで示されているところに特徴がある。ただし、実験計画立案への支援が主眼の研究であり、実験をガイドする性質をもつため、本研究のように自由に解決方法を発想する探究的な学習を学習者主体で進められるようにする研究とは趣旨が異なっている。

メタ認知に関する研究として他にも加藤（2014）の研究があり、メタ認知を促す指導方略として、理科の問題解決の各過程において、自身への問いかけに使う言葉を「学び方アイテム」として示す実践を小学校第6学年「てこの規則性」で実施している⁶⁾。例えば、問題発見の場面で「何だろう、どういうことかな（p.34）」、予想や仮説の発想場面で「事実をもとに考えよう（p.34）」、観察・実験方法の発想場面で「ほかの方法はないかな（p.35）」、考察場面で「○○がどうか変わったかな（p.36）」などの「学び方アイテム」を示すことで、学習者のメタ認知が促されたとしている。た

だし本研究の、探究を進めるための問題解決の力を補う「評価の視点」とは趣旨が異なっている。

岸田・小倉（2018）は、「科学的な実験のための合言葉」を示し、児童同士の相互確認を取り入れながら実験計画を立案させることは、批判的思考を促し、実験計画力向上に有効だったとしている⁷⁾。合言葉は、「さいげんできますか？（p.43）」、「なっとくさせることができますか？（p.43）」、「あんぜんですか？（p.43）」、「じかんはどれくらいかかりそうですか？（p.43）」などがある。

同様の実践として、木原・栗原・山田（2021）は、実験計画の立案力育成のため、「科学的な実験のための合言葉」と、子供と教師が同じ観点で自己評価できる「ルーブリック」とを活用させることで、批判的思考とメタ認知的活動を促せ、効果があったとしている⁸⁾。木原・栗原・山田の実践の具体的な指導方略として、小学校第6学年「水溶液の性質」において、実験方法を考える際の合言葉を示し、さらに実験計画ワークシートで予想や解決方法、結果をまとめられるようにし、授業の最後に子供と教師が同じ観点で自己評価できるルーブリックを示すというものである。これら2つの研究も、実験計画の立案力を養うことが主眼であり、本研究の趣旨とは異なっている。

理科学習の熟達者ではない小学生段階で、学習者主体で探究を進められるようにするため、学習者の問題解決の力を補う指導方略を取り入れ、探究的な学習の実践を通して検証する研究は、先行研究も少なく、研究の余地が残されている。

2. 研究の仮説と目的

今回の研究では、問題解決の過程の中で、特に「仮説の発想」、「解決方法の発想」、「より妥当な考察」に焦点を当て、「評価の視点」を与えることで、学習者が自身の問題解決の過程を振り返りながら、主体的に探究を進められることができたかを検証する。

なお第4学年では「予想の発想」も大切にされているが、今回の研究では「仮説の発想」を中心に扱う。本研究において「仮説」とは、自然事象

のきまりを説明したものを意味し、例えば、自然事象を定量化したり、一般化したりして導き出した「法則」、「きまり」、「性質」、「働き」、「関係性」、「規則性」などを説明するものと定義する。

実験群も統制群も、「雨水の行方」において、探究的な学習を行う。実験群にのみ「評価の視点」を与え、探究を学習者主体で行うことができたかを調べ、「評価の視点」の効果を検証する。

Ⅲ 研究の実施方法と検証方法

1. 児童の実態と授業内容

大阪府私立小学校第4学年実験群30名（1クラス）と統制群31名（1クラス）に対し、2022年11月から2022年12月にかけて、「雨水の行方と地面の様子」の単元で探究的な学習を実施した。授業は実験群、統制群とも第4学年の理科担当教員である著者の1名が行った。

事前の学力を比較するため、実験群と統制群で、単元後に行っている自作テストの6回分の結果（各100点満点、「物の温まり方」までの6回のテストの平均値を算出。本授業を欠席した児童は解析から除外し最終的な解析対象は実験群29名、統制群29名）を対応のないt検定で比較したところ、実験群は78.3 ± 14.0、統制群は76.4 ± 9.6であり（ $t(56)=0.604$, $p=0.604$, $d=0.159$ ）、実験群がやや高いものの、両群間に統計学的有意差を認めなかった。

本授業の単元展開を以下に示す。

【単元展開】

- 第1時 校内のビオトープでの土の観察と土の採取
- 第2時 採取した土を使った水はけ調べ（自由試行）
- 第3時 自由試行による気付きからの仮説の発想と仮説検証のための解決方法の発想
- 第4時 各自の解決方法に基づく検証実験
- 第5・6時 検証実験・実験のまとめ（一部の児童が第5時には実験）
- 第7時 各自で調べた実験や結果の共有と、

2. 実施方法

実験群も統制群も行った授業は基本的に同じである。ただし、実験群だけは、「評価の視点」をワークシートに掲示し活用できるようにする。「評価の視点」を学習者が活用できるようにするため、「評価の視点」の意味や活用方法の解説を事前に行う必要がある。そこで、実験群だけ事前の特別授業を1時間行い、「仮説の発想」、「解決方法の発想」、「より妥当な考察」の3つの問題解決の力に関して、「評価の視点」の活用体験を確保し、教師による解説を行うこととした。

特別授業では、乾電池1個で豆電球2個を直列につなぐと、豆電球1個と比較して暗くなる様子を提示し、仮説の発想と解決方法の発想を促し、問題解決と考察を行わせた。この活動の中で、「評価の視点」を解説しながら、活用を促した。

統制群は特別授業は行わず、「評価の視点」の解説や提示も行わない。なお、今回は第4学年なので、第3学年で重点的に指導する「問題の発見」に関しては扱わず、全員で共通する問題を設定するに留めた。「仮説の発想」、「解決方法の発想」、「より妥当な考察」に関しては、第4学年、第5学年、第6学年で重点的に指導するため、育成は十分ではなく、「評価の視点」を与える効果を測定しやすいと考えた。

「評価の視点」は、具体的には次の通りである。

【仮説の発想に関する評価の視点】

- ①生活経験、体験、学習したこと、何かの現象など、根拠がある。
- ②実験で確かめられる。

【解決方法の発想に関する評価の視点】

- ①仮説をこの方法で確かめられる。
- ②実験前後を比較して調べられる。
- ③2つ以上実験して結果を比較できる。
- ④2つ以上比べる時、変える条件は1つにし

ている。(例えば、乾電池のパワーは同じもの、豆電球も同じ物を使うなど)

⑤極たんにちがっているものを比べている
(豆電球 1 個と豆電球 10 個を比べる)

⑥複数回調べている。

【より妥当な考察に関する評価の視点】

①実際の実験結果や観察したこととつながっている。

②どの実験結果も説明できている。

③自分だけでなく、他の人がやってもその結果になって、同じ結論を出すと考える。

3. 結果の検証方法

「仮説の発想」、「解決方法の発想」、「より妥当な考察」の3つの問題解決に関する評価は、ワークシートに、個別に書かせた記述を分析して行う。上記の「評価の視点」を基に、「仮説の発想の評価基準」を、以下のように設定した。

【仮説の発想の評価基準】

S 評定・・・実験で確かめることができる仮説であり、根拠もあるもので、評価の視点①と②を両方含むもの (4点)

A 評定・・・実験で確かめることができる仮説であり、評価の視点②を含むもの (3点)

B 評定・・・形而上学のように、実験では確かめられない広い意味での仮説を書いているものの、評価の視点を1つも含まないもの (2点)

C 評定・・・気付きや疑問、調べたいことは書かれているが、仮説になっておらず、評価の視点を1つも含まないもの (1点)

D 評定・・・記述がないもの (0点)

何らかの理由が書かれていた場合は、根拠があると判定し、①の視点を満たすと判定した。また、実験で検証可能な仮説の場合は、②の視点を満たすと判定した。②の視点を留意したのは、実験で確認できないものは科学的な仮説としてふさわし

くないと考えたためである。例えば、「水は意志をもって速く沈み込もうとする」といった形而上学のような考えは、実験で確かめることができないため、②の視点は満たさず、また根拠も書くことが難しいため、B 評定となる。なお、仮説の発想の評価において、C 評定は、仮説になっておらず、従って「評価の視点」も含まれないものを想定した。仮説とは、自然現象に対する何らかの決まりを言葉にしたものであるため、疑問や調べたいことを書いていたり、実験での気付きを書いていたりしたものとは区別したためである。なお、仮説の科学的な正誤は問わないこととする。

続いて、「解決方法の発想」に関して、評価基準を考えた。解決の方法には、大きく2種類の方法があると想定した。1つは対照実験であり、異なる条件で2つ以上の実験を行って比較する形である。もう1つは、対照実験ではなく、「雨が降る前の地面と、雨が降った後の地面の様子を比べる」、「水を流す前と流した後で土の様子を比べる」といった具合に、実験前後で自然の様子を比較して調べる実験である。この2つの実験は、単元の内容によっては、選択しにくい場合もある。条件を変化させての2つ以上の実験を行うことが難しい場合は、実験前後を比較する実験を行うこともある。条件を変えながら2つ以上の実験を比較可能で、かつ、対照実験の方が適している場合は、対照実験を行うこととなる。今回の実験では、両者の実験が可能であり、対照実験によって調べる方が仮説の検証をしやすい面がある。そこで、より正確に対照実験ができている方が、得点が高くなるよう、評価基準を作成した。なお、⑥の複数回調べることは、時間の許す限り毎回推奨しているため、全員ができていと判断し、評価基準からは外した。

【解決方法の発想の評価基準】

SS 評定・・・仮説を検証できる対照実験を行い、条件を制御しながら3つ以上の物で調べている(評価の視点①、③、④、⑤を含む) (5点)

S 評定・・・仮説を検証できる対照実験を行い、

条件を制御しながら、2つの物で調べている（評価の視点①，③，④を含む）（4点）

A 評定・・・仮説を検証できる対照実験を行い、3つ以上の物で調べている。条件制御はできていない。（評価の視点①，③，⑤を含む）（3点）

B 評定・・・仮説を検証できる対照実験を行い、2つの物で調べている。条件制御はできていない。（評価の視点①，③を含む）（2点）

C 評定・・・仮説を検証できる対照実験以外の実験を行っている。条件制御の必要はない。（評価の視点①，②を含む）（1点）

D 評定・・・仮説を確かめられない方法を書いている場合や記述がない場合（0点）

例えば、「水はけのよい土と悪い土を比べる」といった何かを比較して観察する方法は、雨が降るなどの現象の後で比較して調べるという意味なので、「②実験前後を比較して調べられる」ものであると判断する。⑤の極端に違ったものを比べるという「評価の視点」に関しては、今回の研究では程度の判定が困難なため、対照実験を行っていた場合で、2つの物を比べていた場合は③の視点を満たすとし、3つ以上の物を比べていた場合は⑤の視点を満たすと考えることとした。なお、仮説が書かれていない場合は、解決の方法も D 評定となる。複数の実験が書かれていた場合は、より上位の評定を採用した。

続いて、「より妥当な考察」の評価基準を示す。

【より妥当な考察の評価基準】

SS 評定・・・2つ以上の「実験・観察結果」を基に結論を書くことができている、かつ、論拠を説明している（評価の視点①，②，③を全て含む）（5点）

S 評定・・・1つの「実験・観察結果」を基に結論を書くことができている、かつ、論拠を説明している。（評価の視点①，③を含む）（4点）

A 評定・・・2つ以上の「実験・観察結果」を基に結論を書くことができている。（評価の視点①，②を含む）（3点）

B 評定・・・1つの「実験・観察結果」を基に結論を書いている。（評価の視点①を含む）（2点）

C 評定・・・「実験・観察結果」だけを記載しており、考えを書くことができない（1点）

D 評定・・・記載がない（0点）

本研究の考察の評定基準で重視したのは、「実証性」（評価の視点①）と「客観性」（評価の視点③）である。繰り返し実験を行い「再現性」を確かめることは、実験群でも統制群でも推奨したため、全員ができていないと判断し、評定基準からは外した。「実証性」は、実際の実験結果や観察したこととつなげることができるかで判定した。つまり、実験・観察の結果という「データ」を挙げていけば満たしていることとした。

「客観性」は、イギリスの分析哲学者スティーヴン・トゥールミン（Stephen Edelston Toulmin）の論証モデルを参考に、結論を出す際の「論拠」（ワラント）の記載によって判定することとした⁹⁾。つまり、「データ」と「結論（主張）」の間に、「データ」と「結論（主張）」がどう関係しているのかの説明や、なぜ関係しているのかの理由が、事実即して書けていたら、「論拠（ワラント）」が書けていると判定する。「論拠」があることで、結論の導出に無理がなく、かつ「データ」と「結論」の関係が正しいものであることを示していると判断し、客観性を満たしていると判定する。

また、2つ以上の実験結果や観察したことを基に考察をしている場合は、より「客観性」が高い（評価の視点②を満たす）と判定することとした。例えば、対照実験は複数の物に対して行っても1つの実験とカウントし、行った対照実験以外にも、何らかの実験・観察をしていた場合は、2つとカウントすることとする。解決方法の発想の評価基準とは異なり、考察の評価基準では、様々な実験・観察結果を参考にしているかを評価したためである。ただし、今回の研究では、多くの実験・観察を行うよう促したため、複数の実験・観察結果を基にする方が容易であると考え、論拠が明記されている考察を高く評価した。なお、結

論や論拠の厳密な科学的な正しさは問わないこととし、実験・観察結果から、ある程度論理的に筋道立てて考えられていれば妥当な考察ができていると判断した。考察に自分の考えを書けない場合はC評定とし、記載のないものはD評定とした。

今回のデータは、評定が順序データであるため(SS>S>A>B>C>D)、群間比較では対応のないノンパラメトリック検定である Mann-Whitney U test を用いて、実験群と統制群の2群間で解析を行うこととする。なお、ワークシートを書く時間に欠席した者はデータに含めないものとし、用いることが可能な最大数で各設問の統計処理を行った。

IV 授業の実際と結果

「雨水の行方」の授業概要を示す。実験群はワークシートに「評価の視点」を示した。それ以外は、統制群も実験群も授業展開は同じである。

第1時は、校内のビオトープを利用して土の様子を観察させた。観察は「水はけの良い所と良くない所」に注目させるようにした。観察後「水はけは何によって異なるか」を問い、各自に簡単な仮説をもたせた。そして、仮説を確かめられそうな土を採取させた。

第2時は、「水はけの違いは何によって決まるか」を調べる目的を再確認し、前時に採取した土で、各自水はけを自由に調べさせた。

第3時は、第2時の自由試行も踏まえ、「水はけは何によって違うのか」の要因(仮説)と仮説を確かめる実験方法を考えさせた。この時、ワークシートを記入させた。なお、実験方法を考える際には、前時、自由試行した時の方法を

参考にしてもよいことを伝えた。

第4時は、第3時に考えた方法で仮説を検証するための実験を各自で行わせた。

第5時は、第4時の実験のまとめを行った。まとめ方は、動画やスライドなど各自に選択させた。また、第4時で実験が終了しなかったグループは実験を継続してよいこととした。

第6時は、第5時のまとめの続きを行わせた。その際、まとめの内容をワークシートにも記述させた。

第7時は、各自で行ったまとめを全体で共有した。その後「①実験でまとめたことと日常生活で見ることとは違っているか、合っているか」「②もし運動場を土にするとしたら、どう工夫するか」を問い、学習を振り返らせた。



図1 第4時実験群の探究

総じて、自分で仮説を発想し、解決方法を発想し、さらに自由に調べていくという探究的な学習を取り入れたため、学習の難易度は高かったと考えられる。仮説が発想できないと、解決方法の発想も難しくなり、解決方法の発想ができないうという結果になることが多かった。

発想できた仮説としては、実験群でも統制群でも、土の粒の大きさが違うので、水はけが異なると考える子が多かった。しかし、土の粒が大きいと水はけがよい(正しい)と考える子もいれば、

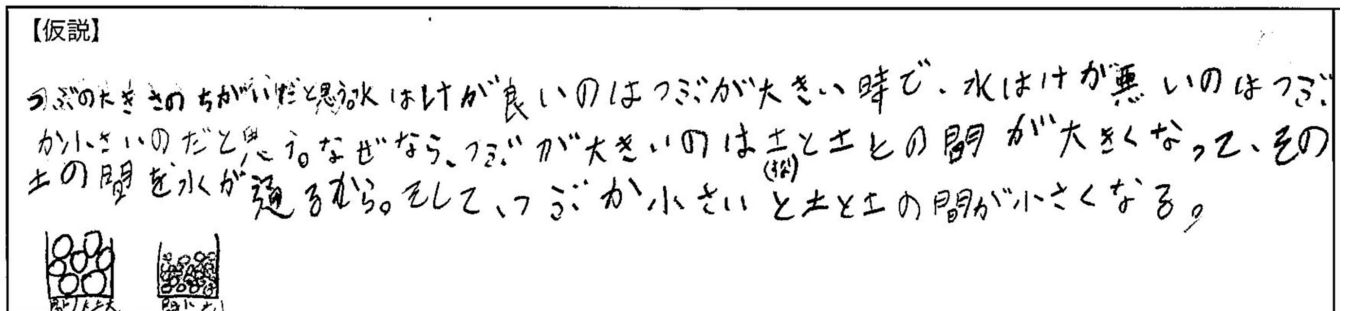


図2 仮説の発想の記述(実験群:S評定)

土の粒が細かいほど水はけがよい（間違い）と考える子もおり、意見や根拠は多様であった。

他にも、水のしみ込みやすさの原因として、「土の固さ」、「土に含まれる水分量」、「太陽光の有無」、「高い場所と低い場所にある土」、「砂の量」、「水を止める働きのある成分の有無」、「水を吸収しやすい土がある」、「石の粒の形と大きさ」、「土の温度」、「土自体の形」、「雨の影響の有無」があった。実験群の仮説の種類を以下に示す。なお、複数の仮説を書いている場合は、解決方法に取り上げられた仮説を主に考えたと判断した。



図3 解決方法の発想の記述（実験群：SS 評定）

【実験群の仮説の種類】

- ①土の中の石の粒の大きさ・・・7名
- ②土に含まれる水分量・・・5名
- ③太陽光の有無・・・4名
- ④土の固さ・・・3名
- ⑤水を吸収しやすい土・・・2名
- ⑥その他・・・（場所の高低1名、砂の量1名、水を止める働きのある成分1名、石の粒の形と大きさ1名）
- ⑦記述なし・・・4名

統制群の仮説の種類を以下に示す。

【統制群の仮説の種類】

- ①土の中の石の粒の大きさ・・・7名
- ②土に含まれる水分量・・・6名
- ③太陽光の有無・・・3名
- ④土の温度・・・3名
- ⑤その他・・・（砂の量1名、土の固さ1名、土自体の形1名、雨の影響の有無1名）
- ⑥記述なし・・・6名

仮説の種類は、実験群も統制群も、似た傾向にあった。根拠を書くことができおり S 評定だったのは、実験群 10 名、統制群 10 名であり、記述がないものが実験群で 4 名、統制群で 6 名いた。仮説の発想として、根拠を書くことは、児童にと

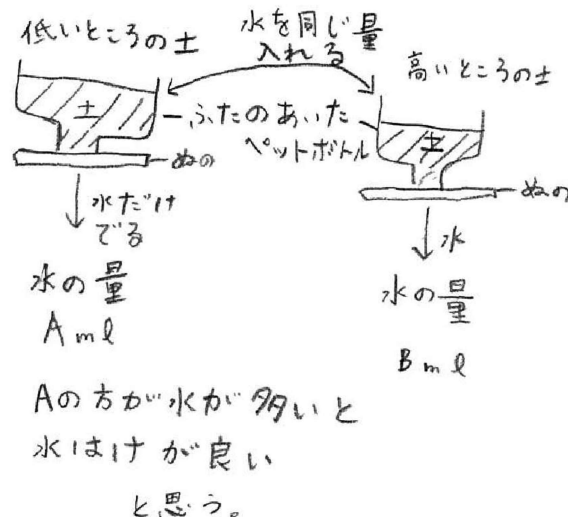


図4 解決方法の発想の記述（実験群：S評定）

って難易度が高いと考えられた。実験群の仮説の発想のうち、評価の高かった記述を図2に示す。

解決方法の発想に関しては、実験群の方が条件制御を意識した対照実験を考えることができている児童が多く、SS 評定と S 評定を合わせると、実験群 13 名、統制群 8 名であった。実験群の解決方法の発想で評価の高かった記述の一部を図3と図4に示す。なお、図3は、3つ以上の物で対照実験を行っており、土の種類だけを変化させ、土や水の量などの条件をそろえながら、下に出た

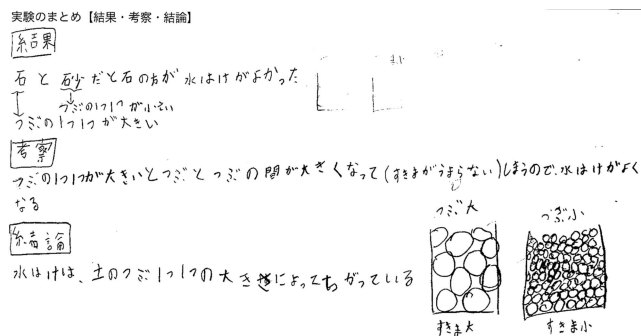


図5 考察の記述（実験群：S評定）

水の量で水はけを判断する方法である。

考察の評定では、実験群で評価が高かったものとして、結果だけでなく、結果と結論を結びつける論拠も書くことができる児童がいた。例えば、実験群の I 児は、「土の粒が粗いと水が透りやすい。土の粒が細かいと水が透りにくい」という実験結果を挙げ、「土の粒が粗いと隙間が多くなり、土の粒が細かいと隙間が少なくなるから」という論拠を挙げ、「水はけの良さ・悪さは土の粒の大きさで決まる」と結論づけていた(S 評定)。このように、実験・観察結果と結論を結びつける

論拠として「粒の大きさで土の隙間が変わるから」のような、何らかの説明や理由を書くことができたら SS 評定か S 評定となる。他にも実験群の論拠を挙げると、「最初から土に水が含まれているから水を透しにくい」、「軽い土の方が水を流したときの力で水を流しやすい形に変わる」、「固められた土は水をはじく」などがあつた。考察の記述例を図 5 に示す。

実験群と統制群の評定結果を、表 1 に示す。仮説の発想の質に関しては、実験群と統制群はほぼ同じ結果となった。解決方法の発想の質と、考察の質の評定では、実験群の方がやや高い結果となったが、有意差までは認められなかった。

	統制群 (2組)	実験群 (1組)	<i>p</i> -value
	<i>n</i> , %	<i>n</i> , %	
仮説の発想の質			0.747 a
S	10, 34.5	10, 34.5	
A	13, 44.8	15, 51.7	
B	0, 0.0	0, 0.0	
C	6, 20.7	4, 13.8	
解決方法の発想の質			0.424 a
SS	1, 3.4	2, 6.9	
S	7, 24.1	11, 37.9	
A	3, 10.3	0, 0.0	
B	5, 17.2	3, 10.3	
C	5, 17.2	7, 24.1	
D	8, 27.6	6, 20.7	
考察の質			0.191 a
SS	1, 4.0	2, 6.9	
S	5, 20.0	11, 37.9	
A	0, 0.0	4, 13.8	
B	18, 72.0	7, 24.1	
C	1, 4.0	3, 10.3	
D	0, 0.0	2, 6.9	

データ表示： *n*, %.

p-value： a, Mann-Whitney U test.

表 1 両群の比較 ($p < .05$ を有意と示す)

V 考察

統計的な有意差はなかったが、結果で示したように、「解決方法の発想」と「より妥当な考察」に関しては、実験群の方が評価の高い児童が多かった。「解決方法の発想」と「より妥当な考察」は、高学年で重点的に指導する問題解決の力のため、今回対象の第 4 学年の児童は習熟はしていない状態だったが、それでも一定の効果を発揮したことは成果である。

「解決方法の発想」と「より妥当な考察」に関して、実験群に評価の高い児童が多くいたにも関わらず統計的な有意差が出なかった理由は、評価の低い児童が実験群にもいたことが考えられる。特に、「より妥当な考察」に関しては、統制群は、B 評定が最も多く、実験群は評価の高い児童も多いが、評価の低い児童も多くいたため、平均化され、有意差がなくなったものと考えられる。本授業では、ワークシートに記述させる場面では、個別指導や児童同士の相談はあえて行わず、個別にワークシートに記述させたため、普段の学力が低位の児童が、今回の評定でも低い傾向にあった。ワークシートに「評価の視点」を用意して客観的に自分の記述をメタ認知できるようにする指導方略は、学力的に中位、もしくは高位の児童には有効に作用すると考えられ、教師による簡単な言葉がけだけであっても、「評価の視点」が示されるこ

とで、より高い評定の探究活動が促されると考えられる。学力低位の児童にとっては、教師による具体的な助言や児童間の相談などの他の支援を取り入れた上で、「評価の視点」を活用できるよう促すことが必要なのだと考えられる。

「仮説の発想」に関しては、実験群も統制群もほぼ同じ評定の分布であった。この理由として、「仮説を発想する」、「根拠を書く」ことに関して、重点的に指導する第4学年の児童にとってでさえ、難易度が高かったことが考えられる。実験群にも、仮説を考えられない児童がいたからである。仮説を考えることができない児童には、「評価の視点」は効果を発揮できない。事前の授業で、「仮説とは、現象が起きる理由を自分なりに説明したもの」、「自然現象をうまく表現できる自然の決まりを説明したもの」ということを教え、仮説の意味を教えたが、それでも仮説の発想ができない児童がいたのは、「仮説の発想の方法」に関する学習の積み重ねができていなかったことが原因と考えられる。つまり、仮説の意味の理解ができたとしても、「仮説の発想の方法に関する力を活用しながら仮説を発想してみる」という学習がある程度積み重ねていないと、「評価の視点」の効果を発揮させられないのだと考えられる。

仮説をどうやって発想するかを説明することは難しい。単元の最初に自然体験の蓄積の場を確保するとして、自然体験をした上で、体験した自然現象を説明可能な「自然のきまり」を自分なりに発想してみる体験が必要なのだと考えられる。その際、仮説を例示しながら、「どの現象にも言える決まりを考える」、「気付いたことを KJ 法などでまとめて決まりを見つける」、「比較して類似点と相違点をまとめる」など、仮説の発想の方法が体験的に理解できる活動を用意することが事前に必要なのだと考えた。また、根拠を書くことも児童にとって難易度が高いことが考えられる。普段の授業で、根拠を基に考える方法を教えたり、根拠とは何かを理解させたりすることが必要だと示唆される。「根拠には何をどう書けばよいのか」の指導を先に行い、根拠を書く学習を積み重ねな

いと、「評価の視点」の効果は発揮できないと考えられる。

なお、「解決方法の発想」も同じように、対照実験を発想するという思考力・判断力・表現力等を活用する学習の積み重ねが先だっこそ、「評価の視点」の効果を発揮させられると考えられる。今回は、第4学年で研究を行ったため、第5学年で重点的に指導する「条件制御」などの力には習熟ができていなかった児童が多くいた。そのため、実験群でも対照実験を考えることができない場合があり、「評価の視点」の効果が発揮できなかった場合もあると考えられるからである。

「より妥当な考察」では、評価の視点②として「どの実験結果も説明できている」を意識させたため、実験群では、2つ以上の「実験・観察結果」を基に結論を書く評定が統制群に比べてやや多く、ある程度の効果を発揮したと考えられる。

「より妥当な考察」に関して、今回の研究では、「実証性」（評価の視点①）と「客観性」（評価の視点③）を重視して分析を行った。このうち、「客観性」に関しては、「論拠」の記述によって判断した。論拠は、実験・観察結果（データ）と結論（主張）を結びつけるための説明のため、「土が固くなっていると、水をはじき返すので、水が浸み込まない」のように、何らかの説明を行う必要があり、児童にとって難易度が高いことが明らかとなった。論拠の意味の解説を教師が行い理解させることや、論拠を実際に作成してみるという学習の積み重ねが先立っていないと、評価基準を振り返るだけでは、自分が論拠を書けているかどうかのメタ認知を促すことは難しいと考えられる。実験群も統制群も、普段の授業で考察を記述させることは行っていたが、両群とも論拠に関して重点的に教えたことはなかったため、「評価の視点」を示し自分の考察のメタ認知を促すという手立てだけでは、論拠を書くことが困難であったことが示唆された。「論拠」の発想の仕方という力を活用して考えてみるという学習の積み重ねが、先だっ必要だと考えられる。

VI 今後の研究課題

「評価の視点」を示すのに先立ち、「評価の視点」の内容に関して学習を積み重ねる必要があることが明らかとなった。「評価の視点」を示すことで、実験群の方が自分の考えを振り返ろうとしていたため一定の効果があると考えられるが、さらに効果的にメタ認知を促せるよう、「評価の視点」自体の吟味をしたり、「評価の視点」を示すための前提条件を検討したりすることが必要になると考えられる。

付記・謝辞

授業実践にご協力いただいた小学校の校長先生をはじめとする先生方、児童たちに感謝申し上げます。なお、本論文の一部は 2023 年度日本理科教育学会近畿支部大会にて発表したものである。本研究の一部は、JSPS 科研費 20K03261 の助成を受けて行った。

【引用・参考文献】

- 1) 文部科学省中央教育審議会 (2016) 「幼稚園，小学校，中学校，高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)，概要」，https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/12/27/1380902_1.pdf，参照日 2019.10.13.
- 2) 文部科学省中央教育審議会 (2021) 「「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す，個別最適な学びと，協働的な学びの実現～（答申）」，https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt_syoto02-000012321_2-4.pdf，参照日 2023.5.21
- 3) 文部科学省 (2017) 「小学校学習指導要領解説理科編」，https://www.mext.go.jp/content/20211020-mxt_kyoiku02-100002607_05.pdf，参照日 2022.3.15
- 4) 大前暁政 (2018) 「小学校理科授業における「探究の過程」の検討－「授業の展開方法」と「授業技術・方法」に焦点を当てて－」，心理社会的支援研究 9，pp.15-37
- 5) 湯本裕貴，栗原淳一 (2020) 「ループリックを活用した理科の実験計画立案場面の指導に関する研究」，日本科学教育学会研究会研究報告 34 (7)，pp.5-8
- 6) 加藤尚裕 (2014) 「理科授業におけるメタ認知を育成するための指導方法の開発－小学校第 6 学年「てこの規則性－」を事例として」，国際経営・文化研究 18 (2)，pp.31-44
- 7) 岸田拓郎，小倉康 (2018) 「実験計画力を育成する「実験計画シート」の開発とその有効性の検討」，理科教育学研究 59 (1)，pp.39-48
- 8) 木原義季，栗原淳一，山田貴之 (2021) 「批判的思考とメタ認知的活動を促す指導が実験計画立案力の育成に与える効果－小学校第 6 学年「水溶液の性質」を事例として－」，日本科学教育学会研究会研究報告 35 (5)，pp.39-42
- 9) スティーヴン・トゥールミン (著)，戸田山和久・福澤一吉 (訳) (2011) 「議論の技法－トゥールミンモデルの原点」，東京図書

授業「電気をつくる」に関する一考察 —第6学年の「電気の利用」において—

徳永 裕¹
佐伯 英人²

小学校の第6学年の理科で「電気の利用」を学習する。各教科書会社の教科書（教科用図書）において、単元の導入時、児童の手で電気をつくる実験が示されている。この実験の発電において「運動」、「光」というエネルギー変換の視点はみられるが、「熱」、「音」というエネルギー変換の視点はみられない。そこで、本研究では「運動」、「光」というエネルギー変換の視点に「熱」、「音」というエネルギー変換の視点を付加して授業「電気をつくる」を実践した。分析の結果、児童が支持する考えについて、表出の仕方が「運動」、「光」と「熱」、「音」で異なったことが示された。また、児童の振り返りの記述から「光、動き（運動）、熱、音で発電できると認識したこと」、「日常生活と関連付けて考え、疑問をもったこと」を見取ることができた。

1. はじめに

1-1. 学習指導要領及び学習指導要領解説

文部科学省（2018a）の『小学校学習指導要領（平成29年告示）』では、理科の第6学年において「(4) 電気の利用」(p.107)を学習することが示されており、「(ア) 電気は、作りだしたり（中略）することができること。」(p.107)と示されている。文部科学省（2018b）の『小学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編』では「(4) 電気の利用」(p.82 - p.83)において「(ア) 手回し発電機や光電池などを使って発電したり、(中略)できることを多面的に調べる。」(p.82)と示されている。

1-2. 教科書（教科用図書）

2020年度～2023年度の間、山口市では、小学校の理科の教科書（教科用図書）として東京書籍の教科書を採択し、使用している。そこで、本稿では、2020年度版の東京書籍の小学校理科の教科

書『新しい理科 6年』を例にとり、以下に詳述する。なお、本稿では『新しい理科 6年』を『教科書』と称する。

『教科書』では「9 電気と私たちの暮らし」(p.148 - p.167)が示されており、「1 電気をつくる」(p.150 - p.152)で「問題 自分たちで、発電することができるだろうか。」(p.150)と示されており、「実験1」(p.151 - p.152)で「手回し発電機や光電池で電気をつくり、つくった電気を利用しましょう。」(p.151)と示されている。具体的にいうと、「実験1」では「手回し発電機で発電する」と「光電池で発電する」とあり、「つなぐ器具の例」としてモーター、電子オルゴール、豆電球、発光ダイオードが示されている。

『教科書』の「実験1」に示されている内容を、エネルギーの変換の視点より整理した。整理した結果を表1に示す。なお、エネルギー変換について整理するにあたり、エネルギー変換に伴うロス（損失）に該当するエネルギー変換は、整理の対象としていない（豆電球が発光する際に伴って出している熱エネルギーなど）。

「手回し発電機で発電する」の場合、手回し発

1 山口市立興進小学校

2 山口大学教育学部理科教育講座

電機とモーターは「運動→電気→運動」であり、手回し発電機と電子オルゴールは「運動→電気→音」であり、手回し発電機と豆電球及び手回し発電機と発光ダイオードは「運動→電気→光」である（表1）。「光電池で発電する」の場合、光電池とモーターは「光→電気→運動」であり、光電池と電子オルゴールは「光→電気→音」であり、光電池と豆電球及び光電池と発光ダイオードは「光→電気→光」である（表1）。つまり、「実験1」の発電において「運動」と「光」というエネルギー変換の視点はみられるが、「熱」、「音」というエネルギー変換の視点はみられない（表1）。

表1 『教科書』の「実験1」

発電する器具	つなぐ器具	エネルギーの変換
手回し発電機	モーター	運動→電気→運動
	電子オルゴール	運動→電気→音
	豆電球	運動→電気→光
	発光ダイオード	運動→電気→光
光電池	モーター	光→電気→運動
	電子オルゴール	光→電気→音
	豆電球	光→電気→光
	発光ダイオード	光→電気→光

東京書籍以外に、2020年度版の小学校理科の教科書を発行している教科書会社は5社(学校図書, 教育出版, 啓林館, 信州教育出版社, 大日本図書)ある。その5社の小学校理科の教科書において、『教科書』の「実験1」に該当する実験で示されている発電は「手回し発電機で発電する」や「モーターの出力軸(シャフト)をゴム板に接触させて、左右にこする」であり、また、「光電池で発電する」であった。つまり、『教科書』の「実験1」と同様の発電であり、「運動」、「光」というエネルギー変換の視点であるといえる。

2. 研究の目的

前述したように『教科書』の「実験1」の発電

において「運動」と「光」というエネルギー変換の視点はみられるが、「熱」、「音」というエネルギー変換の視点はみられない。その他の教科書会社の教科書においても、『教科書』の「実験1」に該当する実験で、発電において「熱」、「音」というエネルギー変換の視点はみられなかった。そこで、本研究では「運動」、「光」というエネルギー変換の視点に「熱」と「音」というエネルギー変換の視点を付加して授業「電気をつくる」を実践した。本研究の目的は、授業中に児童が支持する考え(発電できるか否かという考え(予想を含む))、また、児童の意識(児童が思ったことや分かったことなど)に関する知見を得ることである。

3. 使用する教材

3-1. 「光→電気→運動」を体験する教材

エネルギーの変換「光→電気→運動」を体験する教材として、発電する器具を光電池(ダイワ, 太陽電池B型)、つなぐ器具をソーラーモーター(ウチダ, ソーラーモーター01)とした。実験では、光電池にライト(LPL, TROPICAL TL-500)の光を当てさせた。本教材を図1に示す。なお、本教材については、『教科書』の「実験1」(p.151 - p.152)を参考にした。

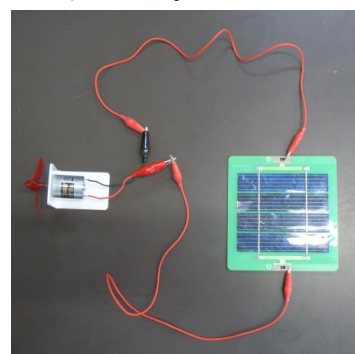


図1 「光→電気→運動」を体験する教材

3-2. 「運動→電気→光」を体験する教材

エネルギーの変換「運動→電気→光」を体験する教材として、発電する器具をモーター(マブチモーター, RE-280RA)、つなぐ器具を豆電球(メーカー不明, 1.5V-0.3A)とした。なお、モーターの出力軸(シャフト)にはシリコンのチューブ

(タイガースポリマー、内径：1.5 mm・外径：2.5 mm) を取り付けた。

実験では、割り箸を、モーターの出力軸（シャフト）に取り付けたシリコンのチューブに接触させて、一気に力強く（素早く）引かせた。本教材を図2に示す。なお、本教材については、2015年度版の東京書籍の小学校理科の教科書『新編 新しい理科 6年』の「実験1」（p.169 - p.170）を参考にした（毛利・黒田ほか，2015）。

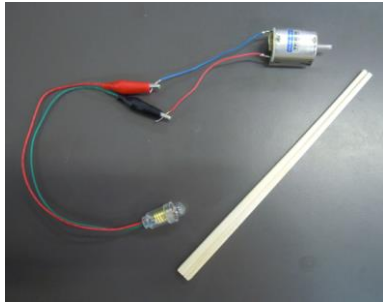


図2 「運動→電気→光」を体験する教材

この実験において、手回し発電機を用いず、モーターを用いた理由は、モーターという器具そのものに目を向けさせるためであり、「モーターの出力軸（シャフト）が回転することにより発電する」という認識を児童がもちやすいと考えたためである。

3-3. 「熱→電気→運動」を体験する教材

エネルギーの変換「熱→電気→運動」を体験する教材として、発電する器具をペルチェ素子（Thermonamic Electronics（Jiangxi），TEC1-12706）、つなぐ器具をソーラーモーター（ウチダ，ソーラーモーター01）とした。実験では、保冷剤を2つ準備し、1つの保冷剤を40℃の湯に入れて40℃程度にし、もう1つの保冷剤を冷凍庫に入れて-15℃程度にし、その2つの保冷剤でペルチェ素子を挟ませた。本教材を図3に示す。なお、本教材については、2012年度版の東京書籍の中学校理科の教科書『新しい科学 3年』の「活用」（p.201）に示されている「図5 ペルティエ素子と電子オルゴール」（p.201）を参考にした（岡村・藤嶋ほか，2012）。『新しい科学 3年』の「図

5」（p.201）では、ペルティエ素子と称されているが、本稿では、ペルチェ素子と称した。「図5」（p.201）では、ペルチェ素子を、湯を入れたアルミカップと氷で挟んでおり、つなぐ器具を電子オルゴールとしている（岡村・藤嶋ほか，2012）。

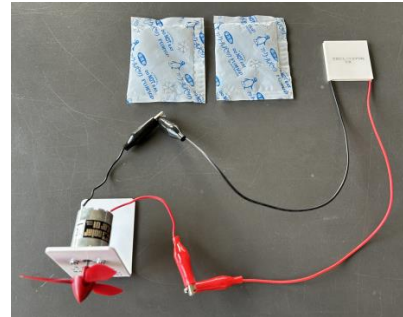


図3 「熱→電気→運動」を体験する教材

3-4. 「音→電気→運動」を体験する教材

エネルギーの変換「音→電気→運動」を体験する教材として、発電する器具を10cmスピーカー（メーカー不明，2way トレードインタイプ同軸コアキシャル VO-402）、つなぐ器具を高感度電流計（WENZHOU HONLY INSTRUMENT ELECTRIC，SD-670）とした。ゲルマニウムダイオード（WUXI XUYANG ELECTRONICS，1N60）をスピーカーのプラスの端子に取り付けた（スピーカー側：カソード，ペルチェ素子側：アノード）。これは、電流がマイナスの方向に流れて、高感度電流計の針がマイナスの方向に振れないようにするためである。実験では、スピーカーに口を近づけさせて、大きい声で叫ばせた。本教材を図4に示す。なお、本教材については、ケプストラム（n.d.）の「音の力で発電する実験」を参考にした。

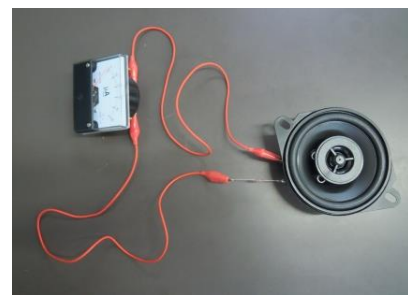


図4 「音→電気→運動」を体験する教材

4. 授業実践

授業は、山口市立A小学校の第6学年A組（15名〔男子：10名、女子：5名〕）において、2時間（45分×2）で実践した。

まず、教員は「身のまわりで電気を利用している物に、どんな物がありますか？」と問い、児童に考えさせて発表させた。児童の回答は、テレビ、蛍光灯、冷蔵庫などであった。このとき、児童が「テレビです。」と発表した場合、教員は2か所に「テレビ」と板書し、児童が「蛍光灯です。」と発表した場合、教員は1か所に「けい光とう」と板書し、4つのグループに分けて整理した（図6）。

児童の回答の中に、風力発電、太陽光パネル、充電器があった。これらについては、児童に「どう思いますか？」と問い、児童に電気を利用している物であるか否かを考えさせた。児童の回答は、風力発電、太陽光パネルについては「電気を利用している物ではなく、電気をつくっている物と思います。」であった。また、充電器については「電気を蓄えている物と思います。」であった。そこで、風力発電、太陽光パネル、充電器は、上記の4つのグループには入れず、その他の物として板書した（図6）。

さらに、児童の回答の中に自動車があった。これについては、発表した児童に「どんな自動車ですか？」と問い、児童の回答が「電気自動車」であったため、上記の4つのグループの1つに入れた。ただし、電気自動車では充電器を使っているため、教員が「充電器で電気を蓄え、その電気を利用しています。」という説明をした。

その後、教員は「みんなの発表を4つのグループに分けました。各グループの共通点は何だと思いますか？」と質問した。児童の回答は「電気を利用して光を出している。」「電気を利用して動いている。」「電気を利用して温度をかえている。」「電気を利用して音を出している。」であった。

そこで、教員は「身のまわりには、電気を利用して光を出したり、動かしたり、温度をかえたり、音を出したりしている物があるということす

ね。」と確認し、「4つのグループ」に「光」、「動く」、「温度・熱」、「音」と板書した（図6）。

教員は、「電気」と「4つのグループ」の間に「→」を板書し、「電気→4つのグループ」とした（図6）。このとき、「つまり、電気は、光、動き、熱、音に換えられるということです。そうであれば、逆に、光、動き、熱、音を電気に換えることはできるでしょうか？」と問い、児童に考えさせて発表させた。児童の回答は「例えば、〇〇さんが発表した太陽光パネルがそれだと思います。太陽光パネルは光を電気に換えていると思います。」であった。そこで、教員は、児童に「太陽光パネル」と「電気」の間に「→」を板書させ、「太陽光パネル→電気」とさせた（図5）。



図5 児童が矢印を書いているようす

次に、教員は、「4つのグループ」と「電気」の間に「→」を書き、「4つのグループ→電気」として（図6）、「光、動き、熱、音を電気に換えることができるだろうか？」と問い、さらに、『電気に換えることができる』ということ、別の言い方をすると『発電できる』ということです。」と説明し、学習課題「光、動き、熱、音で発電できるだろうか？」を提示し、児童に予想させた。このとき、児童一人ひとりにワークシートを配付し、自分の予想を書かせた。

ワークシートでは、光、動き、熱、音という項目ごとに記入欄を設定し、「発電できる」と予想した（考えた）場合は記入欄に○を書くようにさせ、「発電できない」と予想した（考えた）場合は記

入欄に×を書くようにさせた。

その後、本時と次時の2時間で実験して確かめることを伝えた。

児童の発表を整理した板書を図6に示す。

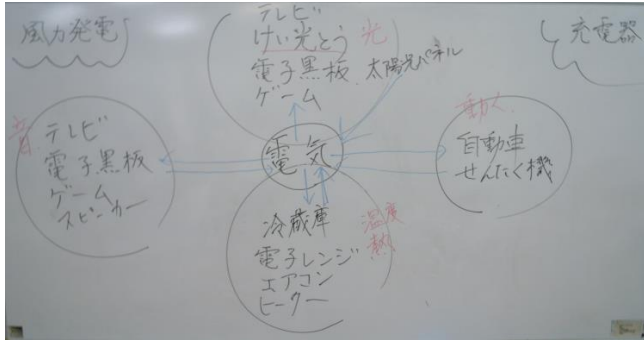
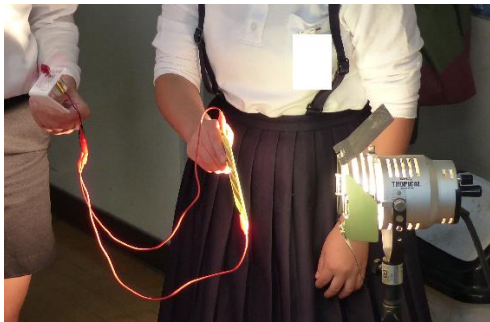


図6 児童の発表を整理した板書

実験方法は「3. 使用する教材」で前述したとおりである。実験は各班で行わせた。児童が実験をしているようすを図7～図10に示す。なお、授業中に「運動」について「動き」という文言を用いたため、ここでは「動き(運動)」と表記した。



名札：マスキング

図7 児童が「光→電気→動き(運動)」の実験をしているようす

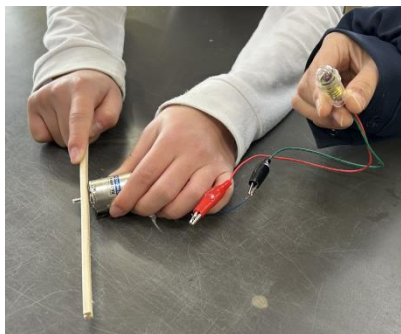


図8 児童が「動き(運動)→電気→光」の実験

をしているようす

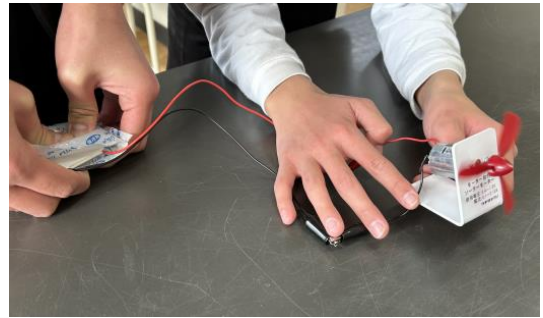
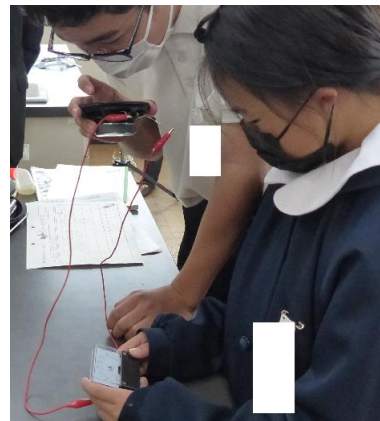


図9 児童が「熱→電気→動き(運動)」の実験をしているようす



名札：マスキング

図10 児童が「音→電気→動き(運動)」の実験をしているようす

前述した4つの実験(図7～図10)を行った。児童が実験を行い、体験したことを以下に示す。

図7の実験で、児童は、光電池にライトの光を当てると、ソーラーモーターの出力軸(シャフト)に取り付けたプロペラが回ること(ソーラーモーターの出力軸が回転すること)を体験した。

図8の実験で、児童は、割り箸をモーターの出力軸(シャフト)に取り付けたシリコンのチューブに接触させて一気に力強く(素早く)引くと、豆電球が一瞬、点灯することを体験した。

図9の実験で、児童は、ペルチェ素子を温度の異なる保冷剤(40℃程度、-15℃程度)で挟むと、ソーラーモーターの出力軸(シャフト)に取り付

けたプロペラが回ること（ソーラーモーターの出力軸が回転すること）を体験した。

図 10 の実験で、児童はスピーカーの近くで大きい声で叫ぶと、高感度電流計の針が 2 目盛り程度（4 μA 程度）、一瞬、動く（振れる）ことを体験した。

各実験を行った後、児童一人ひとりにワークシートに、実験の結果（プロペラが回った、豆電球が光った、針が動いた）を書かせ、また、自分の考えを書かせた。

ワークシートでは、光、動き、熱、音という項目ごとに記入欄を設定し、「発電できる」と考えた場合は記入欄に○を書くようにさせ、「発電できない」と考えた場合は記入欄に×を書くようにさせた。

その後、学級全体で、実験の結果をもとに話し合わせた。話し合いの結果、児童が導出した結論は「光、動き、熱、音で発電できる。」であった。

5. 調査方法と分析方法

5-1. 児童が支持した考え

前述したように、授業中、児童は「予想・仮説の設定」の過程で、自分の予想（○：発電できる，×：発電できない）をワークシートに書いた。また、「考察」の過程で、自分の考え（○：発電できる，×：発電できない）をワークシートに書いた。これらの記述をもとに児童が支持した考えごとに人数を集計した。

児童が支持した考え（発電できる，発電できない）と問題解決の過程（「予想・仮説の設定」，「考察」）の 2 変量で Fisher の直接確率検定を行った。なお，Fisher の直接確率検定を行うにあたり，統計解析プログラム js-STAR を用いた。

5-2. 児童の意識

授業を受けた児童の意識を明らかにする目的で質問紙（振り返りシート）を作成した。

質問紙（振り返りシート）では「問い」を設定した。「問い」では「授業を受けて、あなたが思ったこと、分かったことなどを記述欄に書いてくだ

さい。」という教示を行い、記述欄を設定し、自由記述で回答を求めた。

この質問紙法による調査は、2 時間目の授業終了時に行った。

質問紙（振り返りシート）の記述欄に書かれた記述を読み、記述の内容を見取った。

6. 分析の結果と考察

6-1. 児童が支持した考え

前述したように、児童がワークシートに書いた記述をもとに、児童が支持した考えごとに人数を集計した（表 2）。

表 2 では「予想・仮説の設定」の過程を「予想」と表記し、「考察」の過程を「考察」と表記した。また、授業中に「運動」について「動き」という文言を用いたため、ここでは「動き（運動）」と表記した。

児童が支持した考え（発電できる，発電できない）と問題解決の過程（「予想・仮説の設定」，「考察」）の 2 変量で Fisher の直接確率検定を行った結果を表 2 に示す。

児童が支持した考え（発電できる，発電できない）と問題解決の過程（「予想・仮説の設定」，「考察」）の 2 変量で Fisher の直接確率検定を行った結果、「光→電気→動き（運動）」、「動き（運動）→電気→光」では有意な関連はみられなかった。このことは、「予想・仮説の設定」と「考察」において、児童が支持する考えに明瞭な違いがみられなかったことを示している。

一方、「熱→電気→動き（運動）」、「音→電気→動き（運動）」では有意な関連がみられた。このことは、「予想・仮説の設定」と「考察」において、児童が支持する考えに明瞭な違いがみられたことを示している。

上記のことは、児童が支持する考えの表出の仕方が、「光→電気→動き（運動）」、「動き（運動）→電気→光」と「熱→電気→動き（運動）」、「音→電気→動き（運動）」で異なったことを示唆している。

表2 児童が支持した考えを集計した結果

エネルギーの変換	考え	問題解決の過程		直接確率検定	
		「予想」	「考察」	p値	p
光→電気→動き（運動）	○	14	15	1.000	n.s.
	×	1	0		
動き（運動）→電気→光	○	14	15	1.000	n.s.
	×	1	0		
熱→電気→動き（運動）	○	8	15	0.0063	**
	×	7	0		
音→電気→動き（運動）	○	1	15	0.0000	**
	×	14	0		

○：発電できる
×：発電できない

「予想」と「考察」の数値：人数
n.s.：非有意，*： $p<0.05$ ，**： $p<0.01$

6-2. 児童の意識

前述したように、質問紙（振り返りシート）の記述欄に書かれた記述を読み、記述の内容を見取った。15名の児童の記述を表3に示す。

表3をみると、C1～C14の記述からは「光、動き（運動）、熱、音で発電できると認識したこと」を見取ることができる。

C8、C9の記述からは、上記の内容に「初めて理解したこと」が付加されていることを見取ることができる。

C10～C14の記述からは、上記の内容に「意外

であったこと」が付加されていることを見取ることができる。

表3をみると、C15の記述からは「日常生活と関連付けて考え、疑問をもったこと」を見取ることができる。ただし、C15の記述にみられる「地熱発電」と「ペルチェ素子を使った実験」では、発電の方法が異なるため、解釈に留意する必要がある。なお、『広辞苑 第五版』では、地熱発電について「地下から噴出する蒸気の熱エネルギーを利用する発電。」(p.1206)と示されている(新村、1998)。

表3 質問紙（振り返りシート）に書かれた児童の記述

児童	記述
C1	光、動き、熱、音から発電できることが分かった。
C2	光、動き、熱、音の4つ全部発電できることが分かった。
C3	光、動き、熱、音のすべてが電気になることを知った。
C4	電気はいろいろな方法でつくれるんだなと思いました。
C5	違う方法で発電できることを知った。
C6	逆からでも発電できること。
C7	ぼくは、逆に光、動き、熱、音から発電できることが分かった。
C8	身のまわりにある光、動き、熱、音で発電することができることを初めて知った。
C9	電気にいろいろなつくり方があることを初めて知った。
C10	光、動き、熱、音の4つとも発電ができるとは思わなかった。
C11	ぼくは最初、音で発電できないと思ったけど、実験して音でも発電できるんだと感心した。
C12	音や熱で発電できるとは思わなかったけれど、発電できたのでびっくりした。
C13	光、動き、熱、音の全部で発電できたことにびっくりした。
C14	いろいろな方法で発電できることがすごいと思った。
C15	光、動き、熱で発電している方法に太陽光発電、風力発電、地熱発電があるけど、音で発電している方法はあるのだろうかと思った。

7. おわりに

『教科書』の「実験1」の発電において「運動」と「光」というエネルギー変換の視点はみられるが、「熱」、「音」というエネルギー変換の視点はみられない。そこで、本研究では「運動」、「光」というエネルギー変換の視点に「熱」と「音」というエネルギー変換の視点を付加して授業「電気をつくる」を実践した。

分析の結果、「光→電気→動き（運動）」、「動き（運動）→電気→光」では、「予想・仮説の設定」と「考察」において、児童が支持する考えに明瞭な違いがみられなかった。一方、「熱→電気→動き（運動）」、「音→電気→動き（運動）」では、「予想・仮説の設定」と「考察」において、児童が支持する考えに明瞭な違いがみられた。上記のことは、児童が支持する考えについて、表出の仕方が「運動」、「光」と「熱」、「音」で異なっていたことを示している。

また、児童の振り返りの記述から「光、動き（運動）、熱、音で発電できると認識したこと」、「日常生活と関連付けて考え、疑問をもったこと」を見取ることができた。

今後も、「電気の利用」においてエネルギーが蓄えられることや変換されることを体験的に捉えられる教材について研究を行い、授業を実践していきたい。

錦生・佐伯（2011）では、エネルギー変換について、児童にイメージ図を用いて表現させており、「エネルギー変換に関する児童の考えの異同を明らかにできることが分かった。この考えの異同を基にイメージ図を使って話し合うことで、活発な議論ができ、エネルギー変換について理解を深められると考えられる。」（p.70）と示されている。今後、児童が、エネルギー変換についてより理解を深められるように工夫改善を行っていきたい。

文献

- 有馬朗人ほか 58 名（2023）『たのしい 理科 6 年』, 大日本図書.
- 石浦章一・鎌田正裕ほか 105 名（2023）『わ

くわく 理科 6 』, 啓林館.

- 岡村定矩・藤嶋昭ほか 49 名（2012）『新しい科学 3 年』, 東京書籍.
- 錦生正幸・佐伯英人（2011）「エネルギーの変換や効率的な利用について考えることができる教具の開発とその有効性 - 第 6 学年「電気の利用」において - 」, 『日本初等理科教育研究会 研究紀要』, 第 86 号, pp.65-74.
- ケプストラム (n.d.) 「音の力で発電する実験」 Retrieved from https://www.cepstrum.co.jp/hobby/sound_power_generator/sound_power_generator.html (accessed 2024.1.10) .
- 霜田光一・森本信也ほか 44 名（2023）『みんなと学ぶ 小学校理科 6 年』, 学校図書.
- 新村出編（1998）『広辞苑 第五版』, 岩波書店.
- 松村久和・石田周治（2023）『楽しい理科 6 年』, 信州教育出版社.
- 毛利衛・黒田玲子ほか 32 名（2015）『新編 新しい理科 6 年』, 東京書籍.
- 毛利衛・大島まりほか 100 名（2023）『新しい理科 6 年』, 東京書籍.
- 文部科学省（2018a）『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）』, 東洋館出版社.
- 文部科学省（2018b）『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.
- 養老孟司・角屋重樹ほか 32 名（2023）『未来をひらく 小学理科 6 』, 教育出版.

本研究は、定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行うことが、考察の妥当性の向上にどのように貢献するかを明らかにすることを目的とした。小学校第6学年「土地のつくりと変化」と「電気の利用」の単元において定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行う授業を実践し、児童の発話や考察の記述を質的に分析した結果、次の3点が明らかになった。1. 定性実験と定量実験を行うことで両者のデメリットを補うことができること。2. 定性実験の後に定量実験を行う直列型の展開では、定性実験のデメリットである客観性の不足という問題に対して、追加の量的実験を行うことで、より妥当な考察が導かれること。3. 定性実験と定量実験を同時に行う並列型の展開では、定性実験によって得られた数値では表せない情報と定量実験の数値を相互に関連付けることで、より妥当な考察が導かれること。

1. 研究の背景および目的

ある対象の性質を数量的にとらえることを「定量的(Quantitative)」と表現する。それに対して、数字を用いずに性質を区別することを「定性的(Qualitative)」と表現する。自然の事物・現象を捉える上で、学習者が性質の違いに着目したり、数量的な違いに着目したりする視点を持つことは重要である。平成29年告示の小学校学習指導要領解説理科編では、理科の見方の1つとして「定性と定量」が挙げられており、このような視点は4領域(エネルギー・粒子・生命・地球)すべてにおいて有用である(文部科学省, 2017)。例えば、第6学年「水溶液の性質」において、ある水溶液を匂いの有無によって分類しようとすることは、定性的な視点の表れと解釈できる。その一方で、pHを測定してその値に基づき分類しようとすることは、定量的な視点の表れと解釈できる。

実験場面において、定性実験と定量実験にはそれぞれ表1に示すメリットとデメリットが存在する(中村, 2021)。

表1 定性実験と定量実験の特徴

	定性実験	定量実験
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 実験の実施や解釈が比較的容易 数値で表せない対象を捉えることができる 	<ul style="list-style-type: none"> 実験者による解釈の個人差が少ない 実験を繰り返すことで誤差を小さくできる 情報量が多い(定性的な表現に変換可能)
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 実験者によって解釈に個人差が生じる(客観性の不足) 情報量が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> 実験の実施や解釈が困難 精度が測定器具に依存する

定性実験では、実験の実施や解釈が定量実験と比べて容易である場合が多い。また、数値で表せない対象を捉えるというメリットがある。その一方で、結果の判断が実験者の感覚に依存することから、解釈に個人差が生じる可能性がある。例えば、水溶液の匂いの有無などは個人の感覚に依存

¹ 宮崎大学

する部分が多い。

定量実験では、結果を数量化して扱うため、定性実験と比べて、実験者による解釈の個人差が生じにくいというメリットがある。また、実験を繰り返すことで誤差を小さくできるというメリットがある。例えば、小学校第5学年「振り子の運動」の単元では、振り子の一往復にかかる時間を繰り返し測定することで、誤差を小さくするよう工夫する。その他のメリットとして、定量実験の結果は定性的な表現に変換可能であることから情報量が多いということがある。例えば、pHとして測定された数値は、酸性・中性・アルカリ性という定性的な表現に変換可能である。デメリットとしては、実験の実施や解釈が定性実験と比べて相対的に困難であることや、測定の精度が測定器具に依存することが挙げられる。小学校理科で扱われる主な定性・定量実験は表2に示す通りである。

一般に、定性的な視点よりも定量的な視点の方が難易度が高いと考えられ、教科書においても定性的な表現が相対的に多いことが指摘されている(久田, 1985)。一方、欧米では小学校高学年から定量的な扱いが系統的に指導されているという指摘もある(宮本, 2007)。このことは、指導の工夫によって小学生であっても定量実験を扱うことができることを示している。定性実験と定量実験は異なる特徴を有しており、実験を通して要求される能力も異なる。例えば、定量実験においては測定値の読み取りやデータの統計的な処理といった能力が必要となり、定性実験においては現象を捉える諸感覚や表現力・言語力が必要となる。2種類の実験がこのような異なる特徴や価値を有することを考えれば、理科授業において定性実験と定量実験の両方を行っていくことが重要だと言える。

1つの問題解決において定性実験と定量実験の両方を行う場合、考察場面において両方の結果を加味した論証を行う必要がある。平成29年告示の小学校学習指導要領解説理科編では、主に第6学年において「より妥当な考えをつくり出す力」の育成が求められている。より妥当な考えをつくり出すとは、自分が既にもっている考えを検討し、

より科学的なものに変容させることである。その際、定性実験と定量実験の結果を踏まえて多面的な検討を行うことは、より妥当な考えを作り出すことに貢献すると期待される。しかしながら、定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行う理科授業のデザインや効果については十分な検討が行われていない。

以上を踏まえ、本研究では、定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行うことが、考察の妥当性の向上にどのように貢献するかを明らかにすることを目的とする。

表2 小学校理科で扱われる主な定性・定量実験

学年	定性実験	定量実験
3	<ul style="list-style-type: none"> 物を振動させる実験 回路を作成する実験 電気を通すものを調べる実験 磁石につくものを調べる実験 	<ul style="list-style-type: none"> 風の力で物を動かす実験 ゴムの力で物を動かす実験 物の重さを比較する実験
4	<ul style="list-style-type: none"> 直列回路と並列回路を比較する実験 水のしみこみ方の違いを調べる実験 閉じ込めた空気と水を比較する実験 物の温まり方を調べる実験 	<ul style="list-style-type: none"> 水の温度と状態を調べる実験
5	<ul style="list-style-type: none"> 発芽の条件を調べる実験 植物の成長に関連する要因を調べる実験 流水の働きを調べる実験 	<ul style="list-style-type: none"> 水温と溶解量の関係調べる実験 電流の大きさと電磁石の強さの関係調べる実験 振り子の周期に関連する要因を調べる実験
6	<ul style="list-style-type: none"> 物を燃やす働きのある気体を調べる実験 植物内の水の通り道を調べる実験 光合成と葉のでんぷんについて調べる実験 電気とエネルギー変換に関する実験 水溶液の性質について調べる実験 	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼前後の気体の組成を比較する実験 呼気と吸気の組成を比較する実験 光合成と酸素について調べる実験 てこの規則性について調べる実験 電流の大きさと発熱量について調べる実験

2. 研究の方法

小学校第6学年「土地のつくりと変化」と「電気の利用」の単元において定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行う授業を実践し、児童の発話や考察の記述を質的に分析することで、考察の妥当性の変化を検討する。考察の妥当性は多義的な概念であるが、主張を支える証拠（実験結果）が十分であることや、主張と根拠を結びつける論理に飛躍が無いことなどが要件として挙げられる。また、考察の妥当性の高低は相対的なものであり、単一の証拠に基づく考察よりも、複数の証拠に基づく考察の方が妥当性が高いといえる。本研究では、証拠の十分性と論理性の観点から、児童の考察の妥当性を評価する。

実践の対象は東京都A公立小学校の第6学年の児童であった。当該校は学習支援率が高く学力に課題が見られる学校ではあったが、理科の授業においては好奇心を持続させ様々なことを調べようとする児童が多い状況にあった。指導はすべて教員2年目の理科専科が実施した。

3. 研究の結果

「土地のつくりと変化」と「電気の利用」の単元の指導展開に沿って、児童の発話や考察の記述をそれぞれ分析していく。

(1) 事例1：第6学年「土地のつくりと変化」

1つ目の事例は、第6学年「土地のつくりと変化」の単元である。この単元の問題を見いだす場面においては、児童に地層の写真を見せる際、図1に示す体育館のマットの写真を併せて提示し「何か似ているもの見たことない？」と問いかけた。



図1 体育館のマット

すると、地層とマットを比較した児童が地層の写真を新たな視点で捉え、以下のように発言した。

表3 地層とマットを比較した発言

- | |
|--|
| C1「マットの色が違う。地層も色が違うから分かれて見える。」 |
| C2「地層もマットみたいに重なってできてる。」 |
| C3「最後に重ねたマットが一番上になっているんだから、地層も一番上の草が生えているところが新しいのかも」 |
| C4「マットみたいに、奥まで真っ直ぐ広がっている？」 |

ここでは、マットの色の見え方や重なり方が地層にも当てはまるのではないかと考え、地層を時間的・空間的な視点から捉えている様子が見て取れる。このような類似性を手掛かりとした推論形式は類推と呼ばれる。このような類推を通して児童は「地層はどのようにしてできたのだろうか」という問題に至った。

問題に対する検証方法としては、流れる水の働きによって運ばれた土砂が海底で堆積する様子を再現する堆積実験を行った。具体的には、大きさの異なる3種類の粒（れき、砂、泥）の混ざった土砂を川に見立てた水路に水で流す作業を、時間を空けて2回繰り返した（図2）。



図2 堆積実験の概要（東京書籍、2020、p.115）

堆積実験は、土砂が堆積する様子を観察する実験であり、定性実験に分類される。堆積実験によって、層が分かれることが確認できるが、そのプロセスやメカニズムまでは確認することができない。層が分かれた理由を教師が問いかけると、以下のような発言が現れた。

表4 堆積実験の問題点を検討した発言

C5 「重い粒がはやく落ちるから」
T 「それって見えたの？」
C6 「早く落ちていた気がする」
C7 「一瞬すぎて見えない」
T 「そもそも、この実験のやり方でよかったのかな？」
※本物の地層の写真と海の断面図のイラストを示す
C8 「(実際の海と) 深さが違う」
C9 「大きさが違う」
C10 「もっと時間がかかっている」
C11 「もっと深い容器で速さを調べたい」



図3 追加実験の様子

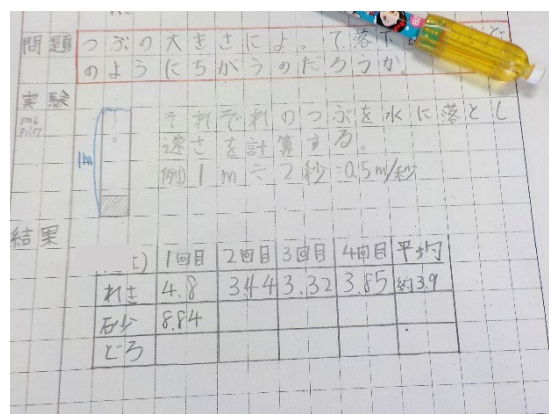


図4 ノートの記録

ここでは、教師の揺さぶりによって実験を振り返らせることで、児童は実際に地層ができる際の時間的・空間的な広がりを意識し、実験方法に問題はなかったかを批判的に検討していると解釈できる。こうして、実験方法が不十分であったという意識が共有された後、追加実験を行った。

追加実験では、長さ1mの亚克力パイプに水を満たし、れき・砂・泥の3種類の粒ごとに上から落とし、それぞれの粒が落下にかかる時間を記録することを4回繰り返した(図3)。そして、粒の種類ごとに平均的な落下速度を計算し、粒の大きさによってどれほどの差があるかを比較した(図4, 表5)。

表5 落下実験の結果の例

(秒)	1回目	2回目	3回目	4回目	平均
れき	4.80	3.44	3.32	3.85	3.85
砂	8.84	7.64	8.13	7.88	8.12
泥	13.96	16.09	12.09	14.90	14.26

この落下実験は、粒が落下するのにかかる時間を測定し比較するため、定量実験に分類される。このような定量実験の結果から導かれる考察は、粒の種類ごとの落下速度の違いを、具体的な数値によって議論するものとなる。例として、児童Mの2つの時点(堆積実験終了時, 落下実験終了時)の考察を表6に示す。

表6 堆積実験と落下実験の考察の例

<堆積実験終了時の考察>
土砂を流すと、つぶの大きさによって積もる場

所がちがった。粒が大きい方が下に積もるから、層に分かれている。

<落下実験終了時の考察>

砂よりもれきは4秒くらい早く下に落ちていた。砂はどろよりも4秒くらい早く落ちていた。つぶが大きいほど水の中で速く下に落ちることが分かった。落ちる速さが違うから、れき→砂→どろの順番で層に分かれると考えられる。

堆積実験終了時の考察では、土砂を流した後の様子から粒の大きさによって積もる場所が違うことに気付いていたものの、なぜ層に分かれるのかのメカニズムまでは指摘できていなかった。他方で、落下実験終了時の考察では、落下速度の違いに基づき、層に分かれるメカニズムを指摘できていた。これは、複数の実験の証拠を扱っていることや、メカニズムを指摘する論理性の観点から、後者の方がより妥当な考察だと解釈できる。定性実験のデメリットである客観性の不足という問題に対して、追加の定量実験を行うことで、数値データに基づく客観的な考察を行うことが可能になっていた。

(2) 事例2：第6学年「電気の利用」

2つ目の事例は、第6学年「電気の利用」の単元である。

この単元の問題を見いだす場面においては、電気を作り出す方法を学習した後、地球温暖化問題や発電にかかる環境負荷の問題を提示することで、「電気を効率よく使用するには、どうすればよいだろうか」という問題に至った。

問題に対する検証方法としては、豆電球や発光ダイオードといった様々な電球を用意し、手回し発電機による手ごたえを確かめる定性実験と、手回し発電機を50回まわして蓄電したコンデンサーをつないで点灯時間を測定する定量実験を同時に実施した。手ごたえを確かめる実験については、電球式の旧型信号機とLED式の新型信号機を用意し、手回し発電機で手ごたえを確かめる実験も実施した(図5)。

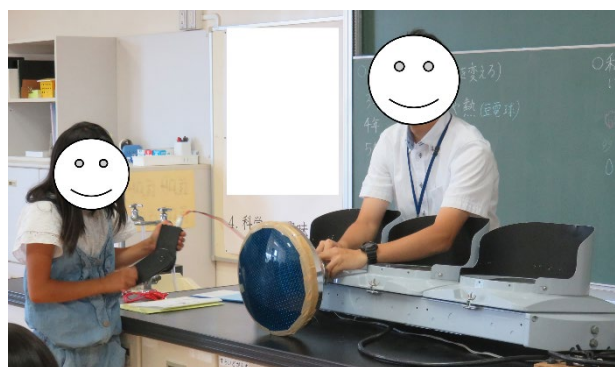


図5 電球とLEDを手回し発電機で点灯させる

2種類の実験を通して児童からは以下のような発言が現れた。

表7 2種類の実験中の発言

*手回し発電機による定性実験
C12「電球は(手ごたえが)めっちゃ重い！」
C13「こっち(LED)は軽い。」
C14「電球の方が熱くなっている」
*コンデンサーによる定量実験
C15「やっぱり電球の方が早い」
C16「LEDは長持ちでエコ」

定性実験において児童は、数値に表せない情報を得られるというメリットを生かし、手ごたえや触ったときの温度などを感じ取っていた。その中で形成された電球の方が多く電気を消費するという予想をもって定量実験を行うことで、感覚と数値情報を関連付けていたと解釈できる。例として、2つの実験を行った後の児童Sの考察を表8に示す。

表8 2つの実験後の考察の例

<2つの実験後の考察>
豆電球よりもLEDの方が4分以上、長持ちした。実験結果から、LEDの方が使用する電気が少ないことが分かった。電球を触ると熱かったから、熱に変える分、電気を多く使っていると思う。

この考察では、LEDの方が長く光るという定量実験の結果と、電球を触ると熱かったという定性実験の結果を関連付けて考察し、電球の方が電気を熱に変換する分、消費電力が多いという考察を導いている。これは、複数の実験の証拠を扱っていることや、消費電力が異なる理由を指摘する論理性の観点から、妥当な考察が導かれていると解釈できる。このように、定性実験と定量実験の結果を相互に関連付けることでより妥当な考察の導出につながっていた。

4. 総合的考察

本研究の目的は、定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行うことが、考察の妥当性の向上にどのように貢献するかを明らかにすることであった。研究の目的を達成するために、小学校第6学年「土地のつくりと変化」と「電気の利用」の単元において定性実験と定量実験の結果を関連づけながら多面的な考察を行う授業を実践し、児童の発話や考察の記述を質的に分析した。その結果、図6に示す特徴が明らかになった。

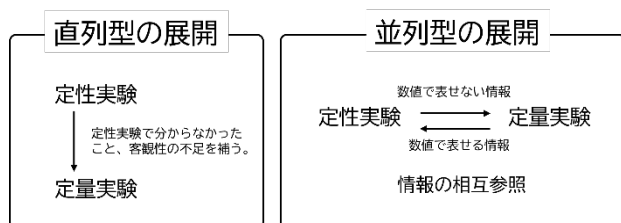


図6 直列型と並列型の展開の特徴

「土地のつくりと変化」の単元は、定性実験（堆積実験）によって分からなかったことを補うために定量実験（落下実験）を行う直列型の展開であった。定性実験には客観性が不足するというデメリットがあることから、それを補うために定量実験を追加することで、より妥当な考察が可能になっていた。類似の展開が行われる単元としては、第6学年「てこの規則性」の単元がある。この単元では、砂袋を棒で持ち上げる定性実験の感覚的な手ごたえをより客観的に確かめるために、実験用てこを用いた定量実験が行われる。このように、

定性実験の後で定量実験を行う直接型の展開には考察の客観性を補う上で価値がある。

他方で、「電気の利用」の単元は、定性実験（手回し発電機）と定量実験（コンデンサー）を同時に実施する並列型の展開であった。この展開では、定性実験によって得られた数値では表せない情報と定量実験の数値を相互に関連付けることで、より妥当な考察が可能になっていた。

2つの展開の違いは、考察の位置づけによっても整理できる。直列型の展開では、定性実験後の考察によって不足している部分を定量実験によって補うため、考察をより妥当なものへと段階的に高めていくことになる。これは考察の妥当性のうち、特に論理性の向上に寄与する。他方で、並列型の展開では、定性実験と定量実験を同じ実験時間に行い、両者の結果を併せて考察を行うため、複数の結果を関連付けることが必要になる。これは考察の妥当性のうち、特に証拠の十分性の向上に寄与する。

以上の関係性を整理すると図6のようになる。このように、定性実験と定量実験を行うことで両者のデメリットを補うことができることに加え、その展開の方法によって異なる価値が存在することが明らかになった。このような特徴を加味しながら定性実験と定量実験を効果的に授業に導入し関連付けることで、児童の考察をより妥当なものへと高めることができる可能性がある。ただし、定性実験と定量実験はすべての単元で実施できるとは限らず、常に新たな情報を増やす相補的な関係にあるとも限らない。よって、すべての単元において定性実験と定量実験の両方を行う必要は無く、その必要性を教師が見極める必要があると考えられる。

最後に本研究の限界について附言しておく。本研究で紹介した実践事例は少数の学校・学級・単元の限定的な内容であり、知見の一般化のためには慎重さが求められる。また、論文内で紹介した発話や考察についても限定的な事例であり、すべての児童が同様の考えに至ったわけではない。児童の考察の中には定性実験と定量実験の特徴を十

分に生かせていないものもみられた。今後は知見の一般化のためには更なる実践の蓄積が必要である。

附記

- ・ 本論文は、中村（2019）および中村（2021）の原稿に大幅な加筆修正を加えて作成したものである。
- ・ 本研究に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

引用文献

- 久田隆基（1985）「理科の教科書における度合や量の強弱・大小などを表すことばの使い方：小学校・中学校・高等学校理科教科書の記述に見られる使用の実態」『科学教育研究』9(4), 139–148.
- 宮本直樹（2007）「小学校理科における児童の探究能力に関する研究—数量化に着目して—」『日本科学教育学会研究会研究報告』21(4), 13–20.
- 文部科学省（2017）「小学校学習指導要領解説理科編」東洋館出版社.
- 中村大輝（2019）「子供が見方・考え方を働かせるとき～第6学年「土地のつくりと変化」を例に～」日本初等理科教育研究会（編）『会報初等理科』2019年4・5月号.
- 中村大輝（2021）「第5章 Q6 定性的・定量的な視点について述べなさい」片平克弘・木下博義（編著）『新・教職課程演習 第14巻 初等理科教育』協同出版.
- 東京書籍（2020）「新しい理科 6年」東京書籍.