

児童の主体的な学習のための、 実験計画を立案する力の育成を目指した理科学習

福嶋 康晴

金沢大学大学院教職実践研究科 学習デザインコース

【概要】本研究では、理科の授業において、児童の主体的な学習を目指して、児童自ら実験計画を立案するための教師の指導法を探ることを目的とした。児童の主体的な学習を展開するためには、問題解決の過程において、自らの仮説をもとに、実験計画を立案して学習を進めることが大切であると考え実践を行った。先行研究を踏まえ、児童が実験計画を立案するために、思考に基づき、変数の操作時に具体的な言葉を引き出し、その上で実験の手順を決定させていく指導法を考案した。授業実践は、小学校第4学年25名を対象に行った。考案した指導法の有効性について、ワークシートを用いて記述内容の分析を行なった。その結果、①予想の段階で描画法を用いさせ、②考えを児童同士に共有させ、③他の児童や教師が従属変数を児童の言葉で具体化させることで実験計画を立案しやすくなる児童の様子が見られた。一方で、従属変数を文章化することや仮説において自身の考えを描画で表現することに困難を示す児童は、話し合いの場を設けても、仮説の設定が不十分であり、実験計画の立案までには至らない様子が見られた。児童が事象に対して変数を見いだせるような働きかけや授業の課題設定において課題が見られた。

I はじめに

1. 問題の所在

筆者のこれまでの授業実践を振り返ると、自分の仮説を検証するための実験方法を構想できない児童が多く見られた。原因として、自分で実験方法を構想する時間を十分に設定できなかったことやどのような仮説を確かめたい実験なのかを明確に意識させること、結果として変化するもの（以下、「従属変数」という）をどのように調べたり測定したりするのかについて、既習の知識を活用させる指導が足りなかったと考えられる。また、仮説を確かめる際、検証可能でない実験を考える児童も見られた。そのため、実験計画にはあまり時間をかけずに一部の児童の発言や教科書を参考に実験方法の意味を確認して授業を進めることが多かった。一方で、児童一人ひとりが実験計画を立案し、それらを

児童同士で検討する場面を十分に設けることができなかった。

理科の学習は、他の教科と違って、自分の考えを、実験を通して確かめることができる良さがあると考え。その実験が自分の予想や仮説をもとに計画したものであるならば、自ら責任をもって検証しようとする、より主体的な活動になると考える。加えて、実験中も自分の立てた予想や仮説を確認しながら進められ、実験結果によっては、自分の考えを見直す機会にもなる。そういった活動を繰り返していくことで、児童が筋道を立てて物事を解決していく力を育成することができると思う。

小・中学校の理科における問題解決は、観察・実験を通して行われる。観察・実験は理科において問題解決の中核であり、児童による意図的・目的的な活動であるとされている。これに関わって、平成27年度全国学力・学習状況調査

では、「予想が一致した場合に得られる結果を見通して実験を構想すること」に課題があることが指摘されている。その後、平成30年度全国学力・学習状況調査報告書においても、平成27年度と同様の趣旨で出題された問題に対し、依然として同じ課題であることが指摘されている。

平成29年度に告示された小学校学習指導要領解説理科編においても第5学年の目標に「予想や仮説を基に、解決の方法を発想する力を養う」ことが挙げられている。このことを踏まえ、児童が予想や仮説を基に、実験計画を立案する力を育成することが、わが国における理科教育の取り組むべき課題の1つになっていると考えられる。一方で、第4学年の目標は、「主に既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想する力を養う」ことが挙げられている。各学年で重点を置いて育成を目指す問題解決の力の目標は違うが、第4学年の段階で、第5学年の目標を見据えて取り組むことで、問題解決の力の育成を十分に高めることができると考えられる。

福岡・下山(1986)は、実験計画における構成要素を洗い出し、評価方法を定め、小学生を対象に、実験計画能力の実態を調べている。その結果、児童は「構成要素の順序性には余りこだわらず、ある要素を飛ばして実験計画を立てている(図1)」ことを明らかにしている。

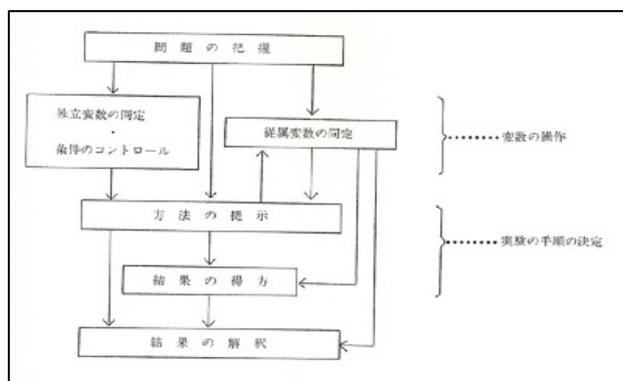


図1 児童が立てた実験計画の流れ 福岡・下山(1986)

また、「変数を操作する能力が低い」ことや「文章による表現力がまだ十分でない児童にとっては、頭で描いた細かい実験の手順を言葉にして

表すことは困難であることを踏まえ、変数の操作を中心とした手順の考案が必要であろう」と述べている。そこで、本研究では、児童が実験計画を立案するために、児童の思考に基づいて、変数の操作時に具体的な言葉を引き出し、その上で実験の手順を決定させていく指導が有効的でないかと考えた。

変数に着目した指導法や授業実践は多く見られる。小林・永益(2006)は、仮説の設定の手立てを習得させるための指導法として、4QS(The Four Question Strategy)に基づいて開発したワークシートで有効性を明らかにしている。また、検証可能な仮説から観察・実験計画の立案へと進めることが可能であると述べている。また、小林ら(2017)は、小学校中学年を対象に開発した2QS(The Two Question Strategy)仮説設定シートを用いた実践例がある。これらの方法は、児童に仮説を立てさせる段階において役立つことができる。また、ワークシートなどを用いて、思考を補助することで、仮説や実験計画を立てやすくなる可能性が示唆される。しかし、変数に着目した仮説設定に対する研究が多い中、その後の実験計画まで検証する研究は少ない。

2. 実験計画を立案する力について

川崎・角屋他(2015)は、問題解決能力を各過程で働く能力と捉え、実験方法を立案する時に働く能力を「実験方法立案力」とし、それに必要な要素を4つに整理した。4つの要素のうち、客観性の保証については、一度の観測事実や結果から仮説を検証する危険性があることから、多数の事例を収集することの面から加えられている。小学校の実験において、一人ひとりが多数の事例を収集するのではなく、個々の実験結果から客観的に見て考察する場面が多いことから、省くことにした。また、平成31年度検定済みのX社の小学校理科教科書第4学年に掲載されている実験において、条件を制御する必要のある実験は「地面を流れる水のゆくえ」「電気

のはたらき」「水のゆくえ」の3単元のみであるため、数が少ないことから本実践では省くことにした。そのため、4つの要素を参考に、本研究で実験計画に必要な要素を指導するための視点として、以下のとおり設定した(表1)。

川崎・角屋他(2015)による「実験方法立案力」に必要な要素		本研究で指導する実験計画に必要な要素
①	仮説を検証する方法であるか	A 仮説(予想)を確かめる方法になっている
②	具体的な実験操作等まで言及しているか	B 使う物や手順が具体的にかいてある
③	条件を制御しているか	本実践では省く
④	客観性を保証しているか	本実践では省く

表1 実験計画に必要な要素

II 研究の目的

中村(1992)は、「優れた理科学習の要件は、児童・生徒が主体的に関わり工夫された観察・実験が行われること」だとして、「児童・生徒が最も主体的に関わり、最大限の工夫を凝らす機会を与えることができるようにするには、実験計画のプロセスを学習活動の中に取り入れることである」と指摘している。児童の主体的な学習を目指すためには、児童が実験計画を立案できることが重要であると考え。

そこで本研究では、理科の授業において、児童の主体的な学習を目指して、児童自ら実験計画を立案するための教師の指導法を探ることを目的とする。そこで、次の2点について明らかにしていくことにした。

- ① 実験計画を立案するために必要な2つの要素を児童が獲得するための、変数を具体化させることを生かした指導法を明らかにする。
- ② ①に基づく授業実践を行い、変数を具体化させる指導法が有効であるかどうかを明らかにする。

なお、実践においては、小学校第4学年の理科の授業に着目することにした。

III 研究の方法

1. 実験計画を立案する力を育成するための授業設計の検討と工夫

(1) 仮説の設定

大寫・大高(2008)は、「実験活動には多様な操作が含まれており、どの要素が実験活動において核となるかということを理解することは、生徒にとって困難である。実験計画において変数の同定を中心に据えることによって、複雑な実験活動の中心部分に明確に焦点が当てることが可能となるのである」と述べている。実験計画において同定する変数には、独立変数と従属変数がある。

小林・永益(2006)は、仮説を設定する上で必要となる独立変数と従属変数を意識化させ、仮説の文章化に導く4QSという指導法を提案した(先述)。この指導法により、「日光を当てると草丈が伸びる。」「日光を当てると葉の枚数が増える。」といった「～すると・・・なる」というように独立変数と従属変数を明らかにした仮説を設定することができる。

角屋(2009)は、「子どもたちが『仮説』を立てることができるようになるためには、ある意味での訓練が求められると述べた上で、ある程度決まった文として、例えば、『振り子の糸の長さが長くなれば、振り子が一往復する時間は長くなる。』といった、形に当てはめさせるのである。」と述べている。

これらのことを踏まえ、仮説の設定において、「～すると(すれば)・・・なる(と考えられる)」のような形を組み込むことで、実験計画の立案に必要な独立変数と従属変数に焦点を当て、独立変数をどのように制御し、従属変数をどのように調べたり測定したりするかを考えさせることができると考える。

(2) 描画法の導入

中山(1998)は、「描画法や概念地図法による子どもの表現活動は、自分自身の考えを見直せるとともに、子どもどうしの交流を容易にし、考えを深めるといふ点で効果があるといえる」

と述べている。描画法を導入した実践として、富本(2010)は小学校第6学年を対象に、岡崎(2011)は小学校第5・4学年を対象として、描画法の有効性を明らかにしている。岡崎(2011)は、「描画法は、子どもの考えを教師にも子供にも明らかにするため、子どもの理解の促進や、学習スタイルの改善に役立つ」と述べている。

本実践においても、仮説段階で描画法を導入することで、児童の思考を読み取り、実験計画の立案に生かしていきたいと考えた。

2. 授業の対象

- ・ 石川県内の公立小学校
第4学年1クラス (25名)
- ・ 期間 2021年9月～12月
- ・ 実践単元

9月「とじこめた空気や水」
10月～11月「ものの温度と体積」
12月「水のゆくえ」

3. 分析方法

仮説シートと実験計画立案シート（以下、実験計画シート）の分析

児童25名が3単元において、ワークシートを用いて仮説を設定できているか。また、実験計画に必要な要素である①仮説を検証する方法であるか②具体的な実験操作等まで言及しているかの2要素を満たしているかについて分析した。本実践で扱った仮説シートを図2（児童には「予想シート」として配布。以下、仮説シートと表現する）に、実験計画シートを図3に示す。

仮説シートには、仮説を設定する上で必要となる変数を意識化させるための欄「①何をどうする（独立変数）」「②何がどうなる（従属変数）」を設定した。また、児童が仮説を描画で表現しやすいうように、「③絵や言葉で自分の予想をかこう（～すると・・・になる）」の欄を設定した。さらに、単元によって、事象に対する絵を挿入した。尚、児童にとっては、「仮説」よりも「予想」の方が馴染みのある言葉のため、全て「予想」と表現している。

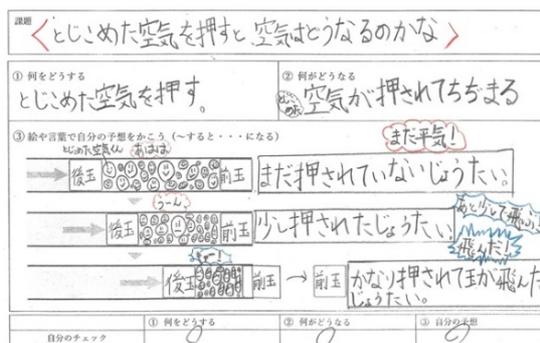


図2 本実践で扱った仮説シート

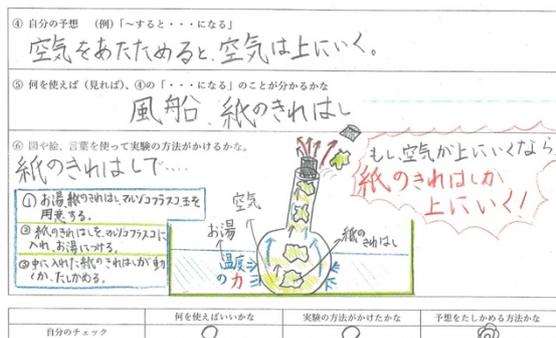


図3 本実践で扱った実験計画シート

実験計画シートに関しては、仮説を検証する方法であるかを確認するために、「④自分の予想」の欄を設けた。また、従属変数を具体化させる欄と具体的な実験操作等が絵や文章で記入できる欄を設けた。

実験計画に必要な2つの要素を満たしているかどうかの判断は、授業者（筆者自身）のほか、所属校で理科を担当する教諭1名、県内で理科を担当する教諭1名（いずれも教職経験10年以上）の協力を得た。同様に、実験計画シート以外のワークシートにおける児童の表現の解釈についても協力を得た。

仮説シートと実験計画シートにおいて、以下の観点（表2, 3）から、児童の記述を点数化して評価するものとした。どちらも以下の①の場合は0点とし、②～⑤の得点を加算し、合計4点満点で評価した。

評価基準	点
① 何も書いていない	0
② 何をどうする(独立変数)について適切な記述がある。	1
③ 何がどうなる(従属変数)について適切な記述がある。	1
④ 図や絵で、適切な予想がかいてある。	1
⑤ 言葉で適切な予想が書ける。	1

表2 仮説シートの評価基準

評価基準	点
① 何も書いていない	0
② 自分の予想に適切な記述がある。	1
③ 何を言えば（見れば）、従属変数が分かるか適切な記述がある。	1
④ 予想を確かめる実験方法になっている。	1
⑤ 実験方法の手順が書いてある。	1

表3 実験計画シートの評価基準

IV 研究の目的①の結果と考察

1. 実践1「とじこめた空気と水」の結果

本実践は、8時間の単元構成である。そのうち、実践1における仮説の設定の指導の第3時、実験計画の立案の指導の第4時について記載する。

(1) 第3時（仮説の設定）の指導の詳細

第3時のねらいは、閉じ込めた空気を圧した様子について、根拠のある予想や仮説を発想し表現することである。

前時の事象を受け、課題をくとじこめた空気をおすと、空気はどうなるのかなと設定した。

仮説は、仮説シートを用いて書かせた。本実践で児童が記入した仮説シートを図4に示す。

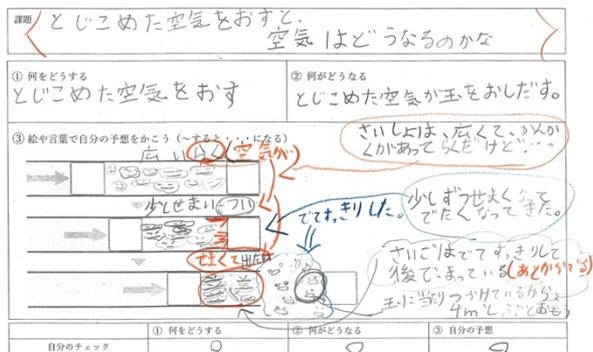


図4 3時間目において児童が作成した仮説シート

本実践において、仮説シートは、初めて記入する形式のものであったため、「課題」を記入させた後に、独立変数である「①何をどうする」の欄を直ぐに書かせるのではなく、まず、全員を集めた。その後、近くの人と相談させ、「とじこめた空気をおす」を全体で確認して記入させた。従属変数である「②何がどうなる」に関しては、児童それぞれに自由に考えさせ、記入させた。児童によっては、どのように書けば良

いかのか困った様子が見られたため、少し時間を置いた。その後、「②を悩んでいる人は③の絵や言葉で自分の予想を書こうから進めてもいいよ」と伝えた。ただ、③の予想における絵の表現を描きやすくするために、学級全体に1・2時で用いた児童のワークシートをいくつか提示し、実体的な見方で表現したものを価値づけてから書かせることにした(写真1)。



写真1 実体的な見方の表現の価値づけ

本時の仮説シートにおける児童の実態を表6に示す。ここでは、図4の仮説シートにおける「②何がどうなる」の記述や「③絵や言葉で自分の予想をかこう」の図や絵、文章を見て妥当な予想になっているかを判断した。また、一部の児童は後日インタビューを行い判断した。

得点	人数	割合
4点	14	56%
3点	6	24%
2点	3	12%
1点	2	8%
0点	0	0%

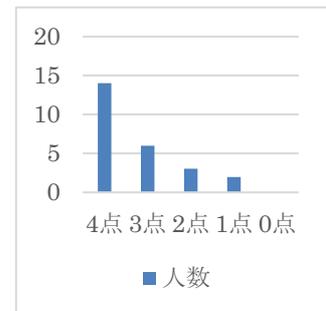


表6 仮説シートにおける児童の実態

(2) 第4時（実験計画の立案）の指導の詳細

第4時のねらいは、実験計画を立案することである。第3時の予想を受けて、5名の児童が図でも言葉でも現象に対する妥当な予想を持っていないと判断したため、予想の全体交流を行なった。授業者は、その予想を受けて、キーワードを板書に書いた。キーワードの中に、自分の予想と同じような考えがあるかを全体で確認した後に、児童に実験計画シートを配り各自予想

を記入させた。本実践で児童（第3時と同じ）が記入した実験計画シートを図5に示す。

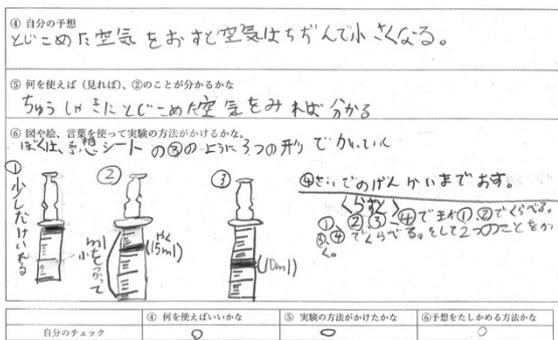


図5 4時間目において児童が作成した実験計画シート

実験計画シートの「⑤何を使えば（見れば）②のことがわかるか」については、初めて扱う実験道具であるため、教師側から注射器を提示した。その後、児童一人一人に注射器を触らせる時間を5分程度取った上で、実験方法を自由に書かせた。この時の実験計画シートにおける児童の実態を表7に示す。

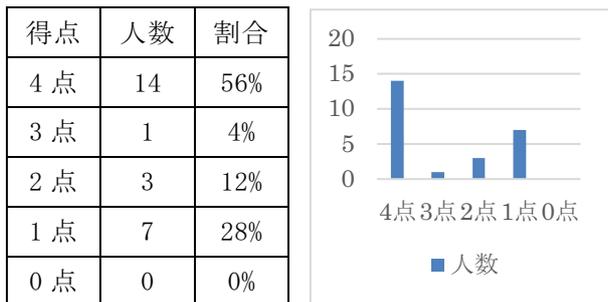


表7 実験計画シートにおける児童の実態

2. 実践1「とじこめた空気と水」の考察

(1) 仮説の設定について

学習課題<とじこめた空気をおすと、空気はどうなるのかな>がどこの空気を指すのか分からなかったため、児童の何名かは従属変数の欄に「空気がおされる。」と記述していた。着目させたい従属変数の変化に焦点が当てにくい課題であったと考えられる。<空気をとじこめておすと、どうして玉が飛ぶのか>の方が、筒の中にある空気に焦点を当てて、その変化に着目させやすい課題であるように思われる。

(2) 実験計画の立案について

予想においては、「空気が縮む」などの体積変化を表す文章や「空気が前に出る」などの空気の移動を表す文章の表現などに3種類の文章

表現に分類した。第3時の時に比べて、「空気がちぢむ」と表現する児童が増えていた。これは、教師が板書でキーワードを記載したことによる影響が大きいと考えられる。

一方で、仮説シートから実験計画シートに移行する段階で、9名の児童の得点が下がった。これは、シートに記入した予想の文章が妥当でなかったため、実験方法と一致していなかったことや空気銃砲を圧す向きと提示した注射器の向きが一致しておらず、何のために注射器を扱って実験をするのか理解していないことが考えられる。3時の従属変数と同様に、予想を独立変数以外に自由に記述させた。実験計画の前段階の予想を、「空気が縮む」「空気が小さくなる」など児童の思考に基づいて焦点化したものにする必要があると考える。また、本単元のように、独立変数の変化が同定され直接目で確認できない事象に対しては、予想を丁寧に扱い、従属変数の変化を言葉だけでなく、視覚的により具体化させることで実験計画が立案しやすくなると考える。

小学校学習指導要領において、第4学年の目標に、「主に既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想する力を養う」と明記されていることや、平成31年度検定済みのX社の小学校理科教科書第4学年の本単元に、「前の玉が飛び出す直前の空気は、どうなっているのかな。」と理科の見方を働かせる記述があることから予想段階における従属変数の変化に着目させる重要性が読み取れる。

また、初めて扱う実験道具を提示する際、「何がついているかな。」等と問いかけ、ゴム栓や目盛に注目させるよう観察させた上で、実験方法を考えさせる方が良いのではないかと考える。

3. 実践2「ものの温度と体積」の結果

本実践は、9時間の単元構成である。そのうち、実践2の仮説の設定の指導の第1時、実験計画の立案の指導の第2時について記載する。

(1) 第1時（仮説の設定）の指導の詳細

第1時のねらいは、閉じ込めた空気を温めた際に、栓が飛んだ原因について、根拠のある予想や仮説を発想し表現することである。

単元の関連性もあることから、実践1の学習を想起させた。その後、本時では独立変数である閉じ込めた空気を「あたためる」ことが違うことに着目させるために、栓をつけた丸底フラスコをブラックボックスに隠し、中の様子を話し合わせた。児童はお湯に丸底フラスコをつけるだけで玉が飛ぶ様子を見て、驚いていた。自分たちでもその事象を体験させ、本時の課題〈なぜとじこめた空気をあたためると、玉が飛ぶのかな〉を設定した。本時で児童が書いた仮説シートを図6に示す。



図6 1時間目において児童が作成した仮説シート

実践1同様に、独立変数は教師と確認して全員に同じように記入させた。従属変数以降は、児童に自由に記入させた。実践1同様に、②を文章化することは難しい児童が多いように見えた。一方、③の欄を記入してから②の欄を記入する児童も見られた。図を用いることで、従属変数を含めた予想をイメージしやすくなる児童が多いように感じた。本時の仮説シートにおける児童の実態を表8に示す。

得点	人数	割合
4点	12	48%
3点	8	32%
2点	2	8%
1点	3	12%
0点	0	0%

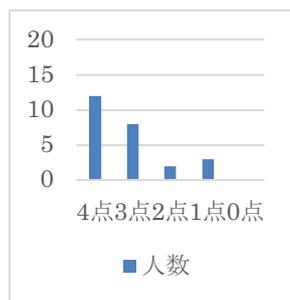


表8 仮説シートにおける児童の実態

得点が1・2点の児童の多くは、従属変数を図でも文でも適切に表現できなかった様子が見られた。これは実践1にも共通することであるため、第2時では、従属変数の具体化に焦点を当てて授業をすることにした。

(2) 第2時(実験計画の立案)の指導の詳細

本時のねらいは、予想を確かめる実験計画を立案することである。児童の予想は、大きく「空気が膨らむ」「空気が上に行く」の2つに分けられた。実践1の反省をうけ、従属変数を図でより具体的にしていくことで実験計画が立てやすくなるのではないかと考え、言葉から図でもう一度表現させることにした(写真2)。

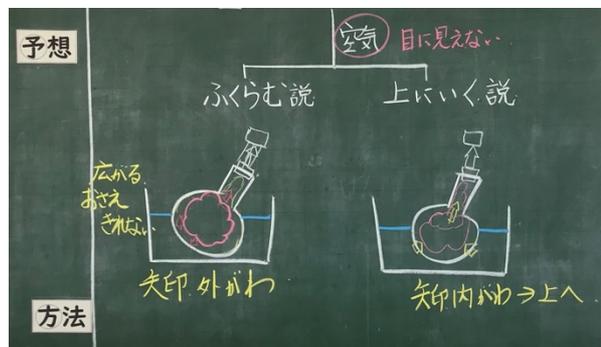


写真2 児童が表現した2つの予想のちがいを

前に出た児童が矢印を使って上手に説明していたため、全体で2つの予想の違いを共有させて実験計画シートの記載に臨ませることにした。以下はその時の授業の発話記録である。

C1「もしふくらむ説だったら、ここであためられて、空気がこれくらいだったのが・・・」
 T「色を変えようか。(黄色のチョークを渡す)」
 C1「空気が広がるので、おさえられなくなった空気が丸底フラスコから出ようとして玉が出ると思います。」
 (「わかりました。」「あ〜。」という反応)
 C2「矢印が周りや」
 C1「そしたら上に行く説は、空気がここに熱が入って熱いので、上に行ってそして、空気の体積はおさえきれなくなって最後は・・・」
 C3「さっきのと同じや。」
 T「C3さん。比べてよく聞いていたね。この2つの予想の違いは何？」
 C4「ふくらむ説は矢印が外側に向いていて、上に行く説は印が内側になっています。」
 T「よく見てるね。どこのことか前で言える人？」
 C5「C4さんは、ふくらむ説は、ここが外側に向いていて、上に行く説はここが内側に向いていて、最後に上に向いています。」

その後、シートの⑤番「何を使う(見ると)、④の・・・なる」が分かるかについては、個人の思考では難しいと判断し全体で使える道具を考えさせてから、実験方法を書かせることにし

た。児童からは風船と紙の切れ端、シャボン玉の3種類の意見が出た。それらのうち、自分が予想を確かめるために、必要だと思うものを選び、実験計画シートを書かせた。児童が書いた実験計画シートの例を図7に示す。

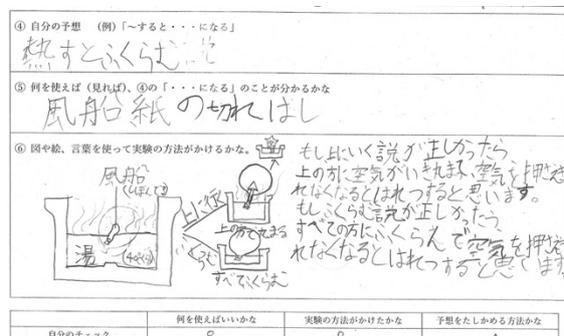


図7 風船を使った実験方法

第2時の実験計画シートにおける児童の実態(1名欠席のため24名での分析)を表9に示す。小数点以下は切り捨てとした。

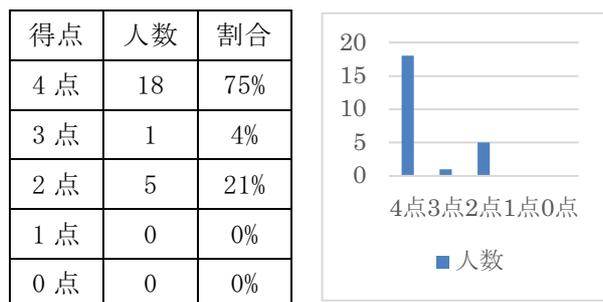


表9 実験計画シートにおける児童の実態

4. 実践2「ものの温度と体積」の考察

本時では仮説を空気が「ふくらむ説」「上に行く説」の二択にしたためほぼ全ての児童が仮説を書くことができた。また、仮説における従属変数の変化を、矢印を用いて全体交流したことで、予想される結果を見通した実験手順を図や言葉で表す4点満点の児童が多く見られた。

実践1では仮説や実験計画において得点が1～2点であったが、実践2では、仮説の得点も1点であるのに対し、実験計画において4点になった児童が2名見られた。学習班は固定で臨んでいるため、単元の特性や児童の実態など様々な要因が関係していると思われるが、児童によっては、仮説を交流する段階で、児童の言葉で固定化した表現を基に学習を進めた方が実験計画を立案しやすいのかもしれないと考えた。2点

の児童においては、道具の絵を描くことに終始してしまう様子が見られた。これは実験計画シートの書き方がまだ分からないのではないかと考えた。また、実験方法が一方の仮説を確かめる適切な方法ではなく、どちらの仮説も確かめられるような記述を書いた児童も見られた。図10の実験計画シートを書いた児童のように、温められた空気が「上に行く説」と「ふくらむ説」を分けて書いても、同じような結果を見通す内容が何名も見られた。時間の関係上、2つの仮説に対して同時に実験を行うことにしたが、1つずつ仮説を確かめる実験計画を立てていくと、そのような結果は生まれなかったように思われる。

5. 実践3「水のゆくえ」の結果

本実践は、6時間の単元構成である。そのうち、実践3の仮説の設定の指導の第1時、実験計画の立案の指導の第2時について記載する。

(1) 第1時(仮説の設定)の指導の詳細

本時のねらいは、事象に対する課題意識を持ち、仮説を設定することである。導入では、生活経験と本時の学習を結びつけるために、家で洗濯物を干した時の経験について話し合いをした。多くの児童が洗濯物を干した経験があったことを踏まえて、洗濯物を干す前と干した後の重さに関わる映像(平成31年度に採択されたY社の小学校理科教科書第4学年に掲載されているもの)を見せた。また、雑巾を乾かす前と乾いた後のものの重さを撮った写真を提示した。それらを受け、<どうして洗たく物をほす前と干した後で重さが変わるのかな>といった課題を設定した。これまで独立変数と従属変数の変化をワークシートで書かせながら意識化を図ってきた。しかし、今回は単元の特性上、独立変数の変化(洗たく物を干す前と干した後)と従属変数の変化(洗濯物の重さが変わること)が分かりやすいと考え、課題に組み込む形で仮説設定を行うことにした。そのため、仮説シートには独立変数の変化と従属変数の変化の欄を無くしたも

のに記入させた（図 8）。

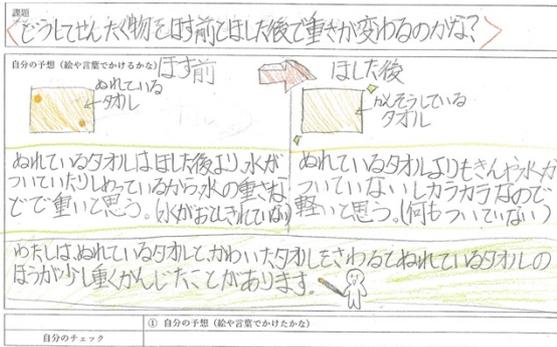


図 8 変数の欄を無くした仮説シート

直接目では確認できない自然事象を図や絵、言葉で表してきたことを想起させるために、これまで児童が描いてきたイメージ図をいくつか提示して価値づけを行ってから書かせることにした。価値づけの内容としては、予想において、前後の変化が書かれていることや色を使った表現、番号を用いて段階を表すなどの内容のものを提示した。価値づけを行うことで、仮説シートを書こうとする児童の意欲が高まり、さまざまな表現でしようとする様子が見られた。

仮説シートにおける評価基準である独立変数においては、「洗濯物を干すこと」に関すること、従属変数においては「重さ」に関することを絵や文章で表現できているものを得点とみなした。本時の仮説シートにおける児童（1名欠席のため24名での分析）の実態を表10に示す。

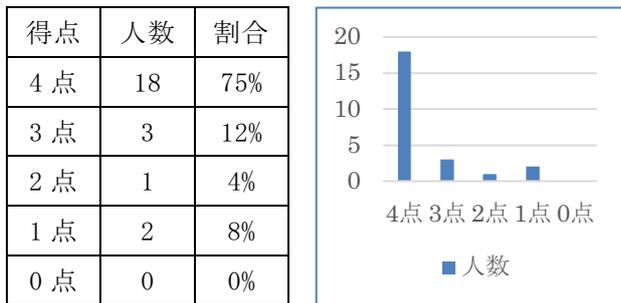


表 10 仮説シートにおける児童の実態

4点の児童の多くは水が関係していたことを記載していたが、洗濯物の中の水の行方が記載してある児童は少なかった。

(2) 第2時（実験計画の立案）の指導の詳細

本時のねらいは実験計画を立案することである。仮説シートの内容を全体交流し、「雑巾の

水はどこへ行ったのか。」と尋ねると、空気中にいくと考える発言が見られた。そこで、本時の課題をく本当に、水は空気中に出ていくのかと設定した。24名の児童は、水が空気中に出ていくと予想していた。予想に対して、調べたい意識を高めるために、授業者は「水が空気中に出ていくと、世の中水だらけだね。大変だ。」などと反対意見を肯定する揺さぶりをかけた。児童の中には、「あっ、確かに。」と同調する反応や「絶対出るし。」と言った反応も見られた。その上で、実験計画シートに自分の予想を書かせた。その後、実験計画を立てさせる前に、道具の選定を児童の言葉から引き出したいと考えた。以下はその時の発話記録である。

T「水が本当に空気中に出ていくのか、自分たちが使えるもので調べられないかな。」
 C1「私は、後にある水槽を使えばいいと思う。」
 C2「どうやって?」
 C3「C1さんに質問。水槽どうやって使うん?」
 T「C3さんと同じこと思った人?」
 (9名が手を挙げる)
 C1「ここに雑巾を置いたらかぶせて、乾いた時に周りに湿気があったら確かめられる。」
 (何名かの児童が「おおお」「確かに」と反応する)
 T「その反応いいねえ。他の方法はありますか?」
 C4「私はシャボン玉を使えばいいと思います。理由は、シャボン玉の液は水みたくだし、上において、空気中に蒸発するからです。」
 (「どういうこと?」などの反応が見られた。)
 T「先生もどういことか分からないんだけど、C5さんが言いたいこと言える人?」
 C5「たぶん、C4さんは、シャボン玉は水に似ているし、シャボン玉は蒸発すると言っていたから、雑巾の中に入れてたら...使える?」
 (C6, C7が「それに対して」と手を挙げる。)
 T「C5さんの言いたいこと、C4さんそれであって?」
 C4「うーん...」
 C6「シャボン玉は空気がないと膨らまないから、それは意味がないと思う。」
 (何名かが「確かに。」と反応する。)
 C7「シャボン玉はふくらむ説で空気を膨らませて、空気中でできたけど、今回の水とはまた違うと思う。」
 (顔くような反応が多く見られた。)
 T「と言うことは、今回は水だからこの方法は難しいのかな。でも、C4さんが言ったから色々考えが繋がったんだよ。」
 C8「はい。えっと、ハンカチ...雑巾を、雑巾より大きいビニール袋に入れて置いておけばいいと思う。それで、4時間くらい置いてみる。何もなかったら、水は空気中に出てなくて、水がついていたら空気中に出ていくと思います。それで、雨の日だと出ていかないと、晴れの日がいい。」
 C6「僕は、雑巾だったら水分が少ないから、ピーカーに水を入れて、その上にビニール袋を被せて、水滴がついていたら水が空気中に出ているかわかる。」
 C7「僕は、教室にある温度と湿度を測るやつを使えばいいと思う。理由は、雑巾にまず水を含ませて、湿度ってやつは空気中にある水分が何%ってやつだから、水が空気中に出ていけば、最初より湿度が高くなっていることだから、それを使えばいいと思う。」
 C8「C7さんに付け足して、この教室は広いから、ある範囲。さっき出た水槽とか、そういう狭い範囲で測った方がいいと思う。」

T「ということは？（教師が黒板を見ながら）」
 C9(C8さんのアイデアは、C7さんのアイデアと・・・と呟く。)
 C9「最初のC1さんが言った水槽を使えばできると思う。」

道具の選定だけでなく、実験方法や結果の見通しを説明していた児童も見られたが、話し合いを受けて、実験方法をワークシートに書かせた。実験計画は3種類に分けられた。本時の児童が書いた実験計画シートを図9に、本時における児童の実態を表11に示す。

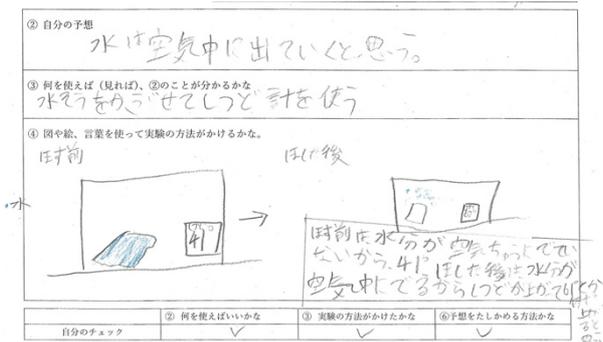


図9 児童の作成した実験計画シート

得点	人数	割合
4点	20	80%
3点	2	8%
2点	1	4%
1点	2	8%
0点	0	0%

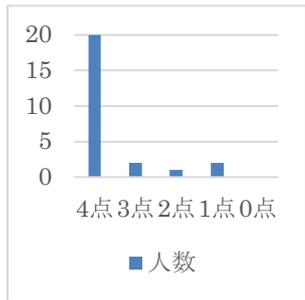


表11 実験計画シートにおける児童の実態

5. 実践3「水のゆくえ」の考察

C1やC7の児童の発言を受け、水槽や湿度計など児童にとって見慣れたものを実験道具として選択する自由な発想を生むために、理科室に使いそうなものを整備しておくことも、実験計画を立てる上で大切なことであると考えた。道具の選定の話し合いで、具体的な実験方法の手順や予想に対する結果の見通しを説明していた児童もいたため、4点の割合が高くなったことが考えられる。ただ、児童は本時の課題である「本当に水は空気中に出ていくのか」を確かめる方法について話し合いを行なっているため、焦点を絞った児童の対話の影響が大きいと考える。実験計画シートが1点だった3名の児童に注目すると、1名は予想の部分を書かれておらず、

予想を確かめる方法かどうか評価をすることができなかった。残りの2名の児童に関しては、仮説シートと同様に1点であった。これまでの3つの実践においても、1~2点になっており、仮説や事象に対する問題意識を持たせる段階において、変数に対する意識が低いことに課題があると考えられる。

V 研究の目的②の結果と考察

3つの実践における児童の変容

3つの実践における仮説シートと実験計画シートの回帰分析の結果を表12に、仮説シートと実験計画シートの得点を散布図で表示したものを図10に示す。尚、実践2,3において、欠席児童が1名ずついたため、観測数23名で分析を行なった。

回帰統計	
重相関 R	0.74586287
重決定 R2	0.55631141
補正 R2	0.53518339
標準誤差	1.64338466
観測数	23

表12 3実践における2つのシートの回帰分析の結果

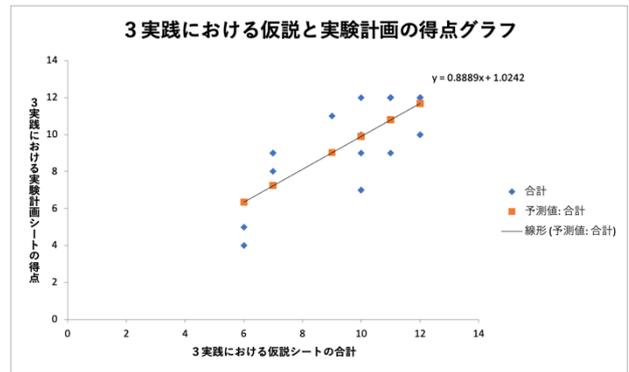


図10 3実践における仮説と実験計画シートの散布図

散布図の全体的な傾向として右肩上がりを示しており、相関係数を表す重相関 R が 0.7 以上であることから、仮説シートの得点と実験計画シートの得点には正の相関があることが分かる。

実験計画シートに影響を与える要因が、仮説シート以外にないかを分析するために、データにおける予測値に対して、残差の変化が違う3名の児童(表13)に焦点を当てることにした。

観測値	予測値: 合計	残差
児童 A	10.8019324	-1.8019324
児童 B	9.91304348	0.08695652
児童 C	9.91304348	-2.9130435

表 1 3 3 実践における残差の変化の違う 3 名の児童

(1) 児童 A

授業では発表できる時には発言する様子が見られ、同じ班のメンバーと交流しながら観察・実験を行うことができる。少し気分屋なところもあり、物事を丁寧に取り組むことに関してはあまり得意ではないように思われる。

ア 実践 1 の結果

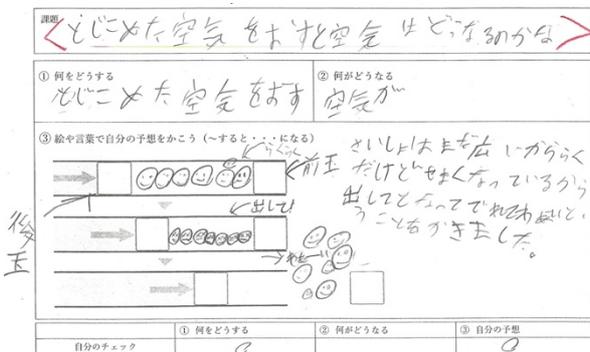


図 1 1 実践 1 における児童 A の作成した仮説シート

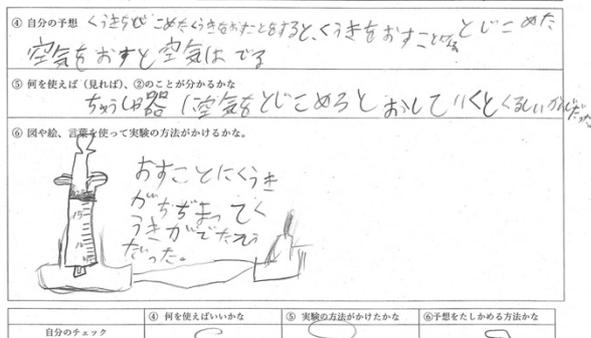


図 1 2 実践 1 における児童 A の作成した実験計画シート

イ 実践 1 の考察

仮説シート (図 11) においては、従属変数部分を文章で表現できていなかった。これは、初めてのワークシートであったため、書き方が分からなかったのか、または課題が分かりづらかったことが考えられる。筒の中の空気の体積変化に気づき、閉じ込めた空気を押すことで中の

空気が密になっている様子を表情や言葉で表すことができていると考える。

実験計画シートにおいては、課題が「閉じ込めた空気を押すと、空気はどうなるのかな」と抽象的な課題であったためか、中の空気の様子に着目した予想の文章になっていなかった (図 12)。一方で、従属変数の具体化に関しては、自身の手ごたえを中の空気の苦しさに関連付けて書いている。課題設定による予想の影響が大きいと感じた。

ウ 実践 2 の結果

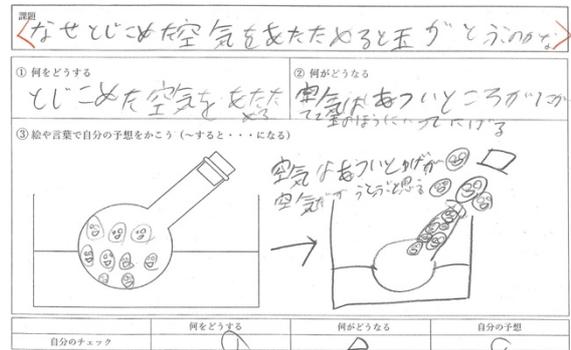


図 1 3 実践 2 における児童 A の作成した仮説シート

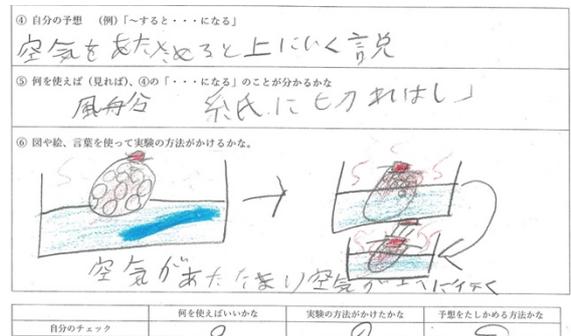


図 1 4 実践 2 における児童 A の作成した実験計画シート

エ 実践 2 の考察

仮説シートにおいては、実践 1 と違い従属変数を文章で書くことができていた (図 13)。また、絵でも同じような様子を表現することができていた。実践 1 とは違い、課題が焦点化されていたものであったため、表現しやすかったことが考えられる。ただ、自己評価の欄には、△のマークが付いているため、児童にとっては、描画の方が考えを表現しやすいたことが考えられる。

実験計画シート(図 14)では、仮説シートで書いた文章と同様の意味である「空気を温めると上にいく」の方を選んでいった。丸底フラスコに紙を入れたものが上にいく様子から、予想を確かめる実験になっていると判断した。

オ 実践 3 の結果

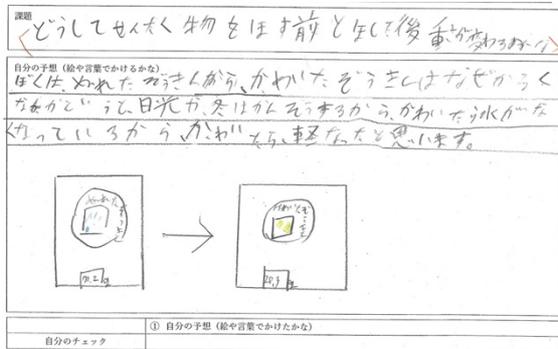


図 15 実践 3 における児童 A の作成した仮説シート

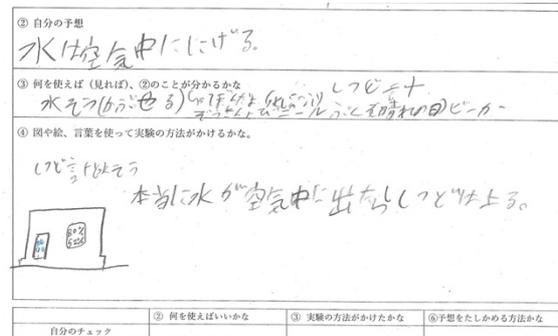


図 16 実践 3 における児童 A の作成した実験計画シート

カ 実践 3 の考察

本時の学習課題<本当に水は空気中から出ていくのかな>に対して、児童 A は「水は空気中に逃げる」と書いたことから、「水は空気中に出ていく」と同意の文章であると判断した(図 16)。その予想に対して、湿度計を用いた実験を行い、本当に水が空気中に出るなら湿度は上がると結果の予想をしていることから、予想に対する実験計画を立案できていると判断した。

児童 A が実践 1 から実践 3 までを実験計画シートの得点をグラフ化したものを図 17 に示す。児童 A 同様に実践 1 において得点が低かったのは、予想の文章に対しての実験方法が一致していなかったことが原因であると考えられる。一方で、その後の実践 2、3 においては、事象に対して自身で仮説を持つことができ、従属変数の変化を

全体で共有したものを使って文章で表現しているため、実験計画を立案できたと考えられる。

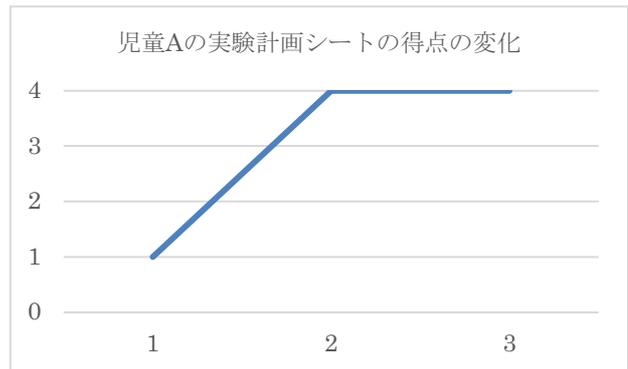


図 17 3 実践における児童 A の実験計画シートの得点 (2) 児童 B

児童 B は、授業態度は真面目で、ノート等に自分の考えを一生懸命書く姿が多く見られる。授業ではほとんど発言することはないが、グループの対話を経て、手を挙げようとする様子が偶に見られる。

ア 実践 1 の結果

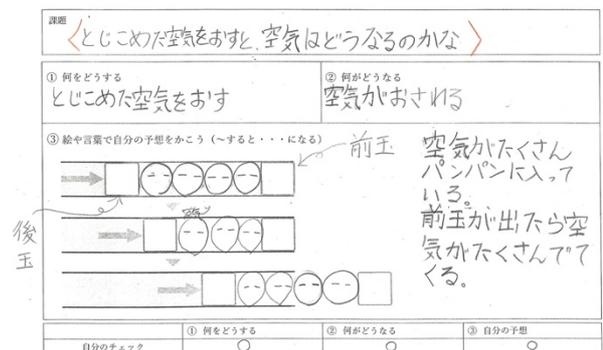


図 18 実践 1 における児童 B の作成した仮説シート

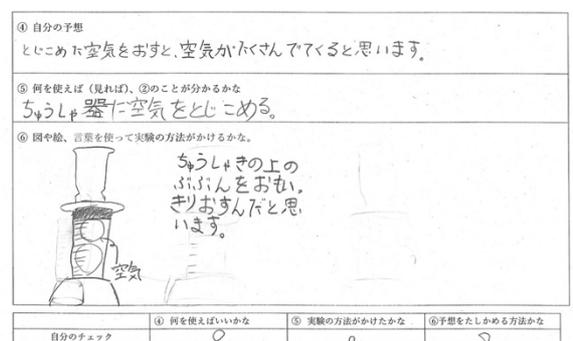


図 19 実践 1 における児童 B の作成した実験計画シート

実践 1 の考察

仮説の段階では、前玉が空気中で圧されていることについて捉えることができた(図 18)。しかし、教師の働きかけが不十分であったためか、閉じ込めた空気を圧した時の、筒の中の空気の

様子の変化については、中の丸い空気の表情に変化がなく数が減っていることから、具体的に図で表現できていない。そのため、体積が小さくなるという思考には至っていないように思われる。

予想交流後の実験計画シート（図 19）においては、従属変数の部分が仮説シートと同じように「空気がたくさん出てくる」と表現している。これは、交流の予想を受けても、自身の思いは変わっていないため、実験計画シートにおいて、従属変数を検証可能なものに直す教師の働きかけが必要であると考えられる。

ウ 実践 2 の結果

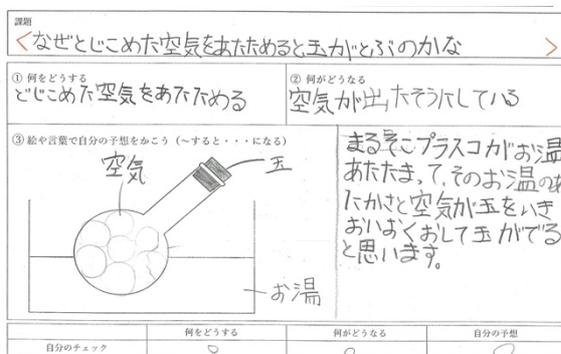


図 20 実践 2 における児童 B の作成した仮説シート

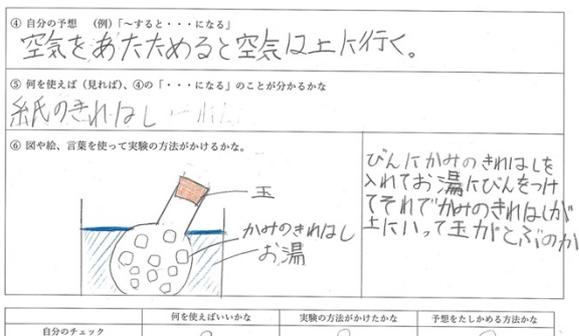


図 21 実践 2 における児童 B の作成した実験計画シート

エ 実践 2 の考察

仮説シート（図 20）の②における従属変数の文章は、実践 1 と少し違い「空気が出たそうにしている」と表現している。その様子を、絵からは読み取ることができなかった。実践 1 と同様に予想の交流を行なった結果、児童は従属変数を「上に行く」と表現した。それを確かめるために、紙の切れ端を丸底フラスコに入れた絵を描き、予想が正しかった場合の結果の見直し

を文章で表現していた。予想交流後に、従属変数を実験で検証可能な文章化させることが有効だったように思われる。

実践 3 の結果

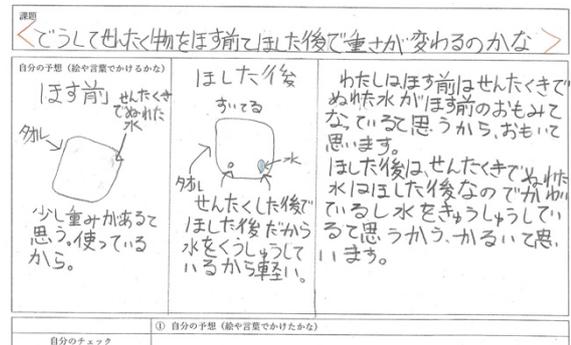


図 22 実践 3 における児童 B の作成した仮説シート

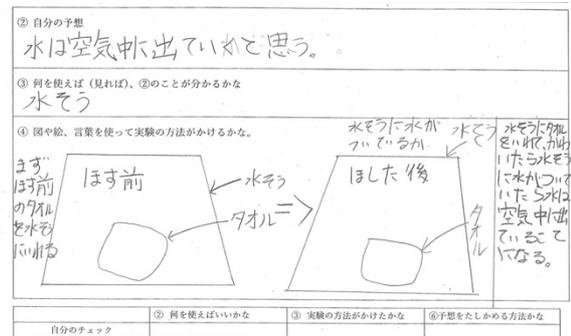


図 23 実践 3 における児童 B の作成した実験計画シート

カ 実践 3 の考察

仮説シート（図 22）において、変数を同定する欄を設けなくても、課題に変数を組み込んだ形式にすれば、絵や文章で表現することができた。実験計画シート（図 23）においても、実践 2 同様に、予想の交流後、従属変数を実験で検証可能な文章にした上で、結果の予想も踏まえて実験計画を立案することができた。

児童 B が実践 1 から実践 3 までを実験計画シートの得点をグラフ化したものを図 24 に示す。

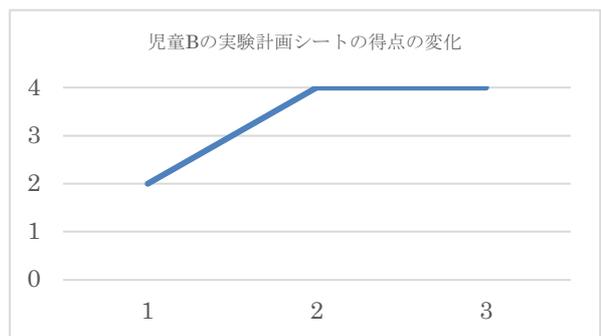


図 24 3 実践における児童 B の実験計画シートの得点

(3) 児童 C

児童 C は、他の 3 名に比べると、授業の中で手を挙げて発表する姿が何度か見られ、話し合いの中で、自分なりの思いを持って発言する様子がある。一方で、授業の中で集中を欠き、話を聞き漏らす様子も見られる。

ア 実践 1 の結果

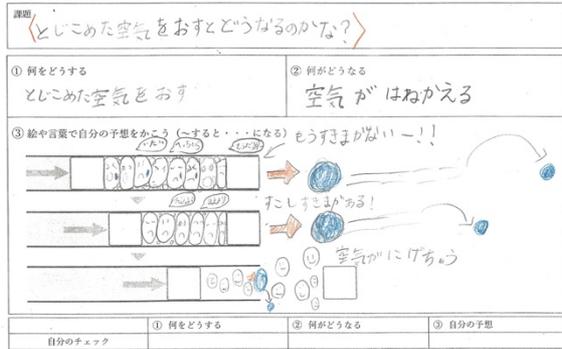


図 25 実践 1 における児童 C の作成した仮説シート

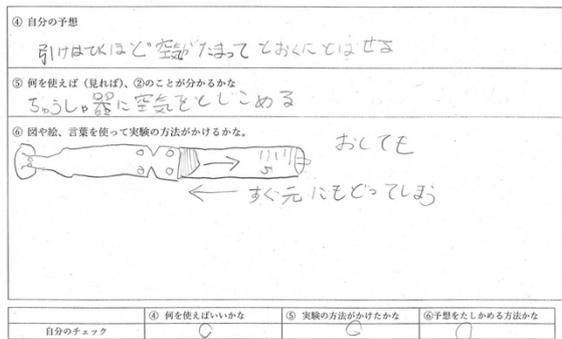


図 26 実践 1 における児童 C の作成した実験計画シート

イ 実践 1 の考察

仮説シート (図 25) では、従属変数に、空気による反発する力を、絵では筒の中に閉じ込めて押し、圧された空気に顔の表情や吹き出しを用いて隙間が小さくなること表現している。筒の中の空気の体積が小さくなる様子を捉えている様に思われる。

実験計画シート (図 26) では、交流後の④における予想の文章が仮説シートと変化している。「閉じ込めた空気をおす」という、独立変数も変化しており、空気鉄砲の玉を遠くに飛ばすことに思考が向いているように思われる。予想は児童の言葉で自由に表現させてみたが、学級全体で焦点化した言葉から考えさせると良いと感じた。また、予想に対する方法の図と文章が一

致していないことから実験計画を立案できていないと判断した。

ウ 実践 2 の結果

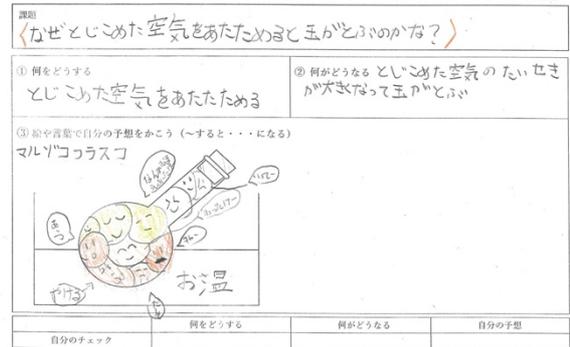


図 27 実践 2 における児童 C の作成した仮説シート

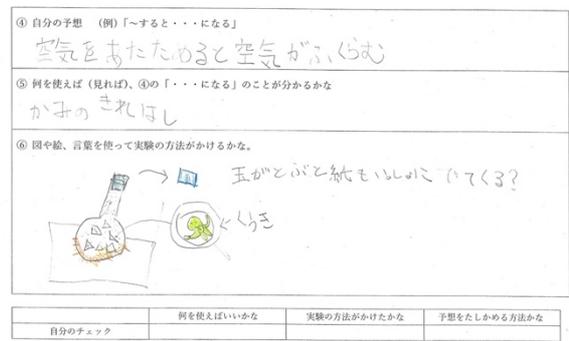


図 28 実践 2 における児童 C の作成した実験計画シート

エ 実践 2 の考察

仮説シート (図 27) では、実践 1 で学習した「体積」の言葉を用いて、従属変数を文章で表現することができた。また、その時の空気が大きくなっているような様子を絵で表現している。

実験計画シート (図 28) では、仮説シートの交流後も自身の仮説時と同様に、従属変数を「空気がふくらむ」と表現している。一方で、空気がふくらむことを検証する際の実験方法については、紙の切れ端が出ていることを記載しているものの、丸底フラスコの中の空気が膨らむのであればどのような結果が予想されるかが分からないと判断した。「空気が上に行く」と「空気が膨らむ」ことの 2 つを混同しているように思われる。児童 A 同様に、1 つ 1 つの予想を処理していく必要があると考える。

オ 実践3の結果

② 自分の予想			
③ 何を言えば（見れば）、②のことが分かるかな 水そう			
④ 図や絵、言葉を使って実験の方法が分かるかな			
自分のチェック	② 何を言えばいいかな	③ 実験の方法がかけたかな	④ 予想をたしかめる方法かな

図29 実践3における児童Cの作成した仮説シート

課題 どうしてせんたく物をほす前とほした後で重さが変わるのかな?	
自分の予想（絵や言葉でかけるかな）	
自分のチェック	① 自分の予想（絵や言葉でかけたかな）

図30 実践3における児童Cの作成した実験計画シート

カ 実践3の考察

仮説シート（図29）においては、従属変数である雑巾に含まれる水を、水の粒を用いて表現し、時間が経つとその水が無くなる様子を、色を変えて視覚的に表現している。

実験計画シート（図30）では自身の予想を書き忘れているが、授業では「水が空気中に出ていくと思う」に手を挙げていた。また、従属変数を確かめるための道具として水槽を用いることを全体で発表したのが児童Cである。水槽を用いて絵で方法を表現し、結果の見通しを文章で表現しているため、実験計画を立案できていると判断した。

児童Cが実践1から実践3までを実験計画シートの得点をグラフ化したものを図31に示す。

児童Cは、右肩上がりの折れ線グラフの形をしているが、仮説の段階で従属変数を捉え、3～4点を示していた。このことから、仮説において自身で従属変数を捉えることができている、その後の交流によって、仮説の再構成に大きな影響を与えたため、実験計画の立案の得点に影響があったと考える。そのため、児童によって

は、仮説時の交流において、焦点化した仮説の文章を児童と共有し設定していくことや、1つの仮説に対して実験方法を立案していく手立てが必要ではないかと考えた。

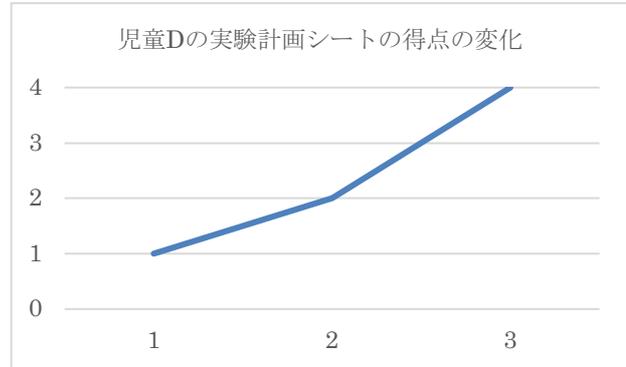


図31 3実践における児童Cの実験計画シートの得点

VI まとめ

1. 結論

本実践では、実験計画を立案するために必要な2つの要素を児童が獲得するために、変数を具体化させる指導法と実践の有効性を小学校第4学年で検討してきた。

一部の児童においては、ワークシートを用いて変数を具体化させることで実験計画を立案できた児童が見られた。この結果から、本実践を通して、実験方法を立案するための指導においては、以下の4点が大切であると考えた。

- ① 児童に変数に着目させるような事象提示や単元によっては事象の内容を含んだ課題設定を行うこと
- ② 描画法を用いることで、児童が仮説における従属変数や根拠を表現しやすくなり、他の児童や教師も児童の考えを読み取りやすくなること
- ③ 児童の仮説を交流させ、他の児童や教師が従属変数を具体化した言葉であり、実験で検証可能な文章に表現し、それを基に仮説を再構成させて、従属変数の測定方法を考えさせること
- ④ 複数の仮説が出た場合は、授業時数にも関わるが、1つずつ実験計画を検証して進めていくこと

また、実験で使う器具や手順に関しては、学級集団の話し合いを通してワークシートに表現できた児童が増えたが、個人を追って分析できたわけではないため、今回の実践では、有効的な指導法を明らかにすることはできなかった。しかし、新しい実験器具を扱う際に、どんな道具なのかじっくり観察させることや児童にとって身近な物を理科室に整備しておくことで、児童が実験方法を考える際の手順や理科の見方を働かせること、仮説を確かめることに使えるような道具の選定に生かせるのではないかと考える。

2. 今後の課題

3つの実践を踏まえて児童の実験計画シートを見ると、予想に対する結果の見通しを持つことができる児童は分析評価得点が高いことが読み取れた。今回の実践では行わなかったが、予想される結果を見通せる指導を行い、その指導内容を満たした児童を価値づけることでより一層実験計画を立案する力が育成できるのではないかと考える。

一方で、仮説設定の段階で描画を用いても変数を見出せない児童は、実験計画の立案の段階でも高い分析評価得点を得ることができなかった。児童に変数を見出すためには、教師のどのような働きかけが必要か検討する必要がある。また、本実践では、児童の主體的な学習のための、実験計画を立案する力の育成を目指して実践を行い分析してきた。実験後の考察やまとめの段階における児童の学びの変容等についても分析し明らかにする必要がある。さらに、本実践は、第4学年の3つの単元で行ったが、単元の特性によって、児童に実験計画を立案させる方法に適・不適があるのではないかと考える。5学年では、変数を制御して実験計画を立案させる単元が多いので、引き続き、学年を跨いで、本研究の指導効果を分析する必要がある。

引用文献・参考文献

1) 福岡敏行、下山賢治(1986)「実験計画能力の評価法と児童の実態」, 横浜国立大学教育実践センター紀要, p35~52

2) 角屋重樹・林四郎・石井雅之(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

3) 唐井美沙栄(2017)「小学校第5学年における問題解決の見通しをもつことにつながる実験計画を立案するための指導の工夫-実験計画に必要な4つの要素に基づいた指導を通して-」, 広島市教育センター教員長期研修生研究報告

4) 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, Vol.56 No.2

5) 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 Vol.59 No.1

6) 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, Vol.30 No.3

7) 小林辰至(2017)『探究する資質・能力を育む理科教育』, 大学教育出版

8) 村田稜輝・栗原淳一(2020)「理科授業において実験計画を記述させる指導に関する研究」, 日本科学教育学会研究会報告, Vol.34 No.7

9) 中村和雄(1992)「実験計画能力に関する基礎的研究-評価法と児童の実態-」, 上越教育大学大学院修士論文

10) 中山迅・稲垣成哲(1998)『理科授業で使う考と表現の道具 概念地図法と描画法入門』, 明治図書

11) 岡崎友香(2011)「児童の既有経験とイメージに基づいた理科授業の実践-目に見えない事象を捉えるための工夫-」, 山形大学大学院教育実践研究科年報

12) 大寫竜午・大高泉(2008)「実験活動における実験計画の指導法-変数の同定を中心に-」, 『日本理科教育学会全国大会要項(58)』, p294

13) 富本健司・山崎敬人(2010)「描画法を活用した粒子概念の構成に関する研究-第6学年「水溶液の性質」を通して-」, 『日本理科教育学会中国支部大会研究発表要項(59)』, p18