

## [理 科]

## 児童が主体的に問題解決学習に取り組むための指導の工夫

— 「探究の技能」を育成できる自作ワークシートを用いた実験計画作成から考察までの活動を通して—

涌井 学\*

## 1 はじめに

理科の学習において問題解決の能力の育成がますます重要視されてきている。小学校学習指導要領解説理科編に「科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から、学年や発達の段階、指導内容に応じて、例えば、観察・実験の結果を整理し考察する学習活動、科学的な概念を使用して考えたり説明したりする学習活動、探究的な学習活動を充実する方向で改善する。」<sup>1)</sup>とあるように、探究的な活動をより重視した指導内容が挙げられている。また、中央教育審議会初等中等教育分科会の教育課程部会理科グループでは、小学校理科における育成すべき資質・能力について「自然に親しみ、理科における見方・考え方を働かせて、問題を見だし、見通しをもって観察・実験などを行い、より妥当な考えを導き出す過程を通して、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために必要な資質・能力を養う。」と整理され、3項目が挙げられている<sup>2)</sup>。中でも、(2)の「見通しをもって観察・実験などを行い、問題解決の能力を養う。」については、これまでも様々な研究が行われてきた。村山は科学技術リテラシーの低下を危惧し、問題解決の能力育成が急務とし、「問題解決」の力を育成することの重要性を説き、8つのステップに整理した<sup>3)</sup>。また、長谷川・吉田・関根らはアメリカ科学振興会(AAAS)が開発したプロセス・スキルズから日本の実態に即した「探究の技能」を作成した<sup>4)</sup>。さらに、渥美・山口らは「探究の技能」の観点から教科書に記載されている全ての観察・実験等において具体的な評価の方策を検討、「探究の技能」の評価規準を明文化した<sup>5)6)</sup>。筆者はそれらの研究を基に「探究の技能」を指導、評価するためのワークシートを開発した<sup>7)</sup>。その際、小林らが開発した4 QS (4 Question Strategy) シートを改良したが、4 QSを用いて仮説設定を行う取組についても様々な検証が行われている。例えば岡田は、小学校第6学年「水溶液の性質」の単元において、4 QSシートを用いることで児童の仮説形成が可能になり、見通しをもって学習を進めることが可能になったことを報告している<sup>8)</sup>。また、山田らは小・中学校の理科教科書に掲載された全ての観察・実験等について4 QSの適用の可能性を探っている<sup>9)</sup>。

このように「探究の技能」における仮説設定に対する研究が進む反面、その後の実験計画から検証・考察までの段階を検証する研究は多くない。中村らは実験を計画させる活動があまり行われていないことの問題点として「実験を計画させることについての分析が十分されていないので、指導法が確立していない」ことをあげている<sup>10)</sup>。また、中村は「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、実験計画能力についての児童・生徒の実態を調査問題で分析している<sup>11)</sup>。仮説設定の場面において独立変数と従属変数の指摘を行い検証可能な仮説を設定していても、その後の実験計画が児童主体でないのであれば問題解決のプロセスを重視した指導にはなり得ず、問題解決の能力が十分育成できない危険性があると考えられる。また、一見単純に見える実験でも指導すべき内容が多岐に渡って潜在していることが実験計画を指導する際の困難さにつながっていると考えられる。そのため、実験計画を児童主体のものとするには、ポイントを明確にした指導が必要となる。そこで、仮説検証型の授業の中で4 QSの手法を用いて仮説設定を行った後、計画を立てるための手法を明確にした自作ワークシートを基に実験計画を行わせ、主体的に問題解決のプロセスを経ることができるよう試みた。この取組により問題解決の能力、中でも仮説を検証するための実験計画作成に関する能力が育成できるかを検証することとした。

## 2 研究の方法

授業実践はM市小学校の第5学年1学級(24名、男子14名、女子10名)で平成27年5月から平成28年1月までの期間

\* 妙高市立新井中央小学校

に行った。前述したワークシートを活用して仮説設定から実験、考察までのプロセスを経ることにし、そのプロセスが有効であったか検証した。実践した単元は仮説検証型の授業が可能な「植物の発芽と成長」、「花から実へ」、「流れる水のはたらき」、「ふりこのきまり」の4単元である。詳細を以下に示す。

(1) 4 QSの手法を取り入れた検証可能な仮説の設定

問題解決学習において、事象提示から仮説を設定していくことは重要である。浅倉らは「探究の過程」のプロセスを観察と実験で確かめる2系統に分けた「8の字型モデル」を作成した<sup>12)</sup>。そのうちの「実験による問題解決」のプロセスを示す(図1)。また、福岡らによりまとめられた実験計画の構成要素は「問題の把握」「アプローチの決定」「道具の列挙」「変数の操作(独立変数、従属変数、条件コントロール)」「実験の手順の決定」「結果の解釈」の6項目である<sup>13)</sup>。そのうち、「問題の把握」「アプローチの決定」「変数の操作」については事象提示から仮説設定までの場面で行うことができると考える。これを「8の字型モデル」に当てはめると「自然をよく見た!」から「仮説を立てよう」までの5ステップと捉えることができる。そこで単元を「探究の過程」を基に計画し実践することにした。

小学校5学年で育成すべき問題解決の能力は「条件に目を向けながら調べること」である。従属変数・独立変数を指摘し、独立変数以外の条件を整えていないと比較対照実験を計画できない。変数に着目し、独立変数・従属変数を指摘することは実験計画を立てる上で重要なことであり、それらを体系的に行えることが4 QSの利点である。そこで、小学校高学年の段階で活用できるように改良した4 QSシート(図2)を用いて、検証可能な仮説を設定させた。

(2) 自作ワークシートを用いた実験計画の作成

検証可能な仮説を設定した後、指摘した独立変数をどのように条件付けるかを考える必要がある。また、実験を変化させる要因(独立変数)と変化させない要因を区別させる必要がある。これが探究の過程における「実験の計画を立てよう」のステップに相当する。ワークシートを用いて独立変数をどのように設定すべきか、それ以外の条件をどのように統一すべきかを考えさせることで児童が自分で比較対照実験となるいくつかの実験を設定できると考えた。そこで、検証すべき仮説1つに対し1枚のワークシートを用意し、比較対照実験が計画できるようにした(図3)。また、自分が計画した実験が見通しをもってできるよう、計画した実験がどのような結果になるのか予想できるよう結果の予想の欄を設け、その下に実験結果と考察が書けるように作成した。このようにワークシートを作成したことで仮説から考察までのプロセスが見通せるようになり、実験の意味を児童が実感でき、実験中の視点が定まるようになったと考えた。このワークシートを使用することで、自動的に表1のプロセスを経て実験計画が作成されることになる。つまりどの単元においても決まったプロセスを経ることができる。

表1：自作ワークシートにおける実験計画のプロセス

- ① 提示された課題を書く。
- ② 課題から考えた検証可能な仮説の一つを選ぶ。
- ③ 仮説に含まれる独立変数を指摘する。
- ④ 指摘した独立変数をどのように条件付けるか決める。
- ⑤ 独立変数以外の統一すべき条件を決める。
- ⑥ 必要な実験器具、手法を決める。
- ⑦ 計画した実験がどのような結果を導き出すか予想する。

また、このワークシートを最後まで記述すると、問題解決の一連の流れが一枚のワークシートに表れる。このことは児童が実験を振り返る際にも有効であると考えられる。そこで、この自作ワークシートを用いて実験計画を立てる活動を4単元で継続して行った。

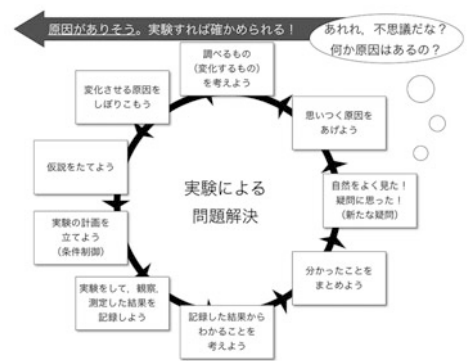


図1：「探究の過程」の8の字型モデル



図2：改良した4 QSシート

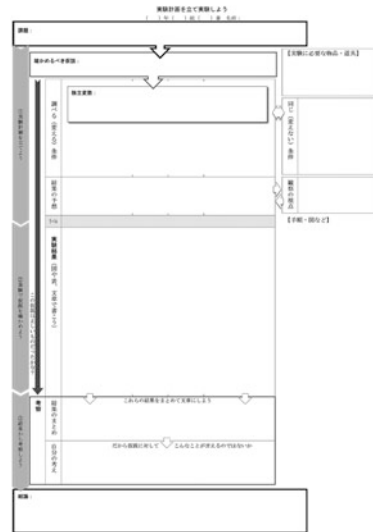


図3：自作ワークシート

(3) 実験結果をまとめ仮説の支持・不支持を考える2段階の考察

考察において、児童の思考は2つの段階に分かれていると考える。まずは、「①観察・実験の結果をまとめる段階」である。観察・実験を行い、その結果を表やグラフにまとめる。あるいは必要に応じて観察・実験における現象を自分なりにモデル化してみる。そうして得た結果を文章としてまとめる。次に「②立てた仮説に立ち返る段階」である。前段階①でまとめた観察・実験の結果を基にそのデータが自分の立てた仮説を支持するか、支持しないかを検討する。そこで、この段階を経ることができるようワークシートの考察部分を2つに分け、比較対照実験でおこなったいくつかの実験結果をまとめる部分とそこから仮説が支持されたか否かを考える部分を記載させることにした。

3 指導の実際

自作ワークシートを用いた4単元の中で特徴的な場面のみ述べる。

(1) 「植物の発芽と成長」(発芽の条件・成長の条件を検証する)

この単元は初めて条件制御について学習する単元である。3つの実験があるが、そのうちの発芽条件を調べる実験、成長条件を調べる実験の2つで自作ワークシートを用いた指導を行った。

まず課題として「植物が発芽するためには何が必要か。」と問い、自作4QSシートを用いて自由に仮説を立てさせることにした。自作4QSシートは独立変数を指摘し、それをどのように変化させると従属変数がどのようになるかが仮説として一文になるように設計している。形式としては「何(独立変数)をどうする(条件を設定する)と、どうなる(従属変数がどうなる)」という一文である。この単元では従属変数がどうなるかを表す部分は「発芽する」と統一し、児童の思考を独立変数の指摘と条件の設定に絞り込んで考えさせた。戸惑いながらも児童はいくつもの独立変数を指摘することができた(図4)。児童1人1人が考えた仮説を学習班で発表させた後全体で共有し、独立変数を「水」「空気」「日光」「温度」「肥料」「空気」の6つに絞り込んだ。

次に、仮説「植物が発芽するには水が必要である。」を検証するために実験計画を立てさせた。ワークシートを用いた比較対照実験の計画はこれが最初であるため、学級全体で教師が問いながら板書し一つずつ欄を埋めていくことにした(図5)。課題と検証すべき仮説を書かせた後、その中に含まれる独立変数(児童には変える条件と伝えた)を指摘させた。「(変える条件で指摘した)水をどうすれば必要かどうか分かるだろうか。」という問いを出したところ、「あげるものとあげないもので比べればよい。」と答えたため、独立変数の条件を「水をあげる」「水をあげない」の2つに設定し、それ以外の条件を全て統一することを教え、統一すべき条件を挙げさせた。その後、「自分の仮説が正しければそれぞれの実験の結果はどうなるだろうか。」と問い、結果の予想を考えさせた。また、結果を予想させるには児童がどの部分を観察するか、何をもちて発芽と見なすか視点を定める必要がある。そこで観察の視点を考えさせ、発芽の定義を種子と同じ大きさの芽を出した場合とした。1人ずつ実験を行った後、それぞれの実験結果を記録させた。結果を共有し「この2つの実験をまとめるとどのような結果になったと言えるか。」と問うた。実験結果を文章で表現することができた児童には「この結果から仮説は正しかったのだろうか」と次の問いを与え、2段階での考察を行った。

この実験を行った後、児童自身で「空気」「温度」の2つの実験を行うために計画を立てさせた。この時点で既に児童は独立変数を指摘できるようになっており、どのように条件設定を行うかを考えるようになっていた。「空気がない状態」をどのように設定するかを悩んでいたが、水に沈めるものと脱脂綿に水を含ませたもので比較しようと考えた児



図4：児童が記述したワークシート

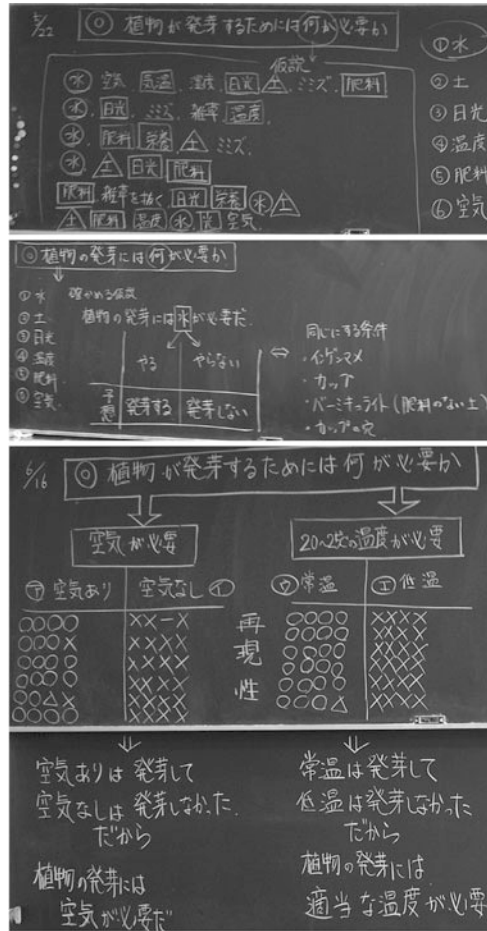


図5：板書した内容

この実験を行った後、児童自身で「空気」「温度」の2つの実験を行うために計画を立てさせた。この時点で既に児童は独立変数を指摘できるようになっており、どのように条件設定を行うかを考えるようになっていた。「空気がない状態」をどのように設定するかを悩んでいたが、水に沈めるものと脱脂綿に水を含ませたもので比較しようと考えた児



童が発表したことで無理なく実験方法を考えることができていた。既にこの場面では教師が条件を整えてあげるために助言するだけで児童が自力で実験方法を考えられるまでになっていた。また、行った実験の結果を基に仮説の中で実験不要なものを選別できるようにもなっていた。例えば、「水」の実験を行った際、パーミキュライトを用いたことで発芽に「肥料」が不要であることも考察できるようになったり、「温度」の実験で暗所でも発芽することから「日光」は不要であることを考察できるようになったりしていた。また、当初は2段階で考察する手法に戸惑っていた児童も、結果をまとめて文章化する段階とそこから仮説について考える段階とを区別できるようになり、2つの段階を「だから」という接続詞でつなげることで考察の文章ができることを理解できるようになっていった。

## (2) 「ふりこのはたらき」(振り子が1往復する時間の要因を検証する)

2学期に入り、「花から実へ」の受粉のはたらきを調べる実験、「流れる水のはたらき」の流速・水量と変化の関係を調べる実験において自作ワークシートを継続して活用してきた。その中で徐々に独立変数・従属変数という用語にも慣れ、この頃になると教師の支援がなくても適切に記述できるようになっていた。そこで、さらに児童がさらに主体的に関われるよう、このワークシートを用い、さらにジグソー法を取り入れて学習することを試みた。ジグソー法を取り入れることで一人一人が実験に責任をもって参加する必然性が生まれる。結果として実験計画から考察まで主体的に活動する姿勢が生まれると考えた。

まず一人一人に竹ひごと粘土、クリップで作成した振り子と関わらせ、課題として「振り子の1往復する時間は何によって変わるのだろうか。」と投げかけた。児童は「振り子の長さ」「錘の重さ」「振れ幅」「錘の大きさ」の独立変数4つを出してきた。

そこで、学習班4人をそれぞれの独立変数の実験に機械的に振り分け、実験計画を立てさせることにした。実験器具については教師が用意したものを提示し、その上で自分が調べる独立変数の条件をどのように設定するか個人で考えさせた。その後、実験を行う班に分かれ、個人のワークシート上の計画を基に条件の設定を相談させ、詳しい実験計画を班で立てさせることにした。「錘の大きさ」と考えた児童達は、大きさを変えて重さを変えない方法がなかなか決まらず悩んでいたものの、同じ重さの粘土の形を変えることにして実験計画を立てていった。「振れ幅」に関しては、振れ幅を大きくしすぎると等時性が示されなくなるが、今回は自分たちの考える条件で実験させることを優先し教師側の説明は実験計画の段階では行わなかった。実験計画が立てられた後、班に戻り実験計画を説明する時間を設けた。その後学級全体で実験方法を共有し、統一すべき条件の確認と観察の視点の確認を行い、実験に入った。実験終了後、実験班で考察を考えさせた。これまでの実験と異なり、独立変数を細かく設定し、「ある」「なし」の対比ではなく、ふりこの長さが20cm, 40cm, 60cmのように3つの条件で行った実験であったため、結果を文章でまとめることが非常に難しく感じる児童もいた。しかし実験班での結果を学習班で伝えることが必要なため、自分の結果を分かりやすくまとめるために実験班の中でお互いに確認し合う姿や、その中で文章表記についての話し合いを行っている姿が見られ、ほとんどの児童は学習班に戻り実験結果を説明することができていた。その結果、多くの児童は話し合いを行いながら仮説が支持されたか否かを考えることができていた。また、学習班に戻った児童は自分たちの結果を班で伝えていった。これまでの実験と異なり、ジグソー法では、他の班の結果も聞き全ての情報を統合して結論を導き出さねばならない。そのため話すだけでなく、相手の結果や考察を聞くことも重要となる。ジグソー法を取り入れたことで実験の意味を真剣に考え、自分たちで問題解決しようとする意識が高まっていた。授業時の板書を図6に示す。

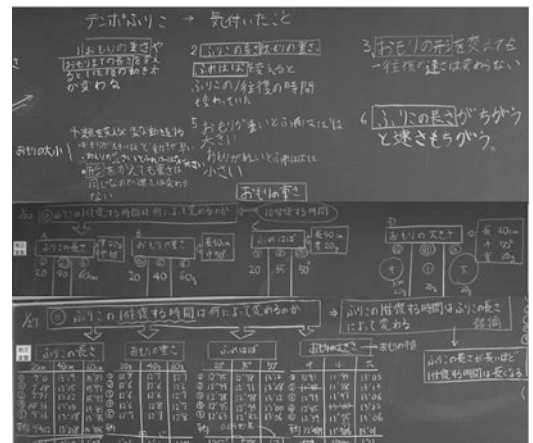
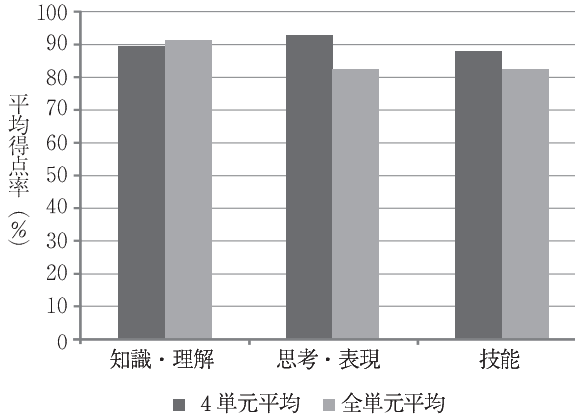


図6：板書した内容

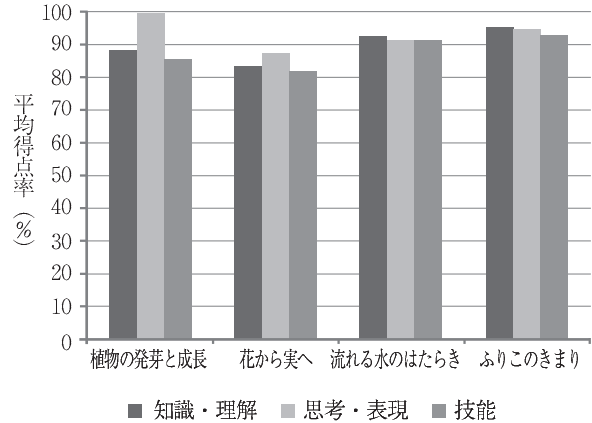
## 4 実践の結果

学級で行ったワークテスト (B社) の1年間の平均得点率と、自作ワークシートで学習した4単元の平均得点率を比較する(グラフ1)。このワークテストの到達得点率は3観点とも80%と設定されている。学級の年間平均はいずれも80%を超えている。年間平均に比べ「思考・表現」「技能」の観点において4単元平均が高くなっていることが分かった。特に「思考・表現」の観点において11ポイントも上回っている。さらに問題ごとの傾向を見ていくと「植物の発芽と成長」の問題では、実験例が提示され、「この実験で変えている条件は何か」という問いや「この実験から必要だと

考えられる条件は何か」という問いの正答率が非常に高いことが分かった。また、「花から実へ」の単元のテストでは、「(花粉のはたらきを調べるために) 袋をかぶせたままにする理由を受粉という言葉を使って説明せよ」という問いに対する正答率が高かった。これらの結果から、実験計画における独立変数の指摘ができていて、実験方法の意味を理解できていることが言えると考えられる。



グラフ1：1年間の平均得点率



グラフ2：ワークシートを使用した単元の得点率

自作ワークシートを使用した単元の観点別正答率をグラフ2に示す。「花から実へ」で一旦得点率が下がったものの、「流れる水のはたらき」「ふりこのきまり」で得点率が向上している。これは単元を経るごとに教師が主導して実験計画を立てるプロセスを教えていた単元から、児童自身で実験計画を立てる単元に移行してきたことで、児童が少しずつ実験方法を設定する意味を実感できてきたものと考えられる。また、実験計画のプロセスを何度も決めた方法で学習してきたことで何をどのように考えるかというポイントを児童が実感できるようになってきたためではないかと考える。

次に児童のワークシートの記述を見る。最初の単元である「植物の発芽と成長」のワークシートを図7に示す。児童はこのように仮説に含まれる独立変数を指摘した後、その条件をどのように設定するかを図と文章に表している。また、それぞれの実験がどのような結果になるのかを予想することで何を検証するための実験なのか、結果から何を考えるべきか混乱せずに問題解決のプロセスを経ることができている。実験の結果の表記部分は図や文章で自由に表せるよう方眼などはつけなかったが、観察した日付と結果を工夫して表している様子が見られた。考察の部分では、2つの実験をまとめて1文に表すことができ、結果から仮説に対する答えを表記していることが分かる。これらの様子からこのワークシートにより、課題に対して自分で検証計画を立て、実験結果から考察するという問題解決のプロセス(探究の過程)を無理なく経ることができていると考えられる。

また、ジグソー学習で行った「ふりこのきまり」のワークシートを図8に示す。課題から仮説設定、仮説に含まれる独立変数の指摘を確実に行うことができている様子が見られる。5回繰り返す実験の結果を表にこそ表していないが、実験結果を落とさずに記録できており、平均値を求めるところまで記すことができている。3つの実験をまとめて1文に表すこともできていた。この様子からも児童が何を検証すべきか実感しながら学習を進めることができたと考えられる。

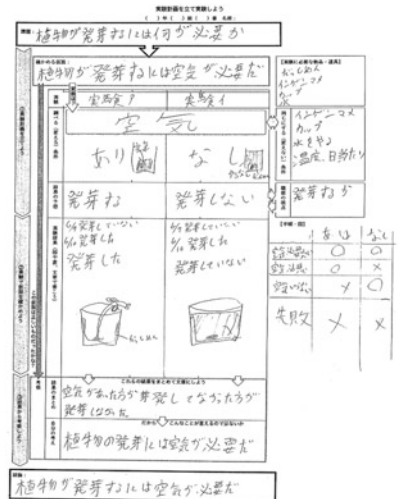


図7：「植物の発芽と成長」の児童の記述

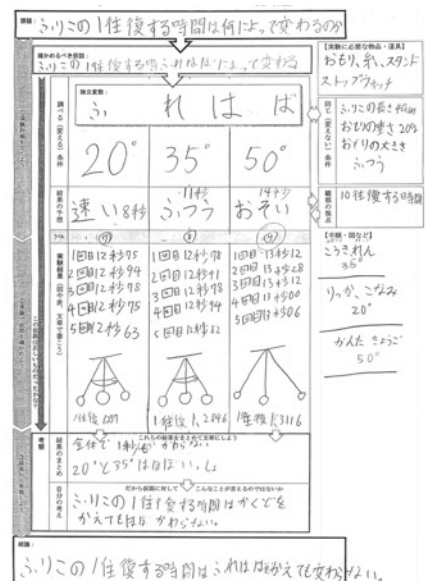


図8：「ふりこのきまり」の児童の記述

## 5 考察

教師が主導した実験では、児童は結果の如何により興味関心を失ってしまう危険性がある。しかし今回の実践では、ワークシートに記述させる際に教師が段階を追って支援・指導していくことで児童は主体的に問題解決のプロセスを経ることができた。つまり自ら立てた仮説を自ら計画した実験によって確かめることができたことになる。この経験を積ませてあげることで問題解決の能力は定着するものと考ええる。

また、今回の実践を通して児童は実験計画を立てるための手法を学ぶことができた。一見単純に見える実験計画の場面でも指導すべき内容が多岐に渡っているが、今回のワークシートを用いたことによってスモールステップで実験計画を立てることができ、場面ごとでの支援・指導を児童が適切に受け止めることができたと考ええる。

今回の実践のように児童がワークシートを用いる手法を理解し記述できるようになれば、検証可能な仮説から実験計画を立てる際の手法が常に一定になる。手法が一定になり、経験を増やすことで児童は抵抗感なく実験計画を立てることができるようになると考える。また教師は実験計画作成におけるポイントを絞って明確に指導することができるようになると思う。

## 6 課題

今回用いたワークシートは検証すべき仮説1つに対し1枚のワークシートとして設計している。そのため作成するための時間が通常の学習より多くかかり、小学校理科で学習すべき内容を指導するためには複数枚のワークシートを記述することになる。時間がかかるためワークシートを用いる時間を確保するためには単元における学習の時間配分を考える必要がある。今後はワークシートを活用できる場面を抽出し、時間を確保できる手法を考えていなければならない。

また、今回用いたワークシートは検証できる仮説を実験で解決する学習でのみ有効であると考ええる。今後は仮説検証型ではない問題解決学習における展開を実践の中で確認していく必要がある。

## 参考及び引用文献

- 1) 文部科学省：「小学校学習指導要領解説理科編（平成20年8月）」、p.3, 2008
- 2) 中央教育審議会 教育課程部会：理科ワーキンググループ（第8回）配付資料1「理科ワーキンググループにおけるとりまとめイメージ（案）」（[www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/060/siryo/attach/1372326.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/060/siryo/attach/1372326.htm)）、2016
- 3) 村山哲哉：「小学校理科「問題解決」8つのステップ」、東洋館出版社、pp.8-13, 2013
- 4) 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至：「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等の類型化とその探究的特徴ープロセス・スキルズを精選・統合して開発した「探究の技能」に基づいてー」、理科教育学研究、Vol.54, No.2, pp.225-247, 2013
- 5) 渥美猛：「小学校理科における探究の技能を育成する理科指導法の研究ー変数をとらえる視点を高めるものづくりの実践を通してー」、上越教育大学大学院修士論文、2014
- 6) 山口真人：「小学校理科における科学的探究能力育成に関する指導法の研究ー探究の発見的・創造的文脈における直観的推論の観点からー」、上越教育大学修士論文、2014
- 7) 涌井学：「問題解決能力育成を目的とした小学校理科における「探究の技能」の評価法に関する研究ータブレット端末を用いた自己組織化マップでの自由記述を通してー」、上越教育大学修士論文、2015
- 8) 岡田啓吾：「見通しをもって意欲的に探究活動に取り組む子どもを目指してー小学校6年生での定性的な課題に対する4QS（The Four Question Strategy）の考えを取り入れたワークシート活用の有効性ー」、教育実践研究第19集、pp.93-98, 2009
- 9) 山田貴之・田代直幸・田中保樹・小林辰至：「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における“The Four Question Strategy（4QS）”の適用の可能性に関する研究ー自然事象に関わる因果関係の観点からー」、理科教育学研究 Vol.56, No.1, pp.105-121, 2015
- 10) 中村和雄・戸北凱准：「実験計画能力に関する基礎的研究ー小学校4～6年生の実態調査からー」、日本理科教育学会第41回全国大会香川大会要項、p.51, 1991
- 11) 中村和雄：「実験計画能力に関する基礎的研究ー評価法と児童の実態ー」上越教育大学大学院修士論文、1992
- 12) 浅倉健輔：「小学校理科における問題解決能力を高めるための指導法の研究ー「探究の過程の8の字モデル」と「探究アイテム」を用いた実践を通してー」上越教育大学大学院修士論文、2016
- 13) 福岡敏行・下山賢治：「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、pp.36-37, 1987