

【原 著】

小学校理科における授業改善の試み
—観察・実験を支援する教材と活動の工夫—

山崎 光洋

Challenges in Teaching Elementary School Science : Designing Teaching Materials and Activities Supporting
Children's Observation and Experiment

Mitsuhiro YAMASAKI

2016

岡山大学教師教育開発センター紀要 第6号 別冊

Reprinted from Bulletin of Center for Teacher Education
and Development, Okayama University, Vol.6, March 2016

小学校理科における授業改善の試み

—観察・実験を支援する教材と活動の工夫—

山崎 光洋^{※1}

次期学習指導要領の改訂に向けて、新しい教育の方向性が検討されるようになった。小学校理科においては、これまでも児童の主体的な問題解決の過程を重視してきたという歴史があり、着目されているアクティブ・ラーニングの考え方が、理科の学習指導にどのように影響を与えるかが注目される。理科の授業で、問題解決の過程を充実したものにするためには、基本となる問題解決への取り組み方とともに、扱う自然の事物・現象や指導内容がもつ固有の課題を解決していく必要がある。本稿では、第4学年の指導内容「水の状態変化」を取り上げ、問題解決の手段としての観察・実験のあり方を教育現場の状況を踏まえて検討し、学習指導を困難にしている課題を明らかにするとともに、観察・実験を支援する教材と活動を課題の解決につながるよう具体的に工夫し、それらを授業改善の試みの一つとして提案する。

キーワード：小学校理科、授業改善、観察・実験、教材、授業構成

※1 岡山大学教師教育開発センター

I はじめに

平成27年8月26日に、中央教育審議会 初等中等教育分科会 教育課程部会 教育課程企画特別部会(第7期)より、「教育課程企画特別部会における論点整理について(報告)」が公開された。この「論点整理」は、「教育課程を通じて初等中等教育が果たすべき役割を示すことを意図している」とされており、次期学習指導要領改定の方性を示すものである。理科に関しては、「学習する楽しさや学習する意義の実感等」の充実と「日進月歩で発展する科学技術と自然の事物・現象との関係を実感する機会を持たせること」が、また、示された三つの柱(「何を知っているか、何ができるか(個別の知識・技能)」, 「知っていること・できることをどう使うか(思考力・判断力・表現力等)」, 「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか(学びに向かう力、人間性等)」)に沿って育成を目指す資質・能力を明確化し、「実社会との関わりを意識した探究的な活動の充実等を図っていく」ことが求められており、これらが「内容の見直し」の視点となるものと考えられる。

「指導方法の見直し」に関しては、理科に限らず「習得・活用・探究という学習プロセスの中で、問題発見・解決を念頭に置いた深い学びの過程が実現でき

ているかどうか。」「他者との協働や外界との相互作用を通じて、自らの考えを広げ深める、対話的な学びの過程が実現できているかどうか。」「子供たちが見通しを持って粘り強く取り組み、自らの学習活動を振り返って次につなげる、主体的な学びの過程が実現できているかどうか。」の視点に立ち学習・指導方法を改善することが求められている¹⁾。

これらの改定の視点に照らしてみると、現行の小学校理科でも「自然に接する関心や意欲を高め、主体的に問題を見いだす学習活動」や「問題解決の能力や態度を育成する学習活動」, 「学んだことを生活とのかかわりの中で見直し、自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図る学習活動」に重点が置かれており²⁾, 目指す方向に大きな変化はないように見受けられる。

また、「指導方法の見直し」の中で重視する流れが示され着目されている「課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び(いわゆる「アクティブ・ラーニング」)も、児童の問題解決的な活動を基盤とする小学校理科においては、主体的・協働的な学びを実現しようと取り組んできた教育現場のこれまでの流れに沿うものといえる。ただ、それだけに、このことが強調され過ぎると、ここ数年指摘されてきた小学校教員の理科の学習指導に対する苦手意識

に一層拍車がかかることが懸念され、それを踏まえた授業の検討を行うことが望ましいと考える。

Ⅱ 小学校理科における問題解決の過程と授業を実施する上での課題

小学校理科では、その学年を通して育成すべき問題解決の能力が各学年の目標に示されている。現行の小学校学習指導要領解説理科編（以下、指導要領解説という。）には、「問題解決の能力を育てること」の解説の中で「児童が自然の事物・現象に親しむ中で興味・関心をもち、そこから問題を見だし、予想や仮説の基に観察、実験などを行い、結果を整理し、相互に話し合う中から結論として科学的な見方や考え方をもつようになる過程が問題解決の過程として考えられる。このような過程の中で、問題解決の能力が育成される。」と述べられている³⁾。このように定義された理科の問題解決の過程には、児童が問題を見いだすことや、自らの予想や仮説を検証するために観察、実験などを行うこと、結果を基に相互に話し合って結論を導くことなど、児童の主体的・協働的な学びを成立させるための要件のいくつかが既に示されている。日々の実践の中で、児童が身の回りの自然の事物・現象に対して抱く疑問を指導内容に迫る問題として焦点化することや、学習経験の少ない児童に根拠のある予想や仮説をもたせること、結果を科学的に考察して正しいとされる結論に導くことの難しさを感じている教員は、「課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び」をこれまで以上に要求されれば、学習指導への苦手意識をもたざるをえない。

小学校における「問題解決」の過程については、村山（2013）はそのプロセスを8つの分節と考え、次のように「問題解決の8つのステップ」として提案している。

- ①自然事象への働きかけ
- ②問題の把握・設定
- ③予想・仮説の設定
- ④検証計画の立案
- ⑤観察・実験
- ⑥結果の整理
- ⑦考察
- ⑧結果の導出

そして、児童の論理的な思考力を育成する上で、「どのステップも省略してはならない」と述べている⁴⁾。この過程は、平成23年3月に文部科学省から刊行された「小学校理科の観察、実験の手引」にも

示されている⁵⁾。

前述した「論点整理」では、「学習・指導方法について目指すのは、特定の型を普及させることなく」とか、「具体的な学習プロセスは限りなく存在し得るものであり、教員一人一人が、子供たちの発達段階や発達の特性、子供の学習スタイルの多様性や教育的ニーズと教科等の学習内容、単元の構成や学習の場面等に応じた方法について研究を重ね、ふさわしい方法を選択しながら、工夫して実践できるようにすることが重要である。」と述べられている。このことは、当然のこととして受け止めるとしても、理科の学習指導に対する苦手意識をもつ教員の立場を考えると、理科の授業改善への努力が、省略できない問題解決の過程の履行に注がれ、「形骸化された問題解決」という常に指摘されてきた問題が再び顕在化するという結果を招きかねない。

特に、問題解決の手段としての観察・実験に対する知識や技能が「低い」と感じている数多くの小学校の教員⁶⁾にとっては、問題解決の過程の一つのステップとしての「観察・実験」が「問題解決の中核である。」「児童による意図的・目的的な活動である。」とされているだけに、問題解決の過程を重視した理科の授業を実施することへの不安が一層大きくなる。

前述の村山は、単元のかたまりとしての「次」を例に、「問題解決の8つのステップのひとまとまりが、1つの次と対応すると考えるとよい」としているが⁷⁾、小学校における実際の授業では数時間単位で構成される「次」に一つの「観察・実験」や「考察」を行えばよいということではなく、教科書を見ても分かるように、1単位時間45分ごとに「観察・実験」や「考察」などが行われている。小学校の段階では、児童が一つ一つの疑問や問題に対して事実を積み重ねながら解決していき、単元全体を通して大きな意味での課題を探究していくからである。したがって、長くても2単位時間、多くの場合は1単位時間ごとに問題解決の過程が繰り返されると考えた方が現実的に即している。指導内容と授業時間数の関係や、時間割や理科室等の指導環境を考えても、一つの問題解決の過程に多くの時間は割けない。

1単位時間の45分間に、問題解決の8つのプロセスを踏んで授業を構成しようとする、問題解決の手段としての観察・実験に対する知識や技能が「低い」と感じていると、いまいと、理科の学習指導は過酷なものとなる。プロセスとしては8つだが、

その過程を成立させるための具体的な学習活動は、8つではないからである。

図1に、小学校で行われる理科の授業の問題解決のプロセスと、プロセスごとに必要となる学習活動の例を示した。実際の授業では、その時間の必要性や目的を確認したり、学習経験や生活経験を先行経験にしたりするための活動や、観察・実験の準備や片付けも含まれる。示した例では、問題解決の過程が8つのステップには見えないが、それは1単位時間の具体的な学習活動の構成が分かりやすいよう表しているためである。両端の活動を除く5つの活動のかたまりで基本的な授業を構成し、扱う内容によっては7つの活動のかたまりで実施することが望ましいと考えている。ただし、1単位時間で具体的に示した学習活動の全てを行うことは現実的ではない。児童の実態や学習の展開上、その1単位時間で児童に任せるべき活動を選択し、その他の活動については時間をかけないようにする。児童にとって分かりやすい問題解決が行われるようにするにはどの活動も大切であるが、活動に軽重をつけ、単元全体を通して最も効果的な場面で選択した活動に時間をかけるようにし、無理のない1単位時間を構成することを優先したい。1単位時間の過酷さが軽減され

ない限り、問題解決の過程を形だけなぞることに終始することになる。

また、問題解決の中核とされる観察・実験であっても、所要時間が30分を超えるようでは、1単位時間の授業として活動が構成できなくなる。よいとされている観察・実験でも、その内容や方法が1単位時間の活動としては適していない。問題解決の過程を重視するのであれば、15分～20分程度で観察・実験が可能になるよう素材や観察・実験の方法そのものを見直す必要がある。

教科書に掲載されている観察・実験でも、児童の観察・実験の結果からでは結論を導くことがむずかしい「問題」が設定されていたり、観察・実験の方法が児童の操作技能に合っていなかったりするものがある。そのため、教科書通りに授業を行おうとすると、多くの時間を費やしても、問題解決の過程を踏むための観察・実験を十分に行うことができず、必要な結果が得られなかったり、十分な結論を導くことができなかったりする。結果的に、児童が「学習する楽しさや学習する意義の実感等」を味わうことのできない授業となり、教員も理科に対してよい印象をもてなくなる。

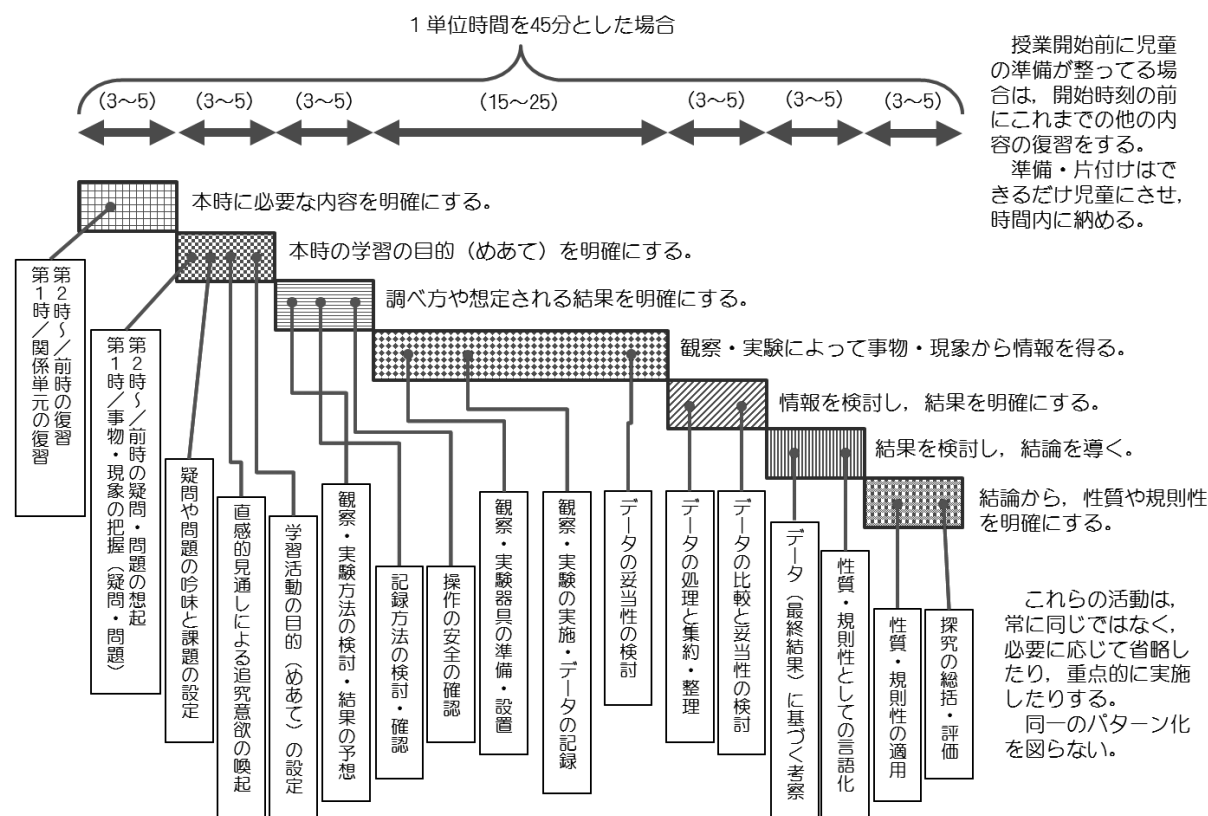


図1 小学校理科の授業場面における問題解決の過程と学習活動

Ⅲ 観察・実験を支援する教材と活動構成の工夫

本稿では、小学校第4学年の「水の三態変化」を例に、問題解決の中核とされる観察・実験を実施する上での主な課題を取り上げ、学習指導に困難を伴う観察・実験を支援するための教材や活動を工夫し、授業改善の試みとして提案する。

まず、本単元の概要として、本単元にかかわる指導内容と指導要領解説の説明⁸⁾、教科書⁹⁾ ¹⁰⁾で扱われている主な観察・実験について示した上で、主な課題と観察・実験を支援するための教材や活動の工夫を述べる。

・「水の三態変化」の指導内容

(金属,) 水 (及び空気) を温めたり冷やしたりして、それらの変化の様子を調べ、(金属,) 水 (及び空気) の性質についての考えをもつことができるようにする。

ウ 水は、温度によって水蒸気や氷に変わることを。

また、水が氷になると体積が増えること。

※括弧は筆者による。金属及び空気は対象外

・指導要領解説の説明

水を熱していき、100℃近くになると沸騰した水の中から盛んに泡が出てくる。児童の中には、この泡を水の中から出てきた空気であるという見方や考え方をしているものがある。この泡を集めて冷やすと水になることから、この泡は空気ではなく水が変化したものであることに気付くようにする。このことから、見えない水蒸気の存在を温度の変化と関係付けてとらえるようにする。また、寒剤を使って水の温度を0℃まで下げると、水が凍って氷に変わることもとらえるようにする。さらに、水が氷になると体積が増えることもとらえるようにする。

これらのことから、水は温度によって液体、気体、または固体に状態が変化するというをとらえるようにする。

・教科書で扱われている主な観察・実験

- ①水を熱したときの水の様子と温度を調べる。
- ②水が沸騰したときに出てくる湯気や泡の正体を調べる。
- ③水を冷やしたときの水の様子と温度を調べる。

1. 水を熱したときの水の様子と温度を調べる上での主な課題と観察・実験を支援するための工夫

かつては、加熱器具としてアルコールランプを使用していたため、水が沸騰するまでに時間がかかり、加熱したときの水の様子を観察や水の温度の測定に

授業時間の大半を割かなければならず、測定した水の温度をグラフに表して水の様子や温度の変化について考察しようとする、1単位時間での実施は難しかった。しかし、近年、実験用ガスコンロが普及し、短時間で安全に水を沸騰するまで加熱することができるようになった。

ここでは、加熱を止めて、水の温度が下がり、ビーカーの内側に水滴がつく様子まで観察させておきたい。この事実を押さえておくことで、沸騰した水から出てくる湯気や泡の正体を調べるときに、児童が予想や仮説をもつ手がかりにすることができる。

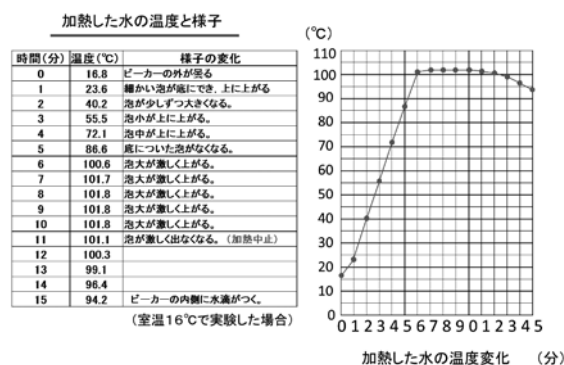


図2 水を加熱したときの様子と温度

もう一つの課題は、棒温度計を使って水の温度を測定した場合、沸騰する水の温度が100℃にならないことである。複数のグループで観察・実験を行う場合は、同じ温度になるように棒温度計を選別したりせず、測定した温度にある程度のバラツキが見られた方がよい。加熱した水の温度の上昇が同じ温度で止まると、その温度が水の沸騰する温度として結論付けられてしまう恐れがある。中学校での物質の状態変化の学習で混乱を招くことになる。

図2に示した水の温度変化は、デジタル温度計を用いてビーカーに入れた水の温度を測定したものである。用いた温度計では、100℃を超える結果となっている。しかし、100℃になると予想して測定した多くの児童にとっては、100℃に満たない温度よりも、水が沸騰し続ける温度を「およそ100℃」として受け入れやすくなるようである。

なお、ここでの観察・実験では図3に示すような器具を用いる。単元の導入でやかんの水が沸騰する様子に関心をもたせ、沸騰するまでの水の様子や温度に疑問をもたせて問題を設定した上で、水の温度を測定しながら、やかんでは見えない水の様子を観察できる道具として紹介するとよい。

厚手のアルミホイルケースを用いてしっかりビー

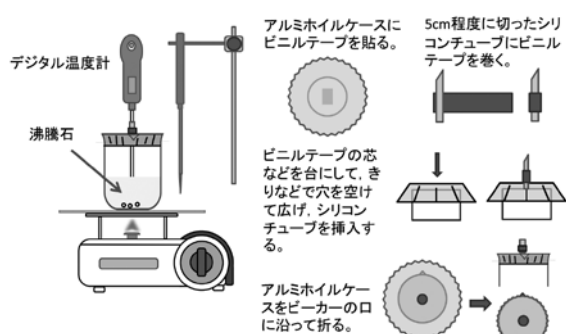


図3 水を熱したときの水の様子と温度を調べる

カーに固定できるようにし、中央にはやかんの注ぎ口に見立てたシリコンチューブを装着している。一度水を加熱して、中の水の様子を観察した後に、中央の穴からデジタル温度計を挿入し、水の温度を測定しながらもう一度水の様子を観察して記録させるとよい。シリコンチューブは、沸騰した水から出てくる湯気や泡の正体を調べる活動が無理なく行えるようにすることを考慮した手立てである。

2. 水が沸騰したときに出てくる湯気や泡の正体を調べる上での主な課題と観察・実験を支援するための工夫

水が沸騰したときに出てくる泡の正体を調べる観察・実験として、教科書ではピーカーに入れた水の中に沈めたガラスロートで泡を導き、袋に集めて様子を調べる方法が示されている。指導要領解説で説明された「泡を集めて冷やすと水になることから、この泡は空気ではなく水が変化したものであることに気付くようにする」に対応したものである。

この観察・実験を実施する際に、泡の正体を予想させると大半の児童が、空気であると答える。水の中では空気が泡になって見えることを知っている児童にとっては、当然の予想である。教科書やその他の指導資料^{11) 12)}では、「泡の正体は何か」という「問題」が設定されていることが多いが、空気ではないことを知らない児童にとっては「正体」を調べなければならない理由は理解しにくい。この観察・実験では、水が沸騰している間は袋が膨らみ、加熱するのを止めると袋がしぼんで袋の中に水が溜まっていることから、集めた泡の正体は空気ではなく水（水が目に見えない姿に変わったもの、水蒸気）であるという結論を導くように示されている。しかし、この結果からでは、加熱を止めて泡がでなくなったから、空気が出て行って袋がしぼんだと考えることもできる。また、指導要領解説で説明されているよう

に、集めた泡を冷やして水になることを確かめていないため、泡が空気ではなく水が変化したものであることに気付くことは難しいと考えられる。

このような課題を解決するために、次のような工夫を行った。

- ・水を熱したときの水の様子を観察したり、出てくる湯気の正体を調べたりするときに、加熱し続けるとピーカーの中の水が減っていくことやシリコンチューブから出てくる湯気が水滴であること、ピーカーの中やシリコンチューブの出口など水と湯気の間にも何も見えない部分があることを十分とらえさせておき、空気のように見える透明な部分にも見えなくなった水が存在しているのではないかという見通しがもてるようにしておくこと。
- ・袋を密閉できるようにし、空気と水から出てくる泡を集めて袋に閉じ込め、様子の違いを比較することができるようにすること。
- ・加熱して出てくる泡で膨らんだ状態の袋を冷やし、袋がしぼんだり、冷やした部分に水が液体として現れる様子を観察できるようにすること。

ここでは、実際の授業で用いるために工夫した教材と観察・実験の方法を紹介する。

教科書では袋をガラスロート、あるいは、ガラスロートにつないだストローに直接輪ゴムやセロハンテープで取り付けることになっているが、口の広がった袋を細いガラス管やストローに取り付けようとすると隙間ができて、水から出る泡や空気を集めたときに膨らまなかったりしぼんだりする。そのため、水から出る泡を閉じ込めたときに、空気もまれて袋がしぼんだと児童は考えやすい。そこで、図4に示すような袋を用いて観察・実験を行う。

チャック付きポリ袋の角に穴を開け、袋の途中ま

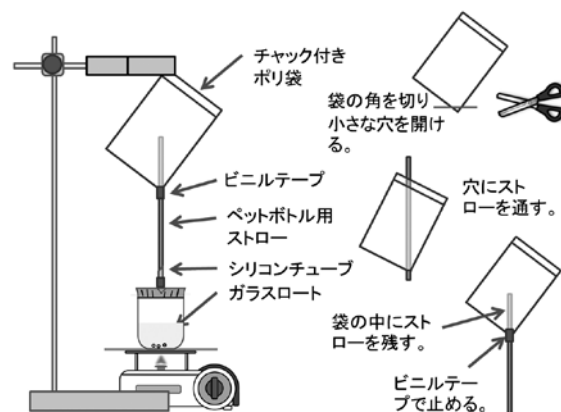


図4-1 水から出てくる泡を集める実験器具

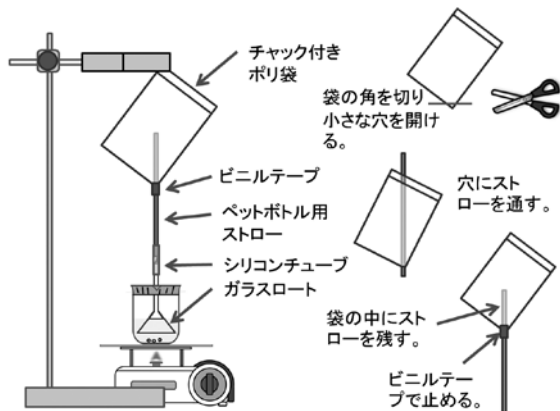


図4-2 水から出てくる泡を集める実験器具

でストローを差し込み、ビニルテープで固定したものを用いる。袋を取り付けた側と反対のストローの端を、アルミホイルケースまたはガラスロートに取り取り付けたシリコンチューブに差し込んで用いる。袋の角に差し込むことでストローとの間に隙間ができにくく、ストローを袋の中に残すことで泡を集めるときに袋が濡れても貼り付きにくくなるため、袋が膨らみやすい。

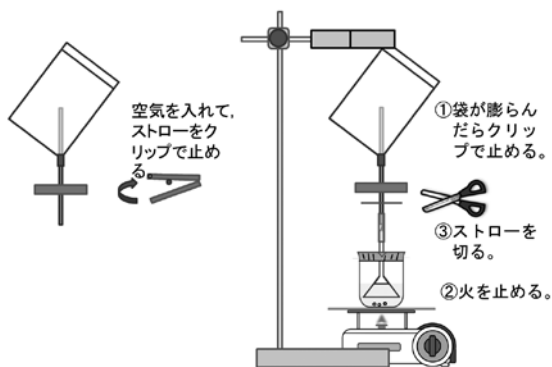


図5 泡を集めた袋を密閉し、空気と比較する。

袋に予め空気を入れ、市販されている米袋用のクリップでストローをはさみ密閉したものを用意しておき、加熱した水から出てくる泡で膨らんだ袋を同様に密閉して、両者の様子を比較させる。膨らんだままの空気に対して、泡を集めた袋はしぼんで袋の角に水が溜まっていることを観察できる。

この実験結果から導くことができる結論は、「水から出てくる泡は、空気のように見えるが、冷えると空気のように不再是水になるため、泡の正体は水である」ということになる。児童は「気体」や「液体」という言葉を知らないため、水の存在している状態を表そうとしても「空気」や「水」という表現しかできない。空気のような気体で存在している水を「水蒸気」と呼ぶことは、その存在を確認し



簡易な空気入力で空気をいれて、クリップで止める。



水を加熱すると袋は膨らむ。空気と同じようにクリップで止める。

図6 空気と水から出てくる泡を集めた袋

た後でなければ理解できない。予想の段階で出てくる泡が水であると考えた児童がほとんどいないのは、見た目は液体である水ではなく、気体として唯一存在を知っている空気だからで、それ以外表現のしようがないからだと考えたと納得できる。ただ、この結論からでは、温度によって水の状態が変化しているということは十分に理解できているとはいえない。気体の水蒸気を冷やすと液体の水になるという事実をとらえていないからである。そこで、本授業の問題解決の過程の最後に、水蒸気を集め続けている袋の側面に保冷剤を触れさせ、冷やした瞬間に袋がしぼんだり、冷やした袋の側面を水滴が流れる様子を演示して繰り返し観察させる学習活動(図7)を位置付け、水の状態が温度によって変化していることを印象付けるようにする。

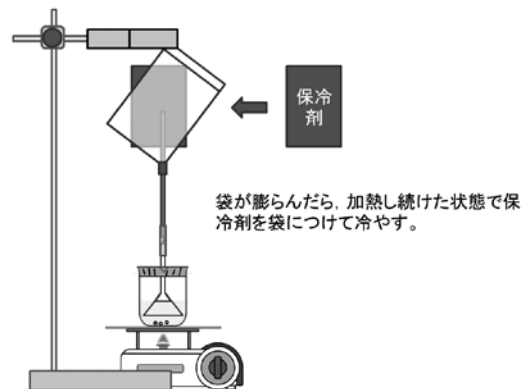


図7 膨らんだ袋を冷やす演示実験

3. 水を冷やしたときの水の様子と温度を調べる上での主な課題と観察・実験を支援するための工夫

水を冷やしたときの水の様子と温度を調べる観察・実験として、教科書では水を入れた試験管を、氷と食塩水を混ぜて入れたビーカーの中に立て、水の様子や温度を調べる方法が示されている。指導要

領解説で説明された「寒剤を使って水の温度を0℃まで下げると、水が凍って氷に変わることもとらえるようにする。さらに、水が氷になると体積が増えることもとらえるようにする。」に対応したものである。

水を冷やせば温度が下がることや、氷ができることがあること、0℃で水ができることなどは、多くの児童が知っている。ただ、これらは気象現象や冷蔵庫の中の出来事としてしか経験がないため、水を冷やして凍らせることについては、児童が興味をもちやすい。しかし、観察・実験の方法は単純だが、水が凍る様子を観察したり、水が凍るときの温度を測定しようとする、観察・実験の条件によって様々な問題が生じる。

まず、試験管の中の水の様子の変化が観察しにくいことである。試験管の上部から観察したのでは、水が凍り始めているのか、どれくらい凍っているのかを判断することは難しい。横から観察しようとしても、氷の入ったビーカーと水を入れた試験管越しに少量の水の様子を観察しなくてはならない。寒剤で冷やされたビーカーの側面には水滴や霜ができるため、更に中の様子は見にくくなる。教科書によると、ときどき試験管を軽くゆらして凍っているかどうかを判断するように示されているが、その程度では凍り始めた状態、水と氷が混ざった状態、全部が凍った状態を判断することはできない。

次に、水の温度の測定結果が、教科書に示されたようにならないことが多いことである。寒剤として用いる氷と食塩水の状態や量によって冷やす温度が変わり、凍らせようとする水の量などによって凍るまでに必要な時間が違ってくる。そのため、短時間で水が凍ってしまうと、水の温度がすぐに0℃以下に下がってしまうため、全部が氷になるまで0℃のまま水の温度は変わらないという結果が得られなくなる。そうならないように、冷やす温度を上げたり、水の量を増やしたりすると、水が完全に凍るまでに長時間を要したり、水が完全に凍ることなく実験を終えなければならなくなったりする場合もある。また、条件や操作の仕方によっては、試験管に入れた水の温度が0℃以下になっても、水が凍らない過冷却の状態になる場合もめずらしくない。複数のグループで観察・実験を行う中で、それらの状況が生じると、グループによって異なる状況を判断し、授業者はその対応に追われることになる。

さらに、教科書に示された方法で観察・実験して

いても、試験管や棒温度計が破損することがよくある。試験管の中に入れた水が均一に冷えるわけではないため、できる氷の体積の膨張の仕方によっては試験管の底や棒温度計の液だめが割れてしまう。試験管の水が凍る段階になって試験管や棒温度計が破損したとしても、最初から実験をやり直す時間的な余裕はない。

このような課題を解決するために、次のような工夫を行った。

- ・試験管の中の水が凍っているかどうかを判断しやすくするために、試験管をビーカーから取り出して水の様子を観察させること。
- ・ビーカーから出した試験管を観察するとき、試験管を振って水をよくかき混ぜるようにし、水の温度が均一になるようにしてから水の様子を観察や温度の測定をさせること。

これにより、試験管の中の水の状態が判断しにくい、過冷却の状態になる、試験管や棒温度計が破損しやすいという問題を緩和することができる。

- ・試験管の中に入れた水の温度をデジタル温度計で測定しようとする、センサー部分の長さが必要になる。そのため、試験管の水の温度の測定には棒温度計を用いる。工夫した方法では、試験管をビーカーから取り出したり、試験管を振ったりする必要があり、棒温度計が試験管の中で動いても壊れないように固定の仕方を工夫し、安全で容易に温度が測定できるようにすること。

ここでは、実際の授業で用いるために工夫した教材と観察・実験の方法を紹介する。

小学校は、内径18mmか16mmの試験管が使用されている場合が多い。ここでの実験・観察には、内径21mmの試験管を用いているため、これ以外の試験管を使用する場合は、試験管に入れて凍らせる水の量や試験管を冷やす温度を調整する必要がある。試験管がある程度太い方が、水を凍らせるための時間はかかるが、水の凍る様子は観察しやすい。

試験管に温度計を固定する方法としては、同じ学年で使用する多くの空気鉄砲のポリウレタン製の玉を用いる。

図8に示すように、試験管の内径より大きめの玉に穴を開け、その穴に棒温度計を通して試験管の中央になるようにし、高さを固定したり調整したりできるようにする。さらに、試験管を振っても棒温度計が試験管に当たることのないように、試験管の内径より小さめの玉に穴を開け、棒温度計を通して動

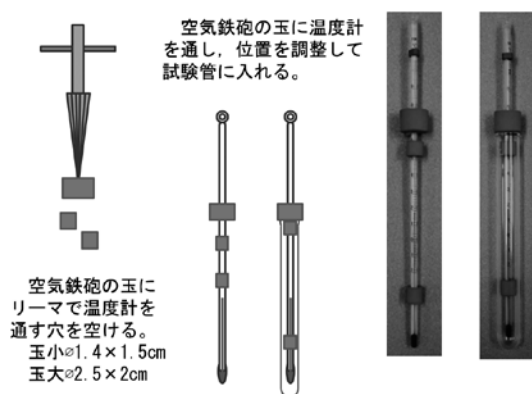


図8 棒温度計を固定した試験管

いてもよいようにする。使用する試験管に合わせて、測定範囲の目盛りが見えるようにしておく。この固定の方法だと、いつでも棒温度計を入れたり出したりすることができ、ビーカーから試験管を取り出した状態で温度を測定することもできる。また、棒温度計がある程度動くため、試験管を振ったときに中の水が混ざりやすい。

図9に示すように、水を入れた試験管を冷やすための氷は、よく冷やした水を袋に入れて木槌で叩き、細かく砕いたものを用いる。食塩と水を1対1の体積で混ぜて、溶け残りのある食塩水をつくり、氷にかける。かき混ぜて、 -10°C を少し下回る程度の温度になればよい。なお、時間が経過するにつれて氷の温度は高くなるため、ビーカーの中の食塩を混ぜた氷水の温度をデジタル温度計で測定しておく。 -8°C より高くなるようなら、試験管を出して観察している間に、氷水をガラス棒等でかき回し、溶け残った食塩と氷が混ざるようにするとよい。通常なら途中で水や食塩を追加する必要はほとんどない。

具体的な観察・実験の方法を図10に示す。試験管に入れて冷やす水は、事前に 30°C 程度に温めておく



図9 試験管を冷やす氷と食塩水の準備

ようにする。低い水温から冷却を始めると、少量の水の場合すぐに 0°C になってしまうため、「凍り始めるまでは水の温度が下がり、凍り始めると水の温度が変わらなくなる」という事実がとらえにくくなる。

教科書では、冷却し続けながら水の温度を1～2分ごとに測定するようになっているが、冷却しているビーカーから試験管を取り出すようにした今回の方法では、次のように操作を行う。

- ① 水を入れたビーカーの中に試験管を入れて、1分間冷却する。
- ② 時計を止めて、試験管を取り出す。
- ③ 試験管をよく振って、水の様子を観察したり水の温度を測定したりする。
- ④ 水の様子や温度を記録したら試験管を元のビーカーに戻し、時計を動かす。

①から④の操作を凍った水の温度が、ビーカーの氷水の温度に近づくまで繰り返すようにする。水を冷却する時間は合わせて15分弱だが、1分間冷却するたびに試験管を取り出すため、観察や測定を行う時間を合わせると活動時間は20分程度を要する。教科書で本授業の実施が計画されている時期であれば、試験管を外に出している時間ぐらいでは、水の温度変化に大きな影響がでることはない。むしろ、観察や測定をする度に試験管を振って水の温度が均一になるようにしているため、水を効率的に冷やすことができる。

図11に、この方法で水を冷却したときの水の様子を観察した結果と、測定した水の温度を示す。水を冷却する前は 30°C だった水が -10°C になるのに、冷却だけの時間で合計13分かかっている。冷却をはじめて2分後から8分後にかけて、水温 -0.5°C が続き、水の温度が変わらなくなっている。温度が変化

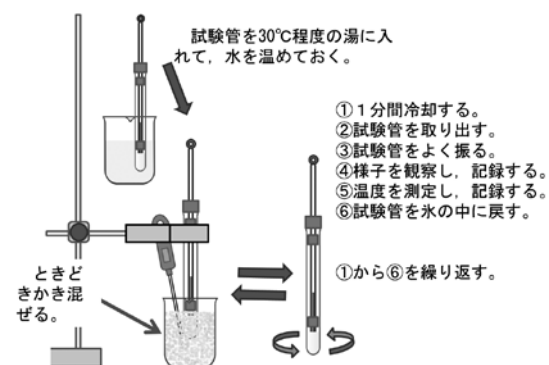


図10 水を冷やしたときの水の様子と温度を調べる

している時間と温度が変化していない時間の違いを判断しやすい。水を加熱したときの水の様子や温度を調べたときに、「水を加熱し続けても、水の温度はおよそ100℃で上昇しなくなった」と結果をまとめることができていれば、グループによって多少温度が違ったとしても、「水が凍るときの温度はおおよそ0℃である」と結果をまとめることができる。図11に示した観察では、冷却を始めて4分後に水が凍り始め、10分後に全部が凍っていると判断できるものであった。冷却してから2～3分後は取り出した時に試験管の壁に沿って薄く氷が張っていたが、試験管を振って中の水をかき混ぜると、その氷は溶けて見えなくなった。そのため、氷が凍り始めたとは判断していない。試験管を振らなければ、試験管の壁に触れている氷とそうでない氷とでは、温度に差があることが分かる。教科書に示された方法では、温度計のある中央部分の温度が0℃になっていなくても、氷が確認できる場合もあるだろう。

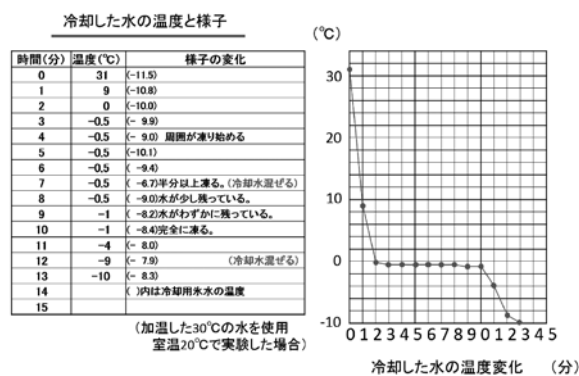


図11 水を冷却したときの様子と温度

Ⅳ 授業等による検証と授業改善の手がかり

本稿で提案した観察・実験を支援する主な教材や活動について、授業者や研修会への参加者から指摘された利点と問題点及び学習指導実施上の印象をまとめると、次のようになる。

＜水が沸騰したときに出てくる湯気や泡の正体を調べる観察・実験＞

○教科書に示された問題解決の過程を大きく変更することなく観察・実験を行うことができ、操作や時間的な負担を軽減することができる。

△ガスコンロを用いる場合は、加熱によって袋が変形しないように、袋とガスコンロの距離や位置関係を工夫する必要がある（学校現場で袋を固定する鉄製スタンドには、袋とガスコンロの距離を十分に確保できないものがあるため）。

○従来の方法より沸騰する水から出てくる泡で袋が膨らみやすく、水蒸気が気体であることを確認しやすい。

○市販されているクリップでストローをはさむことによって袋を密閉させることができるため、空気と水蒸気の体積変化を比較しやすい（シリコンチューブやゴム管をピンチコックではさんでも密閉されにくい）。

△空気と沸騰する水から出てくる泡を集めた袋を鉄製スタンドに同じように固定すると、児童にとっては両者を比較しやすくなる（実際の授業ではそのように工夫されていた）。

△沸騰する泡を集めた袋が縮んで中に水が溜まったとしても、この時点では泡の正体が水であると納得している児童は少ない（空気とは違うことから、消去法で空気でなければ水であるという結論になる）。

○演示により、加熱して出てくる泡で膨らんだ状態の袋を冷やし、袋がしぼんだり、冷やした部分に水が液体として現れる様子を観察させることにより、気体の水蒸気が温度によって液体の水に姿を変えていることを、児童も教師も説明しやすくなる。

△授業の最後に演示を行うためには、全体の時間配分を工夫し、1単位時間の中に演示を行うための時間を確保する必要がある。

授業者からは、袋が膨らまない、集めた泡が漏れて袋がしぼんだという児童の考えを否定できないなどの指導上の困難さを改善することができるという評価を得た。加熱して出てくる泡で膨らんだ状態の袋を冷やし、袋がしぼんだり、冷やした部分に水が液体として現れる様子を演示によって観察させたことについては、授業を参観した教師からも「水蒸気への理解を確かにする効果的な活動である。今後、観察・実験等の時間を短縮し、見だした性質や規則性を他の方法で確かめたり、他のものに適用したりして、見方や考え方を確かにする活動を検討してみたい」という意見が出された。

＜水を冷やしたときの水の様子と温度を調べる観察・実験＞

○操作が複雑で観察・実験に時間がかかると思ったが、結果的に設定した時間で活動を終えることができる。

○氷が凍らなかつたり、0℃付近で温度が一定にならなかつたりすることなく、温度変化については、

グラフに表すことで教科書に例示されたような結果が得られる。

△試験管をピーカーから出して観察すると氷の様子が観察しやすくなるが、水が凍り始めたことや完全に凍ったことを児童が判断することは難しい。

○水が凍っても試験管や棒温度計が破損することが少ない。

△学校現場で使用されている内径18mmの試験管を用いた場合、試験管が破損する場合がある。

研修会への参加者からは、観察・実験に必要な時間が見込みやすい、温度変化をグラフに表したときに実験者による違いが小さい、試験管や棒温度計の破損が少ないなど、従来の指導上の困難さを改善することができるという評価を得た。また、他の緩衝材として身近な素材を使用することができ、特別なものを使わなくても活動を工夫して授業を改善することができる。試験管など学校にある通常の器具で授業を行えるよう試行してみたいといった意見が出された。

V おわりに

教科書に示された観察・実験であっても、児童にとっては内容や方法が難しいものもある。従来のものを大きく変更することなく、それらを支援する教材や活動を工夫し、操作を容易にしたり、明確な結果が得られるようにしたりすることで、児童の問題解決を楽しく充実したものにすることが可能になれば、結果として教師の学習指導に対する負担感を軽減することができる。問題解決の過程を検討することは前提としても、教育現場で避けて通ることができないと考えられている観察・実験の問題点を解決していくことも重要であると考え。観察・実験などの学習指導に対する知識や技能は、授業者が自ら獲得していくしかない。本稿で提案した教材や活動の工夫は、そのままでは役立つ場面も限られている。指導に携わる先生方が問題意識をもち、指導力を向上させたいという気持ちを高めるきっかけとして役立てば幸いである。

謝辞

本稿の執筆に当たっては、研修会として授業を公開していただいた先生方や、岡山CST養成プログラムで教材研究を一緒にを行い、授業実践をしてくださった先生方から、貴重な報告や指摘をいただいた。一つの教材や学習活動について、実践を通して多様な角度から検討をしていただくことによって、教育現場に役立つ授業改善への手がかりが得られるものと考えている。心より御礼を申し上げたい。

参考文献

- 1) 中央教育審議会 初等中等教育分科会 教育課程部会 教育課程企画特別部会「教育課程企画特別部会における論点整理について（報告）」、2015年
- 2) 文部科学省「小学校学習指導要領解説理科編」大日本図書、2008年、p11
- 3) 上掲書2), pp.8-9
- 4) 村山哲也「教育の羅針盤3『自分事の問題解決』をめざす理科授業」図書文化社、2013年、pp13-18
- 5) 文部科学省「小学校理科の観察、実験の手引」、2011年、p15
- 6) (独) 科学技術振興機構 理数学習支援センター「平成22年度小学校理科教育実態調査報告書」、2012年
- 7) 上掲書2), p.21
- 8) 上掲書2), p.41-42
- 9) 毛利 衛・黒田玲子他「新編 新しい理科4年」東京書籍、2015年、pp.108-123
- 10) 石浦章一・鎌田正裕他「わくわく 理科4年」啓林館、2015年、pp.144-159
- 11) 上掲書5), p.74
- 12) 角屋重樹他「小学校理科 これでバッチリ観察・実験の指導」文溪堂、2012年、p.67

Challenges in Teaching Elementary School Science : Designing Teaching Materials and Activities Supporting Children's Observation and Experiment

Keywords: elementary school science, observation and experiment, instructional improvement, development of teaching materials, structure of activities

Mitsuhiro YAMASAKI (Center for Teacher Education and Development, Okayama University)
