

理科実験において予想をもつことの意義について†

—小学校第4学年の「空気のかさと温度」の授業を例として—

山岡 剛*

秋田大学教育文化学部

小学校第4学年を対象に、空気の温度と体積の関係をテーマとした授業をおこなった。実験観察の課題と結果についての解説とを記載したプリントを用意し、それに沿って授業を進めた。課題は、結果の予想を選択肢によって選ばせる質問の形で提示した。

この学校で用いられている教科書では、フラスコの口にはめた発泡ポリエチレンの栓をフラスコを温めることにより飛び出させる実験を、学習の導入として児童におこなわせているが、今回の授業では、この実験を学習のまとめとして位置づけた。また、教科書にはない、水の上に伏せたフラスコの中に閉じ込められた空気の膨張と収縮を観察する作業を取り入れた。

児童の授業における取り組み状況、選択肢の回答分布および、授業後の児童の感想文から、今回の授業内容が、児童の興味と集中を高め、学習内容の理解に導く上で有効であったことが示された。

キーワード：理科教育、実験結果の予想、選択肢による予想、空気の熱膨張

筆者は平成18年度学校・大学パートナーシップ事業の一環として、秋田市内の公立小学校において出前授業をおこなった。第4学年を対象とした、空気の熱膨張についての2時限続きの授業であった。

授業に先立って当該の小学校で用いられている教科書の記述¹⁾を改めて検討したところ、そこに提示されている授業展開には、児童に学習内容を納得させ理解させる観点からいくつかの疑問点が認められた。そこで、教科書で取り上げられている実験観察を取捨し、さらに新たなものを加えつつ、子どもたちに興味と達成感をもってもらうことをめざして授業展開を構想した。その構想と実施した授業につい

て以下に報告し、若干の考察を加える。

1. 教科書が提示する授業展開に対する疑問と、今回構想した授業展開

1.1 教科書における「空気のとかさ」の取り扱い

教科書の該当部分¹⁾の記述では、まずはじめに、以下の①～③の作業を児童が行うことになっている。①丸底フラスコの口にフォームポリエチレンの栓をはめ、フラスコを湯で温めて栓を飛び出させる。②少し押しつぶした状態のマヨネーズの空容器に蓋をし、湯で温めて膨らませる。③試験管の口に石鹼液の膜を張り、その試験管を手で温めると、口の向き(上・下・横など)にかかわらず膜が試験管の外に向かって膨れることを観察する。以上三つの作業の後で、その結果について児童に考察させる。そこでは、「①で栓が飛んだのは空気が温められて上昇したためかもしれない」といったん考えさせ、次に、それを②と③(特に③)の結果から再考えせようとする記述がある。その上で、「空気は、あたためら

2008年1月22日受理

† On the Significance for Children of Possessing their own Anticipation of Experimental Results in Science Lessons—In a Case of Lessons where the Fourth-Grader Children Studied about Relationship between Temperature and Volume of Air

* Tsuyoshi YAMAOKA, Faculty of Education and Human Studies, Akita University, Akita

れると、かさが大きくなるのだろうか。」という問題を提示し、空の試験管の口に長いガラス管を通したゴム栓をはめた装置、あるいは注射器を用いて、温度による空気の膨張・収縮を確かめさせる。最後に、へこんでしまったピンポン玉を元に戻す方法を考えさせ、湯に浸せばよいことに気づかせる。

以上が、温度変化による空気の膨張・収縮について、この教科書が提示する授業展開である。

1.2 教科書の記述内容に対する考察

教科書の上記の記述内容について、筆者がいだいた疑問と加えた考察を以下に示す。

1) 上記の作業①は、子どもたちに特に喜ばれ、時に彼らを楽しませるものである。これを含めた三つの作業を授業の冒頭で続けざまにおこなわせ、それらの結果から何が言えるかを考察させるという展開にすると、①での盛り上がりした後で、授業が尻すぼみになってしまわないか。

2) 教科書において上記③の作業は、「作業①において栓が飛んだのは、温められた空気が上昇したためである」という見解を児童に否定させる目的で設定されていると思われるのだが、その論理の運びには無理がある。温め方(湯と掌)も温度(約70℃と体温)も動くものや動き方(栓が勢いよく発射されるのと石鹼水の膜が膨らむのと)も異なる二つの事象が同一の原因によるのだということ自体、初学者にとって自明のこととは決して言えない。上記の見解を否定させたいのであれば、③の作業を持ち出すよりも、まずは①と同様のことを、フラスコの首を横や下に向けて試みさせるべきであろう。

そもそも空気の熱膨張を認識するためには、空気の体積(かさ)を明瞭に意識していることが前提となる。したがって初学者には、空気が体積をもつことと、温度が上がると空気が膨張することを、なるべく同様の道具立てを用いて経験させるのが望ましい。その観点から見ると、児童に強い印象を与える作業①において児童の意識を空気のかさへと向けさせる手立てが、教科書が示す授業展開には欠けている。

3) 温められ膨張した空気が上昇することは、同じ学年の後の方で学ぶことになっている内容である(当該教科書の58~59ページ)。ここで、2)に示す見解をわざわざ提示したうえで否定させるのでは、

児童は、空気は温められれば上昇すると考えること自体を誤りだと受け取り、以後の学習において混乱に陥るおそれがある²⁾。

4) 冒頭の三つの作業はいずれも、それをおこなう児童にとって目的が明確になっていない。すなわち、結果についての予想を伴って作業するのではなく、とりあえず教科書どおりの操作をいくつかおこなった後で、教科書の誘導に従って結果を考察することになっている。しかもその誘導には、空気の体積(かさ)の変化に着目すべしという最も基本的な視点が抜け落ちている(かろうじて、単元の標題が「もののかさと温度」になってはいるが)。いったん考察させた後になってはじめて、「空気は、あたためられると、かさが大きくなるのだろうか。」という問題提起がなされるのだが、「かさの変化」という視点をこの段階まで持ち出さないまま、児童に作業と考察を課す理由がどこにあるだろうか。「栓が飛ぶのは、温められた空気が上昇することによるのではないのだよ」と強調したいがためにこのような展開を採用したのかと思えてくるが、そもそもここでこうした見解をことさら意識させ、そのうえで否定させる必要があるだろうか。そうせずに、「空気は、温められて温度が上がるとかさが大きくなる」ことを児童が納得できるように授業を進めるなら、上記3)で懸念した混乱は回避される。

教科書のこの部分で提示されている授業展開は、なぜか余計なことにこだわった結果、児童を無用の混乱に導くおそれのあるものになっていると筆者は考える³⁾。

5) 教科書には、温度変化による空気の膨張・収縮を注射器を用いて確かめる方法が載せてあるが、児童にも安全に扱うことができる60℃程度の湯や氷水を用いたのでは、注射器のピストンの動きはわずかで、温度変化による空気の膨張や収縮を印象づけるのは難しい⁴⁾。

1.3 今回の授業の構想

以上の考察にもとづいて、出前授業の展開を以下のように設定した。

A 300ml 丸底フラスコを逆さにして口を水槽の水に押し込み、水がほとんど入ってこないことを観察させて、空気がかさをもつことを意識させる⁴⁾。フラスコの口のところの水面の位置を確認し易く

するため、魚釣用の浮き（直径10mmのしもり用浮き）を用いる。この実験は、児童4人（一部5人）の班ごとにおこなわせる。

- B 上記Aのフラスコに湯を注ぎかけ、口から空気があふれ出てくるのを観察させる。これは教師による演示とし、湯は約50℃のものと約70℃のものを用いる。まず50℃の湯を注ぎかけ、十分に温まって泡が出終わってから70℃の湯を注ぎかけるとさらに泡が出ることを示す。ここで、空気は温度が上がるとかさが大きくなることを説明する。また、かさが大きくなることを「ふくらむ」あるいは「ぼうちょうする」と言い表すことを教える⁵⁾。
- C 上記Bで泡を出し終えたフラスコに水を注ぎかけると、水槽の水がフラスコ内に入ってくることを観察させる。これも教師による演示とし、空気は温度が下がるとかさが小さくなることを説明し、かさが小さくなることを「ちぢむ」あるいは「しゅうしゅくする」と言い表すことを教える⁵⁾。なお、Bの実験後の説明とCについての発問の間に、フラスコが冷めて内部に水が入ってくるであろうが、その際は、再度湯を注ぎかけて、空気をフラスコいっぱいになるよう膨張させてから、水をかけることにする。
- D 300ml丸底フラスコに80mlの水を入れた状態で逆さにし、口を水槽の水に入れて、フラスコ内の水面の位置にマジックインクで印を付けておく。このフラスコに約50℃の湯を注ぎかけるとフラスコ内の水位が下がることを確認させる。次いで、湯をかけるのを止めると水位が上がり、水をかけて冷やすと上昇が早まることを観察させる。次に湯をかけて水位を再び下降させる。これを何度かくり返させたのち、最後にフラスコに水を注ぎかけて十分に冷まし、水位が結局は元に戻ることを確かめさせる。班単位で児童におこなわせ、水位の上下運動が空気の収縮と膨張を意味することを意識するよう随時促す。
- なお、AおよびDの作業をスムーズに進めるため、スタンド用の掴み具を予めフラスコに取り付けておき、児童には、掴み具をスタンドに固定する操作だけをおこなわせる。また、フラスコに水の入った状態で水槽の水に伏せるには、フラスコの口を手でふさいで水を入れることを説明し、演示する。
- E 上記Aのようにセットしたフラスコに氷水を注

ぎかけると水が入ってくることを観察させ、空気が冷えると収縮することをさらに印象づける。これは教師による演示とする。

- F 長さ80cm、内径4mmのガラス管を通したゴム栓を内径17mm長さ180mmの試験管の口にはめた装置を用い、試験管を湯で温めたり氷水で冷やしたりすると中の空気が膨張・収縮することを確認させる。これも教師による演示とする⁶⁾。
- G フラスコの口に、対象学級の以前の授業で空気銃砲に用いた玉をはめ、1lピーカーに入れた約70℃の湯にフラスコを浸してその玉を飛ばす。班単位の児童実験としてくり返しおこなわせ、玉を飛ばしたフラスコを再度用いるにはいったん冷やす必要があることに気づかせる。なお、班によってはなかなか気づかないこともありうるが、その場合はあっさり教えることにする。
- H 上記Gの結果を題材に、温度による空気の膨張・収縮のまとめをおこなう。
- I 最後に、空気の1億倍分子模型（体積 $1m^3$ ）を見せながら、温度による空気の膨張・収縮と窒素や酸素の分子運動についての説明文を読ませる。

2. 授業の実際とそれに対する考察

第4学年の三つの学級それぞれに対して、2時間続き90分の授業をおこなった

児童に対する発問や観察課題、解説などを記したプリント（A5版9ページ）を用意し、希望者の中から順次指名して読み上げてもらいながら授業を進めた。用いたプリントを本稿の最後に掲載する。

授業プリントでは、児童に提示する課題を**問題**と**観察**の二つに区分した。**問題**は、ある操作によってどんな結果が得られるのかを児童に予想してもらい、その後で実地に確かめるというものである。これに対して、操作の結果がプリントに明示されていて、それを確認するためにおこなうという扱いのものを、ここでは**観察**と名づけた。

問題の提示に当たっては、予想の選択肢を用意してその中から選んでもらうようにした。これは予想の視点を明確にするために仮説実験授業の授業書に做った手法である。**問題**の予想選択肢に対する選択者数はその都度黒板に書き示した。その数値を別途メモしておくつもりでいたが、筆者が小学生に対する授業に不慣れで余裕がなく、必ずしもすべての数値を記録することはできなかった。

授業後1週間ほどして学校から、授業を受けた児童84名のうち83名分の感想文が送られてきた。その内容は、おこなった授業について考察するうえで参考になるものを含んでいた。これらの感想文はまた、授業の際に筆者が感じた、子どもたちが当初の想像よりもはるかにしっかりとものを考え、それを表現するものだと感を得るものだった。今回、授業をこのように報告することにしたきっかけも、この感想文を読んだことにあった。

以下に、授業プリントに沿った授業の進行の様子を、それぞれの部分にかかわる児童の感想文の記述を交えて記し、考察を加える。なお児童の感想文は、脱字等が考えられるものもそのまま書き写した。

2.1 問題1について

問題1は、1.3のAの観察についてのものである。児童の予想を集計すると、フラスコに水が入ってくるだろうと答えた者が3学級全体で30名、入ってこないだろうと答えた者が54であった。また、感想文においてこの問題に言及した者が10名いた。文の例を以下に示す。

「フラスコをさかさにして口を水に押しこんだら水はフラスコにほとんど入ってこなかったのでびっくりしました。」

「…なんで水が入らないのかふしぎでした。」

「ほかに球が中に入らないのは空気があるからとかいろいろわからないことが今日初めてわかりました。」

「問題1のフラスコをさかさにして、口を水の中に押しこむと水がフラスコの中に、入って、こないということを初めて知りました。フラスコに水が入って、こないのは、空気が、入っているからというせつ明が、よく分かりました」

授業を受けた子どもたちが空気の体積を明確に意識していたとは必ずしも言えないこと、それを意識させる上でこの問題とその実験結果に対する説明が有効であることを、予想分布とこれらの感想文から窺うことができる。

2.2 問題2について

問題2は、1.3のBの実験についてのものである。予想分布は、フラスコから空気があふれ出るだろう

と答えた者が25名、フラスコに水が入るだろうと答えた者が28名、目立った変化はないだろうと答えた者が5名であった（最後に授業をおこなった学級の回答分布をメモし忘れたため、2学級分の結果となっている）。

感想文で問題2に言及した者が8名あった。文例を挙げると、

「…フラスコをさかさにして上からお湯をそそぐとフラスコに入っていた空気のかさが大きくなって空気がフラスコの中に入りきれなくなったのがすごかったです。」

「…水にフラスコをさかさに入れてお湯をかけるとあわが出たり水をかけると水がはいってきてすごくふしぎでした。」

「実験で一番おもしろかったのは、空気が入ったフラスコに熱湯をかけたり氷水をかけたりしてあふれたり、中に水が入ったりした所です。ぼくは熱湯をかけただけなのに、空気があふれだしてきてなぜそうなるんだろうと思いました。」

「実験では冷えているフラスコにお湯をかけるとさかさにしているフラスコの口から空気が出ることはびっくりしました。空気が大きくなるとこういうことがおきるからだ初めて知りました。」

などである。温度による空気の膨張・収縮についての学習の第一歩として、この観察が児童の興味を惹く適切なものであることは、こうした感想文によっても支持されると考える。

また予想分布を見ても、この観察の結果が多くの児童にとって分かりきったものでないことは明らかである。「フラスコを湯で温めると水が入ってくるだろう」という選択肢は、「空気があふれ出るだろう」という選択肢と対をなすものとして、ほとんど形だけのつもりで設定したのであり、案に相違してこのように多くの子どもがそれを選んだ理由が、筆者には理解できないでいた。本稿をまとめてようやく思い至ったのは、空気は温まると上昇するという観念が子どもたちかなり行き渡っていて、そのために、フラスコを温めると中の空気が上に行き、その分水が入ってくると答えた者が、このように大勢いたのではないかということである⁷⁾。この内容は、上記1.2の3)で述べたように、少し後で改めて学ばずのものであり、ここで中途半端に取り上げ

るべきではないと筆者は考える。ただし、この観念を多くの子どもがもっているのであれば、空気の熱膨張という学習内容をさらに印象づけるために、問題を追加することが考えられる。そのことについては本文1.2の2)および註7)で言及した。なお、この予想分布について大学院の授業で話題にした際に、院生から、水がフラスコに入ってくると予想した児童はもっと単純に、フラスコに湯を注ぎかけることによって増えた水槽の水がフラスコに入ってくると考えたのではないかとの指摘を受けた。あるいはそれが正しいのかもしれない。

今回の授業では、子どもたちの意見発表や討論の場をほとんど設けなかったために、筆者のこれらの想像が当たっているか否かを検証するための材料がない。時間の制約があったにせよ、予想の選択肢を選ばせた後で、子どもたちが意見発表するなんらかの場を設けるべきであった。

2.3 問題3について

問題3は、**問題2**で泡が出終えたフラスコに水を注ぎかけて冷やすと、フラスコに水が入ってくるか否かを問うものである。二回目の授業の際の回答分布をメモし忘れたため、はじめと終わりの学級の分布を合わせたものを示すと、水が入ってくるだろうと答えた者35名、目立った変化はないだろうと答えた者20名、その他の考え2名であった(その他の考えの内の少なくとも1名分は、フラスコの内面が結露によって曇るというものであった)。**問題2**の実験の終わりの方ですでに、フラスコが冷めて水が入り始めるため、この**問題3**は、事前に正解が半ば分かってしまうものだったかもしれない。

2.4 観察1について

問題3についての説明を読ませた後、1.3のDで述べた内容を**観察1**としておこなわせた。これまでの**問題**に関する実験で経験済みのことがらではあるが、子どもたちはフラスコに湯と水を交互に注ぎかけ、フラスコの首の部分の水がくり返し上下する様子を、「エレベーターみたいだ」などと言いながら熱心に観察していた。**観察1**に必ずしも限定されるわけではないが、感想文において、水に伏せたフラスコの中の水が上がり下がりする現象に言及した者が28名いた。文の例を次に示す。

「特に、水がふえたりへったりすることがなるほど、と思いました。空気がぼうちょうしたりしゅうしゅうしたりすることが分かったからです。」

「わたしは、実験の中で、フラスコの空気が冷えてちぢんだり、温まってふくらんだりして、水がフラスコに入ったり出たりするのが特に不思議で、好きです。」

「とくに楽しかったのは、フラスコに水を入れて、水にさかさに入れた実験がとてもおもしろかったです。」

「くうきのおんどで水のかさかわるのがびっくりしました。」

「水がふえたりへったりしたのでびっくりしました。」

はじめの二つの引用は、この観察を設定した意図をきちんと述べた模範的ともいえるものであるが、後の二つのような、フラスコ内の水の量に注目しただけの記述の方がむしろ多かった。

各出版社の現行の小学校理科教科書の内には、逆さにしたフラスコあるいはペットボトルの口を水中に入れ、それらの容器を温めると中の空気があふれ出るという観察を載せているものがある⁸⁾が、**観察1**のような装置の記述は見当たらない⁹⁾。この装置を用いる観察は、上記の感想文からも、子どもたちの興味を喚起することが期待できる。適切な指導と組み合わせることにより、温度による空気の膨張・収縮についての認識を深めることができよう。

先にも述べたように、この観察をおこなわせる際には、水の上がり下がりかフラスコ内の空気の収縮と膨張を示すのだということを意識させるよう心がけたが、それがどこまで有効であったかは定かでない。それを評価するには、自由記述による感想文ではなく、質問紙などによる調査が必要である。

2.5 問題4について

この**問題**は、1.3のEにあるようにフラスコに氷水を注ぎかけたとき、水がフラスコに入ってくるか否かを問うものである。空気のかさが小さくなって水がフラスコに入ってくるだろうと予想した者72名に対して、空気のかさが目立って変わることはないだろうと予想したものは12名と少数であり、特に最初の学級では27名対1名であった。しかしそれでも、実際に水がフラスコの首の中を昇り始めると、「おー」と声を上げる者もあり、皆が集中して観察していた。

2.6 観察2について

この内容は1.3のFに述べた通りである。具体的な操作としてはまず、立てたガラス管の先を水に浸け、管の反対の端を指で塞いで水から取り出す。子どもたちの中には、管の先に水が入ったままの様子を見て、同じようなことをストローでやった経験があると話者もいた。次いでガラス管を横にしてから塞いでいた指を離し、管をわずかに傾けて中の水を適当な位置に移す。片方の端を再度指で塞ぎ、その状態でゴム栓を試験管の口にはめると装置が完成する。ガラス管の、水の下端部の位置にビニルテープなどで印を付けてから、試験管を湯に浸したり氷水に浸したりして、空気の膨張・収縮の指標となる水の上がり下がりを見るのである。観察1の場合と同様、水の動きが試験管内部の空気の膨張・収縮を意味するのだということ意識するよう促した。

感想文の中で、フラスコを用いた空気の膨張・収縮の観察に言及した者が28名いた一方で、試験管を用いたこの観察2について言及した者はいなかった。子どもたちは、筆者による観察2の演示を、ときに声を上げながら熱心に見ていたが、感想文に見られる結果から考えると、この観察2は彼らにとって、フラスコを用いた一連の実験観察の補助という位置づけだったのかもしれない。

2.7 問題5について

これは1.3のGに示した実験に関わる問題である。結果に対する予想の分布であるが、最初の学級についてはメモし忘れたため、残る二つの学級について示すと、栓が勢いよく飛び出すだろうと答えた者と、栓はフラスコの口から出るが飛び出すほどの勢いはないだろうと答えた者、それに、栓はフラスコの口から吸い込まれるだろうと答えた者の数は、二番目の授業の学級ではそれぞれ15名、10名、1名であり、最後の学級では27名、0名、1名であった。ただし、ほぼ全員が栓は飛び出すだろうと回答した後の方の学級でも、栓がポンと音を立てて実際に飛び出すと子どもたちは驚き、すっかり夢中になってくり返し試みていた。感想文の中でこの実験が楽しかった、びっくりしたなどと言及した者は、83名中34名に上った。

この実験をくり返しおこなうには、玉を詰める前にフラスコをいったん冷やす必要がある。すなわちこの実験は、空気が温度によって膨張・収縮すると

いう学習テーマのまとめとして位置付けることができるものである。今回、教科書での扱いとは異なってこの実験を最後に持ってきた理由の一端がここにある。実際授業では、そのあたりの内容を口頭で説明して終わったのであるが、後で考えると、総まとめとも言えるこの内容こそ、プリントに記して読んでもらうべきであった。そこで、本稿の終わりに掲げた授業用プリントの末尾に、その内容を記したものを載せた。すなわちそれは、児童に配布したプリントの6ページの次に来るはずのものである。

2.8 温度による空気の体積の変化と分子運動の関係の説明について

1.3のIに内容を記したこの部分は、子どもたちにとって難解な面があったと思われるが、その一方で興味を感じてもらえたようである。感想文では11名がこの内容に言及しており、それとは別に、感想文の欄外に分子模型の絵を描いていた者が3名いた。感想文の例を挙げると、

「面白かったのは、最後に長い文をたくさん読むことです。分子などのむずかしい言葉が出てきて、しどろもどろでやりました。」

「くわしく説明してもらって、空気の中に小さな分子ということを知りました。」

「分かったことは空気の中の小さな小さなかさの中におだんごが2つくっついたようなつぶが空気の中でぼくらにぶつかっているということです。」

などがある。

なお、1億倍の分子模型は、発泡スチロールの球を使って作り¹⁰⁾、窒素分子の模型20個、酸素分子の模型5個を用いた空気の1億倍模型を教室で組み立てて¹¹⁾見てもらった。

2.10 温度計の使用について

温度が関係するテーマであるからには、温度計を用いるのはもとより当然のことである。今回、実験で用いる湯や氷水、それにその時々フラスコの温度を測るため、非接触温度計(オプテックス(株)製QT-2型)を用意して授業に臨んだが、授業展開を急いだ結果、実際にはほとんど使うことなく終わってしまった。児童に温度をしっかりと意識してもらうために、温度計を必ず用いる最低限の箇所を

予め決めておくべきであった。

3. 理科実験における予想の選択肢の意義

—まともに代えて—

以上、空気の熱膨張（と収縮）をテーマに有効な教え方を模索した、現時点での筆者なりの結果を述べてきた。

以下に、教科書が提示する授業展開と対比させつつ、筆者の考えをやや一般化して述べておきたい。

ここで取り上げた教科書の記述は、いくつかの作業を児童におこなわせた後にそれらの結果から分かることをまとめて考察させるという展開となっている。これは、小・中学校を通じて理科の教科書でしばしば見られる方式であるが、筆者は、児童生徒にある作業をおこなわせる際は、その結果がどうなるかの予想を明確に意識できるようにすべきだと考える。いくつかの結果を並べて結論を帰納させるのではなく、一つの結果を受けて次の作業の結果を予想させ、検証させるのである。そうであってこそ、作業が本来の意味の実験となり、興味や意欲が湧くのである。

児童が授業の主題に沿った予想をもって作業をおこなうためには、作業課題を提示する側が視点を明確に示さなくてはならない。その典型的なあり方が、予想を選択肢によって選ばせる方式ということになる。

こうした手法はときに、児童の発想を制約する教え込みとして批判されるが、理科が科学の目で対象を見ることを学ばせる教科である以上、この批判は当たらない。科学的な見方は、授業という限られた時間の活動によって児童から自然発生的に生まれるものではなく、それを身に付けさせるには計画的な教授活動の必要ことが明らかだからである。今回の授業内容に即して言えば、空気の存在ひとつにしても、古代ギリシャ以来の原子論的な世界観を土台にしたものの見方であり、西欧からもたらされるまで日本にはなかったものである。いったん知ってしまった者には自明のこのように感じられても、それを初めて学ぶ児童の頭の中に、教えられずに自然発生することは期待できないのである。

ただし一方で、その教授活動が、児童にとって納得しがたいことがらの丸暗記を強いるようなものであってはならないことも言うまでもない。ここで課題となるのは、児童が興味を感じて取り組むことが

でき、かつ結論を納得できる有効な教え方を、個々の内容について具体的に明らかにすることであり、本報告にもそのための提案を含めたつもりである。

最後に、今回の授業に対する感想文の中で、問題に対して予想を立てることに言及した文の例を挙げる。なお、実験観察に際して予想を立てるということに言及した感想を書いた者は10名いた。

「わたしは、全部の実験に自分で予想出来たのでいろんな発見できました。」

「私は理科の実けんが好きなのでためしてみる時、とてもわくわくしました。その中で一番わくわくしたのは、…」

「自分でやってみたり、先生がやっているのを見ていたりして、予想と同じかどうかドキドキしていました。」

「…フラスコにせんをしておゆにつけたらどうなるかという問題でばくはイにしたけどアでざんねんでした。」

「…ボンってせんが飛ぶんだなとびっくりしました。思っていた予想ではフラスコの中にせんがスポンと入っていくのかと思いました。」

これらの感想文は、明確な予想をもつことで実験観察に注意を集中でき、たとえ予想が誤っていても結果をはっきりと意識することができるのだということ、改めて示している。

この授業の機会を与えてくださり、また実施に際して手厚く支援してくださり、さらには児童の感想文を送ってくださったことに対し、秋田市立牛島小学校の、渡辺一郎校長先生はじめ教職員の方々に深く感謝いたします。

註および文献

- 1) 『新編 新しい理科 4下』、東京書籍、平成16年2月10日文部科学省検定済、の18～20ページ。
- 2) 現行の検定教科書6種類のうちなぜか五つまでもが、「容器を温めると口にはめた栓が飛び出すのは、容器内の空気が上昇するためだろうか」という問題に言及している。
- 3) 高橋洋編著『基礎的な内容を楽しく学ぶ理科4年の授業』、星の環会、2002年の104～106ページには、ドライアイス—エタノール（ -60°C ）や90

- ℃の湯を用いた実験例が記されているが、同書にもあるように、こうした実験を取り上げるには温度についての別の授業が前提として必要であろう。
- 4) 問題1は、仮説実験授業の授業書《空気と水》にある、「透明なコップを逆さにして水に押し込むと、水はコップの中に入ってくるか否か」という問題に就いたものである。
 - 5) 「膨張」、「収縮」という漢字は4年生には難し過ぎると考えて授業で提示しなかった。しかし授業の後で、上記3)に記した文献に、これらの漢字を小学校4年生に教えるという記述があるのに気づいた。小学校の教師がこのように書いているからにはそうすべきだったかと考えている。
 - 6) 教科書では、この装置を児童に使わせることを想定しているようである(『新編 新しい理科教師用指導書 資料編 4下』, 東京書籍, 2005, 58~63ページを参照)。しかし、長いガラス管を扱うなど危険が伴うこと、観察の要点を把握して作業を進めること(本文2.6を参照)の困難さから、教師による演示とすべきであると考えられる。
 - 7) 感想文でこの考えを表明した児童が1名いた。「フラスコにせんをして、熱湯につけるとせんが飛びました。その時、中の空気が熱くなって、上にいっているから飛ぶんじゃないかと思いました。」という、問題5に関わる内容である。感想文には書かずとも同様の考えをもつ子どもがかなりいることも考えられる。問題5に加えて、1.2の2)に述べたような、フラスコの口を横や下に向けた場合についての同様の問題を用意すると、彼らの興味をさらに呼び起こすことができるかもしれない。ただしその場合は、熱湯をフラスコに注ぎかけたり、熱湯に浸した布でフラスコを温めたりするため、教師による演示実験になろう。また、そうした実験に関連して「温められた空気が上に行く」という考えが子どもから出された場合は、それについては後で改めて勉強する機会があることを伝えるべきであろう。
 - 8) 『楽しい科学 4年上』信濃教育会出版部、平成16年2月10日文部科学省検定済、の23ページ、および、『みんなで学ぶ小学校理科 4年』学校図書、平成16年2月10日文部科学省検定済、の93ページに、そうした観察についての記述がある。
 - 9) 仮説実験授業の授業書《ものとその重さ》(筆者の手許にあるのは、1966年改訂版)の中の読み

- 物「サントリオ・サントロの実験」に、ガリレオがサントリオに温度計として教えた装置と、サントリオがそれを体温計用に改良したもののことが書いてある。観察1で用いたのは、これらと同じ原理の装置である。過去の教科書や理科実験書を調べれば例は見つかるかもしれないが、筆者は今のところ小・中学校の授業で用いた例を知らない。
- 10) 吉村七郎、板倉聖宣「分子模型の作り方—発泡スチロール球で12種類の分子模型」『ものづくりハンドブック』, 仮説社, 1988, 291~306ページを参照。
 - 11) 仮説実験授業の授業書《もしも原子が見えたなら》に関連して考案されたもののようである(たとえば、湯沢光男「ゴムで簡単1億倍の空気模型」『たのしい授業』No.264 (2003年3月号), 仮説社, 138~139ページを参照)。

筆者は概略以下のように製作したものをを用いている。外径6mm長さ1mのアルミニウムパイプ12本を組み立てて立方体の枠を作り、上面に目の粗さ5cmの網を張る。1億倍の窒素分子模型20個と酸素分子模型5個にアルミニウムの針金を取り付けて網に吊るし、20℃1気圧の空気の1億倍模型とする。なお、アルミニウムパイプを組み立てるジョイントとして、1辺3cm程度のサイコロ型の木材の3面に孔を開け、内径8mmのアルミパイプを短く切って孔に埋め込み接着したものをを用いる。

Summary

Lessons were conducted for the 4th grade students at an elementary school concerning the relationship between temperature and the volume of air. Teaching was based on printed materials which contained observation tasks with explanations for their results. Each of the tasks was given in which the students were asked to predict its results by answering some multiple-choice questions on it.

The textbook used at the school has instructions for students to do an experiment early in the introductory part in which a cork plug made of polyethylene form is made to jump out of a flask by warming (the air in) the flask, but in our study the experiment was conducted later in

the consolidating stage. In addition, our teaching included another observation which the students did as to how the air expands and contracts inside the flask which was held upside down on the surface of water.

Judging from the students' active involvement in the activity, their answers to the task questions, and their written comments after the classes, it is considered that our teaching was

effective in awakening their interest and in helping them understand the contents.

Key Words : School science, Anticipation of experimental results, Anticipation by the choice, Thermal expansion of air

(Received January 22, 2008)

授業で用いたプリント

原版はA5版。なお、末尾に掲載したページ番号を付していないものは、今回の授業で用いなかったものであるが、現在は、これを6ページの次に挿入して用いるべきであったと考えている(本文2.7を参照)。

空気のかさと温度

〔簡題1〕

フラスコをさかきにして、口を水の中に押し込みます。
このとき、水はフラスコの中に入ってくるでしょうか。あなたの考えとおなじ予想に○じるしをつけましょう。
水面の位置が分かりやすいように、魚釣りに使う小さな浮きを、フラスコの口のところに浮かべてみましょう。

予想

- ア 水は、まわりの水面と同じくらいのところまで、フラスコに入ってくるだろう。
イ 水は、フラスコにほとんど入ってこないだろう。
ウ そのほかの考え

()

結果

()

- 1 -

水はフラスコに入ってきません。フラスコいっぱいには空気が入っているために、水が入れないのです。

きょうは、この空気を温めたり冷やしたりすると空気のかさが変化することについて勉強します。

〔問題2〕

問題1のように、さかきにしたフラスコの口を水の中に入れます。このフラスコを温めると、フラスコの中の空気はどうなるでしょうか。あなたの考えとおなじ予想に○じるしをつけましょう。

はじめに50℃くらいの湯をそそぎかけて温め、つぎに70℃くらいの湯をかけて、もっと温めることにします。

予想

- ア 空気のかさが大きくなって、フラスコの口からあふれ出るだろう。
イ 空気のかさが小さくなって、フラスコの中に水が入ってくるだろう。
ウ 空気のかさがめだって変わることはないだろう。
エ そのほかの考え

()

結果 ()

- 2 -

フラスコに湯をそそぎかけると、ガラスが温まります。温まったガラスがこんどは、フラスコの中の空気を温めます。空気は温められるとかさが大きくなります。そこで、フラスコの中に入りきれなくなつてあふれてきます。

かさが大きくなることを、べつの言葉でなんといいますか。
()

【問題3】

問題2であたためたフラスコに水をかけて冷やすとどうなるでしょうか。あなたの考えとおなじ予想に○じるしをつけましょう。

予想

- ア フラスコの中に水が入ってくるだろう。
イ めだつた変化は起きないだろう。
ウ そのほかの考え

()

結果 ()

- 3 -

あたためたフラスコを冷やすと、水がフラスコの中に入ってきました。水をかけなくても、湯をかけるのをやめただけでフラスコの中に水が上がってくるのに気づいたでしょう。この理科室の空気の温度は20℃くらいなので、湯をかけるのをやめると、フラスコはまわりの空気に冷やされて温度が下がります。そこで、フラスコの中の空気も冷えるのです。

あたためられて大きくなった空気のかさは、空気が冷めると小さくなくてもにもどります。ところが、温めたときに泡になって出ていった空気はもどってこないで、かさが小さくなった空気はフラスコをいっぱいにすることができなくなりま

す。その不足するかさの分だけ、水がフラスコに入ってくるのです。
かさが小さくなることを、べつの言葉でなんといいますか。
()

【観察1】

フラスコをあたためたときに中の空気のかさが大きくなるようすがよく分かるように、フラスコに水を入れて空気を少なくしておきます。フラスコの中の水面の位置に、マジックインクでしるしをつけておきましょう。

湯をかけると、空気のかさが大きくなって、水面が下がります。湯をかけるのをやめるとフラスコが冷めます。するとフラ

- 4 -

スコの中の空気も冷めてかさが小さくなり、水面が上がりはじめます。

これを2回くりかえしてから、フラスコに水をかけて、空気のかさが、はじめにしるしをつけたところまで小さくなるのをたしかめましょう。

【問題4】

問題1や問題2のように、さかさにしたフラスコの口を水に入れて、こんどは、このフラスコに氷水をかけて冷やします。フラスコの中の空気はどうなるでしょうか。あなたの考えとおなじ予想に○じるしをつけましょう。

予想

- ア 空気のかさが小さくなって、フラスコの中に水が入ってくるだろう。
イ 空気のかさがめだつて変わることはないだろう。
ウ そのほかの考え

()

結果 ()

- 5 -

【観察2】

教科書の20ページにのっているような装置を使って、試験管の中の空気がふくらんだりちんだりするようすを観察しましょう。(先生がするのを見てもらいます)

【問題5】

フラスコの口に、空気でつぼうのときに使ったせんをはめま

す。このフラスコを70℃くらいの湯であためると、せんはどうなるでしょうか。あなたの考えとおなじ予想に○じるしをつけましょう。

予想

- ア せんはいきおいよくとび出す。
イ せんはフラスコの口から出るが、とび出すほどのいきおいはない。
ウ せんはフラスコの口から中のほうにすいこまれる。
エ そのほかの考え

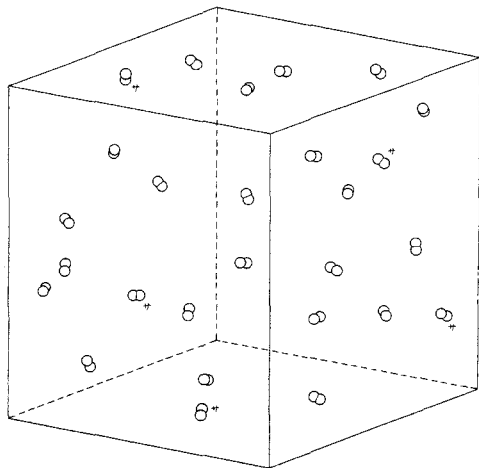
()

結果 ()

- 6 -

空気の温度と分子の運動

下の絵は、温度が20℃の空気を1千万倍に拡大したようすを表しています。



酸素分子(サ)には赤色。
窒素分子には青色をぬっておき
ましょう。

(このページの絵と絵の下の説明は、仮説実験授業研究会が作った授業書「もしも原子がみえたなら」の12ページからそのまま写したものです。)

- 7 -

この絵のさいころ形は、たて、横、高さがそれぞれ10cmですが、この絵が表す空気そのものはその1千万分の1つまり、たて、横、高さが1cmの100万分の1(0.000001cm)ということになります。その小さな小さなかさの中に、おだんごが二つついたような形のつぶが25個あります。ということは、ほんもの空気1ミリリットルの中には、このようなつぶが2500000000000000000000個(2500兆個の1万倍、2500京個)あることになります。空気の中には、このようにたくさんのお小さなつぶがあるので。

この小さなお小さなつぶを分子とよびます。絵の中の25個の分子のうち、20個はちっその分子で、5個はさんその分子です。空気にはほかの種類(じつは、もっと小さな原子)の分子も少しだけまざっていますが、数からいうと、大部分はちっその分子だと言っているのです。分子はじつは、もっと小さな原子というつぶがくっつきあってできています。たとえば、ちっその分子は、ちっその原子が2個くっつきあってできています。ただしここでは、分子の話だけにしておきます。

絵を見てわかるように、分子そのものの大きさは、空気のかさ全体のうちのほんのわずかで、そのほかは、なにもないすきま(真空)です。じつは、分子そのもののかさは、空気のかさ全体の1000分の1くらいしかないのです。

空気の中の分子たちは、真空の中をとびまわって、しょうとつしあっています。しょうとつてはじきとばしあいながら、休まずにとびまわっているのです。気温が20℃のとき、その速さは、

- 8 -

平均すると1秒間に400メートル以上になります。

分子がこのようにもうれつな速さでとびまわっている(運動している)ので、空気のかさは、分子そのもののかさの1000倍にもなるのです。

空気には分子と分子の間のすきまがたくさんあるので、空気を入れものに閉じこめて押しちぢめることができます。空気が押しちぢめられると、入れもの内側に前よりもたくさん分子がぶつかってくるようになるので、押し返すはたらきが強くなります。

温度が上がると、分子の運動する速さが大きくなります。そこで、空気の温度が高いほど、かさが大きくなるというわけです。ぎやくに温度が下がると、分子のとびまわる速さが小さくなって、かさが小さくなります。

20℃の空気が60℃に温められると、分子の運動がはげしくなって、かさが約13%増えます。

20℃の空気が0℃に冷やされると、分子の運動がゆるやかになって、かさは約7%減ります。

空気の温度を上げるときに、がんじょうな入れものに閉じこめておいてかさが大きくなるようにすると、分子がぶつうよりもつめこまれたことになって、押し返すはたらきが強くなります。フラスコにせんをして温めるとせんがとぶのは、そのためです。だから、フラスコをよく冷やしてからせんをして、それからフラスコを温めると、せんがいきおいよくとぶのです。

(もしも時間があつたら、空気を1億倍に拡大した様子を見せてもらいましょう。)

- 9 -

フラスコを熱い湯にひたすと、ボンといい音がして、せんがとび出します。フラスコの中の空気がふくらんで、せんをいきおいよく押し出すのです。

一度とび出したせんをもう一度フラスコの口にはめてとび出させるには、どうしたらいいでしょう。

皆さんはもうやってみたことでしょうか、せんをはめる前にフラスコに水をかけたりして、フラスコをよく冷やしておくといいいのです。

その理由がわかりますか。

フラスコがはじめから温かいと、中の空気がふくらんでいるので、湯で温めてもうあまりふくらみません。フラスコの中の空気が湯で温められてふくらむためには、はじめにちぢんでいなくてはならないのです。はじめにフラスコをよく冷やしてからせんをして湯にひたすと、フラスコの中のちぢんでいた空気がうんとふくらんで、せんをいきおいよくとばすのです。

フラスコを冷やすほうがいいから、フラスコの中に水を半分くらい入れてせんをしようという人がいました。あなたはどう思いますか。

じつは、このやりかたではせんはうまくとびません。水を入れた分だけ空気が少なくなるので、温めたときに増える空気のかさも少なくなってしまうからです。