

自然現象から問いを見だし、見通しをもって科学的に追求する子ども

— 中学1年「浮力の大きさを調べる」実践から —

1 単元のねらい

水圧と気圧の実験を行い、その結果を水や空気の重さと関連付けてとらえ、身の回りで見られる様々な力の現象が、水中と空気中では、物体にはたらく力のようすが異なるために生じていることをとらえることができる。

2 授業の構想

(1) 子どものとらえについて

本単元に関わる素朴概念調査から、多くの子どもたちは、力とは、人がものに筋肉をはたらかせることであるととらえており、物体の間ではたらく力や、水中での力のはたらきについてはほとんど説明ができなかった。また、水圧や浮力という言葉を知っているが、具体的な現象の説明をする記述はほとんどなかった。

実験の正しい結果や、結論をはやく求めたがることも多いが、実験の計画から考えて実施することで、あらかじめ知っている内容でも、方法を考えたり、結果が示す意味を考えたりする過程も大切にできると考えている。最初の単元である「植物の世界」では光合成に二酸化炭素が必要であることを確かめる実験や蒸散量をはかる実験を計画し、「身のまわりの物質」の単元では金属と非金属を区別する実験方法を考えた。どちらも生徒がグループで話し合いながら進め、教師からのアドバイスや器具などの変更を指示したり、他の班の意見も紹介したりしながら、修正を加えて実施した。ふりかえり用紙には次のような記述があった。

<光合成実験>

ペットボトルでは酸素が集まらなかった。(予想した結果が得られず) 実験方法を考えることが難しかった。 (生徒A)

光合成に二酸化炭素が必要なことは知っていたが、予想通りの結果が出て良かった。なぜ(光合成に)水が必要なのか知りたいと思った。 (生徒B)

<金属の特徴を調べる実験>

自分で考えた(教科書にない)実験ができて(採用されて)うれしかった。アルミニウム線の太さもそろえて(条件を統一して)実験してみたい。 (生徒C)

生徒Aのように、実験を計画することを難しいと感じている生徒や実験の条件を整理することができない生徒も多い。班で計画するため、率先して考える生徒に引っ張られて進める生徒や、自分の意見が反映されない生徒もあった。教師が器具の変更や方法を指示している部分が多いこともあり、自分で解決したと実感している生徒ばかりではないと思われるが、多くの班で、実験の目的やその方法を用いる意図を考えて行おうとしたり、生徒Cのように方法を自分で考え、それを積極的に友だちに紹介したり、さらに改善や工夫をしたりする姿が見られるようになってきている。生徒Bのように予想し実験に向かい、さらに新たな問いをもつ生徒もいた。

(2) 本単元の内容と理科で考える問いをもち追求する姿との関わりについて

本校理科部では、一人一人が問いをもち追求する姿の一つとして、問題や課題の追求に、自分の見通し(結果の予想や実験方法、手順)をもつ姿をあげている。自分たちで実験を計画し、検証し

ていく機会を積極的に設けるよう試みている。(1)で記述したものをはじめ、これまで実施した単元でも、実験方法から計画させてきたが、子どもたちが計画した実験に対して、教師が修正を提案したり、一人一人の考えを全体で共有したりしながら、学級全体で実験方法を検討してきた。自分の考えたことが実験に反映されなかったり、結局全員で与えられた実験をやっているように感じたりすることもあった。

本単元は、目に見えない力の現象で、大きさだけでなく向きや面積なども同時に扱う、子どもたちにとっては、全く新しい概念を学ぶ。矢印で表すベクトルの考え方は、向きをもった量であり、この表し方の合理性を理解させ、さまざまな力について作図できるようにしたい。ベクトルを学習の柱にしてこの単元を進めていく。

生徒には浮力の大きさを調べる実験を計画する活動を設定する。浮力は、いろいろな力の世界の単元の最後に扱われている内容で、それまでの力の学習のまとめの内容でもある。浮力が物体の体積に関係していることを調べる実験を計画するためには、それまでの基礎的な学習がしっかり定着している必要がある。特に力をベクトルで表し、力のはたらく向きをきちんと示すことや、水圧などの圧力の考え方ときまりを理解しておくことが求められる。また、水の中ではたらく力の条件には、その物体の体積だけでなく、水圧を受ける面や、形、水深、さらに重力やそれに関係する質量など多くあり、その中で浮力に関係する要因を考えていくのは、さまざまな子どもの考えを引き出すのに適している。

教科書では、物体の体積が大きいほど浮力も大きくなることが確認できる実験が示されているが、この方法では正確な浮力の大きさを測ることが難しい。教科書に無い実験方法を考えさせることは、先行して知識を得ている生徒にも頭を悩ます課題となる。また、体積や浮力の数値を扱うことは、より難しい内容になるが、その関係はより明確で、深い理解につながるものである。

(3) 本単元の内容における問いをもち追求する姿を育成するための具体的な手立て等について

浮力の導入として、空気中でつりあう二つの物体（質量が等しいバスのおもちゃと飛行機のおもちゃ）が、水中に入れた途端つりあわなくなる様子を見せる。そこから「なぜだろう」という素朴な疑問が引き出せると考えた。さらに、「調べてみたい」「知りたい」という子どもたちの切実な願いが生じ、「今回はどんな力がはたらいているのだろう」「密度が関係しているのではないか」「どうやったら調べられるのか」といった問いが次々とつながっていくものと考えている。その上で、浮力の大きさは何によって決まるかを一人一人が考え、自分の予想を検証する方法を計画していく場面を設定することで、問いをもち追求する場面になると考えた。

「水中では上向きの力（浮力）がはたらき、その力は飛行機よりバスの方が大きい」ということから、なぜバスの方が大きいのかということを検証する実験を考えることになるが、水中ではたらく力の要因が多く、数値も扱うことになるため、4QS（フォークス=For Question Strategy）の考えを取り入れて実験の計画を立てた。4QSは、生徒の問いを仮説に高め、仮説を検証する実験を計画するのに適した方法であると考え、四つの段階を生徒にもたどって考えさせることにした。4QSをもとに今回計画した四つの段階を次に示す。

① 調べたい事象を記述する

「浮力について」、では独立変数と従属変数の関係が明確ではないため、「浮力の大きさは何によって決まるか」などの記述にし、生徒が浮力の大きさを決める要因を考えやすいような課題とする。浮力という言葉が生徒から出ないならば、「浮こうとする力の大きさ」などの言葉に置き換えて行う。

② 変化させると思われる要因を見つける

おもりの何を変化させれば浮力の大きさは変わるか。また、演示実験で見たバスと飛行機のどの

部分の違いによって、浮力に差が出たのかを考える。ここでは、関係がありそうだったものはできるだけ多く挙げることで、生徒のこの内容に対する意欲やグループでの活発な意見交換を促したい。

③ 要因を設定する

②の要因をどのようにして変化させるかを考え、具体的な方法も検討する。この段階で明らかに浮力の大きさに影響しないと気付いたものは、扱わないようにすれば良い。演示でバスと飛行機の形を見せているため形に注目する生徒は多いと思われるが、水の抵抗を受けやすい形なのか、下から見たときの断面積なのか、底面積なのか、はっきりと差をつかって実験できるような要因として確認しておく。また、独立変数となるため、他の条件が統一されているかも考えておかなければならない。したがって、一度グループで要因を絞ったあと、全体で共有し、条件制御ができていないかを確認できるようにしたい。

④ 要因の変化量が調べたい量にどう影響するか考える（数値化して考える）

①で決めた「浮力の大きさ」はNという数値で表せることを確認し、同時に浮力をはかる方法も決定する。③の要因の変化量が①の変化量へどう影響するかを予想できれば、仮説として文章記述できる。

4QSで仮説を立てて実験した場合は、数値として結果を求めるため、できるだけ誤差や値が読み取りやすい器具や物体を準備したい。また、生徒が挙げた要因をできるだけ実施させるために、大きさや形、質量など柔軟に対応できるものを用意したい。低融点金属の中には沸騰したお湯でとけるものもあるので、これをおもりとして使用することになっている。

3 展開計画（全14時間）

次	主な学習	時	具体的な学習・内容
1	○力はどのようなはたらきをするのだろうか ・力のはたらき ・力の表し方 力の大きさ ばねののび	1	・力とは何か 目に見えない力をとらえるには、力がはたらく現象でとらえる
		2	・力の大きさ 力の大きさを力のはたらきによる現象の比較で比べる
		3	・力の大きさとばねののびの関係を調べる実験をする 数値測定の方法・グラフの書き方・分析・フックの法則
		4	・力の表し方
		5	力には作用点・向き・大きさの要素があり、矢印で表す
		6	・重力と質量についての説明を聞く
2	○物体どうして力がはたらくとき、力のはたらきは何によって変わるのだろうか ・圧力の大きさ ・水圧 ・浮力 ・大気圧	7	・力の大きさが同じでも面積によってはたらきが違う現象を見る
		8	・圧力の実験を行い、計算によって圧力を求める
		9	・水中ではたらく圧力（水圧）
		10	・水圧の大きさを見る実験から深さに影響されることを見いだす
		11	・空気中でつりあっていた2つの物質が水中に入れるとつりあわなくなる現象を見て理由を考える 浮力の大きさが何によって決まるのかを予想し、それを検証する実験を計画する
		12	計画した実験を行い、浮力が体積によって決まることを突き止める
		13	・空気にも重さがあることを実験で確かめ、大気圧も生じることを現象を見て確かめる
		14	・発展（活用）課題

4 授業の実際

(1) 単元の流れとグラフや数値の扱い

ほぼ全員の生徒が力のはたらきの例に「筋肉のはたらき」を挙げていたため、単元のはじめは、

「人が物体に及ぼす力のはたらき」を例に挙げ、その例と比べる形で他の力のはたらきも扱うように進めた。1次では力の大きさとばねののびに関する実験をもとに、グラフの書き方や誤差の扱い方など、力を数値化して扱う方法を学習した。さらに、最終的に数値化した力に、向きを加えた「ベクトル」の考え方の基礎を学んだ。単元後に行ったテストでは、矢印の作図の正答率が全体で85%であり、「手で持つ」などの正答率は90%になった。正答率が低かったものは「手の上のリングが手を押す」作図で68%であるが、物体間にはたらく力や重力の作図などは80%前後であった。この結果から、目に見えない現象を感覚的にとらえてから、実験の値を比べることで、力の大きさの数値などを、実感しながらとらえることができた。

2次は、1次で学習した「力」に、力のはたらく面の面積や体積などもあわせて考える学習内容とした。1次で学んだグラフや実験値の扱い、考察の仕方などを生かせる場面を考え、実験を通して、定量的に圧力の考えを導き出すことを試みた。使用するスポンジや、乗せるおもりとスポンジが触れ合う面積の変え方などある程度実験値が考察しやすいように事前に調整する必要があったが、右の実験書(図1)のように、グラフや数値からスポンジの沈む量は触れ合う面積に反比例し($y=a/x$ で表せる)、また他の班とも比べることで(a は重さ=力の大きさ)、圧力は力の大きさに比例し、面積に反比例する考え方が導き出された。このことから、実験値を用いて定量的に扱うことで、実験結果から数字が表す意味を考え、自分たちの力で関係式を組み立てることができた。

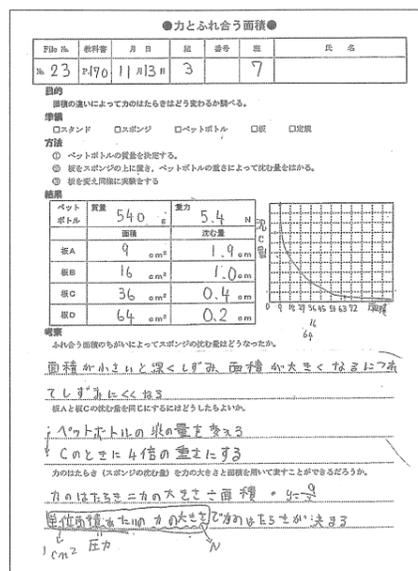


図1

(2) 導入から実験の計画

バスと飛行機の形をしたおもりを棒につるし、空気中でつり合っていること(同じ重さであることを確認した(図2)。しかし、このおもりを水中に入れると、つりあいがくずれ、飛行機が下でバスが上になる様子を見せた(図3)。水の中でも物体にはたらく重力は変わらないことを確認したうえで、なぜこのような結果になるのかを考えた。いろいろな考えが出て、戸惑う生徒がいることも予想されたが、生徒たちによって意見が修正され、浮力の影響であることにたどりついた。

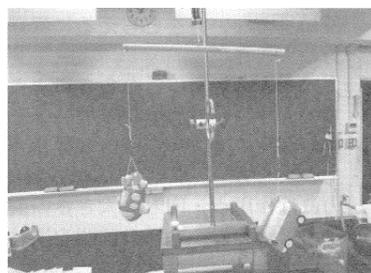


図2 空気中でつり合うおもり

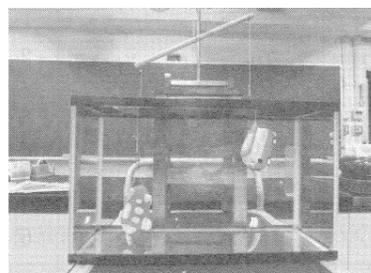


図3 水の中ではつりあわない

ここから4QSを使い仮説を立て、実験を行う。四つの段階は、

- ① 調べたい事象を記述する
- ② 変化させると思われる要因を見つける
- ③ 要因を設定する
- ④ 要因の変化量が調べたい量にどう影響するか考える(数値化して考える)

である。本来は①から順に進めていくが、今回は浮力の大きさを正確に測定する方法を先に決定するために、①の後に④を行い、浮力の大きさをNで測定することを考えるような手順とした。

手順1 ① 調べたい事象を記述する

バスには大きな浮力がはたらいたため飛行機に比べて上に傾いたのだろう。「浮力の大きさは何

によって決まるか」が共通の課題ということになる。

手順2 ④ 要因の変化量が調べたい量にどう影響するか考える(数値化して考える)

浮力の大きさはNで求めることはすぐに確認できる。先にこのことを決めたのは、浮力の大きさをできる限り正確に求める実験方法を決定したためである。教科書の方法では、浮力の大きさをNでは得にくいため、自分たちで方法を考えなくては行けないが、水中では物体が軽くなる現象から、空気中のばねはかりの値と水中での値の差をとればよいことは、早く見つけることができた。また、この方法をある班が発表したとき、このやり方以外の方法は、修正されて、結局どの班も同じ計測方法をとることになった。

手順3 ② 変化させると思われる要因を見つける

浮力に影響がありそうな要因をできるだけ多く挙げてみる。質量は影響しないことは明らかであるが、ここで挙げておくことで、次の段階に進み、条件制御をする際に、質量をそろえた条件で実験することが押えられる。

手順4 ③ 要因を設定する

手順3で挙げた要因の中から、一人一人がどの項目で実験するのかを決める。実験は班で行うことになるが、一人一人の問いを大切にするために、自分で要因を決定するようにした。班の中で挙げた要因が多くなる場合は、班で話し合うようにすると、関係がありそうなものに絞られてくる。また、班で1つの実験しかしないという場合は、たとえ良いデータが得られても、それ以外の実験を全くせずに、検証したといえるかどうか、問い直して、多くの班が2~3の要因を上げるようになった。そして手順2で浮力の測り方を決めているため、実験する要因はどのようにして変更するのか、他の条件はそろっているかを確認して班の実験準備に入る。

このようにして、4QSを使って実験の方法を確定していったが、一人一人の問いを検証可能な仮説にして実験を組み立てる手立てとして、とても進めやすいものであった。

生徒が立てた計画をもとに、実験の準備を行うが、体積、質量が自由に変更できる容器を事前に用意しておいた。また、密度が大きく(密度が小さいと水中での値が小さくなり、ばねはかりの値が読みにくくなる)自由な形状にできるものとして、低融点金属を用意した。

次のものは、実験の計画を発表するために記入したホワイトボードである(図4, 図5, 図6)。

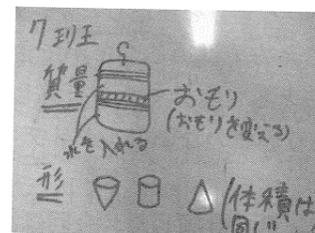


図4 質量・形に注目した班

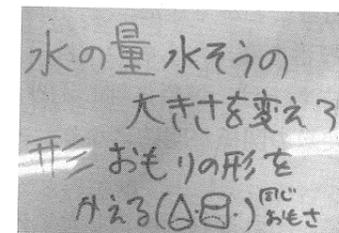


図5 提示した内容に合わない要因をあげた班

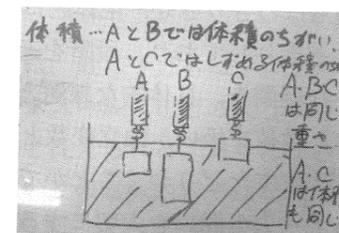


図6 体積に注目した上で水中内の体積を変化させる方法を考えた

バスと飛行機の導入実験から、質量や水の量などの要因は、浮力の大きさには影響しないことは明らかであるが、結局これらを実験に加える班があった。次の写真は実際に実験で使用したおもりである。

・体積に注目した班
体積であることを確かめるために質量の違うおもりを用意した(図7)。

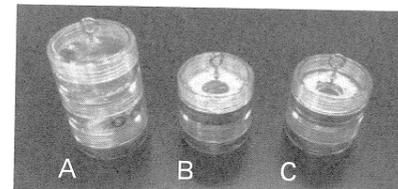


図7
A: 体積 75cm³・質量 200g
B: 体積 50cm³・質量 200g
C: 体積 50cm³・質量 300g

・おもりの形状に注目した班

低融点金属で作ったおもり（同じ質量で作れば、体積は同じになる・・・どの班も60g）（図8，図9，図10）

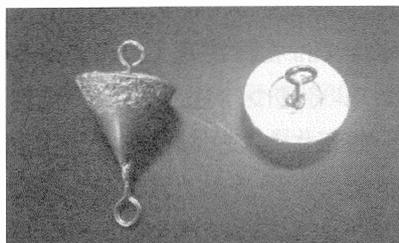


図8

下からの水の抵抗の違いが浮力に影響すると考えて作った

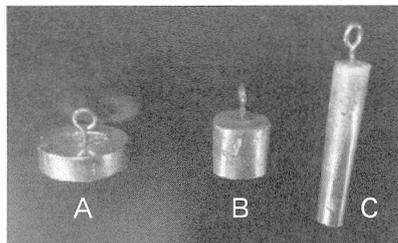


図9

図8と同様の考え 直径
A：30mm B：20mm C：10mm

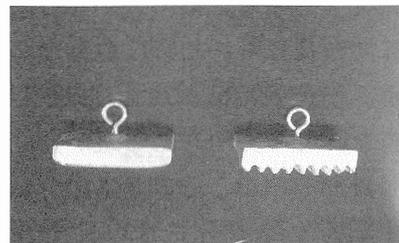


図10

表面積に注目し
体積を変えずに表面積を変えた

(3) 実験の実施と生徒の理解

実験は自分たちで計画し準備を整えていたため、全員が手際よく、意欲的に、そして主体的に取り組んだ。多くの班が値を使って検証できるような実験結果を得ることができたが、ごく一部に、考察しにくいデータもあった。それぞれが要因を選んでいるため、1班のデータが違っていても、その要因を選んでいる班が少ないと、値の信頼が得にくい。また、自分が要因に挙げていない項目（実験していないもの）には、どうしても議論に加わりにくくなってしまいう傾向にある。

全体で実験結果を共有した後で、要因を絞り込み、計画の組み直しをして再実験をおこなった。「浮力の大きさは物体の体積によって決まる」ことを確かめる実験を、おもりの体積を 100cm^3 と 50cm^3 、質量を共に 200g にして行った。 100cm^3 の浮力が 1.0N 、 50cm^3 が 0.5N になり、水の密度が 1g/cm^3 であることから、「浮力は物体の体積分の水の重力の大きさに等しい」と結論づける生徒もいた。

5 おわりに

演示で見た現象から問いをもち、自分で実験を組み立てながら、問いをつないで追求していく場面を設定した。与えられた方法で実験をこなすのではなく、自分の考えで進めていくため、実験の目的もはっきりさせ、主体的に取り組むことができた。今回は4Q Sの考え方を使用したが、形式がはっきりしており、段階を進める順番を変えたものの、ほぼこの考え方で進めることができた。素朴な疑問を、具体的な課題として立ち上げ、仮説に押し上げる方法として有効であると感じた。また、数値を扱い、独立変数と従属変数の関係が明確になり、本来扱う必要のないアルキメデスの原理にまでたどりつくことができた。

一人一人の問いを大切にするために、それぞれで解決したい内容で実験を計画した。今回は浮力の大きさを決める要因を、個人または班で自由に決めさせたが、全体で実験結果を共有する際、同じ取組をしている班が少ないときに、結論が導きにくくなることもある。また、自分が実験していない結果に対して、同じように考察し、結論につなげるために、全員に分かりやすく表示したり、まとめたりする方法を工夫する必要がある。また、自分が行っていない内容であっても、人の意見を聞き、問題点や不十分な点を見つけて、修正を行えるような力も必要で、これからの課題である。

(文責 野崎 朝之)