

中学校教育導入における物理分野の教材としての浮沈子

Cartesian Diver as the Teaching Materials of the Physics Field in an Introductory Education Program for Primary School Students

横峯 孝昭*, 原村 隆也**
Takaaki Yokomine, Takaya Haramura

*鹿児島女子短期大学, **志學館中・高等部

児童が小学校理科の分野においてどの程度の理解を示し、それを今後どのように展開することができるのかを調査した。今回はその中でも高等学校以降で登場してくる力学のベクトル概念をテーマに、重力・浮力を用いてモノの浮き沈みの体験よりその一端を考える一助として理科実験の計画を立て実践したので報告する。本研究において重さという概念から、モノが浮くための力、沈むということはその力がどうなったためであるという基本的な部分については理解できている結果となっている。そしてそれを体系的に学べる浮沈子の作成を行いさらなる理解へとつなげている。

Keywords : Buoyancy, Cartesian diver, Pascal's principle, Archimedes' principle

キーワード : 浮力, 浮沈子, パスカルの原理, アルキメデスの原理

1. はじめに

浮沈子を用いた理科実験^{1) 2)}はその理屈はわからなくとも不思議な魅力がある。浮沈子の原理を説明するためには「重力と浮力」、「パスカルの原理」、「アルキメデスの原理」以上の原理を抑えていく必要がある。小学校の理科の内容を、学習指導要領³⁾をもとに見てみると、浮沈子の内容に関係のある単元としては、粒子分野の第3学年「ものと重さ」、第4学年「空気と水の性質」があげられる。「重力と浮力」の考えとしてとても重要な力をベクトルで表すということは小学生では全くしないし、出来ない。中学校の第1学年「力の働き」、第3学年「力の釣り合いと合成・分解」を経て少しは理解が可能となることが予測される⁴⁾。物理分野を今後勉強していく児童へ、力をベクトルとして認識する事の足がかりとして、アルキメデスの原理の体験、小学校第4学年の「空気と水の性質」の応用としてのパスカルの原理を体験・認識してもらい、少なくとも浮沈子がなぜ浮き沈みするのかという現象の表現が可能となる実験を試みるため、本授業を計画した。小学6年生63名に実施、アンケート内容を分析したので報告する。

2. 研究の目的と方法

2.1 授業の目的

小学校理科におけるA区分「エネルギー」の中で中学校以降における物理分野での「力学」へとつながる主な単

元は「振り子の運動」、「てこの規則性」であろう⁴⁾。小学校理科における大きな特徴として、基本的に定性的な内容が多いことが挙げられる⁵⁾が、この分野は唯一定量的な内容となっている。中学校理科以降この定量的な内容が多くなっていくが、基本的には原理をしっかり理解し、それを数値で表していく（答えを出していく）という過程は厳密な答えが出てくる数学的な内容である。この厳密な答えが出てくる点が物理分野の面白い点であろうと著者は考えるがそれゆえに難しいと考える、苦手と感じる生徒もいる様子である。今回は原理について明確に児童へ示すことはしていないが、その内容を理解できるような比較実験を主として行いながら、アルキメデスの原理、パスカルの原理、重力と浮力を浮く・沈むという現象として置き換えて、楽しみながら理解し、それを自ら表現できるようになるかということを目的としている。

2.2 対象

志學館中・高等部で行われた理科実験教室に参加した63名の小学校6年生を志學館中・高等部の食堂に集めて行った。授業実施者は原村隆也教諭。

2.3 授業の構成

2部構成として理科実験教室を行った。説明の時には、説明の図が児童に見えるよう、パワーポイントであらかじめ

め作成した内容を表示しながら行っている。1部はアルキメデスの原理を体験する内容としてアルミキューブと、プラスチックコップに釣りの鉛球を入れたものの比較を主として行った。2部は小学校第4学年理科の内容「空気と水の性質」から関連付けたパスカルの原理に近い内容を行い、空気の体積の減少＝浮力の減少への理解が行えるような内容を実施した。最後に児童一人一人に浮沈子を作成してもらった。

2.4 実験装置、器具

以下の機材を1グループ5～6名として共同で利用。

アルミキューブ (30mm × 30mm × 30mm) (あらかじめバネ秤で重さを測れるようにタコ糸で吊るせるように加工)、釣りの重り (10個)、プラスチックコップ (小, 中, 大をそれぞれテーブルごとに用意)、紙ボウル (420ml × 2個)、電子天秤、水槽、バネ秤、発泡スチロール (100mm × 100mm × 42mm)、魚型醤油入れ (人数分)、ステルス六角ナット寸法6 (人数分)、炭酸用ペットボトル (人数分)、油性ペン (8色)

3. 結果と考察

3.1 授業概要

導入として教員による浮沈子の提示 (マジック) により今から勉強する内容への興味関心を引き出そうと試みた。アンケートの自由記述においてこの時点で興味関心が湧いたと述べている児童がいたことからその点はみたと考える。

はじめはアルキメデスの原理をアルミキューブと鉛球の入ったプラスチックコップの2つを比較対象として用いることにより推測することからはじめる。重さの大小、水に入れた時に浮き沈みが見られること、浮き沈み＝モノの重さに直結しないこと、まずはその3つを行った。それぞれを推測の手助けとなりやすいようにワークシートを作成しそれを配布し、児童が測定した値を記録していけるようにしている。そしてキーとなる実験として、プラスチックコップいっぱいに入れた水を入れた後、そこに先ほど用いたアルミキューブと、鉛球の入ったプラスチックコップを沈めるもしくは浮かべ、その時にあふれた水の量の重さを測る実験を行う。その時点で感銘のよい児童はそこに関連性があることを発言していた。さらに、実際に水中にアルミキューブとプラスチックコップを入れた時にそれぞれの重さがどのくらいになるのかをバネ秤を用いて測定した。バネ秤は小学校においては使用したことないとのことであったので、使用の仕方から説明した。その結果をワークシートに記録すると、「キューブの体積＝あふれた水の重さである」、「空気中の重さ－水中の重さ＝あふれた水の重さ」、

「空気中の重さ＝水中の重さ＋あふれた水の重さ」という式をグループごとに見出していた。どの表現もアルキメデスの原理を示すものであり、目的を達成できたと考えている。それらの式を求めた後、浮力の概念についての説明へと移った。かつ、モノが浮く、沈むということと、モノの重さと浮力との関係性についても述べた。

次に体積と浮力の関係にも着眼して欲しく、それにまつわる簡単な実験を発泡スチロールにプラスチックコップを接着したものに、鉛たまを加えて行くとうなるかという実験を行った。着眼点として、重さが増えていくと発泡スチロールはどうなっていくのかヒントを与えながらの実験となった。児童は「水面下の体積は大きくなればなるほど押しのかけた水の体積が大きくなるので浮力が大きくなる」という発言をし先ほどのアルキメデスの原理を活用していることが伺える。つまりこの時点で体積＝浮力という関係性が児童の中に生まれつつあるため、実際の体積の計算から、プラスチックコップがどの程度鉛たまを入れることにより沈まない、沈むという実験を行ってもらった。児童は鉛球1個の重さから何個までなら沈まないであろうという予測をし、実際に実験しその正確性を確かめた。そのあと浮力を活用した身近な例として、船が海水に浮くということの原理を説明した。

浮力と重さ、体積との関連性がわかったところで、第4学年時の「空気と水の性質」についての復讐を行い、これが浮沈子の魚型醤油入れの中で空気が押されることにより縮み体積が減少していることの説明を行った。体積が減少する＝浮力が少なくなるという予測が児童の中には明確にイメージでき浮沈子の原理について理解が図られた様子である。また、この原理は身近な例として潜水艦に利用されているという話を行った。その後実際に自分たちで調整しながら浮沈子の作成へと移った。

3.2 授業の評価

最後に参加児童に、本授業の面白さ、理解度について授業アンケートを行い、評価してもらった。その結果は表1のとおりである。

自由記述による感想を下記に記す。

- ・他の液体はどうなるのかまた調べたい。
- ・実験をいくつかしてから学ぶことで、よりわかりやすい授業でした。
- ・実感することができた。
- ・浮沈子を作ることに成功したのでうれしかったし、原理も知れてよかった。
- ・調整するのが難しかった。
- ・船が浮いていることや、潜水艦の仕組みが全て浮力が関

表1 児童による授業評価

今回の授業はおもしろかったですか？わかりましたか？					
おもしろい	5	53名 (84.1%)	よくわかった	5	53名 (84.1%)
	4	4名 (6.4%)		4	8名 (12.7%)
	3	4名 (6.4%)		3	1名 (1.6%)
	2	2名 (3.1%)		2	1名 (1.6%)
つまらない	1	0名 (0.0%)	わからん	1	0名 (0.0%)

係していることがしれて楽しかった。

- ・浮力のことはやったけど、なぜそうなるのかという根拠が良く分かった。
- ・浮力のことはよくわかっているけど、それ以上に知ることができた。
- ・塾で浮力は習ったが、詳しくさわっていなかったので楽しかった。
- ・浮力のことがよくわかった。
- ・浮沈子の原理を知って実際にやってみることで楽しくてよくわかった。
- ・浮力について初めて深く考えられたし、実験がとても面白かった。
- ・最初マジックで浮力と浮沈子はどういうものか気になって面白かった。
- ・浮力は教科書以外で見たことがなかったので実感できてよかったです。
- ・浮力の単元が得意になったきがする。
- ・浮力は苦手だけど、前より分かるようになった。
- ・浮沈子が浮いたり沈んだりする原理がよくわかった。
- ・浮力について授業で勉強した時よりもよくわかった。
- ・いつも授業で聞くことしかできないことを実施に実験できて楽しかった。
- ・様々な実験を一つ一つ丁寧に説明してもらいとてもわかりやすかった。
- ・おみやげ（浮沈子）がうれしかった。
- ・実際に作って学ぶのでより頭に入って知識が増えた。

4. まとめ

小学生は重力・浮力という概念は持っているが、別々の概念として捉えている様子が伺える。当該授業の中でも、浮力があると浮くという認識程度であった。ましてやベクトルを用い力学的に考えることはまだできない。理科という科目においても、それが力学として考え始めるのは中学校に入ってからであろう。

今回アルキメデスの原理を意識した実験、体積が浮力に関係する実験という2つを通して、浮くという現象にどのような力に関係しているのかを理解することは授業を通し

て理解を示している様子が伺えた。そう言う意味では、本研究のタイトルにあるような中学校導入という観点からは目的を達成されていると思われる。

今後中学生になった後に、著者の研究テーマとしている仮説実験授業⁶⁾の中にある「力と圧力」「運動とエネルギー」という授業書を用いて力についてのイメージを構築してからの本次の展開を用いればさらに浮力についてもイメージが持ちやすいのではないかと予測している。

今回の授業内容も今後も改良を重ねていくことで良いものへと精選されていくことができればと考えている。

謝辞

授業を行うに当たり、ご協力いただいた志學館中・高等部の理科部の先生方、並びに諸先生方、理科実験教室へ参加いただいた日能研の児童・保護者・先生の皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) ものづくりハンドブック1 「楽しい授業」編集委員会編 仮説社. 1986
- 2) ものづくりハンドブック6 「楽しい授業」編集委員会編 仮説社. 2002
- 3) 文部科学省 (2017) 小学校学習指導要領解説 理科編.
- 4) 文部科学省 (2017) 中学校学習指導要領解説 理科編.
- 5) 左巻健男, 小田切真, 小谷卓也, 「授業に活かす! 理科教育法 小学校編」東京書籍. 2009
- 6) 仮説実験授業のABC 楽しい授業への招待 板倉聖宣, 仮説社

(2018年12月11日 受理)

平成30年度日能研理科実験教室



浮力と浮沈子

2018/10/7

マジックします！

今日はこれを作りましょう！

でも・・・

つくるだけではもったいない！

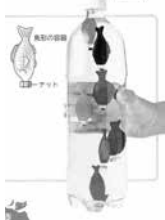
なので・・・

なぜこうなるのか？
まずは一緒に考えていきましょう

★本日のめあて★

- ◆浮力を学ぼう
- ◆浮沈子の原理について勉強しよう
- ◆浮沈子を作ろう

浮沈子のマジック



実験 1

アルミニウムの立方体(アルミキューブ)

と

鉛の玉を入れたプラスチックコップ
(鉛玉入りコップ)

どちらが重いでしょうか？

持ってみた感じで重い方を選び、ワークシートに○をつけてください。

実験 1

実際に電子てんびんではかり、ワークシートに記入しましょう。

※電子てんびんの使い方

- 1 電源オン (入/ゼロ 長押し)
- 2 ゼロ点調整 (入/ゼロ 押す)
- 3 はかりたいものを乗せる

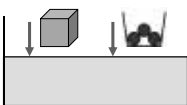


実験 1 こたえ

➡ 「鉛玉入りコップの方が重い」

実験 2

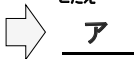
水の入った水そうの中に、アルミキューブと鉛玉入りコップをそれぞれ入れてみます。どうなると思いますか？予想してから実験してみましょう。



予想

- ア. アルミキューブだけ沈む
イ. 鉛玉入りコップだけ沈む
ウ. 両方とも沈む
エ. 両方とも沈まない(浮く)

こたえ



なぜそうなるのでしょうか？

少しまた実験をしてみたいと思います。

実験 3

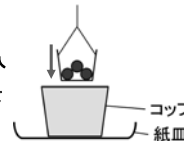
紙皿の上に、「水をあふれさせる前までめいっぱい入れたコップ」をつくり、そこにアルミキューブをそっと入れて、あふれた水のおもさを電子てんびんではかってみましょう。



➡ ワークシートに「あふれた水のおもさ」を記入しましょう

実験 4

実験3と同じようにして、次は鉛玉入りコップをそっと入れて、あふれた水のおもさを電子てんびんではかってみましょう。



➡ ワークシートに「あふれた水のおもさ」を記入しましょう

ワークシートにそれぞれあふれた水のおもさは書けましたか？

これが、実はさきほど実験した「アルミキューブが沈む」ことの答えとなります。何か気づくことはありますか？

まだよくわからない人もいいかもしれませんが、次にもう少しその答えがわかるような実験をしてみましょう。

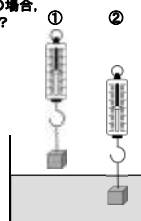


実験 5

アルミキューブをばねばかりにつけておもさをはかってみましょう。次の①、②の場合、おもさはそれぞれどうなりますか？

- ① 全く水に入れない時の重さ (空気中での重さ)
- ② 全部水に入れた時の重さ (水中での重さ)

➡ ワークシートにそれぞれのおもさを記入しましょう



★ 実験5 からわかること ★

①と②を比べると、②のほうが軽い

◆質問1

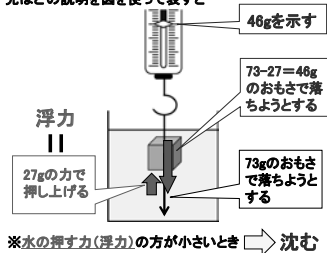
実験5ではかった値と、それまでの実験で得られた値から、何かわかることはありますか？同じグループの人とはなしあってみましょう。わかったことがあれば、ワークシートに書いてみましょう。

◆質問1 こたえ

$$\left(\begin{array}{l} \text{水中の} \\ \text{アルミキューブ} \\ \text{のおもさ} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{空気中の} \\ \text{アルミキューブ} \\ \text{の重さ} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{アルミキューブ} \\ \text{がおしのけた} \\ \text{水のおもさ} \end{array} \right)$$

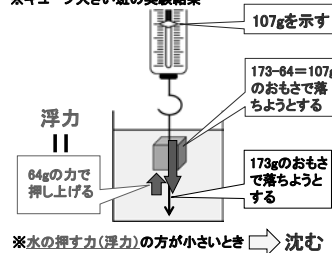
実験 5-② の値 実験 5-① の値 浮力

先ほどの説明を図を使って表すと



※水の押す力(浮力)の方が小さいとき ➡ 沈む

※キューブ大きい班の実験結果



※水の押す力(浮力)の方が小さいとき ➡ 沈む

では、浮力が大きくなっていくと？

ばねばかりの値は、小さく なっていく

ばねばかりの値はどこまで小さくなる？

0 g

このとき、おもさはかかっている物体は 水に浮く

同じように、鉛入りコップを水中に入れながらおもさはかかってみましょう。

ばねばかりの値はどうなるでしょうか？

ばねばかりの値は 0 g になる。

鉛入りコップが浮いているときの力の関係

浮力

91gの力で押し上げる

91gのおもさで落ちようとする

※水の押す力(浮力)ともののおもさがつりあっている ⇒ 浮いていられる

※鉛入りコップ大きい班の実験結果

浮力

213gの力で押し上げる

213gのおもさで落ちようとする

※水の押す力(浮力)ともののおもさがつりあっている ⇒ 浮いていられる

ここまでのまとめ

- ・水中にある物体には、上向き、「浮かぼうとする力」=「浮力」がはたらく。
- ・「浮力」は、「物体がおしのけた水のおもさ」の分だけはたらく。
- ・「物体のおもさ」は「浮力」の分だけ軽くなる。
- ・「物体のおもさ」と「浮力」が同じになると、物体は水に浮く。

◆質問2-1

同じ大きさの発泡スチロールA～Cが水に浮いています。その上におもりの数をそれぞれ変えて乗せるとすべて浮きました。このとき、A～Cそれぞれにはたらく浮力の大きさの関係性はどのようなものになっているでしょうか。

A B C

ア A > B > C
イ C > B > A
ウ A = B = C
エ その他

こたえ: イ (C > B > A)
Cが一番重くて浮いているから

◆質問2-2

浮力の大小はどのように変わっていくのでしょうか。自分たちでも同じような実験をしたりワークシートに書いて考えてみましょう。

A B C

浮力 小 中 大

★ヒント★
発泡スチロールがしずむことによって何がかわるでしょうか？ ⇒ 水に沈んでいる体積の大きさが違う。
⇒ 沈んでいる部分の体積が大きいほど浮力が大きいといえる

ここまでのまとめ2

- ・「浮力」は、「物体がおしのけた水のおもさ」の分だけはたらく。
- ・「浮力」は、「物体がおしのけた水の体積」の分だけはたらくともいえる。
- ・「浮力」は、「物体がおしのけた水の体積分のおもさ」だけはたらく。

・「浮力」は 「物体がおしのけた水の体積分のおもさ」 だけはたらく。

・水1(cm³)分の質量は1(g) (←密度1.0g/cm³だから)

物体にどれだけ浮力がはたらくかを知りたいときは、
「おしのけた水の体積」=「水に沈む分の体積」をはかるだけでわかる！ (おもさはからなくてよい)

実験 6

体積が100(cm³)のプラコップ(小)を水に浮かべます。この浮かんでいるプラコップには、鉛玉が最大で何個まで入るでしょうか。予想してから確かめてみましょう。

計算
プラコップの体積が100(cm³)なので、浮力は最大 100 (g) 発生する
⇒ 鉛玉+コップの重さが最大100(g)までは浮かぶ

・鉛玉1個: 約14.3(g)
・プラコップ: 約3.7(g) ⇒ 鉛玉6個+コップ=約89g

実験 6

計算補足

- ・鉛玉1個: 約14.3(g)
- ・プラコップ: 約3.7(g)

鉛の数(個)	鉛分のおもさ(g)	プラコップのおもさ(g)	全体のおもさ
5	71.5	3.7	75.2
6	85.8	3.7	89.5
7	100.1	3.7	103.8
8	114.4	3.7	118.1

実験6のように「おしのけた水の体積の変化で浮力を変え、重いものも浮かばせるもの」として何が出来ますか。

②水に沈んでいる体積分による浮力

①船自身のおもさ

①と②がつり合っているから船は水に浮かんでいるのです。

船は、荷物が重くなると(重くなると)、沈むことで「水を押しのけている体積」を増やし、浮力を大きくしているのです。

荷物小 荷物大

浮力小 < 浮力大

★世界最大級のコンテナ船「マックス・トリプルE」

※荷物をのせていない状態
[船下部の赤い部分が見える]

★世界最大級のコンテナ船「マックス・トリプルE」

※荷物をのせている状態
[船下部の赤い部分が見えないくらい沈んでいる]

★世界最大級のコンテナ船「マークス・トリプルE」



←荷物をのせてない状態
船下部の赤い場所が見える



←荷物をのせている状態
船下部の赤い場所が見えないくらい沈んでいる

ここまでで、体積と重さと浮力の関係について勉強しました。

ここで小学校4年生の時に勉強した「空気と水の性質」についてもう一度復習してみましょう。

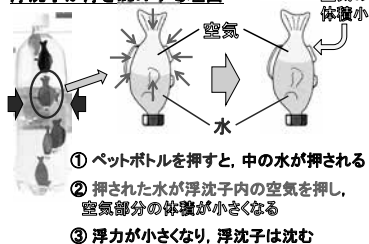
◆質問3

- (1) 注射器の中に空気を入れてピストンを押すと、ピストンの中身や手応えはどうなりますか。
⇒ピストンの中身は小さくなる、手応えは段々強くなる
- (2) (1)のピストンを押してから手の力をゆるめると、ピストンはどのように動きますか。
⇒ピストンは、体積が増える方向(元の形)に変化する
- (3) 注射器の中に水を入れてピストンを押すと、ピストンの中身や手応えはどうなりますか。
⇒ピストン中身の大きさは変わらない、手応えは、はじめからとても強い

◆質問3 まとめ
空気と水の性質を再確認してみると

	注射器などにとじこめた	
	空気	水
押し縮めることができるか	○	×
押し縮めようとしたときの体積の変化	小さくなる	変わらない
押し縮めようとするときの手の力	段々強くなる	はじめからとても強い
押し縮めた後に、力を加えるのを止める	元の大きさ(体積)にもどる	—

浮沈子が浮き沈みする理由



この空気の性質を利用して浮力の力を増したり、減らしたりすることを利用している例としては

潜水艦 があります。



そうりゅう型潜水艦 艦番号不明
呉港にて(原村撮影)

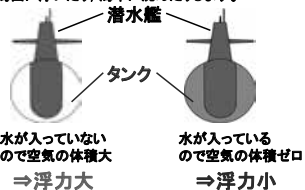


海上自衛隊HP, Twitterより
そうりゅう型潜水艦
SS-507「じんりゅう」



そうりゅう型潜水艦
SS-511「おうりゅう」
(10/4 命名、進水式)

潜水艦は、内部に水を入れる部分(タンク)があり、そこに圧縮しておいた空気を入れたり、海水を入れたりすることで潜水艦全体の浮力の大きさを調節し、浮上して海面に浮いたり、海中に沈んだりします。

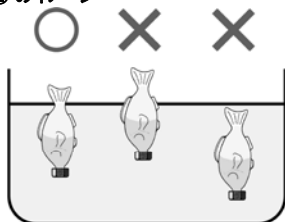


★ 浮沈子を作ってみよう ★

- ① しょう油容器(浮き)に色をぬったり、絵を書き、口のところにナットを取り付けます。ペットボトルにも絵を書いたりしていいですよ。
- ② 浮きの中に水を入れ、水そうに浮かべます。このとき、『浮きのしっぽの部分だけが水面より上にくる』ように、容器内の水の量を調節します。
- ③ 水で満たされたペットボトルに浮きを入れ、フタを静かに閉めます。
- ④ ペットボトルを「ギュッ」とにぎった時に「浮き」が沈んだら完成です！うまくいかないときは、浮きを取り出して、中の水の量を調節しましょう。

★ 浮沈子を作ってみよう ★

※②のイメージ



浮沈子をつくってみよう

浮沈子と同じ現象は人間でもできます。⇒ **水泳**

↓潜水じゃんけん(水中じゃんけん)↓



合言葉は

“UITEMATE”



おしまい

アンケートの記入にご協力おねがいします！

理科実験教室 授業アンケート

2018/10/7

題：浮力と浮沈子

● 今回の授業はおもしろかったですか？わかりましたか？

5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
おもしろい つまらない

5 ・ 4 ・ 3 ・ 2 ・ 1
よくわかった わからん

● 何か感想などがあればぜひ書いてくださいな♪

名前： _____

「浮力と浮沈子」ワークシート

<実験 1>

持っでみた感じで 重いほうは 電子てんびんで はかったおもさ	アルミキューブ ・ 鉛玉入りコップ	
	アルミキューブ	鉛玉入りコップ
	[g]	[g]
⇒ 重いのは (アルミキューブ・鉛玉入りコップ) である。		

<実験 2>

予想： ア ・ イ ・ ウ ・ エ ⇒ 答え： _____

<実験 3・実験 4>

	アルミキューブ	鉛玉入りコップ
あふれた水の重さ	[g]	[g]

<実験 5>

	① (空気中でのおもさ)	② (水中でのおもさ)
ばねばかりが示す, アルミキューブのおもさ	[g]	[g]

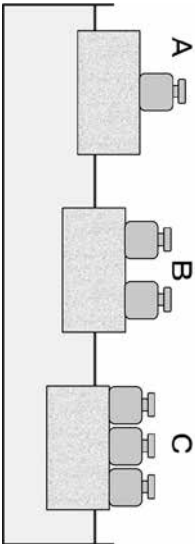
◆質問 1◆

[]

◆質問 2ー1◆

予想： ア ・ イ ・ ウ ・ エ ⇒ 答え： _____

◆質問 2ー2◆



<実験 6>

[]