

教育実践報告

## 浮力を利用した花崗岩の密度の測定

丸山 文男

The Measurement of Granite Density Using Buoyancy

MARUYAMA Fumio

### 要 旨

高校「物理基礎」における力学の水圧、浮力の学習の後、浮力を利用した花崗岩の密度を測定する実験を行った。実験によって、浮力の理解を深めることができるか、地学教材の有効性を調べた。花崗岩は近くの中房温泉で集めてきたものである。生徒の考察には、実験方法への驚きや評価、実験の問題点や工夫すべき点、さらに測定したい物が書かれていた。同じ方法で、20種類の火成岩、火山噴出物、堆積岩、変成岩でも密度を測定したが文献に近い値が得られ、岩石を用いたことは適切であった。花崗岩を用いた本実験は、簡単正確で、身近な試料を使い、浮力の理解を深めるために良い実験であることがわかった。

### キーワード

密度 浮力 電子天秤 花崗岩 高校物理

### 目 次

- I. はじめに
- II. 密度の測定の意義
- III. 密度の測定の授業実践
- IV. 生徒の反応と考察
- V. その他の岩石の密度の測定
- VI. まとめ
- VII. 今後の課題

文献

資料

## I. はじめに

水圧、浮力の原理の理解を深めるために、浮力を利用した身近な岩石である花崗岩の密度の測定が利用できないかと考えた。浮力は身近な現象であるので生徒は興味を持っている。浮力を利用した岩石の密度の測定は「地学基礎」の教科書<sup>1)</sup>の実習に示されている。また、浮力を利用した液体の密度の測定法は柿原<sup>2)</sup>によって示されている。これらの実験には、電子天秤が用いられている。さらに、精密な電子天秤を用いて空気からの浮力を測定する実験が行われ、浮力とアルキメデスの原理を興味深く学ぶ教材が開発されている<sup>3)</sup>。

そこで、扱いが簡単な電子天秤を用いた、浮力を利用した物体の密度の測定は、浮力の理解を深めるか、物体として地学教材である岩石は適切であるかを明らかにしようと考えた。A高校2年理系講座の、物理基礎(3単位)の4講座で、水圧、浮力の学習の後、浮力を利用した花崗岩の密度の測定を行った。この方法の有効性を調べるため、火成岩、火山噴出物、堆積岩、変成岩の他の岩石の密度も同じ方法で測定した。

## II. 密度の測定の意義

単位体積あたりの質量が密度であり、質量は電子天秤で簡単に測定できる。一方体積はメスシリンダーを使って調べることができる。ただ大きかったりすると難しい。そこで浮力を利用して体積を求めることにした。学習したことをもとにしてその原理を考え、測定することは非常に重要である。

## III. 密度の測定の授業実践

水圧、浮力の授業の後、A高校2年理系講座の物理基礎(3単位)の4講座で、以下の授業を行った。【 】内は配布したプリントの内容であり、資料1、2にも示した。記入されている数字は測定例である。中房温泉は燕岳のふもとにあり、槍ヶ岳に至るアルプス銀座の入口である。90度を超える高温の湯が豊富に湧き出ている。そして温泉を含む山地は花崗岩でできている。

【ここに、中房温泉で拾ってきた花崗岩があります。

密度を調べてみましょう。

$$\text{密度}[\text{g}/\text{cm}^3] = \text{質量}[\text{g}] \div \text{体積}[\text{cm}^3]$$

はじめに、体積を求める実験の、原理を理解するための演習実験を見せました。

【まず、一つ考えてみましょう。

水の入ったビーカーに、おもりをひもで結んでつるしてビーカーの水に沈め、電子天秤で質量を調べてみましょう。その際、おもりがビーカーの壁や底に触れないように注意する。

### a 実験結果

- ・水の入ったビーカー (587 g)
- ・水の入ったビーカーにおもりを沈める (611 g)

### b 考察

理由を考えてみましょう。】

生徒は結構驚いた。増加した質量24 gはどこからきたのか？おもりにとはたらく力をベクトル(矢印)で図示させた。途中で、おもりの質量を測り板書した。質量は200 gで増加した質量よりかなり大きいので、これが増加の原因でないことがわかる。おもりにとはたらく重力、糸にはたらく張力、おもりにとはたらく浮力までは多くの生徒が書けた。ここで、浮力は上下面が水圧により受ける力の差から生じ、水がおもりを押す力であることを再認識させた。すると、その反作用であるおもりが水を押す力が存在して増加することに気がつく生徒が出てきた。IV章の生徒の感想の中に、作用反作用が出てくることに驚いている者が3人いて意外性があった。

物体にはたらく浮力の大きさの分だけ重さが増えることがわかった。そこで次に、それを使ってどうやって体積を求めるかを考えさせた。

【ではここで、花崗岩の密度を調べてみましょう。

A 質量は電子天秤で求めますが、体積をどうやって求めたらいいでしょうか？】

おもりにとはたらく浮力の大きさは、おもりが押しのけた(排除した)水の重さに等しいことを再確認させた。さらに、水の密度=1 g/cm<sup>3</sup>であることを示すと、体積は、増加した質量と同じになることを理解できた。IV章の生徒の感想の中に、メスシリンダーを使

わなくても体積がわかることに驚いている者が9人もいた。

ここでグループ毎に実験に入り、花崗岩と金属のおもりの2つの密度を測定した。

#### 【B 実験方法

密度[ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] = 質量[ $\text{g}$ ] ÷ 体積[ $\text{cm}^3$ ]

物体の質量と体積から密度を求める。

- ・ 試料の質量を測る。
- ・ ビーカーに水を入れ、電子ばかりで質量を測る。
- ・ 次に、水の入ったビーカーに、試料をひもで結んでつるしてビーカーの水に沈め、電子天秤で質量を測る。その際、試料がビーカーの壁や底に触れないように注意する。
- ・ 増えた質量(浮力)から試料の体積を求める。  
浮力は試料が押しつけた水の重さ(質量)に等しい。
- ・ 水の密度  $\rho = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$  より、押しつけた水(試料)の体積がわかる。
- ・ 密度を計算する。

#### C 実験結果

試料	花崗岩	おもり
試料の質量 $m$ [ $\text{g}$ ]	81	201
水とビーカーの質量 $M$ [ $\text{g}$ ]	584	583
水中に試料を沈めたときの質量 $M'$ [ $\text{g}$ ]	615	608
試料の体積 $M' - M$ [ $\text{cm}^3$ ]	31	25
密度[ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	2.6	8.0

#### D 考察

#### E 感想】

グループ毎に測定結果を板書させ、他のグループの結果と比較させた。花崗岩については2.6~2.7  $\text{g}/\text{cm}^3$ の値が得られ、平均値は2.6  $\text{g}/\text{cm}^3$ である。おもりは8.2~8.3  $\text{g}/\text{cm}^3$ の値が得られ、平均値は8.3  $\text{g}/\text{cm}^3$ である。

花崗岩の密度の平均値は、文献<sup>4)</sup>によると2.63  $\text{g}/\text{cm}^3$ であるので、良い値が得られたと考えられる。おもりは、金属の密度、アルミニウム2.7、金19.3、鉄7.87、銅8.8、鉛11.3  $\text{g}/\text{cm}^3$ などから考えると、鉄を主とす

る合金から成ると考えられる。ステンレス鋼は7.5~7.6  $\text{g}/\text{cm}^3$ である。花崗岩の密度は意外にもアルミニウムの密度に近く驚きである。

## IV. 生徒の反応と考察

授業はA高校2年理系4講座で行ったが、ここでは1講座42人の記述を以下に示す。

### 1. 生徒の反応

#### D 考察

- ・ 花崗岩の方が密度が小さくすかさずしているa。
- ・ 花崗岩の方が空気がたくさん含まれているaのだろうか。
- ・ 花崗岩とおもりも同じビーカーで行ったのではじめの花崗岩のときに水の質量が減ってしまったのでビーカーを2つ用意して行えば誤差が小さくなるbだろうと思った。
- ・ くくりつけたひもの分だけ誤差があるb。質量を測るとき風によって少し値がずれるbおそれがある。
- ・ ひもの体積についても考えるともっと正確なデータがとれるb。
- ・ 糸を細いものにすれば、その分体積も減って浮力の誤差は小さくなるb。
- ・ ひもが水を吸い上げてしまうのでMの質量が変わってしまう問題点があるb。
- ・ 沈める物体の質量が大きければ大きいほど浮力の大きさも大きくなるc1。
- ・ 密度が大きいほど浮力は小さく密度が小さいほど浮力は大きいc2。
- ・ 水深の深さによって密度が変化するのではc3。
- ・ メスシリンダーで測れない大きな物質dをこの方法で測定できると思った。
- ・ とても簡単な方法で簡単な計算のできるのでいろいろなことに応用dできる。
- ・ 花崗岩は岩ということで密度には多少のばらつきeがあると思った。(2人)
- ・ 花崗岩の密度にズレeがあるのは構成成分が違うからである。
- ・ 誤差が少なくて良い実験iになったと思う。
- ・ いろいろな石でやればどんな石か特定jすることができそう。

- ・密度を測ることでその物質の種類を特定jできる。
- ・形がぐちゃぐちゃしているものの密度、体積を求められる。
- ・どの班も同じくらいの結果になった。(2人)
- ・昔の話で金の王冠かどうか調べるときに使ったという話を思い出した。水にぬれてはいけないものや体積の小さいものは測りにくいと思った。
- ・体積が大きいと浮力も大きくなる。
- ・有効数字のけた数が小さいので正確なデータをとるのは難しい。
- ・沈めるとき側面や底面にあててしまうと質量が変わってしまうので気をつけなければいけない。
- ・水中に沈んでいる糸の体積で結果に違いが出る。

主な記述：図3に示す。

- ・この実験から、花崗岩の性質を挙げている。(下線部a)2人
- ・実験の工夫を上げている。(b) 5人
- ・誤った考え方が見られた。(c1~c3) 3人
- ・この方法で他の物体の密度が測れる。(d) 2人
- ・花崗岩は岩ということで密度には多少のばらつきがあると思った。(e) 2人
- ・花崗岩の密度にズレがあるのは構成成分が違うからである。(e) 1人
- ・密度で物体が特定できる。(j) 2人

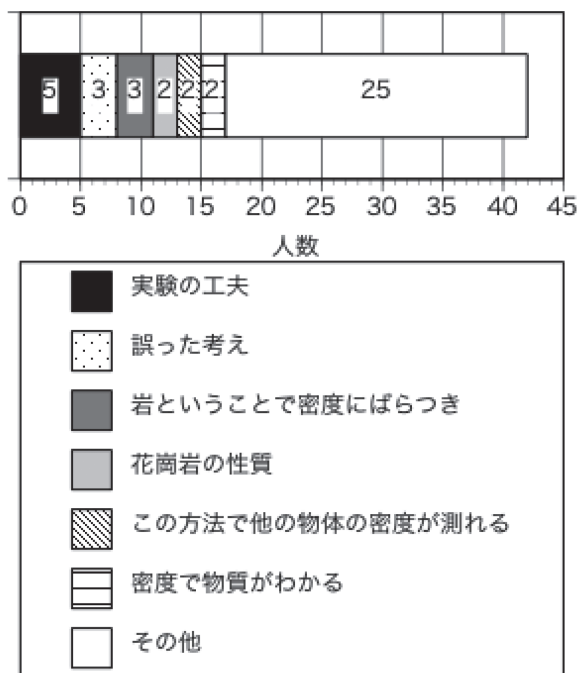


図3. 考察の記述

## E 感想

- ・トマトやきゅうりdなどの野菜の密度を調べてみたい。
- ・メスシリンダーなどなくてもできるのはおもしろいすごいfと思った。(7人)
- ・おもりのほうが密度が大きくて驚いた。メスシリンダーで測れないものの体積fをこれだけ簡単にだせてすごいと思った。
- ・体積はメスシリンダーなどでないと調べられないと思っていたfが、質量からこんなに簡単にi調べる事ができたのでびっくりしました。
- ・各班の花崗岩の密度がほぼ同じだったのでとても正確で簡単な方法gだと思った。やっていて楽しかった。
- ・体積が水を用いることで簡単に求められたgことに驚きました。
- ・浮力で簡単に調べられることに驚いたg。(2人)
- ・作用反作用hが意外なところで活躍していて驚いた。
- ・作用反作用hで重さが増えているとは気がつかなかった。
- ・作用反作用hの力が使えることに驚いた。(2人)
- ・力の学習を応用して正確な密度の値を求められるこの方法はすごいjと思った。(3人)
- ・密度を測ることで何の物質かjわかる。
- ・密度の求め方がしっかりわかった。密度によって何の物体なのかjわかるものも多くおもしろいと思った。
- ・小学校のころやったことのある実験でしたが理屈を理解しながらやるとわかりやすく納得できました。
- ・実験をすることでわかりやすかった。
- ・密度の求め方を勉強しておいたので実験もスムーズに進められた。
- ・水より密度が大きいことがわかった。
- ・花崗岩の性質を知ることができて良かった。
- ・浮力を学べてうれしかった。
- ・扇風機の風があたると値がゆらぐので無風状態で行うのが望ましいと感じた。
- ・手軽で精度も高いので良い実験だと思った。
- ・意外と簡単に密度をだすことができた。
- ・浮力がはたらいっていることを感じられて感動した。
- ・水の中に浮いているだけなのに重さに関わってくるというのには驚いた。

・水の中で上下に動かすと値が変わっておもしろかった。

主な記述：図4に示す。

- ・メスシリンダーを用いなくても体積がわかることに驚いている。(下線部f) 9人
- ・体積が簡単に求められたことに驚いている。(g) 3人
- ・作用反作用が出てくることに驚いている。(h) 3人
- ・簡単で良い方法であると考えている。(i) 4人
- ・何の物質かわかる。(j) 2人
- ・花崗岩の性質を知ることができて良かった。

## 2. 考察

レポートへの生徒の記述から次のことが明らかになった。

生徒の考察には、実験からわかる花崗岩の性質が挙げられていた。実験の問題点や工夫すべき点が書かれていた。この方法で他の物体の密度も測れると考え、さらに測定してみたいものが挙げられていた。密度で物質を特定できると考えている。演示実験で測定原理を考えさせたので、その後のグループ実験では納得して実験ができたようだ。また、間違っただけの理解をしている者がいる。c1:質量でなく体積である。

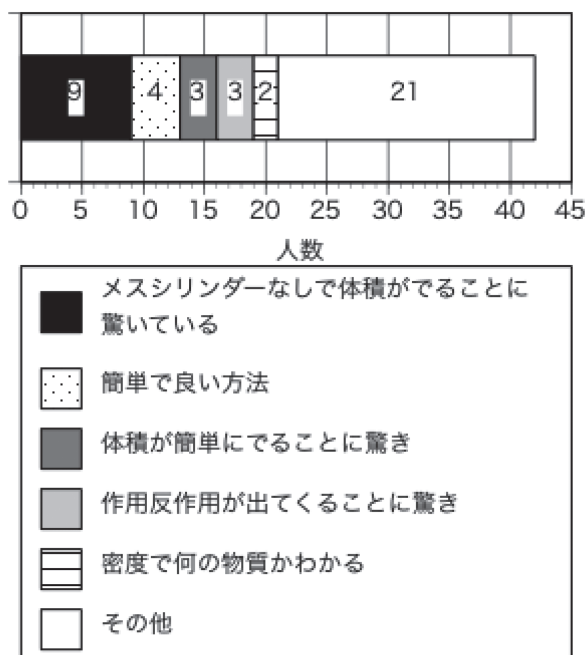


図4. 感想の記述

沈んでいる体積が大きいほど浮力が大きい。c2:密度ではなく体積である。c3:水深の深さで密度は変化しない。浮力の大きさは物体の水に沈んでいる体積が大きいほど大きいことを授業で強調していきたい。

感想には、メスシリンダーを用いなくても体積がわかることに驚いている。そして体積が簡単に求まり驚いている。作用反作用が出てくることにも驚いている。簡単で良い方法と考えている。

以上の結果より、授業で水圧や浮力を学習した後、身近な花崗岩の密度を浮力を用いて測定するこの実験は、作用反作用が出てきて浮力の理解を深め、簡単正確で、非常に有効な実験であることがわかった。この方法で、いろいろな物体の密度を測定してもおもしろいと考えられる。

## V. その他の岩石の密度の測定

この方法の有効性を調べるため、火成岩、火山噴出物、堆積岩、変成岩の20種類の岩石の密度も同じ方法で測定し資料3にまとめた。測定した岩石は市販されている標本(株式会社京都科学)で、「地学」の授業で用いているものである。

さらに、岩石の種類毎に平均値を計算した。結果は、火成岩2.6 g/cm<sup>3</sup>、火山噴出物2.4 g/cm<sup>3</sup>、堆積岩2.4 g/cm<sup>3</sup>、変成岩2.7 g/cm<sup>3</sup>になった。変成岩は高温高压状態におかれ、岩石が変化した結果であるので変成岩の密度が最大となるのは納得ができる。火山噴出物は火成岩からできているが、隙間が多く密度が火成岩より小さいのは理解できる。一般的に、火成岩はケイ素やアルミニウムに富む岩石は白っぽい密度が小さく、マグネシウムや鉄に富む岩石は黒っぽい密度が大きい。資料3の測定値を見ると、白っぽい花崗岩と流紋岩の密度が最も小さく、黒っぽいはんれい岩と玄武岩の密度が最も大きく、うまく対応している。

資料3の測定値を見ると、堆積岩の泥岩の密度はやや小さい。この試料はぼろぼろと崩れる状態であった。新しい時代のもので、あまり固まっていなくて密度が小さいと考えられる。

比較のために、地質調査所で測定された岩石の密度(自然乾燥)の平均値<sup>4)</sup>も資料3に示した。個々の岩石の密度には幅があることを考えると、私たちの測定値と割合よく一致している。

これらのことから、電子天秤で浮力を利用した岩石の密度の測定値は、いずれも妥当な値になっていると考えられ、この実験方法の確かさが示された。地学教材である花崗岩を用いるのは適切であった。

## VI. まとめ

水圧、浮力の授業の後、浮力を利用して花崗岩の密度を調べる実験を行い、浮力の理解を深めるか、物体として岩石は適切であるかを調べた。

はじめ、演示実験で浮力を利用して物体の体積を求めることができることを考えさせたので、浮力の理解が深まり、その後のグループ実験では納得して実験ができたようだ。生徒の考察には、実験方法への驚きと評価、さらに測定してみたいもの、実験の問題点や工夫すべき点が挙げられていた。岩石を用いた点については、20種類に及ぶ他の岩石においても、良い密度の値が得られ、花崗岩を用いたことは適切であった。

以上の結果より、身近な花崗岩を用いたこの実験は、浮力の理解を深め、簡単正確で、試料の岩石も適切で、非常に有効な実験であることがわかった。この方法で、いろいろな物体の密度を測定してもおもしろいと考えられる。

## VII. 今後の課題

地学の素材を物理の授業で用いることは意外に新鮮で、生徒も興味を持って実験ができた。特にA高校では、理系の生徒は地学を受講できないので、地学の素材に触れることができることはうれしいようだ。今後も物理の授業に地学の素材を取り入れていきたい。

### 文献

- 1) 磯崎行雄・江里口良治編, 『地学基礎』新興出版社啓林館, (2016).
- 2) 柿原聖治, 「浮力と液体の密度測定」『物理教育』, 59, pp.267-268(2011).
- 3) 矢野幸夫, 「浮力の実験『気体を押し縮めると重くなる?』」『物理教育』, 60, pp.194-197(2012).
- 4) 地質調査所, 『地質調査所報告』276(1991).

年 月 日実施

## 花崗岩の密度の測定

2年 講座 組 番 氏名

ここに、中房温泉で拾ってきた花崗岩があります。密度を調べてみましょう。

密度[ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] = 質量[ $\text{g}$ ] ÷ 体積[ $\text{cm}^3$ ]

まず、一つ考えてみましょう。

水の入ったビーカーに、おもりをひもで結んでつるしてビーカーの水に沈め、電子天秤で質量を調べてみましょう。

その際、おもりがビーカーの壁や底に触れないように注意する。

### a 実験結果

- ・ 水の入ったビーカー (            g )
- ・ 水の入ったビーカーにおもりを沈める (            g )

### b 考察

理由を考えてみましょう。

ではここで、花崗岩の密度を調べてみましょう。

A 質量は電子天秤で求めますが、体積をどうやって求めたらいいのでしょうか？

## B 実験方法

$$\text{密度}[\text{g}/\text{cm}^3] = \text{質量}[\text{g}] \div \text{体積}[\text{cm}^3]$$

物体の質量と体積から密度を求める。

- ・ 試料の質量を測る。
- ・ ビーカーに水を入れ、電子ばかりで質量を測る。
- ・ 次に、水の入ったビーカーに、試料をひもで結んでつるしてビーカーの水に沈め、電子天秤で質量を測る。  
その際、試料がビーカーの壁や底に触れないように注意する。
- ・ 増えた質量(浮力)から試料の体積を求める。  
浮力は試料が押しのけた水の重さ(質量)に等しい。  
水の密度  $\rho = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$  より、押しのけた水(試料)の体積がわかる。
- ・ 密度を計算する。

## C 実験結果

試料	花崗岩	おもり
試料の質量 $m$ [g]		
水とビーカーの質量 $M$ [g]		
水中に試料を沈めたときの質量 $M'$ [g]		
試料の体積 $M' - M$ [ $\text{cm}^3$ ]		
密度 [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]		

## D 考察

## E 感想



火成岩	密度 [ g / cm <sup>3</sup> ]	密度(自然乾燥) [ g / cm <sup>3</sup> ]
花崗岩	2.6	2.63
流紋岩	2.4	2.37
閃緑岩	2.6	
安山岩	2.7	2.49
はんれい岩	2.7	2.86
玄武岩	2.7	2.62
平均	2.6	
火山噴出物		
溶岩	2.6	
火山弾	2.2	
黒曜石	2.4	
平均	2.4	
堆積岩		
礫岩	2.7	2.46
砂岩	2.6	2.42
泥岩	1.7	2.15
凝灰岩	2.2	2.14
石灰岩	2.6	2.57
チャート	2.6	2.58
粘板岩	2.7	2.66
平均	2.4	
変成岩		
結晶質石灰岩	2.6	
砂岩ホルンフェルス	2.6	2.72
黒雲母片麻岩	2.5	2.67
藍せん片岩	3.2	2.80
平均	2.7	

密度(自然乾燥) [ g / cm<sup>3</sup> ]は文献4)の値.

資料3 岩石の密度の測定結果