

# 地学基礎の授業 生徒の「感想・疑問」の活用

～生徒が「物体の密度と浮力」について誤解していることに気づいた～

兵庫県立舞子高校講師 西川 徹

nishi200653@gmail.com

## 1. はじめに

今年度の科教協東京大会のテーマは、「自然のしくみが『わかると楽しい！』教師が子どもと楽しめる授業づくりを」である。教師であれば誰しも同じだと思うが、私も、日頃から生徒が楽しく感じる授業を心がけるようにしている、生徒が「わかった」とか「おもしろかった」と言ってくれば、こちらも楽しくなる。

楽しい授業にするためには、第1には、規律があつてかつ和やかなクラスの雰囲気が必要である。これはその学校が長い間に作り上げてきた教師と生徒との信頼関係が基盤になっている。第2に、授業中の生徒指導がある。それは、スポーツの試合の審判のような役割で、一つ一つのプレーに適切な判定をしないと試合が荒れる。すなわち生徒の言動を的確にコントロールしないと授業が円滑に進まない。第3に、日々の生徒とのコミュニケーションがある。お互いの人となりが分かってくると、授業が楽しくなる。人間同士の感情の交流が生まれればおのずと授業はうまく行き出すと考える。そのための工夫として、私は、毎時間の授業のワークシートの「感想・疑問」欄を活用するようにしている。生徒がこの時間に何を理解し、何に興味をもったのかをキャッチし、それを次の時間に活かすことができる。「こんなことを書いている生徒がいたけど、みんなはどう思う？」から入れば、次の授業にうまくつなげることができる。

さて、今年度1学期の「岩石の密度の測定実験」において、生徒の「感想・疑問」から発展して「誤差を小さくする工夫」について取り組んだ。その中で、水の深さと体積・浮力の関係、基本的な密度の意味などについて、生徒は誤解をしたまま実験をしていることに気が付いた。その後の授業の報告と期末考査の結果を受けて考えたことを発表する。

## 2. 兵庫県立舞子高等学校 2025 年度理科カリキュラム (表 1)

科	普通科			環境防災科
	文系	理系	先進理工	
1年生	化学基礎	化学基礎	化学基礎	環境と科学・自然環境と 防災Ⅰ・災害と人間
2年生	生物基礎・物理基礎・ <b>地学基礎</b>	生物基礎・物理基礎・物 理・生物・ <b>地学基礎</b>	生物基礎・物理基礎・物 理・生物・ <b>地学基礎</b>	環境と科学・自然環境と 防災Ⅱ・Active 防災Ⅰ
3年生	(週2) 5科目選択	物理・化学・生物	物理・化学・生物	人と社会・Active 防災 Ⅱ・卒業研究

- ・ 2025年度地学基礎授業対象学年2年（普通科5クラス5月1日現在197名）

### 3. 生徒の感想から再実験へ

地学基礎の教科書（第1学習社）では、図1のように岩石の体積をメスシリンダーで測ることになっている。しかし、中学校でも実施した経験から、メスシリンダーの目盛は読み取りにくく、誤差が大きいことが分かっていた。そこで、電子てんびんやデジタルスケール等を使って、岩石をピンセットでつかみ水底につかないように沈めてその増えた重さを体積に換算する（アルキメデスの原理を利用する）方法で実験した。対象は授業の進度が進んでいた2年生5, 2, 4組の3クラスで実施した。（図2：岩石の密度測定 Ver. 1）

**実験②** 岩石と鉄の密度の比較

**方法**

- ① 花こう岩、玄武岩の岩石片と鉄片の試料を準備し、電子てんびんでそれぞれの質量を測定する。
- ② プラスチック製のメスシリンダーに水を入れ、試料を沈める前と後で変化した水位から、試料の体積を求める。
- ③ 次式を用いて、試料の密度を求める。

$$\text{密度(g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{試料の質量(g)}}{\text{試料の体積(cm}^3\text{)}} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

**考察**

- ① 岩石と鉄の密度を比較しよう。
- ② 試料の密度と地球内部の物質の密度を比較しよう。

電子てんびんで試料の質量を測る。

メスシリンダーに水を入れたときの水位の目盛を読む。

メスシリンダーに試料を入れ、水位の目盛を読む。

図1 教科書の実験

ところが、今年度から勤務した県立舞子高校の電子てんびんは感度が良く、その分、手ぶれが大きく影響して目盛が安定せず読み取るのが難しかった。その後の生徒との「感想・疑問」の欄でのやり取り（図3）から、スタンドにタコ糸で岩石をつるして、手ぶれを少なくする方法（図4：岩石の密度測定 Ver. 2）で再度

**<実験> 岩石の密度を測ってみよう Ver. 1**

・準備  
 いろいろな岩石 電子てんびん  
 ビーカー(プラコップ) 水  
 タコ糸(ピンセットを使用)

図2 岩石の密度測定 Ver. 1

実験する

生徒の感想：いくら自分量でやったとしてもこんなに大きく誤差がでるのか。いや、でないです。何回やってもあの結果になったので時間があれば先生がやってみて下さい。7.0付近になったら僕らが悪かったです。  
 返信：やってみました！確かに！君たちは悪くないです。ゴメン！

図3 生徒の「感想・疑問」欄でのやり取り

**<実験> 岩石の密度を測ってみよう Ver. 2**

・準備  
 いろいろな岩石 電子てんびん  
 ビーカー(プラコップ)  
 タコ糸 水 電卓 スタンド

図4 岩石の密度測定 Ver. 2

4. 実験結果

2年5組 (PC検算)		Ver. 1										表 1 Ver. 1 の実験結果 (2年5組, 2組, 4組の3クラスで実施)			
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.5	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.55	2.6~2.7	2.65	0.10
玄武岩		2.8	2.7	2.8	2.8	2.2	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.68	2.8~3.0	2.9	0.22
その他 (鉄)		11.6	7.1	6.3	7.2	7.3	7.2	7.5	7.4	7.5	8.0	7.71	7.87	7.87	0.16
2年2組 (PC検算)		Ver. 1													
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.3	2.6	2.5	2.6	2.5	2.5	2.5	2.6	2.7	2.6	2.54	2.6~2.7	2.65	0.11
玄武岩		2.8	2.7	2.8	2.8	2.2	2.7	2.9	2.6	2.5	2.8	2.68	2.8~3.0	2.9	0.22
その他 (鉄)		7.0	7.1	5.9	7.0	7.3	8.9	9.0	6.8	4.1	7.7	7.08	7.87	7.87	0.79
2年4組 (PC検算)		Ver. 1													
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.5	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6	2.5	2.4	2.6	2.6	2.55	2.6~2.7	2.65	0.10
玄武岩		2.7	2.8	2.8	2.9	2.8	2.7	2.9	2.7	2.8	3.1	2.83	2.8~3.0	2.9	0.07
その他 (鉄)		7.5	7.7	6.1	7.0	6.9	7.6	6.2	7.1	7.3	8.5	7.18	7.87	7.87	0.69
2年5組 (PC検算)		Ver. 2										表 2 Ver. 2 の実験結果 (2年全5クラスで実施)			
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.5	2.8	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.9	2.4	2.61	2.6~2.7	2.65	0.04
玄武岩		2.8	2.9	2.8	2.9	2.8	2.7	2.8	2.7	3.3	2.7	2.84	2.8~3.0	2.9	0.06
その他 (鉄)		8.1	8.0	7.2	7.2	7.8	6.0	7.8	7.4	9.9	7.9	7.74	7.87	7.87	0.13
2年2組 (PC検算)		Ver. 2													
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.6	2.5	2.5	2.5	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.58	2.6~2.7	2.65	0.07
玄武岩		2.8	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.8	2.85	2.8~3.0	2.9	0.05
その他 (鉄)		7.9	7.8	8.0	6.8	7.7	7.6	7.7	7.2	6.7	7.8	7.52	7.87	7.87	0.35
2年4組 (PC検算)		Ver. 2													
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.6	2.6	2.6	2.4	2.6	2.6	2.5	2.6	2.7	2.3	2.55	2.6~2.7	2.65	0.10
玄武岩		2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.80	2.8~3.0	2.9	0.10
その他 (鉄)		8.1	7.7	8.0	7.4	10.2	7.7	6.8	7.4	6.7	8.0	7.79	7.87	7.87	0.08
2年1組 (PC検算)		Ver. 2										Ver.2			
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.6	2.6	2.6	2.3	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.55	2.6~2.7	2.65	0.10
玄武岩		2.8	2.8	2.9	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8	2.7	2.8	2.79	2.8~3.0	2.9	0.11
その他 (鉄)		6.3	7.8	8.1	7.8	7.6	6.5	7.8	12.1	7.5	7.8	7.93	7.87	7.87	-0.06
2年3組 (PC検算)		Ver. 2													
班 (g/cm <sup>3</sup> )		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	一般的な密度	真の値	真の値との差
花こう岩		2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.6		2.6	2.57	2.6~2.7	2.65	0.08
玄武岩		3.1	2.8	3.0	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.85	2.8~3.0	2.9	0.05
その他 (鉄)		6.6	7.9	7.1	7.6	7.2	7.4	7.7	7.4		7.8	7.40	7.87	7.87	0.47

(表3) 岩石の密度 真の値との差  
Ver. 1 と Ver. 2 の比較

真の値との差	Ver. 1の平均	Ver. 2の平均
花こう岩	0.11	0.08
玄武岩	0.17	0.07
その他 (鉄)	0.55	0.29

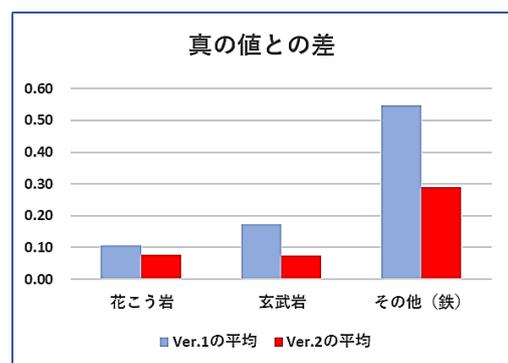


図5 真の値との差

### 5. 実験結果の考察（誤差を小さくする工夫）

花こう岩は  $2.6 \sim 2.7 \text{g/cm}^3$ ，玄武岩は  $2.8 \sim 3.0 \text{g/cm}^3$  と幅があるため，真の値を中央値として，花こう岩は 2.65，玄武岩は 2.9，鉄は 7.87 と設定して，各クラスの測定結果の平均値との差を出した。（表 3 および図 5 のグラフ）

図 5 のグラフからも分かる通り，Ver. 1 よりも Ver. 2 の方が真の値に近い数値が出た。ただし，鉄製品（ボルト・ナット），玄武岩，花こう岩の順に誤差が大きくなった。生徒の考察に書いてある「誤差の原因」の内容に教師の意見も入れて以下のようにまとめた。

- ・ 岩石が全部沈んでいなかった。岩石が容器の壁（床）に触れていた。  
（プラコップを大きくすると電子てんびんの測定限度を超えるので無理。逆に岩石を小さくすると誤差が大きくなる。）
- ・ 岩石に水が付いていた。石の内部にすきまがあった。
- ・ 電子てんびんが水平でなかった。
- ・ 0点調節で 0.00 でないのに測った。
- ・ その他の鉄（ボルト・ナット）の誤差が大きかったのは、「鉄がさびていた，ボルト・ナットの大きさが小さかった，鉄製品の品質が同じでなかった」などが考えられる。
- ・ 同じ花こう岩や玄武岩でも採取した場所が違くと成分が違う。  
（花こう岩の密度は  $2.6 \sim 2.7$ ，玄武岩は  $2.8 \sim 3.0$  と幅がある理由でもある。）
- ・ ピンセット（Ver. 1）やタコ糸（Ver. 2）が水中で押しのけた水の体積（それによる浮力の影響）が測定値に影響した。
- ・ 机の振動（人の動き）が影響した。（しばらく待つと測定できる）
- ・ 気温，気圧，湿度なども影響する。（条件を統一する）

### 6. 生徒の書き込みから気づいたこと（生徒の「密度」と「浮力」についての誤解）

（Ver. 1 の実験後）

- ・ どこまでの深さまで入れるかで誤差が生じる。水面から何 cm まで入れるかを統一すればいいと思った。
  - ・ 水の量を同じにする。
- ・ 水の中に岩石を入れるとき，岩石が入る深さによって数値にズレがあった。
- ・ 水に入れた時の深さが各班で差があったから。
  - ・ 石の大きさ，体積を同じにする。
- ・ みんな同じ質量の岩石を使うと誤差がなくなり，水につけるときの同じ高さのつけ方をすると誤差が少なくなると思います。

（Ver. 2 の実験後）

- ・ 誤差の原因は，水につけるときの石の位置やそれぞれの班の石の大きさの違いによっておこると思いました。対策は，石のつける位置と石の大きさを全班そろえると誤差は少なくなると思います。
  - ・ 物体を沈める深さ。
  - ・ 水が減るから。
- ・ 各班で石の質量と体積が違うから。（2 回目の実験で水に沈める深さは関係しないことが分かりました。深海なら片ががあるのかなと疑問に思い，興味深い実験でした。）
- ・ 深さではあまり違いはなかった。1 回目の実験より 2 回目の実験の方が他の班との値が似ているし，2 回やったことで理解しやすくなったと思います。本当の値とは少し誤差はあるけど，近い値をさすことができたことにうれしい気持ちもあります。

図 6 生徒の考察や「感想・疑問」の欄への書き込み

実験後の生徒の考察や「感想・疑問」の欄に上記のような書き込み（図6）があったので、図7を示して生徒に考えさせた。また、説明の前に口頭で質問し挙手によって回答させた。

(1) 「岩石の体積を測るときに深さをそろえた方がよい」という意見について

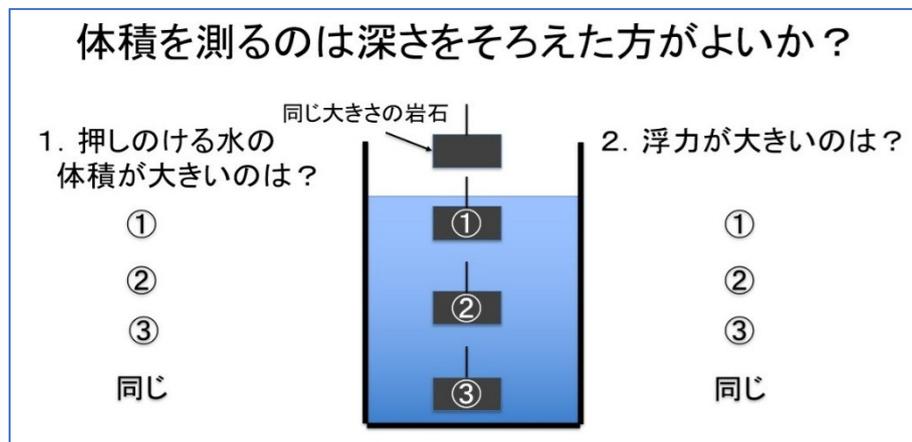


図7 体積を測るのは深さをそろえた方がよいか

○ 解説をする前に生徒に口頭で質問（挙手）をした結果は、以下の通り（表4, 5）である。

(1) 表4 押しつける水の体積が大きいのは？（ ）は在籍数

	2-2 (40)	2-5 (39)	2-4 (40)	2-1 (38)	2-3 (40)	計 (158)	%
①浅い		記				0	0
②中央		録	2			2	1.7
③深い	19	も	23	6	14	62	51.7
同じ	8	れ	8	25	15	56	46.7
計	27		33	31	29	120	100.0

挙手をした生徒は120人（記録した4クラス在籍158人）のうち、②中央付近が1.7%、③「深いところ」が51.7%、「同じ」が46.7%であった。

(2) 表5 浮力が大きいのは？

	2-2 (40)	2-5 (39)	2-4 (40)	2-1 (38)	2-3 (40)	計 (197)	%
①浅い			24			24	17.6
②中央						0	0.0
③深い	17	18		10	7	52	38.2
同じ	3	7	5	22	23	60	44.1
計	20	25	29	32	30	136	100.0

挙手をした生徒は136人（回答した5クラス在籍197人）のうち、①「浅いところ」が17.6%、③「深いところ」が38.2%、「同じ」が44.1%であった。

- 同じ大きさの岩石を沈めた場合、水圧による変形がなければ、「押しのかけた水の量は変わらない」ので、水の深さが変わっても体積は「同じ」が正しい。また、アルキメデスの原理から、「浮力は押しのかけた水の重さに等しい」ので、深さが変わっても浮力も変わらない。したがって「体積を測るのに深さをそろえる必要はない」と説明した。

押しのかけた水の体積 (=重さ=浮力) ⇒ 深さに関係ない

- 生徒は、水圧の感覚があつて、体積や浮力に影響すると考えがちなのかもしれない。実際にデジタルスケールでの簡単な演示実験で確かめてみた。(図8)

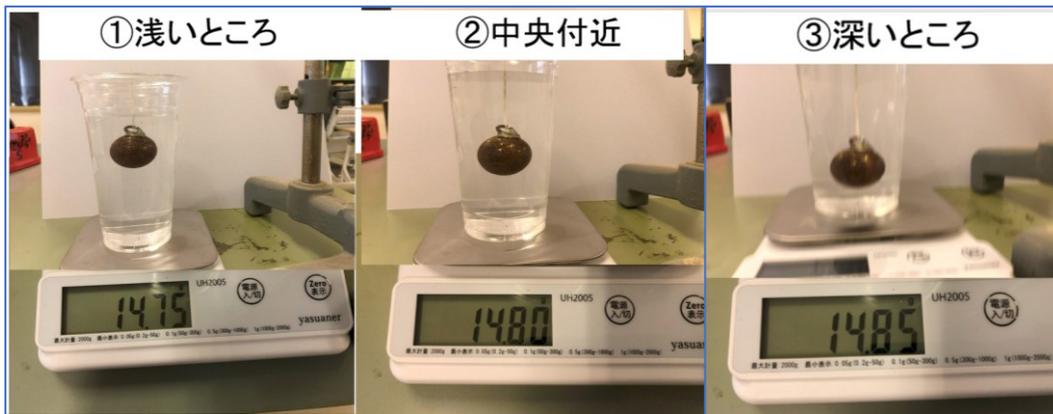


図8 深さを変えて押しのかけた水の重さを測定  
(左から 14.75 g, 14.80 g, 14.85 g)

図8のように、押しのかけた水の重さは、①浅いところは 14.75 g, ②中央付近は 14.80 g, ③深いところは 14.85 g で、それぞれの差は 0.05 g であつた。理論上は「同じ」はずだが、実験すると深い方が 0.05 g だけ大きくなつた。これは、使用したタコ糸の重さを測定すると約 0.25 g で、水に沈めると (ほとんど浮いているが) その浮力は約 0.10 g であつた (図9) ので、タコ糸全体が押しのかけた水の体積は 0.1 cm<sup>3</sup> 程度だと考えると、水の深さによる 0.05 g の差はタコ糸が沈んだ体積分が影響していると考えられる。したがって、鉄球の体積すなわち押しのかけた水の体積 (浮力) は、深さ

に関係なく「同じ」としてよいと考えられる。生徒へもこのように説明した。



図9 タコ糸の重さは 0.25g 浮力は 0.10g

(2) 「岩石や鉄製品の大きさをそろえた方がよい」という意見について

**岩石の大きさ(重さ)をそろえた方がよいか？**

①そろえた方がよい      ②そろえる必要はない

- 測定の目的である「密度」は、「単位体積あたりの質量」(g/cm<sup>3</sup>)である。
- つまり、1cm<sup>3</sup>あたり何gか、1m<sup>3</sup>(1L)あたり何kgか(同じ大きさにして重さ比較する量)なので
- 同じ物質でできているものは、大きくても小さくても密度は変わらない。(ただし、小さい方が誤差は大きくなる)

図10 岩石の大きさをそろえた方がよいか

前述のように、生徒の「感想・疑問」の欄に、「岩石の大きさがバラバラなので誤差が生じる。大きさをそろえたらよい。」など(図6)の書き込みがあった。事前の口頭での質問には、多くの生徒が②「そろえる必要はない」と(挙手で)答えた。これは、図10に示したように、実験の目的が「密度」の測定であるから、「大きさをそろえる必要はない」と説明した。

少数の生徒であるが、「密度」の意味がはっきり理解できていないか、あるいは、単なる勘違いをしたのではないだろうか。密度の意味を正しく理解できれば分かると思われる。

ただし、反省として、上記の質問(1),(2)は「誤差を小さくする方法」の流れで質問をしたので、生徒は「誤差を小さくするには深さをそろえた方がよい」と捉えて回答した生徒もいたようである。(図11)

生徒の感想：体積を測るとき深さをそろえる必要はなかったが、深さが違うと水に入るひもの長さが変わるので出る値も変わるので、できればそろえた方がよいと思いました。

返信：なるほど。そうですね。質問の仕方が悪かったです。「誤差を少なくする」と考えるとその通りです。そこまで考えて素晴らしいです。

図11 考察の説明後の生徒の「感想・疑問」

7. 岩石の密度測定実験のまとめ

今回の岩石の密度の測定実験は、これまでの学校(デジタルスケール)よりも電子てんびんの感度が良かったため、手ぶれが大きく影響し、目盛の読み取りが難しかった。その実験後のレポートの生徒の「感想・疑問」の欄での意見の交換から、「誤差をより小さくする工夫」を追求する自由研究のような楽しい取り組みに発展する授業ができた。また、別の生徒の「感想・疑問」の欄への書き込みから、「岩石の体積の測定に深さが関係するのではないか」や、「岩石の大きさをそろえる必要があるのではないか」など、生徒が物体の密度や浮き沈みについて混乱して(迷っている)状況が把握できたので、その後の授業で、正しい理解を促すような説明をした。

地球内部の構造の単元における「岩石の密度の測定実験」に、アルキメデスの原理や浮力や圧力などの物理の概念を伴う内容は、生徒には難しく感じられたかもしれない。

どこまで理解が深まったかは分からないが、難しい概念でも何度も実験を繰り返し、手で触って実感することで、次第に理解できるようになるのではないかと考える。(図12)

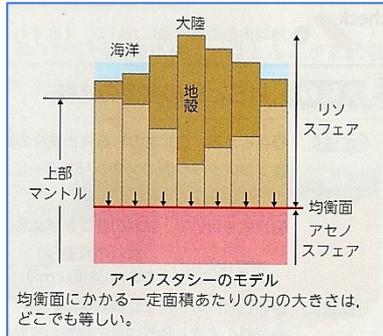
生徒の感想：水の中に物を入れて床につけていなくても質量が増加し体積がわかるというのは不思議なことだ。水の全体量は変わっていないし、物自体の重量は影響しない。理屈では理解できても実際に目に見ると不思議なもので、実に面白い。  
返信：これに気が付いたのがアルキメデスですね！

図 12 考察の説明後の生徒の「感想・疑問」

8. 「アイソスタシー」の簡単演示実験

地球の高い山脈や深い海洋底のような起伏は、リソスフェアが、流動性のあるアセノスフェアの上に浮いていると考えることで説明できる。

軽い地殻が重いマントルの上に浮かんでいると考えてよい。大陸地殻の重力とマントルからの浮力が釣り合いを保っている。この釣り合い状態を**アイソスタシー**（地殻均衡論）という。



アイソスタシーのモデル  
均衡面にかかる一定面積あたりの力の大きさは、どこでも等しい。

図 13 教科書のアイソスタシーの説明

岩石の密度測定等の「地球の内部構造」の単元の後、「地球内部の動き」の単元になり、教科書に図 13 のようなアイソスタシーの説明が出てくる。これも密度や浮力が関係して、固体の地殻が上部マントルに浮いているという、生徒にとっては理解が難しいところである。そこで、アイソスタシーを実感するために、割りばし 2 本を輪ゴムで止めたもの（図 14-①）を水を入れた試験管に浮かせたもの（図 14-②）を作成した。また、同様に割りばし 2 本を接着剤で合わせ、マジックで色をつけたもの（図 14-③）を作成して演示した。

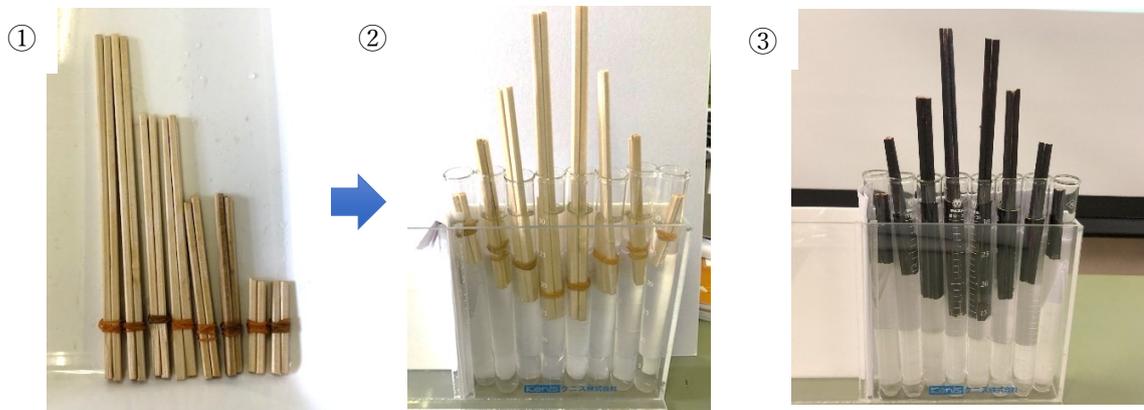


図 14 割りばしで作成したアイソスタシーのモデル

生徒の感想にも、具体的なモデル実験を見て分かりやすかったと反応があった（図 15）。

地球内部にも構成物質やかたさによって区分されている場合があると分かった。動きがよく分からなかったけど、長い棒状のあめに例えて変形の様子を考えたらよく分かったし、理解できてよかった。割りばしの実験でアイソスタシーを理解できてよかった。とても身近ことで例えてくれると理解しやすいのでこれからも続けてほしい。

岩石の流動のしくみがアメの溶けた時と似ていることを知ったけれど「溶ける」と「流動」の違いについてどう違うのかまたは同じなのか知りたかったです。アイソスタシーについても自分が無意識に想像していたものとは違っておもしろいと感じました。

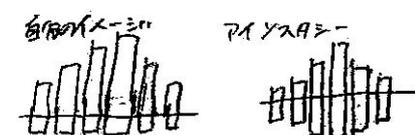


図 15 アイソスタシーの演示実験後の生徒の「感想・疑問」

9. 1学期末考査 7/4 (金) の記述式の問題から、生徒は密度や浮力の概念を誤解していることが分かった。

問い1：岩石の質量をM，体積をVとすると，岩石の密度はどう表せるか。

受験生徒数 194名 正解：M/V 正答数 168 正答率 86.6% 誤答数 26 誤答率 13.4%

問い2：鉄製の船が水に浮く原理を「密度」と「浮力」の語句を用いて説明せよ。

受験生徒数 194名 正答数 19 正答率 9.8% 誤答数 175 (×101△41 無回答 33)  
誤答率 90.2%

問い1の密度の公式は86.6%が正解していたが、その後の具体的な岩石の密度の計算は、正答率が25~30%であった。また、問い2の記述式の問題は、正答率が9.8%で、大部分の生徒が密度と浮力の概念が理解できていないか、または、それらの関係を誤解していることが分かった。

10. 問い2の生徒の誤答 (×のみ101人) の分類 (GoogleGeminiによる分類)

(1) 「密度」と「浮力」の違いが分かっていない、または混同している

このカテゴリは、生徒が「密度」と「浮力」という用語を適切に使い分けられていない、あるいは、それらが何を指すのか混同しているケース。

解答例：

- ・「密度が大きく、浮力が小さいため、鉄製の船は水に浮く。」(密度の大小と浮力の大小が逆、または関係性を誤解)
- ・「船の密度と水の浮力が釣り合いを保っている」(密度と浮力を比較対象として直接的に結びつけている)
- ・「密度に対して浮力の方が大きいから」(同様に直接比較)
- ・「密度が水よりも大きいことから浮力も大きいから。」(密度が大きいと浮力も大きいという誤解)
- ・「密度のぶんだけ浮力もはたらくから」(密度と浮力の関係性の誤解)
- ・「浮力によって鉄の密度が水の密度より小さくなるため」(浮力が密度に影響を与えるという誤解)
- ・「密度と浮力が釣り合っているから」(釣り合いの対象を誤解)

(2) 「鉄」と「水」の密度の比較を間違えている

これは、鉄が水より密度が大きいという基本的な事実を理解していない、または逆に記憶しているケース。

解答例：

- ・「鉄の密度が水の密度よりも小さいため水の浮力がはたらき船は浮く。」
- ・「水の密度より鉄の密度の方が小さく、水からの浮力によって上へおされるから。」
- ・「鉄なので密度が小さいから浮力がいっぱいはたらく。」
- ・「鉄は密度が低く、浮力を受ける面積が広いから。」

(3) 「船全体」の平均密度と「鉄単体」の密度の区別ができていない

船が鉄だけでできているわけではなく、内部に空気を含むなどして、船全体の平均密度が水より小さくなることで浮く、という点が理解できていないケース。これは、この問題の核心部分であり、最も多く見られる誤解の一つと考えられる。

解答例:

- ・「できるだけ密度の低い物質を使って、浮力を上げるため水にあたる面積を広くした。」  
（「できるだけ密度の低い物質」の認識が曖昧、または鉄以外の物質を使っているという誤解）
- ・「船の底には空気がたまっていて、空気は水より密度が小さいため浮力がはたらいてつり合いがとれるようになるから。」（空気の役割は認識しているが、それが船全体の平均密度を下げることにどう繋がるかの理解が不十分）
- ・「船の沈んでいる部分はわずかで密度は大きくてもそれより浮力が大きくなっているから。」（船全体としての密度に言及できていない）

(4) 「浮力」の発生原因や大きさの決定要因を誤解している

浮力は、物体が押しのかけた流体の重さに等しいというアルキメデスの原理を理解していない、あるいは、浮力の大きさは物体の質量や面積、形状などどのように関係するかを混同しているケース。

解答例:

- ・「鉄は水より密度が大きい船は質量がとても大きいけど水にふれる面積は小さいため大きな力が働くから。」（面積と浮力の関係性の誤解）
- ・「面積が大きいので、密度が分散され、浮力が生じるから」（面積と密度・浮力の関係性の誤解）
- ・「鉄は密度が高いため、浮力の影響を受けやすいから」（密度と浮力の関係性の誤解）
- ・「密度が大きく浮力の力に勝っているから浮くことができる。」（浮力の発生メカニズムの誤解）
- ・「密度が大きければ大きいほど浮力がはたらくことを利用しており、鉄は密度が大きいので水に浮くことができる」（密度と浮力の大小関係の誤解）
- ・「鉄製の船は密度が大きいので、浮力を受けることができるから水に浮くことができる。」（同様に、密度と浮力の大小関係の誤解）
- ・「船の底に水を入れ、密度と浮力を大きくしている。」（船の底に水を入れると沈むという基本的な知識の欠如）

(5) 「つり合い」や「力の関係性」を誤解している

物体が浮くためには、重力と浮力がつり合う必要があるという基本的な力の関係性を理解しているものの、その原因や結果について誤った認識を持っているケースです。

解答例:

- ・「どれだけ密度が高くても重力と浮力がつり合っているから」（重力と浮力の関係を漠然と捉えている。船が浮く理由を説明していない。）
- ・「船の密度が船にかかる浮力よりも小さいため」（密度の比較対象が不適切）
- ・「密度を浮力より小さくすることで浮力の方が大きいと浮くから」（同様に密度の比較対象が不適切）

### 1.1. 考察

岩石の密度の測定実験を行い、その「誤差を小さくする工夫」を考えさせている中で、生徒が密度や浮力について誤解していることに気が付いた。その後、それを修正する目的で、説明を行い、簡単な演示実験を行った。そして、1学期の期末テストで、その理解を問うため「鉄製の船が浮く理由」を記述式で尋ねたが、正答率がとても低かった。

これらの分析から、生徒たちが「密度」と「浮力」という物理量の定義と、それぞれの物理量同士、あるいは重力との関係性を根本的に理解できていないことが分かった。特に、「物体の浮沈は、その物体の平均密度と流体の密度の比較によって決まる」という重要な概念が抜け落ちている生徒が多いことが分かった。その他に生徒の誤解の原因としては、アルキメデスの原理への理解不足、水圧と浮力の混同など直感と物理現象のズレ、実験の有効性とその限界などがあると考えられる。

ただし、今回の密度測定実験が、生徒の潜在的な誤解を顕在化させるきっかけとなったことは確かである。また、「アイソスタシー」の演示実験は、難しい概念でも具体的なモデル（割りばしの実験）を用いることで、生徒の理解が深まる可能性を示していると考えられる。

### 1.2. 結論と今後の課題

今回の授業実践で、小学校や中学校ですでに履修しているはずの「密度」や「浮力」の概念が、普通高校の生徒に定着していない実態が分かった。実験後の生徒の感想や期末テストの記述の分析において、その誤解の多様性と根深さに気づかされた。その後調べてみると、先行研究にも、同様のテーマで多くの論文があることも分かった。高校生だけでなく大学生にも同じことが言えるようである。これは、高校の地学だけの責任ではないが、他の科目（物理や化学）との連携も視野に今後の課題としたい。

今後の指導においては、用語の正確な定義づけ、平均密度の概念のていねいな導入、アルキメデスの原理の徹底理解、そして、具体的な実験（例えば、先行研究にもあったが、粘土による形を変えて浮沈を調べる実験やアルミ箔を丸めたものと船の形にしたものとの比較など）を通じた体験学習が重要であると考えられる。

### 1.3. 参考資料

- ・瀧本家康・亀田直記（2024）理科教員を目指す大学生は物体の水中部分の体積と浮力の大きさの関係を理解しているか，理科教育学研究 Vol. 65 No.2, 503-509.
- ・藤本光章（2014）サイエンスショー「なぜ鉄の船は浮かぶのか～浮力の不思議な実験～」実施報告，愛媛県総合科学博物館研究報告，No.19, 57-64.
- ・藤原玄宜・川上紳一（2012）浮力の大きさが物体の体積に関係していることを実感できる観察・実験の工夫，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学）第36巻，55-56.
- ・デジ楽採点2の1学期末考査の分析データ
- ・AI ツール Google Gemini を以下の内容で利用した。  
生徒の1学期末テストの誤答の分類，先行研究の検索と概要把握