

水に浮かぶ物体に働く3種の浮力

元立教大学理学部 佐々木研一

水面にアルミの円板を浮かべると、その断面は図1のようになるが、そこには3種類の浮力が作用する。

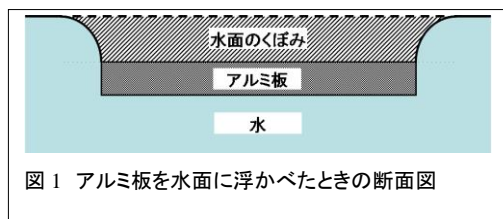


図1 アルミ板を水面に浮かべたときの断面図

- ①水中のアルミ板と同体積の水の質量に等しい浮力
- ②水の表面張力が吊り上げる浮力
- ③水面のくぼみが排除した水の質量に等しい浮力(くぼみの浮力と呼ぶことにする)

このうち①はアルミニウムの比重が2.7なので浮力は質量の1/2.7であるから単独で浮かせる力とはならない。1円玉やアメンボが浮く理由として、通常は①の他に②の表面張力が上げられ、③のくぼみの浮力には気付かないことが多い。

②の表面張力は水と接する縁の長さに比例し、③のくぼみの浮力はくぼみの体積、即ち沈み込みが同じであれば板の面積に比例すると考えられる。従って、円板の場合、表面張力は半径に比例し、くぼみの浮力は半径の2乗に比例すると大まかに考えてよく、ある程度以上大きい円板はほとんどくぼみの浮力で浮かび、表面張力の浮力としての寄与は小さいはずである。もちろん、くぼみを作るために表面張力と物体のはっ水性は必須であるが。

そこで、この表面張力とくぼみの浮力の関

係を示す実験を考案したので報告する。

この実験は視覚に障害のある学生にも触覚で浮かんだものの重さや浮力を確認できるよう、すべてフックを用いた。

実験1. 針金リング+円板 その1

- ・太さ2mmのステンレス線で直径約7cmのリングを作り、これを三又フック(図2)で吊るし、水面にそっと下ろしたが、浮かべることができなかった。

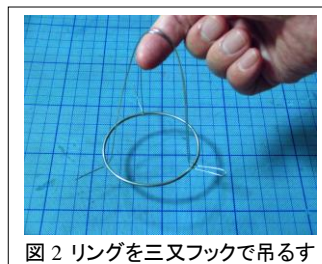


図2 リングを三又フックで吊るす



図3 左: リングを乗せる円板、右: リング

- ・上記リングより一回り大きい直径8cmで厚み0.5mmのアルミ円板を加工し、縁から奥へ5

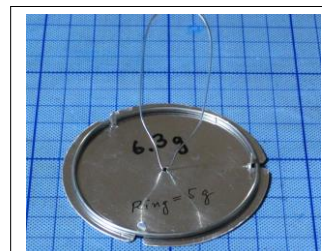


図4 円板にリングを乗せたところ

- mm、幅2mmの切れ込みを3カ所に入れ、直角に起こし、爪を立てる(図3の左。右はリング)。この爪の外側に先ほどの径7cmのリングを乗せる(図4)。



図5 リングを乗せた円板が浮き、フックから指が離れたところ

- 円板につけたフックで吊るし、水面に下ろすと、円板ごとリングは水面に浮かんだ(図 5)。
- リング単独(5 g)では浮かなかったが、それにさらに円板の質量(6.3 g)が加わったにもかかわらずリングは円板に乗って浮かんだ。
- 表面張力の作用する長さは、リングは外側と内側があるが、円板は外周だけなので円板の受ける表面張力はリングの半分にしかならず、浮いた主原因は表面張力ではない。
- リングの半分の表面張力を利用して円板は総質量 11.3 g を浮かせたことになる。
- 円板とリングを浮かせた浮力には、水中にあるアルミ板に働く①の浮力($6.3 \times 1/2.7 = 2.3$ g)の他、③のくぼみの浮力が $11.3 - 2.3 = 9$ g 以上あったので丸ごと浮いたと考えられる。
- 円板の直径は 8 cm であり、面積は約 50 cm^2 であるから 9 g の浮力を生んだくぼみの深さは 0.18 cm と計算された。

実験 2 針金リング+円板 その 2

- 原理は実験 1 と同じであるが、条件をより厳しくした(図 6, 7)。
- 針金は重く(9.5 g)、円板は小さくした(直径 7 cm, 5.5 g)
- 針金単独

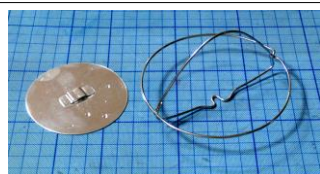


図 6 針金の部分を長く重くし、円板を若干小さくしたセット。円板中心の横穴に針金底部を差し込めば図 7 のようになる。

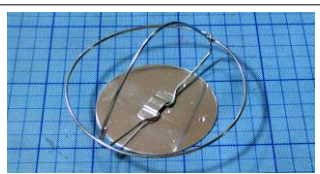


図 7 図 6 の針金を円板に組み付けたところ。

では浮かないが、円板を追加すれば浮く(図 8)。

- 総質量は 15 g である。



図 8 図 7 のセットを円板の部分で水に浮かべたところ

水中のアルミ板が水を排除して得た浮力は $5.5 \times 1/2.7 = 2.0$ g であるから、くぼみの浮力は $15 - 2.0 = 13$ g。円板の面積が 38.5 cm^2 であるから、くぼみの深さは実験 1 より深く、0.34 cm と計算された。

実験 3 アルミ板リング+円板、一体化モデル

- 原理はおなじだが一体化したものが図 9 のモデルである。上のリングは内・外周



図 9 アルミ板で製作した一体化モデル。下の円板で浮いている。

があり、表面張力が作用する長さは下の円板の約 2 倍あるが、上のリングによっては浮かず、下の円板では簡単に浮いた(図 9)。

- このモデルには上のリングの内側に追加リングをはめ込むことができるようにしてあり、これを追加すると、さらに重くなるにもかかわらず、上のリング+その内側の円板で浮かせることができる。下の円板は水中。

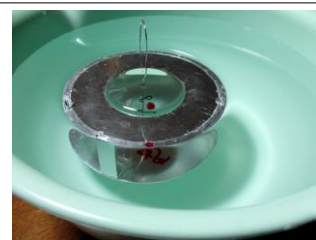


図 10 上のリングの内側に追加リングをはめ込み、面積を増やしてやれば上のリングでも浮かせることができる。下の円板は水中。

ることができた(図 10)。下の円板は水中にある。

- ・このことから、このモデルでは**表面張力**より**くぼみの浮力**の方が大きいことが分かる。

その他

・アルミ缶輪切りの浮き

アルミ缶を 2
～3 cm 幅の
輪切りにす
る。これをそ
のままでは
水面に浮か
せることはで
きないが、

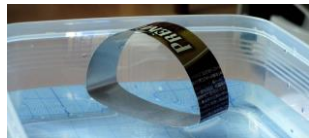


図 11 アルミ缶の輪切りはそのままでは水面に浮かせることはできないが、半分をやや扁平に変形するとその面を下にして浮かべることができる。リング上部がフックの役目を果たす。

半分のをやや扁平に変形するとその面を下にして浮かべることができる(図 11)。

これは、扁平にすると接水面積が増加し、**くぼみの浮力**が増加するとして説明できるとよいが、表面張力の作用する長さも比例的に増加するので単純ではない。一工夫必要。

・板が浮くかどうかは面積ではなく厚みで決まる

板の面積が大きくなるにつれ、板を浮かせる力として、**くぼみの浮力**は**表面張力**より格段に大きくなり、表面積が数 10 cm^2 になると前者が圧倒的に大きくなるので、それ以上の面積の板を浮かせる力は、**くぼみの浮力**のみを考えればよくなり、板に作用する浮力はほぼ板の面積に比例すると考えてよい。一方、板の質量も面積に比例するので、板の厚みが決まれば、単位面積当たりの浮力と質量の関係は板の全面積と無関係に一定である。

つまり、板が浮くかどうかは、ある程度大きな板では面積と関係なく厚みだけで決まる。

実際に、厚み 2 mm のアルミ板が浮くことを $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ の板で確認できたので $20 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ の板 (324 g) について試したところ、やはり浮くことが確認された。この場合のくぼみの深さは 5.4 mm と計算された。

-
- ・今後、触覚で浮くことを確認する方法を改善したいのでアドバイスをお願いします。