水銀と分銅

ー浮力はなくなるのか？ー

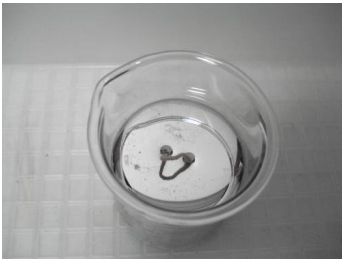
広島・入江　洋一

浮力はなくなるのか？

分銅は，水銀より密度が小さいので，水銀に浮かびます。

50g の分銅をビーカーの底に置いて，上から水銀を注ぐとどうなるでしょうか。

すると，分銅は浮かんできません。



この現象は，出口陽正さんによって「＜浮力＞の正体　鉄は水銀に浮く？沈む？」(『たのしい授業 1999 年 12 月号 No,219』掲載）という題のレポートで紹介されています。

水銀は分銅より密度が大きいので浮力によって，分銅は浮かんでくるはずなのですが，どうして浮かんでこないのでしょうか。浮力は，分銅の下側に入りこんだ水銀の原子が，分銅の底に激しく上向きにぶつかることによって生じます。それ以外に，上向きの力が分銅にはたらく理由はありません。そこで，ビーカーの下側から底を観察してみます。

下から見ると，分銅の底が全部見えます。水銀は分銅とビーカーの間に入りこんでいません。そのため，上向きの力がはたらかないのです。

それなら，分銅をどれくらいの力で引っぱりあげると，分銅は浮かんでくるのでしょうか。

じつは，＜分銅とビーカーの間には，はじめから入りこんだ空気があるので，上向きの力がかなりはたらいているはずだ。だから，ちょっとショックを与えただけで分銅が浮いてくる＞という人がいます。浮力がなくなることなどない，というのです。

さて，どうでしょうか。

最小目盛りが5g 力で，200g 力まで計れるばねばかりで引っぱり上げてみましたが，すぐにはもち上がりません。

80g 力で浮かんできました。

分銅の重さが50g ですから，分銅を下向きに引っぱる地球の引力よりもかなり大きな力が必要だということになります。

その力は，いったいどうやって決まっているのでしょうか。

＊＊＊　この力の測定は，あとでもう少し丁寧な測定をしたところ，かなりバラツキはあるけれど，100g 力～150g 力が必要であることが分りました。

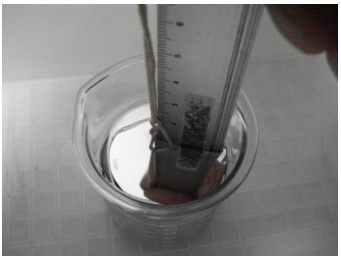
浮かんでいる分銅を沈める

この実験では，分銅を最初にビーカーの底に置いてから，水銀をかけました。

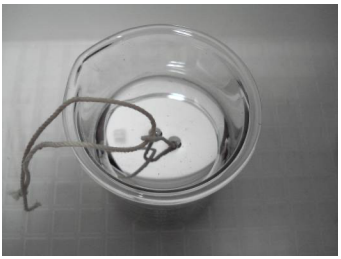
浮かんでいる分銅を無理矢理沈めて，浮かんでこないようにしたわけではありません。そのため，分銅の下には空気が入りこんでいるかもしれません。

そこで，浮かんでいる分銅を無理矢理沈めてみることにしました。といっても，指で押さえつける気にはなりません。水銀に直接さわりたくないからです。

しかし，うまいことに分銅には，引っぱり上げるための糸がとりつけてあります。その糸と定規などを使って，分銅を底に押しつけてみることにしました。分銅は底に沈んだままになるでしょうか。



ちょっと押さえたぐらいでは，すぐに分銅は浮かんできます。しかし，じっと押さえていると，・・・



分銅は浮かんでこなくなりました。

それでは，こんどは分銅とビーカーの間はどうなっているのでしょう。分銅とビーカーの間には水銀や空気は入りこんでいないのでしょうか。

下から見ると，分銅の底の一部が見えて，銀色の部分が見えます。水銀が分銅の下のすきまに入りこんでいます。しかし，不思議なことに分銅は浮いてきません。

それなら，このように水銀が少し入りこんでいる状態の分銅を引っぱりあげるには，どれくらいの力が必要でしょうか。

ばねはかりで測ってみると，こんども前と同じくらいの大きさ（100g 力ほど）の力が必要でした。

ここまでの実験から，ぼくは次のように考えました。

① 空のビーカーの底に分銅を置いて，水銀をそそぐと分銅は浮かんでこない。このとき，分銅の底とビーカーの間には空気があるかもしれない。

② しかし，水銀に浮かんでいる分銅を底に押しつけて沈めれば，分銅の底とビーカーの間には空気が入らないにちがいない。このときも，じっと押さえていれば分銅を浮かばなくすることができる。

③ それなら，どちらの場合も，分銅の底とビーカーの間には，空気が入っていないにちがいない。その証拠に，どちらの場合も，分銅が浮かんでくるようにするには，同じくらいの力で引っぱり上げなければならない。

分銅の下には空気がない？

しかし，こう考えたものの，疑問がわいてきました。

＜水銀に分銅を押しこんでやれば，分銅のまわりには，空気がまとわりついてくるはずがない＞と考えたのですが，本当にそうなのでしょうか。

じっさい，水に浮かんでいるものを水の中に押し込んでも，まわりに空気がまとわりついていることがあります。

たとえば，毛むくじゃらの昆虫が水の中に落ちたとき，昆虫の表面に空気がまとわりついている映像を見たことがあります。体のまわりにくっついた空気を吸って，水中で動きまわる昆虫までいるというのです。

「マジック・サンド」というものがあります。水をよくはじくように表面を加工した砂です。砂をひとつかみ水の中に入れると，砂の表面が銀色に光を反射しているように見えます。空気の層があるためです。

砂の表面には小さな凸凹があります。水は表面張力（＝表面積をできるだけ小さくしようとする力）がつよいので，砂にはじかれた水は，砂の凸凹に応じた形になることができません。

水に濡れにくく，しかも表面に小さな凸凹があるものを，水の中に入れると，その表面には空気の層ができるのです。（マジック・サンドは，仮説社で販売されています）

分銅のまわりの空気

ところで，たいていのものは水銀にはぬれにくい（くっつきにくい）ので，水銀は丸い滴になってコロコロと動きまわります。それは，葉っぱの上で，コロコロと転がる水の滴よりも丸く見えます。

水銀の表面張力は水の7倍も大きいので，水銀がいくら水より重く（密度が水の約14倍）ても，お餅のように平らにならずにほとんど球形になるからでしょう。

分銅の表面もその一つです。同じ金属同士だから，自由電子を共有してくっつき合ってもよさそうなものですが，水銀は分銅の表面を避けるように見えます。表面が手の油などで汚れているせいかもしれません。

そんな分銅を水銀の中に沈めてやるとどうなるでしょう。分銅の

表面がいくらツルツルに見えても，分銅の表面には目に見えない小さな凸凹があります。水銀は表面張力がつよいので，分銅が水銀をはじくと凸凹に応じた形になることができません。

水銀にぬれにくく，しかも表面に小さな凸凹があるものを，水銀の中に入れると，その表面には空気の層ができるのではないでしょうか。

分銅の下に空気があれば

分銅の下側に空気があるものとして，これまでの実験結果を見直してみると，ちがった解釈が成り立つことに気がつきました。

① 空のビーカーの底に分銅を置いて，水銀をそそぐと分銅は浮かんでこない。このとき，分銅の底とビーカーの間には空気がある。

② もし，空気がなければ大気圧もかかっているはずだから，分銅をもちあげるには，分銅の断面積（約3c㎠）からして3000g 力ほどの力が必要だ。しかし，100g 力ほどの力でもちあがった。

③ 一方，水銀に浮かんでいる分銅を底に押しつけて浮かばなくすることもできる。しかし，このときも分銅の底とビーカーの間には，空気が入っているにちがいない。その証拠に，分銅を引っぱって浮かんでくるようにするのに，水銀をそそいだときと同じくらいの力が必要だ。

つまり，これらの実験結果は，解釈を変えると，＜分銅の下側には空気がある＞ということにもなる，というわけです。

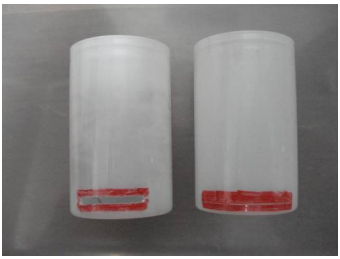
それなら浮力は？

＜分銅の下側に空気の層があれば，水銀がその空気を圧縮して，空気の層の圧力が上がるのではないか＞という人がいます。だから，＜水銀は空気を通して間接的に分銅を押し上げる＞というのですが，はたして，本当は

どうなのでしょうか。そこで，こんな実験をやってみました。

問題

フィルムケースにカッターで水平に切れ込みを入れます。下から5mm くらいのところに，水平に長さ2cm，上下の幅が（1）2mmくらいの切れ込みを入れたもの（写真左）と，（2）0.1～0.2mm の切れ込みを入れたもの（写真右）をつくりました。



この２つのフィルムケースをビーカーの中に入れて，水銀をフィルムケースいっぱいに注ぎ入れます。水銀は切れ込みから出てくるでしょうか。

予想

（1）2mm（　　）

（2）0.1～0.2mm（　　）

ア　出てくる。

イ　出てこない。

ウ　出てくるが，途中で止まる。

実験の結果

水銀をフィルムケースいっぱいに注ぎ入れると，水銀は切れ込みからどんどんもれ出て,なかなかフィルムケースがいっぱいになりません。フタをすれば，止まるのかもしれませんが，フタをしていないのですから，あなからもれ出るのは当たり前です。

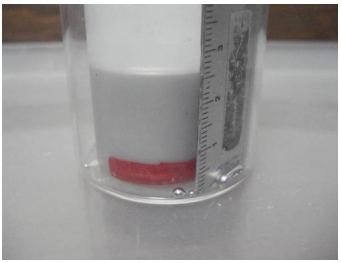
そこで，フィルムケースに半分以上水銀が入ったら，注ぎ入れるのをやめて，切れ込みからもれ出す水銀の様子を見ることにしました。

すると，・・・・・・

幅が2mm の切れ込みからは，止まることなく水銀が出てしまいました。つまり，（1）の結果は（ア）です。

それなら，幅が，0.1～0.2mm の切れ込みではどうでしょうか。

こんどは，水銀が途中で出なくなったのです。水銀の表面から切れ込みまでの深さが2cm くらいになったところで，水銀はピタッと止まってしまったのです。ですから，（2）の結果は（ウ）です。



分銅の底とビーカーの間のすき間は，0.1～0.2mm よりももっとせまいことでしょう。ですから，水銀がそのすき間に入っていくことはない，ということになります。

結局，浮力は･･･

分銅の上から注いだ水銀は，分銅の下のすき間に入っていきません。そのため，水銀による上向きの圧力ははたらきません。

また，すき間にある空気の圧力は1気圧のままです。水銀がすき間に入りこんで，空気の圧力を高めることはありません。

その1気圧の空気によって，分銅は上に押し上げられているわけですが，分銅は上からも同じ大きさの大気圧で下向きに押されています。ですから，両者は

相殺してしまうのです。

分銅が浮かばないのは，下から上に向かってはたらく水銀の圧力（＝浮力）が，はたらかないからだ，といっていいのです。

分銅をもち上げるには

ところで，机の上に置いてある分銅にも，＜上からの大気圧＞と＜分銅の下のすき間にある空気の圧力＞がはたらいて，両者は相殺しています。そのため，まるで大気圧などないかのように，分銅をもち上げることができます。

それなら，水銀に浮かばない分銅ではどうでしょうか。分銅をもち上げようとして上向きに引っぱると，分銅の下のすき間が大きくなります。しかし，水銀に囲まれているために，空気は入っていきません。そのため，すき間にある空気の圧力が小さくなって，下向きの大気の圧力の方が相対的に少し大きくなります。

そのため，分銅を上に引っぱっても，分銅はすぐには浮かんできません。しかし，さらに大きな力で引っぱって，すき間がもっと大きくなると，水銀がすき間に入れるようになります。このときの力の大きさが80g 力（後で調べたら，100g 力～150g 力。いずれにしても，分銅にはたらく重力50g 力よりもかなり大きな力）だった，というわけです。

いったん，水銀が分銅の下に入りこめば，水銀による上向きの圧力のためにすき間はどんどん大きくなり，分銅はビーカーの底からいっきに離れてしまいます。

おまけの実験　1

分銅で実験をしてきたのですが，それ以外のものではどうでしょうか。たとえば，ゴム栓とか，アクリル製の立方体とか。底が平らなものなら，浮力がはたらかなくなって，底に沈んだままになりはしないでしょうか。これは最初にいどの会の田中一秀さんが試してくださったのですが，08 年 3 月のいどの会では，手近にあった消しゴムでやることにしました。

消しゴムの使ってないほうを下にして，水銀の中に押し込みました。こんどは，水銀の量を少なめにして，消しゴムが水銀の表面から出るようにします。そうすれば，水銀で手を汚さなくてすみます。さて，こんどはどうだったでしょうか。

消しゴムを水銀の中に沈めたままにすることができたでしょうか。

消しゴムは水銀の中に立って，ビーカーの底からはなれなくなりました。分銅より密度のうんと小さな消しゴムでも，浮力がなくなれば浮かないのです。

おまけの実験　2

＜フィルムケースに開けた小さなあなから水銀はもれ出すか＞ということを話題にしたとき(08 年 2 月)，いどの会の山住章さんが，こんなことを言い出しました。

「水はどうだろうか。水は表面張力が強いので，あなが小さければ，もれ出す途中で止まってしまうのではないか」というのです。さて，どうでしょうか。

水でも水のもれ出しが止まったのです(写真右)。このことを使うと，水や水銀の表面張力を測定することが出来ると思うのですが，その報告は後日。

あとがき

このレポートを書きはじめたのは，松川利行さんのホームページで「＜浮力＞は本当に無くなるの？――板倉聖宣氏の功罪」という論文を見つけたのがきっかけです。(以下「＜浮力＞は‥？」と 略記)

論文を要約すると，次のようになります。

＊　＊　＊

分銅の底面とビーカーの間には空気が入っており，浮力はなくなっていない。分銅やビーカーの表面は原子・分子のスケールではけっこう凸凹している。

ところで，水銀は分銅の底とビーカーの間に入っていけない。水銀には表面張力があるからだ。分銅の底とビーカーの間には空気があるが，水銀がその空気を押す圧力は表面張力のために減っている。そのため，空気の圧力は減少し，分銅の底面にはたらく上向きの圧力(浮力)も減る。その結果，分銅は浮かび上がらないのであって，浮力がなくなっ

たわけではない。

分銅には大気圧も含めて1kg力以上の力が下向きにはたらいているはずだ。浮力がはたらかないということであれば，分銅は1kg 力以上の大きな力で押さえつけられていることになる。しかし，この現象は表面張力という弱い力によるものにすぎない。その証拠に，指でちょっと分銅を叩くだけで浮上してくる。

この実験には，実験方法にトリックがあって，分銅をビーカーの底に置いてから水銀を注ぐことになっている。そうすれば，分銅の下側に空気が入ったままになるから，吸盤と同じことになって成功していたのだ。

＊　＊　＊

松川さんの論文は，田中一成さんと作成中の授業書案《空気と圧力》で教えようとしていることがまちがいである，と主張しているように思えました。そこで，「たのしい社会の科学メーリングリスト」のメンバーに紹介したところ，田中一成さんや須崎正美さんたちから多くの意見をいただきました。

その中でも，須崎さんは＜水銀の中に沈んだ分銅を引き上げるにはどれくらいの力が必要か，実際にばねはかりで計ってみる＞という実験をされました。その結果は，＜水銀の量が25cc，分銅の重さが20g でやると，糸をもったらすぐに分銅が浮いてきてしまった＞ということです。須崎さんの実験を知った田中さんから＜水銀を入れておいてからピンセットで分銅を底に押しつけてみてほしい＞という提案がありました。

そこで，ぼくも追試をしてみようと考え，水銀500g を入手し，50cc のビーカーと，50g の分銅に糸を取り付けて，広島仮説サークル・いどの会の例会にもちこみました。調べてみたかったのは，つぎの2点です。

（1）水銀の底に沈んだ分銅が浮かぶには，どれくらいの力が必要か．本当にほんのわずかな力で分銅は浮いてしまうのだろう

か。

(2) 水銀に浮いた分銅を沈めて，ビーカーの底から浮かんでこないようにすることは本当にできないのだろうか。

その結果は，レポート本文に書いた通りです。

(1)については「分銅にはたらく地球の引力（50g 力）」の2倍近い力が必要なのですから，「わずかな力で浮く」とは言えません。「水銀の表面張力」にくらべたらかなり大きな力です。

(2)の方も，松川さんの述べていることに反する結果が出ました。松川さんは＜浮いているものを上から手で押さえて沈めていく方法では，底に沈めてもこのような空気層は存在しえない。だから物体は正常な浮力があり常に浮き上がる＞（「＜浮力＞は・・？」3ページより）と明言しているのです。しかし，実際にやってみると浮き上がらないようにすることができました。

ところでぼくには，松川さんの論文は，＜松川さんが実験をきちんとやっていないためにまちがえた＞ということ以上の問題があるように思えてなりません。

板倉聖宣さんは＜本当に底にぴったりとついていれば浮かないんですよ。水が入らないから下からの力を受けないでしょ。「力がはたらかないと動かない」という原理そのままです＞（『たのしい授業』1999.12 月号，43 ページ）と述べています。「本当に底にぴったりとついていれば」という条件の下では「浮かない」（浮力がはたらかない）というこの主張は，「力の原理」にもとづいたものです。

一方，松川さんは次のように述べています。＜事実は，浮いているものを底にピッタリ付けても，浮力は決して無くならない。板倉の仮定は，人々に間違った「浮力」観を植えつけることになりかねない。原理，原則を考える場合，自然観察結果と整合性を持つものでなくては単なる空想に

他ならない＞（「＜浮力＞は‥？」4ぺより）

松川さんは，「力の原理」より「自然観察結果」を優先させてしまっているのです。そこが松川さんの混乱のもとではないでしょうか。

また，松川さんはアルキメデスの原理をもちだして，次のように述べています。

＜アルキメデスの原理は，「物体を液体中に浸すとき，物体はその流体から，その物体が排除した流体の重さに等しい浮力を受ける」というもので，物体が底にあるのか中間にあるかの状態に関しては何ら言及してしない。これは浮力にとって関係ないということを意味している＞（「＜浮力＞は‥？」3ぺより）

アルキメデスの原理は「浮力の法則」というべきもので，実験的に明らかにされた法則であって，これを「力の原理」より優先させて考えたところにも，松川さんの間違いの原因があったのではないでしょうか。

「力の原理」にもとづいて考えると，「物体が本当に底にぴったりついて，流体が排除されれば，流体による上向きの圧力が生じないので，物体は浮き上がらない」のです。

たしかに，水銀と分銅の実験では，松川さんが指摘する「分銅の下の空気の存在」は無視できないものです。その空気の層がなければ，分銅はビーカーや水銀ごともち上がるはずです。分銅には大気圧もかかっているので，ゴムの吸盤のようにビーカーの底から簡単には，はずれないからです。

しかし，50g の分銅は100g 力程度の力で引っぱり上げると浮かんできます。分銅の下にある空気の層が大気圧を打ち消しているのです。ところが，表面張力の大きい水銀は分銅の下のすき間に入りこんでいきません。そこに，たとえ空気の層があっても，水銀が入りこもうとしないのでは，水銀が分銅を押し上げることは

できません。

つまり，＜分銅には水銀による浮力がはたらいていない＞といっていいのです。

引用文献

1. 松川利行「＜浮力＞は本当に無くなるの？――板倉聖宣氏の功罪」という論文は，松川さんのホームページ「おもしろく少し為になる理科のお話」にあります。

アドレスは，次の通りです。

http://www.page.sannet.ne.jp/matukawa/rika.htm

また，次の本にも松川さんの記事が載っています。

2. 左巻健男編著『理科がもっと面白くなる科学小話 Q&A 100 中学校1分野編』(明治図書，2002,11)「底にピッタリ付くと浮力って本当になくなるの？」(50ペ，51ペ)

(2008.2.23/3.3/3/6/4.5)

連絡先

miledomomiezu●gmail.com

●のところに@を入れてください。