

【実験】流体の性質（記入例）

【目的】浮沈子がパスカルの原理を背景にしていることを理解する。

【準備物】調理用簡易真空容器，水風船用風船，ポンプ（水風船用，簡易真空容器用），M5 ナット。弁当用醤油容器，ペットボトル，ピン球，米，コップ，バイブレータ，注射器（大・小），ホース，

【実験の方法】

1 ボイルの法則

一定量の気体に周囲から圧力をかけると体積は小さくなる。これは注射器の実験で良く経験しているところだ。大気圧を p_0 ，ピストン（断面積 S ）を押す力を F とすると，注射器内の圧力 p は $p = [① $p_0 + (F/S)$]$ となる。

つぎに，図1のように，簡易真空容器内の風船（閉じ込められた空気）の体積は風船の周りの容器内の気圧によって変化する。すなわち，圧力を下げれば風船の体積は，〔② 膨張〕し，気圧が下がりすぎると破裂する。高層観測用気球を打ち上げるとき地上ではしぼんだ状態にしていくのは，高層の気圧低下によって膨張して破裂するのを防ぐためである。



図 1

2 パスカルの原理

パスカルの原理について考えてみよう。図2のように断面積の異なる U 字管で2個のおもりがつりあっている。左側のおもりを微小な距離 h_1 だけ下げると，右側のおもりが h_2 だけ上昇する。体積の関係から（① $S_1 h_1 = S_2 h_2$ ）である。ここで，大気圧を p_0 とするとき，体積の原理から考察すると，（② $\{mg + (p_0 \cdot S_1)\} h_1 = \{Mg + (p_0 \cdot S_2)\} h_2$ ）である。①②より（③ $mgh_1 = Mgh_2$ ）となる。①③より辺々を割ると（④ $mg / S_1 = Mg / S_2$ ）となる。左右の蓋を押す圧力 p_1 ， p_2 は $p_1 =$ （⑤ $p_0 + mg / S_1$ ）， $p_2 =$ （⑥ $p_0 + Mg / S_2$ ）であるから，④より（⑦ $p_1 = p_2$ ）となることがわかる。パスカルの原理は，圧力が同じ大きさを液体を伝わっていくように見える。

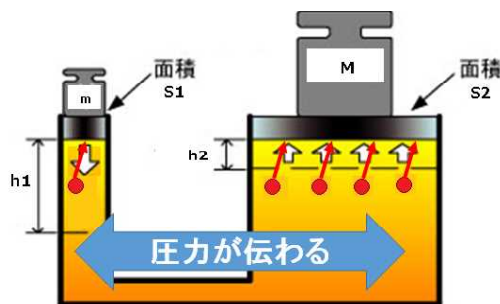


図 2

3 浮力

浮力は液体中の容器にはたらく，水压の差である。図3のように断面積 S ，高さ h の円筒容器が上面の深さが h_1 となるように沈められているとき，上面の水圧は ρgh_1 ，下面の水圧は ρgh_2 であり，下面の方が大きい。この水压が容器を押す力（上向きを正）が浮力 F である。

$F =$ （① $\rho gh_2 S$ ） $-$ （② $\rho gh_1 S$ ） $=$ （③ $\rho g(h_2 - h_1) S$ ）
すなわち，浮力は容器の体積を V とすると，（④ ρgV ）であり，体積に比例する。

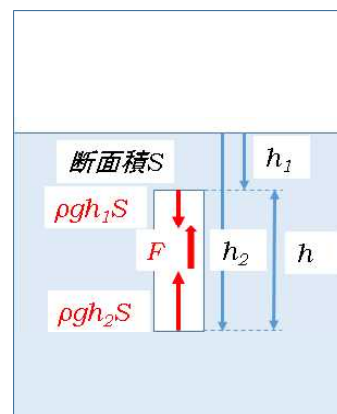


図 3

4 浮沈子

浮沈子はパスカルの原理，ボイルの法則，浮力で考えることができる。図4のように，ペットボトル内に浮沈子がある。液面差はほとんど同じで，浮沈子容器自体の体積が小さいなら，浮沈子内の気体の体積による浮力 ρgV

と浮沈子容器とおもりの重力 Mg によって浮き沈みが決まる。

ペットボトル内の空気の圧力 p と浮沈子内の空気の圧力は (① **パスカルの原理**) によって常に等しい。外側のペットボトルを押しつぶして容器内の圧力を上げると (圧力 p' とする), はじめ体積 V であった浮沈子内の空気は V' になる。ここで, (② **ボイルの法則**) より (③ $pV = p'V'$) の関係がある。 $p < p'$ であるから, 体積は, $V > V'$ という体積の大小関係になる。

はじめ, 体積 V の状態で静止していた浮沈子は, (④ $Mg - \rho gV = 0$) というつりあいの関係にあったが, ペットボトルを押しつぶすことで, (⑤ $Mg - \rho gV' > 0$) となり, 沈む。

【研究】最初, 底に沈んでいた浮沈子を浮き上がらせることができるだろうか。「1 ボイルの法則」の実験装置を参考にして, 実験を行えるような装置を考案せよ。



図 4

5 気体の圧力と分子運動

気体は, 圧力, 体積, 温度という巨視的な物理量で把握するが, それらはどのようにして決まるのだろうか。気体の中身は個々の気体分子である。この気体分子は, 温度によって激しく運動している。いま, 図 5 のような装置でその様子を想像できる。モーターを激しく回すと分子運動は激しくなり, 蓋が上昇することから分子運動が激しくなると体積 V が増加することが想像できる。蓋を固定すれば, 圧力 p が高くなることが想像できる。



図 5

単純化のため, 1 辺 L の立方体容器に質量 m , 平均速度を u の分子が N 個封入されているとする。1 個の分子が衝突する際に受ける力積の大きさは (① $2mu$) である。1 個の分子は t 秒間に, (② $ut/2L$)

回衝突し, 3 次元方向に同数の分子が互いに衝突することなく運動していると, t 秒間に 1 壁面に当たる個数は (③ $(N/3) \times (ut/2L)$), 力積の大きさは $Ft =$ (④ $(N/3) \times (ut/2L) \times 2mu$) ということになる。よって, 1 壁面の受ける力 F は, $F =$ (⑤ $Nmu^2/3L$), 圧力 p は体積 $V = L^3$ と置き換えて, $p = F/L^2 =$ (⑥ $Nmu^2/3V$) となる。また, 状態方程式との比較により, $pV = nRT =$ (⑦ $Nmu^2/3$) (ただし, $n = N/N_A$, N_A ; アボガドロ定数) となり, 圧力, 体積, 温度などが分子運動という微視的な物理量をもとにして表される。一定の体積の中に閉じ込められた気体の圧力や温度が高いのは分子運動が激しいことが原因といえる。

6 分子運動と浮力

さて, 液体の浮力に視点を戻してみよう。図 6 のように, プラスチックのコップにピン球を入れ, 米を被せる。米よりはピン球の方が密度 (質量/体積) は小さい。このままではピン球は沈んだままだが, バイブレーターで振動を与えるとピン球は浮き上がる。このモデル実験によれば, 液体中でものが浮かび上がる力 (浮力) の原因は液体の分子運動であると考えることができる。

【研究】ものが沈むのも分子運動が原因と言えるか。モデル実験で確かめよ。水圧は深いところが多い。これは分子運動から説明できるのだろうか。



図 6

【実験】流体の性質（実験書）

【目的】浮沈子がパスカルの原理を背景にしていることを理解する。

【準備物】調理用簡易真空容器，水風船用風船，ポンプ（水風船用，簡易真空容器用），M5 ナット。弁当用醤油容器，ペットボトル，ピン球，米，コップ，バイブレータ，注射器（大・小），ホース，

【実験の方法】

1 ボイルの法則

一定量の気体に周囲から圧力をかけると体積は小さくなる。これは注射器の実験で良く経験しているところだ。大気圧を p_0 ，ピストン（断面積 S ）を押す力を F とすると，注射器内の圧力 p は $p = [①]$ となる。

つぎに，図 1 のように，簡易真空容器内の風船（閉じ込められた空気）の体積は風船の周りの容器内の気圧によって変化する。すなわち，圧力を下げれば風船の体積は，〔②〕し，気圧が下がりすぎると破裂する。高層観測用気球を打ち上げるとき地上ではしぼんだ状態にしていくのは，高層の気圧低下によって膨張して破裂するのを防ぐためである。



図 1

2 パスカルの原理

パスカルの原理について考えてみよう。図 2 のように断面積の異なる U 字管で 2 個のおもりがつりあっている。左側のおもりを微小な距離 h_1 だけ下げると，右側のおもりが h_2 だけ上昇する。体積の関係から（①）である。ここで，大気圧を p_0 とするとき，体積の原理から考察すると，（②）である。①②より（③）となる。①③より辺々を割ると（④）となる。左右の蓋を押す圧力 p_1 ， p_2 は $p_1 =$ （⑤）， $p_2 =$ （⑥）であるから，④より（⑦）となる。パスカルの原理は，圧力が同じ大きさを液体を伝わっていくように見える。

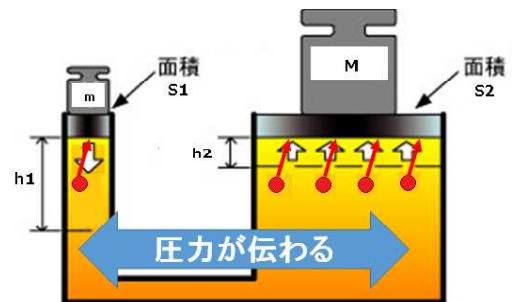


図 2

3 浮力

浮力は液体中の容器にはたらく，水圧の差である。図 3 のように断面積 S ，高さ h の円筒容器が上面の深さが h_1 となるように沈められているとき，上面の水圧は ρgh_1 ，下面の水圧は ρgh_2 であり，下面の方が大きい。この水圧が容器を押す力（上向きを正）が浮力 F である。

$F =$ （①） $-$ （②） $=$ （③）
すなわち，浮力は容器の体積を V とすると，（④）であり，体積に比例する。

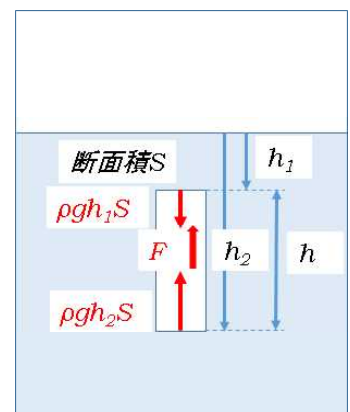


図 3

4 浮沈子

浮沈子はパスカルの原理，ボイルの法則，浮力で考えることができる。図 4 のように，ペットボトル内に浮沈子がある。液面差はほとんど同じで，浮沈子容器自体の体積が小さいなら，浮沈子内の気体の体積による浮力 ρgV

と浮沈子容器とおもりの重力 Mg によって浮き沈みが決まる。

ペットボトル内の空気の圧力 p と浮沈子内の空気の圧力は (①) によって常に等しい。外側のペットボトルを押しつぶして容器内の圧力を上げると (圧力 p' とする), はじめ体積 V であった浮沈子内の空気は V' になる。ここで, (②) より (③) の関係がある。 $p < p'$ であるから, 体積は, $V > V'$ という体積の大小関係になる。

はじめ, 体積 V の状態で静止していた浮沈子は, (④) というつりあいの関係にあったが, ペットボトルを押しつぶすことで, (⑤) となり, 沈む。

【研究】最初, 底に沈んでいた浮沈子を浮き上がらせることができるだろうか。「1 ボイルの法則」の実験装置を参考にして, 実験を行えるような装置を考案せよ。



図 4

5 気体の圧力と分子運動

気体は, 圧力, 体積, 温度という巨視的な物理量で把握するが, それらはどのようにして決まるのだろうか。気体の中身は個々の気体分子である。この気体分子は, 温度によって激しく運動している。いま, 図 5 のような装置でその様子を想像できる。モーターを激しく回すと分子運動は激しくなり, 蓋が上昇することから分子運動が激しくなると体積 V が増加することが想像できる。蓋を固定すれば, 圧力 p が高くなることが想像できる。



図 5

単純化のため, 1 辺 L の立方体容器に質量 m , 平均速度を u の分子が N 個封入されているとする。1 個の分子が衝突する際に受ける力積の大きさは (①) である。1 個の分子は t 秒間に, (②) 回衝突し, 3 次元方向に同数の分子が互いに衝突することなく運動していると, t 秒間に 1 壁面に当たる個数は (③), 力積の大きさは $Ft =$ (④) ということになる。よって, 1 壁面の受ける力 F は, $F =$ (⑤), 圧力 p は体積 $V = L^3$ と置き換えて, $p = F/L^2 =$ (⑥) となる。また, 状態方程式との比較により, $pV = nRT =$ (⑦) (ただし, $n = N/N_A$, N_A ; アボガドロ定数) となり, 圧力, 体積, 温度などが分子運動という微視的な物理量をもとにして表される。一定の体積の中に閉じ込められた気体の圧力や温度が高いのは分子運動が激しいことが原因といえる。

6 分子運動と浮力

さて, 液体の浮力に視点を戻してみよう。図 6 のように, プラスチックのコップにピン球を入れ, 米を被せる。米よりはピン球の方が密度 (質量/体積) は小さい。このままではピン球は沈んだままだが, バイブレーターで振動を与えるとピン球は浮き上がる。このモデル実験によれば, 液体中でものが浮かび上がる力 (浮力) の原因は液体の分子運動であると考えることができる。

【研究】ものが沈むのも分子運動が原因と言えるか。モデル実験で確かめよ。水圧は深いところが多い。これは分子運動から説明できるのだろうか。



図 6