

# 生活の中の物理学

## Physics in Everyday Phenomena

第6回 2025/10/27

第2章 力学 回転運動

第3章 流体

真貝 寿明

Hisaaki Shinkai



上田次郎風に決めた著者

真貝の武庫川講義ページtop



<https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/>

第1回レポート課題締め切り10月31日22:59

## 課題

- 課題タイトル 寺田寅彦『〇〇〇』を読んで
- 内容を簡単にまとめた後、自身で考えたこと（調べたこと・研究したこと）を述べよ。  
（絶賛する必要はない。寺田のコメントに異論があれば、そのようにレポートして欲しい。）



## 提出手順

- A4用紙3-4枚程度。手書き・PC印刷どちらも可。表紙は不要。（手書きの場合は写真撮影したものを提出）
- 必要であれば、図や表を添付してよい。（上記のページ枚数に含める）。
- 〆切は、**10月31日（木）22:59**  
Google Classroom の課題として提出。
- 提出ファイルの名前は、「P 大日 XXXXXXXX 〇〇〇〇」の形式とすること。（XXXXXXXは学籍番号、〇〇〇〇は氏名）とすること。本文中にも学籍番号と氏名を記入すること。
- 参考とした文献（web ページ含む）などがあれば、**必ず**記すこと。剽窃行為が認められる場合は評価を下げます。（参考文献から引用するのは構いませんが、引用範囲は必ずそう明記すること。）

星空と宇宙

# レモン彗星が1350年ぶりの回帰 11月にかけて西空に輝く

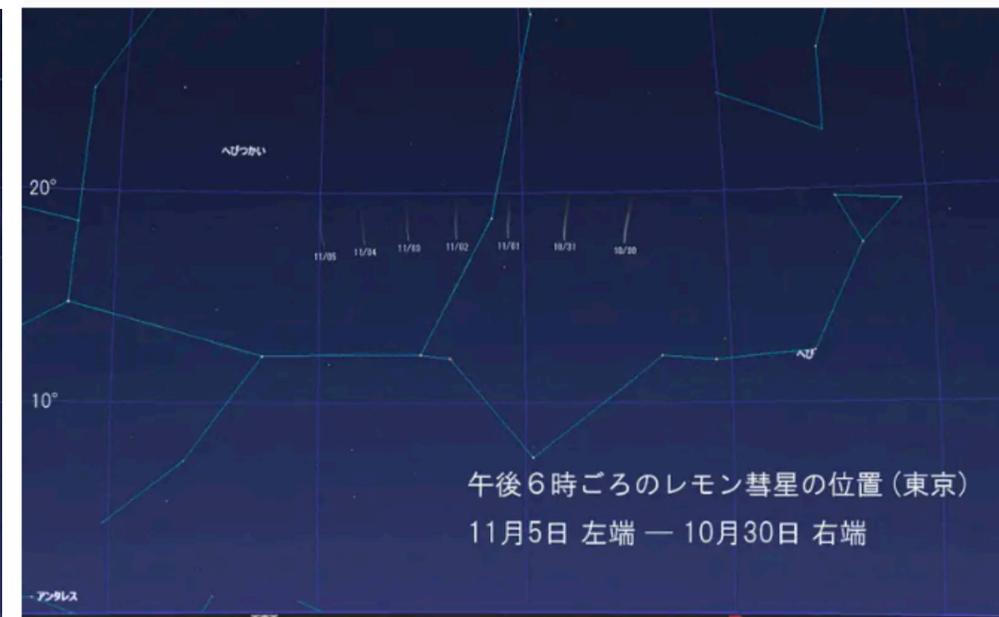
手塚耕一郎 | 環境・科学 | 速報 | 科学・テクノロジー | 宇宙

毎日新聞 | 2025/10/18 17:00(最終更新 10/18 17:11) | 1413文字

また新たな彗星(すいせい)がやってきました。その名は「レモン彗星」。黄色いレモンが夜空に浮かぶ姿を想像しそうな名前ですが、実は関係がありません。2025年1月、米国のレモン山天文台が発見しました。新月の10月21日には地球に約9000万キロ(地球―太陽間の6割ほど)まで最接近します。今まさに、見ごろです。



月明かりの中でも尾を伸ばして輝く「レモン彗星」。太いちり(ダスト)の尾の中に、細く伸びるイオンの尾が見える=山梨県鳴沢村で2025年10月17日午前3時51分、手塚耕一郎撮影(10秒露光、赤道儀使用)





大西 浩次

2日 · 🌐



#今日の星景写真 2025年10月25日  
「里山のレモン彗星 (かんむり座から)」  
撮影:2025/10/24  
#鬼無里 長野市

夕暮れの空に #レモン彗星 が輝いています。

#白馬三山 (#白馬鑓ヶ岳、#杓子岳、#白馬岳)  
の上、  
#かんむり座 の左下に10度以上の尾を伸ばして  
います。

C/2025 A6 (Lemmon)  
#長野県は宇宙県 表示を縮小

👍❤️ 108

5 🗨️

👍 いいね! 🗨️ コメントする ➦ シェア



COMET LEMMON (C/2025 A6 (Lemmon))  
f=70mm, F=2.8, ISO=4000, 13sec Exp  
2025/10/24\_18h11m47s @KINASA/NAGANO/NAGANO/JAPAN ©Kouji Ohnishi

# 前回のミニッツペーパーから

(5-4)  
今、地球に隕石が落ちたら、その隕石を破壊する力を人類は持っていますか。  
もし、できるのであれば、どのくらいの大きさまで可能ですか。

隕石の地球への突入速度は、秒速約11km以上と非常に高速  
大気と衝突して、温度1万度以上  
高温と高圧で爆発を起こし、衝撃波を生じる

隕石の大きさが 10 mを超えていたら、核爆弾1つ相当  
隕石の大きさが 1kmを超えていたら、生命絶滅

疑問で、おぼろげに、私も小学校の頃、ドラえもんが「サイエンス」という本の手に光電、タケコプターを持っていた。

タケコプター、飛んだかな？

電子レンジの仕組みを聞いたことがあるのですが、あまり理解できないから詳しく知りたいです。

水分子の共振. 2.5GHzの電波を当てると、水を含む分子が動き始める

4. 月の絵の違いについて、国(場所)によって見える面が若干違うから見え方が違うと聞いたことがあるのですが、本当ですか？

月面の向きは、緯度によって若干ちがうが模様が変わるほどではない。

「かみなりが光る理由」

待機中の放電現象 (電気のところで説明)

# 電子レンジのしくみ

2450MHz の電磁波を照射し，共振によって水分子の振動を激しくすることで加熱する。



電子レンジを使用している時にワイヤレスイヤホンがぶつぶつと切れるのですがどのように電波が影響しているのでしょうか？

2450MHz の弱い電磁波が，周囲に発信される。ラジオの電波・wifiの電波に干渉する。  
 (そのため，最近の家庭用のwifi中継機には，2.5GHzと5GHzの2つのモードがある。)

# 前回のミニッツペーパーから

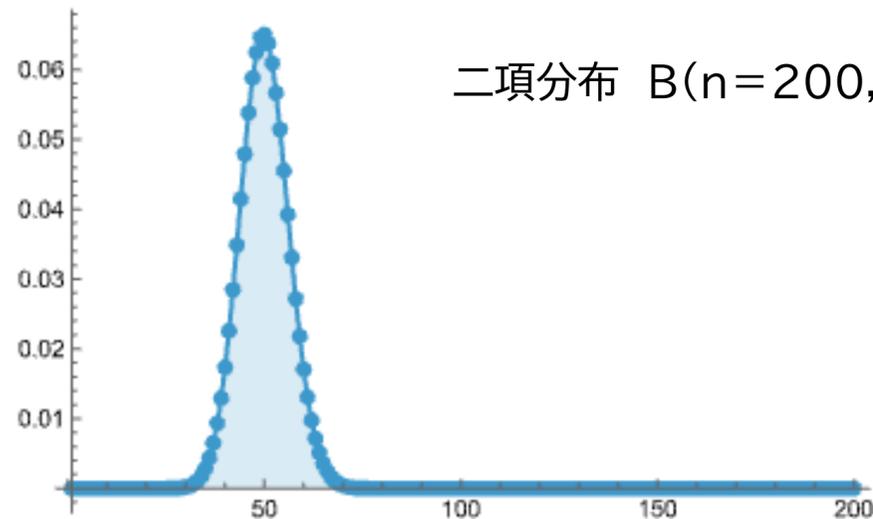
物理とは関係ないですか TOEICを、適当にマークして全問正解する確率はどれくらいですか。

TOEIC 4択問題 200問

全問正解する確率  $\left(\frac{1}{4}\right)^{200}$

100問正解する確率  ${}_{200}C_{100} \left(\frac{1}{4}\right)^{100} \left(\frac{3}{4}\right)^{100}$

```
DiscretePlot[PDF[BinomialDistribution[200, 0.25], k] // Evaluate, {k, 200}, PlotRange -> All, PlotMarkers -> Automatic]
```



冷たいものを触ったときに手がくっつくのはなぜか？

手の水分が凍るため (教科書 p119)

なぜホースの水は出口を狭くすると遠くまで「飛ぶ」のでしょうか。

水圧が高いので、初速度が大きい (本日のちほど)

水の中だと重さが軽くなるのはなぜですか。

浮力のしくみ (本日のちほど)

圧力鍋の仕組みが知りたいです。

来週、熱の話で説明します

# 前回のミニッツペーパーから



先日、インシニアの仕事をしている父がこの教科書を見つけて、  
とても興味を持って読んでいました。高校時代にこの本に出会って  
いたら、もっと物理が好きになっただろうなとも言って少し嬉し  
そうでした。この本に出ている人物の裏話などの、いたら、もっと  
面白いと言っていたので、もし改訂する機会があれば書いてほしいです(笑)

力7

# 見かけの力:遠心力

## 法則 遠心力

回転運動している人の立場で考えると、回転の外向きに遠心力を受けるように感じる。その大きさ  $F$  は、物体の質量を  $m$ 、回転の速さを  $v$ 、回転半径を  $r$  とすると、 $F = m \frac{v^2}{r}$  となる。

- 遠心力のように、見ている人の立場によって、あつたりなかつたりする力を**慣性力**という。



遠心力、向心力のちがいが分からなかったのでも  
今回の授業で理解できてスッキリしました。

遠心力かと思っていたエレベーターがより身近でわかるものだったので驚きました。

## カ7

## 見かけの力:遠心力



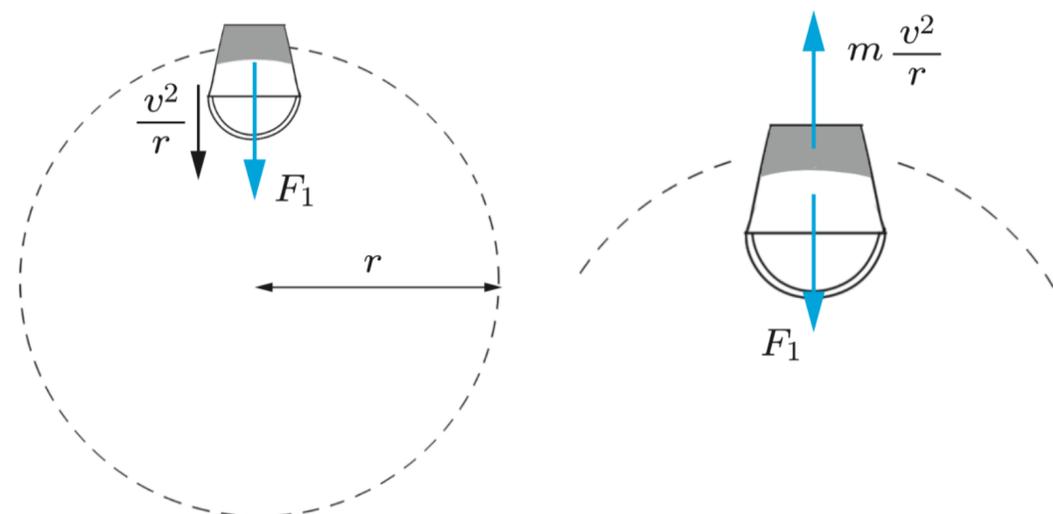
**例 1** 水の入ったバケツを上下に円運動させる。

勢い良くまわせば、水はバケツから流れ落ちずにぐるぐる回る。

- **バケツを眺めている人の立場**では、水はバケツと共に円運動をしている。はたらいっている力は、人がバケツを回す手の力  $F_1$  である。だから運動方程式は

$$m \frac{v^2}{r} = F_1 \quad (2.66)$$

- **バケツ内の水の立場**では、水はバケツ内に静止している。バケツは中心方向に向心力  $F_1$  で引っ張られているが、水はその中で静止しているので逆向きに力（遠心力  $m \frac{v^2}{r}$ ）がはたらいいてつりあっている、と考える。だから、運動方程式は（つりあいの式であり）



$$m \cdot 0 = F_1 - m \frac{v^2}{r} \quad (2.67)$$

(a) バケツが円運動をしているとみる立場

(b) バケツとともに運動している立場

# 車がカーブするとき, どちらに力がかかる?

外から見る人 (静止系)

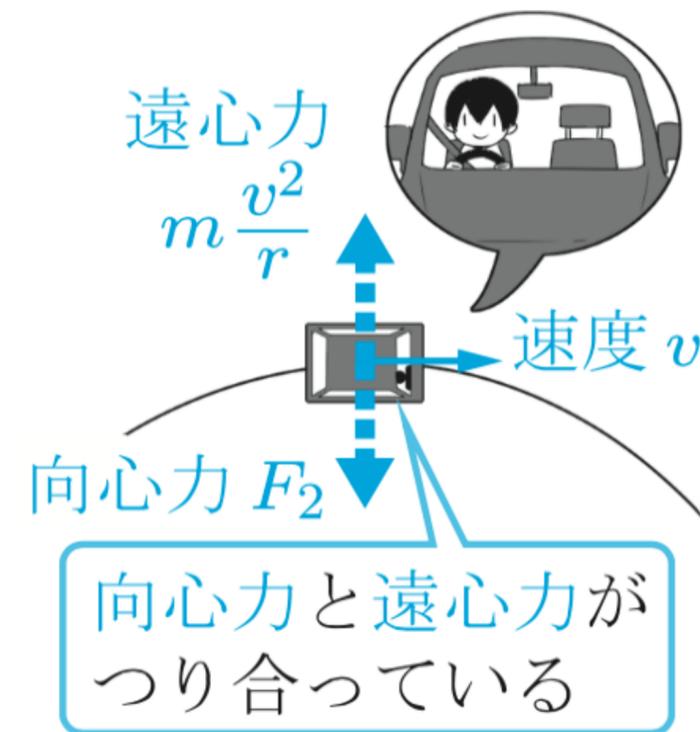
車は円運動



向心力を受けて,  
円運動している.

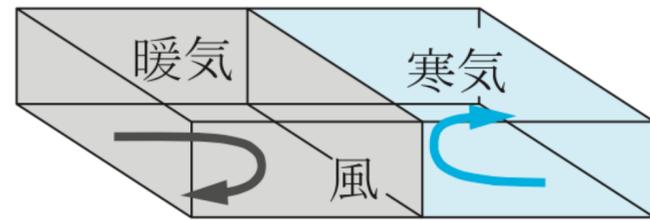
車内の人 (加速度系)

運動なし

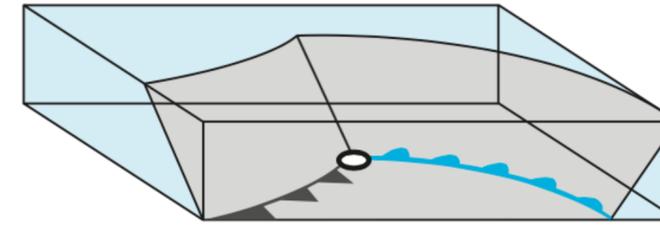


向心力と遠心力が  
つりあっている.

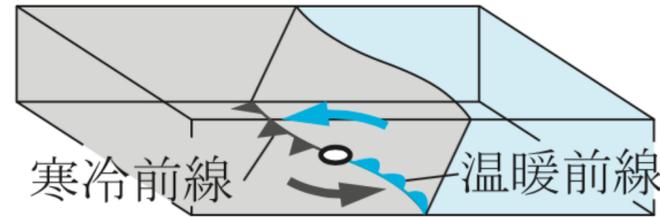
# 温暖前線(hot front)・寒冷前線(cold front)



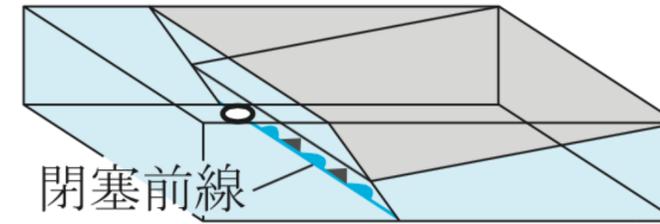
(a) 暖气と寒气



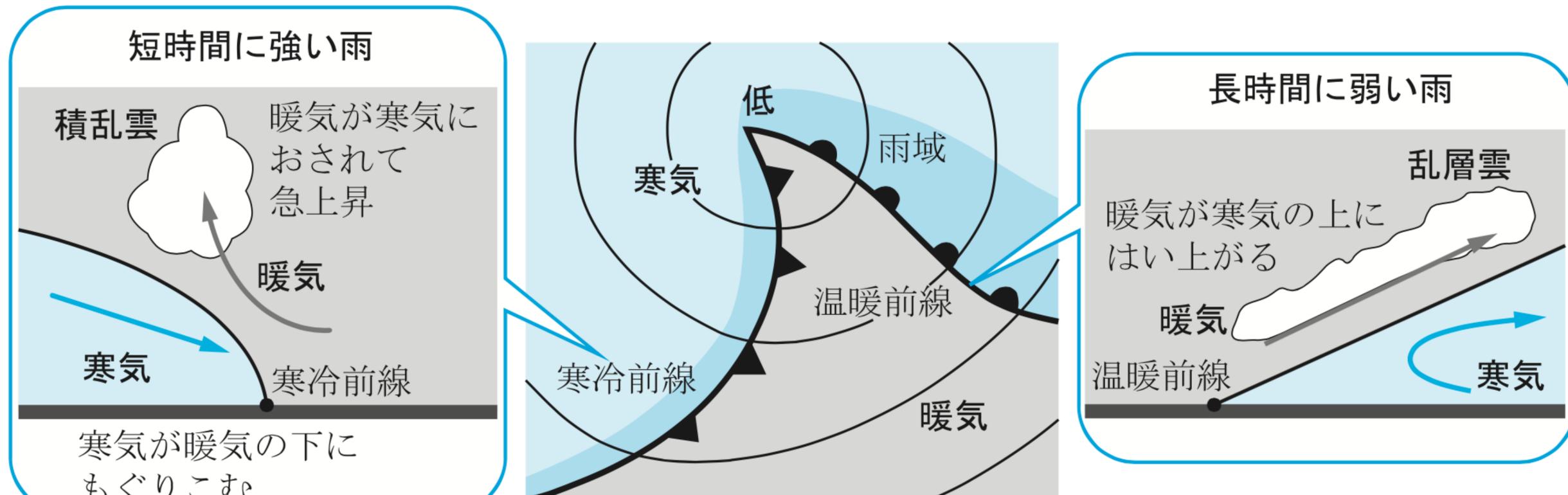
(c) 寒冷前線が近づく



(b) 温暖前線と寒冷前線の発生

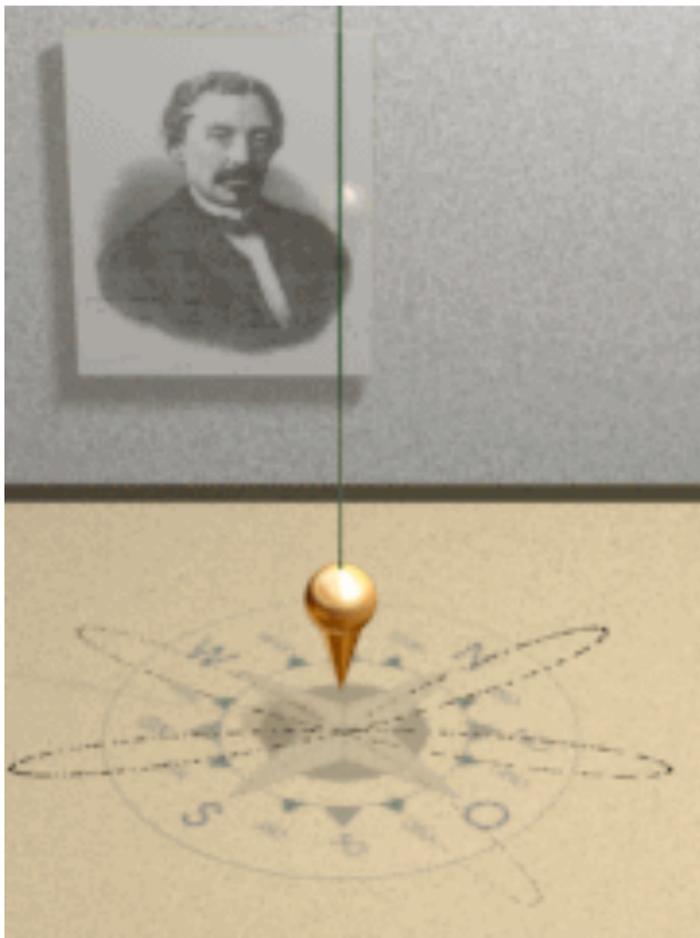
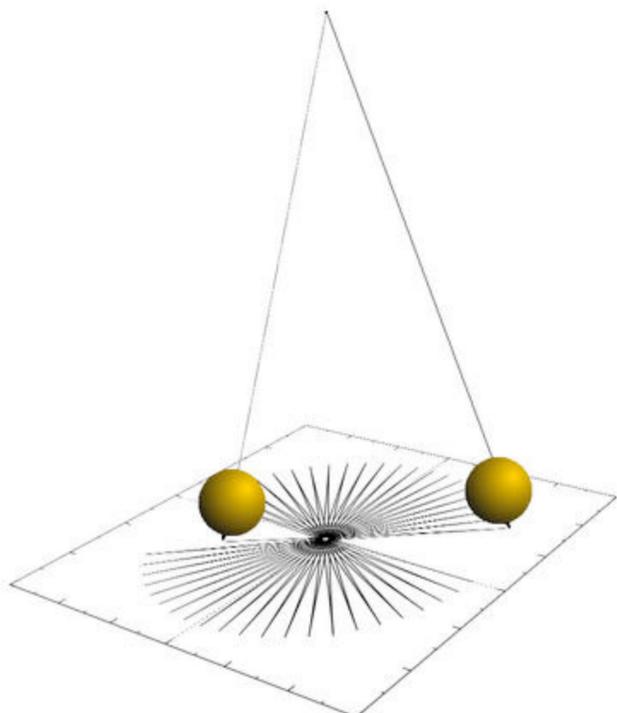


(d) 前線が合体し閉塞前線になる



# フーコーの振り子

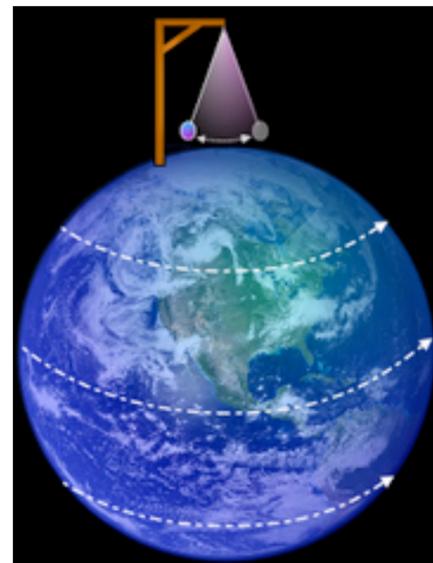
Foucault pendulum

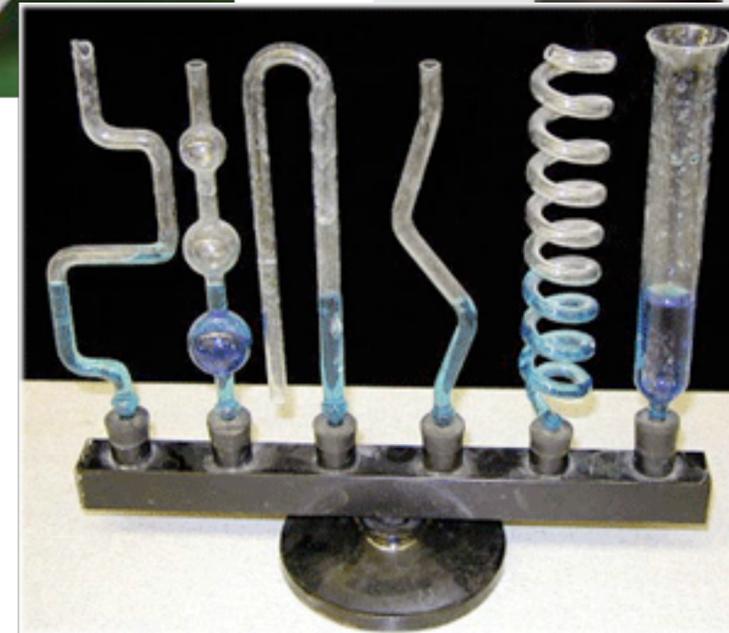
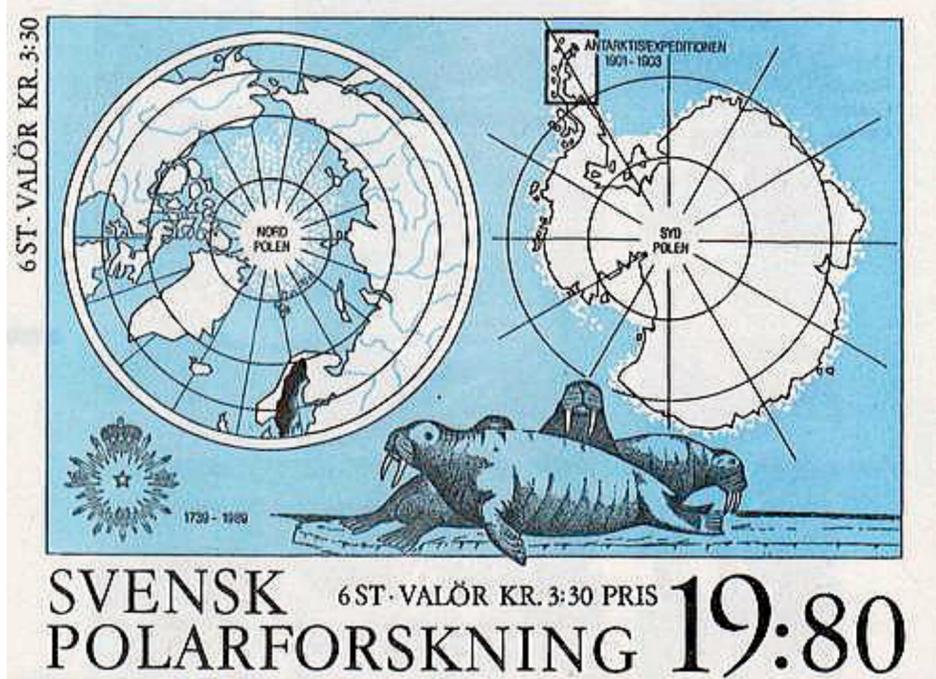
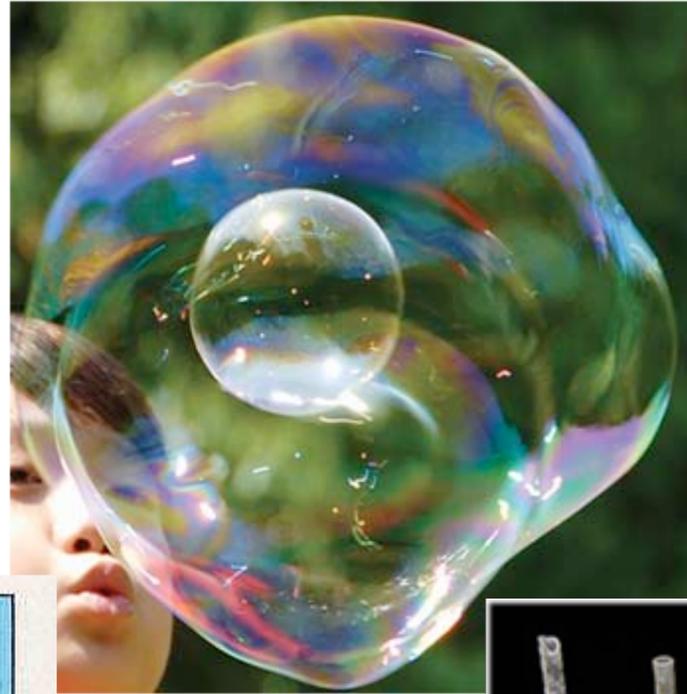


1851年，地球が自転していることを証明した。

## Topic フーコーの振り子

地球が自転していることを証明した実験として，フーコーが行った振り子が有名である．長いひもにおもりを付けて長時間振り子を振れさせると，振動方向が見かけ上回転していくという現象である．1851年，パリ天文台とパンテオンにて公開実験が行われ，人々を感心させた．パンテオンの実験では，全長67mのワイヤーで28kgのおもりを吊るしたものが使われたそうだ．回転する原因はコリオリ力である．北半球では右回りに振動面が回転し，1周するのに必要な時間  $T$  は，緯度  $\theta$  の地点では， $T = 24 \text{ 時間} / \sin \theta$  になる．北極点では24時間，赤道上では回転しない．北緯35度ではおよそ41.8時間である．



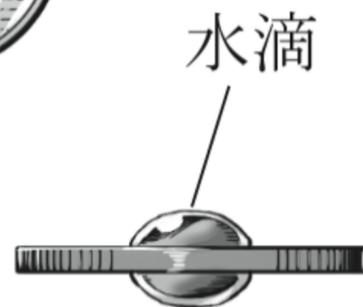


○第3章 流体—連続体の運動	91
3.1 圧力—流体がまわりに及ぼす力	92
3.2 浮力—気球はなぜ飛ぶか，船はなぜ浮くか	97
3.3 流体の動き—飛行機はなぜ飛ぶか	100

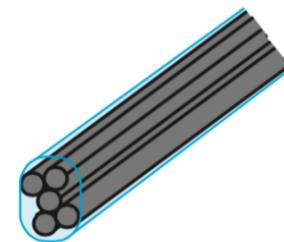
力10

# 表面張力

表面をできるだけ小さくしようとする液体の性質のこと。

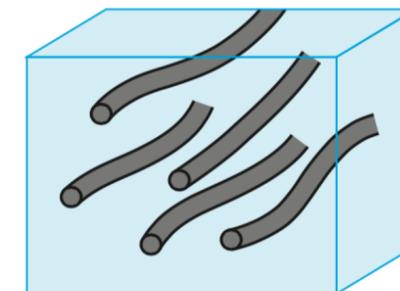


風呂上がりの髪



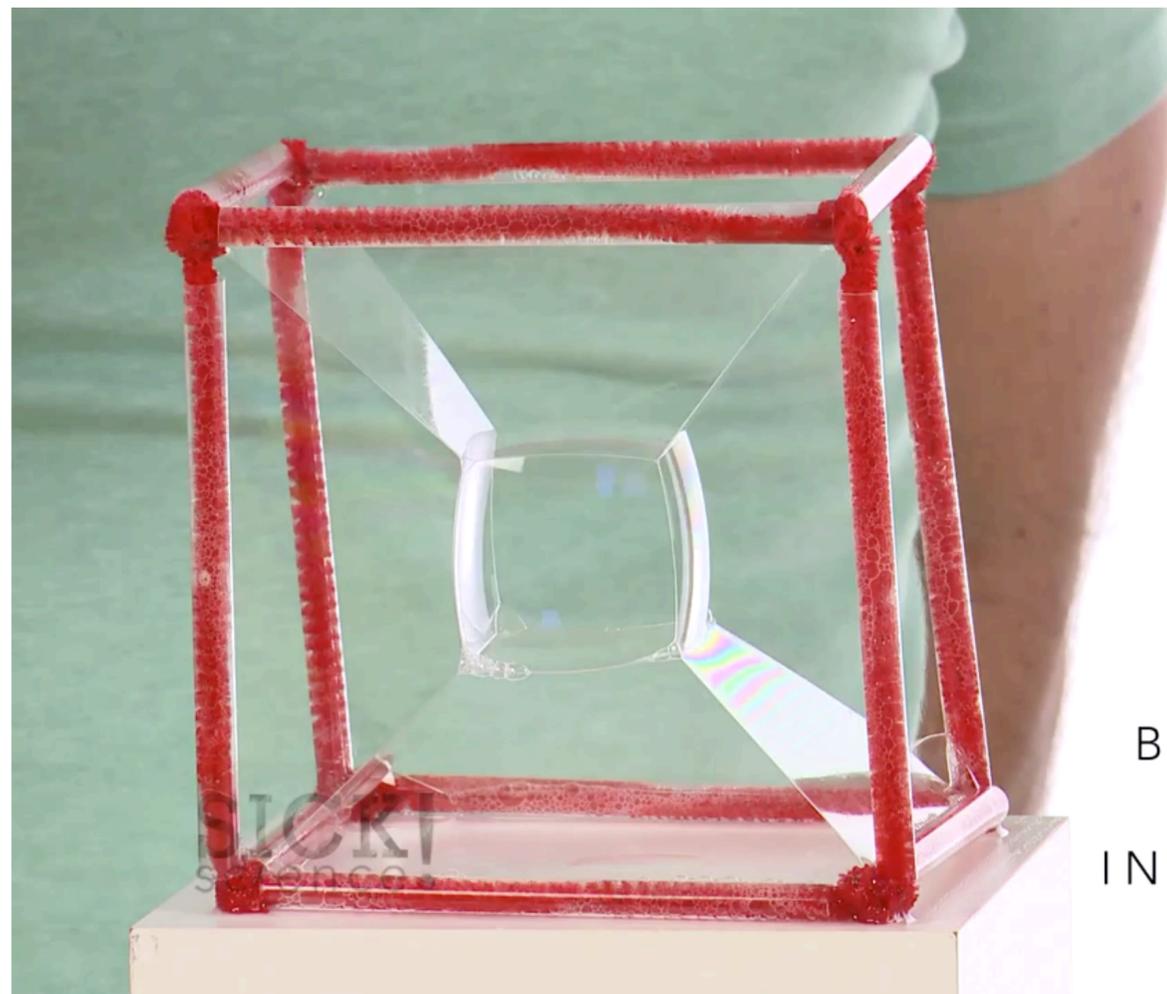
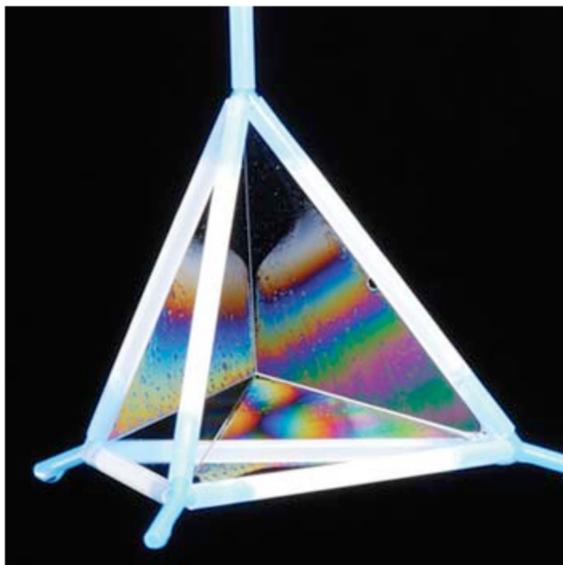
(a) 表面張力でくっつく

プールの中の髪



(b) 水中ではさらさら

# 表面張力



USE A  
BUBBLE WAND  
TO DROP  
A BUBBLE  
IN THE CENTER



Square Bubble - Sick Science! #149

<https://www.youtube.com/watch?v=12UIOlzai5M>



 **SPORTbible Australia** ✓  
5日 · 🌐

This was so intense. It should be an Olympic Sport 🤩🏆

<https://www.facebook.com/sportbibleaustralia/videos/403130368695772>

# 浸透圧

細胞膜やセロハン膜などの**半透膜**を通して、濃度の低い方から、濃度の高い方へ、水が移動する現象を**浸透**という。



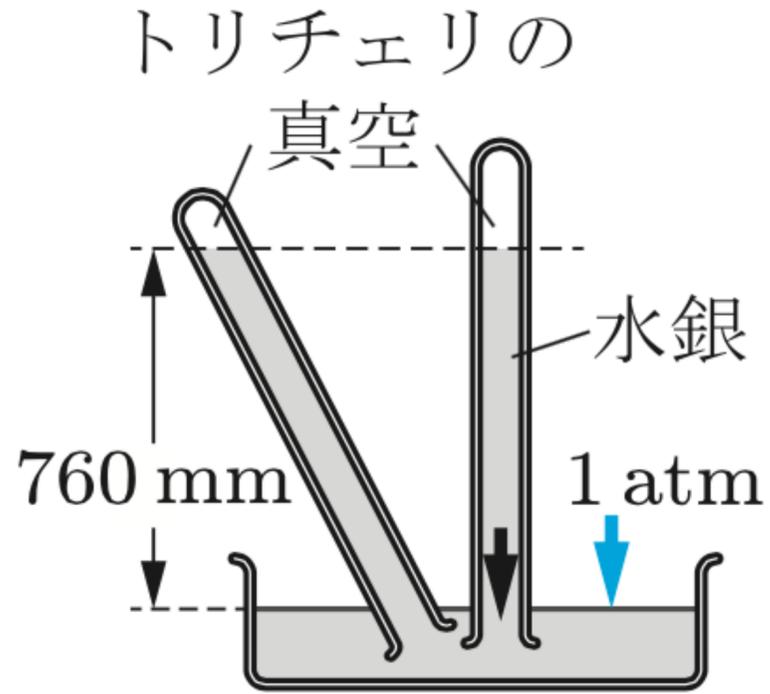
# トリチェリの実験

# マグデブルグの半球の実験



Evangelista Torricelli  
(1608-47)

大気に圧力があることを示した



● マグデブルグの半球の実験



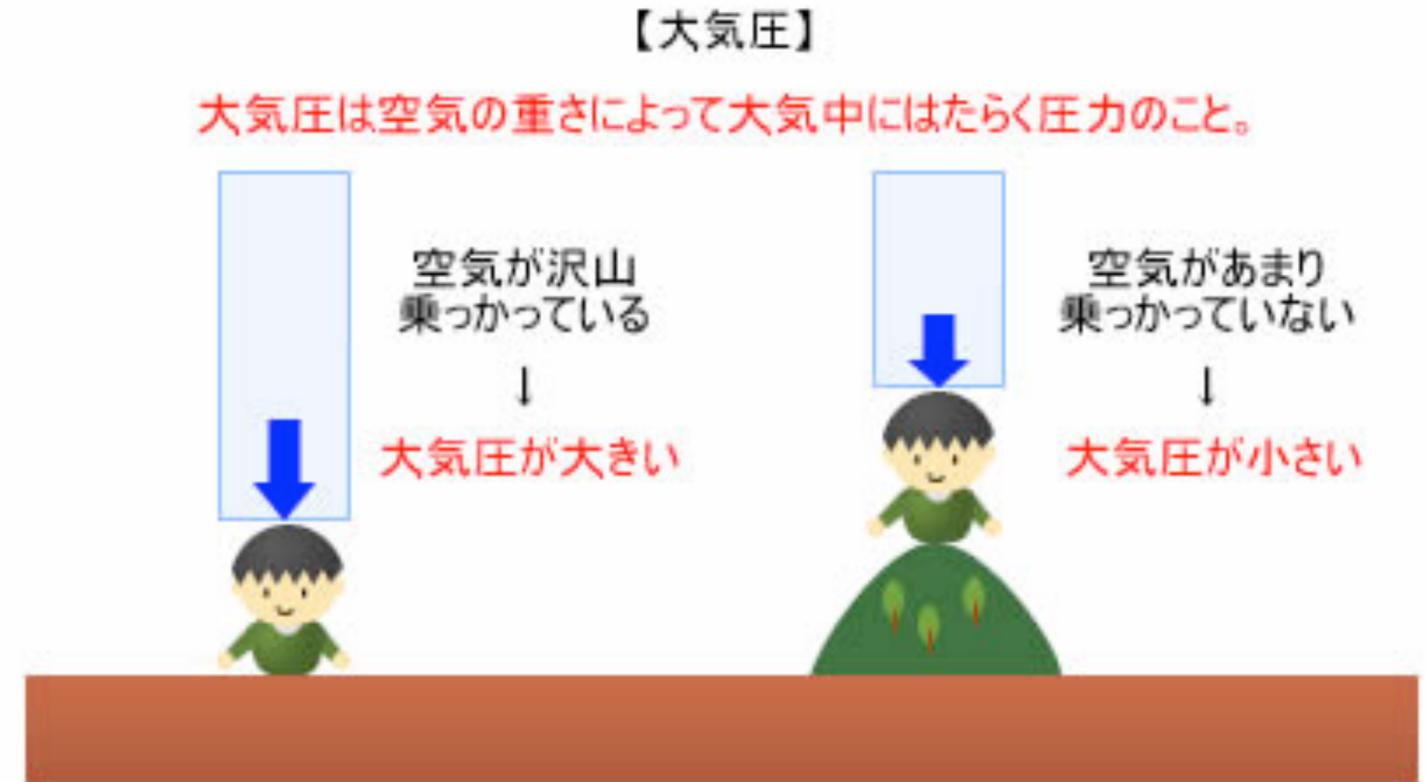
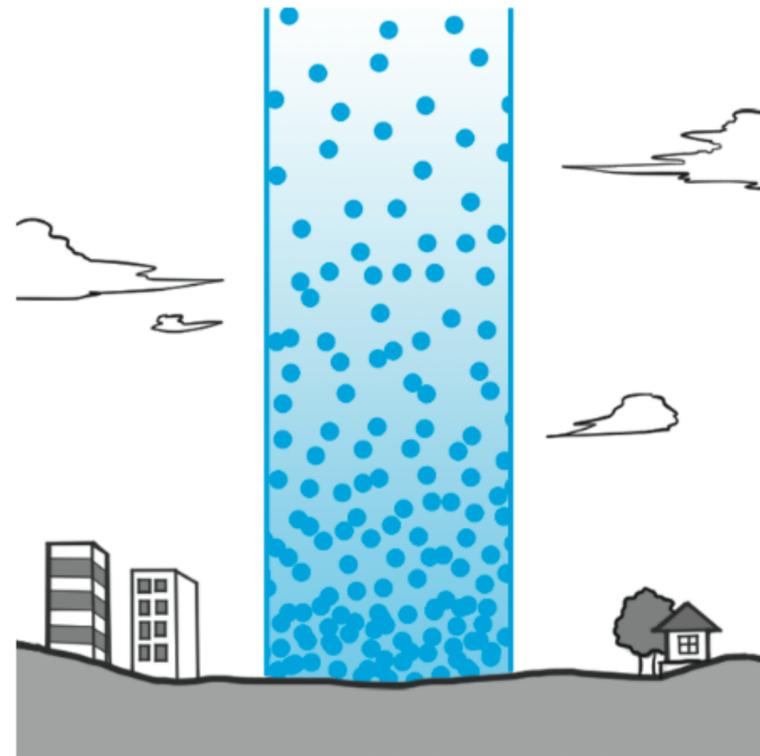
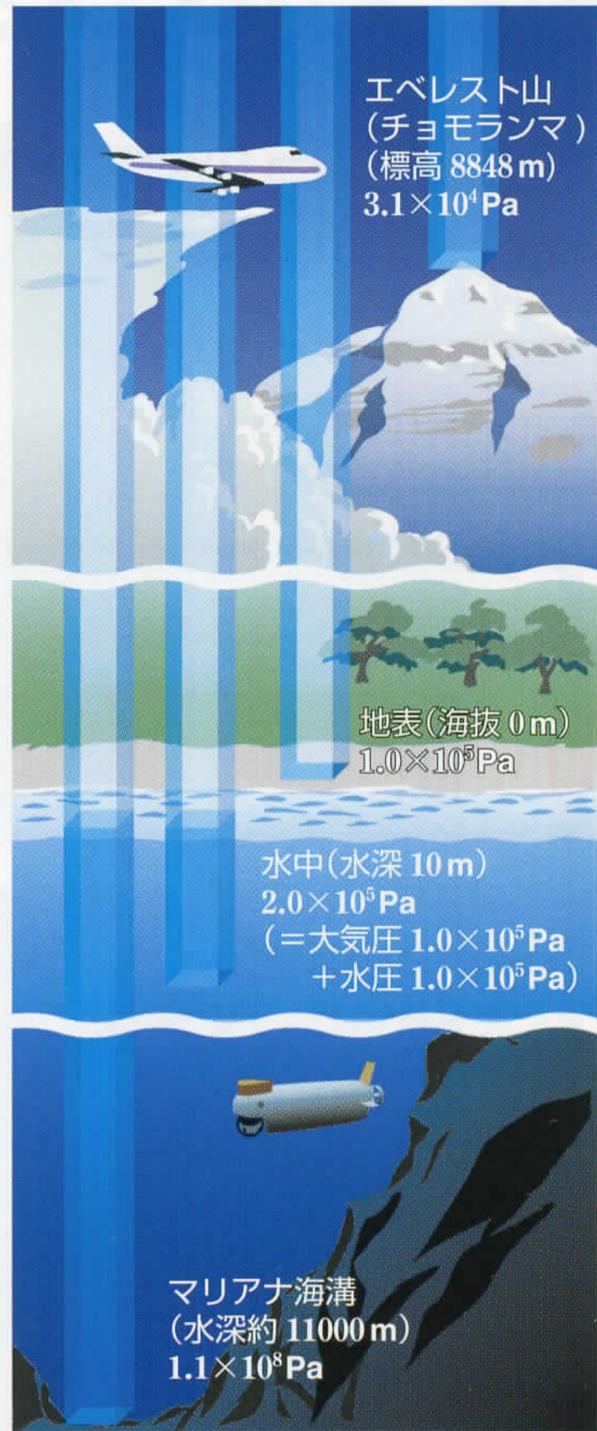
ドイツのゲーリケ（当時のマグデブルグ市長）が17世紀半ばに行った大気圧の大きさを示す実験。2つの金属製半球容器を合わせて中の空気を抜くと、ぴったりくっついて外れなくなった。両側から馬8頭ずつで双方から引っ張ってもなかなか外れない様子が描かれている。（ちなみに、作用反作用の法則により、片側を固定して馬8頭で引っ張っても同じである。）



大気圧の大きさを示した

# 圧力

●大気圧と水圧



**定義** 圧力

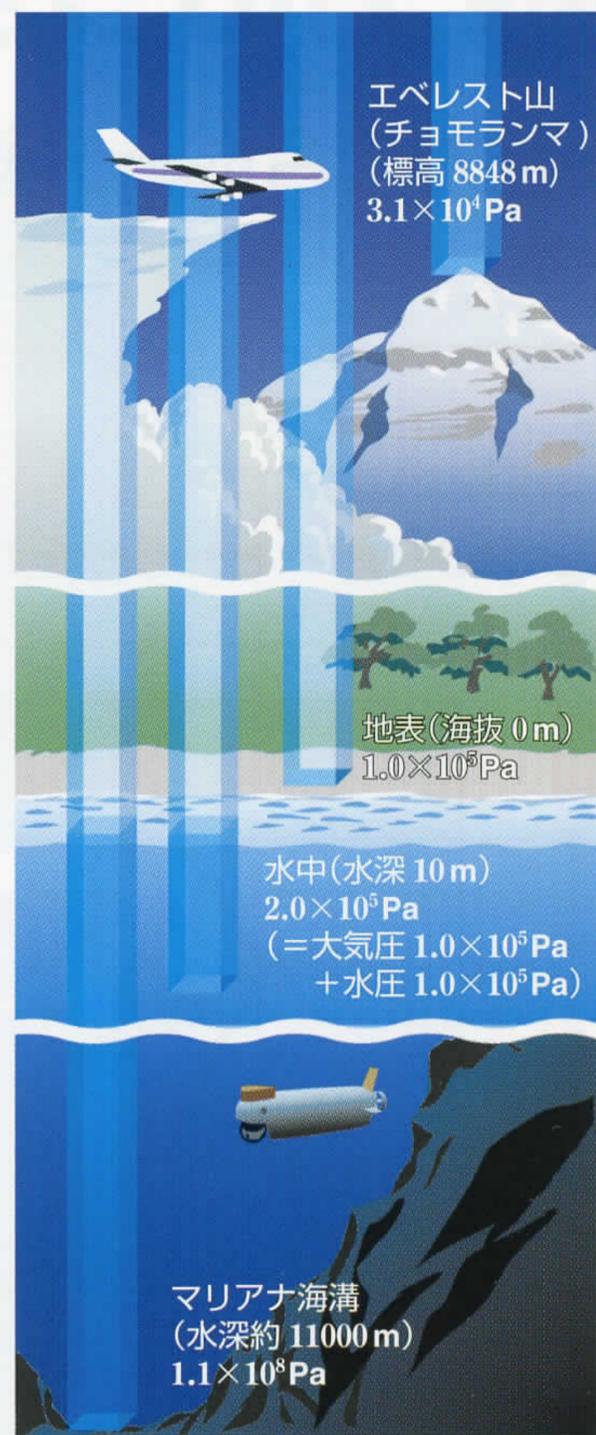
単位面積あたりにはたらく力を圧力  $p$  という。

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\text{加わる力 [N]}}{\text{面積 [m}^2\text{]}} \quad \text{単位は [N/m}^2\text{]} = [\text{Pa}] \quad (3.1)$$

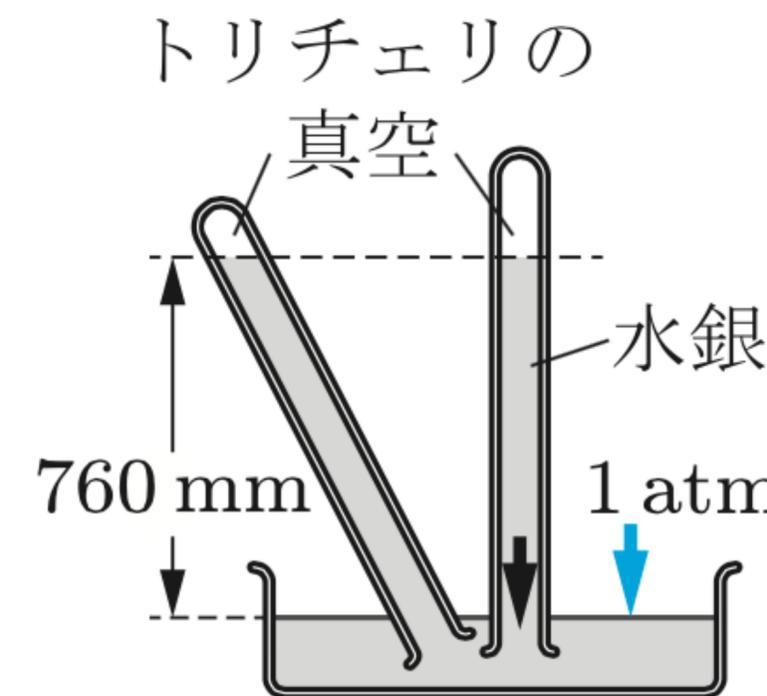
単位は [Pa] (パスカル) である。

# 気圧の単位

## ●大気圧と水圧

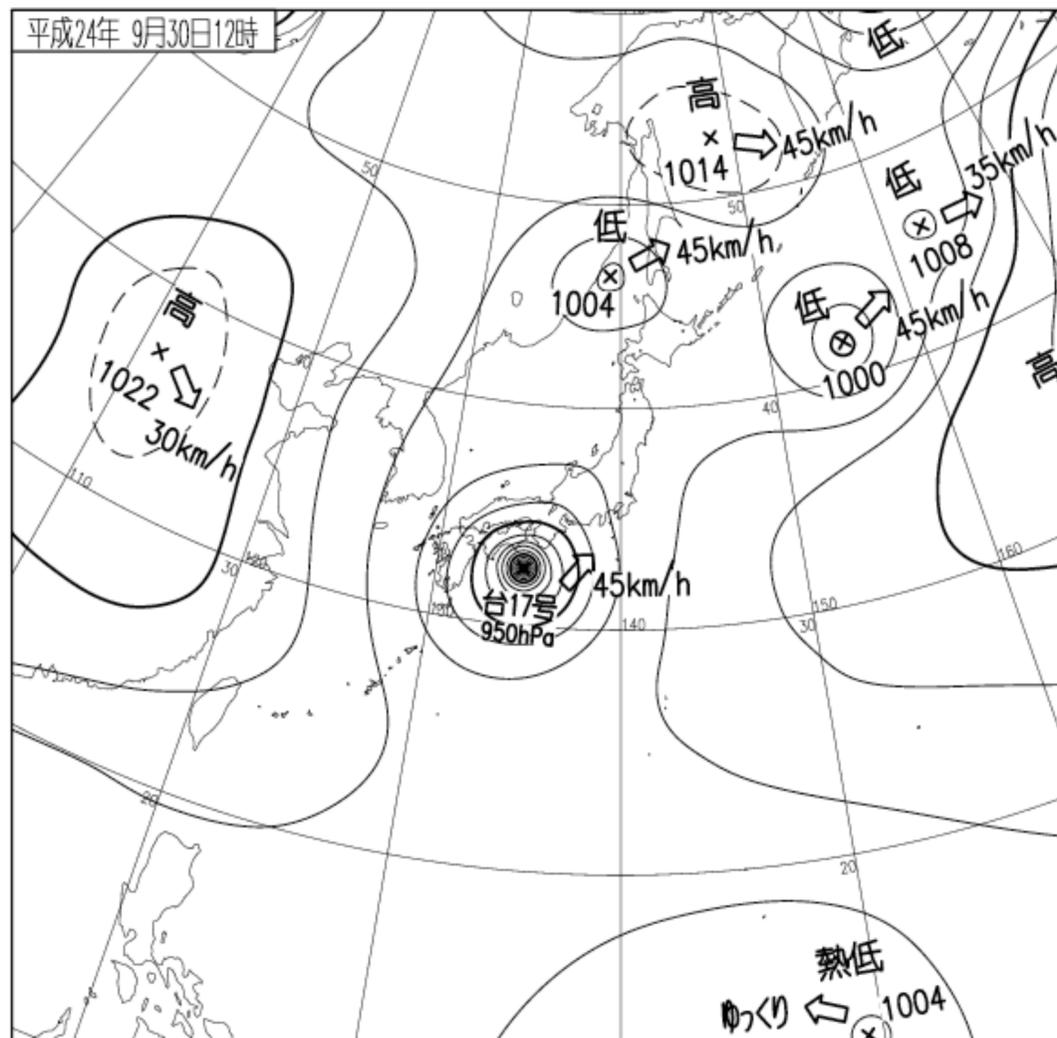


- ★地表付近の気圧を「1気圧」という.
- ★水銀柱の高さは、760mmなので、  
「1気圧」 = 「760 mmHg」
- ★1気圧にほぼ等しい単位として、  
「1気圧」 = 1.01325 b (バー) = 1013.25 mb (ミリバー)
- ★国際単位系に合わせるため、  
日本の天気予報では1992年から  
「1気圧」 = 101325 Pa (パスカル)  
= 1013.25 hPa



1気圧 = 「親指の爪(1 cm 四方) に100 kgくらいの力」

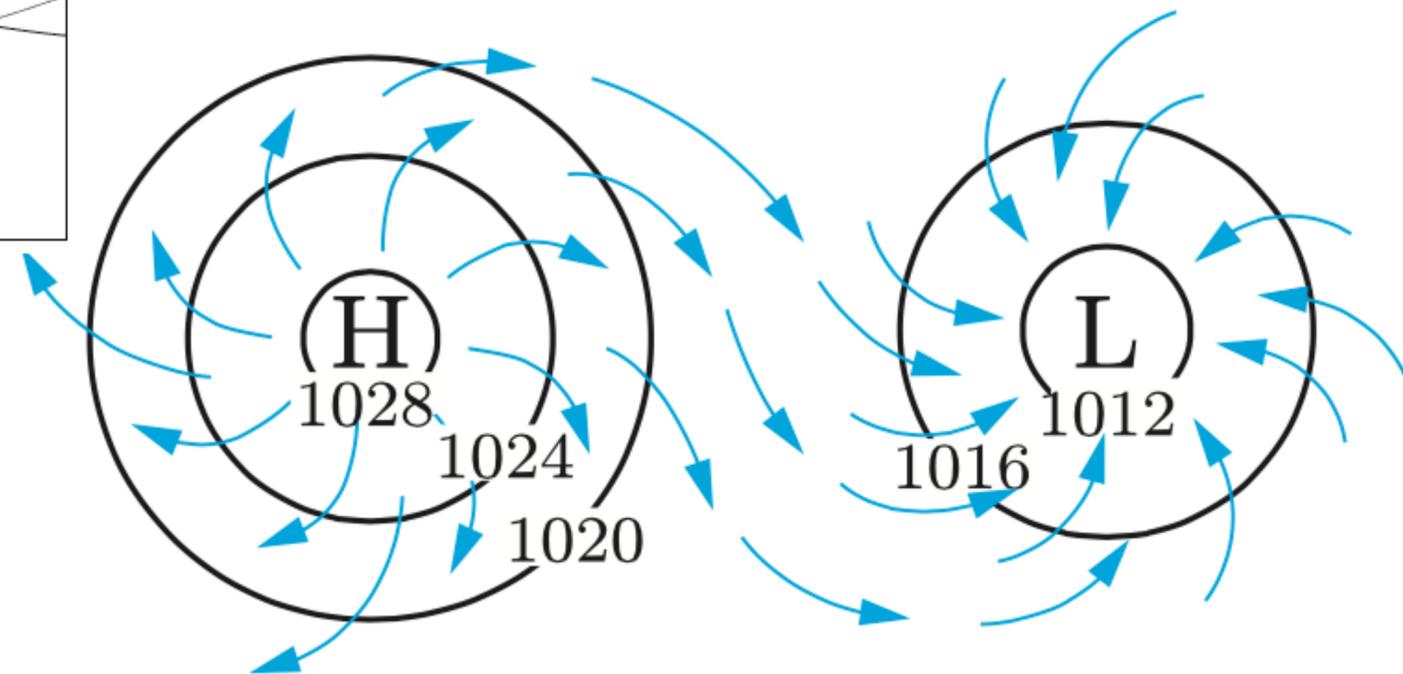
# 高気圧と低気圧



## Topic 高気圧, 低気圧

天気予報の気圧配置でいう高気圧, 低気圧とは, 地表付近での気圧の大小を相対的に述べたものである。地表付近では, 高気圧から低気圧へ大気は流れる (コリオリの力によって, 高気圧から低気圧に向かって風は傾いた経路で流れる)。

高気圧の部分では, 上空から大気の流れる下降気流になる。下降気流では, 雲が発生しにくいいため好天になりやすい。一方, 低気圧の部分では, 流れ込んだ大気は上昇気流となって上空へ移動するが, 今度は, 雲ができ雨が降りやすくなる。

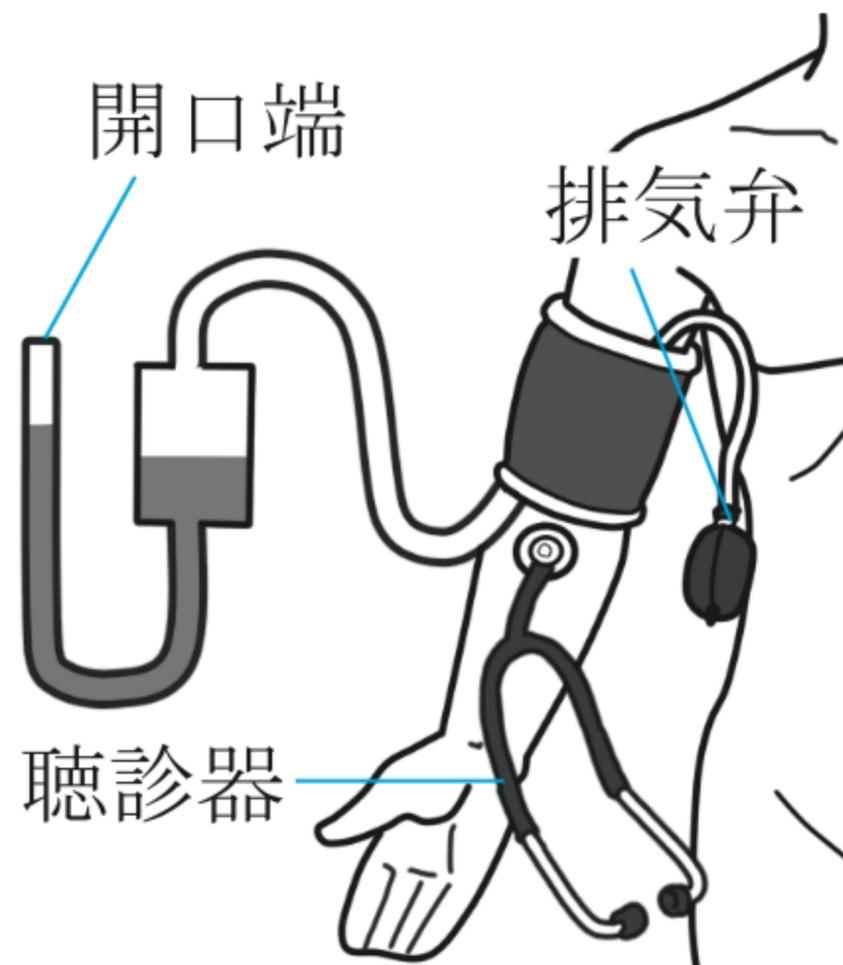


## 血圧計のしくみ

血圧 (blood pressure) とは、血管内の血液 (一般には動脈) の圧力のこと。  
 心臓の収縮期の血圧を収縮期血圧 (または**最高血圧**)  
 拡張期の血圧を拡張期血圧 (または**最低血圧**) と呼ぶ。

**圧迫を緩めて脈音がするところが最高血圧**  
**脈音がしなくなるところが最低血圧**

単位は永年の慣行から mmHgを使用する。



女性 ↓	肥満 ↑
睡眠中 ↓	午後 ↑ 食後 ↑ 運動後 ↑
入浴 - 適温 ↓	熱い風呂 ↑
適度の飲酒 ↓	過度の飲酒 ↑ 喫煙 ↑
温暖時 ↓	寒冷時 ↑
リラックス ↓	ストレス ↑
麻酔 ↓	カフェイン ↑

# 前回のミニッツペーパーから

どこでもドアで大阪から富士山の山頂へ行く。  
気圧の違いを考えると、ドアは引き戸がよいか、押し戸がよいか。



## 押し戸がよい

大阪(気圧の高い場所)から富士山の山頂(気圧の低い場所)へ移動させたら、  
ドアを開ける側から見ると、押し戸がよい。  
富士山の山頂は、地上よりも気圧が低い場所。大阪(高気圧)から富士山の山頂(低気圧)へ開けようとする、ドア全体が外側(富士山側)へ強く押しつけられる。押し戸であれば、高気圧側から低気圧側へ押し出すように開けるため、外向きの力を利用して楽に開けることができる。

引き戸であれば、この強い気圧差によってドアが枠に押しつけられる力が働き、スライドが開けづらくなる。

気圧の高い大阪側から低い富士山の山頂へ向かうため、高気圧を押し出す形の押し戸がよい。

地上よりも山頂の方が気圧が低いので、引くよりも押す方が楽にドアをひらける

風は気圧が高いところから低いところに向かって吹くため、大阪→富士山に向かって強い風が吹き、引き戸にするドアが閉じてしまうため。

高→低に流れる空気によって押すほうがかんたん。押し戸

押し戸がよい。大阪よりも富士山の山頂の方が気圧が低いので、戸を開ける時に開けやすい。

富士山の山頂は地上よりも気圧が低いから。

(ひき戸だとひきは...?)

押し戸

引き戸だと中の高い気圧に押し出されて開けにくいと思うから。

## 引き戸がよい

引き戸がよい。

引き戸の向きは、内から外へでよい。真横にスライドするため、自分のハートで開けられるか、押し戸だと気圧の違いから思いっきり閉じちゃうか、というのを危ない。

引き戸 危ない。

富士山の気圧が低い。大阪から富士山へは空気が外へ流れるので、引き戸の方が安全で開けやすい。

富士山の山頂の方が気圧が低いから大阪側から富士山側へと空気が流れる。ドアは大阪側から富士山側へ押し出される。

富士山は低気圧で内側に押し込まれる力が働いているから引き戸の方が開けやすい。

引き戸。気圧の影響を受けると、山頂側にひたさないと危ないから

引き戸

→大阪の方が標高が低く、気圧が高いので、押し戸だと富士山側から押し出される力が働き開けにくいから

引き戸だと思う。安全に開けられるから。

引き戸の気圧によって押し戸だとあいてしまうから

# 2002年センター試験「総合理科」第5問

B

- さとし じゃあ、めぐみはどんなものが欲しいの？
- めぐみ そうね。もう少し現実味があるという意味で、「どこでもドア」なんてあるといいわね。
- さとし あれって、そんなに現実的かなあ。まちがって出口が海の底にでもなっていたら、部屋中が水だらけだよ。
- めぐみ でも便利よ。たとえば、エベレストの山頂に行ってみたいと思ったとき、ここにドアをおいて、パッと開けたらそこがエベレストよ。
- さとし 「そこがエベレストよ」って、ドアを開けたらどうなると思うの？
- めぐみ どうなるの？
- さとし あのね、人やものが自由に出入りできるのだったら、空気だって自由に出入りできるでしょ。もしそうなら、山頂の方がこの部屋より気圧が  すごい風が起きて、みんな吹き飛ばされてしまうよ。
- めぐみ そうね、エベレストはやめましょう。でも、ちょっとした旅行には便利よ。たとえば、東京から那覇へ行くくらいなら便利よね。
- さとし そんなことないよ。ここに <sup>(b)</sup>今日の天気図があるんだけど、これによると東京と那覇の間の気圧差は 25 hPa もあるよ。
- めぐみ そんなの微々たるものじゃない？
- さとし 計算してごらんよ。ドアの大きさを 1 m × 2 m とすれば、ドアにかかる力は  kg 重にもなるんだよ。
- めぐみ わかったわ。でも、さとしの方こそ夢がないのね。



どこでもドア：行きたいところへすぐ行ける便利なドア。

(藤子・F・不二雄『大長編ドラえもん』のび太の日本誕生)

問 4 文章中の空欄  に入れるのに最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① 高いのだから、部屋からエベレストに向かって
- ② 高いのだから、エベレストから部屋に向かって
- ③ 低いのだから、部屋からエベレストに向かって
- ④ 低いのだから、エベレストから部屋に向かって

問 5 文章中の空欄  に入れる数値として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、ドアにかかる力は気圧差によって引き起こされるものとし、1 hPa は 10 kg 重 / m<sup>2</sup> とする。

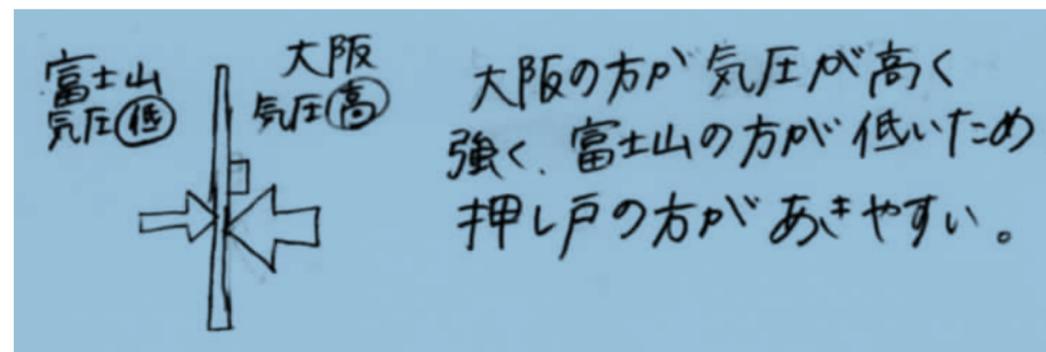
- ① 25
- ② 50
- ③ 250
- ④ 500



東京・那覇は 25 [hPa] の気圧差

2 [m<sup>2</sup>] のドアに加わる力は、

$$10 \text{ [kg重/m}^2\text{/hPa]} \times 2 \text{ [m}^2\text{]} \times 25 \text{ [hPa]} = 500 \text{ [kg]}$$



# 飛行機に乗ると耳が痛くなることがあるのは何故？

地上から富士山に瞬間移動したら、体がどうなるか？

飛行機の機内は気圧を下げる。上空で飛行するとき、少しでも機体への外圧を小さくするため、離陸直前に、15分で0.8気圧に(高度2000mに相当)。



0.6気圧差でも、飛行機の胴体を受ける力は1m<sup>2</sup>当たり6トンにもなる

<https://www.soranohi.net/node/39>

# 前回のミニッツペーパーから

〔5-3〕 ハイヒールvsゾウ 踏む圧力は何倍違うか？  
圧力は、総重力÷総面積 で定義される

「象が踏んでも壊れない」



# 前回のミニッツペーパーから

〔5-3〕 ハイヒールvsゾウ 踏む圧力は何倍違うか？  
圧力は、総重力÷総面積 で定義される

## 象の足

足は直径50cmの円  
(面積  $2000 \text{ cm}^2$ )

足4本

体重 5000kg



## ハイヒール

1cm角

(面積  $1 \text{ cm}^2$ )

足2本

体重 40kg



# 前回のミニッツペーパーから

[5-3] ハイヒールvsゾウ 踏む圧力は何倍違うか？

圧力は、総重力÷総面積 で定義される

## 象の足

足は直径50cmの円  
(面積 2000 cm<sup>2</sup>)

足4本

体重 5000kg

$$P_1 = \frac{5000}{4} \times \frac{1}{2000} = \frac{5}{8}$$

[kg/cm<sup>2</sup>]

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{20}{5/8} = 32 \text{ 倍}$$

## ハイヒール

1cm角  
(面積 1 cm<sup>2</sup>)

足2本

体重 40kg

$$P_2 = \frac{40}{2} \times \frac{1}{1} = 20$$

[kg/cm<sup>2</sup>]

正解者 14/28

ハイヒール  
40kg ÷ (1cm<sup>2</sup> × 2足) = 約20kg/cm<sup>2</sup>  
ゾウ  
5000kg ÷ (2000cm<sup>2</sup> × 4足) = 約0.625kg/cm<sup>2</sup>  
A 約32倍  
ハイヒールの方が  
圧力に9.8倍

ハイヒールの方が、約32倍も圧力が大きい  
ハイヒール 40kg ÷ (1cm<sup>2</sup> × 2本) = 40kg ÷ 2cm<sup>2</sup>  
= 20kg/cm<sup>2</sup>  
ゾウ 5000kg ÷ (2000cm<sup>2</sup> × 4本) = 5000kg ÷ 8000cm<sup>2</sup>  
= 0.625kg/cm<sup>2</sup>  
20kg/cm<sup>2</sup> ÷ 0.625kg/cm<sup>2</sup> = 32 (倍)

40 × 9.8 = 392 [N]  
(×2 = 2 [cm<sup>2</sup>]) = 0.0002 [m<sup>2</sup>]  
392 ÷ 0.0002 = 1960000 [Pa]  
5000 × 9.8 = 49000 [N]  
2000 × 4 = 8000 [cm<sup>2</sup>] = 0.8 [m<sup>2</sup>]  
49000 ÷ 0.8 = 61250 [Pa]  
1960000 ÷ 61250 = 32  
A. 32倍

トップ 速報 事件 政治 経済 国際 スポーツ エンタメ ライフ 科学 地  
エンタメ トピックス 写真 ランキング

## エンタメ



# いきものかかり山下が足の指骨折…女性にヒールで踏まれ

2013.9.2 09:30 [【芸能人ブログ】](#)

男女3人組バンド、いきものかかりのギター、山下穂尊（31）が足の指を骨折していたことが1日、分かった。（サンケイスポーツ）

この日、サンドーム福井で全国ツアーをスタート。公演終了後のツイッターで、リーダーの水野良樹（30）が「山下くんが足の指を骨折してました。立てます、歩けます、ライブはできます」とつぶやいた。骨折理由について「渋谷のスクランブル交差点で女性にヒールで踏まれたらしいです。がんばれ、山下くん」と明かし、エールを送った。

一方の水野は、先月17日に一般女性と結婚して話題になった。



いきものかかりの山下穂尊

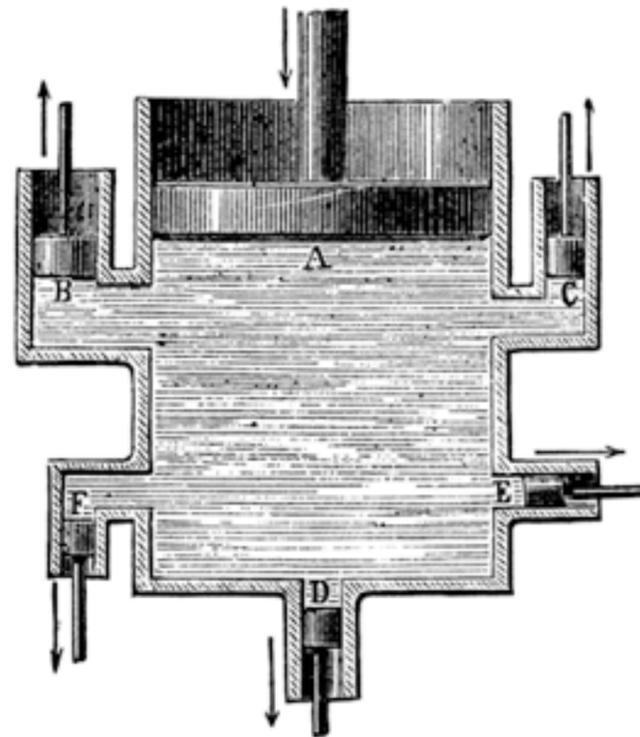
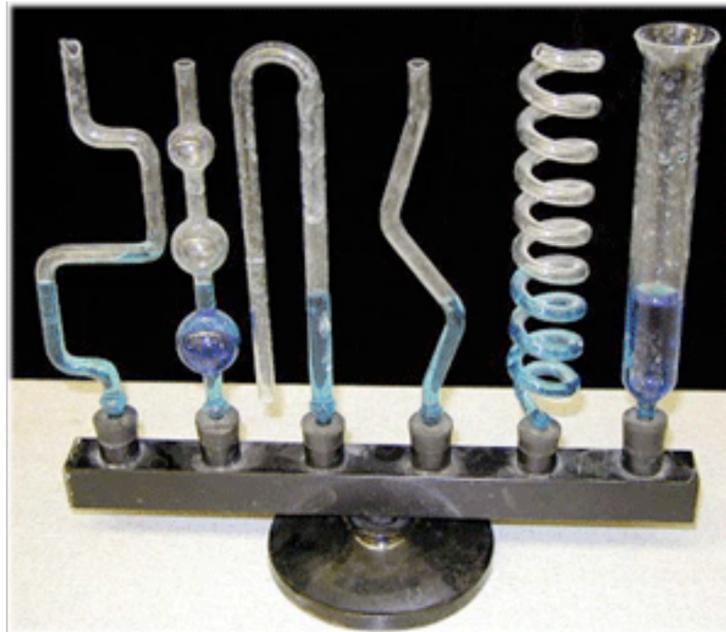
# パスカルの原理

## 法則 パスカルの原理

密閉容器中の静止している流体に、圧力変化を加えると、流体中のあらゆる部分で同じ圧力変化が生じる。



Blaise Pascal  
(1623-1662)



# パスカルの原理

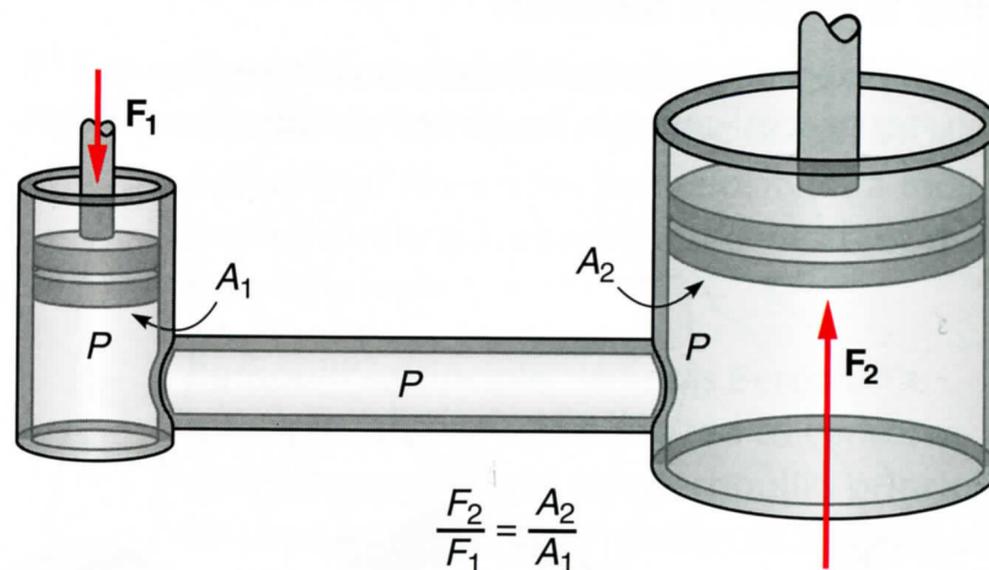
## 法則 パスカルの原理

密閉容器中の静止している流体に、圧力変化を加えると、流体中のあらゆる部分で同じ圧力変化が生じる。



## 油圧ジャッキ

教科書 p95



### Topic 油圧ジャッキ

パスカルの原理を使って、重いものを簡単に持ち上げるのが、油圧ジャッキである。図 3.8 のように、大きさの違うシリンダ（面積を  $S_1 < S_2$  とする）を動きやすい油でつなぐ。油の圧力はどこでも同じ（ $P$  とする）なので、小さいほうのシリンダを力  $F_1$  で押すと  $F_1 = PS_1$  であり、大きいほうのシリンダは  $F_2 = PS_2$  の力で押し出される。  $P$  が同じなので、  $F_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1$  となる。つまり、面積比が 5 倍なら、  $F_1$  の 5 倍の力で押し上げることができる（5 倍長い距離を押し縮めなければならないが）。

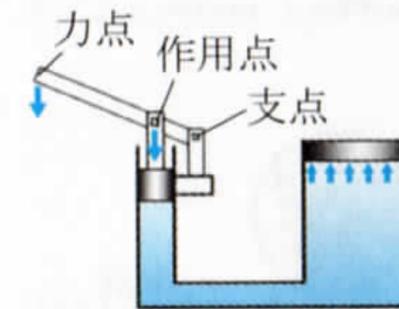
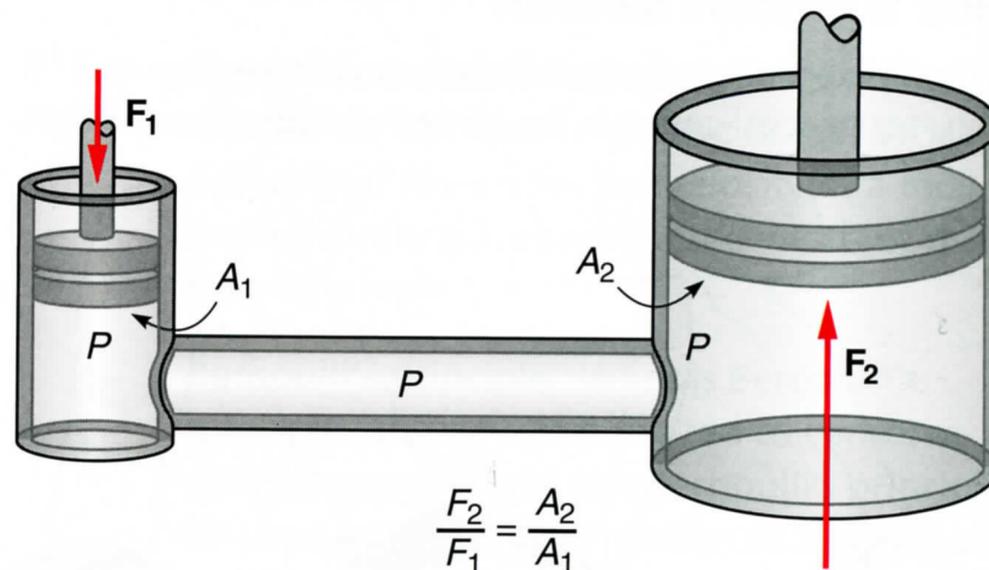
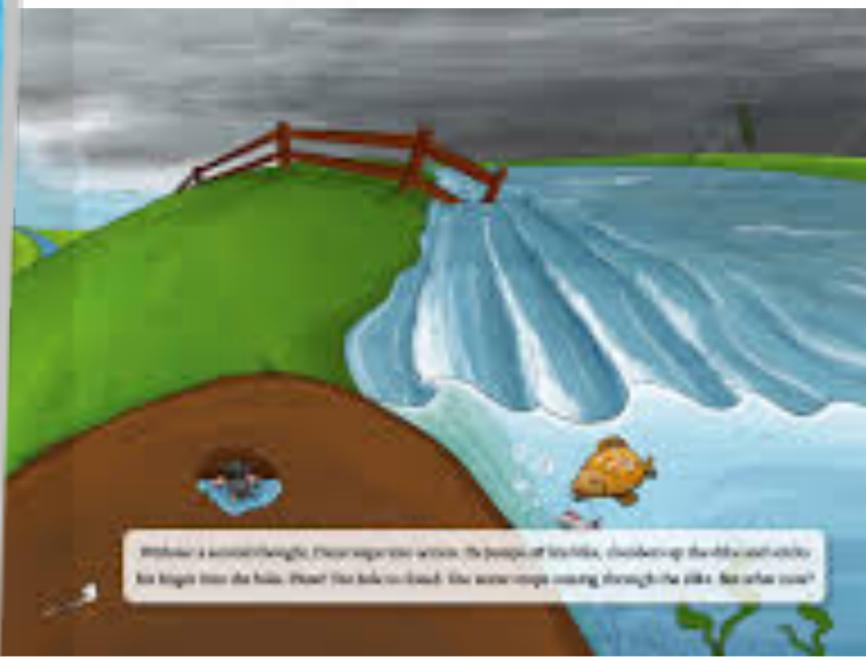
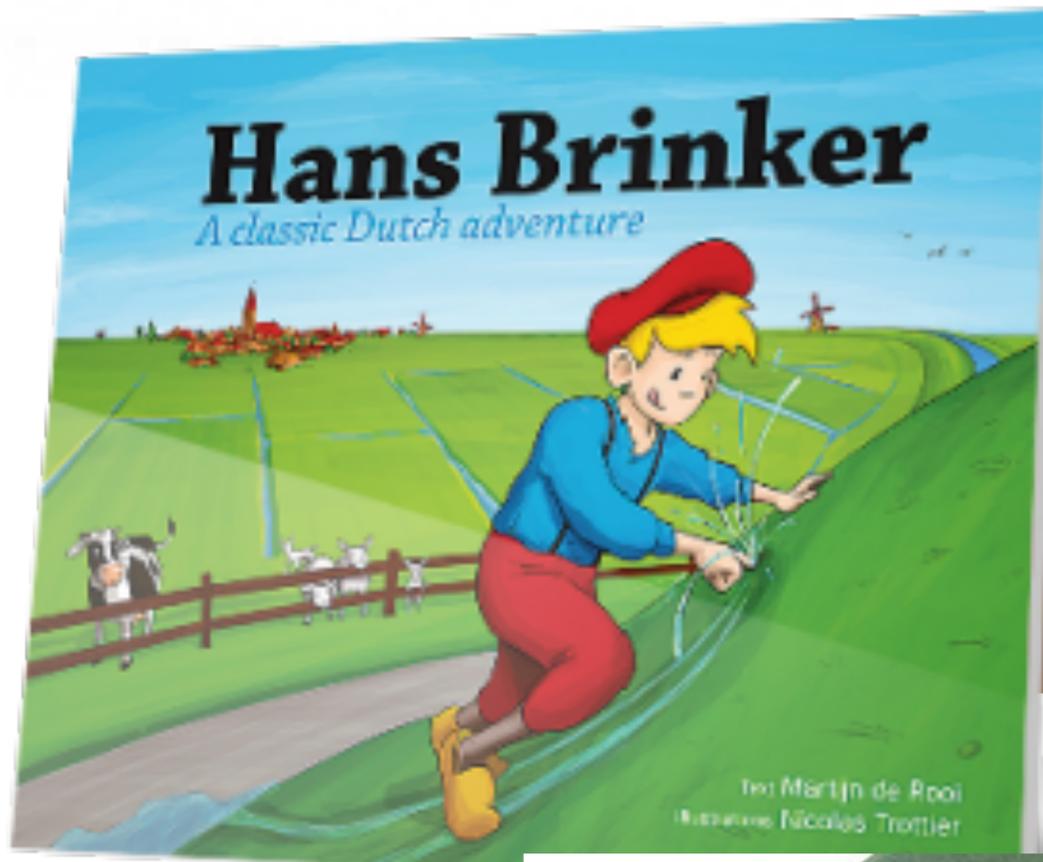


図 3.8 油圧ジャッキ (hydraulic jack) のしくみ



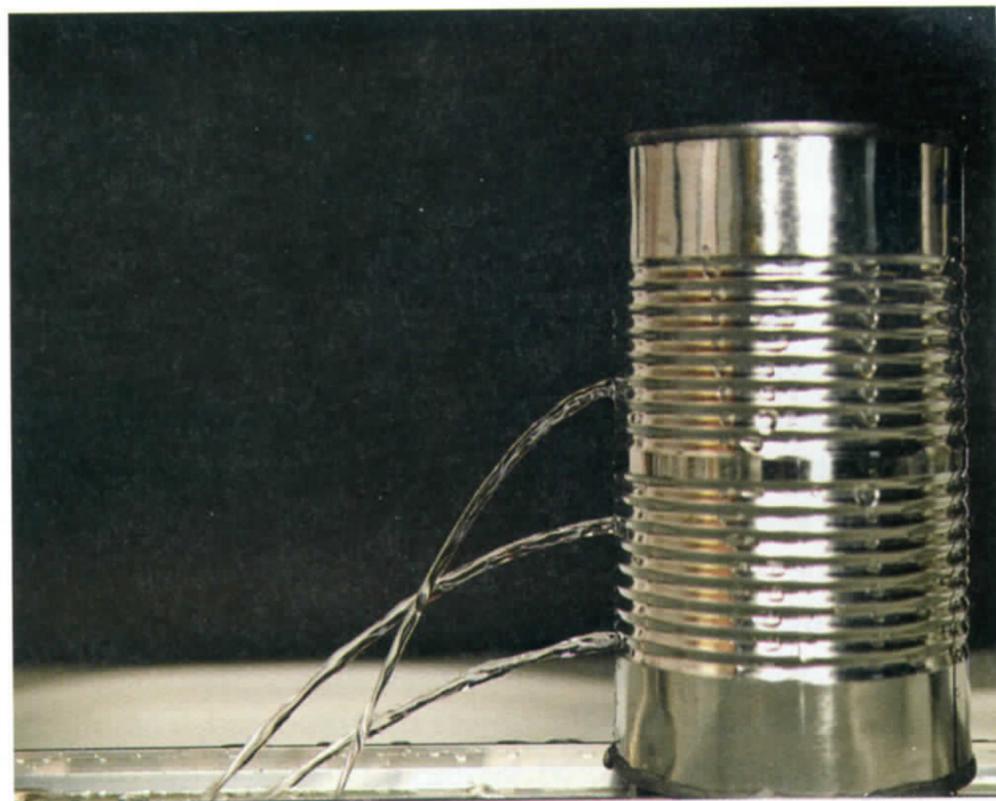
問 3.7 オランダには、ハンス・ブリンカー (Hans Brinker) という少年が、堤防にあいた穴に指をつっこんで塞ぎ、オランダを洪水から救ったという話が伝わっている。本当に指一本で北大西洋全体を支えることができるだろうか。



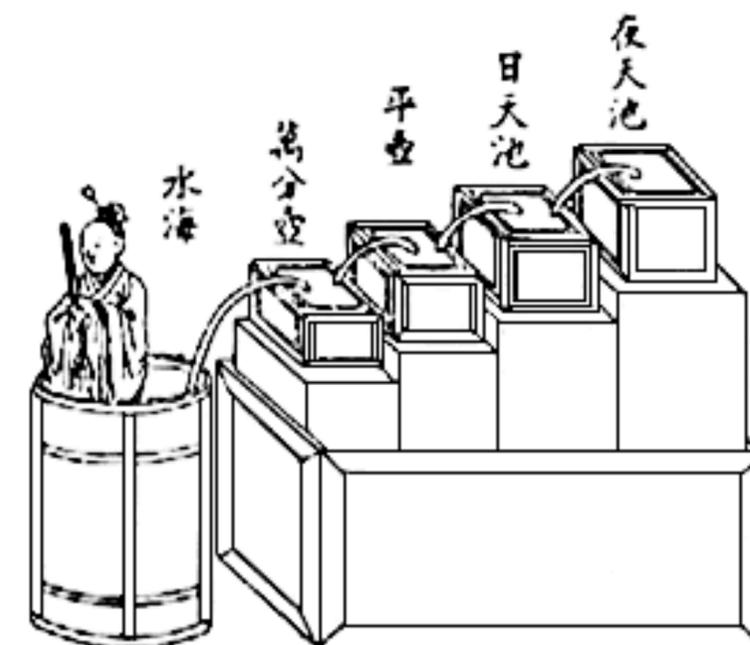
Madurodamの入り口にて

### 法則 トリチェリの法則

流体の粘性が無視できるならば、容器に入れた流体の表面の高さが  $y$  のとき、容器の底に開けた小さな穴から流出する流体の速度  $v$  は、 $v = \sqrt{2gy}$  である。ここで、 $g$  は重力加速度である。



**figure 9.15** Water emerging from a hole near the bottom of a can filled with water has a larger horizontal velocity than water emerging from a hole near the top.



昭和56年12月18日、奈良県明日香村にある飛鳥の集落の西北は異常な興奮に包まれていた。中大兄皇子によって創設された水時計の地設の基壇が発掘されたのである。当時、おそらく飛鳥の都であったこの場所が、1300年ぶりに賑いを取りもどしていた。『日本書紀』にある宮殿、寺院以外の記載、斉明6年五月条の「皇太子、初めて漏刻を造り、民をして時を知らしむ。」を証明できたことは、約半世紀に及ぶ飛鳥の発掘の歴史のなかでも、画期的なできごとであった。

<http://www.asukanet.gr.jp/ASUKA4/mizutokei/mizutokei.html>

# 水時計の設計

## 2.6.3 水時計の設計

古くから時間を計るために水時計が使われている。容器の底に小さな穴を開け、出てくる水の量で時間を計る仕組みである。容器にたくさん水があると、水自身の重力が水圧に加わるので、穴から放出される水量は多い。したがって、単純な円筒形の容器では、放出される水量から時間を正確に計れない。どのような形状で容器を作れば良いだろうか。

力学的エネルギー保存則から次の法則が導かれる。

### 法則 2.16 (Torricelli の法則)

流体の粘性が無視できるならば、容器に入れた流体の表面の高さが  $y$  のとき、容器の底に開けた小さな穴から流出する流体の速度  $v$  は、 $v = \sqrt{2gy}$  である。ここで、 $g$  は重力加速度である。

高さ  $y$  の付近での容器の断面積がほぼ一定で  $S$  とする。時間  $\Delta t$  の間に流体の高さが  $\Delta y$  だけ下がったとき、この間に流出した流体の体積は  $S\Delta y$ 、液体の密度を  $\rho$  とすれば、流出した液体の質量  $m$  は  $m = \rho S\Delta y$  である。失われた位置エネルギーは容器の底面を基準として  $mgy$  である。このエネルギーは流出した液体の運動エネルギー  $\frac{1}{2}mv^2$  に変化しはすないので、 $mgy = \frac{1}{2}mv^2$ 。したがって、 $v = \sqrt{2gy}$ 。

**例題 2.34** 半径  $R$  の円柱容器を使って水時計を作る。円柱に等間隔に目盛をつけておくと、容器中の液体の表面が目盛を通過する時間間隔はどのようになるだろうか。

容器中の液体の表面の高さ  $y$  の時間変化  $y(t)$  が求められればよい。上記の Torricelli の法則の証明と同じ設定で、高さ  $y$  での容器の断面積を  $S(y)$  とする。時間  $\Delta t$  の間に液体の高さが  $\Delta y$  だけ変化したとすると、減少した液体の体積は  $S(y)\Delta y$  となる。一方底から流出した液体の体積は、開けた穴の断面積  $s$  と、流出した液体の速度  $v$  を用いて  $sv\Delta t$  となる。両者の合計がゼロのはずなので、

$$S(y)\Delta y + sv\Delta t = 0 \quad \text{すなわち} \quad S(y)\frac{\Delta y}{\Delta t} + sv = 0.$$

Torricelli の法則より  $v = \sqrt{2gy}$  を代入し、 $\Delta t \rightarrow 0$  の極限をとると、微分方程式

$$S(y)\frac{dy}{dt} + s\sqrt{2gy} = 0 \quad (2.6.50)$$

が得られる。

容器が半径  $R$  の円柱なら、 $S(y) = \pi R^2 = (\text{一定})$  なので、(2.6.50) を変数分離形として解くと、

流水の方程式

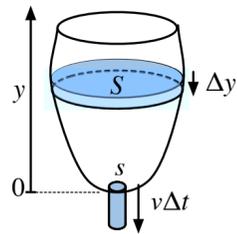
【Level 2】

トリチェリの定理

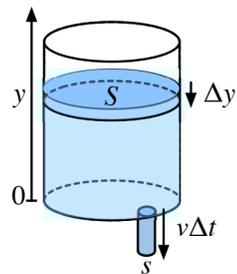
👤 Evangelista Torricelli  
トリチェリ (1608–1647)

容器の形状や流体の密度などによらないきれいな結果である。

力学的エネルギー保存則  
⇒ 法則 0.27



円柱形の容器の場合



$$\int dt = -\frac{\pi R^2}{s\sqrt{2g}} \int y^{-1/2} dy \quad \text{ゆえに} \quad t = -\frac{\pi R^2}{s} \sqrt{\frac{2}{g}} y^{1/2} + C.$$

初期条件として、 $t = 0$  で  $y = H$  とするならば、 $C = \frac{\pi R^2}{s} \sqrt{\frac{2H}{g}}$  ( $\equiv \alpha\sqrt{H}$  とする) と積分定数が決まるので、

$$y = \left(\sqrt{H} - \frac{t}{\alpha}\right)^2$$

となる。したがって、容器中の液面の高さ  $y$  は、 $t$  に依存して変化する。上部の方がはやく高さが減ることになる。

**例題 2.35** 流出する流体の量が時間と共に常に一定になるようにするためにどのような容器の形状にすればよいか。

(2.6.50) 式を  $S(y)$  のまま変数分離形として積分形にすると

$$\int dt = -\frac{1}{s\sqrt{2g}} \int S(y)y^{-1/2} dy.$$

$S(y)$  の関数形を  $S(y) = S_0 y^n$  とおいて調べてみると

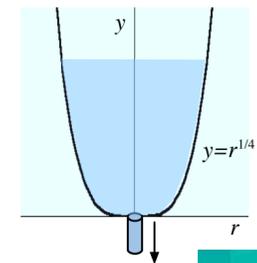
$$t = -\frac{S_0}{s} \frac{1}{\sqrt{2g}} \int y^{n-1/2} dy + C = -\frac{S_0}{s} \frac{1}{\sqrt{2g}} \frac{1}{n+1/2} y^{n+1/2} + C$$

となる。これが  $t \approx y$  となるためには、 $n + \frac{1}{2} = 1$  とすればよく、 $n = \frac{1}{2}$  と条件が導かれる。ゆえに容器の形状は  $S(y) = S_0\sqrt{y}$  とするのが水時計に適していることになる。

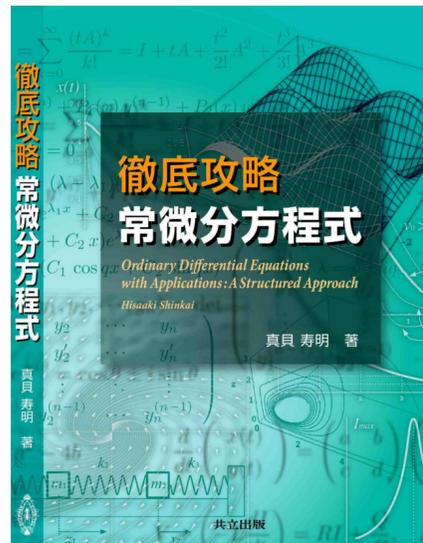
ところで、同じ時計でも「砂時計」は流体とは異なり上記のような解析はできない。粉流体についてはまだ基礎方程式もない状態である。砂時計をつくる時に、どのような砂をどの程度入れるか、という工夫は現在でも経験則によるらしい。

$C$ : 定数。

いつも同じ割合で液体が流出するためには、容器の半径  $r$  が高さ  $y$  と  $y \approx r^{1/4}$  の関係をもっていればよい。



$$y = x^4$$

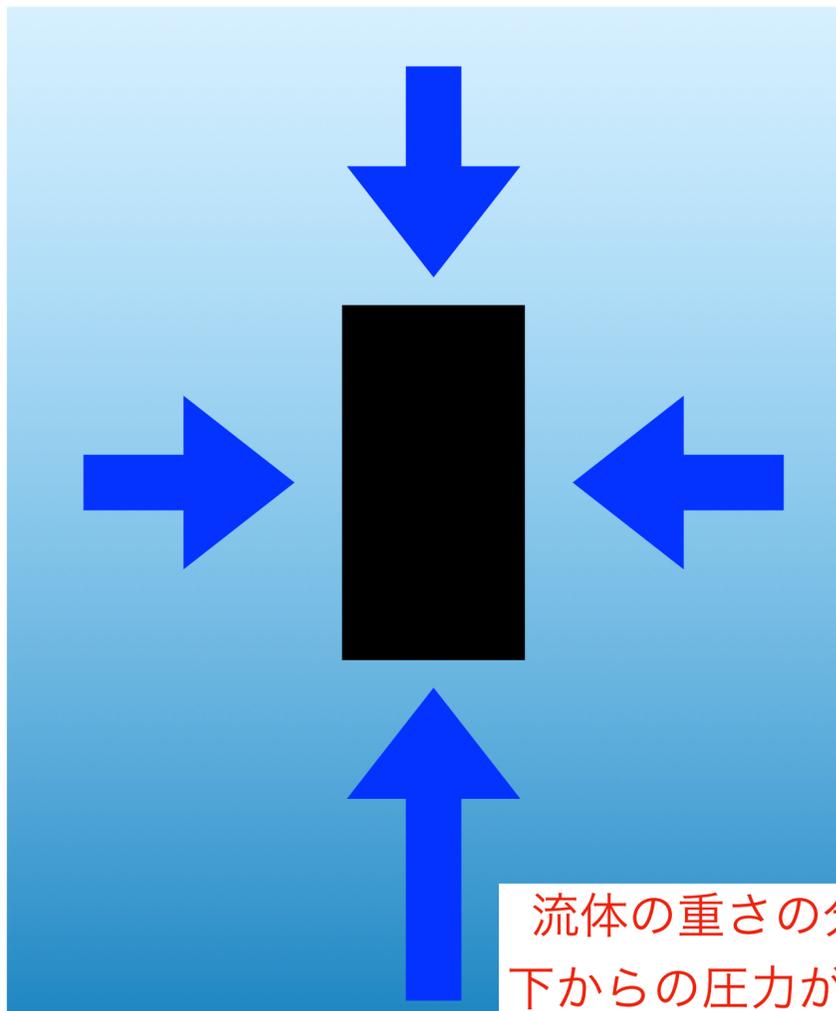


# 浮力 (buoyancy)

## アルキメデスの原理 (Archimedes' principle)

流体中の物体が受ける浮力は、その物体が押し除けた流体の重さ（重力）と同じ大きさである。

物体は流体中であらゆる方向から圧力を受ける。上下方向では、重力も加わる。物体が流体中にあると、押し除けた分だけ液体の重力が減る。つまり下向きの圧力が小さくなる。その分が浮力となる。



### Topic 氷山の一角

氷の密度は、水の密度  $\rho=1\text{ g/cm}^3$  の約 92% である。断面積  $S$ 、高さ  $h$  の氷柱があるとき、水中にある部分の高さを  $d$  とすると、つりあいの式は、

$$0.92\rho Shg = \rho Sdg$$

下向きの力 = 浮力

となるので、 $d = 0.92h$  となる。つまり、氷はわずか 8% だけ水面から顔を出す。「氷山の一角」という言葉がよく使われるが、氷山がみえてもその大部分はみえていないということだ。

# 浮力 (buoyancy)

## アルキメデスの原理 (Archimedes' principle)

流体中の物体が受ける浮力は、その物体が押し出した流体の重さ (重力) と同じ大きさである。

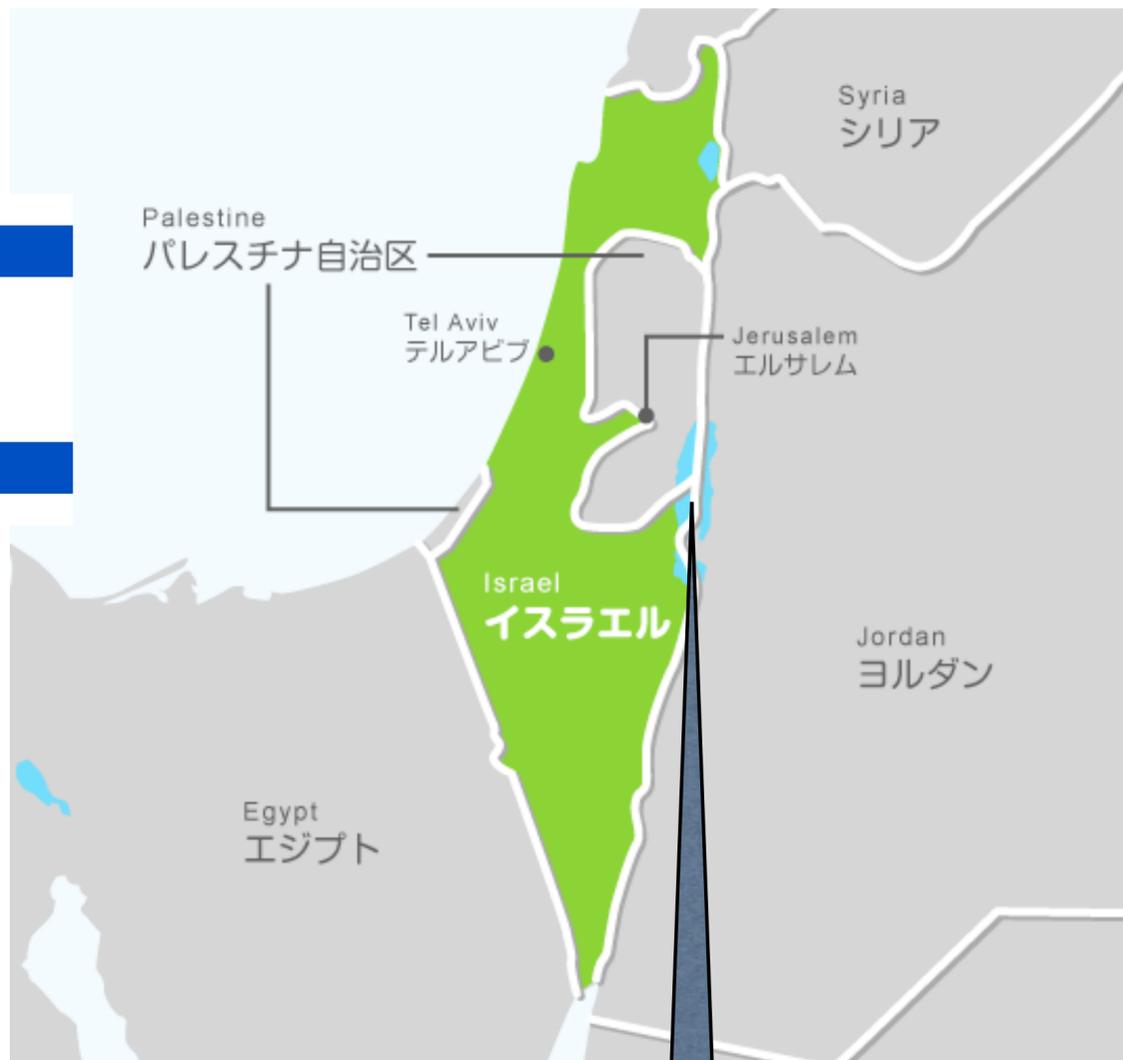


氷山の一角

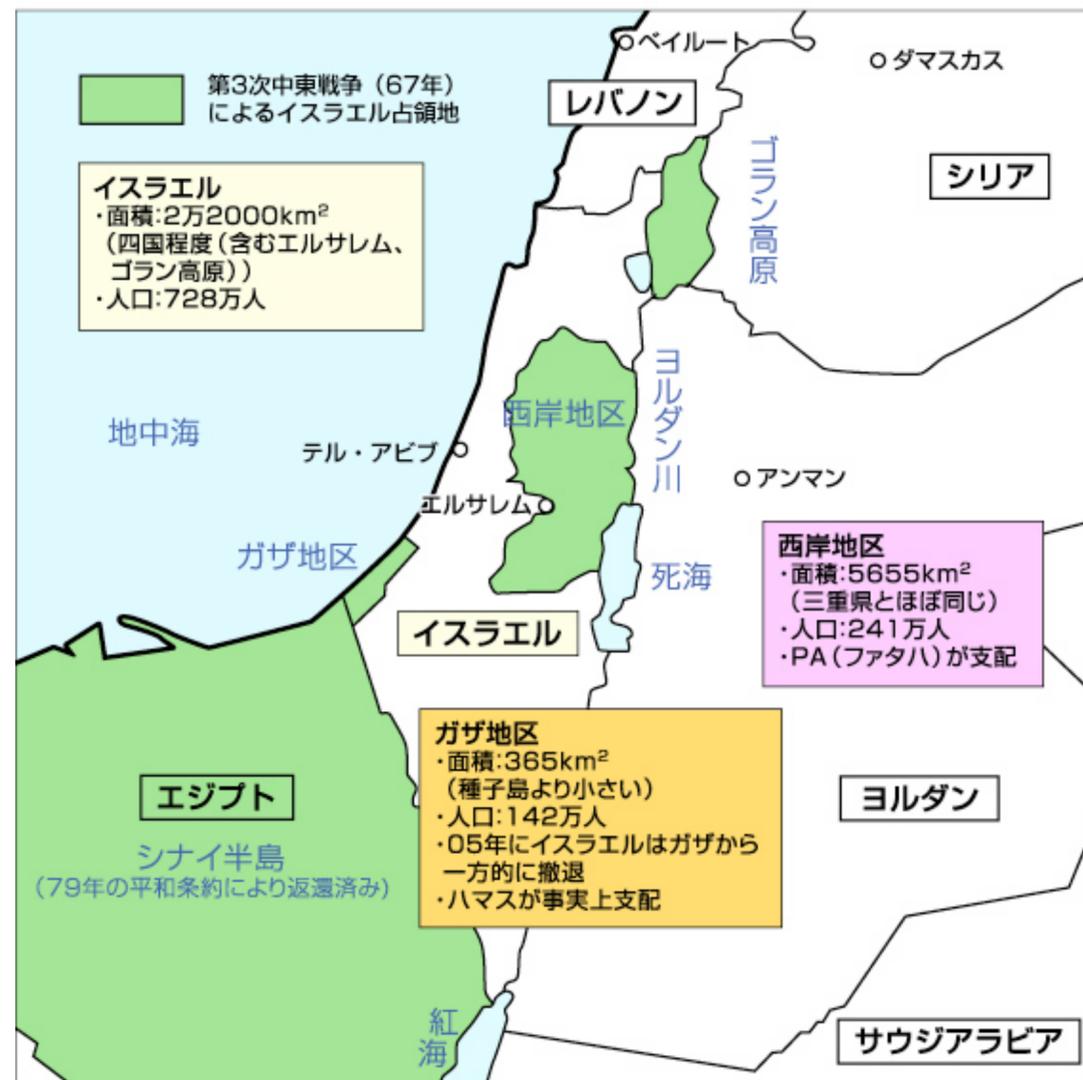


太った人ほど浮きやすい

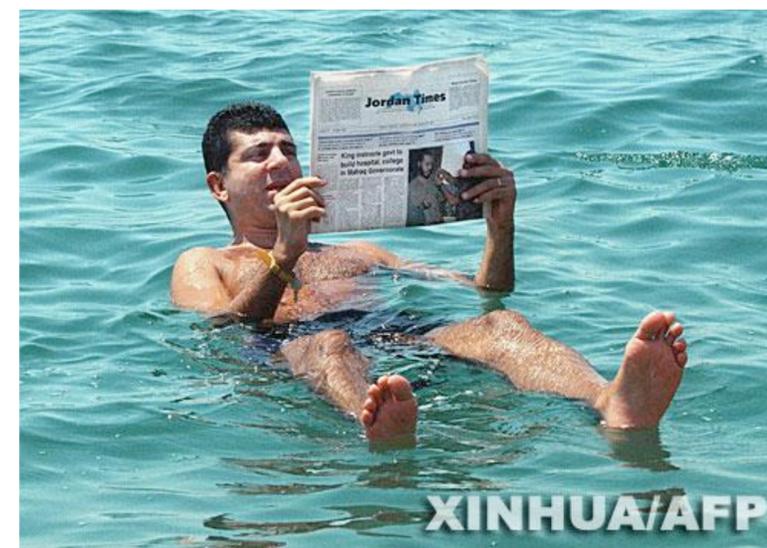
# 死海で浮いてみる



中東和平関連地図



死海  
標高 -427m  
塩分濃度 30%



「エウレーカ」 (I found it.) とアルキメデスが叫んで  
風呂屋から裸で走り出した。  
何を発見したエピソードか。



# 「エウレーカ」

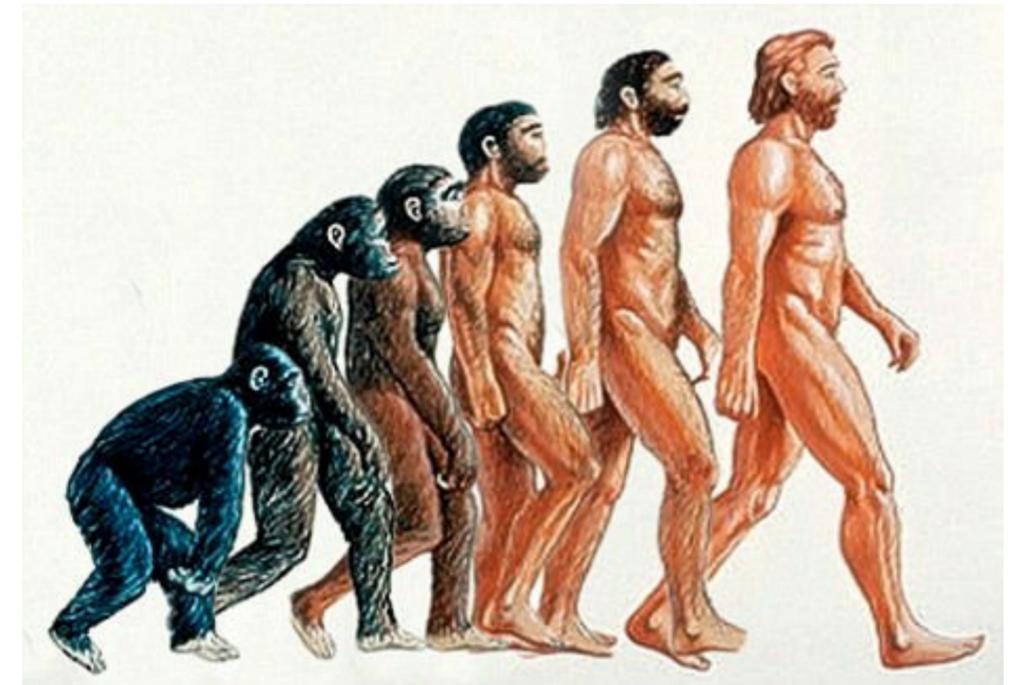
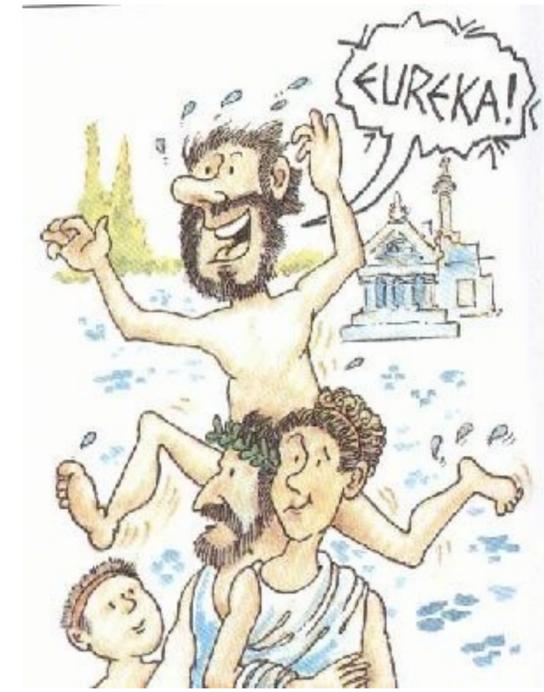
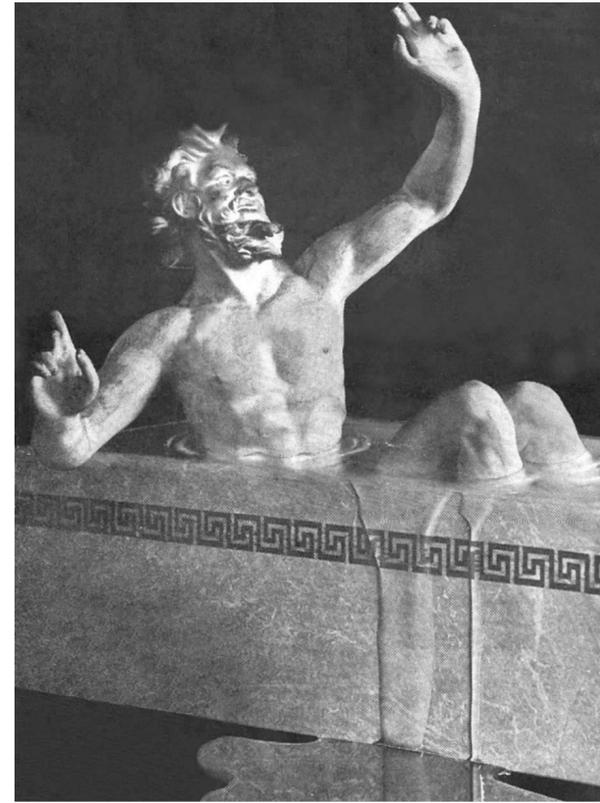
シチリアの王ヒエロン二世に戦勝記念に奉納した黄金の王冠の判定を依頼された。純金で作ってあるはずだが、細工師が銀を混ぜたという疑いである。最初に与えた金塊と王冠の重さは等しくなっていたが、これを傷つけることなく判定する方法が求められた。



風呂場で、アルキメデスは浮力の法則を発見する。「液体中では、物体は自分が排斥する液体の重さだけ軽くなる」

同じ重さでも密度の小さい銀を混ぜたら体積は大きくなり、混ぜものの王冠かどうかで区別できるとひらめいた。

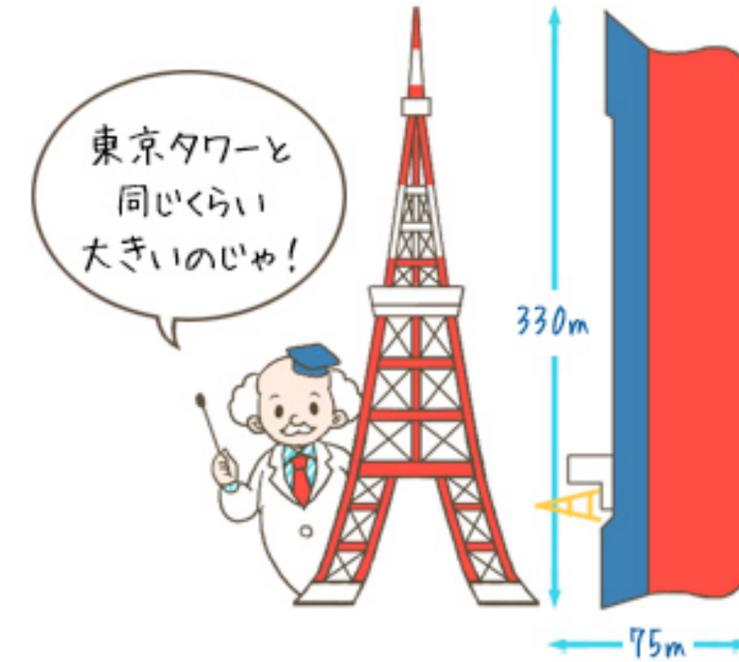




# 船はなぜ浮くか



新潟県 財団法人黒船館蔵



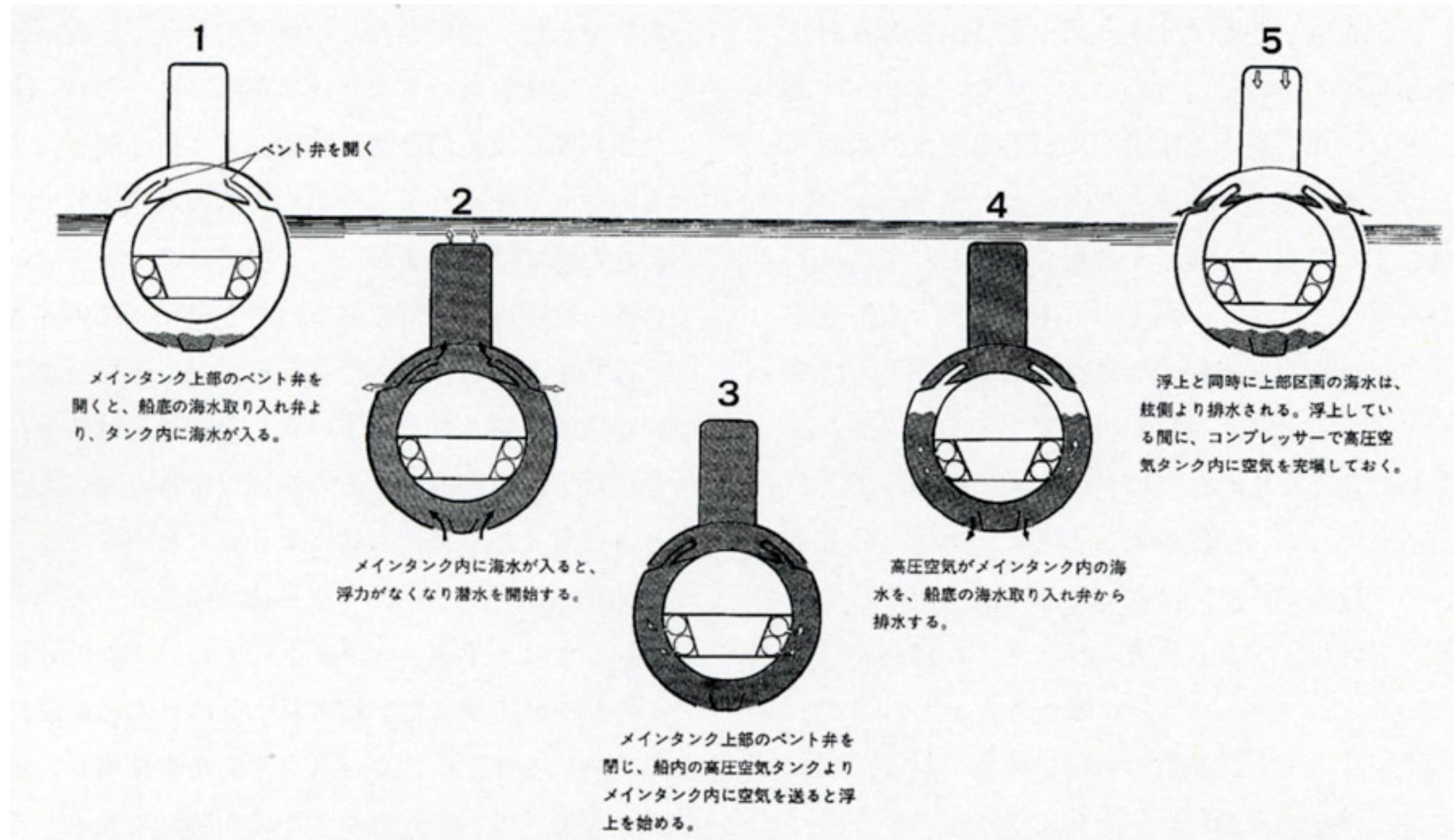
## (6) 石油を降ろすと、突然ノッポになる？



タンカーの中には、たくさんの石油を入れることができますが、石油を積んだ時と降ろす時では9メートルも違います。日本から産油国へ行く時には、バラストタンクに海水を入れてバランスをとりながら走っています。

[http://oil-info.ieej.or.jp/whats\\_sekiyu/1-8.html](http://oil-info.ieej.or.jp/whats_sekiyu/1-8.html)

# 潜水艦はなぜ潜水と浮上ができるのか

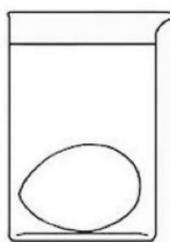


### 実験 10 卵を浮かせる

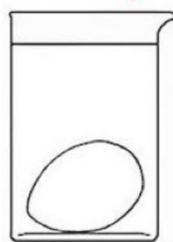
新鮮な卵は水に沈む。沈んだ状態で水に塩を加えていくと、卵は浮き始める。理由はアルキメデスの原理から明らかだろう。ところで、浮かばせることで全重量はどうなるのだろうか。コップに水を入れて重量を量る。卵も重量を量る。さて、卵をコップ内に浮かばせると、全重量はどうなるだろうか？

### TESTING EGG FRESHNESS

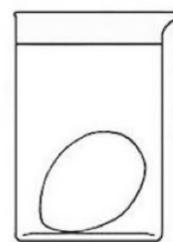
If it floats, toss it!



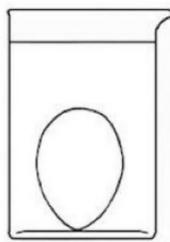
1-3 days



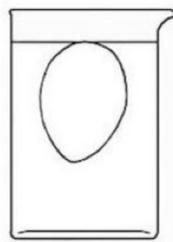
4-6 days



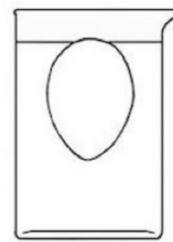
7-9 days



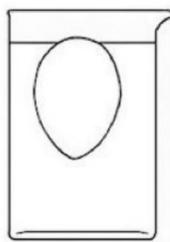
10-12 days



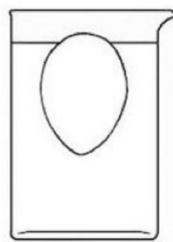
13-15 days



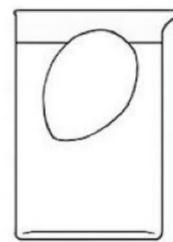
16-18 days



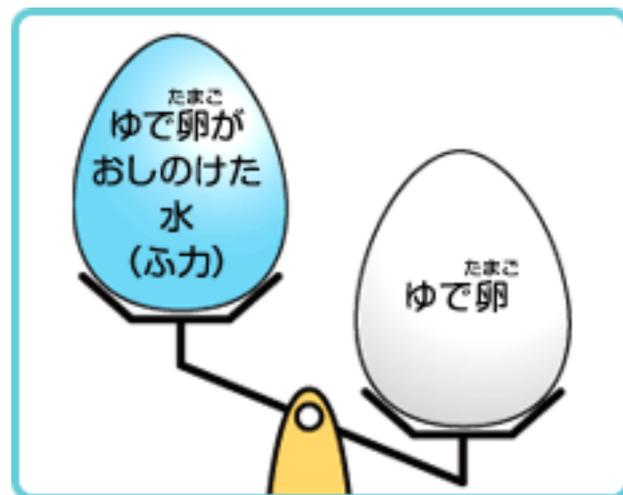
19-21 days



22-24 days



25-26 days



たまご  
ゆで卵の重さよりもふ力が小さいので  
しずむ。

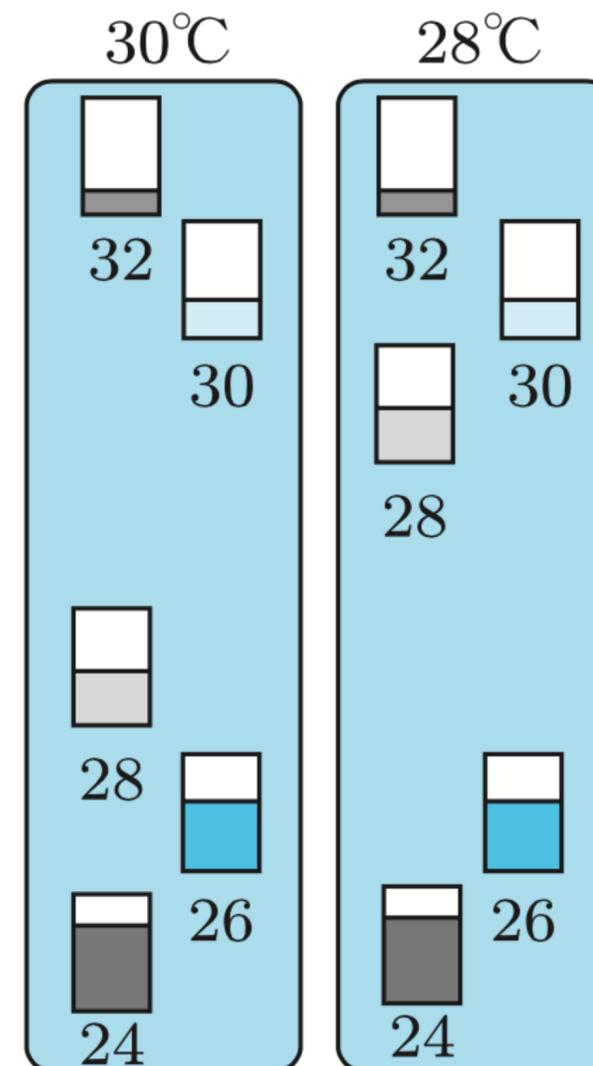
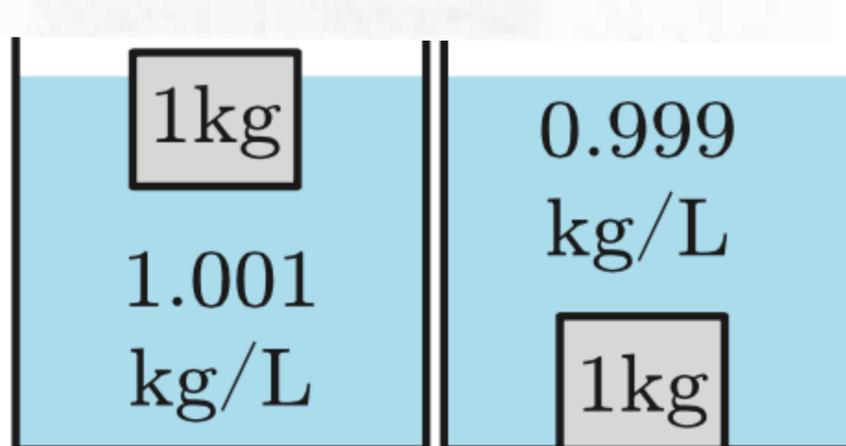


たまご  
ゆで卵の重さよりもふ力が大きいので  
うかぶ。



## Topic ガリレイ式温度計

温度計の歴史は、ガリレオ・ガリレイによる比重測定計から始まったとされる。現在でも装飾品のように売られているのを見かけるが、ガラスのシリンダーの液体の中で、温度タグのついた色とりどりの液体が入ったガラス玉が上下に移動できるようにしくみの温度計がある。気温が変化すると内部の液体の密度が変化する。温度が下がれば比重が重くなり、温度が上がると比重が軽くなる。中のガラス玉に対する浮力が変化するので、温度が上がるとどんどん中のガラス玉が浮上していくことになる。ガラス玉は一定温度ごとに一つずつ浮上するように調整されている。上部に移動したガラス玉についている一番下のタグを読めば、気温がわかる。



## コラム 16 ピッチドロップ実験

ギネスブックに「最も長期に渡るラボ実験」として認定されているのが、アスファルトの粘性を計測しているオーストラリア・クィーンズランド大学のピッチドロップ実験である。実験の目的は、固体のようにみえるアスファルトが実は超粘性液体（ピッチ，pitch）であることを学生に示すことで、1927年に開始された。ピッチを漏斗に注ぎ、落ち着くまで3年間待った後、漏斗の下を切り取り、ゆっくりと液が落ちるのを観察している。最初の1滴は10年後で、2000年11月28日には8滴目が落下した。9滴目は2014年と予想されていたが、2014年4月24日に、ビーカー交換の最中に誤って落ちてしまったという。10滴目は14年後と予想されている。

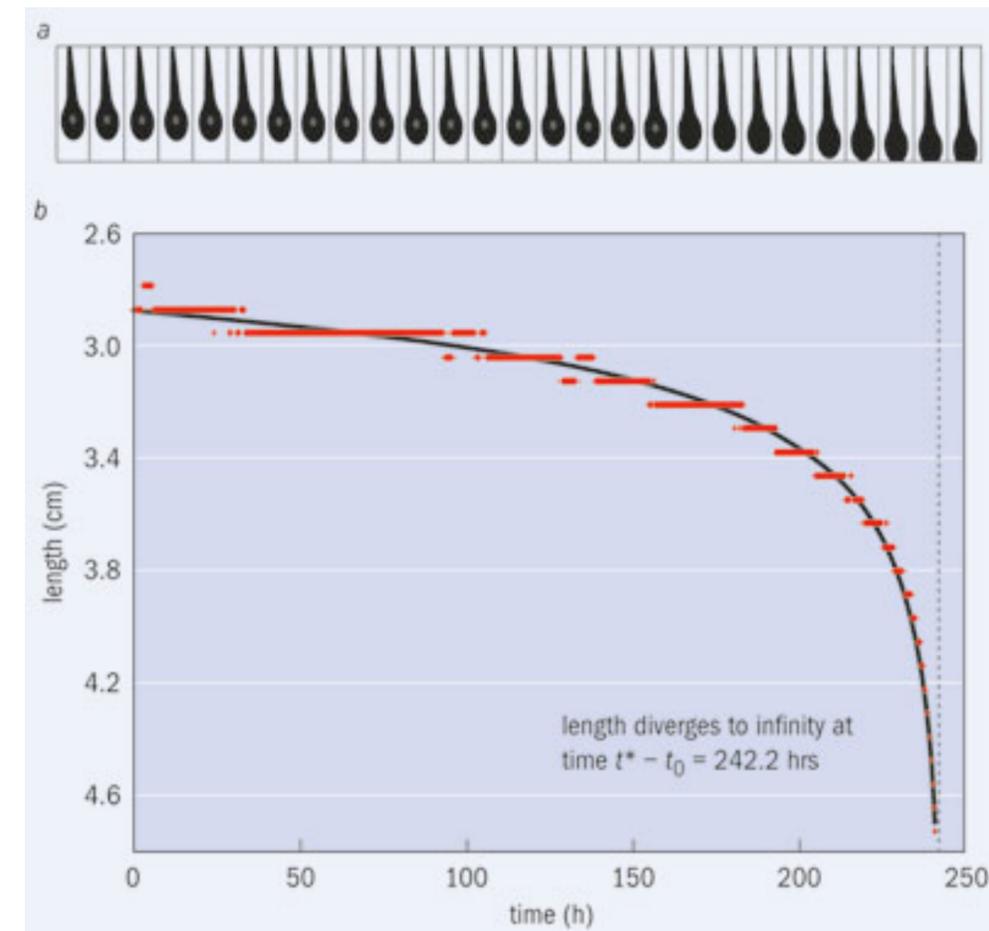
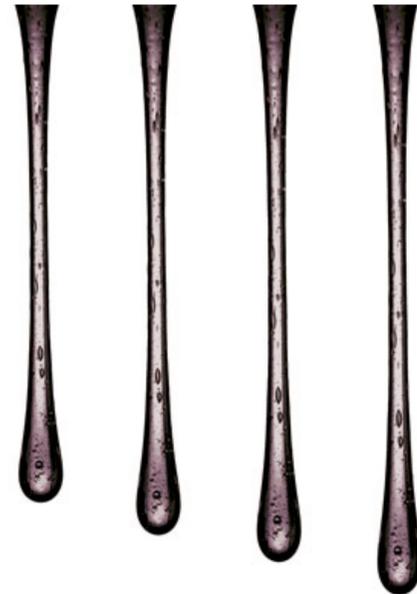
一方、アイルランド・ダブリン大学トリニティカレッジのピッチドロップ実験は、1944年10月に始まったが、最初の1滴の落下が2013年6月11日に観測され、69年かかった実験としてニュースになった。蜂蜜の200万倍の粘性だという。



図 3.22 クィーンズランド大学のピッチドロップ実験

The drop heard round the world

イギリスのTrinity College Dublinのグループが実験した、超粘性液体の落下の動画視聴が、200万回に達したという。（Physics World 2014年5月号）蜂蜜の200万倍の粘性をもつ液体が1滴落ちる瞬間は、1ヶ月前に予言されたように、2013年6月11日に生じた。1944年10月に始まった実験で69年かかった。



$$L = L_1 - L_0 \frac{t^*}{(t + t_0)} \ln \left[ 1 - \frac{(t + t_0)}{t^*} \right],$$

<http://physicsworld.com/cws/article/indepth/2014/may/01/the-drop-heard-round-the-world>

<http://www.tcd.ie/Physics/tar-experiment/>

The drop heard round the world

イギリスのTrinity College Dublinのグループが実験した、超粘性液体の落下の動画視聴が、200万回に達したという。（Physics World 2014年5月号）蜂蜜の200万倍の粘性をもつ液体が1滴落ちる瞬間は、1ヶ月前に予言されたように、2013年6月11日に生じた。1944年10月に始まった実験で69年かかった。

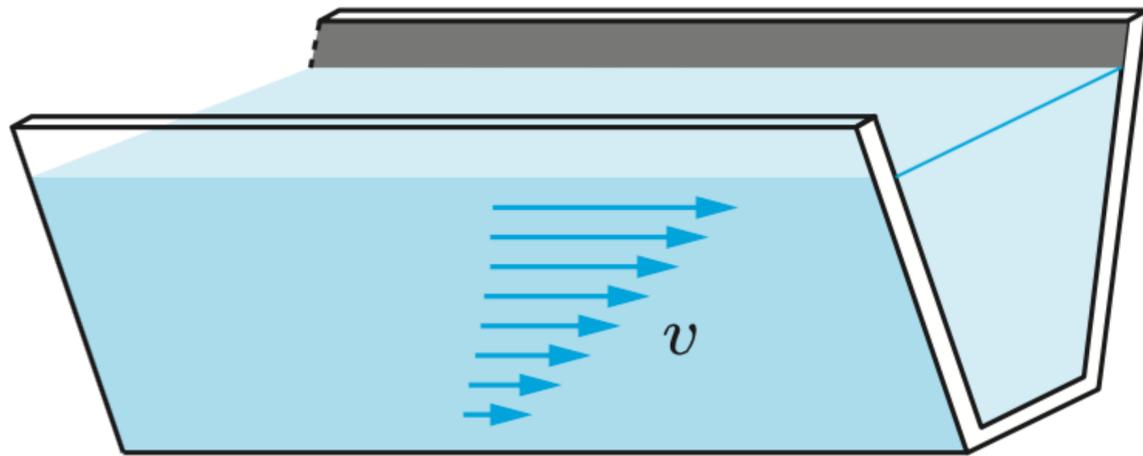


<http://www.youtube.com/watch?v=vZ5Vm4vABH4>

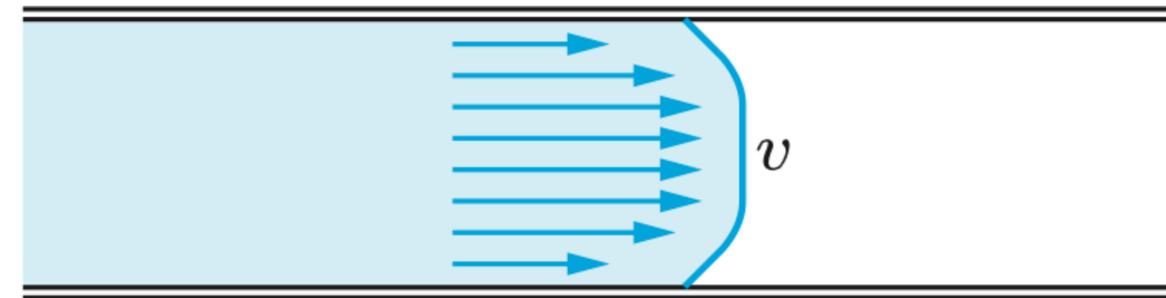
## 粘性 (viscosity) : 内部摩擦力

### 粘性

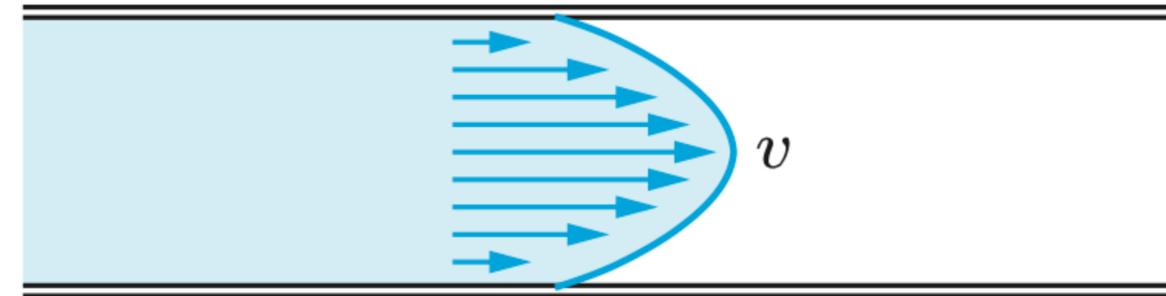
水, 油, ガスなどの流体が流動するとき, 必ずその流れに抵抗しようとする内部摩擦力が働く. 流体の持つこのような性質を**粘性 (viscosity)** とよぶ. <sup>3</sup>



(a)



(b) 粘性が小さい場合



(c) 粘性が大きい場合

# 流体中の抵抗をどうやって減らすか？





写真

FEATURE FNNピックアップ

## 次世代新幹線「時速380キロ」 長い鼻が特徴 「ALFA-X」を体験【宮城発】

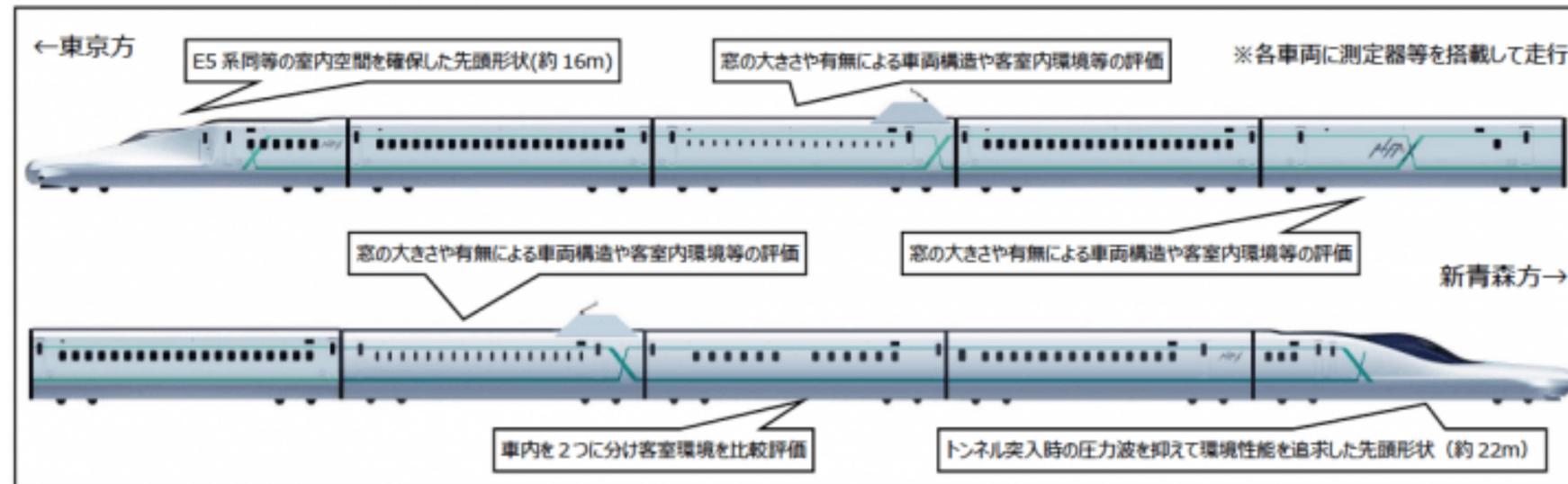
NEWS 仙台放送

2020年10月31日 土曜 午後0:30

次世代新幹線の開発を進めているJR東日本は、その試験プラットフォームとして新幹線の試験車両「ALFA-X(アルファエックス)」(E956形式)の製作を進めてきたが、東北新幹線の仙台駅と新青森駅のあいだで走行試験を開始した。

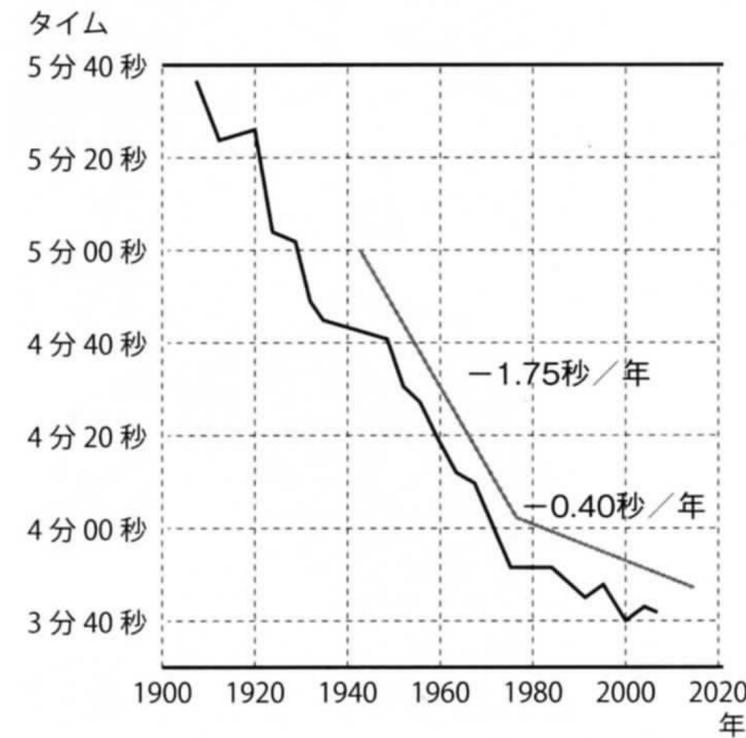
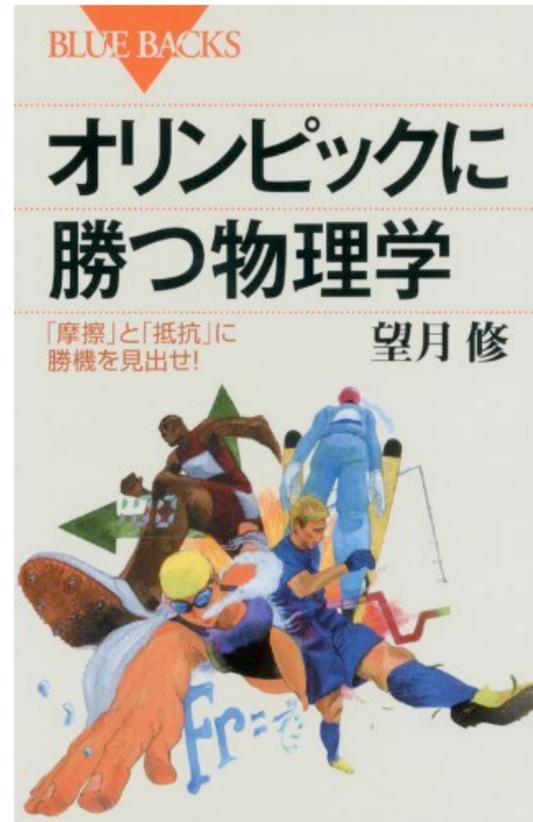
10両編成で、「最先端の実験を行うための先進的な試験室(車)」という意味の「Advanced Labs for Frontline Activity in rail eXperimentation」から「ALFA-X」と命名された。

<https://www.axismag.jp/posts/2019/03/122487.html>



# 流体中の抵抗をどうやって減らすか？

「泳法の改善で勝てる時代は、1976年で終わった」



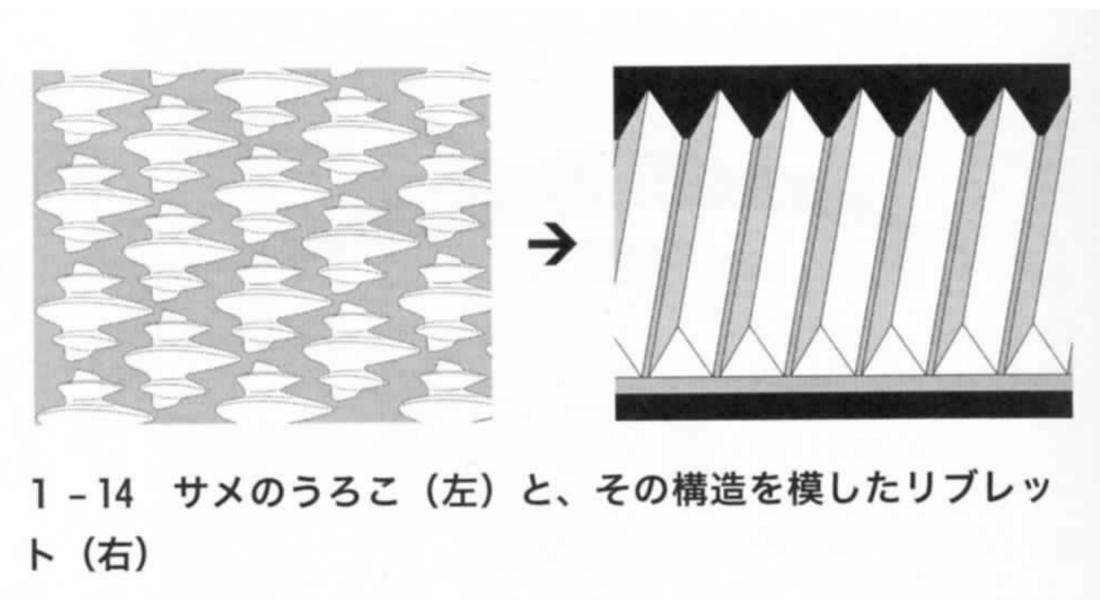
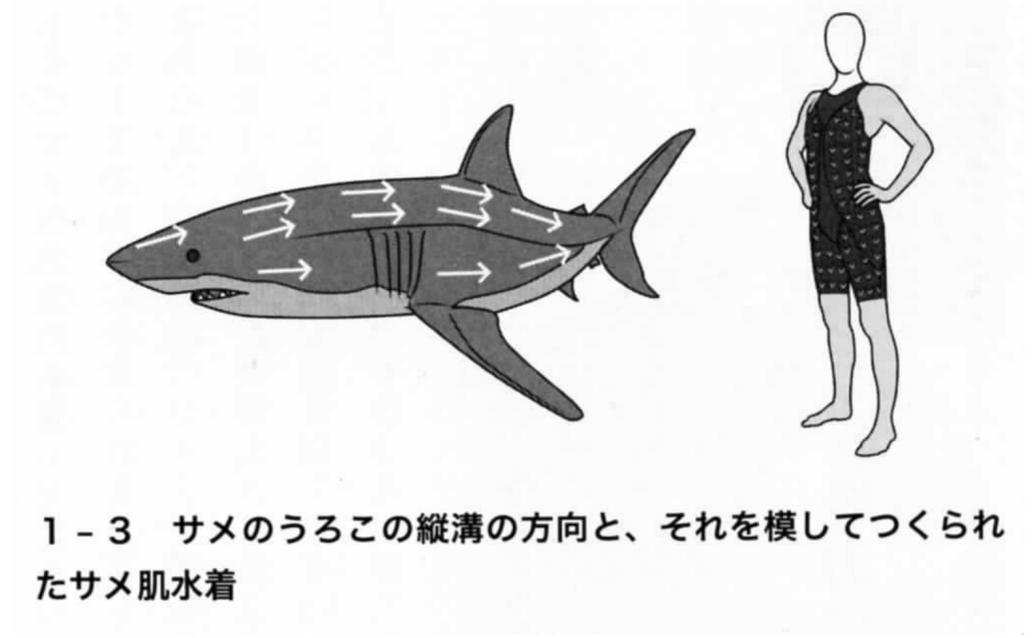
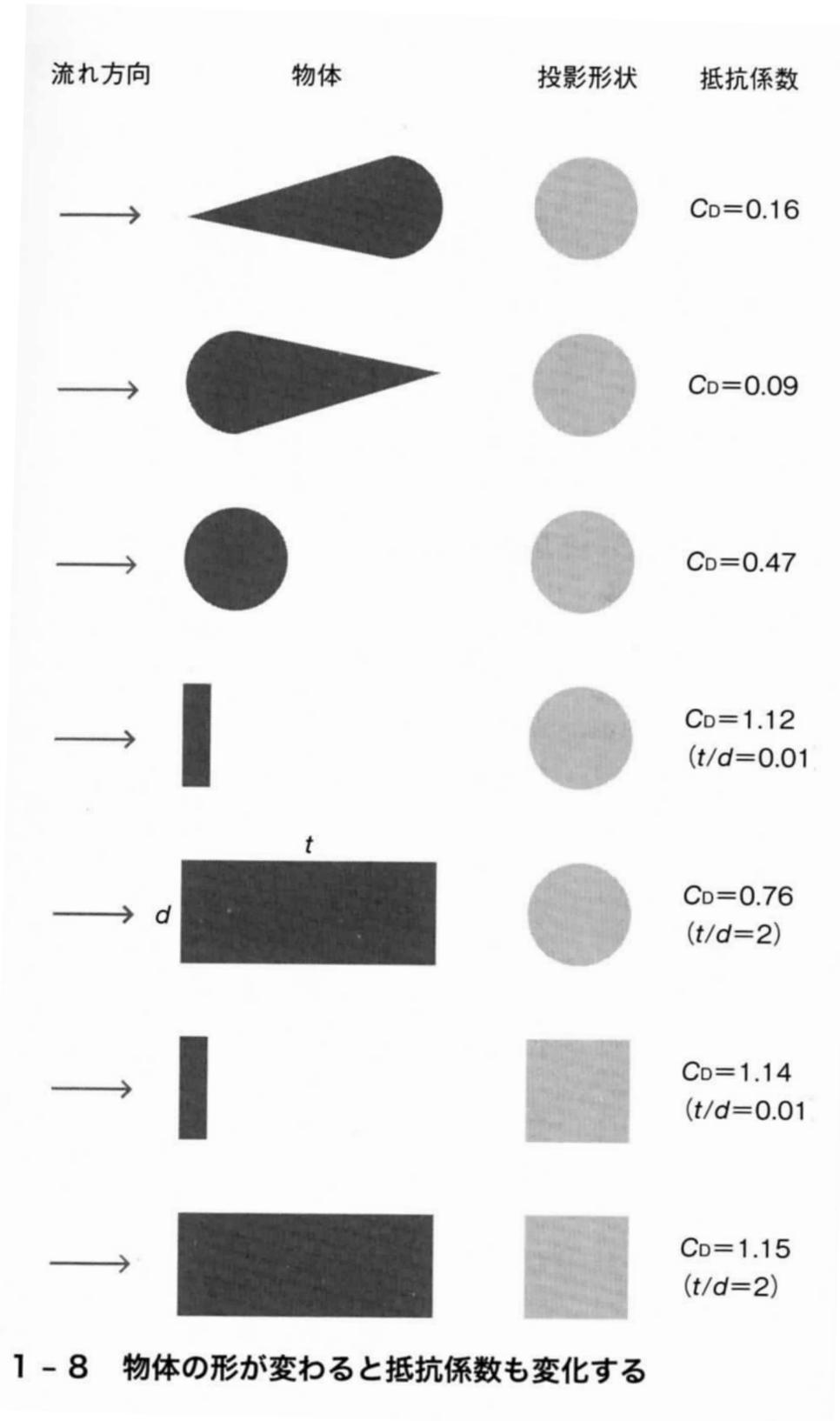
1 - 1 400m自由形の記録の推移



シドニー、アテネ五輪で計5個の金メダルを  
獲得した元競泳選手のイアン・ソープ

オリンピックで100-200-400の組合せでメダルを獲得したのはソープただ一人

# 流体中の抵抗をどうやって減らすか？



「オリンピックに勝つ物理学」  
(望月修, 講談社ブルーバックス, 2012)

# 流体中の抵抗をどうやって減らすか？

流れ方向	物体	投影形状	抵抗係数
→			$C_D=0.16$
→			$C_D=0.09$
→			$C_D=0.47$
→			$C_D=1.12$ ( $t/d=0.01$ )
→			$C_D=0.76$ ( $t/d=2$ )
→			$C_D=1.14$ ( $t/d=0.01$ )
→			$C_D=1.15$ ( $t/d=2$ )

1 - 8 物体の形が変わると抵抗係数も変化する



かわせみ



イルカ

「オリンピックに勝つ物理学」  
(望月修, 講談社ブルーバックス, 2012)

2000年 シドニーオリンピック  
体全体を覆う水着の登場  
抵抗力を減らす



2008年 北京オリンピック  
SPEEDO社レーザーレーサー  
縫い目なし，撥水加工された生地  
体を締め付けて凹凸を減らす

新記録続出

# 新型水着の栄枯盛衰

2008年 新型水着 「たこ焼きラバー」  
ポリウレタンやラバーなどのフィルム状の素材  
を貼り合わせた水着



## 国際水泳連盟 (FINA) 2010年からの着用禁止

- ★水着の布地は「繊維を織る・編む・紡ぐという工程でのみ加工した素材」に限定
- ★水着が体を覆う範囲も、プール競技では男性用はヘソから膝まで、女性用は肩から膝まで
- ★オープンウォーター競技では男性用、女性用とも肩から踝までに制限



全日本空輸は、環境に配慮した新しい機体を東京都内で公開した。機体表面に空気抵抗を減らす「サメ肌」状の特殊なフィルムを貼ることで燃費を向上させ、二酸化炭素（CO2）削減につなげる。今後、運航を通じて効果を検証し、将来的に全ての機体への導入を目指す。

まずは国内線と国際線で1機ずつ、順次運航を開始する。全日空が所有する全ての機体表面の8割にフィルムを装着すると、年間で約30万トンのCO2排出削減効果が見込まれるという。

全日空の井上慎一社長は「この技術は世界に誇るべきものだ。実際に効果を出していくことで大きな価値になっていく」と意気込みを語った。（共同）

<https://mainichi.jp/articles/20221003/k00/00m/020/181000c>

## 3.3.2 揚力:飛行機はなぜ飛ぶか

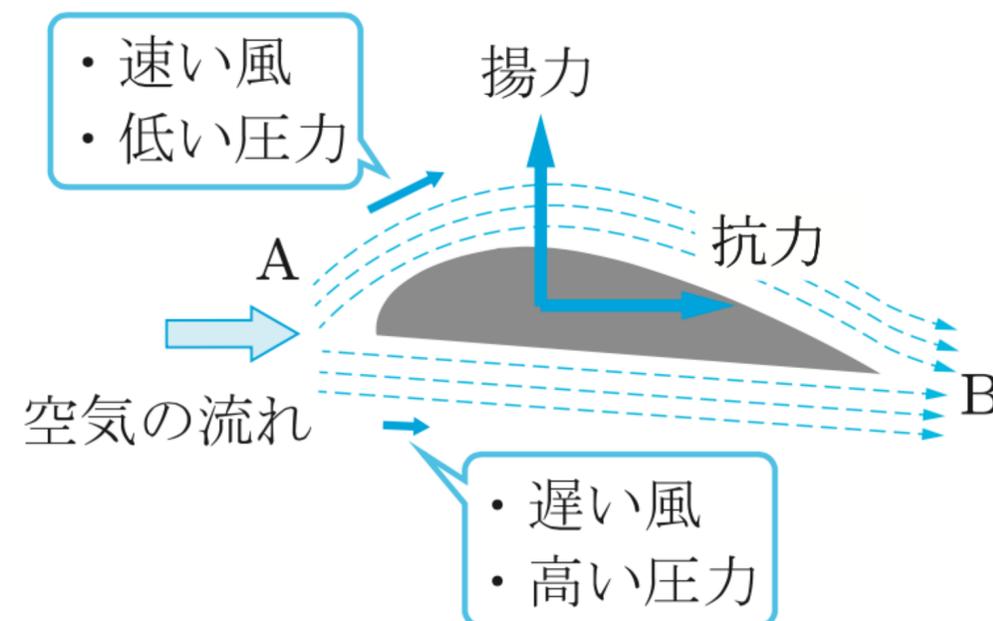
### 法則 ベルヌーイの定理

流体の粘性が少なく、流れが定常的な場合、その流れに沿って「単位体積あたりの運動エネルギーと圧力の和」は一定に保たれる。

これはエネルギー保存則の一種だが、数式で示すと次のようになる。

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{一定} \quad (3.5)$$

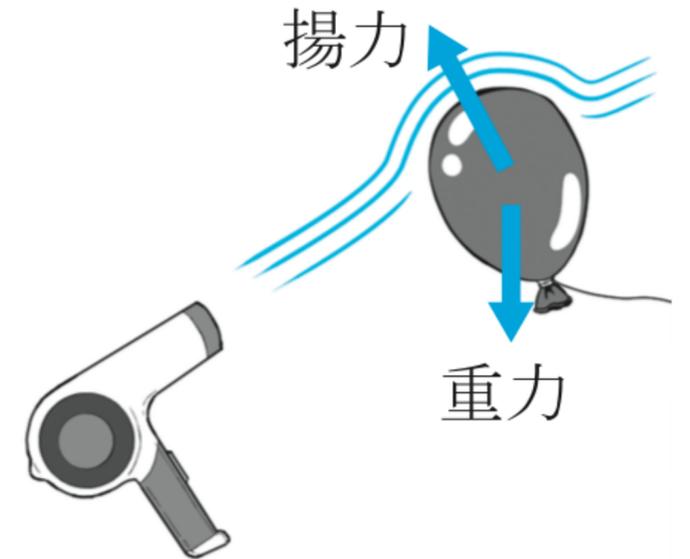
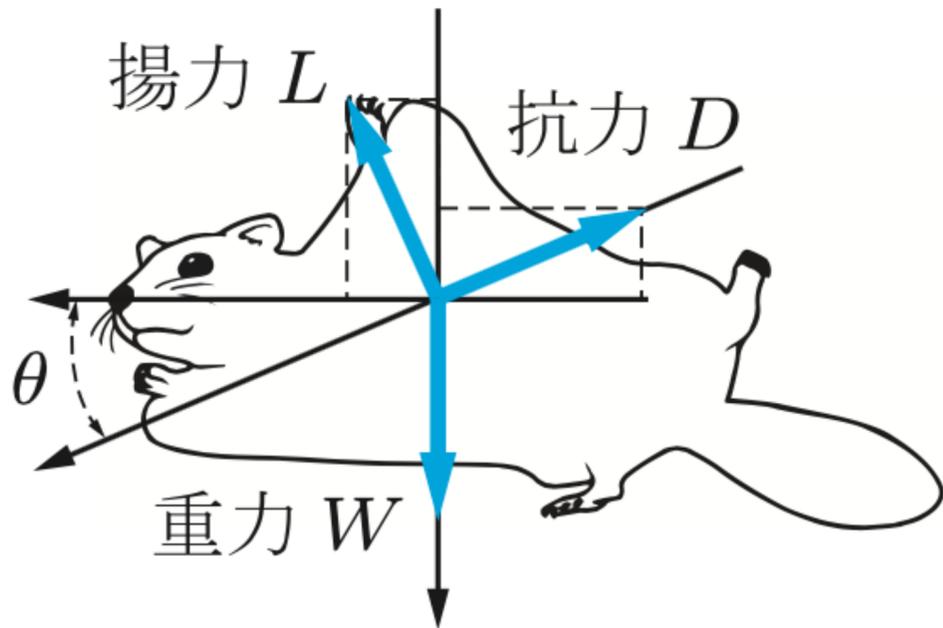
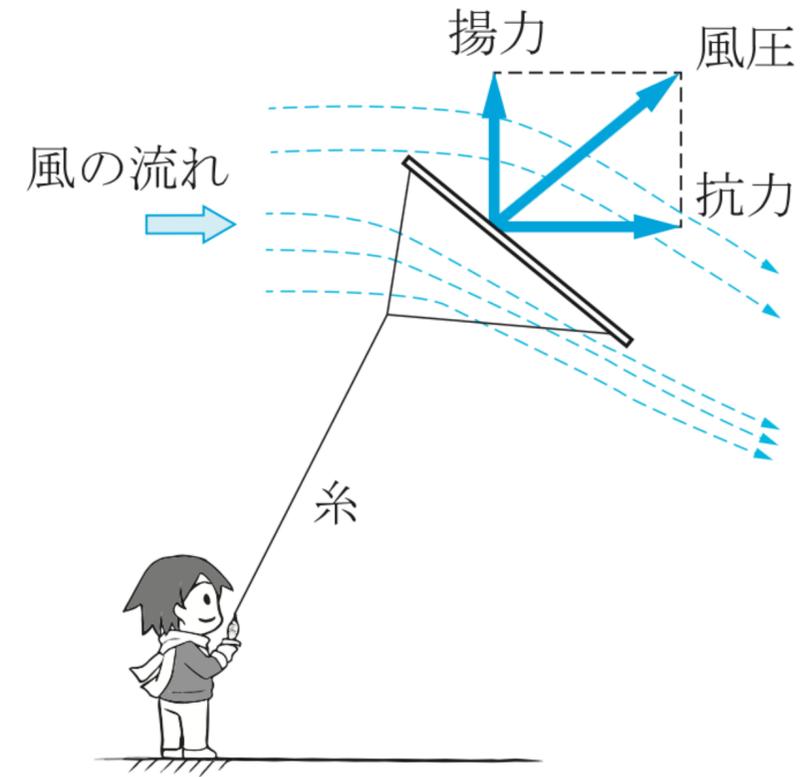
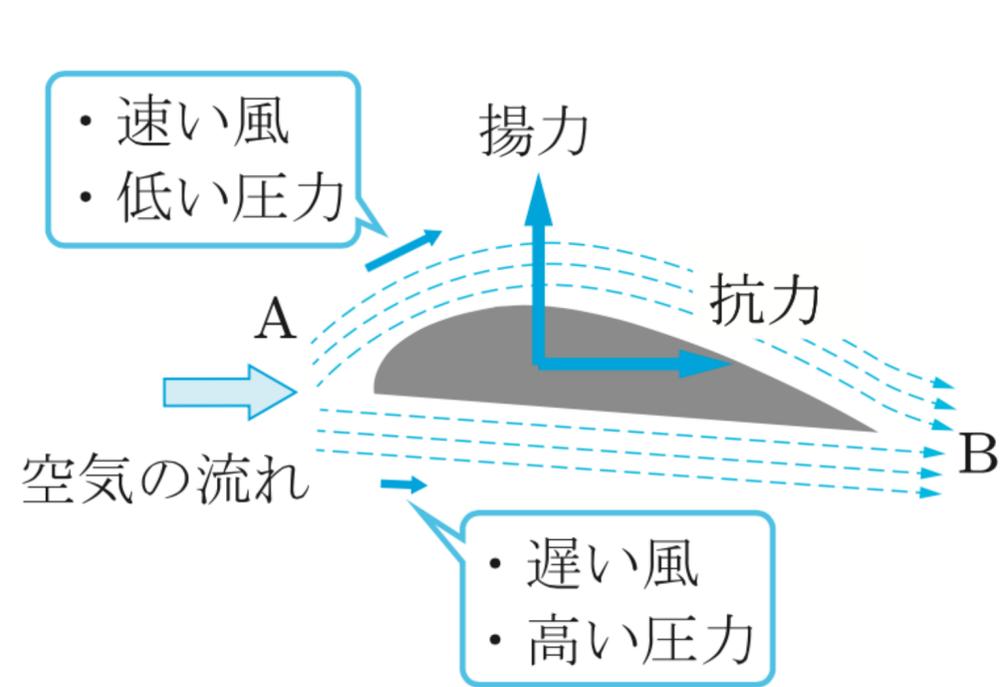
この式は、流速  $v$  が大きいと流体からの圧力  $P$  が小さくなり、流速が小さいと圧力が大きくなることを示している。



Daniel Bernoulli  
(1700-1782)



# 3.3.2 揚力:飛行機はなぜ飛ぶか



### 実験 12 風船を空中で留める

風力によって揚力が生まれる様子を体験しよう。風船を息で膨らませると、ゆっくりと落下する風船になる。ヘアドライヤーで風船の上部をねらって風を送ると揚力が生じ、重力とつりあって風船を空中で留めておくことができる。



図 3.28 風船の上部に風を当てる

## 〔6-1〕(次回向けのクイズ)

塩水に卵を浮かばせた。全重量(水+卵+塩)は、実験前にくらべて増加?減少?同じ?  
理由も述べよ。

## 〔6-2〕(次回向けのクイズ)

お吸い物のお碗の蓋が、冷めると開かなくなってしまう理由は何か。



## 〔6-3〕通信欄

(感想・講義で取り上げて欲しい疑問・要望・連絡事項など、何かあれば)