生活の中の物理学
Physics in Everyday Phenomena

第6回　2026/10/26

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

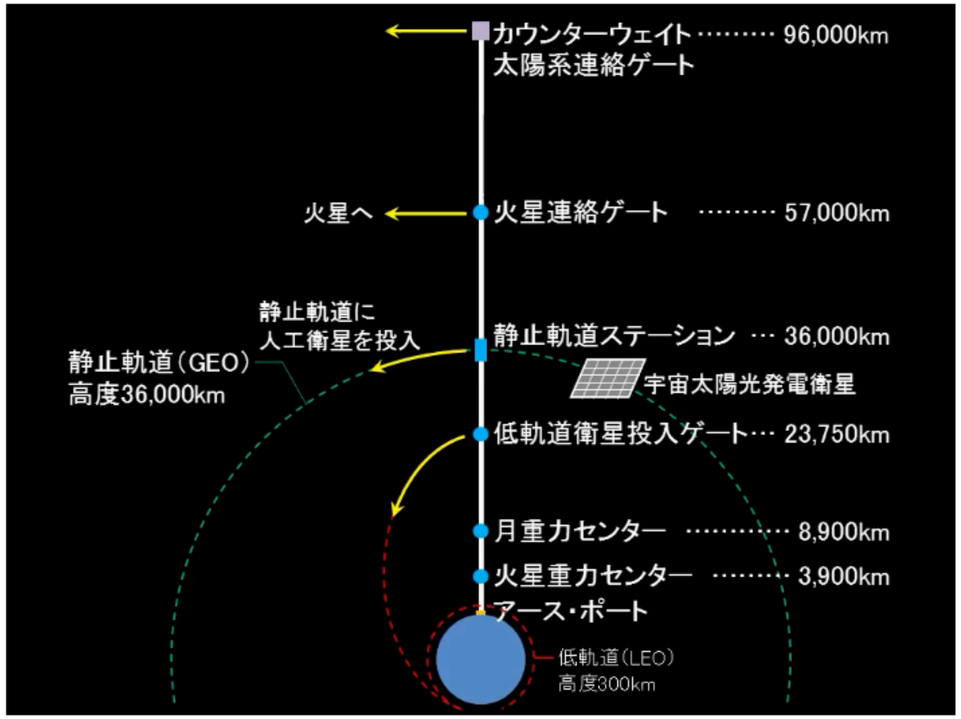
https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/

第１回レポート課題締め切り10月31日22:59

前回のミニッツペーパーから

宇宙エレベーターというものがあるのを初めて知りました。ロケットに乗るのが怖いと思っていたので、宇宙エレベーターだったら行ってみたいなと思いました。

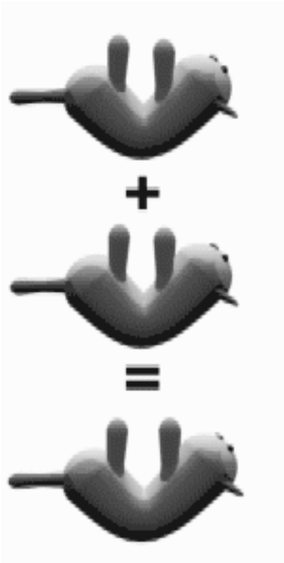
宇宙エレベーターは、自転した時、目的地が変わりますか？



https://www.obayashi.co.jp/kikan_obayashi/detail/kikan_53_idea.html

生卵でまわしたのも見たかったので家でしたいと思います。

猫が空中で回転する姿勢が人の手からにげる時の体勢に似ていて、いろんな所でこの動きがやくに立ってるんだなと思った。



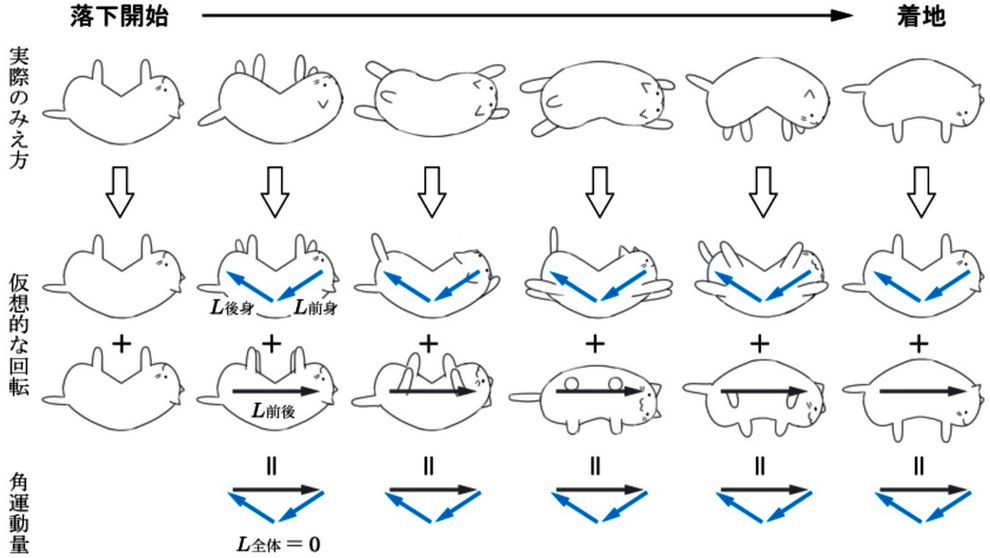


図 2.120 猫の落下問題の解決　図は左（落下開始）から右（着地）への時間変化を示し，上段は，実際の猫の体勢である．2 段目と 3 段目は，猫の回転を分解して示した図である．猫は「く」の字に体を曲げ，前身と後身でそれぞれ体を回転させる（2 段目の図）ことで，全体の角運

前回のミニッツペーパーから



先日、エンジニアの仕事をしている父がこの教科書を見つけて、
とても関心して読んでいました。高校時代にこの本に出会えて
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。この本に出てくる人物の裏話がのっていたら、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かいてほしいです(笑)

前回のミニッツペーパーから

飛行機が離陸するとき、加速によって座席に押しつけられます。ロケットは飛行機の何倍ものスピードで加速していますが、中の人は床に押しつけられたりしないのですか。



https://www.youtube.com/watch?v=iEz7axVA49I

レポート課題



課題

- 課題タイトル　　**寺田寅彦『○○○』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（土）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 XXXXXXX ○○○○」の形式とすること．（XXXXXXX は学籍番号，○○○○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．）

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，$F = m\dfrac{v^2}{r}$ となる．

- 遠心力のように，見ている人の立場によって，あったりなかったりする力を**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今回の授業で理解できてすっきりしました。

遠心力って思っているよりもかなり身近でわかりやすいもので驚きました。



力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.**

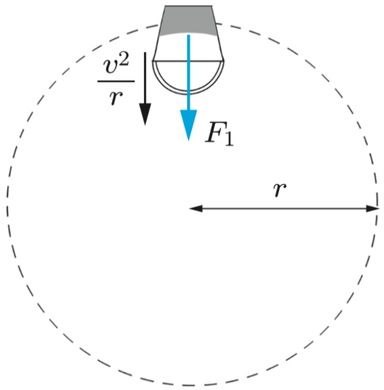
勢い良くまわせば，水はバケツから流れ落ちずにぐるぐる回る.

- **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

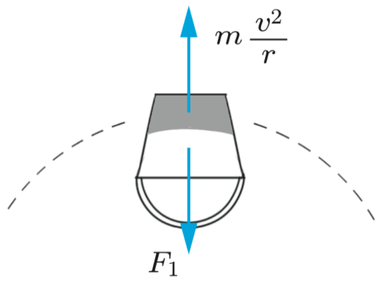
$$m\frac{v^2}{r} = F_1 \tag{2.66}$$

- **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 $m\dfrac{v^2}{r}$）がはたら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）

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



（a）バケツが円運動をしているとみる立場



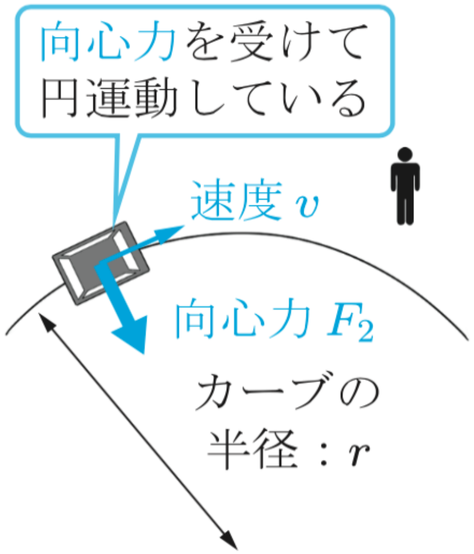
（b）バケツとともに運動している立場

教科書 p79

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）

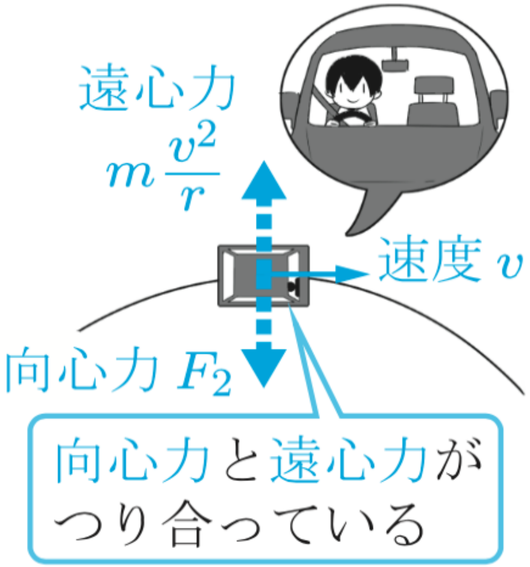
車は円運動



向心力を受けて，
円運動している．

車内の人（加速度系）

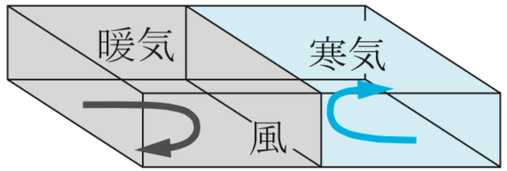
運動なし



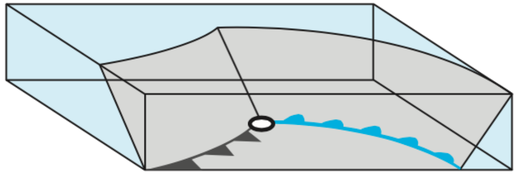
向心力と遠心力が
つりあっている．

温暖前線(hot front)・寒冷前線(cold front)

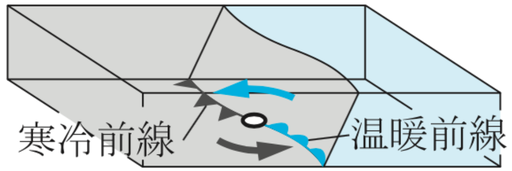
教科書 p108



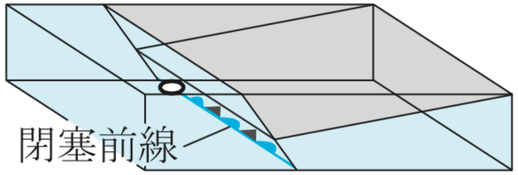
（a）暖気と寒気



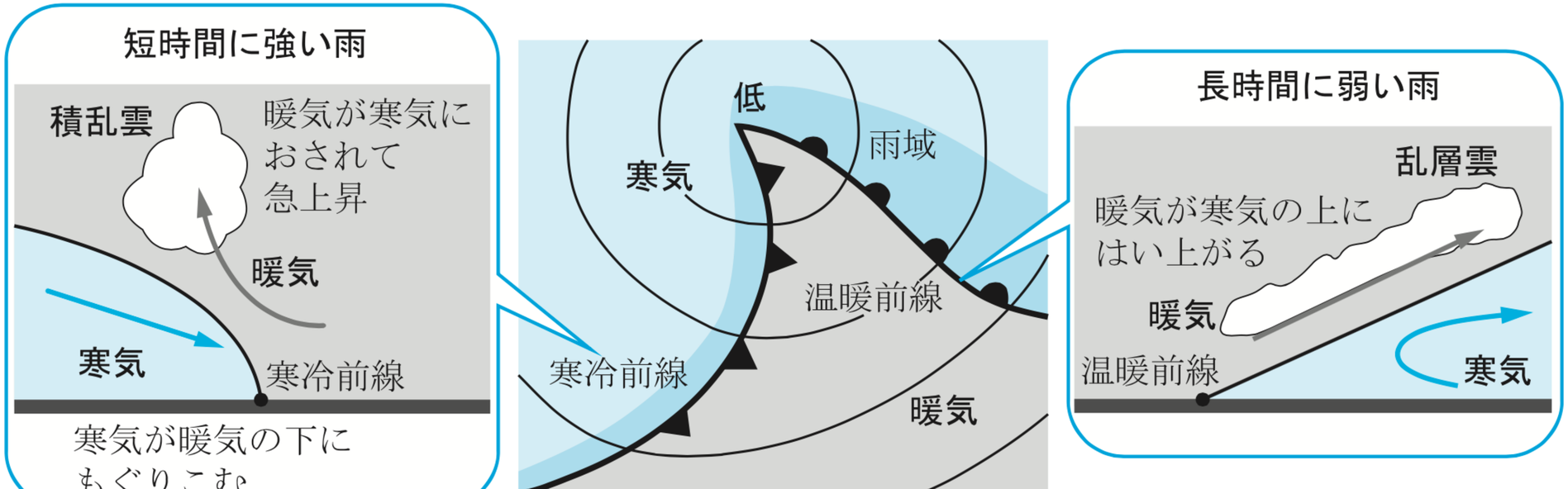
（c）寒冷前線が近づく



（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

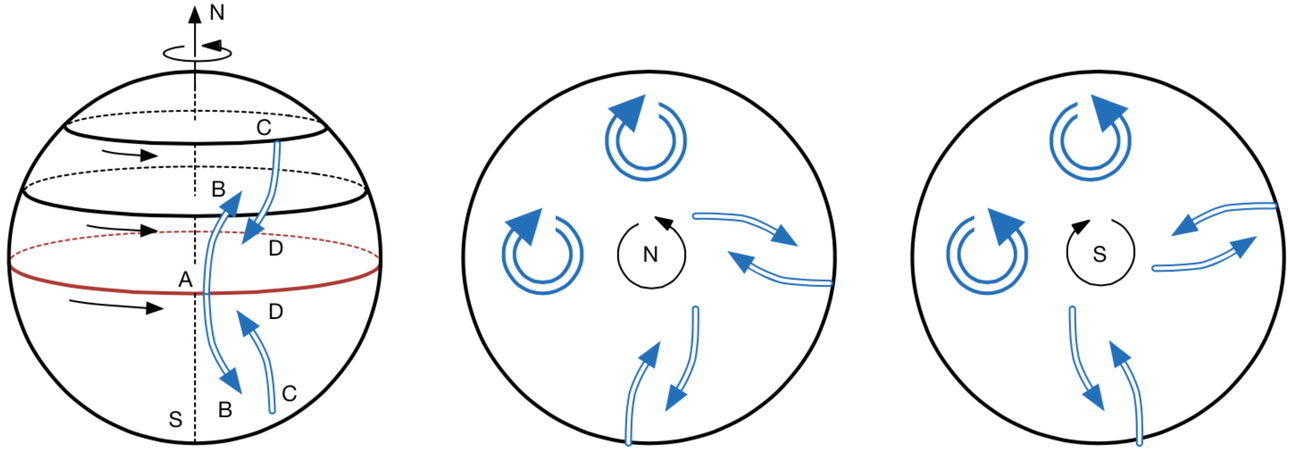


力8 コリオリの力(転向力)＝回転に応じた慣性力

法則　コリオリの力（転向力）

回転運動をする物体に沿って運動を考えるときには，慣性力としてコリオリ力が加わる．反時計まわり（時計まわり）に回転する盤上では，運動する物体は進行方向に対して右向き（左向き）に力を受ける．





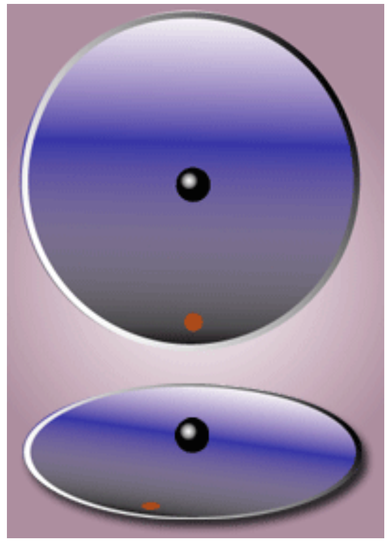


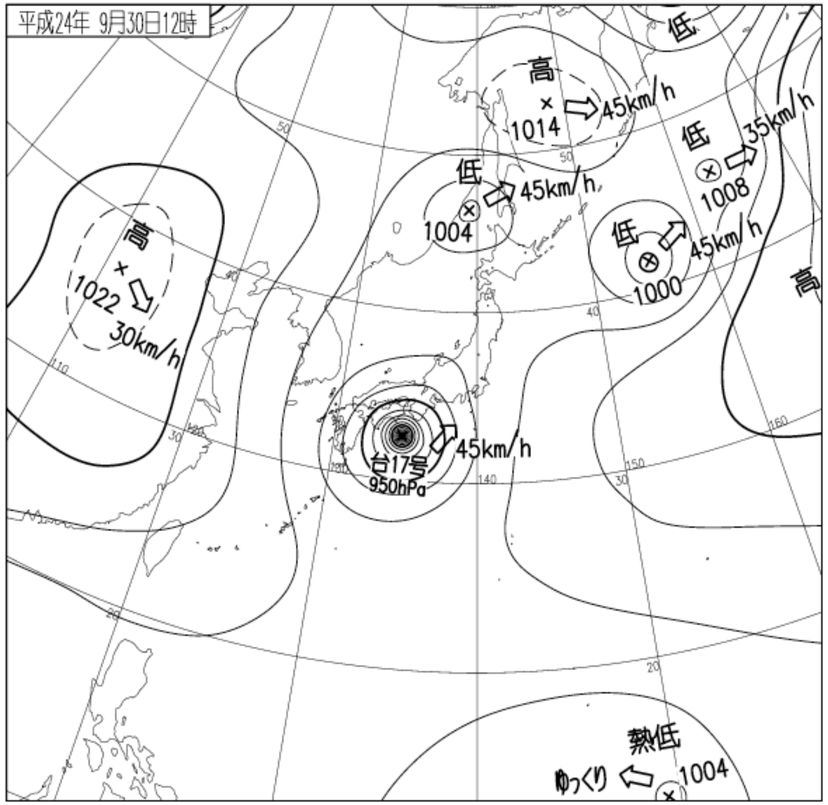
図 2.121 〔左〕回転する物体上で運動すると，回転する速度成分の違いから，物体の運動方向は曲がる．〔中〕北極方向から見た図（左回り回転盤上の運動）．〔右〕南極方向から見た図（右回り回転盤上の運動）．



体感型実験装置群「台風」8 11 台風の科学2-3「コリオリの力」

https://www.youtube.com/watch?v=QLW2Vo2QN6o

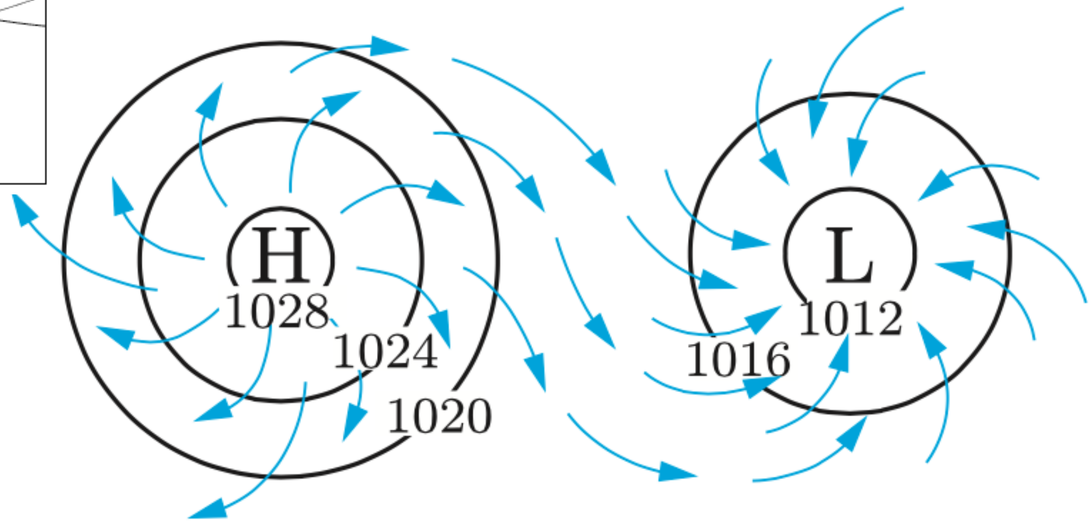
高気圧と低気圧



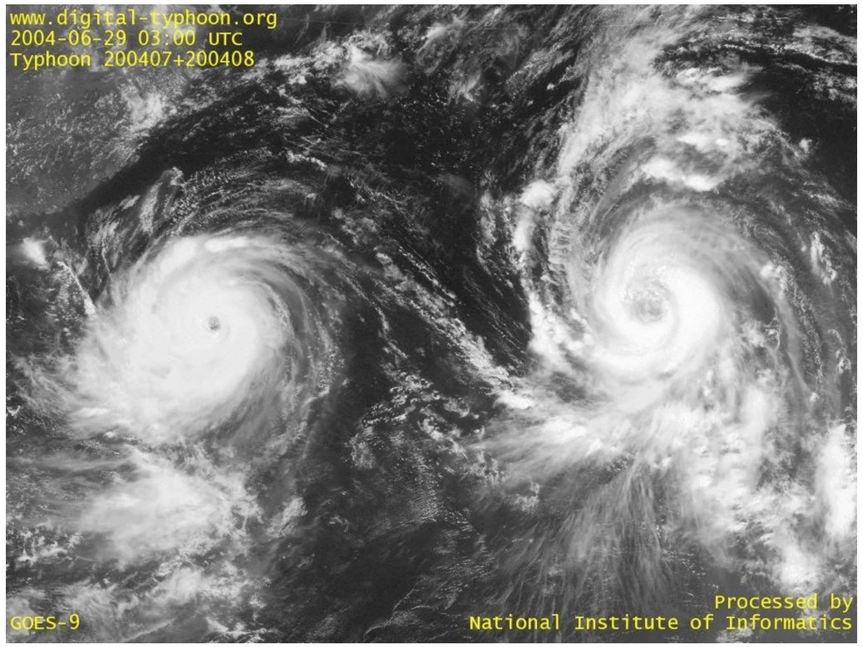
Topic　高気圧，低気圧

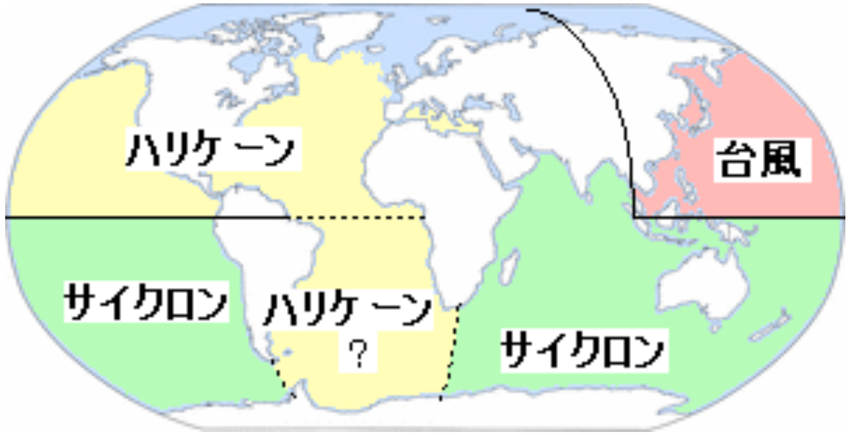
天気予報の気圧配置でいう**高気圧**，**低気圧**とは，地表付近での気圧の大小を相対的に述べたものである．地表付近では，高気圧から低気圧へ大気は流れる（コリオリの力によって，高気圧から低気圧に向かって風は傾いた経路で流れる）．

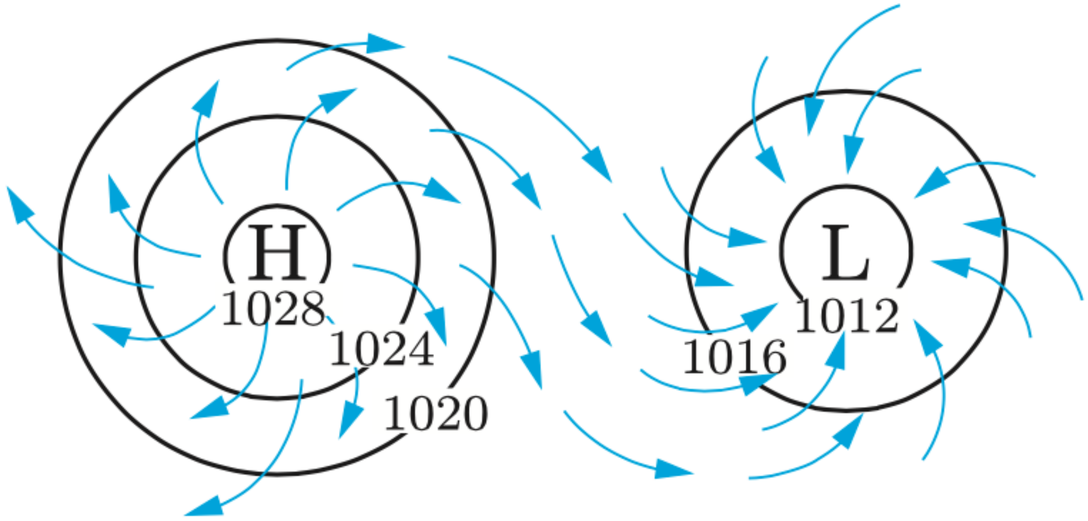
高気圧の部分では，上空から大気が流れる下降気流になる．下降気流では，雲が発生しにくいため好天になりやすい．一方，低気圧の部分では，流れ込んだ大気は上昇気流となって上空へ移動するが，今度は，雲ができ雨が降りやすくなる．



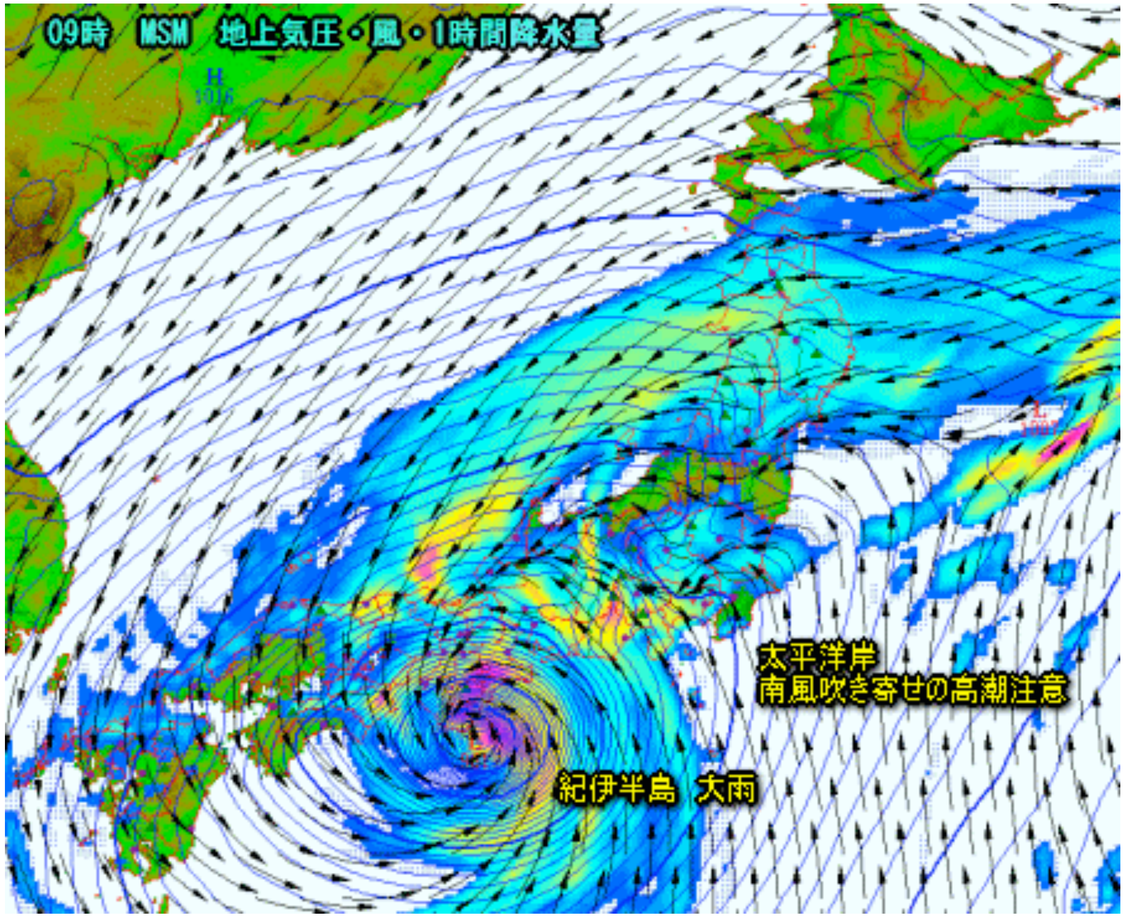
台風はなぜ反時計まわりか？





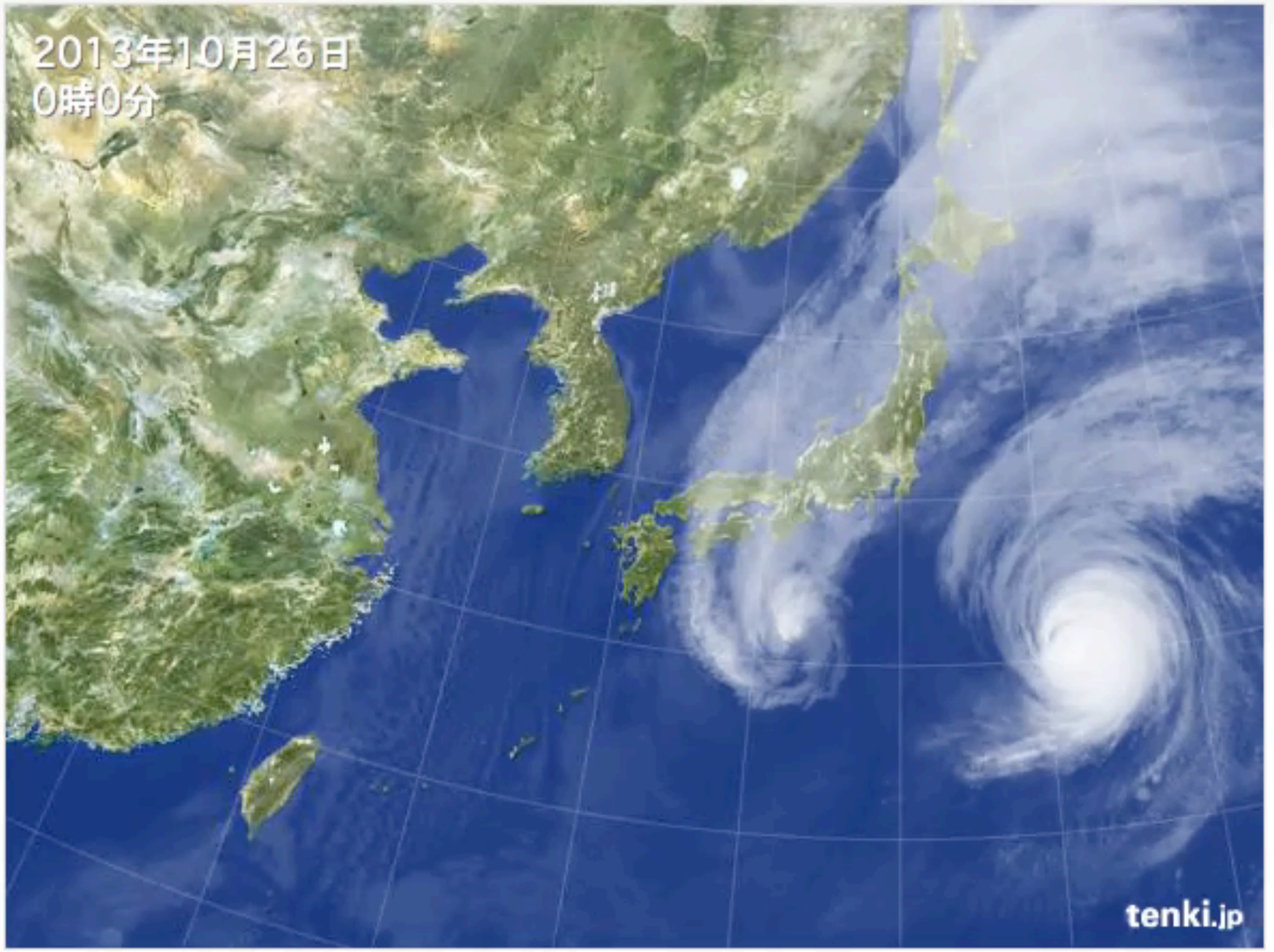


台風はなぜ反時計まわりか？



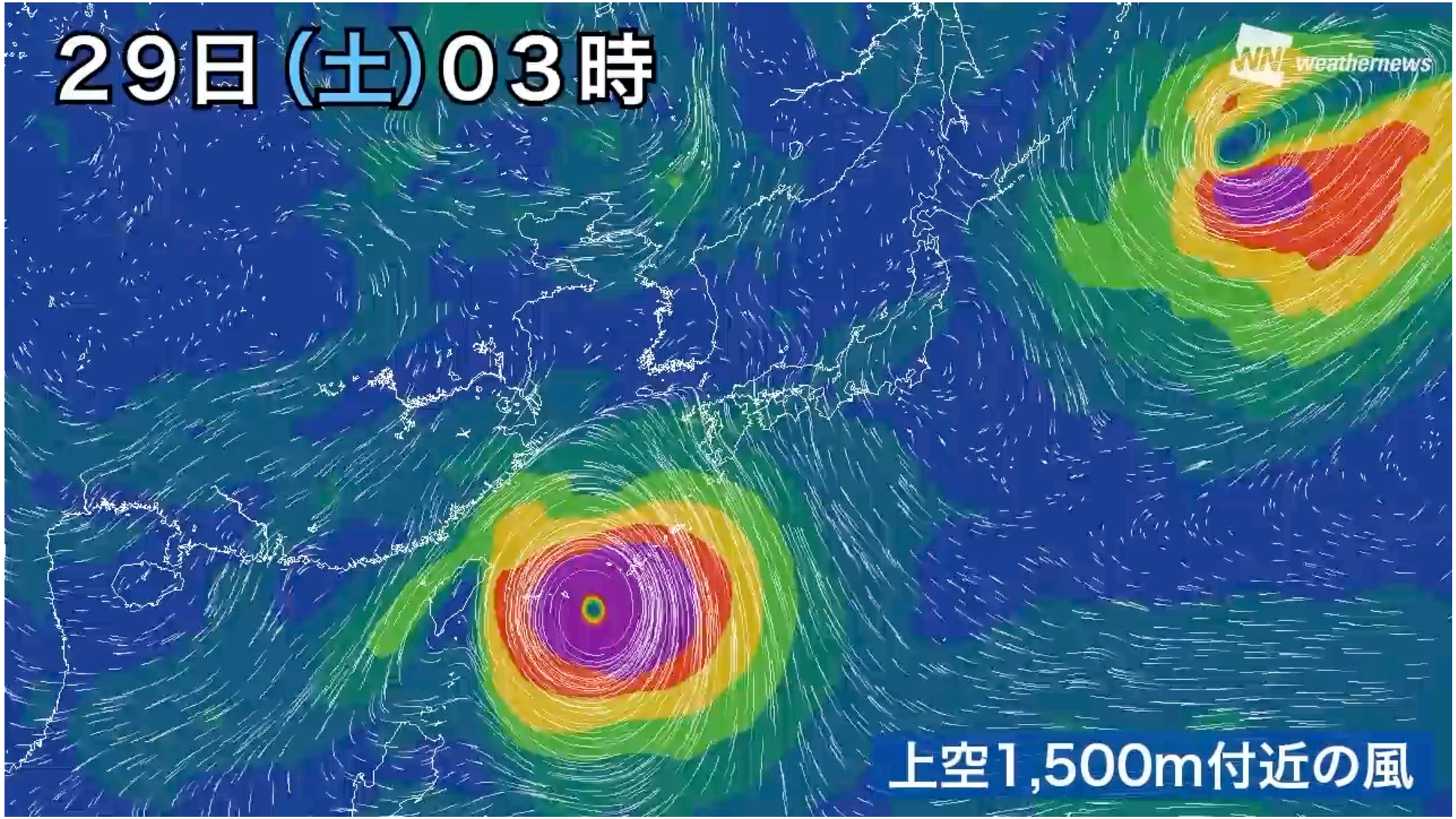
http://kasayan.naganoblog.jp/e831684.html

2013年10月24日から26日



日本気象協会
http://tenki.jp/past/detail/?day=25&month=10&selected_image=satellite&year=2013

2018年9月28日 台風24号　上空1500m　予想シミュレーション



ウェザーニュース

https://www.youtube.com/watch?v=OaMudtNHd80

コリオリの力(転向力)の日常生活への影響？

Topic　風呂の栓を抜いて水が回り込む方向

風呂や洗面台に水を溜め，栓を抜いて流れる様子を確認してみよう．「低気圧と同じように吸い込まれていく水は，北半球では，反時計回りになっている」…という説明が書かれている本がよくあるが，コリオリの力はとても弱く，地球規模の運動でようやく出現するものである．風呂や洗面台では，栓の場所や初期の水の回転運動などがその後の回転運動を決めてしまうようだ．洋式水洗トイレの水の流れの向きも構造上のものである．



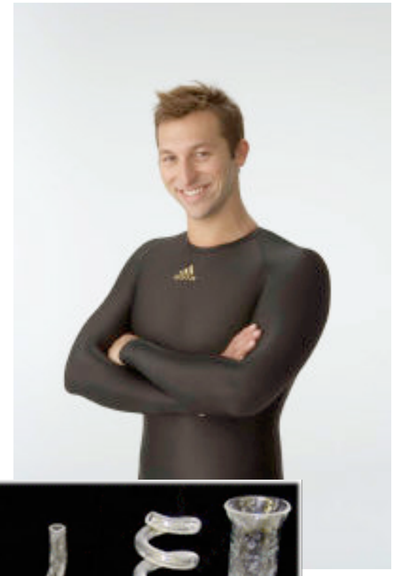
https://www.youtube.com/watch?v=vMSbZQ46W14



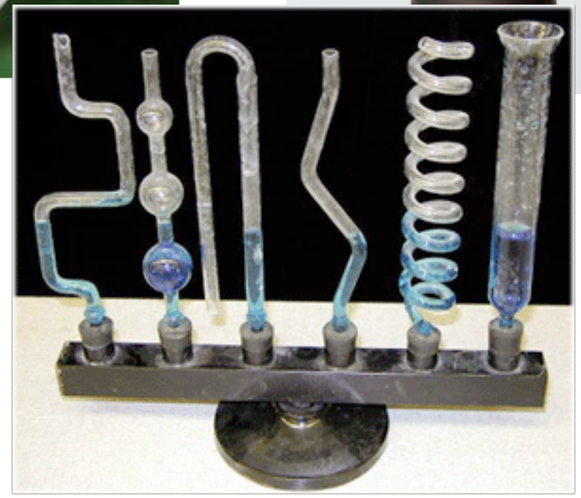
【赤道のハナシ】 #02『「赤道」実験の真実』 https://www.youtube.com/watch?v=sqHwSKo6l4k











○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

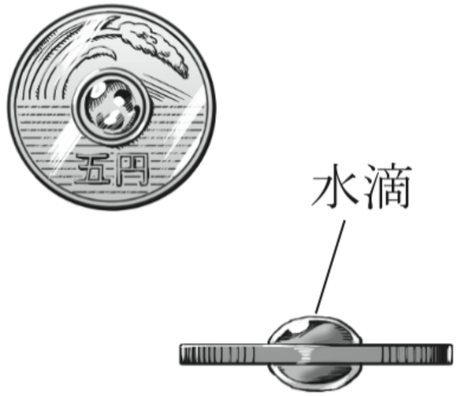
力10　表面張力

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.

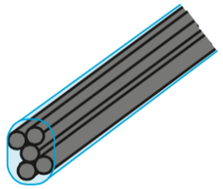






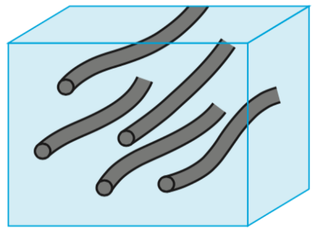


風呂上がりの髪



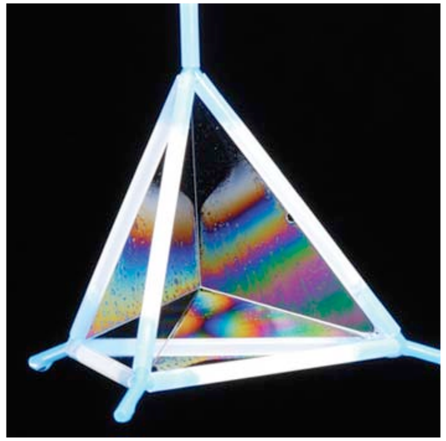
（a）表面張力でくっつく

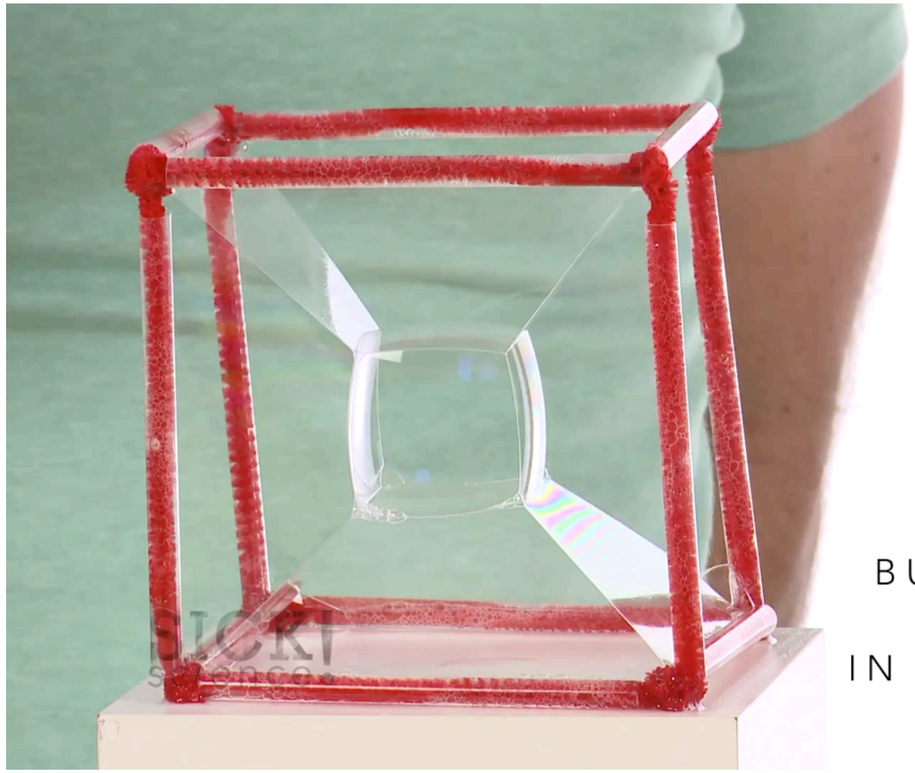
プールの中の髪



（b）水中ではさらさら

表面張力







Square Bubble - Sick Science! #149

https://www.youtube.com/watch?v=12UIOIzai5M

【実験ですよ】

表面張力の実験

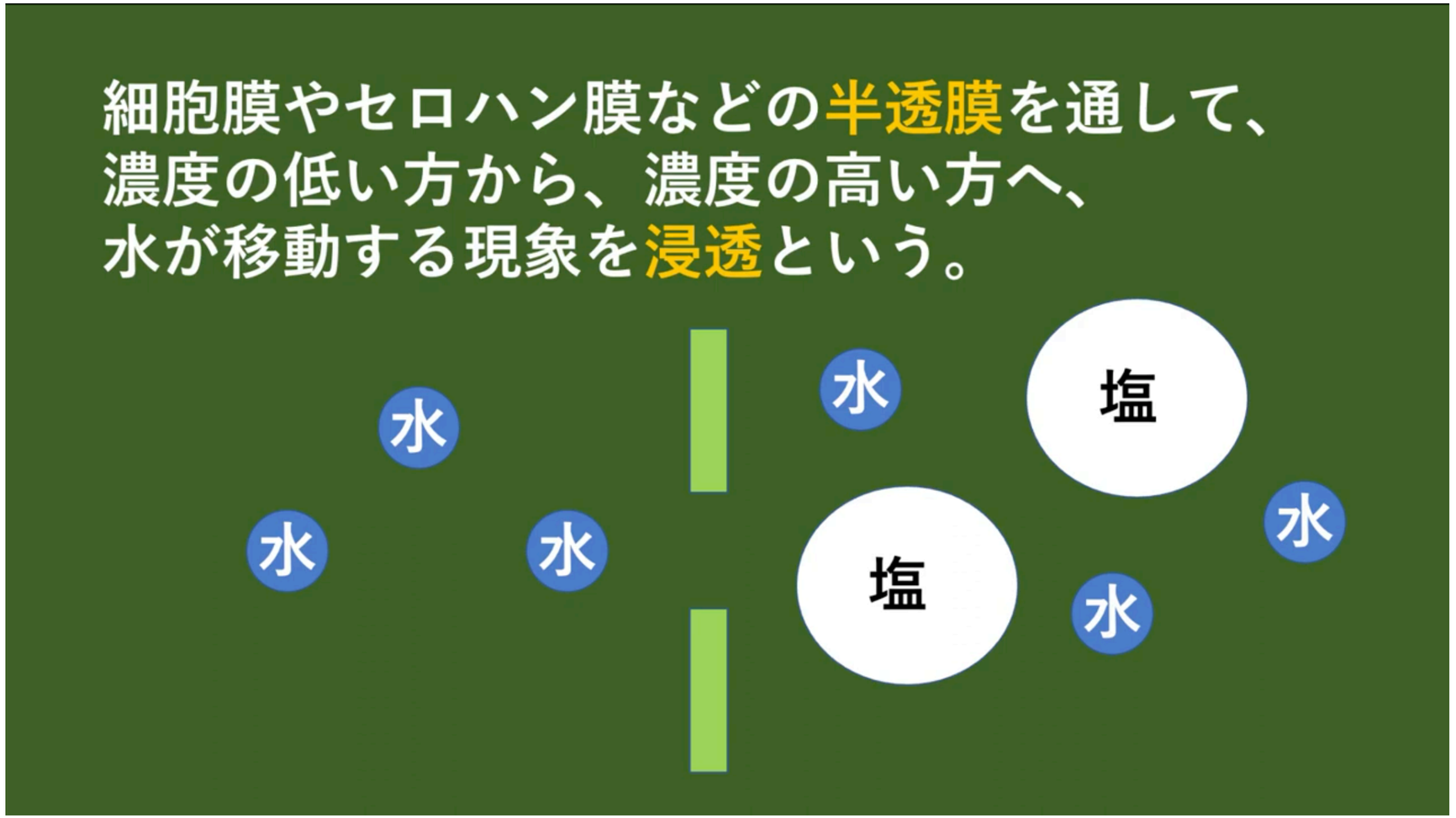


SPORTbible Australia
5日 ·

This was so intense. It should be an Olympic Sport 😅🏅

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

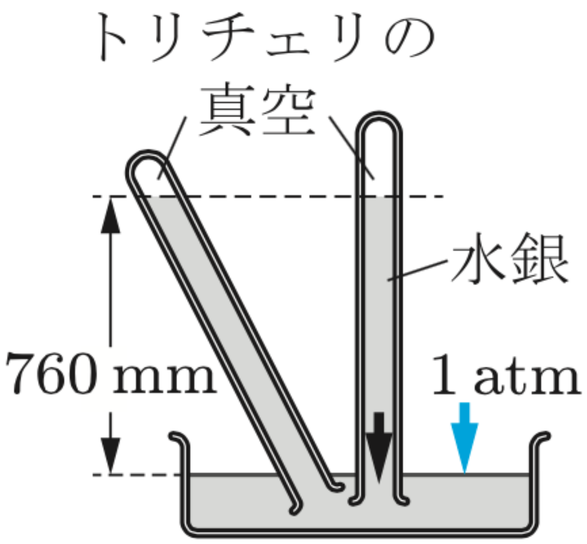
浸透圧



https://www.youtube.com/watch?v=vxiDQ4JSJUc

トリチェリの実験

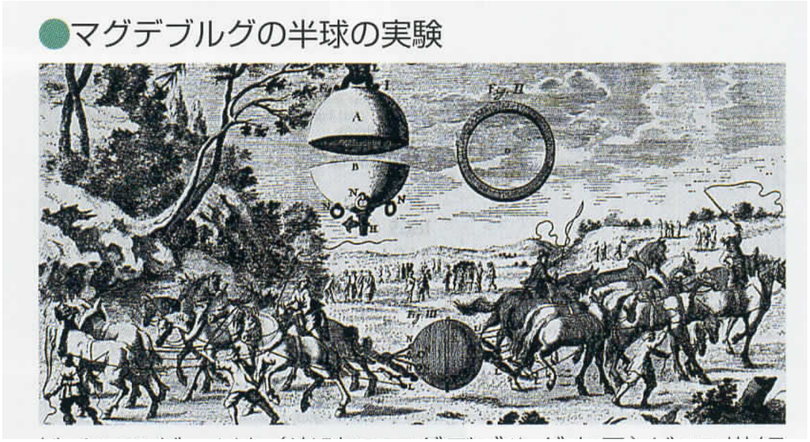




Evangelista Torricelli
(1608-47)

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



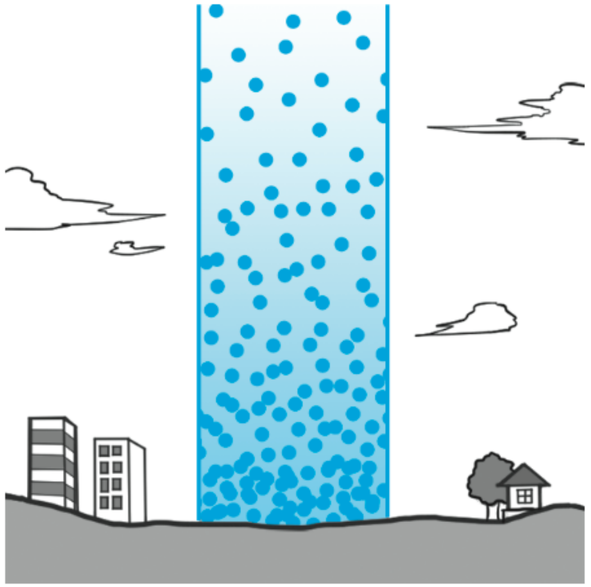
ドイツのゲーリケ（当時のマグデブルグ市長）が17世紀半ばに行った大気圧の大きさを示す実験．2つの金属製半球容器を合わせて中の空気を抜くと，ぴったりくっついて外れなくなった．両側から馬８頭ずつで双方から引っ張ってもなかなか外れない様子が描かれている．（ちなみに，作用反作用の法則により，片側を固定して馬８頭で引っ張っても同じである．）



大気圧の大きさを示した

圧力







定義　圧力

単位面積あたりにはたらく力を圧力 p という．

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

単位は [Pa]（パスカル）である．

山の上でポテトチップスの袋が膨張する理由は何か．

気圧の単位



★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　(バール)

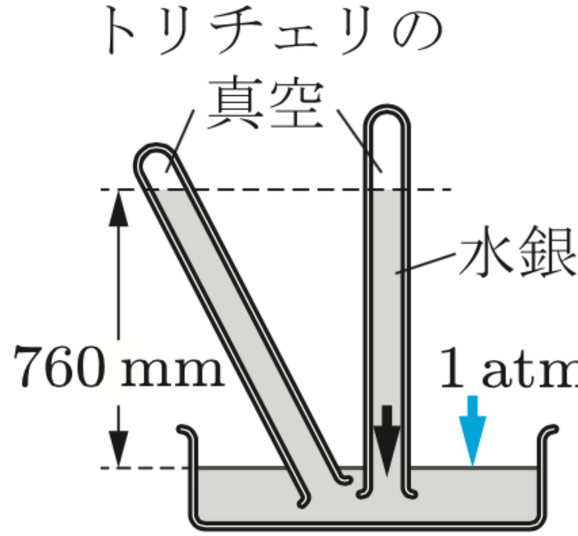
＝ 1013.25 mb (ミリバール)

★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

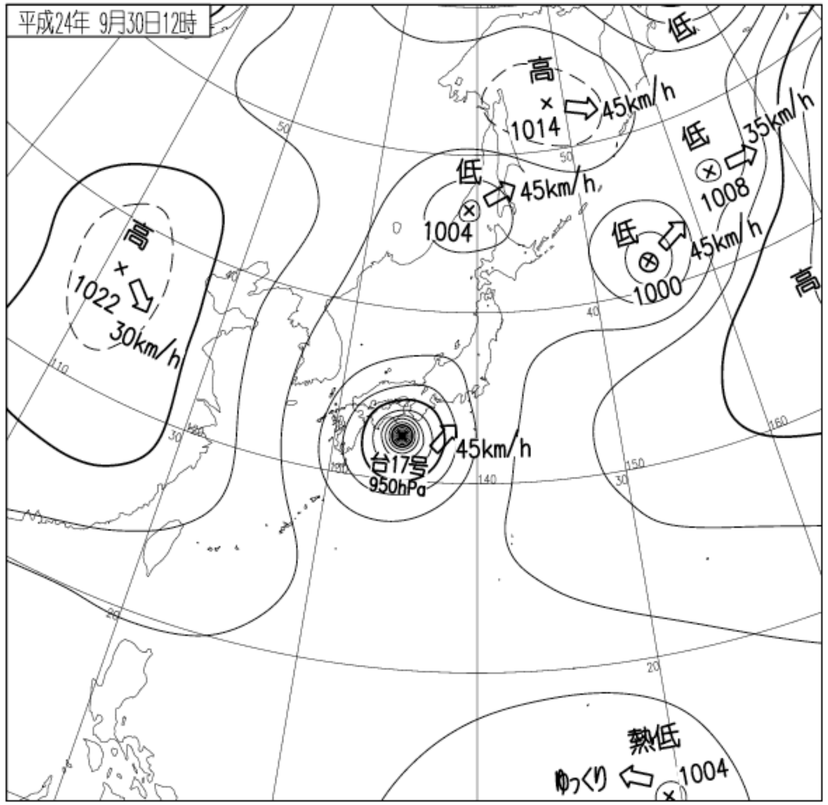
「1気圧」＝ 101325 Pa　(パスカル)

＝ 1013.25 hPa



１気圧＝「親指の爪(１cm 四方）に100 kgくらいの力」

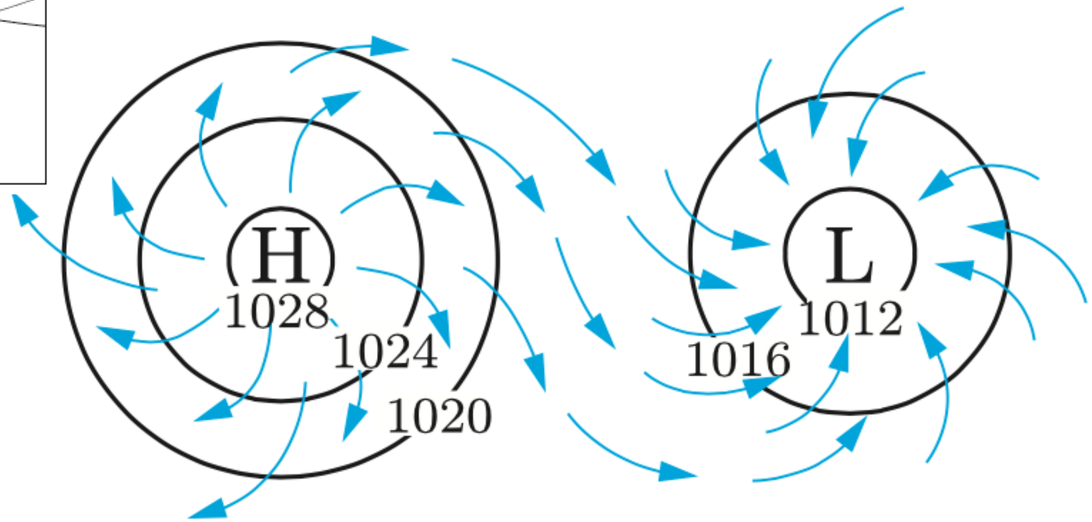
高気圧と低気圧



Topic　高気圧，低気圧

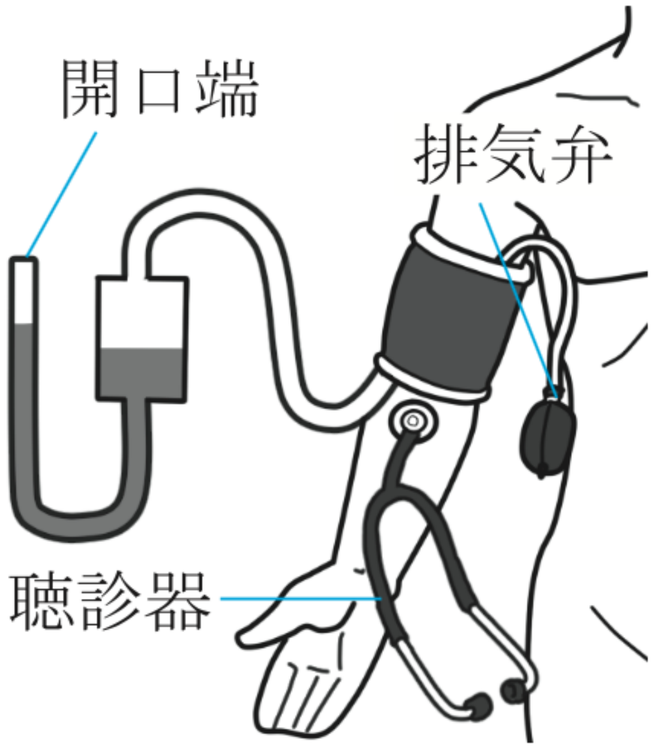
天気予報の気圧配置でいう**高気圧**，**低気圧**とは，地表付近での気圧の大小を相対的に述べたものである．地表付近では，高気圧から低気圧へ大気は流れる（コリオリの力によって，高気圧から低気圧に向かって風は傾いた経路で流れる）．

高気圧の部分では，上空から大気が流れる下降気流になる．下降気流では，雲が発生しにく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(手前に引く扉)がよいか, 押し戸(押す扉)がよいか. 理由も.



押し戸がよい

押し戸が良い。気圧の高い大阪から気圧の低い富士山に流れようとするため.

押し戸の方が良いと考えます
大阪(高) ↔ 富士(低)

押し戸　気圧が小さくなり、抵抗が小さくなるから。

押し戸が良い.
ドアの外の方が気圧が低いため. ドアがひっぱられてあきやすくなる。
空気が気圧が低い方に流れていく

押し戸. 富士山の山頂は大阪よりも気圧が低く, ドアを開けると
大阪側から富士山側へ空気が流れようとするから.

大阪と富士山頂では 山頂の方が気圧が低いため. 戸を押し戸にする方が. 軽いから開けられる
換気扇回した状態で外から帰ってきたとき引き戸なので. すごく重いときがあります。

押し戸がよい.
気圧の高い大阪から気圧の低い富士山山頂へ向かうため、
押し戸にすると大阪側の気圧の高さを利用して開けやすくなるから

押し戸がいいと思います。
山頂は気圧が低いため、室内の気圧が高いとドアが外側に押されて開けやすくなると思うから。

押し戸：引き戸にすると、富士山→大阪へ一気に空気が押し出されるから。
(低気圧) (高気圧)
気重力＝総面積

引き戸がよい

引き戸 → 山頂の方が大気圧が高いため、
ポテチのふくろがぱんぱんになることから.
引き戸　気圧の高い方から低い方へ空気は移動するから
(富士山 ← 大阪)

引き戸。山頂は気圧が低く、ドアの内外で気圧差が生じる。引き戸のほうが気圧の影響を受けにくい。

山頂は低気圧で、高い高度の低気圧には空気が膨張すると思うので
ドアは引き戸の方が開けやすいと思った.
↳ポテチが膨らんでいるのよく見る。

引き戸
富士山の山頂のほうが気圧が低いから、
押し戸にすると勢い余ってしまいそうだから。

引き戸。気圧差を受けても押し戸より開けやすそう。

引き戸がよい
理由：ドアを押したりうしたりするためスペースが少なく済み
気圧差がある環境でも開閉しやすい

引き戸がよい
理由 気圧が高いところから低いところに空気が移動するので、押し戸だと重くて開けるのが大変そうだから

引き戸
押し戸は引き戸に比べてドアにかかる気圧でドアが開けたくなってしまうから。

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んでしょ。もしそうなら，山頂の方がこの部屋より気圧が［ウ］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(b)今日の天気図があるんだけれど，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［エ］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：行きたいところにすぐ行ける便利なドア。

（藤子・F・不二雄『大長編ドラえもん⑨のび太の日本誕生』）

問 4　文章中の空欄［ウ］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。［4］

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［エ］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 /m² とする。［5］

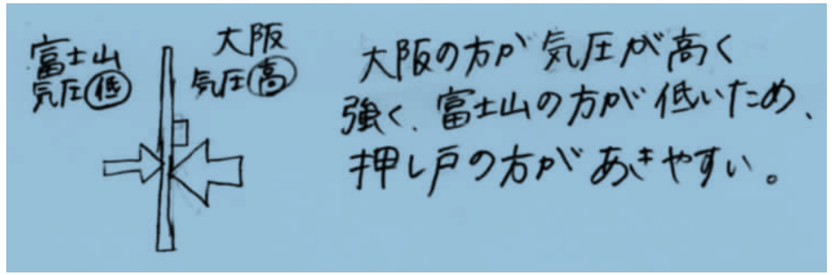
① 25　② 50　③ 250　④ 500



東京・那覇は 25[hPa] の気圧差

2 [m²] のドアに加わる力は，

10 [kg重/m²/hPa] x 2 [m²] x 25[hPa] = 500 [kg]

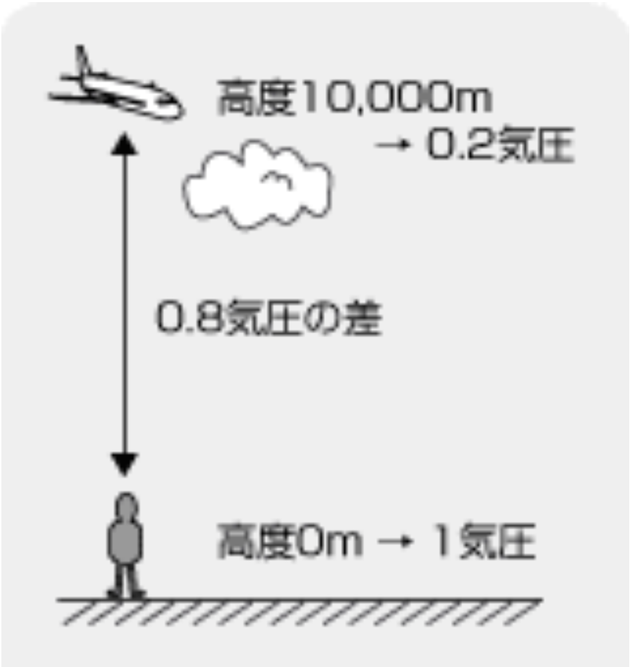


飛行機に乗ると耳が痛くなることがあるのは何故？

地上から富士山に瞬間移動したら、体はどうなるか？

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, 飛行機の胴体が受ける力は1m2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 $2000\ \mathrm{cm}^2$）
足4本
体重 5000kg



ハイヒール

1cm角
（面積 $1\ \mathrm{cm}^2$）
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 $2000\ \mathrm{cm}^2$）
足4本
体重 5000kg

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

$[\mathrm{kg/cm}^2]$

ハイヒール

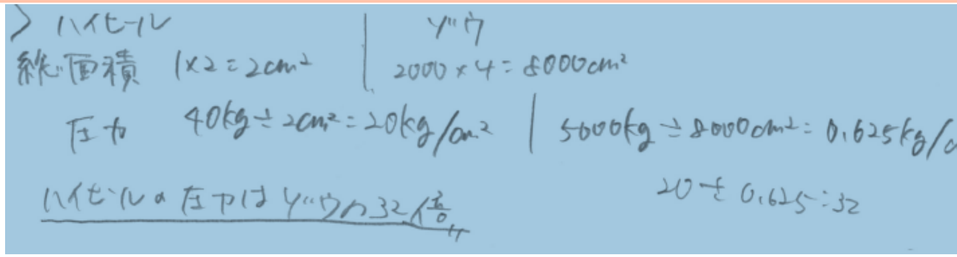
1cm角
（面積 $1\ \mathrm{cm}^2$）
足2本
体重 40kg

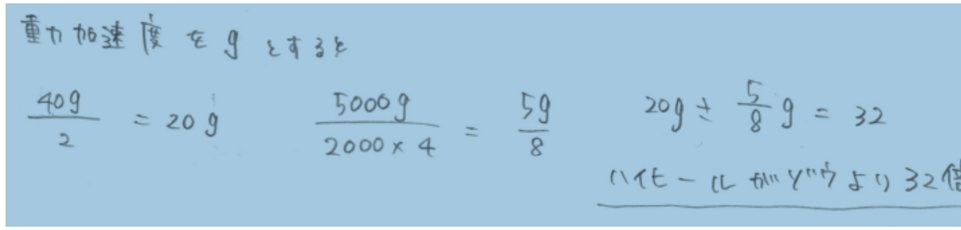
$$P_2 = \frac{40}{2} \times \frac{1}{1} = 20$$

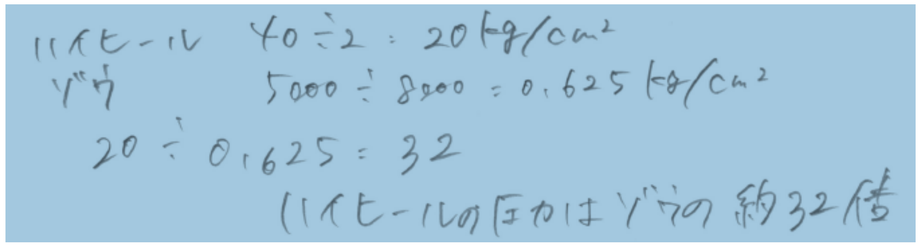
$[\mathrm{kg/cm}^2]$

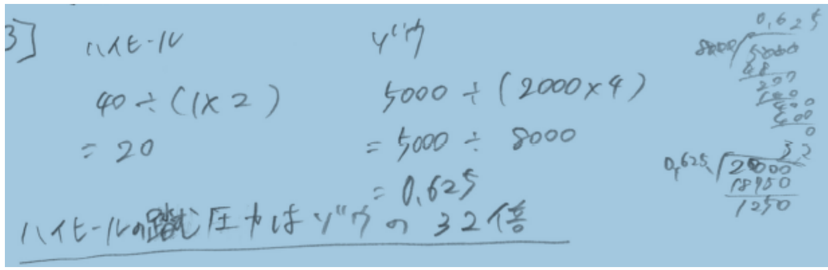
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{20}{5/8} = 32 \text{ 倍}$$

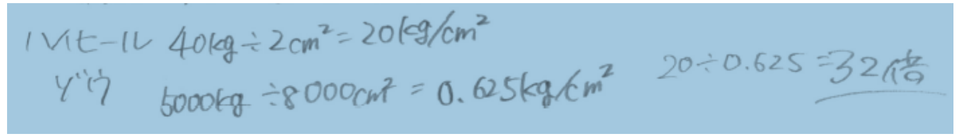
正解者 9/19

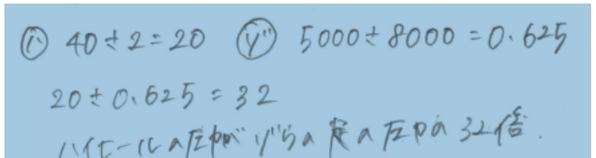












エンタメ

いきものかが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、いきものがかりのギター、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。



いきのものがかりの山下穂尊

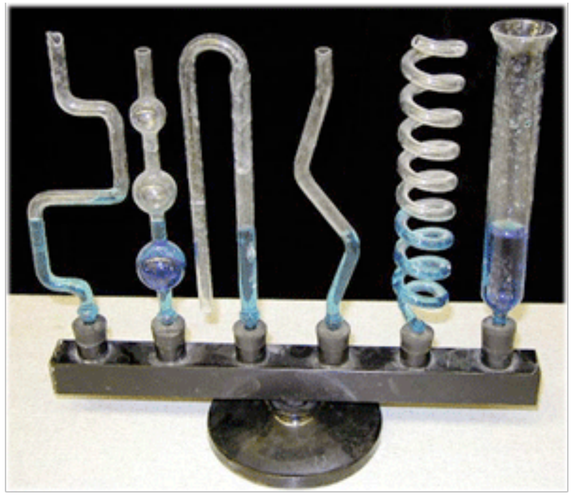
パスカルの原理

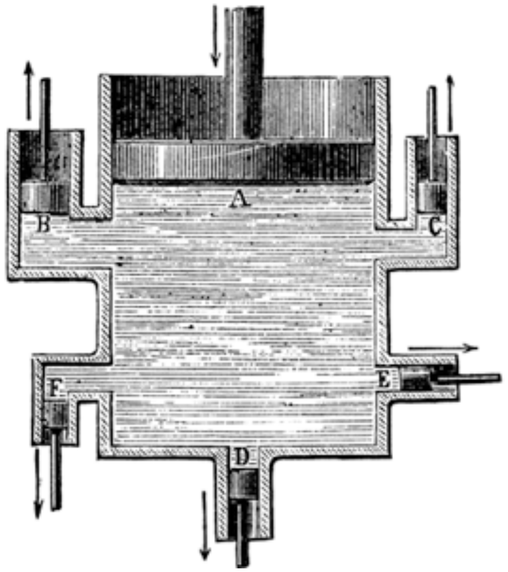
法則　パスカルの原理

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)





教科書 p94

パスカルの原理

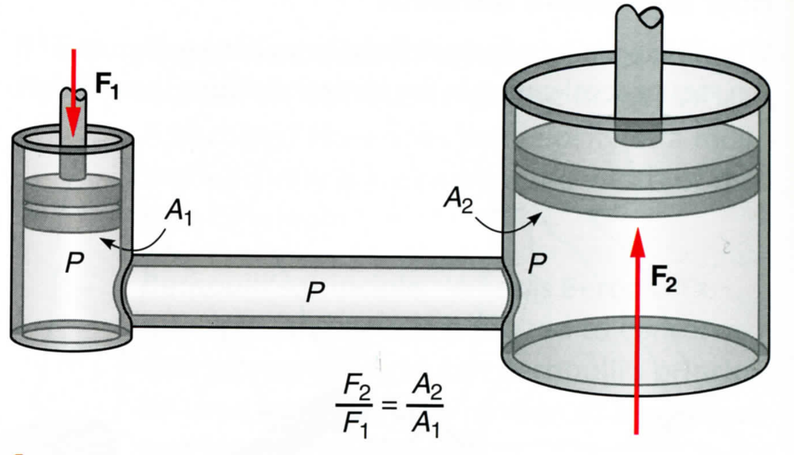
法則　パスカルの原理

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





油圧ジャッキ

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，$F_2 = \dfrac{S_2}{S_1}F_1$ 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）．

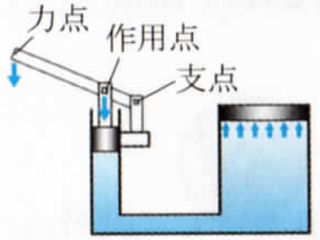
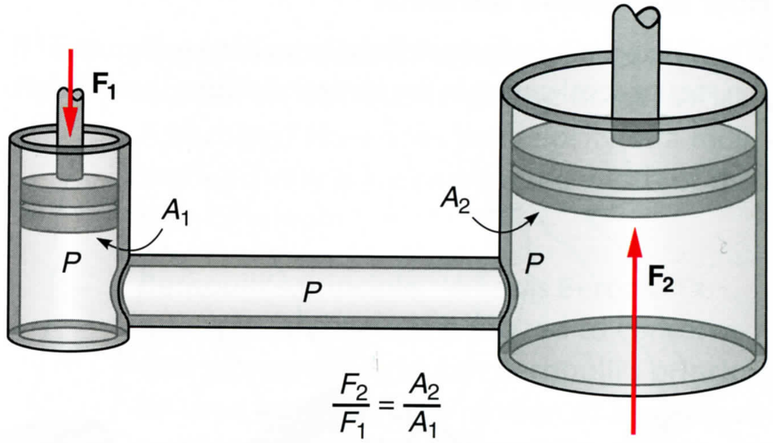


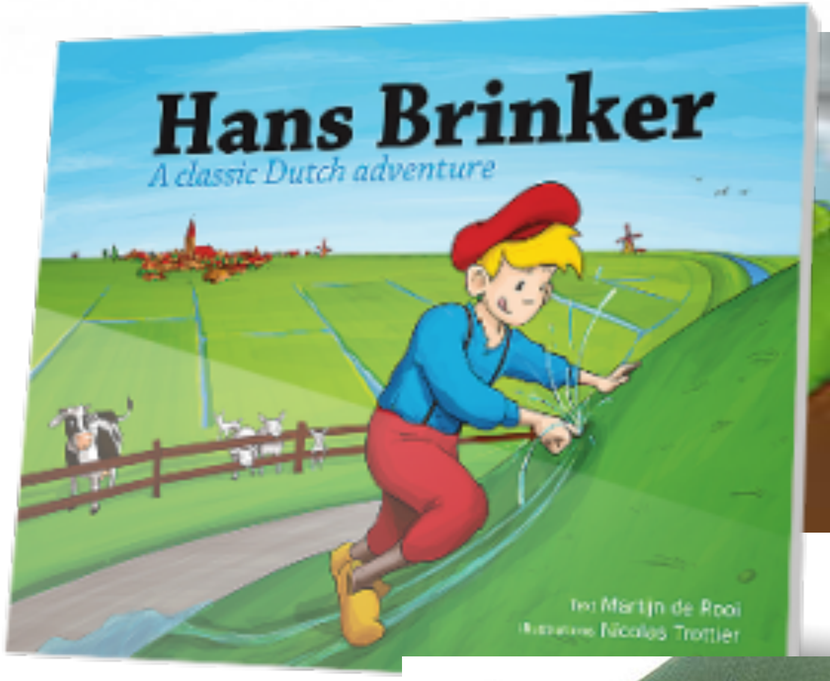
図 3.8　油圧ジャッキ (hydraulic jack) のしくみ





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

水時計の設計

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．

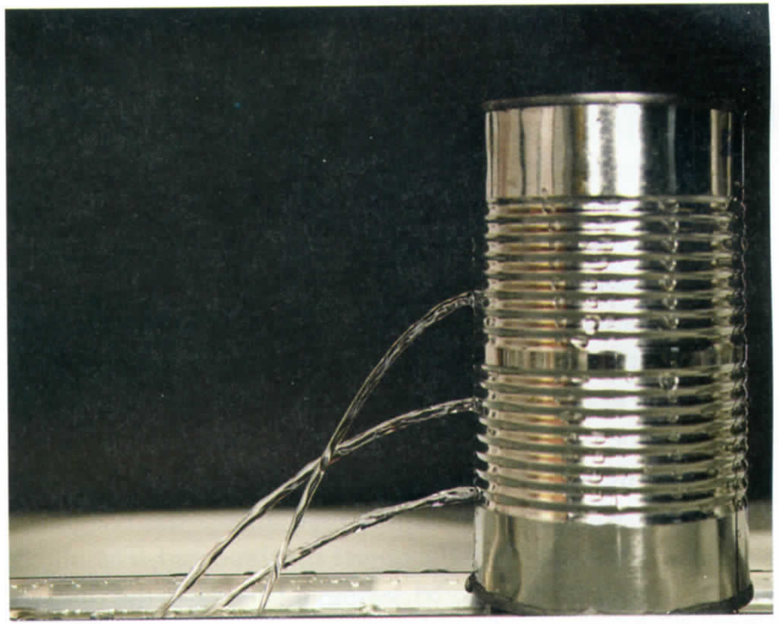
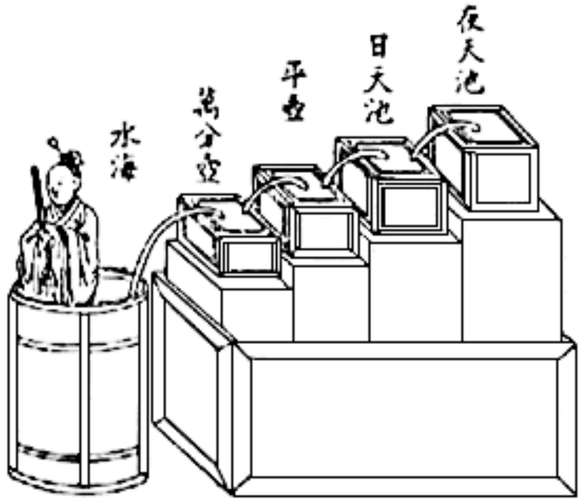


figure 9.15 Water emerging from a hole near the bottom of a can filled with water has a larger horizontal velocity than water emerging from a hole near the top.



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年ぶりに賑いをとりもどしていた。『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、初めて漏剋を造り、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

流水の方程式
【Level 2】

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．容器にたくさんの水があると，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．

トリチェリの定理

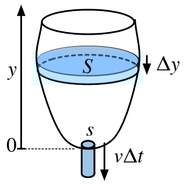
Evangelista Torricelli
トリチェリ (1608–1647)

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．

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．

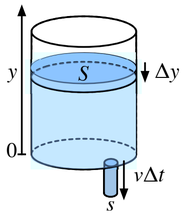
高さ y の付近での容器の断面積がほぼ一定で S とする．時間 Δt の間に流体の高さが Δy だけ下がったとき，この間に流出した流体の体積は $S\Delta y$，液体の密度を ρ とすれば，流出した液体の質量 m は $m=\rho S\Delta y$ である．失われた位置エネルギーは容器の底面を基準として mgy である．このエネルギーは流出した液体の運動エネルギー $\frac{1}{2}mv^2$ に変化したはずなので，$mgy=\frac{1}{2}mv^2$. したがって，$v=\sqrt{2gy}$.

力学的エネルギー保存則
$\Longrightarrow$ 法則 0.27



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．

円柱形の容器の場合



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 Δt の間に液体の高さが Δy 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，$\Delta t\to 0$ の極限をとると，微分方程式

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

が得られる．
容器が半径 R の円柱なら，$S(y)=\pi R^2$ =(一定) なので，(2.6.50) を変数分離形として解くと，

C : 定数.

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

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は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

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

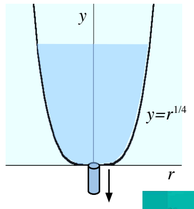
$S(y)$ の関数形を $S(y)=S_0y^n$ とおいて調べてみると

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

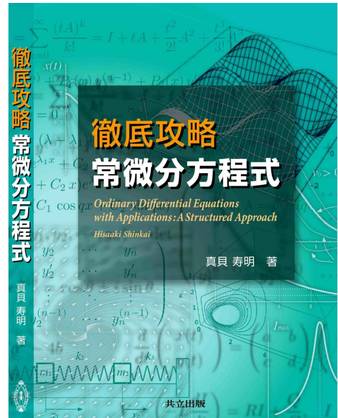
となる．これが $t\approx y$ となるためには，$n+\frac{1}{2}=1$ とすればよく，$n=\frac{1}{2}$ と条件が導かれる．ゆえに容器の形状は $S(y)=S_0\sqrt{y}$ とするのが水時計に適していることになる．

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．砂時計をつくるときに，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．

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．



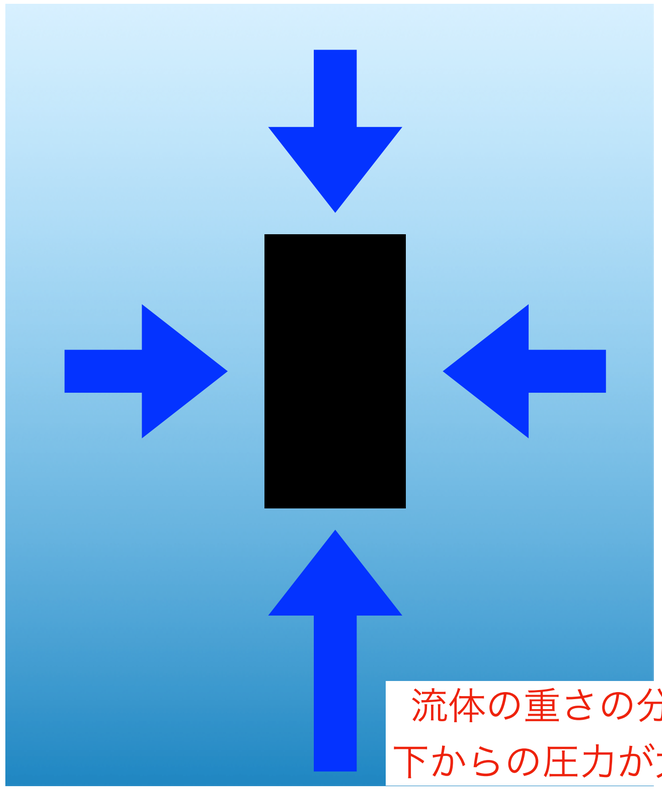
$y=x^4$



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，その物体が押しのけた流体の重さ（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 ρ=1 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，その物体が押しのけた流体の重さ（重力）と同じ大きさである．



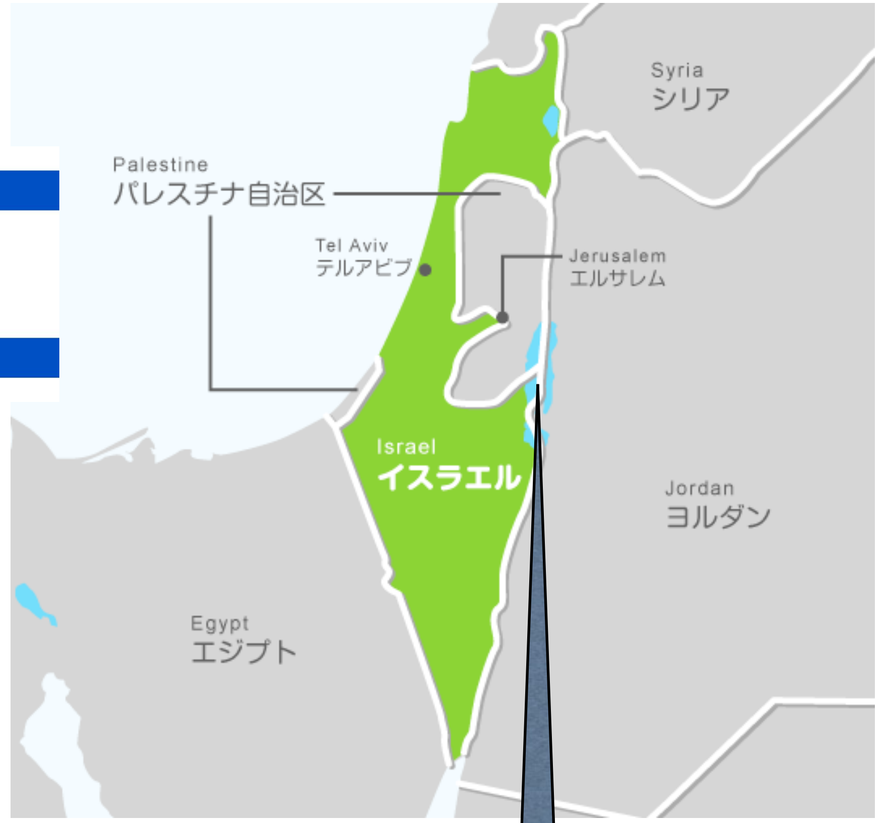
氷山の一角

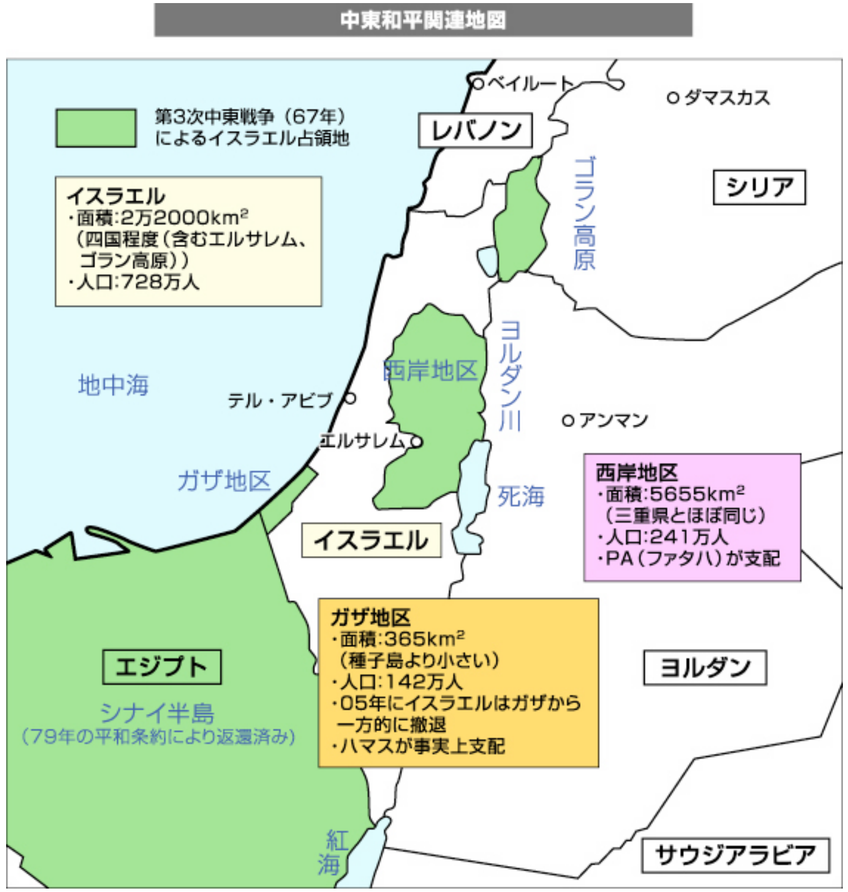


太った人ほど浮きやすい

死海で浮いてみる









死海
標高 −427m
塩分濃度 30%



「エウレーカ」

「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」

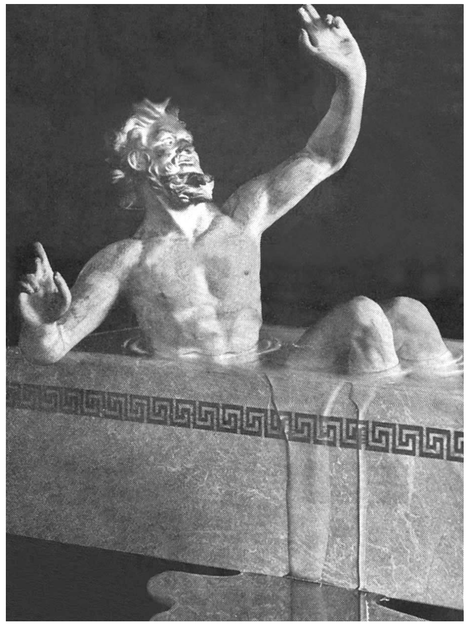
同じ重さでも密度の小さい銀を混ぜたら体積は大きくなり，混ぜものの王冠かどうかが区別できるとひらめいた．



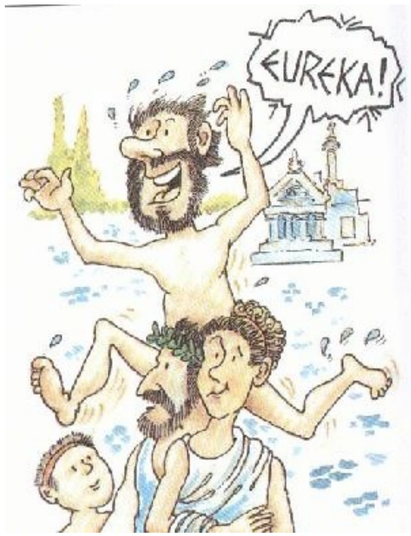


「エウレーカ」



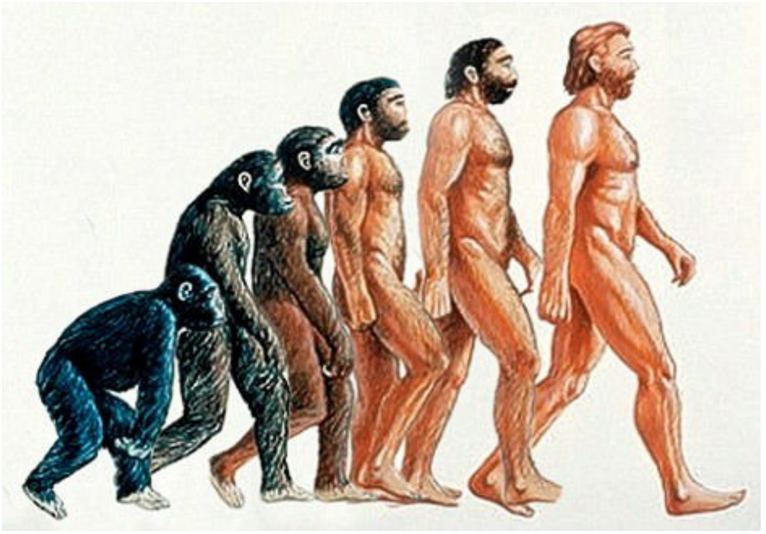








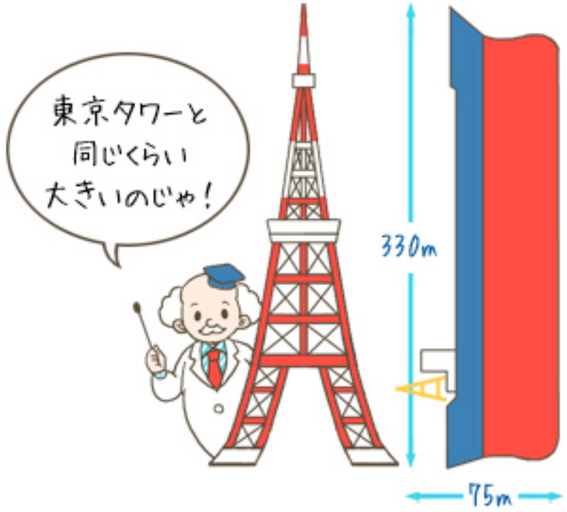




船はなぜ浮くか



新潟県　財団法人黒船館蔵



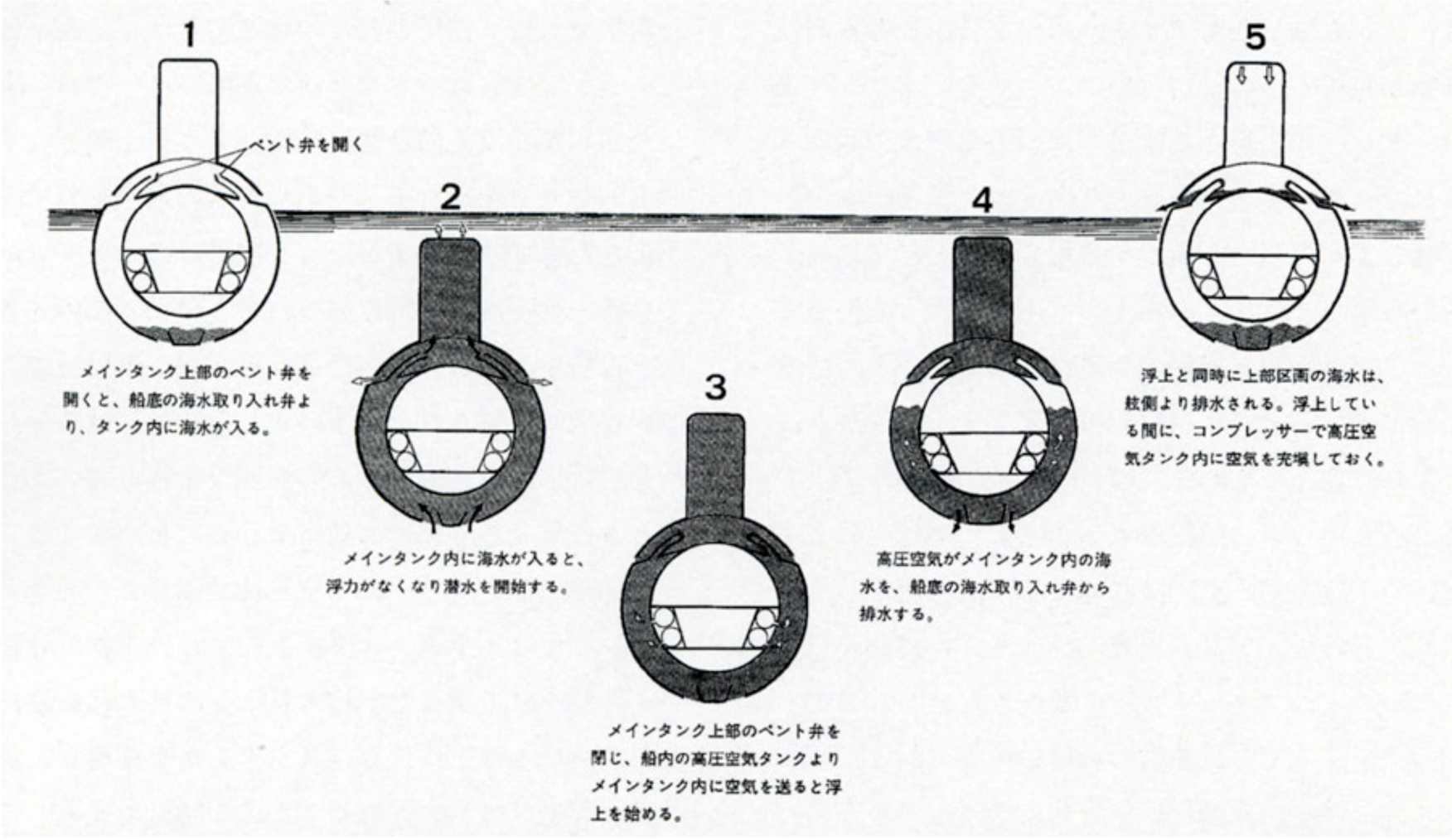
（6）石油を降ろすと、突然ノッポになる？



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

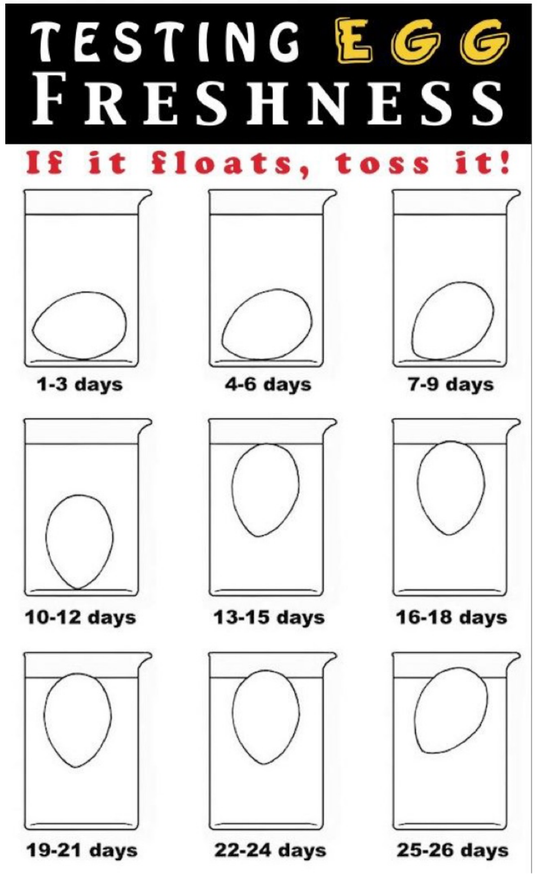
潜水艦はなぜ潜水と浮上ができるのか

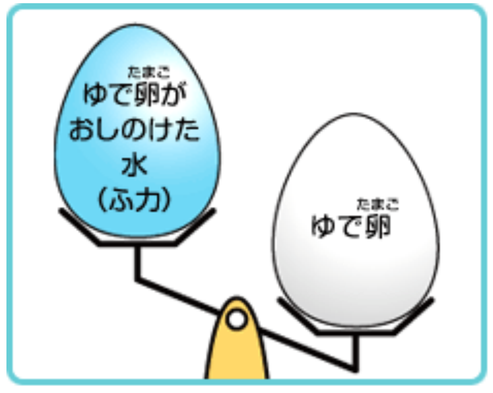


https://nippon.zaidan.info/seikabutsu/2002/00033/contents/021.htm

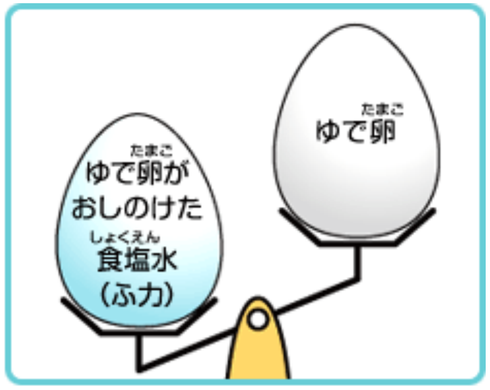
実験 10　卵を浮かせる

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？



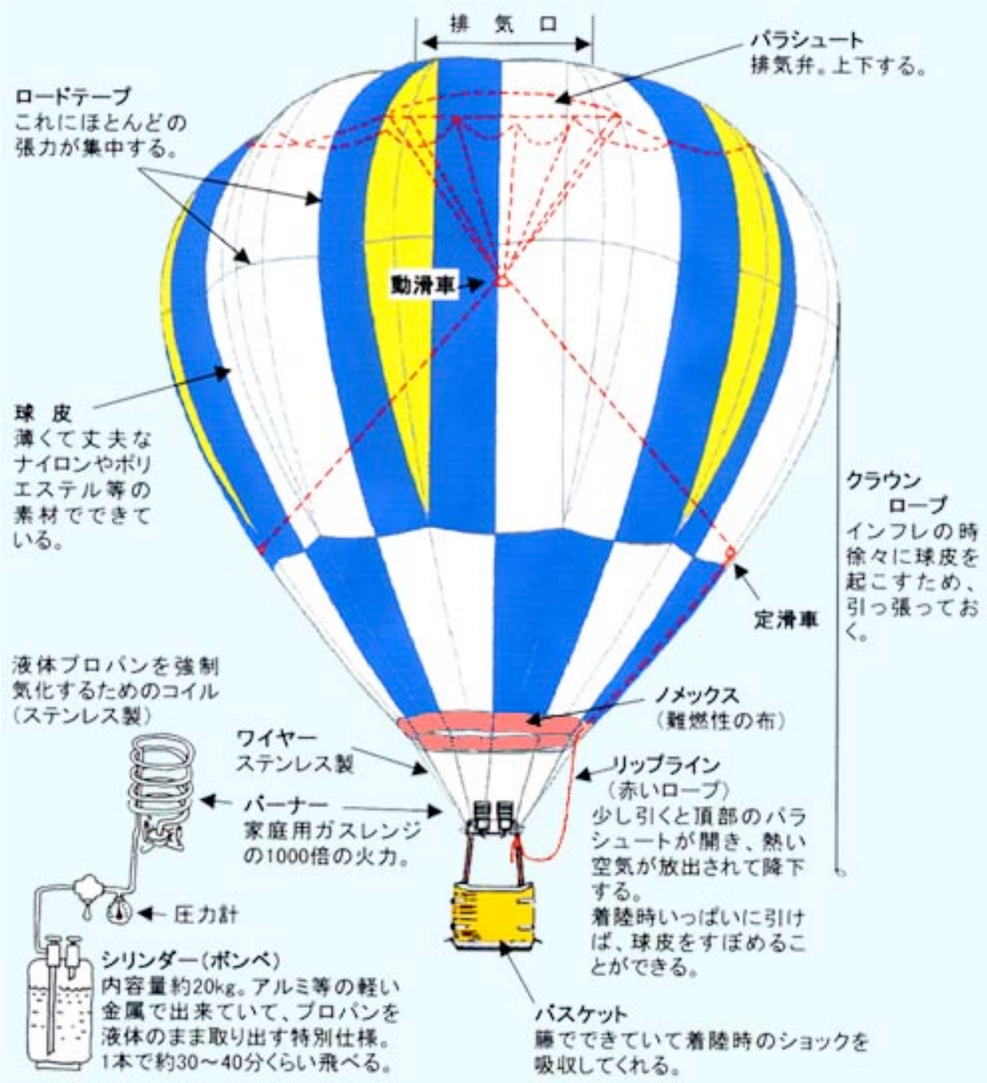


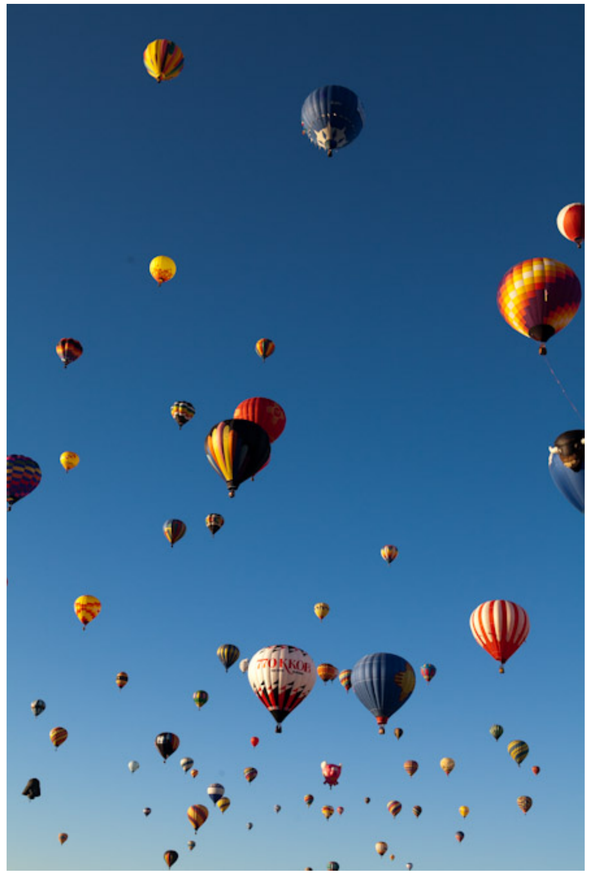
ゆで卵の重さよりもふ力が小さいのでしずむ。



ゆで卵の重さよりもふ力が大きいのでうかぶ。

熱気球はなぜ飛ぶか





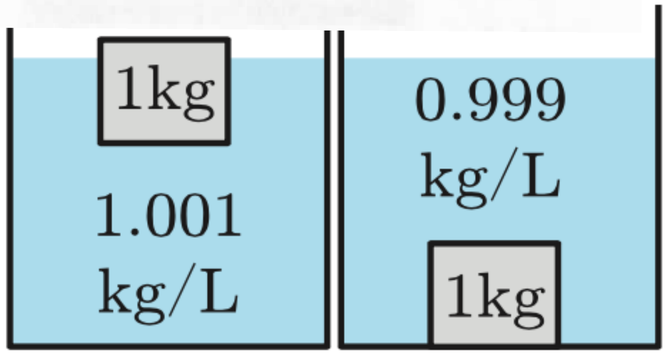
熱すると空気は膨張する
（空気分子運動が激しくなる）

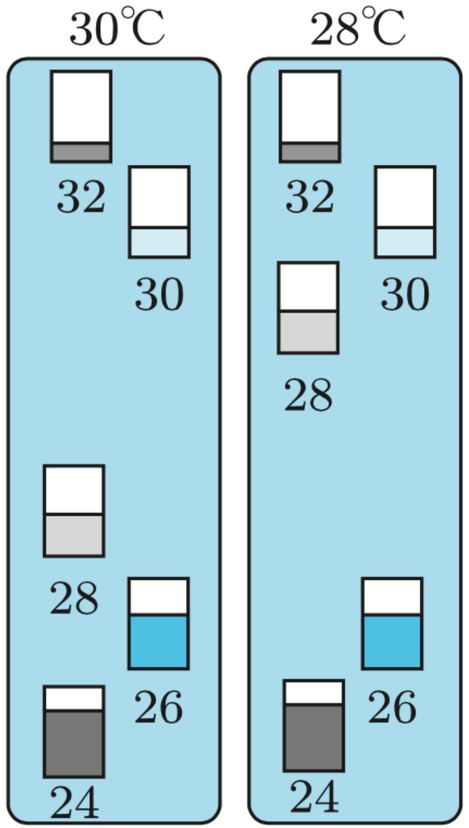
http://www12.plala.or.jp/jsr/sub6.htm

ガリレオ式温度計

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みかけるが，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な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．



図 3.22　クィーンズランド大学のピッチドロップ実験

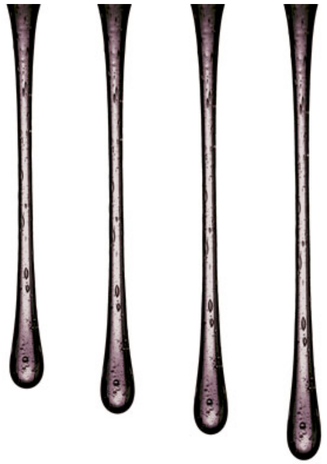
一方，アイルランド・ダブリン大学トリニティカレッジのピッチドロップ実験は，1944 年 10 月に始まったが，最初の 1 滴の落下が 2013 年 6 月 11 日に観測され，69 年かかった実験としてニュースになった．蜂蜜の 200 万倍の粘性だという．

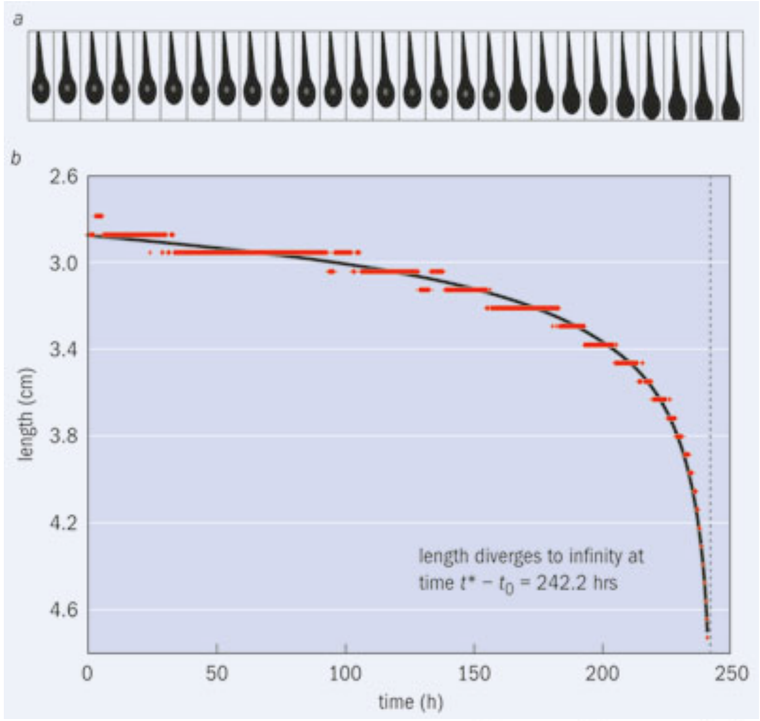
69年かかって，1滴落下

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

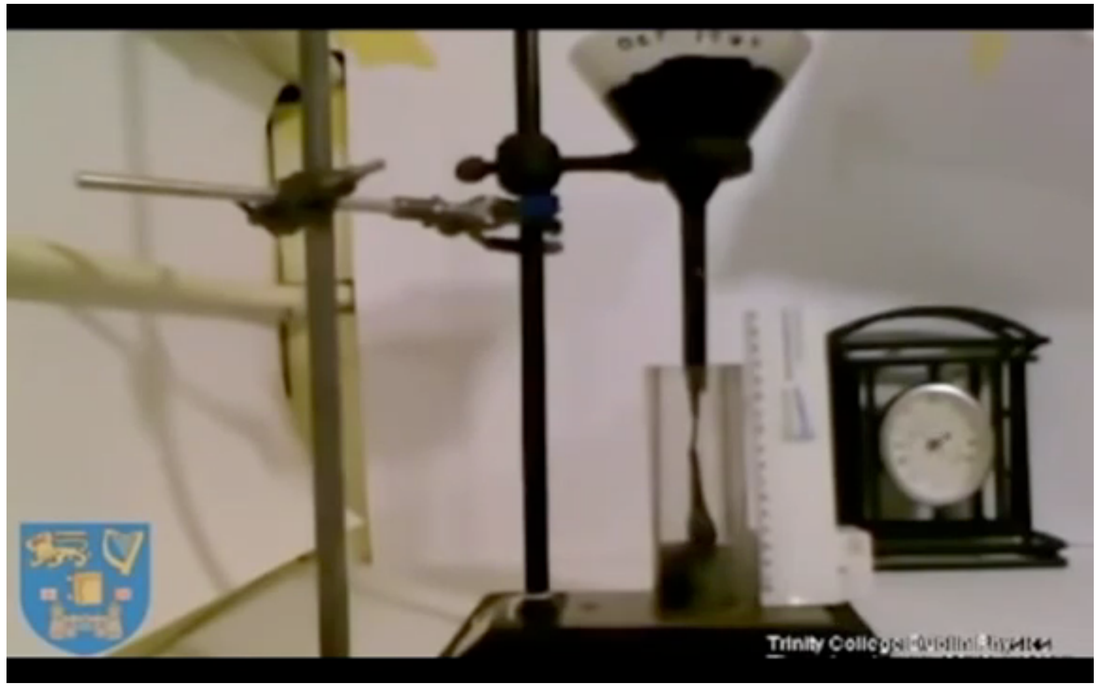
http://www.tcd.ie/Physics/tar-experiment/

69年かかって，1滴落下

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．



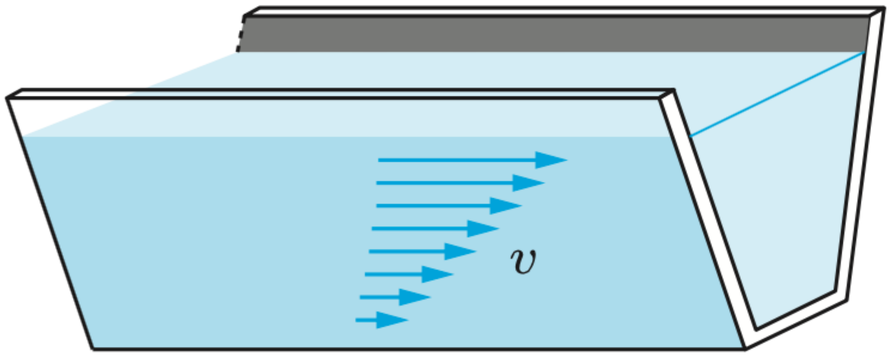


http://www.youtube.com/watch?v=vZ5Vm4vABH4

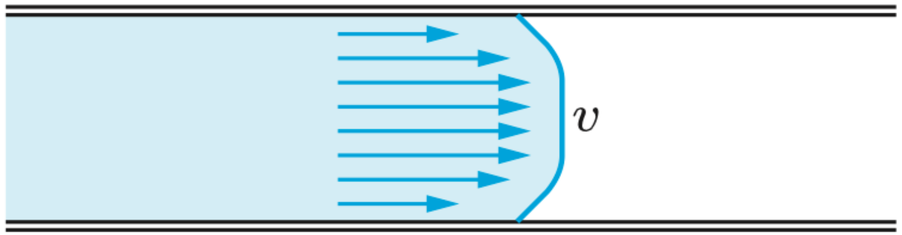
粘性 (viscosity)：内部摩擦力

粘性

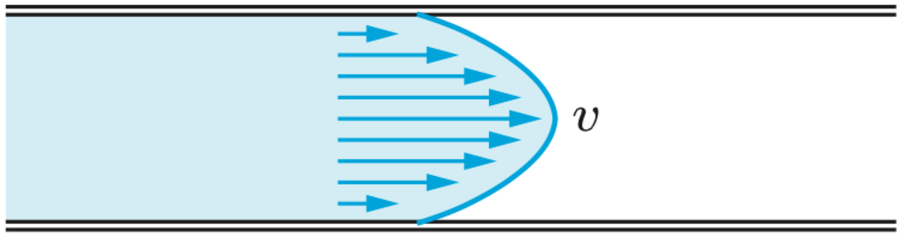
水，油，ガスなどの流体が流動するとき，必ずその流れに抵抗しようとする内部摩擦力が働く．流体の持つこのような性質を**粘性** (viscosity) とよぶ．[3]



（a）



（b）粘性が小さい場合



（c）粘性が大きい場合

【身近な技術】

流体中の抵抗をどうやって減らすか？

教科書 p101













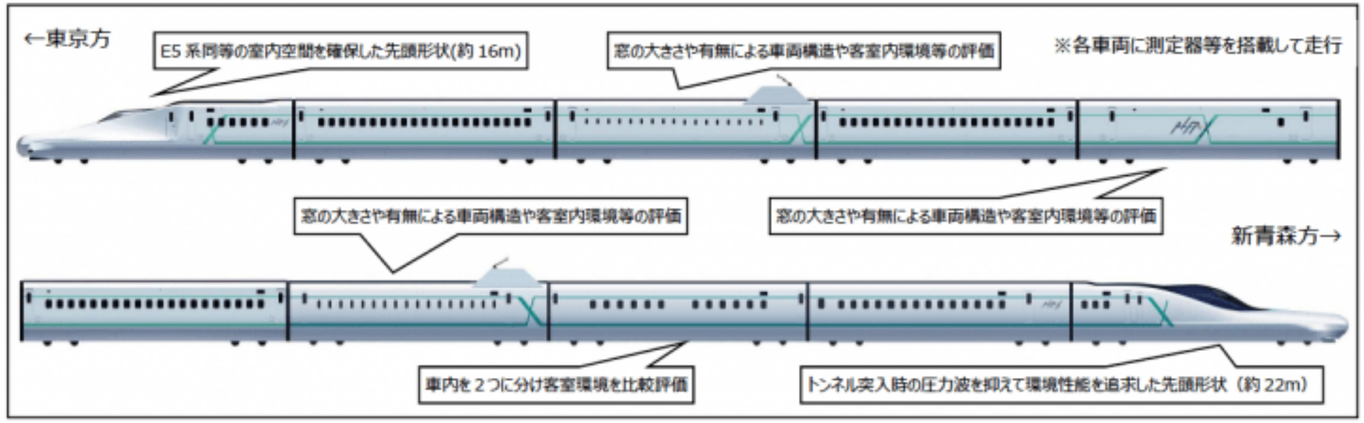
先頭の鼻が22mの試験車両



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。

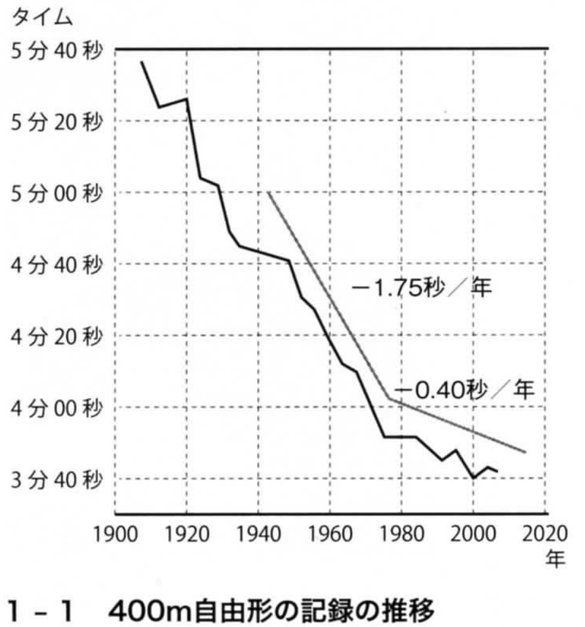
https://www.axismag.jp/posts/2019/03/122487.html



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

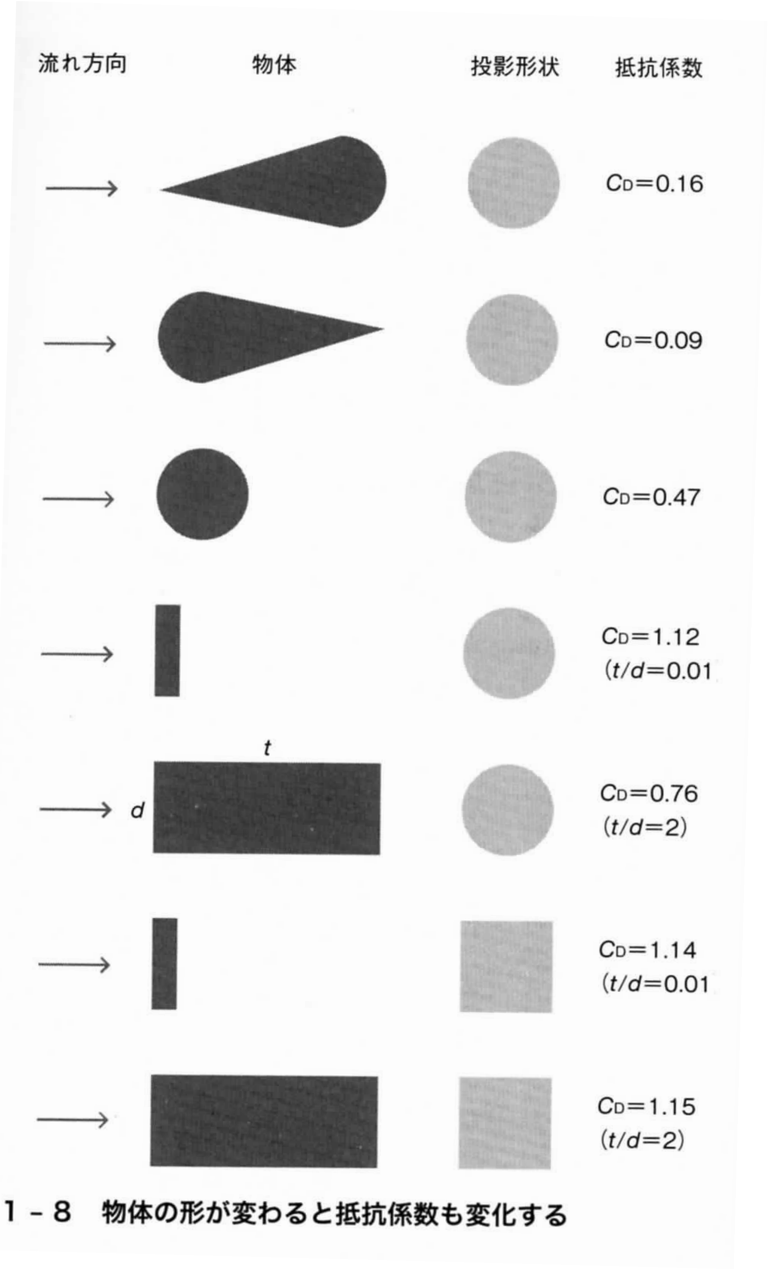


シドニー、アテネ五輪で計５個の金メダルを獲得した元競泳選手のイアン・ソープ

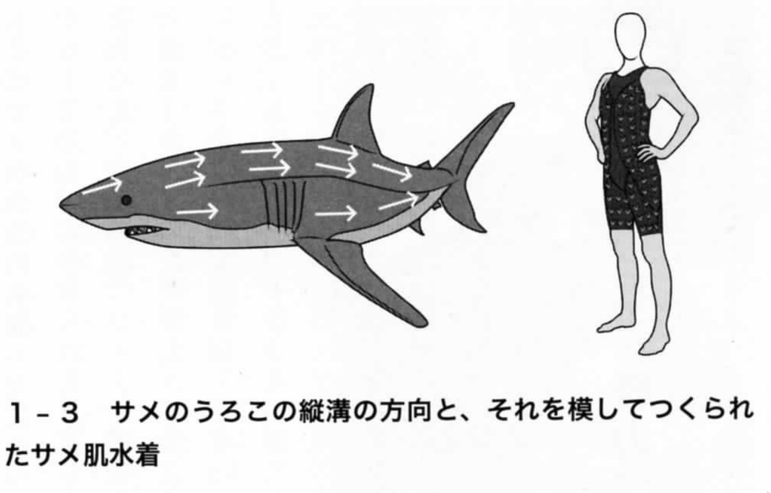
オリンピックで100-200-400の組合せでメダルを獲得したのはソープただ一人

【身近な技術】

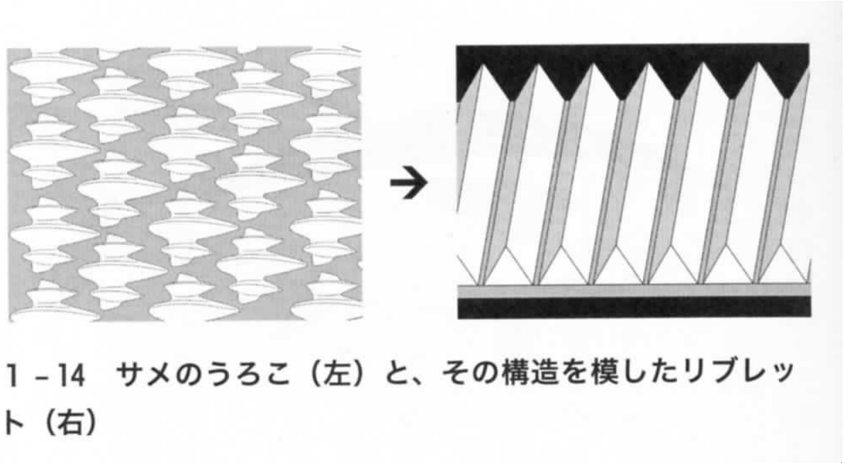
流体中の抵抗をどうやって減らすか？



1－8　物体の形が変わると抵抗係数も変化する



1－3　サメのうろこの縦溝の方向と、それを模してつくられたサメ肌水着

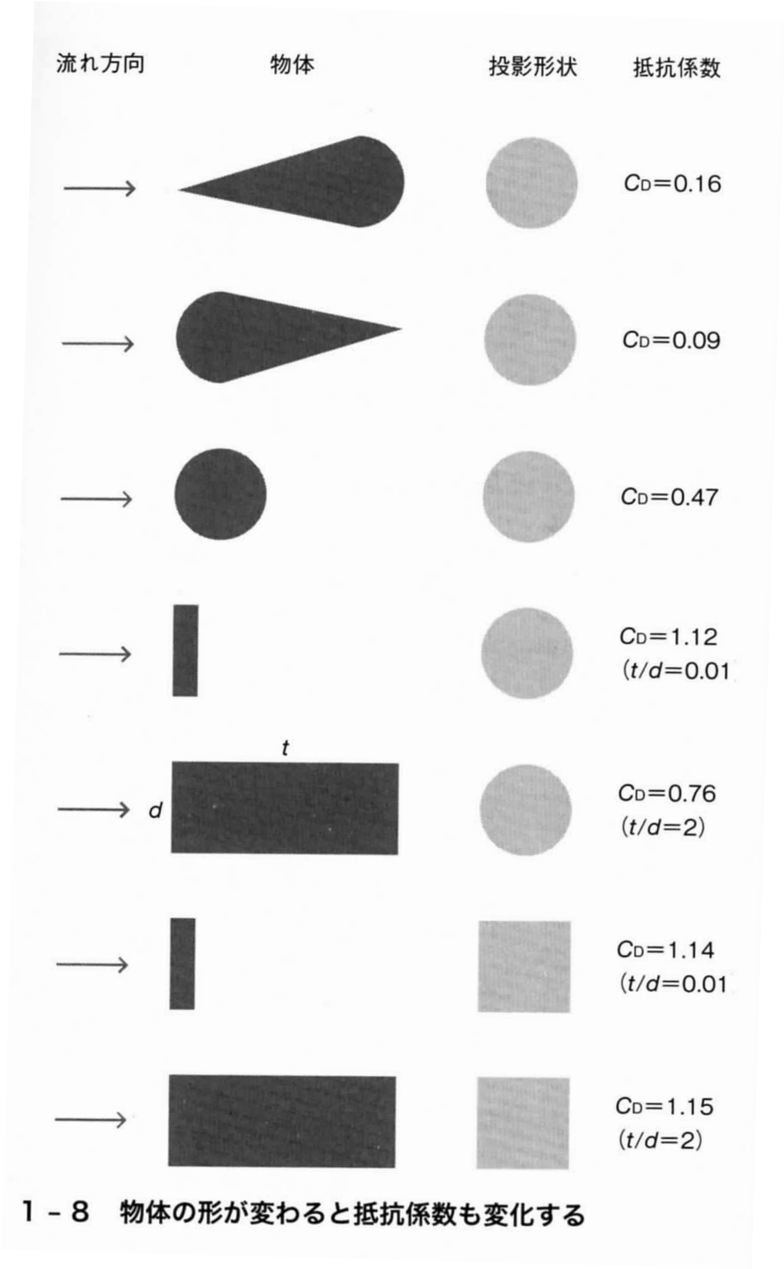


1－14　サメのうろこ（左）と、その構造を模したリブレット（右）

「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）

【身近な技術】

流体中の抵抗をどうやって減らすか？



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）

新型水着の栄枯盛衰

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

【話題】

全日空、「サメ肌」の新機体　空気抵抗減らし燃費向上

毎日新聞 2022/10/3



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

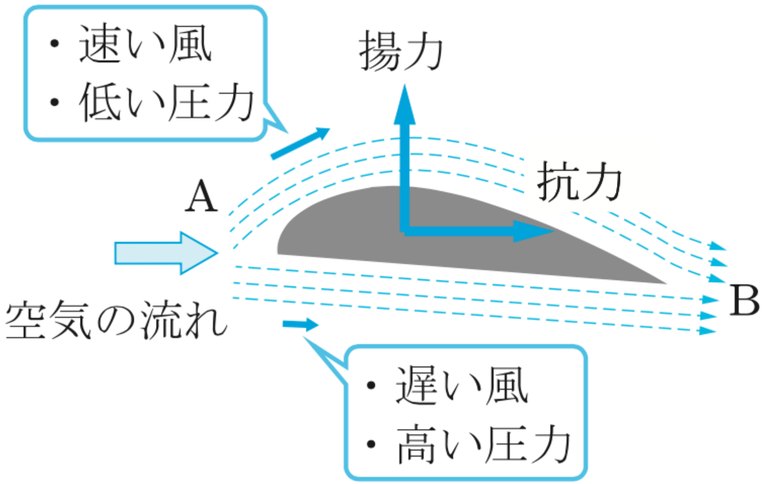
法則 **ベルヌーイの定理**

流体の粘性が少なくて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．

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

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．

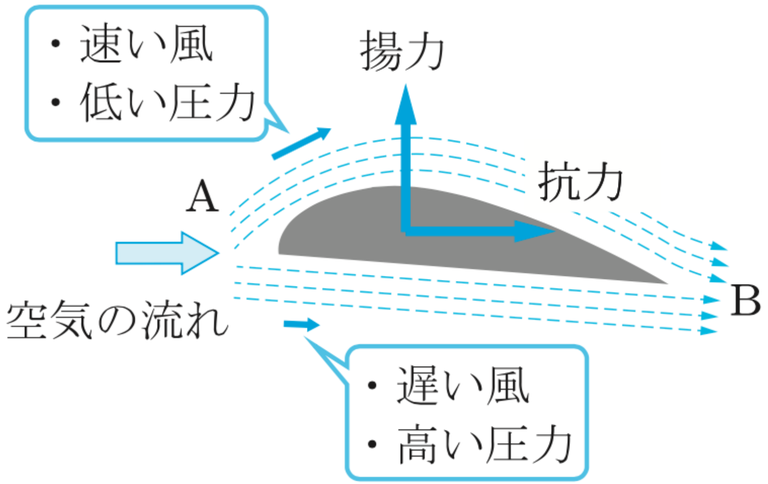


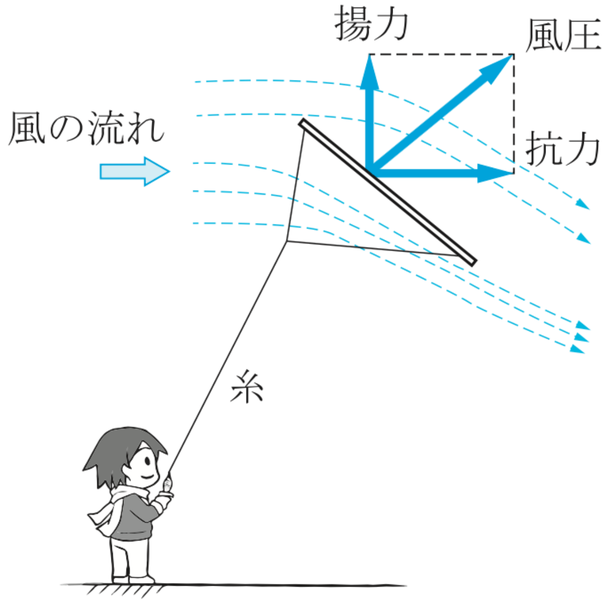
Daniel Bernoulli
(1700-1782)

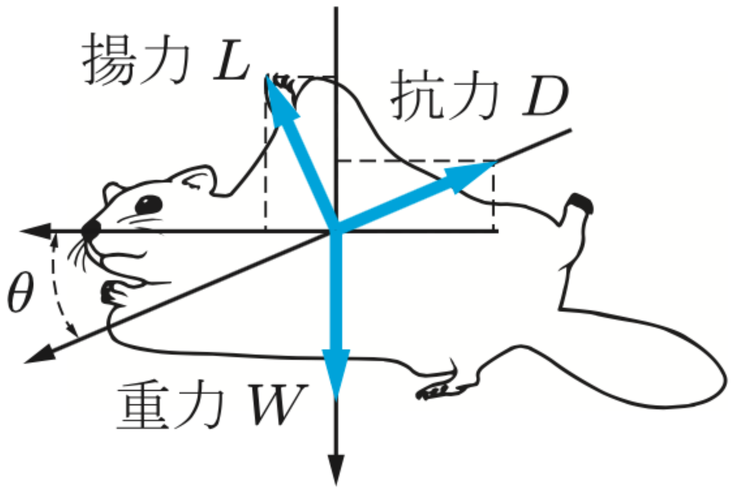


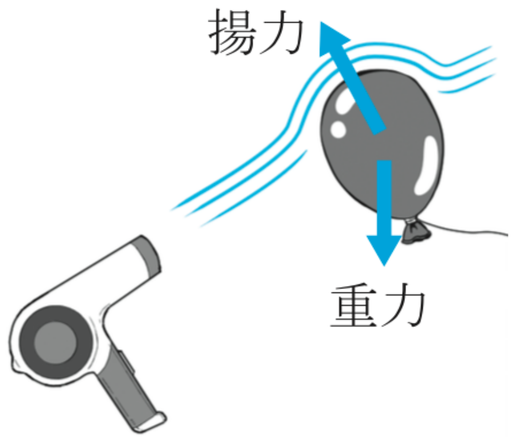


3.3.2 揚力：飛行機はなぜ飛ぶか









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

本日のミニッツペーパー記入項目　　出席票を兼ねます.

〔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)

レポート課題締め切り10月31日22:59