

生活の中の物理学

Physics in Everyday Phenomena

第6回 2024/10/28

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

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

第1回レポート課題締め切り10月31日22:59

『天文文化学の視点 星を軸に文化を語る』



天文現象は古代より人々の生活や文化活動に密接に関わり、文学や美術に広く取り入れられるとともに、現代科学の発端ともなった。古典籍・美術品・工芸品・遺跡・数式等の中には天文に関わる多様な表現がみられ、それらはさまざまな角度から考察することができる。

銅鏡の文様に見られる古代中国の宇宙観とは？
浦島太郎のタイムトラベルの理論物理学的な可能性とは？
一条兼良はどのような星空を見ていたのか？
沖繩に伝わる神歌に歌われた星に、人々は何を託していたのか？
絵画・文学作品、信仰・思想、民俗、実際の天体現象など、様々な視点から、文化史と科学論を統合して自然観を考察する。
細分化され過ぎた現在の学問を新たに捉え直し、総体としての知を確立する挑戦！



天文文化学の視点

松浦清・真貝寿明 編

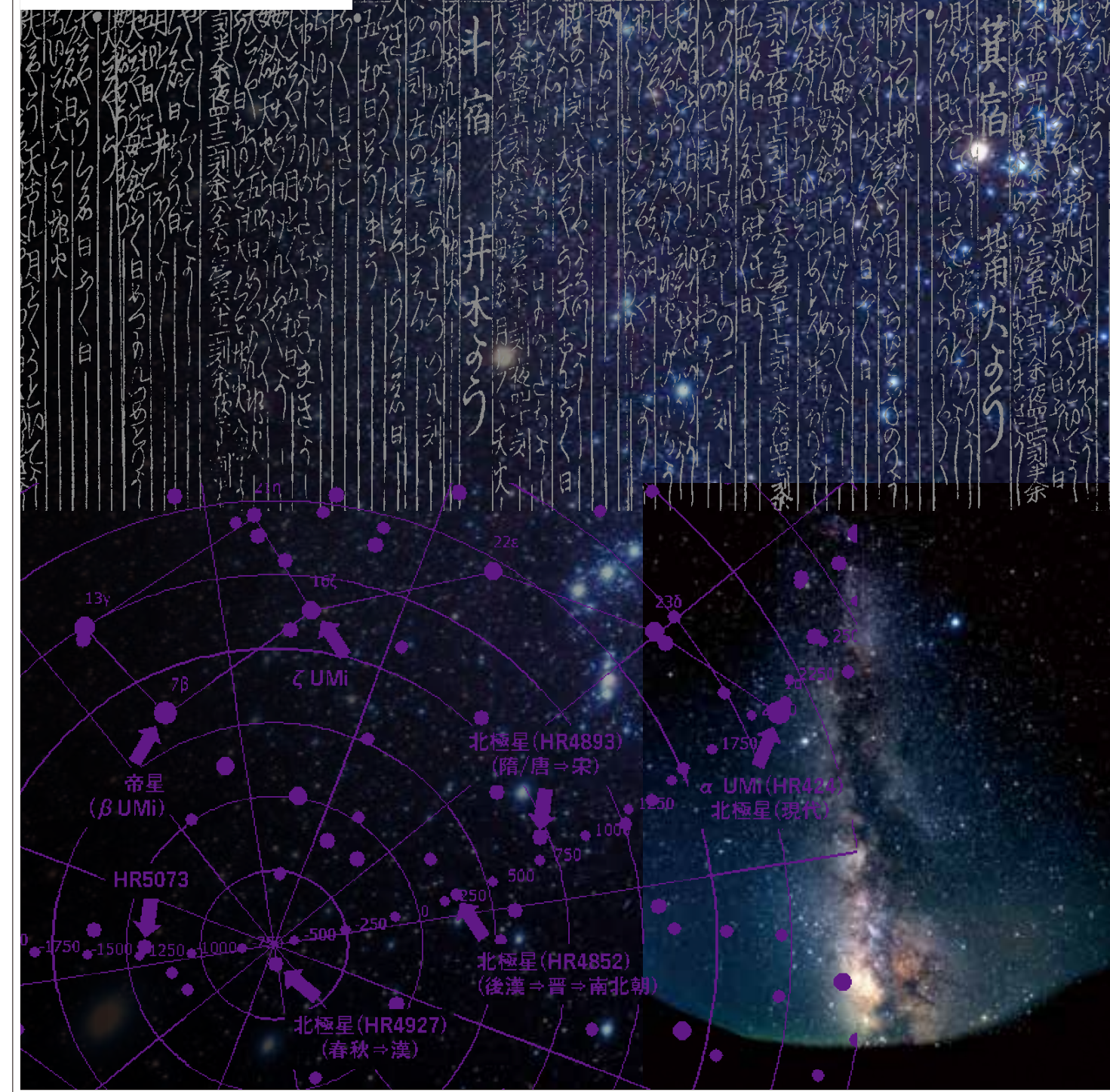
アジア
遊学

勉誠社



ISBN978-4-585-32542-0
C1344 ¥3500E

定価[本体3,500円+税]



勉誠社, 2024年10月30日発売, 3500円+税

『天文文化学の視点 星を軸に文化を語る』

序 ● 「天文文化学」という複合領域を楽しむために……松浦清 999

I …… 絵画・文学作品にみる天文文化

原在明《山上月食図》（個人蔵）の画題について……松浦清 999

一条兼良がみた星空——『花鳥余情』における「彗星」「天狗星」注をめぐって……横山恵理 999

「軌道」の語史——江戸時代末以降を中心に……米田達郎 999

COLUMN ● 星の美を詠む……横山恵理

COLUMN ● 明治初頭の啓蒙書ブーム「窮理熱」と『滑稽窮理臍の西国』……真貝寿明 999

II …… 信仰・思想にみる天文文化

銅鏡の文様に見られる古代中国の宇宙観——記紀神話への受容とからめて……西村昌能 999

天の河の機能としての二重性——境界と通路、死と復活・生成、敵対と恋愛の舞台……勝俣隆 999

南方熊楠のミクロコスモスとマクロコスモス——南方曼荼羅の世界観……井村誠 999

COLUMN ● 天文学者は星を知らない……真貝寿明 999

III …… 民俗にみる天文文化

奄美与論島における十五夜の盗みの現代の変容をめぐる一考察……澤田幸輝 999

COLUMN ● 二日月の傾きと農業予測——鹿児島県与論島のマクマを事例に……澤田幸輝 999

天文文化学から与那覇勢頭豊見親の11りを考える……北尾浩一 999

IV …… 中世以前の天体現象と天文文化

天命思想の受容による飛鳥時代の変革——北極星による古代の正方位測量法……竹迫忍 999

惑星集合と中国古代王朝の開始年についての考察……作花一志 999

COLUMN ● 星の数、銀河の数……真貝寿明

丹後に伝わる浦島伝説とそのタイムトラベルの検討……真貝寿明 999

V …… 近世以降の天体現象と天文文化

1861年デバット彗星の位置測量精度

——土御門家と間家の測量比較を中心に……北井礼三郎・玉澤春史・岩橋清美 999

日本に伝わった古世界地図と星図の系譜……真貝寿明 999

あとがき ● 天文文化学を進める上で見えてきたもの——理系出身者の視点から……真貝寿明 999

勉誠社, 2024年10月30日発売, 3500円＋税

前回のミニッツペーパーから

空気の物理の話がおもしろかった。

この講義も受けていて、空気は目に見えるわけではないけど確かに存在しているかと最近改めてよく思います。

今日もタタになりました。

遠心力は意外と身近にたくさんあっておもしろかったです。

意外

遠心力を利用した身の回りのもの

公園のあれ

公園にあるおもしろい遊具



陸上競技の「ほうかん投げ」とか「円盤投げ」

砲弾投げ

砲弾は投げないで

アメリカクラッカー

ハンマー投げ

ハンマー投げの道具

遊び方

① 図のようにして軽く上下に動かすと球がぶつかりあいます

② 強く上下に動かすと円盤がいてはね上がり、上と下でぶつかりあいます



遠心力を利用した身の回りのもの

でんでん太鼓

バター

昔ながらの製造方法でつくられるバター

よつ葉乳業株式会社

チャンネル登録者数 2110人

チャンネル登録

18,881 回視聴 2015/11/30

バターの製造は、今では効率的な連続式（原料クリームからバターをつくる一連の流れをすべて機械で行う製造）が主流ですが、オホーツク北見工場では、チャーンと呼ばれる巨大な立方体の特徴的な装置を用いる、伝統的なバターづくりを行っています。チャーンの中にクリームを入れて回転させ、人が直接機械を操作しながらバターをつくらせていくため、手間暇がかかり、熟練を必要とする技術でもあります。

<https://www.youtube.com/watch?v=WD1clk-vRRI>

でんでん太鼓

バターの製造過程

生乳や牛乳などから遠心分離により、乳脂肪分を分離します。乳脂肪分35～40%に調整した原料がバター



前回のミニッツペーパーから

忍者のようにビルからビルに飛び移る時には
必要な筋肉量を人間が持つことは可能か知りたいです。

走り幅跳びの世界記録は、マイク・パウエル(米国)の 8 m 95 cm (1991年)

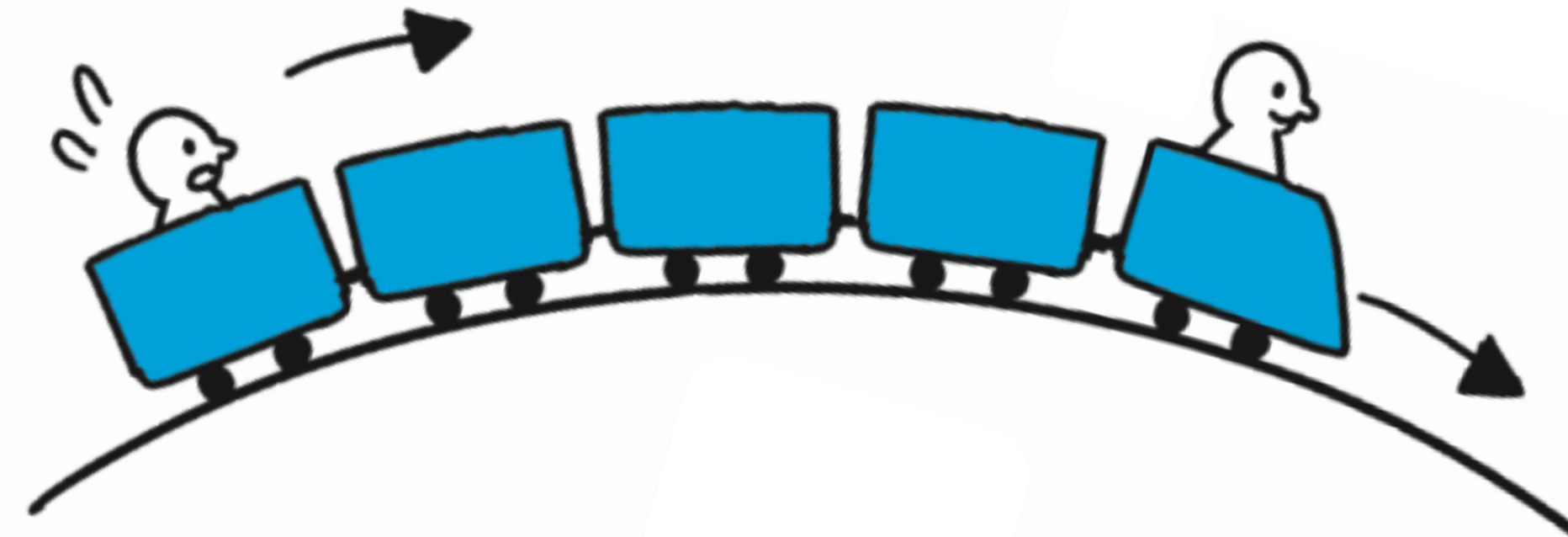
自由落下で耐えられるのは、ラッキーな場合で10m

ジェットコースターに乗った時
落ちる瞬間の浮遊感を
リピーターとして体験できるか??

お米10kg抱えて乗る,とか..

星はどのようにうまれるのか、

宇宙をただようガスが重力で収縮して、中心部が高温高压で核融合を起こすことで燃え始めます。詳しくは原子の章で。



前回のミニッツペーパーから

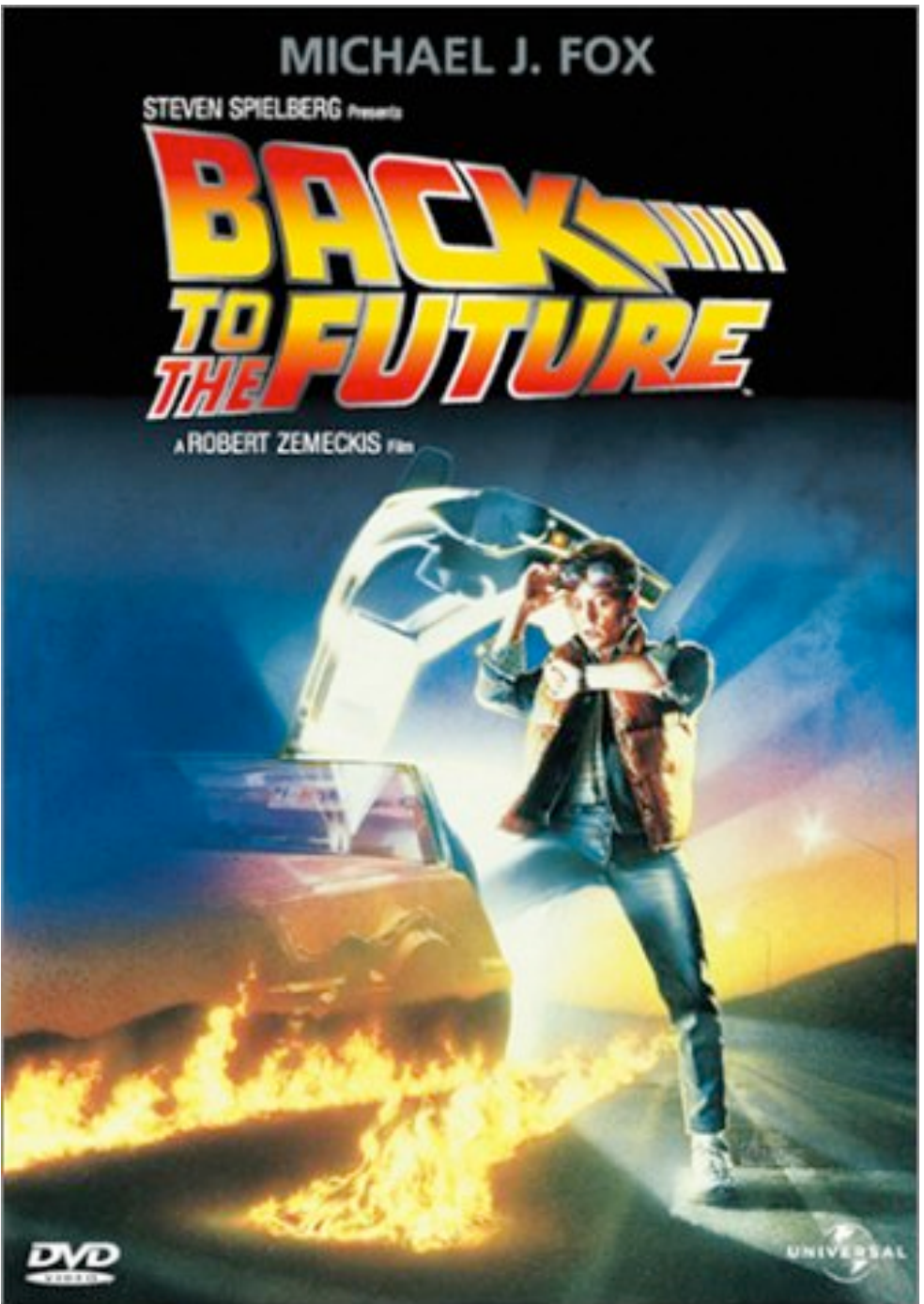
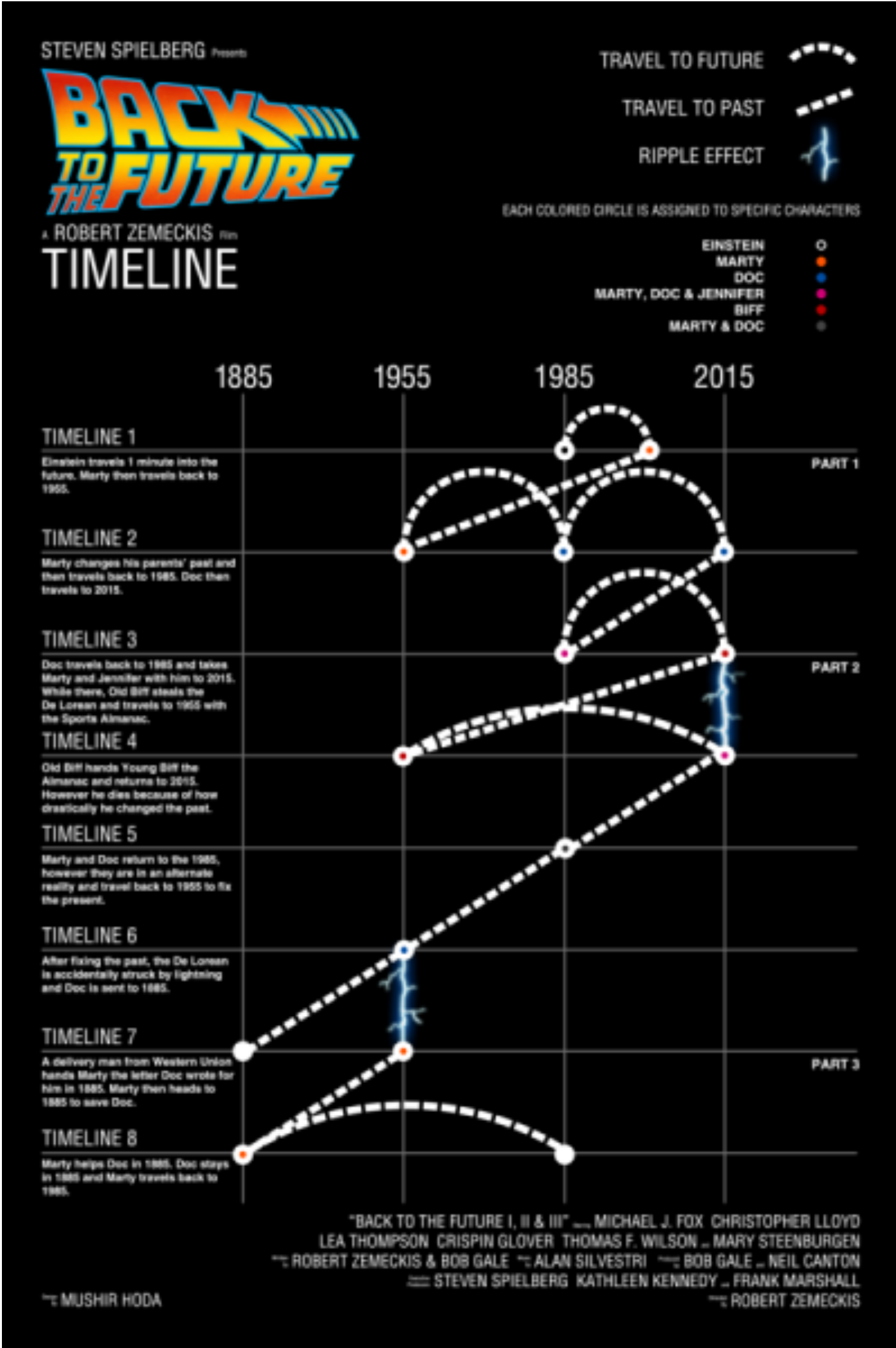
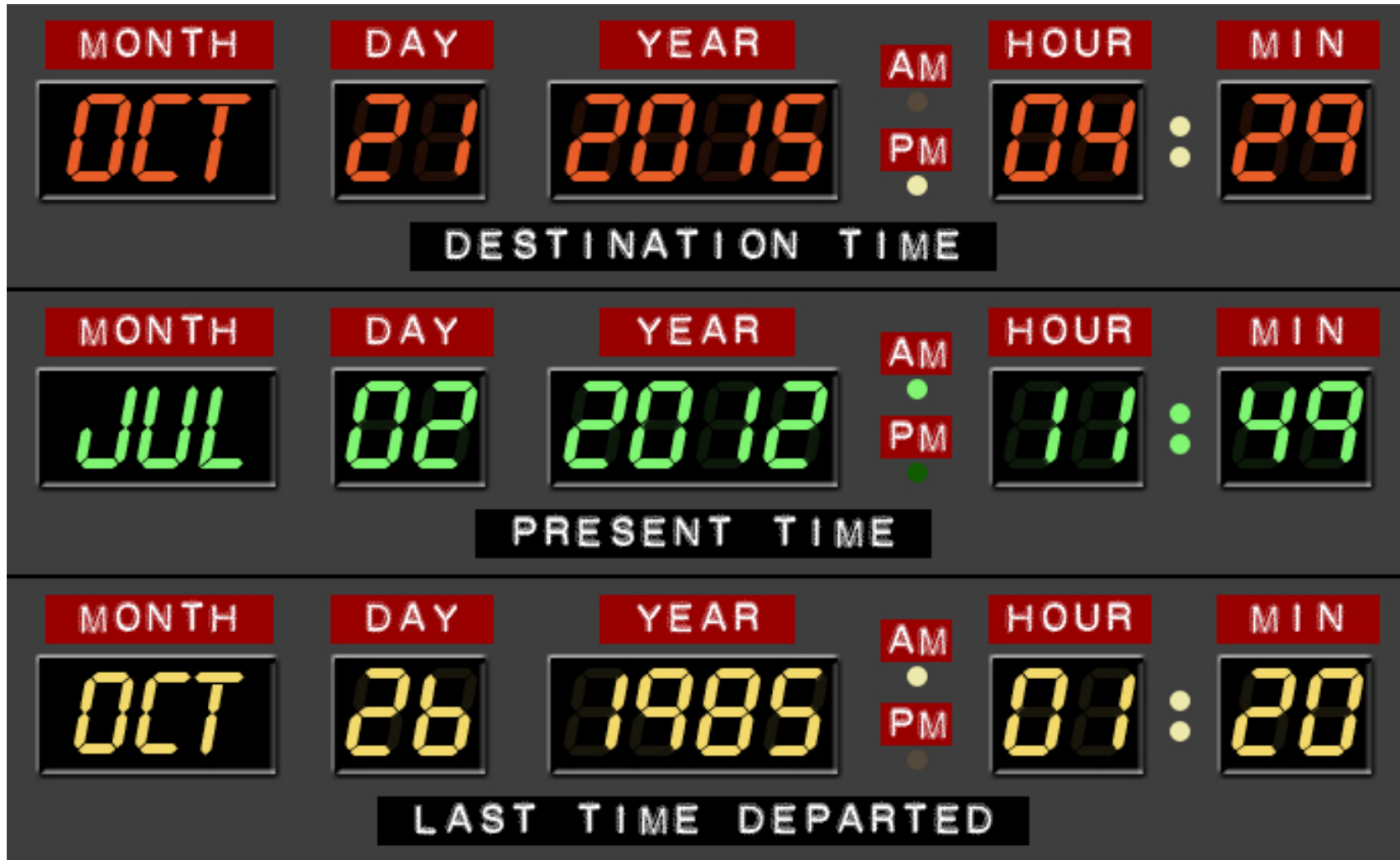
ロケットを西向きに上げる場合、東向きの場合と
自転エネルギーの利用はどれくらい変化するのか。

地球の自転速度は、赤道上で時速約1700km (秒速 0.47 km) 第一宇宙速度が 7.9 km/s だから、12% 損をする
地球の公転速度は、時速約11万km (秒速 30.6 km) 1年で一周
太陽系の公転速度は、秒速 220 km 2億年で銀河を一周
天の川銀河は、宇宙膨張に乗るかたちで、秒速 630 km で移動

「トライピオ」をご存知でしょうか。ベイブレード (コマをぶつけてたたかせるおもちゃ) なんですけど
ベ-ゴマっぽいコマに 3枚羽の大きなプロペラがついています。このプロペラで空気を吸い寄せ
コマを下に押しこめ、はじかれにくくなる。という売り文句ですが 案外には最弱のベイブレードと
言われています。この改良案を出し続けている Youtuber がいるんですが 先生ならどう強化しますか？



映画『Back to the Future』(1985年)で描かれた未来は2015年



映画『Back to the Future』(1985年)で描かれた未来は2015年



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。

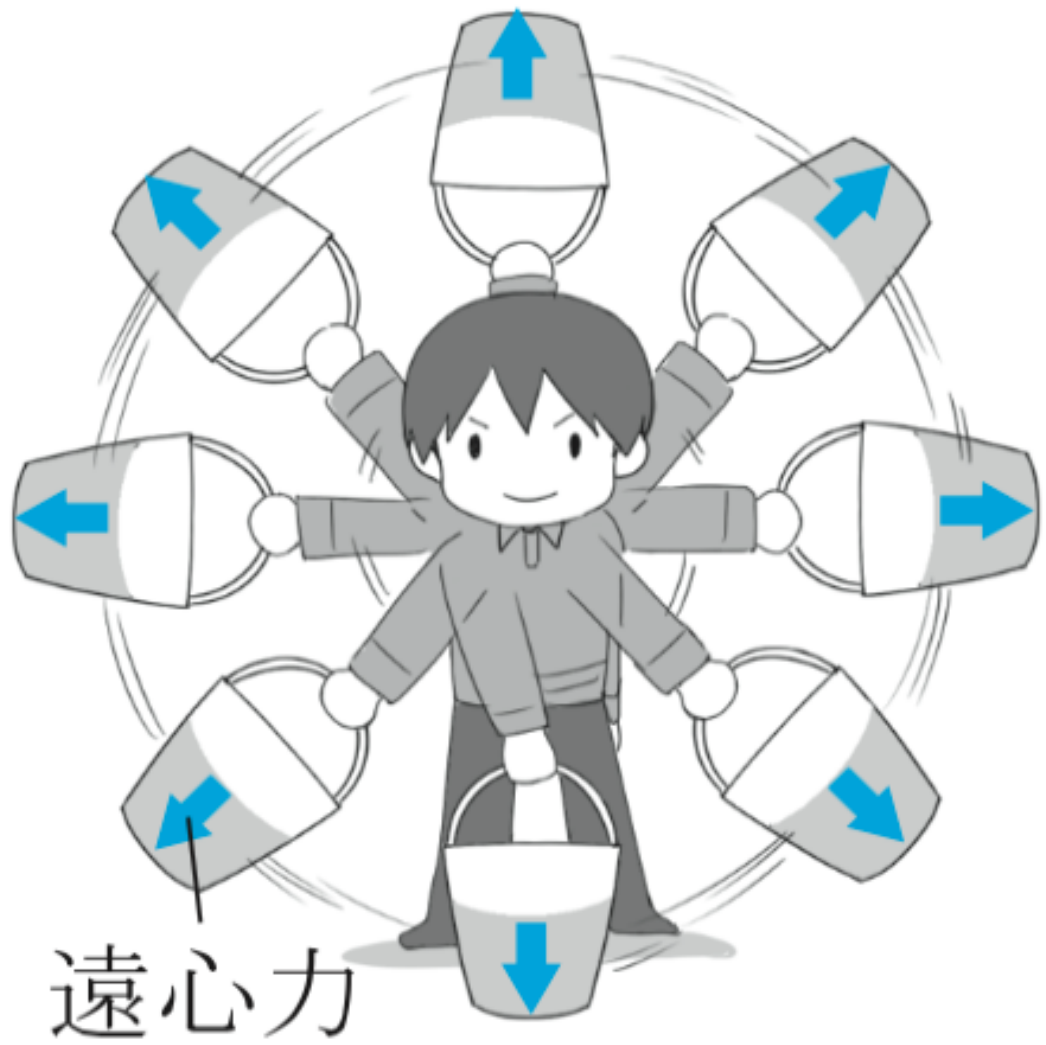
遠心力かと思っていたエリもかなり身近でわかりやすいもので驚きました。

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.

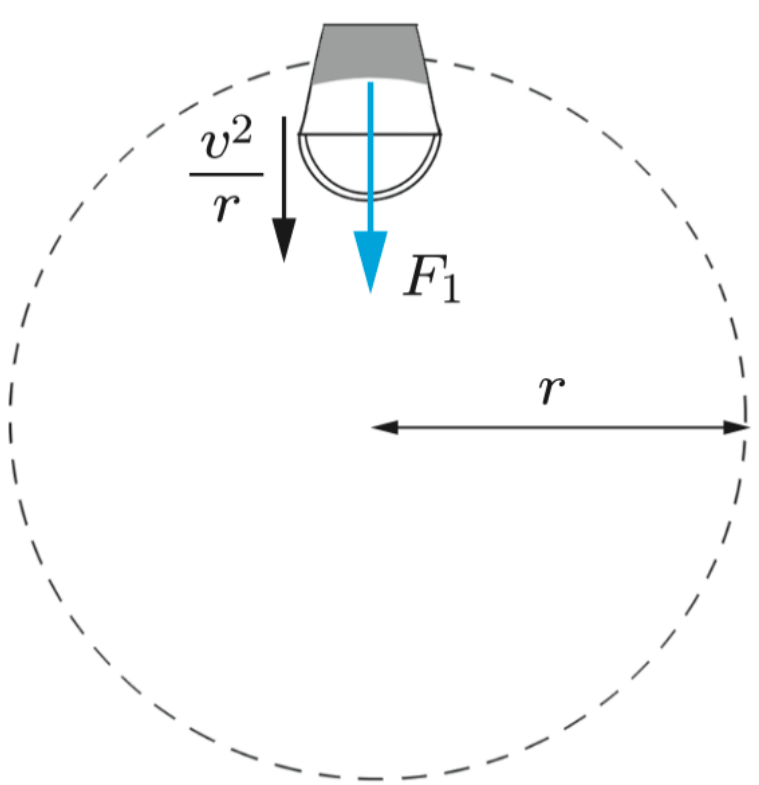


- **バケツを眺めている人の立場**では、水はバケツと共に円運動をしている. はたらいっている力は、人がバケツを回す手の力 F_1 である. だから運動方程式は

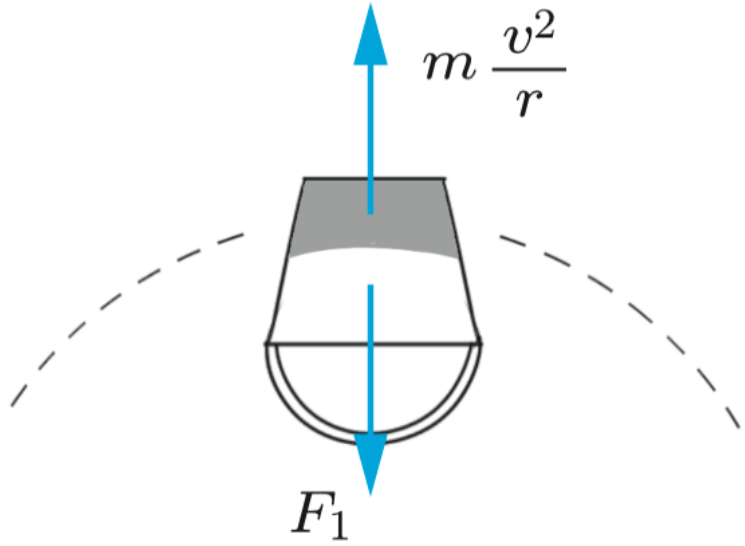
$$m \frac{v^2}{r} = F_1 \tag{2.66}$$

- **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 $m \frac{v^2}{r}$ ）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

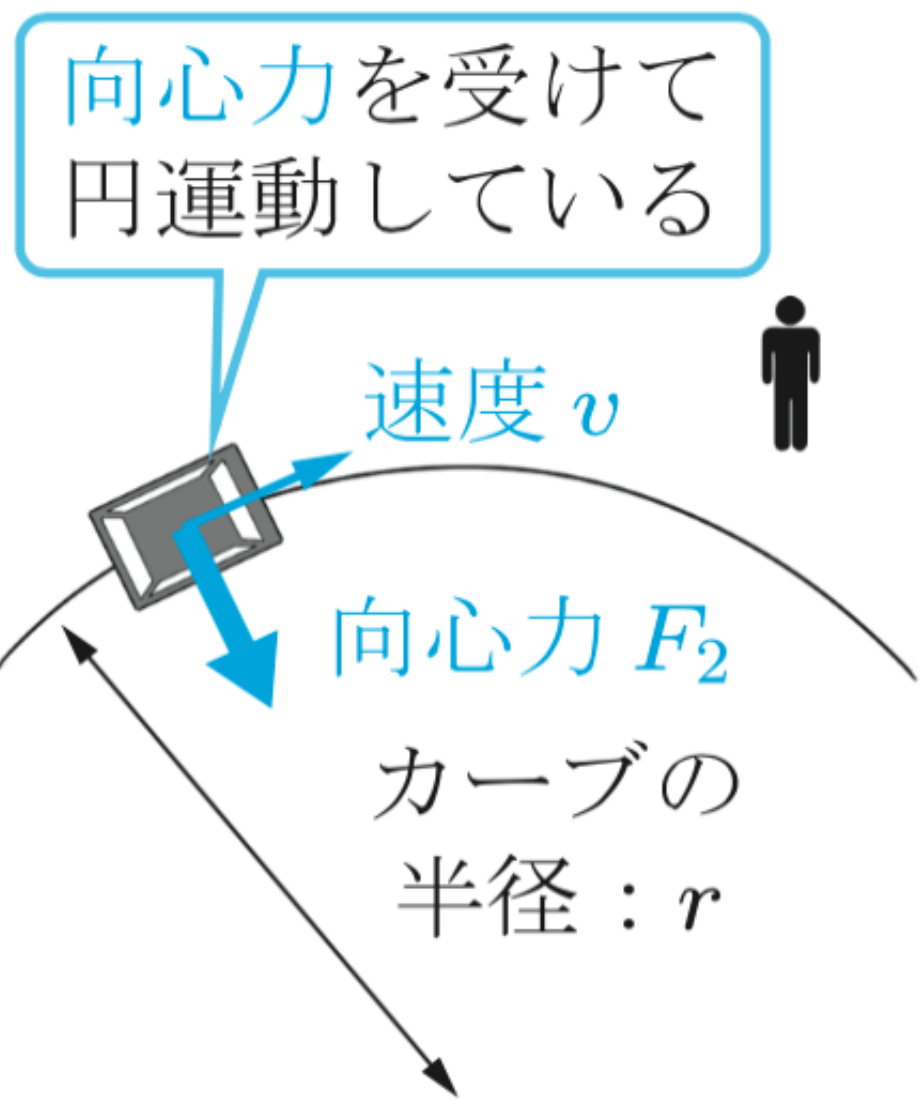


(b) バケツとともに運動している立場

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）

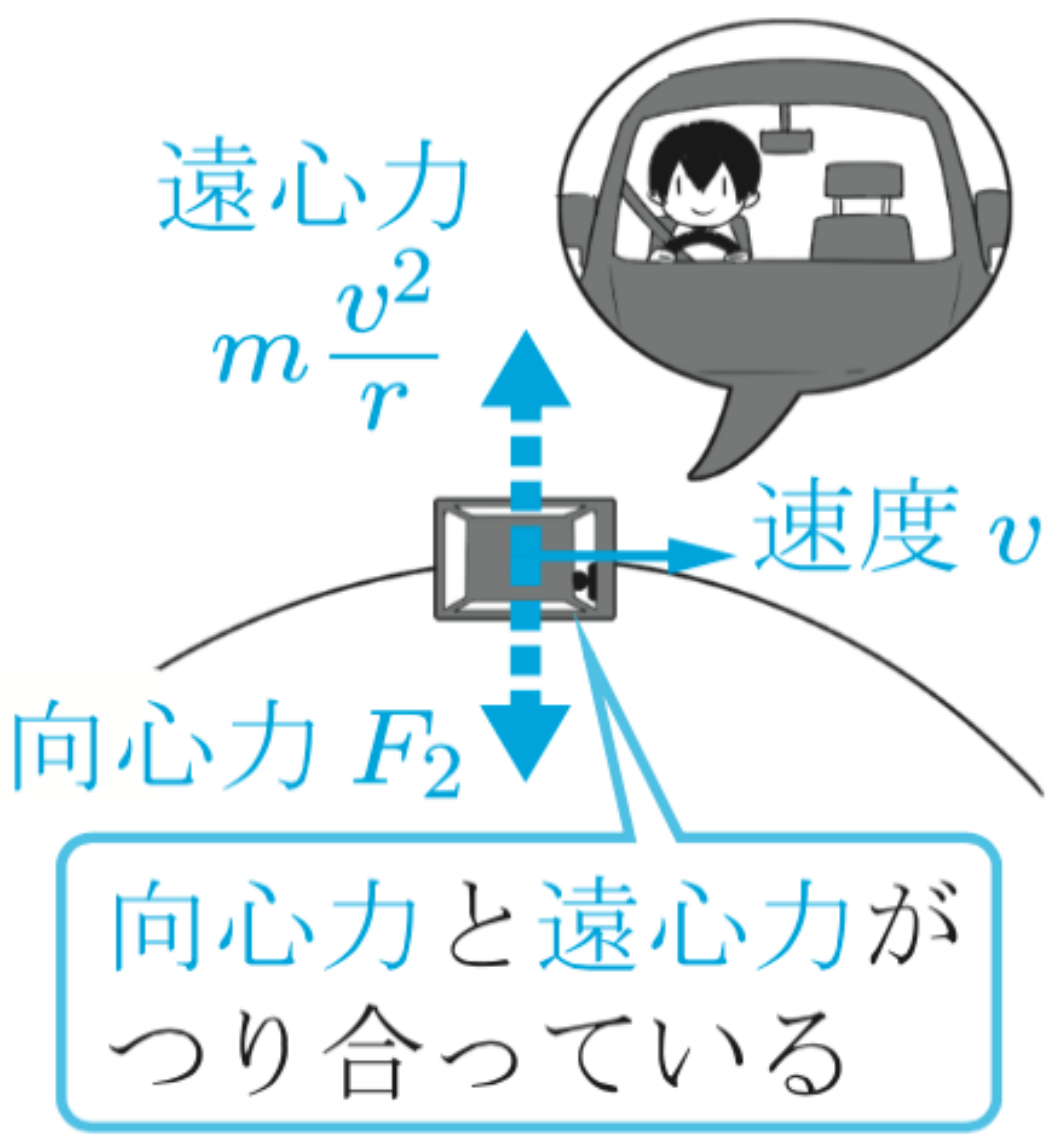
車は円運動



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。

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、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。

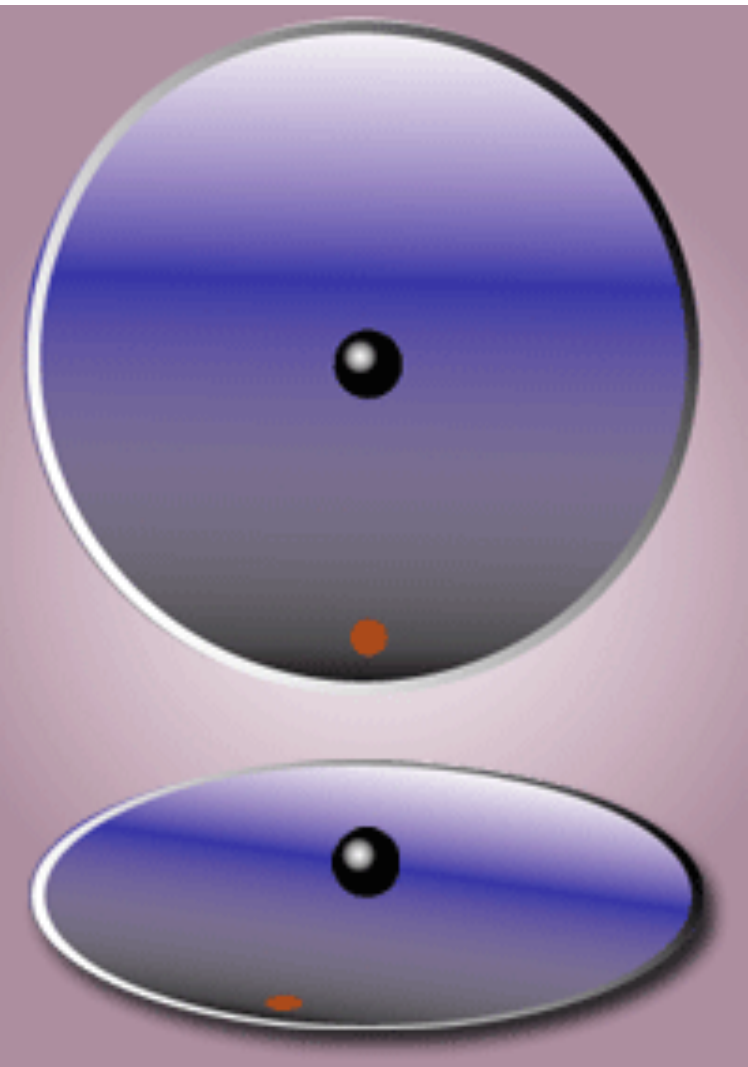
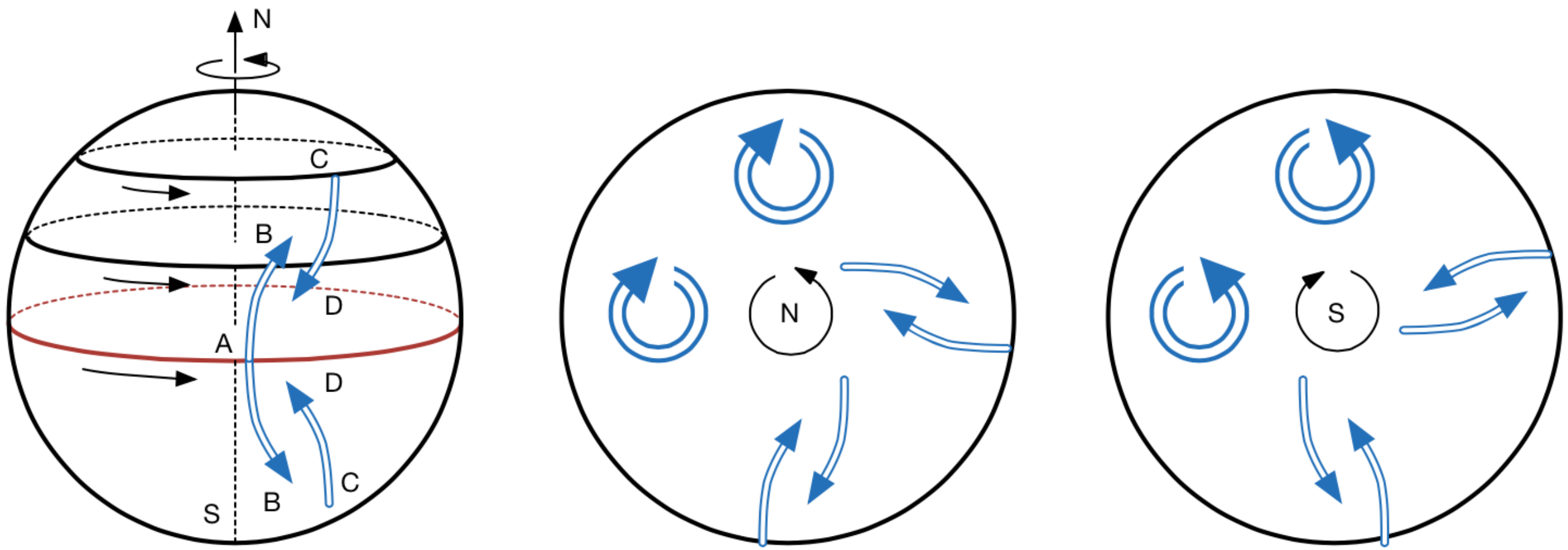


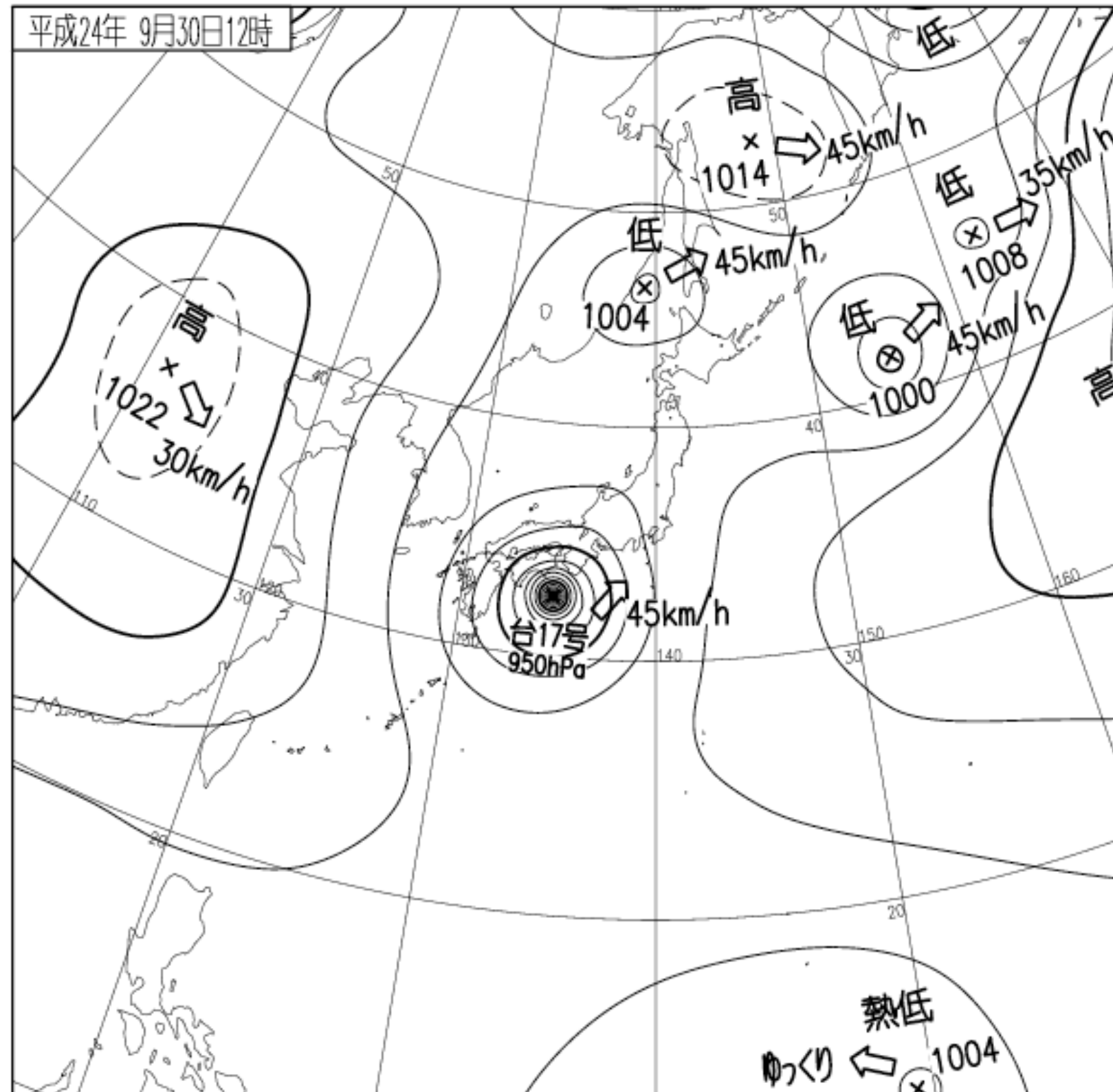
図 2.121 〔左〕 回転する物体上で運動すると、回転する速度成分の違いから、物体の運動方向は曲がる。〔中〕 北極方向から見た図（左回り回転盤上の運動）。〔右〕 南極方向から見た図（右回り回転盤上の運動）。



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>

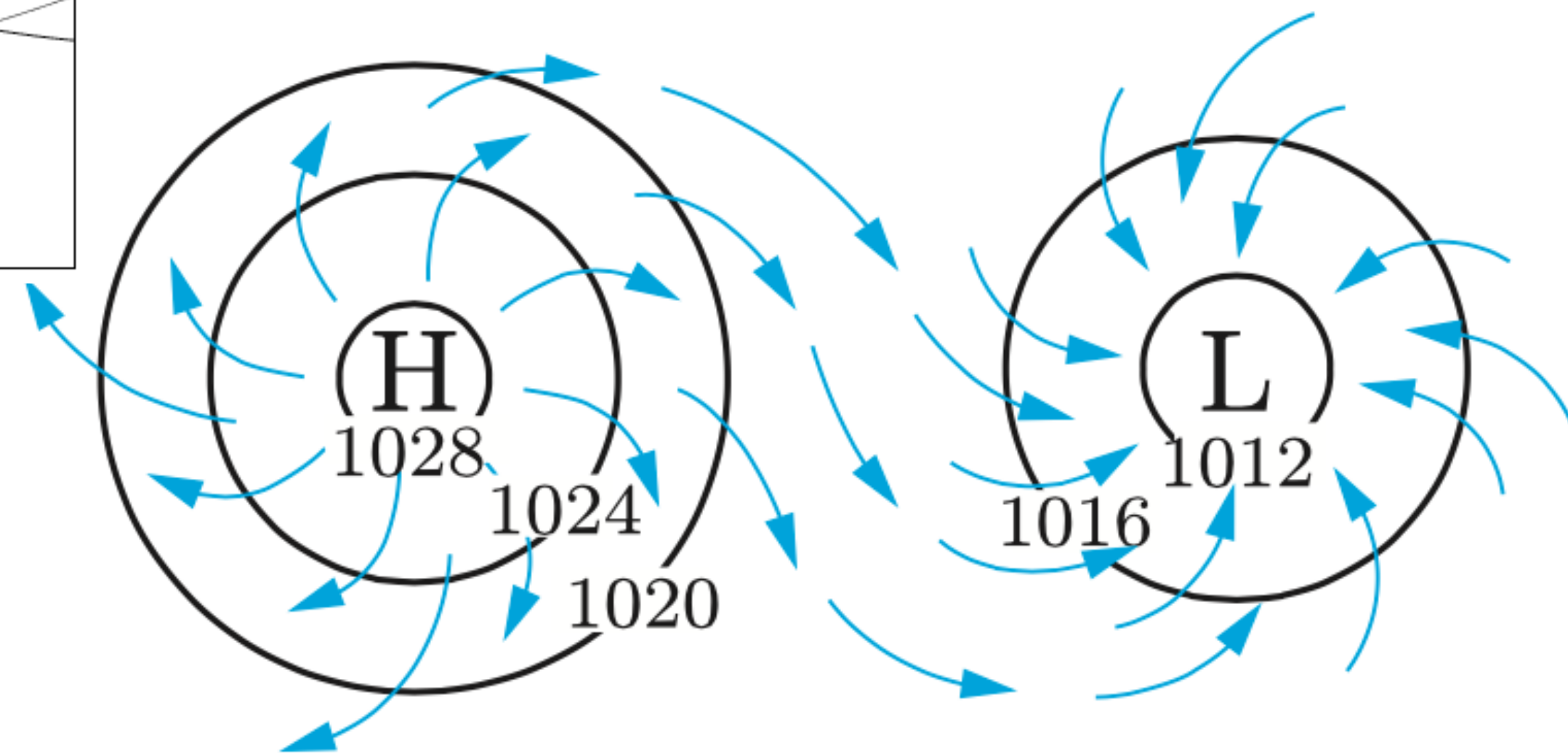
高気圧と低気圧



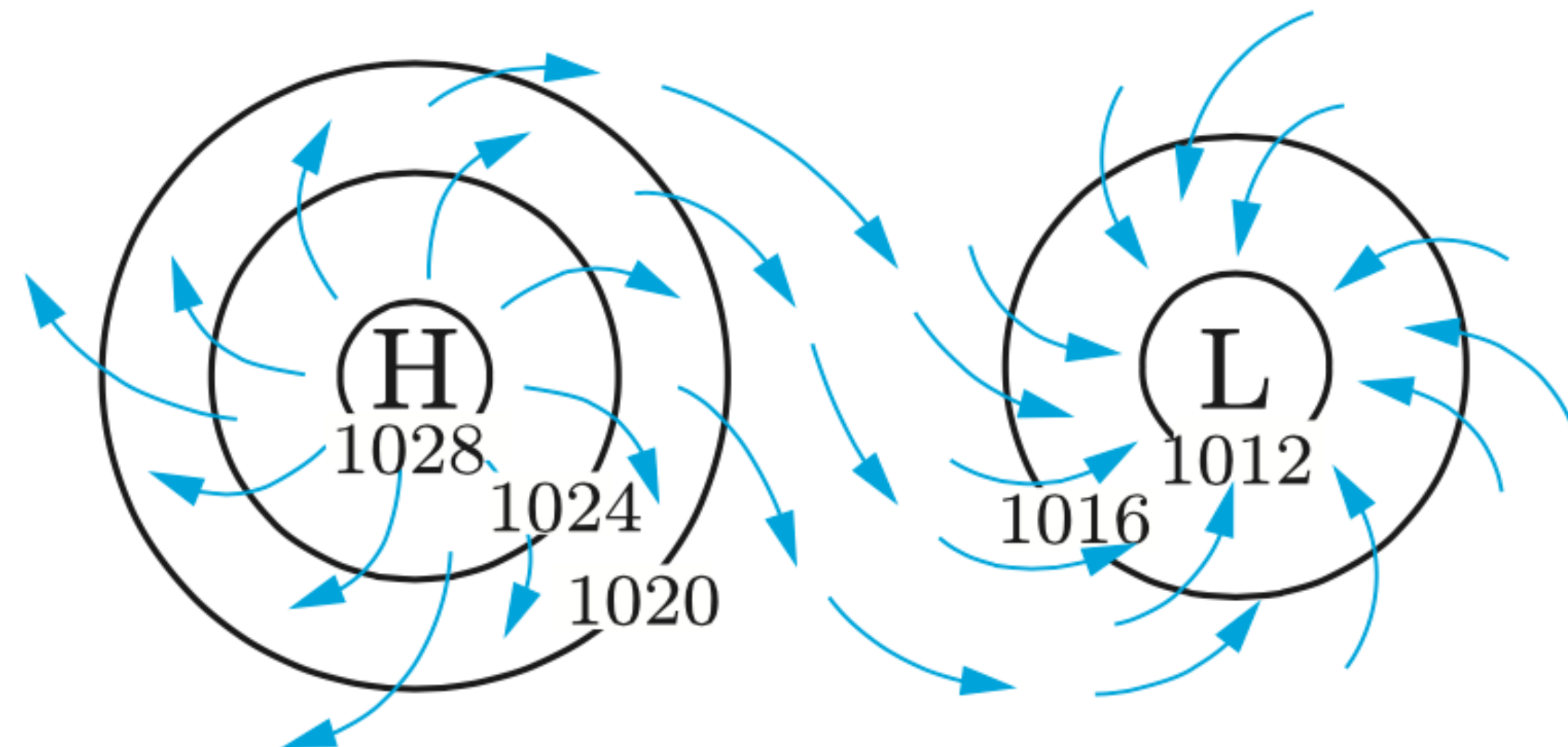
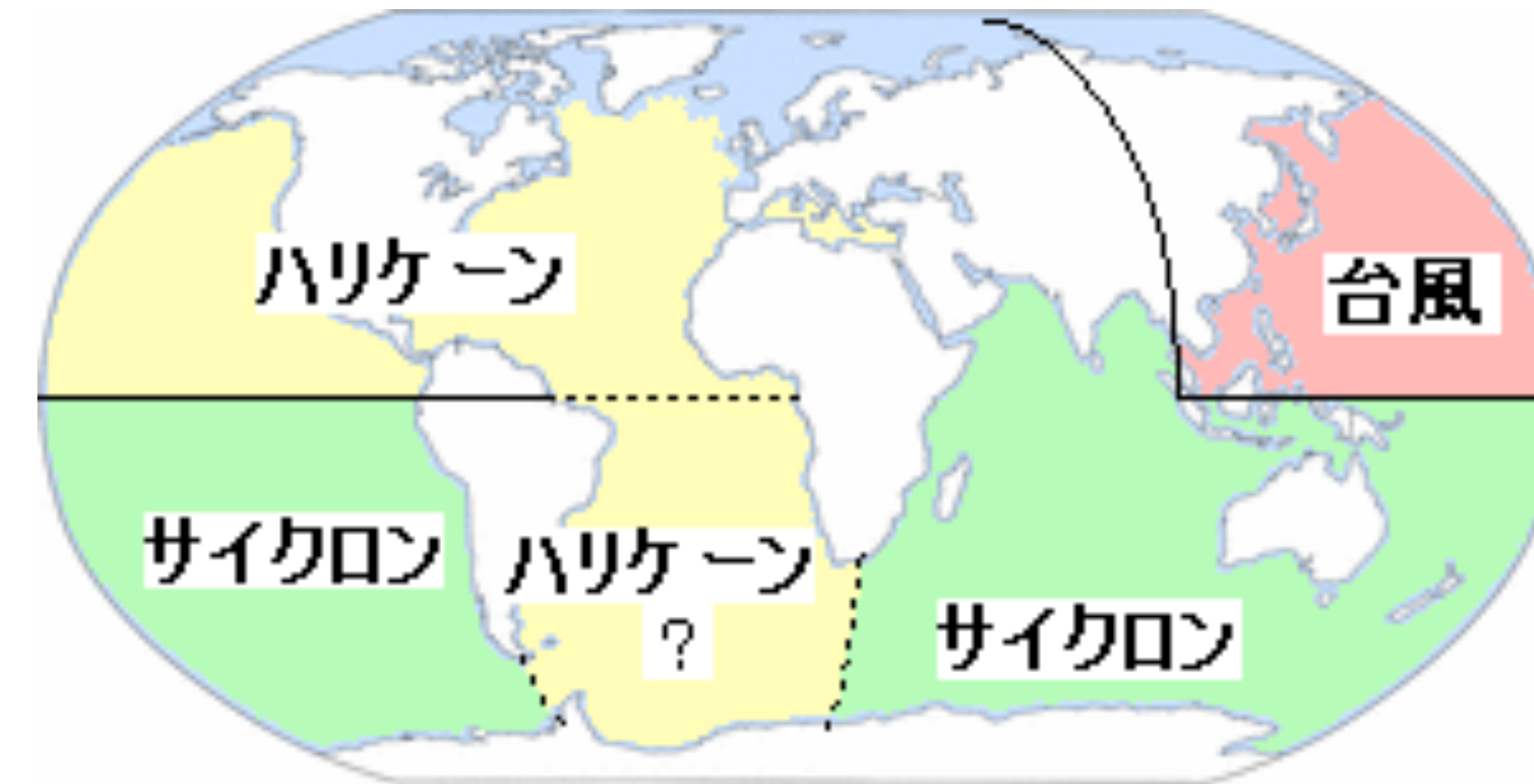
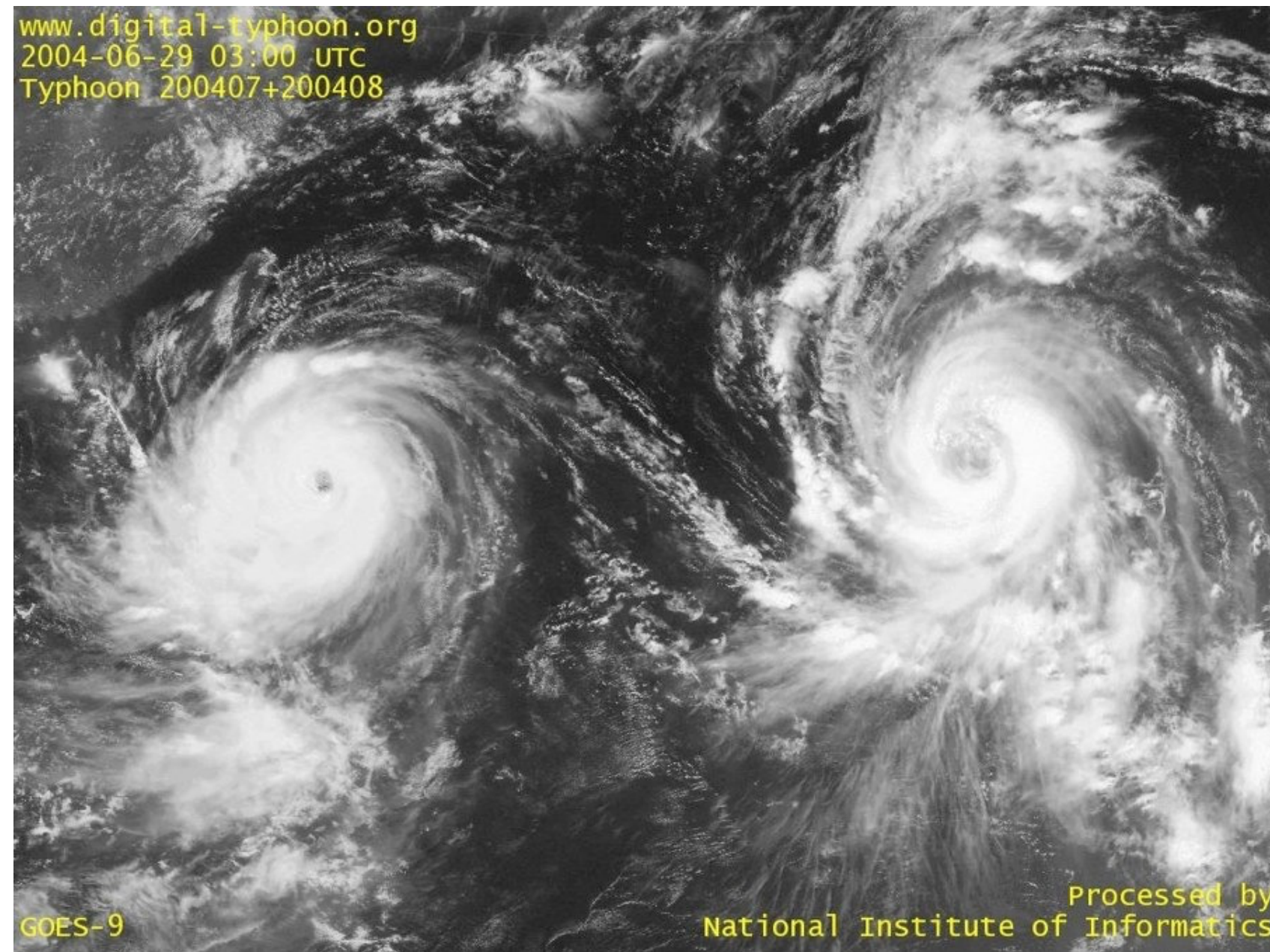
Topic 高気圧, 低気圧

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).

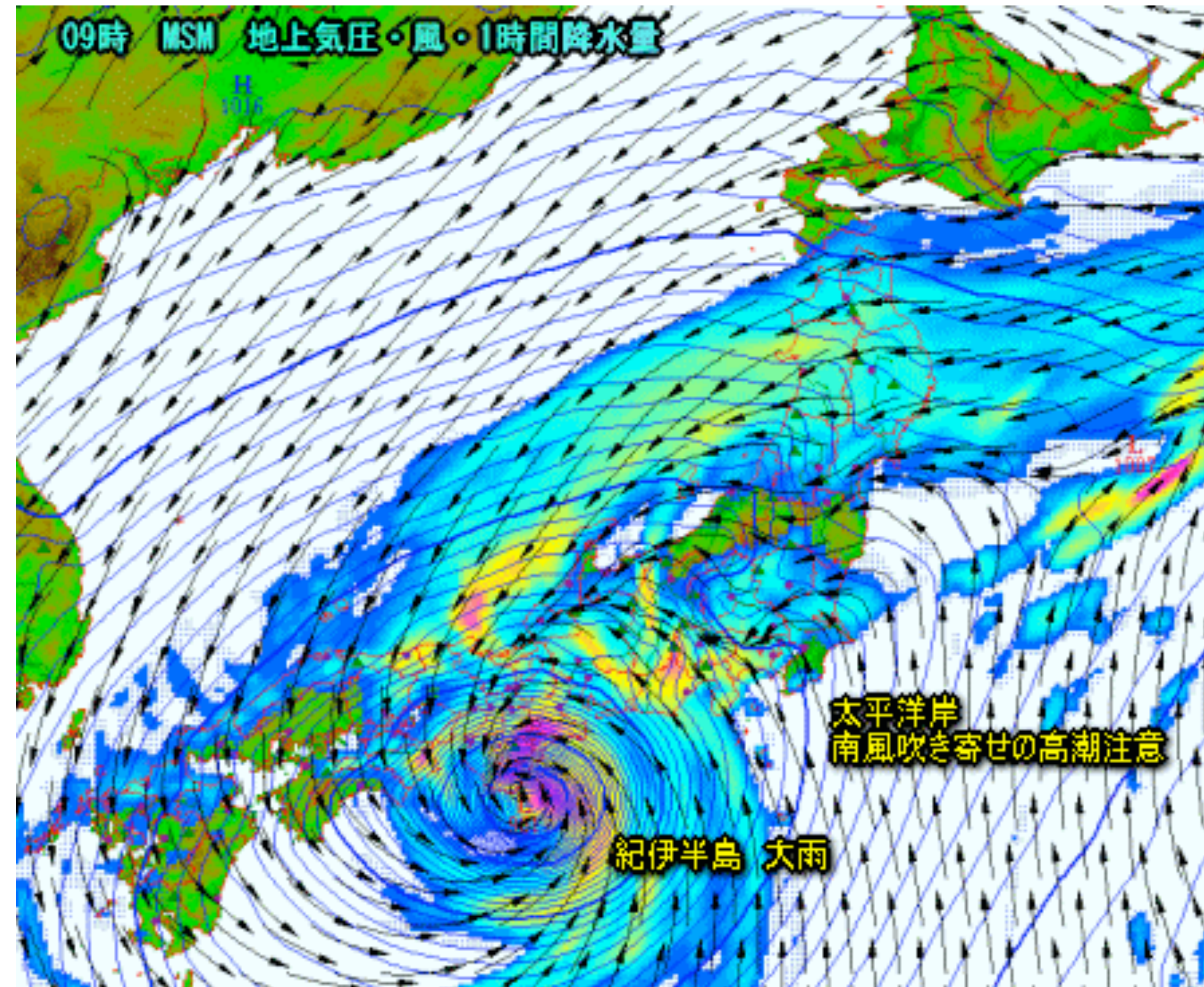
高気圧の部分では, 上空から大気が流れる下降気流になる. 下降気流では, 雲が発生しにくいいため好天になりやすい. 一方, 低気圧の部分では, 流れ込んだ大気は上昇気流となって上空へ移動するが, 今度は, 雲ができ雨が降りやすくなる.



台風はなぜ反時計まわりか？

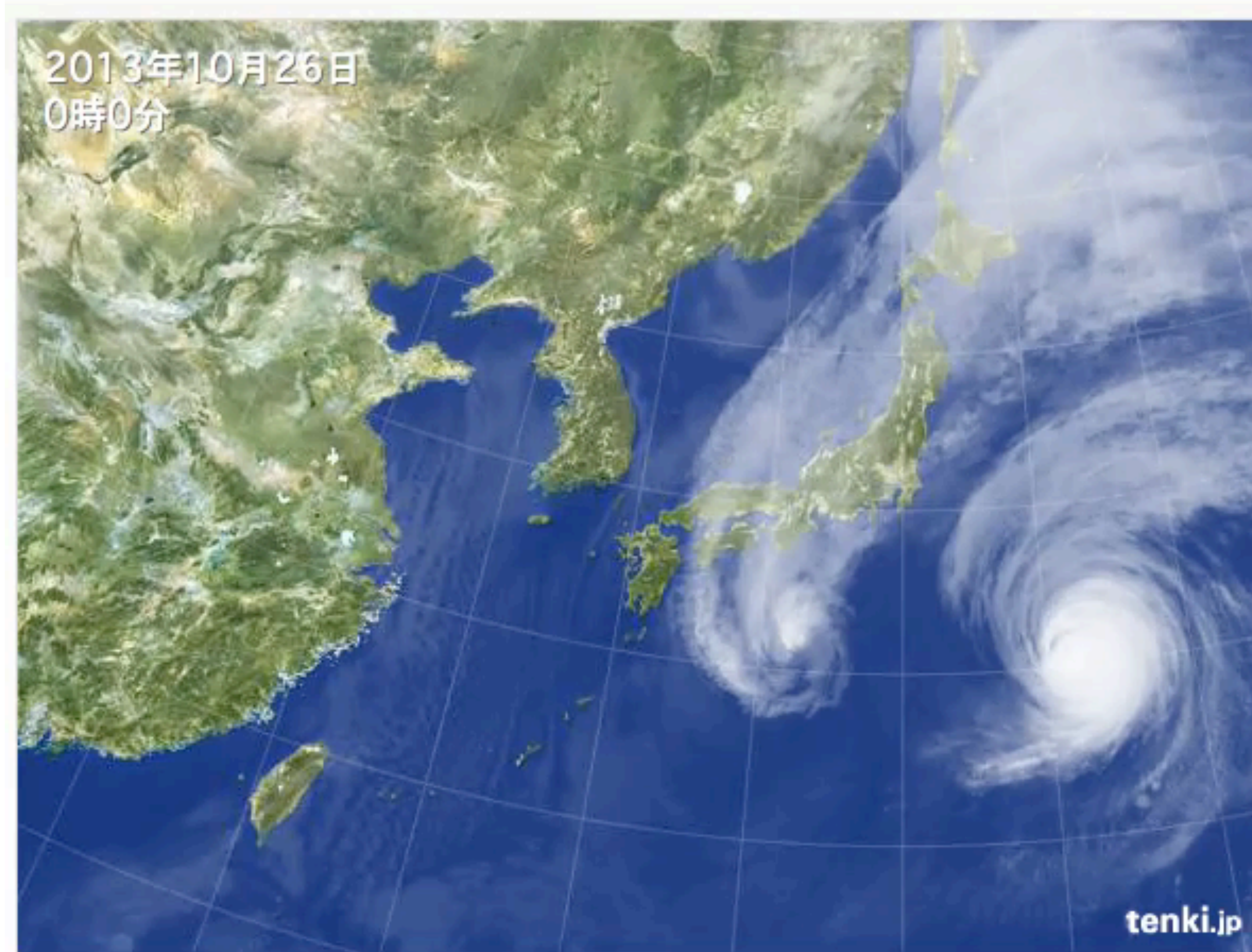


台風はなぜ反時計まわりか？



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

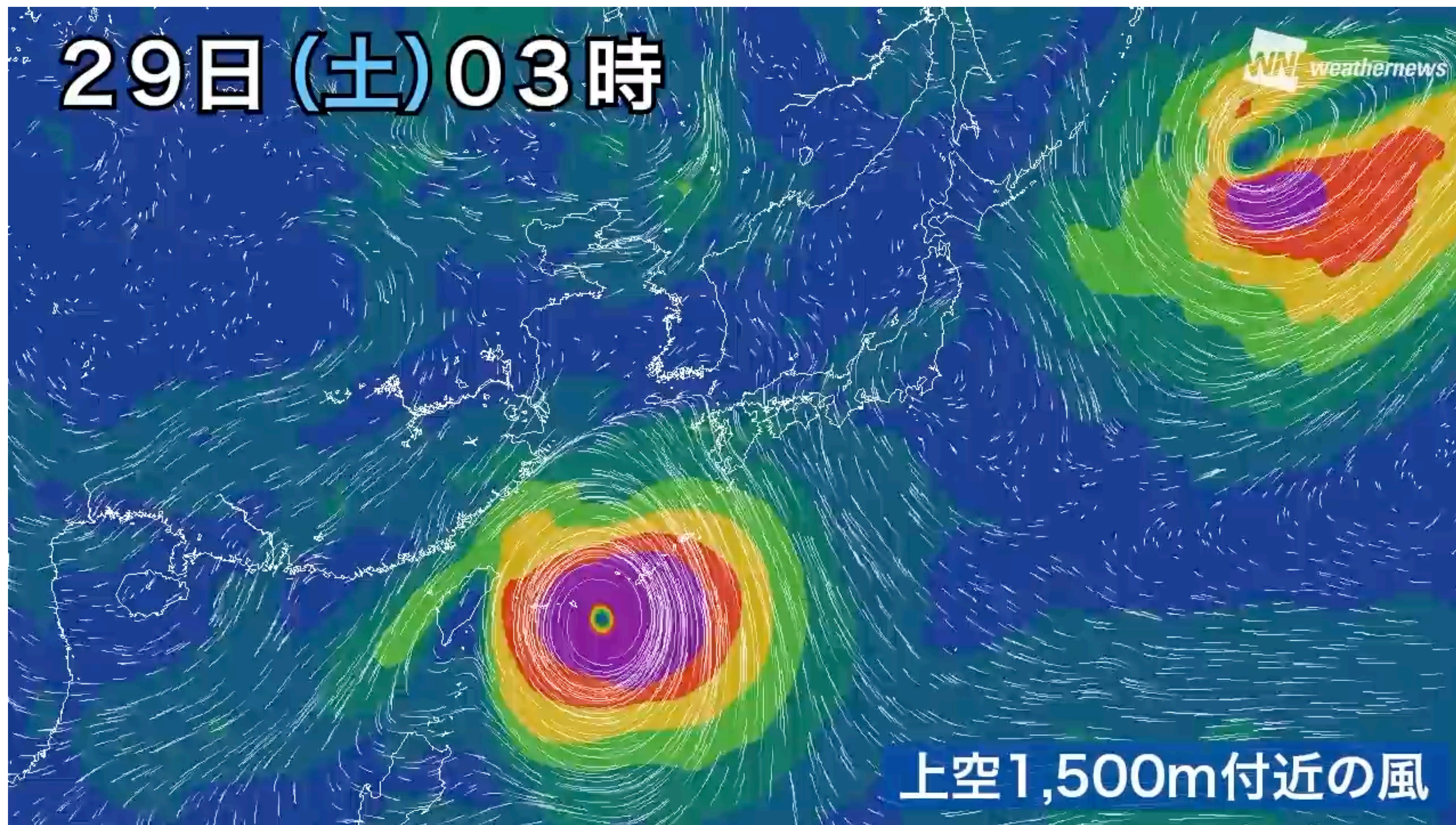
2013年10月24日から26日



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>

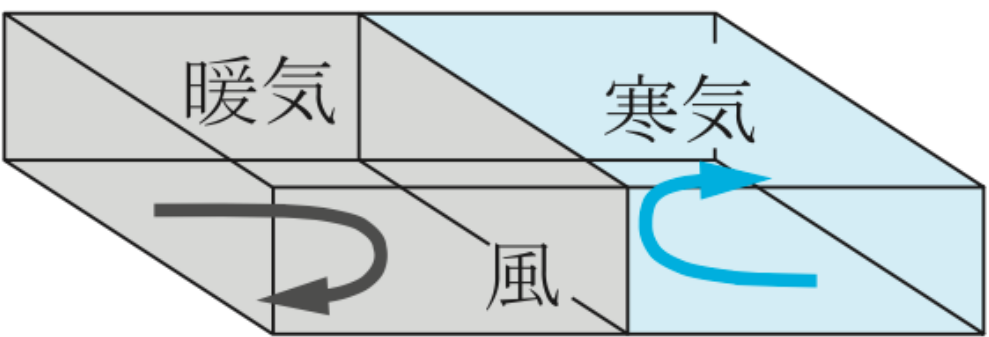


【赤道のハナシ】 #02 『「赤道」実験の真実』

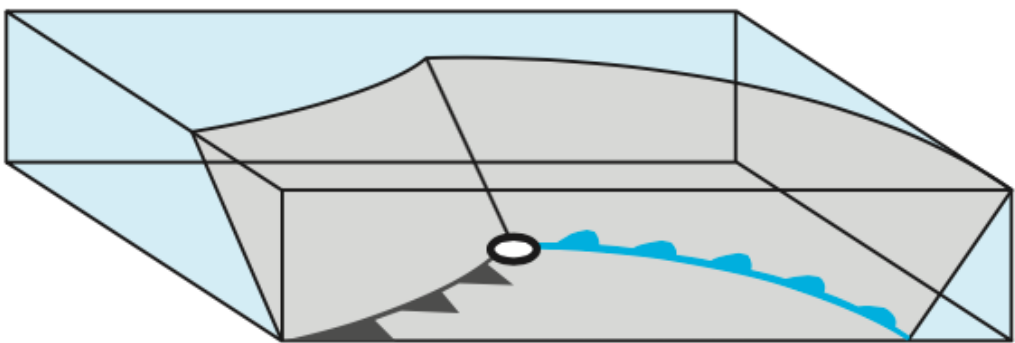
<https://www.youtube.com/watch?v=sqHwSKo6l4k>

温暖前線(hot front)・寒冷前線(cold front)

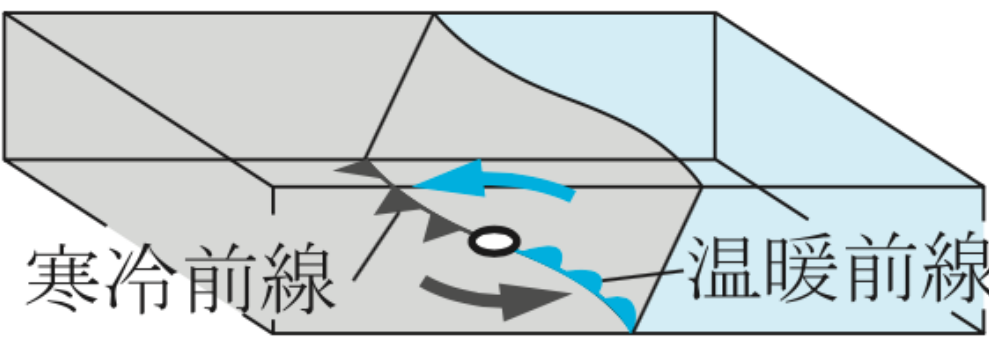
教科書 p108



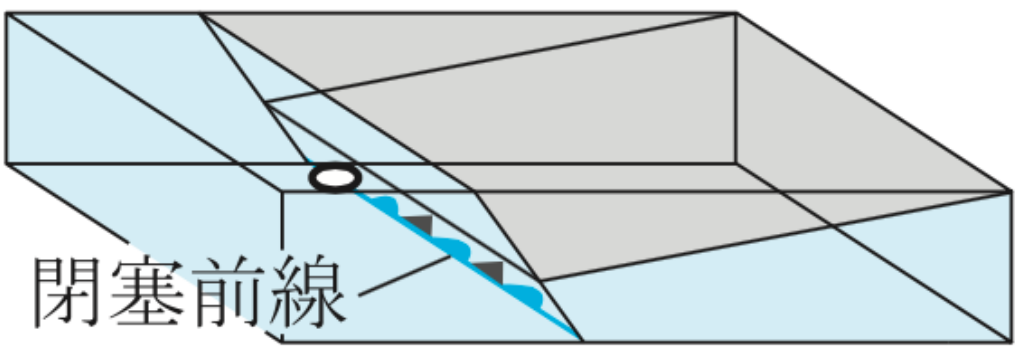
(a) 暖气と寒气



(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

短時間に強い雨

積乱雲

暖气が寒气におされて急上昇

暖气

冷气

寒冷前線

寒气が暖气の下にもぐりこむ

低

暖气

雨域

温暖前線

寒冷前線

暖气

長時間に弱い雨

乱層雲

暖气が寒气の上にはい上がる

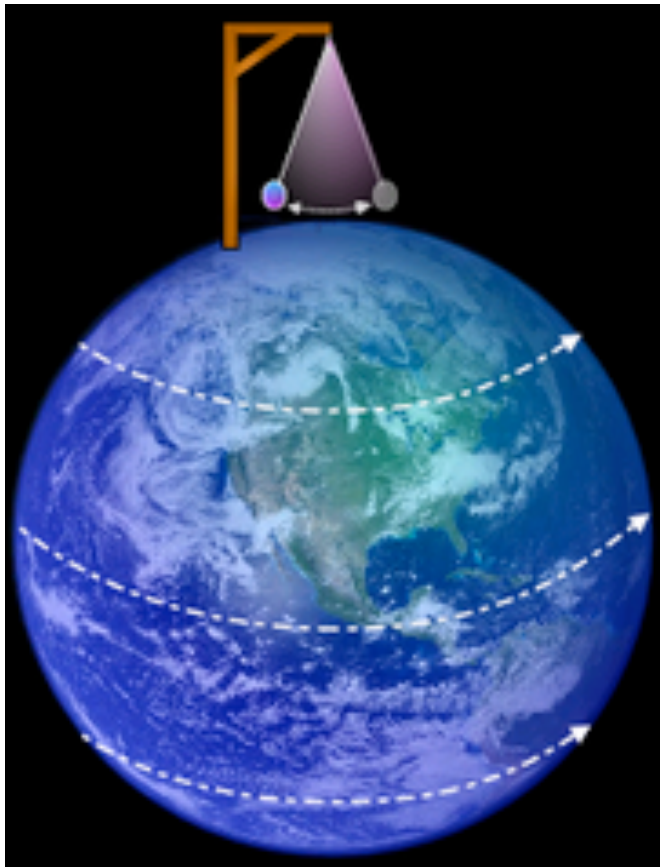
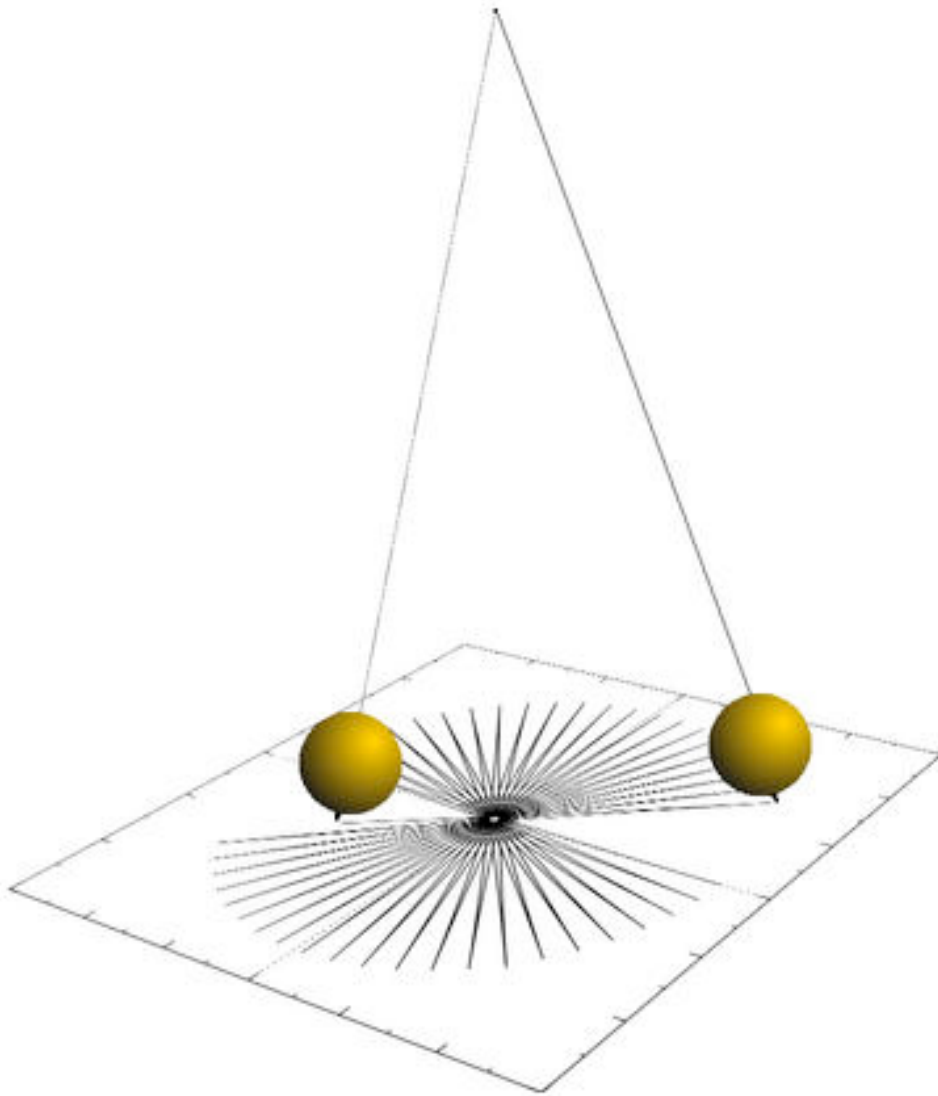
暖气

温暖前線

冷气

フーコーの振り子

Foucault pendulum

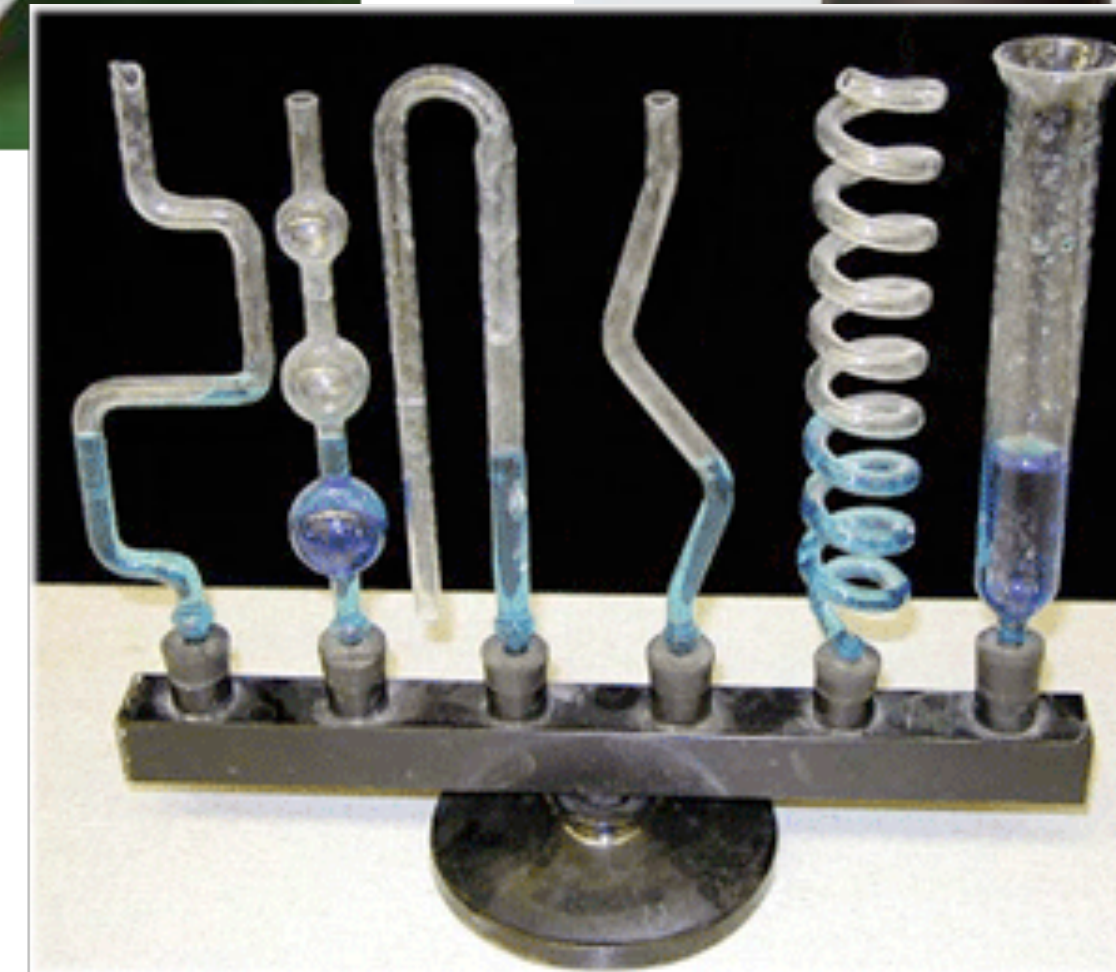


1851年，地球が自転していることを証明した.

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 67 m のワイヤーで 28 kg 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 θ 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

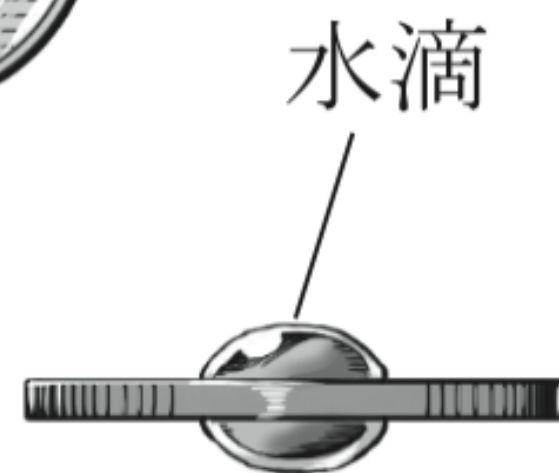
3.3 流体の動き—飛行機はなぜ飛ぶか

100

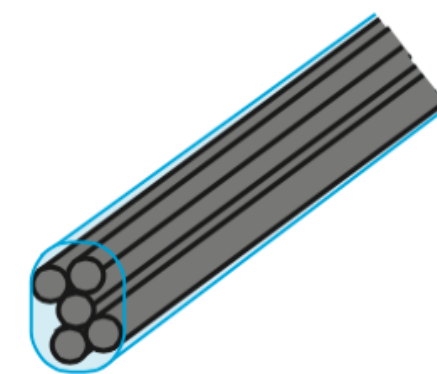
力10

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.

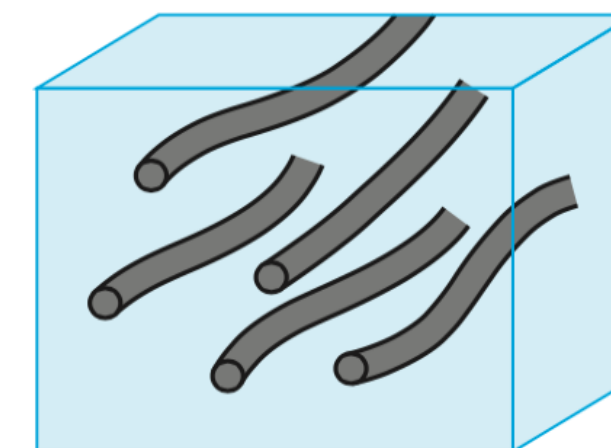


風呂上がりの髪



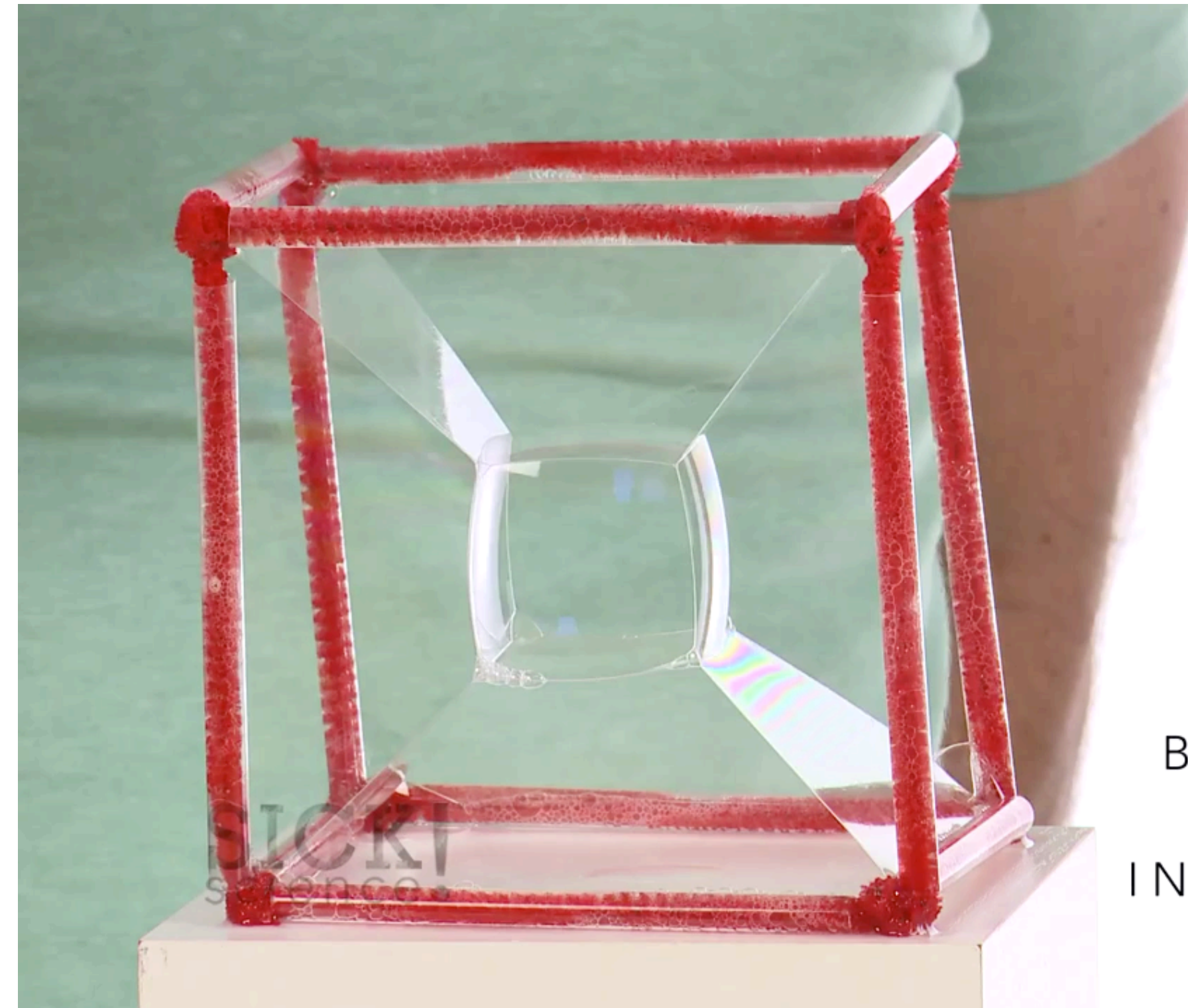
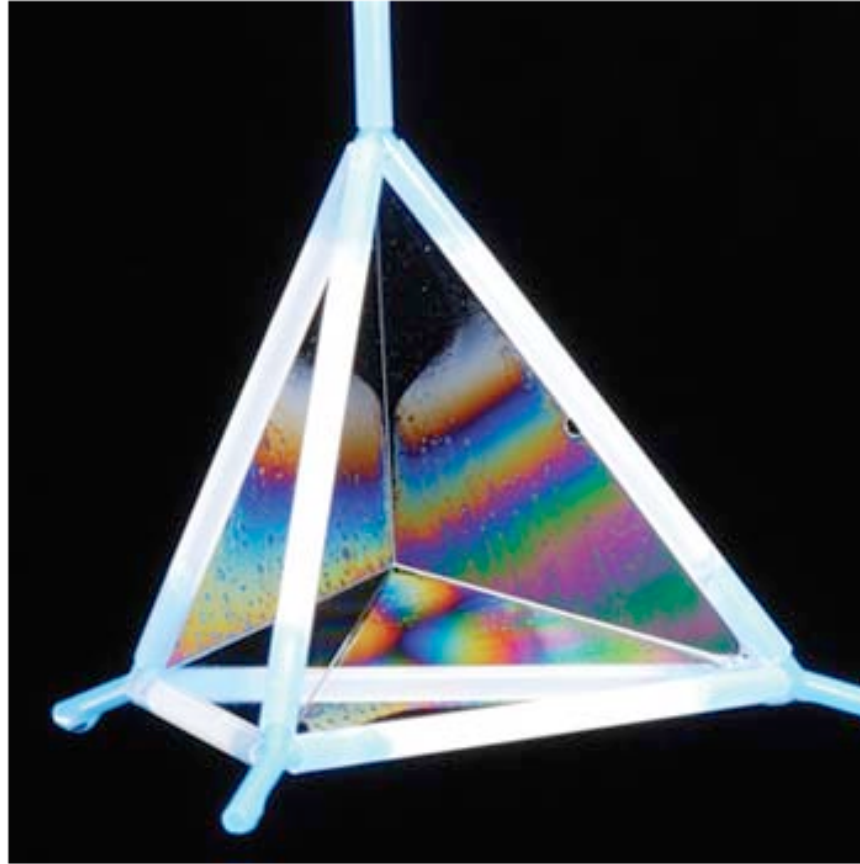
(a) 表面張力でくっつく

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>

表面張力の実験



SPORTbible Australia ✓

5日 · 🌐

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

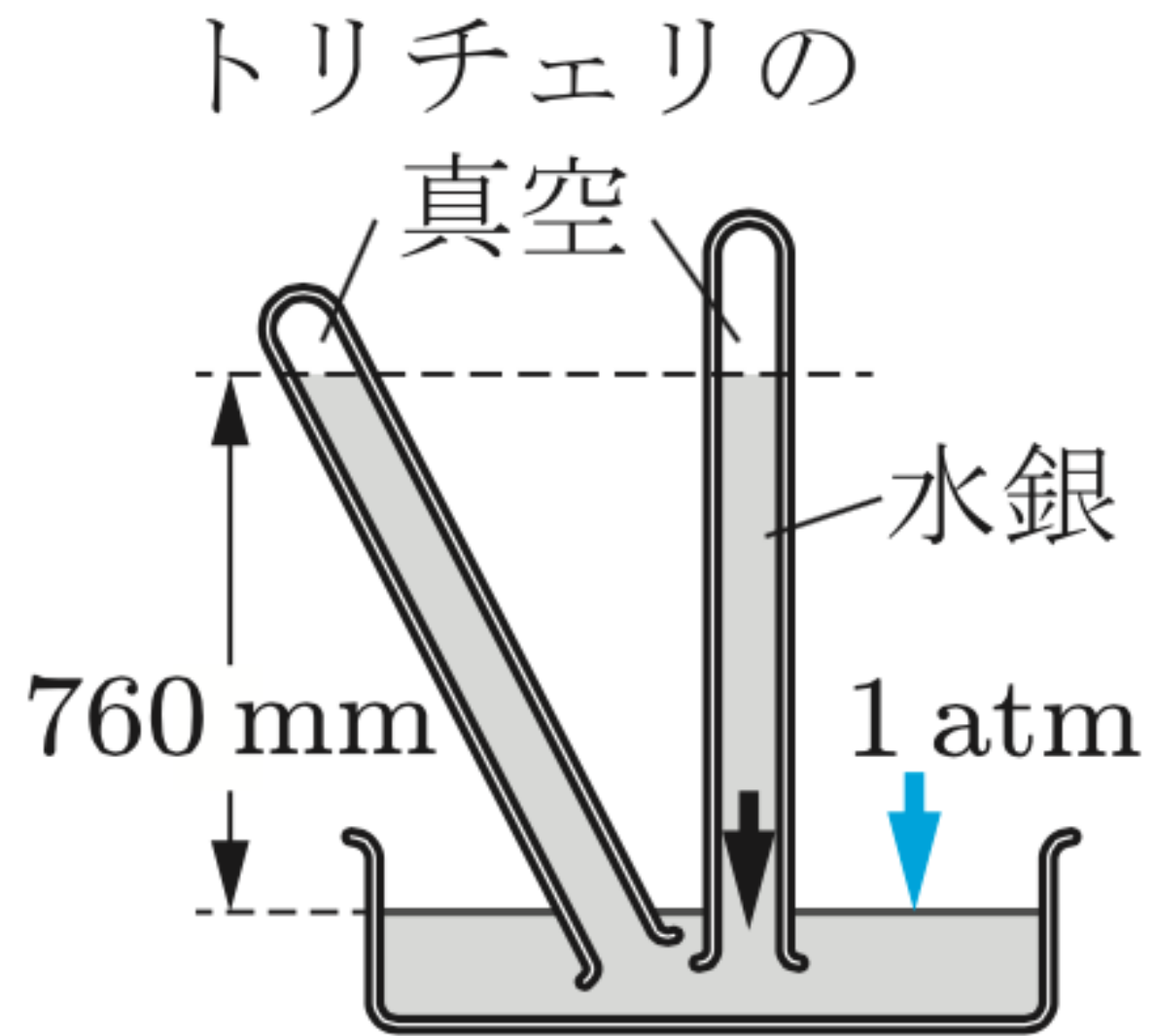
<https://www.facebook.com/sportbibleaustralia/videos/403130368695772>

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



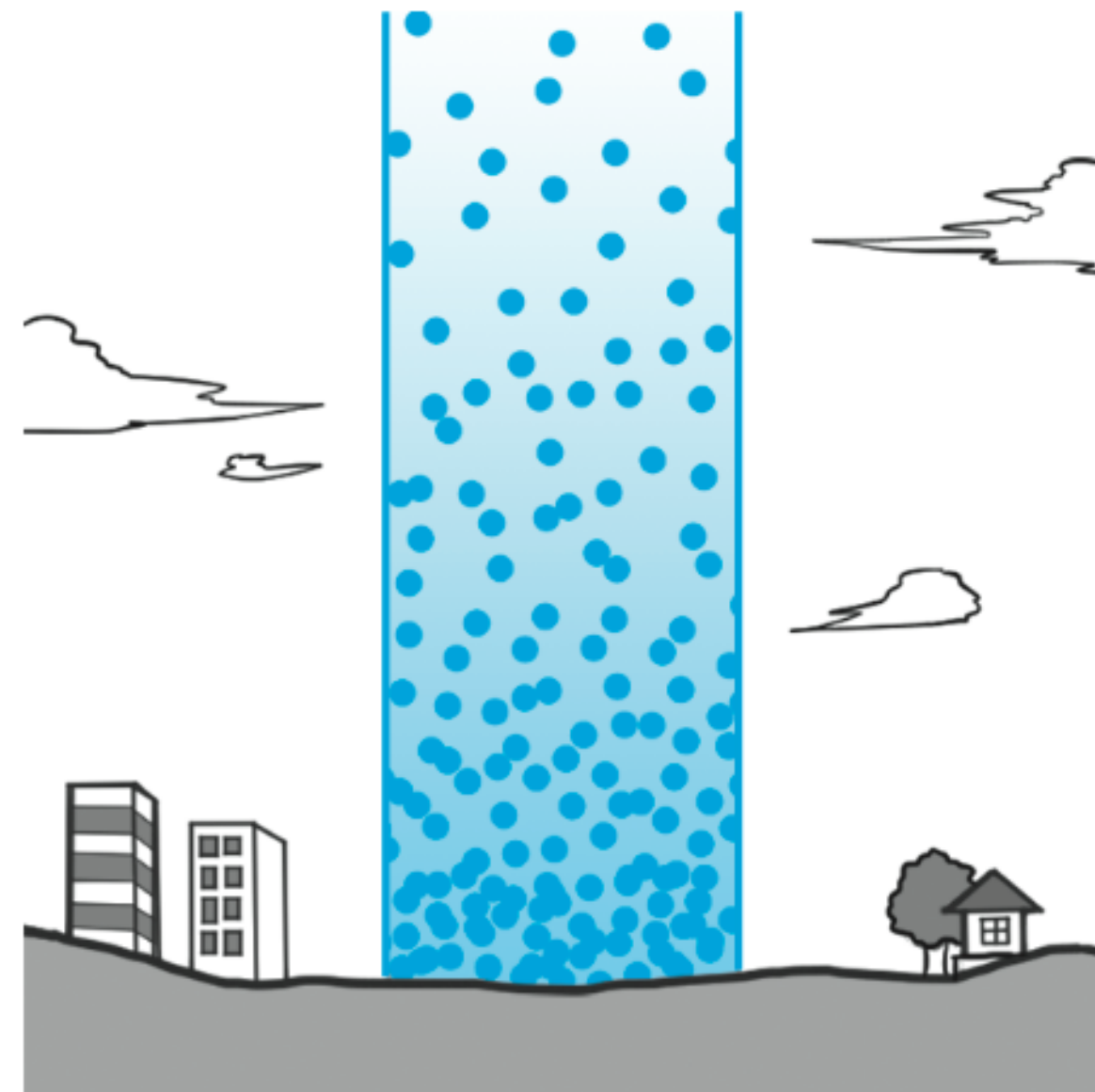
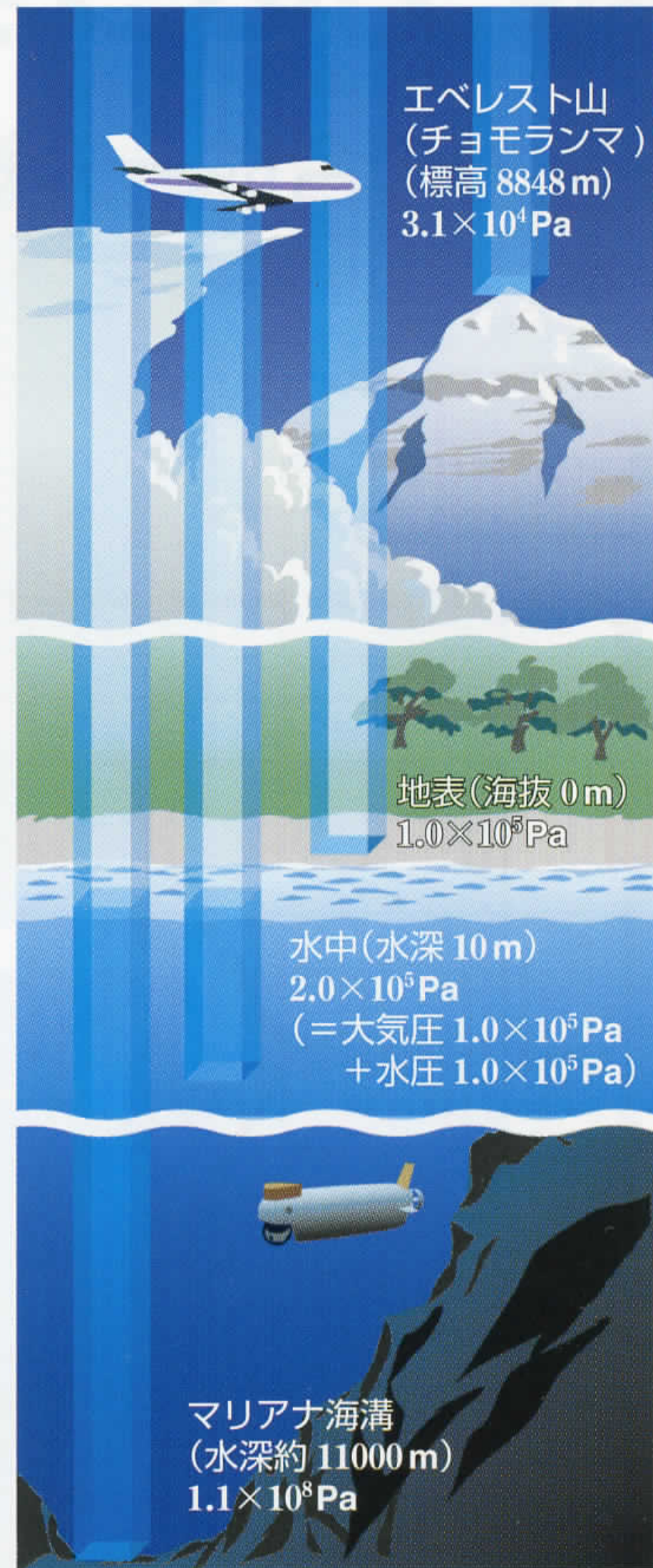
ドイツのゲーリケ（当時のマグデブルグ市長）が17世紀半ばに行った大気圧の大きさを示す実験。2つの金属製半球容器を合わせて中の空気を抜くと、ぴったりくっついて外れなくなった。両側から馬8頭ずつで双方から引っ張ってもなかなか外れない様子が描かれている。（ちなみに、作用反作用の法則により、片側を固定して馬8頭で引っ張っても同じである。）



大気圧の大きさを示した

圧力

●大気圧と水圧



【大気圧】

大気圧は空気の重さによって大気中にはたらく圧力のこと。



定義 圧力

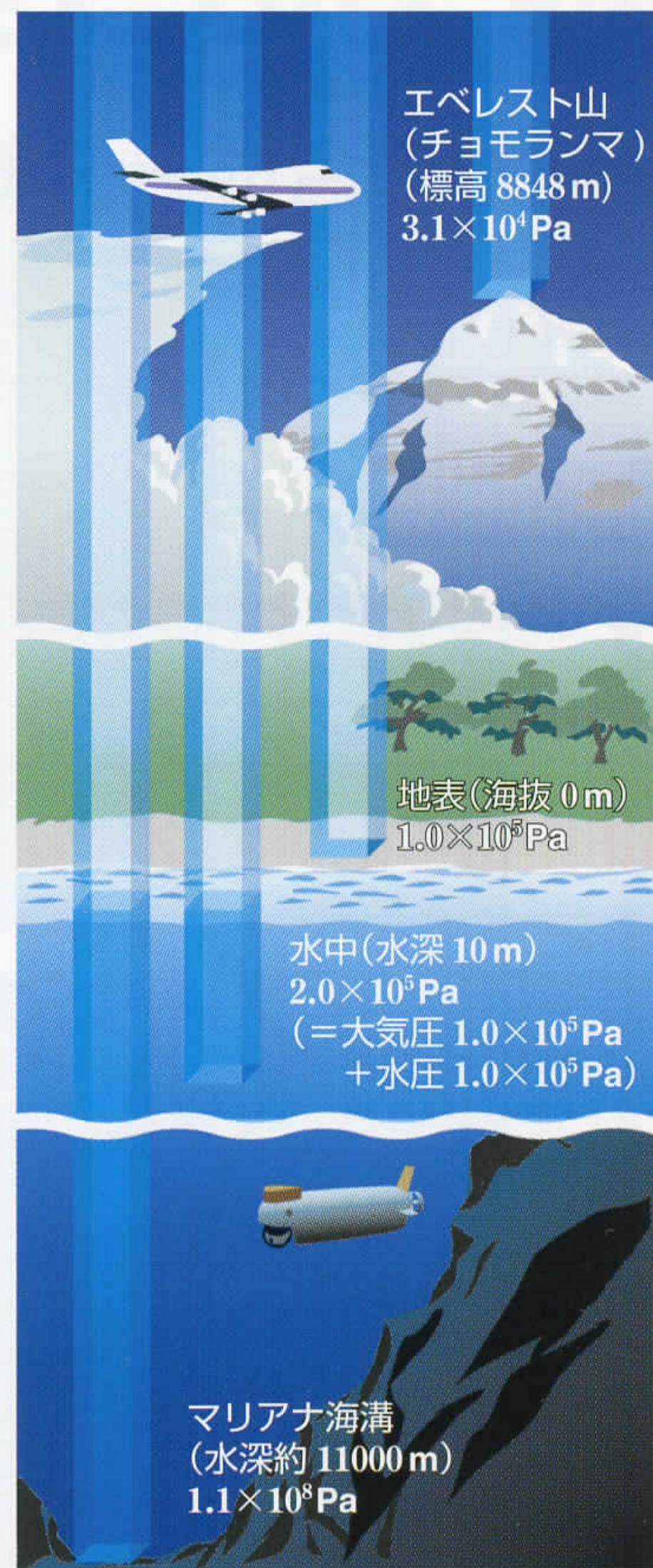
単位面積あたりにはたらく力を圧力 p という。

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

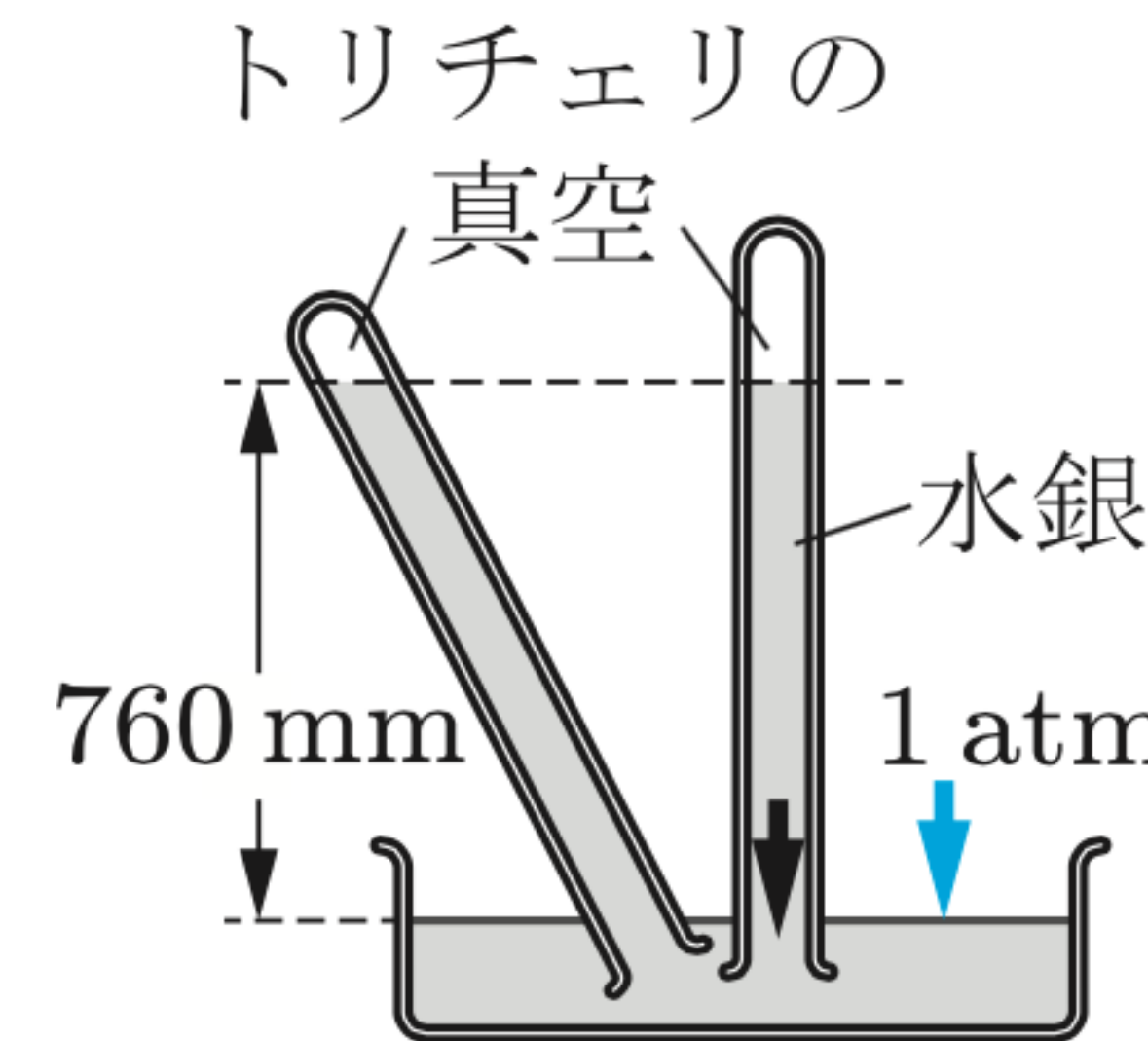
単位は [Pa] (パスカル) である。

気圧の単位

●大気圧と水圧

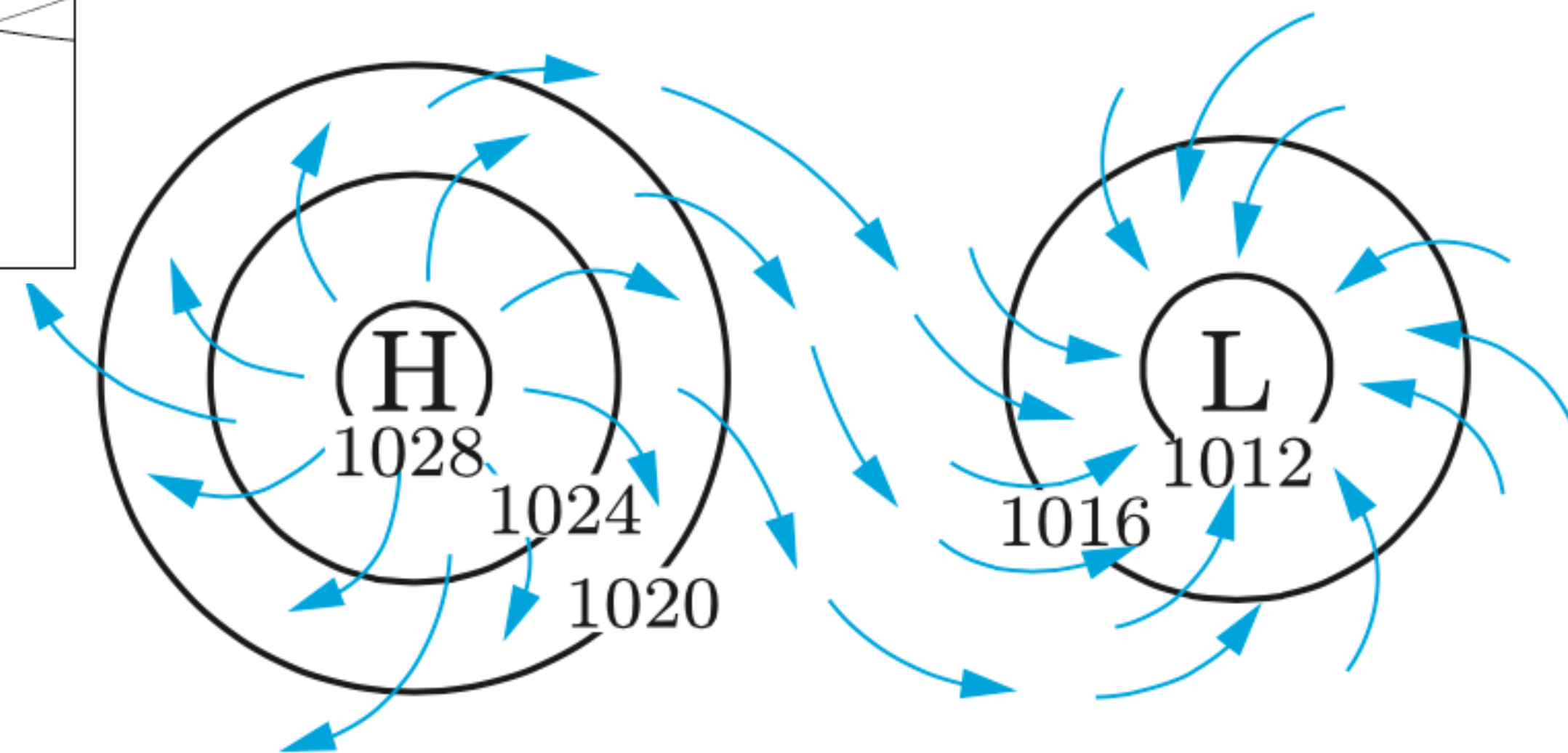


- ★地表付近の気圧を「1 気圧」という.
 - ★水銀柱の高さは、760mmなので、
「1 気圧」 = 「760 mmHg」
 - ★1 気圧にほぼ等しい単位として、
「1 気圧」 = 1.01325 b (バール)
= 1013.25 mb (ミリバール)
 - ★国際単位系に合わせるため、
日本の天気予報では1992年から
「1 気圧」 = 101325 Pa (パスカル)
= 1013.25 hPa
- 1 気圧 = 「親指の爪(1 cm 四方) に1kgくらいの力」



[illegible]

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。

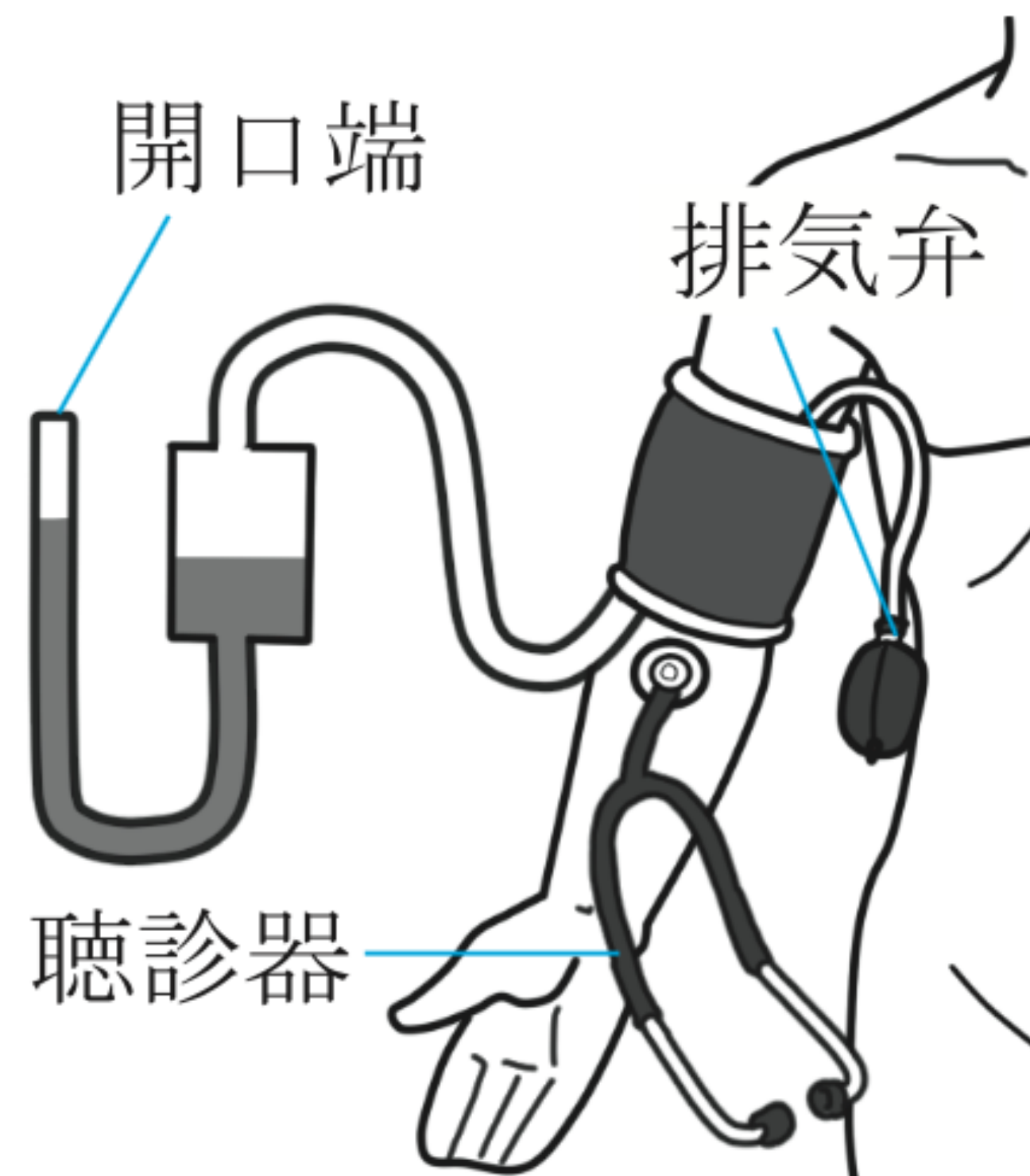


血圧計のしくみ

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 ↓

睡眠中 ↓

入浴 - 適温 ↓

適度の飲酒 ↓

温暖時 ↓

リラックス ↓

麻酔 ↓

肥満 ↑

午後 ↑ 食後 ↑ 運動後 ↑

熱い風呂 ↑

過度の飲酒 ↑ 喫煙 ↑

寒冷時 ↑

ストレス ↑

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

気圧差で外に強く引はられるから。引き戸だと開かない。

空気は気圧が高い方から低い方へ移動するため引き戸だとドアがあかないから。

引き戸の場合、大阪側の気圧が高いので戸が開かないと考えた。

富士山の山頂の方が気圧が低いので、むしろ地上側からかかって押し戸の方が開きやすくなる。

押し戸がいい。気圧が山頂は低いから高い自身の地点から、気圧を送り込めばいいと思う。だから。

富士山の方が気圧が低い。気圧は高いところから低いところへ流れるので押し戸。

山頂は空気がうすいので引いて開けるよりも押す方が自分の力を加えられる。

引き戸だと空気が入っているようにして重くなるから。

気圧が高い(大阪)ところから低い(富士山)のところへ行くので、押し戸の方が良い。

押し戸だと、大阪側では気圧が高くて、富士山側では気圧が低いので、大阪側から富士山側へ行くときに、ドアが重くて開けられない。引き戸だと、富士山側では気圧が低くて、大阪側では気圧が高くて、富士山側から大阪側へ行くときに、ドアが軽くて開けやすい。

引き戸がよい

これには気圧が関係していると思う。山頂は気圧が低いので、ドアを引くことで内側の空気は外側の空気圧に抵抗できると考えるため。

もし、押し戸を開けた瞬間、大阪の空気が入って来て、押し戸を閉めにくいため、引き戸の方がよい。

引き戸。押し戸だと開けなそうだから。

押し戸だと、山頂の気圧が低いので、部屋から山頂への風でドアが閉められなくなるから、引き戸がよい。

引き戸がいいと思う。
押し戸だと空気抵抗があると思ったから。

高度が上がると気圧が下がるためトビウバ門が開けにくくなるから。

地上より気圧が低いので、押し戸だと勢いよく開いてしまうのではないかと考える。

引き戸。富士山の方が気圧が重くて押さないとと思う。

押し戸だと、大阪から富士山へ行く時に、ドアが重くて開けられない。
引き戸は、横にスライドするため、押し戸よりも楽に開けられる。

→ 富士山の山頂は気圧が低く、大阪の気圧のほうが高い状態になる。
引き戸であれば高い気圧がドアを押し出してくれるため開けやすくなる。



2002年センター試験「総合理科」第5問

B

さとし ジャあ、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 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 $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ 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 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^2 とする。

- 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、

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

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、イヤ、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 cm^2)

足4本

体重 5000kg



ハイヒール

1cm角 or 2cm角
(面積 1 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 cm²)

足4本

体重 5000kg

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

[kg/cm²]

ハイヒール

1cm角 or 2cm角
(面積 1 cm²)

足2本

体重 40kg

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

[kg/cm²]

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

〈ハイヒール〉 40
総重力 = 40kg = 400N 5000
総面積 = 1cm² × 2 = 0.0002m²
400 ÷ 0.0002 = 2000000 10
〈象〉 20
総重力 = 5000kg = 50000N 400
総面積 = 2000cm² × 4 = 0.8m² 500
50000 ÷ 0.8 = 62500
2000000 ÷ 62500 = 32
A. ハイヒールは象の32倍

1. $\frac{40 \times 1}{1 \times 8} = 20$ 2. $\frac{5000 \times 1}{2000 \times 4} = \frac{5}{8} = 0.625$
ハイヒールはゾウの32倍踏む圧力がある。

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

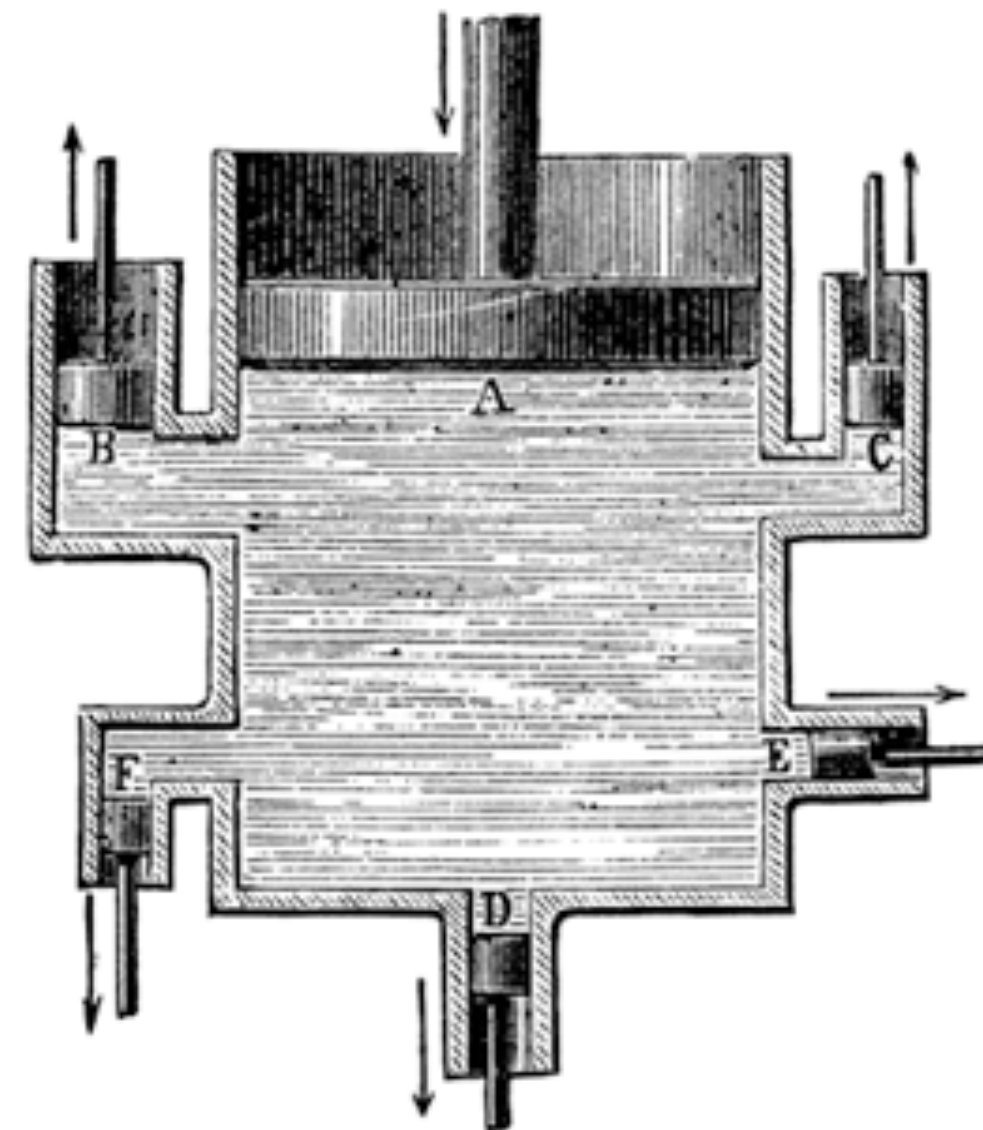
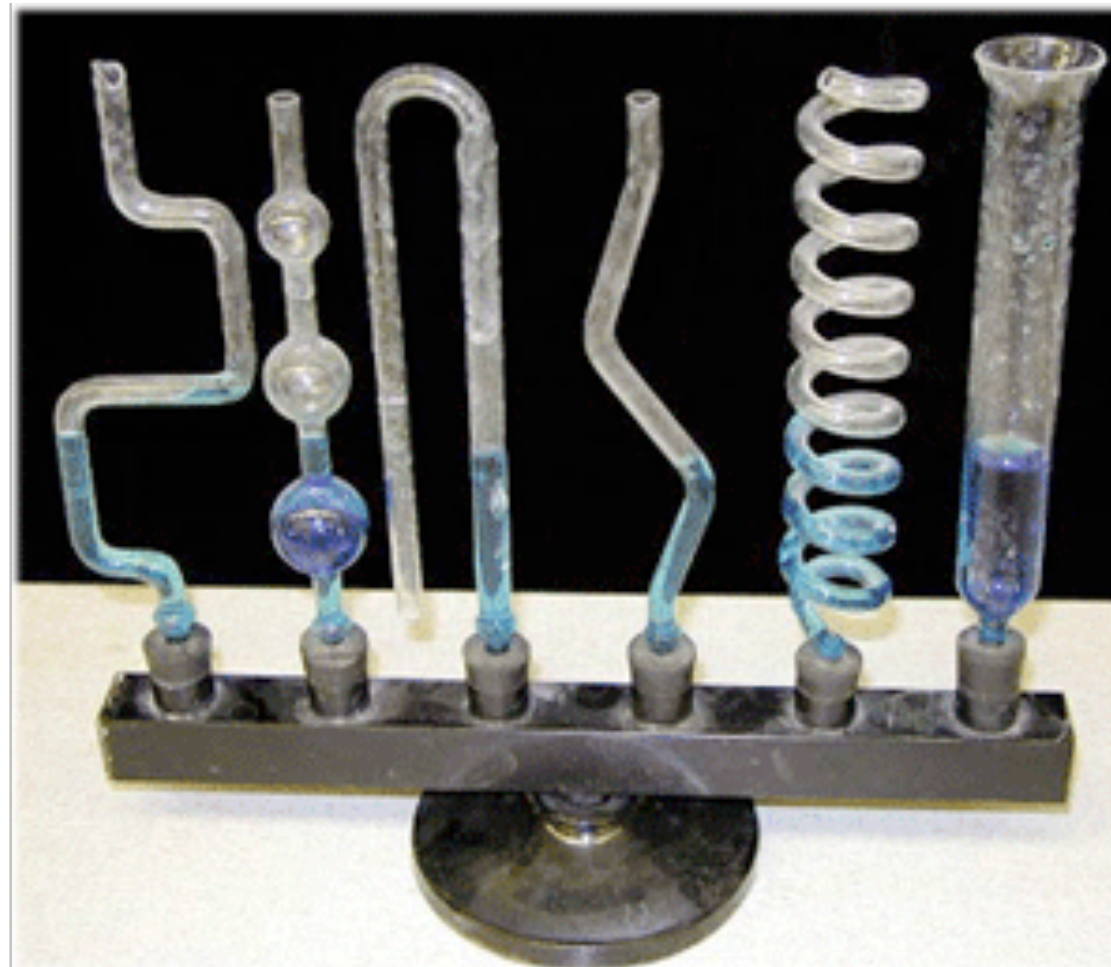
パスカルの原理

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

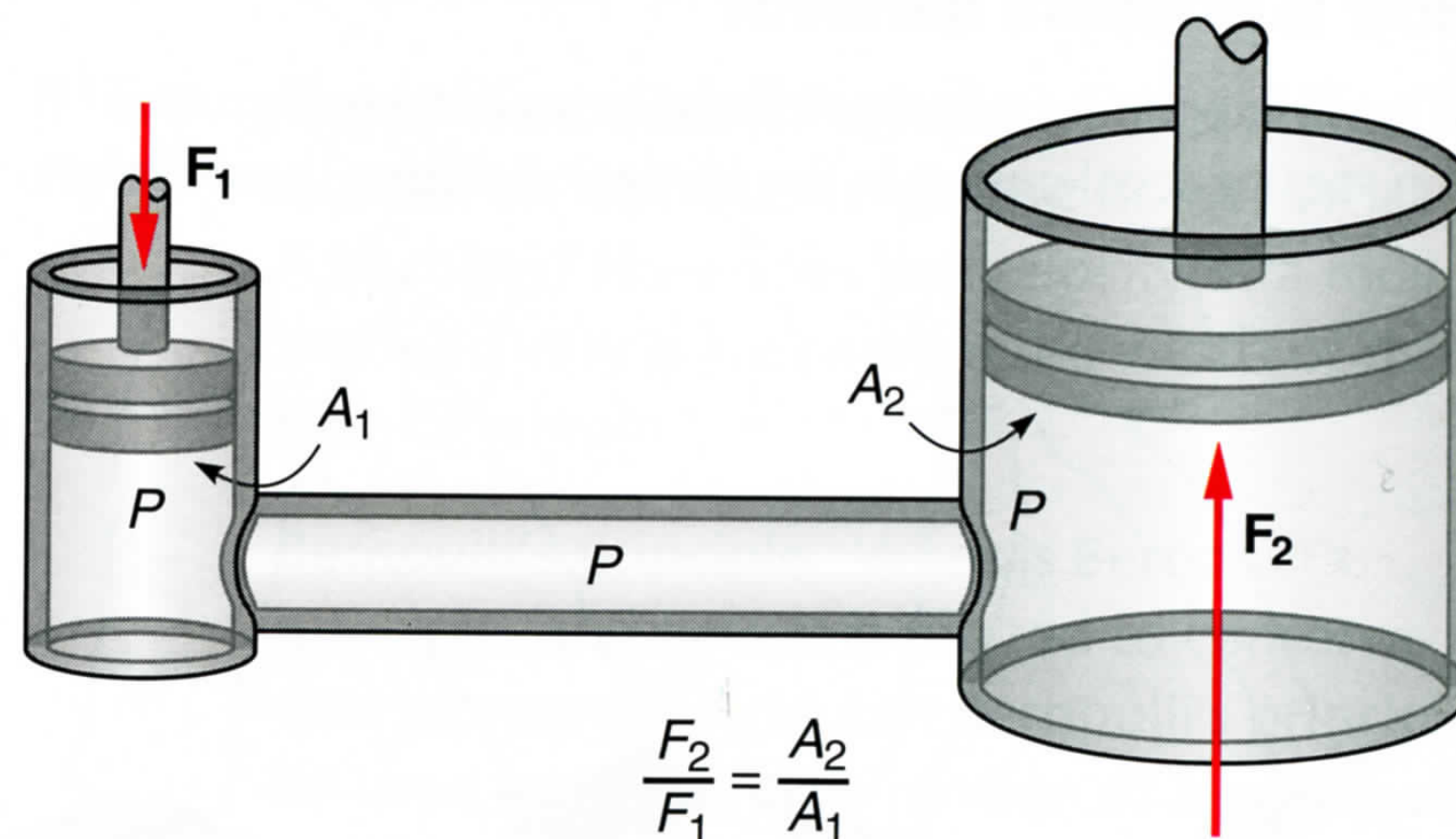
法則 パスカルの原理

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く。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）。

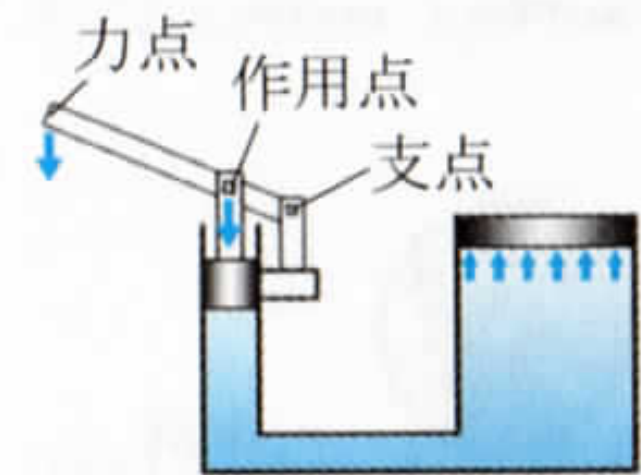
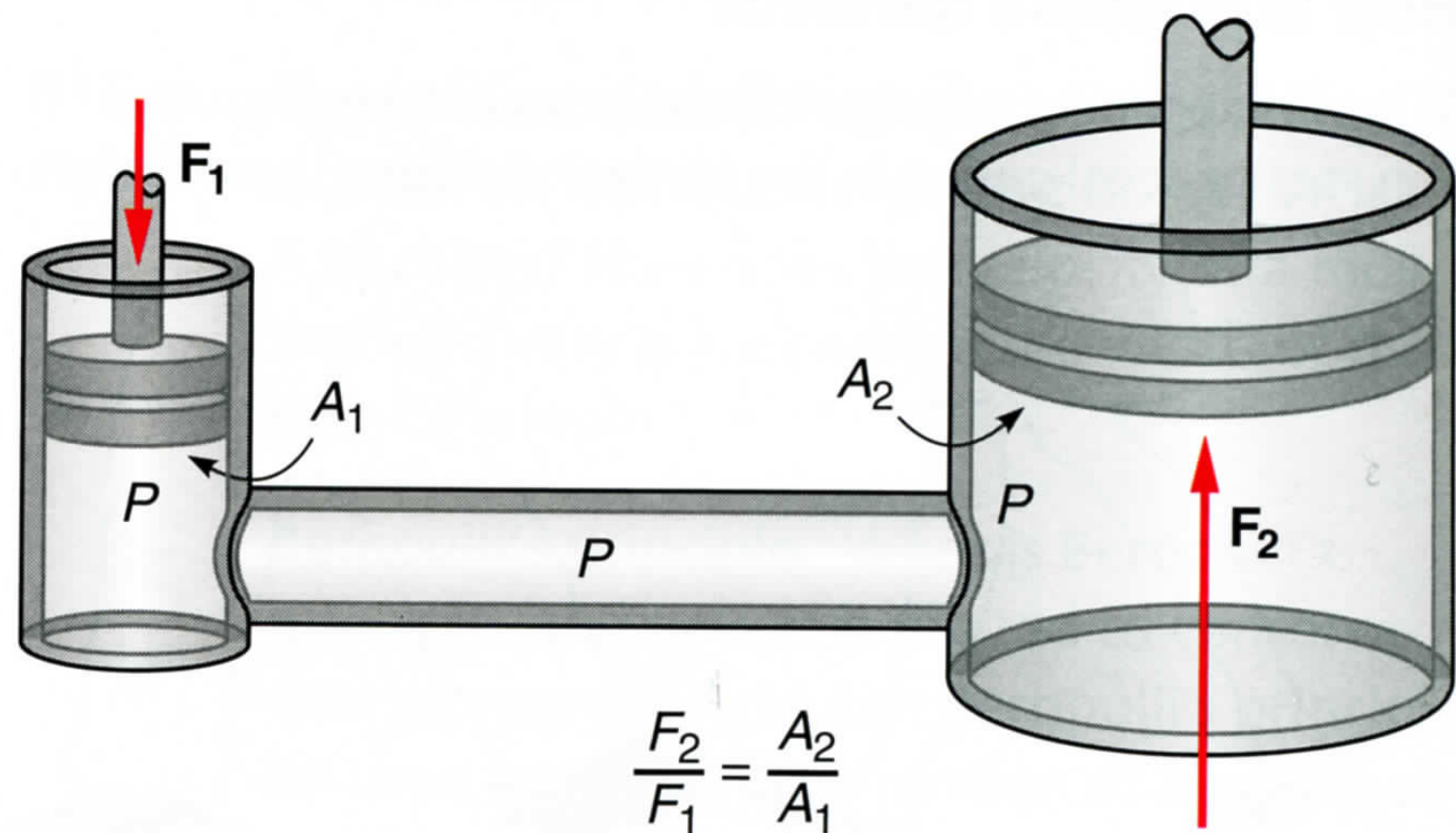
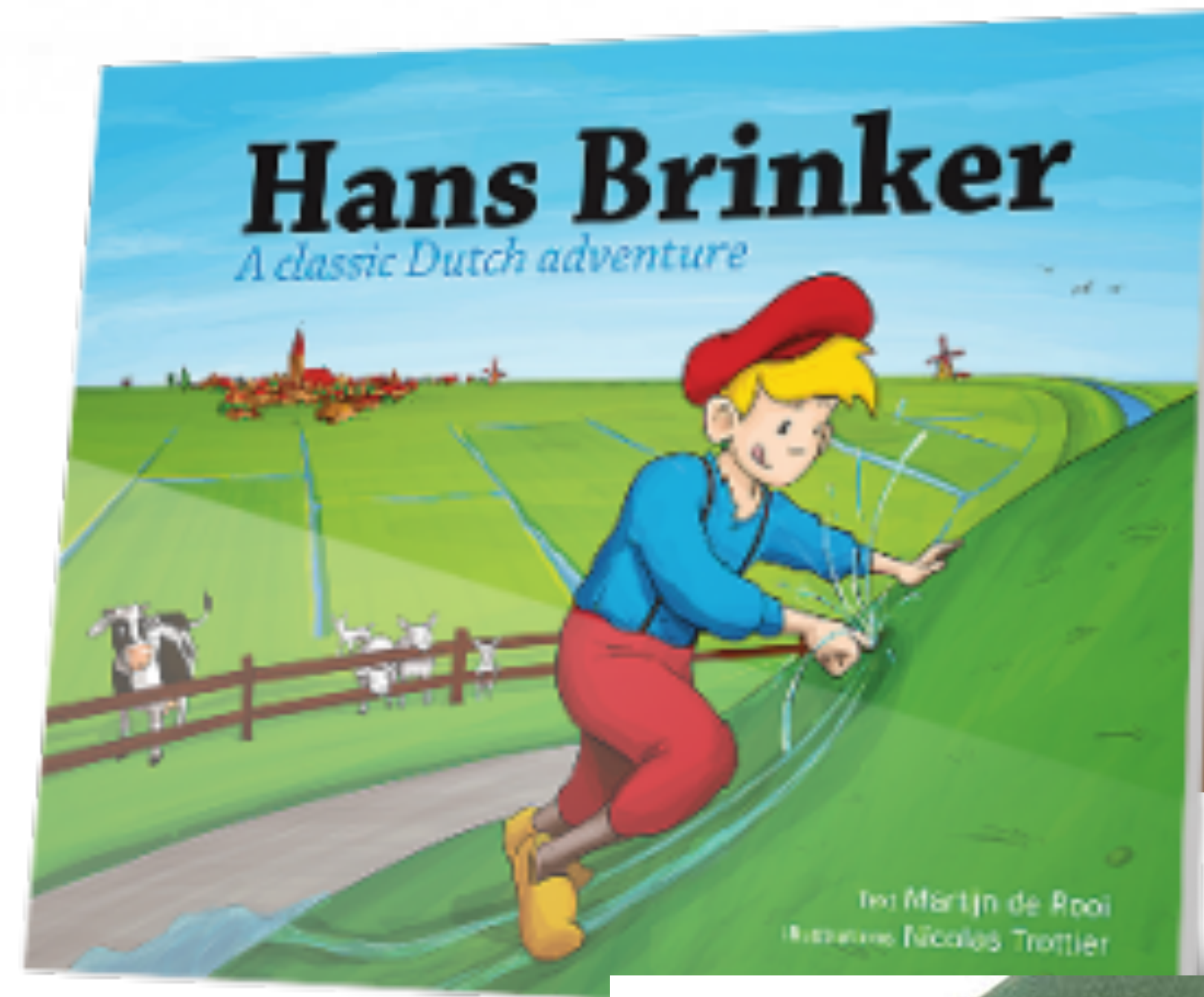


図 3.8 油圧ジャッキ (hydraulic jack) のしくみ



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。



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。

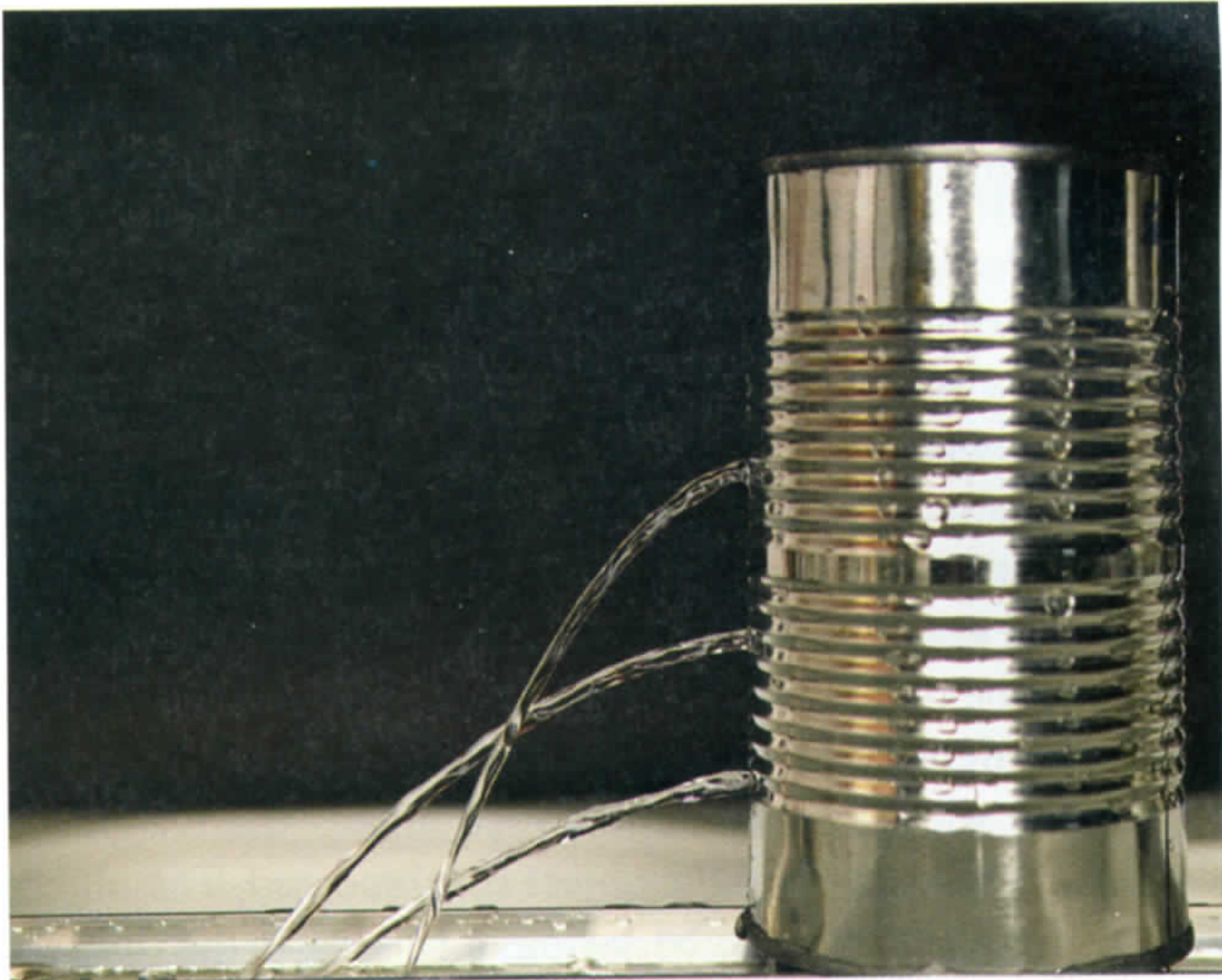
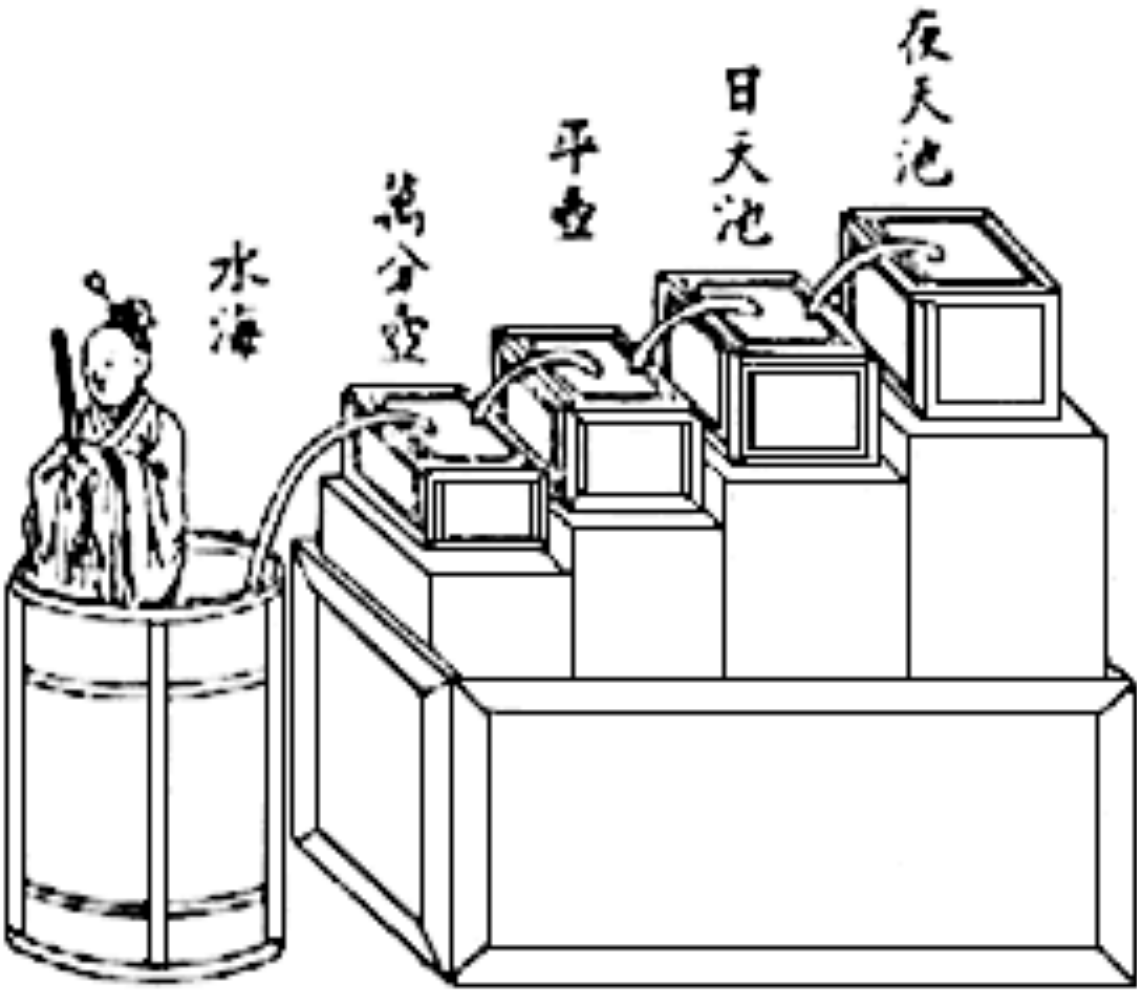


figure 9.15 Water emerging from a hole near the bottom of a can filled with water has a larger horizontal velocity than water emerging from a hole near the top.



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

流水の方程式

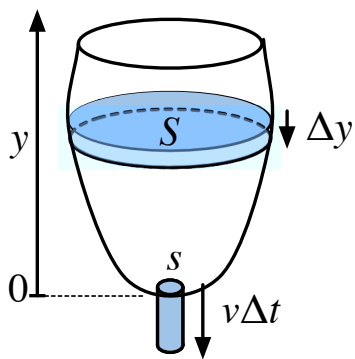
【Level 2】

トリチェリの定理

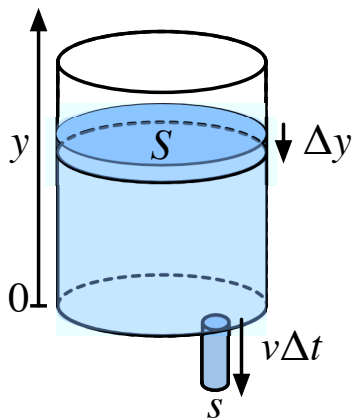
👤 Evangelista Torricelli
トリチェリ (1608–1647)

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



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。

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 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、 $v = \sqrt{2gy}$ 。

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
間間隔はどのようなになるだろうか。

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 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、 $\Delta t \rightarrow 0$ 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、

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

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

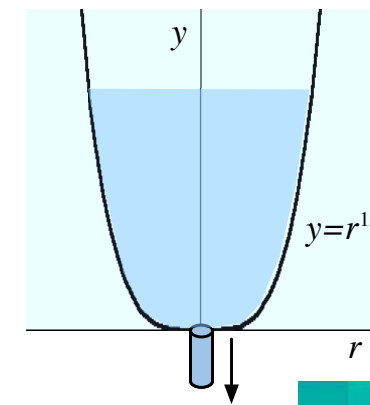
$S(y)$ の関数形を $S(y) = S_0 y^n$ とおいて調べてみると

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

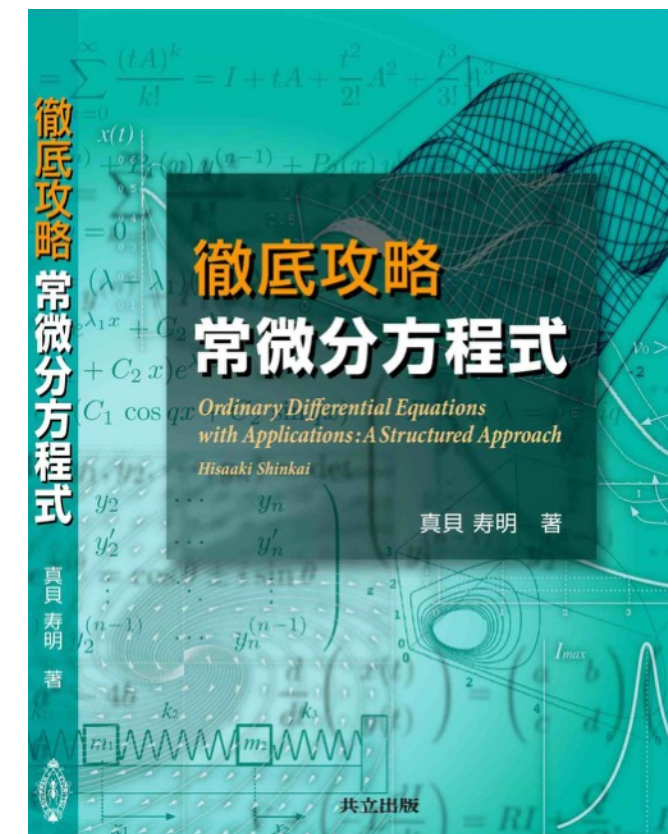
となる。これが $t \approx y$ となるためには、 $n + \frac{1}{2} = 1$ とすればよく、
 $n = \frac{1}{2}$ と条件が導かれる。ゆえに容器の形状は $S(y) = S_0\sqrt{y}$ とす
るのが水時計に適していることになる。

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。



$$y=x^4$$

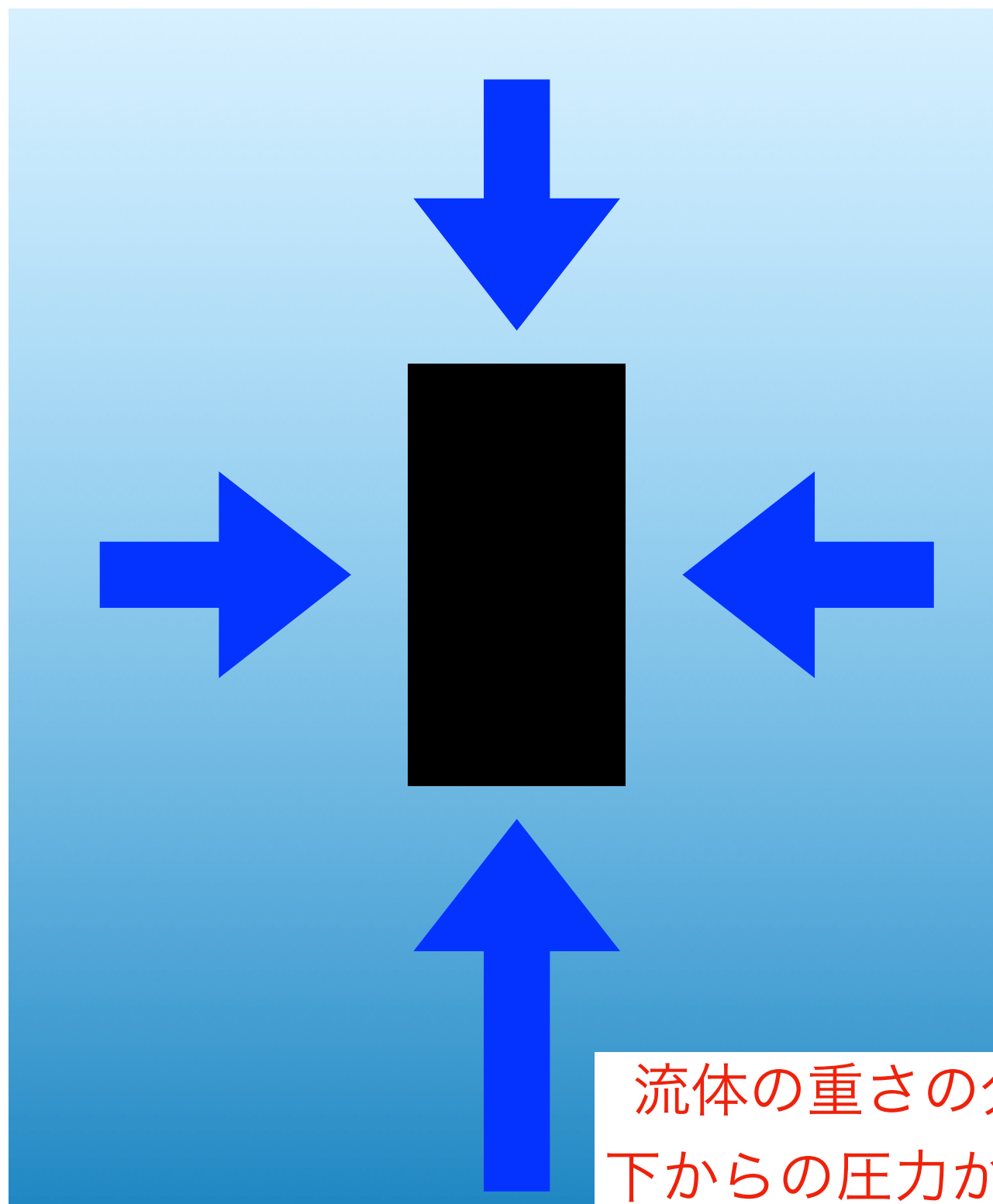


浮力 (buoyancy)

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、

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

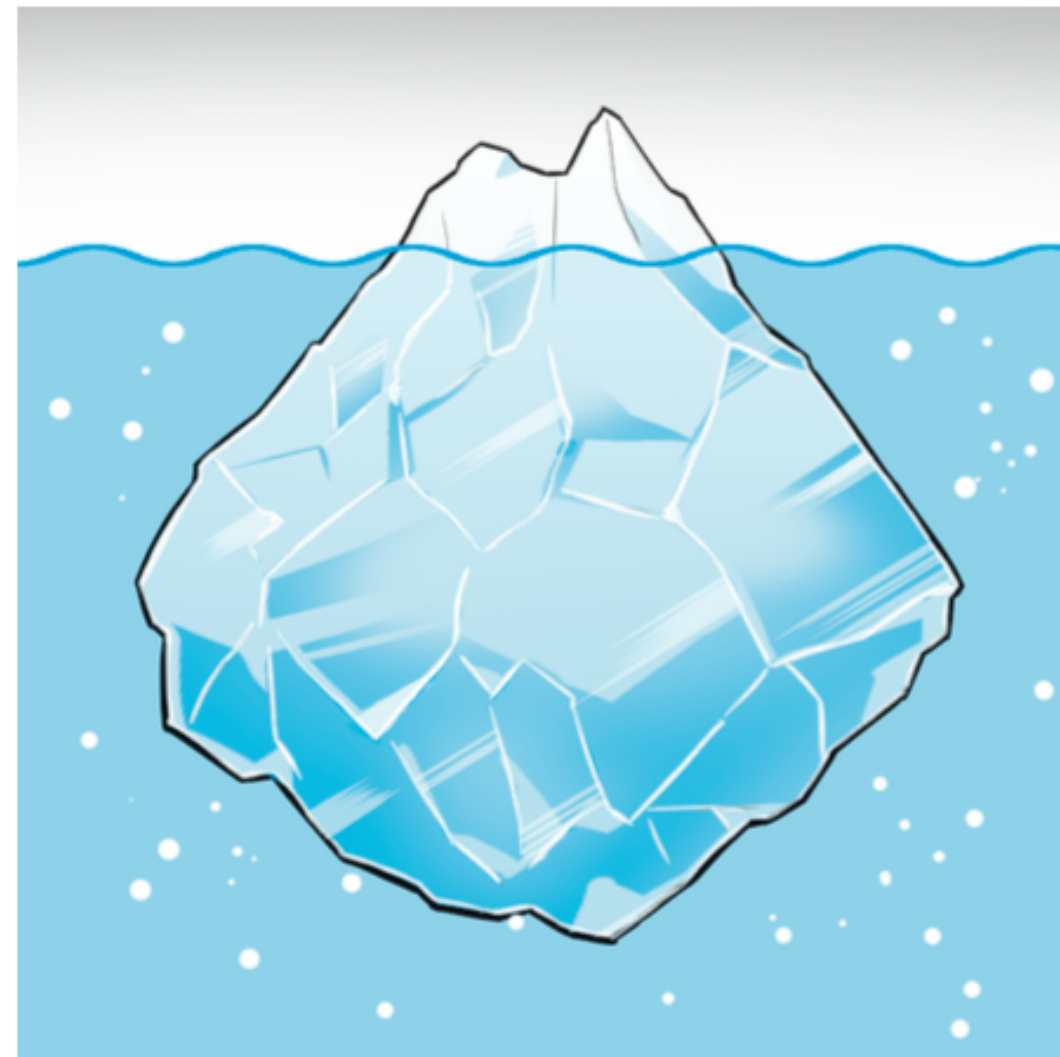
下向きの力 = 浮力

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、その物体が押しのかけた流体の重さ（重力）と同じ大きさである。

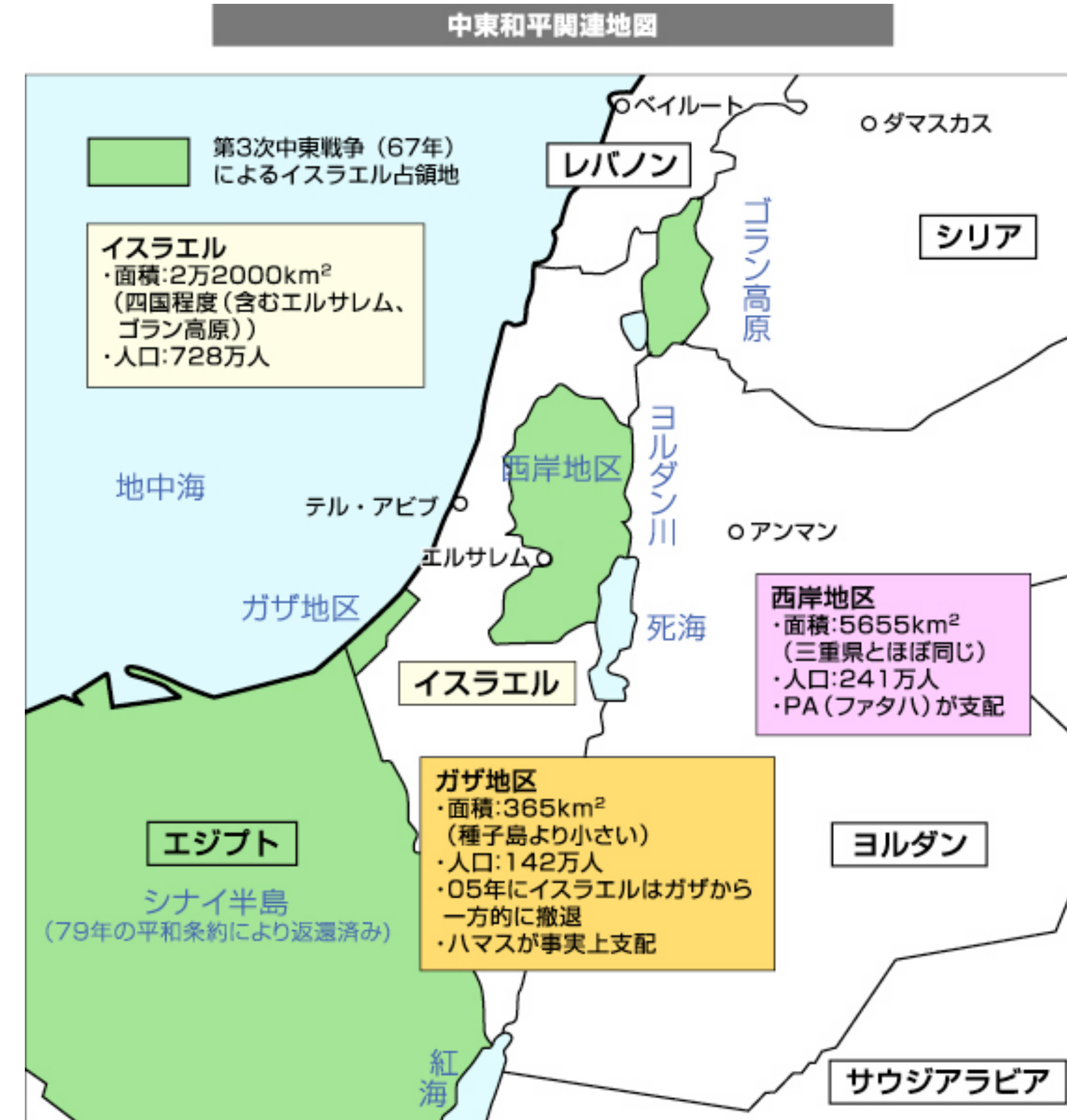
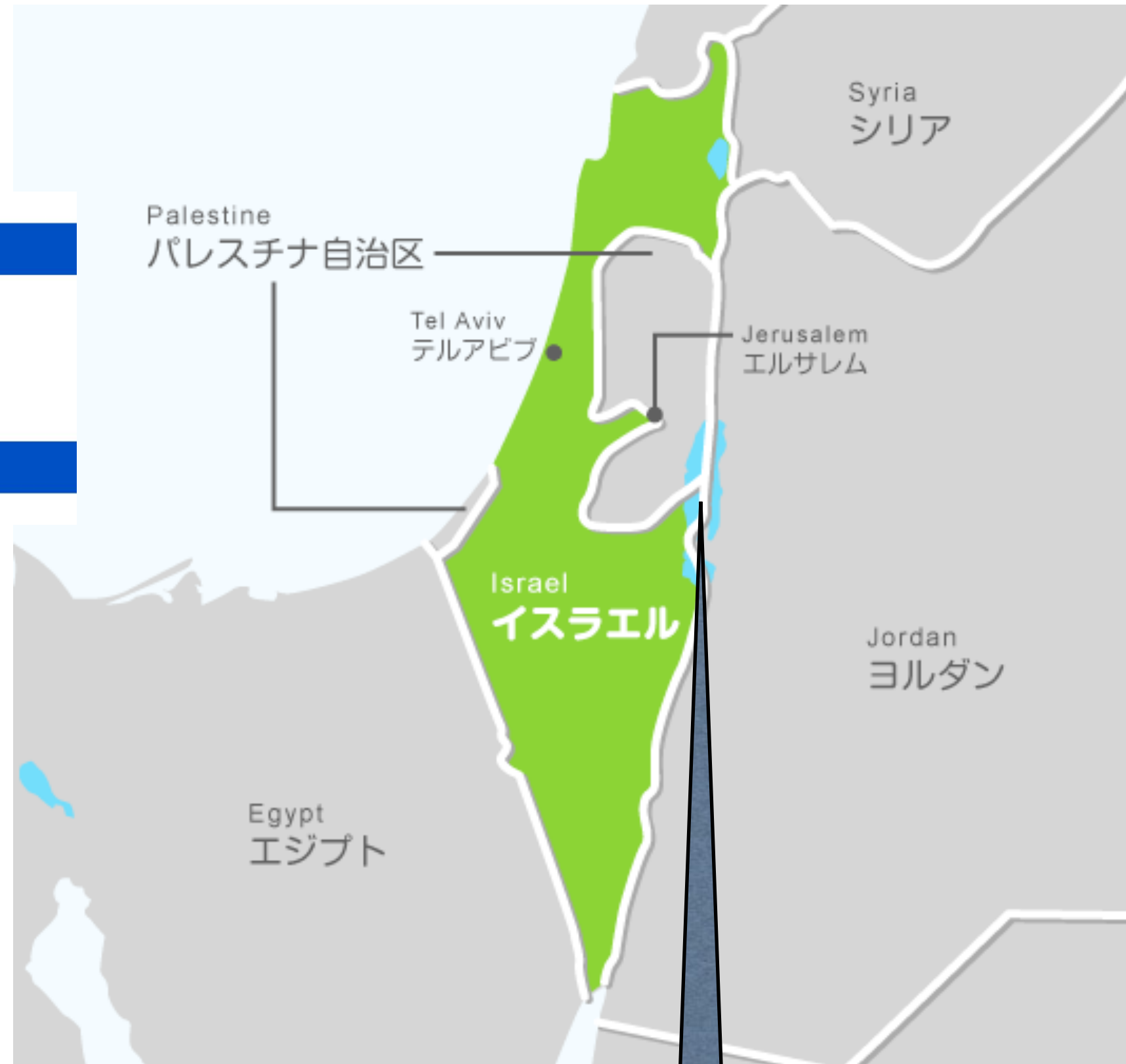


氷山の一角



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」 (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」



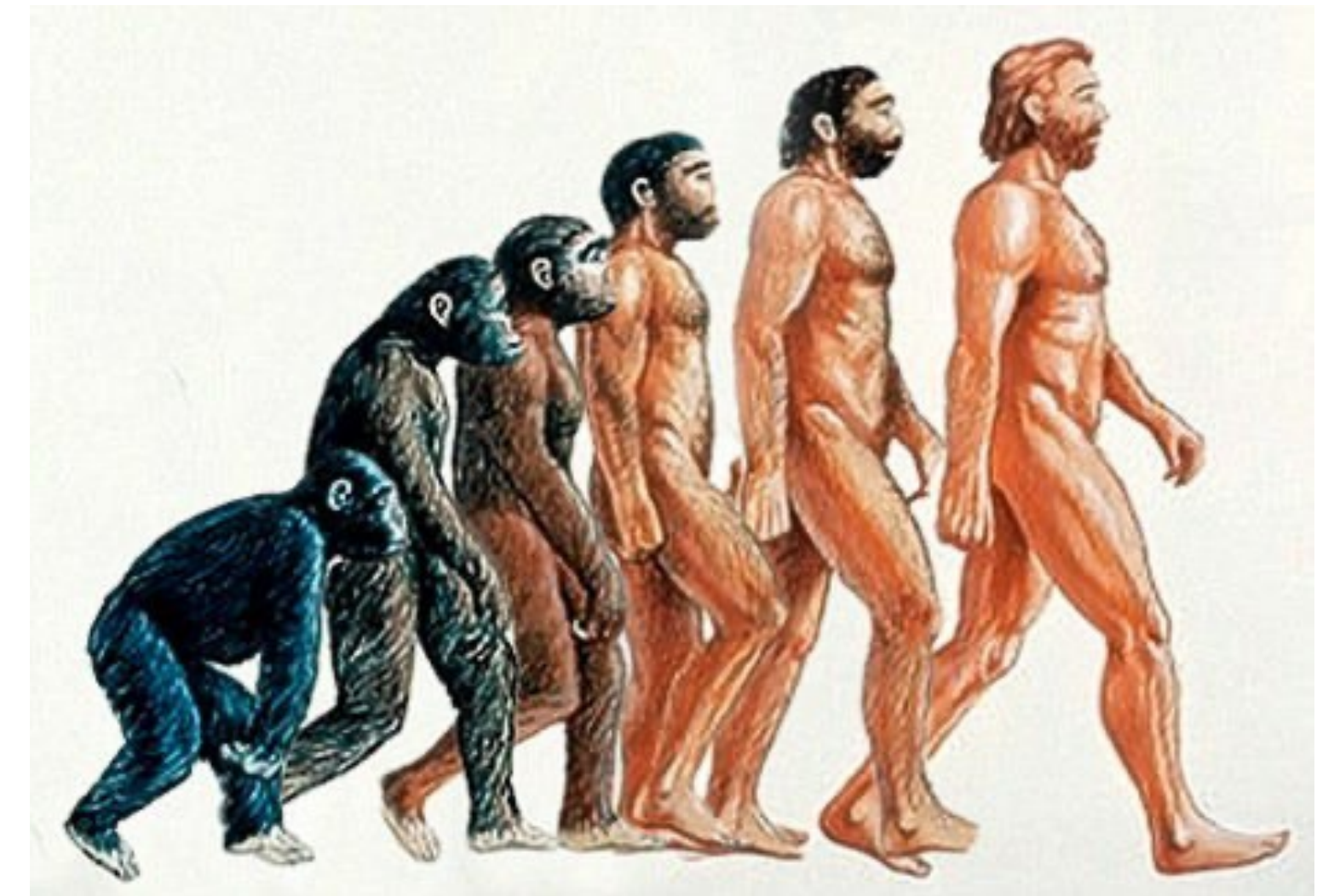
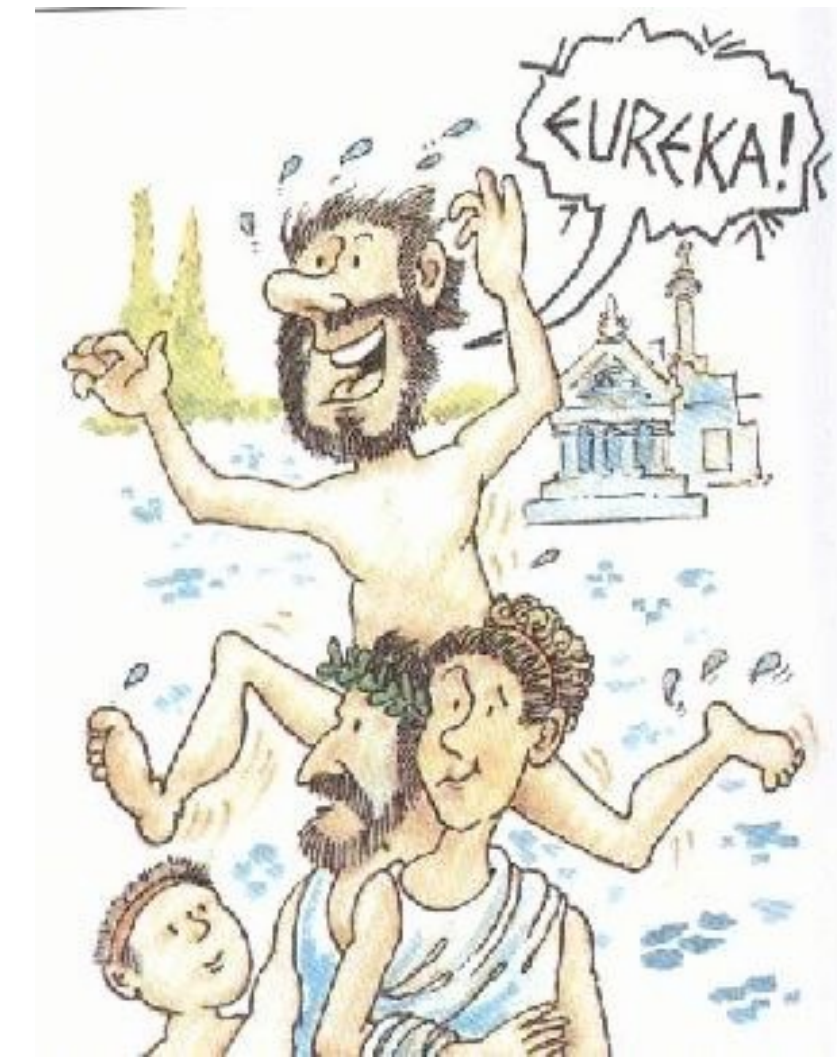
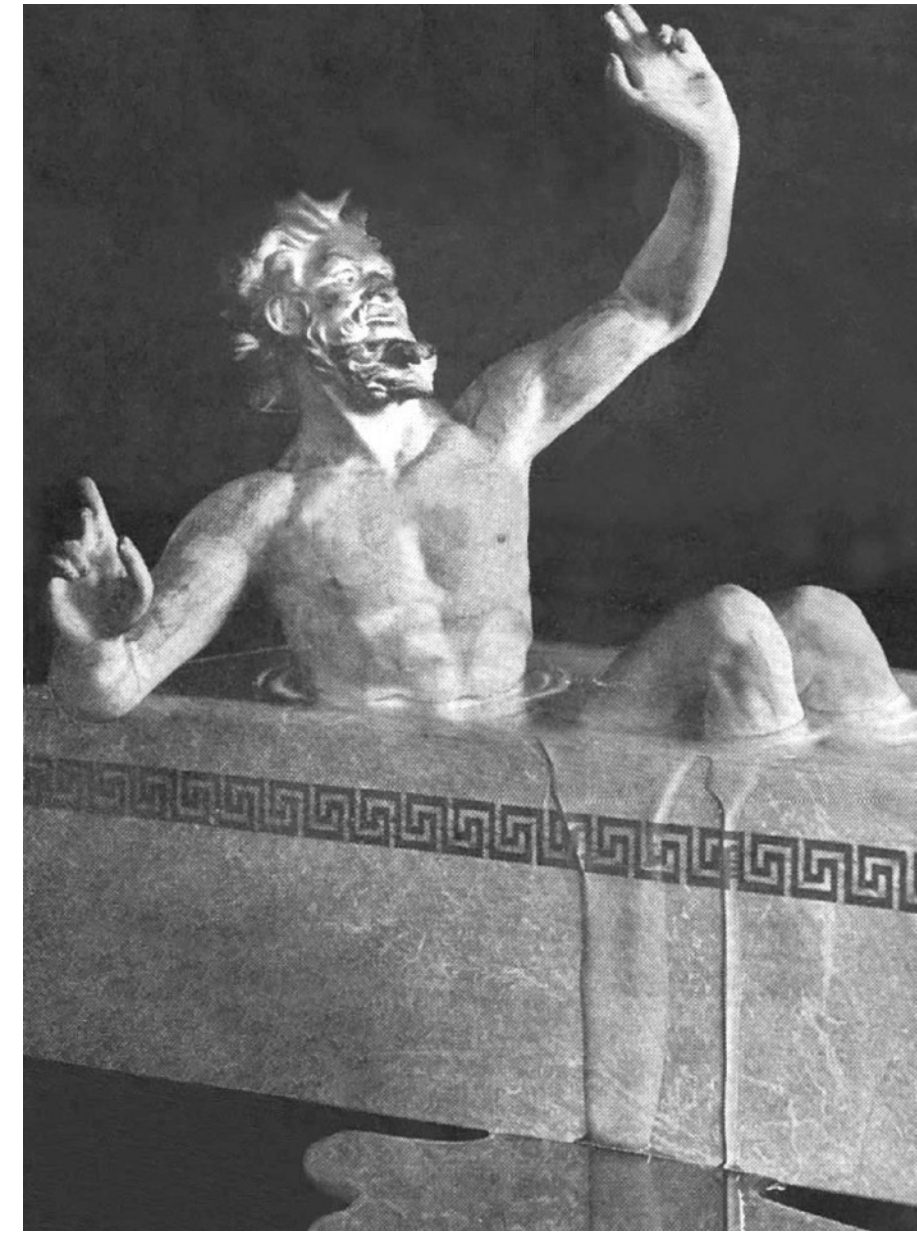
シチリアの王ヒエロン二世に戦勝記念に奉納した黄金の王冠の判定を依頼された。純金で作ってあるはずだが、細工師が銀を混ぜたという疑いである。最初に与えた金塊と王冠の重さは等しくなっていたが、これを傷つけることなく判定する方法が求められた。



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。

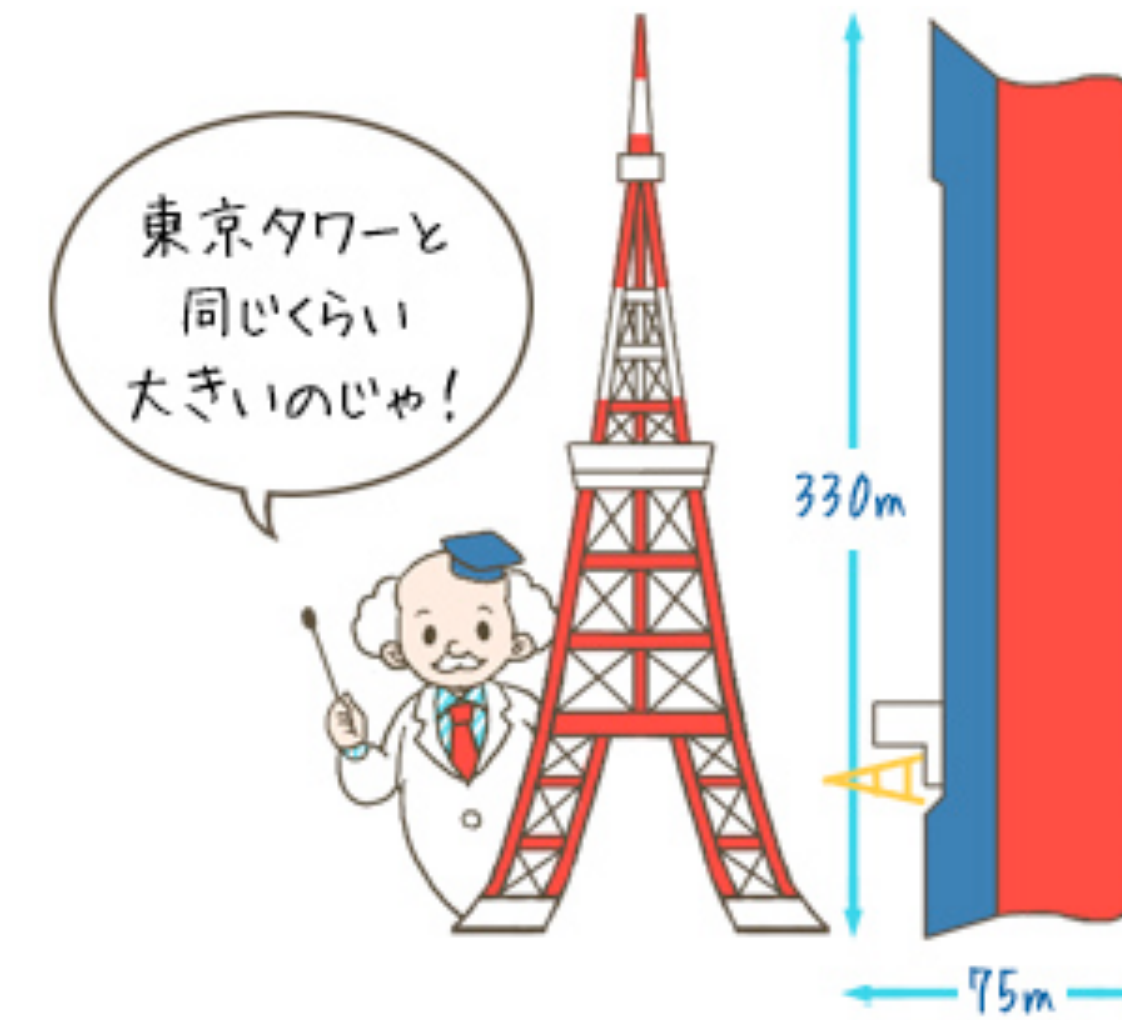




船はなぜ浮くか



新潟県 財団法人黒船館蔵



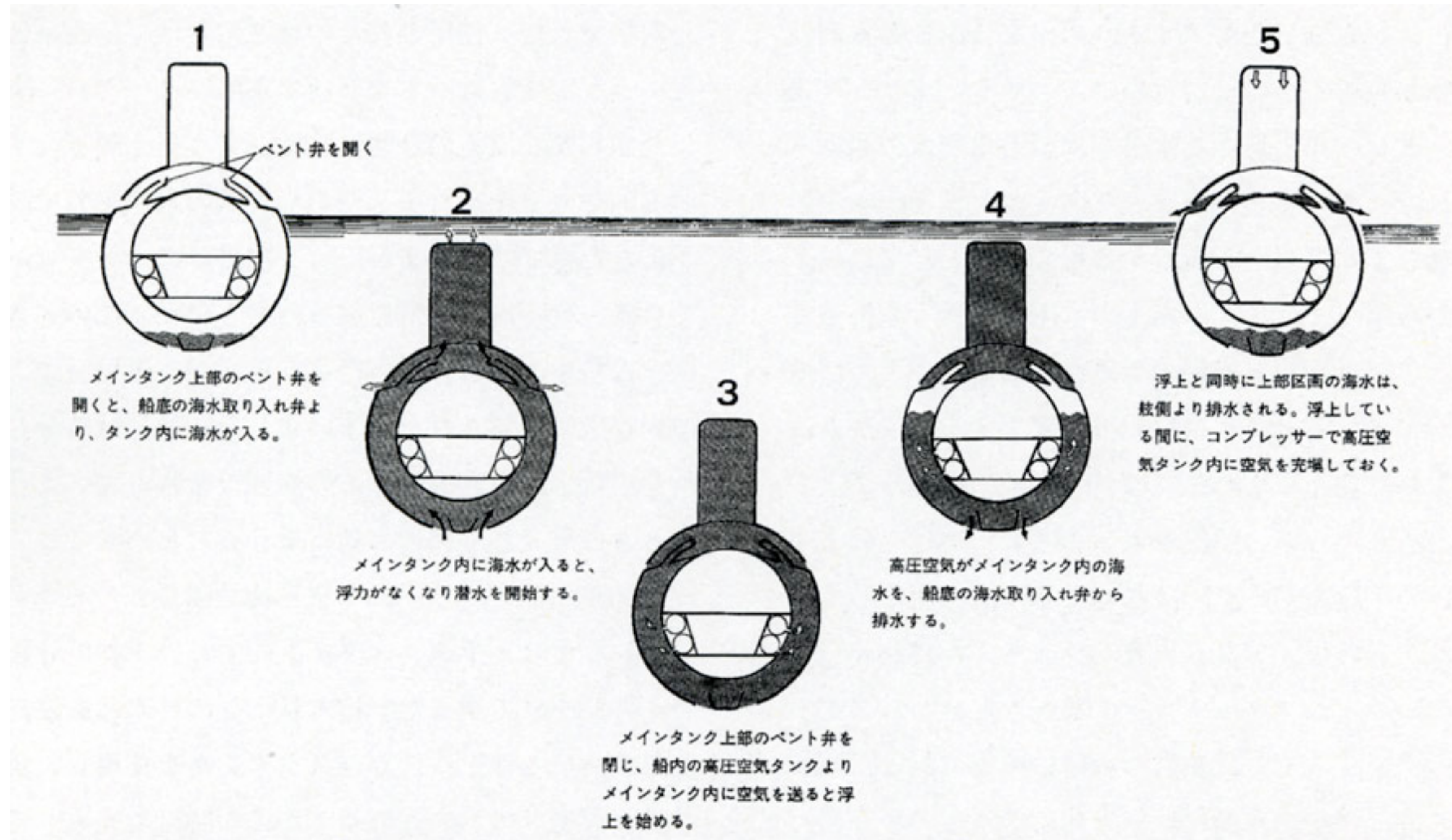
(6) 石油を降ろすと、突然ノッポになる？



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。

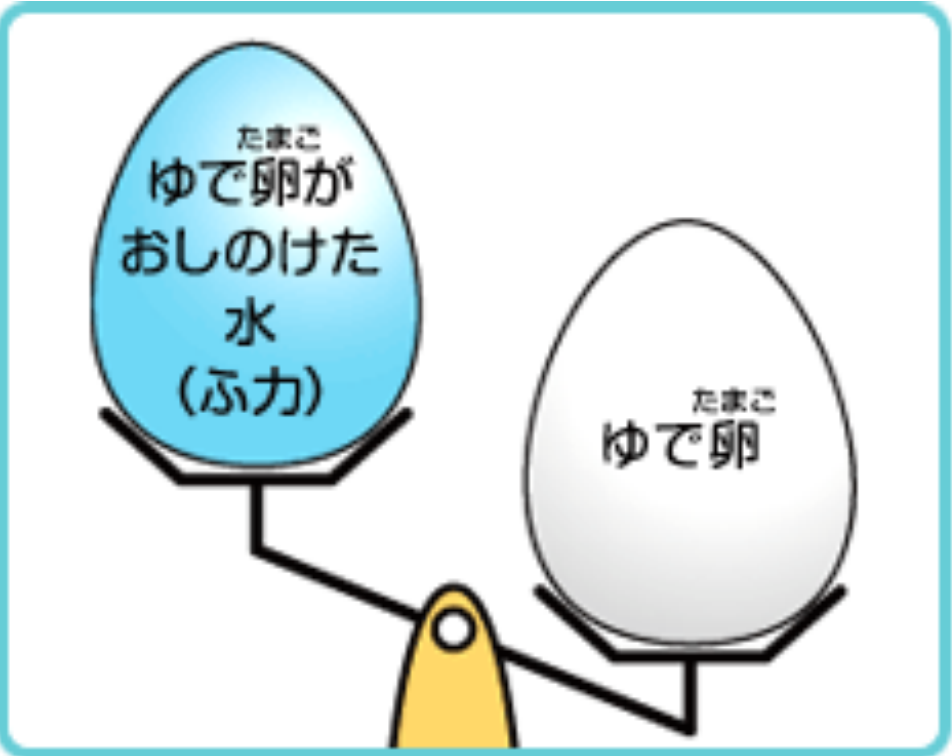
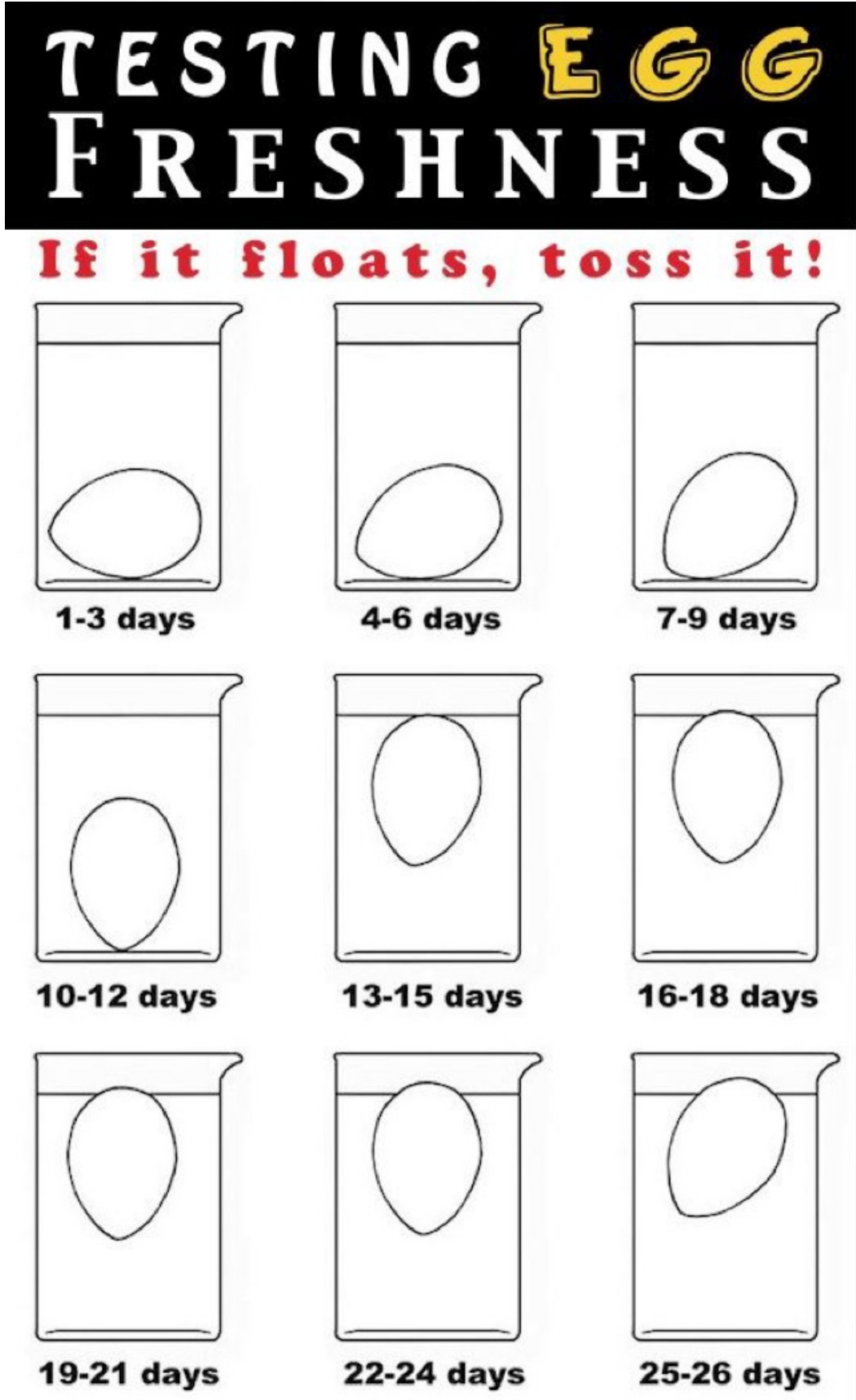
http://oil-info.ieej.or.jp/whats_sekiyu/1-8.html

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？



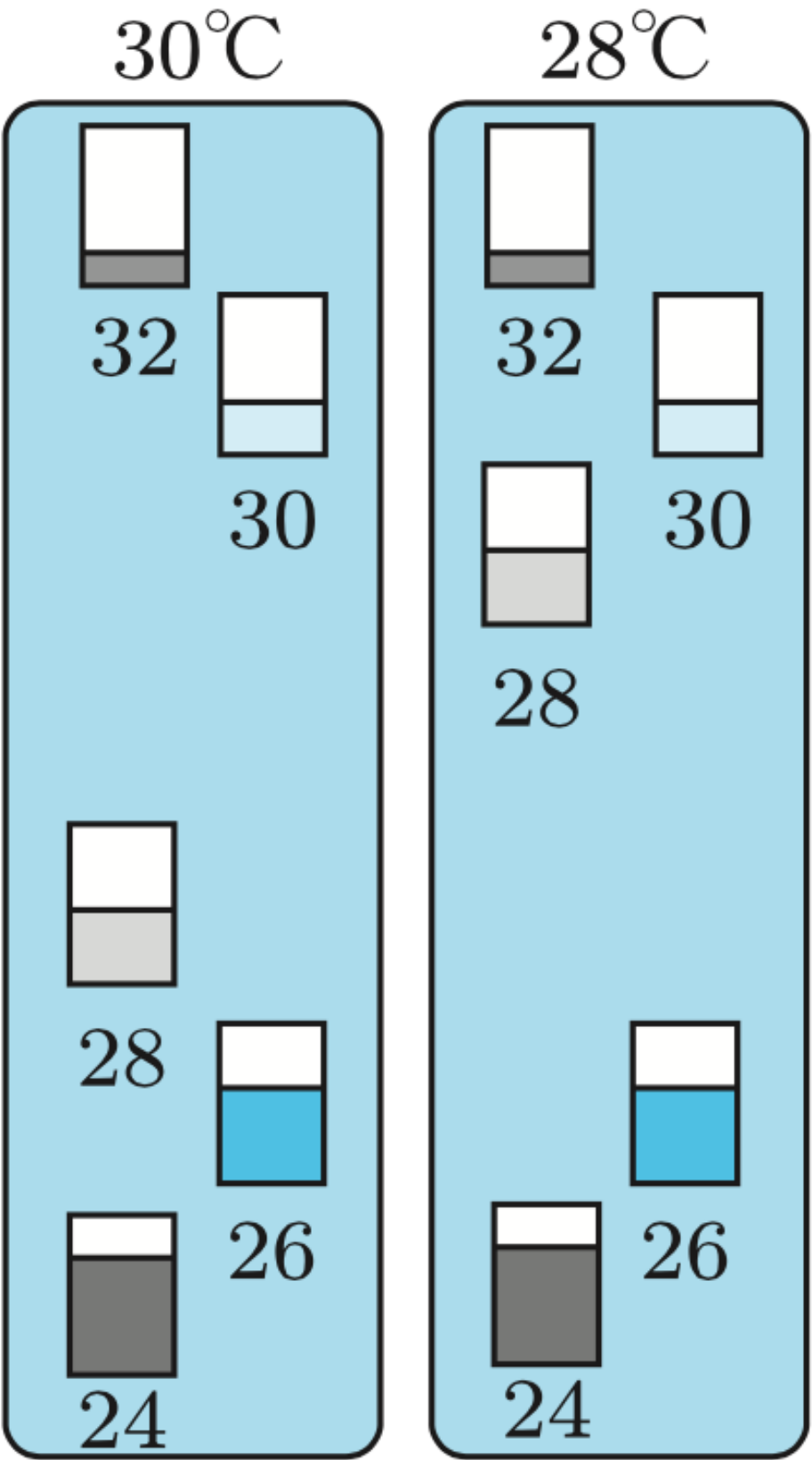
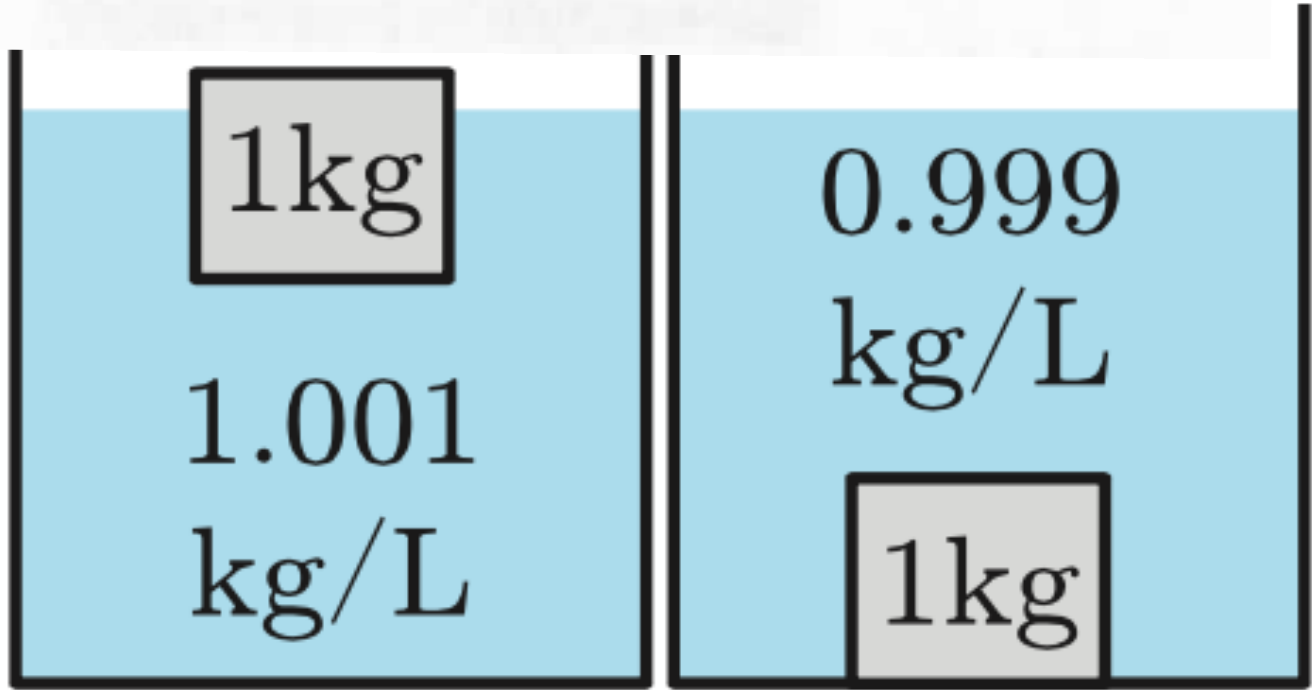
たまご
ゆで卵の重さよりもふ力が小さいので
しずむ。



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な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。

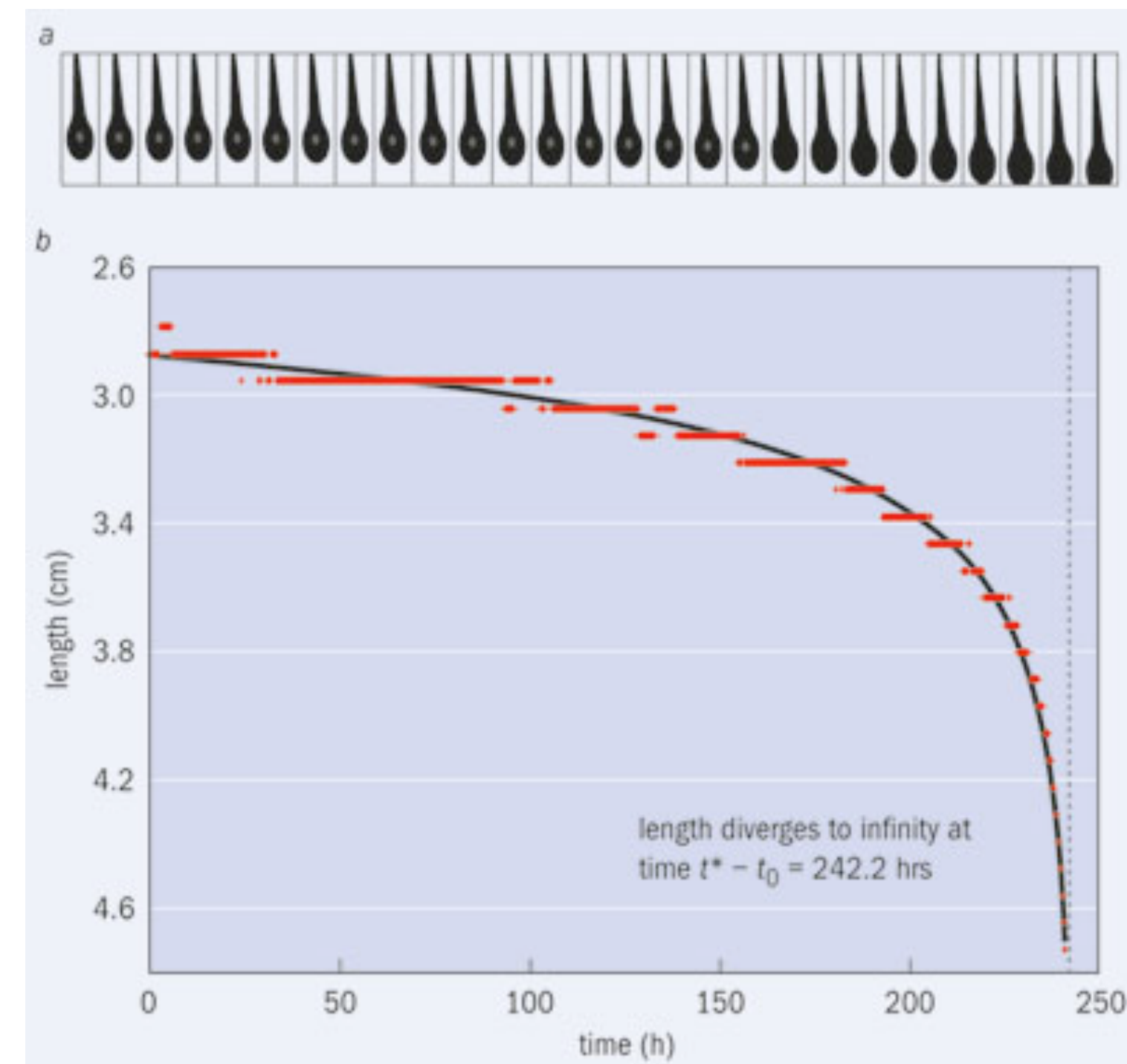
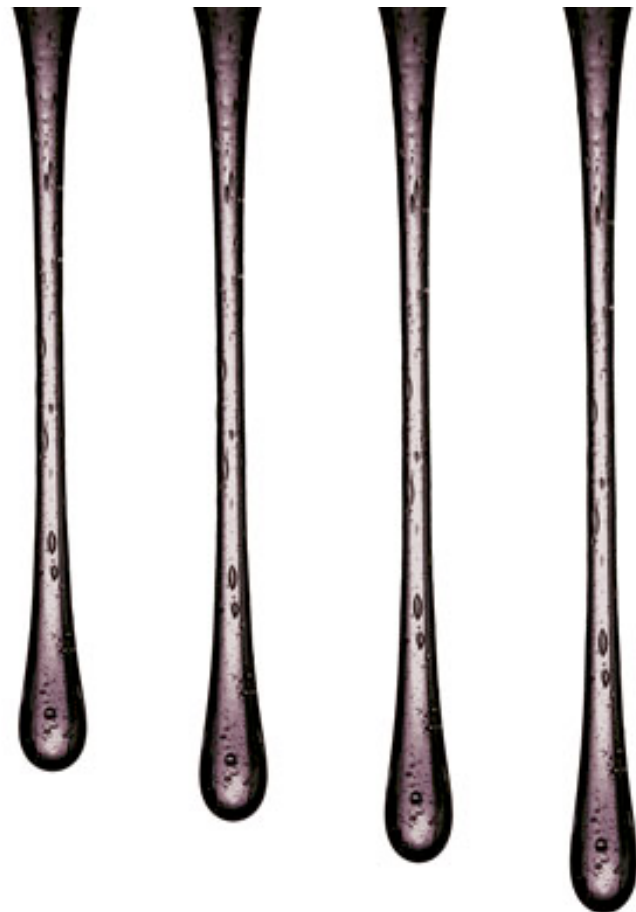
一方、アイルランド・ダブリン大学トリニティカレッジのピッチドロップ実験は、1944 年 10 月に始まったが、最初の 1 滴の落下が 2013 年 6 月 11 日に観測され、69 年かかった実験としてニュースになった。蜂蜜の 200 万倍の粘性だという。



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

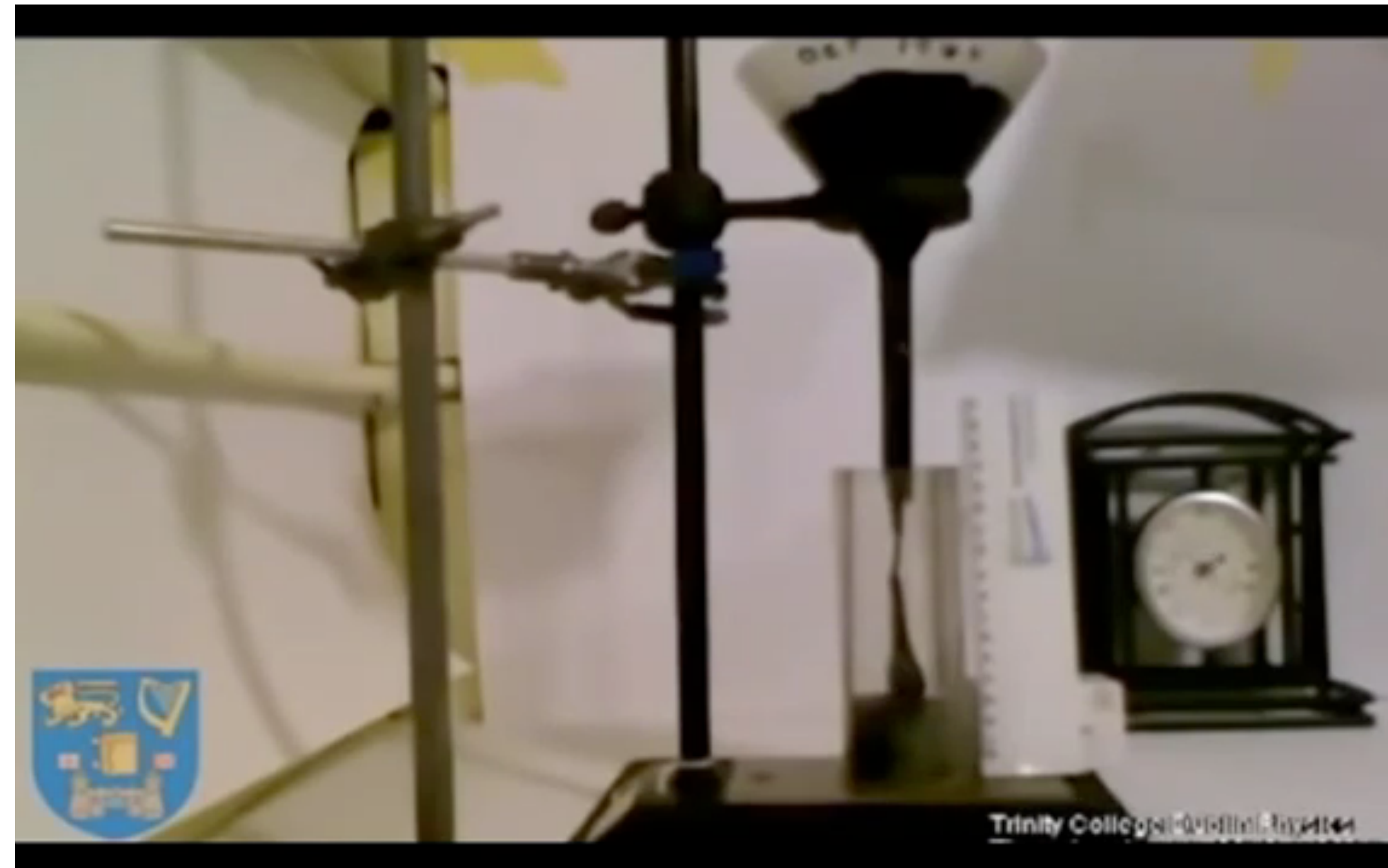
イギリスのTrinity College Dublinのグループが実験した、超粘性液体の落下の動画視聴が、200万回に達したという。（Physics World 2014年5月号）蜂蜜の200万倍の粘性をもつ液体が1滴落ちる瞬間は、1ヶ月前に予言されたように、2013年6月11日に生じた。1944年10月に始まった実験で69年かかった。



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

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。

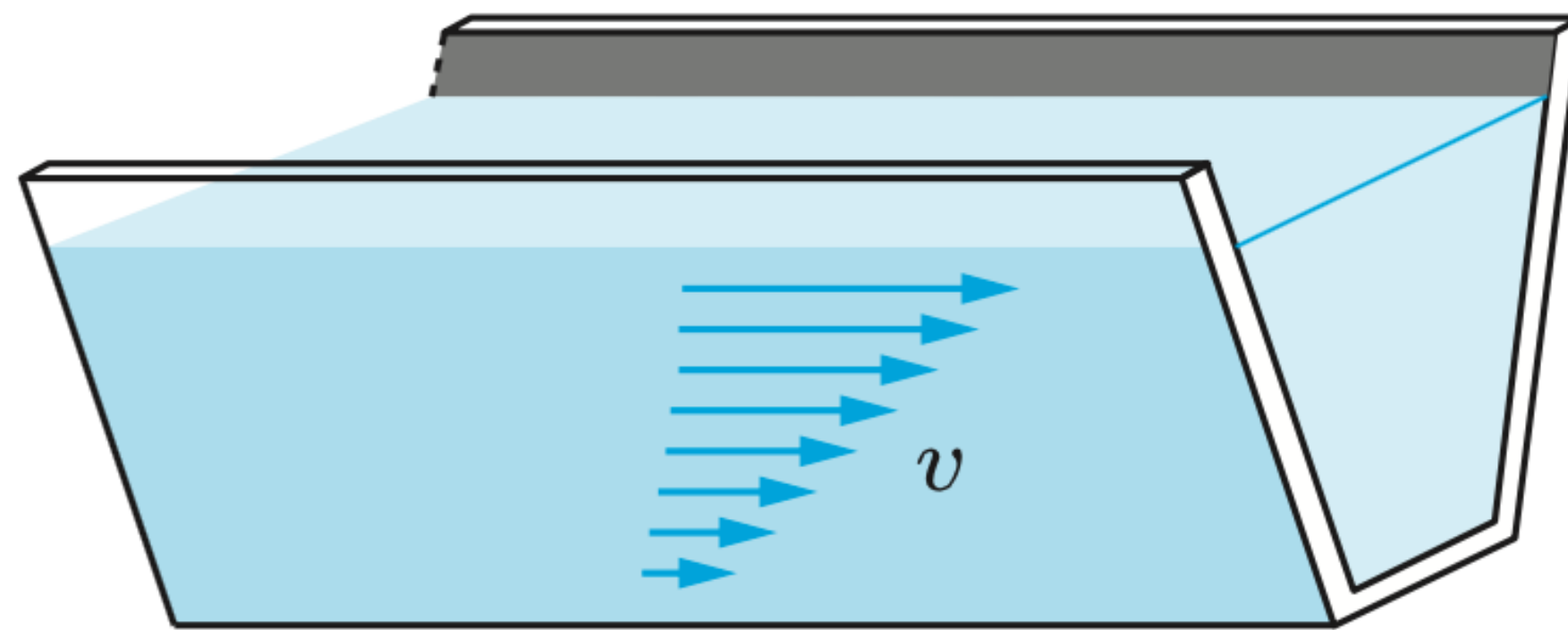


<http://www.youtube.com/watch?v=vZ5Vm4vABH4>

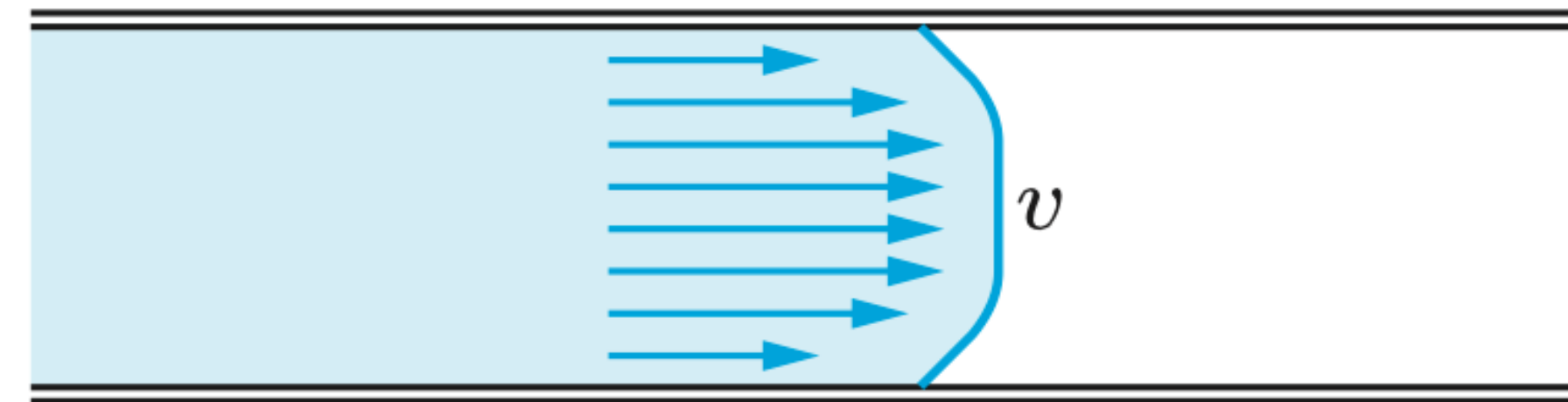
粘性 (viscosity) : 内部摩擦力

粘性

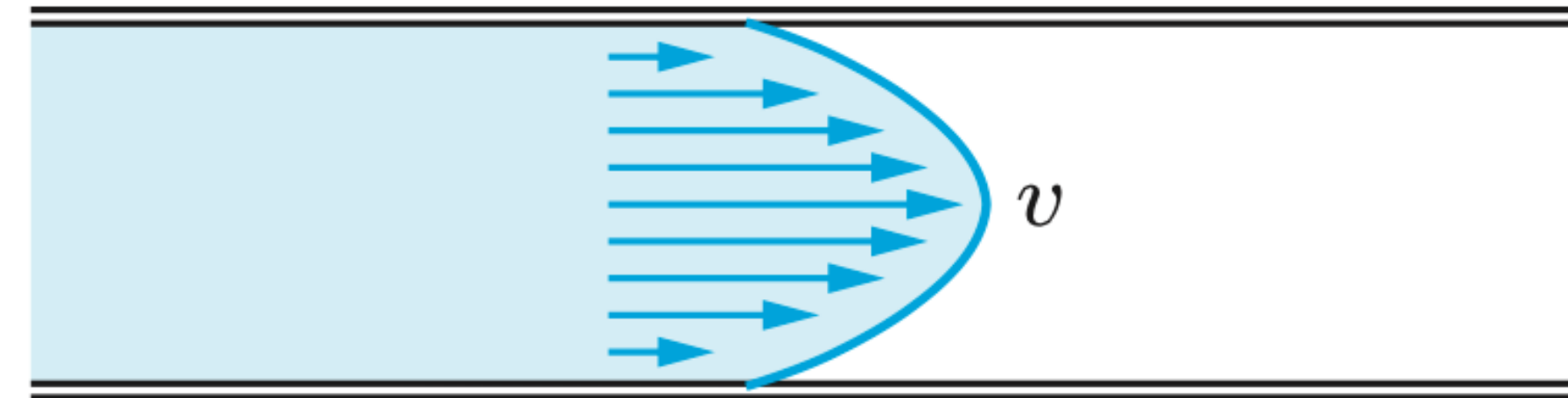
水, 油, ガスなどの流体が流動するとき, 必ずその流れに抵抗しようとする内部摩擦力が働く. 流体の持つこのような性質を**粘性** (viscosity) とよぶ. ³



(a)



(b) 粘性が小さい場合



(c) 粘性が大きい場合

流体中の抵抗をどうやって減らすか？

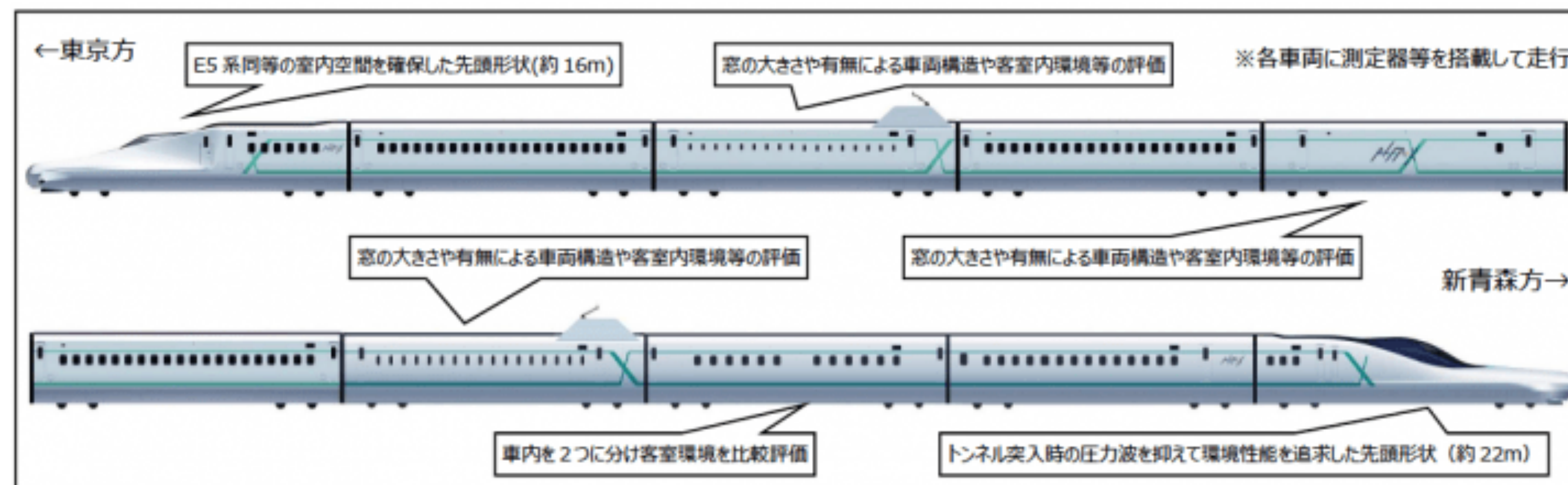




次世代新幹線の開発を進めているJR東日本は、その試験プラットフォームとして新幹線の試験車両「ALFA-X(アルファエックス)」(E956形式)の製作を進めてきたが、東北新幹線の仙台駅と新青森駅のあいだで走行試験を開始した。

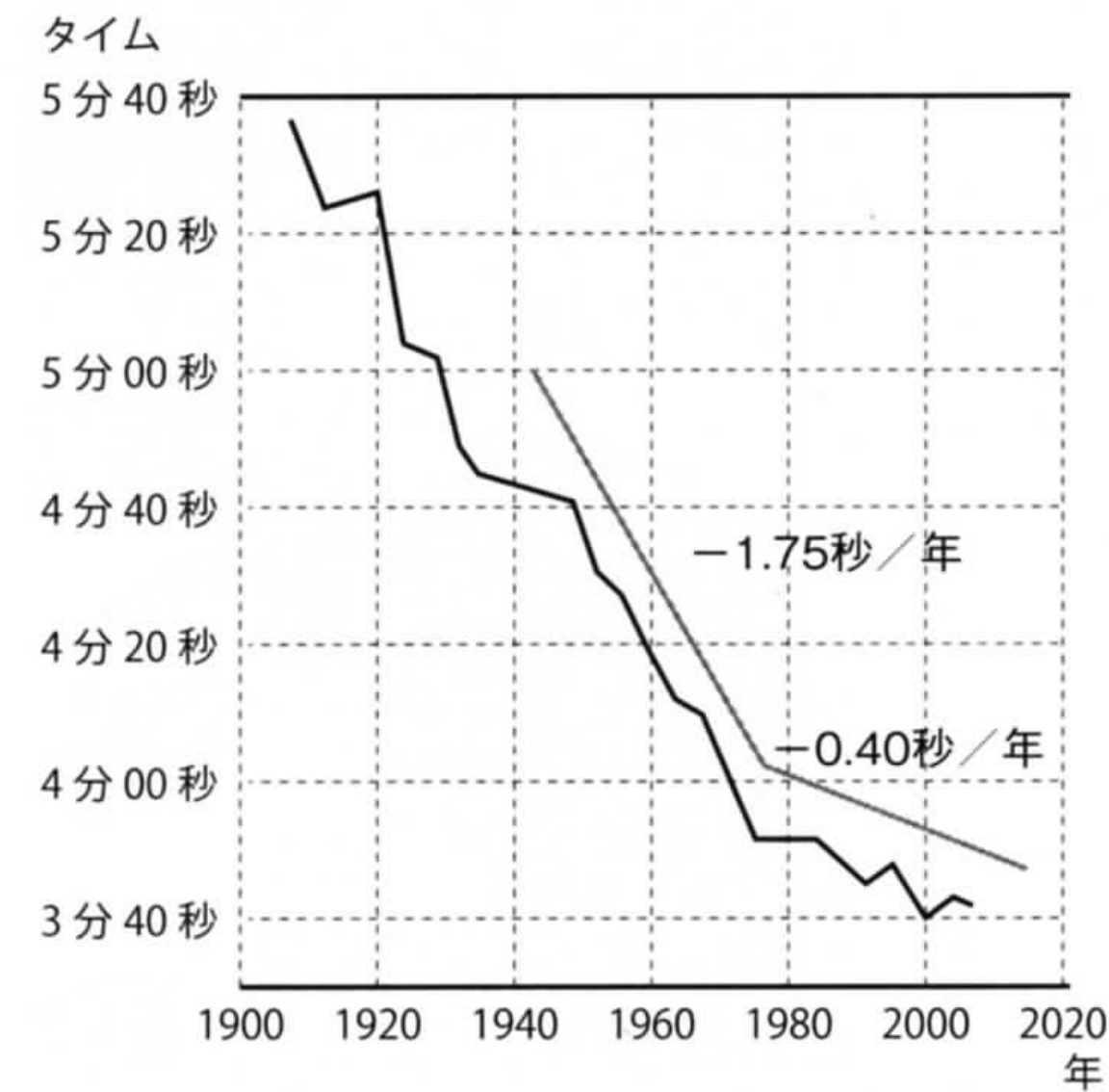
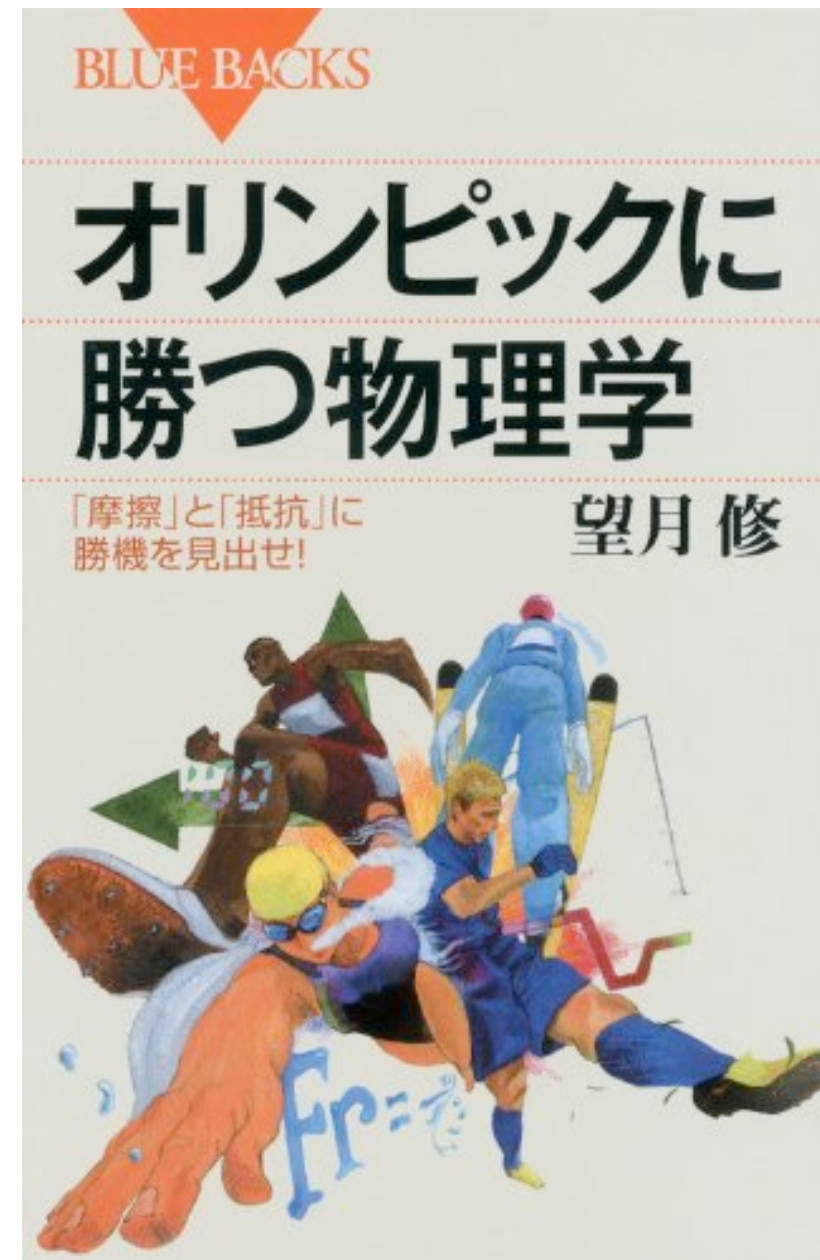
10 両編成で、「最先端の実験を行うための先進的な試験室(車)」という意味の「Advanced Labs for Frontline Activity in rail eXperimentation」から「ALFA-X」と命名された。

<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」



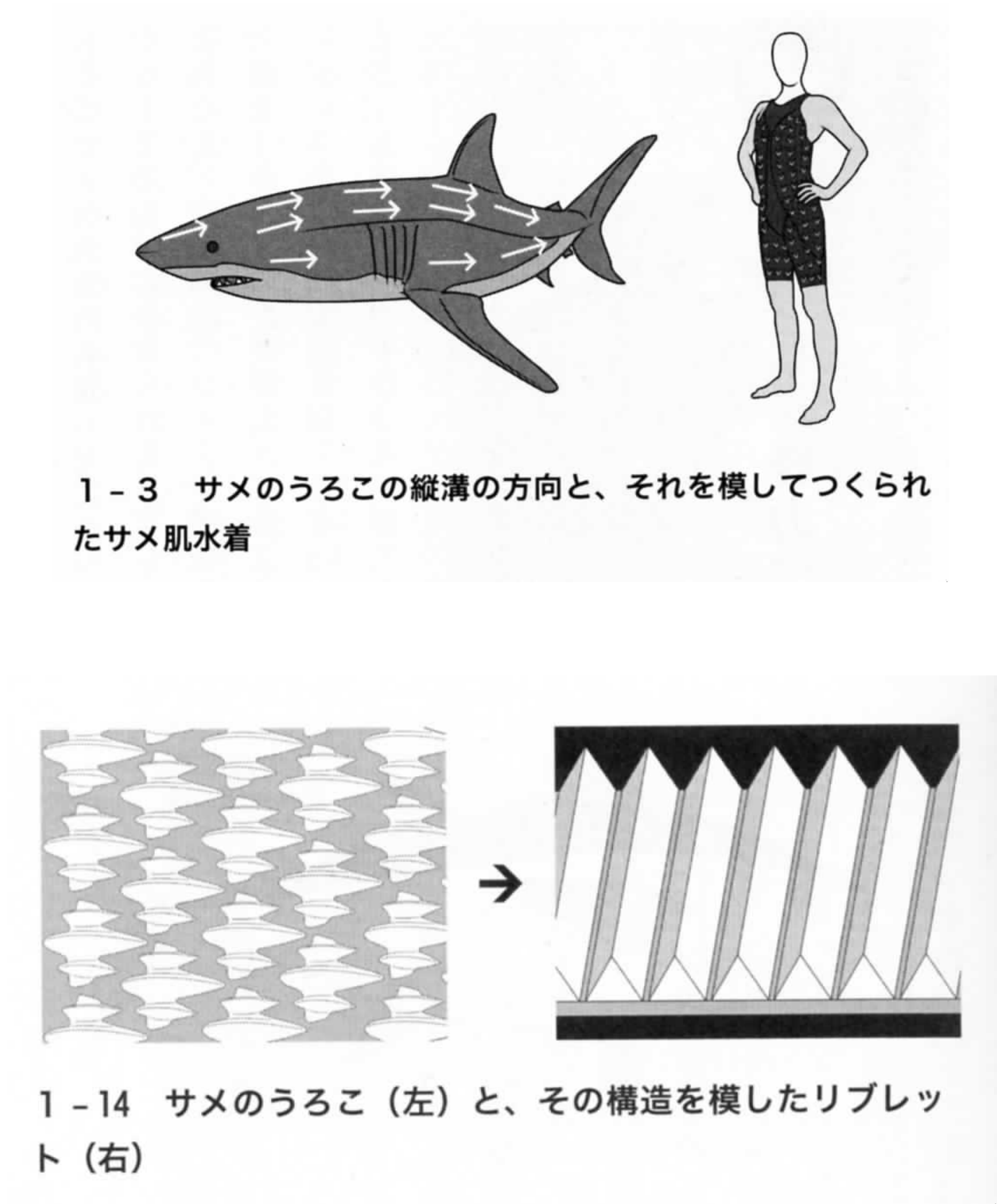
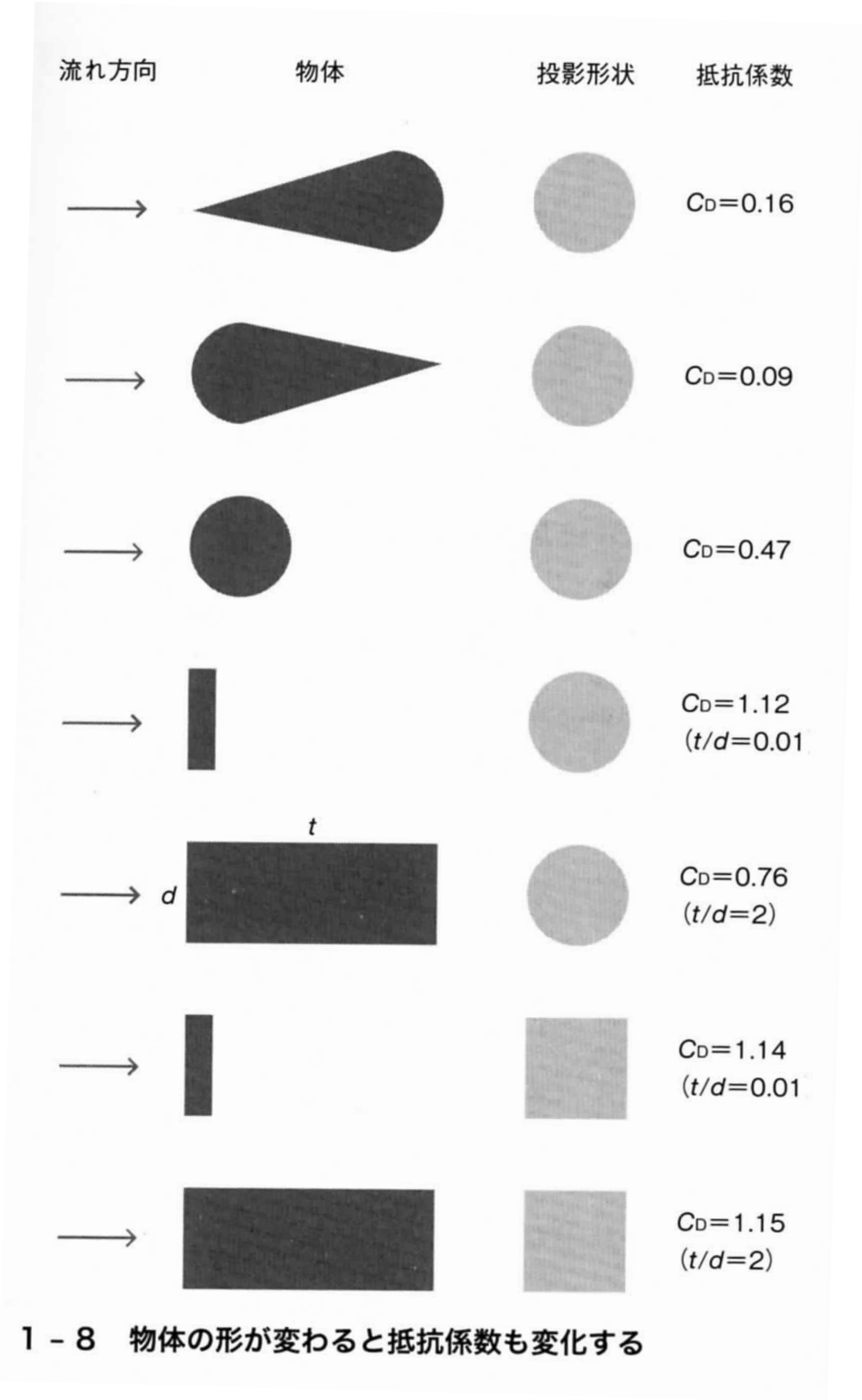
1 - 1 400m自由形の記録の推移



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

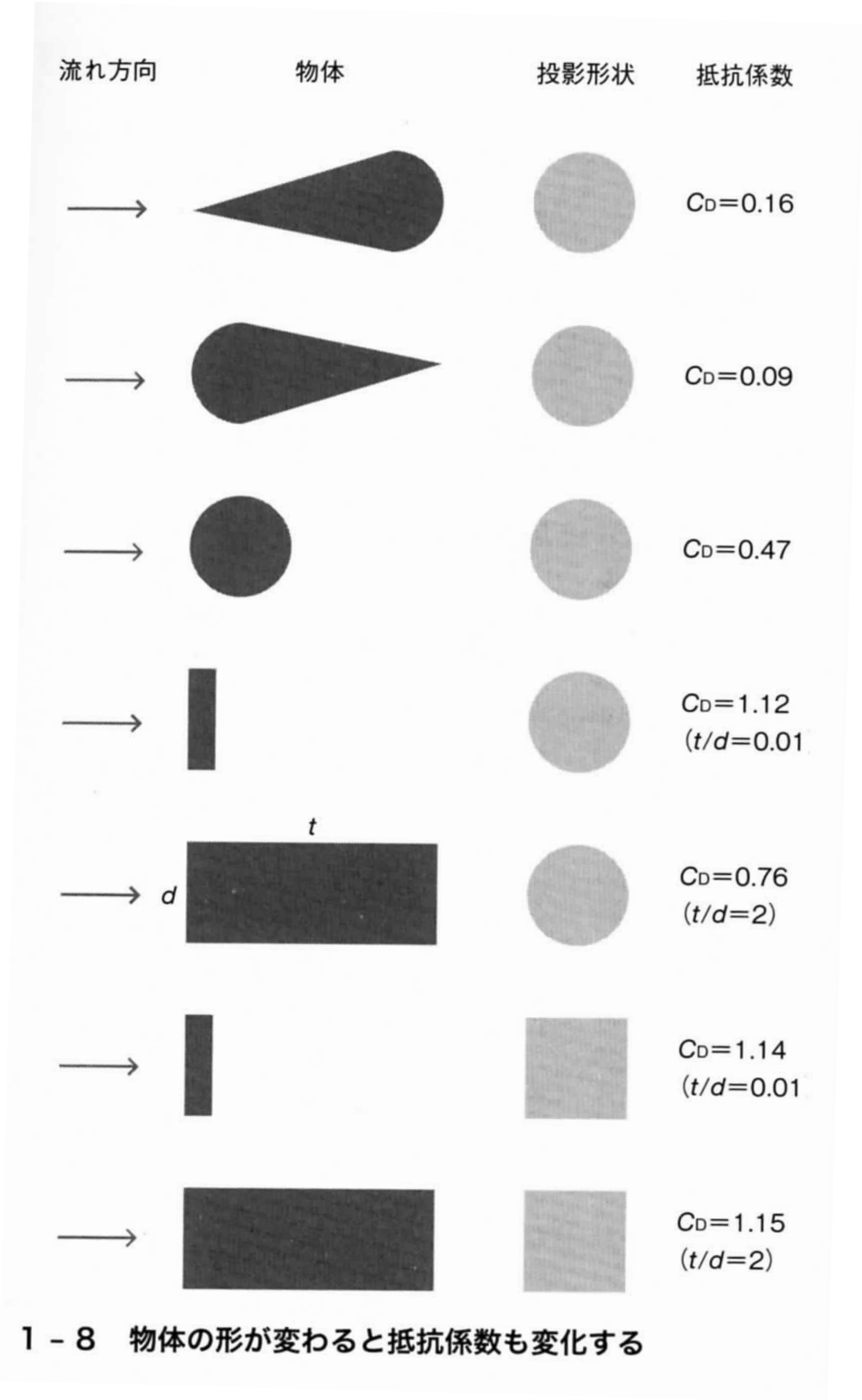
オリンピックで100-200-400の組合せでメダルを獲得したのはソープただ一人

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？



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



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>

〔6-1〕(今日の講義から)

台風の風の向きが上空から見て反時計回りになる理由を説明せよ。

〔6-2〕(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。

〔6-3〕(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。



〔6-4〕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)