

平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

- | | | |
|-------|----------|--------------------|
| 第 3 回 | 6 月 5 日 | 乗り物の物理——空気抵抗と闘う乗り物 |
| 第 4 回 | 6 月 19 日 | 気象の物理——ペットボトルで雲を作る |
| 第 5 回 | 7 月 3 日 | 台所の物理——山の上でご飯を炊く方法 |

空気も水も流体 . . . 多数の分子の衝突現象

■圧力

水や大気などの流体は、物体をまんべんなく押す力をもつ。水圧や大気圧が物体に与える力は、接している面積が大きいほど大きくなる。単位面積あたり（1 m² あたり）にはたらく力を**圧力**といい、次のように定義する。

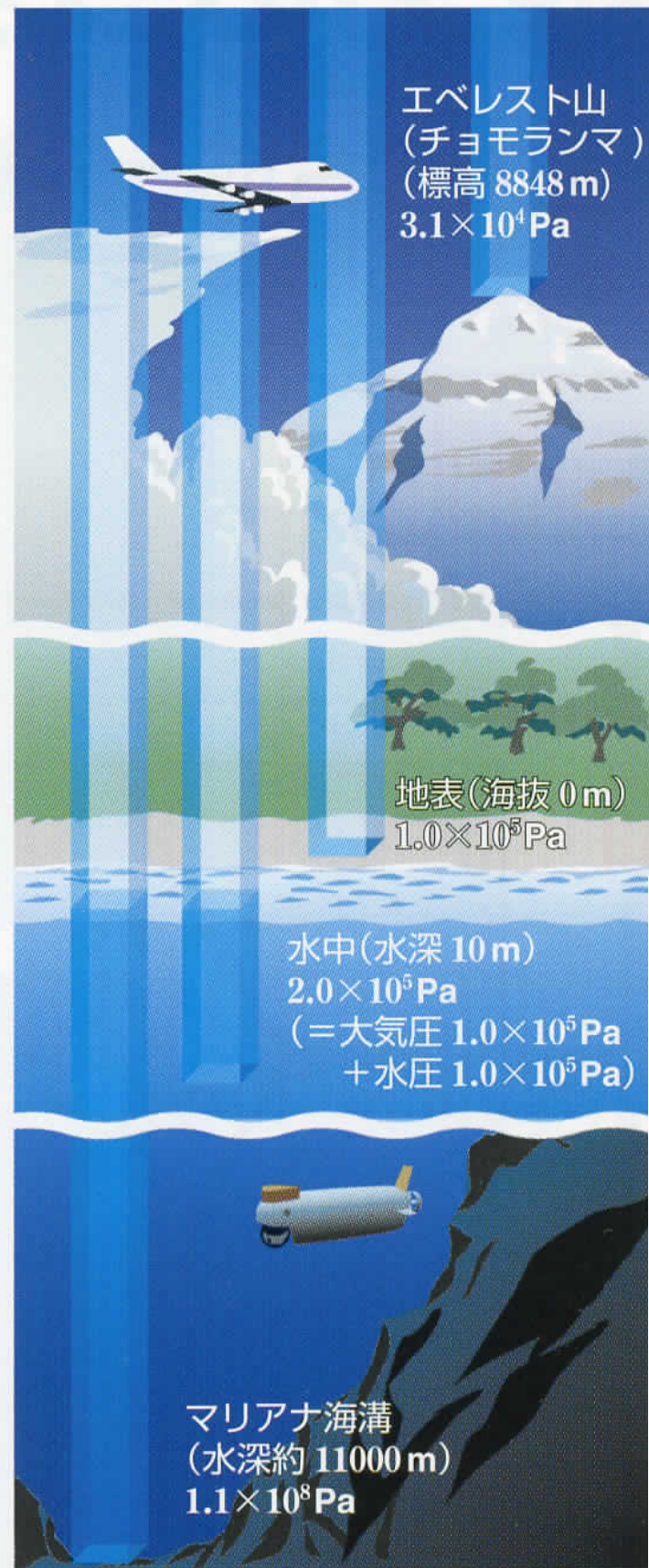
定義 圧力

単位面積あたりにはたらく力を**圧力** p という。

$$\text{圧力 } p = \frac{F}{S} = \frac{\text{加わる力 [N]}}{\text{面積 [m}^2\text{]}} \quad \text{単位は } [\text{N/m}^2] = [\text{Pa}] \quad (19)$$

大気圧

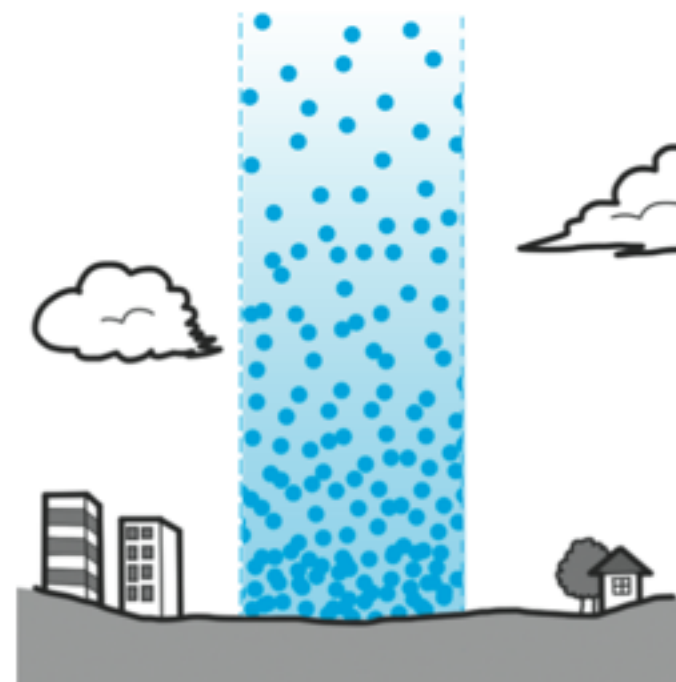
●大気圧と水圧



1 気圧 = 「親指の爪(1 cm 四方) に1kgくらいの力」

【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。



浮力 (buoyancy)

流体中（水中，空気中）では，物体の体積に比例した浮力が生じる．この原理を発見したのはアルキメデスである．

法則 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．

式で表現すると，次のようになる．浮力の大きさ F は，物体が押しのけた流体の重さに等しい．すなわち，流体の密度を ρ [kg/m³] とすれば，物体の体積を V [m³]，重力加速度を g [m/s²] として

$$F = \rho V g \quad (21)$$

となる．押しのける体積が大きければ，鉄の船も実現することになる．

Topic 氷山の一角

氷の密度は水の密度 $\rho=1[\text{g}/\text{cm}^3]$ 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、

$$\underbrace{0.92\rho Shg}_{\text{下向きの力}} = \underbrace{\rho Sdg}_{\text{浮力}}$$

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、氷山が見えてもその大部分は見えていない、ということだ。



図 23: 氷山の一角

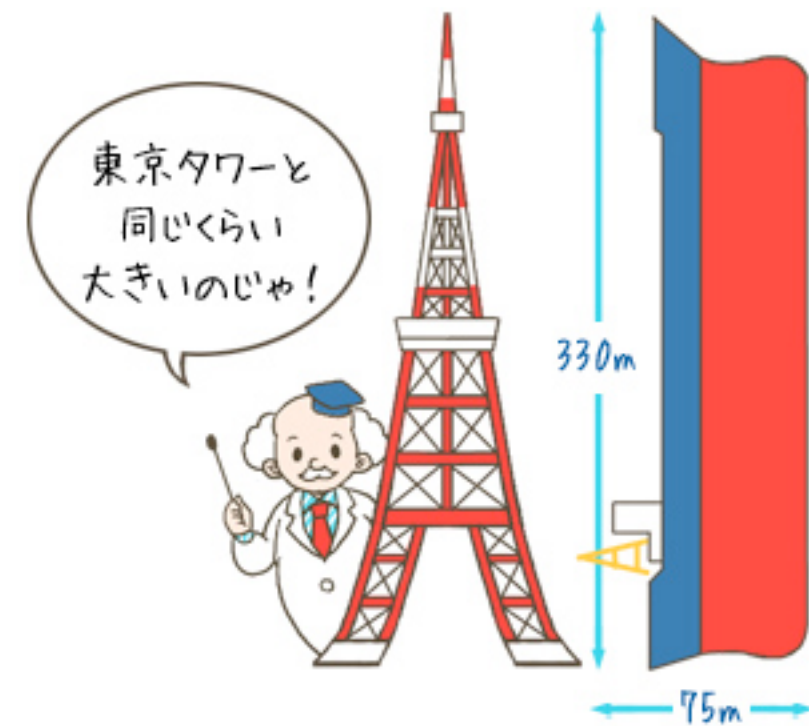
卵を浮かせる 実験

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？

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、突然ノツポになる？



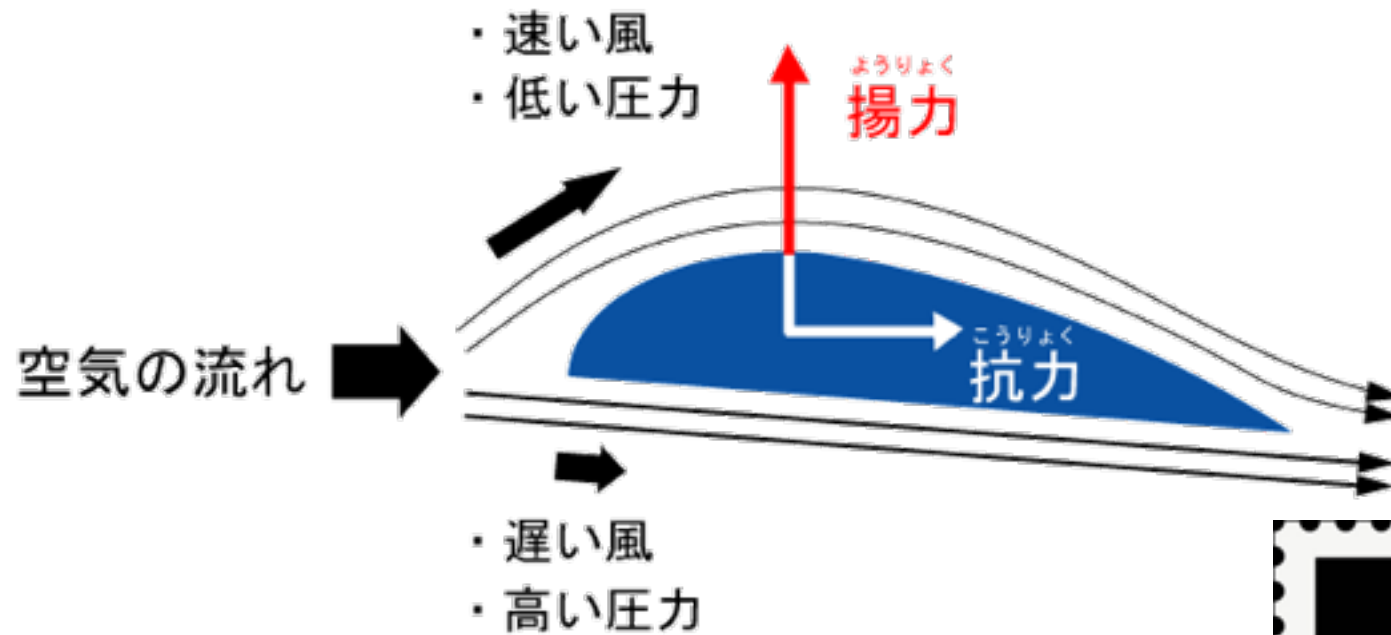
タンカーの中には、たくさんの石油を入れることができますが、石油を積んだ時と降ろす時では9メートルも違います。日本から産油国へ行く時には、バラストタンクに海水を入れてバランスをとりながら走っています。

揚力：飛行機はなぜ飛ぶか

ベルヌーイの定理 (Bernoulli's principle)

定常な流れの流体では、単位体積あたりの運動エネルギーと圧力の和はその流線上で一定である。

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const.} \quad (3.15)$$



Daniel Bernoulli
(1700-1782)



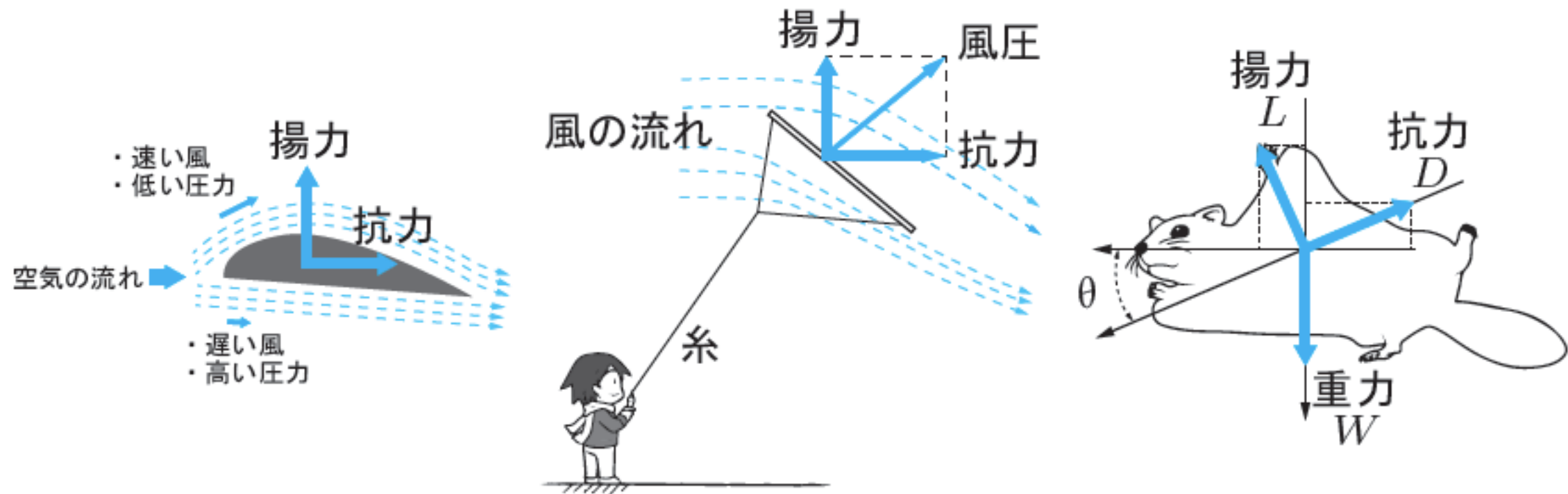


図 30: 〔左〕飛行機の揚力, 〔中〕凧の揚力, 〔右〕ムササビの揚力.

風船を空中で留める

実験

風力によって揚力が生まれる様子を体験しよう。風船に息を入れると、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 31

旅客機の主翼の傾きに注目 (1)



離陸時
滑走中



離陸直後

旅客機の主翼の傾きに注目 (2)



上昇中



水平飛行中



旅客機の主翼の傾きに注目 (3)



下降中



空気抵抗ブレーキ



ライト兄弟, 1903年 初の有人動力飛行

ノースカロライナ州キルデビルヒルズの砂丘における初飛行（1903年12月17日）。操縦者はオーヴィル。横にいるのはウィルバーで、離陸滑走の間、地面に触れないように支えていた翼端を離している。この飛行を見ていた観客はわずか5人であった。



- ・ 1回目: 12秒、120ft (約36.5m)
- ・ 2回目: 12秒、175ft (約53.3m)
- ・ 3回目: 15秒、200ft (約60.9m)
- ・ 4回目: 59秒、852ft (約259.6m)

Wilbur Wright (1867-1912)

Orville Wright (1871-1948)

リンドバーグ, 1927年, 初の単独大西洋横断飛行



Charles Lindbergh (1902-1974)

スピリット・オブ・セントルイス号

「翼よ、あれがパリの灯だ！」と叫んだとされる

「誰か英語を話せる人はいませんか？」

(この後英語を話せる人に「ここはパリですか？」と尋ねる) 」

であるという説と、

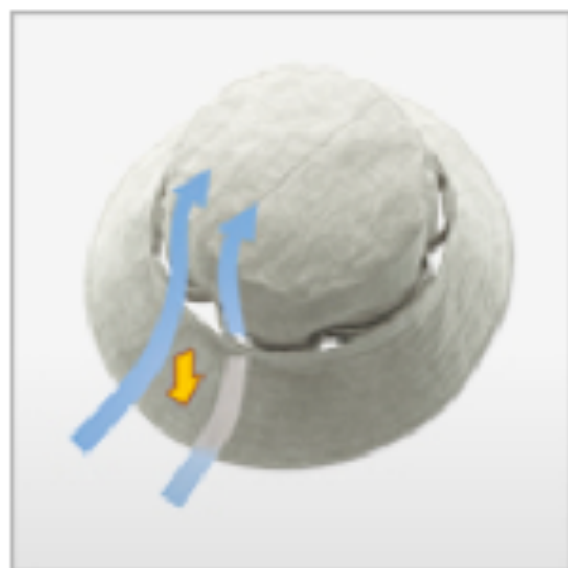
「トイレはどこですか？」

通販生活でしか買えないUVウェアシリーズ

昨夏売上げ
第2位

ベルヌーイの帽子 ●フリーハンド

自転車で風にあおられても飛ばない「ベルヌーイ構造」と「99%超のUVカット効果」で人気16年目。



玄海灘の強風に向かって自転車を漕いでも飛ばされないので、この帽子、夏の自転車通勤には欠かせません。

今村真弓さん
(福岡県)



ここに納得



めったに飛ばない理由をくわしく説明しますね。ポイントはツバのまわりにぐるりとついている「風の通り道」。次のような構造になっています。

- (1) 帽子の下に入った風は「風の通り道」を抜ける。
- (2) するとツバの上下で気圧差が生まれ、気圧の低い下側に帽子が押しつけられる。

これがベルヌーイの定理です。

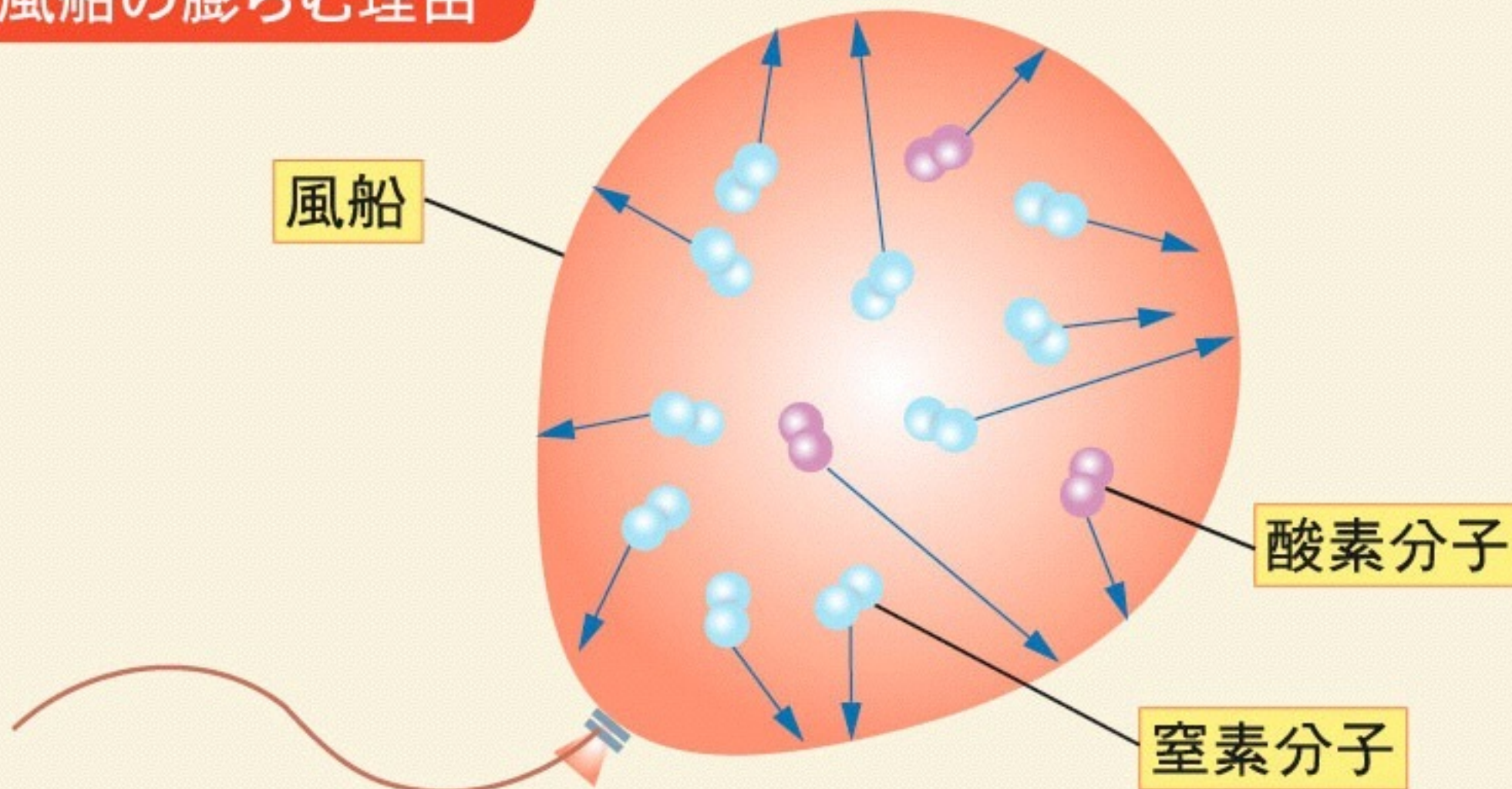
この商品を
すぐ申込む



4. 気象の物理

4.1 温度は何で決まるのか

風船の膨らむ理由



風船の中で気体分子が高速で飛行する
分子が風船内面にぶつかることで風船が膨らむ

温度の単位

- 摂氏, °C (セルシウス氏, 摂修)
水の融点を0, 沸点を100とする
- 絶対温度, K (ケルビン)
-273 °C=0 K, 1度幅は°Cと同じ.

$$\text{(絶対温度)} = \text{(摂氏温度)} + 273$$

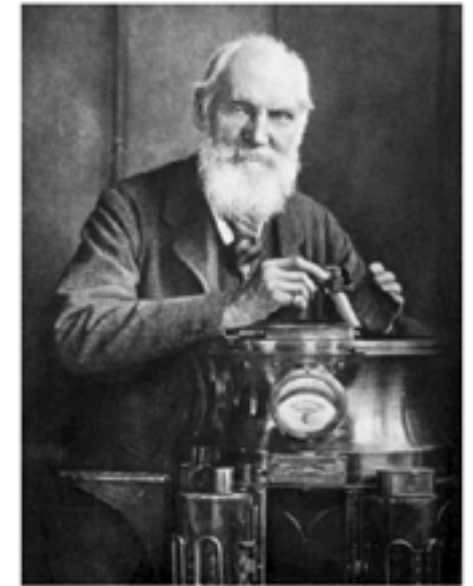
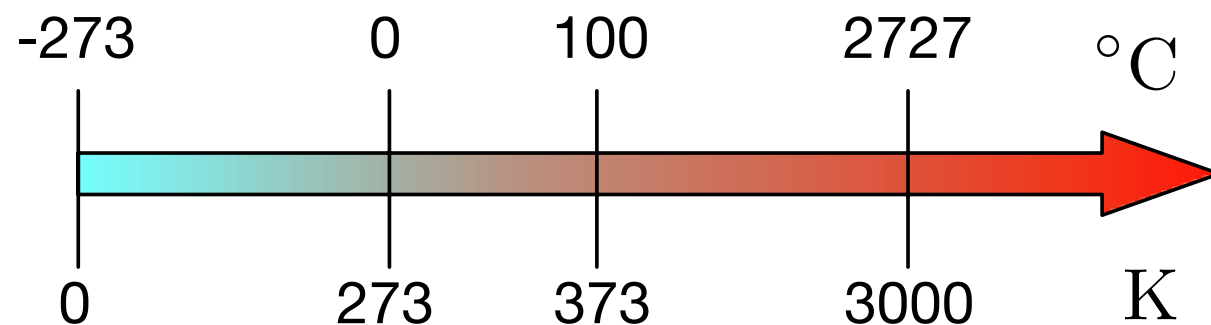
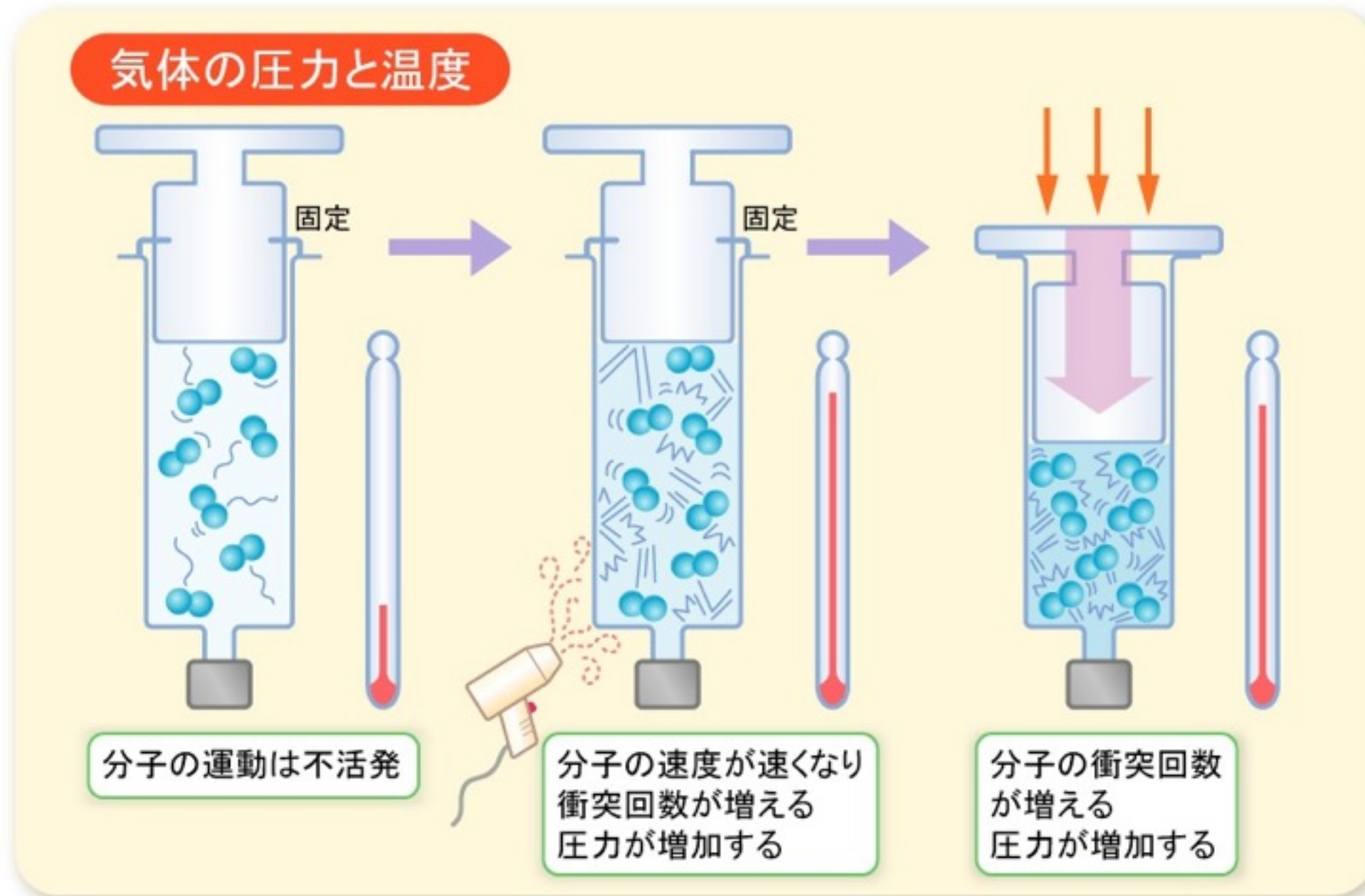


図 1: ケルビン Lord Kelvin, W.T. (1824–1907)

- 華氏, °F (ファーレンハイト氏, 華倫海)
氷と塩化アンモニウムの混合物で約 -18 °C, 人間の体温を96とする.

$$\text{(摂氏温度)} = (\text{華氏温度} - 32) \times 5/9$$

温度 = 分子の運動の激しさ (= 運動エネルギー)



More than a thousand heat records broken across the U.S. in a WEEK

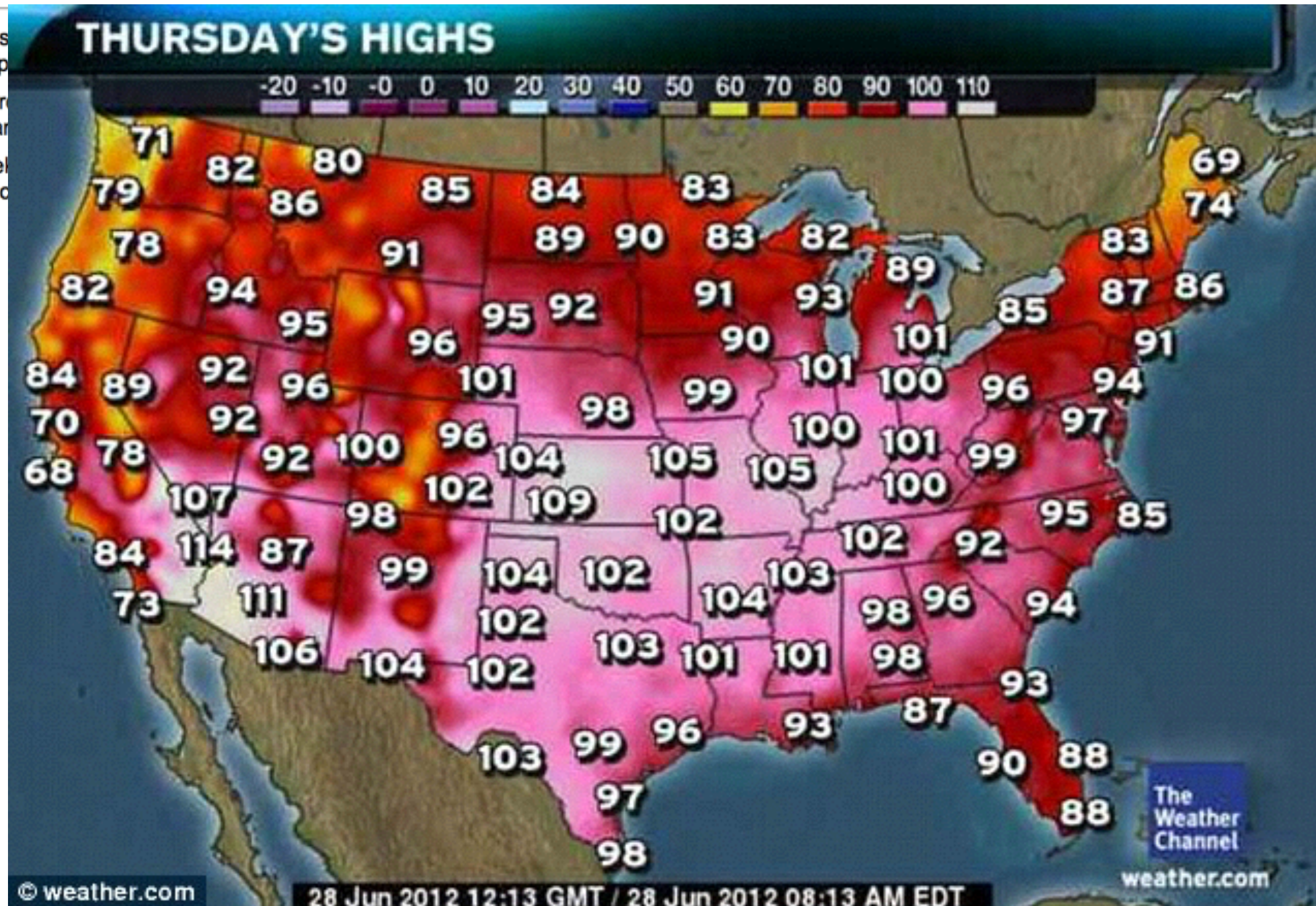
By DAILY MAIL REPORTER

PUBLISHED: 02:32 GMT, 28 June 2012 | UPDATED: 13:15 GMT, 28 June 2012



 View comments

Feeling hot? It's slashed in the p
From the wildfir
temperatures ar
In the past week
temperature rec



コラム 9 (太陽の温度はどうやって測る?)

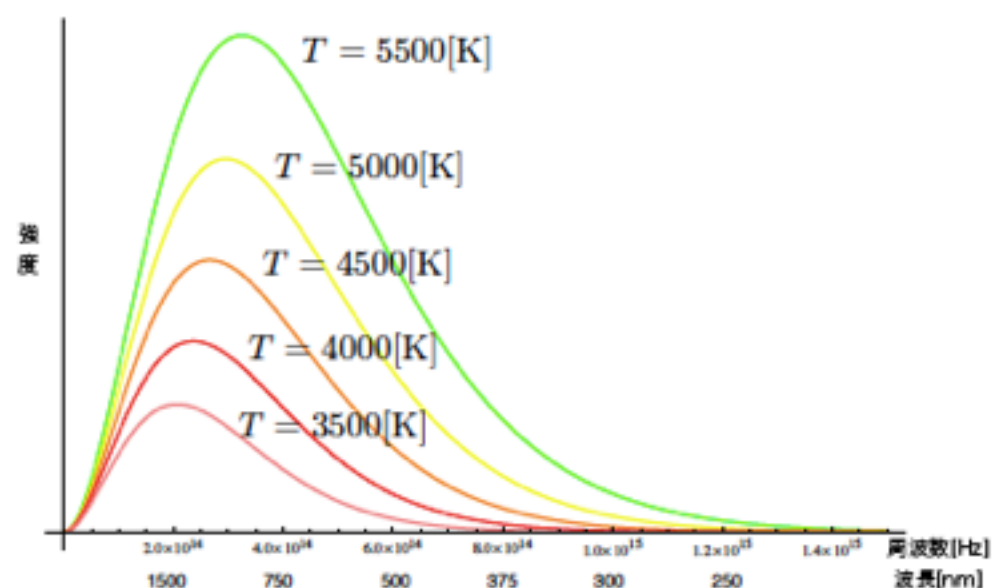
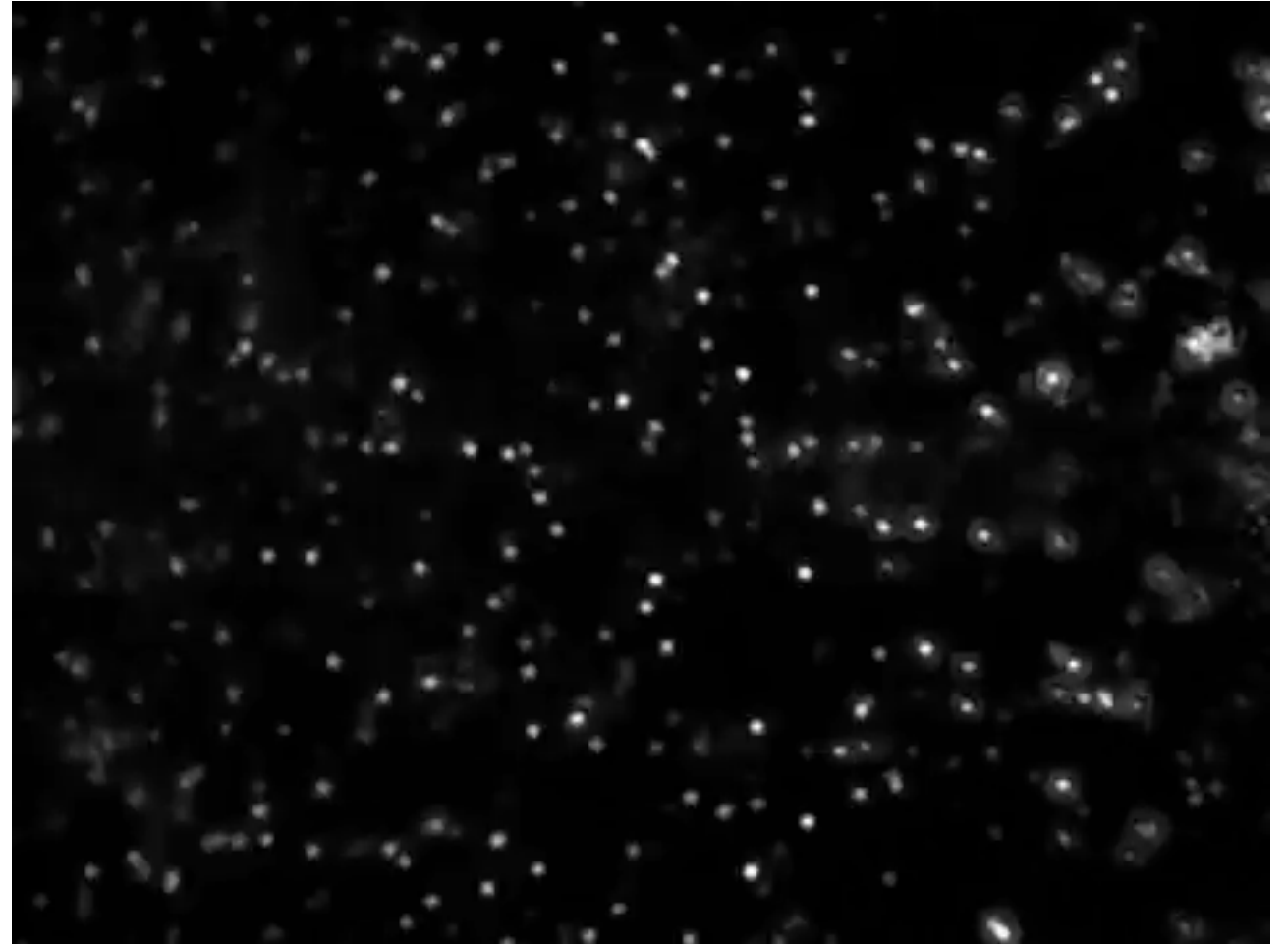
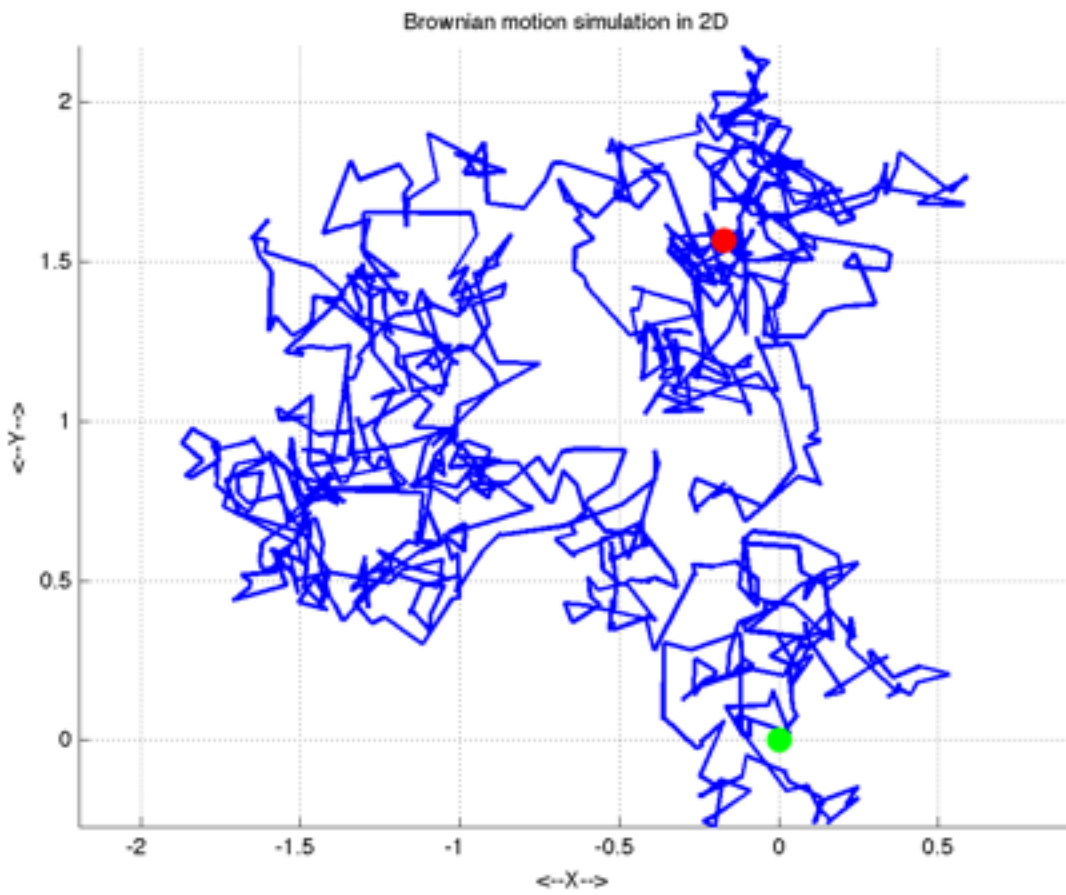


図 10: 光の放射されるエネルギーと波長
の関係は温度によって変わる.

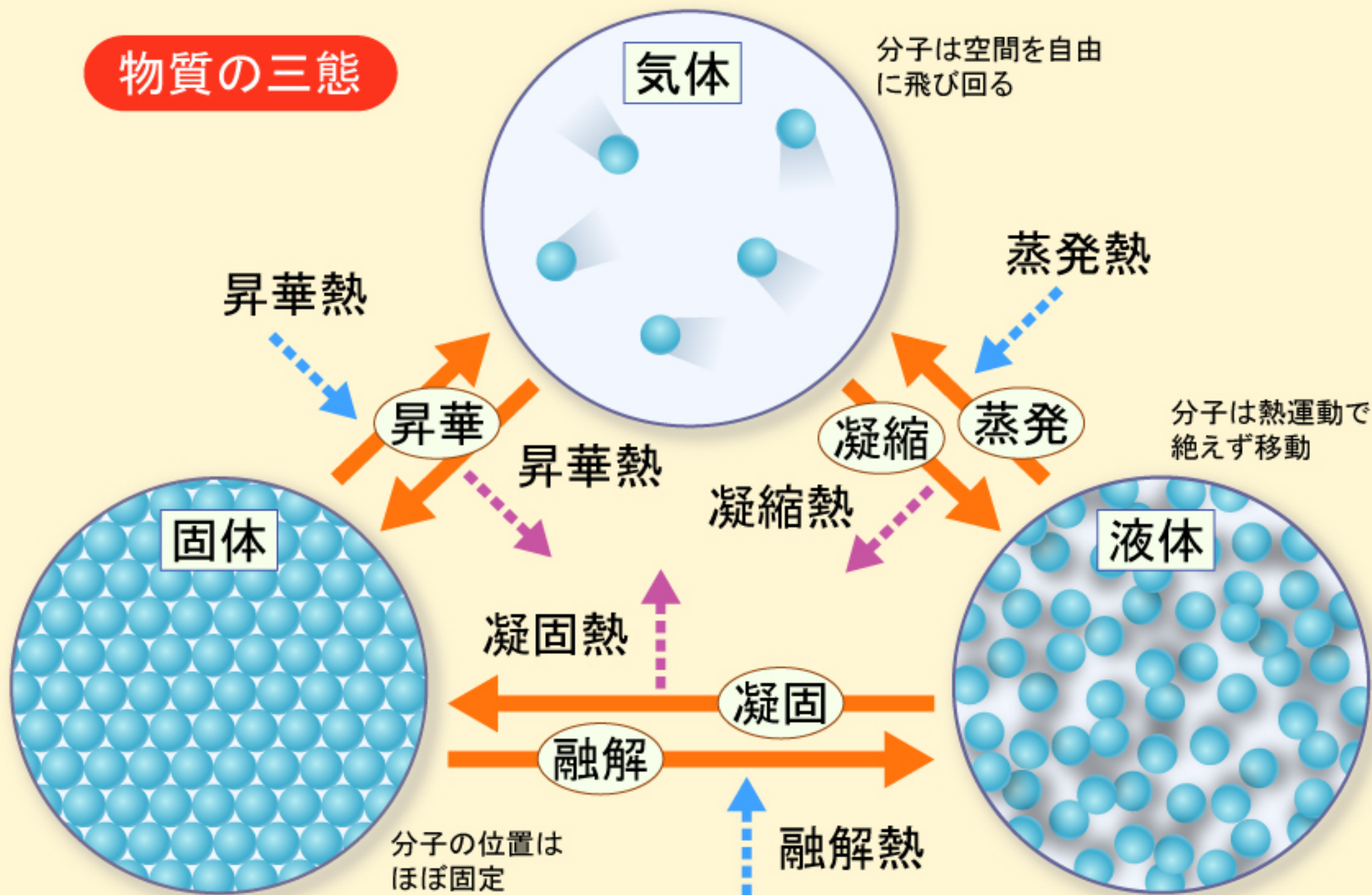
19 世紀末, 鉄鋼業が始まったヨーロッパでは, 溶鉱炉の温度を測って制御する必要が生じた. 鉄を熱するとまず赤くなり, さらに温度が上がると青白く光る. 高温物体は光を放射するが, 温度が高くなるほど, 波長が短い色に変化することがわかった (色の正体は, 光の波長である.). さらに研究が進むと, 高温の気体から放射される光のエネルギー分布は, 温度によって変わり, 図 10 のようになることがわかった.

ブラウン運動（＝水分子が微粒子を常に動かす）



物質の三態

物質の三態

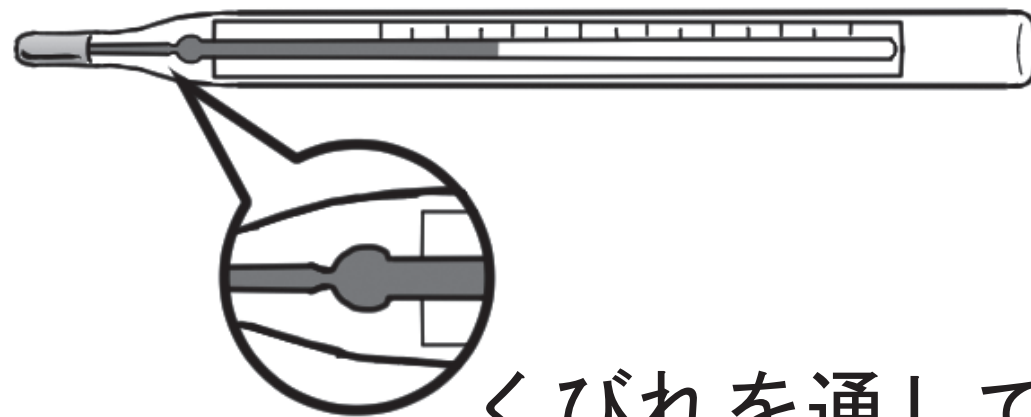


熱膨張と収縮

Topic

水銀式体温計を振って戻す理由

水銀式体温計は、水銀の熱膨張を利用して体温を測るものだ。体から離しても体温が読み取れるように、体温計の管には細くくびれたところがあって水銀の逆流を防いでいる。膨張するときはこのくびれを通れたが、収縮するときには通れない。それは長く伸びた部分を引き戻せるほど水銀の分子間力が強くないからで、細いところで水銀は切れてしまうからだ。振って遠心力を起こし、圧力を加えて水銀をもどす必要がある。



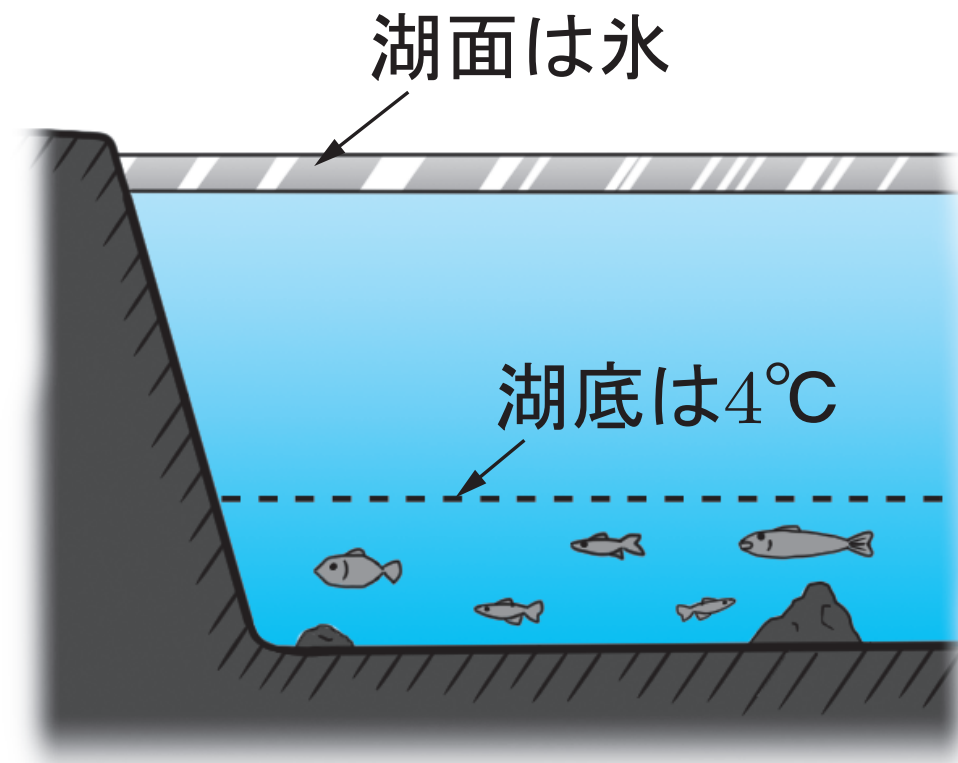
くびれを通して
収縮できない水銀

熱膨張と収縮

Topic

湖が凍っても魚が生きられる理由

水は、分子構造上、温度 4°C のときに最も体積が小さくなる。つまり、 4°C の水の比重が一番重い。冬に外気の影響で湖が凍っても、湖底には 4°C の水が存在する。魚は 4°C で生き延びられるように進化しているのだ。



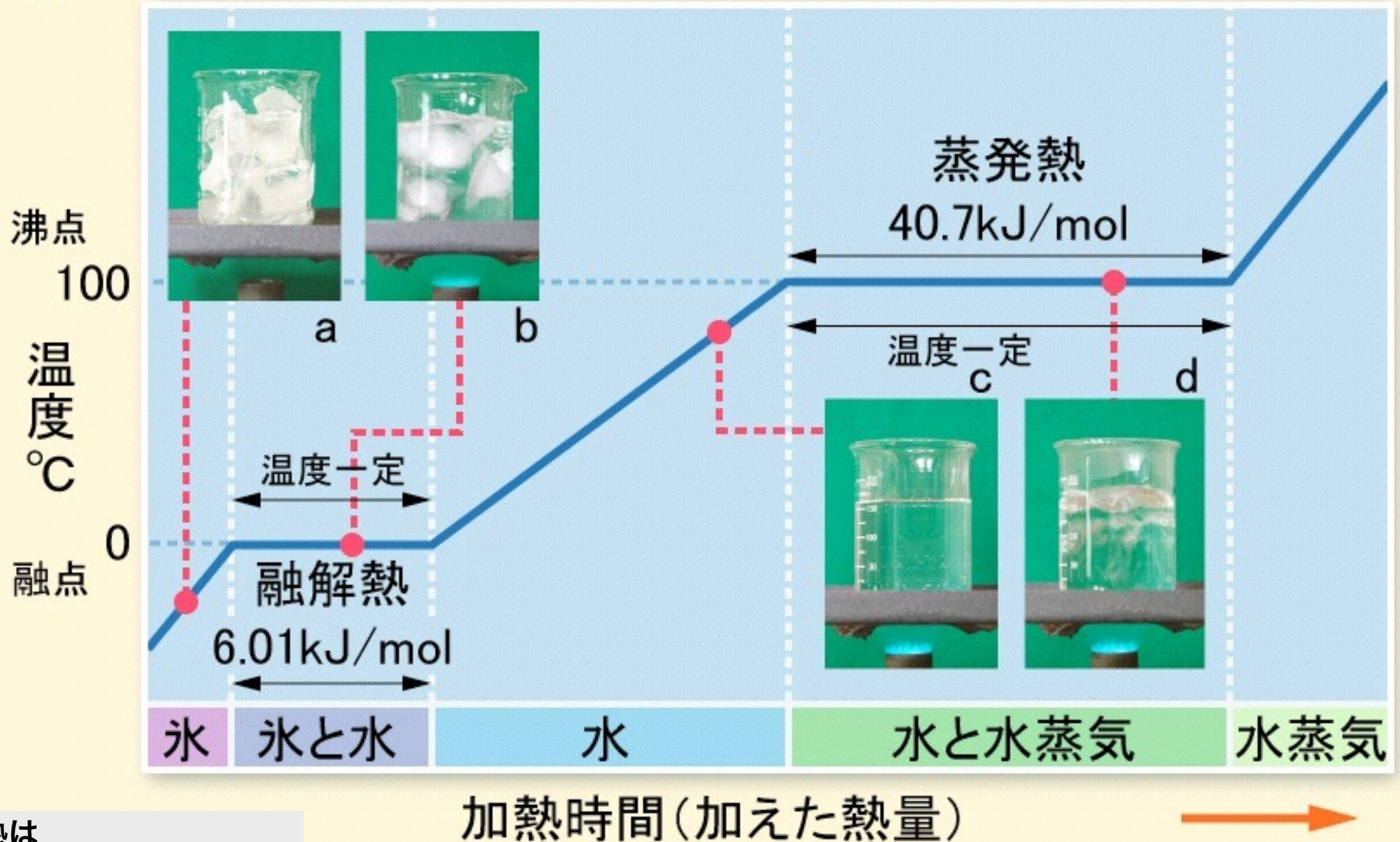
水の状態変化

水の状態変化

水の蒸発熱は

$$2257 \text{ J/g} = 540 \text{ cal/g}$$

$$41 \text{ kJ/mol} = 9720 \text{ cal/mol}$$



氷の融解熱は

$$334 \text{ J/g} = 80 \text{ cal/g}$$

$$6 \text{ kJ/mol} = 1440 \text{ cal/mol}$$

打ち水

熱膨張と収縮

Topic

過冷却と樹氷

水が凍ったり，沸騰したりするきっかけは不純物の混入による．精製水をゆっくりと -5 度の冷蔵庫で凍らせると，液体のまま（過冷却状態）であり，外気に触れた瞬間に凍りつくようなことになる．雪国などで見られる樹氷は，過冷却状態の水滴が木にぶつかって，一瞬で凍ることが1つの理由だという．



4.2 伝導・対流・放射

★伝導(conduction)

物質の内部で熱が伝わること。

鍋やフライパンを火にかける, 床暖房
金属スプーンがスープで熱くなる
使い捨てカイロ, アイロン, 余熱
風呂の湯が冷たい空気に接して冷める

× IHヒーター

★対流(convection)

気体や液体が移動することにより熱が伝わること。

湯が沸く, 味噌汁が回転する
風呂の温度が上下で違う

上昇気流 / 下降気流

冷房, 暖房

★放射(または輻射; radiation)

物体が電磁波の形でエネルギーを放出すること。

太陽光, トースター, こたつ

日焼けサロン, 白熱電球

ストーブやたき火, 石焼きイモ

サーモグラフィーの画像

× 電子レンジ, Wifi

魔法瓶, Thermos



保温に優れる

熱伝導を防ぐ
熱放射を防ぐ

魔法瓶, Thermos

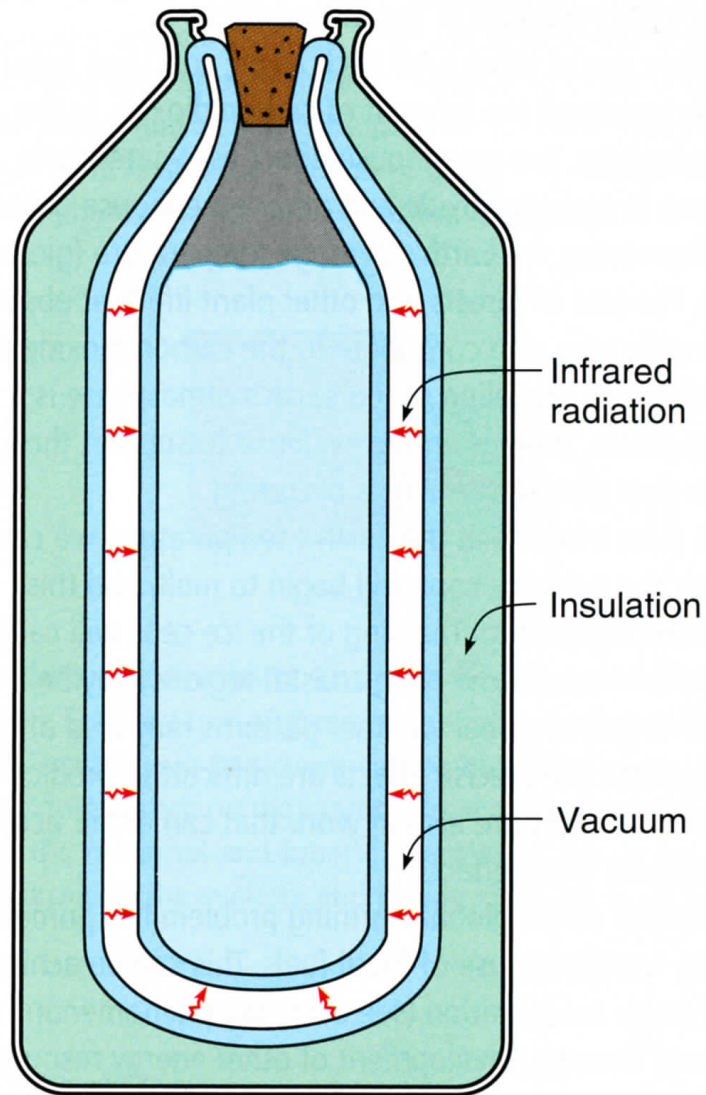


figure 10.21 Radiation is the only mechanism that can carry thermal energy across the evacuated space in a thermos bottle. Silvering the walls reduces the flow of radiation.

熱伝導を防ぐ
熱放射を防ぐ

No. 872,795.

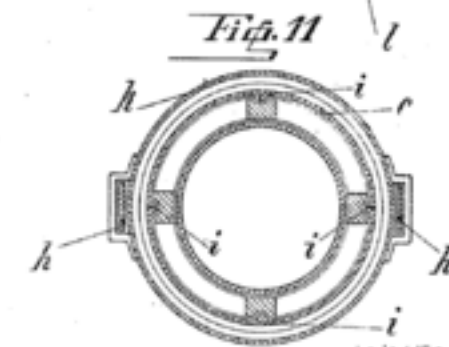
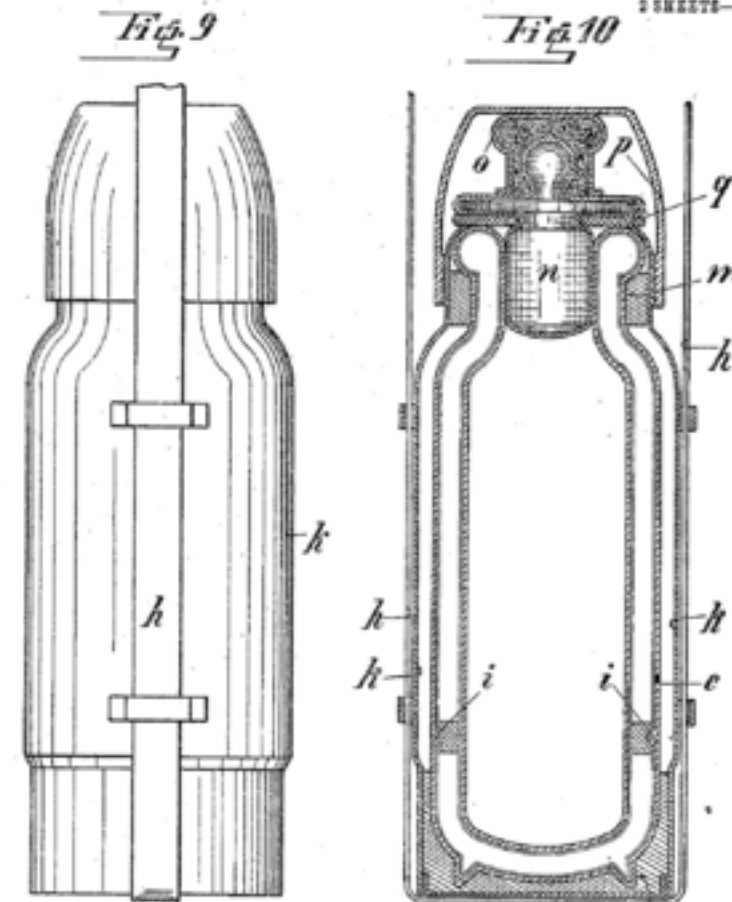
PATENTED DEC. 3, 1907.

R. BURGER.

DOUBLE WALLED VESSEL WITH A SPACE FOR A VACUUM BETWEEN THE WALLS.

APPLICATION FILED OCT. 23, 1906.

2 SHEETS-SHEET 2.

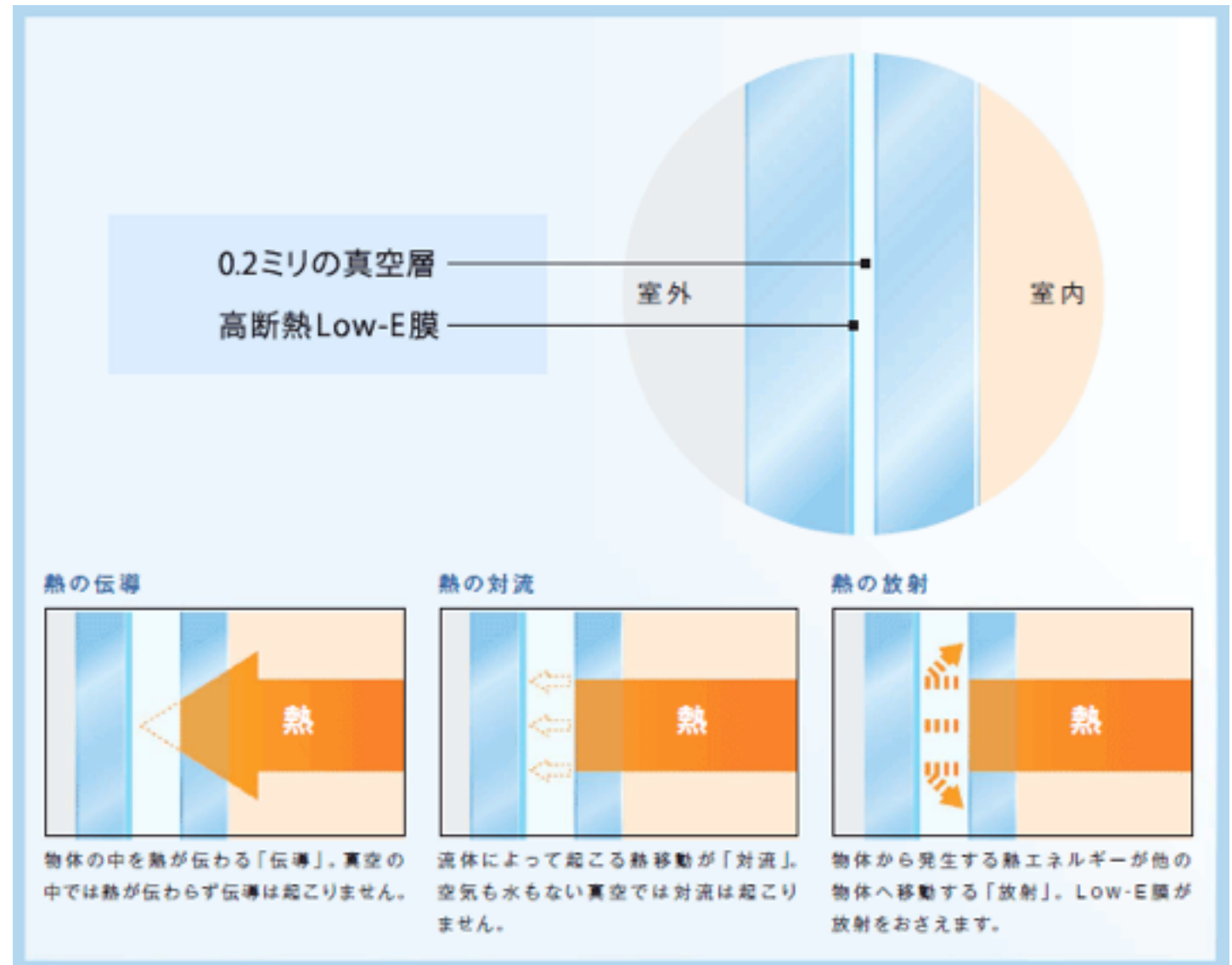


WITNESSES:
H. H. Derrigan
Georgel. Schanlan

INVENTOR,
REINHOLD BURGER,
BY *Frank O. Stearns*
Attorney

二重窓で防犯・防音・温度遮蔽

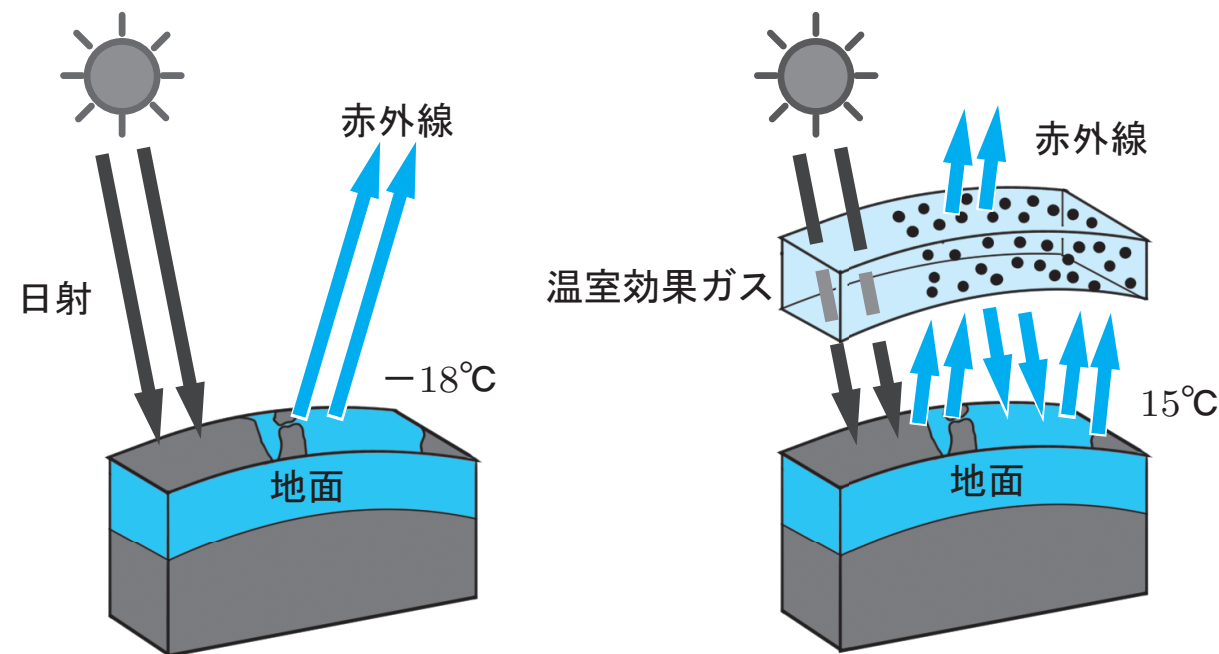
2枚のガラスの間には薄い空気（真空）層



温室効果ガス

太陽から地球に熱が届くのは、放射による。地面や海水面が放射によって暖められ、それが空気や海水を暖める。そして空気や海水が対流を起こして、熱を地球全体に循環させる。もし、地球に空気や水がなかったら、太陽からの熱があたる部分は灼熱の高温になり、日陰の部分は非常に低い温度になってしまうだろう。

地球の熱も宇宙空間に放射して逃げていく。幸い地球は、温室効果ガスに取り囲まれていて、ある程度の熱は保持される。もし、温室効果ガスがなければ、地表の温度は -18°C になってしまう。

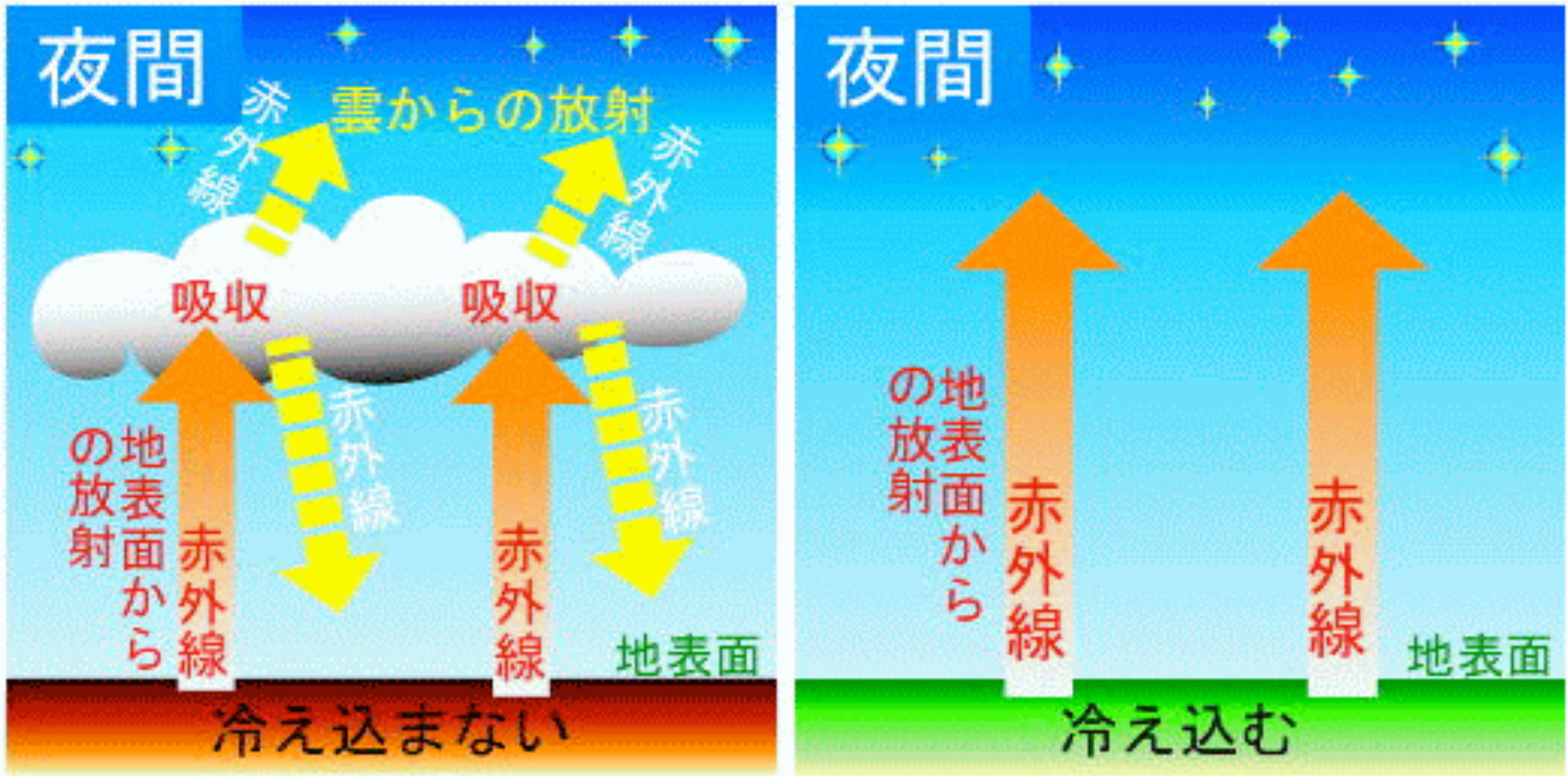


(a) 温室効果ガスがない場合

(b) 温室効果ガスがある場合

放射冷却

雲がないと夜明けは冷える



4.3 飽和水蒸気量

空気中に溶け込める水蒸気量は温度によって変わる。

飽和水蒸気量

気温 °C	飽和水蒸気量 g/m ³
35	39.6
30	30.4
25	23.1
20	17.3
15	12.8
10	9.4
5	6.8
0	4.8

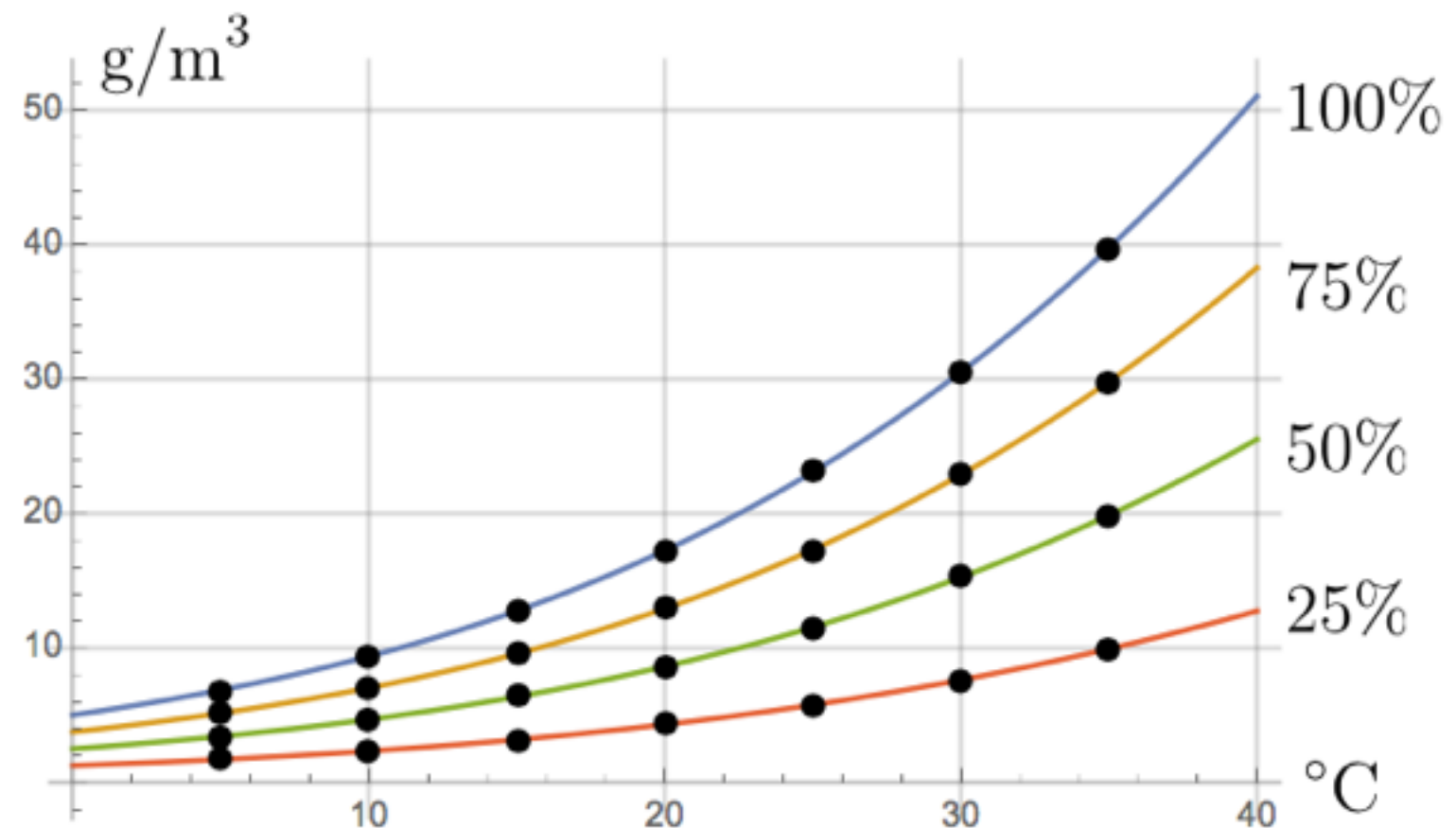


図 13: 飽和水蒸気量 (図の 100% の線) の温度変化の様子。



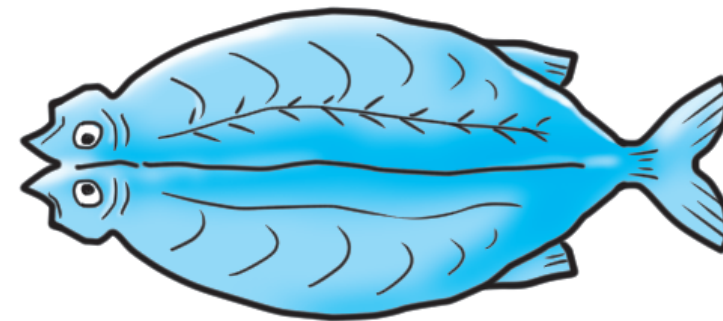
Topic

冷蔵庫の中はなぜ乾燥するのか

冷蔵庫内は -40°C 程度にまで冷却機で冷やされた空気が循環し、庫内の温度を下げる。冷気は周囲から熱を奪い、自分自身の温度は 0°C 程度にまで上昇する。そうすると飽和水蒸気量は増えるので、冷蔵庫内の食材から水分を奪い取ることになる。最近の冷蔵庫には密閉された野菜室など工夫がされている。



乾燥した野菜



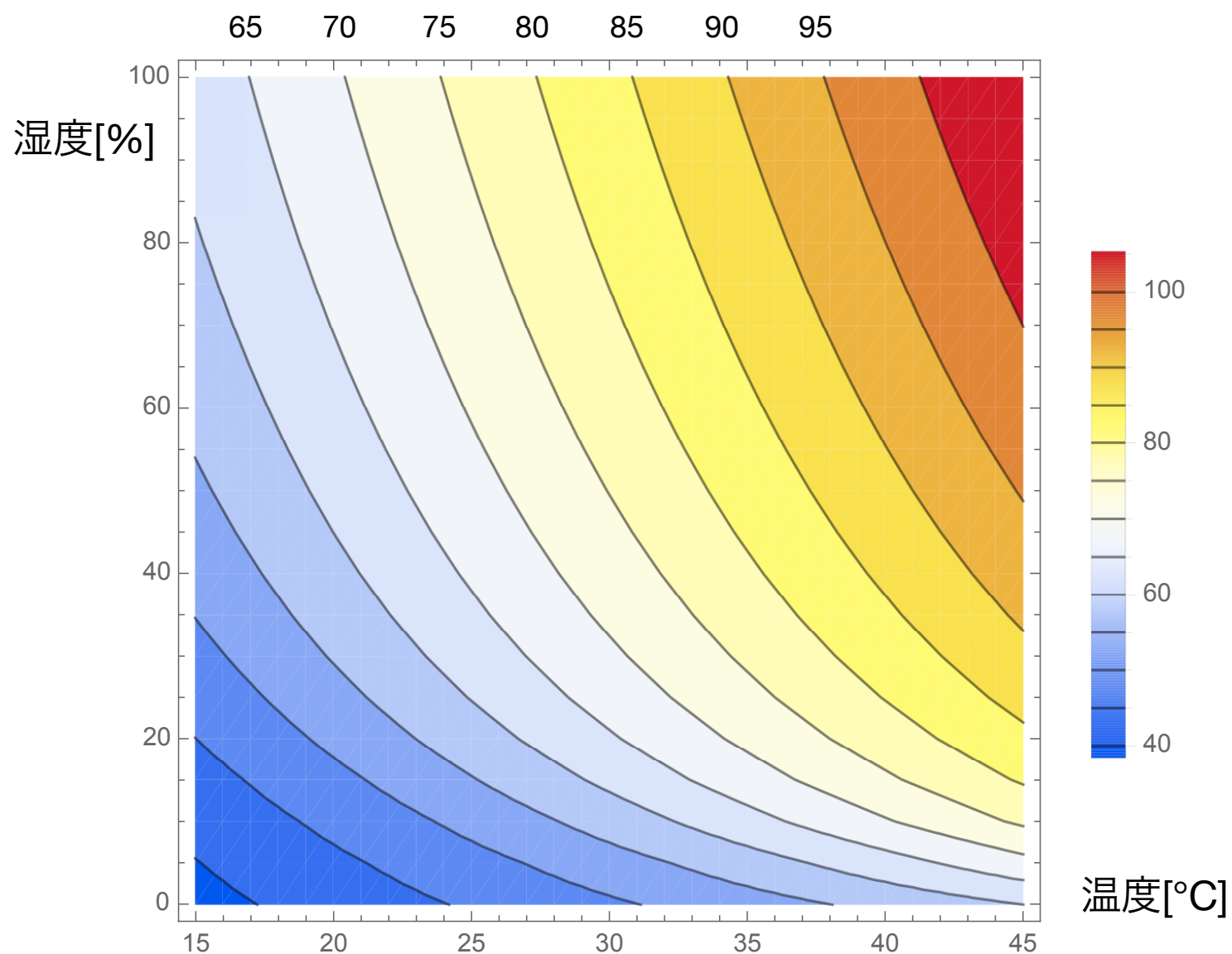
干物になった魚

コラム 10 (天気予報で出される「〇〇指数」)

夏場になると「不快指数」という言葉を耳にする。アメリカの旅行天気会社が考え出した量と言われるが、気温 T と湿度 H をもとにして、露点温度 T_0 を計算し、

$$\text{不快指数 } D = 0.72(T + T_0) + 40.6 \quad (2)$$

として計算する量だという。だが、この量は、風の影響を含めていないので、必ずしも体感と一致するわけではなく、気象庁の統計種目でもない。



4.4 コリオリの力（転向力）

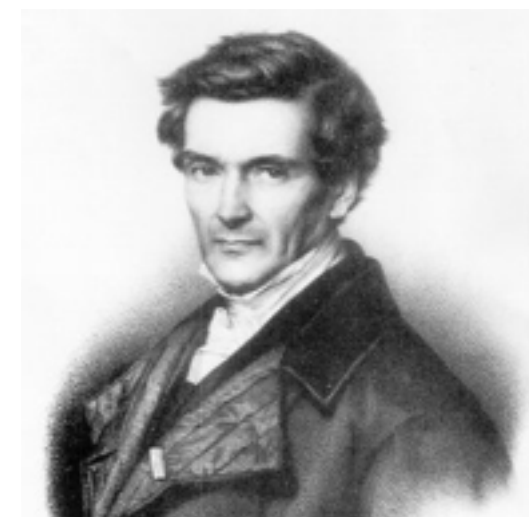
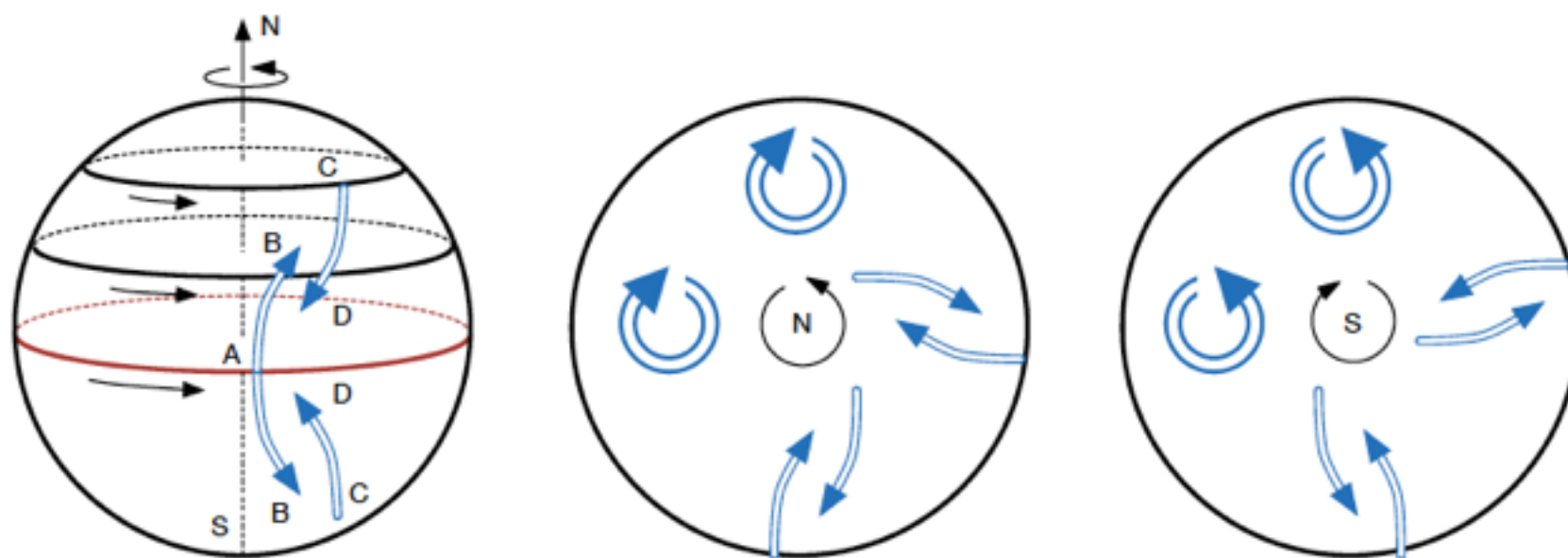
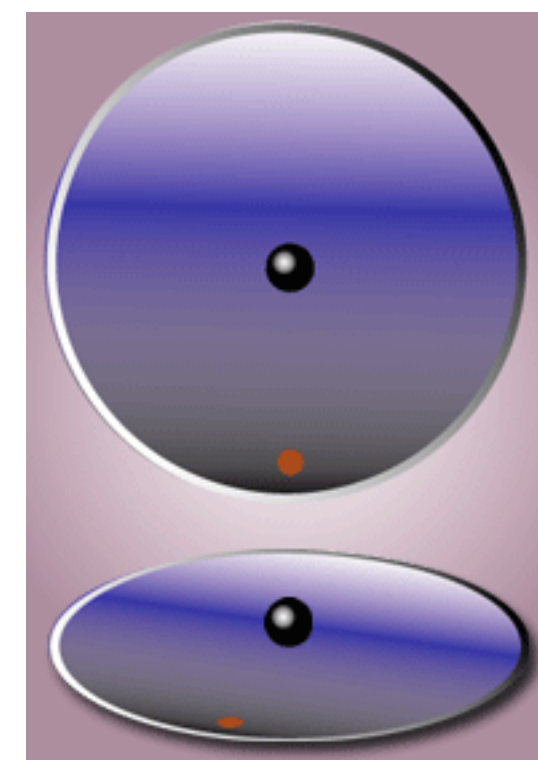


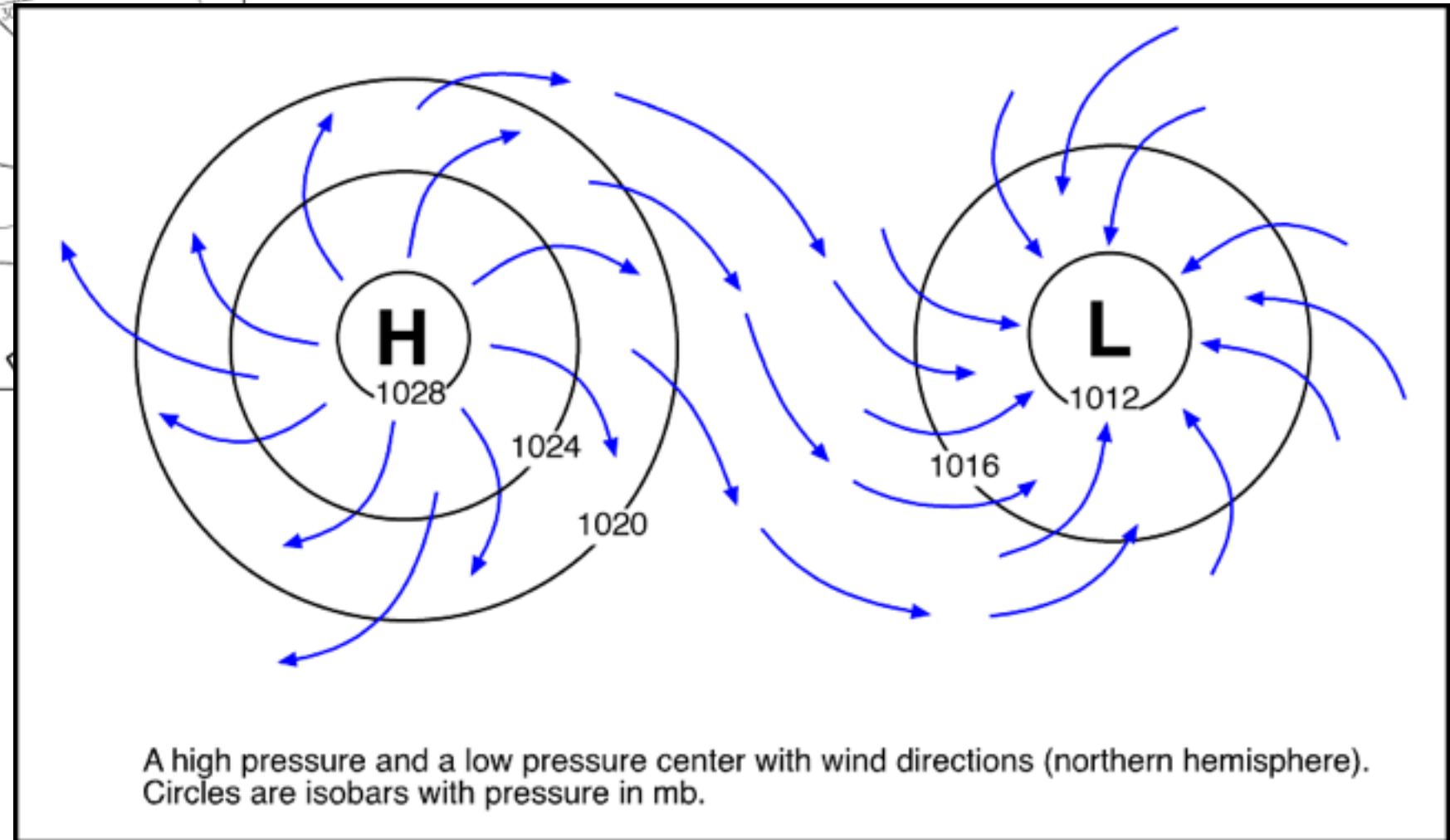
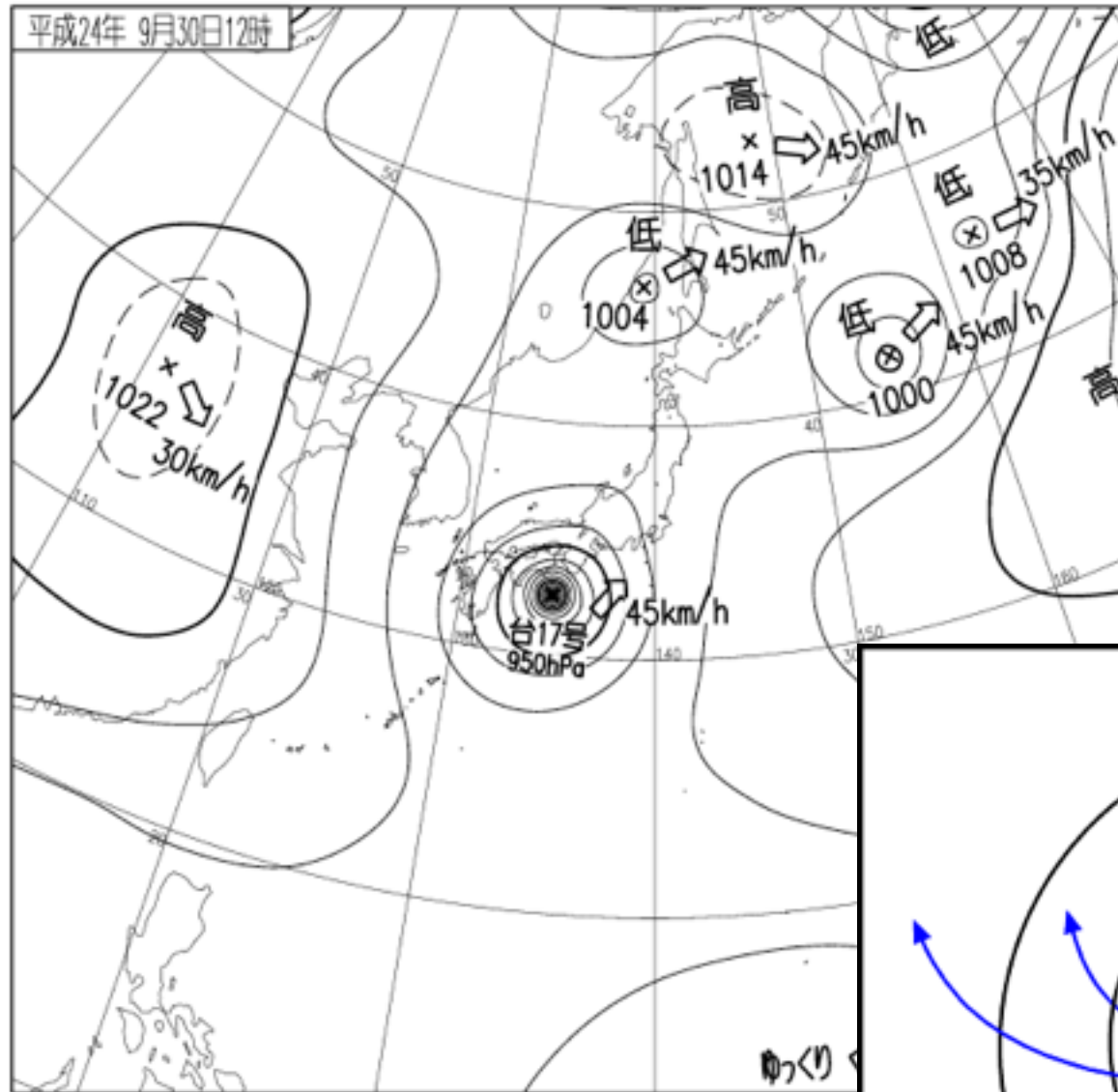
図 18: 〔左〕回転する物体上で運動すると、回転する速度成分の違いから、物体の運動方向は曲がる。
〔中〕北極方向から見た図（左回り回転盤上の運動）。〔右〕南極方向から見た図（右回り回転盤上の運動）。

法則 コリオリの力（転向力）

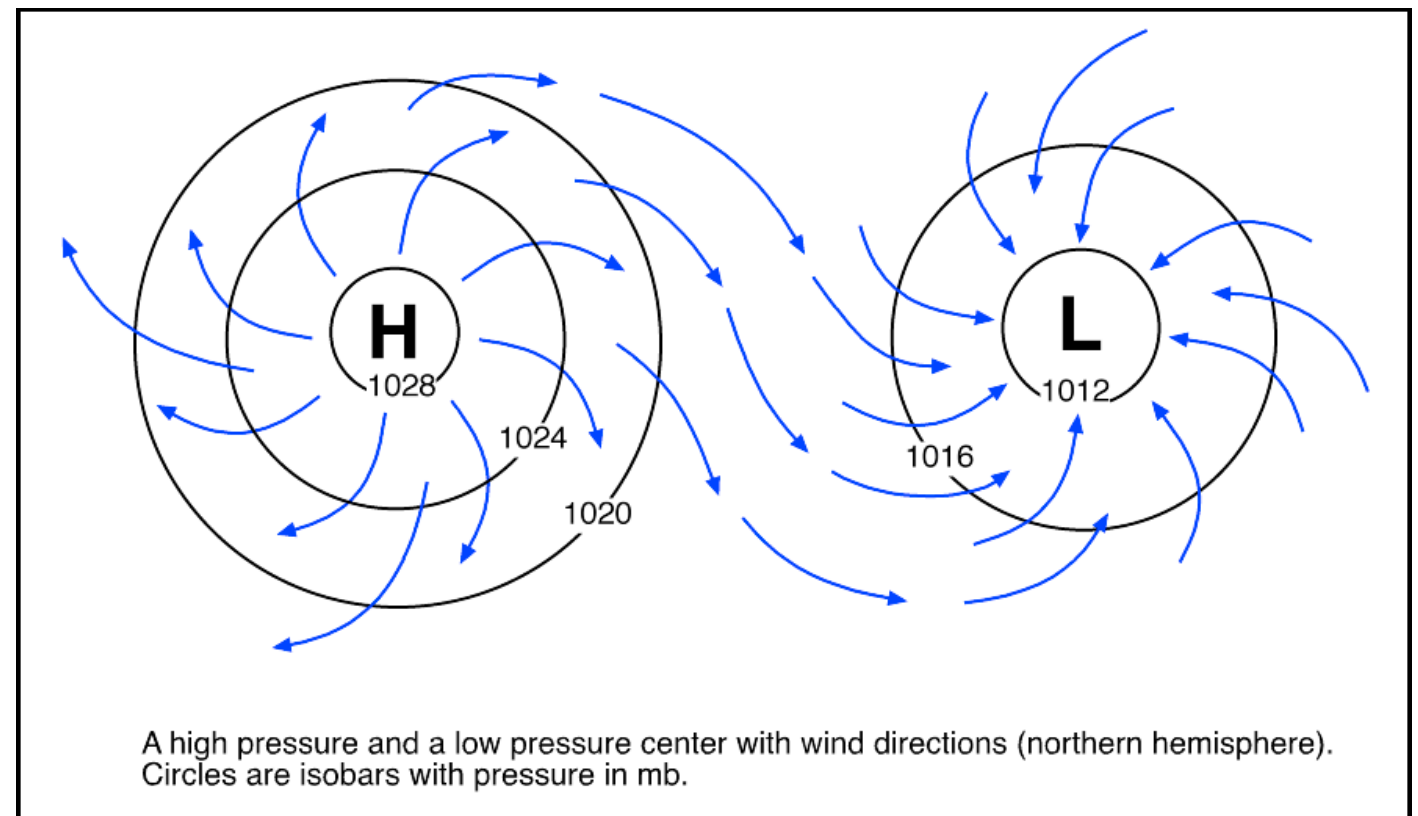
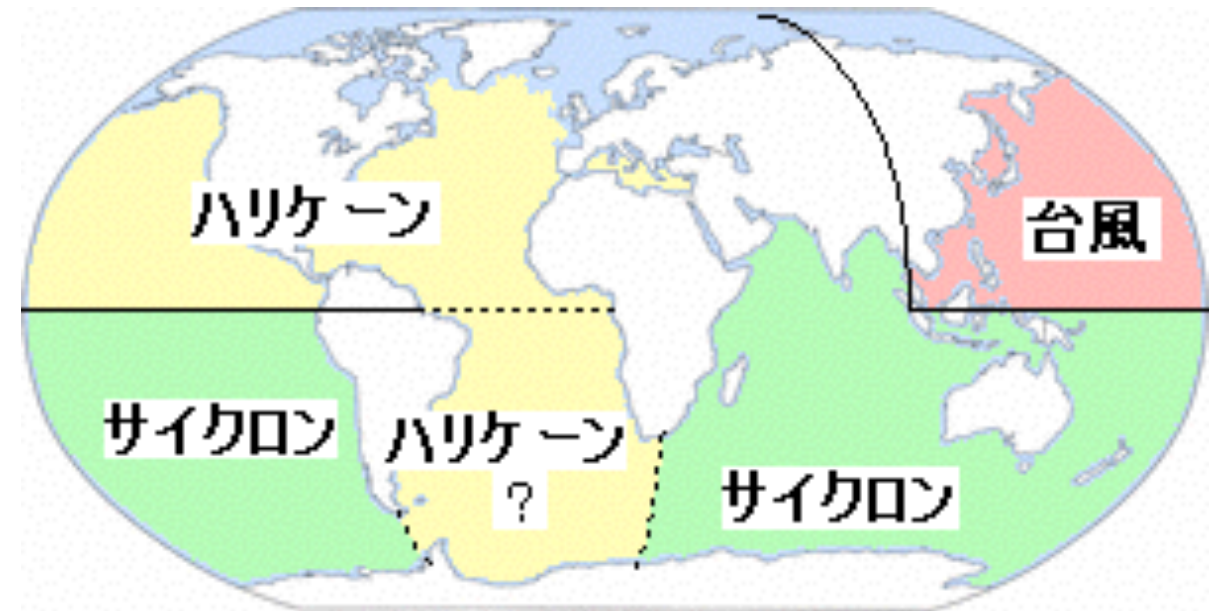
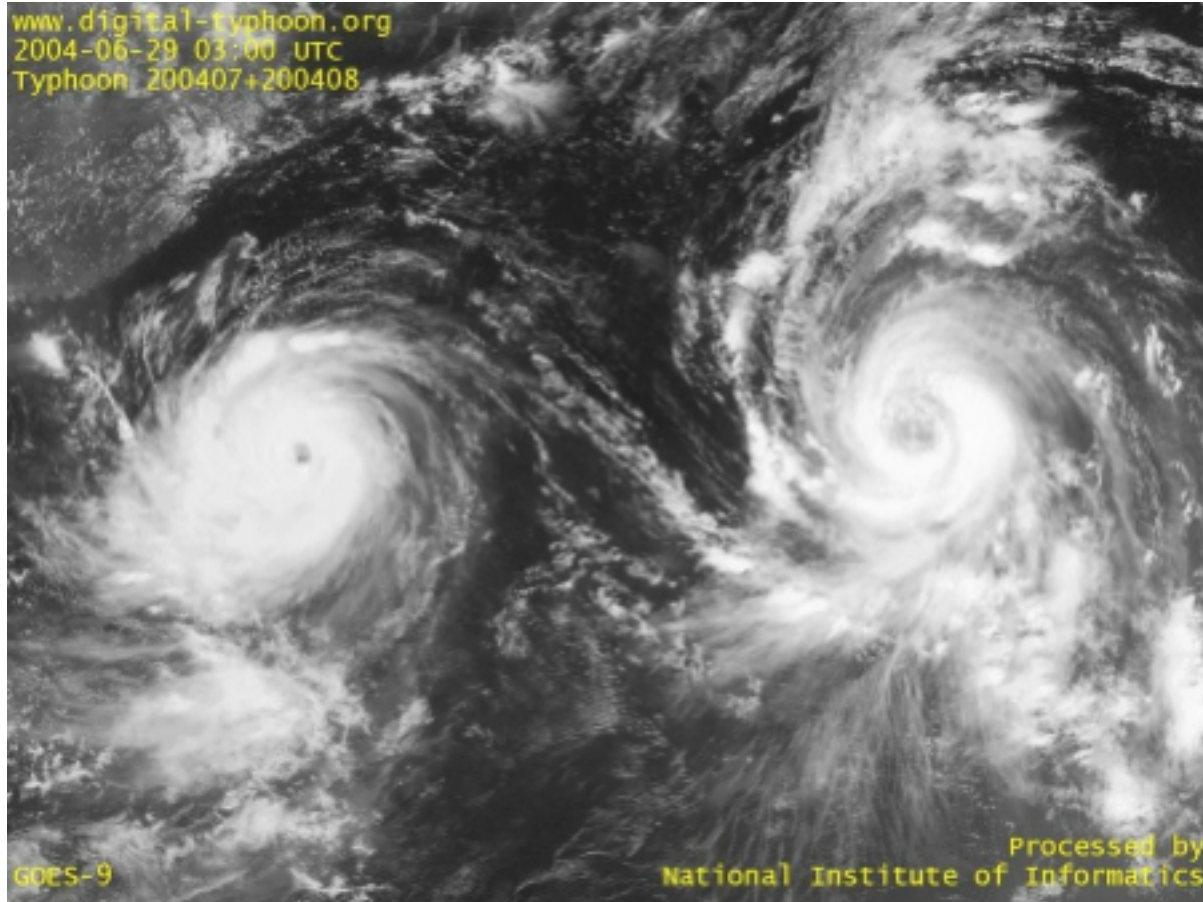
回転運動をする物体に沿って運動を考える時には、慣性力としてコリオリ力が加わる。反時計まわり（時計まわり）に回転する盤上では、運動する物体は進行方向に対して右向き（左向き）に力を受ける。



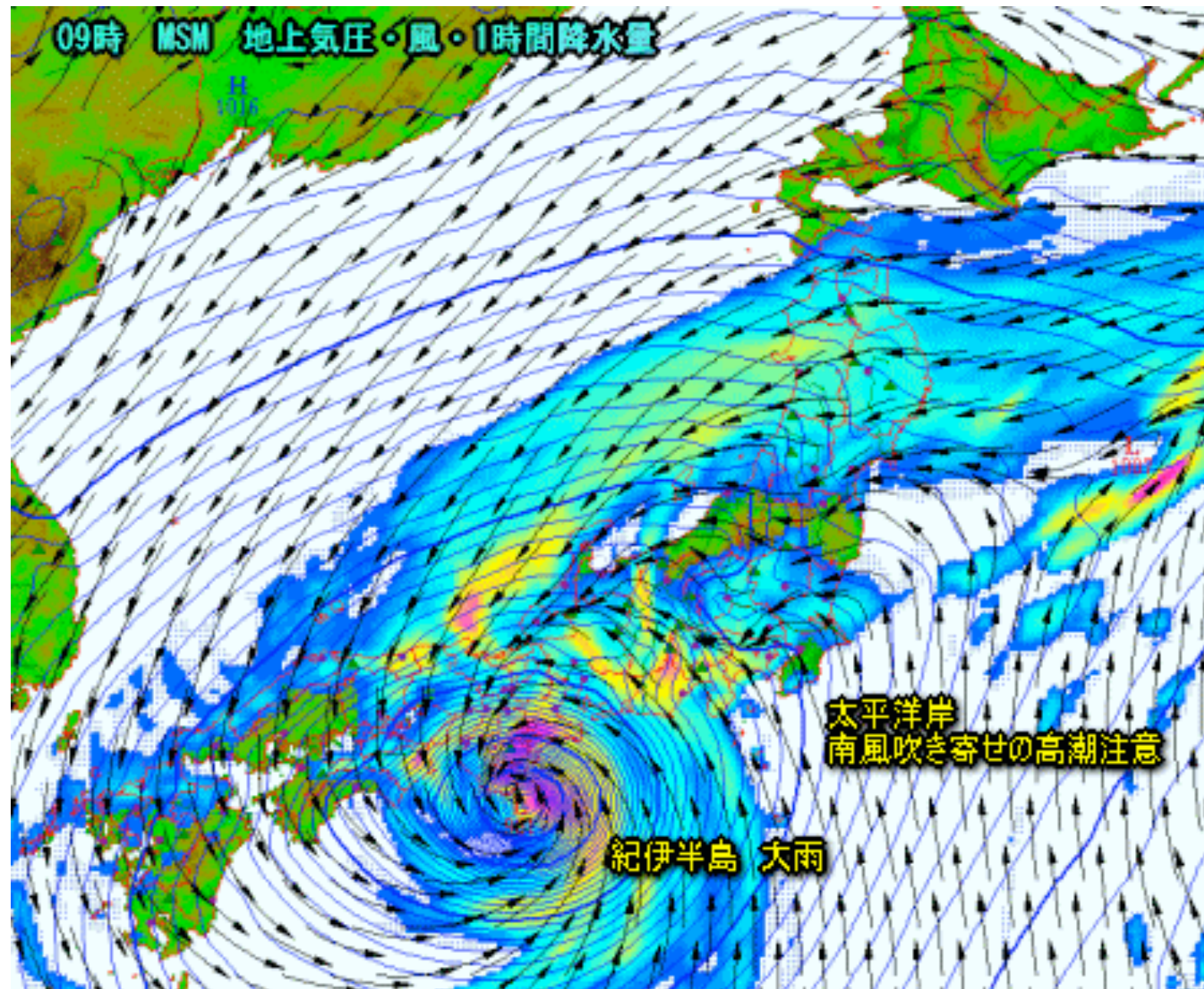
高気圧と低気圧



台風はなぜ反時計まわりか？

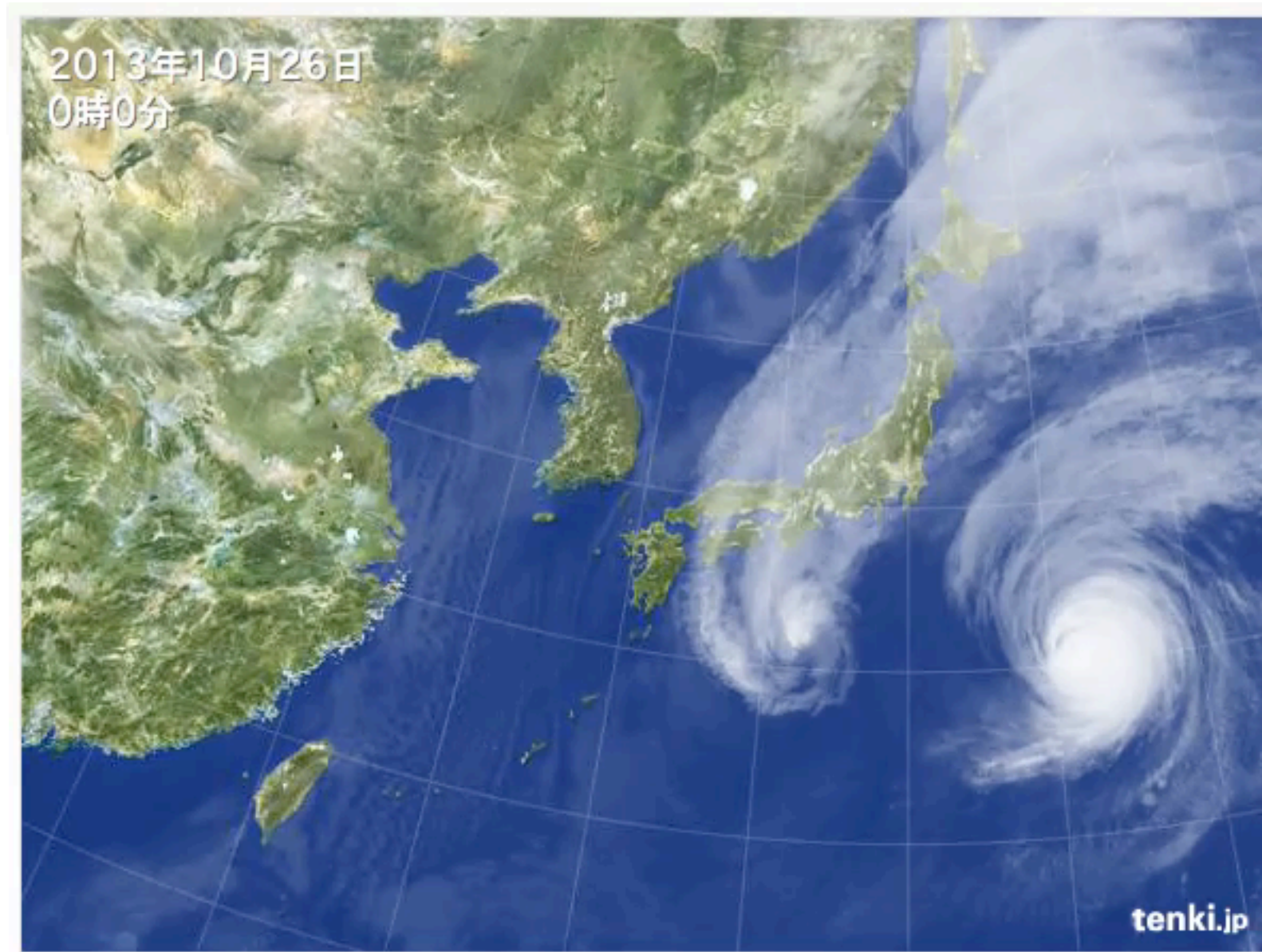


台風はなぜ反時計まわりか？



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

2013年10月24日から26日



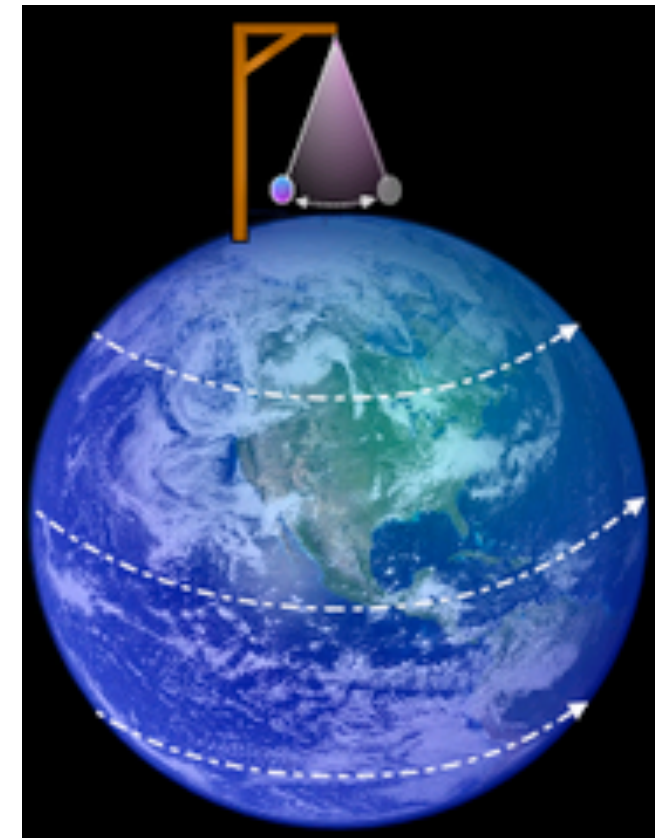
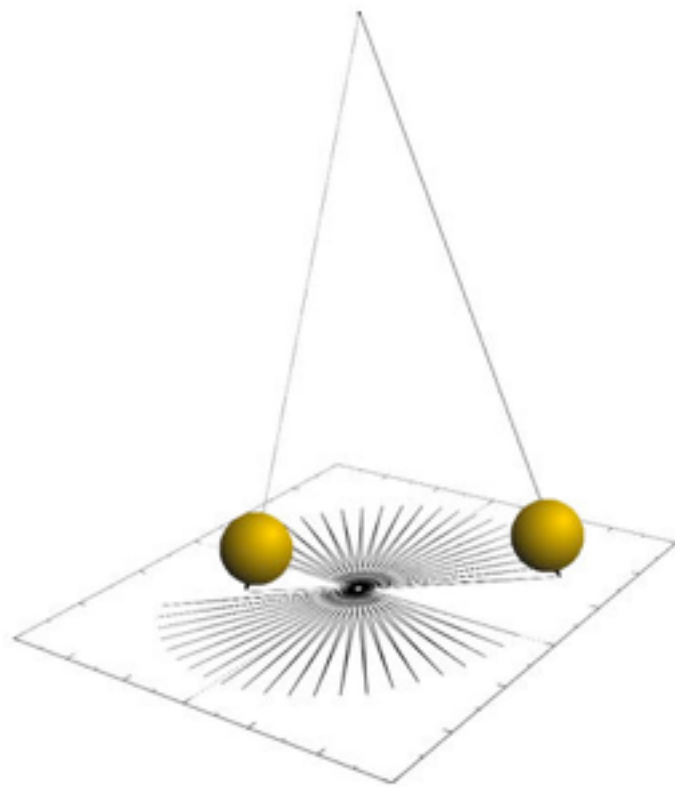
日本気象協会

http://tenki.jp/past/detail/?day=25&month=10&selected_image=satellite&year=2013

フーコーの振り子



Foucault pendulum



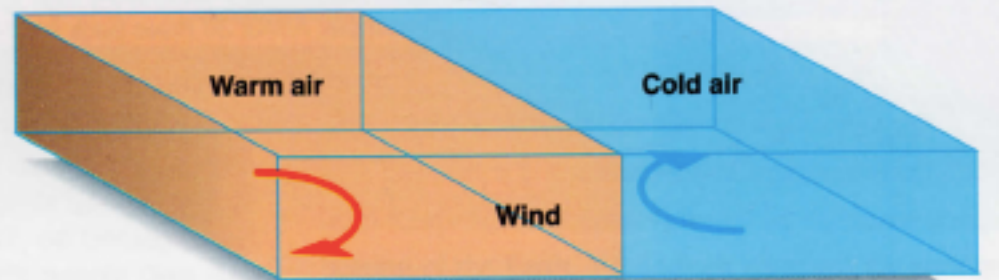
1851年，地球が自転していることを証明した。

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ゆく、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を使ったそうだが、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、赤道では回転しない。北緯35度ではおよそ41.8時間である。

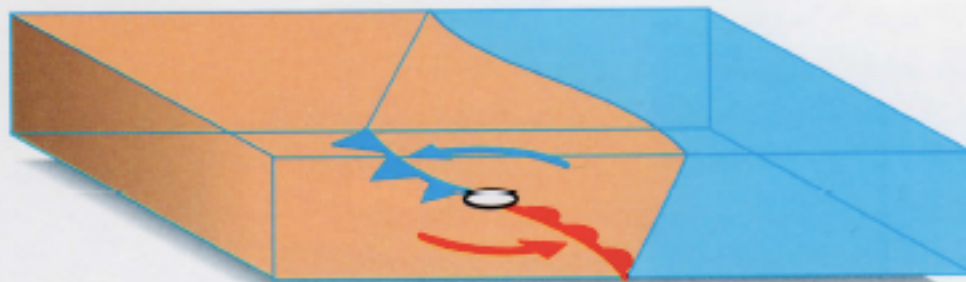
コラム 11 (温暖前線・寒冷前線)

天気図は、各地の気象台が測定した気圧、風向、風力の情報から、大気の等圧線を描くことで得られている。天気図に登場する前線について説明しよう。暖かい空気（暖気）と冷たい空気（寒気）が混ざっている場所で天気が急変する場所が前線である。

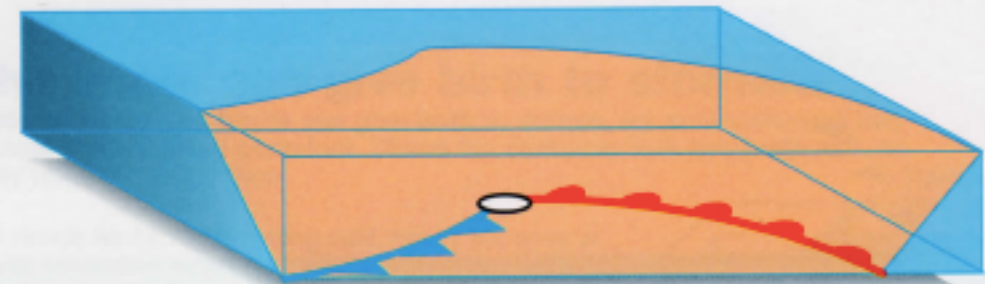
- 1** Both the warm and cold masses of air are high-pressure areas with clockwise winds. The boundary does not have to be sharp enough to be called a front.



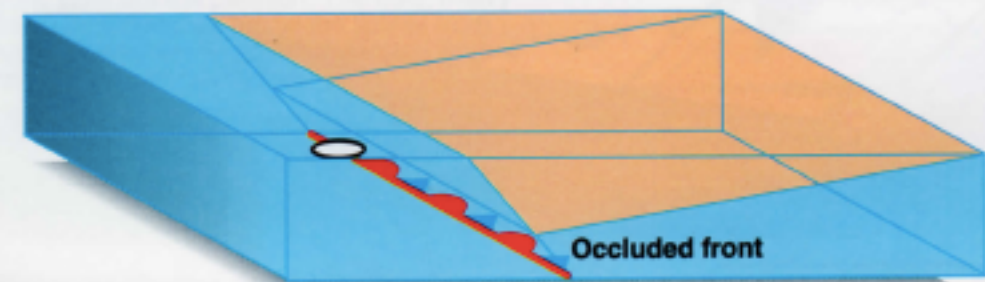
- 2** A low-pressure area forms on the boundary and counterclockwise winds around it begin moving the air. Warm air begins advancing on the east side — creating a warm front. Cold air begins advancing on the west side — creating a cold front. The fronts and low-pressure area begin stirring up clouds and precipitation.



- 3** The low-pressure area grows stronger. Its pressure decreases. Winds increase in speed, and clouds and precipitation spread.



- 4** Sometimes the cold front catches up with the warm front, forming an occluded front, but this is rare. Scientists are still working out the details of the structure of occluded fronts and how they form. Often, the formation of an occluded front is the beginning of the end of the storm.



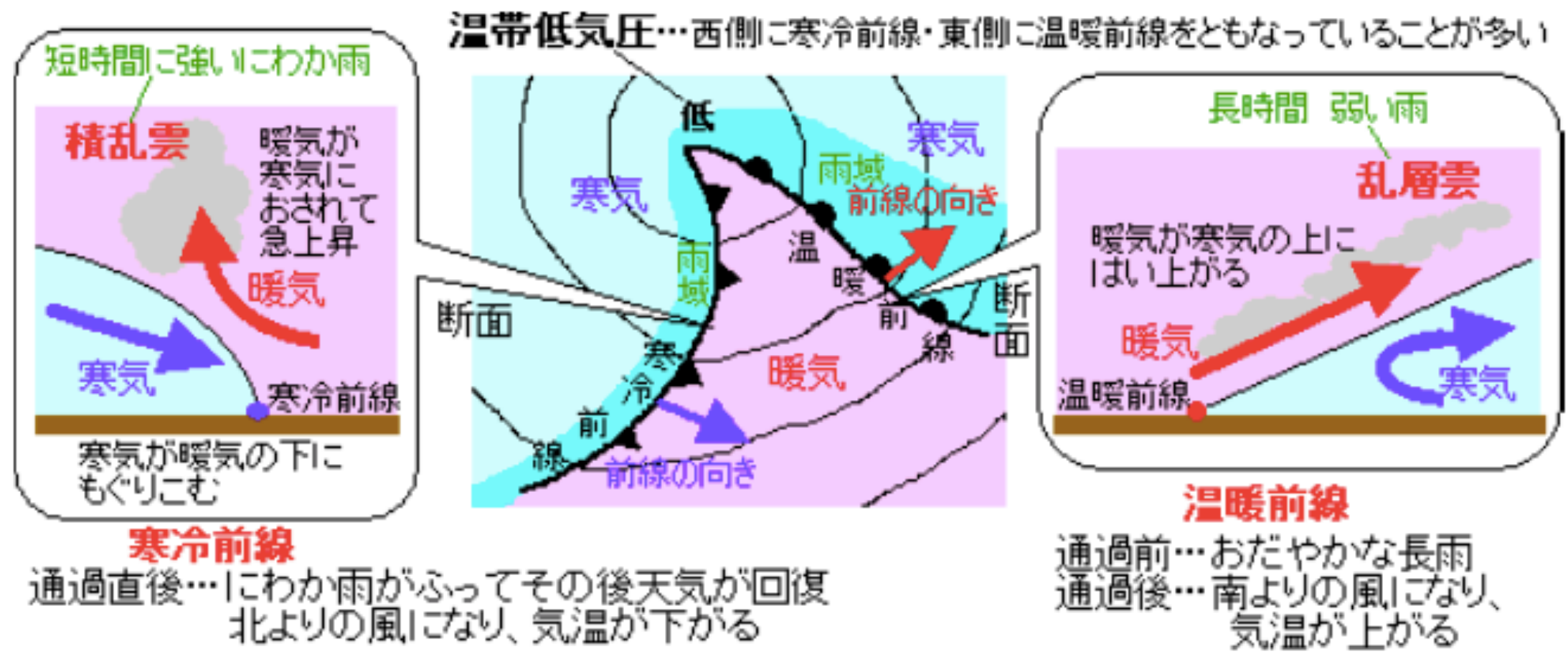


図 22: 前線の前後での気流の変化.

雲をつくってみよう

実験

ペットボトル内で雲をつくることができる。大きなペットボトルと、フィズキーパーと呼ばれる炭酸抜けを防止する栓を用意しよう。ペットボトルの中を少し湿らせ（霧吹きでひと吹き）、線香の煙を入れておく（雲の種となる）。フィズキーパーを取り付け、中の空気の圧力を上げる。圧力をあげると、閉じ込められた空気の温度が上がり、ペットボトルの中は透明になるが、そこで一気に栓を開けると、急に圧力が下がり、温度が下がって、露点に達し、雲が発生する。

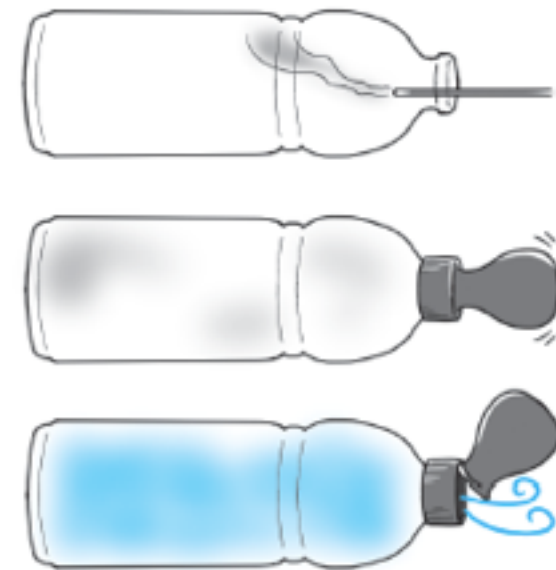


図 15

平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—

真貝寿明

次回は、7月3日（金）です。

- | | | |
|-------|----------|-------------------|
| 第 4 回 | 6 月 19 日 | 気象の物理—ペットボトルで雲を作る |
| 第 5 回 | 7 月 3 日 | 台所の物理—山の上でご飯を炊く方法 |
| 第 6 回 | 7 月 17 日 | 音の物理—足踏み揃えて吊り橋渡るな |