

生活の中の物理学

Physics in Everyday Phenomena

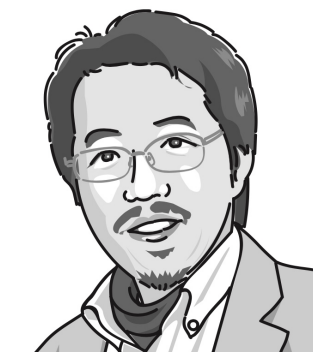
第7回 2025/11/4

第3章 流体(2)

第4章 熱

真貝 寿明

Hisaaki Shinkai



真貝の武庫川講義ページtop



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

総評 気合いの入ったレポートをたくさんいただきました.

茶碗の湯	5
わが中学時代の勉強法	2
天災と国防	2
汽船の改良	1
流言蜚語	1
科学者とあたま	1
電車の混雑について	1
柿の種	1
寒月	1
コーヒー哲学序説	1
金平糖	1
アインシュタインの教	1
野球時代	1
津浪と人間	1
あひると猿	1
蜂が団子をこしらえる	1
線香花火	1
蓄音機	1
音楽と物理学	1

採点基準(20点)

- *期限内提出

3点

*遅れ提出

減点
- *フォーマット

2点

*文献提示なし

減点
- *エッセイ紹介

5点

*考察不足

減点
- *調査・考察

10点

*論理的飛躍

減点

湯気の色, 動きの実験を試みた
虫の等身で, つり合いの法則を適用すると, とんでもなく大きな力が加わっている
電車の混雑を観察してみた
文明が進むにつれて天災被害が高まる. SNSで語り継ぐしかない.
勉強法について, 自身の体験を重ねて考えた
視覚、聴覚、痛覚は他の感覚器官よりも刺激が強い

寺田の注意深い観察力に脱帽した, というレポート
寺田のコメントに異論を感じる, というレポート

「身近にある物理現象に改めて興味をもった」
という感想がたくさんありました.
皆さんの繊細／鋭敏な感覚を大切にしてください.

前回のミニッツペーパーから

ペットボトルの蓋も冷たいと開きにくい気がします。元々開けにくいのですが...

氷を触ると手にくっつく, という話の続きのこと？
ふたの内側が凍っていたらそうですね。

おばけはいるのですか
物理的に証明

おばけはいるのですか。

おばけはいるのですか。

AI モード すべて 画像 動画 ショッピング ショート動画 ニュース もっと見る ▾

◆ AI による概要

おばけの存在については、科学的に証明されておらず、信じる人も信じない人もいます。アンケート調査では、半数以上の人が存在を信じている一方で、年齢や性別によっても信じる傾向に違いが見られます。 ⓘ

- 存在を信じる人: 約6割の人が幽霊の存在を信じているという調査結果があります。
- 信じない人: 60代以上の人「信じない」と答える割合が高い傾向にあります。
- 科学的根拠: 科学的に「存在する」または「存在しない」と証明されているわけではありません。
- 「丑三つ時」: おばけが出る時間として、昔から「丑三つ時」とされる午前2時から2時半頃が語り継がれています。 ⓘ

勉強していると眠いのにならベッドに入ると目が覚める理由。
食事をするとお腹いっぱいになるのに寝たら目が覚めるより寝ても眠いことが多い理由

勉強していると眠いのにならベッドに入ると目が覚める理由

AI モード すべて 画像 ショッピング 動画 ショート動画 ニュース もっと見る ▾

◆ AI による概要

勉強していると眠いのにならベッドに入ると目が覚めるのは、勉強中に脳が疲れて一時的に眠くなるのに対し、ベッドに入ってリラックスすることで脳が「覚醒のスイッチ」を入れ、体内時計が乱れているためです。また、寝る直前のスマートフォン利用によるブルーライトの光刺激や、ストレス、勉強場所と睡眠場所が同じであることによる心理的な影響も原因となります。 ⓘ

食事をするとお腹いっぱいになるのに寝たら目が覚めるより寝ても眠いことが多い理由

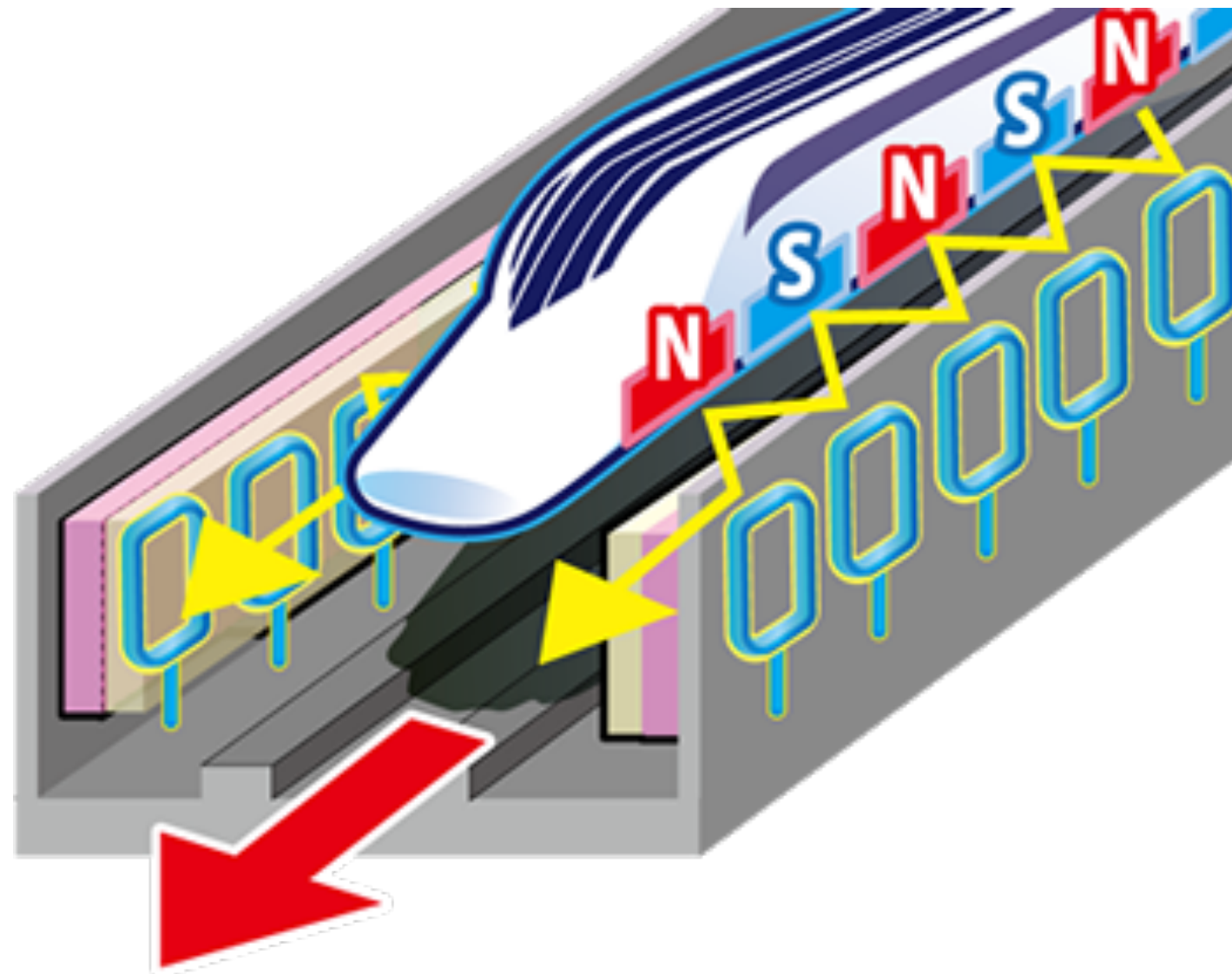
AI モード すべて ショート動画 画像 ショッピング 動画 ウェブ もっと見る ▾

◆ AI による概要

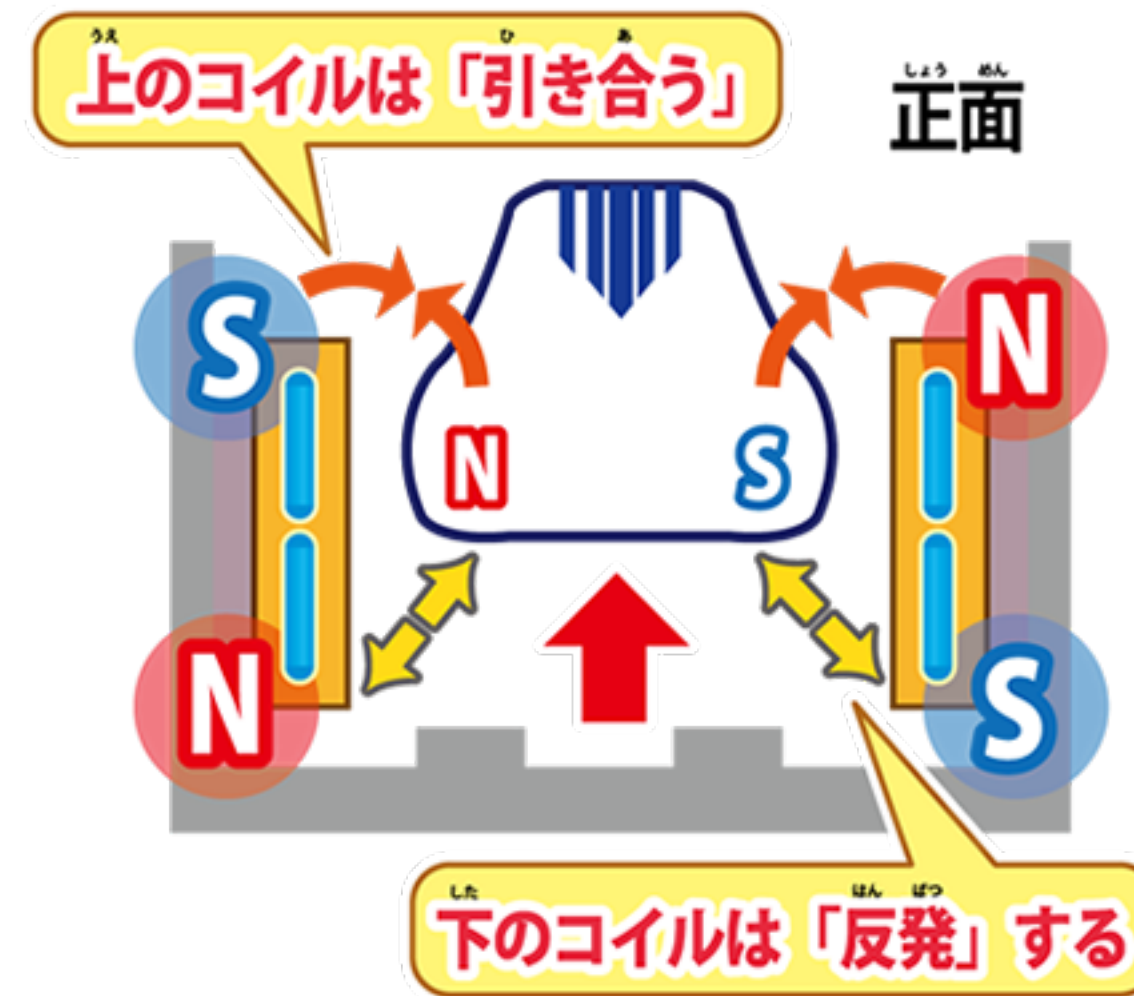
食後に眠くなる主な理由は、消化器官への血流集中と血糖値の変動であり、これは体の自然な生理現象です。一方、「寝ても眠い」という状態は、睡眠不足や疲労の蓄積など、日々の生活習慣や体の状態に起因する根本的な問題である可能性が高いです。 ⓘ

前回のミニツツパーから

リニアモーターカーが磁石の原理で動くことは理解できるのですが、
実際に動くのが想像しづらいです。何か同じ原理で簡易的なものはありますか。

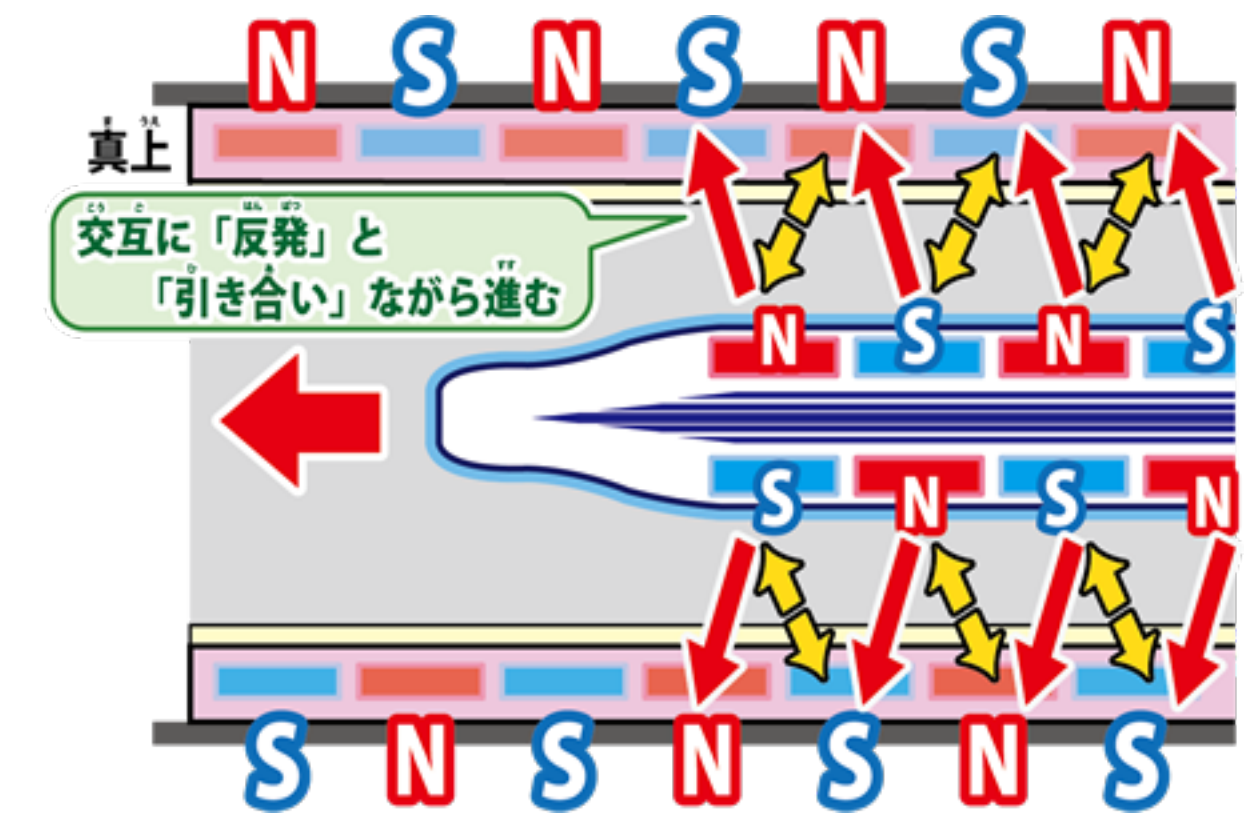
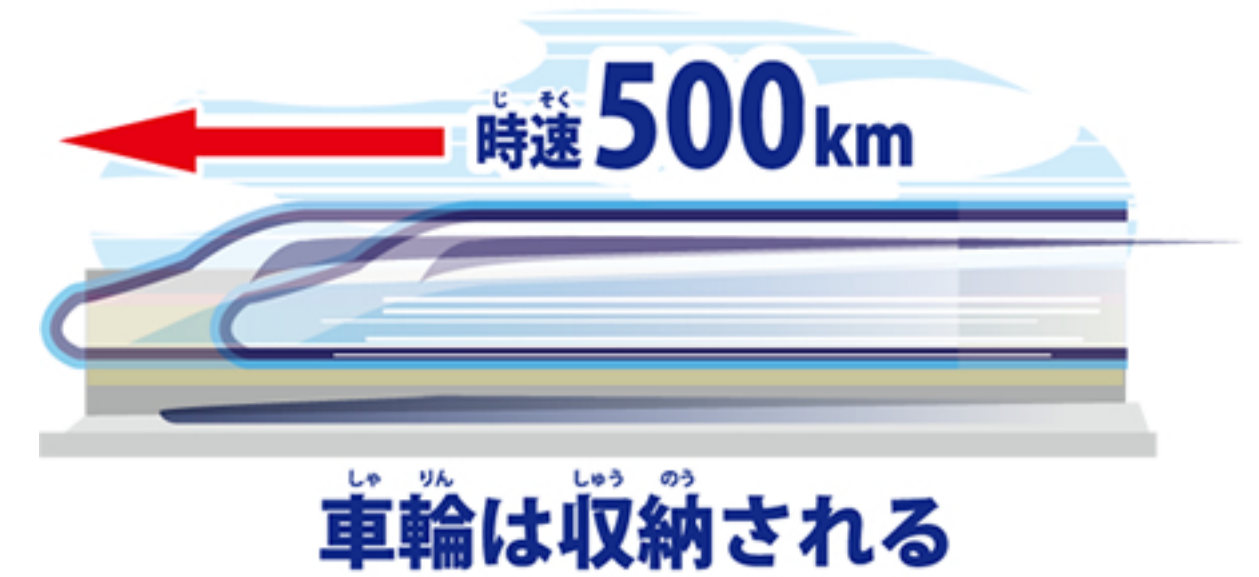
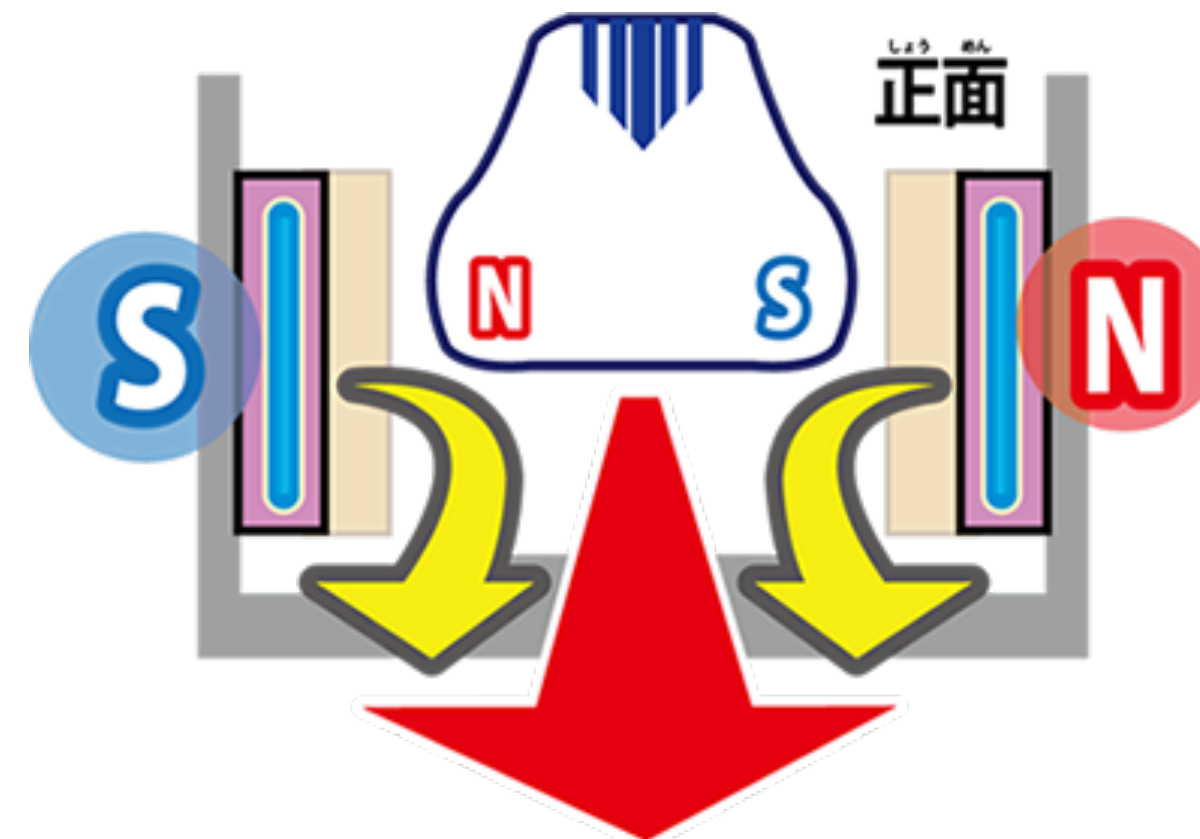


<http://kyoto-linear.com/kids>



◀ 浮上のしくみ

▼ 推進のしくみ



“Linear Liner” will be released in September from TakaraTomy

タカラトミーが、磁力で浮いて走る世界初の鉄道玩具「リニアライナー」を9月に売り出す。JR東海が試験走行で使っているリニア新幹線「L0（エルゼロ）系」がモデル。模型は時速6～7キロだが、実物にあてはめた「スケールスピード」にすると時速500キロを超え、実物に近いという。

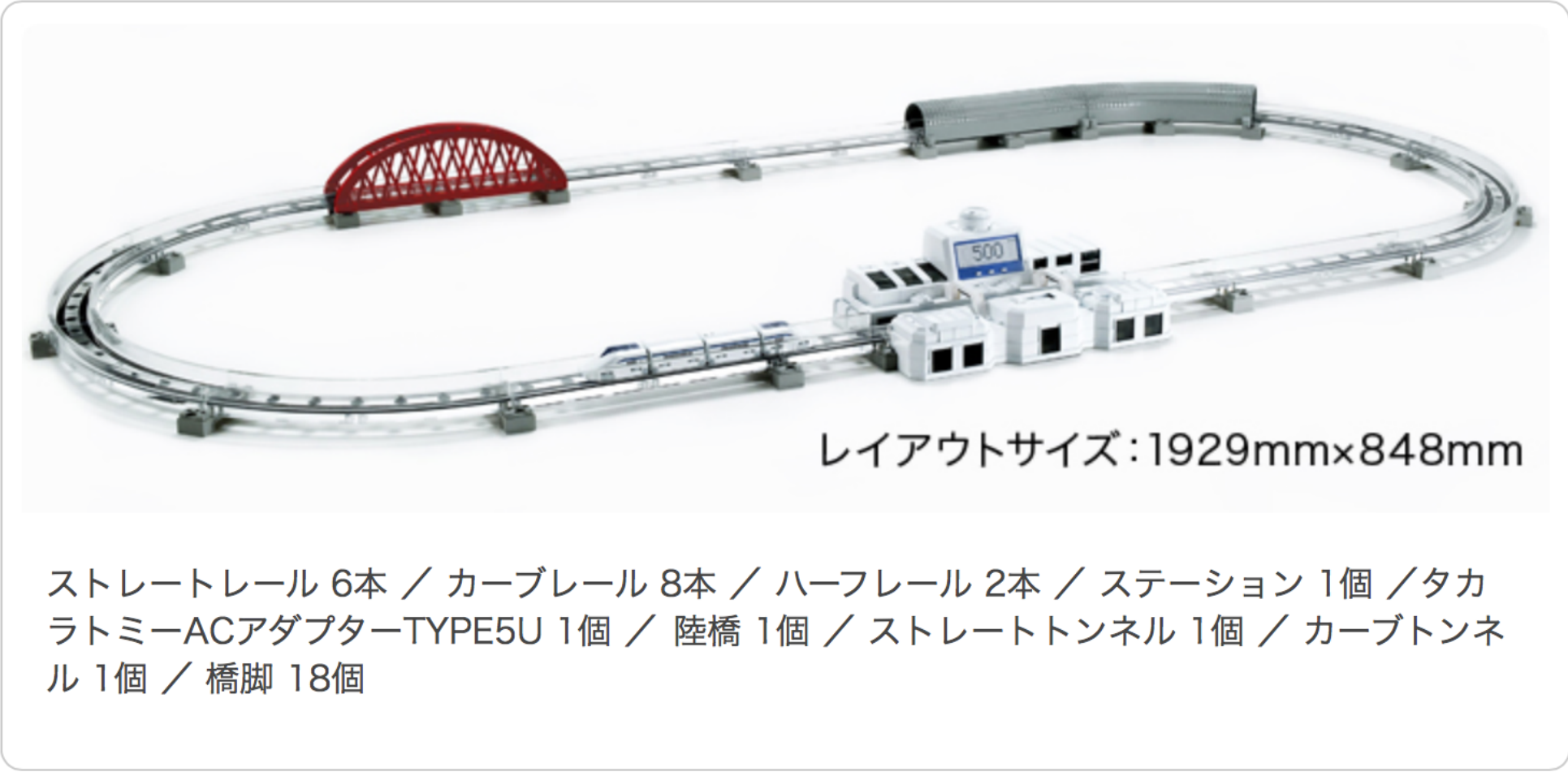
実物同様、磁力の反発で車両を2ミリ浮かせる。レールと車両の磁力の吸引力と反発力で走る実物と違って、模型は車両に流れる電気のオンオフによる調整により、磁力の反発力だけで進む。レールの外側は透明のプラスチック製で、浮いて走る様子を眺められる。

陸橋などを含めたセットの希望小売価格は税込み3万7800円。主に「大人向けを想定している」（広報）という。

車両



セット内容



“Linear Liner” will be released in September from TakaraTomy

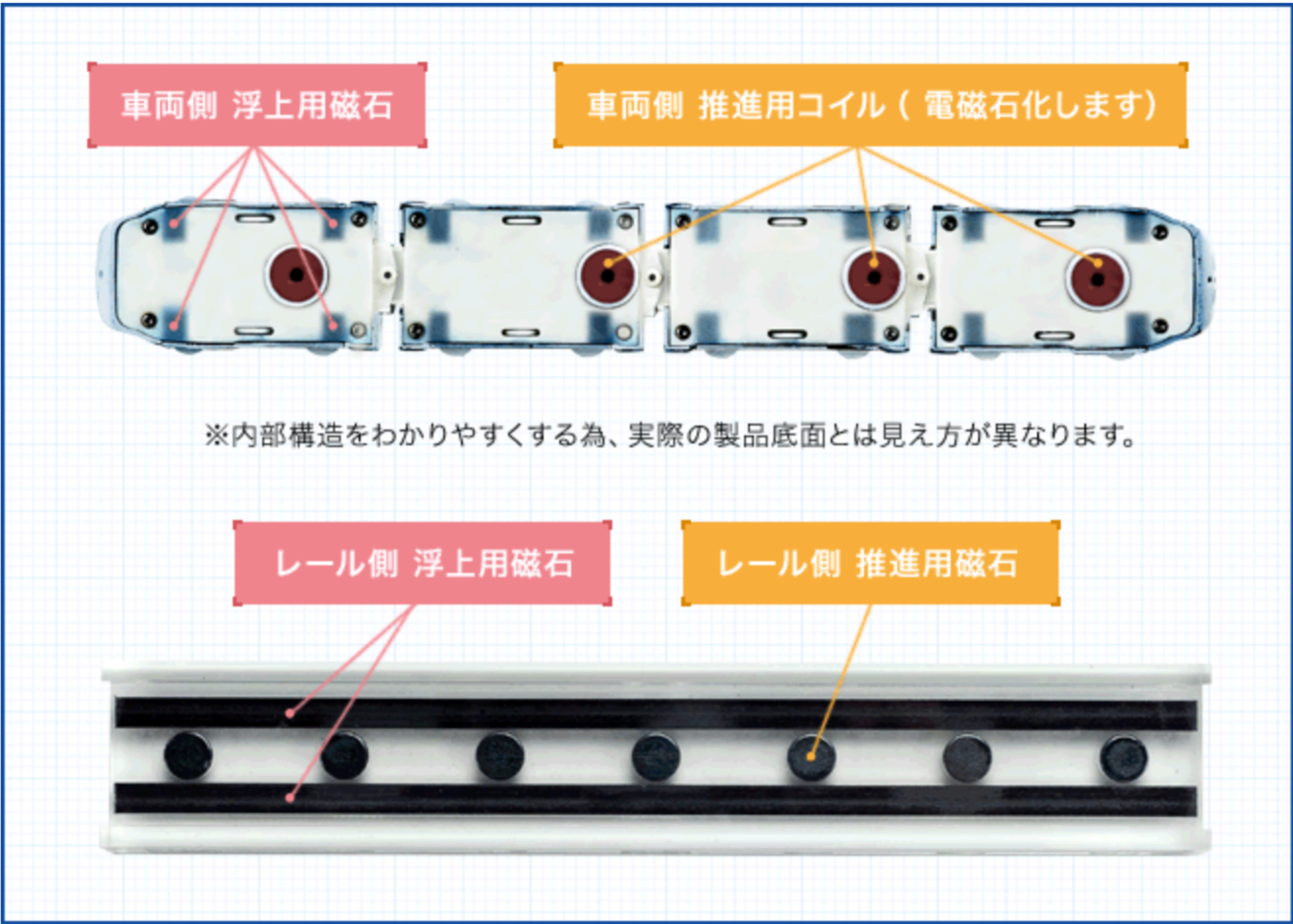
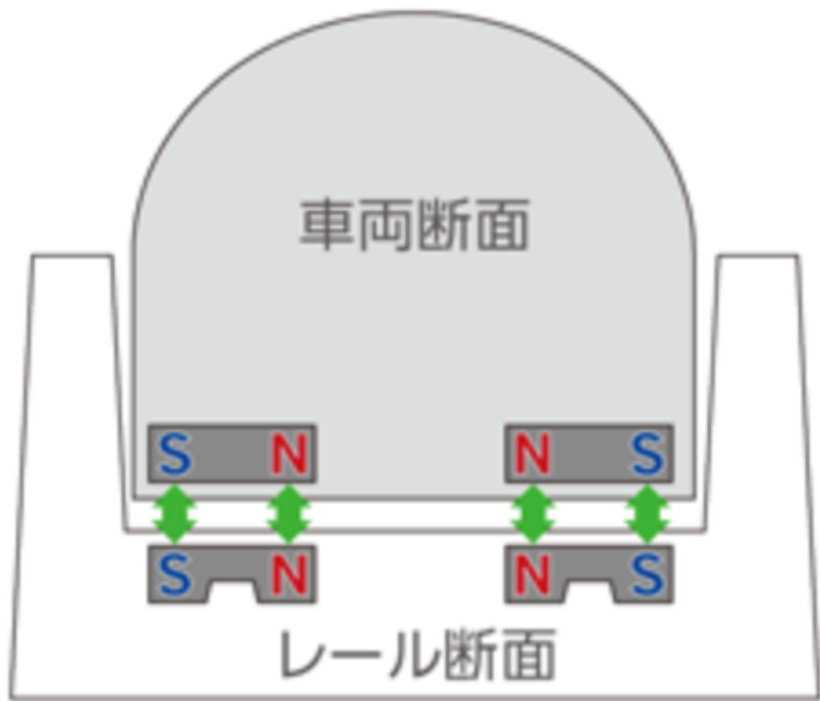
リニアライナー磁力浮上・磁力走行の仕組み

車両に搭載した磁石およびコイルと、レールに取り付けられた磁石との反発によって非接触で浮上・走行します。

浮上の仕組み解説

レールに取り付けられた帯状の磁石と、各車両底部の四隅に搭載した4つの磁石の反発力で約2mm 本体が浮上します。

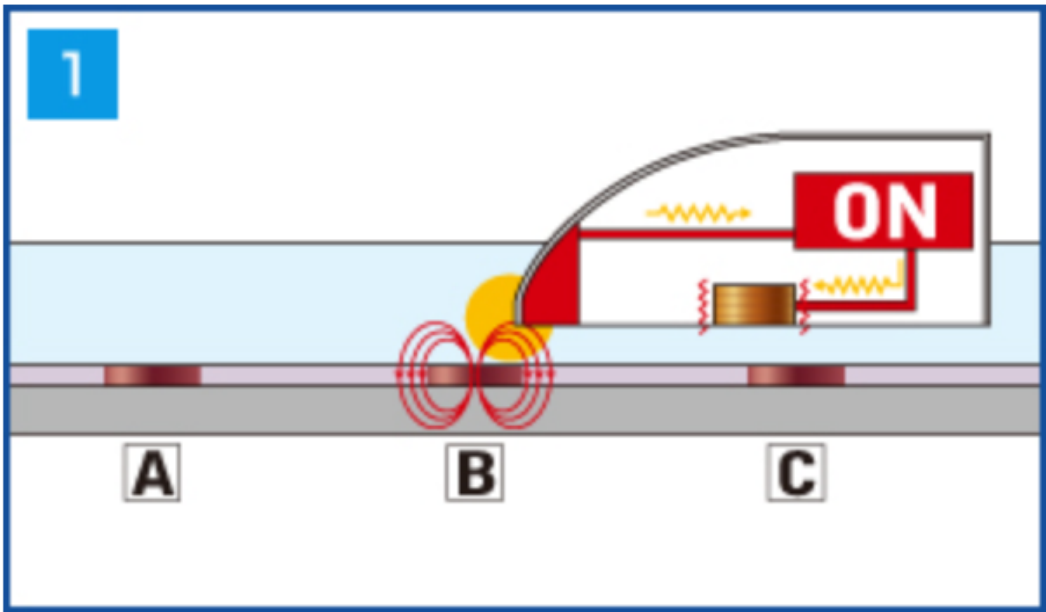
浮上用磁石の磁極



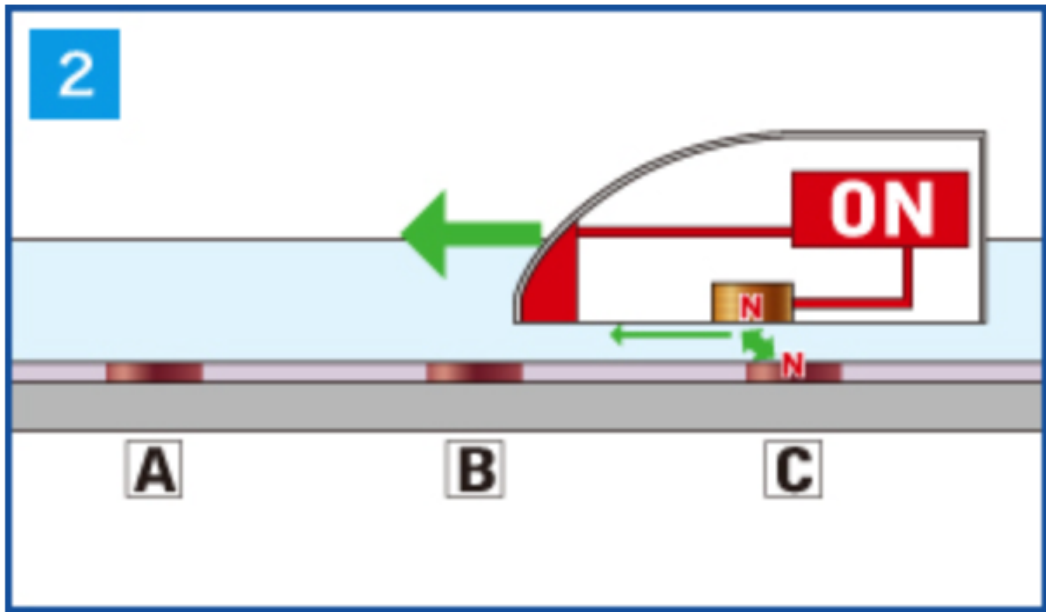
“Linear Liner” will be released in September from TakaraTomy

走行の仕組み解説

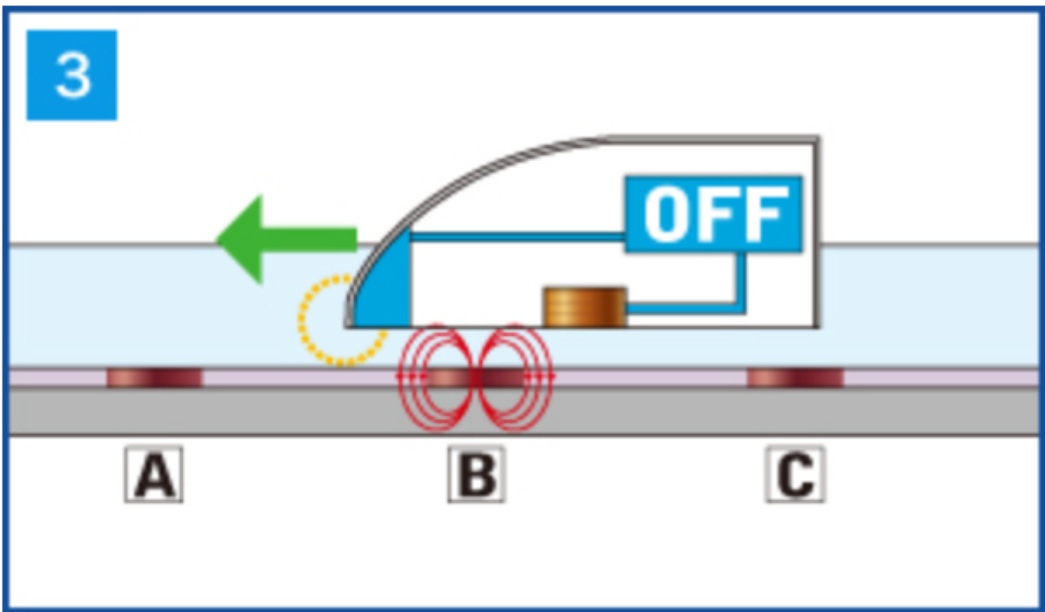
高速磁気センサーが前方の円形磁石の磁力を感知し、コイルに電流が流れ磁界を発生させます。レールと車両の磁石同士の反発で推進力が発生し、車両が前進します。



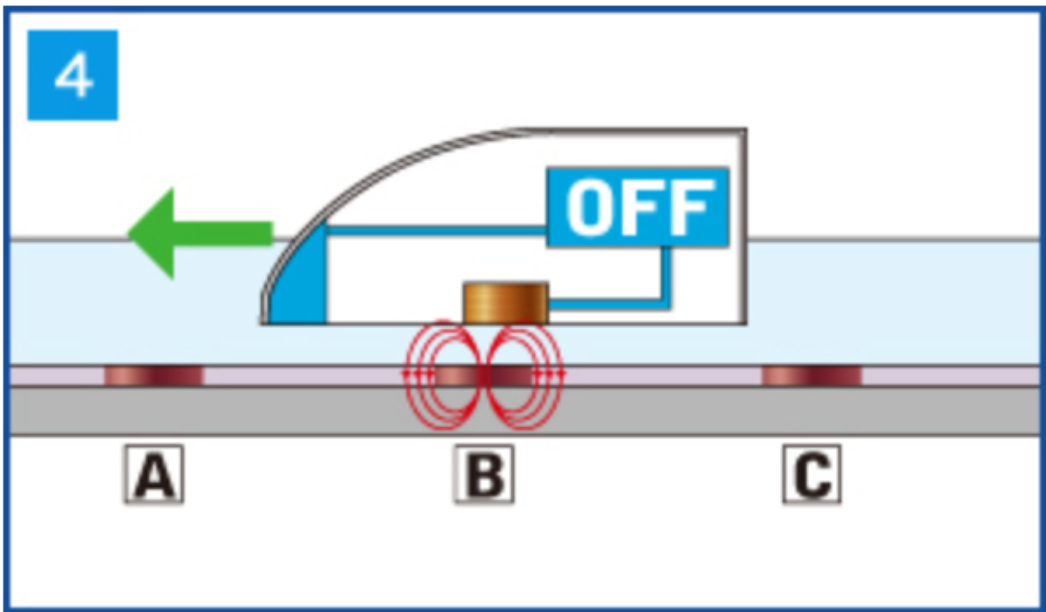
前方の磁石 B の磁界に反応してコイルに電流を流します。



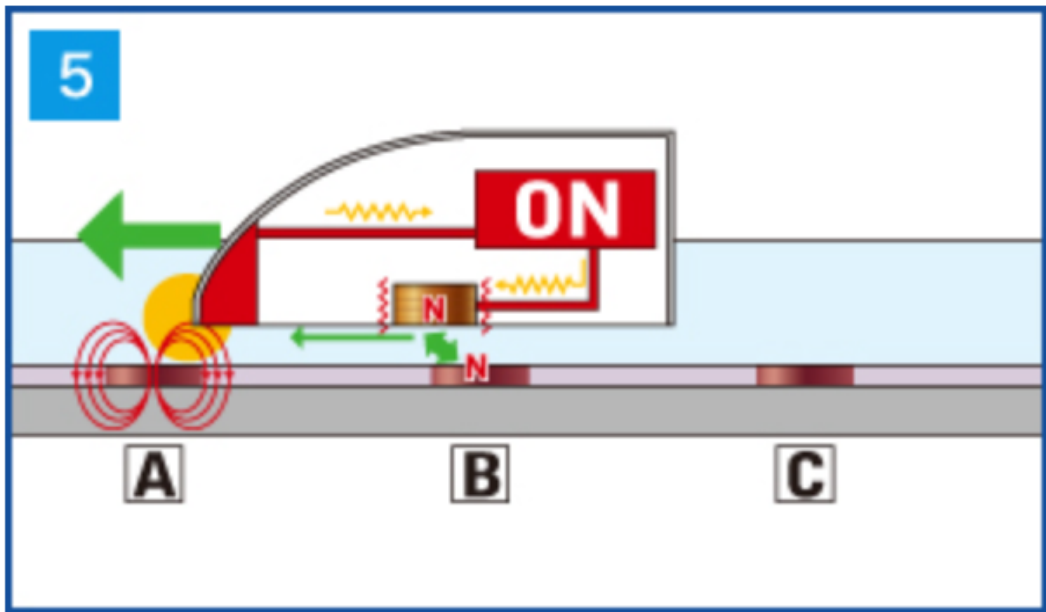
コイルが電磁石化。斜め後方の磁石 C と反発して推進力を得ます。



前方磁石 B の磁界を外れたらコイルへの電流供給をストップ。



前方磁石 B の反発を受けないところまで慣性で進みます。

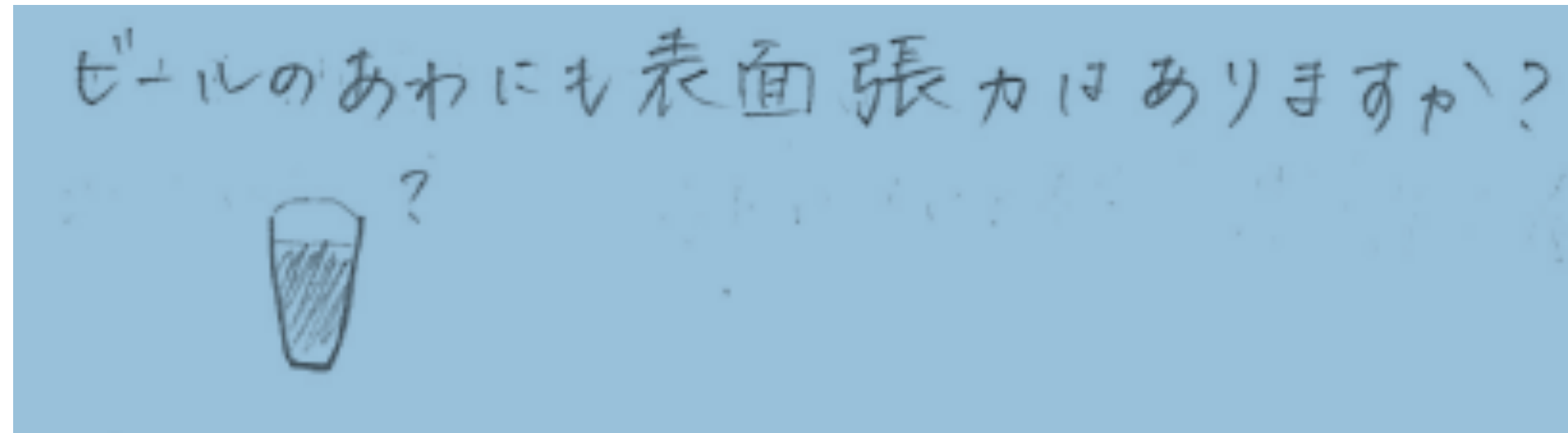


再度前方の磁石 A の磁界に反応してコイルに電流を流し、磁石 B と反発させます。これを繰り返して走行します。

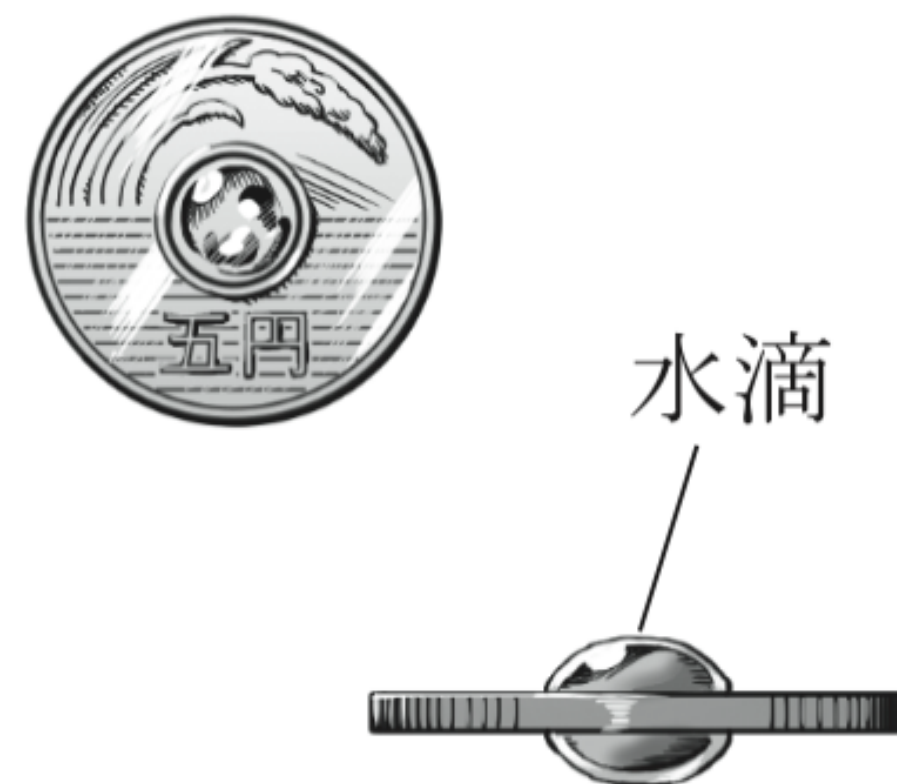
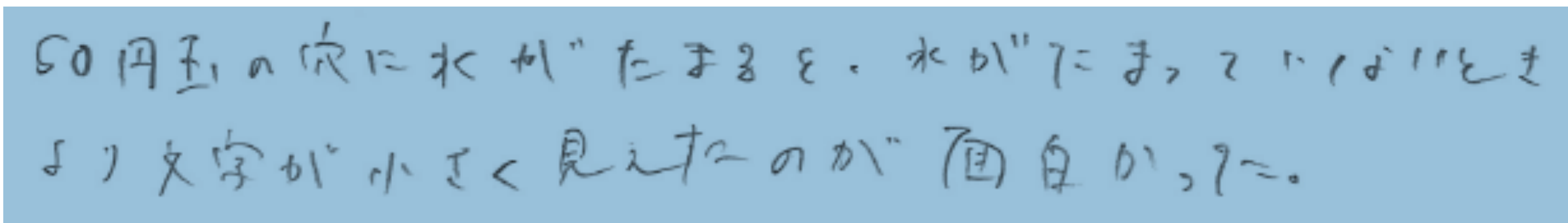
(コイルが電磁石化したままだと前方磁石 B と反発し逆力がかかるため)

※磁石を浮上・走行に活用しているという共通点はありますが、仕組みは超電導リニアとは異なります。

前回のミニッツペーパーから

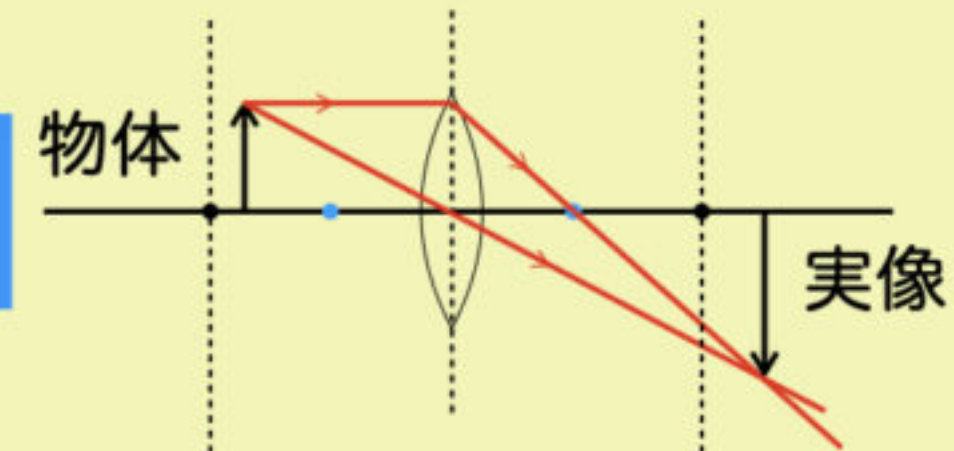


あります。シャボン玉と同じです。
泡は面積最小となるように形をつくれます。



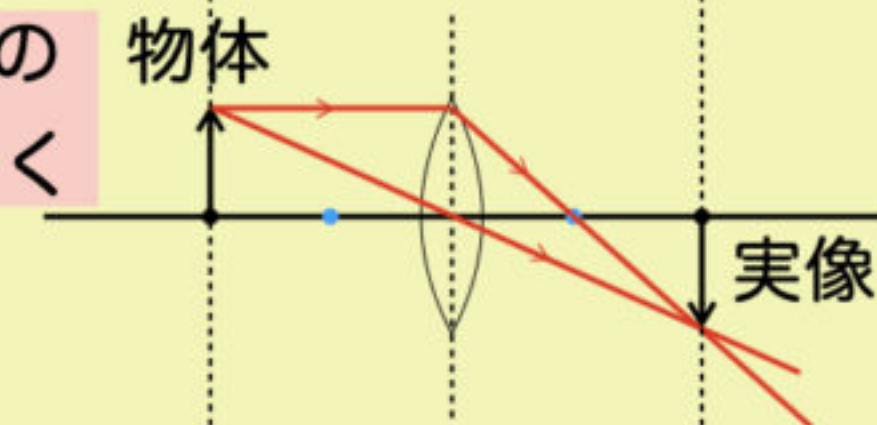
実像ができるのは3パターン

焦点距離の2倍
の位置より近い



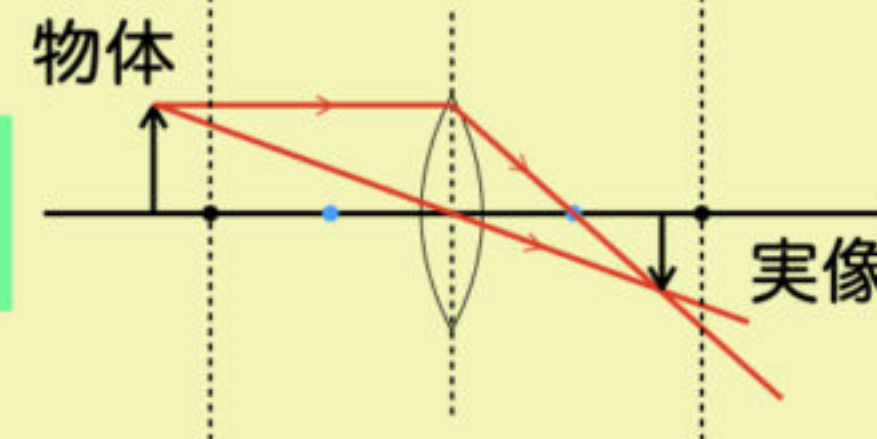
・遠い
・大きい

焦点距離の2倍の
位置に物体をおく



同じ位置
(焦点距離2倍)
同じ大きさ

焦点距離の2倍
の位置より遠い



・近い
・小さい

前回のミニッツペーパーから

シャワーのを強めると水が直線、ぽくなるのはなぜか？

水圧で初速度が大きくなるから。

浮力の話があまりから身立って現象が物理で説明できるのが新鮮だ。

【身近な技術】

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。

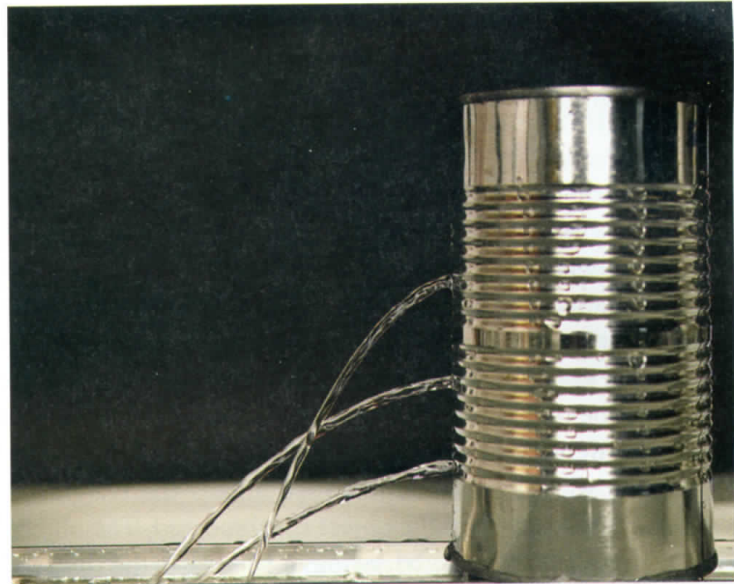
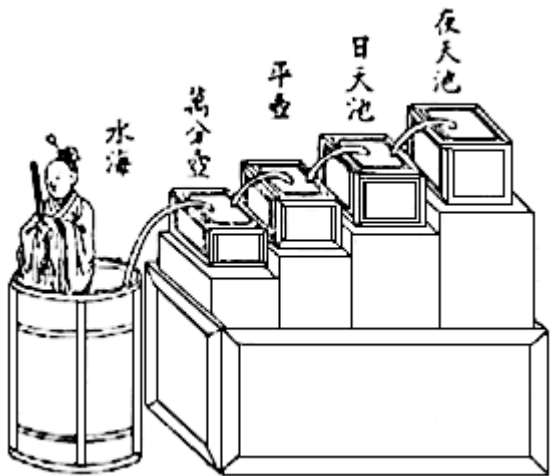


figure 9.15 Water emerging from a hole near the bottom of a can filled with water has a larger horizontal velocity than water emerging from a hole near the top.



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>

35

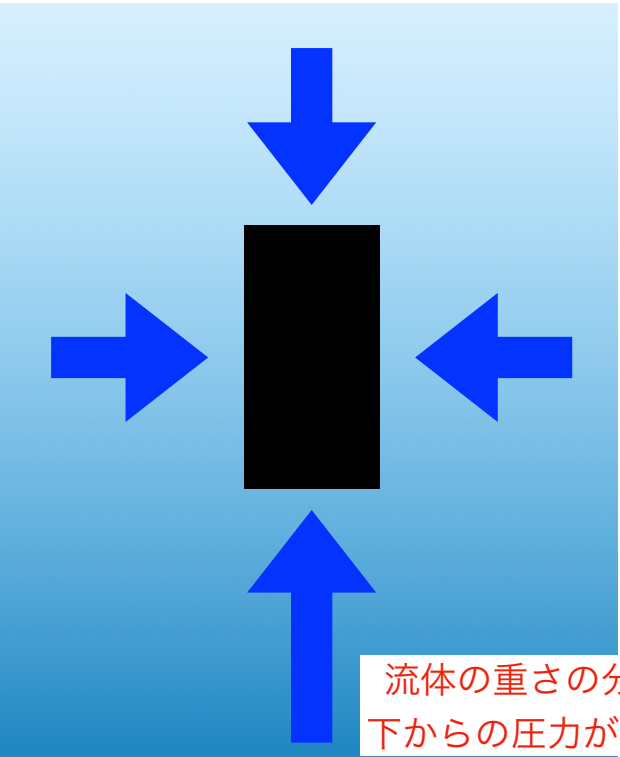
3. 流体 》 3.2 浮力

教科書 p98

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。



流体の重さの分だけ
下からの圧力が大きい

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 冰山の一角

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。「冰山の一角」という言葉がよく使われるが、冰山がみえてもその大部分はみえていないということだ。

37

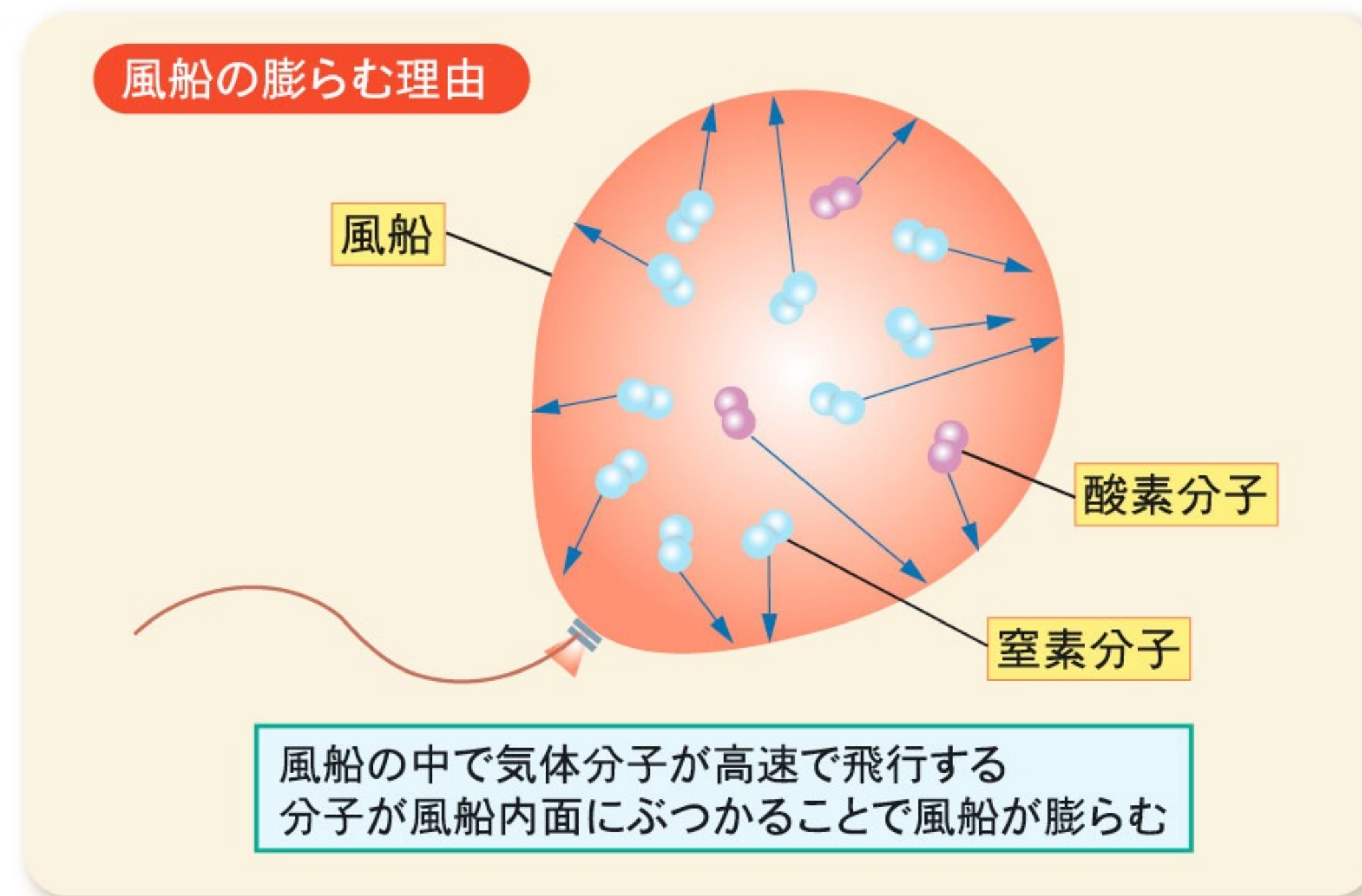
浮力を説明できれば、一目置かれますよ。

前回のミニッツペーパーから

(6-3) エアコンの冷たい風はなぜ下にたまり、暖かい空気は上にのぼるのでしょうか。このことは、小学校の理科で学んだ記憶がありますが、忘れてしまったので教えてください。

温度の正体は、空気分子の運動の激しさ

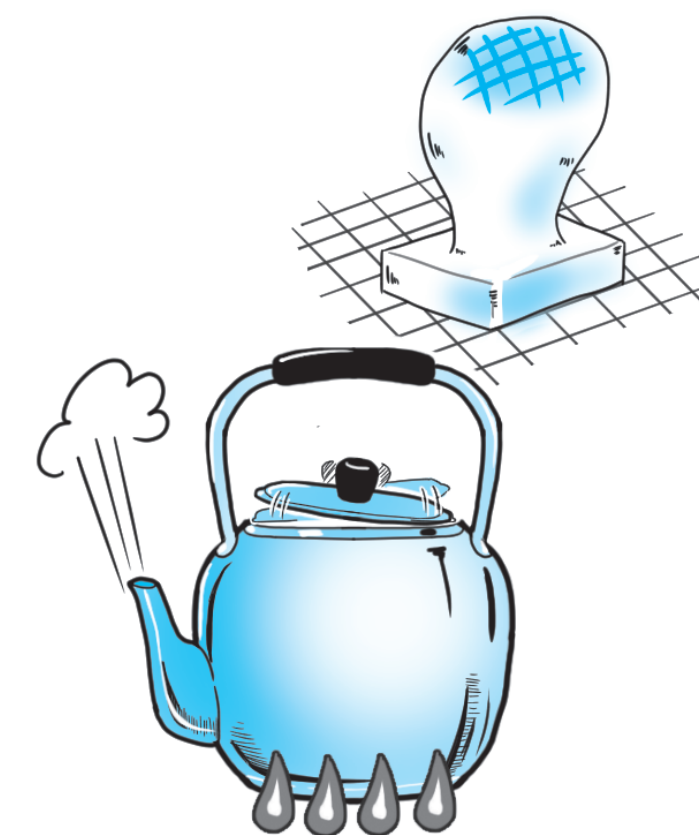
温度があがると、分子は激しく動き、膨張する(シャルルの法則)。膨張すると、密度が下がるので相対的に軽くなるので、上昇する。

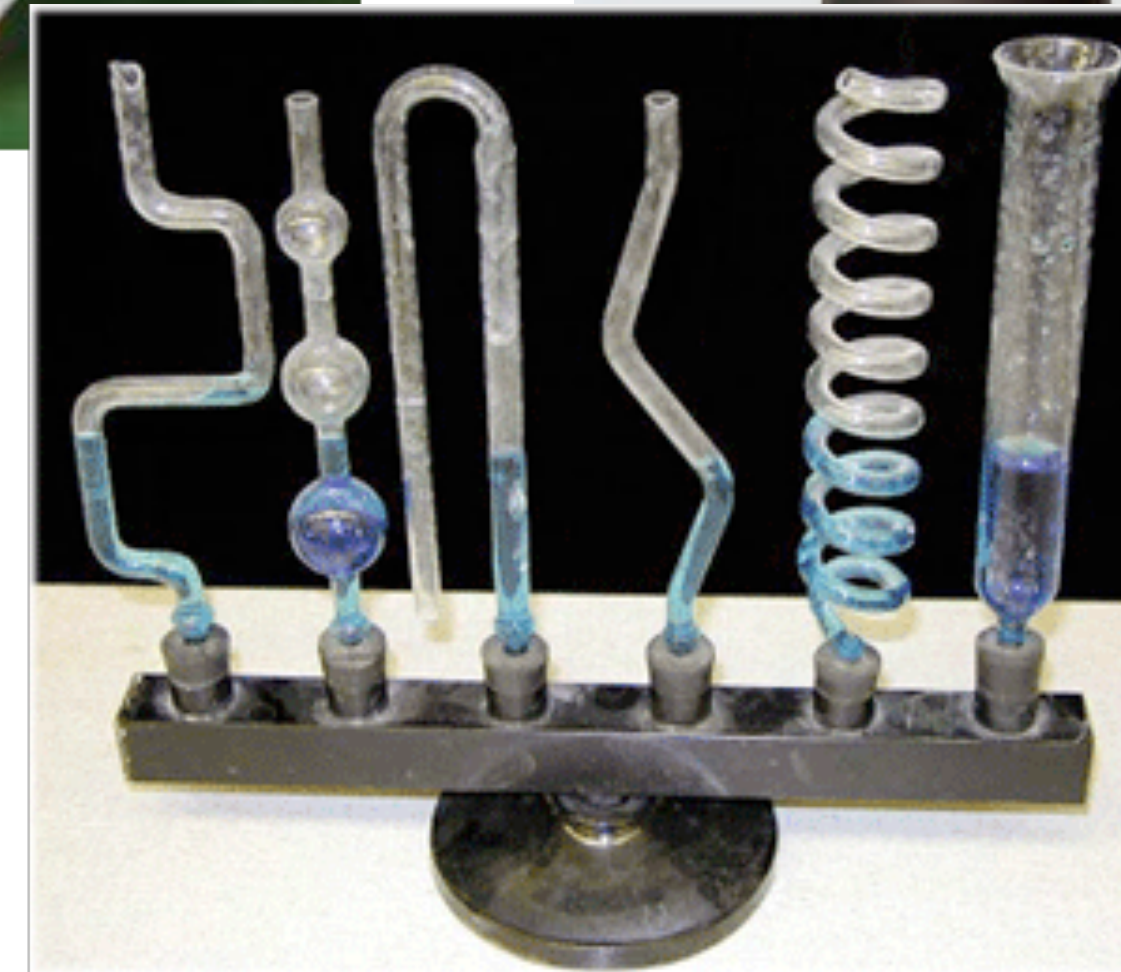


シャルルの法則

Charles の法則

お湯が沸くと鍋の蓋が
浮き上がる。





○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

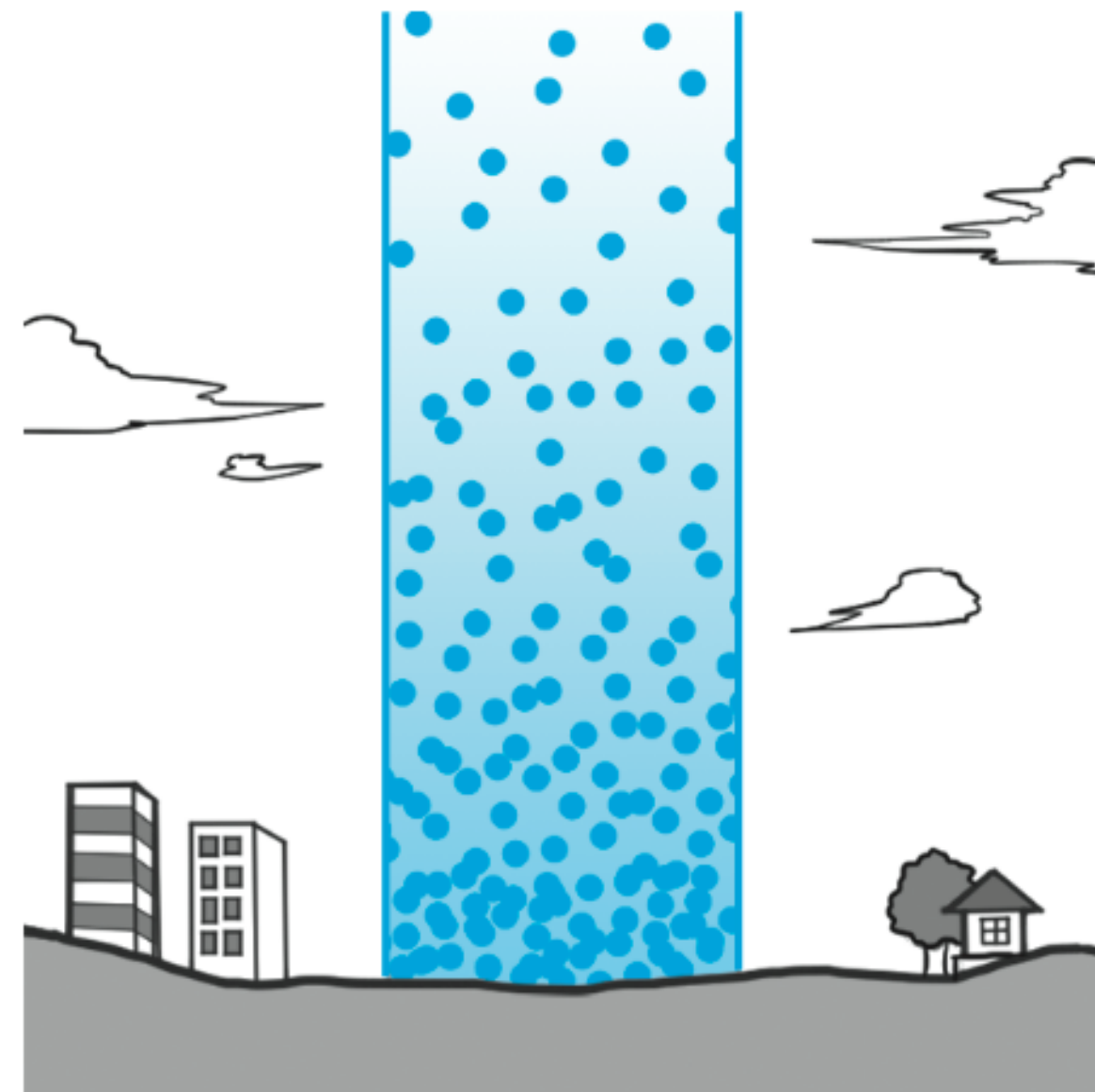
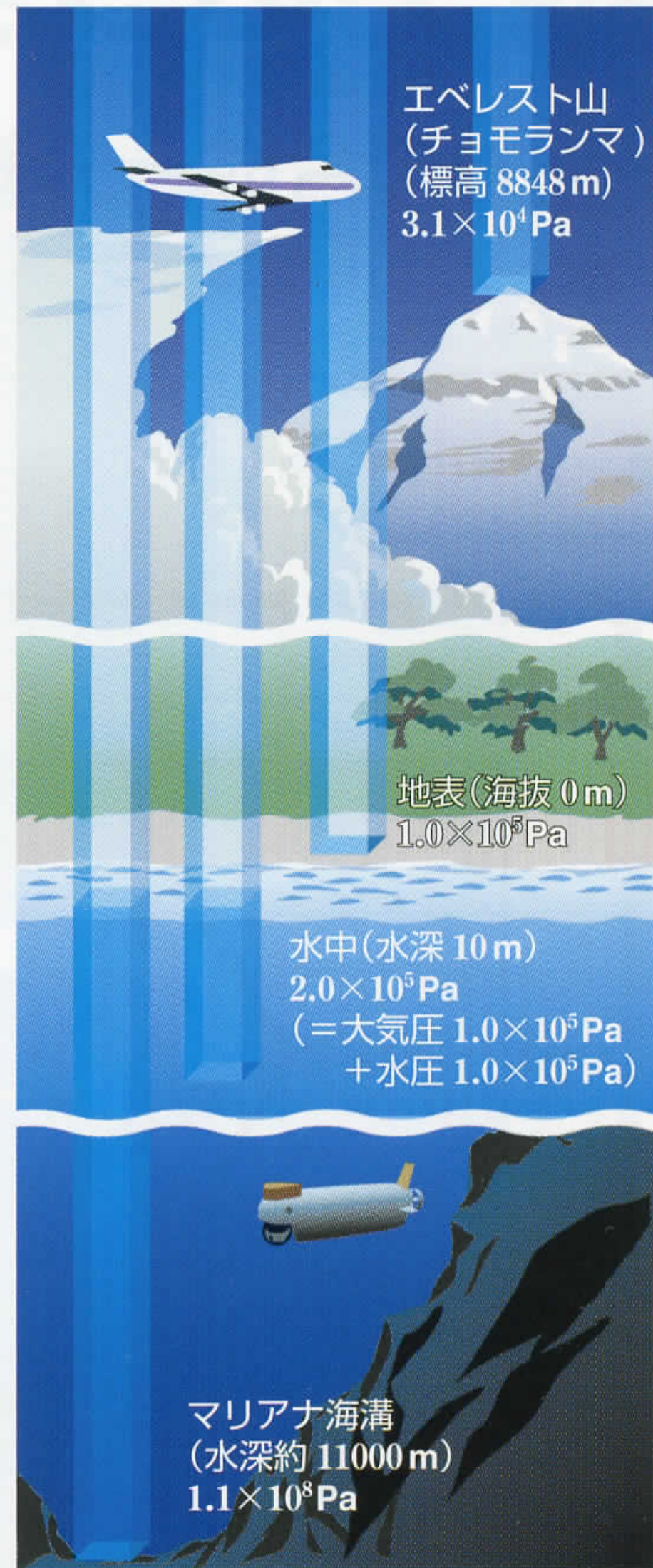
97

3.3 流体の動き—飛行機はなぜ飛ぶか

100

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。



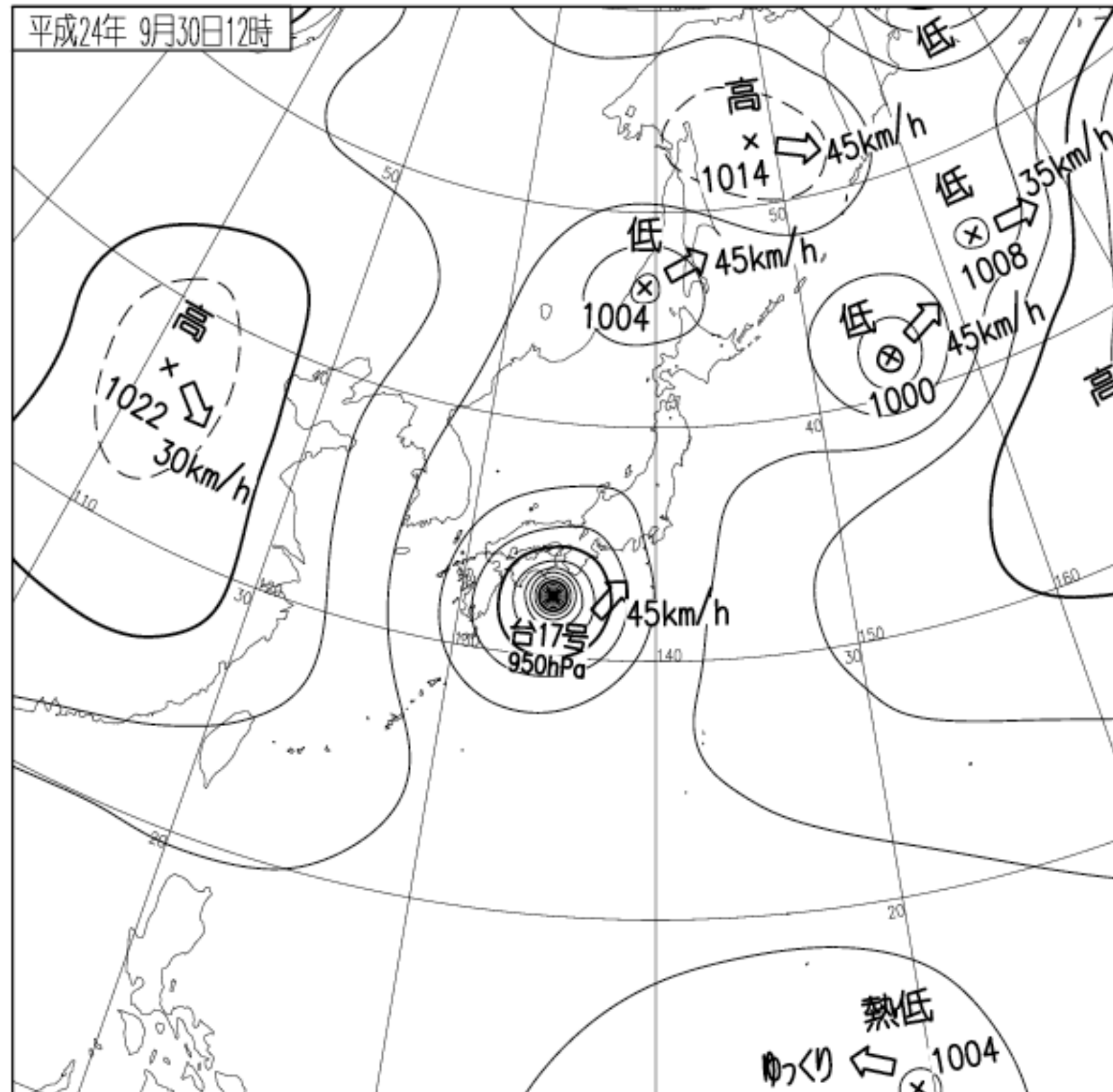
定義 圧力

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。

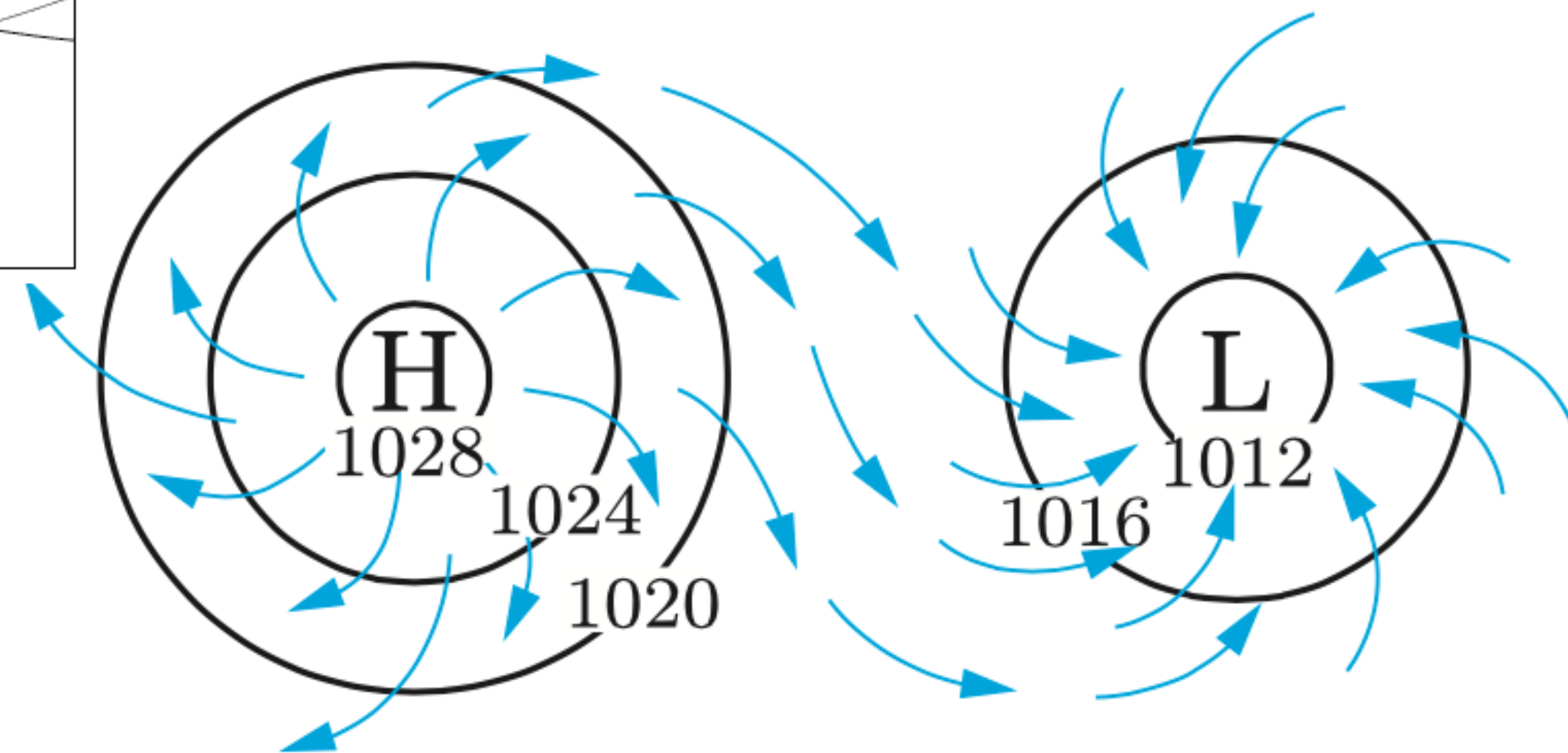
高気圧と低気圧



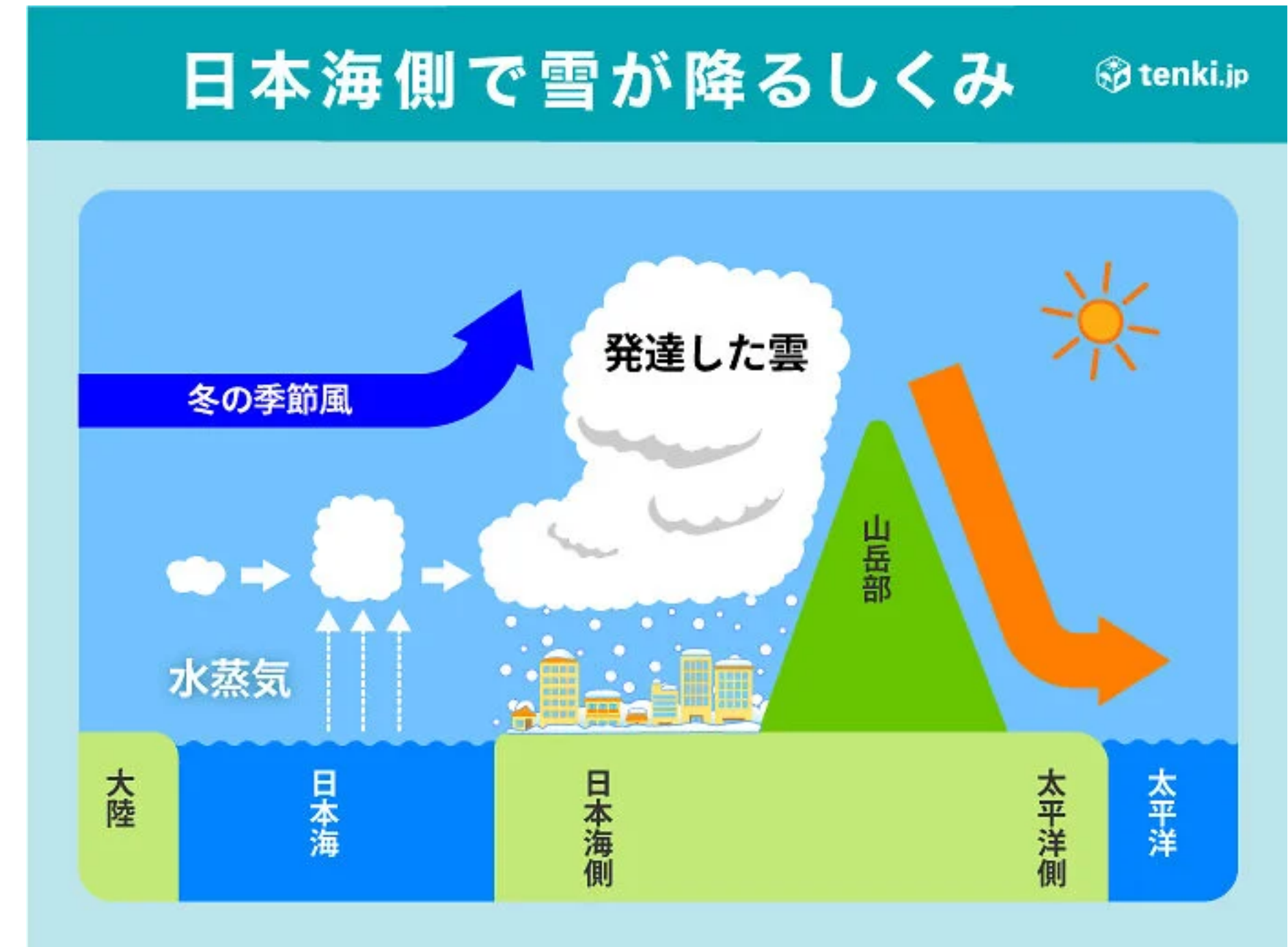
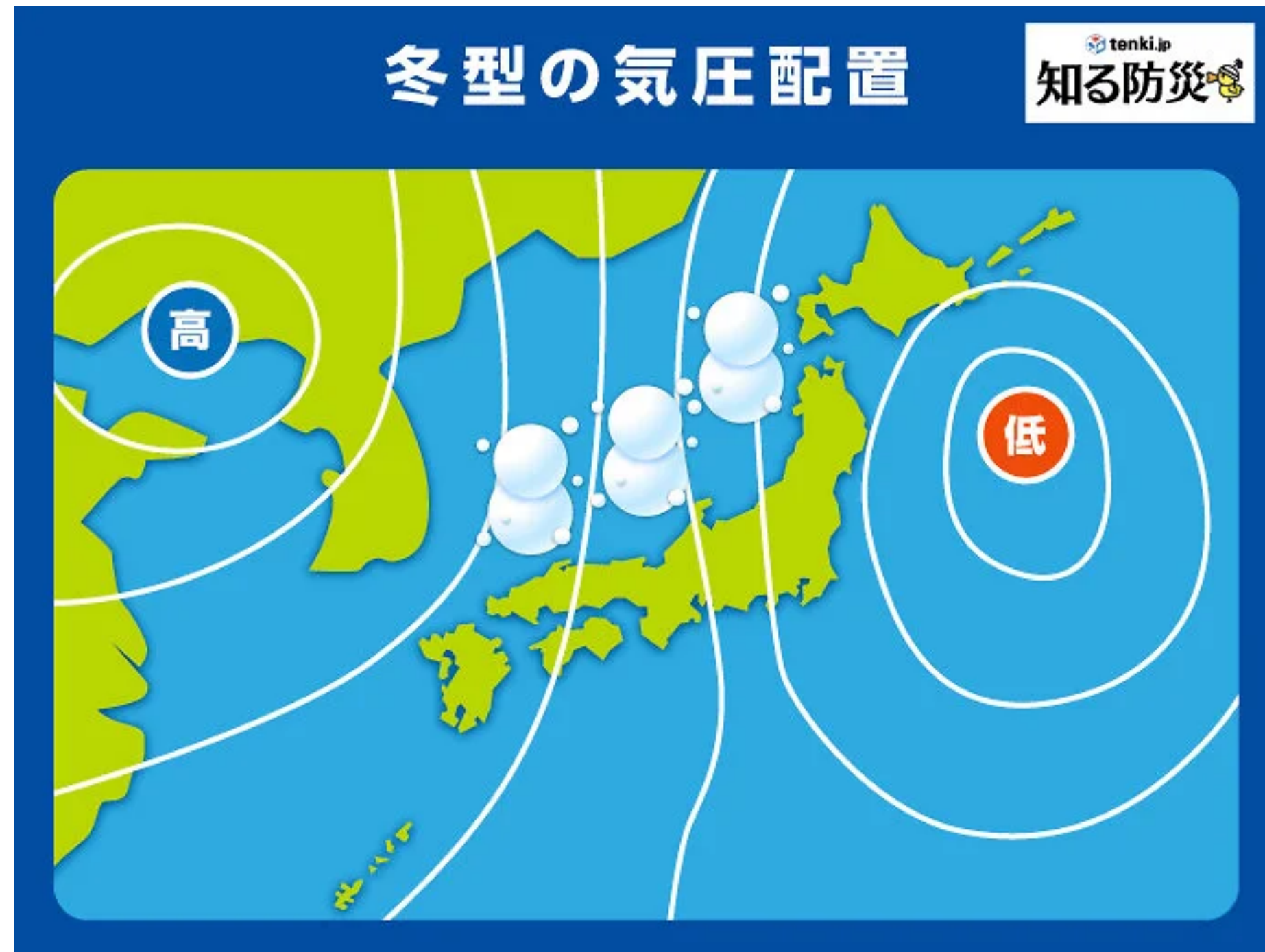
Topic 高氣壓, 低氣壓

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。

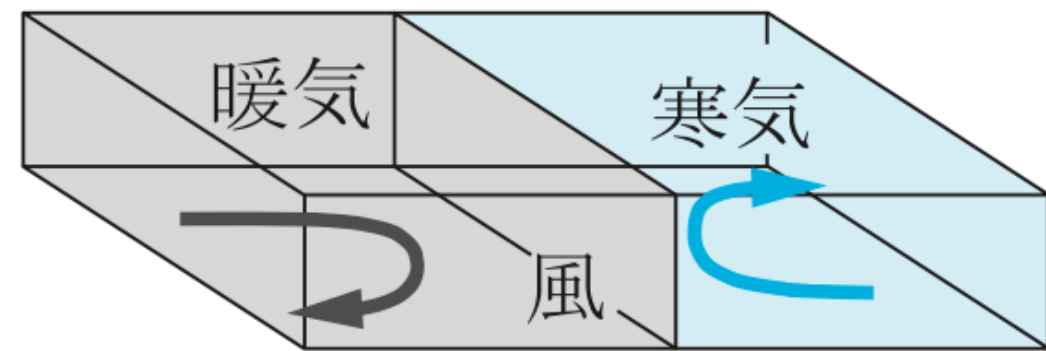


西高東低 冬型の気圧配置

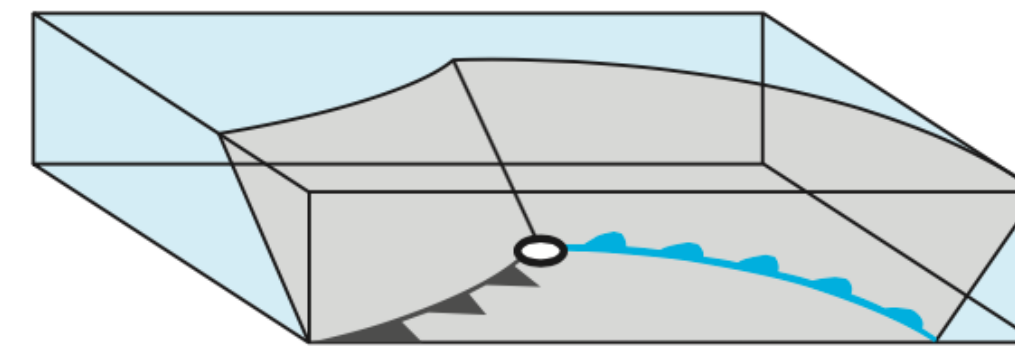


陸は海より冷えやすく、大きな大陸では冷たく重たい空気がどんどんたまる。
冬にはシベリア高気圧が発生し、日本付近は西高東低に。

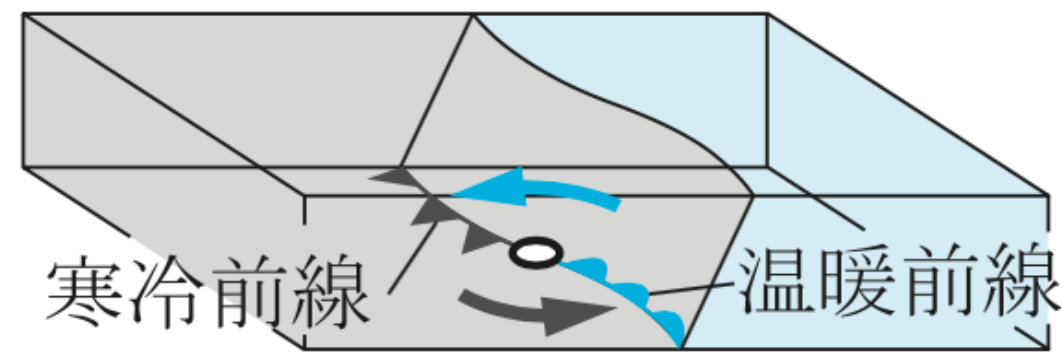
温暖前線(hot front)・寒冷前線(cold front)



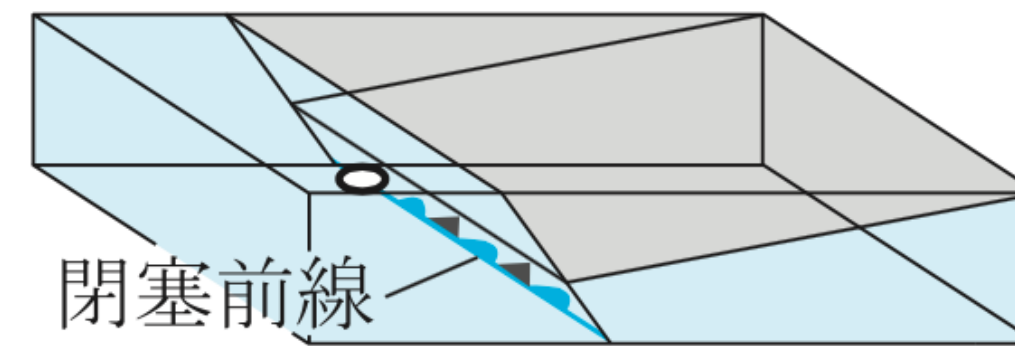
(a) 暖气と寒气



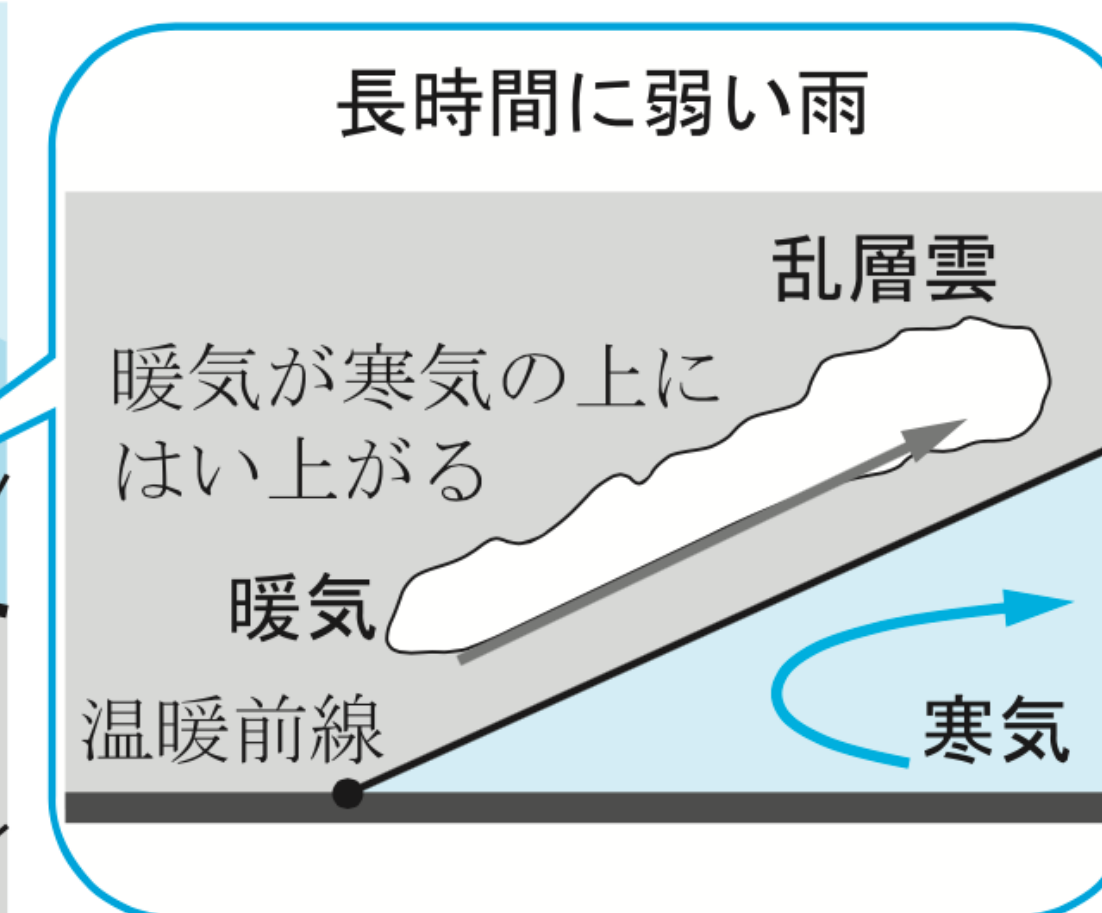
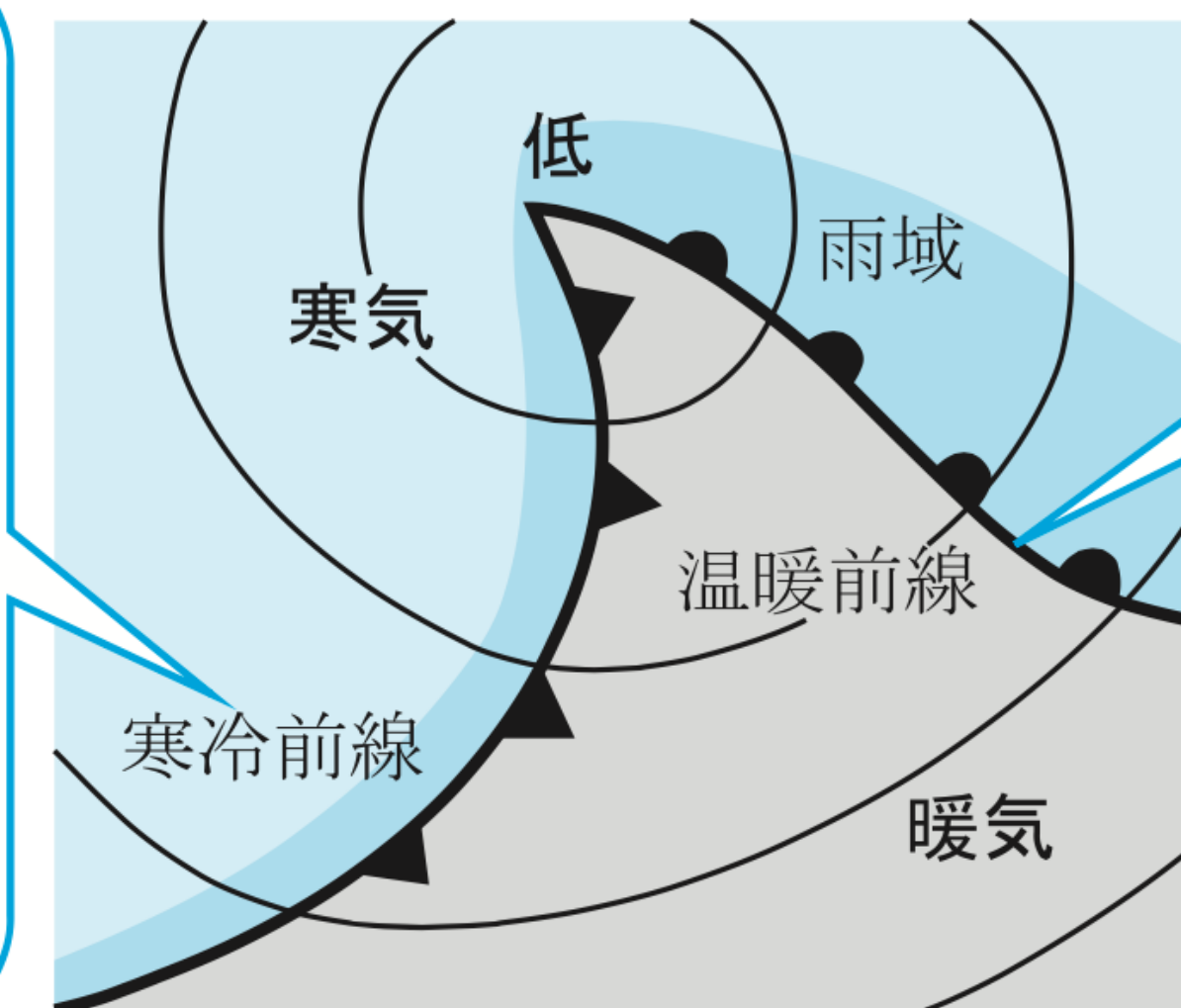
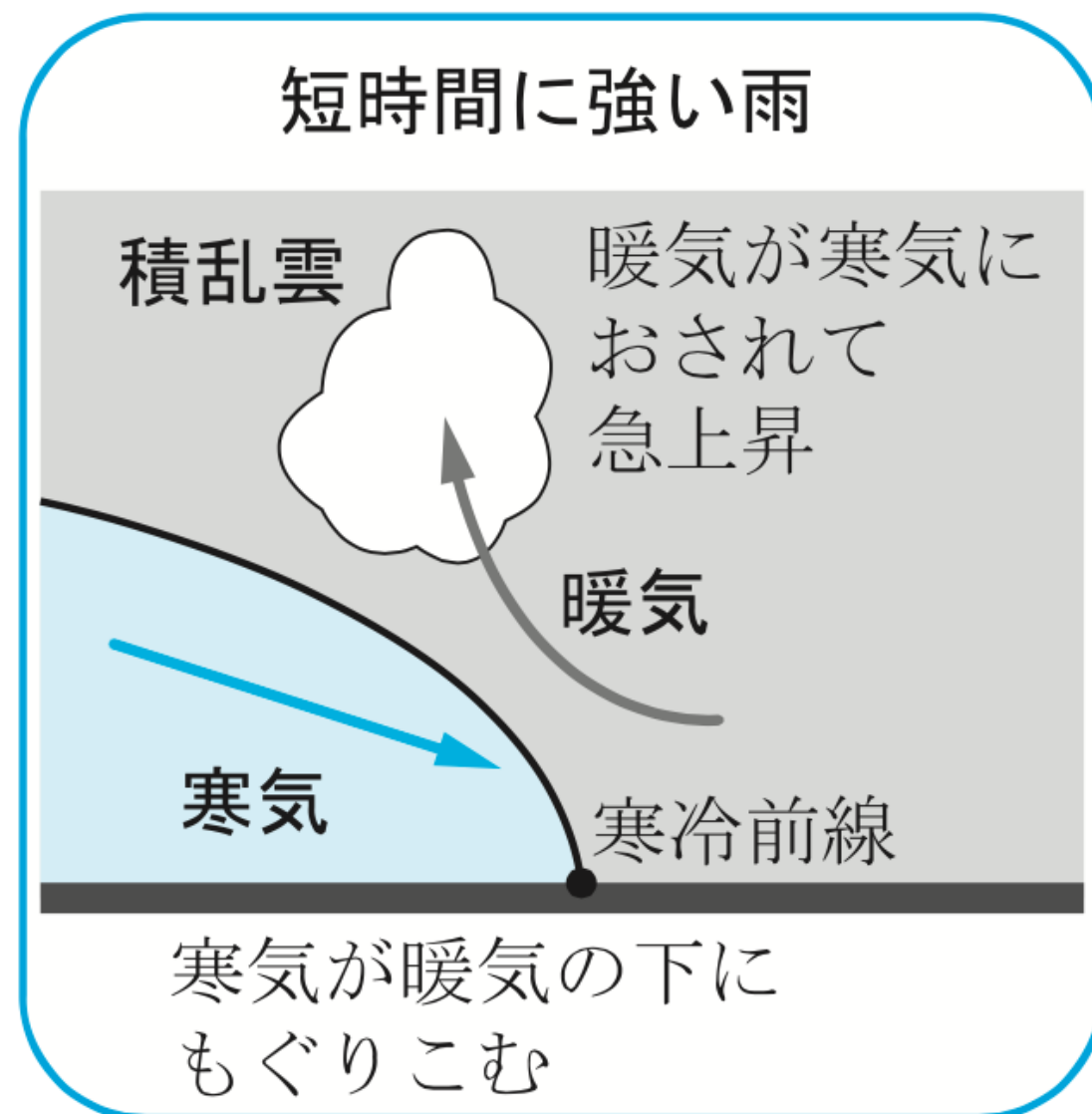
(c) 寒冷前線が近づく



(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



立冬

旧暦で冬のはじまり
今の暦では, 11月7-8日前後から二週間



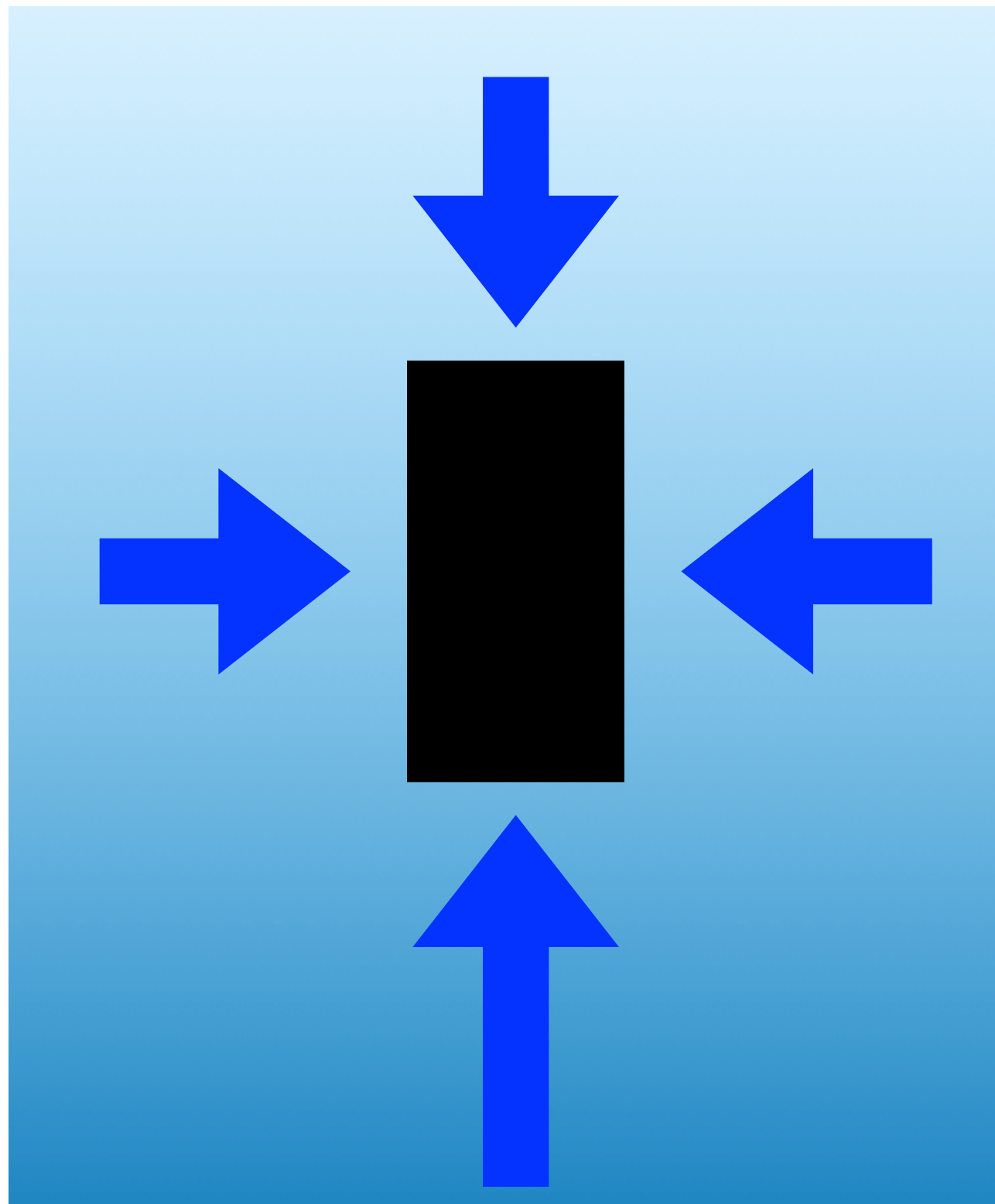
立春(りっしゅん)	2月4日頃	立秋(りっしゅう)	8月8日頃
雨水(うすい)	2月19日頃	処暑(しょしょ)	8月23日頃
啓蟄(けいちつ)	3月5日頃	白露(はくろ)	9月8日頃
春分(しゅんぶん)	3月21日頃	秋分(しゅうぶん)	9月23日頃
清明(せいめい)	4月5日頃	寒露(かんろ)	10月8日頃
穀雨(こくう)	4月20日頃	霜降(そうこう)	10月24日頃
立夏(りっか)	5月5日頃	立冬(りっとう)	11月7日頃
小満(しょうまん)	5月21日頃	小雪(しょうせつ)	11月22日頃
芒種(ぼうしゅ)	6月6日頃	大雪(たいせつ)	12月7日頃
夏至(げし)	6月21日頃	冬至(とうじ)	12月21日頃
小暑(しょうしょ)	7月7日頃	小寒(しょうかん)	1月5日頃
大暑(たいしょ)	7月23日頃	大寒(だいかん)	1月21日頃

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)

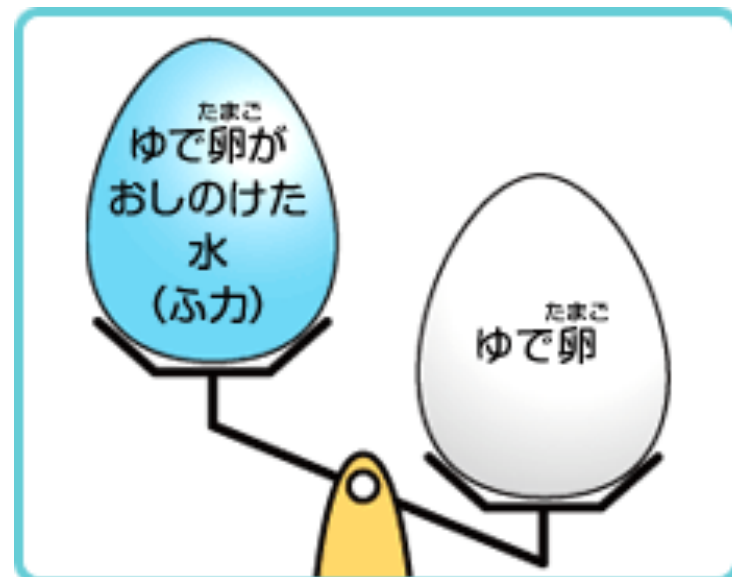
流体中の物体が受ける浮力は、その物体が押しのけた流体の重さ（重力）と同じ大きさである。



私も死海で浮かびたいです

前回のミニツツペーパーから

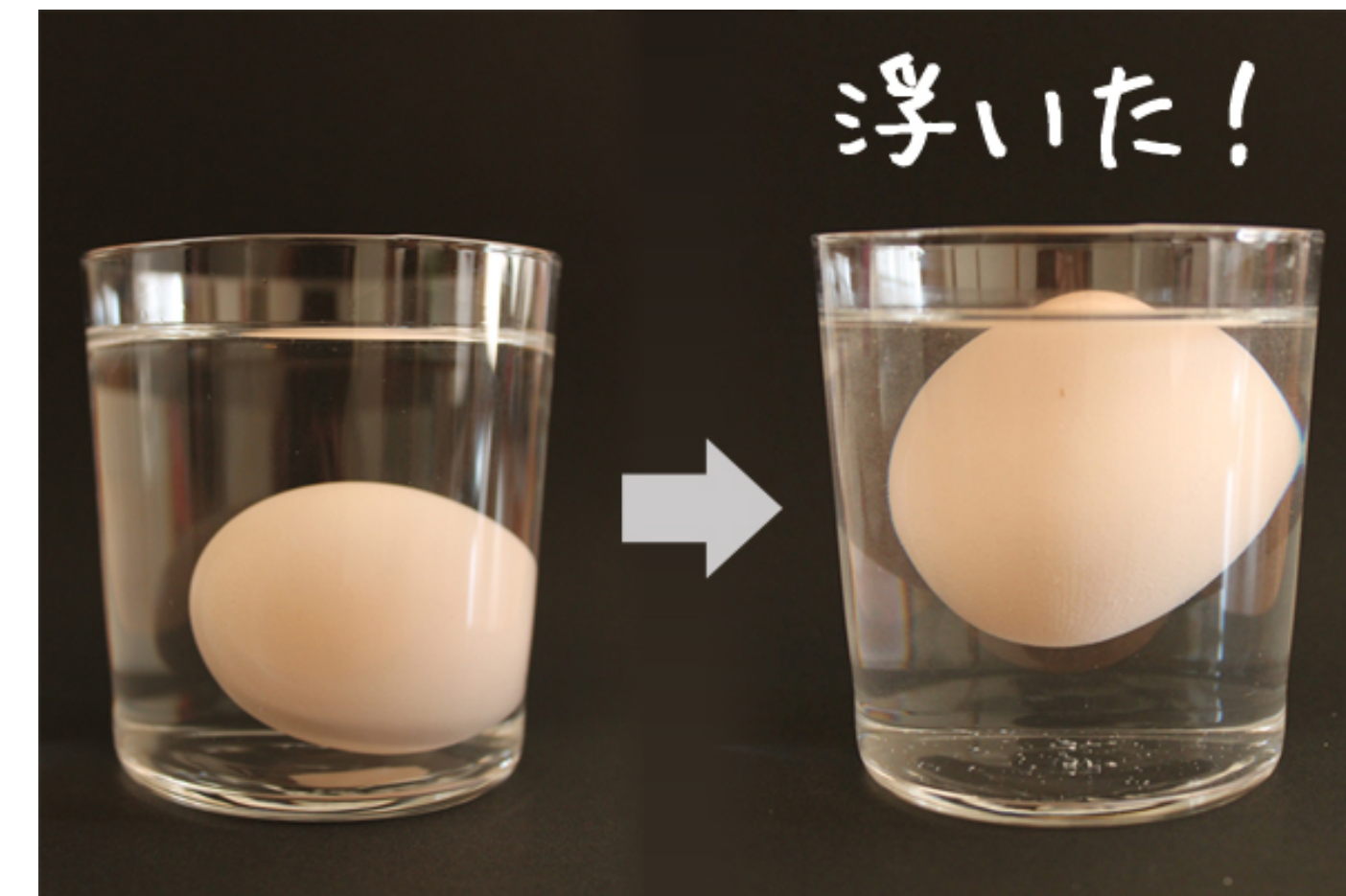
塩水に卵を浮かばせた。全重量はどうなるか。
理由も述べよ。



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浮かぶ。



前回のミニッツペーパーから

〔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。

極少量だけ増加する。(水と塩の質量が卵にくっつくから)

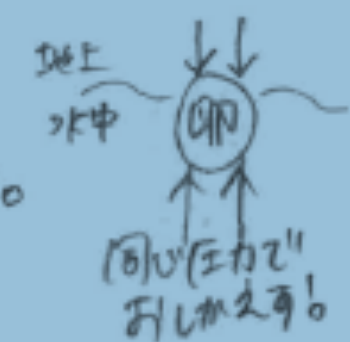
重くなる。塩を加えることで水が重くなるため。

増加したと考える。
実験前(塩水に卵を浮かばせた状態)は、液体の重さ
と卵の重さの合計になるが、卵は浮かんだという
ことは、浮力がはたかっているから、その分は軽くなる。
そのため、実験後の全重量(水+卵+塩)(液体中に卵がない
状態)は、その分の浮力の分だけ重さが増えると考えた。

同じ。
卵に浮力は働くが
質量は変わらない。

6-2] 同じになる
水中でかかる圧力は、卵の重量と同じになるから ±0 で同じになると思う。

6-3]



同じ。浮かんでいるとしてもその場には存在していることは変わらないから。
 水の上に出ている部分の重み分、水を押している

同じ
量自体を変えなければいけないから 全重量は変わらないと思うため。

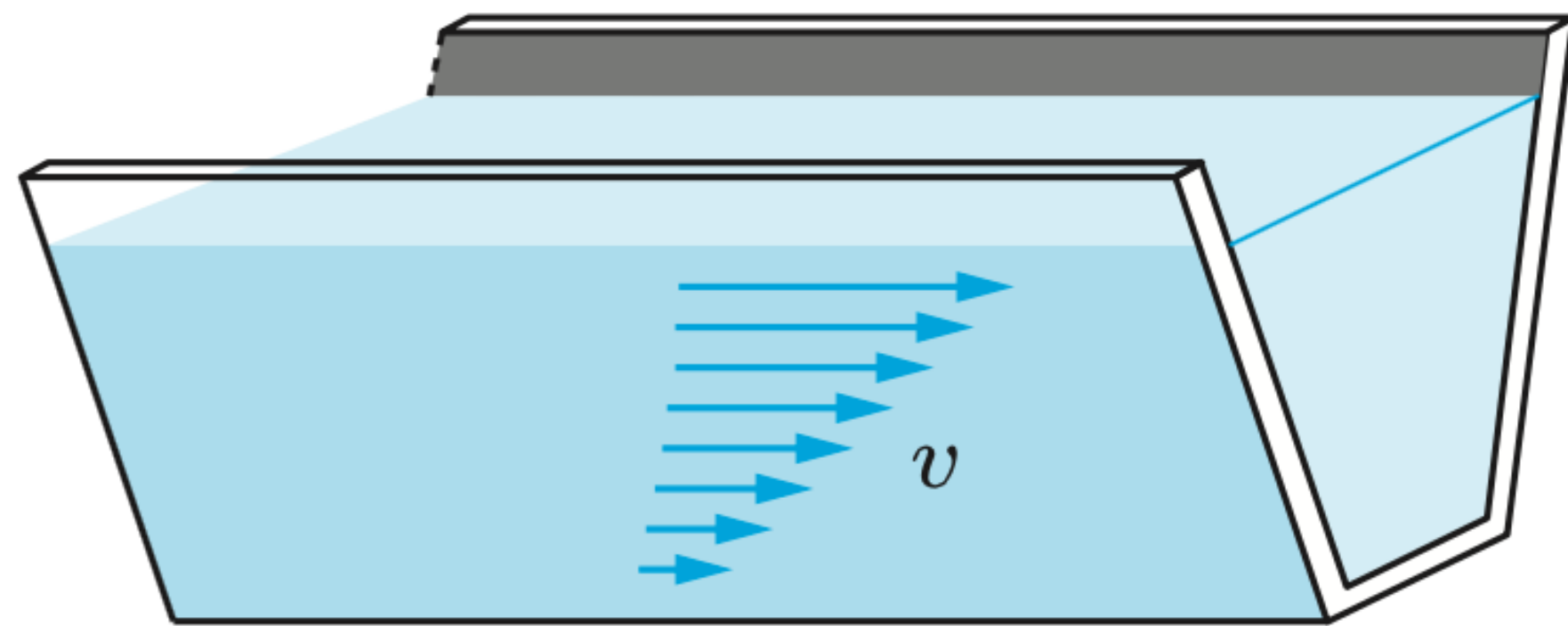
同じ → 重量は物質の総和として(保存されるから)。

同じ 18
減少 2
増加 6

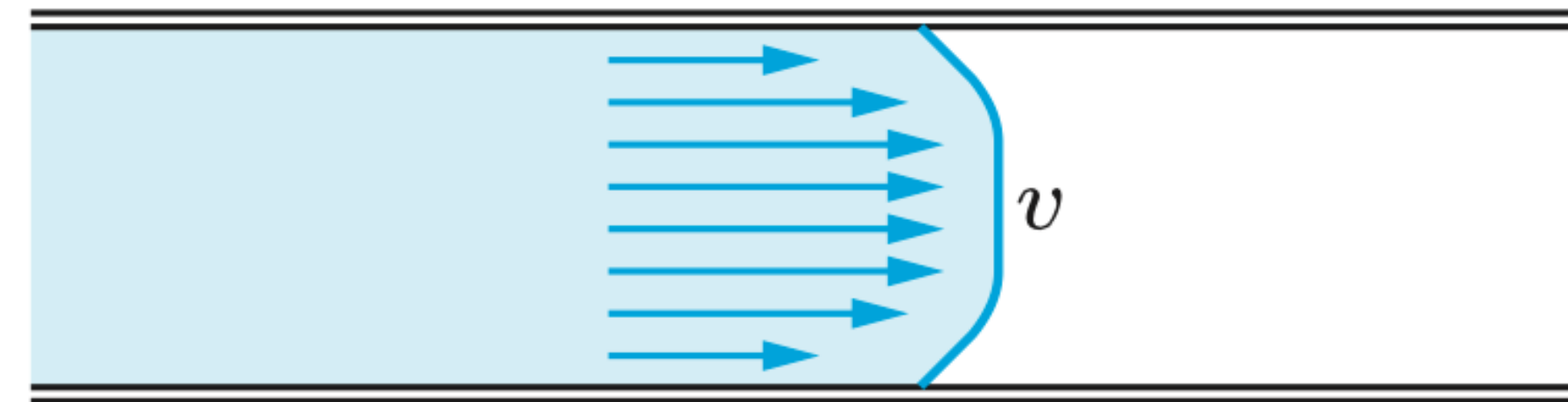
粘性 (viscosity) : 内部摩擦力

粘性

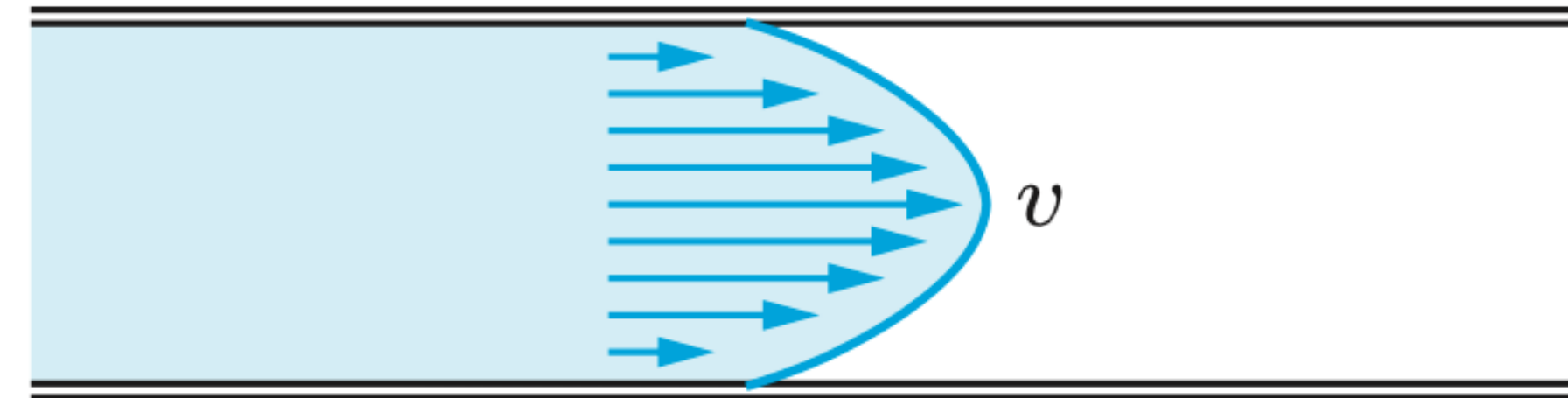
水, 油, ガスなどの流体が流動するとき, 必ずその流れに抵抗しようとする内部摩擦力が働く. 流体の持つこのような性質を**粘性** (viscosity) とよぶ. ³



(a)

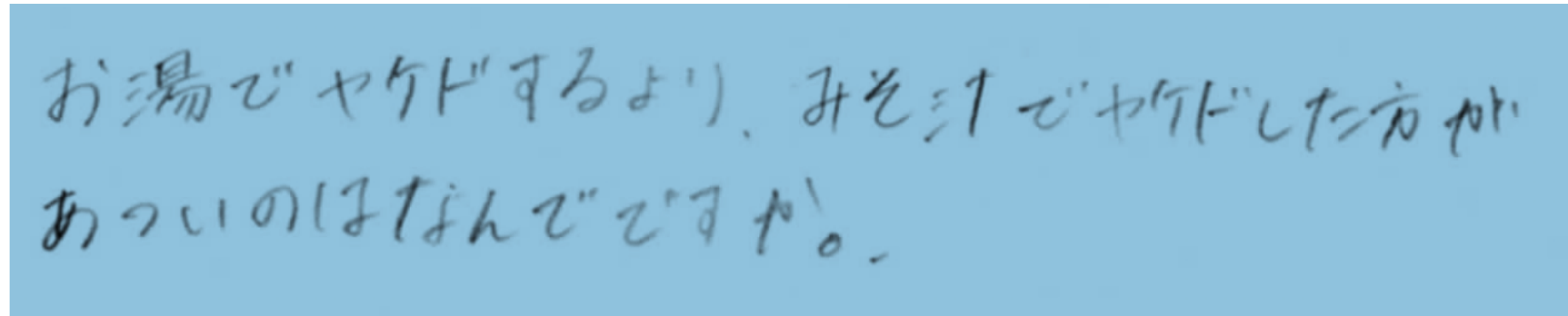


(b) 粘性が小さい場合



(c) 粘性が大きい場合

粘性 (viscosity)：内部摩擦力



✗ みそ汁やスープの方が温度が高い

お湯よりみそ汁やスープの方が、粘性があって肌にくっつくから

NCBI Resources ▾ How To ▾

PubMed.gov
US National Library of Medicine
National Institutes of Health

PubMed ▾

Advanced

Format: Abstract ▾ Send to ▾

Burns. 2016 May;42(3):589-97. doi: 10.1016/j.burns.2015.10.016. Epub 2016 Feb 1.

Hot soup! Correlating the severity of liquid scald burns to fluid and biomedical properties.

Loller C¹, Buxton GA², Kerzmann TL³.

⊕ Author information

Abstract

Burns caused by hot drinks and soups can be both debilitating and costly, especially to pediatric and geriatric patients. This research is aimed at better understanding the fluid properties that can influence the severity of skin burns. We use a standard model which combines heat transfer and biomedical equations to predict burn severity. In particular, experimental data from a physical model serves as the input to our numerical model to determine the severity of scald burns as a consequence of actual fluid flows. This technique enables us to numerically predict the heat transfer from the hot soup into the skin, without the need to numerically estimate the complex fluid mechanics and thermodynamics of the potentially highly viscous and heterogeneous soup. While the temperature of the soup is obviously is the most important fact in determining the degree of burn, we also find that more viscous fluids result in more severe burns, as the slower flowing thicker fluids remain in contact with the skin for longer. Furthermore, other factors can also increase the severity of burn such as a higher initial fluid temperature, a greater fluid thermal conductivity, or a higher thermal capacity of the fluid. Our combined experimental and numerical investigation finds that for average skin properties a very viscous fluid at 100°C, the fluid must be in contact with the skin for around 15-20s to cause second degree burns, and more than 80s to cause a third degree burn.

流体中の抵抗をどうやって減らすか？



3.3.2 揚力:飛行機はなぜ飛ぶか

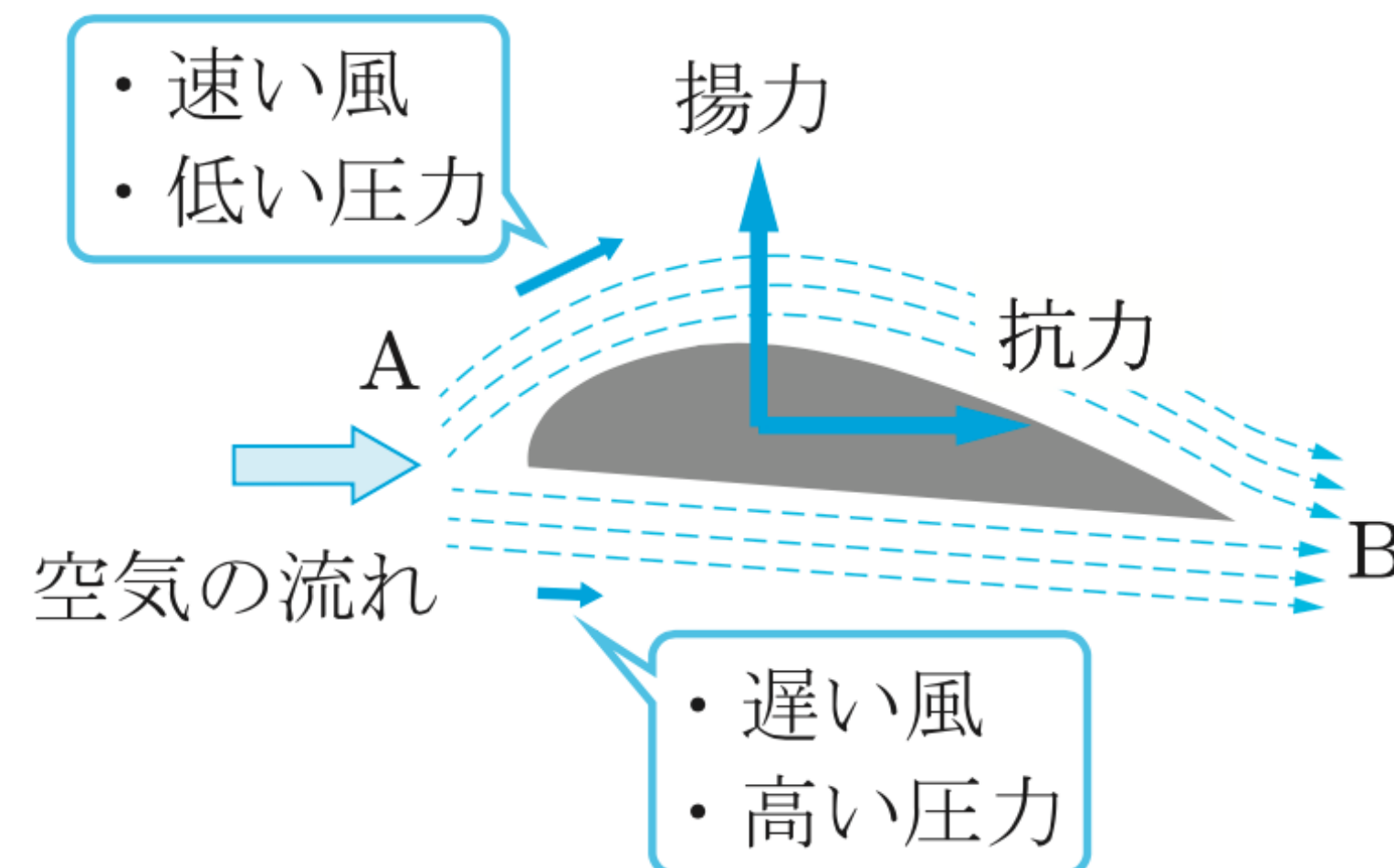
法則 ベルヌーイの定理

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.

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

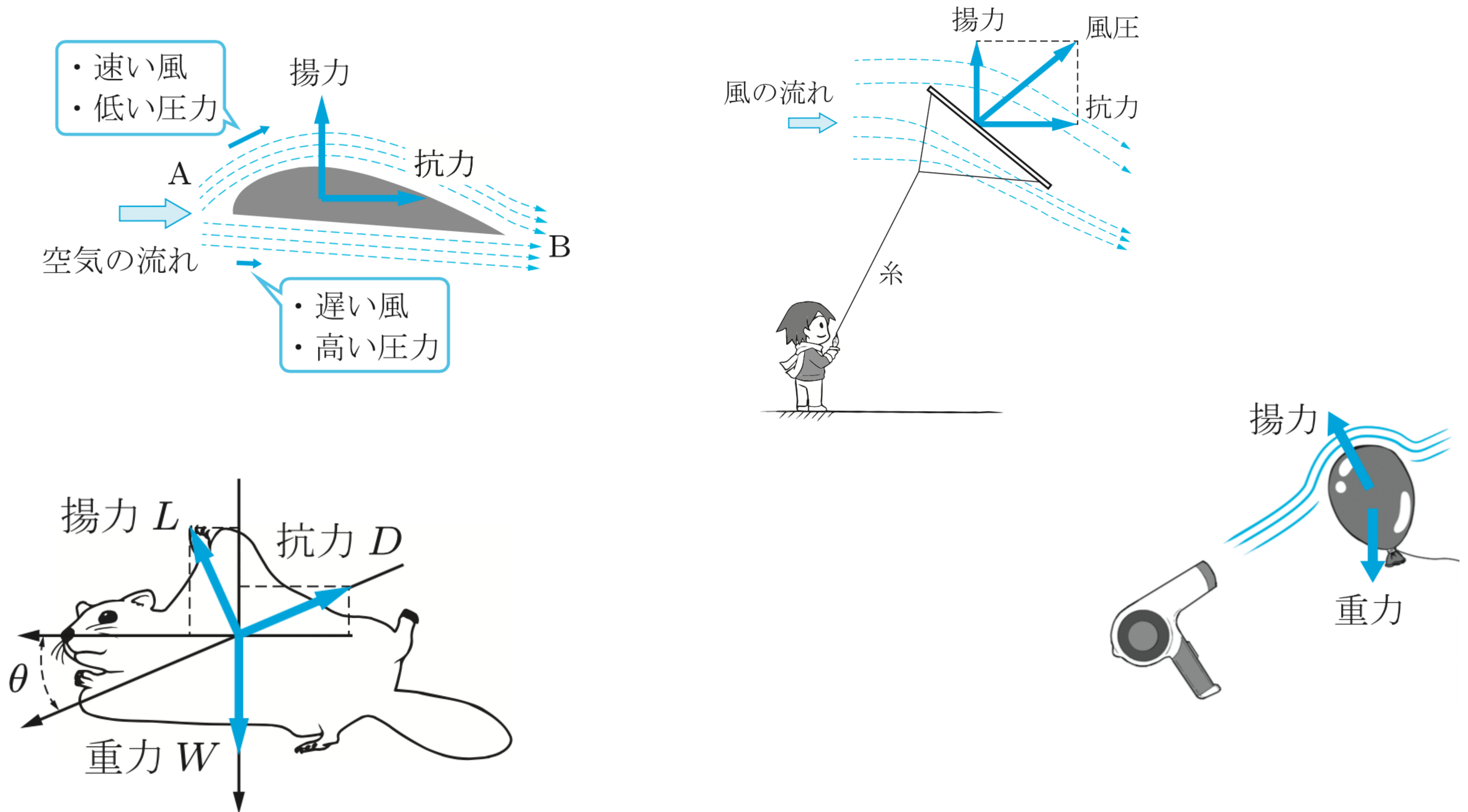
この式は, 流速 v が大きいと流体からの圧力 P が小さくなり, 流速が小さいと圧力が大きくなることを示している.



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

ふうせんの実験がおもしろかった。

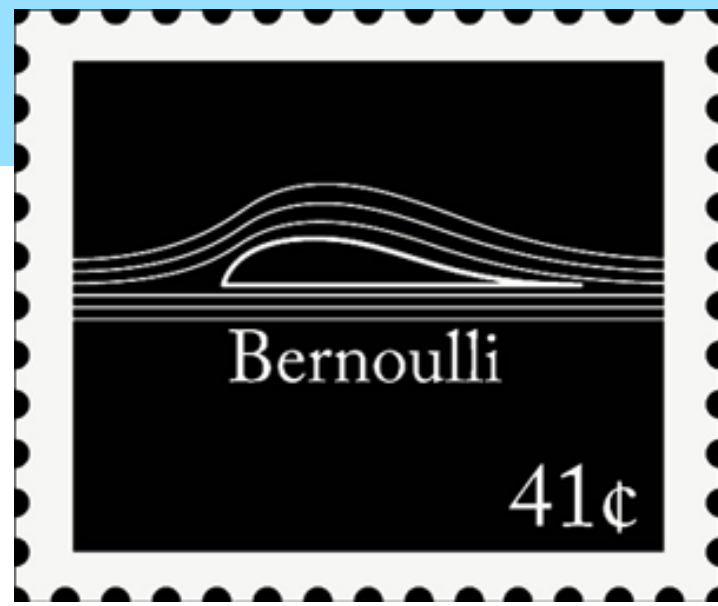
実験を見るのが面白かったです。

Early Flight (b&w, silent, 16mm) Vintage Films



<https://www.youtube.com/watch?v=iMhdkSPFhCM> (1'36")

旅客機の主翼の傾きに注目 (1)



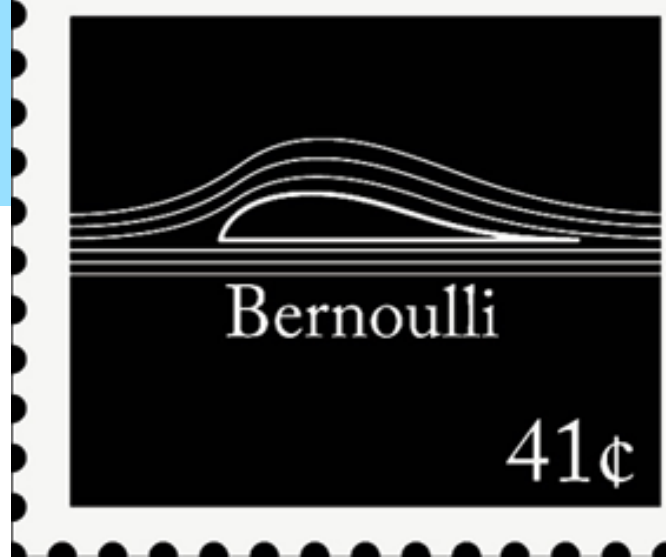
離陸時
滑走中



離陸直後

【実験ですよ】

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

3.3.2 揚力:飛行機はなぜ飛ぶか

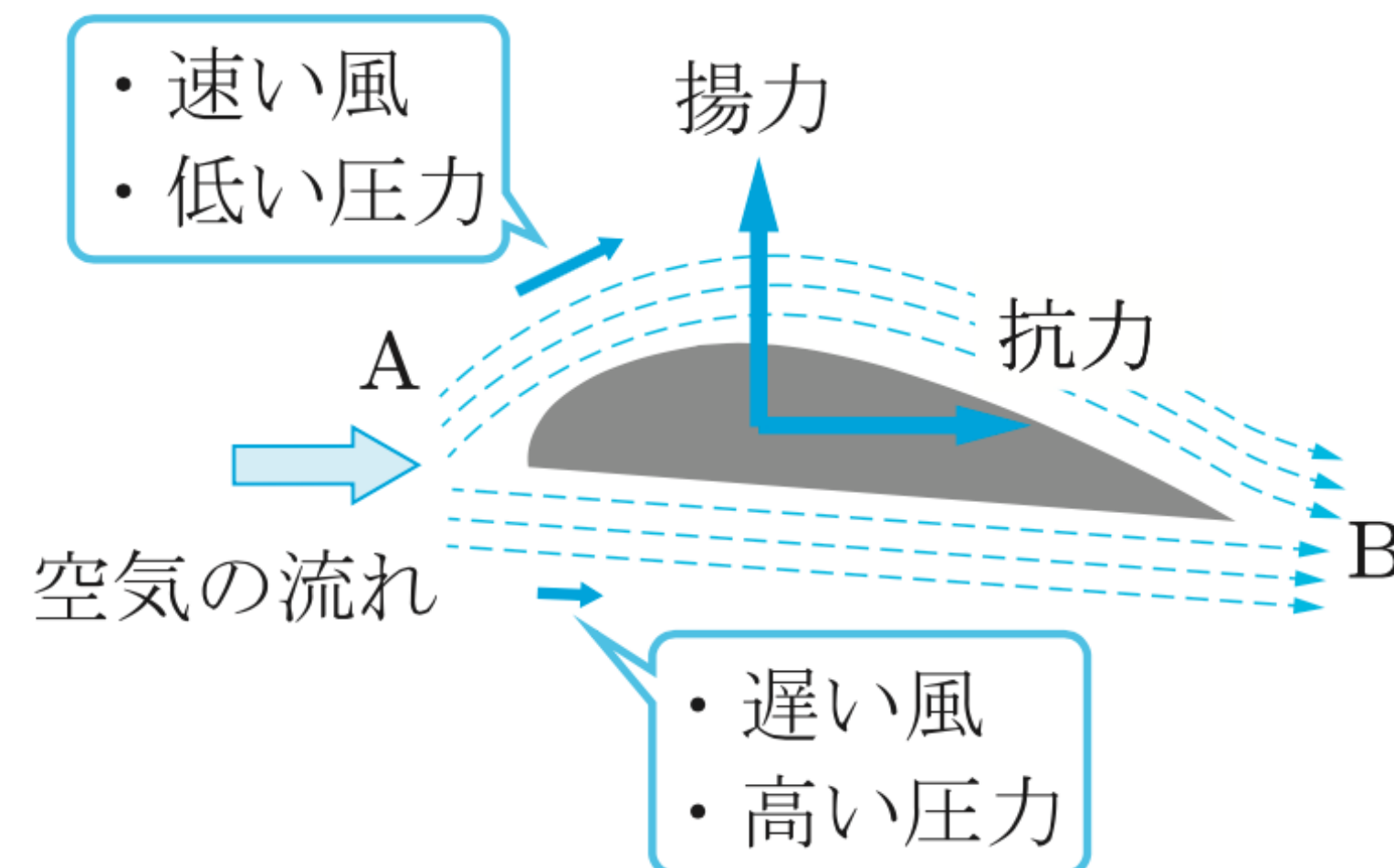
法則 ベルヌーイの定理

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)



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から、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
すぐ申し込む



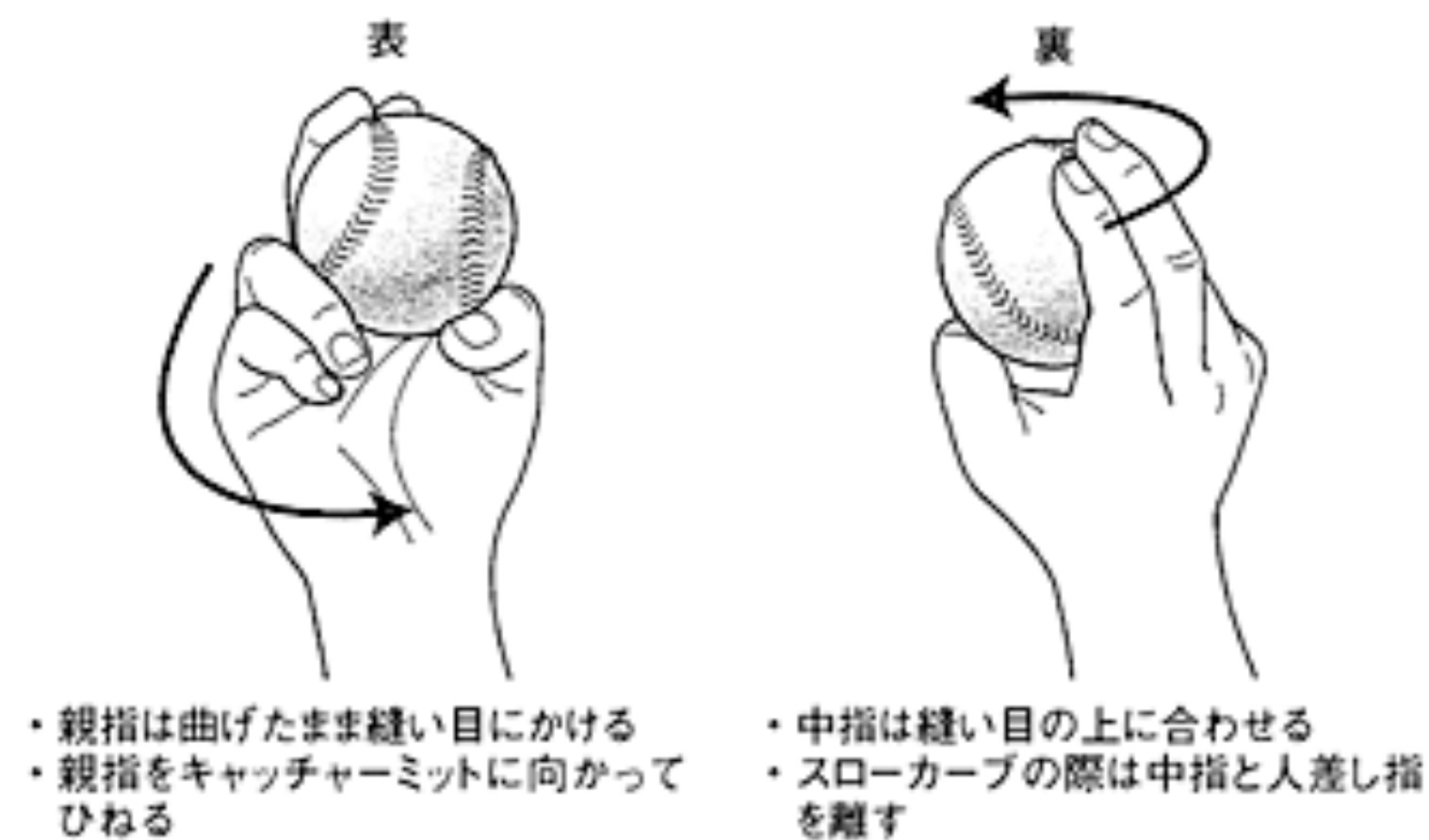
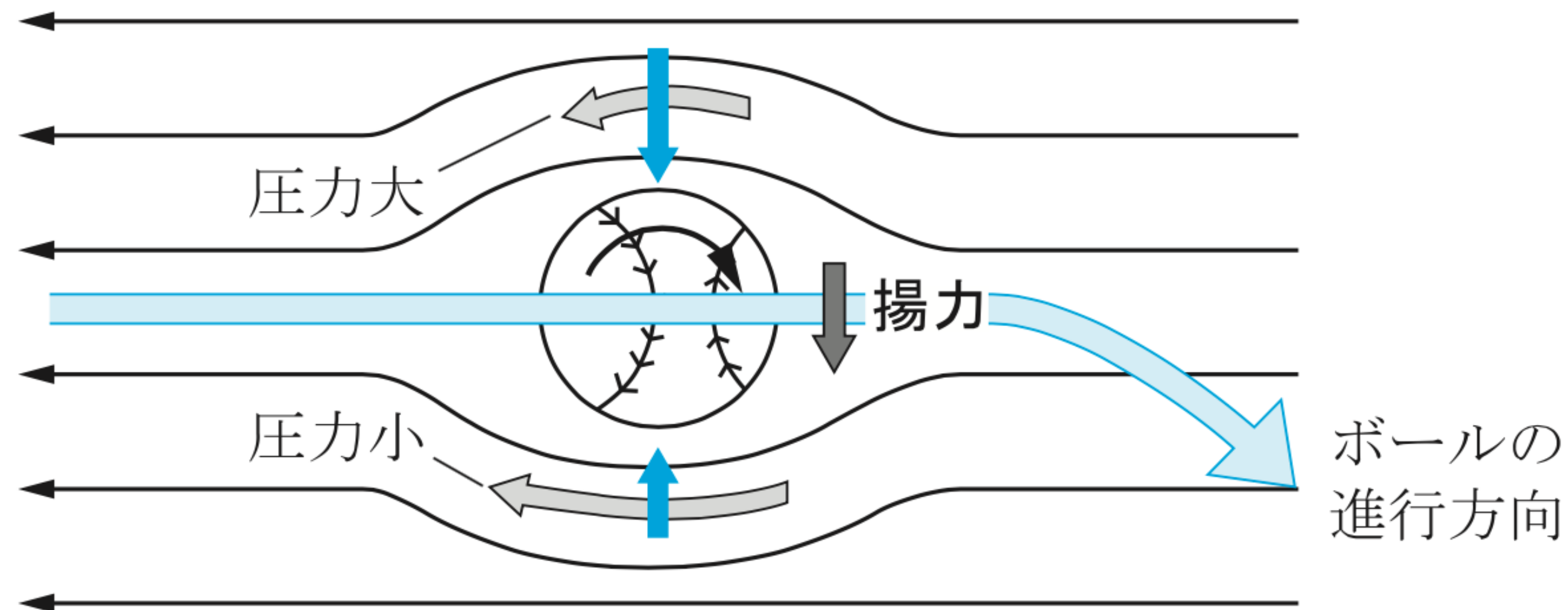


図1 カーブの握り方

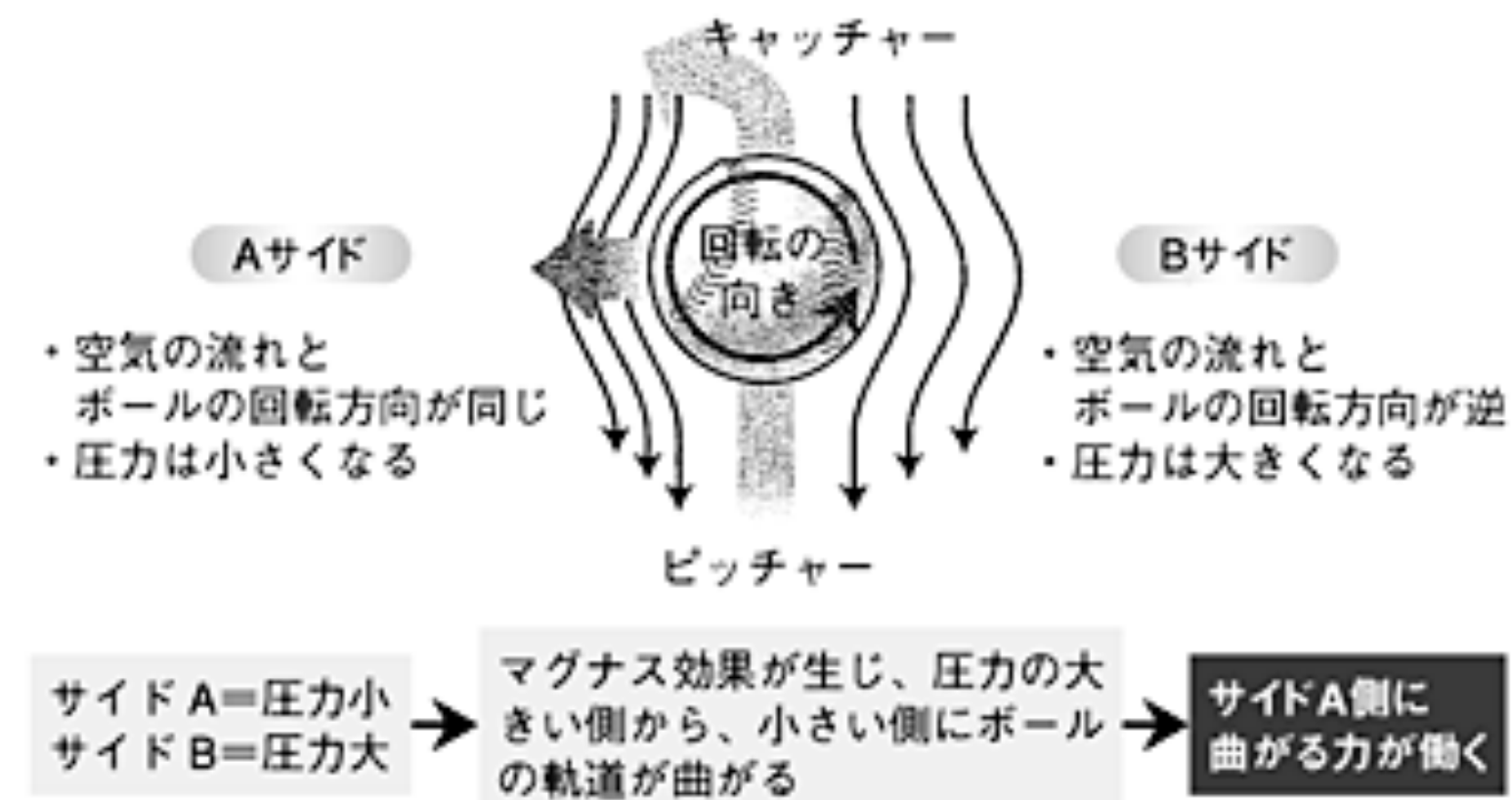
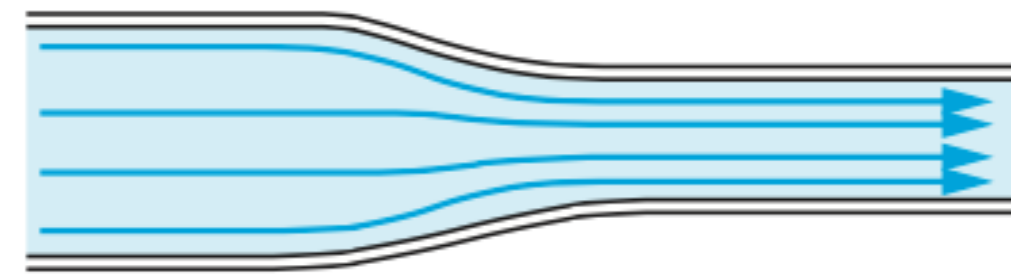


図2 カーブに働く「マグナス力」(児玉、2008より)

3.3.3 乱流



(a) 層流



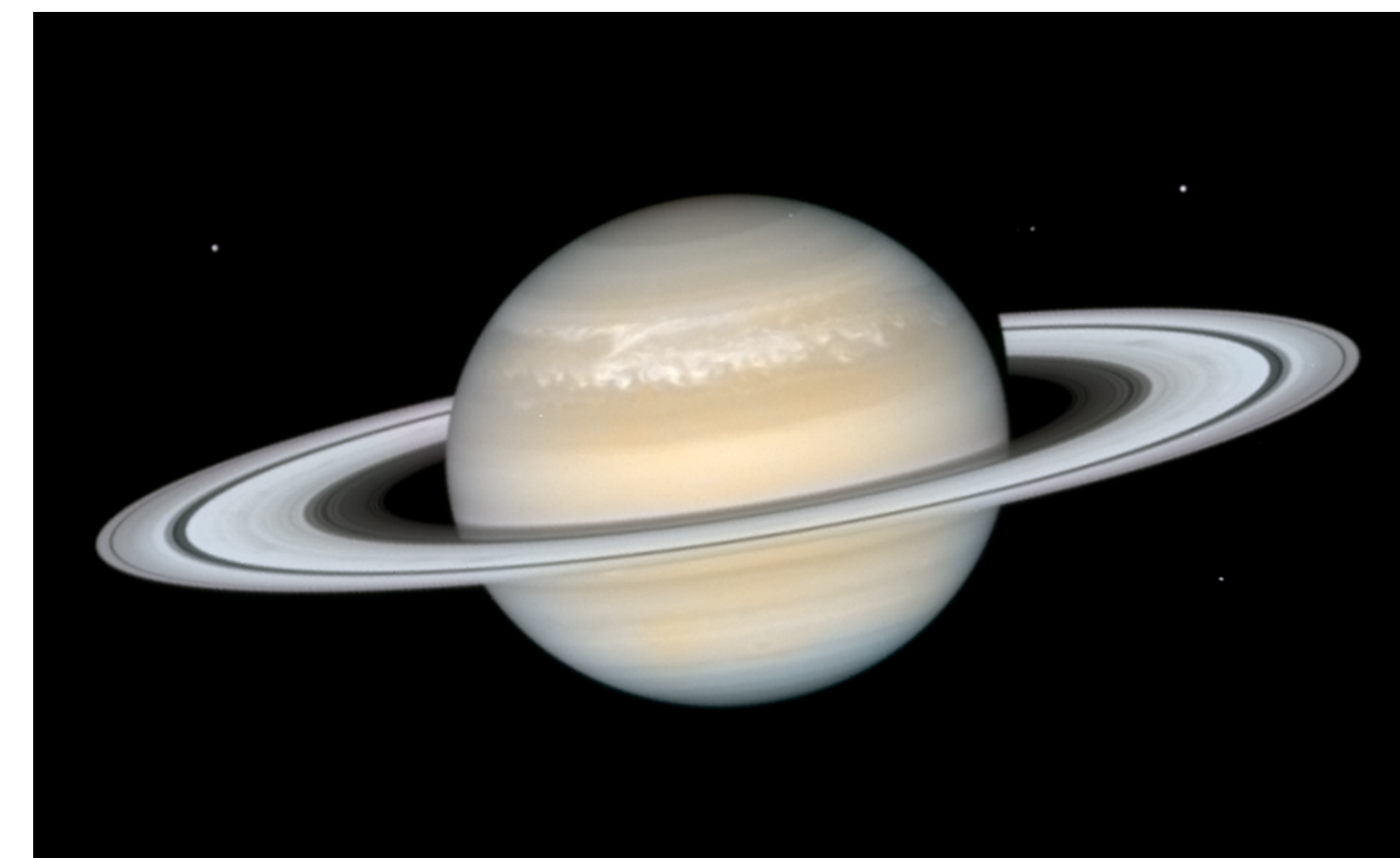
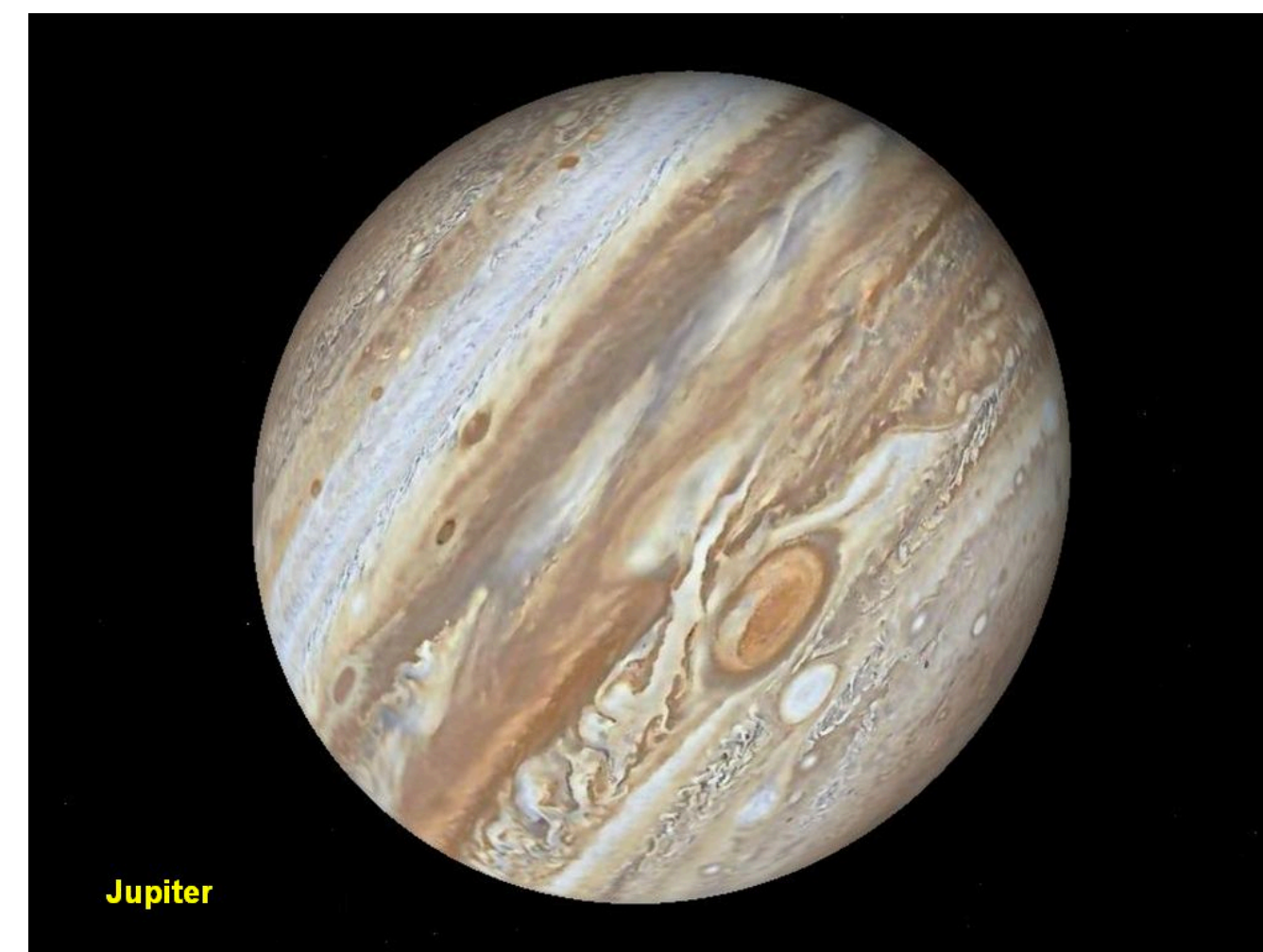
(b) 乱流

Leonardo da Vinci
(1452—1519)

(a) 層流



(b) 乱流



カルマンの渦列

渦ができるのも、流体の性質の 1 つである．1 列にならんだ渦は不安定で長持ちしないが，2 列あると安定に存在できることが知られている．カルマン (Th. von Karman) によって 1911 年に示されたことから，**カルマンの渦列**という (図 3.17)．

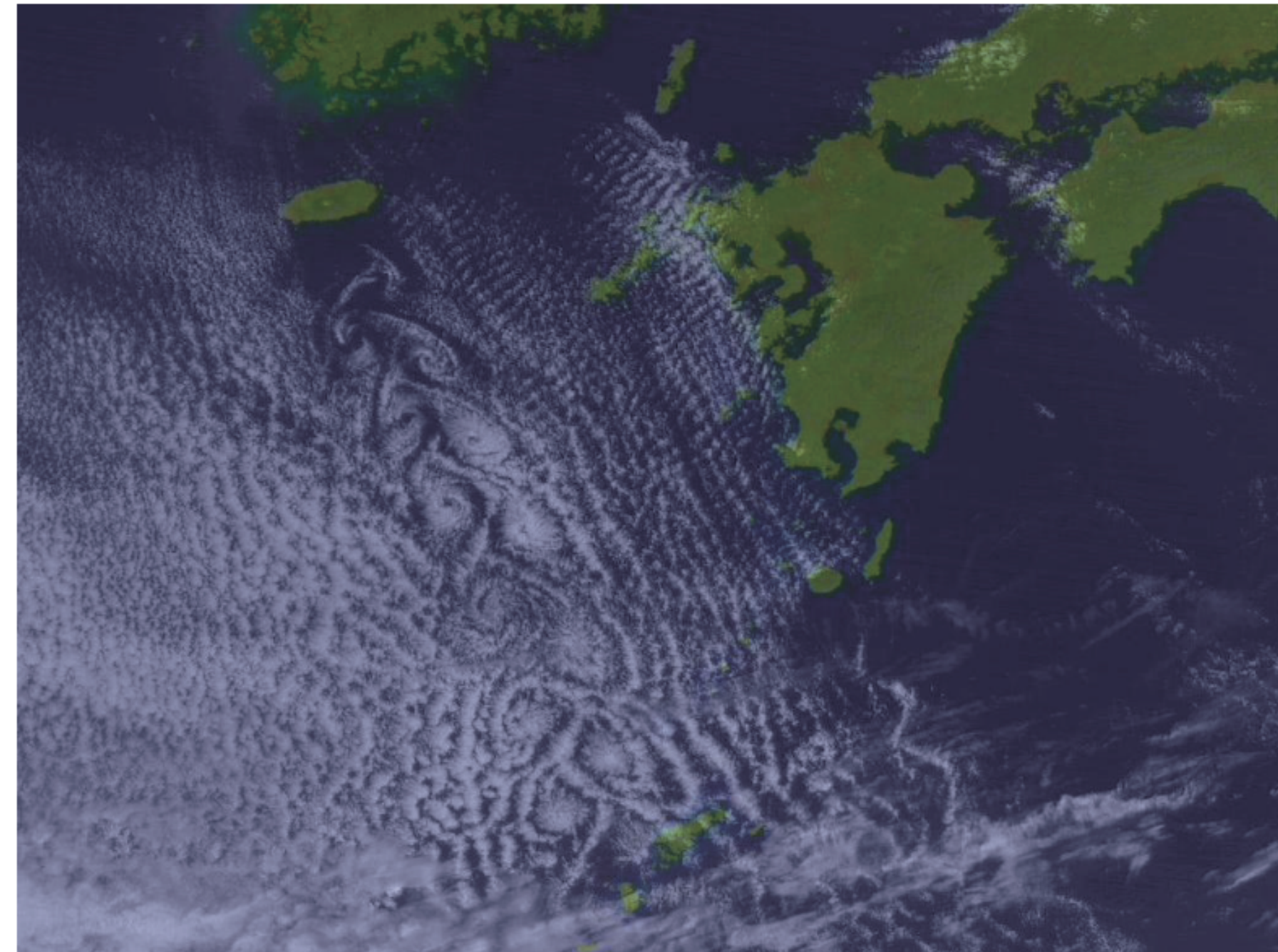
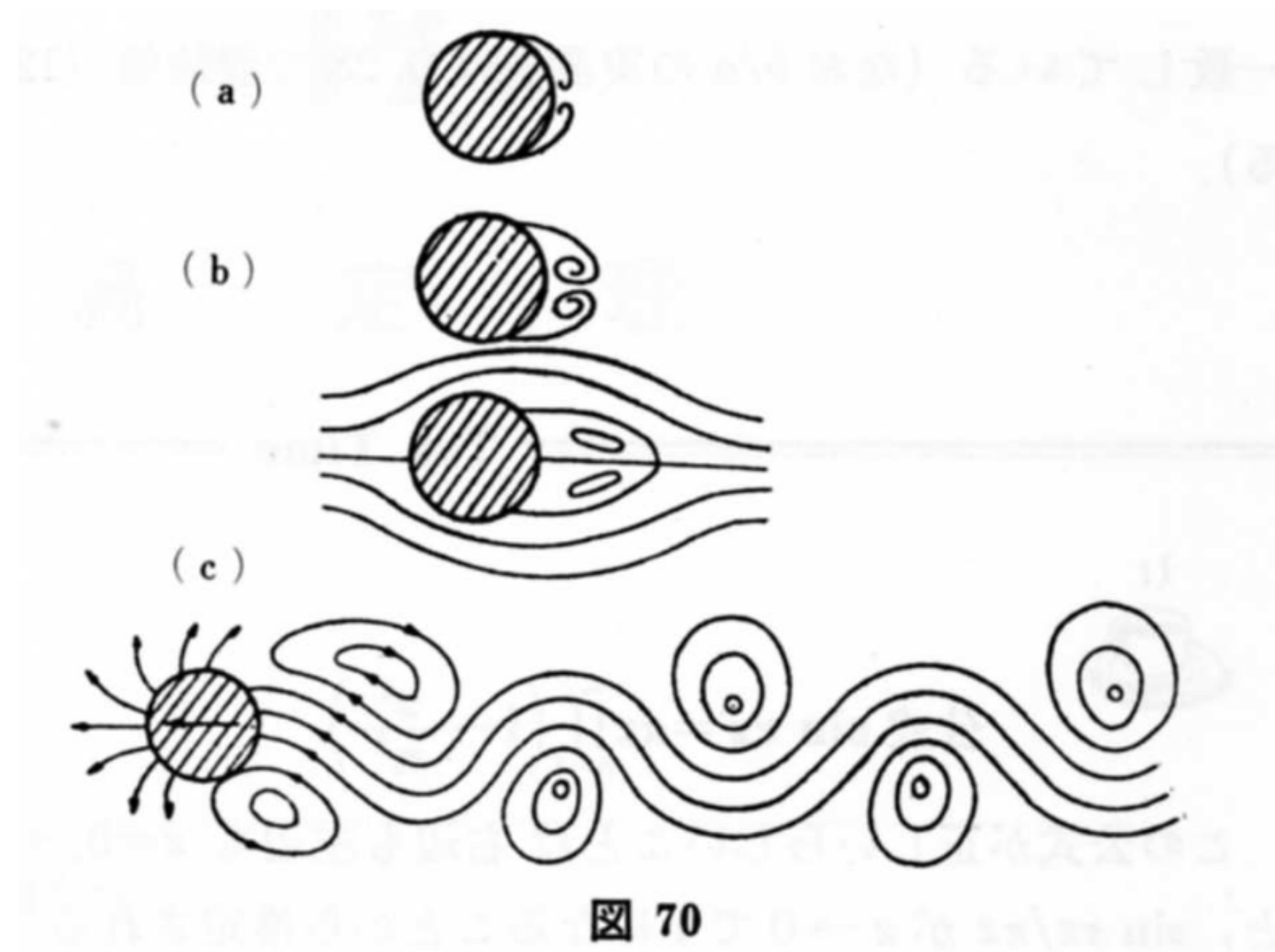


図 3.17: 〔左〕カルマン渦のできるしくみ (戸田盛和, 流体力学 30 講, 朝倉書店 1994). 〔右〕2007 年 2 月 15 日の雲. 済州島や屋久島付近ではよくカルマン渦ができることが知られている.

Topic 風に吹かれて旗がはためく

「風に吹かれて旗がはためく」のも「小川の杭にかかった水草がゆれる」のも，カルマン渦による現象である．ラーメンや味噌汁をよそい終わり，具がなくなった鍋で（あるいは粘性のある大きな液体の水面で），割り箸を一本立てて手前に引くと，カルマン渦をつくることができる．



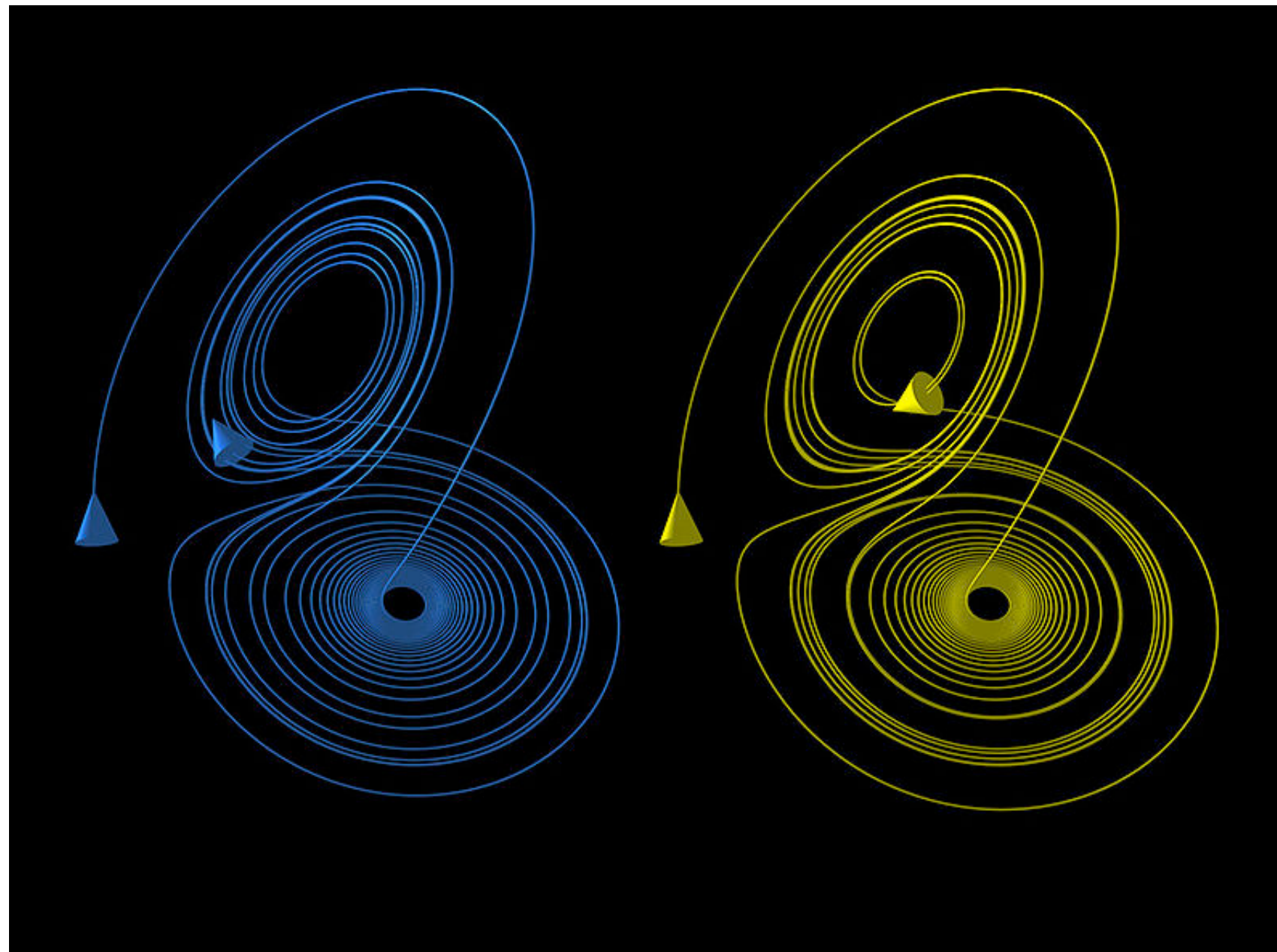
よく言われる「旗めく星条旗」の写真。アポロ11号でオルドリן宇宙飛行士が旗の前に立っている。

Photo by NASA, 写真番号 AS11-40-5874, 出典: http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/apollo/apollo11/html/as11_40_5874.html

バタフライ効果 butterfly effect

カオス力学系で生まれた言葉で、極めて小さな初期条件の差が、やがては無視できない大きな差となる現象のこと。

In chaos theory, the butterfly effect is the sensitive dependence on initial conditions, where a small change at one place in a deterministic nonlinear system can result in large differences to a later state.



「北京で蝶が羽ばたくと、ニューヨークで嵐が起こる」

「アマゾンを舞う1匹の蝶の羽ばたきが、遠く離れたシカゴに大雨を降らせる」



Edward Norton Lorenz
(1917-2008)

http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect



コラム 20 バタフライ効果

ローレンツは、カオスの例として、「北京で蝶が羽ばたくと、ニューヨークで嵐が起こる」とか、「アマゾンを舞う 1 匹の蝶の羽ばたきが、遠く離れたシカゴに大雨を降らせる」などと表現した。どちらも極端な例えだが、このため、非線形方程式に生じるカオス現象は、バタフライ効果ともよばれる。

複雑系のふるまいは、現在でも研究が進行中の分野である。アメリカのクレイ数学研究所によって 2000 年に発表された「ミレニアム懸賞問題七つ」の一つに、流体の基礎方程式であるナビエ・ストークス (Navier-Stokes) 方程式の解の存在問題があり、100 万ドルの懸賞金がかけられている。

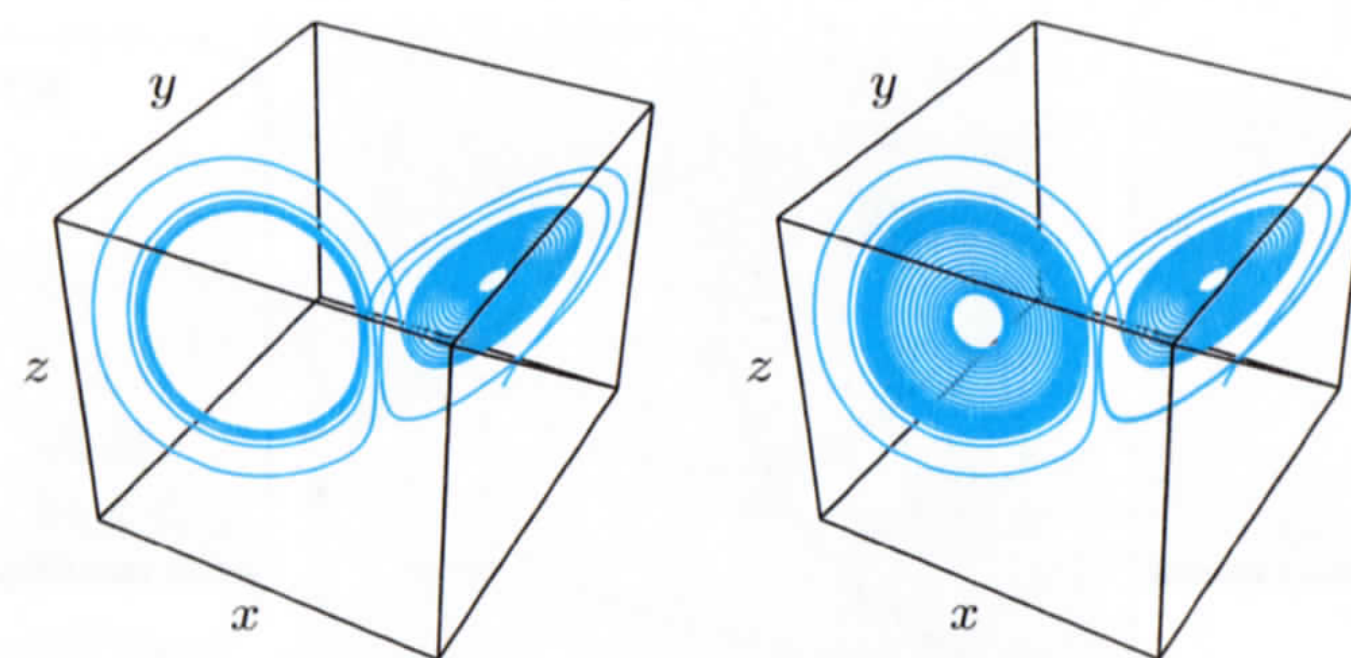
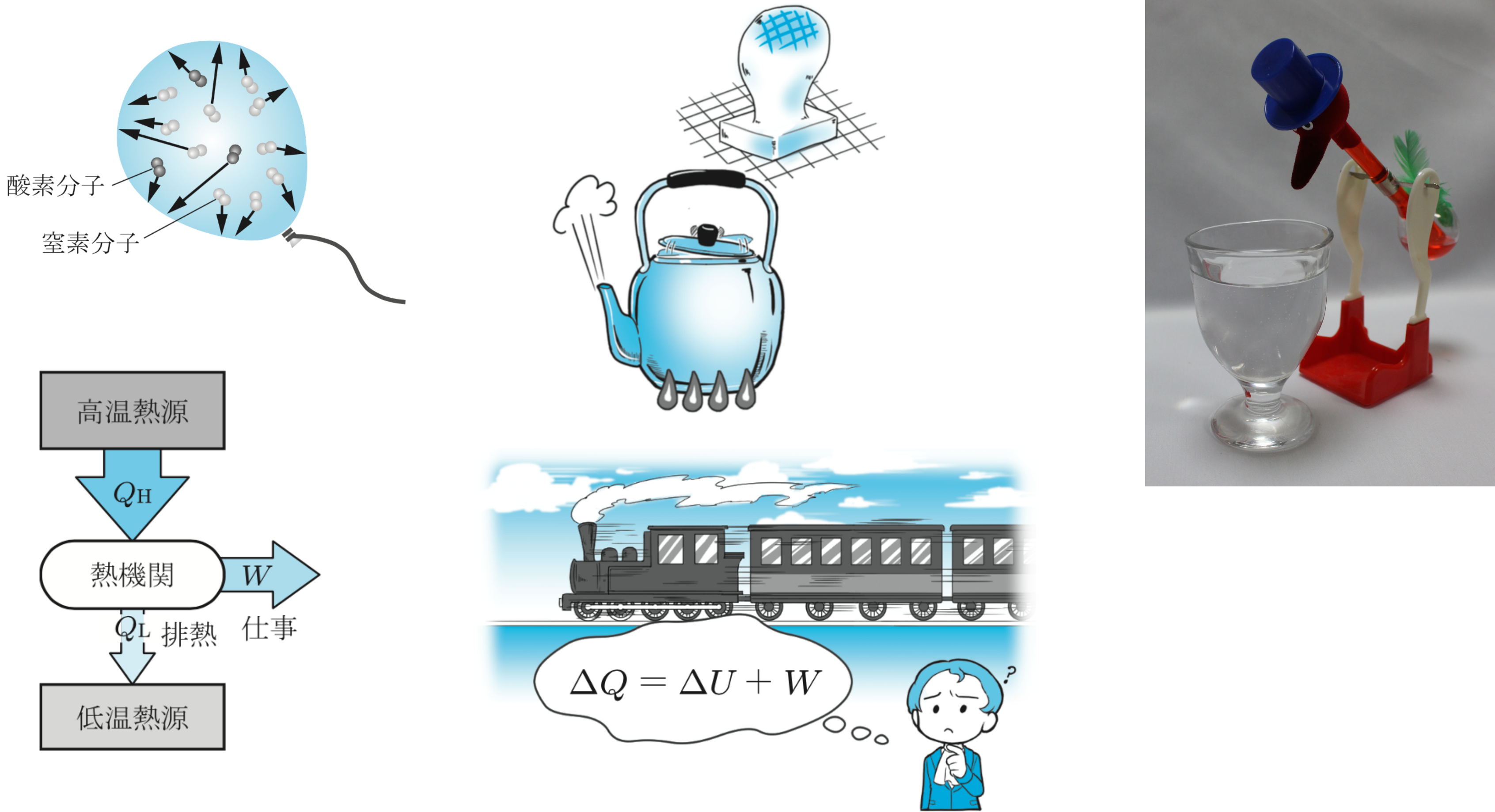
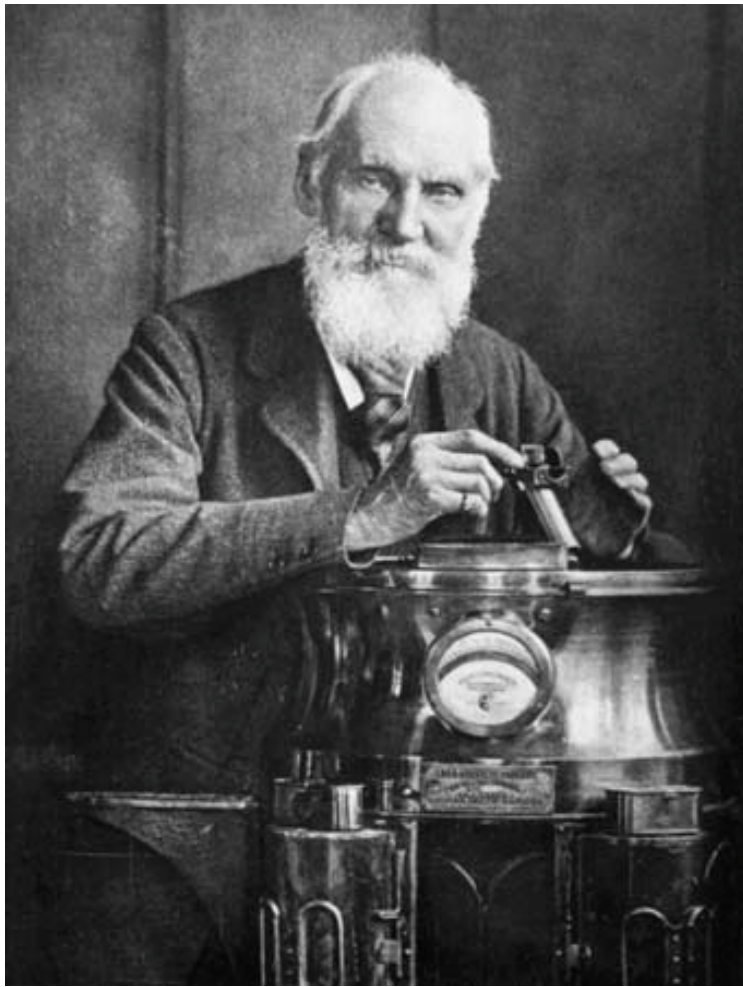


図 3.36 初期値がわずかに異なる二つのローレンツ方程式の軌跡が、しだいにずれていく



●第4章 熱と気体—熱エネルギー—	109
4.1 温度は何で決まるのか—目にみえないが感じられる分子運動	110
4.2 気体の法則・熱力学の法則—エネルギーの移動とうまくつきあう	120
4.3 熱効率と不可逆変化—永久機関はなぜ不可能なのか	128

4.1 温度は何で決まるのか

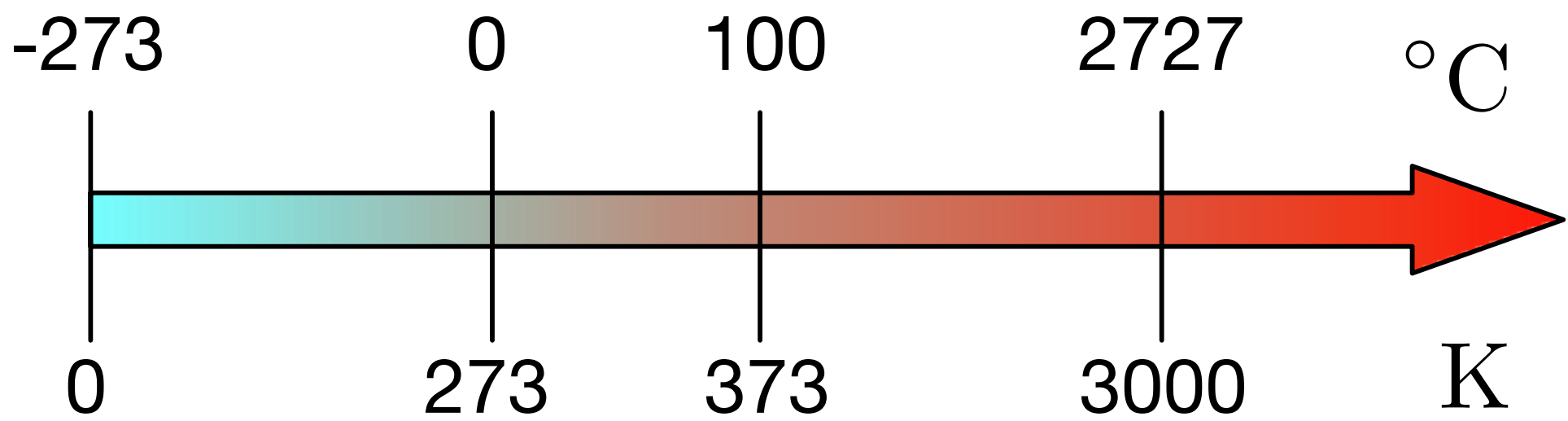


Lord Kelvin
(1824–1907)

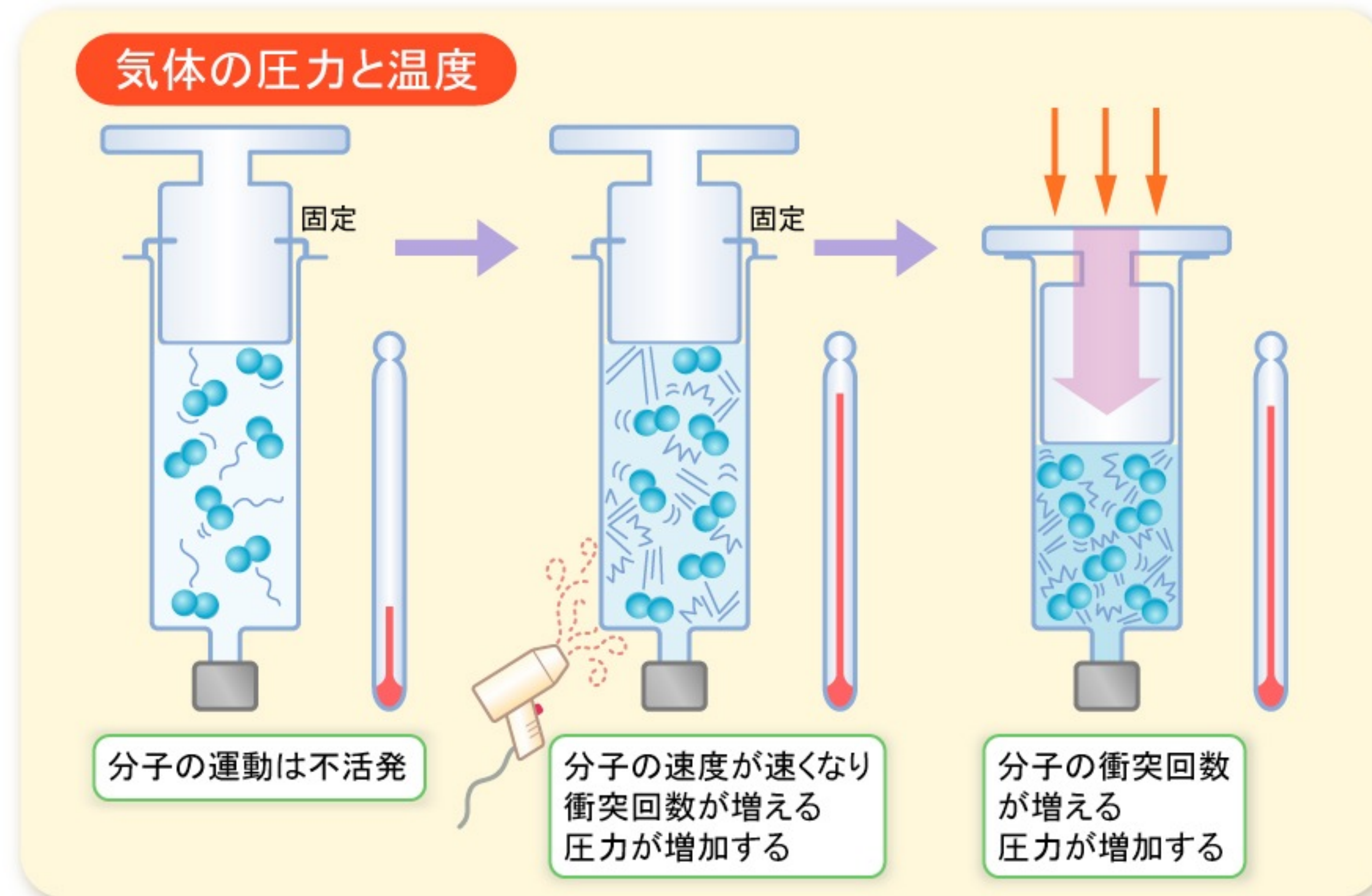
定義 絶対温度

温度は，日常では摂氏温度 $t [^{\circ}\text{C}]$ だが，物理法則では絶対温度 $T [\text{K}]$ （ケルビン）を使う．両者の関係は，次の式のようになる．

$$\text{絶対温度 } T [\text{K}] = \text{摂氏温度 } t [^{\circ}\text{C}] + 273.15 \quad (4.1)$$



4.1 温度は何で決まるのか



温度 = 分子の運動の激しさ (= 運動エネルギー)

融解熱・気化熱(蒸発熱)

氷の融解熱
1 g あたり,
 $333.5 \text{ J/g} = 80 \text{ cal/g}$
1 mol あたりでは,
 $6 \text{ kJ/mol} = 1440 \text{ cal/mol}$

水の蒸発熱
1 g あたり,
 $2257 \text{ J/g} = 540 \text{ cal/g}$
1 mol あたりでは,
 $41 \text{ kJ/mol} = 9720 \text{ cal/mol}$

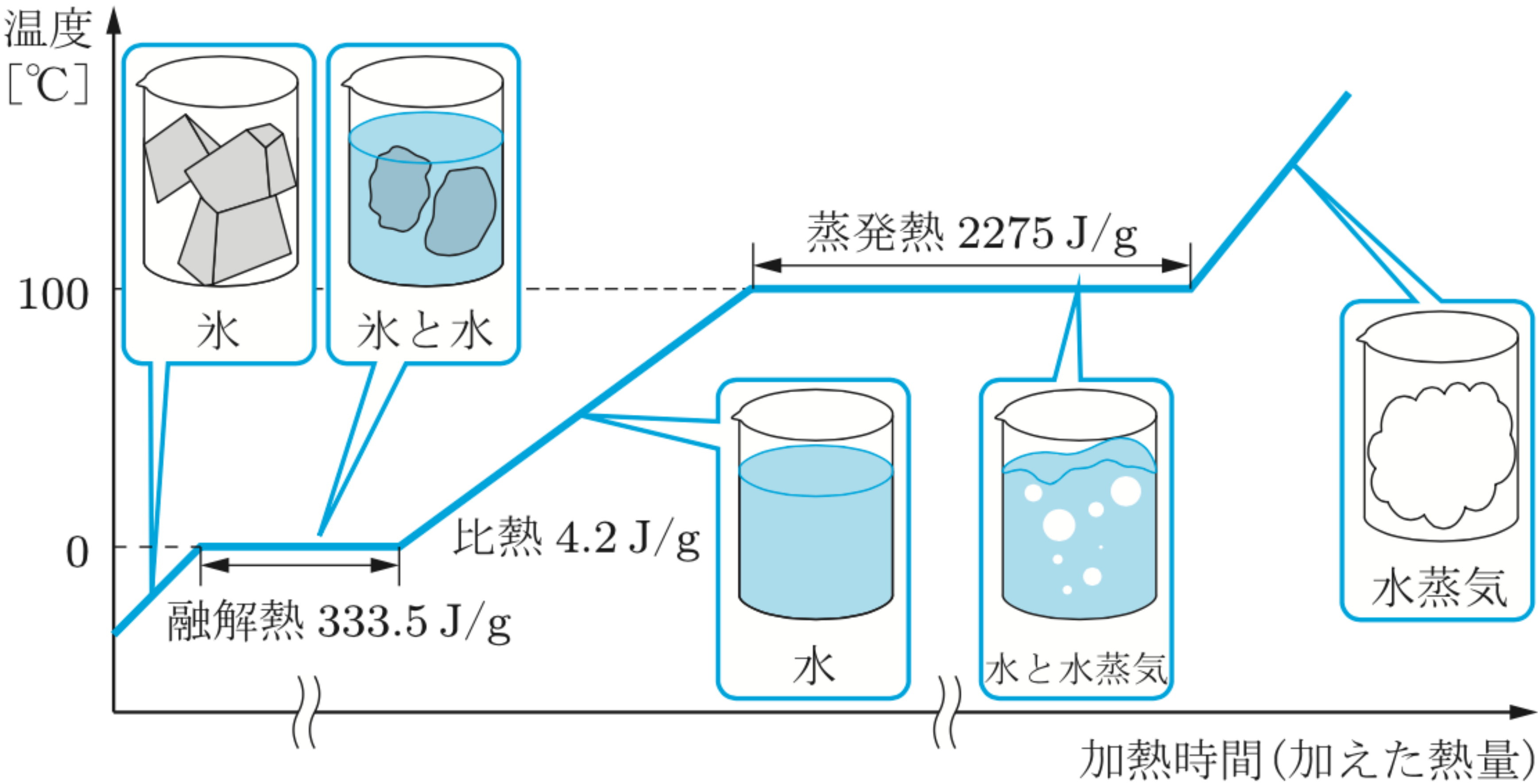


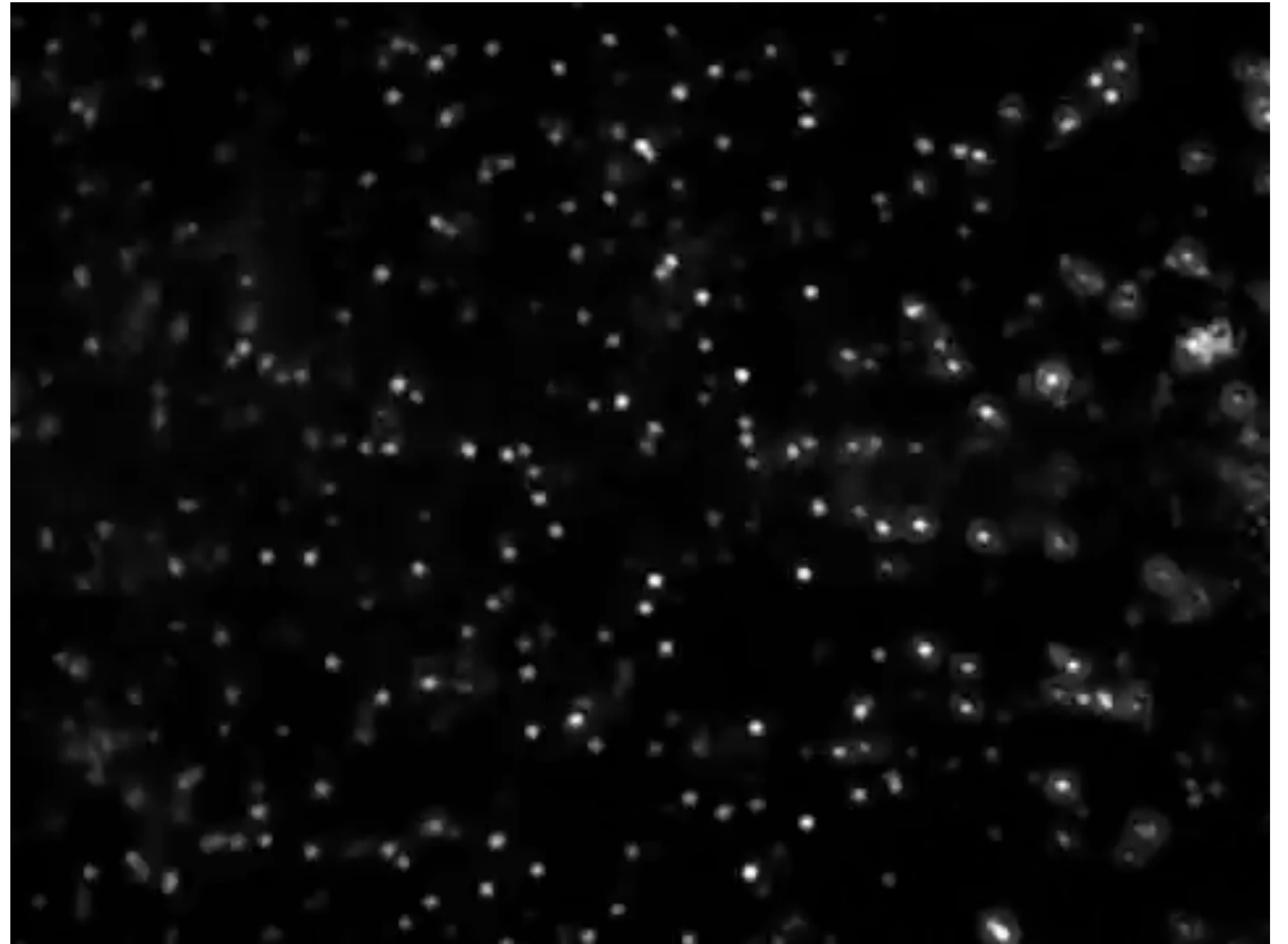
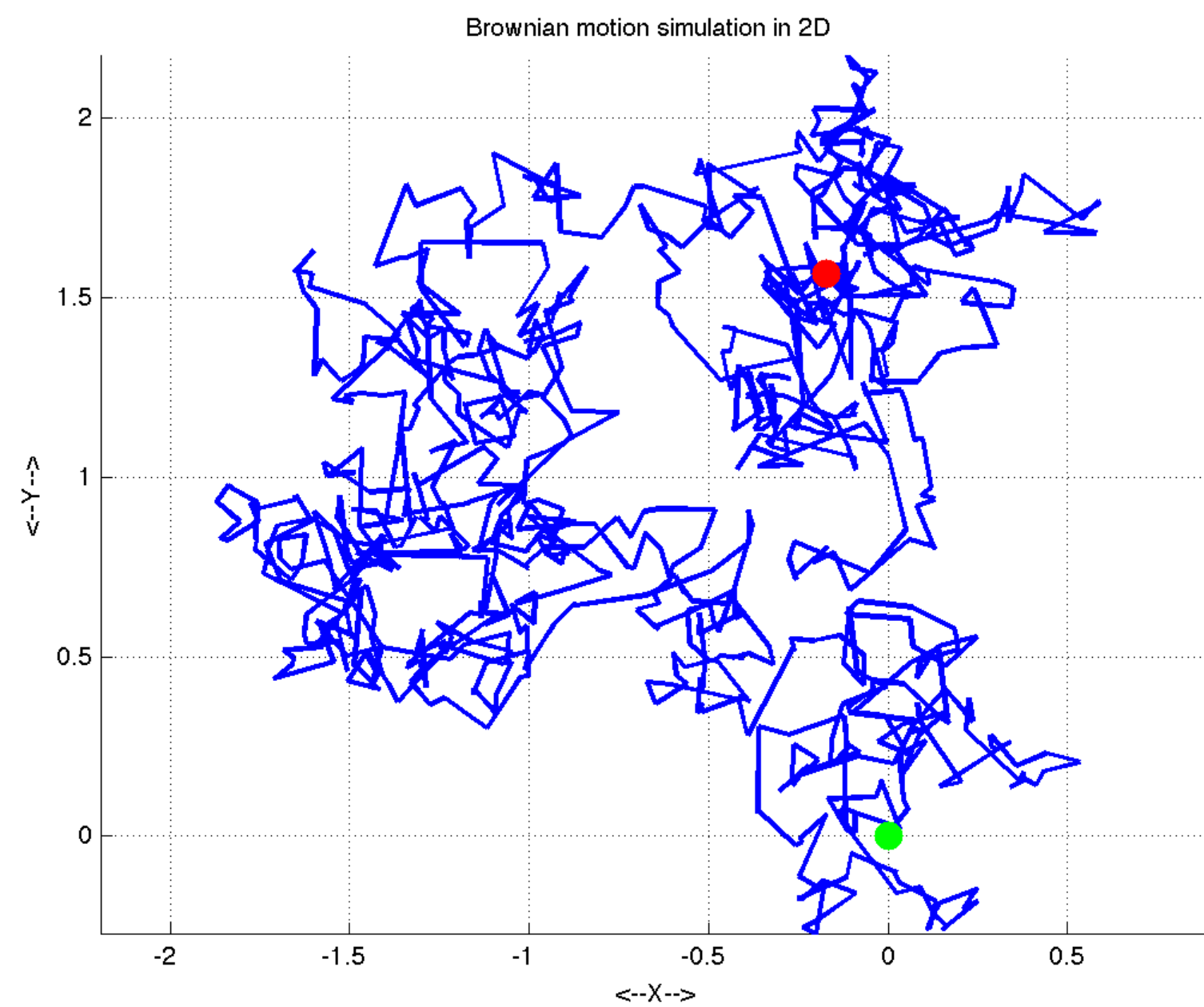
図 4.9 水の状態変化

分子運動で説明できる

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

ブラウン運動（＝水分子が微粒子を常に動かす）



温度の単位 [°C] [F] [K]

- 摂氏, °C (セルシウス氏, 摂修)
水の融点を0, 沸点を100とする
- 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.

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

- 絶対温度, K (ケルビン)
-273 °C=0 K, 1度幅は°Cと同じ.

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

アメリカ人は〔F〕を使う

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

By DAILY MAIL REPORTER

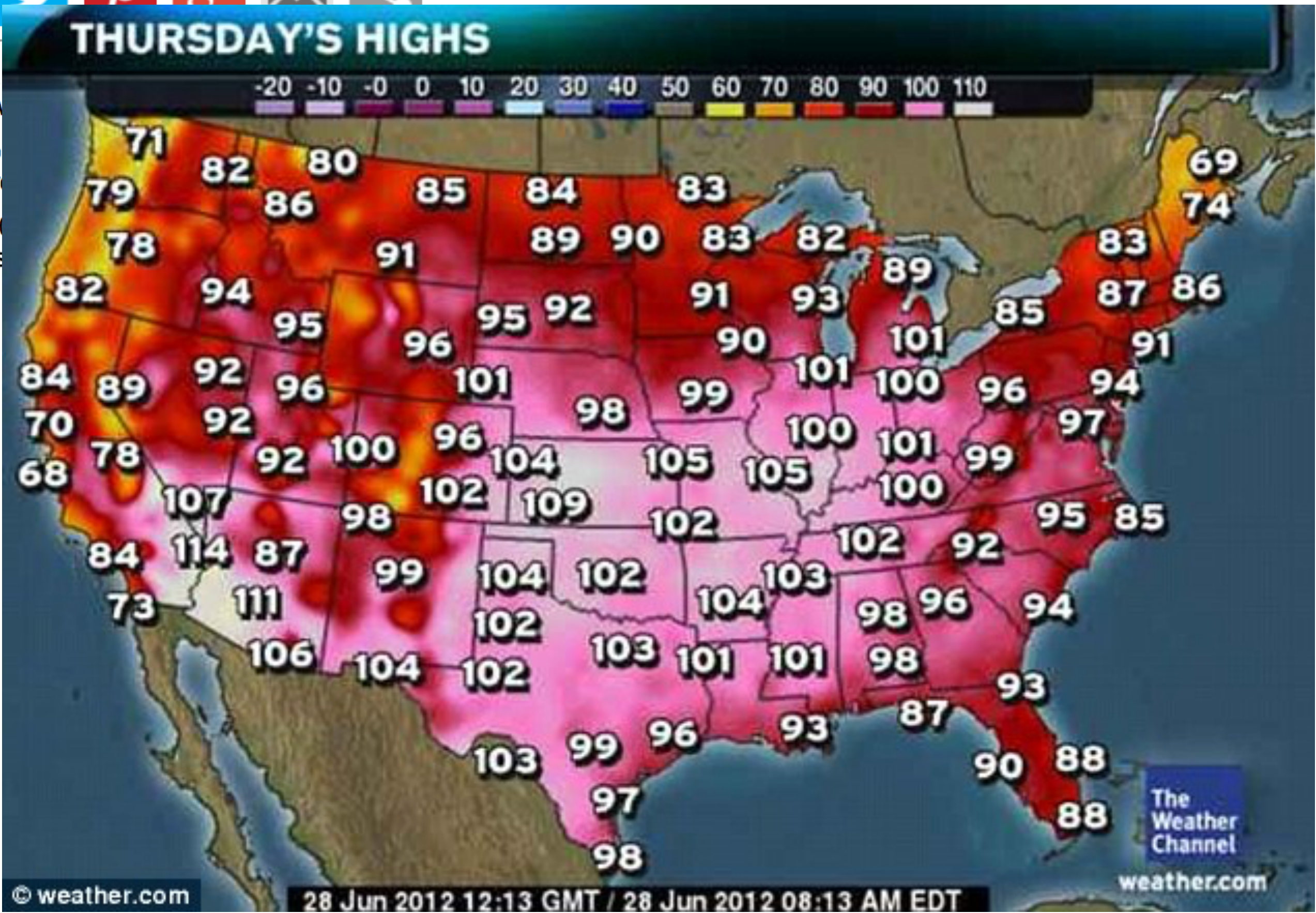
PUBLISHED: 02:32 GMT, 28 June 2012 | UPDATED: 13:15 GMT, 28 June 2012



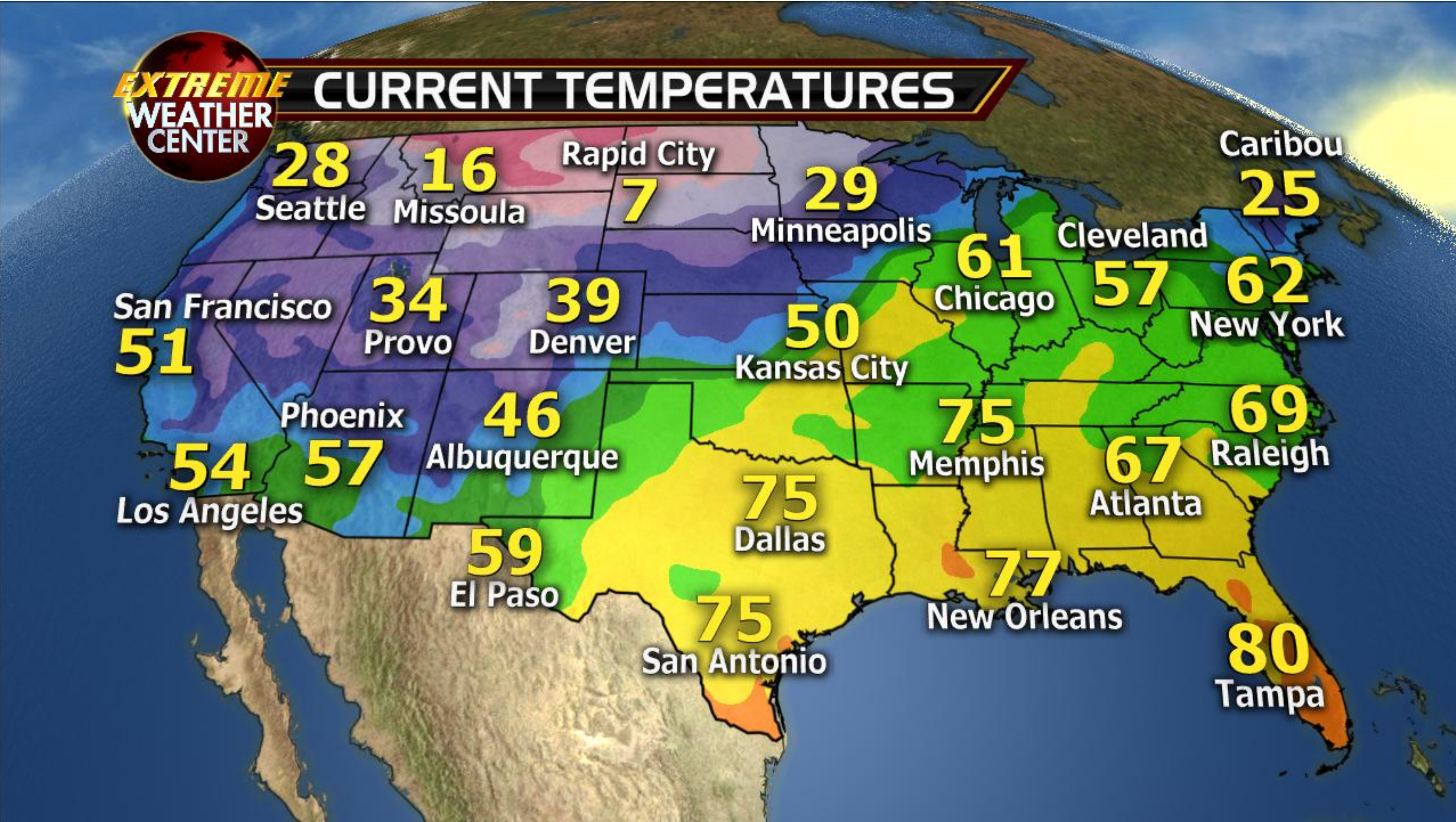
Feeling hot? It's not just the sun that's been slashed in the past week.

From the wildfire-cooled temperatures are cooling.

In the past week, 1,000 temperature records broken.



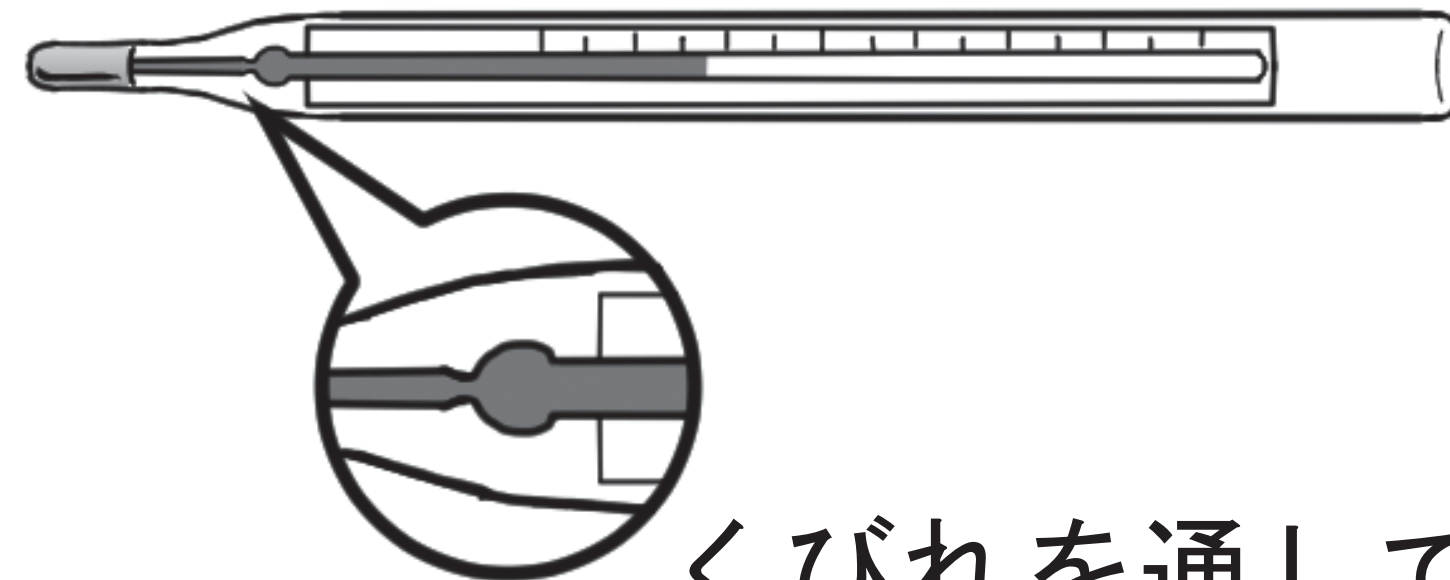
アメリカ人は〔F〕を使う



熱膨張と収縮

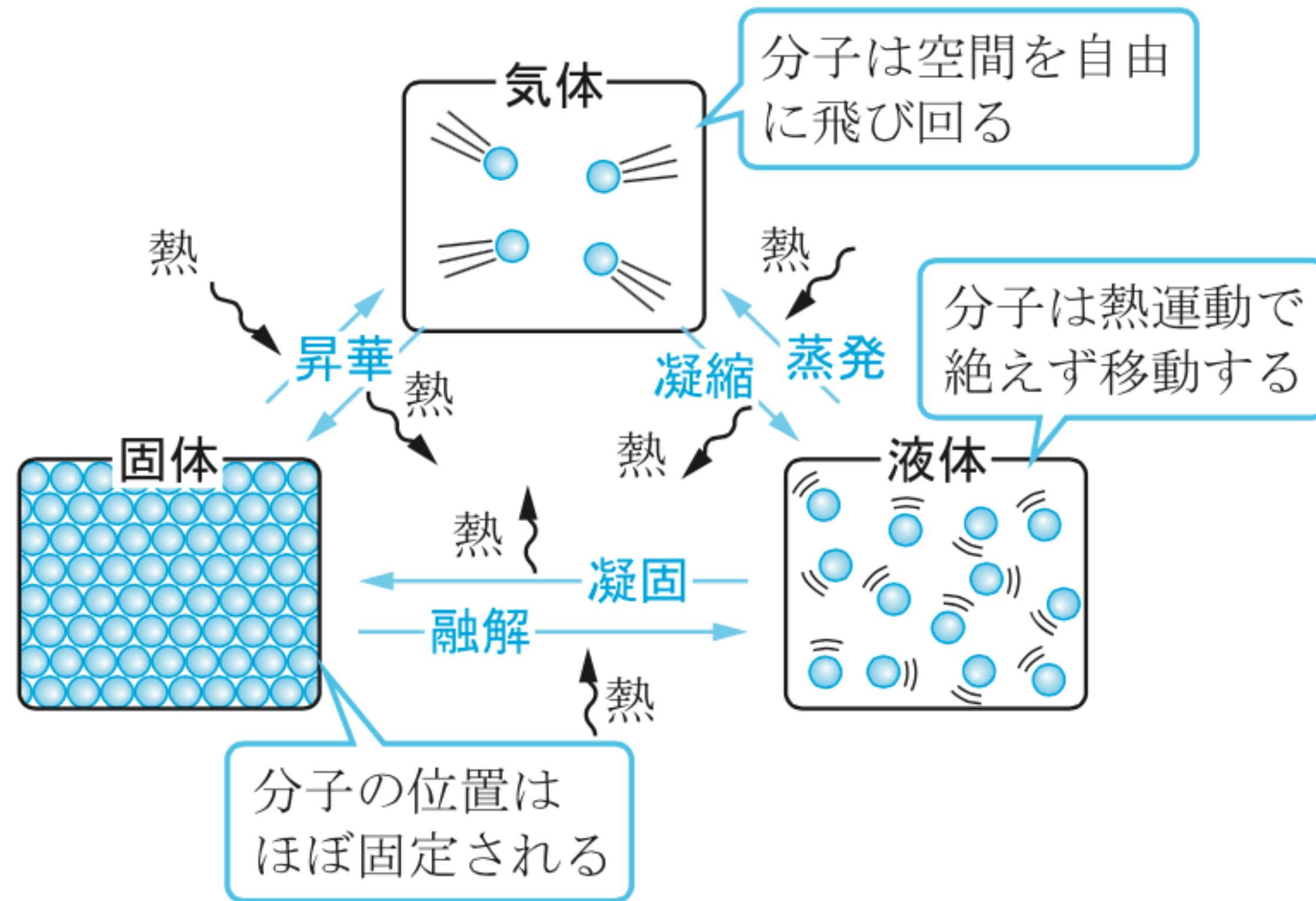
Topic 水銀式体温計を振って戻す理由

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るが、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。使う前には振って遠心力を起こし、圧力を加えて水銀を戻す必要がある。

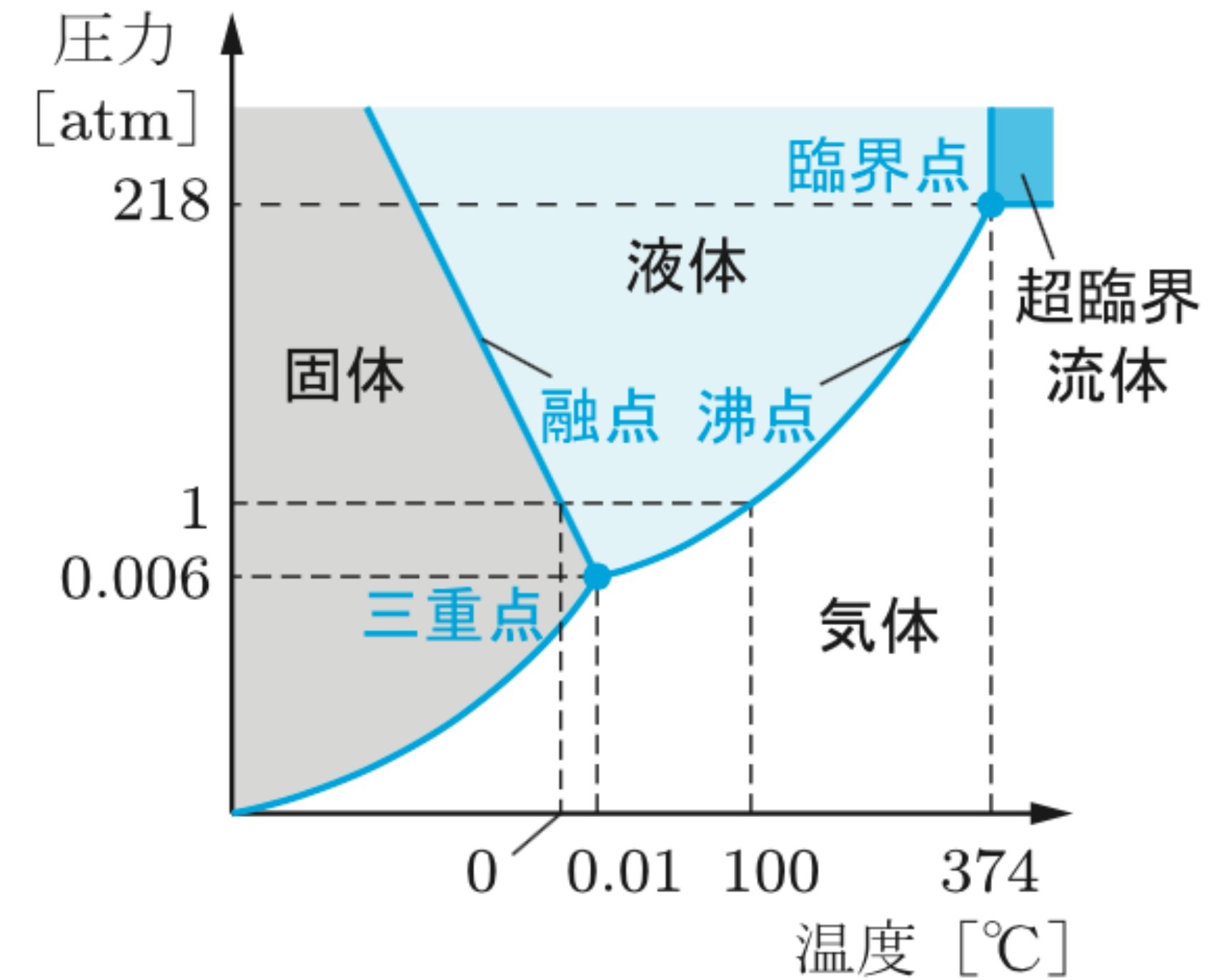


くびれを通して
収縮できない水銀

物質の三態



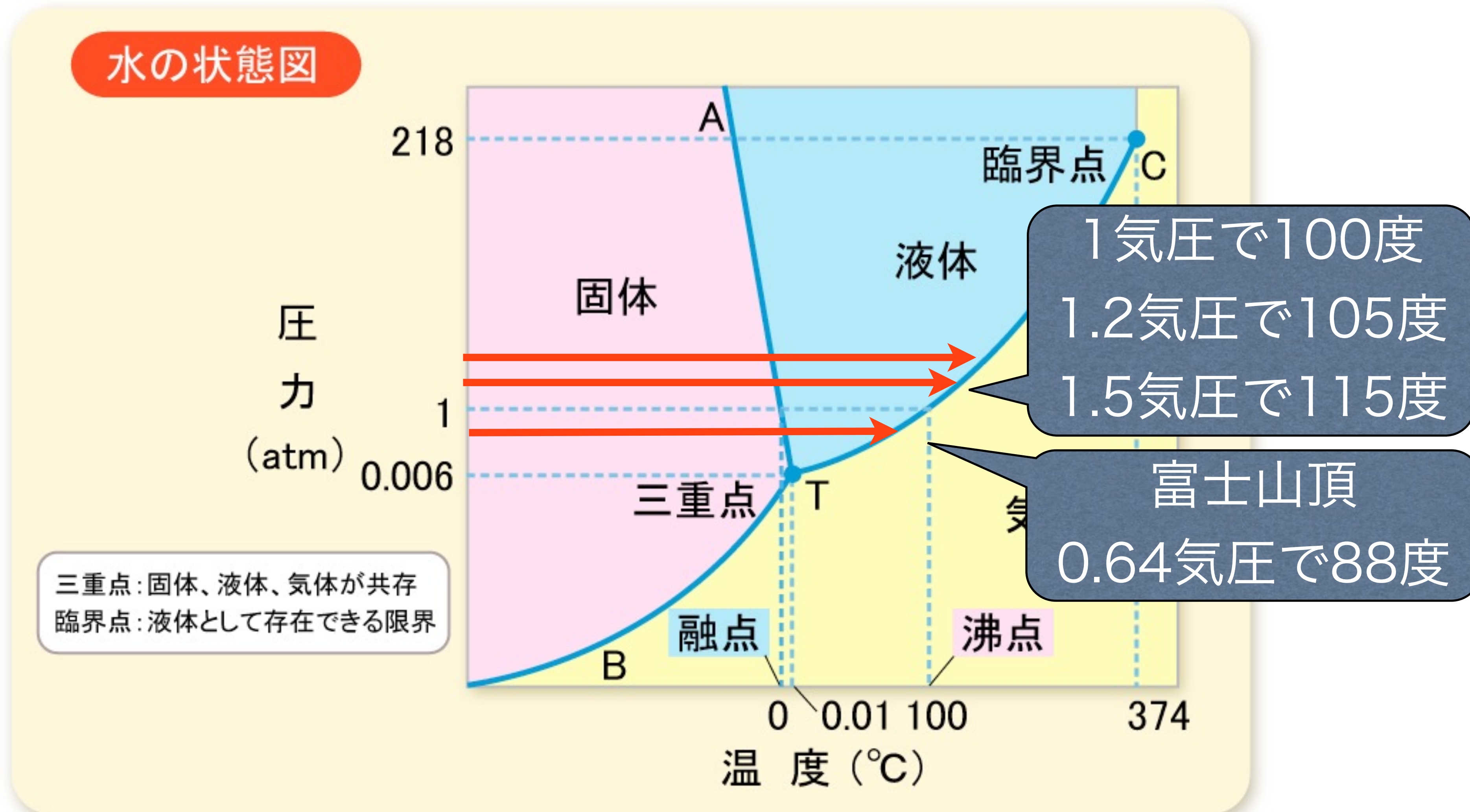
(a) 物質の三態



(b) 水の状態図

Keywords : 蒸発 (気化) ・ 凝縮 (液化) ・
凝固 (固化) ・ 融解 (液化) ・
昇華 (気化・固化)

Keywords : 融点, 沸点, 臨界点, 三重点

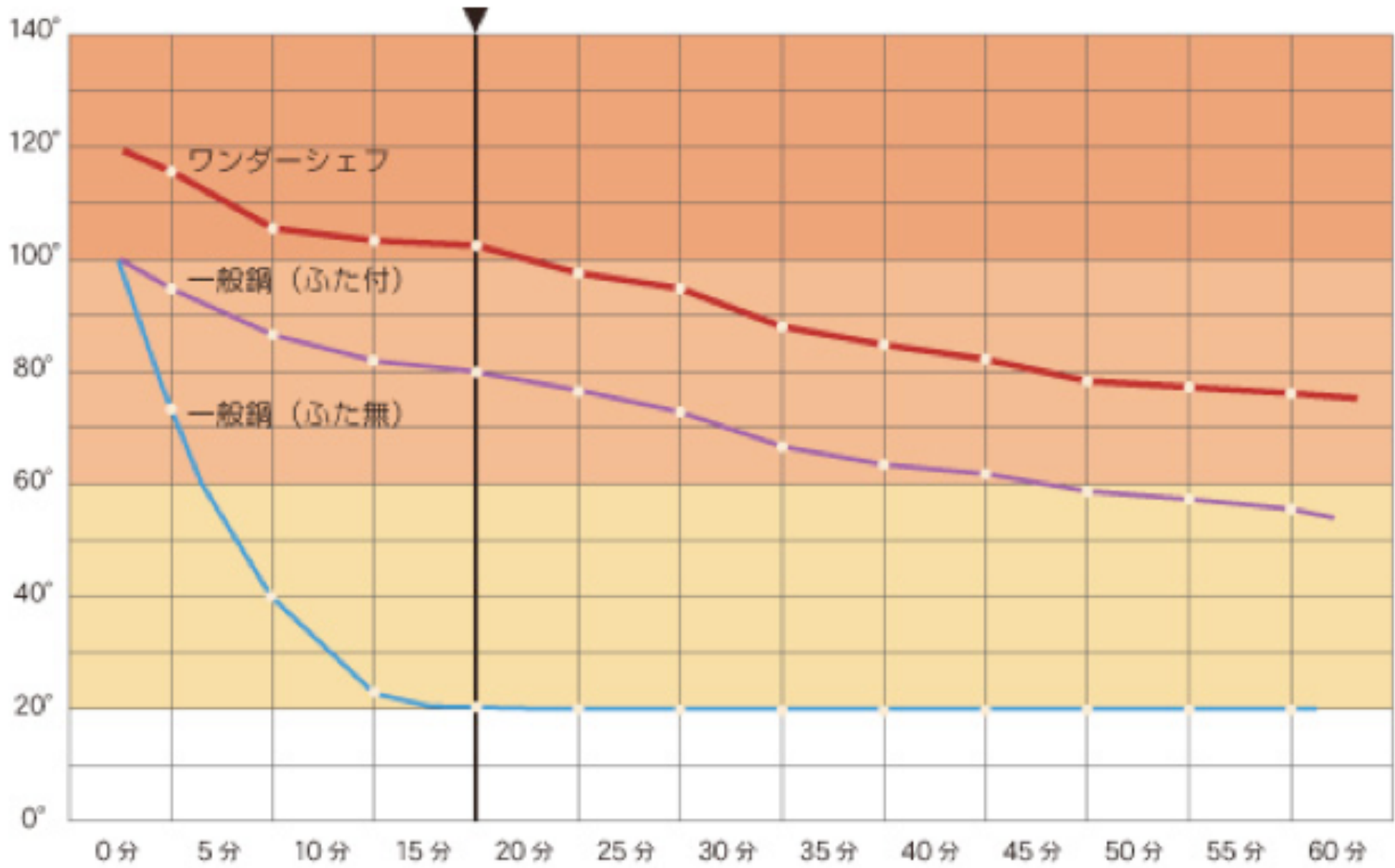


圧力鍋



	普通鍋	圧力鍋
黒豆	4時間	1時間45分
豚の角煮	70分	35分
ふろふき大根	30分	15分
茶碗蒸し	20分	7分

内部は、およそ2気圧で120℃、性能の良いものは2.45気圧で128℃程度になる。
この高温により食材を構成する分子の運動が加速され、早く熱分解して調理することが可能。調理時間は3分の1から4分の1に。



- ★加圧時間＋蒸らし時間
- ★加熱時間が少ないのでエコ
- ★フタをあけるとときには注意

ご飯を炊く

おいしいご飯を炊く方法

はじめちょろちょろ

米に水を吸わせるために沸騰するまでは弱火に

なかパツパ

強火で一気に

赤子泣いてもふたとるな

炊きあがったら、火を落として十分に蒸らす

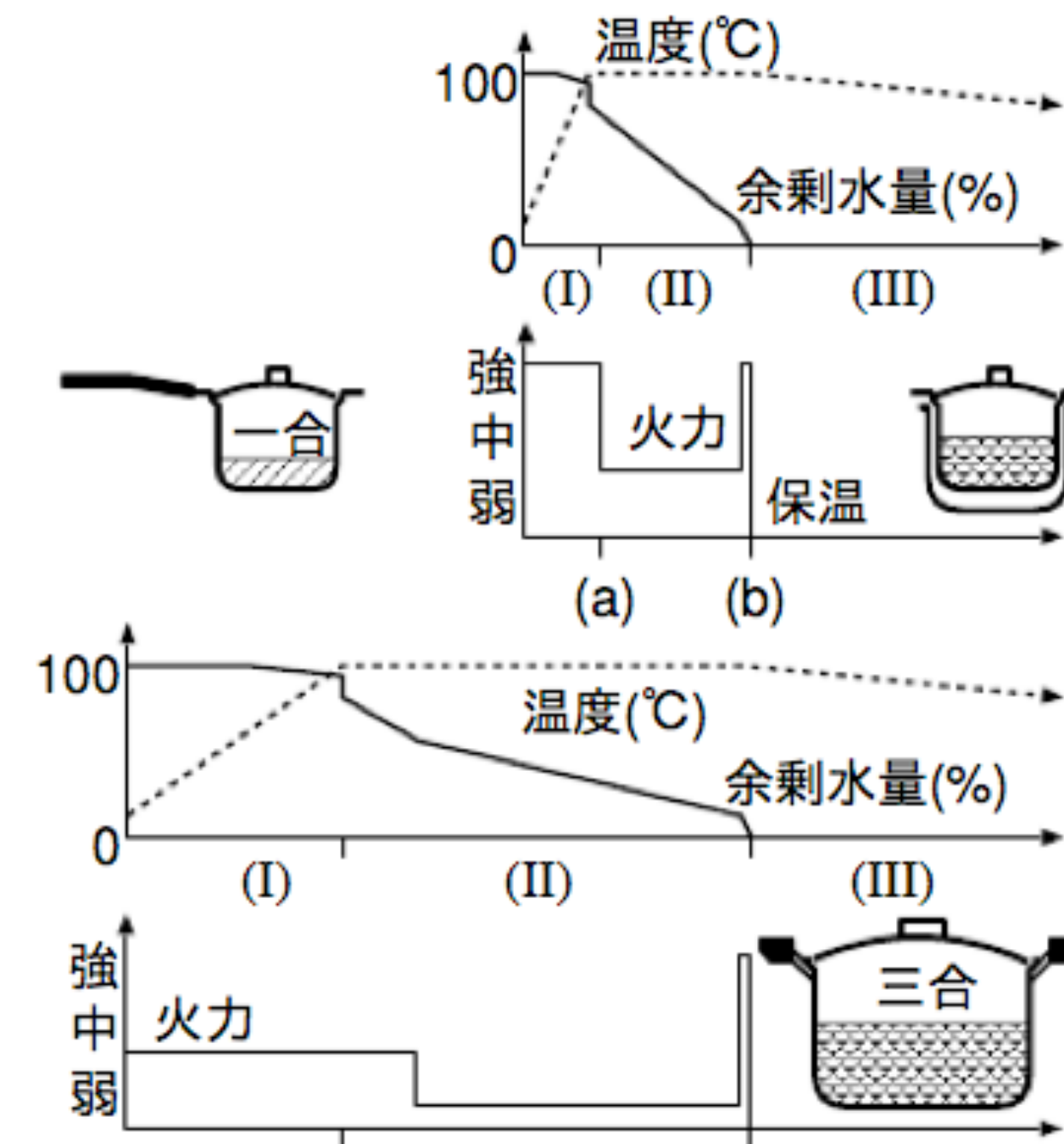


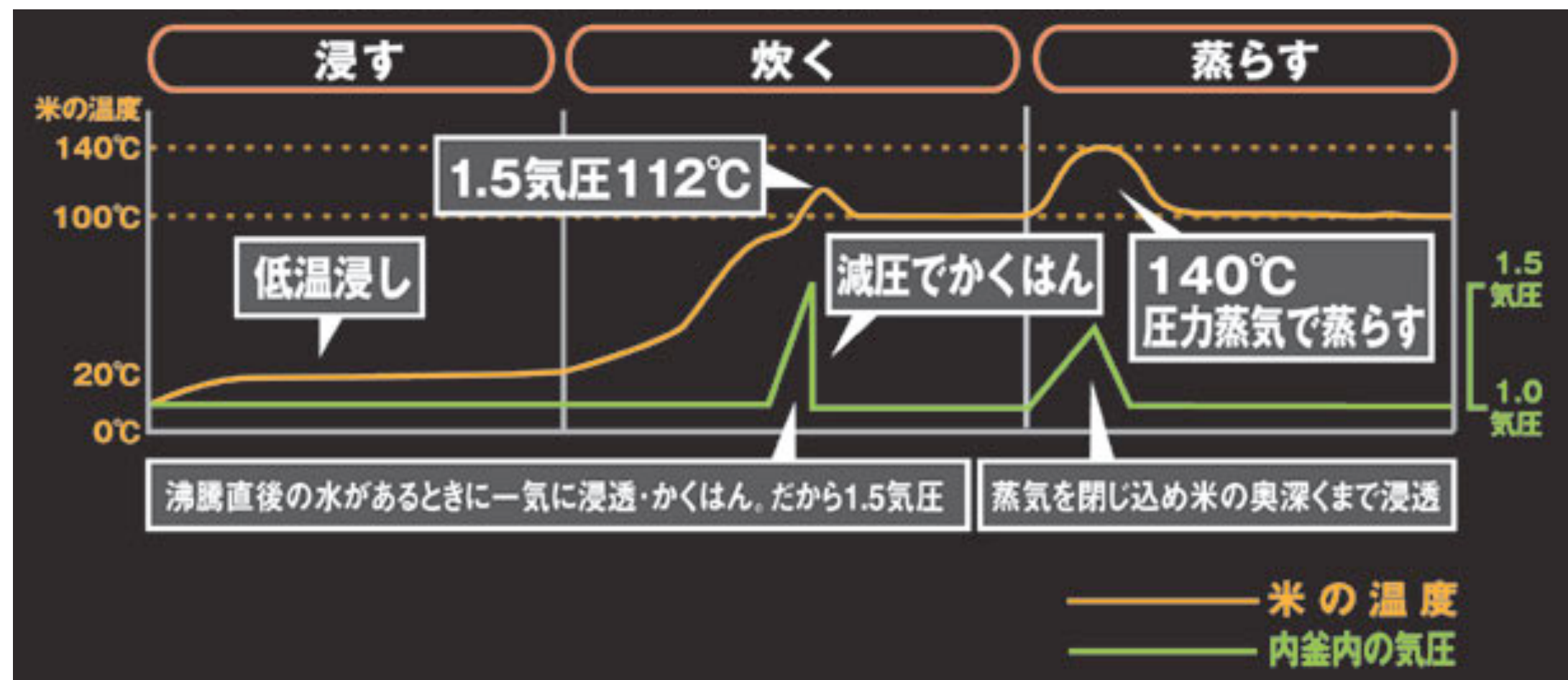
図 1: 炊飯時の火力の調整手順例と、それから予想される温度変化と水量変化。



圧力炊飯



- ★100度以上でアルファ化が促進
甘み成分が増す.
- ★圧力が加わりすぎると, ごはん
が柔らかくなりすぎる.
- ★攪拌することも大事



沸騰温度

1気圧で100度
1.2気圧で105度
1.5気圧で115度

<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2006/0711/kaden004.htm>

<http://kaden.watch.impress.co.jp/cda/word/2008/09/03/2856.html>

はかせ鍋



★一旦沸騰させたら、スカートをはかせることにより、90度前後の温度を維持。1時間後でも80度弱。

(通常のステンレス鍋では、沸騰して100度弱になって、火からおろすと、1時間後には約50度)。

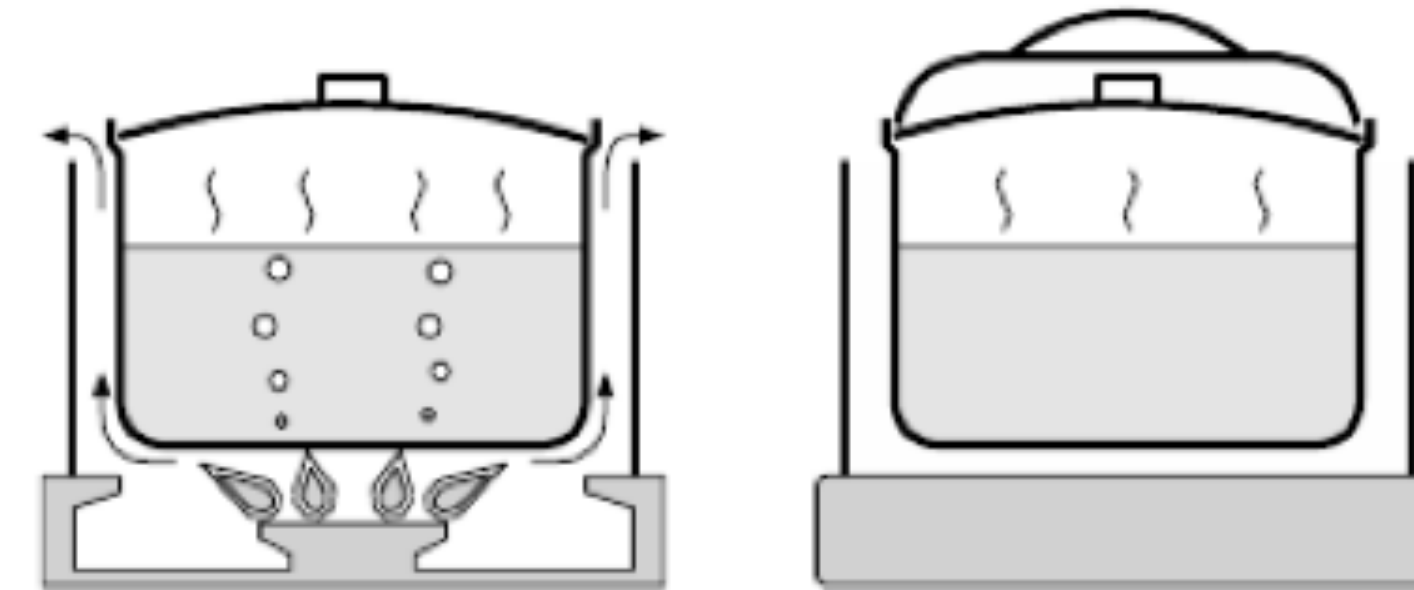


図2: はかせなべの断面図。鍋本体から伸びる両持ち取手(図では省略)は、スカートの上端を掴んで鍋本体と一体化している。左の加熱時には、スカートは熱効率を向上させる煙突の役割を担っている(市販品はIH加熱も可能)。加熱を終えたら平らなテーブルの上に置いて保温する(右)。スカートとテーブルに囲まれた空気層が、熱を逃しにくくしている。さらに外蓋を被せることで、鍋上部からの熱の放散も防いでいる。

轟真市「博士が愛した鍋」マテリアルインテグレーション, 23 (2010)91-92

比熱と熱容量

比熱 (specific heat)

物質ごとに，温まり方は異なる．

表 4.1 比熱の比較

物質	比熱 [J/(g・K)]
鉛	0.13
銀	0.24
銅	0.38
鉄	0.45
アルミ	0.90
水	4.2

25℃ における比較．
cal の単位を使うなら
水の比熱は 1 cal/(g・K)．

定義 比熱・熱容量

- 1 g あたりの物質の温度を 1 K だけ上昇させるのに必要な熱量 [J] を，その物質の比熱 c という．比熱の単位は [J/(g・K)] になる．
- 物質が m [g] あるとき，物質全体の温度を 1 K だけ上昇させるのに必要な熱量を熱容量 C という．熱容量の単位は [J/K] になる．
- 温度を ΔT [K] 上昇させるときに必要な熱量 Q [J] は，比熱や熱容量の定義から，次の式のようになる．

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = C \cdot \Delta T \tag{4.2}$$

熱量 = 質量 × 比熱 × 温度差 = 熱容量 × 温度差

コラム 23 鍋に適した金属は？

よく使われる 3 種類の鍋の利点・欠点は、次のようになる。

銅：熱伝導に優れた鍋ならば、銅が一番だが、銅はすぐに変色してしまう。食品衛生法によって、銅の鍋の内側にはスズか銀でメッキをすることになっている。高温にしなくてもよい卵焼きなどは、熱伝導率がよく全体に熱が伝わりやすい銅製のものがよいとされる。

鉄：強度があり、安価である。強い熱や過酷な使用に耐えられるため、中華料理や焼肉で使われる。ただし、手入れをしないと錆びてしまう欠点がある。

アルミニウム：軽くて錆びにくく、安価である。熱伝導は銅につぐよさがあり、調理道具の主力になっている。欠点は油なじみが悪いため焦げ付きやすいことである。磁性がないため電磁調理器での調理もできない。

火の通りがよいという観点からだと、底の薄いアルミ鍋になる。しかし、料理によっては食材に満遍なく火が通るもの、あるいは火から下ろしてもしばらくは料理の温度が保たれるほうがよい場合がある。そうであるならば、底に厚みのあるアルミ鍋、あるいは鉄の鍋を選ぶほうがよい。料理によって適する鍋は異なってくる。



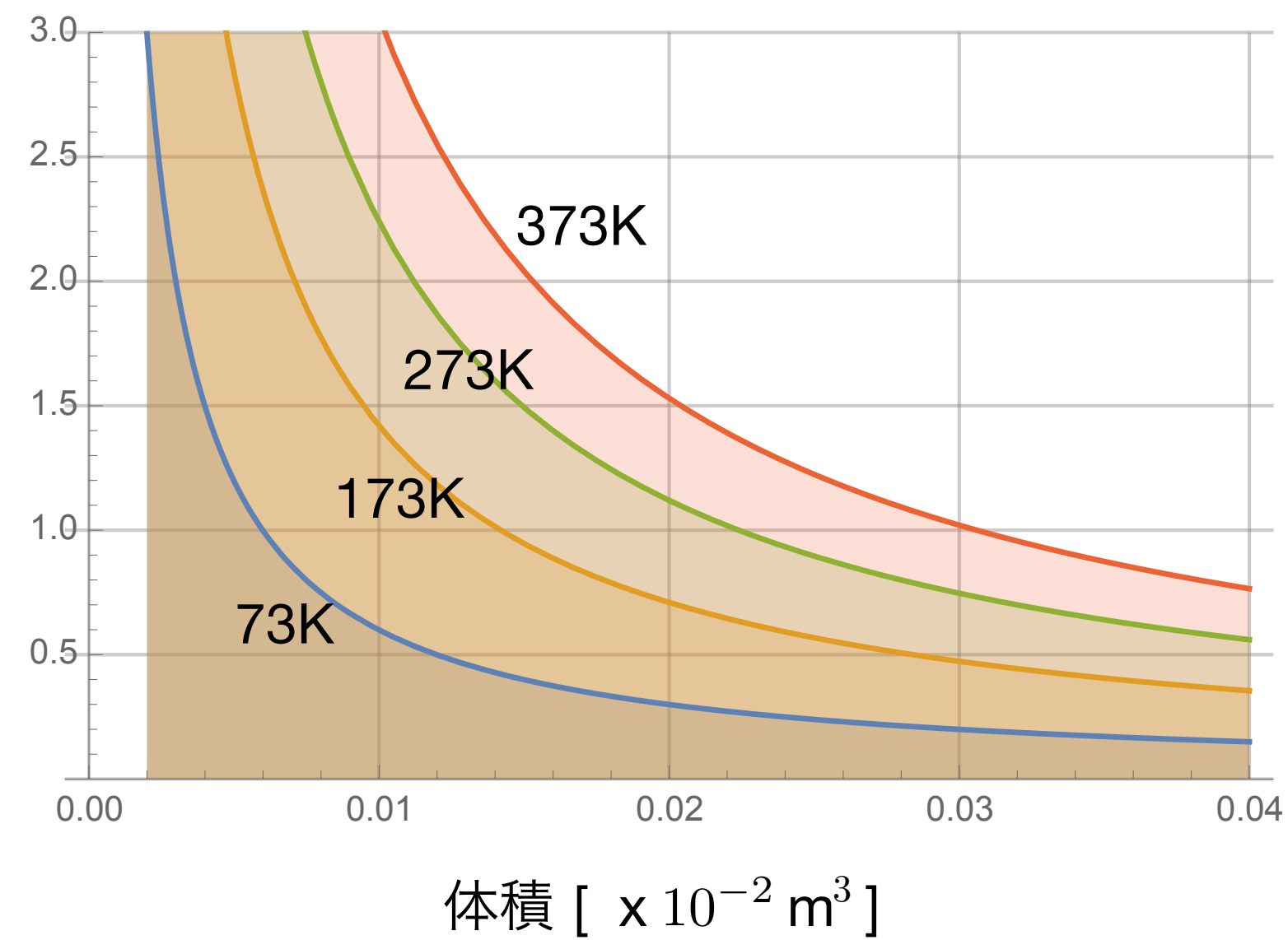
ボイルの法則

- ボイルの法則

温度を一定にすると，気体の体積 V は，圧力 P に反比例する．

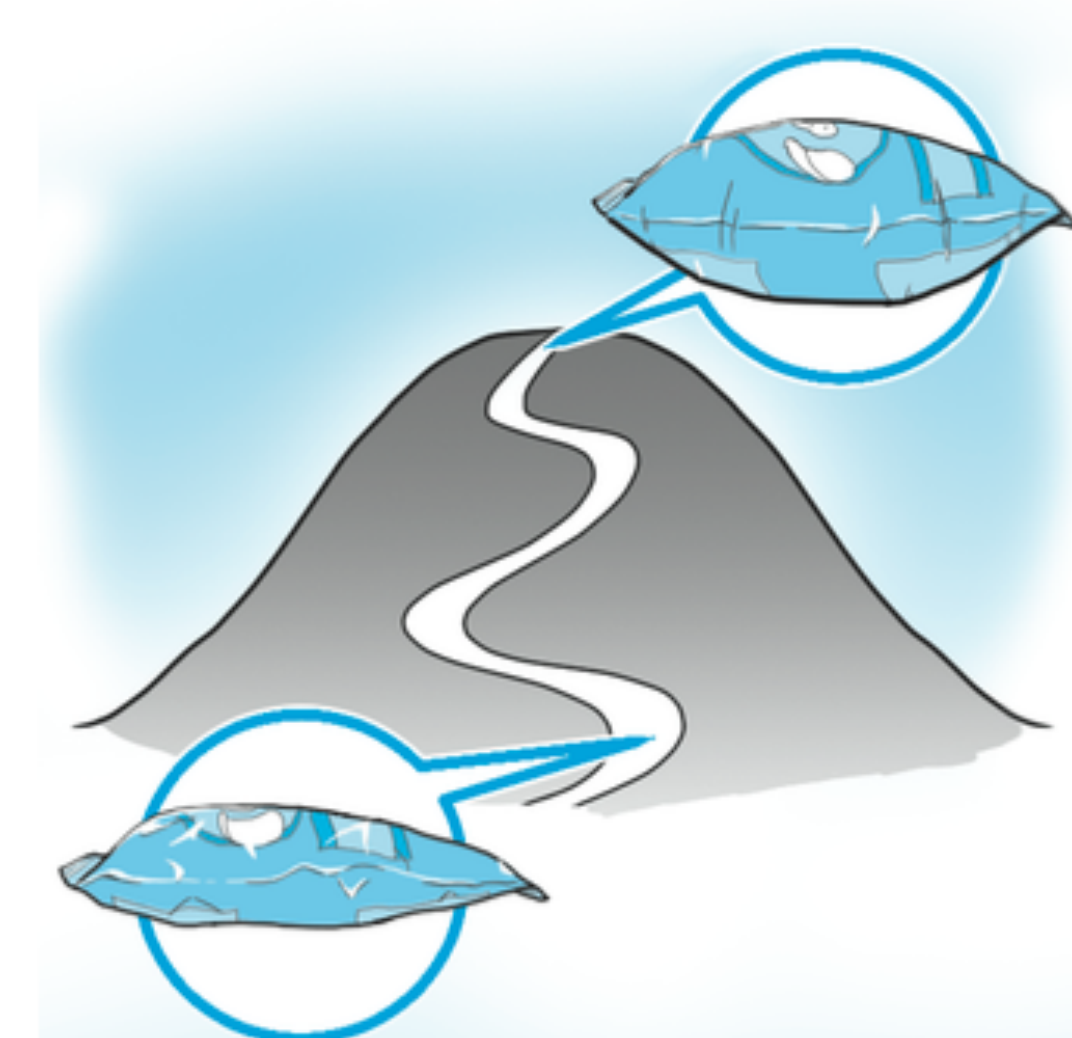
$$PV = \text{一定}$$

圧力 [気圧 ($\times 10^5$ Pa)]



Boyle の法則

山の上でポテトチップスの袋が膨らむ．

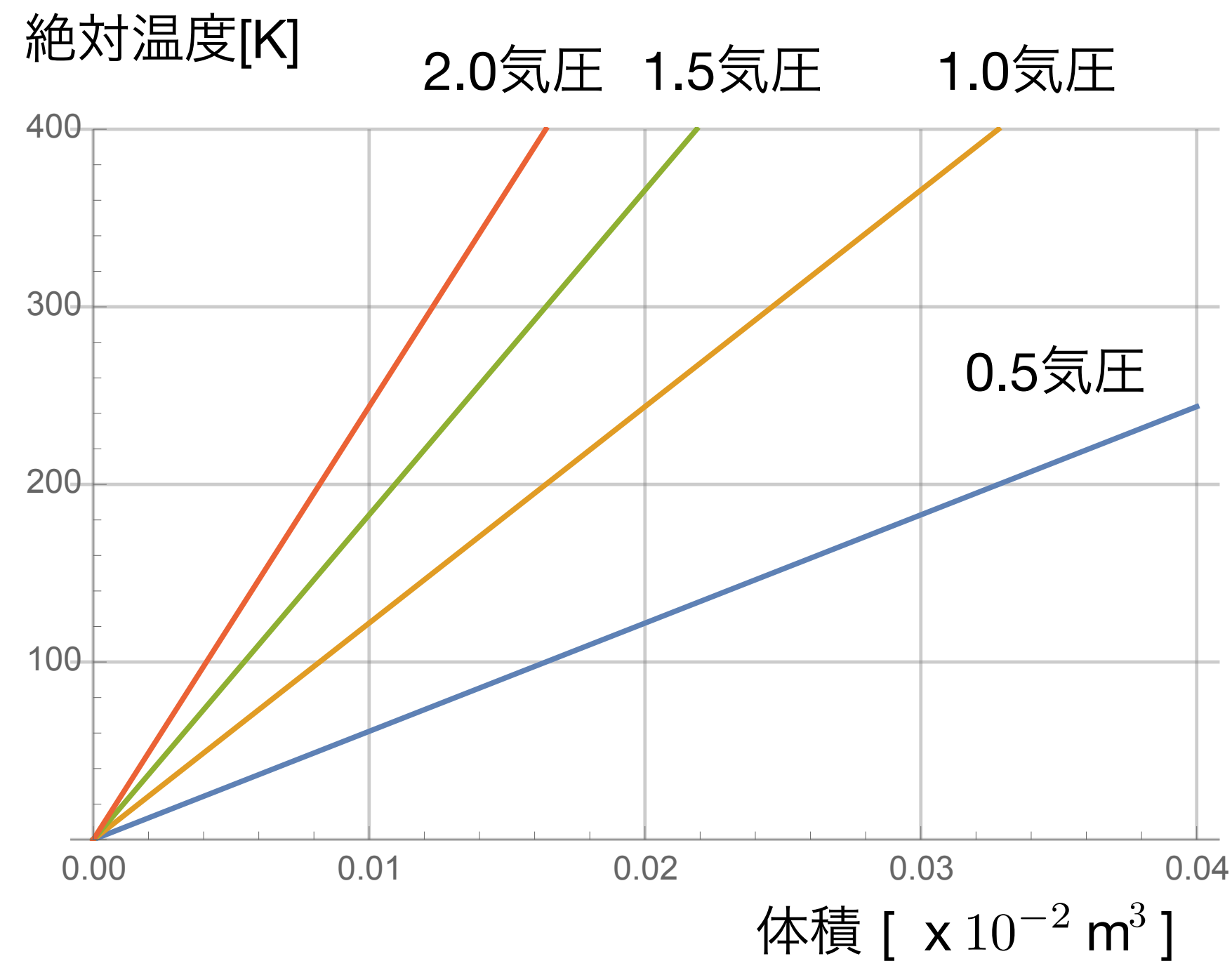


シャルルの法則

- シャルルの法則

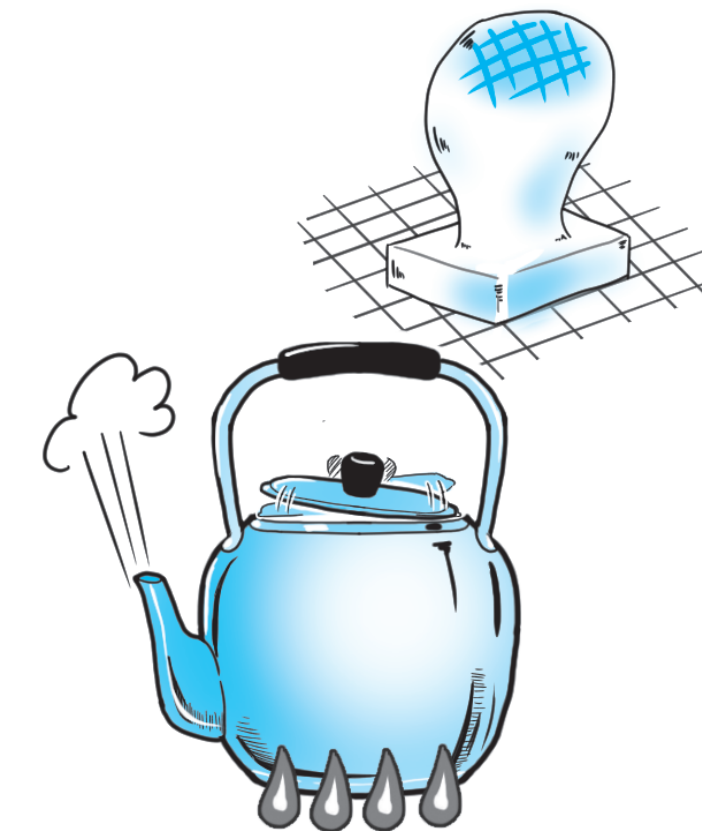
圧力を一定にすると、気体の体積 V は、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$



Charles の法則

お湯が沸くと鍋の蓋が
浮き上がる。



- **ボイルの法則**

温度を一定にすると、気体の体積 V は、圧力 P に反比例する.

$$PV = \text{一定}$$

- **シャルルの法則**

圧力を一定にすると、気体の体積 V は、絶対温度 T に比例する.

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

- **ボイル・シャルルの法則**

$$\frac{PV}{T} = \text{一定} = R \text{ (気体定数)}$$

気体の量が n 倍になると,

- **理想気体の状態方程式** (equation of state for ideal gas)

$$\frac{PV}{T} = nR \quad \text{すなわち} \quad PV = nRT$$

C ボイル・シャルルの法則

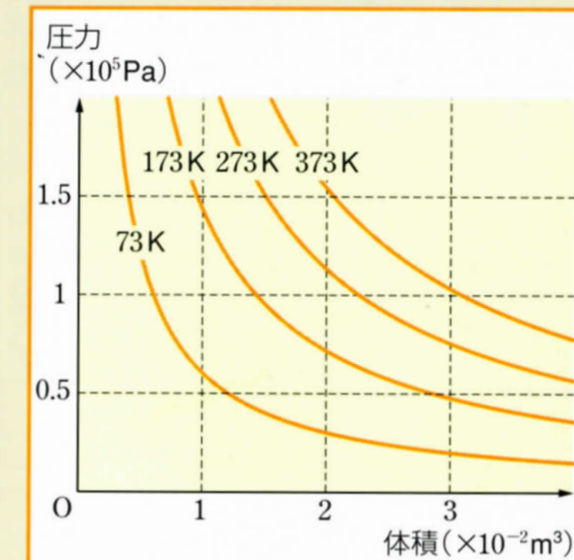
物理
II

ボイルの法則, シャルルの法則は, ボイル・シャルルの法則として1つにまとめて考えることができる。

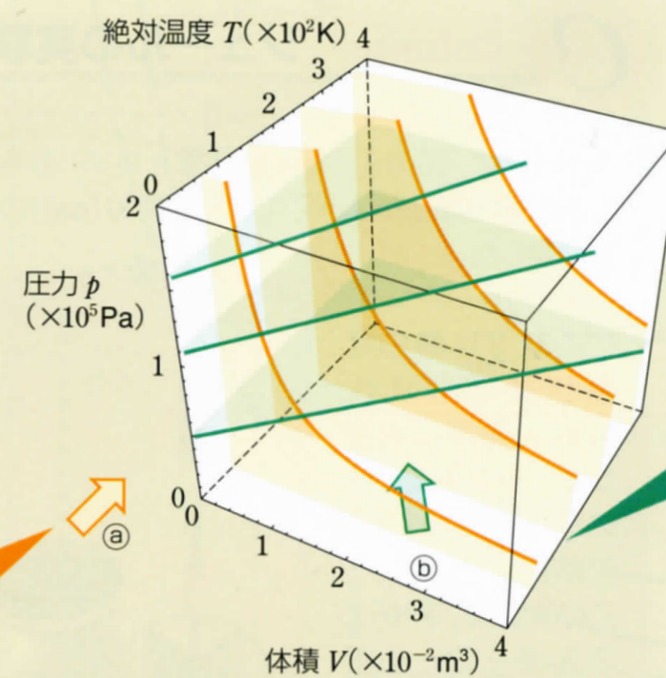
ボイル・シャルルの法則

一定質量の気体の体積 V は, 圧力 p に反比例し, 絶対温度 T に比例する。

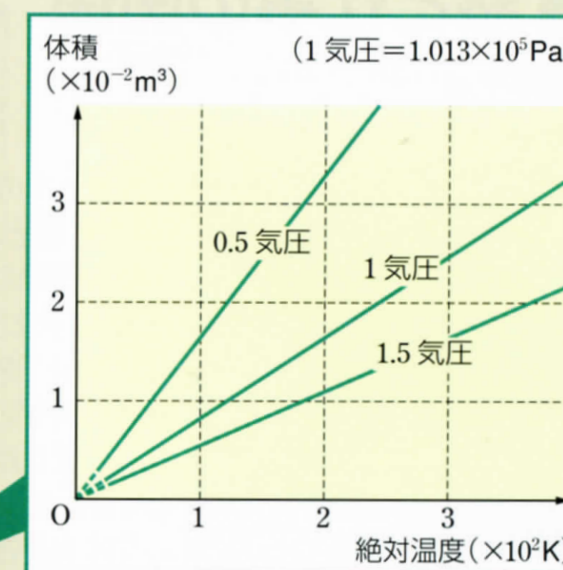
$$\frac{pV}{T} = \text{一定}$$



1 mol 気体の状態図



②側から見ると, ボイルの法則 (p と V は反比例) になる。



③側から見ると, シャルルの法則 (V と T は比例) になる。

標準状態 (0℃, 1atm すなわち 273K, $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$) では, 1 mol の理想気体の体積は $2.24 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ である。

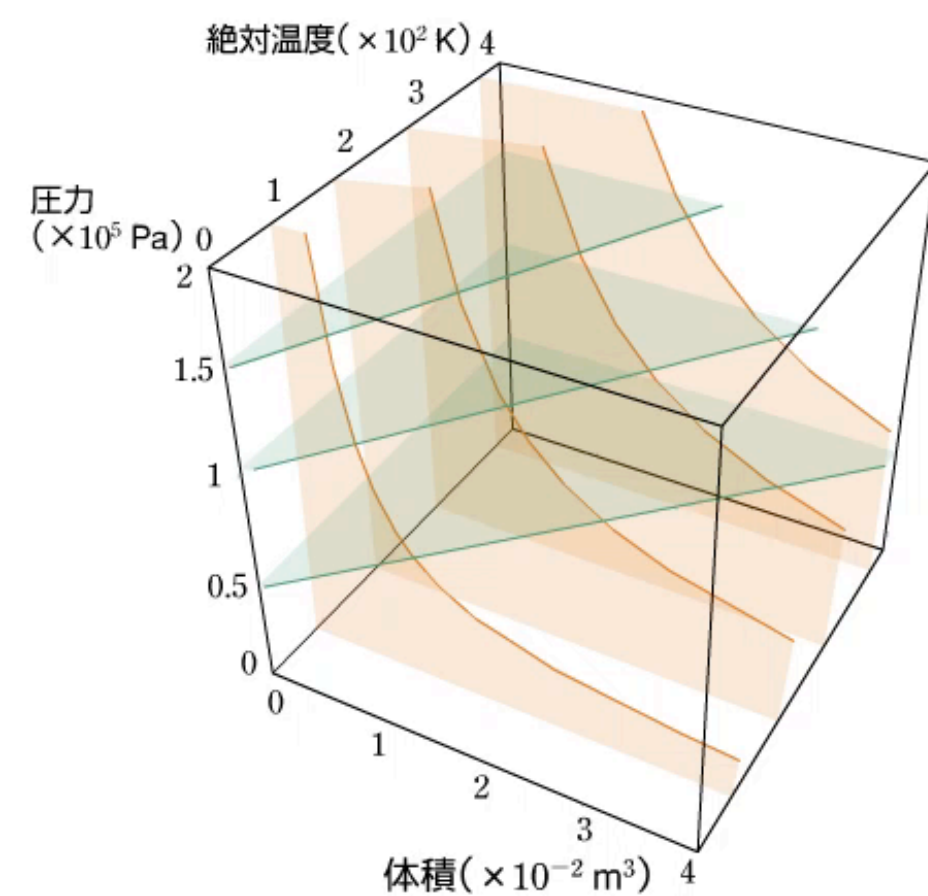


数研出版物理図録p49

CD-rom

ボイル・シャルルの法則

1mol気体の状態図



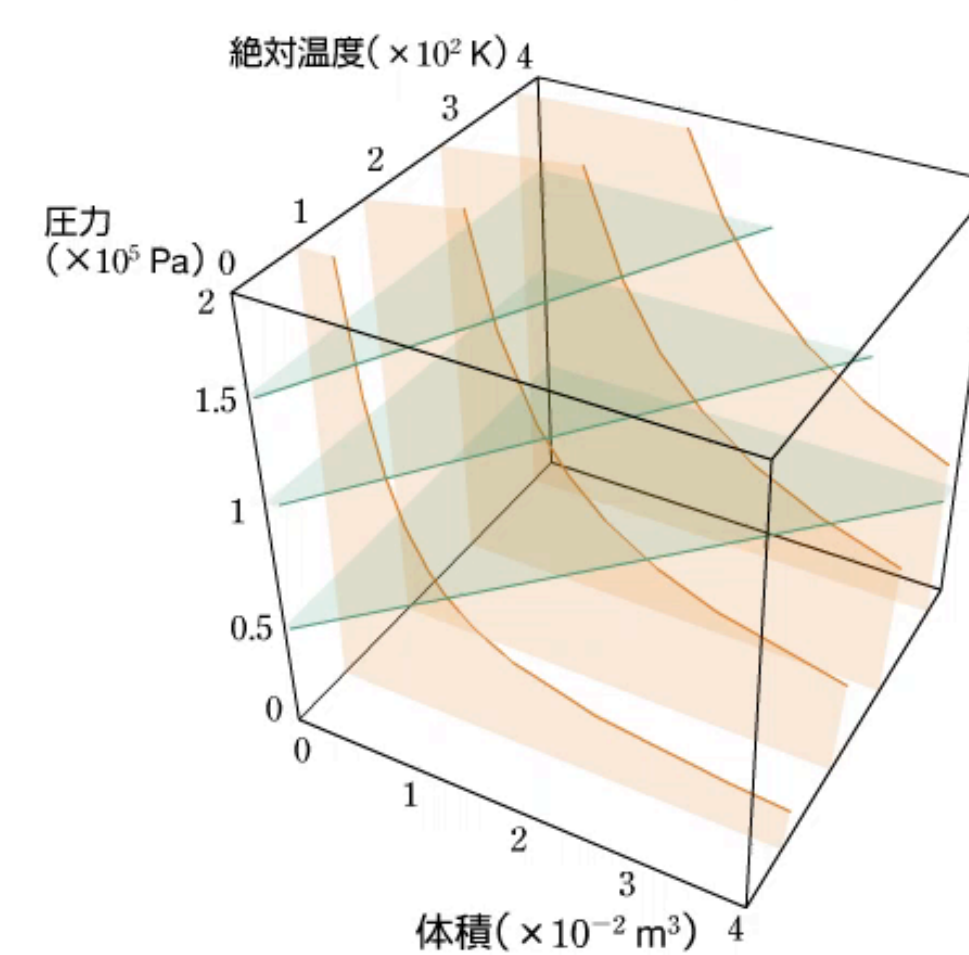
圧力と体積の関係

体積と温度の関係

Start on Click, 30 sec

ボイル・シャルルの法則

1mol気体の状態図



圧力と体積の関係

体積と温度の関係

Start on second Click, 30 sec

飽和水蒸気量

飽和水蒸気量＝空気中に溶け込める水蒸気の量

湿度＝水蒸気量/飽和水蒸気量

飽和水蒸気量と温度



ビールジョッキが汗をかく

温度が下がると
空気中に溶け込める
水は少なくなる

取り込み忘れた洗濯物が
夕方、湿っている

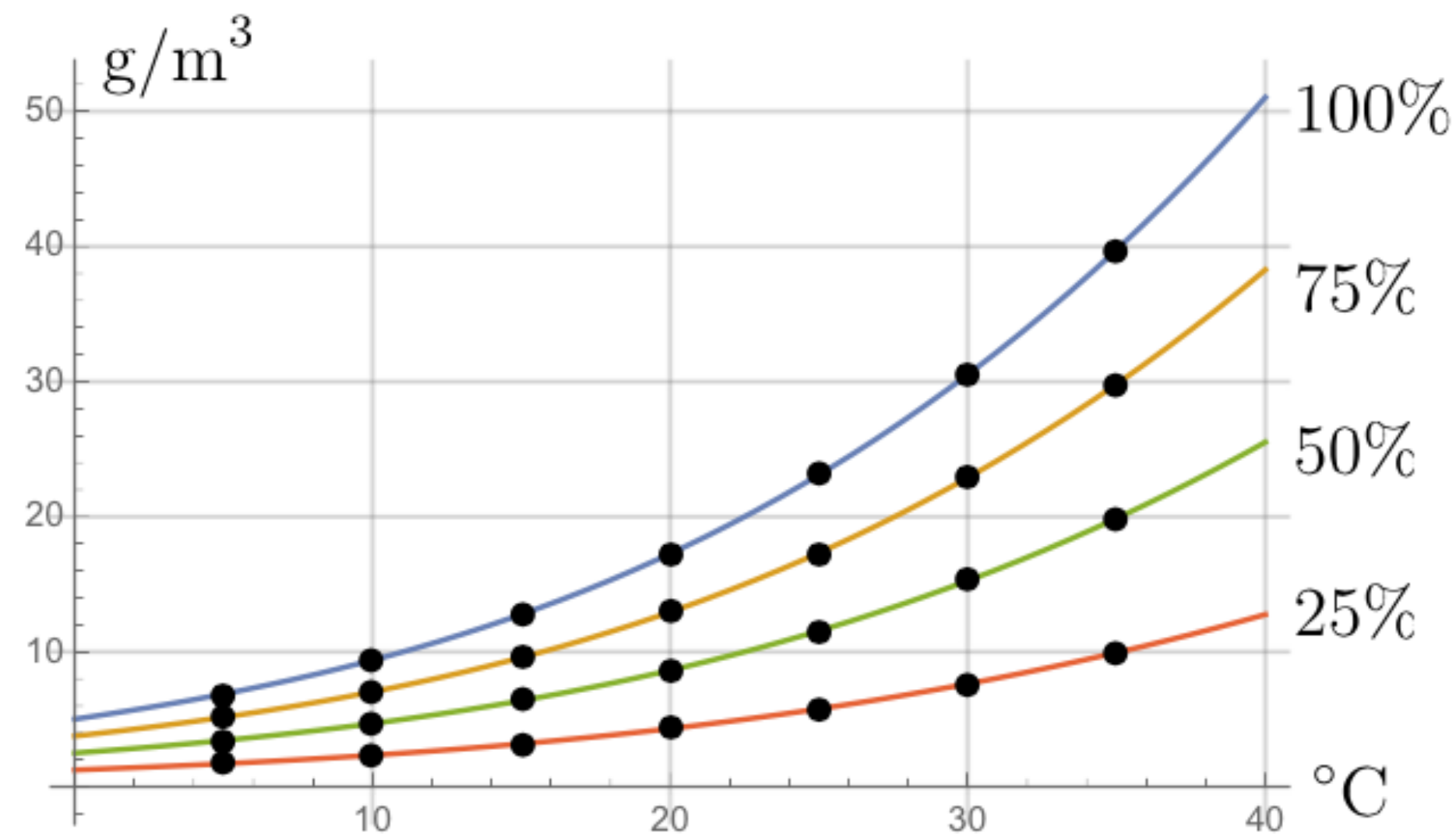


図 4.20 飽和水蒸気量 (図の 100% の線) の温度変化の様子。

実験 15 雲をつくってみよう

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、フイズキーパーとよ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）。フイズキーパーを取り付け、中の空気の圧力を上げる。圧力を上げると、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。

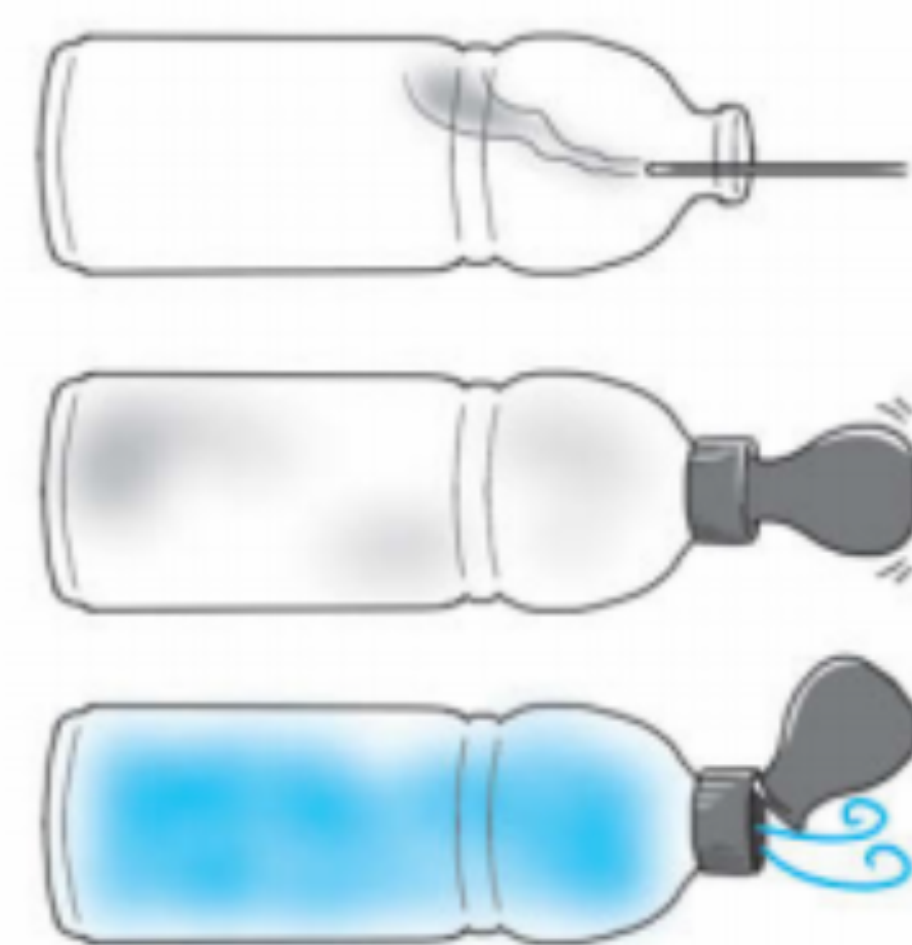


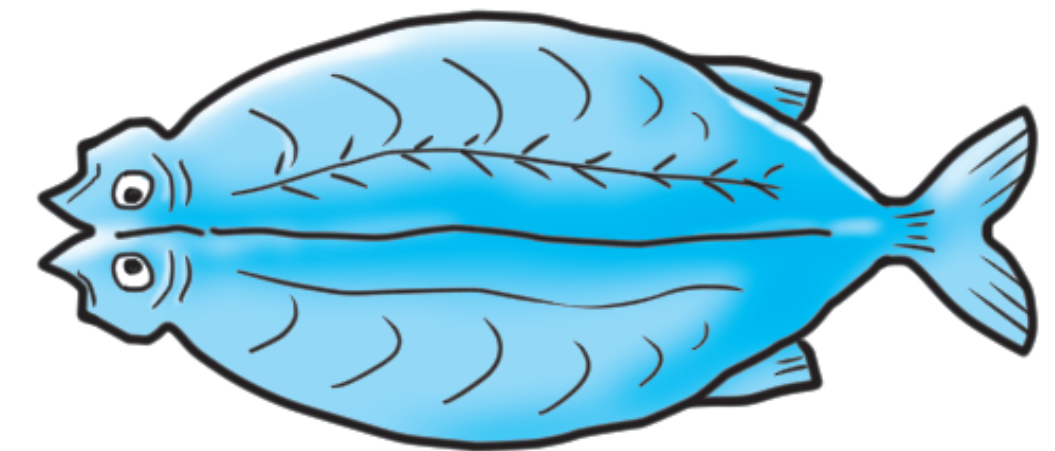
図 4.23 ペットボトルに雲

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、密閉することで水分を逃がさない野菜室などがある。



乾燥した野菜



干物になった魚

前回のミニッツペーパーから



〔6-3〕 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。

蓋のうらにいた水蒸気が
水になって、水同士の表面張力
がはたらいて開かなくなる

水蒸気による表面張力説

水蒸気がお碗とふたのすき間を埋めてしまうから。

温度によい気圧の変化があるから。

温度変化による気圧の変化であかなくなる。

冷めると中の空気が減少し、内部の気圧が外気よりも低くなり
外気の圧力がフタを押つける方向に働くため。

空気が凝縮して圧力が下がるから。

中と外で温度が異なるから。

冷めると密閉されていくから

圧力が生じる。吸力がおこる。ゆげ



前回のミニッツペーパーから



〔6-3〕 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。

空気が冷えて体積が小さくなり、内側の気圧が下がるため。

中の空気が冷えて体積が小さくなり、内側の気圧が下がるため。
外の空気の圧力で押し込まれるから。

温度が下がって中の空気の体積が小さくなり、内側の気圧が下がるから。



冷めると中の空気の密度が下がり、内側への力が強くなるから。

内部の空気が冷えて体積が減り、内側の圧力が下がるから。

冷めると内圧が下がり、外気圧で蓋が押しつけられるから。

冷めると内側の気圧が下がるから。

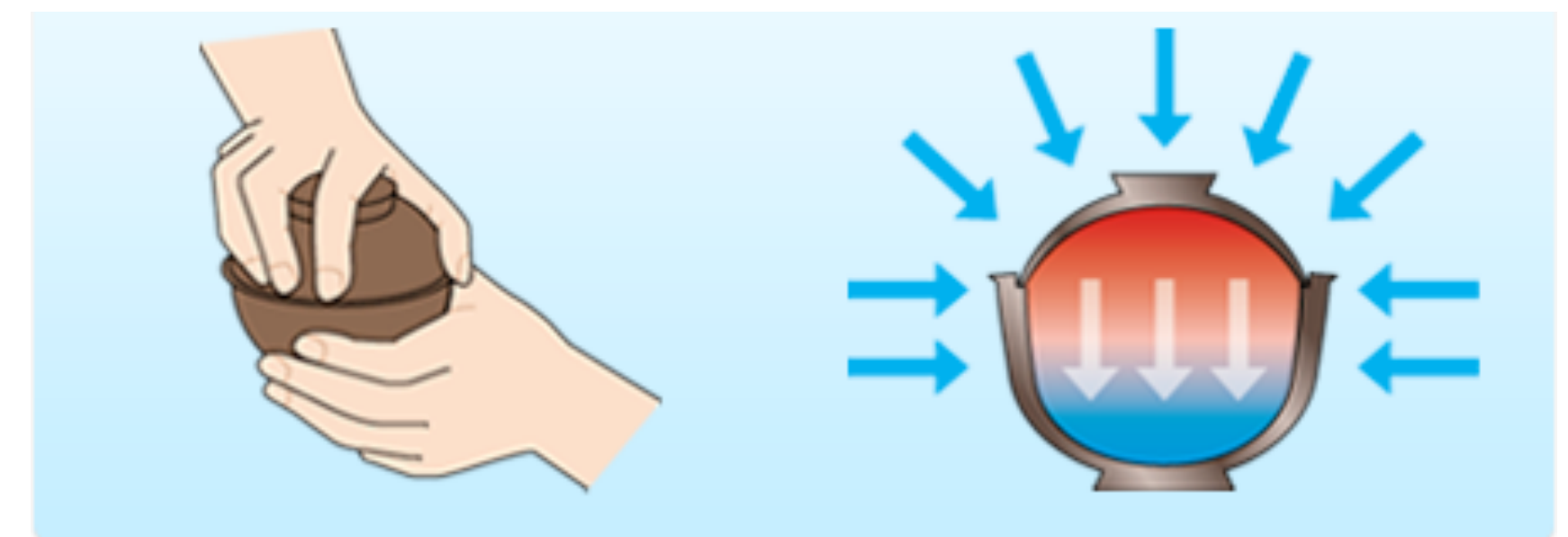
ほうちようしたままふたをこねてが、冷えてしょうしくしたため

熱い状態では、お碗の中の空気も熱せられ膨張するが、冷めることによって中の気圧が下がり、外側の気圧が蓋を押しこめるから。

内部の空気の温度が下がり体積が縮小して内圧が低くなるから

お碗の中の気体が冷やすことによって、縮もうとするので、余分に力がかかるから。

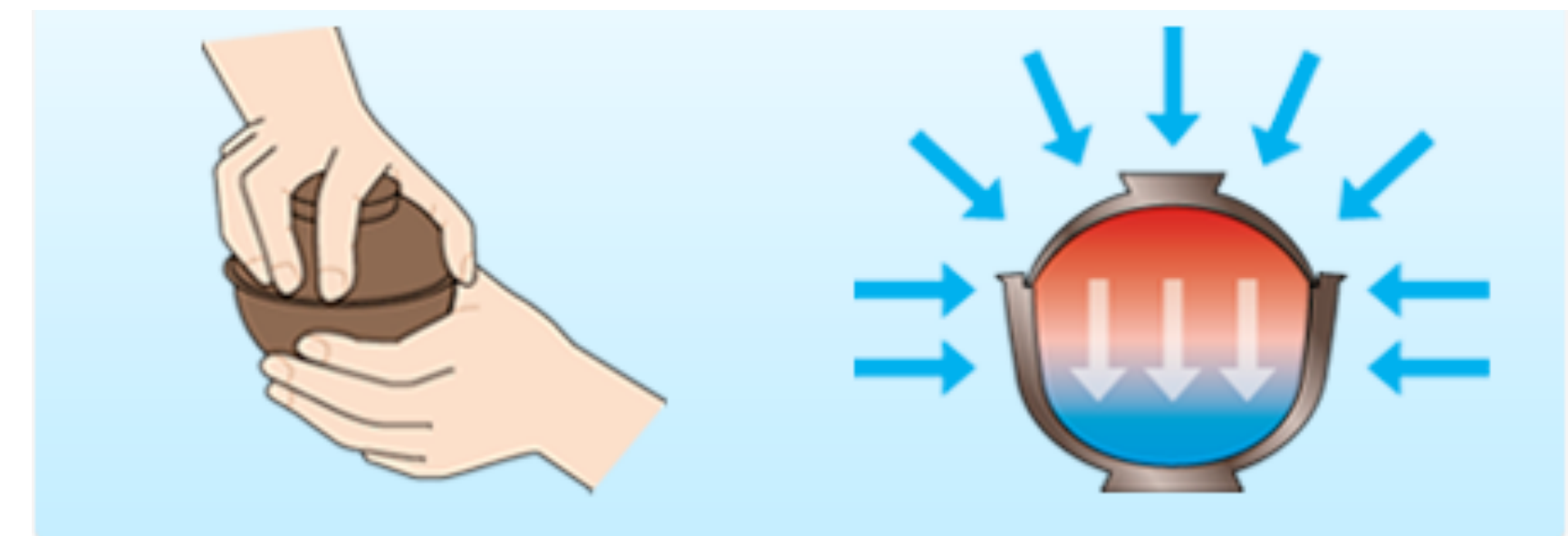
主な理由は、気圧の差だ。お碗に熱いお吸い物を入れて蓋をすくと、中の空気と水蒸気が温められて膨張する。一部は、蓋のすき間から出る。しかし、蓋をして冷めるにつれて、中の気体が縮小し、内側の気圧が外側(中の空気が冷えて気圧が下がり、外気圧によって蓋が押しつけられるため)の気圧よりも低くなる。この気圧差により、外側の空気圧が蓋を強く押しつけ、開けにくくなる。
(6-3)



前回のミニツツペーパーから

〔6-3〕 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。

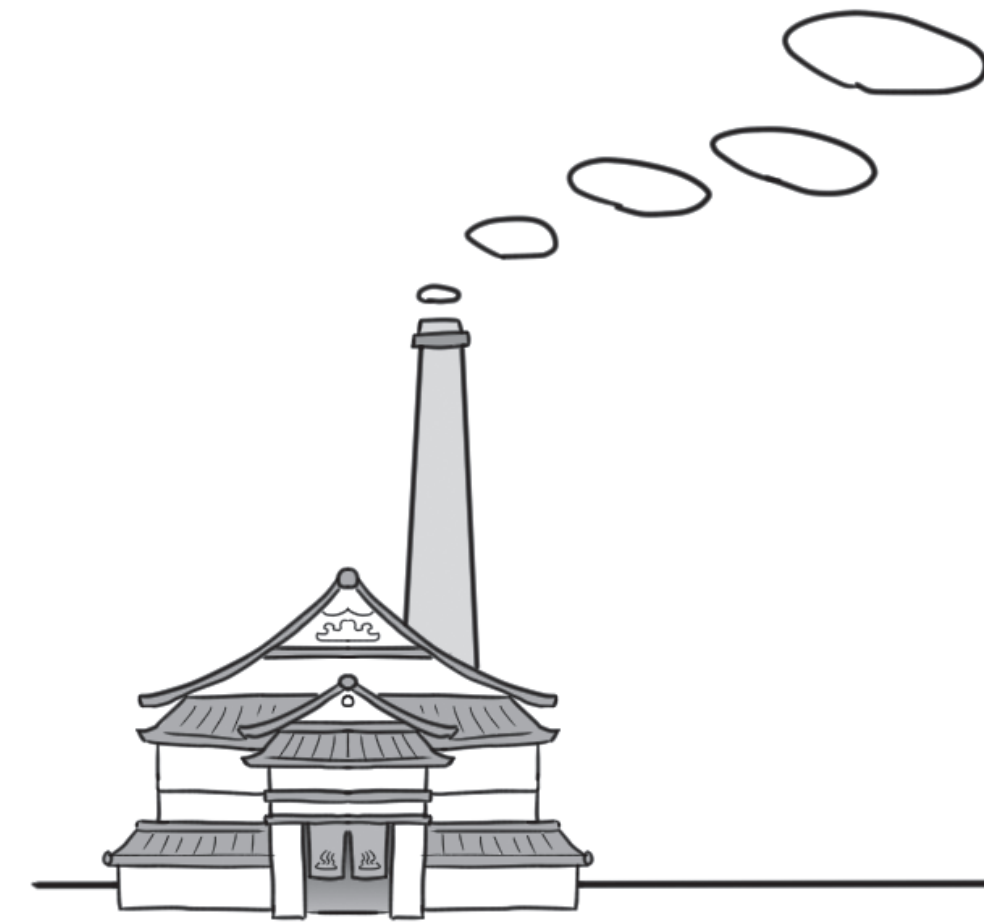
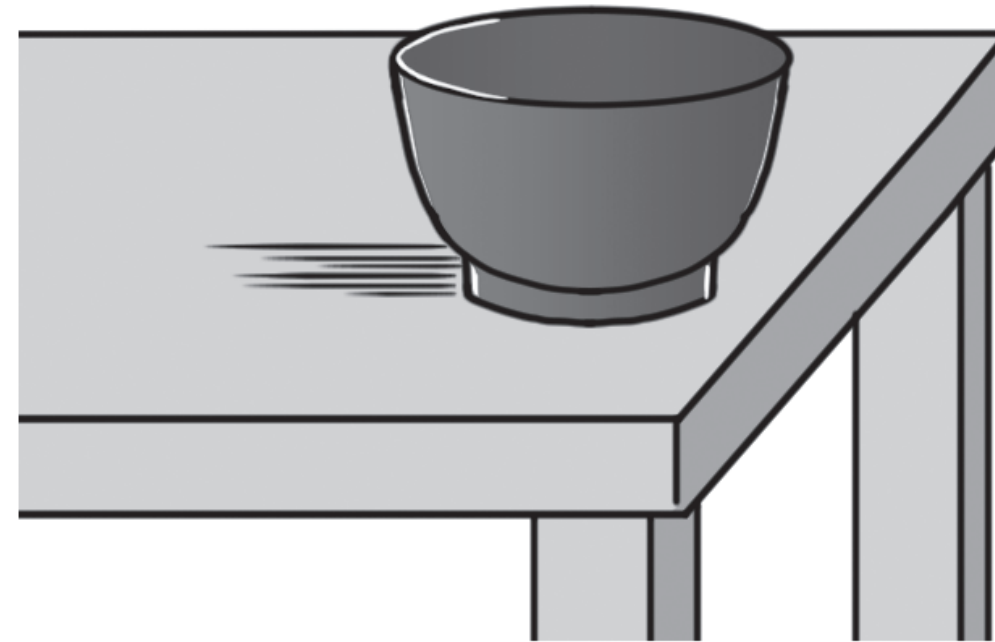
〔6-3〕 にあつても、開かなくなつた汁ものが入つたお碗のふたを安全に開ける方法があつたらう。教えていただきたいと思います。



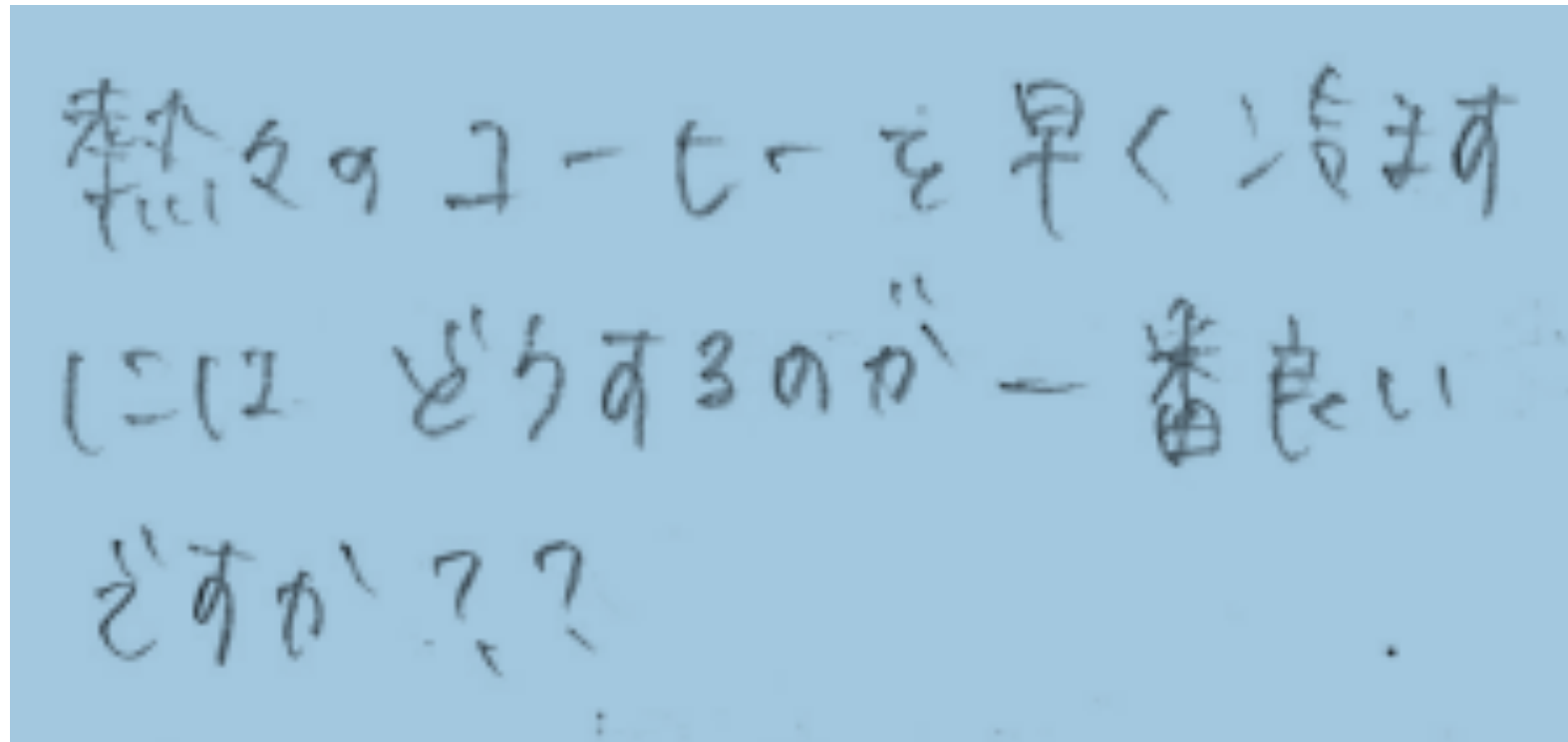
問 5.2 お吸い物のお椀の蓋が、冷めると開かなくなってしまう理由は何か.

問 5.3 底が濡れたお椀にお汁をつぐと、お椀が勝手に動き出すことがある. この理由は何か.

問 5.4 暖炉の煙突や蒸気機関車から煙がポッポッポッと断続的に出る理由を説明せよ.



〔7-1〕(前回のミニツツペーパーから)



Hint: 熱の移動は, 伝導・対流・放射の3つ

〔7-2〕(次回の講義で扱う問題)

雪だるまにセーターを着せる. 融けるのは速くなるか, 遅くなるか. 理由も.



〔7-3〕次の文の誤りを指摘せよ

「地球の温暖化で北極や南極の氷が融けると海水面が上昇する」

〔7-4〕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)