

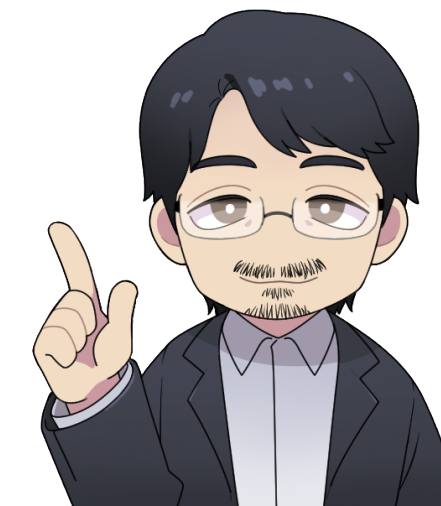
生活の中の物理学

Physics in Everyday Phenomena

第8回 2025/11/10

第4章 熱 (2)

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/>

11月12日(水)深夜 おうし座北流星群が極大

2025年11月12日、おうし座北流星群の活動が極大となる。同時期に活動するおうし座南流星群と合わせて、11月中旬ごろに小規模な出現が見られる。今年は火球の割合が例年以上に高めとの予想もある。

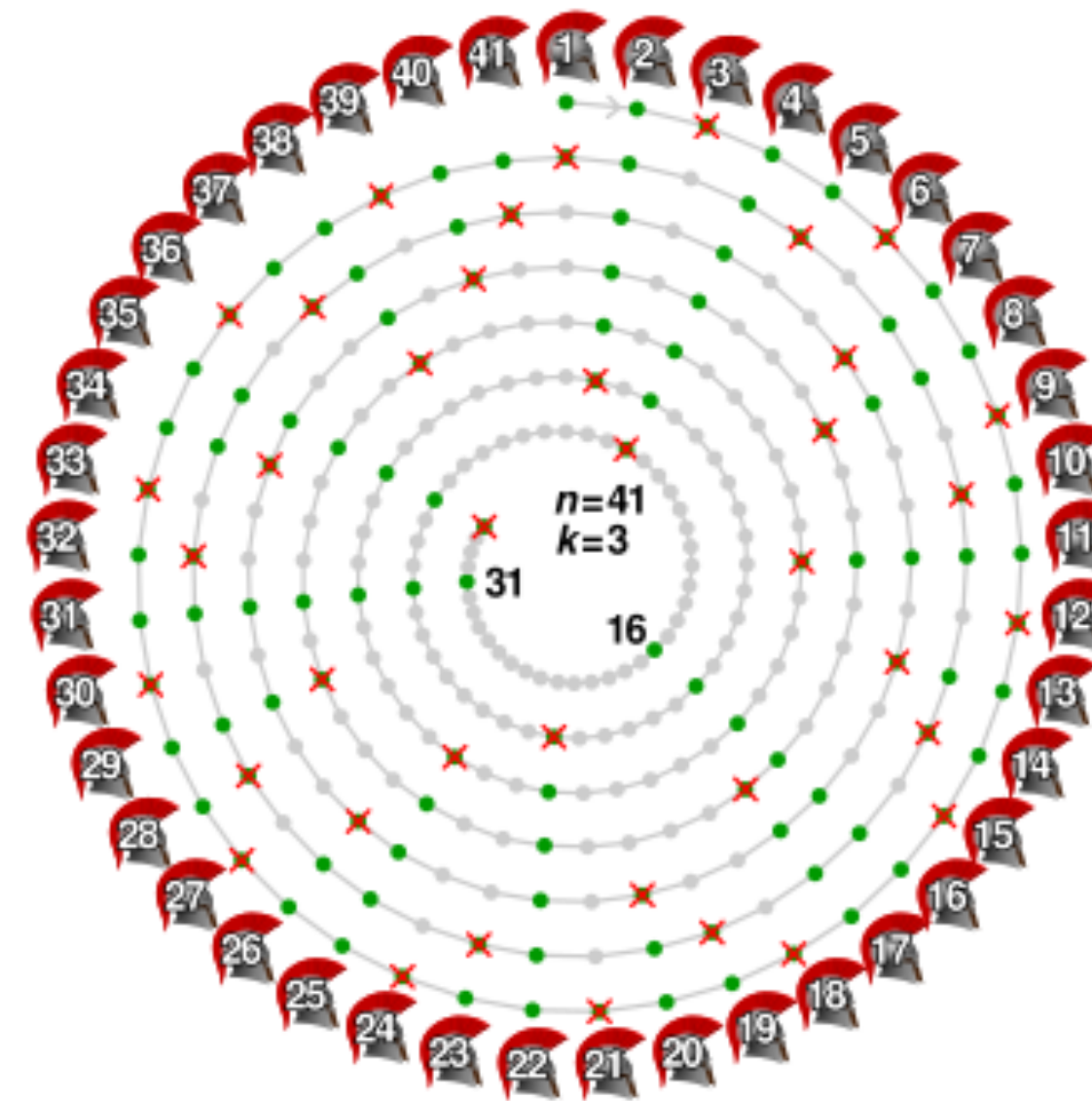
11月上旬から中旬にかけて、おうし座南・おうし座北流星群の活動が見られる。はっきりとした極大のない流星群だが、南群は11月5日ごろ、北群は11月12日ごろが極大とみられている。両群とも母天体は周期3.3年のエンケ彗星である。

2つの群を合計しても1時間あたり最大で5～10個ほどの小規模な流星群だが、火球の割合が高いことで知られ、明るいものを目にできるかもしれない。さらに今年は、その火球の割合が例年以上に高い可能性も指摘されている。月明かりの影響が大きいタイミングのため条件は良くないが、少し気にかけて空を見上げてみよう。流れ星の速度は遅め。



天文年鑑による予想では**1時間5個**

継子立てとヨセフスの問題



継子立て問題の歴史

関孝和編『算脱之法』

Josephus problemの歴史

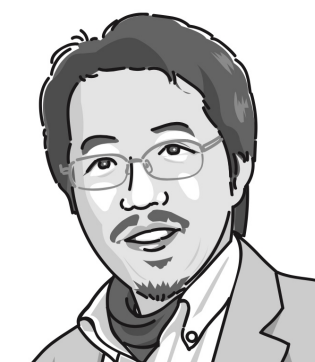
Euler『新しく発見された特異な数列』

両者を結ぶものはあるか

202511 継子立てヨセフス問題 print



202511 継子立てヨセフス問題 slide



真貝寿明(大阪工業大学 情報科学部)

hisaaki.shinkai@oit.ac.jp

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

継子立ての問題設定

第一 まゝ子だての事

子三十人有内、十五人は先腹、残る十五人は当腹の子也。右のごとく立ならべて十にあたるをのけて、又二十にあたるをのけ、二十九人までのけて、残る一人にあとをゆづり可^レ申と云時、まゝ母かくのごとく立たる也。さて、かぞへ候へば、先腹の子十四人までのき申候時、今一たびかぞへれば先腹の子みな^三のき申候ゆへに、一人残たるまゝ子のいふやうは、あまり片一^三双にのき申候間、いまよりはわれよりかぞへられ候へといへば、ぜひにをよばずして、一人残りたる先腹の子よりかぞへ候へば、当腹の子皆のき、先腹の子一人のこりてあとをとるとなり。

岩波文庫



先妻の子15人と、後妻の子15人を残して主人が亡くなった。誰か一人に財産を継がせることになったが、後妻は実子を選びたい。そこで、30人がある順に円形に並べ、10人ごとに取り除くことにした。初めて見ると、先妻の子(継子)だけが次々と取り除かれていく。15人目の継子が「これは意図的であまりにひどい。今から自分から数え直して欲しい」と嘆願する。後妻は同意し、その子から数え始めると15人の実子がすべて取り除かれ、15人目の継子が最後に残った。どのような順に並べたか(どこから数えたか)。

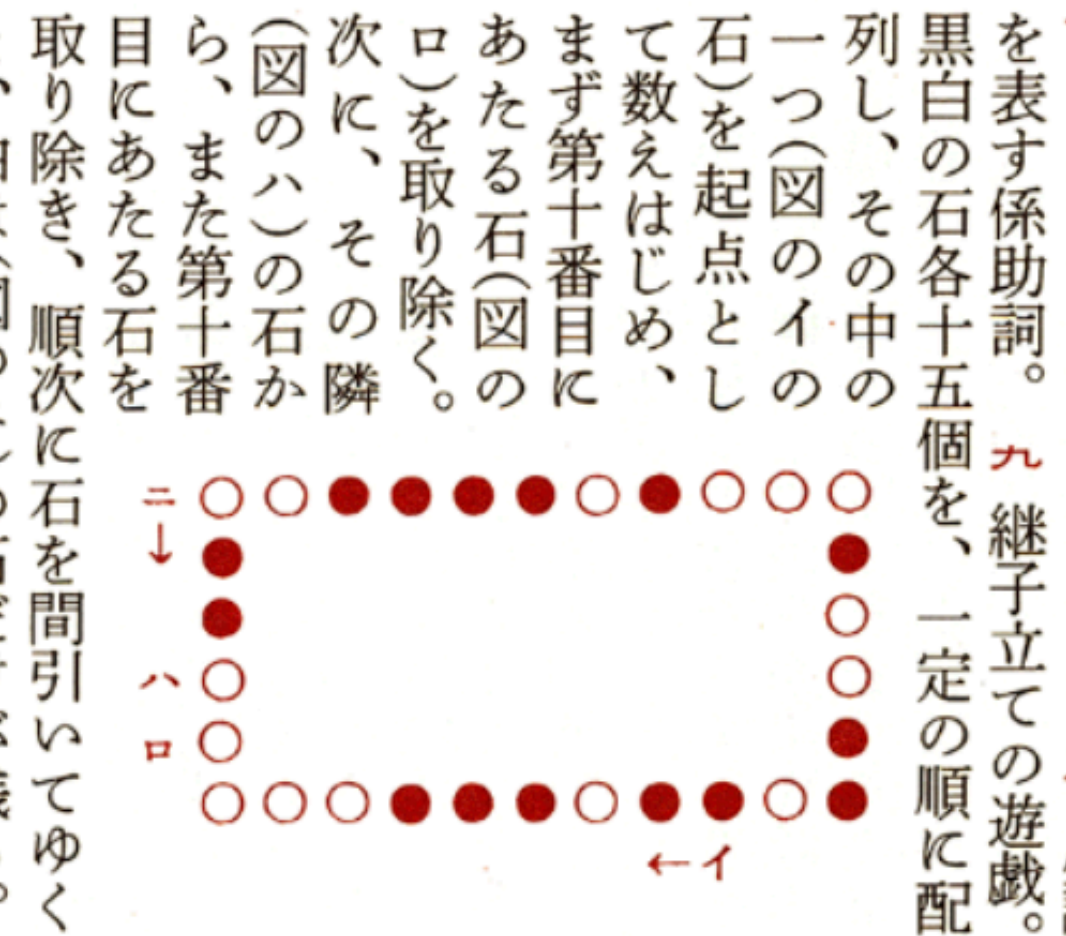
最後に残された継子が、こんどは自分から逆回りに数え直して欲しい、と嘆願した。後妻は同意し、その子から数え始めると、継子が最後に残った。

継子を黒丸●, 実子を白丸○

●●○●●●○○○○●●○○●●●●○●○○○●○○●●○

{2,1,3,5,2,2,4,1,1,3,1,2,2,1}

るべからず。一日に一人、二人のみならんや。鳥部野・舟岡、さらぬ野山にも、送る数多かる日はあれど、送らぬ日はなし。されば、棺をひさくもの、作りてうち置くほどなし。若きにもよらず、強きにもよらず、思ひかけぬは死期なり。今日まで遁れ来にけるは、ありがたき不思議なり。しばしも世をのどかには思ひなんや。ままとだてといふものを双六の石にて作りて、立て並べたるほどは、取られん事いづれの石とも知らねども、数へあてて一つを取りぬれば、その外は遁れぬと見れど、又々数ふれば、彼是間抜き行くほどに、いづれも遁れざるに似たり。兵の軍に出づるは、死に近きことを知りて、家をも忘れ、身をも忘る。世をそむける草の庵には、閑かに水石をもてあそびて、これを余所に聞くと思へるは、いとかなし。閑かなる山の奥、無常の敵競ひ来らざらんや。その死に臨める事、軍の陳に進めるにおなじ。



今日まで死からまぬかれてきたということ、珍しい不思議なことなのである。しばらくでも、この世をのんびりしたものと思えようか。継子立てというものを、双六の石で作って、置き並べてあるうちは、取られるであろうのは、どの石であるともわからないが、数えあてて一つの石を取ってしまえば、その他の石はまぬかれたように見えるが、さらにまた数えたと、あれこれと間引いてゆくうちに、どの石も遁れられないのと、人間の運命は似ている。武士の戦

小学館『新編日本古典文学全集44 方丈記／徒然草／正法眼蔵随聞記／歎異抄』
(校注／訳 神田秀夫・永積安明・安良岡康作) 1995年

ヨセフス問題

15人のキリスト教徒と15人のトルコ人が同じ船で航海していた。激しい嵐に遭遇したため、水先案内人は船に乗っていた人々の半分を海に投げ込み、残りの人々を救う必要があると言った。これは力づくでしかできない。そこで、全員を順番に配置し、9ずつ数えて9人目を海に投げ込むことで合意した。30人のうち15人だけが残るようにする。キリスト教徒を一人も失うことなくトルコ人を全員投げ込むにはどのように並べるべきか。

Claude-Gasper Bachet (1581-1638) による『Problemes plaisants et d'electables qui se font par les nombres. 2nd ed.』(1624)

15 + 15 人の 9 脱であり、取り除かれる順は、

$$E_i^{(30,9)} = \{23, 20, 28, 24, 14, 4, 7, 12, 1, 19, 16, 10, 26, 27, 25, 5, 18, 2, 8, 29, 30, 13, 15, 11, 22, 6, 3, 21, 17, 9\}$$

となるから、トルコ人を●、キリスト教徒を○とすれば、

○○○○●●●●●○○●○○○●○●●
○○●●●○●●○○●となり、並べ順は
{4, 5, 2, 1, 3, 1, 1, 2, 2, 3, 1, 2, 2, 1}となる⁹。

母音a,e,i,o,u をそれぞれ1,2,3,4,5 と対応させて、

“From numbers' aid and art, never will fame depart”

4 5 2 1 3 1 1 2 2 3 1 2 2 1

(数の助けと技術によって名誉は去らない)。

継子立て問題 と ヨセフスの問題 につながりはあるか？

15+15の9脱 {4,5,2,1,3,1,1,2,2,3,1,2,2,1}

		<i>n</i>	<i>m</i>
1150 頃	エズラ (Rabbi Abraham ben Ezra, 1546 年出版)	学生 15+ 怠け者 15	9
1363	サファディ (Salah al-Din al-Safadi)	M15+C15	9
15c	カランドリ (Filippo Calandri)	C15+J15	
1465 頃	フィレンツェ (Benedetto da Firenze)	C15+J15	9
1484 頃	シュケ (Nicolas Chuquet)	C15+J15	9
1485 頃	カランドリ	修道士 15+15	9
1500 頃	パチョーリ (Luca Pacioli)	C2+J30	9
1500 頃	パチョーリ	C2+J18	7
1500 頃	パチョーリ	C2+J30	7
1500 頃	パチョーリ	C15+J15	9
1539	カルダーノ (Gerolamo Cardano)	黒 + 白	
1556	タルターリヤ (Niccolo Fontana Tartaglia)	C+T, 黒 + 白	
1559	ブテオ (Johannes Buteo)	C15+J15	10
1612	バシェ (Claude-Gasper Bachet)	C15+T15	
1624	エッテン (Hendrik van Etten)	C15+T15	9
1678	ヴィンゲイト (Edmund Wingate)	C15+T15	
1725	オザナム (Jacques Ozanam)	C15+T15	9



15+15の10脱 {2,1,3,5,2,2,4,1,1,3,1,2,2,1}
10+10の10脱 {1,1,3,2,1,3,2,2,3,2}

＜平安時代＞

[1106 -1159 藤原通憲 (村井中漸によれば, 継子立の考案または伝授者)]

[1127 『懷中歷』 (『二中歷』の博基歴に基づく)]

1151-1156 頃『簾中抄』 (「まゝこたての略頌」の項で数字列 2 つを列挙)

＜鎌倉-南北朝 時代＞

1210-1221 頃『二中歷』 (博基歴の「後子立」の項で数字列 2 つを列挙)

1310-1331 頃『徒然草』 (死を免れぬ身をまゝ子立の石にたとえる)

1278-1346 頃『異制庭訓往来』 (「継子立」に言及)

?-1372『新撰遊覚往来』 (「三十二十之継子立」に言及)

＜室町-戦国-安土桃山 時代＞

1500 頃『十二段草子』 (「ありやなしやのまゝこたて」に言及)

1500 頃 天理図書館蔵『鼠の草子絵巻』 (「ありやなしやのまゝこたて」を含む)

＜江戸時代＞

1604『徒然草寿命院抄』 (数字列 1 つを列挙し, 10 番目を除くことに言及)

1624『徒然草野槌』 (数字列 1 つを列挙し, 10 番目を除くことに言及)

1627-1631 頃『塵劫記』刊年未詳の 5 巻本 (継子立の具象的な絵と文章説明を

[1644-1652?『姫百合のさうし』 (「まま子だて」に言及)]

1693『男重宝記』 (「三十二十之継子立」に言及)

関孝和編 1683

Euler 1776

中国には同種の問題設定は見つかっていない (Needham, 1959;『中国の科学と文明4』p71)
引用文献に Smith & Mikami (1914), Smith(1925)

継子立て問題の歴史 12cから

関孝和編『算脱之法』(1683)

Josephus problemの歴史 10cから

Euler『新しく発見された特異な数列』(1776)

両者を結ぶものはあるか 見つかっていない
(中国経由でなくてもよい?)

最後に残る人 (survivor) を $J_m(n)$ とする

$J_m(n) = p$ とする.

$$J_m(n+1) = \begin{cases} p+m, & \text{if } p+m \leq n+1 \\ p+m-(n+1), & \text{if } p+m > n+1 \end{cases}$$

概要

『塵劫記』を通じて有名になった「^{ままこ}継子立て」は、円形にならべた人を10人ごとに外し、最後に残る人を勝ちとする算数遊戯である。2つのグループ(先妻の子と、後妻の子)を特別な順にならべると、1つのグループだけが先にすべて取り除かれていくが、取り除かれていくグループの最後の一人の提案で、勝敗が逆転するというストーリー性を持っている。このような逆転劇がどのような設定で生じるか、という一般化された問題は、関孝和編『算脱之法』(1683年)にて論じられ、再帰的方法で導かれている。

一方、継子立てとよく比較される西洋の Josephus (ヨセフス) の問題は、同じ設定でありながら、最後に残される人はどここの位置か、というシンプルな問いかけであり、逆転するような展開はない。オイラーによって、この問題が数学問題に格上げされたのは1776年のことで、その特異な数列として、算脱之法と、まったく同じ再帰的方法が述べられていたことを発見したので報告する。和算の方が80年以上早く、問題を扱って解決していたことになる。2つの問題の間には、管見の限り、歴史的交流の跡は見つからない。

202511 継子立てヨセフス問題 print



202511 継子立てヨセフス問題 slide

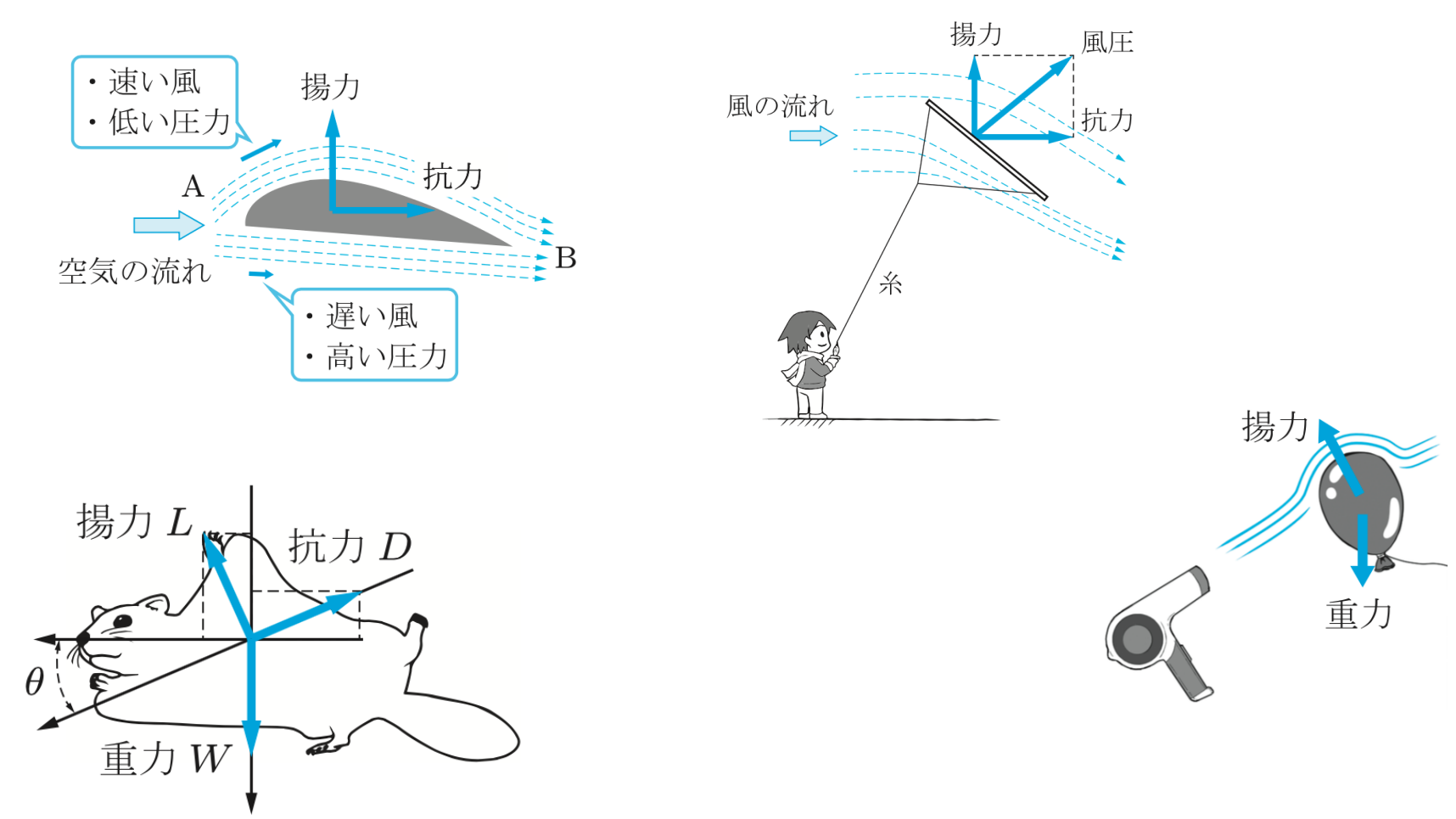


前回のミニッツペーパーから

3. 流体 》 3.3 流体の動き

教科書 p102

3.3.2 揚力:飛行機はなぜ飛ぶか



25

【身近な技術】

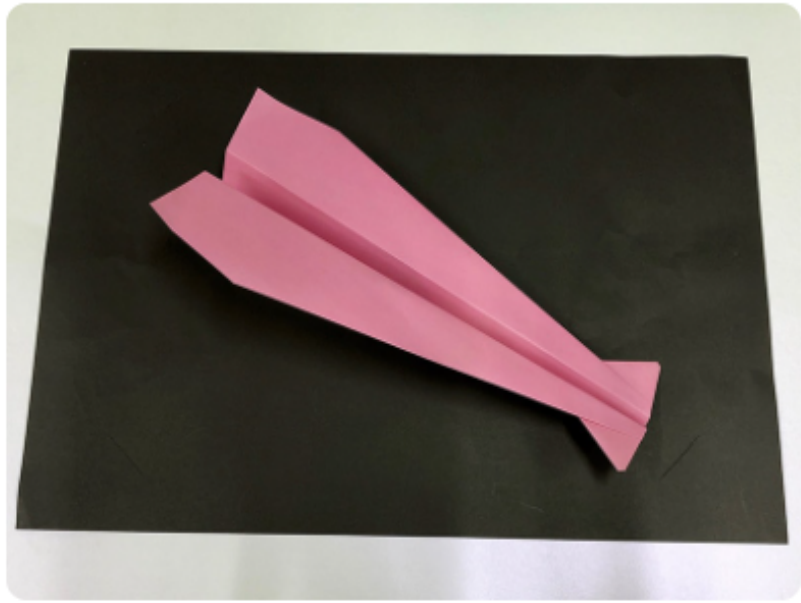
Early Flight (b&w, silent, 16mm) Vintage Films



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

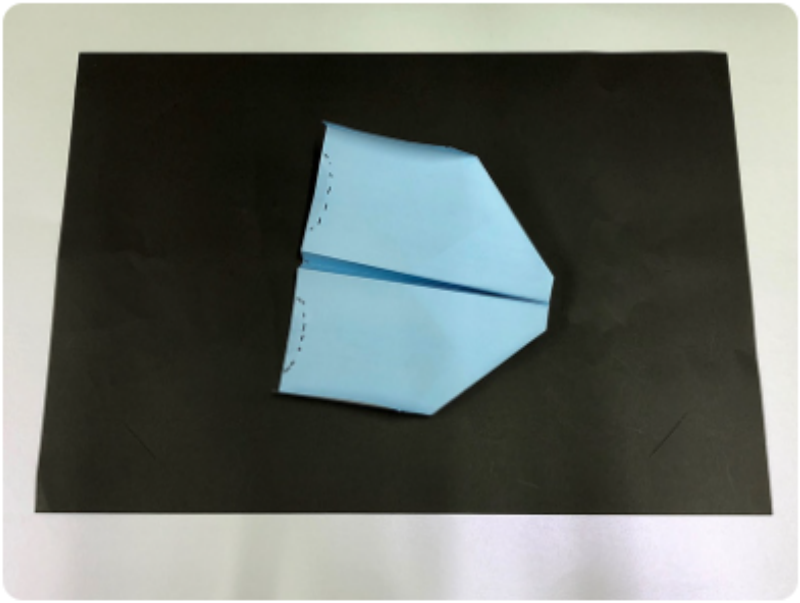
27

飛行機の主翼の傾きの話を聞いたばかり、ではめっちゃ早い紙ヒコウキってどうやって作ってるのかなと思いはした。よくワタスの子がとんがらせてつってていへるに思はる。



きよりがた
距離型：いかヒコーキ
すばやく泳ぐいかのようにスイスイ飛ぶよ。

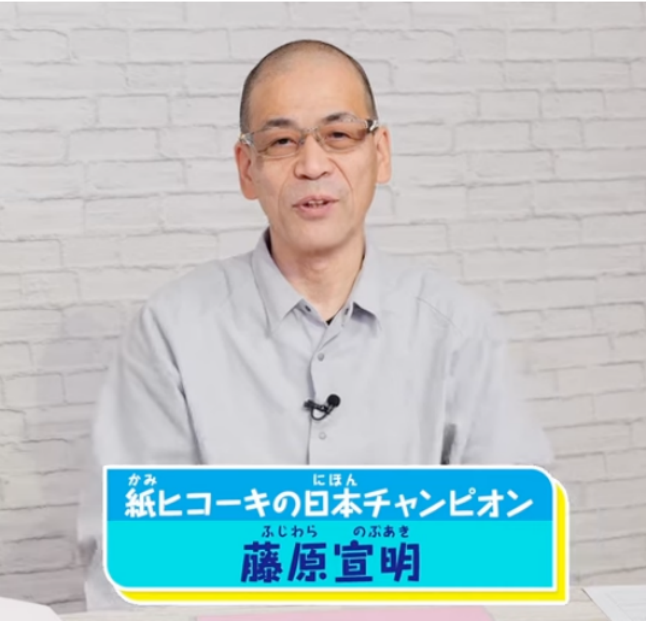
→ [いかヒコーキをくわしくみる](#)



たいくろがた
滞空型：スカイキング
滞空競技の世界記録を生み出したことのあるヒコーキだよ。

→ [スカイキングをくわしくみる](#)

<https://www.honda.co.jp/kids/jiyuu-kenkyu/challenge/c-13/>
<https://www.youtube.com/watch?v=BF8A6XG5tbo>



紙飛行機歴40年, 距離61.82mの記録保持者

自分も鳥さんみたいに飛べようって思っている。

前回のミニッツペーパーから

実験をやっているのを見るのが面白かったです。

ペットボトル内で雲をつくる実験で、目視で確認することができ面白かったです。

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。

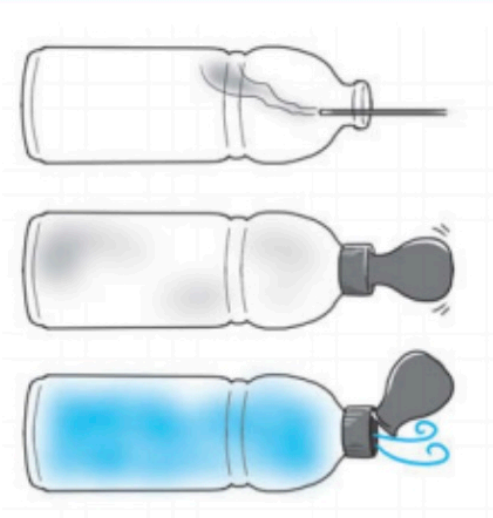


図 4.23 ペットボトルに雲

圧力鍋を使うと、なぜ短時間で調理できるのか？

110-120度で茹でることにより、分子構造の分解が早くなる

物質はどうやって形を保っていますか？

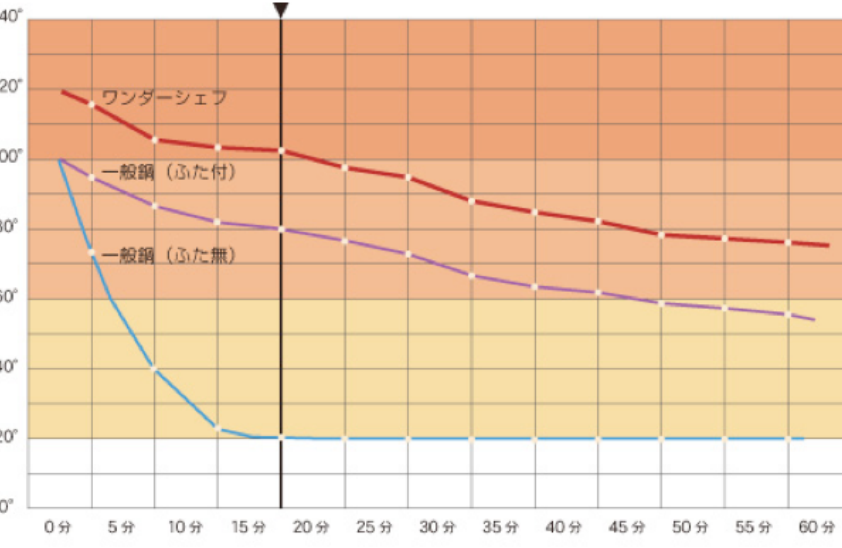
分子どうしの結合によって。（電気的結合によって）

【身近な技術】

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



- ★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

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。

<http://www.wonderchef.jp/cooker/detail/>

なぜ気圧で、体調が悪くなるのか。漂流小深海魚はなぜ形を保っているのか。

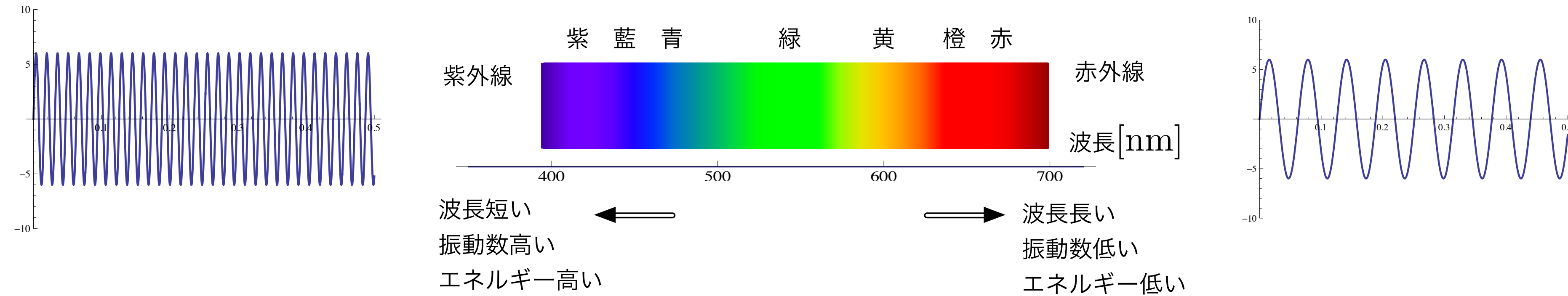
低気圧で体調不良が起こるのは、内耳の気圧センサーが影響を受けて自律神経のバランスが崩れたりすることで、頭痛、めまい、だるさ、吐き気などの不調が現れる。

身近な例で熱の伝わり方を学べて分かりやすかった。

前回のミニツツペーパーから

太陽が出ているくても肌が焼ける理由。

紫外線は波長が短いので、雲を通り抜け、肌を通り抜け、細胞を壊す。



車の材質をやわらかいものにしたら死亡事故は減ると思うのですが、熱で燃えてしまうのでしょうか、熱に強くてやわらかい素材がある人ですか、あたかも使えないのか

車は衝突したときにペシャンと凹むことで、運転している人を衝撃から守ります。柔らかいと車内の人が大変なことになります。

熱に強くて柔らかい素材は、シリコンがあります。200度程度まで耐えられます。

前回のミニッツペーパーから

花火の爆発力ほどのくらの威力です。

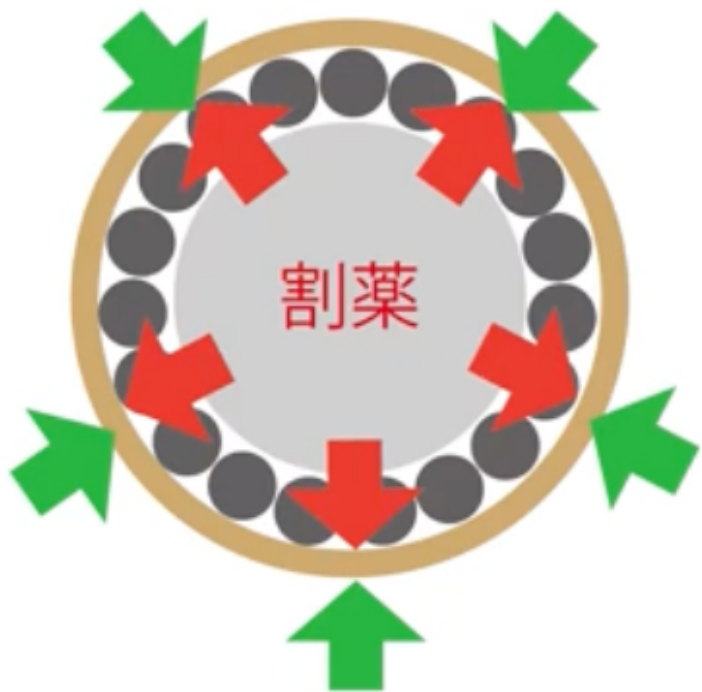
号数	2.5号	3号	4号	5号	7号	8号	10号	20号	30号	40号
玉の直径 [cm]	7.5	8.5	11.5	14.2	20.5	23.5	29.5	58.5	88.5	120
玉の重量 [kg]	0.1	0.2	0.5	1.3	3.0	4.8	8.5	70	280	400
到達高度 [m]	80	120	160	190	250	280	330	500	600	700
開花直径 [m]	50	60	130	170	240	280	320	480	550	700

<https://kakizonofireworks.com/large-fireworks/>

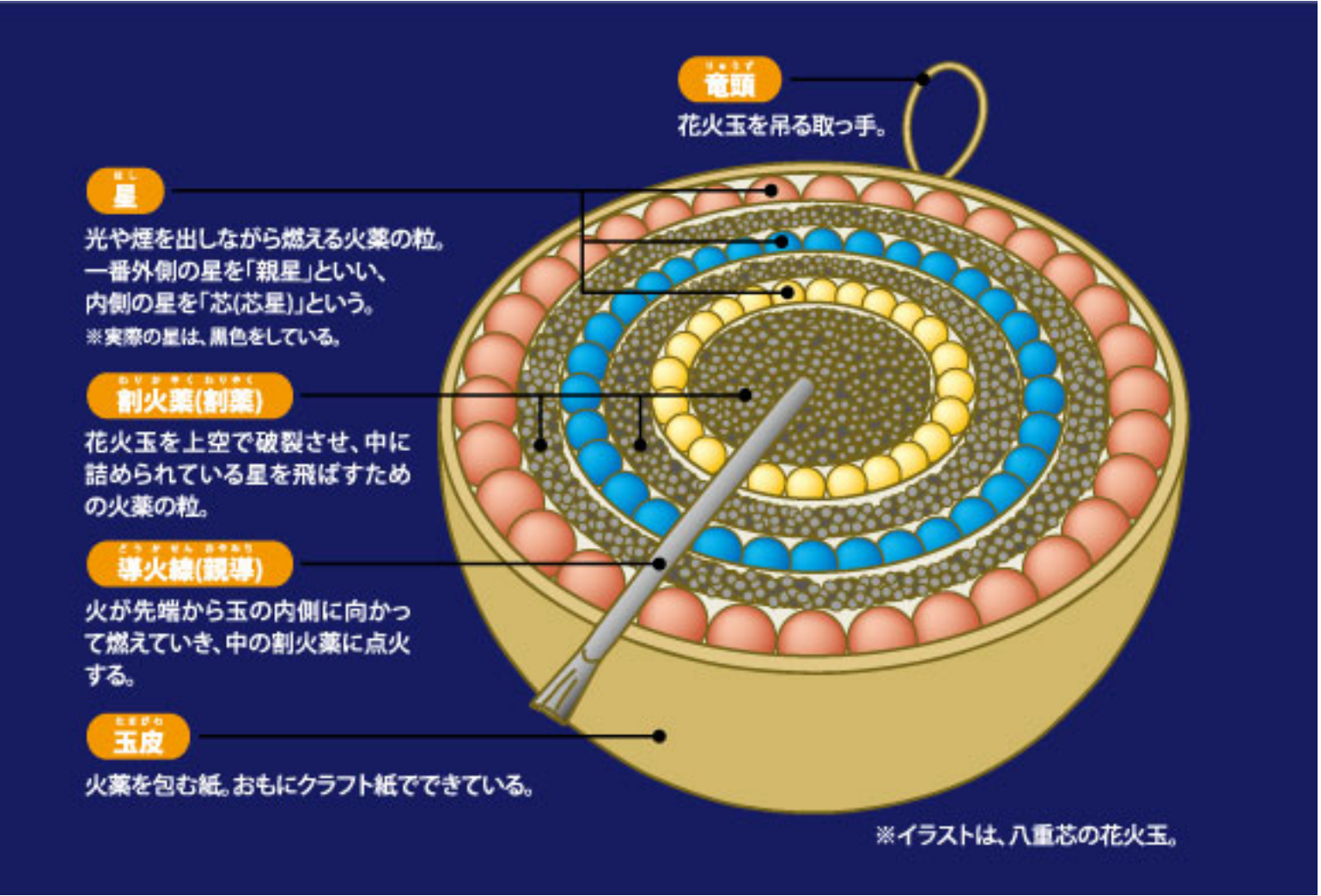
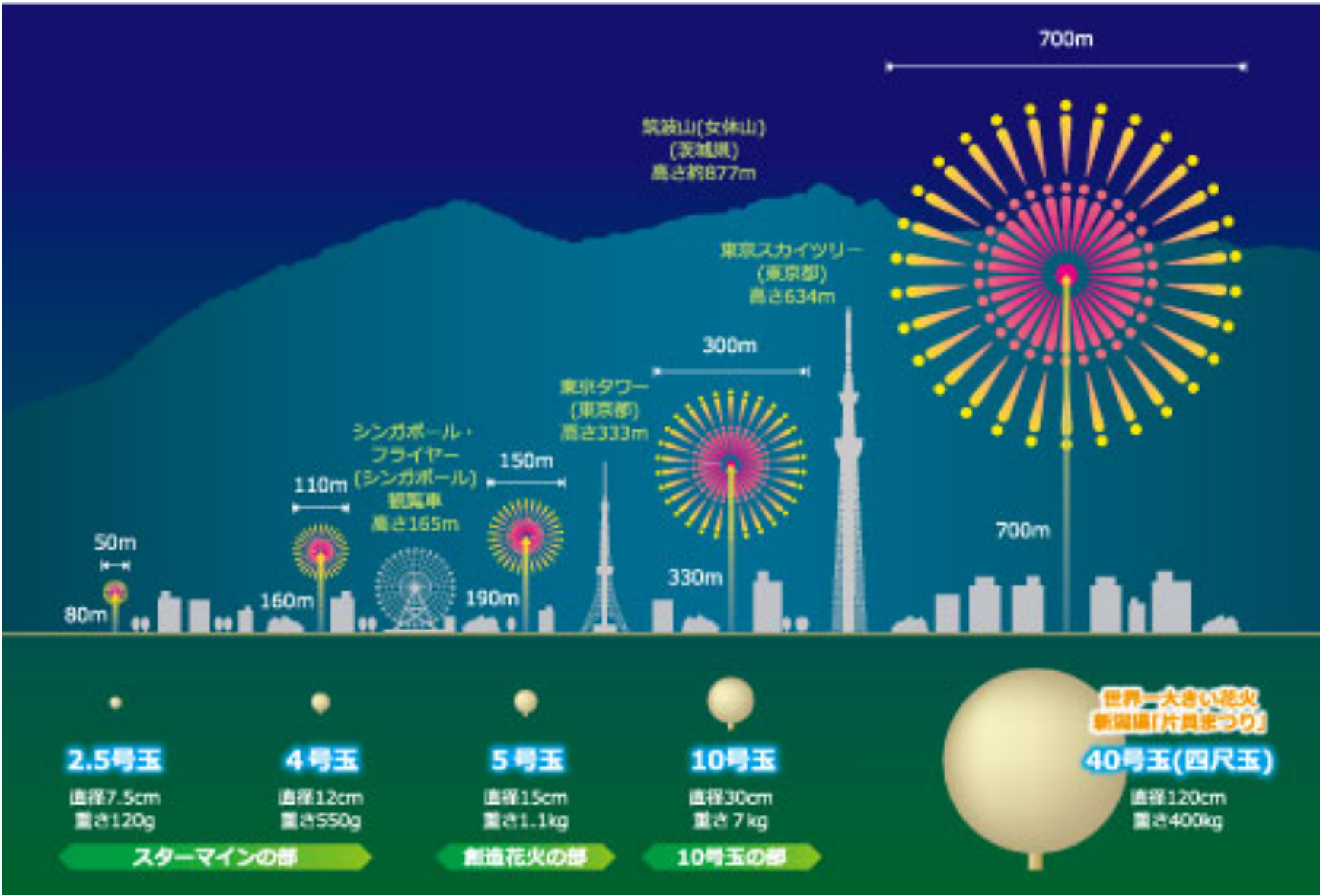
打ち上げ時は, 350km/h (100 m/s) 程度

破裂時は, 割りの力と貼りの力のバランスで決まる

割りの力 (爆発して広がろうとする力)



貼りの力 (外殻の強度)



<http://www.tsuchiura-pr.jp/sp/page/page000183.html>

前回のミニツツパーから

Sさんのレポート

私がこれらを調べて気になったことは、バラクキバチ(全長約14mm)が自分の身体よりも大きいヒメシロモンドクガの幼虫(全長約30mm)を運ぶときに、どのくらいの力が働いているのかということである。ヒメシロモンドクガの幼虫はおそらくバラクキバチに噛み食われてもう少し小さな団塊となっているだろうが、それにしても身体の大きさに近いものを運ぶとしたらどのくらいの力が加わっているのだろうか。本文に「蜂はやがてこの団子をくわえて飛び出そうとした」とあるように、バラクキバチが地面にある幼虫の団子を口嘴で啜えた場合、幼虫の団子にはどのくらいの力がはたらくのかを計算してみることにした。バラクキバチやヒメシロモンドクガの質量を測ることができないため、推定値となっている。また、蜂は幼虫の団子を持ち上げるために浮いていると想定する。

ヒメシロモンドクガの幼虫の質量を $m_1=0.003\text{kg}$ とし、バラクキバチの質量を $m_2=0.001\text{kg}$ 、重力加速度を $g=9.8\text{m/s}$ とすると、バラクキバチは何[N]の力 $=T[\text{N}]$ で持ち上げる必要があるのか。垂直抗力を $N[\text{N}]$ とし、重力を $W_1[\text{N}]$ とする。

まずヒメシロモンドクガの幼虫にかかる重力は $W=mg$ より

$W_1=0.003 \times 9.8=0.0294[\text{N}]$ となる。

同じくバラクキバチにかかる重力は $W=mg$ より $W_2=0.001 \times 9.8=0.0098[\text{N}]$ となる。

ヒメシロモンドクガの幼虫にかかる垂直抗力 $N_1[\text{N}]$ は地面がヒメシロモンドクガの幼虫を押す力 $N_2[\text{N}]$ と等しい。つまり $N_1=N_2$ である。

また、バラクキバチにかかる垂直抗力 $N_3[\text{N}]$ もヒメシロモンドクガの幼虫がバラクキバチを押す力 $N_4[\text{N}]$ と等しい。つまり $N_3=N_4$ である。

したがって、 $T+N_2+N_4=N_1+N_3+W_1+W_2$ となり、 $T=W_1+W_2$ 。求めた値を代入すると、 $T=0.0294+0.0098$

$T=0.0392[\text{N}]$ となる。

したがって $T=0.0392[\text{N}]$ の力が必要である。

この計算からバラクキバチは自分が飛び立つときに必要な力よりも、およそ25倍の力で飛び立たなければならないということである。蜂の口嘴や顎はかなり頑丈につくられていることが分かる。

[7-4] レポート 楽しく書いてました。
レポートの虫の力の計算を正しく行うと
いくらになんかか身になんかの、お時間
あれば教えて下さい。



バラクキバチ(全長約14mm)
質量を $m_2 = 1 \text{ g}$



ヒメシロモンドクガの幼虫(全長約30mm)
質量を $m_1 = 3 \text{ g}$

飛んでいる時には垂直抗力は考えなくて良い。

水平に飛んでいる時には、単に4倍の力が必要になる。上昇するときには、その加速度に応じた揚力が必要になるが、それも通常の4倍。

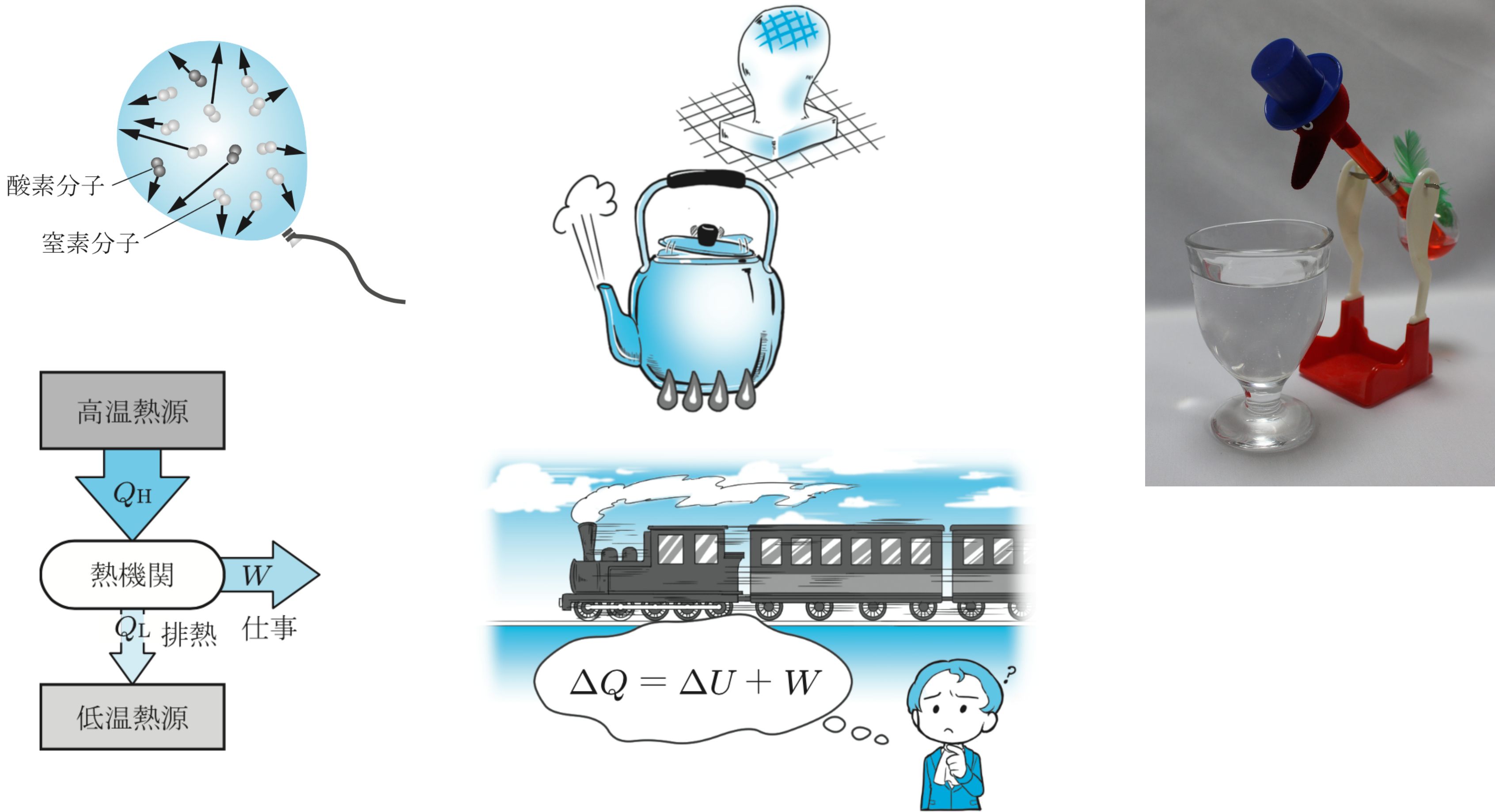
前回のミニッツペーパーから

冷たい水を入れた時と、温かいお湯を入れた時に出る音の高さが違う理由。



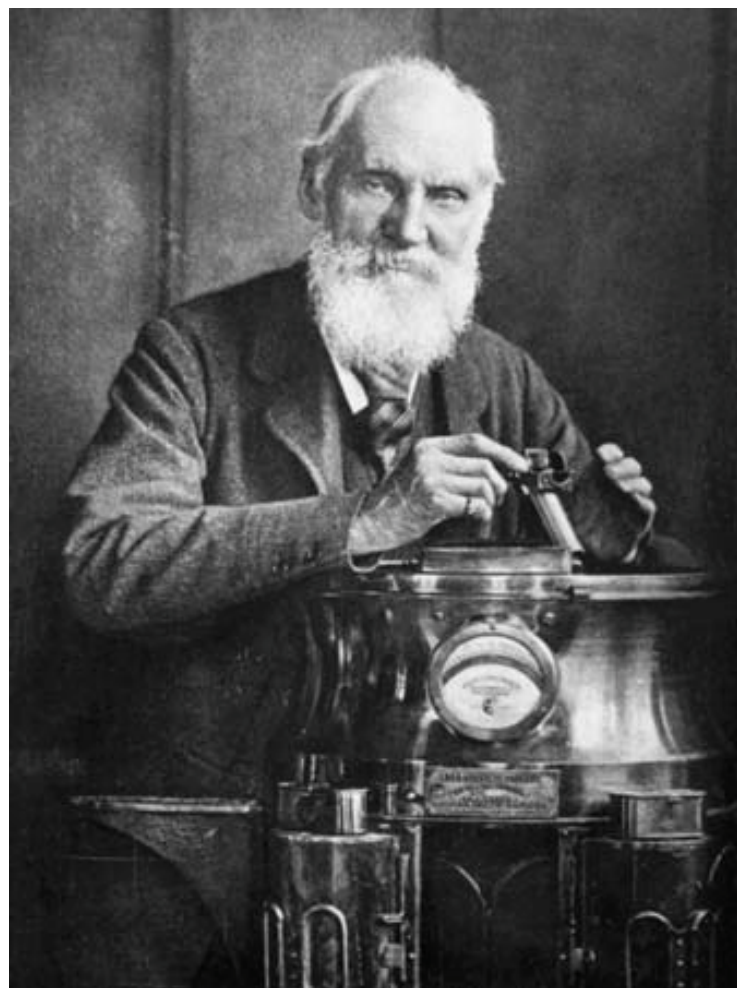
https://www.youtube.com/watch?v=Ri_4dDvcZeM

温度が上がると分子の振動が激しくなり、分子同士の間隔が広がって分子間力が弱まるので、一般に液体の粘度は高温になるほど小さくなる。



●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 [K] (ケルビン) を使う. 両者の関係は、次の式のようになる.

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

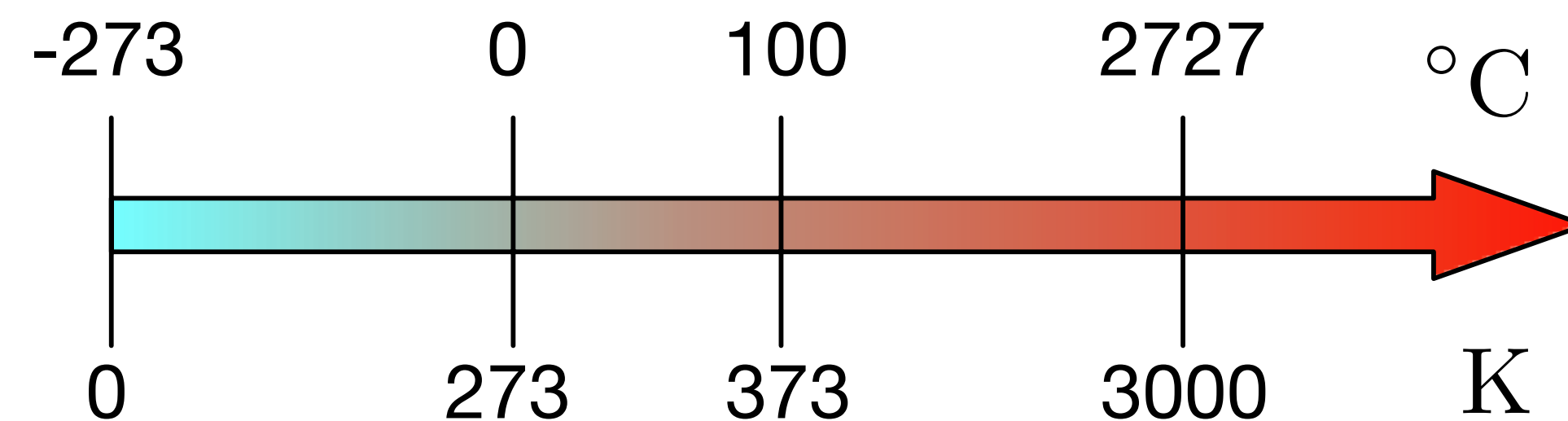
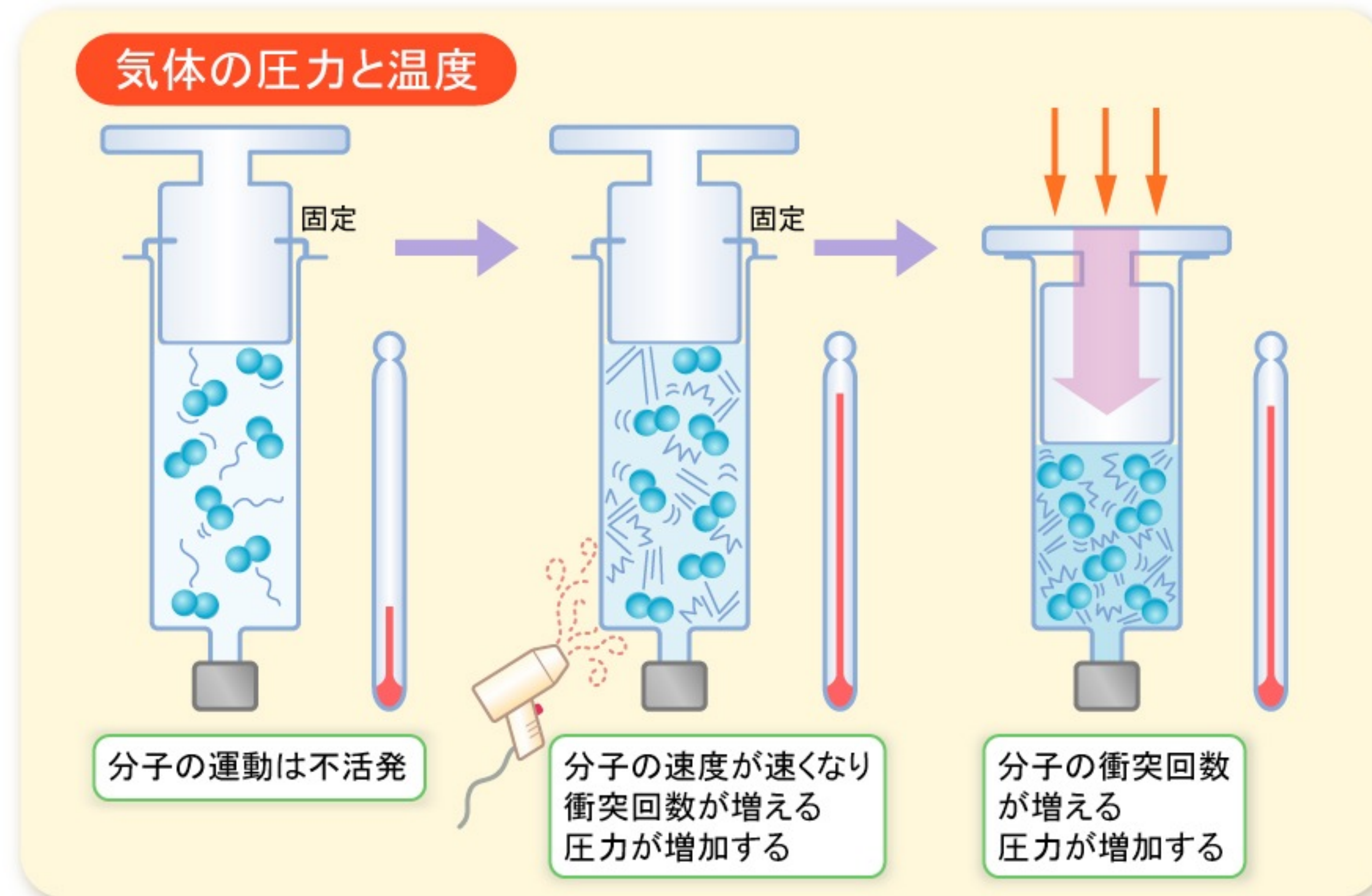


図 4.3 絶対温度は、分子の熱運動がゼロとなる最低温度を 0 K としたものの $0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{ K}$ であり, $100^{\circ}\text{C} = 373.15\text{ K}$ である.

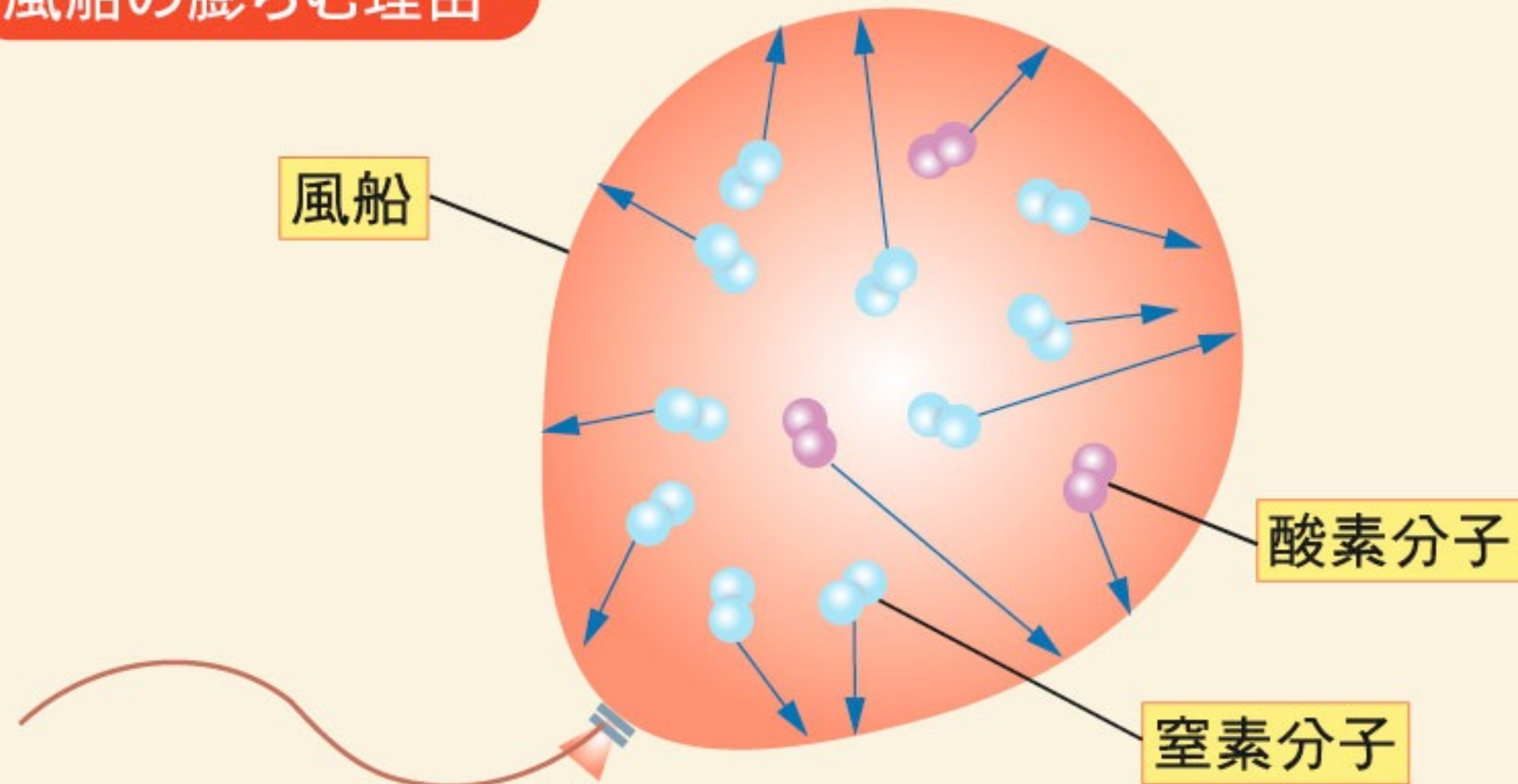
4.1 温度は何で決まるのか



温度 = 分子の運動の激しさ (= 運動エネルギー)

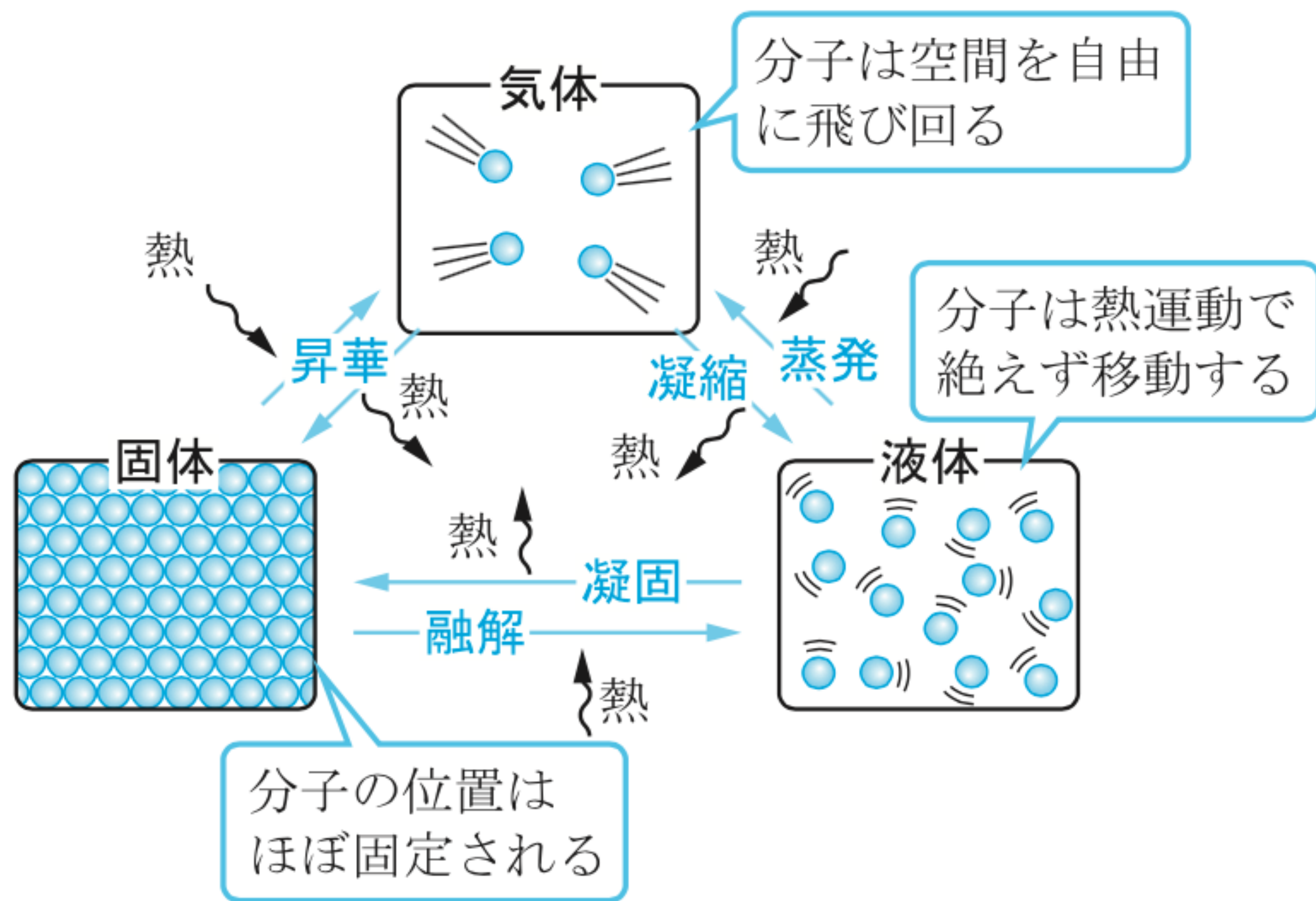
分子運動で説明できる

風船の膨らむ理由

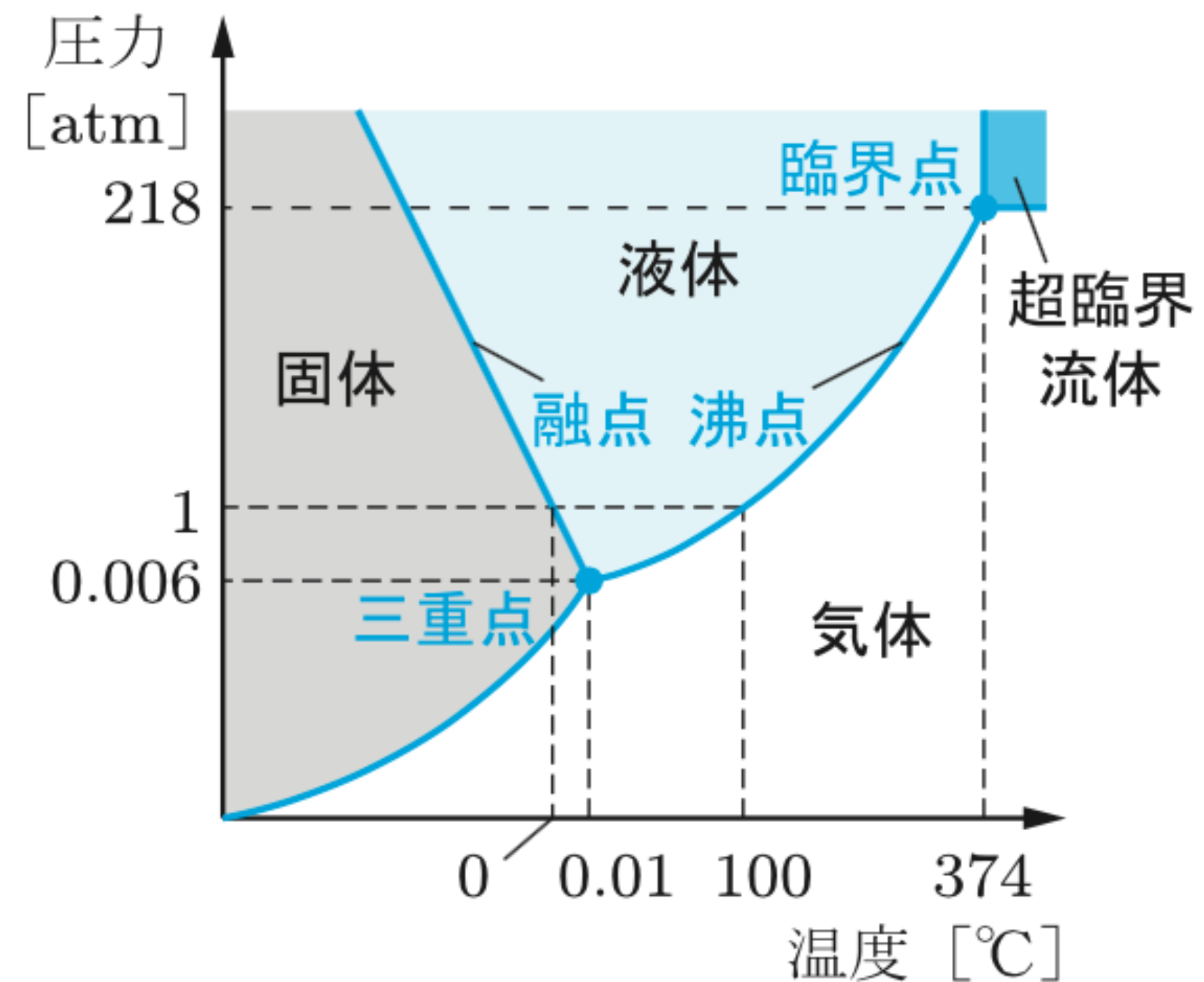


風船の中で気体分子が高速で飛行する
分子が風船内面にぶつかることで風船が膨らむ

物質の三態



(a) 物質の三態



(b) 水の状態図

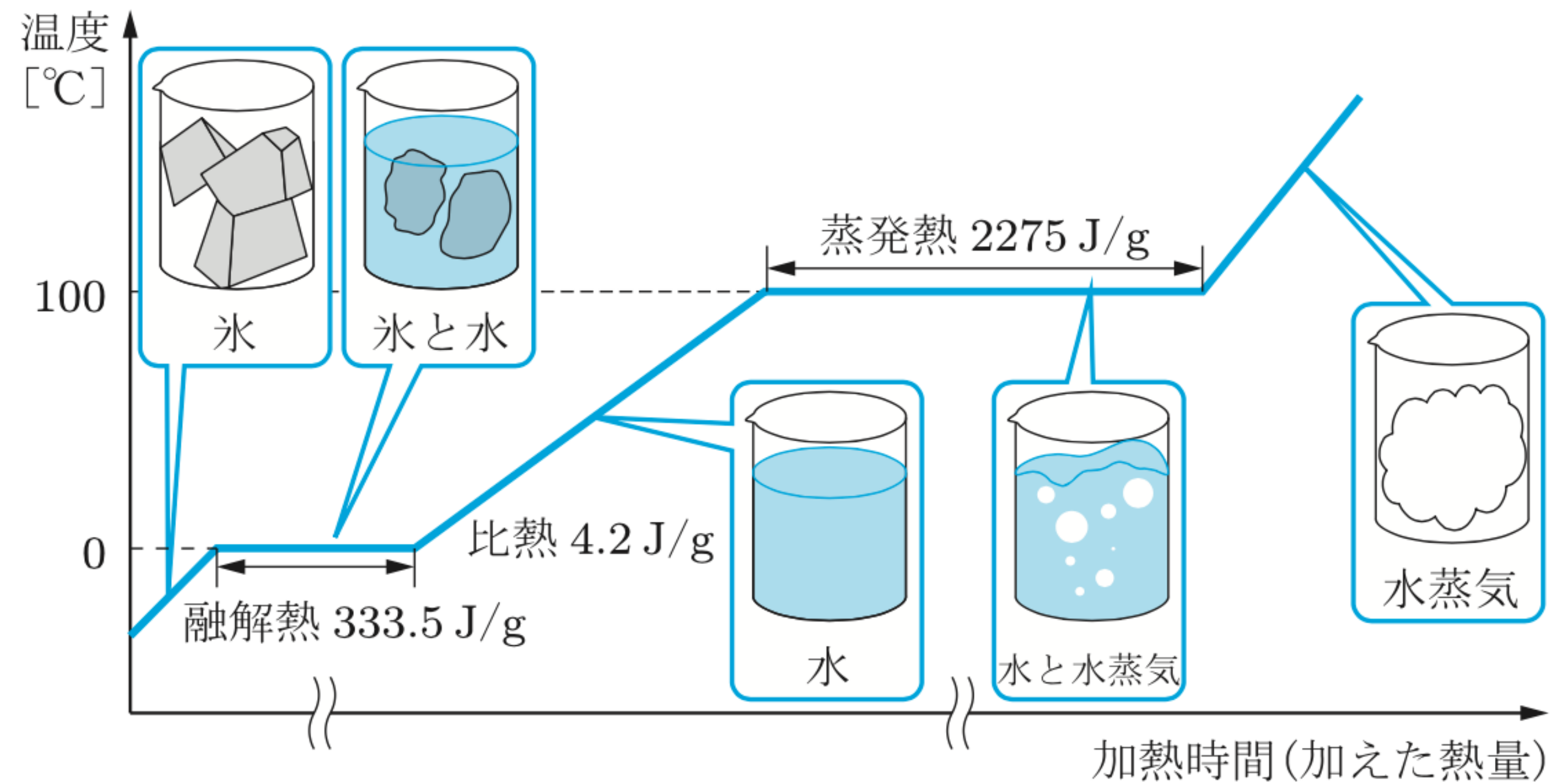
融解熱・気化熱(蒸発熱)

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



紙すき鍋は、なぜ燃えないのか？

沸騰している間は、100度。紙の発火点は450度。

火事で水をかけるのは？

100度になるから

物質はどうやって形を保っていますか？

分子どうしの結合によって。(電気的結合によって)



前回のミニッツペーパーから

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」

正解 北極の氷は融けても海水面は上昇しない。陸地のある南極の氷がとけた分は海水面を上昇させる。

北極の氷が融けると海水面は上昇する。
北極の氷は海に浮かんでいるため、融けても海水面の高さはほとんど変わらない。
南極やグリーンランドなどの陸上の氷が融けると、その氷が海に溶けると、海水面は上昇する。

3. 「北極」X
北極の氷は水に浮いているため、溶けても海水面はほとんど変わらないと思う。

正しくは、「地球の温暖化で南極やグリーンランドなどの陸上の氷が融けると、海水面が上昇する」。
つまり、「北極の氷」が誤りである。「北極の氷」は、海上に浮かぶ氷だ。
アルキメデスの原理により、浮いている氷が融けても海水面は上昇しない。(水位は変わらない)
ちなみに、「南極の氷」は、大陸の上に積もった氷だ。融けると海に流れ込むため、海水面が上昇する。
(7-4)

地球の温暖化で南極の氷が融けると海水面が上昇する。

北極の氷が融けると海水面は上昇しない。

北極は海の上に氷がはっているためとけてもほとんど変わらない。

北極は海水が凍ったものなので融けても海水面は上昇しない。

北極の氷が溶けると海面は上昇するのは誤り。

北極の氷がとけても海水面は上昇しない。
とけても水量は変わらないから

(7-3) 北極の氷がとけても、海水面はほとんど上昇しない。

地球の温暖化で南極の氷がとけると海水面は上昇する。
北極 X

北極の氷は海に浮いているので、溶けても海面は上がらない。
陸の氷が溶けると上昇する。

3. 北極の部分
北極の氷はもともと海水だからとけても水位は変わらない。

北極の氷は海面上昇には影響しない…?

誤り：北極の氷が融けると海水面は上昇する。
北極の氷は、海水が氷になったものであるため、融けてもよめていた体積は変わらないから。

北極の氷は元々海に浮いているから。

北極の氷はとけてももともと浮いているため、海面は上昇しない。

説明不足

誤答

北極は上がらない。

海面は上がらない。上がるのは南極などの氷がとけたとき。

上昇するのは陸上の氷がとけた場合。

もともと海にある氷なので量は変わらない。

逆

3
地球の温暖化で北極と南極の氷が融けると海水面が上昇する。
X

今氷が溶けた場所には溶けた氷が溶けた分だけ、海水面の高さは変わらない。

氷が溶けると体積が減り、元々氷で押しつけていた部分におさまるから。

氷が溶けると地球温暖化が進む

南極の氷床融解「近い将来連鎖する恐れ」 国立極地研など

南極の氷床は将来、連鎖的な融解が始まる可能性があるとして、国立極地研究所や産業技術総合研究所などのグループが発表した。氷床が急激に縮小した約9千年前の現象を解析して明らかにした。

南極には地球上の約9割の氷がある。近年、地球温暖化の影響で氷床の融解が観測され、海面上昇や環境変化につながることから、メカニズムを探った。

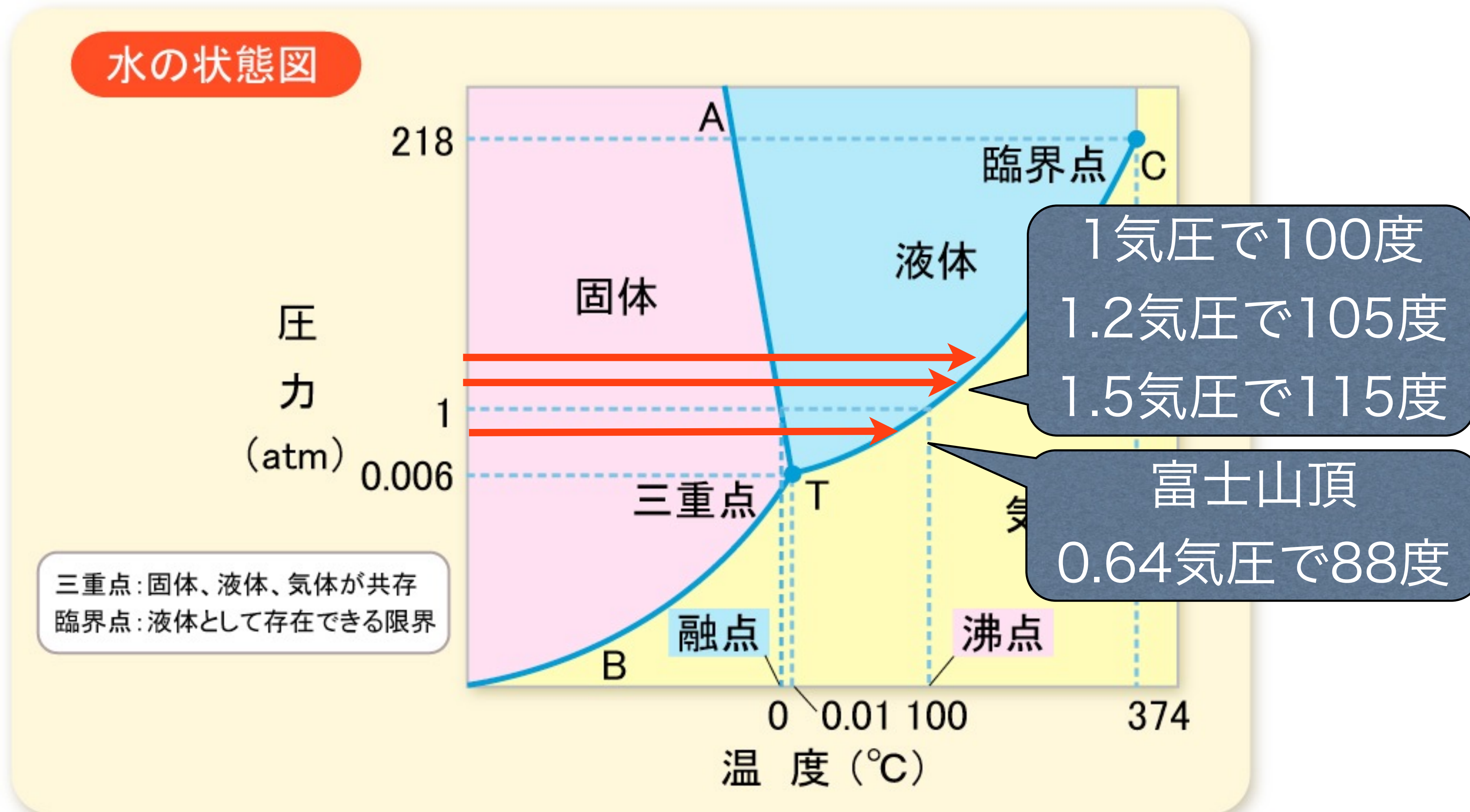
昭和基地周辺で採取した海底堆積物の分析と沿岸地形の調査から、過去に起きた氷床の融解過程を解析した。

約9千年前の融解は、温かい深層水が流入し、南極大陸から海の上へとつなが

9千年前の現象を解析

って浮かぶ「棚氷」が大規模に崩壊。せき止めの効果があった棚氷が壊れたことで、南極の氷床が海に流れ出た。

研究グループの菅沼悠介・極地研教授は、局所的な現象が連鎖して増幅した点に注目。「このまま南極氷床の融解が続くと、近い将来には連鎖が始まり、急激かつ不可逆的に融解していく可能性が高い」という。国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）は、2300年までに世界の海面水位は約2～7メートル上がると予測していたが、「今回の結果はこれより速いペースでの上昇を示唆する」としている。
（中山由美）



前回のミニッツペーパーから

圧力鍋を使うと、なぜ短時間で調理できるのか？

110-120度で茹でることにより、分子構造の分解が早くなる

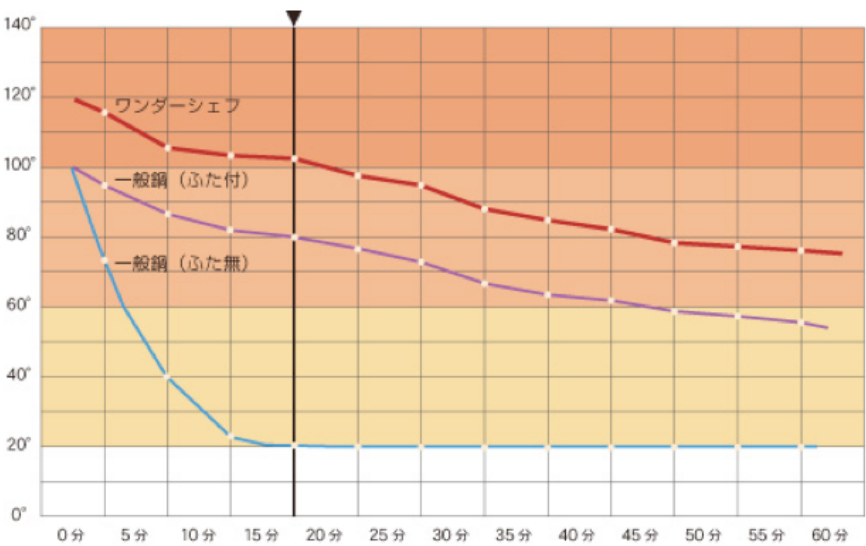
【身近な技術】

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

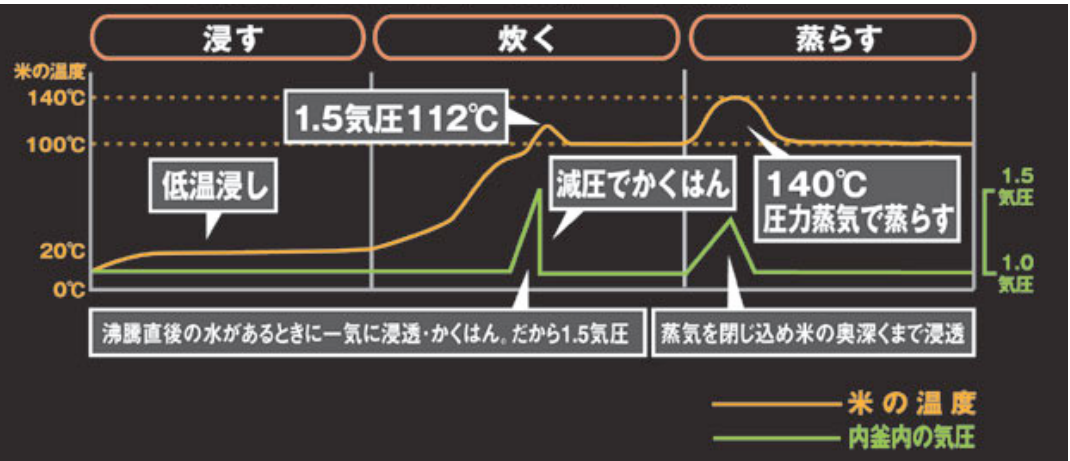
<http://www.wonderchef.jp/cooker/detail/>

【身近な技術】

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>

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。厳寒地の魚は 4°C で生き延びられるように進化しているのだ。

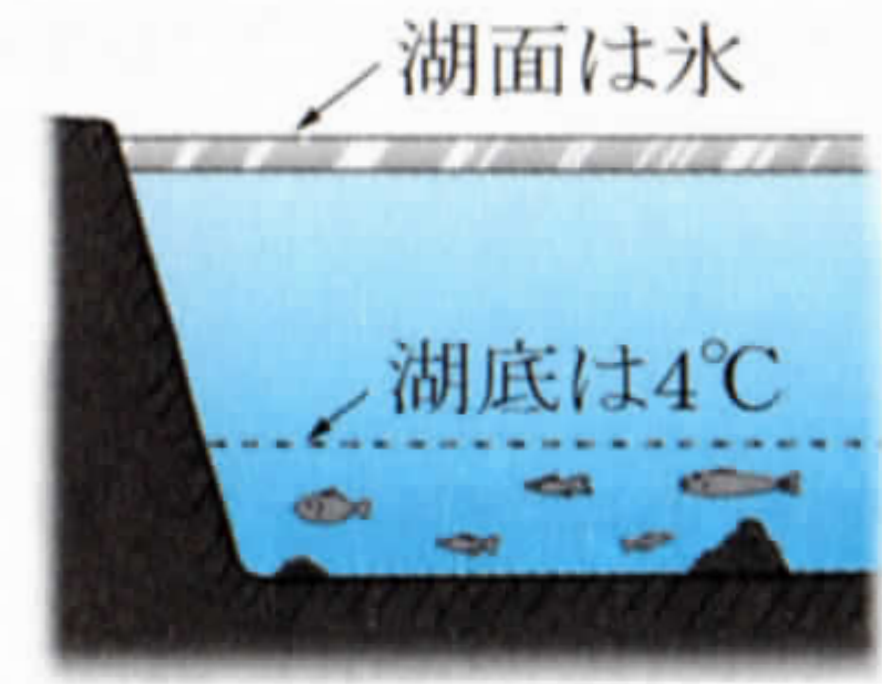


図 4.7 4°C に耐えられれば越冬できる

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°C の冷蔵庫で凍らせようとしても、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ことになる。雪国などでみられる樹氷は、過冷却状態の水滴が木にぶつかって、一瞬で凍ることが一つの理由だという。

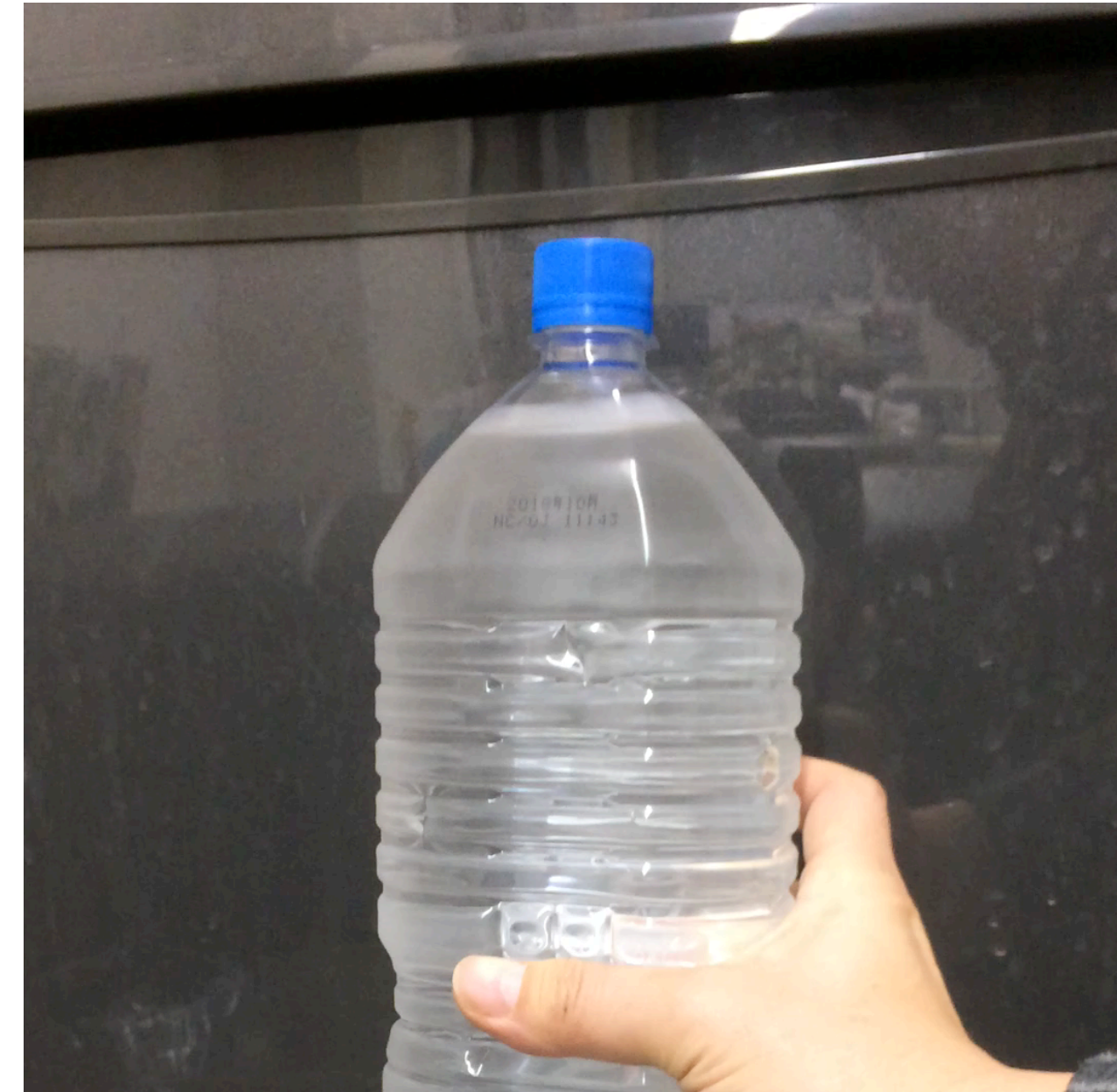


図 4.8 ぶつかると凍る過冷却の風

過冷却現象

冷蔵庫にいていたペットボトルの水を出すと、一瞬で凍った。

= 過冷却現象



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°C の冷蔵庫で凍らせようとしても，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ことになる．雪国などでみられる樹氷は，過冷却状態の水滴が木にぶつかって，一瞬で凍ることが一つの理由だという．



図 4.8 ぶつかると凍る過冷却の風

2021/11/13 大普賢岳 (1787m)

前日の雪が霧氷となって木に残っていました。

昼過ぎにはなくなっていました。



熱の伝わり方：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

★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

前回のミニッツペーパーから

平たい容器に

冷たいスプーンでコーヒーを混ぜたり、口の広いカップに移し入れる。

かき混ぜたりが、広い皿にうつす

容器を移し替え続ける

かき混ぜたりから、違う大きいお皿に移す。

カップを移し替える
かき混ぜる

別の容器に移し、変えてリ繰り返してリ繰り返す。
平たい皿に移して、空気に当たる面積を増やす

かき混ぜたり、風を当てる

いっぱいかき混ぜる

缶コーヒーから振る。
コーヒーカップから混ぜる

コーヒーをかき混ぜる。
かき混ぜることで上の熱いところを下へ移動させることで冷めると思う。

かき混ぜたり、風を当てる対流を促進する

冷凍庫に入れる。ミルクなどを入れてコーヒーを冷ますよりも冷凍庫に入ると、カップも冷たくなって早く冷める。

カップをもって 外に出る
外の冷たい外気にさらすことで冷める

冷たいものに接触させる

周りに熱を分散させるために 接触するようにモノをおくとか...?

コーヒーを入れて、容器を氷水が入った容器に漬けて、混ぜる。

氷水にフタを

熱伝導のよい金属スプーンを

...コーヒーを早く冷ますには、金属のスプーンをあてると良いと聞いたことがあります。その理由を考えたところ、金属は熱くなりやすく、熱が伝導してスプーンにうつり、逆に冷たかったスプーンがコーヒーにうつることによって冷めやすくなる。

熱の移動の3つの原則である伝導、対流、放射を組み合わせた方法をとる。まず、放射である。コンビニなどのふたつきのコーヒーならば、ふたを外す。加えて、浅い容器に移す。表面積を大きくすると、放射が増えるため。次に、対流である。スプーンやスティックなどでかき混ぜる。加えて、ハンド扇風機などで風を当てる。内部の温度むらがなくなり、表面が常に温かい部分と入れ替わるので冷めやすいため。さらに風を当てる。最後に、伝導である。金属のカップなど熱伝導のよい容器を使う。加えて、氷水のボウルに浸ける。(小学校の自由研究で、陶器より早く冷めた気がする。)(7-2) 雪だるまにセーターを着せると、暖かくなるのはなぜか...

熱々のコーヒーを早く冷ますには、どうするのが一番良いですか??

息を吹きかける

別の容器に移してフーフーしながら全力でかき混ぜる。

水面に対して横に息を吹くときいてことがあります。原理はわかりません。

▲質問者の自己回答

まぜる

コーヒーが2つの流れに
なるように息を吹きかける。
かき混ぜる。

さんみ感じでコーヒーの表面が回るように息を吹く

氷をいれる 冷凍庫に

氷を入れる。 冷凍庫に入れる

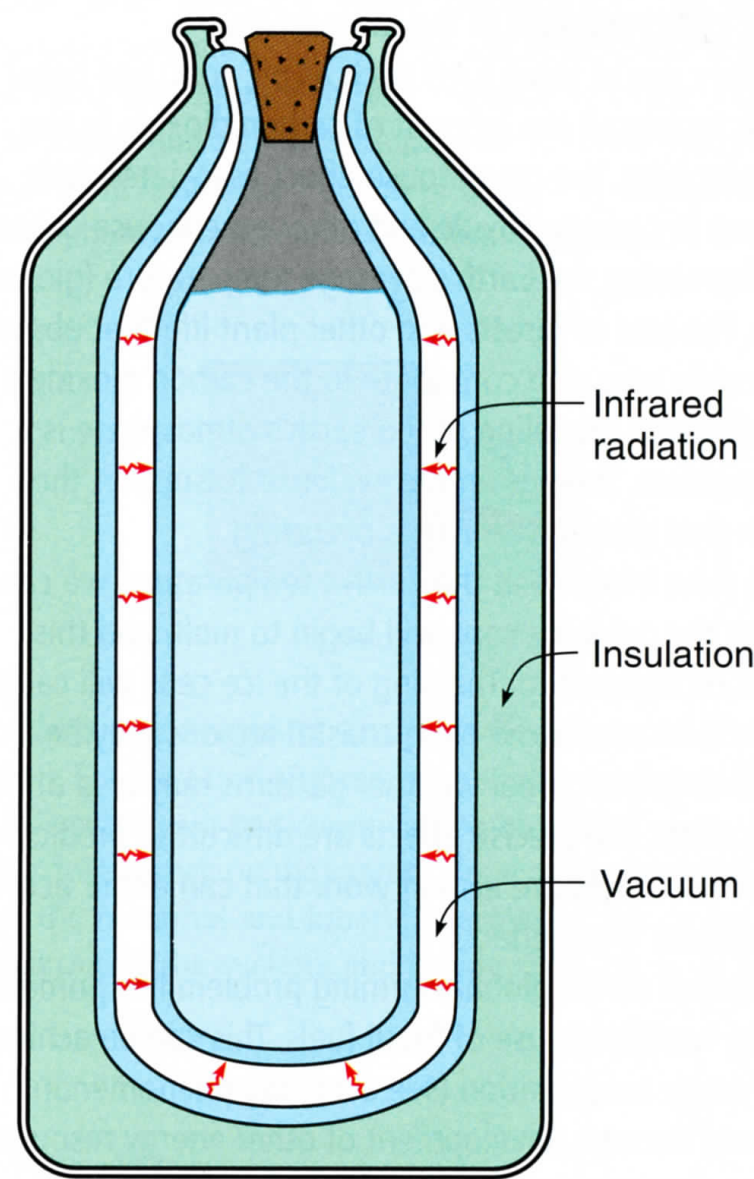
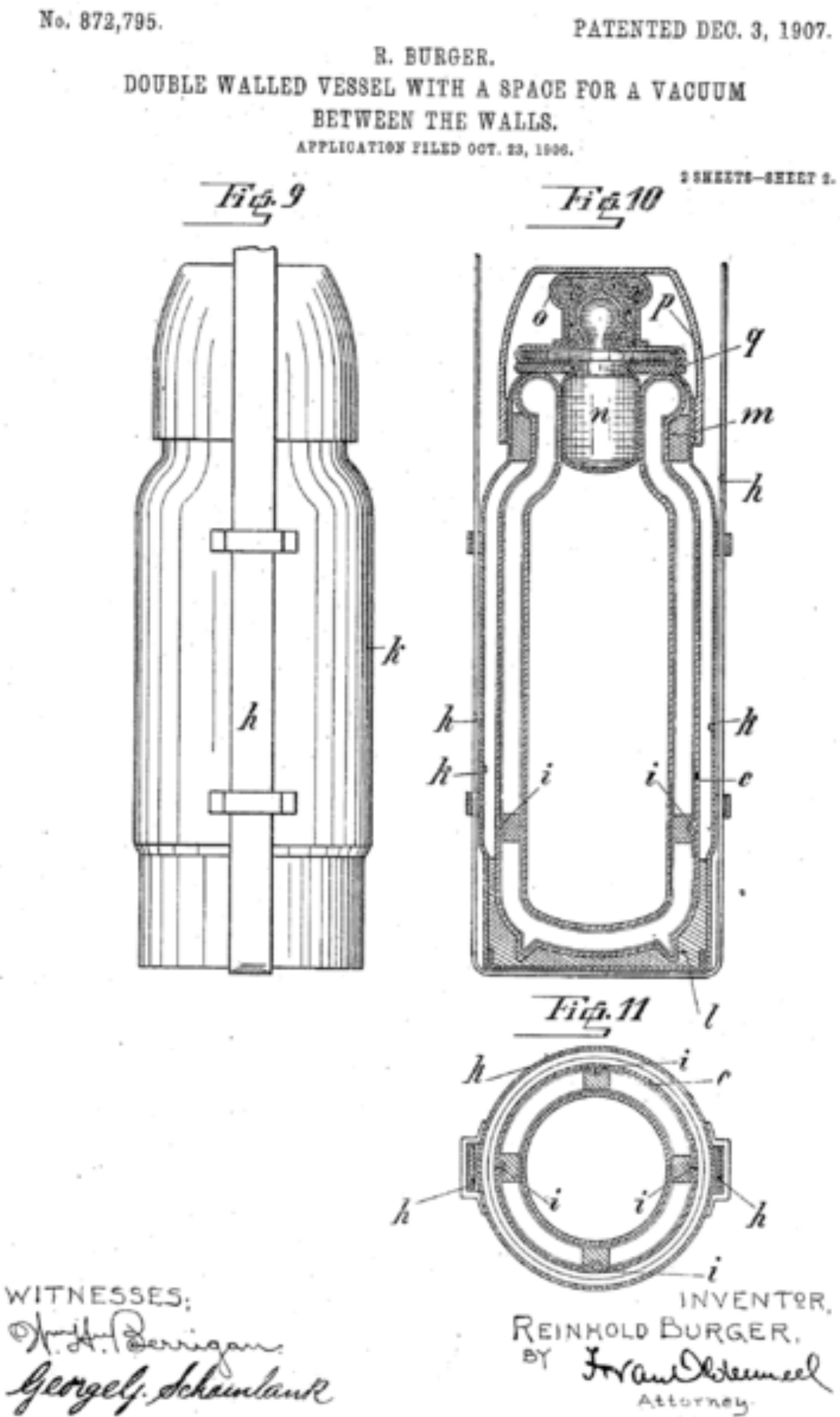
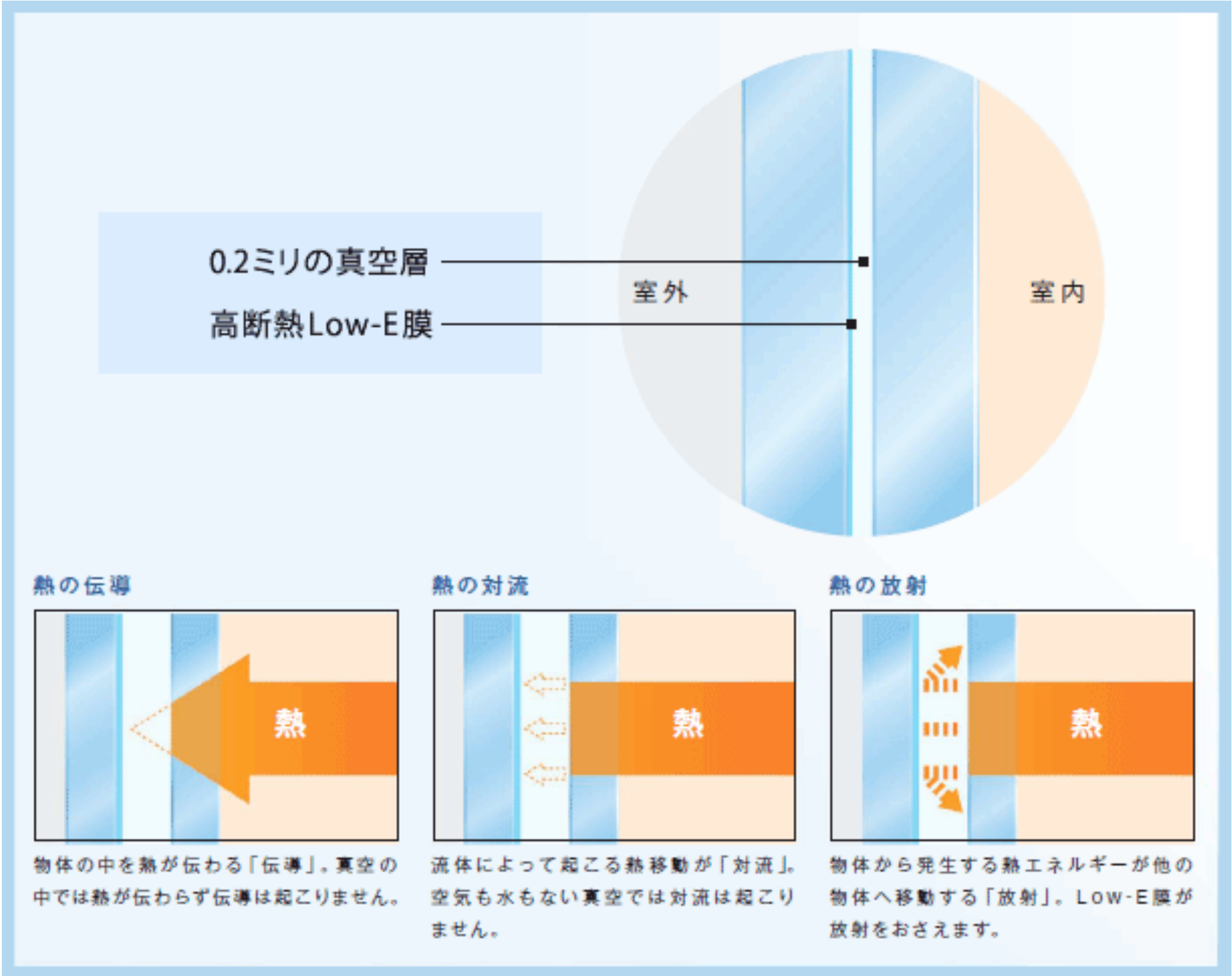


figure 10.21 Radiation is the only mechanism that can carry thermal energy across the evacuated space in a thermos bottle. Silvering the walls reduces the flow of radiation.

熱伝導を防ぐ
熱放射を防ぐ
保温に優れる



2枚のガラスの間には薄い空気（真空）層

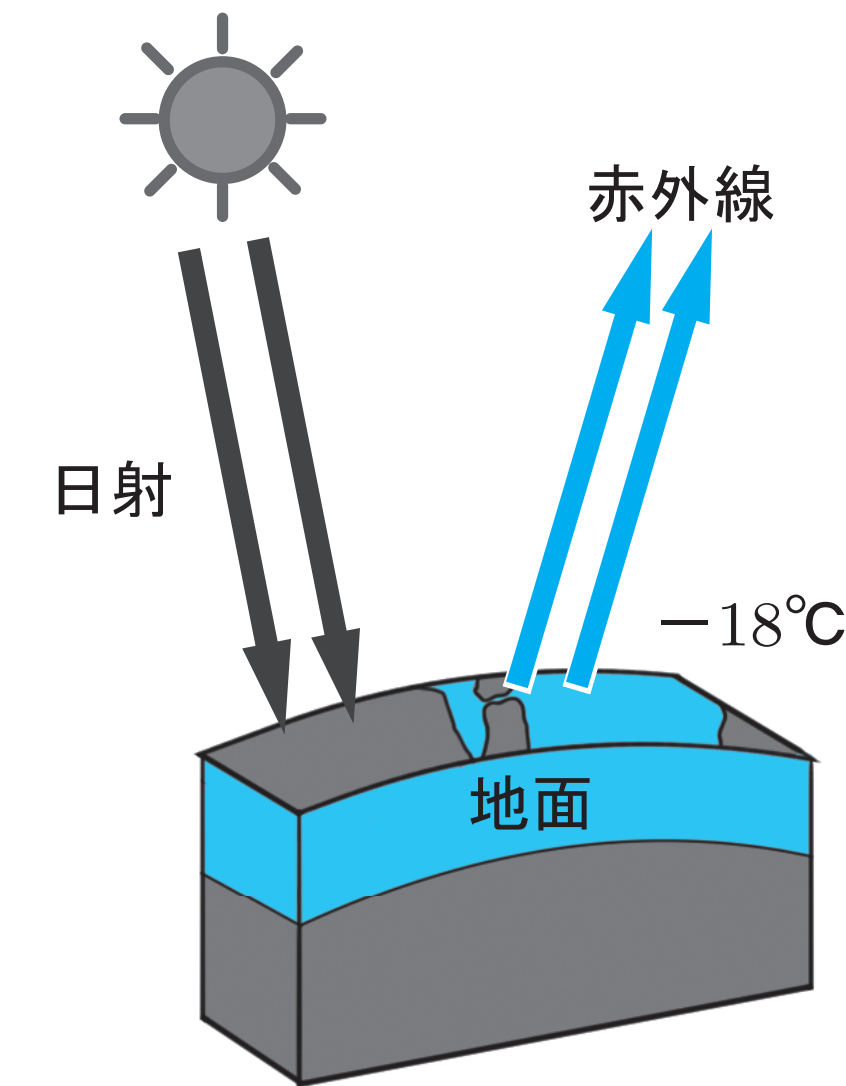


温室効果ガス

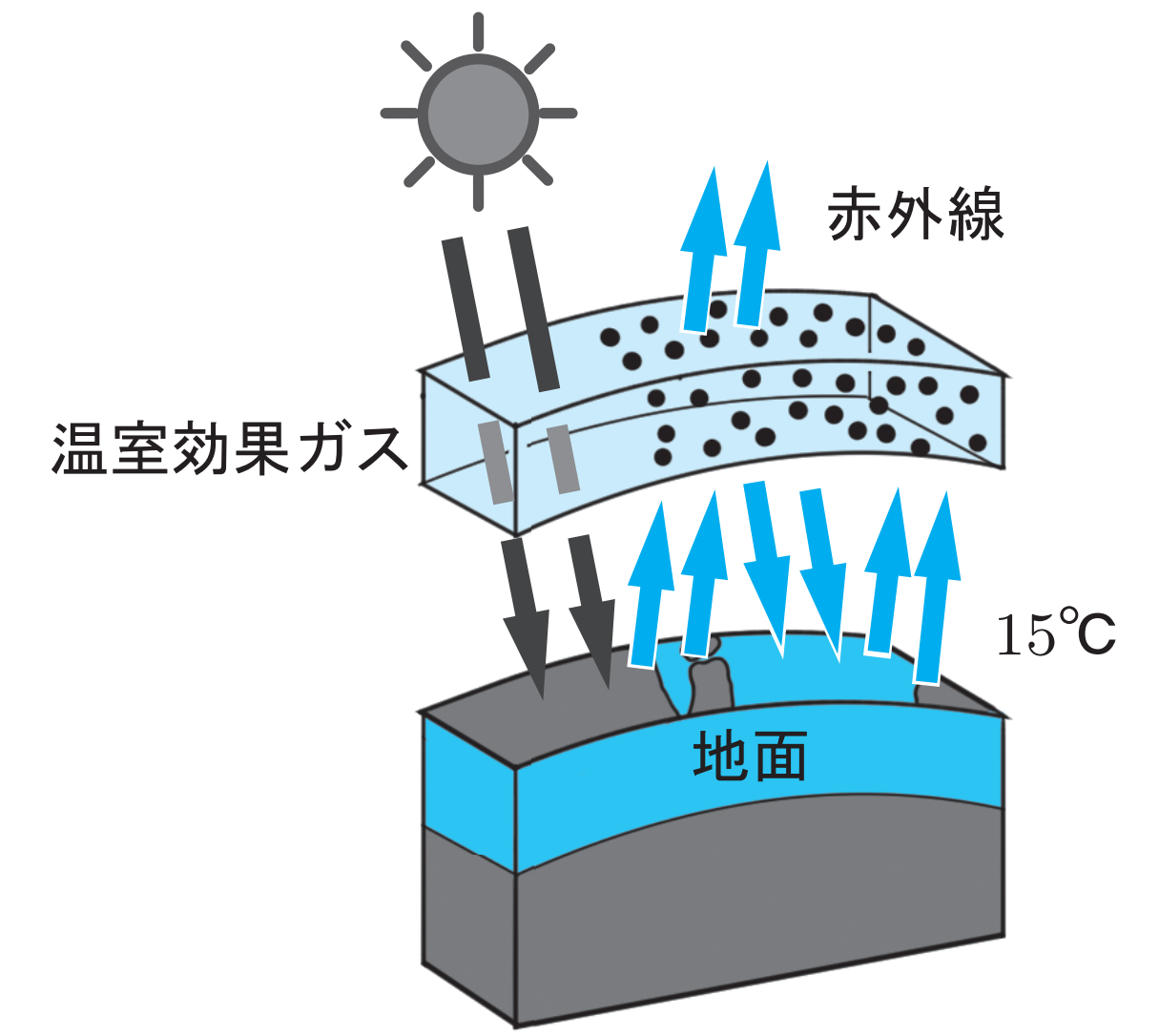
Topic 温室効果ガスの役割

太陽から地球に熱が届くのは、放射による。地面や海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、太陽からの熱が当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

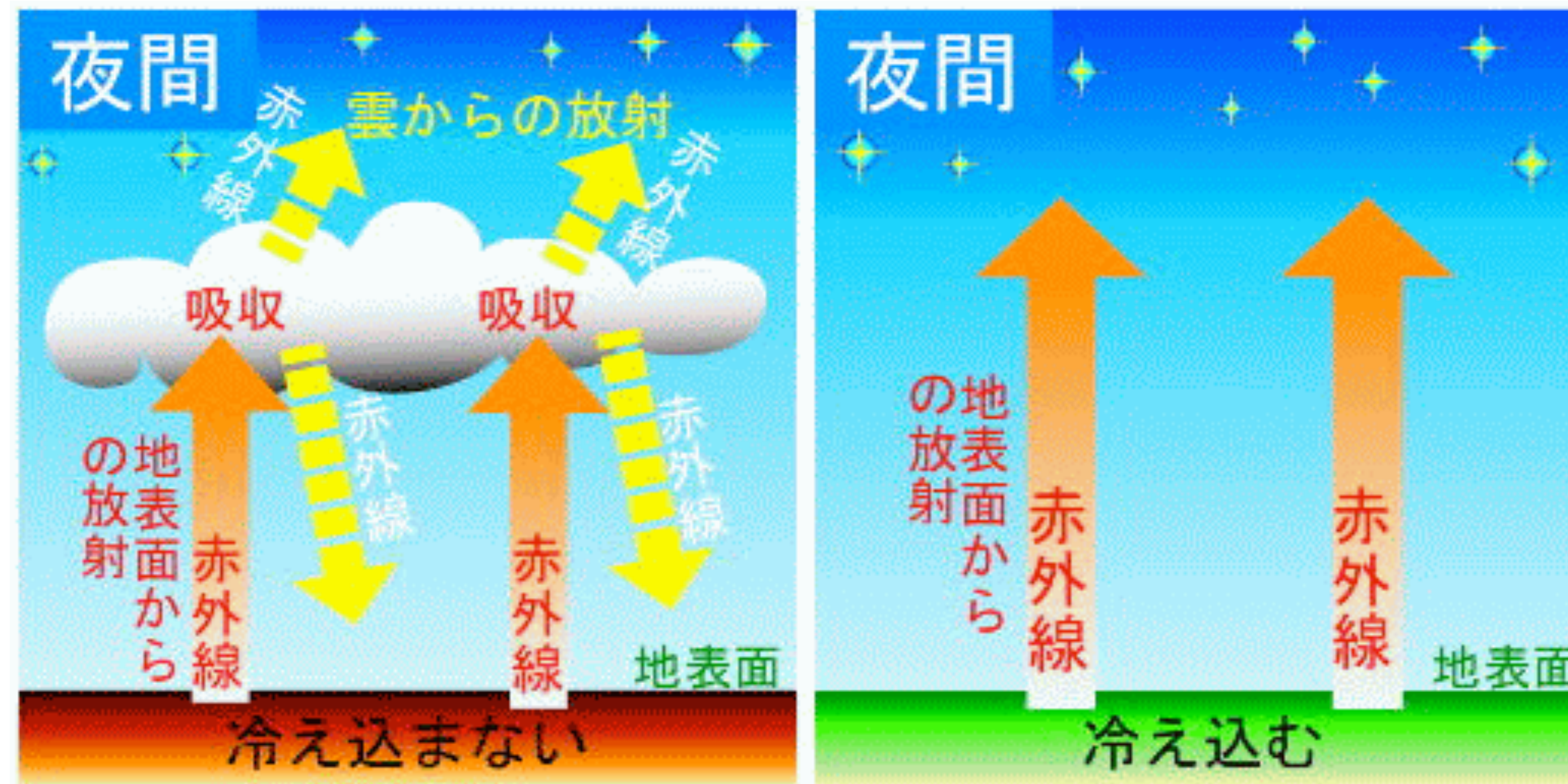


(b) 温室効果ガスがある場合

温室効果ガスがなければ、
地表の温度は、 -18 度

放射冷却

雲がないと夜明けは冷える



前回のミニツツパーから

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。



「速くなる」説 7名

セーターに雪がしみこむ

-2 速くなる、セーターに雪がしみこんで溶けるから

あたためられる 風を防ぐ

セーターで保温されて速くなる

[7-2] 速くなる。
セーターであたためられるから。

速くなる 風を防ぐから

速くなる 風を防ぐから

学籍番号 ー
氏名 ー
セーターと雪がくっついてる
ためにセーターの熱が
伝導で雪に伝わり、早くとけてしまう。と思う。

速くなる セーターを着るとあたためられるから。

前回のミニッツペーパーから

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。



「遅くなる」説 多数

内部の温度が保たれる 断熱作用で雪が保温される

遅くなる。セーターは熱を通しにくく、断熱材のようになるから。

冷たい温度が保持される。

遅くなる。セーターの中で温度が保たれる。セーターの中の温度は変わらないから。着せずに少しでも暖かい外気に接している方が早く溶ける。↑車とか。

遅くなる。外からの空気や太陽の光の軽減させて、熱が雪に伝わりづらくすると思うから。

遅くなる。セーターを着ることによってセーターの外気温から守られるから。

外気と接触が減る、日光が当たらなくなる

融けるのは遅くなる。空気に接する部分が少なくなるから。

熱が伝わりにくくなる

セーターを着せると融けるのは遅くなる。セーターが熱を通しにくくて、冬の暖かい空気が雪に伝わりにくくなるから。

雪だるまにセーターを着せると、外からの熱が雪に伝わりにくくなる。雪は融けにくくなる。

遅くなる。外の熱が雪だるまに伝わりにくくなるから。

遅くなる。セーターが熱を通しにくく、雪が溶けにくくなるため。

遅くなる。外の熱が雪だるまに伝わりづらくするため。

雪だるまにセーターを着せると、融けるのは遅くなる。理由は、セーターは断熱材だから。(熱を伝えにくくするため) セーターは外の熱を中に伝えにくく、内部の冷たさを保つ働きをする。

遅くなる。直接日光が当たるのを避けられるから。

(7-2) 遅くなる。雪だるまが外気の熱を受けにくくなるため。

空気に触れれば熱を通しにくいので、とけるのは遅くなる。

遅くなる。熱が伝わりにくくなるから。

遅くなる。日光を防げるから、直射している人が減るので遅くなる。

おそくなる。熱が伝わりにくくなるから。

おそくなる。外の暖かい空気や太陽の熱が雪に伝わりづらくするから。

天気によると思う。セーターには温めたり温かさを保つ効果がある。速いと思うが外からの暖かい空気を遮断すると思う。

前回のミニッツペーパーから

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。

「セーターの色による」説



速くなると思う。

セーターの色にもよると思うけど、太陽の光を吸収して、
中があたたかくなると思うから。セーターは保温効果もある
と思うから、1度あたたかくなったら冷めにくいと思う。

黒い服を着ると、夏に暑く感じるのは本当ですか。
また、なぜ黒色なのか。
(冬に黒い服を着ると、寒さ対策になるのでしょうか。)
逆に、寒く感じる色って何ですか。白色ですか。

黒は熱を吸収しやすい、白は反射しやすい色

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。

雪が降ったら実験しよう

雪だるま自体には暖かさはないためセーターを着せたところで溶けるのは速くはない。むしろセーターを着ると太陽からの光を直接受ける面積が減るため溶けるのは遅くなる。（ただしマフラーの色によっては溶けるのが速くなってしまう気がします。）



「保冷効果で遅くなる」という意見が多かったが、実際には「太陽からの放射熱を受けなくなるので、遅くなる」と思われます。ただし、黒いセーターでは逆に熱を吸収するので「速い」と思われます。

セーター、マフラー、ブーツの中で人間が（着た）たかいと感じ
つづいては、防寒具（は）れでか？



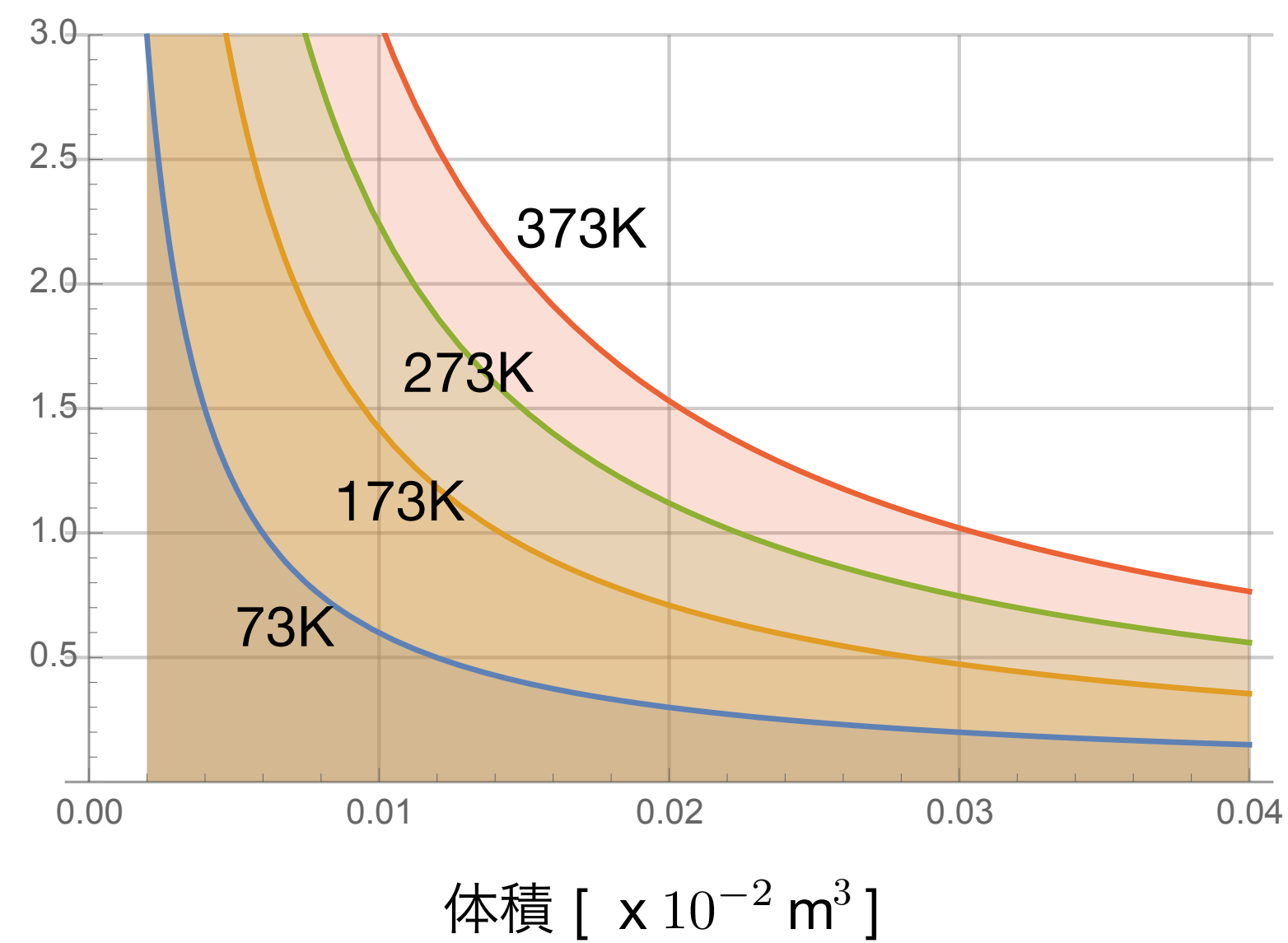
ボイルの法則

- 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．

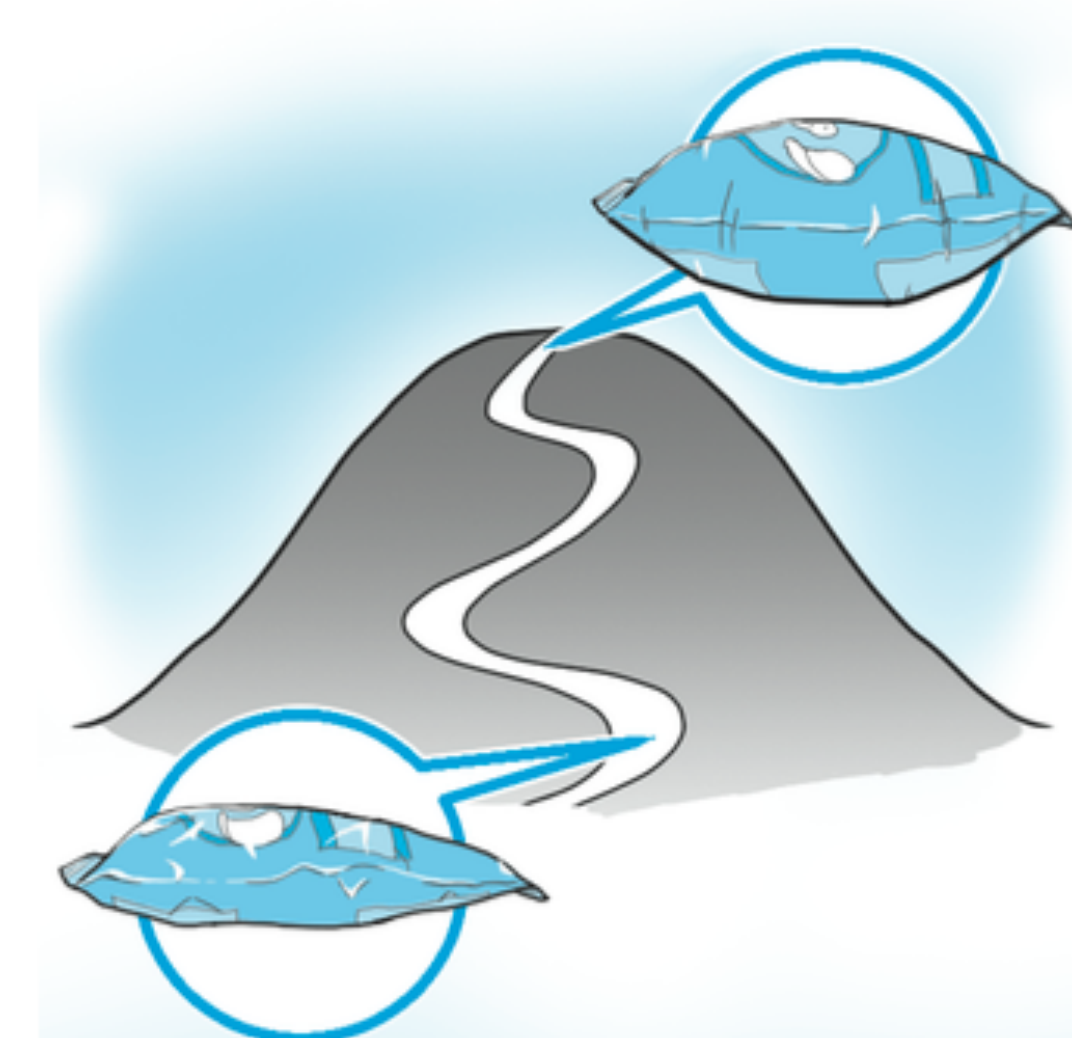
$$PV = \text{一定}$$

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．

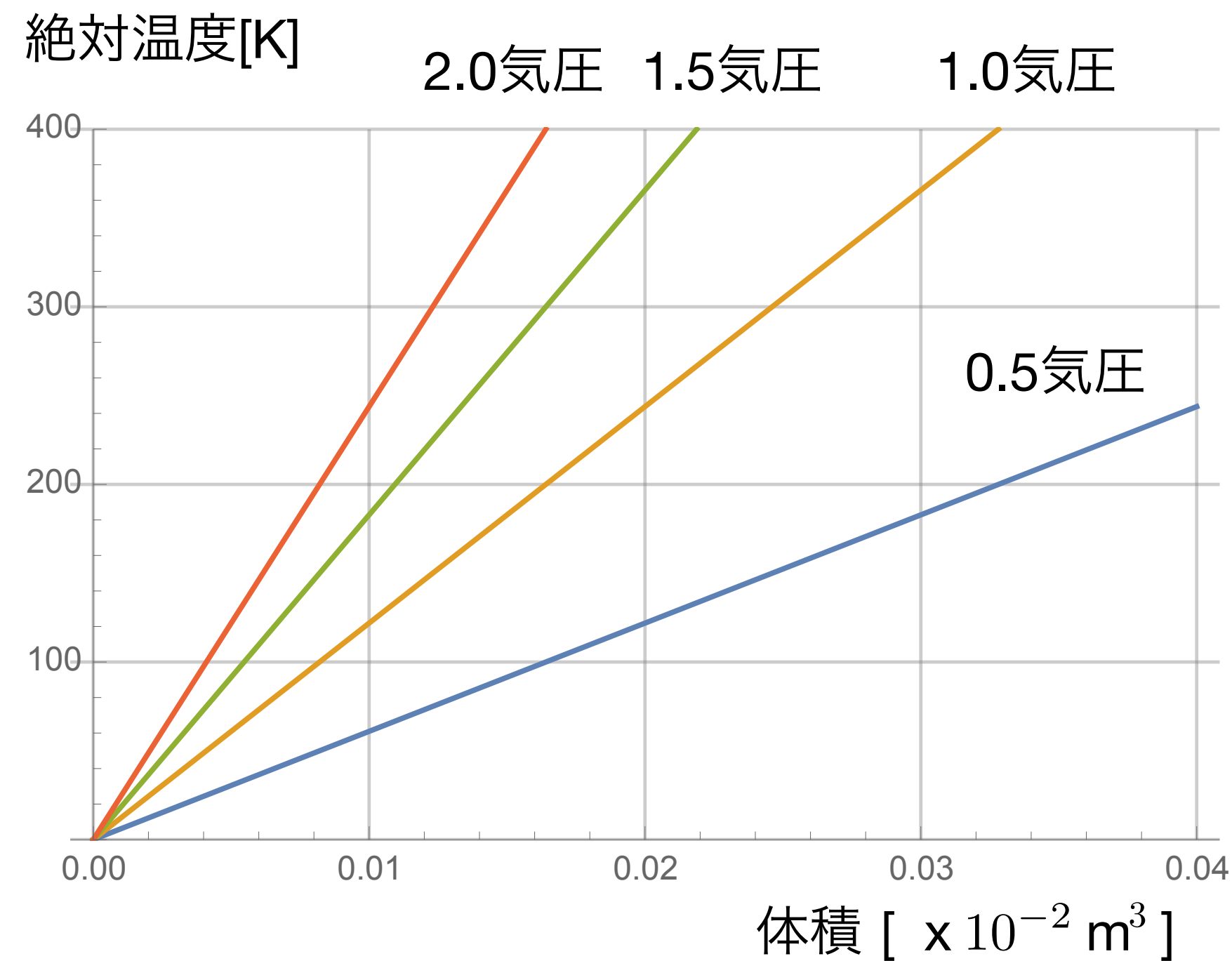


シャルルの法則

- シャルルの法則

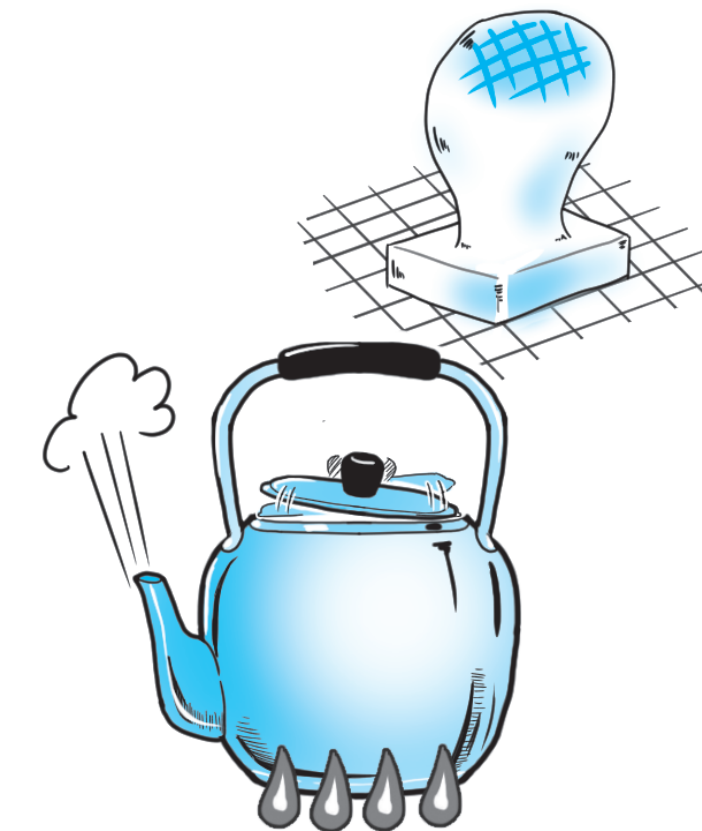
圧力を一定にすると、気体の体積 V は、絶対温度 T に比例する。

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$



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)

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

- **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、

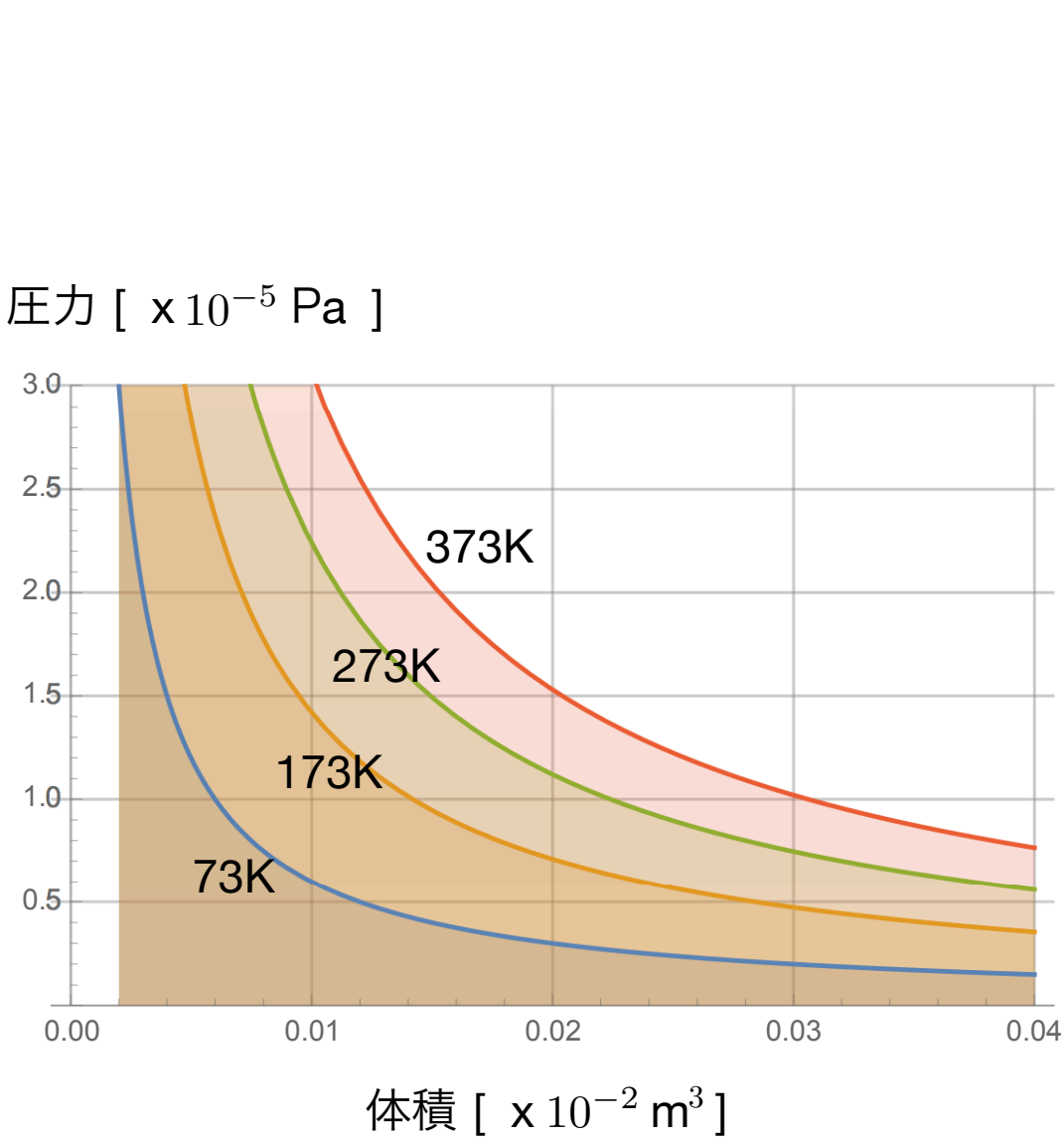
- **理想気体の状態方程式** (equation of state for ideal gas)

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

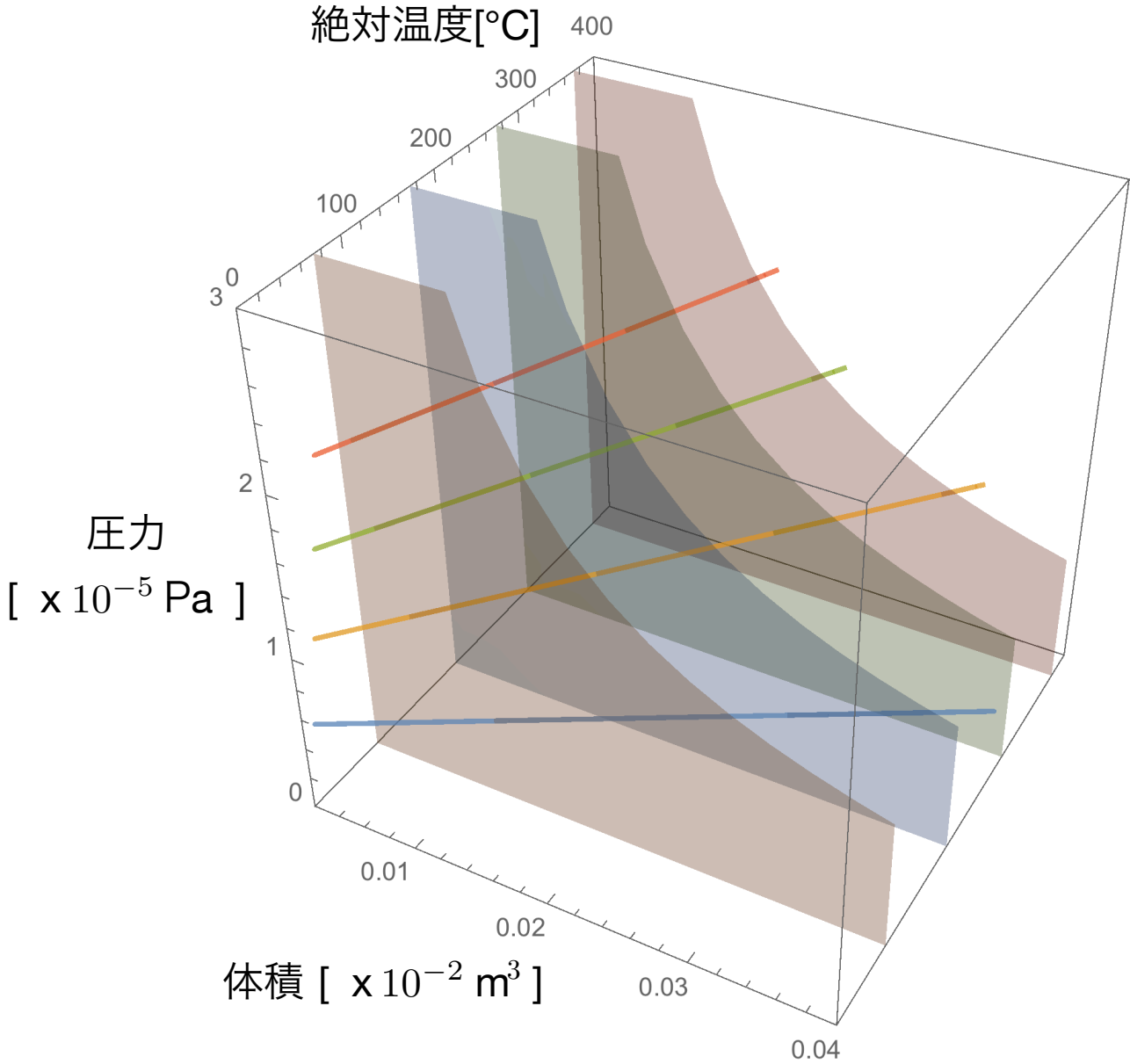
● ボイル・シャルルの法則

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

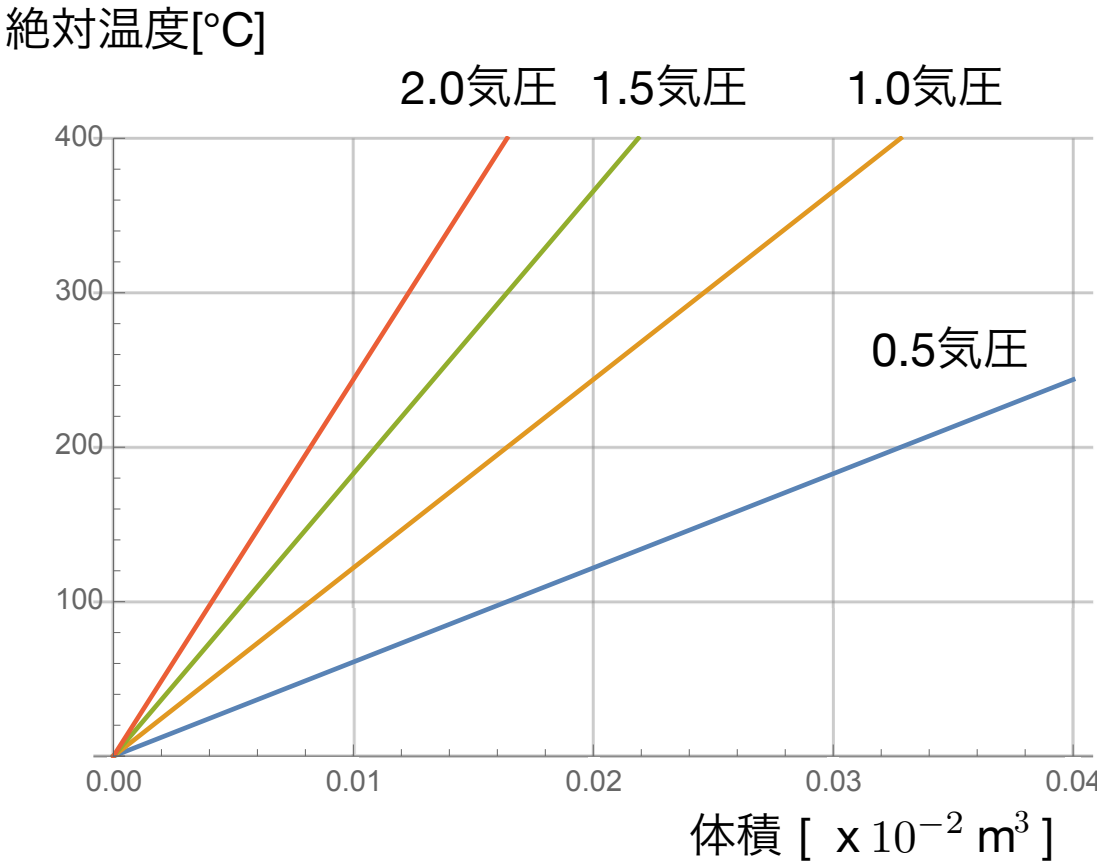
(4.19)



(a) PVグラフ



(b) PVTグラフ



(c) TVグラフ

物理
II

CD-rom

44

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

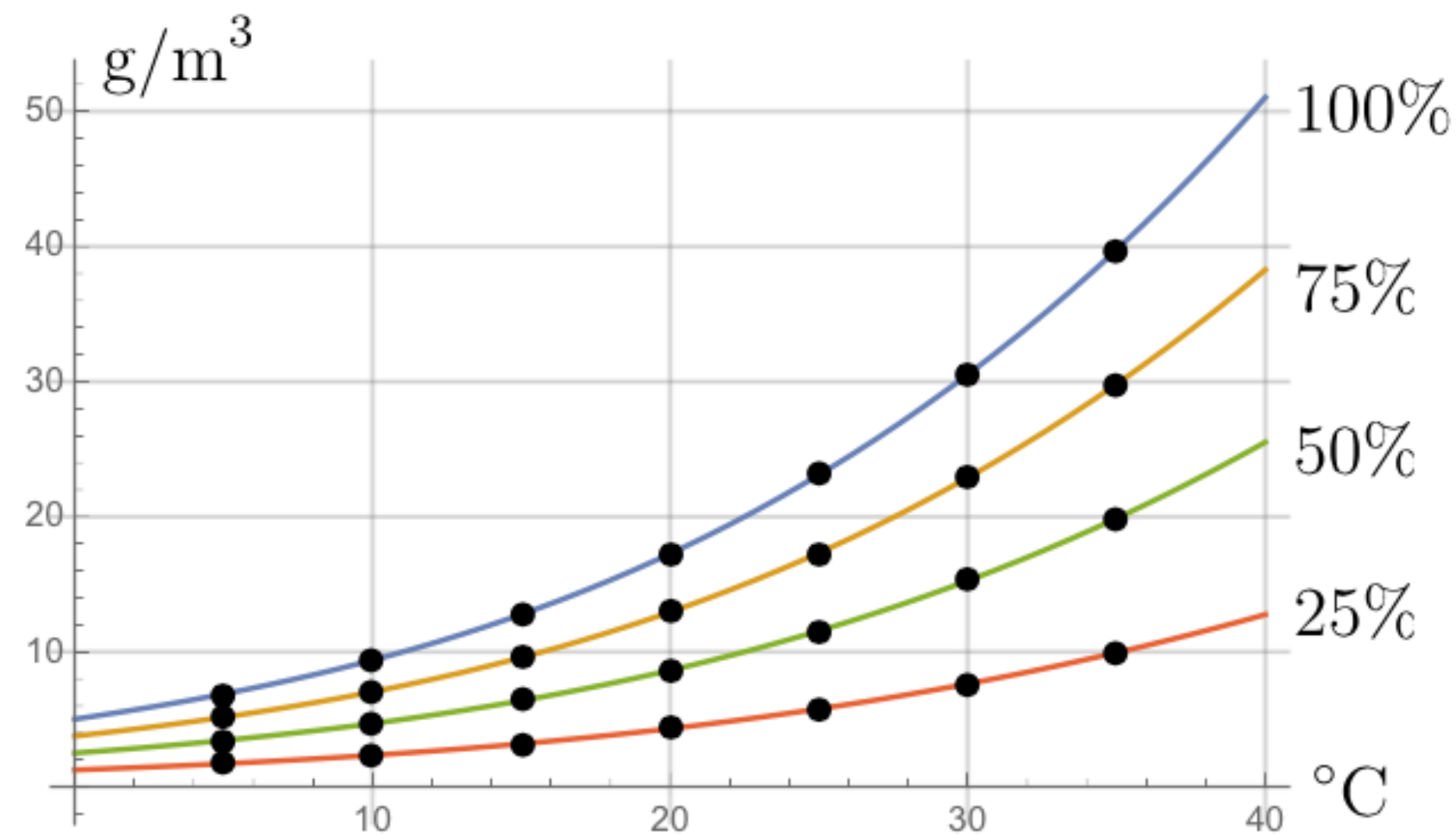


図 4.20 飽和水蒸気量 (図の 100% の線) の温度変化の様子。

コラム 24 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値といわれるが，気温 T と湿度 H をもとにして，露点温度 T_0 を計算し，

$$\text{不快指数 } D = 0.72(T + T_0) + 40.6 \quad (4.10)$$

として計算する値だという．だが，この値は，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．

最近では天気予報会社が付加価値を出すために「洗濯指数」，「お出かけ指数」，「ビール指数」，「鍋ものの指数」，「のど飴指数」など，さまざまな数値を予報して出している．各社が，気温，湿度，風速，日射量などをもとに独自に計算しているもので，詳細な計算方法はほとんど公開されていない．

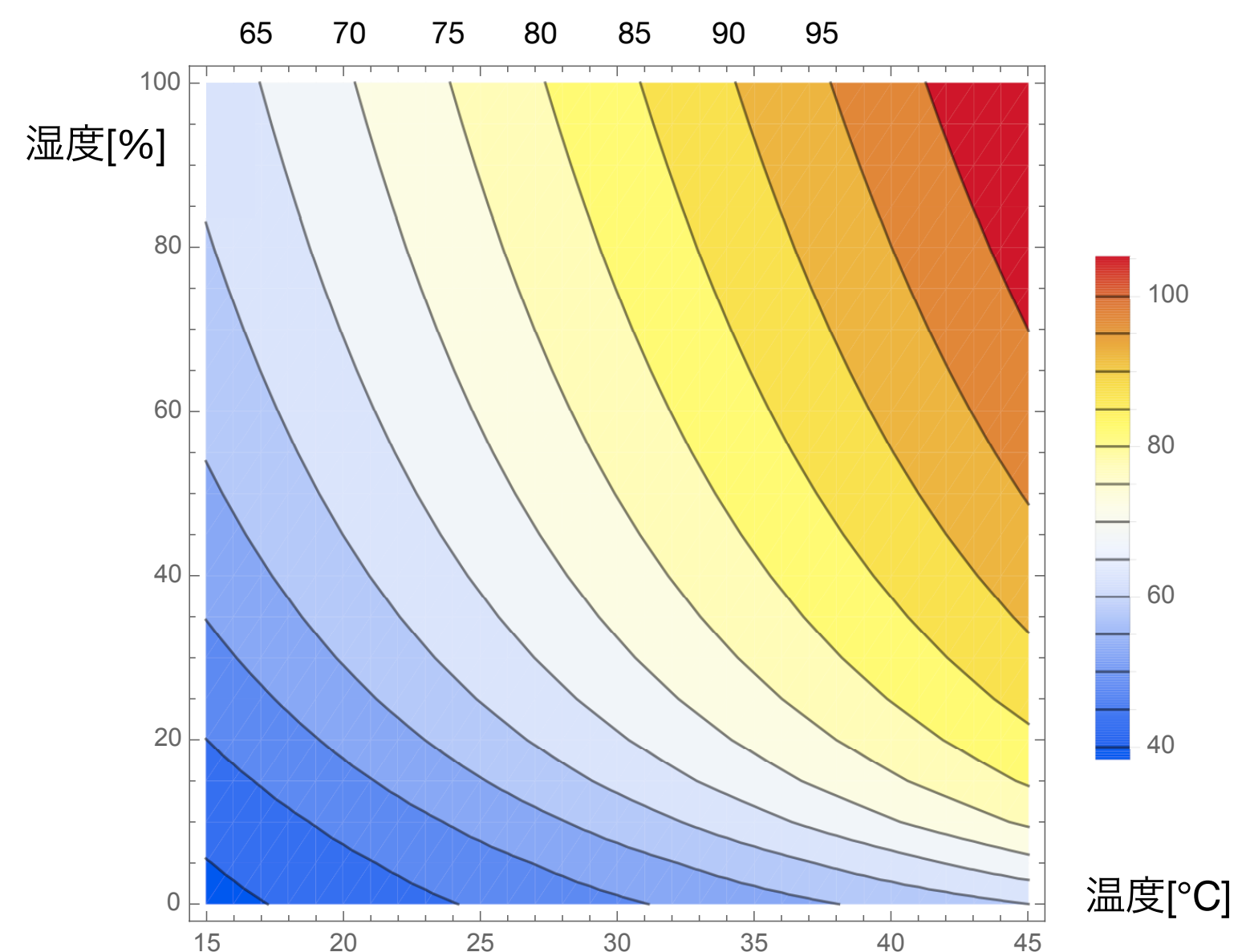


図 4.24 温度と湿度から不快指数を読み取る図 70 以上で一部の人が，75 以上で約半数，80 以上ではほぼ全員が不快と感じ，85 以上で全員が苦痛を感じるという．

I. 冷蔵庫でものが冷える理由

I II III

1. 冷蔵庫の仕組み2. 圧力と状態変化



冷蔵庫の仕組み

⏮ ⏪ ⏸ ⏩ ⏭

🖨 印刷

I. 冷蔵庫でものが冷える理由

I

II

III

1. 冷蔵庫の仕組み

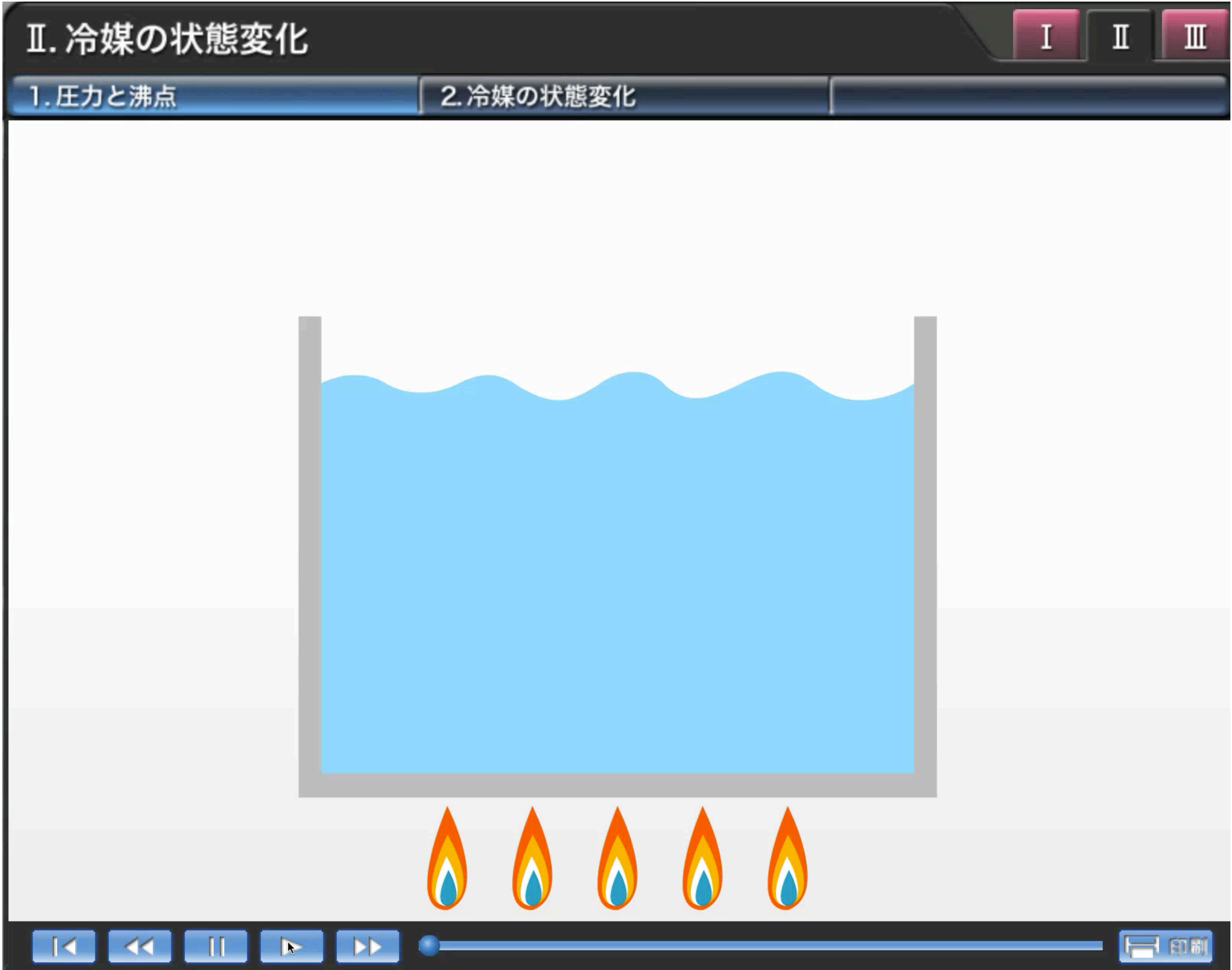
2. 圧力と状態変化



冷蔵庫の仕組み

⏮ ⏪ ⏸ ⏩ ⏭

🖨 印刷



Ⅲ. 冷蔵庫の不思議

I II III

1. 冷蔵庫はなぜ乾燥するか

°C

飽和水蒸気量

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

水
気体

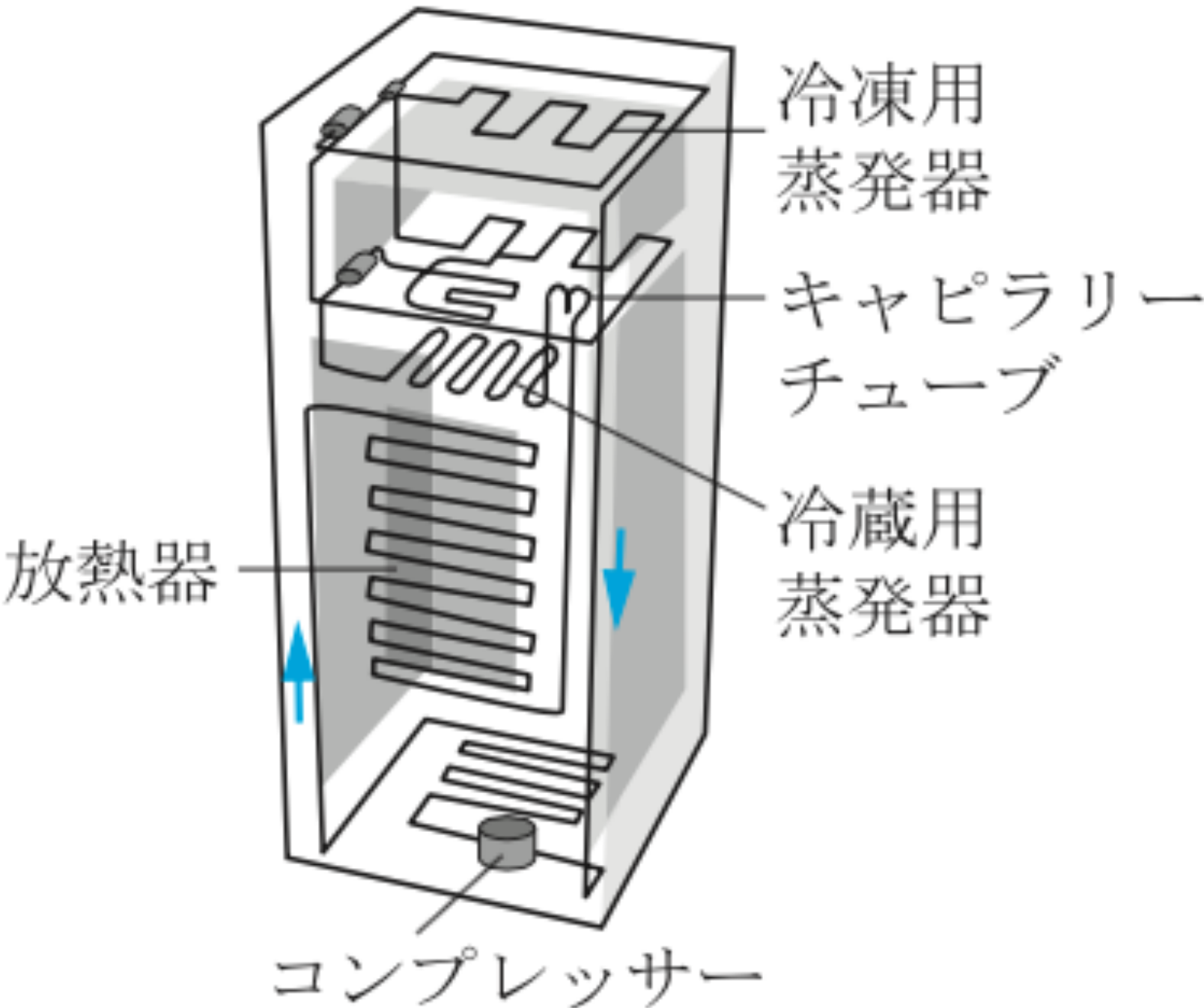
◀ ◀ ▶ ▶

⏮ ⏪ ⏩ ⏭

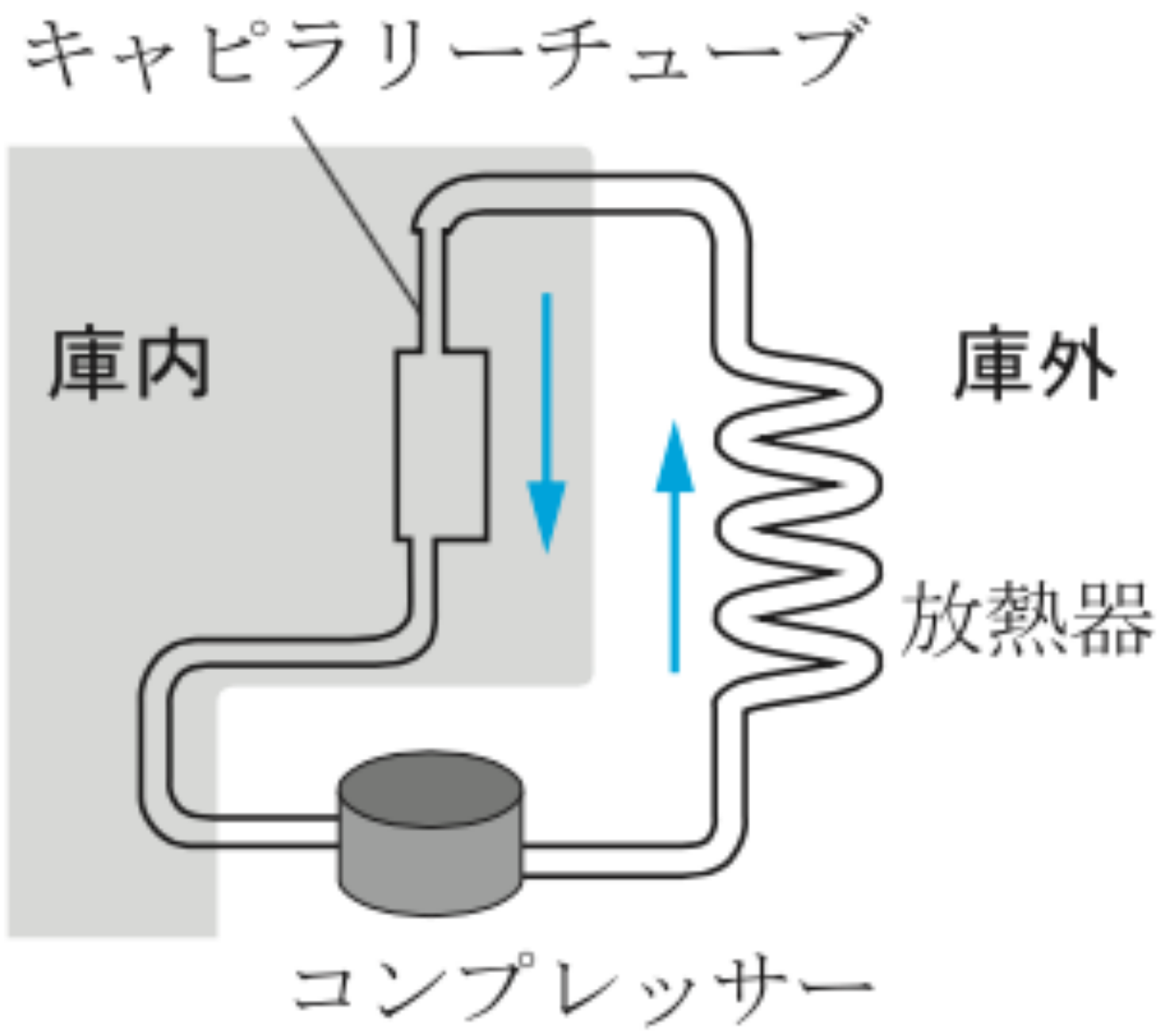
⏴ ⏵

🔍

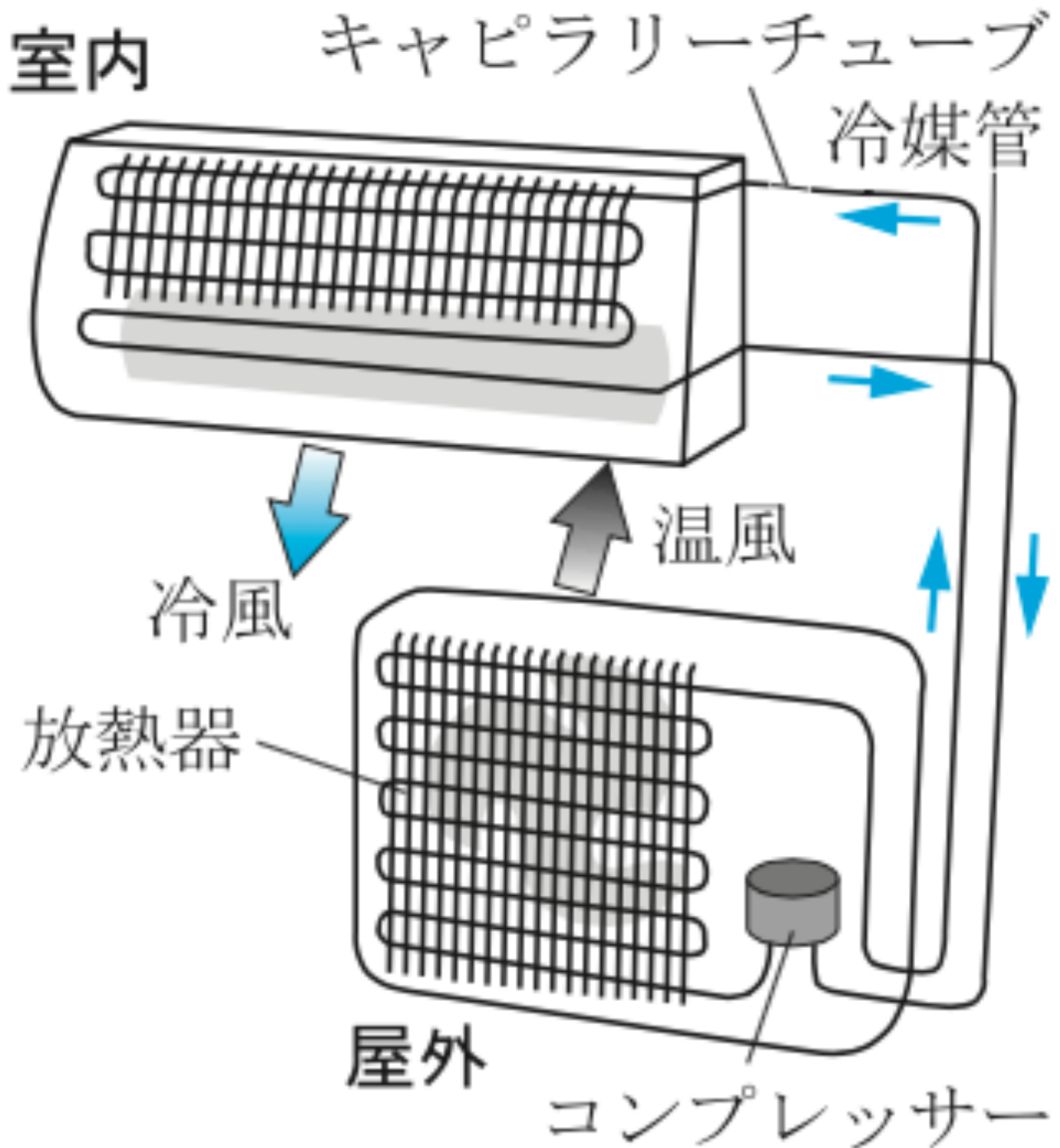
🖨 印刷



(a) 冷蔵庫のしくみ



(b) 冷蔵庫を循環する冷媒の経路



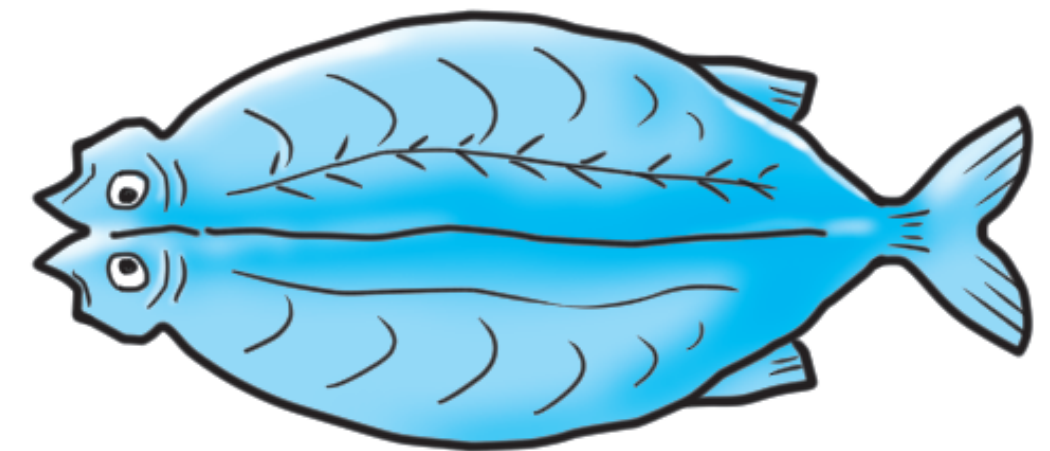
(c) エアコンのしくみ

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

ジュールの実験

ジュールの実験

ジュールは、おもりが下降することによる位置エネルギーの差が、水を攪拌する仕事に変わり、水の温度を上昇させることを実験で示した。これは、「温度の上昇が、エネルギーの増加と同じ」ことを意味していた。

●仕事による熱の発生



回転する木の棒の先端と、下の木の間の摩擦により、木は削れ、摩擦熱が発生する。こげて黒くなった木屑には種火がとる。

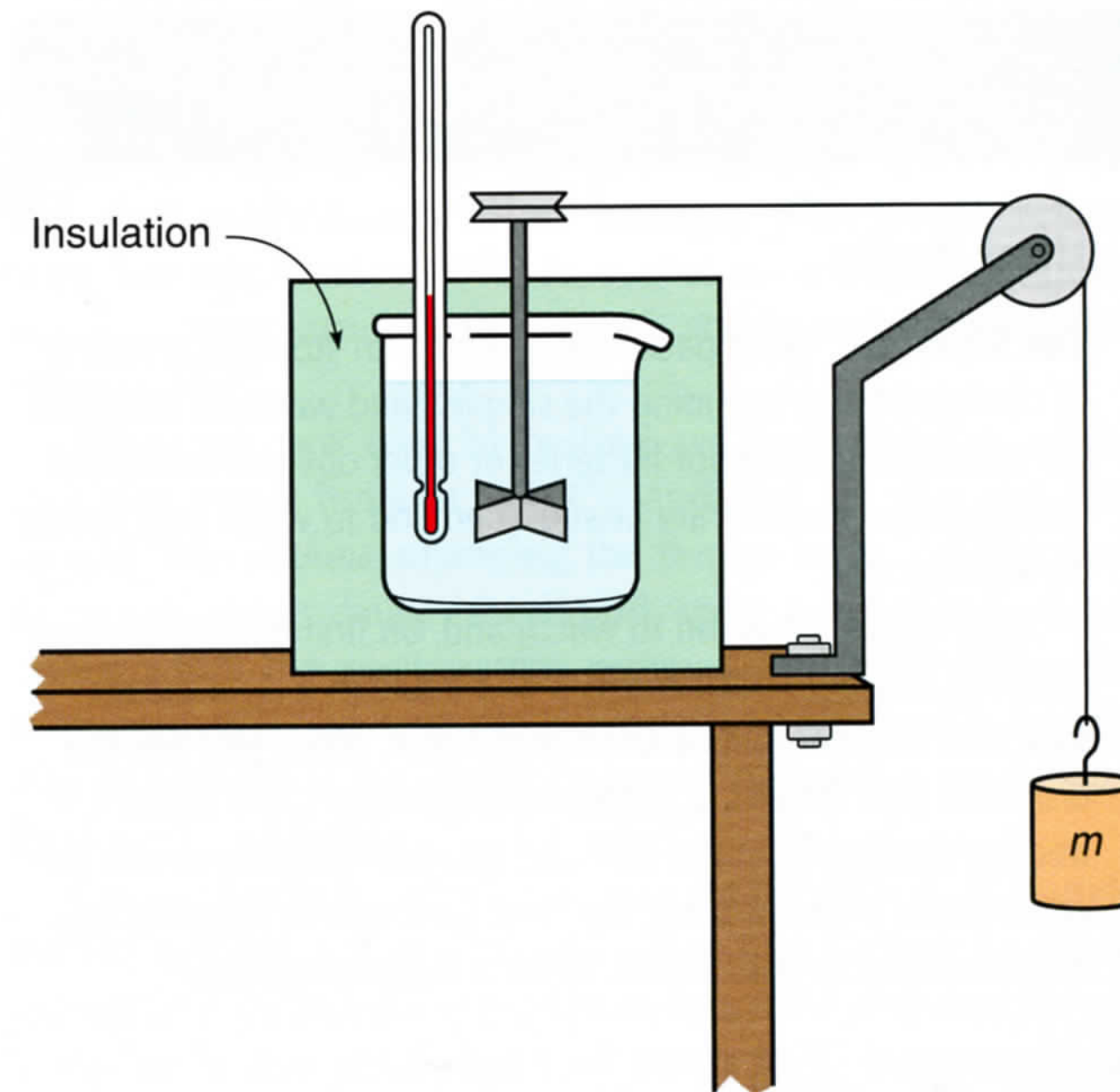
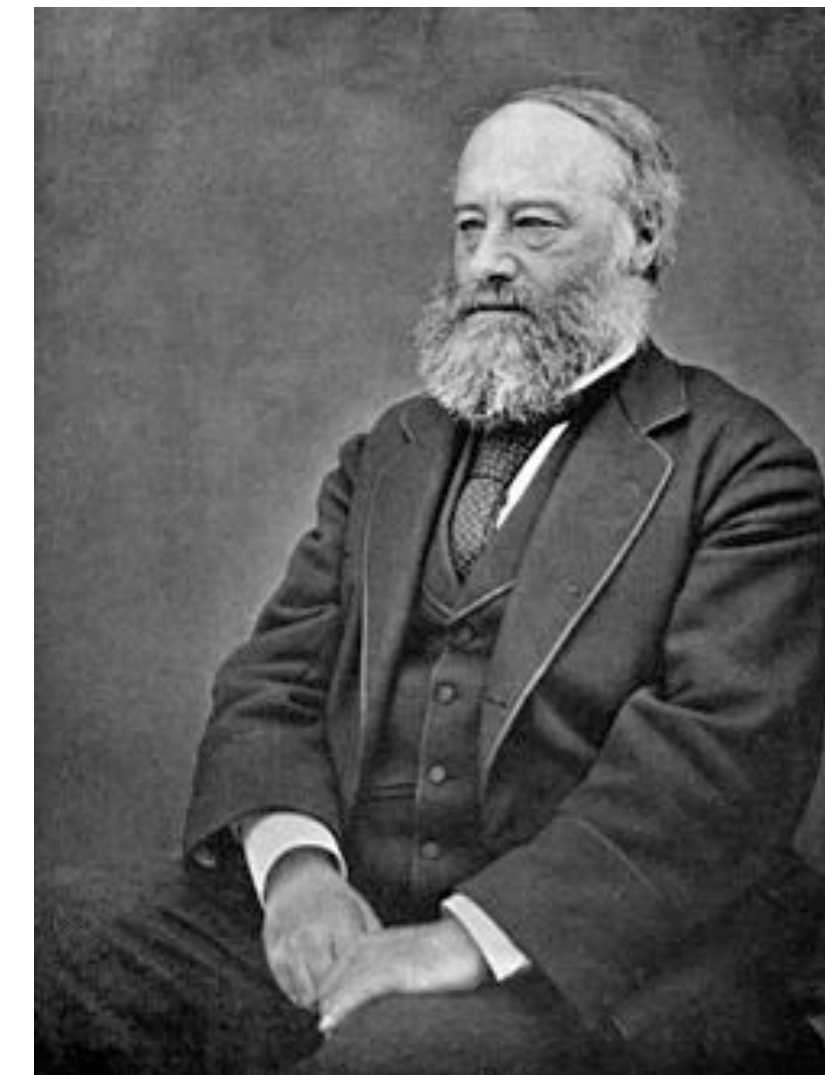


figure 10.12 A falling mass turns a paddle in an insulated beaker of water in this schematic representation of Joule's apparatus for measuring the temperature increase produced by doing mechanical work on a system.



James Prescott Joule
(1818-1889)

1845年、力学的エネルギーが熱に変換されることを示した。

実験 16 振り回してお湯をつくろう

携帯用魔法瓶に水を少量だけ入れて数分間激しく振ると、温度が上がることを実験してみよう（体温が水温を上げないように、魔法瓶で行う）。力学的な運動を熱に変えるのは、火おこしも同じである。木くずを連続的にこすり合わせることで生じる摩擦熱を利用している。釘を金づちで打つと熱くなるのも同じ原理だ。

☆ ジュールの実験で水をかきまぜると温度が上がるって言うんだけど、
あつあつのスープをスプーンでまぜると冷めてくる気がするのよ
なぜですか？ あれは逆効果ですか？

Topic スープを攪拌すると温度が下がる

ジュールは、水を攪拌して温度が上がることを示した。この話を講義でした後で、学生から「スープをスプーンでかきまぜると温度が下がるのですが…」と質問された（汗）。確かに熱いスープを冷ますにはなるべく外気と接するように攪拌するのがよい。ジュールが示したのは、外気で冷めるよりもエネルギーを多量に加えれば、温度が上昇するということだ。

エネルギーの単位 [J] (ジュール)

位置エネルギー mgh

$$mgh = 1[\text{kg}] \cdot 9.8[\text{m/s}^2] \cdot 1[\text{m}] = 9.8[\text{Nm}] = 9.8[\text{J}]$$

1 [g]の水の温度を1度上げるのに必要な熱量=1 [cal]

法則 熱の仕事当量

力学的なエネルギーは熱に変換できる．換算係数は熱の仕事当量とよばれ，次の関係になる．

$$1 \text{ cal} = 4.2 \text{ J} \tag{4.11}$$

基礎代謝エネルギー

(人間が1日あたり安静にしているでも使うエネルギー)

	18～29歳	30～49歳	50歳以上
男性	24.0kcal	22.3kcal	21.5kcal
女性	22.1kcal	21.7kcal	20.7kcal

日本人の食事摂取基準2010年版より抜粋

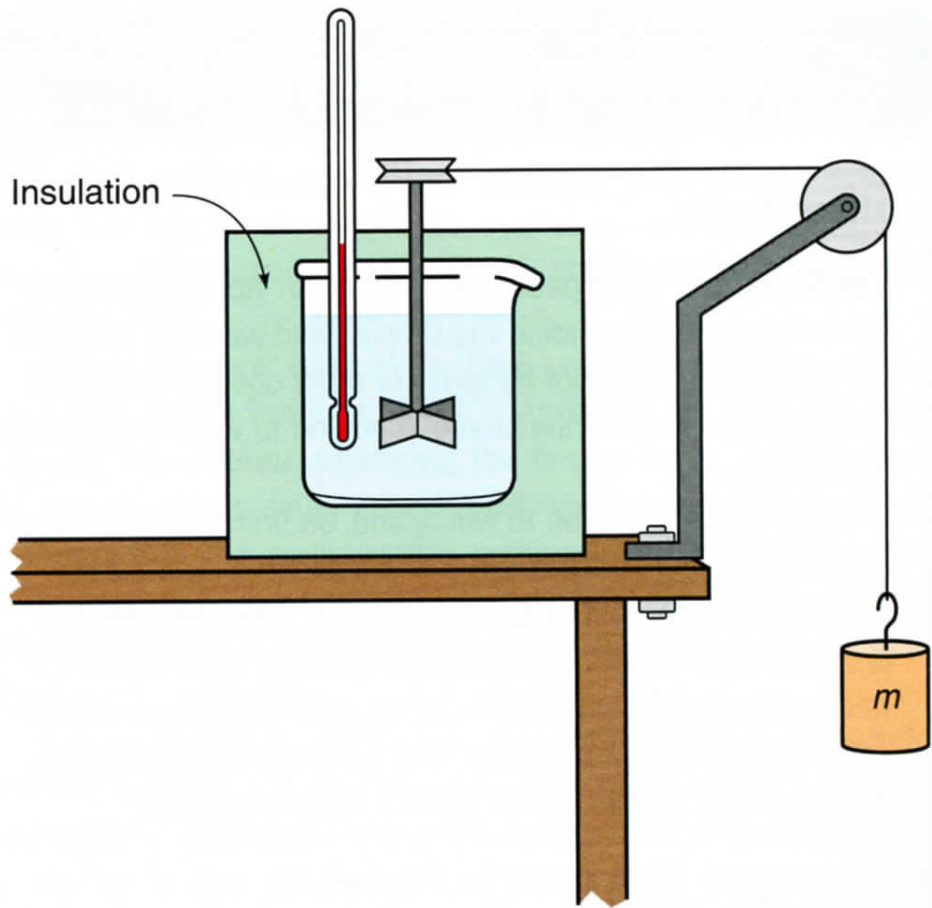


figure 10.12 A falling mass turns a paddle in an insulated beaker of water in this schematic representation of Joule's apparatus for measuring the temperature increase produced by doing mechanical work on a system.

1[g]の水の温度を1度上げるのに必要な熱量=1[cal]=4.2[J]

1 日あたり必要な摂取カロリー（職業種類別）

女性	デスクワーク	立ち仕事	農業、漁業など	建設業など
女性20代	1800kcal	2000kcal	2400kcal	2800kcal
女性30代	1750kcal	2000kcal	2350kcal	2750kcal
女性40代	1700kcal	1950kcal	2300kcal	2700kcal
男性	デスクワーク	立ち仕事	農業、漁業など	建設業など
男性20代	2250kcal	2550kcal	3050kcal	3550kcal
男性30代	2200kcal	2500kcal	3000kcal	3500kcal
男性40代	2150kcal	2400kcal	2900kcal	3400kcal

<http://muuum.com/calorie/1010.html>

- 問題4.15 | 成人女性が1日に摂取するエネルギーは、1800 [kcal] ~ 2200 [kcal] 前後とされる。
2000 [kcal] すべてを使うと、何 [kg] の氷を水に変えることができるか。
- 問題4.16 | 2000 [kcal] すべてを使うと、何 [kg] の水を水蒸気に変えることができるか。
- 問題4.17 | 2000 [kcal] すべてを使うと、何 [kg] の水を10 [°C] 上昇させることができるか。
- 問題4.18 | 2000 [kcal] は、10[kg] の物体を何 [m] 持ち上げるエネルギーに相当するか。

第4章 熱と気体 熱エネルギー

4.1 温度は何で決まるのか

- 温度 = 分子運動の激しさ
- 固体 → 液体, 液体 → 気体 の変化で熱エネルギーが必要
- 伝導, 対流, 放射

4.2 気体の法則, 熱力学の法則

- ボイルの法則, シャルルの法則
- 飽和水蒸気量
- ジュールの実験: 力学的エネルギー → 熱エネルギー

熱力学第1法則

= 熱まで含めたエネルギー保存則

法則 熱力学の第 1 法則

熱はエネルギーの一形態である．力学的エネルギーなど，ほかのエネルギーと交換可能で，エネルギーの総和は一定である．

法則 熱力学の第 1 法則（式表現）

気体に熱を加えると，温度上昇と膨張による外部への仕事に変換される．

$$Q = \Delta U + W \quad (4.12)$$

気体に加えた熱 = 内部エネルギーの増加 + 外部にした仕事

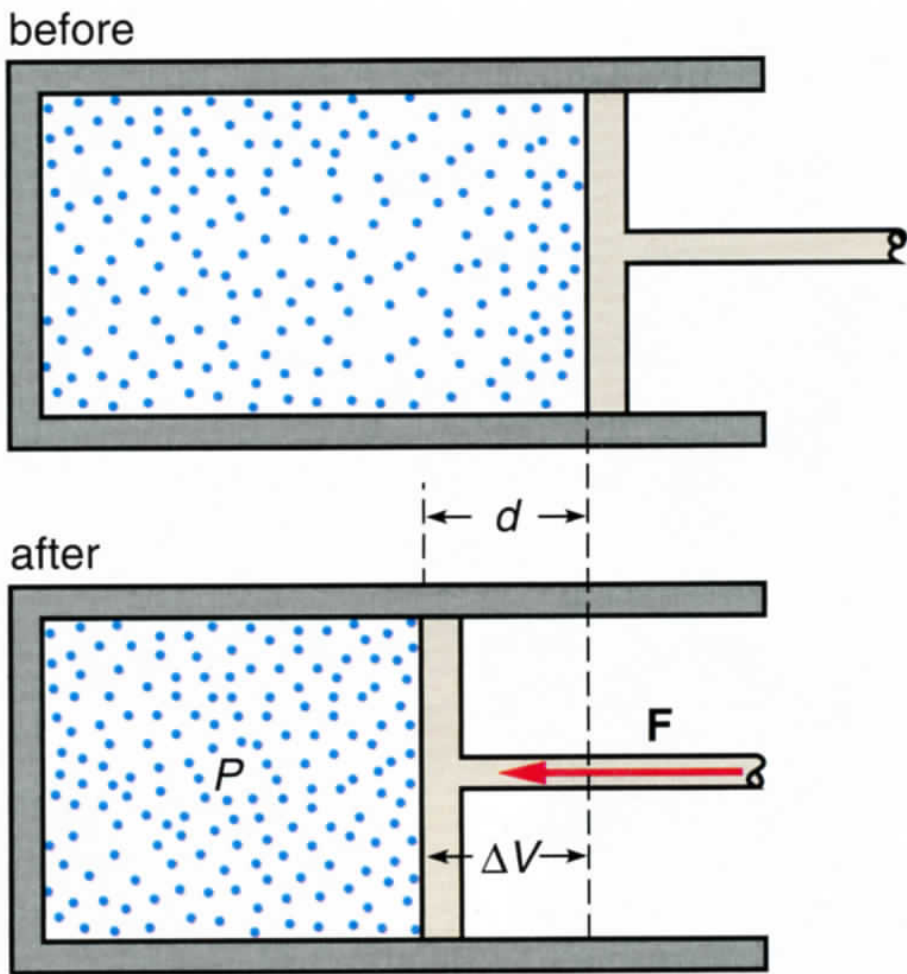
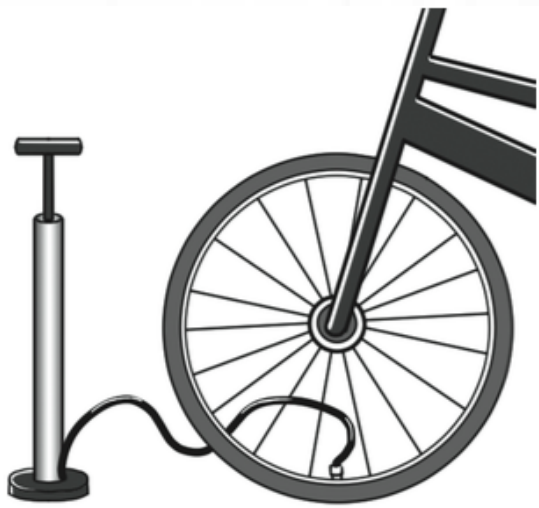


figure 10.15 A movable piston compresses a gas in a cylinder. The magnitude of the work done is $W = Fd = P\Delta V$.

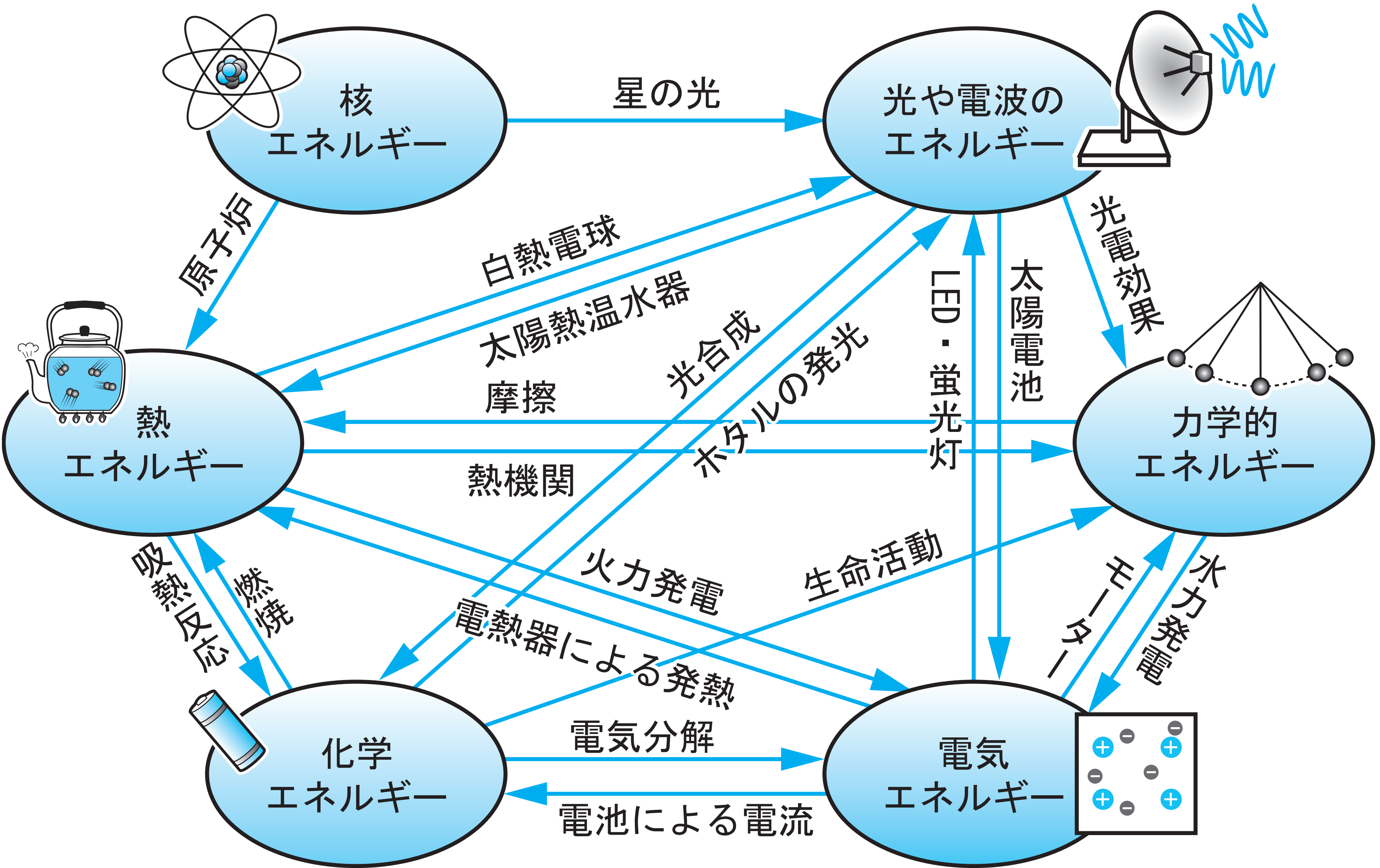


(a) タイヤに空気を入れると空気入れが熱くなる
(気体にした仕事＝正)



(b) スプレーを使うと缶が冷たくなる
(気体にした仕事＝負)

エネルギーは形態を変える

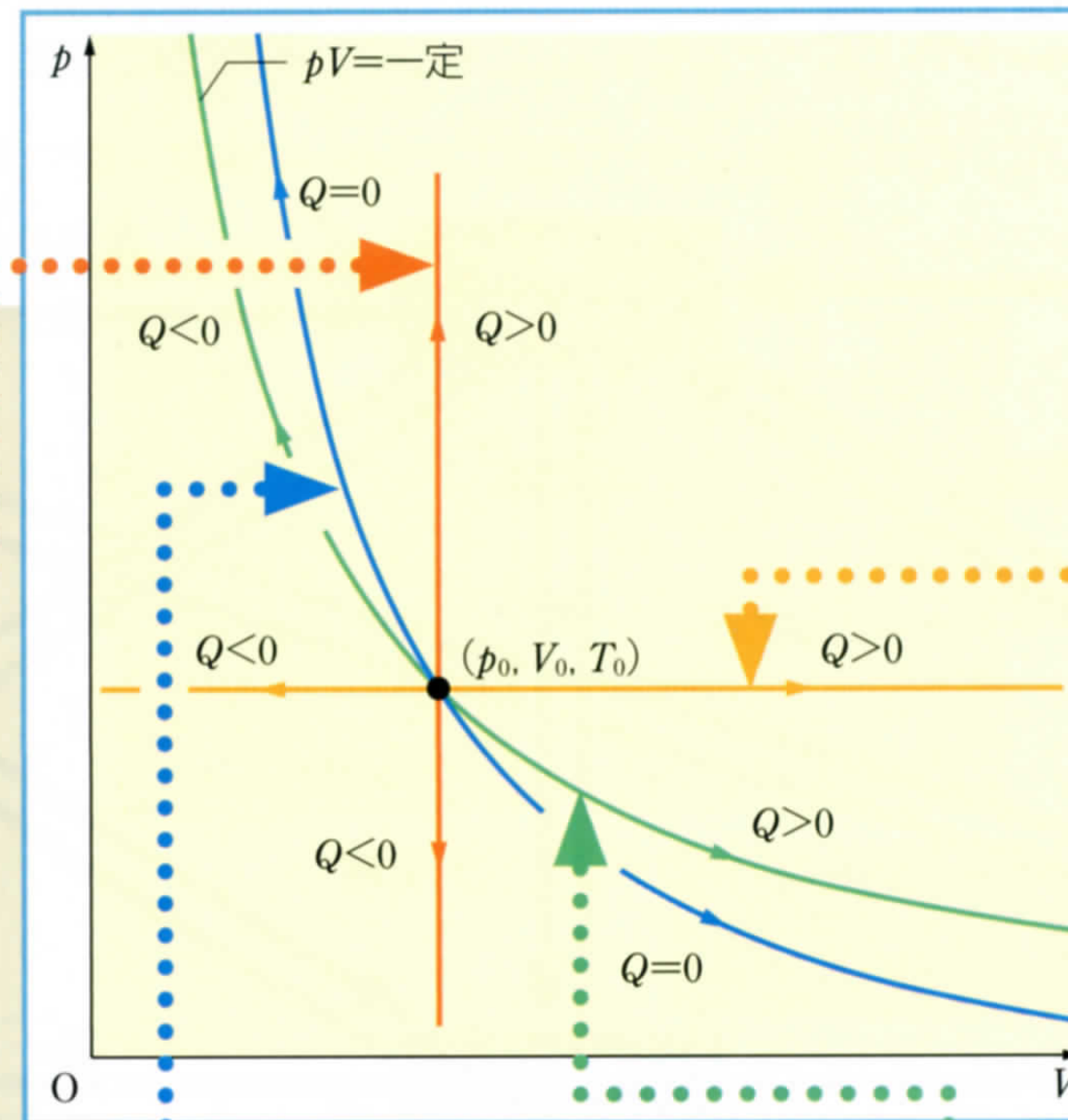


P-V グラフ

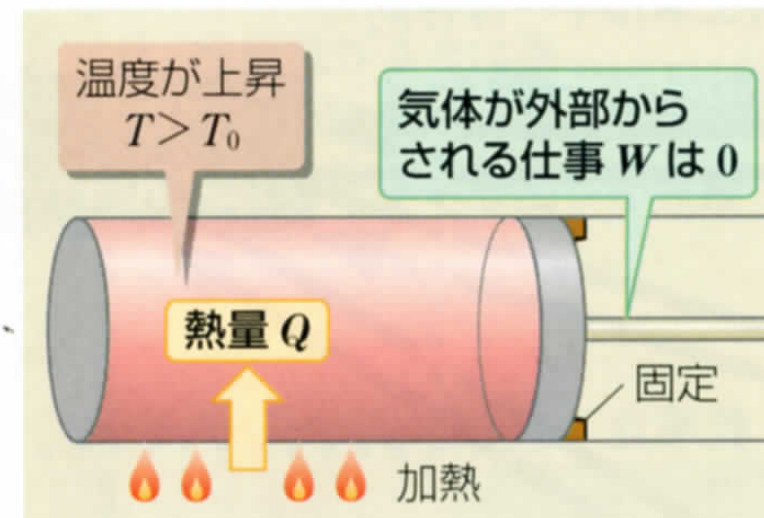
D 気体の状態変化

物 気体は、加熱・冷却や圧縮・膨張を行うと、圧力・体積・温度に変化が現れる。これらの変化は、熱力学第一法則の式($\Delta U = Q + W$)から考えることができる。

理想気体の状態図



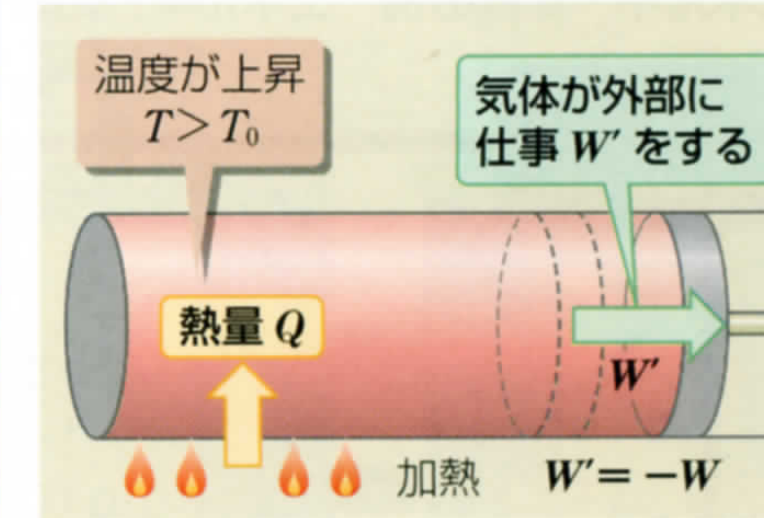
定積変化(等積変化)



体積を一定に保ったまままでの変化。気体は外部から仕事をされないので、与えられた熱量がそのまま内部エネルギーの変化になる。

$$\Delta U = Q \quad (W = 0)$$

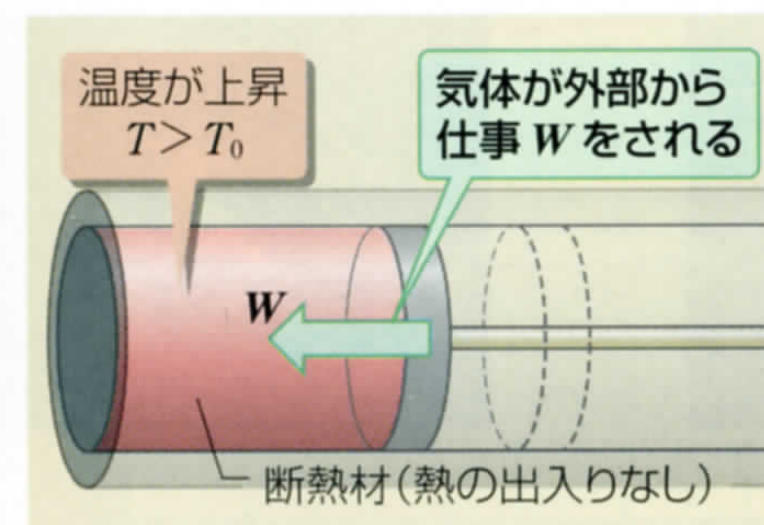
定圧変化(等圧変化)



圧力を一定に保ったまままでの変化。圧力 p のもとで、気体がされた仕事 W は、体積の変化を ΔV とすれば、 $W = -p\Delta V$ と表すことができる。

$$\Delta U = Q - p\Delta V$$

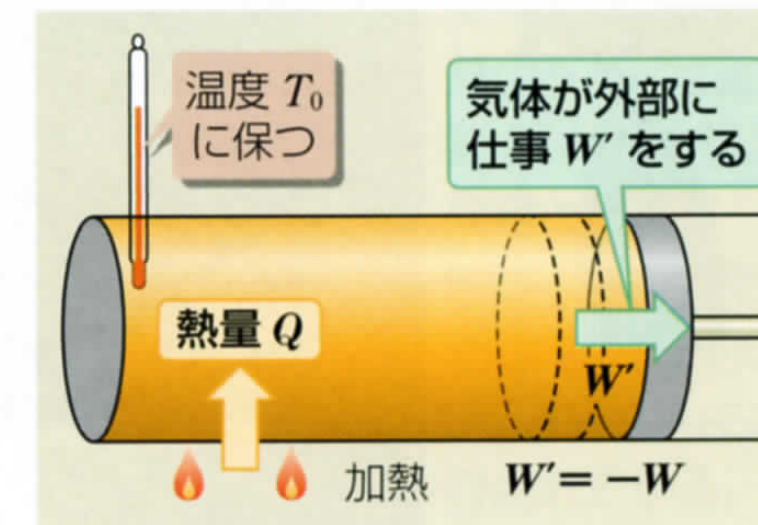
断熱変化



熱の出入りがない状態の変化。気体が外部から仕事をされると、内部エネルギーが変化する。

$$\Delta U = W \quad (Q = 0)$$

等温変化



温度を一定に保ったまままでの変化。内部エネルギーは変化しない。このとき、気体の体積は圧力に反比例する(ボイルの法則)。

$$\Delta U = 0 \quad (Q = -W)$$

- 気体をピストンに密閉し，外部から熱を加えたり，ピストンを押したり引いたりして元の状態にもどすような作業を**熱サイクル**という。

C 熱機関

高温物体から熱を吸収し，その熱の一部を仕事に変換する装置を **熱機関** という。吸収した熱量のうち仕事に変換された割合を **熱効率(熱機関の効率)** といい，これは熱機関の性能を示す指標となる。

熱効率

$$e = \frac{W'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

W' [J] : 熱機関がする仕事
 Q_1 [J] : 高温の物体から吸収する熱量
 Q_2 [J] : 低温の物体へ放出する熱量

($Q_2 = Q_1 - W'$)

● 熱機関の原理図

① 定積変化
熱量 Q_{1-1} を吸収

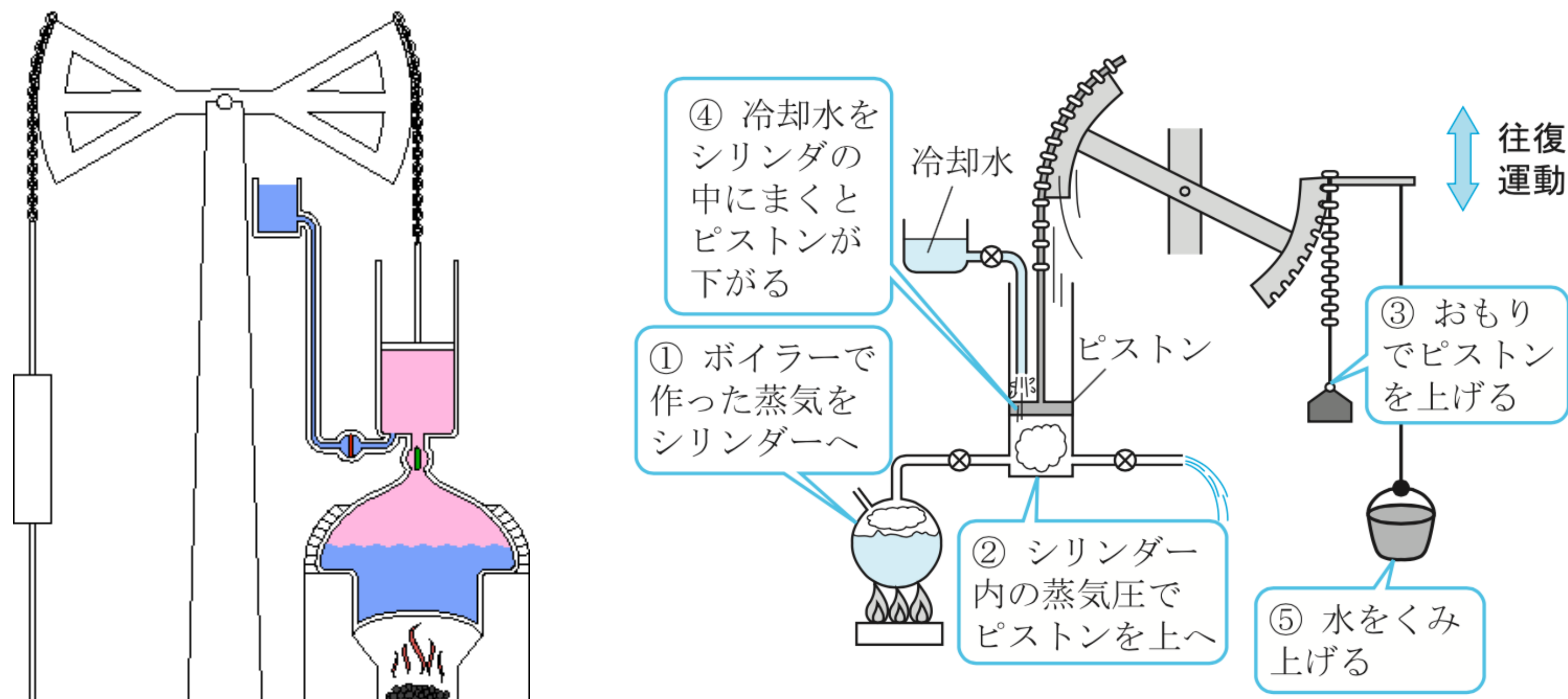
② 定圧変化
熱量 Q_{1-2} を吸収
外部に W_1 の仕事をする

③ 定積変化
熱量 Q_{2-1} を放出

④ 定圧変化
熱量 Q_{2-2} を放出
外部から W_2 の仕事をされる

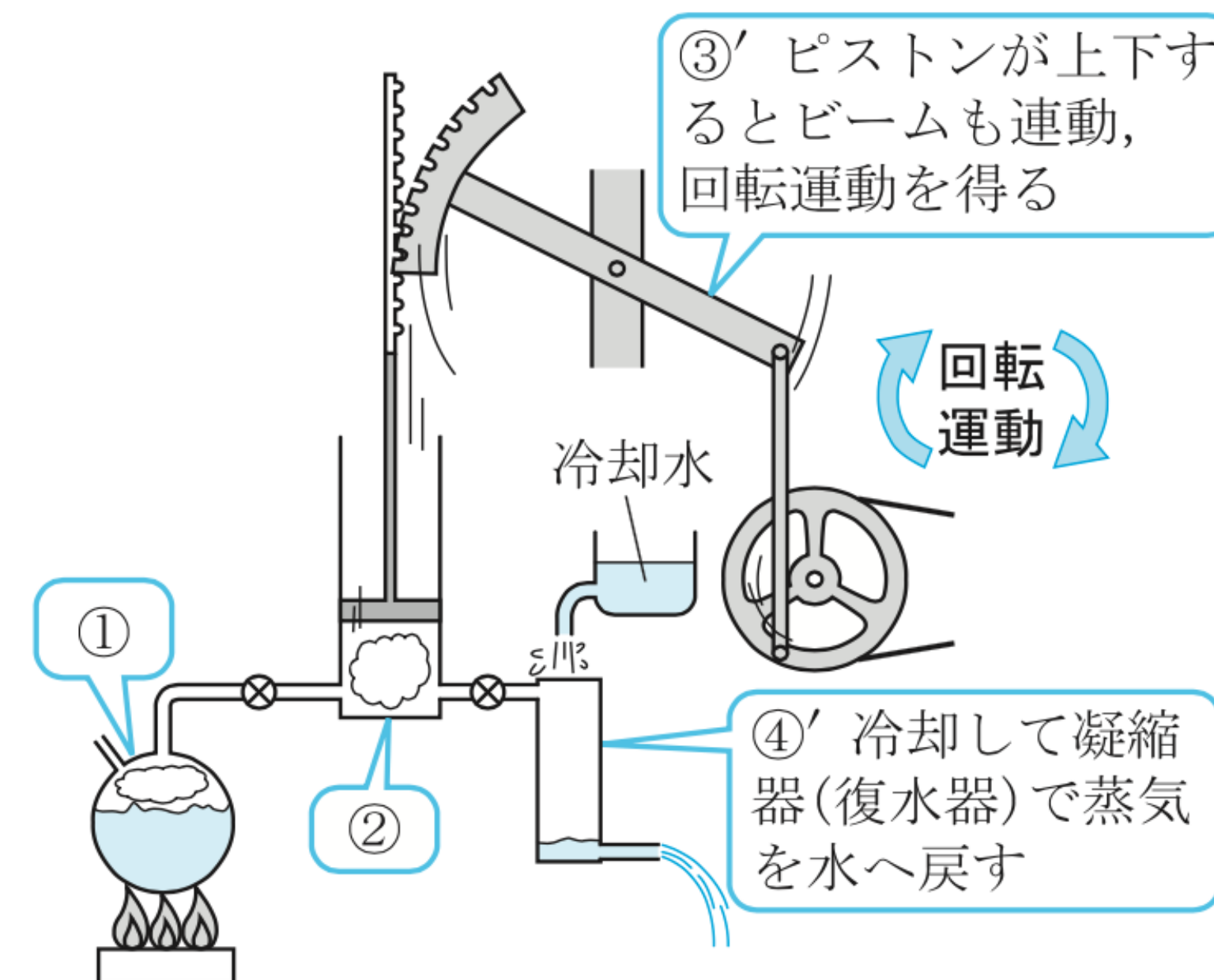
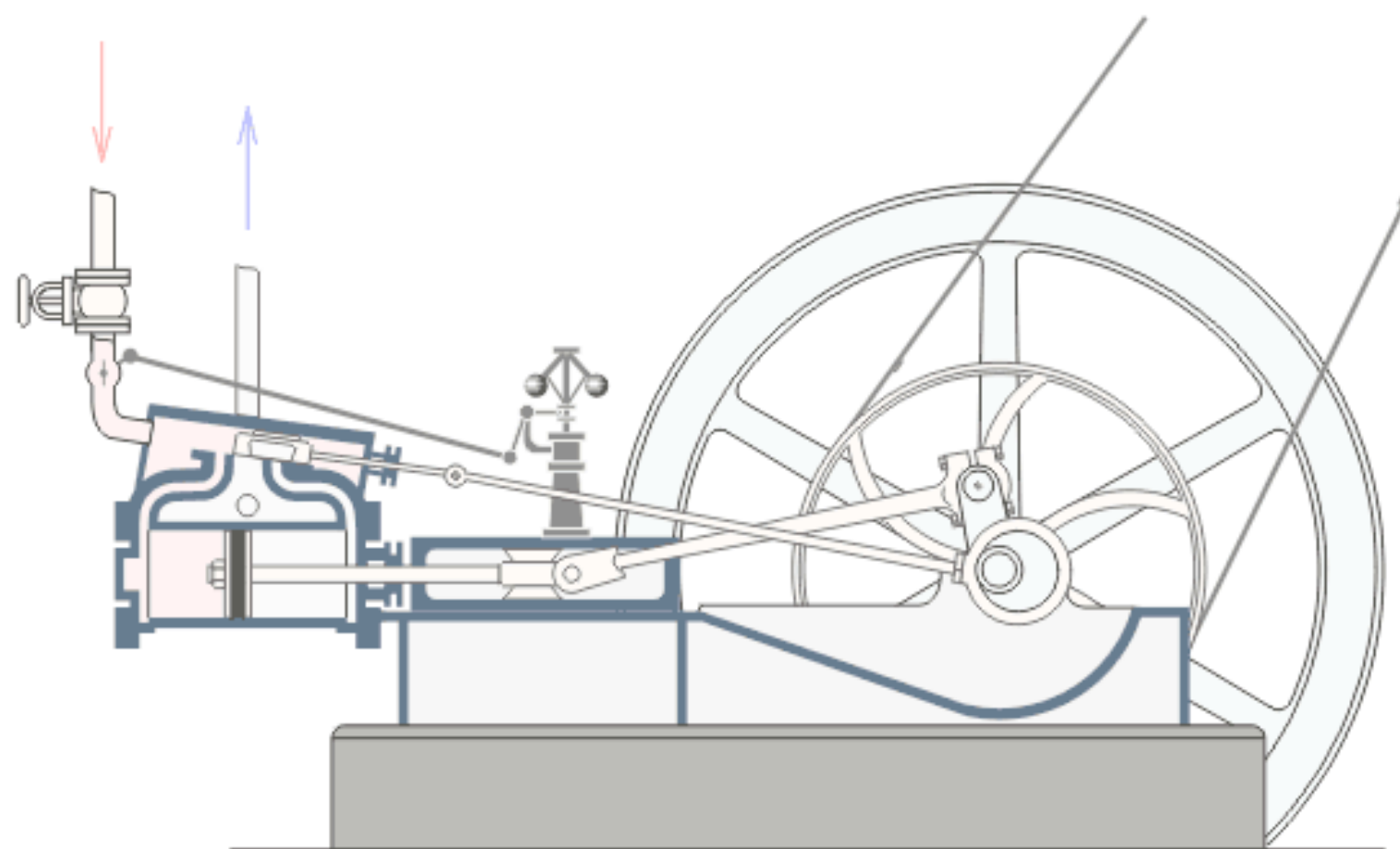
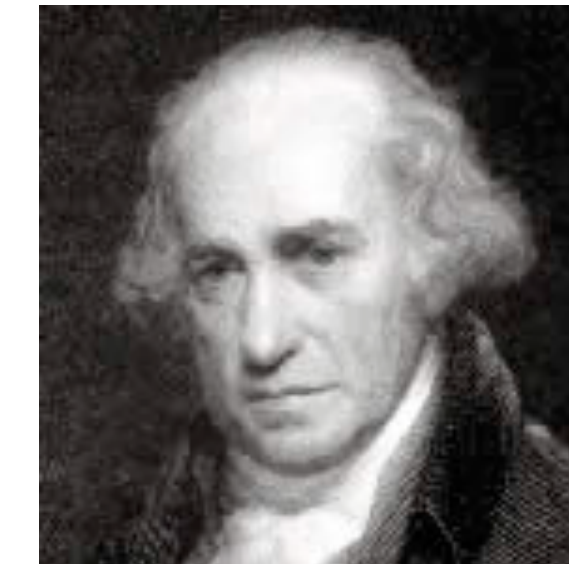
熱機関がする仕事 $W' = W_1 - W_2$
高温物体から吸収する熱量 $Q_1 = Q_{1-1} + Q_{1-2}$
低温物体へ放出する熱量 $Q_2 = Q_{2-1} + Q_{2-2}$

- ニューコメンは、1712年に鉱山の排水用として蒸気機関を製作。蒸気に冷水を吹き込んで冷やし、蒸気が水に戻るときに生じる負圧（真空減圧）でピストンを吸引するもので、大気圧を利用する方法だった。



(a) ニューコメンの大気圧機関のしくみ

- ワットは、1769年に新方式の蒸気機関を開発。復水器で蒸気を冷やす方法でシリンダーが高温に保たれることとなり効率が増した。往復運動から回転運動への変換などの改良も行った。

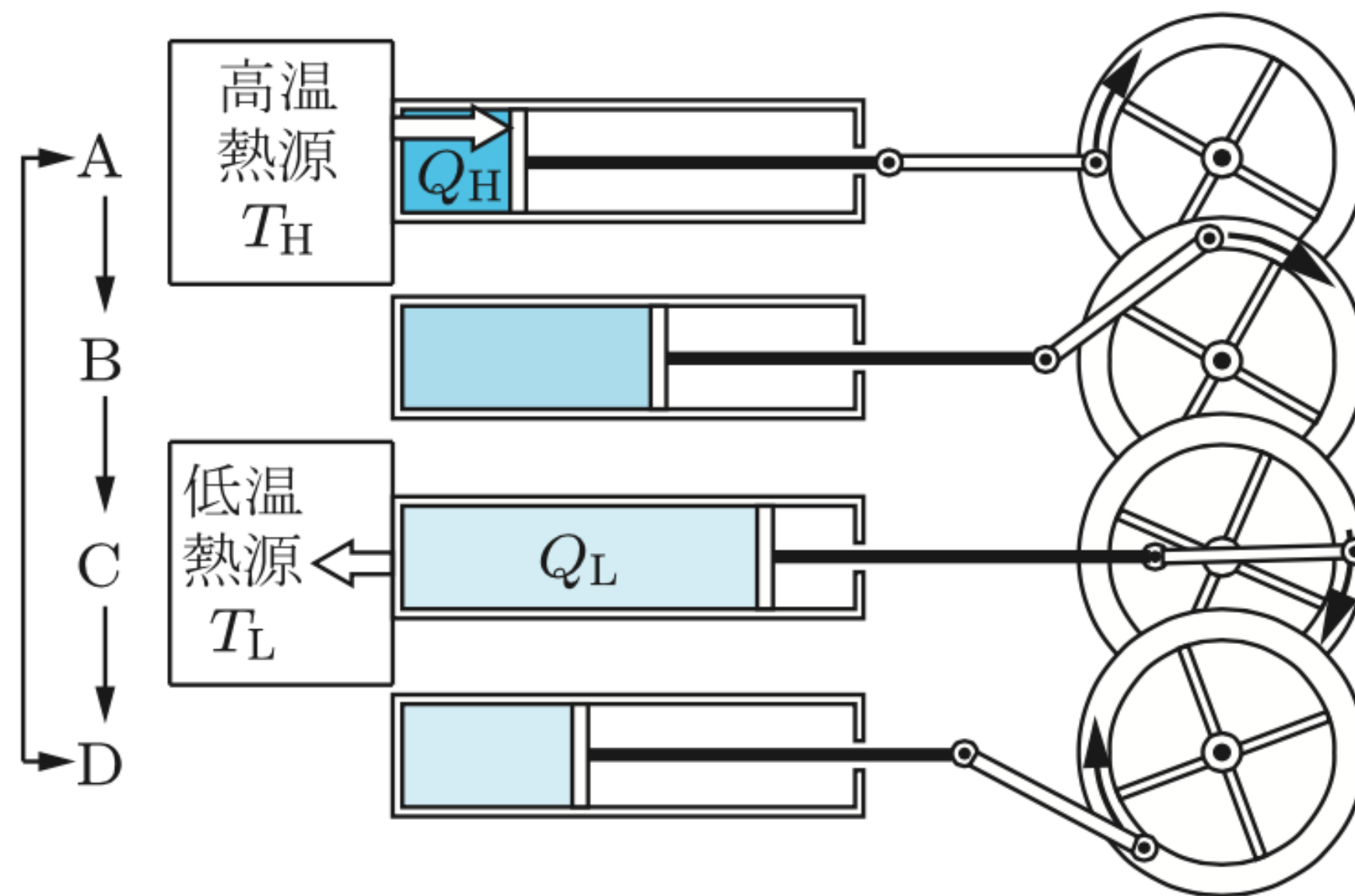


<http://mi.eng.cam.ac.uk/IALego/steam.html>

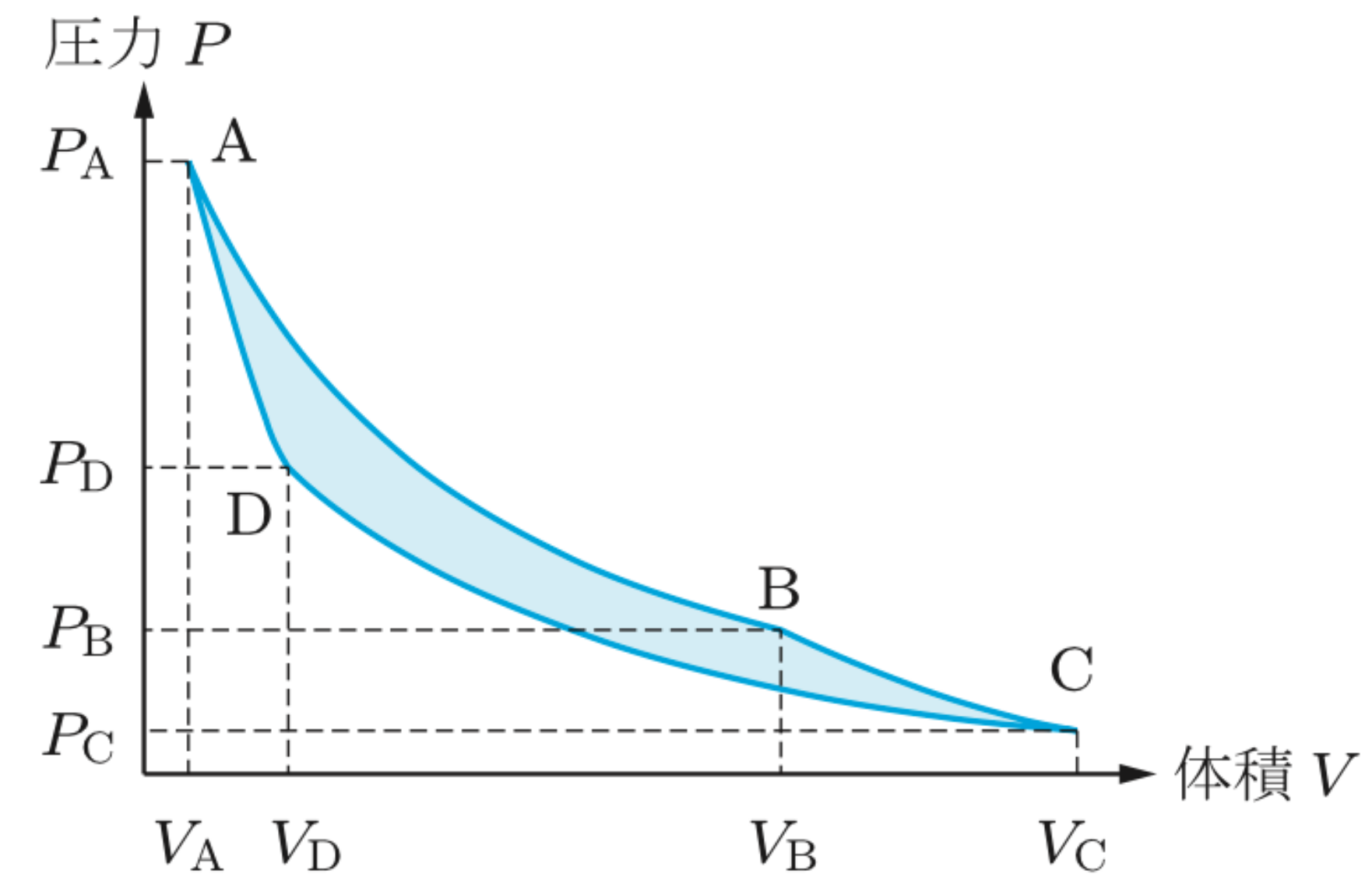
(b) ワットの蒸気機関のしくみ

熱サイクル(2) エンジン熱サイクル

- 気体をピストンに密閉し，外部から熱を加えたり，ピストンを押したり引いたりして元の状態にもどすような作業を**熱サイクル**という。

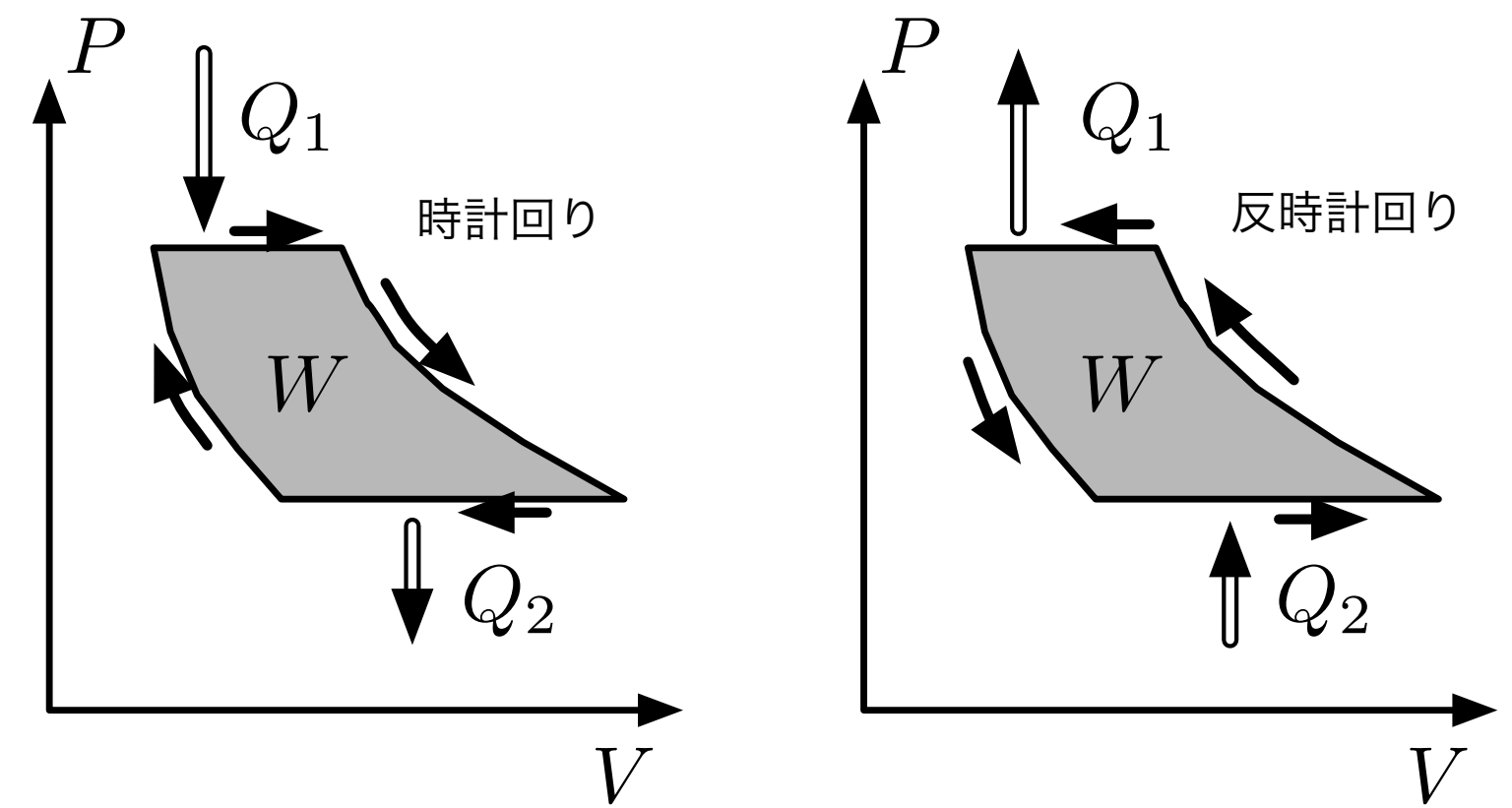
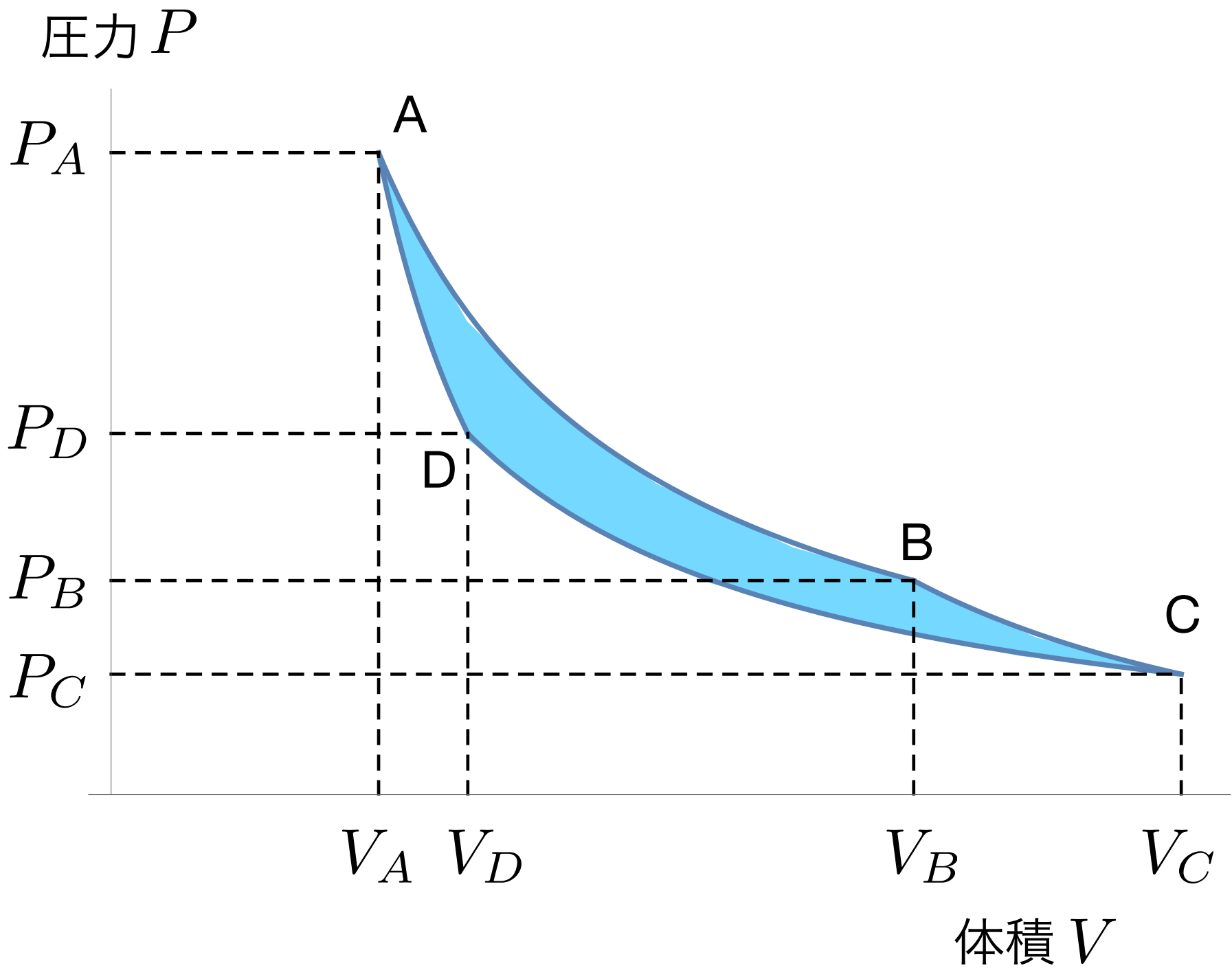
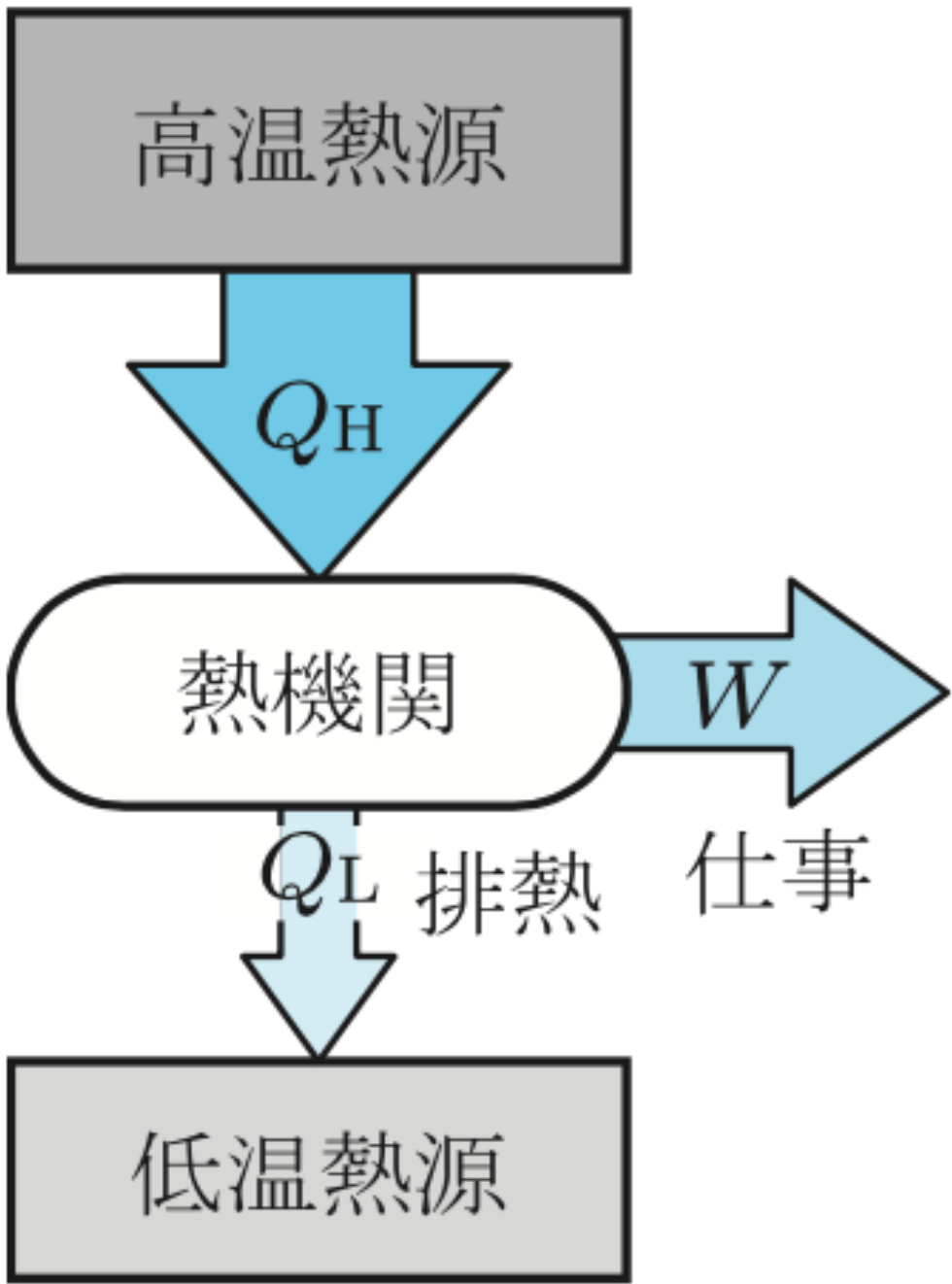


(a) シリンダー内の気体がピストンを
押して仕事をする熱機関



(b) P - V グラフ

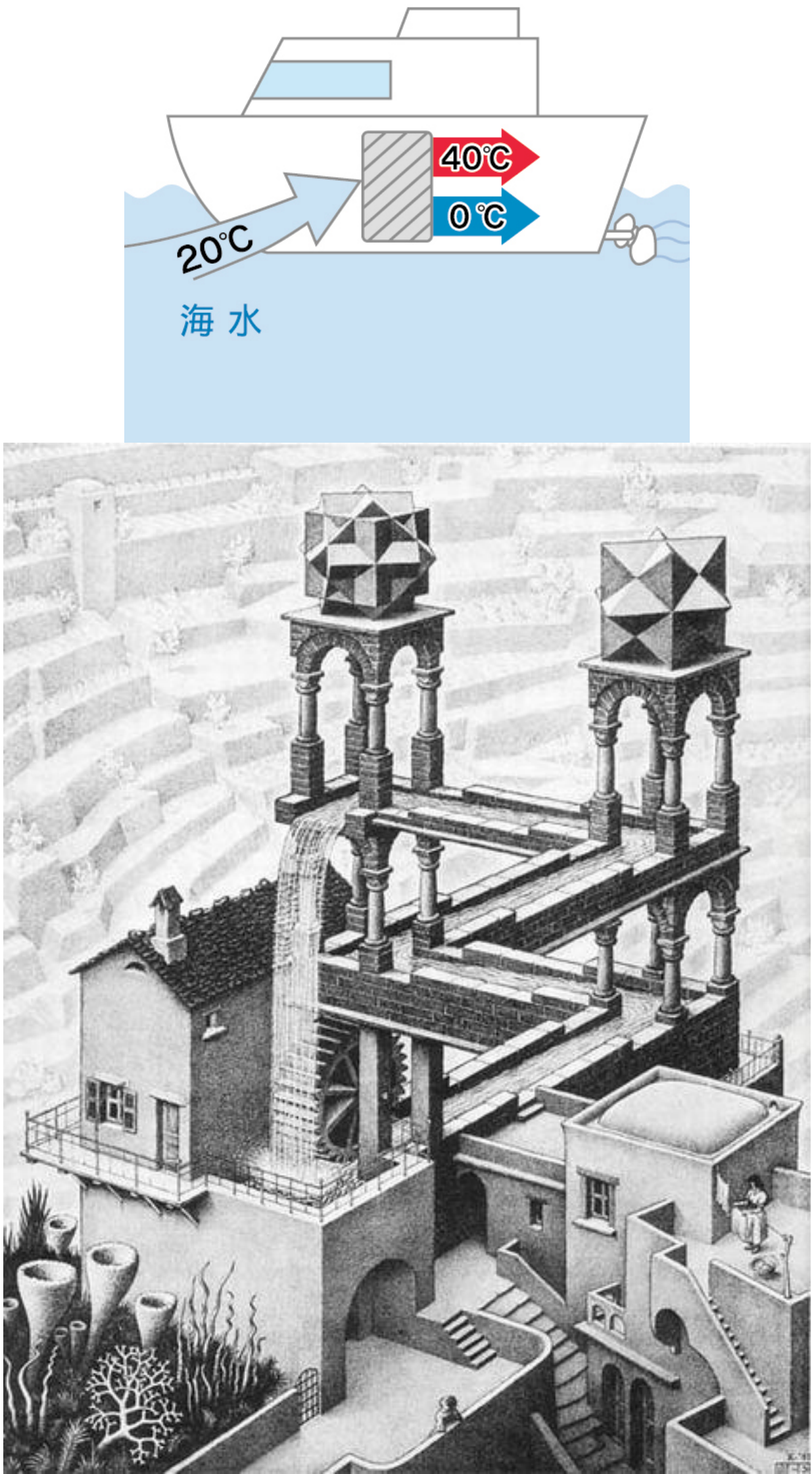
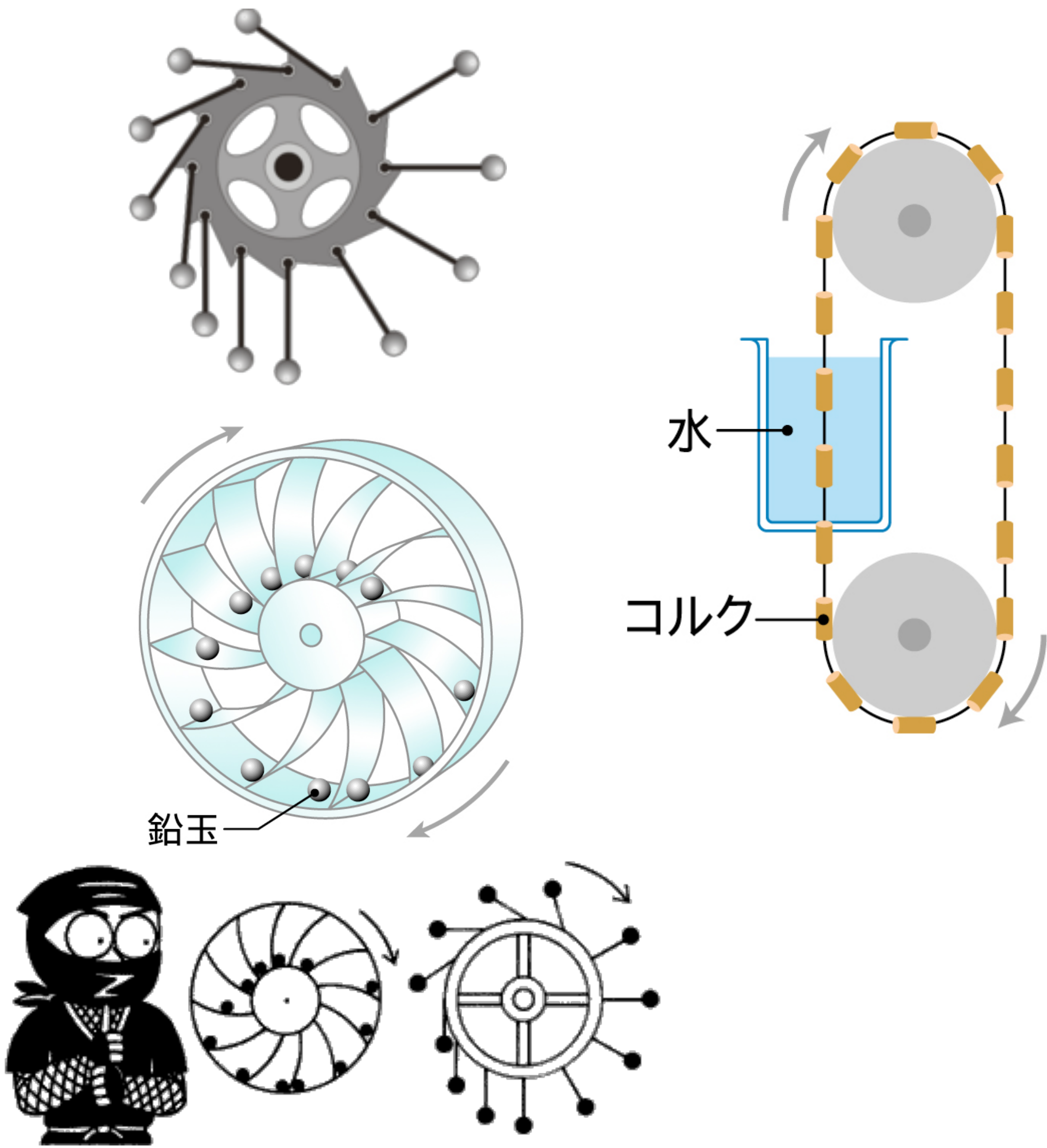
PVグラフを右回りか, 左回りか



第4章 熱と気体 熱エネルギー

4.3 熱効率と不可逆変化

- 熱機関＝熱エネルギーから仕事をする装置
PVグラフを右回り＝外に仕事をする(エンジン)
PVグラフを左回り＝外から仕事をされる(冷蔵庫)
- 熱効率＝(外にした仕事)/(加えた熱エネルギー)
- 永久機関は不可能
エネルギー保存則に反する
熱には流れがある(エントロピー増大則)



水飲み鳥は熱機関，永久機関ではない

サイクルは以下のように働く．

1. 頭部から水が蒸発する（マクスウェル分布）
2. 蒸発により頭部の温度が下がる（蒸発熱）
3. 温度の低下により頭部のジクロロメタン蒸気が凝集する
4. 温度の低下と凝集により頭部の気圧が下がる（理想気体の状態方程式）
5. 頭部と胴体の気圧差により管内の液面が上昇する
6. 液体が頭部に流れ込むことで重心が上がり、前方へ傾く
7. 傾くことで管の下端が液面より上に出る
8. 蒸気の気泡が管を通して上昇し、液体は下降する
9. 液体が胴体に流れ、頭部と胴体の気圧が平衡する
10. 液体が胴体へ戻ったことで重心が下がり、鳥は元の直立状態に戻る

エネルギー源は周囲環境の熱であり、この玩具は永久機関ではない。



〔8-1〕(今日の講義から)

高さ100mの滝から水が落下した. 位置エネルギーがすべて熱に変化したとすると, 水の温度は何度上昇するか.

Note: 位置エネルギー $E[\text{J}] = mgh$ $g = 9.8[\text{m/s}^2]$
熱の仕事等量 $1[\text{cal}] = 4.2[\text{J}]$

〔8-2〕 それぞれについて, 直観で(調べずに), **科学的に正しいと思う/思わない/どちらともいえない** を答えてください. できれば理由を添えて.

- ① 血液型性格診断 「Aは几帳面, Bはマイペース, Oはおおざっぱ, ABは天才肌」
- ② マイナスイオンは体によい 「マイナスイオン・ドライヤーで髪がさらさら」
- ③ 携帯の電波は心臓ペースメーカーに危害を加える
「混雑時あるいは優先席付近では携帯電話の電源をお切りください」
- ④ ゲーム脳 ゲームばかりしていると頭が悪くなる
- ⑤ UFO 宇宙人の乗り物である
- ⑥ 水に優しい言葉をかけて凍らせるときれいな結晶ができる
- ⑦ EM菌 有用微生物群(Effective Microorganisms, EM)



京都大原三千院入口付近にて, 2023年11月