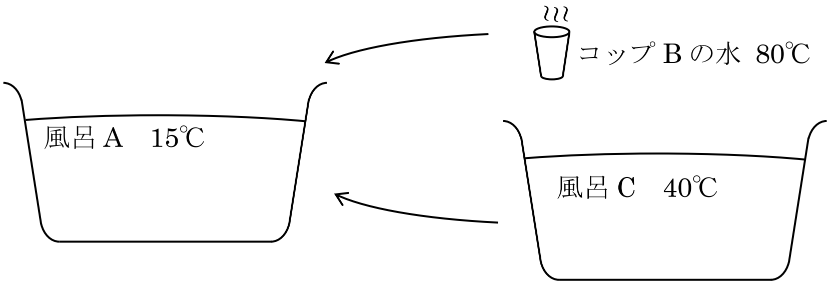
# § 熱力学　比熱と熱容量

## テーマ 1　熱とは何か

普段使っている意味と、物理の中で使う意味に違いがあるので、まずは言葉を正確に理解することを目指そう。

普段使いの『熱』………『40℃の熱がある』。これは、『熱＝温度』という意味となる。
物理での『熱』………物理での『熱』は会話文にしづらい。下図のようにイメージしよう。




風呂 A に 15℃の水がはってある。そこに 80℃の水をコップ一杯だけ入れる場合と、40℃の風呂 C いっぱいの水をざばーっと入れる場合、どちらが風呂 A の水を温めるだろうか。

おそらく、コップ一杯程度の水を入れたところで、風呂 A の温度はほとんど上がらない。しかし、風呂 C の水を入れると、温度は 20℃くらいには上がるはずだ。

これを物理的に説明すると、以下のようになる。
**温度はコップ B が一番高いが、多くの熱を持っているのは風呂 C である。**

熱は『温度の元になっているエネルギー』という意味なのだ。正式には**『熱量』**という。

風呂 C が熱量を多く持っている要因は、単純に**水の量**が多いからである。
もし、同じ量なら、温度が高い方がより熱量を持っている。これをまとめると、

**熱量（$Q$）は、温度（$t$）が高いほど大きく、量（$m$）が大きいほど大きい。**
＊ 熱量の文字は $Q$　(quantity of heat の頭文字)
＊ 温度の文字は $t$　(temperature の頭文字)

$Q$ は $m$ と $t$ に比例する、とまとめておこう。

## テーマ 2　比熱 $c$　　キーワードは２つのイチ

温度($t$)と質量($m$)以外にも、熱量に関わる要素がある。「素材」である。同じ量、同じ温度でも、素材によって持っている熱量が違い、それを数値化したものが「比熱 $c$」である。

＊ 比熱の文字は小文字の $c$ (calor の頭文字)

比熱を正しく理解するには、式よりも言葉を大事にするのがコツである。

『比熱 $c$ とは、その物質の１g の１℃分の熱量のこと』

**『１g の１℃分』**と唱えると短くてイメージしやすい。

例

水の比熱は 4.2 J/(g・℃)であるが、これは水 1g、1℃分の熱量が 4.2 J である。という意味になる。より具体的に文章にすると、

**水 1g を 1℃温めるには、4.2 J の熱量**(エネルギー)**が必要**←これが比熱の定義だ

また、その意味からふくらませて考えると

水 2g を 1℃上げるには、8.4 J の熱量が必要　(2 倍の量をあったためるには、2 倍の熱量)

水 2g を 2℃上げるには、16.8 J の熱量が必要　(2 倍温度を上げるには、さらに 2 倍の熱量)

と計算できる。

この計算を式にすると、温度を $\Delta t$ だけ上昇させるための熱量 $Q$ は、

**熱量 $\boldsymbol{Q = mc\Delta t}$**

となる。『1g の 1℃分』の熱量 $Q$ が比熱 $c$ である、という比熱の定義がこの式で示されていて、$m = 1$、$\Delta t = 1$ を代入すると、$Q = c$ となっているね。

式の形からだと比熱の理解がとても難しくなってしまうので、最初は言葉で覚えよう。

＊熱容量 $C$ (大文字)　キーワードは１つのイチ

紛らわしいパラメータとして、熱容量 $C$ が出てくる。これは、

**『(質量が決まっている) ある物体の 1℃分の熱量』**を示す。

例えば『100 g の水（比熱 4.2 J/g・℃)』だったら、1 g の 1℃分が 4.2 J なので、100 g の 1℃分は、420 J、と計算でき、この 420 が熱容量 $C$ である。式にして整理すると

$\boldsymbol{C = mc}$

**熱量 $\boldsymbol{Q = mc\Delta t = C\Delta t}$**　となる。こちらも式の形だとややこしくなる。質量と比熱をかけたものが熱容量 $C$ で、**「１℃分の熱量」**のこと、と文章で整理しよう。

文字と単位のまとめ

熱量・・・文字　$Q$

単位〔J〕　熱量は熱に関するエネルギーのことなので、単位は〔J〕なのだ。

温度・・・文字　$t$　＊大文字 $T$ も使うことがある。

単位〔℃〕　読み　度　または〔K〕　読み　ケルビン

＊ 度はセルシウス温度、ケルビンは絶対温度のこと。

度は、水が氷になる温度を基準にして、ケルビンは世界で一番低い温度（絶対零度）を基準にしている。

世界で一番低い温度(絶対零度) → −273℃（−273.15℃）= 0 K

水が氷になる温度→ 0℃ = 273 K (273.15 K)

℃から K に変換するときは、273 を足すということだ。

比熱・・・文字（小文字の）$c$

単位〔J/(g・℃)〕　読み　ジュール毎グラム度

〔J/(g・K)〕　読み　ジュール毎グラムケルビン

＊「１℃上昇」も「１K 上昇」も変化している温度に差はないので、単位が違ってもそのまま代入して良い。水の温度が〔℃〕で示されていて、比熱の単位が〔J/(g・K)〕で示されていても、特に変換をする必要はないのだ。

熱容量・・・文字（大文字の）$C$

単位〔J/℃〕　読み　ジュール毎℃

〔J/K〕　読み　ジュール毎ケルビン

## テーマ 3　比熱の問題の解法　キーワードは高温物体、低温物体

比熱の問題は、『前の状態』と『後の状態』を必ず絵にして整理して、熱量の流れを追っていくことで解ける。やってみよう。

**問題 1** 熱量のやりとり

熱容量 $C$ の容器に 200 g の水が入っており、その温度は 0℃になっている。これに熱を 48000 J 加えたところその温度は 50℃になっていた。水の比熱を 4.2 J/(g・K)とする。

(1) 容器の熱容量 $C$〔J/K〕を求めよ。

(2) その後、0℃、100 g の金属球を入れたところ、全体の温度は 48℃になった。この金属の比熱を求めよ。

問題１ 解答　(1) 120 J/K　(2) 0.40 J/(g・K)

問題１ 解説

ポイントは

① 容器と水を加熱する際、容器と水は一緒に温度が上がっていく。水だけあっためることはできない

② 『熱を加える』というのは我々の身近なところでいうと『火にかける』という現象

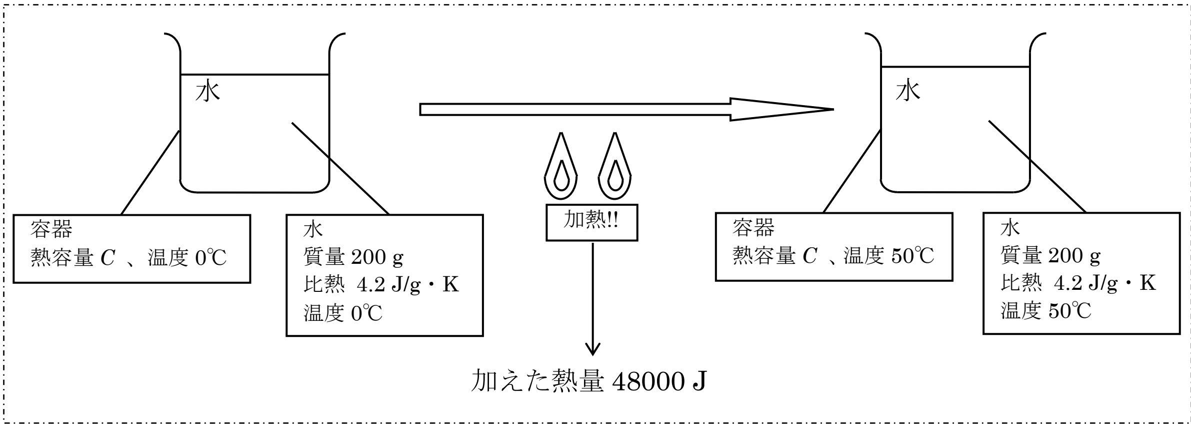
③ 受け取ったり移動したりする熱量は $Q = mc\Delta t$ や、$Q = C\Delta t$ で計算できる。

⇒ 不明な数がある場合、文字でおく。

④ 物体同士の熱量のやりとりでは、「高温物体→低温物体」という向きに熱量の移動が起きている。

の 4 点。

(1) 容器の熱容量を $C$ と置き、以下のように図にすると熱量のやり取りを整理できる。




ヒーターにより、容器と水が受け取る熱量は、$Q = mc\Delta t$ や、$Q = C\Delta t$ で計算できる。

水　$Q_{水} = mc\Delta t = 200 \times 4.2 \times (50 - 0)$ ←$\Delta t$ は温度変化の大きさ！「比熱は１g１℃分」で立式！

容器　$Q_{容器} = C\Delta t = C \times (50 - 0)$ ←$\Delta t$ は温度変化の大きさ！「熱容量は１℃分」で立式！

水と容器が受け取った熱量は、外から加えられた熱量 48000 J からきている。よって、

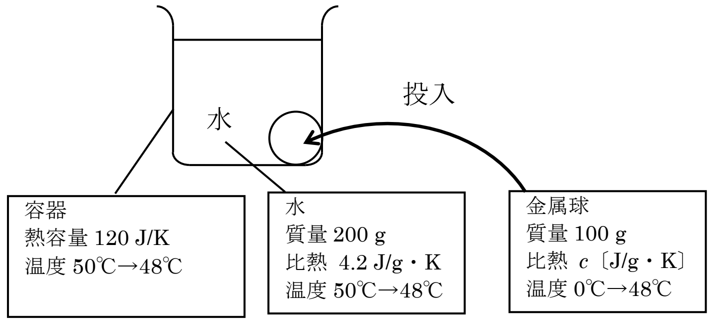
$Q_{水} + Q_{容器} = 48000$

$200 \times 4.2 \times (50 - 0) + C \times (50 - 0) = 48000$

$C$ について解いて

$C =$ 120 J/K

(2) この問題も同じように図にしてみよう。不明な数である金属球の比熱を文字 $c$ で置く。




十分時間を置く
⇒同じ温度になる
⇒全部 48℃
⇒これを「熱平衡に達する」という

ここでポイントとなるのが、高温物体、低温物体という区別である。
今回は、高温物体は容器と水、低温物体は金属球、となる。
そして、低温物体は、外から熱量をもらっているが、誰からもらっているかというと、高温物体からもらっているのである。
すると、外部に熱が漏れていければ、次のような関係が成り立つ。
高温物体が失った熱量　＝　低温物体が受け取った熱量
これを、**『熱量の保存』**という。

高温物体が失った熱量は、
失った熱量 $Q_{水} = mc\Delta t = 200\times4.2\times(50-48) = 1680$
失った熱量 $Q_{容器} = C\Delta t = 120\times(50-48) = 240$

＊$\Delta t$ を変化量として立式すると後−前で、$Q_{水} = mc\Delta t = 200\times4.2\times(48-50) = -1680$ J
となるが、「失った」という意味のマイナス符号なので、「失った熱量」自体は 1680 J となる。
この値が重要になるため、熱の計算で $\Delta t$ には、温度変化の絶対値を代入することが多い。

低温物体が得た熱量は、
得た熱量 $Q_{金属球} = mc\Delta t = 100\times c\times(48-0) = 4800c$

熱量の保存の式を立てると、

失った分をあげました！という関係

(失った熱量 $Q_{水}$)＋(失った熱量 $Q_{容器}$) = (得た熱量 $Q_{金属球}$)

$1680 \quad + \quad 240 \quad = \quad 4800c$

$c$ について解いて

$c$ = 0.40 J/g・K

# テーマ４ 潜熱

氷から水になるには、$H_2O$ 分子同士のつながりを切断する必要がある。そして切断にはエネルギーを使う。このエネルギーは周りの高温物体からもらうことがほとんどだ。
つまり、氷は水になるとき外から熱量をもらい、それを温度の上昇ではなく、状態変化に使うのだ（０℃の氷は溶けた直後０℃の水になっている、熱量をもらっても温度は上がらない）。
このように状態変化にともなう熱量のやりとりを『潜熱』という。

・潜熱の種類

① 融解熱・・・１g の固体が、液体になるために必要な熱量。（「ひとつのイチ」）
単位は〔J/g〕
例えば水（氷）の融解熱は 336 J/g。氷１g が水になるには、336 J 必要なのだ。

② 蒸発熱・・・１g の液体が、気体になるために必要な熱量。気化熱ともいう。
単位は〔J/g〕
例えば水の蒸発熱は 226 J/g。水１g が水蒸気になるには、226 J 必要なのだ。

問題２ 潜熱

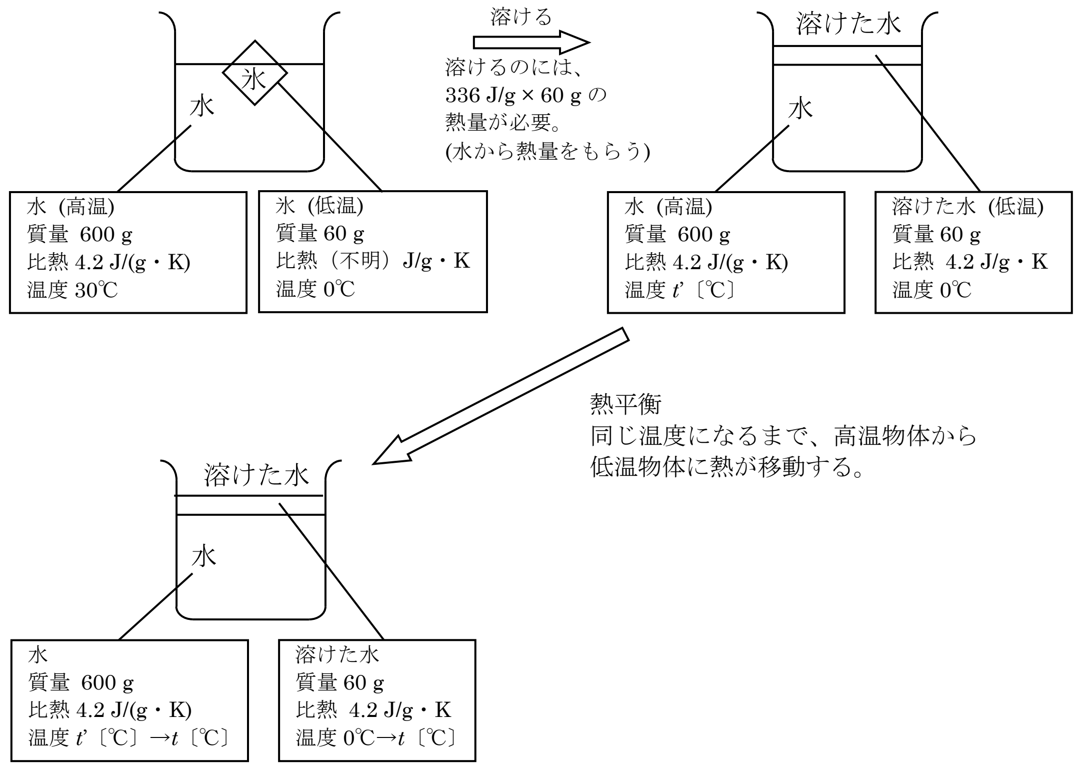
水の比熱を 4.2 J/(g・K)、氷の融解熱を 336 J/g とする。また容器の熱容量は無視できるものとする。温度 30℃の水 600 g に、0℃の氷を 60 g いれた。熱平衡に達したとき水の温度はいくらになるか。

$\boxed{\text{問題 2 解答}}$　20℃

$\boxed{\text{問題 2 解説}}$　低温物体と高温物体が何か見定めるのがポイントとなる。

今回の低温物体は 60 g の氷、高温物体は 600 g の水である。ここで間違えないようにしたいのは、氷が溶けた後もこの区別は継続され、溶けた水が低温物体、元々の水は高温物体として熱のやりとりを行うことだ。

「溶ける」と「熱平衡」の２段階に分けてイラストにしてみる。




氷が溶ける際に、水が氷に熱を渡しているので、水の温度は下がっている（図では $t'$〔℃〕としている）。しかし、問題で $t'$〔℃〕を聞かれていないのであれば、２段階の変化を全部まとめて立式して関係式が立てられる。聞かれてたら、1 段階ずつ熱量保存の式を立てて求める。

$\boxed{\text{高温物体が失った熱量}}$

$Q_{水} = 600 \times 4.2 \times (30 - t)$

失った熱量（2 段階まとめて）
最初から最後までの温度低下
比熱 4.2 J/(g・K)で計算

$\boxed{\text{低温物体が得た熱量}}$

$Q_{氷} = 336 \times 60 + 60 \times 4.2 \times (t - 0)$

氷が溶けるために
もらった熱量
融解熱 336 J/g で計算

溶けた水になった後、
温度上昇のためにもらった熱量
比熱 4.2 J/(g・K)で計算

状況が整理できたら、熱量の保存の式を立てる。

熱量の保存の式

失った分をあげました！という関係

$$(\text{失った熱量 } Q_{\text{水}}) = (\text{得た熱量 } Q_{\text{氷}})$$

$$600 \times 4.2 \times (30-t) = 336 \times 60 + 60 \times 4.2 \times (t-0)$$

全体を 4.2 で割る

$$600 \times (30-t) = 80 \times 60 + 60t$$

$$18000 - 600t = 4800 + 60t$$

比熱 4.2 がよく出てくるので、全体を 4.2 や 2.1 で割りやすい設定の問題が多いです。

$t$ について解いて

$\therefore\ t = 20$ ℃

---

ConcepTest 1　比熱

湯たんぽに 40℃に温めた水を入れた場合と、40℃に温めた油を入れた場合、どちらの方が暖かさが長持ちするか。ただし、水の比熱は 4.2 J/(g・℃)、油の比熱は 2.1 J/(g・℃)である。

ConcepTest 1 解答　水

ConcepTest 1 解説

比熱が大きいほど、温度が 1 ℃あたり変化するのに、多くの熱が移動する必要がある。よって、水の方が暖かさが長持ちする。

逆に、水が冷たい場合には、冷たさが長持ちするので、プールや海で体温が下がりやすかったり、熱いものを冷やすときに水が有効だったりする。

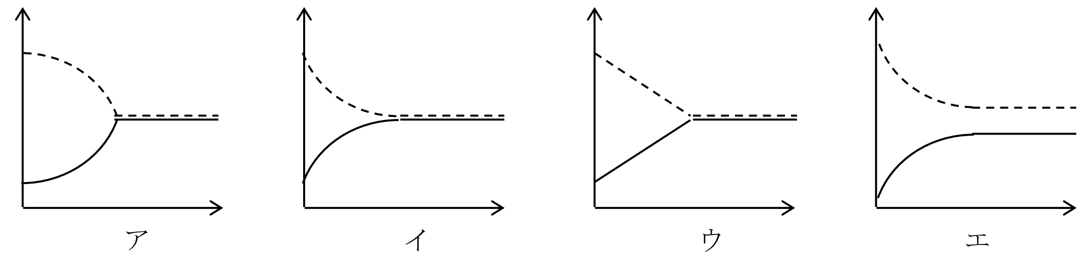
水の比熱は、他の物体に比べて際立って高く、これは水素結合により分子間の結合が強いことで、分子の運動状態を変化させづらいことが要因となっている。（分子の運動が激しいほど、物体の温度は高くなるのだ。）

また、地球を覆う水が、太陽による温度変化を緩やかにしている。水のおかげで、昼と夜の温度差が穏やかになり、我々は快適に生活できているのだ。一方で、水が少ない砂漠などでは、昼に暑くなりすぎて、夜に寒くなりすぎるような気候になる。

## テーマ 5 熱の移動のスピード

ConcepTest 2 熱平衡のグラフ

40℃の液体 A の中に、80℃の物体 B を入れたときの時間 $t$ の経過による、物体 A と物体 B の温度 $T$ の変化を示すグラフは以下のどれか。ただし、温度の差が大きいほど高温物体から低温物体への移動は速いという特徴がある。




ConcepTest 2 解答 イ

ConcepTest 2 解説

温度差が大きい時ほど、熱の移動がはやいので、温度変化が速い。最初の方は傾きが急で、温度が近づくと傾きが緩やかになる。よってイ。

## テーマ 6 熱膨張

熱膨張については、他の分野との繋がりも薄く、とても使用頻度が少ない。一応やっとく、くらいの気持ちで頭に入れよう。また、使用頻度が低いと、公式をすぐ忘れてしまう。式の構造を把握しておくと忘れづらくなるので、丸暗記にならないように工夫しよう。

線膨張率・・・文字：$\alpha$　読み：アルファ

温度が 1℃上がった際の伸びる割合を示す。

加熱後の長さを $l$、0℃のときの長さを $l_0$、物体の温度を $t$ とすると、

$$\boxed{\text{公式}}\quad l = l_0\,(\underbrace{1+\underbrace{\alpha t}_{\text{伸びる分のみの割合}}}_{\text{元の長さを 1 とした時、全体がどれくらいになるかの割合}})$$

（加熱後の長さ）＝（元の長さ）×（伸びた後の倍率）という構造になっているのだ。

問題演習をするときにも、公式の構造を頭で整理しながら立式するようにしよう。$\alpha$ の定義を文章で理解しておくことも、長期的な暗記に有効である。