第 050 講 熱の伝わり方

この講でできるようになること

- 熱伝導・対流・放射の違いを、物質の移動とエネルギーが伝わる経路から説明できる。
- 温度差、物質の状態、真空の有無を手掛かりに、注目する熱の伝わり方を判断できる。
- 複数の伝わり方が同時に働く場合を考え、保温の工夫と対応づけられる。
- 与えられた熱量から正味のエネルギー移動と平均移動率を求められる。

1. 熱はどのように移動するのか

熱い飲み物に金属製のスプーンを入れると、しばらくして持ち手まで温かくなる。一方、水を入れた鍋を下から加熱すると、温められた水が動き、鍋の中へエネルギーを運ぶ。

さらに、太陽からのエネルギーは、ほとんど真空である宇宙空間を通って地球へ届く。これらは、いずれもエネルギーが伝わる現象であるが、その仕組みは同じではない。

熱と熱の移動

熱とは、温度差によって物体間を移動するエネルギーである。熱として移動したエネルギーの量を熱量といい、単位にはジュール（J）を用いる。

一方、**内部エネルギー**は物体が持つエネルギーである。熱は移動の過程を表す言葉であり、物体が蓄えている内部エネルギーそのものを熱と呼ぶわけではない。

例えば、温度の異なる 2 つの物体を熱的に接触させ、外部から特別な働きかけをしなければ、正味の熱移動は一般に高温側から低温側へ起こる。

ここで「正味」とは、反対向きの移動も考慮した差し引きの結果という意味である。温度が等しくなり熱平衡に達すると、両者の間の正味の熱移動は 0 となる。

熱の伝わり方には、主に次の 3 つがある。

- **熱伝導**：物質全体が流れなくてもエネルギーが伝わる。
- **対流**：液体や気体の移動によってエネルギーが運ばれる。
- **放射**：電磁波によってエネルギーが伝わる。

重要なのは、物体の名前だけで分類するのではなく、**どの経路で、何が移動しているか**を確かめることである。

2. 熱伝導――物質が流れなくても伝わる

2.1 金属棒の内部で起こるエネルギー移動

金属棒の左端を 100°C、右端を 20°C に保ったとする。棒は固定されており、棒を構成する物質全体が左から右へ流れることはない。

それでも、棒の内部では高温側から低温側へエネルギーが伝わる。このような現象を**熱伝導**という。

熱伝導

熱伝導とは、物質の巨視的な移動を伴わず、物質内部の粒子どうしの相互作用などによってエネルギーが伝わる現象である。

©ミライコーチング

「巨視的な移動」とは、水が流れたり、空気が流れたりするように、物質のまとまりが場所を変えることである。

熱伝導では、物質全体が流れる必要はない。ただし、これは物質内部の粒子の熱運動が停止しているという意味ではない。

先ほどの金属棒について、両端の温度差は

$$\Delta T = 100\,^\circ\mathrm{C} - 20\,^\circ\mathrm{C} = 80\,^\circ\mathrm{C}$$

となる。

棒の内部に注目すれば、正味の熱移動は左端側から右端側へ起こる。ただし、温度差が 80 °C と分かるだけでは、移動する熱量が何 J になるかは決まらない。

熱量を定めるには、棒の材質や形状、熱が移動する時間など、さらに条件が必要となる。

2.2 金属と木では触れた感覚が違う

同じ室内に長時間置いた金属と木が、どちらも同じ温度になっているとする。それでも、手で触れると金属のほうが冷たく感じられることがある。

これは、一般に金属が木より熱を伝えやすく、手から金属へエネルギーが速く移動しやすいためである。

したがって、触れた感覚だけで物体の温度を判断することはできない。

熱伝導を見分けるポイント

注目している部分の物質が全体として流れていなくても、内部の相互作用によってエネルギーが伝わっていれば熱伝導である。

熱伝導は固体だけの現象ではない。液体や気体の内部でも起こる。

3. 対流――流れる物質がエネルギーを運ぶ

3.1 水が動くと熱も運ばれる

容器に入れた常温付近の水を、左下から加熱し、右側で冷却する場合を考える。容器は重力が働く場所にあり、加熱側に 40 °C 程度の領域、冷却側に 20 °C 程度の領域ができるものとする。

加熱側と冷却側の温度差は

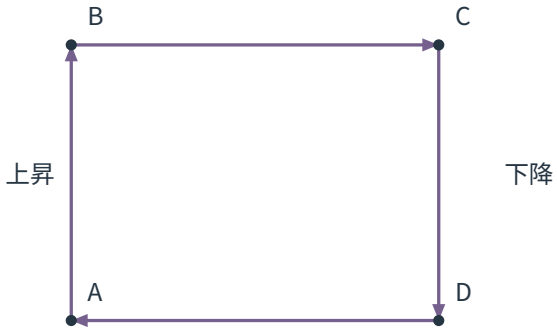
$$\Delta T = 40\,^\circ\mathrm{C} - 20\,^\circ\mathrm{C} = 20\,^\circ\mathrm{C}$$

である。

通常の条件では、水が温められると膨張して密度が小さくなる。周囲の比較的冷たい水より軽くなった部分は、重力の働く環境で上昇しやすくなる。

一方、冷やされて密度が大きくなった部分は下降しやすい。この動きによって、水自身がエネルギーを別の場所へ運ぶ。

次の模式図では、A を左下の加熱領域、B を左上、C を右上、D を右下の冷却領域に対応させる。矢印は水の巨視的な移動を示すものであり、熱量を表すベクトルでも、流速や力の大きさを表すものでもない。



模式図では、A から B へ温められた水が上昇し、上部を B から C へ移動する。右側で冷却された水は C から D へ下降し、下部を D から A へ戻る循環を表している。

これは、加熱と冷却によって生じる自然対流の代表的な流れである。実際の容器内の全流線や流速を予測した図ではなく、4 点の温度がそれぞれ固定されていることも意味しない。

対流

対流とは、液体や気体などの流体が巨視的に移動し、その移動によってエネルギーが運ばれる現象である。

3.2 自然対流と強制対流

対流には、流れが生じる原因によって異なる場合がある。

自然対流は、温度差による密度の違いと重力の働きなどによって流れが生じる現象である。先ほどの水の循環がその例となる。

強制対流は、送風機やポンプなどによって流体を動かし、エネルギーを運ぶ現象である。例えば、温風を送り出す暖房器具では、動く空気が室内の別の場所へエネルギーを運ぶ。

ここで、対流を「熱が上へ移動する現象」と覚えてはいけない。

自然対流では温められた流体が上昇する場合があるが、流体は横向きや下向きにも動く。強制対流では、送風機などによって流れの方向を変えられる。

対流を見分けるポイント

液体や気体そのものが流れ、その流れがエネルギーを運ぶことが対流の中心である。

通常の条件で形を保ち、巨視的に流動しない固体内部の熱移動を、対流とは呼ばない。

4. 放射――真空でもエネルギーが伝わる

4.1 物質がなくても伝わる仕組み

熱伝導にはエネルギーを伝える物質が必要であり、対流には動く流体が必要である。

それでは、物質がほとんど存在しない宇宙空間を通って、太陽から地球へエネルギーが届くのはなぜだろうか。

その理由は、物体が電磁波を放出し、電磁波がエネルギーを運ぶからである。この伝わり方を**放射**という。

放射

熱の伝わり方としての放射とは、物体から放出される電磁波によってエネルギーが伝わる現象である。

放射はエネルギーを運ぶための物質を必要とせず、真空中でも起こる。

4.2 真空を隔てた 2 つの物体

熱源 S と受け手 B が離れており、その間が真空であるとする。さらに、S と B をつなぐ固体の支持部など、別の物質経路はないものとする。

この条件で S から B へ届くエネルギーの経路に注目すると、物質を介した熱伝導や対流ではなく、放射が働く。

次の模式図の矢印は、S から B へ向かう注目する放射経路を表す。物質の流れや力・速度の大きさを表すものではなく、熱量をベクトルとして表現したものでもない。



図に示したのは、S から B への経路だけである。実際には B も電磁波を放出し得るため、この矢印だけを見て逆向きの放射が存在しないと考えてはいけない。

また、真空であることは、S と B の間の放射まで遮断する条件ではない。

4.3 温度が低い物体も放射する

放射は、非常に高温の物体だけに起こる現象ではない。身の回りの比較的低温の物体も、電磁波を放出している。

2 つの物体 A と B が放射によってエネルギーをやり取りしているときには、

・A から B へ放出され、B に吸収されるエネルギー
・B から A へ放出され、A に吸収されるエネルギー
という反対向きの過程を区別する必要がある。

両物体が同じ温度で熱平衡にあるなら、両者間の放射による正味のエネルギー移動は 0 である。しかし、それぞれが放射を放出・吸収する過程まで停止するわけではない。

正味 0 と移動そのものが 0 は異なる

同じ温度の 2 物体では、熱平衡における正味の熱移動は 0 となる。

しかし、放射によるエネルギーの放出と吸収が個々に 0 になるとは限らない。反対向きの移動がつり合っている場合もある。

5. 3 つの伝わり方を比較する

熱の伝わり方を見分けるには、注目する経路に物質が存在するか、物質がまとまって移動するかを確認するとよい。

伝わり方	物質の必要性	巨視的な物質移動	注目する現象の例
熱伝導	必要	不要	固定された金属棒の内部を熱が伝わる
対流	流れる液体・気体が必要	あり	温められた水が循環する
放射	不要（物質があっても起こる）	不要	真空を隔ててエネルギーが届く

この表は、各機構を見分けるための比較である。**1 つの現象に必ず 1 種類だけが働くという意味ではない。**

例えば、温かい飲み物を入れた容器では、容器の壁の内部で熱伝導が起こり、周囲の空気が動くことで対流が起こる場合がある。さらに、容器の表面から放射によってもエネルギーが出ていく。

物体が金属だから熱伝導だけ、周囲に空気があるから対流だけ、と断定してはいけない。

熱の伝わり方を判断する順序

1. **経路を決める**：どの場所からどの場所へのエネルギー移動に注目しているか。
2. **物質と動きを調べる**：経路に物質があるか。液体や気体がまとまって動いているか。
3. **機構を判断する**：物質内部を伝わる熱伝導、流体が運ぶ対流、電磁波が運ぶ放射のどれが注目する経路を説明するか。

同じ場面でも、注目する経路が変われば答えが変わることがある。

6. 保温では何を減らしているのか

熱い飲み物をできるだけ長く温かく保つには、外部へ移動するエネルギーを小さくすることが重要である。

例えば、二重構造の容器で、内側と外側の容器の間を真空にする工夫がある。

真空の隙間では、物質を介する熱伝導や、空気などの流れによる対流を抑えられる。ただし、真空でも放射は起こるため、真空にしただけであらゆる熱移動がなくなるわけではない。

©ミライコーチング

さらに、向かい合う面に反射性の高い表面を用いれば、放射による正味のエネルギー移動を小さくできる。

保温の工夫	主に抑えようとする機構	注意する条件
容器の間を真空にする	隙間の熱伝導・対流	放射は残る
向かい合う面を反射性の高い表面にする	放射による正味の伝達	すべての熱移動がなくなるわけではない
動きにくい空気の層を設ける	対流を抑え、熱移動を小さくする	空気層の内部で大きな循環が起こらない条件が必要

また、二重容器の内側と外側を固体の支持部がつないでいるなら、その部分には熱伝導の経路が残り得る。

保温とは、熱を新しく作ることではない。エネルギーが外へ移動する速さを小さくする工夫である。

空気の層についても、厚くすれば必ず保温性能が高くなるわけではない。内部で対流が起こりやすくなる場合があるため、流体の動きや構造の条件が重要となる。

7. 熱量とエネルギー移動の速さ

7.1 同じ熱量でも移動する時間が異なる

熱量はジュール（J）で表す。しかし、同じ熱量が移動しても、それに要する時間が異なれば、エネルギーの伝わる速さは異なる。

ある経路で、時間 Δt の間に熱量 Q が一方向へ移動したとする。このとき、平均移動率は

$$\frac{Q}{\Delta t}$$

で求められる。

ここで Q は注目する向きへ移動した熱量、Δt は正の経過時間である。単位は

$$1\,\mathrm{W} = 1\,\mathrm{J/s}$$

であり、ワット（W）は 1 秒当たりに移動するエネルギーの量を表す単位である。

例えば、500 J が 25 s で移動すれば、

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{500\,\mathrm{J}}{25\,\mathrm{s}} = 20\,\mathrm{J/s} = 20\,\mathrm{W}$$

となる。

ここで求めた平均移動率だけから、熱伝導・対流・放射のどの機構で移動したかは分からない。移動の速さと、移動の仕組みは別の情報である。

7.2 入るエネルギーと出るエネルギーを区別する

ある物体が放射によってエネルギーを吸収する一方で、同時にエネルギーを放出することがある。

注目する時間内に、物体へ入る熱量を Q_{in}、物体から出る熱量を Q_{out} とし、どちらも非負の量で表す。

物体へ入る向きを正とすれば、正味の熱量は

$$Q_{\text{net}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$$

となる。

$Q_{\text{net}} > 0$ なら正味でエネルギーを受け取り、$Q_{\text{net}} < 0$ なら正味でエネルギーを失う。

物体に仕事がされず、熱以外のエネルギーの出入りや巨視的な運動エネルギーなどの変化もない場合には、内部エネルギーの変化 ΔU は

$$\Delta U = Q_{\text{net}}$$

で表される。

この関係を使うときは、仕事などがないという条件を必ず確認する。正味でエネルギーが入ったという情報だけでは、物体の温度が何度上昇するかまでは決まらない。

8. 例題で考える

例題 1

次の 3 つの場面について、指定されたエネルギー移動を最も直接的に説明する仕組みを、熱伝導・対流・放射からそれぞれ答えよ。また、その理由を説明せよ。

例題 1(1) 固定された金属製の鍋の柄について、熱い鍋本体に接する部分から、少し離れた柄の内部へエネルギーが伝わる。柄の周囲の空気への移動は考えない。

例題 1(2) 温風を送る暖房器具から空気が流れ、離れた場所へエネルギーを運ぶ。ここでは移動する空気が運ぶ経路に注目する。

例題 1(3) 温められた物体 A と別の物体 B が真空を隔てて離れており、両者をつなぐ物質経路はない。A から放出された電磁波が B に吸収される経路に注目する。

解答・解説 例題 1(1) 熱伝導である。 金属の柄は固定され、物質全体が流れていない。それでも柄の内部でエネルギーが伝わるため、熱伝導と判断できる。

例題 1(2) 対流である。 空気がまとまって移動し、その流れがエネルギーを運んでいる。送風によって流れを生じさせているため、強制対流の例である。

例題 1(3) 放射である。 真空を隔てており、その区間に物質経路が存在しない。電磁波がエネルギーを運んでいるため、放射と判断できる。

同じエネルギー移動でも、注目する経路における物質の存在と動きによって、仕組みが異なる。

例題 2

ある物体が、20 s の間に放射で 300 J を吸収し、同じ時間に放射で 200 J を放出した。

この物体には仕事がされず、ほかのエネルギーの出入りや巨視的なエネルギーの変化もないものとする。

例題 2(1) 物体が正味で受け取ったエネルギーを求めよ。

例題 2(2) 物体の内部エネルギーの変化を求めよ。

例題 2(3) この時間における正味の平均エネルギー移動率を求めよ。

解答・解説 例題 2(1) 物体へ入る向きを正とする。吸収した 300 J から放出した 200 J を差し引けば、

$$\begin{aligned} Q_{\text{net}} &= 300\,\text{J} - 200\,\text{J} \\ &= +100\,\text{J} \end{aligned}$$

となる。正味で 100 J を受け取った。

例題 2(2) 仕事やほかのエネルギーの出入りがないので、内部エネルギーの変化は

$$\Delta U = +100\,\text{J}$$

となる。つまり、内部エネルギーは 100 J 増加する。

例題 2(3) 正味の平均移動率は、

$$\begin{aligned} \frac{Q_{\text{net}}}{\Delta t} &= \frac{100\,\text{J}}{20\,\text{s}} \\ &= +5\,\text{J/s} \\ &= +5\,\text{W} \end{aligned}$$

となる。正の符号は、物体がエネルギーを正味で受け取っていることを示す。

演習問題

演習 1

長い金属棒を固定し、左端を 100 °C、右端を 20 °C に保つ。棒自体は巨視的に流れない。

棒内部の左端側から右端側へのエネルギー移動に注目し、周囲の空気とのやり取りや棒表面からの放射は、この設問の対象外とする。

演習 1(1) 棒の両端の温度差を求めよ。

演習 1(2) 注目する熱の伝わり方として最も適切なものを次から 1 つ選び、その理由を説明せよ。

- ア：熱伝導
- イ：対流
- ウ：放射

演習 1(3) 両端の温度差だけから、ある時間に棒内部を移動する熱量を一意に求められるか。理由とともに答えよ。

対応解説：巻末の「演習 1 の解答・解説」

演習 2

重力が働く場所で、容器に入れた常温付近の水を左下から加熱し、右側で冷却する。加熱側には 40 °C 程度の領域、冷却側には 20 °C 程度の領域が生じる。

水の流れが生じる通常の条件で、加熱側では比較的温かい水が上昇し、冷却側では比較的冷たい水が下降するものとする。ここでは、水の巨視的な移動によるエネルギーの運搬に注目する。

演習 2(1) 加熱側と冷却側の温度差を求めよ。

演習 2(2) この流れが生じる仕組みを、密度と重力の働きに触れて説明せよ。また、注目する熱の伝わり方の名称を答えよ。

演習 2(3) この現象について「熱は常に上向きにしか移動しない」と説明することは適切か。水の流れる方向を考えて説明せよ。

対応解説：巻末の「演習 2 の解答・解説」

演習 3

熱源 S と受け手 B が離れている。両者の間は真空であり、S と B をつなぐ固体の支持部などの物質経路も存在しない。

S から B へエネルギーが届く経路について、次の問いに答えよ。

演習 3(1) この区間でエネルギーを伝える仕組みとして最も適切なものを、熱伝導・対流・放射から答えよ。その根拠も説明せよ。

演習 3(2) この区間で熱伝導と対流が起こらない理由を、それぞれ説明せよ。

演習 3(3) B も電磁波を放出し得ることを踏まえ、S から B への放射があるという事実だけで、反対向きの放射が存在しないと判断できるか答えよ。

対応解説：巻末の「演習 3 の解答・解説」

演習 4

物体 A と物体 B は、ともに 30 °C で熱平衡にある。

ある 60 s の間に、A から B へ放射によって 200 J が移動し、同じ時間に B から A へ放射によって 200 J が移動したものとする。

この設問では、A と B の間の放射だけに注目し、外部とのほかのエネルギーのやり取りや仕事は無視する。

演習 4(1) A が B との間の放射によって正味で受け取る熱量を、A へ入る向きを正として求めよ。

演習 4(2) A と B の間の放射による正味の熱移動が 0 であることは、放射によるエネルギーのやり取りが存在しないことを意味するか。説明せよ。

演習 4(3) この 60 s において、A の内部エネルギーは正味で何 J 変化するか。

対応解説：巻末の「演習 4 の解答・解説」

©ミライコーチング

演習 5

温かい飲み物を保温するために、内側と外側からなる二重容器を考える。

容器間の隙間を真空にし、さらに向かい合う面を反射性の高い表面にする。内側と外側をつなぐ固体の支持部は存在するものとする。

演習 5(1) 容器間の隙間を真空にすることで、主にどの 2 つの熱移動の仕組みを抑えられるか。また、その理由を説明せよ。

演習 5(2) 反射性の高い表面は、どの仕組みによるエネルギーの移動を抑えるためのものか。

演習 5(3) この容器を「真空と反射面があるので、熱は絶対に外部へ移動しない」と説明することは適切か。固体の支持部にも触れて説明せよ。

対応解説：巻末の「演習 5 の解答・解説」

演習 6

ある物体間の一つの経路で、熱量 1200 J が 60 s の間に一方向へ移動した。

別の時間区間には、同じ経路で熱量 600 J が 30 s の間に同じ向きへ移動した。

いずれの区間も、与えた熱量はその経路で注目する向きに移動した量である。

演習 6(1) 最初の区間における平均移動率を、J/s と W で求めよ。

演習 6(2) 次の区間における平均移動率を、J/s と W で求めよ。

演習 6(3) 2 つの区間の熱量と平均移動率を比較せよ。また、この情報だけで熱伝導・対流・放射のどの機構かを判断できるか答えよ。

対応解説：巻末の「演習 6 の解答・解説」

演習 7

ある物体が、同じ 10 s の間に放射によって 600 J を吸収し、放射によって 450 J を放出した。

物体には仕事がされず、ほかのエネルギーの出入りや巨視的な運動エネルギーなどの変化もないものとする。

演習 7(1) 物体が放射によって正味で受け取った熱量を求めよ。

演習 7(2) 物体の内部エネルギーの変化を求めよ。

演習 7(3) 正味の平均エネルギー移動率を求めよ。符号と単位を明示すること。

演習 7(4) この情報だけから、物体の温度が何℃ 上昇したかを求められるか。理由を説明せよ。

対応解説：巻末の「演習 7 の解答・解説」

©ミライコーチング

演習 8

ある固体の受け手 P に、同じ時間区間の間に 3 つの異なる経路からエネルギーが入る場合を考える。

与えられたエネルギーは、以下のとおりである。

経路	P へ入るエネルギー
固体の支持部の内部を通り、物質全体の移動なしに伝わる経路	300 J
P の周囲を流れる流体の巨視的な移動によって運ばれる経路	200 J
P が電磁波を吸収する経路	100 J

これらは互いに重複しない経路として区別され、各値は P へ入る正味のエネルギーを表している。P には仕事がされず、ほかのエネルギーの出入りや巨視的なエネルギーの変化もないものとする。

演習 8(1) 3 つの経路を、それぞれ熱伝導・対流・放射のいずれに分類するか答えよ。

演習 8(2) P が 3 つの経路から正味で受け取る熱量の合計を求めよ。

演習 8(3) P の内部エネルギーの変化を求めよ。

演習 8(4) 同じ場面で複数の熱移動の仕組みが働くことと、1 つの熱量を重複して数えることはどう違うか説明せよ。

対応解説：巻末の「演習 8 の解答・解説」

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

演習 1 の解答・解説

演習 1(1) 両端の温度差は 80 °C である。

$$\begin{aligned}\Delta T &= 100\,^\circ\mathrm{C} - 20\,^\circ\mathrm{C} \\ &= 80\,^\circ\mathrm{C}\end{aligned}$$

演習 1(2) 正答はアの熱伝導である。

注目しているのは、固定された金属棒の内部を左端側から右端側へ伝わるエネルギーである。棒全体は流れていないため、物質内部の相互作用による熱伝導が適切である。

各選択肢を確認すると、次のようになる。

- ア：適切である。棒内部で物質全体の移動を伴わずにエネルギーが伝わる。
- イ：適切でない。対流は液体や気体などの巨視的な流れによる運搬であり、この棒内部ではそのような流れを考えていない。
- ウ：適切でない。放射は電磁波による伝達であるが、今回注目しているのは棒内部の経路であり、周囲への放射は対象外である。

実際の金属棒では放射などが同時に起こり得るが、それは今回の対象経路についての答えを変えない。

演習 1(3) 温度差だけから移動する熱量を一意に求めることはできない。

熱量は棒の材質、形状、熱移動の時間などにも関係する。温度差が分かっても、熱量を決定するための条件が不足している。

温度差と熱量を混同しない 温度差は 2 つの場所の温度の違いを示す量であり、移動したエネルギーの量そのものではない。単位も温度差は℃、熱量は J である。

演習 2 の解答・解説

演習 2(1) 温度差は 20 °C である。

$$\begin{aligned}\Delta T &= 40\,^\circ\mathrm{C} - 20\,^\circ\mathrm{C} \\ &= 20\,^\circ\mathrm{C}\end{aligned}$$

演習 2(2) 注目する現象は自然対流である。

通常の条件では、左下で温められた水は膨張し、周囲より密度が小さくなる。このため重力が働く環境で上昇しやすくなる。

一方、右側で冷却された水は比較的密度が大きくなり、下降しやすい。その結果、水の循環が生じ、移動する水がエネルギーを運ぶ。

水という流体の巨視的な移動があることから、熱の伝わり方は対流と判断できる。

演習 2(3) 「熱は常に上向きにしか移動しない」という説明は適切でない。

温められた水が上昇する部分だけでなく、上部で横向きに流れる部分や、冷却側で水が下降する部分もある。

また、送風やポンプによって流体を動かす強制対流では、流れの向きは上向きに限られない。

対流の本質は、熱が上へ移動することではなく、流体の移動によってエネルギーが運ばれることである。

模式図の矢印も流体の動きを表しており、熱量や流速の大きさを表す尺度ではない。

演習 3 の解答・解説

演習 3(1) 放射である。

S と B の間には物質が存在しないが、電磁波は真空中でもエネルギーを運ぶことができる。したがって、S から B へ電磁波によって届くエネルギーの伝達は放射である。

演習 3(2) 熱伝導と対流が起こらない理由は次のとおりである。

- 熱伝導：物質内部の相互作用によって伝わる仕組みである。今回の S と B の間は真空であり、両者をつなぐ物質経路がないため、この区間での熱伝導は起こらない。
- 対流：液体や気体などの巨視的な流れによってエネルギーを運ぶ仕組みである。真空の区間には流れる流体がないため、対流は起こらない。

これは、S と B の間に指定された経路についての判断である。仮に別の固体の支持部が存在すれば、その支持部を通る熱伝導が生じ得る。

演習 3(3) 反対向きの放射が存在しないとは判断できない。

B も温度を持つ物体であり、放射を行い得る。S から B への放射が示されていても、B から S への放射がないとは限らない。

両方向の移動量が与えられれば、それらの差によって正味の移動を判断できる。

演習 4 の解答・解説

演習 4(1) A が正味で受け取る熱量は 0 J である。

A は B から 200 J を受け取り、B へ 200 J を放出している。

A へ入る向きを正とすると、

$$Q_{\text{net}} = 200\,\text{J} - 200\,\text{J}$$
$$= 0\,\text{J}$$

となる。

演習 4(2) 正味の移動が 0 であることは、放射によるエネルギーのやり取りが存在しないことを意味しない。

実際に、A から B へ 200 J、B から A へ 200 J が移動している。双方の移動量が等しいため、差し引きが 0 となっている。

温度が同じで熱平衡にあっても、個々の放射と吸収は起こり得る。

演習 4(3) A の内部エネルギーの変化は 0 J である。

今回の条件では、仕事やほかのエネルギーの出入りがなく、正味の熱量も 0 である。したがって、

$$\Delta U = Q_{\text{net}} = 0\,\text{J}$$

となる。

A の内部エネルギーが正味で変わらないことと、放射によるやり取りが停止していることは別である。

演習 5 の解答・解説

演習 5(1) 主に抑えられるのは、容器間の隙間での熱伝導と対流である。

熱伝導にはエネルギーを伝える物質が必要であり、対流には移動する液体や気体が必要である。

隙間を真空にすることで、そこに存在する物質を介した熱伝導や、空気の流れによる対流を抑えられる。

演習 5(2) 放射による正味のエネルギー移動を抑えるためのものである。

放射は真空でも起こるため、真空にしただけでは防げない。向かい合う面を反射性の高い表面にすることで、放射によるエネルギーの伝達を小さくする工夫ができる。

演習 5(3) 「熱は絶対に外部へ移動しない」という説明は適切でない。

まず、真空であっても放射は起こり得る。また、内側と外側をつなぐ固体の支持部には、熱伝導によるエネルギー移動の経路が残る。

さらに、反射性の高い表面でも、放射による正味の移動を完全に 0 にできるとは限らない。

したがって、これらの工夫は熱移動を小さくするためのものであり、すべての熱移動が完全になくなることを意味しない。

©ミライコーチング

演習 6 の解答・解説

演習 6(1) 最初の区間の平均移動率は $20\,\mathrm{J/s} = 20\,\mathrm{W}$ である。

$$\begin{aligned}\frac{Q}{\Delta t} &= \frac{1200\,\mathrm{J}}{60\,\mathrm{s}} \\ &= 20\,\mathrm{J/s} \\ &= 20\,\mathrm{W}\end{aligned}$$

演習 6(2) 次の区間の平均移動率も $20\,\mathrm{J/s} = 20\,\mathrm{W}$ である。

$$\begin{aligned}\frac{Q}{\Delta t} &= \frac{600\,\mathrm{J}}{30\,\mathrm{s}} \\ &= 20\,\mathrm{J/s} \\ &= 20\,\mathrm{W}\end{aligned}$$

演習 6(3) 最初の区間で移動した熱量は 1200 J、次の区間では 600 J であり、最初の区間のほうが 2 倍大きい。

一方、時間も最初が 60 s、次が 30 s で 2 倍となっている。したがって、平均移動率は両区間とも 20 W で等しい。

この情報だけでは、熱伝導・対流・放射のどの機構でエネルギーが移動したかは判断できない。

熱移動の機構を判断するには、物質の有無や流体の移動、電磁波による伝達など、経路の条件が必要である。また、熱量と経過時間だけから温度差や物質固有の熱の伝わりやすさを決定することもできない。

量と速さを分けて読む 熱量の単位 J は、移動したエネルギーの量を示す。

平均移動率の単位 W は、1 秒当たりに移動したエネルギーの量を示す。同じ平均移動率でも、時間が長ければ移動する熱量は大きくなり得る。

演習 7 の解答・解説

演習 7(1) 正味で受け取った熱量は $+150\,\mathrm{J}$ である。

物体に入る向きを正とすると、

$$\begin{aligned} Q_{\mathrm{net}} &= Q_{\mathrm{in}} - Q_{\mathrm{out}} \\ &= 600\,\mathrm{J} - 450\,\mathrm{J} \\ &= +150\,\mathrm{J} \end{aligned}$$

となる。

吸収したエネルギーのほうが放出したエネルギーより大きいため、物体は正味でエネルギーを受け取っている。

演習 7(2) 内部エネルギーの変化は $+150\,\mathrm{J}$ である。

仕事やほかのエネルギーの出入り、巨視的なエネルギーの変化がないという条件より、

$$\Delta U = Q_{\mathrm{net}} = +150\,\mathrm{J}$$

となる。したがって、内部エネルギーは $150\,\mathrm{J}$ 増加する。

演習 7(3) 正味の平均エネルギー移動率は $+15\,\mathrm{W}$ である。

$$\begin{aligned} \frac{Q_{\mathrm{net}}}{\Delta t} &= \frac{+150\,\mathrm{J}}{10\,\mathrm{s}} \\ &= +15\,\mathrm{J/s} \\ &= +15\,\mathrm{W} \end{aligned}$$

正の符号は、物体へエネルギーが正味で入ることを表している。

演習 7(4) 温度が何℃ 上昇したかは、この情報だけでは求められない。

内部エネルギーが $150\,\mathrm{J}$ 増加したことは分かるが、その増加が何℃ の温度変化に対応するかは、物質の種類や量、状態などによって異なる。

そのため、内部エネルギーの変化が分かっただけで、温度上昇の数値まで決定することはできない。

演習 8 の解答・解説

演習 8(1) 3 つの経路は、順に熱伝導・対流・放射である。

経路	伝わり方	判断の根拠
固体の支持部から 300 J	熱伝導	固体全体は移動せず、内部をエネルギーが伝わる
流れる流体から 200 J	対流	流体の巨視的な移動がエネルギーを運ぶ
電磁波から 100 J	放射	電磁波によってエネルギーが運ばれる

このように、同じ物体 P へ向かう熱移動であっても、経路によって仕組みが異なる。

演習 8(2) P が正味で受け取る熱量の合計は 600 J である。

各経路のエネルギーは互いに重複しておらず、すべて P へ入る向きに与えられているため、そのまま加える。

$$\begin{aligned} Q_{\text{net}} &= 300\,\text{J} + 200\,\text{J} + 100\,\text{J} \\ &= +600\,\text{J} \end{aligned}$$

演習 8(3) P の内部エネルギーの変化は +600 J である。

仕事やほかのエネルギーの出入り、巨視的なエネルギーの変化がないという条件より、

$$\Delta U = Q_{\text{net}} = +600\,\text{J}$$

となる。

したがって、P の内部エネルギーは 600 J 増加する。

演習 8(4) 複数の仕組みが働くことと、同じ熱量を重複して数えることは異なる。

今回の 300 J、200 J、100 J は、それぞれ異なる経路で P へ入ったエネルギーとして与えられている。このため、合計すると 600 J となる。

一方、例えば同じ 600 J の移動を、熱伝導・対流・放射のそれぞれについて 600 J ずつ加え、1800 J と数えるのは誤りである。その 600 J が 3 つの独立した経路からそれぞれ入ったという条件はないからである。

エネルギーの収支を考えるときには、どの経路から入った量なのかを確認し、同じエネルギーを二重、三重に数えないことが重要である。

複合する熱移動の見方 現実の物体では、熱伝導・対流・放射が同時に働くことがある。

そのときも、経路ごとの移動量を区別し、系に入る量と出る量を正しく整理すれば、全体のエネルギー収支を考えられる。

仕組みを分類することと、熱量を合計することは別の操作である。

©ミライコーチング