第 049 講 熱・温度・内部エネルギー

温かい飲み物に冷たい水を加えると、飲み物の温度は変化する。また、手をこすり合わせると、外から温めなくても手が温かくなる。

どちらも「温かさ」に関係する現象であるが、エネルギーが移動する仕組みは同じではない。

これらを正しく説明するには、**温度・熱・内部エネルギー**という 3 つの量を区別する必要がある。

この講でできるようになること

- 温度と熱の違いを説明し、温度差から熱の移動方向を判断できる。
- 粒子の熱運動と内部エネルギーの関係を説明できる。
- 物体の量や状態を考慮し、温度だけでは内部エネルギーを比較できない場合を判断できる。
- 熱の出入りや力学的エネルギーの変化から、条件を確かめて内部エネルギーの増減を求められる。
- 内部エネルギーが増えても温度が上がるとは限らない理由を説明できる。

1. 温度は物体の熱的な状態を表す

1.1 温度が示しているもの

温度は、物体がどのような熱的状態にあるかを表す物理量である。

例えば、水の温度が 20°C であれば、その水の量が 100g でも 200g でも、温度は同じ 20°C である。水の量が 2 倍になったからといって、温度が 40°C になるわけではない。

本講では、温度を摂氏温度（°C）で表す。

温度の違いを表すときは、同じ温度単位で数値の差を求める。

1.2 温度差を読み取る

物体 A の温度が 80°C、物体 B の温度が 20°C である場合を考える。

次の数直線は、2 つの物体を接触させる前の温度を表している。



図 1　接触前の摂氏温度。目盛の単位は°C。A は 80°C、B は 20°C で温度差 60°C。数直線は温度の値であり物体の空間位置ではない。

A と B の温度差は、

$$80^\circ\mathrm{C} - 20^\circ\mathrm{C} = 60^\circ\mathrm{C}$$

である。

ここで、数直線上の点の位置は温度の数値を示している。物体 A と B が実際の空間でどれだけ離れているかを表すものではない。

©ミライコーチング

温度差が分かると、2 つの物体を熱的に接触させたとき、どちらからどちらへ熱が移動するかを考えられる。ただし、温度差だけでは、移動するエネルギーの量までは決められない。

2. 熱は温度差によって移動するエネルギーである

2.1 高温の物体から低温の物体へ

高温の物体と低温の物体を、熱が伝わるように接触させると、通常、正味のエネルギー移動は高温側から低温側へ起こる。

このように、**温度差によって物体間を移動するエネルギーを熱という**。

温度が 80°C の A と 20°C の B を、外部から仕事を加えずに熱的に接触させると、初めの正味の熱の移動方向は A から B である。

熱の移動によって A はエネルギーを失い、B はエネルギーを受け取る。

熱と熱量

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。

移動したエネルギーの量を**熱量**といい、記号Qで表す。単位はジュール（J）である。

例えば、A から B へ300 Jのエネルギーが熱として移動した場合、その熱量は$Q = 300\,\mathrm{J}$である。

ここで重要なのは、熱が「移動するエネルギー」を指していることである。

物体の中に保存されているエネルギーを、そのまま「蓄えられた熱」と呼ぶのは正確ではない。物体が持つ内部のエネルギーについては、後で内部エネルギーとして扱う。

2.2 熱の移動を矢印で表す

先ほどと同じ、接触前の温度が A は 80°C、B は 20°C の 2 物体を考える。

ある時間区間に A から B へ300 Jの熱が移動したとする。次の模式図の矢印は、この区間における熱の移動方向を説明するものである。



図の A と B は、それぞれ物体全体を表す記号であり、粒子 1 個を意味しない。

矢印は**エネルギーが A から B へ移動したこと**を示している。力や速度の矢印ではなく、物体そのものが A から B へ動くことも意味しない。

また、熱量Qは向きを持つベクトル量ではなく、スカラー量である。図の矢印の長さは、300 Jに比例する尺度で描かれているわけではない。

2.3 熱平衡とは何か

温度が異なる 2 物体を熱的に接触させ、外部からの作用がない状態で十分に時間が経過すると、2 物体が同じ温度になることがある。

このように、熱的に接触している物体の間で正味の熱の移動がなくなった状態を**熱平衡**という。

例えば、A と B がともに 25°C で熱平衡にあるなら、2 物体の温度差は 0°C であり、温度差による正味の熱移動は 0J である。

ここで、熱平衡になったからといって、物体内部の粒子がすべて静止するわけではない。

また、異なる物質や異なる量の物体でも熱平衡になることがある。温度が等しいという理由だけで、物体内部のエネルギーまで等しいとは判断できない。

温度から判断できること

外部から仕事などを加えずに 2 物体を熱的に接触させる場合、初めの温度の大小から正味の熱移動方向を判断できる。

一方、温度差だけでは、実際に移動する熱量や熱平衡に達したときの温度は求められない。物質の種類や量など、追加の条件が必要である。

3. 物体の内部では粒子が運動している

3.1 熱運動

物質は、原子や分子などの小さな粒子からできている。

これらの粒子は、物体が静止して見えるときでも、不規則に運動している。このような微視的な運動を**熱運動**という。

例えば、気体では粒子がさまざまな方向へ運動している。一方、固体では、粒子がそれぞれの平衡位置付近で振動している。

粒子がみな同じ速さで運動したり、同じ方向へ一斉に進んだりしているわけではない。

通常、同じ物質で同じ状態にある試料を比較すると、温度が高いほど粒子の熱運動は激しい。

ただし、これは熱運動の様子を大まかに捉える説明であり、温度の数値から個々の粒子の速さを直接求められるという意味ではない。

3.2 内部エネルギー

粒子が運動していれば、その運動に関係するエネルギーを持っている。また、粒子同士が相互作用していることにもエネルギーが関係する。

これらの物体内部の微視的なエネルギーを合わせたものを**内部エネルギー**という。

内部エネルギー

内部エネルギーとは、物体内部の粒子の微視的な運動と、粒子間の相互作用に関係するエネルギーの総和である。

記号Uで表し、単位はジュール（J）である。

内部エネルギーは、物体全体が移動することで持つ運動エネルギーや、物体の高さによって決まる重力による位置エネルギーとは区別する。

例えば、机の上に置いた物体が静止していても、内部の粒子は熱運動をしているため、内部エネルギーを持っている。

物体の状態が変わると、内部エネルギーも変化することがある。

変化前の内部エネルギーを$U_{\text{前}}$、変化後を$U_{\text{後}}$とすると、その変化量ΔUは、

$$\Delta U = U_{\text{後}} - U_{\text{前}}$$

である。

ΔUが正なら内部エネルギーは増加し、負なら減少したことを表す。

なお、内部エネルギーの数値を比較するときは、どの状態を基準とするかをそろえる必要がある。本講の数値問題では、必要な基準を問題ごとに明示する。

©ミライコーチング

3.3 温度・熱・内部エネルギーの違い

ここまでに登場した 3 つの量を整理すると、次のようになる。

物理量	表しているもの	単位
温度	物体の熱的な状態	℃
熱量Q	温度差によって移動したエネルギーの量	J
内部エネルギーU	物体内部の微視的な運動と相互作用に関係するエネルギー	J

熱量と内部エネルギーは、どちらもエネルギーの単位 J を使う。

しかし、**熱量は移動の過程を表し、内部エネルギーは物体の状態を表す**。

同じ単位を使っているからといって、意味まで同じではない。

また、温度が高い物体の内部エネルギーが、温度の低い物体より必ず大きいとも限らない。物質の種類や量などが異なるためである。

4. 熱の移動と内部エネルギーの増減

4.1 エネルギーの移動先を確認する

熱が物体へ入ると、その物体が受け取ったエネルギーは内部エネルギーの変化につながることがある。

ここでは、熱以外のエネルギーの出入りや物体全体の運動エネルギー・位置エネルギーの変化がない場合を考える。

この条件では、外部から熱として入ったエネルギーの量だけ内部エネルギーが増え、外部へ熱として出ていったエネルギーの量だけ内部エネルギーが減る。

例えば、物体が300 Jを熱として受け取った場合は、

$$\Delta U = +300\,\mathrm{J}$$

となる。

反対に、物体から300 Jが熱として出ていった場合は、

$$\Delta U = -300\,\mathrm{J}$$

となる。

この増減の関係は、今まで学んだエネルギー保存の考え方とつながっている。

ただし、実際には外部から仕事を受けたり、物体全体の運動エネルギーが変化したりする場合もある。そのようなときに、熱量だけから内部エネルギーの変化を決めてはいけない。

例題 1

熱的に接触させる前の温度が 80℃ の物体 A と 20℃ の物体 B がある。

外部から仕事を加えずに接触させたところ、ある時間区間に A から B へ300 Jの熱が移動した。

この区間では、外部への熱の漏れ、外部との仕事のやり取り、物体全体の運動エネルギーや位置エネルギーの変化はないものとする。

(1) 接触前の温度差と、初めの正味の熱の移動方向を求めよ。

(2) この区間における A と B の内部エネルギーの変化量ΔU_{A}、ΔU_{B}をそれぞれ求めよ。

(3) A と B を合わせた内部エネルギーの変化量を求め、その理由を説明せよ。

解答・解説 (1) 接触前の温度差は、

$$80^{\circ}\mathrm{C} - 20^{\circ}\mathrm{C} = 60^{\circ}\mathrm{C}$$

である。

A の温度が B より高いため、初めの正味の熱の移動方向は A から B となる。

(2) 熱を失った A では内部エネルギーが減少する。

したがって、

$$\Delta U_{\mathrm{A}} = -300\,\mathrm{J}$$

である。

一方、B は同じ量のエネルギーを熱として受け取ったため、

$$\Delta U_{\mathrm{B}} = +300\,\mathrm{J}$$

となる。

(3) A と B を合わせた内部エネルギーの変化量は、

$$\begin{aligned}\Delta U_{\mathrm{A}} + \Delta U_{\mathrm{B}} &= -300\,\mathrm{J} + 300\,\mathrm{J} \\ &= 0\,\mathrm{J}\end{aligned}$$

である。

A から失われたエネルギーが、そのまま B へ移動している。外部とのエネルギーのやり取りや他のエネルギーの変化がないため、A と B の内部エネルギーの合計は変化しない。

ここで求めたのは内部エネルギーの**変化量**である。A と B が初めに持っていた内部エネルギーの値や、その大小関係までは求められない。

5. 温度が同じでも内部エネルギーは同じとは限らない

5.1 物体の量に注目する

同じ物質で同じ温度にある物体でも、その量が異なれば内部エネルギーが異なることがある。

例えば、同じ温度の水を 100g 用意した場合と 200g 用意した場合を比較する。

物質の種類、温度、状態が同じでも、200g の方が含まれる粒子の数は多い。

この違いを踏まえると、内部エネルギーは温度だけで決まるものではないと分かる。

同じ均質な物質について、温度・相・組成をそろえ、同じ内部エネルギーの基準を使い、境界などのエネルギーの寄与を無視できる場合には、試料の量を 2 倍にすると内部エネルギーも 2 倍になる。

ただし、物質の種類や状態が異なる場合にまで、この比例関係を無条件に使ってはいけない。

例題 2

同じ均質な物質からできた 2 つの試料 A、B を考える。

どちらも同じ相・組成で、温度は 30°C である。内部エネルギーの基準は共通とし、境界などのエネルギーの寄与は無視できるものとする。

試料 A の質量は 100g で、内部エネルギーは800 Jである。試料 B の質量は 200g である。

(1) 試料 B の内部エネルギーを求めよ。

(2) 試料 B の温度は何°C か。また、質量を 2 倍にしたことで温度も 2 倍になるという考えが適切でない理由を説明せよ。

解答・解説 (1) 物質・相・組成・温度と内部エネルギーの基準が共通であり、質量だけが 2 倍となっている。

したがって、試料 B の内部エネルギーは、

$$U_{\mathrm{B}} = 800\,\mathrm{J} \times \frac{200\,\mathrm{g}}{100\,\mathrm{g}}$$

$$= 1600\,\mathrm{J}$$

である。

(2) 試料 B の温度は 30°C である。

質量が 2 倍になることは、同じ状態の粒子が 2 倍の量だけ存在することに対応する。この条件では内部エネルギーは 2 倍になるが、粒子の熱的状態を示す温度まで 2 倍になるわけではない。

A と B がともに 30°C なら、2 つを接触させただけで温度が 60°C になることもない。

温度と内部エネルギーを比較する視点

温度は、物体の量が増えればその分だけ大きくなるという量ではない。

一方、内部エネルギーは物体内部の粒子全体に関係するため、物質の種類や量、状態などの影響を受ける。

温度の数値だけを見て、異なる物体の内部エネルギーの大小を断定してはいけない。

6. 熱が入らなくても内部エネルギーは増える

6.1 摩擦によるエネルギーの変化

机の上で物体を滑らせると、摩擦によって物体の速さが小さくなることがある。

物体の運動エネルギーが減少したとき、そのエネルギーがすべて消えてしまったわけではない。

物体と接触面の内部では、粒子の運動や相互作用に関係するエネルギーが変化し、内部エネルギーが増えることがある。

このとき、熱が外部から入ってこなくても、内部エネルギーが増加し得る。

6.2 系をどこまで含めるか

エネルギーの変化を調べるときは、考える対象のまとまりを**系**という。

例えば、粗い面の上を物体が滑る場合には、物体だけを系とするか、物体と粗い面をまとめて系とするかによって、エネルギーの出入りの整理が変わる。

物体と粗い面を合わせて系とすれば、両者の間の摩擦によるエネルギーの変換を、系の内部で起こる変化として扱える。

さらに、系の外との熱の出入りがない状態を**断熱**という。

断熱だからといって、系の内部エネルギーが必ず一定になるわけではない。

例題 3

断熱容器の内部で、物体が粗い面の上を滑っている。

物体と粗い面を合わせて 1 つの系とし、外部との熱の出入りや仕事のやり取りはないものとする。

ある区間に、この系の力学的エネルギーが120 J減少した。この力学的エネルギーの減少と内部エネルギーの変化以外に、エネルギーの変化はないものとする。

(1) 系の外から熱として流入したエネルギーの量を求めよ。

(2) 系全体の内部エネルギーの変化量を求めよ。

(3) 物体と粗い面の内部エネルギーがそれぞれ何 J 増えたかを、この条件だけで求められるか。理由とともに答えよ。

解答・解説 (1) 系は断熱されているため、外部からの熱流入は0 Jである。

(2) 系の力学的エネルギーは120 J減少している。

外部とのエネルギーのやり取りはなく、他のエネルギー変化もないため、減少した力学的エネルギーが系内部のエネルギーの増加に対応する。

したがって、

$$\Delta U = +120\,\mathrm{J}$$

である。

(3) それぞれの増加量は求められない。

分かっているのは、物体と粗い面を合わせた内部エネルギーが120 J増えたことだけである。

どちらにどれだけのエネルギーが移ったかを求めるには、追加の条件が必要である。

この例から、内部エネルギーが増えたという事実だけでは、外部から熱を受け取ったと判断できないことが分かる。

エネルギーがどこから来て、どの形に変わったかを考える必要がある。

©ミライコーチング

7. 内部エネルギーが増えても温度が上がるとは限らない

7.1 熱を受け取ることと温度上昇は別

物体が熱を受け取ると、温度が上がる場合がある。

しかし、内部エネルギーには粒子の運動だけでなく、粒子間の相互作用に関係するエネルギーも含まれている。

そのため、内部エネルギーが増加しても、温度が一定のままになる場合がある。

7.2 氷が融けるとき

0°C の氷を温める場面を考える。

氷と水が共存し、氷の一部が融けている間には、熱を受け取りながら温度が 0°C に保たれる場合がある。

このとき、受け取ったエネルギーは、粒子間の相互作用に関係する内部エネルギーの変化にも使われている。

したがって、温度が変わらなくても内部エネルギーは増加し得る。

ただし、氷がすべて融け終わった後まで、温度が 0°C のままであるとは限らない。

また、物体に触れたときに冷たく感じるかどうかも、温度だけで決まるわけではない。物質によって熱の伝わりやすさが異なるため、手からエネルギーが移る様子も変わるからである。

温度・熱の移動・内部エネルギーの変化は、互いに関係していても別々に考える必要がある。

8. 演習問題

演習 1

物体 A と物体 B が熱的に接触しており、十分に時間が経過して熱平衡になった。

そのとき、A と B の温度はどちらも 25°C であった。外部からの熱や仕事などの作用はないものとする。

演習 1(1) A と B の温度差と、2 物体の間の正味の熱移動量を求めよ。

演習 1(2) 熱平衡になったとき、A と B の内部にあるすべての粒子は静止しているといえるか。理由とともに答えよ。

演習 1(3) A と B の内部エネルギーが等しいと断定できるか。物質の種類や量に注目して説明せよ。

対応解説：巻末の「演習 1 の解答・解説」。

演習 2

ある物体について、次の 2 つの区間を連続して考える。

- 区間 Ⅰ：外部から1.2 kJの熱を受け取る。
- 区間 Ⅱ：物体から外部へ0.50 kJの熱が出ていく。

両区間とも外部との仕事のやり取りはなく、物体全体の運動エネルギーや位置エネルギーの変化など、内部エネルギー以外のエネルギー変化はないものとする。

演習 2(1) 区間 Ⅰ と区間 Ⅱ における内部エネルギーの変化量を、それぞれ J 単位で求めよ。

演習 2(2) 2 つの区間を通した内部エネルギーの変化量を求めよ。

演習 2(3) 物体の質量、物質の種類、状態が分からない場合、温度の変化量を数値で求められるか。理由とともに答えよ。

対応解説：巻末の「演習 2 の解答・解説」。

演習 3

物体 C と物体 D について、次の条件が与えられている。

物体	初めの温度	後の温度	外部から受け取った熱量
C	20°C	30°C	100J
D	20°C	30°C	300J

どちらの物体も外部との仕事のやり取りはなく、物体全体の運動エネルギーや位置エネルギーの変化はないものとする。

なお、C と D の物質の種類や量は同じとは限らない。

演習 3(1) C と D の温度変化を、それぞれ求めよ。

演習 3(2) C と D の内部エネルギーの変化量を、それぞれ求めよ。

演習 3(3) この結果から「温度の変化が同じなら、受け取った熱量も内部エネルギーの変化量も必ず等しい」といえるか。理由とともに答えよ。

対応解説：巻末の「演習 3 の解答・解説」。

演習 4

0°C の氷と水が共存する状態で、氷の一部が融ける過程を考える。

この間、温度は 0°C のままで、外部から200 Jの熱が入ったとする。

機械的な仕事や物体全体の運動エネルギー・位置エネルギーの変化は無視できるものとする。

演習 4(1) この過程における温度変化を求めよ。

演習 4(2) 内部エネルギーは約何 J 変化するか。増減の符号も付けて答えよ。

演習 4(3) 熱を受け取って内部エネルギーが増加しているにもかかわらず、温度が上昇しない理由を説明せよ。

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

次の 3 つの発言について考える。

- 生徒 A「80°C の物体は 20°C の物体より温度が高いから、内部エネルギーも必ず大きい。」
- 生徒 B「2 物体が熱平衡になれば、粒子の熱運動は止まる。」
- 生徒 C「摩擦によって内部エネルギーが増えることがあるので、内部エネルギーの増加がすべて外部からの熱流入によるとは限らない。」

演習 5(1) 生徒 A の発言が正しいかどうかを判断し、その理由を説明せよ。

演習 5(2) 生徒 B の発言が正しいかどうかを判断し、その理由を説明せよ。

演習 5(3) 生徒 C の発言が正しいかどうかを判断し、その理由を説明せよ。

演習 5(4) 生徒 A の発言に登場する 80°C の物体と 20°C の物体を、外部から仕事を加えずに熱的に接触させる。初めの正味の熱移動方向を答えよ。また、物質の種類や量が不明なまま、最終的な熱平衡温度を数値で求められるか説明せよ。

対応解説：巻末の「演習 5 の解答・解説」。

演習問題の解答・解説

演習 1 の解答・解説

演習 1(1) 温度差は0°C、正味の熱移動量は0 Jである。

A と B の温度はともに 25°C なので、

$$25^\circ\mathrm{C} - 25^\circ\mathrm{C} = 0^\circ\mathrm{C}$$

となる。

2 物体は熱平衡にあり、外部からの作用もないため、温度差による正味の熱移動は起こらない。

演習 1(2) すべての粒子が静止しているとはいえない。

熱平衡とは、熱的に接触している 2 物体の間で正味の熱の移動がなくなった状態である。

物体内部の粒子は、熱平衡に達した後も不規則な熱運動をしている。

したがって、「正味の熱移動がないこと」と「粒子の熱運動がないこと」は別である。

演習 1(3) A と B の内部エネルギーが等しいとは断定できない。

温度は物体の熱的な状態を表す。一方、内部エネルギーは、物体内部の粒子の運動や相互作用に関係するエネルギーの総和である。

A と B で物質の種類や量などが異なれば、同じ 25°C でも内部エネルギーが異なることがある。

そのため、温度が等しいという情報だけでは、内部エネルギーの値や大小関係までは決められない。

©ミライコーチング

演習 2 の解答・解説

演習 2(1) 区間 Ⅰ では$+1200\,\mathrm{J}$、区間 Ⅱ では$-500\,\mathrm{J}$である。

まず、エネルギーの単位を J にそろえる。

$$1.2\,\mathrm{kJ} = 1200\,\mathrm{J}$$

$$0.50\,\mathrm{kJ} = 500\,\mathrm{J}$$

区間 Ⅰ では、外部から$1200\,\mathrm{J}$を熱として受け取る。仕事や他のエネルギー変化がないため、

$$\Delta U_{\mathrm{I}} = +1200\,\mathrm{J}$$

となる。

区間 Ⅱ では、物体から外部へ$500\,\mathrm{J}$が熱として出ていくため、

$$\Delta U_{\mathrm{II}} = -500\,\mathrm{J}$$

である。

演習 2(2) 2 区間を通した内部エネルギーの変化量は$+700\,\mathrm{J}$である。

それぞれの変化量を符号付きで足すと、

$$\begin{aligned}\Delta U_{\text{全体}} &= \Delta U_{\mathrm{I}} + \Delta U_{\mathrm{II}} \\ &= 1200\,\mathrm{J} - 500\,\mathrm{J} \\ &= +700\,\mathrm{J}\end{aligned}$$

となる。

したがって、初めの状態と比較すると、内部エネルギーは$700\,\mathrm{J}$増加している。

熱が入る区間と出ていく区間がある場合は、移動した熱量をすべて正の数として単純に足すのではなく、内部エネルギーの増減の向きを区別する。

演習 2(3) 温度変化の数値は求められない。

内部エネルギーが$700\,\mathrm{J}$増加したことは分かるが、その増加が何℃ の温度上昇に対応するかは、物質の種類、量、状態などによって異なる。

また、状態が変化する場合には、内部エネルギーが増えても温度が一定となることがある。

そのため、内部エネルギーの変化量だけでは温度の変化量を数値で決められない。

演習 3 の解答・解説

演習 3(1) C と D の温度変化は、どちらも+10°Cである。

C の温度変化は、

$$30^\circ\mathrm{C} - 20^\circ\mathrm{C} = +10^\circ\mathrm{C}$$

である。

D も同じく 20°C から 30°C へ変化しているため、温度変化は+10°Cとなる。

演習 3(2) C の内部エネルギー変化は+100 J、D は+300 Jである。

仕事や物体全体の運動エネルギー・位置エネルギーの変化がないため、受け取った熱量がそれぞれの内部エネルギーの増加量に対応する。

したがって、

$$\Delta U_{\mathrm{C}} = +100\,\mathrm{J}$$

$$\Delta U_{\mathrm{D}} = +300\,\mathrm{J}$$

となる。

演習 3(3) 温度変化が同じでも、受け取った熱量や内部エネルギーの変化量が必ず等しいとはいえない。

今回の条件では、C と D の温度変化はどちらも 10°C である。

しかし、受け取った熱量は C が100 J、D が300 Jであり、内部エネルギーの変化量も異なっている。

これは、C と D の物質の種類や量が異なり得るためであり、条件に矛盾はない。

温度の変化とエネルギーの変化を比較するときは、温度差だけでなく、物体の種類や量なども確認する必要がある。

演習 4 の解答・解説

演習 4(1) 温度変化は0°Cである。

氷の一部が融けている間、温度は 0°C のままであると与えられている。

したがって、

$$0^\circ\mathrm{C} - 0^\circ\mathrm{C} = 0^\circ\mathrm{C}$$

となる。

演習 4(2) 内部エネルギーは約+200 J変化する。

外部から200 Jの熱を受け取っており、機械的な仕事や物体全体の運動エネルギー・位置エネルギーの変化は無視できる。

したがって、近似的に、

$$\Delta U \approx +200\,\mathrm{J}$$

となる。

演習 4(3) 受け取ったエネルギーが、粒子間の相互作用に関係する内部エネルギーの変化にも使われるため、温度が一定でも内部エネルギーは増加し得る。

氷が融けるときには、固体としての粒子の配置や相互作用の状態が変化する。

内部エネルギーには、粒子の運動だけでなく、粒子間の相互作用に関係するエネルギーも含まれる。

そのため、熱を受け取って内部エネルギーが増加していても、氷の一部が融けている間は温度が 0°C のままになることがある。

ここで求めたのは内部エネルギーの変化量であり、融けた氷の質量ではない。また、すべての氷が融け終わった後の温度まで一定であるとは限らない。

©ミライコーチング

演習 5 の解答・解説

演習 5(1) 生徒 A の発言は正しくない。

80°C の物体は 20°C の物体より温度が高い。しかし、それだけで内部エネルギーも大きいとは断定できない。

温度は物体の熱的な状態を表す量であり、内部エネルギーは物体内部の微視的なエネルギーの総和である。

内部エネルギーには、物質の種類や量、状態などが関係する。比較条件が不明な場合には、温度だけから内部エネルギーの大小を判断できない。

演習 5(2) 生徒 B の発言は正しくない。

熱平衡とは、物体同士が共通の温度になり、温度差による正味の熱移動がなくなった状態である。

熱平衡に達しても、物体内部の粒子は熱運動を続けている。

そのため、正味の熱移動がなくなったことを、粒子が静止したことと同じ意味で扱ってはいけない。

演習 5(3) 生徒 C の発言は正しい。

内部エネルギーが増える原因には、外部から熱を受け取ることだけでなく、仕事を受けることや摩擦によって力学的エネルギーが内部エネルギーへ変わることもある。

例えば、断熱された系の内部で摩擦が起こると、外部から熱が流入していなくても内部エネルギーが増加する場合がある。

したがって、内部エネルギーが増加したという結果だけから、外部から熱を受け取ったと結論づけることはできない。

演習 5(4) 初めの正味の熱移動方向は、80°C の物体から 20°C の物体へ向かう方向である。最終的な熱平衡温度は、与えられた条件だけでは数値で求められない。

温度差は、

$$80^\circ\mathrm{C} - 20^\circ\mathrm{C} = 60^\circ\mathrm{C}$$

である。

外部から仕事を加えずに熱的に接触させると、初めは温度の高い物体から低い物体へ正味の熱移動が起こる。

一方、熱平衡に達したときの温度を求めるには、物質の種類や量などに関する情報が必要である。

2 つの温度が与えられているからといって、最終温度を単純にその平均値と決めてよいわけではない。

この問題では、初めの温度差と熱移動の方向は判断できるが、最終温度の数値は決定できない。