第 018 講 慣性と運動の第一法則

この講でできるようになること

- 慣性の法則を用いて、合力がゼロのときの物体の運動を説明できる。
- 初速度と力の条件から、静止の継続と等速直線運動を判断できる。
- 物体が動き続けることと、物体に力が働いていることを区別できる。
- 現実の物体が減速する理由を、摩擦力や空気抵抗と結びつけて説明できる。

1. 動いている物体には、力が必要なのか

床の上に置いた箱を手で押すと、箱は動き始める。しかし、押すのをやめると、やがて止まる。

この経験から、「物体を動かし続けるには、進行方向に力を加え続けなければならない」と考えたくなる。

では、床との摩擦も空気抵抗もない場所で、動いている箱から手を離したらどうなるだろうか。

実は、**物体が動き続けるために、進行方向の力が必要なわけではない**。

日常生活で箱が止まるのは、手を離したことで「動くための力」がなくなるからではなく、床との摩擦力などが箱に働くからである。

ここで重要になるのが、**外から受ける力の合力**と**物体の速度**の関係である。

運動を判断する基準

物体が静止しているか、どの向きに動いているかは、観測する人によって異なることがある。

本講では、地上に固定された観測者から物体を見る。日常的な短い時間・狭い範囲の運動では、この観測者を近似的に**慣性系**にいるとみなす。

慣性系とは、これから学ぶ運動の第一法則が成り立つ観測の基準である。

以後、特に断らない限り、この基準で静止や速度を判断する。また、水平な一直線上の運動では、右向きを正、左向きを負とする。

2. 慣性の法則

慣性の法則（運動の第一法則）

慣性系で観測するとき、**物体が外から受ける力の合力がゼロであり続けるなら、その物体は静止を続けるか、等速直線運動を続ける**。

つまり、合力がゼロの間、物体の速度は変わらない。

物体が外から受ける力をすべて合わせたものを**合力**という。

合力がゼロとは、物体に力がまったく働いていない場合だけを意味するのではない。複数の力が働いていても、それらがつり合っていれば合力はゼロとなる。

©ミライコーチング

力のベクトルの和を $\sum \vec{F}$、速度のベクトルを $\vec{v}$ と書くと、運動の第一法則は次の関係で表せる。

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \implies \vec{v} \text{ は一定}$$

ここでの条件は、合力がある一瞬だけゼロになることではない。**考えている時間区間を通じて合力がゼロであること**が必要である。

ミライポイント｜合力ゼロは「停止」ではない

合力ゼロから分かるのは、速度が変化しないことである。

- 最初から静止していれば、静止を続ける。
- 最初から動いていれば、同じ速度で動き続ける。

合力ゼロという情報だけでは、物体が静止しているか、動いているかは決まらない。

滑らかな水平面で考える

摩擦がない滑らかな水平面上に、物体 A が置かれている。

ここでは、空気抵抗を無視でき、物体 A に働く力は、地球から受ける重力と床から受ける垂直抗力だけであるとする。

重力の大きさを $W = 4\,\mathrm{N}$、垂直抗力の大きさを $N = 4\,\mathrm{N}$ とする。

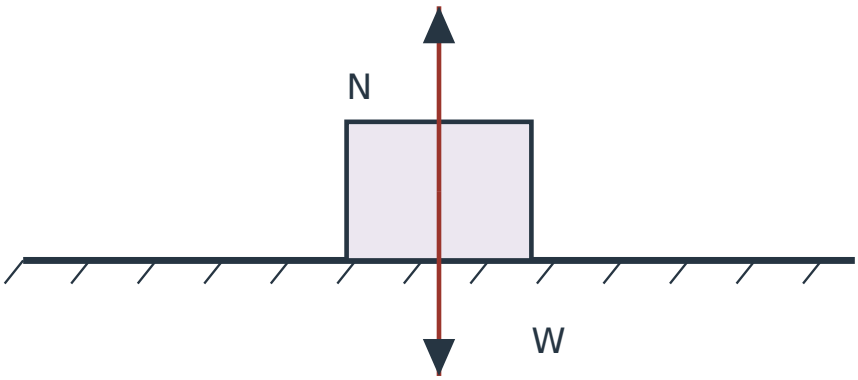

図 1　滑らかな水平面上の物体 A が受ける二つの力

図の上向きの矢印 N は垂直抗力、下向きの矢印 W は重力を表す。二つの矢印の長さが等しいのは、力の大きさが等しいためである。

この図では、力の比較をしやすくするために、物体が受ける二つの力を物体の中心から描いている。実際には、垂直抗力は床との接触面で受ける力である。下向きの矢印が床の線を越えていても、物体が床を突き抜けることを表しているわけではない。

上下方向では、上向きを正として力を合わせると、

$$N - W = 4\,\mathrm{N} - 4\,\mathrm{N} = 0\,\mathrm{N}$$

となる。

また、水平方向には力が働いていない。

したがって、この物体が受ける力の合力はゼロである。

この条件が続くとき、物体 A はどのように運動するだろうか。

初めの速度によって結果が変わる

物体 A に働く力は同じでも、初めの速度が異なれば、その後の運動は異なる。

初めの状態	初速度	合力ゼロが続く間の運動
静止している	$0\,\mathrm{m/s}$	静止を続ける
右向きに動いている	$+2\,\mathrm{m/s}$	右向きに $2\,\mathrm{m/s}$ で進み続ける
左向きに動いている	$-2\,\mathrm{m/s}$	左向きに $2\,\mathrm{m/s}$ で進み続ける

どの場合も、合力はゼロである。

つまり、合力ゼロという条件だけでは、速度が $0\,\mathrm{m/s}$ なのか、右向きなのか、左向きなのかは判断できない。

初速度が分かり、さらにその後も合力ゼロが続くと分かって初めて、その後の速度を特定できる。

これが運動の第一法則を使うときの基本的な考え方である。

3. 等速直線運動を位置の変化から確かめる

運動の第一法則では、物体が動いている場合、**等速直線運動**を続ける。

等速直線運動とは、速度の大きさも向きも変わらず、一直線上を進む運動である。

例えば、右向きに $2\,\mathrm{m/s}$ で進む物体を考える。

時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ で位置 $x = 0\,\mathrm{m}$ にあり、時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から $2\,\mathrm{s}$ まで、物体が受ける力の合力はずっとゼロであるとする。



図 2　同じ物体の 1 秒ごとの位置。左から t=0 s、t=1 s、t=2 s

この図は三つの物体を同時に並べたものではない。**同じ一つの物体について、異なる時刻の位置を並べた模式図**である。また、これは位置を表した図であり、力の矢印を表した図ではない。

物体の位置と速度を表にすると、次のようになる。

時刻 t	位置 x	速度 v
$0\,\mathrm{s}$	$0\,\mathrm{m}$	$+2\,\mathrm{m/s}$
$1\,\mathrm{s}$	$2\,\mathrm{m}$	$+2\,\mathrm{m/s}$
$2\,\mathrm{s}$	$4\,\mathrm{m}$	$+2\,\mathrm{m/s}$

どちらの 1 秒間でも、右向きに $2\,\mathrm{m}$ 進んでいる。

等速直線運動では、速度 v と経過時間 Δt から、変位 Δx を次のように求められる。

$$\Delta x = v\Delta t$$

この例で、初めの 2 秒間の変位は、

$$\Delta x = (+2\,\mathrm{m/s}) \times (2\,\mathrm{s}) = +4\,\mathrm{m}$$

となる。

合力ゼロだから物体の位置が変わらないのではない。**合力ゼロだから速度が変わらず、動いている物体はそのまま位置を変え続ける**のである。

「速さが一定」と「速度が一定」は違う

速さは動く大きさだけを表す。一方、速度には大きさと向きの両方がある。

例えば、速さ $3\,\mathrm{m/s}$ で円形の道を走る物体を考える。

この物体は速さを変えずに走ることができる。しかし、進む向きは次々と変化している。

そのため、**速さが一定であっても、速度が一定とはいえない。**

慣性の法則が示す合力ゼロの運動は、単に速さが変わらない運動ではなく、向きも変わらない等速直線運動である。

©ミライコーチング

一瞬だけ速度がゼロなら、静止し続けるのか

物体の速度が、ある一瞬だけ 0 m/s になる場合がある。

例えば、鉛直上向きに投げたボールは、最高点で一瞬だけ速度がゼロになる。しかし、そこで止まったままになるわけではない。

ボールには、その瞬間にも下向きの重力が働いているからである。空気抵抗を無視すれば、最高点の後は下向きに動き始める。

したがって、**ある一瞬の速度がゼロという情報だけでは、その後も静止し続けるとはいえない。**

静止が続くと判断するには、その時点で速度がゼロであり、さらに考える時間区間を通じて合力がゼロであることを確かめなければならない。

4. 押すのをやめても進み続ける理由

滑らかな水平面で、箱を右向きに押して動かしたとする。

押している間、箱は手から右向きの力を受ける。しかし、箱が右向きに動いている状態で手を離すと、手から受ける力はなくなる。

このとき、床との摩擦と空気抵抗を無視でき、重力と垂直抗力がつり合っていれば、箱が受ける力の合力はゼロになる。

では、箱は止まるだろうか。

運動の第一法則によれば、箱は手を離したときの速度を保ち、右向きに進み続ける。

箱を動かし続けるための特別な力が残っているわけではない。**物体には、外からの力によって速度が変えられない限り、それまでの速度を保つ性質がある。**

この性質を**慣性**という。

慣性

慣性とは、物体がそれまでの速度を保とうとする性質である。

静止している物体にも、動いている物体にも慣性がある。

現実の床では、なぜ止まるのか

現実の床で箱を滑らせると、箱には進行方向と反対向きの摩擦力が働く。また、空気抵抗を受けることもある。

右向きに動いている箱に左向きの抵抗力が働けば、合力はゼロではなくなる。そのため、箱の速度は変化し、速さが小さくなることがある。

箱が止まる理由は、「慣性が少しずつ減るから」でも「運動する力を使い果たすから」でもない。

物体に働く抵抗力によって、その速度が変化するからである。

よくある誤解

「動いている物体には、必ず進行方向の合力が働いている」という考えは誤りである。

動いている向きと合力の向きは、同じとは限らない。合力がゼロでも物体は動き続けられる。

©ミライコーチング

5. 力を加えながら一定速度で動く場合

次に、摩擦のある粗い水平面で、箱を右向きに水平に引く場面を考える。

物体 A はすでに右向きに動いており、一定の速度で進んでいるとする。

このとき、物体 A には次の四つの力だけが働くとする。

- 重力 W：下向きに 4 N
- 垂直抗力 N：上向きに 4 N
- 引く力 F：右向きに 3 N
- 摩擦力 f：左向きに 3 N

空気抵抗や、これら以外の外力は考えない。

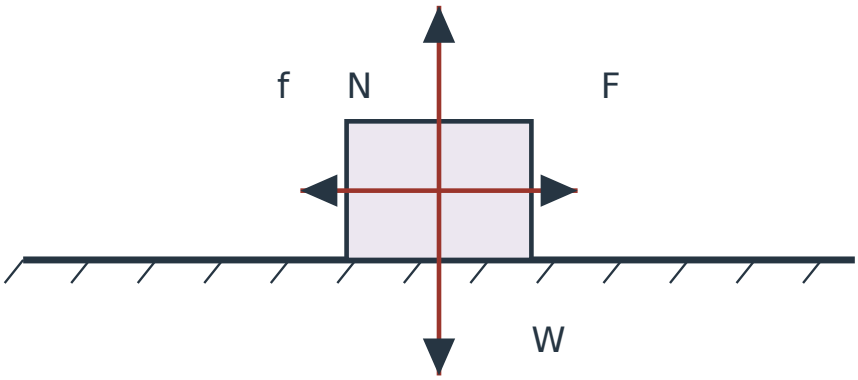

図 3　粗い水平面上を右向きの一定速度で動く物体 A が受ける四つの力

この図では、四つの力を同じ縮尺で表している。力の向きと大きさを比較するため、各力の矢印を物体の中心から描いている。

上下方向では、重力と垂直抗力がつり合っている。

$$N - W = 4\,\mathrm{N} - 4\,\mathrm{N} = 0\,\mathrm{N}$$

水平方向では、引く力と摩擦力がつり合っている。

$$F - f = 3\,\mathrm{N} - 3\,\mathrm{N} = 0\,\mathrm{N}$$

したがって、物体に働く合力はゼロである。

ここで、右向きに引く力が存在していることに注目したい。

物体 A は右向きの力を受けているが、同時に左向きの摩擦力も受けている。そのため、右向きの力だけを見て「右向きの合力がある」と判断してはいけない。

一定速度で進んでいる物体に力が働いていても、その合力がゼロであることは十分にあり得る。

また、この力のつり合いだけから、物体が右向きに何 m/s で動いているかは求められない。速度の大きさを知るには、初速度などの追加情報が必要である。

ミライポイント｜運動と力を分けて考える

物体の運動を判断するときは、次の二つを区別する。

現在の速度は、物体が今どちらへ、どれだけの速さで動いているかを表す。

合力は、その速度が変化するかどうかを判断する手掛かりとなる。

合力ゼロが続くなら、現在の速度がそのまま保たれる。力が働いているかどうかではなく、すべての力を合わせた結果に注目することが重要である。

6. 例題

1

滑らかな水平面上を運動する物体 A を考える。床との摩擦と空気抵抗は無視できる。

物体 A に働く力は、下向きに 4 N の重力と、上向きに 4 N の垂直抗力だけである。

右向きを正とする。時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ における物体 A の速度は $+3\,\mathrm{m/s}$ であり、時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から $2\,\mathrm{s}$ まで、これらの力の条件は変わらない。

(1) この 2 秒間に物体 A が行う運動を答えよ。

(2) この 2 秒間の変位を求めよ。

(3) 初速度が与えられず、合力ゼロという条件だけが分かっている場合、物体 A の速度を特定できるか。理由とともに答えよ。

解答・解説

(1) 上向きの垂直抗力と下向きの重力は大きさが等しく、つり合っている。水平方向には力が働かない。

したがって、合力は 2 秒間を通じてゼロである。

初速度は右向きに $3\,\mathrm{m/s}$ なので、**右向きに $3\,\mathrm{m/s}$ の等速直線運動を続ける**。

(2) 速度が一定であるため、変位 Δx は速度 v と経過時間 Δt の積で求められる。

$$\Delta x = v\Delta t$$

数値を代入すると、

$$\Delta x = (+3\,\mathrm{m/s}) \times (2\,\mathrm{s}) = +6\,\mathrm{m}$$

となる。

したがって、変位は $+6\,\mathrm{m}$、すなわち右向きに $6\,\mathrm{m}$ である。

(3) **特定できない**。

合力ゼロから分かるのは、速度が一定であることだけである。初速度が分からなければ、静止している場合も、右向きや左向きに動いている場合も考えられる。

2

粗い水平面上の物体 B を、水平方向に引いて運動させる。

右向きを正とする。物体 B には、下向きに 8 N の重力、上向きに 8 N の垂直抗力、右向きに 5 N の引く力、左向きに 5 N の摩擦力が働いている。ほかの外力はない。

時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ で物体 B の速度は $+1\,\mathrm{m/s}$ であり、時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から 4 s まで、四つの力の大きさと向きは一定である。

(1) 物体 B が受ける合力を求めよ。

(2) $t = 4\,\mathrm{s}$ における速度を求めよ。

(3) この 4 秒間の変位を求めよ。

(4) 「物体 B が右向きに動き続けるのは、右向きの引く力が左向きの摩擦力より大きいからである」という説明の誤りを指摘せよ。

解答・解説

(1) 上下方向では重力と垂直抗力がつり合い、右左方向では引く力と摩擦力がつり合っている。

したがって、合力は 0 N である。

(2) この 4 秒間、合力がゼロのままなので、速度は変わらない。

したがって、$t = 4\,\mathrm{s}$ の速度は $+1\,\mathrm{m/s}$ である。

(3) 等速直線運動なので、

$$\Delta x = v\Delta t$$

より、

$$\Delta x = (+1\,\mathrm{m/s}) \times (4\,\mathrm{s}) = +4\,\mathrm{m}$$

したがって、変位は $+4\,\mathrm{m}$ である。

(4) 右向きの引く力と左向きの摩擦力は、どちらも 5 N であり、大きさは等しい。

物体が右向きに進み続けるのは、右向きの力の方が大きいからではない。合力がゼロであるため、初めの右向きの速度が保たれるからである。

7. 演習問題

1

滑らかな水平面上を運動する物体 A には、下向きに 6 N の重力と、上向きに 6 N の垂直抗力だけが働いている。床との摩擦と空気抵抗は無視できる。

右向きを正とする。時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ における物体 A の速度は $-2\,\mathrm{m/s}$ である。時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から $3\,\mathrm{s}$ まで、物体に働く力は変わらない。

(1) この 3 秒間に物体 A が受ける合力を求めよ。

(2) $t = 3\,\mathrm{s}$ における物体 A の速度を、符号と単位を付けて答えよ。

(3) この 3 秒間の変位を求めよ。

(4) 物体 A が受ける合力がゼロであるにもかかわらず、物体 A の位置が変化する理由を説明せよ。

2

地上に固定された観測者から見て、ある物体が外から受ける力の合力は、時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から $4\,\mathrm{s}$ まで、常にゼロであった。

(1) この条件から必ずいえることを、次のア〜エから一つ選べ。

- ア：物体は 4 秒間ずっと静止している。
- イ：物体は 4 秒間ずっと右向きに動いている。
- ウ：物体は 4 秒間ずっと同じ速度を保つが、その速度の値と向きはこの条件だけでは決まらない。
- エ：物体の速さは 4 秒間で必ず大きくなる。

(2) 時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ における速度が左向きに $1\,\mathrm{m/s}$ であったと分かった。右向きを正としたとき、$t = 4\,\mathrm{s}$ における速度を求めよ。

(3) (1)の条件だけで物体の移動距離を求めることができるか。理由とともに答えよ。

3

物体 C が、粗い水平面上を右向きに一定の速度 $2\,\mathrm{m/s}$ で動いている。

物体 C に働く力は、下向きに 7 N の重力、上向きに 7 N の垂直抗力、右向きに 4 N の水平な引く力、および床から受ける水平方向の摩擦力だけである。空気抵抗は無視する。

この運動を地上に固定された観測者から見ている。

(1) 物体 C に働く摩擦力の向きと大きさを求めよ。

(2) 物体 C が受ける合力を求めよ。

(3) 物体 C に働く四つの力をすべて、矢印を使って図示せよ。力の大きさが等しいものは、同じ縮尺で等しい長さにすること。

(4) 「動いているから右向きの合力がある」という考えが正しくない理由を説明せよ。

©ミライコーチング

4

地上からボールを鉛直上向きに投げた。ボールは上昇した後、最高点に達し、下向きに動き始めた。

空気抵抗は無視でき、ボールには運動中ずっと下向きの重力だけが働いているとする。

(1) 最高点でのボールの速度を答えよ。

(2) 「最高点で速度がゼロになったので、その後は静止を続ける」という説明は正しいか。理由とともに答えよ。

(3) ある時刻に速度がゼロの物体について、運動の第一法則から静止が続くと判断するためには、その後の力についてどのような条件が必要か説明せよ。

5

次の二つの場面を考える。いずれも地上に固定された観測者から見た運動である。

場面 A

物体 P が、円形の道を一定の速さ 3 m/s で走っている。

場面 B

水平な床の上の箱 Q を、右向きに押して動かした。箱 Q から手を離した後、現実の床では箱 Q の速さが次第に小さくなった。

(1) 場面 A の物体 P は、速度が一定であるといえるか。理由とともに答えよ。

(2) 場面 A の物体 P が受ける力の合力は、進む向きが変わっている時間区間を通じてゼロであるといえるか。運動の第一法則を使って説明せよ。

(3) 場面 B で箱 Q が減速する理由を、力に注目して説明せよ。

(4) 場面 B の箱 Q について、手を離した後の床との摩擦と空気抵抗がともに無視でき、重力と垂直抗力がつり合う場合、箱 Q はどのように運動するか答えよ。ただし、手を離した瞬間、箱 Q は右向きに 2 m/s で動いており、その後もこの力の条件が続くとする。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

1

(1) 0 N

物体 A には、下向きに 6 N の重力と、上向きに 6 N の垂直抗力が働く。

二つの力は大きさが等しく、向きが反対なので、つり合っている。水平方向には力が働かないため、合力はゼロである。

(2) $-2\,\mathrm{m/s}$

時刻 $t = 0\,\mathrm{s}$ から $3\,\mathrm{s}$ まで合力がゼロなので、速度は変化しない。

初速度が $-2\,\mathrm{m/s}$ であるため、3 秒後も左向きに $2\,\mathrm{m/s}$ で運動する。

(3) $-6\,\mathrm{m}$

等速直線運動なので、

$$\Delta x = v\Delta t$$

より、

$$\Delta x = (-2\,\mathrm{m/s}) \times (3\,\mathrm{s}) = -6\,\mathrm{m}$$

したがって、変位は $-6\,\mathrm{m}$、すなわち左向きに $6\,\mathrm{m}$ である。

(4) 合力ゼロは、位置が変化しないことを意味しない。**速度が変化しないことを意味する**。

この物体には初めから左向きに $2\,\mathrm{m/s}$ の速度があるため、合力ゼロの間も左向きの等速直線運動を続け、位置が変化する。

2

(1) **ウ**

合力が 4 秒間を通じてゼロであるため、運動の第一法則から速度が一定であると分かる。ただし、初速度が与えられていないため、その値と向きは特定できない。

各選択肢を確認する。

- アは誤り。合力ゼロでも、初めから動いていれば動き続ける。
- イは誤り。左向きに動く場合や静止している場合もある。
- ウは正しい。合力ゼロから判断できる内容を正確に表している。
- エは誤り。合力ゼロが続くなら、速さは変化しない。

(2) $-1\,\mathrm{m/s}$

初速度は左向きに $1\,\mathrm{m/s}$ なので、右向きを正とすると $-1\,\mathrm{m/s}$ である。

合力ゼロが続くため、4 秒後も同じ速度である。

(3) **求められない**。

移動距離を求めるには、その 4 秒間に物体がどの程度の速さで動いていたかを知る必要がある。

合力ゼロから速度一定とは判断できるが、初速度の大きさが分からないため、移動距離は特定できない。初めから静止していた場合、移動距離はゼロであるが、動いていた場合はゼロとは限らない。

©ミライコーチング

3

(1) **左向きに** 4 N

物体 C は右向きに一定の速度で動いている。そのため、運動の第一法則から、合力はゼロである。

水平方向には右向きの引く力と摩擦力だけが働く。引く力は右向きに 4 N なので、これとつり合う摩擦力は左向きに 4 N である。

(2) 0 N

上下方向では、重力と垂直抗力がつり合っている。

水平方向では、引く力と摩擦力がつり合っている。

したがって、すべての力を合わせた合力はゼロである。

(3) 物体 C を一つの長方形などで表し、次の四つの力を矢印で描く。

力	向き	大きさ
重力 W	下向き	7 N
垂直抗力 N	上向き	7 N
引く力 F	右向き	4 N
摩擦力 f	左向き	4 N

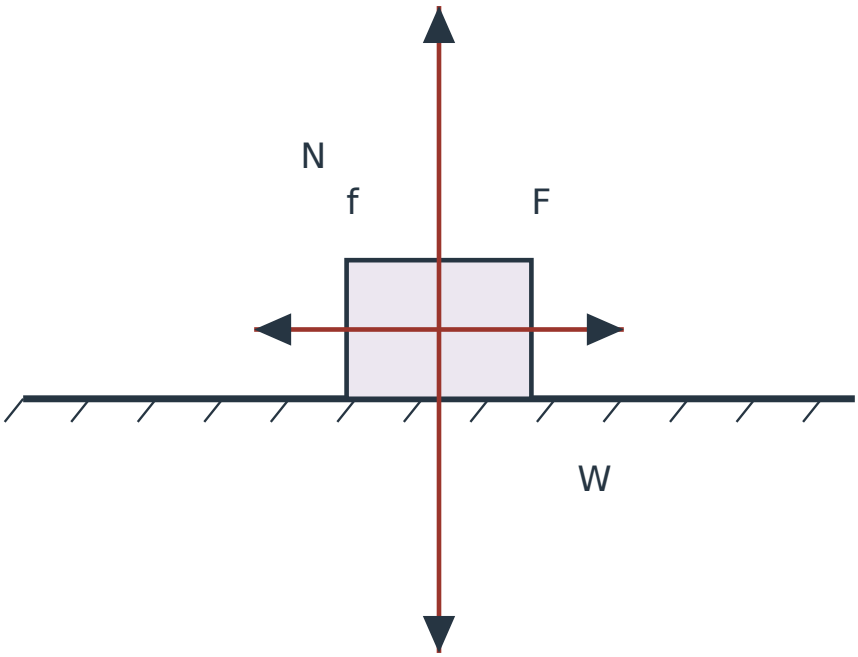

図 4　演習 3(3)の解答例。矩形は物体 C。上下 7 N、左右 4 N の四力を同じ縮尺で示す

例えば、1 N を矢印の長さ 1 cm と決めた場合、上下の矢印をそれぞれ 7 cm、左右の矢印をそれぞれ 4 cm にすればよい。

向かい合う矢印の長さがそれぞれ等しくなることが重要である。速度を表す矢印は力ではないため、四つの力には含めない。

(4) 物体が右向きに動いていることは、右向きの合力が働いていることを意味しない。

この物体には右向きと左向きに等しい大きさの力が働き、合力はゼロである。**物体が右向きに動き続けるのは、その初めの右向きの速度が保たれているため**である。

4

(1) 0 m/s

鉛直上向きに投げたボールは、上昇から下降に切り替わる最高点で、一瞬だけ速度がゼロになる。

(2) **正しくない。**

最高点での速度はゼロであるが、ボールにはその瞬間にも下向きの重力が働いている。

したがって、合力はゼロではなく、ボールはその後、下向きに動き始める。

一瞬の速度がゼロであることと、静止を続けることは異なる。

(3) その時刻に速度がゼロであることに加えて、**その後の考える時間区間を通じて、物体が受ける力の合力がゼロであること**が必要である。

この条件が満たされるとき、運動の第一法則から、物体は静止を続けると判断できる。

5

(1) **速度は一定ではない。**

物体 P の速さは 3 m/s で一定である。しかし、円形の道を走るため、進行方向は変化している。

速度は大きさと向きの両方を持つ量であるため、向きが変化していれば速度は一定とはいえない。

(2) **合力は、その時間区間を通じてゼロであるとはいえない。**

もし物体 P に働く合力がその時間区間を通じてゼロなら、運動の第一法則により、速度は変化せず、等速直線運動を続けるはずである。

実際には進行方向が変化しているため、速度は一定ではない。したがって、向きが変化している運動を、合力ゼロが続く運動として説明することはできない。

(3) 箱 Q には、手を離した後も、進行方向と反対向きの床との摩擦力などが働く。

右向きに動く箱に左向きの抵抗力が働けば、合力はゼロではなくなる。そのため、箱の速度が変化し、速さが小さくなる。

減速は「慣性が減るから」でも「運動する力を使い果たすから」でもなく、**物体が外から抵抗力を受けるため**である。

(4) **右向きに 2 m/s の等速直線運動を続ける。**

摩擦と空気抵抗が無視でき、重力と垂直抗力がつり合うため、手を離した後の箱 Q に働く合力はゼロである。

手を離した瞬間、箱 Q は右向きに 2 m/s で動いている。この速度がその後も保たれるので、箱 Q は減速せずに進み続ける。

©ミライコーチング