第 015 講 物体を切り出して力を描く

この講でできるようになること

- 状況図から調べる物体を一つ選び、その物体に働く力をすべて見つけられる。
- 力を及ぼす相手と力の向きを確かめ、対象物体だけの力の図を自分で描ける。
- 他の物体に働く力や速度、座標軸を力の矢印と区別できる。
- 誤った力の図を修正し、調べる物体を変えたときの力の図を描き直せる。

1. なぜ物体を切り出すのか

机の上に置かれた本を考える。本の周囲には机や地球があり、それぞれの物体が互いに力を及ぼしている。

ここで「本に働く力をすべて描け」と問われたとき、机や地球に働く力まで同じ図に描くと、何が本を押し、何が本に引力を及ぼしているのか分かりにくくなる。

そこで、調べたい物体だけに注目する。

物体を切り出す

物体を切り出すとは、複数の物体がある状況から調べる物体を一つ選び、その物体に働く力だけを取り出して考えることである。

このとき作る、対象物体に働くすべての力を矢印で表した図を、**力の図（全力図）**という。

切り出すといっても、実際に物体を取り外したり、接触を断ったりするわけではない。元の状況と同じ瞬間を考え、接触や糸の張り、ばねの変形などの条件を保ったまま、注目する対象だけを図にする。

水平な床の上の物体

水平で滑らかな床の上に物体 A がある。A は床に接しているが、ほかの物体には接していない。摩擦と空気抵抗は無視する。

©ミライコーチング

まず、物体と床の位置関係を示す。

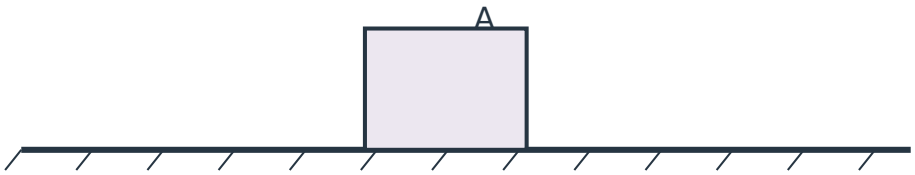

図 1　水平な床に接する物体 A の状況図

このように、物体や床、糸などの配置・接触関係を示す図を**状況図**という。

状況図には、力を描くための手がかりがある。今回の A について、力を及ぼす相手を調べると次のようになる。

相手	A との関係	A に働く力
地球	接触していなくても重力を及ぼす	重力
床	A に接触して下から支える	垂直抗力

床以外の物体との接触はなく、摩擦と空気抵抗も無視するため、これら以外の力は描かない。

ここで A だけを取り出し、点で表してみる。

重力をW、床から受ける垂直抗力をNとする。



図 2　対象 A だけの力の図（矢印長は大きさを表さない）

図の下向きのWは**地球が A に及ぼす重力**、上向きのNは**床が A に及ぼす垂直抗力**である。

状況図では A の下に床があったが、力の図では床を描いていない。それでも、床と接しているという元の条件は変わらないため、垂直抗力は残る。

反対に、床を図から消したことを「床から物体を持ち上げた」と解釈してはならない。

ミライポイント

力の図を描くときは、「**何の力か**」**だけでなく**「**誰が、どの物体に及ぼしている力か**」を確認する。

同じ重力や垂直抗力でも、調べる物体が変われば描くべき図も変わる。

2. 力の図を描く手順

対象物体に働く力を見つけるには、次の順に考えると整理しやすい。

手順 1：対象物体を一つ決める

状況図に複数の物体があっても、まずは一つだけ選ぶ。

例えば A と B が接している場合、「A に働く力」と「B に働く力」は別々に考える。A が B を押す力は B に働く力であり、A 自身の力の図には描かない。

手順 2：力を及ぼす相手を確認する

対象に接触している物体と、接触していなくても力を及ぼす物体を調べる。

接触していない地球から受ける重力も忘れてはならない。一方、近くに物体があるという理由だけで、その物体から力を受けると決めてはならない。

手順 3：力の種類と向きを決める

力を及ぼす相手と状況から、矢印の向きを判断する。

力	矢印の向き
重力	地表付近では鉛直下向き
垂直抗力	接触面に垂直で、面が物体を押す向き
張力	張った糸に沿って、対象を引く向き
ばねの弾性力	ばねの変形を元に戻そうとする向き
摩擦力	接触面に沿い、相対的な滑りや滑ろうとする傾向を妨げる向き

ばねが伸びているのか縮んでいるのか、糸が張っているのか、床との間で滑っているのかによって、描く力や向きは変わる。

特に摩擦力は、物体の運動方向という情報だけでは必ずしも向きを決められない。接触面での相対的な滑りの条件を確認する必要がある。

手順 4：対象物体だけを描き、力の矢印を加える

対象物体を小さな点や簡単な形で表し、確認した力を矢印で描く。

この講では、物体の大きさや形による違いを考えず、一つの点で代表させる**質点モデル**を主に使う。そのため、力の矢印は同じ点を始点として描く。

この描き方は、対象に働く力の種類と向きを整理するための簡略化である。実際の物体に働く力の作用点を、どの位置へでも自由に移せるという一般的な決まりではない。

力の矢印の長さについて

この講の力の図では、矢印の長さは力の大きさを定量的に表していない。

上向きと下向きの矢印が同じ長さで描かれていても、それだけで$N = W$とは結論できない。力の大きさが与えられていなければ、未知のままNやWなどの記号で表す。

力の本数を数えるときの注意

力の図に入れるのは、対象物体に働く力だけである。

速度や加速度の矢印は、物体の運動状態を表すものであり、力の一本には数えない。また、一つの力を元の矢印と水平・鉛直成分の両方で描いて、別々の力として数えることもできない。

力の図ではまず、実際に対象へ及ぼされている力の矢印を重複なくそろえることが重要である。

3. 座標軸と力の矢印を区別する

図に描かれる矢印がすべて力を表しているわけではない。

例えば、次の図にはx軸とy軸が描かれている。

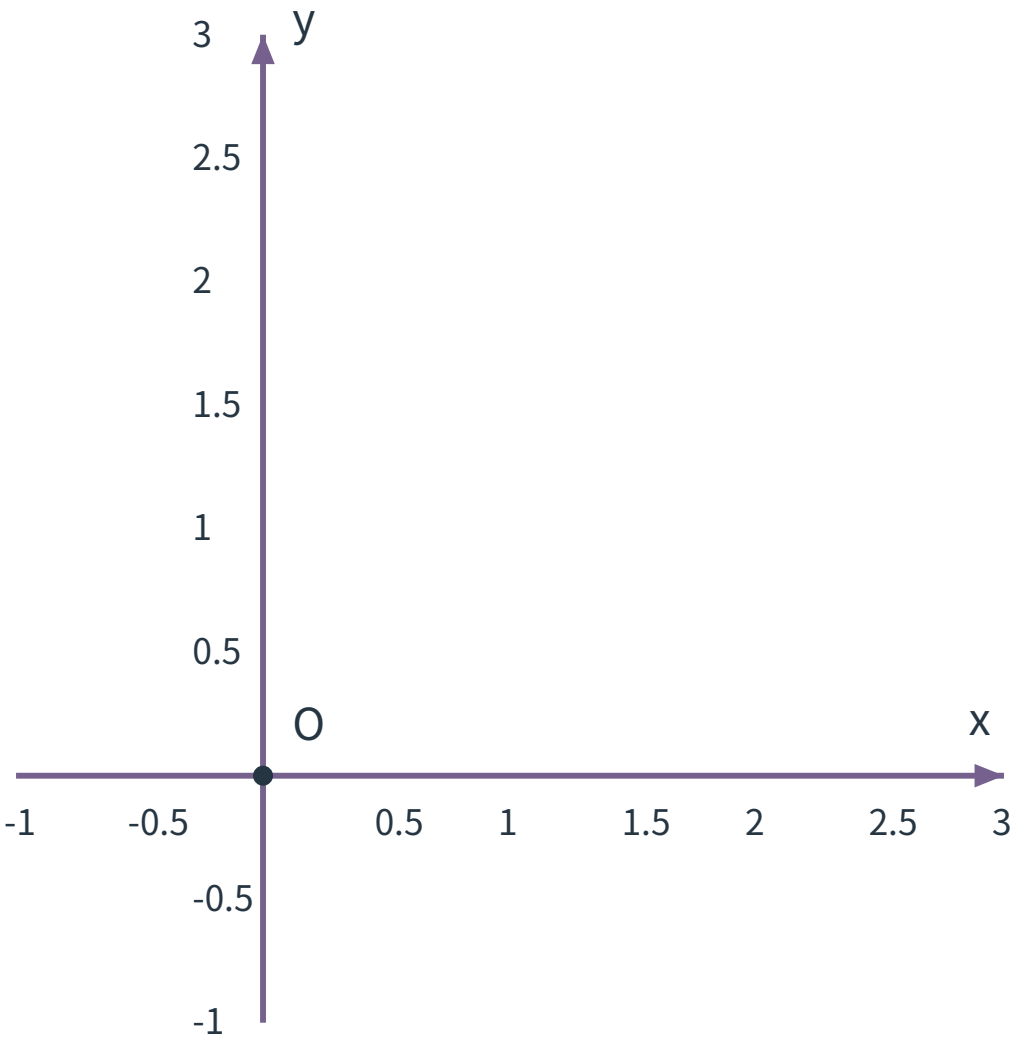
y
3
2.5
2
1.5
1
0.5
O
x
-1
-0.5
0.5
1
1.5
2
2.5
3
-0.5
-1



図 4　対象 A に働く力の矢印（座標軸ではない）

上の座標軸だけの図と、下の力の図は役割が異なる。

座標軸のx、yは位置や方向を表すための基準であり、Oは座標の原点である。この図の座標の目盛は力の値ではなく、力の単位Nを表すものでもない。軸だけの図には力を一本も描いていない。

一方、下の図のWとNは物体 A に働く力の記号である。

- W：地球が A に及ぼす、鉛直下向きの重力
- N：床が A に及ぼす、鉛直上向きの垂直抗力

たとえ座標軸と力の矢印が同じ方向を向いていても、その意味は異なる。軸は方向の基準であり、力を及ぼす相手を持たない。

力の矢印として数えるかどうかは、矢印の形だけではなく、**何を表す記号なのか**によって判断する。

4. 糸・ばね・摩擦があるとき

床の上の物体に重力と垂直抗力が働くことは分かった。しかし、糸で引かれたり、ばねにつながれたりすると、描く力が増える場合がある。

糸が張っている場合

糸は、張っているとき、糸に沿って物体を引く力を及ぼす。この力を張力という。

例えば、床上の物体 A から右向きに張った糸が伸びていれば、糸が A を引く力は右向きとなる。

床にも接していれば、床からの垂直抗力を忘れてはならない。糸からの張力だけを描いた図は、A に働くすべての力を表す図ではない。

ばねが変形している場合

ばねの弾性力の向きを決めるには、ばねがどこに固定され、どのように変形しているかが重要である。

例えば、左端を壁に固定した水平なばねの右端に物体 A をつなぎ、ばねを自然の長さより伸ばしている場合、ばねは A を左向きに引く。

逆に、同じ配置のばねが自然の長さより縮んでいれば、ばねが A を右向きに押す場合がある。

「左にばねがあるから必ず左向き」と覚えるのではなく、**変形を元に戻そうとする向き**を調べる。

摩擦がある場合

摩擦のある床の上で、物体 A が床に対して右向きに滑っている瞬間を考える。

床から A に働く動摩擦力は左向きである。重力や垂直抗力と同じく、これは A に働く力として図に加える。

ただし、摩擦を無視するという条件なら描かない。力の図を描く前に、その問題で採用している条件を確認することが重要である。

5. 例題で力の図を完成させる

1

水平で滑らかな床に接する物体 A が、右側の固定された支えまで張った水平な糸につながれている。糸は A を右向きに引いている。A は糸と床以外の物体には接しておらず、摩擦と空気抵抗を無視する。

次の状況図から、A に働くすべての力を、A だけを切り出した図に描け。各矢印の向きと力を及ぼす相手も示せ。力の大きさは求めなくてよい。

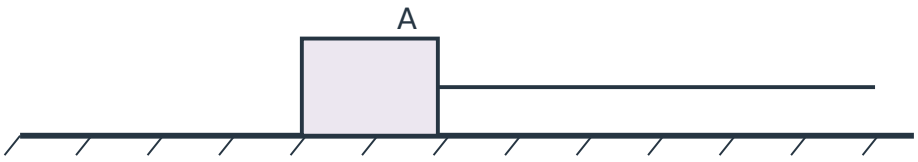

図 5　床に接し、右側の張った糸につながれた物体 A

解答・解説

まず、対象は A である。A に力を及ぼす相手は地球、床、張った糸の三つである。

重力Wを下向き、床からの垂直抗力Nを上向き、糸からの張力Tを右向きに描く。

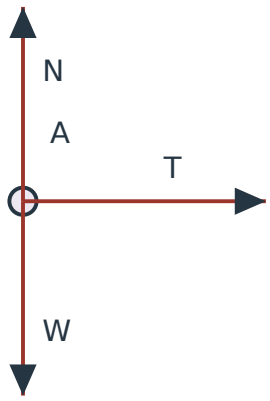

図 6　物体 A の全力図（W は下、N は上、T は右）

Wは地球、Nは床、Tは糸が A に及ぼす力である。

糸だけに注目すると、張力だけを描いてしまいやすい。しかし A は床に接しており、地球からの重力も受けているため、力の図には三本必要となる。

糸が A に引かれる力を、A 自身に働く力として追加してはならない。

2

水平で滑らかな床の上に、ばねにつながれた物体 A がある。ばねの左端は壁に固定され、右端が A に取り付けられている。ばねは自然の長さより伸びた状態にあり、A は床とばね以外には接していない。摩擦と空気抵抗は無視する。

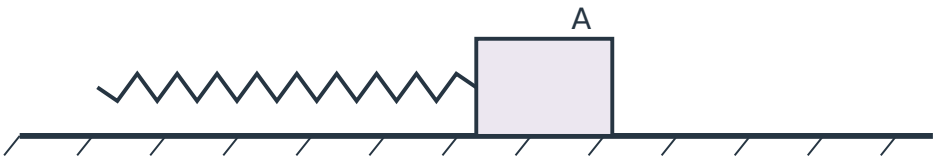

図 7　左端が固定され、自然の長さより伸びたばねと物体 A

ある生徒は、A に働く力として次の三本を描いた。

- 下向きに重力W
- 上向きに垂直抗力N
- 右向きにばねの弾性力S

この力の図の誤りを説明し、正しい力の図に直せ。

解答・解説

誤っているのは、ばねの弾性力Sの向きである。

ばねは左端を壁に固定され、自然の長さより伸びている。伸びたばねは元の長さに戻ろうとするため、右端につながる A を**左向きに引く**。

したがって、Sを左向きに修正する。

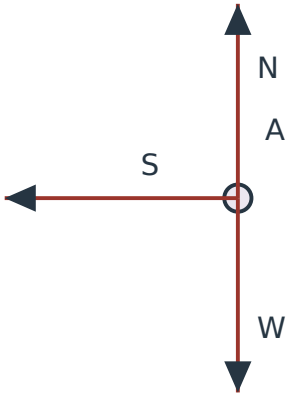

図 8　伸びたばねから力を受ける A の全力図

Wは地球から受ける重力、Nは床から受ける垂直抗力、Sはばねから受ける弾性力である。

ばねの位置だけで力の向きを決めることはできない。固定された側と、ばねが伸びているか縮んでいるかを確かめる必要がある。

3

水平で滑らかな床に物体 A と B が横に並んで接している。左側から手 H が A を右向きに押し、その力が A を通じて B へ伝わっている瞬間を考える。A と B は互いに接しており、両方とも床に接している。摩擦と空気抵抗は無視する。A には手 H、B、床以外からの接触力はなく、B には A、床以外からの接触力はない。

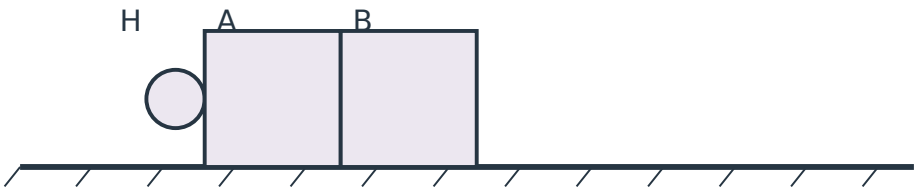

図 9　手 H が A を右からではなく左側から押し、A と B が接している状況

(1) A に働くすべての力を描け。

(2) 対象を B に切り替え、B に働くすべての力を描け。

(3) A が B を押す力と、B が A を押す力を同じ全力図に入れない理由を説明せよ。

解答・解説

(1) 対象が A の場合

A に力を及ぼす相手は、地球、床、手 H、B である。

Wを地球からの下向きの重力、Nを床からの上向きの垂直抗力、Pを手 H からの右向きの力、Qを B からの左向きの力とする。

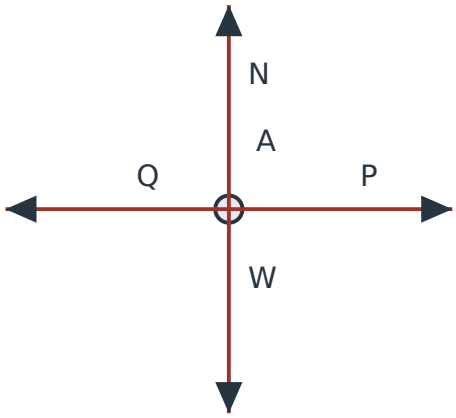

図 10　対象 A の全力図（P は手 H、Q は B から A に働く力）

A は手から右向きに押される一方、右側に接している B から左向きに押される。力の向きは接触の状況から判断するのであり、二つの力の大きさが同じかどうかは、この図からは分からない。

(2) 対象が B の場合

B に力を及ぼす相手は、地球、床、A である。

B は手 H に直接触れていないため、手 H から B への力を直接描かない。

Wを地球からの重力、Nを床からの垂直抗力、Pを A から B に働く右向きの力とする。

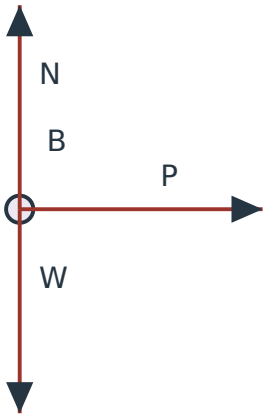

図 11　対象 B の全力図（P は A から B に働く力）

A の全力図と B の全力図では、接触相手が異なるため、矢印の本数も異なる。

(3)

A が B を押す力は B に働き、B が A を押す力は A に働く。力を受ける対象が異なるため、同じ一物体の全力図には入れない。

ミライポイント

物体 A と B の間の接触が同じでも、**A を調べるのか B を調べるのか**によって描く力は変わる。

対象を切り替えたら、前の力の図に矢印を付け足すのではなく、相手を最初から確認して描き直す。

6. 力の図で間違えやすいこと

正しい全力図にするためには、矢印の向きだけでなく、本数や意味にも注意が必要である。

誤り	修正の考え方
床を描かなくなったので垂直抗力を消す	切り出しても元の接触条件を保つ
重力を忘れて接触力だけを描く	地球から受ける重力も確認する
物体が右へ動いているから右向きの力を追加する	速度は力ではなく、運動方向だけで力の存在を決めない
対象が相手を押す力まで描く	対象が受ける力だけを描く
座標軸の矢印を力として数える	軸は方向の基準であり、力ではない
同じ長さの矢印を同じ大きさの力と考える	この講の模式矢印長は非定量である

床が水平とは限らないことにも注意が必要である。斜面上の物体が床から受ける垂直抗力は、鉛直上向きではなく、**斜面に垂直で斜面から物体を押し出す向き**となる。

一方、重力は斜面の向きに関係なく、地表付近では鉛直下向きに働く。

力の図を描くときの判断は、「対象を決める」「相手を確認する」「力の種類と向きを決める」「すべての力だけを描く」という順序に戻せばよい。

演習問題

1

水平で滑らかな床の上に物体 A がある。A は床以外の物体には接しておらず、摩擦と空気抵抗は無視する。

A に働くすべての力を、A を点で表す力の図に描け。力を及ぼす相手も示せ。大きさは求めなくてよい。

2

物体 B が、天井の一点に上端を固定した軽い糸につながれている。ある瞬間、糸は鉛直方向に張り、B は床や壁などには触れていない。空気抵抗は無視する。

(1) B に力を及ぼす相手をすべて挙げよ。

(2) B だけを点で表し、働くすべての力の矢印を描け。

(3) 状況図から糸を消して B だけの力の図を描くとき、張力も消すべきか。理由とともに答えよ。

©ミライコーチング

3

物体 C が、右上方の固定点につながれた一本の軽い糸によって引かれている瞬間を考える。糸は斜め右上方向に張っている。C は床や壁などには触れておらず、空気抵抗は無視する。

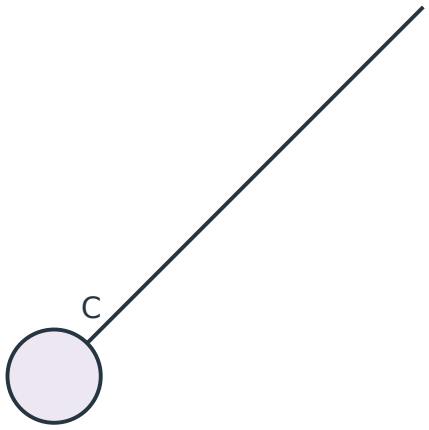

図 12　右上方の固定点につながる張った糸と物体 C

(1) C に働くすべての力を描け。各矢印の向きと相手を示せ。

(2) 糸からの力を鉛直上向きに描くのが誤りである理由を説明せよ。

4

水平で滑らかな床の上の物体 D が、水平なばねの右端につながれている。ばねの左端は壁に固定され、ばねは自然の長さより伸びている。D は床とばね以外の物体には接していない。摩擦と空気抵抗は無視する。

(1) D に働くすべての力を、D を点で表して描け。

(2) ばねの左端を固定したまま、ばねを自然の長さより縮めた状態に変えたとする。D に働く力のうち、向きが変わる力を答え、その向きを説明せよ。

5

物体 E が、水平な粗い床の上を、床に対して右向きに滑っている瞬間を考える。E に働く摩擦は動摩擦である。この瞬間、手や糸などから水平に押されたり引かれたりしておらず、空気抵抗は無視する。

(1) E に働くすべての力を描け。各矢印の向きと相手を示せ。

(2) E が右へ滑っているからという理由で、右向きに「運動の力」を加えた図が誤りである理由を説明せよ。

©ミライコーチング

6

水平で滑らかな床に接する物体 F が、右側で固定された支えまで張った水平な糸につながれている。糸は F を右向きに引き、F は床と糸以外に接していない。摩擦と空気抵抗は無視する。

ある生徒は次の力の図を描いた。

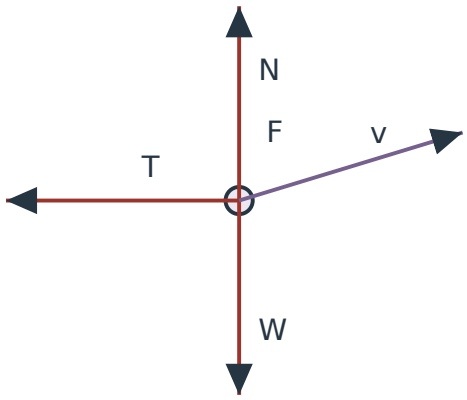

図 13　生徒が描いた誤りを含む F の図（修正前）

図中のWは重力、Nは垂直抗力、Tは張力、vは速度を表すとしている。

(1) 力の矢印として扱ってはいけないものを答えよ。

(2) 向きが誤っている力を答え、正しい向きを説明せよ。

(3) 修正後の F の全力図を描け。

7

水平で滑らかな床に物体 A と B が横に並んで接している。A は左、B は右にある。今度は B の右側から手 H が B を左向きに押している瞬間を考える。A と B はともに床に接しており、摩擦と空気抵抗を無視する。

A に触れているのは B と床、B に触れているのは A、床、手 H だけである。

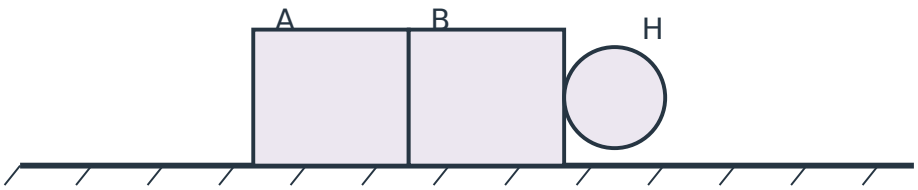

図 14　右側の手 H が B を左へ押している状況

(1) 対象を A として、すべての力を描け。

(2) 対象を B として、すべての力を描け。

(3) 手 H が A に直接触れていないのに、A に左向きの力が働く理由を、力を及ぼす相手に注目して説明せよ。

8

物体 G が、右上がりの滑らかな斜面に接している。G は斜面以外の物体には触れておらず、摩擦と空気抵抗を無視する。

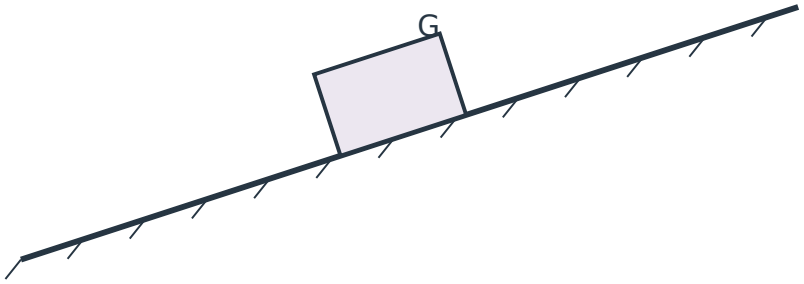

図 15　滑らかな右上がりの斜面に接する物体 G

(1) G に働くすべての力を G だけの図に描け。

(2) 垂直抗力を鉛直上向きに描くのが誤りである理由を説明せよ。

(3) 重力を斜面に沿った下り方向の一本の力として描くのが誤りである理由を説明せよ。

9

本文の「座標軸と力の矢印を区別する」にある、座標軸だけの図と A の全力図について考える。

(1) 座標軸だけの図に描かれたx軸とy軸を、A に働く力として数えてよいか。理由を答えよ。

(2) A の全力図に描かれたWとNについて、それぞれ力を及ぼす相手と矢印の向きを答えよ。

(3) WとNの矢印が同じ長さで描かれていることを根拠に、二つの力の大きさが等しいと判断してよいか。理由を答えよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

1

対象は A である。A は床から垂直抗力、地球から重力を受ける。

したがって、A を点で表し、そこから**鉛直上向きにN、鉛直下向きにW**を描く。



図 16　演習 1 の完成力図

Wは地球が A に及ぼす重力、Nは床が A に及ぼす垂直抗力である。摩擦と空気抵抗は無視するため、これらを追加しない。

矢印長は大きさの比較を表していない。

2

(1)

B に力を及ぼす相手は地球と糸である。床や壁には接していないため、それらからの接触力はない。

(2)

B を点で表し、鉛直上向きに張力T、鉛直下向きに重力Wを描く。



図 17　演習 2 の完成力図（上が張力、下が重力）

Tは張った糸が B を上向きに引く力、Wは地球が B を下向きに引く重力である。

(3)

張力は消さない。

切り出した力の図で糸そのものを描かなくても、元の瞬間に糸が張っている条件は保たれる。したがって、糸から B が受ける張力は描く必要がある。

3

(1)

C に力を及ぼす相手は地球と糸である。

C を点で表し、**鉛直下向きに重力W、斜め右上向きに張力T**を描く。

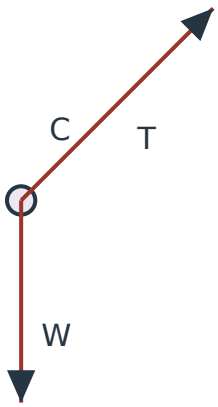

図 18　演習 3 の完成力図（T は糸の方向、W は鉛直下向き）

張力Tは糸が C を引く力、重力Wは地球が C に及ぼす力である。

(2)

糸は右上方に向かって張っている。張力は張った糸に沿って対象を引く向きに働くため、鉛直上向きではなく斜め右上向きとなる。

重力は鉛直下向きであり、糸の向きによって変わらない。C がその瞬間にどちらへ動いているかは、張力の向きを決める根拠ではない。

4

(1)

D を点で表し、次の三本を描く。

- 鉛直下向きのW：地球が D に及ぼす重力
- 鉛直上向きのN：床が D に及ぼす垂直抗力
- 水平左向きのS：伸びたばねが D に及ぼす弾性力

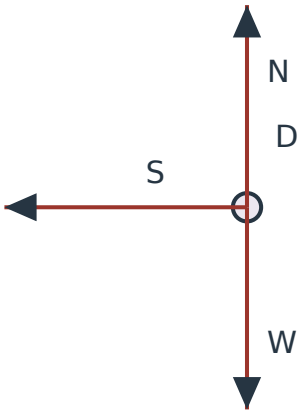

図 19　演習 4 の伸びたばねの場合の完成力図

(2)

向きが変わるのは、ばねから受ける弾性力Sである。

ばねの左端が固定され、自然の長さより縮んでいれば、元の長さに戻ろうとして右端の D を右向きに押す。

したがって、縮んだ場合の完成力図は、D の点から**上向きにN、下向きにW、右向きにS**を描いたものとなる。

重力と垂直抗力の向きは変わらない。ばねの弾性力の向きだけが左右反転する。

5

(1)

E に働く力は、重力、垂直抗力、動摩擦力の三本である。

E を点で表し、鉛直下向きにW、鉛直上向きにN、水平左向きに動摩擦力fを描く。

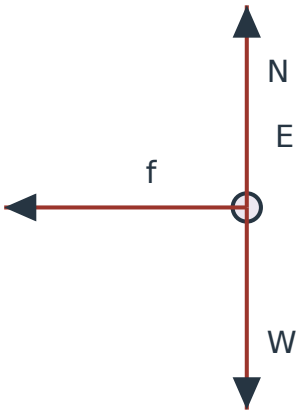

図 20　演習 5 の完成力図（右へ滑る E が受ける摩擦は左向き）

Wは地球が E に及ぼす重力、Nとfは床が E に及ぼす力である。

床に対する E の相対的な滑りが右向きなので、動摩擦力はその滑りを妨げる左向きとなる。

(2)

速度と力は異なる物理量だからである。

E が右向きに滑っていることは、E の運動状態を表す。右向きに動いているという事実だけから、新たな右向きの力が働いているとはいえない。

この問題では手や糸などから水平に押されたり引かれたりしていないため、「運動の力」という右向きの矢印を付け加えてはならない。

6

(1)

力として扱ってはいけないものは、速度を表すvの矢印である。

速度は運動状態を表す量であり、F に働く力の一本ではない。力の図から取り除く。

(2)

向きが誤っているのは張力Tである。

糸は F の右側へ張っており、F を右向きに引いている。したがって、張力Tは左ではなく**水平右向き**に描く。

(3)

F を点で表し、次の三本を描く。

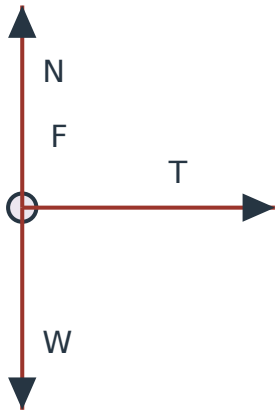

図 21　演習 6 の修正後の完成力図

Wは地球から受ける鉛直下向きの重力、Nは床から受ける鉛直上向きの垂直抗力、Tは糸から受ける右向きの張力である。

修正では、速度vの削除と張力Tの向きの変更を行う。力の本数は三本となる。

7

(1) 対象が A の場合

A に力を及ぼす相手は地球、床、B である。手 H は A に直接接触していない。

A を点で表し、以下の三本を描く。

- 下向きのW：地球からの重力
- 上向きのN：床からの垂直抗力
- 左向きのP：B が A を押す力

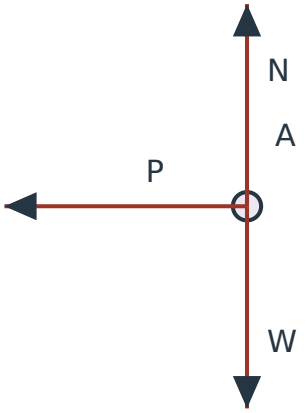

図 22　演習 7 の対象 A の完成力図

(2) 対象が B の場合

B に力を及ぼす相手は地球、床、A、手 H である。

B を点で表し、以下の四本を描く。

- 下向きのW：地球からの重力
- 上向きのN：床からの垂直抗力
- 左向きのP：手 H が B を押す力
- 右向きのQ：A が B を押す力

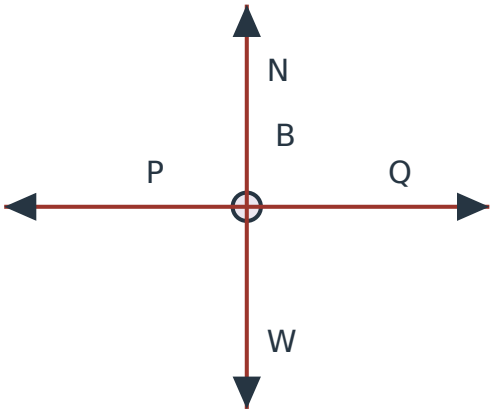

図 23　演習 7 の対象 B の完成力図

(3)

手 H は B を左向きに押し、B は左側に接する A を左向きに押している。

したがって、A に直接左向きの力を及ぼしている相手は手 H ではなく、B である。

B が A に及ぼす力と、手 H が B に及ぼす力は、受ける対象が異なる別々の力である。対象を切り替える際には、誰がその対象に力を及ぼしているかを確認し直す必要がある。

8

(1)

G に働く力は、地球からの重力Wと、斜面からの垂直抗力Nの二本である。

G を点で表し、**Wを鉛直下向き、Nを斜面に垂直な左上向き**に描く。

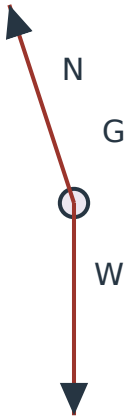

図 24　演習 8 の完成力図（N は斜面に垂直、W は鉛直下向き）

(2)

垂直抗力は、接触している面に垂直な方向に働くためである。

この問題では斜面が右上がりになっているため、斜面が G を押す向きは斜め左上となる。水平な床の場合と同じ鉛直上向きにしてはならない。

(3)

重力は地球が G に及ぼす力であり、地表付近では鉛直下向きに働く。斜面の傾きによって重力そのものの向きが変わるわけではない。

重力を斜面に沿った方向へ分けて考える場合でも、それは重力という一つの力の表し方を変えているのであって、重力そのものが斜面下向きに変わったわけではない。

本問では重力を分解せず、鉛直下向きの一本の矢印として描く。

9

(1)

座標軸を A に働く力として数えてはならない。

x軸とy軸は方向や位置を表すための基準である。地球や床のように、物体 A に力を及ぼす相手を表していないため、力の一本には数えない。

(2)

Wは地球が A に及ぼす重力であり、鉛直下向きである。

Nは床が A に及ぼす垂直抗力であり、この水平な床の場面では鉛直上向きである。

したがって、完成力図は A の点から**上向きにN、下向きにW**を描いたものとなる。

(3)

判断してはならない。

この講の力の図は、力の種類と向きを見やすく表す模式図である。矢印の長さは力の大きさを定量的に表していないため、同じ長さに見えても二つの力の大きさが等しい根拠にはならない。

力の大きさは、図の見た目だけでなく、与えられた物理的な条件に基づいて判断する必要がある。