第 014 講 物体に働く力を見つける

この講でできるようになること

- 力を調べる対象物体を一つ決め、その物体に力を及ぼす相手を特定できる。
- 重力・垂直抗力・張力・弾性力を、相手・向き・働く条件とともに区別できる。
- 対象物体を変えたときに力の一覧を作り直し、力の見落としや取り違えを理由とともに訂正できる。

1. 力を見つけるには、何から考えるのか

机の上に置いた本は動いていない。それでは、本には力が働いていないのだろうか。

本には、地球が下向きに引く力と、机が上向きに押す力が働いている。動いていないことは、力が存在しないことを意味しない。

一方、上に投げたボールは、手から離れた後も上向きに動くことがある。しかし、手から離れたボールに、手が上向きの力を及ぼし続けているわけではない。

力を見つける手がかりは、物体が静止しているか、どちらへ動いているかだけではなく、何がその物体に力を及ぼしているかである。

物体に働く力

力は、物体どうしの相互作用によって生じる。物体に働く力を考えるときは、「どの物体が、どの物体に力を及ぼしているか」を区別する。

力には大きさと向きがある。同じ物体に複数の力が働く場合もある。

1.1 対象物体を一つに固定する

物体 A について調べるなら、まず「対象は A」と決める。

次に、A に力を及ぼす相手を探す。床、糸、ばね、手、地球などが候補になる。ただし、近くに存在するだけで、必ず A に力を及ぼすとは限らない。

例えば、物体 A が床に接しているときには、次の二つを区別する必要がある。

- 床が A を押す力：A に働く力である。
- A が床を押す力：床に働く力であり、A に働く力の一覧には入れない。

二つの力を混ぜないことが、力を正しく列挙する第一歩である。

力を見つける順序

1. **対象**：今、どの物体に働く力を調べるのか。
2. **相手**：その物体に力を及ぼすものは何か。
3. **種類**：重力、垂直抗力、張力、弾性力などのどれか。
4. **向き**：その相手は、対象をどちら向きに引く、または押すのか。
5. **条件**：実際に接しているか、糸は張っているか、ばねは変形しているかなどを確認する。

「相手が対象に及ぼす力」という文章にしてから、力の種類と向きを答える。

1.2 何を無視するかも条件で決める

実際の物体には、空気抵抗や接触面の摩擦などが働く場合がある。

©ミライコーチング

本講では、問題文に「空気抵抗を無視する」とあれば、空気抵抗を力の一覧に含めない。「滑らかな床」とあれば、床との摩擦を無視できるものとする。

反対に、空気抵抗や摩擦が無視できない条件なら、それらも調べる必要がある。力を都合よく省略してよいわけではない。

2. 接触しなくても働く力：重力

地表付近では、地球は物体をおおむね鉛直下向きに引いている。この力が**重力**である。

重力の相手は地球である。床や手に触れている必要はない。

例えば、空気抵抗を無視し、手から離れたボールにほかの物体が触れていなければ、ボールに働く力は地球からの重力だけである。

ボールが上向きに進んでいる瞬間でも、下向きに落ちている瞬間でも、重力の向きは下向きである。上昇中だから「上向きに進ませる力」が別に必要になるわけではない。

運動と力を混同しない

物体が動いているからといって、運動方向の力が必ず働いているとは限らない。また、静止しているからといって、働く力がなくなるわけでもない。

力の種類は、物体の動きだけから想像せず、相互作用の相手から判断する。

3. 接触面が押す力：垂直抗力

水平な床の上に物体 A を置く。ここでは、床は滑らかで、A と接するほかの物体はなく、空気抵抗は無視する。

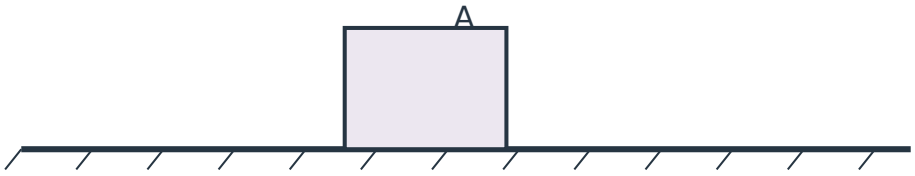

図 1　滑らかな水平床に接する物体 A の状況図

A は床に接しており、床から押されている。

このように、接触面が物体を**面に垂直な方向へ押す力**を垂直抗力という。

水平な床が上にある物体 A を押す場合、垂直抗力の向きは鉛直上向きである。

対象	相手	力の種類	向き
A	地球	重力	鉛直下向き
A	床	垂直抗力	鉛直上向き

この表は、指定した条件で A に働く力の一覧である。床との摩擦は無視しており、手や糸などによる力もない。

3.1 垂直抗力は、常に上向きではない

垂直抗力の向きは、**接触面に垂直で、面が物体を押す向き**で決まる。

例えば、右へ行くほど高くなる滑らかな斜面に物体 A が接して押し合っている場合、斜面が A に及ぼす垂直抗力は斜め左上向きである。

水平な床の例で鉛直上向きだったのは、床が水平だったためである。

さらに、垂直抗力の大きさが、重力の大きさと必ず等しいわけでもない。

垂直抗力の大きさを N、物体の質量を m、地表付近での重力加速度の大きさを g と表すとき、重力の大きさは mg と表される。しかし、$N = mg$ はあらゆる場面で成立する関係ではない。

例えば、人が物体を床へ向かってさらに押していれば、床が物体を押し返す力を考える際に、その手の力も無視できない。

今は大きさの計算よりも、**どの相手がどちら向きに力を及ぼしているか**を正しく見つけることが重要である。

4. 張った糸が引く力：張力

糸の上端を固定し、その下端に物体 A をつなぐ。糸は鉛直方向に張っており、A を上向きに引いているとする。

ほかの物体は A に接しておらず、空気抵抗は無視する。



図 2　上端を固定した張った糸につながる物体 A

図は糸と A の接続を示す模式図である。糸の上端を固定する装置の形は省略してある。

張った糸が物体を引く力を**張力**という。張力は糸に沿った方向に働き、糸はつながった物体を引く。通常の糸は物体を押すことができない。

この場面で A に働く力は次のとおりである。

対象	相手	力の種類	向き
A	地球	重力	鉛直下向き
A	糸	張力	糸に沿って上向き

4.1 天井が直接 A を引いているのか

糸の上端が天井に固定されていたとしても、A に直接接しているのは糸である。

したがって、A に働く接触力を「天井から直接受ける張力」とは呼ばない。A を引く直接の相手は糸である。

天井は糸を支える側にあるが、そのことと、A に直接働く力を区別する必要がある。

4.2 糸がたるんでいたら

糸がたるみ、A を引いていない場合には、その糸による張力を A の力の一覧へ加えない。

例えば、A が落下していて糸がたるんでいる瞬間を考える。ほかの接触がなく、空気抵抗を無視するなら、A に働く力は地球からの重力だけである。

「糸がつながっている」という情報だけでなく、**糸が張り、実際に引いているか**を確かめる。

5. 変形したばねが及ぼす力：弾性力

ばねは、自然な長さから伸ばしたり縮めたりすると、元の長さに戻ろうとする。

力を加えていないときのばねの長さを**自然長**という。ばねなどの物体が変形したとき、元の状態に戻ろうとして及ぼす力を弾性力という。

次の図では、水平なばねの左端を固定し、右端を物体 A につないでいる。A は滑らかな水平床に接し、ばねは水平方向に A を押したり引いたりできる。

空気抵抗と床との摩擦は無視し、A に触れるものは床とばねだけとする。

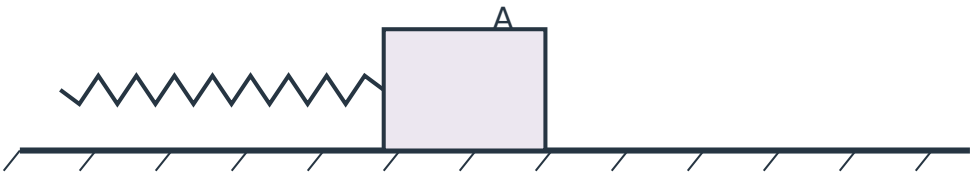

図 3　左端を固定したばねと物体 A の接続状況図

この図はばねの固定側と接続関係を示しており、描かれたばねの長さが自然長であるとは限らない。A が動いているか静止しているかも、この図だけでは分からない。

5.1 自然長より伸びている場合

ばねの左端を固定したまま、右端の A を自然長の位置より右へ移動させて、ばねを伸ばした瞬間を考える。

ばねは縮んで元の長さに戻ろうとする。そのため、ばねは A を**左向きに引く**。

対象	相手	力の種類	向き
A	地球	重力	鉛直下向き
A	床	垂直抗力	鉛直上向き
A	ばね	弾性力	左向き

5.2 自然長より縮んでいる場合

今度は、同じばねの左端を固定したまま、A を自然長の位置より左へ移動させ、ばねを縮めた瞬間を考える。

ばねは伸びて元の長さに戻ろうとする。そのため、ばねは A を**右向きに押す**。

地球からの重力と床からの垂直抗力は、この設定でも A に働く。変わるのは、ばねが A に及ぼす弾性力の向きである。

ばねの状態	ばねが A に及ぼす力
自然長より伸びている	左向きに引く
自然長より縮んでいる	右向きに押す
自然長で変形していない	この理想的なばねの弾性力は 0

ばねの力の向きを決める

ばねの力は「必ず引く」と覚えるのではない。

どちらの端が固定されているか、自然長から伸びているか縮んでいるかを確認し、**元の長さに戻る向き**を考える。

固定端が右側に変われば、同じ伸長・圧縮でも、ばねが物体に及ぼす力の左右は逆になり得る。

6. ほかの接触力を見落とさない

6.1 手が押す力

物体 A を手で右向きに押しているなら、手は A に右向きの力を及ぼしている。

このとき、力を及ぼす相手は「手」である。手が A に触れて押しているという条件を確認してから、A の一覧に追加する。

手が離れれば、手による接触力はなくなる。A がその後も右へ動いているというだけで、手の力を残してはいけない。

6.2 摩擦力

接触面が粗い場合、面に沿った**摩擦力**が働くことがある。

例えば、粗い水平床の上を物体 A が床に対して右へ滑っているなら、床が A に及ぼす摩擦力は左向きである。

ここで区別すべきなのは、床が A に及ぼす二種類の力である。

相手	力の種類	向き
床	垂直抗力	接触面に垂直
床	摩擦力	接触面に沿う

摩擦の向きを考えるときは、接触面どうしがどちらへ滑っているか、または滑り出そうとしているかを確かめる。

摩擦力は、物体の地面に対する速度と常に逆向きとは限らない。例えば、右向きに動くベルトが、その上の物体を右向きに摩擦で動かす場合もある。判断の基準は、接触面の相対的な滑りや滑ろうとする傾向である。

また、粗い面に触れているだけで、必ず大きさが 0 でない摩擦力が働くと決めつけてもいけない。状況によっては摩擦力が 0 の場合もある。

©ミライコーチング

6.3 空気抵抗

空気の中を動く物体には、空気から抵抗力を受ける場合がある。空気抵抗の向きは、物体の空気に対する相対的な運動に関係する。

空気が静止している状況で、物体が空気に対して下向きに動くなら、空気抵抗は上向きに働く。

本講で空気抵抗を無視する場合は、その条件を明示する。無視しない問題なら、空気も力を及ぼす相手として調べる必要がある。

相手の確認を忘れない

床、糸、ばね、手、空気などは、条件によって力を及ぼす場合と及ぼさない場合がある。

問題文で接触・変形・運動の条件を確認せず、見慣れた力を機械的に追加してはいけない。

7. 例題で力の見つけ方を確かめる

1

滑らかな水平床の上に物体 A があり、手で A を水平右向きに押している。手は A に触れており、床も A を押している。A に接するものは床と手だけで、空気抵抗は無視する。

(1) A に働く力をすべて挙げ、相手・種類・向きを答えよ。

(2) 手を離した直後、A がまだ右向きに動いていたとする。この瞬間に A に働く力をすべて答えよ。ただし、A は引き続き床に接して押されているものとする。

解答・解説

(1) A に働く力は次の三つである。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
床	垂直抗力	鉛直上向き
手	手が押す力	右向き

床は滑らかなので摩擦を無視する。空気抵抗も問題の条件で無視するため、これ以外の力は加えない。

(2) 手を離した後は、手が A を押す力がなくなる。

したがって、A に働く力は**地球からの重力と床からの垂直抗力**である。

A が右向きに動いていても、右向きの力が必ず必要というわけではない。運動方向から力を追加するのではなく、A と相互作用している相手から判断する。

2

糸の上端を固定し、下端に物体 A をつなぐ。ほかの物体は A に触れず、空気抵抗は無視する。

(1) 糸が鉛直方向に張り、A を上向きに引いているとき、A に働く力をすべて挙げよ。

(2) 糸がたるんで A を引いておらず、A が落下している瞬間には、A に働く力はどう変わるか。

(3) (1)について「天井が A を直接引く張力が働いている」という説明を訂正せよ。

解答・解説

(1) A には、**地球が下向きに及ぼす重力**と、**糸が糸に沿って上向きに及ぼす張力**が働く。

糸は張って A を引いているため、張力を数える。

(2) 糸が A を引いていなければ、その糸による張力は働かない。

ほかの接触がなく空気抵抗も無視するため、A に働くのは地球からの下向きの重力だけである。

(3) 正しくは「**糸が A を上向きに引く張力が働いている**」である。

A に直接接して引く相手は糸である。天井が糸の上端を支えていることと、糸が A に張力を及ぼすことを区別する。

3

滑らかな水平床に置かれた物体 A が、水平なばねの右端につながれている。ばねの左端は固定され、床と A は押し合っている。空気抵抗を無視し、A に触れるものは床とばねだけとする。

(1) ばねが自然長より伸びた瞬間、A に働く力をすべて挙げ、向きを答えよ。

(2) ばねが自然長より縮んだ瞬間、A に働く力をすべて挙げ、向きを答えよ。

(3) ばねが自然長である瞬間、ばねが A に及ぼす弾性力はどうなるか。理想的なばねとして考えよ。

解答・解説

(1) A には三つの力が働く。

- 地球が A に及ぼす重力：鉛直下向き
- 床が A に及ぼす垂直抗力：鉛直上向き
- ばねが A に及ぼす弾性力：左向き

ばねは伸びており、元の長さに戻るには右端を左へ戻す必要がある。そのため、A を左向きに引く。

(2) 力の相手と種類は(1)と同じである。ただし、弾性力の向きが逆になる。

- 地球が A に及ぼす重力：鉛直下向き
- 床が A に及ぼす垂直抗力：鉛直上向き
- ばねが A に及ぼす弾性力：右向き

縮んだばねは元の長さへ伸びようとするので、右端の A を右向きに押す。

©ミライコーチング

(3) 自然長で変形していない理想的なばねが A に及ぼす弾性力は **0** である。
ばねにつながっているだけで、必ず大きさが 0 でない弾性力が働くとは限らない。

演習問題

1

物体 A を鉛直上向きに投げた。手から離れた後、A は上向きに進み、やがて下向きに落ち始めた。

A にはほかの物体が接触せず、空気抵抗は無視する。地表付近で重力が鉛直下向きに働くものとする。

(1) A が上向きに進んでいるとき、働く力をすべて挙げ、相手と向きを答えよ。

(2) A が下向きに落ちているとき、働く力をすべて挙げ、相手と向きを答えよ。

(3) 「上向きに進んでいる間は、投げた手の力が上向きに働き続けている」という説明の誤りを述べよ。

2

滑らかな水平床の上に物体 B が置かれ、その上に物体 A が載っている。A と B、B と床はそれぞれ接触して押し合っており、接触面は水平である。

A は床に直接触れていない。A と B は静止しており、両物体に触れるものは説明した接触相手だけとする。空気抵抗と摩擦は無視する。

(1) 対象を A に固定し、A に働く力をすべて列挙せよ。相手・種類・向きも答えよ。

(2) 対象を B に切り替え、B に働く力をすべて列挙せよ。相手・種類・向きも答えよ。

(3) 「A が B を下向きに押す力」を、A に働く力の一覧に入れてはいけない理由を説明せよ。

3

次の二つの場面を考える。いずれも空気抵抗を無視し、記載した相手以外から接触力を受けないものとする。

場面 I：右へ行くほど高くなる滑らかな斜面に物体 A が載っており、A と斜面は接触して押し合っている。糸や手は A に触れていない。

場面 II：滑らかな水平床の上に物体 B があり、手が B を鉛直下向きに押している。B は床にも接して押されている。

(1) 場面 I で A に働く力をすべて挙げ、相手・種類・向きを答えよ。

(2) 場面 II で B に働く力をすべて挙げ、相手・種類・向きを答えよ。

(3) 「垂直抗力は必ず鉛直上向きで、重力と同じ大きさである」という説明が正しくない理由を、二つの場面から説明せよ。力の大きさを計算する必要はない。

©ミライコーチング

4

滑らかな水平床に物体 A が置かれている。水平なばねの**右端を固定**し、ばねの左端を A につないだ。A と床は接触して押し合っており、空気抵抗と床との摩擦は無視する。A に接するものは床とばねだけである。

(1) A を自然長の位置から左へ動かして、ばねを伸ばした瞬間を考える。A に働く力をすべて挙げ、相手と向きを答えよ。

(2) A を自然長の位置から右へ動かして、ばねを縮めた瞬間を考える。A に働く力をすべて挙げ、相手と向きを答えよ。

(3) 例題 3 と比べて、伸長時の弾性力の向きが逆になる理由を説明せよ。

5

粗い水平床の上で、物体 A が床に対して右向きに滑っている。手は A に接して水平右向きに押しており、床と A は互いに押し合っている。

床は水平で静止し、A と床の間には滑りに逆らう摩擦力が働いている。空気抵抗を無視し、A に触れるものは床と手だけである。

(1) A に働く力をすべて挙げ、相手・種類・向きを答えよ。

(2) 床が A に及ぼす二種類の力は、向きについてどのように異なるか説明せよ。

(3) 手を離しても A が床に対して右向きに滑り続けている瞬間、A に働く力の一覧はどう変わるか。床との滑りと摩擦は引き続き存在するものとする。

6

次の説明が正しいか誤りかを答えよ。誤りの場合は、どこが誤っているかを示し、正しい説明に直せ。

(1) 「物体が静止していれば、その物体に働く力は一つもない。」

(2) 「物体が右向きに動いていれば、右向きの力が必ず働いている。」

(3) 「垂直抗力はどんな接触面でも鉛直上向きであり、その大きさはいつでも重力の大きさと等しい。」

(4) 「天井に固定した糸で物体をつるしているとき、物体は天井から直接張力を受ける。」

(5) 「ばねは物体を引くことしかできず、押すことはない。」

(6) 「床が滑らかで摩擦を無視できるなら、床と物体が押し合っていても、床からの垂直抗力を考える必要はない。」

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

1

(1) 地球が A に及ぼす重力が、鉛直下向きに働く。

A は手から離れており、ほかの物体も接触していない。空気抵抗を無視するので、これ以外の力はない。

(2) 地球が A に及ぼす重力が、鉛直下向きに働く。

A の運動方向が下向きに変わっても、重力の相手と向きは変わらない。

(3) 手から離れた後の A には、手による接触力は働かない。

手が A を上向きに押していたのは接触している間であり、離れた後も上向きの運動が続くことを、上向きの力が残っている理由にしてはいけない。

この問題では、上昇中も下降中も、A に働く力は地球からの下向きの重力だけである。

2

(1) 対象は A である。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
B	垂直抗力	鉛直上向き

A は B に接して押されているが、床には直接触れていない。そのため、A に働く垂直抗力の相手は床ではなく B である。

(2) 対象を B に変えると、働く力は次の三つになる。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
A	垂直抗力	鉛直下向き
床	垂直抗力	鉛直上向き

B 自身も地球から重力を受ける。また、上に載った A は B を下向きに押し、床は B を上向きに押す。

A と床が直接接していないことに注意する。

(3) A が B を下向きに押す力は、**B に働く力**だからである。

対象を A とした一覧には、B が A を上向きに押す力を入れる。反対に、対象を B とした一覧には、A が B を下向きに押す力を入れる。

力を及ぼす相手と、力を受ける対象を入れ替えてはいけない。

対象を切り替えたら

同じ場面でも、対象が A か B かによって力の一覧は変わる。

対象が変わったときは、前の一覧をそのまま使わず、「誰が新しい対象に力を及ぼしているか」を最初から確認する。

©ミライコーチング

3

(1) 場面 Ⅰ で A に働く力は次の二つである。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
斜面	垂直抗力	斜め左上向き

斜面は右へ行くほど高くなるため、斜面から A を押し離す垂直な向きは斜め左上となる。

滑らかな斜面なので摩擦は無視する。

(2) 場面 Ⅱ で B に働く力は次の三つである。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
床	垂直抗力	鉛直上向き
手	手が押す力	鉛直下向き

手が B を押しているので、手からの力を忘れてはいけない。

(3) 場面 Ⅰ では、斜面から受ける垂直抗力が斜め左上を向く。したがって、垂直抗力が必ず鉛直上向きという説明は誤りである。

また、場面 Ⅱ では重力のほかに手が下向きに押す力も存在する。床が B をどの程度押すかを考える際に、手の力を無視して重力の大きさだけと等しいと決めることはできない。

垂直抗力は**面の向きと接触条件**によって判断する必要があり、どんな場面でも重力と同じ向きの反対側に、同じ大きさで働くと考えてはいけない。

4

(1) A に働く力は次の三つである。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
床	垂直抗力	鉛直上向き
ばね	弾性力	右向き

ばねの右端が固定されており、左端の A を左へ動かしたため、ばねは自然長より伸びている。

ばねが元の長さに戻るには、左端が右へ動く必要がある。したがって、ばねは A を右向きに引く。

(2) A に働く力の種類と相手は同じである。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
床	垂直抗力	鉛直上向き
ばね	弾性力	左向き

左端の A を右へ動かしたため、ばねは自然長より縮んでいる。

元の長さへ戻るため、ばねは左端の A を左向きに押す。

©ミライコーチング

(3) 例題 3 ではばねの左端が固定され、A は右端につながっていた。一方、この問題では右端が固定され、A は左端につながっている。

どちらも伸びたばねは自然長に戻ろうとするが、**A が接続されている側が反対**なので、A を引く向きも逆になる。

ばねの力の向きは、単に「伸びている」という条件だけでは決まらない。固定側と対象の接続位置まで確認することが必要である。

5

(1) A に働く力は次の四つである。

相手	力の種類	向き
地球	重力	鉛直下向き
床	垂直抗力	鉛直上向き
床	摩擦力	左向き
手	手が押す力	右向き

手は A を右へ押している。A は床に対して右へ滑っているので、床から受ける滑り摩擦は左向きである。

(2) 床が A に及ぼす垂直抗力は、水平な接触面に垂直な鉛直上向きである。

一方、床が A に及ぼす摩擦力は、接触面に沿った左向きである。

同じ床から受ける力でも、**垂直抗力は面に垂直、摩擦力は面に沿う**という違いがある。

(3) 手を離すと、手が A を右向きに押す力がなくなる。

残る力は、地球からの下向きの重力、床からの上向きの垂直抗力、床からの左向きの摩擦力の三つである。

A が右向きに滑り続けていても、手が触れていなければ手の力は働かない。また、床に対する滑りが続いているので、設定された摩擦力は引き続き左向きに働く。

6

(1) 誤り。

静止していても、複数の力が働く場合がある。

例えば、滑らかな水平床の上で静止している物体には、地球からの重力と床からの垂直抗力が働く。

静止していることだけから、力が一つもないとは言えない。

(2) 誤り。

物体が右向きに動いていることは、右向きの力が必ず存在するという意味ではない。

例えば、滑らかな水平床の上を右向きに動く物体が、すでに手から離れており、空気抵抗も無視できるなら、右向きの接触力がなくても右向きの運動が続く場合がある。

力は、運動方向だけでなく相互作用の相手から判断する。

(3) 誤り。

垂直抗力は接触面に垂直で、面が物体を押す向きに働く。

傾いた斜面では垂直抗力も斜め方向になる。また、物体を手で床へ押すなど、ほかの力が加わる場合もあるため、垂直抗力の大きさが必ず重力の大きさと等しいとは限らない。

(4) 誤り。

物体を直接引く相手は、物体につながった糸である。

正しくは「張った糸が、物体を糸に沿って引く張力を及ぼしている」である。

天井が糸を支えていることと、糸が物体に直接及ぼす力を区別する。

(5) 誤り。

ばねは自然長より伸びていれば元に戻る向きに物体を引き、自然長より縮んでいれば元に戻る向きに物体を押すことがある。

伸長か圧縮か、どちら側が固定されているか、対象がどちらの端についているかを確認する必要がある。

(6) 誤り。

滑らかな床では摩擦を無視できるが、垂直抗力までなくなるわけではない。

床と物体が接触して押し合っているなら、床は物体に面と垂直な力を及ぼす。

摩擦力と垂直抗力は異なる種類の力であり、一方を無視する条件が他方をなくす条件になるとは限らない。

©ミライコーチング