第 017 講 作用と反作用を見分ける

この講でできるようになること

- 二つの物体が互いに及ぼし合う力を、作用と反作用の対として特定できる。
- 力を及ぼす物体と受ける物体を区別し、作用反作用の大きさと向きを説明できる。
- 同じ物体に働くつり合う力と、異なる物体に働く作用反作用を見分けられる。
- 力の全力図と、一つの相互作用だけを取り出した図を区別し、力の足し合わせに関する誤りを修正できる。

1. 力は二つの物体の間で及ぼし合う

机の上に本を置くと、本には下向きの重力と上向きの垂直抗力が働く。本が静止していて二力の大きさが等しいとき、二力はつり合っている。

では、この二力は「作用と反作用」の関係にもなっているのだろうか。

結論は異なる。**二力の大きさと向きが同じ関係に見えても、つり合いと作用反作用では、力を受ける物体の組み合わせが違う**。

この違いを理解するために、まず二つの物体が互いに押し合う場面を考える。

1.1 二つの物体が押し合うとき

物体 A が物体 B を押すと、B は A から力を受ける。それと同時に、A も B から力を受ける。

このように、二つの物体が互いに力を及ぼし合う関係を**相互作用**という。接触による押し合いは、その代表例である。

作用と反作用

物体 A が物体 B に力を及ぼすとき、物体 B も物体 A に力を及ぼす。

この同一の相互作用による二つの力を、**作用と反作用の対**という。

二つの力には、次の関係がある。

- 大きさは等しい。
- 向きは反対である。
- 力を受ける物体は異なる。

この関係を作用・反作用の法則という。どちらを作用と呼び、どちらを反作用と呼んでもよい。

次の図では、左右に接触している A と B の間に働く水平な力だけを取り出している。床や重力など、ほかの力は示していないため、各物体の全力図ではない。また、A と B が静止しているという条件も置かない。

©ミライコーチング

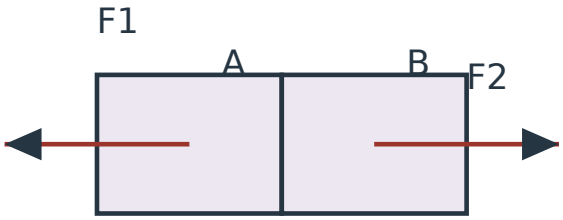

図 1　A と B の接触による水平な二力だけを取り出した模式図

図の二力の意味は、次のとおりである。

力	力を及ぼす物体	力を受ける物体	向き
F1	B	A	左
F2	A	B	右

F1 は「B が A に及ぼす力」、F2 は「A が B に及ぼす力」である。

A と B を入れ替えると、力を及ぼす側と受ける側も入れ替わる。そして、どちらの力も同じ接触による押し合いから生じている。

したがって、F1 と F2 は作用反作用の対である。

図では力の矢印を見やすくするため、それぞれの物体の中心から描いている。これは力を受ける物体と向きを示すための簡略化であり、接触している場所そのものを矢印の始点として表した図ではない。

1.2 大きさは等しく、向きは反対

A が B を右向きに 4 N の力で押しているとする。

このとき、B が A に及ぼす力は左向きに 4 N である。

作用反作用の関係は、二つの物体の質量が異なっていても変わらない。また、物体が静止している場合にも動いている場合にも成り立つ。

ここで、力の向きを含めて表す記号を導入する。

$\vec{F}_{A\to B}$ を「A が B に及ぼす力」と定義する。矢印の左側が力を及ぼす物体、右側が力を受ける物体であり、$\vec{F}$ は向きと大きさを持つ力を表す。

作用反作用の関係は、次の式で表せる。

$$\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$$

右辺の負号は、二つの力が反対向きであることを表す。大きさまで負になるという意味ではない。

ミライポイント｜力を受ける側を先に確かめる

作用反作用を探すときは、矢印の長さや向きだけを見るのではなく、次の関係を確かめる。

「A が B に及ぼす力」に対して、相手は「B が A に及ぼす力」である。

力を及ぼす側と受ける側が入れ替わり、同じ相互作用を表していることが判定の決め手となる。

1

物体 A と B が水平方向に接触している。A が B に及ぼす接触力は右向きに 4 N である。水平方向は右向きを正とする。

(1) B が A に及ぼす接触力の大きさと向きを答えよ。

(2) (1)の二力が作用反作用の対である理由を、力を受ける物体に注目して説明せよ。

(3) A と B が受けるほかの力が不明なとき、この二力の情報だけから A または B の合力が 0 N と判断できるか。

解説

(1) B が A に及ぼす力は、左向きに 4 N である。右向きを正とすると、その水平方向の成分は -4 N となる。

(2) 一方は A が B に及ぼす力であり、B が受ける。もう一方は B が A に及ぼす力であり、A が受ける。同じ接触による相互作用で、力を及ぼす側と受ける側が入れ替わっているため、作用反作用の対である。

(3) 判断できない。B が受ける右向きの力と、A が受ける左向きの力は、受ける物体が異なる。A または B の合力を求めるには、その物体が受けるほかの力も確認する必要がある。

2. つり合う力と作用反作用は何が違うか

2.1 静止した本に働く二つの力

水平な机の上に本が静止している場面を考える。

本は地球から重力を受けるとともに、机から垂直抗力を受ける。垂直抗力は、接触面に垂直な方向へ机が本を押す力であり、水平な机では上向きとなる。

ここでは本に手や糸からの力は働かず、空気抵抗も無視できるとする。本に働く力は、重力と机からの垂直抗力の二つだけである。

重力の大きさを $W = 3.5$ N、垂直抗力の大きさを $N = 3.5$ N とする。

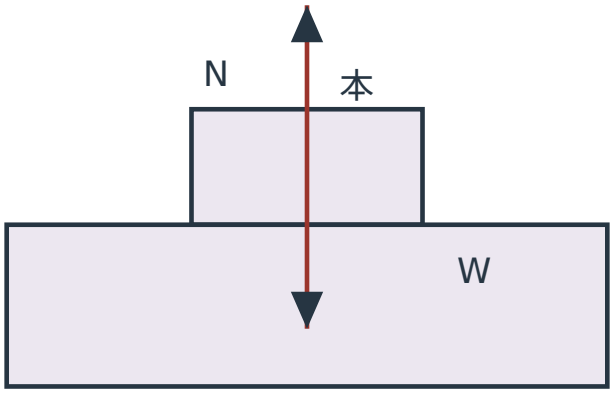

図 2　静止した本だけを対象にした全力図。下の横長の矩形は机で、位置関係を示している

本の底面と机の上面は接している。図の矢印は、本を一つの物体として切り出し、受ける力を中心から描いたものである。

この図では、本が受ける力をすべて示しているため、**本の全力図**と呼べる。ただし、机に働く力をすべて描いた図ではない。

鉛直上向きを正とすると、本が受ける力の合計は、

$$(+3.5\,\mathrm{N}) + (-3.5\,\mathrm{N}) = 0\,\mathrm{N}$$

となる。

このように、同じ物体に働く力の合力が 0 N になるとき、力はつり合っている。

しかし、この二つの力は作用反作用の対ではない。

なぜなら、重力 W も垂直抗力 N も、**同じ本が受けている力**だからである。

2.2 重力と垂直抗力の本当の相手

それでは、重力 W と垂直抗力 N には、それぞれどのような反対向きの力が対応するのだろうか。

まず、机と本の接触による相互作用を取り出す。

机が本を上向きに押す力 N には、本が机を下向きに押す力が対応する。この下向きの力を P と呼ぶ。

次の図は、この接触による二力だけを取り出したものである。本と机の全力図ではない。

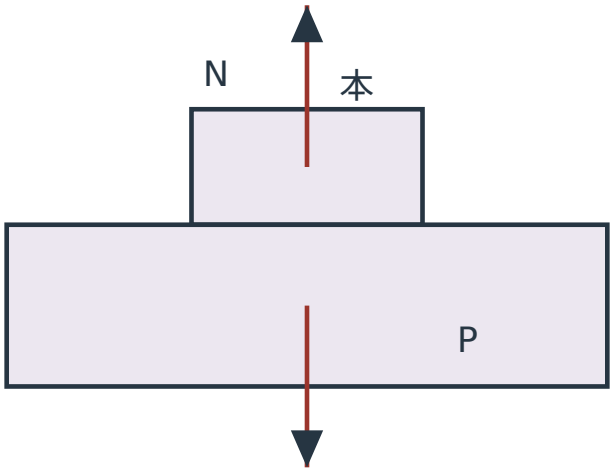

図 3　本と机の接触による作用反作用の対だけを示した模式図。下の横長の矩形は机

図では、N は本が受ける力、P は机が受ける力である。どちらも本と机の接触によって生じ、同じ大きさで反対向きとなる。

この場面では、N も P も大きさは 3.5 N である。

一方、本が受ける重力 W は地球が本に及ぼす力である。その相手は、**本が地球に及ぼす上向きの引力**である。

対応関係を整理すると、次のようになる。

相互作用	一方の力	対になるもう一方の力
本と机の接触	机が本を上向きに押す力 N	本が机を下向きに押す力 P
地球と本の引力	地球が本を下向きに引く力 W	本が地球を上向きに引く力

重力 W と垂直抗力 N は異なる相互作用に由来する。どちらも本が受けるため、作用反作用の対にはならない。

本が静止しているのは、本に働く W と N がつり合っているためである。作用反作用の対である N と P を足し合わせて、本のつり合いを説明するわけではない。

同じ大きさで反対向きでも、対とは限らない

力のつり合いと作用反作用では、確認する対象が異なる。

- **力のつり合い：** 一つの物体を選び、その物体に働くすべての力を足し合わせる。
- **作用反作用：** 二つの物体を選び、その間の同一相互作用による二力を対応させる。

本の重力 W と垂直抗力 N は、どちらも大きさが 3.5 N で向きは反対である。しかし、力を受ける物体が同じなので、作用反作用の対ではない。

2

水平な机の上に本が静止している。本に働く力は地球から受ける下向きの重力 5.0 N と、机から受ける上向きの垂直抗力 5.0 N だけである。

(1) この二力は作用反作用の対か。それともつり合う力か。

(2) 本が机から受ける垂直抗力の、作用反作用の相手を答えよ。

(3) 本が受ける重力の、作用反作用の相手を答えよ。

解説

(1) 二力はつり合う力であり、作用反作用の対ではない。どちらも本が受けており、鉛直方向の合力が 0 N だからである。

(2) 本が机に及ぼす下向きの力 5.0 N である。机から本への接触力と、本から机への接触力は、同じ接触による相互作用の対となる。

(3) 本が地球に及ぼす上向きの引力 5.0 N である。地球から本への引力と、本から地球への引力は、同じ重力による相互作用の対となる。

2.3 二つの物体の力を勝手に足してはいけない

ここまでの内容から、作用反作用について重要な注意点が分かる。

例えば、A が B に右向きに 4 N の力を及ぼし、B が A に左向きに 4 N の力を及ぼしているとする。

この二つの力について、次のような考え方は誤りである。

「同じ大きさで反対向きだから、A に働く合力は 0 N である」

「どちらも 4 N だから、B には合計 8 N の力が働く」

いずれも、異なる物体が受ける力を、一つの物体が受ける力であるかのように扱っている。

B が A に及ぼす力は A に働く。A が B に及ぼす力は B に働く。この二力だけを使って、A または B に働く合力を 0 N や 8 N と求めることはできない。

合力を考えるときは、最初に対象とする物体を一つに決め、その物体が受ける力だけを集める必要がある。

3. 離れている物体の間にも作用反作用がある

作用反作用は、二つの物体が接触している場合だけの法則ではない。

地球と本の間には、互いに引き合う重力による相互作用がある。地球は本を引き、本も地球を引いている。

二つの物体が接触していなくても、この引力は作用反作用の対となる。

次の図は、地球と本の間に働く引力だけを取り出した模式図である。ほかの力は描いておらず、地球や本の大きさ、両者の距離は実際の縮尺ではない。

©ミライコーチング

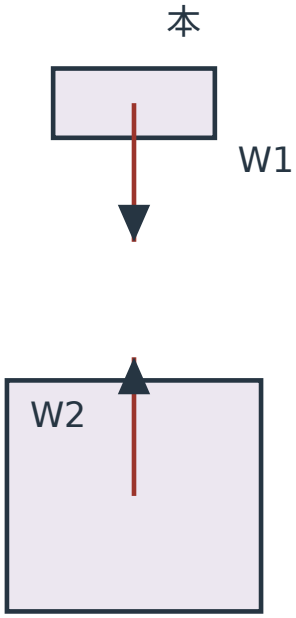

図 4　地球と本の間に働く引力だけを示す模式図。下の矩形は地球。形状と距離は非縮尺

図中の矩形は、それぞれ本と地球を表す記号である。二つの矢印は、力を受ける物体の中心から描いている。

W1 は地球が本に及ぼす下向きの引力、W2 は本が地球に及ぼす上向きの引力である。

二つの引力は大きさが等しく、向きが反対となる。図でも、同じ大きさの力を同じ長さの矢印で示している。

地球と本では質量が大きく異なるが、作用反作用の二力の大きさは等しい。大きな物体が及ぼす力だけが大きくなるという考え方は誤りである。

また、地球と本の間の作用反作用が分かっただけでは、本や地球に働くすべての力を求めたことにはならない。

3

地球から重力を受ける物体 C がある。地球が C に及ぼす重力は下向きに 2.0 N である。

(1) この重力に対する作用反作用の相手を、及ぼす側・受ける側・向き・大きさを含めて答えよ。

(2) 地球と C が接触していなくても、(1)の力は存在するか。

(3) この相互作用の二力だけから、物体 C に働く合力を求められるか。

解説

(1) C が地球に及ぼす上向きの引力 2.0 N である。地球が C を引く力は C が受け、C が地球を引く力は地球が受ける。

(2) 存在する。重力は離れた物体の間にも働く力であり、接触しているかどうかにかかわらず作用反作用の関係が成り立つ。

(3) 求められない。C が受けると分かっているのは地球からの下向きの重力である。もう一方の上向きの引力は地球が受けるため、C の合力には含められない。C がほかの物体から受ける力が不明なので、合力は決まらない。

4. 力の図を読むときの二つの視点

力の図を読むときには、**一つの物体に働く力をすべて調べる場合**と、**二つの物体の間の相互作用を調べる場合**を区別する必要がある。

4.1 一つの物体の全力図

全力図を描くときは、対象を一つの物体に固定する。

例えば、机上の本について全力図を描くなら、本が受ける重力や垂直抗力を調べる。問題の条件で手や糸からの力が働くなら、それらも含める必要がある。

反対に、本が机へ及ぼす力は机が受ける力であるため、本の全力図には描かない。

全力図は、対象物体に働く力を漏れなく示す図である。

4.2 特定の相互作用だけを取り出した図

作用反作用を調べる場合には、二つの物体の間の特定の相互作用だけを取り出すと分かりやすい。

例えば、本と机の接触による二力を調べるなら、「机が本を押す力」と「本が机を押す力」を示す。このとき、本の重力や机が床から受ける力などは、選択した相互作用の外にあるため図に描かないことがある。

ただし、その図を本や机の全力図と呼んではならない。

見方	全力図	相互作用だけの図
注目する対象	一つの物体	二つの物体の間の特定の関係
描く力	対象物体に働くすべての力	その相互作用による二力
力を受ける物体	同じ物体	互いに異なる物体
主な目的	合力やつり合いの判断	作用反作用の対の特定

ミライポイント｜力を追跡する三つの確認

作用反作用かどうか迷ったら、次の順番で確認する。

1. **誰が及ぼすか**：力を及ぼす物体を特定する。
2. **誰が受けるか**：力を受ける物体を特定する。
3. **相手を入れ替えられるか**：同じ相互作用について、及ぼす側と受ける側を入れ替えた力が対応しているか確かめる。

三つ目まで確認できれば、矢印の見た目だけに頼らずに作用反作用を見分けられる。

©ミライコーチング

演習問題

1

接触する二つの物体

物体 C と D が左右に接触している。C が D に及ぼす水平方向の力 G は右向きに 5.0 N である。

次の図には力 G だけが描かれている。ほかの力は省略しており、C と D の全力図ではない。また、両物体が静止しているとは限らない。

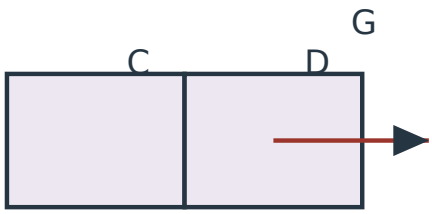

図 5　C が D に及ぼす既知の水平な力 G のみを示した図

(1) 力 G と作用反作用の対になる力 H について、力を及ぼす物体、受ける物体、大きさ、向きを答えよ。

(2) 右向きを正とするとき、G と H の水平方向の成分をそれぞれ答えよ。

(3) G と H だけを使って「D に働く合力は 0 N である」と判断することが誤りである理由を説明せよ。

2

糸に吊るされた物体

天井に固定した糸から物体 A が吊り下げられ、静止している。A が受ける力は、地球からの下向きの重力 2.0 N と、糸からの上向きの張力 2.0 N だけである。

張力とは、張った糸が物体を引く力である。

(1) A が受ける二力は、作用反作用の対か、それともつり合う力か。理由も答えよ。

(2) 糸が A に及ぼす上向きの張力と、作用反作用の対になる力を答えよ。

(3) A が受ける重力と作用反作用の対になる力を答えよ。

©ミライコーチング

3

四つの力から対を探す

水平な机の上に本が静止している。本に働く力は、重力と机からの垂直抗力の二つだけである。

この場面に関する四つの力を、次の表に示す。重力と垂直抗力の大きさはいずれも 3.0 N である。

記号	力の説明	向き
a	地球が本に及ぼす重力	下
b	机が本に及ぼす垂直抗力	上
c	本が地球に及ぼす引力	上
d	本が机に及ぼす接触力	下

(1) a〜d から作用反作用の対をすべて選び、それぞれの相互作用の種類を答えよ。

(2) 本に働く二力としてつり合っているものを選び、その理由を説明せよ。

(3) a と b は大きさが等しく向きが反対である。それでも作用反作用の対にならない理由を答えよ。

(4) 「本が机を押す力 d は、本の全力図にも描く必要がある」という説明の誤りを指摘せよ。

4

離れた物体と力の大きさ

宇宙空間で、物体 P と Q が離れた位置にある。P と Q の間には引力が働いている。

P は Q より質量が大きい。また、Q が P に及ぼす引力の大きさは 2.4 N である。

この問題では、P と Q の間の引力だけに注目する。

(1) P が Q に及ぼす引力の大きさを答えよ。

(2) P が Q に及ぼす力と Q が P に及ぼす力は、それぞれどの物体が受けるか。また、二力の向きの関係を説明せよ。

(3) 「P の質量のほうが大きいので、P が Q に及ぼす引力のほうが大きい」という説明は正しいか。理由を答えよ。

©ミライコーチング

5

全力図と作用反作用の区別

物体 A と B が、なめらかな水平な床の上で左右に接触している。A は B の左側にあり、A が B に及ぼす接触力は右向きに 4.0 N である。

B には、地球から下向きに 6.0 N の重力が働き、床から上向きに 6.0 N の垂直抗力が働く。

床はなめらかで摩擦力を無視でき、B が受ける力は以上の三つだけである。B が静止しているとは限らない。

(1) B の全力図に描くべき力を、及ぼす物体、大きさ、向きとともにすべて答えよ。

(2) A が B に及ぼす右向きの接触力と、作用反作用の対になる力を答えよ。その力を B の全力図に描くべきかも説明せよ。

(3) 水平右向きを正、鉛直上向きを正として、B に働く水平方向と鉛直方向の合力をそれぞれ求めよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

1

(1) D が C に及ぼす左向きの接触力 5.0 N である。

力 G は C が D に及ぼす力であり、D が受ける。作用反作用の相手である力 H は、D が C に及ぼす力であり、C が受ける。

同じ接触による二力なので、大きさは等しく向きは反対である。

図に H を加えると、次のようになる。

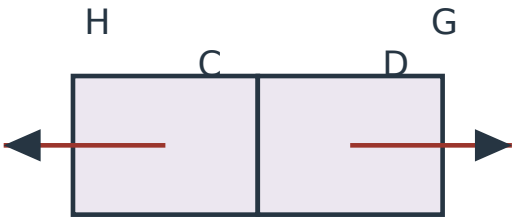

図 6　接触による二力 G と H。D が G を受け、C が H を受ける

図では G と H を同じ長さで示しているが、矢印を描く物体は異なる。これは二物体の接触による力だけを取り出した図であり、全力図ではない。

(2) G は +5.0 N、H は −5.0 N である。

右向きを正と定めたため、右向きの G は正、左向きの H は負となる。符号は向きの違いを表しており、どちらも力の大きさは 5.0 N である。

(3) G と H は異なる物体に働くためである。

G は D が受ける力であるのに対し、H は C が受ける力である。D に働く合力を求めるとき、C が受ける H を足してはならない。

D が受けるほかの力が不明なので、D の合力を 0 N と判断することはできない。

2

(1) つり合う力であり、作用反作用の対ではない。

下向きの重力も上向きの張力も、同じ物体 A が受ける力である。

鉛直上向きを正とすると、A の合力は、

$$(+2.0\,\mathrm{N}) + (-2.0\,\mathrm{N}) = 0\,\mathrm{N}$$

となる。二力は同じ A に働いてつり合っているが、同一相互作用で及ぼす側と受ける側が入れ替わった関係ではない。

(2) A が糸に及ぼす下向きの力 2.0 N である。

糸が A を上向きに引く力は A が受ける。一方、A が糸を下向きに引く力は糸が受ける。同じ糸と A の間の引っ張り合いなので、作用反作用の対となる。

(3) A が地球に及ぼす上向きの引力 2.0 N である。

地球が A を下向きに引く重力に対して、A も地球を上向きに引く。両者は地球と A の間の重力による同一相互作用の対である。

3

(1) 作用反作用の対は、a と c、b と d である。

- a と c：地球と本の間の引力による相互作用である。a は本が受け、c は地球が受ける。
- b と d：机と本の間の接触による相互作用である。b は本が受け、d は机が受ける。

どちらの組も、及ぼす側と受ける側が入れ替わる関係である。

(2) a と b である。

a は本が受ける下向きの重力 3.0 N、b は本が受ける上向きの垂直抗力 3.0 N である。

同じ本に働く二力で、大きさが等しく向きが反対なので、本が受ける力はつり合っている。

(3) a と b は、力を受ける物体がどちらも本だからである。

a は地球が本に及ぼす引力であり、b は机が本に及ぼす接触力である。力を及ぼす物体も相互作用の種類も異なる。

大きさが等しく反対向きという見た目だけでは、作用反作用と判定できない。

(4) 力 d を受けるのは机であり、本ではない点が誤りである。

本の全力図には、本が受ける a と b を描く。d は本が机へ及ぼす力であり、机が受ける。

本と机の接触について作用反作用の対を示す図なら、b と d を描くことができる。ただし、その図は本や机の全力図とは異なる。

©ミライコーチング

4

(1) 2.4 N **である。**

P と Q が互いに及ぼす引力は作用反作用の対なので、大きさは等しい。

(2) P が Q に及ぼす引力は Q が受け、Q が P に及ぼす引力は P が受ける。二力の向きは反対である。

どちらも引力なので、P が Q に及ぼす力は P の方向へ Q を引き、Q が P に及ぼす力は Q の方向へ P を引く。

力を受ける物体が異なり、互いに相手の方向を向く。

(3) 正しくない。

P と Q の質量が異なっていても、同じ相互作用による作用反作用の二力の大きさは等しい。

この場面では、P が Q に及ぼす引力も、Q が P に及ぼす引力も 2.4 N である。物体の質量の大小から、作用と反作用の一方だけが大きくなるとは判断できない。

©ミライコーチング

5

(1) B が受ける力は、右向きの接触力、下向きの重力、上向きの垂直抗力の三つである。

力を及ぼす物体	B が受ける力	大きさ	向き
A	接触力	4.0 N	右
地球	重力	6.0 N	下
床	垂直抗力	6.0 N	上

B が受ける力はこの三つだけという条件なので、すべて描くと B の全力図になる。

次の図では、力を受ける物体 B に三本の力の矢印を描いている。A と床は位置関係を示すものであり、A や床に働く力は描いていない。

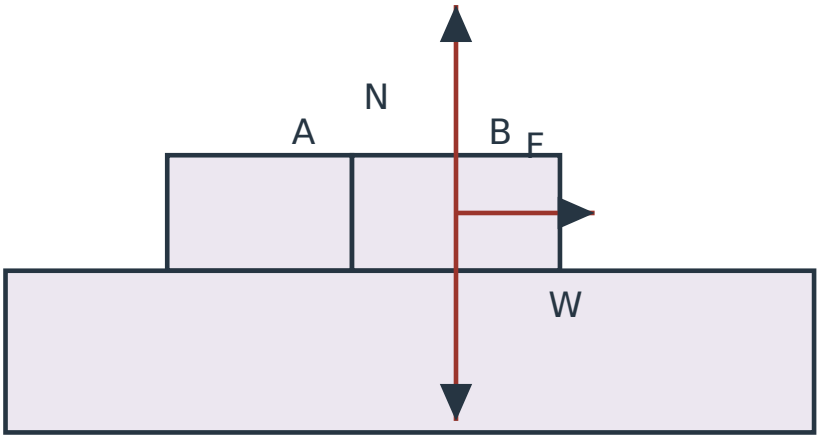

図 7　物体 B の全力図。下の横長の矩形は床。F は A からの接触力、N は床からの垂直抗力、W は重力

図では力 F の大きさを 4.0 N、N と W の大きさをそれぞれ 6.0 N とし、同じ図内では力の大きさに比例する矢印の長さを用いている。

A の右端と B の左端は接しており、A と B の底面も床の上面に接している。

(2) B が A に及ぼす左向きの接触力 4.0 N である。B の全力図には描かない。

A が B に及ぼす右向きの接触力は B が受ける。一方、その反作用である B が A に及ぼす左向きの接触力は A が受ける。

したがって、後者は B の全力図には含めない。

(3) 水平方向の合力は右向きに 4.0 N、鉛直方向の合力は 0 N である。

水平方向について、B が受ける力は A からの右向きの接触力 4.0 N だけである。よって、右向きを正とする水平方向の合力は +4.0 N となる。

鉛直方向については、床からの垂直抗力が上向きに 6.0 N、重力が下向きに 6.0 N である。

上向きを正として、

$$(+6.0\,\mathrm{N}) + (-6.0\,\mathrm{N}) = 0\,\mathrm{N}$$

となる。

鉛直方向の力はつり合っているが、水平方向には右向きの合力がある。

ここで、B が A に及ぼす左向きの反作用を B の水平方向の力に加え、合力を 0 N としてはならない。また、二つの接触力の大きさを足して B の合力を 8.0 N とするのも誤りである。

合力は一つの物体が受ける力の和であり、作用反作用は二つの異なる物体が受ける力の組である。
この違いを保てば、力のつり合いと作用反作用を混同せずに判断できる。