

2.13 力に関連する事項

さて、折角摩擦力も出てきたことですし、本当はもう少し先で色々な種類の力が出たあとでこの「力のつり合い」に関して語ろうと思っていたのですが、ここで先に語っておいて後々ご紹介する色々な種類の力が出てきたときに「ああ、こういう力もあるのか〜」と理解してもらおうのも一つの手だなあと思いましたので、あえてここで「力のつり合い」をご説明致します。

2.13.1 力のつり合い

まずは力に関連する項目の確認から。

- 力の発生場所は**接触点**。例外的に重力は接触していなくても働く。
- 物体に力が働くときは例外なく「作用・反作用の法則」にのっとり力が働く。つまり必ず大きさが同じで逆方向の力があるということ。
- 注目物体に見える力は必ずその物体が受けている力のみ。いくら作用・反作用の力を確認出来るからと言って、相手に自分が及ぼす力を見てはいけない！

でした。これは大丈夫ですよ？もし分からなければ、「力とはどこに発生するのか」のページから見直してみてください。

さて、力が働くとどうなるのでしょうか？(これに関しては少々「力とはどこに発生するのか」というページで触れましたが...)

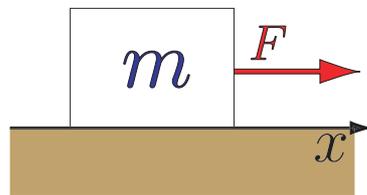


図 1: 物体に加えた力

そう、物体が動くんです。

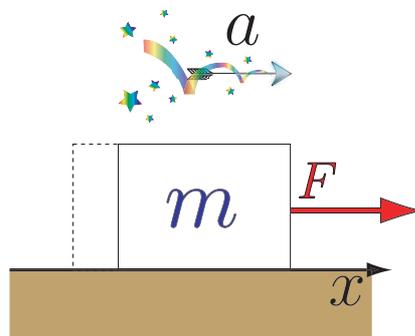


図 2: 物体が動く

図 2 をご覧ください。物体の上に星をまとった矢印がありますね。今後はコレが加速度を表す矢印になります(今回は関係ありませんが...)。このように物体に力を加えると、物体が加速度運動をし始めます。

ではこの運動をさせないためには、図1の物体に対してどの方向にどれくらいの大きさの力を加えなくてはならないでしょうか？

力はベクトル量ですね。方向と大きさを持つわけです。ですからちょうど**同じ大きさで逆方向**の力を加えてあげると物体は運動しないわけです。(実際は力がつり合っている場合でも等速度運動はできますが、まだそれは考えなくていいです。)今図1の物体には軸方向へ F [N] の力がかかっていますから、それと同じ大きさで向きが逆の大きさの力 F' [N] を加えてあげましょう。

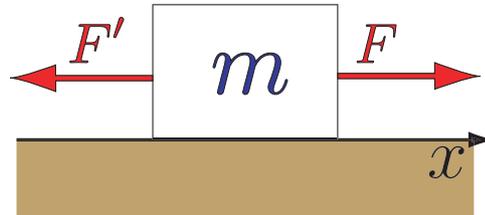


図3: 物体を止める

$$F' = F \quad (1)$$

つまり式(1)のように表される F' [N] の大きさの力を軸の負方向へ加えると、物体に働く力は x 軸方向においてつり合っており、物体は動けずに止まっているわけです。

逆に言うと「**静止している物体に働く力は、その静止している方向に関してはずり合っている**」わけですね。この言い方には多少の裏を含みます。

- 「力がつり合っているなら静止している」と言っているわけではない。力がつり合っている場合でも**等速度運動**をしている可能性がある。(これに関しては「運動方程式を利用した物体の運動の理解」のページで説明。)
- **その止まっている方向に関して**とは、例えば図1において x 軸方向へ運動している物体も、 x 軸と垂直な面(鉛直面と言う。鉛直とは重力の働く方向のこと。)に対して**物体は静止している**。だから、その方向に働いている力(垂直抗力 N [N] と重力 mg [N])はずり合っている。

ですから、図1に関して鉛直方向を見ても物体は静止していますから、物体に働く力を水平方向(x 軸方向)と鉛直方向に関して全て描いてみますと

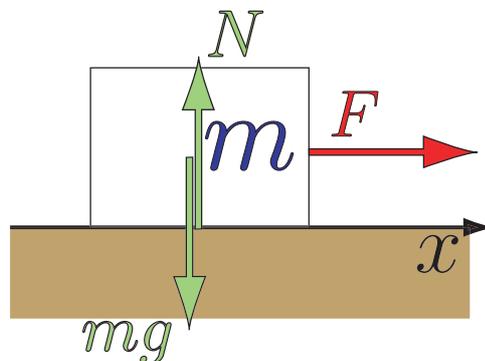


図4: 鉛直方向の運動は静止

となります。水平方向には力がつり合っていないから運動しています。しかし、鉛直方向では力がつり合っているから静止しているんですね。（逆に言うと鉛直方向へ運動していないから力がつり合っているとわかるわけです。）ですから

$$N = mg \quad (2)$$

となります。

2.13.2 外力と内力

折角力に関する事項について説明していますので、ついでにここで外力と内力に関することもご説明致します。

皆さんは内力と外力の定義をしっかりと言えるでしょうか？ここをおろそかにすると、100% 力学は理解できません。なぜなら、これより先、「力学的エネルギー保存則」や「運動量保存則」などが使えるのか使えないのが判別できないからです。

では外力からいきましょう。外力とは「注目物体の外から働く力のこと」です。よくわかりませんか？まずは注目物体の概念からですよ。物理ではどの物体についての話なのかというのがとても重要になってきます。そして今回めでたく注目された物体が注目物体ということになります。

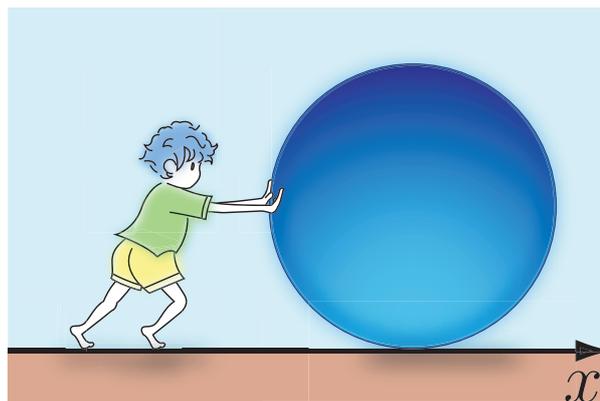


図 5: とある状態

今、図 5 のような状態を考えてみます。今回どちらに注目しましょうか？少年に注目すると

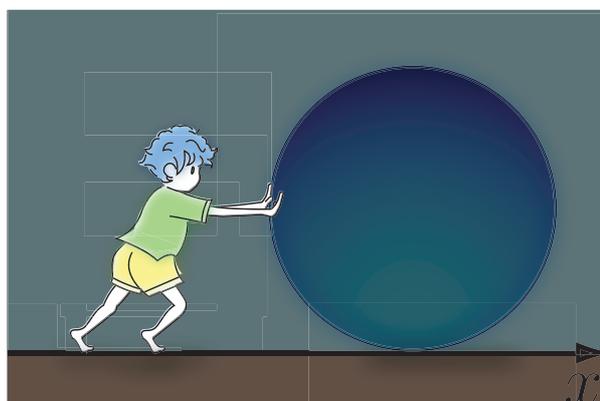


図 6: 少年に注目

のようになりますし、また大玉に注目すると

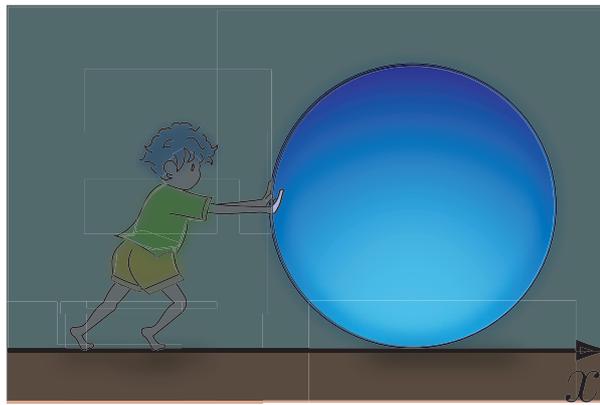


図 7: 大玉に注目

これが注目物体の考え方です。当然そのどちらにも同時に注目した場合は

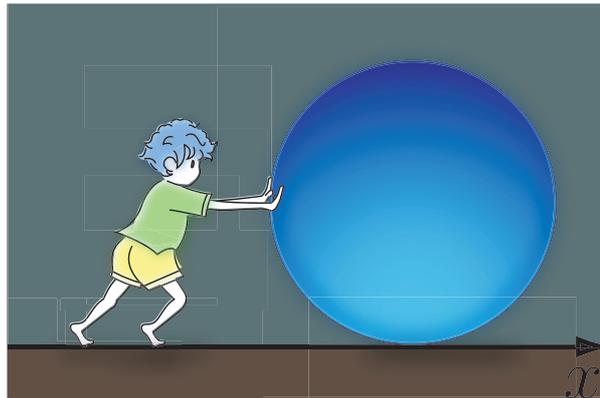


図 8: 少年と大玉に同時に注目

のように見えます。図 8 のように同時に注目する意味も当然あるわけですが、最初はず図 6 や図 7 のように片方に注目したらその他は全く見えなくなるというイメージを持ってください。これがとても重要なんです。

では外力について考えてみましょう。もう一度言いますが、外力とは「注目物体の外から働く力のこと」です。まずは外力云々を考える前に図 5 において、その系に働く全ての力を書き込んでみます。(あくまで少年と大玉にのみで、地面に働く力は描いていません。)

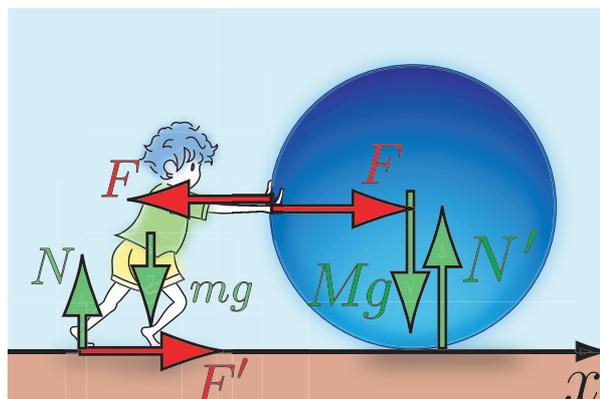


図 9: 物体系における力の図示

これではどれが外力が決められません。なぜならば注目物体を決めていないからです。ですから、注目物体を決めてみましょう。まずは少年に注目します。そうすると

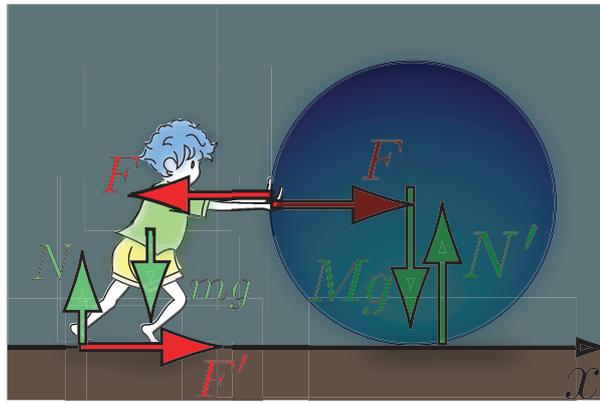


図 10: 少年に注目したときに見える力

という力が見えます。つまり少年には何かわからないけれども手に軸と逆方向に F [N]、地面から足へ水平方向に F' [N]、地面から垂直抗力 N [N]、最後に接触しなくても例外的に働く重力 mg [N] が見えます。そのどれもが少年には何故働くかは分からないけど働いているのです。まあ実際は見えてますから分かるんですけど、周りが真っ暗で天地すらわからないとすると、それら何かの力の正体はやっぱり分からないわけです。だから外力なのです。

では、大玉に注目した場合はどうでしょう？もう分かりますよね？

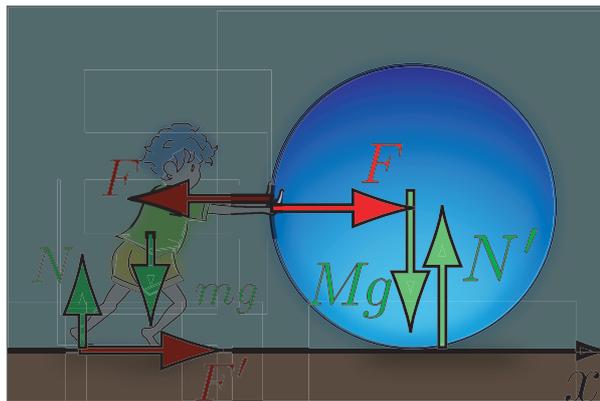


図 11: 大玉に注目したときに見える力

大玉から見える力はコレだけです。ですが、当然周りは真っ暗ですから大玉には何故これらの力が働いているかは分かりません。ですから、外力です。

では、少年と大玉のどちらにも注目した場合はどうでしょう？

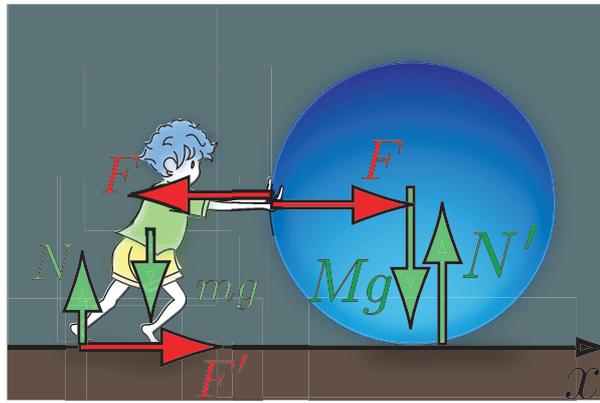


図 12: 少年と大玉に同時に注目した場合

...実はこれらが**全て外力**ではありません！次の図 13 をご覧ください。

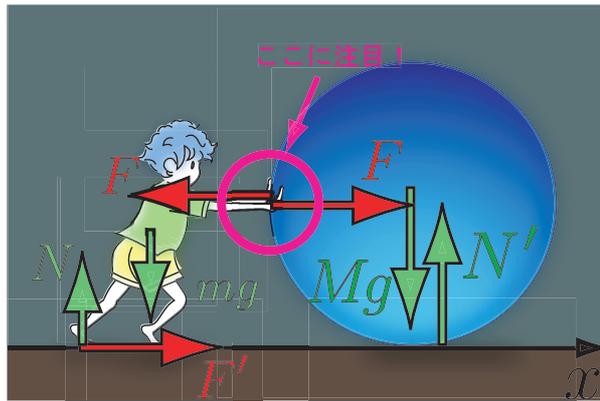


図 13: 外力ではない力

今回少年と大玉の**2つを同時に注目してしまった**ので、その2物体の間に働く力は、**何故働くかが分かっている**のです。だって、少年と大玉の2つともが見えているわけですから、そりゃ接触したら力は働きますよね？だから、ピンクの で囲った部分に働く力、すなわち作用・反作用の関係にある $F[N]$ のことを**内力**と言います。つまり「**注目物体間で働く力のこと**」を内力と定義するのです。(もちろん1物体内でも作用・反作用の関係にあるどちらの力も見えている場合はそれも内力ですが...、どのように決めたかというイメージさえ知っていればそんなことはすぐに分かりますね。)

ですから、少年と大玉に同時に注目した場合の外力は図 14 のようになります。

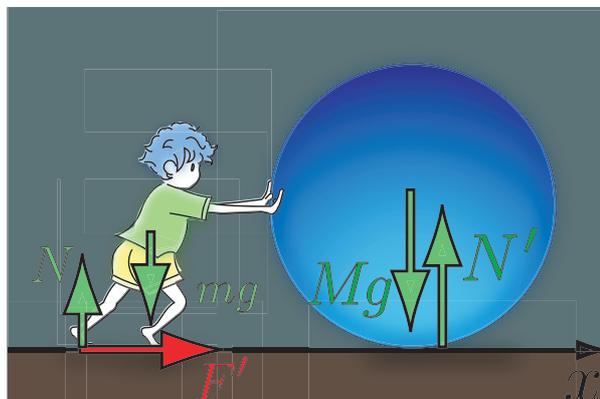


図 14: 2物体に注目したときの外力

上で内力の説明はしてしまいましたので、そのままの勢いで内力も示しますが、今回、少年だけに注目しても、大玉だけに注目しても内力は見つかりません。つまり、内力があるのは、「少年と大玉に同時に注目した場合」のみで

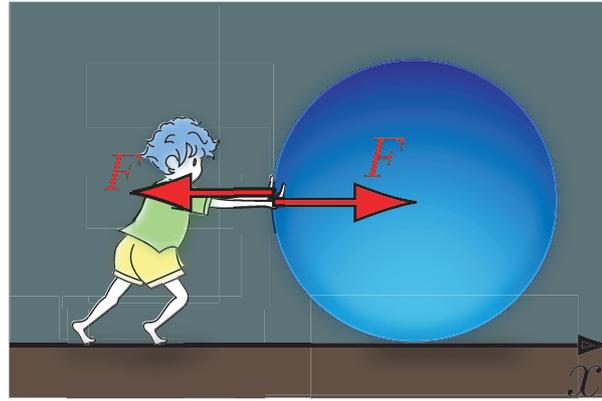


図 15: 2 物体に注目したときの内力

となります。この内力と外力を見分ける能力は実はとても重要で、これが分かっているかどうか、力学が得意かどうか直結するのです。しっかりとマスターしましょう！

2.13.3 つり合いと作用・反作用

ふと心配になったつり合いの関係にある力と作用・反作用の関係にある力について説明してみたいと思います。

つり合いの関係にある力

物体は静止しているときには必ずその静止している方向に対して力がつり合っています。つまり静止方向への合力は0ということです。

では、バネに働く力のつり合いの関係を見てみましょう。

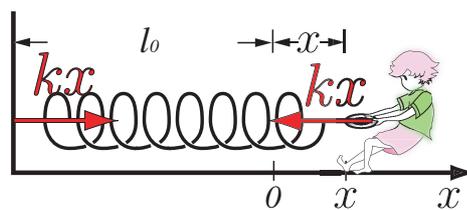


図 16: バネを引く

まず図 16 のように少女にバネを引いてもらいます。バネは伸びが x_0 [m] のとき力 kx [N] をバネの両端から、自然長に戻る方向へ発揮します。しかし当然この kx [N] の力はバネには見えません。なぜならそれらの力はバネが発しているからです。見える力は受けている力のみでした。

では、このときバネにはどのような力が働いているのでしょうか？

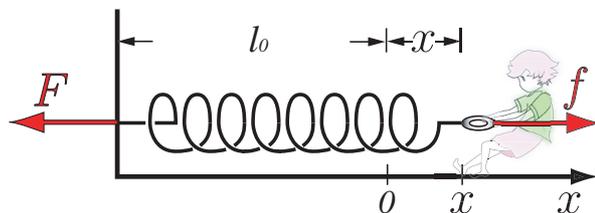


図 17: バネに働く力

図 17 における $f[\text{N}]$ と $F[\text{N}]$ はつり合いの関係にある力です。文字を変えているのは説明しやすいように考えてのことです。では考えてみましょう。

$f[\text{N}]$ は少女がバネを引く力になります。 $F[\text{N}]$ は壁がバネを引く力になります。バネは伸びた状態で静止しています。静止しているということは、その静止方向への合力が 0 になるということ、つまりバネの両端に働いている力 $f[\text{N}]$ と $F[\text{N}]$ は等しいということになります。このように 1 物体から見える力で、お互いに相殺し合っている関係にある力のことをつり合いの関係にある力と言います。

作用・反作用の関係にある力

では、作用・反作用の関係にある力とはどのような力なのでしょうか？図 18 をご覧ください。

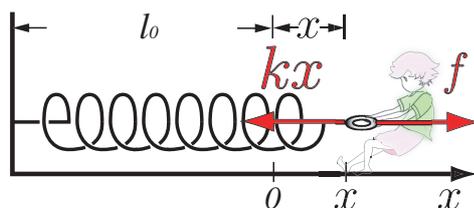


図 18: 一点に働く力

今バネの右端において、バネと少女の両方に注目したときに見える力を示しています。この $f[\text{N}]$ と $kx[\text{N}]$ は同時に、同じ 1 点に働いています。このように同じ点に、同じ大きさで逆方向の力が働いているとき、それらの力を作用・反作用の関係にあると言います。 $kx[\text{N}]$ は、 $f[\text{N}]$ が働いた瞬間に、 $f[\text{N}]$ が原因で生じた力です。

これらの力の特徴について考えてみます。

- $f[\text{N}]$ はバネに見えるが少女には見えない
- $kx[\text{N}]$ は少女には見えるがバネには見えない
- $f[\text{N}]$ と $kx[\text{N}]$ は同じ点に働き、同じ大きさで方向が逆である

このようになります。例外的に重力（万有引力...本当は他に電気力や磁気力なども）は同じ点には働かないですが、作用・反作用の関係の力となります。（これに関してはまた、そのときに説明します。）

つまり、このような関係にある力を作用・反作用の関係にある力と言います。

力の見分け方

さて、ここまでで**つり合いの関係にある力**と**作用・反作用の関係にある力**の違いはイメージできたでしょうか？

ではまとめとしてどのように見分けるかを考えてみたいと思います。

- 同じ点に働き、1物体からはその両方の力が見えない関係にある力 = **作用・反作用の関係にある力**
- どの点に働いていても良いが、1物体からどちらの力もちゃんと見え、そしてそれぞれの力がお互いに相殺し合う関係にある力 = **つり合いの関係にある力**

となります。つまり、**1物体**に注目したとき、静止させる力がどちらも見えているならそれらの関係は**力のつり合い**で、1点に働き、さらにその片方の力しか見えないような関係にある力は**作用・反作用**の力となります。