

ニュートン力学（高校レベル）

バージョン. 2

担当教員：綴木 馴

5 力と運動

5-1 何が加速度を引き起こすのか？

物体の加速度を引き起こす相互作用：力(force)

●力と加速度の関係に関する研究：ニュートン力学

- ・物体の速さが光の速さに近い場合ニュートン力学は適用できない
→特殊相対性理論が必要
- ・物体が原子構造ほどの大きさの場合ニュートン力学は適用できない
→量子力学が必要

ニュートン力学は原子スケールの物体から天文学的物体まで
広い範囲にわたる物体の運動に適応可能

5-2 ニュートンの第1法則

物体を一定の速度で運動させるには力が必要で
力を与えなければ物体は静止してしまうという考え



実は間違い

物体に力が作用していなければ, その物体の速度は変化しない
→物体は加速されない.

ニュートンの第1法則

物体が静止していれば, そのまま静止している.
物体が動いていれば, 一定の速度(一定の速さ, 向き)
で運動を続ける

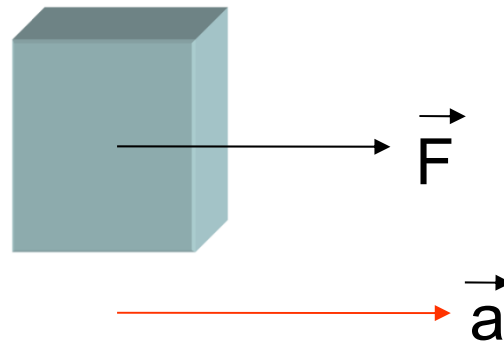
5-3 力

力は物体の加速度を引き起こす

1kgの質量を持っている物体を摩擦の無い空間で引っ張り、
加速度の測定値が 1m/s^2 になるように引っ張ったときの力



1N(ニュートン)



ニュートンの第1法則: 物体に作用する合力がなければ($\vec{F}_{\text{net}}=0$),
その物体の速度は変化しない; その物体は加速されない。
物体に多くの力が働いても, その合力がゼロであれば
物体は加速されない

ニュートンの法則がなりたつ基準系を慣性系と言う

5-4 質量

質量とは物体に作用する力と, それによって生じる加速度を関係づける性質である.

物体を加速しようとしたときにだけ実感できるもの
→重力が働いているときは加速しているときと同じ
(等価原理)

5-5 ニュートンの第2法則

物体に作用する合力は、
物体の質量と物体の加速度の積に等しい。

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a}$$

xyz座標系の各座標成分について次のように書ける

$$F_{\text{net},x} = ma_x, \quad F_{\text{net},y} = ma_y, \quad F_{\text{net},z} = ma_z$$

ある座標軸に沿った加速度成分は、同じ座標軸に沿った力の成分の総和によって生じるが、他の座標軸の成分によっては生じない。

$$1\text{N} = (1\text{kg})(1\text{m/s}^2) = 1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$$

複数の物体の集合を系(system)と言い, その物体に系の外から働く力を外力(external force)と言う.

例題5-1, 5-2, 5-3

5-6 いろいろな力

重力: 物体を真っ直ぐ地球の中心に向かって引っ張る力
— 地面にむかって下向きに働く力 —

質量 m の物体が大きさ g の重力加速度で自由落下するとき
その物体に作用する力は重力 F_g だけである。

この下向きの力と下向きの加速度をニュートンの第2法則
を使ってあらわすと

$$F_g = mg$$

重さ(weight) W : 物体が自由落下するのを防ぐために必要な合力の大きさを地上で測定したもの

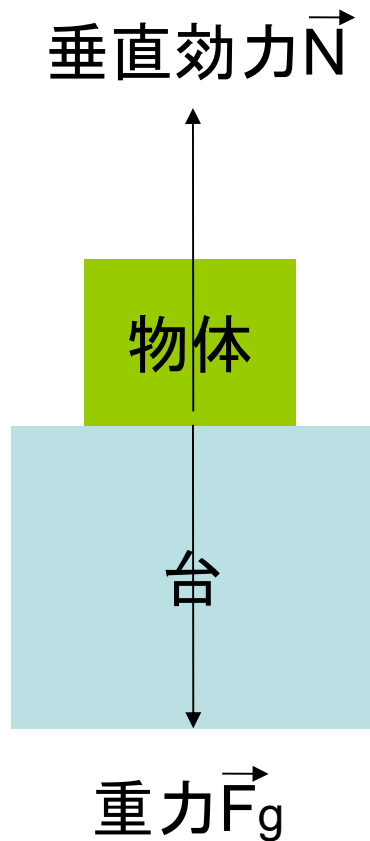
物体の重さ W はその物体に作用する重力の大きさ F_g に等しい

$$W = mg$$

注意: 物体の重さは物体の質量ではない. 重さとは力の大きさの事であり上式によって質量と関係づけられている.

物体を g の値が異なる場所へ移動させると, 質量は変化しないが重さは変化する.

垂直抗力: 物体がある面を押すとき, その面は
(例え曲がらないように見える面であっても) 変形し
その面に対して垂直な力 \vec{N} でその物体を押す.



$$N - F_g = ma_y$$

$$F_g = mg \text{ より}$$

$$N - mg = ma_y$$

式を変形すると垂直抗力の大きさは

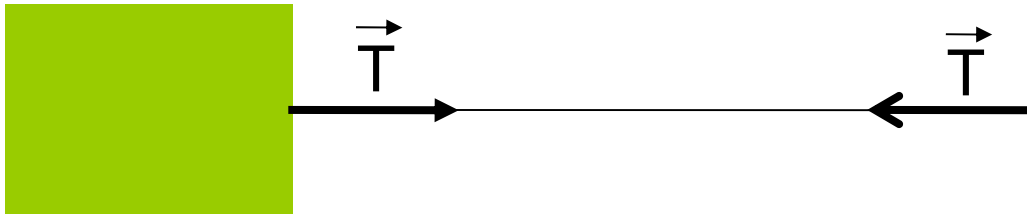
$$N = mg + ma_y = m(g + a_y)$$

加速度を持たないときは $a_y = 0$ なので

$$N = mg$$

摩擦: 物体を面上で滑らせる, あるいは滑らせようとするとき, その運動は物体と面の間の結合によって抵抗を受ける. この抵抗を**摩擦力**あるいは**摩擦**と呼ぶ.

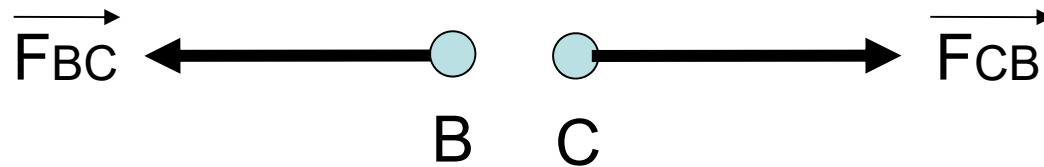
張力: 物体にひもを結びつけてぴんと張ると, ひもはひもに沿った向きに力 \vec{T} で物体を引っ張る. この力を**張力**と呼ぶ. ひもの**張力**は物体が受ける力 \vec{T} の大きさである.



P74 例題5-4

5-7 ニュートンの第3法則

2つの物体が相互作用するとき、それぞれの物体が他方の物体に及ぼす力の大きさは等しく、力の向きは反対である。



スカラーの関係式でこの法則を書くと

$$F_{BC} = F_{CB} \quad (\text{力の大きさが等しい})$$

ベクトルの関係式で書けば

$$\vec{F}_{BC} = -\vec{F}_{CB} \quad (\text{力の大きさが等しく
反対向きの力})$$

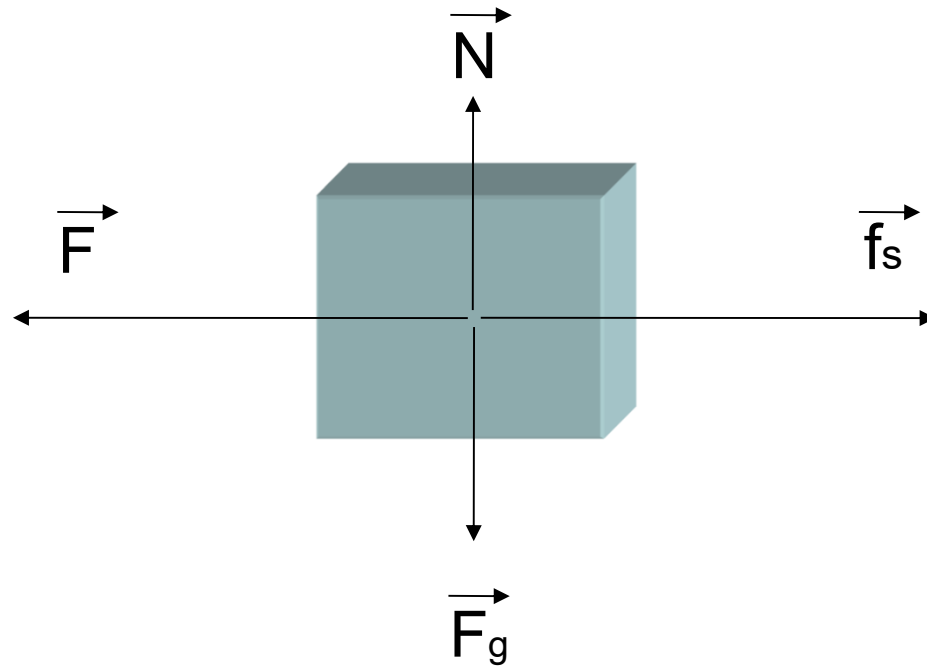
相互作用する2つの物体に働くこれらの力のことを作用・反作用の力の対と呼ぶ。

ニュートンの第3法則はそれらが運動していても
加速度を持っていても成り立つ

例題 5-5 ~ 5-9

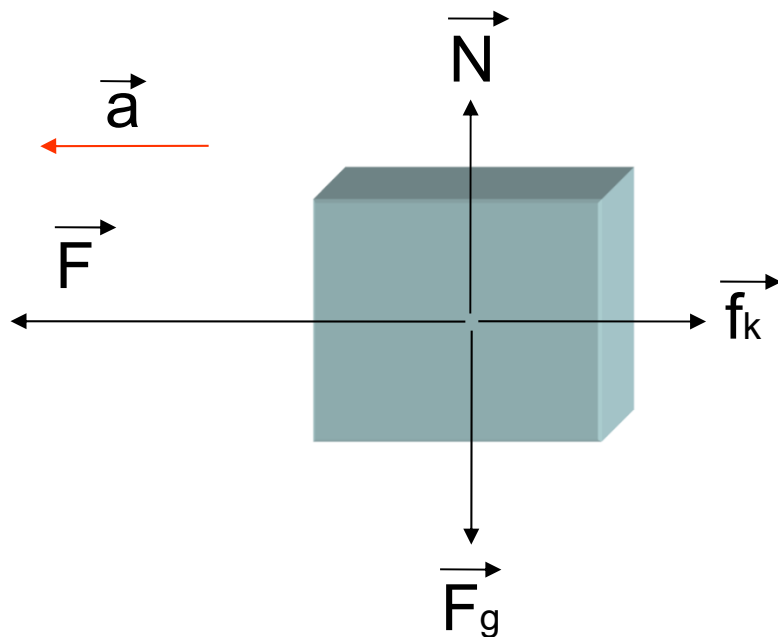
6-1 摩擦

静止摩擦力 (static frictional force)
物体が動かないときの反作用の力

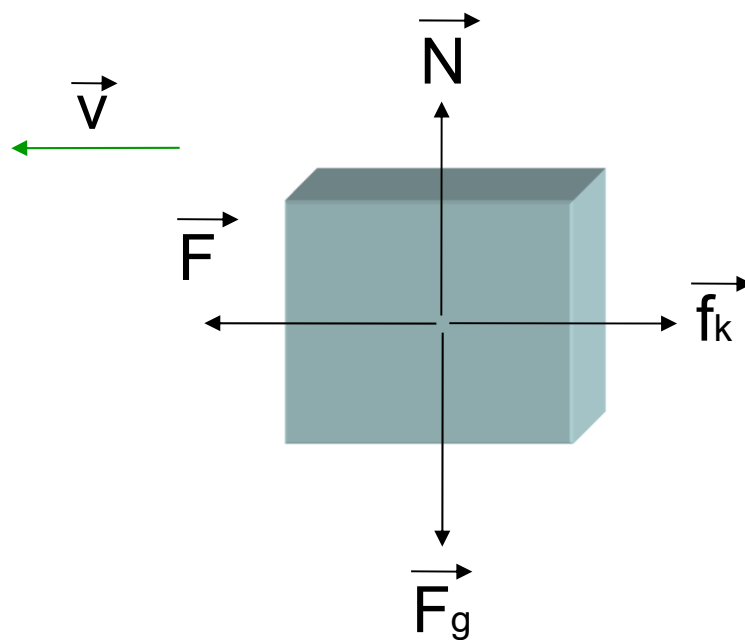


物体が静止している場合、力 \vec{F} と**静止摩擦力** \vec{f}_s は釣り合っている。

動摩擦 (kinetic friction) 物体が動いている時の反作用の力



引く力が大きい場合
加速度運動をする.



しかし、いったん動き出したら
弱い力でも動き続け、
引っ張る力と動摩擦が釣り合い
等加速度運動をする.

6.2 摩擦の性質

性質1. 物体が動かないときは, \vec{F} の表面に平行な成分と静止摩擦力 \vec{f}_s が釣り合う, これらの大きさは等しく, 向きは反対.

性質2. \vec{f}_s の大きさには最大値 $f_{s,\max}$ があり次式で与えられる.

$$f_{s,\max} = \mu_s N$$

μ_s は静止摩擦係数であり, N は物体が面に及ぼす垂直抗力の大きさである. 加える力が $f_{s,\max}$ よりも大きくなると物体は面に沿って滑り始める.

性質3. 物体が面に沿って動き始めると, 摩擦力の大きさは急激に減少し, 次式で与えられる \vec{f}_k になる.

$$f_k = \mu_k N$$

μ_k は動摩擦係数である. 物体が運動している間は \vec{f}_k が運動を妨げる.

例題6-1, 6-2, 6-3

6-3 抵抗力と終端速度

流体: 気体や液体のように流れることのできるもの

流体と物体の間に相対速度があれば, その物体は**抵抗力**(drag force) \vec{D} を受ける. この**抵抗力**は相対運動を妨げ, 物体に対する流体の流れの向きに作用する.

抵抗力 \vec{D} の大きさは実験的に決定される**抵抗係数** C によって次の式で関係づけられている

$$\vec{D} = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

ρ は空気の密度, A は物体の有効断面積
 v は流体の速度である.

静止していた物体が空気中を落下するときを考える。
抵抗力 \vec{D} は上向きである。上向きの抵抗力 \vec{D} は下向きの
重力 \vec{F}_g に逆らう。これらをニュートンの第2法則であらわすと

$$D - F_g = ma$$

物体が十分長い距離を落下すると、 D は最終的に F_g に
等しくなるため、物体の速度はそれ以上上がらない。
この後物体は一定の速さで落下するので、
この速さを**終端速度**(terminal velocity) v_t という。

$D - F_g = ma$ で $a = 0$ とおき $\vec{D} = \frac{1}{2}C_p A v^2$ を代入すると

$$\frac{1}{2}C_p A v^2 - F_g = 0 \quad v \text{ について解くと}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 F_g}{C_p A}}$$