

4. 運動の法則

《a》Newtonの運動の三法則（教科書 P.81～91、問題集 P.28～36）

アリストテレス（B.C.384～322）は「物体の運動は力によって生じ、力が強ければ運動の速さは速い。力を加えるのをやめれば物体は静止という本来の状態にもどる。」と考えた。アリストテレスの考えはどこがまちがっているだろうか。

ニュートン（1642～1727）の運動の法則

第一法則：慣性の法則

他から力を受けなければ、静止している物体は静止を続け、運動している物体は**等速直線運動**を続ける。

第二法則：運動の法則

力がはたらくと、物体には、力に比例し質量に反比例する**加速度**が力の向きに生じる。

力の単位： []

キログラム原器（基準物体）に 1 m/s^2 の加速度を生む力

質量の単位： []

1 N の力によって 1 m/s^2 の加速度を生じる物体の質量

（注）「質量」と「重さ」（重力の大きさ）を混同しないこと。

運動方程式

第二法則を式で表す

$$\begin{array}{ccc} \text{質量} & \text{加速度} & \text{力} \\ & = & \\ [] & [] & [] \leftarrow \text{単位} \end{array}$$

m : mass

a : acceleration

F : force

第三法則：作用反作用の法則

ある物体Aが他の物体Bに力（**作用**）をおよぼすとき、同時に物体Bは物体Aにその力と同じ大きさで逆向きの力（**反作用**）をおよぼす。

（注）「作用・反作用」と「つりあう2力」を混同しないこと。

【問】質量 1 kg の物体を落下させて加速度を測定すると 9.8 m/s^2 という値が得られた。この物体には何 N の力がはたらいていたか。

地表で質量 $m \text{ kg}$ の物体にはたらく**重力の大きさ**

$$F = []$$

【問】月面での重力加速度は $g' = 1.6 \text{ m/s}^2$ である。質量 60 kg の人が月面で受ける重力の大きさは何 N か。

《b》力の種類 (教科書 P.74 ~ 80、問題集 P.24 ~ 27)

式を記入する

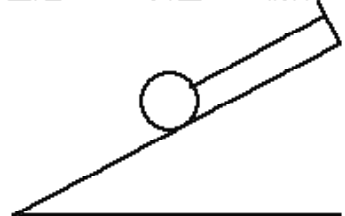
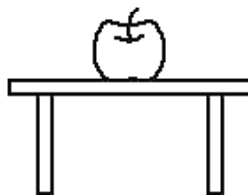
重力	地表付近ではすべての物体に、その質量 m に比例した力が下向きにはたらく。	
万有引力	2つの物体間には、それぞれの質量 m_1 、 m_2 に比例し、その間の距離 r の二乗に反比例する力が互いに引きあう方向にはたらく。	
ばねの力 (弾性力)	ばねの弾性力は自然の長さからの伸び(縮み) x に比例する。(フックの法則)	
静電気力	2つの点電荷の間には、それぞれの電気量 q_1 、 q_2 に比例し、その間の距離 r の二乗に反比例する力がはたらく。(クーロンの法則)	
張力	糸はそれが相手の物体から引かれただけの力で相手の物体を引く(反作用)。	
垂直抗力	物体は表面を押されると、相手から押されただけの力で、面に垂直に相手を押す(反作用)。	
静止摩擦力	粗い面上で静止している物体には、面にそって滑らそうとする力と同じ大きさの摩擦力がはたらく。ただし、その限界値 F_{\max} (最大摩擦力) は摩擦面の垂直抗力 N に比例する。	
運動摩擦力 (動摩擦)	物体が粗い面上を滑っている時は、垂直抗力 N に比例する摩擦力が面から物体にはたらく。	
空気抵抗力	空気抵抗力は物体の速さ v に比例する。球体の場合はその半径 r にも比例する。	
浮力	流体中の物体が受ける浮力は物体が押しのけた分の流体にはたらく重力に等しい。	

【問】 次の物体にはたらいている力の向きを矢印で示し、名前を付記せよ。

自由落下中のボール

机の上の物体

糸で固定された斜面上の物体



【問】 次のそれぞれの力の反作用はどんな力か。

- ① 遠藤を押し出しでやぶった白鵬が、遠藤をpushした力。
- ② 手の上にした物体を手が持ち上げる力。
- ③ つるした物体を支える糸の張力。
- ④ 机の上に置いた物体にはたらく重力。

《c》力の合成と分解 (教科書 P.74 ~ 80、問題集 P.24 ~ 27)

力のみつけ方

必ず、図を描きながら推論しよう

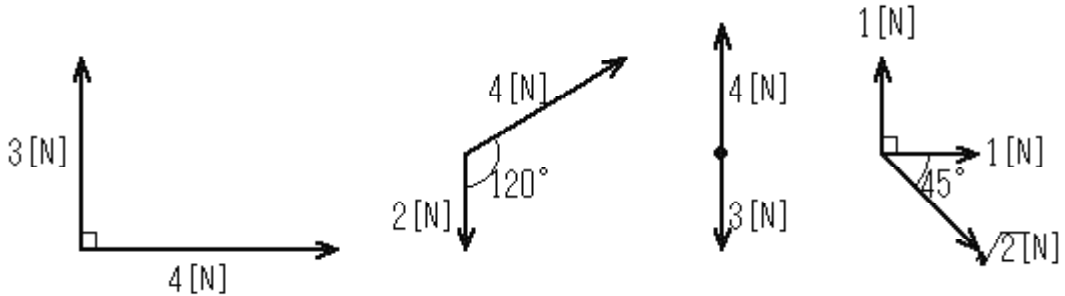
- ① 着目する物体を一つ決める。
- ② その物体にはたらく**重力**の向きと大きさを求める。
- ③ その物体に直接接している他の物体**から**受ける力をリストアップする。
このとき作用・反作用に注意し、他の物体にはたらいている力は区別する
- ④ つりあいの関係に注意して各力の大きさを決めていく。

★「作用・反作用」と「力のつりあい」を混同しないこと。

力の合成

力はベクトルであるので**平行四辺形の法則**で合成できる。合成された力を**合力**という。合成ができるのは同一物体にはたらく力だけである。

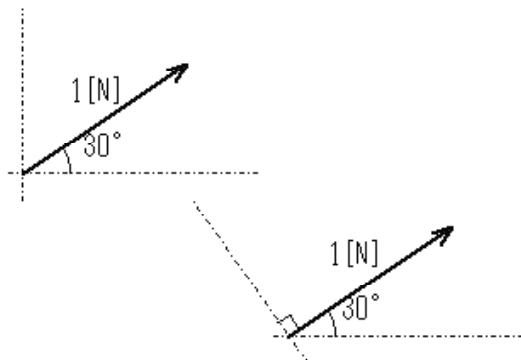
【問】次の力の合力を作図せよ。合力の大きさはいくらか。



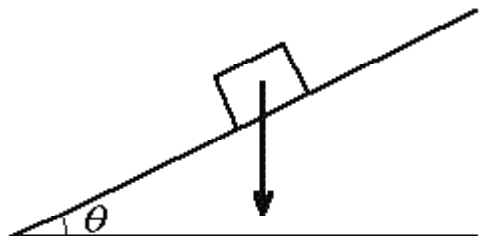
力の分解

合成するとその力になる複数の力を求めることを**力の分解**といい、分解したそれぞれの力を**分力**という。分力の組み合わせは無数にあり任意の方向へ分解できる。

【問】次の力を与えられた2方向に分解し、分力の大きさを求めよ。



【問】傾き θ の斜面上の物体(質量 m)にはたらく重力を、斜面に沿う方向と斜面に垂直な方向に分解し、分力の大きさを m 、 g 、 θ で表せ。

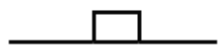


力のつりあい

合力が0になることを**力がつりあう**という。このとき力ははたらいていないのと同じである。力がつりあっている物体は、**慣性の法則**により静止か等速直線運動を続ける。逆に、静止か等速直線運動の状態にある物体では力はつりあっている。

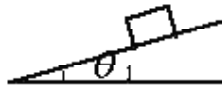
【問】次のそれぞれの場合、物体にはたらく摩擦力はいくらか。物体の質量を m 、重力加速度を g 、静止摩擦係数を μ 、運動摩擦係数を μ' とする。

①



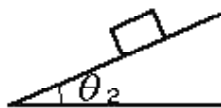
粗い水平面上で静止している物体

②



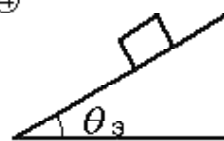
粗い斜面上で静止している物体

③



粗い斜面上でまさに滑り出そうとする物体

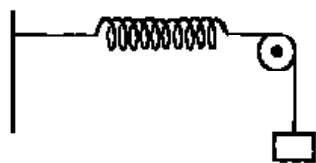
④



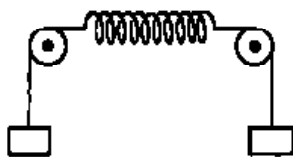
粗い斜面上を滑っている物体

【問】作用と反作用は同じ大きさで逆向きの2力だが、「つりあう」とは言わない。なぜか。

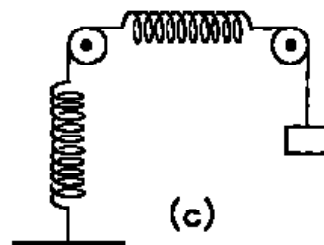
【問】下の図でおもりはすべて同じ質量 m である。ばねも全てばね定数が k の同じばねで、その質量は無視できるものとする。重力加速度を g として、それぞれのばねの伸びを求めよ。



(a)



(b)



(c)

《d》運動方程式 (教科書 P.92 ~ 101、問題集 P.28 ~ 36)

運動方程式の作りかた・解きかた

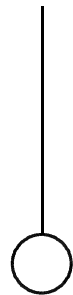
- ① 着目する物体を決める。(複数ある時は一つずつ)
- ② その物体にはたらいている力を見つけだし、図示する。→力のみつけ方
- ③ 座標軸を設定し、正の向きを定める。(任意)
- ④ 運動方程式 $ma = F$ をつくる。(Fは合力)
注) x 、 y 各方向ごとに別々に。符号に注意。力の単位は[N](ニュートン)。
- ⑤ 加速度 a を求める。→等加速度運動になるものが多い。
注) 物体が複数の時は各物体ごとに①~④をくりかえし、連立方程式として解く。

糸の張力による運動

張力 T は自由に大きさが変わる。未知数として取り扱うことが多い。

【問】質量 0.10kg の物体を糸につるして上下させた。次のそれぞれの場合、糸の張力は何 N か。重力加速度を 9.8m/s^2 とする。

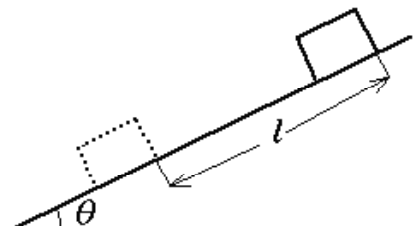
- ① 静止しているとき。
- ② 1.0m/s の一定の速さで下降しているとき。
- ③ 上向き 1.0m/s^2 の一定の加速度で運動しているとき。



斜面上の滑走

運動を、斜面に沿う方向と、斜面に垂直な方向に分解して考える。

【問】傾き θ の滑らかな斜面に沿って、質量 m の物体が静かに滑り始めた。斜面上を l だけ滑るのに要する時間 t と、滑り下りたときの速さ v を求めよ。

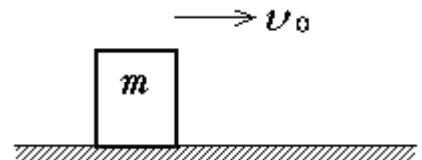


摩擦力のはたらく運動

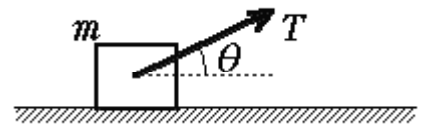
粗い面上を滑走する物体 にはたらく 運動摩擦力	$F =$	μ' 運動摩擦係数 N 垂直抗力
-----------------------------------	-------	---------------------------

★面に垂直な方向の力のつりあいの式をたて、まず垂直抗力 N を求めよ。

【問】運動摩擦係数 μ' の水平面に、速さ v_0 で滑り込んだ物体は、その後どれだけの距離を滑って止まるか。重力加速度を g とする。



【問】運動摩擦係数 μ' の水平面上におかれた質量 m の物体を、水平面から角度 θ だけ上方に、大きさ T の力で引いて動かすときの加速度はいくらか。

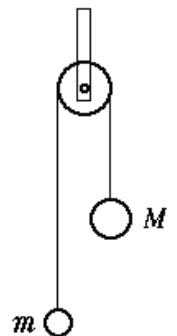


連結体の運動

力をおよぼし合う複数の物体→各物体についての運動方程式を**連立**して解く

★作用・反作用に注意しながら、互いにおよぼし合う力を仮定する。

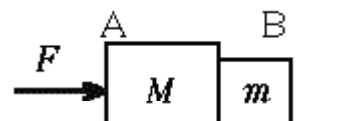
【問】滑車にのびない軽い糸をかけ、その両端に質量 M 、 m ($M > m$) の物体 A、B をつるし静かに手を放す。両物体の加速度 a と糸の張力 T を求めよ。重力加速度を g とする。



A の運動方程式：

B の運動方程式：

【問】質量がそれぞれ M 、 m の物体 A、B を図のように滑らかな水平面上に接して置く。A を B に向かって水平に力 F で押すときの両物体の加速度の大きさと、両物体が押し合う力の大きさを求めよ。同じ力 F で B を A に向かって押すときはどうか。



《e》剛体の静力学 (教科書 P.102 ~ 109、問題集 P.37 ~ 42)

剛体 : 大きさがあり、変形しない物体

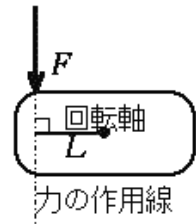
力のモーメント (力の回転効果の大きさ)

力のモーメント

$$M =$$

反時計回りが正
時計回りが負

単位 [N・m]



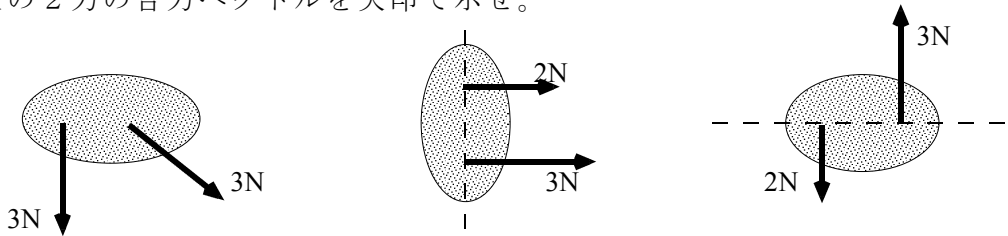
- ★ 同じ大きさの力でも回転軸からの距離が長いほど回転効果が大きい。(てこの原理)
- ★ 力のベクトルをその作用線上で平行移動しても、モーメントは変わらない。

剛体にはたらく力の合成

- ① 合力のベクトルは2力のベクトル和になる。(平行四辺形の法則)
- ② 合力のモーメントが2力のモーメントの和になるように作用線を決める。

- 平行でない2力 → 作用線上を平行移動し、作用線の交点でベクトル合成する。
- 平行な2力 → モーメントの方程式を立てて求める。力の大きさは和または差。
- ★ 合力の作用線上では、力のモーメントの和が0になる。

【問】 次の2力の合力ベクトルを矢印で示せ。



偶力 (平行・逆向き・等大で作用線が異なる2力 → 回転効果だけを生む力のペア)

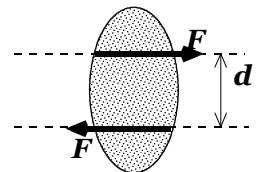
★ 偶力は合成できない。モーメントの和だけが有効

偶力のモーメント

$$M =$$

反時計回りが正
時計回りが負

単位 [N・m]



★ 偶力を受けた物体は並進運動状態を変えずに回転を始める。

【問】 自動車のハンドルを片手で回すとき、ハンドルは位置を変えずに、回転するだけである。どんな偶力がはたらいっているだろうか。

重心 剛体の各部にはたらく重力の合力の作用点を重心という。

質量 $m_1, m_2, m_3 \dots$ が、座標 $x_1, x_2, x_3 \dots$ に分布しているとき、重心の座標を x_G とすると、各質量が受ける重力のモーメントの総和は、重心に全重力がはたらくときのモーメントに等しいから

モーメントの関係式

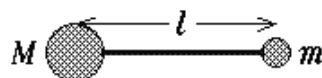


重心の式

$x_G =$

※上式は「重み付き平均」により、質量分布の中心を求めることに相当する。
 ※重心のまわりの重力のモーメントの総和は0になるので、重心で支えれば重力による回転は起こらない。

【問】右図のような物体はどの点を支えれば静止するか。



剛体のつり合いの条件 (両方が満たされないと静止しない)

①力のベクトル和 (合力) が0になる → 並進運動が変化しない

$$F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \dots = 0$$

$$F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \dots = 0$$

②力のモーメントの和が0になる → 回転運動が変化しない

$$F_1 L_1 + F_2 L_2 + F_3 L_3 + \dots = 0 \quad (\text{任意の点のまわりで})$$

※両方の式を成分別に立てて連立する場合が多い。質点では①のみ。

【問】摩擦のある水平な床から、滑らかで鉛直な壁に質量 m 、長さ l の一様な棒 AB を壁となす角が θ になるように立てかけた。B 点で棒が床から受ける摩擦力をの大きさを求めよ。棒が倒れない角度 θ の条件を求めよ。静止摩擦係数を μ 、重力加速度を g とする。

