

2025 年度工学部入学前学習プログラム
スタートアップ講座

物 理

共通教育センター



はじめに

本講座では、入学後にスムーズに物理（特に力学）を学べるように、力学の基本をしっかりと復習します。力学を理解するうえで大切なのが、「ニュートンの運動の法則」です。この法則は、力学だけでなく、物理全般を学ぶための土台となる重要な考え方です。

また、物体の運動を正しく解析するためには、「力の概念」と「運動の表し方」をしっかりと身につけることが必要です。そこで、本講座では「力」・「運動の表し方」・「ニュートンの運動の法則」の3つを中心に学習します。

この講座は、これまでの復習がメインですが、理解を深めるために演習問題にも取り組みます。しっかり手を動かして問題を解きながら、知識を定着させましょう。

目 次

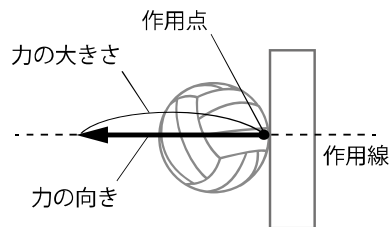
1	力のはたらきとつり合い	1
1.1	力	1
1.2	さまざまな力	1
1.3	力のつり合い	3
2	運動の表し方	5
2.1	物体の変位と速度（速さ）	5
2.2	物体の加速度	7
3	ニュートンの運動の法則	9
3.1	慣性	9
3.2	運動の法則	9
3.3	運動方程式の立て方	10
3.4	応用例	12

1 力のはたらきとつり合い

1.1 力

物理学では、物体を変形させたり、物体の運動状態を変えたりする原因となるものを力という。

- 力は大きさと向きを持つベクトルであり、 $\vec{F}$ あるいは $\mathbf{F}$ (太字) のように標記する。
- 物体に力が作用しているとき、作用する点を作用点という。また、作用点を通り力の向きに引いた直線を作用線という。
- 力の大きさ、向き、作用点を力の三要素という。
- 力の単位は N (ニュートン)。



1.2 さまざまな力

力はその作用の仕方によって、接触している物体間にはたらく接触力と接触していない物体間にはたらく遠隔力に分けられる。以下に、力学で扱ういくつかの接触力と遠隔力を示す。

■ 遠隔力

- 重力：地球から受ける鉛直下向きの力

重力の大きさ $W = mg$

m [kg]：物体の質量, g [m/s²]：重力加速度の大きさ

■ 接触力

- 張力（糸が引く力）：糸やひもが張っているときにはたらく力

張力の大きさ T

- 弾性力：ばねが伸びたり縮んだりしているときにはたらく力

弾性力の大きさ $F = kx$

k [N/m]：ばね定数, x [m]：ばねの変形量

- 浮力：水などの流体中で受ける上向きの力

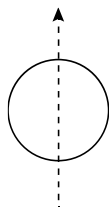
浮力の大きさ $F = \rho Vg$

ρ [kg/m³]：流体の密度, V [m³]：物体の体積, g [m/s²]：重力加速度の大きさ

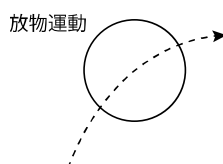
- 垂直抗力：面から受ける力で、面と垂直な向きに作用する
垂直抗力の大きさ N
- 静止摩擦力：面から受ける力で、面と平行で物体が動き出すのを妨げる向きに作用する
静止摩擦力を $\vec{F}$ ，物体を引く力を $\vec{f}$ とすると $\vec{F} = -\vec{f}$
静止摩擦力の大きさ $F = f$
物体が滑り出す直前の静止摩擦力を最大摩擦力といい、
その大きさは $F_{\max} = \mu N$
 μ ：静止摩擦係数， N [N]：垂直抗力の大きさ
- 動摩擦力：面から受ける力で、面と平行で物体の運動を妨げる向きに作用する
動摩擦力の大きさ $F' = \mu' N$
 μ' ：動摩擦係数， N [N]：垂直抗力の大きさ

【演習 1-1】 物体が受ける力をすべて図示せよ。ただし、空気の抵抗は無視できるものとする。

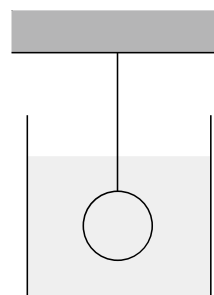
(1) 上昇する物体



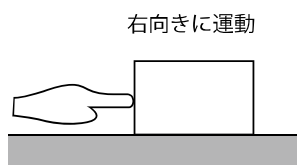
(2) 空中を飛ぶ物体



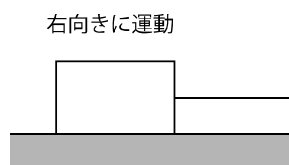
(3) 水中につり下げた物体



(4) なめらかな水平面上で押される物体



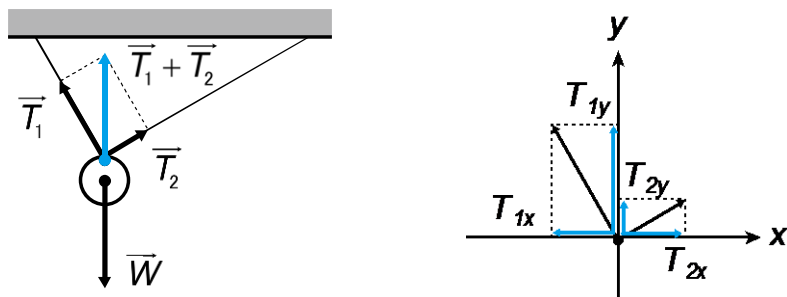
(5) あらい水平面上を糸で引かれる物体



1.3 力のつり合い

■ 力の合成と分解

2つの力と同じはたらきをする1つの力を求めることを力の合成という。また、合成した力を合力という。下図（左）は、2本の糸でつるされた物体が静止している様子を示している。物体が2本の糸から受ける張力をそれぞれ $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ とすると、これらの合力はベクトルの和 $(\vec{T}_1 + \vec{T}_2)$ として表される（平行四辺形の法則を用いて求められる）。



逆に、1つの力を、同じはたらきをする2つの力に分けることを力の分解という。また、分解した力を分力という。上図（右）は、張力 $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ を、水平方向（x軸方向）と鉛直方向（y軸方向）に分解した様子を示しており、x軸方向、y軸方向の分力をそれぞれ、張力 $\vec{T}_1$ については T_{1x} 、 T_{1y} 、 $\vec{T}_2$ については T_{2x} 、 T_{2y} としている。また、これらの分力の大きさに、向きを表す正、負の符号をつけたものを力の成分といい、x軸に平行なものを $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ のx成分、y軸に平行なものを $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ のy成分という。ここで、 $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ の大きさをそれぞれ T_1 、 T_2 、そして、 $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ の向きとx軸とのなす角をそれぞれ θ_1 、 θ_2 とすると、 $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ のx成分、y成分は以下のように表される。

- $\vec{T}_1$ について

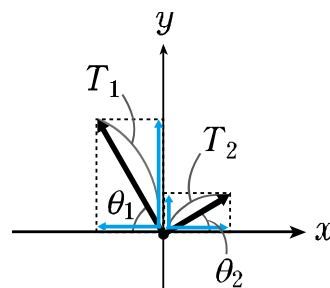
$$T_{1x} = -T_1 \cos \theta_1$$

$$T_{1y} = T_1 \sin \theta_1$$

- $\vec{T}_2$ について

$$T_{2x} = T_2 \cos \theta_2$$

$$T_{2y} = T_2 \sin \theta_2$$

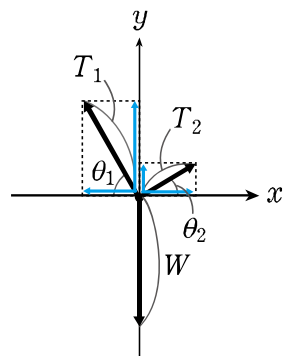
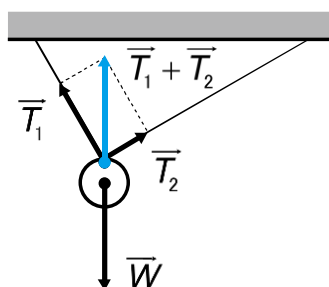


また、 $\vec{T}_1$ 、 $\vec{T}_2$ の大きさ T_1 、 T_2 には、それぞれ以下の関係がある。

$$T_1 = \sqrt{T_{1x}^2 + T_{1y}^2}$$

$$T_2 = \sqrt{T_{2x}^2 + T_{2y}^2}$$

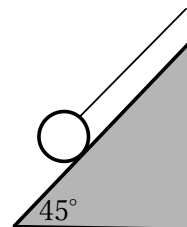
■ 力のつり合い



上図(左)の物体には張力 $\vec{T}_1$, $\vec{T}_2$ と重力 $\vec{W}$ の3力がはたらいて静止している。このとき、この3力はつり合っているという。このように物体がつりあいの状態にあるとき、物体に作用する3力の合力 $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{W}$ は $\vec{0}$ である ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{W} = \vec{0}$)。また、合力の x , y 成分も 0 であることから、以下の関係が成り立つ。(重力 $\vec{W}$ の大きさを W とする。)

- 合力の x 成分について $-T_1 \cos \theta_1 + T_2 \cos \theta_2 = 0$
- 合力の y 成分について $T_1 \sin \theta_1 + T_2 \sin \theta_2 - W = 0$

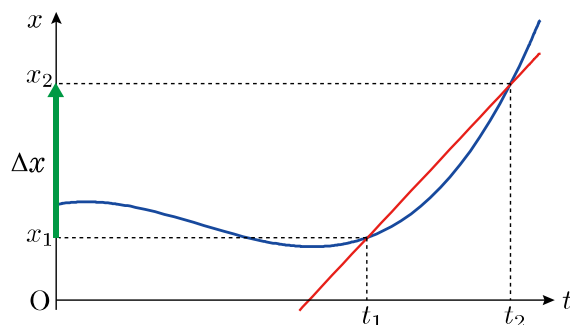
【演習 1-2】 図のように、糸でつるされた質量 m [kg] の物体が水平とのなす角が θ の斜面上に置かれ静止している。糸から受ける張力の大きさ T [N], 斜面から受ける垂直抗力の大きさ N [N] を求めよ。ただし、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。また、 $\sqrt{\quad}$ はそのままが良い。



2 運動の表し方

直線（ x 軸）に沿って運動する物体の変位，速度（速さ），加速度について示す。

2.1 物体の変位と速度（速さ）



時刻 t_1, t_2 ($t_1 < t_2$) における位置 x がそれぞれ x_1, x_2 であった。

- 時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間の変位 Δx :

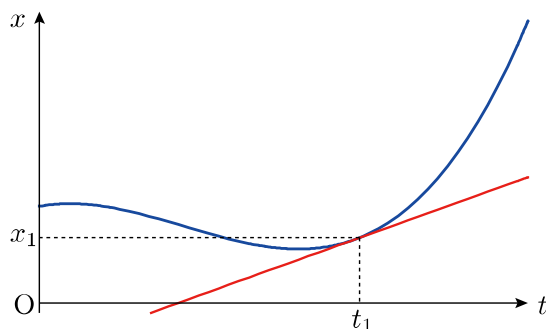
$$\Delta x = x_2 - x_1$$

- 時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間（時間 $\Delta t = t_2 - t_1$ ）の平均の速度 $\bar{v}$:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$|\bar{v}|$ を平均の速さという。

- 時刻 $t = t_1$ における（瞬間の）速度 v :



$t_1 < t_2$ で、 t_2 が限りなく t_1 に近い場合、時間 $\Delta t = t_2 - t_1$ は限りなく 0 に近くなることから、時刻 $t = t_1$ における（瞬間の）速度 v は

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (x \text{ を } t \text{ で微分})$$

と表す。これは、 x - t グラフの時刻 $t = t_1$ における接線の傾きと一致する。また、 $|v|$ を（瞬間の）速さという。

例えば、時刻 t における物体の位置 x が $x = t^3$ で表されるとき、時刻 t における（瞬間の）速度 v は、

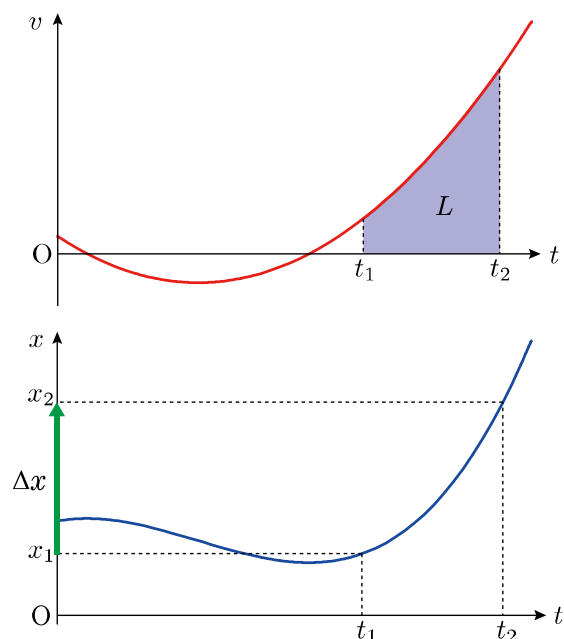
$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} t^3 = 3t^2 \quad \quad \quad \times \frac{d}{dt} t^n = nt^{n-1} \quad n: \text{定数}$$

となる。また、時刻 $t = t_1$ での（瞬間の）速度 v は、 $v = 3t_1^2$ である。

【演習 2-1】 時刻 t [s] における物体の位置 x [m] が $x = 4t^2 + 1$ で表されるとき、時刻 $t = 2$ s での速度 v [m/s] を求めよ。

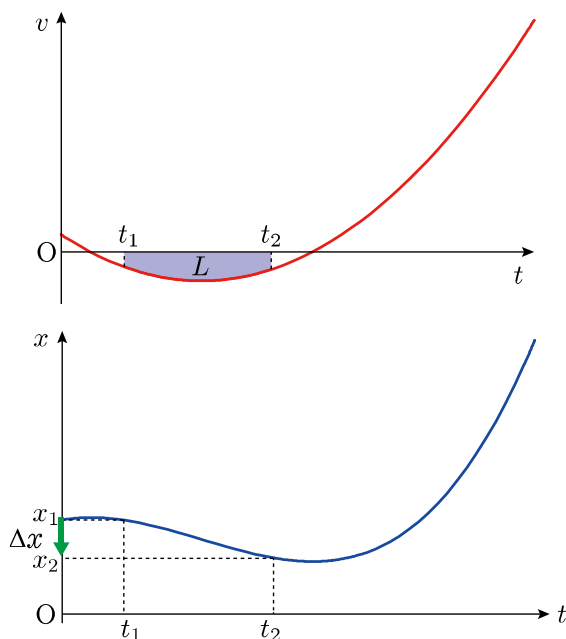
各時刻 t における（瞬間の）速度 v を表す v - t グラフに関して、時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間ずっと速度 v が 0 以上（ $v \geq 0$ ）の場合、 v - t グラフ、直線 $t = t_1$ 、直線 $t = t_2$ 、 t 軸が囲む図形の面積 L は、時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間に物体が移動した距離を表し、時刻 $t = t_1$ (位置 $x = x_1$) から時刻 $t = t_2$ (位置 $x = x_2$) の間の変位 Δx と一致する。

$$\Delta x = x_2 - x_1 = L$$



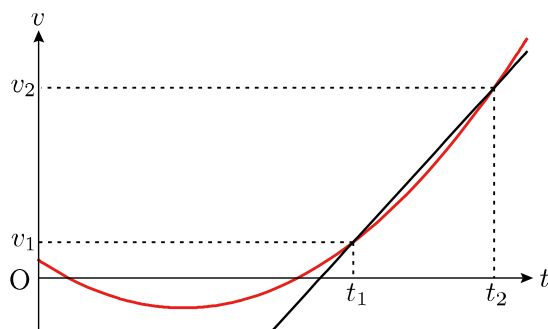
時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間ずっと速度 v が 0 以下 ($v \leq 0$) の場合, v - t グラフ, 直線 $t = t_1$, 直線 $t = t_2$, t 軸が囲む図形の面積 L は, 時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間に物体が移動した距離を表す。そして, 時刻 $t = t_1$ (位置 $x = x_1$) から時刻 $t = t_2$ (位置 $x = x_2$) の間の変位 Δx は, この移動距離 L の (-1) 倍と一致する。

$$\Delta x = x_2 - x_1 = -L$$



2.2 物体の加速度

時刻 t_1 , t_2 ($t_1 < t_2$) における速度 v がそれぞれ v_1 , v_2 であった。



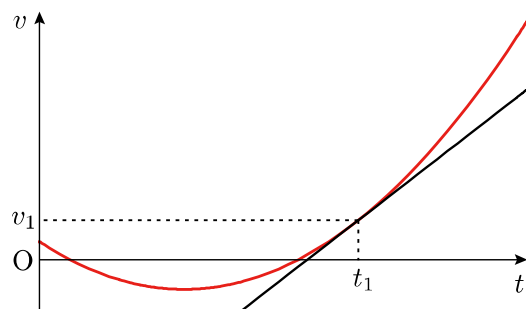
- 時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間の速度の変化 Δv :

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

- 時刻 $t = t_1$ から $t = t_2$ の間 (時間 $\Delta t = t_2 - t_1$) の平均の加速度 $\bar{a}$:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

- 時刻 $t = t_1$ における（瞬間の）加速度 a :



$t_1 < t_2$ で、 t_2 が限りなく t_1 に近い場合、時間 $\Delta t = t_2 - t_1$ は限りなく 0 に近くなることから、時刻 $t = t_1$ における（瞬間の）加速度 a は

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (v \text{ を } t \text{ で微分})$$

と表す。これは、 v - t グラフの時刻 $t = t_1$ における接線の傾きと一致する。また、（瞬間の）

速度が $v = \frac{dx}{dt}$ と表されることから、（瞬間の）加速度 a は以下ように書ける。

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (x \text{ の } 2 \text{ 階微分})$$

つまり、時刻 t における位置 x が決まれば、速度 v 、加速度 a も決まる。

例えば、時刻 t における物体の（瞬間の）速度が $v = 3t^2$ で表されるとき、時刻 t における（瞬間の）加速度 a は、

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} (3t^2) = 6t$$

となる。また、時刻 $t = t_1$ での（瞬間の）加速度 a は、 $a = 6t_1$ である。

【演習 2-2】 時刻 t [s] における物体の位置 x [m] が $x = 2t^3 - 5t^2 + 3t$ で表されるとき、時刻 $t = 3$ s での速度 v [m/s] と加速度 a [m/s²] を求めよ。

3 ニュートンの運動の法則

3.1 慣性

16 世紀から 17 世紀にかけてガリレイとニュートンによって力学の体系が作られた。それまでは、運動している物体は力を加え続けなければ静止すると考えられていた。それに対してガリレイは、運動している物体が静止するのは、その運動を妨げる力（摩擦力や抵抗力など）が外部からはたらくからであり、外部から力が作用しなければ、運動を維持し続ける（静止しているものは静止し続ける）と考えた。物体が持つこのような運動状態を維持し続けようとする性質を慣性という。

3.2 運動の法則

ニュートンは物体の運動について 3 つの法則にまとめた。第 1 法則では、外力が作用しない、あるいは外力がつり合っている場合について、第 2 法則では、外力が作用する場合について、第 3 法則では、力の作用の仕方についてまとめられている。ニュートンの運動の三法則を以下に示す。^{*1}

■ 運動の第 1 法則（慣性の法則）

外部から力を受けないか、あるいは外部から受ける力がつりあっている（合力が $\vec{0}$ の）場合には、静止している物体はいつまでも静止を続け、運動している物体は等速直線運動を続ける。

■ 運動の第 2 法則（運動の法則）

物体にいくつかの力がはたらくとき、物体にはそれらの合力 $\vec{F}$ の向きに加速度 $\vec{a}$ が生じる。その加速度の大きさは合力の大きさに比例し、物体の質量 m に反比例する。

$$\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m} \quad (k \text{ は } m \text{ や } \vec{F} \text{ によらない比例定数}) \quad (3.1)$$

力の単位である N（ニュートン）は、加速度の単位を m/s^2 、質量の単位を kg としたとき、(3.1)の比例定数が 1 となるように定められている（ 1 kg の物体に 1 m/s^2 の大きさの加速度を生じさせる力の大きさが 1 N ）。(3.1)で、 $k=1$ とすると

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (3.2)$$

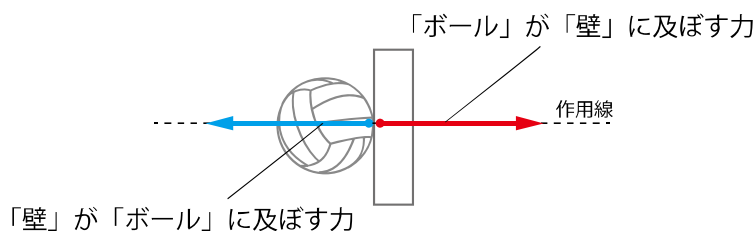
となり、これを式変形すると、以下の式が得られる。

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad (ma = F) \quad (3.3)$$

これを運動方程式という。

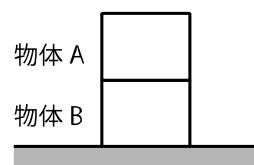
■ 運動の第3法則（作用・反作用の法則）

物体 A から物体 B に力をはたらかせると、物体 B から物体 A に、同じ作用線上で、大きさが等しく、向きが反対の力がはたらく



*1 國友正和ほか 10 名, “総合物理 1 -力と運動・波一” 数研出版 (2017)

【演習 3-1】 物体 A, B が水平な床の上に積み重ねられている。物体 B に作用する力をすべて図示せよ。

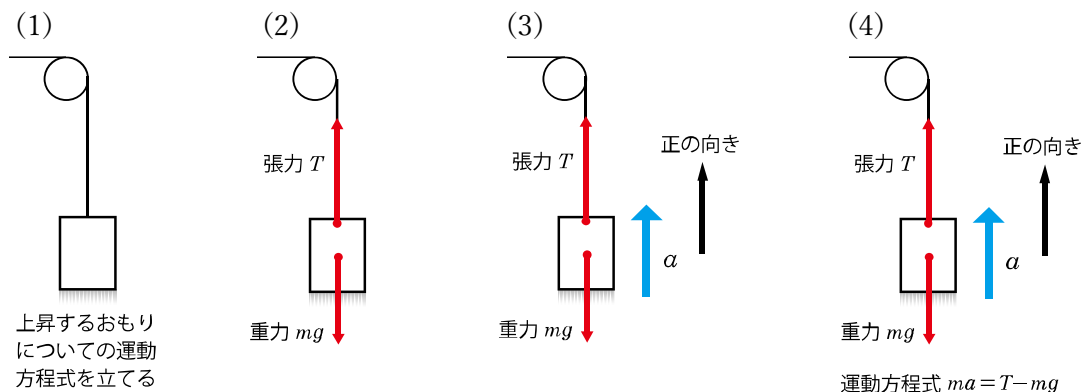


【演習 3-2】 大型トラックと小さなボールが衝突したとき,衝突している間にはたらく力について,最も適当なものを①~⑤のうちから一つ選べ。

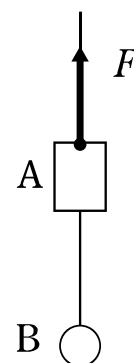
- ① ボールがトラックに及ぼす力より,トラックがボールに及ぼす力の方が大きい。
- ② トラックがボールに及ぼす力より,ボールがトラックに及ぼす力の方が大きい。
- ③ トラックはボールに力を及ぼすが,ボールはトラックに力を及ぼさない。
- ④ ボールがトラックに及ぼす力と,トラックがボールに及ぼす力の大きさは等しい。
- ⑤ 上の① ~ ④のいずれでもない。

3.3 運動方程式の立て方

- (1) どの物体についての運動方程式を立てるのかを決める。
- (2) 運動方程式を立てる物体に作用する力を図示する。
- (3) 正の向きを決め、その向きの加速度を a とする。
- (4) 物体に作用する運動方向の力の成分の和を、運動方程式 ($ma = F$) の右辺に代入する。



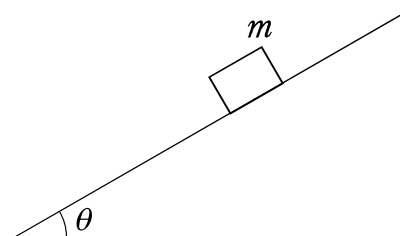
【演習 3-3】 図のように，質量が m_A [kg] と m_B [kg] の物体 A, B を軽い糸でつなぎ，A を大きさ F [N] の力で鉛直上向きに引き上げた。重力加速度の大きさを g [m/s²] として，以下の問に答えよ。



(1) A, B の加速度の大きさ a [m/s²] を求めよ。

(2) 糸が B を引く力の大きさ T [N] を求めよ。

【演習 3-4】 図のように，床に固定された傾き θ の斜面上を，質量 m [kg] 小物体がすべり下りている。重力加速度の大きさを g [m/s²] として，以下の問に答えよ。

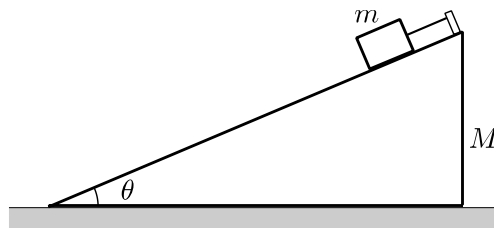


(1) 斜面がなめらかな場合，小物体の加速度の大きさ a [m/s²] はいくらになるか。

(2) 斜面があらい場合 (動摩擦係数 μ')，小物体の加速度の大きさ a' [m/s²] はいくらになるか。

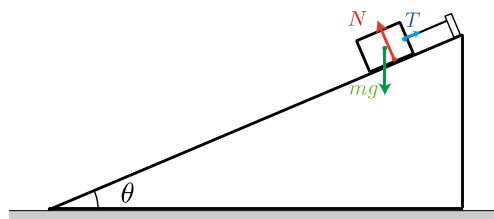
3.4 応用例

右図のように、あらい水平な床の上に、なめらかな斜面(傾きの角 θ [rad])を持つ台が置かれている。斜面の上方には台に固定された突起があり、これを合わせた台の質量は M [kg] である。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

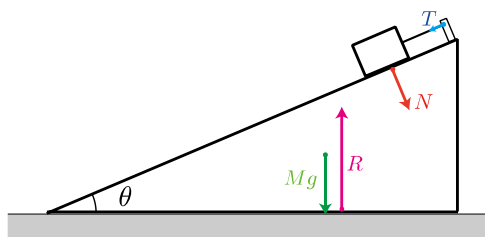


(1) 台の斜面上に物体(質量 m [kg]) を置き、台の突起との間を軽い糸で固定したところ、物体も台も静止した。以下の問いに答えよ。

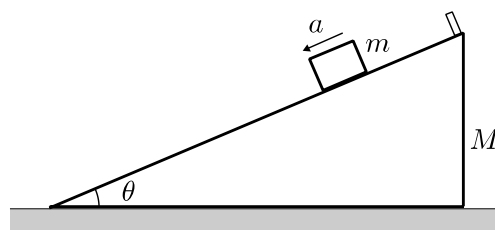
- ① 斜面上の物体にはたらく力は、右図のように、重力(大きさ mg [N])、斜面からの垂直抗力(大きさ N [N] とする)、糸からの張力(大きさ T [N] とする)である。これらの力がつり合って物体は斜面上で静止している。斜面に平行な方向と斜面に垂直な方向それぞれについて力のつり合いの式を立てよ。また、張力の大きさ T と斜面からの垂直抗力の大きさ N を求めよ。



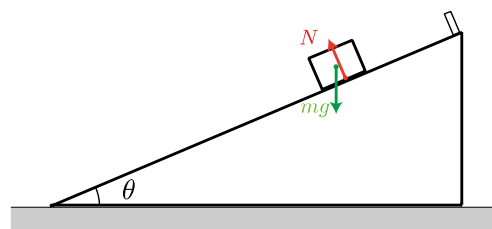
- ② 台にはたらく力は、重力(大きさ Mg [N])、物体から受ける力(物体が斜面から受ける垂直抗力の反作用であり、大きさ N)、糸からの張力(大きさ T)、床からの垂直抗力(大きさ R [N] とする) である。水平な方向と鉛直な方向それぞれについてつり合いの式を立てよ。また、垂直抗力の大きさ R を求めよ。



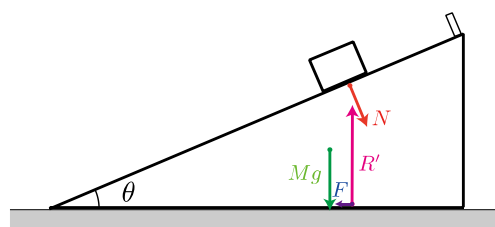
(2) (1)において、台の斜面上の物体と台の突起との間の糸をそっと切ったところ、右図のように、物体は斜面に沿って下向きに加速度の大きさ a [m/s^2] ですべり始めた。一方、台は静止したままであった。以下の問いに答えよ。



- ① 斜面上の物体にはたらく力は、右図のように、重力(大きさ mg)、斜面からの垂直抗力(大きさ N)である。斜面に平行な方向は運動方程式を、斜面に垂直な方向は力のつり合いの式をそれぞれ立てよ。また、加速度の大きさ a と垂直抗力の大きさ N を求めよ。



- ② 台にはたらく力は、重力(大きさ Mg)、物体から受ける力(物体が斜面から受ける垂直抗力の反作用であり、大きさ N)、糸からの張力(大きさ T)、床からの垂直抗力(大きさ R' [N] とする)、床から受ける静止摩擦力(大きさ F [N] とする)である。台は静止したままであるから、これらの力がつり合っている。水平な方向と鉛直な方向それぞれについてつり合いの式を立てよ。また、垂直抗力の大きさ R' 、静止摩擦力の大きさ F を求めよ。



(3) (1)の R と(2)の R' はどちらが大きいかな、比較せよ。

