

[illegible]

# 問題編

解説は後半にまとめてある。先に見ないこと。  
力を描いて、正の向きを決めてから式を立てる。

## SETUP 01

# なめらかな水平面上で、力を加える

### 記号の約束

$m$  質量  $F$  加えた力  $a$  加速度  $N$  垂直抗力

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「なめらかな」「摩擦は無視できる」+水平面
2. → 摩擦を考えなくてよい。水平方向にはたらくのは**加えた力だけ**
3. → 鉛直方向はつり合い ( $N = mg$ ) だが、運動には関係しない

### この設定で使う公式

- $ma = F$  … **これだけ**
- 斜め方向の力なら、**水平成分  $F \cos \theta$  だけ**が効く
- 鉛直方向:  $N = mg$  (斜め上向きに引くなら  $N = mg - F \sin \theta$ )

### 1-1 カ→加速度 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上の質量  $m$  の物体を、水平方向に一定の力  $F$  で引く。

1. 加速度を求めよ。
2. 静止していた物体が、時間  $t$  後に達する速さを求めよ。

**1-2** 加速度→力 ★3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上の質量  $m$  の物体を、静止した状態から距離  $L$  動かすのに時間  $t$  かかった。

1. 加速度を求めよ。
2. 加えていた力を求めよ。

**1-3** 斜めの力 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上の質量  $m$  の物体を、水平から角  $\theta$  上向きに傾けた力  $F$  で引く。物体は面から離れないものとする。

1. 加速度を求めよ。
2. 垂直抗力を求めよ。

**1-4** 2力 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上の質量  $m$  の物体に、右向きに  $F_1$ 、左向きに  $F_2$  ( $F_1 > F_2$ ) の力を同時に加えた。

1. 加速度の大きさと向きを求めよ。
2.  $F_1 = F_2$  のとき物体はどうなるか。

**1-5** 比 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな水平面上の物体に力を加えて加速させる。

1. 同じ物体に加える力を 3 倍にすると、加速度は何倍になるか。
2. 同じ力で質量を 3 倍にすると、加速度は何倍になるか。

## SETUP 02

# あらい水平面上で、力を加える

### 記号の約束

$\mu'$  動摩擦係数  $f'$  動摩擦力 ( $=\mu'N$ )  $N$  垂直抗力  $F$  加えた力

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「あらい」「動摩擦係数  $\mu'$ 」+水平面
2. → まず鉛直方向のつり合いで  $N$  を出す
3. → 摩擦力  $f' = \mu'N$  を、運動と逆向きに描いてから式を立てる

### この設定で使う公式

- 鉛直:  $N = mg$  (斜めに引くなら  $N = mg - F \sin \theta$ )
- 摩擦:  $f' = \mu'N$  (速さによらず一定)
- 水平:  $ma = F - \mu'N$
- 力を加えていないとき:  $ma = -\mu'mg$  (減速して止まる)

## 2-1 力→加速度 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

あらい水平面上の質量  $m$  の物体を、水平方向に力  $F$  で引く。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

1. 垂直抗力と摩擦力を求めよ。
2. 加速度を求めよ。

**2-2** 等速 ★3周チェック ☐ ☐ ☐

あらい水平面上の質量  $m$  の物体を、水平に引いて一定の速さで動かし続けたい。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

1. 必要な力を求めよ。

**2-3** 力なしで止まる ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

あらい水平面上を、初速  $v_0$  で滑り出した質量  $m$  の物体がやがて止まった。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

1. 加速度の大きさを求めよ。
2. 止まるまでの距離を求めよ。

**2-4** 斜めに引く ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

あらい水平面上の質量  $m$  の物体を、水平から角  $\theta$  上向きに傾けた力  $F$  で引く。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

1. 垂直抗力を求めよ。
2. 加速度を求めよ。
3. 同じ大きさの力でも、斜めに引くほうが有利なことがある理由を述べよ。

**2-5** 上から押す ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

あらい水平面上の質量  $m$  の物体を、水平から角  $\theta$  下向きに傾けた力  $F$  で押す。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

1. 垂直抗力を求めよ。
2. 加速度を求めよ。

## SETUP 03

# なめらかな斜面を滑る

### 記号の約束

$\theta$  斜面の傾角    $a$  斜面方向の加速度    $N$  斜面からの垂直抗力

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「なめらかな斜面」「傾角  $\theta$ 」
2. → 斜面に沿った向きと斜面に垂直な向きに分ける
3. → 重力を  $mg \sin \theta$ （斜面方向）と  $mg \cos \theta$ （垂直方向）に分解する

### この設定で使う公式

- 斜面方向： $ma = mg \sin \theta \rightarrow a = g \sin \theta$ （質量によらない）
- 垂直方向： $N = mg \cos \theta$
- そのあとは等加速度の3公式がそのまま使える

### 3-1 加速度と垂直抗力 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のなめらかな斜面上に質量  $m$  の物体を置き、静かに手を放した。

1. 斜面方向の加速度を求めよ。
2. 斜面からの垂直抗力を求めよ。

**3-2** 滑ったあとの速さ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のなめらかな斜面上を、質量  $m$  の物体が静かに滑り出した。

1. 斜面に沿って距離  $L$  滑ったときの速さを求めよ。
2. そこまでにかかる時間を求めよ。

**3-3** 高さで表す ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のなめらかな斜面を、高さ  $h$  の点から質量  $m$  の物体が静かに滑り出した。

1. 斜面に沿って滑る距離を  $h$ 、 $\theta$  で表せ。
2. 斜面の下端での速さを求めよ。
3. その速さは  $\theta$  によるか。

**3-4** 斜面を上る ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のなめらかな斜面の下端から、質量  $m$  の物体を斜面に沿って上向きに速さ  $v_0$  で滑らせた。

1. 加速度の向きと大きさを答えよ。
2. 物体が達する最高点までの斜面に沿った距離を求めよ。

**3-5** 極限 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のなめらかな斜面上の物体について答えよ。

1.  $\theta \rightarrow 0$  としたとき、加速度と垂直抗力はどうなるか。
2.  $\theta \rightarrow 90^\circ$  としたときはどうか。

## SETUP 04

# あらい斜面を滑る

### 記号の約束

$\mu'$  動摩擦係数  $\theta$  傾角  $a$  加速度

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「あらい斜面」「動摩擦係数  $\mu'$ 」
2. → 設定3に摩擦力  $\mu' mg \cos \theta$  を足すだけ
3. → 摩擦の向きは運動と逆。下るときと上るときで符号が変わる

### この設定で使う公式

- 垂直方向:  $N = mg \cos \theta$
- 下るとき:  $ma = mg \sin \theta - \mu' mg \cos \theta \rightarrow a = g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)$
- 上るとき:  $ma = -mg \sin \theta - \mu' mg \cos \theta \rightarrow a = -g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)$
- 等速で下る条件:  $\tan \theta = \mu'$

### 4-1 下るときの加速度 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のあらい斜面上を、質量  $m$  の物体が滑り下りている。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

1. 摩擦力の大きさと向きを答えよ。
2. 加速度を求めよ。

**4-2** 上るとき加速度 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のあらい斜面の下端から、質量  $m$  の物体を斜面に沿って上向きに滑らせた。動摩擦係数を  $\mu'$  とする。

1. 摩擦力の向きを答えよ。
2. 減速の加速度の大きさを求めよ。
3. 下るときと上るときで、どちらが加速度の大きさが大きい。

**4-3** 等速で下る ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のあらい斜面上を、質量  $m$  の物体が一定の速さで滑り下りている。

1. 動摩擦係数を  $\theta$  で表せ。
2. この条件は質量によるか。

**4-4 滑る距離 ★★**3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のあらい斜面（動摩擦係数  $\mu'$ ）の下端から、質量  $m$  の物体を斜面上向きに速さ  $v_0$  で滑らせた。

1. 物体が止まるまでに斜面を上る距離を求めよ。

**4-5 上げてから下る ★★★**3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のあらい斜面（動摩擦係数  $\mu'$ 、ただし  $\tan \theta > \mu'$ ）の下端から、質量  $m$  の物体を斜面上向きに速さ  $v_0$  で滑らせた。物体は上りきったあと、また下りてきた。

1. 上るときと下るときで、加速度の大きさは同じか。
2. 上りきった点から下端に戻ってきたときの速さを求めよ。
3. その速さは  $v_0$  より大きいか小さいか。

## SETUP 05

# 加速する箱の中（エレベーター）

### 記号の約束

$a$  箱（エレベーター）の加速度  $N$  床が人を押す力＝はかりの読み  $m$  人の質量

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「エレベーター」「加速度  $a$  で上昇（下降）」
2. → 中の物体も同じ加速度で運動している
3. → 鉛直方向に運動方程式を立てる。つり合いではない

### この設定で使う公式

- 上向きを正として  $ma = N - mg \rightarrow N = m(g + a)$
- 上向きに加速： $a > 0 \rightarrow N > mg$ （重く感じる）
- 下向きに加速： $a < 0 \rightarrow N < mg$ （軽く感じる）
- 自由落下： $a = -g \rightarrow N = 0$ （無重量）

### 5-1 上向き加速 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

エレベーターの床に置かれた台ばかりの上に、質量  $m$  の人が乗っている。エレベーターが鉛直上向きに加速度  $a$  で加速している。

1. 台ばかりの読みを求めよ。

**5-2** 下向き加速 ★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じエレベーターが、鉛直下向きに大きさ  $a$  の加速度で加速している。

1. 台ばかりの読みを求めよ。
2.  $a = g$  のときの読みを求め、その状況を説明せよ。

**5-3** 等速 ★3周チェック ☐ ☐ ☐

エレベーターが一定の速さで上昇している。

1. 質量  $m$  の人が乗った台ばかりの読みを求めよ。
2. 上昇中と下降中で読みは変わるか。

**5-4 吊り下げ ★★**3周チェック ☐ ☐ ☐

加速度  $a$  で鉛直上向きに加速しているエレベーターの天井から、軽い糸で質量  $m$  のおもりを吊るしてある。

1. 糸の張力を求めよ。
2. 糸が切れるのは、上向き加速と下向き加速のどちらのときに起こりやすいか。

**5-5 逆算 ★★**3周チェック ☐ ☐ ☐

エレベーターの中で、質量  $m$  の人が台ばかりに乗ったところ、読みが  $N$  であった。

1. エレベーターの加速度を  $N$ 、 $m$ 、 $g$  で表せ。
2.  $N < mg$  のとき、加速度の向きはどちらか。

## SETUP 06

# 糸で吊るして、斜めに傾けて静止させる

### 記号の約束

$T$  糸の張力    $\theta$  鉛直からの傾き    $F$  水平に加えた力

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「静止した」「糸が鉛直から角  $\theta$  傾いた」
2. → 加速度  $0$  なので、水平・鉛直ともつり合い
3. → 張力を水平成分と鉛直成分に分解して2本の式を立てる

### この設定で使う公式

- 鉛直:  $T \cos \theta = mg \rightarrow T = \frac{mg}{\cos \theta}$
- 水平:  $T \sin \theta = F \rightarrow F = mg \tan \theta$
- 2式を割ると  $T$  が消えて  $\tan \theta = \frac{F}{mg}$

## 6-1 張力と力 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

天井から軽い糸で質量  $m$  のおもりを吊るし、水平方向に力  $F$  を加えたところ、糸が鉛直から角  $\theta$  傾いて静止した。

1. 糸の張力を求めよ。
2.  $F$  を求めよ。

**6-2** 角度を求める ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ装置で、加える力  $F$  が与えられている。

1.  $\tan \theta$  を  $F$ 、 $m$ 、 $g$  で表せ。
2.  $F = mg$  のとき  $\theta$  は何度か。

**6-3** 極限 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

同じ装置で、 $F$  をどんどん大きくしていく。

1.  $\theta$  はどうなるか。
2. 糸が水平になることはあるか。理由も述べよ。
3. そのとき張力はどうなるか。

**6-4** 2本の糸 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

質量  $m$  のおもりを、天井の2点から2本の糸で吊るした。2本の糸はそれぞれ鉛直から角  $\theta$  ずつ、左右対称に傾いている。

1. それぞれの糸の張力を求めよ。
2.  $\theta$  を大きくしていくと張力はどうなるか。

**6-5** 斜面に置く ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  のなめらかな斜面上に置いた質量  $m$  の物体を、斜面に平行な力  $F$  で支えて静止させている。

1.  $F$  を求めよ。
2. 垂直抗力を求めよ。

## SETUP 07

# 動き出すかどうかを調べる（静止摩擦）

### 記号の約束

$\mu$  静止摩擦係数    $f$  静止摩擦力（必要なだけ出る）    $\mu N$  最大静止摩擦力

### この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「静かに置いた」「動き出すか」「静止摩擦係数  $\mu$ 」
2. → まず静止すると仮定して、つり合いに必要な摩擦力  $f$  を求める
3. → それを最大静止摩擦力  $\mu N$  と比べる

### この設定で使う公式

- 静止摩擦力はつり合いから決まる（ $\mu N$  ではない）
- 上限： $f \leq \mu N$
- 斜面で滑り出す条件： $\tan \theta = \mu$ （質量によらない）
- 水平面を押す： $F \leq \mu mg$  なら動かない

## 7-1

### 斜面の限界角 ★

3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  の斜面上に質量  $m$  の物体を静かに置く。静止摩擦係数を  $\mu$  とする。

1. 静止しているときの摩擦力を求めよ。
2. 滑り出さないための条件を求めよ。

**7-2** 水平に押す ★3周チェック ☐ ☐ ☐

水平面上の質量  $m$  の物体を水平方向に力  $F$  で押す。静止摩擦係数を  $\mu$  とする。

1. 動き出す条件を書け。
2.  $F$  がその半分のとき、はたらいっている摩擦力を求めよ。

**7-3** 斜め上向きに引く ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

水平面上の質量  $m$  の物体を、水平から角  $\alpha$  上向きに傾けた力  $F$  で引く。静止摩擦係数を  $\mu$  とする。

1. 垂直抗力を求めよ。
2. 動き出す条件を  $F$  について求めよ。

**7-4** 板の上の物体 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

なめらかな床の上に置かれた質量  $M$  の板の上に、質量  $m$  の物体をのせる。物体と板の間の静止摩擦係数は  $\mu$  である。板を水平に力  $F$  で引く。

1. 一体で動くとは定したときの加速度を求めよ。
2. 上の物体を加速させている力は何か。その大きさを求めよ。
3. 一体で動くための条件を求めよ。

**7-5** 摩擦力の向き ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

傾角  $\theta$  の斜面上に質量  $m$  の物体が静止している。静止摩擦係数を  $\mu$  ( $\tan \theta < \mu$ ) とする。

1. 摩擦力の向きを答えよ。
2. この物体を斜面上向きにゆっくり動かそうと、斜面に平行な力を加え始めた。摩擦力の向きはどうなるか。
3. そのまま力を大きくしていくと、動き出すのはいくらのときか。

# 解 説 編

各問の冒頭にどの向きに式を立てたかを書いてある。

## 設定 1 なめらかな水平面上で、力を加える

---

**1-1**  $ma = F$

■(1)  $ma = F \rightarrow a = \frac{F}{m}$

■(2)  $v = at = \frac{Ft}{m}$

答 (1)  $a = \frac{F}{m}$  (2)  $v = \frac{Ft}{m}$

---

## 1-2 逆に解く

■(1)  $L = \frac{1}{2}at^2 \rightarrow a = \frac{2L}{t^2}$

■(2)  $F = ma = \frac{2mL}{t^2}$

等加速度の公式で  $a$  を出してから  $ma = F$  に入れるという2段階構え。

答 (1)  $a = \frac{2L}{t^2}$  (2)  $F = \frac{2mL}{t^2}$

---

### 1-3 水平成分だけが効く

■(1) 水平方向に効くのは  $F \cos \theta$  だけ

$$ma = F \cos \theta \rightarrow a = \frac{F \cos \theta}{m}$$

■(2) 鉛直方向はつり合い。  $F$  の鉛直成分が持ち上げる向きにはたらく

$$N = mg - F \sin \theta$$

なめらかでも  $N$  が  $mg$  とは限らない。

$$\text{答 (1)} a = \frac{F \cos \theta}{m} \quad \text{(2)} N = mg - F \sin \theta$$

### 1-4 合力を出してから

■(1) 右向きを正として合力は  $F_1 - F_2$

$$a = \frac{F_1 - F_2}{m} \quad (\text{右向き})$$

■(2) 合力が 0 なので  $a = 0$ 。

静止していれば静止のまま、動いていれば等速のまま（慣性の法則）。

「力を加えているのに加速しない」という状況があることに注意。

$$\text{答 (1)} \frac{F_1 - F_2}{m} \quad (\text{右向き}) \quad \text{(2) 加速度0 (静止または等速のまま)}$$

### 1-5 $a \propto F$ 、 $a \propto 1/m$

$$\text{■(1)} a = \frac{F}{m} \propto F \rightarrow \text{3 倍}$$

$$\text{■(2)} a \propto \frac{1}{m} \rightarrow \frac{1}{3} \text{ 倍}$$

力に比例、質量に反比例。運動方程式そのものの意味。

$$\text{答 (1) 3倍 (2) 1/3 倍}$$

## 設定 2 あらい水平面上で、力を加える

### 2-1 N を先に出す

$$\text{■(1) 鉛直つり合い} \quad N = mg \rightarrow f' = \mu' mg$$

$$\text{■(2)} ma = F - \mu' mg \rightarrow a = \frac{F}{m} - \mu' g$$

$$\text{答 (1)} N = mg, f' = \mu' mg \quad \text{(2)} a = \frac{F}{m} - \mu' g$$

**2-2**  $a = 0$  にする

■一定の速さ=加速度 0 なので、力が釣り合う

$$F = \mu' mg$$

「等速」と書いてあったら  $a = 0$  と読み替えるのがこの設定の要点。

答  $F = \mu' mg$

**2-3**  $a = -\mu' g$ 

■(1) 水平にはたらくのは摩擦力だけ

$$ma = -\mu' mg \rightarrow a = -\mu' g \text{ (大きさ } \mu' g、\text{ 質量によらない)}$$

■(2) 時間が要らないので  $v^2 - v_0^2 = 2ax$

$$0 - v_0^2 = -2\mu' g d \rightarrow d = \frac{v_0^2}{2\mu' g}$$

答 (1)  $\mu' g$  (2)  $d = \frac{v_0^2}{2\mu' g}$

**2-4**  $N$  が変わる

■(1) 鉛直つり合い  $N = mg - F \sin \theta$

■(2) 水平方向  $ma = F \cos \theta - \mu' N = F \cos \theta - \mu' (mg - F \sin \theta)$

$$a = \frac{F(\cos \theta + \mu' \sin \theta) - \mu' mg}{m}$$

■(3) 斜めにすると水平成分は減るが、同時に  $N$  が減って摩擦力も減る。

後者が勝つ角度では、真横に引くより加速度が大きくなる。

答 (1)  $N = mg - F \sin \theta$  (2)  $a = \frac{F(\cos \theta + \mu' \sin \theta) - \mu' mg}{m}$  (3) 垂直抗力が減り摩擦も減るから

**2-5**  $N$  が増える場合

■(1) 今度は  $F$  の鉛直成分が押しつける向き

$$N = mg + F \sin \theta$$

■(2)  $ma = F \cos \theta - \mu' (mg + F \sin \theta)$

$$a = \frac{F(\cos \theta - \mu' \sin \theta) - \mu' mg}{m}$$

押すと摩擦が増えて損。前問と符号が1か所ずつ違うだけ。

重い荷物は「押す」より「引く」ほうが動かしやすいのはこのため。

答 (1)  $N = mg + F \sin \theta$  (2)  $a = \frac{F(\cos \theta - \mu' \sin \theta) - \mu' mg}{m}$

### 設定 3 なめらかな斜面を滑る

#### 3-1 2方向に分ける

■(1)  $ma = mg \sin \theta \rightarrow a = g \sin \theta$

■(2)  $N = mg \cos \theta$

答 (1)  $a = g \sin \theta$  (2)  $N = mg \cos \theta$

#### 3-2 等加速度につなぐ

■加速度は  $a = g \sin \theta$ 。これを等加速度の公式に入れる。

■(1) 時間が要らないので  $v^2 = 2aL$

$$v = \sqrt{2gL \sin \theta}$$

■(2)  $L = \frac{1}{2}at^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2L}{g \sin \theta}}$

答 (1)  $\sqrt{2gL \sin \theta}$  (2)  $\sqrt{\frac{2L}{g \sin \theta}}$

#### 3-3 高さと斜面長さの関係

■(1)  $L = \frac{h}{\sin \theta}$

■(2)  $v = \sqrt{2gL \sin \theta} = \sqrt{2g \cdot \frac{h}{\sin \theta} \cdot \sin \theta} = \sqrt{2gh}$

■(3) よらない。 $\sin \theta$  が約分で消える。

高さが同じなら、斜面の角度によらず同じ速さになる（エネルギー保存と同じ結論）。

答 (1)  $\frac{h}{\sin \theta}$  (2)  $\sqrt{2gh}$  (3) よらない

#### 3-4 向きを変えても式は同じ

■(1) 大きさ  $g \sin \theta$ 、向きは斜面下向き（上っている間も同じ）。

■(2) 最高点は速さ 0。斜面上向きを正として  $v^2 - v_0^2 = 2ax$

$$0 - v_0^2 = -2g \sin \theta \cdot L \rightarrow L = \frac{v_0^2}{2g \sin \theta}$$

鉛直投げ上げで  $g$  が  $g \sin \theta$  に変わっただけ。

答 (1) 大きさ  $g \sin \theta$ ・斜面下向き (2)  $L = \frac{v_0^2}{2g \sin \theta}$

### 3-5 $\theta$ を動かす

■(1)  $a = g \sin \theta \rightarrow 0$ 、 $N = mg \cos \theta \rightarrow mg$

水平面に置いた状態。動かず、面が全体重を支える。

■(2)  $a \rightarrow g$ 、 $N \rightarrow 0$

垂直な壁に沿った自由落下。面から力を受けなくなる。

両端を入れて確かめると、式の意味が腑に落ちる。

答 (1)  $a \rightarrow 0$ 、 $N \rightarrow mg$  (水平面) (2)  $a \rightarrow g$ 、 $N \rightarrow 0$  (自由落下)

## 設定 4 あらい斜面を滑る

### 4-1 摩擦は斜面上向き

■(1)  $N = mg \cos \theta$  なので  $f' = \mu' mg \cos \theta$ 。

向きは運動と逆なので斜面上向き。

■(2)  $ma = mg \sin \theta - \mu' mg \cos \theta$

$$a = g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)$$

答 (1)  $\mu' mg \cos \theta$ ・斜面上向き (2)  $a = g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)$

### 4-2 摩擦は斜面下向き

■(1) 運動と逆なので斜面下向き。

■(2) 重力の成分も摩擦もどちらも斜面下向きなので足し算

$$a = g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)$$

■(3) 上るとき。2つの力が同じ向きに効くため。

だから上りは早く止まり、下りはゆっくり加速する。

答 (1) 斜面下向き (2)  $g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)$  (3) 上るとき

### 4-3 $a = 0$ の条件

■(1) 等速なので  $a = 0$

$$g(\sin \theta - \mu' \cos \theta) = 0 \rightarrow \mu' = \tan \theta$$

■(2) よらない。式に  $m$  が入っていない。

この角度は摩擦角と呼ばれ、静止摩擦の限界角と同じ形をしている。

答 (1)  $\mu' = \tan \theta$  (2) よらない

#### 4-4 加速度を出してから

■加速度の大きさは  $a = g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)$  (減速)

時間が要らないので  $v^2 - v_0^2 = 2ax$

$$0 - v_0^2 = -2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)L$$

$$L = \frac{v_0^2}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$$

答  $L = \frac{v_0^2}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$

#### 4-5 2区間で符号が変わる

■(1) 違う。上り  $g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)$ 、下り  $g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)$ 。

■(2) 上った距離は  $L = \frac{v_0^2}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$

下りの加速度  $a' = g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)$  で同じ距離  $L$  を滑るので

$$v^2 = 2a'L = v_0^2 \cdot \frac{\sin \theta - \mu' \cos \theta}{\sin \theta + \mu' \cos \theta}$$

$$v = v_0 \sqrt{\frac{\sin \theta - \mu' \cos \theta}{\sin \theta + \mu' \cos \theta}}$$

■(3) 根号の中が 1 より小さいので  $v_0$  より小さい。

往復のあいだ摩擦で失われ続けるため。

答 (1) 違う (2)  $v_0 \sqrt{\frac{\sin \theta - \mu' \cos \theta}{\sin \theta + \mu' \cos \theta}}$  (3) 小さい

### 設定 5 加速する箱の中 (エレベーター)

5-1  $N = m(g + a)$

■上向きを正として運動方程式

$$ma = N - mg \rightarrow N = m(g + a)$$

つり合いではないことに注意 (加速しているので)。

答  $N = m(g + a)$

### 5-2 a を負にする

■(1) 上向きを正とすると加速度は  $-a$

$$N = m(g - a)$$

■(2)  $N = 0$ 。

エレベーターが自由落下している状態で、人は床を押していない（無重量状態）。

重力がなくなったわけではなく、床と人が同じ加速度で落ちているだけ。

答 (1)  $N = m(g - a)$  (2)  $N = 0$  (自由落下・無重量状態)

### 5-3 a=0 ならつり合い

■(1) 一定の速さ＝加速度 0

$$N = mg$$

■(2) 変わらない。効くのは加速度であって速度ではない。

エレベーターが動いていること自体は関係ない。

答 (1)  $N = mg$  (2) 変わらない

### 5-4 糸の張力でも同じ

■(1) 台ばかりの場合とまったく同じ形

$$ma = T - mg \rightarrow T = m(g + a)$$

■(2) 上向き加速のとき。T が  $mg$  より大きくなるから。

エレベーターが上昇し始める瞬間がもっとも危ない。

答 (1)  $T = m(g + a)$  (2) 上向きに加速するとき

### 5-5 読みから加速度を出す

$$\text{■(1) } N = m(g + a) \rightarrow a = \frac{N}{m} - g = \frac{N - mg}{m}$$

■(2)  $N < mg$  なら  $a < 0$  なので 下向き。

(減速しながら上昇している場合もこれにあたる。)

答 (1)  $a = \frac{N - mg}{m}$  (2) 下向き

## 設定 6 糸で吊るして、斜めに傾けて静止させる

### 6-1 2方向のつり合い

■鉛直： $T \cos \theta = mg \rightarrow T = \frac{mg}{\cos \theta}$

■水平： $T \sin \theta = F \rightarrow F = mg \tan \theta$

答 (1)  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$  (2)  $F = mg \tan \theta$

### 6-2 割って T を消す

■(1) 2式を辺々割ると  $T$  が消える

$$\tan \theta = \frac{F}{mg}$$

■(2)  $\tan \theta = 1 \rightarrow \theta = 45^\circ$

水平の力が重さと等しいとき、ちょうど  $45^\circ$  傾く。

答 (1)  $\tan \theta = \frac{F}{mg}$  (2)  $45^\circ$

### 6-3 $90^\circ$ にはならない

■(1)  $\tan \theta = \frac{F}{mg}$  が大きくなるので  $\theta$  は  $90^\circ$  に近づく。

■(2) ならない。 $\tan 90^\circ$  は定義できず、有限の  $F$  では届かない。

■(3)  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$  で  $\cos \theta \rightarrow 0$  なので 無限大に発散。

だからロープを完全に水平にピンと張ることはできない (必ずたわむ)。

答 (1)  $90^\circ$  に近づく (2) ならない ( $\tan 90^\circ$  が存在しない) (3) 無限大に大きくなる

### 6-4 3力のつり合い

■(1) 左右対称なので水平成分は打ち消し合う。鉛直成分だけ考える

$$2T \cos \theta = mg \rightarrow T = \frac{mg}{2 \cos \theta}$$

■(2)  $\cos \theta$  が小さくなるので張力は大きくなる。

2本で支えているのに、広げるほど1本あたりの負担が増える。

$\theta = 60^\circ$  で  $T = mg$  となり、1本で吊るしたのと同じ張力になってしまう。

答 (1)  $T = \frac{mg}{2 \cos \theta}$  (2) 大きくなる (広げるほど不利)

### 6-5 同じつり合いの型

■静止=つり合い。斜面方向と垂直方向に分ける。

■(1) 斜面方向： $F = mg \sin \theta$

■(2) 垂直方向： $N = mg \cos \theta$

「静止」と書いてあれば、斜面でも吊り下げでも、やることは同じ。

2方向に分けてそれぞれ和を 0 にするだけ。

答 (1)  $F = mg \sin \theta$  (2)  $N = mg \cos \theta$

## 設定 7 動き出すかどうかを調べる (静止摩擦)

7-1  $\tan \theta = \mu$

■(1) 斜面方向のつり合いから  $f = mg \sin \theta$

( $\mu mg \cos \theta$  ではない。それは上限。)

■(2)  $mg \sin \theta \leq \mu mg \cos \theta \rightarrow \tan \theta \leq \mu$

答 (1)  $f = mg \sin \theta$  (2)  $\tan \theta \leq \mu$

7-2  $F \leq \mu mg$

■(1)  $N = mg$  なので上限は  $\mu mg$

動き出す条件は  $F > \mu mg$

■(2) まだ静止しているので、摩擦力はつり合いに必要なだけ

$$f = F = \frac{\mu mg}{2}$$

答 (1)  $F > \mu mg$  (2)  $f = \frac{\mu mg}{2}$  (加えた力に等しい)

7-3 N が変わる

■(1)  $N = mg - F \sin \alpha$

■(2)  $F \cos \alpha > \mu N = \mu(mg - F \sin \alpha)$

$$F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) > \mu mg$$

$$F > \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$$

$N$  が  $F$  を含むので、移項してまとめるのがこの問題の山。

答 (1)  $N = mg - F \sin \alpha$  (2)  $F > \frac{\mu mg}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha}$

#### 7-4 上の物体を動かす力は摩擦

■(1)  $a = \frac{F}{M+m}$

■(2) 上の物体にはたらく水平の力は板からの静止摩擦力だけ

$$f = ma = \frac{mF}{M+m}$$

■(3)  $f \leq \mu mg$  より

$$\frac{mF}{M+m} \leq \mu mg \rightarrow F \leq \mu(M+m)g$$

破れると上の物体だけ取り残される。

答 (1)  $\frac{F}{M+m}$  (2) 静止摩擦力  $\cdot \frac{mF}{M+m}$  (3)  $F \leq \mu(M+m)g$

#### 7-5 必要に応じて向きも変わる

■(1) ずり落ちるのを妨げるので斜面上向き、大きさ  $mg \sin \theta$ 。

■(2) 動かそうとする向きと逆になるので斜面下向きに変わる。

静止摩擦力は向きも大きさも状況で変わる。

■(3) 斜面上向きに動き出す条件は

$$F > mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$$

重力の成分と摩擦の両方に打ち勝つ必要がある。

答 (1) 斜面上向き (2) 斜面下向きに変わる (3)  $F > mg(\sin \theta + \mu \cos \theta)$