

# 力の図と運動方程式

## 1 導入

この講義で最重要なのは、運動方程式を立式する前に、対象を1物体に固定して自由体図を作成することが必須であるという点だ。

式を先に記述しようとすると、どの力がどの物体に作用しているかが曖昧になり、誤答の原因となる。自由体図の作成から立式までの手順を確立することで、力学の計算ミスを防止できる。

## 2 用語と定義

自由体図とは、ある1個の物体だけを取り出し、その物体に作用する力のみを矢印で図示した図である。運動方程式とは、

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}$$

質量  $m$  [kg; M]、加速度  $\vec{a}$  [ $m \cdot s^{-2}$ ]、合力  $\sum \vec{F}$  [N;  $MLT^{-2}$ ] の関係式である。

垂直抗力とは、接触面が物体を面に垂直な方向に押し返す力である。

張力とは、糸や棒が引く力である。

摩擦力とは、接触面に沿って運動を妨げる方向に作用する力である。

## 3 方針

力学の問題に対する基本手順は次のとおりである。

1. 対象の設定：複数の物体がある場合、まず「いずれの物体について立式するか」を決定する。
2. 自由体図の作成：対象物体に作用するすべての力を矢印で図示する。
3. 座標軸の設定：運動方向または変位の方向に沿って軸を設定する。
4. 立式：軸方向ごとに運動方程式を組み立てる。

## 4 直感的な説明

自由体図は、「いまこの物体には何が作用しているか」を可視化する道具である。この可視化が不十分なまま式を記述すると、重力と垂直抗力の混同、作用・反作用の誤った同一視、座標の方向不一致といった誤りが発生する。

作用・反作用に関する注意：物体Aが物体Bに及ぼす力と、BがAに及ぼす力は、大きさが等しく向きが反対だが、異なる物体に作用している。したがって、1物体の自由体図に両方を記入してはならない。

## 5 厳密な説明

### 5.1 1. 対象の固定

運動方程式  $m\vec{a} = \sum \vec{F}$  は、特定の1物体に対して成立する関係式である。複数の物体からなる系では、各物体について独立に立式する必要がある。

### 5.2 2. 自由体図の作成手順

対象物体を点または矩形で表し、以下の力を図示する。

- 重力：鉛直下向きに  $mg$  [N;  $MLT^{-2}$ ]
  - 垂直抗力：接触面に垂直かつ物体から離れる方向に  $N$  [N;  $MLT^{-2}$ ]
  - 張力：糸の延長方向に  $T$  [N;  $MLT^{-2}$ ]
  - 摩擦力：運動（または運動の傾向）と反対方向に  $f$  [N;  $MLT^{-2}$ ]
- 物体の運動の向きを力として図示することは誤りである。慣性力（非慣性系のみ登場）と実在の力とを混同しないよう注意する。

### 5.3 3. 座標軸の設定と立式

水平方向を  $x$  軸、鉛直方向を  $y$  軸に設定するなら

$$ma_x = \sum F_x, \quad ma_y = \sum F_y$$

と分解して立式する。運動しない方向では  $a = 0$  となるため、釣り合いの式

$$\sum F = 0$$

が成立する。

#### 5.3.1 具体例：斜面上の物体

傾斜角  $\theta$  の斜面上で質量  $m$  の物体が滑落する場合、斜面方向（下向きを正）と斜面に垂直な方向に座標

を設定すると、

斜面方向： $ma = mg \sin \theta$

垂直方向： $N - mg \cos \theta = 0$

を得る。斜面に沿った軸を選択することで、重力の分解が一度で完了し、垂直抗力が垂直方向に現れることが確認できる。

## 6 見分け方

- 複数の力が登場する問題では、まず自由体図を作成する。
- 斜面や糸が登場する場合、座標軸を運動方向に合わせると立式が簡便になる。
- 運動しない方向が存在する場合、その方向では  $a = 0$  として釣り合いの式を適用する。

- 作用・反作用で混乱した場合は、「いずれの物体について立式しているか」に立ち返る。

## 7 どこまで成り立つか

$m\vec{a} = \sum \vec{F}$  は慣性系においてのみ成立する。加速する乗り物の内部(非慣性系)では慣性力を追加する必要があるが、高校物理では通常、地面に固定した座標系(慣性系)を使用するため、この点は問題にならない。

## 8 最終形

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}$$

座標成分ごとに

$$ma_x = \sum F_x, \quad ma_y = \sum F_y$$

## 9 一言でいうと

運動方程式は、自由体図で対象と力を確定してから立式する関係式である。

## 10 関連リンク

→ [講義](#) [物理基礎ポータル](#) [lecture](#) [physics](#) [foundation](#)  
<https://study.bem130.com/lecture/physics/foundation/物理基礎ポータル-講義/>

→ [講義](#) [力のつり合いと運動の法則](#) [lecture](#) [physics](#) [mechanics](#)  
<https://study.bem130.com/lecture/physics/mechanics/力のつり合いと運動の法則-講義/>