

【物理基礎 No.7】 力を表現する数式（第2章：運動の法則）

□ **力** の定義（復習） ※ベクトル量（大きさと向きを持つ）



①

原因 となるもの

※ニュートンは自著において、8つの定義を土台として運動の法則を定式化した。

（定義1～4）力学の基礎となる4つの基本量

→「物理基礎」でこれから学習

（定義5～8）天体運動を解き明かすための「向心力」

→上位科目「物理」で学習

□ 力学の基礎となる4つの基本量

定義1：物質の量（ / *Quantitas materiae*）

物質の量とは、その密度と大きさ（体積）に比例して生じる、物質の測度である。

【質量】 → （慣性）質量 は、密度と体積の積で表現すると定めた。



$m[\text{kg}]$: 質量、 $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$: 密度、 $V[\text{m}^3]$: 体積

注1：デカルトは、物質の本質は「空間的な広がり」であり、彼にとって「物質の量（現代でいう質量のようなもの）」は「体積」そのものであると主張していた。 **デカルト物理学への挑戦と「物質」の再定義**

注2：後年、アインシュタインによって、重力質量と慣性質量は数学的に等しいものであることが証明されたため、今後、重力質量と慣性質量を区別せずに用いることとする。

定義2:運動の量 (/ Quantitas motus)

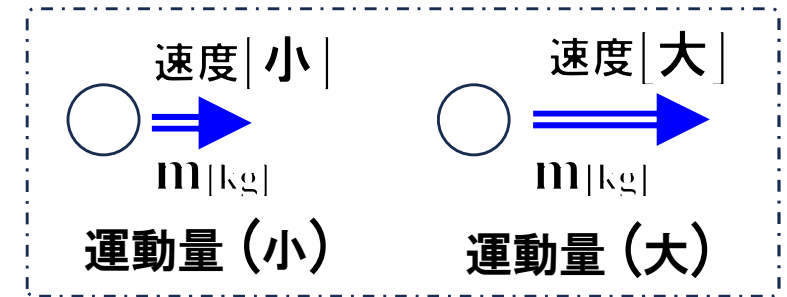
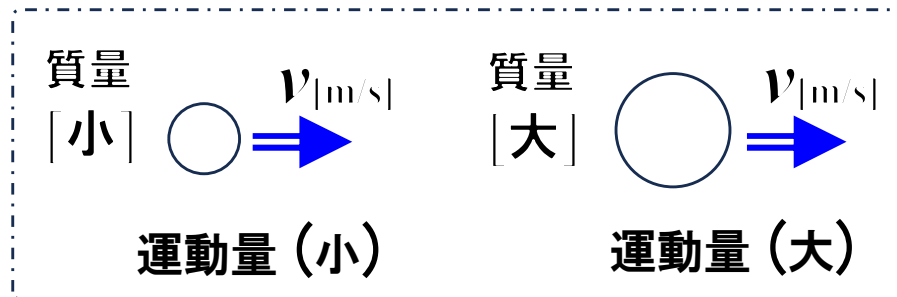
運動の量とは、その速度と物質の量に比例して生じる、運動の測度である。



→ 物体の運動の激しさや規模(運動状態)を「運動の量 (Quantitas motus)」と名付け、それを「質量と速度の掛け算」として厳密に定義した。

$P[\text{kg}\cdot\text{m/s}]$:運動量、 $m[\text{kg}]$:質量、 $v[\text{m/s}]$:速度

注3:運動量は、上位科目「物理」の範囲



定義3:物質に内在する力 (/ Vis insita)

「物質に内在する力(抵抗力)とは、すべての物体が静止、あるいは直線上を一様に運動する現在の状態を、自らの能力の及ぶ限り維持しようとする力である。」
→ 慣性とは、物体が外部から作用を受けない限り、自発的に運動状態を変えることはないという性質である。

定義4:加えられた力 (/ Vis impressa)

「加えられた力とは、物体の静止している状態、あるいは直線上を一様に運動している状態を変化させるために、その物体に対して行われる作用である。」

※ニュートンは、定義1～4を基に力を次のような手順で数式化した。

"Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae,
et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur."
(運動の変化は加えられた力に比例し、その力が加えられた直線方向に生じる)

力：物体の『運動状態』を変える 原因となるもの

↓
物体の運動状態を『質量 m ×速度 v 』と表現
→ 運動量 を新たな物理量として定義

※ニュートンは 慣性質量 m を使って
『運動の起こり難さ』を数値化した。

運動状態(運動量)が
変化するのは・・・??

↓
物体に力を加えた時に、質量が変化することはない。
→ 運動状態が変化した時に変わるのは『速度』。

(力を加えたとき) その時間の経過とともに速度が
変化・・・→ 『 』で表現できる。

(=単位時間あたりの速度変化)

↑これが力

↓
これより、運動状態を変化させるものとして
力 F を 質量 m ×加速度 a で表現できる とした。

<< 運動方程式 >>

👉 後年、 $1[\text{kg}]$ の物体に $1[\text{m/s}^2]$ の加速度を生じさせる力の大きさを $1[\text{N}]$ と定められた。

【和訳】質量 m の物体に、加速度 a を生じさせるのは、力の合力は F である。

□ 運動方程式の使用上の注意

(例1) 上向きに加速しながら上昇する物体

①: 座標軸(正の向き)を指定する。

(基本的には、物体の運動方向を正の向きとする。)

②: $F[\text{N}]$ は力の合力を表している。

③: 運動方程式は『因果関係』

(原因と結果)を表す式である。

※運動方程式は、

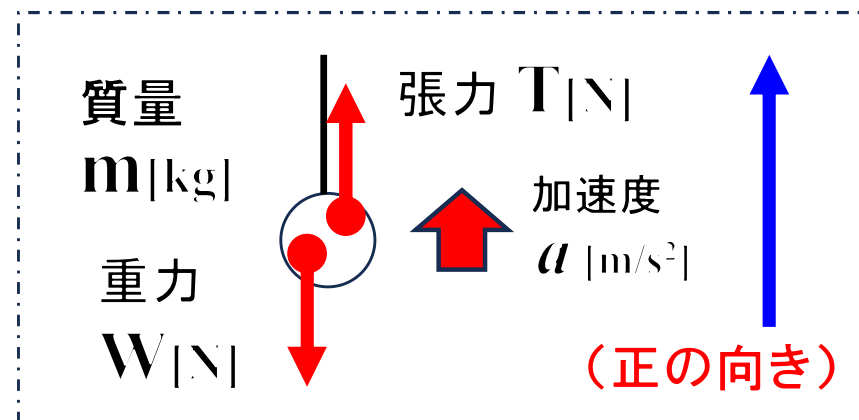
となる。

※例1は、質量 m の物体に、加速度 a が生じたのは【結果】、
力の合力 $T - W$ が作用したから【原因】 という式になる。

→ $ma + W = T$ は数量的には正しい式だが、
運動方程式としては不適切な表現である。

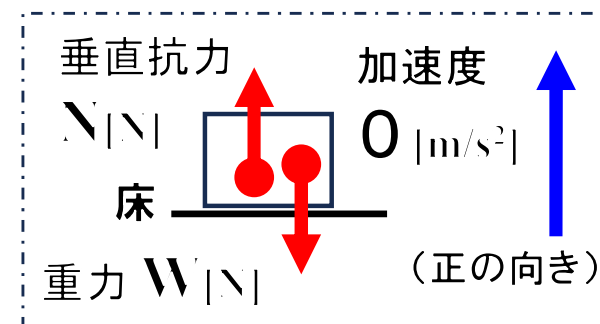
④: $a = 0[\text{m/s}^2]$ の時は力のつり合いの式を表す。

※例2の運動方程式は、 $m \times 0 = N - W$ となるが、これは力がつり合いの式に一致する。



右辺は力の合力

(例2) 床上の物体



【物理基礎 No.7】 力を表現する数式（第2章：運動の法則）

□ **力** の定義（復習） ※ベクトル量（大きさと向きを持つ）

① 物体の運動状態を変える 原因 となるもの

※ニュートンは自著において、8つの定義を土台として運動の法則を定式化した。



（定義1～4）力学の基礎となる4つの基本量

→「物理基礎」でこれから学習

（定義5～8）天体運動を解き明かすための「向心力」

→上位科目「物理」で学習

□ 力学の基礎となる4つの基本量

定義1：物質の量（ / Quantitas materiae）

物質の量とは、その密度と大きさ（体積）に比例して生じる、物質の測度である。

【質量】

→（慣性）質量 は、密度と体積の積で表現すると定めた。

$$m = \rho V$$

$m[\text{kg}]$ ：質量、 $\rho[\text{kg}/\text{m}^3]$ ：密度、 $V[\text{m}^3]$ ：体積

注1：デカルトは、物質の本質は「空間的な広がり」であり、彼にとって「物質の量（現代でいう質量のようなもの）」は「体積」そのものであると主張していた。 **デカルト物理学への挑戦と「物質」の再定義**

注2：後年、アインシュタインによって、重力質量と慣性質量は数学的に等しいものであることが証明されたため、今後、重力質量と慣性質量を区別せずに用いることとする。

定義2:運動の量 (/ Quantitas motus)

運動の量とは、その速度と物質の量に比例して生じる、運動の測度である。

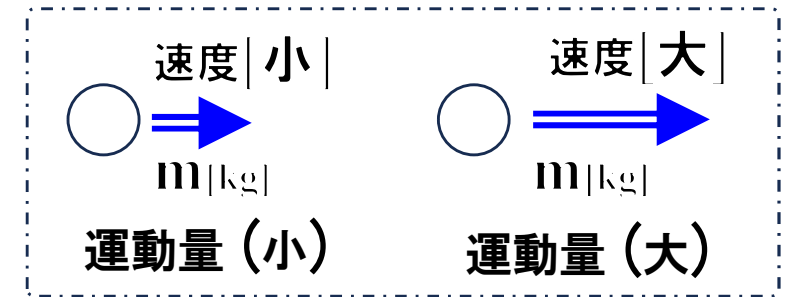
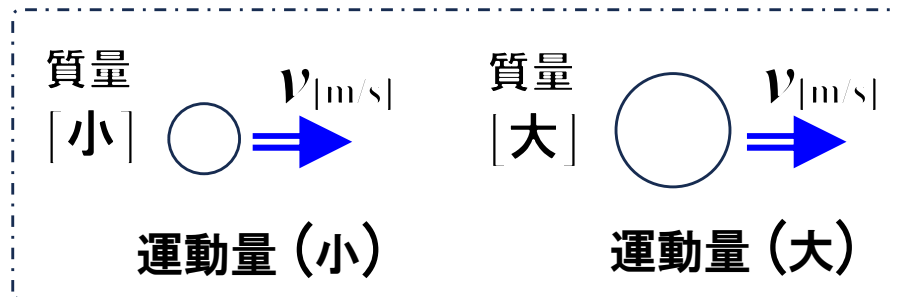
【運動量】

$$P=mv$$

→ 物体の運動の激しさや規模(運動状態)を「運動の量(Quantitas motus)」と名付け、それを「質量と速度の掛け算」として厳密に定義した。

$P[\text{kg}\cdot\text{m/s}]$:運動量、 $m[\text{kg}]$:質量、 $v[\text{m/s}]$:速度

注3:運動量は、上位科目「物理」の範囲



定義3:物質に内在する力(/ Vis insita)

「物質に内在する力(抵抗力)とは、すべての物体が静止、あるいは直線上を一様に運動する現在の状態を、自らの能力の及ぶ限り維持しようとする力である。」
→ 慣性とは、物体が外部から作用を受けない限り、自発的に運動状態を変えることはないという性質である。

定義4:加えられた力(/ Vis impressa)

「加えられた力とは、物体の静止している状態、あるいは直線上を一様に運動している状態を変化させるために、その物体に対して行われる作用である。」

※ニュートンは、定義1～4を基に力を次のような手順で数式化した。

"Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae,
et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur."
(運動の変化は加えられた力に比例し、その力が加えられた直線方向に生じる)

力：物体の『運動状態』を変える 原因となるもの

↓
物体の運動状態を『質量 m ×速度 v 』と表現
→ 運動量 を新たな物理量として定義

mv ※ニュートンは 慣性質量 m を使って
『運動の起こり難さ』を数値化した。

運動状態(運動量)が
変化するとは・・・??

↓
物体に力を加えた時に、質量が変化することはない。
→ 運動状態が変化した時に変わるのは『速度』。

ma

↑これが力

←
(力を加えたとき) その時間の経過とともに速度が
変化・・・→ 『加速度 a 』で表現できる。

(=単位時間あたりの速度変化)

↓
これより、運動状態を変化させるものとして
力 F を 質量 m ×加速度 a で表現できる とした。

<< 運動方程式 >>

$$ma = F$$

👉 後年、 $1[\text{kg}]$ の物体に $1[\text{m/s}^2]$ の加速度を生じさせる力の大きさを $1[\text{N}]$ と定められた。

【和訳】質量 m の物体に、加速度 a を生じさせるのは、力の合力は F である。

□ 運動方程式の使用上の注意

(例1) 上向きに加速しながら上昇する物体

①: 座標軸(正の向き)を指定する。

(基本的には、物体の運動方向を正の向きとする。)

②: $F[\text{N}]$ は力の合力を表している。

③: 運動方程式は『因果関係』

(原因と結果)を表す式である。

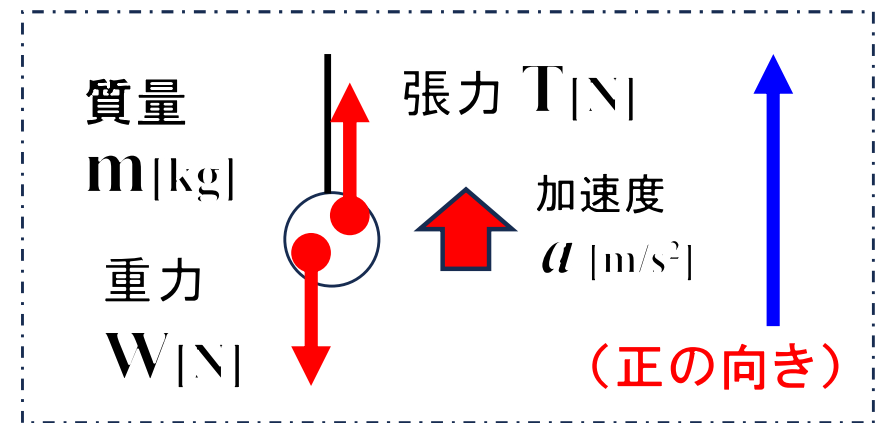
※ 運動方程式は、 $ma = T - W$ となる。
右辺は力の合力

※ 例1は、質量 m の物体に、加速度 a が生じたのは【結果】、
力の合力 $T - W$ が作用したから【原因】 という式になる。

→ $ma + W = T$ は数量的には正しい式だが、
運動方程式としては不適切な表現である。

④: $a = 0[\text{m/s}^2]$ の時は力のつり合いの式を表す。

※ 例2の運動方程式は、 $m \times 0 = N - W$ となるが、これは力がつり合いの式に一致する。



(例2) 床上の物体

