

ニュートンの運動法則

ガリレオ、ケプラー、ホイヘンスらの業績の積み重ねの上に、ニュートンが見出した慣性系における運動法則は次の3法則に表現される。

第一法則（慣性の法則）

外的な力が加わらない限り、物体は静止或いは等速直線運動を続ける。

第二法則（運動法則）

物体の加速度は、加えた力に比例し、その質量に反比例する。

第三法則（作用・反作用の法則）

2物体が互いに力を及ぼし合う時には同一直線上で互いに逆向き・同一の大きさの力が働く。

これらの三法則は、次の運動方程式に要約される。

$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}, \quad m\mathbf{a} = m \frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{F}, \quad (1)$$

ここで、 \mathbf{a} は加速度 [m/s^2]、 \mathbf{F} は力 [$\text{N}=\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$]、 m は慣性質量 [kg]、 $\mathbf{P}=m\mathbf{v}$ は運動量 [$\text{kg}\cdot\text{m/s}$] と呼ばれる。第一法則のように、外力が加わらない場合は、

$$m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = 0, \quad \int \frac{d\mathbf{v}}{dt} dt = \int d\mathbf{v} = \mathbf{v} = \text{const.}$$

となり、「第一法則：外力がないときには速度はゼロまたは一定値を取る」を再現する。しかし、従来の常識であった、力が働いていないと運動が保たれない、ことが正しくないことを明確に示すと同時に、運動の本性の重要な性質であることを考えると、第一の法則としての重要性が認められる。

運動量保存則

2つの物体が、衝突して、限られた時間 Δt だけ互いに力を及ぼし合う以外に外的な力が加わらない場合を考えよう。2物体の間には、互いの衝突によって及ぼし合う \mathbf{F}_{12} （1から2に及ぼす力）、 \mathbf{F}_{21} （2から1に及ぼす力）（内力）以外の、外部

から働く力（外力）が働かないとしよう。衝突前後のそれぞれの物体の運動量を \mathbf{P}_1 、 \mathbf{P}_2 、および \mathbf{P}'_1 、 \mathbf{P}'_2 とすると、衝突の前後で外力が働かない時には、全運動量 $\mathbf{P}=\mathbf{P}_1+\mathbf{P}_2$ は第三法則

（作用反作用、常に $\mathbf{F}_{12}=-\mathbf{F}_{21}$ が成り立ち、衝突している間だけゼロでなくなる）を使い、

$$\frac{d\mathbf{P}_1}{dt} + \frac{d\mathbf{P}_2}{dt} = \frac{d(\mathbf{P}_1+\mathbf{P}_2)}{dt} = \frac{d\mathbf{P}}{dt} = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{21} = 0, \quad \therefore \mathbf{P} = \mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 = \mathbf{P}'_1 + \mathbf{P}'_2 = \text{const.} \quad (2)$$

と書ける。この関係は、粒子数が増えなくても、外力が働かない限り運動方程式(1)式と作用反作用の法則により成り立つことが保証され、運動量保存則と呼ばれる。とても有用な法則であることは、ジャンボジェット機が空に浮く理由やジェットエンジンで加速できる理由が説明できることから分かる。

