

【物理基礎 No.10】運動の3法則と力学の問題解法（第2章：運動の法則）

※ニュートンは運動の3法則と万有引力の法則を確立し、「天上界」の天体の運動と「地上界」の物体の運動を、同じ物理法則で統一的に説明した。

□ 運動の3法則について

※万有引力の法則については
上位科目「物理」で学習する。

【運動の第1法則】慣性の法則

物体がいつまでも静止、もしくは等速直線運動を続ける場合、外部から力を受けないか、力がつり合っている。

【運動の第2法則】運動方程式 $ma = F$

質量 m の物体に加速度 a を生じさせるのは、合力は F である。
(物体の運動状態の変化は、物体にはたらく力の合力によってもたらされる。)

【運動の第3法則】作用・反作用の法則

物体Aから物体Bに力がはたらくとき（作用）
同一作用線で、大きさが等しい力が
物体Bから物体Aにはたらいっている（反作用）



ハレー彗星の帰還(1758年)

ハレー彗星の回帰とニュートン力学の証明:ハレーの予言

1. 背景:ニュートンとの協力

ハレーは『プリンキピア』の出版を支援。ハレーはニュートンの万有引力(Universal Gravitation)が彗星に適用できると考えた。

引力は彗星にも働くはず!



2. 膨大な過去データの整理

ハレーは、1531年、1607年、1682年の彗星軌道の類似性を発見。

これは同じ天体だ!



3. 「予言」の発表

ハレーは、同じ彗星が1758年に戻ってくると予言。もし外れれば、ニュートン力学への信頼が失われる。



3. 「予言」の発表

彗星天文学要論

予言:1758年に帰還



4. 1758年のドラマと「証明」

ドイツの天文学者バリチュが予言通りに彗星を発見。ニュートン力学が証明された。

ハレー彗星



天体の動きを数学と物理学で完全に予測

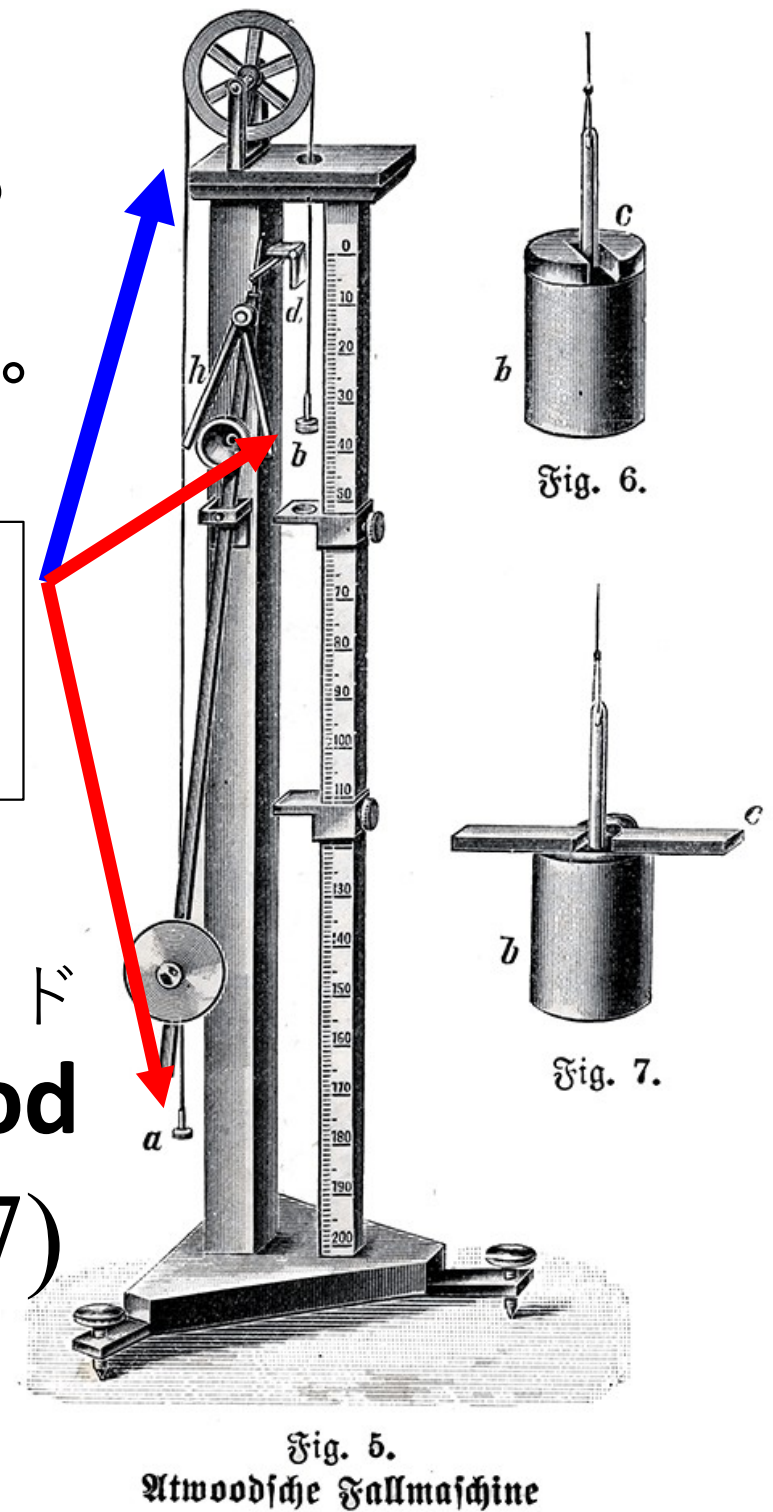
アトウッドの装置（1784年）

物体がゆっくりと等加速度直線運動をするため、座標軸から定まる変位と時間の関係を人間の手と目で正確に測定・記録できる。

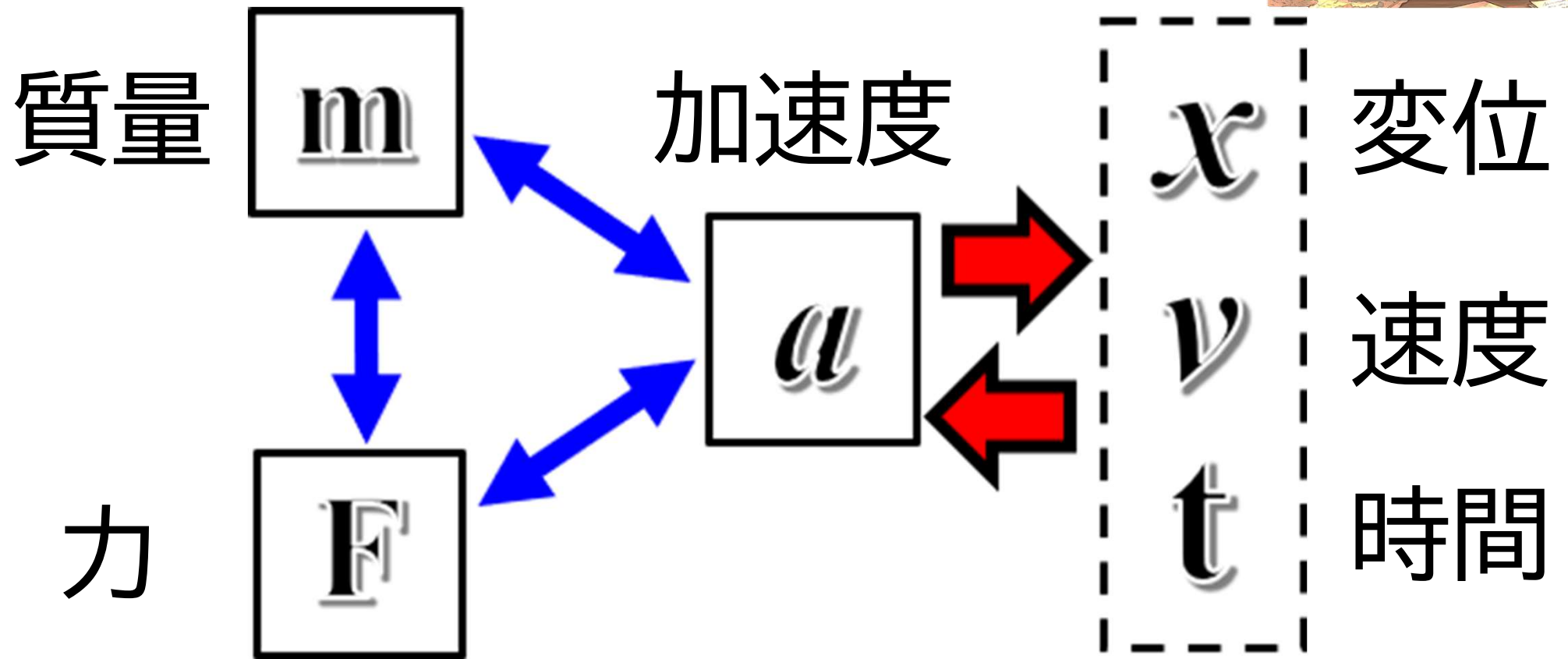
2つのおもりと定滑車を利用し加速度を調整

ジョージ・アトウッド
George Atwood
英(1745-1807)

初学者や学生に対して法則の正しさを視覚的・体感的に理解させた。



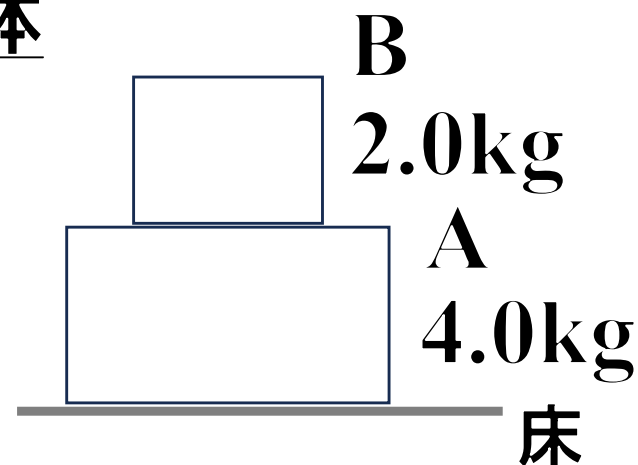
それぞれの物理量の関係性について



👉 加速度は、「変位・速度・時間」と「質量・力」との関係を結ぶ

【例題】 エレベーターの中を上昇する物体

図のように、質量 4.0kg の物体Aの上に質量 2.0kg の物体Bをのせて、エレベーターで上階へ運んでいる。



※ エレベーターが 1.0m/s の**一定の速度**で上昇しているとき。

- (1) 物体Aが物体Bから受ける力の大きさを求めよ。
- (2) 物体Aが床から受ける力の大きさを求めよ。
- (3) 3秒後にエレベーターが上昇した高さを求めよ。

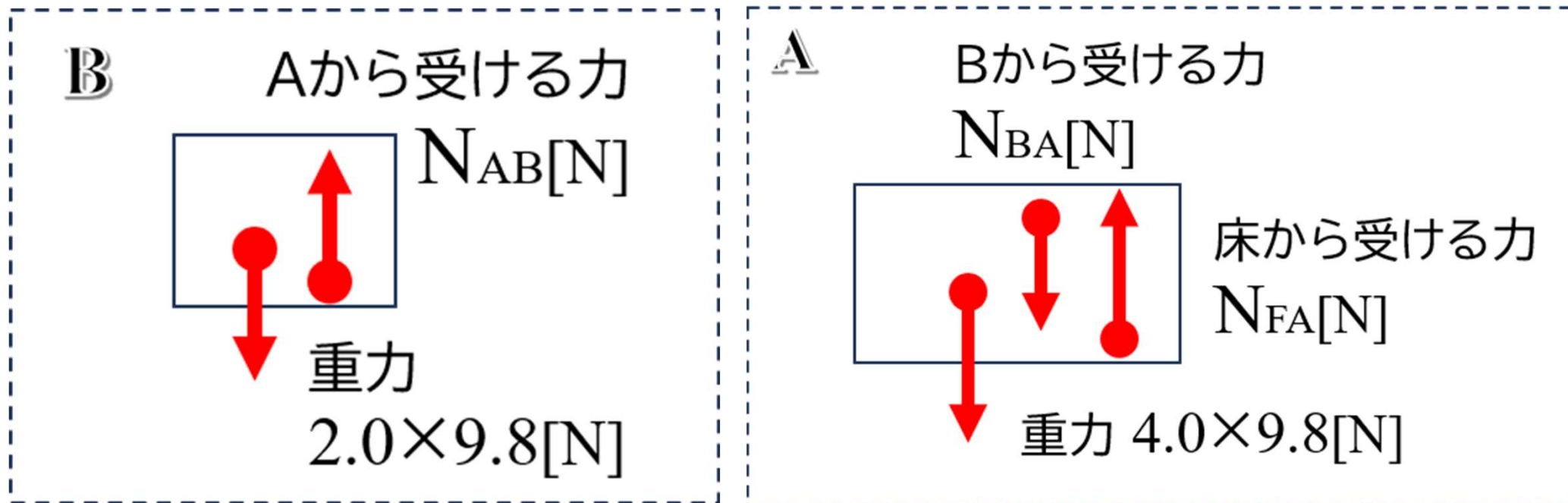
👉 **一定の速度で上昇**

→ 「**等速直線運動**」 → 第1法則
(力のつり合いの式)

解答

物体A、Bにはたらく力を整理する。

【復習】力の作図手順：① 遠隔力(重力) ② 接触点 ③ 接触力



Bについて力のつり合いの関係から、 $N_{AB} = 2.0 \times 9.8 \dots (\text{i})$

A,Bについて、作用・反作用の関係から、 $N_{AB} = N_{BA} \dots (\text{ii})$

(i),(ii)式より、 $N_{BA} = N_{AB} = 19.6 \doteq 20 [\text{N}] \leftarrow (1) \text{ 答}$

解答

Bについて力のつり合いの関係から、 $N_{AB} = 2.0 \times 9.8 \dots (i)$

A,Bについて、作用・反作用の関係から、 $N_{AB} = N_{BA} \dots (ii)$

(i),(ii)式より、 $N_{BA} = N_{AB} = 19.6 \doteq 20 \text{ [N]}$ $\leftarrow (1) \text{ 答}$

Aについて力のつり合いの関係から、

(2) 答



$$N_{FA} = N_{BA} + 4.0 \times 9.8 = 58.8 \doteq 59 \text{ [N]}$$

解答

Bについて力のつり合いの関係から、 $N_{AB} = 2.0 \times 9.8 \dots (i)$

A,Bについて、作用・反作用の関係から、 $N_{AB} = N_{BA} \dots (ii)$

(i),(ii)式より、 $N_{BA} = N_{AB} = 19.6 \doteq 20 \text{ [N]}$ $\Leftarrow$ (1) 答

Aについて力のつり合いの関係から、

(2) 答



$$N_{FA} = N_{BA} + 4.0 \times 9.8 = 58.8 \doteq 59 \text{ [N]}$$

上昇した高さは、 $x = vt$ より、

$$\underline{x = 1.0 \times 3.0 = 3.0 \text{ [m]}} \Leftarrow (3) \text{ 答}$$

※ エレベーターが 1.0m/s^2 の一定の加速度で上昇し始めたとき。

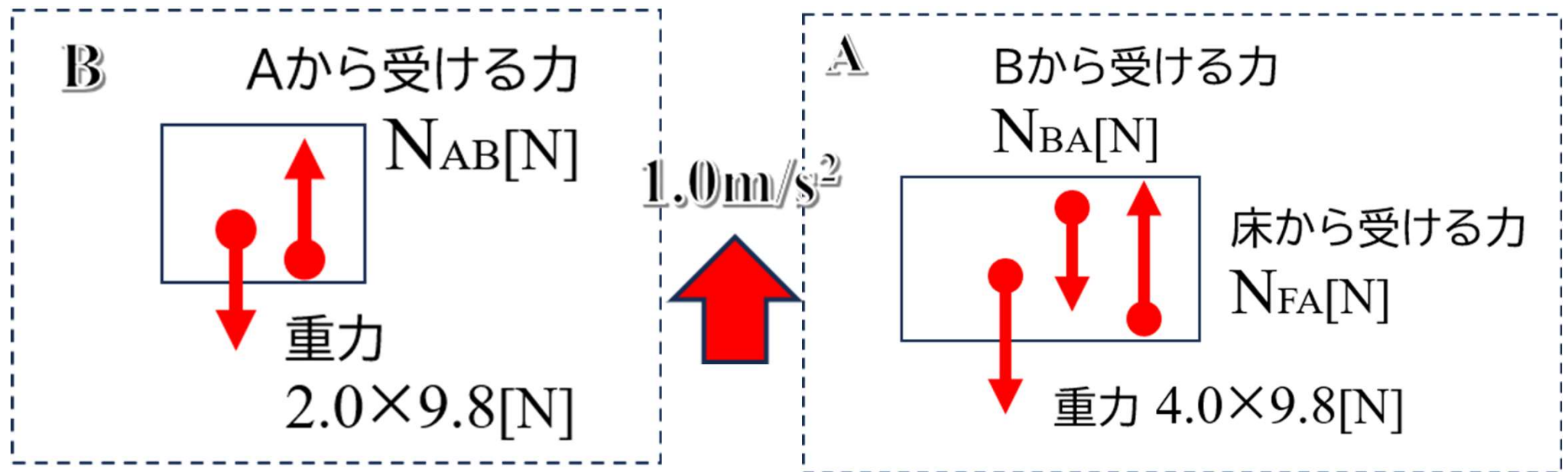
(4) 物体Aが物体Bから受ける力の大きさを求めよ。

(5) 物体Aが床から受ける力の大きさを求めよ。

(6) 3秒後にエレベーターが上昇した高さを求めよ。

 **一定の加速度で上昇** (運動方程式)

→ **「等加速度運動」** → **第2法則**



解答

上向きを正の向きとする。

Bについて、運動方程式は、

$$2.0 \times 1.0 = N_{AB} - 2.0 \times 9.8 \quad \dots(\text{iii})$$

Aについて、運動方程式は、

$$4.0 \times 1.0 = N_{FA} - N_{BA} - 4.0 \times 9.8 \quad \dots(\text{iv})$$

解答

上向きを正の向きとする。

Bについて、運動方程式は、

$$2.0 \times 1.0 = N_{AB} - 2.0 \times 9.8 \quad \dots(\text{iii})$$

Aについて、運動方程式は、

$$4.0 \times 1.0 = N_{FA} - N_{BA} - 4.0 \times 9.8 \quad \dots(\text{iv})$$

(iii)式より、 $N_{AB} = 21.6 \div 22[\text{N}]$ (4) 答

(ii),(iv)式より、 $N_{FA} = 64.8 \div 65[\text{N}]$ (5) 答

上昇した高さは、等加速度運動の式 $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ より、

$x = 0 \times 3.0 + \frac{1}{2} \times 1.0 \times 3.0^2 = 4.5[\text{m}]$ (6) 答