第3章 運動モデルとスポーツ

3.2 歩行・ランニング・跳躍

（1）歩行

表3.4

図3.9

成人男性：170 cm
歩行：0.5 s/歩, 5 km/s
競歩：15 km/s

遊脚相：60~65%
立脚相：35~40%
立脚相の最初/最後10%は両足着地

3.2 歩行・ラン

（1）歩行

図3.9

表3.5

図3.10

3.2 歩行・ランニング・跳躍

- 歩行中のエネルギー

単純なモデル化例

上半身

下半身

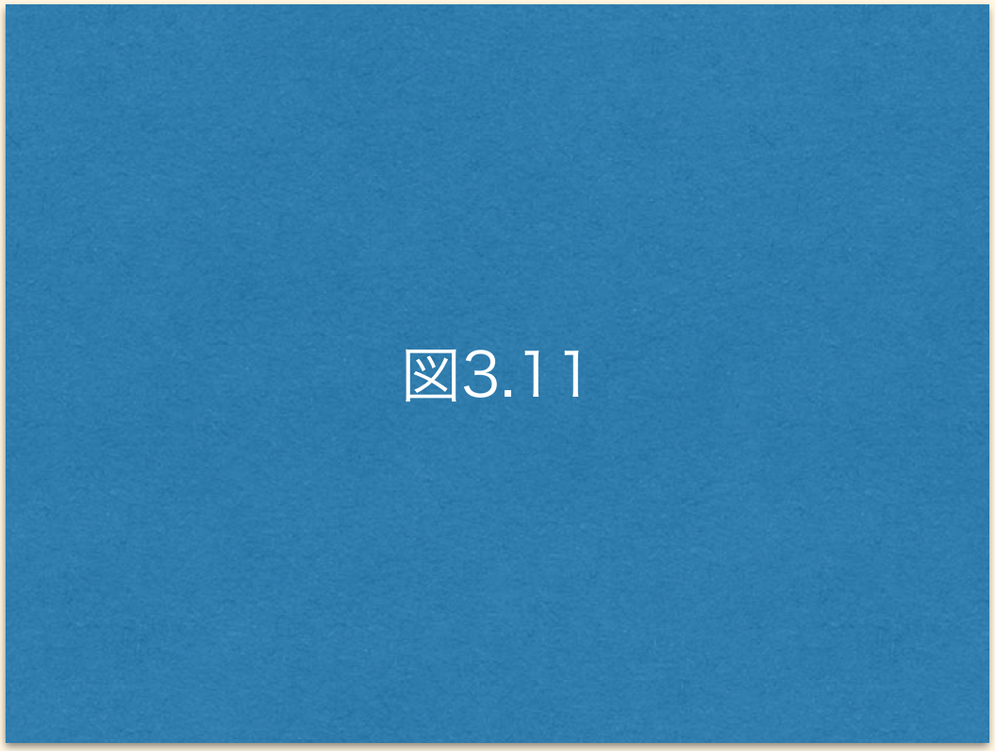
図3.9

図3.10

図3.10

3.2 歩行・ランニング・跳躍

- 歩行中のエネルギー



<上半身>

垂直方向

重心の上下動 $\Delta h = 4$ [cm]

体重 $m = 70$ [kg]

位置エネルギー変化分 $mg\Delta h = 27$ [J]

＊1[J]: 物体を1[N]の力で1[m]動かす仕事

重心位置を地上95[cm]とすると

⇒ 位置エネルギー $70 \times 9.5 \times 0.95 = 651$ [J]

水平方向

移動速度 1.41 ± 0.18 [m/s]

運動エネルギーの変化分 $\frac{1}{2}m(v_1^2 - v_2^2) = 35$ [J]

運動エネルギーの平均 $\frac{1}{2}m(v^2) = 70$ [J]

位置エネルギー変化分 27 [J] ⇔ 運動エネルギーの変化分 35 [J]

仕事効率は20~30%程度でそれ以外は代謝エネルギー，仕事の多くは無駄な動きに使われる

3.2 歩行・ランニング・跳躍

- 歩行中のエネルギー

図3.11

振り子モデル：足先に全質量

脚の長さ $l = 0.9$ [m]

周期 $T = 1.9$ [s] ⇒ 1歩 0.95 [s]

振り子モデル：剛体（棒状）

脚の長さ $l = 0.9$ [m]

質量中心位置 $d = l/2 = 0.45$ [m]

直方体の慣性モーメント $I = ml^2/3$ [m]

周期 $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{I}{mgd}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{2l}{3g}} = 1.55$ [s]

⇒ 1歩 0.78 [s]

時速1.8km, 歩幅0.4 [m] のとき1歩 0.8 [s]なので近似出来ている

3.2 歩行・ランニング・跳躍

（2）ランニング

跳ね返りボールモデル：弾性のある球

図3.12

3.2 歩行・ランニング・跳躍

（3）跳躍　垂直跳び

図3.13

エネルギー保存則で高さは分かる

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

初速v_0が分かれば $h = \dfrac{v_0^2}{2g}$

モデル：かがんでから飛び上がる間等加速度a

$v_0 = a\tau$　(飛び上がるまでの時間τ)

重心の動く距離 $s = \dfrac{1}{2}a\tau^2$

$$v_0 = \frac{2s}{\tau}$$

$s = 0.4$ [m], $\tau = 0.2$ [s]とすると，$v_0 = 4$ [m/s], $h = 8$ [m]

体重60 kgとすると，重心の受ける垂直抗力$N = m(a + g) = 180$ [kgw]

3.3 衝突・球技

（1）衝突

初速度v_0の物体が衝突によって時間Δtの間に静止する場合

加速度が一定のモデルとすると

$$a = -\frac{v_0}{\Delta t}$$

静止するまでの距離 $$\Delta x = -\frac{1}{2}v_0\Delta t$$

物体に働く力 $$|F| = \frac{mv_0}{2\Delta t} \qquad (\because \underset{\text{力積}}{F\Delta t} = m\Delta v = mv_0)$$

$$|F| = \frac{mv_0^2}{2\Delta x} \qquad (\because \underset{\text{仕事}}{F\Delta x} = \frac{1}{2}m(\Delta v)^2)$$

力が面積Sに働くとして
(応力, 圧力)

$$\frac{|F|}{S} = \frac{mv_0}{2S\Delta t} \qquad \frac{|F|}{S} = \frac{mv_0^2}{2S\Delta x}$$

課題4

P41を参考に次ぎの問題を解きなさい。

交通事故の例において速度120km/hで運動しているとして、頭部に加わる力、エアバック使用時に顔面に加わる力、平均の応力を求めよ。

3.3 衝突・球技

（2）球技

空気抵抗低減

$$F = C_d \frac{1}{2} m v^2$$

マグヌス効果

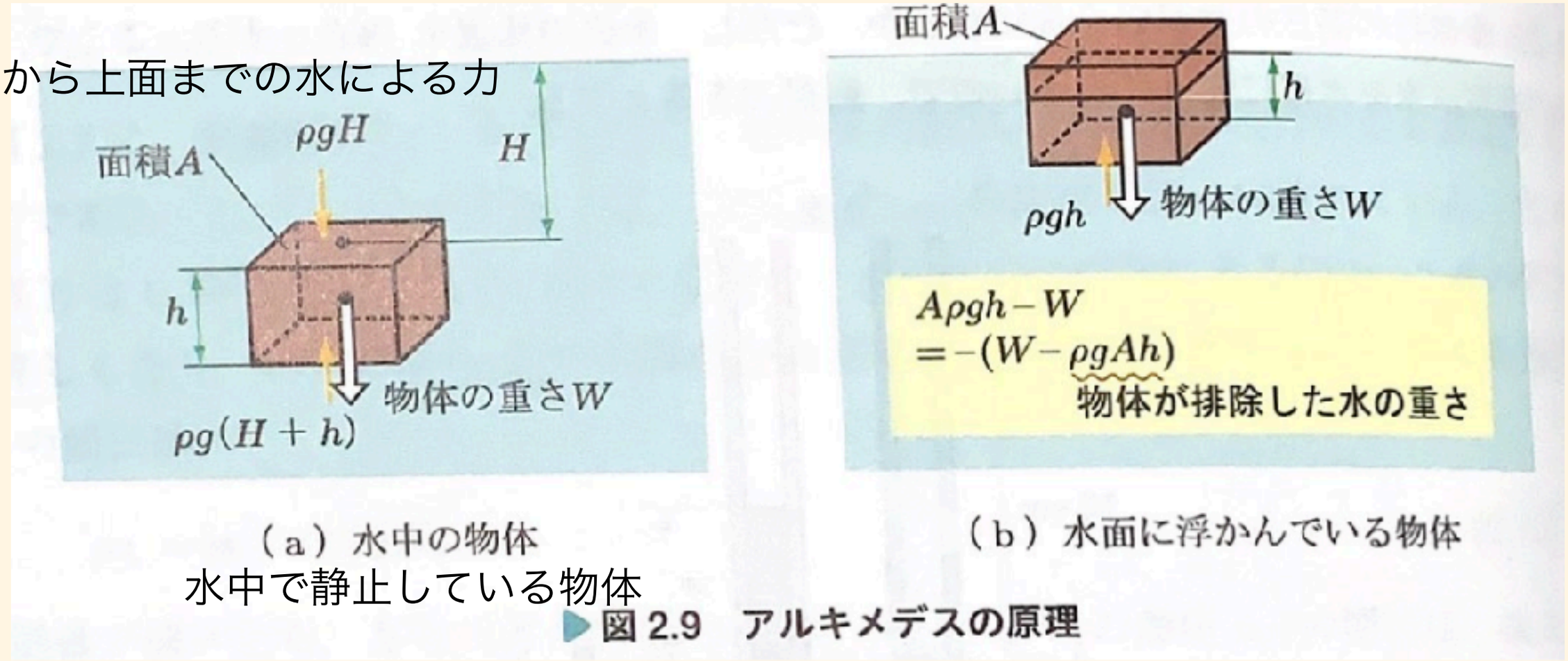
上昇力は回転数と速度の積に比例

3.4 水泳

（1）水中で働く力（静水力学）

物体が排除した水の重さが浮力としてその物体に作用（アルキメデスの原理）

水面から上面までの水による力



水中で静止している物体

▶図 2.9　アルキメデスの原理

力の釣り合い　$\underbrace{\rho gAH + W}_{\text{下向きの力}} = \underbrace{\rho gA(H + h)}_{\text{上向きの力}}$

$$W = \rho gAh$$ （浮力が発生している！）

3.4 水泳
（2）水泳

図3.17

垂直方向

重力と浮力のつり合い

$$F = mg \qquad W = \rho A h g = m_w g$$

水平方向

推進力と抵抗力のつり合い

形状抵抗 $f_D = C_d \frac{1}{2} C_D \rho A v^2$

摩擦抵抗 $f_f = C_d \frac{1}{2} C_f \rho S v^2$

造波抵抗 $f_w = C_d \frac{1}{2} C_w \rho S v^2$