バイオメカニズム特論

第6回講義内容　移動効率

1. 移動仕事率
2. 簡単なモデルに基づく計算
3. 実測にもとづく移動仕事率の算出

生物の移動効率

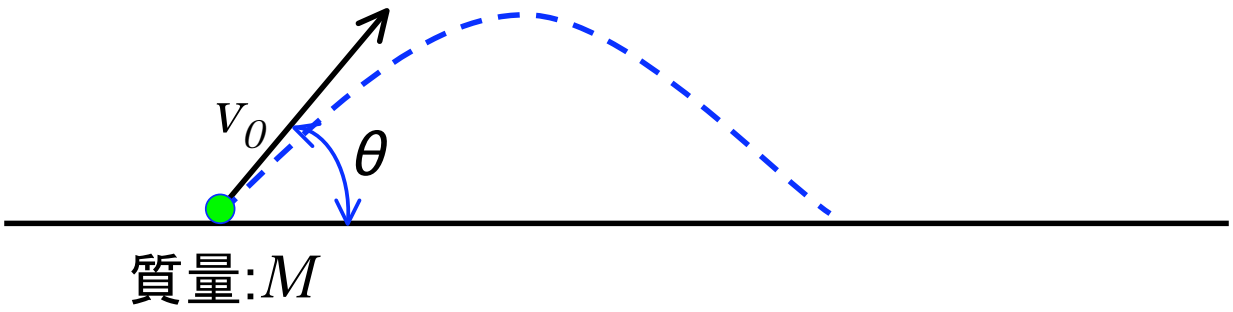
移動仕事率:

単位重量の物体を単位距離移動させるために必要なエネルギー（無次元量）

$$\varepsilon = \frac{E}{Wl} = \frac{P}{Wv}$$

E :移動に要したエネルギー, W :体重（Mg）, l :移動距離,
P :単位時間当たりのエネルギー, v :移動速度

単発的な跳躍運動による移動



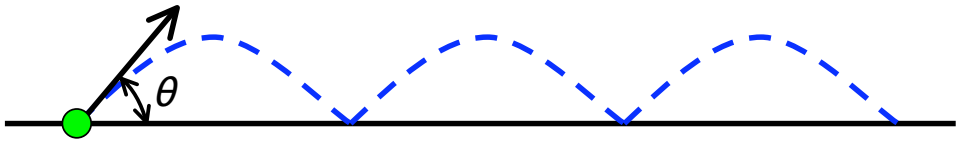
カエルやノミのように単発的に跳躍することによって移動した時の移動仕事率 ε を求めよ.（着地後,身体は完全に停止するとする.）

最も ε が小さくなる角度とその時の ε_{min} を求めよ.

連続的な跳躍運動による移動

カンガルーのように連続的に跳躍して移動する動物では，水平方向の運動エネルギーは，保存される割合が高いと考えられる．重力方向のエネルギーのみ消費されると仮定すると移動効率は下記の式であらわされることを示せ．

$$\varepsilon = \frac{\tan\theta}{4}$$



思考実験

A地点からB地点まで徒歩で移動するとする．到着までに必要な消費エネルギーは速度によって変化するか？（最適な速度は存在するか？）

・歩行速度を上げると，到着時間は短縮されるがそれ以上に疲れそう．→消費エネルギー増大

・逆に非常にゆっくり歩けば，疲れはしないが到着時間は増大する．時間が長くなるとこの間のエネルギーも無視できない．（歩かなくても生きているためのエネルギーは必要！）→消費エネルギー増大

※最適な歩行速度が存在すると予想される．

（最適性の存在は，本当はもう少し確認が必要）

動物の代謝率

生物はじっとしていてもエネルギーを必要とする.

人では基礎代謝で80ワット程度必要.

馬の移動効率

文献配布

なぜエネルギー消費率の増加に関して
linearly か curvilinearly かが重要なのか

歩行時のエネルギー消費

Ralstonによる実験式（1958）

$$E_w = 32 + 0.0050v^2 \ (\frac{cal}{kg\,\mathrm{min}})$$

Zarrugh による実験式 (1974)

$$E_w = \frac{E_0}{\left(1 - \frac{v}{v_u}\right)^2} \ (\frac{cal}{kg\,\mathrm{min}})$$

v_u:歩行の上限値　240 m/min

E_0: 28 cal/kg/min

人の歩行エネルギー

Ralstonの歩行運動の実験式

（単位時間，単位質量当たりの歩行運動時の消費エネルギー）

$$p_w = 32 + 0.0050 v_w^2$$

ただし，v_w: 歩行速度 [m/min],

p_w : 消費エネルギー [cal/(kg min)].

問題

最も効率的に歩いたときの移動仕事率を求めよ.

1 m移動するのに何J必要か計算せよ.（体重60kgと仮定)

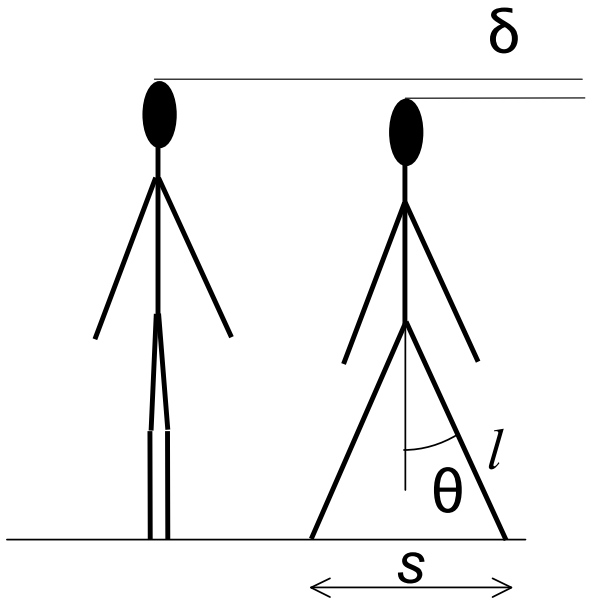
歩行に必要なエネルギー

文献配布

N. Rashevsky (1962) の歩行モデル

歩行に必要なエネルギーは鉛直方向のポテンシャルエネルギーの損失と脚の運動に起因する運動エネルギー損失の和である.

ポテンシャルエネルギーの損失W_Δ



n:単位時間当たりの歩数

$$\sin\theta = \frac{\frac{s}{2}}{l}$$

$$\delta = l\left(1-\sqrt{1-\frac{s^2}{4l^2}}\right) \approx l\frac{1}{2}\frac{s^2}{4l^2} = \frac{s^2}{8l}$$

$$(\because \sqrt{1-x} \approx 1-\frac{1}{2}x)$$

$$\therefore W_\Delta = Mg\delta n = Mg\delta\frac{v}{s} = \frac{1}{8}Mgv\frac{s}{l}$$

運動エネルギーの損失We

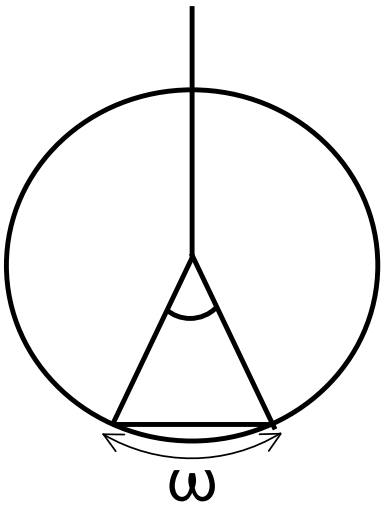
$$W_e = \frac{1}{2} I \left(\frac{ns}{l} \right)^2 n = \frac{1}{2} I \frac{v^3}{sl^2} \ (\because v = ns)$$

歩行に必要なパワー

$$W_T = W_\Delta + W_e = \frac{Mgvs}{8l} + \frac{mv^3}{8s}$$

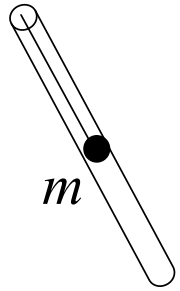
移動仕事率

$$\varepsilon = \frac{1}{Mgv} \left(120 + \frac{Mgvs}{8l} + \frac{mv^3}{8s} \right)$$



角速度

$$\omega = \frac{v}{l} = \frac{ns}{l}$$



脚の慣性モーメント

$I = ml^2/4$

円柱なら $I = ml^2/3$

実験式についての疑問

歩行実験の実験式は適切か？

Ralstonの実験式は

$$p_w = 32 + 0.0050 v_w^2 = a + bv^2$$

しかし，Rashevsky の歩行モデルでは

$$p_w = a + bv + cv^3$$

第６回講義おわり