



第6回
科学の甲子園 全国大会

実技競技② 「進撃のダイナ走ー」

解答例と解説



【Mission 1】

脚と足の比率 3.60

身長と足の比率 6.70

「進撃の巨人」に登場する身長7m級の巨人の足の大きさ

$$\text{比率 } \frac{H}{f} = 6.70 \quad f = 7.00 [\text{m}] \div 6.70 = 1.045 [\text{m}]$$

足の大きさ 1.05 m

(解説)

H28 文科省学校保健調査によると、

身長 (cm) 高1 高2

男子 168.3 169.9

女子 157.1 157.5 である。

脚 (転子高) については、

男子 85.4 (168.7)

女子 79.6 (156.8) というデータがある。

足のサイズの平均は、20才男子、女子で25.4 cm, 23.2 cm 程度である。

足のサイズは高1・2から大きく変化はないと考えられるので、この数値を使用すると
全員男子のチームでは、

$$\text{脚と足の比率 } 85.4 \div 25.4 = 3.36$$

$$\text{身長と足の比率 } 169.1 \div 25.4 = 6.66$$

「進撃の巨人」に登場する身長7m級の巨人の足の大きさ

$$\text{比率 } \frac{H}{f} = 6.66 \quad f = 7.00 [\text{m}] \div 6.66 = 1.051 [\text{m}]$$

全員女子のチームでは、

$$\text{脚と足の比率 } 79.6 \div 23.2 = 3.43$$

$$\text{身長と足の比率 } 157.3 \div 23.2 = 6.78$$

「進撃の巨人」に登場する身長7m級の巨人の足の大きさ

$$\text{比率 } \frac{H}{f} = 6.78 \quad f = 7.00 [\text{m}] \div 6.78 = 1.032 [\text{m}]$$

が数値として求められることとなる。

なお、以下に人骨等から身長を求める式の例をあげる。

- ① カールピアソンの身長推定式 $H[\text{cm}] = 81.036 + 1.880 \times (\text{大腿骨最大長})$

- ② 藤井 明 $H[\text{mm}] = 549.01 + 2.47 \times (\text{右大腿骨最大長})$
 $H[\text{mm}] = 825.87 + 3.09 \times (\text{右尺骨最大長})$
 $H[\text{mm}] = 732.42 + 2.79 \times (\text{右上腕骨最大長})$ 等々

- ③ 日本人について足跡からは

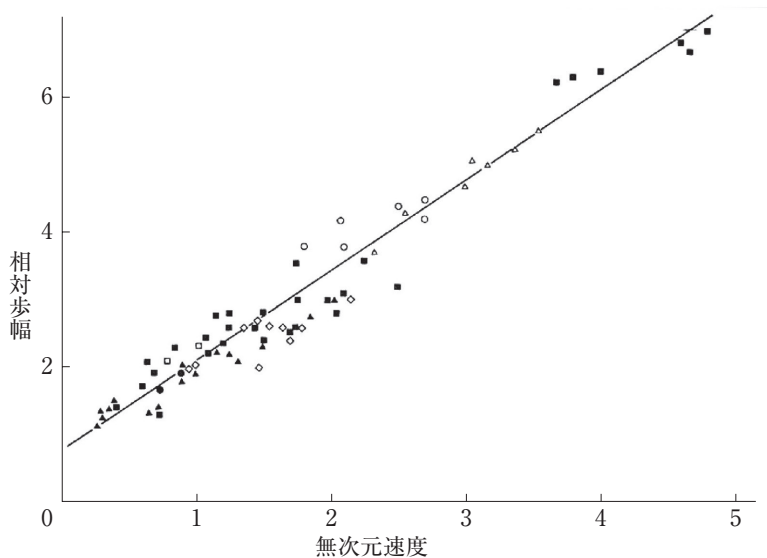
男性 $H[\text{cm}] = 80.44 + 3.53 \times (\text{足跡})$

女性 $H[\text{cm}] = 71.09 + 3.65 \times (\text{足跡})$ などがある。

多くの計測データの統計的な解析で、様々なことが見えてくるものと考えられる。

【Mission 2】

『相対歩幅と無次元速度の関係』：グラフ A



アレクサンダー著「恐竜の力学」から転載

S：相対歩幅

求めた近似式

$$S = 1.53 \times O + 0.766$$

O：無次元速度

「直線を引くときに留意したこと、または、そのように引いた理由」

： 実際のデータに沿って、直線を引きその式を求めた。ただし、大きく外れたデータは除いた。

(解説)

上記のグラフは、アレクサンダー著「恐竜の力学」から転載したものである。

ダチョウ(●), ヒト(○), イヌ(■), ゾウ(□), サイ(◇), ヒツジ(△), ラクダ(▲) のデータをプロットし、得られた散布図を代表する一次式(直線の式)を求めることとなる。

この場合の一次式は、解答例のとおりである。

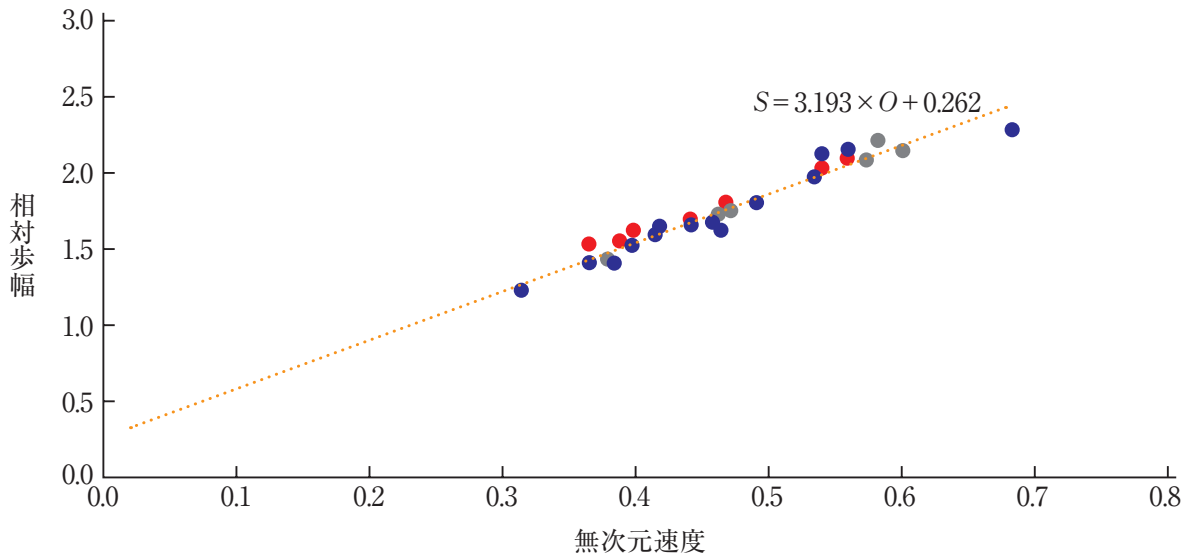
この一次式をもとに今回は、歩行速度を求めることとなる。

なお、アレクサンダーが別の考察から導いた歩行速度の式は、

歩幅： W [m]，脚： L [m] のとき $V=0.25 \times \sqrt{g} \times W^{1.64} \times L^{-1.17}$ と表される。

参考として，歩き方をいろいろ変えた場合のグラフを以下にあげる。

相対歩幅と無次元速度



個人差が認められるはずなので，多くのヒトのデータの平均値をとる必要がある。

アレクサンダーは，多種類の動物のデータから式を導き出しているが，本 Mission では，ヒトのみであるので，一次式の傾き等大きく異なる場合も考えられる。

しかし，どのように歩行速度を推定すればよいかの一つの方法として理解されるものと思う。

【Mission 3】

恐竜名		ドロマエオサウルス
計測データ		
足：	$f=0.18$ m	近似式 $S=1.53 \times O+0.766$
歩幅：	$W=0.74$ m	
計算		
脚	$L=0.18 \times 3.60=0.648$ [m]	比率 $\left(\frac{L}{f}\right)=3.60$ の場合
相対歩幅	$S=0.74 \div 0.648=1.14$	
無次元速度 O	$O=(1.14-0.766) \div 1.53=0.244$	
歩行速度	$V=0.244 \times \sqrt{0.648 \times 9.80}=0.61$ [m/s] = 2.19 [km/h]	
		歩行速度 2.2 km/h

恐竜名		ティラノサウルス
計測データ		
足：	$f=0.82$ m	近似式 $S=1.53 \times O+0.766$
歩幅：	$W=5.05$ m	
計算		
脚	$L=0.82 \times 3.60=2.95$ [m]	比率 $\left(\frac{L}{f}\right)=3.60$ の場合
相対歩幅	$S=5.05 \div 2.95=1.71$	
無次元速度 O	$O=(1.71-0.766) \div 1.53=0.617$	
歩行速度	$V=0.617 \times \sqrt{2.95 \times 9.80}=3.32$ [m/s] = 11.95 [km/h]	
		歩行速度 12.0 km/h

(解説)

アレクサンダーの歩行速度の式は、歩幅： W [m]、脚： L [m] のとき

$$V=0.25 \times \sqrt{g} \times W^{1.64} \times L^{-1.17} \quad \text{で表される。}$$

この式から、それぞれの歩行速度 V を求めると、ドロマエオサウルスでは、

$$V=0.25 \times \sqrt{9.80} \times 0.74^{1.64} \times 0.648^{-1.17}=0.794 \text{ [m/s]} = 2.86 \text{ [km/h]}$$

となる。

なお、アレクサンダーの式では、脚 L は足 f の 4 倍としているから、

$$V=0.25 \times \sqrt{9.80} \times 0.74^{1.64} \times 0.72^{-1.17}=0.701 \text{ [m/s]} = 2.52 \text{ [km/h]}$$

が得られる。

同様に、ティラノサウルスでは、

$$V=0.25 \times \sqrt{9.80} \times 5.05^{1.64} \times 2.95^{-1.17}=3.14 \text{ [m/s]} = 11.30 \text{ [km/h]}$$

脚 L が足 f の 4 倍の場合、

$$V=0.25 \times \sqrt{9.80} \times 5.05^{1.64} \times 3.28^{-1.17}=2.78 \text{ [m/s]} = 10.01 \text{ [km/h]} \quad \text{となる。}$$

【Mission 4】

アファール猿人（タンザニア・ラエトリの足跡）		
計測データ		
足： $f=0.17$ m	近似式 $S=1.53 \times O+0.766$	
歩幅： $w=0.745$ m		
<p>〈身長〉</p> <p>足 $f=0.17$ [m]（実測）</p> <p>身長と足の比率（$f \times 6.70$）から、</p> $0.17 \times 6.70 = 1.14$ [m] <p style="text-align: right;">身長 <u>1.14</u> m</p> <p>〈歩行速度〉</p> <p>足 $f=0.17$ [m] 脚 $L=0.612$ [m]</p> <p style="text-align: right;">（$\because f \times 3.60$）</p> <p>歩幅 $w=0.745$ [m]（実測）</p> <p>近似式 $S=1.53 \times O+0.766$</p> <p>歩行速度 $V=O \times \sqrt{Lg}$</p> <p>相対歩幅 $S=0.745 \div 0.612=1.22$</p> <p>無次元速度 $O=(1.22-0.766) \div 1.53$</p> $=0.297$ <p>歩行速度</p> $V=0.297 \times \sqrt{0.612 \times 9.80}$ $=0.727$ [m/s] = 2.62 [km/h] <p style="text-align: right;">歩行速度 <u>2.6</u> km/h</p>	<p>考察</p> <p>〈身長〉</p> <p>身長は、充分その大きさを反映した許容の範囲であると考えられる。</p> <p>〈歩行速度〉</p> <p>歩行速度については、求めた値と参考値に大きな差はないと考えられる。</p> <p>足跡の形から、ゴリラやチンパンジーとは異なり、脚がくの字ではなく伸びた状態で、歩いていたと思われる。</p> <p>〈まとめ〉</p> <p>近縁からか、信頼性の高い数値が得られた。この方法では、誤差がたいへん大きくなることもあると考えられるが、過去の恐竜や絶滅種の運動等を身近にもたらず簡易な方法、入り口としては有効な方法の一つと思われる。</p>	
アファール猿人について（参考）	足	0.18 m ~ 0.26 m 程度
	身長	1.0 m ~ 1.5 m 程度
	歩行速度	3.6 km/h 程度

（解説）

アレクサンダーの式から歩行速度を求めると、

$$V=0.25 \times \sqrt{9.80} \times 0.745^{1.64} \times 0.612^{-1.17} = 0.86$$
 [m/s] = 3.1 [km/h] となる。

なお、自分たちの歩行のデータから歩行速度を推定することも可能である。その場合、考察もそれに応じた内容となる。（略）

【Mission 5】

「歩行のスケーリング」から、相対歩幅・無次元速度を導出する。

参考資料「歩行のスケーリング」から

歩行速度 v [m/s] 振り子(脚)の周期 T [s]

歩幅 w [m] 脚の長さ L [m]

歩幅は脚の長さに比例するので、

$$w = k_1 \cdot L \quad k_1 = \frac{w}{L} \quad \text{したがって、} k_1 \text{ が相対歩幅となる。}$$

周期から、

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}} = 2\pi \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{L}{g}} = k_2 \sqrt{\frac{L}{g}} \quad k_2 = 2\pi \sqrt{\frac{2}{3}}$$

速度は、歩幅を周期で除すればよいので、

$$v = \frac{w}{T} = \frac{k_1 \cdot L}{k_2 \sqrt{\frac{L}{g}}} = \frac{k_1}{k_2} \sqrt{Lg} = k_0 \sqrt{Lg} \quad k_0 = \frac{k_1}{k_2} \quad \text{とおく}$$

$$k_0 = \frac{v}{\sqrt{Lg}} = O \quad O \text{ が無次元速度となる。}$$

したがって、 k_1 、 k_0 を縦・横軸とするグラフから、歩幅 w 、脚の長さ L がわかれば、歩行速度が求められることになる。

【Mission 6】

火星での歩行速度

火星 K： 歩行速度 V_K 重力加速度 $g_K = \frac{g}{3}$ 脚の長さ L 無次元速度 O

地球 E： 歩行速度 V_E 重力加速度 g 脚の長さ L 無次元速度 O

$$V_K = O \times \sqrt{L \times \frac{1}{3}g} = \frac{O}{\sqrt{3}} \sqrt{Lg}$$

$$V_E = O \times \sqrt{Lg}$$

$$V_K = O \times \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{Lg} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times V_E = 0.577 V_E$$

答え 0.58 倍 (遅くなる)

考察

重力が小さくなると、振り子の周期が長くなり、同じ歩幅を仮定すると、歩行速度は地球よりも遅くなる。重力が小さいため、上げた足が下りてくるのに時間がかかるようになる。また、歩くときの後ろ脚のけりが相対的に強くなり、体が浮いてしまい走るとい状態になってしまう。そこで、どちらかの足を地面につけて歩くには、スピードを押さえる必要が生じるので、歩く速度は、遅くなる。

逆に、走るという状態の方が、スムーズな移動ができることとなる。

(解説) 【Mission 5】 【Mission 6】 とも略

『データ表』

【Mission 1：個表】

略

個人データ① [イニシャル：]

個人データ② [イニシャル：]

回	足 f (m)	脚 L (m)	身長 H (m)
1			
2			
3			
Ave			

回	足 f (m)	脚 L (m)	身長 H (m)
1			
2			
3			
Ave			

個人データ③ [イニシャル：]

回	足 f (m)	脚 L (m)	身長 H (m)
1			
2			
3			
Ave			

共有/交換データ

【Mission 2：個表】

個人データ① [イニシャル：]

回	歩数	歩行距離 d (m)	歩幅 w (m)	歩行時間 t (s)	歩行速度 v (m/s)	速歩距離 D (m)	速歩幅 W (m)	速歩時間 T (s)	速歩速度 V (m/s)
1	10								
2	10								
3	10								
4	10								
5	10								
Ave									

個人データ② [イニシャル：]

回	歩数	歩行距離 d (m)	歩幅 w (m)	歩行時間 t (s)	歩行速度 v (m/s)	速歩距離 D (m)	速歩幅 W (m)	速歩時間 T (s)	速歩速度 V (m/s)
1	10								
2	10								
3	10								
4	10								
5	10								
Ave									

個人データ③ [イニシャル：]

回	歩数	歩行距離 d (m)	歩幅 w (m)	歩行時間 t (s)	歩行速度 v (m/s)	速歩距離 D (m)	速歩幅 W (m)	速歩時間 T (s)	速歩速度 V (m/s)
1	10								
2	10								
3	10								
4	10								
5	10								
Ave									

共有/交換データ

【集計表】

略

学校名 or 都道府県番号	足 f (m)	脚 L (m)	足脚比 $\frac{L}{f}$	身長 H (m)	足身長比 $\frac{H}{f}$	歩幅 w (m)	相対歩幅 $\frac{w}{L}$	歩行速度 v (m/s)	無次元速度 O_1	速歩幅 W (m)	相対速歩幅 $\frac{W}{L}$	速歩速度 V (m/s)	無次元速度 O_2
①													
②													
③													
①													
②													
③													
①													
②													
③													
①													
②													
③													
Ave													

共有/交換データ