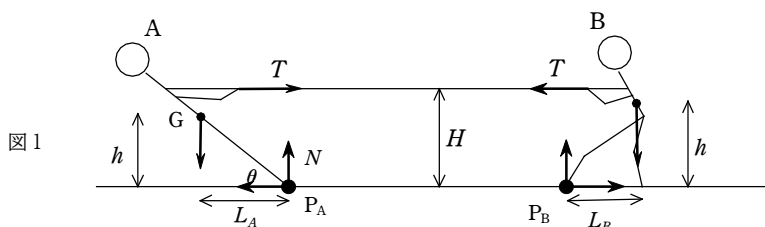


1

綱引きにおいて引き方によって有利か不利かを物理的に考えてみよう。以下の文章は、それぞれの場合についての有利不利を述べたものである。(①)～(⑬)に[]内に文字のみ示されている場合はその文字を用いた当てはまる式を入れ、[選択]とある場合はその文字を選択せよ。

二人の人物AとBが、図1のように綱引きをしている。二人とも質量 m 、重心の高さ h 、綱の高さ H 、引き合っている張力の大きさは T で同じである。二人の足と地面との静止摩擦係数は μ であるとし、A,B共に筋力・体格・体重は全く同じであるとする。Aは体をまっすぐにして綱を引き、Bは腰を引いて綱を引いている。

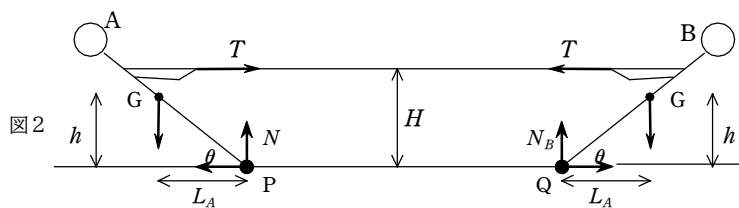


体にはたらいっている垂直抗力の大きさは二人とも同じで (①[m, g]) である。よって、最大摩擦力の大きさは二人とも (②[μ, m, g]) である。現在二人は最大摩擦力が働くように引き合っているとす。同じ大きさの張力で引き合っており、その大きさは $T =$ (②) である。摩擦力が最大摩擦力で共に滑らないとすると、どちらが強いであろうか。

滑らないとすると回転のつり合いが破れたほうが負けることになる。A, Bともに足の接地点を回転中心として、モーメントのつり合いを考えてみよう。Aの場合、接地点 P_A と重心の真下との水平距離を L_A とすると、回転のつり合いの式は (③[T, H, m, g, L_A]) となる。同様にしてBの場合は P_B を回転中心として (④[T, H, m, g, L_B]) となる。摩擦力は同じなので、負けるほうは回転を始めることになる。ともに前方へ回転するモーメントは TH で大きさが等しいので、 L_A, L_B の大きいほうの等式が成り立てば、小さいほうが等式が成り立たなくなるので、回転を始める。つまり負けるわけである。

L_A と L_B はBのほうが足が曲がっている。頭部が前に出ているなどの理由により、Aよりも重心の位置が前に出ているので、(⑤[L_A, L_B の不等式]) と考えられる。よって、(④) が成り立った場合 (⑤) は成り立たなくなり、(⑥[A,Bの選択]) の勝ちとなる。 L_A が大きいほどAは強くなるので、かかとで踏み込むよりはつま先に力を入れるほうが強いはずである。

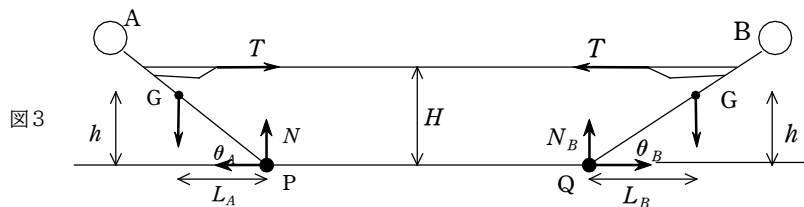
次に、AとBの体重が異なる場合を考えてみよう。BもAの体制で考えることにする。 $L_A = L_B$ とする。この状態が図2である。



次に、AとBの体重が異なる場合を考えてみよう。上の例ではAのほうが強かったのでBも同じ体制になったとする。 $L_A = L_B$ とする。Aの体重を m_A 、Bの体重を m_B とし、 $m_A > m_B$ とすると、最大摩擦力がAが $\mu m_A g$ 、Bが $\mu m_B g$ となるので、 $\mu m_A g > \mu m_B g$ となり、(⑦[A,Bの選択]) が勝つことになる。

回転のつり合いで考えてみると、Aの回転のつり合いの式は $TH =$ (⑧[m_A, g, L_A])、Bの回転のつり合いの式は $TH =$ (⑨[m_B, g, L_A]) が成り立つことになる。 $m_A > m_B$ とすると、 $TH =$ (⑧) となった時、 $TH >$ (⑨) となり、(⑩[A,Bの選択]) が勝つ。

次に同じ体重で身長のある人とない人ではどちらが強いであろうか。綱の高さは同じとし、Bのほうが身長があるとする。



身長がある人のほうが足が長く $L_A < L_B$ となる。共に滑らないとすれば、例1と同様にしてBのモーメントが大きくなるので (⑪[A,Bの選択]) のほうが勝つ。次に摩擦面を考えてみよう。体重が同じなので、垂直抗力が同じであり、静止摩擦係数も同じなので最大摩擦力は同じとなる。よって、(⑪) のほうが強いことになる。

次に同じ身長体重の人で綱の高さを変えるとどうなるであろうか。Aの綱の高さを H_A

, Bの綱の高さを H_B として $H_A > H_B$ とする。張力は同じ大きさなので、前方へ回転させるモーメントが $TH_A > TH_B$ となり、(⑫[A,Bの選択]) のほうが前に倒れやすくなる。また、綱が低くなると角度が低くなるために、 $\theta_A > \theta_B$ となり、 $L_A < L_B$ となる。よって、(⑬[A,Bの選択]) のほうが強くなるといえる。

実際の綱引きの勝負では力に強弱をつけたりするのでこの理論通りにはならない。またチーム対チームの場合は、全員の力がそうかどうか勝負を決めるより強い要素となる。

解説

- ① mg ② μmg ③ $TH = mgL_A$ ④ $TH = mgL_B$ ⑤ $L_A > L_B$ ⑥ A ⑦ A ⑧ $m_A g L_A$ ⑨ $m_B g L_A$ ⑩ A ⑪ B ⑫ A ⑬ B