

グラウンドでの短距離走の最適なスタートについて摩擦から考える

物理班：吉澤 奏、坂東 凌馬、森本 悠太

1. はじめに

体育の授業や体育祭で短距離走をグラウンドで走る時、スタートを切る必要がある。その際に滑ってしまい、上手くスタートを切れず、思い通りのタイムを出すことができなかつたり、徒競走やリレーで遅れをとってしまったりすることが多々ある。このような経験から、滑らずにスタートすることで、50m 走のタイムの向上や、体育祭の活躍に繋がるのではないかと考えた。そこで、地面に力を加える際に靴と地面との間に摩擦力がはたらき、スタート時の推進力を得ていると考え、摩擦力に着目し、実験を行った。

2. 実験方法

- ① 三つの運動靴、おもり、ばねばかりを用意し、運動靴におもりを入れた。この時、おもりを靴に入れたのは質量を重くすることで測りやすくし、実験による誤差を少なくするためである。
- ② 砂を敷き詰め、十分に踏み固めた容器の上に、おもりを入れた運動靴を置き、ばねばかりで水平に引いた。
- ③ 運動靴が動き出す直前の値を読み取る。三つの運動靴で各五回行った。
- ④ 三つの運動靴とおもりの質量の平均値と、実験値(③)の平均値から静止摩擦係数を求めた。

3. 結果

	靴①	靴②	靴③
1回目	1. 37kg	1. 47kg	1. 72kg
2回目	1. 18kg	1. 32kg	1. 67kg
3回目	1. 41kg	1. 33kg	1. 68kg
4回目	1. 47kg	1. 36kg	1. 63kg
5回目	1. 35kg	1. 47kg	1. 98kg
平均値	1. 36kg	1. 39kg	1. 74kg

運動靴が動き出すのに必要な力の大きさを [kg] に換算した三つの値(各五回の実験値の平均値)の平均値は 1.50[kg]、運動靴とおもりの質量の平均値は 2.930[kg]であった。よって、重力加速度の大きさを $g[m/s^2]$ とすると、 $F = \mu N$ より、静止摩擦係数 μ は以下のように求められた。

$$1.50g = \mu \times 2.930g \quad \therefore \mu = 1.50 / 2.930 = 0.512$$

4. 考察

実験結果から、水平面と加える力の方向のなす角を θ とすると、最大摩擦力が力の水平成分以上となる条件は、 $F \cos \theta \leq \mu F \sin \theta$

等号が成り立つとき、滑らない最小の角度となるので、 $F \cos \theta = \mu F \sin \theta$

両辺を $\mu F \cos \theta$ で割って、 $1/\mu = \tan \theta \dots \textcircled{1}$ $\mu = 0.512$ より $\tan \theta \doteq 1.953$

したがって、三角関数表を用いて、 $\theta \doteq 62.9^\circ$ と分かった。(以降 63° とする)

また、 $0 < \theta < 63^\circ$ の時前述より滑るので新たに動摩擦係数を μ' とし、水平面と得られる合力の方向のなす角を θ' とし、 $\theta = 45^\circ$ の時を考える。 $\tan \theta'$ は (鉛直方向の力の大きさ) / (水平方向の力の大きさ) で求められるから、

$$\tan \theta' = \frac{\sin 45^\circ}{\mu' \sin 45^\circ} = 1/\mu' \dots \textcircled{2}$$

動摩擦係数は静止摩擦係数よりも小さいが、逆数をとると大小関係が反転するので、

$$1/\mu < 1/\mu' \dots \textcircled{3}$$

①、②、③より、 $\theta' > 63^\circ$ であると分かった。

したがって、 $\theta = 63^\circ$ の時滑ることがなく、水平方向の最大の力を得ることができると分かった。ただし $\theta = 63^\circ$ の時、鉛直方向の力のほうが水平方向の力よりも大きいため、体重を m [kg] とすると、 $F \sin 63^\circ - mg = 0$ を満たす力の大きさ F で踏み出す必要があり、その大きさの体重別の値は下の表の通りになる。

体重(kg)	F の大きさ(kg)	体重(kg)	F の大きさ(kg)
45	50.51	65	72.95
50	56.12	70	78.56
55	61.73	75	84.18
60	67.34	80	89.89

5. まとめ

考察から、滑らずにスタートを切る条件は、 $\theta \geq 63^\circ$ ということが分かった。この条件で、水平方向の力が最大となるのは等号が成り立つ、すなわち $\theta = 63^\circ$ の時である。このことから、 $\theta = 63^\circ$ の方向に力を加えると、滑らず、かつ水平方向に最大の力を得ることができるので最適のスタートだと言える。しかし、 63° では鉛直方向の力のほうが大きいため、大きい力を入れてしまうと体が浮いてしまうので、体重に応じた最適な力で踏み出す必要がある。

6. 参考文献ならびに参考 web ページ

原悦子 (2018) 『クラウチングスタート-日本陸上競技連盟』

<https://www.jaaf.or.jp/files/upload/201812/jhs-003-002.pdf> 閲覧日 2019/12/18