

# 附中の大グラで行う綱引きで勝敗が確定する原因

## 抄 録

附中は昔から体育大会で綱引きを行っており、最近の四方綱引きとは違い、二方向から引っ張っていた。体育館側とバックネット側である。その綱引きでは、いつもバックネット側で引っ張ったチームが勝っていた。。そこで本研究ではこの原因について調べた。その結果、大グラの場所による摩擦係数の違いが原因だとわかった。

キーワード：綱引き、傾き、摩擦力

## 1. はじめに

### 1.1 研究動機

私は自由研究のテーマを決めるとき、ずっと決められなかった。試行錯誤し、テーマ決定用紙を何度も消し書きしていると紙が熱くなっているのに気がついた。それで摩擦に興味を持ち、ゼミの先生から附中の綱引きに摩擦が関係あるかもしれないと言われ、このテーマを設定した。

### 1.2 研究目的

附中は昔、2方向から引っ張る綱引きをしていた。体育館側と、附高野球部のバックネット側から引っ張っていた。しかし、この綱引きでは勝敗が偏っており、バックネット側がよく勝っていた。この原因を解明したい。私は大グラの傾きや大グラの摩擦係数の違いが大きく関係していると考えた。そのためこれらを本研究で明らかにする。

## 2. 研究内容

### 2.1 文献調査結果

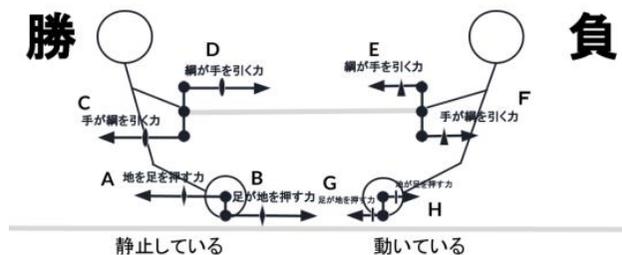


図1 綱引きの力や方向の関係

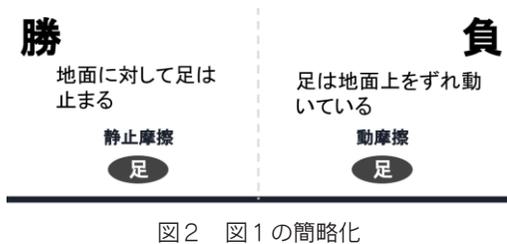


図2 図1の簡略化

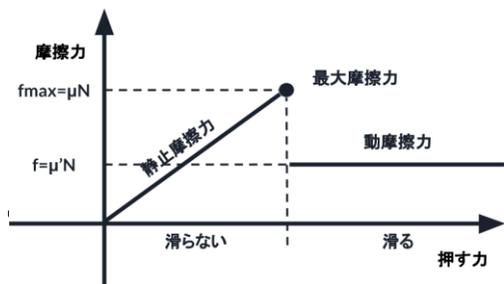


図3 静止摩擦力と動車摩擦

作用反作用の法則より力をかけると必ず同じ大きさが返ってくる。図1は綱引きで勝っているときと負けているときの力の関係を表したものである。綱引きは主に足と手を中心にかかっている。力はかけたぶん、戻ってくるので綱引きでの力は4つある。足が地面を押す力 (B, G)、地面が足を押す力 (A, H)、手が綱を引く力 (C, F)、綱が手を引く力 (D, E) である。B, C, F, Hが人の力で、A, D, E, Gはその力が返ってきたものである。よって、 $A=B$ ,  $C=D$ ,  $E=F$ ,  $G=H$ となる。勝っているときは足が地面についてピタッと止まっているので手が足を押す力は手が綱を引く力よりも大きくなる。よって、 $A>C$ 。同様に、負けているときは足は止まらずに動いているので、地面が足を押す力は手が綱を押す力よりも小さくなる。よって、 $H<F$ 。また、綱は勝っている側に動いているので、勝っている側が引っ張っている手の部分の力の方が大きくなる。よって、 $C>F$ 。つまり、綱引きでの力の関係は、 $A=B>C=D>E=F>G=H$ となる。

図2は図1を簡略化したものである。「静止摩擦」と「動摩擦」は、図3のように静止摩擦力は動摩擦力よりも大きくなっている。静止摩擦力は、 $f(\max)=\mu N$ 、動摩擦力は $f=\mu' N$ である。勝っているときは足は地面について止まっており、このとき静止摩擦の状態になっている。反対に、負けているときは足は止まれずに動いており、このとき動摩擦の状態になっている。

まとめると、綱引きで勝っているときは足が止まっているので静止摩擦の状態になっている。よって、(静止摩擦力) > (動摩擦力) なので、負ける方に比べて大きい摩擦力が必要である。つまり、(摩擦力) = (重さ) × (摩擦係数) なので、負けている方より大きい重さと大きい摩擦係数が必要である。重さは綱引きをする人の体重に当たり、そのチームごとで毎回必ず変わるので、大きい摩擦係数が重要である。ゆえに、綱引きで勝つには、負けている方より大きい摩擦係数が必要である。

## 2.2 実験手順

### ①大グラの傾き

国土地理院の地理院地図というサイトを利用する。「ツール」から「断面図」を選択すると、選んだ地点から選んだ地点までの断面図を見ることができる。そして、大グラの断面図を見て、最高地点と最低地点の水平距離と高低差を測る。図4のように、大グラを上から長方形と見て、バックネット側の角から体育館側の角を結んだ対角線を少しずらして3本調べる。

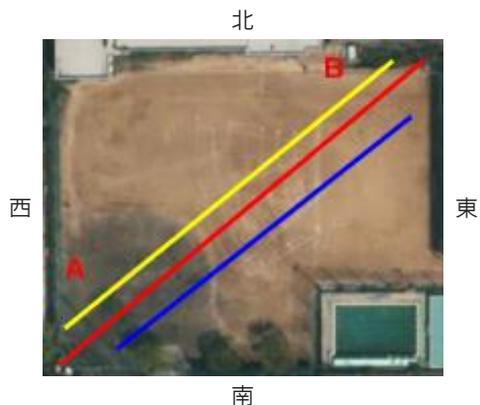


図4 大グラの傾斜の調査

②大グラの摩擦係数の違い

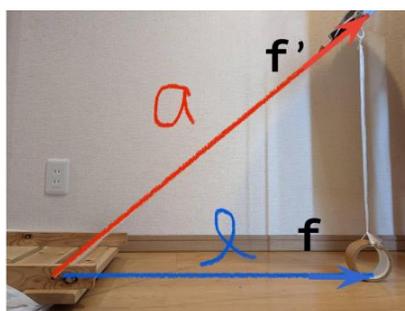


図5 実験装置の力の関係

地面の摩擦係数の測定方法を述べる。図5のように板に紐を取り付け、紐の先端に握力計をつけ、握力計からおもりを垂らす。板の上にはレンガを置き、板の裏には靴の裏側をつける。これはできるだけ人間に近づけ、摩擦係数を求められる装置である。この装置の握力計を斜めに引っ張る。レンガを置いたのは、人間の体重を表現するためである。板の裏に靴の裏側をつけたのは、人間の足を表現するためである。握力計を用いるのは、握力計は最大値が表示されるので、最大摩擦力を求めるのに都合がよいからである。おもりを垂らしたのは、握力計の高さが変わらないようにするためである。しかし、これでは斜めに引っ張っているのので、水平な摩擦力を計算する必要がある。



図6 予備調査

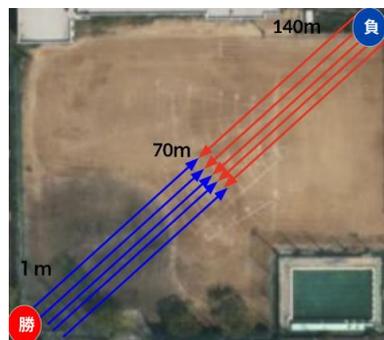


図7 本調査

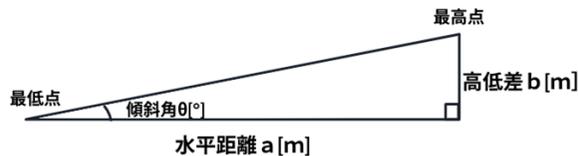
まず、図6のように予備調査として、大グラを上から長方形と見て、バックネット側の角から体育館側の角を結んだ対角線上で等間隔にア、イ、ウ、エ、オ、カの6箇所場所を決めて、各地点50回ずつ測定した。そして、図7のように本調査として、この対角線140mをメジャーを用いて1m間隔ずつ、少しずつ5本、計700回測定した。

### ③粒度調査

体育館側、バックネット側とでは土の色が異なっている。体育館側では黄色っぽい土だが、バックネット側では焦げ茶色の土である。よって、土にもなにか関係があると考えた。だから粒度調査を行う。ふるいにそれぞれの土を入れて振り、粒度の大きさの分布を調べる。大グラのバックネット側と体育館側で、黄色の土と焦げ茶色の土でこの対角線140mをメジャーを用いて1m間隔ずつ140種類の砂を採取した。1m四方のコドラートを用いてコドラート内の砂を採取したあと、メジャーに沿って1mずらしてまたコドラート内の砂を採取する。これを端から端まで繰り返した。

## 2.3 分析方法

### ①大グラの傾き



$$\theta = \tan^{-1} b/a$$

図8 傾斜角の計算

傾斜角は、図8のように最高地点と最低地点の水平距離を a [m]、高低差を b [m]、このときの傾斜角を  $\theta [^\circ]$  とすると、 $\theta = \tan^{-1} b/a$  で求められる。この計算は下記のサイトで行う。

Keisan「底辺と高さから角度と斜辺を計算」<https://keisan.casio.jp/>

### ②大グラの摩擦係数の違い

図5のように地面の摩擦係数は、装置の板から握力計までの距離を a、板からおもりまでの水平距離を b、板とレンガの質量を N、握力計の数値を f'、水平な摩擦力を f、摩擦係数を  $\mu$  とすると、 $f = bf'/a$ 、 $\mu = f/N$  となり、 $\mu = bf'/aN$  となる。この計算はGoogleスプレッドシートで関数計算を利用して行う。

### ③粒度調査

ふるいで粒度調査を行う。粒の直径を a mm とすると、 $2.0 \leq a$ 、 $1.0 \leq a < 2.0$ 、 $0.5 \leq a < 1.0$ 、 $a < 0.5$  に分類できる。これらの大きさごとの質量を全体の質量で割ることで、各大きさの割合を調べる。割合を比較して、粒度の分布を調べる。

### 3. 結果

#### ①大グラの傾き

3回計測した結果は、大学側の直線の最大斜度が $0.09310\dots^\circ$ 、真ん中の直線の最大斜度が $0.07161\dots^\circ$ 、プール側の最大斜度が $0.05729\dots^\circ$ となった。

#### ②大グラの摩擦係数の違い

図9は予備調査のグラフである。6箇所それぞれ50回のデータの平均値を棒グラフにした。また、図10は本調査のグラフである。1mずつの5回のデータの平均値を折れ線グラフにした。

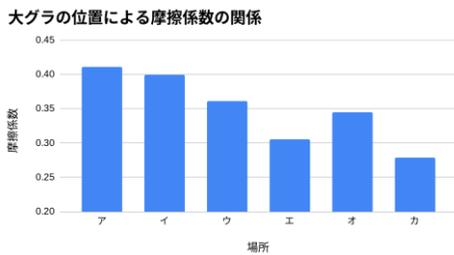


図9 予備調査の結果

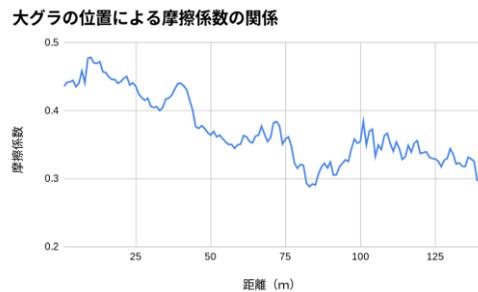


図10 本調査の結果

#### ③粒度調査

図11は140種類の砂をふるいにかけて、各大きさの割合をグラフにしたものである。図12は140種類の砂をそれぞれ粒の直径の平均値を折れ線グラフにしたものである。考察しやすいよう、大グラの摩擦係数のグラフも載せた。

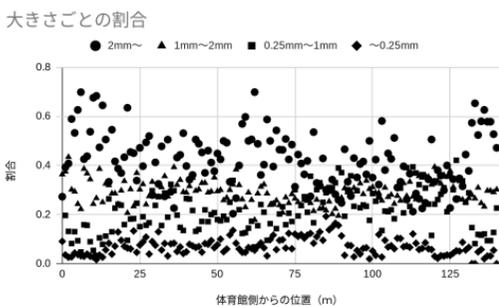


図11 位置による粒の直径の分布

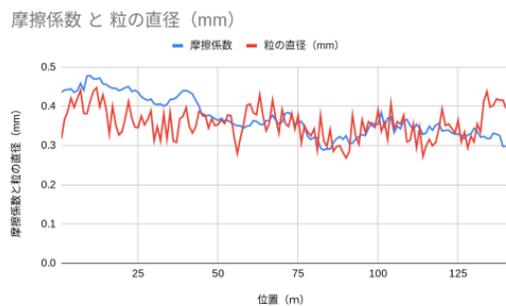


図12 摩擦係数と粒の直径

### 4. 考察

#### ①大グラの傾き

結果から、大グラの最大斜度は約 $0.093$ 度とわかった。この角度は、ビー玉が転がり始めたり、人間がストレスを感じたりする角度よりも小さい。だから、この大グラの傾きは綱引きの勝敗には関係ないだろう。

## ②大グラの摩擦係数の違い

予備調査では、バックネット側のア、イ、ウで大きくなり、本調査ではバックネット側から70mあたりまで大きくなっていた。予備調査でも本調査でもバックネット側のほうが摩擦係数が大きくなっているとわかる。2.1の①でも述べたように、摩擦係数が大きいということは、綱引きで有利になるということである。

## ③粒度調査

大グラのバックネット側のほうが若干粒が大きい。摩擦係数が大きい地面のところのほうが、粒も大きくなっている。これは、粒が大きい地面は、靴の裏に大きい粒が引掛って、滑りにくくなるので、摩擦係数も大きくなっていると考えられる。

## 5. 結論

大グラの傾きは、綱引きには関係ないと考えられる。そして、バックネット側が体育側よりも摩擦係数が大きいことがバックネット側がいつも勝つ1つの原因だと考えられる。また、大グラでの摩擦係数が大きい地面では、粒も大きくなっていることがわかった。

## 参考文献

田中幸ほか（2015）「摩擦のしわざ」太郎次郎社

米山正信ほか（1979）「物理のドレミファ」黎明書房

国土地理院「地理院地図」（2022年7月24日）<https://maps.gsi.go.jp/>

Keisan「底辺と高さから角度と斜辺を計算」（2022年7月25日）<https://keisan.casio.jp/>