

# 天才たちの綱引き頭脳戦

静岡県立下田高等学校

## 1. 動機

綱引きは体育祭で定番の競技の1つであり、下田高校でも行われている [文献1]。綱引きのルールは、2つのチームが1本の綱を互いの陣地に向けて引き合い、その優劣を競うというものである。この綱引きで勝つためには、力ではなく、物理的な考察によって頭脳で勝利を手に入れることができるはずだと、私たちは考えた。そこで、綱引きと強い関係にある摩擦に着目し、次の実験を行った。

## 2. 方法

全ての実験において、一直線上に養生テープを貼り、その上を底面に養生テープを貼ったおもりを乗せた箱を滑車とおもり使った [図1]。

第一の実験では、地面との接地面積に着目した。先行研究では面積と摩擦には関係があり、接地面積が大きいほど摩擦力は大きいことが分かった。しかし、接地面の形に違いがあり、対照実験ではないため、私たちは、おもりの重さ、走行距離を一定にし、接地面の形は同じにし、大きさを変えて走行時間を計測して接地面積と摩擦力の大きさの関係を調べた [図2]。

第二の実験では、接地面の形の変化に着目した。すなわち、面積が等しい正方形と長方形、正三角形の3つの箱を用い、おもりの重さ、走行距離、滑車の位置の条件を同じにし、重心の位置を中心にして、走行時間を測定し、接地面の形と摩擦力の大きさの関係を調べた [図3]。

第三の実験では、重心と摩擦力の関係に着目した。箱の中に等しい重さのおもりを3つに分けて配置し、重心以外の条件を同じにして一定距離の走行時間を測定し、重心の位置と摩擦力の大きさの関係を調べた。

第四の実験では、地面と綱のなす角の変化に着目した。水平方向と物体を引く糸のなす角を $\theta$ とし、 $\theta$ の大きさを変化させたときの一定距離の走行時間を測定し、綱を引く角度の変化と摩擦力の大きさの関係を調べた [図4]。

## 3. 結果

第一の実験では、接地面積  $81 \text{ cm}^2$  の場合かかった走行時間  $3.64 \text{ s}$  だった。また、接地面積  $36 \text{ cm}^2$  の場合かかった走行時間  $2.29 \text{ s}$  だった。  $t$  分布を使った母平均の仮説検定をすると  $p < 0.05$  になったため、接地面積を変えたこの実験での走行時間には、統計学的に有意な差があったと言える。

第二の実験では、正方形の場合かかった走行時間が  $6.59 \text{ s}$  だった。長方形の場合かかった走行時間が  $7.48 \text{ s}$  だった。三角形の場合かかった時間が  $10.94 \text{ s}$  だった。  $t$  分布を使った母平均の仮説検定をすると正方形と長方形の間でのみ、  $p < 0.05$  になったため、この2つの条件ではかかった走行時間の間でだけ、統計学的に有意な差が認められた。

第三の実験では、重心を前方に置いた場合かかった走行時間が  $3.58 \text{ s}$  だった。真ん中に置いた場合かかった走行時間が  $4.54 \text{ s}$  だった。後方に置いた場合かかった走行時間が  $4.95 \text{ s}$  だった。  $t$  分布を使った母平均の仮説検定をすると前方と後方、および前方と真ん中の場合では  $p < 0.05$  になったため、この条件間での走行時間の間には、統計学的に有意な差が認められた。

第四の実験では、水平方向と物体が引く糸のなす角  $\theta = 0$  で平行の場合かかった走行時間が  $3.06$

s だった。 $\theta < 0$ で角度が仰角の場合かかった走行時間が 1.90 s だった。 $\theta > 0$ で角度が俯角の場合かかった走行時間が 4.50 s だった。 $t$ 分布を使った母平均の仮説検定をすると、平行と仰角、および平行と俯角のどちらの場合でも $p < 0.05$ になったため、この条件間での走行時間の間には、統計学的に有意な差が認められた。

#### 4. 考察

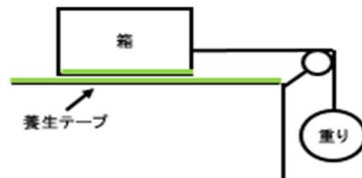
第一の実験では、摩擦は接地面にある微小な凹凸がかみ合うことで発生するため、接地面が大きくなることで摩擦は大きくなると考えられる。また、箱の底面と床の2物体が一体化したと考えると接地面に分子間力が発生するため、面積が大きいと摩擦は大きくなると考えられる。

第二の実験では、重心との距離が大きくなることによって、箱の前方の床と接地している一辺を回転軸とした力のモーメントが大きくなると、垂直抗力が大きくなり、摩擦力は垂直抗力に比例するため、物体の引かれる点と重心との距離が大きくなると、摩擦は大きくなると考えられる。

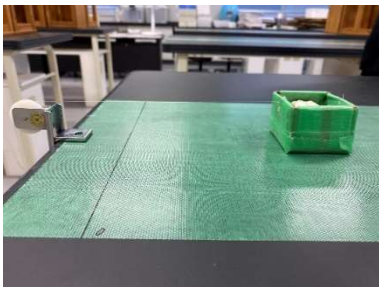
第三の実験では、重心が前方にあるとき、重さは前方に集中し、後方の接地面が浮くことで接地面積が減り、摩擦は小さくなると考えられる。よって、重心が前方から後方になると接地面の後方の浮く面積が減り、接地面が大きくなり、摩擦は大きくなると考えられる。また、重心が真ん中にあるとき、すでに後方の面積はほとんど浮いてないため、真ん中と後方では有意な差が見られなかったと考えられる。

第四の実験では、水平方向と物体を引く糸のなす角が仰角のとき、力が鉛直上向きと水平方向に分解され、鉛直上向きの力により、垂直抗力が小さくなったことで摩擦が小さくなり、接地面積も減ったと考えられる。同様になす角が俯角のとき、力が鉛直下向きと水平方向に分解され、鉛直下向きの力により、垂直抗力が大きくなったことで摩擦は大きくなったと考えられる。

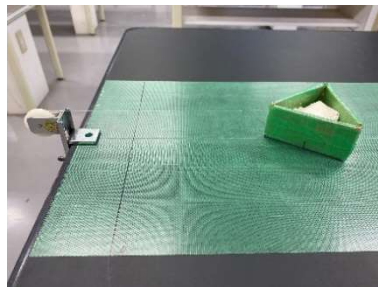
#### 5. 図表



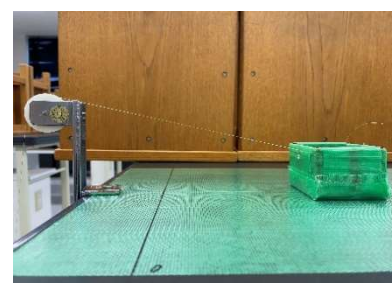
[図1]  
全ての実験に共通する条件



[図2] 接地面積を変えた第一の実験の様子。接地面積  $81 \text{ cm}^2$  では走行時間が短く、接地面積  $36 \text{ cm}^2$  では走行時間が長くなった。



[図3] 接地面の形を変えた第二の実験の様子。正三角形、正方形、長方形の3つの実験をした。



[図4] 水平方向と糸のなす角を変えた第四の実験の様子。平行にした場合と比べ、仰角にすると走行時間は短く、俯角にすると走行時間が長くなった。

#### 6. 参考

[文献1] 令和2年度下田高等学校理数科課題研究『綱引きを頭で制すには』