

# 「～物理の力で矢を分析～」

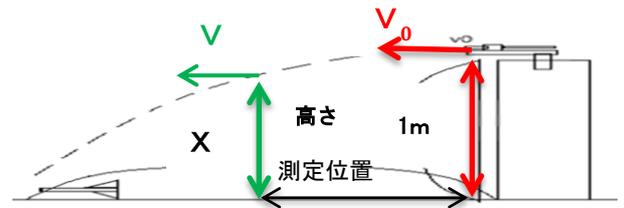
仲野 田山 大森 荒木 只野 近藤  
富田林高校

## Abstract

From the World Championships in Athletics, we were interested in the movements of javelins., so we decided to find the best way to fly objects. Therefore we examined the motion of arrows. At first, we examined the relation between angles and distances. Next, we measured the height and velocity of arrow using speed gun. Now, we are examining the orbit of the arrow with high-speed camera.

## 1. 仮説

矢の発射仰角、初速度、飛行距離について条件を変えて測定し、矢に働く空気抵抗や揚力を算出・比較することで、矢の飛行距離が変化する条件を考察することができる。



## 2. 実験および結果

### “実験 1” 斜方投射 飛行距離の計測



市販のスリングショットカタパルコを木製の、傾斜角が  $0^\circ$   $25^\circ$   $30^\circ$   $35^\circ$   $40^\circ$  に調節できるストレッチボードに固定した。(  $45^\circ$  については木片を固定した。)

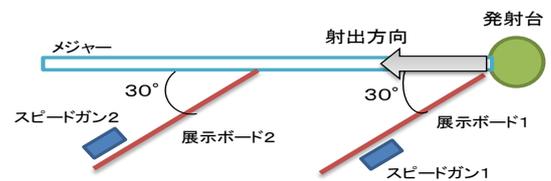
写真 1 角度台とスリングショット

### 実験方法

風の影響の少ない、四方を囲まれた屋外で、仰角  $20^\circ$   $25^\circ$   $30^\circ$   $35^\circ$   $40^\circ$   $45^\circ$  で矢を射出し、飛行距離を測定する。

### 結果と考察

仰角  $35^\circ$  において最も飛行距離が長くなった。矢の動きを観察した時、矢が鉛直上向きに先端の向きを変えていたため、仰角が  $10^\circ$  程度増加したと考えられる。



上-図1 下-図2

- 有孔ボード 2 に定規を固定し、矢の通過する高さを同時に測定した。
- ゴム強度を強と弱でそれぞれ矢を射出し 2 種類の初速度で違いを測定した。
- 羽を切り取った矢も同様の実験を行い、羽がある矢との比較をした。

## 結果と考察

| 羽無し    | 測定位置 | X    | $V_0$ | V    | 高さ   | 理想飛行距離 | 落下時間 | 加速度   |
|--------|------|------|-------|------|------|--------|------|-------|
| ゴム強度 強 | 6.5  | 9.28 | 19.9  | 18.8 | 0.35 | 8.6    | 0.48 | -3.55 |
| ゴム強度 弱 | 4.5  | 6.85 | 15.1  | 14.2 | 0.50 | 6.5    | 0.47 | -2.93 |

表1 羽無しの測定結果

| 羽有     | 測定位置 | X    | $V_0$ | V    | 高さ   | 理想飛行距離 | 落下時間 | 加速度   |
|--------|------|------|-------|------|------|--------|------|-------|
| ゴム強度 強 | 6.5  | 9.69 | 20.8  | 19.8 | 0.47 | 9.0    | 0.48 | -3.12 |
| ゴム強度 弱 | 4.5  | 6.66 | 14.8  | 14.0 | 0.51 | 6.4    | 0.46 | -2.56 |

表2 羽ありの測定結果

理想飛行距離と実測値を比較するとゴム強度によらず実測値の方が大きくなった。矢が鉛直方向で自由落下をしていると仮定すると落下時間は 0.45 秒と算出されるが、実測値から落下時間を求めると空気抵抗のない場合

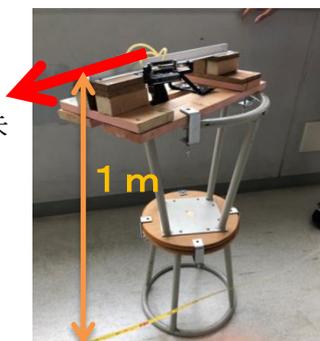
### “実験 2” 屋内での水平投射

屋内で水平投射を行いスピードガン 2 台で、初速度  $V_0$  速度 V を測定した。

### 実験方法

- 図2の通りに設置して矢の飛行距離 X、初速度  $V_0$  と速度 V を測定した。

右写真2



の0.45秒より長くなった。このことより矢には鉛直上向きの揚力が働くと考えられる。

羽がある矢と羽がない矢を比較すると飛距離、初速度、速度は変わらなかった。一方で矢に働く負の加速度は羽がない方が大きい。

### “実験3” 斜方投射の撮影

#### 実験方法

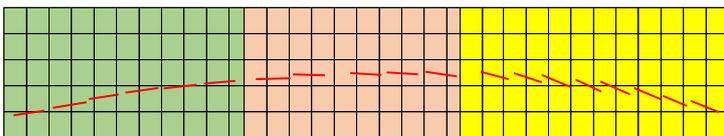
#### 写真3



1. 有孔ボードにビニールテープで一辺0.5mの方眼模様を作る。(写真3 参照)
2. ハイスピードカメラを120コマ/秒に設定し、有孔ボードの前を通過する矢を撮影する。
3. 発射位置を1mずつずらしながら、上記工程を繰り返す。

#### 結果と考察

#### 図3

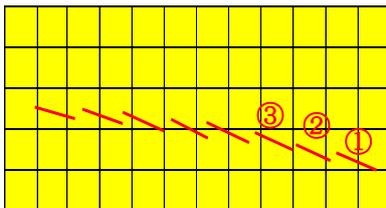


写真を5コマごと(1/24秒)の位置を取り図3に示した。この図を上昇・中間・下降の3カ所に区分する。

#### ①発射地点からの上昇区間

矢はほとんど仰角を変えずに飛行しており、線分の間隔より速度は減速している。

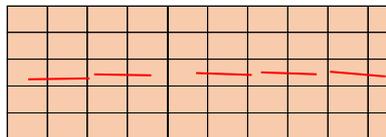
図4



#### ②最高点付近

進行方向と矢の向きが一致していることが分かる。

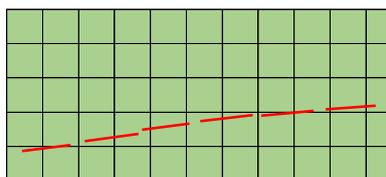
図5



#### ④下降区間

下降に伴って、地面と平行な向きに変化する傾向があった。

図6



羽がない場合には、矢が仰角を変えずに飛行する機会が多く見られた。そのため、矢の羽が矢の向きを飛行軌道に向ける働きをしており、この働きが矢の軌道を安定させていると考えている。

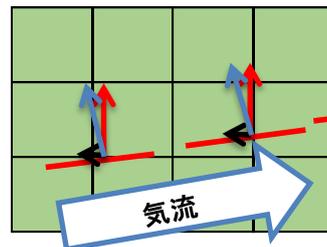


図7

また、下降中の矢にかかるちからを作図した時に、矢が気流に乗った状態で、図7のように鉛直上向きの揚力が働き、矢を上向きにする働きがあったと考えた。これと同様に、上昇時においても右のような作図ができ、平板翼に加わる力と同様の揚力が得られるのではないかと考えた。

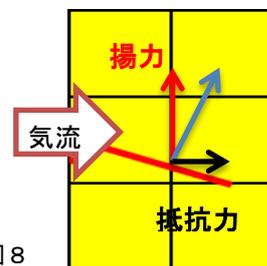


図8

### 3 考察

(1) 矢には上向きの揚力が働いており、この力は、矢の羽に働いていると仮定して、矢の羽の有無による落下時間の差を調べたが、矢の羽の有無で差があるとはいえなかった。このことから、矢に働く揚力は矢の軸全体に働く力であると考えられる。

(2) 矢に働く水平方向の減速の加速度は、初速度が大きいほど大きく、矢の羽が無い方の減速の加速度が大きくなる傾向があることがわかった。教科書では、空気による抵抗力は速度に比例する力:kvを用いたが、その結果と一致した。

### 課題

今後は、ハイスピードカメラを2台にして、より連続性を確立したいと考えている。また、動画による連続写真から正確に矢の座標を得ることで、さらに深い研究をしていきたい。現在、ssh物理班では風洞実験装置の作成を始めており、その完成を待って矢の軸付近の空気の流れについても、調べていきたい。