

# 自作風洞実験装置を用いた矢の飛行分析

発表者 田川晴登 古家日南太 和田明澄 山森歩  
大阪府立富田林高等学校

## Abstract

We wanted to try unsolved problems in the last years' experiment, "Analyzing Arrows with physics."

In order to elucidate those, we made a wind tunnel experimental device. We investigate the force working on the arrows by using it.

## 1. 背景・動機

昨年度、富田林高校SSH物理班では矢の飛行についての探究が行われた。そこで得られた実験結果の中には未だ解決していない事項が含まれていた。

私たちは昨年度の実験を先行研究とし、以下の①、②の課題を解決すべく研究を進めた。

- ① 風洞実験装置を作成して、矢にも平板翼と同様の力が働くことを実証する。
- ② 矢の軸の長ささと飛行軌道および揚力の関係について実験を行いその関係を考察する。

## 2. 風洞実験装置を用いた揚力の測定

### 2.1 実験方法



写真1 風洞実験装置

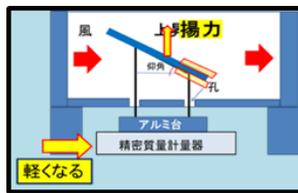


図1 矢の取り付け図

写真1の風洞実験装置を自作し、図1のように、支持台に矢を取り付け、ファンで風を送る。精密質量計の質量が減少量から矢に働く揚力を測定する。

ファンに加える電圧と矢の仰角を変えて実験した。仰角を変える度に各電圧において支持台の中心位置での風速を測定した。

### 2.2 実験結果

ファン電圧 (V)	14	16	18	20	22	24	26
仰角 20°	0.51	0.66	0.83	1.03	1.22	1.44	1.67
仰角 15°	0.22	0.28	0.34	0.43	0.52	0.63	0.74
仰角 10°	0.11	0.14	0.18	0.22	0.26	0.32	0.38
仰角 5°	0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18	0.21
風速	3.2	3.5	3.9	4.3	4.7	5.1	5.4

表1 ファン電圧と仰角、風速、揚力の関係

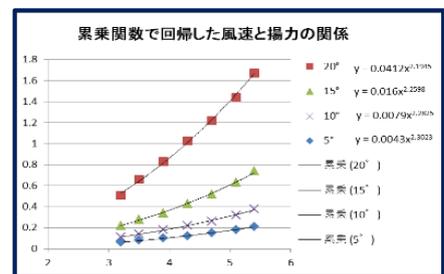
表1のように風速、仰角が大きくなるとともに増

加する揚力の存在が確認できた。

### 2.3 実験の考察

仰角の大小によらず矢に働く揚力は4 m/s以下の低速では抵抗力が速度に比例し、4 m/sを越す辺り

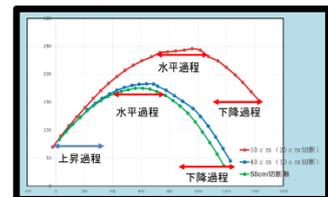
から速度の2乗に比例した。結果より、先行研究より空気抵抗に起因する揚力であることがわかった。



グラフ1 風速と揚力の関係

## 3. 矢の軸の長ささと矢の飛行軌道の比較

矢の軸の長さの変化と飛行過程を測定した結果はグラフ1のようになった。グラフの緑が50 cm、青が40 cm、赤が30 cmになる。50 cmと40 cmの飛行はあまり差が見られなかったが、30 cmでは高く遠くへ飛ぶことがわかった。



グラフ2 矢の軸の長ささと飛行過程の関係

## 4. 矢の軸の長ささと揚力の関係

### 4.1 実験方法

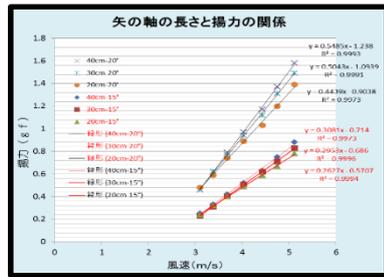
2章の実験方法に従い、支持台の傾斜部に矢の軸の長さが40 cm、30 cm、20 cmについて、仰角を20°、15°に変えて実験を繰り返した。

### 4.2 実験結果

#### ① 矢の軸の長ささと仰角の関係

グラフ6より、揚力は仰角の違いでは差が出ることが分かった。また、矢の軸の長さの違いでも軸の

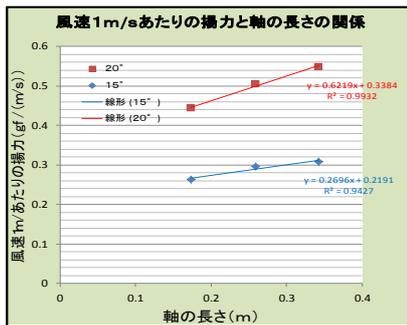
長さに比例して  
僅かに傾きの差  
が生じているこ  
とが分かった。



グラフ3 矢の軸の長さとの揚力の関係

### 4.3 実験の考察

グラフ6より、同じ仰角での軸の長さとのグラフの傾きの関係はグラフ3のようになった。



グラフ4 矢の軸の長さとの揚力の関係

グラフの縦軸は風速 1 m/s あたり揚力を表し、グラフの傾きは風速 1 m/s、軸 1 m あたりに働く揚力を表し、仰角 15° では風速 1 m/s につき軸 10 cm には 0.027gf、20° では 0.062gf の揚力が働いていることが分かった。

### 5. 考察

4章で矢の軸の長さとの揚力の関係から、矢の軸に働く揚力を測定することができた。これより、矢全体に働く揚力を矢の軸部と羽根部に働く揚力に分けて考えることができるようになった。

仰角20°	軸部分			羽部分				軸羽揚力比
	長さ	質量	揚力	長さ	質量	揚力	平均	
40cmの矢	27cm	8.6g	0.16gf	13cm	6.3g	0.41gf	0.42gf	2.6
30cmの矢	17cm	5.4g	0.11gf	13cm	6.3g	0.45gf		3.8
20cmの矢	7cm	2.2g	0.04gf	13cm	6.3g	0.40gf		10

表2 矢の軸部分と羽部分に働く揚力の大きさと比

矢は大きさを持っているので、矢は飛行中に矢の軸部と羽根部に働く揚力により回転する力（モーメント）が働くことになる。矢を軸の部分と羽のついた部分とに分けてそれぞれの質量と揚力を求めたものが表2である。

モーメントは加わる力と回転の中心（重心）から

の距離の積で求められる。矢の質量を矢の軸部と矢の羽根部の質量の和と考えると、矢の回転の支点（重心位置）はそれぞれの中心位置と質量から計算できる。回転力は図20で示したように揚力と重心からの距離の積で求められる。

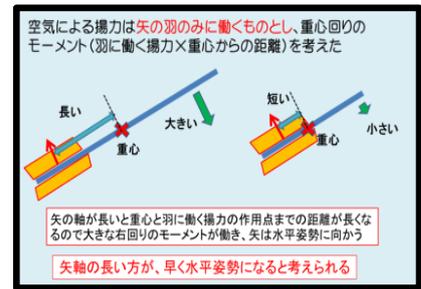


図2 矢の軸の長さとのモーメントの関係

仰角15° 15m/s 計算値	軸部分		羽部分		全体の重心位置	回転力
	重心位置	揚力	重心位置	揚力		
40cmの矢	13.5cm	1.1gf	33.5cm	2.8gf	22.0cm	22g・cm
30cmの矢	8.5cm	0.78gf	23.5cm	3.0gf	16.6cm	14g・cm
20cmの矢	3.5cm	0.30gf	13.5cm	3.0gf	10.9cm	6g・cm

表3 矢の軸部分と羽部分の重心位置と働く揚力と回転力

グラフ4で直線性の高かった仰角 15° について軸部分と羽部分の矢先からの重心位置とグラフ2の1次関数の x に15を代入して得た揚力の値に基づいて計算した回転力を表3に示した。

矢に働く回転力は 40 cm から 30 cm で 22gf・cm から 14gf・cm と概ね半減し、20 cm では更に小さくなることがわかった。以上の結果から矢が長いほど回転力により水平への復元力が大きく働き、早く水平過程に入ると考えると3章の結果の説明がつく。

### 6. 課題と展望

矢には平板翼と同等の揚力が働き、矢の羽だけでなく、軸にも揚力が働いていることが分かり、測定した揚力から得た回転力から矢の軸の長さによる飛行軌道の差について考察することができた。

今後は風洞装置の風速は矢の速度に近づける必要がある。また、矢の重心を変えて飛行軌道を測定し、今回の結果の検証をする必要がある。

### 7. 参考文献

- ・陸上競技の理論と実践 Sprint&Conditining
- ・一般社団法人日本機械学会流体工学部門 平板翼