

# ～ 自作風洞実験装置を用いた矢の飛行分析～

大阪府富田林高等学校SSH物理班

# 背景・目的

富田林高校物理班の先行研究

「ボウガンの矢の飛行分析」

に関心をもち

未解決課題を解明したいと思った

# 未解決課題

## 1. 『矢に働く揚力』の正体の解明

矢に働く揚力は平板翼に働く揚力と本当に同じものなのか

## 2. 『矢の軸を短く切ると高く遠くに飛ぶ』

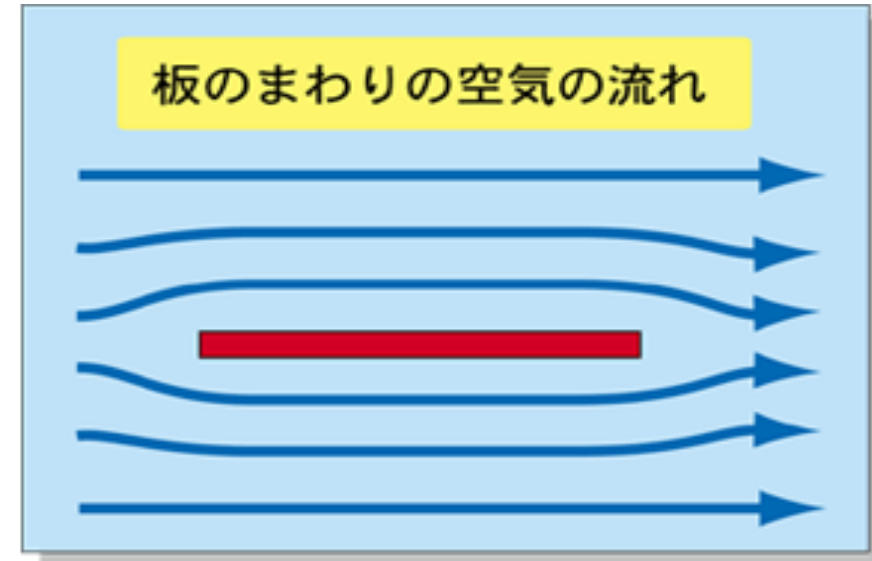
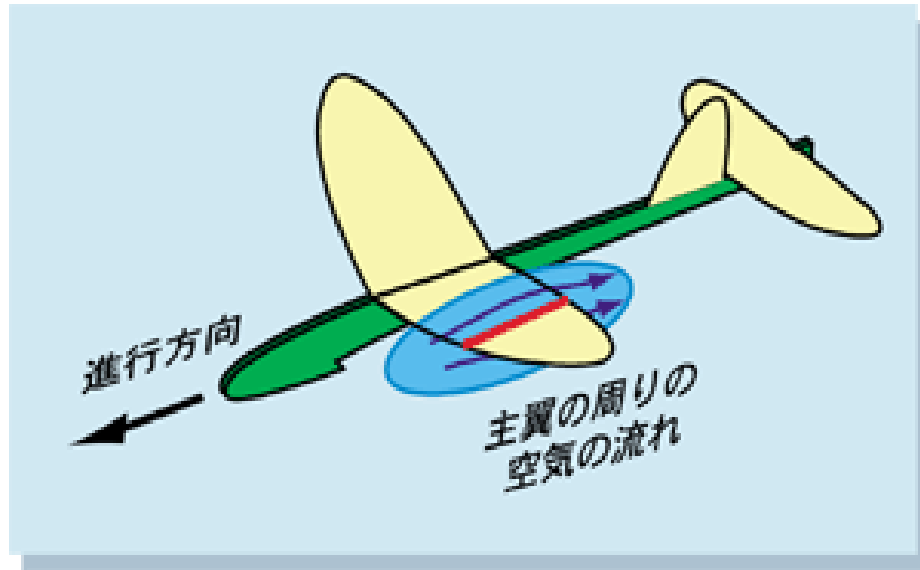
飛行中の矢にはどのような力が働くのか

# 未解決課題 1

『矢に働く揚力』の正体の解明

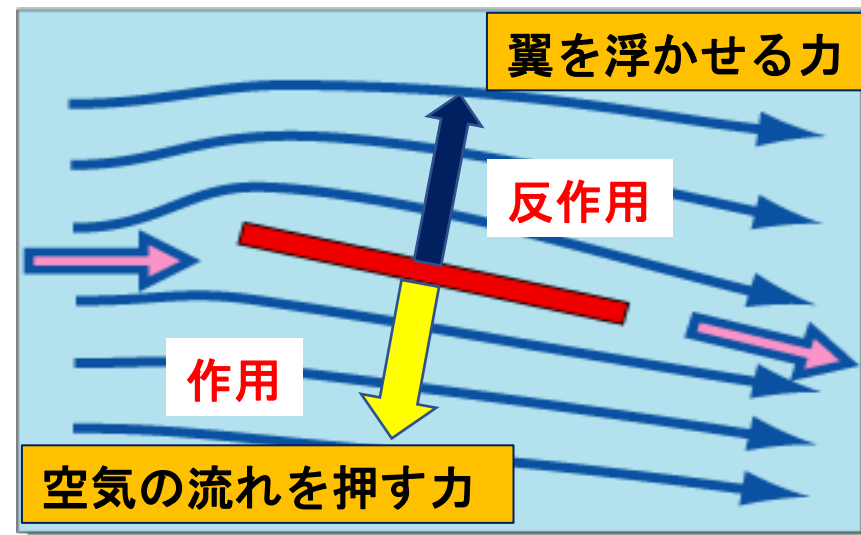
簡易風洞実験装置を作成し  
矢に働く揚力を実測する

# 平板翼に働く揚力（アンダーソンの作用反作用説）

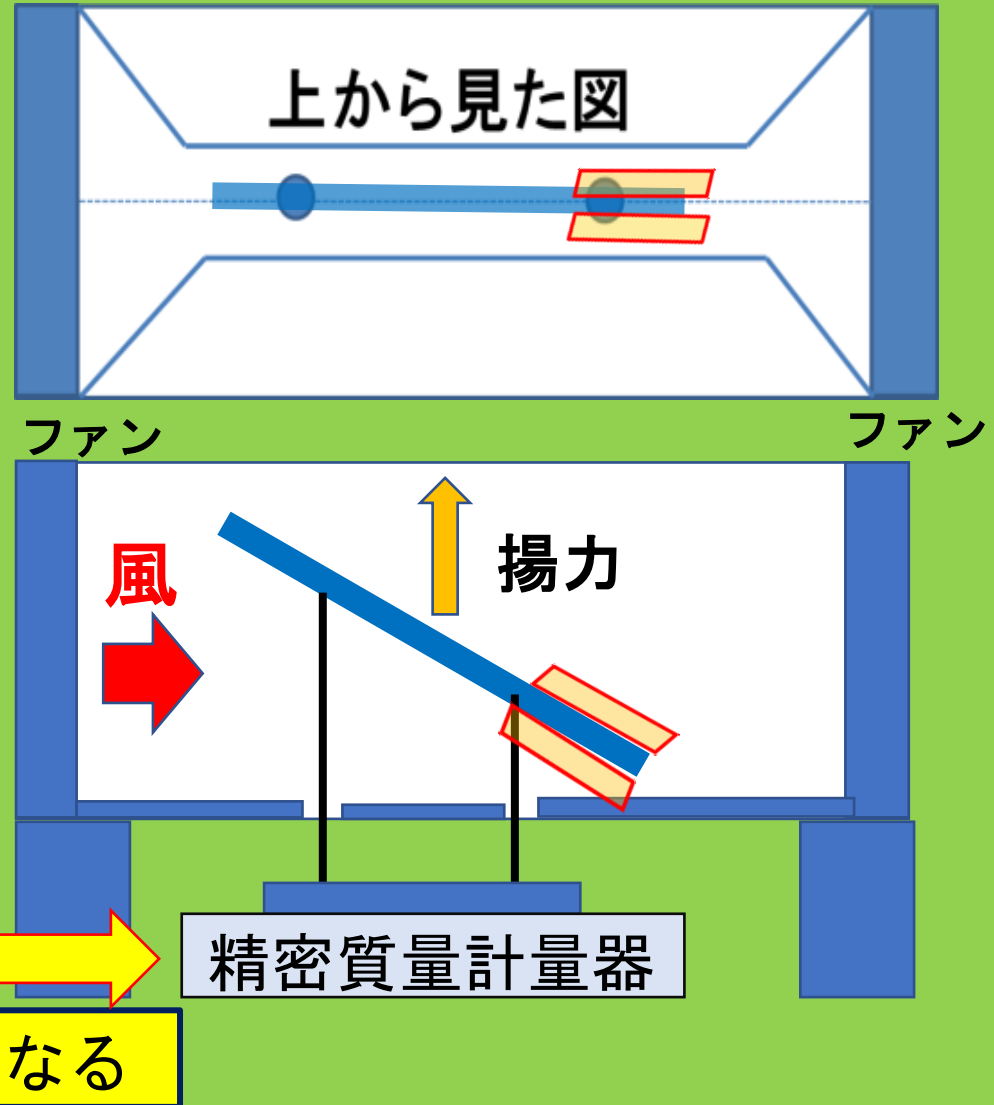
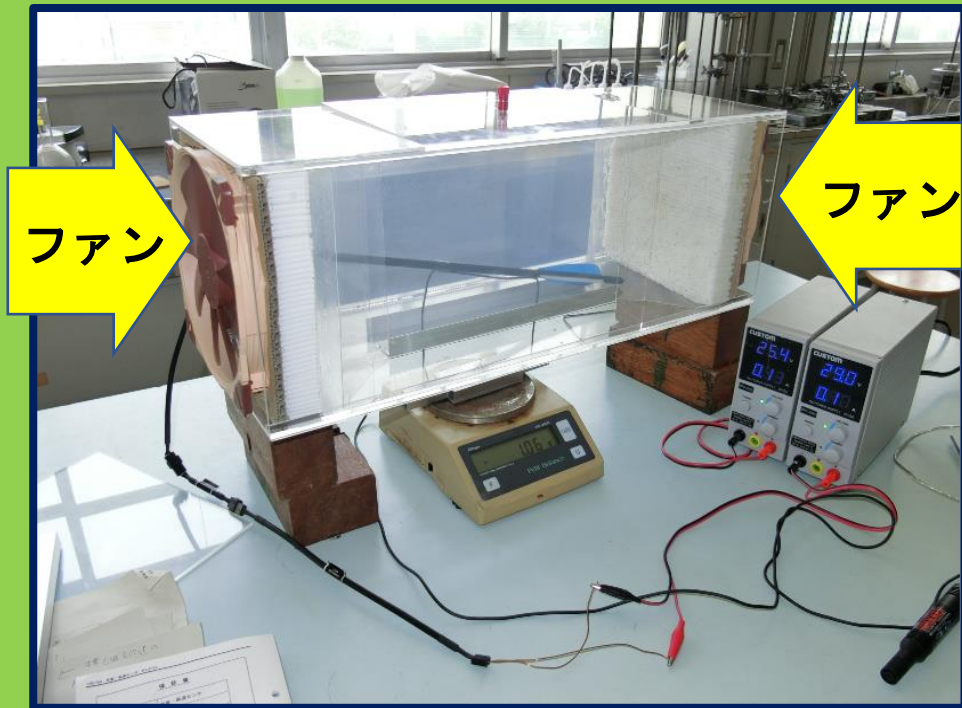


1. 平板翼が空気の流れ（風）  
を下へ押し曲げる **作用**

2. 気流が平板翼を上へ  
押し返す **反作用**



## 6. 風洞実験装置の写真と概略図



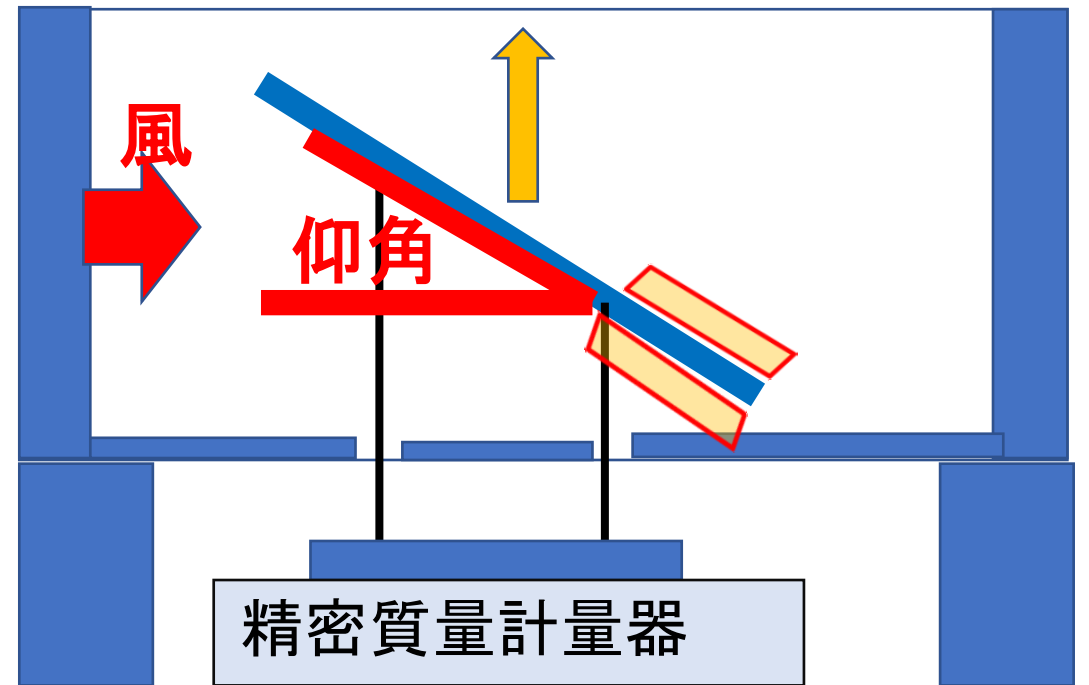
# 実験の内容

使用する矢 40 cm

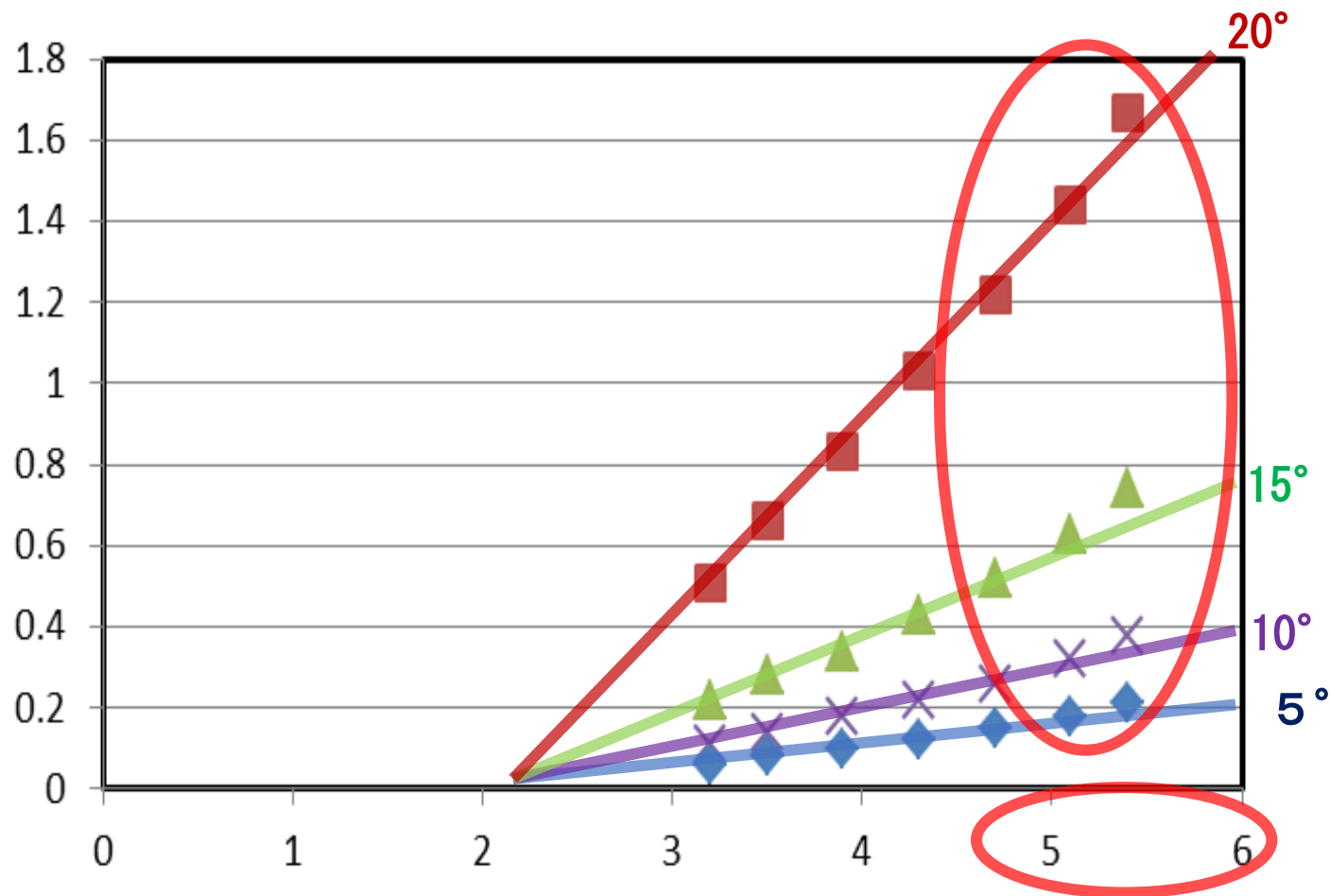
風と矢の角度(仰角)を決めて

(仰角は $5^{\circ}$   $10^{\circ}$   $15^{\circ}$   $20^{\circ}$ )

風速を変えたときの  
揚力を測定する



40cmの矢に働く風速と揚力の関係



## 結果

同じ揚力では  
風速と揚力は比例する

仰角が大きいほど  
揚力が大きくなる

風速が5 m/sを  
超すと2次関数曲線  
の傾向が出る



# 先行研究より


平板翼に働く揚力（アンダーソンの作用反作用説）



空気の抵抗力に起因する力

## 空気による抵抗の特徴

風速や風にあたる面積が小さい  速度に比例する

風速や風にあたる面積が大きくなる  速度の2乗に比例する

# 結論 1

矢に働く揚力は

アンダーソンの作用反作用説に  
基づく平板翼に働く揚力と  
同じ力と考えられる

# 未解決課題2

『矢の軸を短く切ると高く遠くに飛ぶ』

飛行中の矢に働く力を分析する

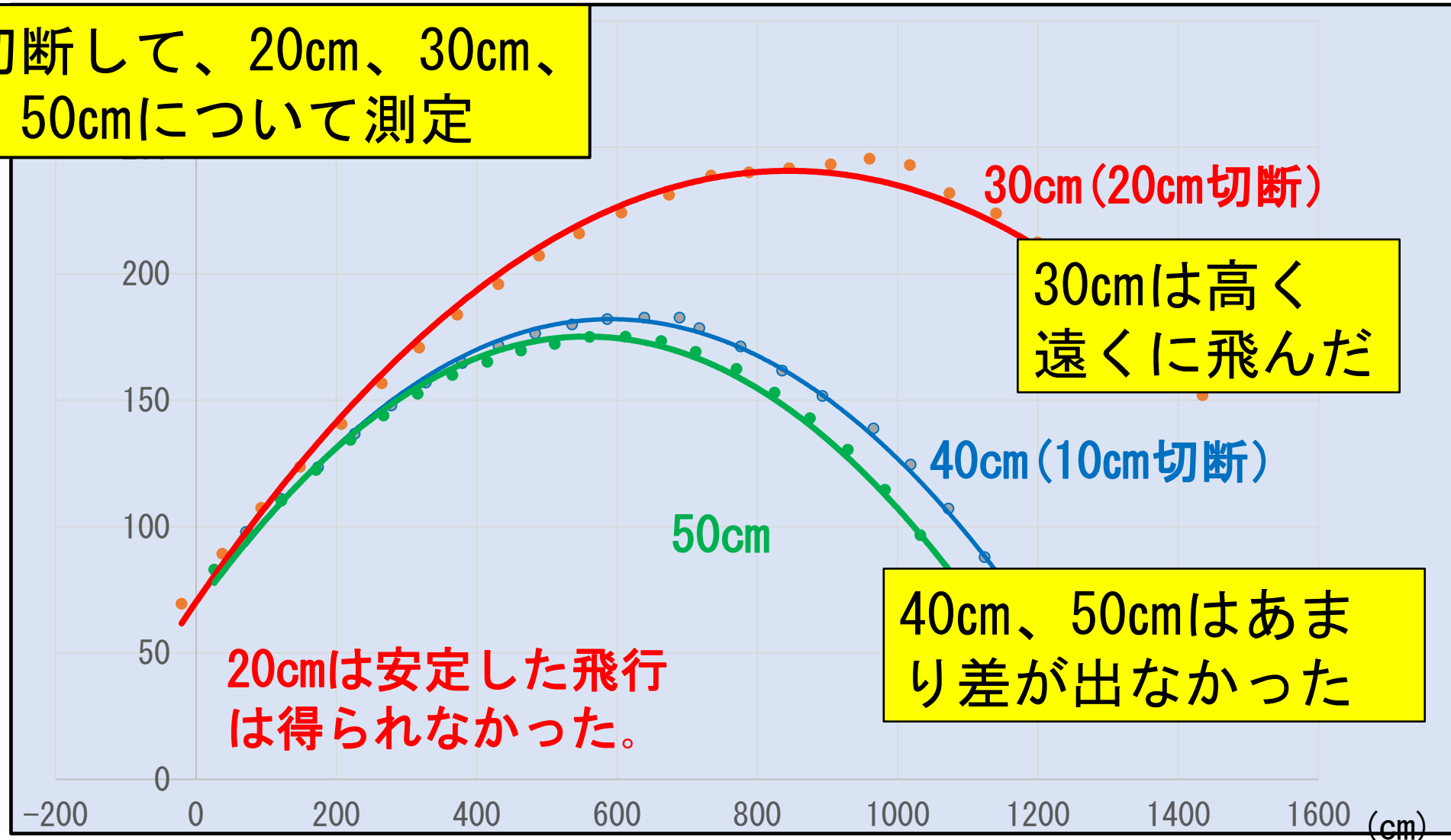


矢と発射装置

ハイスピードカメラにより矢の飛行の様子を撮影した。

# 矢の軸の長さ と 飛行軌跡の関係

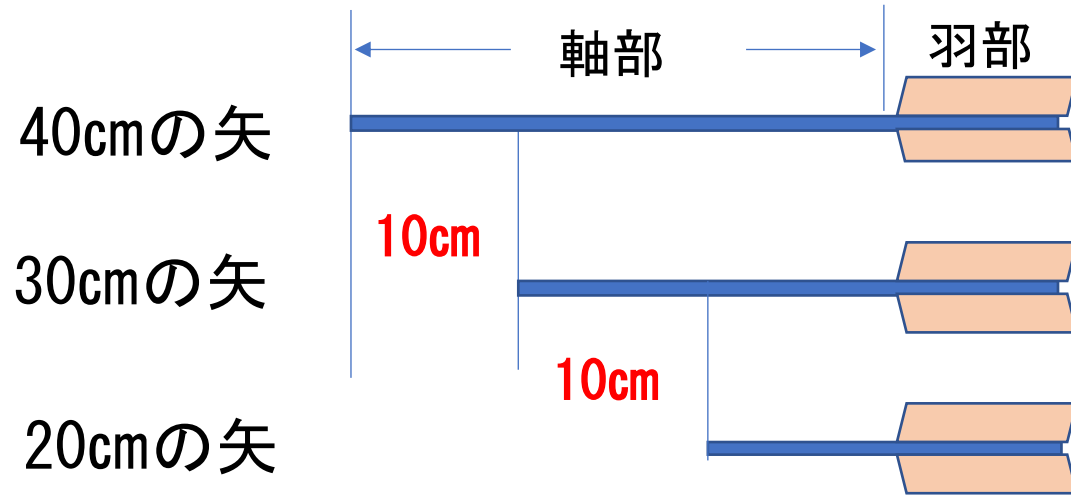
矢を切断して、20cm、30cm、40cm、50cmについて測定



注：グラフの曲線はエクセルの多項式近似を用いた

# 風洞実験から矢に働く力を測定

使用する矢

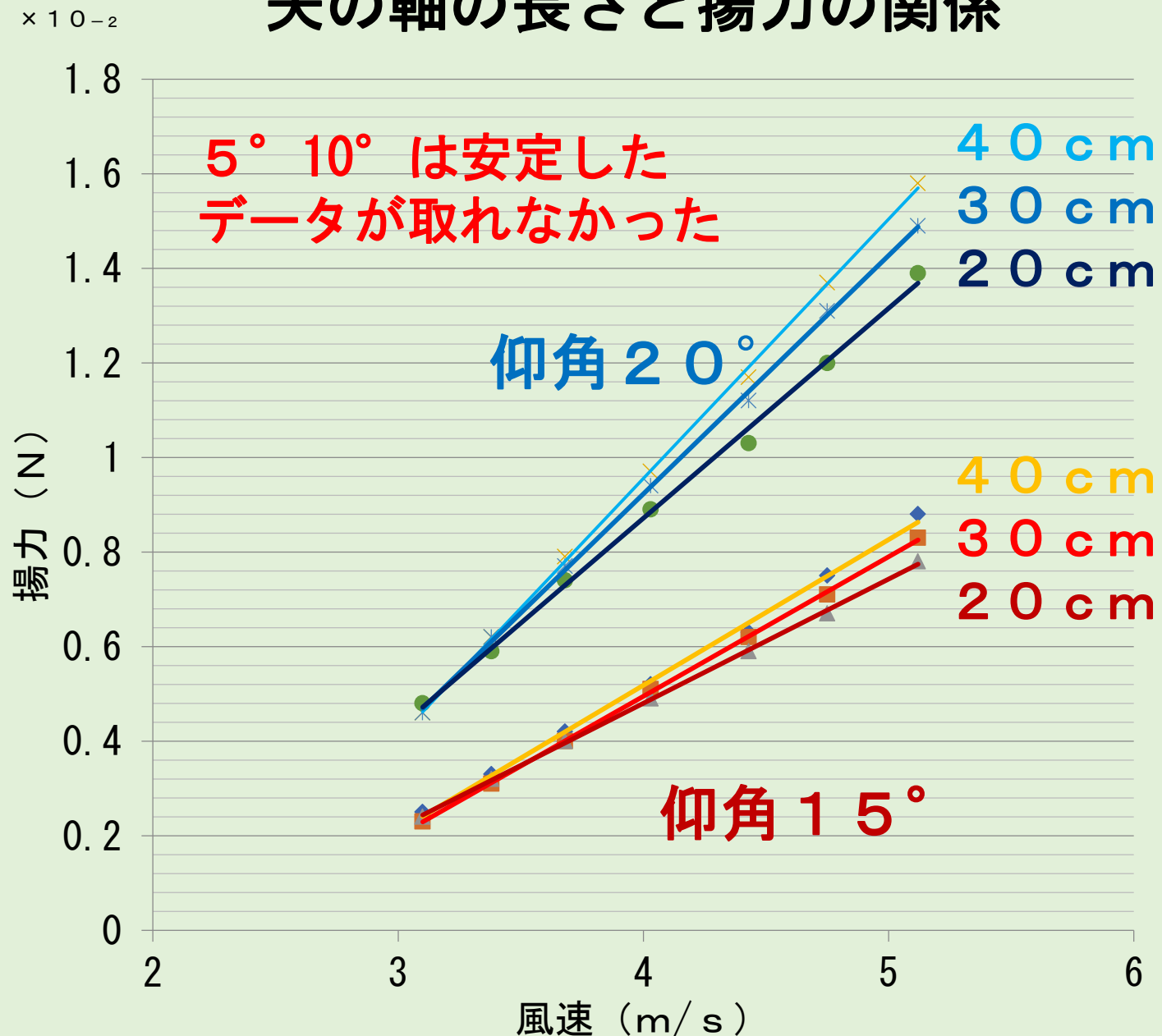


風と矢の角度(仰角)を決めて

(仰角は $5^{\circ}$   $10^{\circ}$   $15^{\circ}$   $20^{\circ}$ )

風速を変えたときの揚力を測定する

# 矢の軸の長さ と揚力の関係



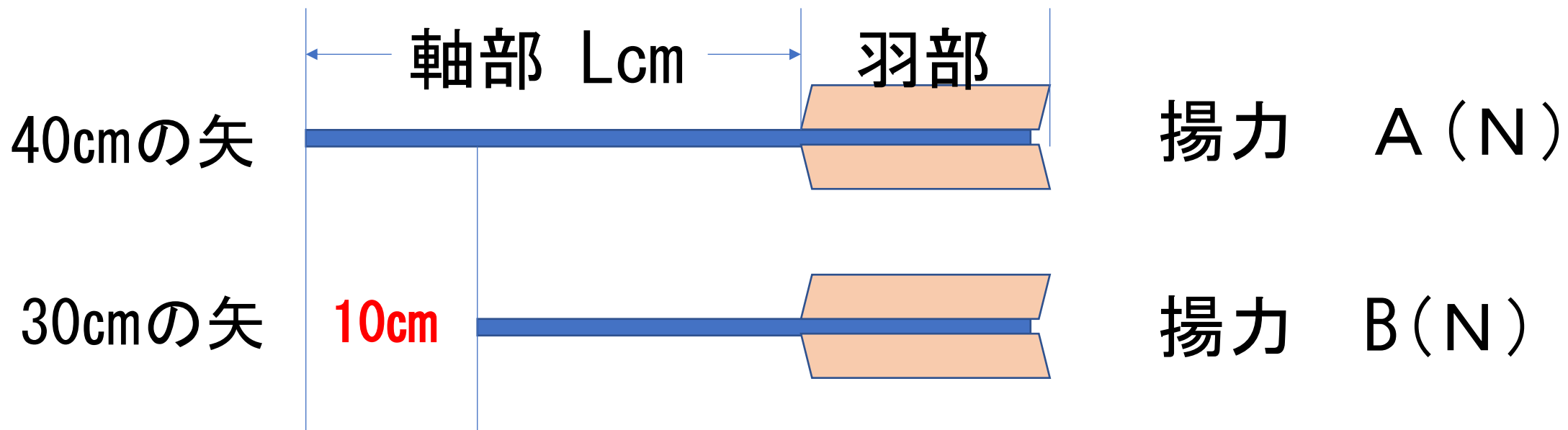
## 結果

同じ仰角では  
矢の長さによる  
揚力の差は  
僅かである

同じ仰角の  
グラフの傾きの差



次のスライドへ



$A - B =$  矢の軸10cmに働く揚力

上の式から、

矢の軸部に働く揚力  $F = ((A - B) \times L / 10)$  と

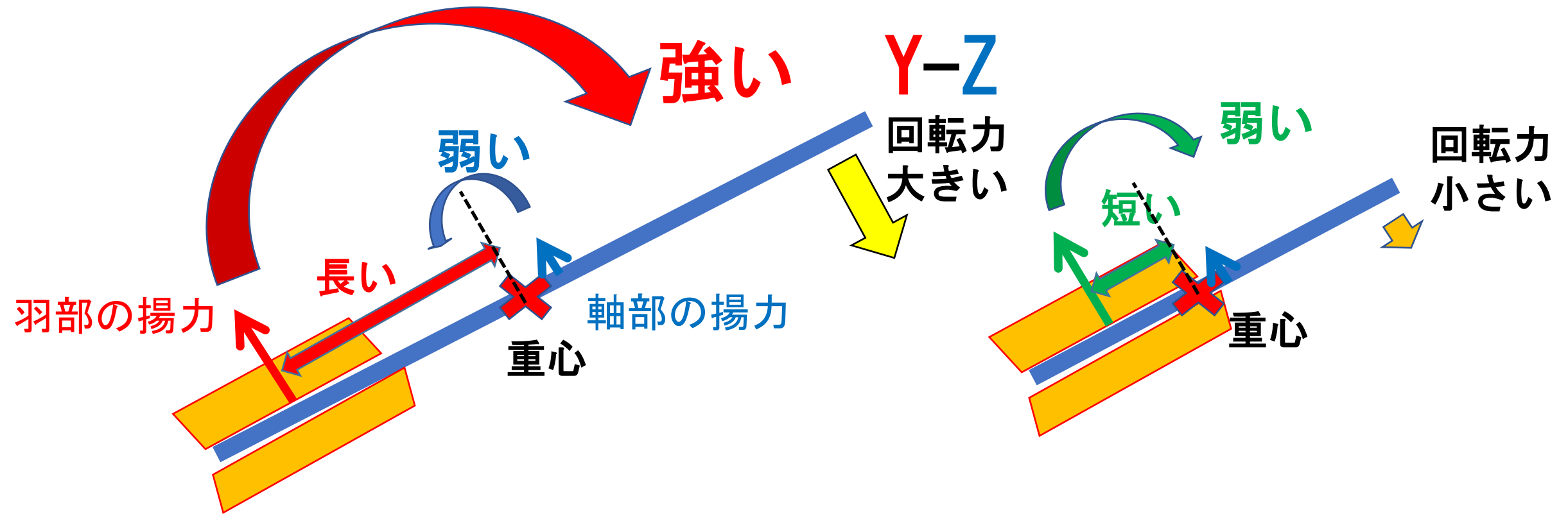
羽部に働く揚力  $(A - F)$  が計算できる



空気による揚力は重心回りの回転力(モーメント)

時計回りの回転力: Y 羽部に働く揚力 × 重心からの距離

反時計回りの回転力: Z 軸部に働く揚力 × 重心からの距離



回転力は矢を水平姿勢に戻す働きをする

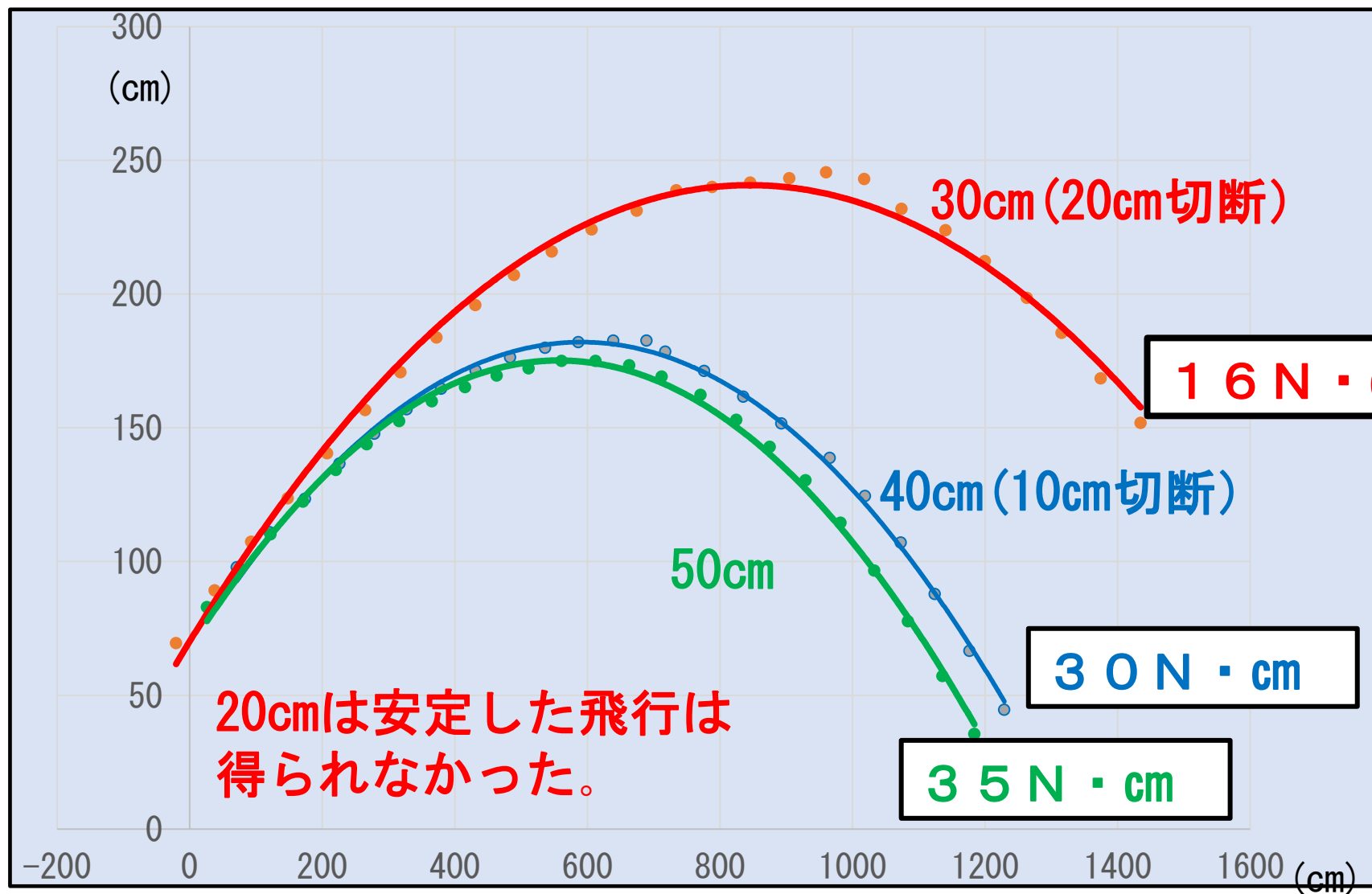
仰角15° 15m/s 計算値	軸部分			羽部分			全体の 重心 位置	回転力
	重心位置	重力	揚力	重心位置	重力	揚力		
50cmの矢	18.5cm	11.6N	1.39N	43.5cm	6.2N	2.9N	27.2cm	35N・cm
40cmの矢	13.5cm	8.4N	1.1N	33.5cm			22.0cm	30N・cm
30cmの矢	8.5cm	5.3N	0.76N	23.5cm			16.6cm	16N・cm
20cmの矢	3.5cm	2.2N	0.29N	13.5cm			10.9cm	6N・cm

50cmはデータから計算値で求めた

注: 力の値は全て  $10^{-2}$

各重心位置は矢の先端からの距離で表した  
軸部、羽部の揚力は各重心位置に働くと考えた

# 矢の軸の長さ と 飛行軌跡の関係



## 結論



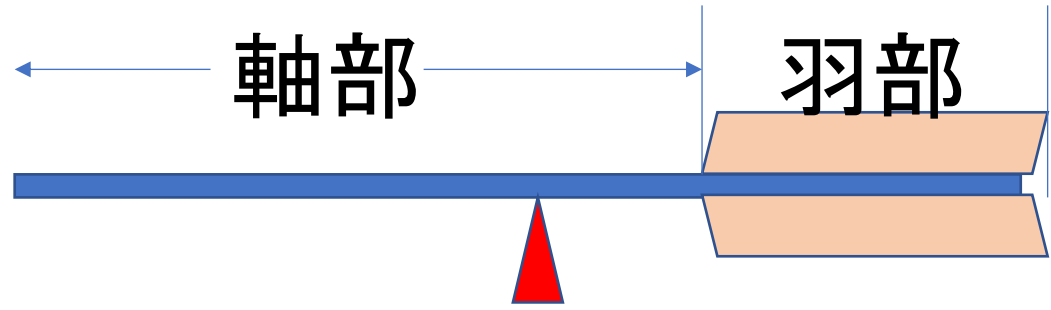
回転力の大きさが矢の飛行に影響を及ぼしている

回転力は  $\times 10^{-2}$

# 仮説

矢の長さが同じでも、  
重心の位置を変えれば  
矢の長さが異なる場合と  
同じ結果になるのではないか

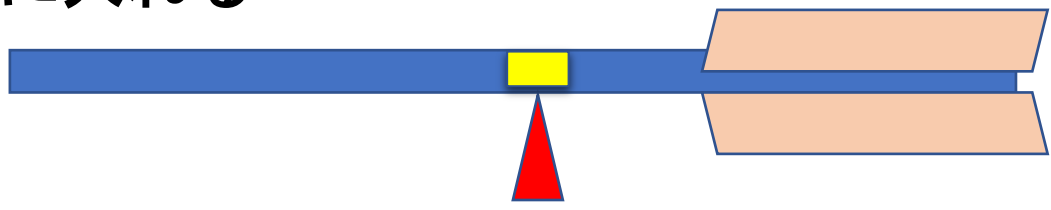
40cmの矢



4 g の重り  
■

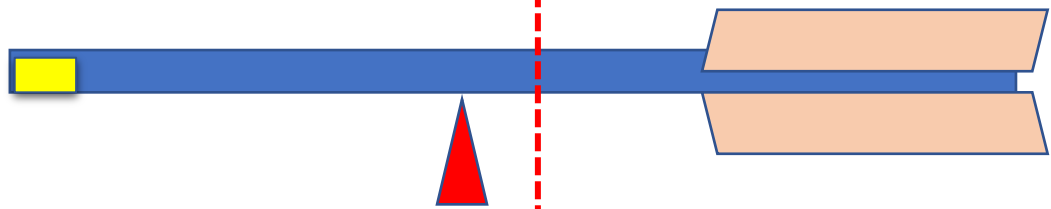
重心 (前から 22 cm)

矢の筒内に入れる

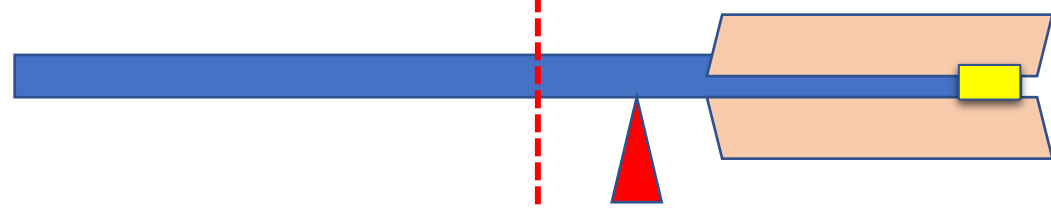


重心は前から 22 cm

矢の質量は  
変えずに  
重心だけを  
変えた

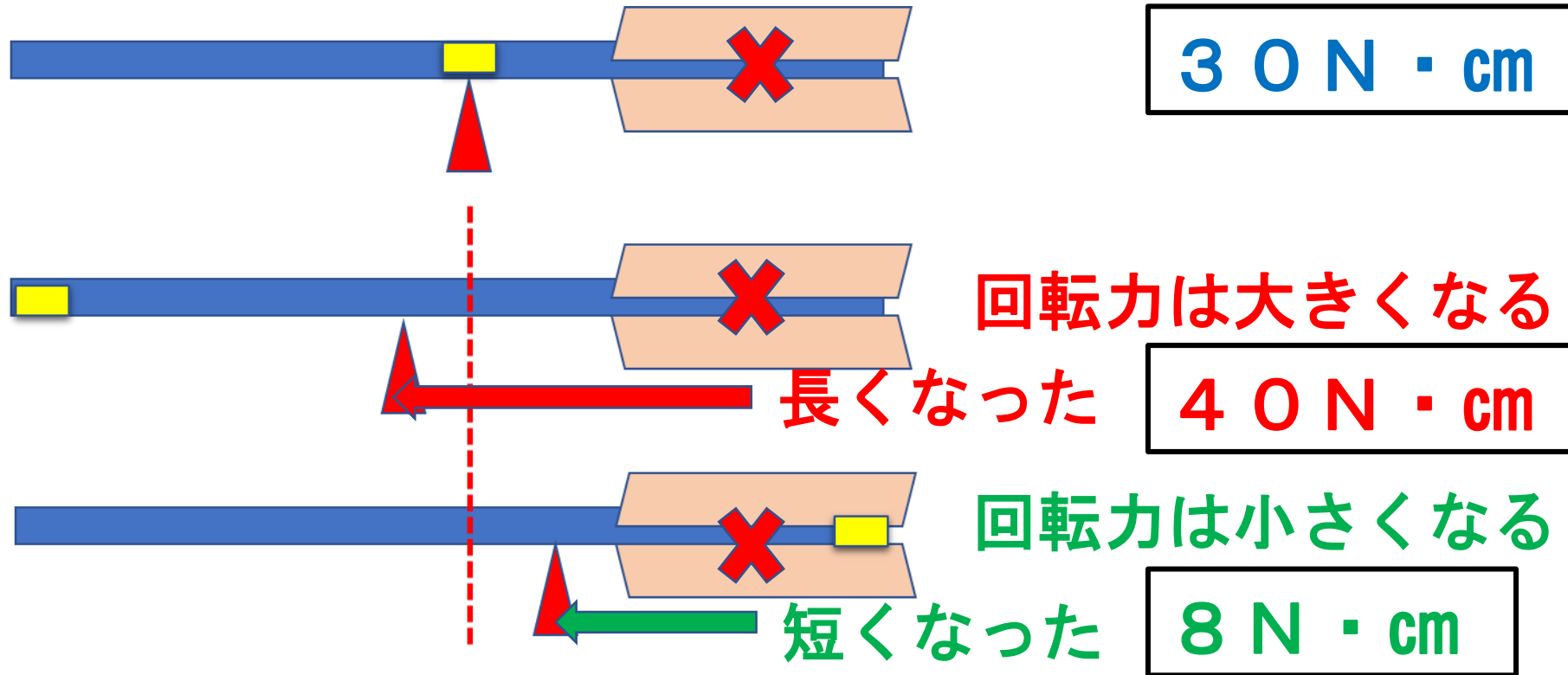


重心は前から 18 cm  
4cm前へずれる



重心は前から 26 cm  
4cm後ろへずれる

# 回転力はどう変化するだろうか



回転力  
↓  
矢を水平にする力

実験で確かめました

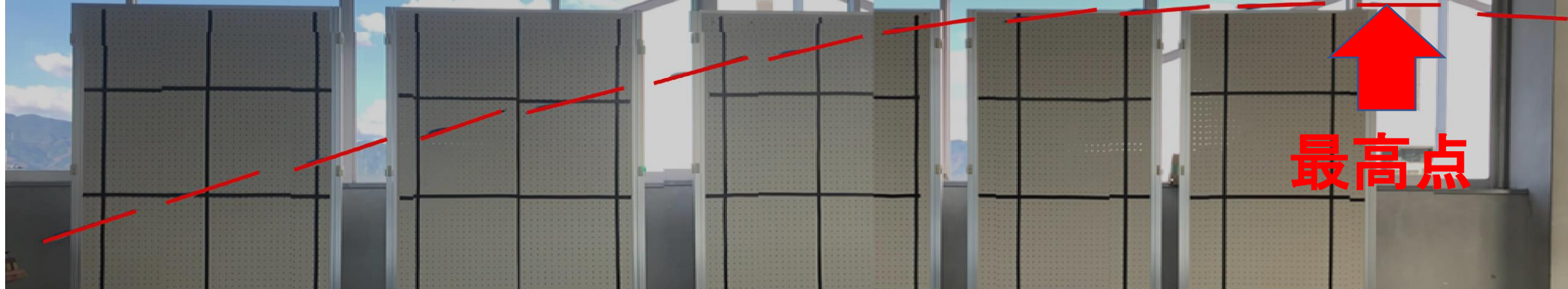


重心変化なし

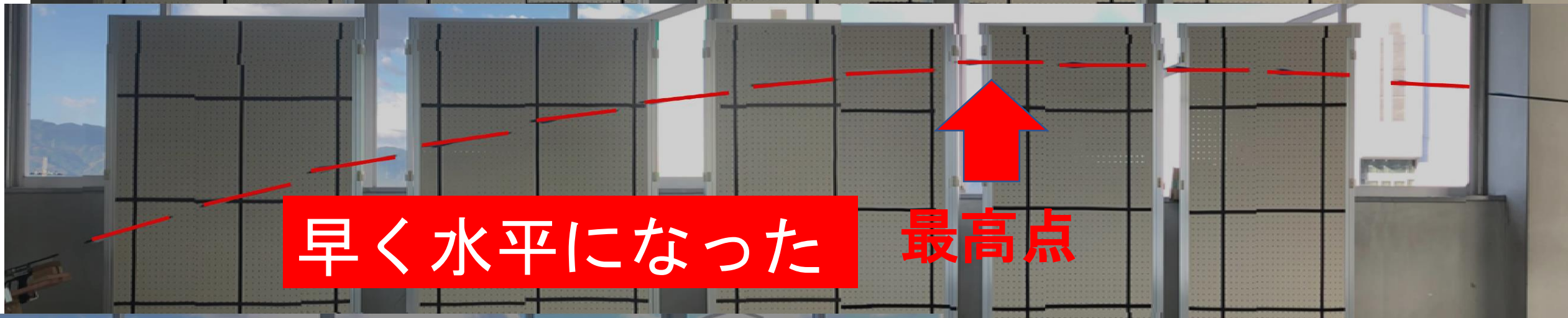
重心前へ移動

重心後ろへ移動



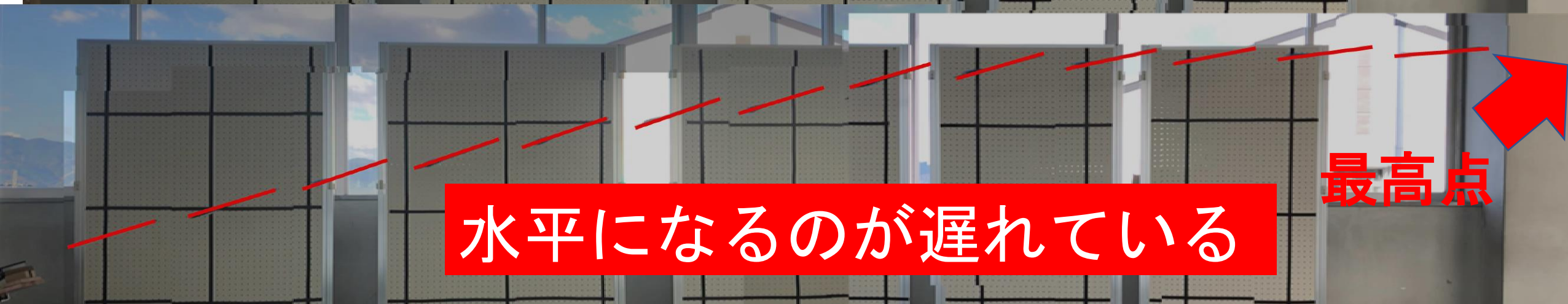


最高点



早く水平になった

最高点



水平になるのが遅れている

最高点

## 結論 2

- 矢に働く回転力は、  
矢を水平に戻す働きをする。
- 回転力が大きいほど  
早く最高点に到達する。

# 課題

風洞の風速が実際の飛行速度（15～17m/s）よりも小さく、6m/sよりも風速が大きい場合のデータがとれていない。

ご清聴ありがとうございました