

# ターボジャブの飛距離と空力特性

バイオロジー研究グループ  
 ○塩見健人(学部生)、○西田宙起(学部生)、中川晋(院生)、中嶋智也(大阪府立大学)  
 板野智昭(システム理工学部 物理・応用物理学科 准教授)、関真佐子(教授)

## 研究概要・成果

### はじめに

ターボジャブとは、陸上競技の投擲種目“ジャベリックスロー”に用いられる器具である(図1)。本研究では、ターボジャブの飛行特性を調べるために、(1) 風洞実験による3分力(抗力、揚力、ピッチングモーメント)の計測と、(2) 投射実験による初期条件(初速、初期角度、初期迎え角)と飛距離の関係の検討を行った。風洞実験で得られた3分力の値を用いて、各投射実験の初期条件からスタートしたターボジャブの飛行軌道の数値解析を行い、得られた飛距離と実際の飛距離との大小によって実験結果を整理した。

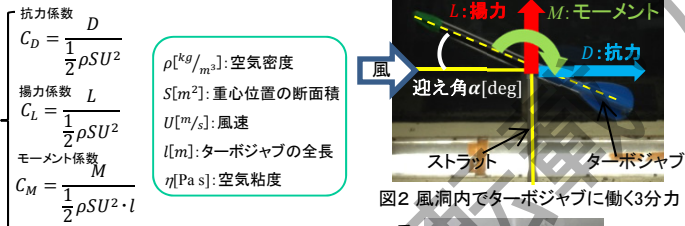


図1 ターボジャブ(全長0.70[m],軸直径3.72[cm])

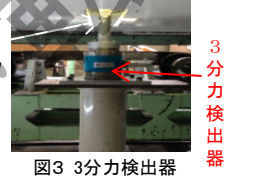
### (1)風洞実験

### 実験方法

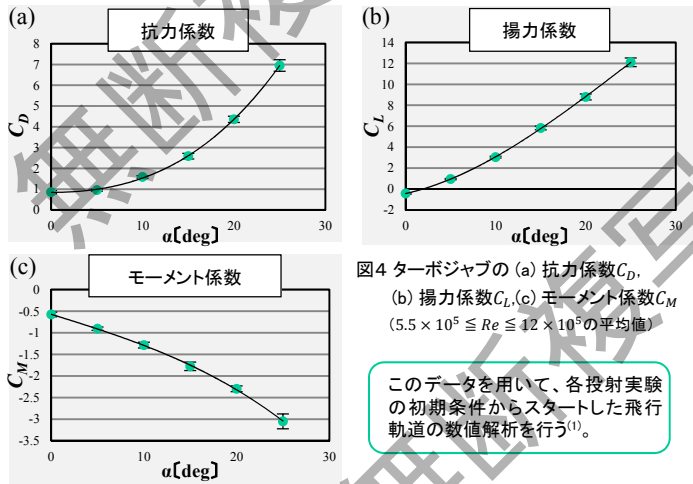
ゲッチンゲン型回流式低速風洞装置(大阪府立大学内)に、ターボジャブを迎え角 $\alpha(0 \leq \alpha \leq 25)$ で設置し(図2)、3分力検出器(図3)を用いて、抗力 $D$ 、揚力 $L$ 、ピッチングモーメント $M$ を測定する。測定結果から抗力係数 $C_D$ 、揚力係数 $C_L$ 、モーメント係数 $C_M$ を求める。



《実験条件》  
 風速  $U$ : 12~24[m/s]  
 レイノルズ数  $Re (= \rho U l / \eta)$ :  
 $5.5 \times 10^5 \leq Re \leq 12 \times 10^5$   
 迎え角  $\alpha$ : 0~25[deg]



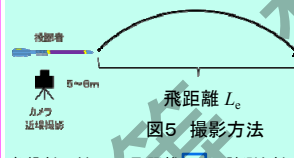
### 実験結果: 各空力係数の迎え角依存性



### (2)投射実験

### 実験方法

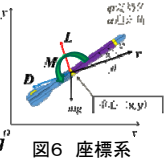
#### ・投射実験の方法



#### ・飛行軌道の数値解析の方法

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = -L \sin \theta - D \cos \theta \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = L \cos \theta - D \sin \theta - mg \\ \frac{d^2\varphi}{dt^2} = M \end{cases}$$

( $x, y$ ): ターボジャブの重心座標,  $\varphi$ : 姿勢角  
 $m$ : 質量,  $I$ : 長軸周りの慣性モーメント  
 $D$ : 抗力  
 $L$ : 揚力  
 $M$ : ピッチングモーメント



各投射に対して、飛距離 $L_e$ の計測と射出時の撮影を行い、画像解析により初期条件を求めた。

各投射実験の初期条件から、上式を積分して飛行軌道を求め、飛距離 $L_s$ を計算した。

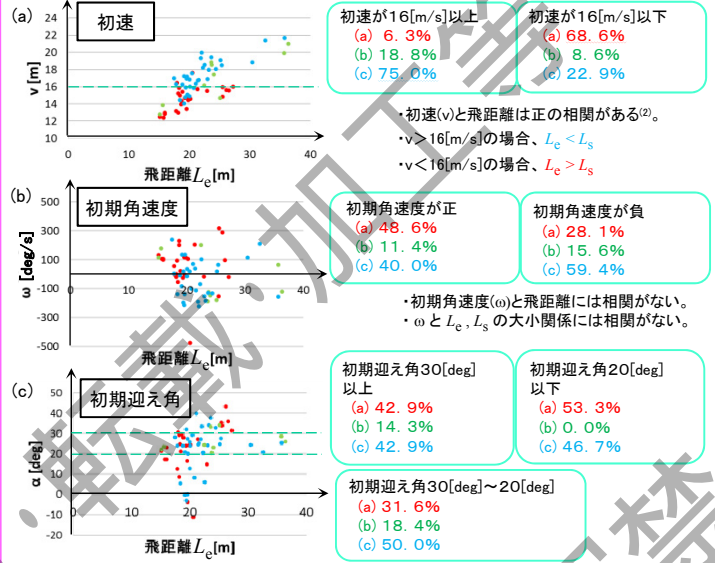
### 実験結果

投射実験の飛距離 $L_e$ と対応する数値解析の飛距離 $L_s$ の大小関係によって次の3通りに分類した。

- (a)  $L_e > L_s$  (赤: 実験の飛距離の方が大)
- (b)  $L_e \approx L_s$  (緑: 実験と数値解析がほぼ等しい)
- (c)  $L_e < L_s$  (青: 数値解析の飛距離の方が大)

全投射実験(67投射)の内、(a)~(c)の割合は次の通りであった。  
 (a) 33.8%  
 (b) 13.4%  
 (c) 47.8%

#### ・初期条件と飛距離の関係



・初速( $v$ )と飛距離は正の相関がある<sup>(2)</sup>。  
 $v > 16$ [m/s]の場合、 $L_e < L_s$   
 $v < 16$ [m/s]の場合、 $L_e > L_s$

・初期角速度( $\omega$ )と飛距離には相関がない。  
 $\omega$ と $L_e, L_s$ の大小関係には相関がない。

・初期迎え角( $\alpha$ )と飛距離には相関がない。  
 $\alpha$ と $L_e, L_s$ の大小関係には相関がない。

### まとめ

- ・ターボジャブの各空力係数の迎え角依存性を測定した。
- ・全投射実験の内、“数値解析の飛距離の方が大”の割合が最も大きかった。
- ・初期条件と飛距離の関係調べた結果、飛距離に対して初速による影響は見られなかったが初期角速度と初期迎え角の影響は見られなかった。
- ・初速が速くなると“ $L_e > L_s$ ”の割合が増え、“ $L_e < L_s$ ”の割合が減った。
- ・この原因としてターボジャブのローリング(長軸周りの回転)が考えられる。

参考文献 (1) 長尾, 中嶋, 板野, 関: ターボジャブの空力特性の計測, 日本機械学会論文集(B編) 79巻804号(2013) 1561-1570.  
 (2) 前田, 丹松: ジャベリックスローにおけるターボジャブの投射初期条件が飛距離に及ぼす影響, スポーツ方法学研究21巻2号(2008) 139-145.

## 応用分野、実用化可能分野

本研究を解明することでスポーツ振興(投擲器具の改良)に携わることができる。

問合せ先: 関西大学 システム理工学部 関 真佐子 E-mail: sekim@kansai-u.ac.jp