

# 軌道解析による空力評価への機械学習の応用

## Application of Machine Learning to Aerodynamic Estimation in Trajectory Analysis

発表者：18T1084H 関野 翔太 指導教員：坪井 一洋

### 1. はじめに

飛行中のボールはまわりの気流から流体力を受けている。しかし、非定常状態での流体力は風洞実験で再現できず未解明である。飛行中のボールの軌道データから空力係数を推定することで、空力係数が軌道にそって変化することがわかっている[1]。

本研究では軌道データから空力係数の推定を行う方法を機械学習に応用することで、飛行時の物体の非定常特性の分類や予測を行うことを目的とする。特に、ここではゴルフボールの実測軌道データを用いた分類問題に基づいて用いるべき特徴量の検討を行う。

### 2. 機械学習と空力評価

#### 2.1. 機械学習

近年、情報通信技術の進展により、大量のデータを簡単に扱うことができるようになったことで、機械学習は大きく発展してきた。しかし、機械学習を用いる際には大きな課題がある。同じデータでも用いる特徴量によって全く異なる結果になることが知られている。そのため、特徴量としてなにを用いるかを検討する特徴量エンジニアリングが重要となる[2]。

#### 2.2. 空力係数の推定法

曲線の基本定理より空間曲線は曲率と振率により一意に決まる。このことと Frenet-Serret の式より、任意の空間曲線  $\mathbf{x}(t)$  は局所的に 3 次式として表される[3]。

$$\mathbf{x}(t) \sim \mathbf{x}(t_0) + \dot{\mathbf{x}}(t_0)(t - t_0) + \frac{1}{2}\ddot{\mathbf{x}}(t_0)(t - t_0)^2 + \frac{1}{6}\ddot{\mathbf{x}}(t_0)(t - t_0)^3 \quad (1)$$

物体に働く流体力の大きさはその速度の自乗に比例する。速度  $q = |\dot{\mathbf{x}}|$ 、 $\rho$  を空気密度、 $A$  を放物体の断面積とすると、抵抗係数  $C_D$  と揚力係数  $C_L$  を用いて、空気抵抗  $\mathbf{D}$  と揚力  $\mathbf{L}$  は次式で表わされる。

$$\mathbf{D} = \frac{1}{2}\rho AC_D q^2, \quad \mathbf{L} = \frac{1}{2}\rho AC_L q^2 \quad (2)$$

### 3. 機械学習による分類

ここでは 3 種類のゴルフボールの実測軌道データを用いた。2 種類のボール(C, D)の空力特性は似ており、他の 1 種類のボール(G)は異なる空力特性をもつことがわかっている。軌道の位置データをそのまま特徴量として用いた分類結果を Table 1 に示す。今回用いるデータでは、始点の位置データの有無によ

る 2 パターンで行った。ロジスティック回帰を使用し、テストデータと学習データの分割には乱数を用いたため、10 回ずつ行った平均値を示している。

Table 1 Classification result of original data [%]  
with start point without start point

	with start point	without start point
C/D	39.4	37.8
D/G	42.2	51.1
C/G	45.0	51.1

この結果より、いずれの組み合わせでも分類精度が低く、このままでは活用できない。そこで、空力係数を推定する手法に基づいて、軌道の補間式の各係数を特徴量として用いることを考えた。以下に補間式(1)の各係数を特徴量として分類した結果を示す。

この結果から、空力特性の大きく異なるボールについてはある程度分類ができていたことがわかる。しかし、空力特性の比較的似ている C と D の分類は十分な精度が得られていない。

Table 2 Accuracy rate in the present classification [%]

C/D	54.4
D/G	81.7
C/G	82.8

### 4. まとめと今後の課題

本研究では、機械学習を用いてボールの非定常特性に基づく分類を試みた。軌道の座標データを直接特徴量として分類を行ったが、精度が低い結果となった。そこで、空力係数を推定する手法に基づいて、軌道の補間式の各係数を特徴量として用いることで空力特性の大きく異なるボールの分類を可能とする結果が得られた。

今後の課題として、空力特性の似たボールを分類する際に用いる特徴量を別の視点から検証する必要がある。

### 参考文献

- [1] M. V. Zagarola, B. Lieberman, A. J. Smits : An indoor testing range to measure the aerodynamic performance of golf balls, Science and Golf II, (1994) [2] 松尾豊：人工知能は人間を超えるか, KADOKAWA, 4 章, (2015) [3] 坪井一洋：飛行実験による空力特性の推定について, 日本流体力学会年会 2022, (2022)