

# サービスエースをとれるフローターサーブの 軌道と速度の関係を見出す

3506 大江誠路 3521 中久保侃

本実験の目的は、バレーボールのフローターサーブの速度と軌道の関係を見出すことである。事前調査より、ボールの変化に関連する空気抵抗の値は速度に比例することが分かった。よって、ボールの初速が速ければ速い程ボールの軌道変化が大きくなる、という仮説を立てた。実験ではサーブを何本も打ち、回転数が一回転未満かつ速度が計測されたもののみを記録として扱い、軌道を図示した。その結果、速度が速ければ速い程ボールが綺麗な弧を描かずに落下することが分かった。また、速度から空気抵抗を求める式を用いることで、ボールの軌道の変化が速度と比例の関係にあることが分かった。

## 1. 目的

相手がレシーブしづらい軌道と速度の関係を見出す。

※サービスエースをとれるサーブ

…相手にできる限り近い位置で大きく変化すればするほどレシーブしづらくなるとする。

## 2. 仮説

ボールの初速が速ければ速い程空気抵抗が大きくなり、ボールの軌道の変化が大きくなる。理由は、空気抵抗は一般的に速度  $V$  または  $V$  の二乗に比例するから。

## 3. 器具、場所

- ・カメラ(スマートフォンのアプリを使用)
- ・速度測定器(スマートフォンのアプリを使用)
- ・ボール(モルテン5号球/ミカサ5号球)

※周囲 65~67 cm 質量 260~280g 直径 21cm  
空気圧 0.300~0.325 kg f/cm<sup>2</sup>

- ・実験場所…恵那高校第2体育館

## 4. 方法

- ① 器具を配置した。(図2)
- ② スタンディングでサーブを打ち、カメラで動画を撮影した。動画からサーブの軌道を図示し、初速度、空気抵抗、減速率を算出した。
- ③ 空気抵抗を求める式  
(Clift and Grauvin より)

$$C_d = 24 / \{Re\} (1 + 0.15Re^{0.687}) + \{0.42\} / \{1 + 4.25 \times 10^3 Re^{-1.16}\}$$

※  $Re < 3 \times 10^5$

$$F = 12C_d \rho A u^2 \quad (A = \pi d^2 / 4 : \text{球の投影面積})$$

$Re = \rho u d / \mu$  : レイノルズ数

$\rho$  : 流体密度

$u$  : 速度 [球と周囲流体との相対速度]

$d$  : 球の直径

$\mu$  : 粘性係数

レイノルズ数とは流体の慣性力(流体の運動量)と粘性力(流れを抑制する力)の比を表す無次元であり、流体解析を実施する前に層流・乱流の検討をつけるために利用される。一般的に  $Re$  と表記される。

## ④ 減速率を求める式

$$(\text{初速} - \text{終速}) \div \text{初速} \times 100$$



図1 実験で用いたボール

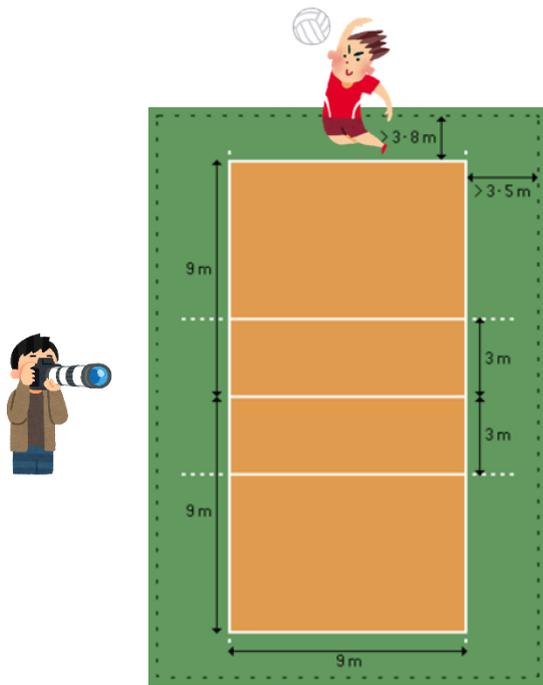


図2 実験のイメージ図

## 5. 結果



図3 モルテン球 60km/h のサーブの軌道



図4 モルテン球 55km/h のサーブの軌道



図5 モルテン球 50km/h のサーブの軌道



図6 モルテン球 45km/h のサーブの軌道



図7 ミカサ球 60km/h のサーブの軌道



図8 ミカサ球 55km/h のサーブの軌道



図9 ミカサ球 50km/h のサーブの軌道



図10 ミカサ球 45km/h のサーブの軌道

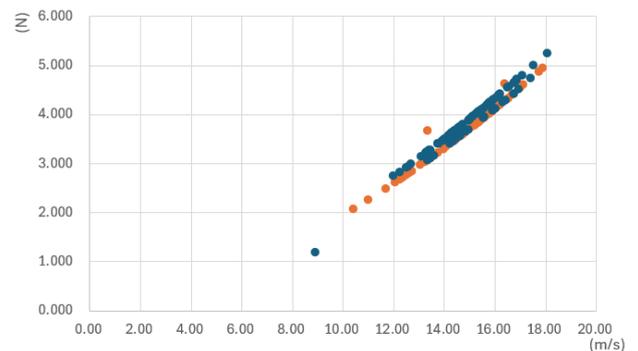


図11 ミカサ球とモルテン球の初速と空気抵抗 (青・モルテン球, オレンジ・ミカサ球)

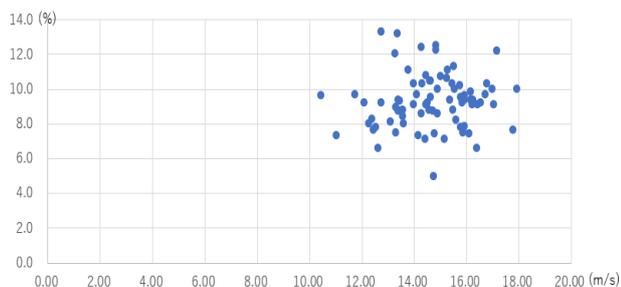


図 12 モルテン球の初速と減速率

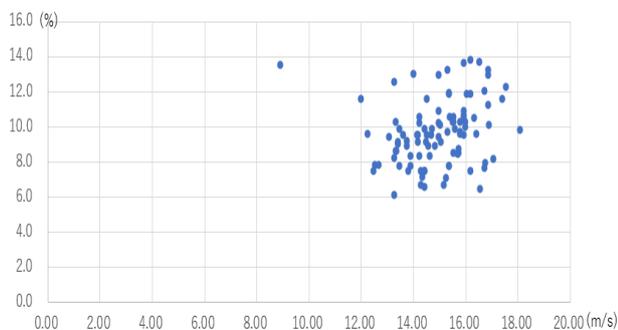


図 13 ミカサ球の初速と減速率

## 6. 考察

モルテン球では、図 15 と図 16 を比較すると初速 55km/h までのサーブでは、初速が速ければ速い程、軌道の変化が大きいことが分かった。しかし、図 14 を見ると、60km/h のサーブはあまり落下せず逆にボールが伸びていることが分かった。また、図 11 を見ると、初速と空気抵抗には常に正の相関があることが分かった。よって、仮説は一部正しかったと言えるが、一定の初速を超えると当てはまらないことが分かる。

ミカサ球では、図 17 と図 18 を比較すると、常に初速が速ければ速い程、軌道の変化が大きいことが分かった。また、図 11 を見ると、初速と空気抵抗には常に正の相関があることが分かった。よって、仮説は正しかったと言える。

減速率は、図 12、図 13 を見ると、どちらも初速と相関が無いことが分かった。しかしミカサ球とモルテン球の標準偏差を求めると、モルテン球が 1.8456、ミカサ球が 1.5436 となり、モルテン球の方がデータのばらつきが大きいことが分かった。よって、モルテン球の方が軌道が変化しやすいと言える。

これらのことから、軌道の変化が大きく、相手がレシーブしづらいフローターサーブは、モルテン球では初速 55km/h、ミカサ球では初速が速いサーブであると考えられる。

※赤矢印…左右対称な弧。

矢印の右端がボールが手に当たった位置を、中央がボールの最高到達点を示す。矢印が空気抵抗のない場合の軌道を表すので、矢印から軌道が離れるほどボールの変化が大きいことになる。

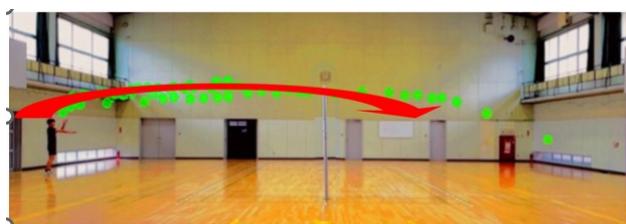


図 14 60km/h のモルテン球の軌道と弧の比較

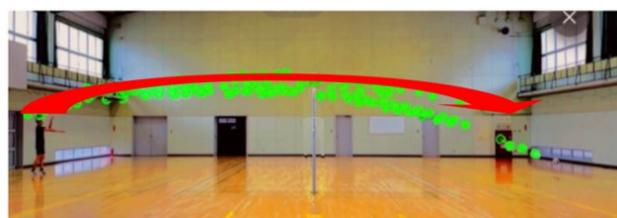


図 15 55km/h のモルテン球の軌道と弧の比較



図 16 45km/h のモルテン球の軌道と弧の比較

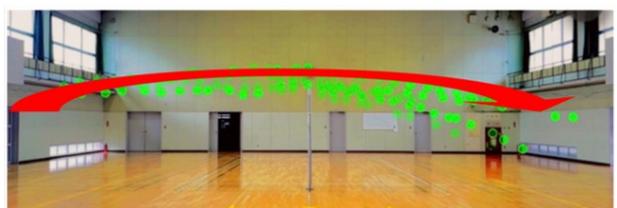


図 17 60km/h のミカサ球の軌道と弧の比較

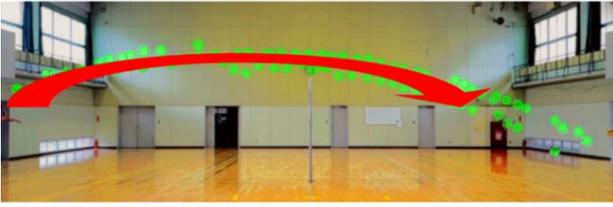


図 18 45km/h のミカサ球の軌道と弧の比較

## 7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた佐々木先生を始めとする物理担当の先生に感謝の意を表します。

## 8. 参考文献

- ・「フローターサーブの飛翔軌道とバレーボールの空力特性」川上悠太郎，水澤卓斗，岡永博夫 ([https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeshd/2017/0/2017\\_B-23/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsmeshd/2017/0/2017_B-23/_article/-char/ja)) (最終閲覧日:23年4月19日)
- ・「わかりやすい高校物理の部屋」 (<http://wakariyasui.sakura.ne.jp>) (最終閲覧日:23年5月24日)
- ・「空気抵抗を運動方程式から解析する高校生から味わう理論物理入門」 (<https://manabitimes.jp/physics/1931>) (最終閲覧日:2023年5月25日)
- ・「球体の空気抵抗と抗力定数」 ([https://slpr.sakura.ne.jp/qp/supplement\\_data/drag\\_coefficient\\_air/drag\\_coefficient.pdf](https://slpr.sakura.ne.jp/qp/supplement_data/drag_coefficient_air/drag_coefficient.pdf)) (最終閲覧日:2023年9月13日)
- ・「球の抗力係数の計算/科学技術計算ツール」 (<https://cattech-lab.com/science-tools/sphere-cd/>) (最終閲覧日:2024年6月17日)