

バドミントンのシャトル周りの流れの解析

若宮亜里沙 (指導教員：河村哲也)

1 はじめに

2020年の東京オリンピックを控えた現在、大きく注目を集めているスポーツの一つとしてバドミントンが挙げられる。2016年に行われたリオオリンピックで、日本は女子ダブルスで金メダル、女子シングルスで銅メダルを獲得した。ジュニア世代の活躍もめざましいために、東京オリンピックではさらなるメダルの獲得や日本人同士の対決が期待されている。

競技としても他の球技とは異なる特徴がある。球状のものではなくシャトルが使用されており、すべての球技の中で打球の初速度が最も大きい493km/hでギネスブックにも認定されている。一方でラケットで打った瞬間シャトルの向きが変わることや、抵抗を受けやすい形状から初速と終速の差が大きいというのも他の競技と異なる特徴である。

そのため本研究では、近年注目されており、他の球技とは異なった特徴をもつバドミントンのシャトルを研究対象とし、シャトルの形状や羽根の風の透過度を変化させることで、シャトルが周りからどのような影響を受け、飛行しているのかを解明していく。

2 モデル化・格子生成

2.1 格子

本研究では簡単のため、二次元性を仮定し、1つの断面で計算を行った。計算領域はFig. 2.1に示すようにシャトルの外側と内側に分けた。格子数はシャトルの外側が237×65、内側が54×33であり、羽根の表面に近いほど格子幅が小さくなるように作成したものをを用いる。(Fig. 2.1)

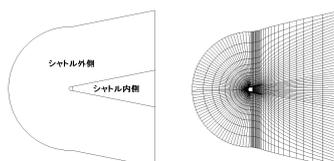


Fig. 2.1: 領域分割と格子

2.2 計算モデル

以下の様に4つの観点から実験を行う。尚、風向きはシャトルのコルクから羽根に向かった水平方向を0°とし、反時計回りを+とする。

(1) 羽根の角度

Fig. 2.2の様に角度が大きいものと小さいものを用意し抵抗の大きさの変化を比較する。風向きは0°

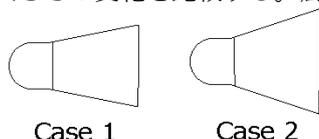


Fig. 2.2: モデル1

(2) 羽根の隙間

等間隔に三カ所に隙間を入れたもの、コルクに近い

部分に隙間を入れたもの、コルクに近い部分と羽根先1カ所に隙間を入れたものの3つを用意し穴がある時とない時での抵抗の変化、風の流れ方を比較する。風向きは0°

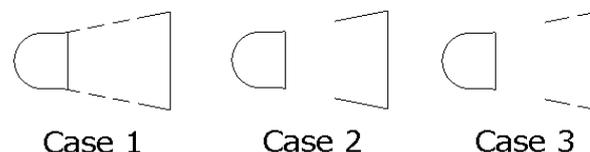


Fig. 2.3: モデル2

(3) 風向き

風向きを30° 60° 90° 150°と変化させた場合で計算し、それぞれの風向きの時にシャトルを回転させる力どの程度かかっているかを比較する。(Fig. 2.4)

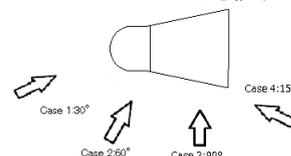


Fig. 2.4: モデル3

(4) 回転

(3)でシャトルにかかる力を計算できたため、この力を加えてシャトルが回転する様子を実装する。

3 計算方法

3.1 基礎方程式

二次元の場合の基礎方程式は以下のとおりである。

連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Navier-Stokes 方程式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \\ = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \\ = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \end{aligned}$$

P : 圧力, Re : レイノルズ数,

3.2 解法

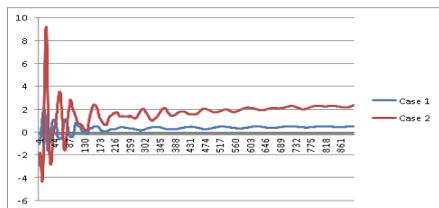
上記の方程式をフラクショナル・ステップ法を用いて解く。 $\text{Re} = 200$

4 結果と考察

(1) 羽根の角度

$\Delta t = 0.005, 10000$ ステップで計算したところ、ど

ちらも 6000 ステップ程度で圧力抵抗の値はほぼ収束し、Graph. 4.1 のようになった。また、ここでの抵抗というのは、羽根の外部の圧力と、内部の圧力の差を指すため、0 に近いほど抵抗は小さい。



Graph. 4.1 : 羽根の角度による圧力抵抗

コルクにつく羽根の角度が小さい Case 1 のほうが明らかに、抵抗が少ないのがみてとれる。数値的には、6000 ステップ後から最終ステップ後の平均は Case 1 0.42985, Case 2 : 2.07394 で約 1.64 もの差がうまれた。

(2) 羽根の隙間

本研究のケースでは (1) ほどの大きな抵抗の差は見受けられなかったうえに、収束するのも早かったため $\Delta t = 0.001, 10000$ ステップで計算した結果、抵抗の値は Table. 4.2 の通りとなった。

Table. 4.2: 5000 ステップ以降の抵抗

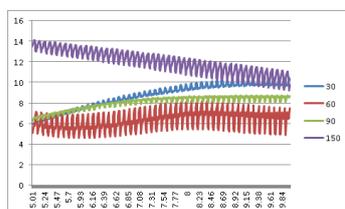
Case:	1	2	3
抵抗	0.19875	0.23062	0.24320

Case 1, 2 及び 3 において、隙間が空いていない場合よりも抵抗が大きいことから、シャトルの内部に風が入る仕組みであるほうが抵抗は小さいといえる。また、等間隔に 3 つに隙間があいた Case 1 が最も抵抗が少ないことと、穴の数は抵抗に関係がないことから、隙間が抵抗の大きさにを及ぼすのは、隙間の位置であると考えられる。

(3) 風向き

風向きを変えての結果は Graph. 4.3 のようになった。また、値が落ち着いてからのシャトルに働く力の平均は、Table. 4.4 となった。今回計算は $\Delta t = 0.001$ で行い、ステップ数は 10000 で実行した。

風向きによる回転させる力は今までの抵抗とは異なり、その力の大きさも大きく異なる上に、値が収束するまでの時間も異なる。つまり、風向きが競技に与える影響は非常に大きいといえる。この Case 1 から Case 4 の中では 150° の角度から風を吹かせた時が最もシャトルに働く力は大きくなった。この 150° という角度は、シャトルがラケットに当たった瞬間の角度を推定して実験対象とした。シャトルは打ちだされると、一瞬でコルクが相手の方向へ向くことから、この角度においてシャトルに働く力が大きいのは納得できる結果となった。



Graph. 4.3: シャトルに働く力の大きさ

Table. 4.4

1 : 30°	2:60°	3:90°	4:150°
9.9618	6.5134	8.5006	10.5956.

(4) 回転

$\Delta t = 0.005, 50000$ ステップで計算した。流れ場からシャトルに働く回転力を計算して回転角を求める。尚、実際の計算ではシャトルを固定して風向きを変化させたが、表示では風向きを一定にしてシャトルを回転させている。回転前 (a) 200step、回転後 (b) 50000step の様子は Fig. 4.5 の通りである。

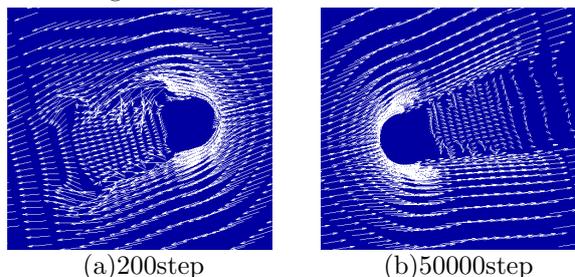
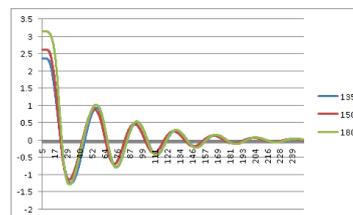


Fig. 4.5 : 流れ場

回転後に、風の角度がおおよそ 0° に落ち着くまでの時間差が最初の風向きの変化するのではと思ったため、Case 1:135°, Case 2:150°, Case 3:180° とし、スマッシュを打つことを想定して、どの角度が最もスマッシュを早く打つのにふさわしいかを検証した。(Graph. 4.6)



Graph. 4.6 : シャトルを固定した時の風向きの変化

しかし、最初の角度と関係なく落ち着くまでの時間は同様であることが分かった。つまり、スマッシュを打つ際に同様の力でラケットに当たった時は、その角度に関係なく同じスピードで相手コートに到達すると考えられる。

5 まとめと今後の課題

バドミントンのシャトルの形状、シャトル周りの風の流れに着目し、様々な視点から検証を行った。シャトルの形状や羽根部分の隙間は抵抗に影響を与えており、競技における役割が大きいことが分かった。シャトルは風向きによって外部から受ける力が大きく変化し、この力が相手に必ずコルク部が向く仕組みになっていることがシミュレーションから発見できた。

今後は、シャトルを 3 次元化し、進行方向を軸とする回転を加え、レイノルズ数を実値に近づけることで、より実際の競技に近いシミュレーションを目指す。

参考文献

- [1] 河村哲也. 数値シミュレーション入門. サイエンス社, 2006.