

ハイスピードカメラを用いたバドミントンの挙動解析

班員 吉澤翼, 星山和輝, 駒形日向子
 指導教員 邱 建輝, 境 英一, 伊藤 一志
 学生支援スタッフ 平岩佑都, 金子壮大

1. はじめに

バドミントンはスポーツ界で最速のスピードを誇るスポーツである。最大速さは 490 km/h にもなる。今回はラケットやシャトルが実際にどのような挙動をしているのかを調べるため、我々はハイスピードカメラを用いて実験を行った。

2. 使用器具

シャトルは公式の試合で使用されているシャトル(YONEX 製・NEW OFFICIAL)と、練習用に使用されているナイロン製のシャトル(GOSEN 製・THOMAS CUP)の 2 つを使用した。シャトルの質量と寸法を表 1 に示す。なお、シャトルのコルクの質量を m (g), コルク部の直径を φ_1 (mm), コルク部と逆側についている羽の直径 φ_2 (mm), コルクの高さを h (mm), シャトル全体の長さを H (mm) とする。

表 1 シャトルの質量と寸法

| シャトル | m (g) | φ_1 (mm) | φ_2 (mm) | h (mm) | H (mm) |
|------|---------|------------------|------------------|----------|----------|
| ナイロン | 3.84 | 26.22 | 65.22 | 24.39 | 83.32 |
| 水鳥 | 2.63 | 25.89 | 64.36 | 25.89 | 83.12 |

ラケットは初心者向けの Xe-121(XERES 製 ¥650), 中級者向けの Air Power2200(MMOA 製 ¥5,000), 上級者向けの Arc Saber11(YONEX 製 ¥20,000)の三種類を用いた。Xe-121 はレジャーセットのものである。Air power2200 は三本のラケットの中で一番軽く, コントロールと反発力をサポートするつくりになっている。Arc Saber11 はネオ CS カーボンナノチューブ入りで高弾性である。打球感が硬く, トップヘビーの構造になっている。Xe-121 は既存のストリングを用いており, 他 2 本のラケットのストリングは同様のものを用いてテンションを 20 pound にした。ラケットの質量を表 2 に示す。なお, ラケットの質量を m (g), ラケットの全長を L_1 (mm) とフレームの縦の長さを L_2 (mm), フレームの横の長さを L_3 (mm) とする。

表 2 ラケットの質量と寸法

| ラケット | m (g) | L_1 (mm) | L_2 (mm) | L_3 (mm) |
|---------------|---------|------------|------------|------------|
| Xe-121 | 103 | 672 | 246 | 200 |
| Air Power2200 | 89.7 | 676 | 253 | 200 |
| Arc Saber11 | 92.8 | 673 | 253 | 200 |

3. シャトル発射装置の作製

3-1 弾性力を利用した装置

3-1-1 発射方法・原理

ラケットの素材による違いを考察するためには、常に一定の力と向きでシャトルを打ち出す必要がある。そのため、ゴム風船の弾性力を利用した装置を考案した。

3-1-2 作製手順

筒状の亚克力棒の中に金属棒を入れ、片側にシャトルを設置する。更に反対側から、金属棒を打ち出す機構としてゴム風船を取り付ける。シャトルの発射部はシャトルが安定して装填できるよう、ガムテープの芯、紙、ビニールテープなどを取り付けた。シャトルマシンの簡易図を図1、実際の写真を図2に示す。

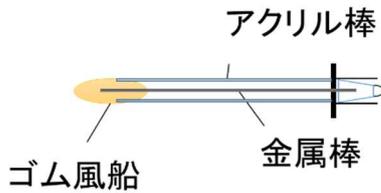


図1 自作シャトルマシンの画像

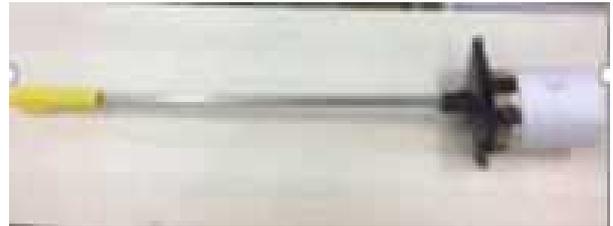


図2 実際の写真

3-2 モータを利用した装置

上記の簡易的な発射装置と並行して、電動ミキサーを改造した自動シャトル発射装置の作製も行っていた。しかし、時間や費用の都合上装置の完成には至らなかったが、その過程を以下に示す。

3-2-1 発射方法・原理

交流モータの内蔵されたミキサーを2つ使い、片方のミキサーの軸を逆回転に改造する。それぞれのミキサーの軸をスポンジで拡張し、シャトルを押し出すことで発射する。

3-2-2 作製手順

作製する際、シャトル発射装置のサイトを参考にした。^(*)
ミキサーの軸とスポンジをベアリングで固定し、軸ぶれ防止のためシーリングテープやCDも使用した。モータの配線をつなぎ替え逆回転させることは成功したが、回転が速すぎたため土台が支えきれず、転倒してしまい壊れてしまった。装置の様子を図3に示す。



図3 モータを利用したシャトル発射装置

4. 原理

4-1 自由落下の挙動解析に使用した式

自由落下させるシャトルの初期位置の高さを h_1 、ラケットに衝突後のシャトルの高さを h_2 とすると反発係数 e は次のようになる。

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad (1)$$

4-2 斜方投射の挙動解析に使用した式

固定したラケットに衝突する直前のシャトルの速さを v_1 、衝突後の速さを v_2 とすると反発係数 e は次のようになる。

$$e = \frac{v_2}{v_1} \quad (2)$$

5. 実験方法

5-1. 自由落下の挙動解析

ラケットを地面に対して平行に固定し、ラケットから1 mの高さでシャトルを自由落下させた。その様子をハイスピードカメラ(PHOTRON製・FASTCAM SA1.1)により撮影した。シャトルが跳ね上がった最大高さを解析ソフトImage Jにより測定し、反発係数を算出した。

5-2. 自由落下(コルク部のみ)の挙動解析

シャトルの羽の部分をはさみで切ってコルクの部分だけにし、その他の条件は5-1と同様にして測定を行い、反発係数を算出した。

5-3. 斜方投射の挙動解析

今回は自作したシャトル発射装置を使用した。装置は木板で一定の角度 θ ($\theta=21.3^\circ$ 程度)になるように固定し、引き金部を最大まで引っ張り離すことでシャトルを発射した。ラケットは地面に対して垂直に固定し最大高さは0.8 mとした。ハイスピードカメラで撮影を行い、撮れた映像からシャトルがラケットに衝突する前後の速さを算出し、反発係数を求めた。実験の様子とハイスピードカメラの映像を図4, 5, 6に示す。



図4 自由落下の実験の様子



図5 斜方投射の実験の様子

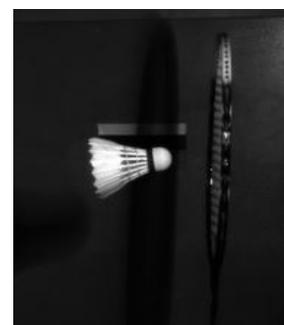


図6 ハイスピードカメラによる映像の一部

6. 実験結果および考察

自由落下における反発係数，コルクのみの反発係数をそれぞれ図 7，8 に示す．自由落下では，コルクのみになると若干反発係数が上がる程度で，条件を変更してもそれほど大きな差異は見られなかった．実戦により近い条件である斜方投射による反発係数の測定結果を図 9 に示す．Arc Saber11 は全体的にナイロンと水鳥の差異が見られなかった．しかし斜方投射は，他二つに関してはナイロンの反発係数が上がるという測定結果が出た．Arc Saber11 はシャトルの種類に左右されず，飛距離が出ると考えられる．ハイスピードカメラで実際に撮影した画像を図 10，11 に示す．水鳥の羽は衝突後に広がったり狭まったりを繰り返す挙動が見られたが，ナイロンの羽には見られなかった．したがって，水鳥の羽が空気抵抗を生むことにより，わずかに減速して反発係数が小さくなったと考えられる．

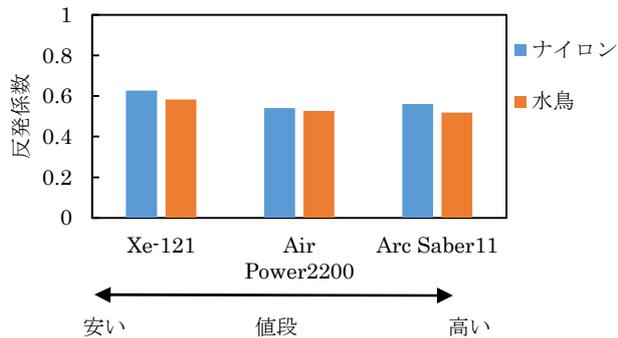


図7 自由落下における反発係数

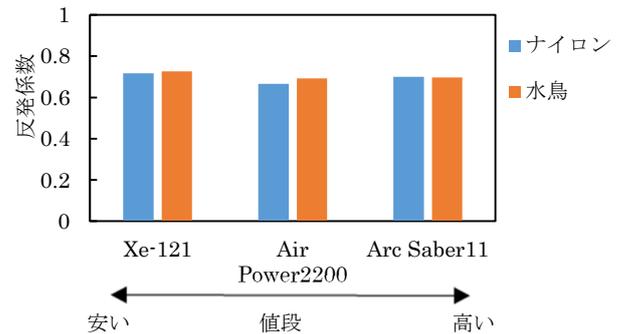


図8 自由落下における，コルクのみの反発係数

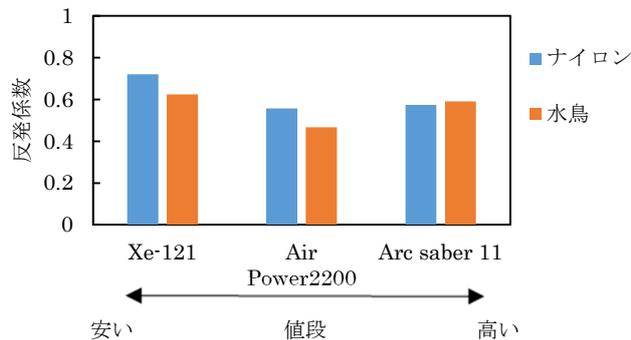


図9 斜方投射における反発係数の測定結果



図10 羽が狭まっているとき

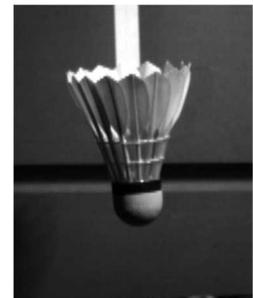


図11 羽が広がっているとき

7. まとめ

自由落下では条件を変えても反発係数に差はなかった．斜方投射の場合，水鳥製のシャトルは空気抵抗を生むため，ナイロン製と比べて若干反発係数が下がった．Arc saber11 はシャトルを変えても反発係数にあまり差異がないことがわかった．

8. 参考文献

- 「打つ科学」 出版社 大修館書店 著者 平野裕一 編著/左海伸夫 共著/宮下充正 監修
 「テクニカル・テニス：ラケット，ストリング，ボール，コート，スピンとバウンドの科学」
 出版社 丸善プラネット 著者 ロッド クロス，クロフォード リンジー

(*) <http://fujibado.blogspot.com/2016/07/blog-post.html> アクセス日時 2017年12月