

初期条件が与えるブーメランの軌道への影響

尾崎 佑太 麻生 和孝 奥田 匠 和田 万里 伊東 寛樹

兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 2 年

我々は、ブーメランの特徴である「手元に戻ってくる」ことに興味を持ち、こういった条件のときにブーメランがどのように飛行するのか、について研究することにした。まず、ブーメランを曲げる要因である歳差運動に着目した。歳差運動を生み出す角速度、速度を測定し、飛翔の様子を調べたところ、我々が使ったブーメランでは、あまり角速度と速度は飛翔に影響を与えないことがわかった。その後、ブーメランの角度(傾角・迎角)を変えて実験すると、飛行の様子が大きく変わる結果を得た。

1. はじめに

ブーメランはかつて狩猟用としてアボリジニの人々に使われていたが、今では、子供たちの玩具として遊ばれている。今日、我々の世界には、様々の形状のブーメランが存在する。最近では、ブーメラン競技も存在する。ブーメランといえば3枚羽や4枚羽などが挙げられるが、ブーメランと聞いて想像するものは2枚羽であろう。興味深いことに、ブーメランは投げると発射位置に、ある程度戻ってくる。この動きをブーメランだからと片付けてしまっている方も多だろう。また、ブーメランの先行研究は比較的少ないため、ブーメランに対する理解もあまり深まっていない。

2. 研究動機

ブーメランは投げると円軌道を描きながら帰ってくるという不思議な軌道を見せる。しかし、ブーメランは投げ方によっては全く帰ってこないこともある。このことからブーメランは発射条件によって軌道が変化するのではないかと思い調べることにした。

3. 研究目的

今回の実験では発射条件がブーメランにどのような影響を及ぼすかを調べることを目的とする。発射条件については今回の実験では速度と角速度を変化させることにした。

3.1. 先行研究

福島県の香住丘高校の先行研究では、2枚羽、3枚羽、4枚羽、6枚羽、8枚羽のブーメランを用いて飛翔する実験¹⁾を行っていた。結果は3枚羽と4枚羽のブーメランの飛翔の成功回数が多かったので今回の

実験では3枚羽と4枚羽で実験を進めた。

3.2. 予備実験

先行研究からブーメランの飛行が最も成功するのは3枚羽と4枚羽であるとわかったが、発射条件を絞り込み実験を効率よく行うため、3枚羽と4枚羽のブーメランをそれぞれ人の手で飛ばし、どちらがより飛行に成功するか調べたところ、3枚羽の方が、成功回数は多いことが分かったので、今回の実験はすべて3枚羽のブーメランで行った。

実験に使用したブーメラン
一翼の長さ：10cm
幅：1.7cm
厚さ：0.07cm
材質：ポリ塩化ビニル



図 1

また羽の枚数と同様に再現性を高めるためブーメランの発射角度も調べた。発射方向の水平面とブーメランの面の傾き角度(傾角) α 、発射方向の水平面とブーメランの面の仰ぎ角度(仰角) β とする。傾角 α と仰角 β をそれぞれ 0° 、 10° 、 20° 、 30° 、... 90° で変化させながら、人の手でブーメランを飛ばし、それぞれの組み合わせで最も飛行成功回数が最も多くなるものを調べた結果、傾角 $\alpha=40^\circ$ 仰角 $\beta=30^\circ$ のときに最も多くなった。

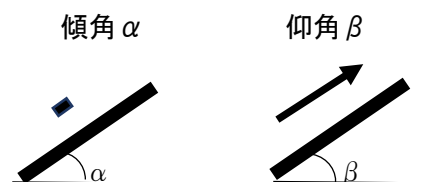


図 2 ブーメランの発射角度

ブーメランが帰還する時、ブーメランを立てて投げ

ると、回転中心より上側の方が下側より大きな風を受けることにより、進行方向が変えられる力が発生し、倒れようとする。ここでコマを思い出してほしい。コマを立てた時、必ず倒れようとする力が存在する。手を離れた時にも、もしコマが回転していなければ、すぐに倒れてしまう。ところがコマが回転していると、実際には倒れようとする方向に 90° ずれた方向に力を受ける。このためコマは倒れる代わりに首振り運動を行う。これは立てて投げたブーメランが進む方向を変えることと同じ原理である。コマがブーメランであると想定²⁾してみると、飛んでいるブーメランにどのような力が作用しているか、そしてその力によって「ブーメランの飛んで行く方向が変えられ、投げたところに戻ってくる」ことが理解できると思う。立てて投げたブーメランが戻ってきた時にほぼ水平になっているのもこれと同じ原理によるものである。飛んで行く方向が変えられる力はブーメランに作用する上下の力の差によるものだが、水平になろうとする力は前後の力の差によるものだ。ブーメランは常に回転して飛んでいるが、この時、円盤の前部は風を切って（大きな風をうけて）進むのに対し、後部は前部の陰になるような形で進むため風をあまり受けない。したがって、仮想円盤の前部の位置にある翼と後部の位置にある翼は受ける風の強さが異なる。

4. 実験方法

今回の実験ではより実験の再現性を高めるために我々で発射装置を発案し、製作した。また今回注目する初期条件は速度と角速度だが、発射装置の隣に 1 マス 5 cm の方眼紙を設置し、ブーメランの軌道を 600 fps（1 秒を 600 枚の静止画で撮影）のハイスピードカメラで撮影した。その映像から 1 マスを何フレームで進むかを調べ、速度 (cm/s) を求めた。角速度は 90° を何フレームで進むかを調べ、角速度 ($^\circ$ /s) を求めた。

実験装置では、トリガーにブーメランを装着し、トリガーの羽と実験装置を結ぶ輪ゴムを引き離すことで、ブーメランに速度を与える。また、ブーメランに回転を与えるために軌道に影響がない程度に翼を割りばしにあてて、回転を与えた。

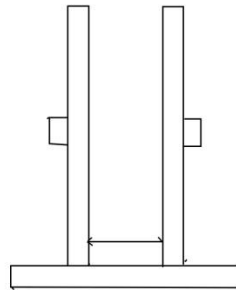
「トリガーの構造」

<https://drive.google.com/file/d/1jvpp35Z2WAflRugo>

[UaOnlGwzXXdjvzsr/view?usp=share_link](https://drive.google.com/file/d/1AOnlGwzXXdjvzsr/view?usp=share_link)

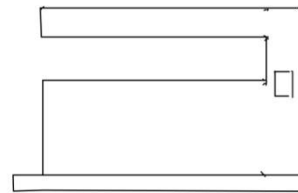
「発射装置の構造」

正面図



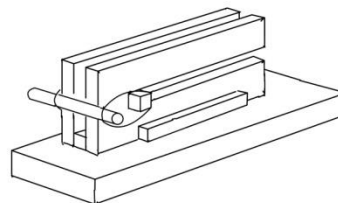
https://drive.google.com/file/d/1AUWHgcIN-hSvTOBkiIVNMyYa-PXBKq1v/view?usp=share_link

側面図



https://drive.google.com/file/d/1-W06so8DV1t33d9CKeMRGxdb8HQ_Rzka/view?usp=share_link

全体図



https://drive.google.com/file/d/1Hrm8M3CALSGxm3CMCwSqqxqOrjuiolmvX/view?usp=share_link

図3 発射機

5. 実験 1

5.1. 実験内容

傾角 $\alpha = 40^\circ$ 、仰角 $\beta = 30^\circ$ でブーメランを 50 回飛ばし、その時の速度、角速度、軌道を調べた。

5.2. 実験結果・考察

装置を用いて実験を行った結果、人が投げた時のような円を描くような運動をせず、大きく分けて 2 種類の軌道をした。

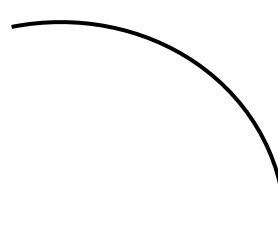


図4 L型



図5 U型

それらの軌道を「L型」「U型」と分類した。ここでは少しでも曲がったものを「L型」とし、少しでも帰ってきたものを「U型」とした。

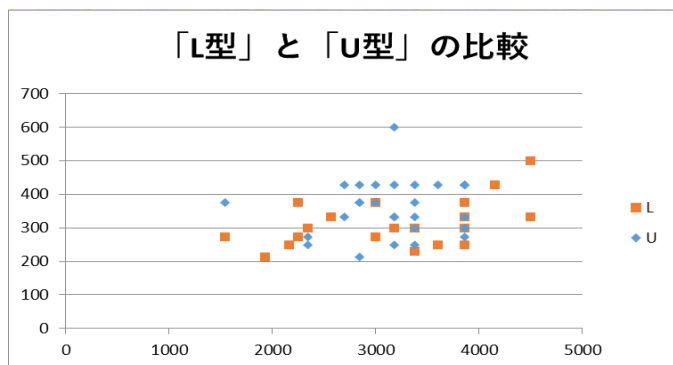


図6 「L型」と「U型」の結果

横軸 角速度 (° /s) 縦軸 速度 (cm/s)

図6より「L型」と「U型」は同様に分散する結果となった。また、「L型」「U型」のどちらも角速度のレンジが $2300^{\circ}/s$ を超え、速度のレンジも 250cm/s を超え、大きく分散する結果となった。「L型」と「U型」の分布に違いがなかったことと広い分布であることから、速度と角速度は飛翔にあまり影響を与えないことが分かった。そこで我々は他に飛翔に影響を与える原因の一つを傾角 α と考え、次の実験を行った。

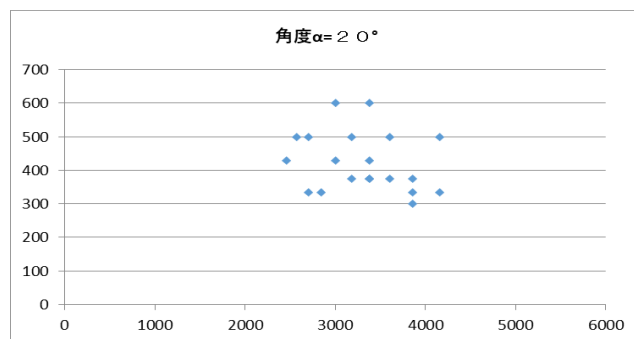
6. 実験2

6.1. 実験内容

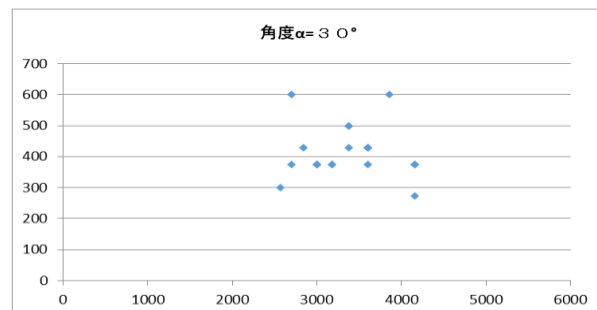
傾角 α が飛翔に影響を与える要素の一つであることを確かめるために実験2では仰角 $\beta=30^{\circ}$ のまま傾角 $\alpha=20^{\circ}$ 、 30° 、 40° 、 50° 、 60° 、 70° での角速度、速度を測定し、飛翔の様子や「L型」「U型」の割合について調べた。本実験では、実験器具に改良を施したので、実験1で測定した傾角 $\alpha=40^{\circ}$ 、 50° についても、もう一度測定することにし、それぞれの傾角 α で20回ブーメランを飛ばした。また、角速度と速度は、実験1と同様に測定した。

6.2. 実験結果

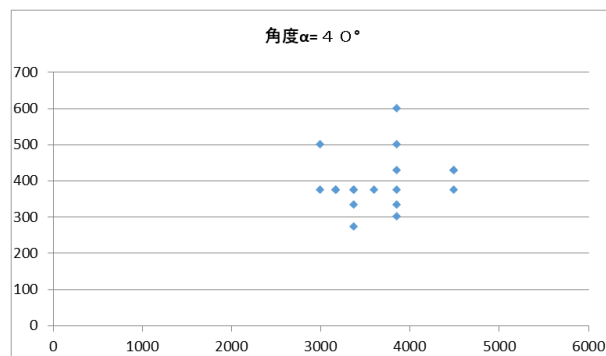
図7 発射速度、角速度〔横軸 角速度 (° /s) 縦軸 速度 (cm/s)〕



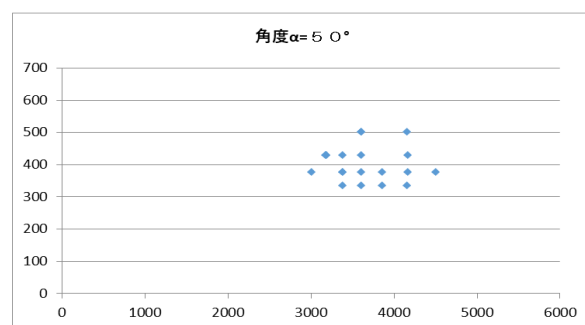
(a) 傾角 $\alpha=20^{\circ}$



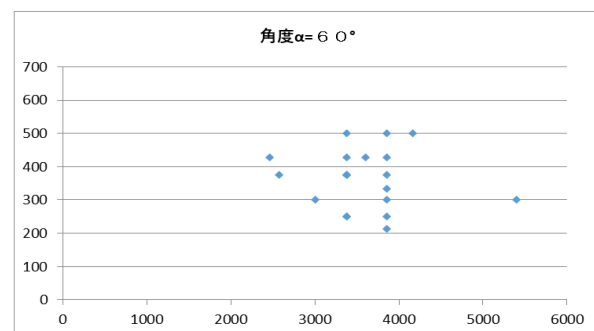
(b) 傾角 $\alpha=30^{\circ}$



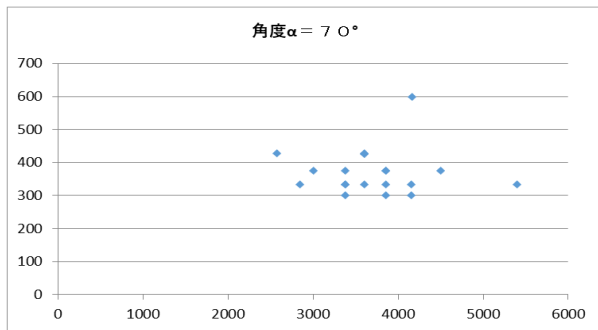
(c) 傾角 $\alpha=40^{\circ}$



(d) 傾角 $\alpha=50^{\circ}$



(e) 傾角 $\alpha=60^{\circ}$



(f) 傾角 $\alpha=70^\circ$

図7より、いずれの傾角 α においても、角速度、速度は、同様に分散する結果となった。そこで、軌道を調べることにした。

実験2での飛翔の様子は、「L型」「U型」だけでなく、「I型」「U'型」を設定した。「I型」は、ほとんど曲がらずにおちたもの、「U'型」は、発射位置より後ろに落ちたもの、と定義する。「U'型」は、「U型」の特徴も含むため、「L型」の一部とする。

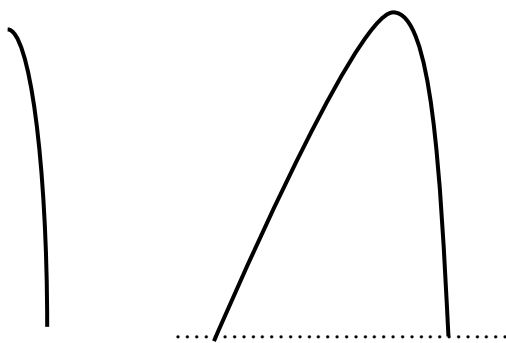


図8 I型

図9 U'型

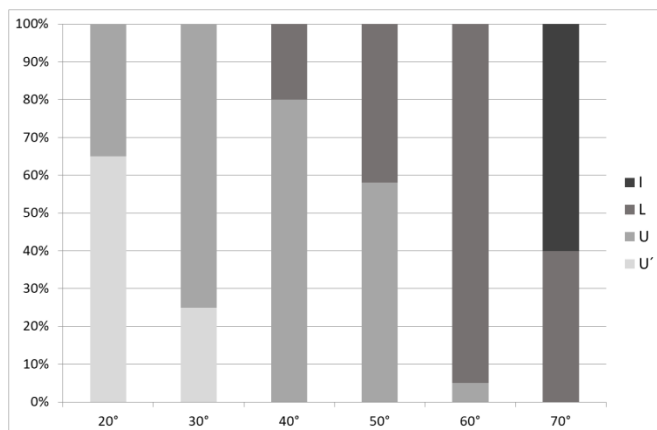


図10 傾角 $\alpha=20\sim70^\circ$ での軌道4種類の割合

そこで「U型」の割合を比べる(図9)と、傾角が小さくなる(ブーメランをより「寝かせる」)ほど、「U型」の割合が増えることが分かった。また、傾角 α が小さくなるほど、発射位置に戻ってくるようになり、一方で、傾角 α が大きくなるほど、曲がりにくくな

ることが分かった。つまり、今回使ったブーメランでは「寝かせる」ほど、帰還しやすくなる結果となった。

7. 考察

ブーメランを水平にするにつれて、ブーメランが帰ってきやすくなった理由として、「迎角」が原因であると考え。大阪経済大学情報社会学部の実験で、「平坦なプラスチック板でも揚力は発生するのだ。それは迎角がついているからだ。迎角とは、翼の断面の基準線と飛行方向、つまり流れの方向となす角度であり、この角度が $5\sim10^\circ$ の値を持っていることが理想である。」³⁾とあり、迎角である角度 α が小さくなるにつれて、ブーメランが帰ってきやすくなったことに説明がつく。

8. 最後に

実験1より今回使ったブーメランでは、角速度、速度が軌道に影響がないことがわかった。実験2では、傾角 α が軌道に大きな影響があることがわかった。本実験では、ポリ塩化ビニルの三枚羽のブーメランを使用したので、今後、ほかの種類(密度、翼の長さ、翼の厚さなど)でどうなるか、また、本実験では傾角 $\alpha=20\sim70^\circ$ 、迎角 $\beta=30^\circ$ と、狭い範囲でしか実験をしていないため、角度の範囲の拡張もしていきたい。

謝辞

本研究にあたり指導、管理して下さった、神戸高校の先生方、サイエンスアドバイザーの方々、その他私達の実験に携わって下さったの方々、この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

1) 福岡県立香住丘高等学校 生徒課題研究論文集

<http://kasumigaoka.fku.ed.jp/html>

(2023/1/31 閲覧)

2) 「どうしてブーメランがもどってくるのか」

<http://www5d.biglobe.ne.jp/~wingwin/newpagereturn.htm> (2023/1/31 閲覧)

3) 「ブーメランはなぜ戻ってくるのか」

https://yutaka-nishiyama.sakura.ne.jp/math2010j/boomerang_j.pdf (2023/1/31 閲覧)