

ブーメラン

Boomerang

玉井 友梨 橋田 真穂 古市 愛莉

TAMAI Yuri , HASHIDA Maho , FURUICHI Airi

1. 研究目的

ブーメランはかつて狩猟の道具として用いられていたが、現在は投げると旋回をしながら手元に戻ってくるという娯楽用のものがよく見られる。私たちはよく飛び、手元に戻ってくるブーメランを製作して飛ばしたいと思った。まず、先行研究を調べたが、一番良い飛行条件を明確にする研究はなかった。そこで、飛行時間が長く、かつ正確に戻ってくる紙ブーメランの形状を見つけ出すこと、また、ブーメランの形状による飛跡の違いを調べることを目的とした。

2. 実験装置の製作

まず、3枚翼で間の角度が 120° 、翼1枚の直径が10cmの紙ブーメランを製作した。これを基準のブーメランとして実験を行った(図1)。ブーメランを手で投げると安定して射出できないので、輪ゴムと割り箸を用いて射出機を製作した(図2)。



図 1

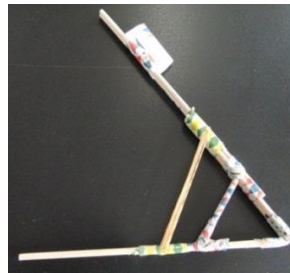


図 2

3. 予備実験について

射出するときの初速度と角速度が飛跡に影響を及ぼすと考えた。そこで、毎回初速度、角速度がほぼ一定で、かつ手投げの結果に近づけることを予備実験の目的とした。

実験方法

図3のように机に万力を固定し、射出機をはさむ。引く角度 θ (図4)を正確に測るため射出機の射出部分を床と垂直にし、後ろに分度器を置いて何度引いたか分かるようにした。飛行の様子をハイスピードカメラで撮影し、ブーメランの初速度、角速度を計測した。

ハイスピードカメラの機種はCASIO EX-F1で、設定は300fpsとした。



図 3

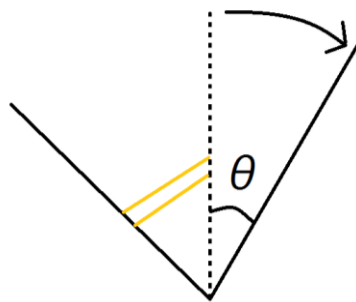


図 4

4. 予備実験 1

目的

引く角度を変え、ブーメランの初速度と角速度を測定し、手投げに近い条件を求める。

方法

製作した基準のブーメランと射出機を用いた。射出機にブーメランを差し込む長さ（図 5 の赤線部分）は 9.5cm で一定にした。引く角度は 50° 、 60° 、 70° 、 80° 、 90° と変化させ、10 回ずつ計測した。また、射出機を用いた実験と比較するため手投げ実験を行った。3 人で 20 回ずつ、合計 60 回計測した。

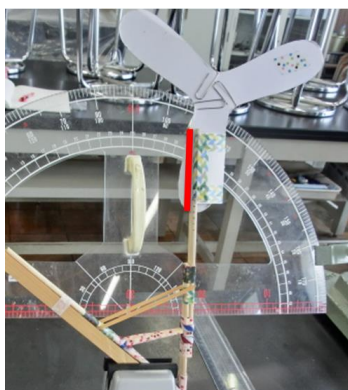


図 5

結果

引く角度を大きくするほど角速度は小さくなった（図 6）。逆に、引く角度を大きくするほど初速度は大きくなった（図 7）。手投げの結果と平均値を比べると、初速度は近い値となったが、角速度はかなり大きくなっていることが分かる（図 8）。

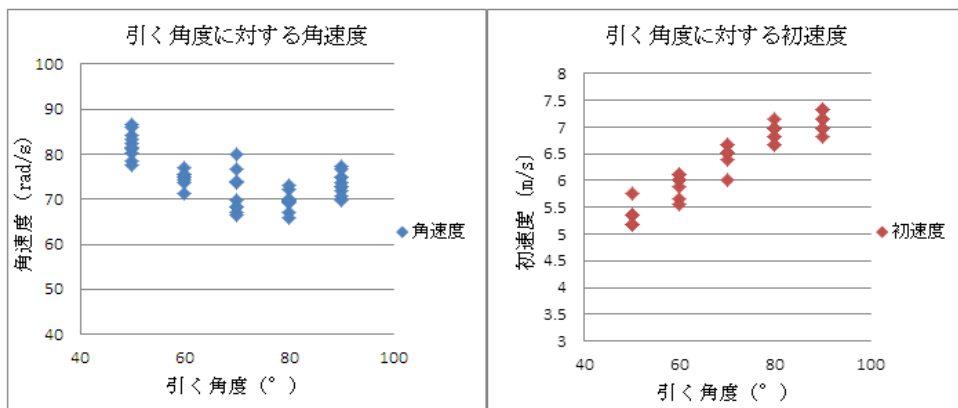


図 6

図 7

	初速度 (m/s)	角速度(rad/s)
手投げ	7.45	35.53
射出機 (引く角度: 50°)	5.34	82.17
射出機 (引く角度: 60°)	5.95	74.68
射出機 (引く角度: 70°)	6.48	71.26
射出機 (引く角度: 80°)	6.90	69.53
射出機 (引く角度: 90°)	7.11	73.52

図 8

考察

ブーメランと射出機との摩擦が大きいため全体的に手投げよりも角速度が大きくなってしまったのではないかと考えた。また、輪ゴムの強さが関係しているのではないかと考えた。引く角度が 80° のときが一番手投げの角速度に近いので、今後の実験では引く角度を 80° とし、さらに手投げのものに近づけていくことにした。

5. 予備実験 2

目的

ブーメランが正確に戻る輪ゴムの強さを調べる。

内容

弾性定数の違う輪ゴムを何本か組み合わせることで、全体の輪ゴムの弾性定数を 10N/m ずつ変化させて実験を行った (図 9)。基準のブーメランの場合は 100N/m のときに反時計回りの旋回をして戻ってきた。しかし、 110N/m のときには力が強すぎて射出時に射出機から滑り出てしまった。 90N/m のときには、力が足りず、旋回の途中で落下してしまった。ブーメランの質量や形状によって、適する輪ゴムの弾性定数は変化すると考えられるので、実験ごとに調節をすることにした。

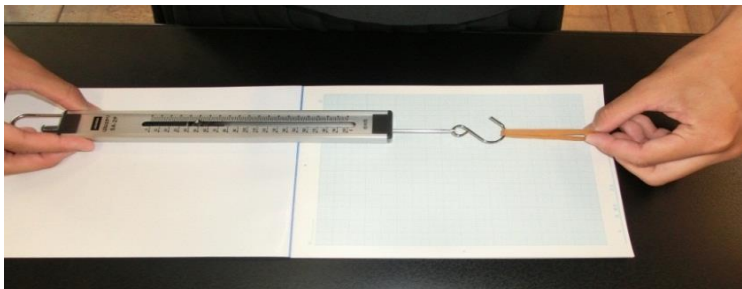


図 9

6. 予備実験 3

目的

ブーメランと射出機との摩擦がより小さくなる条件を見つける

方法

基準のブーメランを用い、射出機に差し込む長さを変化させて実験を行う。引く角度は 80° 、輪ゴムの弾性定数は 100N/m で一定にした。射出機にブーメランを差し込む長さを 8.5cm , 9.0cm , 9.5cm , 10.0cm , 10.5cm と変化させた。(8.5cm よりも小さい値だと摩擦が小さすぎて射出時にブーメランが射出機から滑り出てしまった。)

結果

射出機に差し込む長さを小さくするほど、角速度が小さくなった。 8.5cm のものが一番手投げのものに近い結果となった (図 10)。

考察

射出機に差し込む長さを小さくするほどブーメランと射出機との摩擦が小さくなり、角速度も小さくなったと考えられる。ブーメランを射出機に差し込む回数が増えると割り箸の間が緩くなってしまうので、毎回実験の前に安定して飛ぶ長さに調節する。

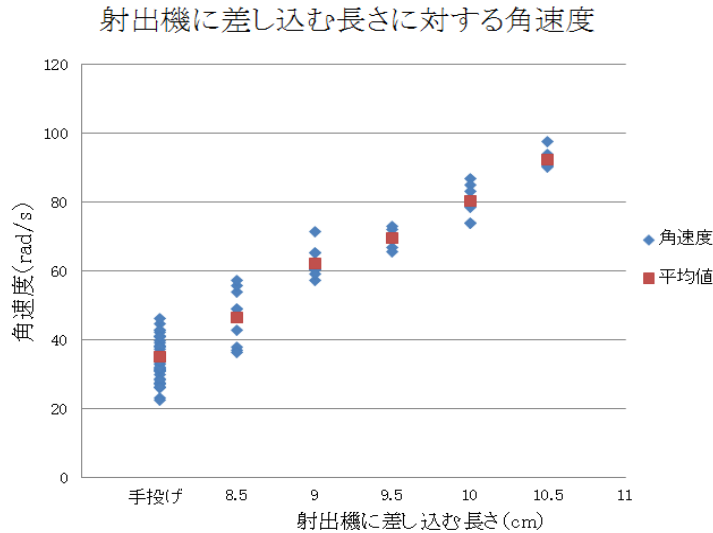


図 10

7. 予備実験 4

ここまでの予備実験では、射出した場所には戻ってくるが、戻ってくる高さが射出した位置よりもかなり低かった。それを改善するため、手で投げているのと同じように射出機を傾けてブーメランを射出した(図 11)。地面に対する傾きを 0° から 35° の範囲で 5° ずつ変化させてそれぞれ 10 回計測を行った。 15° のときに射出した高さで戻ってくるようになった。今後の実験では 15° 傾けて実験を行う。

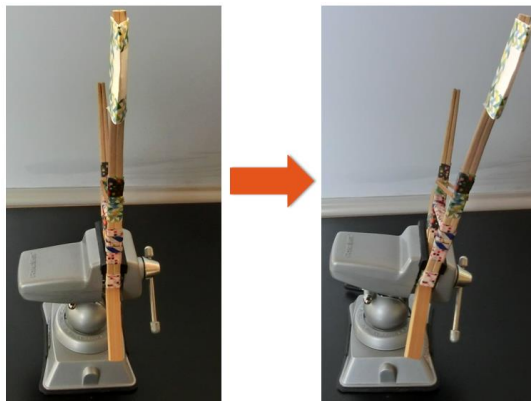


図 11

8. 予備実験 5

目的

予備実験 1 から 4 までの結果をふまえ、初速度と角速度が手投げに近づくかどうかを確かめる。

方法

基準のブーメランと射出機を用い、10 回計測を行った。輪ゴムの弾性定数は 100N/m 、射出機にブーメランを差し込む長さは 8.5cm 、引く角度は 80° 、地面に対する傾きは 15° とした。

結果

初速度、角速度ともに手投げの結果と近くなった。射出機による角速度は図 12 に、初速度は図 13 に表した。

また、図 14 では手投げと射出機による平均値を表している。

考察

結果のばらつきが少ないことから毎回安定して射出できていると言える。また、射出機で手投げと同じように射出することが可能になった。

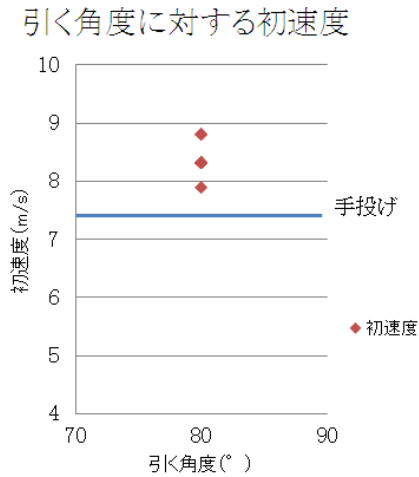


図 12

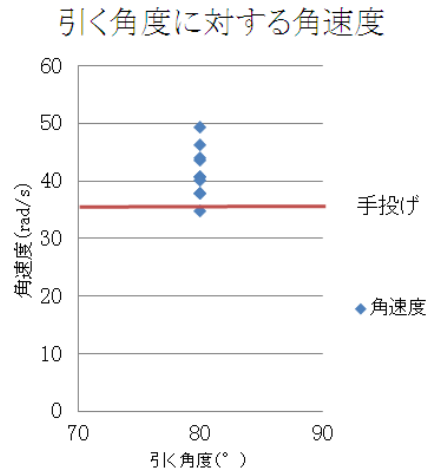


図 13

	初速度 (m/s)	角速度(rad/s)
手投げ	7.45	35.53
射出機	8.40	41.50

図 14

9. 本実験について

実験方法

射出機を予備実験と同じように設置し、飛行の様子は2台のビデオカメラを用いて撮影した。ビデオカメラの機種はSONY HDR-CX700Vで、設定は30fpsとした(図15)。2つの方向から同時に撮影することで、幅、高さ、奥行きを計測し、その結果を3Dグラフにした。3Dグラフには、ひとつひとつの点を30分の1秒の間隔でプロットし、半時計回りの飛跡を表した。

本実験1, 2, 3において引く角度と初速度が一定になるよう実験を行った。引く角度 θ は 80° とし、射出機に差し込む長さや輪ゴムの弾性定数は初速度が手投げのもの一番近くなるように設定した。また、それぞれの条件下で5回ずつ測定した。

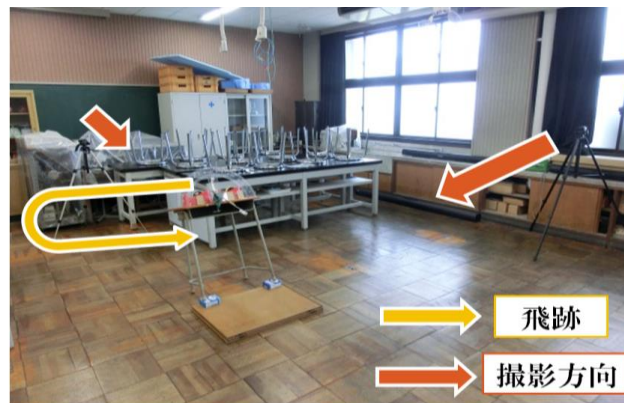


図 15

10. 本実験 1

クリップを用いてブーメランの重さを変化させて実験を行った。

① 基準のブーメラン

射出機に差し込む長さ : 8.5cm

輪ゴムの弾性定数 : 100 N/m

初速度は 8.4m/s, 角速度は 35.5rad/s

② 基準のブーメランの中心にクリップを 3 つ付けたもの (図 16)

射出機に差し込む長さ : 7.5cm

輪ゴムの弾性定数 : 120 N/m

初速度は 9.0m/s, 角速度は 45.0rad/s

③ 基準のブーメランの翼の外側にクリップを付けたもの (図 17)

射出機に差し込む長さ : 7.5cm

輪ゴムの弾性定数 : 120 N/m

初速度は 8.9m/s, 角速度は 40.7rad/s



図 16

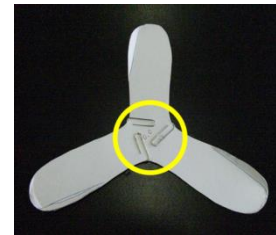


図 17

結果

実験結果を 3D グラフで表した (図 18, 19, 20)。それぞれのグラフで同じ飛跡となっているため, 安定して射出されていることがわかる。外側にクリップをつけたものが, この実験において最も大きく旋回し, 飛行時間も長くなった (図 21)。

① 基準 : 平均飛行時間 1.33 秒

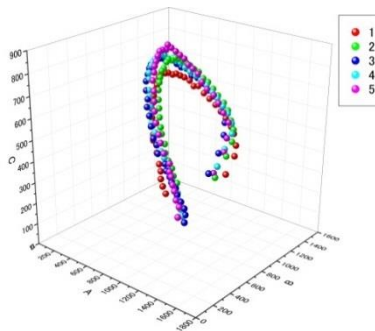


図 18

② 内クリップ : 平均飛行時間 1.51 秒

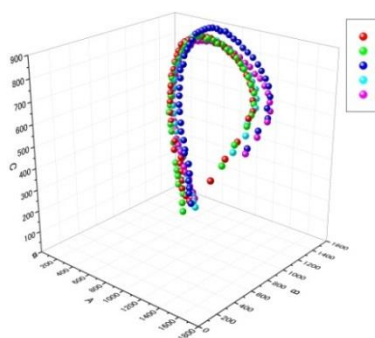


図 19

③ 外クリップ : 平均飛行時間 2.00 秒

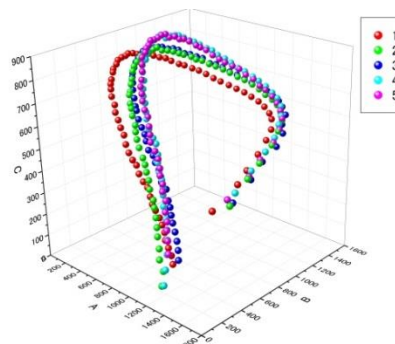


図 20

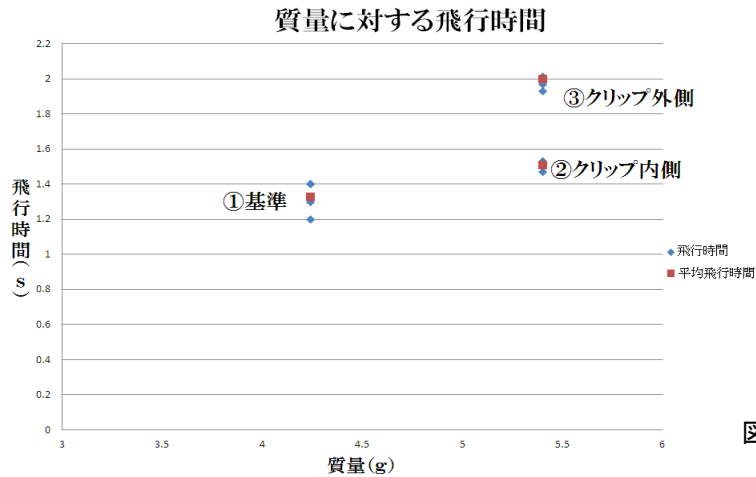


図 21

考察

- ② 中心を重くすることで重心が安定し、なめらかな飛跡となるのだと考えた。また、回転軸に近い中心が重い場合、慣性モーメントが小さくなるので回転数が多くなる。回転数が多いと、ブーメランが飛んでいるときに上方にある翼と下方にある翼の速度差が基準のブーメランより大きくなるので、ブーメランがあまり傾かずに回転し、小回りに旋回するのだと考えた。
- ③ 回転軸から遠い外側が重い場合に慣性モーメントが大きくなる。そのため回転数が少なく、上方にある翼と下方にある翼の速度差が基準のブーメランより小さくなるので、ブーメランが傾きやすくなり、大回りに旋回するのだと考えた。

11.本実験 2

翼の枚数を変化させて実験を行った。基準のブーメランと同じ形の翼を作成し、中心をホッチキスで止めて3枚、4枚、5枚、6枚のブーメランとした。

① 3枚翼 (図 22)

射出機差し込む長さ : 8.5cm
 輪ゴムの弾性定数 : 100 N/m
 初速度は 8.5m/s, 角速度は 38.6rad/s

② 4枚翼 (図 23)

射出機に差し込む長さ : 8.5cm
 輪ゴムの弾性定数 : 120N/m
 初速度は 8.9m/s, 角速度は 30.0rad/s

③ 5枚翼 (図 24)

射出機に差し込む長さ : 9.0cm
 輪ゴムの弾性定数 : 130N/m
 初速度は 7.9m/s, 角速度は 39.0rad/s

④ 6枚翼 (図 25)

射出機に差し込む長さ : 9.0cm
 輪ゴムの弾性定数 : 140N/m
 初速度は 8.2m/s, 角速度は 32.9rad/s



図 22



図 23



図 24



図 25

結果

① 中心を固定しているため、中心部が重くなり、本実験 1 の①と似た飛跡となった (図 26)。

② 角張って旋回している (図 27)。

③ 3 枚翼の飛跡に似ているが、3 枚翼より高くまで上がっている (図 28)。

④ 4 枚翼のものと上昇の仕方が似ている (図 29)。

飛行時間は、翼の枚数が多くなるほど長くなった (図 30)。

① 3 枚翼：飛行時間 1.17 秒

② 4 枚翼：飛行時間 1.19 秒

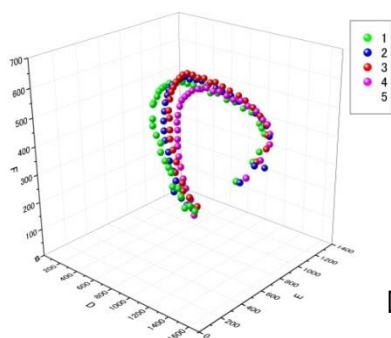


図 26

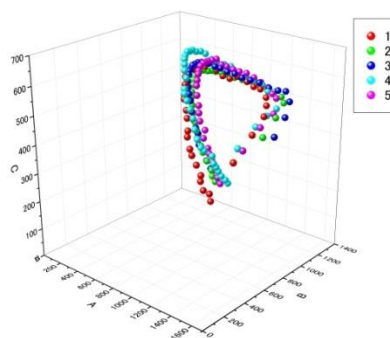


図 27

③ 5 枚翼：飛行時間 1.31 秒

④ 6 枚翼：飛行時間 1.40 秒

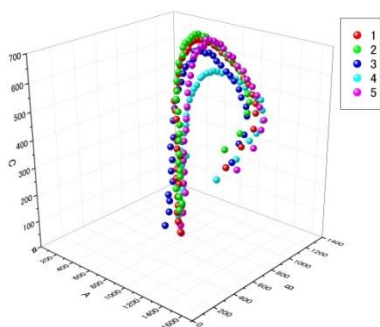


図 28

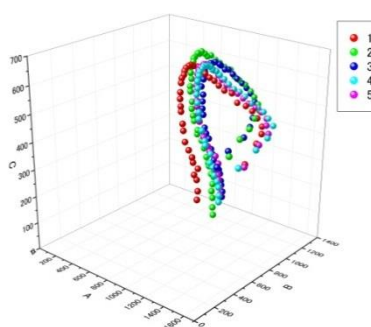


図 29

質量に対する飛行時間

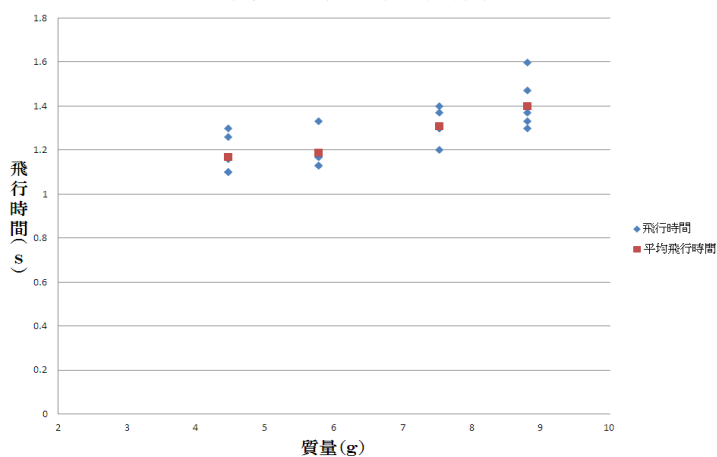


図 30

考察

翼の枚数を多くすると飛行時間が長くなることから、翼の数が多いと力を受ける面積が大きくなるので、揚力がよくなる。つまり、高くまで上がるので戻ってくるまでに時間がかかり、飛行時間が長くなるのだと考えた。

12. 本実験 3

翼の形を変化させて実験を行った。翼の先端の形を四角形にしてブーメランを作成。翼の面積は本実験 2 で用いた基準のブーメランの面積と等しくした。

① 3 枚翼 (図 31)

射出機に差し込む長さ : 9.0cm

輪ゴムの弾性定数 : 100 N/m

初速度は 8.9m/s, 角速度は 39.4rad/s

② 4 枚翼 (図 32)

射出機に差し込む長さ : 8.5cm

輪ゴムの弾性定数 : 120N/m

初速度は 8.4m/s, 角速度は 30.0rad/s

③ 5 枚翼 (図 33)

射出機に差し込む長さ : 9.0cm

輪ゴムの弾性定数 : 130N/m

初速度は 7.9m/s, 角速度は 33.9rad/s



図 31



図 32



図 33

結果

- ① 本実験 2 の 3 枚翼と比べて, 似た飛跡ではあるけれど, 高くまで上がっていない。射出した位置よりも後方に戻ってきている (図 34)。
- ② 本実験 2 の 4 枚翼と比べて, 似た飛跡ではあるけれど, 高くまで上がっていない (図 35)。
- ③ 本実験 2 の 5 枚翼と比べて, 似た飛跡ではあるけれど, 高くまで上がっていない (図 36)。

① 3 枚翼 : 飛行時間 1.01 秒

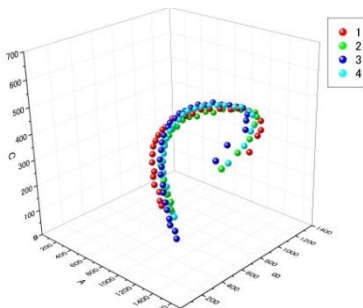


図 34

② 4 枚翼 : 飛行時間 1.07 秒

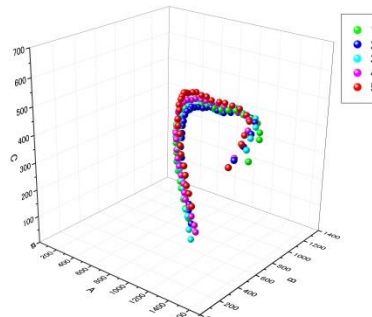


図 35

③ 5 枚翼 : 飛行時間 1.28 秒

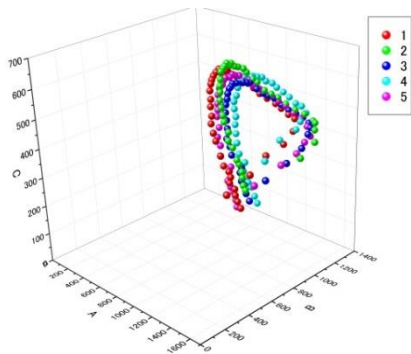


図 36

考察

翼端付近では、翼の下の面の空気が翼端をまわりこんで翼の上の面に流れ込むことで翼の上下の圧力差が小さくなるので、揚力が生まれない。このことから、翼の先端が四角形だと基準のブーメランよりも翼端の面積が大きく、揚力が小さくなってしまうので、どれも高くまで上昇していないのだと考えた。

12. 結論

本実験 1：翼の外側を重くすると飛行時間が長くなる。

本実験 2：翼の枚数を多くするほど飛行時間が長くなる。

本実験 3：翼の先端の面積が小さいほうがよい。

13. 謝辞

今回の研究を遂行するにあたり、終始御指導及び御教示を賜りました高松第一高等学校の佐藤哲也先生、ならびに高松第一高等学校の先生方に深く感謝申し上げます。

14. 参考文献

未来の科学者との対話 12 学校法人 神奈川大学広報委員会

全国高校生理科・科学論文大賞専門委員会編

日本ブーメラン協会 <http://www.jba-hp.jp/>