

回転シリーズ PartV ブーメランの飛び方の規則性とは

静岡大学教育学部附属浜松中学校

2年 大橋柚佳

1 動機

今まで、「羽の数と風のかんけい〜実けんで分かった!せんぶうきの羽の数にもわけがあった」(小学校3年)、「羽根の枚数でかわる?回転スピード」(小学校4年)、「こまの回転とフィギュアスケートのスピンとの関係」(小学校5年)、「こまを回すと色が見える!?こまと模様の秘密」(小学校6年)、について実験し、調べた。今回は回転シリーズPart Vとなる。

今回は、回転シリーズとして、「回転を利用した狩りの道具であるブーメランについて軌道などを調べてみたらおもしろそうだ。」と思い、ブーメランについて調べてみた。軌道などについて載っていたが、試しにブーメランを作って飛ばしてみたところ、調べたものと異なる飛び方をした。そこで、ブーメランの飛び方は羽根の枚数や半径の大きさによる規則性はあるのか、また、どのようなブーメランがよく飛び、滞空時間が長く、そして自分のところに帰りやすいか、実験をして調べることにした。

【ブーメランとは】

ブーメランは紀元前から狩りの道具として使われ、オーストラリアの先住民であるアボリジニは長い間使っていた。現在はスポーツの1つとして多くの世代で楽しまれ、2年に1回の頻度で世界大会も開催されている。

狩りの道具では、ブーメランの形状は「く」の字(羽根が2枚)のものが多かったが、競技では安定し、取りやすい羽根が3枚のことが多い(図1)。



図1 「く」の字のブーメラン (左) と羽根が三枚のブーメラン (右)

【ブーメランの軌道について】

参考文献では「ブーメランは縦向きに投げると左旋回して戻ってくるが、横向きに投げると急に上がって下に落ちる。」と図2(左)のようになると書かれていた。しかし試しに横向きにブーメランを飛ばしてみたときは図2(右)のように右旋回して戻ってきた。



図2 参考文献に書かれていた横向きに投げたときのブーメランの軌道 (左) と
試しに横向きに弾いて実験したときのブーメランの軌道 (右)

2 実験方法

(1) 使用したもの

- ・ブーメラン (写真1、12種類)
よく飛ぶように、ブーメランの羽根は傾けてある。
- ・番号を書いたマスキングテープ (記録用)

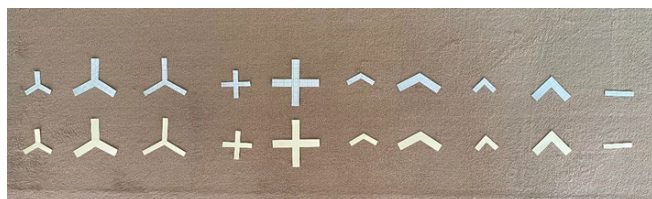
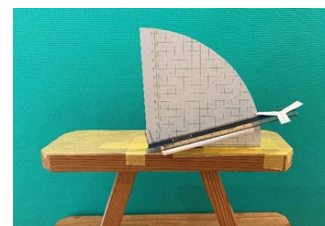


写真1 実験で使用したブーメラン (上が工作用紙、下がケント紙)
左から1 (10、11) 番 2 番 3 番 4 番 5 番 6 番 7 番 8 番 9 番 12 番

- ・ブーメランを飛ばすための台（踏み台）
- ・角度をつけて飛ばすための発射台
- ・ストップウォッチ
- ・巻き尺（メジャー）

飛距離やX、Y座標を計測したときに使った。



45
cm

（2）実験手順

写真2 ブーメランを飛ばすための台（左） 発射台（右）

- ①発射台の上にブーメランを置き手で弾く
（ブーメランは横向き）。
- ②ブーメランを弾くと同時にストップウォッチをスタートさせる。
- ③一番遠くまで飛んだ距離（飛距離）のところに番号を書いたマスキングテープを貼る。
- ④落ちたと同時にストップウォッチを止める。
- ⑤落ちて止まった位置に番号を書いたマスキングテープを貼る。
- ⑥同じ条件で①～⑤を5回ずつ行う。5回の平均値を使う。
- ⑦発射台からマスキングテープの中心までを計り記録する（飛距離、X、Y）。

※発射台から飛ぶ方向に向かって右をXとし、発射台から飛ぶ方向をYとする（図3）。

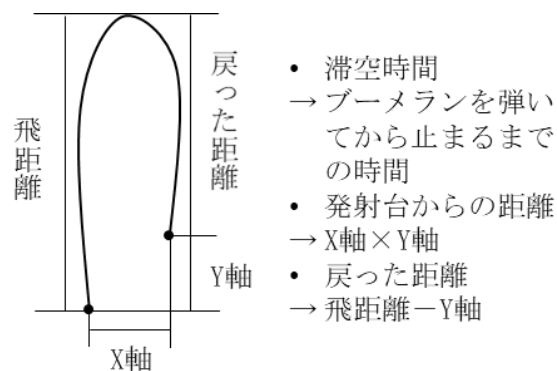


図3 測定の仕方

（3）実験条件

実験条件は表1のようにした。基準にしたブーメランは1番と2番のブーメランである。10、11番のブーメランは1番と同じものを使った。

表1 実験条件

番号	半径[cm]	幅[cm]	羽根の枚数[枚]	羽根の間隔[°]	飛ばす角度[°]
1	3	1	3	120	0
2	5	1.6	3	120	0
3	5	1	3	120	0
4	3	1	4	90	0
5	5	1.6	4	90	0
6	3	1	2	120	0
7	5	1.6	2	120	0
8	3	1	2	90	0
9	5	1.6	2	90	0
10	3	1	3	120	15
11	3	1	3	120	30
12	3	1	2	180	0

3 結果

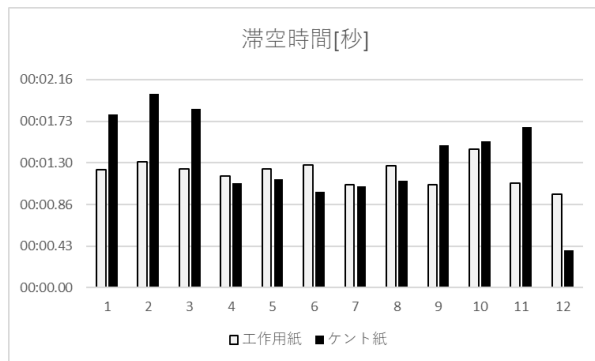


図4 滞空時間

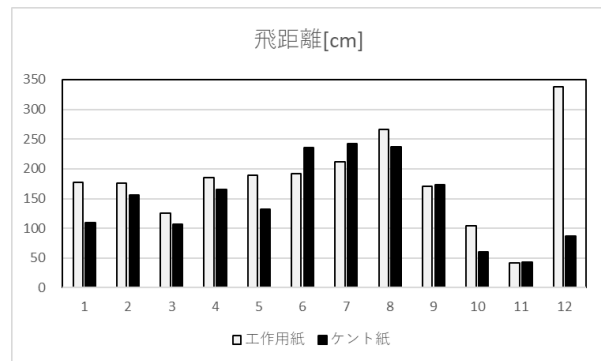


図5 飛距離

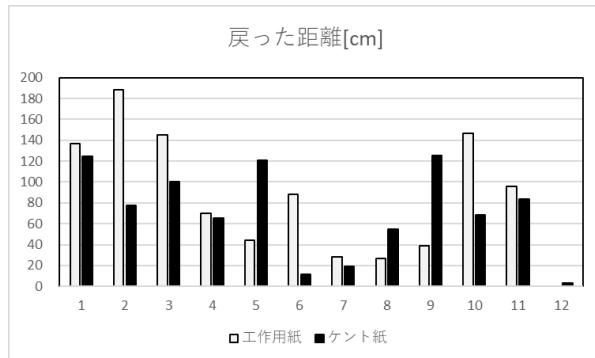


図6 戻った距離

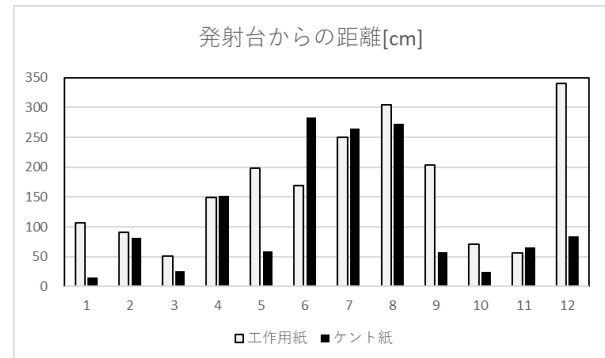


図7 発射台からの距離

(1) 結果からわかったこと

図4の滞空時間の比較を見ると、工作用紙は滞空時間に大きな差がないが、ケント紙はブーメランによって大きな差があることから、ケント紙の方が、半径や羽根の枚数など、ブーメランの大きさや重さに影響を受けやすいのだと思う。

図5の飛距離の比較を見ると、ほとんど工作用紙の方が飛んでいたことから、重い材質の方が飛距離は大きくなると思う。また、飛距離グラフは工作用紙もケント紙もどちらも、12番を除くと山の形のグラフになっている。

図6の戻った距離のグラフは、工作用紙もケント紙も、12番を除くとだいたい谷の形のグラフになっている。工作用紙の方が戻った距離の大きいものが多いのは、ケント紙はふんわり落ちて落ちた位置で止まるのに対し、工作用紙は落ちてから滑ってしまうものが多く、計測は止まった位置でしていたからだと思う。工作用紙でも、ケント紙でも12番（羽根の枚数2枚・羽根の間隔180°）のブーメランはほとんど戻らなかった。また、羽根の間隔が大きいほど（羽根の間隔の大きさが8、9<6、7<12番より、12番が一番、次に6、7番が）戻らないことがわかる。羽根の間隔は異なるが、羽根の枚数が同じであるため、羽根が回転したことによってできる風の発生の仕方は同じであると思う。しかし、間隔によって回転の仕方や、発生する風の強さが異なることで、戻った距離も異なるのではないかな。

図7の発射台からの距離のグラフは、飛距離のグラフと同じように山の形のグラフになっている。また、ケント紙より工作用紙の方が発射台からの距離が大きいものが多いのは、ケント紙はまっすぐ飛んで帰ってきたものが多いことに対し、工作用紙は右に大きく曲がるものが多かったため、工作用紙はケント紙よりもX軸の値が大きくなり、伴って発射台からの距離も大きくなったからだと思う。

(2) 実験の際に気づいたこと

工作用紙よりもケント紙の方が上に上がりやすかったのは、ケント紙の方が工作用紙より軽いからだと思う。

羽根の枚数が3枚 - 飛ばす角度 0° （1、2、3番）はどれも安定していた。そのため、ブーメランの競技では3枚のものが多く使われているのだと思う。また、ケント紙の2、3番は図8のように戻ってきた後、もう一度向こう側へ行ったが、測定ではブーメランが止まった位置でしたため、戻った距離や発射台からの距離の値は、実際にはもっと良い値になったと思う。



(上から見た軌道) (横から見た軌道)

図8 2、3番のブーメランの軌道

羽根の枚数が2枚（6、7、8、9、12番）は羽根の枚数が3枚のときほど戻らなかった。しかし、狩りの道具として2枚のブーメランが使われていたため、2枚であったとしても戻ってくるはずであるが実際にはあまり戻ってきていない。

工作用紙では11番（羽根の枚数3枚 - 飛ばす角度 30° ）が、ケント紙では10、11番（羽根の枚数3枚 - 飛ばす角度 15° 、 30° ）が、他のものとは異なり、右旋回ではなく左旋回した。

4 考察

(1) 戻った距離と発射台からの距離

ブーメランの競技では、戻ってきたブーメランをキャッチしないと得点にならないと参考文献に書いてあったため、戻ってきた距離が大きく、発射台からの距離が小さい方がよいと考えたため、戻った距離と発射台からの距離のグラフを作った（図9）。

図9を見ると、工作用紙は左上から右下にかけて斜めに偏りがなく分布しているが、ケント紙は左上に多く集まっていて中央が少ない。

(2) 飛距離×戻った距離

ブーメランの競技では、飛距離が決められた以上飛び、戻ってきたブーメランをキャッチしないと得点にならないと参考文献に書いてあったため、ブーメランは飛距離と戻った距離が大切であると考えた。また、図5（飛距離のグラフ）は山の形のグラフになっている（12番を除く）が、図6（戻った距離のグラフ）は図5とは逆の谷の形のグラフになっている（12番を除く）。しかし、ブーメランの競技ではどちらも大切な要素であるため、図5と図6の2つを合わせる必要があると考えた。よって、「飛距離×戻った距離」のグラフを作った（図10）。単位が距離（cm）になるように、平方根を計算した。

図9と図10のグラフを比べてみると図9で左上にあるものは、図10で数値が高いものである。

- ・ 工作用紙…2番（半径5cm - 幅1.6cm - 羽根の枚数3枚）、3番（半径5cm - 幅1.6cm - 羽根の枚数3枚）、10番（半径3cm - 羽根の枚数3枚 - 飛ばす角度 15° ）
- ・ ケント紙…1番（半径3cm - 羽根の枚数3枚）、5番（半径5cm - 幅1.6cm - 羽根の枚数4枚）、9番（半径5cm - 幅1.6cm - 羽根の枚数2枚 - 羽根の間隔 90° ）

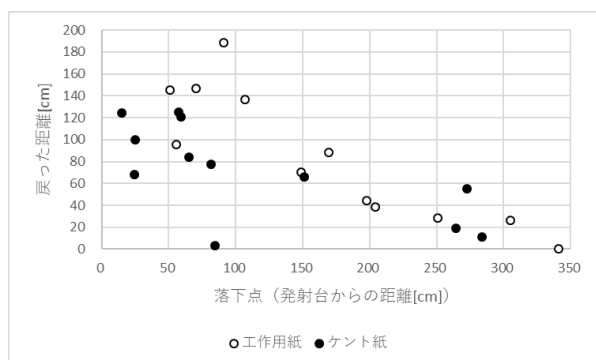


図9 戻った距離と発射台からの距離の関係

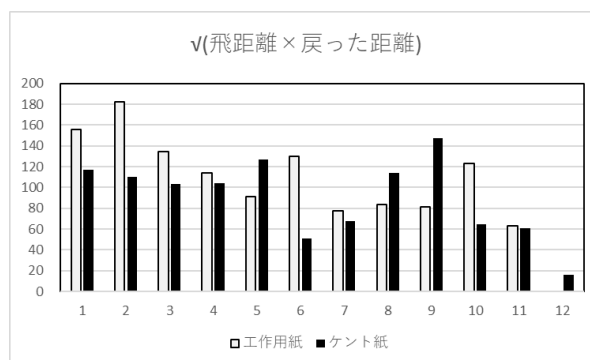


図10 飛距離 × 戻った距離

(3) よいブーメランとは

図 11 を見ると、一番よいと言えるブーメランは、工作用紙では、2 か 3 番（しかし、2、3 番は両方とも半径 5 cm）、ケント紙では、1 番（半径 3 cm - 幅 1 cm - 羽根の枚数 3 枚）だと思う。

工作用紙は重いから、ある程度の大きさが必要とする。反対にケント紙は、軽いため、大きいと空気などの影響を受けやすく不安定になり、小さい方がよい。

ブーメランは材質の重さ、丈夫さとのバランスで半径や幅、羽根の間隔などの大きさが決まるのだと思う。

羽根の枚数が 2 枚の中で、9 番（半径 5 cm - 幅 1.6 cm - 羽根の間隔 90°）以外は右下に集まっていることから、羽根の枚数が 2 枚のブーメランはあまりよいブーメランではない。特に、12 番のブーメラン（羽根の枚数 2 枚 - 羽根の間隔が 180°）は、遠くまで飛ぶが戻ってこないため、工作用紙でもケント紙でもよいブーメランとは言えず、ブーメランだと言ってよいのかという疑問も残る。

(4) 追加実験 1

ブーメランについて調べたところ、「ブーメランは縦向きに投げると左旋回する」と参考文献に書かれていた。しかし、今回の実験では、ほとんど右旋回であった。その原因として、参考文献ではブーメランを縦向きにして投げていたのに対し、横向きに弾いていたことだと考える。本実験と同じブーメランでも縦向きに飛ばすと左旋回するのか確かめるために、追加実験を行うことにした。

【実験方法】

参考文献では立ってブーメランを投げていたが、他のものと条件をなるべく同じにするために、座ってブーメランを左手で縦にして持ち、右手で弾いた。

【結果】

ブーメランは参考文献に書いてあるとおり、左旋回した。しかし、参考文献に書いてあるほど戻ってこなかった。また、滞空時間も短く、左にそれてしまっていた。

【考察】

ブーメランがあまり戻ってこなかったのは、投げるのではなく弾いていたため、回転が投げるのに比べて少なかったり、座って実験を行ったため、戻ってくる前に床についてしまったりしたのだと思う。他の原因としてはブーメランを縦にして持つと安定しないことも考えられる。

実験で左旋回したものは、工作用紙 - 11 番（飛ばす角度を 30°）のブーメラン、ケント紙 - 10、11（飛ばす角度を 15°、30°）のブーメランで、これはもともと高く上がるブーメランを、角度をつけて飛ばしたことにより、縦向きで飛ばすときの空中での傾きと同じようになったためではないかと考えた。

(5) 追加実験 2

参考文献では左旋回すると書かれていたが、実験では右旋回した。反時計回りに弾くのではなく、時計回りにブーメランを弾くと左旋回になるのかを調べるために、追加実験を行うことにした。

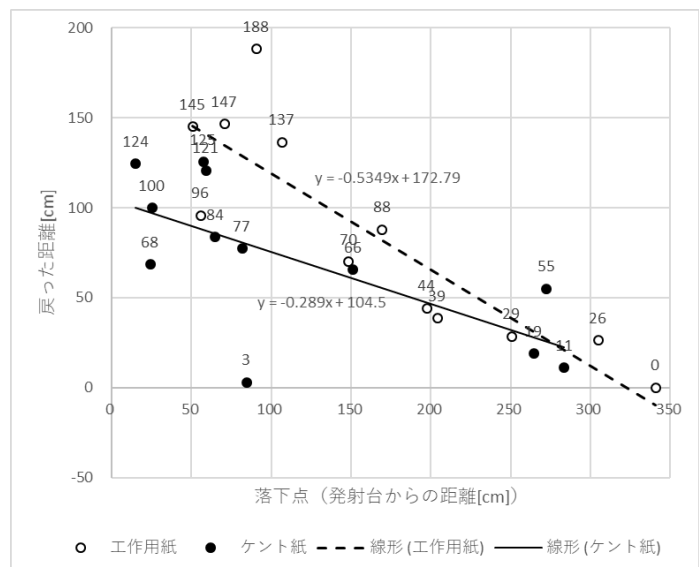


図 11 戻った距離と発射台からの距離の関係

点線…工作用紙のデータに Excel で近似直線を引いたもの
実線…ケント紙のデータに Excel で近似直線を引いたもの

【実験方法】

表2のように、半径3cm - 幅1cm - 羽根の枚数3枚 - 羽根の間隔120° - 飛ばす角度0° の工作用紙とケント紙のブーメランを台の上に置き、左手で弾く（ブーメランの回転方向は時計回りになる）。計測などの仕方は同じ。

表2 追加実験2

番号	紙質	半径 [cm]	幅 [cm]	羽根の枚 数[枚]	羽根の間 隔[°]	飛ばす角 度[°]	回転方向
15	工作用紙	3	1	3	120	0	時計回り
16	ケント紙	3	1	3	120	0	時計回り

【結果】

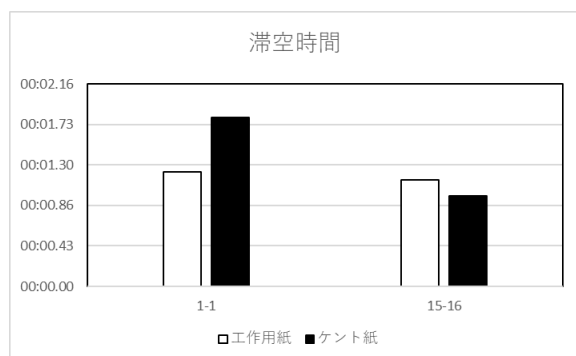


図12 滞空時間

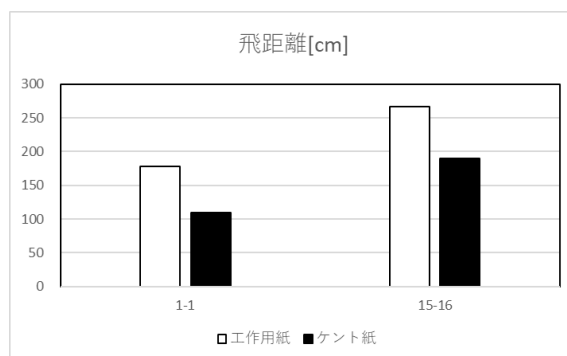


図13 飛距離

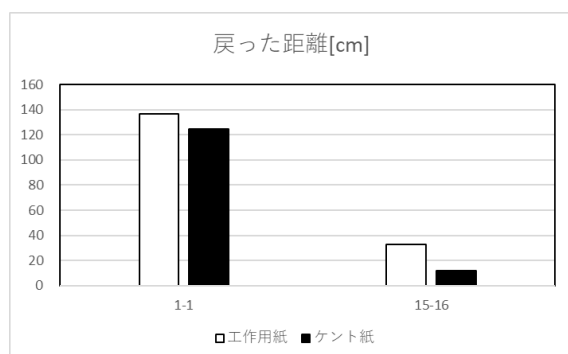


図14 戻った距離

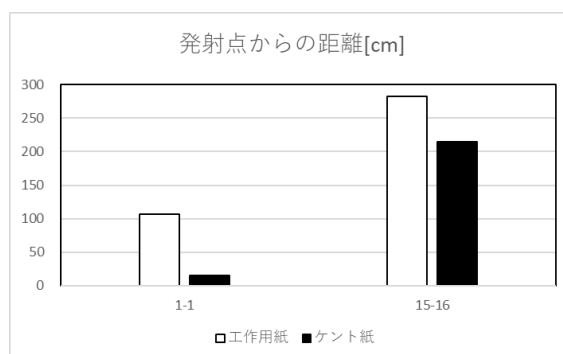


図15 発射点からの距離

ア 結果からわかったこと

本実験と同じように、飛距離のグラフ（図13）と発射点からの距離のグラフ（図15）は、どちらもケント紙の方が値は小さく、時計回りの方が値は大きいというように傾向が似ている。また、飛距離と戻った距離のグラフ（図13と図14）の傾向も本実験と同じように反対になっている。

イ 実験の際に気づいたこと

羽根の傾きを変えずに左手で飛ばしてみたら、まっすぐ進み、すぐに落ちてしまった。そのため、羽根の傾きを逆にしてみたところ、きれいに左旋回して飛んだ。

【工作用紙】

縦向きに落ちる。
90° くらいに曲がるが、戻らない。
直角に落ちていく感じ。
安定している。

【ケント紙】

縦向きに落ちる。
ほぼ直角に曲がって落ち、戻らない。
あまり飛ばない。
安定している。

【考察】

ブーメランが縦向きに落ちたのは、参考文献に書いてあるように歳差運動が関係しているからだと思う。

羽根の傾きを逆にしてみたところ、きれいに左旋回して飛んだことから、羽根の傾きもブーメランの飛び方に影響することがわかった。

ア 戻った距離と発射台からの距離

図 16 を見ると、15、16 番のブーメランは右下にあることから、あまりよいブーメランではないと思う。

イ 飛距離×戻った距離

図 17 から、工作用紙もケント紙も 1 番の反時計回り（右手で弾く）の方がよいブーメランだと言える。

ブーメランは滞空時間の長さや発射台からの近さが大切であるため、ブーメランとしては、滞空時間のグラフ（図 12）や、戻った距離と発射台からの距離のグラフ（図 16）、飛距離と戻った距離のグラフ（図 17）から、1 番の反時計回り（右手で弾く）の方がよいと思う。また、ブーメラン自体は同じものであるが、1 番の反時計回り（右手で弾く）と 15、16 番の時計回り（左手で弾く）には大きな差がある。その理由として考えられるのは、右手と左手ででは弾き方や、弾くときの力の向きや強さなどが違ったからだと思う。

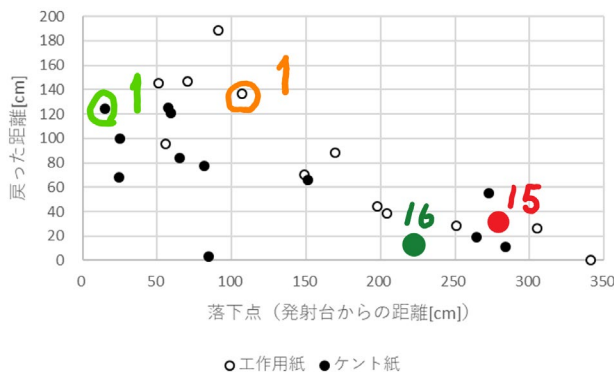


図 16 戻った距離と発射台からの距離の関係

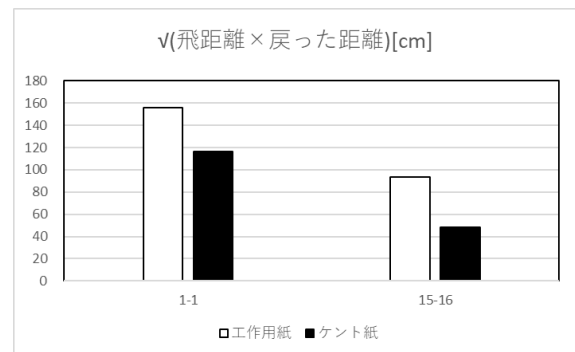


図 17 飛距離 × 戻った距離

(6) 滞空時間について

ものを投げたときの運動は、水平成分と垂直成分の合成（図 18）であるため、水平成分と垂直成分をわけて考えると、ものを同じ高さから落としたときと投げたときの力は重力だけなので、滞空時間は同じになる。高さ 45cm の台からブーメランを落としたときの滞空時間は

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$t^2 = \frac{2h}{g}$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$h=0.45[\text{m}]$ 、 $g=9.8[\text{m/s}^2]$ だから

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 0.45}{9.8}} = 0.303[\text{s}]$$

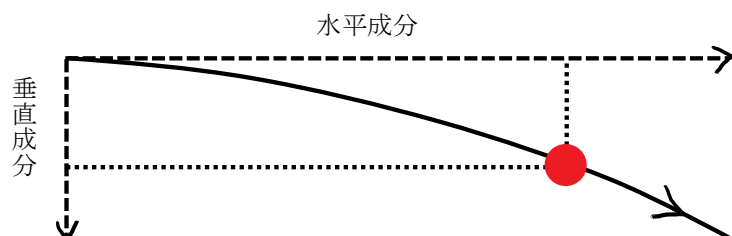


図 18 ものを投げたときの運動

0.303 秒である。滞空時間の結果を見てみると、一番短い滞空時間は、12 番（ケント紙 - 半径 3cm - 幅 1cm - 羽根の枚 2 枚 - 羽根の間隔 180°）が 0.33 秒であったことから、すべてのブーメランは落としたときの

滞空時間よりも長いことがわかる。同じ高さから落としたときと投げたときの滞空時間は同じになるはずであるのに、ブーメランの滞空時間が長くなったのは、ブーメランの回転によって揚力が生まれたからだと思う。また、0.33 秒と滞空時間が短かった 12 番のブーメラン（ケント紙 - 半径 3 cm - 幅 1 cm - 羽根の枚数 2 枚 - 羽根の間隔 180° ）はほとんど回転しないで飛んでいたため、揚力がとても小さく、落としたときの滞空時間と同じくらいの滞空時間になったのだと思う。

追加実験 2 で、時計回りと反時計回りでは羽根の傾きが異なることがわかり、反対の羽根の傾きで飛ばしても落ちていってしまうことがわかった。これは、羽根の傾きが反対だと、揚力が生まれなため力は重力だけになり、同じ高さから落としたときと滞空時間は同じになるはずだと考えた。実際に確かめてみようと思い、工作用紙、ケント紙でそれぞれ落としたときの滞空時間と、羽根の傾きを逆にするため、反時計回りのときのままで時計回り（左手で弾く）ときの滞空時間を計てみると表 3 のようになった。

表 3 落下時間[秒]

	落とす	弾く
工作用紙	0.33	0.35
ケント紙	0.30	0.35

少しの違いはあるが、ストップウォッチを押すタイミングなどの誤差であるため「羽根の傾きが反対だと、揚力が生まれなため力は重力だけになり、同じ高さから落としたときと滞空時間は同じになるはずだ」という予想通りの結果になった。このことから、ブーメランも羽根の傾きが反対だと落としたときの滞空時間と同じになると言える。

6 まとめ・感想

参考文献によると、ブーメランの飛び方には歳差運動※による円運動と放物運動が関係していると書かれていた。しかし、今回の実験では参考文献とは異なった軌道になったため、どのようにブーメランが運動していたのか知りたい。

※ 歳差運動（ジャイロ効果）とは、回転運動する物体の慣性によって生まれるもの。こまの運動や飛行機の自動操縦にも使われている運動である。

バランスが大切なことが今回の実験からわかったため、中心を重くしたり、工作用紙やケント紙以外の材質、段ボールや厚紙などでブーメランを作ったりして、ブーメランとバランスの関係性について調べてみたいと思う。

今回のブーメランの軌道などは今の知識・理解力だけでは説明できないことが多かったため、これからの学習を通して説明できるようになりたい。

7 参考文献

- [1] 奥村弘二, “いきいき物理 マンガで実験”, 日本評論社, pp. 47-56, 2018 年
- [2] 西山豊, “ブーメランはなぜ戻ってくるのか”
http://yutaka-nishiyama.sakura.ne.jp/math2010j/boomerang_j.pdf,
 pp. 1-12, 2014 年
- [3] 先光吉伸, ブーメランハンドブック, 日本レクリエーション協会, 1999 年
- [4] 板倉聖宣, 湯沢光男, “コマの力学”, 仮説社, 2005 年
- [5] 近角聡信, “日常の物理事典”, 東京堂出版, pp. 160-164, 1994 年
- [6] 佐治晴夫, “14 歳のための物理学”, 春秋社, 2011 年