

# 折り紙飛行機の最適な飛ばし方

兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 1年 麻生 和孝 木下 裕貴 工樂 瑛友 小杉 暖尚 眞鍋 洋平

## 1. 目的

紙飛行機のコンテストで使用される、厚紙による紙飛行機は初速を大きくすれば遠くまで飛ぶ。しかし、子どもたちが作る折り紙による紙飛行機では、紙が弱いため初速を大きくしすぎると変形してしまい、遠くまで飛ぶことができないのではないかと考えた。また、発射する角度によっても変形のしやすさが変わると考えた。そこで、折り紙による紙飛行機を作り、初速と発射角度を変化させて飛行距離を調べる。そして、紙飛行機が遠くまで飛行できる条件を人間で再現する方法を考える。

## 2. 仮説

飛行距離が最大になる初速があり、それを超えると移動距離が伸びなくなる。また、角度は事前の簡易な実験の結果、上向きに20°から30°にすると飛行距離が長くなった。しかし、初速が大きくなるにつれて最適な角度は小さくなっていくと考えた。

## 3. 実験方法

### 1. 紙飛行機の発射台

いろいろな初速で発射できるようにするため、2種類の発射台を製作する。

#### ■ ゴム式

紙飛行機をゴムバンドの弾性力で発射できるようにする。折り紙による紙飛行機を発射前にあまり変形させないように、幅30mm程度のゴムバンドを使用する。初速の調整は、ゴムを引っ張る長さを変更することで行う。

主な使用部品

- ・ ゴムバンドリング 30 mm 幅 514 mm
- ・ アルミ板 2 mm厚 300×300 mm

#### ■ タイヤ式

2つのタイヤを並べ、その間に紙飛行機を挟んで発射できるようにする。初速を大きくできるように、モーターは回転数の多いミニ四駆用のタミヤ製「ハイパーダッシュ3モーター」を使用する。また、回転速度の調整をマイコンボード「Arduino Micro」とMOSFETによって行う。発射角度 $\theta$ の調節は前後に付ける高ナットの長さを表1のように調節することで行う。

主な使用部品

- ・ Arduino Micro
- ・ NchパワーMOSFET 60V25A 2SK2232
- ・ 半固定抵抗器 10k $\Omega$  TSR-065-103-R
- ・ タミヤ ハイパーダッシュ3モーター
- ・ アルミ板 2 mm厚 300×300 mm

### 2. 紙飛行機

正方形の折り紙1枚（一辺 176 mm）から、写真4のような折り紙を製作する。質量は1.75 gである。

### 3. 発射・測定方法

#### ● 初速の測定

発射地点の隣に基準となる数値を示した模造紙をおき、向かいからハイスピードカメラで60 fpsで撮影し、発射地点から最も近い2枚の写真での位置の差 $d$ に60をかけて初速を求める。

#### ● 飛行距離の測定

紙飛行機が前方45°に着地したときのみ、発射地点から着地点までの水平距離をメジャーで計測する。

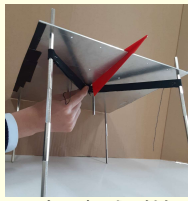
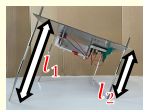


写真1 ゴム式発射台



写真2 タイヤ式発射台



$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	$\theta$ (°)
225	225	0.00
225	210	3.07
240	210	6.12
250	200	10.12
265	160	20.56
305	120	33.45
345	80	43.42
385	40	50.94
425	0	55.69

写真3



写真4 使用した紙飛行機

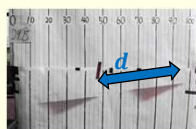


写真5 初速計測の為2枚の写真を重ねた様子

## 4. 実験・結果・考察

### ■ 実験1

ゴム式・モーター式の両方で、角度を水平に固定し、様々な初速で紙飛行機を発射させた。

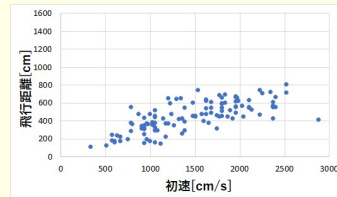


図1 ゴム式での初速と飛行距離

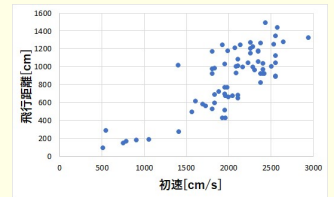


図2 モーター式での初速と飛行距離

仮説とは異なり、測ることのできた範囲では、初速が大きくなるほど飛行距離も大きくなっており、飛行距離の限界を見つけることができなかった。

しかし、右図のように、ゴム式において、引っ張りが9 cm以上になると、初速が上がらなくなり、2500 cm/sを超えることは少ない。また、タイヤ式において、回転速度を上げて2500 cm/s以上の初速が出ることはなかった。異なる2種類の発射台での実験で、どちらも2500 cm/s前後までしか初速が出ないことから、紙飛行機の初速の最大は2500 cm/sであると考えた。

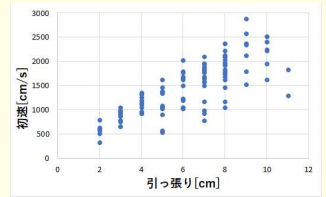


図3 ゴム式の引っ張る長さとの関係

### ■ 実験2

遠くに飛ばすのに最適な発射角度を求めるため、初速を1000 cm/sから1500 cm/sに固定し、様々な角度で紙飛行機を発射させた。図3のように、18°~30°のあたりで飛行距離が伸びていて、そこを超えると飛行距離は小さくなっていった。

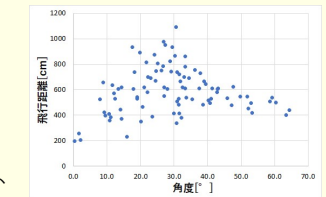


図4 1000~1500 cm/sでの発射角度と飛行距離の関係

### ■ 実験3

実験2での最適な角度である18°~30°と、角度を小さくした10°~18°のそれぞれで、初速を変えて発射した。すると、初速が1000~1500 cm/sのときは、18°~30°がより遠く飛んだが、初速を上げると、10°~18°の方がより遠く飛んだ。最大初速と思われる2500 cm/s付近の時は、10°~18°の方がよく飛び、その飛行距離は1400 cmを超えた。以上より、初速が小さいと、18°~30°の角度で安定して飛行距離が出るが、2000 cm/sを超えると、10°~18°のほうが安定して飛ぶと考えられる。

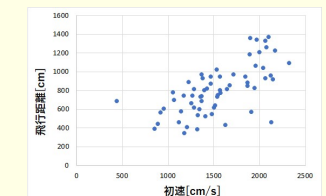


図5 18°~30°での初速と飛行距離の関係

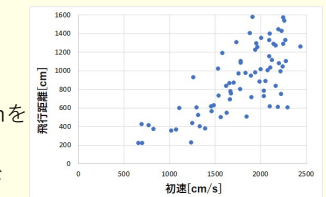


図6 10°~18°での初速と飛行距離の関係

## 5. 結論・展望

以上より、角度10°~18°かつ初速2500 cm/sで飛ばすと最も飛ぶと言える。そして、紙飛行機に及ぼす初速には限界があり、飛行距離は限界がないとわかる。しかし、人間が飛ばすときは、他にも様々な要因が考えられる。そこで人間が飛ばすときの初速を次のように評価した。

初速 $v$ =紙飛行機に及ぼす速度×紙飛行機を飛ばす時の効率

ただし、紙飛行機に及ぼす速度 $v$ の最大値は実験より2500 cm/sである。つまり、紙飛行機をこの速度で発射しても、飛ばす時の効率によって初速は変わると考えると、2500 cm/sを与えても効率が良ければ2500×1.5=3750 cm/sも出せると考えられる。逆に1800 cm/sを与えても1400 cm/sしか出ていないのは効率によるものだとわかる。従って、人がいくら速く紙飛行機を飛ばしたとしても飛ばす時の効率が悪いと、紙飛行機をより速く、速く飛ばす事はできないと予測できる。今後、どのような投げ方をすればどれほどの効率になるかを調べる実験もしたい。