

## 第15回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0485

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : よく飛ぶ紙飛行機VII～飛ぶ力と尾翼の形～

学校名 : 静岡県 国立静岡大学教育学部附属浜松中学校 トップガン

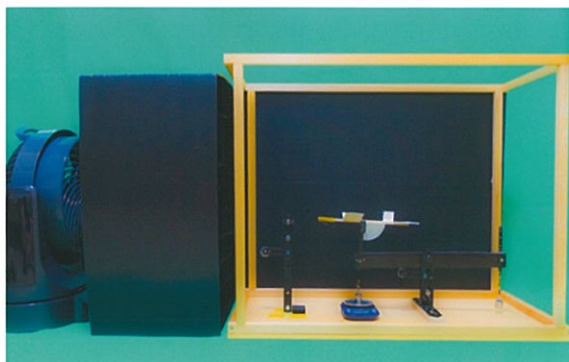
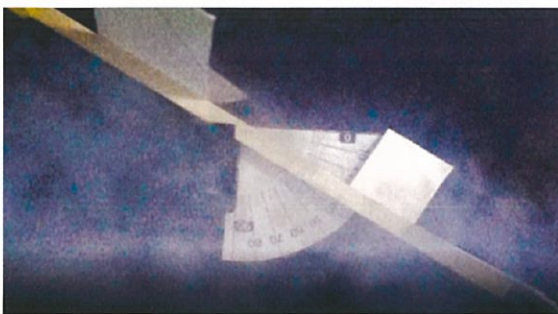
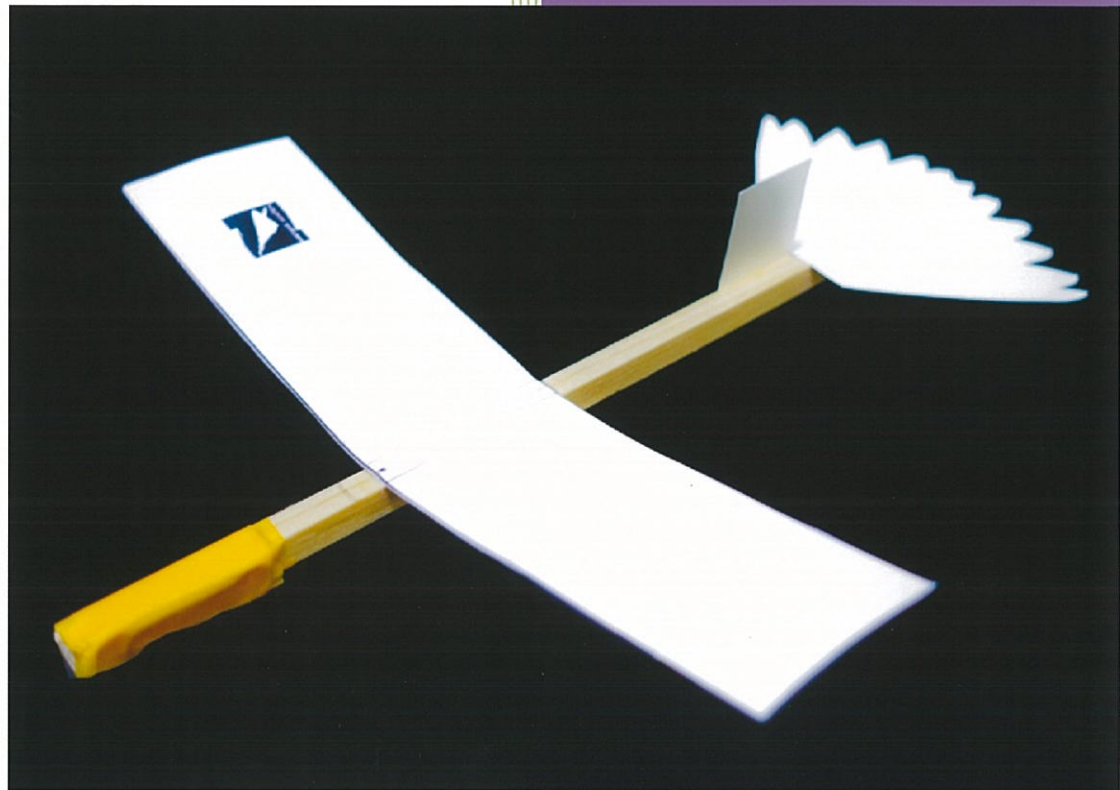
学年 : 1年生

代表者名 : 三宅 遼空

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

# よく飛ぶ紙飛行機Ⅶ

～飛ぶ力と尾翼の形～



静岡大学教育学部

附属浜松中学校

1年

三宅 遼空

## 1. 研究の動機

僕は、小1から6年間、大好きな紙飛行機をもっとよく飛ばすために、色々な種類の紙飛行機を作って研究をしてきた。昨年は昆虫や鳥などの飛行生物の翼の断面形状をまねた紙飛行機を作り、断面形状が飛ぶ力にどのように影響しているか調べた。昨年、飛行生物の翼の断面形状を調べた際に、鳥の飛行写真が図鑑に載っていた。写真を見ると、飛んでいる時と着地する時で翼だけでなく、なぜか尾翼の形も変化していることに気付き不思議に思った。そこで、今年は飛行生物の尾翼の形の秘密について知りたくなり、色々な生物の尾翼の形を持つ紙飛行機の飛行特性(揚力・抗力)を調べることにした。

## 2. 研究の目的

これまでの研究を通して、紙飛行機には「揚力」「抗力」「重力」「推力」という4つの力が働いて飛んでいることが分かった。今年は、尾翼に注目し、尾翼の形の違いが、この飛ぶ力にどのように関係しているか調査することにした。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験の内容

色々な尾翼の形をした紙飛行機を作り、飛ぶ力にどのような違いが出るか調べる。

### (2) 実験の進め方

- ① 翼の性能は、揚力を抗力で割った「揚抗比」が大きいほど良いため、色々な尾翼形状の飛行機の揚力と抗力を測定する。
- ② ①の結果がなぜそうなったのか、空気の流れを高速カメラで観察し、調査する。
- ③ 紙飛行機を実際に飛ばし、どれが一番良く飛ぶか対決する。

### (3) 実験装置

#### ①紙飛行機

尾翼の形の違いを単純に比較するため、これまでの研究で使用した棒胴機 N-1141(写真1)にした。

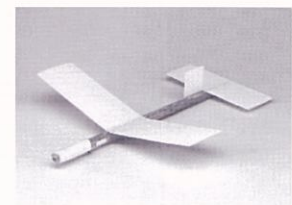


写真1 棒胴機 N-1141

(出典:「二宮康明の紙飛行機集」 誠文堂新光社)

#### ②実験装置

揚力測定装置、抗力測定装置

この実験をするために、写真2のような実験装置を作った。

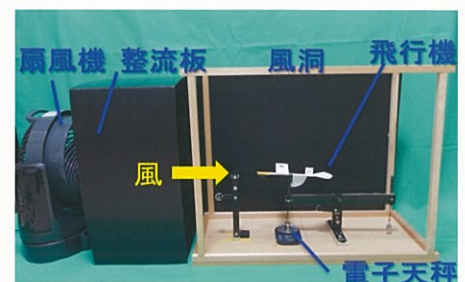


写真2 揚力、抗力実験装置

#### 《揚力測定方法》

揚力測定の際は機体の下とおもりを糸で結び、テコの原理を利用して浮き上がる力を測定する。扇風機で風を前からあてた時の電子天びんの目盛りを読み、最初に比べて軽くなった分が揚力になる。

#### 手順

1. 電子天びんの上に分銅(20g)を置き、機体を固定した支柱の真下にタコ糸で固定する。
2. 飛行機と反対側にも分銅(20g)を結び、電子天びんの値が10gで飛行機が平行で釣り合うように位置を調整し、電子天びんの値を0にリセットする。

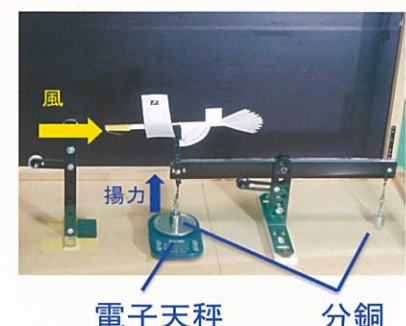


写真3 揚力測定

3. 風洞装置を通して、翼に扇風機の風(3.2m/s)を当てる。
4. 10秒間で一番大きな電子天びんの値を測定した。

#### 《抗力測定方法》

抗力測定の際は機体の前とおもりを糸で結び、引っ張られる力を測定する。揚力と同じように、扇風機で風を前から当てた時の電子天びんの目盛りを読み、最初に比べて軽くなった分が抗力になる。

#### 手順

1. 電子天びんの上に分銅(10g)を置き、機体の前のフックにタコ糸で固定する。
2. 飛行機と反対側にも分銅(20g)を結び、飛行機が平行で釣り合うように位置を調整し、電子天びんの値を0にリセットする。
3. 風洞装置を通して、翼に扇風機の風(3.2m/s)を当てる。
4. 10秒間で一番大きな電子天びんの値を測定した。

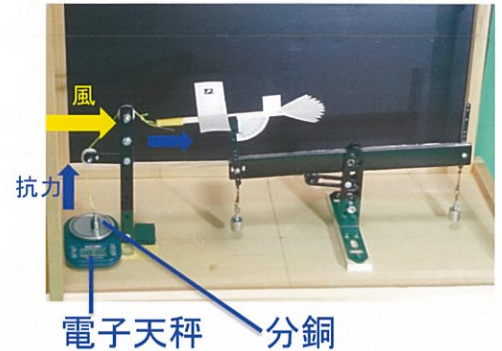


写真4 抗力測定

#### 風洞実験装置

写真5のように木で枠組みを作り、透明なアクリル板とプラダン(黒)で風洞(奥行30cm、長さ60cm、高さ50cm)を作る。

風洞の前には飛行機に当てる風が一定になるように、プラダンで一辺が5cm、長さ20cmになるような短冊を組み合わせて作った、簡単な整流板を置く。

#### 手順

1. 揚力測定で使用した装置の支柱に飛行機を固定する。
2. スモーク発生装置を置き、煙を発生させる。
3. 扇風機の風を当て流れを作り、翼に流れる煙を観察する。

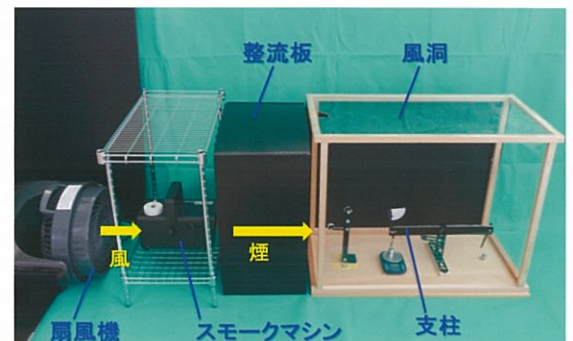


写真5 風洞実験

### 4. 研究

#### 実験1 尾翼の形の違いによる揚力、抗力を調べる

##### (1) 実験方法

##### 尾翼の形

図1の飛行生物の尾翼の形をまねて作成した。  
棒胴機(N-1141)に対し、尾翼の幅が同じになるようにした。



図1 尾翼の形

##### 尾翼の大きさ

棒胴機(N-1141)の翼面積(24cm<sup>2</sup>)に対する尾翼面積比を基本にして次のように設定した。

- ア. 大:70%      イ. 中(基本):46%      ウ. 小:30%

## 尾翼の角度

機体の角度を0から30°まで5°おきに変化させた時の揚力を測定。

### (2) 予想

揚力は、浮き上がる力のため、大きい方がよい。

これまでの研究で、揚力は翼に流れる風が曲がることによってできる空気の圧力の差で発生することが分かっている。今回の尾翼はどれも平形で作成したため、尾翼の上下面に流れる風が大きく曲がることはなく尾翼の形による差はあまり出ないと思う。しかし、角度が付くと、面積が大きい尾翼の方が風を受ける面積が大きくなるため、揚力も大きくなるのではないかと思う。

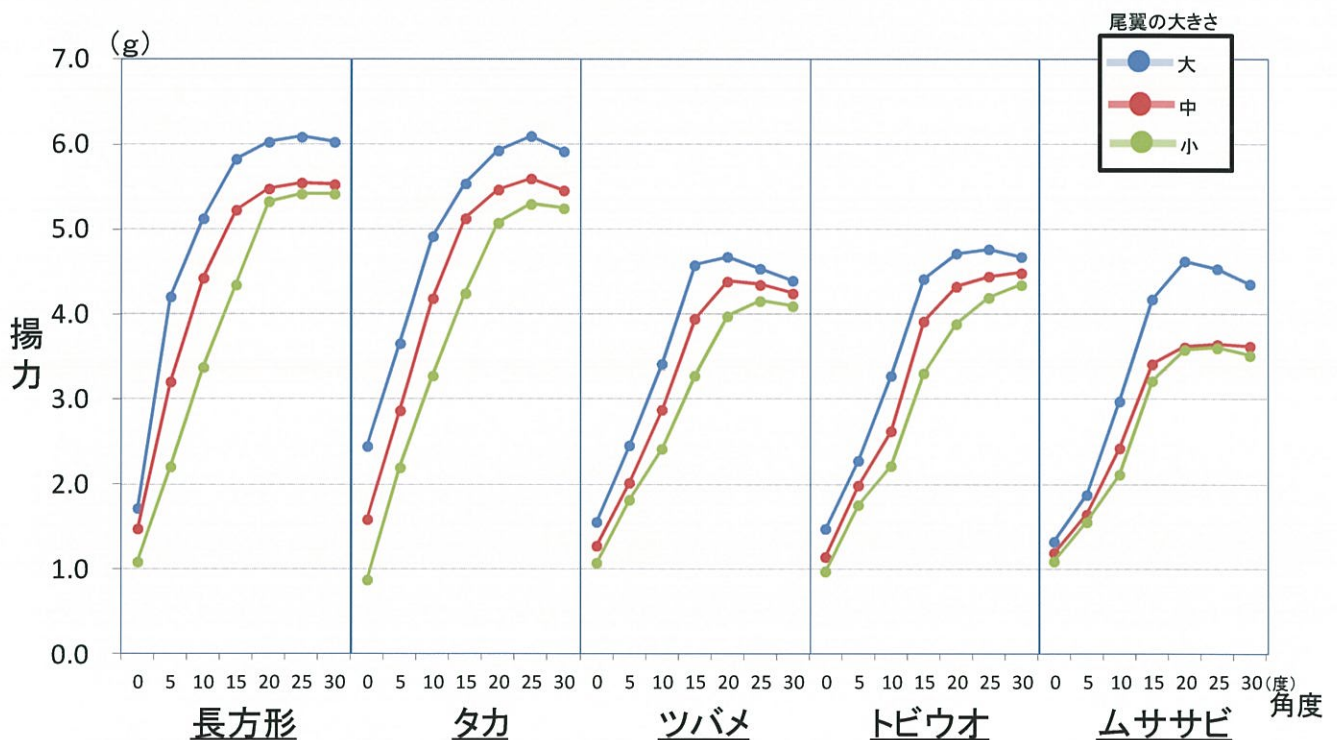
抗力は、前に進む力を妨げる力のため小さい方がよい。

これまでの研究で、表面に凹凸がある方が空気の流れがスムーズになり、抗力が小さくなることが分かっている。今回は、平形の尾翼のため、尾翼の表面に凹凸はなく滑らかである。そのため、尾翼の形が違って、抗力に差は出ないと思う。しかし、角度が付くと、面積が大きい尾翼の方が風を受ける面積が大きくなるため、抗力も大きくなるのではないかと思う。

### (3) 結果

#### ①揚力測定結果

図2 尾翼の形と揚力の関係



- ・ 揚力は、長方形とタカ大が同じくらいで一番大きかった。
- ・ ムササビの形はどの大きさでも一番揚力が小さかった。
- ・ 面積が大きな尾翼の方が揚力が大きくなることが分かった。
- ・ どの尾翼も角度が20度を超えるとあまり変化しなくなった。

予想と違って、尾翼の形の違いによっても、揚力に差が出た。

今回の尾翼はどれも平形で作っていて、尾翼の上下面に流れる風が大きく曲がることはないため尾翼の形による差は影響せず、揚力には差は出ないと思っていた。

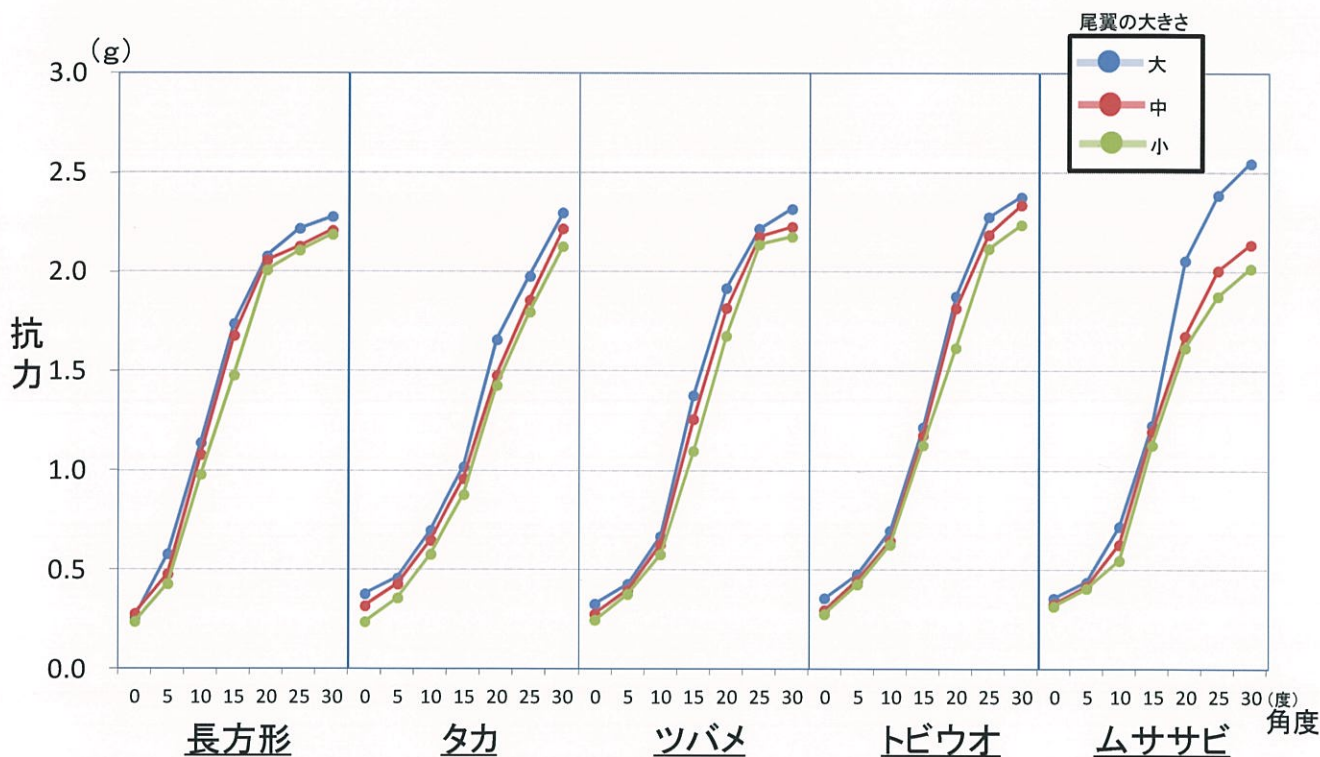
しかし、結果として差が出ていることから、尾翼の形がなにかしら風の流れに変化を起こしているのではないかと推測できる。また、面積が大きな尾翼の方が揚力が大きくなるのが分かった。

この結果から、鳥が着地するとき尾翼を広げ面積を大きくしているのは、より大きな揚力を得て、スピードを抑えながら安定して着地するために必要な動作であることが分かる。

翼の角度が20度を超えると揚力の変化がなくなったのは、機体の翼の下面に当たる風により後ろに押される力が、発生する揚力の値より大きくなってしまったためと思う。風速が一定のため、押される力も一定となり、値に変化が出なくなったのではないかとと思う。

## ②抗力測定結果

図3 尾翼の形と抗力の関係



- ・ 予想通り、抗力は、揚力ほど、尾翼の形の違いによって差は出なかった。
- ・ 面積が大きい尾翼の方が抗力も大きくなった。
- ・ ムササビは角度が大きくなると、尾翼の大きさによる差が大きくなった。これは、ムササビの尾翼は長いと角度が大きくなると、機体を固定している支柱と近くなり、尾翼と支柱で壁ができてしまう。そこで空気の流れが困われてしまい、抵抗となり、結果的に、抗力に影響が出てしまったのではないかとと思う。

## 【実験1のまとめ】

実験1で測定した揚力、抗力から、揚抗比(揚力/抗力)と尾翼の角度の関係をグラフにまとめた。  
 ※揚抗比の値が大きいほど翼の性能がよいとされている。

図4 尾翼の角度と揚抗比

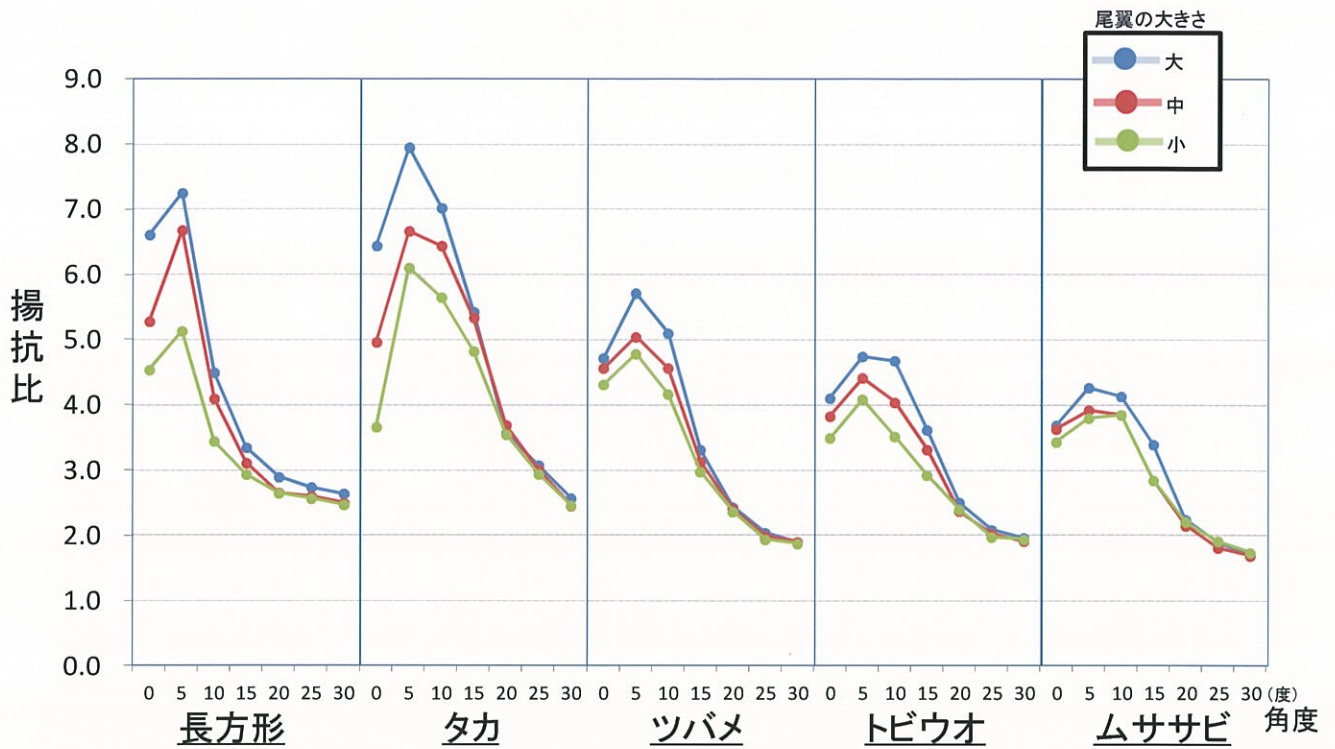
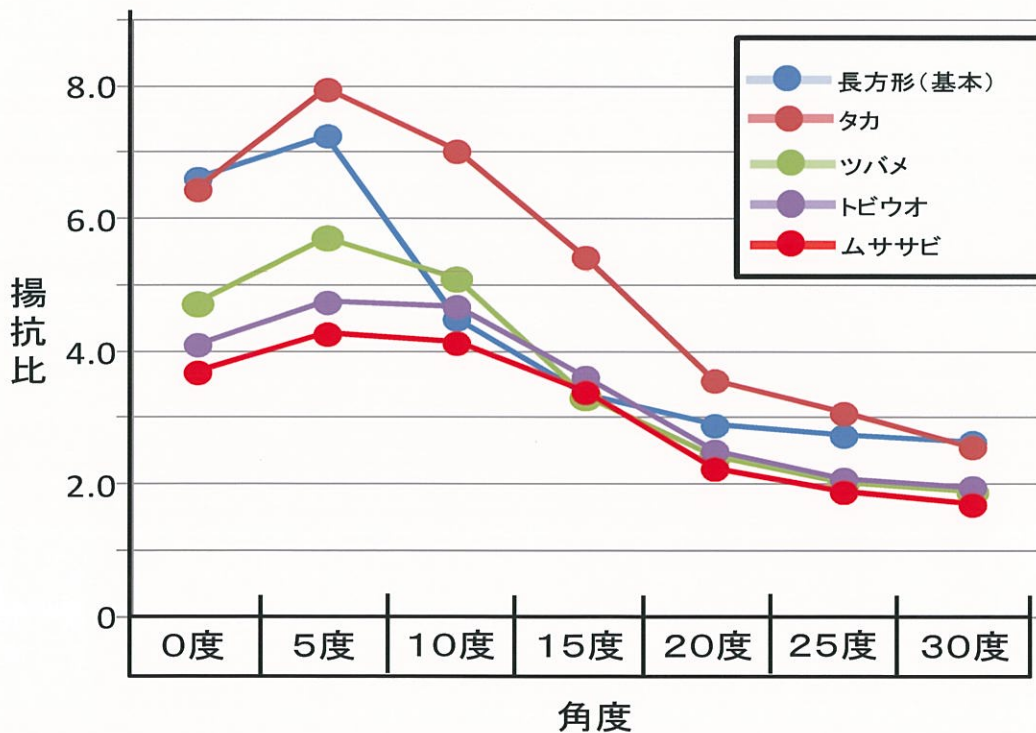


図5 尾翼(大)の角度と揚抗比

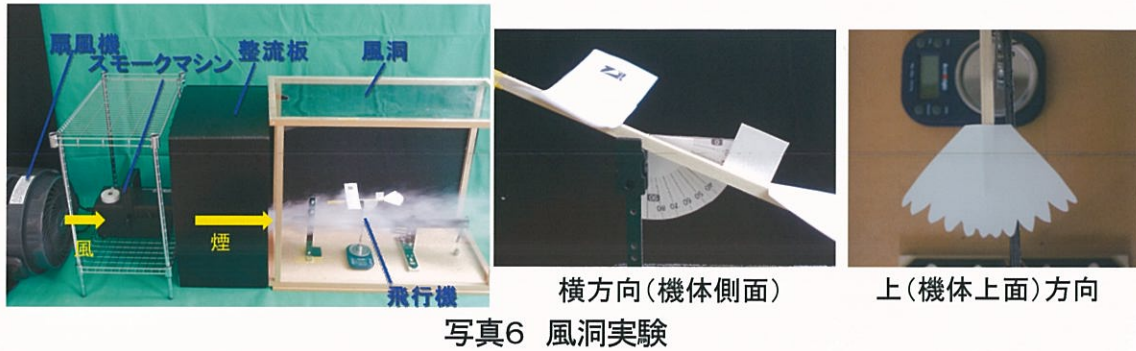


揚抗比の比較グラフから、  
**タカ>長方形>ツバメ>トビウオ>ムササビ**  
 の順で結果が良いことが分かった。  
 また、角度 20 度以上では、揚抗比の差が小さくなることが分かった。

## 実験2 尾翼の形の違いによる空気の流れ方を見る

### (1) 実験方法

機体の角度を0度、20度にした時の尾翼に当たる風の流れを観察するため、スモーク発生装置の煙を翼の周りに当て、横方向(機体側面)、上(機体上面)方向からも高速カメラで撮影した。



### (2) 結果

分かったこと

- ・ 角度が大きくなると尾翼の上面側と下面後方側で渦ができる。
- ・ 尾翼の形の違いで煙の流れ方が変わり、流れの速さが変化する。
- ・ 揚抗比の結果が悪い尾翼の形は尾翼周りの煙の塊が大きい。
- ・ 尾翼の大きさが変わると、尾翼の周りにできる渦の大きさが変わる。尾翼が大きい方が渦のふくらみが小さく、後方にスムーズに流しているのが分かった。
- ・ タカの尾翼では尾翼の形に添って斜めに煙が流れ、両端で渦を作りながらきれいに後ろに流していた。この結果から、尾翼の形はある程度面積がある扇形状の後退形状の方が空気をスムーズに流すことができることがわかった。
- ・ ムササビやトビウオのような異形の尾翼形状は、尾翼周りに空気の乱流ができてしまうため、安定して遠くまで飛ぶのには向かない実験結果となった。このことから、ムササビやトビウオは尾翼を飛ぶために利用しているのではなく、単に空中での姿勢のバランスをとるために利用しているのではないかと思う。

長方形:尾翼大

※撮影写真中の矢印は煙の流れのイメージを描いた

《角度0度》

《角度20度》



写真7

長方形:尾翼中

《角度0度》

《角度20度》

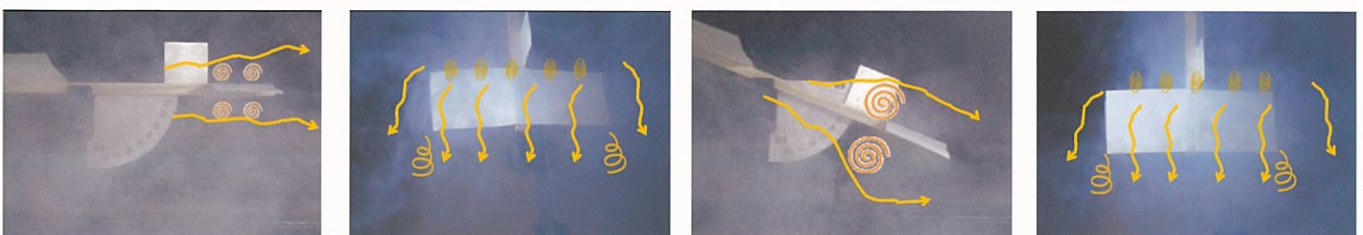
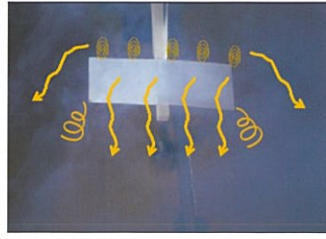
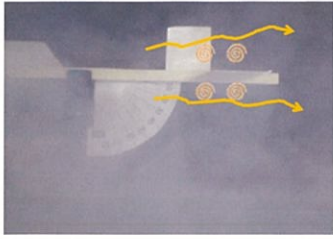


写真8



長方形:尾翼小

《角度0度》



《角度20度》

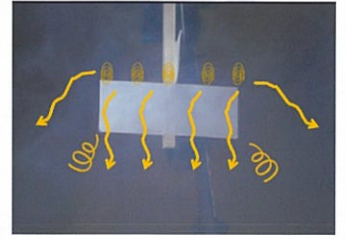
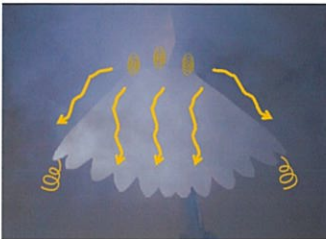
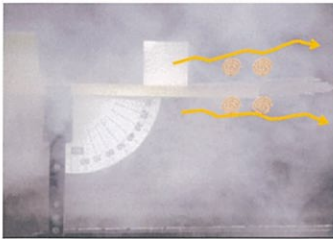


写真9

夕力:尾翼大

《角度0度》



《角度20度》

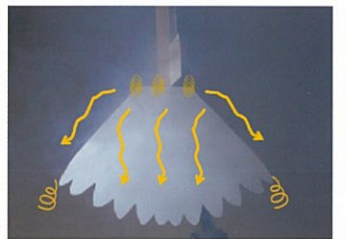
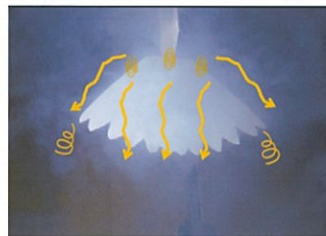
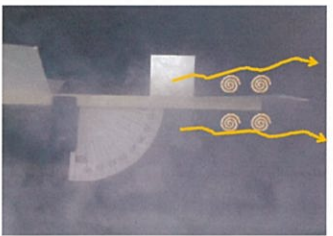


写真10

夕力:尾翼中

《角度0度》



《角度20度》

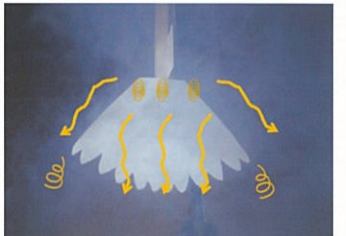
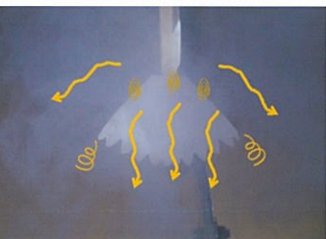
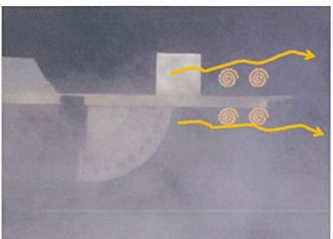


写真11

夕力:尾翼小

《角度0度》



《角度20度》

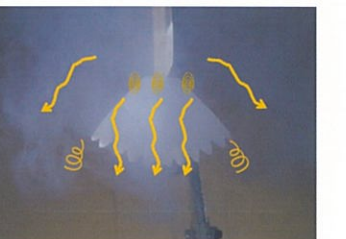
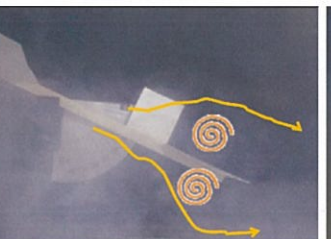
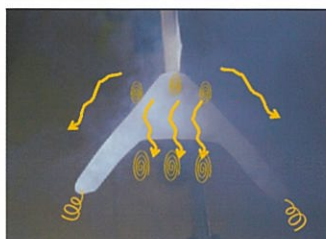
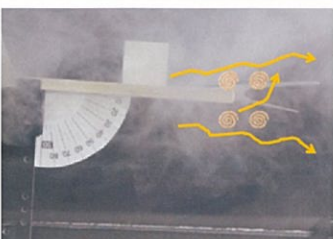


写真12

ツバメ:尾翼大

《角度0度》



《角度20度》

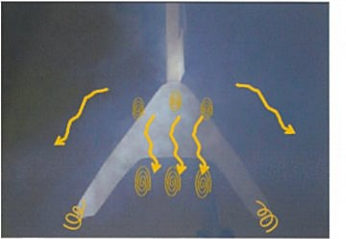
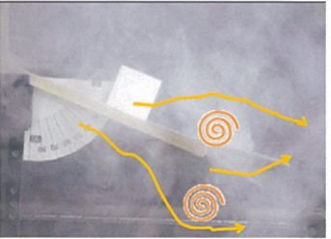


写真13

ツバメ:尾翼中

《角度0度》

《角度20度》

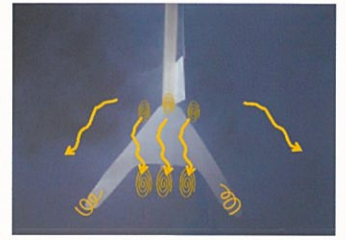
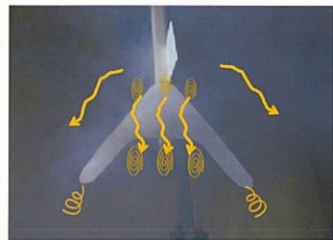
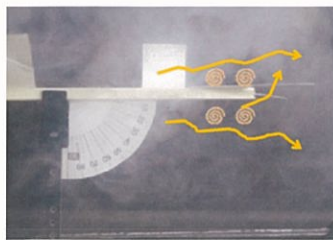


写真14

ツバメ:尾翼小

《角度0度》

《角度20度》

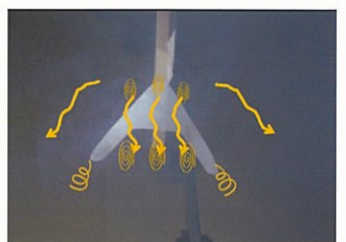
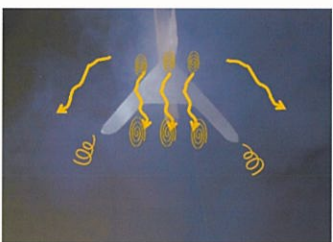
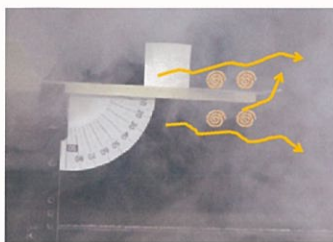


写真15

トビウオ:尾翼大

《角度0度》

《角度20度》

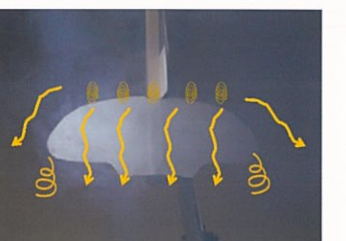
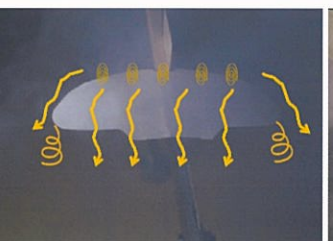
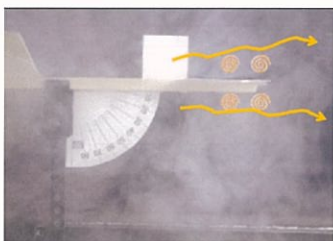


写真16

トビウオ:尾翼中

《角度0度》

《角度20度》

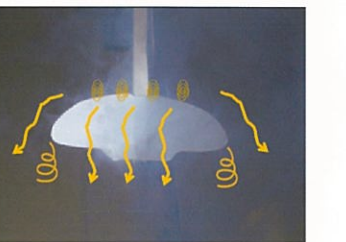
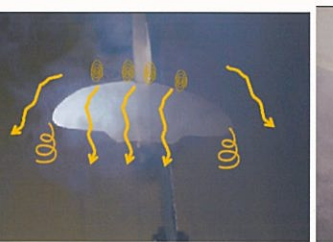
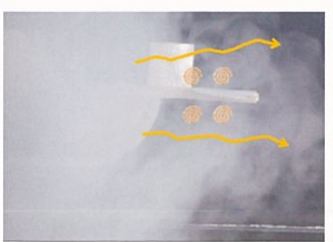


写真17

トビウオ:尾翼小

《角度0度》

《角度20度》

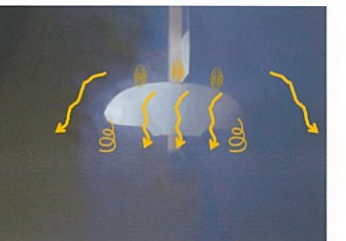
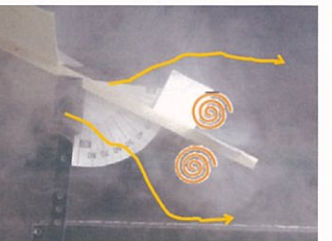
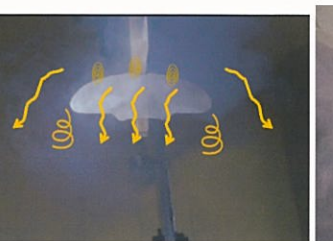
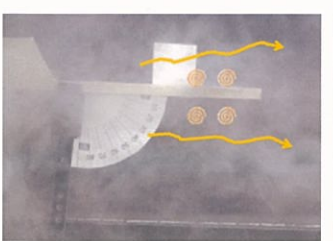
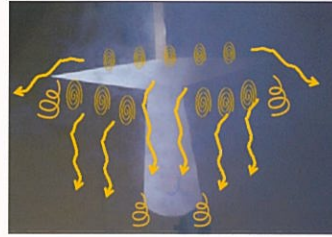
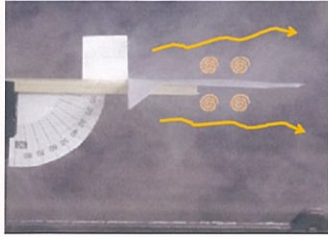


写真18

ムササビ:尾翼大

《角度0度》



《角度20度》

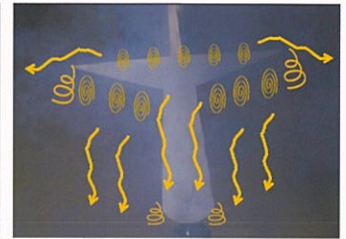
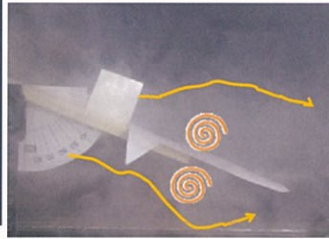
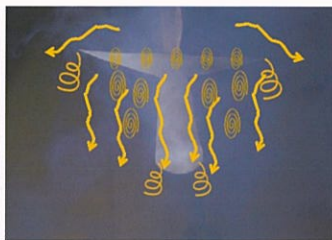
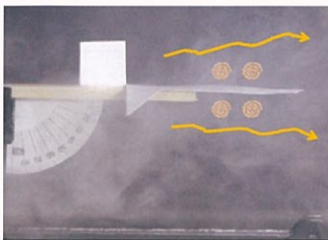


写真19

ムササビ:尾翼中

《角度0度》



《角度20度》

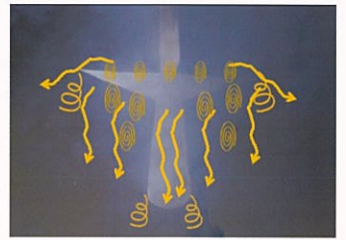
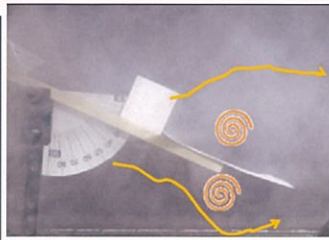
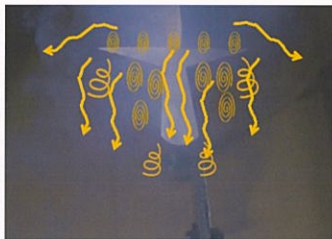
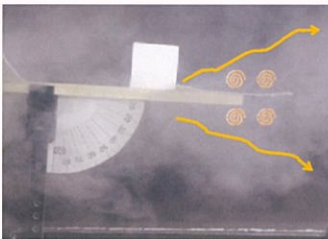


写真20

ムササビ:尾翼小

《角度0度》



《角度20度》

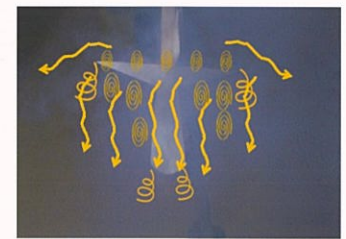
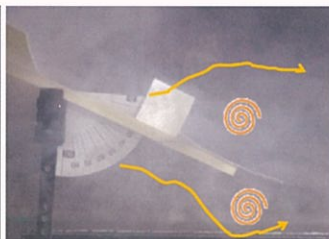


写真21

実験3 対決(検証実験)

(1) 実験方法

風のない体育館で、10回ずつ飛ばし 飛んだか距離を測る。

飛ばし方は、写真 22のような発射台を作り、なるべく飛ばし方を一定にした。

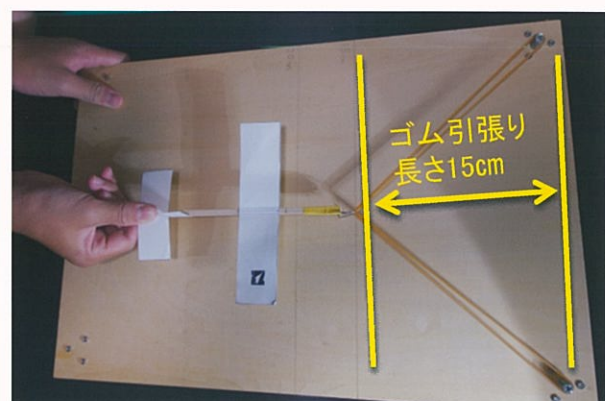
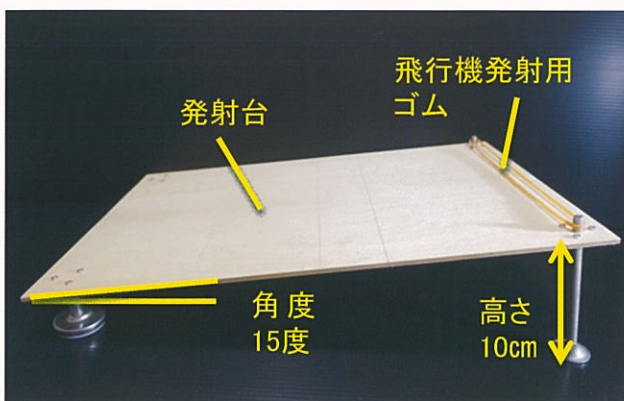
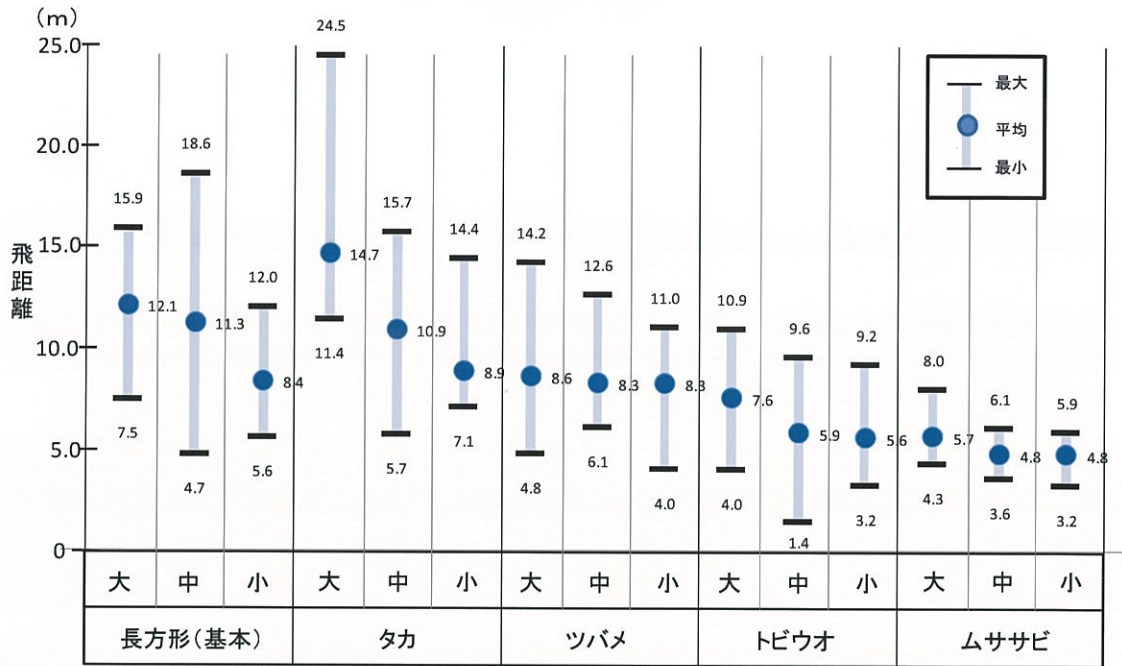


写真22 発射台と飛ばし方

## (2)結果

図6 飛距離対決結果



- ・ タカの尾翼大が最大飛距離も平均値も高く、一番よく飛んだ。
- ・ タカは一番飛んだが、旋回して距離をロスすることもあった。
- ・ ムササビは安定して飛ばなかった。
- ・ 揚抗比の良かった順位と同じ結果となった。

## 5. まとめ

- ・ 尾翼の形の違いによっても空気の流れが変わり、揚力と抗力に影響が出ることが分かった。
- ・ 揚抗比と風洞実験の結果から、尾翼の形はある程度面積があるタカのような扇形状の後退翼形状がいいことが分かった。
- ・ 鳥が着地するときに尾翼を広げ面積を大きくしているのは、より大きな揚力を得て、スピードを抑えながら安定して着地するために必要な動作であることが分かった。
- ・ 今回の研究では、尾翼の形に着目し、飛行生物の尾翼の形をまねた飛行機を作り、飛ぶ力にどんな影響があるのか調査した。今回は、尾翼の形、大きさについての調査しかできなかったが、これまでの研究で翼の表面や断面形状によっても、飛ぶ力に影響があることが分かっているため、今後は、尾翼でもその考えを応用し、飛行生物の飛ぶ力の知恵を利用した、よく飛ぶ紙飛行機について研究を続けていきたい。

## 6. 参考にした本

- ・ 「二宮康明の紙飛行機集」 誠文堂新光社
- ・ 「日本大百科全書(ニッポニカ)」 (小学館)
- ・ 「トビウオの驚くべき世界」 スティーブ・N・G・ハウエル:著 (エクスナレッジ)
- ・ 「生物の形や能力を利用する学問 バイオミメティクス」 (東海大学出版部)
- ・ 「航空を科学する 上巻」 東 昭 著 (酣燈社)
- ・ 「カラー図解でわかる航空力学「超」入門」 中村寛治 著 (SBクリエイティブ)