

揚力の実験

山本大貴 岩野弘暉 山根誠太郎

1. 研究概要

私たちは、なぜ飛行機が空中に浮いていられるのか不思議に思っていた。

そこで、課題研究では飛行機の翼に作用している揚力について調べてみることにした。

最初に紙の模型飛行機を用いて揚力と迎え角の関係について実験を行ったが、形状の関係で、正確なデータが得られなかった。

次に、発泡スチロールを用いて、厚みのある翼を製作した。この時、発泡スチロールを正確に切断するためニクロム線を用いた発泡スチロールカッターを自作した。製法については後に説明を加える。

そして、実験を行ったところ、興味深いデータが得られた。

We wondered why a plane could float in the sky.

So, we decided to examine lift that has an effect on the wing of airplane.

First of all, using model airplane made in paper, we made an experiment to examine a relation between lift and the angle of attack.

But because of shape, we couldn't acquire exact data.

Second, using Styrofoam, we made wings that have thickness.

Then, we made a cutter made with Nichrome wire to cut styrofoam exactly.

Then we made an experiment with the wings and the cutter, we could get an interesting data.

2. 仮説

揚力と迎え角について翼の揚力と迎え角の予備実験から、迎え角を大きくするにつれ、一定の角度までは揚力も上昇するが、ある角度を越えると、翼上面の空気が剥離し、急激に揚力は低下することがわかった。

そこで、一つの翼につき、揚力が最大となる迎え角がただ一つ存在すると仮定をたて、揚力と迎え角の関係について研究を行った。

ベルヌーイの定理によれば、空気の圧力は流速が速くなるほど小さくなり、逆に流速が遅くなるほど大きくなるから、通常、翼表面では下面の圧力が上面の圧力より大きくなり、全体として翼は上向きの力を受けることになる(図1)

この空気力の垂直方向の成分を揚力と呼び、揚力と重力がつりあっているから飛行機のバランスが保たれている。

3. 揚力とは

翼が空气中を進行すると、周囲の空気は翼に沿って流れる。

普通、翼の断面は、下面より上面のふくらみが大きいので翼面の空気流速は下面より上面の方が大きく加速される。これは同じ時間で、長い距離を移動するためである。

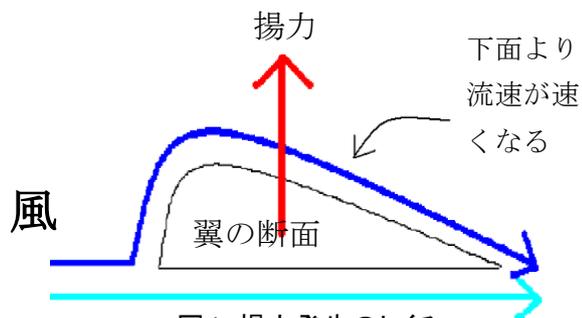


図1:揚力発生のおきみ

4. ベルヌーイの定理とは

ベルヌーイの定理は、式(1)に示す流体におけるエネルギー保存の法則により説明することができる。

完全流体の定常流のひとつの流線について速さを v 、密度を ρ 、圧力を p 、重力加速度を g 、任意の高さを h とするとエネルギー保存の法則は

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = C \quad (\text{一定}) \quad \dots (1)$$

となる。

式(1)の $\frac{1}{2} \rho v^2$ は運動エネルギーを表しており、 ρgh は位置エネルギーを表す。

たとえば、流体の速度が大きくなると、運動エネルギーが増加し、位置エネルギーがほとんど変化しないとすると、圧力は小さくなる。

5. 迎え角 (Angle of Attack) とは

翼に当たる気流と翼弦線の成す角、すなわち飛行機の進行方向と翼弦線とが成す角のこと。

迎え角とは、翼の特性を表示する場合の基準となる角度であり、揚力係数、抗力係数などは全て迎え角の関数として表される。

ただし、迎え角は水平面に対する機体の姿勢とは無関係である。

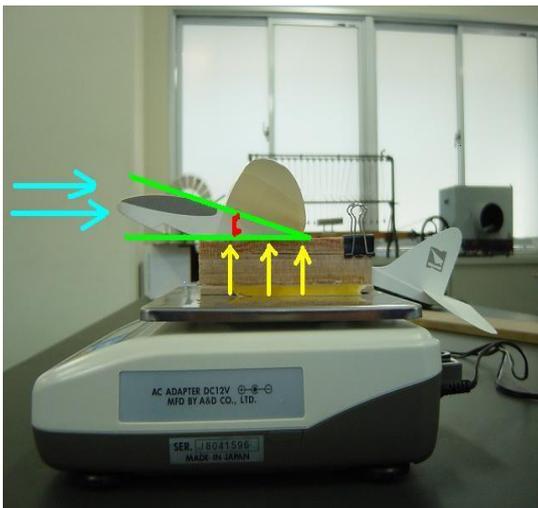


図2: 実験装置

6. 実験

6. 1 実験器具・装置・材料

本研究で使用した実験器具、装置、材料を以下に記した。

電子天秤 (科学共栄社製 有効目盛 1200 g ~ 0.1 g)

扇風機 (ライトプレーン製)

模型飛行機 (紙製 全長 23 cm 翼 20 cm × 5 cm 質量 7.8 g)

自作固定器

クリップ

6. 2.1 実験①

電子天秤に自作固定器で模型飛行機を固定し、模型飛行機から 30 cm のところに固定した同じ高さの扇風機で前から、3.1 m/s、2.36 m/s、1.83 m/s の風を送り続ける。迎え角を変えていき、3秒ごとに質量の値を測定した。(送る風に影響が出ないように、扇風機の周りに立たない)

揚力はその質量から軽くなった質量に重力加速度をかけた値として算出した。

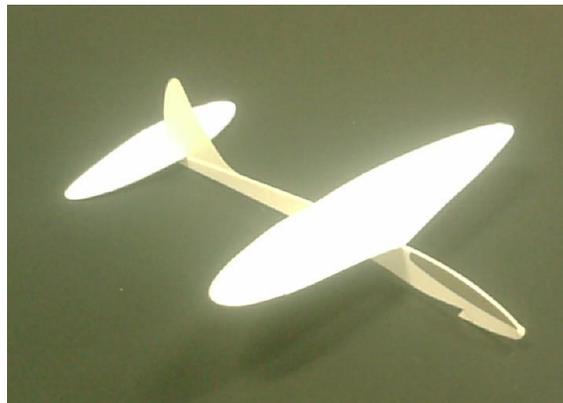


図3: 模型飛行機

7. 結果

7. 1 実験①の結果

実験①の結果を図4に示した。

縦軸は揚力の大きさを示し、横軸は迎え角を示す。

風速により揚力の大きさに違いが見られた。迎え角が0度のときに揚力が最大になったが、大きな変化はみられなかった。

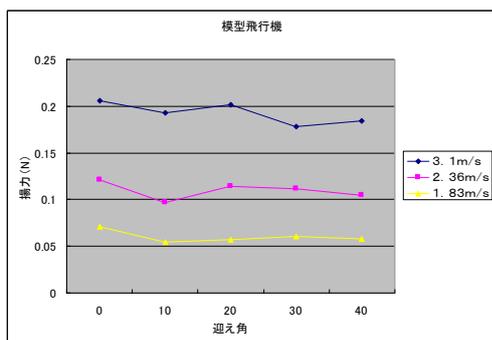


図4: 模型飛行機の揚力の測定結果

6.2.2 実験②

実験①で得られたデータに変化がみられなかったため同じ断面積の翼を4種類作成し、揚力と迎え角の関係を実験①と同様の方法で行った。実験に用いた翼の形状を図5に示した。翼は自作の発泡スチロールカッターで加工した。

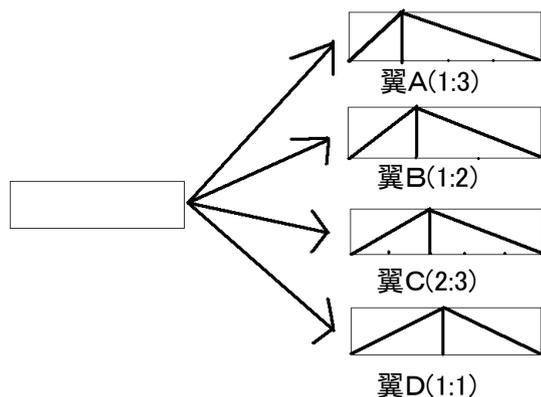


図5: 翼の形状

8. 発泡スチロールカッターについて

発泡スチロールを正確に切断するために、電気抵抗の大きいニクロム線を使って発泡スチロールカッターを製作した(図6)。

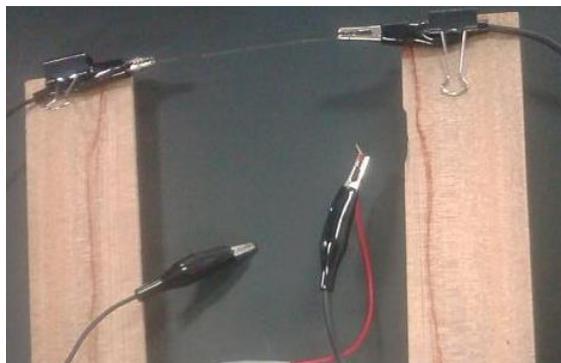


図6: 発泡スチロールカッター

(i) 材料

発泡スチロールカッターを製作するために必要な材料を以下に記した。

- ニクロム線 (直径0.3mm 抵抗 $44 \times 10^8 \Omega$ 長さ15cm)
- みの虫クリップ付き銅線 2本
- クリップ 2個
- 9V乾電池
- ベニヤ板 (長さ $20 \times 9 \times 1$ cm) ($17 \times 5 \times 0.3$ cm)

(ii) 手順

発泡スチロールカッターは以下の手順1~3にしたがって製作した。

- 木で枠組みを作成する。17cm \times 5cm角の長方形の板2枚と20cm \times 9cm角の長方形の板をコの字形に貼り合わせ、枠組みを製作する。
- コの字形の2箇所先端付近に糞虫クリップをクリップで固定し、その間をニクロム線でつなぐ。
- 電池を接続し、発熱していれば完成。

7.2 実験②の結果

実験②の結果を図7～図13に示した。

グラフの縦軸は揚力、横軸は迎え角を表す。

(1) 翼A (1 : 3) (図7)

20度の場合、風力が弱のときは揚力が低下したが中のときは上昇した。

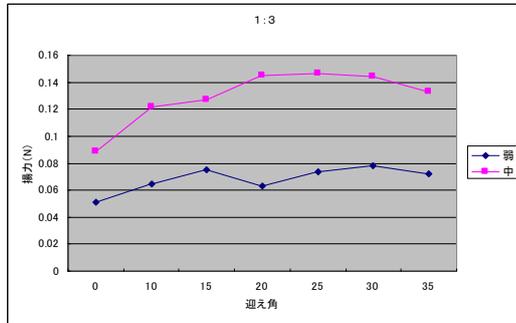


図7:翼A(1:3)

(2) 翼B (1 : 2) (図8)

10度と20度するとき揚力が最大になった。

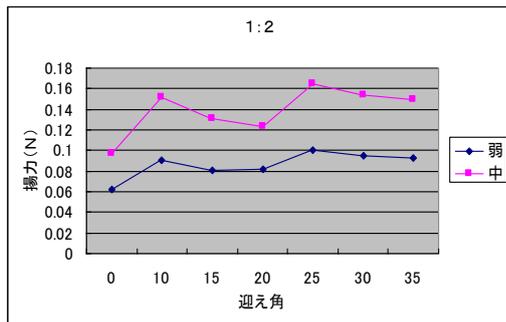


図8:翼A(1:2)

(3) 翼C (2 : 3) (図9)

迎え角による揚力の差が少ない。

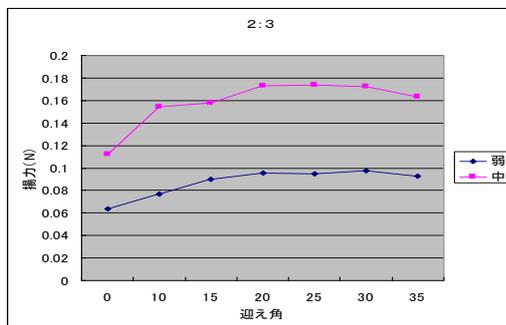


図9:翼A(2:3)

(4) 翼D (1 : 1) (図10)

グラフの形状は翼Cと似ているが、全体的に揚力の値が大きい。

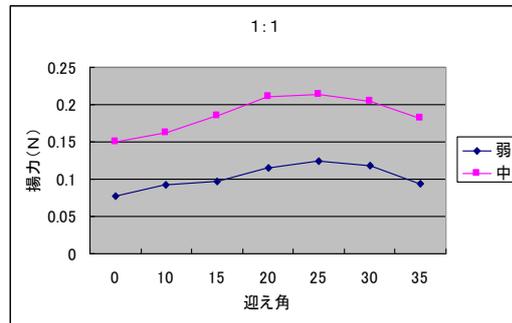


図10:翼A(1:1)

(5) 翼C (3 : 2) (図11)

迎え角が大きくなるにつれて、揚力の値が上昇するが、あまり低下はしない。

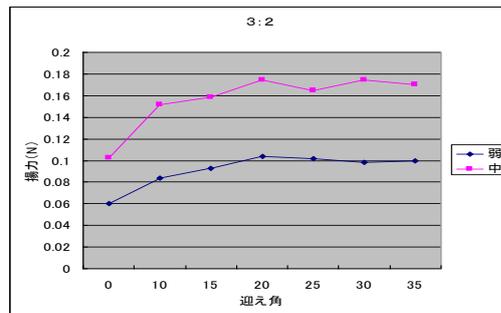


図11:翼A(3:2)

(6) 翼B (2 : 1) (図12)

15度ときに揚力が最大になった。

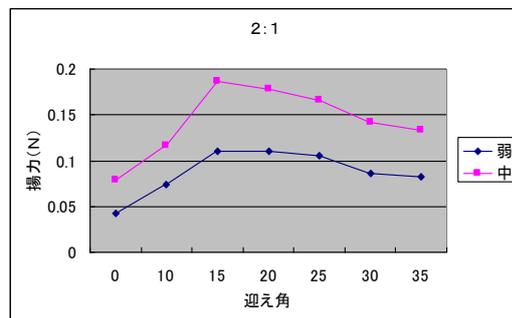


図12:翼A(2:1)

(7) 翼 A (3 : 1) (図 13)

風速が中のときは最大値となる迎え角が 25 だが、弱のときは 30 度で最大となる。

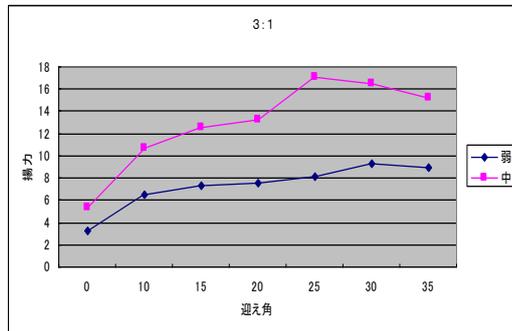


図13:翼A(3:1)

1.1. 考察

実験①より、迎え角による揚力の変化が現れなかった理由として、翼が薄い為だと考えられる。

実験②より、揚力が最大となる迎え角より大きくなると、空気が翼から剥離して揚力が小さくなると考えられる。

翼D(1 : 1)のときに高い水準の揚力が得られたのは、上面の頂点の角度が他に比べ、180度により近い為、空気が剥離しにくいためと考えられる。

翼B (1 : 2) について、揚力のピークが 10 度と 25 度において、確認できたが、この範囲では徐々に空気が剥離していきその渦の影響で揚力と逆方向への力が大きくなり、データに影響を及ぼしたものだと考えられる。

1.2. 結論

翼の形状によって揚力が最大となる迎え角が異なり、揚力にも差が生じるといえる。

1.3. 今後の展望

一つの翼につき、揚力が最大となる迎え角の角度が一つだけしかないと思っていたが、二つあったのでこれからも真相について突き止めていきたい。