

生物の身体的特徴を利用した固定翼型ドローン機体の開発

物理A班

用語

・レイノルズ数(図1)

慣性力と粘性力の比を取った無次元数。流体の流れの特性を評価するための指標。レイノルズ数が高いほど乱流、低いほど層流の傾向にある。

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{v L}{\nu}$$

Re:レイノルズ数、 $\rho$ :流体の密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $v$ :代表流速[m/s]、 $L$ :代表長さ[m]  
 $\mu$ :流体の粘性係数[Pa・s]、 $\nu$ :動粘性係数[m<sup>2</sup>/s]

図1 レイノルズ数の公式

・滑空比

単位落下距離あたりの水平移動距離。揚力/抗力の値と一致する。

・カテナリー曲線

懸垂線。太さと重さが一様な綱の両端を固定したとき、その間の綱の部分が重力によって描く曲線。

・コルゲーション

羽断面にある凹凸。

・コアンダ効果

流体が曲面に沿って流れるとき、流体がその曲面に引き寄せられる効果。

研究動機

近年、測量や輸送の現場でドローンへの注目が集まっている一方、飛行可能な時間の短さが問題となっている。そこで現在、従来の回転翼型ドローンと比べて長時間・長距離飛ぶことができる固定翼型ドローン(図2)の開発が進められている。これらの固定翼型ドローンは飛行機の形状に似せて作られたものが多くみられる。しかし、ドローンのサイズになるとレイノルズ数が飛行機の値と異なるため、その形状が最適とは限らない。そこで私たちは滑空することでさらに少ないエネルギーで長時間飛行できる、飛行生物の身体的特徴を生かした固定翼型ドローン機体の開発を目標として研究を進めることにした。



図2 固定翼型ドローン

モデルに取り入れる生物の身体的特徴

◇トンボ

・翼の先端がカテナリー曲線になっている。  
・翼の断面にコルゲーションが見られる。

◇アルソミトラ

・中心部が重い、特徴的な質量分布を持っている。

◇グンカンドリ

・翼が横に細長い。

実験1

～目的～ 揚力を比較する

◆実験道具

・3Dプリンターで作成した翼のモデル

・電子天秤

・扇風機

・風洞装置

・土台（正方形の板にモデルを支える棒をつけたもの）

・おもり（アルソミトラのみ用いる）

◆実験方法

1.風洞装置と扇風機を10cm、風洞装置内に電子天秤に乗せたモデルを風洞装置の風上側から66cm離して置く。

2.風洞装置を用いてモデルに層流の風を当て、風を当てる前の質量との差を測定する。（迎角を0°と10°に分けて測定する。）

△ここで使うモデルに関して

①飛行機の翼のモデル

②トンボの翼のモデル ※カテナリー曲線のみ

③モデル②の翼にコルゲーションを加えたモデル

④アルソミトラ型のモデル

⑤グンカンドリの翼のモデル

※ここで扱う5つのモデルはすべて翼面積を揃えておく。

◆仮説

コアンダ効果では、流路が長いほうへと物体が引き寄せられる。そのため、上面の流路が長い③の翼がどちらの迎角の場合でも最も大きな揚力を得ることができる。



図3 実験装置



図4 アルソミトラ(上)とグンカンドリの翼(下)モデル (④と⑤の翼)

結果1

表1 風を当て得た揚力（N×10<sup>-3</sup>）と分散

|              | ①飛行機    | ②トンボ     | ③トンボ     | ④アルソミトラ  | ⑤グンカンドリ  |
|--------------|---------|----------|----------|----------|----------|
| 平均値<br>迎角0度  | 6.144   | 5.651    | 3.460    | 4.823    | 5.266    |
| 分散<br>迎角0度   | 0.01074 | 0.006903 | 0.006931 | 0.002772 | 0.006471 |
| 平均値<br>迎角10度 | 14.41   | 5.472    | 7.771    | 8.294    | 9.466    |
| 分散<br>迎角10度  | 0.01121 | 0.06499  | 0.005769 | 0.007050 | 0.004673 |

※数値間の有意差についてはt検定により立証済み(有意水準5%)

考察1

実験の結果から、私たちの班が改良した翼は従来の飛行機型に比べて、揚力を得る性能が落ちることが分かった。①と⑤のモデルは風を受ける前縁の辺が他のモデルに比べて長く、受ける風の量が増え、揚力を得られやすかったのだと考えられる。前縁の辺が最も長いグンカンドリのモデルが飛行機のモデルと比べて揚力が得られなかったのは、グンカンドリの翼の形状は風を分散させやすいが、その風が打ち消しあい、風の流速が遅くなったことで、本来得られる揚力よりも小さくなったからだと考えられる。逆に、②と③と④のモデルは前縁の辺が短かったため、揚力が発生しにくかったと考えられる。また、①のモデルはほかのモデルと比べて分散が大きいため、飛行の安定性が低い可能性がある。②のモデルの迎角10度は計測中に極端に値が変わったため計測ミスがあったと考えられる。私たちはこれらの結果から、前縁の辺が長く、風の流れを止めない形状が最も揚力を得やすいのではないかと考えた。トンボのコルゲーションについては、一貫性がなかったため効果は分らなかった。

実験2

～目的～ 滑空比を比較する

◆実験道具

・輪ゴム

・ばねばかり

・メジャー

・発射台 (図5)

・発泡スチロールで作成した

・翼の模型 ※翼面積をそろえ、水平尾翼をつける。

図5 発射台と模型

◆実験方法

1. 地面から高さ1.30mの位置から地面と水平方向に、等しい力(100N)で模型を飛ばす。

2. 飛ばした位置からの飛距離を測定する。

3. 滑空比を求める※アルソミトラは翼の中心部をテープで重くするモデルを加える。

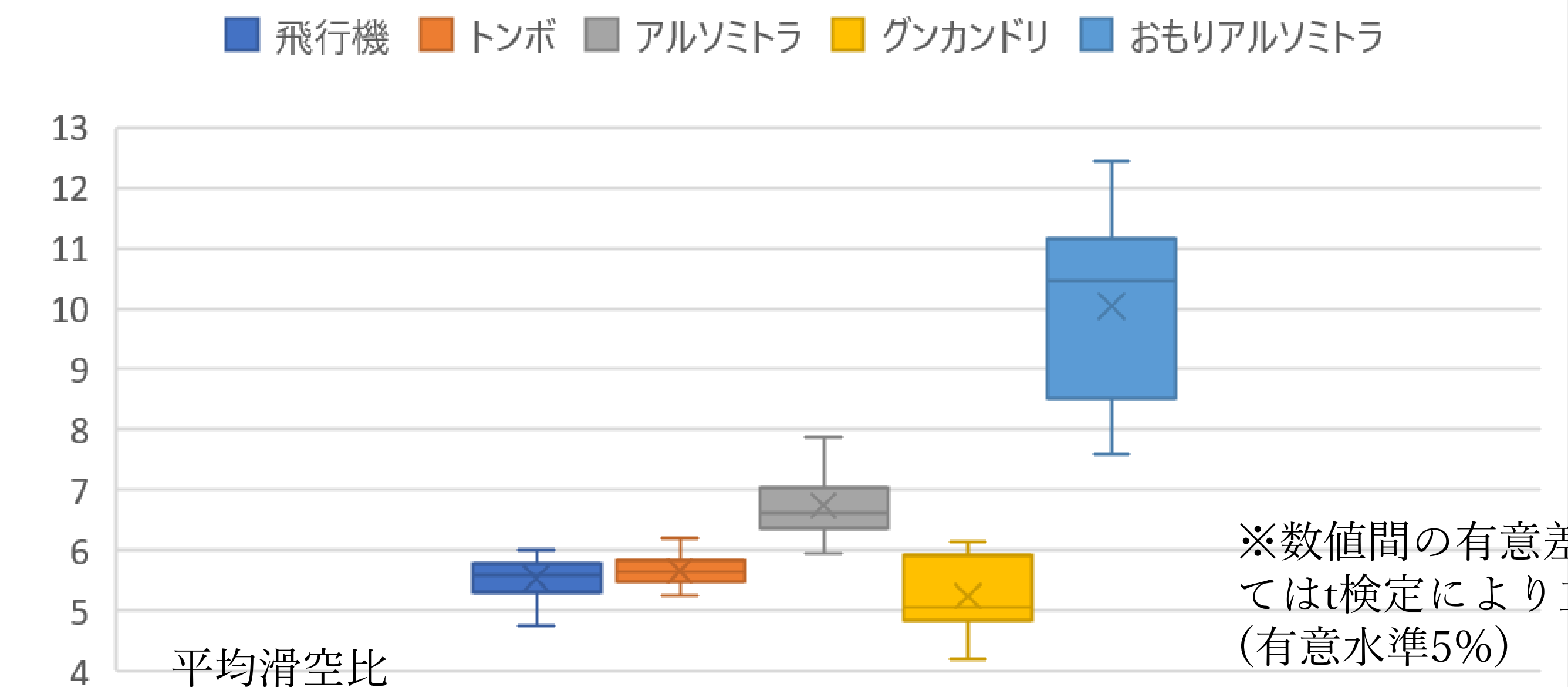
◆仮説

実験1で得られた揚力が最も大きいのは飛行機だったので、飛行機の滑空比が最も大きくなる。

結果2

表2 飛距離の箱ひげ図

飛距離



平均滑空比  
飛行機：4.255  
アルソミトラ：5.208  
グンカンドリ：4.038

トンボ：4.346  
アルソミトラ（重）：7.722

※数値間の有意差についてはt検定により立証済み(有意水準5%)

考察2

実験時、飛行機は重さに機体が耐えられずに降下しているように見えた。滑空比で比較するとアルソミトラ型の翼が実験したモデルの中で最も滑空に適したモデルであると考えられる。このような結果になった要因には、翼の横幅が短く左右のバランスが崩れにくいことが挙げられる。また、2つのアルソミトラのモデルのうち、おもりをつけたほうがよく飛んだことから、中心部に質量が偏っているほど長い距離を飛行できると考えられる。

参考文献

[1] “超低レイノルズ数におけるコルゲート翼の空力特性”  
「<https://jaxa.repo.nii.ac.jp/records/3865>」

[2]Yusuke Fujita Makoto Lima, ”Dynamic lift enhancement mechanism of dragonfly wing model by vortex-corrugation interaction”, Phys. Rev. Fluids 8, 2023  
「<https://www.hiroshima-u.ac.jp/news/81083>」

[3] 広島大学付属高等学校 中河友里 濱野彩音 山田瑞季,“トンボの翅脈にはなぜボロノイ構造が現れるのか”,2017  
「[https://www.musashino-u.ac.jp/academics/pdf/%E6%9C%80%E5%84%AA%E7%A7%80%E8%B3%9E\\_%E5%BA%83%E5%B3%B6%E5%A4%A7%E9%99%84%E5%B1%9E%E9%AB%98%E7%AD%89%E5%AD%A6%E6%A0%A1.pdf](https://www.musashino-u.ac.jp/academics/pdf/%E6%9C%80%E5%84%AA%E7%A7%80%E8%B3%9E_%E5%BA%83%E5%B3%B6%E5%A4%A7%E9%99%84%E5%B1%9E%E9%AB%98%E7%AD%89%E5%AD%A6%E6%A0%A1.pdf)」