

イロハモミジの翼果の形状と落下時間についての研究

愛媛県立八幡浜高等学校自然科学部
2年 池田 光里 宮河 愛
大野 和

1. 研究の要約

イロハモミジの翼果の落下時間は、形状・質量に依存するかを検証した。

その結果、①翼果の質量が小さいほど落下時間が大きい。②翼果1mgあたりの面積が $3.0\sim 7.0\text{mm}^2/\text{mg}$ の時、落下時間 y は翼果1mgあたりの面積 x としたとき、 $y=0.169x+1.25$ となった。ただし y は、翼果が2.0m落下する時間、 x は翼果1mgあたりの面積である。

③翼果の軸と種子の方向のなす角 α が、 $150^\circ < \alpha < 175^\circ$ の範囲では落下時間は角 α に依存しない。しかし、 $\alpha < 150^\circ$ では落下時間は大きく、 $\alpha > 175^\circ$ では小さくなる。④モデル実験から、翼が歪んでいる場合、落下時間が小さくなる。という4点が分かった。

2. 研究の動機と目的

秋になると、モミジなどのカエデ科の植物は翼果を飛ばす。翼果はヘリコプターのように回転することで滞空時間を延ばし、遠くまで風で運ばれる。

一見、同じように見える翼果も、形・長さ・幅・大きさ・質量など、様々である。

翼果の形状と落下時間の関係を知りたいと考えた。

3. 方法

(1) 試料の採取とデータの取得

ア 試料の採取

地域の公園にある2本のイロハモミジから完熟した翼果を複数採取した。その中の108個の翼果を研究対象とした。試料の選定に当たっては、2本の個体から採取しているため、個体差を考慮に入れてランダムに選んだ。採取したイロハモミジを写真1、試料を写真2に示す。



写真1 翼果の試料を採取したイロハモミジ

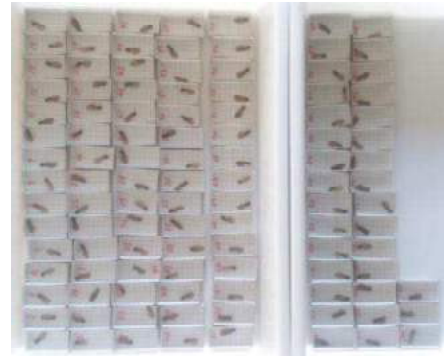
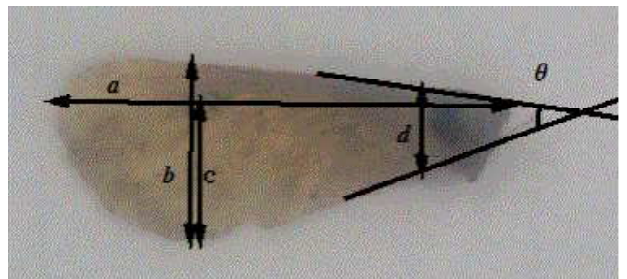


写真2 採取した翼果の試料

イ データの取得

(ア) 翼果の面積・長さ・角の測定

縦3.60mm、横3.624mmの方眼用紙に、イロハモミジの翼果を複写機を用いて400%の拡大コピーする。方眼1目盛りの面積が約 0.815mm^2 に相当するため、複写された翼果の図の方眼の数を数え、翼果及び種子の部分の面積を測定する。この時、方眼すべてが含まれている場合1、少しでも欠けていた場合0.5として数え、合計に0.815を掛けることで面積とした。同様に複写された翼果の図を用いて写真3に示すように、 a 最大長、 b 最大幅、 c 軸からのずれ、 d 最小幅を求める。また、翼果のなす角 θ 、及び翼果の向きと種子の向きのなす角 α (写真4)を求めた。なお写真4は翼果を複写した方眼の図の写真である。



写

写真3 翼果の最大長 a 、最大幅 b 、軸からのずれ c 、最小幅 d 、翼果の開き角 θ の定義



写真4 翼果の向きと種子の向きのなす角 α の定義

(イ) 翼果の質量の測定

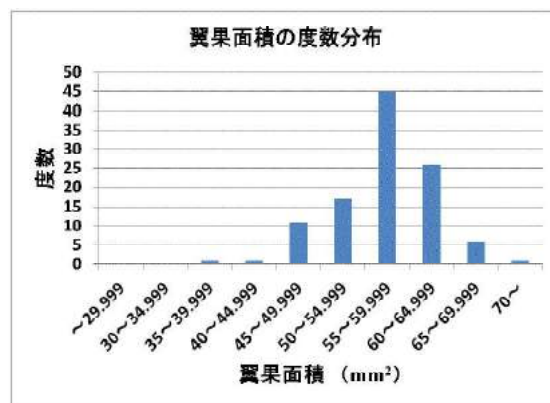
1mgまで測定可能な電子上皿天秤を用いて、翼果の質量を測定した。

(ウ) 落下時間の測定

翼果を2.0mの高さから落下させ、落下時間を測定した。なお、落下を始めるときの翼果の姿勢で回転を始める状態が変わるため、水平に設置し、できるだけ空気抵抗が大きくなるようにして落下させた。1試料につきデータを3回取り平均値を求めた。

(2) データの分析

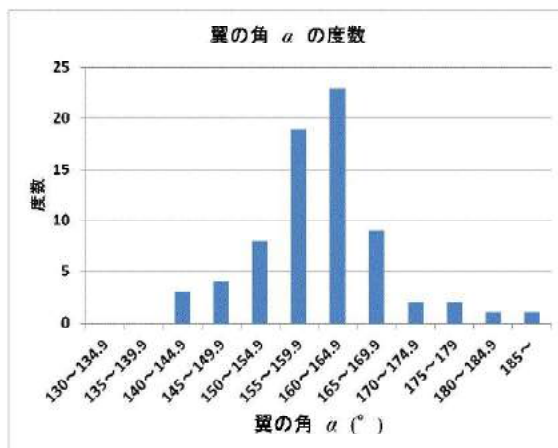
データの分析は、Excelを用いた。翼果の質量の度数分布、翼果全体の面積の度数分布、翼果の向きと種子の向きのなす角 α の度数分布、翼果の1mgあたりの面積の度数分布を作成し、分析の数値データとした。また、翼果の質量と落下時間、翼果の面積と落下時間、翼果の1mgあたりの面積と落下時間、角 α と落下時間、翼果の1mgあたりの面積・角 α と落下時間、の関係グラフ化し分析した。



グラフ 2

ウ 翼果と種子の向きのなす角 α の度数分布

グラフ 3に翼果と種子の向きのなす角 α の度数分布を示す。ランダムに試料を選定した結果であるため、個体差に関係なくイロハモミジの翼果の角 α は $160^\circ \sim 165^\circ$ の出現頻度が最多となった。



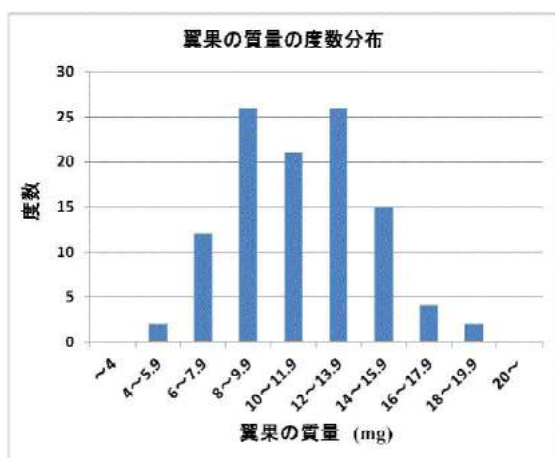
グラフ 3

4. 結果と考察

(1) 結果

ア 翼果の質量の度数分布

グラフ 1に質量の度数分布を示す。8.0mg~10mg、12mg~14mgに出現度数のピークが現れた。2本の固体から採取していることが原因として考えられる。



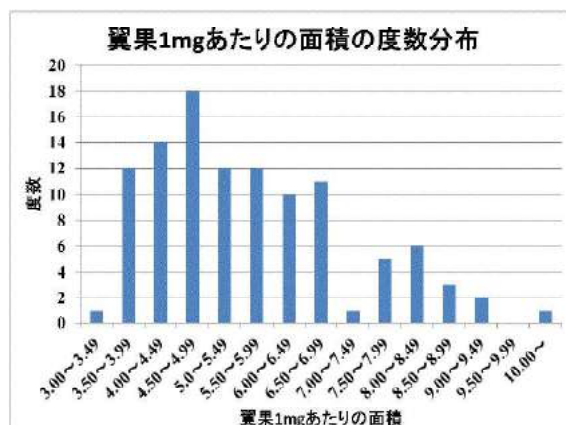
グラフ 1

イ 翼果全体の面積の度数分布

グラフ 2に翼果面積の度数分布を示す。質量分布では2箇所ピークが現れたが、 $55.0\text{mm}^2 \sim 60.0\text{mm}^2$ の出現頻度が最多となっている。

大きさが比較的同じ程度の翼果を選んだことによる人為的なことも原因の一つであると考えられる。

エ 翼果の1mgあたりの面積の度数分布



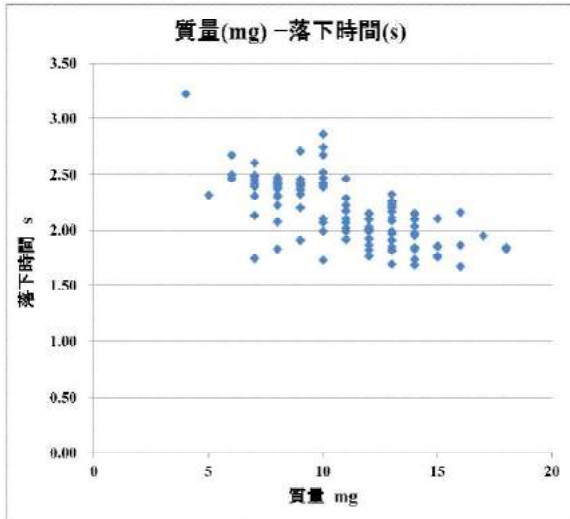
グラフ 4

翼果の面積を質量で割ることで翼果1mgあたりの面積を求めた。グラフ 4に翼果1mgあたりの面積の度数分布を示す。 $4.50\text{mm}^2/\text{mg} \sim 5.00\text{mm}^2/\text{mg}$ が出現頻度が最多となっていた。

オ 翼果の質量と落下時間

翼果の質量と落下時間の関係を調べた。翼果の質量と落下時間の関係はグラフ5に示す。翼果を落下させた高さは2.0mであるので、重力加速度を 9.8m/s^2 とすると、自由落下した場合の落下時間は約0.64秒となる。

空気抵抗と翼果の回転による揚力のため、自由落下の時より落下時間が大きくなっている。また、質量が小さいほど空気抵抗と揚力の影響が大きいことが分かる。

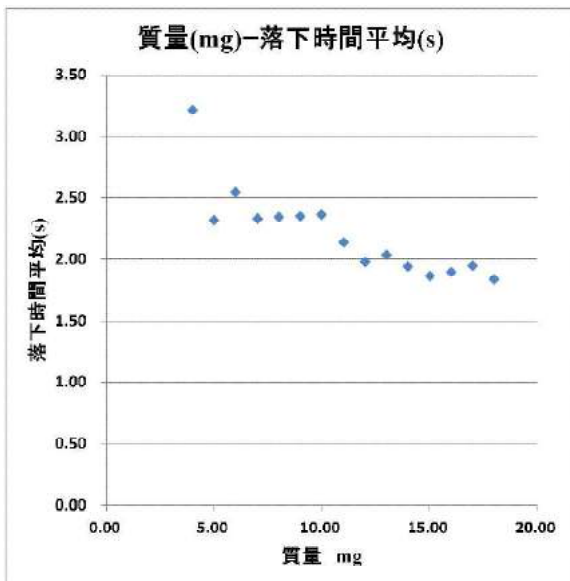


グラフ5

| | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 質量(mg) | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 落下時間平均(s) | 3.22 | 2.32 | 2.55 | 2.34 | 2.34 | 2.35 | 2.37 | 2.14 |
| 質量(mg) | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| 落下時間平均(s) | 1.98 | 2.03 | 1.94 | 1.86 | 1.90 | 1.95 | 1.84 | |

表1

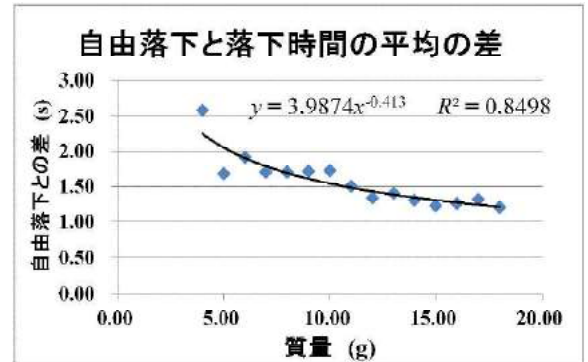
表1は、試料の質量に対して各質量の落下時間の平均を取ったものである。



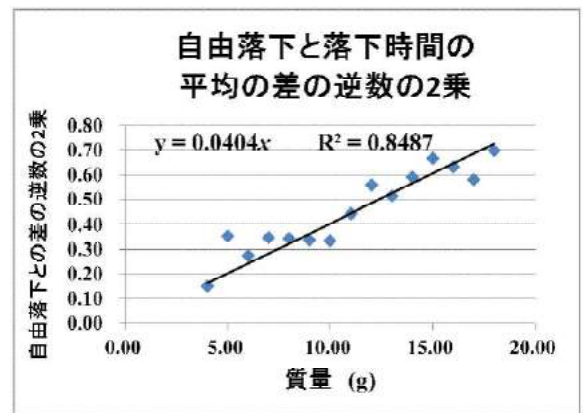
グラフ6

グラフ6は、「表1の数値をグラフにプロットしたもの」であり、グラフ7は横軸に「質量」

縦軸に「それぞれの質量ごとの落下時間の平均と自由落下した場合の時間との差」を取ったものである。またグラフ8は縦軸に「自由落下との時間の差の逆数の2乗」横軸に質量を取ったものである。グラフ7と8については、Excelの近似曲線の機能を用い、回帰分析を行った。



グラフ7

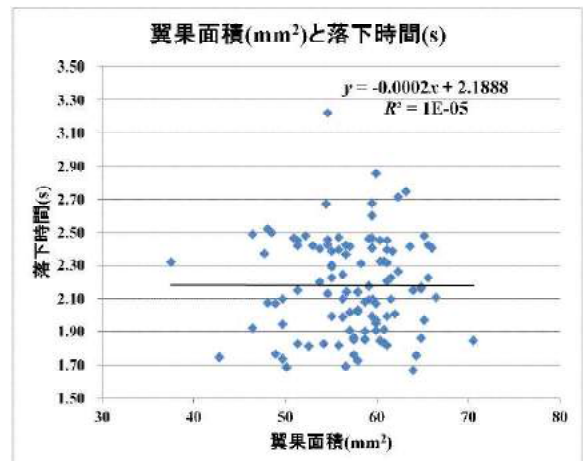


グラフ8

グラフ8で $R^2=0.8487$ となっており、質量との相関関係が大きいことが分かる。

カ 翼果の面積と落下時間

グラフ9は翼果面積と落下時間の関係を調べたものである。Excelの近似曲線の機能を用い、回帰分析を行ったが、 $R^2 = 1 \times 10^{-5}$ となり、相関関係がないことが分かった。

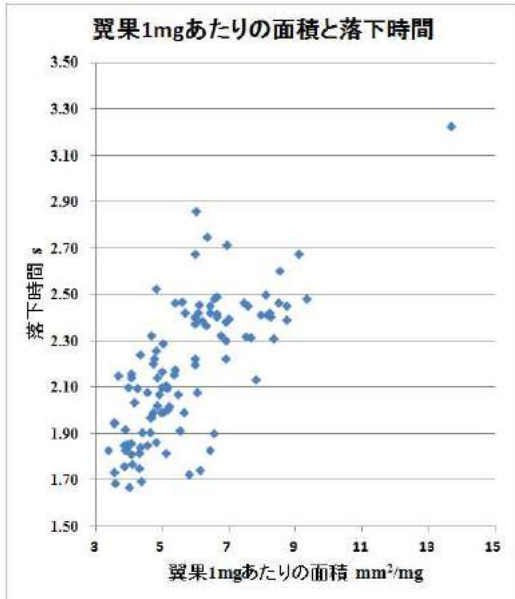


グラフ9

キ 翼果の1mgあたりの面積と落下時間

グラフ10は縦軸に「落下時間」、横軸に「翼果1mgあたりの面積」（翼果面積÷翼果質量）を取ったものである。

翼果1mgあたりの面積が大きいほど落下時間が長くなっており、相関関係が見られる。



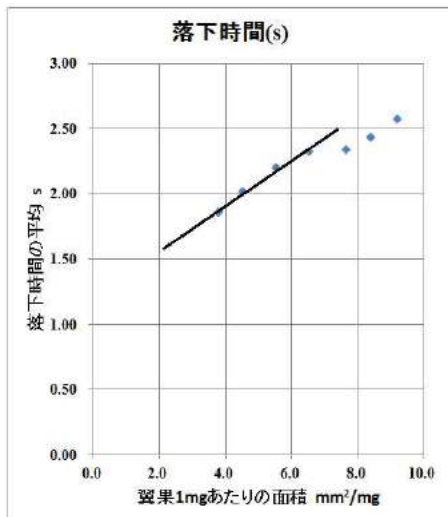
グラフ10

表2は、「翼果1mgあたりの面積区分」と「落下時間の平均」を表している。なお翼果1mgあたりの面積区分は1mg/mm²ごとに区切った。ただし、10mm²/mg以上はデータが1つのため省いた。

| 翼果1mgあたりの面積区分(mm ² /mg) | 3.0~4.0 | 4.0~5.0 | 5.0~6.0 | 6.0~7.0 | 7.0~8.0 | 8.0~9.0 | 9.0~10 |
|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| 平均(mm ² /mg) | 3.75 | 4.52 | 5.51 | 6.50 | 7.64 | 8.39 | 9.19 |
| 落下時間の平均(s) | 1.87 | 2.03 | 2.21 | 2.33 | 2.35 | 2.44 | 2.58 |

表2

グラフ11は、表2を元に縦軸に「それぞれの翼果1mgあたりの面積区分ごとの落下時間の平均」を、横軸に「翼果1mgあたりの面積の平均」を取ったものである。



グラフ11

特に、翼果1mgあたりの面積が3.0~7.0mm²/mgでは、直線となっている。Excelの近似曲線の機能を用い、回帰分析を行うと、

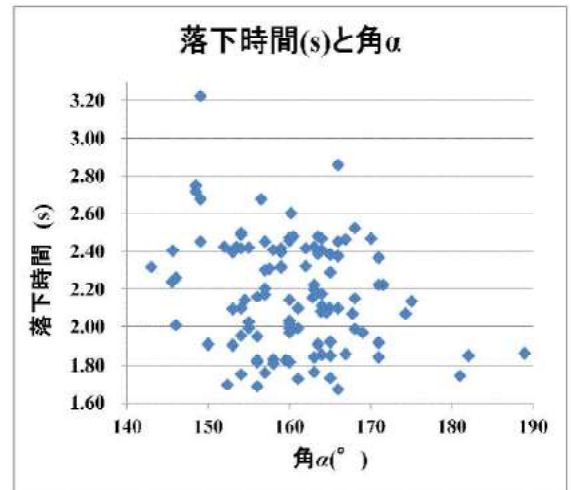
$$y=0.169x+1.25 \quad R^2=0.989$$

となり、強い相関関係を示した。特にグラフ8の回帰係数と比較しても相関関係が強いことが分かる。

グラフ4から翼果の大部分が翼果1mgあたりの面積が3.0~7.0mm²/mgの範囲にあることが分かる。このことから、多くのイロハモミジの翼果の落下時間は、翼果1mgあたりの面積に大きく依存することが分かった。

ク 角αと落下時間

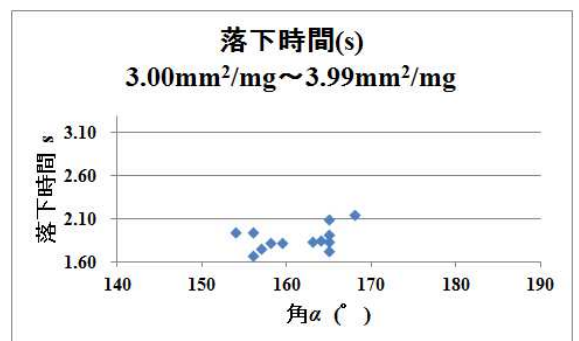
グラフ12は、縦軸に「落下時間」、横軸に「角α」を取ったものである。150° < α < 175° の範囲では落下時間は角αに依存しない。しかし、α < 150° では落下時間は大きく、α > 175° では小さくなる。



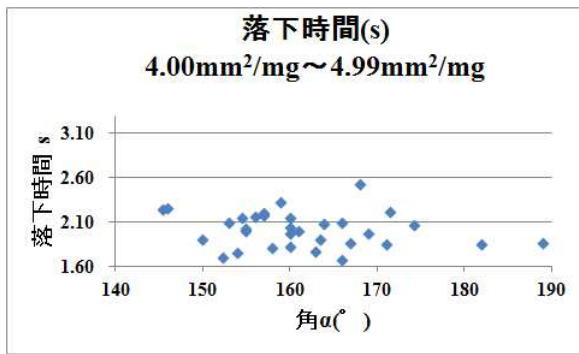
グラフ12

ケ 翼果の1mgあたりの面積・角αと落下時間

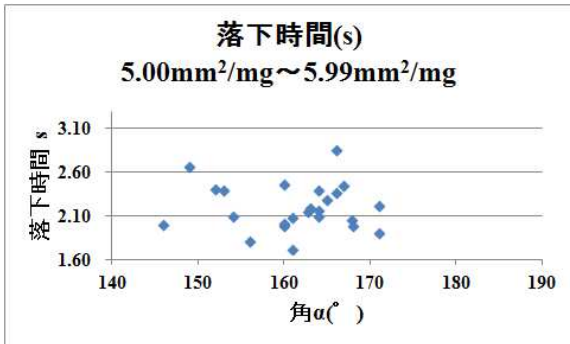
翼果1mgあたりの面積が落下時間に関係していることより、翼果1mgあたりの面積をいくつかの区分に分けて角αと落下時間の関係を調べた。なお「翼果1mgあたりの面積」の区分については、3.00mm²/mgから8.99mm²/mgまで1.00mm²/mg間隔で分けた。



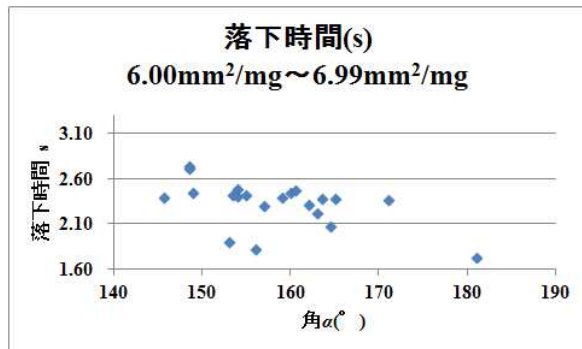
グラフ13



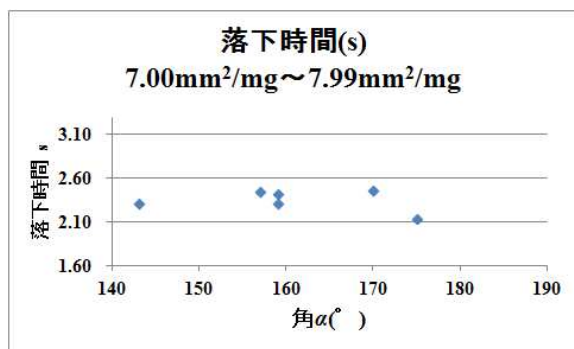
グラフ14



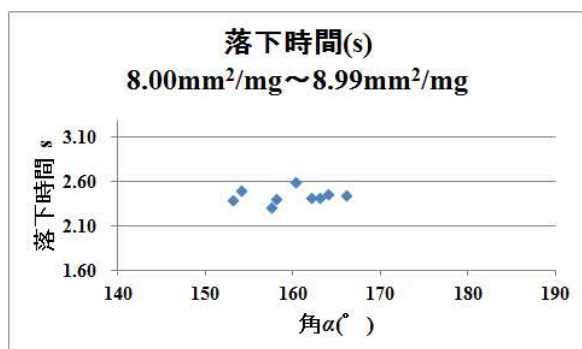
グラフ15



グラフ16



グラフ17



グラフ18

実験結果をグラフ13～グラフ18に示す。

どの区分も $150^\circ < \alpha < 175^\circ$ の範囲では、落下時間は角 α に依存しない。 $\alpha < 150^\circ$ では落下時間は大きく、 $\alpha > 175^\circ$ では小さくなる。

(2) 考察

考察を進める中で、質量・面積・ 1mm^2 あたりの質量・角 α ・角 θ ・最大長がよく似ているが落下時間が異なる3つの試料、試料番号7、35、57に着目した。

それぞれの試料のデータを表3に示す。

| NO | 質量 m (mg) | 落下時間 平均(s) | 全体面積 | α 翼果 の角($^\circ$) | α 最大長 (mm) | ϕ 最大幅 (mm) | θ 翼果 の角($^\circ$) |
|----|----------------|---------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------------|
| | | | $S_0(\text{mm}^2)$ | | | | |
| 35 | 10 | 1.73 | 57.87 | 161.0 | 14.25 | 5.75 | 22.0 |
| 7 | 10 | 2.41 | 59.50 | 164.0 | 15.50 | 5.25 | 23.5 |
| 57 | 10 | 2.47 | 55.85 | 160.0 | 13.50 | 5.75 | 21.0 |

表3

それぞれの落下時間は、試料番号7が2.41秒、試料番号57が2.47秒であるのに対して、試料番号35は1.73秒であった。データにない要素が落下時間に関連していると考え、この3つの試料の形状を比較した。

写真5は各試料を横から見たものである。最も落下時間が長かった試料番号57は翼の歪みが小さく、最も落下時間が短かった試料番号35は翼の歪みが大きかった。



写真5 形状がよく似た3つの翼果を横から見た写真

このことから、翼の歪みが大きいと回転しにくく、揚力を得にくいのではないかと考えた。

翼果のモデルを作成して、確認の実験を行った。

ア モデルの作成

試料番号35の写真をわら半紙に印刷し、わら半紙を重ねてモデルを作成した。この時、翼の前面を厚く、後面を薄くし流線型に近い形とした。

翼果40個の、全体の質量と種子の部分だけの質量を測定し、質量比を試料番号35と同じにし

た。翼果40個の全体の質量は0.42g、種子40個の質量は0.34gとなったため、この比に合わせた。質量測定に用いた種子を写真6に示す。



写真6 質量測定に用いた種子

実験に用いたモデルを写真7に示す。

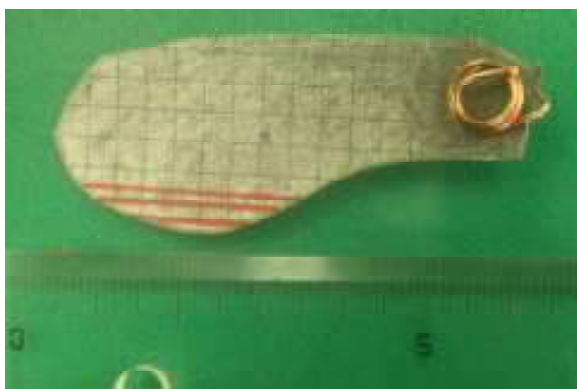


写真7 翼の歪みの影響を測定する実験に用いたモデル

イ 落下実験

(ア) 実験方法

翼の歪みがない時と、歪みをつけたときの落下時間を測定した。実験結果を次に示す。

翼果モデルを、約3.0m落下させた。歪みのない時と、翼の後面を折り曲げた場合とを比較した。写真7の3本の赤線で折り曲げることで歪みを生じさせた。

(イ) 実験結果

実験結果を表4に示す。

| | 落下時間 (s) | | | |
|------|----------|------|------|------|
| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 平均 |
| 歪みなし | 1.29 | 1.29 | 1.21 | 1.26 |
| 歪み小 | 1.04 | 1.22 | 1.00 | 1.09 |
| 歪み中 | 0.84 | 0.87 | 1.00 | 0.90 |
| 歪み大 | 0.81 | 0.85 | 0.81 | 0.82 |

表4

モデル実験より、翼果の翼に歪みが生じている場合は、翼果が上手く回転せず、落下時間が小さいことが分かった。

5 結論と今後の課題

今回の翼果を用いた研究では、落下させる高さを2.0mに設定したため、限定した条件での法則性・依存性を導き出すことになった。翼果の落下運動については、多くの要素が関係していると思われるため、一般的な関係性を論じることは難しいと感じた。

しかし、限定された条件の中で、「イロハモミジの翼果の形状と落下時間の関係」については、次の結論を得た。

- ①翼果の質量が小さいほど落下時間が大きい。
- ②翼果1mgあたりの面積が3.0~7.0mm²/mgの時、落下時間は翼果1mgあたりの面積の1次関数になり、 $y=0.169x+1.25$ となった。ただしyは、翼果が2.0m落下する時間、xは翼果1mgあたりの面積である。y切片の1.25は、自由落下した時の落下時間に依存するため、落下距離を高くすると大きくなる。
- ③翼果の軸と種子の方向のなす角 α が、 $150^\circ < \alpha < 175^\circ$ の範囲では落下時間は角 α に依存しない。しかし、 $\alpha < 150^\circ$ では落下時間は大きく、 $\alpha > 175^\circ$ では小さくなる。
- ④翼が歪んでいる場合、翼果が上手く回転せず、落下時間が小さくなる。

翼果が落下する場合、最初は回転していないが、途中から回転を始める。回転することで揚力が生じ落下速度が小さくなる。今後は、翼果の回転と揚力の関係や、回転を始める条件などについて研究したい。

6 参考文献

澤村洋一 石原卓

「Volume Penalization 法による翼果まわりの流れの数値解析」
 数理解析研究所講究録 第1808巻
 2012年 101-120