30 回転している翅果の後流

東大工学部境界領域研究施設
日大理工学部

恩田善雄^{*}、東 昭
安田邦男^{**}

The Wake Structure Trailed From Samara in Autorotation

Yoshio ONDA^{*}, Akira AZUMA^{*} & Kunio YASUDA^{**}

Samaras make autorotation in their falling flight from their mother tree. The descending speed during the autorotation is approximately 1 m/s but the rotational speed is widely scattered depending on their size, weight and form of the respective species. Then the strength of circulation and the structure of the trailing vortices are interesting subject in the study of the performance of autorotation. Exemplified samaras are tested in a vertical wind tunnel, visualized by a smoke line of paraffin, and filmed with the stroboscope photography.

(1) まえがき

植物の種子の散布は繁殖のための重要な要素である。種子は多くの方法によって分散するが、その中の一つに風を利用したものが知られている。たとえばタンポポの種子は大きな抵抗を利用して落下速度を小さくし、わずかな上昇流があれば遠方まで分散することができる。これに対して、翼を持ち揚力を利用するものがある。ザノニアの種子は滑空飛行をし、カエデの種子はオートローテーションによって落下速度を小さくしている。これらの翼を持った種子は、翼果または翅果 (SAMARA) と呼ばれている。今回はこのうち、オートローテーションを利用して飛行する種子についての実験を行ったので報告する。

実験は垂直型風洞を使用し、落下速度に等しい風を吹上げることによって測定部に静止させ、主として写真撮影によって、後記のようなデータをとった。また一部の種子について、後流の可視化を行った。

(2) 実験装置および結果

実験は東大工学部境界領域研究施設にある垂直吹出型風洞 (図・1) を使用して行った。測定部の断面は $40 \times 40 \text{ cm}^2$ 、長さ 2 m のアクリル製である。風速は $0.1 \sim 2.2 \text{ m/sec}$ まで変えることができる。この風洞の特徴は、多数の金網を使

図・1 垂直風洞

^{*} Institute of Interdisciplinary Research, Faculty of Engineering, University of Tokyo
Komaba, Meguro-ku, Tokyo

^{**} Department of Science & Technology, Nihon University, Funabashi, Chiba

写真・1 飛行中のオニモミジ

用して、測定断面内で風速を一様化したことでこれにより種子が水平面上を時間的に移動しないようにした。写真・1にその一例として、飛行中のオニモミジを示した。

落下速度に相当する吹上速度は熱線風速計、回転数はストロボスコープにより測定した。また、ピッチ角、コニング角は写真撮影によって読み取った。

実験を行った種子の種類およびデータを表・1に示した。1種類については約20個の平均値である。記号は図・2のように定義した。

$$\text{回転面積； } S = \pi R^2$$

$$\text{ソリディティ； } \sigma = S_b / S$$

$$\text{アスペクト比； } AR = l^2 / S_b$$

$$\text{平均翼弦； } \bar{c} = S_b / l$$

$$\text{推力係数； } C_T = W / \rho S (\Omega R)^2$$

図・2 記号の定義

これらのデータについての考察および理論値との比較は、
第23回飛行機シムポジウム(1985,10)で発表した⁽¹⁾ので参照せられたい。

種子	オニモミジ	トネリコ	イロハヒナ	クマツ	ツクシ	ホトタニシ	イシ	フタヒ	トネリコ

回転数, $n \begin{pmatrix} Z \\ F \end{pmatrix}$ rpm	977.0	1101.5	1805.8	1472.8	1517.8	832.6	965.0	717.7	888.7 877.4
落下速度, V m/s	0.82	1.04	1.09	0.98	1.58	1.34	1.02	1.14	1.72
質量, $m \times 10^{-4}$ kg	0.58	0.38	0.13	0.23	2.29	1.39	0.23	6.98	0.58
翼面積, S_b cm ²	3.04	1.67	0.56	1.09	3.91	5.57	1.40	21.97	1.84
スパン, l cm	3.62	2.52	1.48	2.19	2.55	5.24	2.30	9.01	3.64
回転半径, R cm	2.84	2.09	1.20	1.79	2.65	3.69	1.76	6.73	2.66
コニング角, β deg	23.74	27.57	15.01	20.77	15.63	16.47	12.88	17.17	31.67
回転面積, S cm ²	25.48	13.78	4.49	10.07	22.32	43.63	9.73	142.88	22.35
ソリディティ, σ	0.119	0.121	0.124	0.109	0.177	0.133	0.146	0.154	0.083
アスペクト比, AR	4.328	3.827	3.962	4.434	6.704	5.065	3.791	3.727	7.218
平均翼弦, $\bar{c}$ cm	0.837	0.660	0.375	0.495	0.381	1.079	0.610	2.427	0.506
翼面荷重, W/S_b N/m ²	1.874	2.244	2.324	2.053	5.756	2.512	1.607	3.130	3.100
円板荷重, W/S N/m ²	0.222	0.273	0.288	0.222	1.016	0.321	0.230	0.481	0.258
推力係数, C_T	0.021	0.038	0.048	0.025	0.052	0.030	0.065	0.017	0.037
レイノルズ数, $R_e \times 10^3$ (0.75R位置)	1.37	0.97	0.50	0.75	0.85	1.81	0.63	5.91	7.87
先端速度, $R\Omega$ m/s	2.905	2.407	2.260	2.748	4.205	3.189	1.770	5.049	2.475
C_T / σ	0.178	0.316	0.384	0.227	0.292	0.229	0.452	0.111	0.444

表・1

(3) 可視化

表・1を見ると、オートローテーションには二種類の回転型のあることがわかる。オニモミジからアオギリまでは、垂直軸回りの単純回転であるが、トネリコはZとFの二種類の軸を中心にして回転している。このような型には外にユリノキがある。

後流の可視化はこの二種類について行った。1軸型の代表的なものとしてオニモミジを使用し、2

写真・2

写真・3

オニモミジの後流

図・3 ミスト発生機構

図・4 後流の平均速度分布

軸型はユリノキを使用した。トレーサーとしては流動パラフィンミストを使用した。ミスト発生器は図・3に示すようなもので坂上の方法⁽²⁾に工夫を加えた。

このような自由飛行の可視化で問題になるのは、気流の乱れよりも、わずかな速度変化が飛行経路に影響をおよぼすことである。ミスト発生器のノズル機構を測定部に挿入することによって種子は水平面内を微妙に移動する。試行錯誤の末、図・3に示すような形に落ち着いた。写真・2 および 3 はオニモミジの後流を可視化したものである。ミストは回転軸にあたるように手動で調節した。これ以外の場所ではミストが乱れて良好なパターンを得ることはできなかった。種の部分に当たったミストは翼の表面に沿って流れ、根本と翼端の二つに分れて、それぞれの渦を可視化している。このピッチ長と回転数から後流の平均速度 (U_w) を出し、落下速度 (V)

写真・4

写真・5

ユリノキの後流

した。座標の原点は回転の中心点とした。図中、I は、渦が形成される過度領域、II は安定領域、III は崩壊領域を示している。写真・4、5 はユリノキの後流を撮ったものである。Z 軸の回転は見えるが、回転数が 10% 多い F 軸のものは不明瞭で、この写真からではよくわからない。パターンの中にある小さな一対の渦はカルマン渦と思われる。周波数は計算上では約 30 Hz であるが、連続して出ているわけではないので写真上から確認することはむずかしい。

(4) あとがき

二種類の翅果について後流の可視化を行ったが他のものはノズルの影響があり、まだ撮影に成功していない。今後の計画としては、これらの撮影と、連続撮影によって渦の生成と崩壊の様子を明らかにしたい。さらに全体の流れのパターンを知るためにスモークワイヤー法による可視化を試みる予定である。

【参考文献】

(1) 東 昭、安田邦男； 回転する翅果の飛行、第23回飛行機シンポジウム講演集 (1985)

日本航空宇宙学会

(2) 坂上治郎、種子田定俊； 流れの可視化法、気象研究ノート (1975,7) 日本気象学会