

No.19

落ち葉の舞

佐藤 浩、斉藤博之助、中村 宏（ながれ研究集団）

Dance of falling leaves

H.Sato, H.Saito and H.Nakamura

Institute of Flow Research

ABSTRACT

When summer ends, tree leaves start falling. They dance around in air. We planned to perform a systematic investigation on the dance. We used a transparent water tank and dropped various kinds of thin model. Among them the best dance is performed by the one-yen coin. The dance by the coin is very regular and reproducible. After hundreds of trial we found that the stable dance is performed by models with axial symmetry. In the process of falling all models turn around the vertical axis and if there is no symmetry, falling mode changes. Appropriate conditions for the stable dance were discovered.

Key Words: Falling leaves, water tank

0. はじめに

秋が来ると木々は色付き、葉が、始めはおそるおそる、やがて雨のように散っていきます。その散り方を詳しく、また系統的に調べることにしました。それには流体力学も役に立つでしょう。

1. 実験方法

垂直な、透明な水槽を準備しました。高さはほぼ1mで、断面は15cm x 15cmです。ここに水を満たして、水よりも密度の大きい材料でできた薄い模型を落としました。そして落ちていく模型の振る舞いをビデオに撮りました。正面だけでなく、側面からも見えるように、45度の角度に鏡を置いて、一つの画面に両方からの写真が同時に写せるようにしました。

ビデオカメラで撮った動画を静止画に変換しました。1コマは1/30秒ですから、落下速度に応じて、適当にコマ落としをして、一枚の画面に表示して観察しました。

2. 落葉

できるだけ実際の落ち葉に似せた模型を薄いアルミやアクリルで作って、落ち方を観察しました。その一例を第1図に示します。これは厚さ0.5mmの、アクリルで作った楓の模型です。落下速度が小さいので、12コマずつずらした、

合成図になっています。左半分は正面から、右

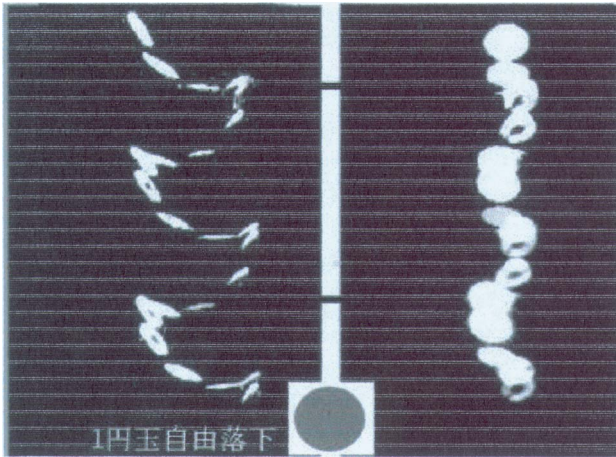


第1図 楓の落葉

半分は側面からの写真です。中央にある2本の横棒の間隔は10cmです。色々な落ち葉の中では比較的安定なひらひらを見せています。

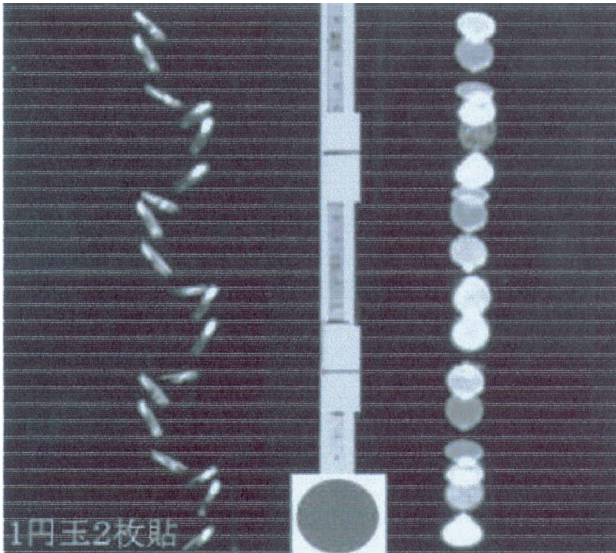
3. 幾何図形

どのような模型よりも安定なひらひらを見せるのはアルミの一円玉です。非常に規則正しく、高い再現性を示します。第2図はその例です。左の図はひらひらをほぼ側面から捕えています。特徴的なのは大きな揚力のために一円玉が上に向けて動くこともあることです。



第2図 一円玉

第3図は一円玉を2枚貼り合わせたときの写真です。厚さと質量が両方とも2倍になっています。同じように安定したひらひらですが、振幅は小さくなっています。波の波長には大きな



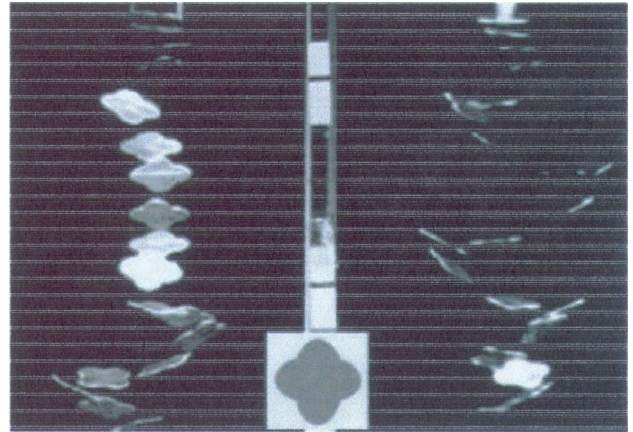
第3図 一円玉二枚貼

変化はありません。

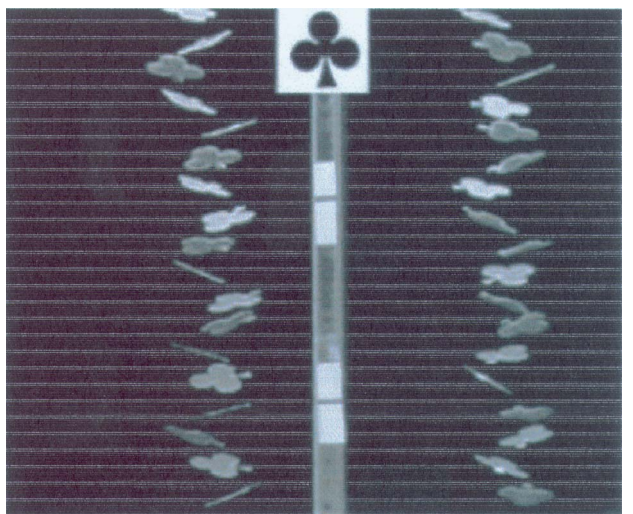
第4図は4つの弁を持つ花形で、円に近いところもありますが、一円玉ほど綺麗なひらひらはありません。左右の図を比べてみるとある場所でひらひらが変わっていることが見られます。これは面内の回転によるもので、形が軸対称でないのでひらひらに乱れが作られるのです。

トランプの4つの形もやってみました。軸対称性が良くないので、綺麗なひらひらはみられません。揚力が小さくてあまり持ち上げることができません。第5図はクラブです。0.5 mmの亚克力でできています。4つの中ではましなひらひらをしますが乱れも入っています。

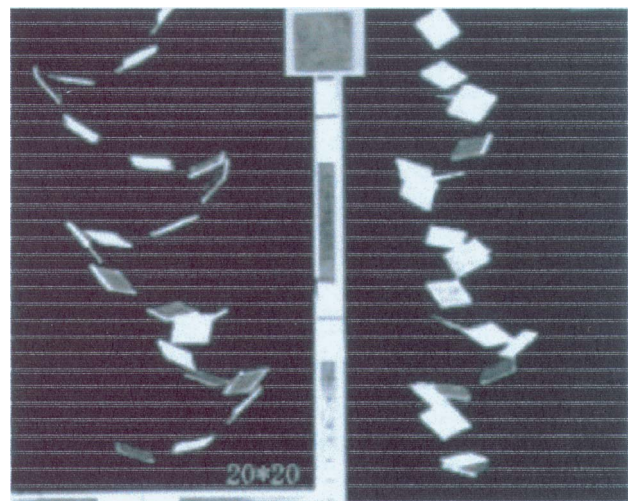
正方形の模型が第6図です。大きい揚力が見られますが、途中で乱れが入っています。



第4図 4弁花



第5図 クラブ

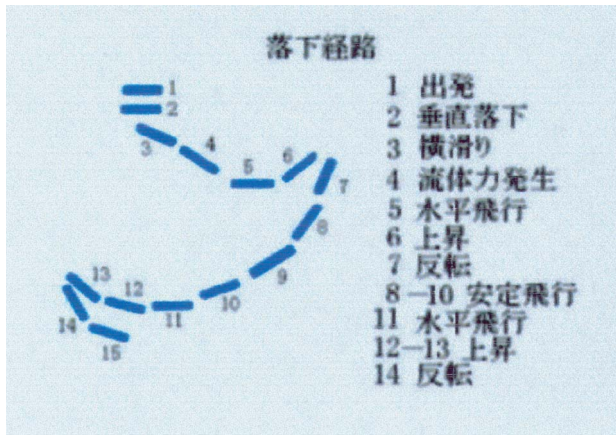


第6図 正方形

4. 落下力学

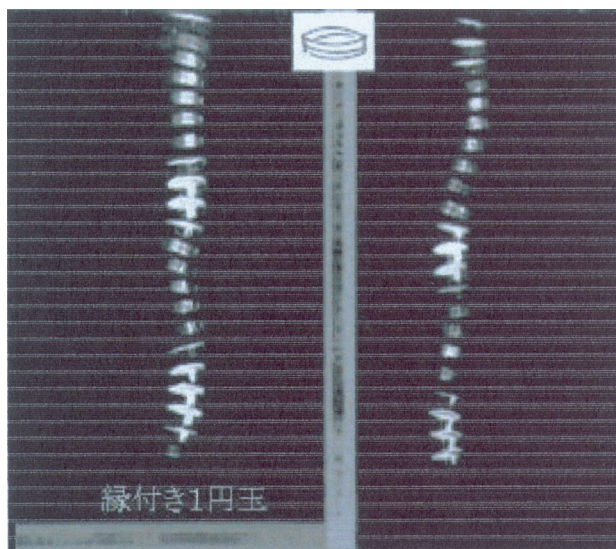
ここで落葉のこまかな議論をします。まず第一は落下の経路です。第7図は経路の分解図です。まず1の水平な状態から落下を始めます。

この水平落下は当然の事ながら不安定です。やがて3のような横滑りとなり、滑りが重力で加



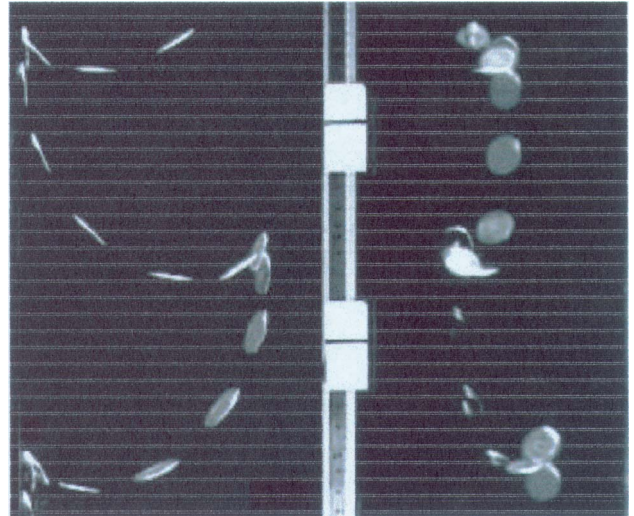
第7図 落下経路

速されると流体力としての揚力が発生します。その揚力の着点前縁から直径の1/4のあたりで、重力は1/2の中心に作用しますから頭上げのモーメントが作られます。それによって翼としての迎角が増大し、それに伴って揚力が大きくなります。揚力と頭上げモーメントの作用で物体の姿勢は5のように水平になります。さらに揚力の増大と慣性によって、6のように頭を上げ、物体を上を引き上げます。6の死点は翼としての失速点です。物体は7のように反転して8-10のように安定飛行をします。そして12, 13が上昇で、次の死点に入り、振動の一周期が完成します。ここで重要なのは横滑りです。それが無いとひらひらはしません。例えば一円玉の周囲を薄い金属で塀のように囲って落したのが第8図です。同じ一円玉なのにほとんどひらひらしないで真っ直ぐに落ちていきます。



第8図 縁付き一円玉

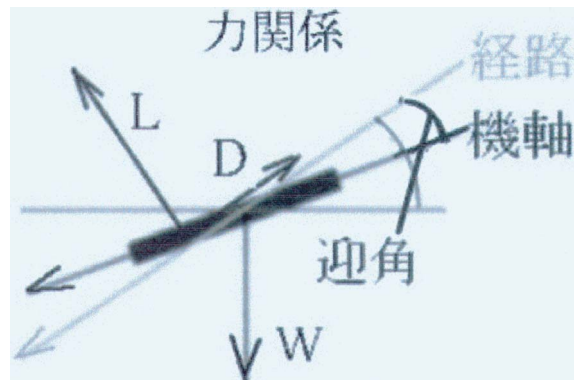
これと正反対に一円玉の縁を磨いて鋭くした物を落としてみると第9図のようになります。



第9図 鋭縁一円玉

横揺れ、すなわち振動振幅が非常に大きくなっています。しばしば水槽の壁に衝突して真っ直ぐ落ちてしまいます。

第10図は物体に働く色々な力を表しています。経路と機軸との間の角が迎角です。迎角

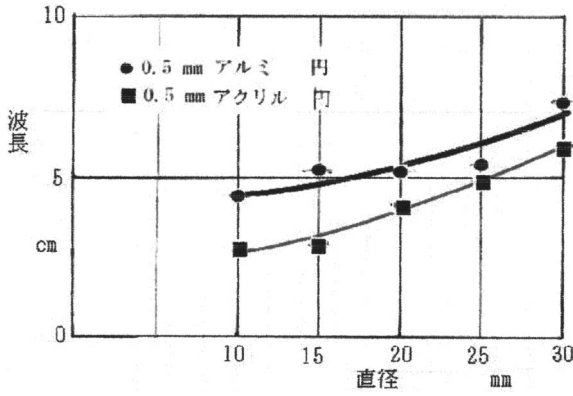


第10図 力の関係

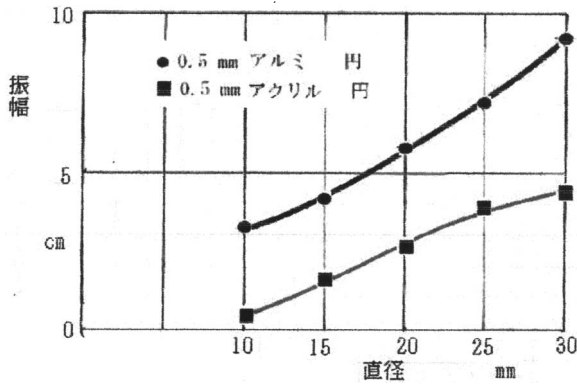
に応じて経路に垂直な揚力Lと、経路方向の抗力Dとが働きます。重力Wは垂直に働き、Lによって頭上げのモーメントが発生します。このとき慣性モーメントが大きくて頭が十分に上がらなければ、ひらひらすることがありません。経路が水平になった後でさらに揚力が増えるので経路が上向きになりますが、物体が重いとその重力に勝つことが出来ません。抗力は普通の翼では物体の表面積に比例しますが、この薄い物体の場合は物体の厚みと、横幅の積に比例すると考えた方が自然です。

ひらひらの度合いを定量的に調べるために、平面形を円に限って、体系的な実験を行いました。落下姿態を代表する量として、波長と、振幅とを画像から測定することにしました。

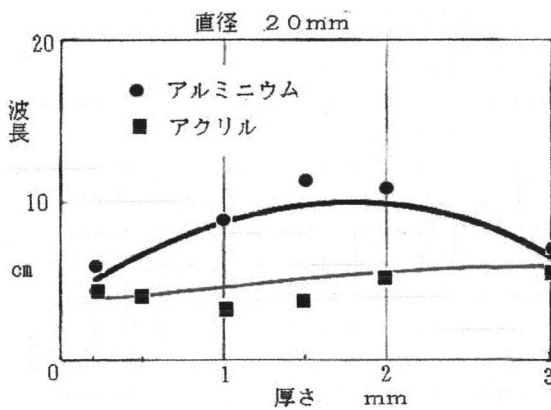
まず材料の厚さを一定にして面積だけを変えました。材料として厚み 0.5 mm のアルミとアクリルについて直径を 10 mm から 30 mm まで変えた結果が第 1 1 - 第 1 2 図に示されています。



第 1 1 図 直径と波長の関係

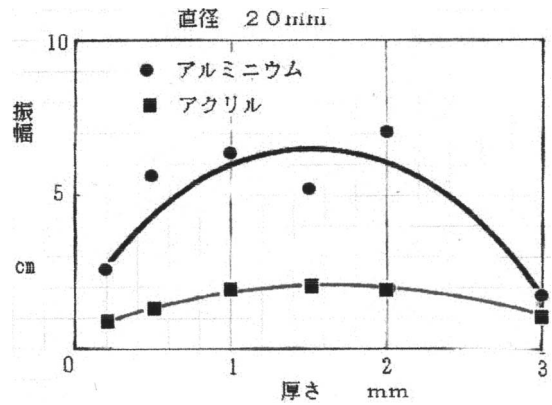


第 1 2 図 直径と振幅の関係

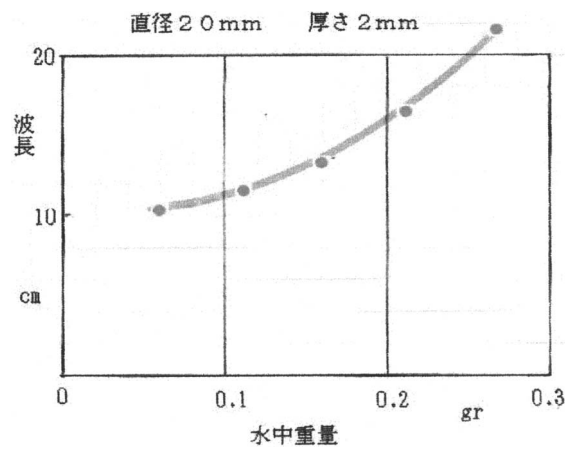


第 1 3 図 厚さと波長の関係

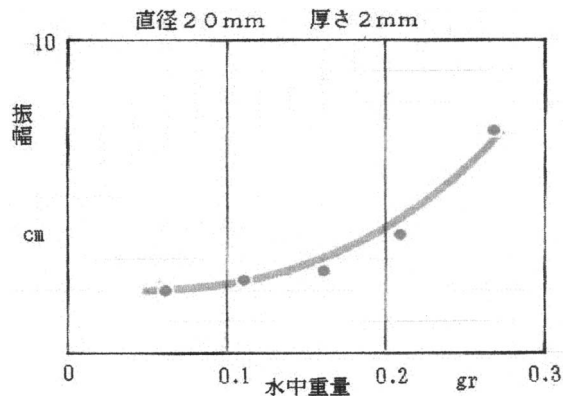
波長も振幅も直径が大きくなるにつれて大きくなります。直径を一定にして厚さを変えたのが第 1 3 - 第 1 4 図です。また厚さを一定にして重量を変えたのが第 1 5 - 第 1 6 図です。厚さには好適な値がありますし、実験の範囲では重いほど波長も振幅も大きくなります。



第 1 4 図 厚さと振幅の関係



第 1 5 図 重量と波長の関係



第 1 6 図 重量と振幅の関係

5. むすび

- 実験の結果分かったことは、ひらひらがうまくいくための条件として
- 程よい厚さが必要です。それは横滑りの速度を調節するためです。
 - 横滑り速度によって発生する揚力は葉を支え、ひらひらの原因になります。
 - 葉の平面形が軸対称に近い物は安定にひらひらし、遠い物には乱れが生じます。
 - 試された多くの物体の中で一番安定した、見事なひらひらは「円玉」です。