

流れのお話

筑波大学名誉教授

河合 達 雄

経 歴：1947年 福井県松岡町(現在は永平寺町)に生まれる
 1976年～1979年 愛媛大学工学部助手
 1979年～2012年 筑波大学システム情報系講師、
 助教授および教授

1. はじめに

筆者は、流体力学およびその工学的応用を専門として、大学教育および研究に携わってきました。研究指導した学生はおよそ学部生110人、大学院修士320人および大学院博士70人にのぼります。研究テーマは物体周りの流れ、流体機械、生物に関する流体力学などです。ここでは数式は使わない肩の凝らないお話をしてみたいと思います。

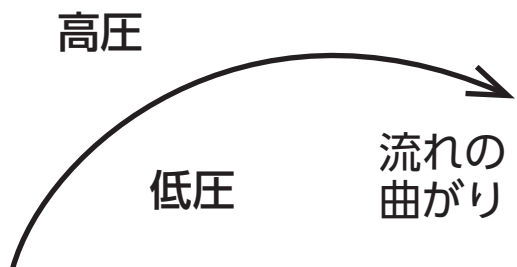
2. 飛行機が空を飛べるわけ

液体と気体をあわせて流体と言います。図1のように、流体が右上の方向に進もうとするとき、圧力が左側で高くて右側で低いと、流体は真直ぐには進めず、低圧の方へ曲がります。つまり、曲がった流れでは、曲がりの外側が高圧で、内側が低圧になります。

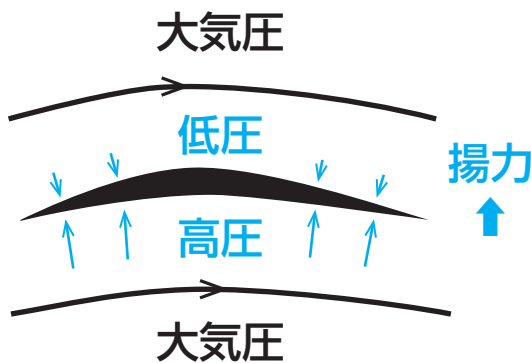
今度は、図2のような飛行機の翼を考えましょう。翼から上方に遠く離れた場所の圧力は大気圧です。そこから翼の上面までにある流体は、翼の形に沿って曲がります。この場合、翼の上面は曲がりの内側にあたるので、上述の理由で翼の上面

は大気圧よりも低くなります(青字で低圧)。一方、翼から下方に遠く離れた場所の圧力も大気圧です。そこから翼の下面までの流体も翼の形に沿って曲がります。この場合、翼の下面は曲がりの外側にあたるので、その圧力は大気圧よりも高くなります(青字で高圧)。そうすると結局、翼の下面は上面より圧力が高いことになり、下から上へ持ち上げる力(揚力)が生まれます。この揚力で飛行機は空を飛ぶことができるのです。

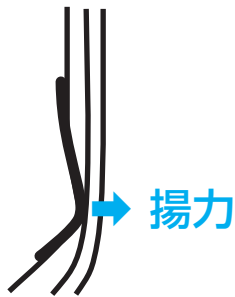
揚力は、うえのことからわかるように、流れがあるときにだけ生じます。つまり飛行機は、じっとしていても揚力は発生せず、揚力を生むためには速く動く必要があります。このため、飛行機はスピードを出さないと落ちてしまうのです。ところで、船は水からの浮力で浮きます。気球は空気からの浮力で浮きます。浮力は動かない物体にも働くので、船や気球は、止まっても、普通は沈んだり落ちたりはしません。飛行機にも浮力は働きます。しかし、空気は水よりもはるかに軽いので浮力はとても小さく、重さ何百トンもある飛行機は浮力で浮くことが出来ないのです。



■図1 流体の圧力



■図2 飛行機の翼



■図3 スプーンと水流

揚力は図3のようなスプーンで体験できます。スプーンの背（凸面）に水道から落ちる水流を当てると、翼の上面での流れと同じ流れが出来るので、スプーンの背面は大気圧より低い低圧状態になります。一方、スプーンの腹（凹面）には水流は無いので大気圧が働きます。その結果、スプーンには腹から背へ向かう力、つまり揚力が働きます。このため、スプーンは右へ吸い寄せられるように動くでしょう。そのほか、風車が風を受けて回るのも、落ち葉がひらひらと舞うのも、船が舵を切って曲がれるのも揚力が働くからです。

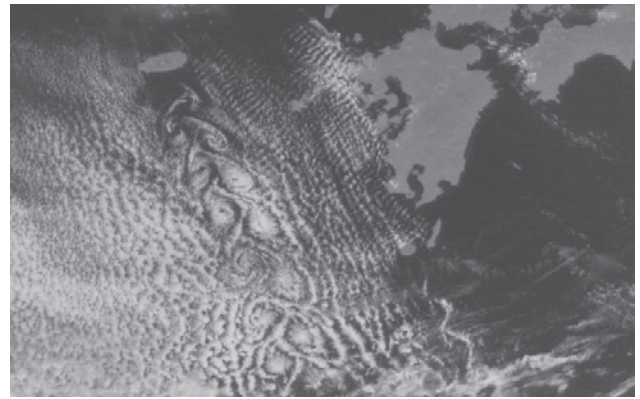
3.カルマン渦

物体が流れの中にあるとき、物体の下流に規則正しい渦の列が出来ることがあります。図4は、右へ向かう流れの中に置かれた円柱の下流にできる渦列を撮影したものです。円柱の上側と下側から交互に渦が流れ出て、下流には上側の渦列と下側の渦列の2列が出来ます。上側の渦は時計回りに回転し、下側の渦は反時計回りです。上の列と下の列は流れ方向に互いに半ピッチずれて、したがって渦列はジグザグの千鳥配列になっています。

もし上の列と下の列がずれていないと、渦列は時間が経つにつれ崩れてしまいます。カルマン



■図4 カルマン渦, S. Taneda, Album of Fluid Motion by Van Dyke (1982)



■図5 気象衛星ひまわり画像

(Theodore von Karman)は、渦列が崩れずに安定な配列は図のような千鳥配列であり、しかも2列の間隔を b 、渦の流れ方向の間隔を a とすると、 $b/a=0.281$ の場合に限ることを示しました。このような渦列は、彼の名にちなんでカルマン渦列(Karman vortex street)と呼ばれます。両側に木が植わった並木道のように見えるのでstreetなのです。

木枯らしが吹いて小枝からヒューと音がするのは、カルマン渦が原因です。渦の発生周波数（1秒間に出来る渦の数）は、流速におよそ比例しますので、流れが速いほど高い音が出ます。このため、木枯らし音の高低で私たちは風の強弱を推し測ることが出来るのです。

渦の発生周波数は物体の大きさにおよそ反比例します。鞭のような細い物を振ると高い音が出て、バットのようない物を振ると低い音がするのはこのためです。島の下流にもカルマン渦が出来ます。図5は、冬に北西の季節風が韓国の済州島の後ろに作る雲のカルマン渦を撮影したものです。物体(島)が非常に大きいので、渦は極めてゆっくりと発生します。

風の日に電線や物干し竿が揺れるのは、カルマン渦の仕業です。米国のタコマ橋は、渦の発生周波数が橋の固有振動数と一致して共振したため、橋の振幅が異常に大きくなって崩壊しました。原発もんじゅのナトリウム事故も、温度計の下流に出来たカルマン渦が温度計を共振させたために起きました。流れの中で構造物が異常に振動したり、異音がするときは、カルマン渦の発生を疑ってみることで。