

揚力の発生原理と飛行姿勢の安定における揚力の活用について

Principle of Lift outbreak and Utilization of the lift for the posture stability

松 井 一 *1

MATSUI Hajime

要 約 飛行機は、空中を移動する乗り物であり、空気の流れにより発生する揚力を利用して飛び上がっている。飛行機を飛び上がらせる力（揚力）は、ほとんどが主翼で発生している。尾翼（水平尾翼および垂直尾翼）にも揚力は発生するが、機体姿勢を安定させるために活用されている。ここでは、主翼での揚力発生原理、および尾翼に発生する揚力の利用方法について、機体姿勢の安定の観点から解説する。

1 はじめに

飛行機が飛ぶ仕組みについての説明には、様々な用語が使用される。ここでは、文中でも使用している主な用語について説明する。

「揚力」: 空気中を進む翼には、ある空気力が作用する。この空気力のうち、翼の進行方向に垂直な成分の力。

「迎角」: 翼に当たる気流の方向と翼前縁と後縁を結んだ直線（翼弦線）とのなす角度。翼が、空気の流れに対してどれだけ傾いているかを示す角度をあらわす値。

「前縁」: 翼の進行方向最前端。

「後縁」: 翼の進行方向最後端。

「ベルヌーイの定理」: 閉じられた系内で、流体が流れる際の任意の2点間で、圧力エネルギー（静圧）、運動エネルギー（動圧）、位置エネルギーの合計が一定であるという定理。

「ニュートンの第3法則」: 作用・反作用の法則。「力は押す側のみでなく、反対方向にも働いている」という法則。

「風圧中心」: 翼の周りに分布する圧力（揚力）が、1点に加わると考えた代表する点。迎角の変化により前後に移動する。

2 主翼での揚力の発生原理

主翼の前縁から後縁方向の断面は、上面の距離が下面の距離より長い。



図1 飛行機の側面



図2 飛行機の主翼（赤線は翼弦線）

翼が空気中を進むとき、翼の前縁に空気が当たり、当たった空気は、翼の上面と下面に分かれ、翼表面に沿って後縁へ流れて行く。

翼下面の距離より上面の距離が長いので、翼上面を流れる空気の流速は、下面より早くなければ、翼上面と下面を流れる空気が、同時に後縁へ到達することはできない。

翼上面と下面を流れる空気の流速の差から動圧が異なり、ベルヌーイの定理から翼上面と下面に静圧の差が生じる。この圧力差が揚力となる。

また、翼上面を流れる空気は、後縁で下方へ曲がる。これは、空気が流れを下方へ曲げる力を翼から受けたことになる。

翼から空気が受けた力は、ニュートンの第3法則より、空気が翼に与えた力となり、翼を上方へ引き上げる力となり、この力も揚力となる。空気の流れの下方へ曲がる量が大きければ（迎角を大きくすれば）、揚力も大きくなる。

*1 航空機整備科

Department of Aircraft Maintenance.

揚力は、以下で表される。



図3 揚力の公式

揚力係数 C_L は、迎角の変化に伴い、その値を変化させ、揚力係数が大きくなれば、揚力も大きくなる。

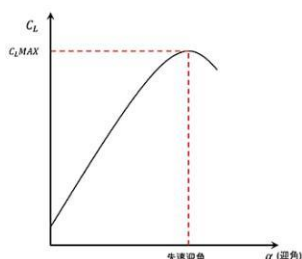


図4 揚力係数 vs 迎角曲線

3 機体の姿勢安定に対する尾翼の働き

尾翼には、ピッチ軸（上下の傾き）を安定させる水平尾翼とヨー軸（左右の向き）を安定させる垂直尾翼がある。

ここで、水平飛行している飛行機が、吹き上げ突風の作用により機首が上向きに回転した場合を考える。機首が上向きに回転すれば、水平尾翼は下向きに回転する。



図5 縦方向の回転

下向きに回転した水平尾翼は、相対的に上向きの空気の流れを受けることになる。

この上向きの流れが進行方向の流れと合成され、水平尾翼の迎角を大きくするような方向の流れとなる。

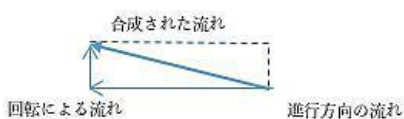


図6 流れの合成

迎角が大きくなったことで、尾翼の揚力も大きくなり、機体を元の姿勢に戻す。

垂直尾翼も水平尾翼と同じ仕組みで機体姿勢を安定させる。

突風などの外力により機首が左方向へ振られた場合を考える。



図7 横方向の回転

この場合、垂直尾翼は右側へ振られ、相対的に垂直尾翼は右側からの空気の流れを受ける。

垂直尾翼は、左右対称のため、進行方向だけの空気の流れでは揚力は発生しない。

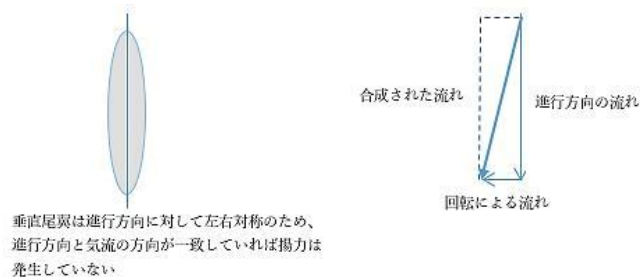


図8 垂直尾翼断面

図9 流れの合成

この流れが進行方向の流れと合成され、垂直尾翼に迎角を与える。与えられた迎角により、垂直尾翼の左側に揚力が発生し、機体を元の姿勢に戻す。

4 おわりに

昨今の飛行機は、大型化、高速化の中、コンピュータにより機体姿勢は制御されているが、飛行機の基本的な形（構造）は、ライト兄弟の初飛行から大きく変化していない。尾翼の揚力を活用した機体姿勢の安定は、先人の技術の高さが伺える。

参考文献

- 1) 日本航空技術協会編集 2017年, 航空力学 第5版 第1刷, 日本航空技術協会, p16~p24, p48
- 2) 「上級者向け」飛行機の失速と計器速度の関係 <https://bukiyoublog.com/aircraft-indicated-air-speed-vs-stall>