

揚力の発生を生徒にどう説明するか

2019/08/24YPC 合宿例会 山本明利

クッタ・ジューコフスキーの定理 (1902-06 : 揚力の正しい説明、実験と整合)

密度 ρ 、一様流速 U の非粘性・非圧縮性流体中に置かれた物体周りの循環を Γ とすれば、物体に働く揚力 L は $L = \rho U \Gamma$ と表される。

(参考 : Γ は U に比例するので、 L は U^2 に比例する)

●生徒に教えるための条件

- ・難しい術語や数学を使わない。
- ・科学的なウソ・誤りを含まない。
- ・できれば視覚的に納得させたい。

●誤った、あるいは誤解を招きやすい説明

同着説

翼上面のより長い距離を通過して、翼後端で下面の気流と同着するために、上面の流速が速まり、ベルヌーイの定理により上面の圧力が低下するとする説。上面の気流は下面の気流より早く後端に達し、同着しない。事実と合わない。

ベルヌーイの定理説

上記実験事実を踏まえ、上面の気流は下面の気流よりずっと速いので、ベルヌーイの定理により上面の圧力が低下するとする説。実際は、低圧部に向かって気流が加速されるのだから論理が逆転。

コアンダ効果説

コアンダ効果は噴流による引きずりによって起こるので、粘性が前提となる。コアンダ効果を積極的に活用して揚力を増強する装置はあるが、揚力の全てを説明するものではない。揚力は非粘性流体でも生じる。

衝突説

気流が翼下面に衝突し、下向きに曲げられるので、その反作用で上向きの力を受けるとする説。翼型があれば下面に迎角を持たなくても揚力が生じることを説明できない。そもそも気流が翼の下面に「衝突する」事実はない。

●生徒にどう説明するか

流線曲率の定理 (今井功さんの命名?)

流線が曲がっている場合には、曲率中心に向かって圧力が低下し向心力を生んでいる。圧力勾配は、流速の 2 乗と密度と流線の曲率の積に等しい。

流線が全体として翼後方で下に曲がっていることから (できれば実験で見せたい。風洞実験の写真でも可。)、翼上面では翼に向かって、翼下面では翼から遠ざかる方向に圧力が減少していなければならない。翼の上下の圧力差が揚力を生む。圧力勾配が生じ、流線が曲がる原因は明らかにそこに翼が存在することだから、翼は気流全体から反作用を受けていると言ってもよい。

【参考文献】

高木正平「なぜ翼に揚力が発生するか?・ベルヌーイの定理か流線曲率の定理か」日本機械学会誌 201004・Vol.113 No.1097 <http://www.wattandedison.com/JSME-Takagi.pdf>

今井 功「流体力学(前編)」裳華房、1973 年 11 月