

飛行機はなぜ飛ぶのか

情報ゼミ（3年次）文献紹介レポート B20-015 小川元基

飛行機がなぜ飛ぶのかまだわからない都市伝説!?

世間には飛行機の間違った揚力理論が満ちあふれている。
ある調査によると、揚力に関する国内外の**7~8割**の解説が間違いといわれている。

→ 実際には、飛行機の数値シミュレーションでは、誤差は**1%**以下に抑える必要がある。
つまり、航空機の空気力学はとて精密度理論になっている。

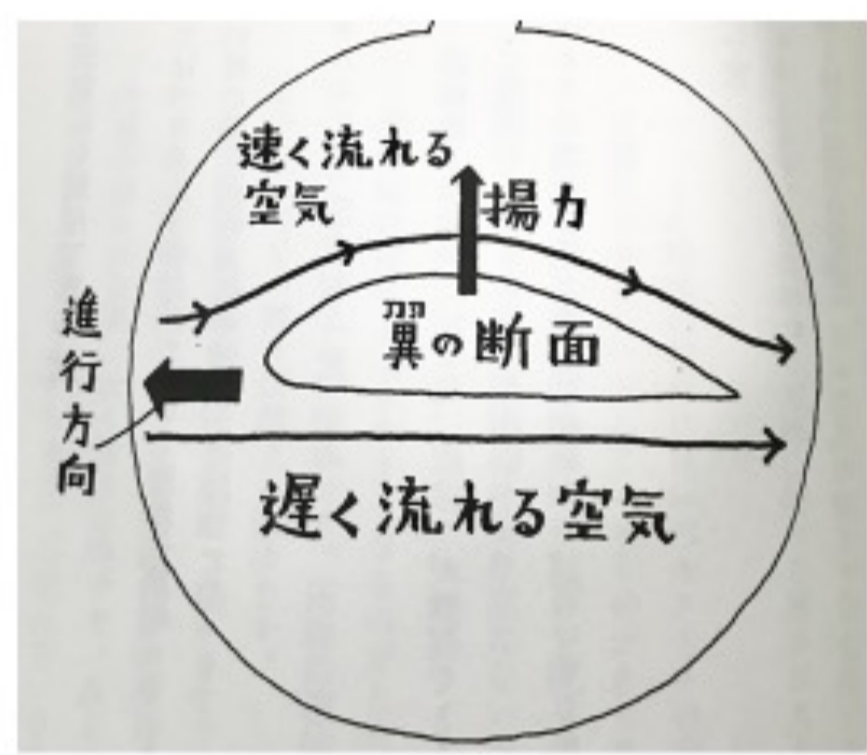


図1:翼周りの状況
出典: [1]より

揚力発生理由

- まず結論から述べます。よくある解説として、
- ①翼の上面の空気が早く流れるのに対し、翼の下面の空気が遅く流れる。
 - ②ベルヌーイの定理により、空気が早く流れると圧力は低くなり、遅く流れると圧力が高くなる。
 - ③圧力差により、下から上向きに力が発生する。

このようにして、揚力が発生している。

しかし、一つ問題が...

ベルヌーイの公式:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \text{圧力} = \text{一定}$$

2大間違い理論

先ほどの問題というのは、なぜ翼の上面を沿う空気は速く、下面に沿う空気は遅いのかということである。ここに関して、誤概念が幅を利かせている。

・等時間通過説

空気が分かれる点(よどみ点)で別れた空気が後縁で同時に到着すると考える理論。

上を通る空気は下よりも距離が長い。
→上面の空気が早くなる。



図2 空気の道

しかし、矛盾が...
・背面飛行ができないことになる。
・紙飛行機にも揚力が発生することに矛盾。

・飛び石説

ニュートンの作用・反作用の法則を翼に適用する理論。

翼の下面にぶつかった空気は下に跳ね飛ばされ、その反作用として翼には上向きに力が働く。



図3 翼にはたらく力

しかし、矛盾が...
この理論では翼の下面が重要になるはず。
だが、実際の飛行機はエンジンやミサイルがついている。

正しい揚力理論

ではなぜ、上面の空気が早く流れるのか?
それは翼周りに空気の一種の渦が生じるためである。
物理学的には**循環**があるという。

結論から言うと、クッタ条件を満たしたとき循環が起これ、揚力が発生する。

クッタ条件：翼の上下の流れ（流線）が後縁で滑らかにつながること。

クッタ・ジェイコフスキーの定理:

$$\text{揚力} = \text{空気の密度} \times \text{空気の速さ} \times \text{循環}$$

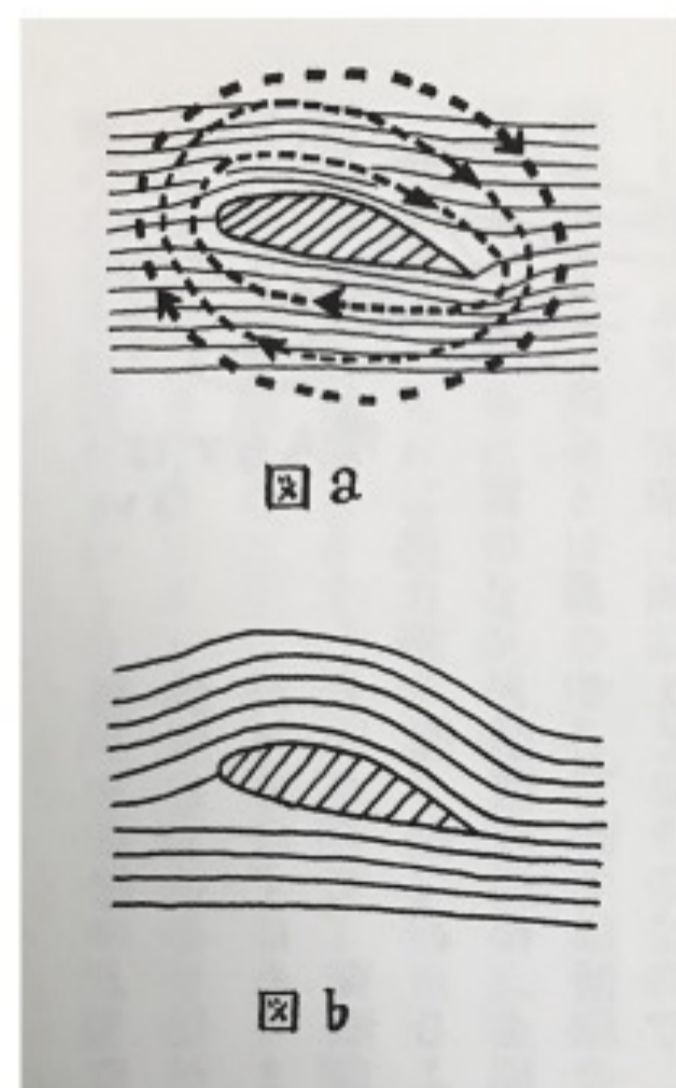


図4 翼周りの循環
出典: [1]より

渦糸

渦糸とは渦の中心を糸でつないだもの、翼の中を通過していると考えられる。

・ヘルムホルツの渦定理：非粘性の流体のなかでは、渦糸は途切れない。すなわち、無限遠まで行ってしまいか、壁で終わるか、輪ゴムのように閉じるかのいずれかが成り立つ。

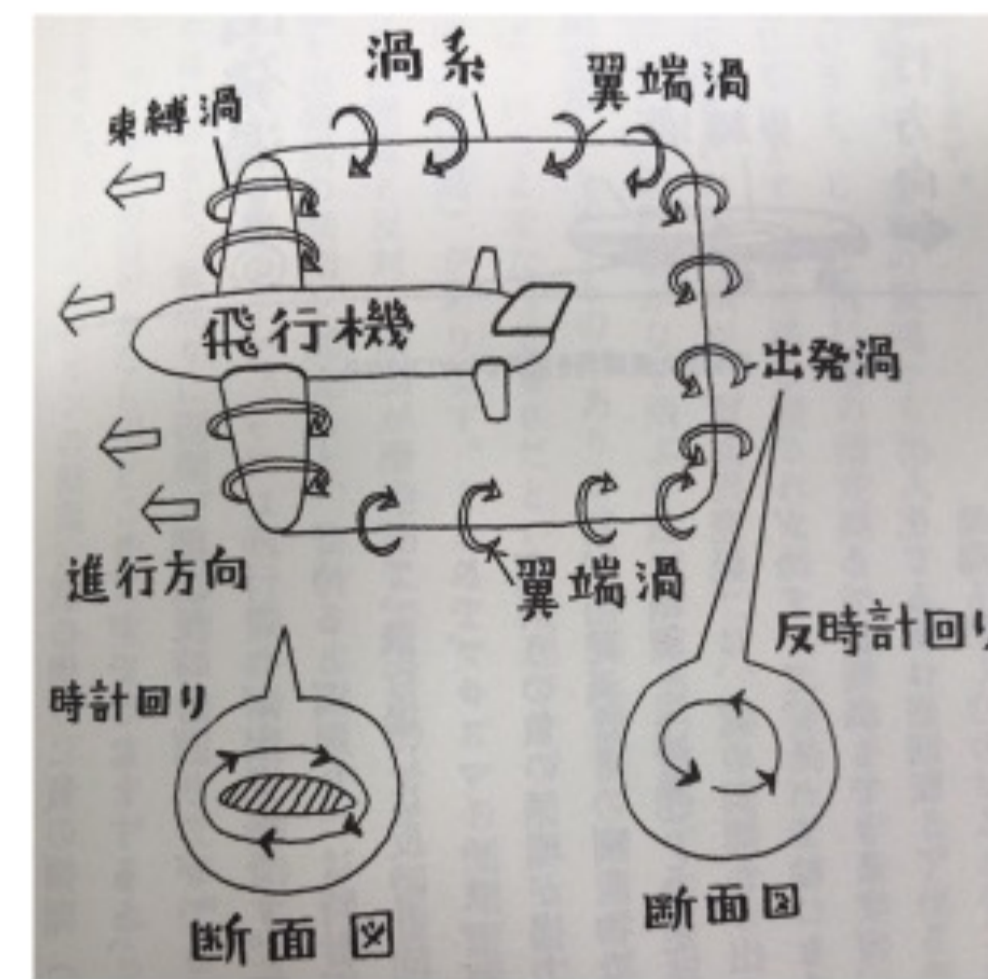


図5 渦糸
出典: [1]より

右図のように、翼端から出入りする渦を「翼端渦」、翼周りの渦を「束縛渦」、滑走路に残される渦を「出発渦」という。

ケルビンの循環定理

・ケルビンの循環定理：粘性（摩擦）のない流体では、はじめに循環が0であれば、いつまで経っても0である。

進行方向に沿った断面では、束縛渦は時計回り、出発渦は反時計回りであり、互いに打ち消しあう。

また、翼端渦は進行方向に垂直な断面で切ったとき左右で反対方向に回っているため、これまた互いに打ち消しあう。

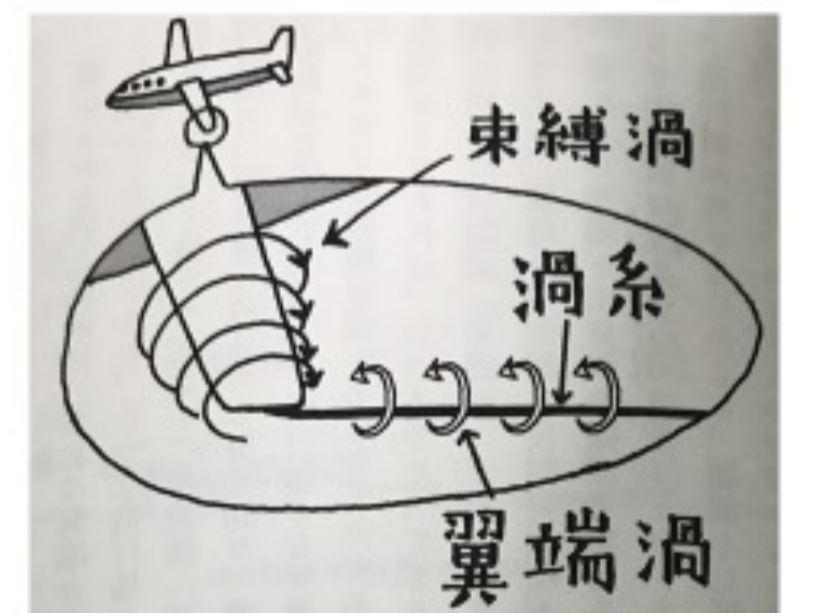


図6 翼端渦
出典: [1]より

翼周りの循環(1)



図7 クッタ条件を満たす前



図8 クッタ条件を満たした後

翼周りの循環が発生するのは、クッタ条件を満たすからである。つまり、翼上面を流れる流線と、下面を流れる空気が流線で滑らかに合流するからである。

クッタ条件が満たされる理由は、**翼後縁がとがっているからである。**

出典: [1]より

翼周りの循環(2)

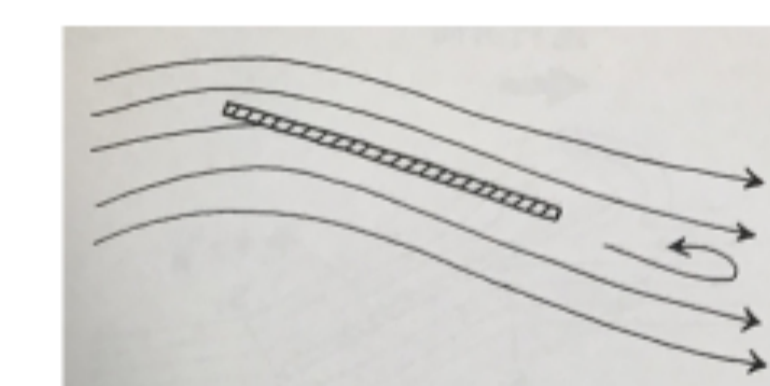


図9 クッタ条件を満たすと
出典: [1]より

クッタ条件が満たされると、出発渦に相当する渦が放出され、それを打ち消すように翼周りで時計回りの循環が発生する。

結論として、「なぜ飛行機は飛ぶのか」という銀門に関して、「**翼の後ろがとがっているからである**」と答えることが出来る。

参考文献

- [1] 松田卓也 著『間違いだらけの物理学』 2014年9月
- [2] Ed Regis著『日経サイエンス2020年6月号 飛行機はなぜ飛ぶのかいまだに残る揚力の謎』