

飛行機の揚力に関するシミュレーション

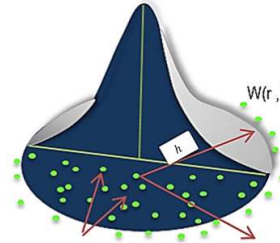
卒業研究中間報告 B20-015 小川元基

目的・動機

- 飛行機の翼周りに発生する揚力には間違っただけの解説が多く存在している。
- 正しい理解としては、翼周りに発生する空気の渦の存在とされる。
- SPH法(Smoothed Particle Hydrodynamics)を用いたシミュレーションコードを開発中である。

1

SPH法による空気の圧力を含めた計算



SPH法とはSmoothed Particle Hydrodynamicsの略。直訳すると「平滑化された粒子の流体力学」。水や空気を沢山の粒子(粒々)の集まりとして表現する。それぞれの粒々の動きを一つづつ物理シミュレーションする事で全体として水や空気のような動きになる。

$$\rho(x) = \sum_{j=1}^N m_j W(x - x_j, h)$$

$$W = \exp(-x^2/h)$$

出典: <https://qita.com/Kionlm/items/02b1aadbf38b11c3b83>

5

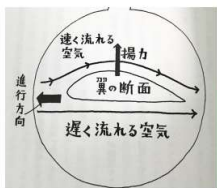


図1:翼周りの状況
松田卓也 著『間違いだらけの物理学』2014年9月より

揚力発生理由

- 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。
- 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。
- 圧力差により、上向きに力が発生する。

ベルヌーイの公式:

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

このようにして、揚力が発生している。

2

流体力学的方程式

- まず、空気中の状態方程式を考える。

$$P = \rho^\gamma \tag{1}$$

ここで、 γ は比熱比であり、空気を想定して、 $\gamma = 1.4$ とした。

- SPHでは各粒子の運動を追跡することから、連続の式は自動的に成立する。運動方程式は、それぞれの粒子の加速度を記述する形に表される。位置 x_j にある j 番目の粒子の運動方程式は

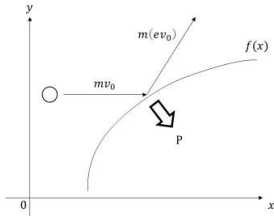
$$\frac{d^2 x_j}{dt^2} = -\frac{1}{\rho(x_j)} \nabla P(x_j) \tag{2}$$

であり、すべての粒子について解くことで(1)式とともに流体の運動は完全に決定される。

6

粒子の衝突による翼が受ける力積の比較

- 粒子を板($f(x)$)に向かって平行に打ち出し、一回の衝突で生じる力積を計算する。



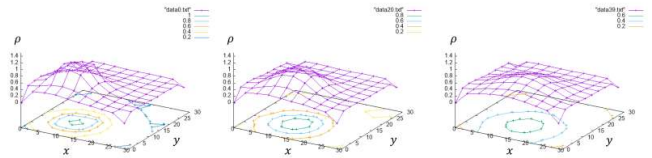
- x 軸方向に発生する力積の和がその板の抵抗力になっている。

$$P = f \Delta t = 2mv_0 \sin \theta \Delta t$$

- 「くさび形」、「放物線」、「円形」の板に粒子を衝突させ、比較してみる。

3

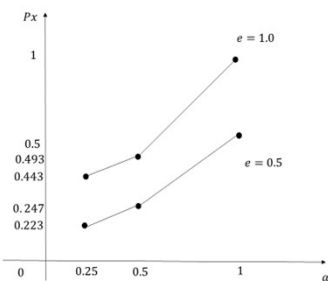
粒子の移動による格子点上の密度変化



100個の粒子を xy 平面に設置し、粒子の移動における各格子点上での密度の変化を示した。

7

結果



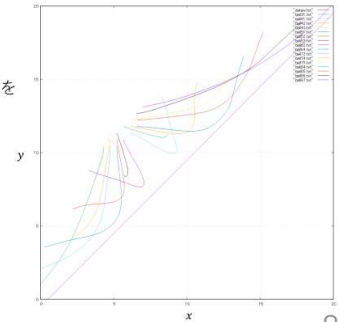
- 三つの形状を比較したが、力積の大きさとして、円形 > くさび形 > 放物線の順になった。このことから、風の中を進むうえで、翼の形状として適しているのは放物線ということが分かった。

$$f(x) = x^\alpha$$

4

粒子の軌道

- 板($f(x)$)を用意し、粒子の軌道を右図に示した。



8

参考文献

- 松田卓也 著『間違いだらけの物理学』2014年9月
- 矢部孝・観山正見・椛島成治 著『パソコンによるシミュレーション物理学』1992年2月