

揚力検証のための気体流の可視化とその応用

チーム名：マグナス

昭和薬科大学附属中学校3年

赤嶺有音

背景・目的

マグナス効果による揚力

- 野球やテニスの変化球：ボールに回転をかけることによって揚力を発生させボールの軌道を変化させる。
- 風力発電への応用：翼の代わりに回転円柱を設置し、その回転によって発生する揚力を利用して風車全体を回転させて発電する。
- 航空機については制作された記録はあるものの公式な飛行記録は存在していない。

研究の最終目標は、マグナス効果の航空機への応用可能性の検証であるが、本研究では揚力検証の前段階として、

① 流体シミュレータ

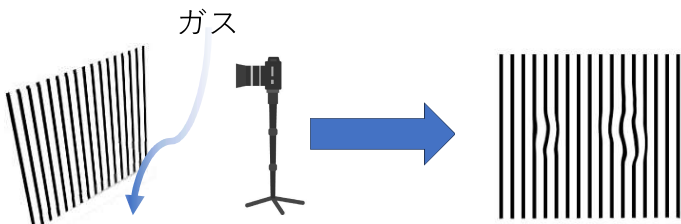
② 気体流を可視化するためのアプリ

を開発した。

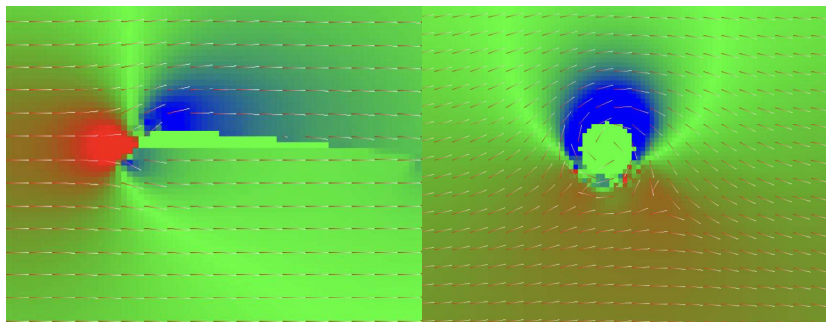
研究内容② 気体流の可視化

iPhone + Swift による気体流の可視化

ストライプパターンなどの背景画像をスマートフォンのカメラで撮影すると、気体の密度差が屈折によって背景画像の微少なゆがみとして検出できる。これを利用して、リアルタイムに空気の流れを可視化するアプリを開発した。BOS法と呼ばれる可視化手法の一種と考えられる。



研究内容③ 実験結果



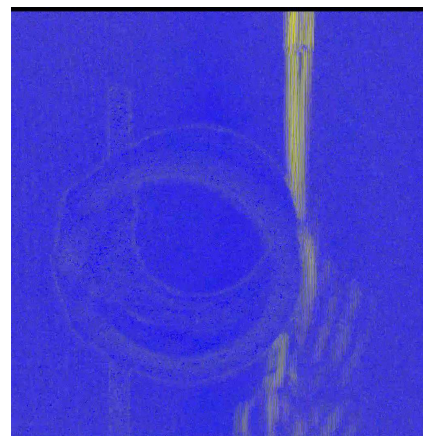
ベルヌーイ効果の再現例

マグナス効果の再現例

赤は圧力が高く、青は圧力が低い、緑は基準の圧力の領域を表す。

左図では、翼面の上部に圧力が低い領域が現れている。

右図は、中央の回転体が時計回りに回転している状態をシミュレートした結果であるが、下から上に向かって揚力が発生している様子が再現されている。



気体流の可視化例

エアダスターのガスを円筒状の物体に当たった様子を開発したアプリで撮影気体の流れが確認できる。

まとめ

流体シミュレータと気体流可視化アプリを開発した。今後、形状の違いによる揚力発生の様子を可視化アプリで確認する。その結果、どのような形状の航空機であれば、マグナス効果の揚力により飛行が可能であるか検討したい。

研究内容① 流体シミュレータ

JavaScript + WebGPUによるシミュレータ開発

Webブラウザで実行するために、JavaScript+WebGPUで流体シミュレータを開発した。

解析対象：空気と翼・回転する円筒（2次元）

無重力下の非圧縮性の流れを想定した「ナビエ・ストークスの方程式」を格子法により離散化して解く。Webに掲載されているC++のコードを参考にWebGPUに移植した。

ナビエ・ストークス方程式

x方向の式

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right)$$

y方向の式

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

計算手順（MAC法）

- nステップでの流速 (u_n, v_n) を用いて圧力のポワソン方程式を解きnステップでの圧力 p_{n+1} を得る
- nステップでの流速と圧力 (u_n, v_n, p_n) を用いて離散化したナビエ・ストークス方程式を解き、n+1ステップでの流速 (u_{n+1}, v_{n+1}) を得る

参考文献

- 「図解 道具としての流体力学入門」、西野創一郎、日刊工業新聞社、2019。
- 「CFDとは何か？【流体解析/数値流体力学】」、ITとCFDの入門サイト（最終更新日：2021年11月14日）、https://itandcfd.com/what_is_cfd/304/（閲覧日：2024年8月16日）
- 「2D Navier-Stokes 方程式を解いて乱流を見る（C++コード付き）」、Qiita（最終更新日：2020年2月23日）、<https://qiita.com/takuya000885/items/9150d96c9eec6da36f51>（閲覧日：2024年8月19日）