

複数台の自動車まわりの流れの解析

池田佳奈子 (指導教員: 河村哲也)

1 はじめに

自動車に関わる環境問題には、地球・都市環境問題である大気汚染、騒音、振動、悪臭、廃棄物等があり、また地球規模では地球温暖化、酸性雨、資源枯渇等があげられる。特に大気汚染は環境問題だけでなく、健康へ悪影響をもたらすことも懸念されている。大気汚染物質は普通目に映ることがないので、自動車まわりの空気の流れや排気ガスがどのような動きをしているのかを見ることができない。そこで本研究では走行している自動車が大気中にどのような影響を与えているのかを数値シミュレーションによって解析することを目的としている。

2 モデル化

本研究では、具体例として一般的なセダン型の普通乗用車に注目し、下図のようにモデル化する。

自動車まわりの流れを計算するため、直方体型3次元空間領域を考え、4つのケースについてシミュレーションを行った。

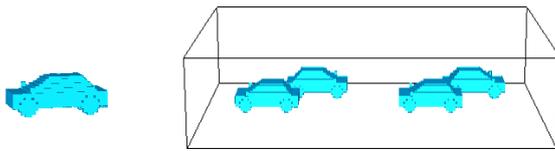


Fig 1: 自動車の格子

Fig 2: 計算領域

Case1とCase2の自動車の状態はボンネット部とマフラー部に熱があると仮定し、一定の速さで走行しているとした。そのとき、計算では自動車に固定した座標系を用いたため、静止している自動車に一定速度の風が当たっていることにする。Case3とCase4の自動車の状態は、ボンネット部とマフラー部の熱は考えず、領域内で1台ずつがそれぞれ一定の速さで走行しているとし、周期条件で計算を行い、自動車自体が動いていると考えた。

3 格子生成

格子は自動車まわりの流れをより詳しく観察するために、直方体型3次元空間領域を考え、Case1とCase2では流れ方向に、自動車の近くで細くなるような不等間隔格子を用いる。一方Case3とCase4では流れ方向に等間隔格子を用いた。

4 計算方法

4.1 基礎方程式

自動車まわりの流れは非圧縮性流れとみなせるので、連続の式(1)と、非圧縮性ナビエ・ストークス方程式(2)を支配方程式として解析することができる。また熱を扱うため、熱に関する方程式(3)も用いた。

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V = -\nabla p + \frac{1}{R_e} \Delta V + \frac{G_r}{R_e^2} T \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (V \cdot \nabla)T = \frac{1}{R_e P_r} \Delta T \quad (3)$$

V :速度ベクトル T :温度 p :圧力 t :時間
 R_e :レイノルズ数 P_r :プラントル数 G_r :グラスホフ数

ここで、プラントル数 P_r は流れの性質によらない物質の定数であり、空気を想定しているため0.71とする。レイノルズ数 R_e は、本研究では乱流の効果も考慮して2000とした。これらの解法として、圧力と速度を分離して計算するMAC法を用いた。

4.2 自動車の境界

自動車は複雑な形状をした物体であるため計算に組み込むのは容易ではない。そこで本研究では、自動車の形状を表す3次元配列 $IFL(x,y,z)$ を用意する。自動車の内部=0、流体部分=1として配列 $IFL(x,y,z)$ に入力しておく。

計算を進める際、最初は自動車がないと仮定してすべての格子の流れを計算する。そうして得られた速度に先述の0,1の値をもつ配列 $IFL(x,y,z)$ をかけあわせる。その結果、流体部分はそのままの値で自動車内部の速度は0になる。

5 計算結果と考察

自動車が走行する以下の4つのケースについて解析を行った。

Case1:自動車1台の通常走行

格子数は走行方向に98、横断方向に52、高さ方向に38とした。

このとき、ボンネット部の熱は自動車に沿って後部に流れ、マフラー部の熱も後ろに流されていくのが分かる。また自動車後部の流れ場の様子を見ると、左右に二つの渦を観測することができる。

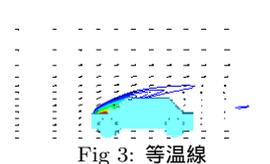


Fig 3: 等温線

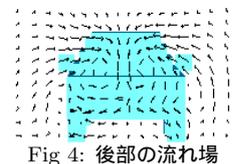


Fig 4: 後部の流れ場

Case2:トンネル内の自動車2台の走行

格子数は走行方向に196、横断方向に52、高さ方向に38とし2台が同じ速度で走行しているとした。

まずトンネルがなかった場合の流れ場と温度変化の様子の調べた。ただし、格子数などの条件はトンネルがある場合と同じであったとした。

トンネルがない場合、後ろのボンネット部の熱が大きく後ろに流されることが分かる。

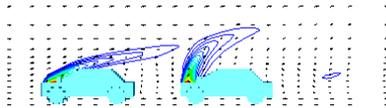


Fig 5: 流れ場と温度変化

次にトンネルがある場合については、トンネルがない場合と比べると、前の自動車のボンネット部の熱は若干ではあるが後ろに流されにくくなっている。後ろの自動車のボンネット部の熱は、いったん上昇してからトンネルの上部に流れを妨げられながら後方に流れる。また、後ろの自動車の後部の流れ場では Case1 と同じく左右に渦ができていることが分かるが、その流れは Case1 より複雑化する。

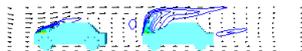


Fig 6: 流れ場と温度変化

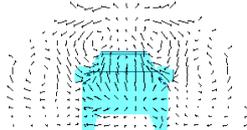


Fig 7: 後部の流れ場

Case3: 二車線道路での自動車複数台の走行

格子数は走行方向に 196, 横断方向に 83, 高さ方向 38 とした。同車線に走行する自動車は同じ速度で走行するが、隣同士の自動車の速度は 1:2 になるようにして、片側車線の自動車が追い越すようにした。

Fig 8, Fig 9 は地表面に平行な面における速度ベクトルと等圧線の図である。Fig 8 はルーフ付近の様子で、Fig 9 はタイヤ付近の様子である。Case3 では自動車の外から見ている状態であるので、自動車がまわりの空気を押ししているようになっていることが分かる。

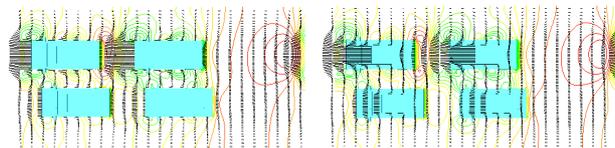


Fig 8: 速度ベクトルと等圧線 (ルーフ付近) Fig 9: 速度ベクトルと等圧線 (タイヤ付近)

Case4: 自動車のすれ違い走行

格子数は走行方向に 246, 横断方向に 93, 高さ方向 38 とした。

Fig 10 から Fig 13 は、地表面に平行な面における速度ベクトルと等圧線の図で、すれ違う自動車間の距離を変えている。Fig 10 と Fig 12 は距離が長いときのもので、Fig 11 と Fig 13 は狭くしたものである。

ルーフ付近ではあまり分らなかったが、タイヤ付近の等圧線の様子を見ると、すれ違う瞬間に自動車間の圧力が低くなり、引き合っていることが分かった。

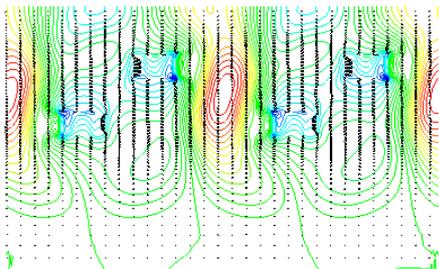


Fig 10: 速度ベクトルと等圧線 (ルーフ付近)

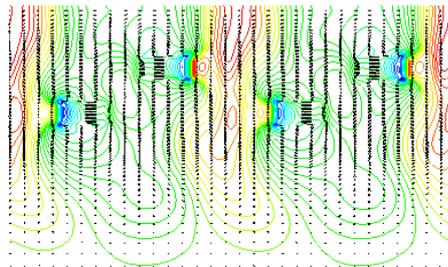


Fig 11: 速度ベクトルと等圧線 (ルーフ付近)

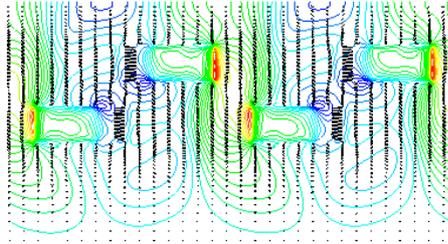


Fig 12: 速度ベクトルと等圧線 (タイヤ付近)

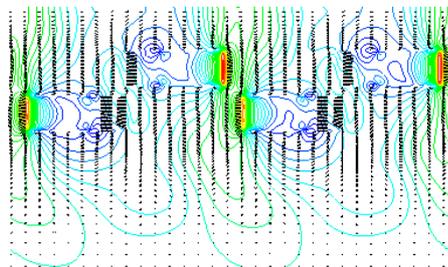


Fig 13: 速度ベクトルと等圧線 (タイヤ付近)

6 まとめ

本研究では、同じ方向に一定の速度で走行する一般的な普通乗用車を、1台、2台、...と複数台に増やしてそのまわりの流れを数値的に解析するとともに、トンネルの影響や逆向き走行の場合についても調べた。自動車が複数台になることでまわりの流れに影響を及ぼすことが分かったが、速度によってそのまわりの流れはより複雑化した。

7 今後の課題

今後の課題として、自動車に沿った曲線格子を使うことや乱流の効果も考慮してレイノルズ数を大きくした計算を行う等、より現実に近い条件で精度の良い計算をすることがあげられる。

参考文献

- [1] 河村哲也: "流体解析 I", 朝倉書店, 1996
- [2] 江崎朝子: "排気ガスを考慮した自動車まわりの流れの解析", お茶の水女子大学卒業研究発表会要旨集, 2005, pp56-57
- [3] 炭谷圭二ほか: "自動車と流体力学: 車体周りの流れと空力特性", ながれ, 23, 2004, pp445-454
- [4] 小林信雄ほか: "自動車の環境対応と熱・流体課題", Thermal Science & Engineering, 2007, Vol.15 No.2