

走行中の複数台の自動車まわりの流れ

Numerical Study of Flow around Moving Cars

池田佳奈子*, 河村哲也

お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科

Kanako IKEDA and Tetuya KAWAMURA

Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

1 はじめに

19 世紀に発明された自動車は 20 世紀に新しい時代が始まろうとする時期を迎え、移動タイミングの自由度やドア TO ドアの利便性から個人の移動手段として人々に広く受け入れられ、供給燃料の安定確保、道路整備と相まって広く普及した。しかしその反面、大気汚染、交通事故、最近では石油資源枯渇危機、CO₂ 増加による地球温暖化等、負の問題を生み出したことも否めない。持続発展可能な社会を実現するには自動車の環境対応は欠くことができない。

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。そして環境問題だけではなく、健康への悪影響をも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。

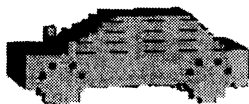


Fig.1 : 自動車の格子立体

*E-mail : ikeda.kanako@is.ocha.ac.jp

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た。

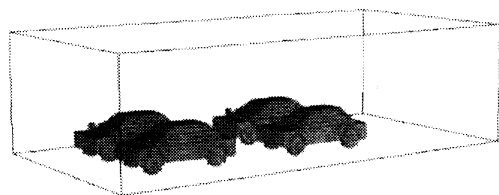


Fig.2 : 計算領域

Case1 と Case2 の自動車の状態はボンネット部に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の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た。また Case1 と Case2 とは計算方法を変えて、自動車自体が動いていると考えた。

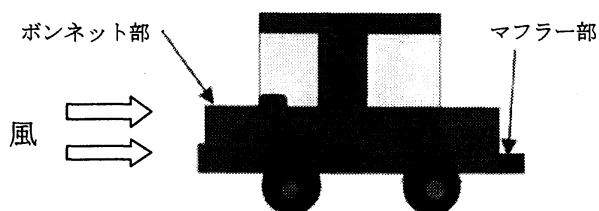


Fig.3 : Case1, Case2

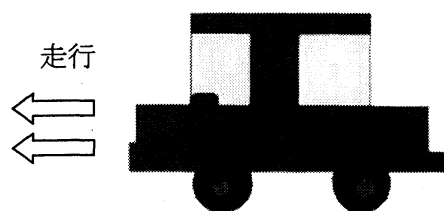


Fig.4 : Case3, Case4

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 では流れ方向に不等間隔格子を用いる。一方 Case3 と Case4 では Case1、Case2 とは計算方法を変えているため、図のように流れ方向に等間隔格子を用いた。

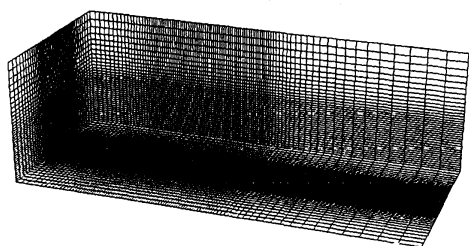


Fig.5 : Case1, Case2 格子生成

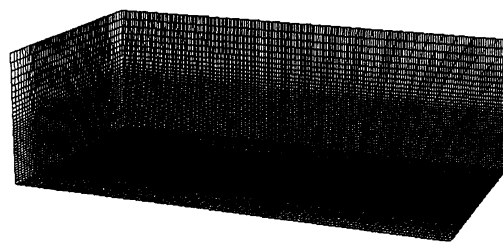
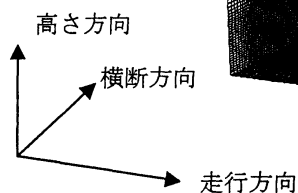


Fig.6 : Case3, Case4 格子生成

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。

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

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

また熱を扱うため、熱に関する方程式 (3) も用いた。

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

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

ここで V : 速度ベクトル、 T : 温度、 p : 圧力、 t : 時間、 Re : レイノルズ数、 Pr : プラントル数、 Gr : グラスホフ数である。プラントル数 Pr 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ので0.71とする。レイノルズ数 Re は、本研究では乱流の効果も考慮して2000とした。これらの式の解法として、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、 $IFL(x,y,z)$ を掛け合わせる。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。

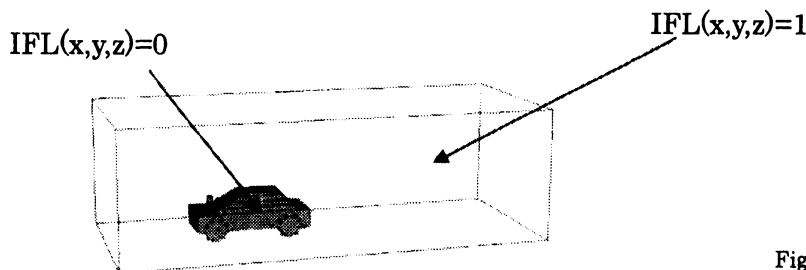


Fig.7: 自動車の判別

5 計算結果と考察

自動車が走行する以下の4つの環境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。

ここで自動車の長さを1としたとき、走行方向の長さは4、自動車の幅を1としたとき、横断方向は3.5、自動車の高さを1としたとき、高さ方向は3の大きさの領域を考えた。

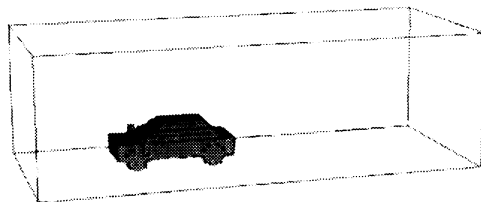


Fig.8: 計算領域

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れていくのがわかる。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。

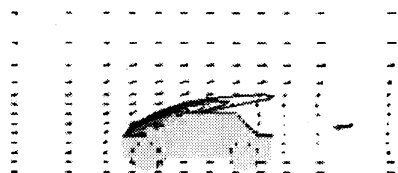


Fig.10 : 後部の流れ場

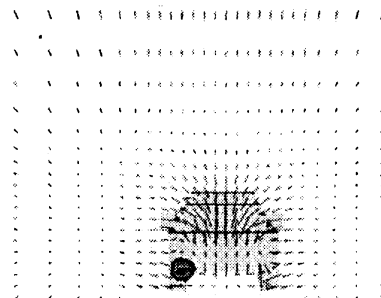


Fig.9 : 等温線

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。

ここで自動車の長さを 1 としたとき走行方向の長さは 6、自動車の幅を 1 としたとき横断方向は 3.5、自動車の高さを 1 としたとき高さ方向は 3 の大きさの領域、またトンネルの大きさは、自動車の高さを 1 としたときトンネルの高さは 2、自動車の幅を 1 とするとトンネルの幅は 3 とした。

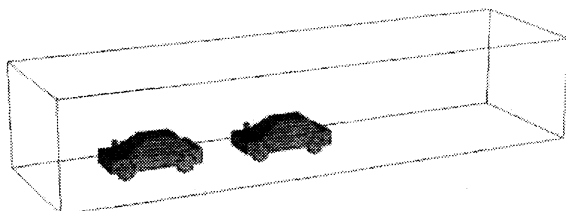


Fig.11 : 計算領域

自動車 1 台の長さ : 車間距離 $\div$ 1 : 0.5

なおトンネルは図のような大きさの半円型であるとする。

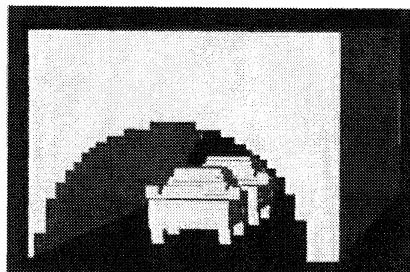


Fig.12 : トンネルの形

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を調べた。ただし格子数などの条件はトンネルがある場合と同じあるとした。

トンネルがない場合、後ろの自動車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。

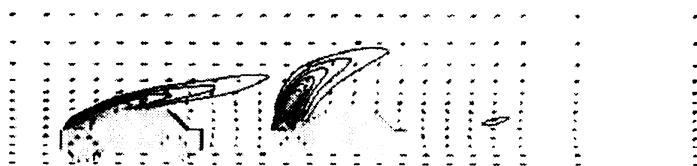


Fig.13 : 流れ場と温度変化

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に比べると、前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、左右に渦ができることがわかるが、その流れは Case1 より複雑化する。

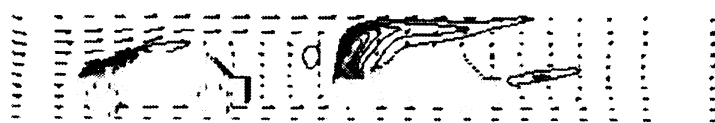


Fig.15 : 後ろの自動車の後部の流れ場



Fig.14 : 流れ場と温度変化

Case3:2 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。

ここで自動車の長さを 1 としたとき走行方向の長さは 6、自動車の幅を 1 としたとき横断方向は 4.5、自動車の高さを 1 としたとき高さ方向は 3 の大きさの領域を考えた。ま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。

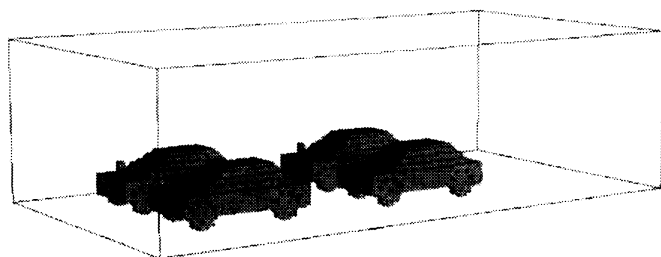
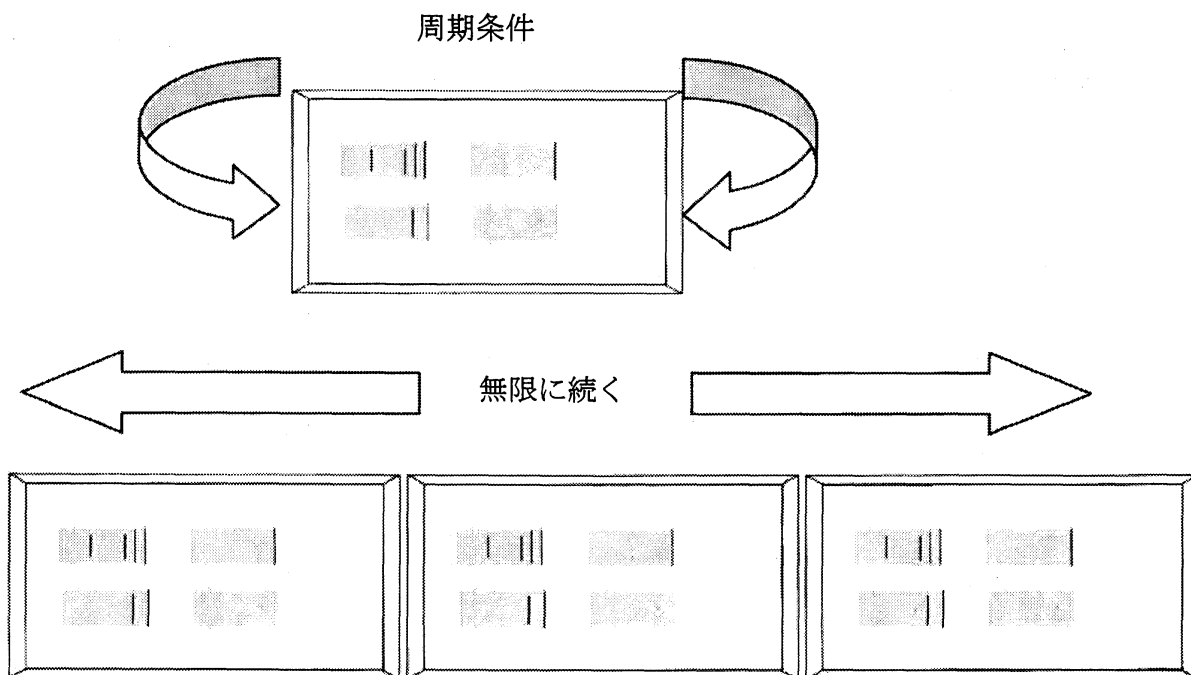


Fig.16 : 計算領域

自動車 1 台の長さ : 車間距離 $\asymp$ 1 : 0.5

自動車 1 台の幅 : 隣の自動車との距離 $\asymp$ 1 : 0.5

下図は Case3 の計算領域を上から見た図である。



Case3 と Case4 では周期条件で計算を行っている。これは一つの領域内で計算をしているが、左向きに走る自動車が領域内から出ていくと右からまた領域内に入ってくるようになっている。上図では3つの領域しかあげていないが、実際にはこれが無限に続いていることになる。

Fig.17、Fig.18 は地表面に平行な面における速度ベクトルと等圧線図である。Fig.17 はルーフ付近の様子で、Fig.18 はタイヤ付近の様子を図である。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ているようになっていることがわかる。そして、Fig.19 は2車線間において道路に垂直な面内における速度ベクトルである。複雑な流れが観察される。

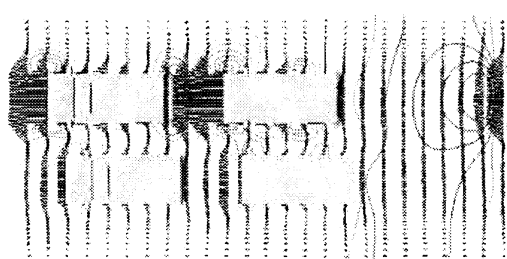


Fig.18 : 地表面に平行な面における流れ場(タイヤ付近)

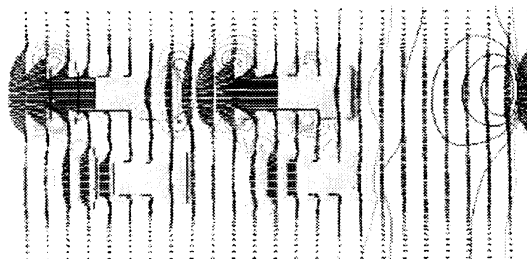


Fig.17 : 地表面に平行な面における流れ場(ルーフ付近)

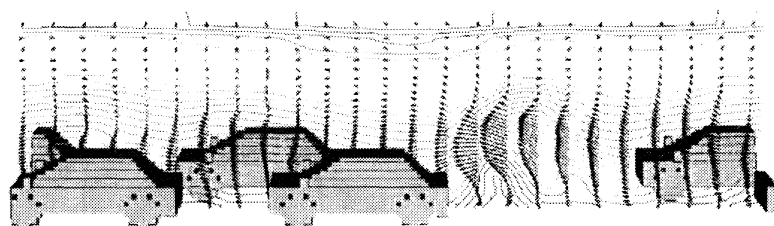


Fig.19 : 自動車間の側面の流れ場

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。

ここで自動車の長さを 1 としたとき走行方向の長さは 6、自動車の幅を 1 としたとき横断方向は 5、自動車の高さを 1 としたときの高さ方向は 3 の大きさの領域を考えた。

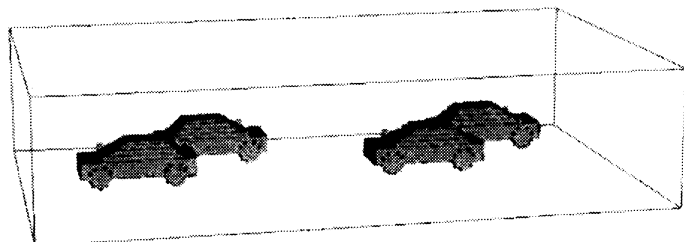


Fig.20 : 計算領域

自動車 1 台の長さ : 車間距離 $\simeq 1 : 0.5$

自動車 1 台の幅 : 隣の自動車との距離 $\simeq 1 : 0.5$

Fig.21 から Fig28 の図は、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、見ている高さや角度が違うのだが、左右の図ではすれ違う自動車間の距離を変えている。左側の図 (Fig.21, 23, 25, 27) は、距離が長いときのもので、右側の図 (Fig.22, 24, 26, 28) は距離を狭くしたものである。

ルーフ付近ではあまり分からなかったが、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。

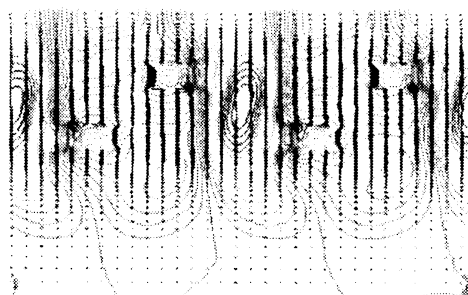


Fig.21 : 地表面に平行な面における流れ場(ルーフ付近)

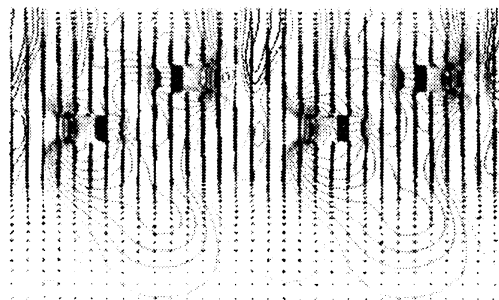


Fig.22 : 地表面に平行な面における流れ場(ルーフ付近)



Fig.23 : 地表面に平行な面における流れ場(ルーフ付近)

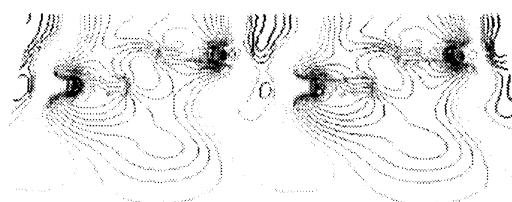


Fig.24 : 地表面に平行な面における流れ場(ルーフ付近)

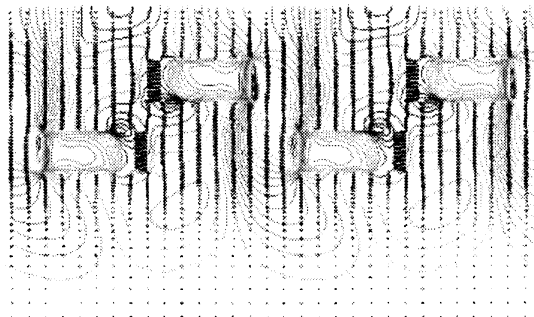


Fig.25 : 地表面に平行な面における流れ場(タイヤ付近)

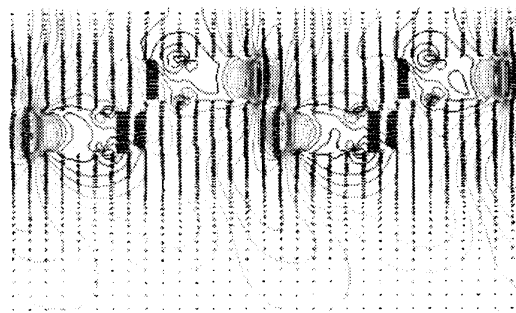


Fig.26 : 地表面に平行な面における流れ場(タイヤ付近)

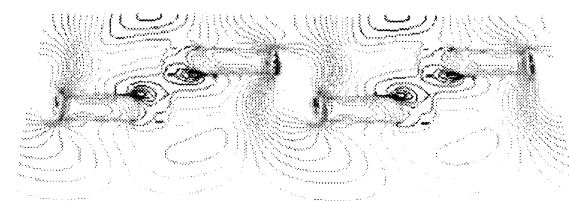


Fig.27 : 地表面に平行な面における流れ場(タイヤ付近)

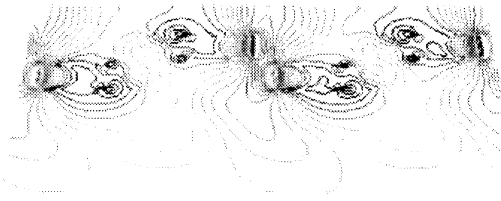


Fig.28 : 地表面に平行な面における流れ場(タイヤ付近)

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周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周りの流れに影響をおよぼすことがわかったが、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、Case3 と Case4 のときには熱は考えていないが、熱を考慮した複数台の自動車周りの流れについて解析を行うことや、車間距離や1台1台の自動車の速度を変えることなど、今回実証した以外でのいろいろな状況におけるシミュレーションを行うことがあげられる。今回は一般的な普通乗用車をモデル化しているが、ボックス型の自動車やトラックなど自動車の形状を変えることも考えられる。そして本研究では直交格子を使ったため、自動車の形状を表している曲線や斜線の部分が精度よく計算できていないので、格子の生成方法を考えて計算できるようにすることや、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い、より現実に近い条件で考えていくことも課題である。

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、pp56-57、2005

- 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”
- 4) 小林信雄ほか：“自動車の環境対応と熱・流体課題”
- 5) 小林敏雄：“自動車産業における流体力学的問題”