

研究種目：基盤研究(A)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18206061
 研究課題名（和文）自動車・歩行者群の影響を記述するCFDモデルの開発と高密度市街地の熱空気環境解析
 研究課題名（英文）Development of CFD model for reproducing aerodynamic effects of moving automobiles and pedestrians its application to analyses on outdoor environment within high dense cities
 研究代表者
 持田 灯 (MOCHIDA AKASHI)
 東北大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：00183658

研究成果の概要：

- ① 仙台中心市街地において詳細な実測を行い、実在市街地の風環境、空気汚染、温熱環境の実態および自動車や歩行者がそれらに及ぼす影響を明らかにした。
- ② 自動車模型、歩行者模型を一面に並べた風洞実験を行い、自動車群や歩行者群の総体としての空力特性や流れ場への影響に関する基礎データを取得した。
- ③ 自動車群・歩行者群の流体力学的影响を記述する新たなCFDモデルを開発し、②の風洞実験の結果に基づきモデルを最適化した。
- ④ ③で開発したモデルを用いて、①の実測を行った街区を対象に解析を実施し、モデルの精度検証を行った。
- ⑤ 開発したモデルを用いて仙台市定禅寺通の実際の環境を解析し、自動車排ガスによる空気汚染や温熱環境改善のための方策を検討した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	20,700,000	6,210,000	26,910,000
2007年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2008年度	3,100,000	930,000	4,030,000
総計	33,400,000	10,020,000	43,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学

キーワード：建築環境・設備

1. 研究開始当初の背景

- (1) 近年、歩行者空間等のような屋外の生活空間の温熱・空気環境の悪化が大きな問題となっており、最新の数値流体力学 (Computational Fluid Dynamics : CFD) を利用した検討事例が増加していた。
- (2) 以前は地形や建物の幾何学的形状のみが計算で再現されるのが通例であったが、近年は樹木の効果を再現するための研究

が行われていた。

- (3) 市街地内の歩行者空間の環境を予測する場合、近くを走行する自動車の影響は無視し得ない場合が多いと考えられる。また、高密度の都市では、大多数の歩行者(群集)の存在それ自体も大きな影響を有する要素である。しかしながら、研究開始の段階ではこれらの影響を再現可能な解析手法は一切存在しなかった。

2. 研究の目的

- (1) 実際の市街地の歩行者レベルの空気流動、温熱環境に大きな影響を及ぼすにもかかわらず、従来の数値流体力学CFD解析では考慮されていない、自動車や歩行者（群集）の (a)空気流動への影響、(b)これに伴う熱拡散、汚染ガス拡散構造の変化等を適切に予測するための新たなCFD解析モデルを開発し、実測データと比較し、その精度を検証する。
- (2) これを用いて、実際の市街地空間の温熱環境問題や空気汚染問題の形成機構を明らかにし、高密度市街地の温熱・空気環境改善のための方策を検討する。

3. 研究の方法

- (1) 仙台市中心部の街路空間で実測を行い、風速や各種の乱流統計量、温熱環境、NO_x環境に関わるデータを取得し、自動車や歩行者が空気環境に及ぼす影響の実態を把握した。
- (2) 本研究で開発したモデルの最適化に必要なデータを得るため、自動車群・歩行者群を対象とする系統的な風洞実験を行った。
- (3) 自動車群・歩行者群のような移動する気流障害物の影響を記述する数学モデルを考案し、(2)の風洞実験結果を用いて自動車群の影響、歩行者群の影響の再現を目的とする2つのモデル(自動車群 Canopy モデル、歩行者群 Canopy モデル)を開発・最適化した。
- (4) 実測を行った街路空間を対象に解析を行い、(3)で取得した結果と比較して精度検証を行った。
- (5) 開発されたモデルを用いて、仙台市定禅寺通の温熱・空気環境改善のための方策を検討した。

4. 研究成果

4.1. 街路空間における実測による実態把握

(1) 実測概要

仙台市中心市街地内の街路(図1、図2)で実測を行った。この2つの街路では道路軸の方向や建物高さ、道路幅がほぼ一致し、街路樹配置や自動車の走行、人の歩行状況は異なっている(図2)。実測期間は2006年8月9日12:00~11日12:00の48時間。

測定項目は (a) 交通量・信号現示、(b) 人の動き分布、(c) 風向・風速、(d) 乱流エネルギー、レイノルズストレス、乱流熱 flux、(e) 気温・相対湿度・グローブ温度、(f) 表面温度、(g) 長短波放射量、(h) NO_x 濃度である。

測定に用いた機器は 3次元超音波風速計(c,d)、温湿度センサ付データロガー・二重通風管・グローブ球(e)、熱電対・サーモカメラ(f)、長短波放射収支計(g)、微量濃度ガス分析器(APNA-370/HORIBA STEC)(h)等(図3)。

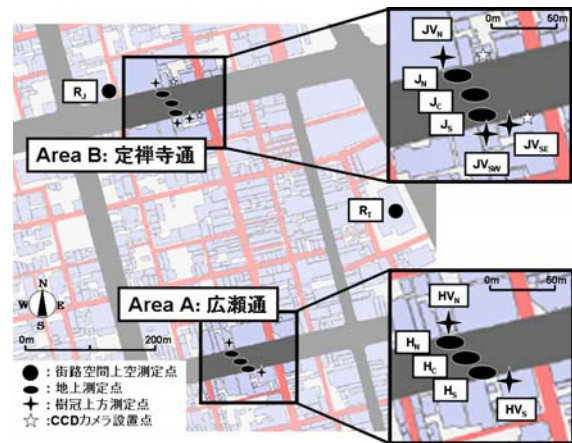


図1 実測領域と測定点分布



(1)Area A:広瀬通

(2)area B:定禅寺通

図2 実測領域の様子



(1)交通量計測

(2)熱画像撮影

図3 実測風景

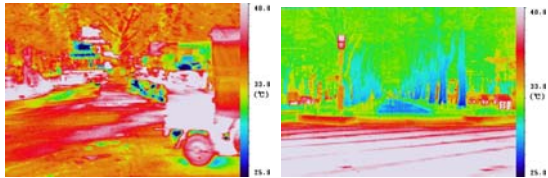
(2) 実測結果概要

図4にサーモカメラによる熱画像の比較を示す。自動車走行が多く街路樹がまばらなArea Aの方が表面温度が高く、温熱環境はより劣悪なものとなっている。

図5にNO_x濃度の比較を示す。当然のことであるが、NO_x濃度は自動車走行台数が増加するにつれ多くの測定点において上昇している。次に、2箇所の街路(Area A, Area B)を比較すると、街路樹の多いArea B(図5中の■)でNO_x濃度の上昇傾向がより顕著であった。

スペースの関係上詳細は記さないが、このNO_x濃度分布は風速や乱流エネルギーにより主として決定される。そして、自動車走行はこれらに顕著な影響を及ぼす。図6(1)は測定点付近の信号の色別による自動車走行方向の風速の比較を示している。青信号時と赤信号時を合わせた平均値に比べて、青信号時のみの平均値の方が風速絶対値は増加している。また、図6(2)に示す乱流エネルギーも、青信号時のみの平均値の方がやや値が大きく、自動車走行により乱流混合が促進される傾向が明確に現れている。

以上から、CFD による市街地環境予測に自動車走行の流体力学的影響を組み込むことの重要性が確認された。歩行者の影響は自動車程明確ではなかったが、コンサート終了時のコンサートホール付近等において、歩行者群の影響を確認することができた。



(1)Area A: 広瀬通 (2)Area B: 定禅寺通
図 4 熱画像(8月10日14:00)

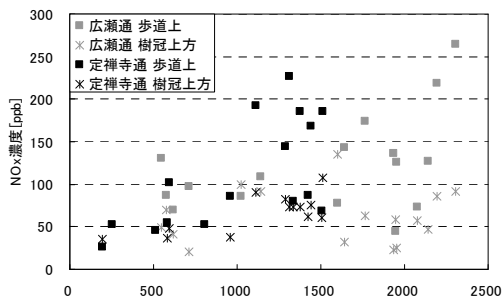
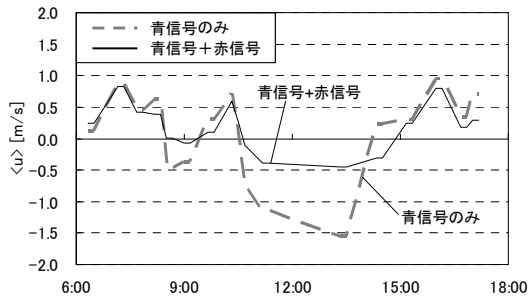
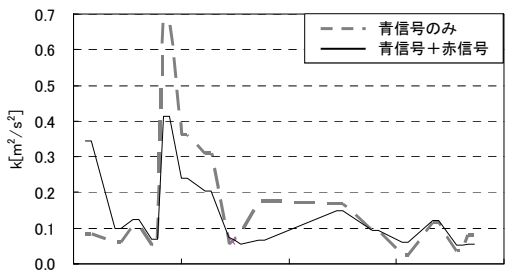


図 5 風下側測定点における自動車走行台数と NO_x 濃度の比較



(1)風速<u>の経時変化(10日)



(2)乱流エネルギーkの経時変化(10日)
図 6 測定点付近の信号表示別による比較

4.2. 自動車群・歩行者群の模型を対象とした風洞実験

(1)風洞実験概要

九州大学総合理工学研究院の風洞装置(図7)を用いて、自動車群・歩行者群の空力特性に関する測定を行った。

風洞装置の概要を図8に示す。fetch部分で風速プロファイルを調整し、その風下側に千

鳥状に模型を配置した。図8に示すように、測定部の中央のfloat部は水槽上に浮かぶ構造となっており、float部全体に加わる抗力を歪みゲージで測定した。同時に風速や乱流速の鉛直分布の測定も行っている。

実験に用いた模型は、自動車の形状を簡単に現したブロック模型(図9①)、実際の自動車に近い形状のミニカー模型(図9②)、人体の形状を細かく再現した人体模型(図9③)の3種で、各々について模型の配置密度を段階的に変化させ、計12ケースの測定を行った。

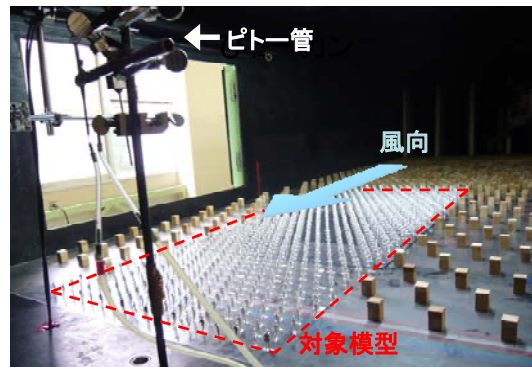


図 7 風洞装置内部の様子

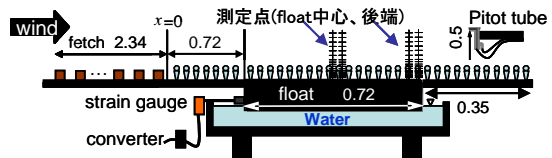


図 8 風洞装置概要(九州大学)[単位: m]



①ブロック模型 ②ミニカー模型 ③人体模型
図 9 風洞実験に用いた模型[単位: mm]

(2)風洞実験結果概要

①抗力係数 C_d

実験結果から得られた抗力係数を図10に示す。ブロック模型に対しミニカー模型の抗力は2割程度低く、模型密度が20~30%あたりでピークを迎えた。これに対し、人体模型はかなり低い模型密度だが抗力は高く、ピーク時の抗力は自動車ブロック模型の2倍近くである。

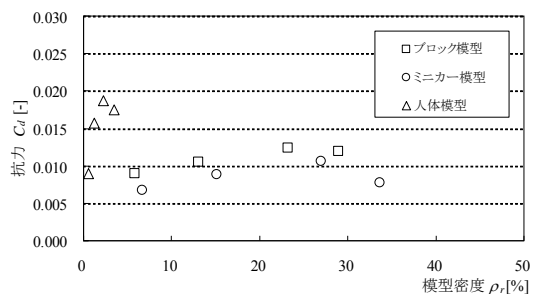
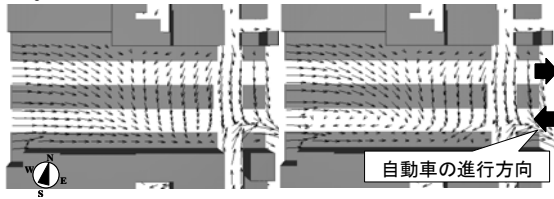


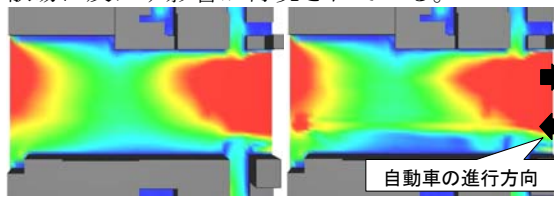
図 10 各模型における抗力 C_d

果との対応が改善されたことを確認している。



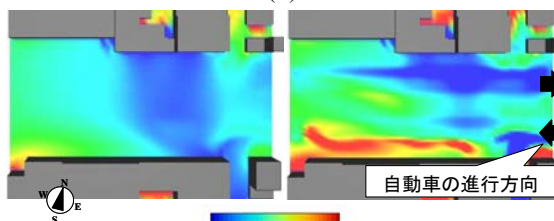
(1)Case0(自動車なし) (2)Case1(自動車あり)
図 13 風速ベクトルの水平分布 (11 日 12:00, h=1.2m)

次に、両ケースの乱流エネルギーの水平分布を図 14 に示す。自動車のある Case 1 (図 14(2)) は、自動車のない Case 0 (図 14(1)) と比較すると、自動車の走行方向に沿って風速が逆向きになった南側車道付近において k の分布が変化しており、自動車走行が乱流拡散場に及ぼす影響が再現されている。



(1)Case0(自動車なし) (2)Case1(自動車あり)
図 14 乱流エネルギーの水平分布
(11 日 12:00, h=1.2m)

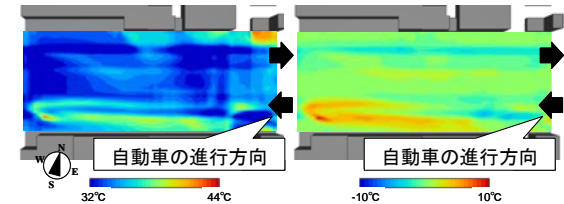
図 15 は気温分布の比較である。自動車のある Case 1 (図 15(2)) では、自動車のない Case 0 (図 15(1)) に比べ、自動車走行に伴って気温分布が大きく変化しており、特に、元々の風向と自動車の走行方向が逆向きになっている南側において高温域が見られる。これは、自動車排熱と、自動車走行の影響による風速の低下(図 13(2)参照)が原因である。



(1)Case0(自動車なし) (2)Case1(自動車あり)
図 15 気温の水平分布 (11 日 12:00, h=1.2m)

新標準有効温度 SET*の比較を図 16 に示す。図 16(1)に自動車 Canopy モデルを組み込んだ Case 1 の SET*を、図 16(2)に自動車の有無による SET*の変化量の分布を示す。図 16(1)をみると、Case 1(自動車あり)の場合は南側の建物付近において SET*の高い領域が存在している。図 16(2)に示す自動車の有無による SET*の変化の傾向は地点によって異なっており、地点によっては、最大で 5°C 程度の低下、10°C 程度の上昇が見られた。上昇してい

る地点が多いのは、自動車排熱に伴う気温上昇の影響によるものと考えられ、さらに南側で大きく上昇している原因は自動車走行に伴う風速低下であると思われる。



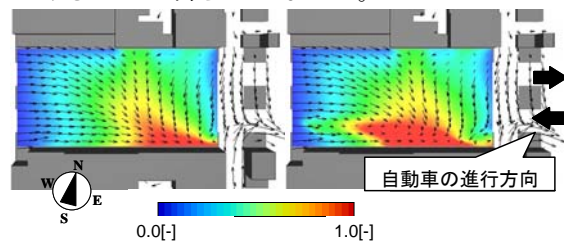
(1) Case1(自動車あり) (2)自動車の有無による変化
(自動車あり-自動車なし)

図 16 SET*分布の水平断面 (11 日 12:00, h=1.2m)

(4) 実測対象空間の環境改善方策の検討

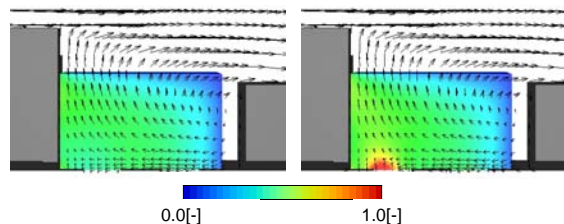
実測対象空間の AreaB(図 4(2))では、NOx の濃度が高くなっていることが明らかとなった(図 5)ので、換気効率指標 SVE3 を用いた市街地の中の空気齢の分析を行い、対象街路空間の換気性能を改善するための方策を検討した。

図 17 に SVE3 と風速ベクトルの水平分布の比較を示す。自動車走行のある Case 1 (図 17(2)) のほうが全体的に SVE3 が高く、自動車によって空気環境が悪化しているといえる。図 18 は鉛直分布の比較である。こちらも自動車の有無によって差が生じている。スペースの関係で結果は示さないが、Case 1 の結果を基に、AreaB の街路空間の空気汚染の要因を分析した結果、建物間の循環流によって上空から流入する新鮮空気量を増加させることが効果的であり、そのためには、AreaB の上空を覆う街路樹の部分的剪定が効果的であることが明らかとなった。



(1)Case0(自動車なし) (2)Case1(自動車あり)

図 17 SVE3 と風速ベクトルの水平分布
(11 日 12:00, h=1.2m)



(1)Case0(自動車なし) (2)Case1(自動車あり)

図 18 SVE3 と風速ベクトルの鉛直分布 (11 日 12:00)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 白澤多一、遠藤芳信、義江龍一郎、持田灯、田中英之、高層建物後流弱風域におけるガス拡散性状に関するLESとDurbin型k-εモデルの比較, 2008, 日本建築学会環境系論文集、第73巻、第627号、pp.615-622, 査読あり
- ② A. Mochida, Y. Tabata, T. Iwata, H. Yoshino, Examining tree canopy models for CFD prediction of wind environment at pedestrian level, 2008, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.96, pp.1667-1677, 査読あり
- ③ A. Mochida, I. Y.F.Lun, Prediction of wind environment and thermal comfort at pedestrian level in urban area, 2008, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.96, pp.1498-1527, 査読あり

[学会発表] (計 21 件)

- ① A. Mochida, Modeling of aerodynamic effects of moving automobiles for CFD prediction of turbulent flow in urban area, 2008.10.7, in Freiburg(German), The 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology
- ② A.Kikuchi, Field measurement and CFD analysis on thermal environment and ventilation efficiency in street canyons to investigate the influence of roadside trees, moving automobiles and building arrangements, 2008.10.7, in Freiburg(German), The 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology
- ③ A. Mochida, Development of CFD Model for Reproducing Aerodynamic Effects of Moving Automobiles in Street Canyon, 2008.5.30, in Jeju Island(Korea), the 4th International Conference on Advances in Wind and Structures
- ④ A. Kikuchi, FIELD STUDY OF THE INFLUENCES OF ROADSIDE TREES AND MOVING AUTOMOBILES ON TURBULENT DIFFUSION OF AIR POLLUTANTS AND THERMAL ENVIRONMENT IN URBAN STREET CANYONS, 2007.10.30, in Sendai(Japan) The 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings
- ⑤ 田畑侑一, 自動車走行が市街地環境に及ぼす流体力学的影響を記述する CFD サブモデルの開発, 2006.11.29, in Tokyo(Japan), 第19回 風工学シンポジウム
- ⑥ Naoko Hataya, Development of the simulation method for thermal environment and pollutant diffusion in street canyons with subgrid scale

obstacles, 2006.7.18, in Yokohama (Japan), The Fourth International Symposium on Computational Wind Engineering

- ⑦ Naoko Hataya, CFD Analyses on Outdoor Thermal Environment and Air Pollutant Diffusion in Street Canyons under the Influences of Moving Automobiles, 2006.6.13, in Göteborg(Sweden), 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE

[その他]

ホームページ

<http://www.archi.tohoku.ac.jp/labs-pages/kankyo/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

持田 灯(MOCHIDA AKASHI)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00183658

(2) 研究分担者

丸山 敬(MARUYAMA TAKASHI)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号: 00190570

(3) 連携研究者

吉野 博(YOSHINO HIROSHI)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30092373
富永 禎秀(TOMINAGA SADAHIDE)
新潟工科大学・工学部・教授
研究者番号: 00278079
植松 康(UEMATSU YASUSHI)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 60151833
佐々木 澄(SASAKI KIYOSHI)
清水建設株式会社技術研究所・施設基盤技術センター・研究員
研究者番号: 50416814
境田 清隆(SAKAIDA KIYOTAKA)
東北大学・大学院環境科学研究科・教授
研究者番号: 10133927
渡辺 浩文(WATANABE HIRONORI)
東北工業大学・工学部・教授
研究者番号: 60247236
武山 泰(TAKEYAMA YASUSHI)
八戸工業大学・工学部・教授
研究者番号: 20207012
小野田 泰明(ONODA YASUAKI)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00185654