

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 15 日現在

機関番号：82641

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23710199

研究課題名（和文） 都市上空の組織的乱流構造が都市内のガス拡散に及ぼす影響

研究課題名（英文） Effects of turbulent organized structures on gas dispersion in a urban area.

研究代表者

道岡 武信（TAKENOBU MICHIOKA）

一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員

研究者番号：20371370

研究成果の概要（和文）：大気安定度が中立、安定、不安定の条件下において、都市キャニオンからのガス放出メカニズムをラージ・エディ・シミュレーションにより検討した。その結果、都市キャニオン上空で発達する組織的な低速流体塊の大きさとガス放出には非常に強い相関があることがわかった。また、大気安定度にかかわらず、その低速流体塊が持ち上げられるイジェクションと呼ばれる乱流運動により、キャニオン内のガスは上空に放出されることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Large-eddy simulations were conducted to investigate mechanism of pollutant gas removal from urban canyons under neutral, stable and unstable thermal stratification. The result shows that the gas removal from the canyon is strongly related to the size of the low-momentum fluid, defined as a region in the flow where instantaneous streamwise velocity is lower than the local mean velocity. Irrespective of the thermal stratification, the ejection which transports low-momentum fluid upward has influence on pollutant removal from the canyon.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：都市防災、ガス拡散、乱流構造、風洞実験、数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

自動車、分散型電源、換気設備などの地表面付近の汚染源から排出される大気汚染物質は、都市キャニオン内外の乱流の影響を受けキャニオン上空に放出される。この放出メカニズムを解明することは、居住空間周辺における大気質改善策を検討する上で非常に重要である。都市キャニオン内のガス拡散を対象として、数値シミュレーション、風洞実験、野外観測が行われているが、汚染物質（ガス）の放出メカニズムには未だ不明な点が多い。

キャニオン上空には大規模で組織的な乱流構造が存在することが明らかになってきており、この乱流構造はキャニオン内のガス拡散に影響を与える可能性がある。しかしながら、既存研究ではキャニオン上空の組織的な乱流構造がキャニオンからのガス放出に及ぼす影響は明らかにされていない。近年、Michioka et al. (Boundary -layer Meteorology 2011) は、規則的な 2 次元キャニオンの気流・拡散場を対象に、ラージ・エディ・シミュレーション (LES) を実行し、上空の組織的な乱流構造がキャニオン内から

外へのガス放出メカニズムに非常に影響があることを明らかにした。よって、対象とするキャニオン風上側の組織的な乱流構造が異なれば、キャニオン内からのガス放出挙動も変化する可能性があるが、その詳細なガス放出メカニズムは明らかにされていない。また、大気安定度が安定・不安定時におけるガス放出メカニズムはほとんどわかっていない。

2. 研究の目的

本研究では、既存の知見をさらに発展させ、都市上空の組織的な乱流構造の違いがキャニオン内からのガス放出に及ぼす影響を解明する。また、大気安定度が安定もしくは不安定の場合の都市上空の乱流構造の変化、およびそれがガス拡散に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 中立温度成層条件

中立温度成層条件下において、上空の乱流構造がガス拡散に及ぼす影響の検討は、ラージ・エディ・シミュレーションを適用して行った。対象とした都市キャニオンは2次元のストリートキャニオンであり、対象のキャニオン上空に異なる乱流構造を形成させるために、図1に示すように、風上・風下側のキャニオン形状を変化させた。計算領域の大きさはすべてのCaseで同じであり、主流、主流直角および鉛直方向に、 $20H \times 12H \times 6H$ とし、計算格子数を $800 \times 480 \times 110$ 個とした。全てのCaseにおいて、対象とするキャニオンは、計算領域の主流方向中央部にあるブロック高さ・幅 $H(=0.12\text{m})$ で、建物の主流直角方向長さが L_y で、建物に挟まれたキャニオン幅 W は H の2次元のキャニオンである。汚染物質を模擬したトレーサガスは、図1の赤線で示すように、キャニオン床面の中央位置から主流直角方向に一樣な線源として放出された。Case 1では、対象のキャニオンの風上・風下側に同じ寸法のブロックをキャニオン幅 $W=H$ で配置する。Case 2では、対象とするキャニオン以外のキャニオン幅 W は $2H$ であり、ブロックの本数は風上側に2本、風下側に3本である。Case 3では、対象とするキャニオン以外は、ブロック幅 H の立方体ブロックであり、建蔽率 25%で配置する。なお、本解析では、主流方向に周期境界条件を適用したため、対象としたキャニオン風上・風下側に、Case 2では $W=2H$ の2次元キャニオンが5つ、Case 3では、 $W=H$ の3次元キャニオンが8つ存在する。このようなブロック配置により、後述するように上空の組織的な乱流構造の大きさが異なる流れ場を形成することができた。

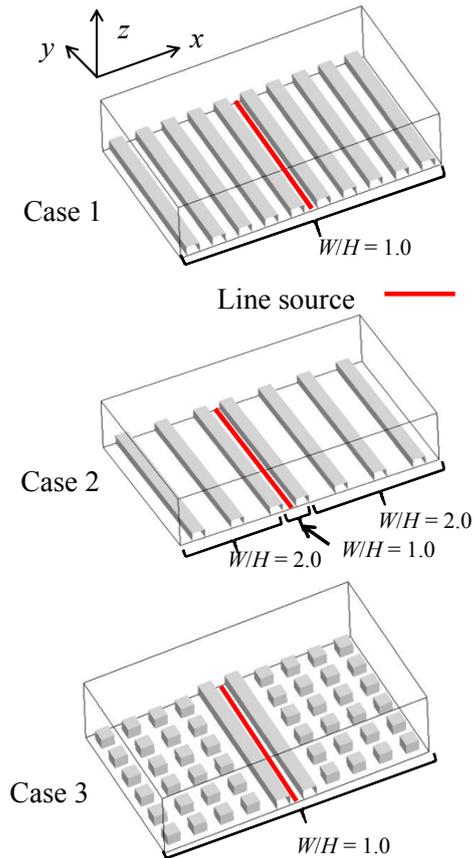


図1 計算領域の概略図

(2) 大気安定度の影響

大気安定度が安定もしくは不安定の場合の都市上空の乱流構造の変化およびそれがガス拡散に及ぼす影響を、風洞実験およびラージ・エディ・シミュレーションより検討した。風洞実験では、粒子画像流速計(PIV)により、大気安定度による都市上空の乱流構造の違いを検討した。その後、ラージ・エディ・シミュレーションにより、都市上空の乱流構造とガス放出挙動の関係を検討した。

風洞実験は、一般財団法人電力中央研究所の温度成層風洞を使用し、中立、安定、不安定の気流性状を作成した。流れ場は2次元レーザー流速計もしくはPIV、温度場はI型の冷線温度計、濃度場は高応答の全炭化水素分析計(HTHCA-01)で計測した。図2に風洞断面図を示す。シーディングには、LDV およびPIV計測のためにオイルミストを使用し、平均化時間は180秒とした。冷線温度計と高応答全炭化水素分析計はLDVのバースト信号と同期させてサンプリングする。ラフネスは、50mmのアルミのL型アングル2個を288mm間隔で設置し、そのすぐ後方に35mm角のアルミのブロックを整形配列35mm間隔で104列設置した。

大気安定度の影響を検討するために、温度の境界条件を変えた3ケースの風洞実験を行った。Case N-WT は、気流温度および床面温度を 20°C の一定とした中立成層条件、Case S-WT は床面温度を 15°C に、気流温度を 60°C に設定した安定成層条件、Case U-WT は床面温度を 70°C、気流温度を 20°C に設定した不安定成層条件である。パイプヒータで気流温度を、電気ヒータ/冷水放射パネルで床面温度をそれぞれ制御した。さらに、風洞外部からの熱の影響を避けるため、風洞のガラス面にはスチレンボードを設置し、アクリル板を風洞内部の両サイドに設置した。

ラージ・エディ・シミュレーションで用いた計算領域およびブロックの配置は図1に示す Case 1 と同じである。大気安定度の影響を検討するために、温度の境界条件を変えた3ケースの計算を行った。Case N は、床面・ブロック表面温度 (T_w) および上空境界面温度 (T_{top}) をいずれも 26°C の一定とした中立成層条件、Case S は T_w を 25°C に、 T_{top} を 50°C に設定した安定成層条件、Case U は T_w を 55°C、 T_{top} を 0°C に設定した不安定成層条件である。

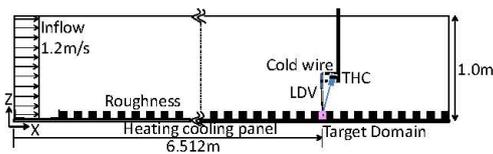


図2 風洞実験の概略図

4. 研究成果

(1) 中立温度成層条件

中立温度条件下で行った Case 1~3 (図1) における $z/H=1.1$ での低速流体の瞬間分布を図3に示す。図中の灰色は速度変動 (u) が負の領域であり、破線はガスが放出されている対象のキャニオンを表す。キャニオンの屋根面近傍 ($z/H=1.1$) では、灰色で示す低速流体塊 ($u < 0.0$) が組織的なストリーク状の構造を形成することがわかる。また、ガスが排出されたキャニオン上で、この低速流体塊と瞬間の高濃度 (図中の赤色) 分布とはよく対応する。よって、いずれのケースでも、低速流体塊がキャニオン内からのガス放出に寄与することがわかる。また、Case 1~Case 3 の順に低速流体塊の組織的な構造が大きくなり、その幅が大きくなるほど、キャニオン内のガスが多く放出される。つまり、屋根面近傍で形成される低速流体塊はキャニオン内のガス放出に寄与しており、その組織的な構造の大きさに比例してキャニオンからのガス放出量が多くなる。

また、図を省略するが、種々の3次元のス

トリートキャニオンを対象としてラージ・エディ・シミュレーション結果からも、キャニオン内からのガス放出は、建物屋根面近傍で生成される低速流体塊が強く影響することがわかった。

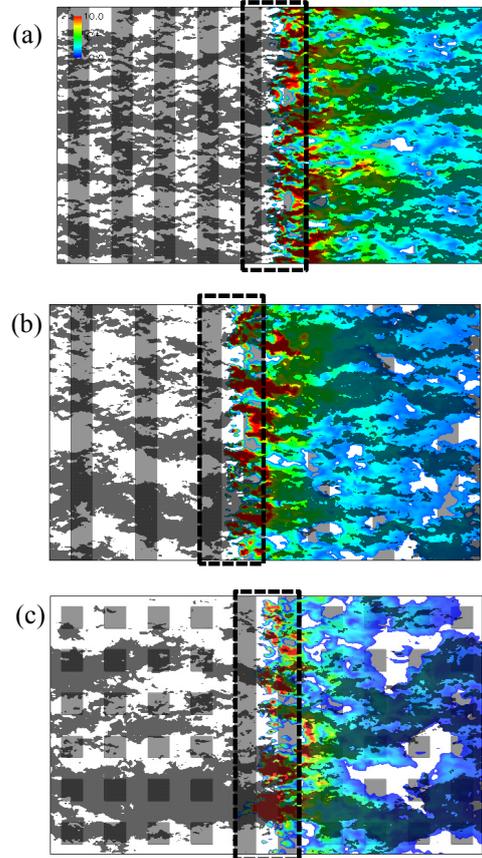


図3 低速流体塊とガス濃度の瞬間分布

(a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3.

(2) 大気安定度の影響

3次元の立方体が規則的に配列されている理想的な都市キャニオンを対象とし、風洞実験において、安定・中立・不安定温度成層条件下の流れ場の計測を行った。その結果、安定・中立・不安定の順番に、都市上空の乱流の組織構造は大きくなり、キャニオン内の濃度は減少することがわかった。このことは、温度成層条件下においても、上空乱流構造がキャニオン内からガス放出に影響を与えていることを示唆している。

ラージ・エディ・シミュレーションにより得られた $z/H=1.1$ での低速流体の瞬間分布およびトレーサガス濃度分布を図4に示す。図中の黒色は $u < 0$ の領域を表し、破線はガスが放出されているキャニオンを表す。また、薄い灰色はブロック位置である。大気安定度の違いにより、ブロック上面近傍での低速流体

塊の構造に違いが見られ、風洞実験でPIVにより可視化された乱流構造に類似している。特に、大気安定度が不安定の際には、組織的乱流構造が非常に大きくなる。ガスが放出されているキャニオン上空(破線内)において、低速流体塊(黒色)と、トレーサガスの濃度が高い領域(赤色)とは良い一致を示すことがわかる。つまり、大気安定度にかかわらず、この組織的な乱流構造が対象とするキャニオン上空に現れたときに、キャニオン内のガスが上空に放出されることが明らかになった。

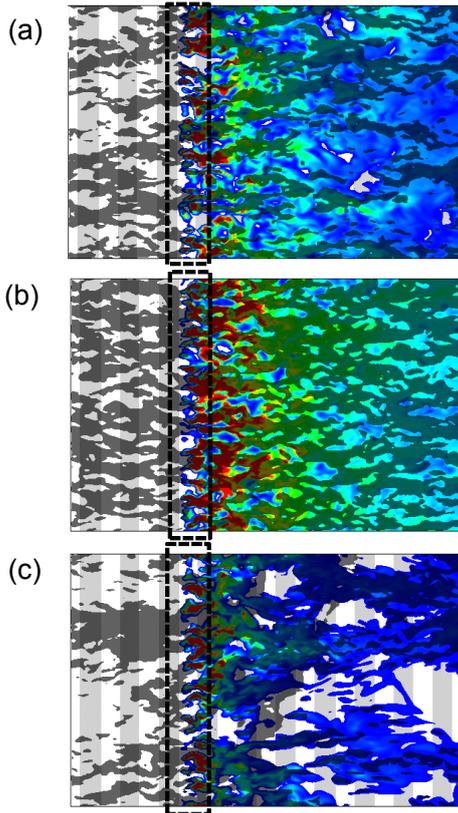


図4 低速流体塊とガス濃度の瞬間分布
(a) Case N(中立), (b) Case S(安定), (c) Case U(不安定).

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2件)

- ① 道岡武信、佐藤歩、都市キャニオン内の気流・熱拡散場を対象としたラージ・エディ・シミュレーション、土木学会論文集B1(水工学)、査読有、68巻、2012、I_1795-I_1800.
- ② T. Michioka, A. Sato, Effect of Incoming Turbulent Structure on

Pollutant Removal from Two-Dimensional Street Canyon. Boundary-Layer Meteorology, 査読有, Vol. 145, 2012, pp. 469-484. DOI: 10.1007/s10546-012-9733-6

[学会発表] (計6件)

- ① 道岡武信、瀧本浩史、服部康男、佐藤歩、大気安定度が都市キャニオン内のガス拡散に及ぼす影響、第26回数値流体力学シンポジウム、2012年12月20日、国立オリンピック記念青少年総合センター
- ② 道岡武信、佐藤歩、LESによる3次元都市キャニオン内からの汚染物質放出挙動の検討、第53回大気環境学会年会、2012年9月13日、神奈川大学
- ③ T. Michioka, A. Sato, H. Takimoto, Large-eddy simulation for pollutant removal in an idealized street canyon, 8th International Conference on Urban Climates, Tuesday 7th August 2012, University College Dublin, Ireland.
- ④ 道岡武信、佐藤歩、服部康男、都市キャニオン内からのガス拡散を対象としたLES、第25回数値流体力学シンポジウム、2011年12月19日、大阪大学
- ⑤ 道岡武信、佐藤歩、CFDによる理想的な都市キャニオン内からの汚染物質放出挙動の検討、第52回大気環境学会年会、2011年9月16日、首都大学東京
- ⑥ 道岡武信、佐藤歩、集合住宅周辺の気流・熱拡散場を対象としたラージ・エディ・シミュレーション、日本流体力学会年会2011、2011年9月9日、長崎大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

道岡 武信 (MICHIOKA TAKENOBU)

一般財団法人電力中央研究所・環境科学研究所・主任研究員

研究者番号：20371370