

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5月30日現在

機関番号：12608
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760454
 研究課題名（和文） LESを用いた都市キャノピー層の瞬間速度場と物質拡散に関する研究
 研究課題名（英文） LES study of instantaneous flow structure and ventilation mechanism within an urban canopy layer
 研究代表者
 稲垣 厚至 (Inagaki Atsushi)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：80515180

研究成果の概要（和文）：

本研究では LES を用いた数値解析により、大気混合層及び都市接地境界層の発達下での都市キャノピー層の乱流特性について検討を行った。本計算によって再現された大気混合層の乱流特性として、速度分散に関して既往の平原での観測結果との相似性が見られた。大気混合層下のキャノピー層内の乱流変動の空間分布形状に関しては、個々の建物よりも十分大きな構造を形成していることが分かった。これは接地境界層で発達する筋状乱流構造の直接影響を受けているためであり、特にキャノピー内から上空への熱・運動量の輸送については建物配置よりも上空の低速ストリークの通過によって引き起こされている傾向が見られた。一方上空からキャノピー内への運動量・熱輸送に関してはより建物形状に依存し、流れ方向に沿ったストリート上で輸送が生じる傾向が見られた。

研究成果の概要（英文）：

Instantaneous flow structure within a cubical canopy was investigated using large eddy simulation (LES). It was designed to simulate the convective boundary layer with flow around the cubical roughness with preserving a similarity law for both the convective mixed layer and the surface layer. The numerical result revealed that there are very large coherent structures of both in velocity and temperature fields within the canopy layer. The size of the structures is much larger than that of the cubes. It was also found that the shapes and locations of these structures are closely related with the TOS above. The upward momentum and heat transport events were clearly related with the TOS developed in the inertial sublayer more than the roughness geometry. Meanwhile, the downward transports are not so correlated with the TOS above but more regulated by the structure of canopy.

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	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：水理学・都市気象学

1. 研究開始当初の背景

各種都市大気環境問題（ヒートアイランド、集中豪雨、光化学スモッグ等）は我々の生活環境に深刻な影響をもたらしている。その様相は、地球温暖化の進行や、近年見られる都

市建物の高層化などによって、今後さらに変化すると考えられるが、それに対応するためには、事例解析のみならず、都市大気環境形成の物理過程を明らかにすることが重要であるとする。

これに関して、これまで多くの都市現地観測、風洞実験、数値実験などが行われてきたものの、建物高さ以下の層として定義される都市キャノピー層の物理過程については、依然として不明な点が多い。それは都市幾何形状の多様性のため普遍的な議論が困難であることや、流れ場の3次元的な複雑性や強い間欠性などのため、データの取り扱いや、観測自体が困難であることなどが原因として挙げられる。しかしながら、突風災害や有毒ガスの拡散など、地表面付近で見られる間欠性の強い乱流現象が深刻な被害を及ぼすこともあり、その予測、診断のための物理過程の解明は急務である。

2. 研究の目的

LES (Large Eddy Simulation) モデルを用いた都市大気乱流の数値シミュレーションにより、これまでランダムな現象として取り扱われてきた都市キャノピー層の瞬間的な流れ場の形成過程について検討し、それを都市地表面近傍の物質拡散現象の解明に応用する。具体的な方策として、個々の建物キャビティ (建物と建物との空間) における特徴的な瞬間風速分布形状の分類と、上空の乱流組織構造がキャノピー層の流れに及ぼす影響について検討する。これらにより、キャノピー層の流れ場の本質である非定常性、間欠性に関する物理特性について検討する。

3. 研究の方法

LES を用いた数値実験により、日中の大気境界層下における、都市キャノピーの流れと物質の拡散について検討を行う。都市幾何形状を模擬した一様な立方体群周りの流れの数値解析を行い、建物キャビティにおける瞬間速度分布形状の分類手法を提案し、それと上空の乱流組織構造との対応関係について検討する。

計算条件として、大気混合層が発達できるような計算領域の大きさ (水平約 2560m×2560m、鉛直 1709.6m) と、それを地表面の個々の模擬建物 (1 辺 40m の立方体) が識別できる格子幅 (2.5m) を設定した。個々の建物は建蔽率 0.25 となるよう整列配置している。混合層を発達させるため、地表面から一様の顕熱フラックスを与えた。図 1 に計算領域の模式図を示す。

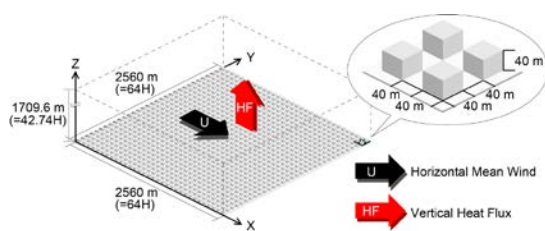


図 1 計算領域

4. 研究成果

(1) 大気境界層の乱流構造

本計算によって再現された大気混合層の乱流特性として、速度分散に関して既往の平原での観測結果との相似性が見られた。これは混合層の乱流特性が建物凹凸の影響に対して鈍いことを示しており、実都市での観測結果と合致するものである。接地境界層の乱流特性に関しては、空間フィルターを用いることで大気混合層起因の低周波成分を線形分離して検討したところ、乱流統計量に関しては既往の MOS によく従い、またその空間分布構造は低・高速のストリーク構造によって代表されることを確認した。図 2 は本研究で得られた知見をまとめた、日中の風速シアが卓越している大気境界層の概念図である。上空で発達する対流性ロール渦の下に、地表面摩擦で駆動される高・低速ストリーク構造が存在している。

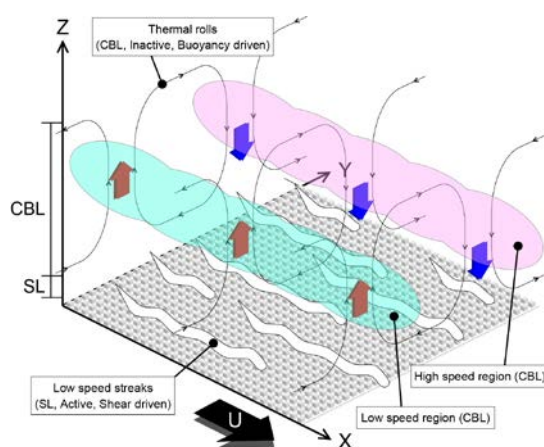


図 2 大気境界層乱流構造の概念図

(2) 大規模乱流のキャノピー層への影響

このような一般的な挙動を示す混合層及び接地境界層下での、都市キャノピー層の乱流特性について検討した。キャノピー層内の乱流変動の空間分布形状に関しては、個々の建物よりも十分大きな構造を形成していることが分かった (図 3b, c, d, e)。これは接地境界層で発達している筋状乱流構造の直接影響を受けているためである。筋状構造の低速領域の下では、主流方向風速は遅くなり、スパン方向風速は収束して筋状構造に吸い寄せられ、上昇流が卓越する。高速領域の下では主流風速が加速され、建物間のキャビティ渦が強められる。

図 4 は建物高さの水平断面における、運動量及び顕熱の交換を示した図である。筋状構造の低速領域と高速領域に沿ってそれぞれ Ejection (キャノピー内から上空への輸送) と Sweep (上空からキャノピー内への輸送) が多く発生していることが分かる。更に詳し

く見ると、Ejectionの発生する場所は比較的地表面形状に依らず筋状構造との位置関係に依存しており、一方Sweepに関しては主に主流方向と平行なストリート上で多く発生していることが確認できた。つまりキャノピー内外の運動量・スカラー交換は乱流構造及び地表面幾何形状の双方に依存することが明らかとなった。

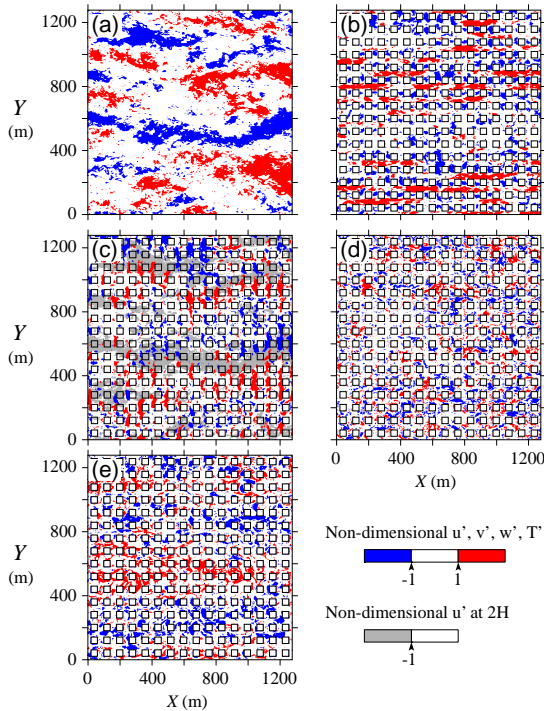


図3 各種風速及び温度の水平分布図 (a)は建物高さの2倍の高度のu, (b)~(e)は屋根面高さにおけるu, v, w, Tを示す。

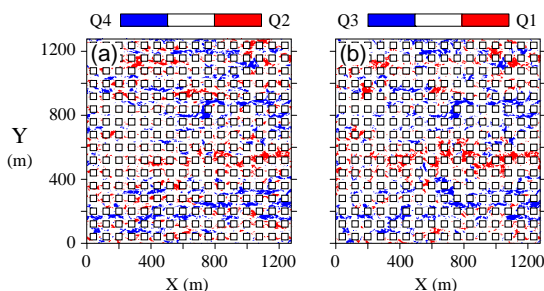


図4 上空とキャノピーの運動量・熱交換 (a)運動量フラックス、(b)顕熱フラックス

(3) 流れ場の分類

建物キャビティの瞬間的な流れ場を目視分類し、視覚的に特徴的なイベントである「フラッシング」と「キャビティ渦」を数式により定義した。フラッシングはキャビティ全体で上昇流が卓越するイベントであり、キャビティ渦はキャビティ内の強いスパン方向渦が卓越するイベントである。これらを数式表現することで、条件付きアンサンブル平均などの定量的な解析が可能となる。図5は

各イベントを条件付きアンサンブル平均したキャビティ内の風速及び温度の鉛直断面分布図である。上述したような視覚的な特徴を見て取ることができる。

これらのイベントが上空の乱流構造とどのような関係にあるか調べるために、建物高さの2倍の高度における水平風速の水平分布と、各イベントの発生個所の関係をプロットした(図6)。この図に示すように、フラッシングは筋状構造の低速領域に沿って発生しやすいことが分かった。一方キャビティ渦に関しては、フラッシングほど明確ではないが、低速と高速の筋状構造の間で生じやすい傾向が見られた。

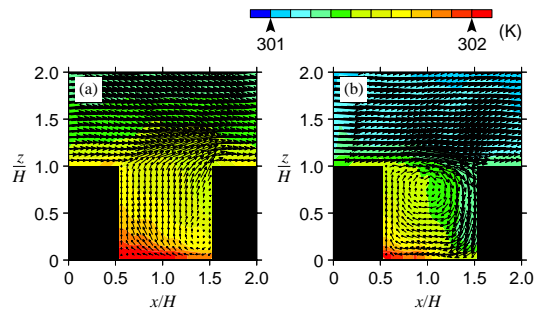


図5 条件付きアンサンブル平均した速度ベクトルと温度の鉛直断面分布 (a)フラッシング、(b)キャビティ渦

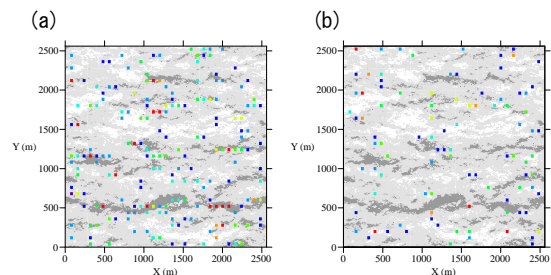


図6 フラッシング及びキャビティ渦の発生場所と上空の筋状構造の関係 (a)フラッシング、(b)キャビティ渦

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. 稲垣厚至, 神田学, 久米村秀明: サーモカメラを用いた壁面近傍風速の計測手法の開発, *ながれ*, 31, 491-493, 2012, 査読無
2. Inagaki, A., Castillo, M. C., Yamashita, Y., Kanda, M., Takimoto, H.: Large eddy simulation coherent flow structures within a cubical canopy. *Boundary-Layer Meteorology*, 142, 207-222, 2012. (DOI

10. 1007/s10546-011-9671-8), 査読有
3. 宮本崇史, 稲垣厚至, 神田 学: 3次元建物GISを用いたLESによる東京街区の流体力学的パラメタリゼーション, 水工学論文集, 第56巻, 1801-1807, 2012, 査読有
 4. 久米村秀明, 稲垣厚至, 小野村史穂, 瀧本浩史, 神田 学: 熱画像風速測定法(TIV)の開発と建物壁面への応用, 水工学論文集, 第56巻, 1753-1758, 2012, 査読有

[学会発表] (計8件)

1. 稲垣厚至, 宮本崇史, 神田 学: LESを用いた都市地表面のフィードバックパラメタリゼーション, 日本流体力学会年会2012, 高知大学, 16-18 Sep 2012.
2. 稲垣厚至, 久米村秀明, 神田 学: サーモカメラを用いた壁面近傍風速の測風手法の開発, 日本流体力学会年会2012, 高知大学, 16-18 Sep 2012.
3. Inagaki, A., Kanda, M., Onomura, S., Kumemura, H.: Measurement of velocity distribution near a building wall using a time-sequential thermography. Proceedings of the 8th international conference for urban climate, 286 (4pages), 6-10 Aug 2012.
4. Kanda, M., Inagaki, A., Miyamoto, T.: New Aerodynamic Parameterization for Real Urban Surfaces derived from LES. Proceedings of the 8th international conference for urban climate, 118 (4pages), 6-10 Aug 2012.
5. 稲垣厚至, 久米村秀明, 神田 学: サーモカメラを用いた二次元速度場の同定手法, 日本気象学会2012年春季大会, D208, つくば, 26-28 May 2012.
6. 渡邊 修, 稲垣厚至, 神田 学: 実都市幾何形状を考慮した都市境界層のLarge Eddy Simulation, 日本気象学会2012年春季大会, P336, つくば, 26-28 May 2012.
7. Inagaki, A. and Kanda, M.: Coherent structure of turbulence within the atmospheric surface layer over an array cubes, Coherent Flow Structures in Geophysical Flows at Earth's Surface, Simon Fraser University Vancouver Canada, 3-5 Aug 2011.
8. 稲垣厚至, 神田 学: 低周波変動する流量下での都市接地境界層の数値解析, 日

本気象学会2011年春季大会, 2011年度春季大会予稿集99号, P229.

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲垣 厚至 (Inagaki Atsushi)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 80515180

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

()

(3) 連携研究者

()

研究者番号: