

平成22年 6月 1日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760332

研究課題名（和文） 都市および植生キャノピー上における乱流構造の解明

研究課題名（英文） Study on turbulence structure over urban canopy and vegetation

研究代表者

森脇 亮（MORIWAKI RYO）

愛媛大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：10302952

研究成果の概要（和文）：隣接する模型都市および植生上において乱流観測を実施し、それぞれのキャノピー上での乱流統計量および3次元乱流構造を把握した。水田の一角にブロック群から構成される擬似的な都市キャノピーを作成し、都市模型および植生上に超音波風速計を配置して乱流データを取得した。上記の実験システムから得られた乱流データの解析から、キャノピー上に発達する乱流の特徴を検討したところ、以下のような知見が得られた。1)水田では都市モデルに比べて運動量輸送が大きく、キャノピー高さで無次元化した粗度を比べても水田の方が大きい。その理由として、水田のフロントルエリアインデックスが大きいことが挙げられる。2)運動量輸送に対して四象限解析を行ったところ、都市モデルに比べて水田では乱れが効率的に運動量を輸送している。3)水田において運動量コスペクトルのピークは尖った形状をしており、ある周波数帯で効率的に運動量が輸送されている。4)そのピーク周波数は、稲穂の揺れによく対応している。

研究成果の概要（英文）：A set of field measurements of air turbulence above an outdoor urban scale model and a rice paddy field was conducted. This study was aimed to find out the differences between turbulent statistics over urban-like canopy and those over vegetation canopy. Momentum roughness of the rice paddy field was larger than that of the urban scale model. This is probably due to the large frontal area index of the paddy field. Quadrant analyses indicate that momentum is efficiently transferred by turbulence on the paddy field. Spectral analyses also indicate that the momentum is efficiently transferred at a specific frequency.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：接地境界層，乱流構造，都市，植生，キャノピー，現地観測

## 1. 研究開始当初の背景

大粗度地表面上に発達する大気乱流に関する研究は主に森林分野で1980年代から行われはじめ、高次の乱流統計量やシア関数などいくつかの重要な乱流統計量において既存のモニタリングオブジェクトが当てはまらないことが指摘されてきた。しかし乱流の組織構造に関しては十分に理解が進んでおらず、現在においても精力的に研究が行われている。一方、都市キャノピーの乱流に関する研究は森林よりもさらに遅れているのが現状であり、キャノピーによる流れの変曲点不安定を有するという共通点から、都市キャノピーの乱流構造は植生キャノピー乱流に類似するとの考えが主流である。しかし、近年では長期タワー観測によって都市キャノピー内外の乱流統計量が詳細に検討され、都市キャノピー乱流は植生キャノピーよりもむしろ草原のような粗度の小さい地表面上の乱流に似ているのではないかとの主張もある。この問題に関して明確な答えが出されていないことの原因として、外部入力としての気象条件、計測手法、解析方法などが都市と植生における研究において統一されていないため、キャノピー乱流の詳細な比較が行われてこなかったことが挙げられる。そこで都市キャノピーと植生キャノピーにおける乱流構造を詳細に検討するためには、外部条件を揃えた下での都市と植生乱流の同期計測が必要となっている。

## 2. 研究の目的

本研究の研究期間は2年間とし、「模型都市および植生における乱流の屋外実験」、「LESモデルによる都市および植生キャノピー乱流の数値実験」の二つを大きな柱として研究を進める。この研究を通して、都市キャノピーと植生キャノピーにおける乱流構造の差異を詳細に検討する。

### (1) 屋外模型都市および植生キャノピーにおける乱流の同期実験

模型都市および植生上において乱流観測を実施し、それぞれのキャノピー上での乱流統計量および3次元乱流構造を把握する。具体的には、愛媛大学附属施設である水田の一角に模型都市を作成し、模型上および水田上に超音波風速計を鉛直および水平方向に多点配置する。得られた乱流データから乱流統計量解析、スペクトル解析などの手法により、乱流構造、乱流の渦スケール、乱れエネルギーのピーク周波数などに着目して、二つのキャノピー上に発達する乱流構造の相似性および非相似性を調べ、そのメカニズムを解明

する。また建物の幾何形状を順次変更することで、都市幾何形状が乱流構造に及ぼす影響についても明らかにする。

### (2) LESによる都市および植生キャノピー乱流の数値実験

LESモデルを用いて、都市および植生キャノピー乱流の数値実験を行う。外部風速や大気境界層高さなどを同じにした計算条件のもとで、底面境界条件として建物の縦横比を変化させて計算を行い、都市キャノピーを模擬したケースと植生キャノピーを模擬したケースとで、キャノピー内外の乱流構造について比較検討する。LESモデルの検証には、屋外実験から得られたデータを使用する。

## 3. 研究の方法

### (1) 屋外模型都市および植生における乱流の同期計測システムの構築

隣接する模型都市および植生上において乱流観測を実施し、それぞれのキャノピー上での乱流統計量を調べた。愛媛大学附属施設である水田の一角である15m四方の敷地に一辺30cmの亚克力製立方体225個を等間隔に配置することで擬似的な都市キャノピーを作成した。また周囲の水稻を植生キャノピーと見なすことができ、都市および植生上に超音波風速計を多点配置し乱流データを取得した。乱流構造は観測期間内の総観気象場の影響を受けている可能性があるため、乱流構造に一般性を持たせるには、大気安定度の大きく異なる気象条件下の解析対象データを増やす必要がある。従って計測システムを自動ルーチン化させ、長期の連続データを取得した。



図-1 計測サイトの様子

(2) 都市および植生キャノピー上に発達する乱流構造解析と相似・非相似点の抽出  
上記の実験システムから得られた乱流データを用いて、乱流統計量解析、スペクトル解析などの手法により、イジェクション・スイ

ープ強度、キャノピー高さで無次元化した渦スケール、乱れエネルギーのピーク周波数などに着目して、キャノピー上に発達する乱流構造の特徴を検討する。そして、都市および植生キャノピーそれぞれの乱流構造の相似・非相似点を抽出する。

### (3) 建物配列を変化させたコントロール実験

屋外模型都市および植生における乱流の同期計測を継続しながら、建物の幾何構造（具体的には建物の縦横比）を変化させて実験を行う。このことで、都市の幾何構造が乱流構造にどのような変化を与えるか検討する。

### (4) LES による都市および植生キャノピー乱流の数値実験

外部風速や大気境界層高さなどを同一にした計算条件のもとで、底面境界条件として建物の縦横比を変化させて計算を行い、都市キャノピーを模擬したケースと植生キャノピーを模擬したケースとで、キャノピー内外の乱流構造について比較検討する。具体的には現地計測では得られない連続した空間情報が得られるという数値計算の利点を生かし、キャノピー上の乱流構造と内部の流れの関連を調べ、運動量や熱のベンチレーションに最も寄与する流れの構造、および最適なキャノピー構造の特定を行う。

## 4. 研究成果

(1) 都市および植生キャノピー上に発達する乱流構造解析と相似・非相似点の抽出  
上記の実験システムから得られた乱流データを用いて、キャノピー上に発達する乱流構造の特徴を検討した。その結果、以下の知見が得られた。1) 水田では都市モデルに比べて運動量輸送が大きく、キャノピー高さで無次元化した粗度を比べても水田の方が大きい。その理由として、水田のフロントルエアインデックスが大きいことが挙げられる。2) 運動量輸送に対して四象限解析を行ったところ、都市モデルに比べて水田では乱れが効率的に運動量を輸送している。3) 水田において運動量コスペクトルのピークは尖った形状をしており、ある周波数帯で効率的に運動量が輸送されている。

### (2) 建物配列を変化させたコントロール実験

屋外模型都市および植生における乱流の同期計測において、建物の縦横比（アスペクト比）を変化させた実験を行った結果、以下のような新たな知見が得られた。1) アスペクト比の大きい都市モデル ( $H/W=3.3$ ) では、それが小さい都市モデル ( $H/W=1.0$ ) に比べて摩擦速度や抵抗係数が大きくなる。2) 風速

表-1 乱流データから算出した粗度

		都市モデル	水田
粗度 $z_0$ (m)	平均	0.038	0.11
	標準偏差	0.00913	0.0236
無次元粗度 $z_0/H$	平均	0.128	0.152
	標準偏差	0.0304	0.0315

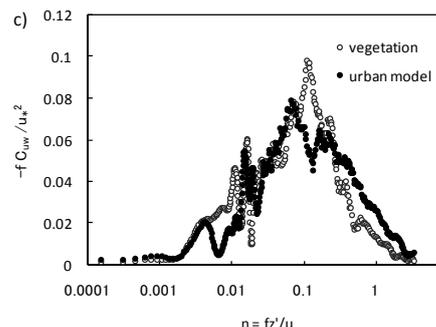


図-2 運動量のコスペクトル

の無次元標準偏差や四象限解析などの乱流統計量は、大きいアスペクト比を有する都市モデル ( $H/W=3.3$ ) と水田における乱流の類似性を示唆している。3) しかし、スペクトル解析により乱流変動の周波数特性を検討したところ、都市モデル ( $H/W=3.3$ ) には見られないスペクトルのピークが水田には見られ、これには、水稻の揺れが関わっていると考えられる。

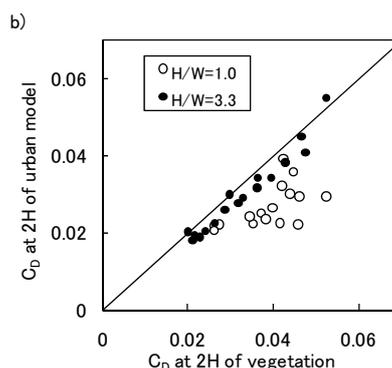


図-3 都市モデルおよび水田上における抵抗係数

### (3) LES による都市キャノピー乱流の数値実験

LES モデルを用いて、アスペクト比を変化させた都市キャノピーにおける乱流の数値実験を行った。その結果、アスペクト比の大きい都市キャノピーの底部では循環流の及ばない死水領域が存在し、キャノピー底部に

与えたスカラーが拡散されにくい状況が生じていた。またアスペクト比を大きくした場合に、キャノピー全体としての摩擦速度が増大することが確認された。

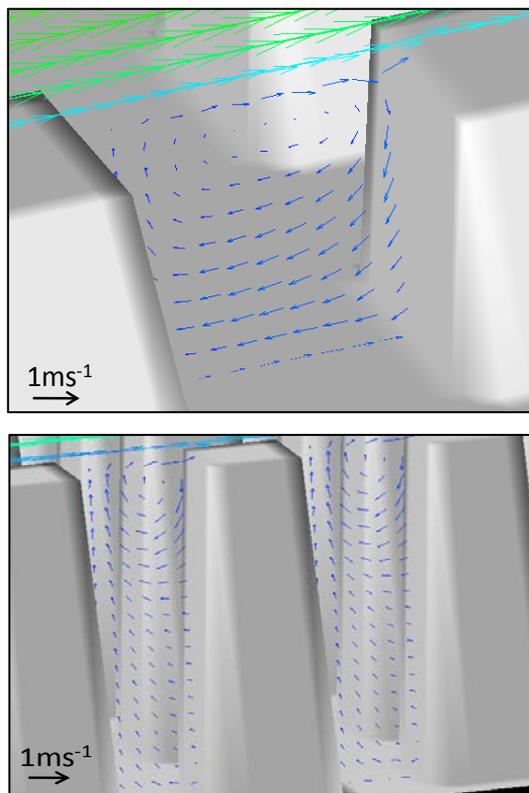


図-4 LESによる都市キャノピー内の流れの様子  
(上) 建物縦横比 1.0、(下) 建物縦横比 3.3

## 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 5 件)

- ① 森脇 亮・藤井恵人・藤森祥文, 都市スケールモデルおよび水田上の境界層乱流の類似性に対する建物アスペクト比の影響, 土木学会水工学論文集, 査読有, 54 巻, 2010, 295-300
- ② 藤森祥文・林 佑亮・森脇 亮, 松山平野におけるヒートアイランドの特性, 土木学会水工学論文集, 査読有, 54 巻, 2010, 313-318
- ③ 森脇 亮, 青木伸悟, 藤森祥文, 都市および植生キャノピー上における境界層乱流の同時観測, 土木学会水工学論文集, 査読有, 53 巻, 2009, 253-258
- ④ Nakayoshi, M., Moriwaki, R., Kawai, T., and Kanda, M., Experimental study on rainfall interception over an outdoor urban scale model, Water Resources

Research, 査読有, 45 巻, 2009, W04415  
⑤ Moriwaki, R., Kanda, M., Senoo, H., Hagishima, A., and Kinouchi, T., Anthropogenic water vapor emissions in Tokyo, Water Resources Research, 査読有, 44 巻, 2008, W11424

[学会発表] (計 14 件)

- ① 藤本雅人, 気象モデル WRF を用いた松山平野における前線性降雨の再現性に関する研究, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2010 年 5 月 15 日, 徳島
- ② 藤井恵人, 都市スケールモデルおよび水田上の境界層乱流の類似性に対する建物アスペクト比の影響, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2010 年 5 月 15 日, 徳島
- ③ 岩堂哲也, アスペクト比の変化に伴う都市キャノピー流れに関する数値実験, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2010 年 5 月 15 日, 徳島
- ④ 田川耕平, 林相の違いが松山平野の地表水収支に及ぼす影響 - 水循環モデル WEP を用いた検討 -, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2010 年 5 月 15 日, 徳島
- ⑤ 重谷祐樹, LES モデルを用いた都市河川の風道効果・冷却効果に関する研究, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2010 年 5 月 15 日, 徳島
- ⑥ 森脇 亮, 松山平野におけるヒートアイランド現象, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009 年 9 月 2 日, 福岡
- ⑦ Moriwaki, R., Anthropogenic water vapor and heat emissions in Tokyo, 7th International Conference on Urban Climate, 2009 年 7 月 3 日, 横浜
- ⑧ Nakayoshi, M., Mechanism on urban rainfall interception, 7th International Conference on Urban Climate, 2009 年 7 月 2 日, 横浜
- ⑨ Moriwaki, R., Comparison of turbulences statistics above outdoor urban scale model and rice paddy, 7th International Conference on Urban Climate, 2009 年 6 月 30 日, 横浜
- ⑩ Fujimori, Y., Impact of land-use change on the groundwater and evapotranspiration in Matsuyama, 7th International Conference on Urban Climate, 2009 年 6 月 29 日, 横浜
- ⑪ 森脇 亮, 松山平野におけるヒートアイランドの実態, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月 28 日, 筑波
- ⑫ 森脇 亮, 都市および植生キャノピー上における境界層乱流の同時観測, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2009 年 5 月 16 日, 松山

- ⑬ 森脇 亮, 松山平野におけるヒートアイランドの実態把握, 土木学会四国支部技術研究発表会, 2009年5月16日, 松山
- ⑭ Takimoto, H., Moriwaki, R., Tsukuni, M., Kobayashi, K., and Kanda, M., PIV application to turbulence statistics within and above an outdoor urban scale model, The 4th International Conference on Advances in Wind and Structures, 2008年5月29日, 韓国

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森脇 亮 (MORIWAKI RYO)

愛媛大学・理工学研究科・准教授

研究者番号: 10302952

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし