

# 2012年6月20日 第9回輻合ゼミレポート 複雑地表面形状のモデル化と都市の風環境研究への応用

講演者:竹見哲也 (京都大学 防災研究所 気象・水象災害研究部門)  
報告者: 日比野 研志 (京都大学理学研究科・気象学研究室)

## 0. 講演概要

本講演では都市の風環境場を LES シミュレーションによって研究した結果が報告された。その際に建物などの複雑地形を扱う必要があるため、それらをモデル化する手法が紹介された。この手法は複雑地形上の風環境や大気汚染の解析などに応用することが可能である。

※レポートで使用した図はすべて講演者のスライドから引用させて頂きました。

## 1. 研究背景

大気のシミュレーションにおいて地表面の凸凹の効果は粗度を用いてモデル化を行なうのが通常である。しかし、都市の場合には建築物があるため地面の高さの変動がかなり大きく、境界層の厚さ (1~2 km) と比較しても無視することができない。

こういった都市街区を表現するパラメータとして、

- ・ Plan Area Index  $\lambda_p$ : 単位面積あたりの建物の屋根面総面積の比、
  - ・ Frontal Area Index  $\lambda_f$ : 単位面積あたりの建物の風上向き側面積の比
- の2種類が存在する。

この2つのパラメータと建物の高さの平均と標準偏差を用いて様々な都市の特徴を表現することができる(表1)。これらの特性に都市の風環境は依存すると考えられる。

	London	Toulouse	Berlin	Salt Lake City	Los Angeles	東京
$h_{av}$ [m]	13.6	15.3	18.6	16.3	51.3	18.4
$h_{sd}$ [m]	5.0	6.1	4.3	14.1	51.5	17.2
$h_{sd}/h_{av}$	0.37	0.40	0.23	0.87	1.00	0.93
$\lambda_p$	0.55	0.40	0.35	0.22	0.28	0.49
$\lambda_f$	0.32	0.32	0.23	0.11	0.45	0.39

表1: 様々な都市における建築物の特性 (Ratti et al. 2002; Nakayama et al. 2011)

このようなパラメータで表現される都市の特性を粗度という1つのパラメータに押し込むことができれば便利である。先行研

究によって知られているように粗度の大きさは建物の密集度合いに依存する(図1)。密集度合いが小さいうちは粗度は密集度共に増加するが、ある程度の値(約0.2)を越すと逆に減少するようになる。これは建物の間隔が小さくなると後流がその隙間に侵入できなくなり、あたかも地面高度が建築物の高さまで底上げされたように上空の風には「感じられる」からである。この特性は実際の観測によってもある程度の精度で確かめられている。

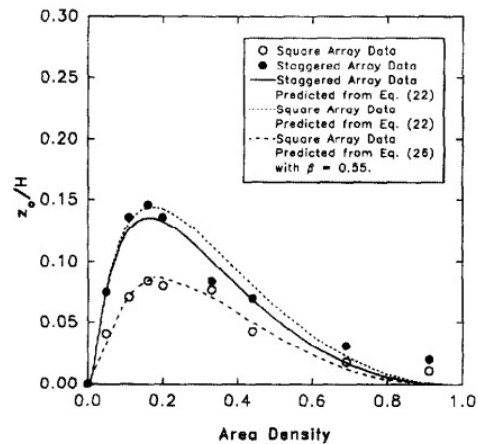


図1: 粗度の  $\lambda_f$  依存性 (Machdonald et al. 1998)

しかし、実際の都市は建物高さがばらついており、その効果も粗度に組み込む必要がある。

本発表の主要なテーマは、

- ・ 建物高さがバラついているときに、粗度が建物密集度にどのように依存するのか?
- ・ 気象モデルからダウンスケーリングした都市の LES が実際の観測データを再現できるかどうか?

## 2. 研究手法

- ・ 数値計算

流れのシミュレーションには Large Eddy Simulation (LES) を用いた。SGS のスキームはスマゴリンスキーモデルを用い、スマゴリンスキー定数は 0.1 とした。

- ・ 境界の扱い

建物を陽に表現するために Feedback Forcing (Goldstein 1993)を用いた。

建物の内部のグリッドに強い抵抗を表す項を追加することで、建物内部に流れが侵入しないようになり境界が表現される。通常のレイリー摩擦のような線形の抵抗ではなく、変位が減衰振動を表すような形式にすることで境界をうまく表現することができる。

### 3. 結果

建物高さがばらついている時の粗度の変化をこの数値実験によって調べた。

その結果を図2に示す。建物高さのばらつきが大きい場合は小さいときのように密集度が大きくなって粗度は減少せずに一定値に近づいているように見える。

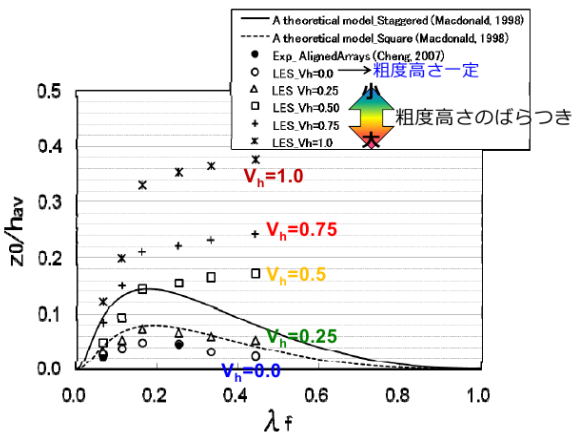


図2: 建物高さのばらつきと密集度合いを変化させたときの粗度の変化

次に2つ目のテーマに関する結果を示す。この結果は2009年台風18号の際の強風を気象モデルとLESを用いて再現した。

気象モデルとしてはWRFを用いてネスティングを行い、LESの計算領域までダウンスケーリングを行った(図3)。

境界層のシミュレーションを現実的に行うためには乱流をうまく再現する必要がある。そのために都市の手前に1kmの予備領域を取り、その中を周期的に繰り返し流れを通すことで乱流を生成した。その際にすべての流れ成分を繰り返して流すと境界層の厚さが増大してしまうため、予備領域を通過した流れから摂動成分のみを取り出し、最初に与えた風速プロファイルと合成する手法を取った。

この数値実験によって得られた風速変動を図4に示した。WRFでは再現できないよ

うな細かい流れの変動がLESによって得られている。

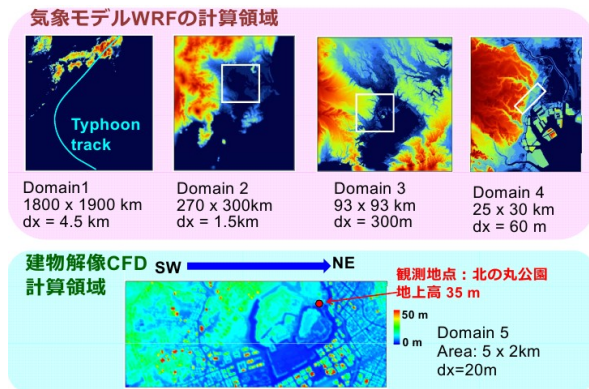


図3: ダウンスケーリングの設定

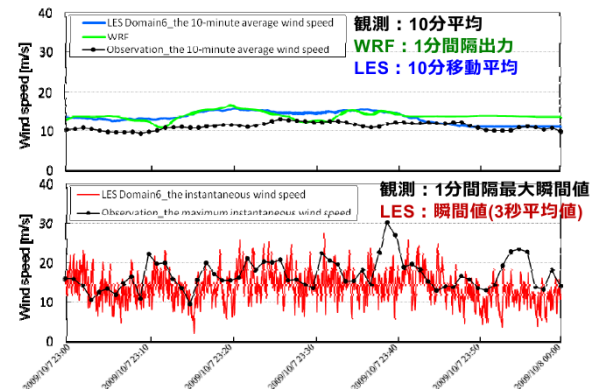


図4: 観測で得られた風速とWRF, LESによって再現された風速の時間変化

乱流はカオス的であるため強風を決定論的に予測することはできないが、風速変動の大きさや、最大値としてどの程度まで起こり得るのかなどを量的に評価することができるのがこの手法のメリットである。その1つの例として突風率の例が示された。

今回紹介された研究手法は複雑地形の上での数値シミュレーションなど様々な場面での応用が期待される。

### 4. 報告者の感想

報告者は境界層のシミュレーションを自分でも行っているため、その応用例として非常に興味深く講演を聞くことができた。特に Feedback Forcing による境界面の表現手法はこれまで知らなかったため実際に自分でも試してみたいと思った。

乱流などの小スケールの気象現象に興味を持つ学生が報告者の周りには少ないように感じられるのだが、このゼミを機会に多くの学生がこういったテーマに関心を持ってもらえると思う。