

## 1. はじめに

集中豪雨などの極端気象は、人口が集中する都市域に大きな被害（洪水など）をもたらしている。気象を予測することで気象災害の被害を減少させることができる。そこで、防災対策の視点から気象庁では都市の気象モデルの改良が進められている。気象を予測するためには都市気象条件（風速や日射など）とビル間の空間、即ち、都市キャノピー内の気象予測ができる都市キャノピーモデル（以降、UCM と略す）が必要となる。

UCM とは、都市の建物が地上近傍の大気に及ぼす熱的・力学的効果（キャノピー内での乱流過程、建物による空気力学的抵抗、キャノピー内での複雑放射過程〔日射の多重反射、夜間の放射冷却の抑制など〕、地面・壁面・屋根面の熱収支）を表現するモデルである。多くの UCM は大気部分について、運動量と顕熱・潜熱の鉛直一次元拡散方程式を解くモデルである。この拡散方程式の中で重要なのが乱流拡散係数であり、「乱流拡散係数=乱流の鉛直速度の代表値×その空気塊が周囲と混合するまでの代表的な距離（混合距離）」で表される。よって混合距離（以降、渦スケール長とする）を精度良く与えることは、UCM による都市気象の予測精度を上げるためには極めて重要である。

## 2. 先行研究

この事を受け、Kondo et al(2015)<sup>1)</sup>では渦スケール長の新たなパラメタリゼーションが提案された。それは、Kondo et al(2005)<sup>2)</sup>で開発された世界初の多層都市キャノピーモデル（以降 CM と略す）における渦スケール表現の高精度化を目的としたものである。具体的には、東京の中から 1km 四方の 100 街区を選択し、各街区について Watanabe & Kondo(1990)<sup>3)</sup>が植生キャノピーを対象に提案した渦スケール長推計式を用いた場合と、LES (Large Eddy Simulation) と呼ばれる個々の渦を解像可能な流体解析を実施した場合の二ケースの解析がなされた。ここで、前者の渦スケール推計式は CM で採用されたものであり、同式による渦スケール長を指す  $L_{wk}$  と LES による渦スケール長である  $L_{LES}$  が 100 街区を対象に算出された。更に、上述した Kondo et al(2015)<sup>1)</sup>での新たなパラメタリゼーションによる渦スケール長  $L_{new}$  の比較が行われた。その結果を図.1 に示す。図中では高度別の 3 種類の渦スケール長が比較されている。 $z$  は地上高度(m)、 $L$  は渦スケール長(m)、 $h$  は 100 街区の各街区区内で一番高い建物高度を指す。図.1 の縦軸と横軸は共に無次元化されており、 $L_+ = L/h$  であり、 $z_+ = z/h$  である。以上の方法で無次元化された 3 種類の渦スケール長 ( $L_{wk+}$ 、 $L_{LES+}$ 、 $L_{new+}$ ) を比較すると、CM における  $L_{wk+}$  は都市キャノピー内の渦を高精度にシミュレートした  $L_{+LES}$  を全体的に過大評価することが判明した。一方、新たに提案されたパラメタリゼーションに基づく  $L_{new+}$  は  $L_{wk+}$  に比し  $L_{+LES}$  に近い渦スケール長を再現した。この結果より、Kondo et al.(2015)<sup>1)</sup> のパラメタリゼーション式の妥当性が確認された。

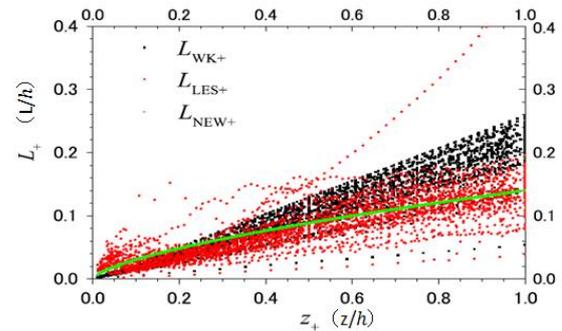


図.1 Kondo et al.(2015)<sup>1)</sup>における東京 100 街区を対象とした渦スケール長の解析結果

## 3. 研究目的

本研究では、Kondo et al(2015)<sup>1)</sup>で渦スケール長の新たなパラメタリゼーション式が LES との比較により提案された。しかし、実測値との比較がされていない。

そこで、Kondo et al(2015)<sup>1)</sup>のパラメタリゼーション式の妥当性を確認するため、引地他(2012)<sup>4)</sup>で取得された大阪市域での地上気象観測データとの比較による検証を試みた。具体的には、CM を含むメソスケール都市気象モデルである WRF-CM-BEM において、CM に Kondo et al(2015)<sup>1)</sup>のパラメタリゼーション式を導入し、改良後のモデルの地上気温再現性への渦スケールパラメタリゼーションの影響について評価することを目的とした。

## 4. 研究手法

### (1) CM における現行の渦スケール長の計算式

計算式は以下の 3 つの式であり、高度に応じて 3 種類のパラメタリゼーションがなされている。

$$L = 2k^3(ca)^{-1}\{1 - \exp(-\eta)\} \cdots \text{式①}$$

$$L = kz \cdots \text{式②}$$

$$L = kz(1 + kz/L_B)^{-1} \cdots \text{式③}$$

但し、 $z$ : 高さ(m)、 $Z_{top}$ : 範囲内の最大建築物高度(m)、 $k$ : カルマン係数、 $c$ : 地面に占める建物面積の割合、 $a$ : 高さ  $z$  において大気の単位体積に占める建物壁面積の割合(m<sup>2</sup>)、 $\eta$ :  $caz(2k^2)^{-1}$ 、 $l$ : 渦スケール長(m)、 $L_B$ : 最大渦スケール長(m)である。

式①は高低様々な建物間（都市キャノピー内）で作られる渦スケール長を表す式、式②は大気境界層における渦スケール長を表す式、式③は自由大気内で作られる渦のスケール長を表す式である。

### (2) 渦スケール長の新たな推計式

Kondo et al(2015)<sup>1)</sup>で提案された次式の渦スケール長の新たな推計式を CM に導入した。

$$L = 0.17h_{99}z^{+0.83}$$

但し、 $h_{99}$ : 建物の存在割合が 99%以下の高度である。

### (3) WRF-CM-BEMの概要

#### (a) メソスケール気象モデル WRF

メソスケール気象モデル Weather Research & Forecasting Model(WRF)とは、実用的な天気予報とそれに関連する研究のために米国の NCEP/NCAR で近年開発された完全圧縮性非静力学モデルである。

#### (b) 都市キャノピー・ビルエネルギー連成モデル CM-BEM

CM-BEM は、多層都市キャノピーモデル CM とビル・エネルギー排熱解析モデル BEM の結合モデルであり、人工排熱を介した都市気象と建物空調エネルギー需要の相互作用過程を表現することが可能なモデルである。CM-BEM の概念図については図.2 に示した。

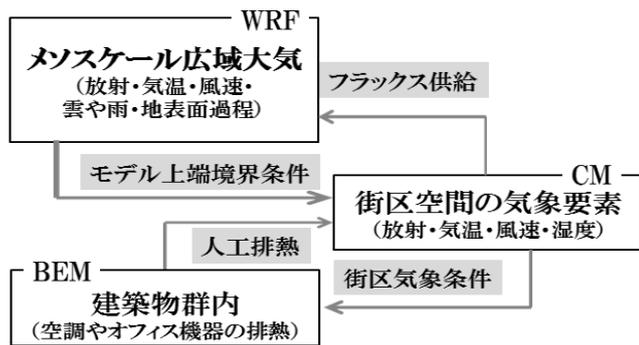


図.2 WRF-CM-BEMの概略

#### (4) 計算条件

引地他(2012)<sup>4)</sup>で対象とされた大阪の 13 地点の実測気温等を用いて現行の推計式と新たな推計式を導入したモデルで気温の再現性を検証した。計算期間は 2013 年 7 月 30 日～8 月 4 日でシミュレーションを行った。

### 5. 解析結果

#### (1) モデルの検証

CM による数値シミュレーションを行い、実測値と比較して数値モデルの精度を確認した。図.3 より、昼頃から夕方頃にかけて  $L_{wk}$  と  $L_{new}$  の気温差が大きく、17 時には約  $1.5^{\circ}\text{C}$  以上の気温差が生じた。また、 $L_{new}$  は  $L_{wk}$  に比べて夜間における実測気温の再現性を低下させた一方で、昼間においては再現性の向上を示した。特に日最高気温は  $L_{wk}$  と実測値の差が約  $0.6^{\circ}\text{C}$  に対して  $L_{new}$  と実測値の差は約  $0.2^{\circ}\text{C}$  と向上した。

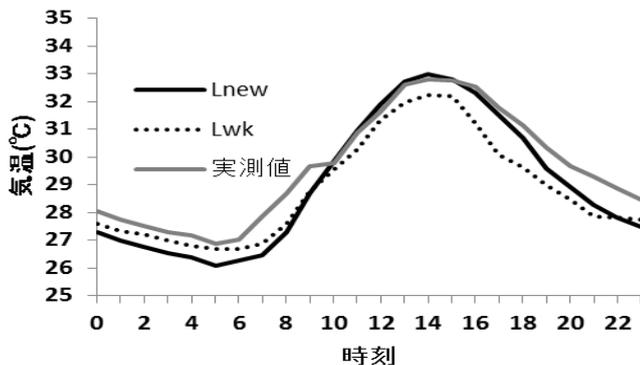


図.3 実測とシミュレーションの気温日変化の比較 (7/30～8/4 の大阪 12 地点の地上 2m 気温のアンサンブル平均)

#### (2) 地点別で検証

$L_{wk}$  と  $L_{new}$  の気温が最大となる 17 時における気温を  $L_{wk}$  と  $L_{new}$  のアンサンブル平均の差を取ったものが図.4 である。周りの標高が高い内陸部で気温の差が大きくなる傾向がみられる。

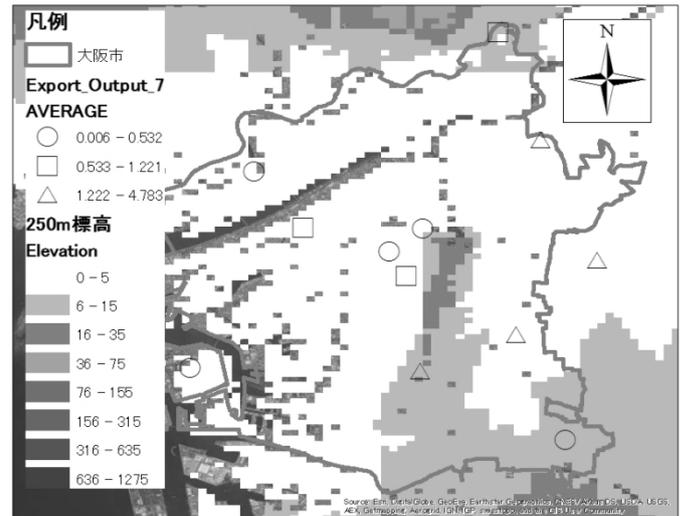


図.4  $L_{wk}$  と  $L_{new}$  の 17 時における気温のアンサンブル平均の差 ( $L_{new} - L_{wk}$ )

#### (3) 考察

渦スケール長の新たな推計式より渦スケール長が短くなったことより、乱流拡散係数が小さくなり都市から上空への熱輸送が減少し、都市の熱滞留により気温が上昇したと考えられる。また、地点による差が見られた理由として、海岸沿いでは海風による影響により気温の上昇が緩和され、海風の影響を受けにくい内陸では気温が上がったのではないかと考えられる。

### 6. まとめと今後の課題

Kondo et al(2015)<sup>1)</sup>での渦スケール長の新たなパラメタリゼーションは、昼間の総合的な地上気温の再現性を向上させた。しかし、地点により影響の差があることを確認した。

今後の課題として、夜間に関しては地上気温の再現性を低下させたので、原因を確認することで新たなパラメタリゼーション式の研究の参考になると考える。

### 7. 参考文献

1. Kondo et al, A New Parametrization of Mixing Length in an Urban Canopy Derived from a Large-Eddy Simulation Database for Tokyo, Boundary-Layer Meteorol DOI 10.1007/s10546-015-0019-7, 2015
2. Kondo et al, Development of a multi-layer urban canopy model for the analysis of energy consumption in a big city: structure of the urban canopy model and its basic performance. Boundary-Layer Meteorol 116:395-421, 2005
3. Watanabe T, Kondo J, The influence of canopy structure and density upon the mixing length within and above vegetation. J Meteorol Soc Jpn 68:227-235, 1990
4. 引地他 6 名, 大阪都市圏での通年・高密度日射観測にもとづく都市気象・太陽光発電量予測システムの検証, 2013, 環境システム研究論文発表会