

平成 25 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：屋外環境

研究期間：H25 ～ H26 [平成 26 年度も研究継続]

課題番号：133011

研究課題名（和文）：領域気象モデルによるビル風評価のための標準上空風データの整備

研究課題名（英文）：Preparation of standard wind data for assessment of pedestrian wind environment using regional weather model

研究代表者：富永禎秀

交付決定額（当該年度）：500,000 円

※平成 25 年度で終了となる研究課題は最終成果報告書となりますので、下記項目について詳細な報告をお願いします。

※ページ数の制限はありません。

※成果等の説明に図表を使用させていただいて構いません。（カラーも可）

※提出して頂いた成果報告書をホームページでの公開を予定しております。

1. 研究の目的

わが国では、高層建物周辺の歩行者レベルの風環境を確率的に評価するために、「日最大瞬間風速の超過確率に基づく評価尺度」¹⁾や「10 分間平均風速の累積頻度に基づく評価尺度」²⁾が広く用いられている。しかしその運用面において、ある問題を抱えている。それは風速の発生頻度を求める際に必要となる地域を代表する風観測データの問題である。評価対象となる計画建物建設地の近くに風観測点がない場合や、あったとしてもそれが周りの建物や風速計が設置されている自身の建物の影響を受けていて信頼性に欠ける場合が多い。ビル風の評価では、そのような建物の影響で歪んだ風観測データを計画地への入力と考えることに実務上の問題が生じている。選択する観測データによって評価結果は左右される。ある観測データを用いた評価結果は受け入れられない環境を示し、別の観測データを用いた結果は受け入れられる環境を示すということは少なくない。観測データを恣意的に選択する事態を避けるためには、観測データをそのまま用いることを止め、標準データを整備してそれを用いるようにすることが望ましい。

こうした背景の下、我々は領域気象モデル WRF (The Weather Research and Forecasting) を用いて、ビル風の確率的評価に必要な上空の風向・風速の発生頻度ならびに風速の鉛直分布べき指数のデータベースを整備することを目指している。そのためには、まず WRF が上空の風向・風速の発生頻度をどの程度正確に再現でき得るかを明らかにする必要がある。また WRF には数多くの物理モデルやナッジング（観測値あるいは客観解析値とモデルの予報値の差に係数をかけた外力項を方程式に付加して、モデルの予報値を観測値・客観解析値に近づける手法）が用意されているが、各種物理モデルの選択やナッジングが WRF の計算結果に与える影響は十分に明らかにされていない。本年度は、WRF の計算結果とドップラーライダーによって観測されたデータ³⁾との比較を行いながら、各種物理モデルの選択やナッジングの有無が WRF の計算結果に与える影響を調査した。

2. 研究の方法

2. 1 WRF の計算概要（基本計算条件）

2. 1. 1 計算期間と初期条件・境界条件

計算期間は 2009 年 6 月から 2010 年 5 月の 1 年間とした。（これは後述する観測データの期間と合わせている。）

初期条件、底面・側面境界条件として NCEP (National Center for Environmental Prediction) の最終全球解析データ（以下、FNL）を与えた。

2. 1. 2 計算領域とメッシュ分割

計算は 3 段階 2-way ネスティングで行った。計算領域とメッシュ分割を図 1 に示す。

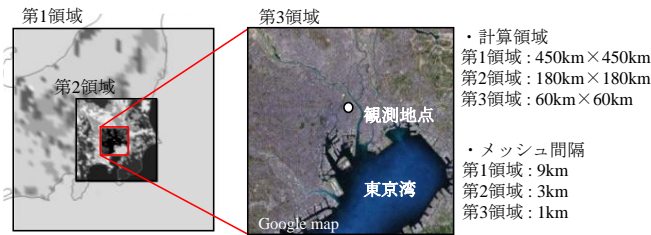


図1 計算領域，メッシュ分割および観測地点

2. 1. 3 土地利用情報

第1，第2領域はWRFのデフォルトであるUSGS (United States Geological Survey)，第3領域にはGIS (Geographic Information System) を用いた⁴⁾。以下にGISによる土地利用分類と地表面粗度の設定方法について述べる。

WRFのデフォルト設定には，USGSの24分類土地利用とそれに対応する地表面パラメータ(粗度長，アルベドなど)が用いられている。しかし都市の粗密高低にかかわらず，USGSでは都市が1種類のみで表されている。また実際には都市と考えられる地域も放牧地や草原などに分類されており，東京の実情と合っていない。より実際の土地利用状況に基づいた土地利用分類を行うため，川本・大岡⁵⁾は国土数値情報を用い土地利用分類を行い，各メッシュの土地利用分類毎の面積加重平均によって地表面パラメータを算出している。このとき地表面パラメータは，国土数値情報の土地利用項目をUSGSの土地利用項目と対応させて与えている。しかし都市に分類される土地利用は1種類としており，都市の粗密高低の影響は考慮されていない。

これに対し本研究では，国土交通省の発行している数値地図5000(土地利用)と国土数値情報(以下両者をGISと称す)を用いて土地利用分類を行い，さらに都市の土地利用区分をLow, High, Commercialの3種類に分けることにした。今回の土地利用分類には，数値地図5000を優先的に用い，国土数値情報は数値地図5000のデータが無い場所などに補足的に用いた。その方法を以下に示す。まずGISにWRFの第3領域と同じサイズ(1km×1km)のメッシュをかけ，メッシュの中で最も面積の多い土地利用項目をそのメッシュの代表土地利用項目とした。次に，都市の形態をより詳しく記述するために，数値地図5000の土地利用項目のうち，工業用地，一般低層住宅地，密集低層住宅地，その他(公共公益施設用地など)をLow，中高層住宅地をHigh，商業・業務用地をCommercialの3種類の都市形態に対応させた。そしてメッシュ内のLow, High, Commercialそれぞれの面積を集計し，最も面積の多い都市形態を，そのメッシュの代表都市形態とした。最後に，表1に示すように，GISの土地利用項目をUSGSの土地利用項目と対応させて地表面パラメータを与えた。都市の粗度長はUSGSでは一律80cmであるが，本研究ではGrimmond and Oke⁶⁾を参考にして表1のように与えた。図2に第3領域において，USGSの土地利用分類で都市に区分される範囲と，GISを用いた土地利用分類で都市と分類した範囲を示す。これを見ると，GISの土地利用分類のほうが都市の面積が広がっていることが分かる。

表1 土地利用の対応と土地利用毎のパラメータ

No.	USGS/SIB 土地利用分類	数値地図5000 土地利用区分 (大分類)	都市形態	粗度長 [cm]	アルベド [%]	蒸発 効率 [%]	放射率 [%]
1	都市	宅地 公共公益施設 用地	Low	70	15	10	88
			High	150			
			Commercial	200			
2	乾燥した 耕作地と放牧地	その他の農地	-	15	17	30	98.5
3	灌漑された 耕作地と放牧地	田	-	10	18	50	98.5
7	草原	公園・緑地等	-	12	19	15	96
15	混合林	山林	-	50	13	30	97
16	水面	河川・湖沼海	-	0.01	8	100	98
19	不毛または 疎らかな植生	造成地	-	1	25	2	90

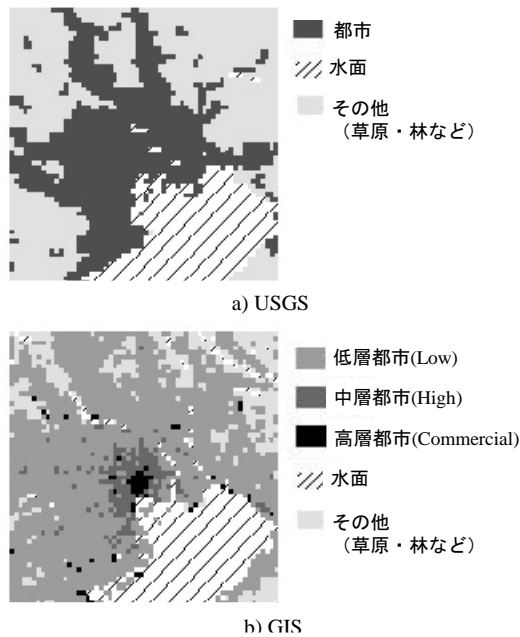


図2 第3領域の土地利用分類

2. 1. 4 物理モデル

表2に基本計算条件で用いた物理モデルを示す。これらはWRFのデフォルト設定である。

2. 2 比較に使用した観測データ

WRFによる計算結果の比較には、東京都内東部においてドップラーライダーによって地上70mから約75m刻みに20高度で観測された毎10分間平均データ³⁾を使用した。そのうち高度70mから715mの10高度を対象とし、データ取得率が10高度とも30%以上であるもののみを計算結果との比較に使用した。観測点の位置を図1中に示す。

2. 3 各種物理モデルの影響

2. 3. 1 計算ケース

各種物理モデルのうち、風に対する影響が大きいと考えられる、雲物理過程、放射過程、大気境界層過程、地表面過程を下記のように変化させた5ケースの計算を行った。その他の計算条件は2章で述べた基本計算条件のとおりである。

- Case0: 表2に示したWRF Version 3.2のデフォルト設定で行った計算。
- Case1: 雲物理過程をWSM 6-class graupel scheme (以下, WSM6)に変更した計算。(他の物理モデルはデフォルト)。
- Case2: 放射過程をRapid Radiative Transfer Model for GCM (以下, RRTMG)に変更した計算 ((他の物理モデルはデフォルト)。
- Case3: 大気境界層過程をMellor Yamada Janjic 2.5 level closure model (以下, MYJ)に変更した計算 (他の物理モデルはデフォルト)
- Case4: 地表面過程をNoah Land Surface Model (以下, Noah)に変更した計算 (他の物理モデルはデフォルト)。

表2 デフォルト設定の物理モデル

雲物理	WSM 3-class simple ice scheme
長波放射	Rapid Radiative Transfer Model
短波放射	Dudhia scheme
接地層	Monin-Obukhov scheme
地表面	thermal diffusion scheme
大気境界層	Yonsei University scheme
積雲パラメタリゼーション	Kain-Fritch scheme

2. 3. 2 計算結果と観測結果の比較

(1) 風向・風速の時刻歴変化

図3に高度285mにおける風向・風速の時刻歴変化の一例を示す。風向については、全計算ケースの結果と観測結果はよく一致しており、物理モデルの影響はほとんど見られない。風速については、Case0 (Default), Case1 (WSM6), Case2 (RRTMG), Case3 (MYJ) が観測結果よりピークを高めめに評価しているのに対して、地表面過程を Noah に変更した Case4 は、他の計算ケースに比べて風速のピークが抑えられ観測結果とよく一致している。図は省略するが、Case4 (Noah) は地表面温度ならびに低い高度での気温が他のケースより高くなる。東京タワーの地上65mでの気温の観測結果⁷⁾と比較すると、Case4 は他のケースと比べて格段によく一致している。このように、地表面温度が風速に比較的大きな影響を及ぼしているといえる。

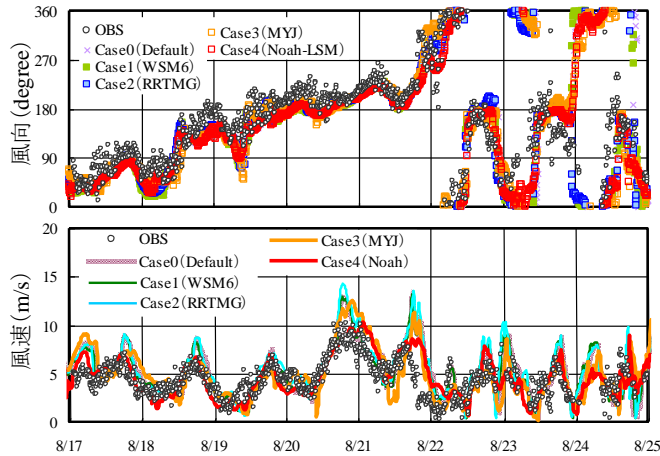


図3 風向・風速の時刻歴変化 (高度285m)

(2) 毎10分間平均風向・風速の発生頻度

図4に高度285m, 500mの年間の風配図を示す。計算結果と観測結果はかなり良く一致している。計算ケースによる差異はあまり見られない。図5に同じ高度の毎10分間平均風速(全風向)の年間超過確率を示す。高度285m, 500mともに、地表面過程を Noah に変更した Case4 が他の計算ケースに比べ風速の超過確率が低くなり、観測結果との対応が最も良い。4. 2. 1で述べたように Case4 (Noah) は他の計算ケースに比べて風速のピークが抑えられ、これが風速の超過確率の低下に寄与している。

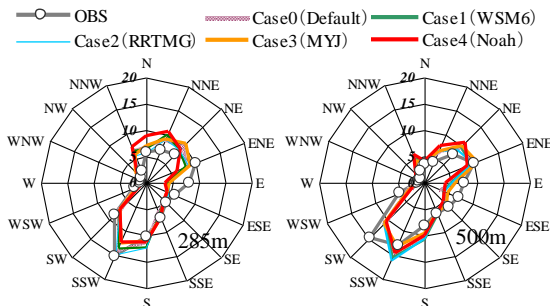


図4 毎10分間平均風向の年間発生頻度

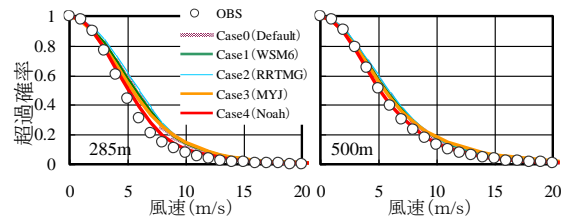


図5 毎10分間平均風速の年間超過確率 (全風向)

(3) 日最大平均風速の発生頻度

図6に高度285m, 500mの日最大平均風速発生時の年間の風配図を示す。計算結果は観測結果とかなりよく一致している。前記の毎10分風速に基づく風配と同様、物理モデルによる計算結果の差異はあまり見られない。図7には同じ2高度の日最大平均風速の年間超過確率を示す。Case0 (Default), Case1 (WSM6), Case2 (RRTMG), Case3 (MYJ) の計算結果は観測結果より超過確率が高いのに対し、Case4 (Noah) は他の計算ケースに比べ超過確率が低くなり観測結果とよく一致している。この傾向は、毎10分間平均風速の超過確率(図5)と比べて、より顕著である。このことから Case4 (Noah) の風速のピークが抑えられていることがわかる。

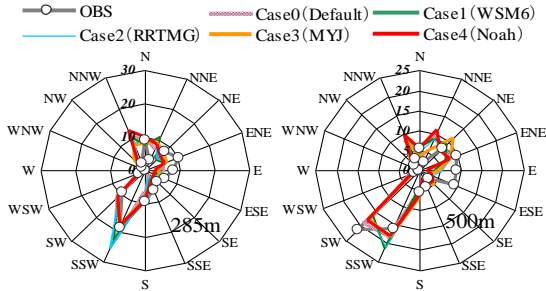


図 6 日最大風速発生時の風向の年間発生頻度

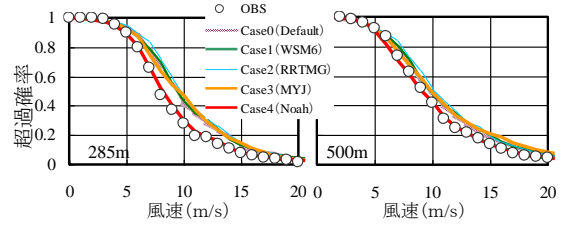


図 7 日最大平均風速の年間超過確率 (全風向)

2. 4 計算領域の大きさとナッジングの有無の影響

ここまでは、図 1 に示したような 450km 四方の計算領域で検討を行ってきたが、気象の研究者の中には、積乱雲の発生や局地的豪雨などの気象現象を再現するためには、日本列島全域が含まれるような大きな計算領域を用いるべきという人もいる。しかしながらその是非は十分明らかになっていない。そこで図 1 の計算領域の外側に日本列島全域を含む領域 (図 8) を加えた計算と、加えた領域にナッジングをかけた計算を行い、計算領域の大きさとナッジングの有無が計算結果に与える影響を調べた。



図 8 計算領域とメッシュ分割 (Case2, 3)

2. 4. 1 計算ケース

計算領域とナッジングの有無を下記のように変化させた 3 ケースの計算を行った。その他の計算条件は、4 章により観測値との対応が最も良かった Case4 (地表面過程に Noah を用い、それ以外はデフォルト) の設定に統一した。なお、計算期間は 2009 年 8 月の 1 ヶ月のみとした。

- ・ Case1: 図 1 の領域 (領域小) で行った計算。(4 章の Case4 に相当。)
- ・ Case2: 図 8 の領域 (領域大) で行った計算。
- ・ Case3: 図 8 の第 1 領域にナッジングをかけた計算 (領域大 Nud あり)。ナッジング係数は 3×10^{-4} (WRF のデフォルト値) とした。

2. 4. 2 計算結果と観測結果の比較

(1) 風向・風速の時刻歴変化

図 9 に高度 285m における風向・風速の時刻歴変化の一例を示す。Case2 (領域大-nud 無) は、観測の風向が南にもかかわらず計算結果は北となっている場合が見られ、観測結果との差異が大きい。また風速においても観測結果と比較的大きな差異が見られる。Case1 (領域小) と Case3 (領域大-nud 有) の風向・風速値は観測結果とかなりよく一致している。

(2) 観測風速と計算風速の相関

図 9 に高度 285m, 500m における観測と各計算ケースの毎 10 分間平均風速の相関を示す。Case1 (領域小) は、Case2 (領域大-nud 無) に比べて観測結果との相関がかなり高い。Case2 は、観測結果との相関が非常に低い。ナッジングをかけた Case3 (領域大-nud 有) は、観測結果との相関が高い。領域大-nud 無の場合には、計算の中で実現現象とは違う振る舞いが生じて、それを抑えるのは境界条件だけとなるため、境界から遠く離れた中心付近の対象領域では計算結果と観測結果の相関が悪くなると考えられる。これに対して計算領域を広くとっても、ナッジングをかけることで、実現現象とは異なる振る舞いが抑制され観測結果に近づく傾向にある。これは、ナッジングに用いている FNL が実現現象を良く再現できているためと考えられる。このことを確認するために FNL と観測結果の比較を行った結果、FNL は上空風速・温度ともに観測結果とよく対応していた (図 10)。

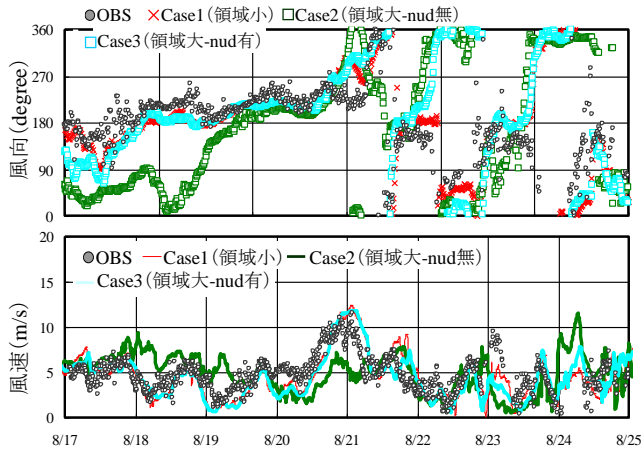


図9 風向・風速の時刻歴変化（高度 285m）

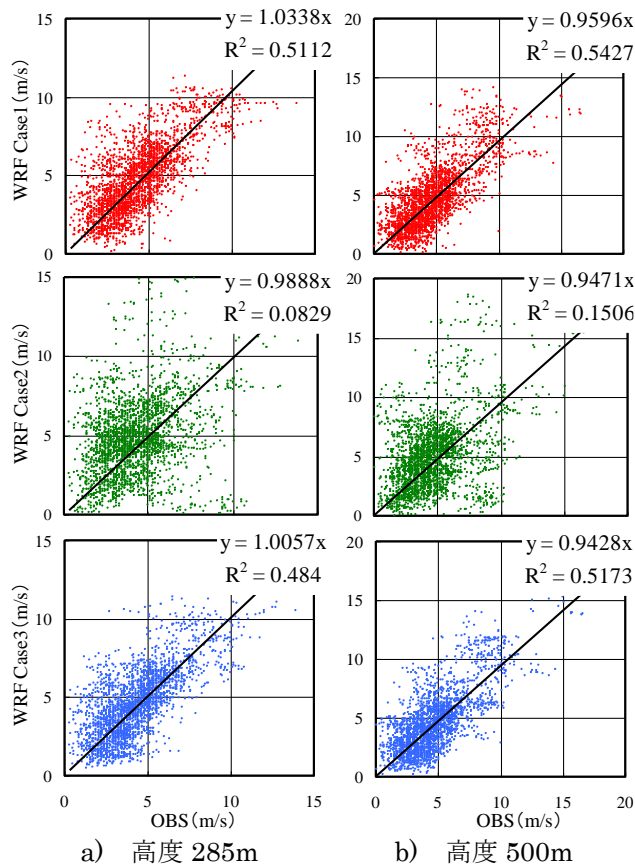


図10 観測風速と計算風速の相関

2. 5 風環境評価のための標準上空風データの検討

風環境の確率的評価を行うために必要となるワイブル係数 C （尺度係数）と K （形状係数）を、観測結果と WRF の計算結果からそれぞれ求め、両者の比較を行った。またデータベースでは風速鉛直分布のべき指数も参考として掲載することを考えているので、それについても観測結果と計算結果の比較を行った。

2. 5. 1 計算結果と観測結果の比較

4章で観測値との対応が最も良かった Case4（地表面過程に Noah, それ以外はデフォルト）による1年間の計算結果を用いて検討を行った。

(1) ワイブル係数 C と K の比較結果

図11, 12に高度 500m おける毎 10 分平均風速のワイブル係数を示す。ワイブル係数 C と K ともに計算結果は観測結果とよく一致している。このことは、図5に示した全風向の風速超過

確率だけでなく、風向ごとの風速超過確率も精度よく予測できていることを意味している。

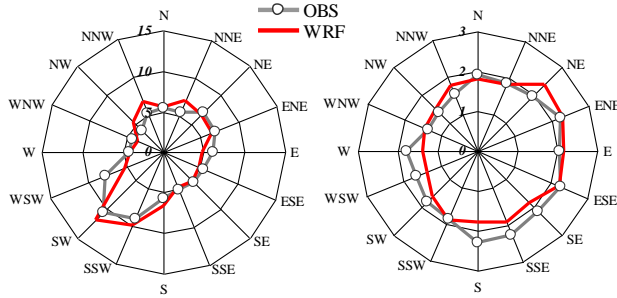


図 11 ワイブル係数 C 図 12 ワイブル係数 K

(2) 風速鉛直分布のべき指数 α の比較

以下の手順で風速の鉛直分布とそのべき指数を求めた。

- ① 観測結果と計算結果ともに高さ 500m での風向で 16 風向にデータを分類。なお風速 3m/s 以下のデータは除外。
- ② 風向毎に観測と計算の時刻が一致するものを抽出。
- ③ 分類したデータを高度毎に平均化し、その鉛直分布のべき指数を算出。図 13 に高さ 500m での卓越風向である風向 NE, SW における風速の鉛直分布を示す。図中には高度毎の平均風速と $\pm 1\sigma$ (標準偏差) を示している。風速の鉛直分布の形状は観測結果、計算結果ともに、その時々で大きく異なるため、かなりばらつき (標準偏差) が大きいですが、平均値は比較的よく対応している。

図 14 には風向ごとのべき指数を示す。(WNW から N までの風向はデータ数が少ないため、表示していない)。WRF の計算結果は、風向によるべき指数の変化をよく捉えているが、全般的に観測結果よりべき指数がやや小さい。これは 2. 3 の方法で与えた Z_0 の値よりも、凸凹が多い実際の都市ではより大きな値になっているのではないかと考えられる。

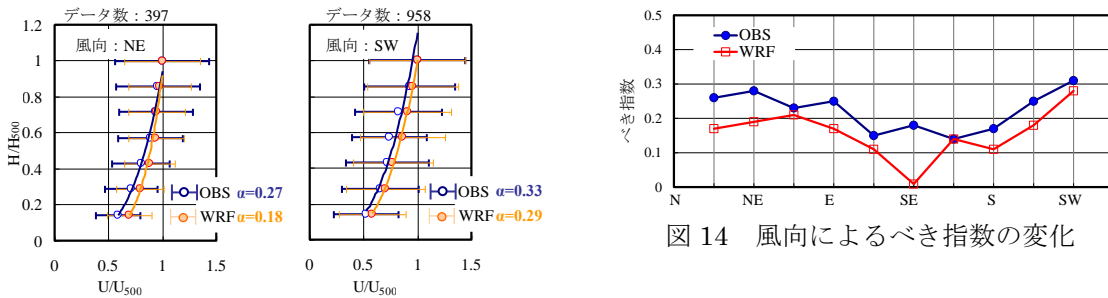


図 13 風速鉛直分布

図 14 風向によるべき指数の変化

3. 研究成果

WRF による計算結果を観測結果と比較しながら、各物理モデルの選択やナッジングの有無が WRF の計算結果に与える影響を調べた。本研究により明らかになったことを以下にまとめて述べる。

- ① 物理モデルが上空の風向の計算結果に及ぼす影響は小さく、観測結果とかなりよく一致する。
- ② WRF の計算結果は上空の風速のピークを観測結果より大きめに評価するが、地表面過程に Noah を用いることで、このピークが抑えられ観測結果との対応が向上する。
- ③ 地表面過程に Noah を用いることで、地表面温度ならびに低い高度での気温が他のケースより高くなり、観測結果との対応が格段によくなる。地表面温度は風速に比較的大きな影響を及ぼしている。
- ④ 計算領域を大きくすると上空の風向・風速ともに観測結果と対応がかなり悪くなったが、ナッジングをかけることで観測結果に近づいた。これは、ナッジングに用いた FNL データが上空の風速・温度を良い精度で再現できているためである。
- ⑤ 地表面過程に Noah を用いた計算結果は風向ごとの風速発生頻度も精度よく予測できるため、風向ごとのワイブル係数も観測結果から求めたものとよく一致した。
- ⑥ べき指数の風向による変化も WRF はよく捉えることができたが、観測結果よりも小さめの値となった。

本研究の検討結果より、WRF の計算結果を用いて標準上空風データベースを整備することは可能と判断し、現在 7 年分の計算を実施中である。1 年以内に関東圏標準上空風データベースを整備し web で公開したいと考えている。

参考文献

- 1) 村上周三, 岩佐義輝, 森川泰成, 「居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究: 市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究-III」, 日本建築学会論文報告集, 第 325 号, pp.74-84, (1983)
- 2) 風工学研究所編, 「ビル風の基礎知識」, 鹿島出版会(2005)
- 3) 大塚清敏, 後藤暁, 「気象庁メソ客観解析データの特性について (その 1, 2)」, 日本風工学会誌, pp.87-90, (2011)
- 4) 義江龍一郎, 三浦翔, 望月政法, 「領域気象モデルより求めた風速の鉛直分布および発生頻度と観測結果との比較」, 第 22 回風工学シンポジウム論文集, pp.73-78, (2012)
- 5) 川本陽一, 大岡龍三: 「地表面パラメータ設定の改良, 及び人工排熱影響の取り組み(その 1)」, 日本建築学会環境系論文集, No.631, pp.1125-1132, (2008)
- 6) Grimmond, C. S. B. and T. R. Oke: "Aerodynamic Properties of Urban Areas Derived from Analysis of surface Form", J. Applied Met., 38, pp.1262-1292, (1999)
東京都環境局, 大気汚染測定結果ダウンロード
http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/air/air_pollution/result_measurement.html

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

- 1) 三浦翔, 義江龍一郎, 宮里龍太郎, 東海林諭, 領域気象モデル WRF に基づく風環境評価のための標準上空風データ整備の検討, 第 27 回流体力学シンポジウム, 名古屋大学, 2013 年 12 月.
- 2) 義江龍一郎, 三浦翔, 領域気象モデル WRF に基づく風環境評価のための標準上空風データの整備, 日本風工学会誌, 第 39 巻第 2 号(通号第 139 号), pp.154-159, 2014 年 4 月.

[雑誌論文] (計 1 件)

[学会発表] (計 1 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

産業財産権, ホームページ等

5. 研究組織

(1) 研究代表者

富永 禎秀 (新潟工科大学 工学部建築学科)

(2) 研究分担者

義江 龍一郎 (東京工芸大学 工学部建築学科)

飯塚 悟 (名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻)

伊藤 真二 (鴻池組 技術研究所)

石原 孟 (東京大学大学院工学系研究科 社会基盤工学専攻)

岡田 創 (泉創建エンジニアリング 都市環境技術研究所)

片岡 浩人 (大林組 技術研究所 流体研究室)

小見 崇之 (東急建設株式会社 技術研究所 居住環境 G)

作田 美知子 (三井住友建設株式会社 技術研究開発本部 技術開発センター)

佐々木 澄 (清水建設(株)技術研究所 施設基盤技術センター 流体解析 G)

竹見 哲也 (京都大学防災研究所 気象・水象災害研究部門)

西村宏昭 ((財)日本建築総合試験所耐風試験室)

林 宏典 ((財)日本気象協会調査部 応用気象課)

宮下 康一 (風工学研究所)

山中 徹 (鹿島建設(株) 技術研究所 先端・メカトロニクスグループ)

吉川 優 (大成建設(株) 技術センター 建築技術研究所 防災研究室風チーム)