

平成 26 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 年度で終了]

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ベースの整備

研究課題名（英文）：Preparation of standard wind database for assessment of pedestrian wind environment using Weather Research and Forecasting Model

研究代表者：富永禎秀

交付決定額（当該年度）：310,000 円

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⁾が長年用いられている。こうした風速の発生確率を求めるためには、評価対象となる地域を代表する風観測データが必要となる。しかしその近くに風観測点がない場合や、あったとしても風観測点が周辺建物に遮られていたり、建物屋上に設置された風速計の高さが十分高くないため、その建物自身の剥離域やウェイクの中に入っていたりして、観測データが歪められている場合が多い。都心の風観測点はほとんど全てそうであると言っても過言ではない。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風環境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、本研究では、領域気象モデル WRF (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配、風向ごとのワイブル係数のデータベースを整備することを目的とする。

2. 研究の方法

- 1) 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あるいは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。そこで、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する。
- 2) 上記により、最も実現現象を正確に再現できる計算条件を明らかにした上で、その条件を用いて関東地方を対象とした 7 年間の計算を行い、7 年分の風向・風速データを取得する。
- 3) 7 年分の風向・風速データを用いて、上空の風配と風向ごとのワイブル係数を求め、関東地方標準上空風データベースとして web で公開するシステムを作成する。

3. 研究成果

3.1 各種物理モデルが計算結果に及ぼす影響

1) 計算概要

計算は 3 段階 2-way ネスティング（親領域と子領域が互いにデータのやり取りをする手法）で行った。計算領域とメッシュ分割を図 1 に示す。水平計算領域は、北緯 36 度、東経 140 度を中心とした 450km×450km を 9km の格子で分割した領域 (Domain1)、180km×180km を 3km の格子で分割した領域 (Domain2)、60km×60km を 1km の格子で分割した領域 (Domain3) とした。鉛直層は上空 50hpa（高度約 20km）までを 60 分割し、地表面近くが細かく上空に行くに従い粗くなる不等分割とした。地表面第 1 セルの高さは約 20m である。初期条件、境界条件として NCEP

(National Center for Environmental Prediction) の最終全球解析データ FiNaL operational global analysis data (以下, FNL) を与えた。

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、計算結果との比較に用いるドップラーライダーによる観測データの期間と一致させている。

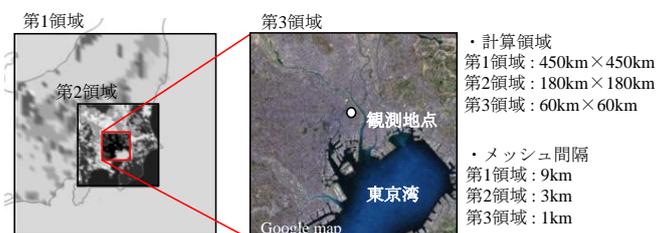


図 1 計算領域, メッシュ分割および観測地点

2) 計算ケース

WRF の計算を実行するためには、雲の生成や放射や流体運動といった各種気象現象を解く物理モデルを選択する必要がある。WRF では物理モデルの種類ごとに数種類の数値モデルが装備されており、一部を除いて任意に組み合わせを決めることができる。WRF を用いて実現象を精度よく再現するためには、モデルの選択が重要と予想されるが、モデルの違いによる結果の感度は十分明らかになっていない。そこで、表 1 に示す基本計算条件 (WRF のデフォルト設定) から各物理モデルを変えることによって、結果にどのような変化が生じるかを観測結果と比較しながら調べることにした。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、短波放射過程、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。

表 1 基本計算条件 (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-Fritsch scheme

- Case0: 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: 短波放射過程を 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)。

3) 計算結果と観測結果の比較

図 2 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、全ケースの計算結果と観測値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) が観測値よりピークを高め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精度向上が見られる。

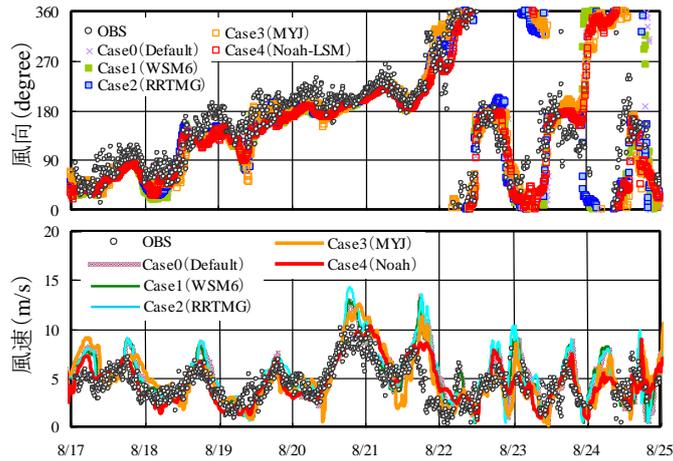


図2 風向・風速の時刻歴変化（高度 285m）

図3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4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。前記のように 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。

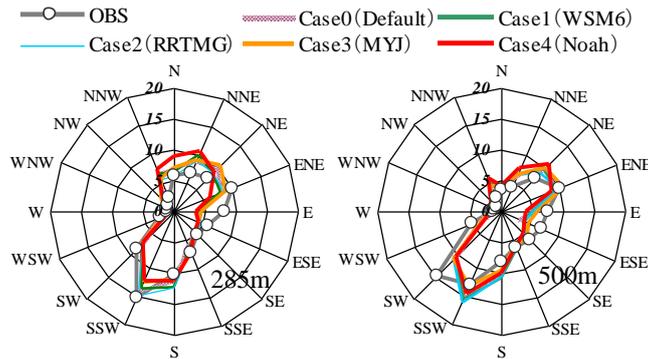


図3 毎10分間平均風向の年間発生頻度

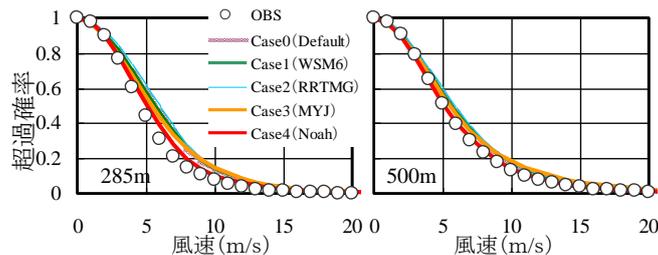


図4 毎10分間平均風速の年間超過確率（全風向）

日最大瞬間風速の超過確率に基づく風環境評価を行うためには、日最大風速の風配やワイブル係数が必要になる。そこで日最大風速発生時の風配や風速の超過確率についても計算結果と観測結果を比較する。図5には高度 285m, 500mの日最大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6には同じ2高度の日最大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の対応が格段に良いことがわかる。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。図は省略するが、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良くなる。地表面温度は風速に比較的大きな影響を及ぼしている。

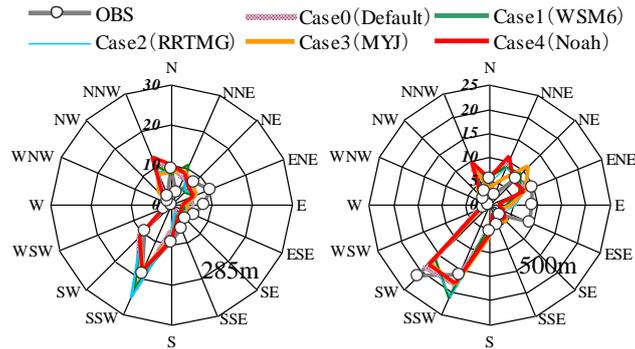


図5 日最大風速発生時の風向の年間発生頻度

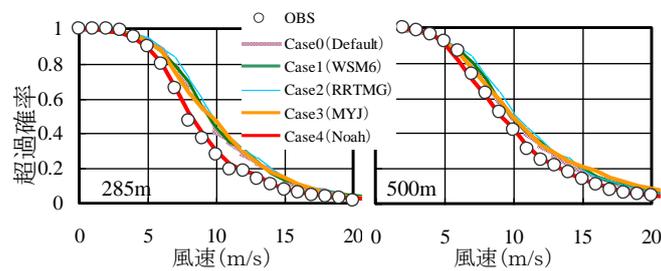


図6 日最大平均風速の年間超過確率（全風向）

以上のように、物理モデルが計算結果に与える影響をまとめると以下のようなになる。

- 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、どのモデルを用いても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良くなる。地表面温度は風速に比較的大きな影響を及ぼしている。

3.2 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指摘する人もいる。しかしながらその是非は十分明らかになっていない。また WRF では、データ同化手法の一つであるナッジング（モデルの予報値と観測データあるいは客観解析データとの差を補正する手法）が用意されている。ナッジングを用いることでより実現象を忠実に再現できることが期待される。しかし、ナッジングの有無が風向・風速の計算結果に与える影響も十分に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7）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7 計算領域とメッシュ分割（Case2, 3）

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、前記のように、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。(前節のCase4に相当。)
- ・Case2: 図7の領域で行った計算(領域大-nud無)。
- ・Case3: 図7の第1領域にナッジングをかけた計算(領域大Nud有)。
ナッジング係数は $3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ (WRFのデフォルト値)とした。

2) 計算結果と観測結果の比較

図8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、観測の風向が南寄り(180度)にもかかわらず、計算結果は北寄り(0度)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。

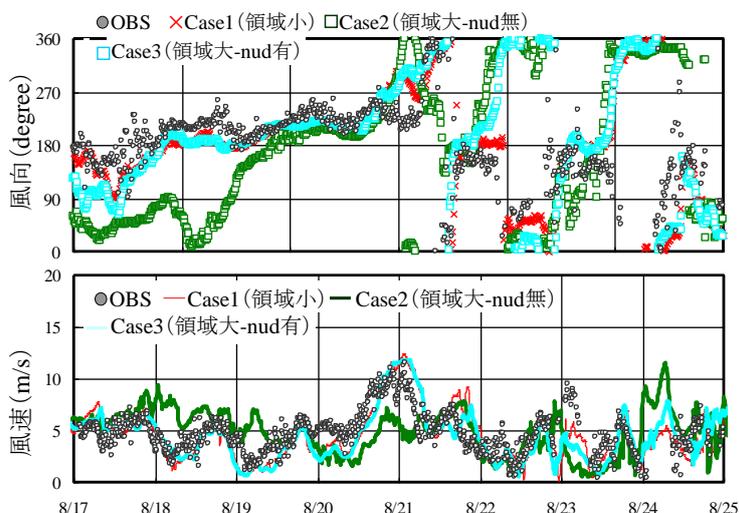
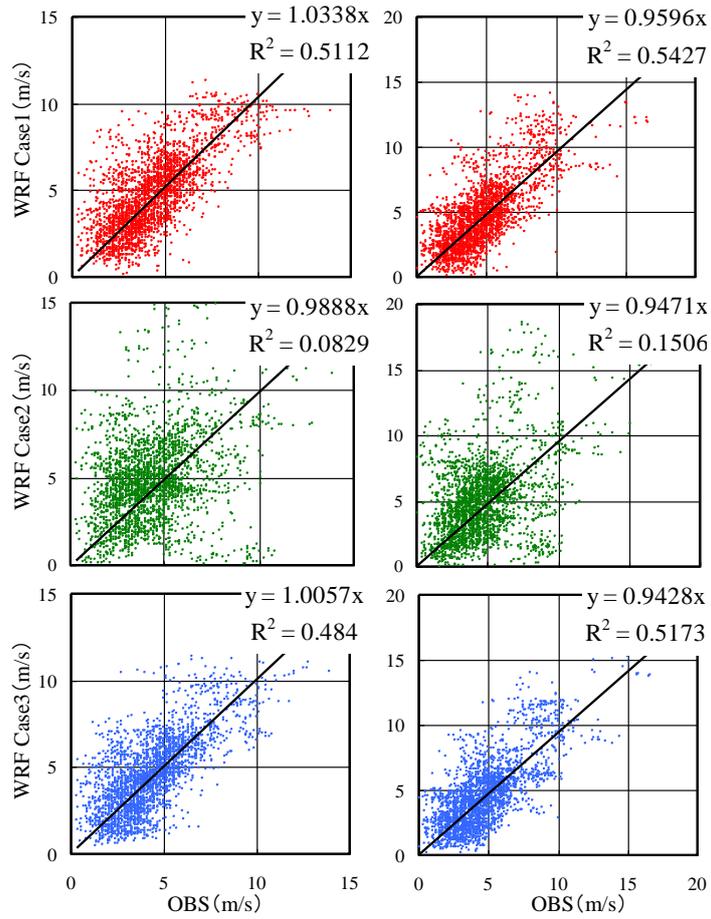


図8 風向・風速の時刻歴変化(高度285m)

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(領域大-nud無)は、観測結果との相関が非常に低いが、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。

図10には、高度285mにおける日最大風速の日変化を示す。Case1(領域小)、Case3(領域大-nud有)は観測結果と良く一致しているのに対し、Case2(領域大-nud無)は、やはり観測結果との差異がかなり大きい。

以上のように計算領域を広く取ると、観測結果との対応が非常に悪くなった。これは第2領域の境界に入ってくる第1領域の計算精度が、FNLに劣っているということを示唆している。領域大-nud無の場合には、計算の中で実現象とは違う振る舞いが生じても、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つても、ナッジングをかけることで、実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。ただしFNLの格子は粗いため観測地点の最寄りの格子は約40km離れたつくばあたりとなる。そこでまずWRFの計算結果で、観測点上空とつくば上空の風向・風速、温度に大きな差異がないことを確認した上で、観測結果とFNLの比較を行った。その結果を図11に示す。風向・風速の時刻歴変化、風配、風速の超過確率ともにFNLデータは観測結果とよく一致していることがわかる。



a) 高度 285m b) 高度 500m

図 9 観測風速と計算風速の相

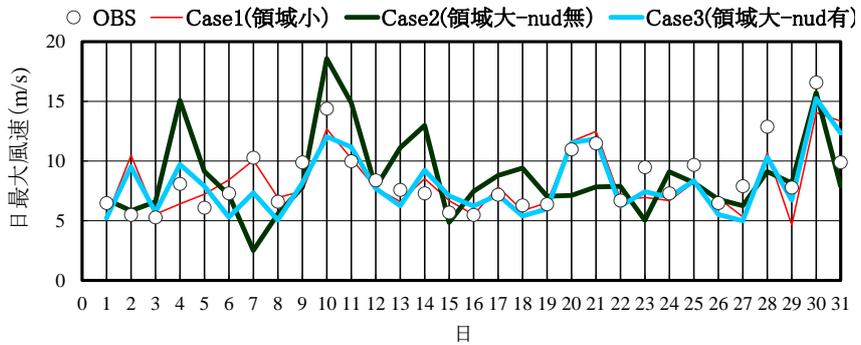


図 10 風向・風速の時刻歴変化 (高度 285m)

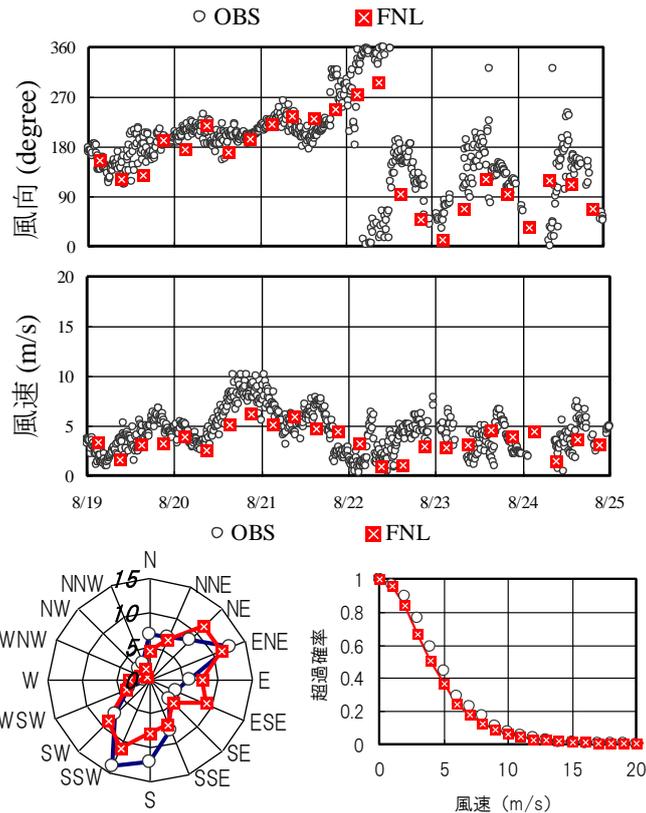


図 11 FNL と観測結果の比較 (高度 285m)

3.3 標準上空風データのためのワイブル係数の検討

この節では、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結果を述べる。

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 年間の計算結果と観測結果の両者について、最小二乗法によってワイブル係数を求めた。その結果を図 12 に示す。ワイブル係数 C と K と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 4 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。

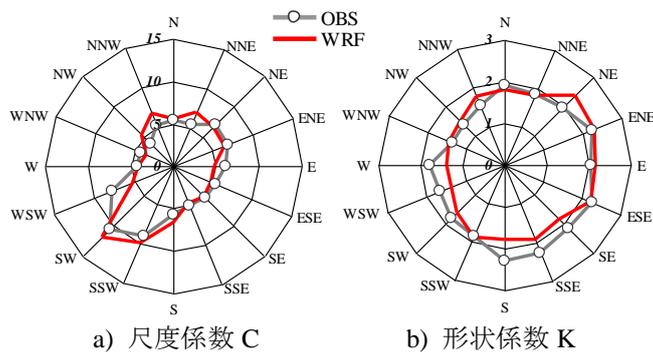


図 12 ワイブル係数の比較 (高度 500m)

3.4 関東地方ワイブル係数データベースを整備するための 7 年間の計算

以上のような検討結果より、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、7 年分の計算を行った。以下にその計算概要を記述する。

図 13 に計算領域とメッシュ分割を示す。計算は 1 ヶ月毎に分け 1 日分を助走計算期間とし、2007 年 1 月～2013 年 12 月の 7 年間行った。計算は 4 段階の 2way-nesting (親領域と子領域が互いにやり取りをする手法) で行った。水平計算領域は、北緯 35.95 度、東経 139.76 度を

中心した 2160km×2160km の領域 (Domain1)、900km×900km を格子 9km で分割した領域 (Domain2)、300km×300km を格子 3km で分割した領域(Domain3)、100km×100km を格子 1km で分割した領域 (Domain4) とした。鉛直層は上空 50hpa までを 60 分割し、地表面付近を細かくし、上空にいくにつれ格子を粗くした不当分割とした。WRF の初期条件および底面・側面境界条件には FNL を与えた。海面温度には、FNL データの表面温度を 6 時間毎に与えた。計算に使用した物理モデルは昨年の検討結果より観測結果 (実現象) を良く再現していた地表面過程に Noah Land Surface Model を用い、その他はデフォルト) の設定とした。ナudgingは、第1、2 領域に WRF のデフォルト値である 3×10^{-4} 、第3 領域は 3×10^{-5} とした。

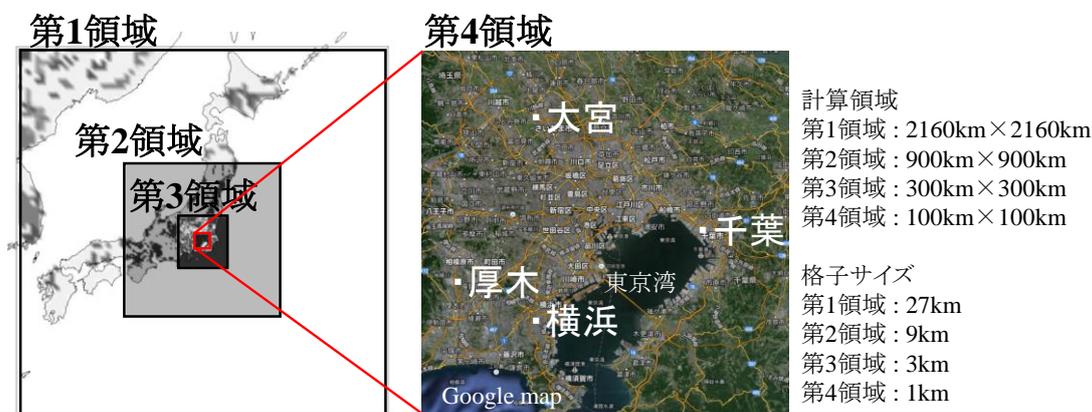


図 13 計算領域とメッシュ分割

3.5 おわりに (達成状況)

上記の7年分の計算は平成26年度中に完了している。その計算データを用いて、上空の風配と風向ごとのワイプ係数を求め、関東地方標準上空風データベースとしてwebで公開するシステム(プログラム)もほぼ完成した。実際にデータベースをwebに公開する作業は残ったが、概ね目標を達成したといえる。

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

[雑誌論文] (計 件)

- 1) 宮里 龍太郎, 義江 龍一郎, 三浦 翔, 東海林 諭, 領域気象モデル WRF にもとづく風環境評価のための標準上空風データ整備, 第23回風工学シンポジウム論文集, pp.61-66, 2014.
- 2) 宮里龍太郎, 義江龍一郎, 領域気象モデルを用いた風環境評価のための標準上空風データの整備 その1 物理モデルが風向・風速に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.903-904, 2014.
- 3) 東海林諭, 義江龍一郎, 領域気象モデルを用いた風環境評価のための標準上空風データの整備 その2 計算領域の大きさとナudgingが風向・風速に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.905-906, 2014.
- 4) Tuananh Nguyen, 義江龍一郎, Preparation of standard wind data for assessment of pedestrian wind environment using WRF Part 3 Verification of standard statistical wind data for assessment of pedestrian wind environment, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.907-908, 2014.
- 5) Ryuichiro Yoshie, Sho Miura, Ryutarō Miyazato, Preparation of standard wind data for assessment of pedestrian wind environment using WRF, Proceedings of CWE2014, USB, 2014.
- 6) 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ベースの整備, 日本風工学会誌, 39(2), pp.154-159, 2014.
- 7) 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, 流体力学シンポジウム講演予稿集, USB, B08-2, 2013.
- 8) 宮里 龍太郎, 三浦 翔, 義江 龍一郎, 領域気象モデルを用いて計算された風速・温度の発生頻度と観測結果との比較:(その1) 物理モデルが風速・温度の発生頻度に与える影響, 日

本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.843-844, 2013.

- 9) 三浦 翔, 義江 龍一郎, 領域気象モデルを用いて計算された風速・温度の発生頻度と観測結果との比較:(その2) 都市キャノピーモデルが風速・温度の発生頻度に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp.845-846, 2013.

〔学術論文〕(計 1件 その他投稿済み審査中論文1件)

〔学会発表〕(計 11件)

〔図書〕(計 0件)

〔その他〕(計 0件)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

富永禎秀 (新潟工科大学建築学科・教授)

(2) 研究分担者

飯塚悟 (名古屋大学環境学研究科・准教授)

伊藤真二 (鴻池組技術研究所・主任研究員)

岡田創 (泉創建エンジニアリング・主任研究員)

片岡浩人 (大林組技術研究所・上級主席技師)

小見崇之 (東急建設・技術研究所・研究員)

佐々木澄 (清水建設・技術研究所・研究員)

作田美知子 (三井住友建設・研究員)

竹見哲也 (京都大学・防災研究所・准教授)

西村宏昭 (日本建築総合試験所・耐風試験室長)

宮下康一 (風工学研究所・所長)

山中徹 (鹿島建設技術研究所・上席研究員)

義江龍一郎 (東京工芸大学建築学科・教授)

吉川優 (大成建設技術センター・主任研究員)

藤井邦雄 (風環境リサーチ・代表取締役)

宮里龍太郎 (東京工芸大学・大学院)

田辺剛志 (東京工芸大学・大学院)