

# 領域気象モデル WRF を用いた 新潟市の温熱・風環境の解析とマップ化

富永 禎秀\*, 鈴木 匠\*\*

(平成 26 年 10 月 31 日受理)

## Analysis and Mapping of Thermal and Wind Environment in Niigata City using the WRF Regional Meteorological Model

Yoshihide TOMINAGA\*, Takumi SUZUKI\*\*

In recent years, deteriorations of thermal and wind environment in the built environment including the urban heat island have been a serious problem. In order to mitigate and solve such problem, the urban environment formed in each regional area should be analyzed from climatology and meteorological viewpoints, and optimal solutions in architectural and urban planning should be found out from their results. In this study, thermal and wind environment in Niigata city and its surrounding area are analyzed by the numerical simulation using the WRF regional meteorological model, and its performance is examined by comparing with observation results. Furthermore, mapping methods of the urban environmental factors obtained by the simulation, which can be used in architectural and urban planning, are investigated.

Key words: Thermal and wind environment, WRF, Niigata city, Mapping

### 1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象をはじめとして様々な都市の温熱・風環境の悪化が問題視されている<sup>[1]</sup>。都市の持続可能性の観点から、これらの問題を解決し、都市環境をより良いものにしていく必要がある。しかしながら、都市の温熱・風環境に大きな影響を及ぼす、地域の気候や都市の規模・形態、土地利用等は都市ごとに異なるため、一般的な解決策を導き出すことは困難である。その都市において形成される温熱・風環境を気候学・気象学的な視点から分析し、その結果から都市計画や建築計画の最適解を見つけていく必要がある<sup>[2,3]</sup>。そのような活動を推進する上で重要となるのが、都市において形成される温熱・風環境をできるだけ分かりやすい形で表現したマップ（地図）である。従来より、このような都市気候をマップ化する研究が様々な形で行われてきたが<sup>[4-7]</sup>、気象データとして

---

\* 建築学科教授 Department of Architecture and Building Engineering, Professor

\*\* 建築学科学部生 Department of Architecture and Building Engineering, Undergraduate Student

AMeDAS 等の観測点のデータを使用するため分解能が粗かったり、高度な分析結果が表現されているものの非専門家には分かりにくい指標であったりといった課題が残されていた。

本研究では、メソスケールの数値気象モデルを使用したシミュレーションによって、新潟市及びその周辺の温熱・風環境を再現し、その精度を検証するとともに、気候に配慮した都市計画、建築計画に利用可能な都市環境マップの作成方法について検討することを目的とする。

## 2. 研究方法

### 2.1 WRF の概要

数値気象モデルとして、領域気象モデル WRF (Weather Research & Forecasting) を使用する<sup>[8]</sup>。本研究では、WRF-ARW Ver. 3.6.3 を使用した。WRF は、最近注目を集めている最新の気象予測モデルであり、気温、風、気圧、水蒸気などで表せる大気の状態変化を流体力学や熱力学などの物理学の法則に則って解析を行うソフトウェアである<sup>[9]</sup>。解析に必要なデータが既に全球レベルで整備されており、世界中の任意の場所を対象とした解析が可能である。最近では、建築分野での解析事例も数多く報告されている<sup>[10-13]</sup>。

### 2.2 計算領域とメッシュ間隔

計算領域とメッシュ間隔を Fig.1 に示す。3段階のネスティングを採用する。第3領域が主となる解析領域で、その水平方向の範囲は新潟市街地（図中●）を中心とする 120km × 120km とする。

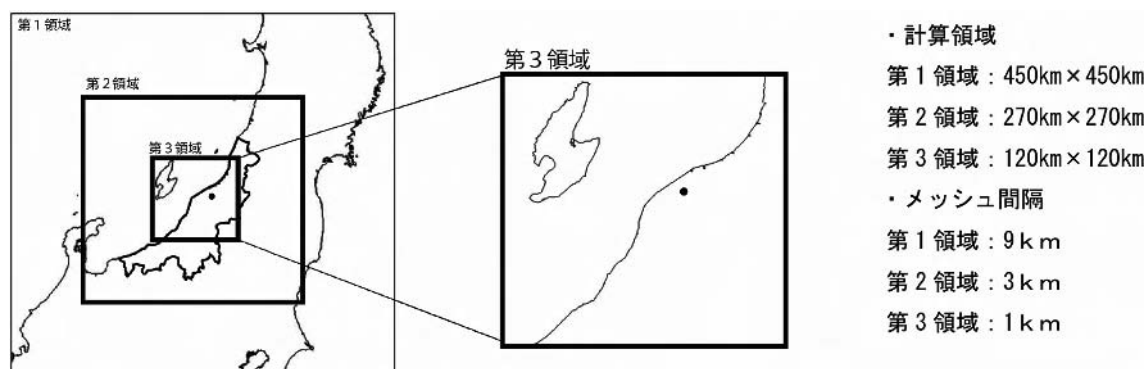


Fig.1 Computational Domain

### 2.3 計算期間と初期値・境界値

計算期間は2008年8月から2009年7月の1年間とした。これは同じ期間に筆者らが実施した新潟市内における気温観測調査結果と比較するためである。WRFの初期条件および底面・側面境界条件にはNCEP(National Centers for Environmental Prediction)による全球最終解析データFNL(FiNaL operational global analysis data)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。

## 2.4 計算に使用した物理モデル

Table1 に計算に使用した物理モデルを示す.

Table1 Physics schemes used

雲物理	WRF Single-Moment 6-class scheme
長波放射	Rapid Radiative Transfer Model
短波放射	Dudhia shortwave
接地層	MM5 Monin-Obukhov scheme
地表面	unified Noah Land Surface Model
キャノピーモデル	no
大気境界層	Yonsei University scheme
積雲パラメタリゼーション	Kain-Fritsch scheme(第 1, 2 領域)

## 2.5 土地利用情報

土地利用情報は、対象領域に GIS のデータを用い、それ以外の領域には USGS (United States Geological Survey: 米国地質調査所版) を用いた。本研究では、GIS として国土数値情報の土地利用細分メッシュ (2009 年度版) を用いた。これは、全国の土地利用の状況について、3 次メッシュ 1/10 細分区画 (100mメッシュ) 毎に、各利用区分を整理したデータである。使用した土地利用分布を Fig. 2 に示す。

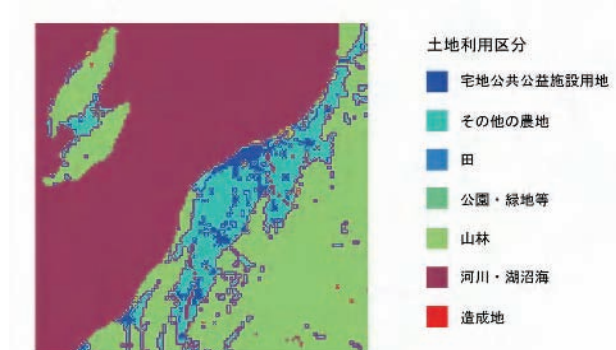


Fig. 2 Land-use parameters

## 3. 解析結果と観測結果の比較

### 3.1 新潟地方気象台の観測結果との比較

本研究で用いた WRF の解析結果の予測精度を検証するため、新潟地方気象台の観測データと比較を行う。本稿では、冬期と夏期の代表として、1 月と 7 月の比較結果を示す。Fig. 3 に 1 か月間の気温 (地上 2m) の変化、Fig. 4 に両者の相関図を示す。また図中に相関係数  $R$  と二乗平均平方根誤差 (the root mean square error, RMSE) を示す。全体的な傾向としては、解析結果は観測データとよく対応している。ただし特に 7 月において、気温の早朝の負のピークや日中の正のピークを再現できていない日が見られる。次に、1 か月間の

風速（地上 17m）の変化の解析結果と観測結果の比較と両者の相関を、それぞれ Fig. 5 と Fig. 6 に示す. 気温に比べると、観測に対する解析結果のばらつきが大きくなる. これは、WRF の解析結果は 1km メッシュの平均値であるため、気温に比べて周辺地物などの影響をより強く受ける高度の低い地点の風速の予測に対しては、精度が悪くなるものと考えられる. 両者の相関を見ると、解析結果は、観測結果より全体的にやや低めの風速となっている. Fig. 7 に風配図の比較を示す. 各月の最多風向が解析結果で再現されている. Fig. 8 に月別の気温と風速の相関係数を示す. 年間を通じて、風速に比べて気温の予測精度が高い. これは前述の通り、解析結果の周辺地物の影響が反映されていないことに起因すると考えられる. 風速の相関は、冬期の方が高いが、気温はむしろ逆の傾向であり、気温と風速の月別の予測精度には相関は見られない.

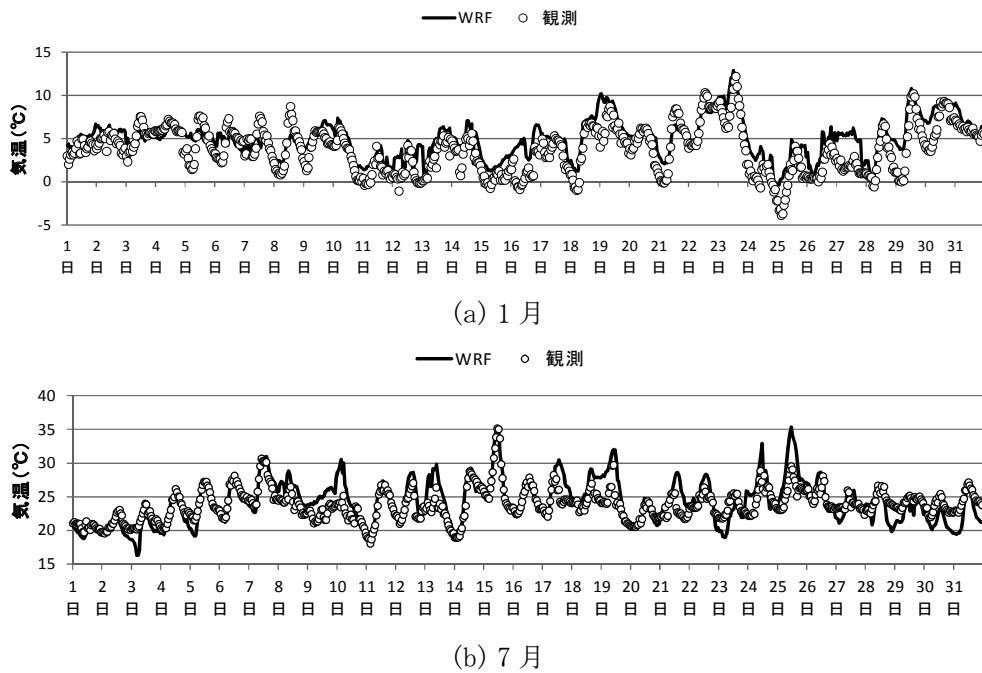


Fig. 3 Monthly variations of air temperatures (2m height) from observation and simulation

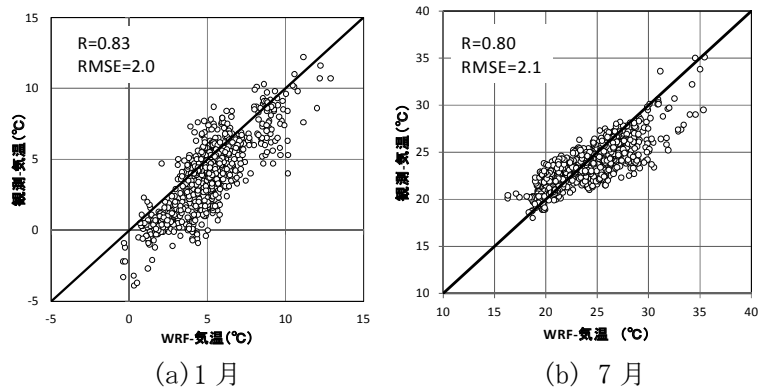
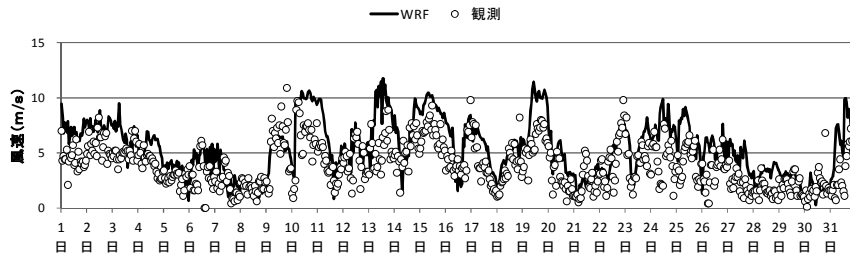
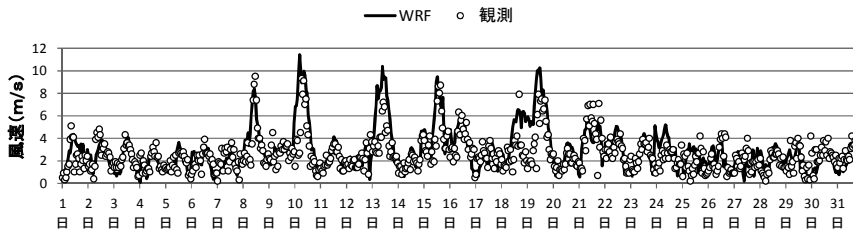


Fig. 4 Scatter diagrams of air temperatures (2m height) from observation and simulation

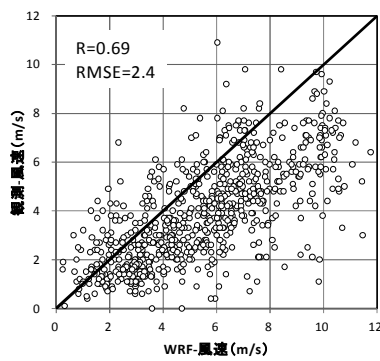


(a) 1月

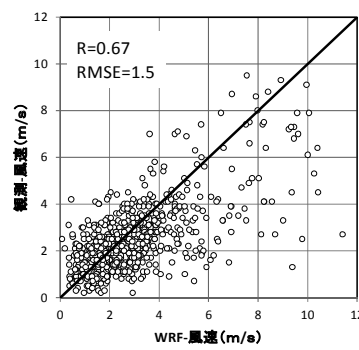


(b) 7月

Fig.5 Monthly variations of wind velocity (17m height) from observation and simulation

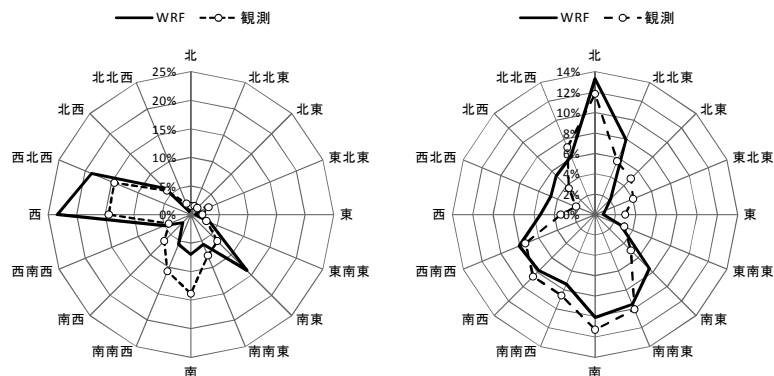


(a) 1月



(b) 7月

Fig.6 Scatter diagrams of wind velocity (17m height) from observation and simulation



(a) 1月

(b) 7月

Fig.7 Frequency distribution of wind direction (17m height) from observation and simulation

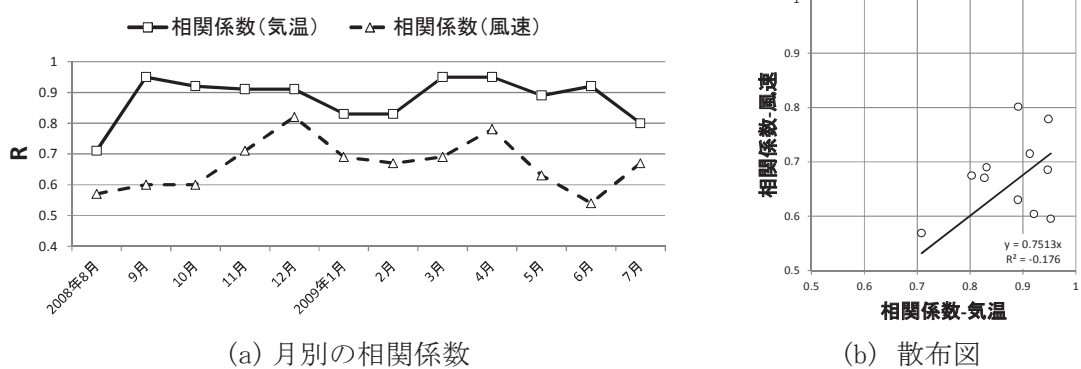


Fig.8 Monthly variation of correlation coefficients between observation and simulation

### 3.2 百葉箱による観測結果との比較

筆者らが、新潟市において実施した観測結果との比較を行う。観測は、市内の数か所に百葉箱を設置し、その中に配置した温湿度データロガーによって、2008年8月から2009年7月までの1年間の1時間毎の気温と相対湿度を計測した。各観測点の年平均気温の観測結果と解析結果の比較をFig.9に示す。両者の差は、 $0.4^{\circ}\text{C}$ の間に収まっており、予測精度は高いと判断できる。観測結果では、海岸付近及び郊外の観測点で気温がやや低めで、中心市街地付近の測定点では気温が高めになっているが、解析結果では、海岸付近の低温は再現されているものの、中心市街地付近の高温は再現できていない。これは、市街地付近の温度上昇に寄与していると予想される交通や建物からの人工排熱の影響をWRFでは考慮していないためと考えられる。

以上の観測結果との比較より、今回のWRFの解析結果は、対象領域で形成される微気候の特徴を捉えているものと判断した。

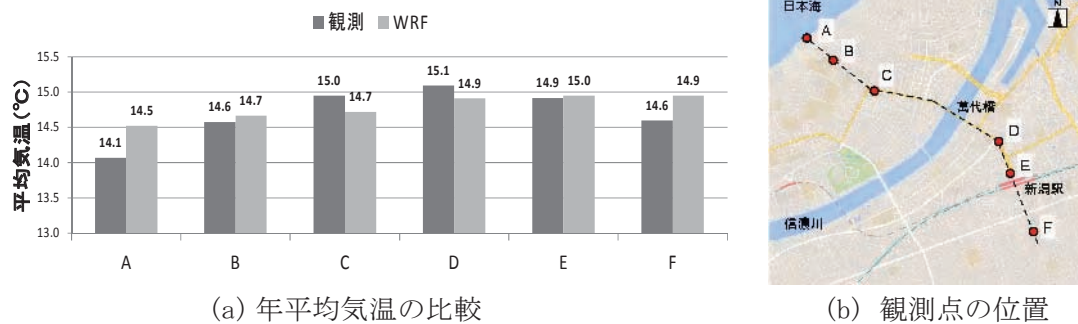


Fig.9 Comparison of yearly averaged temperatures between observation and simulation

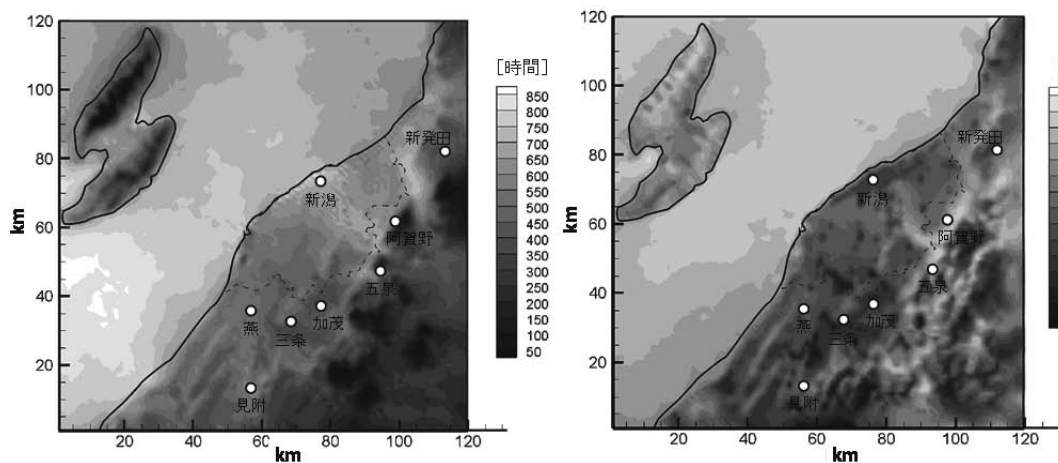
## 4. 都市環境マップの作成

本稿では、都市環境マップの一例として、建築物の通風利用と屋外風環境の2つの項目を取り上げる。

通風利用は、「通風利用可能時間」によってマップ化を行う。「通風利用可能時間」は

次のように算出した。通風の利用が有効である時間は、外気温が一定以上に高く、外部風速が一定以上の強さである時間であると考えた。ただし外気温が高すぎても、外部風速が強すぎても通風には不適であるので上限を設ける。本研究では、通風利用の条件を、外気温が  $24^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$ 、風速が建物高さ（地上 6.5m と仮定）で  $2.0\text{m/s}\sim 8.0\text{m/s}$  の範囲と設定した。この風速範囲は、標準的な住宅内の通風時の風速は、建物高さの風速比で概ね  $0.1\sim 0.2$  程度であること<sup>[14]</sup>、通風として適切な室内風速範囲は  $0.2\text{m/s}\sim 1.0\text{m/s}$  程度であると考えられることから決定した。解析結果の風速は、べき指数 0.20 のべき乗則を仮定して、地上 10m の値から地上 6.5m の値に変換した。Fig. 10(a) は、上記の条件に基づき算出された通風利用可能時間のマップである。最も時間の長い場所で、850 時間程度であり、概ね年間の 1/10 程度の時間となる。新潟市内においても、2 割程度の差が見られる。海岸線付近で利用時間が長くなる他、新潟市の周辺の山沿いの地域においても利用時間の長い地域が見られる。

風環境は、「非適風日」によってマップ化を行う。「適風」の判定には、村上らによって提案された気温の影響を考慮した 1 日単位の風環境評価尺度<sup>[15]</sup>を用いた。使用した風環境評価尺度を Table 2 に示す。本研究では、表中 (b) の移行領域は考慮せず、(a) 弱風に対する不満が確実に現れる風速と (c) 大多数の人が強すぎると感じ始める風速、を「非適風」の条件として、解析結果の日平均気温と日平均風速から判定した。風環境評価には、地上 1.5m 高さの風速が必要になるが、通風と同様、べき指数 0.20 のべき乗則を仮定して換算した。Fig. 10(b) は、上記の条件に基づき算出された非適風日の 1 年間あたりの日数である。最も日数の多い場所で 340 日程度となり、1 年間の大半が非適風日であるという結果となった。新潟市の海岸線付近では、予想に反して日数が短く、風の強い冬期の気温がやや高めであることと、都市化によって粗度が大きくなることによって風速が弱められていることが影響しているものと考えられる。



(a) 通風利用時間マップ

(b) 非適風日マップ

Fig. 10 Examples of urban climate maps

Table 2 Criteria for assessing wind-induced discomfort considering temperature effect

(地上1.5m)		日平均気温(°C)							
		0	5	10	15	20	25	30	35
(a) 弱風に対する不満が確実に現われる風速	日平均風速	—	—	—	—	—	—	—	0.7m/s
	日最大平均風速	—	—	—	—	—	—	—	1.0m/s
	日最大瞬間風速	—	—	—	—	—	—	—	.....
(b) 「適風」から「強風による非適風」に移行する風速	日平均風速	1.3m/s	1.5m/s	1.5m/s	1.5m/s	1.5m/s	1.5m/s	1.5m/s	1.7m/s
	日最大平均風速	3.5m/s	3.5m/s	3.5m/s	4.0m/s	4.0m/s	4.0m/s	4.0m/s	4.5m/s
	日最大瞬間風速	8.5m/s	8.5m/s	8.5m/s	10.0m/s	10.0m/s	10.0m/s	10.0m/s	11.5m/s
(c) 大多数の人が強すぎると感じ始める風速	日平均風速	2.0m/s	2.0m/s	2.0m/s	2.3m/s	2.3m/s	2.3m/s	2.3m/s	2.9m/s
	日最大平均風速	5.5m/s	5.5m/s	5.5m/s	6.5m/s	6.5m/s	6.5m/s	6.5m/s	8.0m/s
	日最大瞬間風速	13.0m/s	13.0m/s	13.0m/s	15.0m/s	15.0m/s	15.0m/s	15.0m/s	18.5m/s

## 5. まとめ

メソスケールの数値気象モデル WRF を使用したシミュレーションによって、新潟市及びその周辺の温熱・風環境を再現した。観測結果との比較により、数値シミュレーションの予測精度を検証した結果、気温や風速の日変化や年平均気温を一定の精度で再現できることを確認した。気温に比べて、風速の予測精度はやや劣るが、これは風速の観測結果が周辺地物等の影響を受けているためと推察される。また風向の頻度分布はよく再現された。

さらに数値気象モデルの結果を用いて、「通風利用可能時間」と「非適風日」を算出し、その結果をマップ化した。新潟市域においても、これらの指標には2～3割程度の違いが見られ、このようなマップ化の必要性が確認できた。

今後は、より多様な指標を用いて気候に配慮した都市計画、建築計画に利用可能な都市環境マップを作成し、その有効性について検討していきたい。

## 謝辞

本研究は、平成24年度・新潟工科大学「大学魅力アップ・教育研究プロジェクト」の選定課題である「気候情報を活かした環境調和街づくりに関する研究：新潟市を対象とした市民・大学協働による都市気候調査と環境マップ作り」の一環として行われました。選定していただいた本学関係者各位、そして研究にご協力いただきました NPO 法人地域インフラ研究会・高橋邦夫理事長をはじめとするメンバーの方々、本学建築学科・長 聡子准教授に感謝いたします。また WRF の解析では、東北大学大学院・持田 灯教授、大風 翼助教に、立ち上げから実施に至るまでご指導・ご協力を頂きました。記して謝意を表します。



## 文献

- [1]環境省:環境白書ー循環型社会白書/生物多様性白書(平成 25 年版)ー;日経印刷, 2013.
- [2]日本建築学会(著):都市環境のクリマアトラスー気候情報を活かした都市づくりー, ぎょうせい, 2000.
- [3]田中貴宏, 山下卓洋, 森山正和:「都市環境気候図」を利用した多主体参加型まちづくりワークショップに関する研究ー神戸市長田区駒ヶ林地区におけるワークショップの実践ー;日本建築学会環境系論文集, 611, 91-98, 2007, 1.
- [4]西川邦彦, 斉藤郁雄, 石原修:自然エネルギーの活用のための気象データの整備と気候マップの作成;日本建築学会計画系論文集巻号, 509, 15-20, 1998, 7.
- [5]岩井一博, 高木直樹, 浅野良晴, 山下恭弘:地方都市における気候マップの作成と都市気候の実態に関する研究;日本建築学会計画系論文集, 526, 83-90, 1999, 12.
- [6]大岡龍三, 吉田伸治, 村上周三, 佐々木澄, 持田灯, 吉野博:都市の熱代謝モデルの提案と緑化に係わる熱収支分析ー都市気候モデルに基づく東京の都市熱環境の分析ー;日本建築学会環境系論文集, 579, 73-80, 2004, 5.
- [7]佐々木澄, 吉田知弘, 持田灯, 渡辺浩文, 吉野博:典型的夏季晴天日を対象とした大気部熱収支構造の定量評価に基づく都市内部の熱収支 MAP の試作ー気候数値解析に基づく都市気候の地域特性の定量化(その 2)ー;日本建築学会環境系論文集, 602, 85-92, 2006, 4.
- [8] W.C. Skamarock, J.B. Klemp, J. Dudhia, D.O. Gill, D.M. Barker, M.G. Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, J.G. Powers : A description of the advanced research WRF version 3 ; NCAR TECHNICAL NOTE, NCAR/TN-475+STR, 2008.
- [9]日下 博幸:領域気象モデル WRF について;ながれ, 28(1), 3-12, 2009, 2.
- [10]飯塚悟, 金原和矢, 日下博幸, 原政之, 秋本祐子:夏季の名古屋の温熱環境を対象とした現状再現の精度検証と疑似温暖化手法を併用した将来予測の試みー領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温熱環境シミュレーション(その 1)ー;日本建築学会環境系論文集, 647, 87, 2010, 1.
- [11]北尾菜々子, 森山正和, 田中貴宏, 竹林英樹:メソ気象モデル WRF を用いた大阪地域のヒートアイランド現象に関する研究ー潜在自然植生の概念を用いた都市化の影響評価ー;日本建築学会環境系論文集, 651, 465, 2010, 5.
- [12]飯塚悟, 金原和矢, 日下博幸, 原政之:2070 年代夏季温熱環境の長期トレンド予測ー領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温熱環境シミュレーション(その 2)ー日本建築学会環境系論文集; 662, 425, 2011, 4.
- [13]黒木美早衣, 飯塚悟, 伊藤奨, 日下博幸, 原政之:日本建築学会環境系論文集複数の IPCC SRES シナリオに基づく 2030 年代・2050 年代・2070 年代・2090 年代の名古屋都市圏温熱環境・風環境の将来予測の比較ー領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温熱環境シミュレーション(その 3)ー日本建築学会環境系論文集; 678, 689, 2012, 8.
- [14]赤林伸一, 佐々木淑貴, 坂口淳, 富永禎秀:通風性能の定量的評価手法に関する研究

日本建築学会環境系論文集；568, 49-56, 2003, 6.

- [15]村上周三, 森川泰成: 気温の影響を考慮した風環境評価尺度に関する研究—日平均風速と日平均気温に基づく適風, 非適風環境の設定—; 日本建築学会計画系論文報告集, 358, 9-17, 1985, 12.