

# 市街地における屋外温熱環境解析に関する研究

2018 年猛暑日における東京都市域を対象とした局地気象解析

新井 舞子\*<sup>1</sup>・河合 英徳\*<sup>2</sup>・田村 哲郎\*<sup>3</sup>

Keywords : extremely hot day, outdoor thermal environment, meteorological model, actual urban district

猛暑, 屋外温熱環境, 気象モデル, 実市街地

## 1. はじめに

近年, 夏季の酷暑が社会問題となっており, 特に都市部において熱中症防止に向けた暑熱ストレス評価が重要テーマとなっている。2018 年 7 月には関東・東海を中心に記録的猛暑が観測され, 埼玉県熊谷市で日本観測史上最高となる 41.1℃を観測した。また, 東京都青梅市でも都内観測史上初の 40℃を超えとなる 40.8℃を観測し, 東京管区气象台(北の丸公園)では観測史上第 3 位となる 39.0℃を観測した。都内では他にも計 4 地点で 39℃以上となった。また, 2022 年 6 月下旬には全国的に猛暑日が続き, 東京でも最高気温 36.4℃を観測し, 観測史上初の 9 日間連続の猛暑日となった<sup>1)</sup>。このような高温発生要因としては, ヒートアイランド現象, 山を越えて吹く乾燥した暖かい風によるフェーン現象等, より広域な範囲での現象が考えられる。このような気象スケールでの気流や熱の流れを再現する手法として, 領域気象モデルの一つである Weather Research and Forecasting (WRF)<sup>注1)</sup>が挙げられる。

既往の研究では, 2018 年 7 月の熊谷での高温発生について, Nishi, Kusaka<sup>2)</sup>は WRF による解析やバックトラジェクトリー解析等を行い, 北陸地方からの北西風によるフェーン現象がその一因として考えられると述べている。また, 熱中症危険性を考える上では, 人口が集中している東京都市域での人工排熱などに基づく温熱環境の変化を明らかにすることも必要となる。しかし, 東京都市域での高温発生要因やその発生過程の詳細についてはあまり考察されていない。

また, 2018 年 7 月 23 日の東京都市域では, 熊谷での高温発生要因の一つであるフェーン現象による移流特

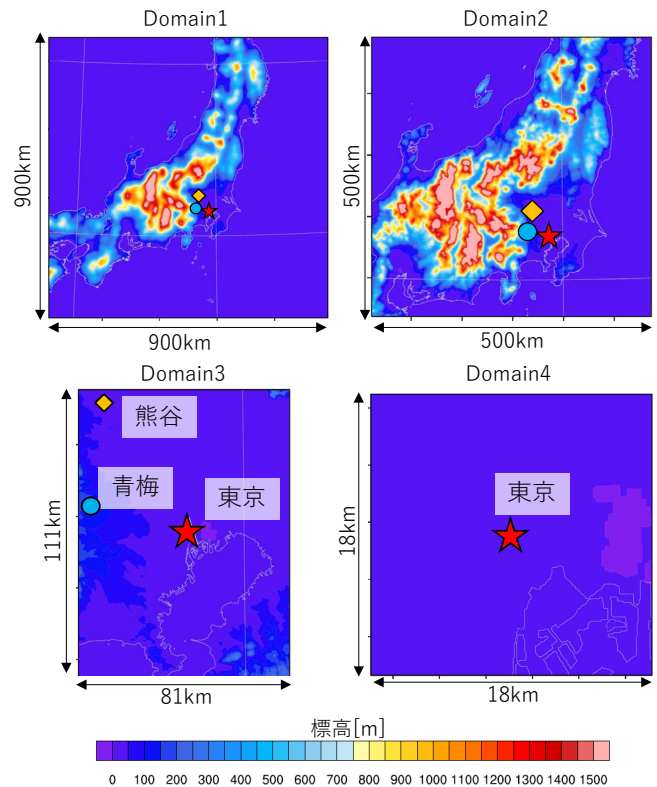


図-1 解析領域  
Fig.1 Analysis area

性によって温度が上昇し, その後, 海風が南東側から侵入し温度が低下したと考えられる。東京都市域の温熱環境を把握する上で, このような海陸風による温熱環境の非定常変化を再現する必要がある。

本研究では, 記録的な猛暑日(2018 年 7 月 23 日)における東京都市域での高温発生状況や温熱環境の変化に関する再現性の確認を目的として, 関東近郊から東京都内を対象として WRF および WRF-LES<sup>注1)</sup>を用いた解析を実施し, 東京管区气象台(北の丸公園)(以降,

\* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室  
\* 2 お茶の水女子大学  
\* 3 東京工業大学

東京), 青梅地域気象観測所 (アメダス) (以降, 青梅), 熊谷地方気象台 (以降, 熊谷) の観測値との比較を行った。

## 2. 解析手法

本研究では, WRF および WRF-LES (Version 3.7.1<sup>3)</sup>)を用いて解析を実施した。解析対象は関東地方で高温が観測された 2018 年 7 月 23 日 13 時 (JST) 頃とした。解析期間は助走計算を考慮し, 2018 年 7 月 22 日 21 時から 24 日 0 時までの 27 時間とした。解析領域は図-1 のように Domain1~4 とし, Domain1~2 では WRF, Domain3~4 では WRF-LES を用いた。Domain1~4 の解析領域の大きさはそれぞれ, 900km×900km, 500km×500km, 81.3km×111.3km, 18km×18km とし, 最小の Domain4 では東京を中心とした範囲を設定した。水平方向の格子解像度は 4.5km, 1.5km, 0.3km, 0.06km とし, WRF と WRF-LES の接続は 1-way ネスティングとした。その他の解析条件は表-1, 表-2 に示す。

## 3. 解析結果

### 3.1 気象台・アメダスの観測データとの比較

関東地方で観測史上最高気温を更新した「熊谷」, 「青梅」と東京都心部に位置する「東京」の観測データ (10 分値) と, WRF (Domain1) の気温, 風速, 風向を比較した (図-2)。WRF の結果は全て 10 分間の移動平均値とした。

まず, 東京の結果を見ると, 気温の日変化については概ね観測と同じ傾向を示している。最高気温やその発生時刻は, 観測では 13 時 30 分に 38.5℃, WRF では 13 時 57 分に 38.0℃となっており, 最高温度に到達した時刻は WRF の方が約 27 分遅い結果となったが, 最高気温は観測と非常に近い値が得られた。風速は全体的に WRF の結果の方が過大となった。これは, WRF では地表面近傍の粗度の影響が過小評価されているためだと考えられる。風向を確認すると, 観測では 3 時~8 時頃まで北~北北西寄りの風を, 9 時~13 時頃までは北西~北東寄りの風を示しているが, WRF では 3 時~13 時頃までほぼ一定で北西~北北西の風となっている。その後, 観測では 13 時過ぎから徐々に南風に切り替わる。これは 13 時過ぎから海風が侵入しているためだと考えられる。同じ時間帯の気温や風速も合わせて確認すると, 13 時ごろから気温の低下, 風速の上昇がみられる。WRF でもこの北風から南風への切り変わりが再

表-1 Domain1~4 の解析条件

Table 1 Analysis setting of Domain 1~4

Domain	WRF モデル	解析領域 [km]	水平 格子数	水平格子 解像度 [km]	時間刻み [秒]
1	WRF	900×900	201×201	4.5	4
2	WRF	500×500	334×334	1.5	0.8
3	WRF-LES	81×111	271×371	0.3	0.4
4	WRF-LES	18×18	301×301	0.06	0.13

表-2 解析条件

Table 2 Analysis condition

初期値・ 境界値	気象データ: 気象庁 GPV データ 海面・地表面温度, 土地水分量等: 米国国立環境予測センター(NCEP) FNL 地形データ: 国土数値情報
解析期間	2018/7/22 21:00~7/24 0:00 JST (Domain1-2) 2018/7/23 09:00~7/24 0:00 JST (Domain 3) 2018/7/23 11:00~7/24 0:00 JST (Domain4)
雲物理	Morrison 2-moment scheme
長波長	RRTM scheme
短波長	RRTMG scheme
接地層	Monin-Obukhov (Janjic) scheme
地表面	Unified Noah land-surface model
大気境界層	MYJ TKE (Domain1-2), None (Domain 3-4)

現されている。

次に, 青梅, 熊谷の結果を観測と比較すると, 両者ともに最高気温の値は観測よりも WRF の方が過小評価されている。最高気温の発生時間帯は観測では 13 時 30 分頃であるのに対して, WRF の方が約 1 時間遅い時間となっている。また, 風向変化をみると, 青梅では, 観測では午前中が北西~西風となっており, 14 時 30 分頃から東風を経由して南風に変化している。一方で, WRF の結果では観測よりも約 2 時間遅れて 16 時過ぎから西風を経由して南風に変化している結果となった。熊谷では, 観測結果は 3 時~15 時頃にかけて北西~西風となっており, 15 時頃から徐々に南風に移り変わる様子が見られる。一方, WRF の結果では 3 時~18 時頃まで北寄りの風が吹いており, 南風に切り替わる時間帯は観測よりも約 3 時間遅い 18 時頃となっている。これは初期値の海面温度や地形データの解像度によって, 海風の侵入時間帯や経路に差異が生じ, WRF では観測よりも海風の侵入が遅れたためだと考えられる。

### 3.2 東京周辺を対象とした WRF-LES の結果 (Domain4) との比較

図-3 にて東京に着目して, WRF-LES の Domain4 の結果と観測データ (10 分値) の風向風速, 気温の時系列変化を比較した。WRF-LES の結果は 10 分間の移動平均値とした。

気温を比較すると, WRF-LES の結果は 11 時から 13

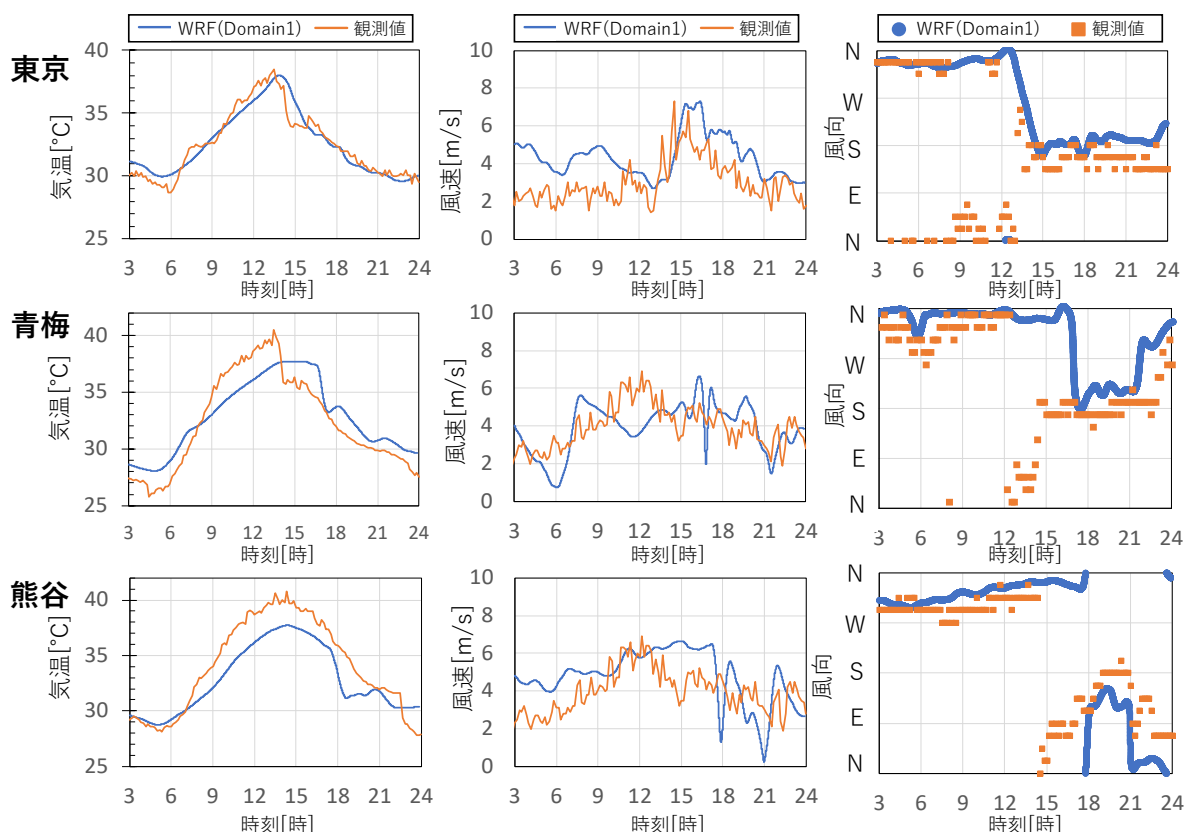


図-2 東京、青梅、熊谷における観測データと WRF 結果(Domain1)の気温、風向風速の比較 (2018/7/23)

Fig.2 Comparison of the observation data and WRF results (Domain1) of velocity, wind direction, air temperature at Tokyo, Ome, Kumagaya (2018/7/23)

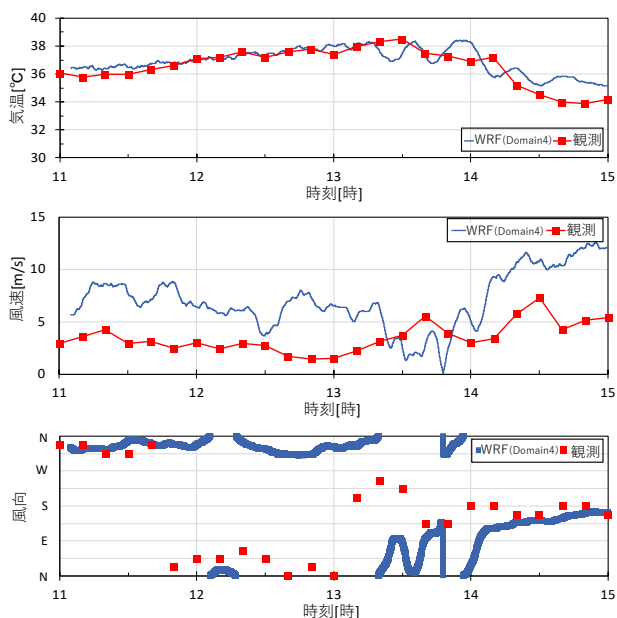


図-3 東京における観測値と WRF-LES 結果(Domain4)の気温、風向風速の比較 (2018/7/23)

Fig.3 Comparison of the observation data and WRF-LES results (Domain4) of velocity, wind direction, air temperature at Tokyo

時 20 分頃まで観測値と同様の傾向を示した。観測では 13 時 30 分に最高気温 38.5℃となっており、そこから緩やかに気温が低下している。気温と風向の変化を合わ

せて見ると、観測では 13 時過ぎから南風に切り替わり、冷涼な海風の侵入により気温が低下したと考えられる。WRF-LES では 11 時～13 時 20 分頃まで北西～北北西の風向きとなっており、その後 13 時 30 分～14 時にかけて、北～東側に風向が振れながらも 14 時過ぎには南～南東風に落ち着いている。気温についても、南風（海風）に切り替わる直前に観測の最高気温と同程度である 38.4℃に到達した。3.1 節の Domain1 の結果と同様に、東京での海風の到達が WRF-LES の方が観測よりも約 30 分遅れているが、北側の風が吹いている時間帯での気温上昇や南～南東風（海風）の侵入による気温低下の過程は同様の傾向を示した。

また、鉛直方向の風向の差異を確認するため、東京における鉛直方向の風向と時間変化を図-4 に示す。11 時、12 時の結果では地上から上空 2000m まで北北西風となっている。13 時の結果を見ると、高さ 100～800m において北北西～北西の範囲で高さごとに風向変化がみられる。14 時の結果では地上から高さ約 400m までが北北東風を、それより上空では北北西～北を示している。15 時には地上から高さ 1200m 付近まで南寄りの風（南東～南風）となっている。このことから、14 時から 15 時の間に低い位置から海風の侵入が始まり、15

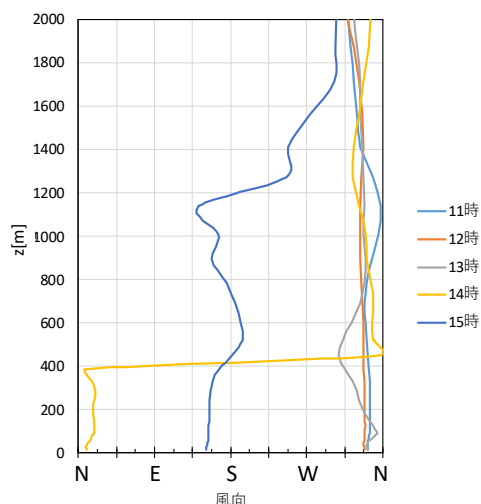


図-4 東京における WRF-LES(Domain4)の風向の時間変化  
Fig.4 Wind direction of WRF-LES (Domain4) at Tokyo

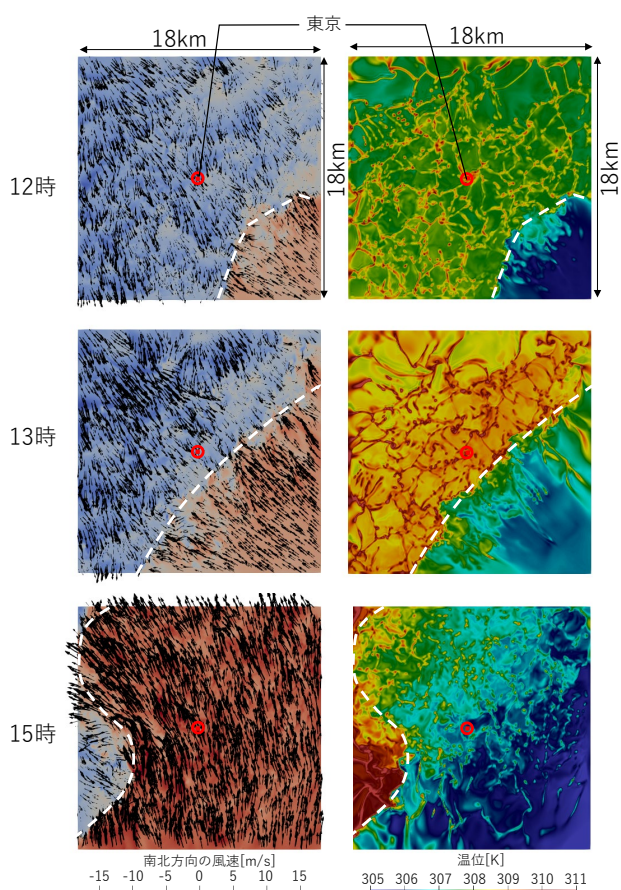


図-5 WRF-LES(Domain4)の南北方向の風速・温位分布  
(水平断面 z=100m)

Fig.5 The horizontal distribution of velocity (N-S direction), potential temperature of WRF-LES (Domain4) result (z=100m)

時頃には海風が東京に到達して南寄りの風となっていることがわかる。

図-5 に WRF-LES (Domain4) の高さ 100m 地点での風速, 温位分布をに示す。東京は各図の中央の赤点に位置する。左図のコンターは南北方向の風速値 (北風

をマイナス) とした。海風の侵入の様子を図-5 の風速分布と温位分布の水平断面で確認すると, 温度が低い部分では南寄りの風となっており, 冷涼な海風が到達していると考えられる。また, 12 時, 13 時, 15 時の結果を比較すると, 12 時は南東から冷たい海風が徐々に侵入してきているがまだ東京には到達していないため, 東京での風向は北北西となっている。13 時は東京付近まで海風が到達しており, 15 時には東京よりもさらに北側まで海風が到達していると考えられる。以上より, 東京地区での北西側からの風と南東側からの海風の変化の様子が再現されたことが確認できた。

#### 4. まとめ

本研究では, 関東地方や東京都心で記録的な高温を観測した 2018 年 7 月 23 日における東京都都市域での高温発生状況の分析を目的として, 関東近郊から東京都内を対象とした WRF および WRF-LES を用いた解析を実施した。最高気温到達時刻や海風侵入による風向変化に関して, 全体的に WRF および WRF-LES の方が観測よりも遅れている傾向はあるものの, 特に東京での高温の陸風による気温上昇から, 冷涼な海風による気温低下に変化する際の気温変化の傾向を再現することができた。

今後は本解析結果を実市街地モデルに接続して温熱環境解析を実施し, より詳細な温熱場・気流場の再現性の確認を行う予定である。

#### 謝辞

本研究は, HPCI システム利用研究課題 (課題番号: hp210262) を通じて得られた成果である。また, 本研究を進めるにあたり, Tao TAO 氏 (当時東京工業大学) より多大な協力を得た。ここに記し, 感謝の意を表する。

#### 注

注1) 領域気象モデル WRF は米国大気研究センター(NCAR)を中心とする共同プロジェクトによって開発された天気予報と学術研究の両方に対応したモデルであり<sup>4)</sup>, 数十~数千 km のスケールで, 気象学に関する幅広い用途に使用される。また, Weather Research and Forecasting-Large-Eddy Simulation (WRF-LES)<sup>5)</sup>は WRF の拡張機能の一つであり, 乱流の影響が大きくなる高解像度の計算に用いられる。

#### 参考文献

1) 気象庁ホームページ : <https://www.data.jma.go.jp/>

- 2) Nishi, A. and Kusaka, H., : Effect of Foehn Wind on Record-Breaking High Temperature Event (41.1°C) at Kumagaya on 23 July 2018, SOLA, Vol.15, pp.17-21, 2019.
- 3) WRF model user page : <https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
- 4) 日下博幸：領域気象モデル WRF の都市気候研究への応用と課題，地学雑誌，120(2)，pp.285-295，2011.
- 5) 米国大気研究センター（NCAR）ホームページ：<https://ncar.ucar.edu/what-we-offer/models/weather-research-and-forecasting-model-wrf>