領域気象モデル WRF による多治見高温化要因の感度解析

A SENSITIVITY ANALYSIS OF THE FACTORS IN HIGH TEMPERATURES IN TAJIMI BY USING WRF

伊藤 奨*, 飯塚 悟**, 黒木 美早衣***

Susumu ITO, Satoru IIZUKA and Misae KUROKI

Tajimi, a city located in Gifu Prefecture, experienced the record high temperature in Japan (40.9 °C) on August 16, 2007. The problems associated with high temperatures in summer are very serious in the city. It is considered that various factors such as topographic basin effect and heat island around Nagoya affect high temperatures in Tajimi. However, each contribution of those factors is not clear enough. In this study, a sensitivity analysis of the factors in high temperatures in Tajimi for recent five years was conducted by using a regional atmospheric model, WRF (Weather Research and Forecasting). Here, we investigated the effects of urban heat islands in Tajimi and Nagoya and topographical effects on the thermal environment in Tajimi.

Keywords : High Temperatures in Tajimi, Thermal Environment, Sensitivity Analysis, WRF

多治見高温化, 温熱環境, 感度解析, WRF

1. 序

2010 年の夏は日本各地において記録的な猛暑となったが、近年、猛暑の増加が健康被害（熱中症、睡眠障害など）や冷房エネルギー消費に大きな影響を及ぼし、深刻な問題となっている。2007 年 8 月 16 日に国内観測史上最高気温となる 40.9℃を記録した岐阜県多治見市は、猛暑が特に顕著な都市である。その出現頻度は名古屋や東京のような大都市よりも高い。猛暑日（日最高気温 35℃以上）の平年値（1981 年～2010 年の 30 年間の平均値）は、名古屋が 6.6 日、東京が 1.7 日であるのに対し、多治見は 11.9 日となっている（表 1 参照）¹⁾。また、多治見では日最高気温が 38℃以上となるような著しい高温の発生頻度も高くなっている²⁾。図 1 は、多治見のアメダス観測所における 1981 年～2010 年の 8 月 1 ヶ月間の猛暑日数と日中午後平均気温（8 月 1 ヶ月 13 時～18 時の平均値）の経年変化を示したものである¹⁾。1994 年以降に猛暑日の発生頻度と日中午後平均気温が高くなり、多治見の高温化が顕在化している様子が見られる。

多治見の高温化（本研究では特に、日中午後において多治見市街地が周辺に比べて高温となる状況を「多治見高温化」と呼ぶことにする）は幾つかの要因が重なって形成されていると考えられている。内陸に位置する多治見は周辺が山岳に囲まれた盆地地形であるため、日中に熱が滞留し気温が高くなりやすい。また、山岳を越えて吹き降ろす気流が昇温をもたらすフェーン現象も高温化の一因として指摘されている。さらに、多治見自体の都市化に伴うヒートアイランドや、隣接する大都市名古屋のヒートアイランドの影響（熱の移流）も高温化の要因として考えられている。しかし、多治見高温化の形成メカニズムや要因解明に関する研究は少なく、多治見高温化に対する各種要因の寄与度については未だ十分に明確ではない。

表 1 各都市における猛暑・熱帯夜日数の平年値(1981 年～2010 年)

	猛暑日数	熱帯夜日数
多治見	11.9	2.0
名古屋	6.6	11.6
東京	1.7	15.1
大阪	7.9	19.8

図 1 多治見における猛暑日数・日中午後平均気温の経年変化

夏季の暑熱環境の解析において、数値モデル（数値シミュレーション）の適用は有効な手段の 1 つである。渡来ら³⁾、篠原ら⁴⁾、Takane ら⁵⁾は、数値モデルにより 2007 年 8 月中旬の関東地方の猛暑・高温化（2007 年 8 月 16 日に熊谷において多治見と同じ国内最高気温 40.9℃を記録）の解析を行っている。これらの研究では、関東の高温化に関して、晴天日が続いたことによる地表面の日射加熱の影響や、高気圧に覆われ、大規模な下降流場で断熱圧縮による昇温（鉛直方向の熱の拡散の抑制も含む）の影響が大きいことが示されている。その他の要因として、領域気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting)⁶⁻⁸⁾を用いて解析した渡来ら³⁾、気象庁非静力学モデル JMANHM を用いて解析した篠原ら⁴⁾は、降水を伴わない力学的フ

* 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生

** 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士(工学)

*** 東邦ガス(株) 修士(工学)

Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University
Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.
Toho Gas Co., Ltd., M. Eng.

エーン（乾いたフェーン）の影響も示唆している。WRFを用いて解析を行った Takane ら⁵⁾は、山岳斜面を下降する際に地表面からの加熱により暖められた山越え気流（foehnlike wind）の影響についても指摘している。多治見の猛暑・高温化に関しては、小出ら⁹⁾が JMANHM を用いて 2007 年 8 月 16 日の再現実験を行い、地表付近の風系に加えて多治見の盆地地形の影響を指摘している。以上のように、近年、高温化に関する数値モデル研究が精力的に行われてきているが、研究事例は未だ少なく、高温化解明のための知見は十分とは言えない。高温化の形成メカニズムの十分な理解をなくしては、真に有効な緩和策を策定することは困難であると考ええる。

そこで本研究では、領域気象モデル WRF^{6)・8)}を用いた感度解析により、多治見高温化の形成要因について検討する。夏季の暑熱環境の評価においては、不確実性の高い短期解析（特定日の解析など）だけでは不十分で、ある程度長期間の解析が必要と考えられる^{注1)}。ここでは、2006 年～2010 年の 5 年間それぞれの 8 月 1 ヶ月間を対象とし、長期的な解析に基づいて多治見高温化の形成要因の評価を行うこととする。本研究ではまず、2006 年～2010 年それぞれの 8 月 1 ヶ月間の現状再現シミュレーションを行い、アメダス観測データとの比較から、WRF の予測精度を検証する。次に、多治見高温化の形成要因として考えられているもののうち、①多治見自体の都市化（ヒートアイランド）の影響、②名古屋の都市化（ヒートアイランド）の影響、③周辺地理状況の影響（琵琶湖からの湖風の影響）^{注2)}、の 3 つの地理的要因に着目し、それらの要因の感度解析を行う。

2. シミュレーションの概要

2.1 シミュレーションモデル

完全圧縮・非静力学の領域気象モデル WRF (version 3.0.1.1 の ARW (Advanced Research WRF)) を使用した。WRF はアメリカ・国立大気研究センター NCAR (National Center for Atmospheric Research) を始めとするアメリカの数々の気象研究機関が共同で開発を進めてきた世界最新鋭の領域気象モデルである。WRF は従来の気象モデルに比べて予測精度に優れ、その適用可能範囲は数 100 m 程度の空間スケールから全球スケールに及んでいる。筆者らは近年、都市温熱環境の将来予測の研究^{10)・11)}にも WRF を利用している。

2.2 解析領域

図2と表2に示す3段階のネスティングを施した領域を解析した。第1領域は日本全域、第2領域は中部地方全域が含まれるように設定している。第3領域が主となる解析領域で、多治見市や名古屋市を含む水平 120 km×120 km の範囲である（水平格子解像度は 1 km）。なお、ネスティングは全て 1 方向ネスティングとした。

2.3 解析期間

2006 年～2010 年の 5 年間それぞれの 8 月 1 ヶ月間を解析した。全ての年において、助走計算を含めるため、7 月 30 日午前 9 時から積分を開始している。

2.4 解析ケース

多治見高温化の形成要因としては、晴天日が続くことによる地表面の日射加熱などの気象要因も考えられるが、気象要因の感度解析のための適切な条件設定は困難（例えば、広域の大局的な気象現象（背景場）が存在する中で、多治見周辺のみで晴天日の日数をコントロールすることは困難）であることもあり、本研究では、①多治

図2 解析領域

表2 解析領域の大きさと格子数・格子間隔

領域	大きさ x×y×z	格子数 x×y×z	水平格子間隔
第1領域	1975 km×1975 km×21 km	79×79×34	25 km
第2領域	500 km×500 km×21 km	100×100×34	5 km
第3領域	120 km×120 km×21 km	120×120×34	1 km

表3 解析ケース

ケース	変更領域	変更項目	評価する影響
Case 0	現状再現		
Case 1	多治見市域	「都市」の約半分 → 「草原」	多治見の都市化
Case 2	名古屋市域	全ての「都市」 → 「草原」	名古屋の都市化
Case 3	琵琶湖	全ての「水域」 → 「草原」	湖風

図3 第3領域の「都市」区分域（灰色部分）

見自体の都市化（ヒートアイランド）の影響、②名古屋の都市化（ヒートアイランド）の影響、③琵琶湖からの湖風の影響^{注2)}、の 3 つの地理的要因に着目し、表3に示す4つのケースを設定した。

Case 0 は現状再現を目的としたケースである。Case 1～Case 3 は Case 0 に対し、上記①～③の条件を変化させたケースである。なお、本研究は今後の具体的な高温緩和策の検討につながる前段階的研究としての位置づけもあり、各条件設定において最大の効果（もしくは極端な効果）を把握しておくことが必要と考えた。

Case 1 は多治見自体の都市化の影響を検討するケースで、多治見市域（10 km×10 km、図3の実線枠内）において土地利用データが「都市」の領域の約半分を「草原」に置き換えたものである（計 27 メッシュの「都市」のうち 13 メッシュを「草原」に変更。「都市」メッシュと「草原」メッシュは交互に配置）^{注3)}。Case 2 は名古屋の都市化の影響を検討するケースで、名古屋市域（25 km×25 km、図3の点線枠内）において土地利用データが「都市」の領域を全て「草

原」に置き換えたものである。Case 3 は多治見の西部に位置する琵琶湖からの湖風の影響を検討するため、琵琶湖の土地利用データを「水域」から全て「草原」に置き換えたものである。常松ら¹²⁾は気象モデル RAMS (Regional Atmospheric Modeling System) による検討を通じて、琵琶湖からの湖風が夏季晴天日・日中の名古屋 (名古屋北部～北東部) の風系に及ぼす影響を指摘しているが、多治見へのその間接的な影響の有無も含めて検討する。ただし、第 3 領域では琵琶湖全体は含まれないため (わずかに一部が存在)、主に第 2 領域でその土地利用データを変更している。

2.5 解析条件

全てのケースにおいて、初期値と境界値には NCEP (National Centers for Environmental Prediction) Final Analysis データ (解像度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、6 時間毎) を用いた。土地利用データは平成 18 年国土数値情報土地利用 3 次メッシュデータ (格子間隔 100 m)¹³⁾を利用した。ただし本研究では、国土数値情報のメッシュデータで 11 区分されている土地利用データを USGS (United States Geological Survey) で用いられている、①都市、②湿った農耕地と放牧地、③農耕地と草原、④草原、⑤混合林、⑥水域の 6 区分に再分配している。表 4 はそれぞれの土地利用に与えた地表面パラメータである。乱流モデルは Mellor-Yamada-Janjic モデル^{14), 15)}を適用した。地表面モデルは Noah-LSM を使い、土地利用が「都市」区分域 (図 3 の灰色部分) には Kusaka らの都市キャノピーモデル¹⁶⁾を導入した。表 5 は本研究で用いた都市キャノピーモデル内のパラメータ値で、これらは名古屋市の GIS データを基に設定した。建物平均高さとは建ぺい率は平成 18 年建物用途別現況調査データ、緑被率は平成 17 年緑被率調査データから、名古屋市全域の平均値としてそれぞれ算出した。表 5 に示す都市キャノピーモデルのパラメータ値は第 3 領域の「都市」区分域 (図 3 参照) で全て同じとしているが、これらは本来、都市によって変化する値である。しかし、今回対象とした多治見市を始めとして、パラメータ設定のためのデータ (GIS データ) が十分に整備されていない地域も多く、設定が困難であったため、本研究では全ての「都市」区分域において上述の名古屋市のデータから得られたパラメータ値を代用した。それぞれの都市の規模に応じたパラメータ値の設定は今後の課題としたい。表 6 は WRF 内で使用した主な物理モデルである。離散化手法は、移流項の空間差分スキームには水平方向に 5 次精度風上差分、鉛直方向に 3 次精度風上差分、拡散項には 2 次精度中心差分を用いた。時間差分スキームは 3 次精度 Runge-Kutta 法を使用した。CFL 条件を考慮して時間差分間隔は、第 1 領域で 100 秒、第 2 領域で 20 秒、第 3 領域で 4 秒 (音波関連項はタイムスプリットングにより 1 秒の時間刻みで計算) とした。

3. 結果と考察

3.1 現状再現解析 (Case 0) と予測精度の検証

本研究で用いた WRF の予測精度を検証するため、まず観測データとの比較を行う。図 4 (a)～(e) は 2006 年～2010 年それぞれの 8 月における多治見の気温の日変化について、アメダス観測データ (地上 1.5 m) と現状再現を目的とした Case 0 の結果 (地上 2 m) を比較したものである。なお、ここで示す気温は時刻別に 8 月 1 ヶ月分を平均したものである。2008 年では、1 日を通じて観測と Case 0 が良く対応した結果となっている。2009 年と 2010 年では、Case 0 の

表 4 各種土地利用区分の地表面パラメータ

土地利用	アルベド [-]	蒸発効率 [-]	放射率 [-]	粗度長 [m]	熱慣性 [cal/cm ² Ks ^{1/2}]
① 都市	都市キャノピーモデル ¹⁶⁾ を導入				
② 湿った農耕地と放牧地	0.18	0.50	0.985	0.10	0.04
③ 農耕地と草原	0.18	0.25	0.980	0.14	0.04
④ 草原	0.19	0.15	0.960	0.12	0.03
⑤ 混合林	0.13	0.30	0.970	0.50	0.04
⑥ 水域	0.08	1.00	0.980	0.0001	0.06

表 5 都市キャノピーモデルのパラメータ

① 建物平均高さ [m]	7.0	④ 緑被率 [-]	0.25
② 天空率 [-]	0.69	⑤ 日最大人工排熱 [W/m ²]	50
③ 建ぺい率 [-]	0.23		

表 6 WRF 内で使用した各種物理モデル

物理過程	使用モデル (スキーム)
① 雲物理	WRF Single-Moment 3-class スキーム
② 積雲パラメタリゼーション	Kain-Fritsch スキーム (第 1 領域のみ)
③ 地表面	Noah-LSM + 都市キャノピーモデル ¹⁶⁾
④ 大気境界層	Mellor-Yamada-Janjic モデル
⑤ 長波放射	Rapid Radiative Transfer Model スキーム
⑥ 短波放射	MM5 (Dudhia) スキーム

結果は観測よりも日中の気温をやや低く評価しているが、両者は概ね良く一致している。一方、2006 年と 2007 年では、深夜や早朝の気温については Case 0 と観測が良く一致しているものの、Case 0 は観測された日中の高温を再現できていない。2006 年では観測の日最高気温 (8 月 1 ヶ月時刻別平均値としての日最高気温) が 34.5℃ (14 時) であるのに対し、WRF の日最高気温は 32.2℃ (14 時) となっている。2007 年の日最高気温は観測、WRF それぞれで、34.1℃ (14 時)、32.1℃ (15 時) である。両年ともに WRF は日最高気温を 2℃ 程度過小評価している。WRF の予測精度の更なる向上は今後の課題であるが、既往の研究^{3), 4), 5), 9)}においても、シミュレーション (気象モデル) は観測された著しい高温を再現できず、観測結果よりも 2～4℃程度過小評価することが報告されている。また、観測データは周辺環境の変化による影響 (近藤¹⁷⁾が指摘している日だまり効果) を受けている場合もあり、結果の比較には注意が必要である。日だまり効果については別途検討を行い始めており¹⁸⁾、その除去・補正に関しては今後十分に検討したい。

図 5 は多治見周辺 60 km×60 km の範囲における 2006 年と 2007 年の 14 時の 8 月 1 ヶ月平均気温分布である (それぞれ 8 月 1 ヶ月間の 14 時の結果を全て平均)。2006 年と 2007 年の WRF の結果は多治見アメダスで観測された最高気温を再現できていないが (図 4 (a) と (b) 参照)、多治見市街地 (図中☆印) が周辺に比べて高温となっている様子は再現されている。

3.2 多治見高温化要因の感度解析 (Case 1～Case 3 の比較)

(1) 気温の日変化の比較

図 6 (a)～(e) は 2006 年～2010 年の 5 年間の多治見における気温の日変化について、Case 1～Case 3 の結果を比較したものである。図 7 (a)～(e) は各年における Case 0 と Case 1～Case 3 それぞれの気温差の日変化を比較したものである。なお、図 6、図 7 で示している気温

図4 観測とシミュレーションの気温日変化の比較
(8月1ヶ月時刻別平均値、アメダス：地上1.5 m、WRF：地上2 m)

(気温差)は8月1ヶ月の時刻別平均値である。ただし、図4の結果とは異なり(図4のCase 0の結果は多治見アメダス観測点を含む1メッシュ地点の結果を表示)、さらに多治見市街地2 km×2 km(アメダス観測点を含むメッシュを基点に4メッシュ分)の範囲の平均を施している^{注4)}。

2006年～2010年の全ての年において、多治見市域(10 km×10 km)の「都市」区分域の約半分を「草原」に変更したCase 1の結果が、1日を通じて最も大きな気温低下となっている。図7(a)～(e)を見ると、現状(Case 0)に対するCase 1の気温低下は年ごとに多少異なっているが、全体的な傾向は全ての年で同様である。すなわち、午

図5 14時における気温分布(Case 0: 8月1ヶ月平均値、地上2 m)

前中は気温低下が小さく、夕方から夜間にかけて大きな気温低下(2006年と2010年は19時、2007年～2009年は18時に最大の気温低下)が生じる結果となっている。多治見の都市化の影響が夜間に大きいこと、すなわち、ヒートアイランド強度が夜間に大きくなることは既往文献^(例えば19)・22)の知見と整合している。

名古屋市域(25 km×25 km)の「都市」区分域の全てを「草原」に変更したCase 2では、各年とも午後に目立った気温低下が生じている。各年のCase 0に対し、2006年は15時に最大となる0.5℃の気温低下、2007年は17時、2009年と2010年は16時にそれぞれ最大となる0.3℃の気温低下が生じている。2008年の気温低下分が一番少なく、14時に最大0.2℃の気温低下である。図8は2006年におけるCase 2とCase 0の風速差の分布(地上10 m)である。同図は2006年のCase 2において最大の気温低下となった15時を含む14時～16時の8月1ヶ月平均値を示している。海風の侵入を阻害する名古屋市域内の「都市」がなくなることにより、名古屋市域内で南～南南西の風が強くなっている様子が見てとれる。その結果、多治見への海風の侵入度合も強まり、15時を最大に目立った気温低下が生じたと考えられる。

一方、琵琶湖を全て「草原」に変更したCase 3は、2007年以外の年では、Case 0に対して最大0.2℃程度の気温低下が生じているが1日を通じて気温変化は少ない。また、各年において特定の変化傾向は見られない。2007年は、Case 0に対して17時に0.3℃の気温低下、15時に0.2℃の気温上昇、といったように、1日の変動がやや大きくなっている。ただし、Case 3の場合、その変更が多治見の気温に直接影響を及ぼしているというよりも、琵琶湖の位置を中心として大規模な気象場の変化が生じ、その間接的な影響が多治見の気温変化に多少及んでいると考えられる(後述の図10～図14の(c)も参照)。

図9は、多治見における各ケースのCase 0との気温差の日変化を2006年から2010年の5年間で平均(図7の各ケースの5年分の結果を平均)したものである。上述したように、今回のシミュレーションでは2006年～2010年の多治見高温化に対して、Case 1の多治見自体の都市化(ヒートアイランド)の影響が最も大きい結果となっている。Case 2の名古屋の都市化(ヒートアイランド)の影響は、図7に示すように各年によって最大の気温低下となる時刻は多少異なっているが、5年平均すると16時をピークとしてその前後の時間帯に目立った気温低下が見られている。なお、Case 3の琵琶湖から

(a) 2006 年

(b) 2007 年

(c) 2008 年

(d) 2009 年

(e) 2010 年

図 6 気温日変化の比較 (8月1ヶ月時刻別平均値、地上2 m)

(a) 2006 年

(b) 2007 年

(c) 2008 年

(d) 2009 年

(e) 2010 年

図 7 現状 (Case 0) との気温差の日変化の比較
(8月1ヶ月時刻別平均値、地上2 m)

図 8 (Case 2-Case 0) の風速差の分布
(2006 年 8 月 1 ヶ月 14 時～16 時の平均値、地上 10 m)

図 9 現状 (Case 0) との気温差の日変化の比較
(2006 年～2010 年の 8 月 1 ヶ月時刻別平均値、地上 2 m)

の湖風の多治見への影響は5年平均するとほとんど見られない。

(2) 各種要因の影響範囲の比較

Case 1～Case 3の条件変更が及ぼす影響範囲を見るため、第3領域全体(図2参照)の気温分布(地上2 m)を比較する。図10(a)～(c)は2006年の各ケースにおけるCase 0との気温差の分布である。なお、ここに示す気温差は日中午後6時間(13時～18時)の気温を8月1ヶ月分全て平均したものである。同様に、図11～図14はそれぞれ2007年～2010年の結果を示したものである。いずれの年でも、Case 1の変更(多治見市域の「都市」区分域の約半分を「草原」に変更)で大きな気温低下が生じる範囲はほぼ多治見市域内に限られている。Case 2の変更(名古屋市域の「都市」区分域を全て「草原」に変更)の影響は名古屋市域内外の広範囲に及び、名古屋市域外では各年ともに名古屋の北部～東部方面に大きく気温低下する領域が生じている。Case 3(琵琶湖を全て「草原」に変更)では、各年ともに滋賀県や三重県北部(図の左端)に広く気温上昇する領域が見られ、琵琶湖からの湖風が冷却効果を持つことを示している。2.4節で述べたように、常松ら¹²⁾は琵琶湖からの湖風の名古屋の風系への影響を指摘しているが、図10～図14(c)の結果を見る限り、琵琶湖の湖風が名古屋の気温に及ぼす影響はほとんど見られてない。また、多治見の気温変化に対する寄与もほとんどない。

4. まとめ

本研究では、領域気象モデル WRF を用いて岐阜県多治見市の高温化形成要因の感度解析を行った。2006 年～2010 年の 5 年間それぞれの 8 月 1 ヶ月間を対象として、①多治見自体の都市化(ヒートアイランド)、②名古屋の都市化(ヒートアイランド)、③琵琶湖からの湖風の影響、の各々が多治見の気温に及ぼす影響を検討した。

- (1) 今回設定した条件では、多治見高温化に対して、いずれの年においても多治見自体の都市化(ヒートアイランド)の影響が最も大きいことが示された。ただし、多治見の都市化が気温変化に及ぼす影響範囲はほぼ多治見市域内に限られていた。多治見高温化に対して多治見自体のヒートアイランドの影響が大きいことは、最近行われた多治見およびその周辺都市における夏季の集中観測結果²³⁾からも確認されてきている。
- (2) 名古屋の都市化(ヒートアイランド)も多治見高温化に少なからず影響を及ぼすことが確認された。名古屋の都市化が及ぼす影響は午後(特に14時～17時)に顕著となった。名古屋の「都市」の存在により多治見への海風の侵入が弱まること、多治見の気温上昇の理由の1つとして考えられた。
- (3) 琵琶湖からの湖風は比較的広い範囲で冷却効果をもたらすものの、多治見の気温変化に対する寄与はほとんど見られなかった。

図10 Case 0 との日中午後平均気温差の分布 (2006 年 8 月 1 ヶ月 13 時～18 時の平均値、地上 2 m)

図11 Case 0 との日中午後平均気温差の分布 (2007 年 8 月 1 ヶ月 13 時～18 時の平均値、地上 2 m)

図 12 Case 0 との日中午後平均気温差の分布 (2008 年 8 月 1 ヶ月 13 時～18 時の平均値、地上 2 m)

図 13 Case 0 との日中午後平均気温差の分布 (2009 年 8 月 1 ヶ月 13 時～18 時の平均値、地上 2 m)

図 14 Case 0 との日中午後平均気温差の分布 (2010 年 8 月 1 ヶ月 13 時～18 時の平均値、地上 2 m)

謝辞

本研究は文部科学省「気候変動適応研究推進プログラム (RECCA)」の 1 研究課題 (研究代表者: 飯塚悟) の一環として行ったものである。ここに記して謝意を表す。

注

注 1) 短期解析の一例として、2006 年 8 月 18 日および 8 月 26 日の多治見における現状 (Case 0) と各検討ケース (Case 1～Case 3: 検討ケースについては 2.4 節参照) の気温差の日変化を図 15 に示す。同図に示されるように、短期解析の場合、選択した日によって各ケースの気温差 (各ケースの影響度合) は異なっている。したがって、統計的に有意な差

を検討するためには、ある程度長期間の解析が必要となる。

注 2) 多治見高温化に対する周辺地理状況の影響の検討として、多治見周辺の山岳の標高が 200 m 以上の領域を多治見市街地の平均標高である 200 m に変更したケース (盆地効果の影響の検討を意図したケース。以下、便宜上「Case 4」と表記) の解析も実施したが、十分な結果は得られなかった。図 16 に結果の一例として、多治見周辺 60 km×60 km の領域における 2006 年 8 月の 14 時 (2006 年 8 月 1 ヶ月の 14 時の平均値) の Case 4 と Case 0 の気温差の分布 (同図(a)) と、同時刻の Case 4 と Case 0 の風速差 (鉛直成分) の分布 (同図(b)) を示す。同図(a)に示されるように、標高を低くした部分 (実線枠内) では高低差の影響で気温が上昇しているが、大気の断熱減率 (0.006～0.01℃/m 程度) に対応する気温上昇には至っていない部分も多い。また、同図(b)の風速差の分布を見ると、標高を低くした部分の周囲 (外側) で顕著な上昇流が

(a) 2006 年 8 月 18 日

(b) 2006 年 8 月 26 日

図 15 現状 (Case 0) との気温差の日変化の比較 (地上 2 m)

(a) 気温差 (地上 2 m)

(b) 風速差

(鉛直成分、地上約 30 m)

図 16 (Case 4—Case 0) の気温差と風速差の分布
(2006 年 8 月 1 日の 14 時の平均値)

図 17 現状 (Case 0) との気温差の日変化の比較
(2010 年 8 月 1 日 時刻別平均値、地上 2 m)

生じ、別の新たな地形影響が現れてしまっている。多治見高温化に対する盆地効果の影響については、今後再検討が必要である。

注 3) Case 1 で行う多治見市域の「都市」区分域から「草原」への変更に関しては、事前に「都市」区分域を全て「草原」に変更する予備ケース (Case 1') の検討も行った。多治見における現状 (Case 0) との気温差の日変化について、Case 1 と Case 1' の結果を図 17 に示す (結果は図 7 と同様計算)。Case 1' の場合、Case 0 に対する気温低下は最大 2.0°C (19 時) となっている。「都市」の緩和割合は要検討事項であるが、Case 1' のような気温低下は他の検討ケースに比べて極端に大きく、他のケースの影響度が把握し難くなると考え、Case 1 の条件設定を採用した。一方、多治見から離れた条件を検討する Case 2 (名古屋市域

の「都市」区分域を「草原」に変更) や Case 3 (琵琶湖の「水域」を「草原」に変更) については、最大の効果を把握しておくことが必要と考え、対象領域全体を変更することとした。

注 4) Case 1 では多治見市域で「都市」と「草原」の条件を半分ずつ与えているが (2.4 節参照)、隣接する「都市」メッシュと「草原」メッシュにおいても両者の結果に大きな差が生じていた。そのため、両者の割合 (影響) が半分ずつになるように 4 メッシュ分 (2 km×2 km の範囲) の平均を取ることにした。これに伴い、他のケースの結果も同じ位置での 4 メッシュ平均値を用いている。

参考文献

- 1) 気象庁：気象統計情報，<http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>，2011.1.10 参照。
- 2) 藤部文昭：日本における近年の著しい夏季高温の発生状況，地理学評論，77(3)，pp.119-132，2004.3。
- 3) 渡来靖，中川清隆，福岡義隆：領域気象モデルを用いた関東平野中央部における 2007 年 8 月 15-16 日の猛暑の数値シミュレーション，日本気象学会雑誌，46(1)，pp.35-41，2009.3。
- 4) 篠原善行，眞下国寛，桜井美菜子，須永次雄：関東地方で日最高気温が 40°C を越えた 2007 年夏の高温 その 2 ～JMANHM による日最高気温の再現実験と高温要因の考察～，天気，56(7)，pp.51-56，2009.7。
- 5) Takane, Y., Kusaka, H. : Formation mechanisms of the extreme high surface air temperature of 40.9°C observed in the Tokyo metropolitan area: Considerations of dynamic foehn and foehnlike wind, Journal of Applied Meteorology and Climatology, 50, pp.1827-1841, 2011.9。
- 6) Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X. Y., Wang, W., Powers, J. G. : A description of the Advanced Research WRF version 3, NCAR/TN-475+STR, NCAR Technical Note, 2008.6。
- 7) WRF USERS PAGE : <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>，2011.1.10 参照。
- 8) 日下博幸：領域気象モデル WRF について，ながれ，28(1)，pp.3-12，2009.2。
- 9) 小出雅之，瀧本秀一郎，稲垣広己，則竹俊樹：多治見で最高気温が 40.9°C を記録した日の JMANHM による気温分布の再現実験，平成 20 年度東京管区調査研究会誌，41，2008。
- 10) 飯塚悟，金原和矢，日下博幸，原政之，秋本祐子：領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温暖環境シミュレーション (その 1) 夏季の名古屋の温暖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，日本建築学会環境系論文集，75，647，pp.87-93，2010.1。
- 11) 飯塚悟，金原和矢，日下博幸，原政之：領域気象モデル WRF による名古屋都市圏の温暖環境シミュレーション (その 2) 2070 年代夏季温暖環境の長期トレンド予測，日本建築学会環境系論文集，76，662，pp.425-430，2011.4。
- 12) 常松展充，甲斐憲次：夏季晴天日の濃尾平野における地上風収束域の汚染質と雲分布，天気，50(7)，pp.527-537，2003.7。
- 13) 国土交通省計画局：国土数値情報ダウンロードサービス，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>，2011.1.10 参照。
- 14) Janjic, Z. I. : The step-mountain coordinate: physical package, Monthly Weather Review, 118, pp.1429-1443, 1990.6。
- 15) Janjic, Z. I. : Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 scheme in the NCEP meso model, NCEP Office Note, No. 437, 2002。
- 16) Kusaka, H., Kondo, H., Kikegawa, Y., Kimura, F. : A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models, Boundary-Layer Meteorology, 101, pp.329-358, 2001.12。
- 17) 近藤純正：近藤純正ホームページ「気温の日だまり効果の補正(1)，(2)」，<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/kenkyu00.html>，2012.6.19 参照。
- 18) 高橋佑輔，飯塚悟，Ndione Jacques，吉田伸治：LES による建物周辺の日だまり効果の推定，日本流体力学会年会 2011，3D11，3pp，2011.9。
- 19) 近藤純正：水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—，朝倉書店，1994。
- 20) 藤部文昭：都市のヒートアイランド，天気，54(1)，pp.9-12，2007.1。
- 21) 独立行政法人国立環境研究所地球環境研究センター：ココが知りたい温暖化「暑い日が増えたのはヒートアイランドが原因?」，http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/27/27-2/qa_27-2-j.html，2011.10.9 参照。

22) 原政之, 日下博幸, 木村富士男, 若月泰孝: 気象変動が首都圏の都市ヒートアイランドに及ぼす影響—冬季を対象として—, ながれ, 29(5), pp.353-361, 2010.10.

23) 阿部紫織, 日下博幸, 高木美彩, 岡田牧, 高根雄也, 富士友紀乃, 永井徹: 多治見市における夏季の気温分布の実態調査(その1), 日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集, p.347, 2011.5.

(2011年10月10日原稿受理, 2012年7月2日採用決定)