

2070年代夏季温熱環境の長期トレンド予測

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)

A LONG-TERM PROJECTION OF A THERMAL ENVIRONMENT IN SUMMER OF THE 2070S

Numerical study on thermal environment in the Nagoya metropolitan area by using WRF (Part 2)

飯塚 悟*, 金原和矢**, 日下博幸***, 原 政之****

*Satoru IIZUKA, Kazuya KINBARA, Hiroyuki KUSAKA
and Masayuki HARA*

A long-term projection of a thermal environment in summer of the 2070s in the Nagoya metropolitan area was carried out by using a regional atmospheric model, WRF. In the future projection, the pseudo-global warming method proposed by Kimura et al. (2007) was introduced to consider the effects of global warming as background data. In this study, (1) the temperature histogram, (2) the monthly averaged temperature, and (3) hourly and monthly precipitations obtained from the future projection were compared with those from observational and numerical results of the present status. Furthermore, the effects of microphysics models, which include water vapor, cloud, and precipitation processes, on the projected precipitation and temperature were investigated.

Keywords : Urban Thermal Environment, Future Projection, Long-Term Projection, WRF, Pseudo Global Warming Method

都市温熱環境, 将来予測, 長期予測, WRF, 擬似温暖化手法

1. 序

日本の3大都市の1つである名古屋では、「低炭素で快適な都市」を将来像として掲げている¹⁾。地球温暖化問題が深刻化しつつある近年、その将来像は多くの都市計画において重要なキーワードと考えられ、低炭素社会に向けた議論も活発に行われてきている^{例えば 2), 3)}。一方、快適な都市、特に都市の快適な温熱環境を将来的に形成するためには、地球温暖化だけではなく、ヒートアイランド現象に代表される都市特有の温暖化問題も併せて考えていく必要がある。実際、都市の気温上昇に対する地球温暖化とヒートアイランド現象それぞれの寄与を明確に区別することは困難である。このことから、両者の影響を併せて考えていく必要性は理解される。

地球温暖化のような大規模スケールの解析と、都市のヒートアイランド現象のような局所スケールの解析を併せて行うための手法として、近年、数値モデルを用いたダウンスケーリング研究が多くの注目を集めている。筆者らは既報⁴⁾において、Kimuraら⁵⁾の擬似温暖化手法を用い、バックグラウンドとしての地球温暖化の影響を考慮した名古屋都市圏の夏季温熱環境の将来予測(2070年代を対象とした将来予測)を行った。この将来予測は晴天日に絞った短期解析(解析期間は約4日間)である。ただし、将来予測においては、現状再現計算に比べてさらに多くの不確実性が含まれてくるため、短期間の予測では十分な評価とならないこともある。このような不確実性の議論に対し、最近、モデルアンサンブルといった手法(複数の与条件(境界条件)のシミュレーション試行をアンサンブル平均

するもの)が検討され始めている^{例えば 6)}。しかし、どのような条件でどれくらい試行してアンサンブル平均するかについては、多くの議論の余地を残している。

本研究では、モデルアンサンブル手法への取り組みは今後の課題とし、①不確実性の緩和、に加えて、②環境評価においては日変化などの短期解析と同様、月間・季節トレンドなどの長期解析も重要、という観点から、長期解析に基づく将来予測を行う。既報⁴⁾と同じ2070年代を対象とした名古屋都市圏の夏季温熱環境の将来予測に対して長期解析(1ヶ月解析)を行い、気温や降水量のトレンドについて、観測結果および現状計算結果と比較する。また、数値モデルで用いる雲物理モデルが降水量や気温に及ぼす影響についても検討する。

2. シミュレーションの概要

2.1 数値モデル

既報⁴⁾と同様、完全圧縮・非静力学の領域気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting) version 3.0.1.1 の ARW (Advanced Research WRF)⁷⁾を使用した。WRFの中で用いた各種物理過程のモデルを表1に示す。都市部の地表面モデルには Kusakaら⁸⁾の都市キャノピーモデルを用いている^{注1)}が、そのモデル中のパラメータ値は、①建物平均高さ: 7.5 m、②天空率: 0.56、③建ぺい率: 0.45、④緑被率: 0.1、⑤日最大人工排熱量: 50 W/m²とした^{注2)}(既報⁴⁾も参照)。

本研究では、2070年代の夏季温熱環境の将来予測を対象としてい

* 名古屋大学大学院環境学研究科 准教授・博士(工学)

** 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生

*** 筑波大学計算科学研究センター 准教授・博士(理学)

**** 独立行政法人海洋研究開発機構 技術研究主事・修士(理学)

Assoc. Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Assoc. Prof., Center for Computational Sciences, University of Tsukuba, Dr. Sci.

Research Scientist, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, M. Sci.

るが（2.3 節参照）、その将来の地球温暖化の影響をダウンスケールするために、既報⁴⁾と同様、Kimura ら⁵⁾の擬似温暖化手法を用いた。これは、全球モデルにより将来の 10 年平均気候値と現状の 10 年平均気候値を求め、その「気候差分」を現状の客観解析データに付加して「擬似温暖化データ」を作成し、それを気象モデルの初期値と境界条件に用いて将来予測を行うものである。本研究では、全球モデルには大気海洋結合モデル MIROC⁹⁾を用いた。擬似温暖化データとする物理量として、①水平方向風速（2 成分）、②温位、③気圧（ジオポテンシャル高度）、④海水面温度の 4 つを考慮した。気候差分は、IPCC SRES（Special Report on Emissions Scenarios）A2 シナリオに基づく 2070 年代の将来予測の 10 年平均値と 1990 年代を対象とした解析の 10 年平均値の差分から求めた。その気候差分を 2006 年 8 月の NCEP Final Operational Global Analysis データ（解像度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、6 時間毎）に付加した擬似温暖化データを WRF の初期値および境界条件として用いている。

2.2 計算領域

3 段階のネスティングを使用した（図 1 および表 2 参照）。第 3 領域が主となる計算領域で、名古屋市街地（図 1 の☆印位置）を中心とする濃尾平野の水平 $120 \text{ km} \times 120 \text{ km}$ の範囲である。

2.3 計算期間

2070 年代を想定した 8 月の 1 ヶ月間を対象とした^{注 3)}。比較のために、2006 年（現状）の 8 月の 1 ヶ月間の計算も行った。ただし、将来予測、現状計算ともに助走計算を含めるため、それぞれ 7 月 30 日午前 9 時から時間積分を開始している。

2.4 計算条件

表 2 にネスティング各段階の計算領域の大きさ（図 1 も参照）と格子数を示す。ネスティングは全て 1 方向ネスティングとした。2070 年代を想定した将来予測では、2.1 節で述べた擬似温暖化データを第 1～3 領域の初期値、第 1 領域の境界条件に用いた。一方、比較のための現状計算の初期値と境界条件には NCEP Final Operational Global Analysis データを利用した。

土地利用データは将来予測、現状計算ともに、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）を使用した。そのデータを USGS（United States Geological Survey）の土地利用データで用いられている 6 区分（①都市、②湿った農耕地と牧草地、③農耕地と草原、④草原、⑤混合林、⑥水域）に再分配して使用している。将来予測を行うためには本来、将来の土地利用シナリオや人工排熱シナリオなどを考慮する必要がある。しかし、筆者らの知る限り、これらの将来シナリオは未だ十分に計画・整備されていない。そのため、将来予測においても土地利用データや人工排熱データは現状と同じものを用いることにした。

本研究で用いる WRF では、移流項の空間差分スキームとして 2 次～6 次精度のスキームが選択できるようになっているが、ここでは水平方向に 5 次精度風上差分、鉛直方向に 3 次精度風上差分を用いた。また、時間スキームには 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 4 秒とした（ただし、音波関連項はタイムスプリッティングにより 1 秒の時間刻みで計算）。ここで、この 4 秒という短い時間刻みはあくまでシミュレーションの数値安定性の制約から定めているものであり、気象モデルでこのような細かい時間変動が捉えられるわけではないことに注意されたい。なお、

表 1 WRF 内で使用した各種物理モデル

物理過程	使用した物理モデル（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（ただし、使用したのは第 1 領域（図 1 参照）のみ）
3. 地表面	Noah-LSM+都市キャノピーモデル ⁸⁾
4. 大気境界層	Mellor-Yamada-Janjic モデル
5. 放射（短波）	Dudhia（MM5）スキーム
6. 放射（長波）	Rapid Radiative Transfer Model（RRTM）

この境界に「擬似温暖化データ」が境界条件として与えられる

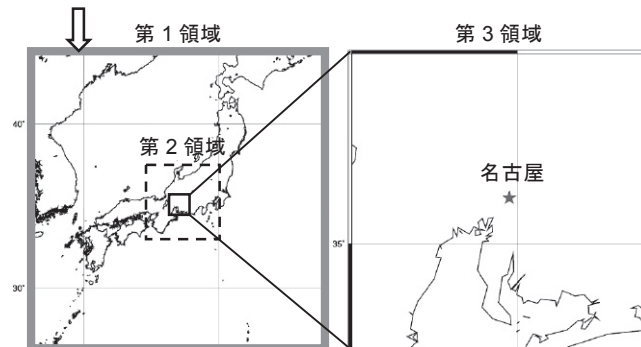


図 1 計算領域

表 2 計算領域の大きさと格子数

領域	水平×水平×鉛直	格子数
第 1 領域	$1975 \text{ km} \times 1975 \text{ km} \times 21 \text{ km}$	$79 \times 79 \times 34$ 水平格子：25 km
第 2 領域	$500 \text{ km} \times 500 \text{ km} \times 21 \text{ km}$	$100 \times 100 \times 34$ 水平格子：5 km
第 3 領域	$120 \text{ km} \times 120 \text{ km} \times 21 \text{ km}$	$120 \times 120 \times 34$ 水平格子：1 km

将来予測、現状計算の実行は Intel Xeon W3550（3.06GHz）を搭載した Linux PC で行い、それぞれ 1 ヶ月間の計算に約 13.3 日の時間を要した。

3. シミュレーション結果と考察

3.1 気温ヒストグラム

図 2 は 8 月の 1 ヶ月間の気温のヒストグラムについて、アメダス観測データ（2006 年）、現状計算（2006 年）および将来予測（2070 年代）の結果を比較したものである。アメダス観測データは名古屋地方気象台のデータ、現状計算と将来予測の結果は同気象台を含む $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 格子内（第 3 領域の水平格子内）の結果である。観測データと同じ年の現状計算の結果は全体的には良く対応した結果となっている。ただし、①最高気温の違い（観測： 37.5°C 、現状計算： 36.2°C ）、②最低気温の違い（観測： 20.6°C 、現状計算： 23.6°C ）、③ピーク時間数の違い（ピーク時間数を持つ気温は観測、現状計算ともに 27°C で同じ）など、幾つかの違いも見られる。本研究で用いている WRF の精度に関しては、既報⁴⁾の表 5 も参照されたい。

一方、将来予測ではピーク時間数帯が観測や現状計算に比べて3℃高温側に移動している。また、現状計算と比べると偏差の幅がやや広い。将来予測の最高気温は39.6℃で、観測に比べて2.1℃、現状計算に比べて3.4℃高い。将来予測の最低気温は25.5℃であり、8月の1ヶ月間全ての日で熱帯夜が生じてしまう結果となっている。足立ら¹⁰⁾が擬似温暖化手法を用いて2070年代の東京首都圏温暖環境の将来予測を行っているが、その予測でも8月の1ヶ月間全ての日で熱帯夜となることが報告されている。

3.2 月平均気温分布

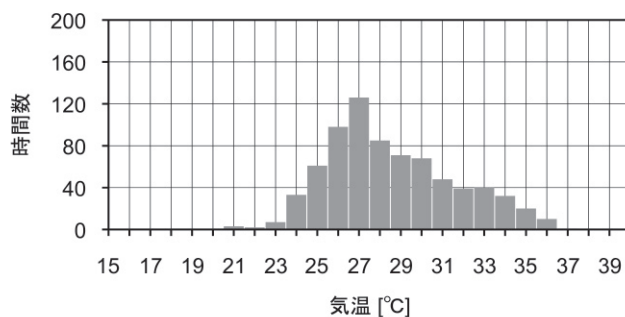
図3に現状計算（2006年）と将来予測（2070年代）の月平均気温分布（高さ2m）、図4に図3の結果の気温差（将来－現状）を示す。ここで、月平均気温は8月の1ヶ月間の1時間毎の全データ（744時間分のデータ）を平均して求めている。全時間帯の月平均の結果で見ても、現状計算（図3(1)）、将来予測（図3(2)）ともに名古屋市街地（図中☆印位置）を中心に顕著なヒートアイランドが形成されている。将来予測の結果は現状よりもさらに高温のヒートアイランドが形成されており、名古屋市街地周辺では全時間帯の月平均気温としても30℃を超えている。

対象領域（第3領域）全体においても、将来予測の方が現状よりも気温が高くなっている。図4に示すように、その差は山脈・山地（図4の左端付近）で若干小さくなっているものの、全体的に3℃前後の値である。なお、現状計算に対して将来予測の結果が対象領域全体でほぼ均一に気温上昇したのは、本研究の将来予測では地球温暖化の影響（全球規模の気候変化）のみを考慮していることもその理由の1つとして考えられる。これについては今後、土地利用や人工排熱の将来シナリオを策定し、それらを組み込んだ将来予測を行い、さらに検討を行う必要がある。

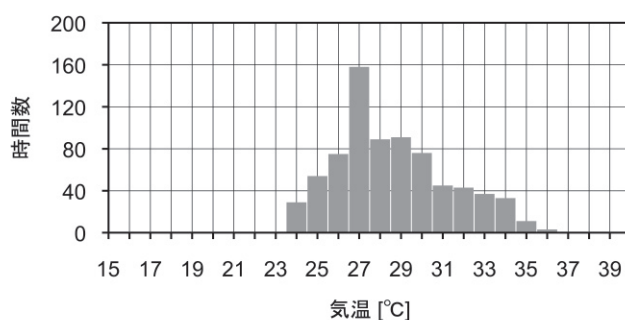
3.3 時間積算降水量と月積算降水量

名古屋における8月各日の1時間積算降水量の最大値について、アメダス観測データ（2006年）と現状計算（2006年）、現状計算と将来予測（2070年代）それぞれを比較したものを図5に示す。

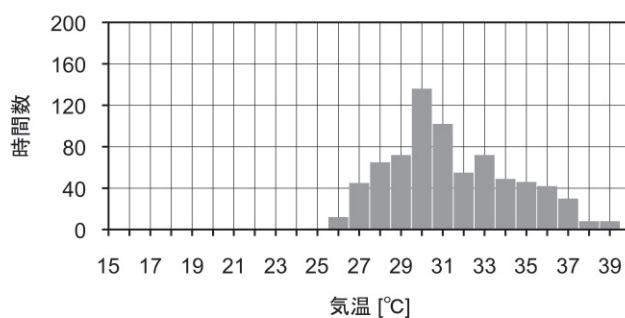
図は省略するが、観測結果と現状計算では名古屋において、1mm



(1) アメダス観測（2006年8月、高さ1.5m）



(2) 現状計算（2006年8月、高さ2m）



(3) 将来予測（2070年代8月、高さ2m）

図2 気温ヒストグラム（名古屋）

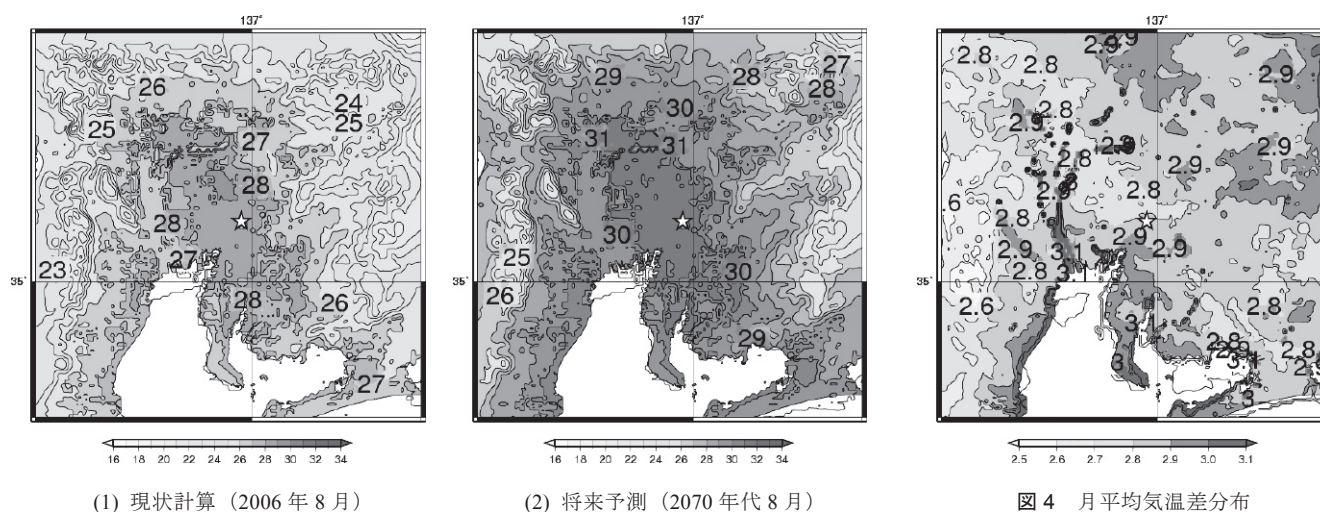


図3 月平均気温分布（高さ2m）

図4 月平均気温差分布
（将来－現状、高さ2m）

以上の降水はともに 16 時間分あり、1 ヶ月の積算降水量は観測が 89.0 mm、現状計算が 69.6 mm となっている^{注4)}。月単位で考えると、両者は良い対応を示している。しかし、図 5(1)に示すように、降雨日や時間積算降水量の最大値は両者で異なっている。降水量の最大値が異なる理由の 1 つとしては、本研究で用いている雲物理モデル（WRF Single-Moment 3-class スキーム（WSM3）：表 1 参照）ではあられが考慮されていないことが考えられる（WSM3 の詳細については後述）。日本の雨の場合、あられや雪が落下途中に融けて地上に達する雨、いわゆる「冷たい雨」であることが多い。しかし、雲物理モデルにおいてあられを考慮しない場合、0℃以下の雲粒はほぼ雪になってしまうことになる。雪は軽いので緩やかに舞い落ち、あられほど短時間にたくさん落下してこないことになる。つまり、雲物理モデルにおいてあられを考慮しない場合、短時間の強い雨が生じにくくなると考えられる。以上のように、降水予測に大きな影響を及ぼすものの 1 つは雲物理モデルであるが、これについては 3.4 節でさらに検討を行う。

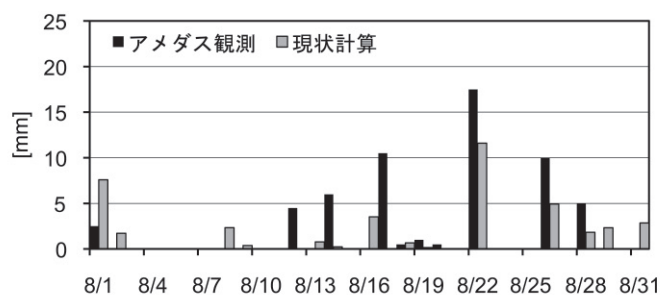
一方、将来予測では 1 mm 以上の降水は 24 時間分で、現状の観測結果や現状計算に比べて降水頻度が多くなっている。1 ヶ月の積算降水量も将来予測では 129.6 mm に増大している。また、観測や現状計算では大雨注意報のカテゴリーに分類される 20 mm 以上の降水量は見られないが、図 5(2)に示すように、将来予測においては 8/12 に 20 mm を超える大雨が生じている。ただし、本研究の計算期間は 1 ヶ月間であり、また大雨の頻度も非常に少ないことから、温暖化によって将来大雨が増えるか否か、現段階では断定できない点に注意されたい。

3.4 雲物理モデルの感度

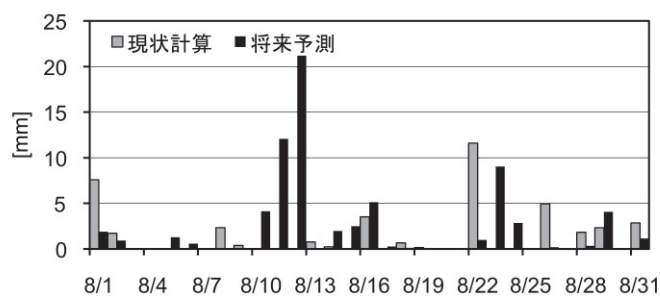
気象モデルはマルチスケール・マルチフィジックスモデルであり、モデル構築には様々な困難を伴うが、雲物理モデルは最も取り扱いが難しいものの 1 つである。上述したように、本研究では雲物理モデルとして WSM3 を用いている（表 1 参照）。WSM3 は WRF 用に新たに開発された雲物理モデルで、①水蒸気、②雲水・雲氷、③雨・雪の 3 つのカテゴリーを取り扱う（雲水と雲氷、雨と雪は同じカテゴリーとして取り扱う）。このモデルは、同じく WRF に組み込まれている雲物理モデルの 1 つである WRF Single-Moment 6-class スキーム（WSM6）の簡易版として位置づけられている。WSM6 は、①水蒸気、②雲水、③雲氷、④雨、⑤雪、⑥あられの 6 つのカテゴリーを取り扱う。以下では、雲物理モデルが降水量や気温に及ぼす影響を検討するために、雲物理モデルを WSM3 から WSM6 に変更した場合の結果を示す。

図 6 は図 5 と同様、名古屋における 8 月各日の 1 時間積算降水量の最大値について、アメダス観測データ（2006 年）、現状計算（2006 年）、将来予測（2070 年代）を比較したものである。WSM6 の雲物理モデルを用いた現状計算の結果は、観測では降水が記録されていない 8/8～9 の両日に最大 15 mm 近くの降水が生じている（図 6(1)）。他にも時間積算降水量に関して、WSM3 の場合（図 5(1)参照）に比べて観測との対応が悪い。また、WSM6 を用いた現状計算の場合、1 mm 以上の降水は 25 時間分、1 ヶ月の積算降水量は 168.8 mm であり、月単位で考えても WSM3 の場合に比べて観測との対応が悪い。

図 6(2)と図 5(2)を比較すると分かるように、将来予測においても、WSM6 の場合と WSM3 の場合では降水予測に大きな差が見られる。

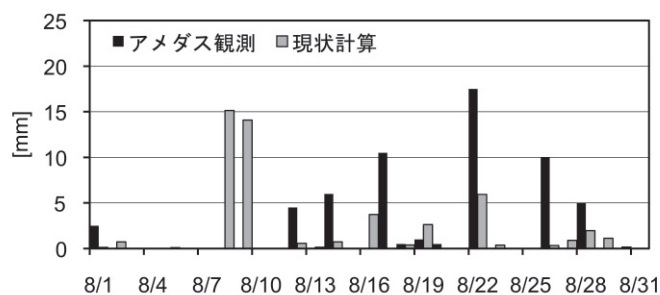


(1) 観測と現状計算の比較

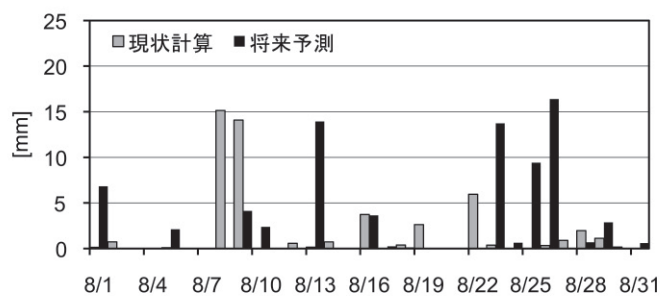


(2) 現状計算と将来予測の比較

図 5 時間積算降水量（名古屋，雲物理モデルは WSM3）



(1) 観測と現状計算の比較



(2) 現状計算と将来予測の比較

図 6 時間積算降水量（名古屋，雲物理モデルは WSM6）

WSM6 を用いた将来予測の場合、1 mm 以上の降水は 23 時間分、1 ヶ月の積算降水量は 128.4 mm であり、WSM3 の場合とは逆で、現状計算に比べて降水頻度も降水量も少なくなっている。以上の結果を踏まえると、今回の降水予測は大きな不確実性を持つものとなっている。降水予測に関しては今後、複数の客観解析データや全球モデル結果による初期値および第 1 領域の境界条件を準備し、それらが降水予測に及ぼす感度解析や、それら複数のシミュレーション

ョン試行のアンサンブル平均（モデルアンサンブル）に基づく不確実性の幅の検討（各々のシミュレーション試行のアンサンブル平均値からのずれの検討）、さらに長い時間積分による気候値での検討が必要と考えられる。

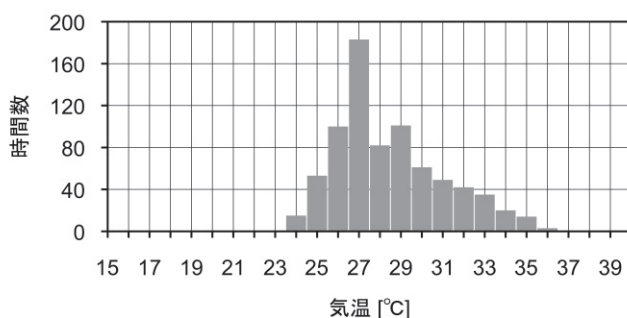
図7はWSM6を用いた現状計算と将来予測の気温のヒストグラムの結果である。WSM3を用いた場合の結果（図2(2)および(3)）と比較すると幾つかの違いも見られるが、現状計算にしても将来予測にしても、ピーク時間数を持つ気温はWSM6の結果とWSM3の結果で同じであり（現状計算：27℃、将来予測：30℃）、全体としても両者は類似した分布形状となっている。

一般に、気温予測に対しては降水予測の影響も大きいと考えられている。そのため、降水予測に大きな影響を及ぼす雲物理モデルは気温予測にも間接的に大きな影響を及ぼすと考えられている。しかし本研究の結果からは、地上気温の予測に対して、雲物理モデルの違いによる不確実性は降水予測に比べるとかなり小さいことが分かった。この結果の妥当性および解釈についてはさらなる検討が必要となるが、1つの理由として、対象期間が8月であり、降水量は多くても頻度はそれほどでもなかったことが考えられる。

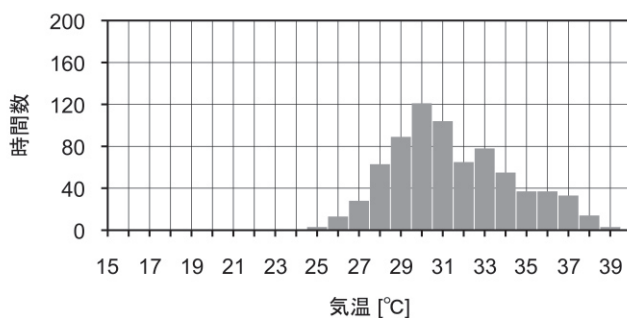
4. まとめ

本研究では、擬似温暖化手法を併用した領域気象モデルWRFにより、2070年代の夏季（8月）を想定した名古屋都市圏温暖環境の将来予測（1ヶ月解析）を行い、気温や降水量の月間トレンドについて、観測結果や現状計算との比較を行った。また、WRFで用いる雲物理モデルが降水量や気温に及ぼす影響についても検討した。

- (1) 将来予測は現状に比べて高温となり、名古屋では解析対象とした8月の1ヶ月間全ての日で熱帯夜が生じる結果となった。また、名古屋においてピーク時間数を持つ気温は30℃と予測され、現状のピーク時間数を持つ気温よりも3℃高い結果となった。
- (2) 名古屋都市圏全体（第3領域：濃尾平野の水平120 km×120 kmの範囲）では、将来予測は現状計算に比べて月平均気温が約3℃上昇した。この気温上昇は対象領域全体でほぼ均一であった。ただし、今回の将来予測ではバックグラウンドとしての地球温暖化の影響のみを考慮しているため、今後は土地利用や人工排熱の将来シナリオも組み込んだ予測を行い、さらに検討を重ねていく予定である。
- (3) 降水に関しては、将来予測の結果は現状の観測結果や現状計算に比べて頻度が増え、対象月の積算量は増大した。しかし、降水予測は大きな不確実性を持つものであり、雲物理モデルの違いによっても降水頻度や積算降水量が大きく変化した。降水予測に関しては今後、モデルアンサンブルによる不確実性の幅の検討や、さらに長い時間積分による気候値での検討を行っていく必要がある。
- (4) 今回の結果では、雲物理モデルの違いによる不確実性は降水予測に比べて気温予測ではかなり小さいものとなった。ただし、気温予測においては、放射モデル、地表面モデル、大気境界層（乱流）モデルの影響も大きいので、それらの不確実性についても今後さらに検討する必要がある。また、擬似温暖化データを作成する全球モデルの精度も気温予測や降水予測に大きな影響を及ぼすと考えられるので、これについても今後の検討課題



(1) 現状計算（2006年8月、高さ2 m）



(2) 将来予測（2070年代8月、高さ2 m）

図7 気温ヒストグラム（名古屋、雲物理モデルはWSM6）

としたい。

注

- 注1) Kusakaら⁸⁾の都市キャノピーモデルは、①本報の図2（名古屋における気温ヒストグラム）や前報（その1）⁴⁾の図4（名古屋における気温日変化）における観測結果との比較から、実用的に十分な精度を持つと判断できる、②Kusakaら⁸⁾の結果では、より複雑な多層都市キャノピーモデルに近いパフォーマンスが示されている、③筆者らの一人（日下博幸）が開発したモデルで、且つWRFの公式都市キャノピーモデルとして採用されているので、WRFとの組み合わせのパフォーマンスや汎用性を調査することも重要である、ことから、前報（その1）⁴⁾と本報の一連の研究では同モデルを導入している。一方、近藤ら¹¹⁾、ヴァンカ・足永ら^{12), 13)}、萩島ら¹⁴⁾など、より複雑で精緻な都市キャノピーモデルも開発されてきている。都市キャノピーモデルの違いが及ぼす影響については今後、別途詳細に検討する予定である。
- 注2) 本研究で用いた各パラメータ値は経験的に設定したものである。現状計算に関しては、注1)でも述べたように、実用的に十分な精度を持つと判断しており、使用した都市キャノピーモデルに対してそれなりの妥当性を持つパラメータのチューニングができていると考えている。しかし、パラメータ値の感度に関しては今後さらなる検討が必要である。例えば、村山ら¹⁵⁾が調査した名古屋駅周辺の地区建ぺい率、栄（名古屋の繁華街）の地区建ぺい率は、それぞれ0.41、0.39となっている。本研究で用いた建ぺい率0.45はこれらの値よりも大きな値であり、その妥当性についても今後さらに詳細に検討を行っていく必要がある。
- 注3) 文部科学省・気象庁・環境省の報告書¹⁶⁾や気象庁の報告書¹⁷⁾などを整理すると、日本周辺では2070～2080年代になると、地球温暖化による地上気温への影響と都市化による影響がほぼ同じになると考えられている。前報（その1）⁴⁾を含む一連の研究では最終的に、都市スケールでの将来対策を検討することを目指しているため、地球温暖化による影響が都市影響よりも大きくなる21世紀末以降は目的外になると判断した。一方で、都市影響がより顕著と考えられている近未来では、できる限り具体的な土地利用シナリオや人工排熱シナリオなどが必要となるが、2.4節でも述べたように、筆者らの知る限りこれらに関して信頼性の高いシナリオは計画・整備されていない。そのため、本研究では土地利用シナリオ・人工排熱シナリオは現状維持として、これら

のシナリオだけに依存しないと考えられる 2070 年代を対象とすることとした。

注 4) 前報 (その 1) ⁴⁾においても、現状計算に対してのみ 1 ヶ月間の解析を行い、月積算降水量を算出しているが、今回の結果よりもさらに少ない降水量となっている。今回は前報 (その 1) ⁴⁾で用いた計算条件から、①土地利用データ (前報では平成 9 年国土数値情報土地利用 3 次メッシュデータを使用) と②海面水温度 (前報では RTGSST (Real-Time, Global, Sea Surface Temperature)を使用)の 2 つの条件を変更しており、月単位で考えると降水量予測が改善された結果となった。

参考文献

- 1) 名古屋市: 低炭素都市 2050 なごや戦略—低炭素で快適な都市なごやへの挑戦—, http://www.city.nagoya.jp/_res/usr/c/074/401/honpen_zenpen_2.pdf, 2010.6.15 参照.
- 2) 「2050 日本低炭素社会」シナリオチーム: 2050 日本低炭素社会シナリオ: 温室効果ガス 70%削減可能性検討, <http://www.env.go.jp/council/06earth/y060-82/ref02.pdf>, 2010.6.15 参照.
- 3) 竹内恒夫, 杉山範子: 特集「低炭素社会の実現に向けて—中部からの発信」これからの名古屋—名古屋における CO₂ 排出 2050 年マイナス 75% のロードマップ, 空気調和・衛生工学, 82(9), pp.85-90, 2008.9.
- 4) 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熱環境シミュレーション (その 1) 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, 日本建築学会環境系論文集, 75(647), pp.87-93, 2010.1.
- 5) Kimura, F., Kitoh, A.: Downscaling by pseudo global warming method, The Final Report of the ICCAP, Research Institute for Human and Nature, Kyoto, Japan, 2007.
- 6) 縄田恵子, 日下博幸: WRF を用いた首都圏の降水シミュレーション—都市の降水へのインパクト調査—, 日本気象学会 2010 年度春季大会講演予稿集, P328, 2010.5.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) Nozawa, T., Nagashima, T., Ogura, T., Yokohata, T., Okada, N., Shiogama, H.: Climate change simulations with a coupled ocean-atmosphere GCM called the model for interdisciplinary research on climate: MIROC, CGER's Supercomputer Monograph Report 12: Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan, 2007.
- 10) 足立幸穂, 木村富士男, 片岡久美, 日下博幸: 2070 年代における首都圏の夏の気温予測の試み, 日本気象学会 2008 年度春季大会講演予稿集, A105, 2008.5.
- 11) 近藤裕昭, 劉発華: 1 次元都市キャノピーモデルによる都市の熱環境に関する研究, 大気環境学会誌, 33(3), pp.179-192, 1998.5.
- 12) ヴタンカ, 足永靖信, 浅枝隆: 都市建築計画における都市気候予測システムの開発 (その 1) 都市大気境界層の乱流モデリング, 日本建築学会計画系論文集, 536, pp.95-99, 2000.10.
- 13) 足永靖信, ヴタンカ: 都市建築計画における都市気候予測システムの開発 (その 2) 空間平均処理を施した 3 次元都市キャノピーモデルの開発, 日本建築学会環境系論文集, 586, pp.45-51, 2004.12.
- 14) 萩島理, 谷本潤, 片山忠久, 大原健志: 改良・建築—都市—土壌連成系モデル (AUSSSM) による都市高温化の構造解析 (第 1 報) モデルの理論構成及び標準解, 日本建築学会計画系論文集, 550, pp.79-86, 2001.12.
- 15) 村山顕人: 私信, 2010.5.
- 16) 文部科学省, 気象庁, 環境省: 温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」, 2009.10.
- 17) 気象庁: ヒートアイランド監視報告 (平成 18 年夏季—関東・近畿地方), 2007.3.

(2010 年 7 月 9 日原稿受理, 2011 年 1 月 11 日採用決定)