

# 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 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)

## COMPARISON OF FUTURE PROJECTIONS OF THERMAL AND WIND ENVIRONMENTS IN THE NAGOYA METROPOLITAN AREA IN THE SUMMERS OF THE 2030S, THE 2050S, THE 2070S, AND THE 2090S BASED ON TWO IPCC SRES SCENARIOS

Numerical study on thermal environment in the Nagoya metropolitan area by using WRF (Part 3)

黒木 美早衣\*, 飯塚 悟\*\*, 伊藤 奨\*\*\*, 日下 博幸\*\*\*\*, 原 政之\*\*\*\*\*

*Misae KUROKI, Satoru IIZUKA, Susumu ITO,  
Hiroyuki KUSAKA and Masayuki HARA*

Future projections of thermal and wind environments in the summers of the 2030s, the 2050s, the 2070s, and the 2090s in the Nagoya metropolitan area were carried out by using a regional atmospheric model, WRF. In the future projections, the pseudo-global warming method proposed by Kimura et al. (2007) was introduced to consider the effects of global warming as background data. Here, we used IPCC SRES A2 and B1 scenarios to represent the effects of future global warming. We also performed a present prediction (2010) and compared the differences between the present and future projections. Furthermore, the differences between the results obtained with IPCC SRES A2 and B1 scenarios were investigated.

**Keywords :** Urban Thermal Environment, Future Projection, WRF, Pseudo-Global Warming Method, IPCC SRES

都市温熱環境, 将来予測, WRF, 擬似温暖化手法, IPCC SRES

### 1. 序

地球温暖化が深刻化している近年、現状のみならず将来に渡る環境影響評価の必要性は高い。地球温暖化の将来影響を考える上で、温室効果ガス排出量の将来シナリオは重要な役割を持つ。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 作成の SRES (Special Report on Emissions Scenarios) シナリオ<sup>1)</sup>は、2100 年までの温室効果ガス排出量シナリオであり、その中ではベースとなる 6 つのマーカーシナリオが存在し、それぞれ異なる社会ストーリーに合わせたシナリオが作成されている。これらのシナリオの違いが将来の地球 (地球全体) 規模の気候変動に及ぼす影響については、これまで計 25 のシミュレーションモデルにより検討が行われている<sup>2)</sup>。しかし、これらの検討は地球全体の大規模スケールの現象解析であり、都市温熱環境のような局所スケールの現象を詳細に把握できるものではない。このような状況のもと、最近、ダウンスケーリングシミュレーションが多く注目を集めている (例えば 3), 4)。筆者らは既報<sup>5), 6)</sup>において、全球モデル MIROC<sup>7)</sup>による擬似温暖化手法<sup>8)</sup>と領域気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting)<sup>9)-11)</sup>を用いたダウンスケーリングシミュレーションとして、2070 年代の名古屋都市圏の温熱

環境・風環境の将来予測 (短期解析と長期 (1 ヶ月) 解析) を行ってきた。なお、これらの将来予測で用いた擬似温暖化手法は、IPCC SRES の A2 シナリオ (経済志向・地域主義志向) に基づいている。

本研究では、既報<sup>5), 6)</sup>で用いた IPCC SRES A2 シナリオに加え、B1 シナリオ (環境志向・地球主義志向) ベースの擬似温暖化手法と WRF を用いた名古屋都市圏の温熱環境・風環境の将来予測を行い、シナリオ間の予測結果の違いを比較する。その比較を通じて、地球温暖化の進行度合いが名古屋都市圏のような局所スケールの温熱環境や風環境にどのような影響をもたらすかを検討する。また、将来に渡って持続可能な都市環境を考えていく上では、既報<sup>5), 6)</sup>を対象とした 2070 年代に限らず、中長期的な環境変化の推移を把握することも重要である。そこで本研究では、2030 年代、2050 年代、2070 年代、2090 年代の将来予測を実施し、今後約 100 年に渡る名古屋都市圏の温熱環境・風環境の推移を IPCC SRES のシナリオ間で比較する。ただし、本研究で行う将来予測は地球温暖化の影響 (全球規模の気候変動) のみを考慮したものである。ここでは、土地利用変化、都市形態・建物形態変化、エネルギー利用変化などの将来シナリオは組み込んでいない。これらの将来シナリオを作成し、それらを用

\* 東邦ガス(株) 修士(工学)

(研究当時 名古屋大学大学院 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)

\*\*\* 名古屋大学大学院環境学研究科 大学院生

\*\*\*\* 筑波大学大学院生命環境科学研究科

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)

Toho Gas Co., Ltd., M. Eng.

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

Graduate Student, Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

Assoc. Prof., Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Dr. Sci.

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

いた将来予測は今後の課題である。

2. シミュレーションの概要

2.1 数値モデル

既報<sup>5),6)</sup>と同様、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)<sup>9)-11)</sup>を使用した。

2.2 解析領域

図1 (第3領域のみ等高線も併せて表示) と表1 に示すように、3段階のネスティングを使用した。第3領域が主となる解析領域で、その水平方向の範囲は名古屋市街地 (図中☆印) を中心とする濃尾平野 120km×120km (水平格子解像度は 1km×1km) である。なお、第1領域から第3領域までのネスティングはすべて1方向ネスティングとした。

2.3 解析ケース

表2 に示す計9ケースの解析を行った。将来予測は2030年代、2050年代、2070年代、2090年代の8月1ヶ月間を対象とした。それぞれの年代に対して、IPCC SRES<sup>1)</sup> の A2 シナリオ (経済志向・地域主義志向) と B1 シナリオ (環境志向・地球主義志向) の2つのシナリオをベースとした解析を行っている。また、比較のため、現状解析として2010年8月1ヶ月間の解析も実施した。現状解析にしても将来予測にしても、ある特定日の短期解析では予測の不確実性が大きくなるため、ここでは1ヶ月間の比較的中長期的結果を統計的に取り扱うこととした。

2.4 将来予測手法

本研究では将来予測を行うために、既報<sup>5),6)</sup>と同様、Kimura ら<sup>8)</sup>の擬似温暖化手法を導入した。Kimura らの手法ではまず、全球 (地球全体) モデルにより地球温暖化の影響を考慮した長期解析を行い、対象とする将来10年平均気候値と現状10年平均気候値を求める。全球モデルによる長期解析では、IPCC SRES シナリオ<sup>1)</sup>に基づいて地球温暖化の影響を考慮するが、本研究では SRES の6つのマーカーシナリオのうち、A2 シナリオ (経済志向・地域主義志向) と B1 シナリオ (環境志向・地球主義志向) の2つを用いた。次に、現状と将来の10年平均気候値の差 (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、そのデータを気象モデルの初期値と境界値に用いて将来予測を行う。擬似温暖化データの物理量は、①水平方向風速、②温位、③ジオポテンシャル高度、④海水面温度、⑤地表面温度の5つとした。本研究では、全球モデルには大気海洋結合モデル MIROC 3.2 medres (水平格子解像度は約200km×約200km)<sup>7)</sup>を用い、現状の客観解析データには NCEP (National Centers for Environmental Prediction) Final Operational Analysis data (水平格子解像度 1°×1°、6時間毎)を使用した。

図2 に IPCC SRES A2 シナリオ、B1 シナリオそれぞれにおける1990年から2100年までのCO<sub>2</sub>排出量の推移<sup>12)</sup>を示す。図2 (1) は年間のCO<sub>2</sub>排出量、(2) はCO<sub>2</sub>排出量の積算値である。A2 シナリオは「多元化社会シナリオ」と呼ばれ、経済志向・地域主義志向 (地域の独立性の保持) を仮定している。経済発展は地域主導で行われ、国際的な貿易や人・技術の移動が制限されるため、経済成長や技術変化は地域によって差が大きくなることを想定している<sup>13)</sup>。CO<sub>2</sub>排出量は年々増加し、それに伴い積算量も増加するというシナリオである。B1 シナリオは「持続発展型社会シナリオ」と呼ばれているも

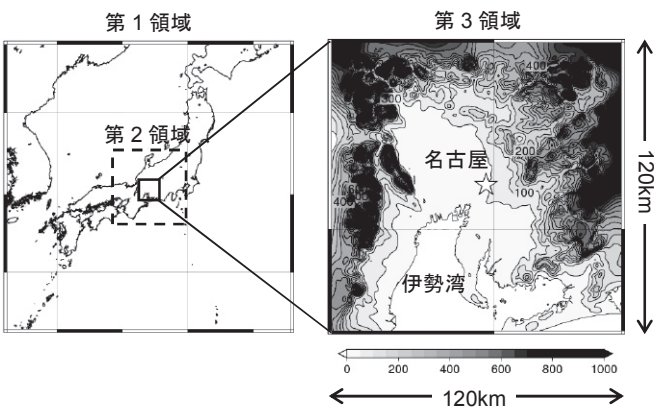


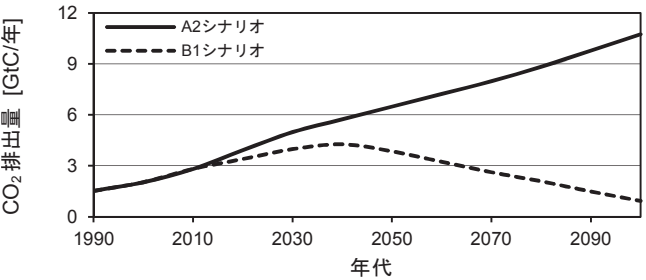
図1 解析領域

表1 解析領域の大きさと格子数

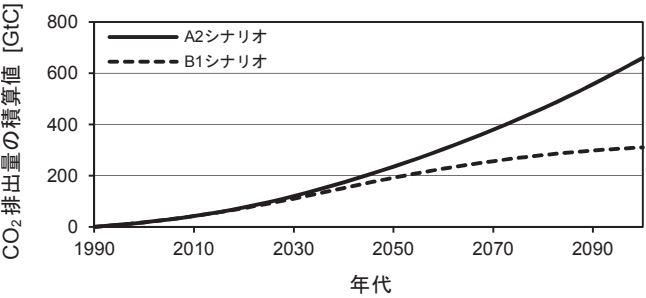
領域	大きさ x×y×z	格子数 x×y×z
第1領域	1975km×1975km×21km	79×79×34 (水平格子: 25km)
第2領域	500km×500km×21km	100×100×34 (水平格子: 5km)
第3領域	120km×120km×21km	120×120×34 (水平格子: 1km)

表2 解析ケース

ケース	年代	IPCC SRES シナリオ
2010	2010年8月	
2030A2	2030年代8月	A2 シナリオ (経済志向・地域主義志向)
2030B1		B1 シナリオ (環境志向・地球主義志向)
2050A2	2050年代8月	A2 シナリオ
2050B1		B1 シナリオ
2070A2	2070年代8月	A2 シナリオ
2070B1		B1 シナリオ
2090A2	2090年代8月	A2 シナリオ
2090B1		B1 シナリオ



(1) 年間CO<sub>2</sub>排出量の推移



(2) CO<sub>2</sub>排出量の積算値の推移

図2 IPCC SRES シナリオのCO<sub>2</sub>排出量推移の比較

ので、環境志向・地球主義志向（グローバル化の進行）を仮定している。環境の保全と経済の発展を地球規模で両立し、バランスのとれた経済発展を想定<sup>13)</sup>したもので、CO<sub>2</sub>排出量は2040年あたりをピークに減少する（図2（1））。そのため、CO<sub>2</sub>排出量の積算値の推移はA2シナリオと比較して緩やかな増加となっている（図2（2））。本研究では、この2つのシナリオをベースとした地球温暖化の影響を考慮し<sup>注1)</sup>、名古屋都市圏の温熱環境・風環境の将来予測を行った。

2.5 解析条件

土地利用データは現状解析、将来予測ともに、第1領域、第2領域においてUSGS（United States Geological Survey）土地利用データを用い、第3領域において平成18年国土数値情報3次メッシュデータ<sup>14)</sup>を使用した。ただし、第3領域では国土数値情報のメッシュデータをUSGS土地利用データで用いられている6区分（①都市、②湿った農耕地と放牧地、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。それぞれの土地区分に対する地表面パラメータを表3に示す。なお、地形データはすべての領域でUSGSの地形データを採用した。将来予測を行う場合は本来、将来の土地利用シナリオや人工排熱シナリオなども考慮する必要がある。しかし我々の知る限り、これらの将来シナリオは未だ十分に整備されていない。そのため、すべての将来予測において、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た。1章で述べたように、これらの将来シナリオの作成や導入に関しては今後の課題としたい。

乱流モデルはMellor-Yamada-Janjicモデル（Mellor-Yamada level 2.5の改良版）<sup>15), 16)</sup>を使用した。地表面モデルはNoah-LSMを用い、さらに都市部ではKusakaらの都市キャノピーモデル<sup>17)</sup>を適用した。なお、都市キャノピーモデル内の主要パラメータは表4のように設定している<sup>注2)</sup>。その他の物理モデルは既報<sup>6)</sup>と同じものを用いた。

初期値（第1～第3領域）と境界値（第1領域）に関しては、現状解析ではNCEP Final Operational Analysis dataを用いた。2030年代～2090年代の将来予測では、2.4節で述べた擬似温暖化データを使用した。なお、現状解析で用いる客観解析データや将来予測で用いる擬似温暖化データ（全球モデルの結果と客観解析データから作成）は非常に解像度の粗いものであるため、WRFで用いる格子に内挿してWRFの初期値・境界値としている。また、解像度の粗いデータからの補間値として初期値を与えているため、すべての解析ケースにおいて7月30日午前9時から時間積分を開始し、助走計算を設けている。

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次精度風上差分を適用し、拡散項には2次精度中心差分を用いた。時間スキームは3次精度Runge-Kutta法を使用した。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、それぞれの領域で設定値の1/4の時間刻みで計算）。これらの短い時間刻みはCFL条件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。現状解析および将来予測の実行はIntel Xeon W3680 (3.33 GHz) を搭載したLinux PCでの4 core 並列計算で行い、それぞれ1ヶ月の計算に約106時間を要した。

表3 各種土地利用区分の地表面パラメータ

	アルベド [-]	蒸発効率 [-]	放射率 [-]	粗度長 [m]	熱慣性 [cal/cm <sup>2</sup> Ks <sup>1/2</sup> ]
都市	都市キャノピーモデル <sup>17)</sup> （表4参照）				
湿った農耕地と放牧地	0.18	0.5	0.985	0.1	0.04
農耕地と草原	0.18	0.25	0.98	0.14	0.04
草原	0.19	0.15	0.96	0.12	0.03
混合林	0.13	0.3	0.97	0.5	0.04
水域	0.08	1	0.98	0.0001	0.06

表4 都市キャノピーモデルの各種パラメータ<sup>注2)</sup>

建物平均高さ [m]	7.0	緑被率 [-]	0.25
天空率 [-]	0.69	日最大人工排熱 [W/m <sup>2</sup> ]	50
建べい率 [-]	0.23		

3. 解析結果と考察

3.1 現状の気温分布と風速分布

図3、図4に現状解析（2010年8月）の結果を示す。図3は第3領域の地上2mの気温分布を示したものである。ここで示す気温は2010年8月1ヶ月の全時間（744時間）平均値である。名古屋市街地（図中☆印）を中心に明確なヒートアイランドが形成されていることが分かる。図4は第3領域の日中（13時～18時）の平均風速ベクトル分布（地上10m）である。これは、13時、14時、15時、16時、17時、18時の6時間に対して8月1ヶ月の平均値（31日×6時間＝全186時間の平均値）として算出したものである。日中は伊勢湾からの海風が顕著に現れており、その風は名古屋北方の内陸遠方まで到達していることが見てとれる。

図5は、名古屋におけるアメダス観測値（名古屋地方気象台、地上1.5m）とシミュレーション（WRF）結果（地上2m）の気温の日変化を比較したものである。両者ともに、図示した値は2010年8月1ヶ月の時刻別平均値である。深夜から早朝にかけてWRFの結果は観測値よりも特に低温となっているが、全体的には両者はよく対応している。深夜と早朝においてWRFの結果が観測値よりも低温となっている理由としては、人工排熱量や地表面モデルの精度が十分でないことなどが理由として考えられる。なお、WRFの予測精度に関しては、既報<sup>5), 6)</sup>において2006年8月を対象とした解析でも詳細に検討しているので、併せて参照されたい。

3.2 気温日変化の将来推移

IPCC SRES<sup>1)</sup> A2シナリオ、B1シナリオに基づく各年代の名古屋における気温（地上2m）の日変化をそれぞれ図6（1）、（2）に示す。図5と同様、図6に示す気温もすべて8月1ヶ月の時刻別平均値である。比較のため、現状（2010年）の結果も併せて表示している。

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（2.4節参照）、A2シナリオの結果（図6（1））、B1シナリオの結果（図6（2））ともに、2010年に対してどの年代においても1日を通じてほぼ一様に昇温している。日最高気温を見ると、2010年は14時に32.7℃となっている。A2シナリオの結果（図6（1））では、日最高気温は2030年代が33.2℃、2050年代が33.8℃、2070年代が35.3℃、2090年代が36.3℃となっている。どの年代においても日最高気温が生じる時刻は14時であり、2010



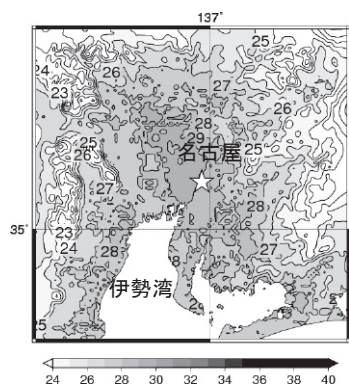


図3 現状（2010年8月）の月平均気温分布  
（地上2m, 8月1ヶ月全744時間平均値）

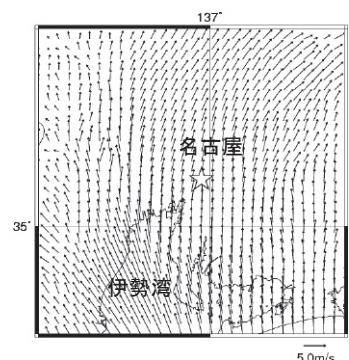


図4 現状（2010年8月）の日中平均風速ベクトル分布  
（地上10m, 8月1ヶ月13時～18時の平均値）

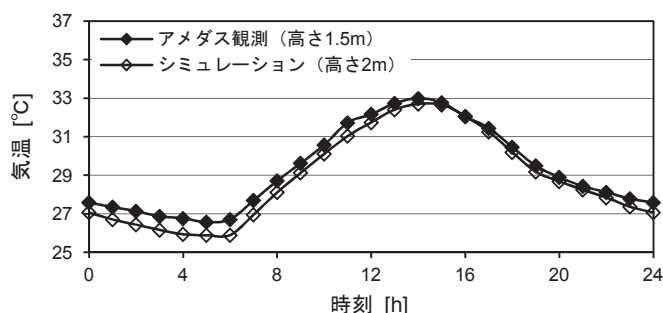
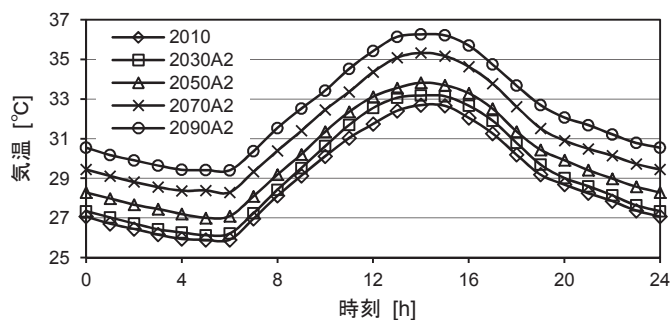


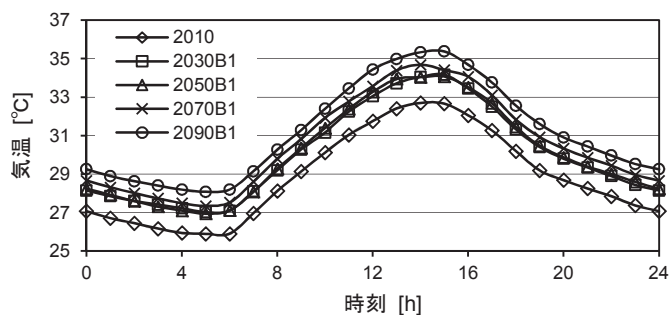
図5 観測とシミュレーションの気温日変化の比較  
（名古屋, 8月1ヶ月時刻別平均値）

年の結果と変化はない。一方、日最低気温は、2010年では午前5時に25.9℃となっているのに対し、A2シナリオの2030年代と2050年代では午前5時にそれぞれ26.1℃、27.0℃、2070年代と2090年代では午前6時に28.3℃、29.4℃である。日較差は2010年が6.8℃であるのに対し、2030年代は7.1℃、2050年代は6.8℃、2070年代は7.0℃、2090年代は6.9℃である。A2シナリオの場合、2030年代で僅かに日較差が大きくなっているものの、年代が進むにつれて大きく変化する傾向は見られていない。

一方、B1シナリオ（図6（2））では、各年代の日最高気温は2030年代が34.2℃、2050年代が34.1℃、2070年代が34.7℃、2090年代が35.4℃である。2030年代と2050年代ではA2シナリオの結果よりも若干高い値となっているが、2070年代以降はA2シナリオの結果よりも低い。これについては次節で再度論じる。以上の日最高気温



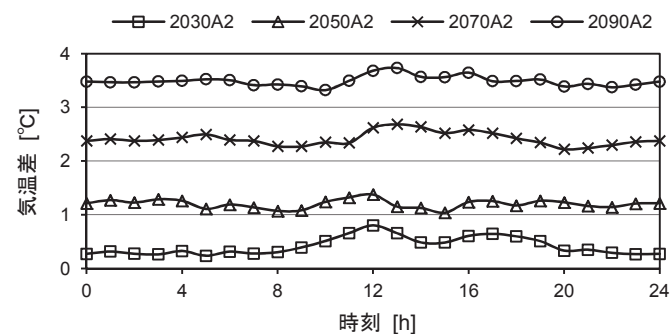
(1) A2 シナリオ



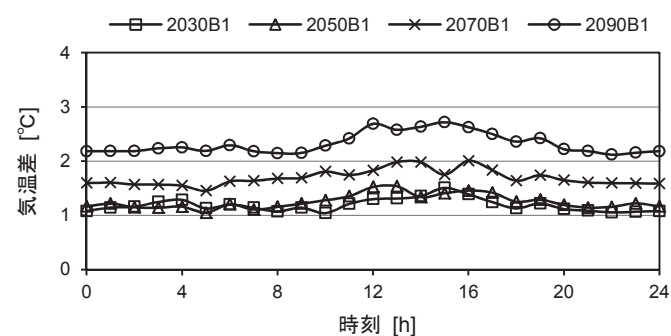
(2) B1 シナリオ

図6 気温日変化の比較

（名古屋, 地上2m, 8月1ヶ月時刻別平均値）



(1) A2 シナリオ



(2) B1 シナリオ

図7 現状（2010年）との気温差の比較

（名古屋, 地上2m, 8月1ヶ月時刻別平均値）

が生じる時刻は、2070年代では14時、2030年代、2050年代および2090年代では15時である。日最低気温は、2030年代が27.0℃、2050年代が26.9℃、2070年代が27.3℃、2090年代が28.1℃となっており、すべての年代で午前5時に生じている。日較差は2030年代と

2050 年代がともに 7.2℃、2070 年代が 7.4℃、2090 年代が 7.3℃であり、B1 シナリオの結果においても年代間で大きな変化は見られていない。

### 3.3 現状との気温差の将来推移

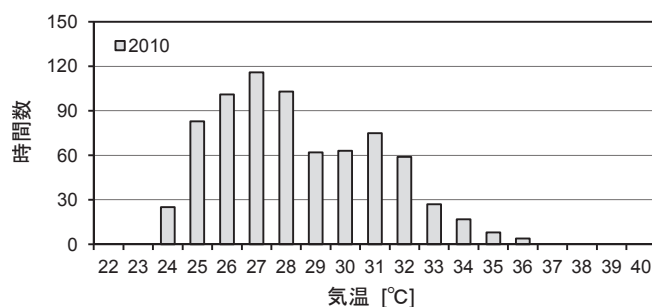
図 7 にそれぞれの将来予測ケースと現状（2010 年）の気温差の日変化を示す。これらの気温差は名古屋（地上 2m）における結果で、図 6 の結果より求めたものである。図 7（1）が IPCC SRES<sup>1)</sup> A2 シナリオの結果、（2）が B1 シナリオの結果である。A2 シナリオに基づく将来予測（図 7（1））では、2010 年に対し、2030 年代で約 0.4℃、2050 年代で約 1.2℃、2070 年代で約 2.5℃、2090 年代で約 3.6℃の気温上昇が見られている。各年代 20 年間の気温上昇率は、2010 年→2030 年代が約 0.4℃、2030 年代→2050 年代が約 0.8℃、2050 年代→2070 年代が約 1.3℃、2070 年代→2090 年代が約 1.1℃である。2070 年代までは 20 年ごとの気温上昇率が大きく増加しているが、2070 年代→2090 年代では 2050 年代→2070 年代に近い気温上昇率となっている。

一方、B1 シナリオ（図 7（2））では、2010 年に対し、2030 年代で約 1.2℃、2050 年代で約 1.3℃、2070 年代で約 1.8℃、2090 年代で約 2.4℃の気温上昇となっている。2030 年代と 2050 年代では 2010 年に対する昇温量はほぼ同じである。2070 年代と 2090 年代では 2010 年に対する昇温が A2 シナリオの結果と比べて、それぞれ 0.7℃、1.2℃小さくなっており、特に 2090 年代ではシナリオ間で大きな差が生じている。B1 シナリオの場合の各年代 20 年間の気温上昇率は、2010 年→2030 年代が約 1.2℃、2030 年代→2050 年代が約 0.1℃、2050 年代→2070 年代が約 0.5℃、2070 年代→2090 年代が約 0.6℃であり、2010 年→2030 年代が最も気温上昇率が高い。A2 シナリオの結果と比較すると、最も気温上昇率が大きくなった 2010 年→2030 年代以外では B1 シナリオにおける 20 年間の昇温の方が 0.5℃～0.8℃小さい。一方、2030 年代の A2 シナリオと B1 シナリオの 2010 年に対する昇温を比較すると、B1 シナリオの結果の方が A2 シナリオの結果よりも 0.8℃大きい。CO<sub>2</sub> 排出量（図 2）を見ると、2030 年代までは両シナリオに大きな違いは見られないため、0.8℃の昇温量の差は大きすぎるとも考えられる。この理由の 1 つとしては、2030 年代までの地球温暖化による昇温量が、数年から 10 年周期ぐらいの大規模な大気（気候）変動の幅よりも小さいためと考えている。地球温暖化の進行が浅く、比較的昇温量が小さい年代に対する将来予測の不確実性については、今後さらに詳細に検討していく必要がある。

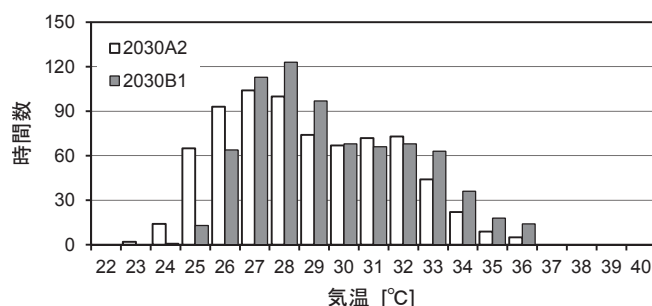
### 3.4 気温ヒストグラム

図 8 は各ケースの名古屋における気温（地上 2m）のヒストグラム（8 月 1 ヶ月の計 744 時間分）である。図 8（1）は 2010 年、（2）は 2030 年代、（3）は 2050 年代、（4）は 2070 年代、（5）は 2090 年代の結果で、それぞれ A2 シナリオと B1 シナリオの結果を併せて図示している。ピーク時間数を持つ気温は、2010 年、2030 年代 A2 において 27℃、2030 年代 B1、2050 年代 A2 および B1、2070 年代 B1 で 28℃、2070 年代 A2、2090 年代 B1 で 29℃、2090 年代 A2 で 30℃となっており、どちらのシナリオにおいても年代が進むにつれて高温側に推移している。

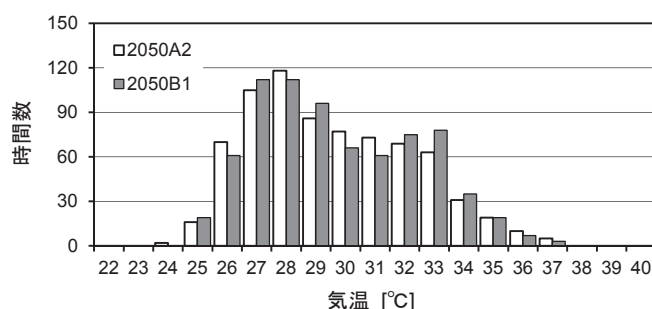
真夏日の基準となる 30℃以上の時間数を見てみると、2010 年では 253 時間であるのに対し、A2 シナリオでは 2030 年代が 292 時間、



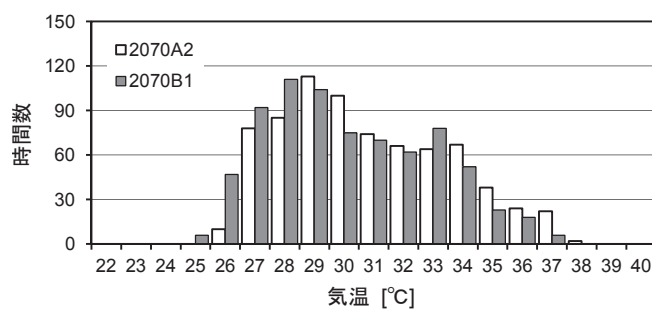
(1) 2010 年



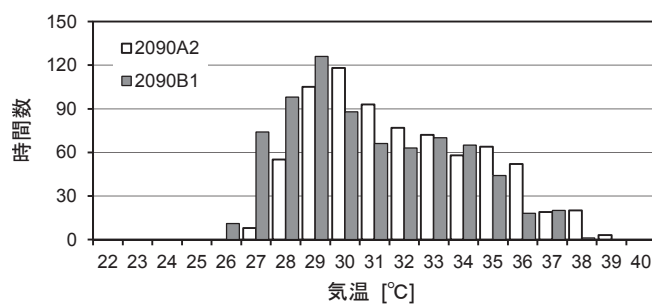
(2) 2030 年代



(3) 2050 年代



(4) 2070 年代



(5) 2090 年代

図 8 気温のヒストグラム  
(名古屋, 地上 2m, 8 月 1 ヶ月の計 744 時間分)



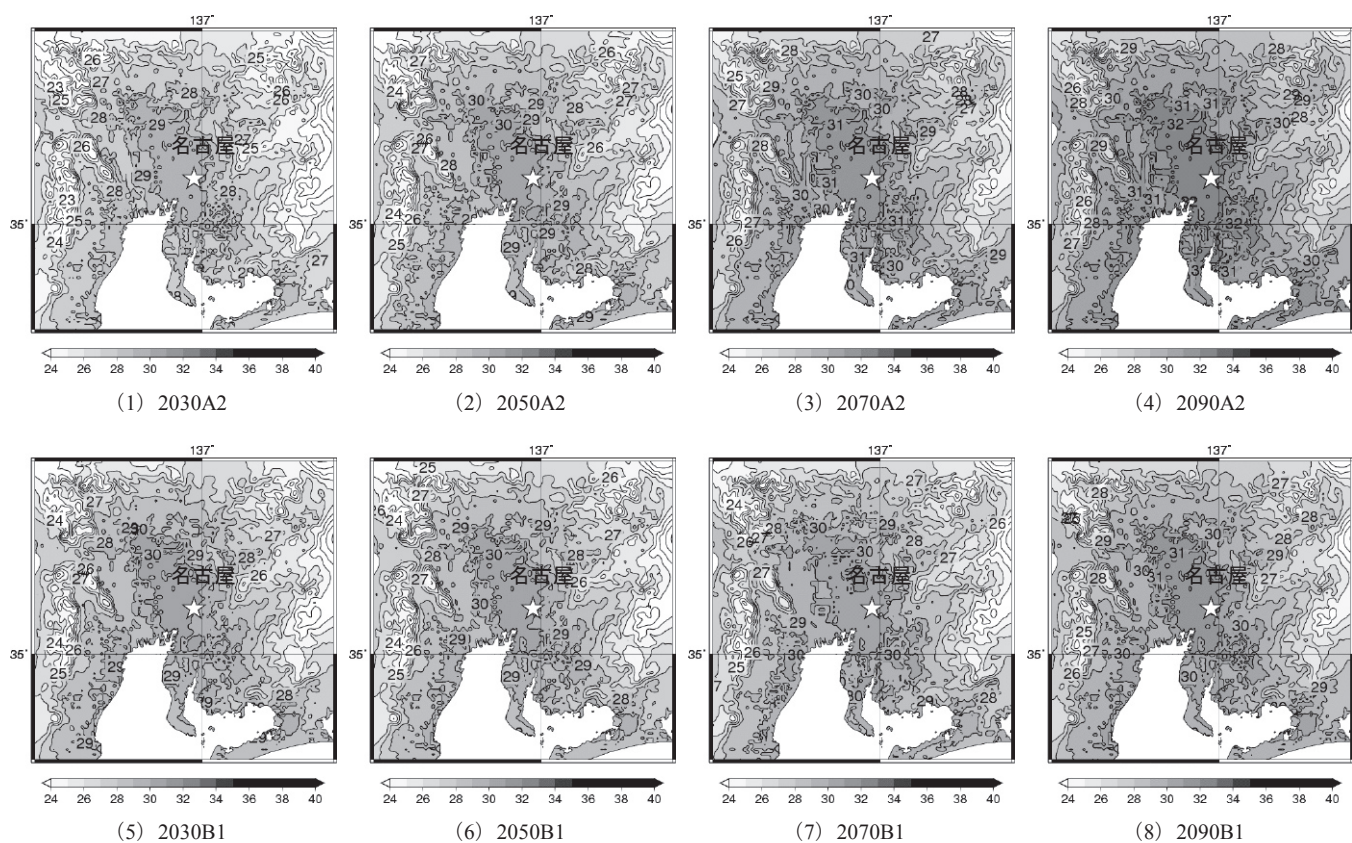


図9 月平均気温分布（地上2m, 8月1ヶ月全744時間平均値）

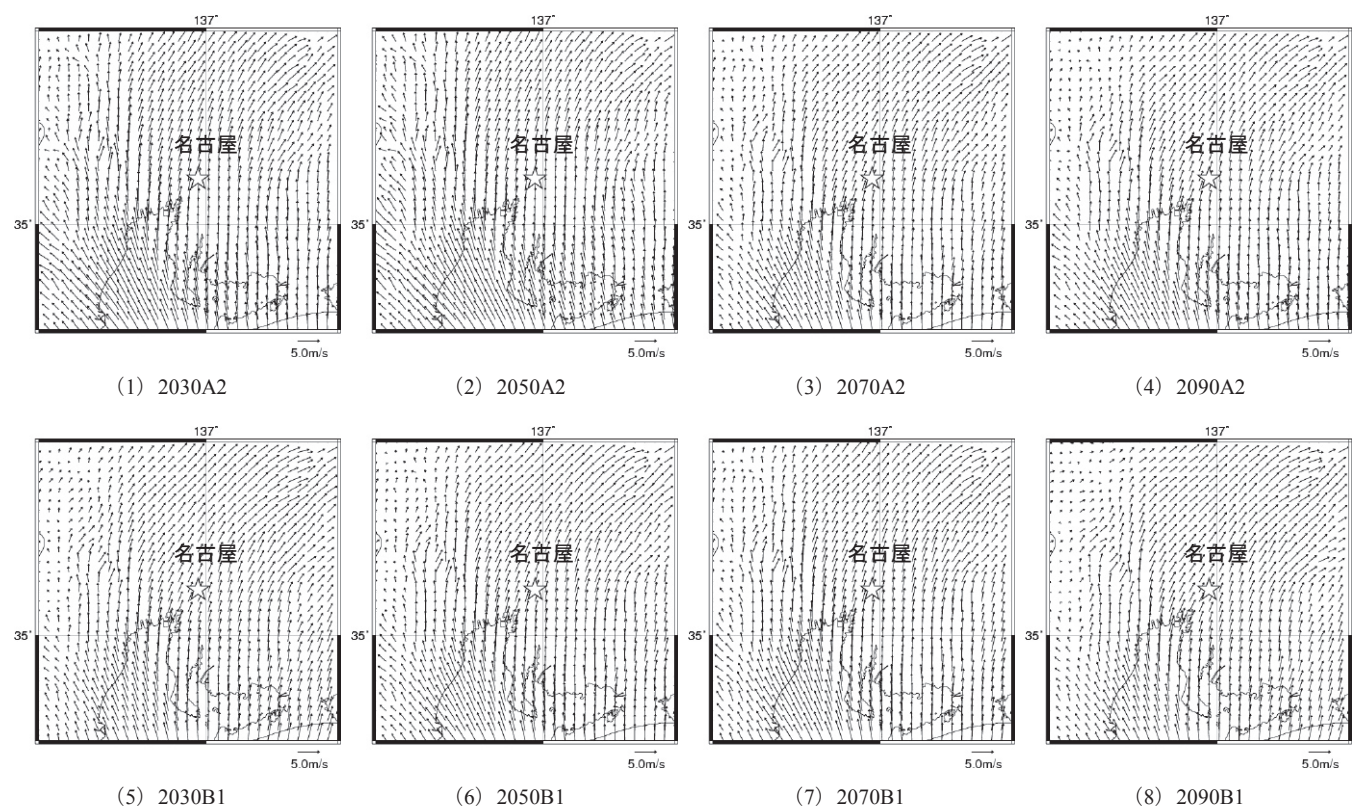


図10 日中平均風速ベクトル分布（地上10m, 8月1ヶ月13時～18時の平均値）

2050 年代が 347 時間、2070 年代が 457 時間、2090 年代が 576 時間で、年代が進むにつれて時間数が激増している。2070 年代以降では 1 ヶ月のうち半分以上が 30℃以上という結果になっている。また、2090 年代では 30℃以上の時間数が 2010 年の 2.3 倍となっており、深刻な温暖化の進行が伺える。一方、B1 シナリオにおける 30℃以上の時間数は、2030 年代が 333 時間、2050 年代が 344 時間、2070 年代が 384 時間、2090 年代が 435 時間となっている。2070 年代時点で 1 ヶ月の半分以上が 30℃以上となるのは A2 シナリオと同様であるが、2090 年代の 30℃以上の時間数は 2010 年の 1.7 倍である。

また、猛暑日の基準となる 35℃以上の時間数を見ると、2010 年では 12 時間であるのに対し、A2 シナリオの場合、2030 年代は 14 時間、2050 年代は 34 時間、2070 年代は 86 時間である。2090 年代に至っては 158 時間であり、2010 年の 13.2 倍となっている。2010 年→2090 年代の 35℃以上の時間数の増加は 30℃以上の時間数の増加に比べて圧倒的に大きくなっている。一方、B1 シナリオで 35℃以上となるのは、2030 年代で 32 時間、2050 年代で 29 時間、2070 年代で 47 時間、2090 年代で 83 時間であり、B1 シナリオの場合も概して年代が進むにつれてその時間数が大きく増加している。

さらに、A2 シナリオでは 2070 年代以降、B1 シナリオでは 2050 年代以降において、25℃未満の気温となる時間数が存在せず、8 月 1 ヶ月間すべての日で熱帯夜が生じる結果となっている。

3.5 将来の気温分布と風速分布（水平面）

図 9 にそれぞれの将来予測ケースの第 3 領域における月平均気温分布（地上 2m）を示す。これらは図 3 と同様、8 月 1 ヶ月の全 744 時間を平均したものである。図 9 (1) ～ (4) が A2 シナリオの結果、(5) ～ (8) が B1 シナリオの結果である。

A2 シナリオにおける領域内の最高気温は、2010 年が 29.3℃であるのに対し、2030 年代が 29.8℃、2050 年代が 30.5℃、2070 年代が 31.8℃、2090 年代が 32.8℃である。図 9 (1) ～ (4) を見ると分かるように、年代が進むに連れて徐々に昇温し、名古屋市街地（図中☆印）を中心とした高温域も広がっている。一方、B1 シナリオにおける領域内の最高気温は、2030 年代が 30.5℃、2050 年代が 30.6℃、2070 年代が 31.1℃、2090 年代が 31.7℃となっている。B1 シナリオにおいても年代が進むに連れて徐々に昇温しているものの、2090 年代における最高気温は A2 シナリオの結果と比べて 1.1℃低い。ただし、両シナリオともにどのケースにおいても、2010 年の結果（図 3）と比較して水平方向の気温差（気温差の空間分布）に大きな変化は見られていない。これは、今回の将来予測が地球温暖化の影響のみを考慮した解析であることに起因していると考えられる。既述したように、土地利用変化や都市形態変化などの将来シナリオも組み込んだ将来予測が今後の課題である。

図 10 はそれぞれの将来予測ケースの第 3 領域における日中平均風速ベクトル分布（地上 10m）を示したものである。値は図 4 と同様、13 時、14 時、15 時、16 時、17 時、18 時の 6 時間に対して 8 月 1 ヶ月の平均値として算出している。図 10 (1) ～ (4) が A2 シナリオの結果、(5) ～ (8) が B1 シナリオの結果である。両シナリオともにどのケースにおいても、2010 年の結果（図 4）と比較して大きな差は見られていない。上述したように、今回の将来予測の結果では、地表面付近の気温が水平方向にはほぼ一様に昇温していることから、年代が進んでも気温差の空間分布に大きな差が生じず、その結

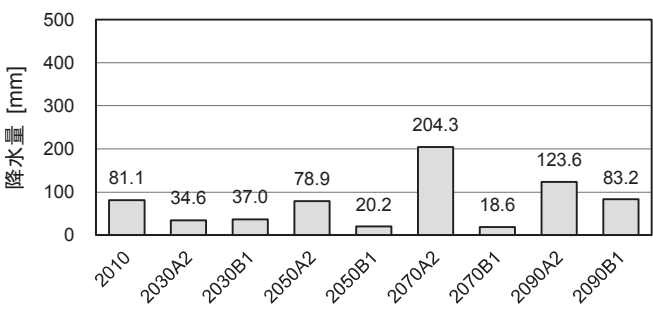


図 11 月積算降水量（名古屋, 8 月 1 ヶ月全 744 時間積算値）

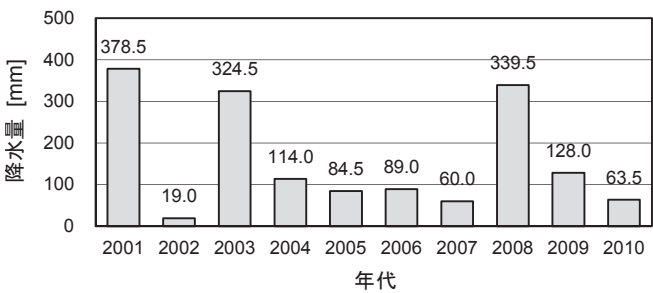


図 12 過去 10 年間の月積算降水量の観測値  
（名古屋地方気象台, 8 月 1 ヶ月全 744 時間積算値）

表 5 A2 シナリオと B1 シナリオの結果の比較（名古屋, 地上 2m）

	年代	A2 シナリオ	B1 シナリオ
日最高気温 （8 月 1 ヶ月時刻別平均値）	2030 年代	33.2℃	34.2℃
	2050 年代	33.8℃	34.1℃
	2070 年代	35.3℃	34.7℃
	2090 年代	36.3℃	35.4℃
日最低気温 （8 月 1 ヶ月時刻別平均値）	2030 年代	26.1℃	27.0℃
	2050 年代	27.0℃	26.9℃
	2070 年代	28.3℃	27.3℃
	2090 年代	29.4℃	28.1℃
過去 20 年間の気温上昇率 （8 月 1 ヶ月平均値）	2030 年代	0.4℃	1.2℃
	2050 年代	0.8℃	0.1℃
	2070 年代	1.3℃	0.5℃
	2090 年代	1.1℃	0.6℃
8 月の 30℃以上の時間数	2030 年代	292 時間	333 時間
	2050 年代	347 時間	344 時間
	2070 年代	457 時間	384 時間
	2090 年代	576 時間	435 時間
8 月の 35℃以上の時間数	2030 年代	14 時間	32 時間
	2050 年代	34 時間	29 時間
	2070 年代	86 時間	47 時間
	2090 年代	158 時間	83 時間

果、風の場合に大きな変化が生じなかったと考えられる。

3.6 月積算降水量

図 11 は各ケースの名古屋における 8 月 1 ヶ月の積算降水量を示したものである。図 12 は過去 10 年間（2001 年～2010 年）のアメダス観測（名古屋地方気象台）における 8 月 1 ヶ月の積算降水量の推移

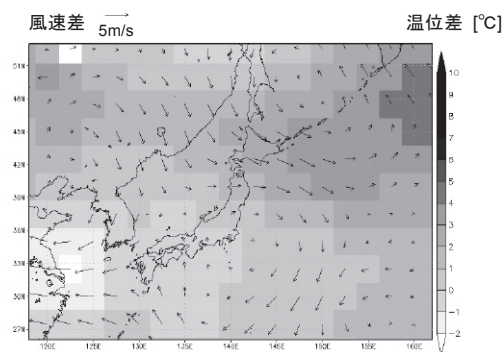


である。図 12 を見ると分かるように、過去 10 年の降水量は年ごとに大きく変動しているが、図 11 に示す将来の降水量はすべてその変動の範囲内となっている。すなわち、今回の結果では将来の温暖化で降水量が増加するという結果にはなっていない。ただし、将来の温暖化と降水量の関係については、今後さらに詳細な検討を重ねていく必要がある。

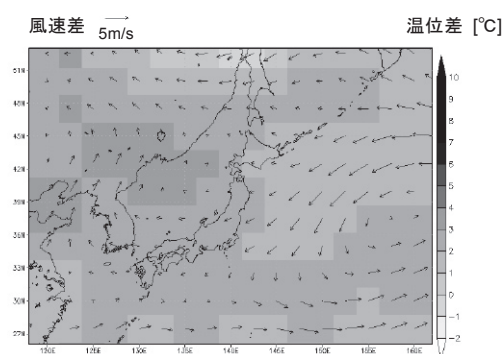
#### 4. まとめ

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、2030 年代、2050 年代、2070 年代、2090 年代の夏季（8 月）を対象とした名古屋都市圏の温熱環境・風環境の将来予測を行った。各年代の将来予測では、IPCC SRES A2 シナリオと B1 シナリオの 2 つの将来シナリオを導入し、シナリオの違いによる予測結果の比較を行うとともに、現在から 2090 年代までの中長期的な環境変化の推移を調べた。

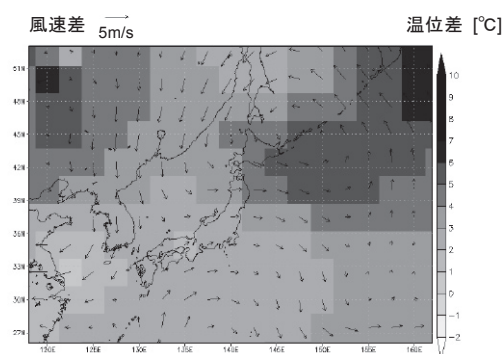
- (1) 名古屋における 8 月 1 ヶ月平均としての日最高気温や日最低気温、20 年間ごとの気温上昇率、高温の時間数を見ると、2070 年代以降において、今後 100 年に渡り CO<sub>2</sub> 排出量が増加し続ける A2 シナリオの結果の方が、2040 年付近をピークに CO<sub>2</sub> 排出量が減少する B1 シナリオの結果に比べて、すべて大きな（高い or 多い）値となった（表 5 参照）。一方、中期的な年代、特に 2030 年代では、それらの昇温に関する値は B1 シナリオの方が A2 シナリオよりも大きい結果となった。ただし、2030 年代のように地球温暖化の進行が比較的浅い場合、地球温暖化による昇温量が数年から 10 年周期ぐらいの大規模な大気（気候）変動の幅より小さくなることもあるため、その評価には注意が必要である。地球温暖化による昇温量が小さい年代に対する将来予測の不確実性については今後さらに検討する必要がある。
- (2) 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、現状に対する将来の昇温はどの年代においても、時間的・空間的にほぼ一様な昇温となった。今後は土地利用変化、都市形態・建物形態変化、エネルギー利用変化などの将来シナリオを作成し、それらを用いた将来予測を行う予定である。
- (3) 降水に関して、今回のシミュレーションでは将来の温暖化で降水量が大きく変化するという結果にはならなかった。ただし、将来の温暖化と降水量の関係についても今後さらに検討を重ねていく必要がある。



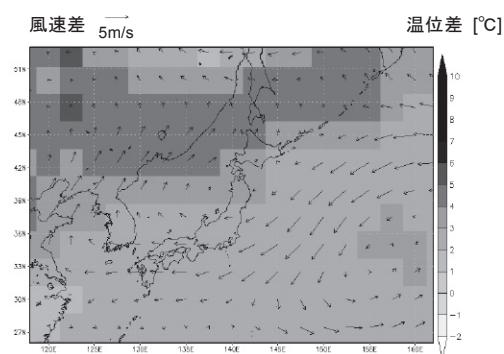
(1) 2030A2－現状



(2) 2030B1－現状



(3) 2070A2－現状



(4) 2070B1－現状

図 13 将来と現状の温位差と風速差の水平（925hPa 等圧面）分布（全球モデル MIROC により算出した 8 月の 10 年平均値）



## 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」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) 全球モデル MIROC<sup>7)</sup>の解析では、温室効果ガス、火山性以外のエアロゾル、オゾンの経年変化を考慮している。ただし、IPCC 第4次評価レポート<sup>2)</sup>でも述べられているように、地球温暖化に対するCO<sub>2</sub>の影響は、その他の温室効果ガス、火山性以外のエアロゾルやオゾンの影響に比べて大きいと考えられている。そのため、本研究ではCO<sub>2</sub>排出量を代表的に取り扱っている。図13に全球モデルMIROCにより求めた気候差分の例として、IPCC SRES A2シナリオとB1シナリオそれぞれに基づく2030年代および2070年代の将来予測結果と2000年代の現状解析結果（すべて8月を対象とした10年平均値）から算出した温位差と風速差の分布を併せて示す。図示した温位差と風速差はすべて925hPa等圧面（MIROCの解析で出力可能な地表面最近傍位置）の結果である。本研究では、以上のような将来と現在の気候差分（実際には①水平方向風速、②温位、③ジオポテンシャル高度、④海水面温度、⑤地表面温度の5つの物理量の差分）を現状の客観解析データに付加して「疑似温暖化データ」を作成し、そのデータをWRFの初期値・境界値に用いて将来予測を行っている。

注2) 表4に示す都市キャノピーモデルのパラメータのうち、建物平均高さと建べい率は名古屋市の平成18年建物用途別現況調査データから、緑被率は平成17年緑被率調査データから、それぞれ名古屋市全域の平均値として算出したものである。本研究では、解析領域内における「都市」はすべて同じ条件を用い、パラメータ値としては上述の名古屋市全域の平均値を与えることとした。これらのパラメータ値は本来、それぞれの都市によって異なるものである。今後は都市に応じたパラメータ値を設定し、それらを組み込んだ解析を行う予定である。

## 参考文献

- 1) IPCC Special Report on Emissions Scenarios : [http://www.grida.no/publications/other/ipcc\\_sr/?src=/climate/ipcc/emission/](http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/), 2010.3.20 参照。
- 2) IPCC Fourth Assessment Report : Climate Change 2007, [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm), 2010.3.20 参照。
- 3) Kusaka, H., Hara, M., Takane, Y. : Urban climate projection by the WRF model at 3-km horizontal grid increment: Dynamical downscaling and predicting heat stress in the 2070's August for Tokyo, Osaka, and Nagoya metropolises, Journal of the Meteorological Society of Japan, 90B, pp.47-64, 2012.

- 4) 原政之, 日下博幸, 木村富士男, 若月泰孝 : 気候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.
- 5) 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.
- 6) 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熱環境シミュレーション (その 2) 夏季温熱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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) WRF Model Users Page : <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>, 2009.6.15 参照。
- 11) 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.
- 12) SRES Illustrative/Marker Scenarios : [http://sres.ciesin.org/final\\_data.html](http://sres.ciesin.org/final_data.html), 2010.3.20 参照。
- 13) 環境省地球環境局 : 4つの社会・経済シナリオについて—「温室効果ガス排出削減シナリオ策定調査報告書」一, 2001.6.
- 14) 国土交通省国土政策局 : 国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, 2009.8.10 参照。
- 15) Janjic, Z. I. : The step-mountain coordinate: physical package, Monthly Weather Review, 118, pp.1429-1443, 1990.6.
- 16) Janjic, Z. I. : Nonsingular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 scheme in the NCEP meso model, NCEP Office Note, No. 437, 2002.
- 17) 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.

(2011年10月10日原稿受理, 2012年4月26日採用決定)