

# ヒートアイランド監視報告 2016

平成 29 年 7 月  
気 象 庁

## 目次

はじめに	1
「ヒートアイランド監視報告 2016」の要点	3
1. 観測データの長期変化からみる大都市のヒートアイランド現象	4
1.1 気温	4
1.1.1 気温の長期変化傾向	4
1.1.2 気温の長期変化傾向と都市化率の関係	6
1.1.3 気温の階級別日数の長期変化傾向	7
1.2 湿度	8
1.2.1 平均相対湿度の長期変化傾向	8
1.2.2 平均相対湿度の長期変化傾向と都市化率の関係	9
1.2.3 霧日数の長期変化傾向	9
1.3 降水	10
1.3.1 降水量の長期変化傾向	10
1.3.2 大雨日数の長期変化傾向	11
2. 都市気候モデルで再現されたヒートアイランド現象	12
2.1 2016年8月のヒートアイランド現象	12
2.1.1 2016年8月の概況	12
2.1.2 関東地方	13
2.1.3 近畿地方	16
2.1.4 東海地方	19
2.2 夏と冬のヒートアイランド現象の比較	22
【コラム】都市化と短時間降水に関する最近の研究から	25
— 参考文献 —	27
付録 1：長期変化傾向の統計的有意性の評価について	28
付録 2：観測場所の移転に伴う気温データの補正方法について	29
付録 3：都市気候モデルについて	30
【資料 1】大都市における年平均気温等の長期変化傾向	33
【資料 2】大都市における月平均気温等の長期変化傾向	35
【資料 3】大都市における気温の階級別日数の長期変化傾向	37
【資料 4】大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向	45
【資料 5】大都市における月平均相対湿度の長期変化傾向	47
【資料 6】大都市における年間霧日数の長期変化傾向	48
【資料 7】大都市における年降水量、年最大1時間降水量の長期変化傾向	50
【資料 8】大都市における年間大雨日数の長期変化傾向	54
【資料 9】2016年各月での都市化の影響による平均気温の変化	58
【資料 10】2010年から2017年までの1月の都市化の影響による平均気温の変化	61

# はじめに

## 本報告公表の背景と構成

都市化の進展に伴い、都市特有の現象として発生するヒートアイランド現象は、地球温暖化の影響と相まって、気温の上昇による生活上の不快感を増大させるのみならず、夏を中心として熱中症等の健康への被害を生じさせている。また、乾燥化による呼吸器疾患等への影響や感染症を媒介する蚊の越冬といった生態系の変化による影響が懸念されている（環境省, 2004）。

政府は、ヒートアイランド対策に関する国、地方公共団体、住民等の対策や取り組みを推進するため、平成 16 年 3 月に「ヒートアイランド対策大綱」を取りまとめた。その後、近年のさらなる気温上昇に伴って熱中症患者数が増加する等、人々の健康や生活への影響がより深刻となってきたことを踏まえ、ヒートアイランド対策を一層強化するため、平成 25 年 5 月に「ヒートアイランド対策大綱」の改訂が行われた<sup>1</sup>。この大綱のもと、気象庁では、ヒートアイランド現象の実態の把握に資する情報や最新の科学的知見を「ヒートアイランド監視報告」として平成 17 年からホームページ<sup>2</sup>で毎年公表している。

ヒートアイランド対策は、地球温暖化による気候変動の悪影響を低減させるための「適応策」としても重要である。政府として初めての適応計画となる「気候変動の影響への適応計画」<sup>3</sup>（平成 27 年 11 月 27 日閣議決定）や国土交通省が同日に公表した「国土交通省気候変動適応計画」<sup>4</sup>においても、緑化や水の活用による地表面被覆の改善、都市形態の改善や人工排熱の低減等の実行可能な対策を継続的に実施していく必要性とともに、ヒートアイランド現象の実態監視や調査研究の必要性も明記されているところである。

「ヒートアイランド監視報告 2016」では、第 1 章で、大都市<sup>5</sup>におけるヒートアイランド現象の実態を把握するため、気象庁が全国の気象観測所において長期間にわたって観測しているデータを用いて解析した、気温や熱帯夜日数等の長期変化傾向を示す。第 2 章では、大都市圏における都市化による気温等への影響の詳細を把握するため、数値シミュレーション（都市気候モデル、概要は付録 3 参照）を用いた、関東地方、近畿地方及び東海地方での気温分布等のシミュレーション結果を示す。なお、この結果は、街区レベルでの実態監視や対策効果の定量的評価等のためのシミュレーション<sup>6</sup>にも活用いただけるよう、数値データの提供も可能である。また、本報告では、都市での短時間強雨について社会的関心が高まっていることから、関東地方における最近の研究結果の概要をコラムとしてまとめた。

本報告が、ヒートアイランド対策に係る関係機関・関係者に広く活用され、ヒートアイランド現象に関する理解の一助になることを期待する。

<sup>1</sup> [http://www.env.go.jp/air/life/heat\\_island/taikou.html](http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/taikou.html)

<sup>2</sup> <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>

<sup>3</sup> <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryu1.pdf>

<sup>4</sup> <https://www.mlit.go.jp/common/001111532.pdf>

<sup>5</sup> ここでは全国の主要都市の地上気象観測地点の中から、観測データの均質性が長期間確保でき、地域的に偏りなく分布するように選出した 10 都市（札幌、仙台、名古屋、東京、横浜、京都、広島、大阪、福岡、鹿児島）。なお、観測場所の移転に伴う影響を除去するのが困難な要素においては、該当する都市を比較対象から除いている。また、【資料 1】～【資料 8】（p.33～p.57 に掲載）の長期変化傾向を示すグラフにおいては、10 都市に新潟も参考として加えている。

<sup>6</sup> 2015 年 7 月 17 日 国土交通省記者発表資料「5m 解像度で都市空間の気温分布を任意の日時で再現可能に ～ヒートアイランド対策分析システムの開発～」 <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20150717.pdf>

## ヒートアイランド現象の定義とその成因

ヒートアイランド (heat island = 熱の島) 現象とは、都市の気温が周囲よりも高い状態のことである。一般に、気温分布図を描いた際に都市を取り囲む等温線の様子が地形図の島のような形になることから、このように呼ばれる。また、ヒートアイランド現象は「都市が無かったと仮定した場合に観測されるであろう気温に比べ、都市の気温が高い状態」としても定義することができる。都市では、草地や森林等の植生域と比べた場合、以下のような都市化による影響があるために、ヒートアイランド現象が発生し、それに伴い風の流れにも変化が生じると考えられている。

### (1) 土地利用の変化の影響 (植生域の縮小と人工被覆域の拡大)

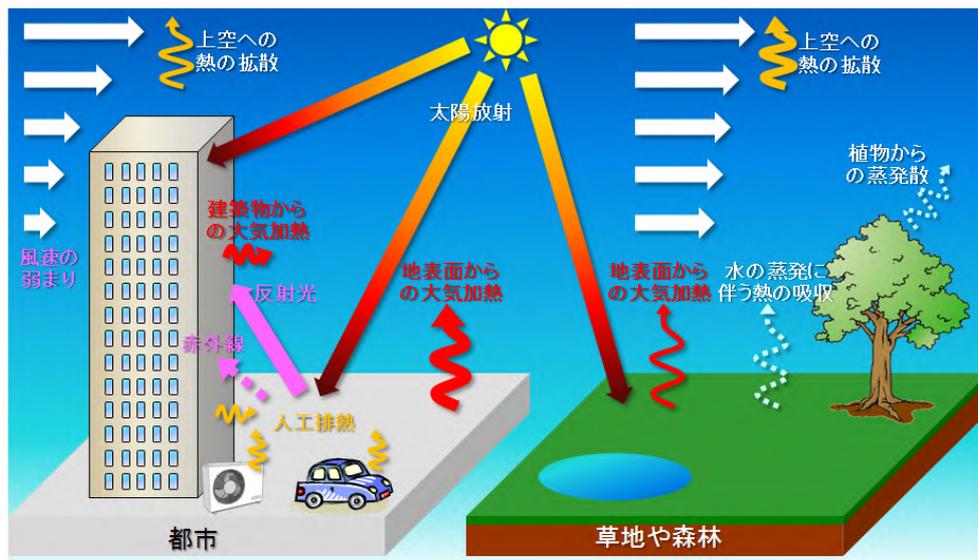
草地、森林、水田、水面等の植生域は、アスファルトやコンクリート等による人工被覆域と比べて保水力が高いことから、水分の蒸発による熱の消費が多く、地表面から大気へ与えられる熱が少なくなるため、主に日中の気温の上昇が抑えられる。

人工被覆域は、植生域と比べて熱容量が大きく、また、入射した日射量の吸収率が大きいこと<sup>7</sup>から、日射による熱の蓄積が多く、地表面から大気へ与えられる熱が多くなるため、気温の上昇が大きくなる。さらに、人工被覆域の地表面は、暖まりにくく冷えにくい性質があることから、日中に蓄積した熱を夜間になっても保持し、大気へ放出することになるため、夜間の気温の低下を妨げる。

都市で建築物の高層化及び高密度化が進むと、天空率<sup>8</sup>が低下し地表面からの放射冷却が弱まること、また、風通しが悪くなり地表面に熱がこもりやすくなることにより、さらに気温の低下を妨げることになる。

### (2) 人工排熱 (人間活動で生じる熱) の影響

人工排熱の影響は、都市部の局所的な高温の要因と考えられる。都市の多様な産業活動や社会活動に伴って熱が排出され、特に都心部で人口が集中する地域では、日中の排熱量は局所的に  $100\text{W}/\text{m}^2$  (中緯度での真夏の太陽南中時における全天日射量の約 10%) を超えると見積もられる。



ヒートアイランド現象の概念図

<sup>7</sup> 建築が密集し、高層建築が増えることによって地表面の凸凹が複雑になり、日射の吸収率が大きくなる (日本ヒートアイランド学会編集, 2015)。

<sup>8</sup> 地上から見上げた場合に空の見える割合を示す指標 (環境省, 2013)。

## 「ヒートアイランド監視報告 2016」の要点

### 大都市における長期変化傾向（統計開始から 2016 年までの統計による調査結果）

#### 【都市の高温化】

都市化による気温の長期的な上昇傾向がみられ、特に日最低気温の上昇率が大きい。

気温の長期的な上昇は、夏に最小となる都市が多い。

都市化率が大きい地点ほど気温の上昇率が大きい。

冬日は減少し、熱帯夜や猛暑日、真夏日は増加している。

#### 【都市の乾燥化】

都市化による相対湿度の長期的な低下傾向がみられる。

相対湿度の低下率は、梅雨時期に最小となる都市が多い。

都市化率が大きい地点ほど相対湿度の低下率が大きい。

霧日数は減少している。

### 都市気候モデルによる解析結果

#### 【2016 年 8 月】

関東地方では、東京都心部から埼玉県東部で都市化の影響が明瞭に現れていた。

近畿地方では、大阪平野東部で都市化の影響が明瞭に現れていた。

東海地方では、愛知県西部で都市化の影響が明瞭に現れていた。

2016 年の都市化の影響は、関東地方では最近 8 年間の中で比較的小さく、近畿、東海地方では最近 8 年間の平均程度であった。

都市化の影響は日中より夜間の方が大きかった。

#### 【夏と冬の比較】

都市化の影響は夏より冬の方が大きい。

# 1. 観測データの長期変化からみる大都市のヒートアイランド現象

## 1.1 気温

都市化による気温の長期的な上昇傾向がみられ、特に日最低気温の上昇率が大きい。  
気温の長期的な上昇は、夏に最小となる都市が多い。  
都市化率が大きい地点ほど気温の上昇率が大きい。  
冬日は減少し、熱帯夜や猛暑日、真夏日は増加している。

### 1.1.1 気温の長期変化傾向

1931 年から 2016 年までの期間で、大都市（札幌、仙台、名古屋、東京、横浜、京都、広島、大阪、福岡、鹿児島）<sup>9</sup>及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点平均<sup>10</sup>の都市化率<sup>11</sup>（人工被覆率）と年及び季節平均した平均気温、日最高気温、日最低気温の長期変化傾向（100 年あたりの上昇率）を表 1.1.1 に示す。統計手法の詳細については付録 1、2 を参照されたい。

年平均気温の 100 年あたりの上昇率は、都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点平均が 1.5 であるのに対し、東京で 3.3 、大阪で 2.7 、名古屋で 2.9 等、都市化率の大きい都市で大きい傾向にある。ここで、各都市と 15 地点平均の上昇率の差は、およそその見積もりとして、都市化による影響とみることができ、多くの都市で都市化の影響が現れていると言える。

また、気温の上昇率は、日最高気温に比べて日最低気温の方が大きい。これは、日中は混合層<sup>12</sup>の発達に伴って都市の余剰熱が上空へ拡散することで地表面付近での気温変化量が小さくなるのに対し、夜間は都市の余剰熱が地表付近の薄い層に集中することで地表面付近での気温変化量が大きくなるためであると考えられる（藤部, 2012a）。

さらに、季節別にみると、平均気温、日最高気温、日最低気温とも、上昇率が最も小さいのは夏である都市が多い。これは、夏は対流が活発で混合層が発達しやすく熱が上空へ拡散しやすいこと等によると考えられる。

なお、大都市における年平均気温等の長期変化傾向を示すグラフは【資料 1】、月別の長期変化傾向をまとめた表は【資料 2】として巻末に掲載した。

<sup>9</sup> 詳細は注 5 のとおり。

<sup>10</sup> 全国の地上気象観測地点の中から、観測データの均質性が長期間確保でき、かつ都市化等による環境の変化が比較的小さい地点から、地域的に偏りなく分布するように選出した 15 地点（網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島）の平均。ただし、これらの観測点も都市化の影響が全くないわけではない。

<sup>11</sup> 平成 21 年度調査時の観測地点において、観測地点を中心とした半径 7km の円内における人工被覆率（平成 18 年度版国土数値情報土地利用 3 次メッシュ（1km メッシュ）における建物用地、幹線交通用地、その他の用地の占める割合）と定義した。

<sup>12</sup> 空気がよく混ざり合った地表面付近の大気層。数百～千数百 m の高さまで及び。

表 1.1.1 大都市及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点平均の都市化率と年及び季節平均した平均気温、日最高気温、日最低気温の長期変化傾向

100 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2016 年まで(冬は 1930 年 12 月/1931 年 2 月～2015 年 12 月/2016 年 2 月)。都市ごとに、一年で最も変化傾向の大きい季節の値は赤字、最も変化傾向の小さい季節の値は青字で示している。また、斜体字網掛けは信頼度水準 90%以上で統計的に有意な変化傾向がないことを意味する。 を付した 4 地点(東京、広島、大阪、鹿児島)及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点中の 2 地点(飯田、宮崎)は、観測場所の移転に伴い移転前のデータを補正している。

地点	都市化率 (%)	気温変化率( /100 年)														
		平均気温					日最高気温					日最低気温				
		年	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋
札幌	75.1	2.7	3.4	2.9	1.9	2.7	1.0	1.4	1.5	0.7	0.6	4.5	5.7	4.7	3.5	4.3
仙台	69.9	2.4	3.0	2.8	1.4	2.6	1.2	1.5	1.5	0.9	1.0	3.2	3.7	3.8	2.0	3.3
名古屋	89.3	2.9	3.0	3.2	2.2	3.2	1.3	1.4	1.6	0.8	1.2	4.0	3.9	4.5	3.2	4.4
東京	92.9	3.3	4.4	3.3	2.0	3.4	1.7	1.9	1.9	1.2	1.7	4.5	6.0	4.6	2.9	4.4
横浜	59.4	2.8	3.5	3.1	1.8	2.9	2.4	2.6	2.8	1.8	2.4	3.6	4.7	3.8	2.2	3.6
京都	60.2	2.7	2.6	3.0	2.3	2.8	1.1	0.8	1.6	1.0	0.8	3.8	3.8	4.1	3.2	4.0
広島	54.6	2.0	1.6	2.4	1.6	2.5	1.0	0.7	1.7	1.1	0.5	3.2	2.8	3.4	2.6	3.9
大阪	92.1	2.7	2.7	2.7	2.2	3.1	2.2	2.2	2.5	2.0	2.1	3.6	3.3	3.6	3.3	4.1
福岡	64.3	3.1	2.9	3.4	2.2	3.8	1.7	1.6	2.2	1.4	1.7	5.0	4.5	5.9	3.7	6.1
鹿児島	38.8	2.8	2.7	3.2	2.3	3.1	1.3	1.2	1.8	1.1	1.3	4.0	3.8	4.6	3.4	4.6
15地点	16.2	1.5	1.6	1.9	1.2	1.5	1.1	1.1	1.6	0.9	0.9	1.9	1.9	2.1	1.6	1.9

### 1.1.2 気温の長期変化傾向と都市化率の関係

1931年から2016年までの期間で、データの均質性を確保できる全国78地点において、気温の年平均値(平均気温、日最高気温、日最低気温)の長期変化傾向と都市化率との関係を図1.1.1に示す。

平均気温、日最高気温、日最低気温とも、都市化率が大きい地点ほど上昇率が大きい傾向があり(それぞれ信頼度水準90%以上で統計的に有意) 気温の上昇率と周辺の都市化率の間には正の相関がみられる。都市化の影響が日最高気温に比べて日最低気温に現れやすいことについては、1.1.1項で述べたとおりである。

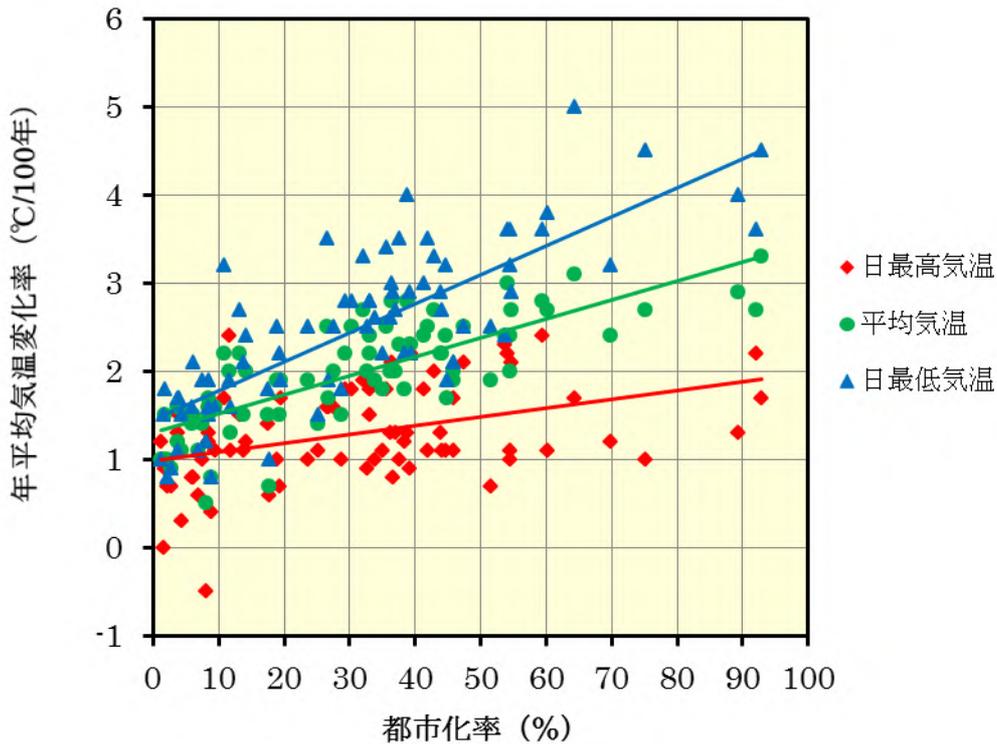


図 1.1.1 全国 78 地点における年平均の気温変化率と都市化率の相関図

観測場所の移転があった地点については、移転前のデータを補正して気温変化率を算出している。統計期間は1931年から2016年まで。各直線は回帰直線を示している。

### 1.1.3 気温の階級別日数の長期変化傾向

大都市の冬日<sup>13</sup>、熱帯夜<sup>14</sup>、真夏日<sup>15</sup>、猛暑日<sup>16</sup>の年間日数の長期変化傾向を表 1.1.2 に示す。

冬日の年間日数は、全ての都市で有意な減少傾向がみられる。また、熱帯夜の年間日数は、発現頻度の非常に少ない札幌を除いて有意な増加傾向がみられる。各都市における長期変化は、都市化の影響が比較的小さいとみられる 13 地点平均<sup>17</sup>と比べて大きく、都市化による気温上昇の影響が現れていると考えられる。

真夏日の年間日数は、発現頻度が少ない札幌を除いて増加傾向が現れている。猛暑日の年間日数も同様で、名古屋、京都、福岡で比較的大きい。

なお、大都市における各階級別日数の経年変化を示すグラフは【資料 3】として巻末に掲載した。

表 1.1.2 大都市及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 13 地点平均の冬日、熱帯夜、真夏日、猛暑日の年間日数の長期変化傾向

10 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2016 年まで(猛暑日は 1961 年から 2016 年まで)。斜体字網掛けは信頼度水準 90%以上で統計的に有意な変化傾向がないことを意味する。なお、大都市 10 地点中の 4 地点(東京、広島、大阪、鹿児島)及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点中の 2 地点(飯田、宮崎)は、観測場所の移転に伴う影響を除去することが困難なため、比較対象から除いている。

地点	冬日 (日/10 年)	熱帯夜 (日/10 年)	真夏日 (日/10 年)	猛暑日 (日/10 年)
札幌	-4.6	<i>0.0</i>	<i>0.1</i>	<i>0.0</i>
仙台	-5.8	0.3	1.0	0.2
名古屋	-7.1	3.7	1.1	2.2
横浜	-6.4	3.0	2.1	0.4
京都	-7.5	3.6	1.2	2.3
福岡	-5.1	4.7	1.1	1.8
13 地点	-2.1	1.7	0.6	0.4

<sup>13</sup> 日最低気温が 0 未満の日。

<sup>14</sup> 熱帯夜とは、夜間の最低気温が 25 以上のことをいうが、本報告では、日最低気温 25 以上の日数を熱帯夜日数として扱う。

<sup>15</sup> 日最高気温が 30 以上の日。

<sup>16</sup> 日最高気温が 35 以上の日。

<sup>17</sup> 気温の階級別日数は、観測場所の移転に伴う影響を除去することが困難なため、注 10 の 15 地点から該当する飯田と宮崎を除く 13 地点の平均。

## 1.2 湿度

都市化による相対湿度の長期的な低下傾向がみられる。  
 相対湿度の低下率は、梅雨時期に最小となる都市が多い。  
 都市化率が大きい地点ほど相対湿度の低下率が大きい。  
 霧日数は減少している。

### 1.2.1 平均相対湿度の長期変化傾向

大都市の平均相対湿度の長期変化傾向を表 1.2.1 に示す。平均相対湿度の 100 年あたりの低下率は、都市化の影響が比較的小さいとみられる 13 地点平均<sup>18</sup>の年平均で 6.2%であるのに対し、都市化率の高い都市ではより大きい。季節別でみると、低下率が最も大きい季節は都市によって異なるものの、低下率が最も小さい季節は夏、特に梅雨時期（月別では 6 月の低下率が最も小さい）である都市が多い。これは、梅雨時期は曇りや雨の日が多く、都市化の影響が現れにくいためであると考えられる。また、都市における相対湿度の低下の要因としては、気温の上昇に伴う飽和水蒸気圧（大気中に含む水蒸気量の最大値）の増加によって相対湿度が下がる効果が主であると考えられるが、都市域では植物が少なくなり、蒸発散が弱くなるために水蒸気そのものが減少する傾向も寄与している可能性がある<sup>19</sup>と指摘されている（藤部, 2012a, 2012b）。

なお、大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向を示すグラフは【資料 4】、月別の長期変化傾向をまとめた表は【資料 5】として巻末に掲載した。

表 1.2.1 大都市及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 13 地点平均の都市化率と平均相対湿度の長期変化傾向

100 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2016 年まで（冬は 1930 年 12 月/1931 年 2 月～2015 年 12 月/2016 年 2 月）。全ての値で信頼度水準 90%以上で統計的に有意な変化傾向を示している。また、都市ごとに、一年で最も変化傾向の大きい季節の値は赤字、最も変化傾向の小さい季節の値は青字で示している。なお、大都市 10 地点中の 4 地点（東京、広島、大阪、鹿児島）及び都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点中の 2 地点（飯田、宮崎）は、観測場所の移転に伴う影響を除去することが困難なため、比較対象から除いている。

地点	都市化率 (%)	平均相対湿度変化率 (%/100 年)				
		年	冬	春	夏	秋
札幌	75.1	-12.8	-11.0	-12.6	-11.7	-15.8
仙台	69.9	-9.1	-10.6	-9.1	-6.9	-9.7
名古屋	89.3	-17.6	-17.2	-18.3	-15.9	-19.1
横浜	59.4	-13.0	-17.1	-12.2	-9.0	-13.7
京都	60.2	-15.4	-14.9	-16.7	-14.0	-16.0
福岡	64.3	-15.1	-15.0	-16.8	-11.5	-16.7
13 地点	14.8	-6.2	-5.9	-7.0	-5.6	-6.2

<sup>18</sup> 相対湿度は、観測場所の移転に伴う影響を除去することが困難なため、注 17 と同じ 13 地点の平均。

### 1.2.2 平均相対湿度の長期変化傾向と都市化率の関係

1931年から2016年までの期間で、データの均質性を確保できる全国51地点（当該期間に移転のあった観測場所は含まれない）において、年平均相対湿度の長期変化傾向と都市化率との関係を図1.2.1に示す。

年平均相対湿度は、都市化率が高い地点ほど低下率が高い傾向があり（信頼度水準90%以上で統計的に有意）都市化の影響が明瞭に現れている。

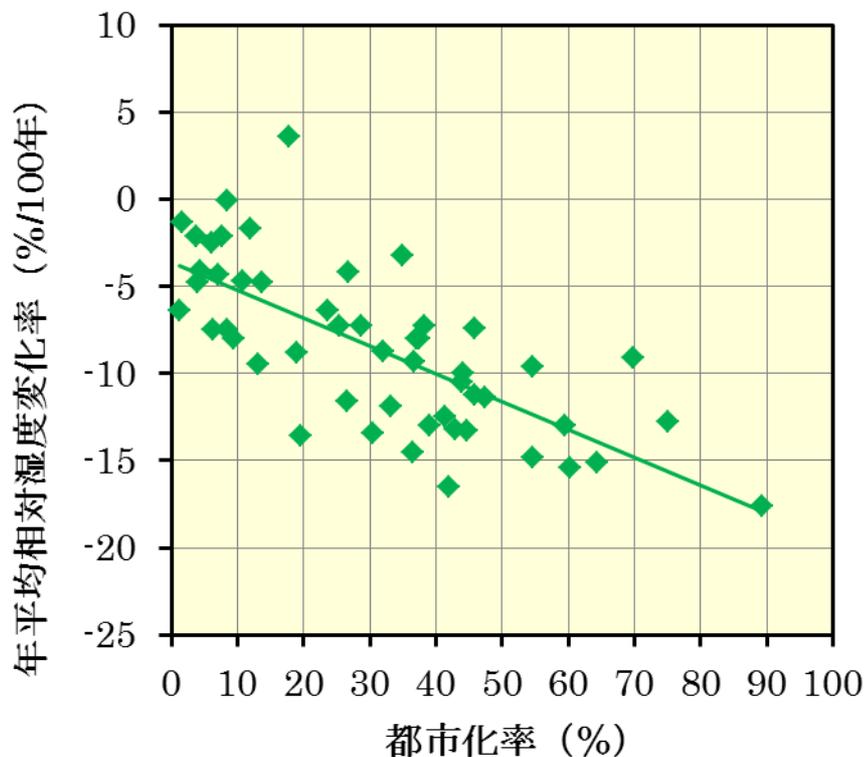


図 1.2.1 全国 51 地点における年平均相対湿度の変化率と都市化率の相関図

統計期間は 1931 年から 2016 年まで。直線は回帰直線を示している。

### 1.2.3 霧日数の長期変化傾向

大都市の年間霧<sup>19</sup>日数の長期変化傾向を示すグラフを【資料 6】として巻末に示す。

年間霧日数の長期変化傾向は各都市で有意な減少がみられる。この要因としては、1 つには都市化の影響による相対湿度の低下が指摘されているものの（藤部,2012a）、都市化では説明できない不規則な変動もみられ、未解明な部分が多い。

<sup>19</sup> 「霧」とはごく小さな水滴が大気中に浮遊し、水平視程（水平方向に見通せる距離）が 1km 未満の状態をいう。

## 1.3 降水

大都市の多くで大雨や短時間強雨の有意な長期変化傾向はみられない。

### 1.3.1 降水量の長期変化傾向

大都市の年及び季節別の降水量と最大1時間降水量の長期変化傾向を表1.3.1に示す。

降水量と最大1時間降水量の長期変化傾向は、一部の都市では有意な変化傾向が現れているものの、多くの都市でみられない。このことから、降水量や最大1時間降水量の変化傾向と都市化の影響についての明確な関連性を見出すことは難しい。

因みに、日本全体（観測データの均質性が長期にわたって確保できる51地点<sup>20</sup>の平均で代表）でみた場合の年降水量も有意な変化傾向はみられない（気象庁、2017）。

なお、大都市における長期変化傾向を示すグラフは【資料7】として巻末に掲載した。

表 1.3.1 大都市の降水量と最大1時間降水量の長期変化傾向

10年あたりの変化率を示す。統計期間は降水量が1931年から2016年まで（冬は1930年12月/1931年2月～2015年12月/2016年2月）、最大1時間降水量は1965年から2016年まで（冬は1964年12月/1965年2月～2015年12月/2016年2月）。斜体字網掛けは信頼度水準90%以上で統計的に有意な変化傾向がないことを意味する。

地点	降水量変化率 (mm/10年)					最大1時間降水量変化率 ((mm/時)/10年)				
	年	冬	春	夏	秋	年	冬	春	夏	秋
札幌	3.2	6.0	-0.3	-1.5	-1.6	1.3	-0.1	0.2	1.5	0.6
仙台	11.0	-0.8	4.6	5.1	2.4	1.3	0.7	0.8	0.7	1.9
新潟	7.2	-7.7	-0.6	11.9	4.7	2.6	0.5	0.7	2.7	0.6
名古屋	6.9	2.2	3.9	-0.9	1.5	0.2	0.9	0.7	0.9	0.3
東京	9.0	0.9	4.7	1.5	1.5	3.9	0.8	1.6	2.3	3.1
横浜	14.8	2.2	7.7	3.2	1.2	2.4	1.1	1.2	1.6	1.7
京都	-2.2	3.6	-0.4	-5.6	0.0	0.2	0.7	0.6	0.2	-0.2
広島	-0.5	0.6	4.5	2.1	-7.9	1.1	0.1	0.5	0.5	2.0
大阪	0.2	3.5	1.6	-2.5	-2.8	0.2	0.9	0.5	1.6	-1.0
福岡	4.6	-2.6	1.9	14.2	-9.2	3.8	0.2	0.5	3.7	0.7
鹿児島	21.7	4.0	-6.6	19.9	4.2	0.8	1.7	0.2	-1.1	1.9

<sup>20</sup> 降水量は、気温に比べて地点ごとの変動幅の違いが大きく、変化傾向の解析にはより多くの観測点を必要とするため、観測データの均質性が長期間確保できる次の51観測地点を選出している。旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、秋田、宮古、山形、石巻、福島、伏木、長野、宇都宮、福井、高山、松本、前橋、熊谷、水戸、敦賀、岐阜、名古屋、飯田、甲府、津、浜松、東京、横浜、境、浜田、京都、彦根、下関、呉、神戸、大阪、和歌山、福岡、大分、長崎、熊本、鹿児島、宮崎、松山、多度津、高知、徳島、名瀬、石垣島、那覇。

### 1.3.2 大雨日数の長期変化傾向

日降水量 50mm 以上と日降水量 100mm 以上の年間日数の長期変化傾向は、降水量や最大 1 時間降水量と同様に、多くの都市ではみられない（表 1.3.2）。

一方、日本全体（51 地点平均）でみた場合の日降水量 100mm 以上の年間日数については、有意な増加傾向がみられている（気象庁，2017）。これは、全国という広域平均でみた場合は、1 都市で見られる局所的な年々の変動が打ち消されるためと考えられる。

なお、各都市における長期変化傾向を示すグラフは【資料 8】として巻末に掲載した。

表 1.3.2 大都市における年間大雨日数の長期変化傾向

100 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2016 年まで。斜体字網掛けは信頼度水準 90%以上で統計的に有意な変化傾向がないことを意味する。

地点	大雨の年間日数変化率(日/100年)	
	日降水量 50mm 以上	日降水量 100mm 以上
札幌	<i>0.5</i>	<i>0.1</i>
仙台	2.7	<i>0.4</i>
新潟	1.9	0.5
名古屋	<i>0.8</i>	<i>0.0</i>
東京	1.9	<i>-0.1</i>
横浜	1.8	<i>0.5</i>
京都	<i>0.0</i>	<i>0.1</i>
広島	<i>0.8</i>	<i>0.1</i>
大阪	<i>0.0</i>	<i>-0.2</i>
福岡	<i>1.6</i>	<i>0.6</i>
鹿児島	<i>2.6</i>	1.8



## 2.1.2 関東地方

関東地方における2016年8月の都市気候モデルによる解析結果を図2.1.3に示す。東京都心部を中心に関東平野の広い範囲で月平均気温の高い領域が広がっており、特に、東京都心部から埼玉県南東部にかけては28以上となっている。この付近は、気温30以上となった時間の月合計の最大域(200~240時間域)がみられ、また、都市化の影響による気温上昇量や相対湿度の低下率が大きくなっている。都市化の影響による気温上昇量の最大域(+1.5~2.0域)がやや内陸に分布している要因としては、海風によって沿岸部が冷やされること、また、都市の影響により海風の内陸への流入が弱められることが指摘されている(気象庁, 2012、藤部, 2012b)

なお、2016年各月での都市化の影響による平均気温の変化については、【資料9】(1)として巻末に掲載した。

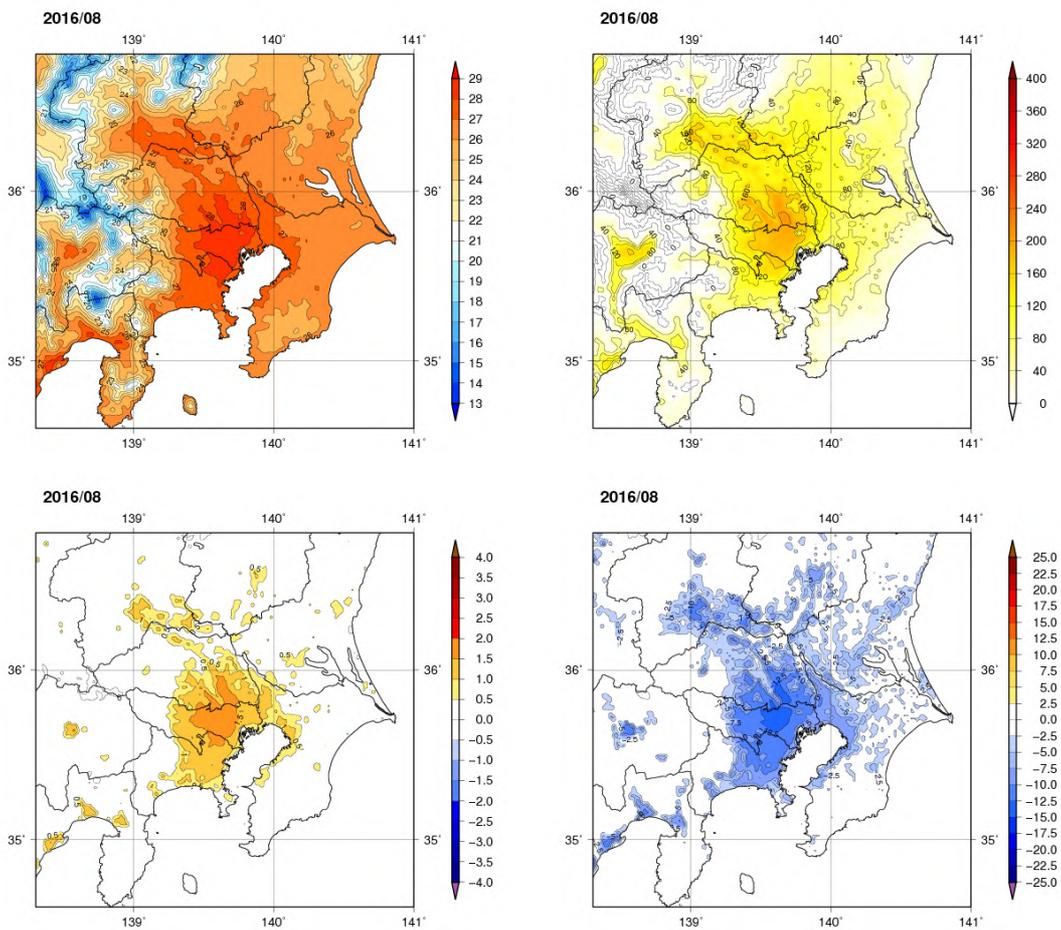


図2.1.3 関東地方における2016年8月の平均気温(左上図、単位: °C)、気温30以上となった時間の合計(右上図、単位: 時間)、都市化の影響による平均気温の変化(左下図、単位: °C)、都市化の影響による平均相対湿度の変化(右下図、単位: %)の分布

最近8年間(2009~2016年)の8月の都市化の影響による平均気温の変化を比較すると(図2.1.4)年によって都市化の影響が違ってくる。これは、太平洋高気圧等の大きな規模の大気の流れの違いに伴って、ヒートアイランド現象(都市化の影響)が現れやすい晴れて風の弱い日の日数に違いが出てくるためと考えられる。

2016年は、気温上昇量の最大域(+1.5~2.0℃)や+0.5℃以上の領域の広がりが比較的小さかった。これは、月の後半の台風や湿った気流の影響により、曇りや雨の日が多く、日照時間が少なくなったためと考えられる。

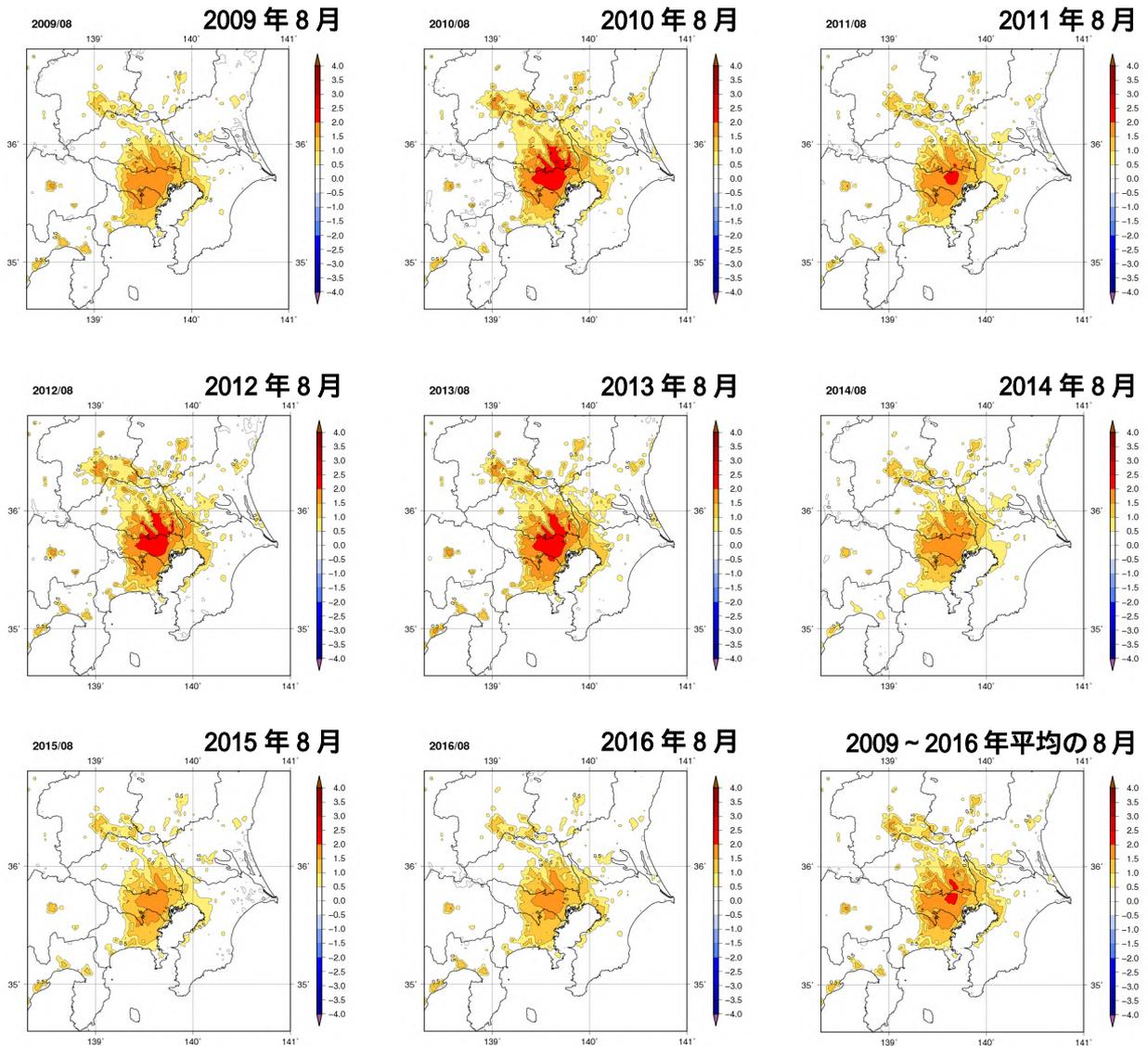


図 2.1.4 関東地方における 2009~2016 年 8 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化( )の分布及び 8 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化( )の分布

次に、2016年8月の夜間と日中<sup>21</sup>、それぞれ最低気温と最高気温の出やすい5時と15時の都市化の影響による平均気温の変化についてみると（図 2.1.5）日中（15時）より夜間（5時）の方が都市化の影響は明瞭に現れている。これは日最低気温で気温の上昇率が大きいという 1.1.1 項の結果と整合している。

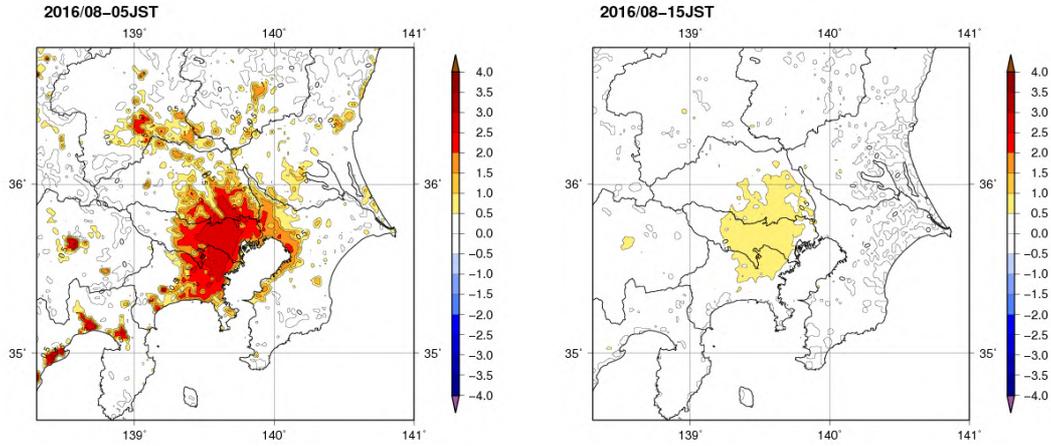


図 2.1.5 関東地方における 2016 年 8 月の 5 時（左図）と 15 時（右図）の都市化の影響による平均気温の変化（ ）の分布

<sup>21</sup> ここでは、「夜間」を 18 時頃から翌 6 時頃、「日中」を 9 時頃から 18 時頃としている。また、以下の節、項でも同様。

### 2.1.3 近畿地方

近畿地方における 2016 年 8 月の都市気候モデルによる解析結果を図 2.1.6 に示す。大阪平野や京都盆地、奈良盆地で高温となっており、月平均気温が 29 以上となっている。特に大阪平野東部では、都市化の影響による気温上昇量の最大域（+2.0～2.5 域）や気温 30 以上となった時間の月合計の最大域（240～280 時間域）がみられる。また、都市化の影響による相対湿度の低下率も大きくなっている。都市化の影響による気温上昇量の最大域（+2.0～2.5 域）がやや内陸に分布している要因としては、関東地方と同様に、海風によって沿岸部が冷やされること、また、都市の影響により海風の内陸への流入が弱められることが指摘されている（気象庁, 2012、藤部, 2012b）。

なお、2016 年各月での都市化の影響による平均気温の変化については、【資料 9】(2) として巻末に掲載した。

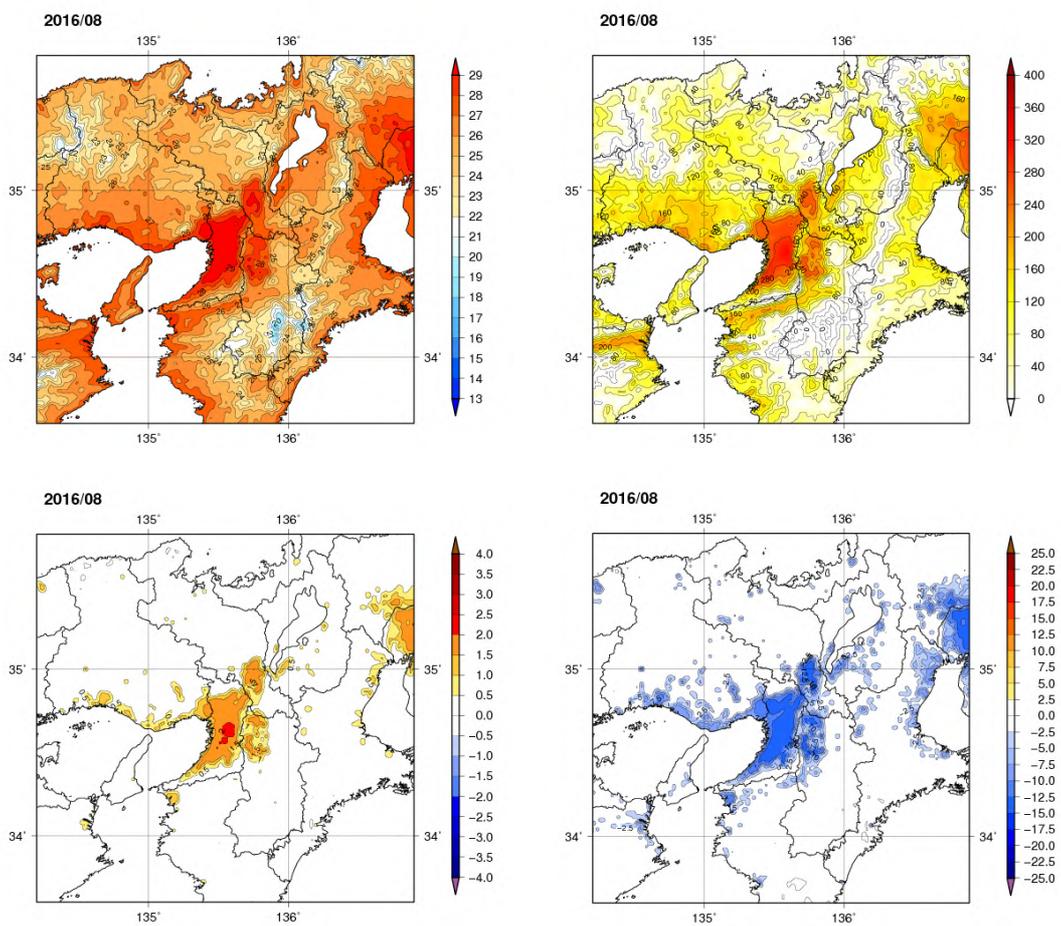


図 2.1.6 近畿地方における 2016 年 8 月の平均気温（左上図、単位：℃）、気温 30 以上となった時間の合計（右上図、単位：時間）、都市化の影響による平均気温の変化（左下図、単位：℃）、都市化の影響による平均相対湿度の変化（右下図、単位：%）の分布

最近8年間(2009~2016年)の8月の都市化の影響による平均気温の変化を比較すると(図2.1.7)年によって都市化の影響が違ってくる。これは、太平洋高気圧等の大きな規模の大気の流れの違いに伴って、ヒートアイランド現象(都市化の影響)が現れやすい晴れて風の弱い日の日数に違いが出てくるためと考えられる。

2016年は、気温上昇量の最大域(+2.0~2.5℃)や+0.5℃以上の領域の広がりが最近8年間の平均程度であった。

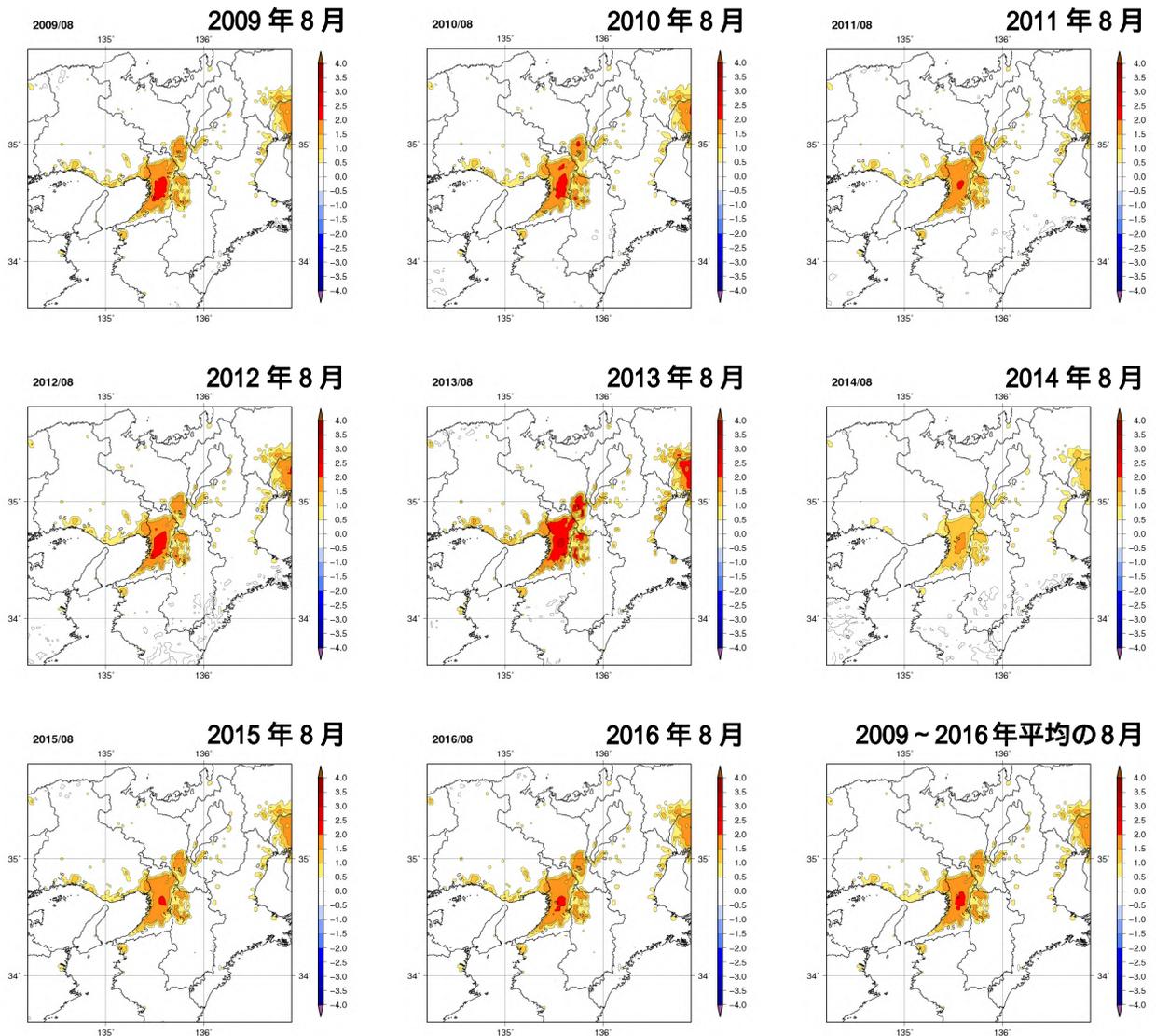


図 2.1.7 近畿地方における 2009~2016 年 8 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化( )の分布及び 8 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化( )の分布

次に、2016年8月の夜間と日中、それぞれ最低気温と最高気温の出やすい5時と15時の都市化の影響による平均気温の変化についてみると（図2.1.8）日中（15時）より夜間（5時）の方が都市化の影響は明瞭に現れている。これは日最低気温で気温の上昇率が大きいという1.1.1項の結果と整合している。

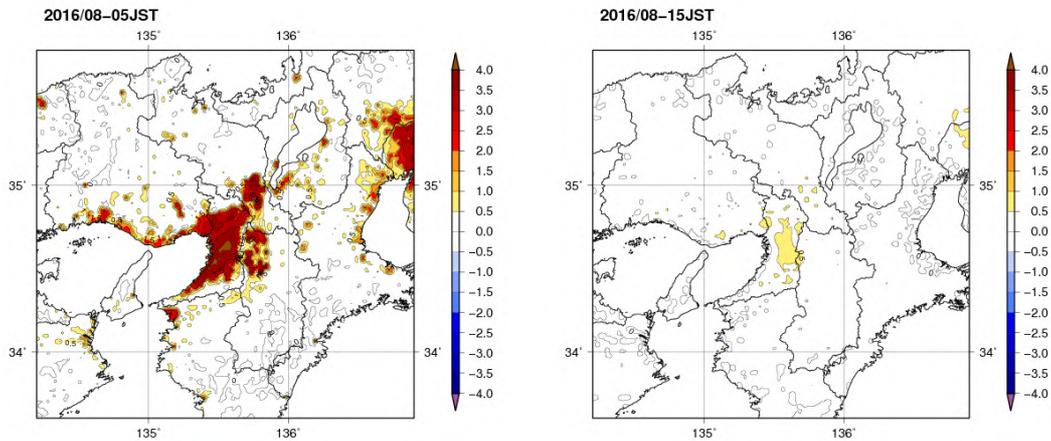


図 2.1.8 近畿地方における 2016 年 8 月の 5 時（左図）と 15 時（右図）の都市化の影響による平均気温の変化（ ）の分布

## 2.1.4 東海地方

東海地方における2016年8月の都市気候モデルによる解析結果を図2.1.9に示す。愛知県西部に、月平均気温29以上の高温域がみられる。この付近は、気温30以上となった時間の月合計の最大域(240~280時間域)がみられ、都市化の影響による気温上昇量や相対湿度の低下率も大きい。都市化の影響による気温上昇量の+1.5以上の領域がやや内陸に分布している要因としては、前述の2つの地方と同様に、海風によって沿岸部が冷やされること、また、都市の影響により海風の内陸への流入が弱められることが指摘されている(気象庁, 2012、藤部, 2012b)。

なお、2016年各月での都市化の影響による平均気温の変化については、【資料9】(3)として巻末に掲載した。

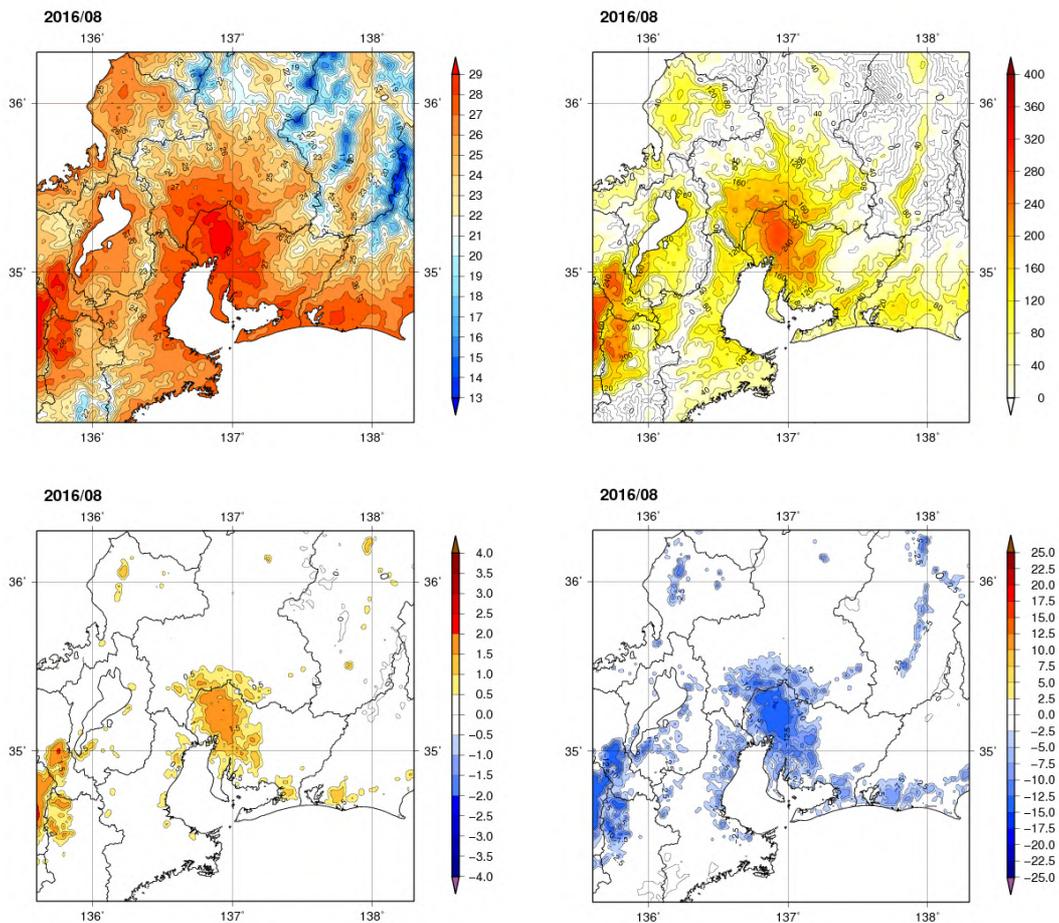


図 2.1.9 東海地方における 2016 年 8 月の平均気温(左上図、単位： $^{\circ}\text{C}$ )、気温 30 以上となった時間の合計(右上図、単位：時間)、都市化の影響による平均気温の変化(左下図、単位： $^{\circ}\text{C}$ )、都市化の影響による平均相対湿度の変化(右下図、単位：%)の分布

最近8年間(2009~2016年)の8月の都市化の影響による平均気温の変化を比較すると(図2.1.10)、年によって都市化の影響が違ってくる。これは、太平洋高気圧等の大きな規模の大気の流れの違いに伴って、ヒートアイランド現象(都市化の影響)が現れやすい晴れて風の弱い日の日数に違いが出てくるためと考えられる。

2016年は、気温上昇量の+1.5以上の領域や+0.5以上の領域の広がりが最近8年間の平均程度であった。

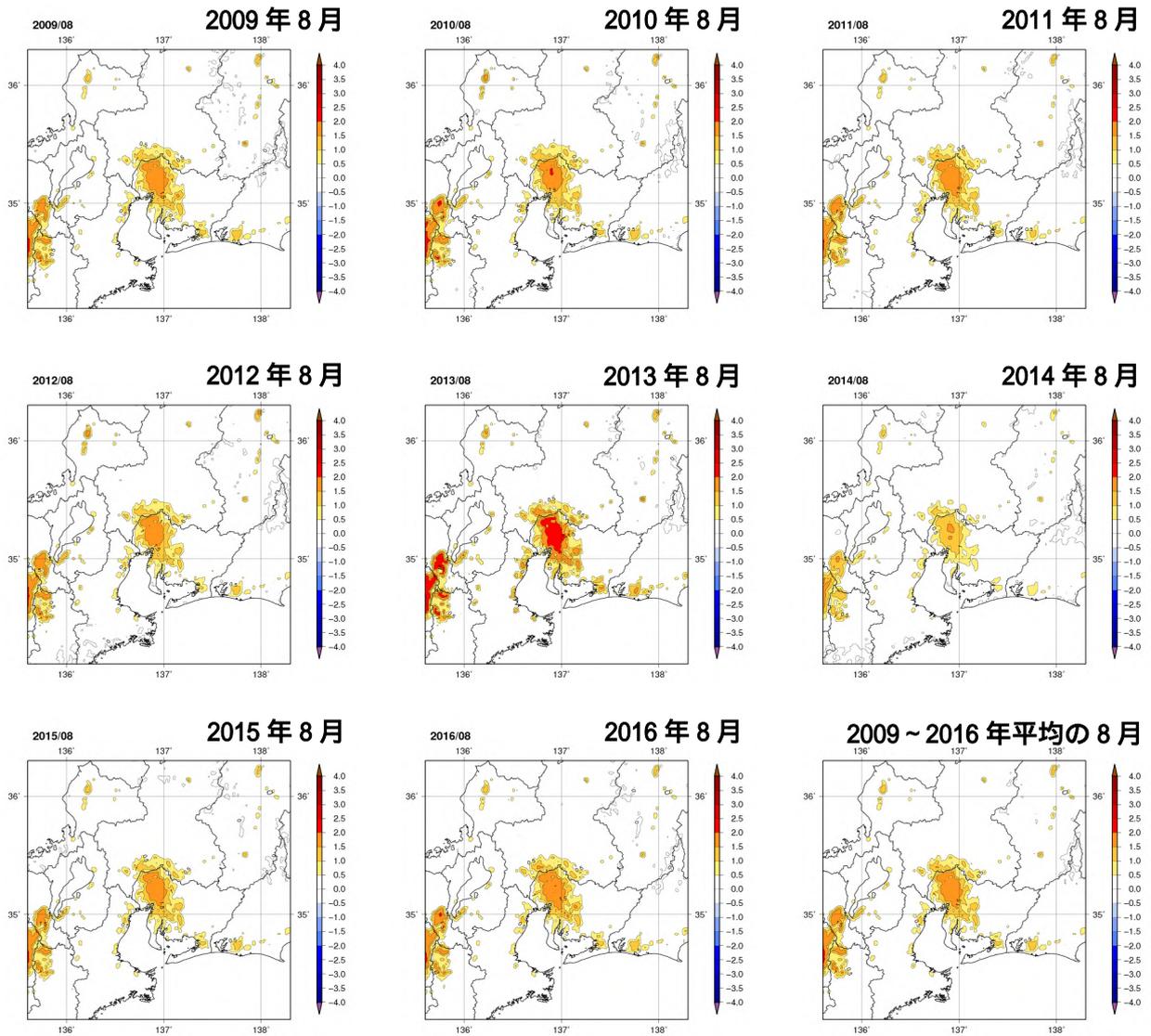


図 2.1.10 東海地方における 2009~2016 年 8 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化 ( ) の分布及び 8 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化 ( ) の分布

次に、2016年8月の夜間と日中、それぞれ最低気温と最高気温の出やすい5時と15時の都市化の影響による平均気温の変化についてみると（図2.1.11）、日中（15時）より夜間（5時）の方が都市化の影響は明瞭に現れている。これは日最低気温で気温の上昇率が大きいという1.1.1項の結果と整合している。

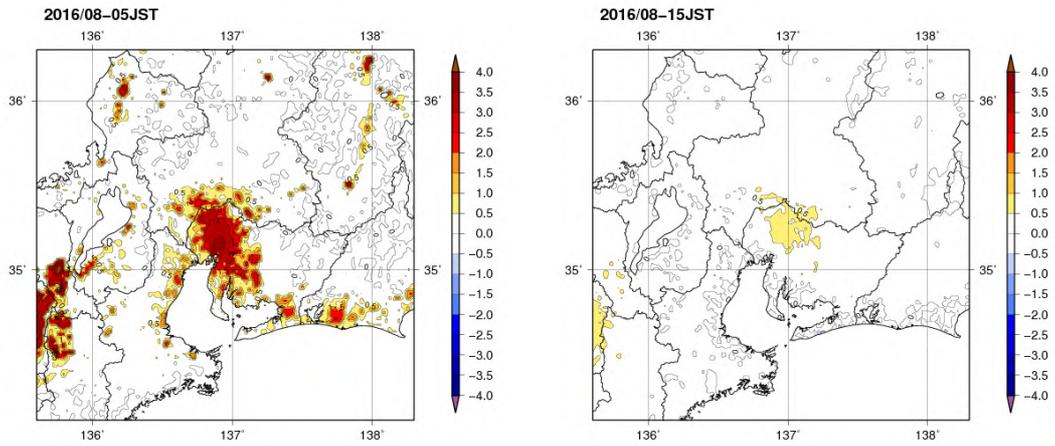


図 2.1.11 東海地方における 2016 年 8 月の 5 時（左図）と 15 時（右図）の都市化の影響による平均気温の変化（ ）の分布

## 2.2 夏と冬のヒートアイランド現象の比較

都市化の影響は夏より冬の方が大きい。

関東、近畿、東海の各地方における夏と冬のヒートアイランド現象の違いを、蓄積されている最近8年間のシミュレーション結果を用いて調べた。使用データは、夏が2009年から2016年までの8月、冬が2010年から2017年までの1月のものである。8年間平均した結果（図2.2.1～図2.2.6）を比較すると、どの地方も、8月に比べて1月の方が、都市化の影響が大きいことがわかる。この原因は主に夜間のヒートアイランド現象の違いにあると考えられる<sup>22</sup>。冬の夜間は、夏よりも放射冷却が強くなり、都市がない場合により大きく気温が下がるからである。

また、関東地方では、都市化の影響による気温上昇量の大きい領域が、8月は内陸部に、1月は沿岸部を中心に現れている。これは、それぞれの季節で卓越する天候や風（季節風）等が違うことに影響されていると考えられるが、更なる調査を必要とする。

なお、2010年から2017年までの1月の都市化の影響による平均気温の変化については、【資料10】として巻末に掲載した。

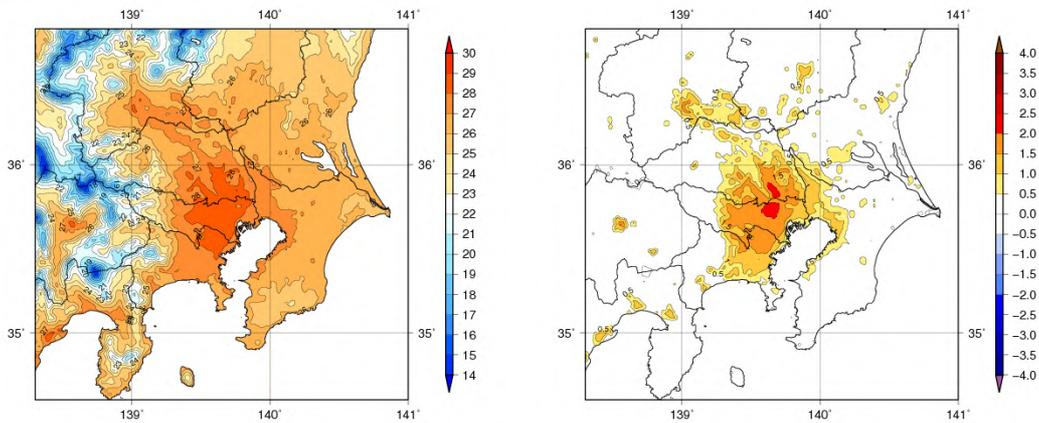


図 2.2.1 関東地方における8年間（2009～2016年）平均した8月の平均気温（左図、単位：℃）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位：℃）の分布

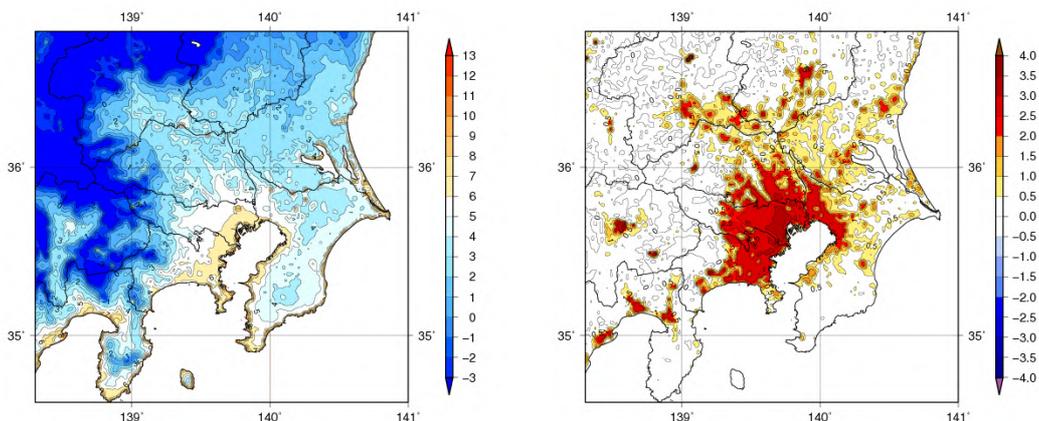


図 2.2.2 関東地方における8年間（2010～2017年）平均した1月の平均気温（左図、単位：℃）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位：℃）の分布

<sup>22</sup> 冬の日中は、緑地よりもむしろ都市の方が低くなることが知られているが、それは、冬はほとんどの樹木が落葉するため、緑地において水分の蒸発による吸熱効果が小さくなること、また、太陽高度が低いために、都市においてビルの日陰が多くなることで気温が上がりにくいことが指摘されている（藤部,2012a）。

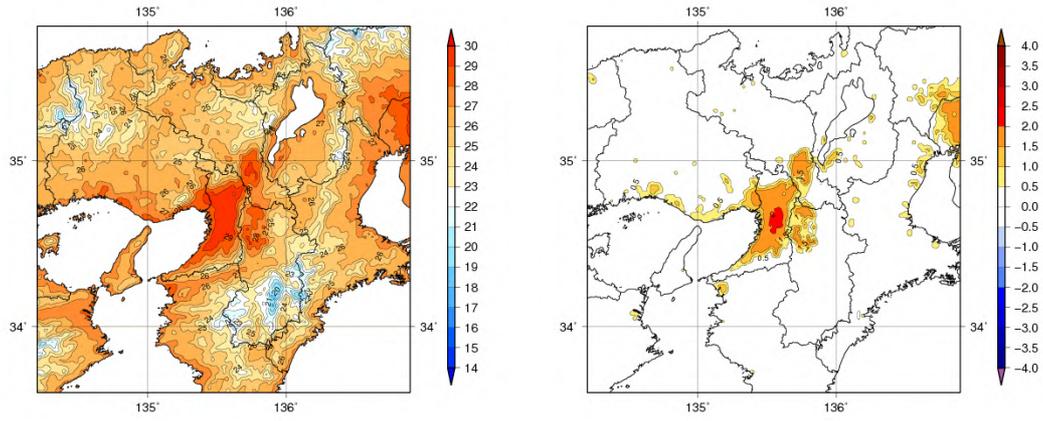


図 2.2.3 近畿地方における 8 年間（2009～2016 年）平均した 8 月の平均気温（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）の分布

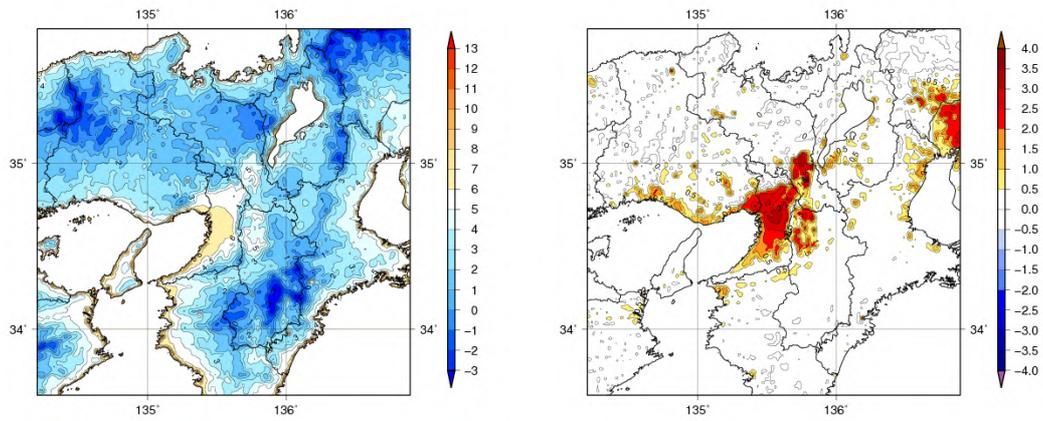


図 2.2.4 近畿地方における 8 年間（2010～2017 年）平均した 1 月の平均気温（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）の分布

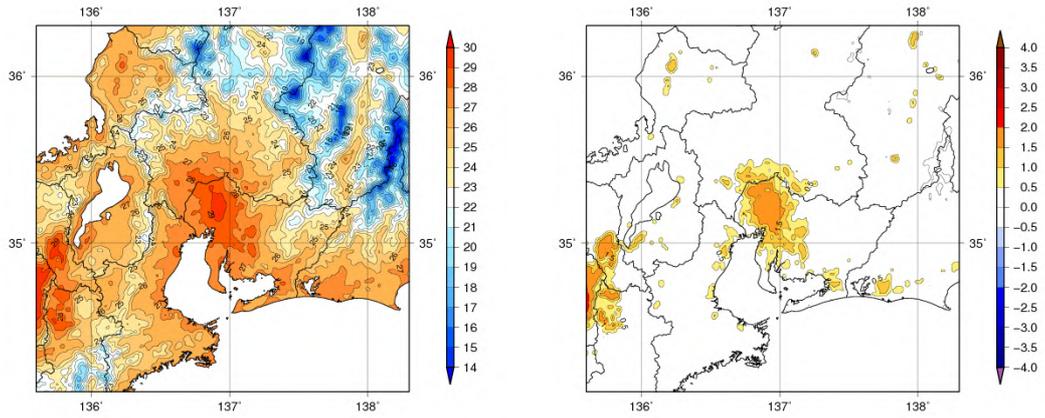


図 2.2.5 東海地方における 8 年間（2009～2016 年）平均した 8 月の平均気温（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）の分布

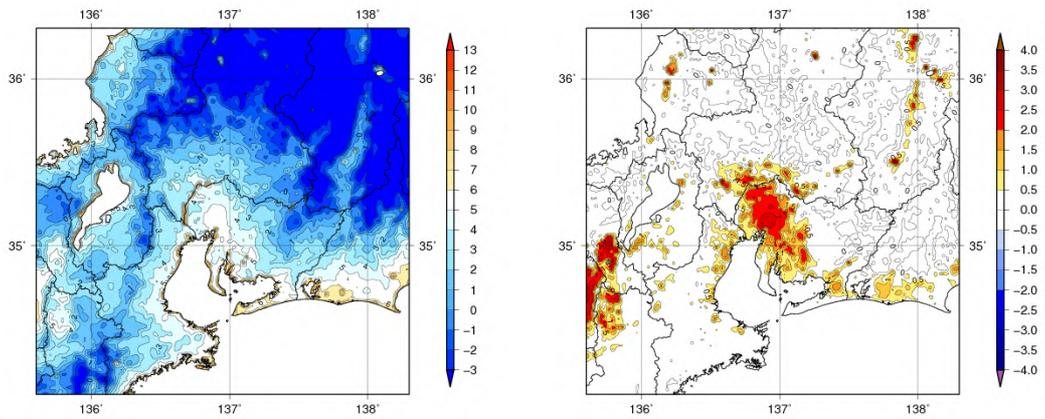


図 2.2.6 東海地方における 8 年間（2010～2017 年）平均した 1 月の平均気温（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）の分布

## 【コラム】都市化と短時間降水に関する最近の研究から

近年、都市での短時間強雨について社会的関心が高まっている。しかしながら、ヒートアイランド現象と短時間強雨との関連性については、まだ解明されていない点も多い。ヒートアイランド現象は、出現頻度も高く、気温データから特徴が捉えやすいのに対し、短時間強雨はそれに比べて出現頻度が低い上に、局地性が大きく、変動実態を捉えにくいことがその一因である。

このような難しさがあるものの、ここでは、気象庁気象研究所における関東地方に関しての最近の研究成果の中から観測データによるものと数値シミュレーションによるものをそれぞれ1つずつ紹介したい。

まず、観測データに基づく研究( Fujibe *et al.*, 2009 )を紹介する。降水は低気圧や前線等の様々な影響によって生じるため、観測された降水から都市化の影響による部分を抽出することは困難であるが、この研究では都市化の影響が他の影響と比べて比較的大きく現れると考えられるタイプの降水に焦点を当てて解析を行った。具体的には、東京の 118 年分( 1890 年から 2007 年 )の地上気象観測データから、降水開始前 6 時間に先行するまとまった降水( 1mm 以上の降水 )がない場合の降水( 以下「非継続的降水」という )について長期変化傾向を調査した。その結果、春から夏の夕方を中心に降水量の増加傾向があることが分かった

( 図 1 )。また、関東地方の 30 年分( 1978 年から 2007 年 )のアメダス観測データから、同様の非継続的降水について長期変化傾向を調査した結果、郊外の観測地点に比べて都市部の東京、練馬、世田谷の観測地点で、春から夏の夕方を中心に降水量の増加傾向があることが分かった。これらは、都市化以外の要因( 例えば、地球温暖化等 )による影響も考えられるものの、都市化の影響による降水変化の可能性を示唆するものである。

次に、数値シミュレーションによる研究( Seino *et al.*, 2016 )を紹介する。この研究では、東京都近辺の 8 年間( 2006 年から 2013 年 )の 8 月について、現状の都市環境を再現した実験( 現状都市実験 )とそれより都市化の程度が小さいと仮定した実験( 都市化軽減実験 )を統計解析して比較することで、都市化の影響による降水変化を調査した。その結果、現状都市実験は都市化軽減実験と比べて東京 23 区付近を中心に降水量が増加することが分かった。これは、都市化に伴う東京周辺の夏季降水量増加を示した Kusaka *et al.* (2014)の数値シミュレーション結果を支持するものである。また、Fujibe *et al.* (2009)と同様の非継続的降水( 8 月の午後の 68 事例 )についての比較においても、現状都市実験では東京 23 区付近の降水量が増加した( 図 2 )。この結果は、観測データに基づく Fujibe *et al.* (2009) の研究とも整合的である。さらに、非継続的降水が始まる 1 時間前には、現状都市実験では、都市域の高温偏差( ヒートアイランド現象 )や水平収束の強化( 高温偏差に対応する低圧部に吹き込む風の成分が強まること )及び鉛直流の増加があることが示された。これは、ヒートアイランドの形成に伴う局地循環の強化が、都市化による降水強化のメカニズムとな

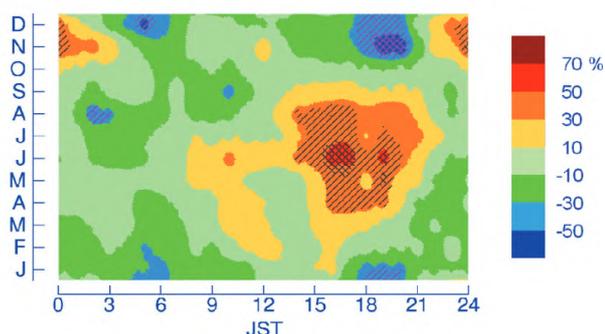


図 1 東京の非継続的降水(前 6 時間降水量が 1mm 未満であるときの降水)の長期変化傾向(1890~2007 年)

単位は、%/100 年。黒線のハッチ域と二重ハッチ域はそれぞれ信頼度水準 95%以上、99%以上を示す。(Fujibe *et al.* (2009)より)

っている可能性を示唆するものである。

ここで紹介した研究は、主として都市化の影響としてその熱的效果による降水変化の可能性を示唆するものであったが、その他にも、都市における高層ビル群の障壁効果によって、迂回した海風の収束が降水を強化する可能性を示唆する研究（高橋ほか，2011）等もある。また、地球温暖化による影響との寄与度の違い等について不明な点も多いことから、今後さらに研究を進める必要がある。

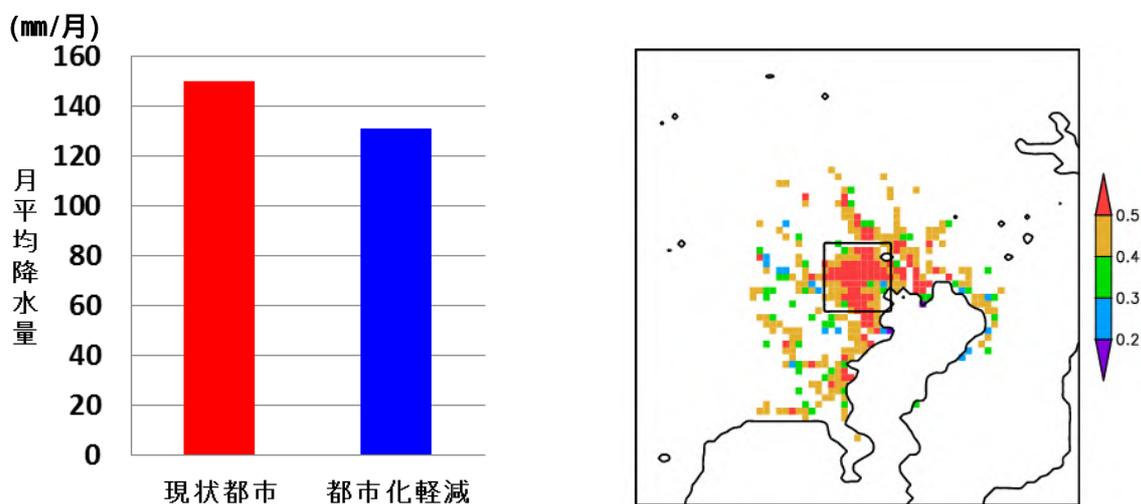


図2 東京都近辺における非継続的降水(8月の午後の68事例)の現状都市実験と都市化軽減実験の降水量の比較(左図)と都市域及びその領域における建物占有率(右図)

左図は、現状都市実験と都市化軽減実験のそれぞれにおいて、8月の午後の68事例の降水量を右図の四角囲み領域で平均し、月降水量に換算した値を示す。また、右図で色塗りをしている部分は、モデル内で都市域と設定した部分(道路や建物等による人工被覆率が2kmのモデル格子内で80%以上)を表し、建物占有率(色分け)は、そのモデル格子内での建物の占める面積割合を示す。建物占有率0.5はそのモデル格子内の面積の半分を建物が占めている状況を表す。(Seino *et al.*(2016)を元に作成)

## — 参考文献 —

環境省, 2004: ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書

<http://www.env.go.jp/air/report/h16-04/index.html>

環境省, 2013: ヒートアイランド対策ガイドライン平成 24 年度版

[http://www.env.go.jp/air/life/heat\\_island/guideline/h24.html](http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/guideline/h24.html)

気象庁, 2012: ヒートアイランド監視報告 (平成 23 年)

<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>

気象庁, 2017: 気候変動監視レポート 2016

<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/index.html>

高橋日出男, 中村康子, 鈴木博人, 2011: 東京都区部における強雨頻度分布と建築物高度の空間構造との関係. 地学雑誌, 120, 359-381.

日本ヒートアイランド学会編集, 2015: ヒートアイランドの事典 仕組みを知り, 対策を図る . 朝倉書店, 352pp.

藤部文昭, 2012a: 都市の気候変動と異常気象 猛暑と大雨をめぐって. 朝倉書店, 176pp.

藤部文昭, 2012b: 観測データから見た日本の都市気候. 気象研究ノート, **224**, 1-23.

Fujibe, F., H. Togawa and M. Sakata, 2009: Long-term change and spatial anomaly of warm season afternoon precipitation in Tokyo. SOLA, **5**, 17-20.

Kusaka, H., K. Nawata, A. Suzuki-Parker, Y. Takane, N. Furuhashi, 2014: Mechanism of Precipitation Increase with Urbanization in Tokyo as Revealed by Ensemble Climate Simulations. J. Appl. Meteor. Climatol., **53**, 824-839.

Seino, N., T. Aoyagi and H. Tsuguti, 2016: Numerical simulation of urban impact on precipitation in Tokyo: How does urban temperature rise affect precipitation? Urban Climate, doi:10.1016/j.uclim.2016.11.007, in press.

## 付録 1: 長期変化傾向の統計的有意性の評価について

気温や降水量等の観測値は、様々な時空間スケールの大気や海洋の変動による影響を受けているため、自然のゆらぎを背景に地球温暖化や都市化に伴う変化傾向をとらえるためには、観測データを適切な統計量に変換し、時系列で並べた統計量にランダムな変動要因では説明できない系統的な変化傾向が含まれている可能性がどの程度か検定を行う必要がある。そして、「統計的検定」の結果、経年変化がランダムな変動要因だけでは説明できないと判断することが妥当な場合には、「統計的に有意な変化傾向がある」等と表現される。

本報告では、統計量にみられる長期変化傾向の有無について、統計的有意性を 90%の信頼度水準で検定した結果を判断基準としている。

この統計的検定には次のような手法を用いている。

### (イ) 統計量の年々変動成分が正規分布に従うことが仮定できる場合

平均気温や平均相対湿度等は、トレンド成分を除去した年々の統計量の出現頻度は正規分布に従うと仮定できる。概ね正規分布とみなすことが出来る統計量に対しては、ピアソンの積率相関係数を用いたパラメトリック検定 (t 検定) を行う。

### (ロ) 統計量の年々変動成分が正規分布に従うことが仮定できない場合

猛暑日や熱帯夜の日数、降水量等は、トレンド成分を除去した年々の統計量の出現頻度は正規分布に従うことが仮定できない場合がある。正規分布に従うと仮定できない統計量に対しては、ケンドールの順位相関係数を用いたノンパラメトリック検定 (ケンドール検定) を行う。

統計的検定では、原理的に「統計的に有意」と判定されても、結果が誤りである可能性が常に存在する。「信頼度水準 90%以上で統計的に有意」の場合には、観測値における経年変化傾向がランダムな変動要因により偶然に出現しているにも関わらず、誤って有意と判定してしまう確率を最大で 10%まで許していることを意味している。逆に、系統的な変化傾向が存在していても、それを正しく検出できない場合もある。一般的に、ノンパラメトリック検定はパラメトリック検定に比べて検出力が低く、有意な変化傾向として検出されにくい。また、統計年数が短い、年々の変動幅が大きい、発生頻度が稀、等の場合には、今後新しいデータが追加されることにより検定結果が変化する可能性が大きい。本報告の分析結果は、以上の「統計的検定」の性質に留意の上で活用されたい。

## 付録 2: 観測場所の移転に伴う気温データの補正方法について

ある観測地点において観測場所の移転があった場合、その地点の長期変化傾向を把握するためには、移転の影響を補正した長期間にわたる均質なデータが必要となる。しかし、実際の観測値には、様々な時空間スケールの自然変動や人為的影響（温暖化や都市化）による変動が含まれているため、その補正には注意を要する。

本報告書では移転の影響によって時系列データに階段状の変動が生じたと仮定して、次のような方法を用いて補正值（階段状の変動に伴う段差）を求めている。対象とするのは、月平均気温、日最高気温の月平均値、日最低気温の月平均値である。

### （イ）移転の前に新旧の観測場所で同時に観測が行われた場合（東京が該当）

それらが同時に観測された値を利用する。

「東京」の観測場所は、2014年12月2日に大手町から北の丸公園に移転したが、各観測場所における2年間（2012年4月～2014年3月）の月別統計値の2年間平均値を求めた上で、両者の値の差を月別補正值とした。なお、詳細は気象庁観測部（2016）を参照されたい。

### （ロ）移転にあたって新旧の観測場所で同時に観測が行われなかった場合（東京以外の地点が該当）

移転が行われた年を含めた前後8年間の観測値を利用する。

まず、移転の影響が無かった全国の気象官署の月平均値から、全国的及び地域的に生じている自然変動や人為的影響（温暖化や都市化）による変動パターンを見積もる。そして、移転のあった観測地点の月平均値は、先に見積もった全国的及び地域的に生じている変動と移転の影響による変動との和であると仮定し、重回帰分析を用いて月別補正值を求めた。詳細は大野ほか（2011）を参照されたい。

これらの手法では、移転によって階段状の変動が生じ、かつ、その移転の前後での観測環境の違いは統計期間中変わらず一定であったと仮定としているため、均質なデータを作成する際には、上記で求めた月別補正值を移転前の観測値すべてに一律に与えている。そして、年や季節の平均値は、この補正された月平均値を統計処理して求めている。

しかしながら、実際には移転前後の観測環境の違いは過去にわたって変わらず一定ではなく、補正值を過去にわたって一律に適用できるかどうかは分からない。そのため、補正方法は今後も大きな検討課題である。

### - 参考文献 -

- 大野浩史, 吉松和義, 小林健二, 若山郁生, 諸岡浩子, 及川義教, 平原翔二, 池田友紀子, 齋藤仁美, 2011: 気温の時系列データから気象官署の移転にともなう影響を補正する手法について. 測候時報, **78**, 1-2, 31-41.
- 気象庁観測部, 2016: 地上気象観測地点「東京」の露場移転について（その2 平年値の更新について）. 測候時報, **83**, 7-32.

### 付録 3: 都市気候モデルについて

#### 都市気候モデルの概要

都市気候モデルの概要を図 A1 に示す。都市気候モデルとは、数時間から 1 日先の大雨や暴風等の災害をもたらす現象を予測することを主要な目的として、日々の天気予報や防災気象情報の作成に利用されていたメソモデル（気象庁, 2003,2008）に、図 A1 で示すような、大気の状態とともに地形、都市域と草地や森林等の土地の利用形態、人工排熱等を入力し、地表面や建築物との熱のやり取りをモデル化したもので、都市における大気の状態をコンピュータ上で精度よく再現することを目的として開発されたものである。水平の解像度は 2km である。都市気候モデルの詳細設定については、萱場,石原（2014）や Aoyagi and Seino（2011）を参照されたい。

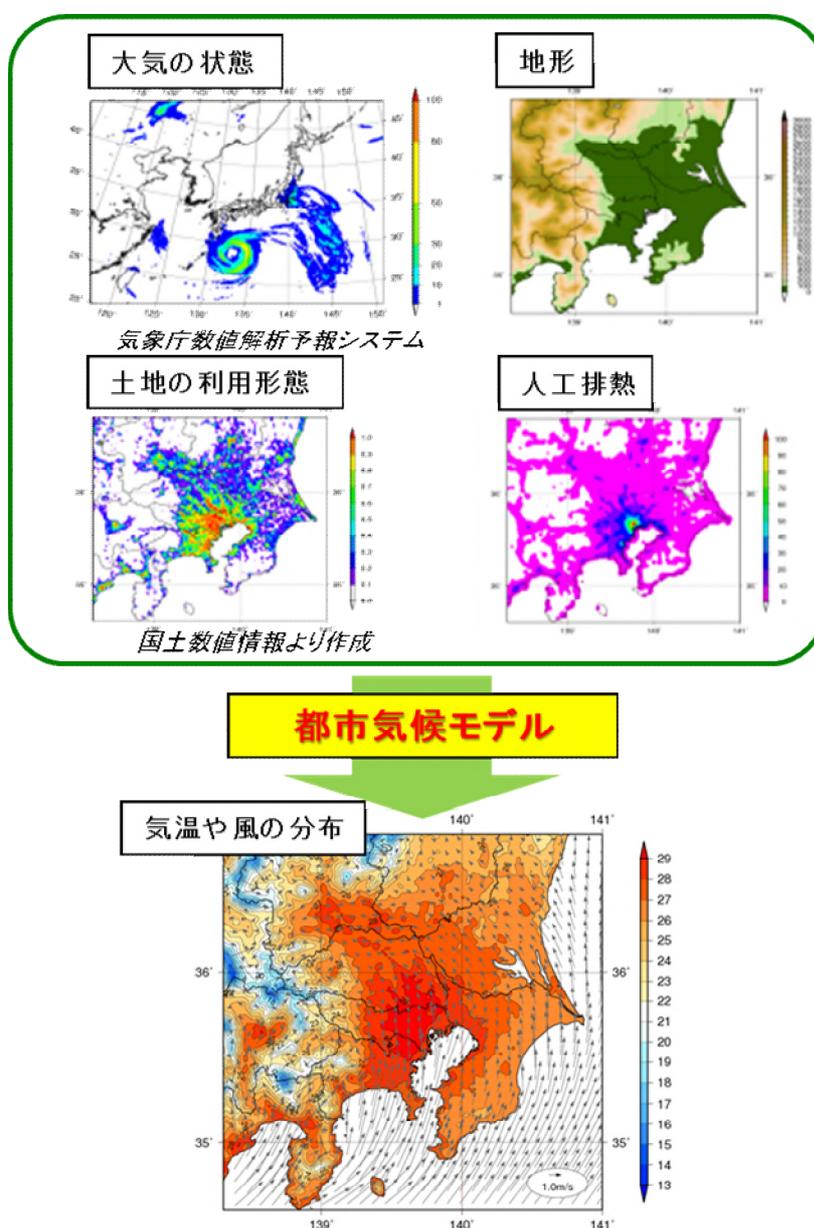
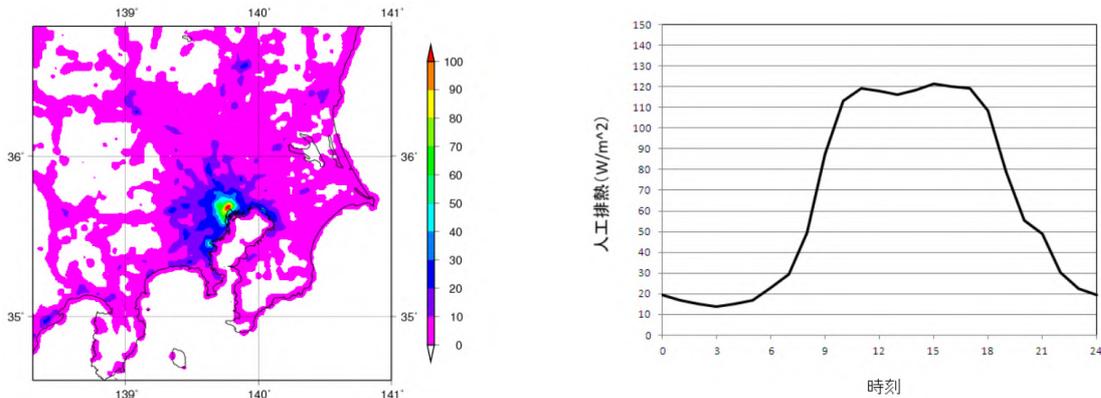


図 A1 都市気候モデルの概要

## 人工排熱量データ

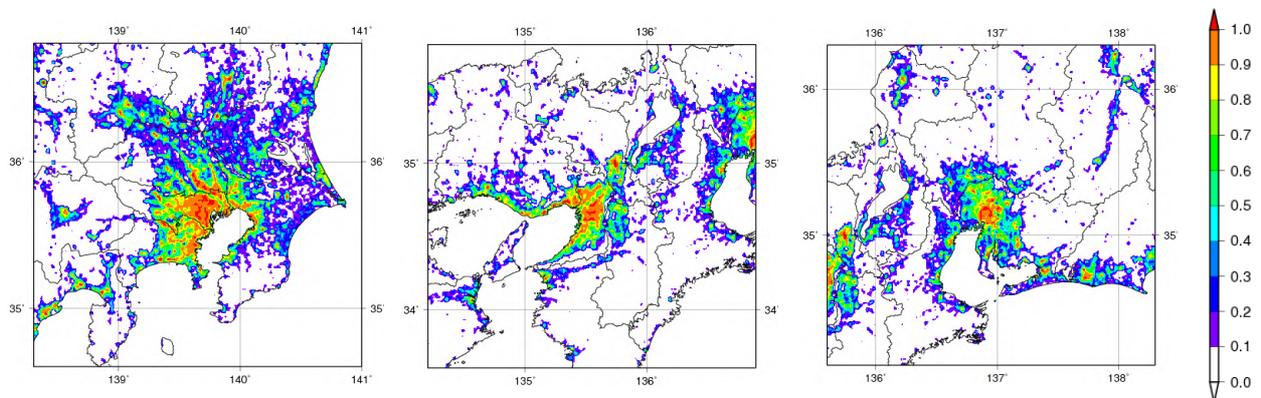
モデルに与える人工排熱量データについては、萱場ほか（2010）で作成された推定式により、総務省統計局の人口データや従業者数データ、国土数値情報の土地利用3次メッシュデータをもとに作成したデータを利用している。図A2は、上記で作成された関東の8月の15時の分布図と東京（大手町）の観測地点における8月の時系列図を示している。



図A2 シミュレーションで用いる8月の15時の人工排熱量分布（左図、単位： $W/m^2$ ）と東京（大手町付近）の8月の人工排熱量の24時間時系列図（右図、単位： $W/m^2$ ）

## 土地利用データと都市域の設定

都市気候モデルで用いる土地利用形態には、国土交通省国土政策局が公開している国土数値情報の土地利用3次メッシュデータ（平成18年度版）を使用している。本データの土地利用種別は、田、その他の農用地、森林、荒地、建物用地（住宅地・市街地等で建物が密集しているところ）、幹線交通用地（道路・鉄道・操車場等で、面的に捉えられるもの）、その他の用地（運動競技場、空港、競馬場・野球場・学校港湾地区・人工造成地の空地等）、河川地及び湖沼、海浜、海水域、ゴルフ場に分類されている。シミュレーションでは、このうちの建物用地、幹線交通用地、その他の用地の割合が50%（下図では0.5）以上を都市域と設定している（図A3）。



図A3 関東地方（左図）、近畿地方（中央図）、東海地方（右図）における都市気候モデルでの各格子の都市の割合

## 都市気候の評価方法

都市化による気候への影響を定量的に評価するために、都市の地表面状態や人工排熱を考慮した場合のシミュレーションを「都市あり実験」、また、都市の影響を除去した場合（都市域の地表面状態を草地に置き換え、かつ、人工排熱をゼロにすることで、仮想的に人間が都市を建設する以前の状態に戻す）のシミュレーションを「都市なし実験」として、2つの実験を行い、都市あり実験結果から都市なし実験結果を引いたものを都市化の影響とみなす（図 A4）。

なお、このモデルの都市あり実験における再現精度については概ね良好である。詳細については「ヒートアイランド監視報告（平成 23 年）」、「同（平成 24 年）」（気象庁、2012,2013）を参照されたい。

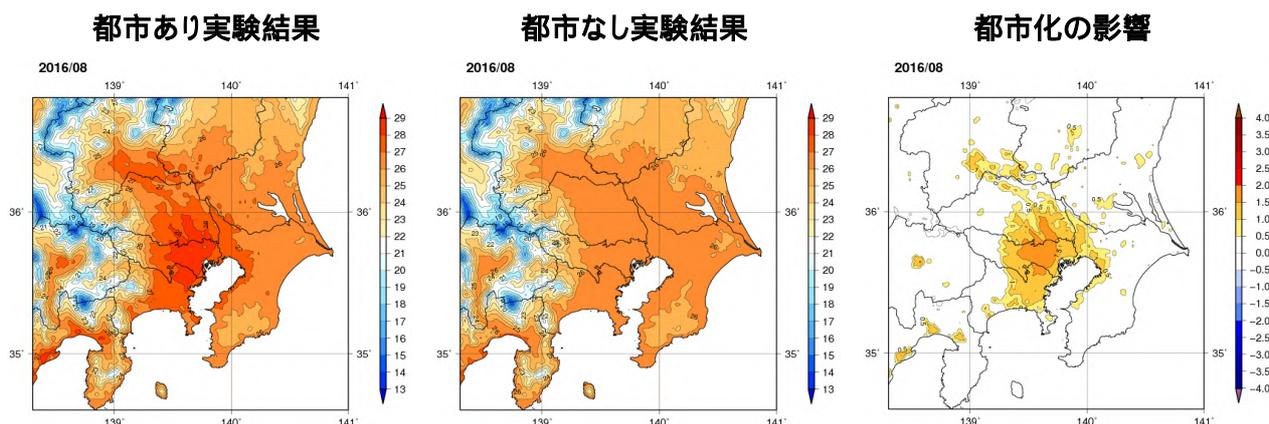


図 A4 関東地方における 2016 年 8 月の平均気温の都市あり実験結果（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）、都市なし実験結果（中央図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）、都市化の影響による平均気温の変化：「都市あり実験」と「都市なし実験」の差（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）

### - 参考文献 -

気象庁, 2003: 数値予報課報告・別冊第 49 号 気象庁非静力学モデル

気象庁, 2008: 数値予報課報告・別冊第 54 号 気象庁非静力学モデル - 現業利用の開始とその後の発展 -

気象庁, 2012: ヒートアイランド監視報告（平成 23 年）

気象庁, 2013: ヒートアイランド監視報告（平成 24 年）

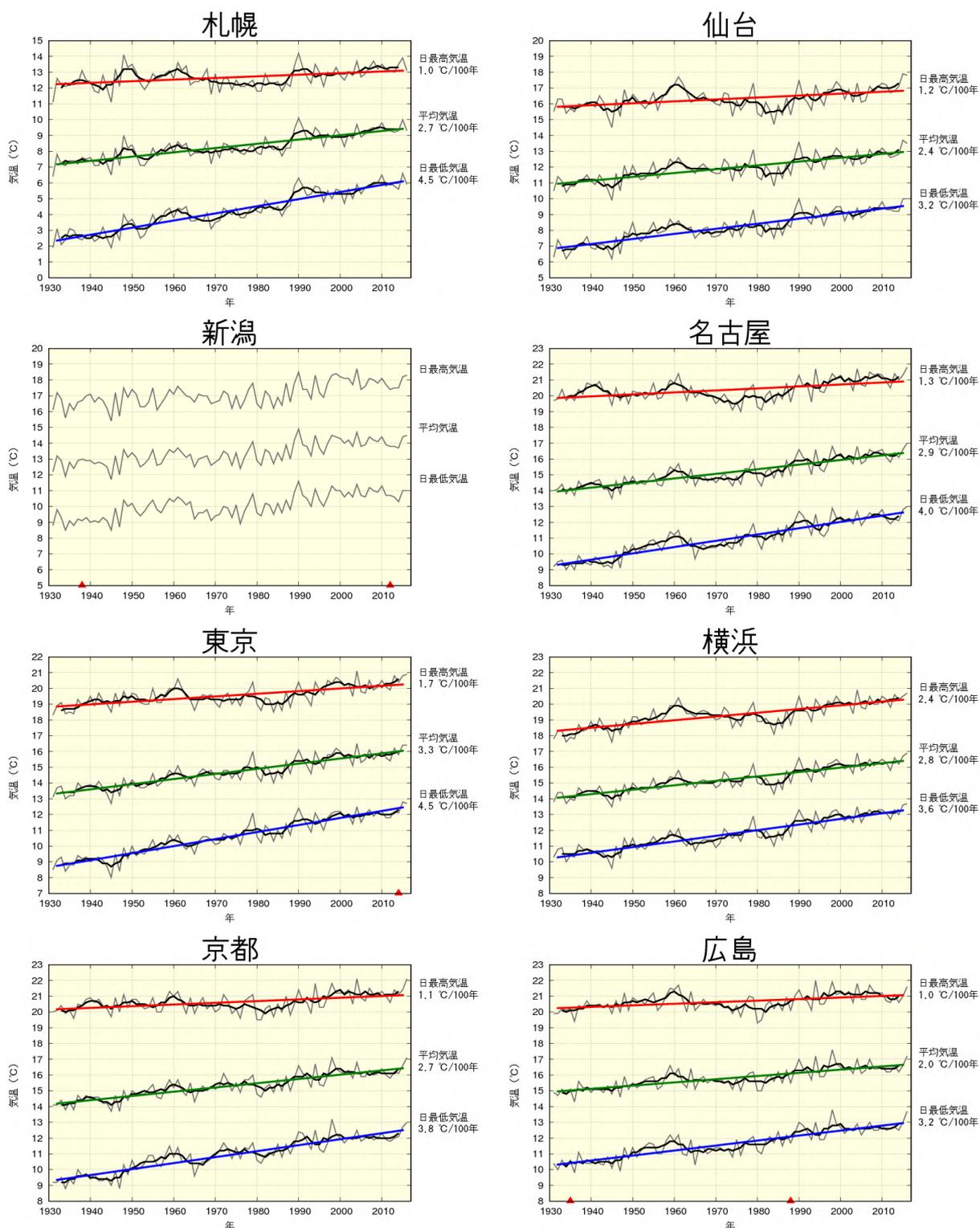
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>

萱場互起, 青柳暁典, 高橋俊二, 2010: 重回帰分析による人工排熱量の推定. 測候時報, 77.4-6, 137-153.

萱場互起, 石原幸司, 2014: 都市気候モデルを用いたヒートアイランドの監視. 日本ヒートアイランド学会誌, 9, 25-29.

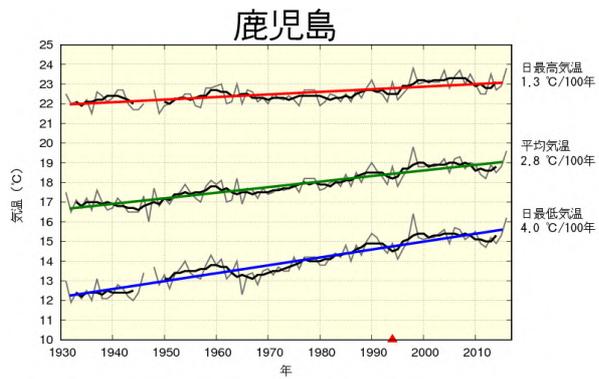
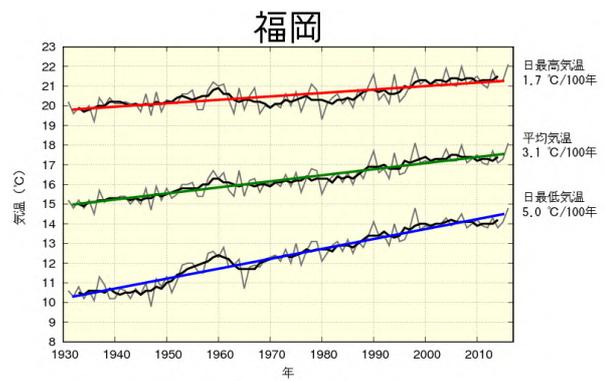
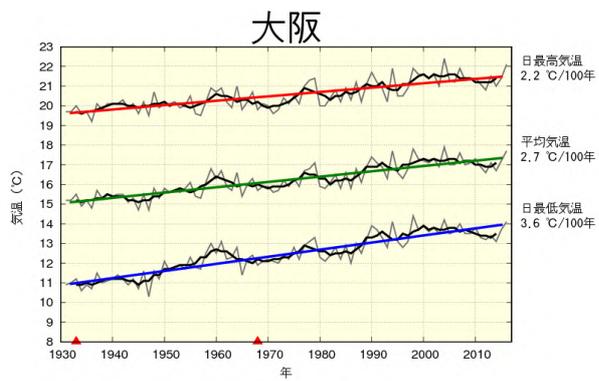
Aoyagi, T., and N. Seino, 2011: A square prism urban canopy scheme for the NHM and its evaluation on summer conditions in the Tokyo metropolitan area, Japan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 1476-1496.

## 【資料1】 大都市における年平均気温等の長期変化傾向



### 大都市における年平均した平均気温、日最高気温、日最低気温の長期変化傾向

統計期間は1931年から2016年まで。細い折れ線は毎年の値、太い折れ線は5年移動平均値、太い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準90%以上で有意な場合に限る)を示す。なお、観測場所の移転があった場合は横軸上に▲で示し、移転前のデータを補正している(新潟は2012年の移転に伴う補正に必要なデータを蓄積中で未補正のため、長期変化傾向の評価を行っていない)。次頁に続く。



大都市における年平均した平均気温、日最高気温、日最低気温の長期変化傾向(続き)

## 【資料2】 大都市における月平均気温等の長期変化傾向

### 大都市及び都市化の影響が比較的小さいとみられる15地点平均の月平均した平均気温、日最高気温、日最低気温の長期変化傾向

100年あたりの変化率を示す。統計期間は1931年から2016年まで。都市ごとに、一年で最も変化傾向の大きい月の数値は赤字、最も変化傾向の小さい月の数値は青字で示している。また、斜体字網掛けは信頼度水準90%以上で統計的に有意な変化傾向がないことを意味する。表中の15地点は、都市化の影響が比較的小さいとみられる15地点(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、多度津、宮崎、名瀬、石垣島)の平均を表している。なお、を付した4地点(東京、広島、大阪、鹿児島)及び都市化の影響が比較的小さいとみられる15地点中の2地点(飯田、宮崎)は、観測場所の移転に伴い移転前のデータを補正している。次頁に続く。

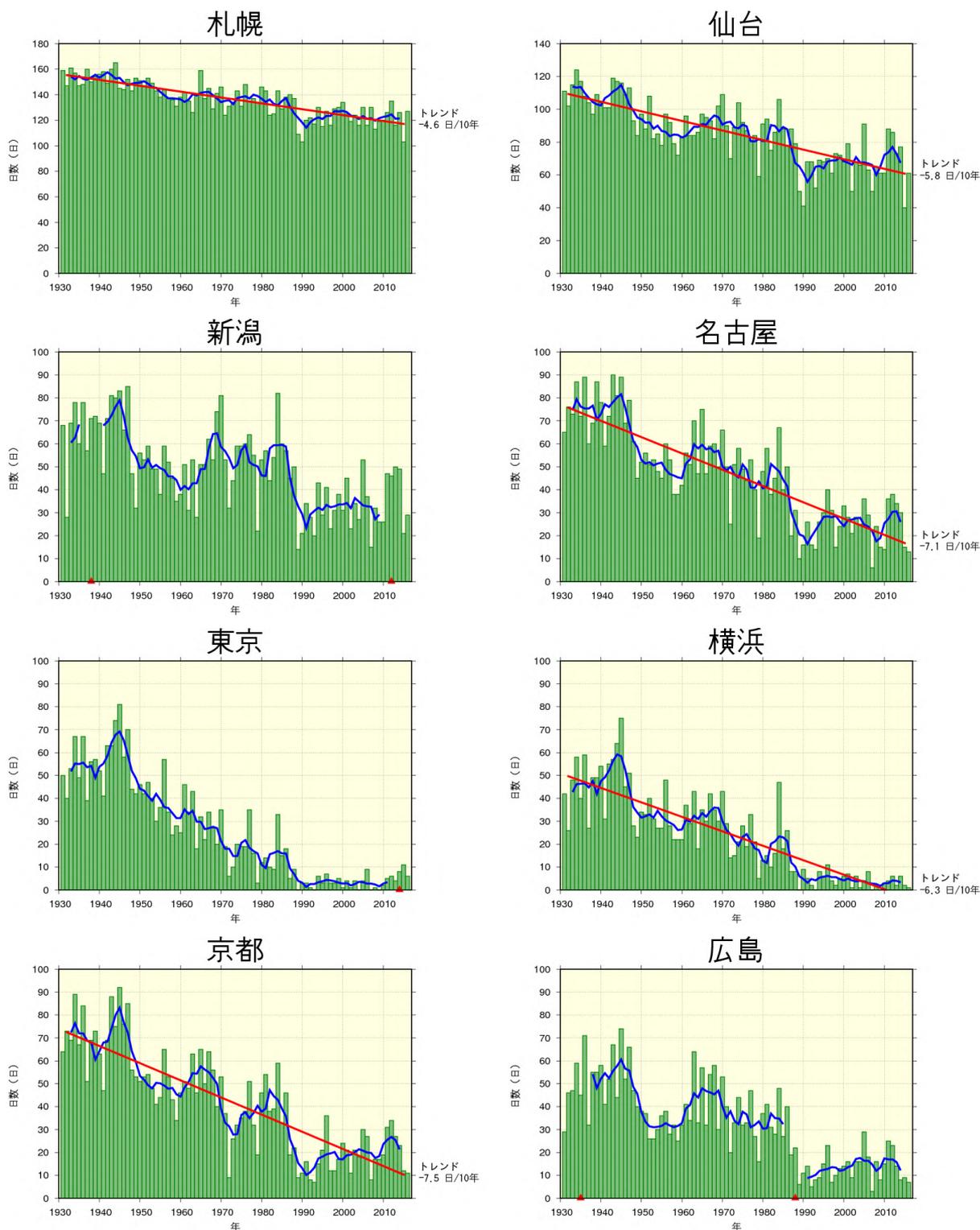
地点	平均気温変化率 ( /100年)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
札幌	3.5	3.4	3.2	2.7	2.6	2.6	1.7	1.6	3.0	2.6	2.5	3.0
仙台	2.9	3.0	3.1	2.7	2.5	2.1	1.1	1.0	2.2	3.1	2.5	3.0
名古屋	3.1	3.5	3.5	3.2	2.8	2.5	1.8	2.4	3.0	3.7	2.8	2.6
東京	4.3	4.2	3.8	3.2	2.9	2.3	1.9	1.9	2.6	3.8	3.8	4.5
横浜	3.4	3.8	3.6	2.9	2.7	2.0	1.5	1.7	2.2	3.3	3.1	3.4
京都	2.6	3.1	3.1	3.2	2.9	2.5	1.8	2.4	2.5	3.2	2.6	2.3
広島	1.8	2.2	2.7	2.1	2.3	2.6	0.4	1.6	2.0	3.5	2.1	0.9
大阪	2.5	3.6	3.0	3.0	2.3	2.3	1.8	2.4	3.0	3.7	2.6	2.1
福岡	2.9	3.7	3.5	3.3	3.3	2.4	1.8	2.4	3.2	4.7	3.4	2.3
鹿児島	3.0	3.1	3.6	3.1	2.9	2.4	1.9	2.7	2.9	3.8	2.5	2.2
15地点	1.6	2.1	2.1	1.8	1.7	1.5	0.9	1.1	1.5	1.9	1.3	1.1

地点	日最高气温变化率 ( /100年)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
札幌	1.3	1.5	1.9	1.5	1.0	1.2	0.6	0.2	1.0	0.0	0.8	1.3
仙台	1.4	1.7	1.8	1.4	1.3	1.5	0.7	0.4	0.9	1.4	0.6	1.5
名古屋	1.5	2.0	1.9	1.8	1.2	1.0	0.4	1.0	1.5	1.7	0.4	0.8
東京	1.7	2.3	2.1	1.9	1.8	1.3	1.2	1.1	1.3	2.1	1.6	1.8
横浜	2.4	3.4	3.0	2.8	2.7	1.9	1.6	1.6	2.0	3.0	2.1	2.1
京都	0.7	1.7	1.7	1.7	1.4	1.1	0.7	1.2	1.0	1.3	0.1	0.2
広島	0.9	1.5	1.8	1.3	1.8	1.8	0.6	1.1	0.7	0.9	-0.1	-0.3
大阪	1.7	3.3	2.7	2.5	2.2	2.1	1.5	2.4	2.3	3.0	1.2	1.5
福岡	1.7	2.8	2.4	2.1	2.1	1.2	1.2	1.6	2.0	2.3	0.8	0.7
鹿児島	1.4	1.9	1.9	1.5	1.8	1.1	1.1	1.4	1.0	2.4	0.5	0.5
15地点	1.1	1.8	1.8	1.5	1.4	1.2	0.7	0.7	0.9	1.1	0.6	0.7

地点	日最低气温变化率 ( /100年)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
札幌	6.1	5.9	4.8	4.5	4.8	4.3	3.1	3.1	4.8	4.6	3.6	4.8
仙台	3.8	3.7	3.7	3.9	3.9	2.9	1.4	1.5	2.9	3.8	3.3	3.5
名古屋	3.9	4.3	4.7	4.6	4.2	3.7	2.6	3.3	3.8	4.8	4.4	3.6
東京	6.2	5.6	5.1	4.5	4.2	3.3	2.5	2.7	3.4	4.7	5.2	6.2
横浜	4.8	4.6	4.4	3.7	3.4	2.5	1.9	2.2	2.8	4.0	4.0	4.7
京都	3.9	4.0	4.1	4.3	4.0	3.7	2.7	3.3	3.4	4.3	4.2	3.6
広島	2.8	3.3	3.5	3.0	3.6	3.6	1.6	2.6	3.2	4.6	3.9	2.6
大阪	3.1	3.8	3.7	3.7	3.4	3.7	2.8	3.5	3.8	4.5	4.1	3.0
福岡	4.3	5.2	5.8	6.0	5.8	4.7	2.7	3.8	4.9	7.3	6.0	4.0
鹿児島	4.1	4.0	5.1	4.4	4.1	4.0	2.5	3.7	4.4	5.4	4.1	3.2
15地点	2.0	2.3	2.2	2.1	2.2	2.1	1.2	1.5	1.8	2.2	1.7	1.4

### 【資料3】 大都市における気温の階級別日数の長期変化傾向

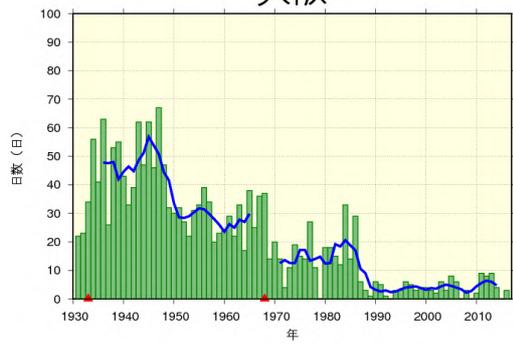
#### (1) 冬日日数



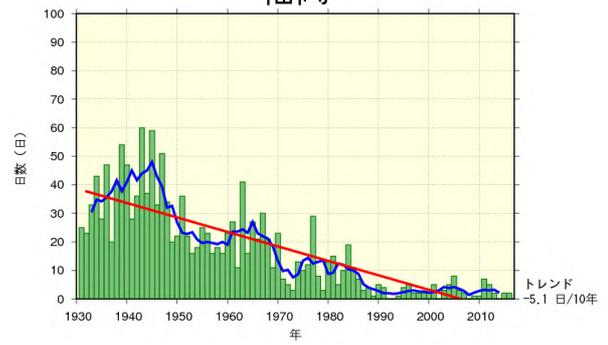
大都市における年間冬日日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2016年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90%以上で有意な場合に限る)を示す。なお、観測場所の移転によりその前後でデータが均質でない場合は横軸上に▲で示し、その前後の5年移動平均値は示していない。次頁に続く。

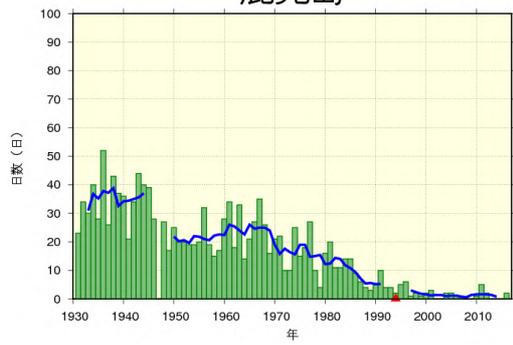
### 大阪



### 福岡

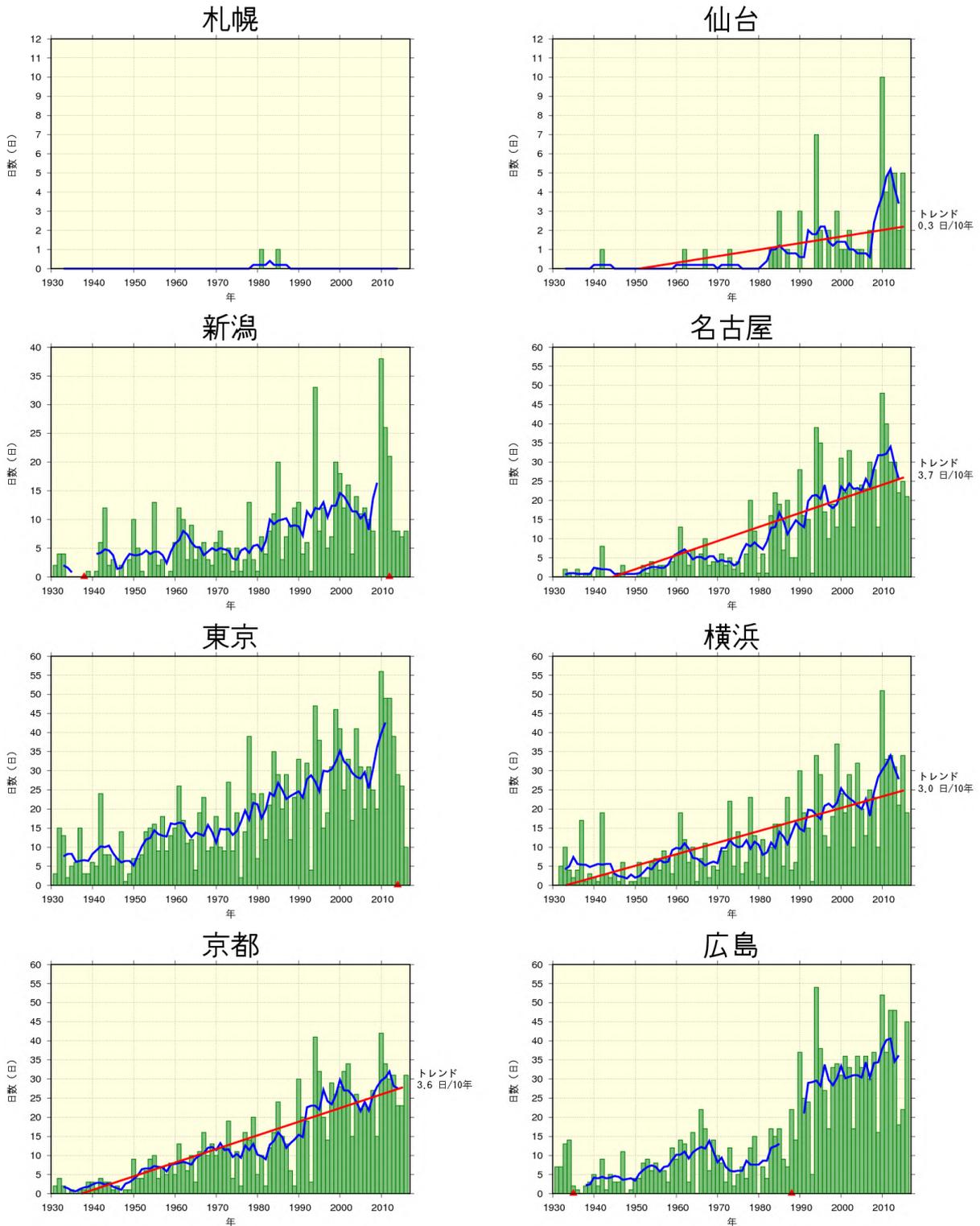


### 鹿児島



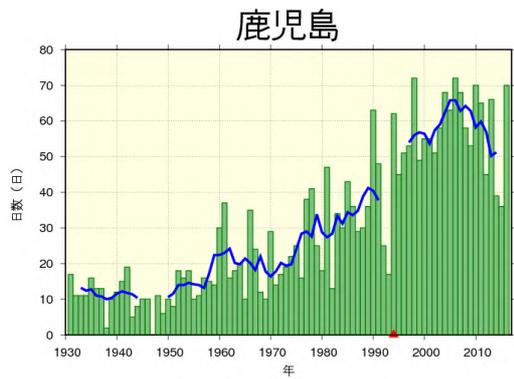
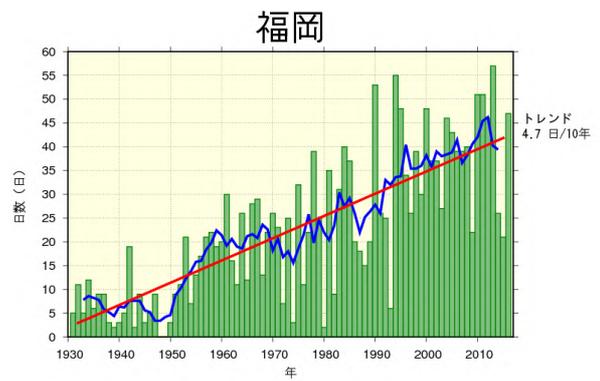
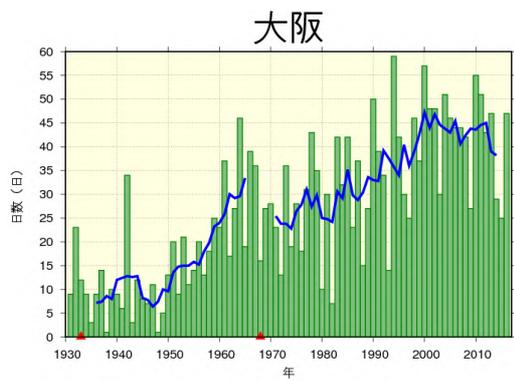
大都市における年間冬日日数の長期変化傾向(続き)

## (2) 熱帯夜日数



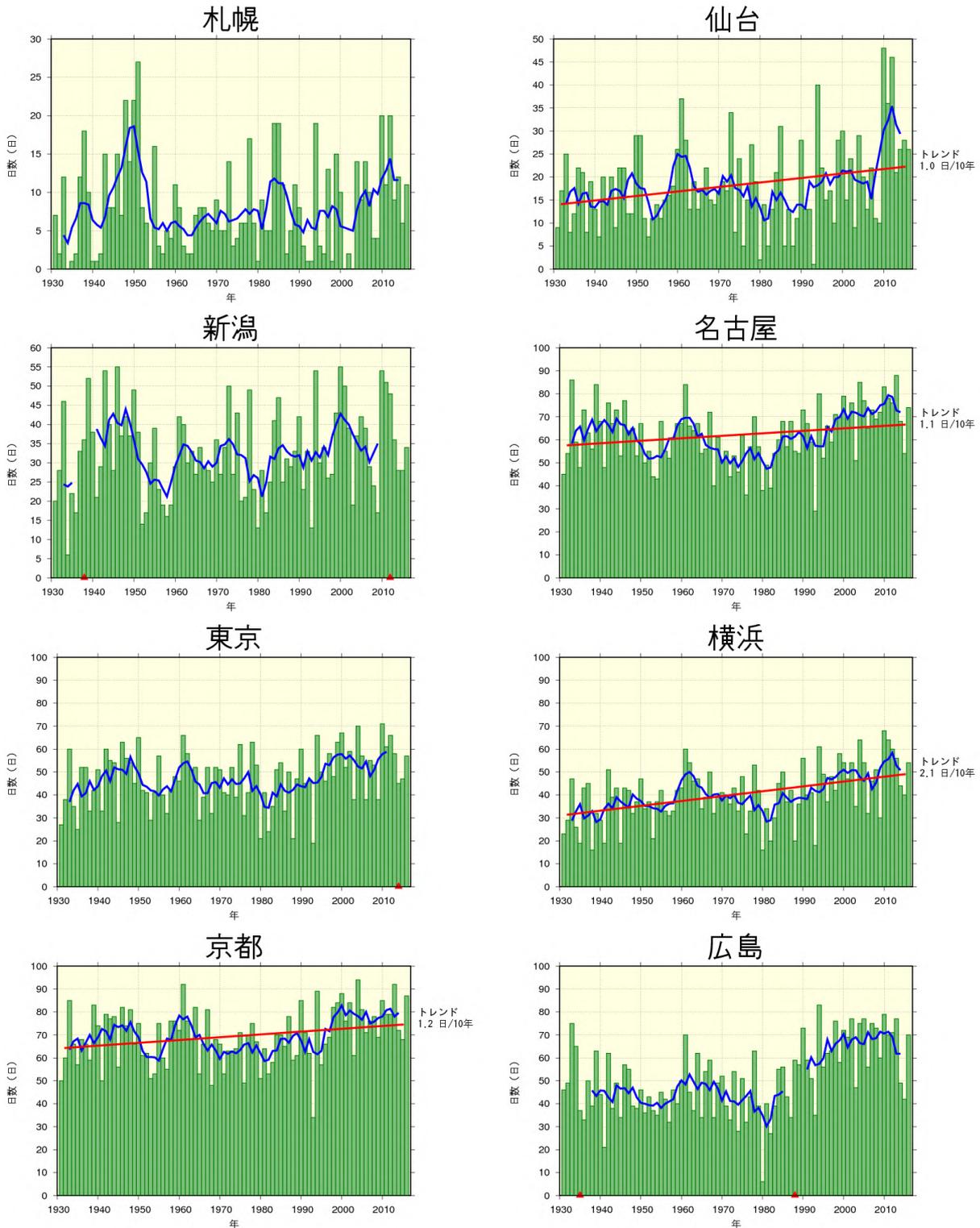
### 大都市における年間熱帯夜日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2016年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90%以上で有意な場合に限る)を示す。なお、観測場所の移転によりその前後でデータが均質でない場合は横軸上に▲で示し、その前後の5年移動平均値は示していない。次頁に続く。



大都市における年間熱帯夜日数の長期変化傾向(続き)

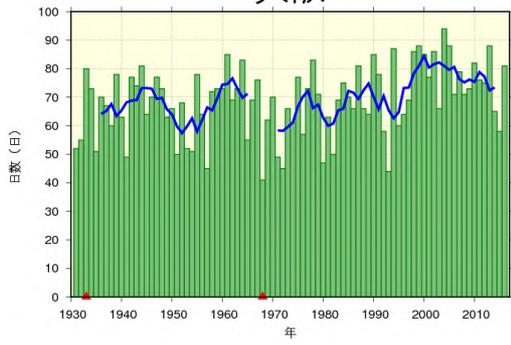
### (3) 真夏日日数



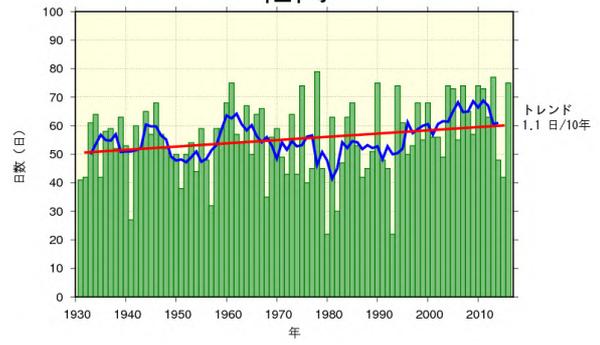
#### 大都市における年間真夏日日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2016年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準90%以上で有意な場合に限る)を示す。なお、観測場所の移転によりその前後でデータが均質でない場合は横軸上に▲で示し、その前後の5年移動平均値は示していない。次頁に続く。

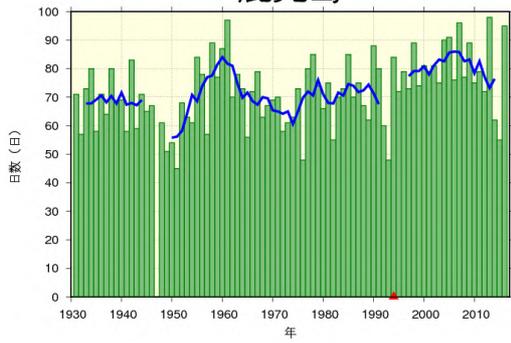
### 大阪



### 福岡

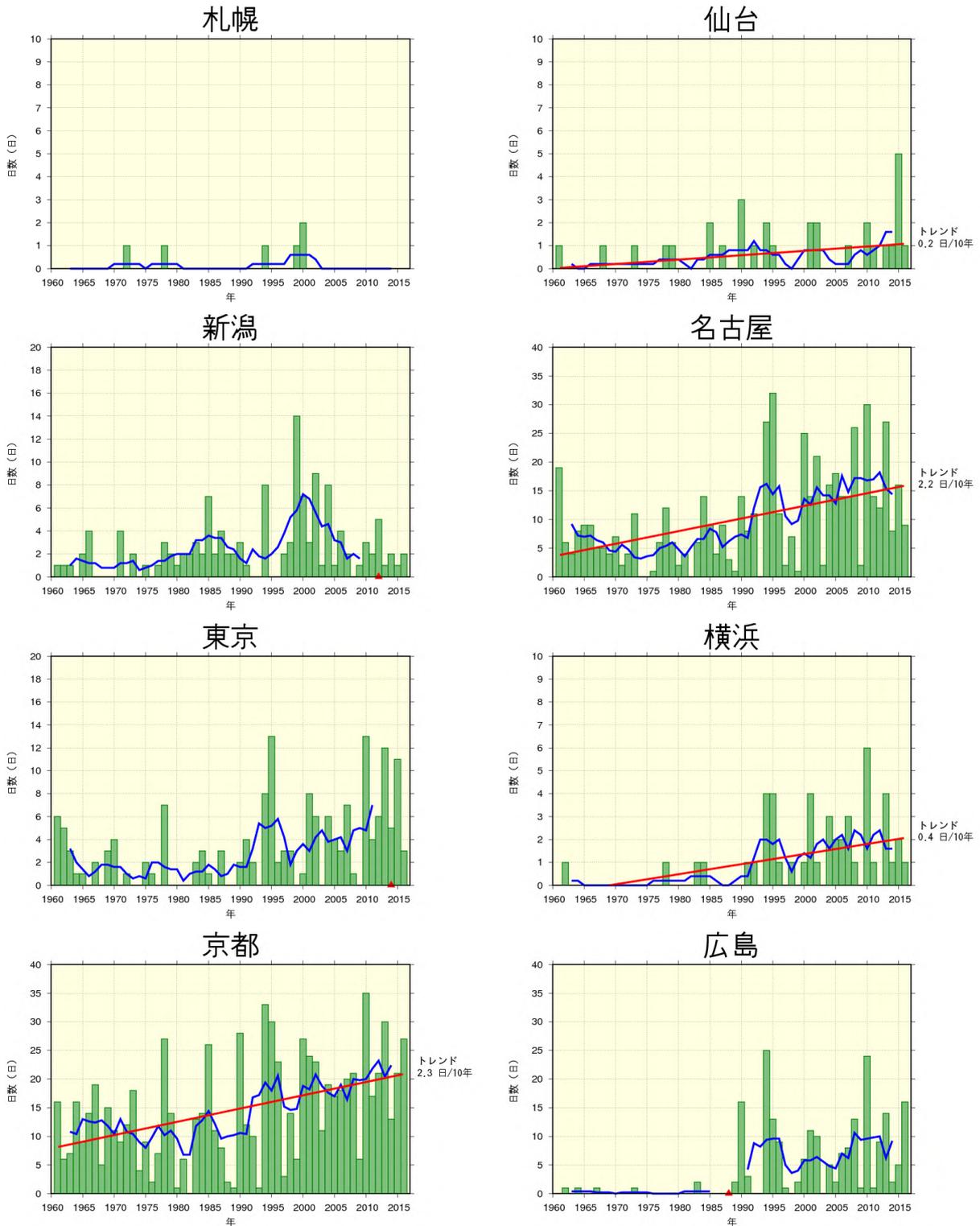


### 鹿児島



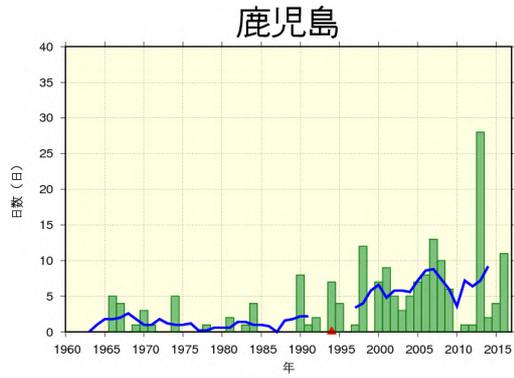
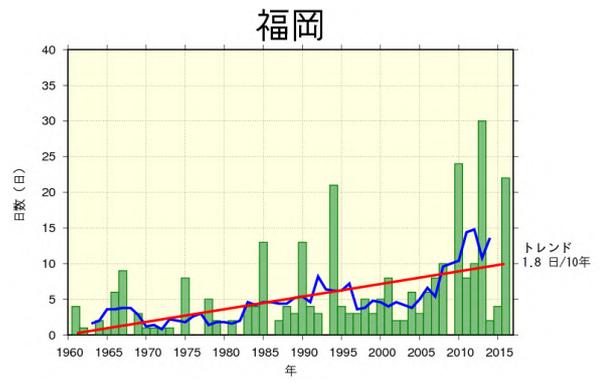
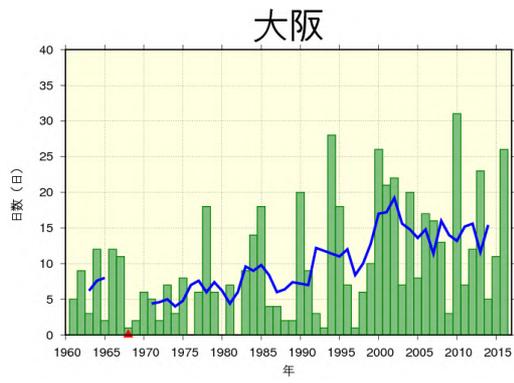
大都市における年間真夏日日数の長期変化傾向(続き)

#### (4) 猛暑日日数



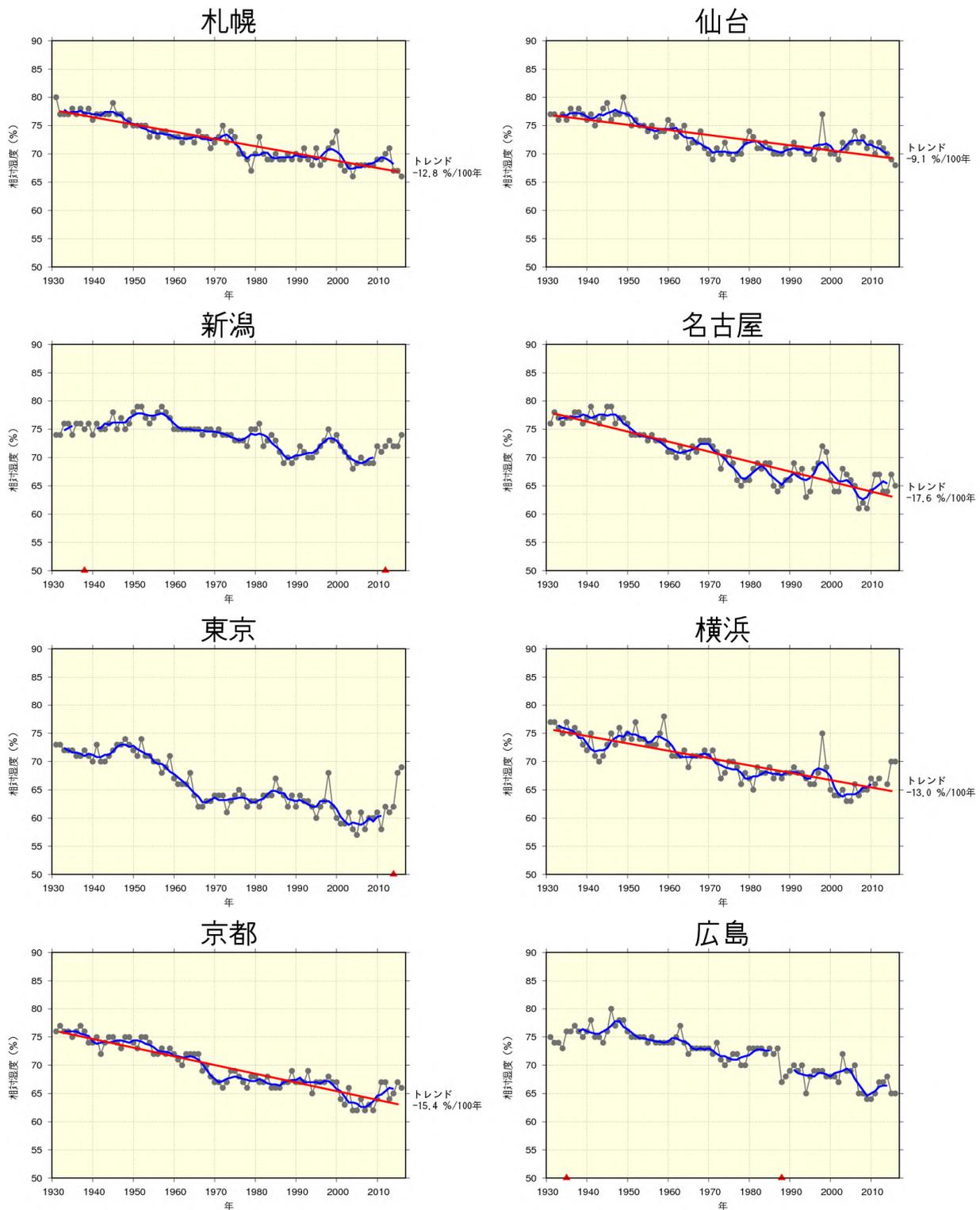
#### 大都市における年間猛暑日日数の長期変化傾向

統計期間は1961年から2016年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90%以上で有意な場合に限る)を示す。なお、観測場所の移転によりその前後でデータが均質でない場合は横軸上に▲で示し、その前後の5年移動平均値は示していない。次頁に続く。



大都市における年間猛暑日日数の長期変化傾向(続き)

## 【資料 4】 大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向



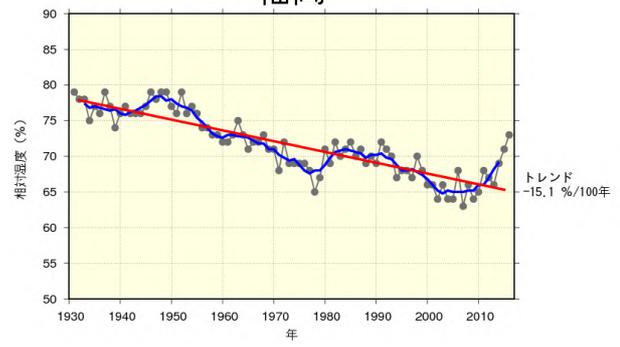
### 大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2016 年まで。黒い折れ線は毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90%以上で有意な場合に限る)を示す。なお、観測場所の移転によりその前後でデータが均質でない場合は横軸上に▲で示し、その前後の 5 年移動平均値は示していない。次頁に続く。

大阪



福岡



鹿児島



大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向(続き)

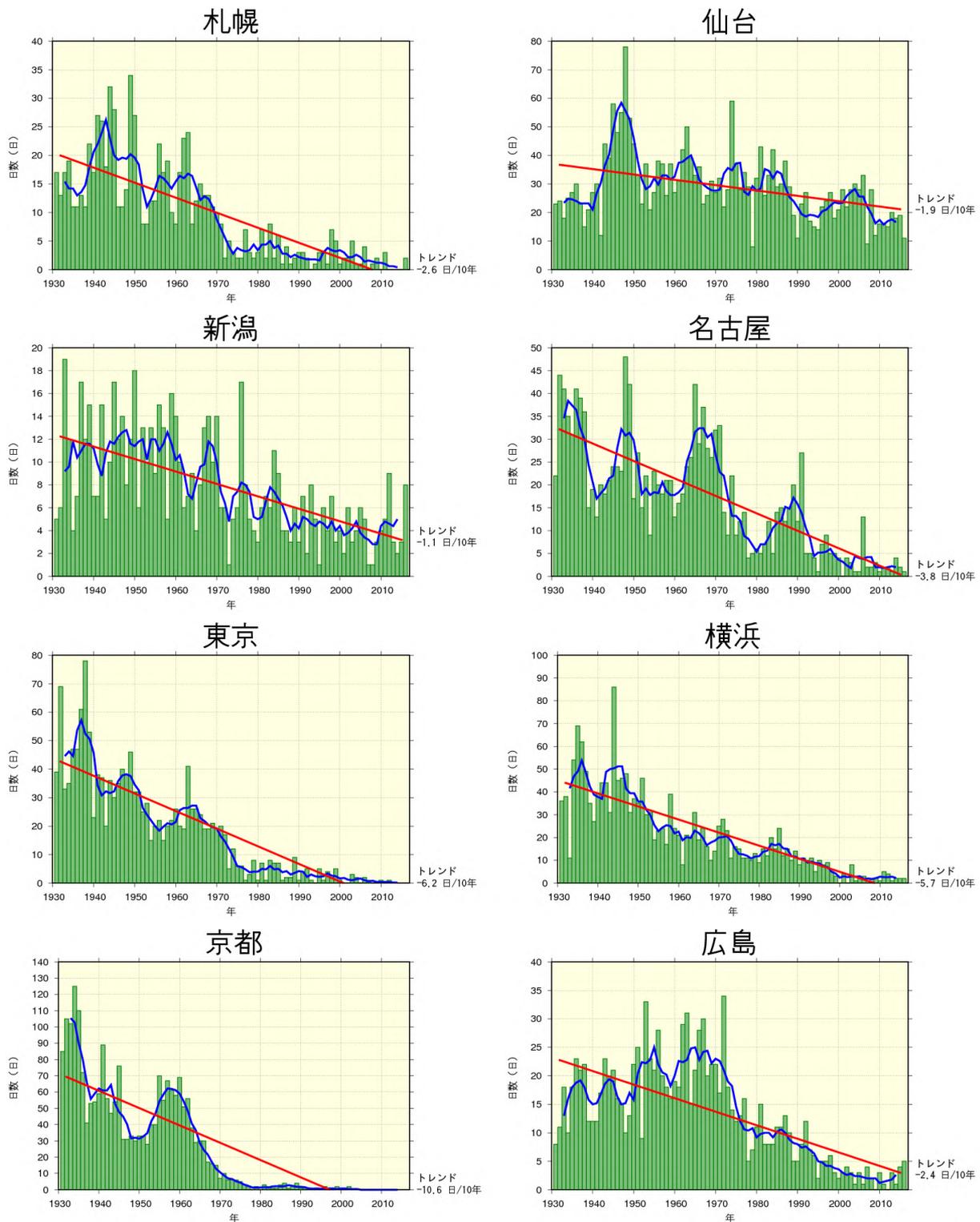
## 【資料5】 大都市における月平均相対湿度の長期変化傾向

### 大都市及び都市化の影響が比較的小さいとみられる13地点平均の月平均相対湿度の長期変化傾向

100年あたりの変化率を示す。統計期間は1931年から2016年まで。都市ごとに、一年で最も変化傾向の大きい月の数値は**赤字**、最も変化傾向の小さい月の数値は**青字**で示している。また、全ての値で信頼度水準90%以上で統計的に有意な変化傾向を示している。表中の13地点は、都市化の影響が比較的小さいとみられる15地点から観測場所の移転に伴う影響を除去することが困難な飯田と宮崎を除く13地点(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、銚子、境、浜田、彦根、多度津、名瀬、石垣島)の平均を表す。また、大都市においても観測場所の移転に伴う影響を除去することが困難な東京、広島、大阪、鹿児島を比較対象から除いている。

地点	平均相対湿度変化率 (%/100年)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
札幌	-10.9	-10.9	-13.7	-12.6	-11.5	<b>-10.5</b>	-11.4	-13.1	-16.7	<b>-18.4</b>	-12.1	-11.1
仙台	-10.5	-9.0	-10.9	-9.0	-7.5	<b>-5.9</b>	-6.9	-8.1	-7.1	<b>-12.3</b>	-9.7	-12.0
名古屋	-17.3	-17.0	-17.3	-19.6	-17.9	<b>-14.4</b>	-15.0	-18.2	-19.6	<b>-20.8</b>	-16.8	-17.4
横浜	-17.2	-15.4	-14.0	-12.0	-11.0	<b>-8.2</b>	-9.0	-9.9	-11.3	-14.9	-14.8	<b>-17.9</b>
京都	-13.7	-14.3	-15.7	<b>-18.5</b>	-15.8	<b>-13.1</b>	-13.5	-15.4	-15.7	-16.5	-15.6	-15.6
福岡	-13.0	-15.0	-14.7	<b>-18.5</b>	-17.1	<b>-8.5</b>	-11.7	-14.3	-14.8	-18.4	-16.9	-16.2
13地点	-5.6	-6.4	-6.9	<b>-7.3</b>	-6.8	<b>-4.8</b>	-5.6	-6.5	-6.0	-7.1	-5.4	-5.6

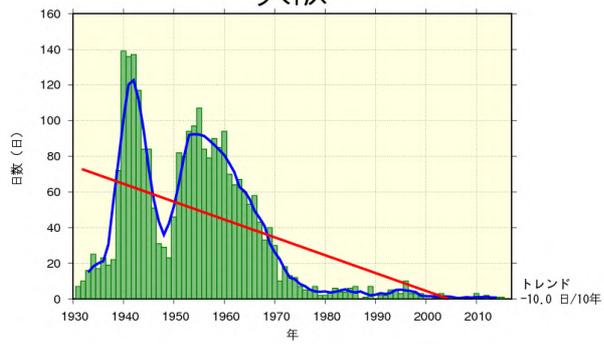
## 【資料6】 大都市における年間霧日数の長期変化傾向



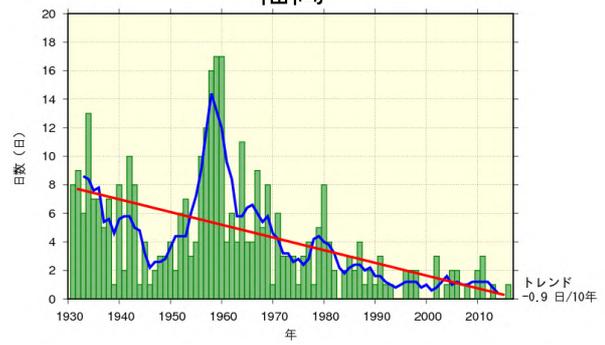
### 大都市における年間霧日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2016年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90%以上で有意な場合に限る)を示す。次頁に続く。

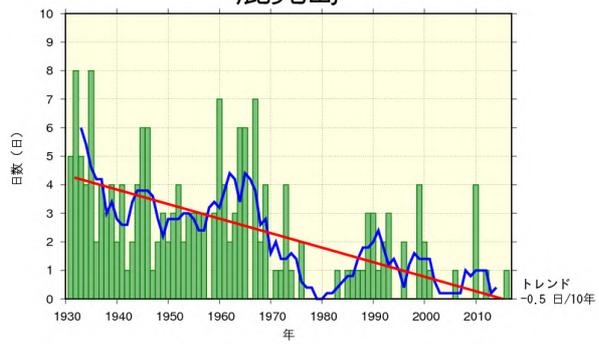
### 大阪



### 福岡



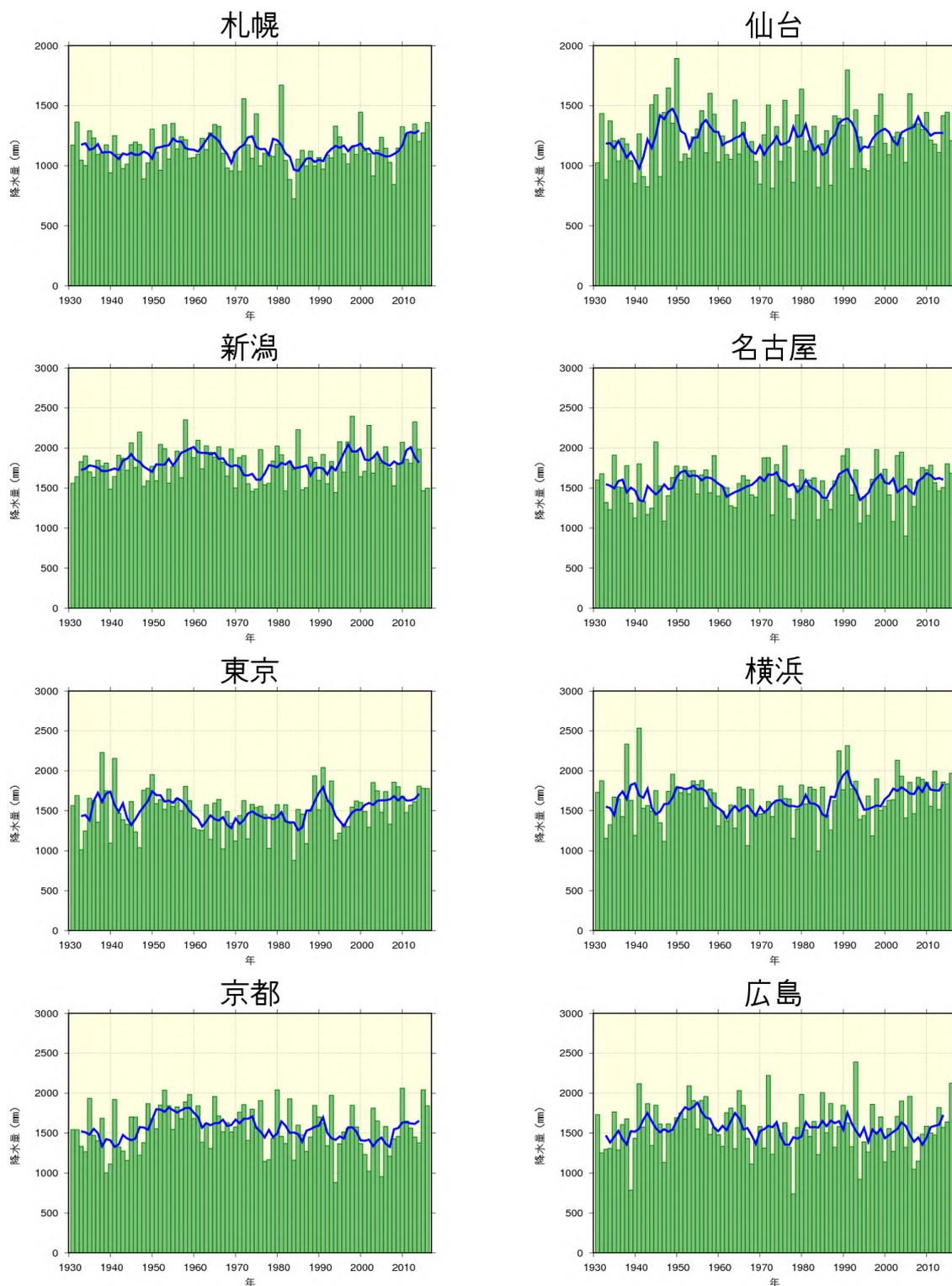
### 鹿児島



### 大都市における年間霧日数の長期変化傾向(続き)

## 【資料 7】 大都市における年降水量、年最大 1 時間降水量の長期変化傾向

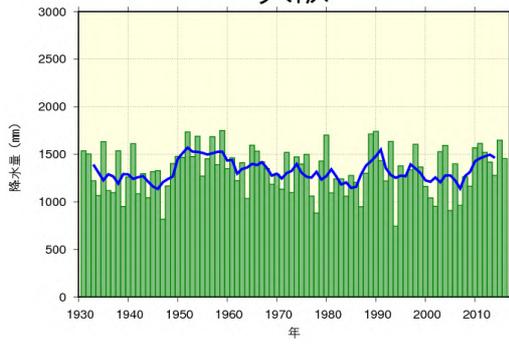
### (1) 年降水量



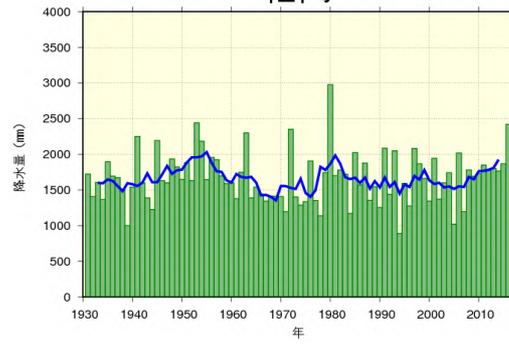
大都市における年降水量の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2016 年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向 (統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90% 以上で有意な場合に限る) を示す。次頁に続く。

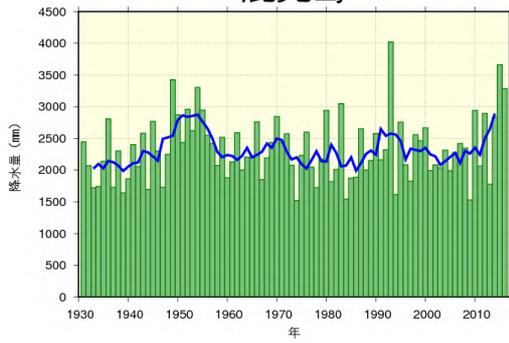
### 大阪



### 福岡

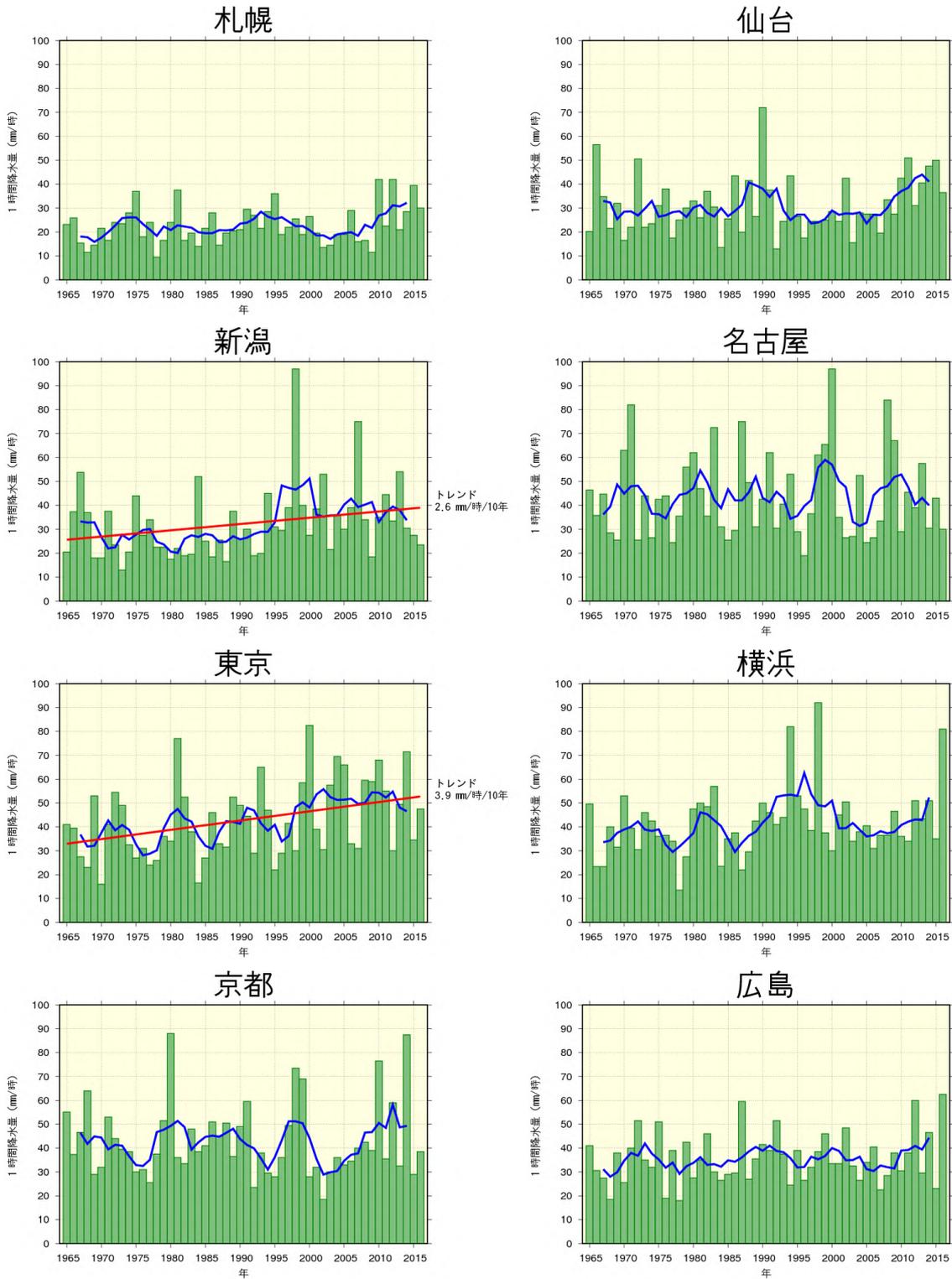


### 鹿児島



大都市における年降水量の長期変化傾向 (続き)

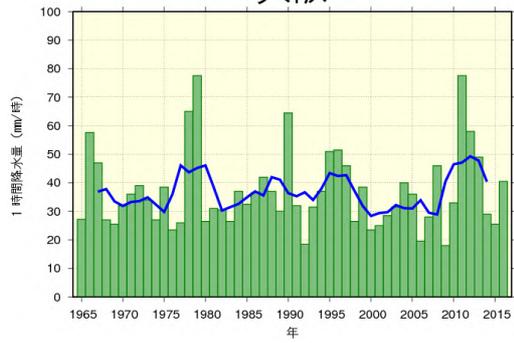
## (2) 年最大 1 時間降水量



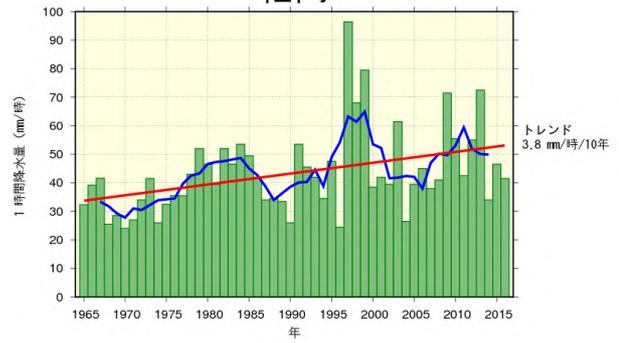
### 大都市における年最大 1 時間降水量の長期変化傾向

統計期間は 1965 年から 2016 年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向(統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90%以上で有意な場合に限る)を示す。次頁に続く。

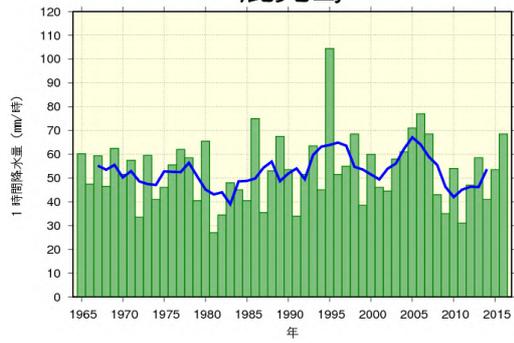
### 大阪



### 福岡



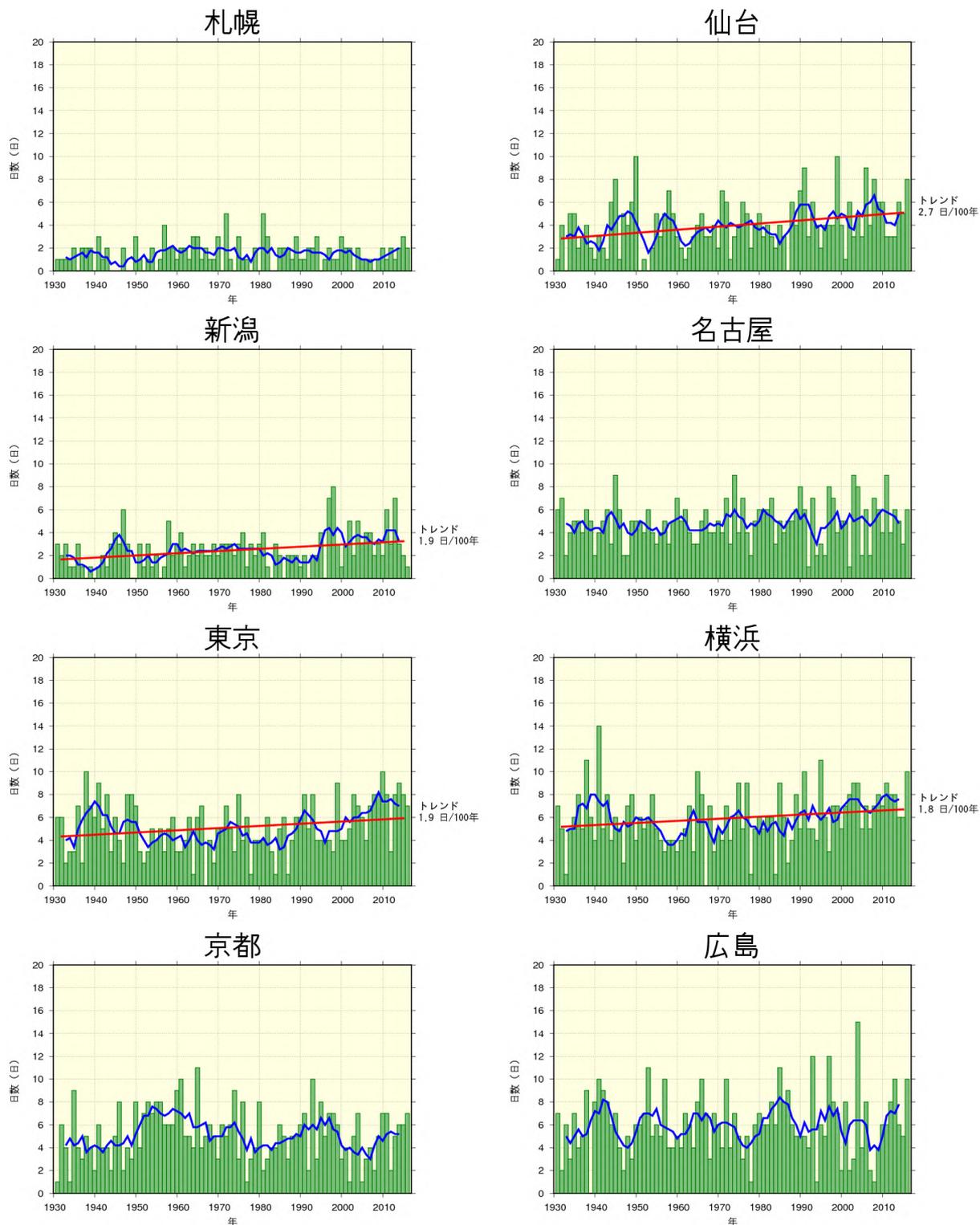
### 鹿児島



大都市における年最大 1 時間降水量の長期変化傾向(続き)

## 【資料 8】 大都市における年間大雨日数の長期変化傾向

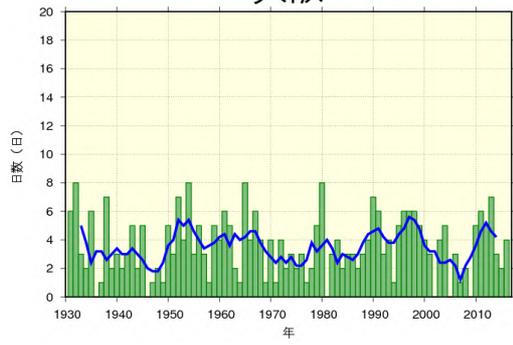
### (1) 日降水量 50mm 以上の年間日数



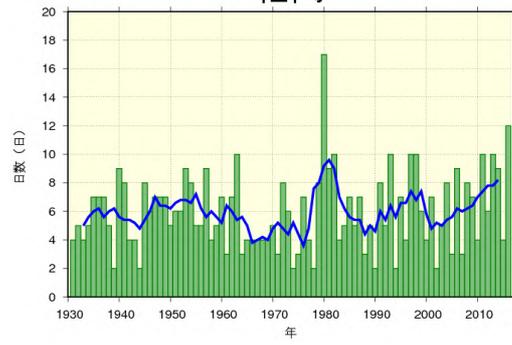
### 大都市における日降水量 50mm 以上の年間日数の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2016 年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向 (統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90% 以上で有意な場合に限る) を示す。次頁に続く。

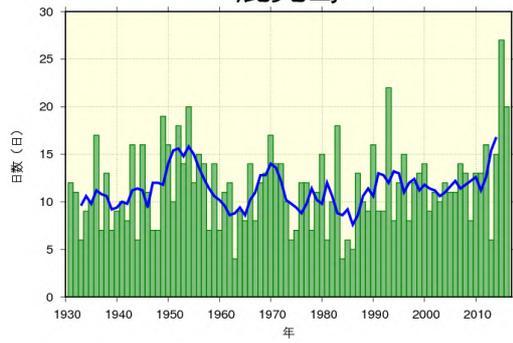
### 大阪



### 福岡

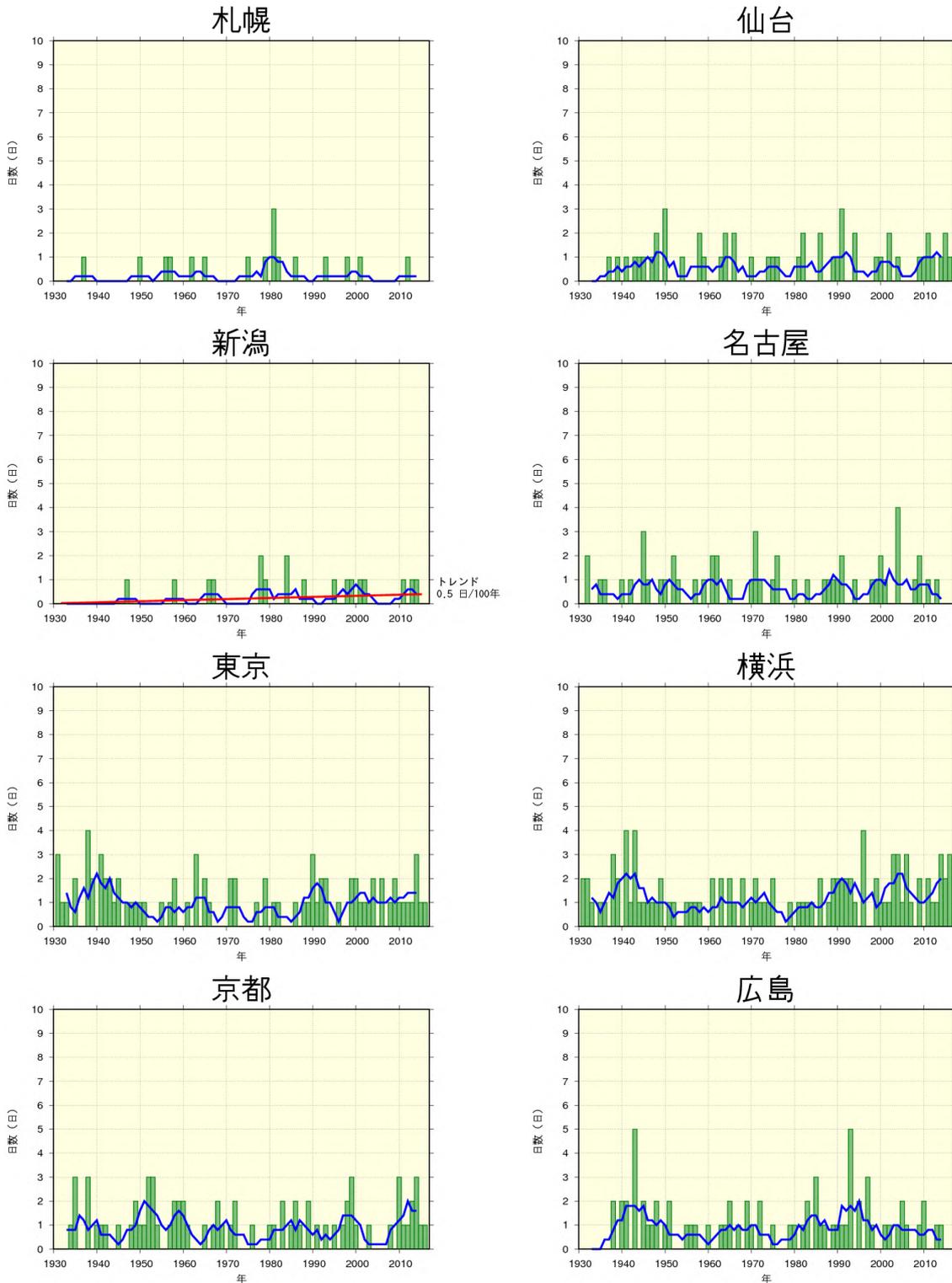


### 鹿児島



大都市における日降水量 50mm 以上の年間日数の長期変化傾向(続き)

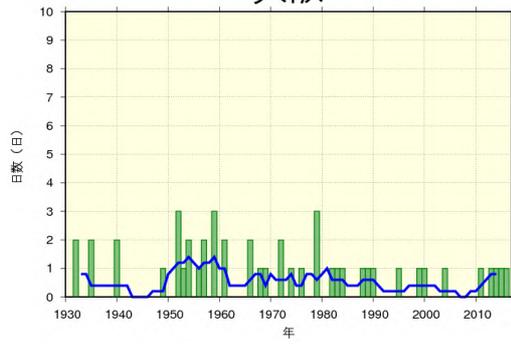
(2) 日降水量 100mm 以上の年間日数



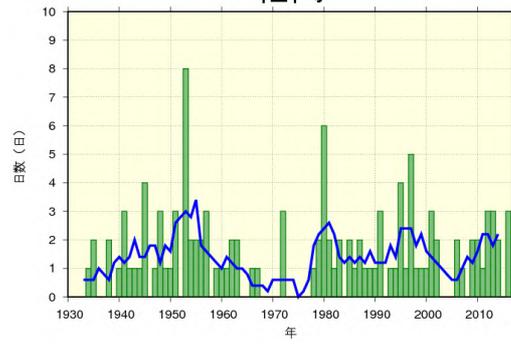
大都市における日降水量 100mm 以上の年間日数の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2016 年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均値、赤い直線は長期変化傾向 (統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90% 以上で有意な場合に限る) を示す。次頁に続く。

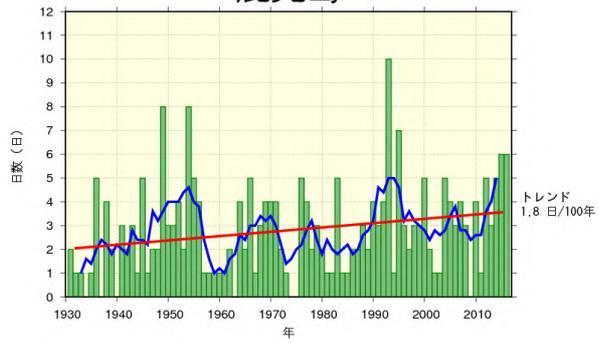
### 大阪



### 福岡



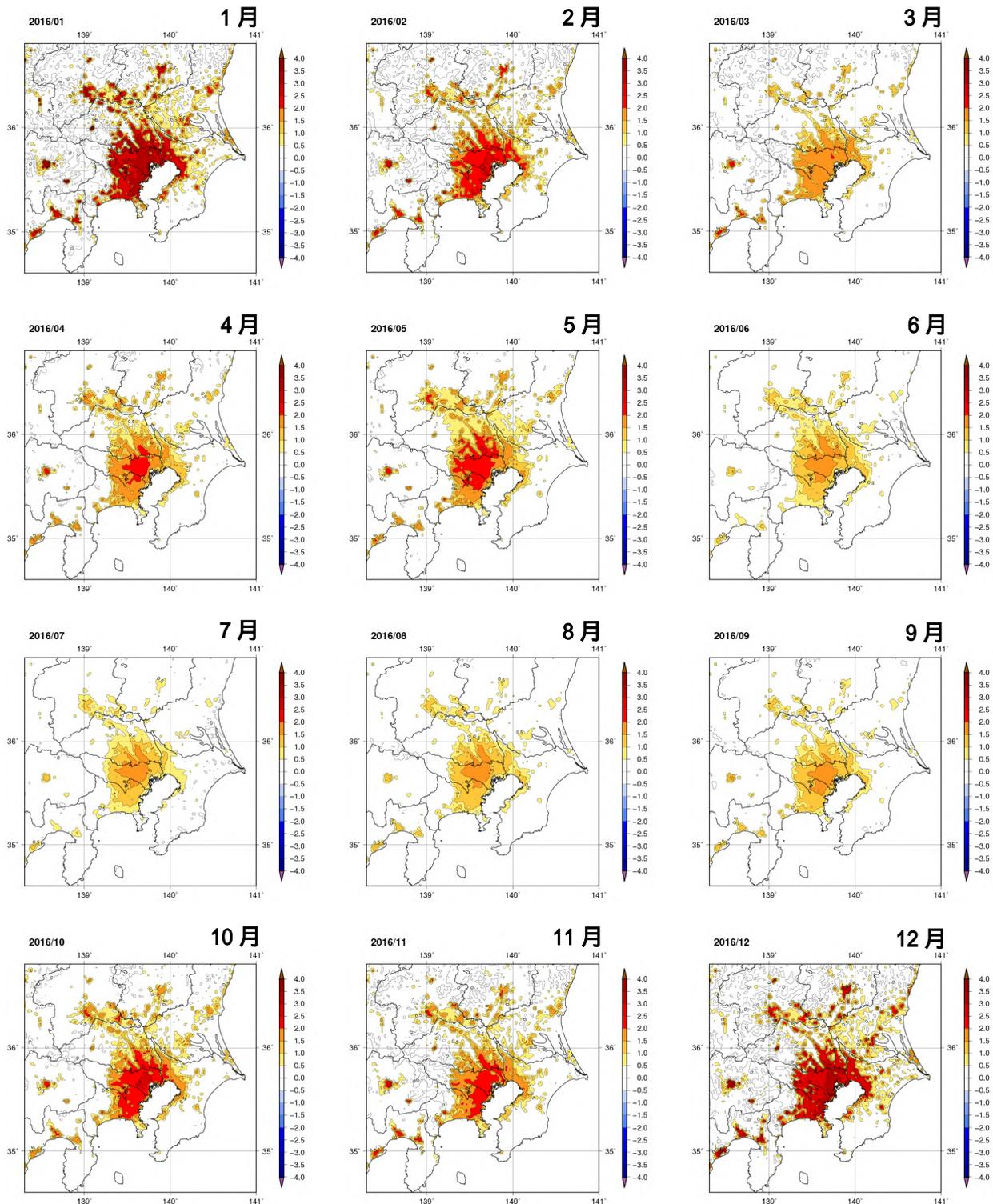
### 鹿児島



大都市における日降水量 100mm 以上の年間日数の長期変化傾向 (続き)

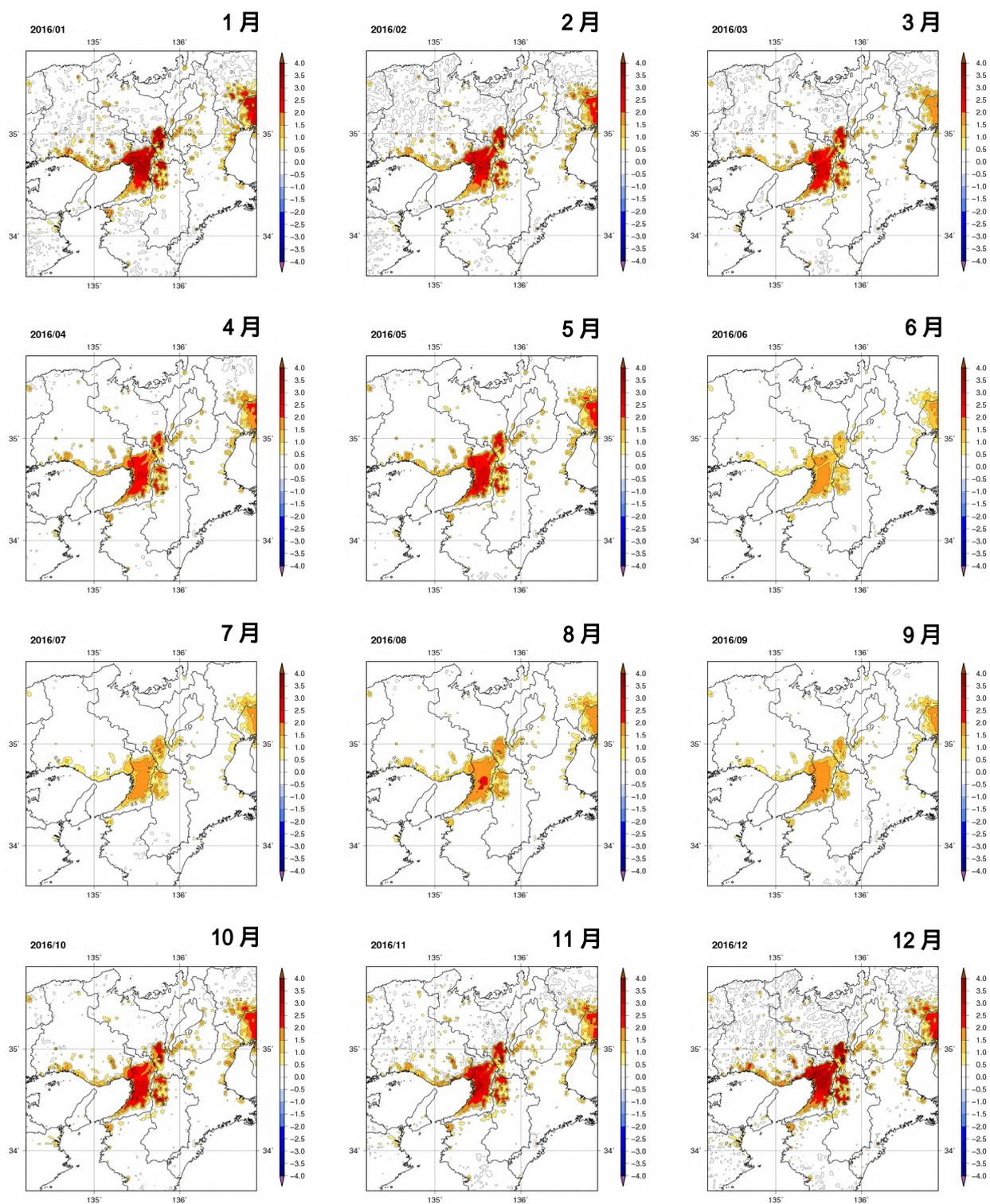
# 【資料 9】 2016 年各月での都市化の影響による平均気温の変化

## (1) 関東地方



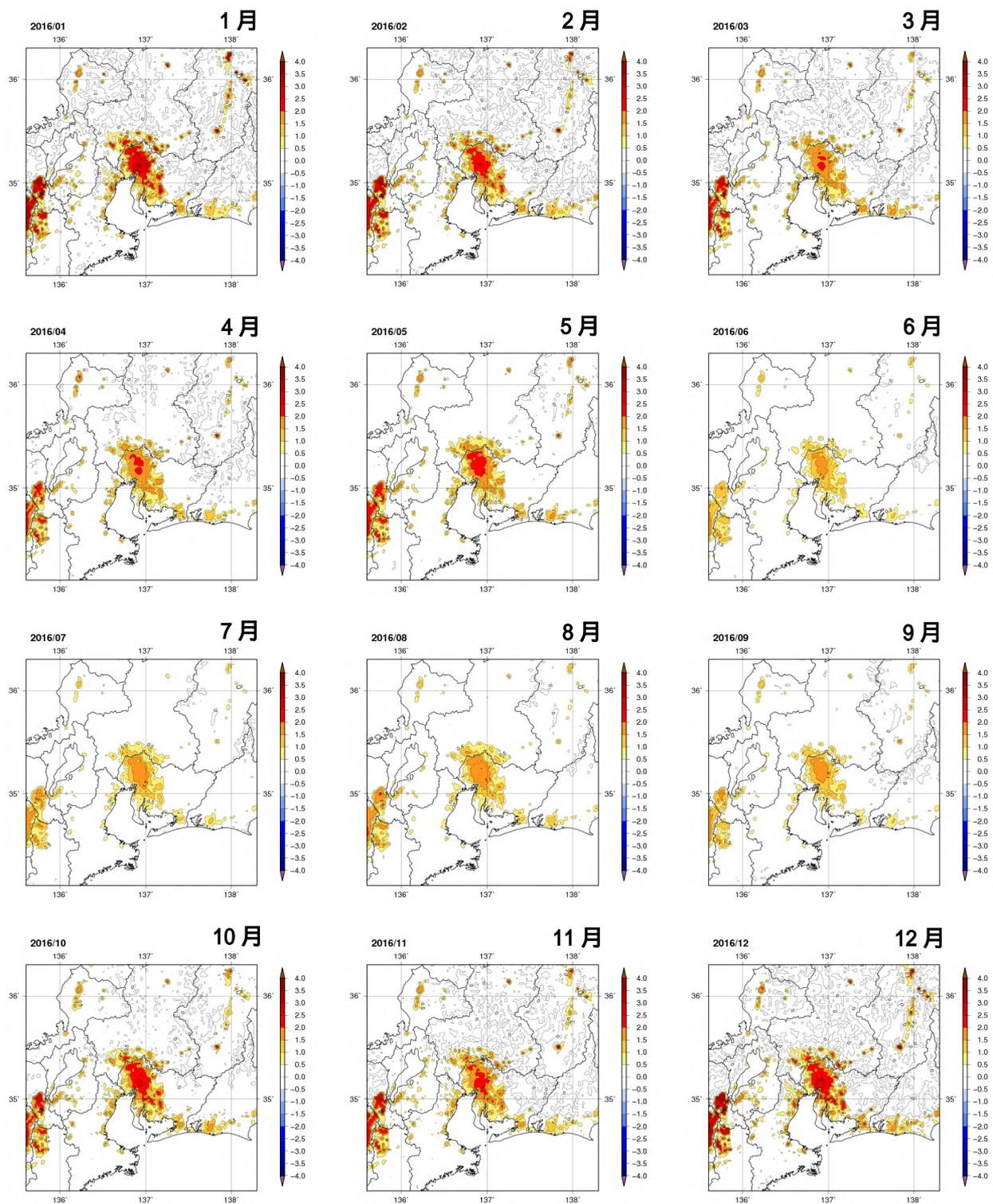
関東地方における 2016 年各月での都市化の影響による平均気温の変化 ( )

## (2) 近畿地方



近畿地方における 2016 年各月での都市化の影響による平均気温の変化 ( )

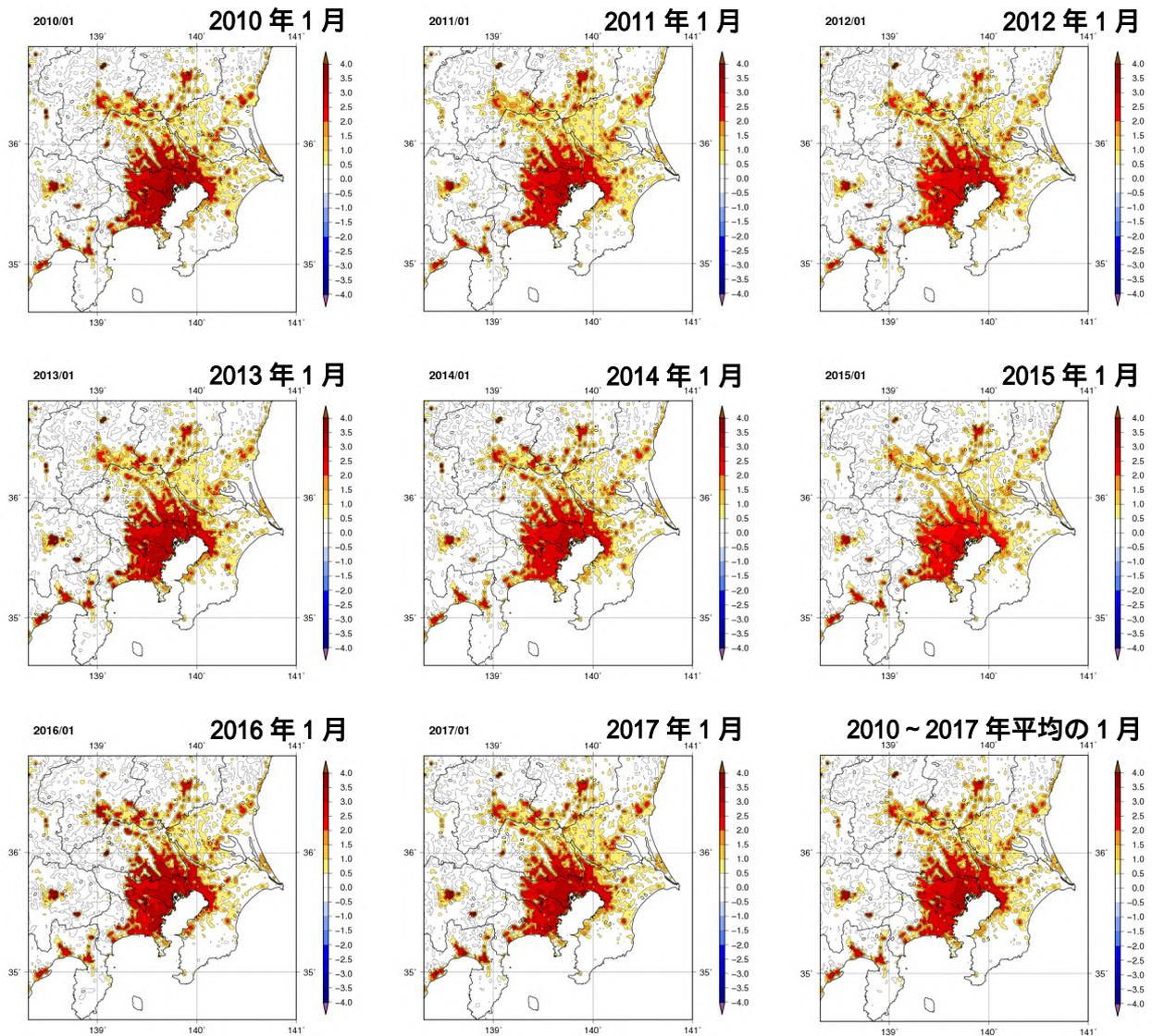
### (3) 東海地方



東海地方における 2016 年各月での都市化の影響による平均気温の変化 ( )

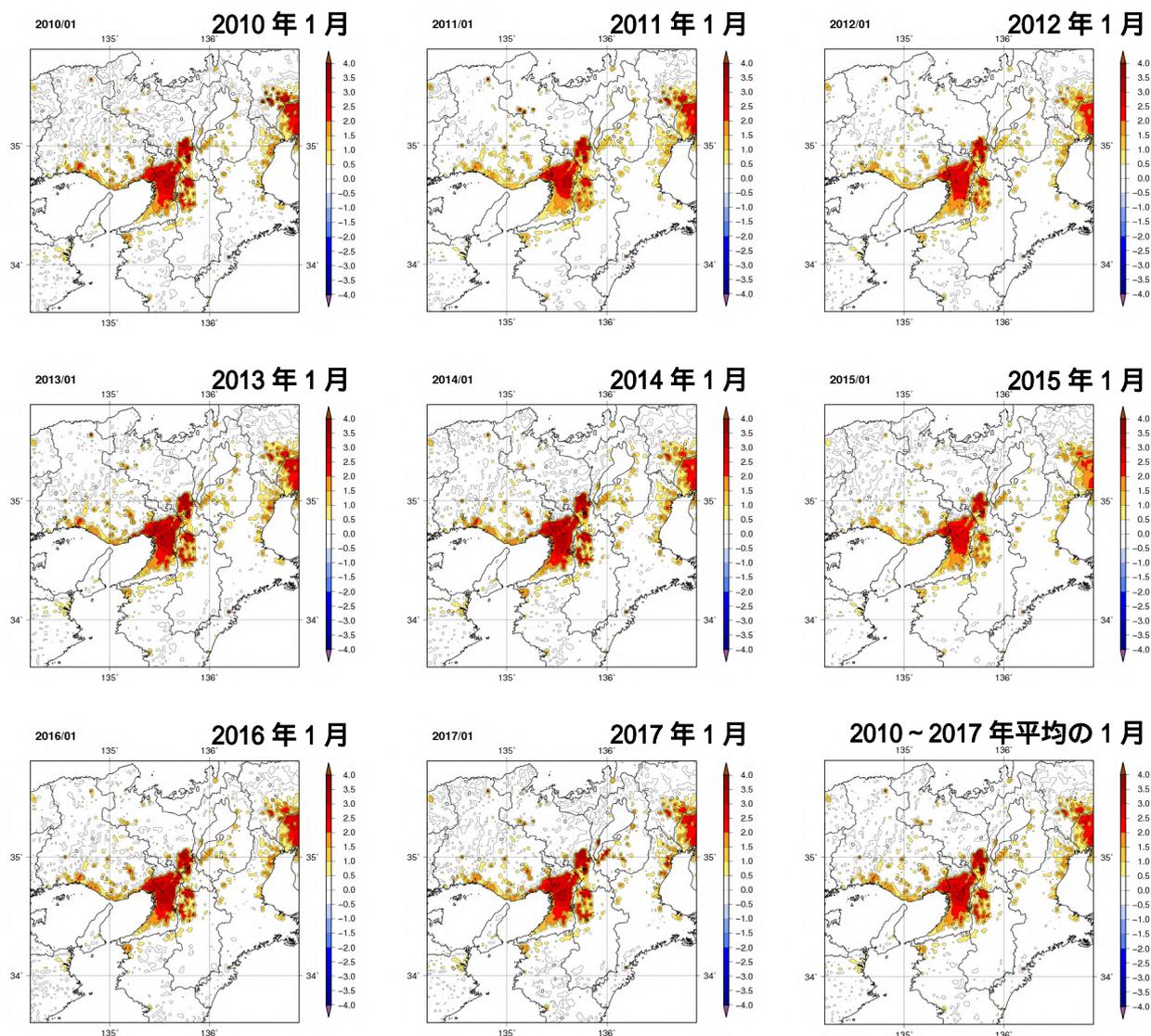
【資料 10】 2010 年から 2017 年までの 1 月の都市化の影響による平均気温の変化

(1) 関東地方



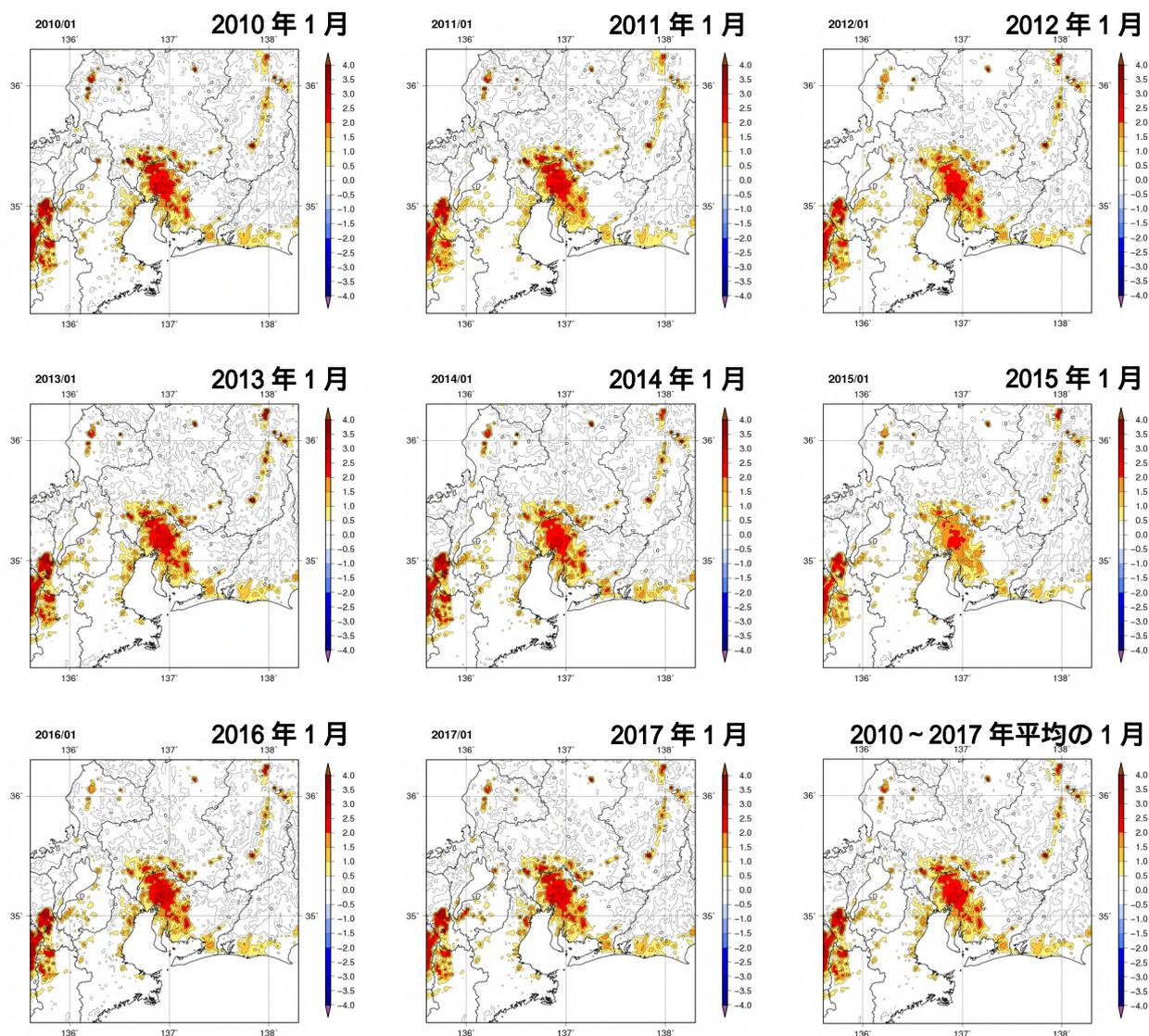
関東地方における 2010～2017 年 1 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化 ( ) の分布及び 8 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化 ( ) の分布

## (2) 近畿地方



近畿地方における2010~2017年1月の年別の都市化の影響による平均気温の変化( )の分布及び8年間平均した都市化の影響による平均気温の変化( )の分布

### (3) 東海地方



東海地方における 2010～2017 年 1 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化 ( ) の分布及び 8 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化 ( ) の分布