

ヒートアイランド監視報告  
(平成 25 年)

平成 26 年 7 月  
気 象 庁

## 目次

### 【本編】

1. はじめに	1
1.1 本報告の背景と構成	1
1.2 ヒートアイランド現象の定義とその成因	3
1.3 平成 25 年夏の概況	4
2. 観測データの長期変化からみる各都市のヒートアイランド現象	5
2.1 気温	5
2.1.1 長期変化（平均気温、日最高気温、日最低気温）	5
2.1.2 気温（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の関係	7
2.1.3 気温の階級別日数（冬日日数、熱帯夜日数、真夏日日数、猛暑日日数）	8
2.2 湿度	9
2.2.1 平均相対湿度の長期変化	9
2.2.2 平均相対湿度の長期変化と都市化率の関係	10
2.2.3 霧日数	11
2.3 降水	12
2.3.1 降水量、最大 1 時間降水量の長期変化	12
2.3.2 強雨の年間日数	13
3. 都市気候モデルで再現されたヒートアイランド現象	14
3.1 都市気候モデル	14
3.1.1 概要	14
3.1.2 地形データ	15
3.1.3 人工排熱量データ	16
3.1.4 土地利用データと都市域の設定	17
3.1.5 都市気候の評価方法	18
3.2 これまでのヒートアイランド監視報告から都市気候モデルを用いた解析結果	19
3.3 平成 25 年 8 月のヒートアイランド現象	21
3.3.1 月平均気温と都市化の影響	21
3.3.2 最近 5 年の比較	23
3.3.3 夜間と日中の都市化の影響の違い	25
3.3.4 30 以上となった合計時間	26
3.3.5 日最低気温が最も高かった日について	27
コラム 関東地方における平成 25 年 8 月 12 日夜の降水について	29
3.4 平成 25 年の月別のヒートアイランド現象	30
3.4.1 平均気温	30
3.4.2 相対湿度	31
4. 「ヒートアイランド監視報告（平成 25 年）」のまとめ	32
5. 参考文献	33

## 【資料編】

### 観測データの長期変化からみる各都市のヒートアイランド現象

#### 気温

【資料1】各都市における年平均気温の長期変化傾向グラフ -----34

【資料2】各都市における平均気温、日最高気温、日最低気温の月別長期変化傾向-----36

【資料3】各都市における年間気温階級日数の長期変化傾向グラフ -----38

#### 湿度

【資料4】各都市における年平均相対湿度の長期変化傾向グラフ -----46

【資料5】各都市における相対湿度の月別長期変化傾向 -----48

【資料6】各都市における年間霧日数の長期変化傾向グラフ -----49

#### 降水

【資料7】各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グラフ-----51

【資料8】各都市における年間の強雨日数の長期変化傾向グラフ -----55

### 都市気候モデルで再現されたヒートアイランド現象

【資料9】2013年の月別のシミュレーション結果（月平均気温の変化）-----59

【資料10】2013年の月別のシミュレーション結果（月平均相対湿度の変化）-----62

経年変化傾向の統計的有意性の評価について -----65

# 1. はじめに

## 1.1 本報告の背景と構成

近年、都市化の進展に伴い顕著となってい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、夏季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ほか、乾燥化による呼吸器疾患等への影響や冬季における感染症を媒介する蚊の越冬といった生態系の変化が懸念されている（環境省，2004）。

図 1.1.1 に示すように、都市化の進展に伴う気温の上昇は、気象庁の観測データの長期変化傾向にも明瞭に現れている。気象庁の観測所のうち、都市化の影響が比較的少ないとみられる全国 15 地点で平均した年平均気温は、100 年あたり概ね 1 程度の割合で上昇している。これは日本周辺海域で平均した海面水温の上昇傾向とほぼ一致していることから、地球規模の温暖化を反映しているものと考えられる。一方、東京をはじめとする各都市の年平均気温は、この傾向を大きく上回って上昇している（詳細は第 2 章を参照）。

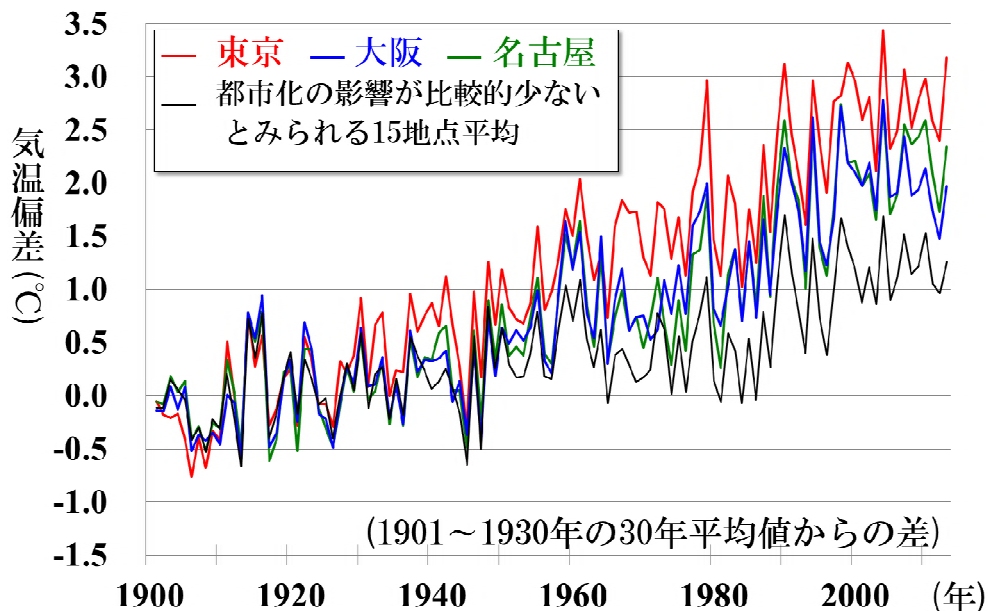


図 1.1.1 都市化の影響が比較的少ないとみられる 15 地点平均と東京、大阪、名古屋の年平均気温の長期変化傾向の比較

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」（ヒートアイランド対策関係府省連絡会議，2004）を取りまとめた。この大綱のもと、平成 17 年から気象庁ではヒートアイランド現象の観測及び監視に資する情報や最新の知見を「ヒートアイランド監視報告」として気象庁ホームページ<sup>1</sup>で毎年公表しているところである。しかし、近年気温の上昇に伴って熱中症患者数が増加するなど、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、

<sup>1</sup> <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>

平成 25 年 5 月に「ヒートアイランド対策大綱」の改訂が行われている<sup>2</sup>。

このことを受けて、国土交通省では、省エネや交通流対策等による人工排熱の低減や、緑化等による地表面被覆の改善、風の通り道を確保する都市形態の改善等の取組を一層強化することに加え、新たな取組として、ヒートアイランド・ポータルサイト<sup>3</sup>による一元的な情報提供と、ヒートアイランド現象の実態や対策の効果を街区レベルで定量的に評価できる解析システムの構築を開始しており、気象庁は、この解析システムに向けて、シミュレーション結果（詳細は第 3 章を参照）を提供している。

ヒートアイランド現象の長期的かつ広域的な監視や調査に貢献してきた「ヒートアイランド監視報告」の今回の報告「同（平成 25 年）」は以下のような構成となっている。

まず、第 2 章では、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様々なデータを用いて、全国の各都市における気温や熱帯夜日数、相対湿度や霧日数、降水量などの長期変化傾向について述べている。また、それら長期変化傾向と都市化率<sup>4</sup>との関係についても分析しているので、各都市における気候変化の実態や、都市化の影響の程度を示す基礎情報として活用していただきたい。

一方、ヒートアイランド現象の広がりや大きさを定量的に把握するためには、観測データだけでなく数値シミュレーション技術を応用した手法（都市気候モデル）を用いた分析も必要となることから、この成果を第 3 章にまとめている。具体的には、3.3 節において、2013 年 8 月の関東地方、近畿地方及び中部地方での詳細な気温及び風分布のシミュレーション結果を示し、都市化の影響を面的かつ定量的に示している。この解析において、本報告では初めて 30 以上の累積時間数の空間分布を採用した。また、2009 年以降の 8 月を比較するとともに、各地方において記録的に高い最低気温が現れた日の高温域の分布なども示している。続く 3.4 節では、2013 年における 8 月を含めた月別のヒートアイランド現象の現れ方の違いを初めて評価した結果を掲載している。また、本報告では、初めて降水現象に与える都市化の影響についても評価した。

これらの調査結果を使って、面的な広がりについても把握していただき適切な対策や策定に役立てていただきたい。

なお、本文では示さなかった図表類については、本報告の後半に資料編として掲載している。

---

<sup>2</sup> [http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo10\\_hh\\_000080.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/sogo10_hh_000080.html)

<sup>3</sup> 地形に関する「基盤地図情報（国土地理院）」（3.1.2 参照）土地の利用形態に関するデータ「国土数値情報（国土交通省国土政策局）」（3.1.4 参照）植物の量や活力を表す「植生指標データ（国土地理院）」といった国土交通省が保有するデータ類や、現在実施しているさまざまなヒートアイランド対策の紹介などを行っている。

[http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei\\_environment\\_mn\\_000016.html](http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_mn_000016.html)

<sup>4</sup> 地点の周囲 7km の人工被覆率（2006 年度版国土数値情報土地利用 3 次メッシュにおける建物用地、幹線交通用地、その他の用地の比率）と定義した。

## 1.2 ヒートアイランド現象の定義とその成因

ヒートアイランド現象 (heat island = 熱の島) 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、気温分布図に描かれる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。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、草原や森林等の植生域と比べた場合、以下のような特徴 (都市化の影響) 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。

### (1) 土地利用 (緑地や水面の減少) の影響

土地利用の影響は主に日中のヒートアイランド現象の要因と考えられる。水面、草地、水田、森林等では、水分の蒸発に伴う熱の吸収が気温の上昇を抑える働きをする一方、都市では地表面がアスファルトやコンクリート等の人工被覆に覆われて水分が少ないため、地表面から大気に与えられる熱が多くなり、気温の上昇が大きくなる。

### (2) 建築物 (高層化) の影響

建築物の影響は主に夜間のヒートアイランド現象の要因と考えられる。都市では、日射光や地面からの反射光の一部と、地面から大気へ放出される赤外線の一部を建築物が吸収する。コンクリートの建築物は暖まりにくく冷えにくい性質があるため、日中に蓄積した熱を夜間に放出して、気温の低下を抑える。また、建物の存在によって地表面の摩擦が大きくなることで、地表付近の風速が弱まり、地面の熱が上空に運ばれにくくなる。

### (3) 人工排熱 (人間活動で生じる熱) の影響

人工排熱の影響は、人口が集中する地域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、昼間の排熱量は局所的に  $100\text{W}/\text{m}^2$  を超えると見積もられる。これは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% 程度に相当する。

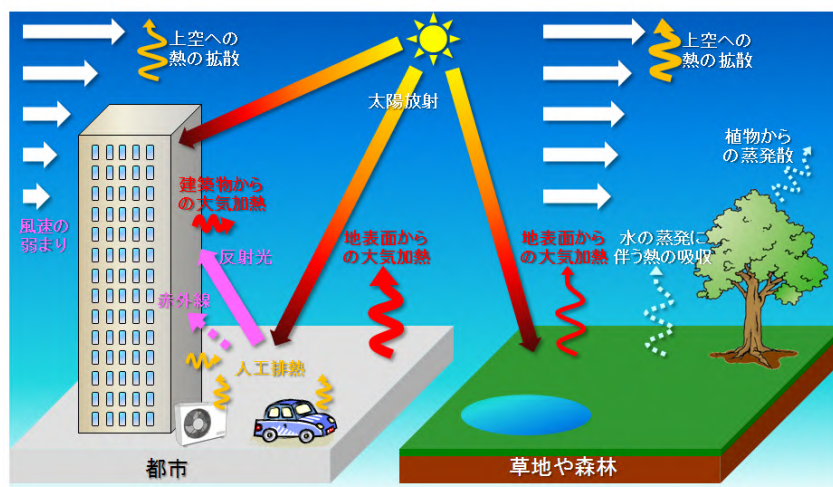


図 1.2.1 ヒートアイランド現象の概念図

### 1.3 平成 25 年夏の概況

2013 年 8 月は、特に上旬後半から中旬にかけて太平洋高気圧が日本の南海上から西日本付近にかけて強く張り出したため、東・西日本、沖縄・奄美では晴れて暑い日が多かった(図 1.3.1、図 1.3.2)。中でも 7 日から 22 日にかけては、全国の 100 地点以上のアメダス観測所(集計地点数 927)で連日猛暑日となり、特に 11 日は 296 地点で猛暑日となった(2014 年 7 月現在)。また、北日本では気圧の谷や湿った気流の影響で曇りや雨の日が多かったが、南からの暖かい空気が入りやすく、月平均気温は高かった。

高知県江川崎(四万十市)では 8 月 12 日に 41.0 の日本における最高気温、山梨県甲府では 8 月 10 日に 40.7、山梨県勝沼でも同日に 40.5 の日最高気温を記録した。一方、日最低気温についても東京で 8 月 11 日に 1875 年の統計開始以来最も高い 30.4 を記録したほか、大阪で 8 月 22 日に 1883 年の統計開始以来 2 番目に高い 29.2、名古屋で 8 月 10 日に 1890 年の統計開始以来 5 番目に高い 28.4 を記録するなど、大都市を含む多くの地点で日最低気温の高い方からの記録更新が相次いだ。

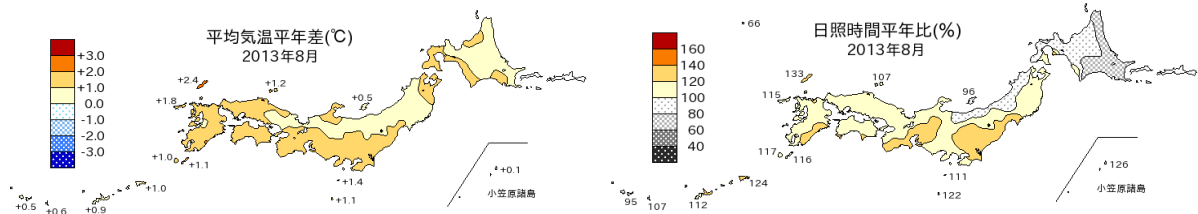


図 1.3.1 2013 年 8 月の月平均気温平年偏差(左図)、月間日照時間平年比(右図)の分布図

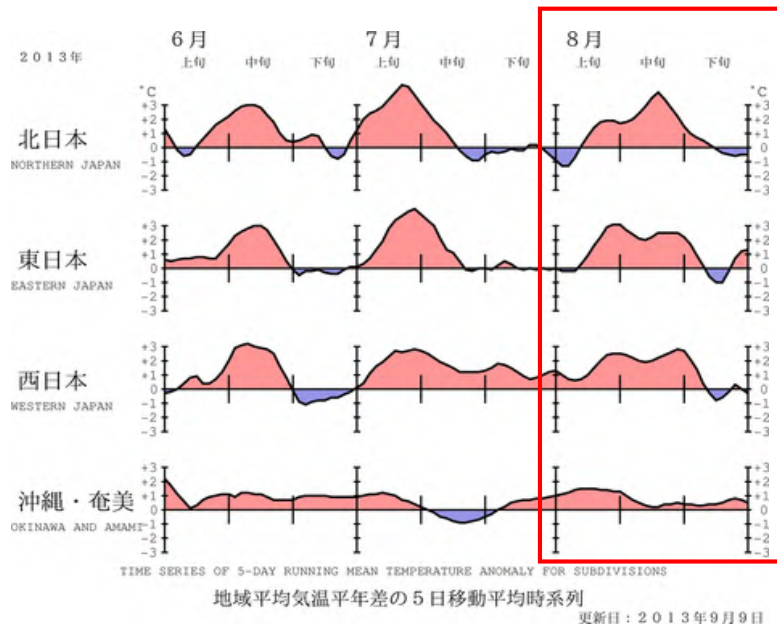


図 1.3.2 2013 年夏(6~8 月)の気温平年差の経過図

## 2. 観測データの長期変化からみる各都市のヒートアイランド現象

### 2.1 気温

各都市では、都市化による気温の長期的な上昇傾向がみられ、特に日最低気温で顕著である。気温の長期的な上昇は、日最高気温が冬季、日最低気温が秋季に最大となる都市が多い。各都市では、冬日の減少、熱帯夜や猛暑日、真夏日の増加が顕著に現れている。

#### 2.1.1 長期変化（平均気温、日最高気温、日最低気温）

1931年以降、100年あたりの年平均気温の上昇率は、都市化の影響が比較的少ないとみられる15地点平均<sup>5</sup>の1.5に対し、東京で3.2、大阪で2.7、名古屋で2.9など、大都市で大きい傾向にある（図2.1.1、表2.1.1、【資料1】）。なお、各都市と15地点平均の上昇率の差は、およその見積もりとして、都市化によるヒートアイランド現象の影響とみることができる。平均気温、日最高気温、日最低気温の上昇率をみると、15地点平均に比べて、都市化率の大きい都市で大きい。このため、多くの都市で、ヒートアイランドの影響が現れていることが示唆される。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。特に、冬季の日最低気温の上昇率が顕著で、東京では100年あたり6.1の上昇となっている。なお、本報告における気温の上昇率で、統計期間内に観測地点の移転があった場合は、補正（大野ほか、2011）を行って評価している。

季節別及び月別の気温上昇率（表2.1.1、【資料2】）は、大まかには以下の傾向がみられる。

平均気温の上昇率：京都及び鹿児島では春季、それ以外の多くの都市では秋季または冬季（特に10月もしくは2月）が最も大きい。一方、最も小さいのは、どの都市も夏季（特に7月または8月）である。

日最高気温の上昇率：全ての都市で冬季もしくは春季（特に2月）で最も大きい。一方、最も小さい季節は、夏季もしくは秋季（特に7月や11月、12月）となる都市が多い。

日最低気温の上昇率：都市によって最大となる季節が異なるが秋季から春季（特に10月）のいずれかで最も大きい。一方、ほとんどの都市で夏季（特に7月）で小さい。

都市化の影響は「晴れて風が弱い日」に現れやすく、そうした条件になりやすい季節が地域によって異なるため、都市によって気温の上昇率の高い季節に違いが現れるものと考えられる。

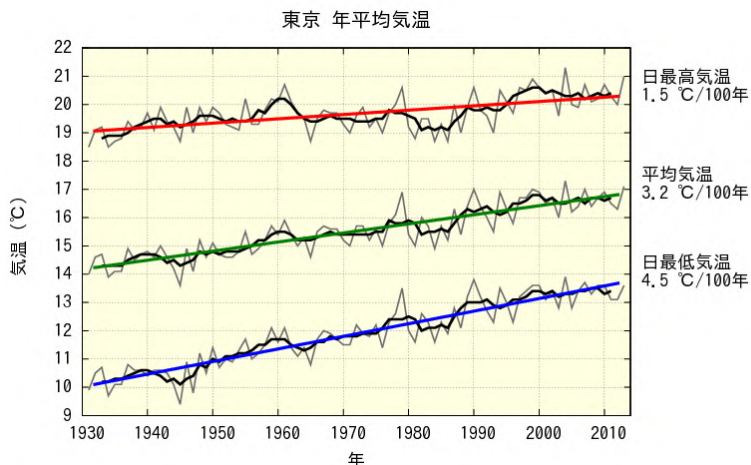
気温の上昇率が最高気温より最低気温の方が大きいことについては、昼間は混合層<sup>6</sup>の発達に伴って都市の余剰熱は上空へ拡散することで地表面付近での気温変化量は小さくなるのに対し、夜間は気温の変動が地表付近の薄い層に集中するために地表面付近での気温変化量が大きくなる（藤部、

<sup>5</sup> 観測データの均質性が長期間維持され、かつ都市化などによる環境の変化が比較的小さい気象観測15地点（網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島）の平均。飯田と宮崎は、統計期間内での移転に伴う影響を補正している。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>6</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。



2012a) と考えられる。



**図 2.1.1 東京における年平均気温、日最高気温及び日最低気温の長期変化傾向**

細い折れ線は毎年の値、太い折れ線は 5 年移動平均を示す。色を付けた直線は、長期変化傾向(信頼水準 90%以上)を示している。統計期間は 1931 年から 2013 年まで。

**表 2.1.1 各都市及び都市化の影響が比較的少ないとみられる 15 地点平均の都市化率と年、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 2013 年まで。都市ごとに、最も変化傾向の大きい数値は赤字、最も変化傾向の小さい数値は青字で示している。また、斜体字網掛けは信頼水準 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(新潟、広島、大阪、鹿児島)は、移転に伴う影響を補正している。

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	春	夏	秋	冬	年	春	夏	秋	冬	年	春	夏	秋	冬
札幌	75.1	2.7	2.6	1.9	2.9	3.3	0.9	1.1	0.6	0.7	1.4	4.5	4.6	3.4	4.5	5.6
仙台	69.9	2.3	2.5	1.2	2.6	3.0	1.0	1.1	0.6	0.9	1.5	3.1	3.7	1.8	3.4	3.7
新潟	47.2	2.0	2.4	1.5	2.0	2.2	1.8	2.3	0.9	1.7	2.5	2.3	2.6	2.0	2.1	2.4
名古屋	89.3	2.9	3.0	2.2	3.2	3.0	1.1	1.3	0.7	1.1	1.3	4.0	4.4	3.3	4.4	3.9
東京	92.9	3.2	3.1	2.0	3.4	4.5	1.5	1.6	1.1	1.7	1.8	4.5	4.5	2.8	4.4	6.1
横浜	59.4	2.7	2.9	1.7	2.9	3.6	2.3	2.6	1.7	2.4	2.7	3.5	3.7	2.2	3.6	4.7
京都	60.2	2.6	2.9	2.3	2.7	2.7	0.9	1.3	0.9	0.7	0.9	3.8	4.0	3.2	4.0	3.9
広島	54.6	2.0	2.3	1.7	2.5	1.6	1.0	1.5	1.2	0.5	0.7	3.1	3.3	2.7	3.9	2.8
大阪	92.1	2.7	2.6	2.3	3.2	2.8	2.2	2.3	2.1	2.2	2.2	3.7	3.6	3.5	4.3	3.4
福岡	64.3	3.1	3.3	2.4	3.8	3.0	1.7	1.9	1.4	1.7	1.6	5.1	5.9	3.9	6.2	4.6
鹿児島	38.8	2.8	3.2	2.5	3.0	2.8	1.3	1.7	1.3	1.2	1.2	4.0	4.5	3.6	4.6	3.9
15 地点	18.5	1.5	1.8	1.0	1.5	1.7	1.0	1.3	0.7	0.8	1.2	1.9	2.1	1.5	1.9	2.0

表中の 15 地点は、都市化の影響が比較的少ないとみられる 15 地点(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島)の平均を表し、飯田と宮崎は、統計期間内での移転に伴う影響を補正している。

## 2.1.2 気温（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の関係

全国 82 地点における、年平均気温の長期変化傾向と都市化率との関係を図 2.1.2 に示す。平均気温、日最高気温、日最低気温とも、都市化率が大きいほど上昇率が大きい傾向があり、気温の上昇率と周辺の都市化率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、2.1.1 節で述べたとおりである。

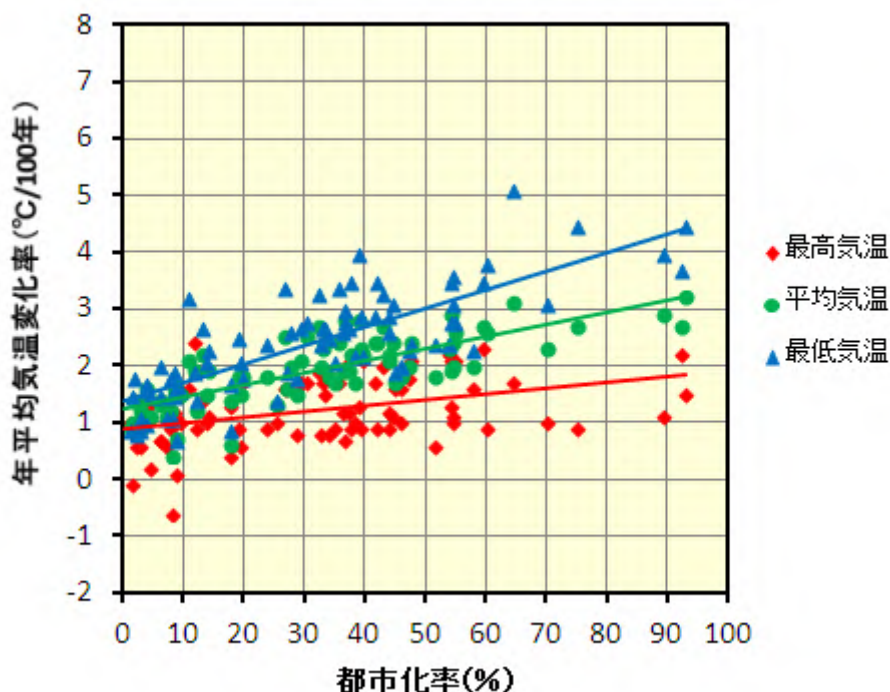


図 2.1.2 全国 82 地点における年平均の気温変化率と都市化率の相関図

移転の影響がある地点については、その影響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 2013 年まで。

### 2.1.3 気温の階級別日数（冬日日数、熱帯夜日数、真夏日日数、猛暑日日数）

各都市の冬日<sup>7</sup>、熱帯夜<sup>8</sup>、真夏日<sup>9</sup>、猛暑日<sup>10</sup>の年間日数の変化傾向を表 2.1.2、【資料 3】に示す。冬日の年間日数は、全ての都市で顕著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顕著な増加傾向がみられる。各都市における長期変化は、都市化の影響が少ないとみられる 13 地点平均<sup>11</sup>と比べて顕著に大きく、地球温暖化や自然変動に加えて都市化による昇温の影響が現れていると考えられる。

真夏日の年間日数は、13 地点平均では変化傾向がみられない一方、名古屋・東京・横浜・京都・福岡など大都市圏では増加傾向が現れている。猛暑日の年間日数は、発現頻度が少ない札幌や仙台を除いて増加傾向が現れており、名古屋や京都、福岡で明瞭である。

表 2.1.2 各都市及び都市化の影響が比較的少ないと考えられる 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 2013 年まで（猛暑日は 1961 年から 2013 年まで）。斜体字網掛けは信頼水準 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	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	0.0	0.1	0.0
仙台	-5.8	0.3	0.9	0.1
名古屋	-7.2	3.8	1.1	2.5
東京	-8.2	3.9	1.3	0.8
横浜	-6.5	3.0	2.2	0.5
京都	-7.6	3.6	1.2	2.3
福岡	-5.2	5.0	1.3	1.8
13 地点 <sup>11</sup>	-2.1	1.7	0.5	0.4

表中の 13 地点は、都市化の影響が比較的少ないとみられる 15 地点から統計が切断された飯田と宮崎を除く地点（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。

<sup>7</sup> 日最低気温が 0 未満の日。

<sup>8</sup> 熱帯夜とは、夜間の最低気温が 25 以上のことをいいますが、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います。

<sup>9</sup> 日最高気温が 30 以上の日。

<sup>10</sup> 日最高気温が 35 以上の日。

<sup>11</sup> 注 5 の 15 地点から統計が切断された飯田と宮崎を除く 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）を示す。

## 2.2 湿度

各都市では、都市化による相対湿度の長期的な減少傾向がみられる。  
 相対湿度の減少は秋季、冬季に最大となる都市や、梅雨時期に最小となる都市が多い。  
 各都市では、霧日数は著しく減少している。

### 2.2.1 平均相対湿度の長期変化

都市化と乾燥化の関係を調べるため、各都市の平均相対湿度の長期変化傾向を表 2.2.1、【資料 4】に示す。相対湿度の 100 年あたりの減少率は、都市化の影響の比較的少ないとみられる 13 地点平均で年間で 6.7% に対し、東京は 17.7% など、都市化率の高い都市で大きい。季節別では、減少率が大きいのは秋季や冬季である（月別では、東京や横浜では 12 月、京都や福岡では 4 月、札幌や名古屋では 10 月など地域によって季節に違いがみられる【資料 5】）。一方、減少率が小さいのは夏季、特に梅雨時期（月別では、札幌を除く都市で 6 月の減少率が最も小さい）である。これは、梅雨時期で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。

都市域における相対湿度の減少の要因は、気温の上昇に伴う飽和水蒸気圧（大気中に含みうる最大の水蒸気量）の増加と水蒸気の減少があげられる。飽和水蒸気圧の増加によって、水蒸気量が変わらなければ、相対湿度が下がる。また、水蒸気の減少については、都市域では植物が少なくなり、蒸発散が弱くなるため（藤部，2012a, 2012b）と考えられる。

表 2.2.1 各都市及び都市化の影響が比較的少ないとみられる 13 地点平均の都市化率と平均相対湿度の長期変化傾向

年、季節別の相対湿度の 100 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2013 年まで。全ての値で信頼水準 90% 以上で統計的に有意な変化傾向を示した。また、都市ごとに、最も変化傾向の大きい数値は赤字、最も変化傾向の小さい数値は青字で示している。

地点	都市化率 (%)	平均相対湿度変化率 (%/100 年)				
		年	春	夏	秋	冬
札幌	75.1	-12.8	-12.2	-11.8	<b>-15.8</b>	<b>-11.2</b>
仙台	69.9	-9.0	-8.9	<b>-6.9</b>	-9.6	<b>-11.0</b>
名古屋	89.3	-18.3	-18.7	<b>-16.4</b>	<b>-20.0</b>	-17.5
東京	92.9	-17.7	-15.9	<b>-13.4</b>	-18.8	<b>-22.7</b>
横浜	59.4	-14.1	-13.1	<b>-9.9</b>	-14.9	<b>-18.4</b>
京都	60.2	-16.2	-17.2	<b>-14.7</b>	<b>-16.8</b>	-15.8
福岡	64.3	-16.7	-17.9	<b>-13.4</b>	<b>-18.9</b>	-16.2
13 地点	18.5	-6.7	<b>-7.3</b>	<b>-6.2</b>	-6.9	-6.4

表中の 13 地点は、都市化の影響が比較的少ないとみられる 15 地点から統計が切断された飯田と宮崎を除く 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。

## 2.2.2 平均相対湿度の長期変化傾向と都市化率の関係

全国 53 地点において、気温の長期変化傾向と都市化率との関係を図 2.2.1 に示す。平均相対湿度は、都市化率が大きくなるほど減少率が大きい傾向があり、都市化の影響が明瞭に現れている。

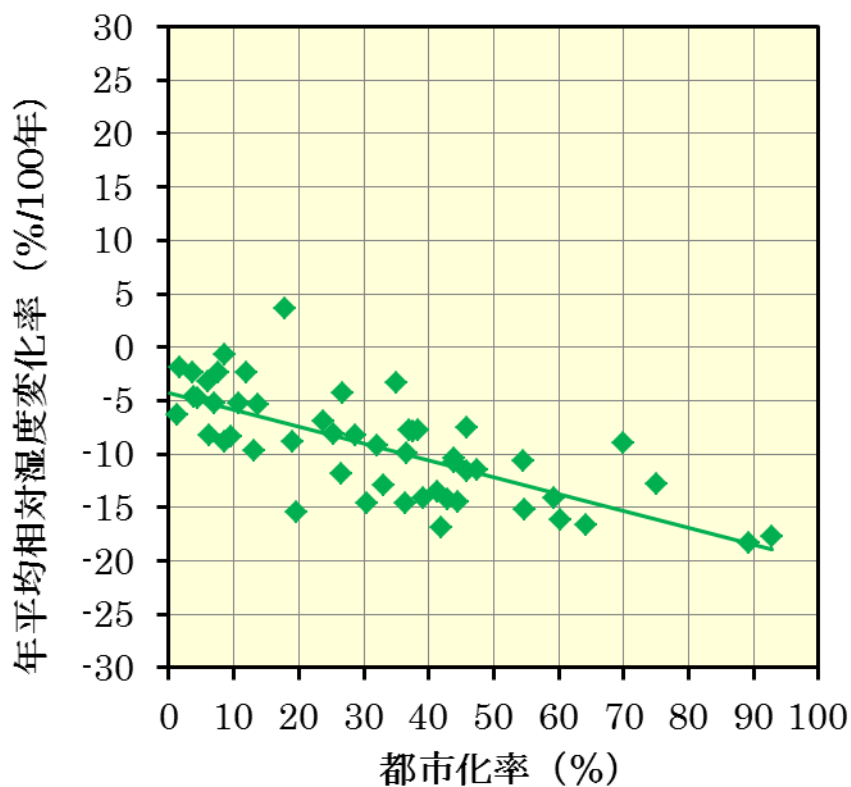


図 2.2.1 全国 53 地点における年平均相対湿度の変化率と都市化率の相関図

移転の影響がある地点については、その影響が補正できないため除外した。統計期間は 1931 年から 2013 年まで。

### 2.2.3 霧日数

各都市における 1931～1940 年平均と 2004～2013 年平均の年間霧日数<sup>12</sup>の比較を表 2.2.2 に示す。1931～1940 年では年間数十日観測されていた霧が、近年では仙台を除いて数日程度と著しく減少している。このことは、長期的な変化傾向を示す図（【資料 6】）でも明瞭に現れている（仙台では霧日数の減少が明瞭ではないことから、霧日数の変化については、地域特有の気候特性もあわせて考える必要がある）。

なお、霧日数の減少傾向については、藤部（2012a）では、都市化だけではなく広域的な気候変動が影響している可能性についても指摘している。

表 2.2.2 各都市における各期間の霧日数の比較

地点	1931～1940 年	2004～2013 年
	平均日数	平均日数
札幌	15.1	1.2
仙台	23.3	20.7
新潟	10.4	4.1
名古屋	32.3	2.8
東京	48.5	0.7
横浜	42.0	2.2
京都	80.6	0.0
広島	15.5	1.8
大阪	35.0	0.8
福岡	7.1	1.2
鹿児島	4.5	0.6

<sup>12</sup> 大気中の微小な浮遊水滴や粒子等により最小視程（水平方向への見通せる距離の最小値）が 1km 未満の状態が観測された日。

## 2.3 降水

各都市では、大雨や短時間強雨の長期的な変化傾向は明瞭にみられない。

### 2.3.1 降水量、最大1時間降水量の長期変化

各都市の降水量と最大1時間降水量の長期変化傾向を表2.3.1に示す。降水量と最大1時間降水量の長期変化傾向は、一部の都市では明瞭に現れているものの、東京や大阪、名古屋といった大都市圏などではみられない。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。

表 2.3.1 各都市の降水量と最大1時間降水量の長期変化傾向

年及び季節別の降水量と最大1時間降水量の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2013年まで(冬は1932年から2014年まで)、最大1時間降水量は1965年から2013年まで(冬は1966年から2014年まで)。斜体字網掛けは信頼水準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	春	夏	秋	冬	年	春	夏	秋	冬
札幌	-0.2	-0.1	-4.8	-1.6	6.2	0.7	0.1	1.0	0.7	-0.2
仙台	9.0	4.0	6.1	0.2	-1.2	0.4	0.7	0.9	0.7	0.9
新潟	12.3	-0.2	14.2	7.7	-10.9	3.6	0.7	3.5	1.0	0.5
名古屋	4.4	3.5	-0.5	0.7	1.6	1.0	0.3	1.3	0.9	1.0
東京	2.7	5.6	-1.1	-1.4	0.6	4.0	1.6	2.3	3.0	0.6
横浜	10.0	9.1	0.7	-0.8	1.7	1.7	1.1	1.2	1.8	0.9
京都	-7.8	-0.2	-9.0	-0.9	2.5	-0.4	0.8	-0.3	-0.2	0.5
広島	-6.4	4.9	0.1	-10.8	-0.3	0.7	0.7	0.5	1.2	0.0
大阪	-3.2	2.0	-6.2	-1.5	3.3	0.7	0.4	2.0	-0.8	0.5
福岡	-4.6	1.2	12.9	-14.9	-3.1	4.8	0.7	4.6	0.5	0.2
鹿児島	-1.2	-8.3	4.4	0.9	2.8	0.8	0.3	-1.1	1.4	0.5

### 2.3.2 強雨の年間日数

各都市の強雨（ここでは、日降水量 50mm 以上及び 100mm 以上の降水とする）の年間日数の変化傾向を表 2.3.2 に示す。ここで、東京や大阪、名古屋といった多くの地点において、明瞭な変化傾向がみられないことから、強雨となる日数の変化傾向と都市化の影響の明確な関連性を見出すことは難しい。今後更なるデータの蓄積や調査、研究が必要である。

表 2.3.2 各都市における強雨の年間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 2013 年まで。斜体字網掛けは信頼水準 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	強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	0.3	0.2
仙台	2.4	0.3
新潟	2.3	0.5
名古屋	0.9	0.2
東京	1.4	-0.3
横浜	1.6	0.2
京都	-0.3	0.0
広島	0.7	0.3
大阪	0.1	-0.4
福岡	1.2	0.5
鹿児島	0.4	1.2



### 3. 都市気候モデルで再現されたヒートアイランド現象

#### 3.1 都市気候モデル

##### 3.1.1 概要

都市気候モデルの概要を図 3.1.1 に示す。都市気候モデルとは、日々の天気予報や防災気象情報の作成に用いているメソモデル（気象庁，2003,2008）に、図 1.2.1 で示すように、大気の状態とともに地形、都市域と草地や森林など土地の利用形態、人工排熱などを入力し、地表面や建築物との熱のやり取り（Aoyagi, T. and N. Seino (2011)）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。

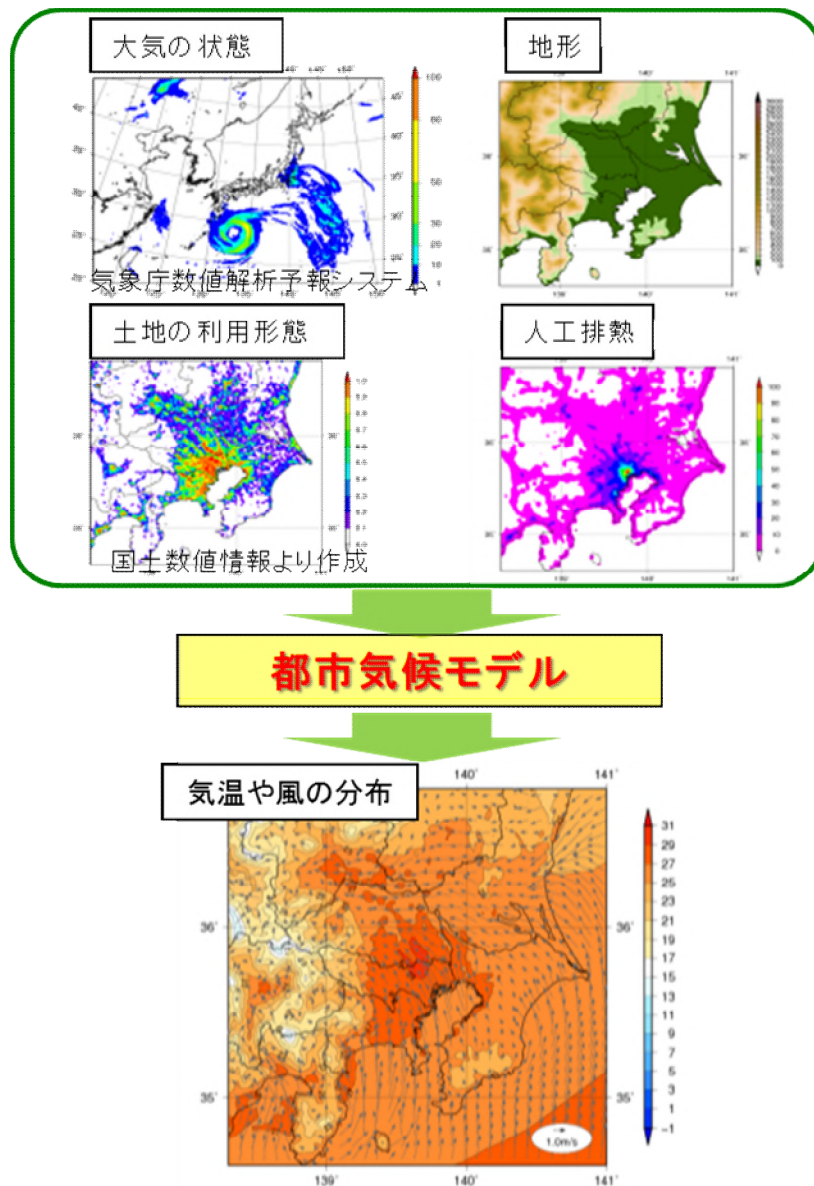


図 3.1.1 都市気候モデルの概要

### 3.1.2 地形データ

都市気候モデルで用いる地形データを図 3.1.2 に示す。

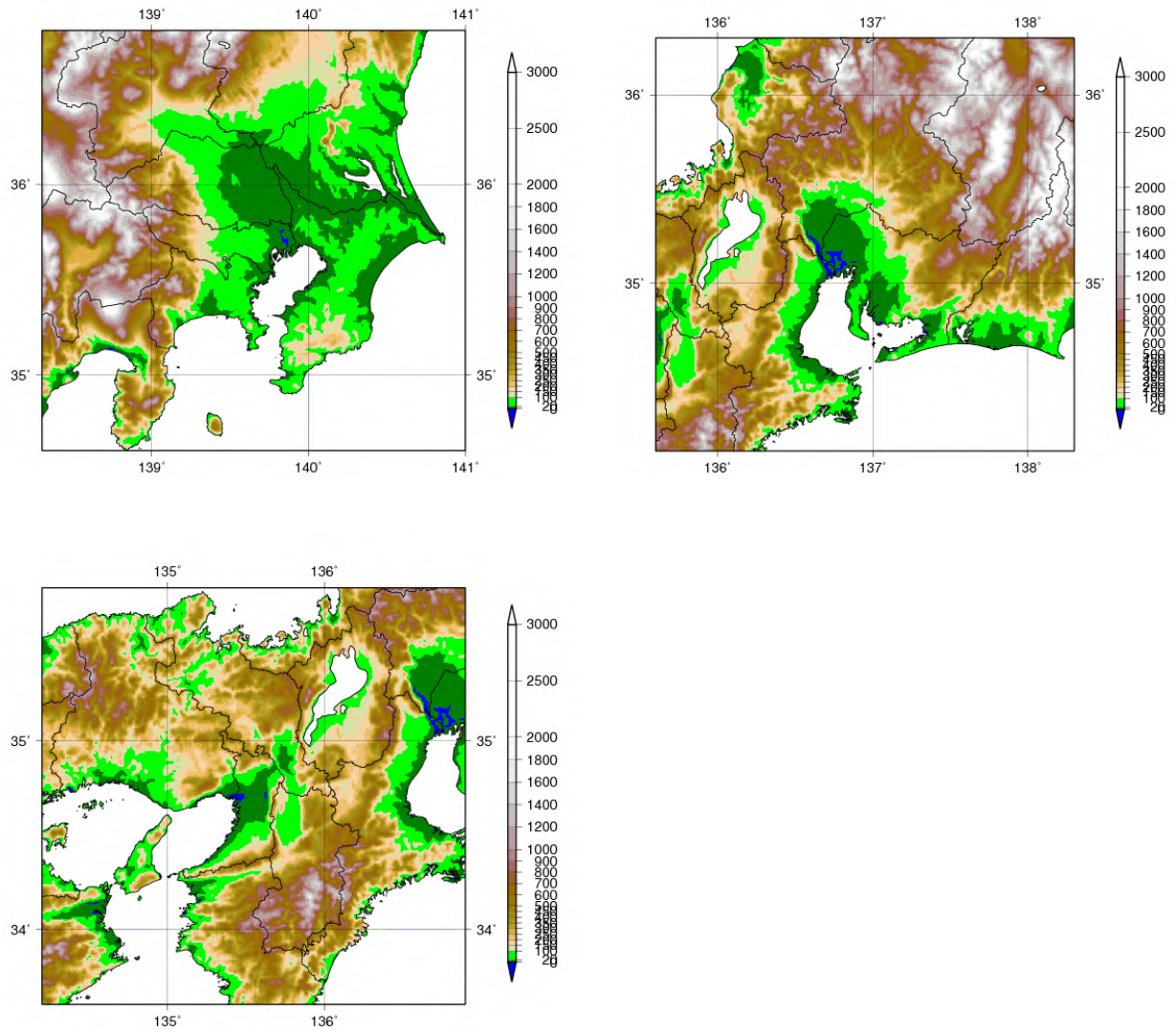


図 3.1.2 関東地方（左上図）、近畿地方（右上図）、東海地方（左下図）における地形図

### 3.1.3 人工排熱量データ

人工排熱量分布の評価にあたっては、まず関東地方において、妹尾ほか(2004)による人工排熱量データと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人工排熱量の推定式を求める。そして、この推定式を用いて人口データ等から全国の人工排熱量分布を評価する(図 3.1.3)。本報告のシミュレーションにおいては、すべての地域においてこれらの統計的に評価された人工排熱量分布を与えている。詳細は、萱場ほか(2010)を参考のこと。

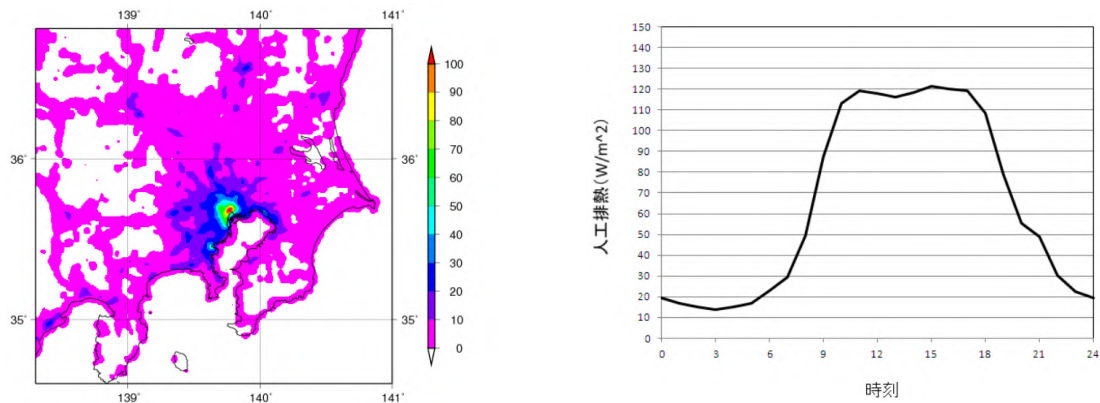


図 3.1.3 シミュレーションで用いる 8 月 15 時の人工排熱量分布 ( $W/m^2$ ) (左図) と東京 (大手町付近) の 8 月の人工排熱量の 24 時間時系列図 ( $W/m^2$ ) (右図)

### 3.1.4 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・操車場などで、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）以上を都市域と設定し（図3.1.4）都市域における熱交換を計算する。

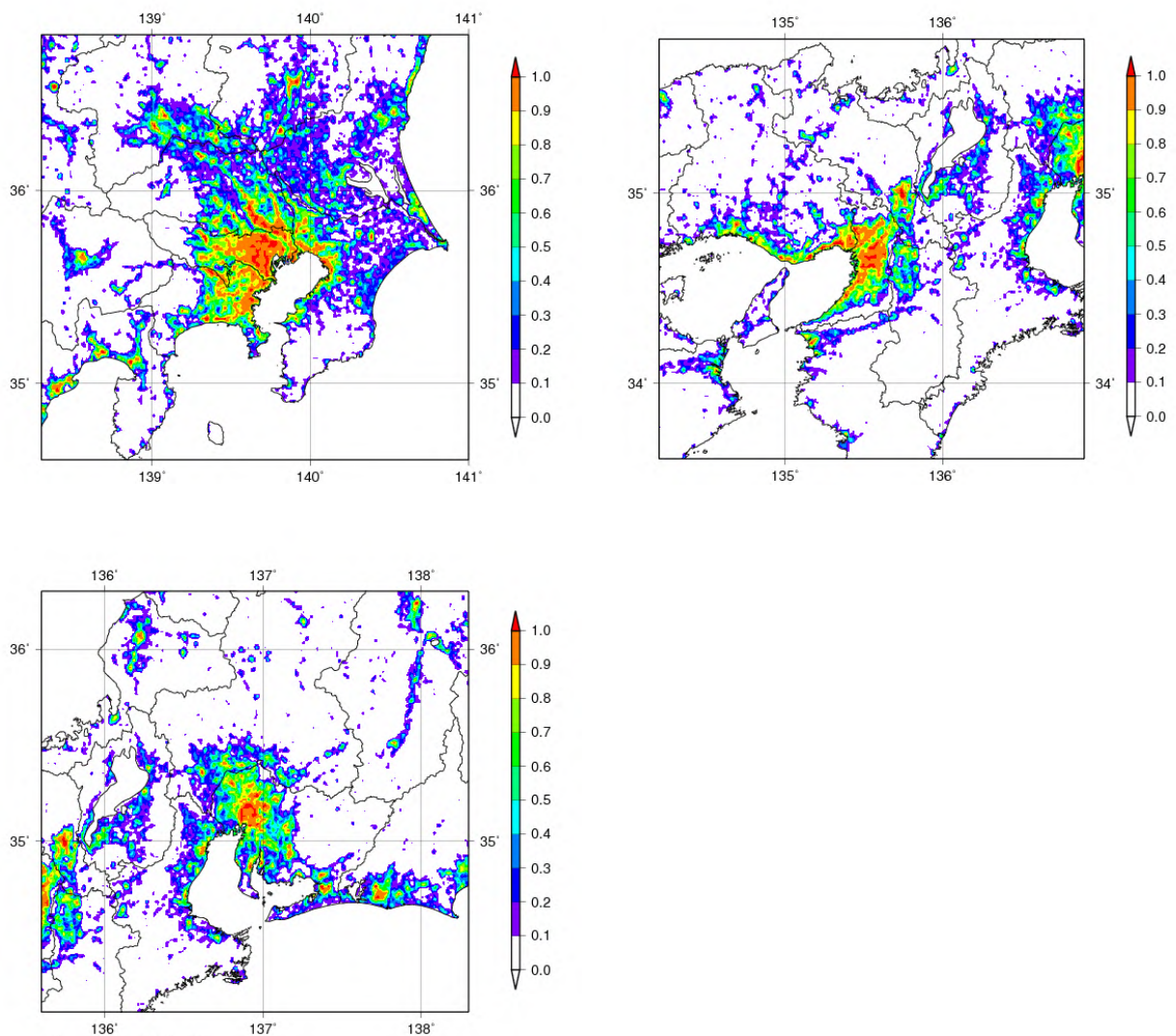


図 3.1.4 関東地方（左上図）、近畿地方（右上図）、東海地方（左下図）における都市気候モデルでの各格子の都市の割合

### 3.1.5 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再現実験を「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仮想的に草地に置き換え、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、その差を都市化の影響とみなす（図3.1.5）。

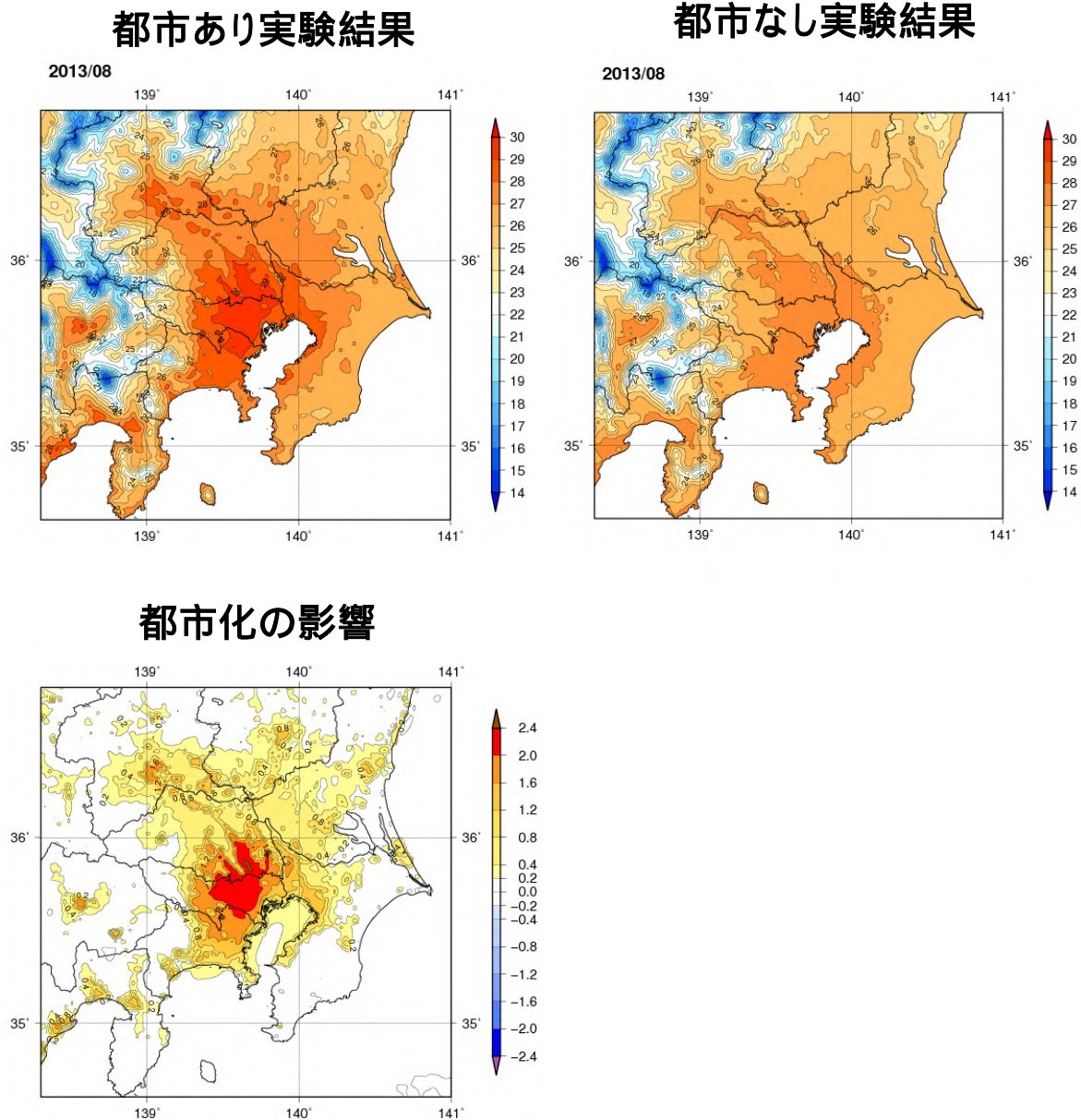


図3.1.5 関東地方を対象にした2013年8月の月平均気温の都市あり実験結果（ ）(左上図)、都市なし実験結果（ ）(右上図)、都市化の影響：「都市あり実験」と「都市なし実験」の差（ ）(左下図)

### 3.2 これまでのヒートアイランド監視報告から都市気候モデルを用いた解析結果

都市気候モデルを用いた解析結果で、これまでの「ヒートアイランド監視報告」に掲載した内容を示す。

関東や近畿、東海、九州、北海道地方の各都市域では、都市化によって、気温や風向・風速、相対湿度に影響が現れ（図 3.2.1）、その影響の大きさや広がり、都市域の規模や地形などにも依存することがわかった。

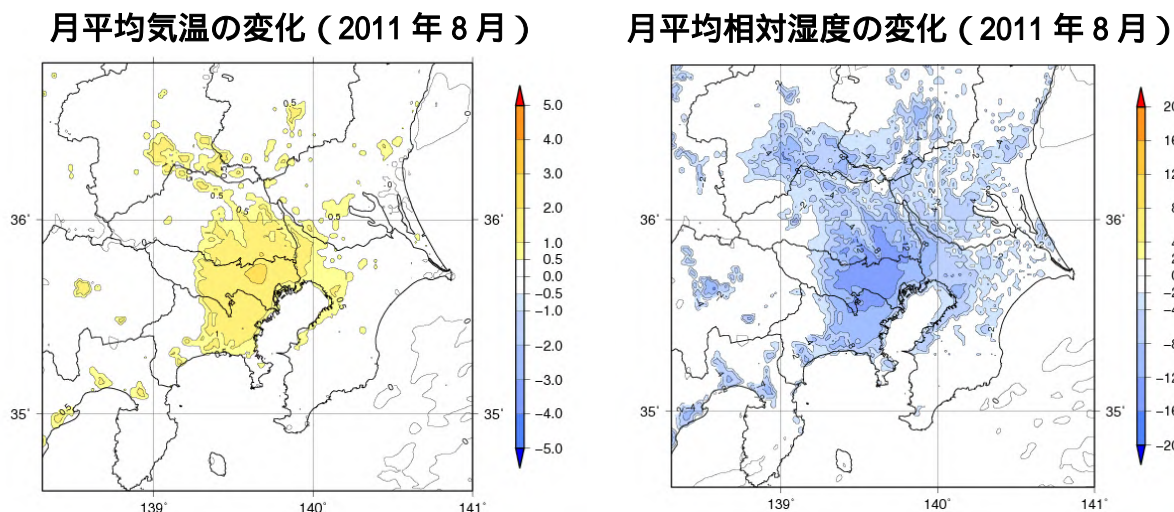


図 3.2.1 2011 年 8 月における都市化の影響による月平均気温の変化 ( ) (左図) と月平均相対湿度の変化 ( %) (右図) (「ヒートアイランド監視報告(平成 23 年)」)

都市化の影響を、土地利用の変化、建物の存在による放射環境の変化、人工排熱の増加の 3 つの要因にわけてシミュレーションした結果、それぞれの寄与は時間帯によって異なることがわかった。

月平均気温を時間ごとに調べた結果、都市化の影響は、日中に比べて夜間の方が強く現れることがわかった。

月平均気温や相対湿度の変化量は、曇雨天日より晴天日の方が大きく、晴れて風の弱い日は、都市化の影響がより強く現れることがわかった。

過去の数年（平成 21～24 年の）の 8 月について、関東地方・近畿地方・東海地方において、都市化の影響を比較した結果、都市の規模や広がり、天候の状態によって違いがみられ、年によって異なることがわかった。

都市化の影響は時間帯によっては高度 1000m 付近にまで及ぶことがわかった。また、高度によって昇温域が異なるとともに、高層におけるクロスオーバー現象<sup>13</sup>による温位の低下が現れることを確かめた(図 3.2.2)。

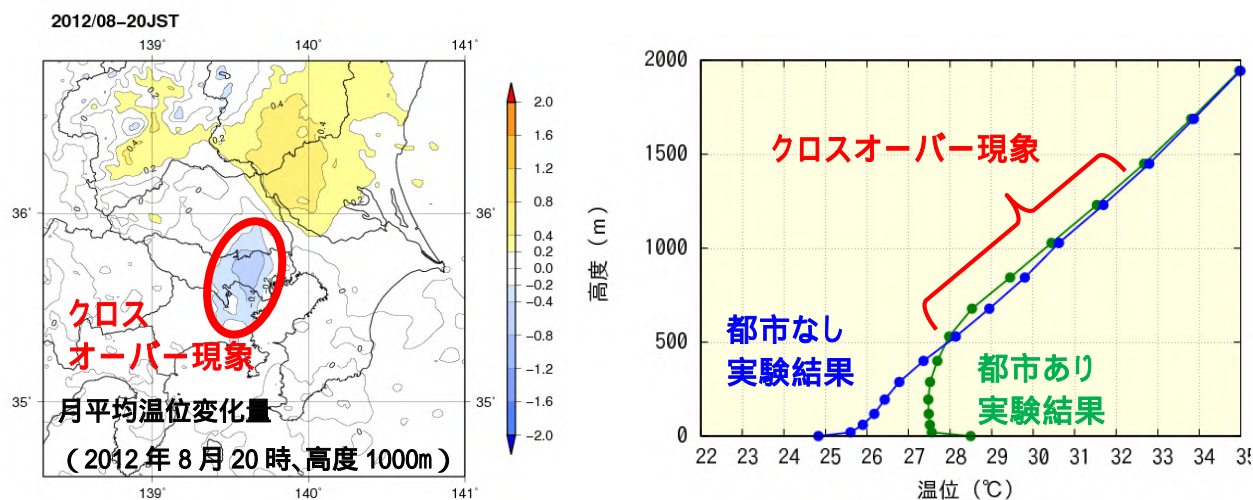


図 3.2.2 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2012 年 8 月 20 時における高度 1000m の都市化の影響による温位の変化( )の分布(左図)と平均的な温位の鉛直プロファイル(右図)

緑線は「都市あり実験結果」、青線は「都市なし実験結果」を示している。(「ヒートアイランド監視報告(平成 24 年)」)

<sup>13</sup> 都市上空の気温(温位)が郊外より低くなる現象。都市の熱で発生した上昇気流により、低い温位の空気が上空に持ち上げられることによって起こる。

### 3.3 平成 25 年 8 月のヒートアイランド現象

2013 年 8 月の都市化の影響は、2009 年以降の 8 月の中で、最大もしくは最大クラスだった。太平洋高気圧に覆われて高温傾向となる夏ほど、都市化の影響によって、さらに高温となるリスクが高まる。

#### 3.3.1 月平均気温と都市化の影響

2013 年 8 月の関東、近畿、東海地方は、広く太平洋高気圧に覆われ、日照時間が平年より多く、風の弱い日が多かった（1.3 節）ことから、都市化の影響が明瞭に現れた。図 3.3.1 を見ると、関東地方では都心部を中心に神奈川県、茨城県、群馬県にも高温域が広がっている。近畿地方（図 3.3.2）では大阪平野を中心に沿岸部や京都の周辺、東海地方（図 3.3.3）では濃尾平野で気温が周辺に比べて高い。これら気温の高かった地域では、シミュレーションの結果、都市化の影響が強く現れていることが示されている。

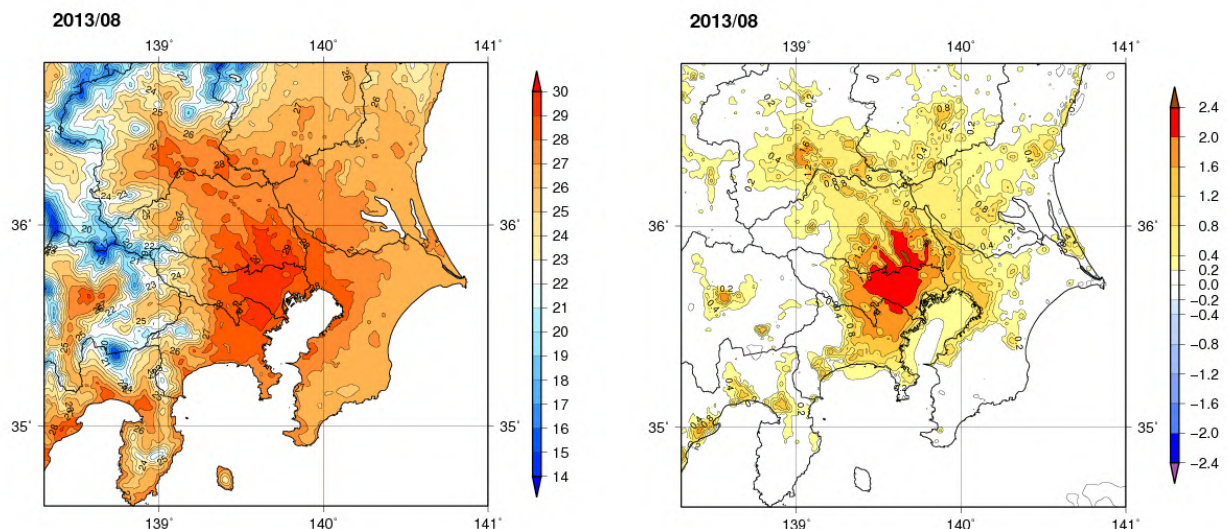


図 3.3.1 関東地方を対象とした 2013 年 8 月の月平均気温の分布（左図）と都市化の影響による月平均気温の変化（右図）



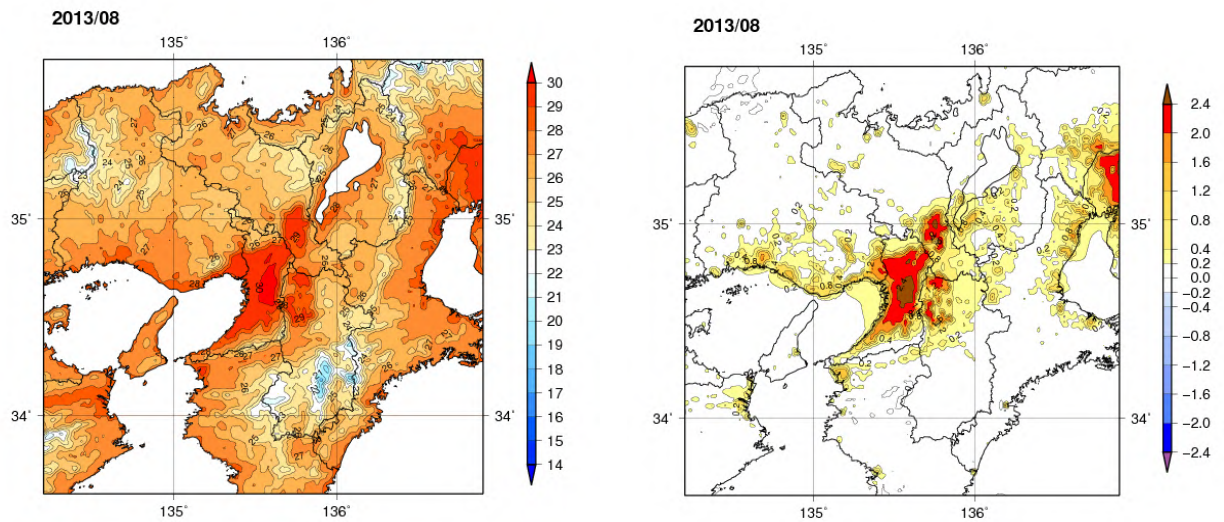


図 3.3.2 近畿地方を対象とした 2013 年 8 月の月平均気温の分布 ( ) (左図) と都市化の影響による月平均気温の変化 ( ) (右図)

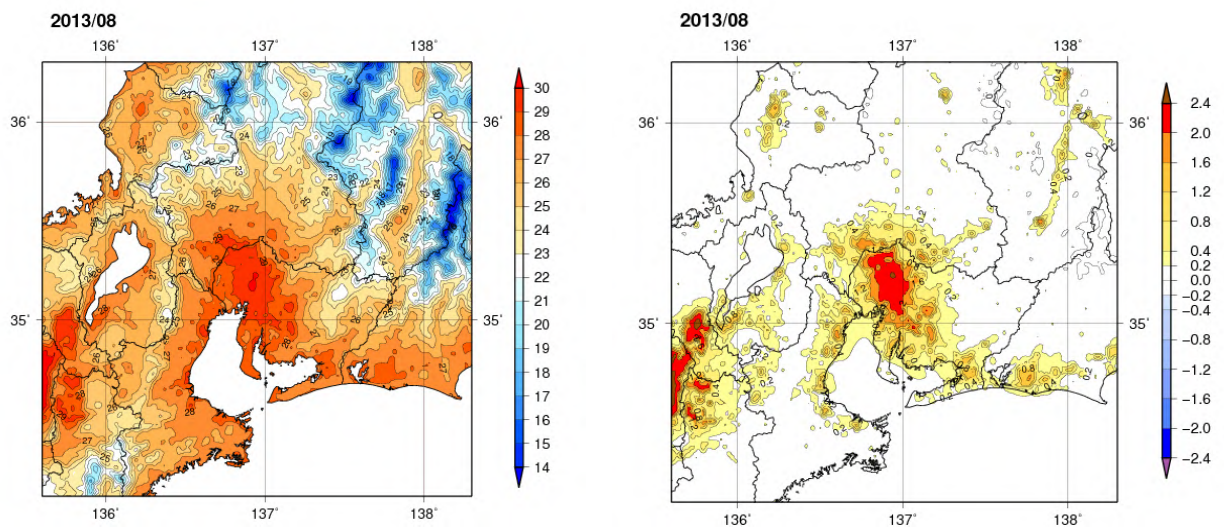


図 3.3.3 東海地方を対象とした 2013 年 8 月の月平均気温の分布 ( ) (左図) と都市化の影響による月平均気温の変化 ( ) (右図)

### 3.3.2 最近5年の比較

日本の夏季の天候は太平洋高気圧などの大きな規模の気候に依存し、都市化の影響とその広がりに関係がある日照時間や風速、大気の安定度などの年々の違いも大きい。そこで、関東、近畿、東海の各地方について、2009年以降の各年の8月における都市化の影響を比較した(図3.3.4、図3.3.5、図3.3.6)。これによると、都市化の影響は年によって異なり、2013年は5年間の中でいずれの地方でも最大または最大クラスであったことがわかった。この要因として、2013年8月は、太平洋高気圧に覆われることにより都市の影響が現れやすい晴れて風の弱い日が多かったことが考えられる。よって、太平洋高気圧に覆われて高温傾向となる夏ほど、都市化の影響によって、さらに高温となるリスクが高まることが示唆される。

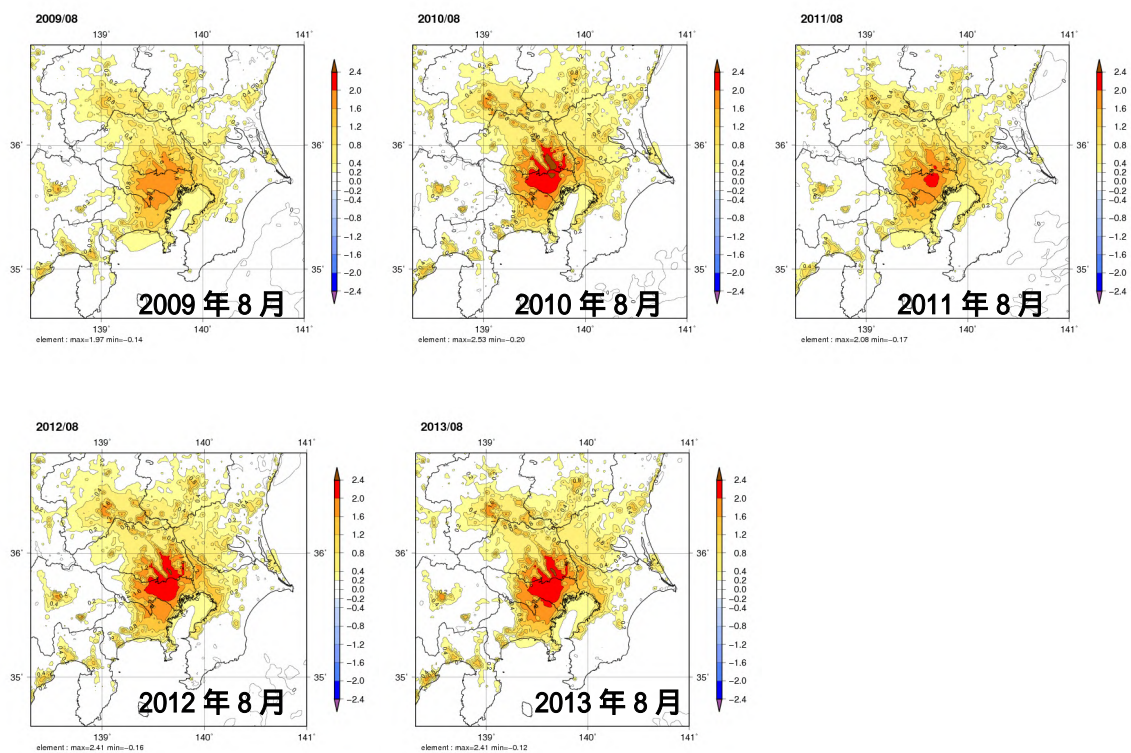


図 3.3.4 関東地方における 2009～2013 年 8 月の都市化の影響による月平均気温の変化 ( )

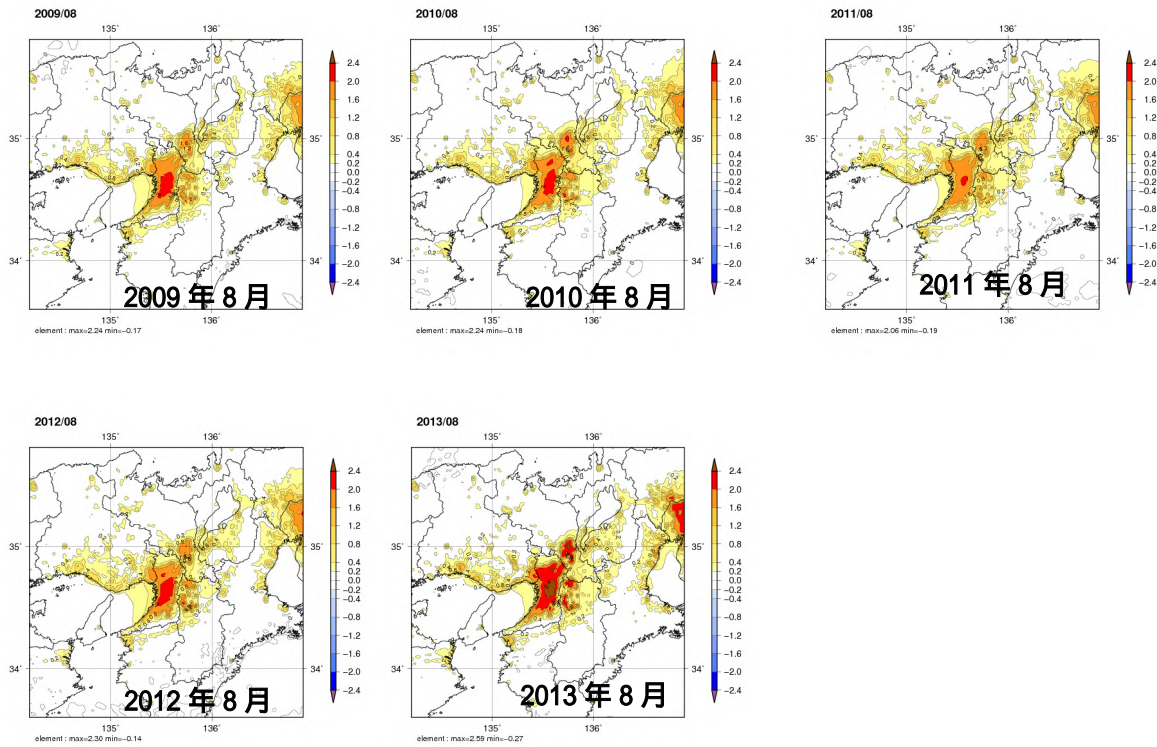


図 3.3.5 近畿地方における 2009～2013 年 8 月の都市化の影響による月平均気温の変化 ( )

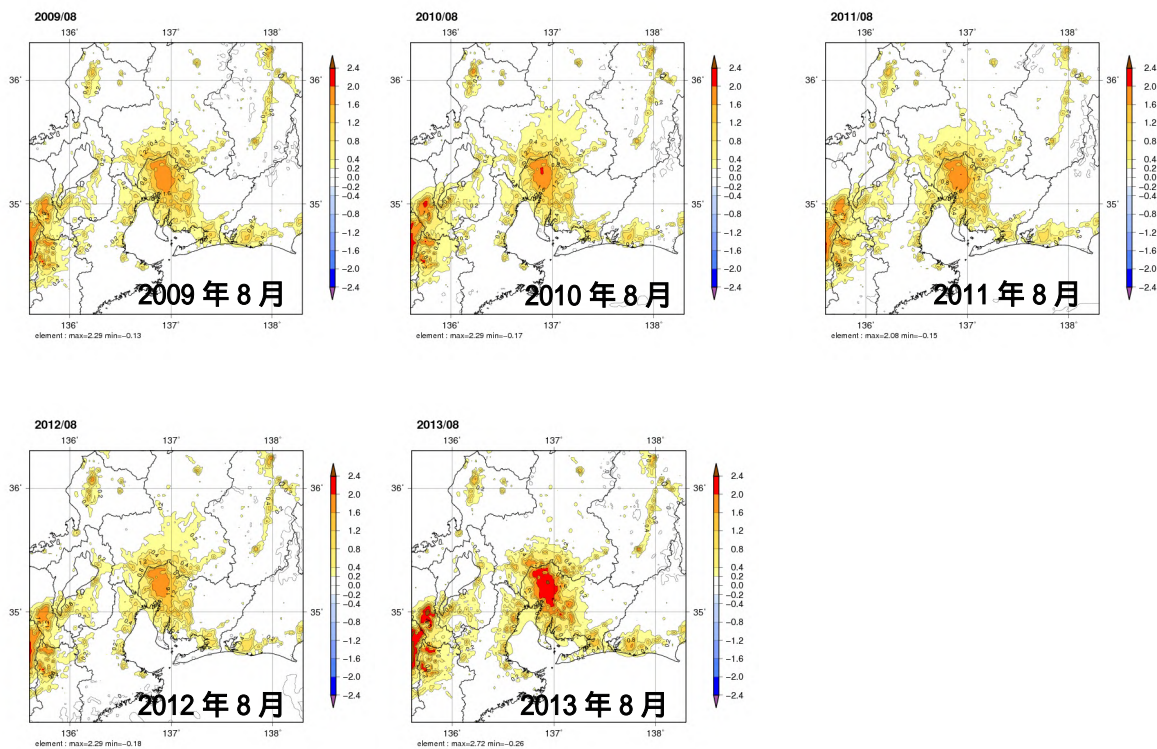


図 3.3.6 東海地方における 2009～2013 年 8 月の都市化の影響による月平均気温の変化 ( )

### 3.3.3 夜間と日中の都市化の影響の違い

都市化の影響を夜間と日中に分けて調べた。夜間(5時)に関しては、関東地方では東京の都心部、近畿地方では大阪平野の内陸部や京都の周辺、東海地方では濃尾平野で大きな昇温域が広がっている一方、日中(15時)に関しては都市化の影響は小さい(図3.3.7)。これは、都市化の影響が、日最高気温を観測する日中より日最低気温を観測する夜間で明瞭であることを示し、2.1.1節の結果と整合する。

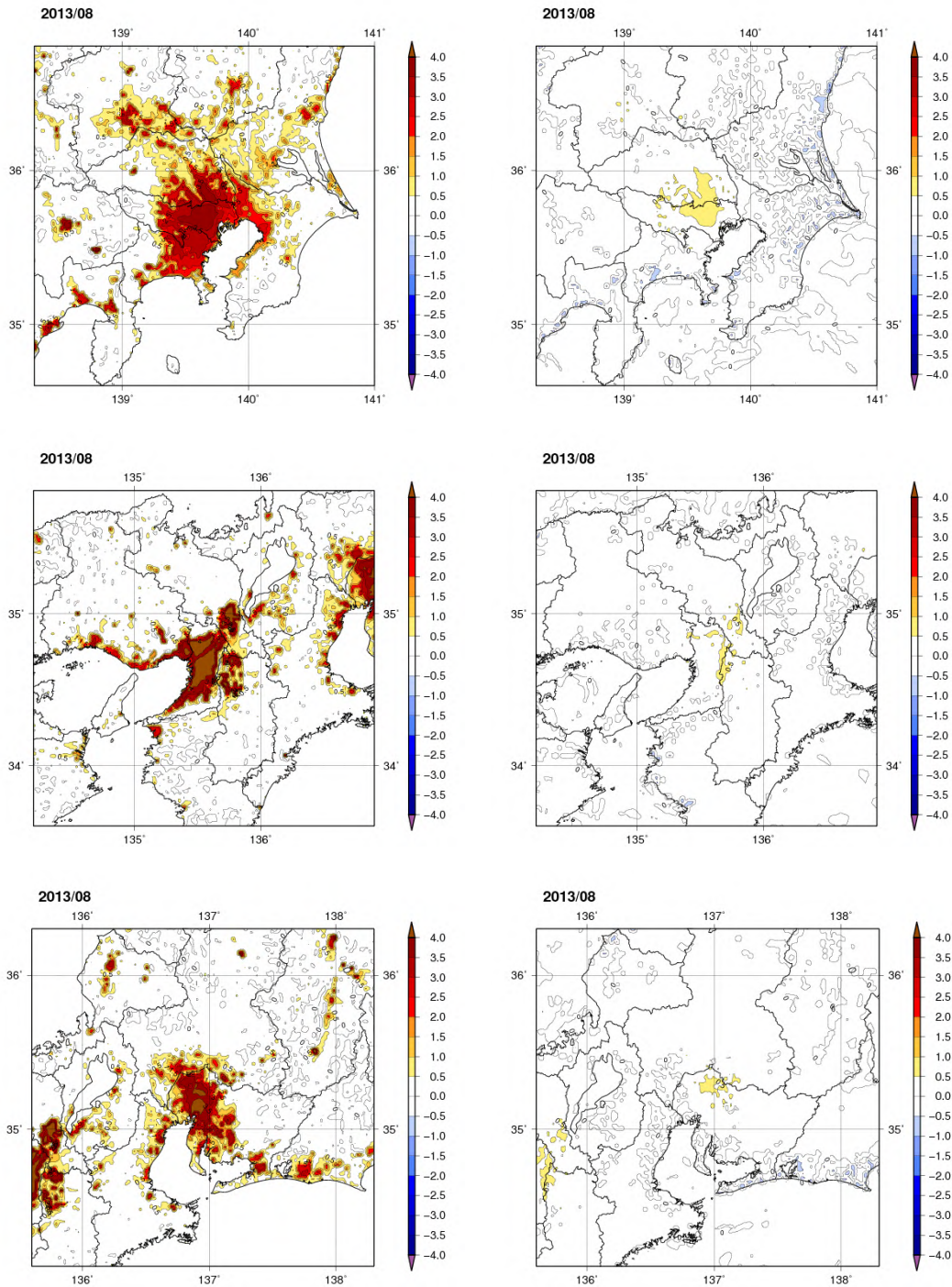


図 3.3.7 2013 年 8 月の 5 時(左図)と 15 時(右図)における都市化の影響による月平均気温の変化( )  
 関東地方(上段)、近畿地方(中段)、東海地方(下段)を示す。

### 3.3.4 30 以上となった合計時間

都市化によって夜間においても気温が下がりにくいため、高温となる時間が長くなることが考えられる。そこで、気温 30 以上となった時間を合計すると（図 3.3.8）、関東地方では 200 時間以上となる領域が都心部をはじめ広く現れている。一方、山梨県の甲府や勝沼などでは、40 を超える日最高気温を記録しても、夕方以降は急激に気温が下がるため高温時間の合計は短くなっている。このように、都市域は、夜間も気温が下がりにくいため高温となる時間が長いことが特徴である。

大阪や名古屋周辺では、気温 30 以上の高温時間が最大でそれぞれ 400 時間、360 時間を超えるなど、関東地方よりも顕著となっている。

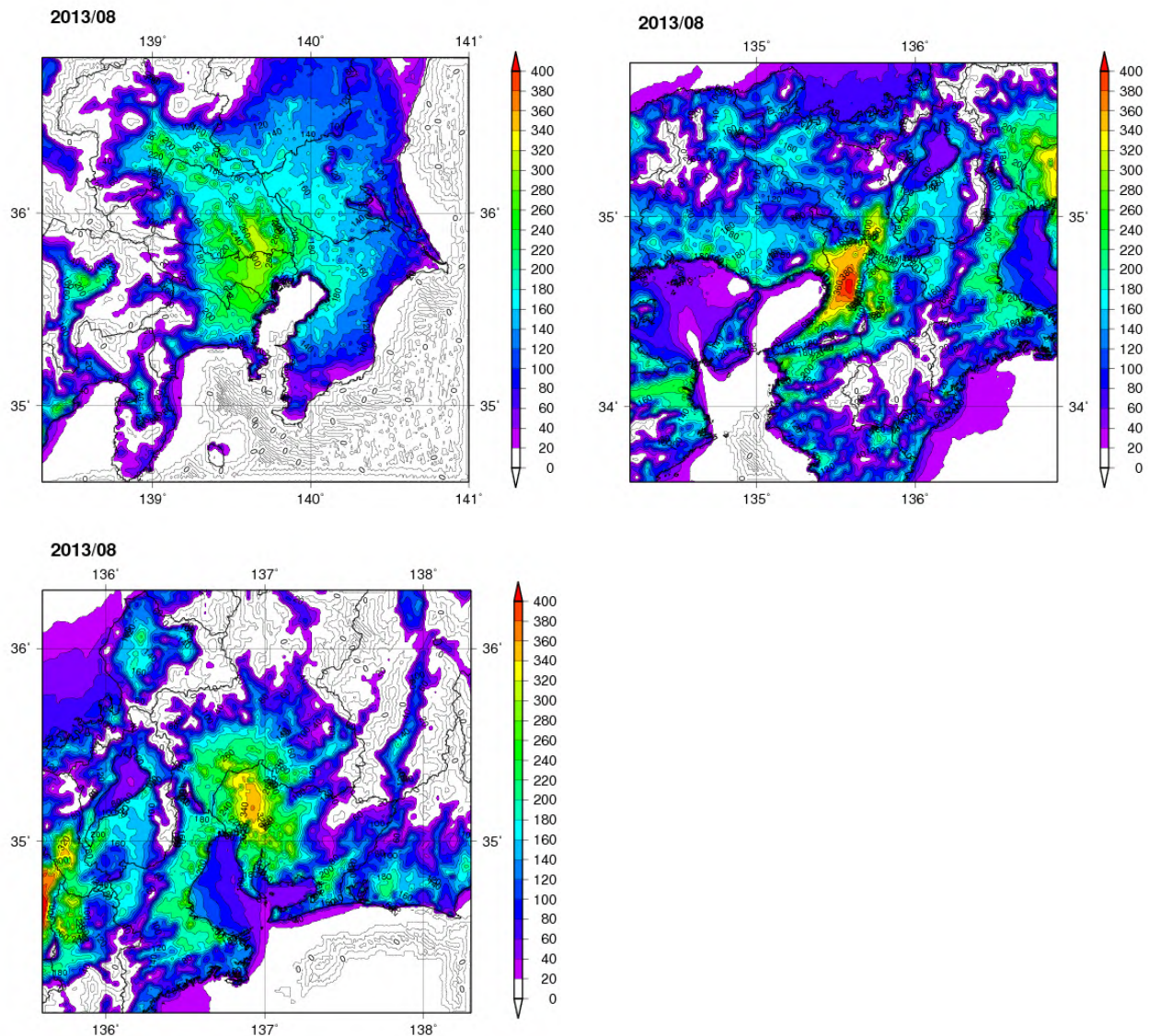


図 3.3.8 2013 年 8 月の気温 30 以上となった時間の合計（時間）

関東地方(左上図)、近畿地方(右上図)、東海地方(左下図)を示す。

### 3.3.5 日最低気温が最も高かった日について

2013年8月11日、東京では朝方の気温が顕著に高く、通常は午前5~6時頃に日最低気温を観測するのだが、この日は23時49分に日最低気温30.4が観測され(午前5時は31.4)1875年の統計開始以来最も高い日最低気温となった。同様に、大阪でも8月22日に1883年の統計開始以来2番目に高い29.2(5時34分)名古屋でも8月10日に1890年の統計開始以来5番目に高い28.4(5時45分)の日最低気温を観測するなど、大都市では高い最低気温の記録更新が相次いだ。そこで、それぞれの日の5時におけるシミュレーションの結果(図3.3.9、図3.3.10、図3.3.11)から都市化の影響を調べた。平均気温の分布(図3.3.9左)は、約30の領域が東京都を中心に神奈川県や埼玉県にまで広がっており、概ね実況(5時に観測された気温:東京は31.4、練馬は30.0)を再現している。また、この高温域は、都市化の影響が大きかった領域(図3.3.9右)で現れていることから、この日の高温には、都市化の影響も大きく寄与していたと考えられる。近畿地方における8月22日(5時に観測された気温:大阪は29.4、京都は27.4)と東海地方における8月10日(5時に観測された気温:名古屋は28.9、岐阜は28.4)についても、関東地方と同様、都市化の影響のため気温が下がりにくかったと考えられる。

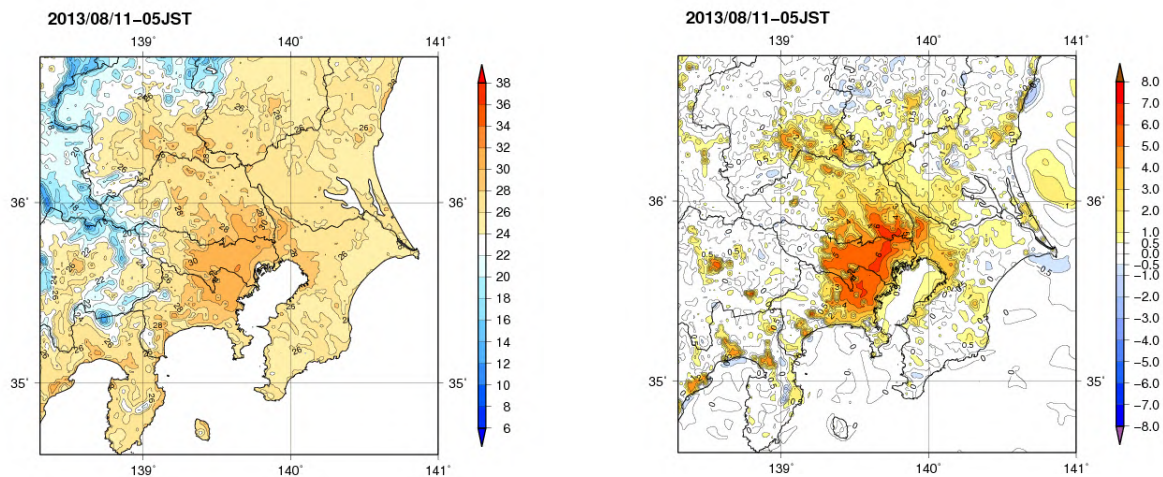


図3.3.9 関東地方を対象とした都市気候モデルの再現実験による2013年8月11日5時の気温(左図)と都市化の影響による気温の変化(右図)

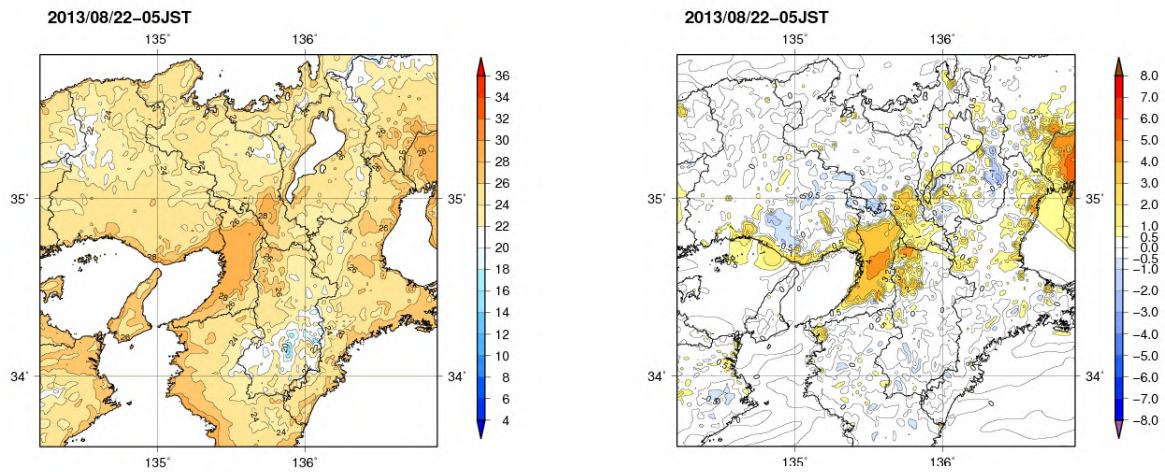


図 3.3.10 近畿地方を対象とした都市気候モデルの再現実験による 2013 年 8 月 22 日 5 時の気温(左図)と都市化の影響による気温の変化(右図)

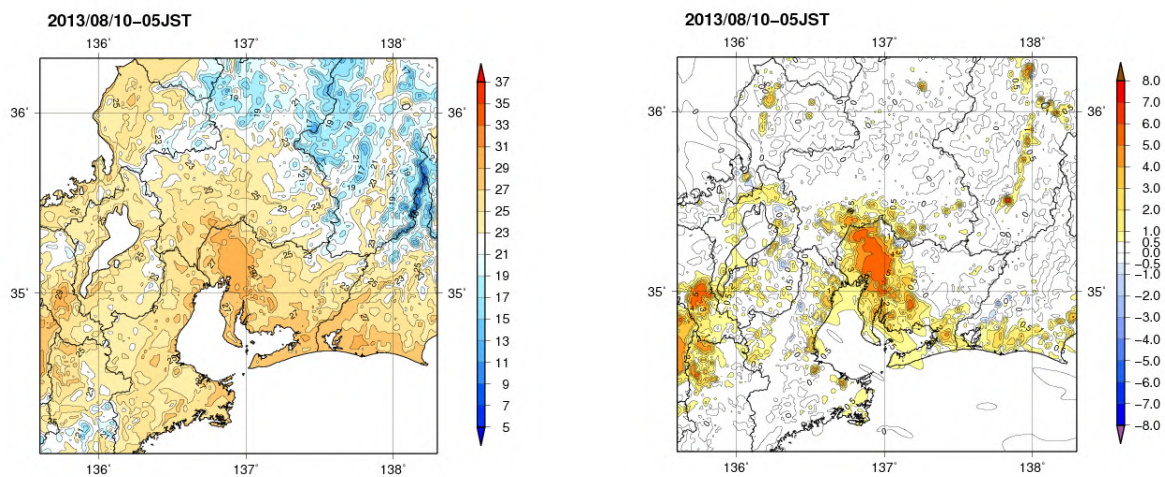


図 3.3.11 東海地方を対象とした都市気候モデルの再現実験による 2013 年 8 月 10 日 5 時の気温(左図)と都市化の影響による気温の変化(右図)

## 【コラム】関東地方における平成 25 年 8 月 12 日夜の降水について

ヒートアイランド現象と降水との関連性については、以前から活発な研究が行われている重要なテーマである。そこで、本コラムでは「ヒートアイランド監視報告」としては初めて降水現象に与える都市化の影響について解析した例を紹介したい。ただし、今回示す結果は、多くの降水事例の中でも再現性が比較的良好で、かつ、都市化の影響としての降水量が明瞭に表現された数少ない 1 事例に過ぎないことに注意していただきたい。

2013 年 8 月 12 日、関東地方では夕方から夜にかけて大気の状態が不安定となり広く雨が降るとともに、東京（大手町）では雷を観測した。また、練馬では最大 1 時間降水量 49.0mm（18 時 46 分までの 1 時間） 府中では最大 1 時間降水量 37.5mm（19 時 29 分までの 1 時間）を観測する強雨となった。都市気候モデルによる再現実験の結果、18 時から 21 時にかけての 3 時間積算降水量の分布について、都市なし実験結果（右図）でみられなかった東京の都心部から西側にかけての降水が、都市あり実験結果（左図）では再現された。このことは、都市化と降水との関連性を示唆する結果ではあるが、事例によって異なるなど不確実性もあることから、今後もこのような解析事例を蓄積することでさらなる研究に寄与していきたい。

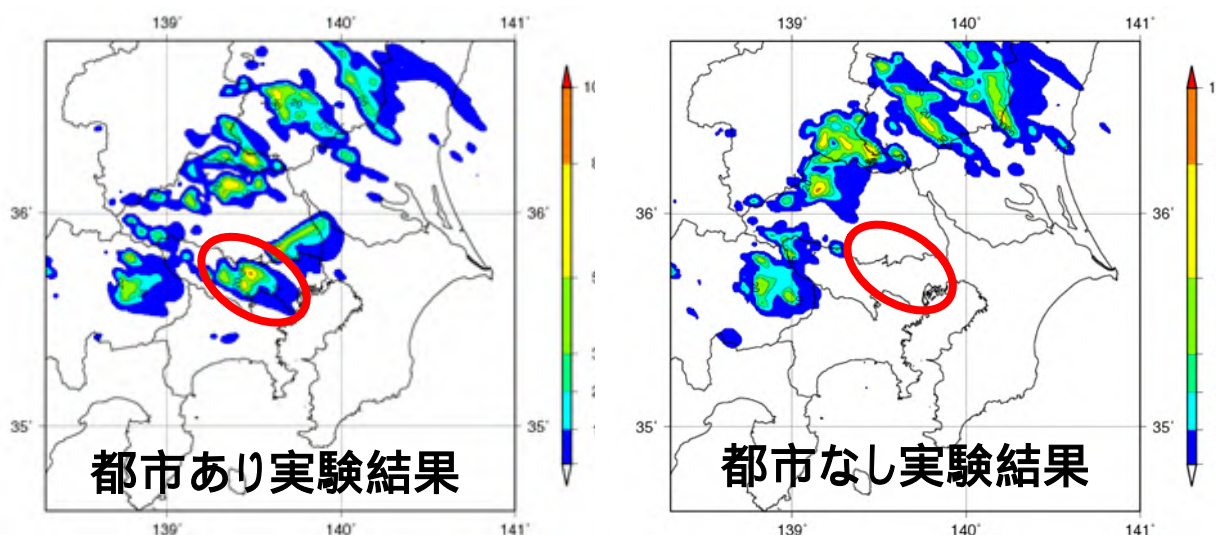


図 2013 年 8 月 12 日 18 時～21 時における都市気候モデルによる 3 時間積算降水量分布（mm）  
都市あり実験結果（左図） 都市なし実験結果（右図）



### 3.4 平成 25 年の月別のヒートアイランド現象

各月において、都市化による高温化、乾燥化（相対湿度の減少）がみられた。  
都市化の影響は、冬季（特に 12 月、1 月）で大きく、梅雨時期（6 月）で小さい。

#### 3.4.1 平均気温

2013 年の各月を対象とした都市気候モデルによるシミュレーションの結果（【資料 9】）、都市化の影響は、どの地方でも冬季の 12 月や 1 月で最も大きく、特に大きな領域が広がっている。一方、最も小さかったのは曇りや雨の日が多い梅雨時期の 6 月だった（図 3.4.1）。都市化の影響は年々の気象条件によっても変化するため、常に一定ではないものの、これらの結果は観測値から得られた傾向と概ね整合している（参照【資料 2】）。

また、関東地方では、都市化の影響が最も大きい領域が、5～8 月は東京の北西周辺であるのに対して、11～1 月では東京湾岸付近となっている（図 3.4.1 左上、左下）。これは、関東地方の気候特性として、暖候期は南風、寒候期は北風が卓越する日が多いため、都市域の風下となる地域で影響が大きくなるためと考えられる。

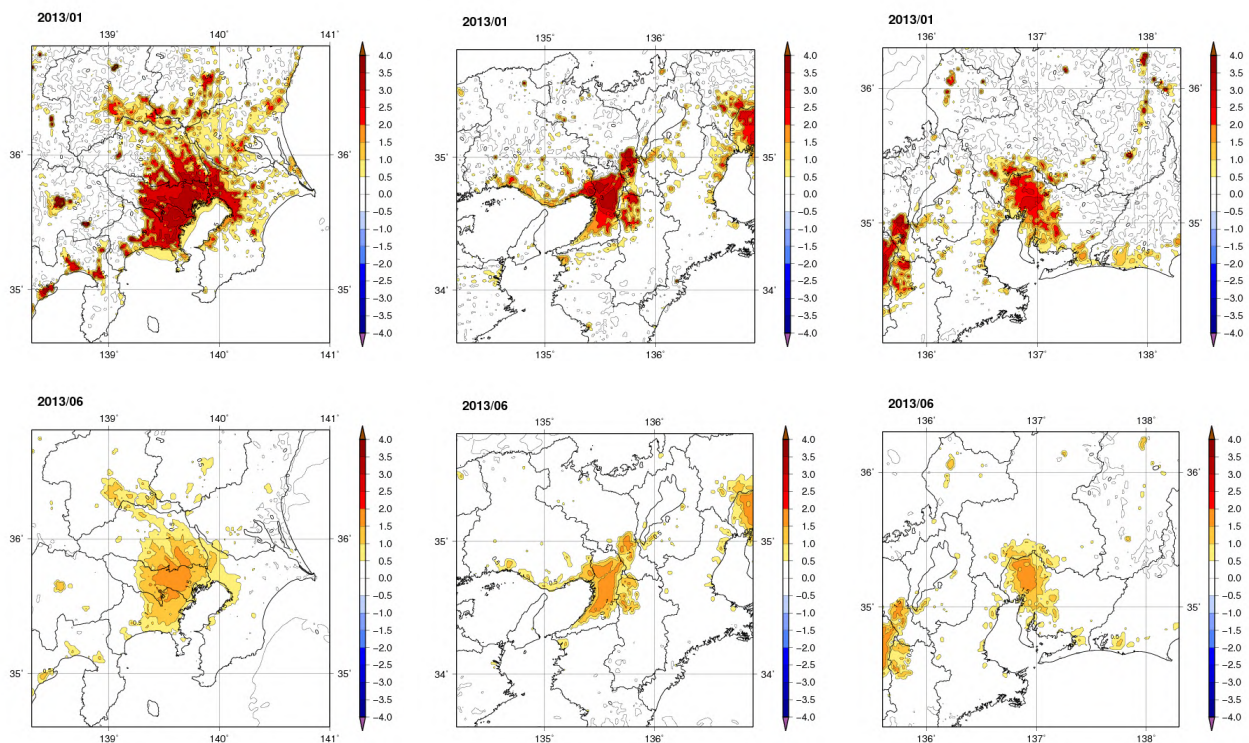


図 3.4.1 都市化の影響による月平均気温の変化（ ）

2013 年 1 月(上段)と 6 月(下段)。関東地方(左図)、近畿地方(中図)、東海地方(右図)。

### 3.4.2 相対湿度

2013年の各月を対象とした都市気候モデルによるシミュレーションの結果(図3.4.2、【資料10】)どの地方においても、都市化の影響による平均相対湿度の減少量は冬季の12月や1月で最も大きく、特に大きな領域が広がっている。一方、最も小さかったのは、曇りや雨の日が多い梅雨時期の6月だった。これらの結果は、3.4.1節で示した平均気温の傾向と一致している。

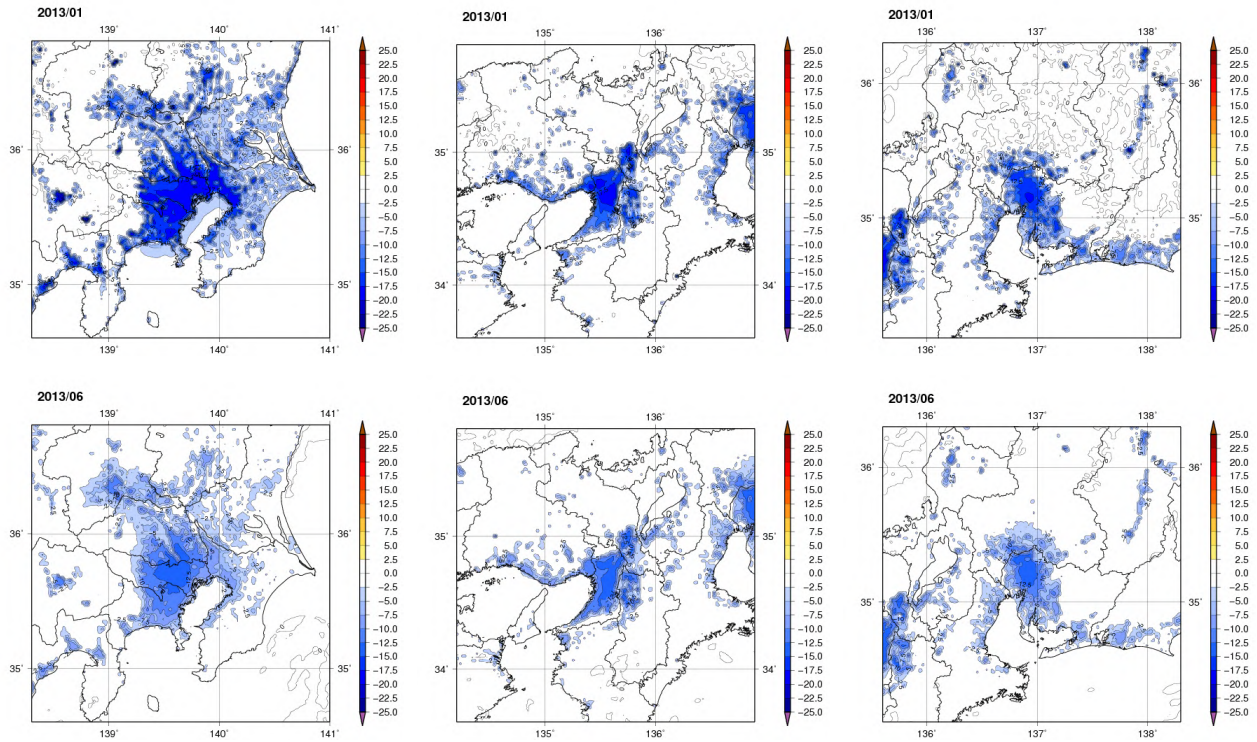


図 3.4.2 都市化の影響による月平均相対湿度の変化 (%)

2013年1月(上段)と6月(下段)。関東地方(左図)、近畿地方(中図)、東海地方(右図)。

## 4. 「ヒートアイランド監視報告（平成 25 年）」のまとめ

### 各都市における長期変化傾向（統計開始から 2013 年までの統計による調査結果）

#### 【都市の高温化】

各都市では、都市化による気温の長期的な上昇傾向がみられ、特に日最低気温で顕著である。気温の長期的な上昇は、日最高気温が冬季、日最低気温が秋季に最大となる都市が多い。各都市では、冬日の減少、熱帯夜や猛暑日、真夏日の増加が顕著に現れている。

#### 【都市の乾燥化】

各都市では、都市化による相対湿度の長期的な減少傾向がみられる。相対湿度の減少は秋季、冬季に最大となる都市や、梅雨時期に最小となる都市が多い。各都市では、霧日数は著しく減少している。

#### 【都市での降水量】

各都市では、大雨や短時間強雨の長期的な変化傾向は明瞭にみられない。

### 都市気候モデルによるシミュレーション結果

#### 【2013 年 8 月】

2013 年 8 月の都市化の影響は、2009 年以降の 8 月の中で、最大もしくは最大クラスだった。太平洋高気圧に覆われて高温傾向となる夏ほど、都市化の影響によって、さらに高温となるリスクが高まる。

#### 【2013 年の月別調査】

各月において、都市による高温化、乾燥化（相対湿度の減少）がみられた。都市化の影響は、冬季（特に 12 月、1 月）で大きく、梅雨時期（6 月）で小さい。

## 5. 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>

ヒートアイランド対策関係府省連絡会議, 2004: ヒートアイランド対策大綱

[http://www.env.go.jp/air/life/heat\\_island/taikou.pdf](http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/taikou.pdf)

気象庁, 2005: ヒートアイランド監視報告 (平成 16 年 ~ 平成 24 年)

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

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.

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

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, 第 224 号, p.1-23.

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

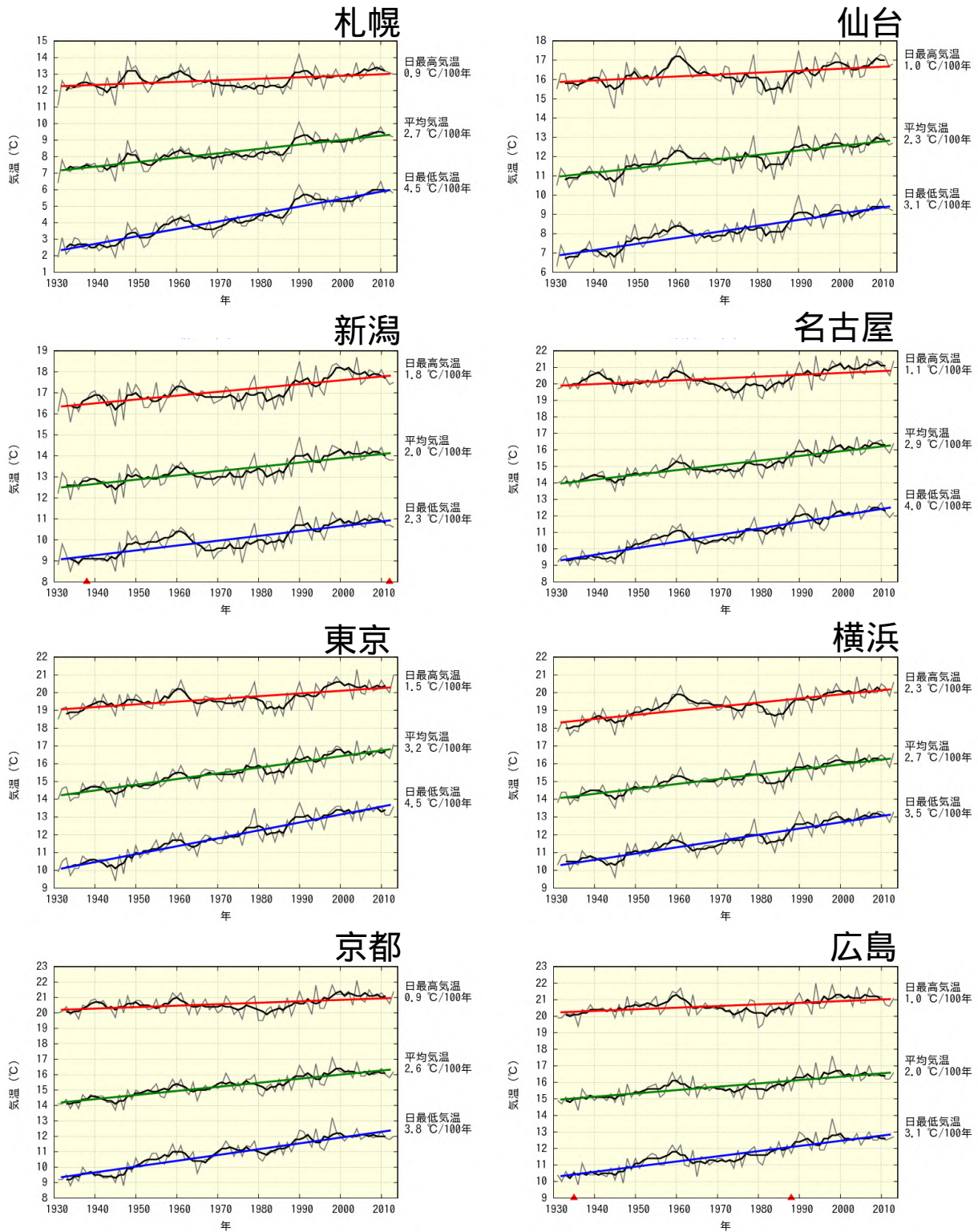
気象庁, 2008: 数値予報課報告・別冊第 54 号 気象庁非静力学モデル ~ 現業利用の開始とその後の発展 ~

青柳暁典, 清野直子, 2012: メソ数値予報モデルと都市, 気象研究ノート, 第 224 号, p.273-301.

妹尾泰史, 神田学, 木内豪, 萩島理, 2004: 潜熱割合を考慮した人工排熱時空間分布の推計と局地気象に対する影響, 水工学論文集, 48, 169-174.

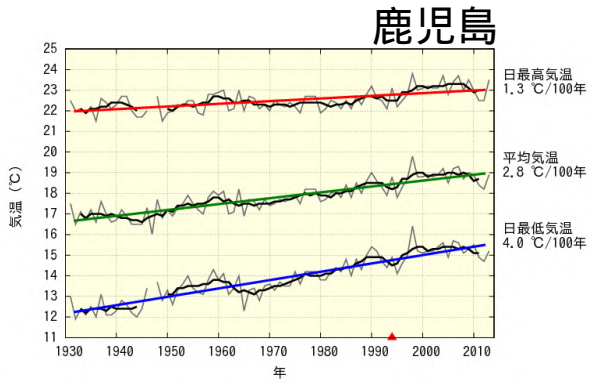
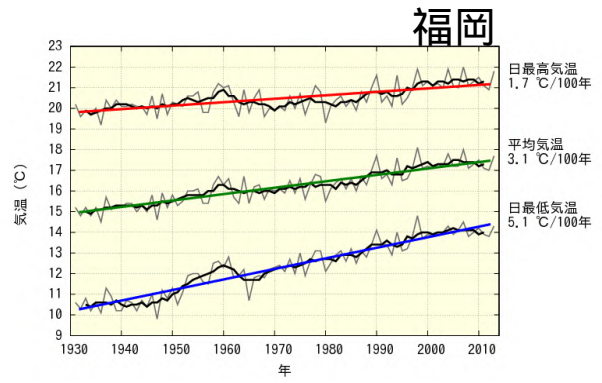
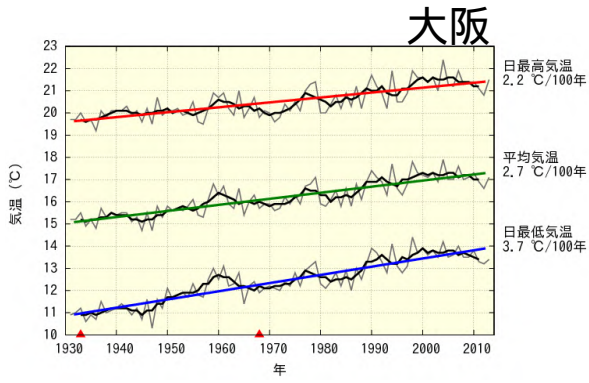
萱場互起, 青柳暁典, 高橋俊二, 2010: 重回帰分析による人工排熱量の推定, 測候時報, 77, 4-6.

## 【資料1】 各都市における年平均気温の長期変化傾向グラフ



### 各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

細い折れ線は毎年の値、太い折れ線は5年移動平均を示す。信頼水準90%以上の有意な長期変化傾向がある場合は、色を付けた太い直線で示している。また、移転があった4地点(新潟、大阪、広島、鹿児島)については、それに伴う影響を補正しており、その時点を印で示す。統計期間は1931年から2013年まで。次頁に続く。



前頁からの続き

## 【資料2】 各都市における平均気温、日最高気温、日最低気温の月別長期変化傾向

各都市及び都市化の影響が少ないとみられる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2013年まで。都市ごとに、最も変化傾向の大きい数値は赤字、最も変化傾向の小さい数値は青字で示している。また、斜体字網掛けは信頼水準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。地点名に を付した4地点(新潟、広島、大阪、鹿児島)は、移転に伴う影響を補正している。

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	<b>3.5</b>	3.4	2.9	2.6	2.2	2.6	1.6	<b>1.5</b>	3.1	3.0	2.7	3.0
仙台	2.8	3.0	2.9	2.5	2.1	1.8	<i>0.7</i>	<i>0.9</i>	2.2	<b>3.2</b>	2.5	3.0
新潟	2.4	<b>2.6</b>	2.4	2.5	2.2	1.8	<b>1.1</b>	1.6	<b>2.6</b>	2.3	1.2	1.6
名古屋	3.0	3.5	3.3	3.1	2.6	2.5	<b>1.8</b>	2.5	3.2	<b>3.7</b>	2.6	2.5
東京	4.4	4.3	3.7	3.1	2.6	2.2	<b>1.8</b>	1.9	2.6	3.7	3.8	<b>4.5</b>
横浜	3.4	<b>3.9</b>	3.4	2.9	2.4	1.9	<b>1.5</b>	1.7	2.3	3.3	3.1	3.3
京都	2.6	<b>3.1</b>	2.9	3.0	2.6	2.5	<b>1.8</b>	2.5	2.7	3.1	2.5	2.2
広島	1.7	2.3	2.6	2.0	2.2	2.7	<i>0.4</i>	1.8	2.2	<b>3.5</b>	1.9	<i>0.8</i>
大阪	2.5	3.6	2.9	2.9	2.1	2.4	<b>1.8</b>	2.6	3.3	<b>3.7</b>	2.5	2.2
福岡	2.8	3.8	3.4	3.2	3.2	2.6	<b>2.0</b>	2.6	3.5	<b>4.7</b>	3.2	2.2
鹿児島	2.9	3.2	3.6	3.0	2.9	2.6	<b>2.1</b>	2.8	3.1	<b>3.8</b>	2.3	<b>2.1</b>
15地点	1.5	<b>2.0</b>	1.9	1.7	1.5	1.4	<b>0.8</b>	1.1	1.5	1.9	1.2	1.0

表中の15地点は、都市化の影響が比較的少ないとみられる15地点(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島)の平均を表し、飯田と宮崎は、移転に伴う影響を補正している。

地点	日最高気温変化率 ( /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	1.3	1.4	1.5	1.2	0.4	1.3	0.4	0.0	1.0	0.3	0.9	1.3
仙台	1.3	1.6	1.5	1.1	0.7	1.2	0.3	0.3	0.9	1.2	0.7	1.4
新潟	2.6	3.1	3.1	2.0	1.7	1.1	0.8	0.8	1.6	2.1	1.2	1.9
名古屋	1.3	2.0	1.6	1.7	0.7	0.9	0.3	1.1	1.6	1.5	0.2	0.7
東京	1.3	2.3	1.9	1.8	1.3	1.1	1.1	1.1	1.4	2.0	1.6	1.6
横浜	2.3	3.4	2.9	2.7	2.3	1.8	1.5	1.7	2.1	2.9	2.2	2.0
京都	0.7	1.6	1.4	1.5	0.9	1.0	0.6	1.2	1.1	1.1	0.0	0.1
広島	0.8	1.6	1.6	1.3	1.7	1.9	0.6	1.2	1.0	0.9	-0.3	-0.3
大阪	1.7	3.3	2.6	2.5	1.9	2.3	1.6	2.5	2.5	3.0	1.1	1.5
福岡	1.5	2.8	2.1	1.8	1.7	1.3	1.3	1.8	2.2	2.2	0.5	0.6
鹿児島	1.2	2.1	1.7	1.4	1.8	1.3	1.2	1.5	1.2	2.2	0.2	0.3
15地点	1.0	1.7	1.6	1.3	1.0	1.1	0.6	0.7	1.0	1.1	0.5	0.6

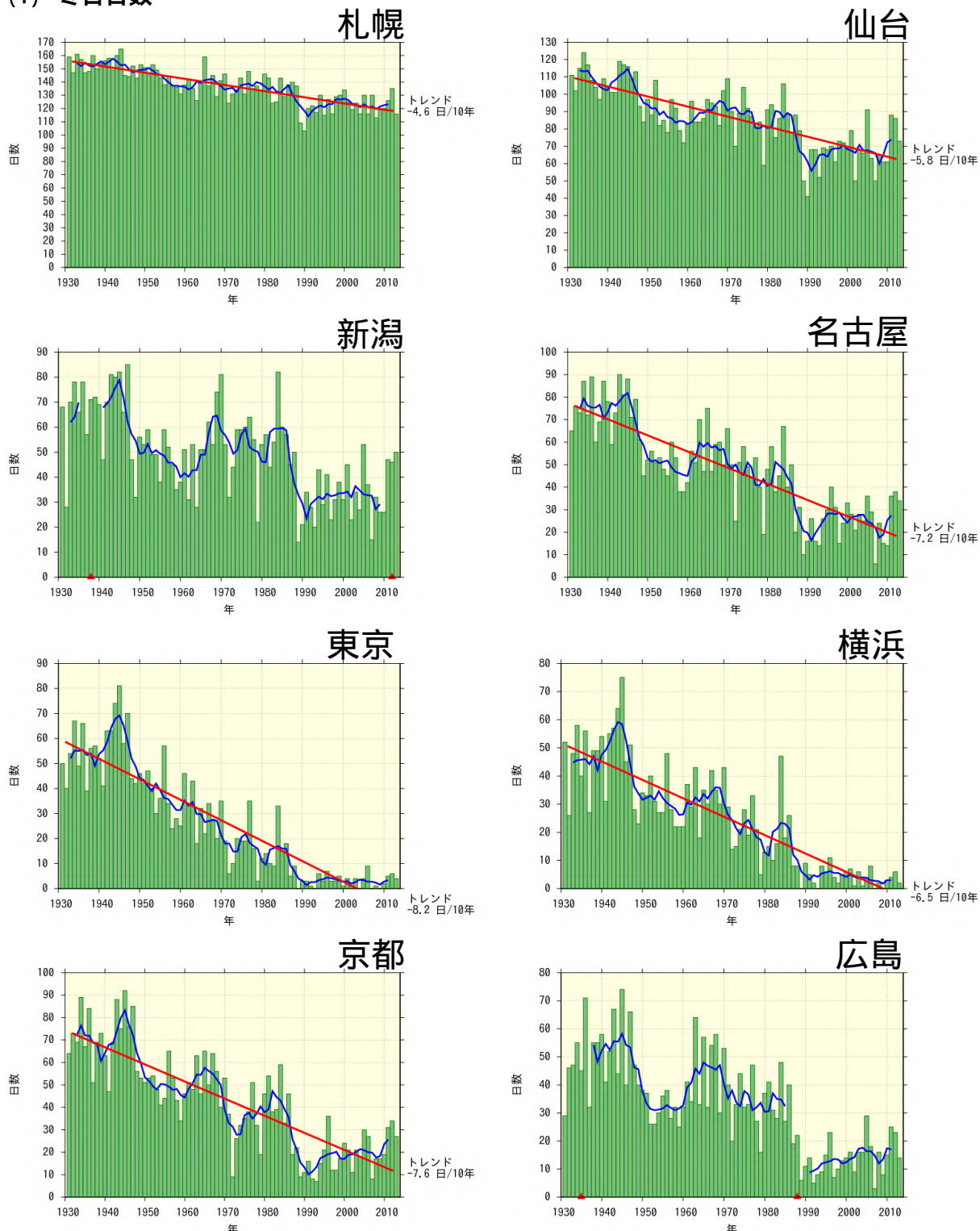
地点	日最低気温変化率 ( /100年)											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
札幌	6.1	5.8	4.5	4.5	4.6	4.2	3.0	3.1	4.8	4.9	3.9	4.9
仙台	3.8	3.7	3.5	3.9	3.7	2.7	1.2	1.4	2.9	4.0	3.3	3.6
新潟	2.6	2.7	2.2	2.7	3.0	2.4	1.4	2.2	2.9	2.0	1.2	1.9
名古屋	3.9	4.4	4.6	4.5	4.1	3.8	2.7	3.4	4.0	4.9	4.2	3.5
東京	6.3	5.7	5.0	4.6	4.0	3.2	2.4	2.7	3.4	4.8	5.1	6.2
横浜	4.9	4.6	4.3	3.6	3.2	2.5	1.8	2.2	2.9	3.9	3.9	4.7
京都	3.9	4.0	4.0	4.1	3.8	3.8	2.7	3.4	3.6	4.3	4.0	3.6
広島	2.7	3.2	3.3	2.9	3.6	3.7	1.6	2.7	3.4	4.6	3.7	2.5
大阪	3.2	3.9	3.7	3.7	3.4	3.9	2.9	3.7	4.1	4.7	4.0	3.0
福岡	4.3	5.3	5.8	6.0	5.9	4.8	2.9	3.9	5.2	7.3	5.9	4.0
鹿児島	4.1	4.2	5.2	4.2	4.2	4.2	2.7	3.8	4.5	5.4	3.8	3.1
15地点	2.0	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	1.2	1.5	1.9	2.2	1.5	1.3

表中の15地点は、都市化の影響が比較的少ないとみられる15地点(網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島)の平均を表し、飯田と宮崎は、移転に伴う影響を補正している。



### 【資料3】 各都市における年間気温階級日数の長期変化傾向グラフ

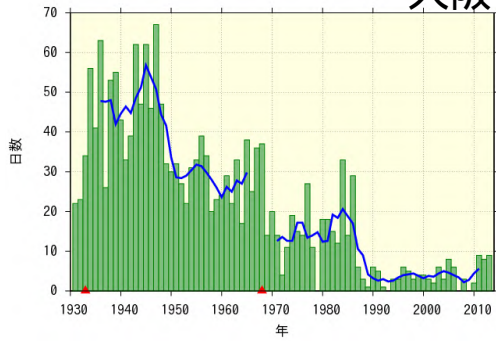
#### (1) 冬日日数



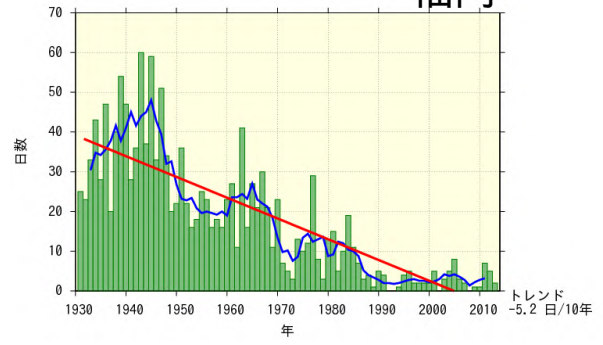
#### 各都市における年間冬日日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2013年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す(統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を印で示す。次頁に続く。

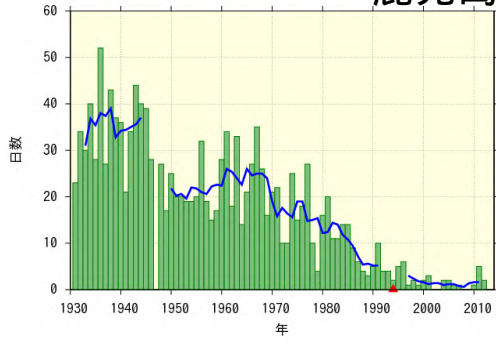
## 大阪



## 福岡

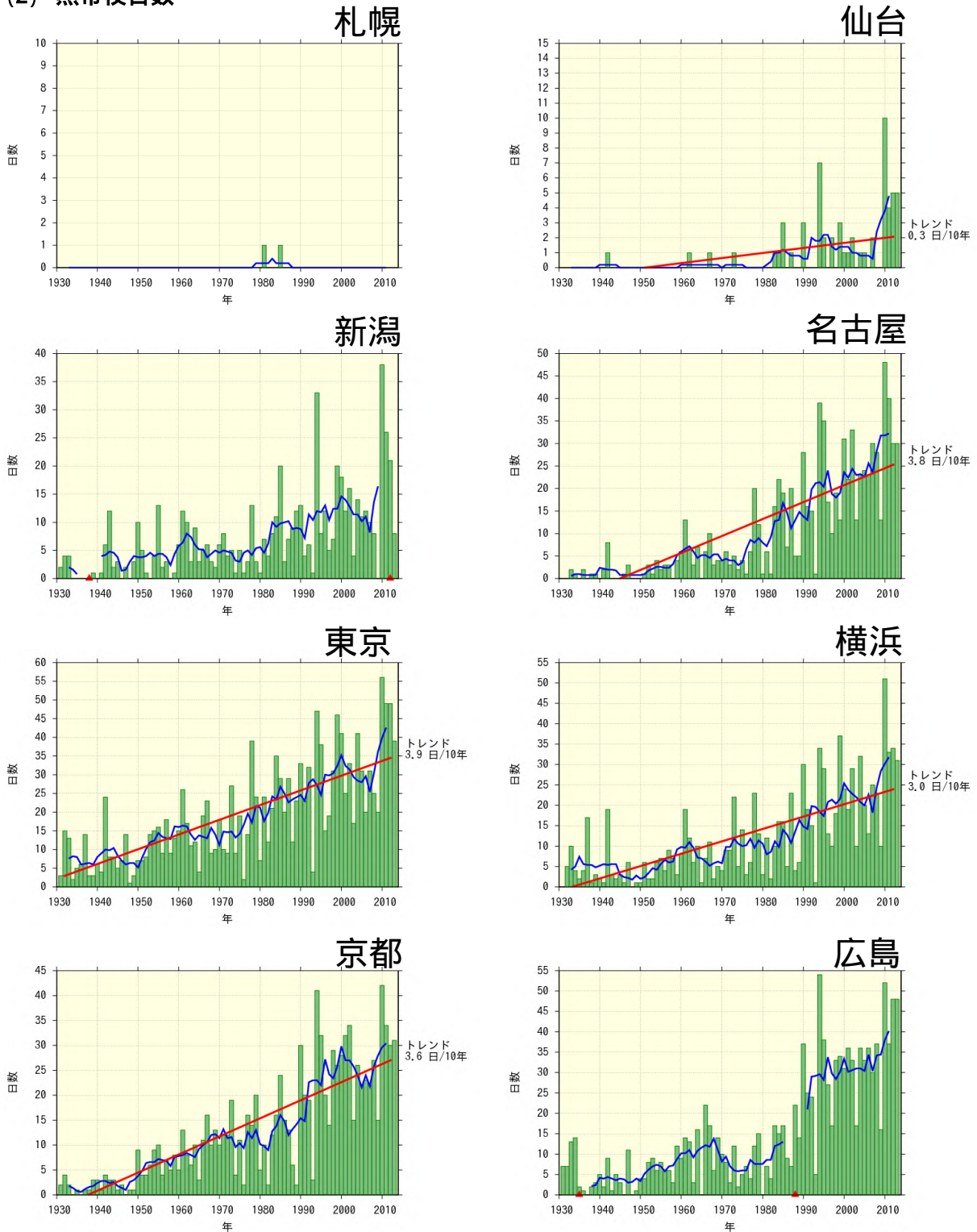


## 鹿児島



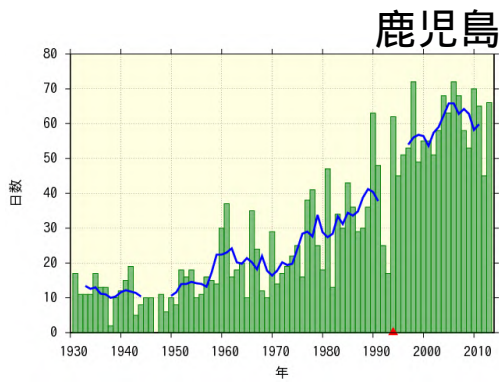
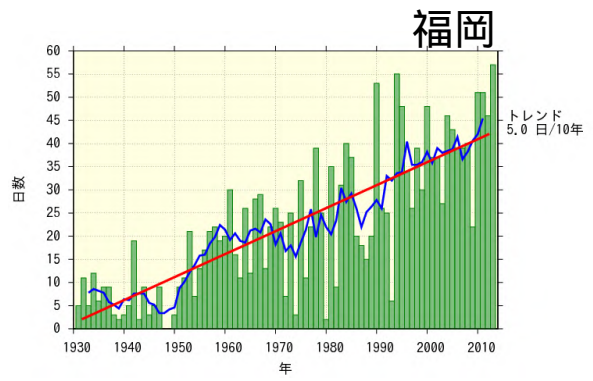
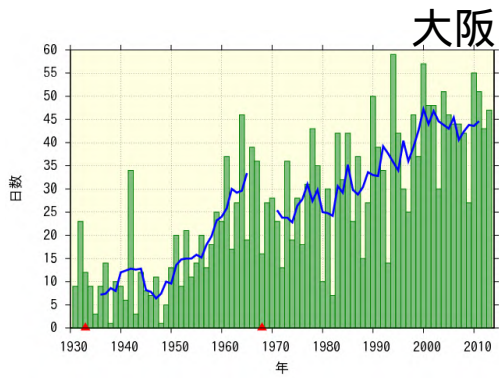
前頁からの続き

## (2) 熱帯夜日数



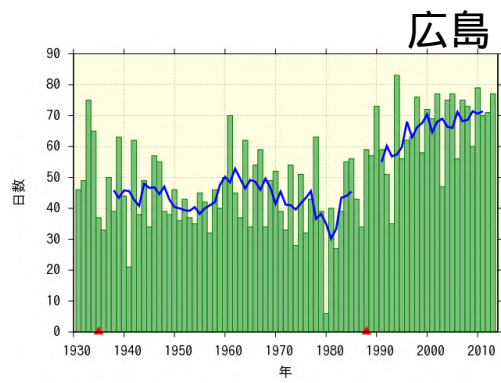
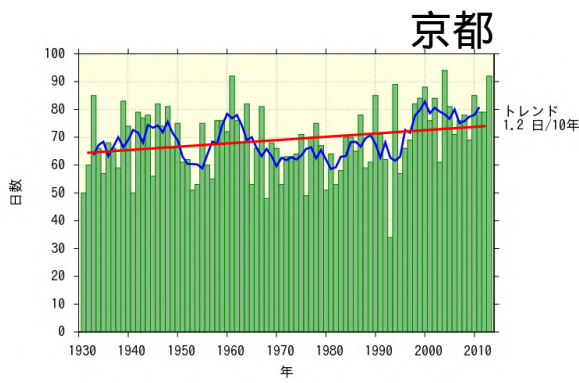
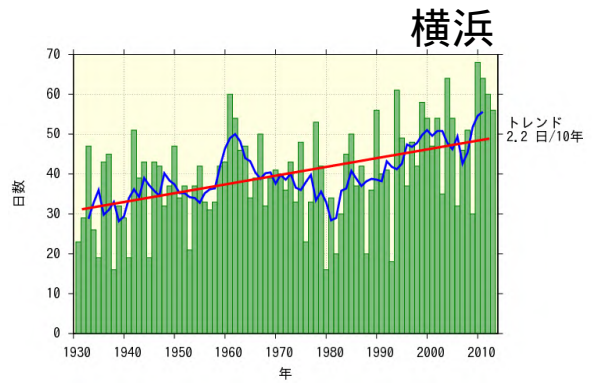
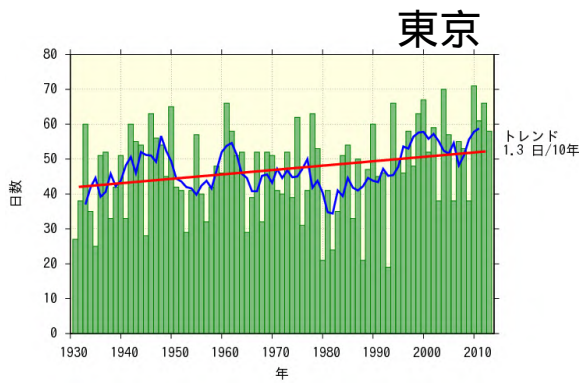
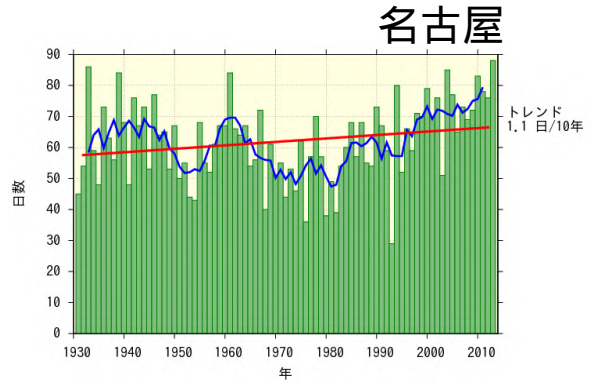
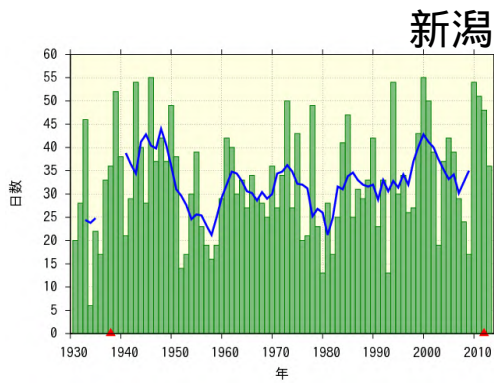
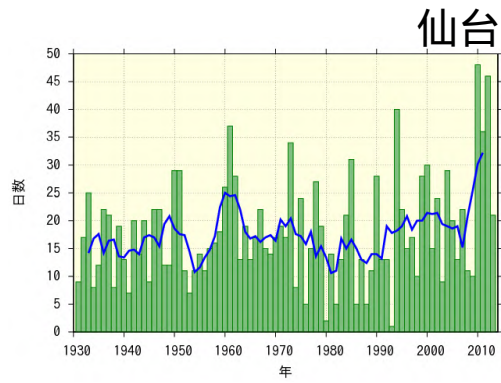
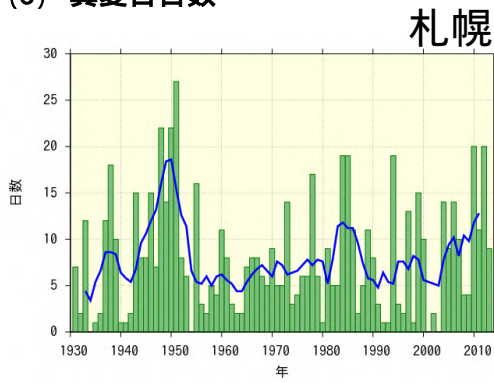
### 各都市における年間熱帯夜日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2013年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す(統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を印で示す。次頁に続く。



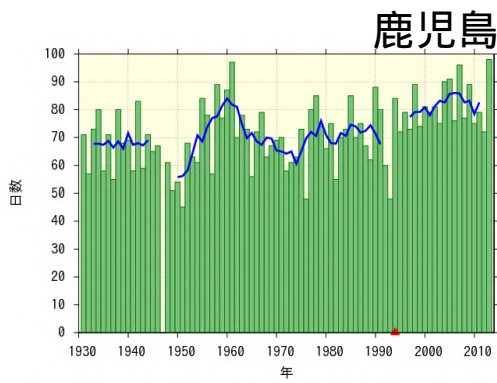
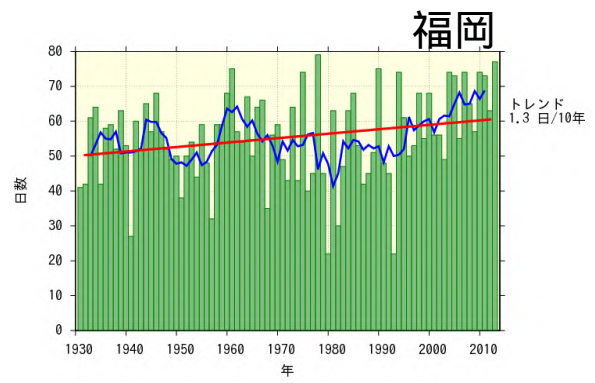
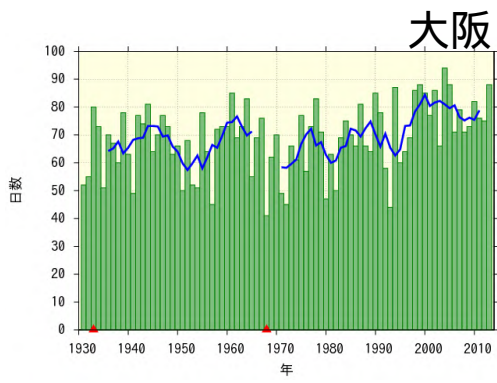
前頁からの続き

### (3) 真夏日日数



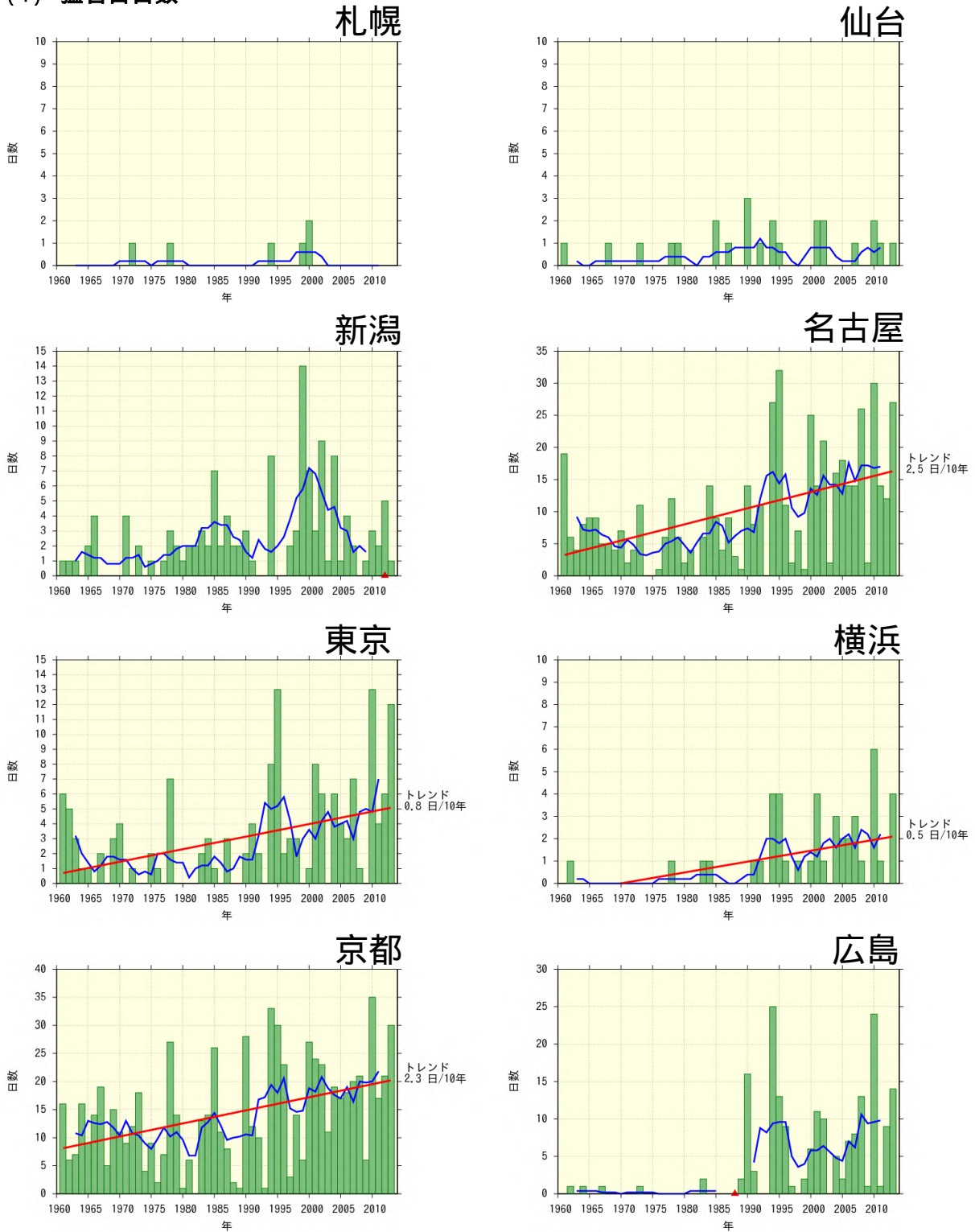
#### 各都市における年間真夏日日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2013年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す（統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準 90%以上で有意な場合に限り）。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を印で示す。次頁に続く。



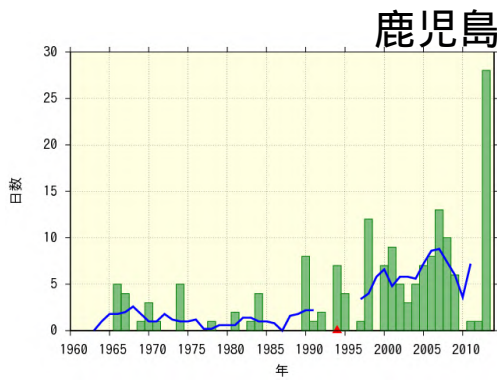
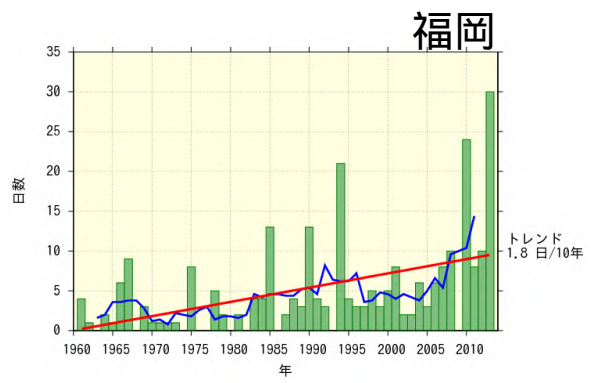
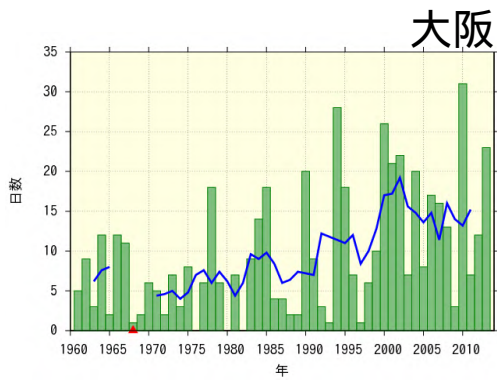
前頁からの続き

#### (4) 猛暑日日数



#### 各都市における年間猛暑日日数の長期変化傾向

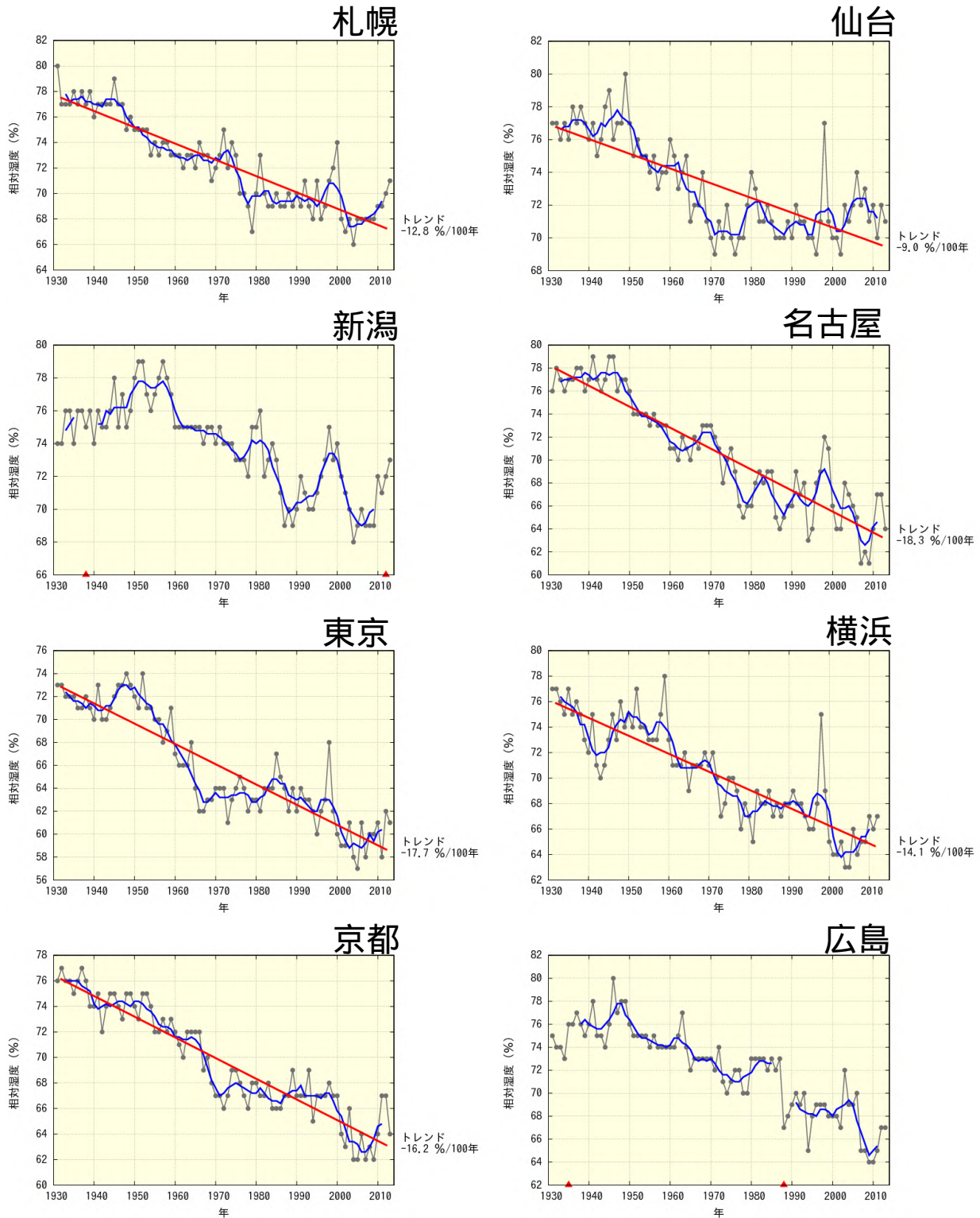
統計期間は1961年から2013年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す(統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準 90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を印で示す。次頁に続く。



前頁からの続き



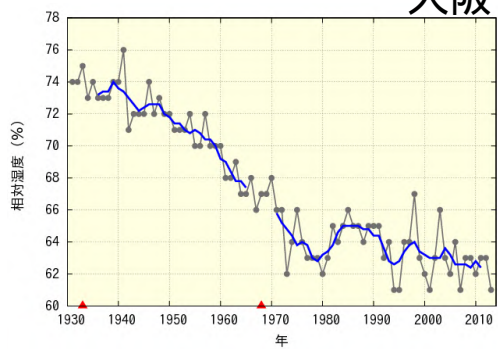
## 【資料4】 各都市における年平均相対湿度の長期変化傾向グラフ



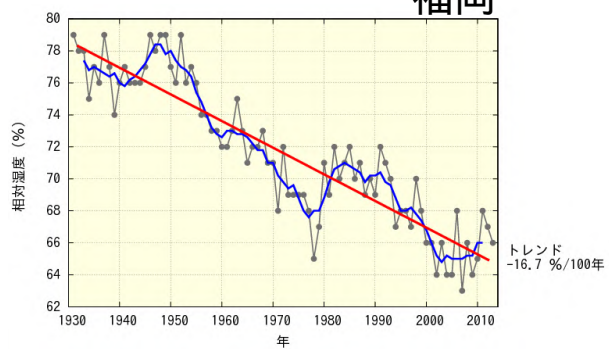
### 各都市における年平均相対湿度の長期変化傾向

統計期間は1931年から2013年。黒い折れ線は毎年の値、青い折れ線は5年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す(統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を 印で示す。次頁に続く。

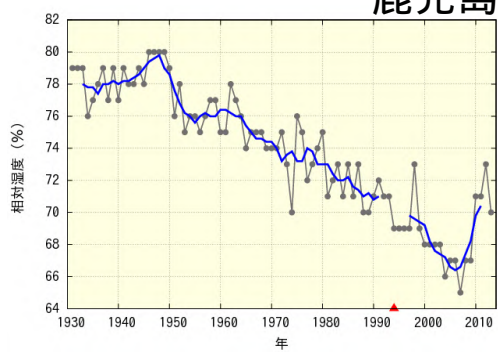
## 大阪



## 福岡



## 鹿児島



前頁からの続き

## 【資料5】 各都市における相対湿度の月別長期変化傾向

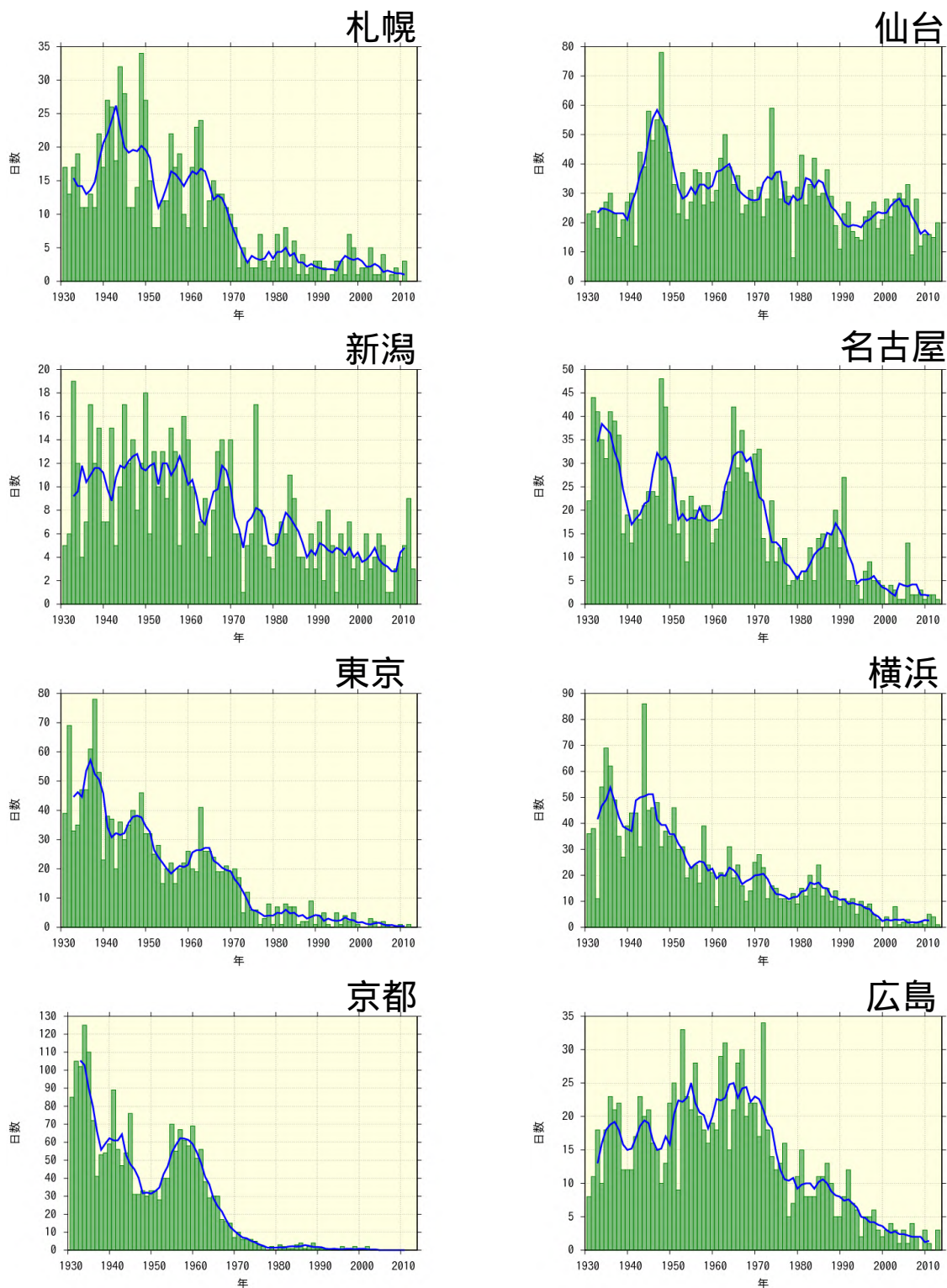
### 各都市及び都市化の影響が少ない13地点平均の平均相対湿度の長期変化傾向

月別の100年あたりの変化率を示す。統計期間は1931年から2013年まで。斜体字網掛けは信頼水準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。また、都市ごとに、最も変化傾向の大きい数値は赤字、最も変化傾向の小さい数値は青字で示している。

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	<b>-11.1</b>	-14.4	-11.8	-10.5	<b>-11.1</b>	<b>-11.1</b>	-13.2	-17.3	<b>-17.6</b>	-12.5	-11.4
仙台	-10.5	-9.2	-11.4	-8.8	-6.4	<b>-5.7</b>	-6.5	-8.4	-7.2	-11.3	-10.4	<b>-12.6</b>
名古屋	-17.6	-16.8	-18.0	-20.9	-17.2	<b>-14.5</b>	-15.3	-19.3	-20.5	<b>-21.2</b>	-18.2	-17.9
東京	-23.1	-18.9	-16.5	-16.4	-14.9	<b>-12.0</b>	-13.6	-14.6	-15.3	-19.1	-21.9	<b>-25.2</b>
横浜	-18.5	-17.0	-15.0	-13.4	-11.1	<b>-8.7</b>	-9.9	-10.9	-12.5	-15.4	-16.9	<b>-19.1</b>
京都	-14.9	-15.2	-16.7	<b>-19.4</b>	-15.5	<b>-13.7</b>	-14.0	-16.5	-16.7	-16.6	-16.9	-16.8
福岡	-14.2	-16.3	-15.7	<b>-20.5</b>	-17.5	<b>-10.2</b>	-13.5	-16.5	-17.0	-20.2	-19.4	-17.8
13地点	-6.0	-6.8	-7.5	<b>-7.9</b>	-6.7	<b>-5.2</b>	-5.9	-7.4	-6.8	-7.2	-6.6	-6.4

表中の13地点は、都市化の影響が比較的少ないとみられる15地点から統計が切断された飯田と宮崎を除く地点（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

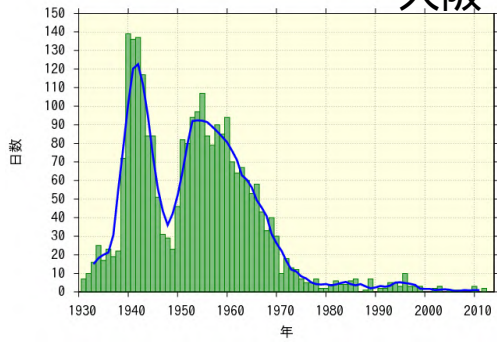
## 【資料6】 各都市における年間霧日数の長期変化傾向グラフ



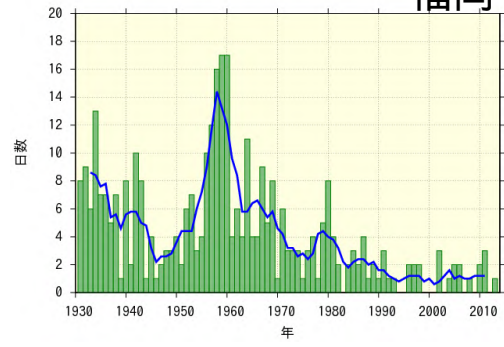
### 各都市における年間霧日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2013年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す(統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を印で示す。次頁に続く。

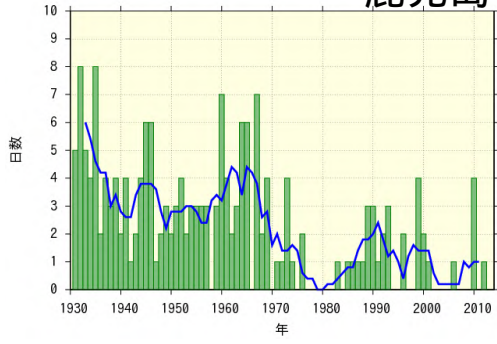
## 大阪



## 福岡



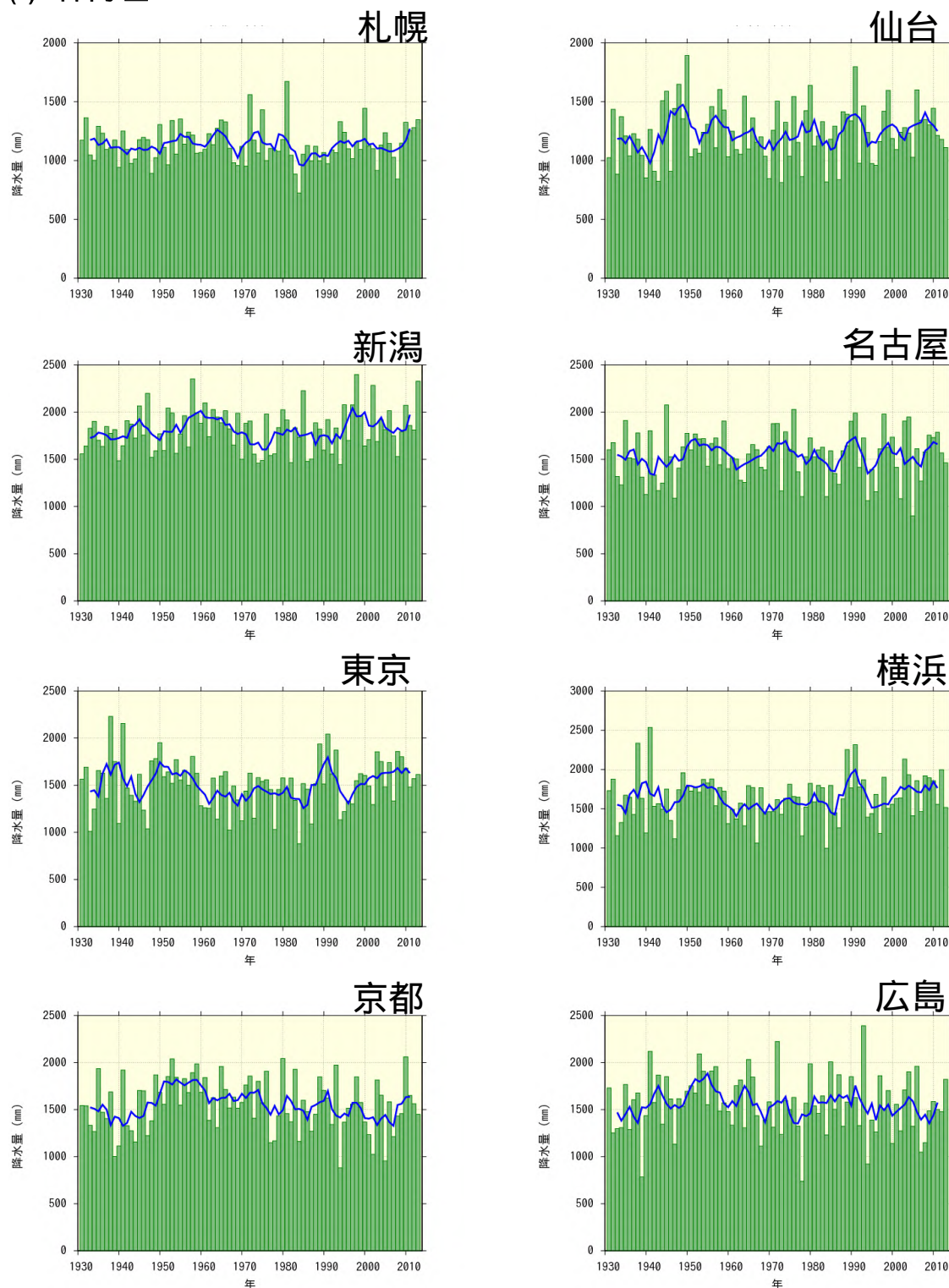
## 鹿児島



前頁からの続き

## 【資料 7】 各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グラフ

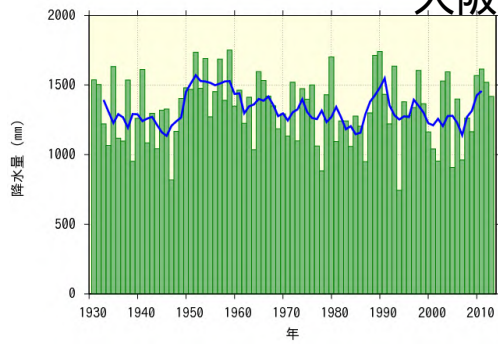
### (1) 年降水量



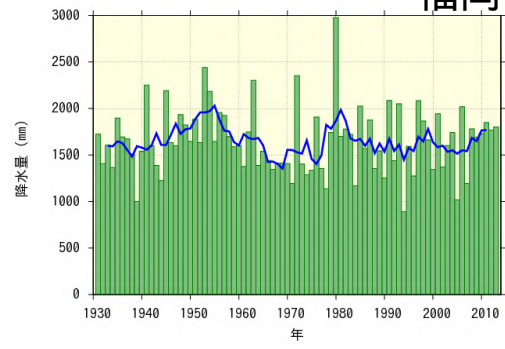
#### 各都市における年降水量の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2013 年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す (統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準 90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を 印で示す。次頁に続く。

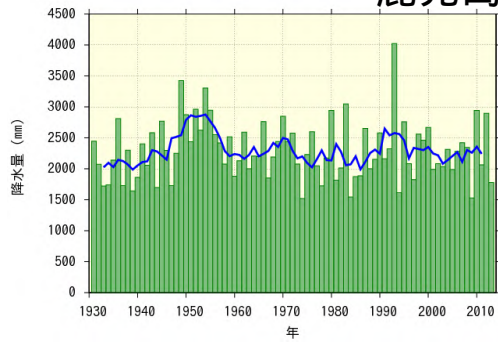
### 大阪



### 福岡

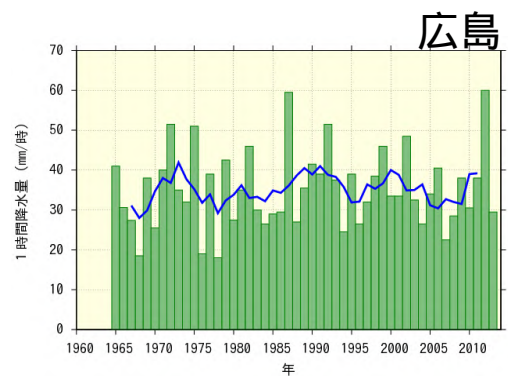
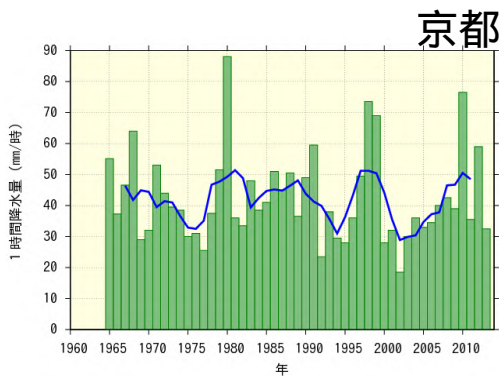
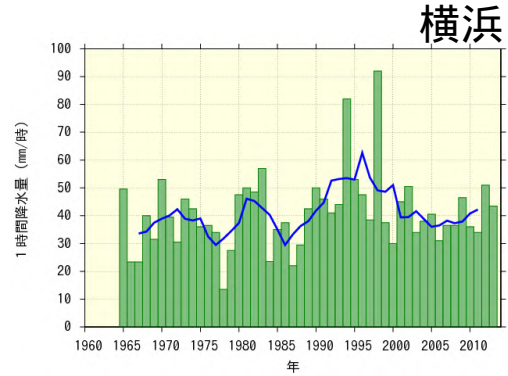
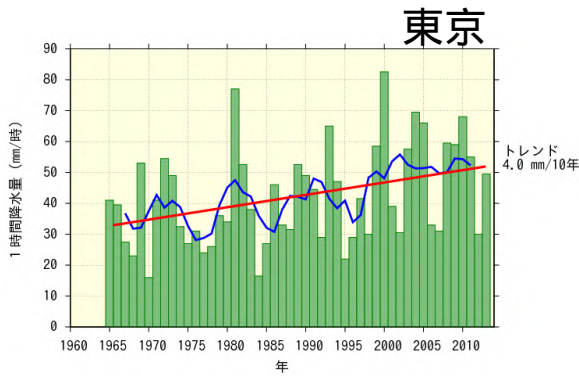
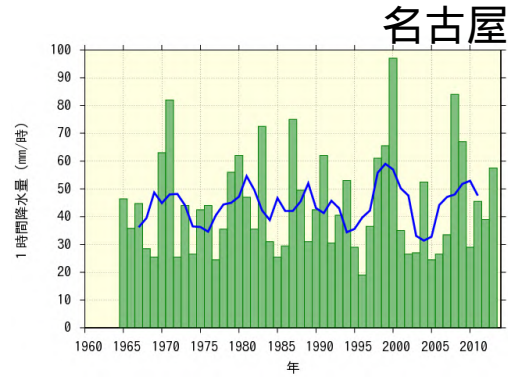
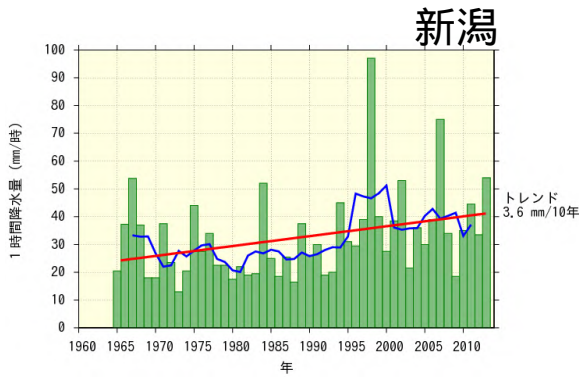
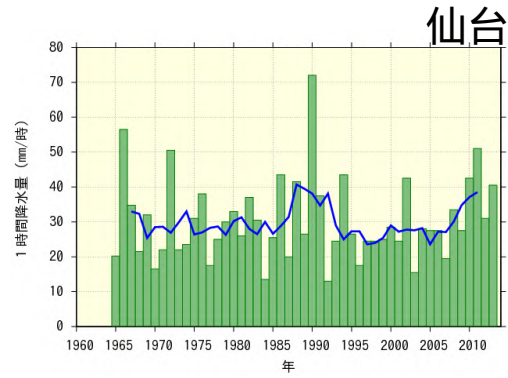
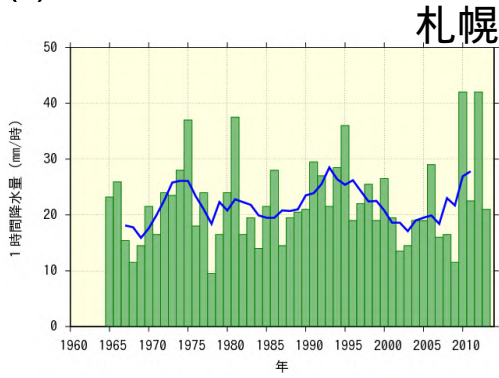


### 鹿児島



前頁からの続き

## (2) 年最大1時間降水量

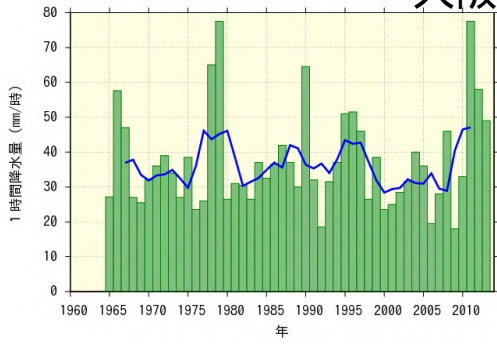


### 各都市における年最大1時間降水量の長期変化傾向

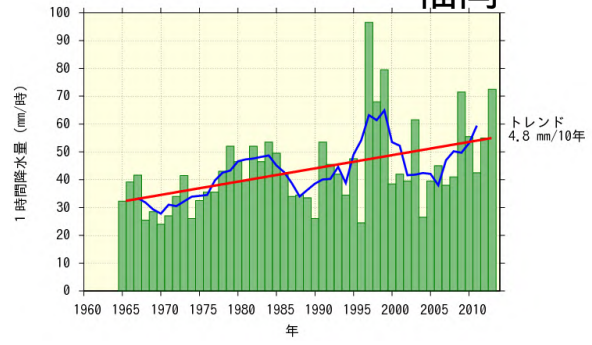
統計期間は1965年から2013年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は5年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す(統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を印で示す。次頁に続く。



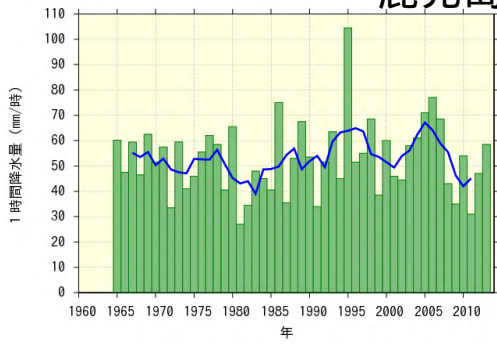
## 大阪



## 福岡



## 鹿児島



前頁からの続き

## 【資料 8】 各都市における年間の強雨日数の長期変化傾向グラフ

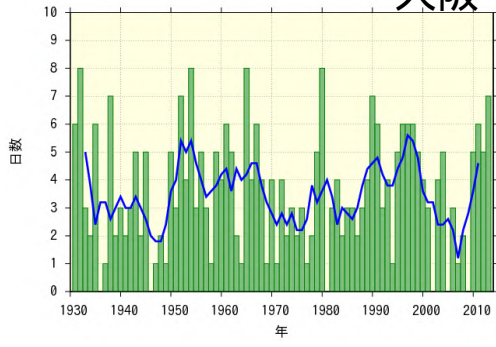
### (1) 日降水量 50mm 以上の年間日数



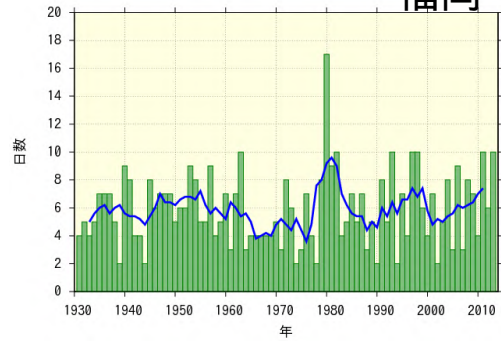
### 各都市における日降水量 50mm 以上の年間日数の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2013 年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す (統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準 90%以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を 印で示す。次頁に続く。

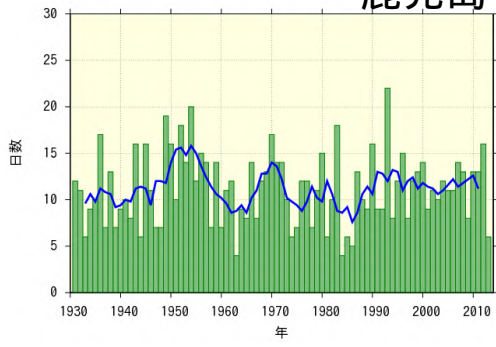
### 大阪



### 福岡



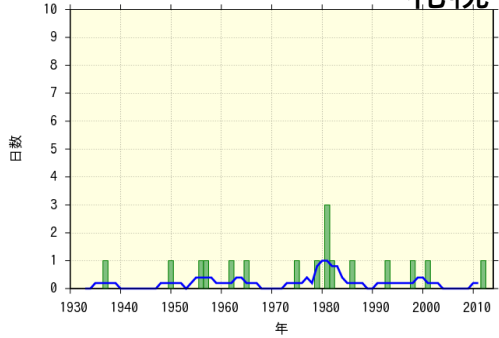
### 鹿児島



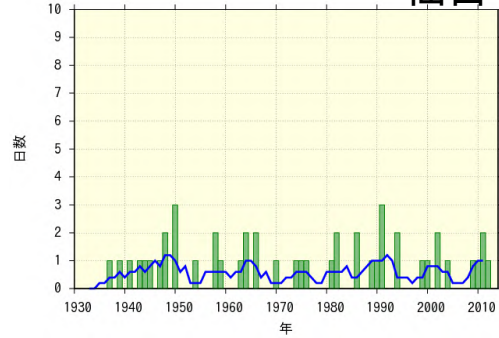
前頁からの続き

(2) 日降水量 100mm 以上の年間日数

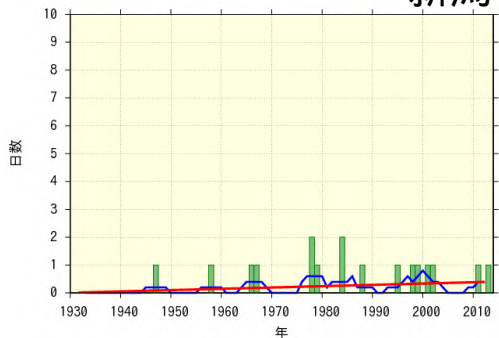
札幌



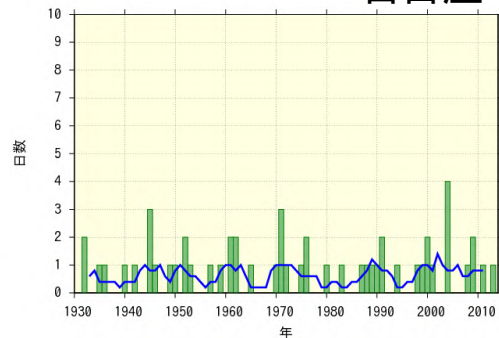
仙台



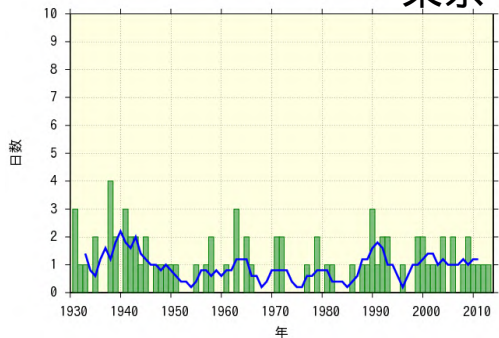
新潟



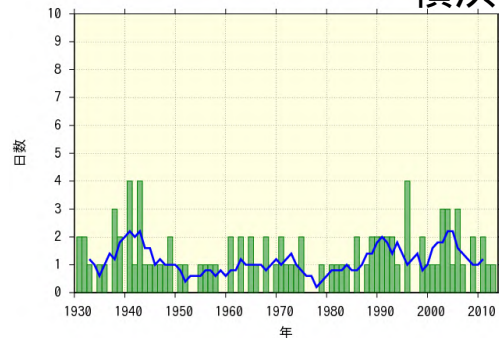
名古屋



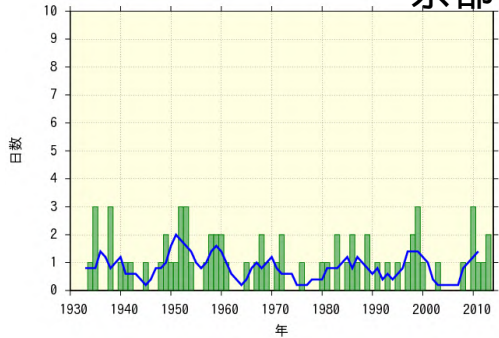
東京



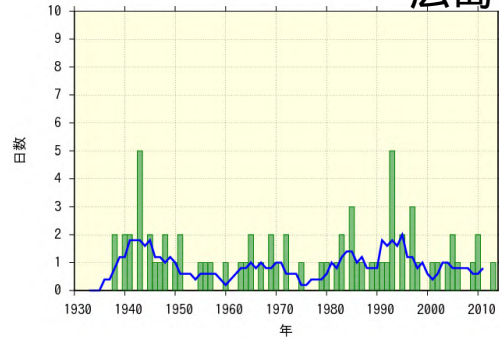
横浜



京都



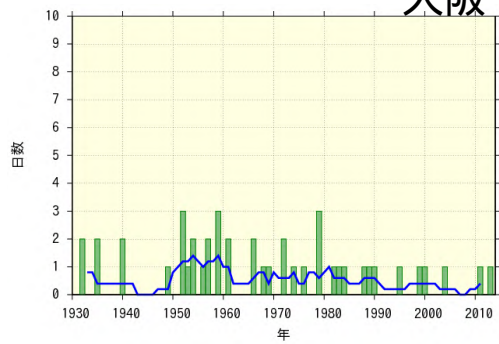
広島



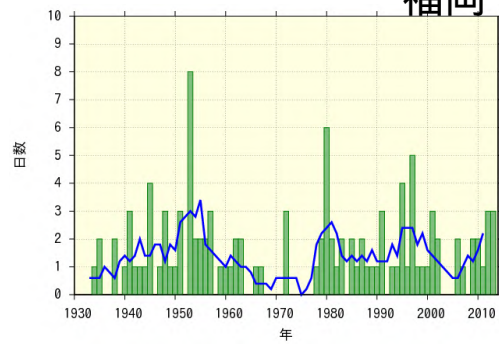
各都市における日降水量 100mm 以上の年間日数の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2013 年。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均、赤い直線は長期変化傾向を示す (統計期間内でデータが均質で、かつ信頼水準 90% 以上で有意な場合に限る)。なお、移転により前後のデータが均質でない時点を 印で示す。次頁に続く。

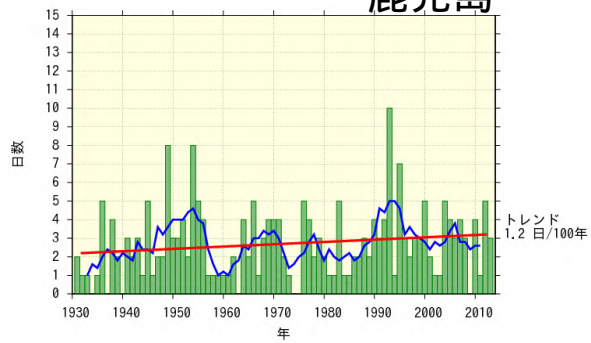
## 大阪



## 福岡



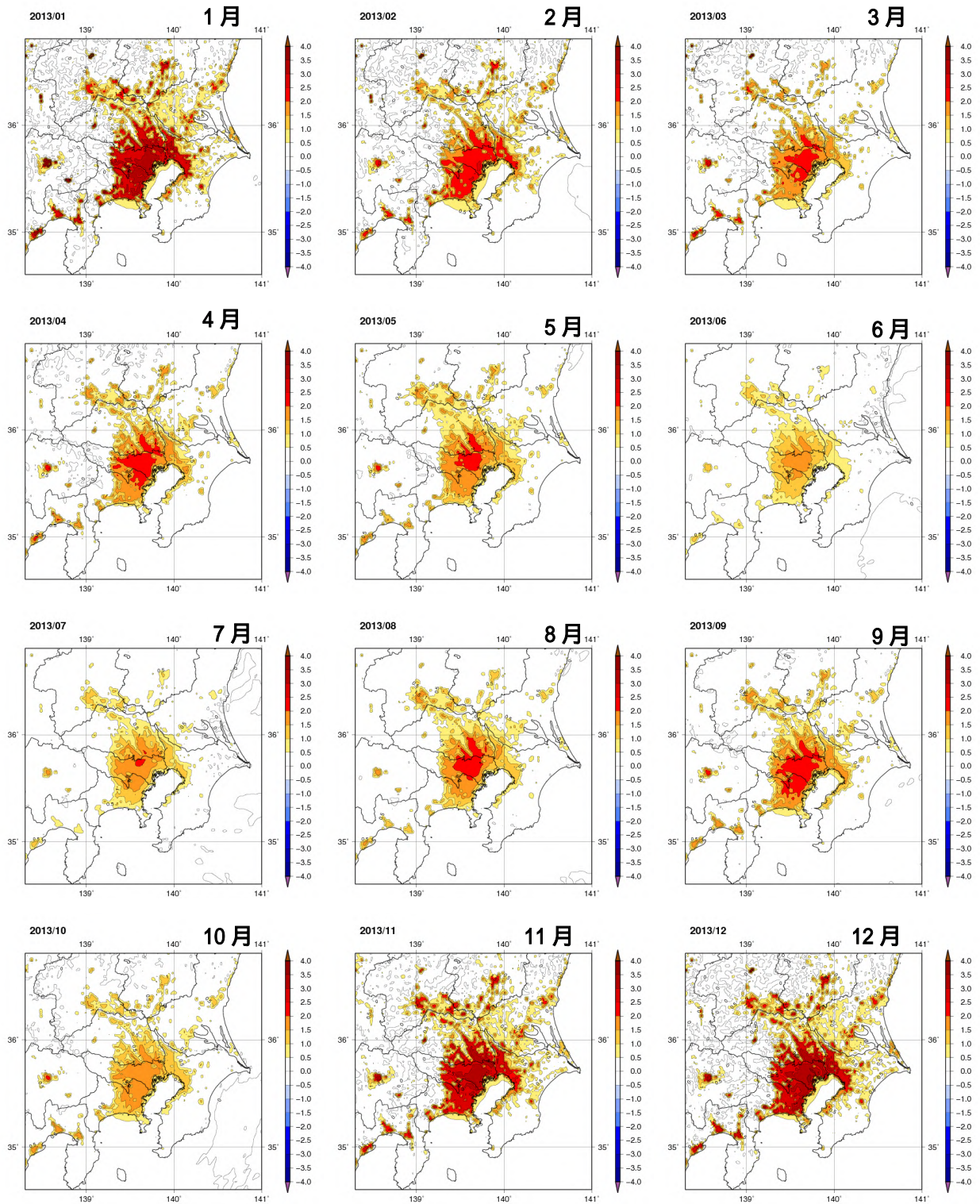
## 鹿児島



前頁からの続き

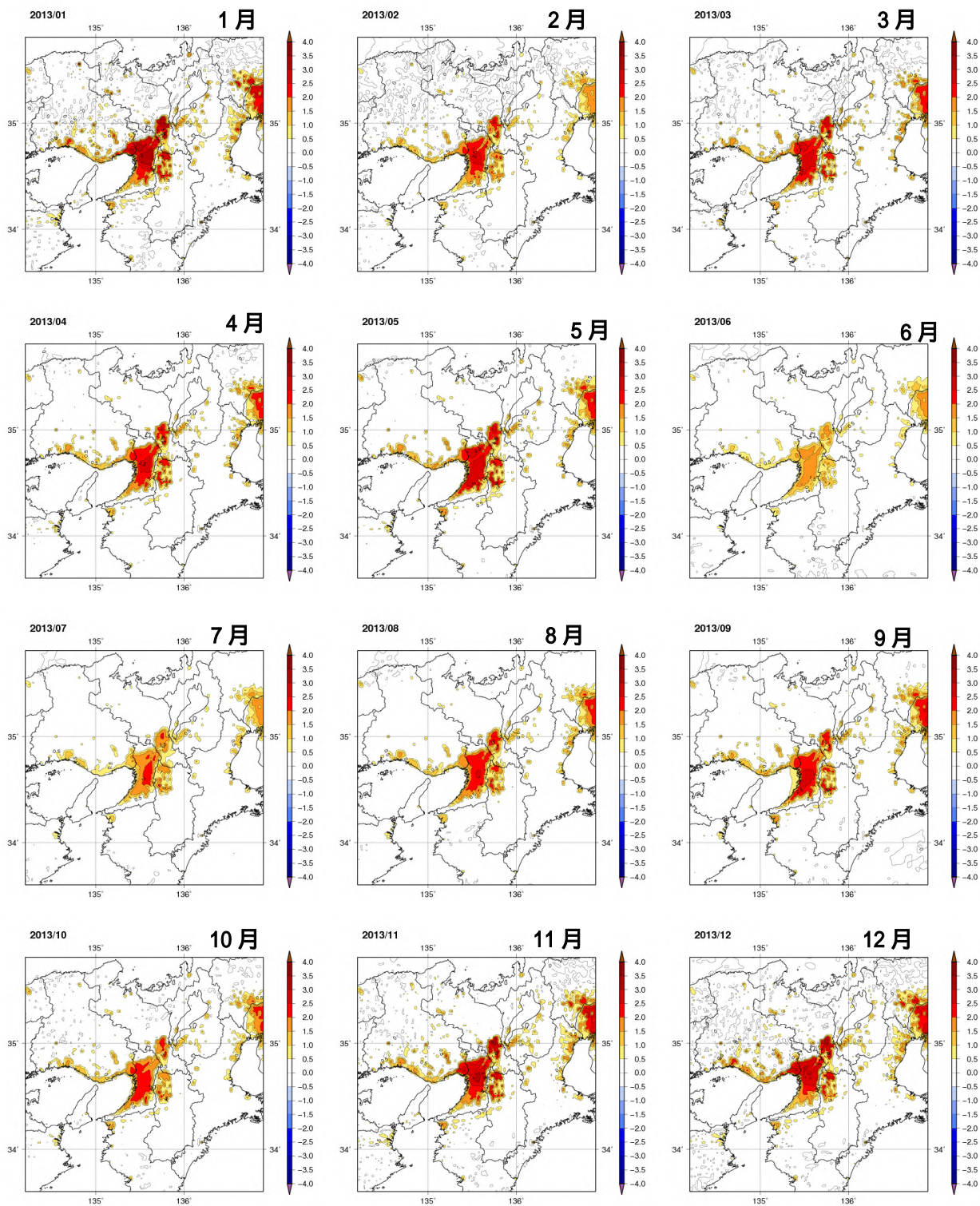
【資料 9】 2013 年の月別のシミュレーション結果（月平均気温の変化）

(1) 関東地方



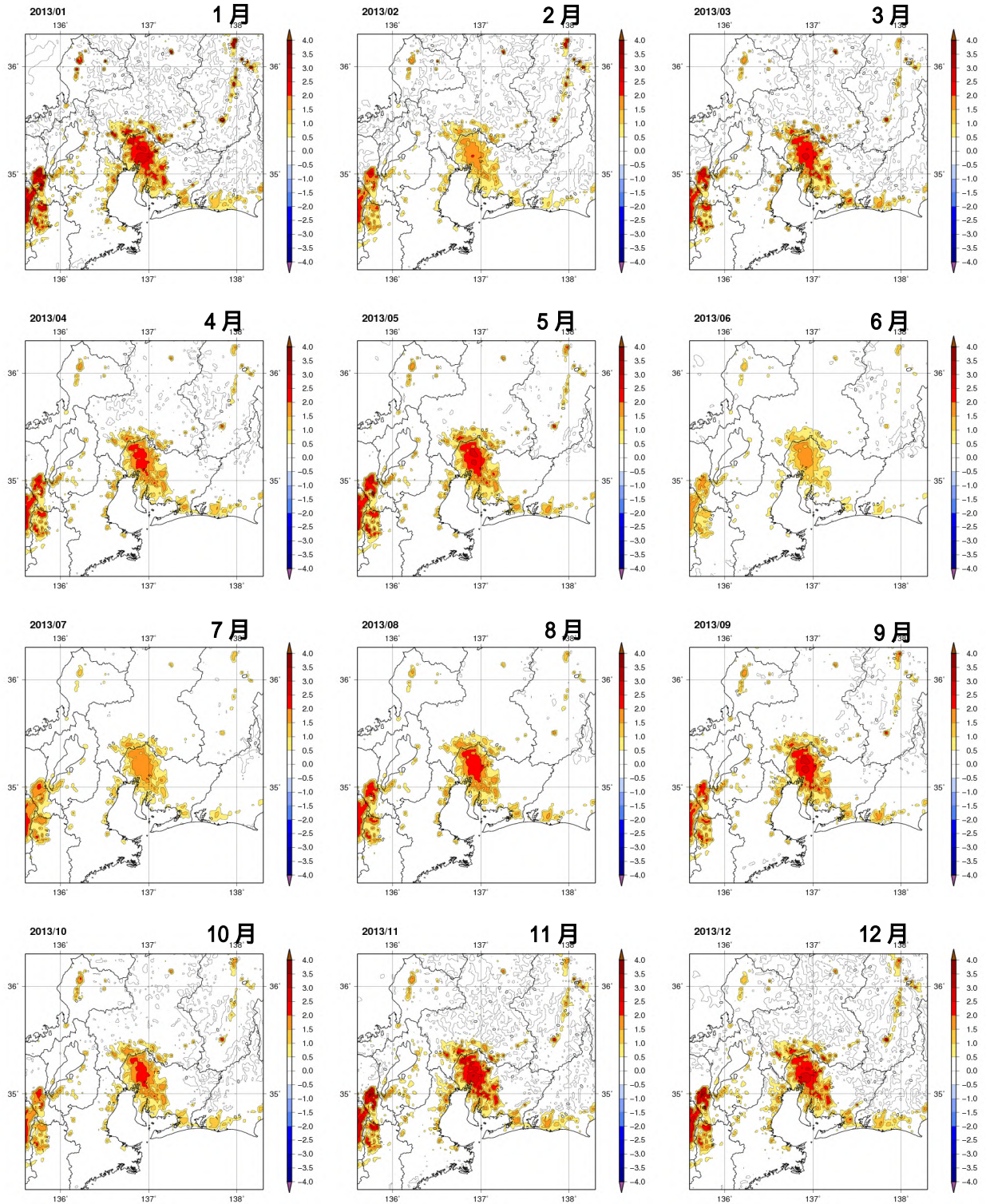
都市化の影響による月平均気温の変化 ( )

## (2) 近畿地方



都市化の影響による月平均気温の変化 ( )

### (3) 東海地方

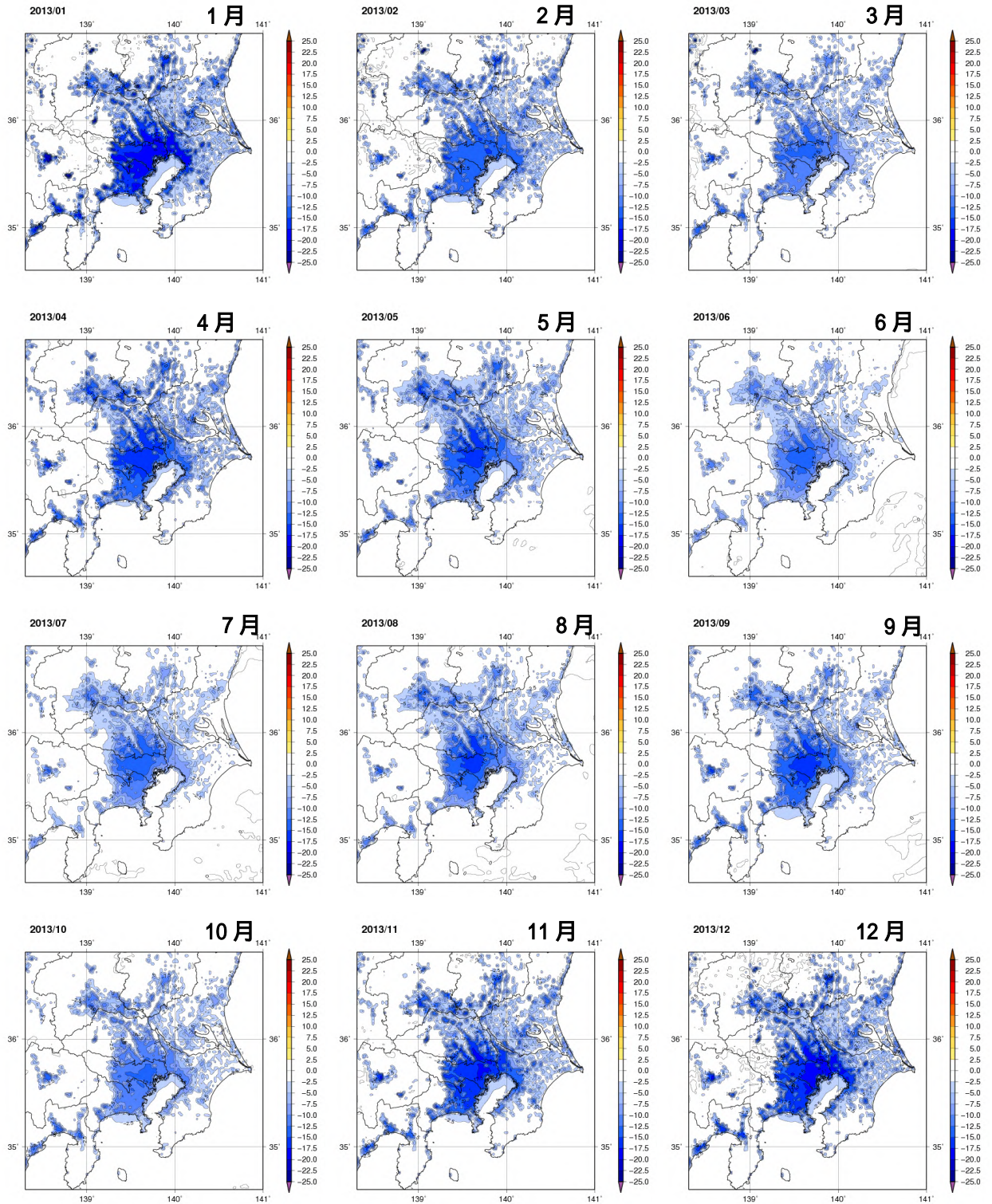


都市化の影響による月平均気温の変化 ( )



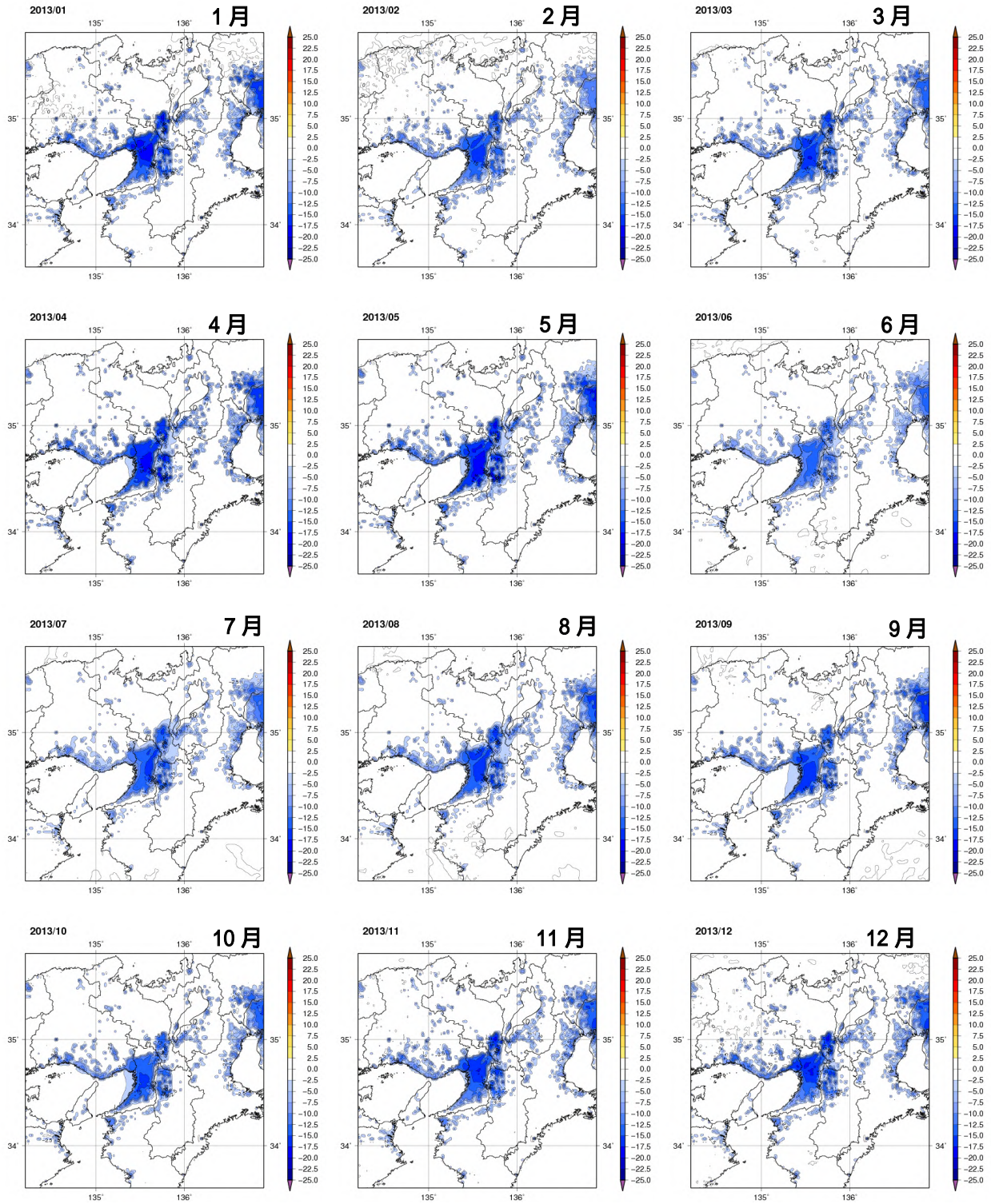
【資料 10】 2013 年の月別のシミュレーション結果（月平均相対湿度の変化）

(1) 関東地方



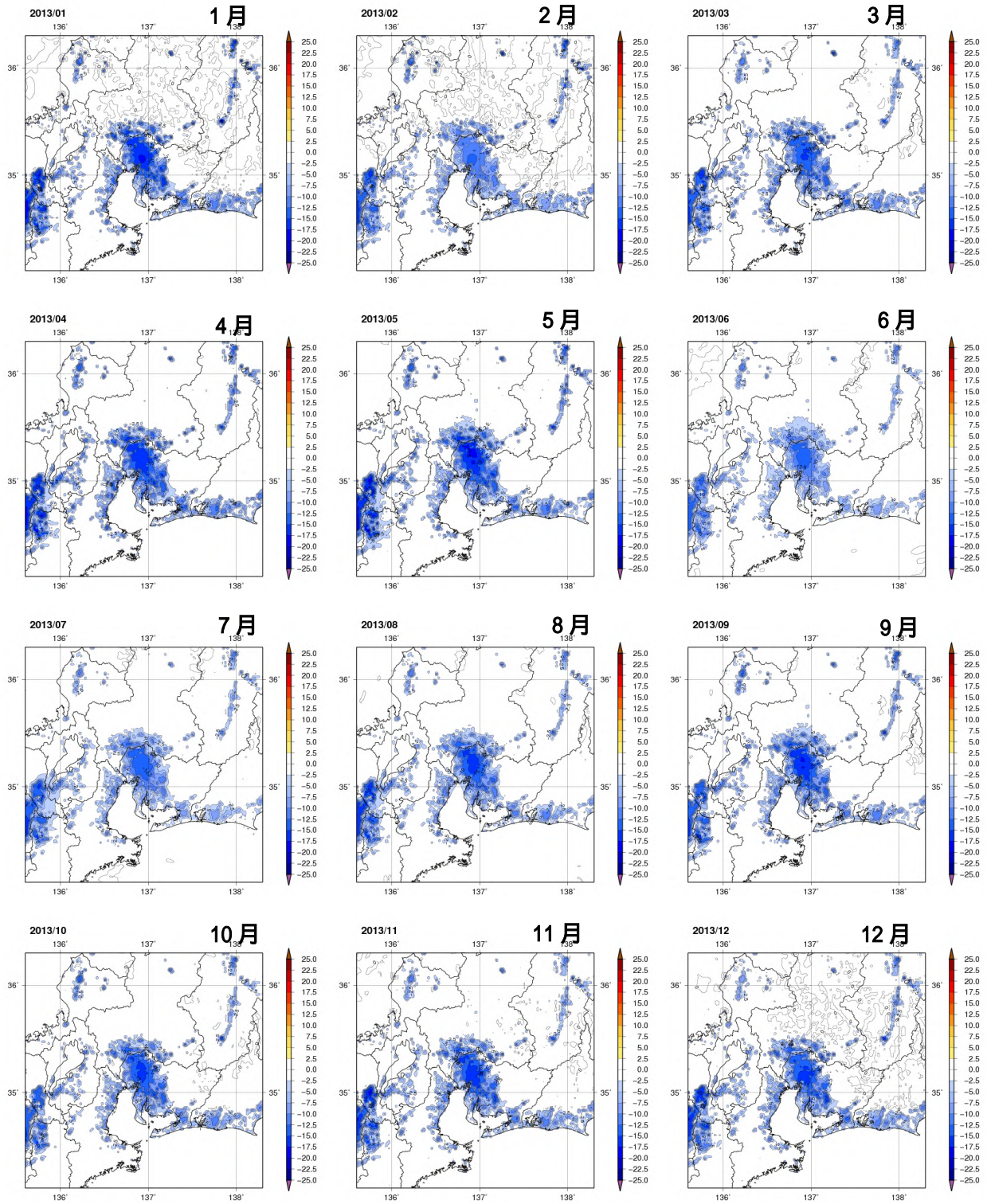
都市化の影響による月平均相対湿度の変化（%）

## (2) 近畿地方



都市化の影響による月平均相対湿度の変化 (%)

### (3) 東海地方



都市化の影響による月平均相対湿度の変化 (%)

## 経年変化傾向の統計的有意性の評価について

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るため、気温や降水量等の観測値も大きく変動する。このため、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の場合、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（ピアソン検定）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、降水量等の場合、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。正規分布とみなすことが出来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小さく、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。