

ヒートアイランド監視報告 2017

平成 30 年 6 月
気 象 庁

目次

はじめに	1
「ヒートアイランド監視報告 2017」の要点	3
1. 観測データの長期変化から見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	10
1.3 降水	11
1.3.1 降水量の長期変化傾向	11
1.3.2 大雨の長期変化傾向	12
2. 都市気候モデルで再現されたヒートアイランド現象	14
2.1 2017年8月のヒートアイランド現象	14
2.1.1 2017年8月の概況	14
2.1.2 関東地方	15
【トピックス】夏の都市化の影響は晴れの日が多く暑いほど大きい	18
2.1.3 近畿地方	20
2.1.4 東海地方	23
2.2 夏と冬のヒートアイランド現象の比較	26
— 参考文献 —	30
付録1：長期変化傾向の統計的有意性の評価について	31
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	32
付録3：都市気候モデルについて	33
【資料1】 大都市における年平均気温等の長期変化傾向	36
【資料2】 大都市における月平均気温等の長期変化傾向	38
【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	40
【資料4】 大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向	48
【資料5】 大都市における月平均相対湿度の長期変化傾向	50
【資料6】 大都市における年間霧日数の長期変化傾向	51
【資料7】 大都市における年降水量の長期変化傾向	53
【資料8】 大都市における大雨の長期変化傾向	55
【資料9】 2017年各月での都市化の影響による平均気温の変化	61
【資料10】 2010年から2018年までの1月の都市化の影響による平均気温の変化	64

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¹。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²で毎年公表している。

ヒートアイランド対策は、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」³（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」⁴において、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。平成 30 年 6 月 6 日には、第 196 回国会（常会）において「気候変動適応法」が成立した。これにより、適応策は法的に位置付けられ、政府、地方公共団体をはじめ、国全体で適応を推進することとなった。

「ヒートアイランド監視報告 2017」では、第 1 章で、大都市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⁵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、これまでに実施した過去 9 年分の数値シミュレーション結果の総まとめとして、東京都心部付近における盛夏時（8 月）の都市化の影響による気温上昇量の年々の変動について観測データと比較した調査をまとめた。

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。

¹ http://www.env.go.jp/air/life/heat_island/taikou.html

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

³ <http://www.env.go.jp/earth/ondanka/tekiou/siryo1.pdf>

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

⁵ 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)

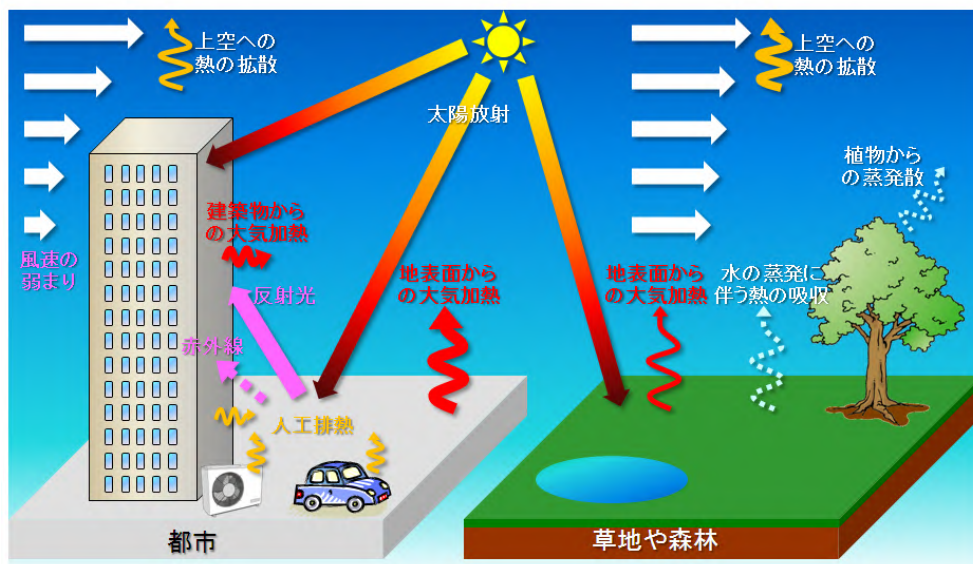
草地、森林、水田、水面等の植生域は、アスファルトやコンクリート等による人工被覆域と比べて保水力が高いことから、水分の蒸発による熱の消費が多く、地表面から大気へ与えられる熱が少なくなるため、主に日中の気温の上昇が抑えられる。

人工被覆域は、植生域と比べて日射による熱の蓄積が多く⁶、また、暖まりにくく冷えにくい性質がある (熱容量が大きい) 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⁷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%) を超えると見積られる。



ヒートアイランド現象の概念図

⁶ 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)。

⁷ 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 2017」の要点

大都市における長期変化傾向（統計開始から 2017 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見られ、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。

都市化の影響の小さい 15 地点平均に比べ、東京では 1950 年代後半から 1970 年頃にかけて気温が大きく上昇している。

【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見られる。

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

【2017 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。

2017 年の都市化の影響は、関東地方では最近 9 年間の中で比較的小さく、近畿、東海地方では最近 9 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。

【盛夏期（8 月）】

過去 9 年分の数値シミュレーション結果と観測データを用いた調査から、晴れて暑い夏ほど都市化の影響が大きいことが分かった。

1. 観測データの長期変化から見る大都市のヒートアイランド現象

この章では、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データを用いた解析結果を示す。この章で用いる「大都市」とは、全国の主要都市の地上気象観測地点の中から、地域的に偏りなく分布するように選出した 11 都市（札幌、仙台、新潟、東京、横浜、名古屋、京都、大阪、広島、福岡、鹿児島）のことを指す。

1.1 気温

都市化による気温の長期的な上昇傾向が見られ、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。
都市化の影響の小さい 15 地点平均に比べ、東京では 1950 年代後半から 1970 年頃にかけて気温が大きく上昇している。

1.1.1 気温の長期変化傾向

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⁸（以下単に「15 地点平均」という。）の都市化率⁹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を表 1.1.1 に、また、東京と 15 地点平均の年平均気温偏差の経年変化及びその差の経年変化を図 1.1.1 に示す。巻末【資料 1】には各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を、【資料 2】には月別の長期変化傾向をまとめた表を掲載する。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、15 地点平均が 1.5 であるのに対し、東京で 3.2 、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¹⁰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、季節別に見ると、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思われる。

図 1.1.1 を見ると、1950 年代後半から 1970 年頃にかけて東京と 15 地点平均の差が急速に広がったことが分かる。この期間に東京の気温が大きく上昇した一因として、高度経済成長に伴う都市化の進展が寄与した可能性が推察される。

⁸ 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。

⁹ 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。

¹⁰ 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(1931～2017年)

100年あたりの変化率を示す。統計期間は1931年から2017年まで(冬は1930年12月/1931年2月～2016年12月/2017年2月)。都市ごとに、一年で最も変化傾向の大きい季節の数値は赤字、最も変化傾向の小さい季節の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(東京、大阪、広島、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。なお、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。

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	3.3	2.9	1.9	2.6	1.0	1.4	1.5	0.7	0.6	4.5	5.6	4.7	3.4	4.2
仙台	69.9	2.4	3.0	2.8	1.4	2.5	1.2	1.6	1.6	0.9	0.9	3.2	3.7	3.9	2.0	3.3
名古屋	89.3	2.9	3.0	3.2	2.2	3.1	1.2	1.4	1.7	0.9	1.1	3.9	3.9	4.5	3.2	4.3
東京	92.9	3.2	4.4	3.3	2.1	3.3	1.7	2.0	2.0	1.2	1.6	4.4	6.0	4.6	2.9	4.3
横浜	59.4	2.8	3.5	3.1	1.8	2.8	2.4	2.7	2.8	1.8	2.3	3.6	4.7	3.9	2.2	3.5
京都	60.2	2.7	2.6	3.0	2.3	2.7	1.1	0.9	1.6	1.0	0.7	3.7	3.8	4.1	3.2	3.9
広島	54.6	2.0	1.6	2.3	1.5	2.4	1.0	0.7	1.7	1.1	0.4	3.1	2.9	3.4	2.6	3.8
大阪	92.1	2.7	2.7	2.7	2.2	3.0	2.2	2.2	2.5	2.0	2.0	3.6	3.3	3.6	3.3	4.0
福岡	64.3	3.1	3.0	3.4	2.3	3.7	1.8	1.8	2.2	1.5	1.6	5.0	4.5	5.9	3.8	6.0
鹿児島	38.8	2.6	2.7	2.9	2.1	2.8	1.3	1.3	1.7	1.2	1.2	4.0	3.7	4.5	3.4	4.6
15地点	16.2	1.5	1.6	1.9	1.2	1.5	1.1	1.2	1.6	0.9	0.8	1.9	1.9	2.1	1.6	1.8

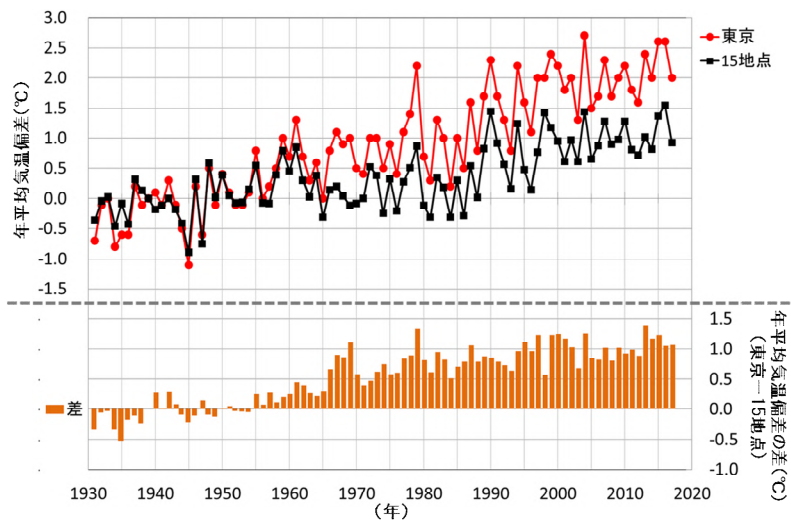


図 1.1.1 東京と都市化の影響が比較的小さいとみられる 15 地点平均の年平均気温偏差の経年変化及びその差の経年変化(1931～2017年)

折れ線(赤)は東京の年平均気温の基準値(1931～1960年平均値)からの偏差を、折れ線(黒)は都市化の影響が比較的小さいとみられる15地点それぞれの年平均気温の基準値からの偏差を平均した値を表す。したがって、統計期間の最初の30年間における東京の平均値と15地点平均の平均値はともに0で一致する。棒グラフ(オレンジ)は東京の偏差と15地点平均の偏差の差を示すものであり、東京の年平均気温と15地点平均の年平均気温の差ではない。

1.1.2 気温の長期変化傾向と都市化率の関係

1931年から2017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1.1.2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見られる。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。

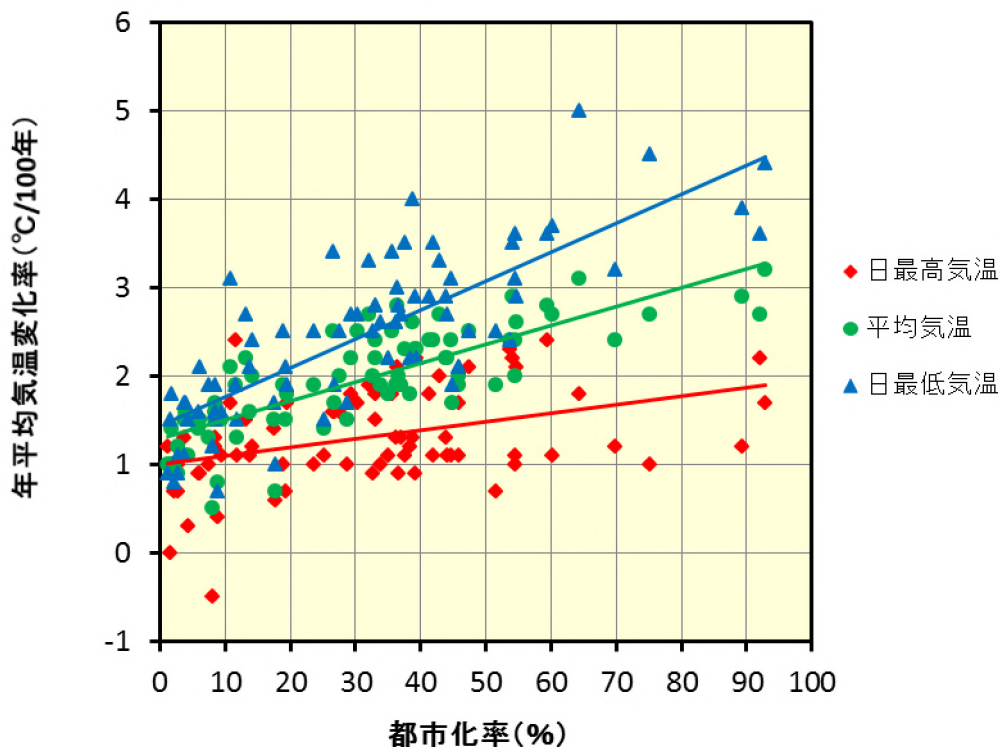


図 1.1.2 全国 78 地点における年平均の気温変化率と都市化率の相関図(1931～2017年)

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2017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¹¹、熱帯夜¹²、真夏日¹³、猛暑日¹⁴の年間日数の長期変化傾向を表 1.1.2 に示し、巻末【資料 3】には各都市における各階級別日数の長期変化傾向を示すグラフを掲載する。

冬日の年間日数は、全ての都市で有意な減少傾向が顕著であり、熱帯夜や真夏日の年間日数は、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見られる。また、猛暑日の年間日数は、札幌、名古屋を除いて増加傾向が見られ、京都、福岡で比較的大きい。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¹⁵と比べて概ね大きく、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。

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(1931～2017 年)

10 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2017 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 11 地点中の 5 地点(新潟、東京、大阪、広島、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	-4.5	<i>0.0</i>	<i>0.1</i>	<i>0.0</i>
仙台	-5.9	0.3	0.9	0.1
名古屋	-7.1	3.7	1.1	<i>0.7</i>
横浜	-6.3	3.0	2.1	0.2
京都	-7.4	3.6	1.3	1.2
福岡	-5.0	4.8	1.2	1.1
13 地点	-2.1	1.7	0.6	0.2

¹¹ 日最低気温が 0 未満の日。

¹² 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。

¹³ 日最高気温が 30 以上の日。

¹⁴ 日最高気温が 35 以上の日。

¹⁵ 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、脚注 8 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見られる。
 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 に示し、巻末【資料 4】には各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を、【資料 5】には月別の長期変化傾向をまとめた表を掲載する。

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¹⁶の年平均で 6.0% であるのに対し、都市化率の高い都市ではそれより大きい。季節別で見ると、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 月や 7 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（大気中に含みうる水蒸気量の最大値）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として指摘されている（藤部，2012a, 2012b）。

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(1931～2017 年)

100 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2017 年まで（冬は 1930 年 12 月/1931 年 2 月～2016 年 12 月/2017 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 11 地点中の 5 地点（新潟、東京、大阪、広島、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	-10.9	-12.6	-11.7	-15.8
仙台	69.9	-9.0	-10.7	-9.2	-6.9	-9.5
名古屋	89.3	-17.6	-17.1	-18.3	-15.9	-18.7
横浜	59.4	-12.8	-17.1	-12.0	-8.9	-13.3
京都	60.2	-15.2	-14.3	-16.6	-13.9	-15.5
福岡	64.3	-14.8	-14.7	-16.6	-11.3	-16.1
13 地点	14.8	-6.0	-5.8	-6.9	-5.5	-5.9

¹⁶ 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、脚注 15 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2017年までの期間で、データの均質性を確保できる全国50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。

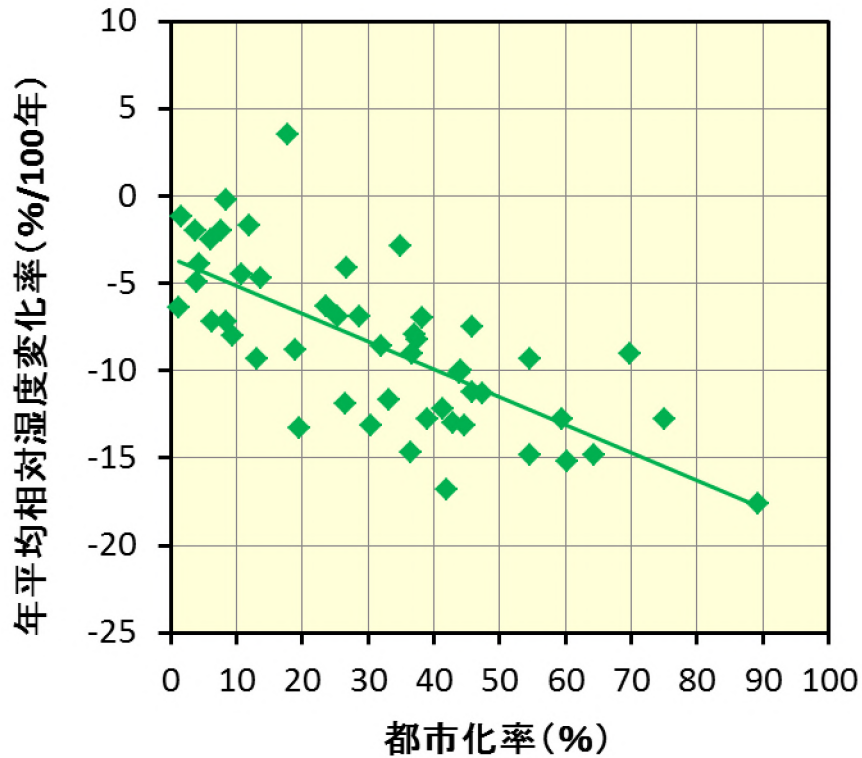


図 1.2.1 全国 50 地点における年平均相対湿度の変化率と都市化率の相関図(1931～2017 年)
統計期間は 1931 年から 2017 年まで。直線は回帰直線を示している。

1.2.3 霧日数の長期変化傾向

東京の年間霧¹⁷日数の長期変化傾向を示すグラフを図 1.2.2 に、また、巻末【資料 6】には大都市分をまとめて示す。

年間霧日数の長期変化傾向は各都市で有意な減少が見られる。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。

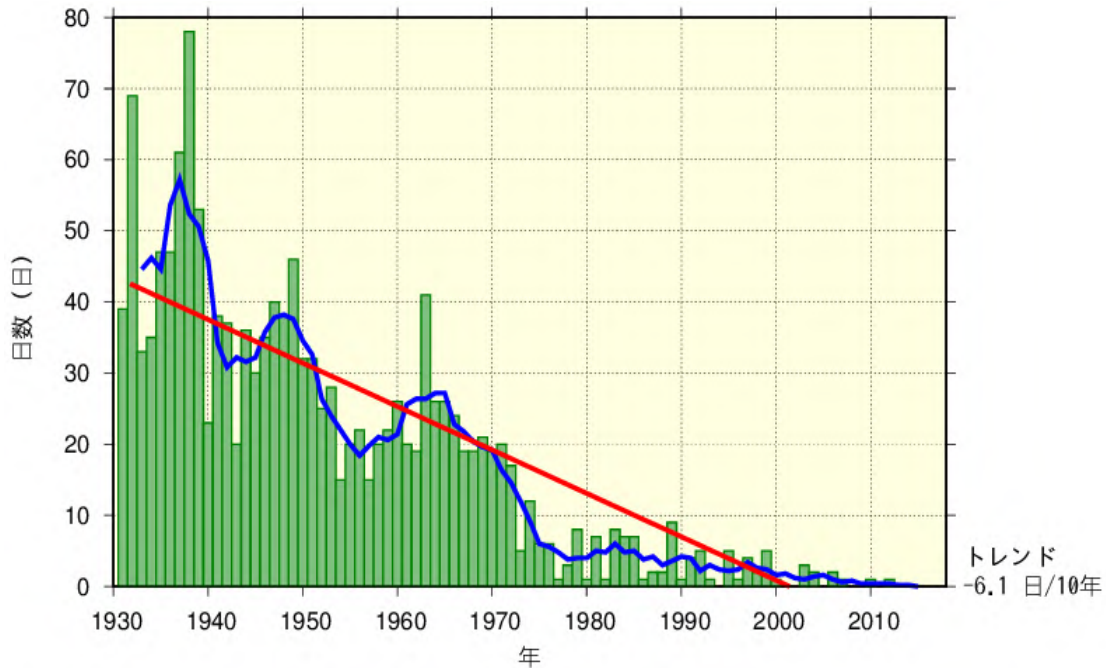


図 1.2.2 東京における年間霧日数の長期変化傾向(1931～2017年)

統計期間は1931年から2017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を示す。

¹⁷ 「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

大都市の多くで降水量や大雨の有意な長期変化傾向は見られない。

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の長期変化傾向を表 1.3.1 に示し、巻末【資料 7】には各都市における年降水量の長期変化傾向を示すグラフを掲載する。

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、多くの都市で見られない。このことから、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。

ちなみに、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¹⁸の平均で代表）で見た場合の年降水量も有意な変化傾向は見られない（気象庁, 2018）。

表 1.3.1 大都市の降水量の長期変化傾向(1931～2017 年)

10 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2017 年まで(冬は 1930 年 12 月/1931 年 2 月～2016 年 12 月/2017 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)				
	年	冬	春	夏	秋
札幌	3.2	6.0	-0.2	-1.1	-1.1
仙台	11.3	-1.3	4.8	5.1	3.1
新潟	8.7	-8.4	-1.2	13.8	4.3
名古屋	7.8	2.1	3.0	-0.3	3.4
東京	8.0	0.5	3.7	0.4	3.7
横浜	14.1	1.6	6.3	2.0	4.2
京都	-2.9	3.6	-1.5	-6.4	1.6
広島	-0.1	1.0	3.3	1.3	-5.3
大阪	-0.2	3.6	0.6	-3.6	-0.6
福岡	1.7	-2.2	1.5	11.4	-8.4
鹿児島	20.5	3.4	-5.8	17.8	5.4

¹⁸ 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、長期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 大雨の長期変化傾向

まず、大都市の年間大雨日数の長期変化傾向を表 1.3.2 に示し、巻末【資料 8】(1)、(2)には各都市における長期変化傾向を示すグラフを掲載する。

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、降水量と同様に、多くの都市で見られない。

一方、日本全体(51 地点平均)で見た場合の日降水量 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, 2018)。これは、全国という広域平均で見た場合は、各地点におけ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。

表 1.3.2 大都市における年間大雨日数の長期変化傾向(1931～2017 年)

100 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2017 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	0.4	0.1
仙台	2.5	0.4
新潟	2.0	0.5
名古屋	0.9	0.1
東京	1.7	0.0
横浜	1.7	0.6
京都	0.0	0.2
広島	1.0	0.1
大阪	0.0	-0.2
福岡	1.5	0.4
鹿児島	2.7	1.8

次に、大都市の年及び季節別の最大1時間降水量の長期変化傾向を表1.3.3に示し、巻末【資料8】(3)には各都市における年最大1時間降水量の長期変化傾向を示すグラフを掲載する。

最大1時間降水量の長期変化傾向も、降水量や年間大雨日数と同様、多くの都市で見られず、都市化の影響との明確な関連性を見出すことは難しい。

表 1.3.3 大都市の最大1時間降水量の長期変化傾向(1965～2017年)

10年あたりの変化率を示す。統計期間は1965年から2017年まで(冬は1964年12月/1965年2月～2016年12月/2017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	最大1時間降水量変化率 (mm/時)/10年				
	年	冬	春	夏	秋
札幌	1.3	-0.1	0.2	1.6	0.7
仙台	1.2	0.6	0.7	0.5	2.0
新潟	2.4	0.6	0.6	2.5	0.3
名古屋	0.1	0.9	0.5	1.0	0.2
東京	3.2	0.7	1.3	1.9	2.7
横浜	2.0	1.1	0.9	1.3	1.5
京都	0.0	0.7	0.4	-0.2	0.0
広島	1.4	0.1	0.4	0.9	2.0
大阪	0.0	1.0	0.4	1.2	-1.0
福岡	3.2	0.3	0.6	3.2	0.6
鹿児島	0.8	1.6	0.6	-0.9	1.9

2. 都市気候モデルで再現されたヒートアイランド現象

この章では、付録 3 に示す都市気候モデルを用いて再現した、関東、近畿、東海地方のヒートアイランド現象の解析結果等を示す。

2.1 2017 年 8 月のヒートアイランド現象

関東地方では、東京都心部から埼玉県南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。
 2017 年の都市化の影響は、関東地方では最近 9 年間の中で比較的小さく、近畿、東海地方では最近 9 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。

2.1.1 2017 年 8 月の概況

2017 年 8 月は、日本の南海上で平年に比べて太平洋高気圧の西への張り出しが強かったため、沖縄・奄美では晴れた日が多く、月間日照時間はかなり多かった。また、月平均気温もかなり高かった（平年差+1.4 で 1946 年の統計開始以来 8 月としては記録 1 位を更新）。西日本でも晴れて気温が高い日が多く、月平均気温は高かった。一方、北・東日本太平洋側では、上旬から中旬にかけてオホーツク海高気圧が出現したため、北東からの冷たく湿った空気が入りやすかった。また、太平洋高気圧の北・東日本への張り出しは平年に比べて弱く、前線や湿った気流の影響を受けやすかった。このため、北・東日本太平洋側では曇りや雨の日が多い不順な天候となって月間日照時間がかなり少なくなり、特に北日本太平洋側では気温の低い日が多かった。月降水量は、沖縄・奄美で少なかった一方、東日本日本海側では、気圧の谷や湿った気流の影響を受けたほか台風第 5 号の影響も受けたため、かなり多かった。（図 2.1.1、図 2.1.2）

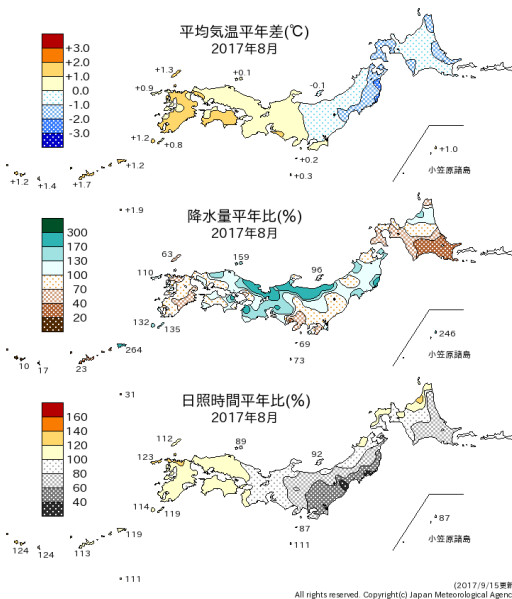


図 2.1.1 2017 年 8 月の平均気温平年偏差(上図)、降水量平年比(中央図)、日照時間平年比(下図)の分布図

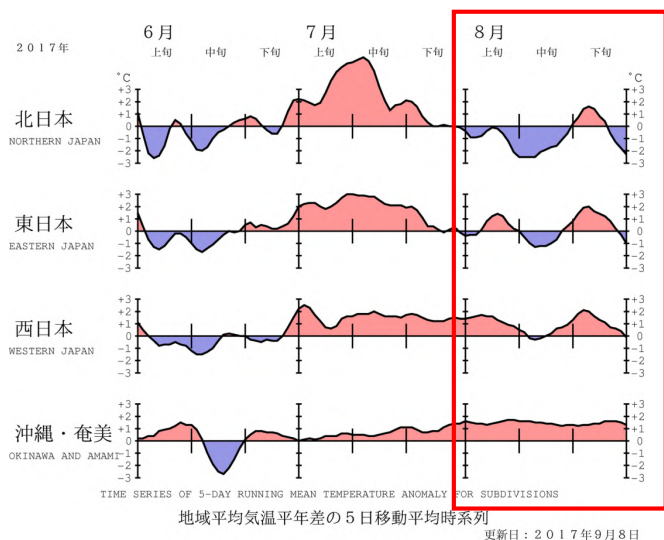


図 2.1.2 2017 年夏(6~8月)の気温平年差の経過図

2.1.2 関東地方

関東地方における2017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いる。特に、東京都心部から埼玉県南東部にかけては、気温30以上となった時間の月合計の最大域(160~200時間域)が見られ、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、2017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。

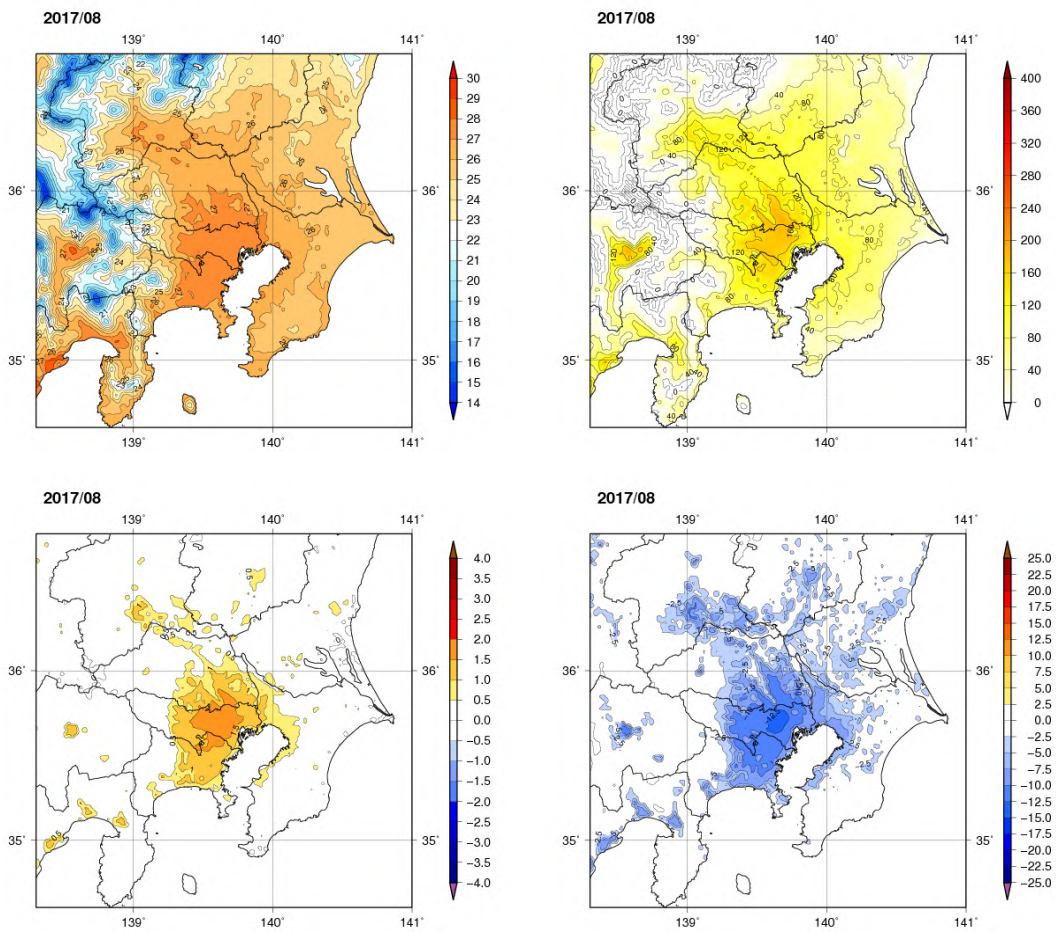


図 2.1.3 関東地方における2017年8月の平均気温(左上図、単位:)、気温30以上となった時間の合計(右上図、単位: 時間)、都市化の影響による平均気温の変化(左下図、単位:)、都市化の影響による平均相対湿度の変化(右下図、単位: %)の分布

最近9年間(2009~2017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に違いが見られ、2017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比較的小さかったことが分かる。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(藤部, 2012b)の日数に違いが出てくるためと考えられる。

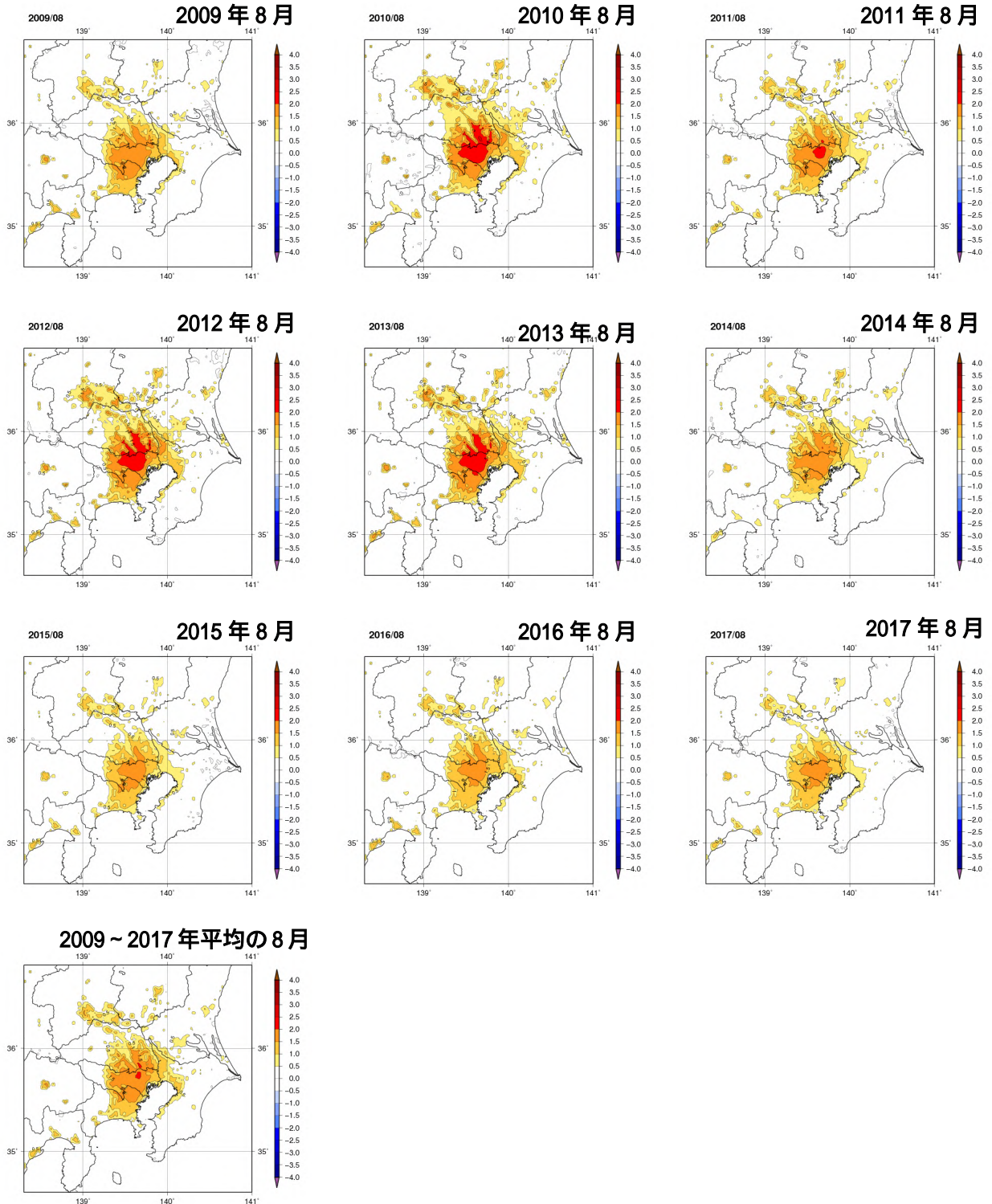


図 2.1.4 関東地方における 2009~2017 年 8 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化()の分布及び 9 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化()の分布

次に、2017年8月の夜間と日中¹⁹、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見ると（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。

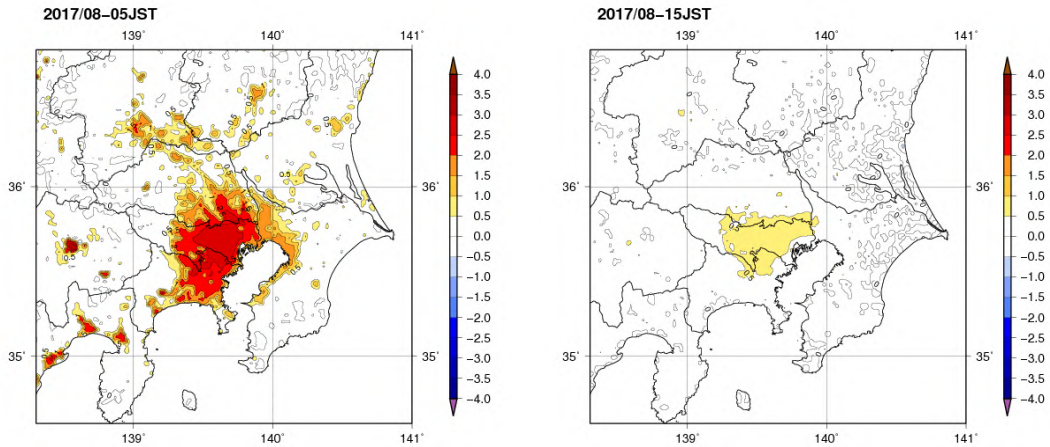


図 2.1.5 関東地方における 2017 年 8 月の 5 時（左図）と 15 時（右図）の都市化の影響による平均気温の変化（ ）の分布

¹⁹ 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。

【トピックス】夏の都市化の影響は晴れの日が多く暑いほど大きい

第 2.1.2 項で示したように、8 月の気温に対する都市化の影響は年によって異なる（図 2.1.4）。ヒートアイランド現象（都市化の影響）が現れやすい主な条件は晴れて日照の多い日であることから、この条件の年ごとの違いが関連していると考えられる。そこで、都市化の影響が明瞭に現れている東京都心部を中心とした領域（図 T1 の緑枠内、以下「領域 A」という。）を対象に、都市化の影響による気温の変化量（モデル計算値）と観測された気温・日照時間（観測値）との関係を調べた。都市化の影響の指標としては各年の 8 月の都市化の影響による平均気温の変化量を領域 A の陸地で平均した値を用いた。観測データ（月平均気温、月間日照時間²⁰）の参照地点としては、領域 A 内で、8 月の統計値が 9 年間均質なデータとして扱える 9 地点（鳩山、越谷、さいたま、青梅、所沢、東京、府中、八王子、羽田）を選出した（図 T1）。

領域 A 内の 8 月の都市化の影響による平均気温の変化量（モデル計算値）と 9 観測地点で平均した平均気温（観測値）の経年変化図（2009~2017 年）及びその散布図を図 T2 に、また、領域 A 内の 8 月の都市化の影響による平均気温の変化量（モデル計算値）と 8 観測地点（羽田を除く）で平均した日照時間（観測値）

の経年変化図（2009~2017 年）及びその散布図を図 T3 にそれぞれ示す。これらを見ると、8 月の都市化の影響は平均気温や日照時間と強い相関があることがわかる。この結果より、日照時間が多い暑い夏ほど都市化の影響が大きくなることが確認できた。晴れて暑い夏の都市部では、都市化の影響の小さいところと比べて熱中症等のリスクがさらに高まることに注意が必要である。

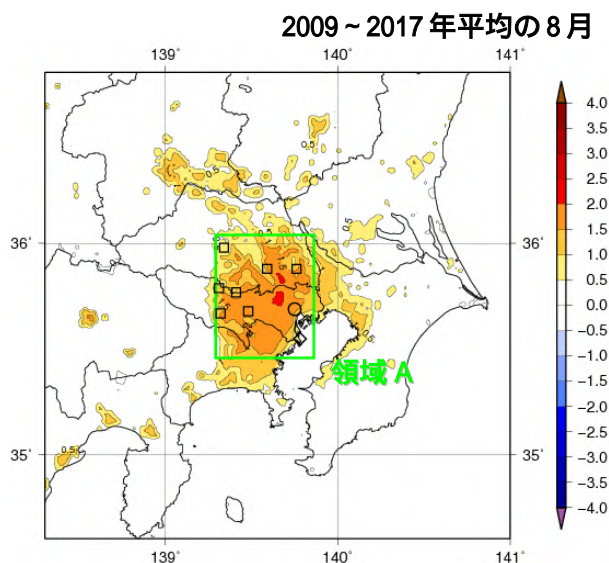


図 T1 関東地方における 9 年間(2009~2017 年)平均した 8 月の都市化の影響による平均気温の変化()の分布

陰影は都市化の影響による平均気温の変化量()を示す。緑枠域(領域 A)は、9 年間(2009~2017 年)平均した都市化の影響による平均気温の変化の分布図において、1.5 以上の比較的上昇量の大きい領域が概ね入るように選定。また、領域 A 内で観測データを参照する地点(9 年間均質な観測データが揃う地点)は、 :東京、 :羽田、 : (北から及び東から順に)鳩山、越谷、さいたま、青梅、所沢、府中、八王子の 9 地点。なお、東京の気温は 2014 年 12 月の観測場所の移転に伴う影響を補正したものを利用した。羽田では日照時間の観測は行っていない。

²⁰ 日照時間とは直射日光が地表を照射した時間。現在、日照は、「直達日射量（太陽光線に対して垂直な面で受けた単位面積あたりの直達日射エネルギーの強さ）が 0.12kW/m²以上」として定義している。

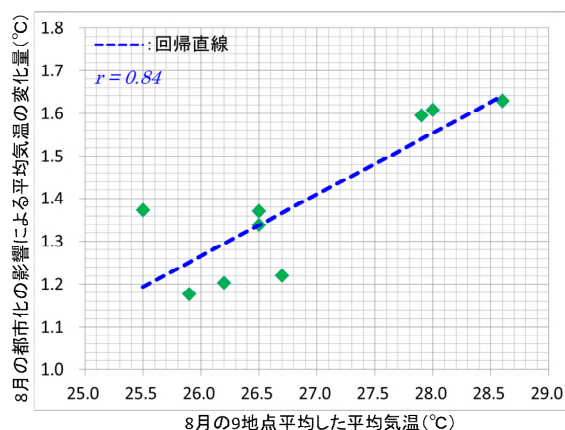
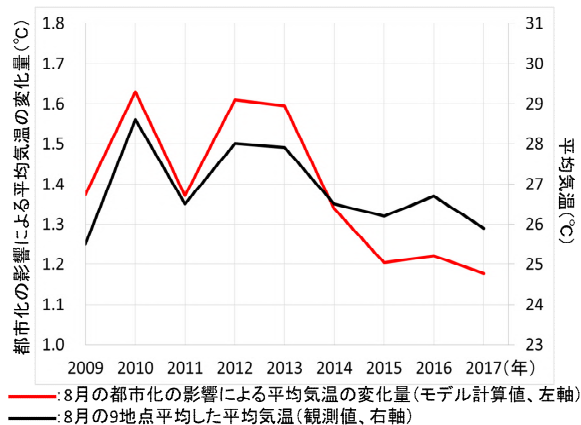


図 T2 8月の都市化の影響による気温の変化量(モデル計算値)と観測された気温(観測値)の経年変化図(2009~2017年)(左図)及びその散布図(右図)

モデル計算値は、図 T1 の緑枠内の陸域で平均した値。観測値は、8月の統計値が9年間均質なデータとして扱える9地点(鳩山、越谷、さいたま、青梅、所沢、東京、府中、八王子、羽田)で平均した値。東京は2014年12月の観測場所の移転に伴う影響を補正したものを利用している。右図の r は相関係数を示す。

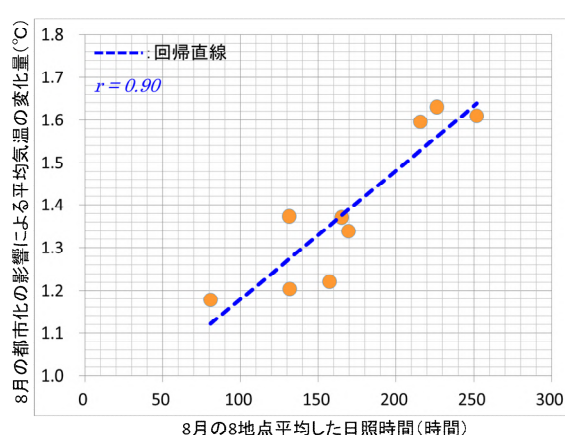
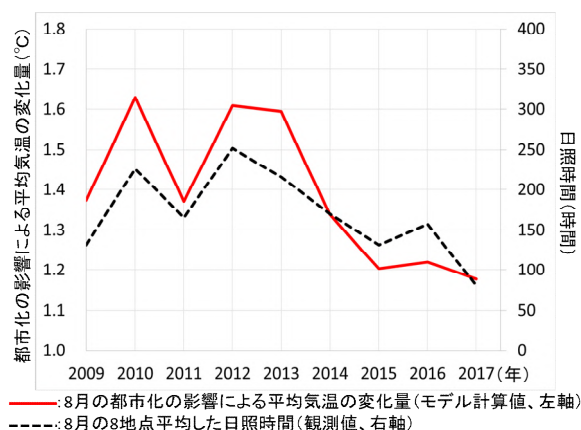


図 T3 8月の都市化の影響による気温の変化量(モデル計算値)と観測された日照時間(観測値)の経年変化図(2009~2017年)(左図)及びその散布図(右図)

モデル計算値は、図 T1 の緑枠内の陸域で平均した値。観測値は、8月の統計値が9年間均質なデータとして扱える8地点(鳩山、越谷、さいたま、青梅、所沢、東京、府中、八王子)で平均した値。なお、羽田は日照観測を行っていない。右図の r は相関係数を示す。

2.1.3 近畿地方

近畿地方における 2017 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（280～320 時間域）が見られる。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、2017 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。

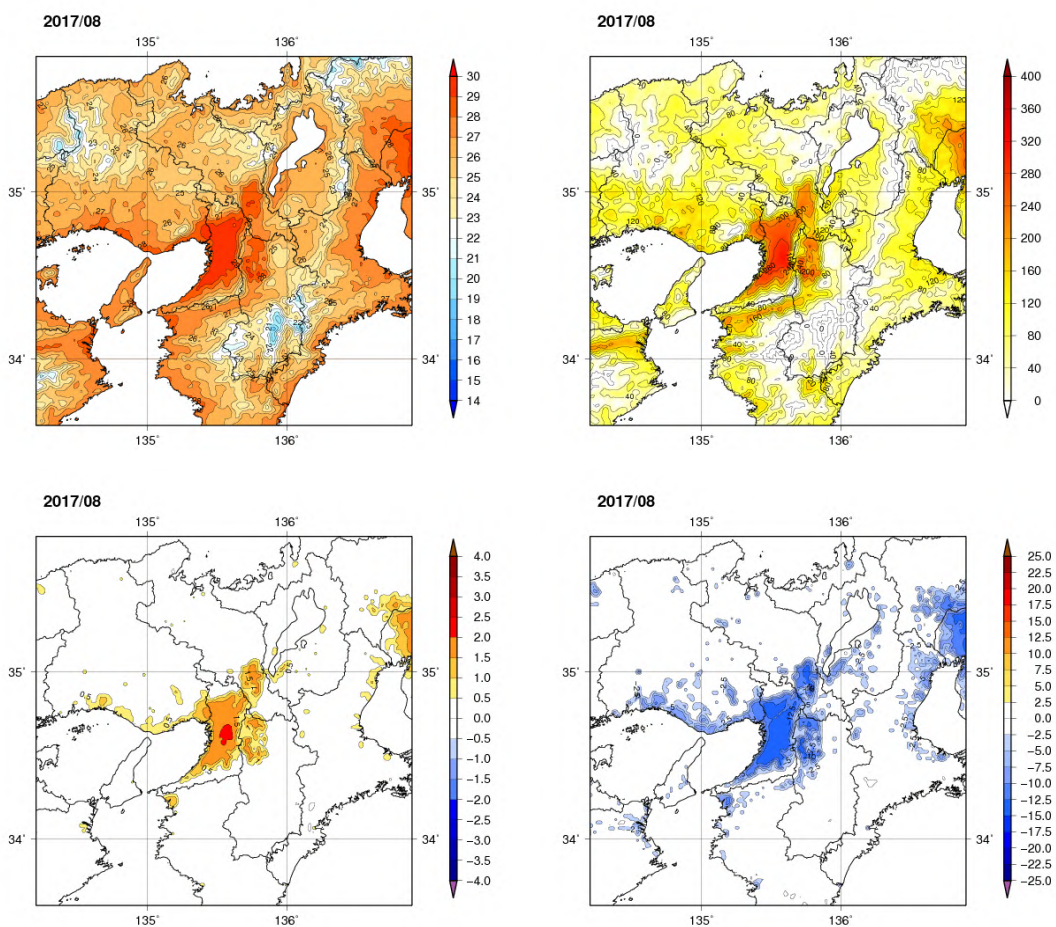


図 2.1.6 近畿地方における 2017 年 8 月の平均気温（左上図、単位：℃） 気温 30 以上となった時間の合計（右上図、単位：時間） 都市化の影響による平均気温の変化（左下図、単位：℃） 都市化の影響による平均相対湿度の変化（右下図、単位：%）の分布

最近9年間(2009~2017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に違いが見られ、2017年は気温上昇量の最大域(+2.0~2.5 域)や+0.5以上の領域の広がり最近9年間の平均程度であったことが分かる。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(藤部, 2012b)の日数に違いが出てくるためと考えられる。

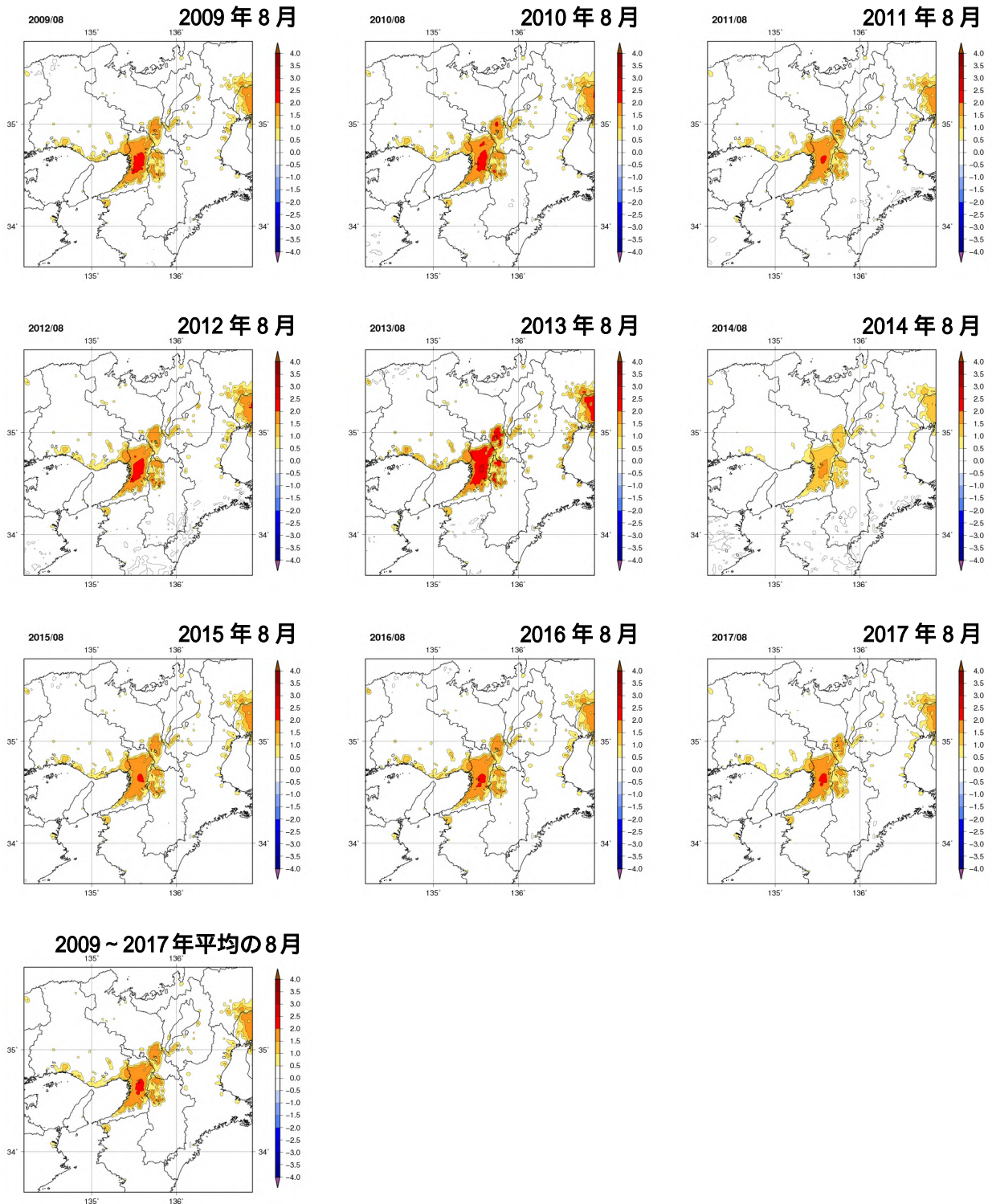


図 2.1.7 近畿地方における 2009~2017 年 8 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化()の分布及び 9 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化()の分布

次に、2017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見ると(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。

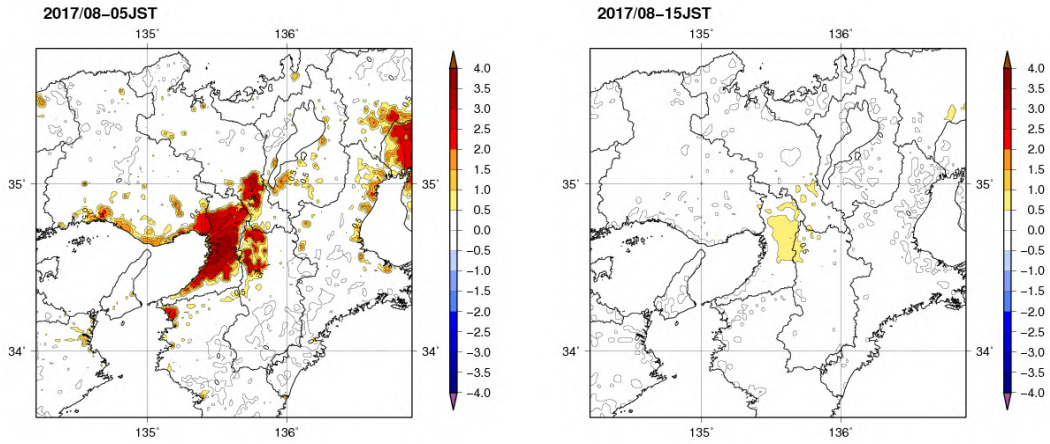


図 2.1.8 近畿地方における 2017 年 8 月の 5 時(左図)と 15 時(右図)の都市化の影響による平均気温の変化()の分布

2.1.4 東海地方

東海地方における2017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以上の高温域が見られる。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)が見られ、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、2017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。

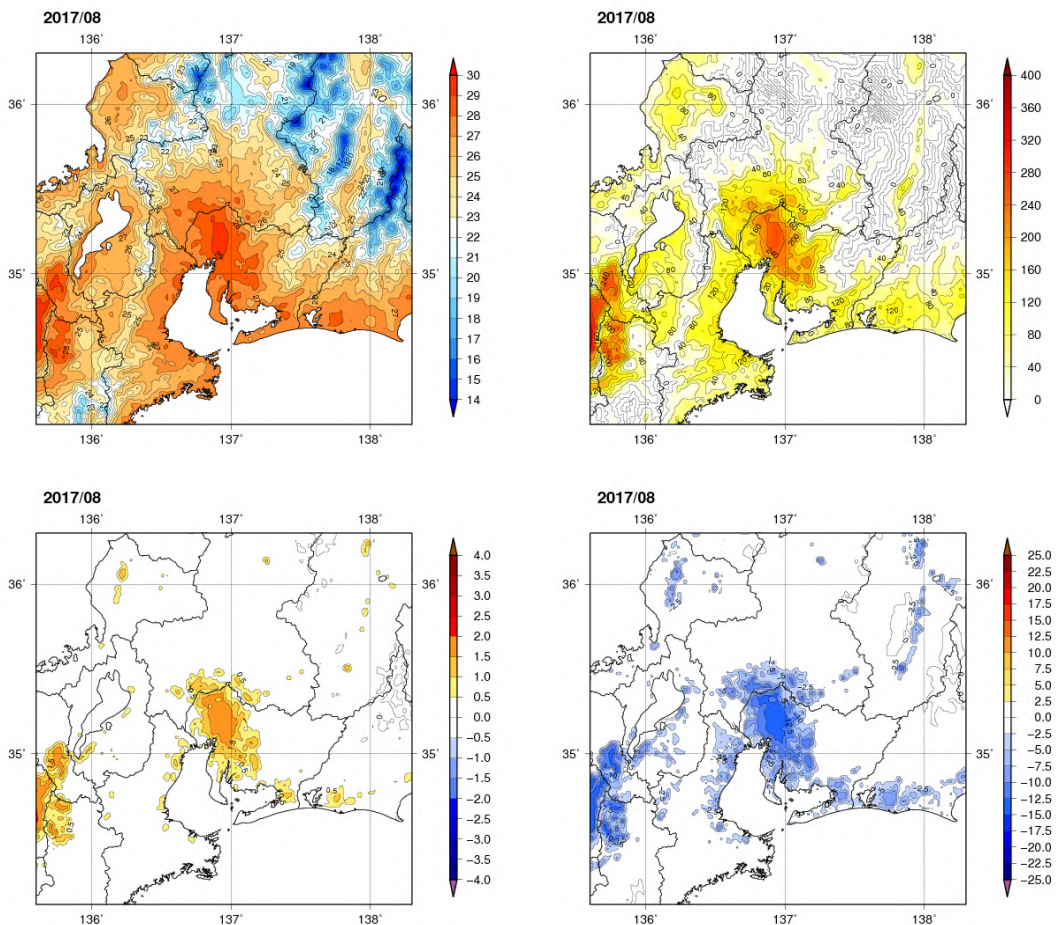


図 2.1.9 東海地方における 2017 年 8 月の平均気温(左上図、単位: °C)、気温 30 以上となった時間の合計(右上図、単位: 時間)、都市化の影響による平均気温の変化(左下図、単位: °C)、都市化の影響による平均相対湿度の変化(右下図、単位: %)の分布

最近9年間(2009~2017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に違いが見られ、2017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最近9年間の平均程度であったことが分かる。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(藤部, 2012b)の日数に違いが出てくるためと考えられる。

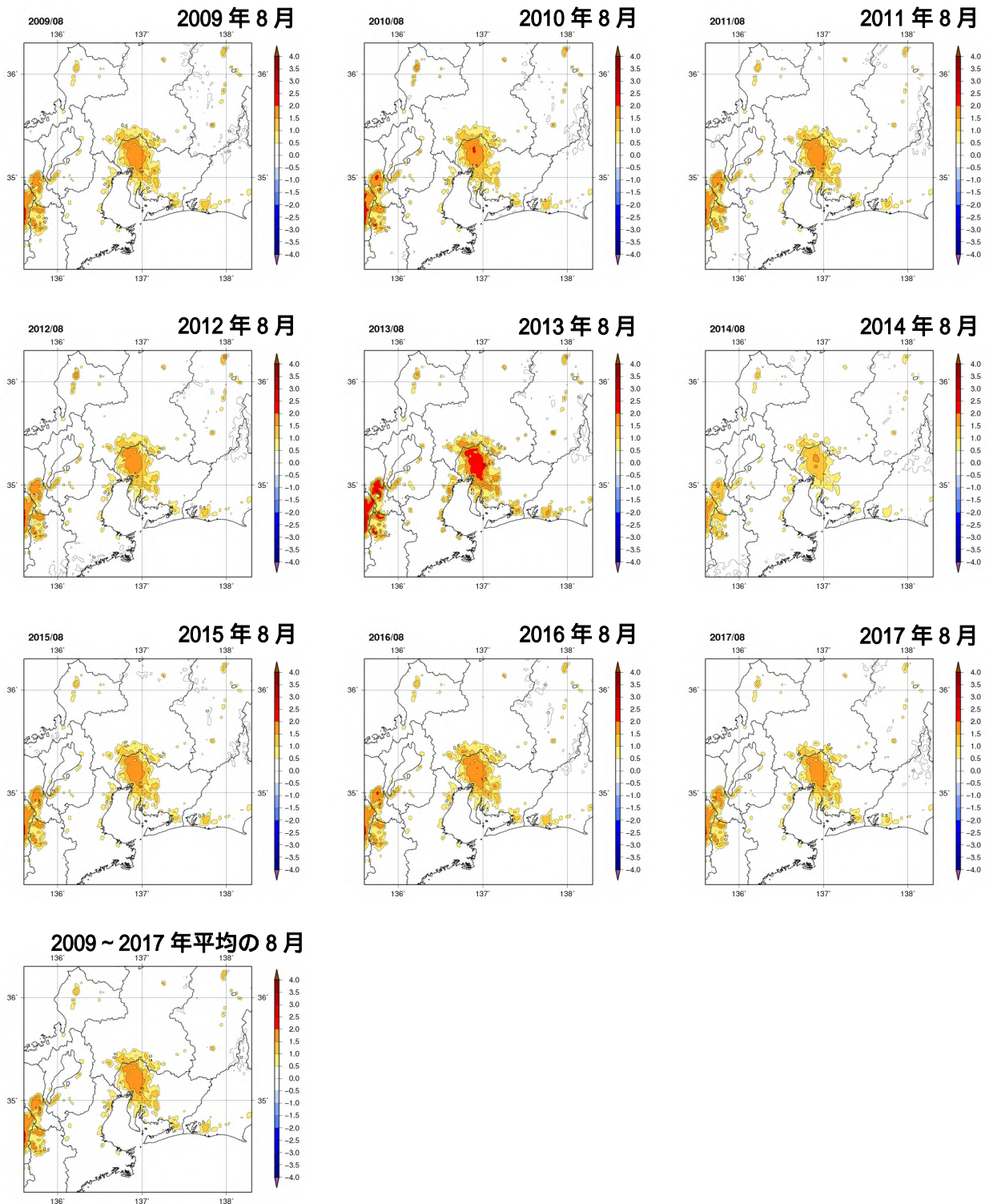


図 2.1.10 東海地方における 2009~2017 年 8 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化 () の分布及び 9 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化 () の分布

次に、2017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見ると（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。

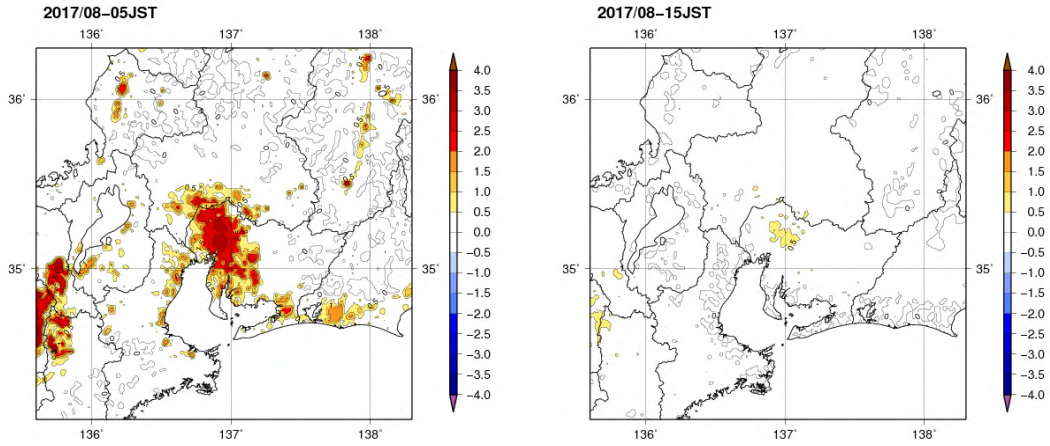


図 2.1.11 東海地方における 2017 年 8 月の 5 時（左図）と 15 時（右図）の都市化の影響による平均気温の変化（ ）の分布

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9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2017年までの8月、冬が2010年から2018年までの1月のものである。9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²¹。夜間における都市がある場合とない場合の気温差は主に放射冷却の違いが関連し、都市がある場合はない場合と比べて放射冷却が弱まる。また、冬は夏と比べて放射冷却の効果が大きい。このため、冬の方が夏と比べて都市化の影響が大きくなると考える。

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、2009年から2017年までの8月の都市化の影響による平均気温の変化については2.1節の図2.1.4、図2.1.7、図2.1.10に示し、2010年から2018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。

²¹ 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）。

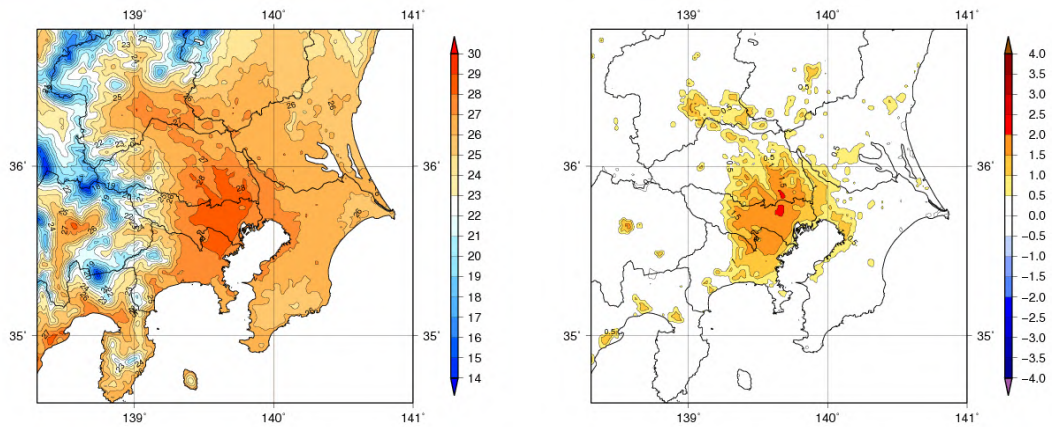


図 2.2.1 関東地方における 9 年間（2009～2017 年）平均した 8 月の平均気温（左図、単位：℃）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位：℃）の分布

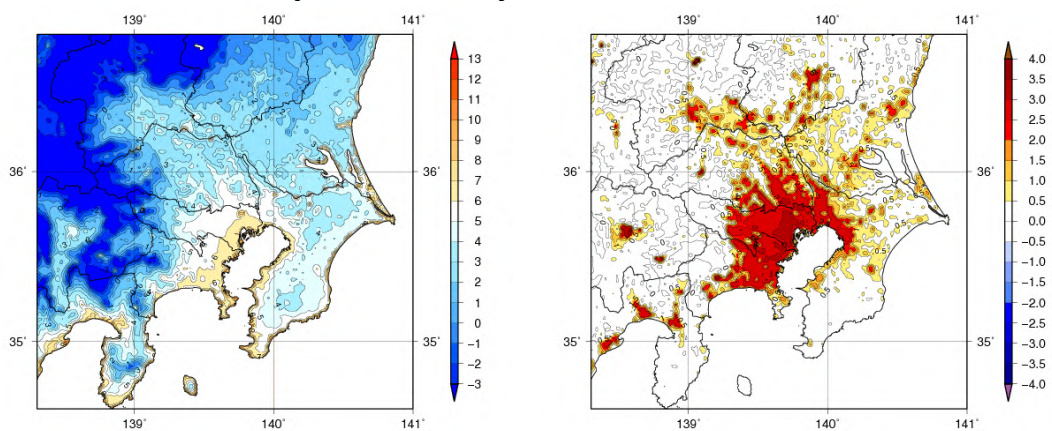


図 2.2.2 関東地方における 9 年間（2010～2018 年）平均した 1 月の平均気温（左図、単位：℃）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位：℃）の分布

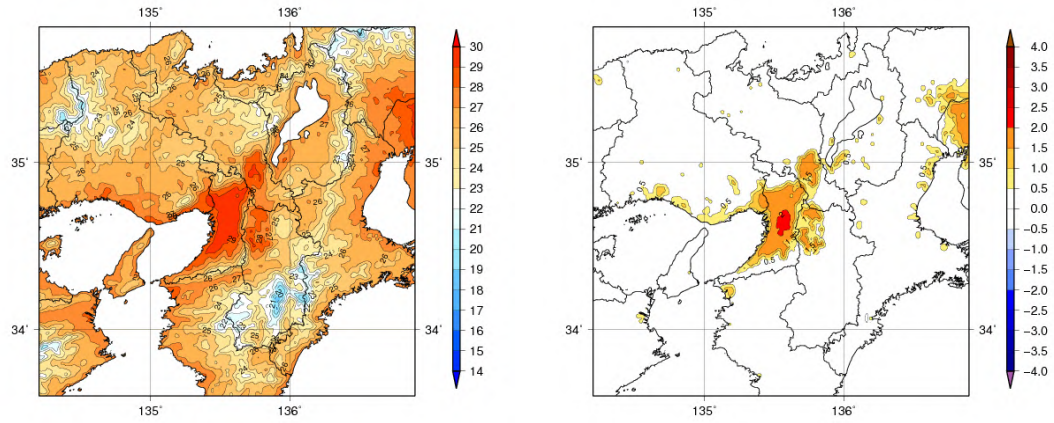


図 2.2.3 近畿地方における 9 年間（2009～2017 年）平均した 8 月の平均気温（左図、単位：℃）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位：℃）の分布

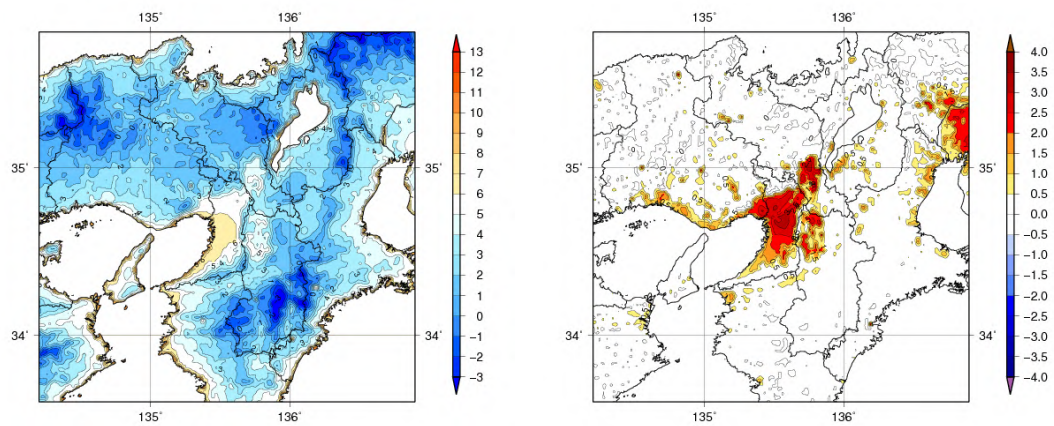


図 2.2.4 近畿地方における 9 年間（2010～2018 年）平均した 1 月の平均気温（左図、単位：℃）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位：℃）の分布

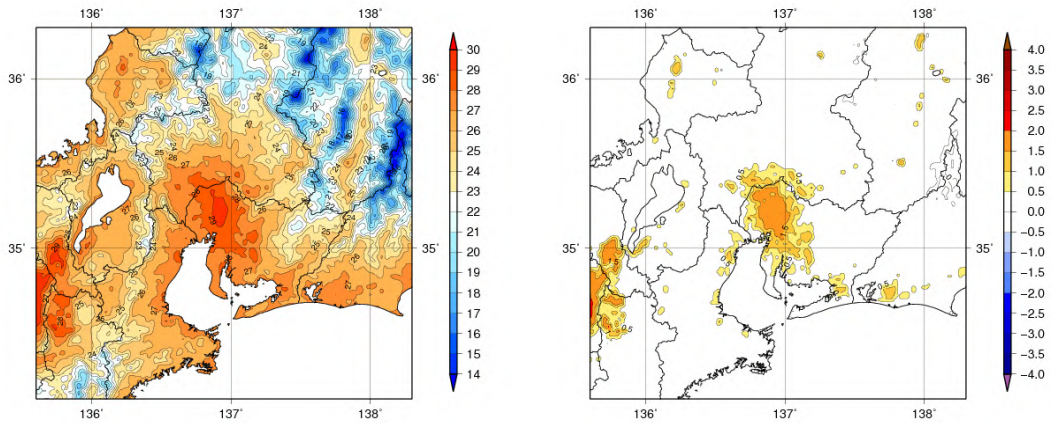


図 2.2.5 東海地方における 9 年間（2009～2017 年）平均した 8 月の平均気温（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）の分布

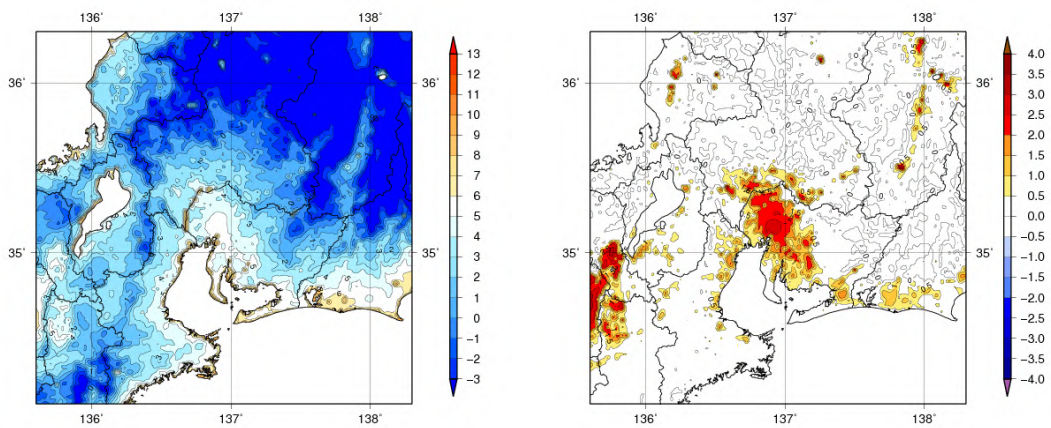


図 2.2.6 東海地方における 9 年間（2010～2018 年）平均した 1 月の平均気温（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）と都市化の影響による平均気温の変化（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）の分布

— 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

気象庁, 2012: ヒートアイランド監視報告 (平成 23 年)

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

気象庁, 2018: 気候変動監視レポート 2017

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

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 猛暑と大雨をめぐる. 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.

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（トレンド）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。

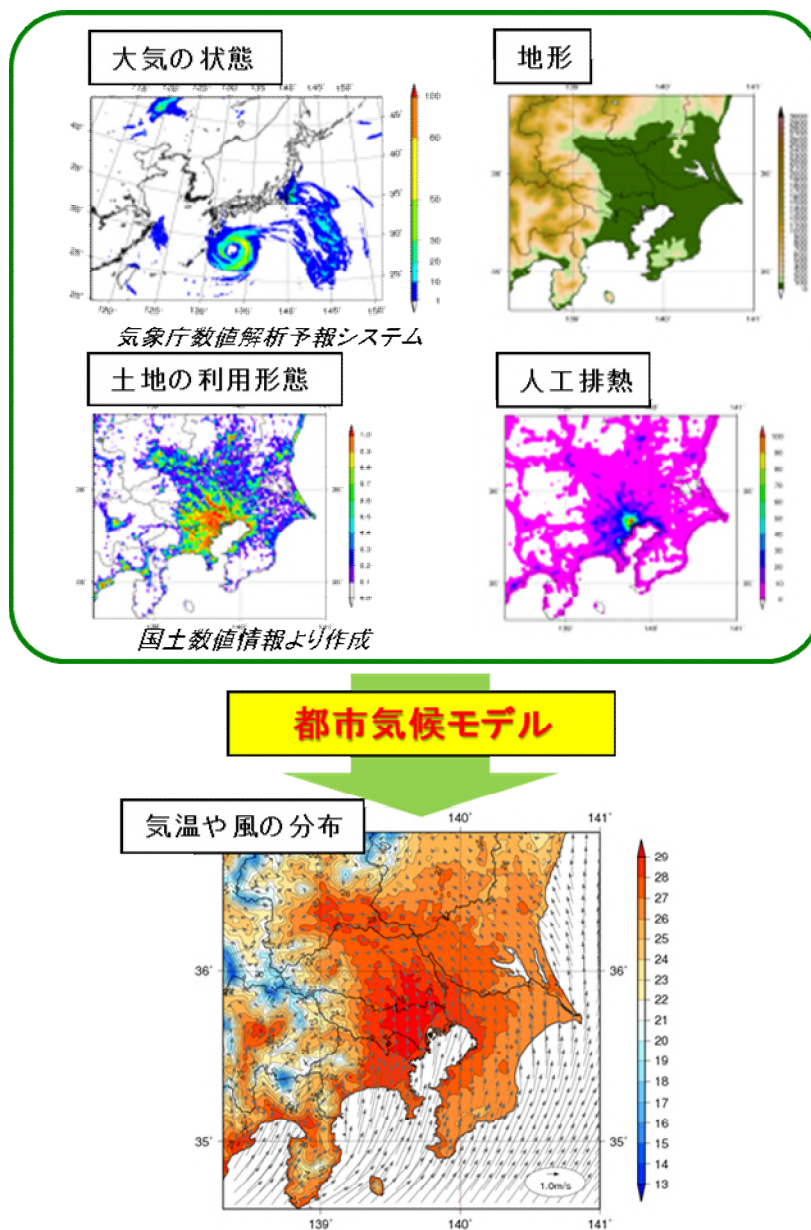
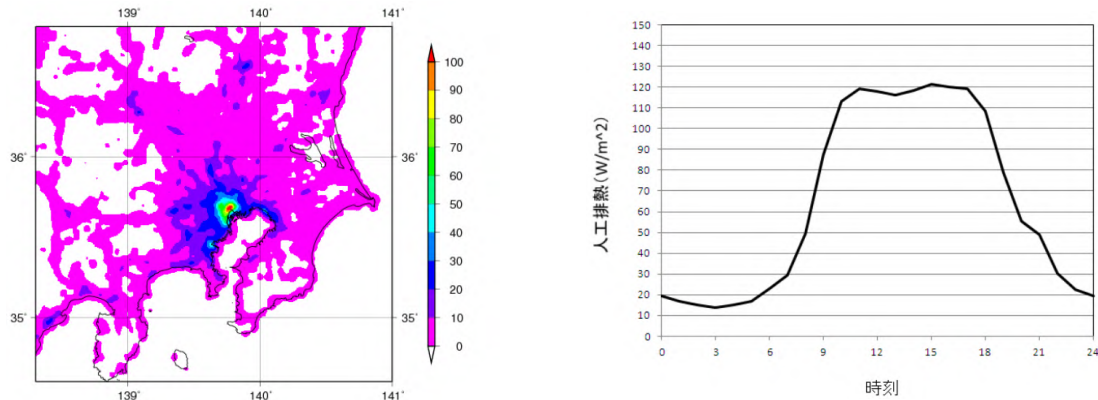


図 A1 都市気候モデルの概要

人工排熱量データ

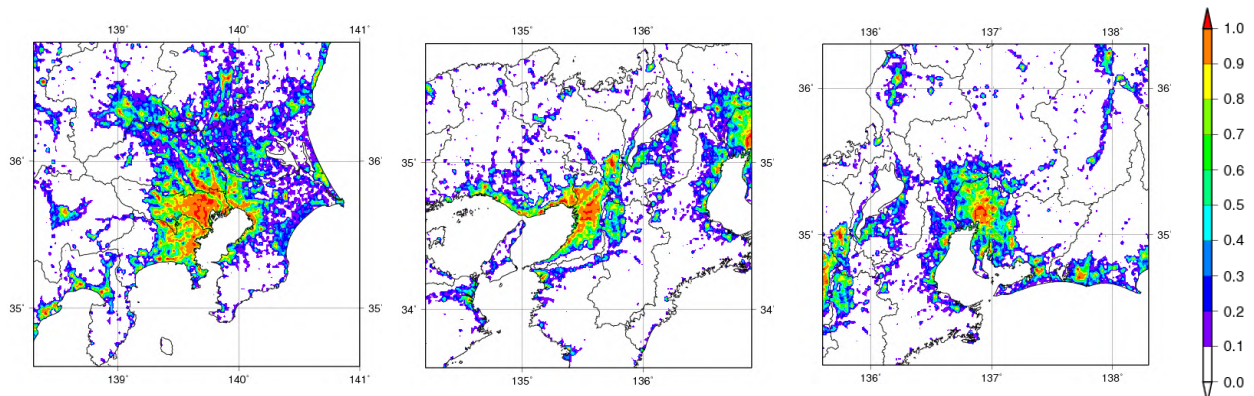
モデルに与える人工排熱量データについては、萱場ほか（2010）で作成された推定式により、総務省統計局の人口データや従業者数データ、国土数値情報の土地利用3次メッシュデータをもとに作成したデータを利用している。図A2は、上記で作成された関東の8月の15時の分布図と東京（大手町）の観測地点における8月の時系列図を示している。



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。

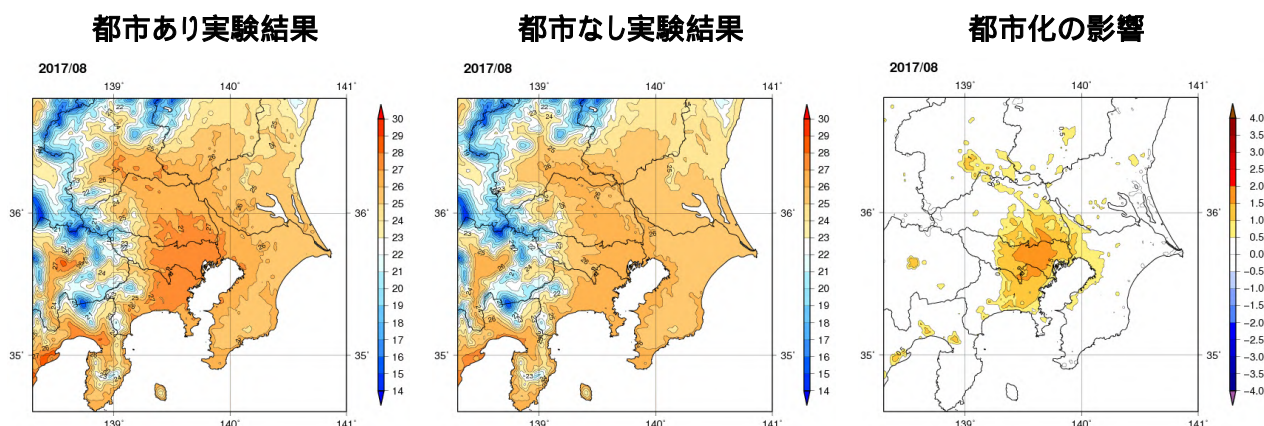


図 A4 関東地方における 2017 年 8 月の平均気温の都市あり実験結果（左図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）、都市なし実験結果（中央図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）、都市化の影響による平均気温の変化：「都市あり実験」と「都市なし実験」の差（右図、単位： $^{\circ}\text{C}$ ）

- 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）

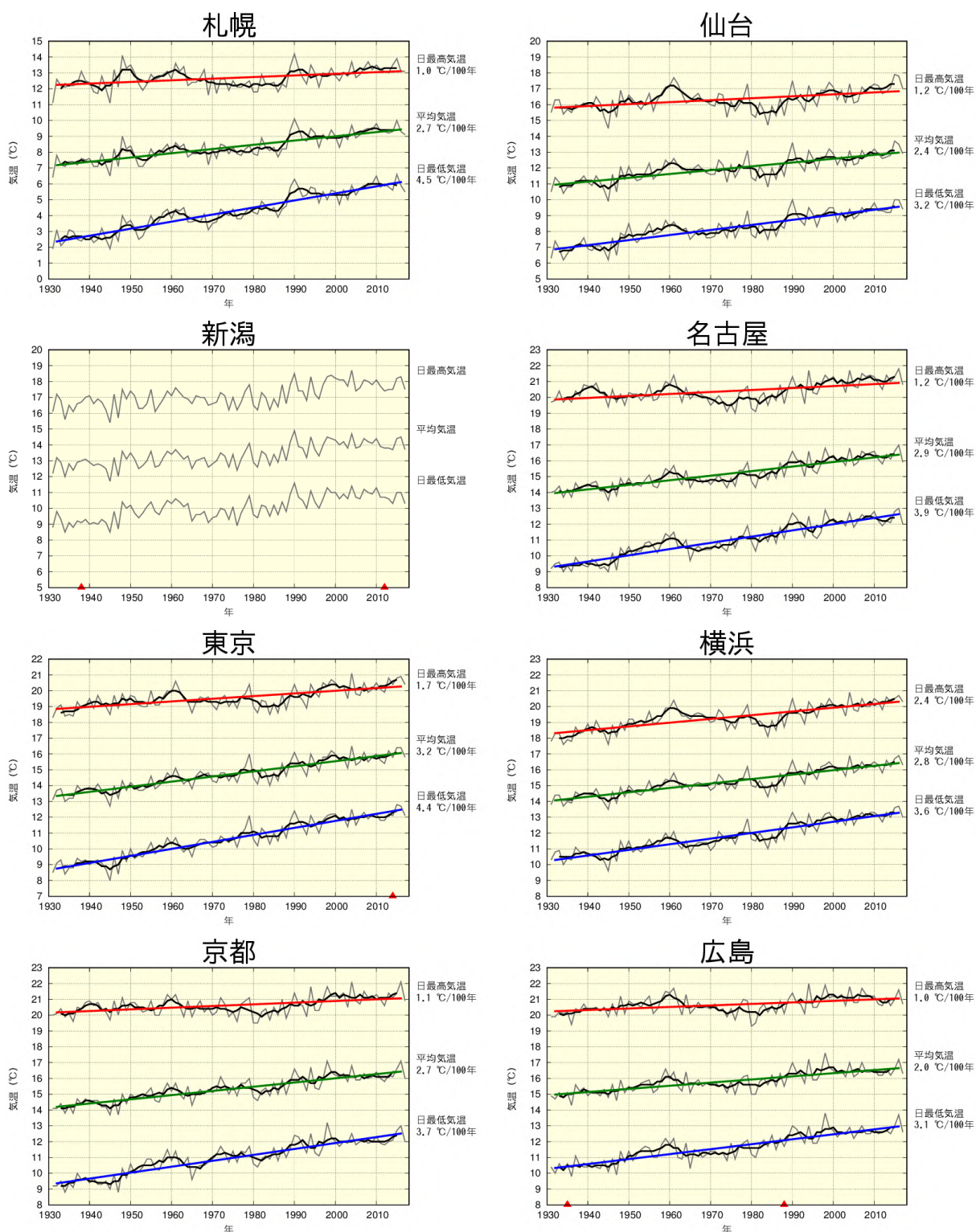
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/index.html>

萱場互起, 青柳曉典, 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.

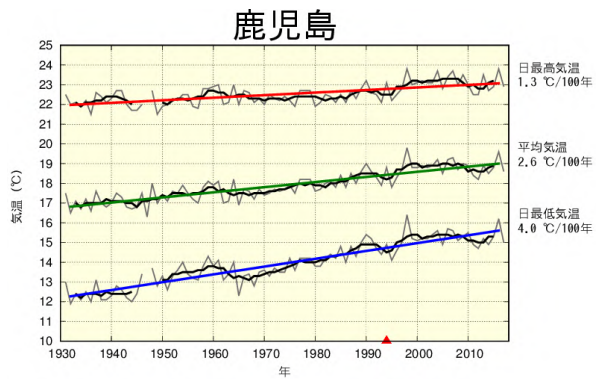
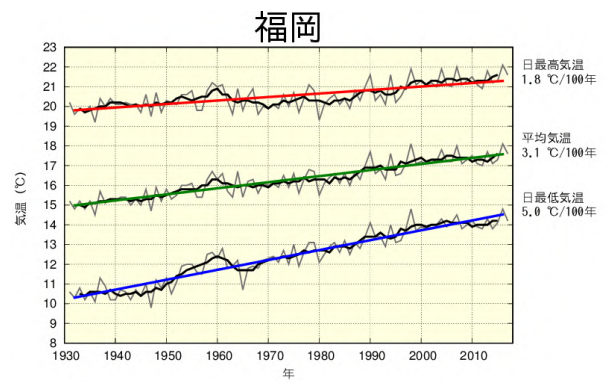
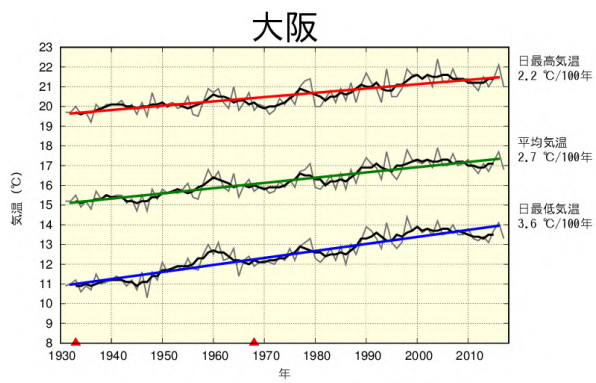
Aoyagi, T., and N. Seino, 2011: A square prism urban canopy scheme for the NHM and its evaluation on summer conditions in the Tokyo metropolitan area, Japan. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 50, 1476-1496.

【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 2017 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 2017 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、大阪、広島、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。一方、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。

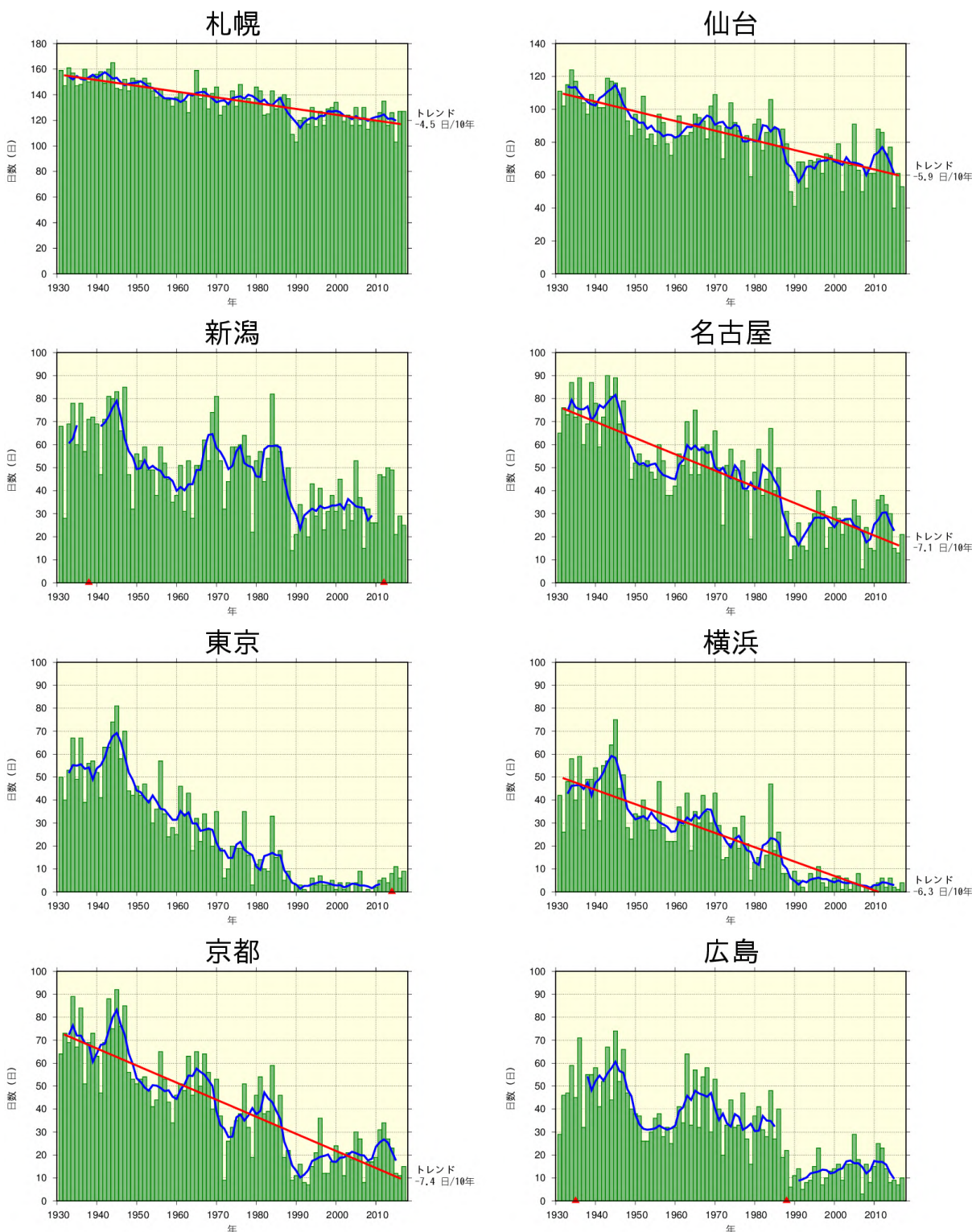
地点	平均気温変化率 (/100 年)											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
札幌	3.5	3.5	3.2	2.8	2.7	2.5	1.8	1.5	2.9	2.6	2.4	2.9
仙台	2.9	3.1	3.1	2.7	2.6	2.0	1.2	0.9	2.2	3.0	2.4	2.9
名古屋	3.0	3.5	3.4	3.2	2.9	2.4	1.9	2.4	2.9	3.6	2.7	2.4
東京	4.3	4.3	3.8	3.2	3.0	2.3	2.0	1.9	2.5	3.6	3.7	4.4
横浜	3.4	3.8	3.5	2.9	2.8	2.0	1.7	1.7	2.2	3.2	3.0	3.3
京都	2.6	3.0	3.0	3.2	3.0	2.4	1.9	2.4	2.4	3.2	2.5	2.1
広島	1.8	2.2	2.6	2.1	2.4	2.5	0.5	1.6	1.8	3.4	2.1	0.8
大阪	2.5	3.5	2.9	3.0	2.4	2.2	1.8	2.4	2.9	3.6	2.5	2.0
福岡	2.9	3.7	3.5	3.4	3.4	2.4	2.0	2.5	3.2	4.6	3.3	2.1
鹿児島	2.9	2.9	3.3	2.8	2.5	2.1	1.7	2.4	2.5	3.6	2.3	2.0
15 地点	1.6	2.1	2.0	1.9	1.8	1.5	1.1	1.1	1.4	1.8	1.2	1.0

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	1.6	1.9	1.6	1.2	1.1	0.8	0.1	1.0	0.0	0.7	1.2
仙台	1.5	1.7	1.8	1.5	1.4	1.5	1.0	0.2	1.0	1.3	0.6	1.4
名古屋	1.5	2.0	1.9	1.8	1.3	1.0	0.6	1.0	1.4	1.6	0.3	0.7
東京	1.7	2.4	2.0	2.0	1.9	1.3	1.3	1.0	1.3	2.0	1.6	1.7
横浜	2.4	3.4	2.9	2.8	2.8	2.0	1.8	1.6	1.9	2.8	2.1	2.0
京都	0.8	1.6	1.6	1.7	1.6	1.1	0.8	1.2	0.9	1.2	0.1	0.1
広島	0.9	1.6	1.8	1.4	1.9	1.7	0.6	1.1	0.6	0.8	-0.2	-0.4
大阪	1.8	3.3	2.6	2.5	2.3	2.1	1.6	2.4	2.2	2.8	1.1	1.4
福岡	1.8	2.8	2.4	2.2	2.2	1.3	1.4	1.7	2.0	2.2	0.8	0.5
鹿児島	1.4	2.0	1.8	1.5	1.9	1.0	1.2	1.5	1.0	2.4	0.4	0.3
15地点	1.1	1.8	1.7	1.5	1.5	1.2	0.9	0.7	0.9	1.1	0.5	0.6

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	6.0	5.9	4.8	4.5	4.9	4.1	3.1	3.0	4.6	4.5	3.5	4.6
仙台	3.8	3.8	3.7	3.9	4.0	2.8	1.6	1.4	2.8	3.8	3.2	3.4
名古屋	3.8	4.3	4.6	4.5	4.3	3.5	2.7	3.3	3.7	4.8	4.3	3.4
東京	6.2	5.5	5.0	4.5	4.3	3.2	2.6	2.7	3.3	4.6	5.0	6.0
横浜	4.8	4.6	4.3	3.7	3.5	2.5	2.0	2.2	2.8	3.9	3.9	4.5
京都	3.8	3.9	4.0	4.2	4.0	3.6	2.8	3.3	3.3	4.3	4.1	3.5
広島	2.8	3.2	3.4	3.1	3.7	3.5	1.7	2.6	3.1	4.6	3.8	2.5
大阪	3.1	3.7	3.6	3.7	3.5	3.5	2.9	3.5	3.7	4.5	4.0	2.9
福岡	4.3	5.1	5.7	6.0	5.8	4.6	2.9	3.8	4.9	7.3	5.9	3.9
鹿児島	4.0	3.9	5.0	4.4	4.0	3.9	2.6	3.7	4.3	5.4	4.0	3.0
15地点	2.0	2.3	2.1	2.1	2.2	2.0	1.3	1.5	1.7	2.2	1.6	1.3

【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

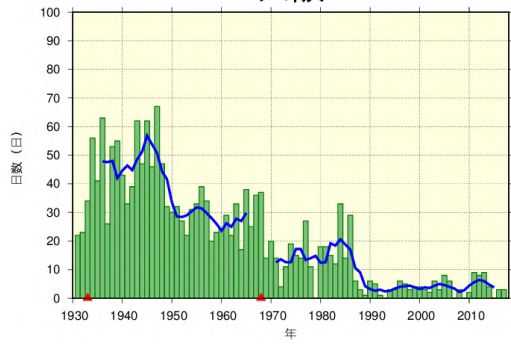
(1) 冬日日数



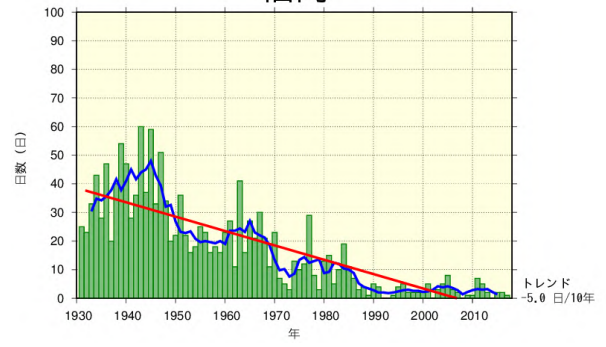
大都市における年間冬日日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2017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。新潟、東京、大阪、広島、鹿児島は、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、長期変化傾向は求めていない。次頁に続く。

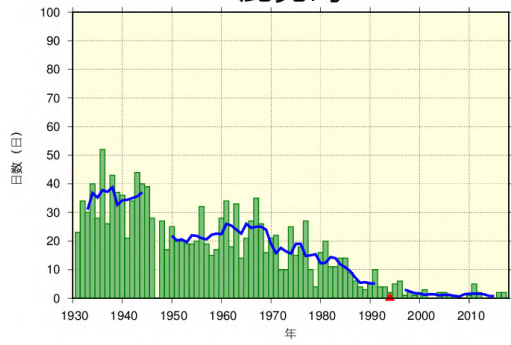
大阪



福岡

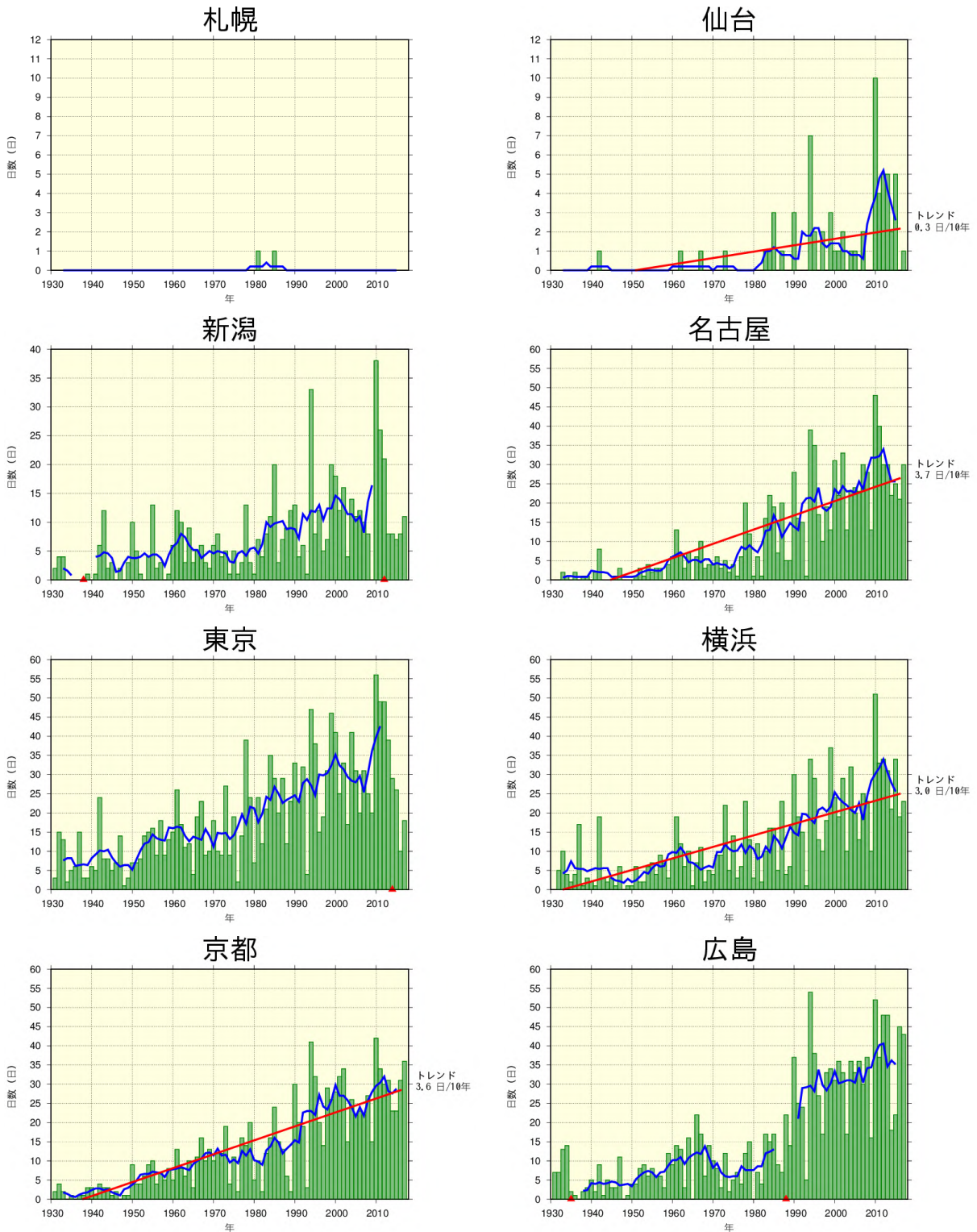


鹿児島



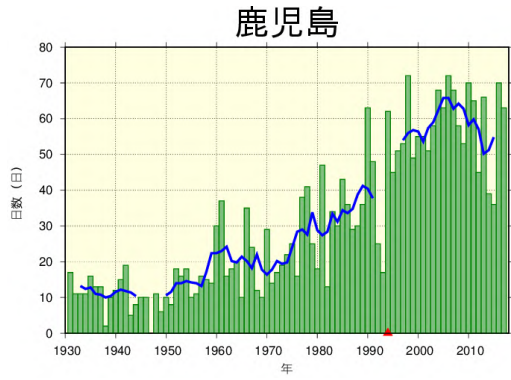
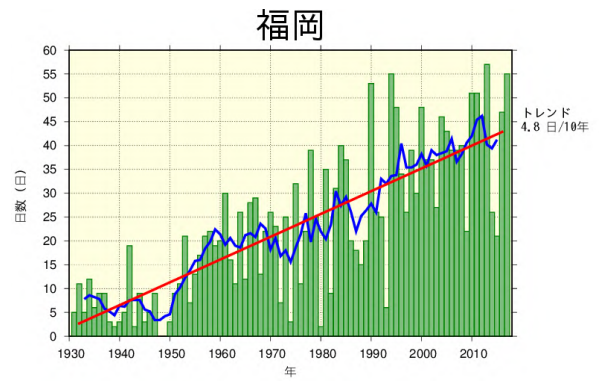
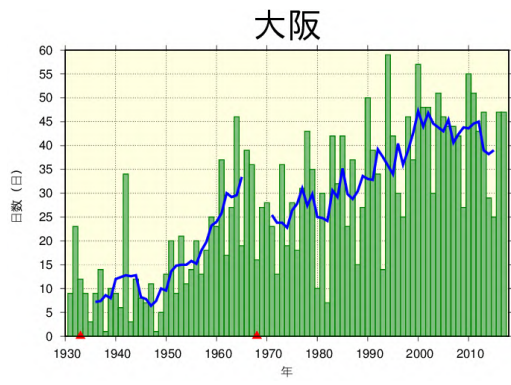
大都市における年間冬日日数の長期変化傾向(続き)

(2) 熱帯夜日数



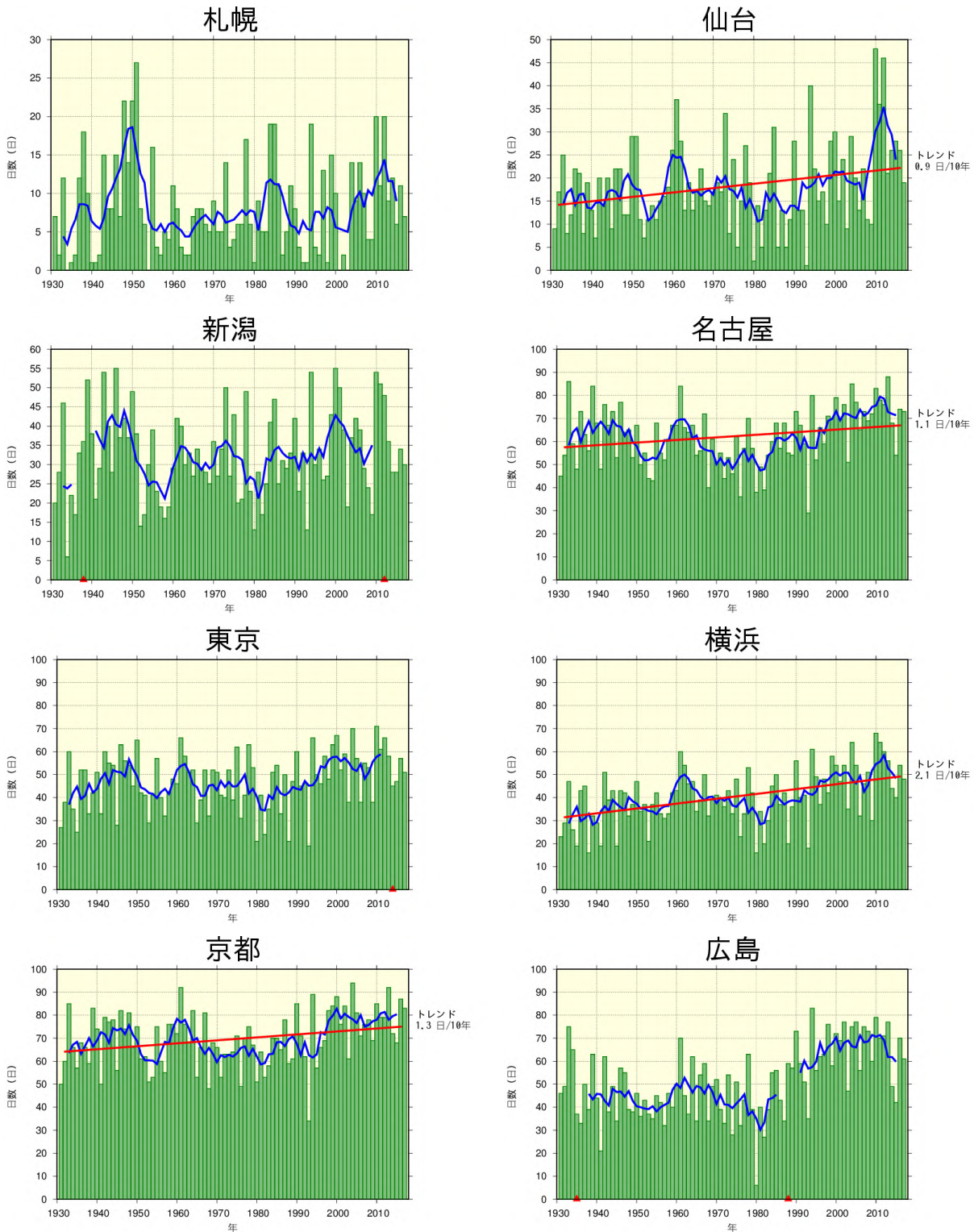
大都市における年間熱帯夜日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2017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。新潟、東京、大阪、広島、鹿児島は、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、長期変化傾向は求めていない。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)

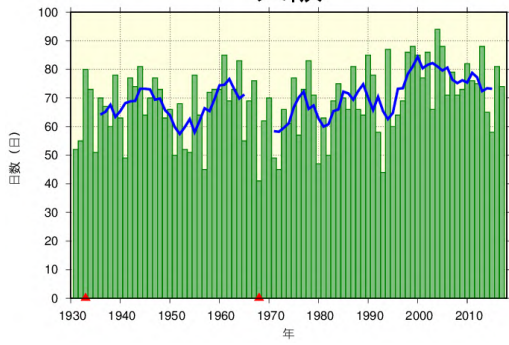
(3) 真夏日日数



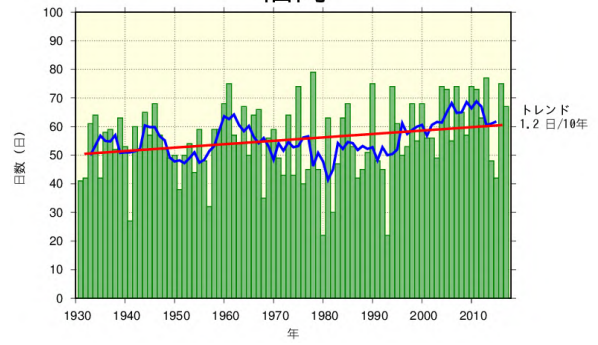
大都市における年間真夏日日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2017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。新潟、東京、大阪、広島、鹿児島は、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、長期変化傾向は求めていない。次頁に続く。

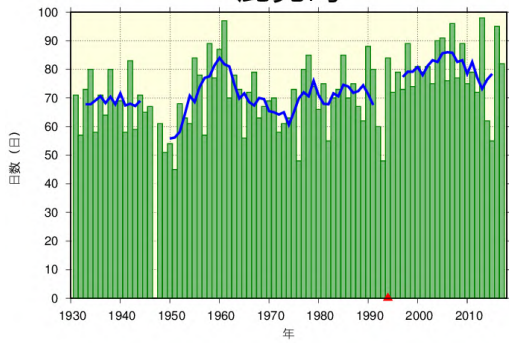
大阪



福岡

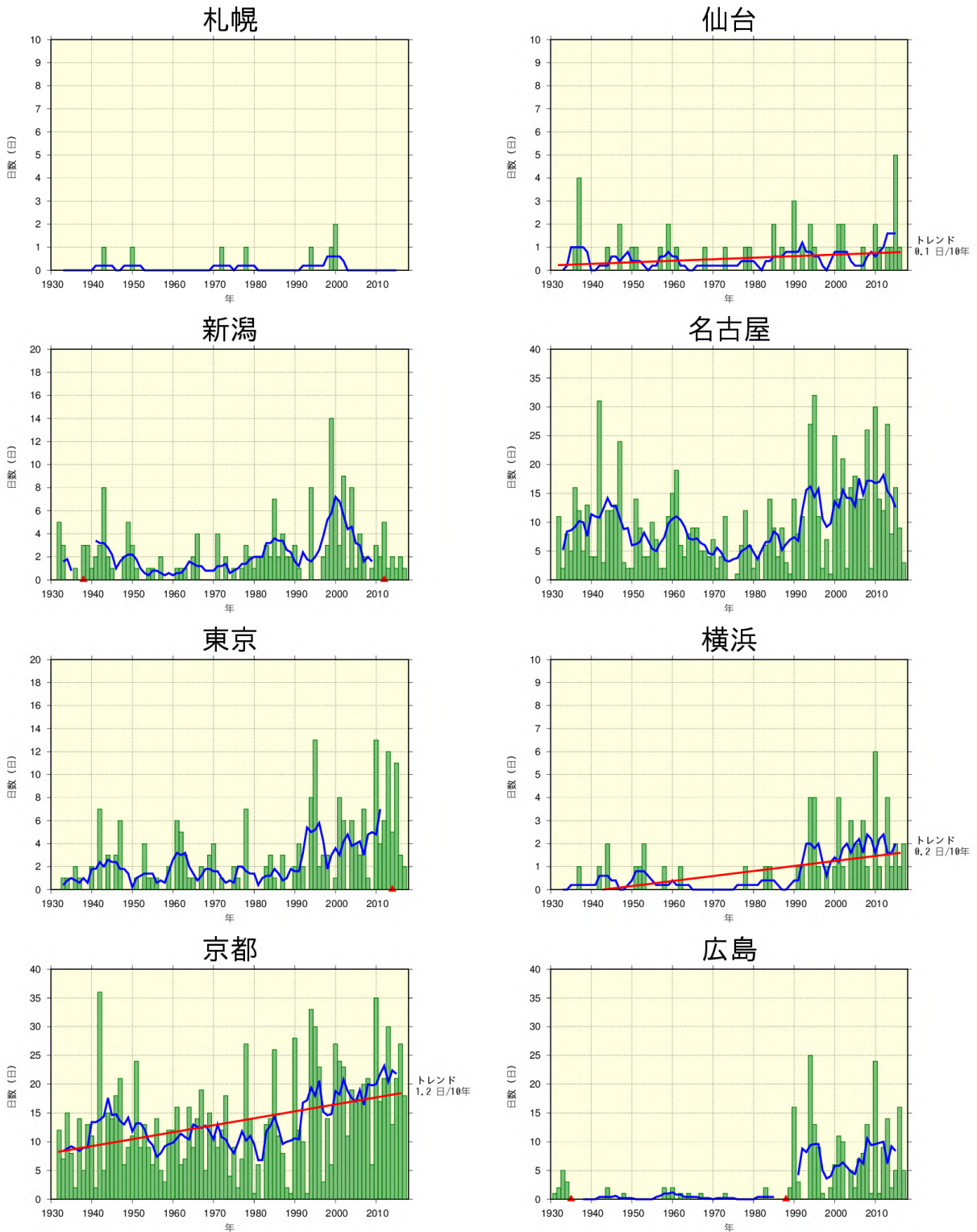


鹿児島



大都市における年間真夏日日数の長期変化傾向(続き)

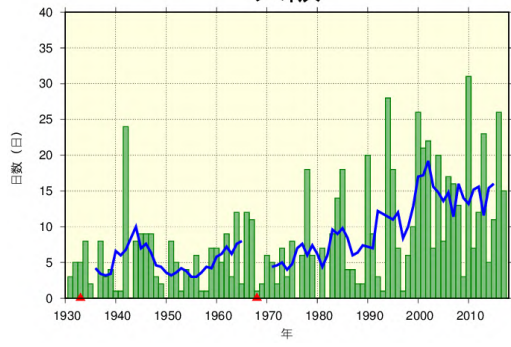
(4) 猛暑日日数



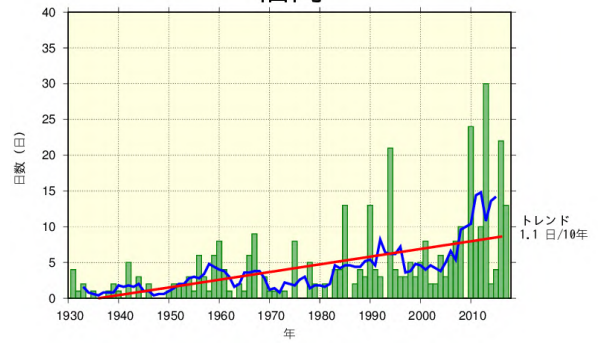
大都市における年間猛暑日日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2017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。新潟、東京、大阪、広島、鹿児島は、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、長期変化傾向は求めていない。次頁に続く。

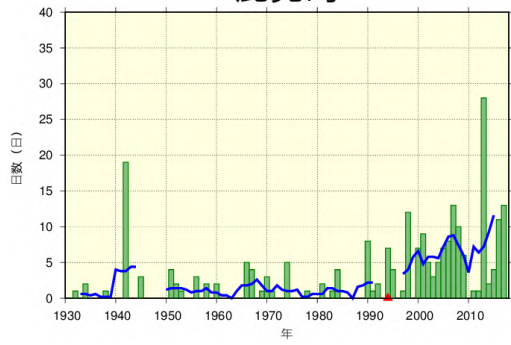
大阪



福岡

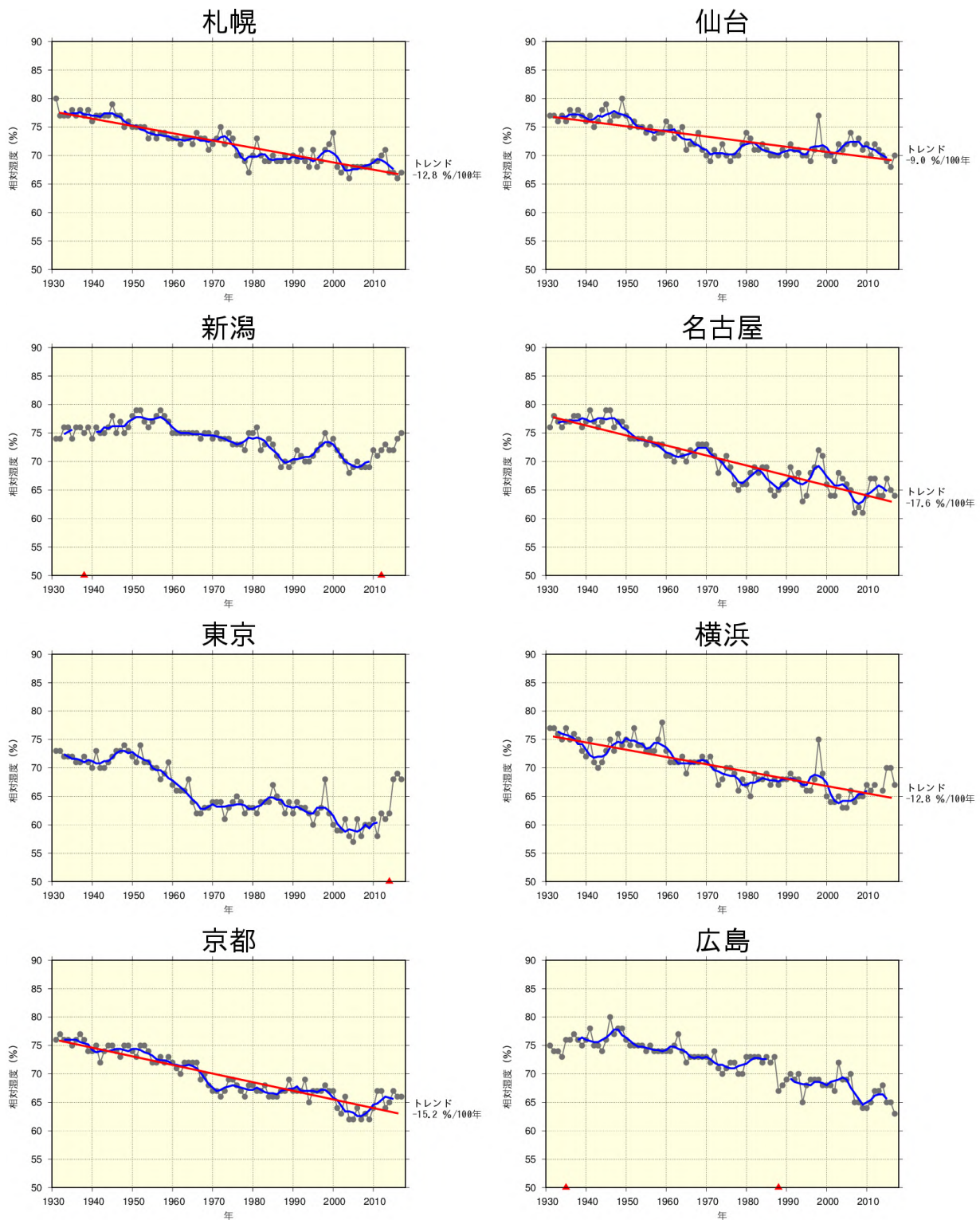


鹿児島



大都市における年間猛暑日日数の長期変化傾向(続き)

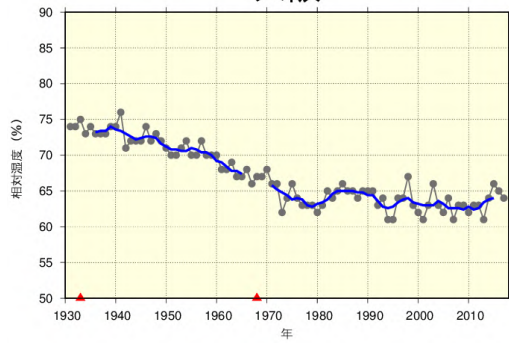
【資料 4】 大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向



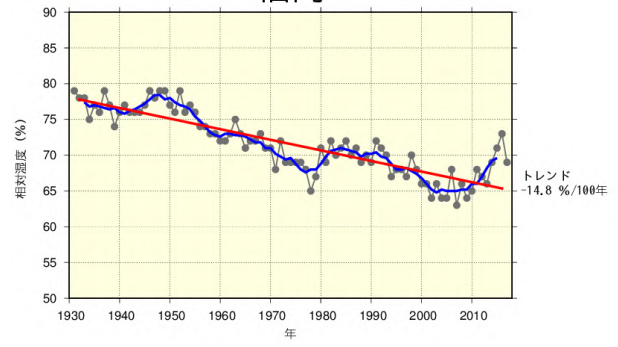
大都市における年平均相対湿度の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2017 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。新潟、東京、大阪、広島、鹿児島は、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、長期変化傾向は求めていない。次頁に続く。

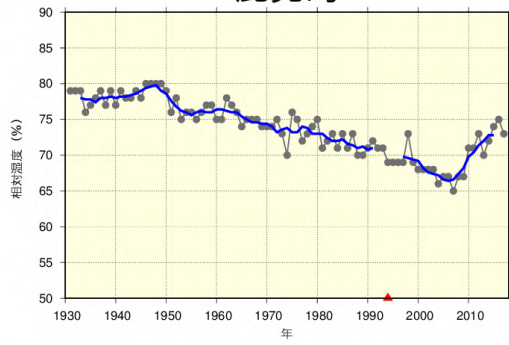
大阪



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)

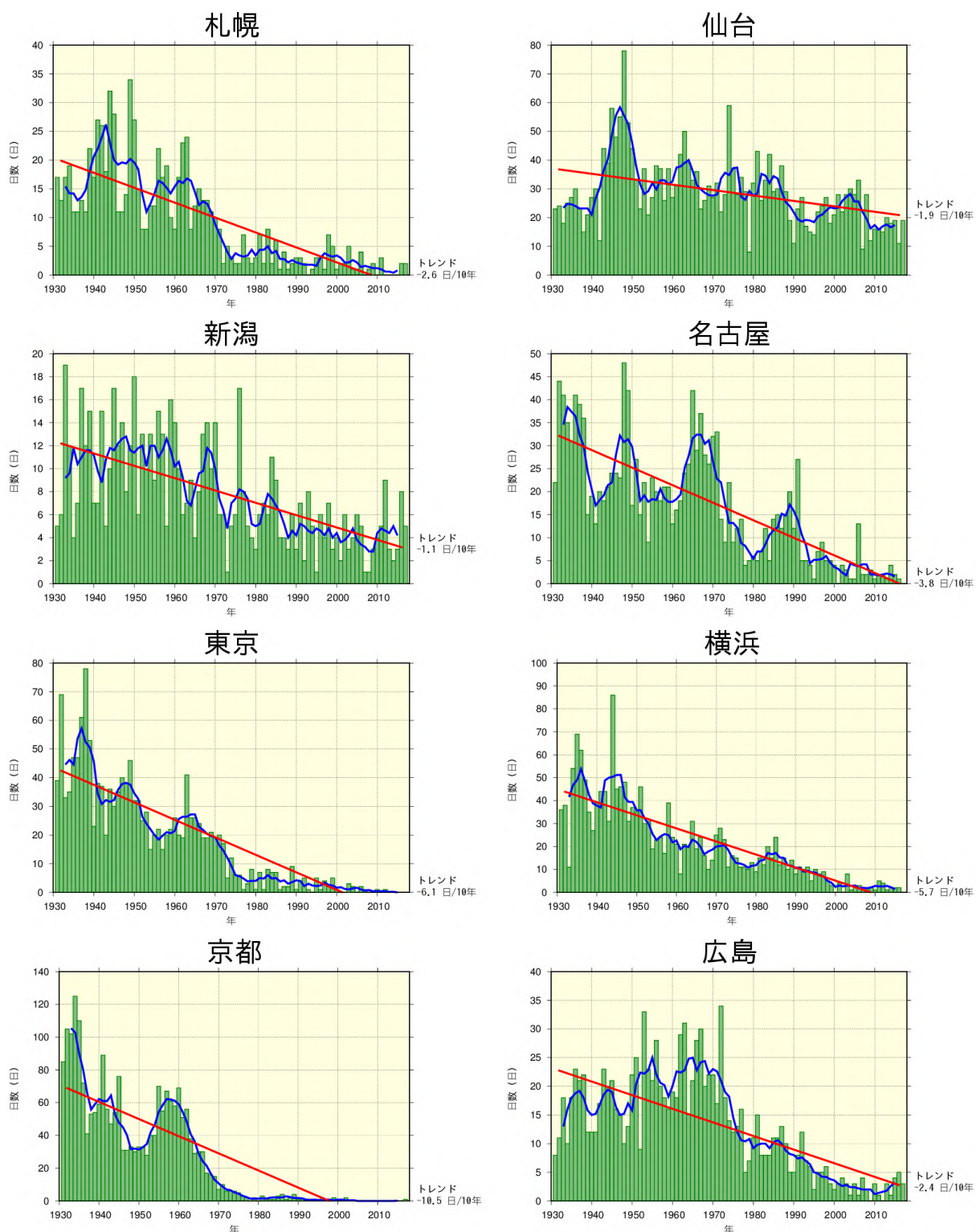
【資料 5】 大都市における月平均相対湿度の長期変化傾向

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 2017 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新潟、東京、大阪、広島、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	-10.7	-11.0	-13.7	-12.7	-11.6	-10.4	-11.4	-13.3	-16.8	-18.4	-12.0	-11.1
仙台	-10.4	-9.4	-10.8	-9.3	-7.4	-6.3	-7.1	-7.4	-7.4	-11.6	-9.5	-11.7
名古屋	-17.1	-16.9	-17.3	-19.4	-18.1	-15.0	-14.9	-17.9	-19.7	-19.9	-16.5	-17.3
横浜	-17.2	-15.7	-13.8	-11.8	-10.7	-8.4	-8.9	-9.4	-11.1	-14.1	-14.7	-17.9
京都	-13.2	-13.9	-15.6	-18.1	-16.0	-13.5	-13.1	-15.1	-15.6	-15.7	-15.2	-15.4
福岡	-12.6	-15.0	-14.7	-18.0	-17.1	-8.6	-11.3	-14.1	-14.3	-17.4	-16.6	-16.1
13 地点	-5.5	-6.3	-6.8	-7.2	-6.8	-4.8	-5.4	-6.2	-5.9	-6.6	-5.2	-5.5

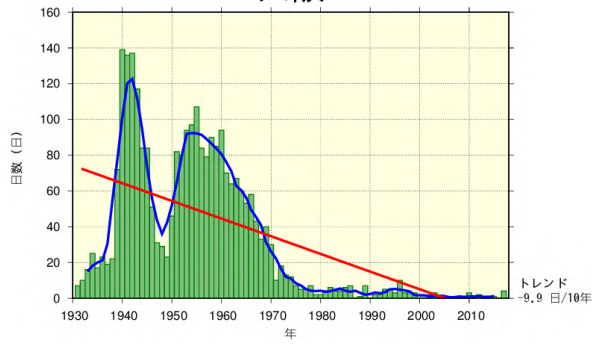
【資料6】 大都市における年間霧日数の長期変化傾向



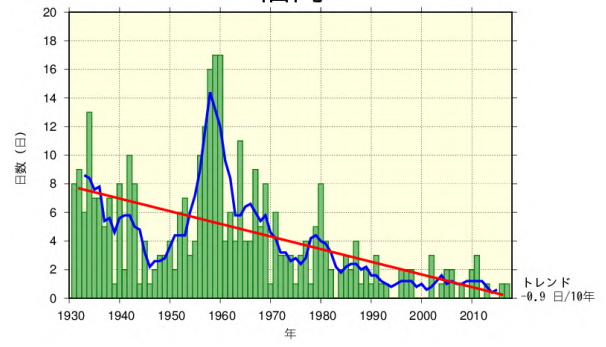
大都市における年間霧日数の長期変化傾向

統計期間は1931年から2017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。

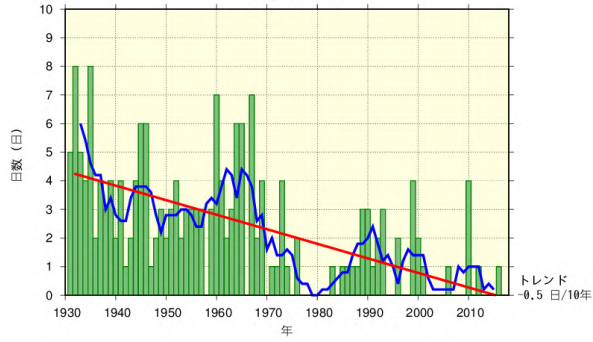
大阪



福岡

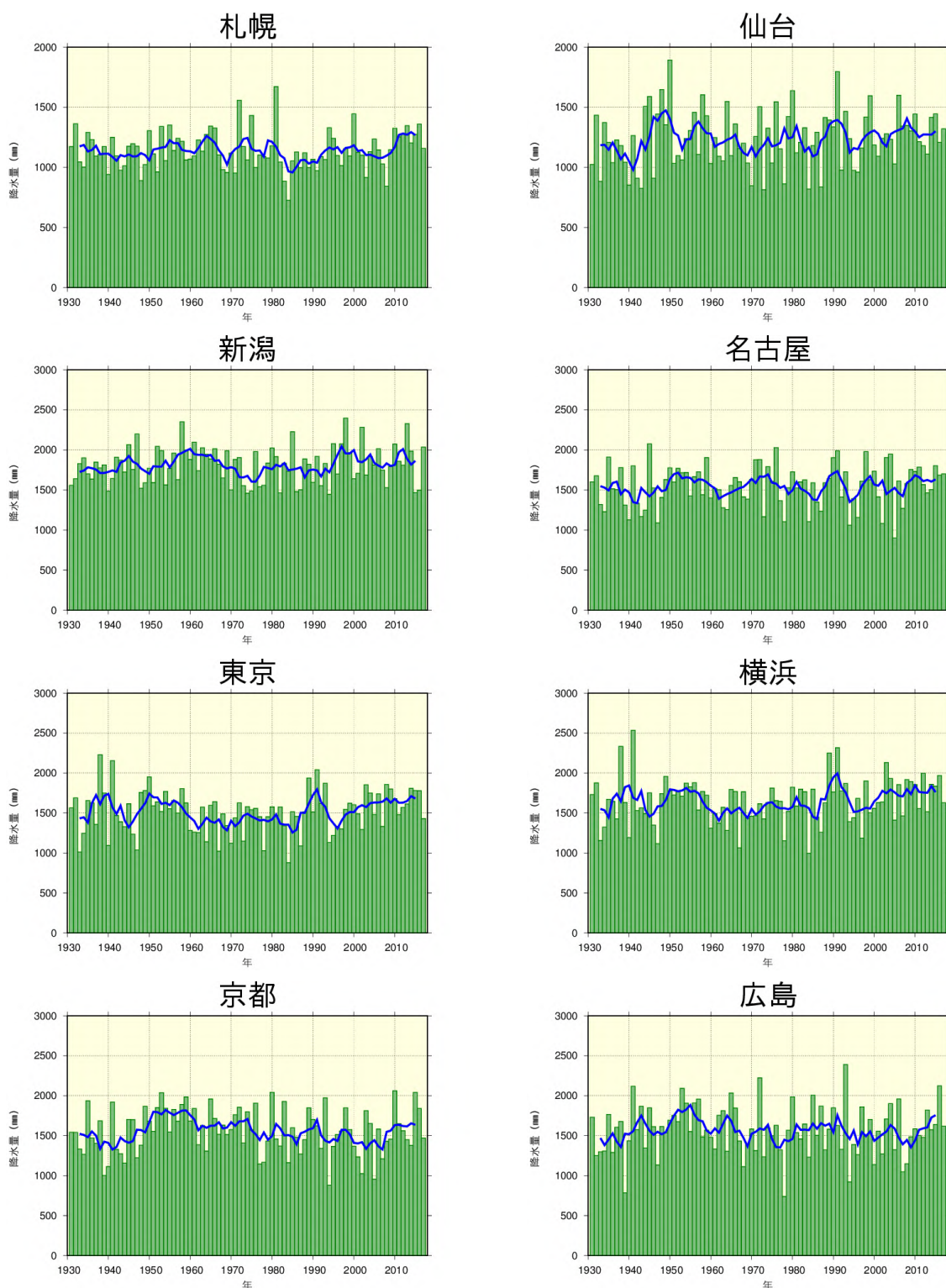


鹿児島



大都市における年間霧日数の長期変化傾向(続き)

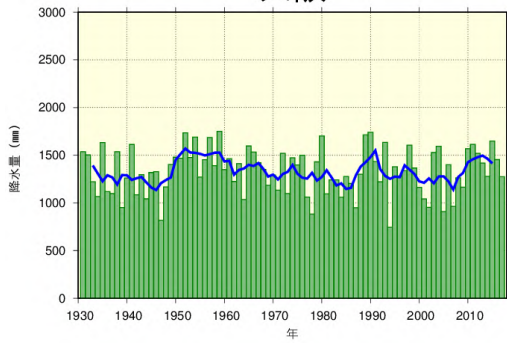
【資料 7】 大都市における年降水量の長期変化傾向



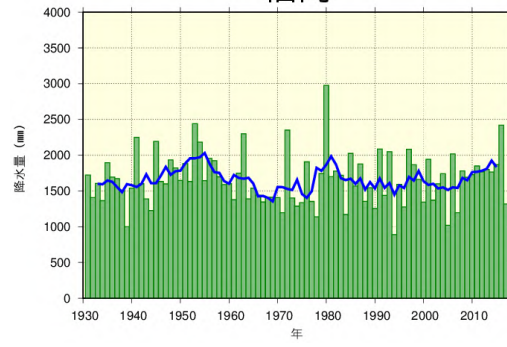
大都市における年降水量の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2017 年まで。緑の棒グラフは毎年の値、青い折れ線は 5 年移動平均値を示す。なお、各地点とも長期変化傾向（統計期間にわたってデータが均質で、かつ信頼度水準 90%以上で有意な傾向）はない。次頁に続く。

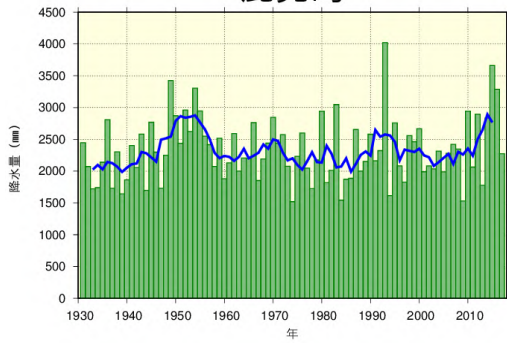
大阪



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)

【資料 8】 大都市における大雨の長期変化傾向

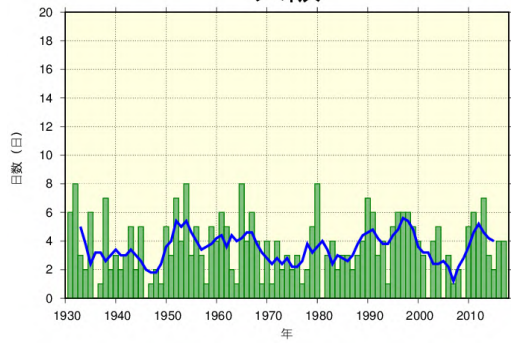
(1) 日降水量 50mm 以上の年間日数



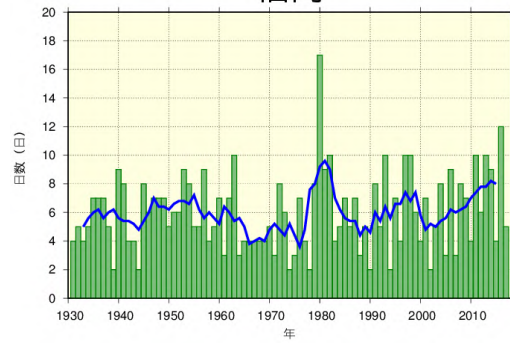
大都市における日降水量 50mm 以上の年間日数の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2017 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。

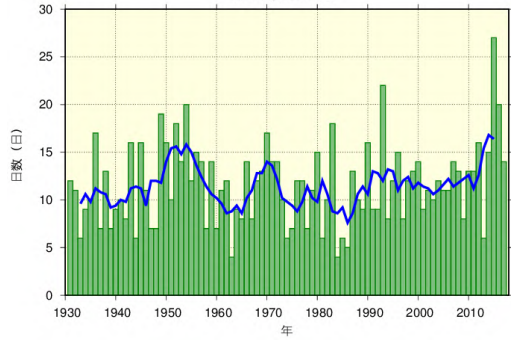
大阪



福岡

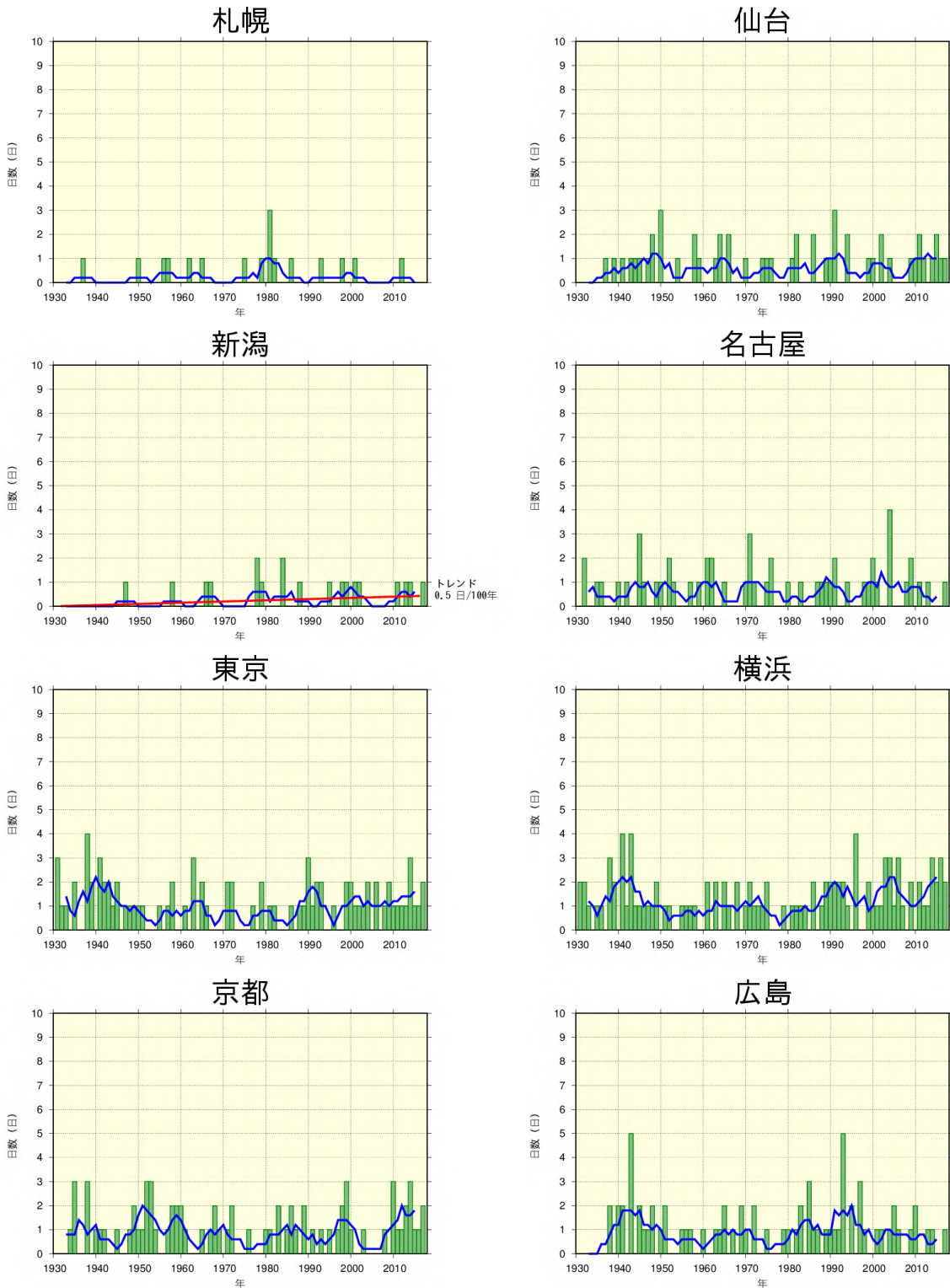


鹿児島



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)

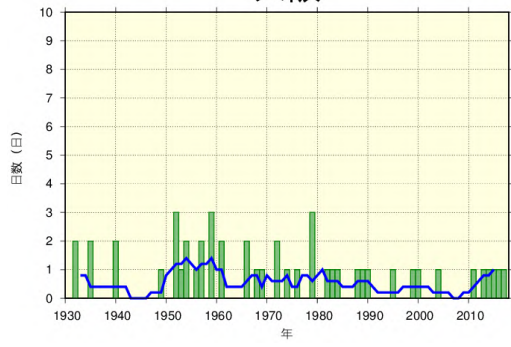
(2) 日降水量 100mm 以上の年間日数



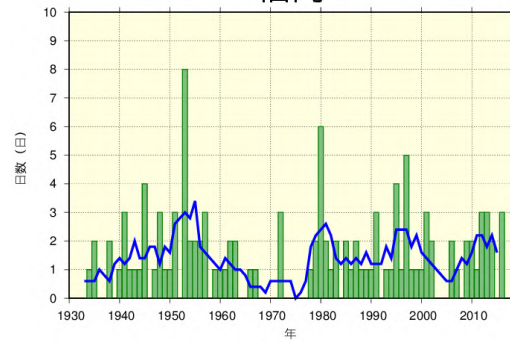
大都市における日降水量 100mm 以上の年間日数の長期変化傾向

統計期間は 1931 年から 2017 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。

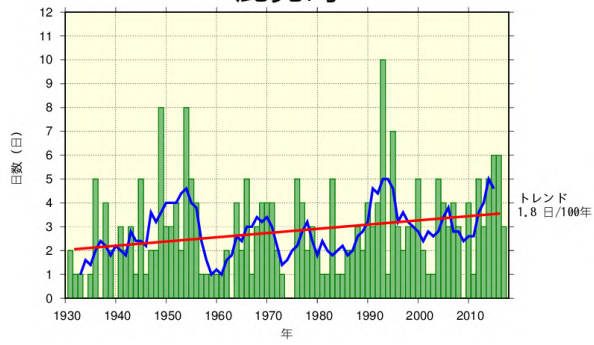
大阪



福岡

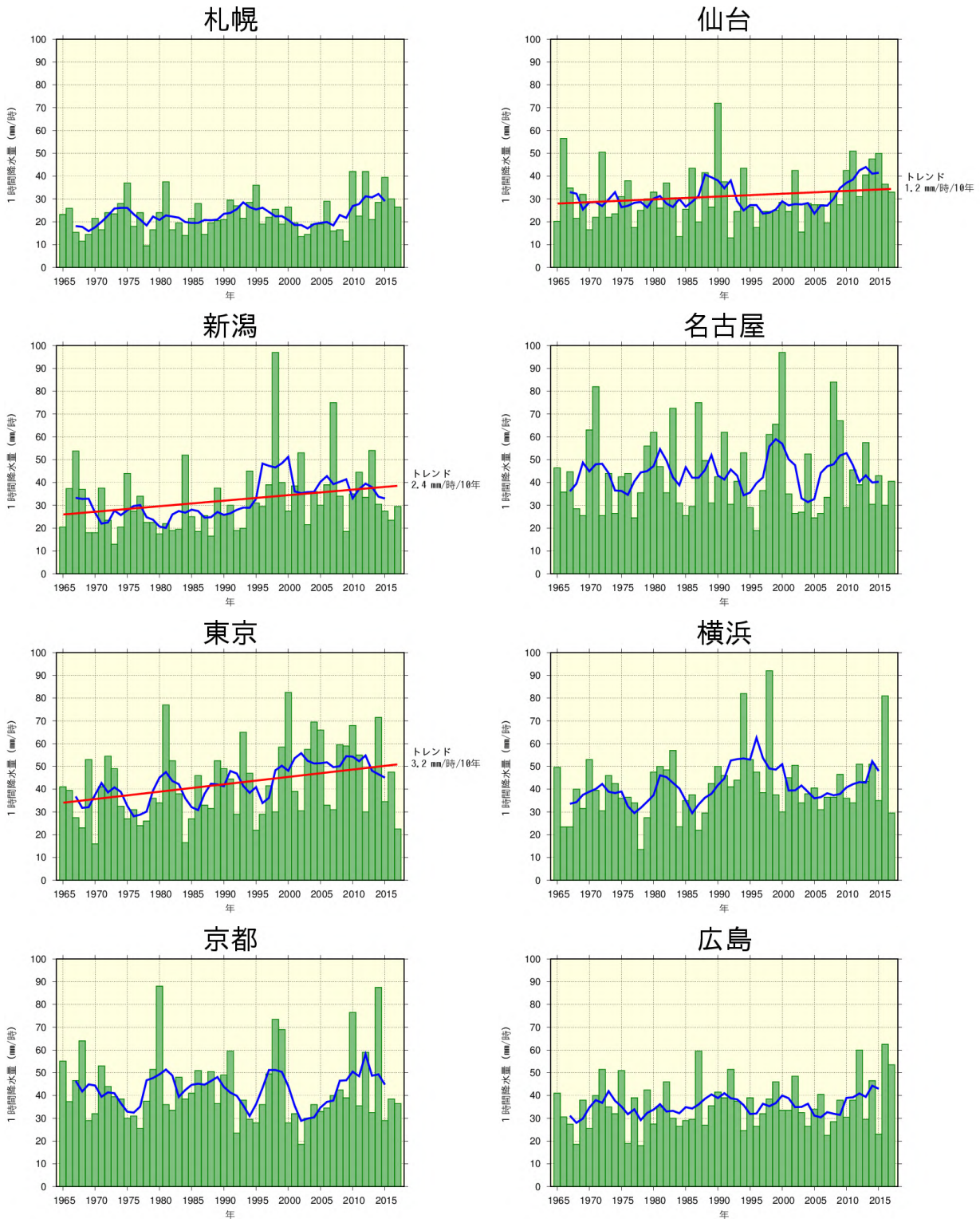


鹿児島



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)

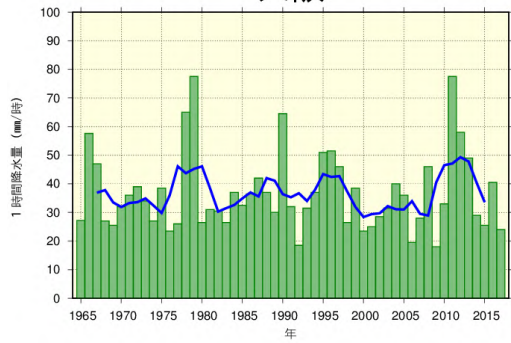
(3) 年最大 1 時間降水量



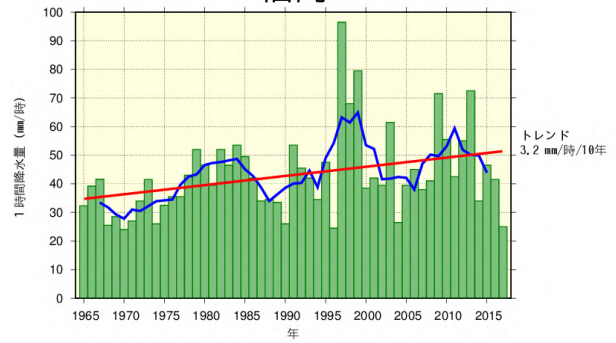
大都市における年最大 1 時間降水量の長期変化傾向

統計期間は 1965 年から 2017 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。

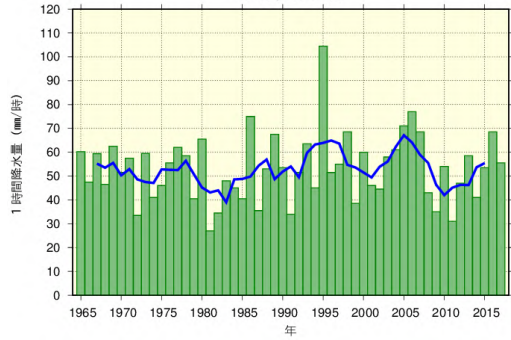
大阪



福岡



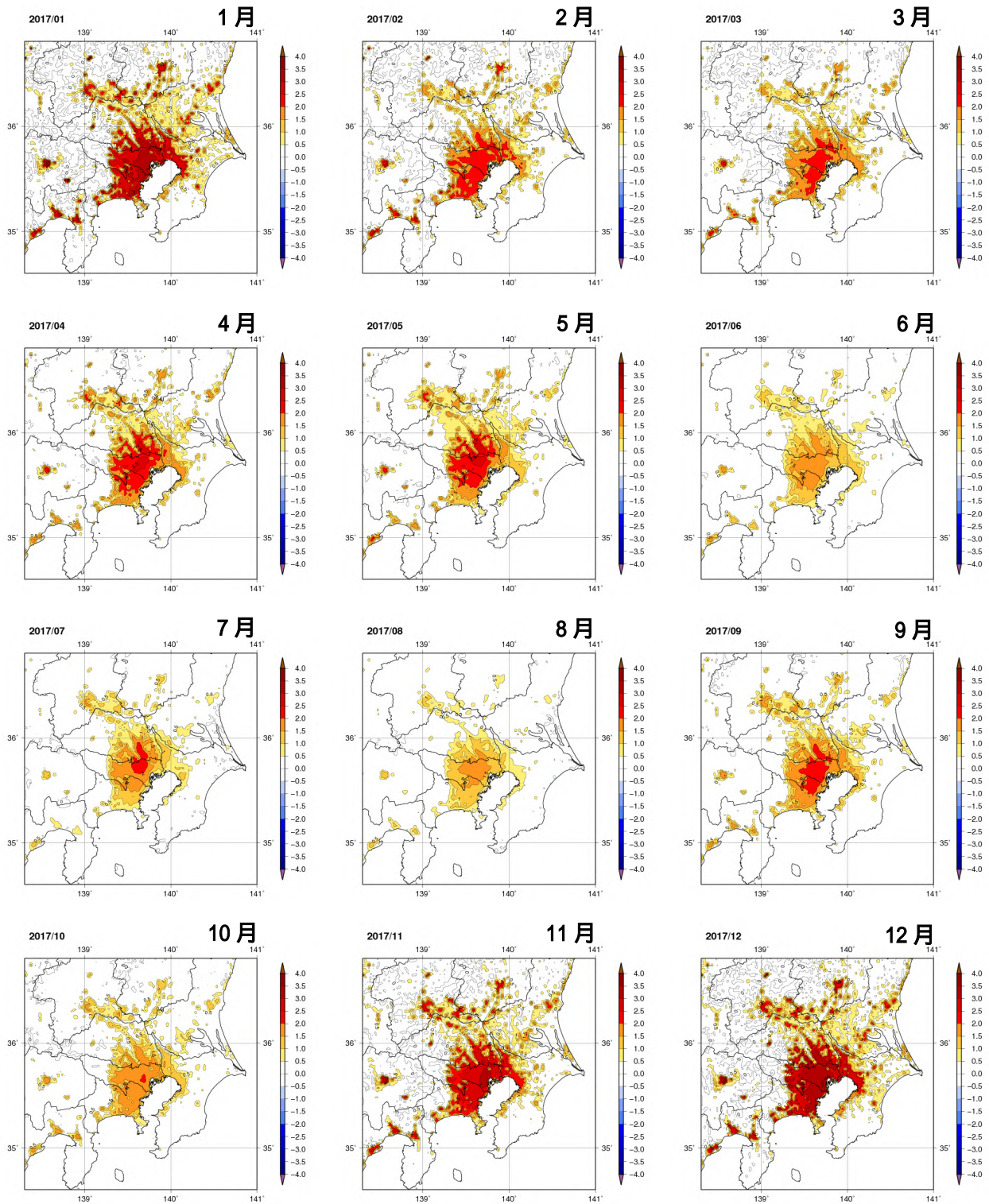
鹿児島



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)

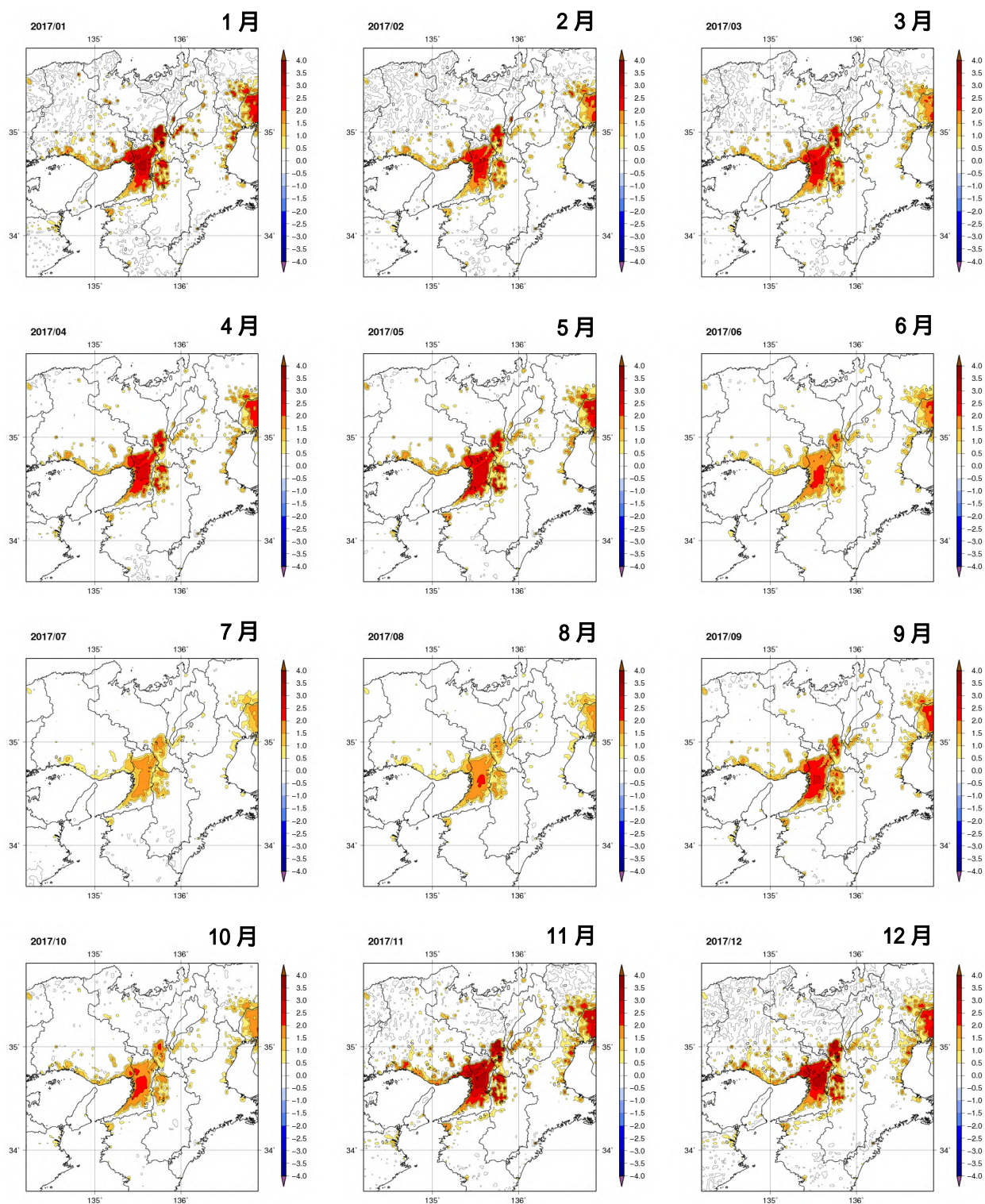
【資料 9】 2017 年各月での都市化の影響による平均気温の変化

(1) 関東地方



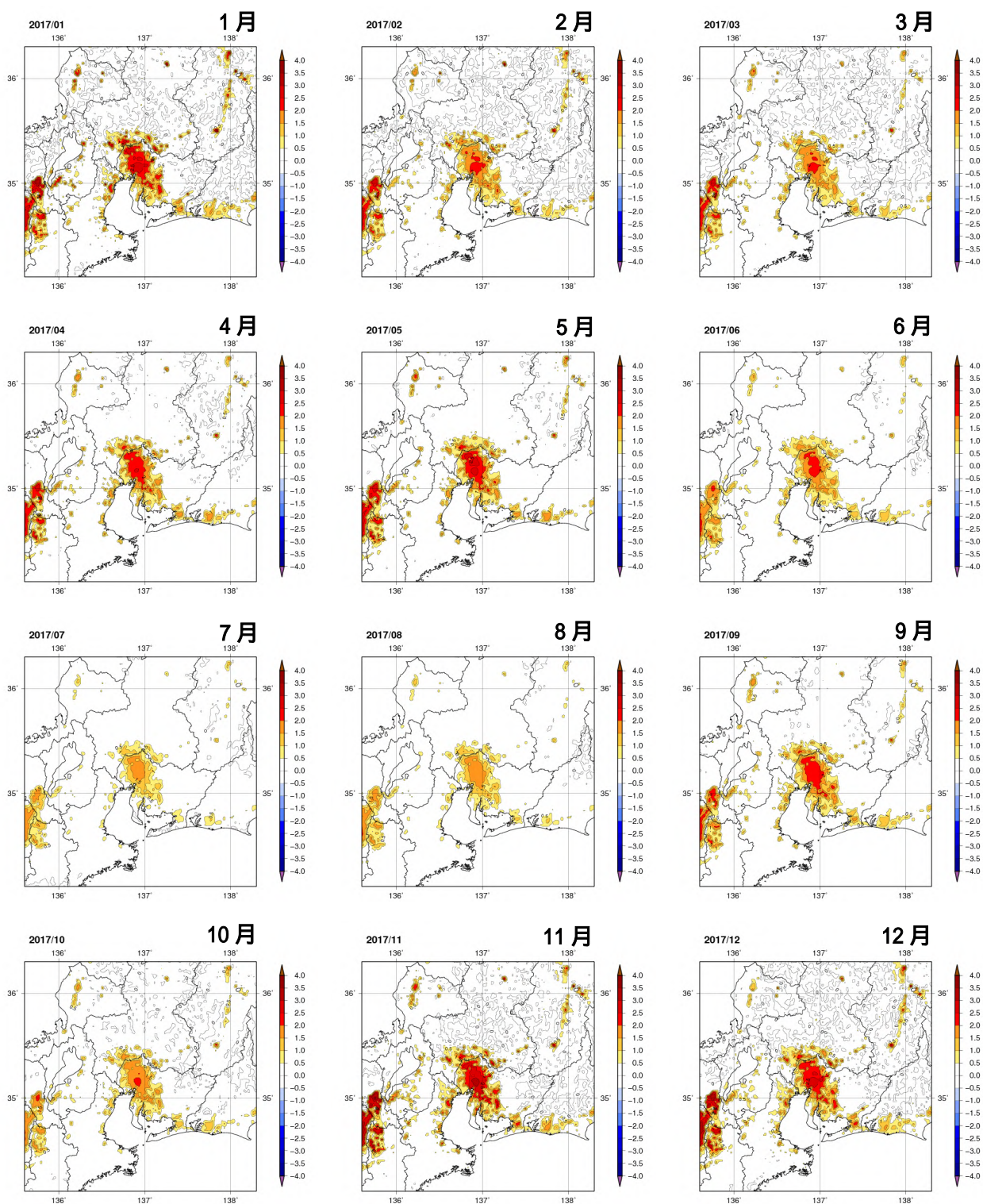
関東地方における 2017 年各月での都市化の影響による平均気温の変化 ()

(2) 近畿地方



近畿地方における 2017 年各月での都市化の影響による平均気温の変化 ()

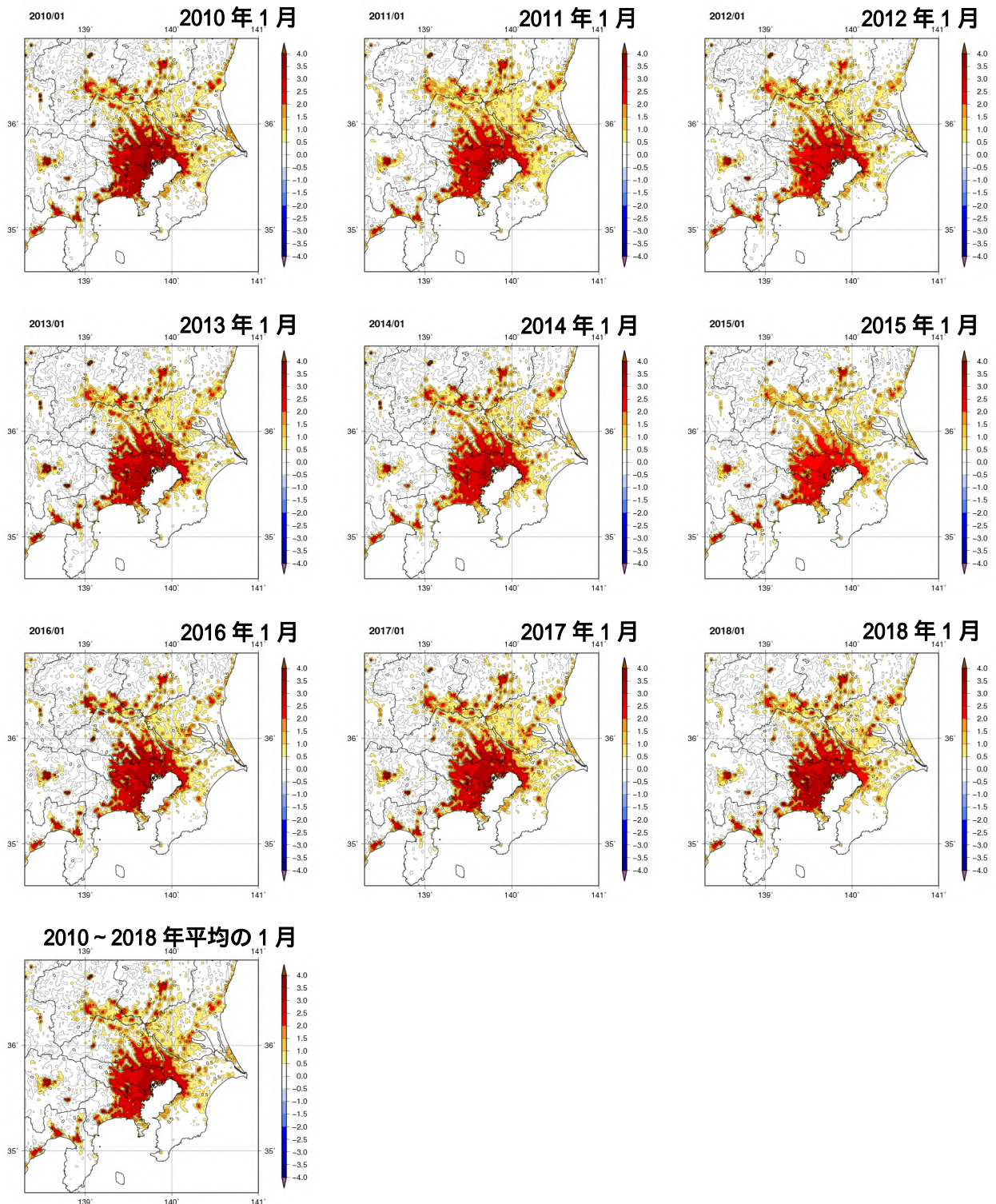
(3) 東海地方



東海地方における 2017 年各月での都市化の影響による平均気温の変化 ()

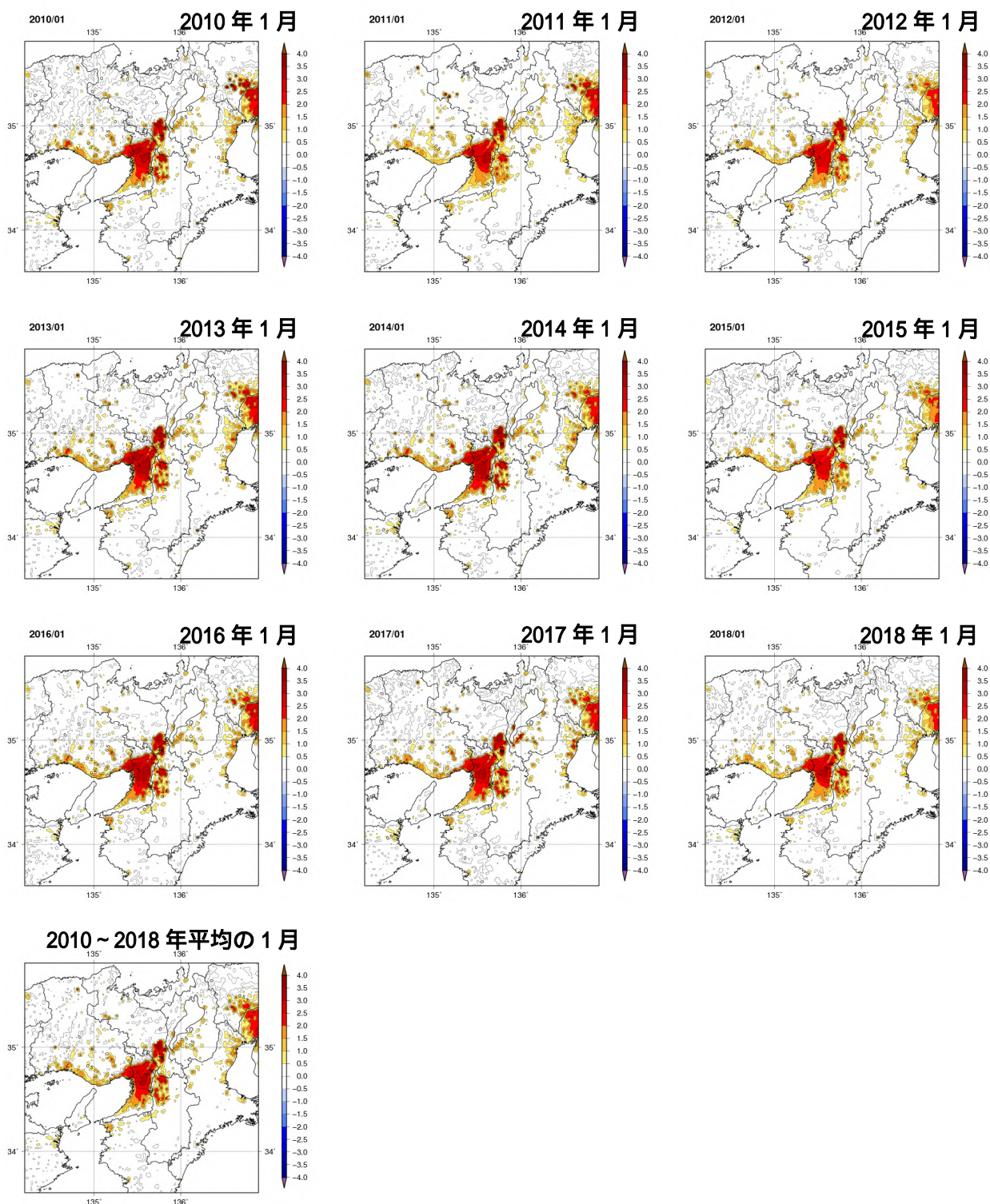
【資料 10】 2010 年から 2018 年までの 1 月の都市化の影響による平均気温の変化

(1) 関東地方



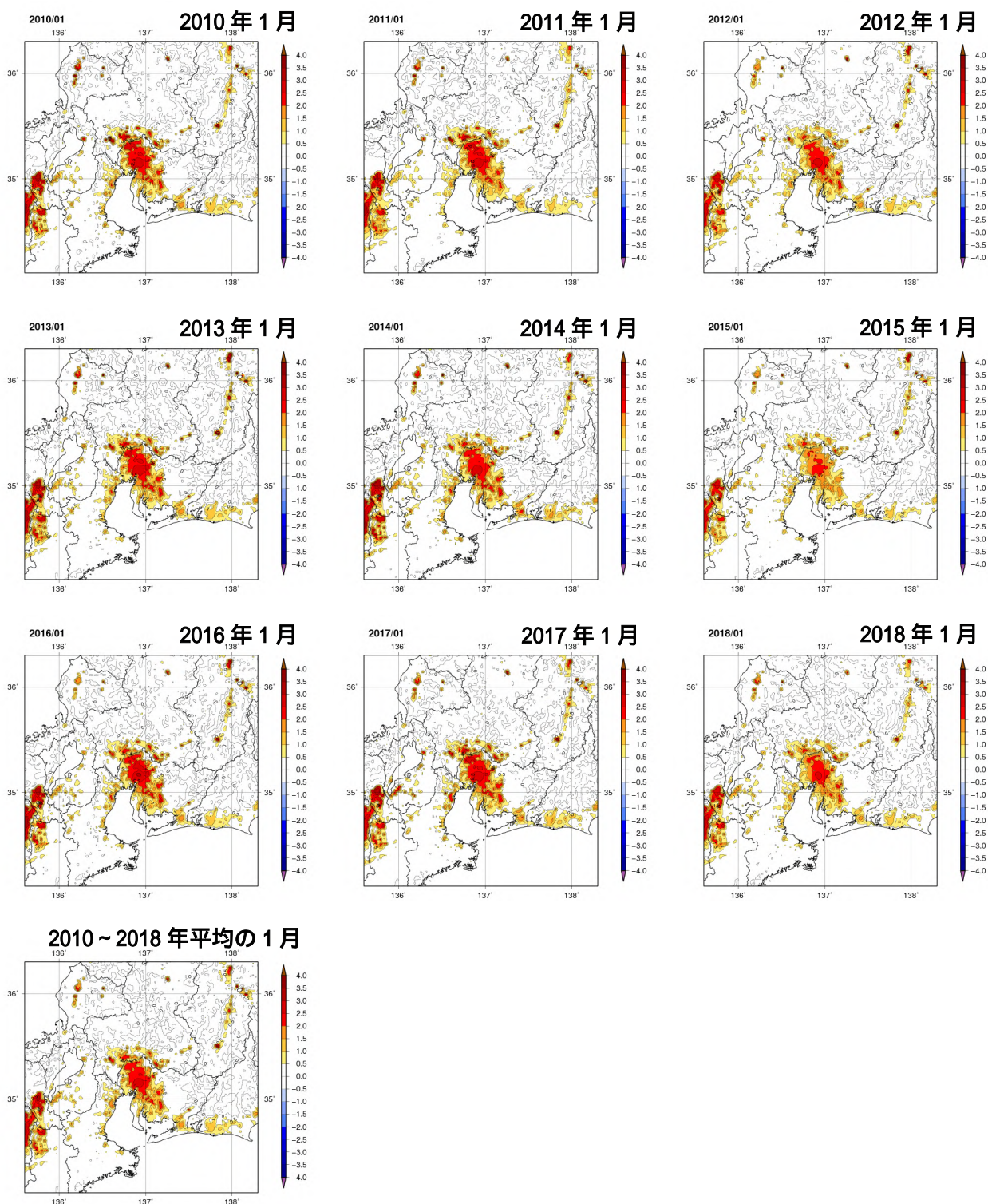
関東地方における 2010～2018 年 1 月の年別の都市化の影響による平均気温の変化 () の分布及び
9 年間平均した都市化の影響による平均気温の変化 () の分布

(2) 近畿地方



近畿地方における 2010~2018 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 9 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 2010～2018 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 9 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