

ヒートアイランド監視報告 (平成 23 年)

平成 24 年 7 月
気 象 庁

目次

1.はじめに-----	1
1.1 調査の背景と本報告の構成-----	2
1.2 ヒートアイランド現象の定義とその成因-----	3
2.観測データの長期変化からみる日本各地のヒートアイランド-----	4
2.1 全国の主要都市における気温や相対湿度等の長期変化傾向-----	4
2.2 全国の主要都市における熱帯夜日数や霧日数等の長期変化傾向-----	16
2.3 気温や相対湿度の変化率と都市化率の関係-----	28
3.ヒートアイランド現象の事例解析-----	33
3.1 都市気候モデルの概要-----	33
3.2 関東地方における2011年8月のヒートアイランド現象-----	43
3.3 近畿地方における2011年8月のヒートアイランド現象-----	55
3.4 東海地方における2011年8月のヒートアイランド現象-----	66
4.参考文献-----	77

1. はじめに

1.1 調査の背景と本報告の構成

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、夏季において気温の上昇によって生活上の不快感を増大させ、熱中症等の健康への被害も生じさせているばかりでなく、冬季においても感染症を媒介する蚊等の生物の越冬などの生態系の変化も懸念されているところである。また、乾燥化による人体への影響（環境省,2004）や短時間集中豪雨との関連も指摘されている（藤部,2012 など）。地球温暖化に伴い、極端な高温の頻度が増加すると予測されているが、都市ではヒートアイランド現象により熱波のリスクを一層増大させることが指摘されている（IPCC,2012）。

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(図1.1)。気象台や測候所等の観測所のうち、都市化の影響が小さいと考えられる地点で平均した年平均気温は、100年あたり概ね1℃程度の上昇率が見られる。これは日本周辺海域で平均した海面水温の上昇傾向と一致しており、地球規模の温暖化を反映しているものと見られる。一方、東京をはじめとする主要都市の年平均気温は、これを大きく上回る上昇率を示している（観測データの長期変化傾向の詳細については第2章を参照）。

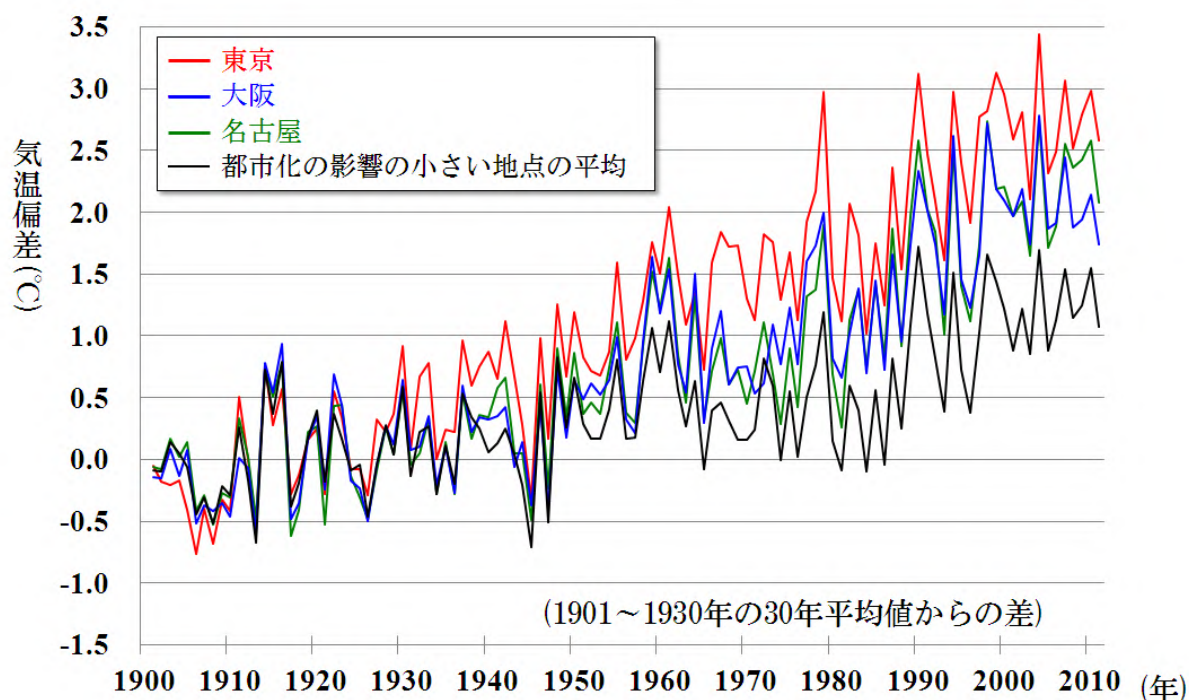


図 1.1 都市化の影響が小さい地点と大都市の年平均気温の長期変化傾向の比較。都市化の影響が小さい地点の気温上昇率は、概ね地球温暖化の傾向を示していると考えられる。一方、大都市では、都市化の影響により地球温暖化の傾向を大きく上回る上昇率を示している。

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。この大綱において行うこととされたヒートアイランド現象の観測・監視のための取り組みとして、気象庁ではヒートアイランド現象に関する調査を実施し、平成 16 年度から「ヒートアイランド監視報告」(気象庁, 2005-2011)として気象庁ホームページで公表している。

これまでの「ヒートアイランド監視報告」では、雲・降水過程を含まない都市気候モデルによって晴天日のヒートアイランド現象を中心に調査を行ってきたが、今回の報告からは気象研究所で開発された雲・降水過程を含む新しい都市気候モデルの導入により、曇天日や雨天日を含めた天候によらないヒートアイランド現象の調査や相対湿度等の気温以外の要素についての都市化の影響も調査することが可能となった。

本報告では、はじめに長期間にわたる気象観測の結果をもとに、全国の主要都市における気温や相対湿度、熱帯夜や霧日等の年間日数の変化傾向に関する調査結果を示す(2章)。次に、新しい都市気候モデルによる関東・近畿・東海地方の夏季を対象とした調査結果(3章)を示す。

本報告に掲載した資料を、ヒートアイランド対策や調査研究の基礎的な資料として活用していただければ幸いである。

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、気温分布図を描くと等温線が都市を取り囲む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「都市がな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、草原や森林等のような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(図 1.2)。

(1) 土地利用の影響

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。

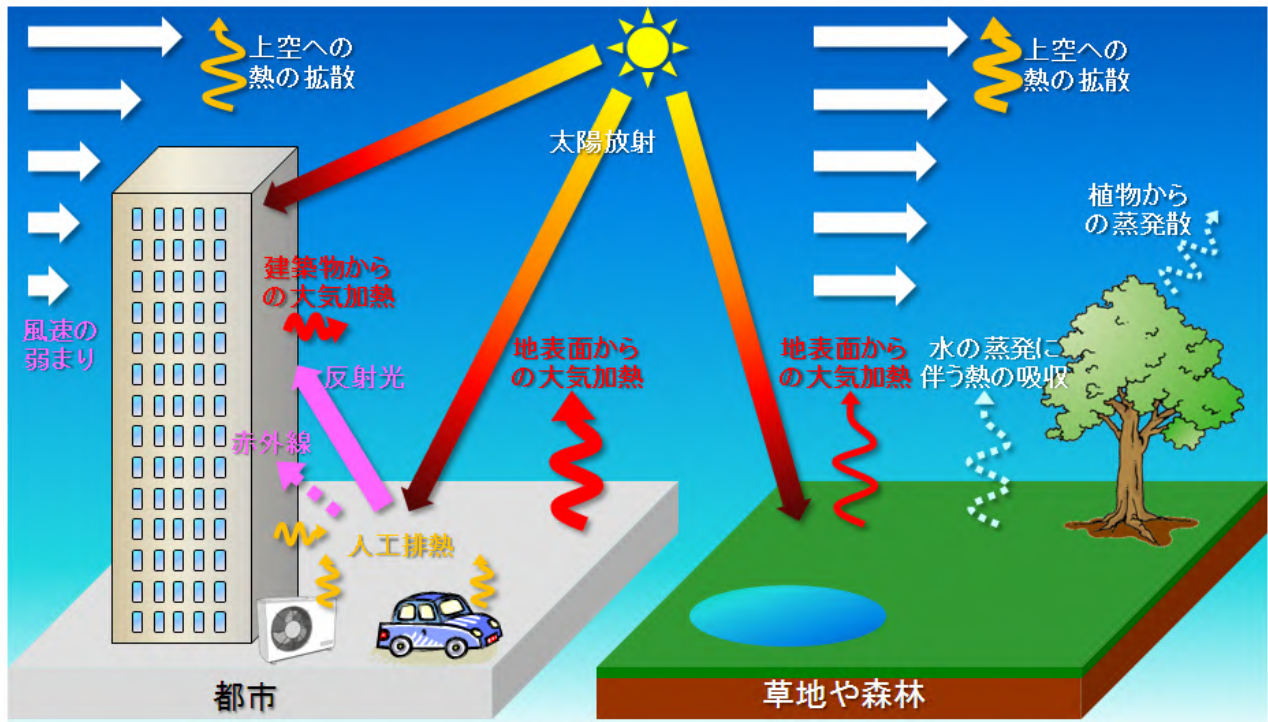


図 1.2 ヒートアイランド現象の概念図。草地や森林では水の蒸発により気温上昇を抑制する働きがあるが、都市の地表面は水分が少ないため、気温が上昇する。また、建築物は風速を弱めたり、熱を蓄積することで、都市の気温上昇をもたらす。人口が集中する地域では、エネルギー使用に伴う人工排熱も局所的な高温の要因と考えられる。

2. 観測データの長期変化からみる日本各地のヒートアイランド

全国の主要都市では長期的な変化傾向として、

気温の上昇率が大きく、夏より冬、最高気温より最低気温で顕著である。

相対湿度の減少率が大きい。

冬日は減少、熱帯夜や猛暑日、真夏日は増加している。

これらは地球温暖化の傾向に都市化の影響が重なって現れているためと考えられる。

気象庁では、全国の気象官署等において長期間にわたって気象観測を行っている。この章では、これらの観測データをもとに、2.1 節で全国の主要都市における気温や相対湿度等の長期変化傾向、2.2 節で全国の主要都市における熱帯夜日数や霧日数等の長期変化傾向について述べる。また、2.3 節では都市化率¹と気温や相対湿度等の変化率との関係について分析する。

2.1 全国の主要都市における気温や相対湿度等の長期変化傾向

全国の主要都市として、札幌、仙台、東京、横浜、新潟、名古屋、京都、大阪、広島、福岡、鹿児島 の 11 都市の気温の長期変化傾向を表 2.1 に、相対湿度と水蒸気圧の長期変化傾向を表 2.2 に示す。統計期間は 1931 年から 2011 年である。

比較のため、都市化の影響が少ないと考えられる 17 地点²平均（相対湿度と水蒸気圧については、観測所移転の影響を補正できないため、17 地点のうち飯田と宮崎を除いた 15 地点平均とする）の値をあわせて表示している。17 地点平均（15 地点平均）の変化率は、地球温暖化や自然変動などによる日本全体としての平均的な変化率を表していると考えられ、おおよその見積もりとして、各都市と 17 地点平均（15 地点平均）の変化率の差が、各都市におけるヒートアイランド現象による影響と考えられる。

¹ 観測所の周囲 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) として定義している。

² 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少ない気象観測 17 地点 (網走、根室、寿都、山形、石巻、伏木 (高岡市)、長野、水戸、飯田、銚子、境、浜田、彦根、宮崎、多度津、名瀬、石垣島)、ただし、これらの観測点も都市化の影響が完全に除去されているわけではない。

表 2.1 から、主要都市の気温の上昇率は、全般に 17 地点平均に比べて大きいことがわかる。年平均気温で見ると、17 地点平均は 100 年あたり 1.5 の上昇であるのに対し、東京では 3.2 とおよそ 2 倍である。

夏季（8 月）と冬季（1 月）を比較すると、平均気温、日最高気温の月平均値、日最低気温の月平均値のいずれも 8 月に比べて 1 月の気温の上昇率が大きく、主要都市と 17 地点平均の上昇率の差も大きい。また、日最高気温（主に日中に記録される）の月平均値と日最低気温（主に早朝に記録される）の月平均値を比較すると、年、1 月、8 月のいずれも日最低気温の上昇率が大きく、その差は 17 地点平均に比べ主要都市で明瞭である。一般に、ヒートアイランド現象に伴う都市と郊外との気温差は、夏季より冬季に、日中より夜間に大きいといわれており、観測結果にもこの影響が現れているものと考えられる。

表 2.1 主要都市および都市化の影響が少ないと考えられる 17 地点平均の都市化率と気温の変化率

年、1 月、8 月の平均気温、日最高気温の月または年平均値、日最低気温の月または年平均値の 100 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。斜体字は信頼水準 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 地点と 17 地点平均における飯田、宮崎は、統計期間内に庁舎の移転があったため、大野ほか(2011)により移転に伴う影響を補正している。都市化率は観測所の周囲 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。

都 市	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	1 月	8 月	年	1 月	8 月	年	1 月	8 月
札 幌	75.1	2.7	3.8	1.3	0.9	1.6	-0.2	4.5	6.4	2.9
仙 台	69.9	2.3	3.1	0.7	1.0	1.6	-0.2	3.2	4.1	1.2
東 京	92.9	3.2	4.7	1.7	1.5	1.5	0.8	4.5	6.6	2.5
横 浜	59.4	2.8	3.7	1.5	2.3	2.6	1.4	3.6	5.1	2.1
新 潟	47.2	2.1	2.6	1.4	1.9	2.9	0.7	2.4	2.8	2.1
名 古 屋	89.3	2.9	3.2	2.4	1.1	1.4	0.9	4.1	4.1	3.3
京 都	60.2	2.7	2.8	2.4	0.9	0.9	0.9	3.9	4.1	3.3
大 阪	92.1	2.9	2.7	2.5	2.3	1.8	2.3	3.9	3.4	3.7
広 島	54.6	2.1	1.9	1.6	1.0	0.9	1.1	3.2	2.9	2.5
福 岡	64.3	3.1	3.0	2.4	1.6	1.6	1.5	5.2	4.5	3.8
鹿 児 島	38.8	2.9	3.0	2.7	1.3	1.3	1.4	4.2	4.3	3.8
17 地点平均	19.2	1.5	1.8	0.9	1.0	1.1	0.4	1.9	2.2	1.4

表 2.2 から、主要都市の相対湿度の減少率は、全般に 15 地点平均に比べて大きいことが分かる。年平均相対湿度で見ると、15 地点平均は 100 年あたり-7.1%であるのに対し、東京では-18.2%と倍以上である。一方で、水蒸気圧については、有意な変化傾向が見られる都市は少なく、有意な変化傾向が見られる都市においても変化量は小さい。

相対湿度と水蒸気圧の関係は (2.1) 式で表わされる。飽和水蒸気圧とは大気中に含みうる最大の水蒸気量を示す指標であり、図 2.1 に示すように気温が上昇するにつれて大きくなる性質がある。主要都市においては水蒸気圧の変化が小さくても相対湿度の減少は大きいことから、水蒸気圧の減少に加えてヒートアイランド現象の気温上昇に伴う飽和水蒸気圧の増加により、相対湿度が減少していると考えられる。

$$\text{相対湿度 (\%)} = \frac{\text{水蒸気圧 (hPa)}}{\text{飽和水蒸気圧 (hPa)}} \times 100 \quad \dots (2.1)$$

夏季 (8 月) と冬季 (1 月) を比較すると、都市の相対湿度は何れも 15 地点平均に比べて大きく減少しており、季節的な違いはみられない。水蒸気圧については、冬季は札幌以外では有意な変化傾向がみられない。一方、夏季は東京や名古屋、京都、福岡などの大都市において有意な水蒸気圧の減少傾向がみられる。都市においては水面や緑地の減少に伴って、地表面や植物からの水蒸気の蒸発量が減少する。夏季の都市における水蒸気圧の減少傾向にはこの影響が現れているものと考えられる。

表 2.2 主要都市および都市化の影響が少ないと考えられる 15 地点平均の都市化率と相対湿度、水蒸気圧の変化率

年、1月、8月の相対湿度、水蒸気圧の100年あたりの変化率を示す。統計期間は1931年から2011年まで。斜体字は信頼水準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。を付した地点は、統計期間内に庁舎の移転があるため表示しない。15地点平均は17地点から庁舎の移転があった飯田と宮崎を除いたものである。都市化率は観測所の周囲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。

都 市	都市化率 (%)	相対湿度変化率 ³ (%/100年)			水蒸気圧変化率 (hPa/100年) ⁴		
		年	1月	8月	年	1月	8月
札 幌	75.1	-13.4	-10.7	-14.1	-0.1	0.5	-1.5
仙 台	69.9	-9.4	-11.0	-8.2	0.3	0.3	-1.0
東 京	92.9	-18.2	-23.3	-14.8	-0.7	-0.4	-1.9
横 浜	59.4	-14.3	-18.7	-10.8	-0.1	-0.4	-0.8
新 潟	47.2	---	---	---	---	---	---
名 古 屋	89.3	-18.7	-18.2	-19.6	-0.9	-0.2	-2.5
京 都	60.2	-16.7	-15.6	-16.7	-0.7	-0.1	-2.0
大 阪	92.1	---	---	---	---	---	---
広 島	54.6	---	---	---	---	---	---
福 岡	64.3	-17.0	-14.3	-16.9	-0.1	0.0	-1.2
鹿 児 島	38.8	---	---	---	---	---	---
15 地点平均	18.5	-7.1	-6.3	-7.7	0.1	0.2	-0.5

³ 相対湿度の観測に関しては以下の通り測器の変更が行われているが、これらによる年平均相対湿度や年平均水蒸気圧への影響は小さいことから、ここでは連続したデータとして扱う。

1950年 自記毛髪湿度計から通風乾湿計に変更。

1971年 通風乾湿計から隔測温湿度計に変更。

1996年 隔測温湿度計から電気式湿度計に変更。

⁴ 水蒸気圧は1949年以前の観測結果について、mmHgからhPaへ単位の換算を行っている。

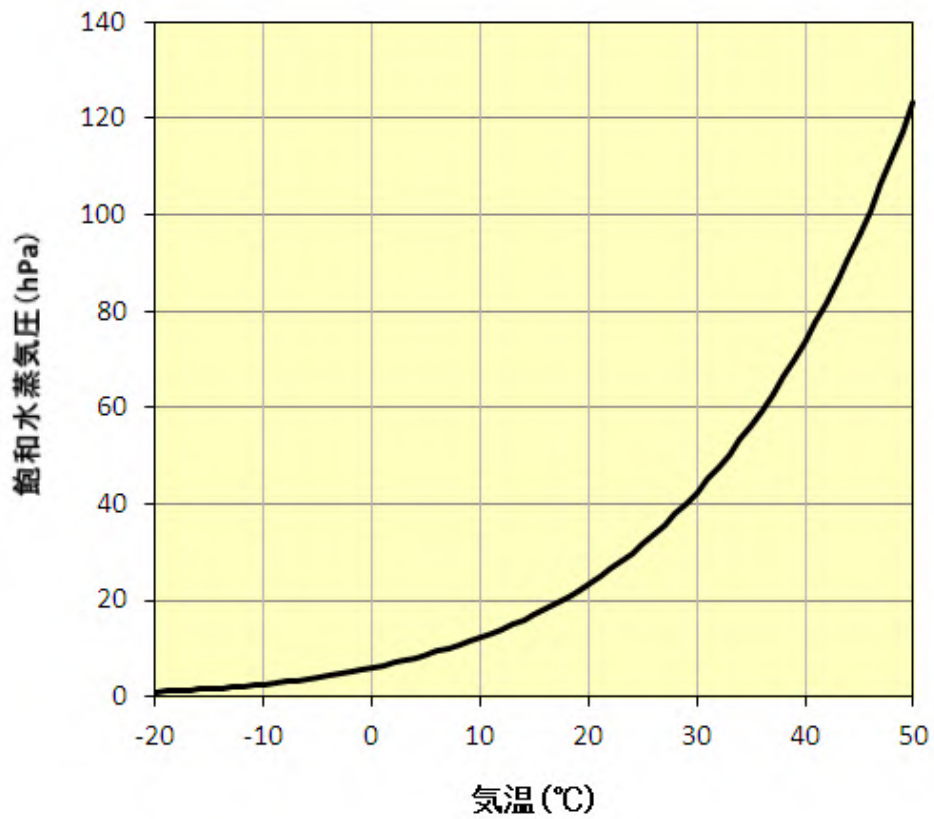


図 2.1 気温と飽和水蒸気圧の関係

図 2.2、図 2.3、図 2.4 に、主要都市及び都市化の影響の小さい地点の平均における年平均気温、相対湿度、水蒸気圧の経年変化傾向を示す。

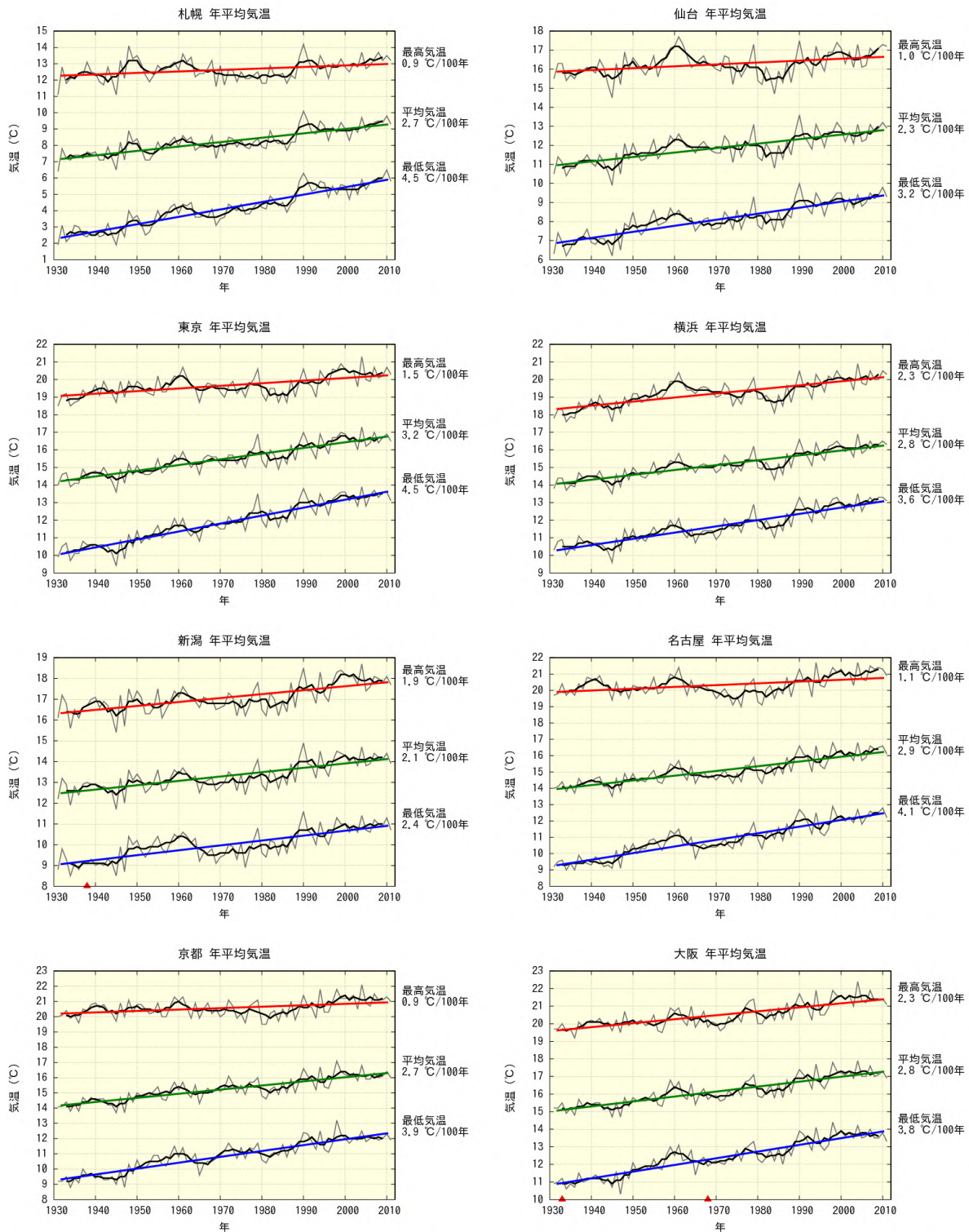


図 2.2 全国の主要都市における気温の長期変化。太い折れ線は 5 年移動平均を示す。信頼水準 90% 以上で有意な長期変化傾向がある場合は、色を付けた直線で示している。また、庁舎の移転があった官署については、大野ほか(2011)により移転に伴う影響を補正しており、その時期を赤い印で示す。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。次頁に続く。

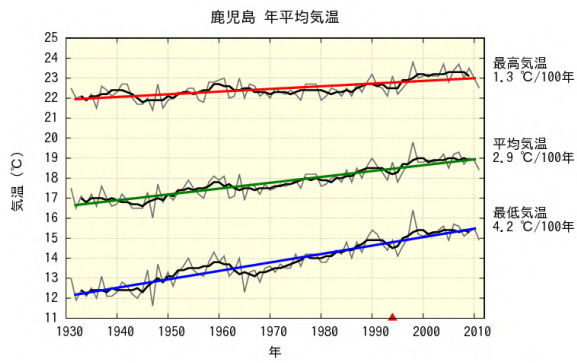
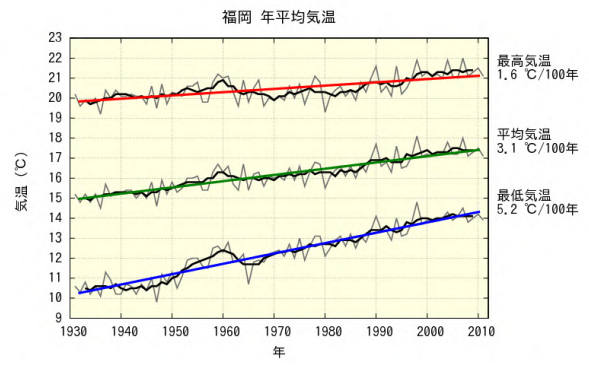
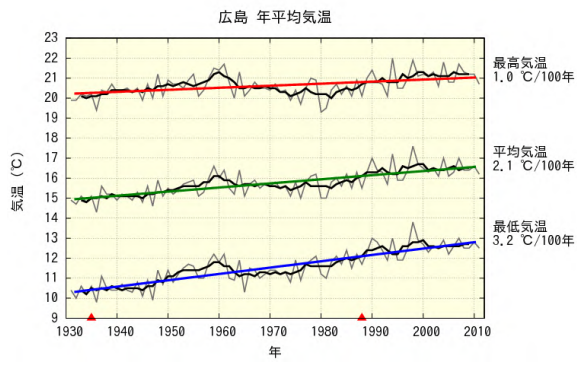


図 2.2 前頁からの続き。

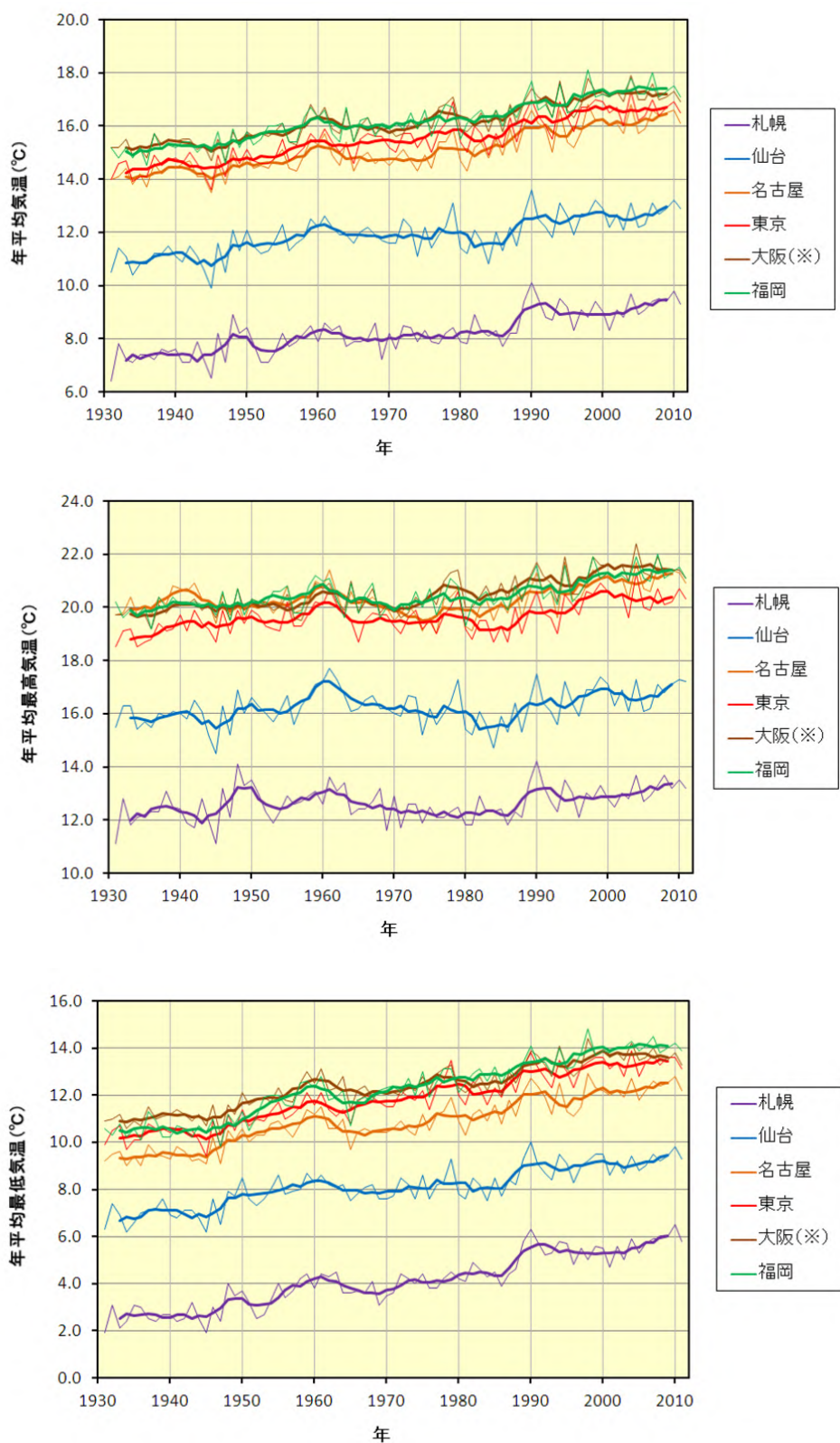


図 2.3 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における気温の長期変化傾向の比較(上段:年平均気温、中段:年平均最高気温、下段:年平均最低気温)。太線は5年移動平均を示す。 を付した地点は、大野ほか(2011)により庁舎の移転の影響を補正している。

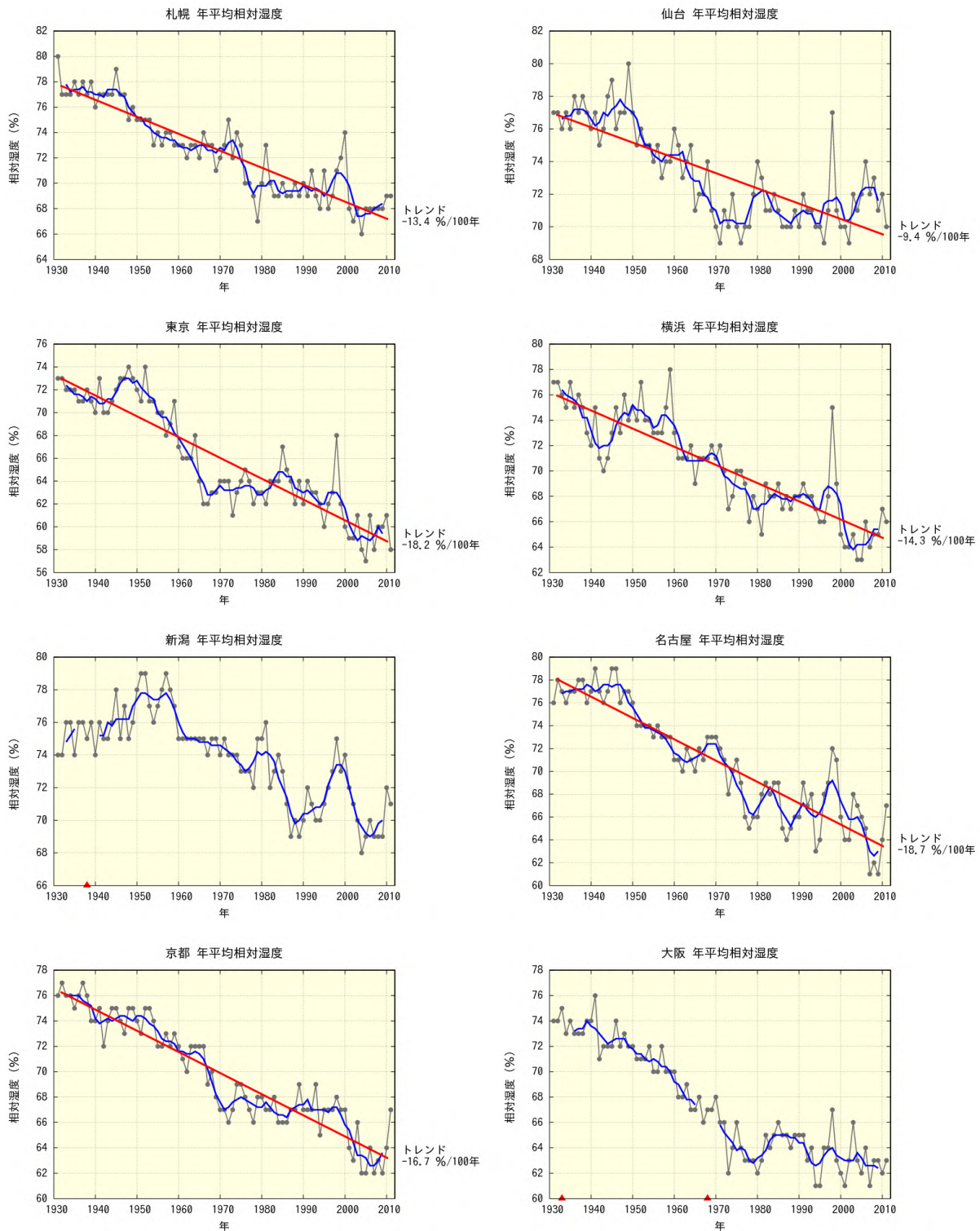


図 2.4 全国の主要都市における相対湿度の長期変化。青い折れ線は 5 年移動平均を示す。統計期間内に庁舎の移転がなく、信頼水準 90%以上で有意な長期変化(トレンド)がある場合は、赤い直線で示す。また、庁舎の移転があった官署については、その時期を赤い印で示す。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。次頁に続く。

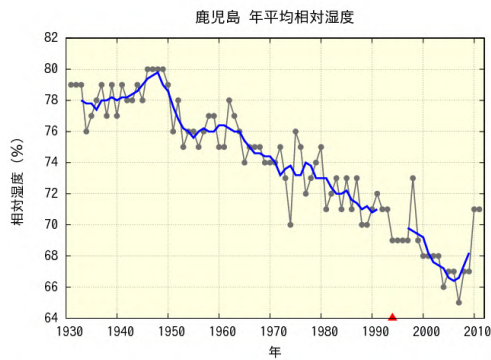
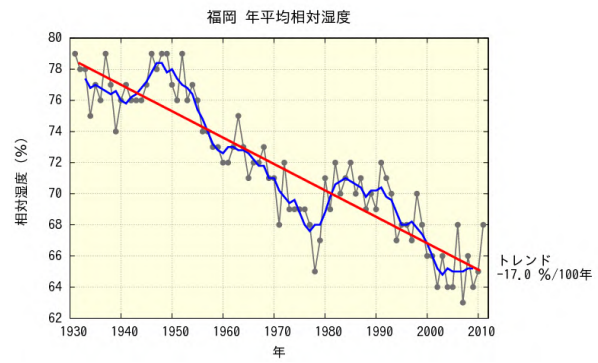
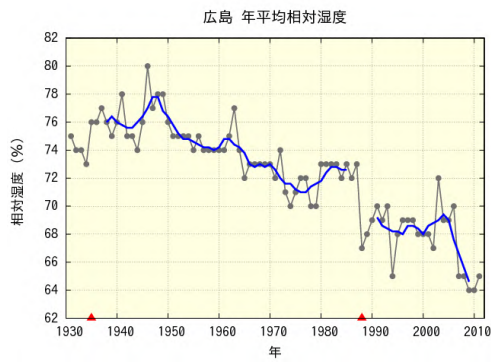


図 2.4 前頁からの続き。

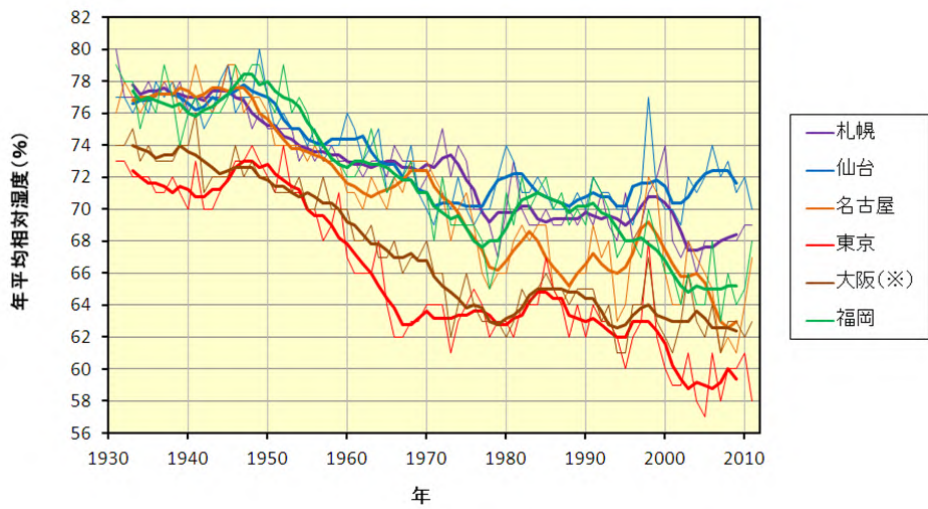


図 2.5 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における相対湿度の長期変化傾向の比較。太線は 5 年移動平均を示す。の地点は庁舎移転の影響を含む。

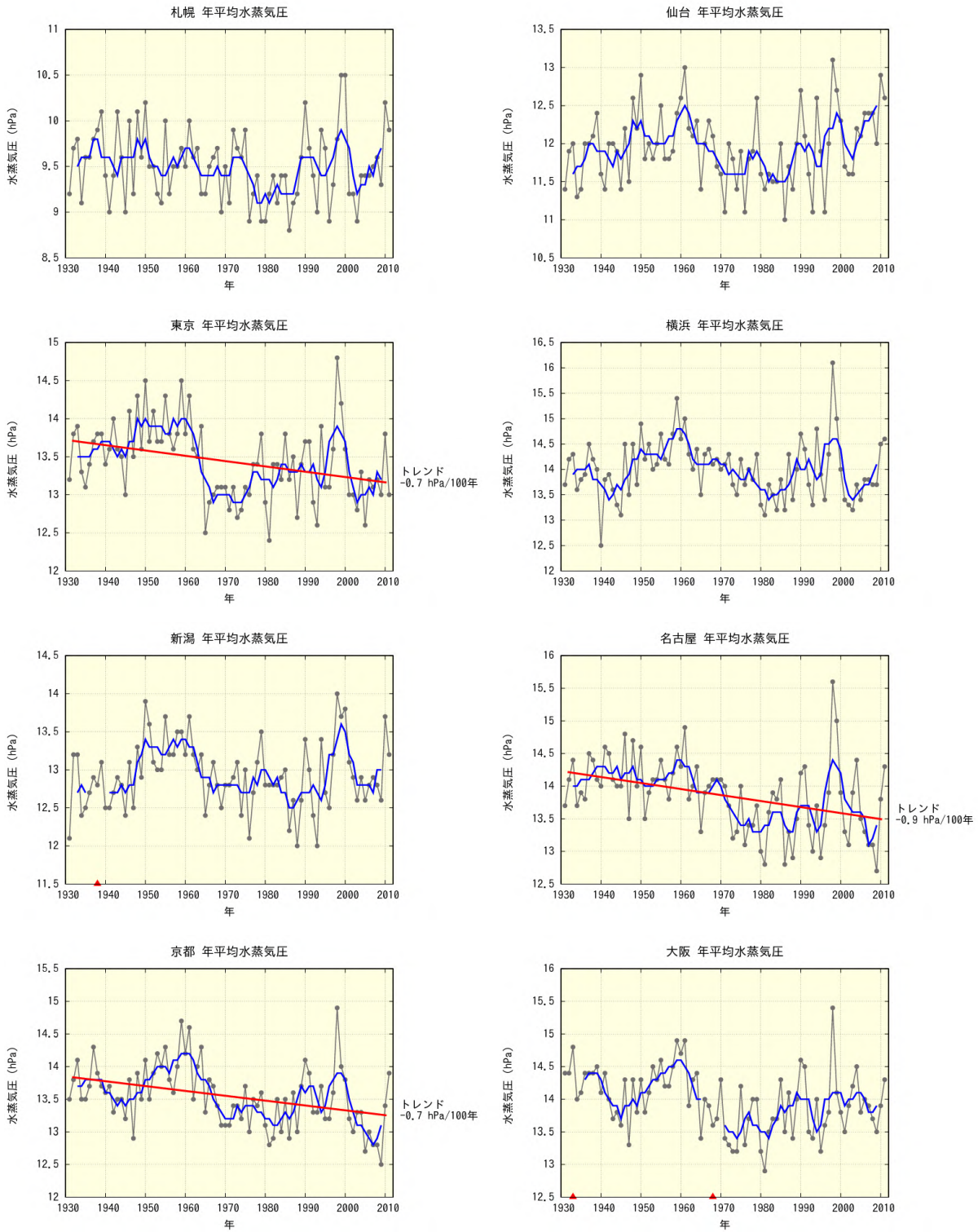


図 2.6 全国の主要都市における水蒸気圧の長期変化。青い折れ線は 5 年移動平均を示す。統計期間内に庁舎の移転がなく、信頼水準 90%以上で有意な長期変化(トレンド)がある場合は、赤い直線で示す。また、庁舎の移転があった官署については、その時期を赤い印で示す。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。次頁に続く。

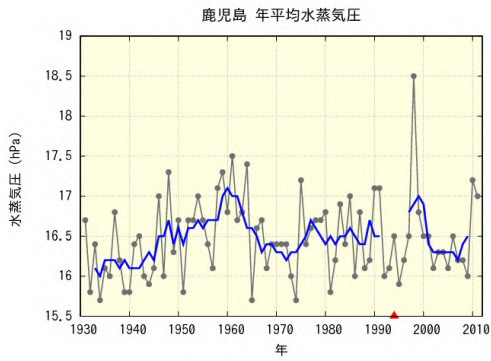
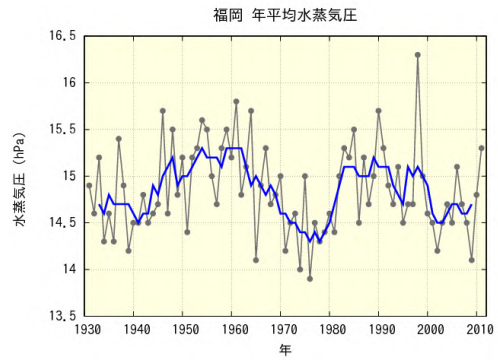
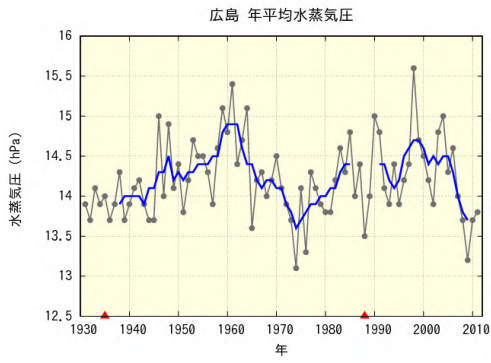


図 2.6 前頁からの続き。

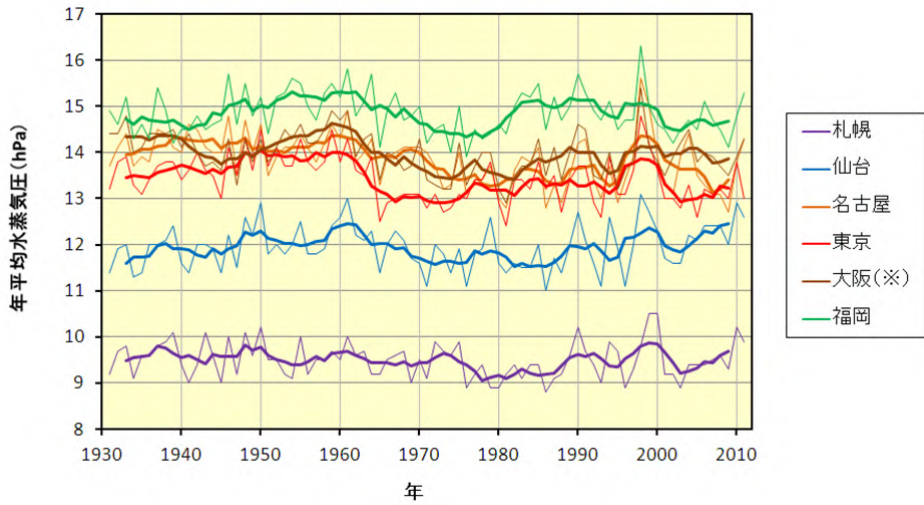


図 2.7 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における水蒸気圧の長期変化傾向の比較。太線は 5 年移動平均を示す。の地点は庁舎移転の影響を含む。

2.2 全国の主要都市における熱帯夜日数や霧日数等の長期変化傾向

表 2.3 に全国の主要都市の冬日⁵、熱帯夜⁶、真夏日⁷、猛暑日⁸の日数の変化傾向を示す。比較のため、都市化の影響が少ないと考えられる国内 15 地点平均（表 2.1 で示した 17 地点平均のうち、統計期間内に庁舎の移転があった飯田、宮崎を除く）の値をあわせて表示している。統計期間は 1931 年から 2011 年（猛暑日は 1961 年から 2011 年）である。

冬日の年間日数は全ての主要都市で有意に減少している。熱帯夜の年間日数については札幌を除いて有意に増加している。冬日や熱帯夜の年間日数については、主要都市における減少傾向が 15 地点平均と比べて顕著に大きく、地球温暖化や自然変動などに加えて都市化の影響も大きいと考えられる。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有意な増加傾向がみられ、名古屋や京都などの西日本の都市では 15 地点平均や他の都市と比べ増加傾向が顕著である。真夏日については 15 地点平均では年変動が大きく有意な変化傾向が見られない一方、東京や横浜、京都、福岡などの大都市圏では有意な増加傾向が現れている。

表 2.3 主要都市、および都市化の影響が少ないと考えられる 15 地点平均の冬日、熱帯夜、真夏日、猛暑日の年間日数の変化率、10 年あたりの変化率を示す。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。猛暑日は 1961 年から 2011 年まで。斜体字は信頼水準 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 地点は、統計期間内に庁舎の移転があるため表示しない（新潟は猛暑日の統計期間(1961 年～)については移転の影響がないので表示している）。15 地点平均は 17 地点から庁舎の移転があった飯田と宮崎を除いたものである。都市化率は観測所の周囲 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、幹線交用地、その他の用地の比率)と定義した。

都 市	都市化率 (%)	日数の変化率(日/10年)			
		冬 日	熱 帯 夜	真 夏 日	猛 暑 日
札 幌	75.1	-4.8	0.0	0.0	0.0
仙 台	69.9	-6.1	0.3	0.6	0.1
東 京	92.9	-8.6	3.8	1.1	0.6
横 浜	59.4	-6.7	2.9	2.0	0.5
新 潟	47.2	---	---	---	0.6
名 古 屋	89.3	-7.5	3.7	0.8	2.3
京 都	60.2	-8.0	3.6	1.0	2.1
大 阪	92.1	---	---	---	---
広 島	54.6	---	---	---	---
福 岡	64.3	-5.4	4.8	1.1	1.3
鹿 児 島	38.8	---	---	---	---
15 地点平均	18.5	-2.3	1.4	0.4	0.4

⁵ 日最低気温が 0 未満の日。

⁶ 夜間の最低気温が 25 以上の場合を指すが、本報告では日最低気温が 25 以上の日として扱う。

⁷ 日最高気温が 30 以上の日。

⁸ 日最高気温が 35 以上の日。

表 2.4 に全国の主要都市における 1931～1940 年平均と 2001～2010 年平均の霧日数⁹を示す。

霧日数は全ての主要都市で減少しており 1931～1940 年では年間数十日観測されていた霧が近年では数日程度になっている。霧は相対湿度が 100%に近い気象条件で観測される性質があるため、霧日数の減少には、2.1 節で述べたヒートアイランド現象に伴う相対湿度の減少傾向が影響している可能性がある。しかしながら、都市における霧の発生には相対湿度だけではなく、大原ほか(2012)で述べられている凝結核となるエアロゾル粒子の数の変動により霧発生頻度が変化する可能性や、黄砂や大気汚染等の別の要因による視界不良等が霧の観測に影響を与えている可能性も考えられることに注意する必要がある。また、藤部(2012)では、広域的な気候変動の可能性についても指摘されている。

表 2.4 主要都市における霧日の年間日数

都市化率は観測所の周囲 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。

都 市	都市化率 (%)	1931～1940 年 平均日数	2001～2010 年 平均日数
札 幌	75.1	15.1	1.8
仙 台	69.9	23.3	23.4
東 京	92.9	48.5	0.9
横 浜	59.4	42.0	2.4
新 潟	47.2	10.4	3.5
名古屋	89.3	32.3	3.0
京 都	60.2	80.6	0.2
大 阪	92.1	35.0	1.1
広 島	54.6	15.5	2.4
福 岡	64.3	7.1	1.1
鹿児島	38.8	4.5	0.6

⁹ 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。

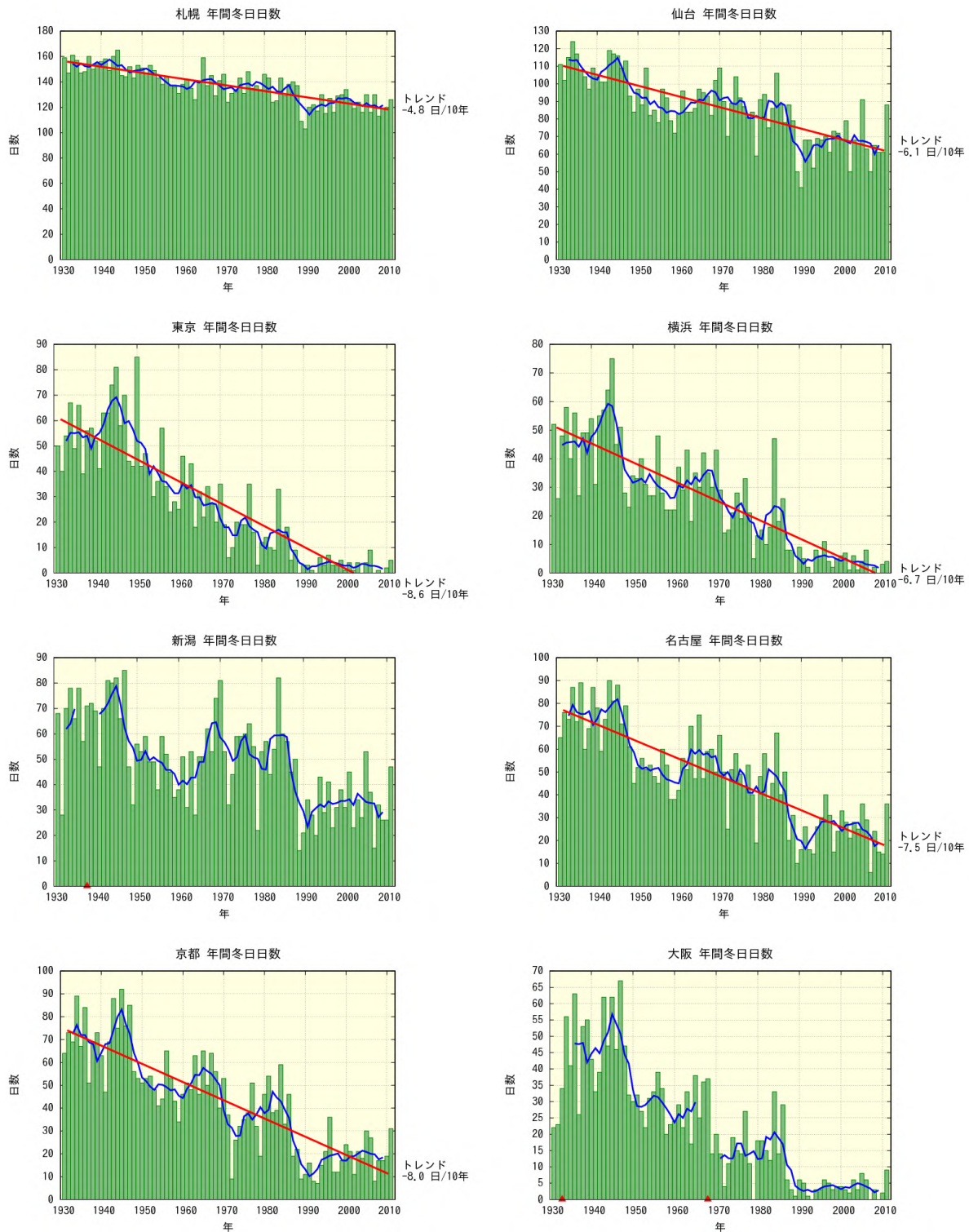


図 2.8 全国の主要都市における冬日日数の長期変化。青い折れ線は 5 年移動平均を示している。統計期間内に庁舎の移転がなく、信頼水準 90%以上で有意な長期変化(トレンド)がある場合は、赤い直線で示す。また、庁舎の移転があった官署については、その時期を赤い印で示す。統計期間は 1931 年から 2011 年まで、次頁に続く。

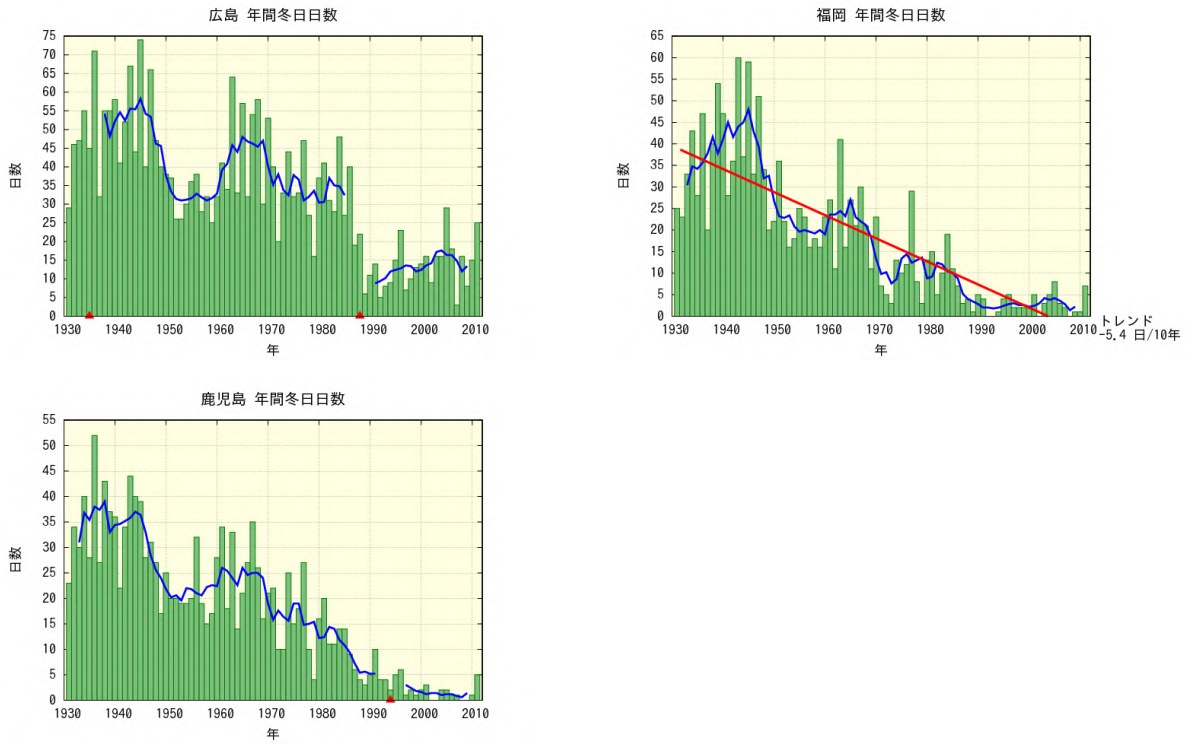


図 2.8 前頁からの続き。

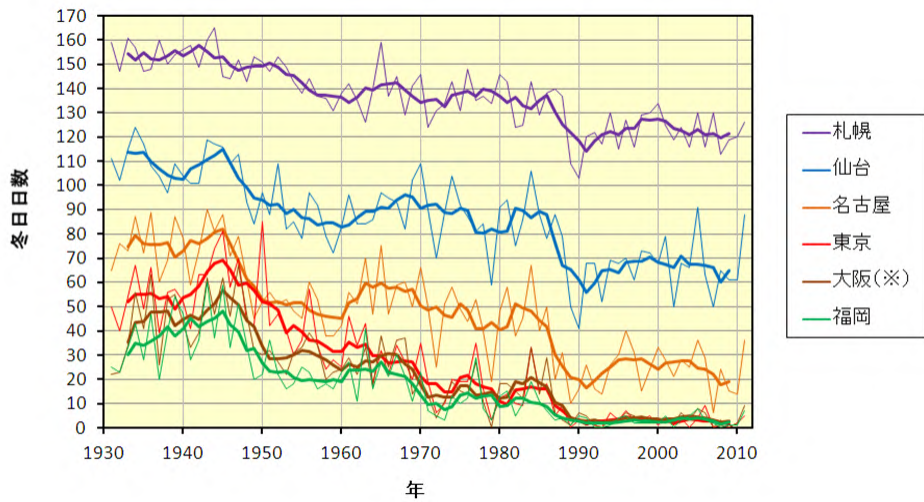


図 2.9 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における冬日日数の長期変化傾向の比較。太線は 5 年移動平均を示す。の地点は庁舎移転の影響を含む。

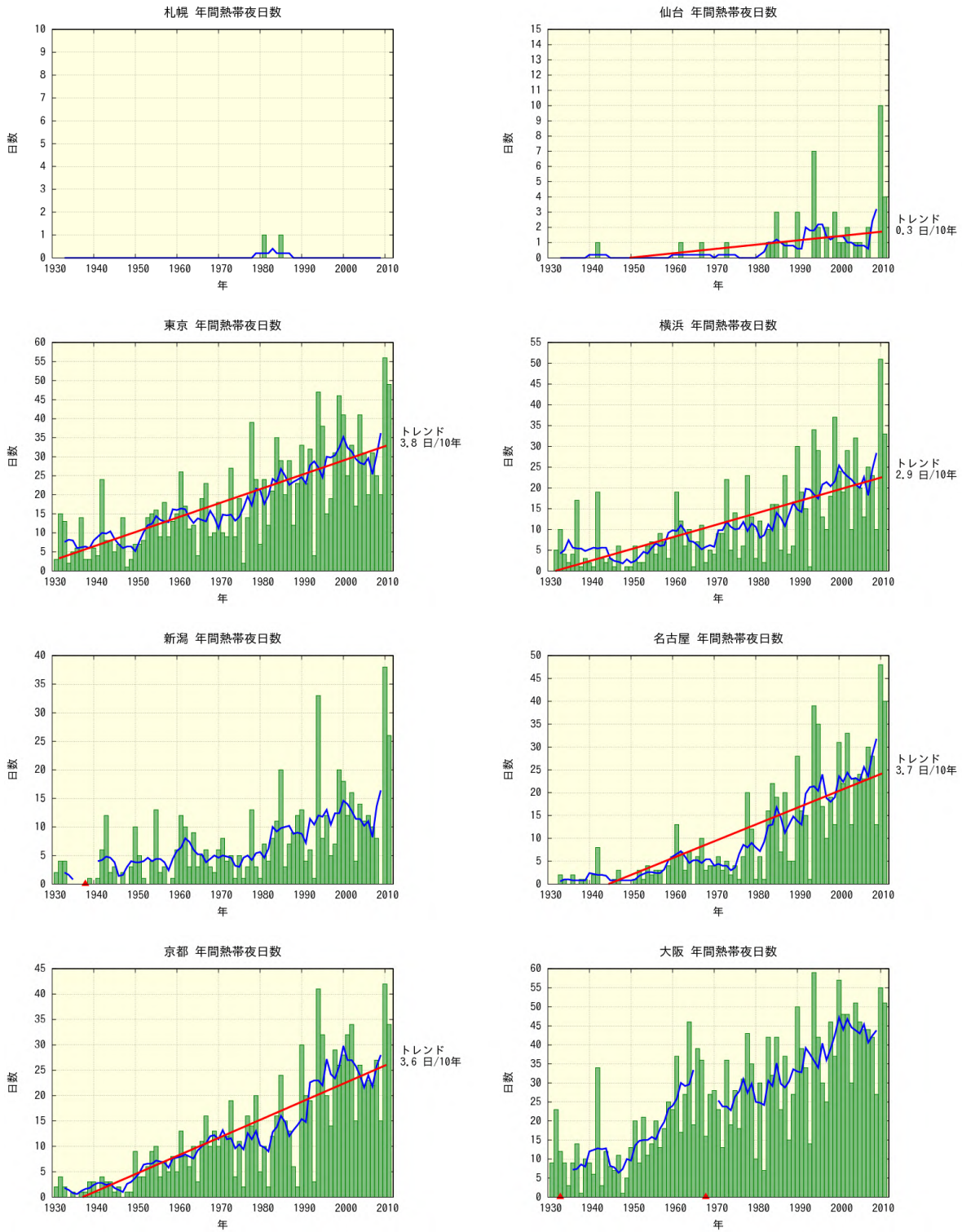


図 2.10 全国の主要都市における熱帯夜日数の長期変化。青い折れ線は5年移動平均を示している。統計期間内に庁舎の移転がなく、信頼水準90%以上で有意な長期変化(トレンド)がある場合は、赤い直線で示す。また、庁舎の移転があった官署については、その時期を赤い印で示す。統計期間は1931年から2011年まで。次頁に続く。

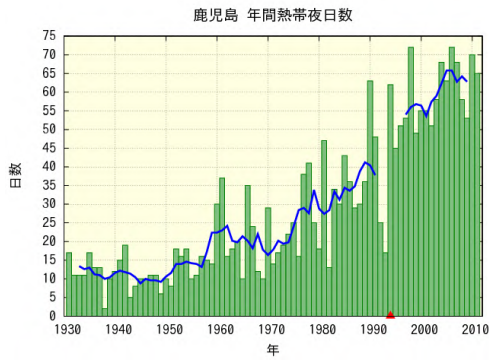
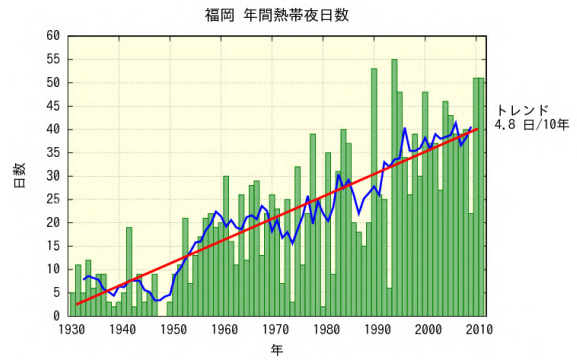
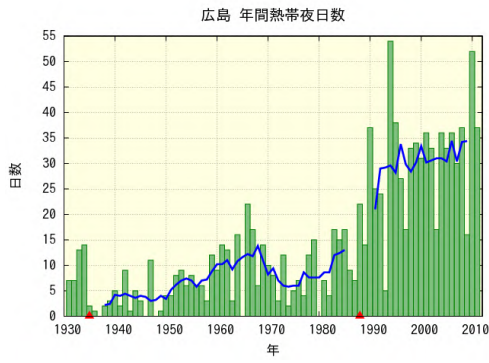


図 2.10 前頁からの続き。

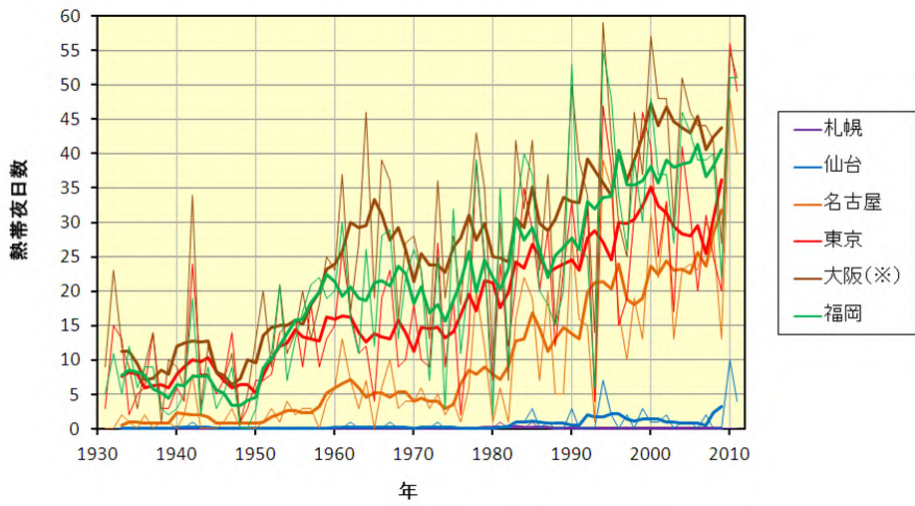


図 2.11 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における熱帯夜日数の長期変化傾向の比較。太線は5年移動平均を示す。の地点は庁舎移転の影響を含む。

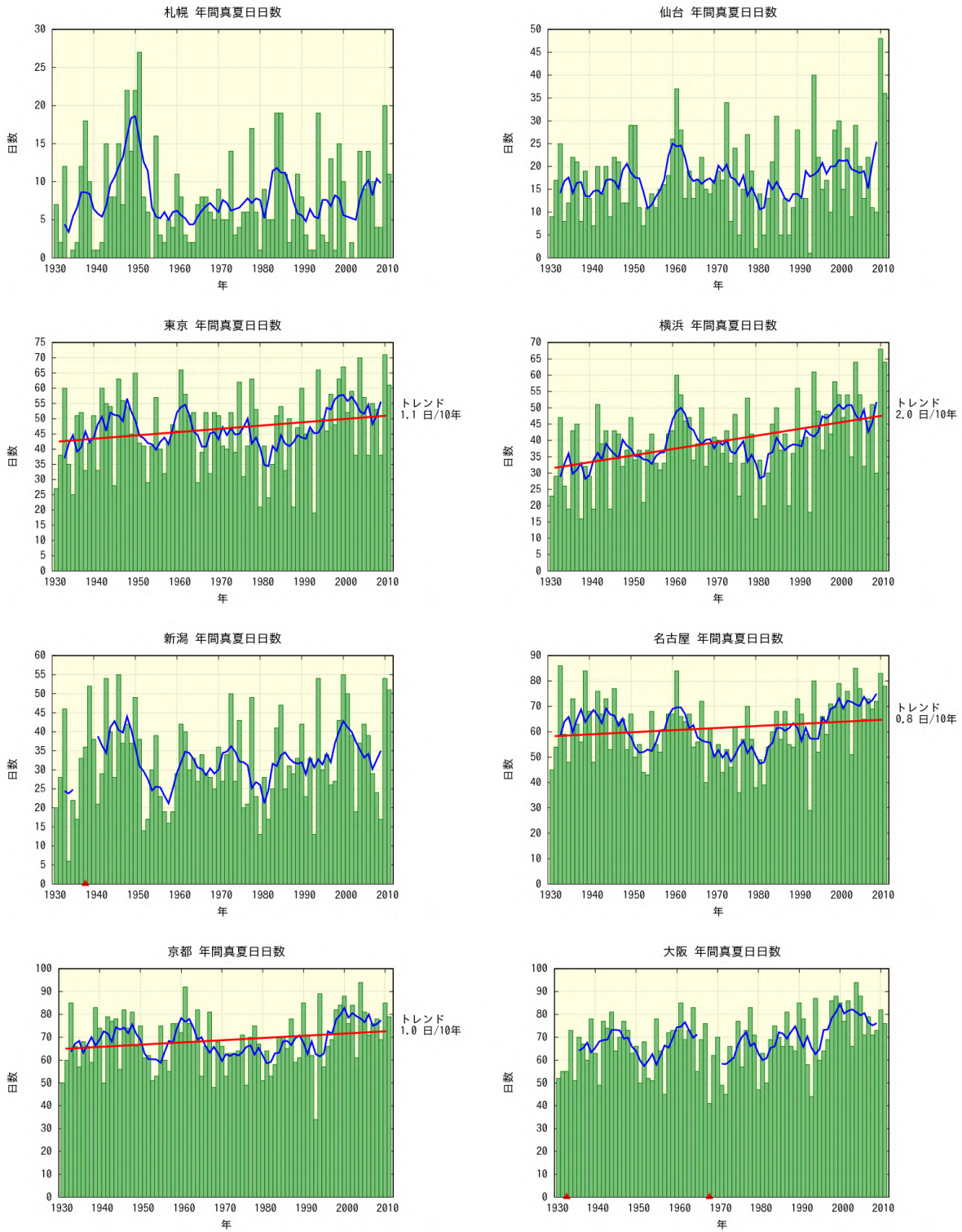


図 2.12 全国の主要都市における真夏日日数の長期変化。青い折れ線は 5 年移動平均を示している。統計期間内に庁舎の移転がなく、信頼水準 90%以上で有意な長期変化(トレンド)がある場合は、赤い直線で示す。また、庁舎の移転があった官署については、その時期を赤い印で示す。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。次頁に続く。

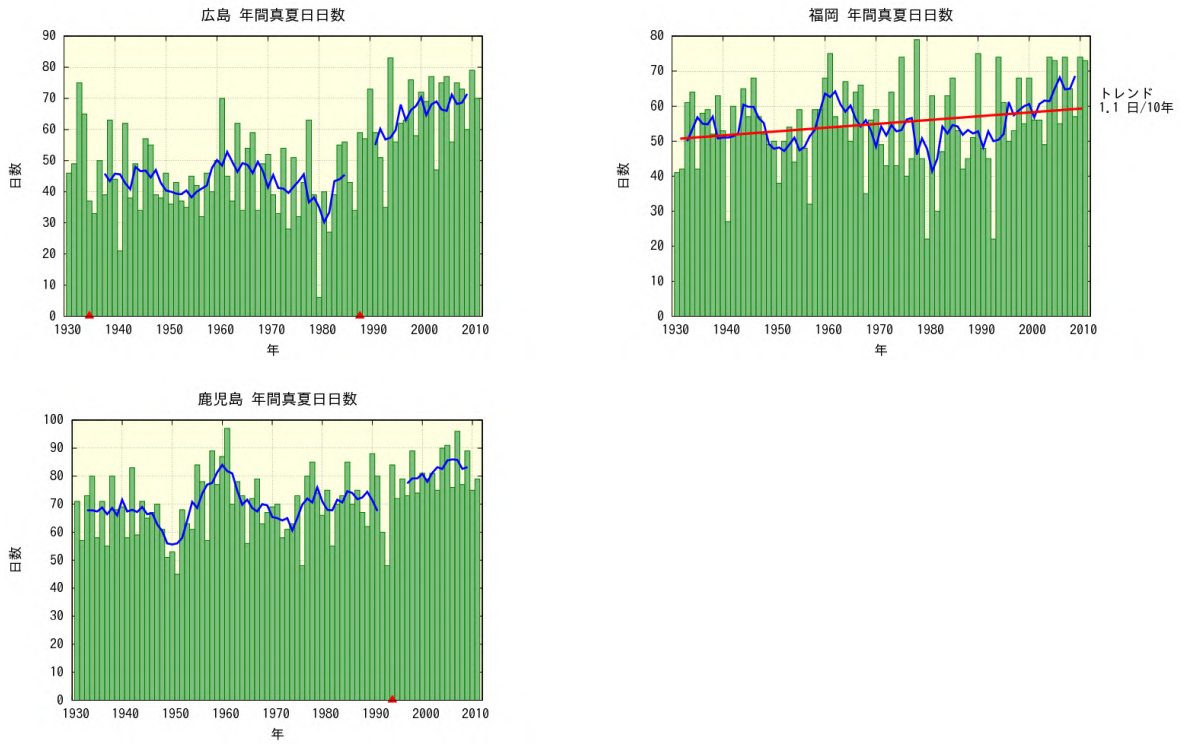


図 2.12 前頁からの続き。

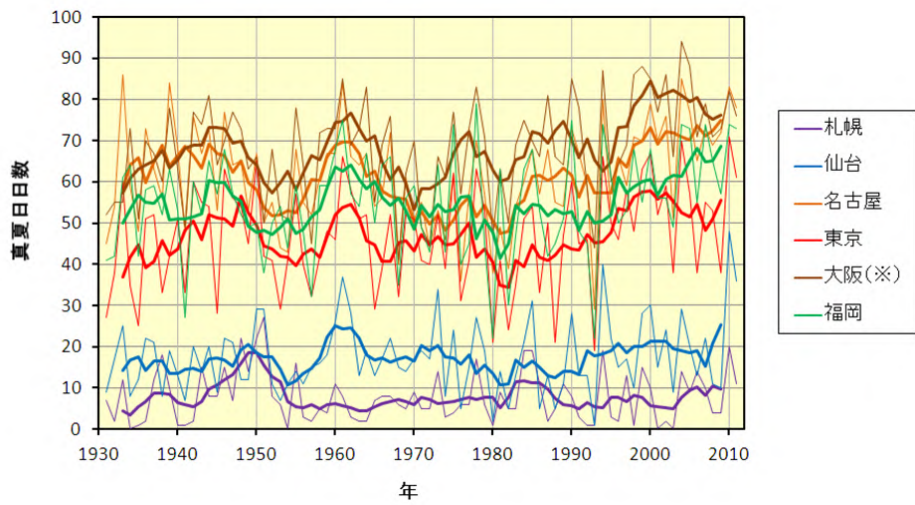


図 2.13 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における真夏日日数の長期変化傾向の比較。太線は5年移動平均を示す。の地点は庁舎移転の影響を含む。



図 2.14 全国の主要都市における猛暑日数の長期変化。青い折れ線は 5 年移動平均を示している。統計期間内に庁舎の移転がなく、信頼水準 90% 以上で有意な長期変化(トレンド)がある場合は、赤い直線で示す。また、庁舎の移転があった官署については、その時期を赤い印で示す。統計期間は 1961 年から 2011 年まで。次頁に続く。

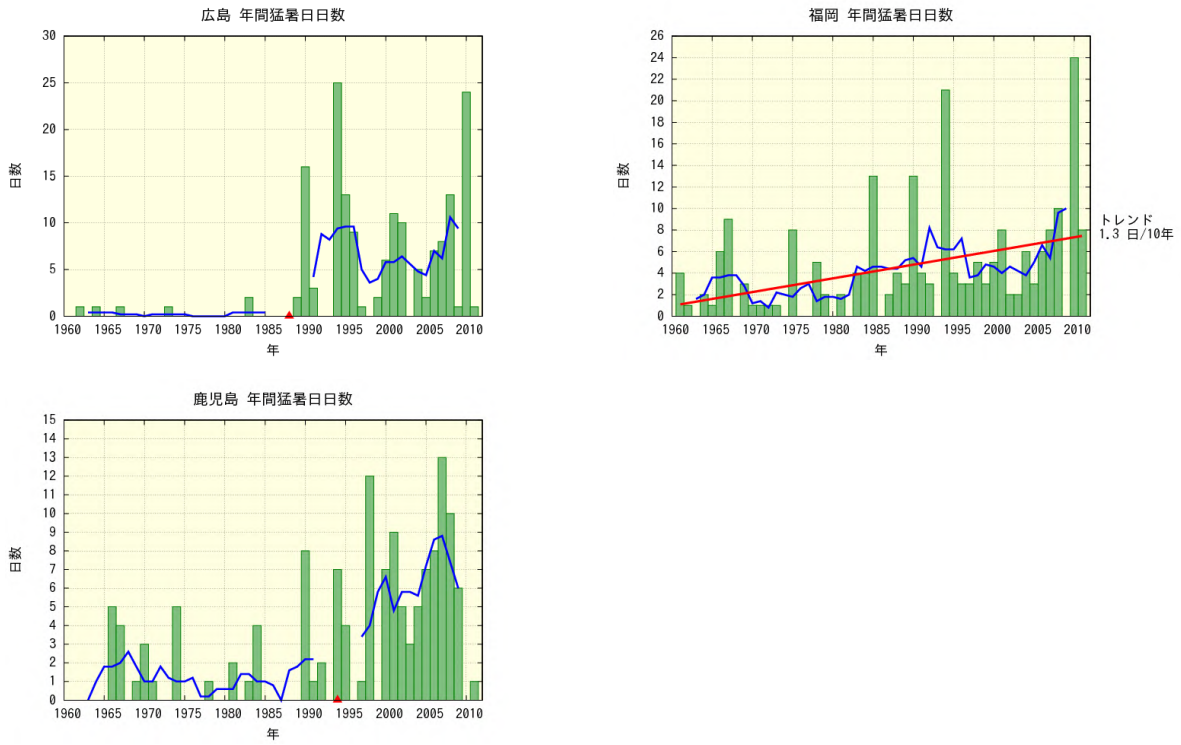


図 2.14 前頁からの続き。

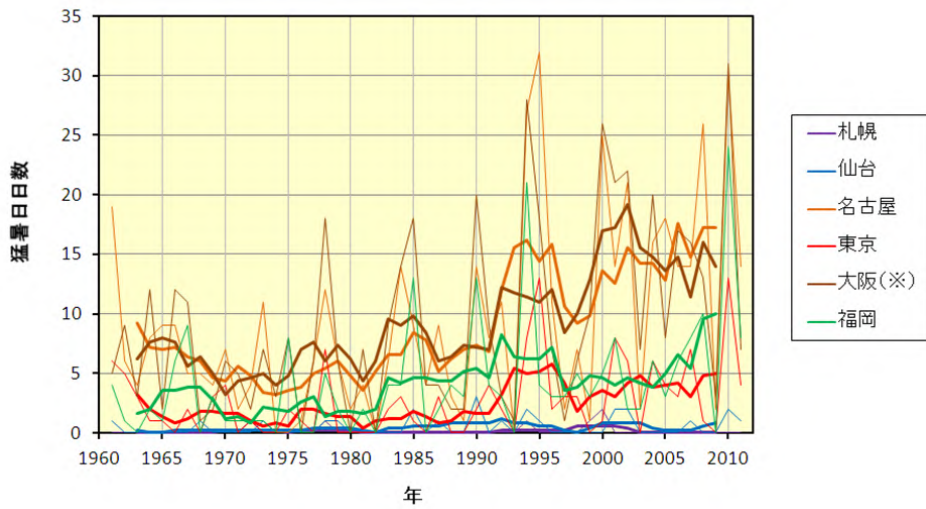


図 2.15 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における猛暑日日数の長期変化傾向の比較。太線は5年移動平均を示す。の地点は庁舎移転の影響を含む。

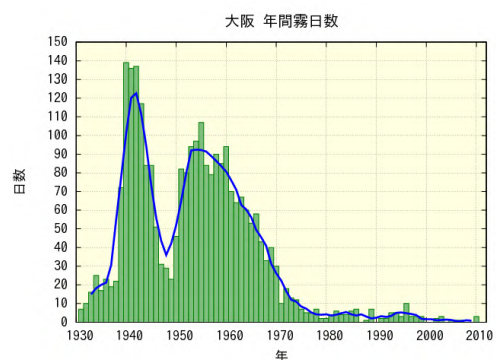
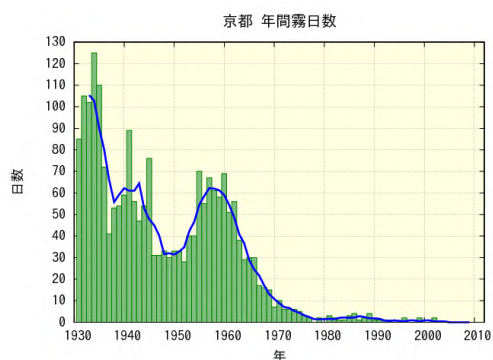
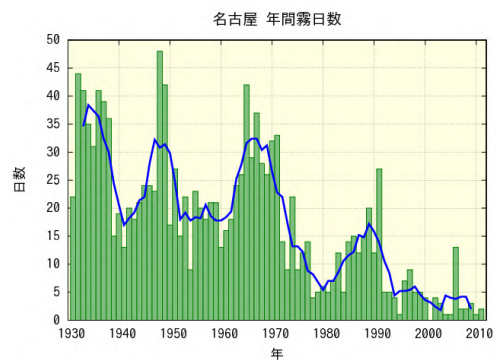
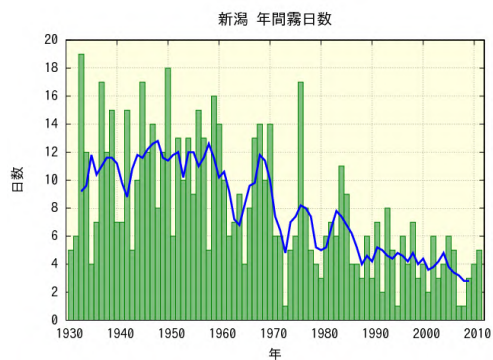
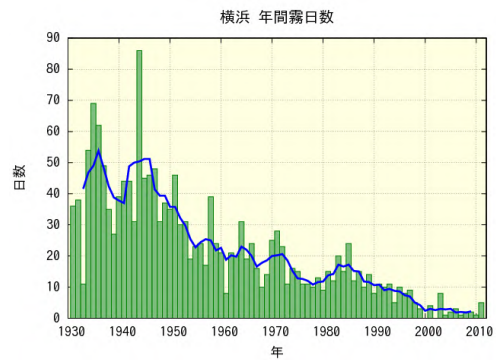
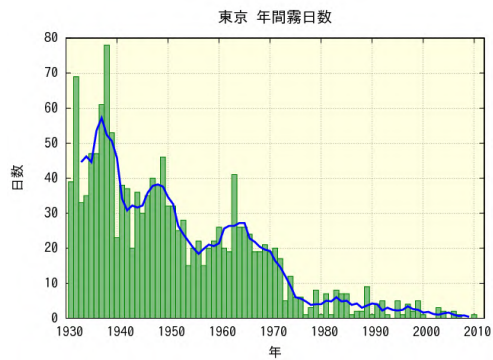
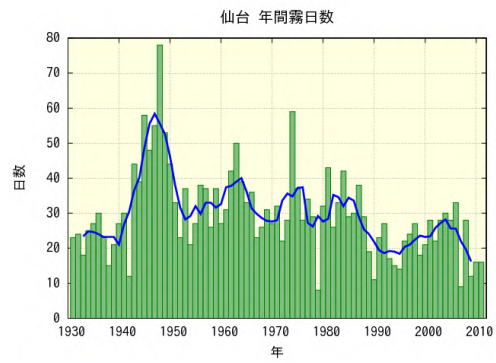
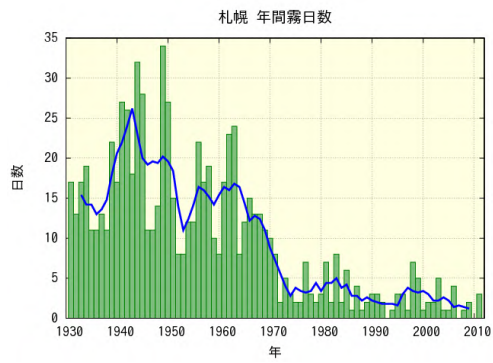


図 2.16 全国の主要都市における霧日数の長期変化。青い折れ線は5年移動平均を示している。統計期間は1931年から2011年まで。次頁に続く。

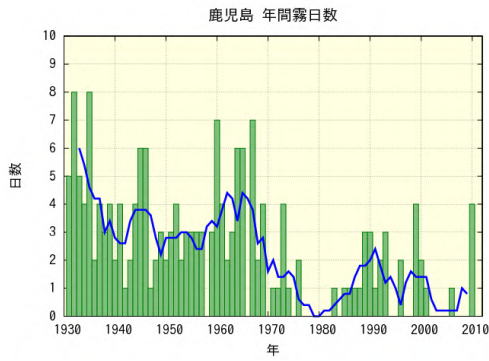
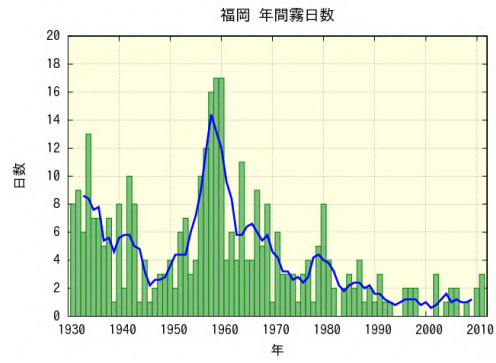
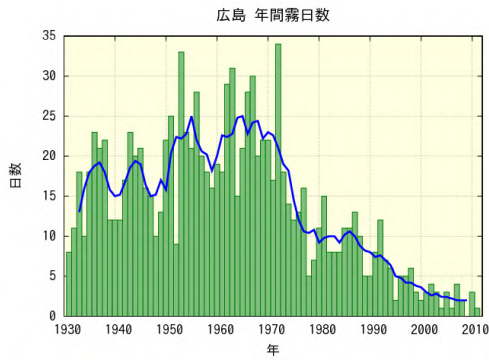


図 2.16 前頁からの続き。

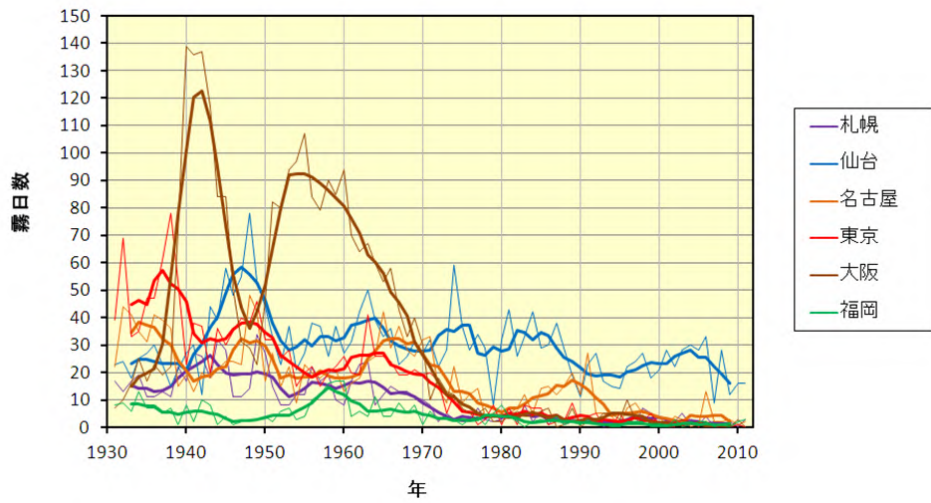


図 2.17 札幌、仙台、名古屋、東京、大阪、福岡における霧日数の長期変化傾向の比較。太線は 5 年移動平均を示す。

2.3 気温や相対湿度等の変化率と都市化率の関係

統計期間 1931～2011 年で気温変化率の統計が可能である全国 80 地点の気象官署において、都市化率と気温との関係を図 2.18 に示す。

平均気温、日最高気温の年平均、日最低気温の年平均とも、都市化率が大きくなるほど上昇率が大きい傾向があり、何れも信頼水準 99%以上で統計的に有意である。また、都市化率 0%における気温上昇率は、都市化の影響を除いた地球温暖化の影響と考えられるが、平均気温、最高気温、最低気温とも 1.0～1.5 /100 年と同程度である。しかし、都市化率が大きくなるに従って最高気温に比べて最低気温の上昇率が大きくなり、都市化率 90%では、最高気温上昇率が約 1.8 /100 年であるのに対し、最低気温上昇率は約 4.5 /100 年と最高気温上昇率の約 2.5 倍である。以上より、都市化率が大きい地点ほど、地球温暖化に比べてヒートアイランド現象による気温上昇の影響が大きく、ヒートアイランド現象の影響は最高気温より最低気温で顕著であると言える。

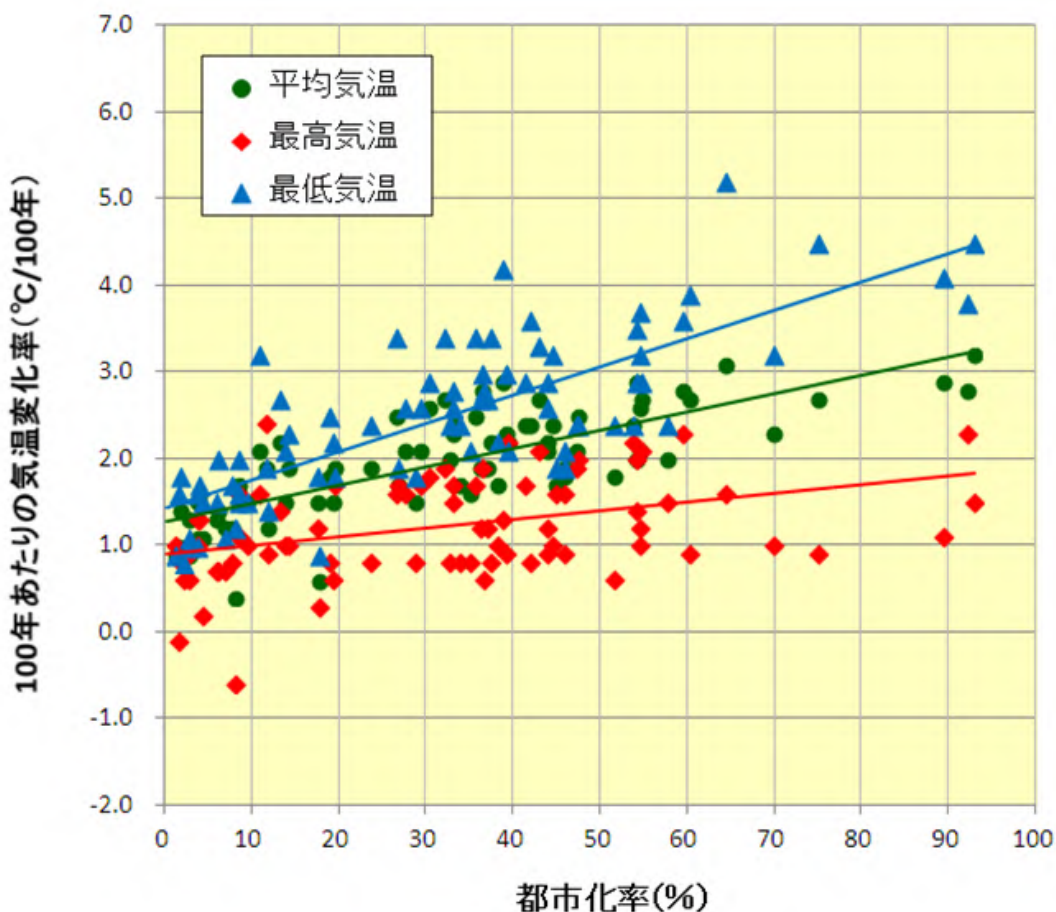


図 2.18 全国 80 地点における気温変化率と都市化率の相関図

庁舎移転の影響がある官署については、移転の影響を補正して気温変化率を算出している。都市化率は 2006 年度版国土数値情報土地利用 3 次メッシュにおける観測所の半径 7km の人工被覆率(建物用地、幹線道路、その他の用地の割合の合計)である。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。

統計期間 1931～2011 年で庁舎の移転の影響がなく相対湿度変化率の統計が可能である全国 53 地点および水蒸気圧変化率の統計が可能である全国 40 地点の気象官署において、都市化率と相対湿度変化率、水蒸気圧変化率の関係を図 2.19 に示す。

相対湿度、水蒸気圧ともに都市化率が大きくなるほど減少率が大きい傾向があり、いずれも信頼水準 99% 以上で統計的に有意である。都市化率 0% では水蒸気圧は上昇傾向である一方、相対湿度は減少傾向となっている。地球温暖化に伴い全球規模では飽和水蒸気圧の増加や海面水温の上昇などに伴って水蒸気圧は上昇するが (IPCC, 2007)、都市では水面や緑地が減少することで地表面や植物からの水分の蒸発量が減少して水蒸気圧は減少する。このように水蒸気圧については地球温暖化と都市化は相反関係にあり都市化率の大きな地点では減少、都市化率の小さな地点では増加傾向となっている。

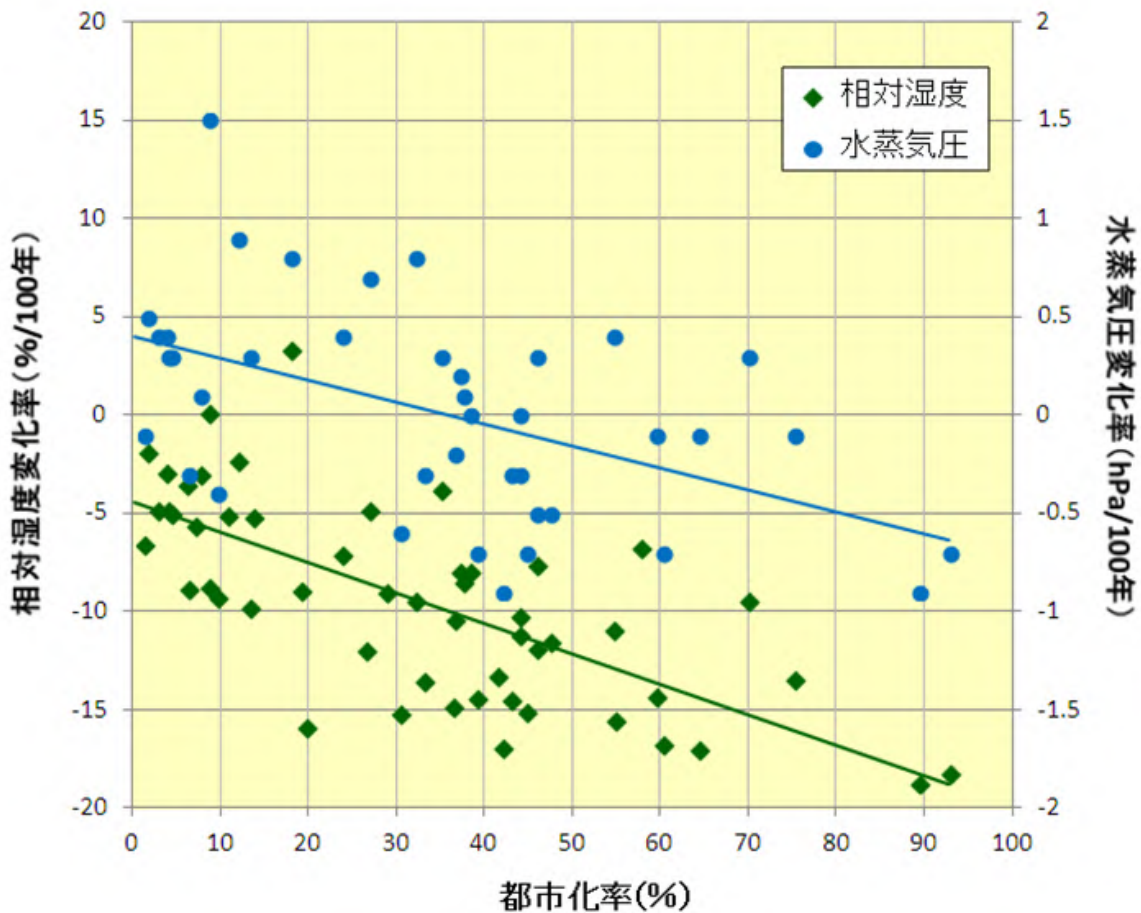


図 2.19 全国 53 地点における相対湿度変化率、全国 40 観測地点における水蒸気圧変化率と都市化率の相関図
 庁舎移転の影響がある官署については、移転の影響が補正できないため除外した。都市化率は 2006 年度版国土数値情報土地利用 3 次メッシュにおける観測所の半径 7km の人工被覆率 (建物用地、幹線道路、その他の用地の割合の合計) である。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。

統計期間 1931～2011 年で庁舎の移転の影響がなく相対湿度変化率と水蒸気圧変化率の統計が可能である全国40地点の気象官署において、相対湿度変化率と水蒸気圧変化率の関係を図2.20に示す。水蒸気圧の減少率が大きいほど相対湿度の減少率も大きい傾向があり、信頼水準 99%以上で統計的に有意である。故に、相対湿度の変化には水蒸気圧の変化が一定の寄与をしていると考えられる。

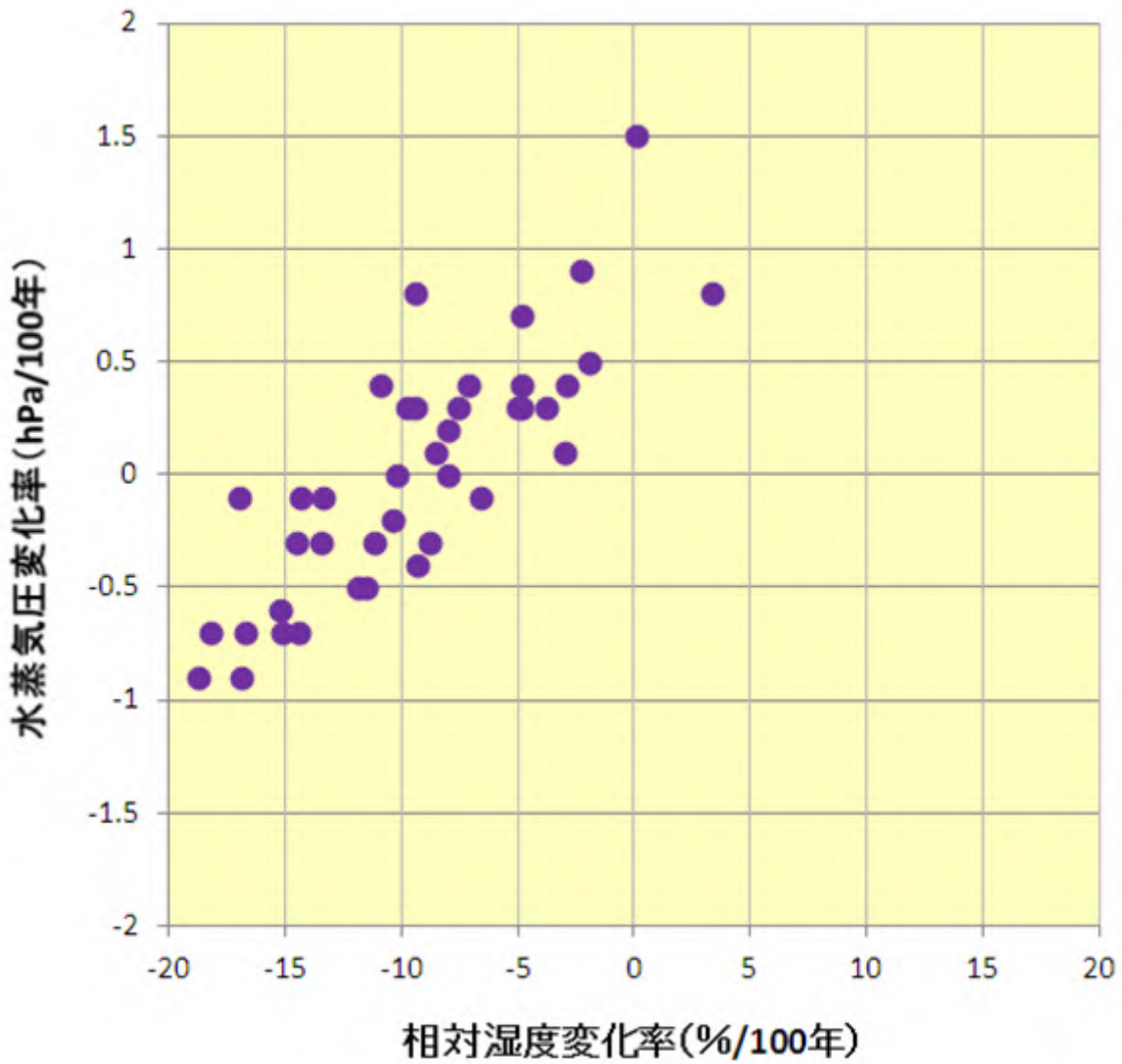


図 2.20 全国 40 地点における相対湿度変化率と水蒸気圧変化率の相関図

庁舎移転の影響がある官署については、移転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 2011 年まで。

一方、統計期間 1931～2011 年で庁舎の移転の影響がなく相対湿度変化率の統計が可能である全国 53 地点および水蒸気圧変化率の統計が可能である全国 40 地点の気象官署において、気温変化率と相対湿度、水蒸気圧との関係を図 2.21 に示す。気温の上昇率が高いほど相対湿度の減少率が大きく、信頼水準 99% 以上で統計的に有意である。従って、相対湿度の変化には水蒸気圧の変化だけでなく、気温の変化に伴う飽和水蒸気圧の変化も一定の寄与をしていると考えられる。

また、気温変化率が高いほど水蒸気圧が減少しており、信頼水準 99% で統計的に有意である。これは地表面が人工被覆に変わることによって、地表面や植物からの水分の蒸発が減少し、地表面から大気に与えられる熱が増加して、気温の上昇していることの現れと考えられる。

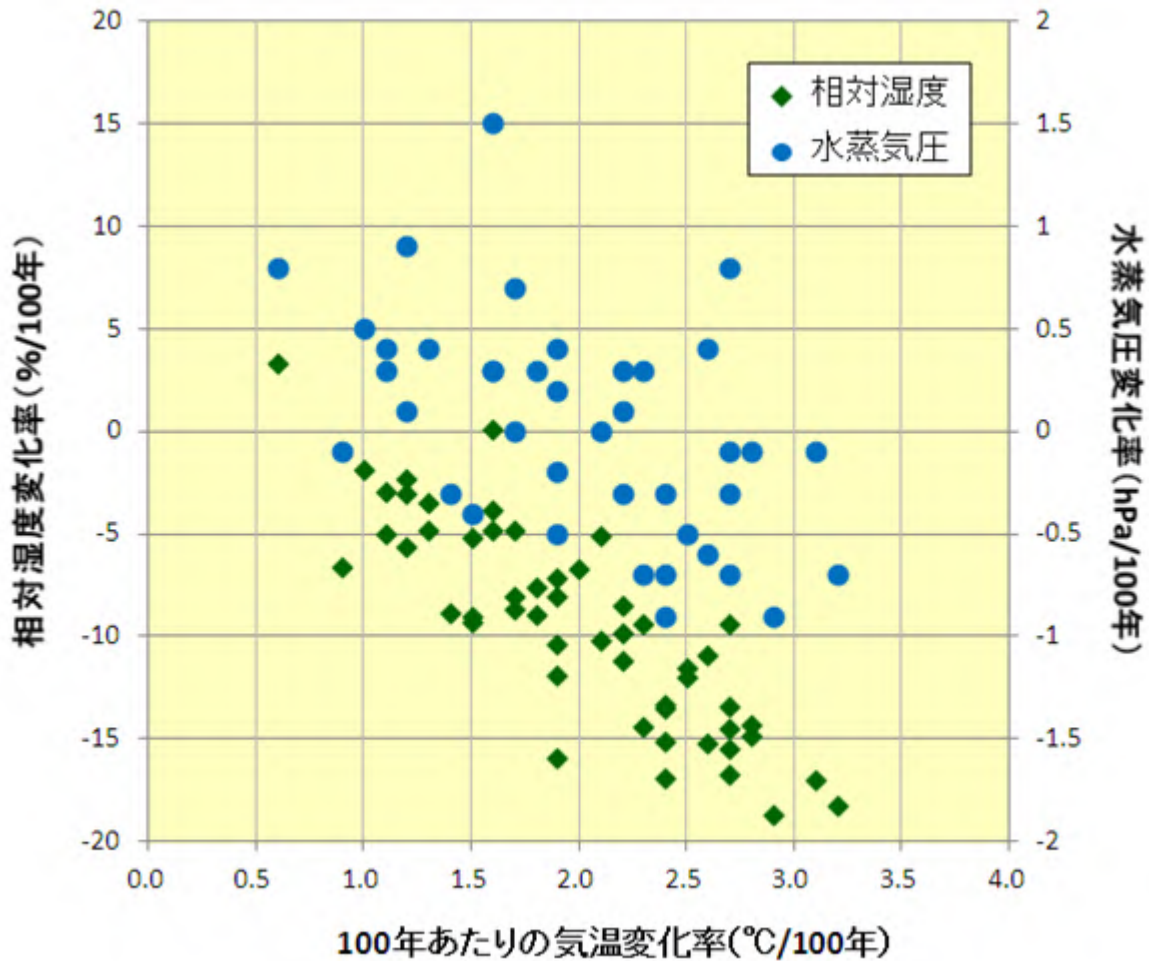


図 2.21 全国 53 地点における相対湿度変化率、全国 40 観測地点における水蒸気圧変化率と気温変化率の相関図
庁舎移転の影響がある官署については、移転の影響が補正できないため除外した。統計期間は 1931 年から 2011 年まで。

変化傾向の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運動のため、大きく変動している。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だけでは説明しにく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。この「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、統計量に見られる経年変化傾向の有無の可能性について、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。

なお、この統計的検定は次のような手法により行っている。

(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

気温や相対湿度、水蒸気圧の場合、トレンド成分を除去した年々の統計量の出現頻度は概ね正規分布に従うと考えることができる。正規分布とみなしてよい統計量に対しては、西暦年と累年の統計量との相関係数を用いて、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

猛暑日や熱帯夜等、発生頻度の統計量は正規分布に従うことが仮定できない場合があるので、これらの統計量に対しては分布に依らない検定（ノンパラメトリック検定）を行う。

統計的検定では、原理的に、「統計的に有意」と判定されてもその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出現している確率が最大で 10%含まれ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。一般に、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、以上の性質に留意の上で活用されたい。

3. ヒートアイランド現象の事例解析

都市気候モデルを用いた 2011 年 8 月の関東・近畿・東海地方の事例解析から、都市化の影響により、月平均気温は、東京、大阪、名古屋の都心部で、1.0～2.0 程度上昇していたとみられる
日中に比べて夜間から明け方の気温の上昇が顕著
相対湿度が低下する
ことが示された。これらの結果は、観測に見られる都市の気候の特徴と整合的である。また、都市では
日中の風速が低下する
地表面温度が上昇する
特徴が見られ、これらの要因も都市の暑熱環境に影響していると考えられる。

この章では、都市気候モデルによる 2011 年 8 月を対象とした事例解析結果をもとに、盛夏期のヒートアイランド現象の特徴について分析する。

3.1 節では都市気候モデルの概要、3.2 節では関東地方、3.3 節では近畿地方、3.4 節では東海地方の月平均で見たヒートアイランド現象について述べる。3.5 節では、気温と相対湿度について、観測値と比較する。

3.1 都市気候モデルの概要

気象庁では 2006 年度より、都市気候モデルによって晴天日のヒートアイランド現象に関するシミュレーション調査を行い、その結果を毎年「ヒートアイランド監視報告」(気象庁, 2005-2011)として公表している。これまでの都市気候モデルによる調査によって、晴天日における日中のヒートアイランドでは土地利用や海風変化の影響、夜間のヒートアイランドでは建築物の影響が大きいことなどが明らかになってきたところである。

一方、都市気候をより包括的に理解するためには、晴天日だけでなく、曇天・雨天日や深夜から明け方にかけての時間帯のヒートアイランドの影響を調査する必要がある。このため、天候や時間帯によらず都市の気象を精度よく再現することが可能な都市気候モデルを開発し、事例解析を行った。本節では調査に用いた都市気候モデルについて、概説する。より詳細な解説については、Aoyagi, T. and N. Seino (2011) を参照いただきたい。

3.1.1 都市気候モデルの改良

従前の都市気候モデルからの主な改良点は、以下の4点である。

(1) 水平・鉛直分解能の向上

従前の都市気候モデルと本報告の都市気候モデルの水平・鉛直解像度の違いを表 3.1 に示す。鉛直分解能が 18 層から 50 層に大きく向上し、最上層の高度も 6,000m から 21,801m となっている。また、水平分解能についても、これまでの都市気候モデルでは 4km×4km メッシュであったのに対し、本報告の都市気候モデルでは 2km×2km メッシュに向上している。

表 3.1 従来の都市気候モデルと本報告の都市気候モデルの水平・鉛直解像度の比較

	従来の都市気候モデル	本報告の都市気候モデル
水平格子間隔	4km × 4km	2km × 2km
鉛直層数	18 層	50 層
モデル最上層	6,000m	21,801m
モデル最下層	15m	20m

(2) 雲・降水過程の導入

本報告の都市気候モデルでは、日々の防災気象情報の作成に用いているメソモデルと同等の雲・降水過程（気象庁，2008a）を取り入れることにより、曇天日や雨天日におけるヒートアイランド現象の調査が可能となった。

(3) 建築物の影響の計算を精緻化

図 3.1 に示すように、建築物の屋上は日中は常に直射日光が当たり夜間は放射冷却を妨げる障害物もないため、日陰を含み放射冷却を妨げる障害物が多い壁面や地表面に比べて表面温度の日較差が大きい。従前の都市気候モデルでは、屋上と壁面の温度が平均化されていたが、本報告の都市気候モデルでは建築物の屋上と壁面の温度を分離することにより、建築物の屋上と壁面の表面温度の違いによる影響が考慮されている。

(4) 接地層における鉛直プロファイルの改良

本報告の都市気候モデルでは、メソモデルに用いている安定度を考慮した一般的な接地層の鉛直プロファイルを考慮する手法（気象庁，2008a）を取り入れた。

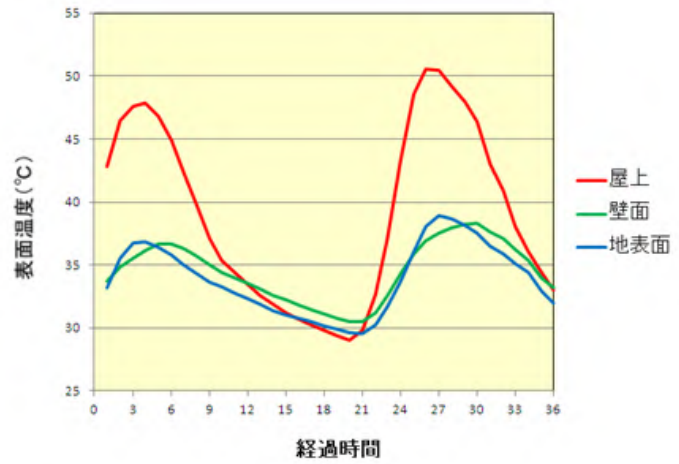
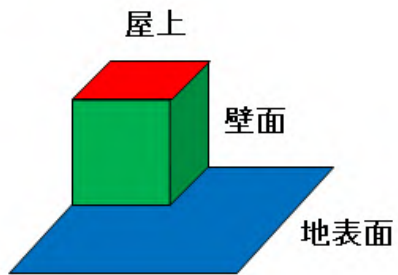


図 3.1 都市気候モデルにおける都市表面温度の分類の模式図(左図)と、その時間変化(右図)。右図は、都市気候モデルによって計算された、東京都心における夏季の午前9時から36時間後までの地表面、建築物の屋上および壁面の気温の変動例を示したもの。横軸は午前9時からの経過時間を示す。

3.1.2 都市気候モデルに用いる土地利用形態および人工排熱

都市気候モデルによって都市の気候を精度よく計算するには、建築物や道路などの土地利用形態や、人間活動によって大気中に排出される熱量を入力として与える必要がある。土地利用形態については、国土数値情報の土地利用3次メッシュデータから土地の利用形態を分類し、モデルの地表面の条件として与えている。また、人工排熱については、総務省統計局の人口データや従業者数データおよび国土数値情報の土地利用3次メッシュデータを説明変数とし、妹尾ほか(2004)、鳴海ほか(2002)、名古屋市環境科学研究所による人工排熱データを予報変数とする重回帰分析により求めた毎月の平均的な人工排熱を求める推定式(萱場ほか, 2010)を用いている。これによって、人工排熱データが整備されていない地域でもヒートアイランド現象のシミュレーションが可能となる。

図3.2に推定式より求めた人工排熱の8月15時の分布図および8月の東京(大手町)付近における時間変化を示す。人工排熱は日中に著しく人口が集中する都心部で $120\text{W}/\text{m}^2$ と局所的に非常に高い値となる。これは夏季の太陽南中時における日射エネルギーの約10分の1に相当する。

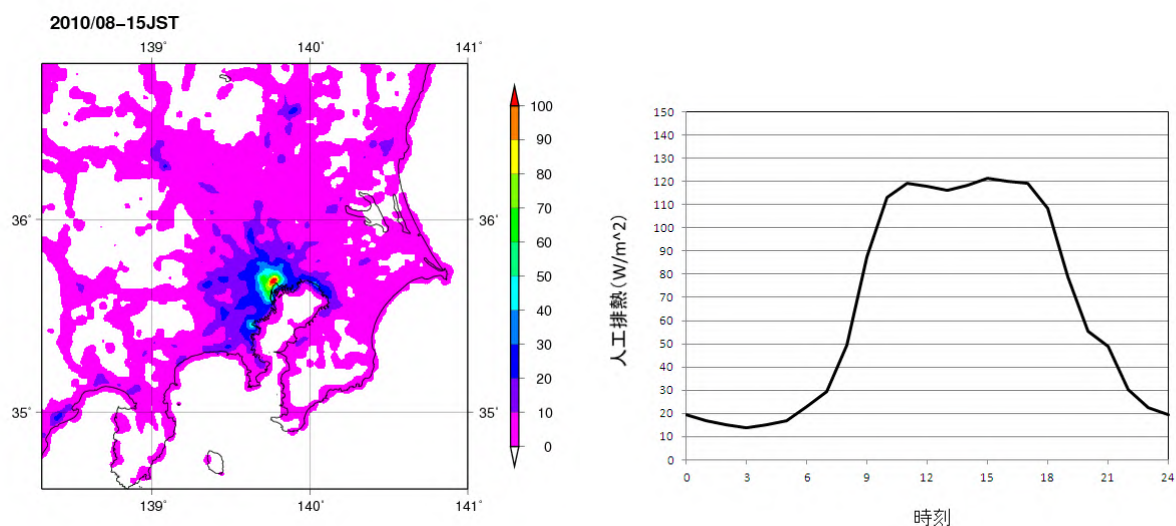


図3.2 都市気候モデルにおける8月15時の推定人工排熱量の分布(左)と、東京(大手町)における8月の人工排熱推定量の日変化(右)

3.1.3 都市気候モデルによる都市化の影響の評価

本報告では、ヒートアイランドによる影響の程度を見積もるため、モデルを用いた「都市有り実験」と「都市無し実験」の2つの実験を行い、その気温の差を都市化の影響としている。「都市有り実験」とは、現実の都市の地表面状態や人工排熱をパラメタとしてモデルに与えたシミュレーション実験である。「都市無し実験」とは、都市の地表面状態を仮想的に草地に置き換え、人工排熱をゼロとしたシミュレーション実験である。

本報告の都市気候モデルでは雲・降水過程を含むため、「都市有り実験」と「都市無し実験」で雲や降水の分布に差が生じることで気温の分布にも影響することがある。ところが雲や降水の分布は僅かな気象条件の違いに対する感度が非常に大きいため、個別の事例のシミュレーションに関しては、都市化の影響による系統的な差だけでなく、偶発的な時間発展に起因する差が含まれているものと見なければならない(図 3.3)。このため、個別のシミュレーションの結果のみに基づいて都市化による系統的な影響を評価することは困難である。

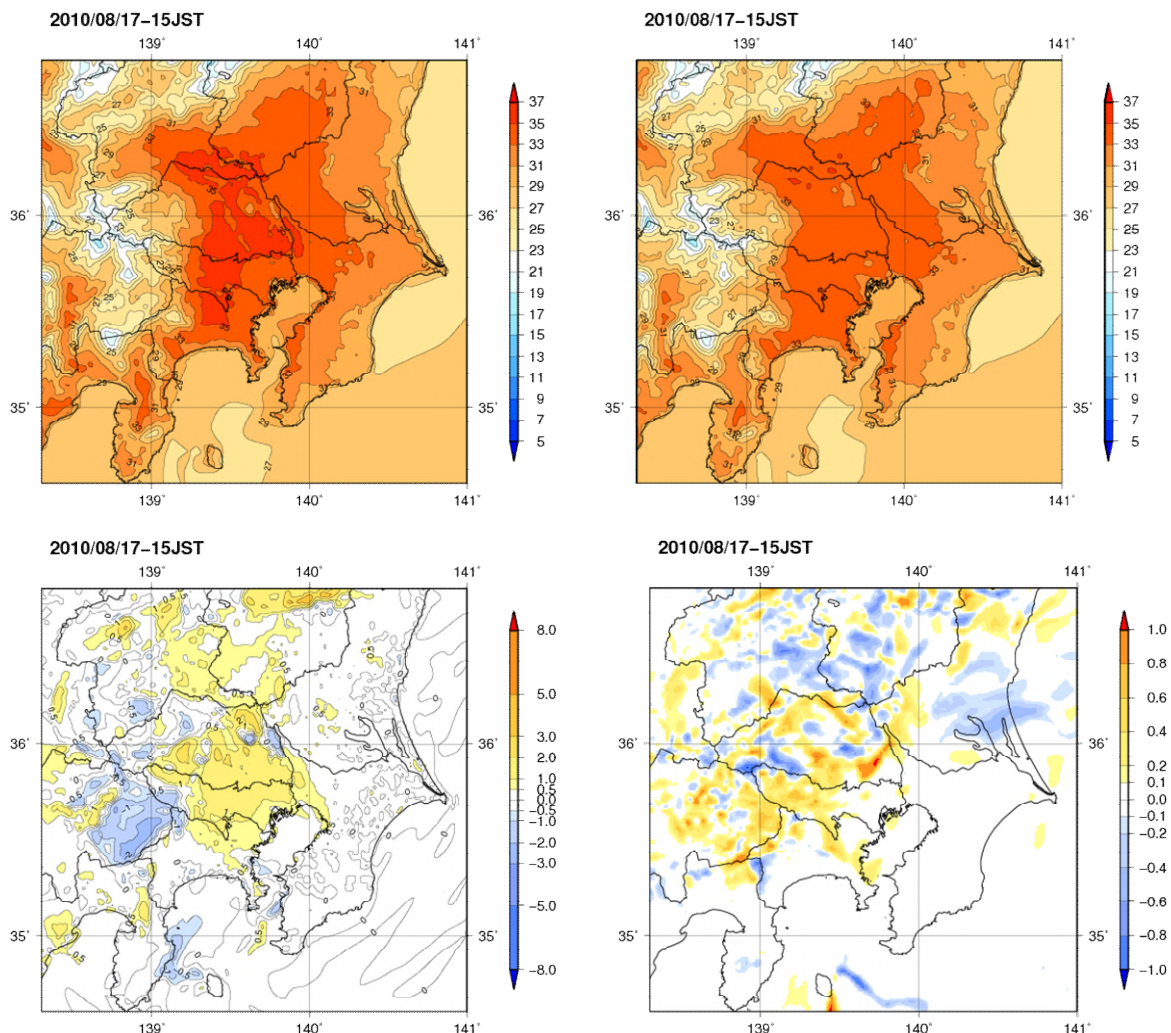


図 3.3 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2010 年 8 月 17 日 15 時の都市有り実験の気温(左上)および都市無し実験の気温(右上)、都市有り実験と都市無し実験の気温差(左下)、都市有り実験と都市無し実験の全雲量の差(右下)の分布図。気温の単位は $^{\circ}\text{C}$ 、雲量は 0.0~1.0 の数値で表され、0 は快晴、1 は全天が雲に覆われていることを示す。右下図は都市有り実験と都市無し実験の差であるため、スケールは -1.0~1.0 である。

このような問題に対しては、複数事例にわたる平均を取ることが有効である。平均操作によって偶発的な時間発展に起因する差が打ち消し合い、都市化による系統的な影響が明瞭に現れることが期待される。図 3.3 は特定の日における都市化の影響の見積もり事例であるが、図 3.4 に月平均で見た都市化の影響の見積もり事例を示す。図 3.3 では「都市有り実験」と「都市無し実験」における雲や降水の分布の違いによって都市以外の領域にも大きな気温分布の違いが見られる一方、図 3.4 では雲量の分布の違いが平均化されて非常に小さくなっていることが分かる。

第 2 章で述べた気温や相対湿度の長期的な変化傾向との比較のためには、このようにして、都市化による系統的な影響を取り出す必要がある。本章では、都市気候モデルによる実験結果の月平均で都市化の影響を見積もることとする。

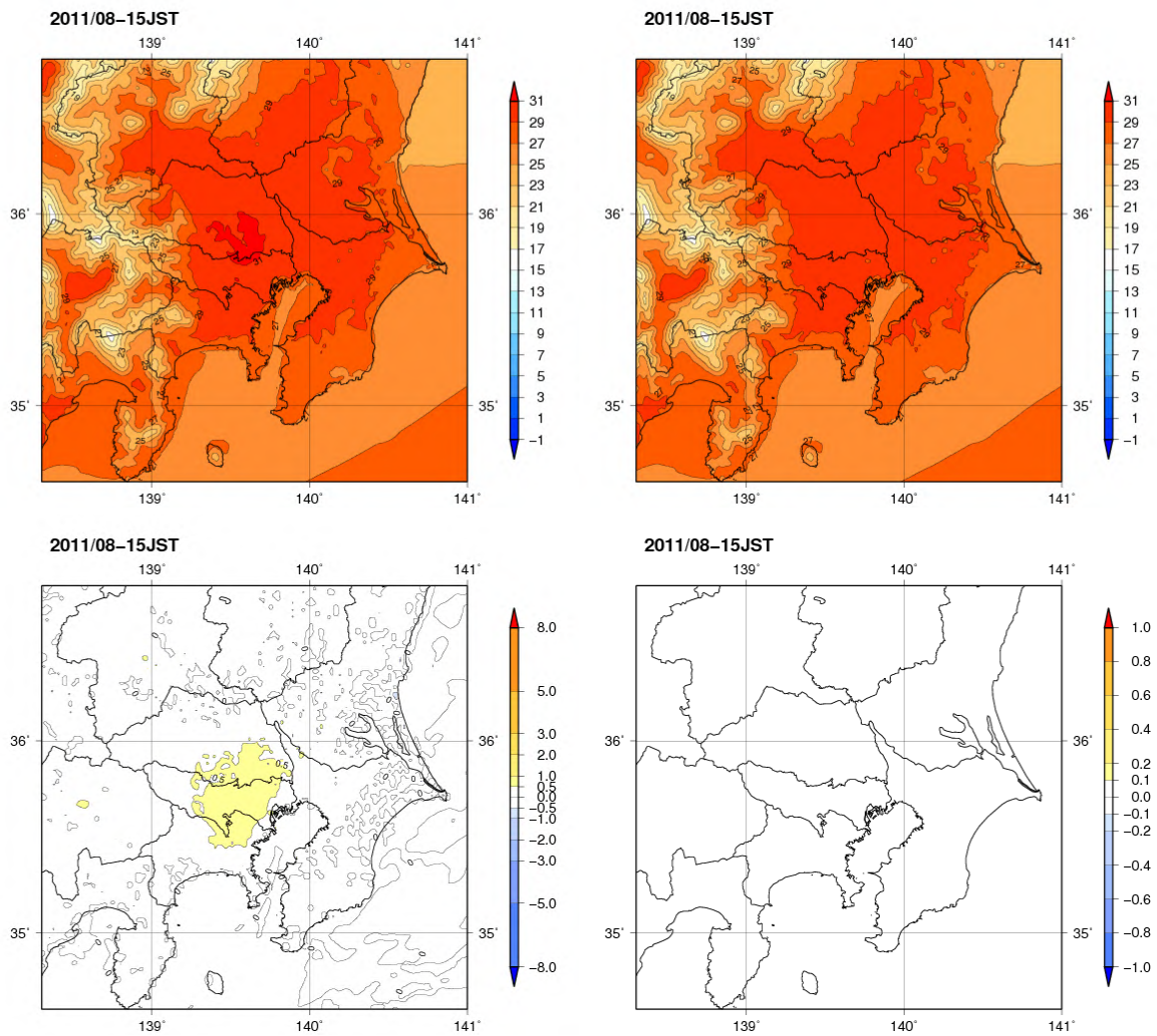


図 3.4 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の各日 15 時について月平均した都市有り実験の気温 (左上)および都市無し実験の気温 (右上)、都市有り実験と都市無し実験の気温差 (左下)、都市有り実験と都市無し実験の全雲量の差 (右下)の分布図。気温の単位は $^{\circ}\text{C}$ 、雲量は 0.0~1.0 の数値で表され、0 は快晴、1 は全天が雲に覆われていることを示す。右下図は都市有り実験と都市無し実験の差であるため、スケールは -1.0~1.0 である。

3.1.4 都市気候モデルの再現精度(観測との比較)

(1)月平均気温

本報告で都市気候モデルによるシミュレーションを行った都市の気温について、モデルの再現精度を確認するため、観測データと比較した。東京、横浜、大阪、京都、名古屋における2011年8月平均気温の観測値、統計期間1931～2011年の気温変化率、「都市有り実験」「都市無し実験」における2011年8月の各地点の気温及びその差を表3.2に示す。「都市有り実験」は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測データと比較することができる。観測とシミュレーションとの誤差は東京、横浜、大阪、京都で0.3以下、名古屋で0.7となっている。名古屋でシミュレーション誤差が大きいことについては、2km格子でも都市構造が十分に解像できていない可能性が考えられる。

図3.5に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の月を通した平均気温（「都市有り実験」の結果）及び都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による気温変化の分布図を示す。関東・近畿・東海のいずれの地域でも1以上の昇温域が広がっている。

シミュレーション結果の都市化の影響は「都市有り実験」と「都市無し実験」の差であり、2011年8月の所与の天候条件の下で、都市の存在によって引き起こされる変化のみを抽出しようと試みたものであるが、日射量などの天候条件が異なる他の年/月においては、都市化の影響の現れは異なる可能性がある。一方、観測における100年あたり気温変化率は、地球温暖化等の気候変動に伴う広域的な気温上昇と都市化に伴う局地的な気温上昇の両方を含んでおり、また都市化の進行した時期は都市によって異なるので「都市無し」の時代からの変化が100年あたりの変化率にすべて織り込まれているわけではない。観測データの100年あたり気温変化率と2011年8月の都市化の影響を比較する際には、以上のことに留意する必要がある。

表3.2 各都市における2011年8月平均気温の観測結果とシミュレーション結果との比較

観測の平均気温はシミュレーションの対象期間(8月1日午前9時から31日間)に合わせて算出したものであり、公表されている2011年8月平均気温とは一致しない場合がある。観測の気温変化率は統計期間1931～2011年の気温変化率(表2.1に同じ)を示す。

都市	観測		シミュレーション結果		
	平均気温	100年あたり 気温変化率	都市有り	都市無し	2011年8月の都 市化の影響
東京	27.5	+1.7	27.8	26.3	+1.5
横浜	27.2	+1.5	27.5	26.4	+1.1
大阪	29.0	+2.5	29.2	27.3	+1.9
京都	28.7	+2.4	28.8	27.1	+1.7
名古屋	28.4	+2.4	29.1	27.3	+1.8

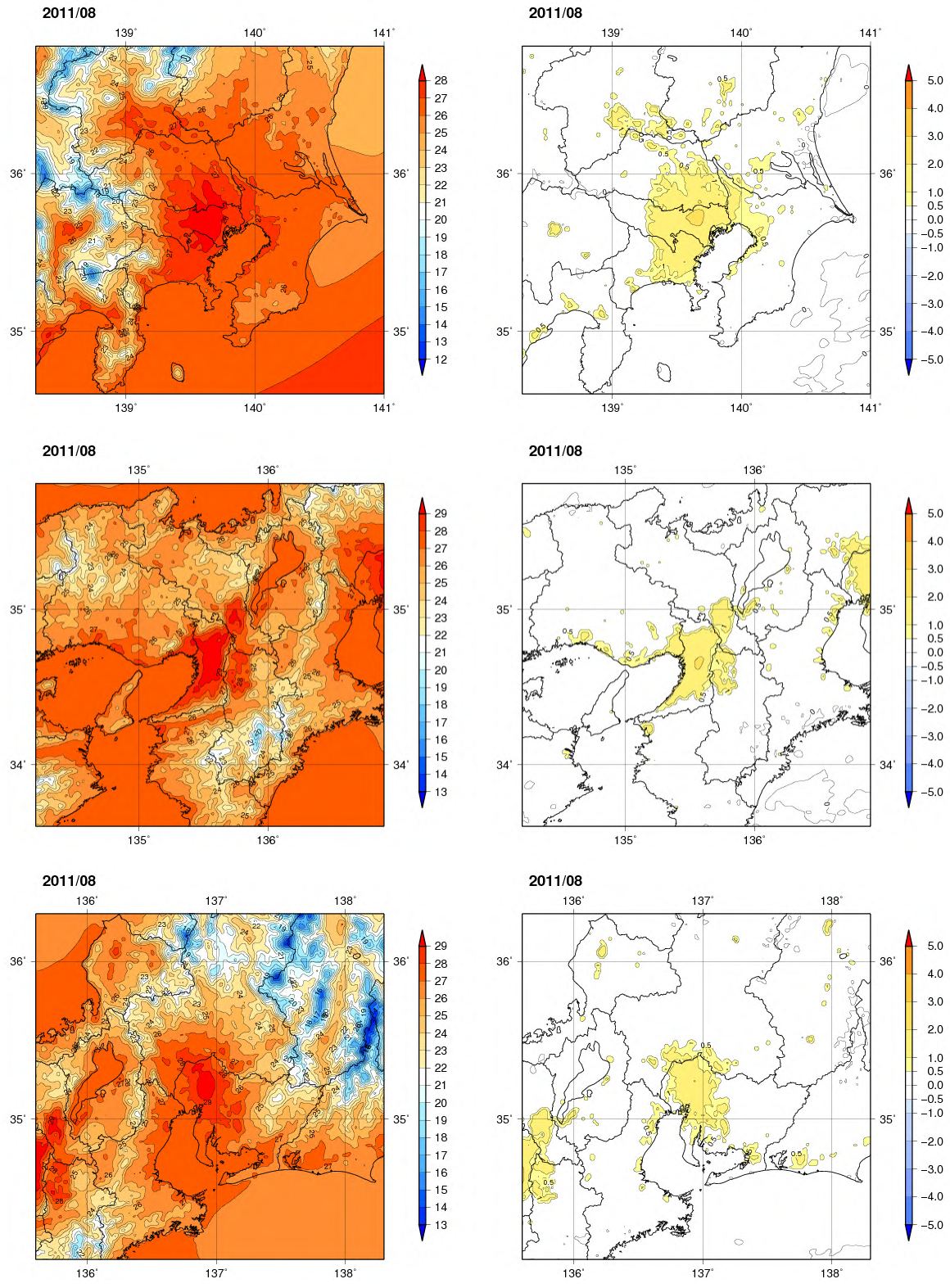


図 3.5 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の平均気温(「都市有り実験」の結果)と都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による気温変化量。

(2) 月平均相対湿度

本報告で都市気候モデルによるシミュレーションを行った都市の相対湿度について、モデルの再現精度を確認するため、観測データと比較した。東京、横浜、大阪、京都、名古屋における2011年8月平均相対湿度の観測値、統計期間1931～2011年の相対湿度変化率、「都市有り実験」「都市無し実験」における2011年8月の各地点の平均相対湿度及びその差を表3.2に示す。「都市有り実験」は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測データと比較することができる。観測とシミュレーションとの誤差の大きさは東京で1.4%と小さいの対し、横浜や大阪、京都で4%前後、名古屋で8.7%と大きくなっている。名古屋で特にシミュレーション誤差が大きいことについては、気温と同様に、2km格子でも都市構造が十分に解像できていない可能性が考えられる。

図3.6に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の月を通した平均相対湿度（「都市有り実験」の結果）及び都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による相対湿度変化の分布図を示す。関東・近畿・東海のいずれの地域でも広範囲に減少域が分布している。

シミュレーション結果の都市化の影響は「都市有り実験」と「都市無し実験」の差であり、2011年8月の所与の天候条件の下で、都市の存在によって引き起こされる変化のみを抽出しようと試みたものであるが、日射量などの天候条件が異なる他の年/月においては、都市化の影響の現れは異なる可能性がある。一方、観測における100年あたり相対湿度変化率は、地球温暖化等の気候変動に伴う気温や水蒸気量の広域的な変化と都市化に伴う局地的な変化の両方を含んでおり、また都市化の進行した時期は都市によって異なるので「都市無し」の時代からの変化が100年あたりの変化率にすべて織り込まれているわけではない。観測データの100年あたり相対湿度変化率と2011年8月の都市化の影響を比較する際には、以上のことに留意する必要がある。

表 3.3 各都市における2011年8月平均相対湿度の観測結果とシミュレーション結果との比較

観測の平均相対湿度はシミュレーションの対象期間(8月1日午前9時からの31日間)に合わせて算出したものであり、公表されている2011年8月平均相対湿度とは一致しない場合がある。観測の相対湿度変化率は統計期間1931～2011年の気温変化率(表2.2に同じ)を示す。大阪は観測所移転の影響があるため変化率を表示していない。

都市	観測		シミュレーション結果		
	平均相対湿度	100年あたり相対湿度変化率	都市あり	都市なし	2011年8月の都市化の影響
東京	70.3	-14.8	71.8	82.7	-10.9
横浜	78.9	-10.8	74.5	83.1	-8.6
大阪	68.7	---	64.9	78.7	-13.9
京都	67.5	-16.7	63.6	76.5	-12.9
名古屋	72.9	-19.6	64.3	78.0	-13.7

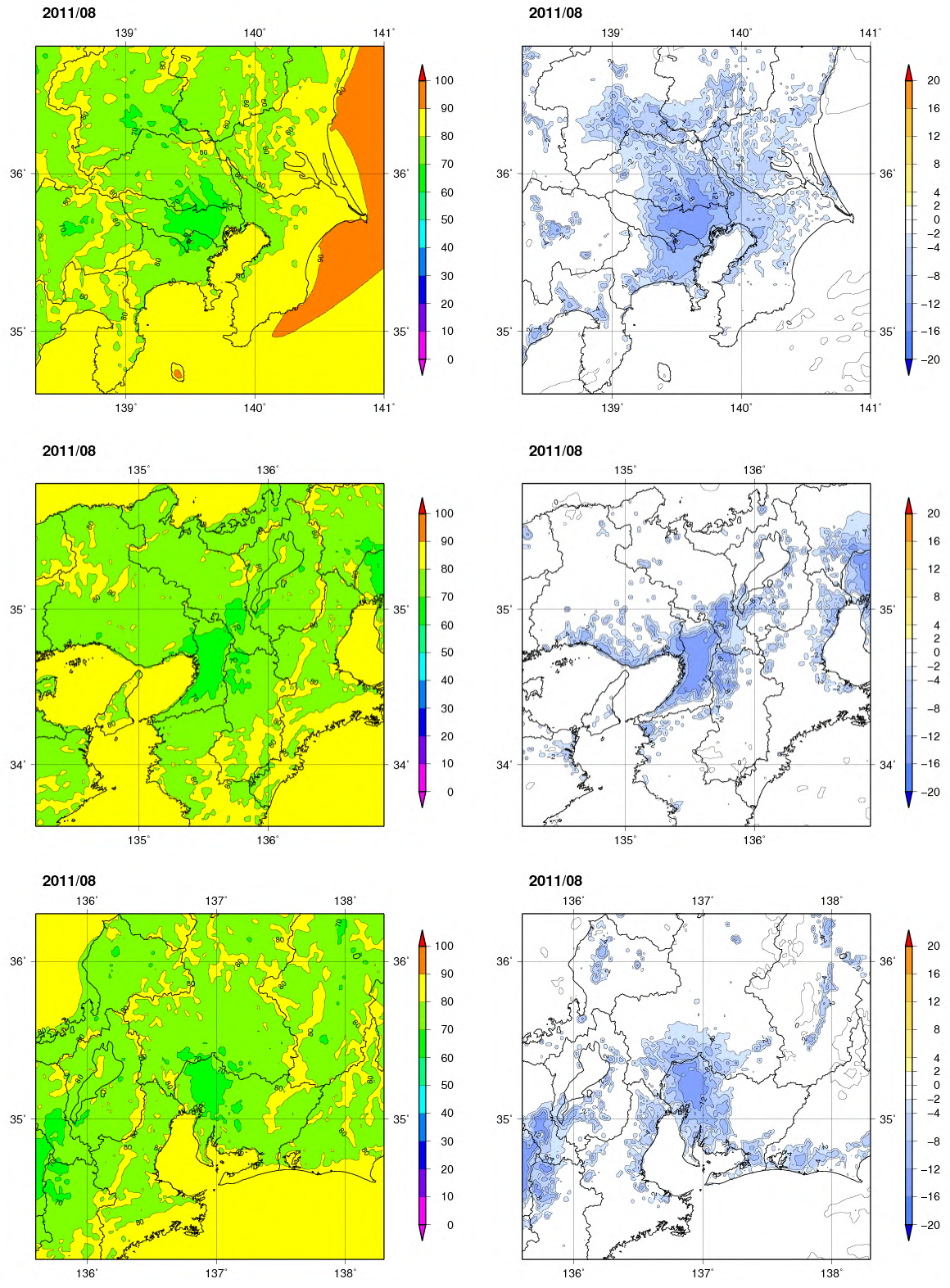


図 3.6 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の平均相対湿度(「都市有り実験」の結果)と都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量

3.2 関東地方における 2011 年 8 月のヒートアイランド現象

本節では、都市気候モデルによるシミュレーション結果を元に、関東地方における 2011 年 8 月の月平均のヒートアイランド現象の特徴について解説する。

3.2.1 関東地方の地形と都市構造の特徴

図 3.7 に関東地方の地形と人工被覆率、居住人口、従業者数を示す。関東地方は日本最大の都市圏であり、関東平野の西部を中心に都市圏が形成されている。居住人口は夜間の人口分布、従業者数は日中の人口分布に概ね対応している。平日の日中は図 3.7 右下に見られるように東京都心部に著しく人口が集中するが、夜間は図 3.7 左下に見られるように都心の周辺部にドーナツ状に人口が集中する。

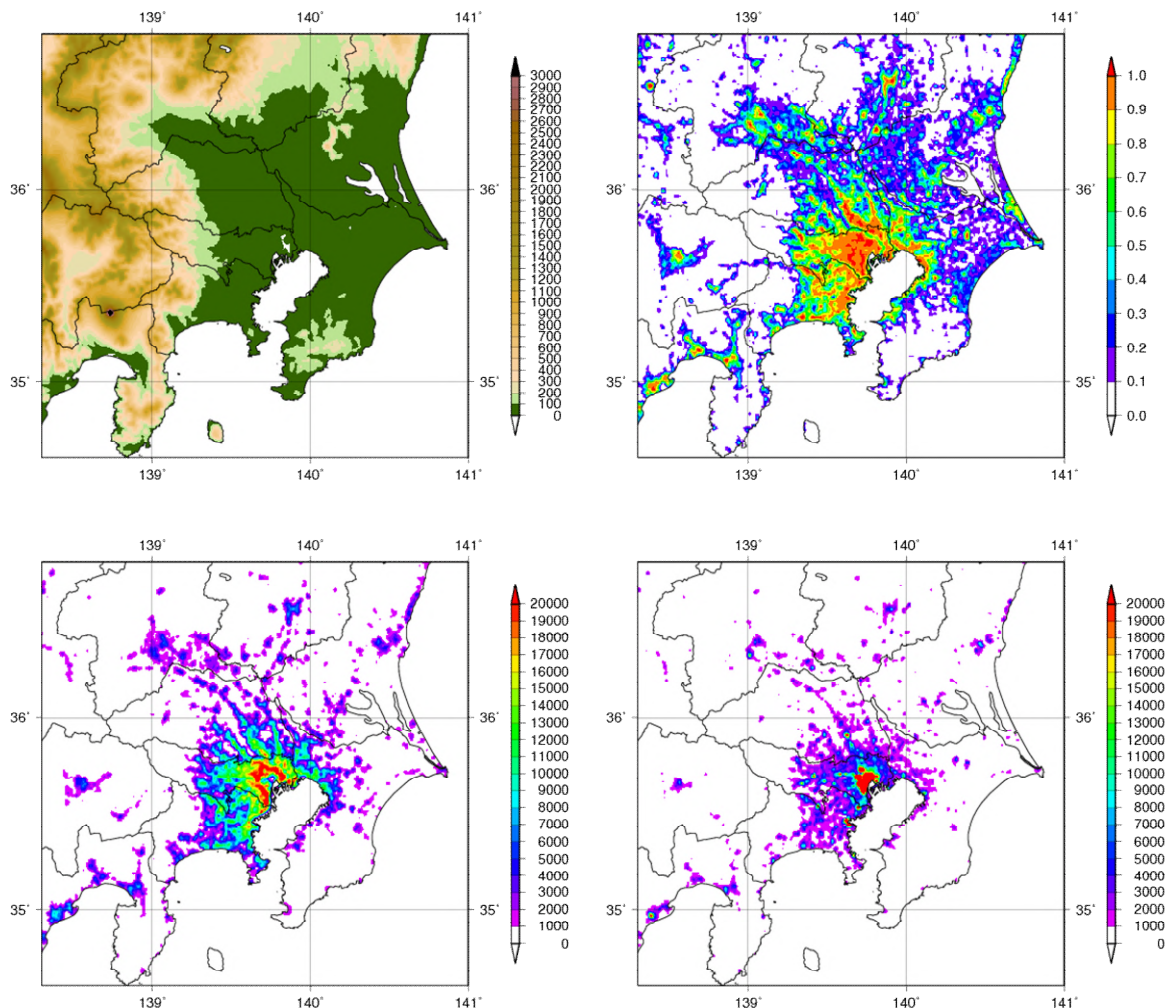


図 3.7 関東地方における標高(左上)、人工被覆率(右上)、居住人口(左下)、従業者数(右下)の分布

人工被覆率は 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、その他の用地の合計割合。居住人口と従業者数は、総務省統計局地域メッシュ統計より作成。

3.2.2 関東地方における 2011 年 8 月の平均気温と風の特徴

図 3.8 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の平均気温と平均風を示す。午前 10 時においては関東平野全体が同程度の温度となっており、都市に対応する島状の気温分布は明瞭でないが、15 時や 20 時では東京都心のやや内陸側を中心にヒートアイランド現象の特徴を示す島状の気温分布が見られ、周辺に比べて気温が高くなっている。このように、晴天日だけでなく曇天日や雨天日を含む月平均気温分布で見ても、ヒートアイランド現象の特徴が現れている。風については、15 時や 20 時では海風が卓越しており、特に 15 時は東京湾から内陸部へ向かう風の流れが顕著である。一方、5 時は冷涼な郊外から高温の都心部へ向かう風が卓越している。

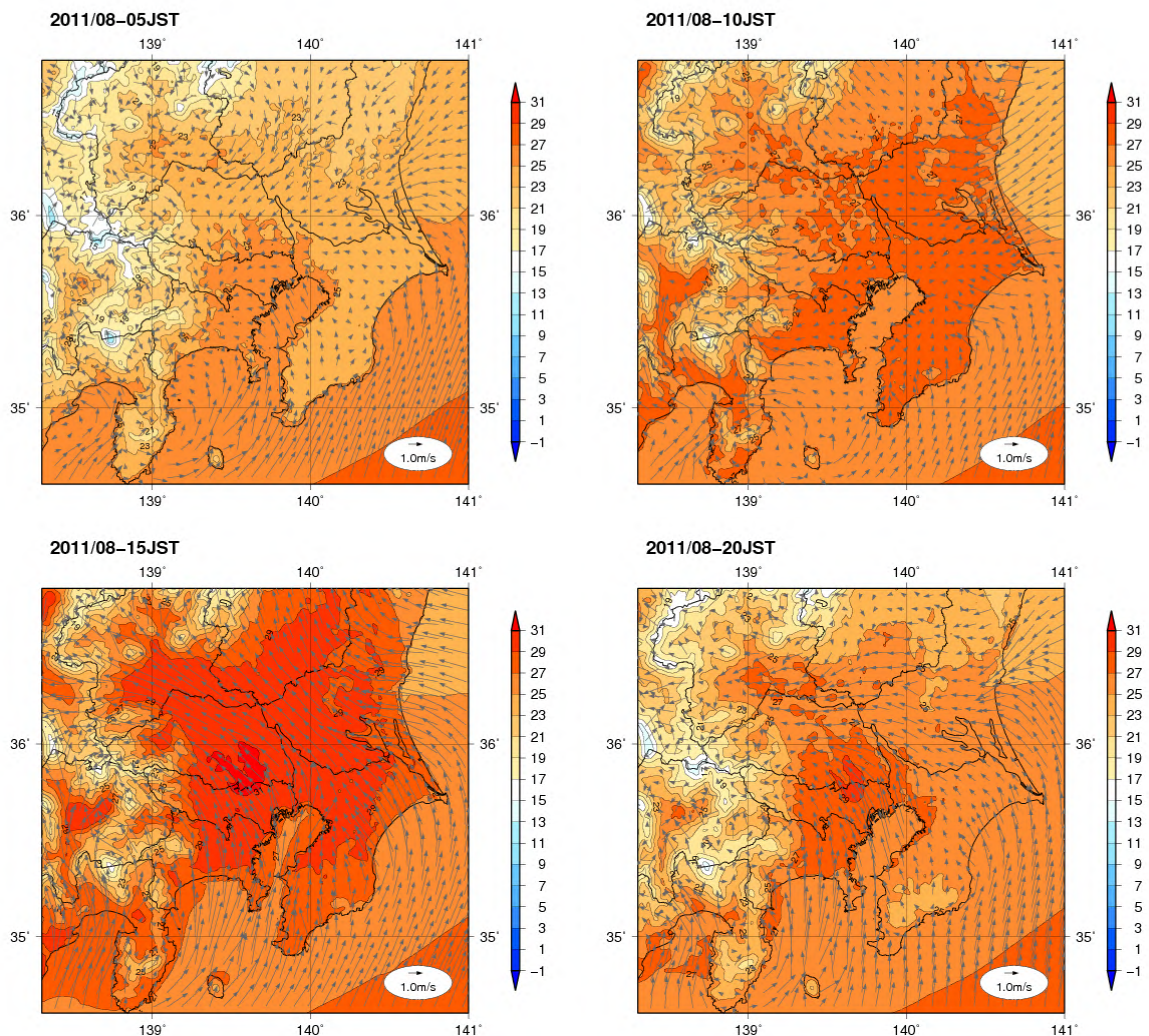


図 3.8 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均気温(陰影)と平均風(矢羽根)の分布。気温の単位は $^{\circ}\text{C}$ 、風速の単位は m/s 。

図 3.9 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による気温の変化を示す。5 時や 15 時、20 時は、都心部のやや内陸側に昇温のピークが見られる。都市化の影響による昇温量は、日中は 0.5 程度のピークであるのに対し、夜間は 3 を超えている。一方、10 時については 0.5 程度と僅かではあるが都市化の影響により全体的に気温が低下している（原因については 3.2.5 節(3)を参照）。都市化の影響による昇温量が日中に小さく、夜間に大きい傾向は第 2 章で観測結果の分析によって得られた結果と同様の傾向である。

これまでの「ヒートアイランド監視報告」における晴天日を対象とした調査と比較すると、曇雨天日を含む月平均で見た日中の昇温量は小さくなっている。曇雨天日は、日射が弱く都市と草地での顕熱・潜熱輸送量の違いが小さくなる、大気対流活動が活発で都市の熱が上空へ拡散しやすく地表面の違いによる影響が小さくなる、こと等のため、晴天日に比べて日中は都市化の影響による昇温が小さい。

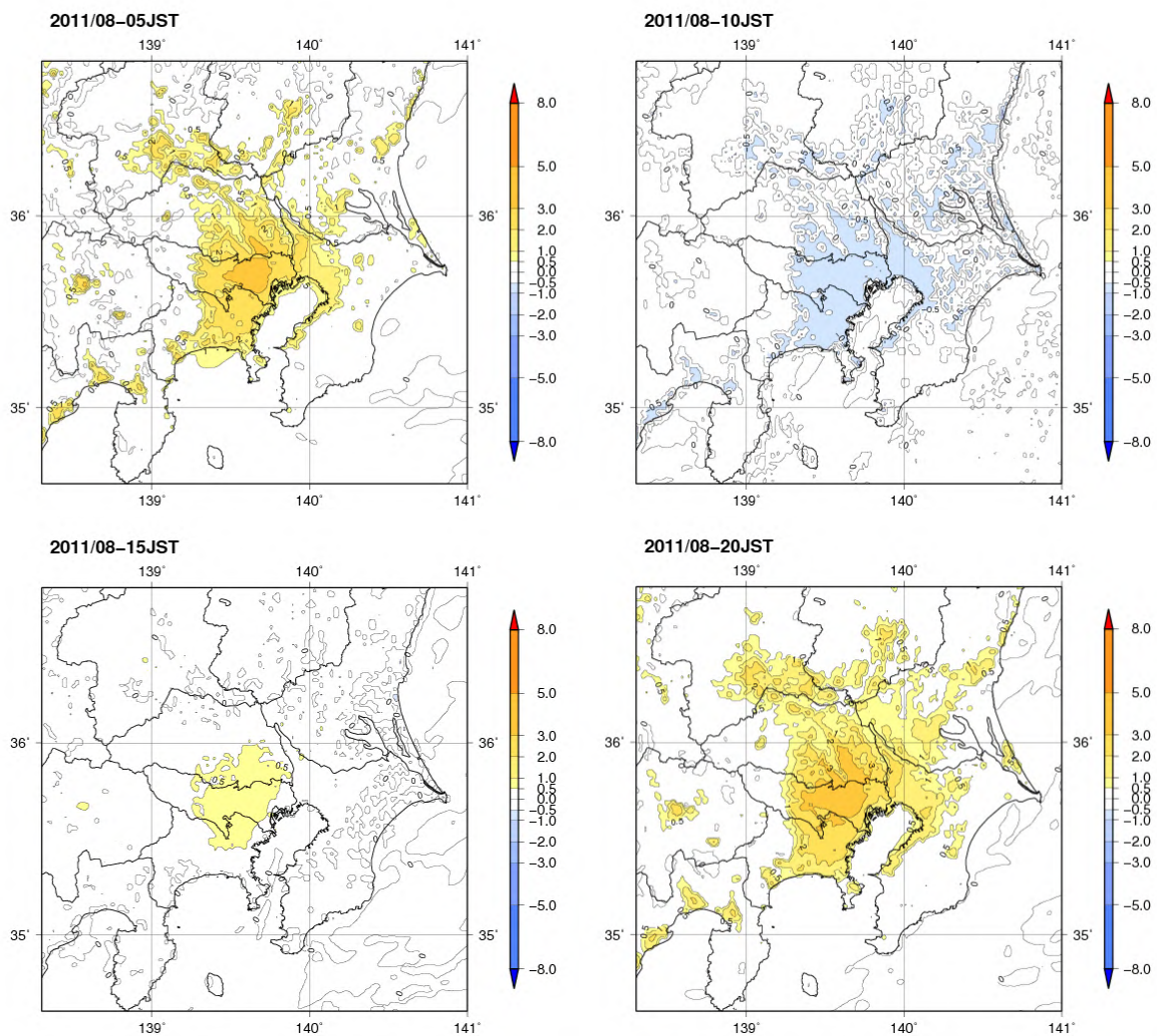


図 3.9 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による昇温量()の分布

3.2.3 関東地方における2011年8月の平均相対湿度の特徴

図 3.10 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の関東地方における時刻別の平均相対湿度を示す。5時、15時、20時では、東京都心の内陸側から埼玉県にかけて島状の相対湿度の低い領域が見られ、周辺部に比べて相対湿度が小さくなっている。しかしながら、10時では都市と都市以外で相対湿度の大きな違いは見られない。

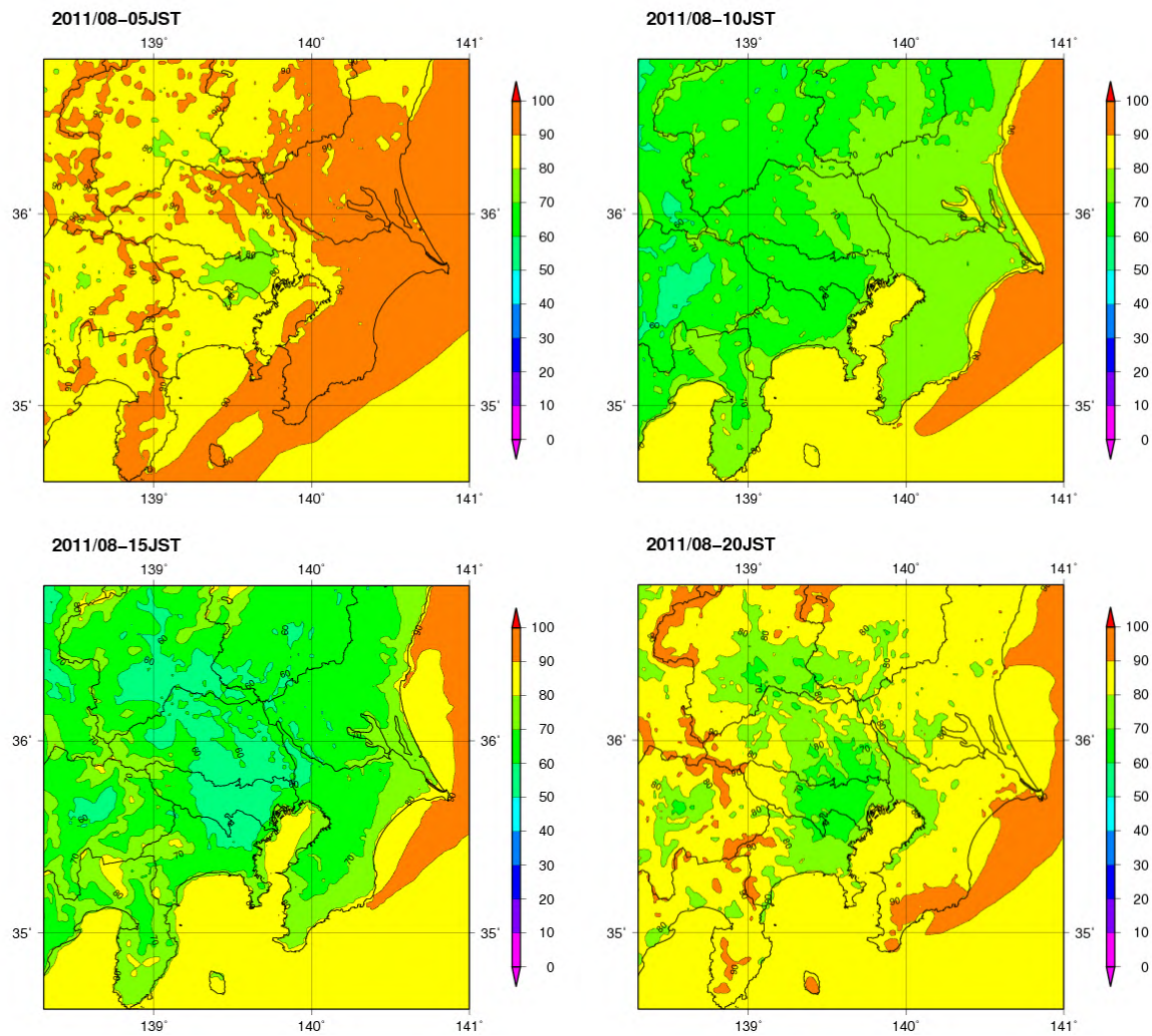


図 3.10 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の平均相対湿度(%)の分布

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量を図 3.11 に、水蒸気圧変化量を図 3.12 に示す。図 3.11 を見ると、相対湿度は 5 時、15 時、20 時で東京都心の内陸側から埼玉県にかけて低下しており、20 時では相対湿度の低下量が-20%以上と非常に大きな領域も見られる。図 3.9 と比較すると、相対湿度の低下量は気温の低下量が大きい 5 時や 20 時が顕著で気温の上昇と対応しているが、これは第 2 章で述べたように気温の上昇に伴って飽和水蒸気圧が増加することによると考えられる。一方、図 3.12 を見ると、水蒸気圧は 10 時、15 時、20 時に減少量が大きい。20 時は飽和水蒸気圧の上昇と水蒸気圧減少の両方の影響が重なって、相対湿度の低下量が大きくなっているとみられる。また、15 時は昇温量は小さいにも関わらず相対湿度の低下量は大きくなっており、水蒸気の減少による寄与が大きいと考えられる。都市における相対湿度と水蒸気圧の低下は、第 2 章の観測データに見られる傾向と整合的である。

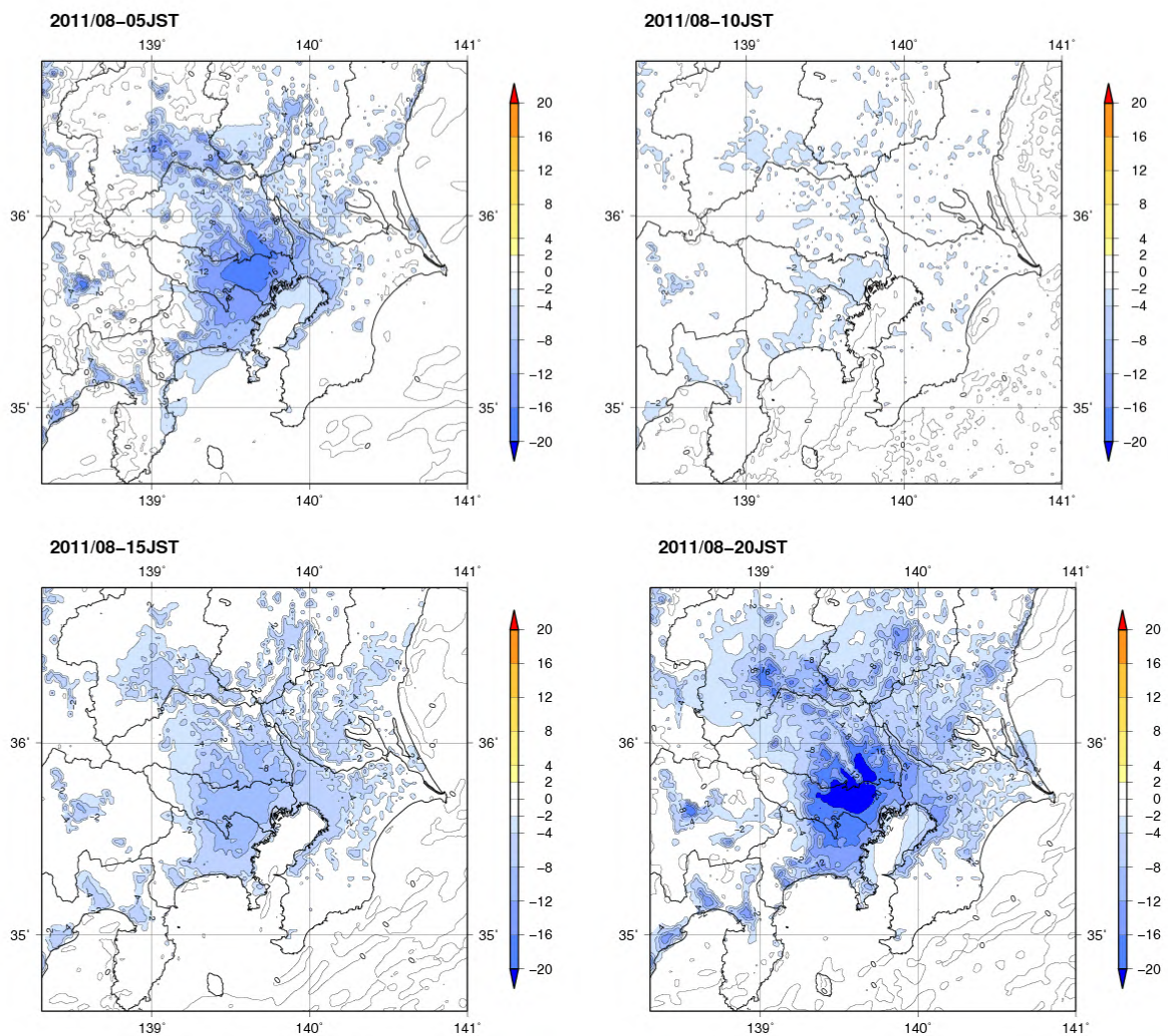


図 3.11 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による相対湿度変化量(%)の分布

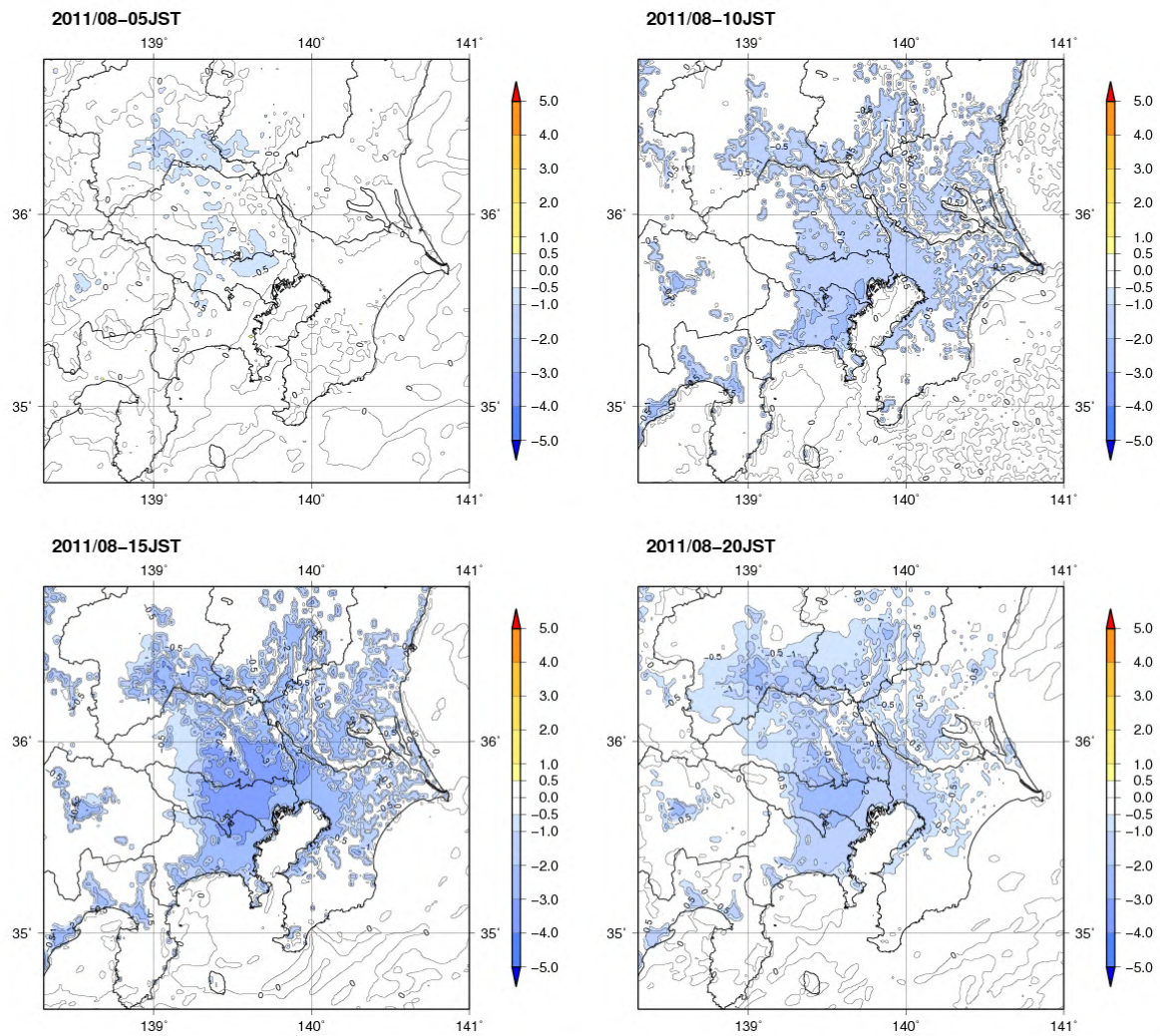


図 3.12 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による水蒸気圧変化量(hPa)の分布

3.2.4 東京における気温と相対湿度の日変動

図 3.13 に東京における気温と相対湿度の時間変化を示す。都市有り実験（緑線）は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測結果（赤線）と比較することができる。都市有り実験と観測は概ね一致しており、両者の誤差は、気温が概ね ± 1 未満、相対湿度が概ね $\pm 5\%$ 未満と高い精度でシミュレーション出来ていると考えられる。気温は観測に比べて日中にやや低めで夜間に高めとなる傾向がある。

都市有り実験と都市無し実験（青線）の差が都市化の影響による変化量である。気温は夕方から都市化による昇温量が拡大し、夜間から明け方にかけて最も大きく、日の出と共に急激に小さくなっている。相対湿度についても同様に日中に都市化の影響が小さく夜間に大きい傾向が見られるが、気温の日変動に比べると都市化の影響の出現が数時間程度早い傾向が見られる。

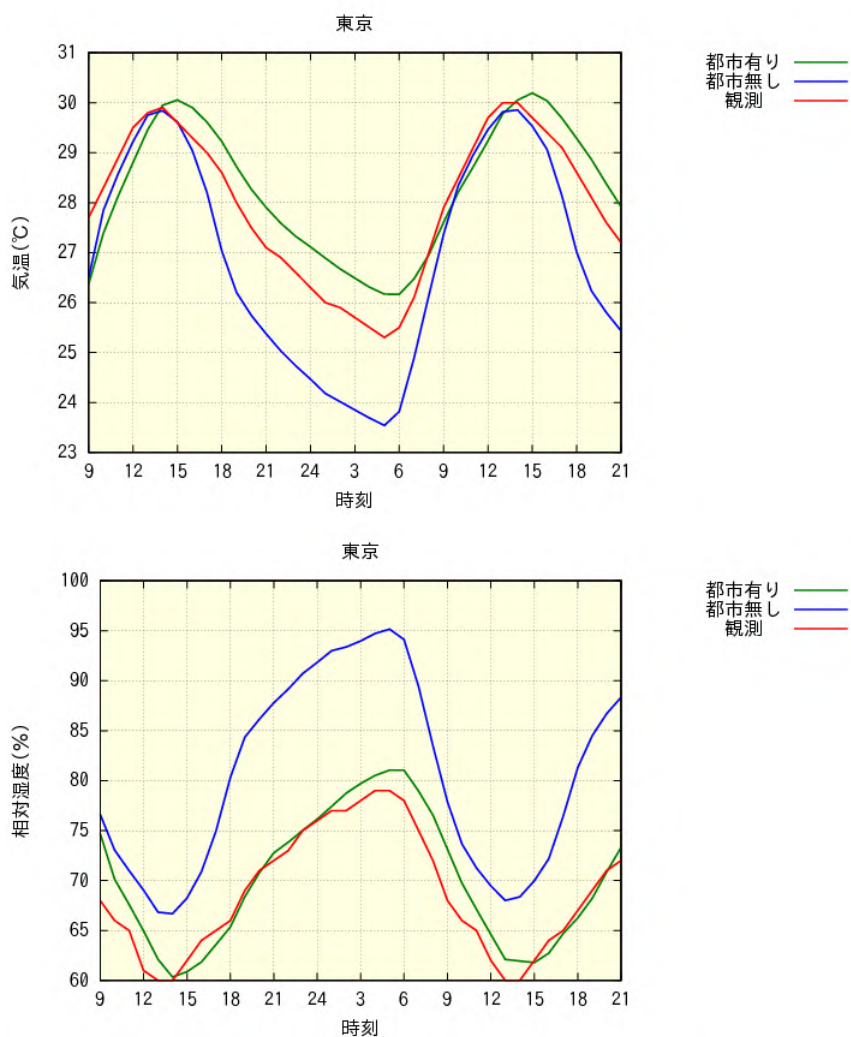


図 3.13 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における東京の気温(上段)と相対湿度(下段)の日変動の観測との比較。横軸は時刻を表す。緑線は都市有りのシミュレーション、青線は都市無しのシミュレーション、赤線は観測に見られる変動。緑線と赤線の一致が良いほど、シミュレーションの精度が高いと考えられる。緑線と青線の差が都市化の影響を表し、気温については全般に上昇、相対湿度については低下の方向に変化している。

3.2.5 関東地方におけるヒートアイランド現象に伴う様々な気候変化

(1) 風速

図 3.14 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による風速の変化量を示す。15 時は風速の減少が大きく、都心部からやや内陸部で風速の減少量が大きくなっている。図 3.8 と見比べると東京湾からの海風を妨げる風の変化をしており、これまでのヒートアイランド監視報告で述べてきたように、都市化の影響で風速が減少して冷涼な海風の内陸への進入が妨げられていることが示唆される。

一方、夜間は風速の減少が小さく、20 時では風速が増加している領域も見られる。これは都市と郊外の気温差が大きくなることで、空気の密度差による風が生じるためと考えられる。

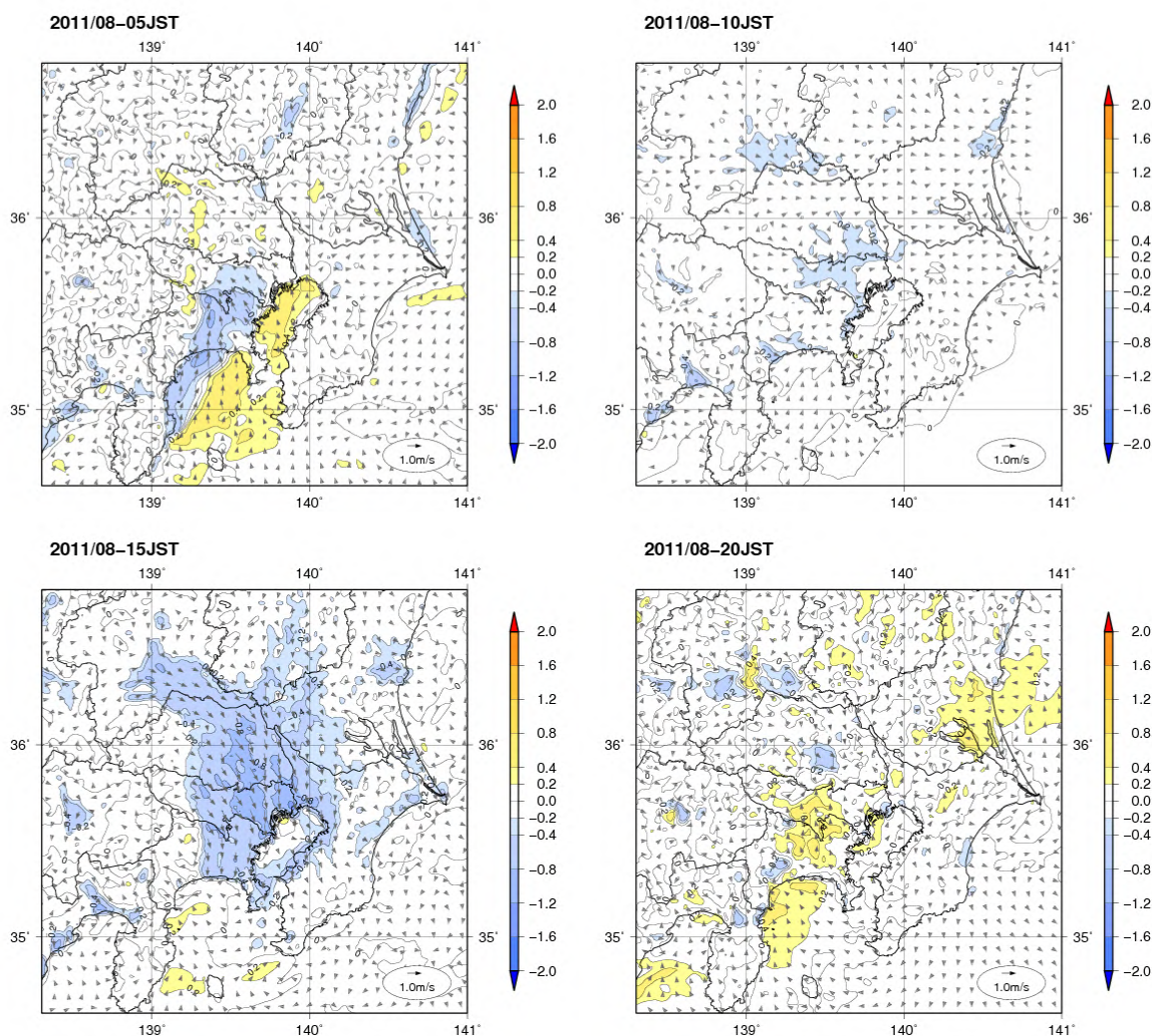


図 3.14 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による風速変化量(陰影)と風の変化(矢印)の分布。単位は m/s である。

(2) 地表面温度

図 3.15 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による地表面温度¹⁰の変化量を示す。地表面温度は日中・夜間を問わず上昇が見られる。特に 15 時頃は昇温量がピークであり、東京都心の内陸側に 6 以上の領域が広範囲に見られる。一方、図 3.9 で示したように気温の上昇量は夜間の方が大きい。これは日中は大気境界層における対流活動が活発で、都市の熱が上空へ拡散され易いためと考えられる。

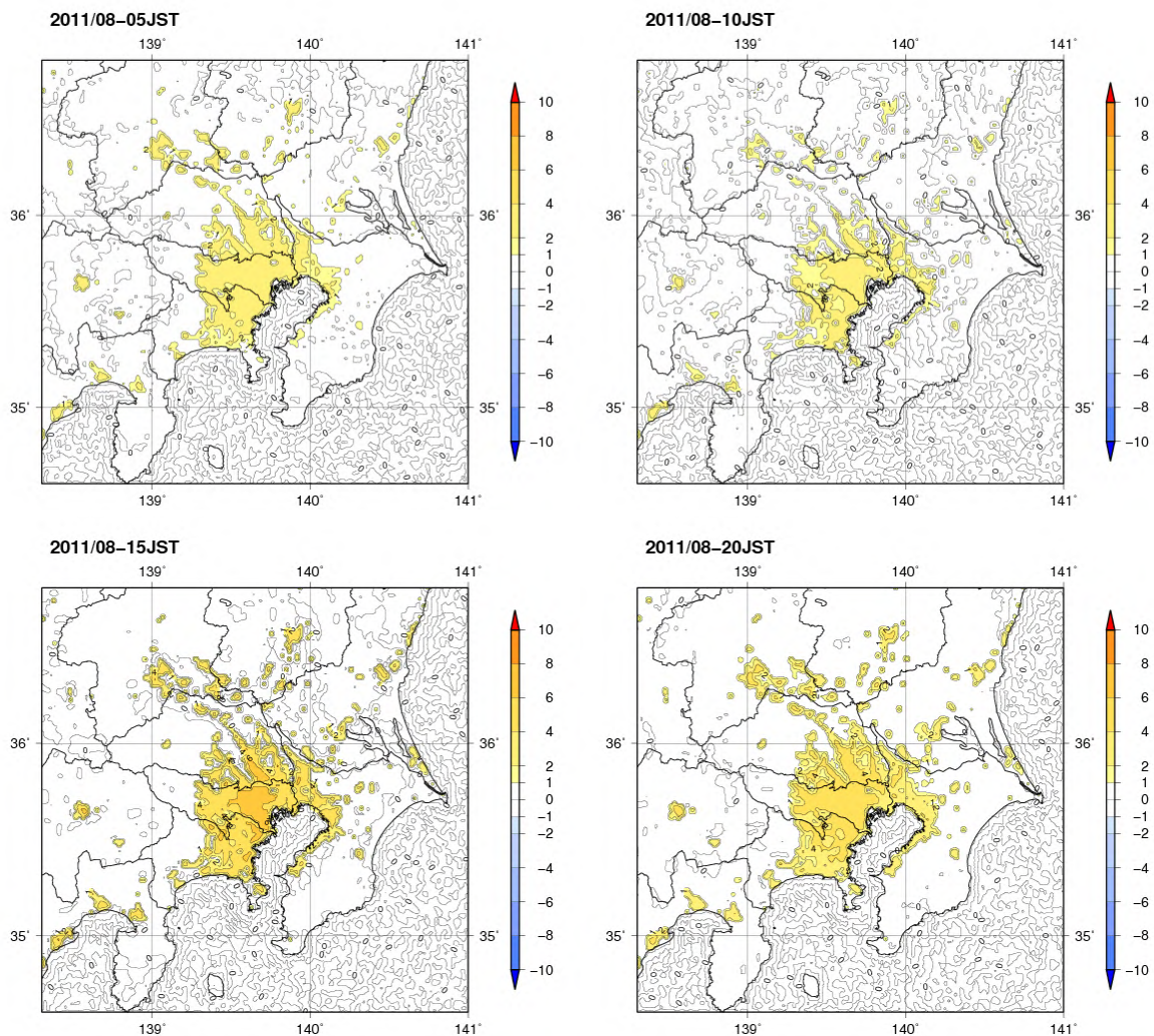


図 3.15 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による地表面温度変化量()の分布

¹⁰ ここで述べる地表面温度とは、日向のアスファルトばかりでなく、日陰となる部分や都市に存在する草地や水面などを含む全ての地表面温度を平均化したものである。日向のアスファルト上などでは局所的に更に地表面温度の上昇が著しいと考えられる。

図 3.16 に都市気候モデルにより見積もられた 2011 年 8 月の東京大手町付近における平均的な地表面温度と観測を行っている高さ（地表面から約 1.5m）における気温の関係を示す。夜間は地表面温度と気温が同程度であるのに対し、日中は気温に比べ地表面温度が非常に高くなっている。ヒートアイランド現象は、気温の上昇量としては第 2 章で述べたように夜間の方が顕著であるが、地表面温度の上昇量としては日中の方が著しく大きい。地表面温度が高くなると、輻射熱の増加により、観測される気温の上昇量以上に人体が感じる体感温度は高くなる（環境省, 2005）。

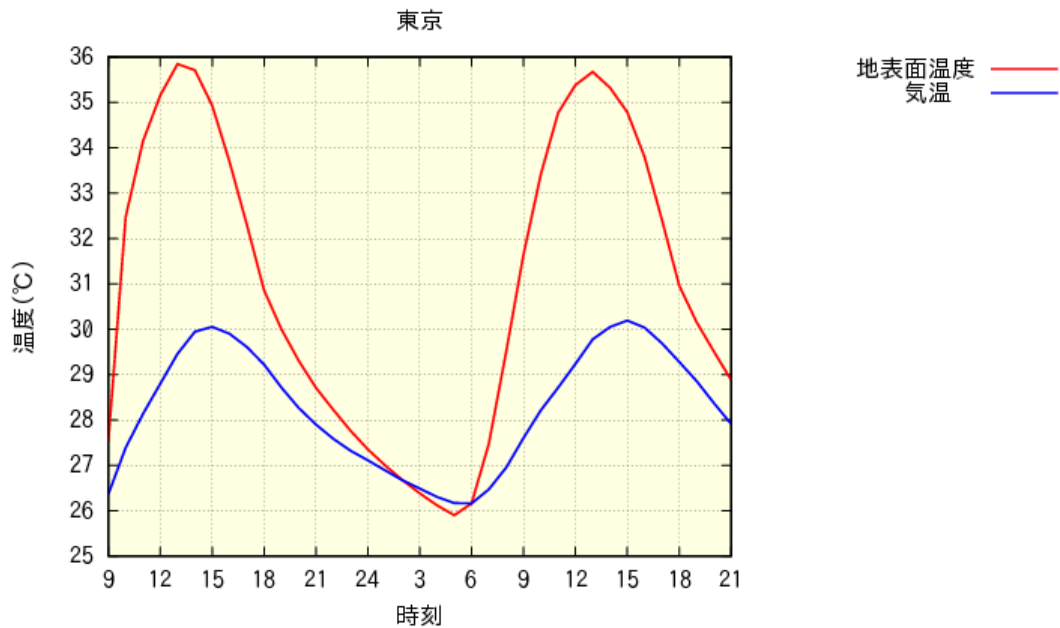


図 3.16 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東京大手町付近における地表面温度と気温の平均的な時間変化。横軸はシミュレーション開始時刻である 09 時からの経過時間である。

(3) 顕熱フラックスと潜熱フラックス

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の関東地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による顕熱フラックス¹¹の変化量を図3.17に、潜熱フラックス¹²の変化量を図3.18に示す。潜熱フラックスは10時、15時と日中に著しく減少している。これは地表面が草地から人工被覆になることで地表面や植物からの水分の蒸発散が減少するためである。日中の大きな潜熱フラックスの減少は3.2.3節で述べた水蒸気の低下要因になっていると考えられる。一方、顕熱フラックスは10時は減少しており、15時や20時では顕著に増加している。10時の顕熱フラックスの減少については、コンクリートなどは熱容量が大きいので、草地に比べて暖まりにくいことが要因と考えられる。図3.9で10時に都市化の影響によって気温が低下しているのは、このような顕熱フラックス減少による影響と考えられる。午後の時間帯に見られる顕熱フラックスの増加は、コンクリートなどに蓄積された熱が次第に放出されることが要因と考えられる。

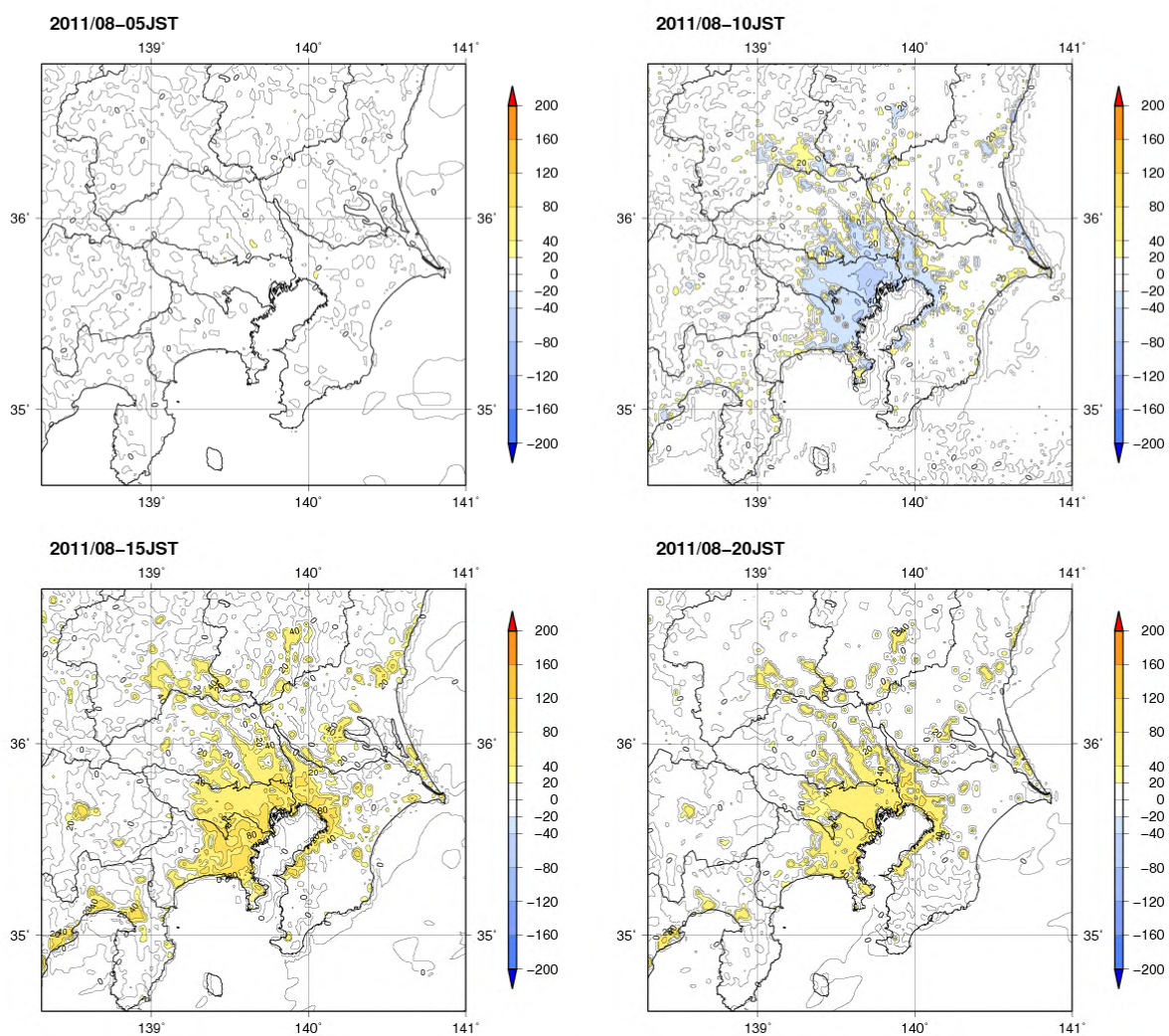


図3.17 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による顕熱フラックス変化量(W/m²)の分布

¹¹ 顕熱フラックス：地表面から大気に直接伝わる熱量のこと。

¹² 潜熱フラックス：地表面から水分が蒸発するとき水蒸気が奪う熱量のこと。

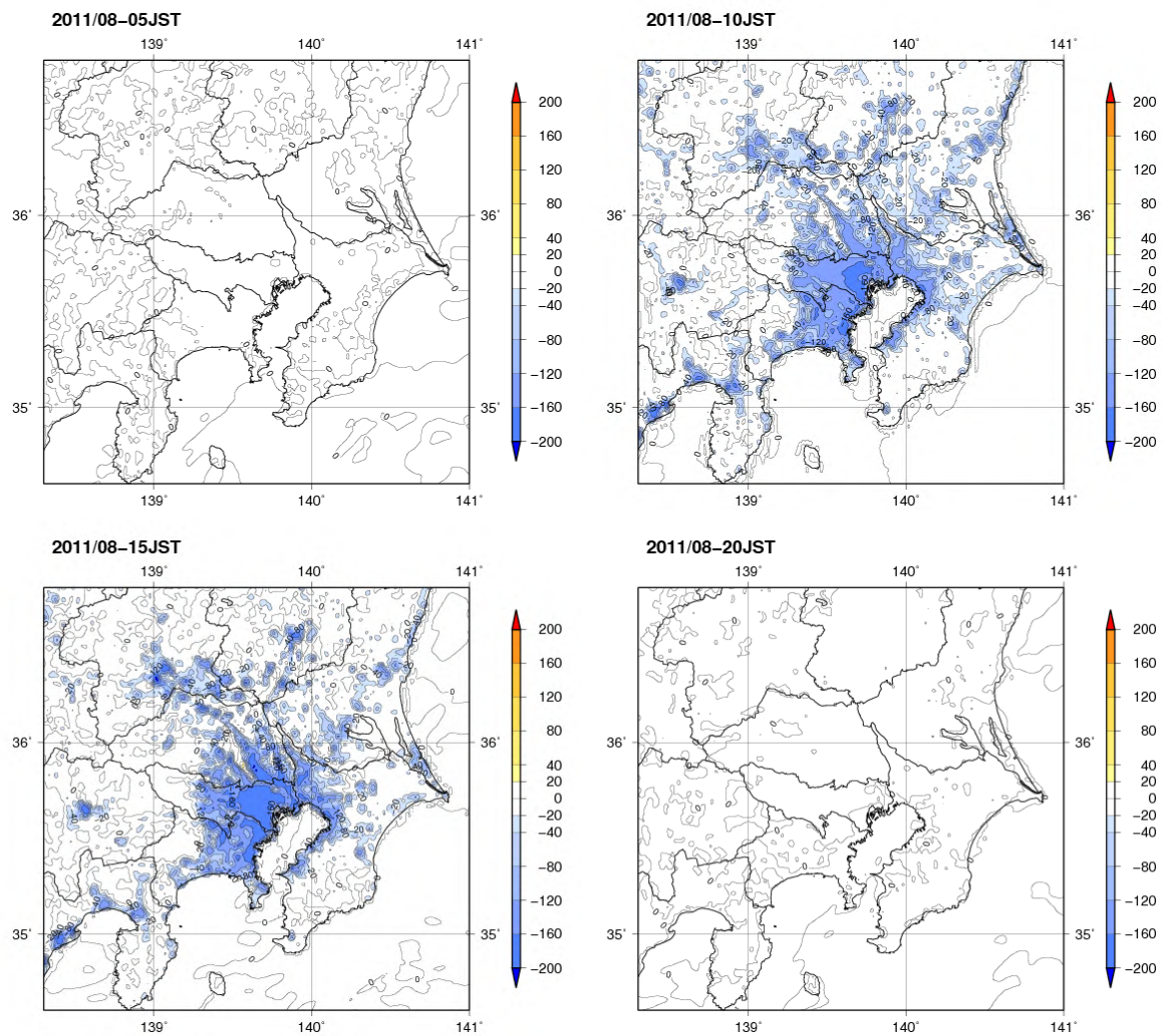


図 3.18 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による潜熱フラックス変化量(W/m^2)の分布

3.3 近畿地方における 2011年 8月のヒートアイランド現象

本節では、都市気候モデルによるシミュレーション結果を元に、近畿地方における 2011年 8月の月平均のヒートアイランド現象の特徴について解説する。

3.3.1 近畿地方の地形と都市構造の特徴

図 3.19 に近畿地方の地形と人工被覆率、居住人口、従業者数を示す。近畿地方は日本第二の都市圏である。大阪平野や京都盆地を中心に都市圏が形成されている。居住人口は夜間の人口分布、従業者数は日中の人口分布に概ね対応している。夜間の人口は、大阪平野や京都盆地に広く分散している（図 3.19 左下）が、日中の人口は大阪市や京都市の都心部に著しく集中する（図 3.19 右下）。

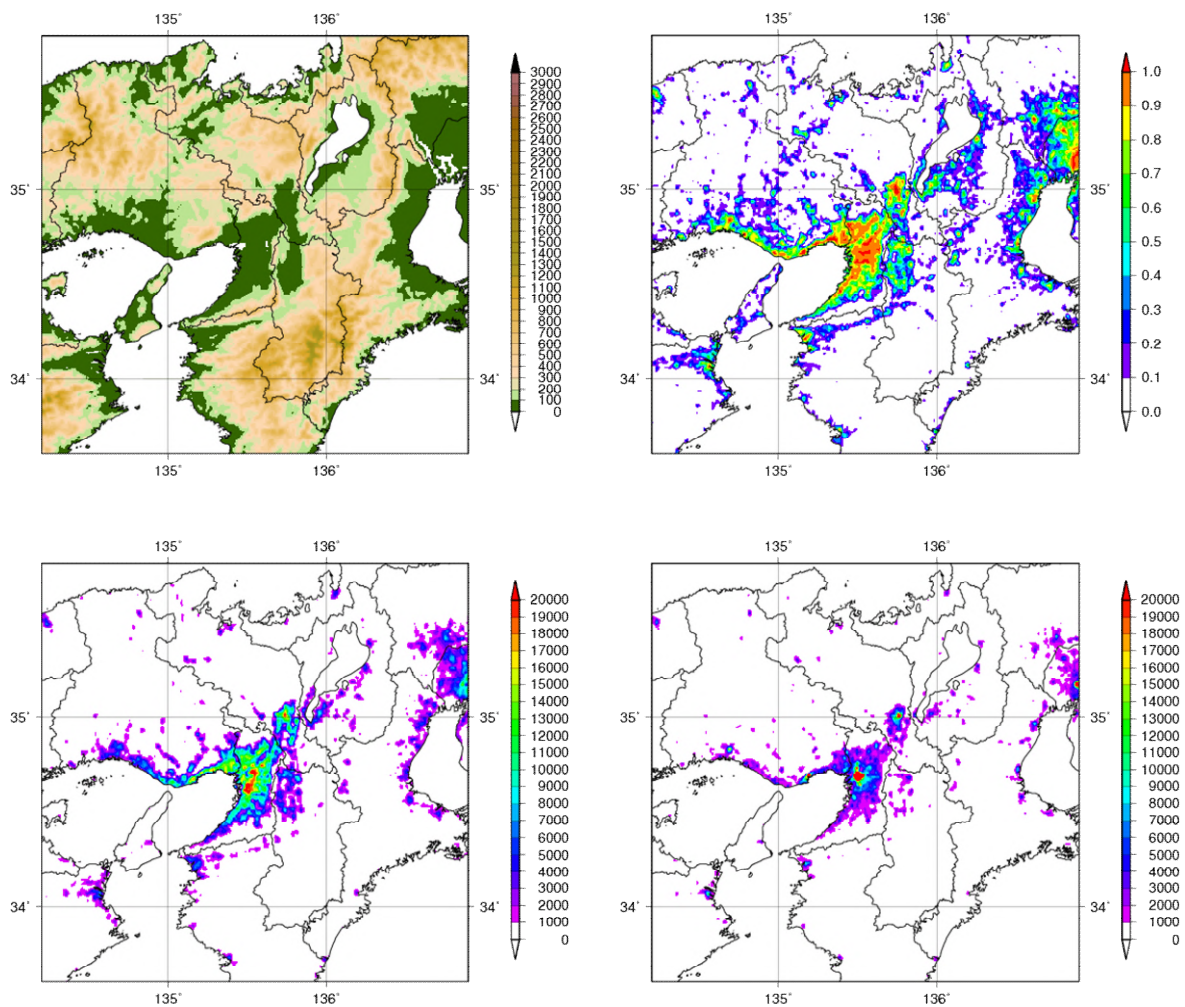


図 3.19 近畿地方における標高(左上)、人工被覆率(右上)、居住人口(左下)、従業者数(右下)の分布

人工被覆率は 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、その他の用地の合計割合。居住人口と従業者数は、総務省統計局地域メッシュ統計より作成。

3.3.2 近畿地方における 2011 年 8 月の平均気温と風の特徴

図 3.20 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における時刻別の平均気温と平均風を示す。5 時や 15 時、20 時には大阪市や京都市の都心部で気温が高く、ヒートアイランド現象の特徴を示す島状の気温分布のピークが見られる。風については、15 時や 20 時は大阪湾から大阪都心部へ進入する海風が顕著であるが、明け方は風が弱まっている。

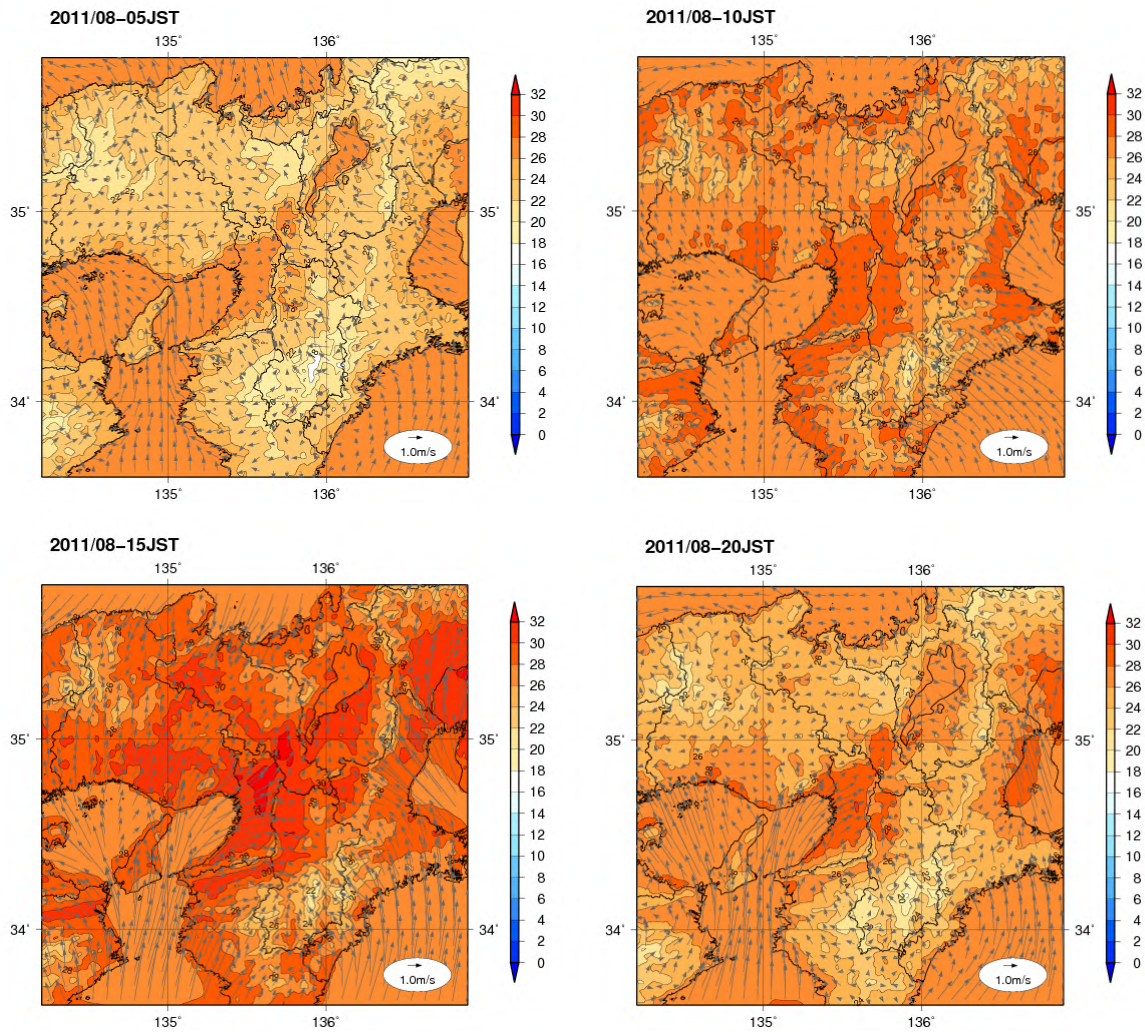


図 3.20 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均気温(陰影)と平均風(矢印)の分布図。気温の単位は $^{\circ}\text{C}$ 、風速の単位は m/s 。

図 3.21 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における時刻別の都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による昇温量を示す。15 時の昇温量は 0.5 程度と小さい一方、5 時や 20 時の昇温量は 3 以上と関東地方と同程度になっている。夜間は大阪平野のほか、京都市や奈良市などの都市の中心部でも局所的な 3 程度の昇温のピークが見られる。都市化の影響による昇温量が日中に小さく、夜間に大きい傾向は第 2 章で月平均気温の分析によって得られた結果と同様の傾向である。また、20 時では昇温量が大阪湾沿岸部で小さく内陸部で大きいのに対し、5 時では沿岸部でも大きくなっている。これは 20 時では沿岸部で大阪湾からの海風の進入によるヒートアイランド現象の緩和効果が働くが、明け方にはこの効果が弱まるためと考えられる。

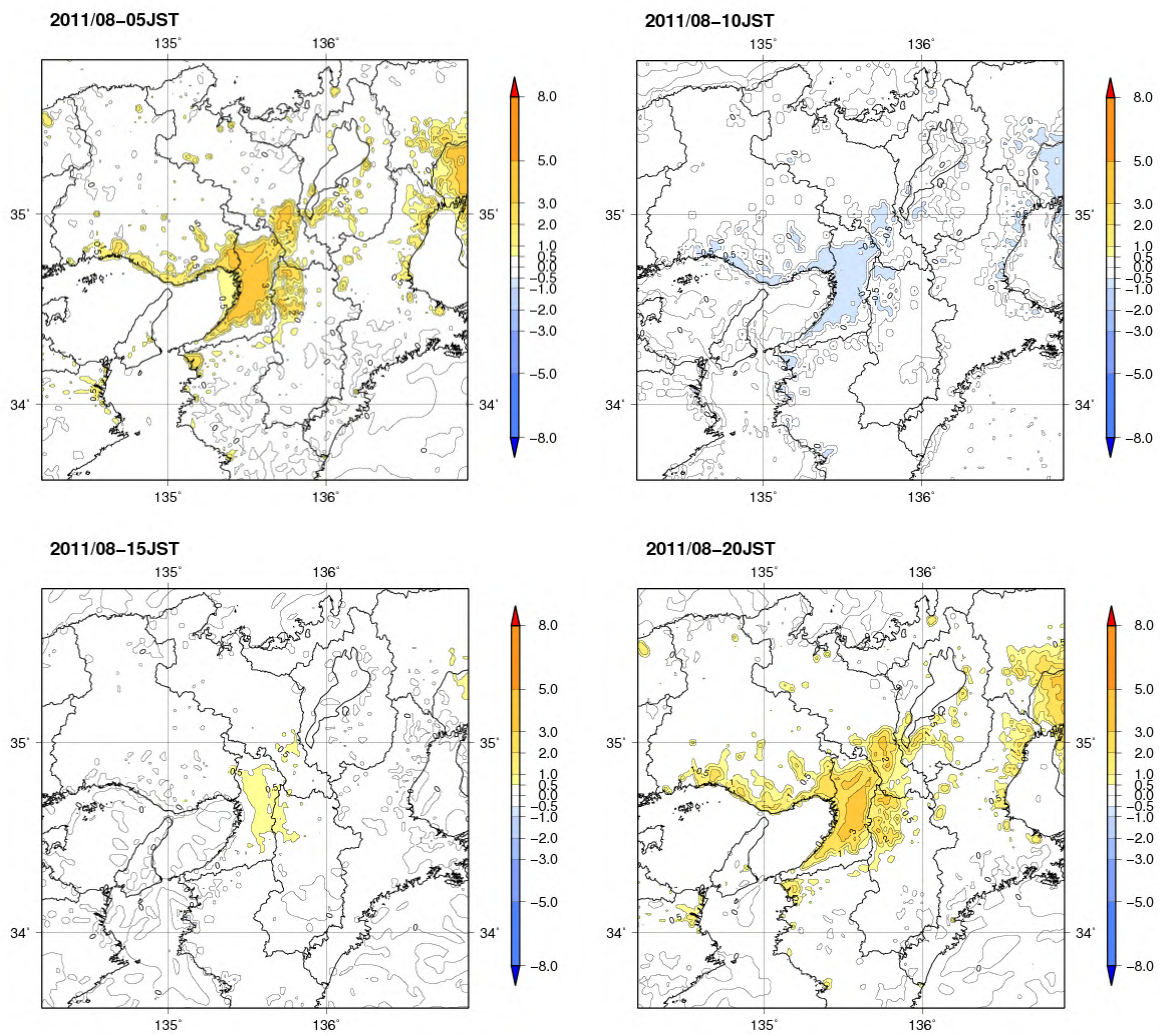


図 3.21 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による昇温量の分布図

3.3.3 近畿地方における2011年8月の平均相対湿度の特徴

図 3.22 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の近畿地方における時刻別の平均相対湿度を示す。5時、15時、20時では大阪平野や京都盆地に相対湿度が低い領域が広がっており、都市が周辺部に比べて乾燥している様子が見られる。一方、10時では都市と都市以外で明瞭な違いは見られない。この特徴は関東地方と同様である。

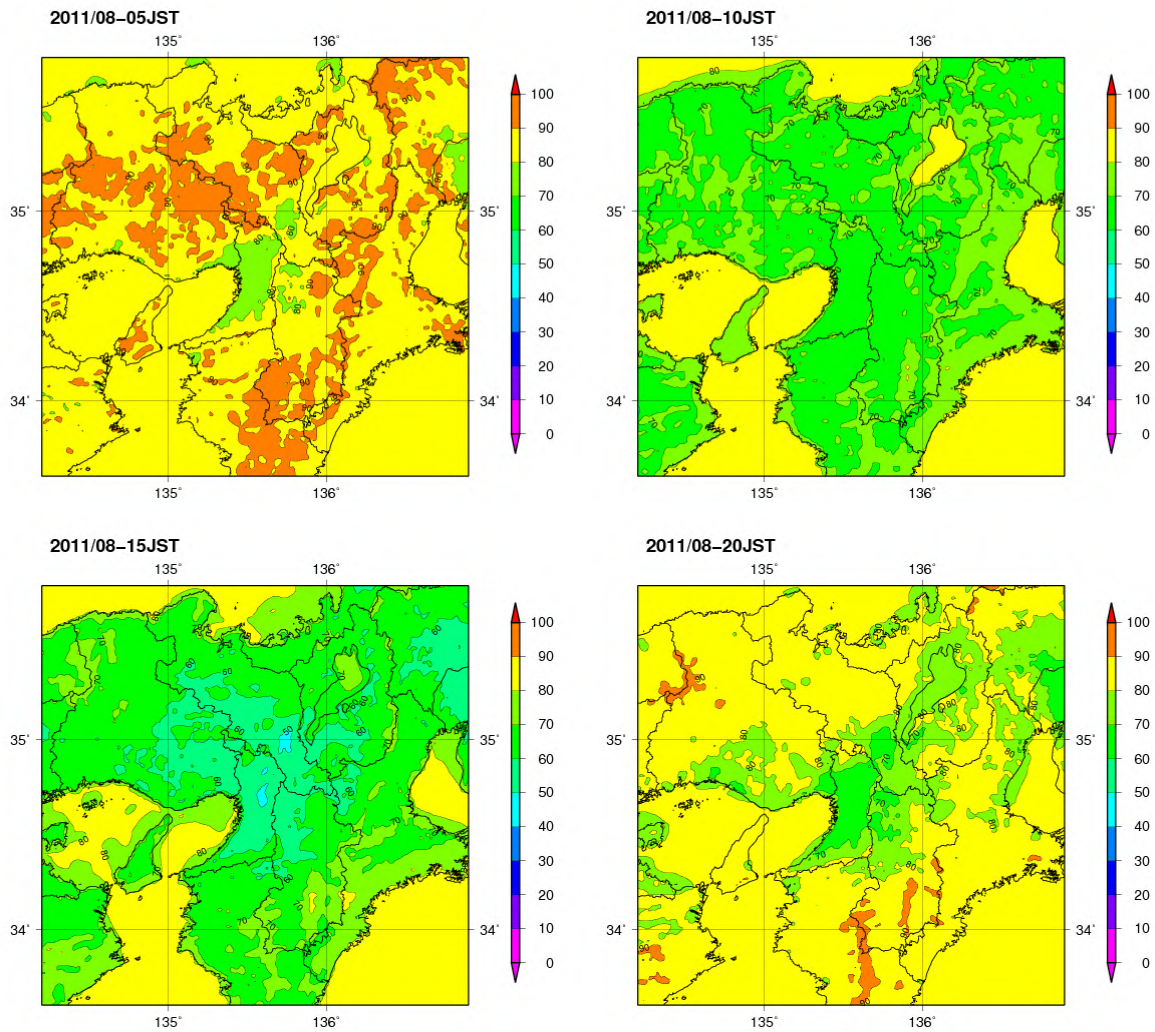


図 3.22 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の平均相対湿度(%)の分布

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の近畿地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量を図3.23に、水蒸気圧変化量を図3.24に示す。図3.23を見ると、相対湿度は5時、15時、20時に相対湿度の低下量が大きく、20時には大阪平野や京都盆地、奈良盆地で-20%以上と非常に大きな領域が見られる。図3.21と比較すると、都市化による昇温量の大きい時刻に相対湿度の低下も大きい傾向があり、気温の上昇に伴って飽和水蒸気圧が増加することによる寄与が大きいと考えられる。一方、図3.24を見ると水蒸気は10時、15時、20時に減少量が大きく、20時は飽和水蒸気圧の上昇と水蒸気圧減少の両方の影響が重なって、相対湿度の減少量が大きくなっているとみられる。また、15時は都市化の影響による昇温量が小さいにも関わらず相対湿度の低下が大きく、水蒸気の減少による寄与が大きいと考えられる。これらの傾向は何れも関東地方と同様であり、第2章の観測データに見られる傾向と整合的である。

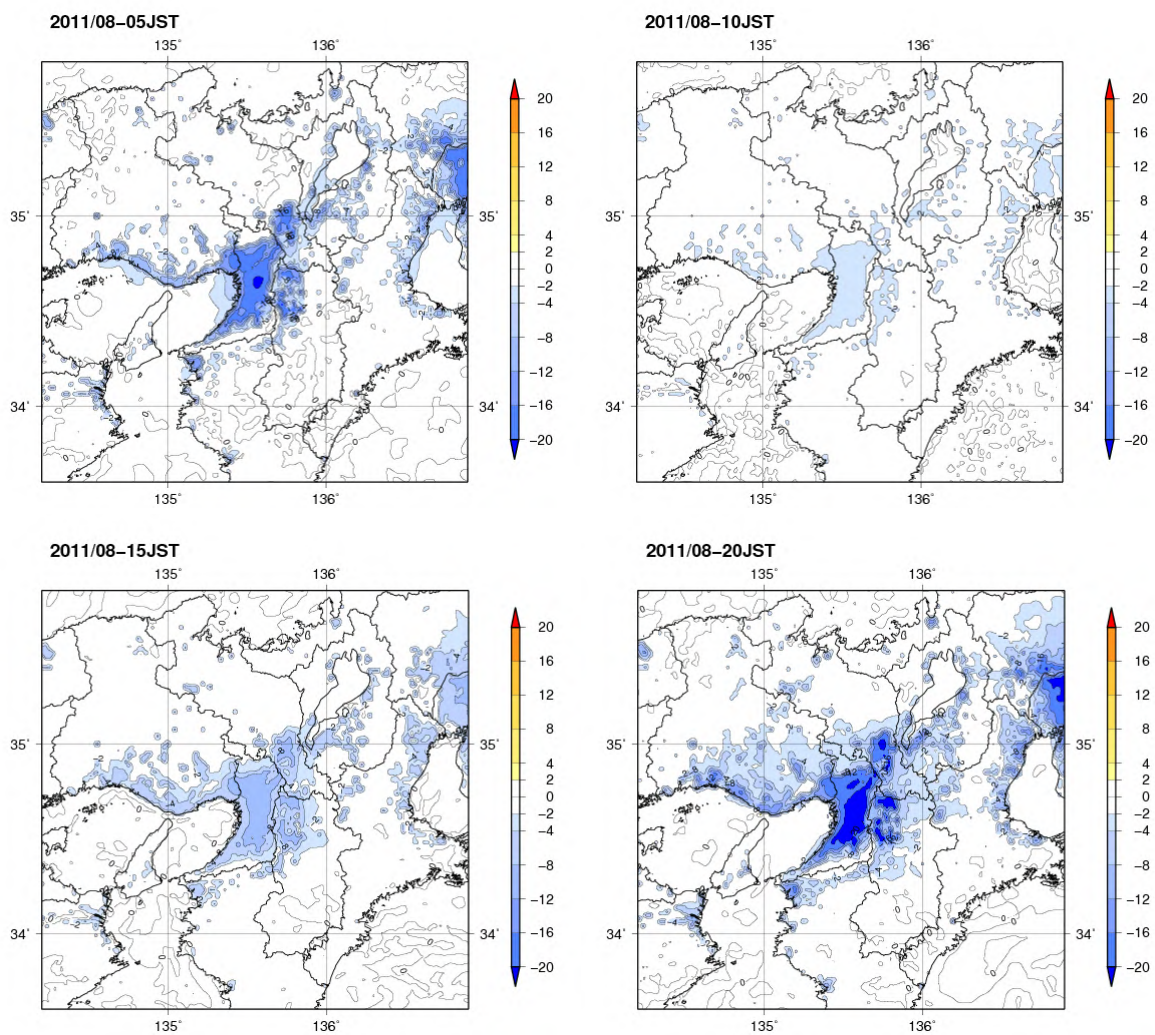


図3.23 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による相対湿度変化量(%)の分布

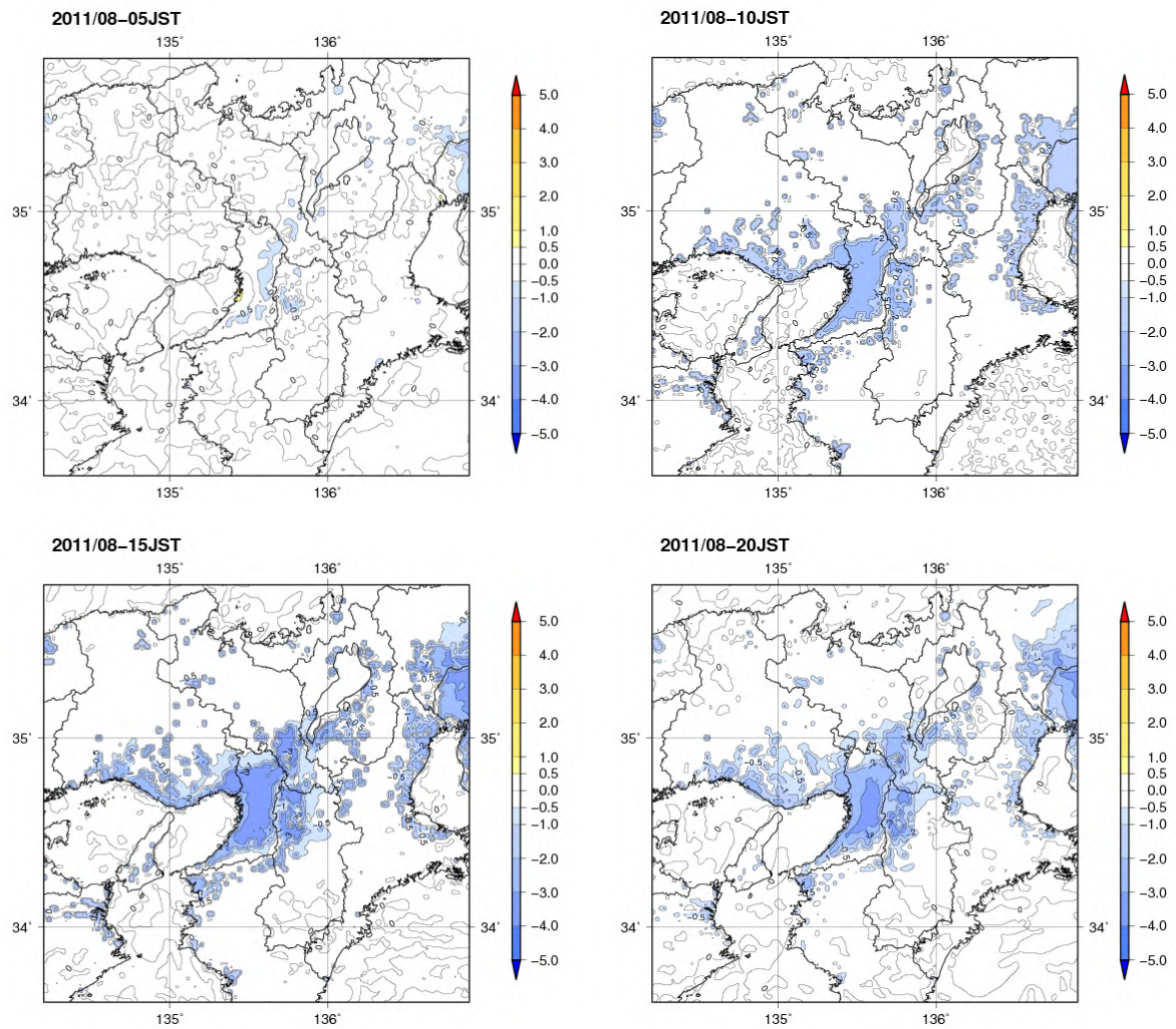


図 3.24 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による水蒸気圧変化量(hPa)の分布

3.3.4 大阪における気温と相対湿度の時間変化

図 3.25 に大阪における気温と相対湿度の時間変化を示す。都市有り実験（緑線）は現実の都市の土地利用形態や人工排熱を与えたシミュレーションであるので、観測結果（赤線）と比較することができる。都市有り実験と観測は概ね一致しており、両者の誤差は気温が概ね ± 1 未満、相対湿度が概ね $\pm 7\%$ 未満と高い精度でシミュレーション出来ていると考えられる。気温は日中に低めで夜間に高めとなる傾向がある。

都市有り実験と都市無し実験（青線）の差が都市化の影響による変化量である。気温は夕方から都市化による昇温量が拡大し、夜間から明け方にかけて最も大きく、日の出と共に小さくなっている。相対湿度についても気温と同様に日中に都市化の影響が小さく夜間に大きい傾向が見られるが、気温の日変動に比べると都市化の影響の出現が時間的に早い傾向がある。これらの特徴は東京と同様である。

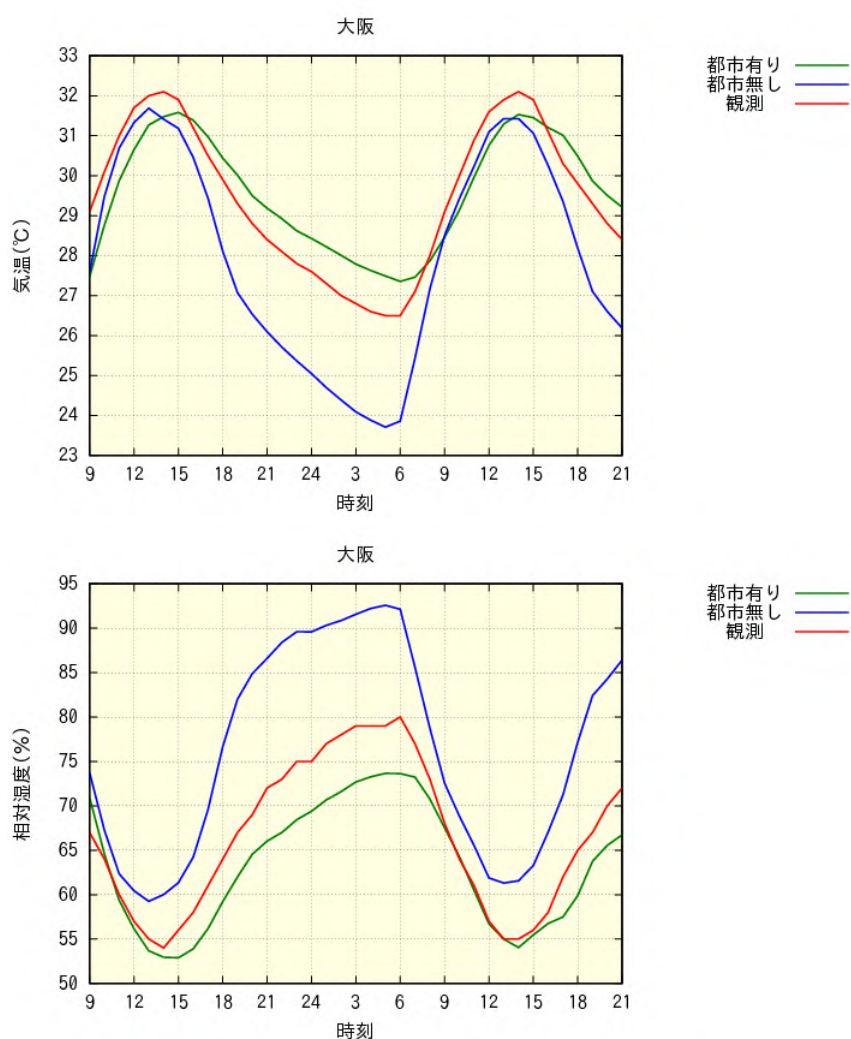


図 3.25 観測と都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における大阪の気温(上段)と相対湿度(下段)の日変動の観測との比較。横軸は時刻を表す。緑線は都市有りのシミュレーション、青線は都市無しのシミュレーション、赤線は観測に見られる変動。緑線と赤線的一致が良いほど、シミュレーションの精度が高いと考えられる。緑線と青線の差が都市化の影響を表し、気温については全般に上昇、相対湿度については低下の方向に変化している。

3.3.5 近畿地方におけるヒートアイランド現象に伴う様々な気候変化

(1) 風速

図 3.26 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による風速の変化量を示す。風速の変化量は 5 時と 15 時が大きくなっている。風向を見ると 5 時は大阪湾から大阪平野への風の変化、15 時は大阪平野から大阪湾への風の変化が生じており逆方向である。前者は夜間に内陸部から大阪湾へ向かう陸風が弱められているもの、後者は大阪湾から内陸部へ向かう海風が弱められていると考えられる。一方、20 時については風速の増加が見られる。これは都市と郊外の気温差が大きくなることで、空気の密度差による風が生じているものと考えられる。関東地方の図 3.14 と比較すると、15 時ばかりでなく 05 時も風速減少が顕著である点に違いが見られる。

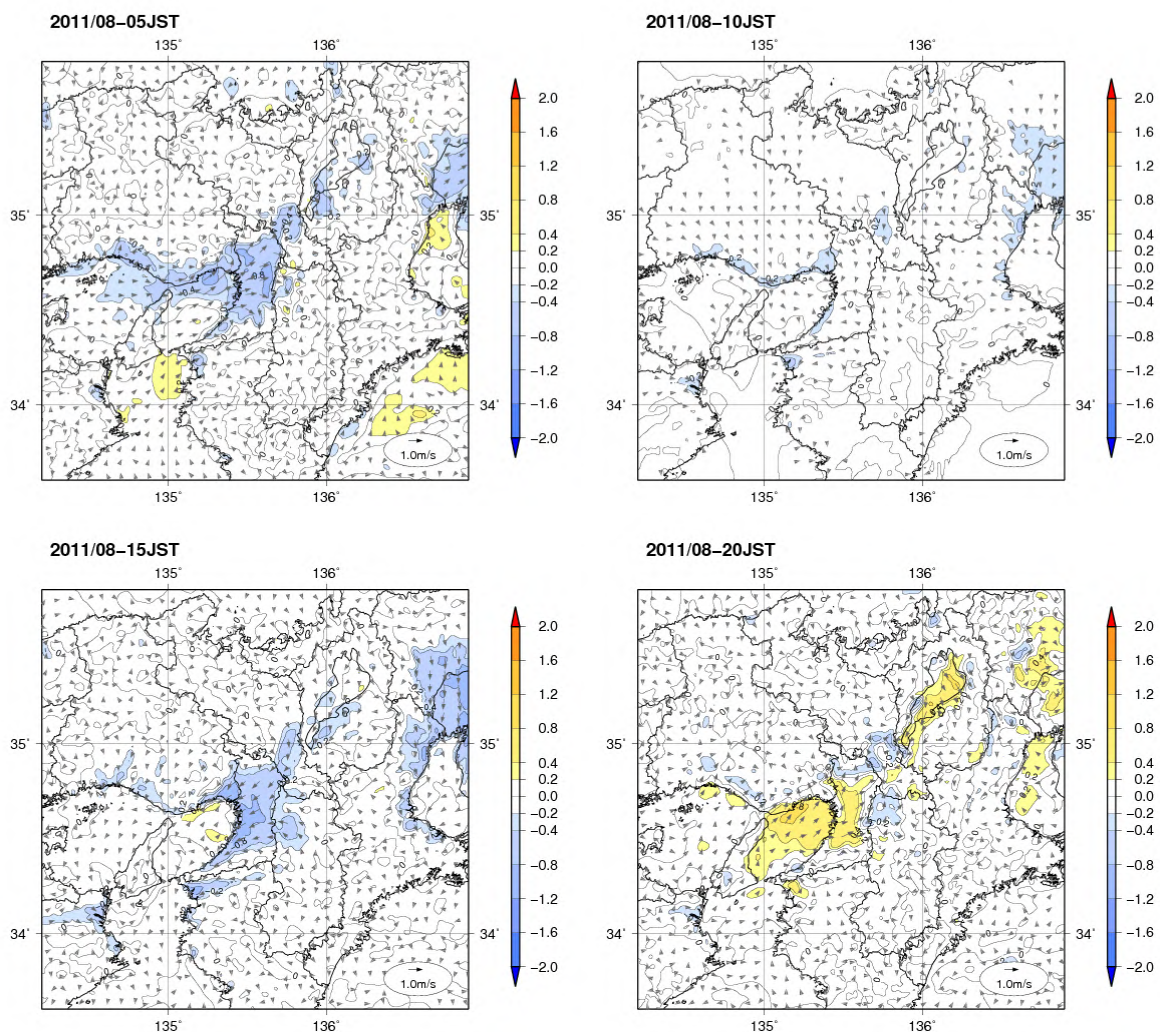


図 3.26 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による風速変化量(陰影)と風の変化(矢印)の分布。単位は m/s である。

(2) 地表面温度

図 3.27 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の近畿地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による地表面温度の変化量を示す。地表面温度は日中・夜間とも上昇しており、夜間に比べて日中の上昇量が大きくなっている。15 時では 6 以上の昇温域が大阪平野全体に広がっている。一方、気温に関しては図 3.21 で示したように 15 時の気温の上昇量は小さい。これらの特徴は関東地方と同様であり、日中は大気境界層における対流活動が活発で熱が拡散されやすいためと考えられる。

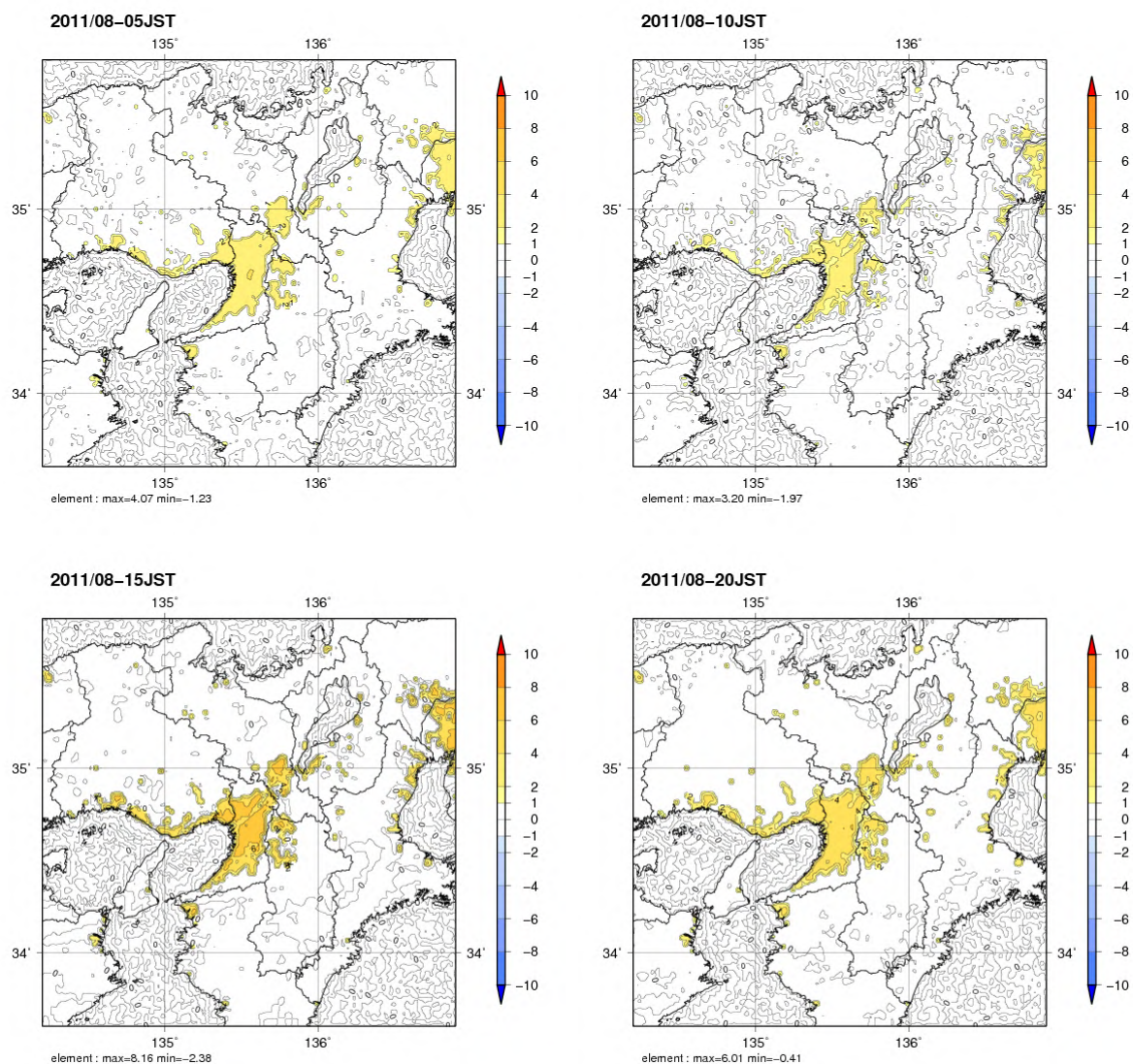


図 3.27 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による地表面温度変化量()の分布

(3) 顕熱フラックスと潜熱フラックス

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の近畿地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による顕熱フラックスの変化量を図3.28に、潜熱フラックスの変化量を図3.29に示す。潜熱フラックスは10時、15時と日中に著しく減少している。これは関東地方と同様に、地表面が草地から人工被覆になることで地表面や植物からの水分の蒸発が減少するためである。図3.18の関東地方と比較すると、近畿地方の潜熱フラックスの減少量の方がやや大きい。これは、関東地方に比べて近畿地方の方が平均気温が高く、大気中に含みうる水蒸気量(飽和水蒸気圧)が大きいためと考えられる。

一方、顕熱フラックスは、10時に減少しており、15時や20時で顕著に増加している。これらは関東地方と同様の傾向である。10時の顕熱フラックスの減少については、コンクリートなどの熱容量が大きく草地に比べて暖まりにくいことが要因と考えられる。図3.21で10時に都市化の影響によって気温が低下しているのは、このような顕熱フラックス減少による影響と考えられる。午後の時間帯に見られる顕熱フラックスの増加は、コンクリートなどに蓄えられた熱が放出されることが要因と考えられる。

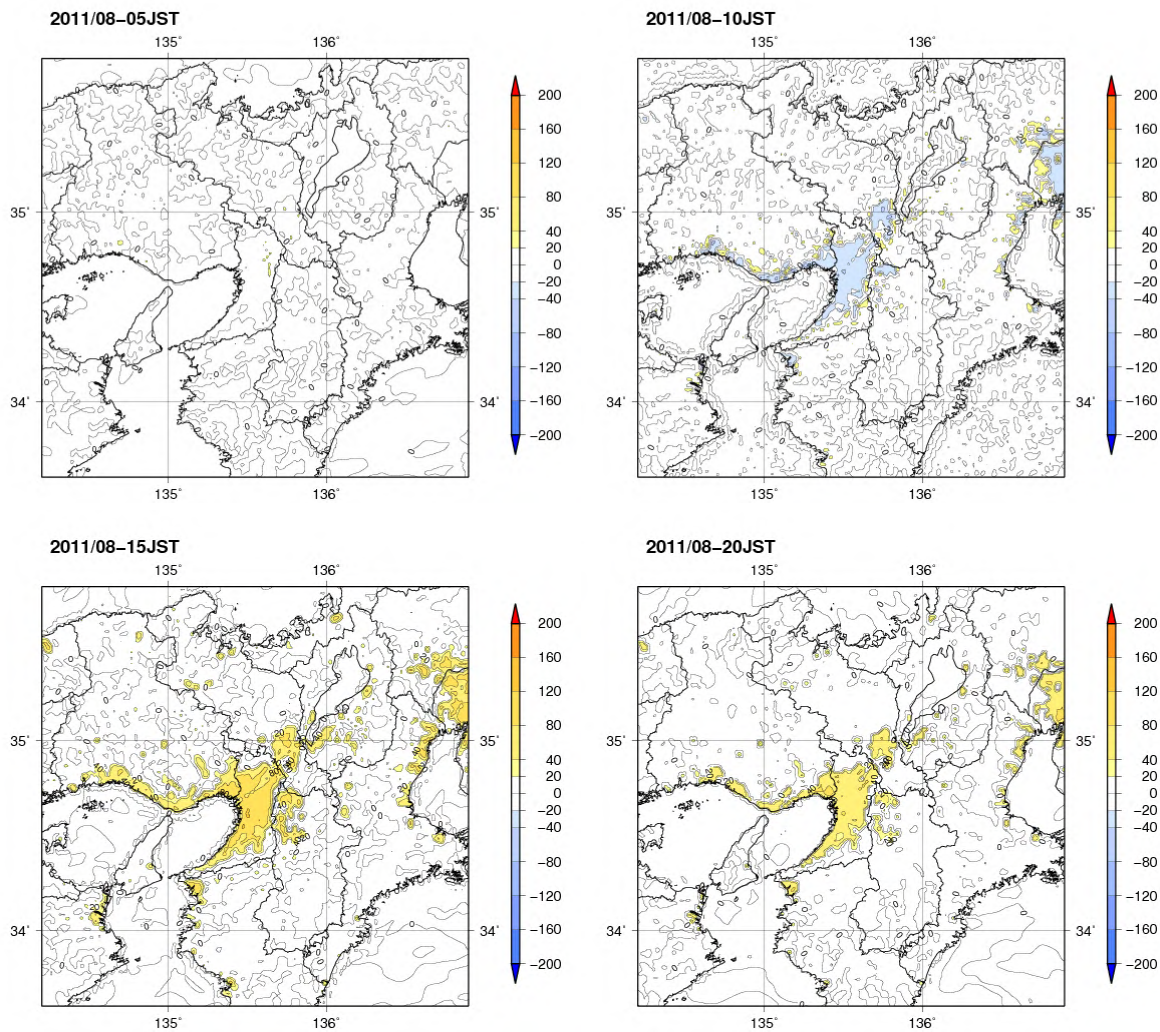


図3.28 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による顕熱フラックス変化量(W/m^2)の分布

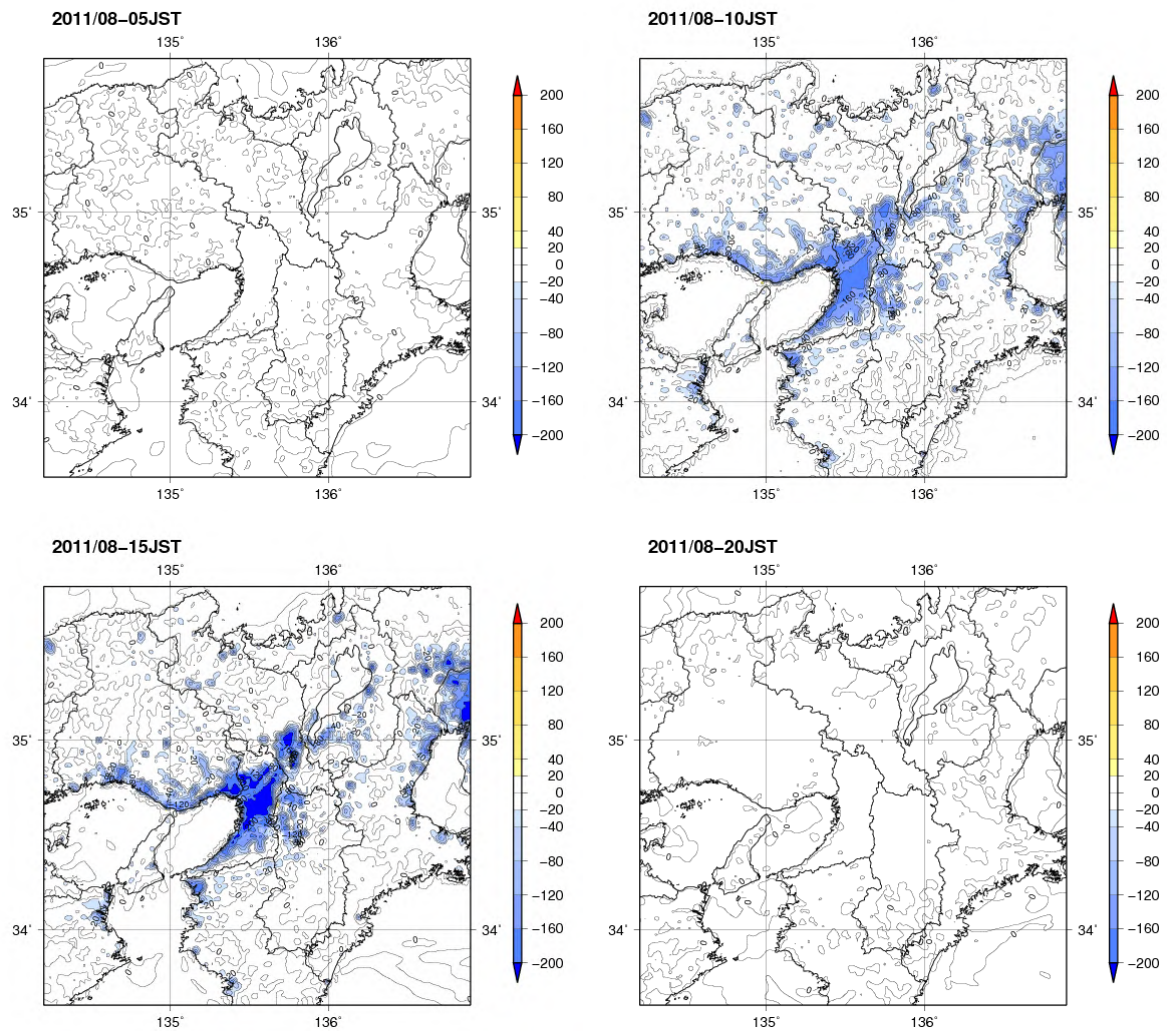


図 3.29 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による潜熱フラックス変化量(W/m^2)の分布

3.4 東海地方における 2011年 8月のヒートアイランド現象

本節では、都市気候モデルによるシミュレーション結果を元に、東海地方における 2011年 8月の月平均のヒートアイランド現象の特徴について解説する。

3.4.1 東海地方の地形と都市構造の特徴

図 3.30 に東海地方の地形と人工被覆率、居住人口、従業者数を示す。東海地方は関東地方、近畿地方に次ぐ日本第三の都市圏である。濃尾平野を中心に名古屋都市圏が形成されているほか、東海道の幹線沿いに岡崎市や浜松市などの中小都市が点在している。居住人口は夜間の人口分布、従業者数は日中の人口分布に概ね対応している。夜間の人口は名古屋市とその周辺に広く分散している（図 3.30 左下）が、日中の人口は名古屋市の中心部に著しく集中する（図 3.30 右下）。

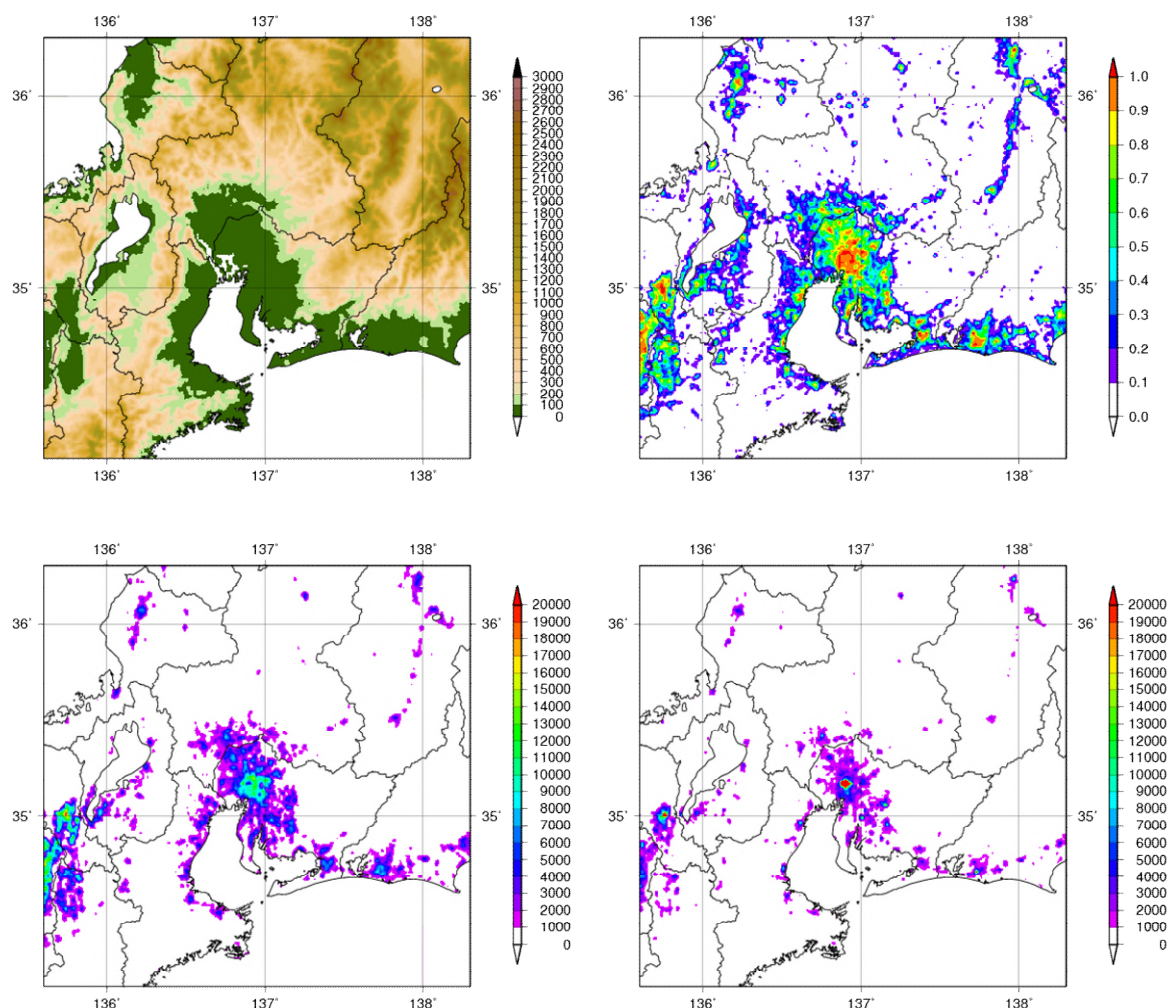


図 3.30 東海地方における標高(左上)、人工被覆率(右上)、居住人口(左下)、従業者数(右下)の分布

人工被覆率は 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、その他の用地の合計割合。居住人口と従業者数は、総務省統計局地域メッシュ統計より作成。

3.4.2 東海地方における 2011 年 8 月の平均気温と風の特徴

図 3.31 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時別の平均気温と平均風を示す。5 時、15 時、20 時は名古屋市を中心に濃尾平野の広い範囲で周辺に比べて気温が高く、ヒートアイランド現象を示す島状の気温分布となっている。風については、10 時～20 時にかけて伊勢湾から吹き込む南西の海風がみられ、15 時は風速が大きくなっている。

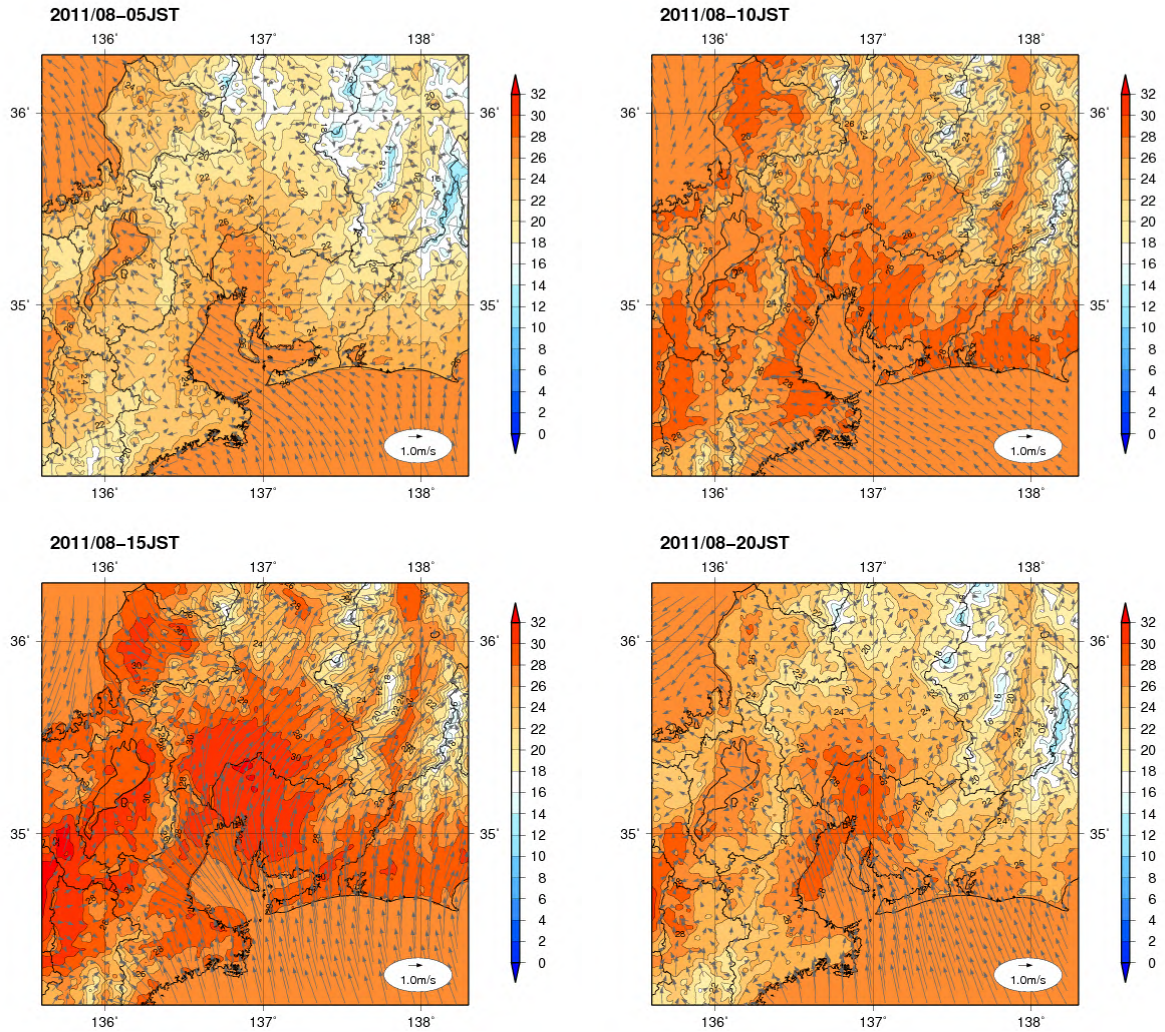


図 3.31 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均気温(陰影)と平均風(矢印)の分布。気温の単位は $^{\circ}\text{C}$ 、風速の単位は m/s 。

図 3.32 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時刻別の都市化の影響（「都市有り実験」と「都市無し実験」の差）による昇温量を示す。5 時や 20 時の都市化の影響による昇温量は名古屋市を中心に 3 を超えている。一方、15 時はやや北西の内陸部にピークがあり、昇温量も 0.5 程度と小さくなっている。15 時は大気の混合が強く、都市の熱が盛んに拡散されているものと考えられる。都市化の影響による昇温量が日中に小さく、夜間に大きい傾向は第 2 章で月平均気温の分析によって得られた結果と同様の傾向である。

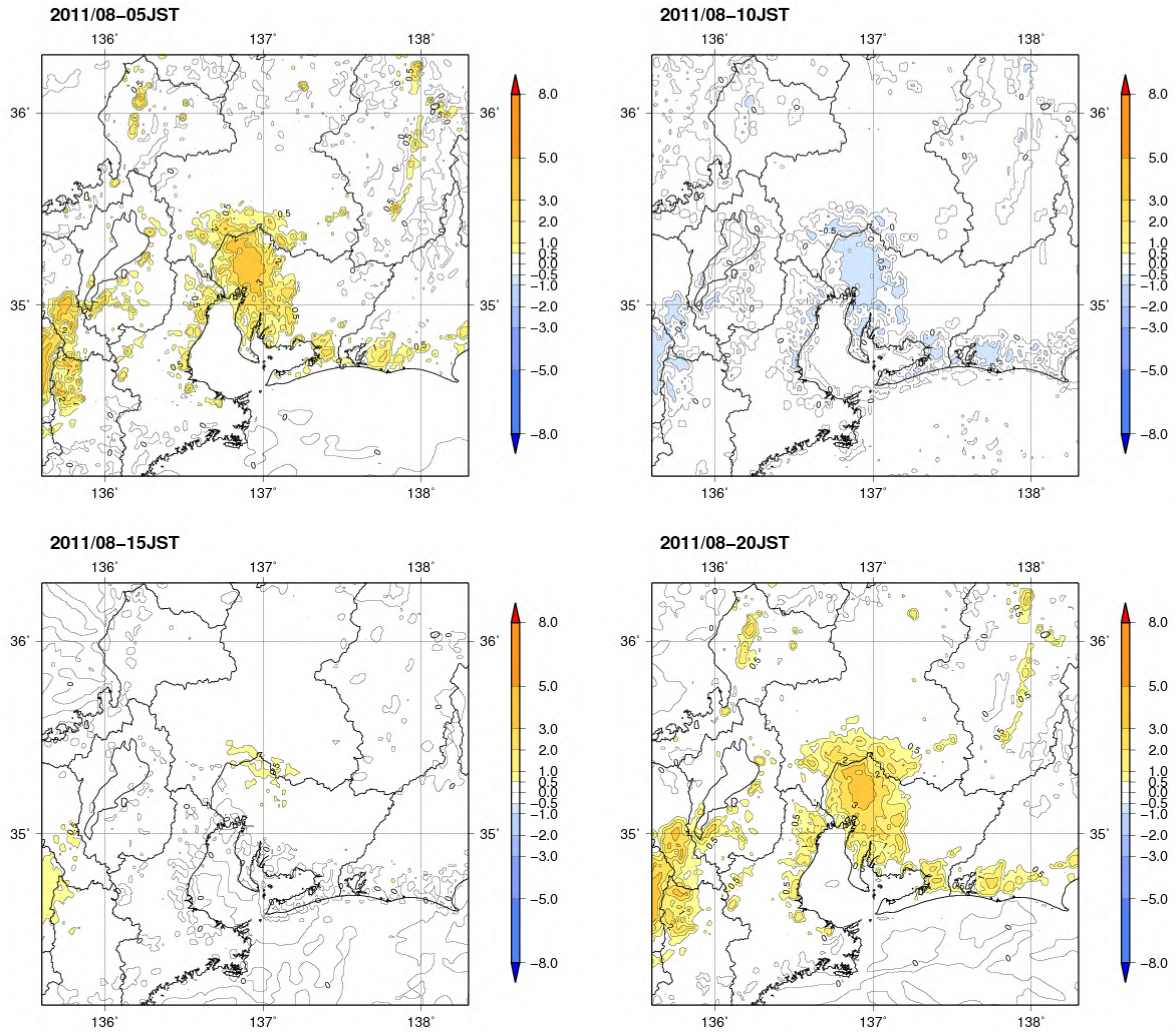


図 3.32 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による昇温量()の分布

3.4.3 東海地方における 2011 年 8 月の平均相対湿度の特徴

図 3.33 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時刻別の平均相対湿度を示す。5 時、15 時、20 時では、名古屋市を中心に濃尾平野の相対湿度が小さくなっており、都市が周辺部に比べて乾燥している様子が分かる。しかしながら、10 時では都市と都市以外で相対湿度の違いはほとんど見られない。これらの特徴は、関東地方や近畿地方と同様である。

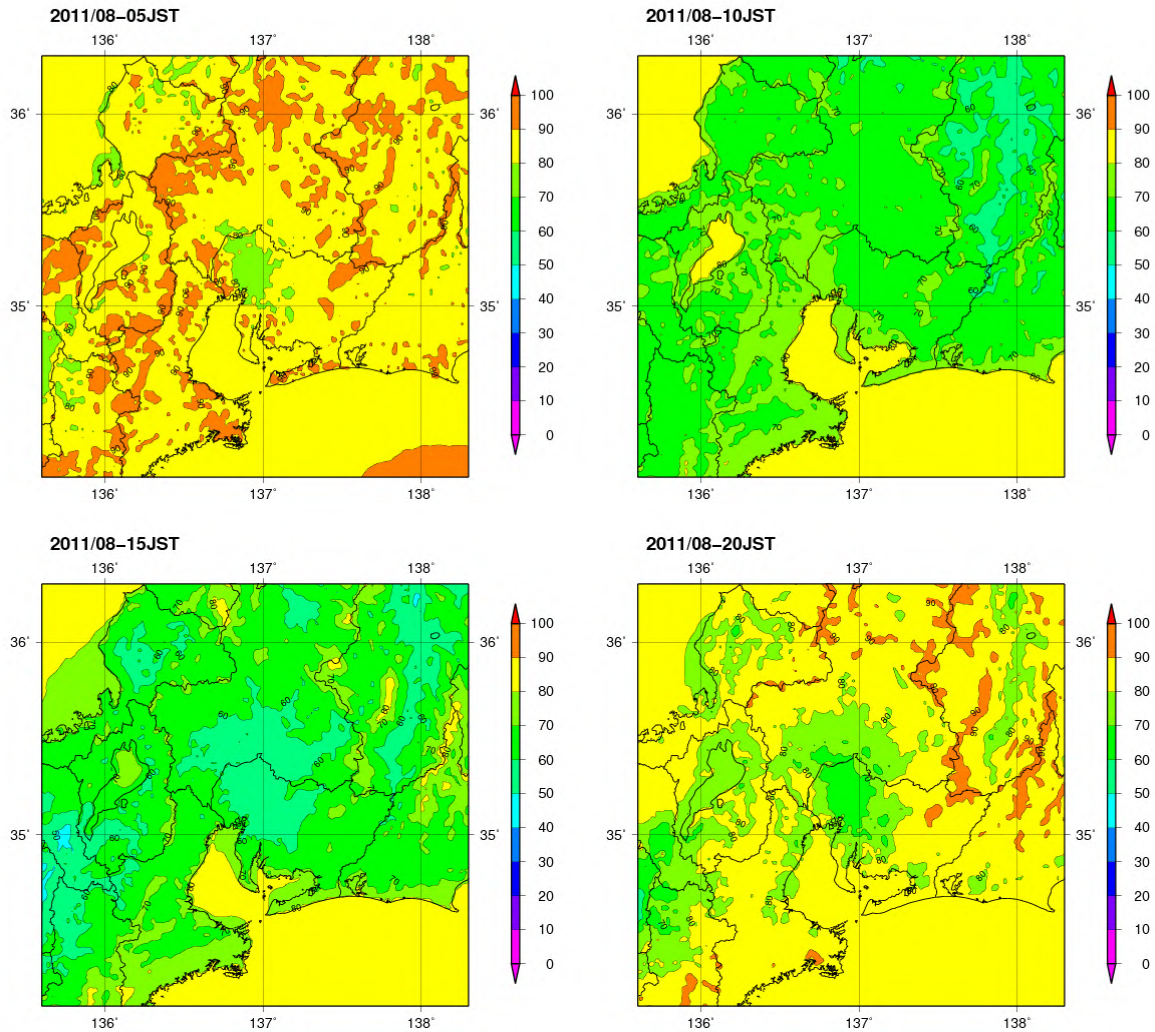


図 3.33 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の平均相対湿度(%)の分布

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の東海地方における時刻別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による相対湿度変化量を図3.34に、水蒸気圧変化量を図3.35に示す。図3.34を見ると、相対湿度は5時、15時、20時に低下量が大きく、名古屋市を中心に濃尾平野の広い範囲で相対湿度が低下している。相対湿度の低下量は20時が最も大きく、名古屋市の中心部では-20%を超えている。図3.30と比較すると、相対湿度の低下が都市化による昇温量の大きい時刻に大きく、気温の上昇に伴って飽和水蒸気圧が増加することによる寄与が大きいと考えられる。一方、図3.35を見ると、水蒸気圧は10時、15時、20時に大きく減少しており、20時の大きな相対湿度の低下については、飽和水蒸気圧の上昇と水蒸気圧減少の両方の影響が重なって、相対湿度の減少量が大きくなっているとみられる。また、15時は都市化の影響による昇温量が小さいにも関わらず相対湿度の低下が大きく、水蒸気の減少による寄与が大きいと考えられる。

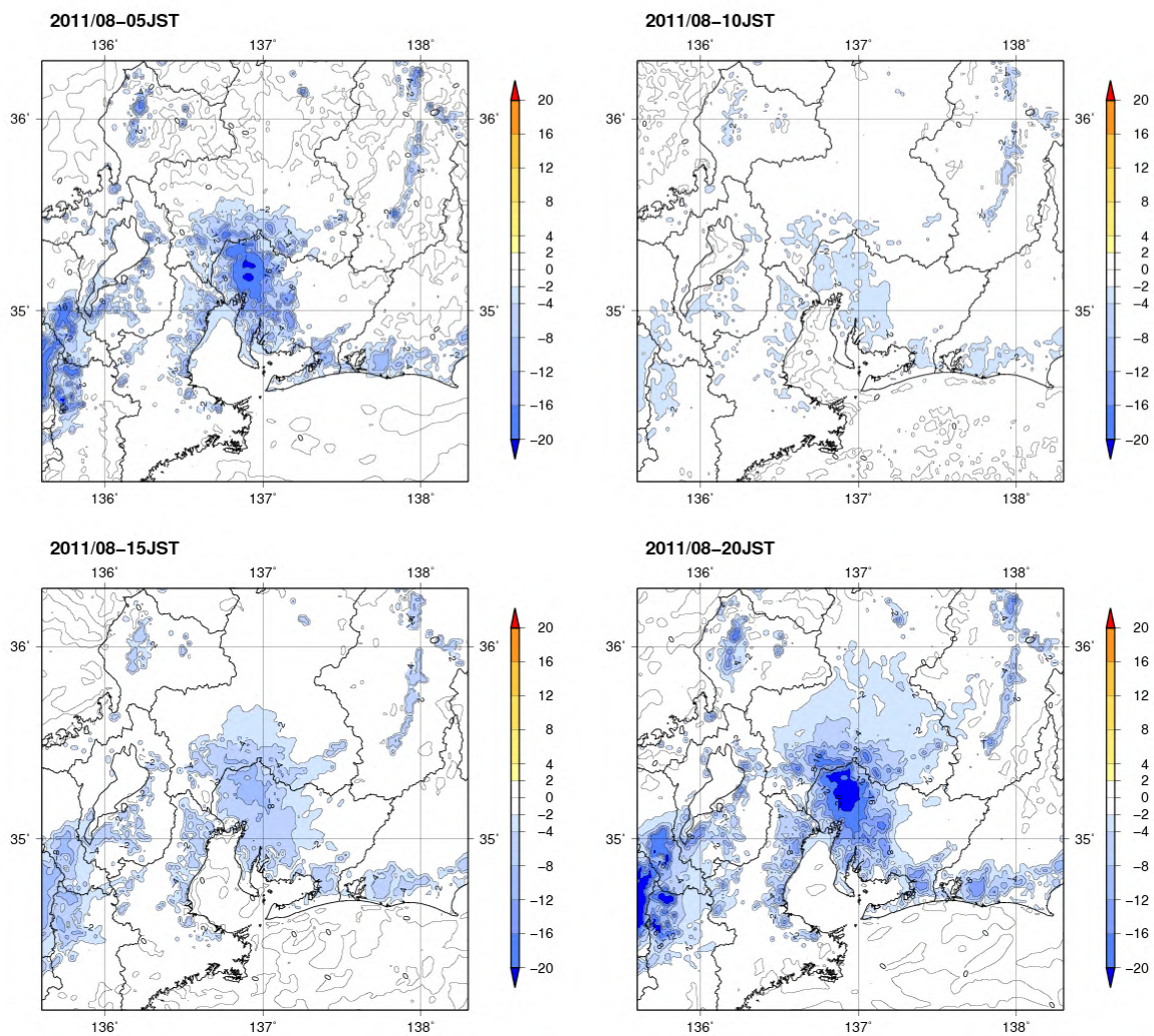


図 3.34 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による相対湿度変化量(%)の分布

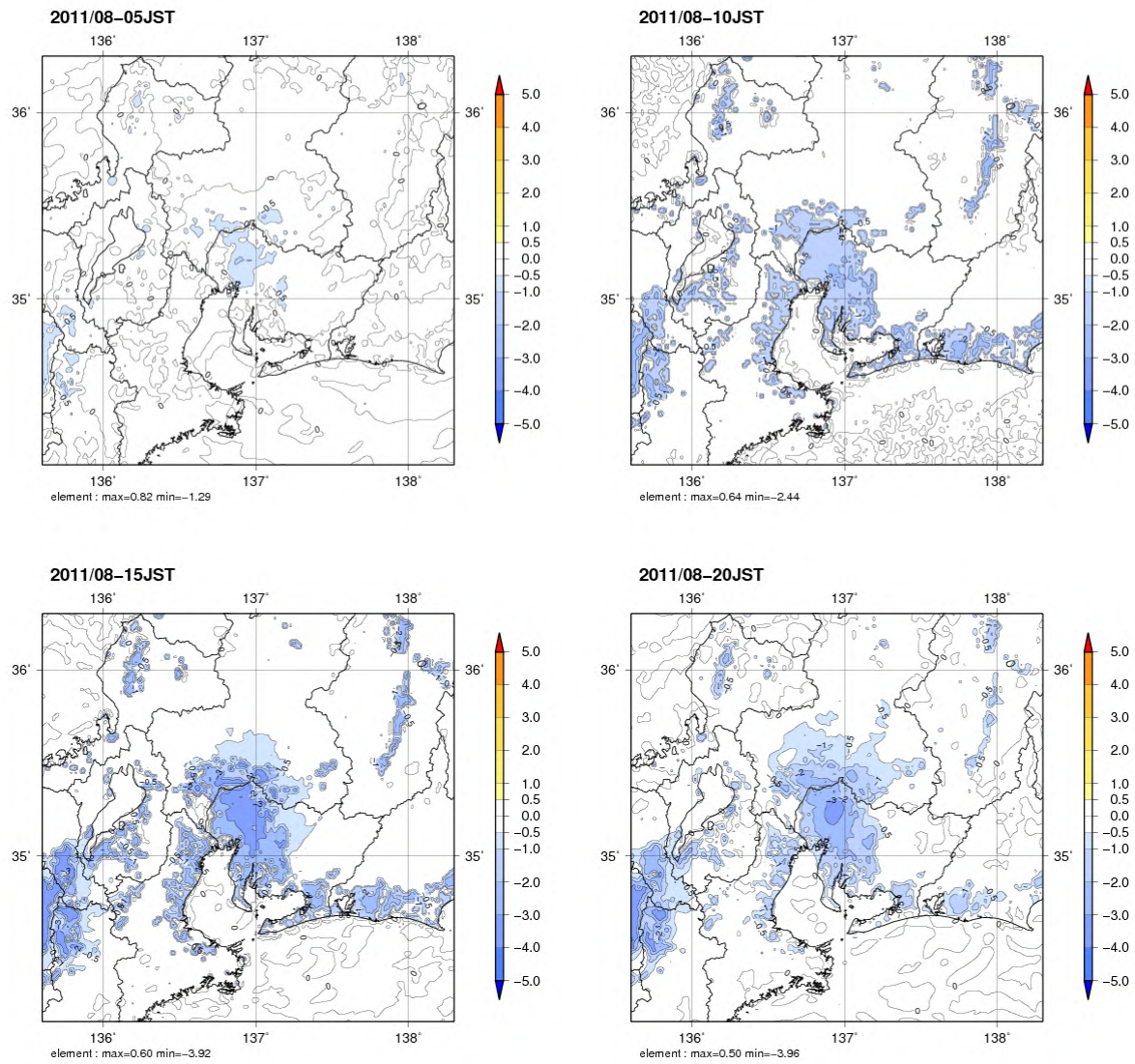


図 3.35 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による水蒸気圧変化量(hPa)の分布

3.4.4 名古屋における気温と相対湿度の時間変化

図 3.36 に名古屋における気温と相対湿度の時間変化を示す。観測と比較すると、誤差は気温が概ね ± 1.5 未満、相対湿度が概ね $\pm 10\%$ 未満と、東京や大阪に比べると大きい。気温は夜間にやや高温よりに計算される傾向がある。

都市有り実験と都市無し実験の差は、都市化の影響による変化量と考えられる。気温は夜間に都市化の影響による昇温量が大きく、15 時以降に急激に昇温量が大きくなり、日の出と共に小さくなっている。相対湿度についても気温と同様に日中に小さく夜間に大きい傾向が見られる。しかし、相対湿度は 15 時より前から低下量が大きくなっており、気温に比べると相対湿度の低下は時間的に早い傾向がある。これらの特徴は東京や大阪と同様である。

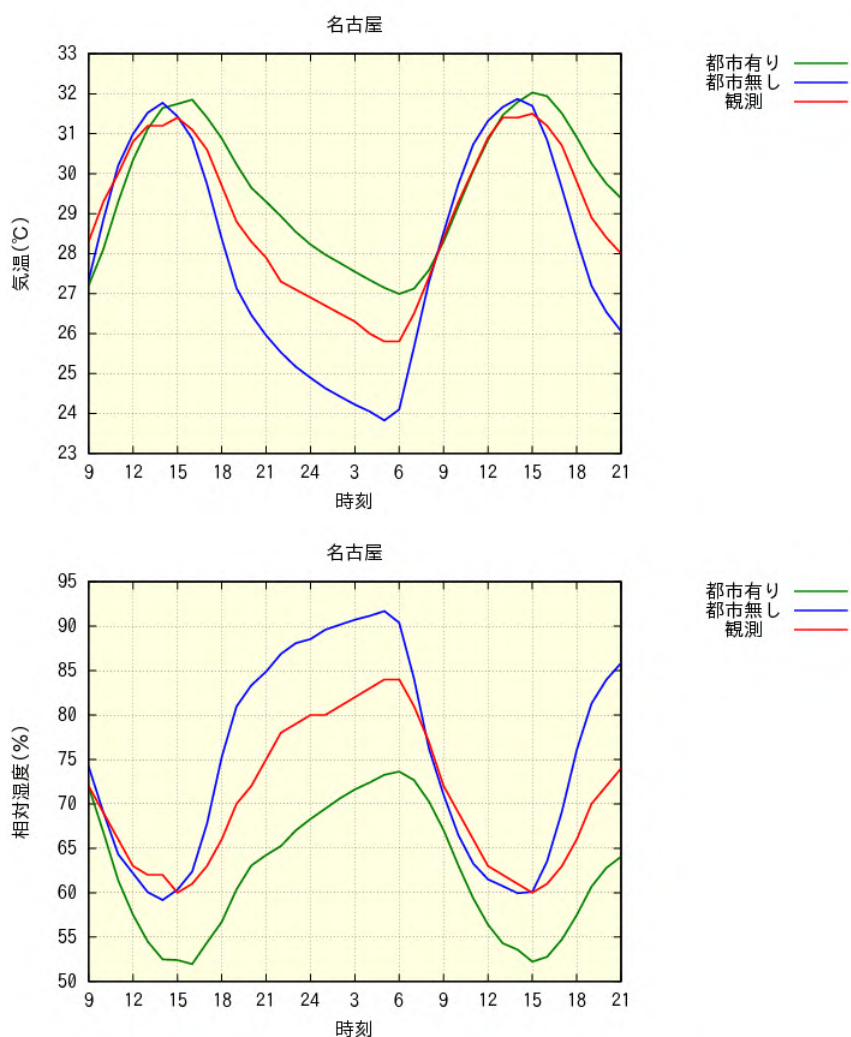


図 3.36 観測と都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における名古屋の気温(上段)と相対湿度(下段)の日変動の観測との比較。横軸は時刻を表す。緑線は都市有りのシミュレーション、青線は都市無しのシミュレーション、赤線は観測に見られる変動。緑線と赤線の一致が良いほど、シミュレーションの精度が高いと考えられる。緑線と青線の差が都市化の影響を表し、気温については全般に上昇、相対湿度については低下の方向に変化している。

3.4.5 東海地方におけるヒートアイランド現象に伴う様々な気候変化

(1) 風速

図 3.37 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による風速の変化量を示す。5 時、10 時、15 時は風速の減少が大きく、日中は伊勢湾からの都市部への冷涼な風の進入を妨げ、夜間は山間部から都市部への冷涼な陸風の進入を妨げる風の変化が見られる。20 時は風速の増加が見られるが、これは都市と郊外の気温差が大きくなることで、空気密度差による風が生じるためと考えられる。図 3.14 の関東地方や図 3.26 の近畿地方と比べると、10 時にも風速の減少がみられる点に違いがある。

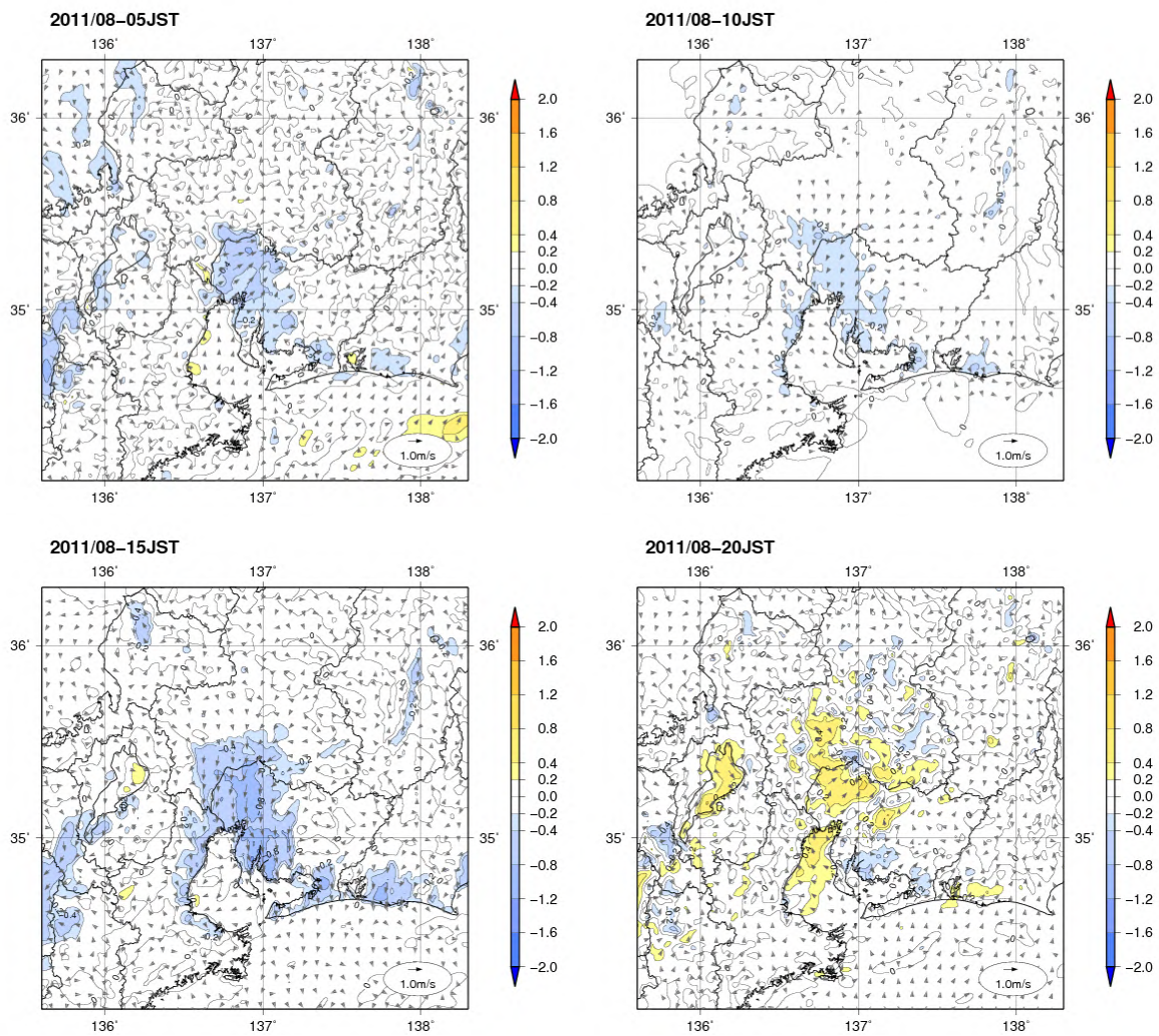


図 3.37 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による風速変化量(陰影)と風の変化(矢印)の分布。単位は m/s である。

(2) 地表面温度

図 3.38 に都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月の東海地方における時別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による地表面温度の変化量を示す。地表面温度は日中・夜間と問わず上昇しており、15 時頃がピークで 6 以上の昇温域が濃尾平野の広い範囲で見られる。一方、気温に関しては図 3.32 で示したように 15 時の気温の上昇量は小さい。これらの特徴は関東地方や近畿地方と同様であり、日中は大気境界層における対流活動が活発で熱が拡散されやすいためと考えられる。

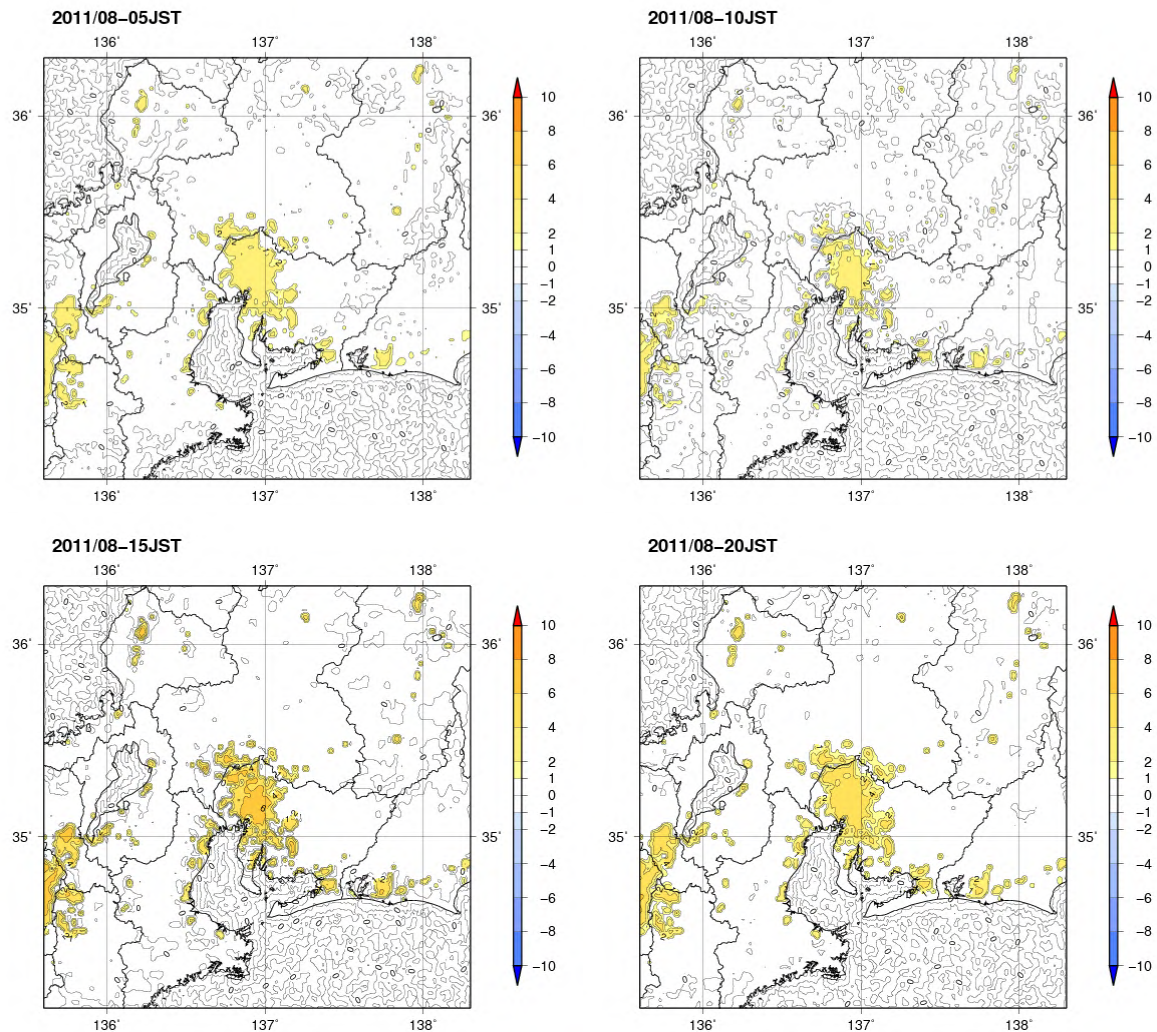


図 3.38 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による地表面温度変化量()の分布

(3) 顕熱フラックスと潜熱フラックス

都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月の東海地方における時別の都市化の影響(「都市有り実験」と「都市無し実験」の差)による顕熱フラックスの変化量を図3.39に、潜熱フラックスの変化量を図3.40に示す。潜熱フラックスは10時、15時と日中に減少が大きい。これは地表面が草地から人工被覆になることで、地表面や植物からの水分の蒸発が著しく減少するためである。一方、顕熱フラックスは10時に減少しており、15時や20時に増加している。10時の顕熱フラックスの減少については、コンクリートなどは熱容量が非常に大きいため、草地に比べて暖まりにくいことが要因と考えられる。図3.9で10時に都市化の影響によって気温が低下しているのは、このような顕熱フラックス減少による影響と考えられる。午後の時間帯にみられる顕熱フラックスの増加は、コンクリートなどに蓄えられた熱が放出されることが要因と考えられる。これらの特徴は関東地方や近畿地方と同様である。

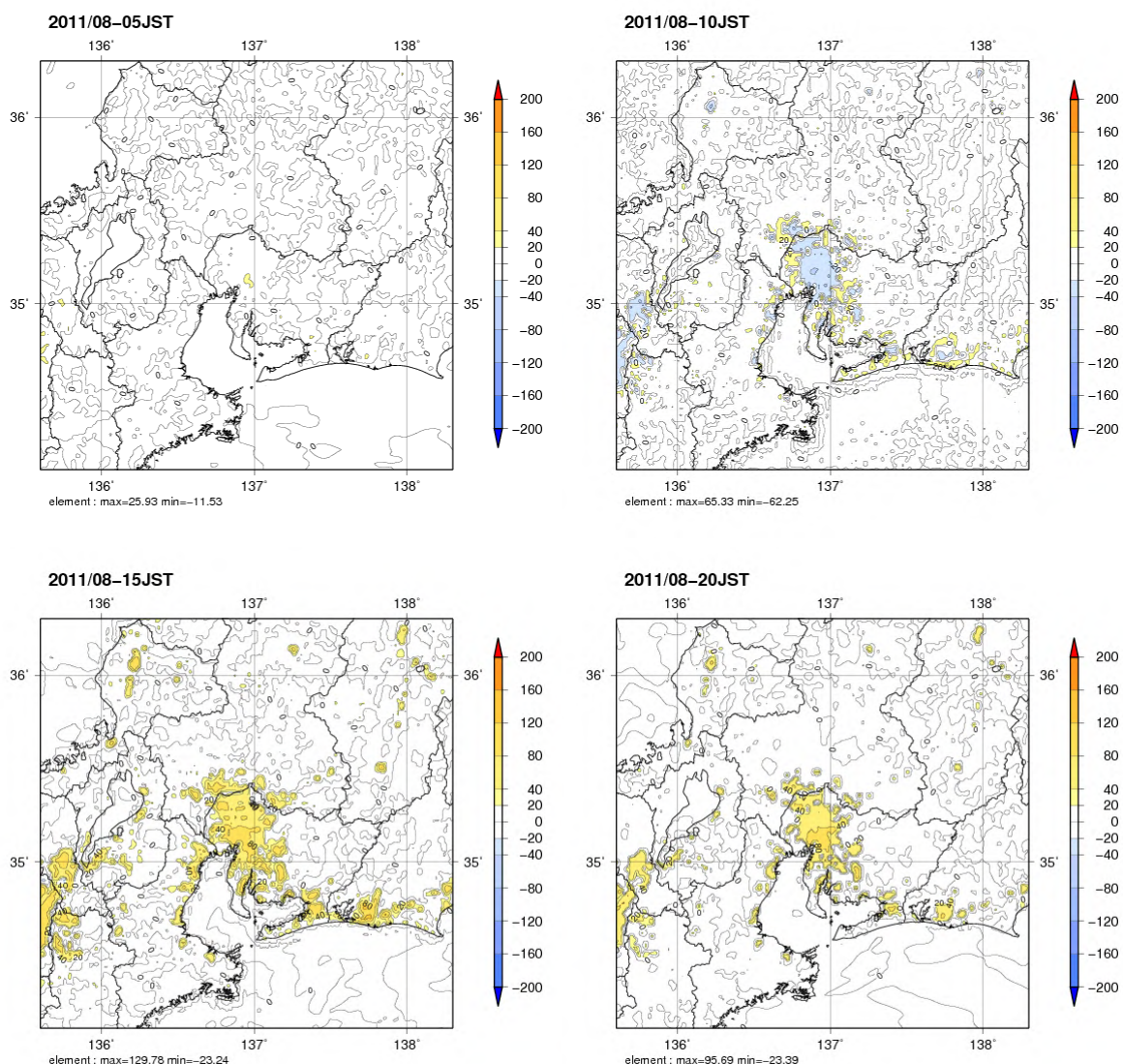


図 3.39 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた2011年8月における5時(左上)、10時(右上)、15時(左下)、20時(右下)の都市化の影響による顕熱フラックス変化量(W/m^2)の分布

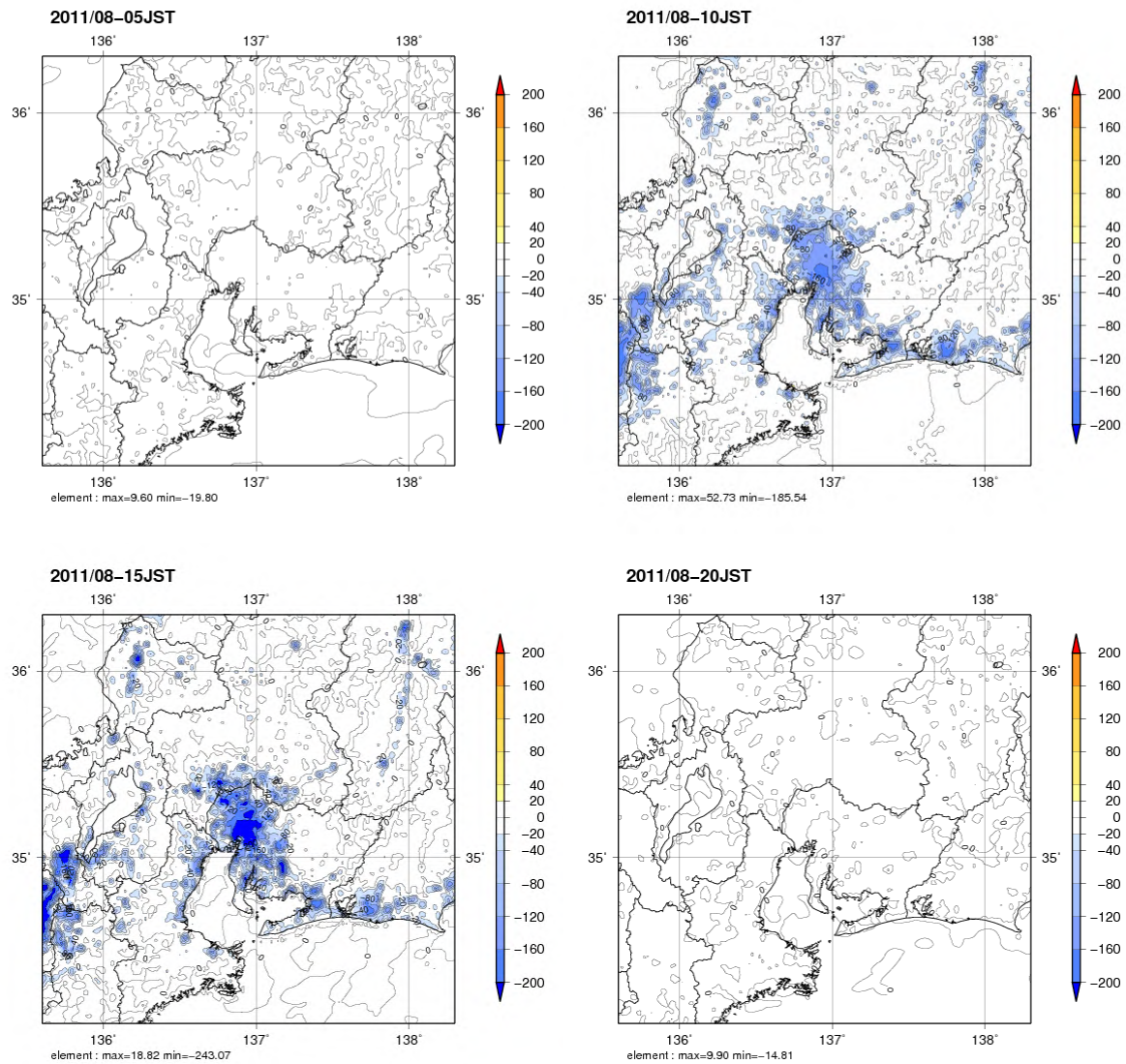


図 3.40 都市気候モデルによるシミュレーションで得られた 2011 年 8 月における 5 時(左上)、10 時(右上)、15 時(左下)、20 時(右下)の都市化の影響による潜熱フラックス変化量(W/m^2)の分布

4. 参考文献

- 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
- 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, 2005: 平成 17 年度都市緑地を活用した地域の熱環境改善構想の検討調査報告書
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=7159>
- 気象庁, 2005: ヒートアイランド監視報告 (平成 16 年夏季・関東地方)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2004/himr2004.pdf>
- 気象庁, 2006: ヒートアイランド監視報告 (平成 17 年夏季・関東地方)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2005/himr2005.pdf>
- 気象庁, 2007: ヒートアイランド監視報告 (平成 18 年夏季 - 関東・近畿地方)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2006/himr2006.pdf>
- 気象庁, 2008: ヒートアイランド監視報告 (平成 19 年冬・夏 - 関東・近畿地方)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2008/himr2008.pdf>
- 気象庁, 2009: ヒートアイランド監視報告 (平成 20 年 - 東海地方)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2009/himr2009.pdf>
- 気象庁, 2010: ヒートアイランド監視報告 (平成 21 年)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2010/himr2010.pdf>
- 気象庁, 2011: ヒートアイランド監視報告 (平成 22 年)
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2011/himr2011.pdf>
- 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, 2008a: 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 ~
- 藤部文昭, 2012: 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.
- 近藤純正, 2012: 日本の都市における熱汚染量の経年変化, 気象研究ノート, 第 224 号, p.25-56.
- 亀掛川幸浩, 2012: 都市とエネルギー消費, 気象研究ノート, 第 224 号, p.57-84.
- 大原利眞, 森野悠, 2012: 都市と大気汚染, 気象研究ノート, 第 224 号, p.85-102.
- 森脇亮, 菅原広史, 2012: 都市におけるフラックスおよび乱流観測, 気象研究ノート, 第 224 号, p.103-154.
- 日下博幸, 2012: 都市気象の単層モデルと領域気象モデル, 気象研究ノート, 第 224 号, p.221-231.
- 山田崇, 及川義教, 大野浩史, 2012: 気候監視業務における都市気象モデル, 気象研究ノート, 第 224 号, p.257-272.
- 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.
- 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.
- 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.

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.

鳴海大典, 大谷文人, 近藤明, 下田吉之, 水野稔, 2002: 都市における人工廃熱が都市熱環境に及ぼす影響 - 都市熱環境評価モデルを用いたヒートアイランド現象の改善策に関する検討その1 -, 日本建築学会計画系論文集, No.562, pp.97-104.

IPCC, 2007: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2007, Cambridge University Press

IPCC, 2012: Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Cambridge University Press

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, Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol. 50, p.1476-1496.