

ヒートアイランド監視報告
(平成21年)

平成22年6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	1
1.2 ヒートアイランド現象の定義とその成因	1
1.3 都市気候モデルによる調査について	2
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	3
2.1 全国の主要都市における気温等の長期変化傾向	3
2.2 九州北部地方の都市における気温等の長期変化傾向	5
3.九州北部地方のヒートアイランド現象	11
3.1 九州北部地方の都市、地勢、夏季の気温の特徴	11
3.2 各都市における都市化の影響	13
3.2.1 夏季における晴天弱風日(2008年7月25日の事例と2007~2009年の49事例)	13
3.2.2 冬季における晴天弱風日(2010年2月24日の事例)	18
3.3 福岡平野のヒートアイランド現象	21
【コラム】関東地方における過去30年の土地利用変化の影響について	27
4.謝辞	29
5.参考文献	29
訂正	29

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りつつあるヒートアイランド現象は、夏季においては、気温の上昇や熱帯夜の増加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。また、冬季においても、植物の開花時期の変化や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。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。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」として気象庁ホームページで公表している。

これまで「ヒートアイランド監視報告」では、主に我が国の三大都市圏である関東地方、近畿地方、東海地方におけるヒートアイランド現象について調査を行ってきたが、本報告では新たに九州北部地方の福岡県、佐賀県、長崎県、大分県、熊本県及び山口県（以下県名省略）の都市におけるヒートアイランド現象を取り上げる。はじめに、長期間にわたる気象観測の結果をもとに、全国の主要都市および九州北部地方の都市における気温や猛暑日・熱帯夜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、数値モデルを使った九州北部地方におけるヒートアイランド現象のシミュレーション調査の結果を示す（3章）。また、コラムとして関東地方における近年の土地利用の変化にともなう影響についての調査結果を掲載している。

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。

（1）土地利用状態の変化

農地、緑地、水辺空間等では、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で、都市では、地表面がアスファルトやコンクリートに覆われて水分が少ないため、地表面から大気と与えられる熱が多くなり、気温が上昇する。

(2) 建物の効果

都市では、太陽からの直達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、建物が吸収する。コンクリートの建物は、暖まりにくく冷えにくいいため、最高気温が観測される時刻が遅れるとともに、夜間は、日中溜め込んだ熱を放出するため、気温の低下が抑えられる。

また、建物により地表面の摩擦が大きくなることで、地表付近の風速が弱められ、地面の熱が上空に運ばれにくくなることでヒートアイランド現象が強化される。

(3) 人工排熱

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、大都市の中心部における昼間の排熱量は1m²当たり 100W を超えると見積もられる。これは冬季の中緯度で南中時に太陽から受ける日射量の約 15～20%程度の熱に相当する。

なお、より詳細な説明については「ヒートアイランド監視報告（平成 18 年夏季－関東・近畿地方－）」の 2 章を参照されたい。

1.3 都市気候モデルによる調査について

ヒートアイランド現象に伴う気温や風の空間分布を把握するには、気象台やアメダス等による観測網では粗く、より細かい分解能で現象を捉える必要がある。このため、気象庁では、ヒートアイランド現象に関係する複雑な熱収支等の諸過程をモデル化し、物理的に整合した気温・風分布等を再現できる「都市気候モデル」を開発し、ヒートアイランド現象の監視とメカニズム解明へ向けた定量的な評価を行っている。

本報告では、この都市気候モデルを用いて、「都市がある場合」と「都市がない場合」についてそれぞれシミュレーションを行い、それらの結果を比較することで、都市がどの程度気温の上昇に寄与しているかを評価する。ここで、「都市がない場合」とは、都市気候モデルの中で土地利用が都市に分類されている領域をすべて仮想的に草地に置き換え、人工排熱量を 0 にすることを意味する。なお、「都市がある場合」の人工排熱量として、「地域メッシュ統計」（総務省）の人口、従業者数データおよび「国土数値情報」（国土交通省）の「土地利用メッシュ」に含まれる幹線交通用地データから推定した値を使用している（詳細は「ヒートアイランド監視報告（平成 20 年－東海地方）」のコラム参照）。

本報告に掲載したシミュレーションの結果は、観測結果や他のコンピューターシミュレーションによる計算結果と比較して妥当な結果が得られていると判断できる。ただし、ここで用いた都市気候モデルには雲・降水過程が含まれていないため調査を行うのは晴天日のみに限られる。また、シミュレーション結果はモデルの誤差を含んでいる点に注意する必要がある。

なお、都市気候モデルの概要については、「ヒートアイランド監視報告（平成 16 年夏季・関東地方）」の 2 章、「ヒートアイランド監視報告（平成 18 年夏季－関東・近畿地方）」の付録Ⅱ、萱場（2009）を参照されたい。

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

- 全国の主要都市における気温の上昇傾向は、都市化の影響が小さいと考えられる地点に比べて大きく、この特徴は冬季と夜間に顕著である。熱帯夜日数は増加、冬日日数は減少している。
- 福岡の気温は、日本の三大都市(東京、名古屋、大阪)と同様の上昇傾向を示しており、都市化の影響が現れていると考えられる。また、福岡の熱帯夜日数の増加率は顕著に大きい。

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、2.2 節で九州北部地方の都市における 2009 年までの気温等の長期変化について述べる。

2.1 全国の主要都市における気温等の長期変化傾向

表 2.1 に全国の主要都市として、札幌、仙台、東京、新潟、名古屋、大阪、広島、福岡、鹿児島島の 9 都市の気温の長期変化傾向を示す。統計期間は 1931 年から 2009 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国内 17 地点¹平均の値をあわせて表示している。17 地点平均の気温の上昇率は、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上昇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 地点平均の上昇率の差が、各都市におけるヒートアイランド現象による上昇分とみられる。

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 地点平均の気温の上昇率

年、1 月、8 月の平均気温、日最高気温、日最低気温の 100 年あたりの上昇率を示す。統計期間は 1931 年から 2009 年まで。斜体字は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(17 地点平均は飯田、宮崎)は、統計期間内に庁舎の移転があったため、移転に伴う影響を補正してから算出した。補正の方法は、気象観測統計指針(気象庁,2005a) (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/index.html>)の「主成分分析による方法」による。補正值はデータの見直しにより変更する場合がある。

都 市	気温変化率 (°C/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	2.6	3.8	1.0	0.8	1.6	-0.6	4.5	6.4	2.6
仙台	2.3	3.2	0.3	0.9	1.6	-0.6	3.1	4.2	0.9
東京	3.3	4.8	1.5	1.4	1.6	0.5	4.6	6.9	2.3
新潟※	2.1	2.8	1.2	1.9	3.1	0.4	2.3	2.9	1.8
名古屋	2.9	3.4	2.2	1.0	1.6	0.8	4.1	4.3	3.2
大阪※	2.9	2.7	2.4	2.3	2.0	2.2	3.9	3.4	3.6
広島※	2.1	2.2	1.4	1.0	1.1	0.8	3.2	3.2	2.4
福岡	3.2	3.3	2.3	1.6	1.9	1.1	5.2	4.9	3.7
鹿児島※	3.0	3.4	2.6	1.4	1.6	1.3	4.3	4.7	3.7
17 地点平均 ※	1.5	1.9	0.7	0.9	1.3	0.1	1.8	2.3	1.1

¹ 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、鉾子、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。年平均気温でみると、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 3.3℃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、日最低気温のいずれも 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）と日最低気温（主に早朝に記録される）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、その傾向は 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、観測結果にもこの効果が顕著に現れているものと考えられる。8 月の日最高気温については、統計的に有意な上昇傾向を示す都市は大阪と鹿児島のみである。一方、主要都市における 1 月の日最低気温の上昇率は 17 地点平均に比べて顕著に大きく、札幌、東京では 100 年あたりの上昇率が 6℃を超えている。

表 2.2 に全国の主要都市の冬日（日最低気温が 0℃未満の日）、熱帯夜（日最低気温が 25℃以上の日）、猛暑日（日最高気温が 35℃以上の日）の日数の変化率を示す。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、冬日と熱帯夜が 1931 年から 2009 年、猛暑日は 1961 年から 2009 年である。

冬日の年間日数は、全ての主要都市で顕著に減少している。熱帯夜の年間日数は、元々の年間日数が少ない札幌と仙台（いずれも平年で 1 日未満）を除き顕著な増加傾向を示している。主要都市の変化傾向は 15 地点平均と比べても顕著であり、冬日と熱帯夜の日数の変化には、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。

一方、猛暑日については元々の年間日数が少ない札幌と仙台（いずれも平年で 0.5 日未満）とともに東京でも有意な増加傾向はみられない。これは、8 月の日最高気温の上昇が統計的に有意でなかったことと関係していると考えられる。「ヒートアイランド監視報告（平成 19 年冬・夏－関東・近畿地方）」では、都市の規模にかかわらず西日本や熊谷、前橋など日最高気温が元々高い地点における猛暑日の増加が報告されており、都市化が猛暑日の増加に及ぼす影響については今後の調査課題である。

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 地点平均の冬日、熱帯夜、猛暑日の年間日数の変化率 10 年あたりの変化率を示す。統計期間は冬日と熱帯夜が 1931 年から 2009 年まで、猛暑日は 1961 年から 2009 年まで。斜体字は統計的に有意な変化傾向がないことを意味する。表 2.1 で示した新潟(冬日、熱帯夜)、大阪、広島、鹿児島は統計期間内に庁舎の移転があり、累年の統計が行えないため表示しない。

都 市	日数の変化率（日/10 年）		
	冬 日	熱 帯 夜	猛 暑 日
札 幌	-4.9	0.0	0.0
仙 台	-6.4	0.2	0.1
東 京	-8.8	3.4	0.4
新 潟	---	---	0.7
名 古 屋	-7.7	3.3	2.0
福 岡	-5.6	4.6	0.8
15 地点平均	-2.3	1.3	0.3

2.2 九州北部地方の都市における気温等の長期変化傾向

表 2.3 に九州北部地方の都市として、下関、福岡、佐賀、長崎、熊本、大分における気温の長期変化傾向を示す。統計期間は表 2.1 と同様に 1931 年から 2009 年までである。比較のため、日本の三大都市である東京、名古屋、大阪と、都市化の影響が比較的小さいと考えられる 17 地点平均（前節参照）の値をあわせて示す。

福岡の年平均気温の上昇率は 100 年あたり約 3℃で、17 地点平均に比べて大きく、三大都市と同程度である。また、日最低気温の変化率が顕著に大きく、夏季より冬季の上昇率の方が大きいことも三大都市と同様の傾向である。なかでも日最低気温の年平均値の上昇率が 100 年あたり 5℃を超えており、全国の他の主要都市と比べても大きいことが福岡の気温上昇の特徴となっている。これらのことから、福岡の気温には都市化の影響が現れていると考えられる。

一方、九州北部地方のその他の都市については、福岡ほどの顕著な上昇傾向はみられないものの、17 地点平均に比べて概ね大きな上昇率を示し、日最高気温より日最低気温、8 月より 1 月に上昇率が大きいという特徴がある。また、前節では全国のほとんどの主要都市で 8 月の日最高気温に明瞭な上昇傾向がみられなかったが、九州北部地方の都市では福岡と下関を除いて統計的に有意な上昇傾向が現れている。

表 2.3 九州北部地方の都市における気温の上昇率

表 2.1 と同じ、ただし、九州北部地方の都市として福岡、下関、佐賀、長崎、熊本、大分について示す。比較のため、東京、名古屋、大阪および都市化の影響が少ないと考えられる 17 地点平均の値をあわせて表示する。※を付した地点（17 地点平均は飯田、宮崎）は、統計期間内に庁舎の移転があったため、移転に伴う影響を補正してから算出した。

都 市	気温変化率 (°C/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
福 岡	3.2	3.3	2.3	1.6	1.9	1.1	5.2	4.9	3.7
下 関	2.8	3.2	2.0	1.9	2.4	1.0	3.4	3.8	2.7
佐 賀 ※	2.3	2.4	1.8	1.8	1.7	1.9	2.6	2.7	2.0
長 崎 ※	2.1	2.8	1.6	1.6	1.8	1.4	2.8	3.7	1.8
熊 本	2.6	2.5	2.2	1.2	1.1	1.2	3.7	3.5	2.9
大 分	2.7	2.6	2.3	2.1	1.8	2.2	3.3	3.3	2.6
東 京	3.3	4.8	1.5	1.4	1.6	0.5	4.6	6.9	2.3
名 古 屋	2.9	3.4	2.2	1.0	1.6	0.8	4.1	4.3	3.2
大 阪 ※	2.9	2.7	2.4	2.3	2.0	2.2	3.9	3.4	3.6
17 地点平均 ※	1.5	1.9	0.7	0.9	1.3	0.1	1.8	2.3	1.1

表 2.4 には九州北部地方の都市の冬日（日最低気温が 0℃未満の日）、熱帯夜（日最低気温が 25℃以上の日）、猛暑日（日最高気温が 35℃以上の日）の日数の変化率を示す。比較のため、東京、名古屋と都市化の影響が少ないと考えられる国内 15 地点平均(前節参照)の値をあわせて表示している。統計期間は、冬日と熱帯夜が 1931 年から 2009 年、猛暑日は 1961 年から 2009 年である。

いずれの都市も冬日日数が減少傾向、熱帯夜日数が増加傾向となっている。特に、福岡と下関の熱帯夜日数の増加率は 10 年あたり 4 日を超えており、全国の他の主要都市と比べても顕著に大きい(表 2.2 参照)。また、熊本は猛暑日日数の増加率が大きい。

表 2.4 九州北部地方の都市における冬日、熱帯夜、猛暑日の年間日数の変化率

表 2.2 と同じ、ただし、九州北部地方の都市として福岡、下関、長崎、熊本、大分について示す。比較のため、東京、名古屋および都市化の影響が少ないと考えられる 15 地点平均の値をあわせて表示する。表 2.3 で示した大阪、佐賀、長崎(冬日、熱帯夜)は統計期間内に庁舎の移転があり、累年の統計が行えないため表示しない。

都 市	日数の変化率 (日/10 年)		
	冬 日	熱 帯 夜	猛 暑 日
福 岡	-5.6	4.6	0.8
下 関	-1.3	4.4	0.1
長 崎	—	—	0.0
熊 本	-4.8	3.6	2.8
大 分	-4.5	2.0	0.8
東 京	-8.8	3.4	0.4
名 古 屋	-7.7	3.3	2.0
15 地点平均	-2.3	1.3	0.3

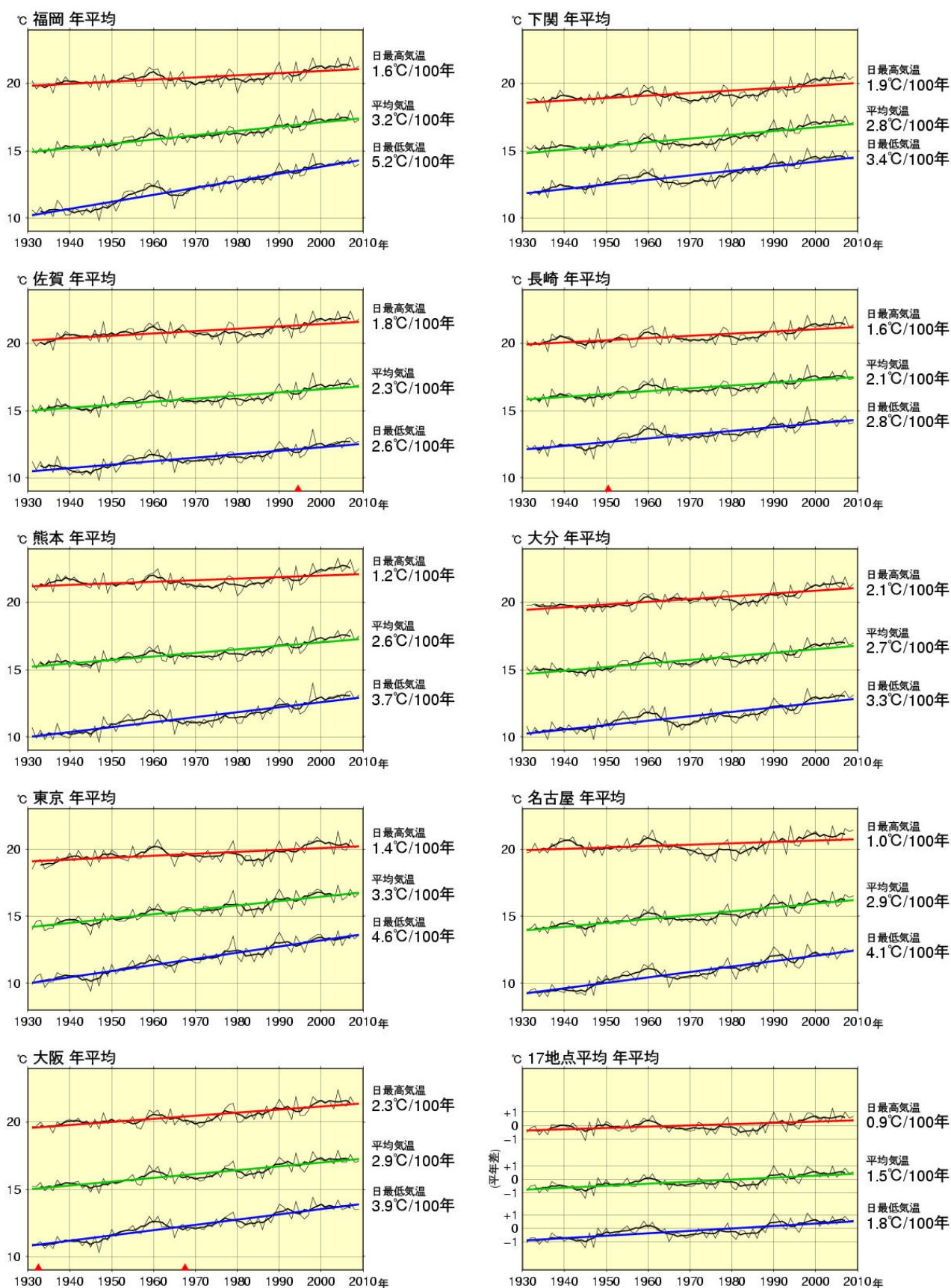


図 2.1 九州北部地方の都市、東京、名古屋、大阪および都市化の影響が小さいと考えられる 17 地点平均の年平均気温の長期変化。折れ線と色をつけた直線はそれぞれ 5 年移動平均と長期変化傾向を示している。佐賀、長崎、大阪の庁舎移転の時期を赤三角であわせて表示している。統計期間は 1931 年から 2009 年まで。

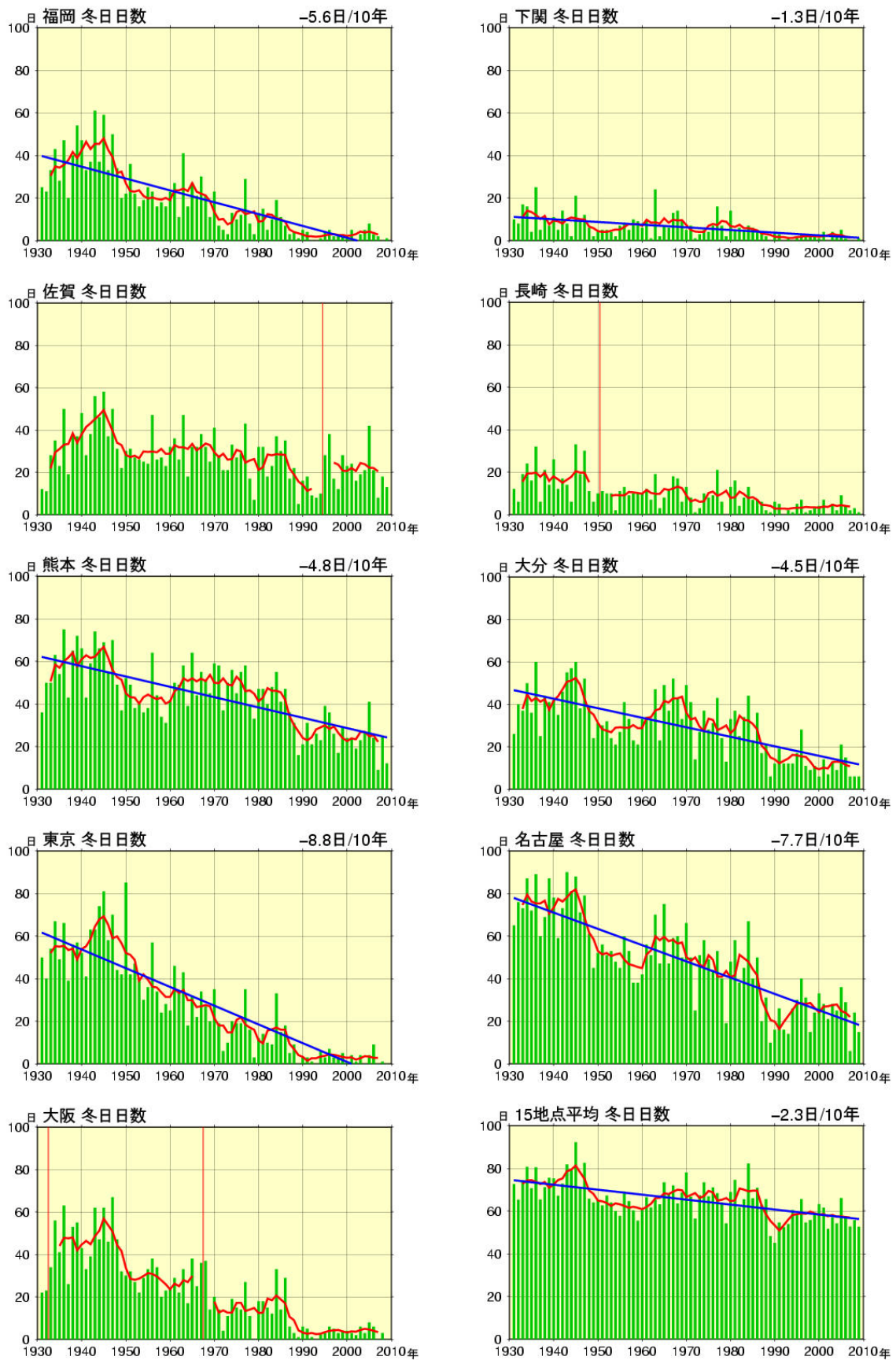


図 2.2 九州北部地方の都市、東京、名古屋、大阪および都市化の影響が小さいと考えられる 15 地点平均の冬日日数の長期変化。赤い折れ線は 5 年移動平均を示している。統計期間内に庁舎の移転がなく、有意な長期変化(トレンド)がある場合は、青い直線で示す。佐賀、長崎、大阪の縦赤線は庁舎移転時期を示す。統計期間は 1931 年から 2009 年まで。

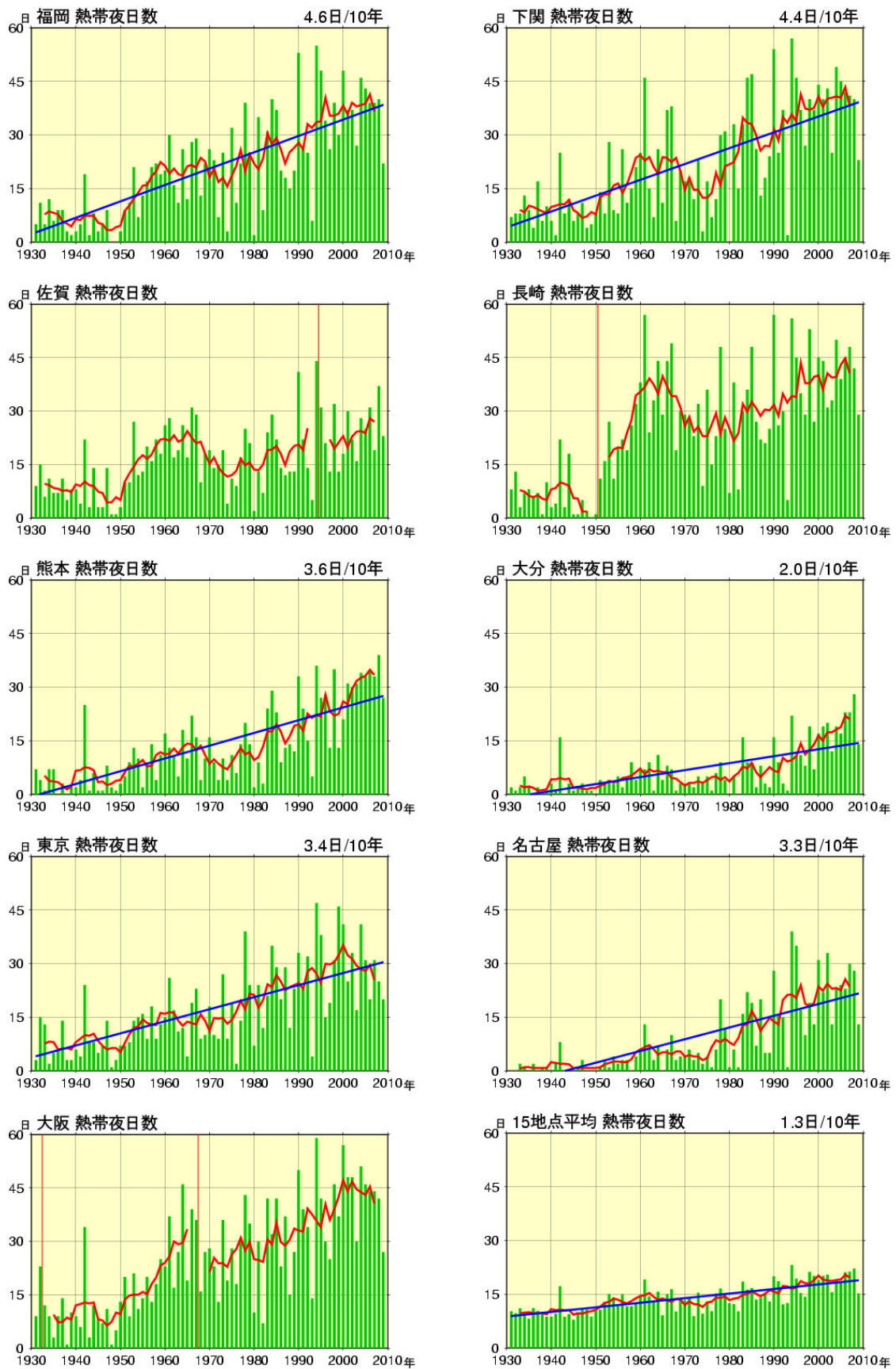


図 2.3 図 2.2 と同じ、ただし熱帯夜日数について。

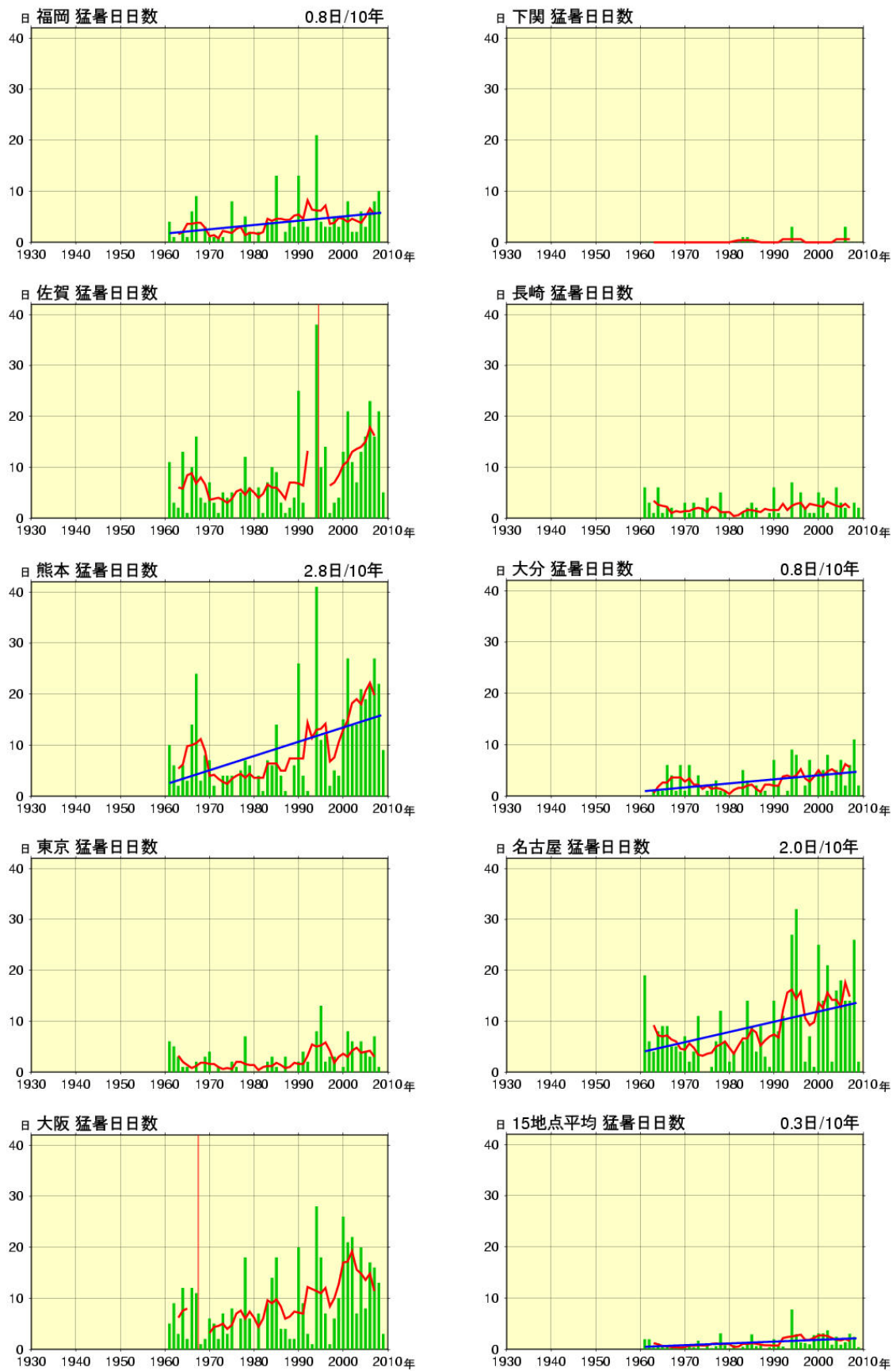


図 2.4 図 2.2 と同じ、ただし猛暑日日数について。統計期間は 1961 年から 2009 年まで。

3. 九州北部地方のヒートアイランド現象

- 九州北部地方の各都市において、都市化の影響による気温上昇が示された。ただし、これまでに調査した日本の三大都市圏（関東、近畿、東海地方）に比べて昇温の程度とヒートアイランドの広がりはいずれも小さい。
- 夏季においては、ヒートアイランドが顕著に現れる「晴れて風が弱い日」に、福岡市付近で2～3℃程度の都市化による昇温が見られた。

この章では、都市気候モデルによるシミュレーション結果をもとに九州北部地方のヒートアイランド現象について述べる。3.2 節で九州北部地方の各都市における解析結果を、3.3 節では福岡平野におけるヒートアイランドの要因分析や鉛直構造などの詳細な調査結果を示す。

3.1 九州北部地方の都市、地勢、夏季の気温の特徴

九州北部地方の主な都市としては、政令指定都市の福岡県福岡市、北九州市、中核市の山口県下関市、福岡県久留米市、長崎県長崎市、熊本県熊本市、大分県大分市、特例市の長崎県佐世保市のほか、人口20万人を超える佐賀県佐賀市がある（平成22年3月31日現在）。

福岡市は九州最大の都市であり、春日市、大野城市、太宰府市とともに福岡平野にある。博多湾に面していることから海陸風の影響を受け、夏季日中には海風により極端な高温となる日は少ないが、南寄りの風が筑紫山地や九州山地を越えることによるフェーン現象により顕著な高温となる場合がある。

佐賀市と久留米市は九州最大の筑紫平野に、熊本市は熊本平野にあり、内陸性であることから夏季に高温となることに加えて、九州山地のフェーン現象により顕著な高温となる。筑豊盆地と並んで、九州北部地方では夏季に高温が顕著な地域である。

下関市、北九州市、佐世保市、長崎市、大分市は臨海都市であるため、夏季日中は海風により顕著な高温となる日は他の都市に比べて少ない。

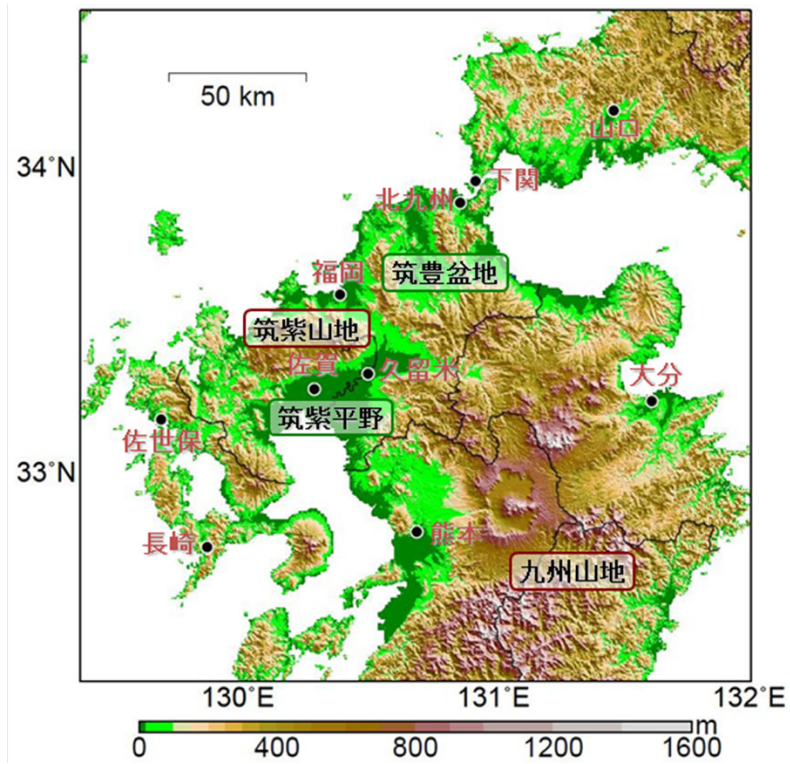


図 3.1(a) 九州北部地方の地勢図

国土数値情報標高・傾斜角メッシュ(昭和 56 年)(国土交通省国土計画局)を用いて作成。

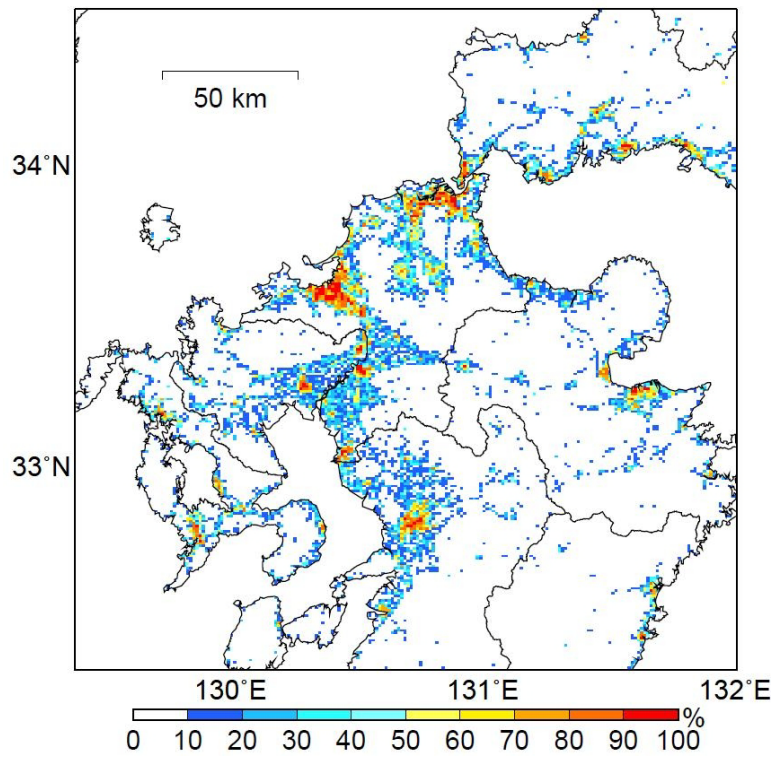


図 3.1(b) 九州北部地方における建物用地及び幹線交通用地面積が占める割合(%)

国土数値情報土地利用メッシュ(平成 18 年)(国土交通省国土計画局)を用いて作成。

3. 2 各都市における都市化の影響

一般に、晴天日においては日射量が多く建築物等が吸収・放出する熱の量が増加すること、また、風が弱い日は、地面付近の熱が風の強い日に比べて留まりやすいことから、晴れて弱風となった日(太平洋高気圧や移動性高気圧に覆われた時に発現することが多い。以下「晴天弱風日」という)に顕著なヒートアイランド現象が発生するとされている。本節ではこの晴天弱風日を対象とした都市気候モデルによるシミュレーションにより、九州北部地方における都市の影響を調査した。夏季における晴天弱風日の事例として、高圧部に覆われた2008年7月25日と2007~2009年の3年間の晴天弱風日49事例、冬季における晴天弱風日の事例として、移動性高気圧に覆われた2010年2月24日を取り上げる。

3. 2. 1 夏季における晴天弱風日(2008年7月25日の事例と2007~2009年の49事例)

夏季の晴天弱風日として、西日本を中心に高温となった2008年7月25日の事例について調査した。09時の地上天気図を図3.2に示す。九州北部地方は、沖縄の南の熱帯低気圧と朝鮮半島から北陸地方にのびる前線の間の高圧部で晴天となり風も弱かった。

日中は強い日射により気温が上昇し、最高気温は福岡で36.5℃、佐賀で35.6℃、熊本で35.2℃となり、内陸を中心に猛暑日となった地点が多かった。

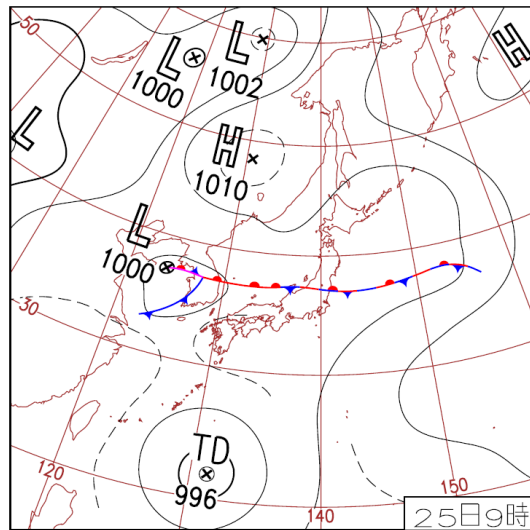


図 3.2 2008年7月25日09時の地上天気図

ア) 当日の気温と風の状況

図3.3は都市気候モデルのシミュレーション結果による地上の気温と風の分布である。05時には、平野部と内陸部で25℃を超えており、福岡の都心部では27℃以上の領域が見られる。日中になると気温が上昇し、沿岸部では海風が明瞭となり、15時には福岡平野、筑豊盆地、筑紫平野の内陸部、熊本付近に35℃以上の領域が見られる。また、福岡平野等で見られるように、沿岸部では冷涼な海風が入ることにより昇温が抑えられる様子が表現されている。20時には、福岡平野、筑紫平野、熊本付近で31℃以上の高温域が依然としてみられる。

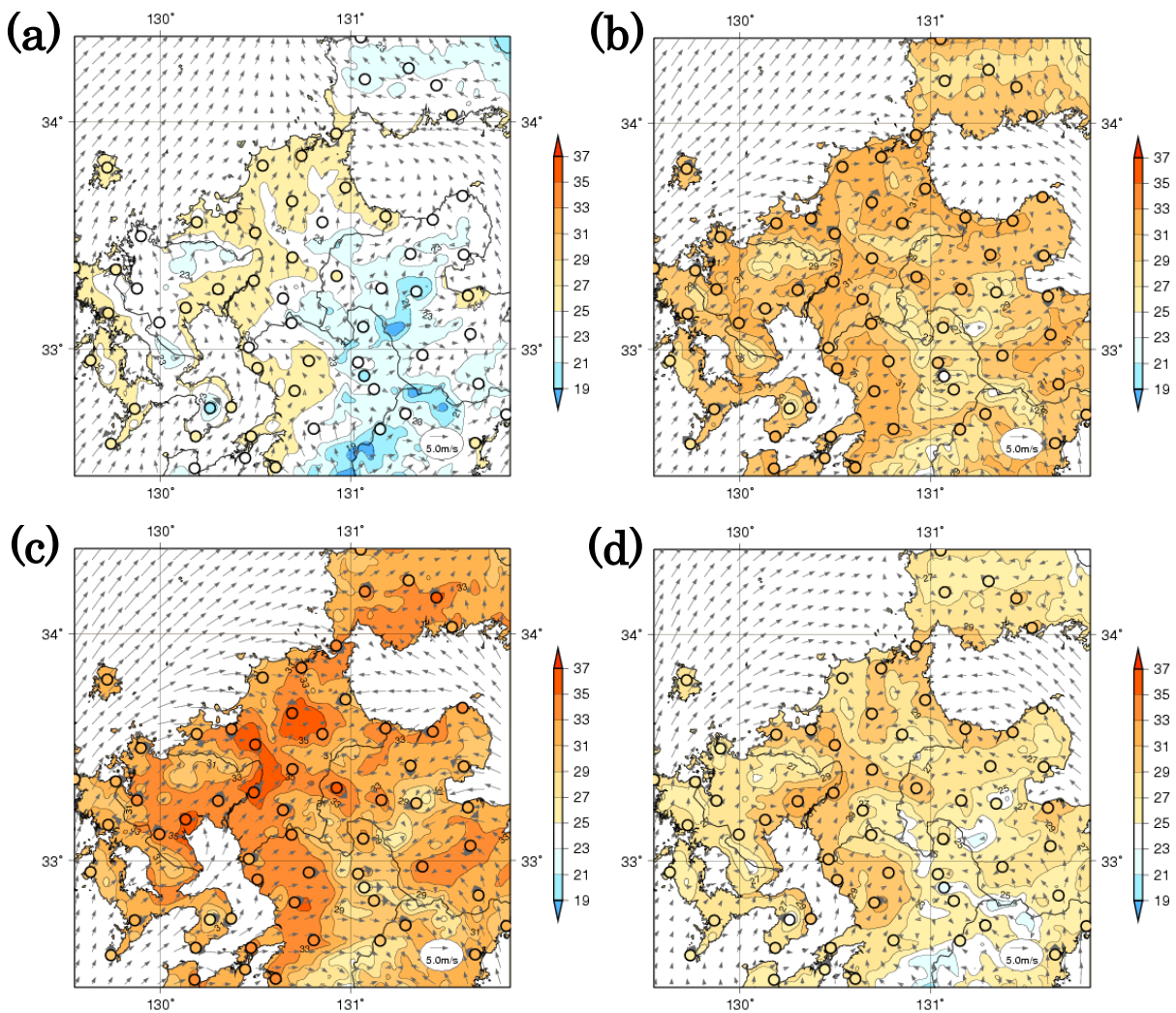


図 3.3 九州北部地方における 2008 年 7 月 25 日の (a)05 時、(b)10 時、(c)15 時、(d)20 時の気温(°C、等値線)と風(矢印)の分布。図中の○はアメダス観測点を表す。

イ) 都市による影響

図 3.4 に「都市がある場合」と「都市がない場合(モデルの中で都市として分類されている区域を、仮想的に全て草地に置き換え、人工排熱量を 0 としたもの)」のそれぞれについて都市気候モデルで気温と風向・風速をシミュレーションし、両者の差を「都市による影響」として示した。

05 時の時点では都市による昇温の範囲は福岡の都心部にとどまっているが、15 時には平野部と内陸の盆地等を中心に広範囲にわたり、福岡と北九州で最大 2~2.5°C、熊本、久留米、大分などでも 1.5~2.0°C の昇温が見られる。20 時にも福岡、北九州、熊本、大分などで都市の影響が明瞭に見られ、福岡における昇温は最大 2.5~3.0°C となるなど 15 時に比べて昇温の程度が大きい都市もある。

以上から、これまでに調査した日本の三大都市圏に比べて都市の影響による昇温の程度とヒートアイランドの広がり具合は小さいものの、九州北部地方の各都市においても、都市による気温上昇が示された。

なお、これまでの「ヒートアイランド監視報告」で解析を行ってきた三大都市圏(関東、近畿、東海地方)では、20 時頃から都市の影響が都心部に集中する“夜間”のヒートアイランドの特徴がみられたが、九州北部地方は 20 時においても 15 時の分布が持続している。これは、九州北部地方が

三大都市圏より西に位置し日没が遅いため、20 時においても日中のヒートアイランドの影響がまだ残っているためであると考えられる。

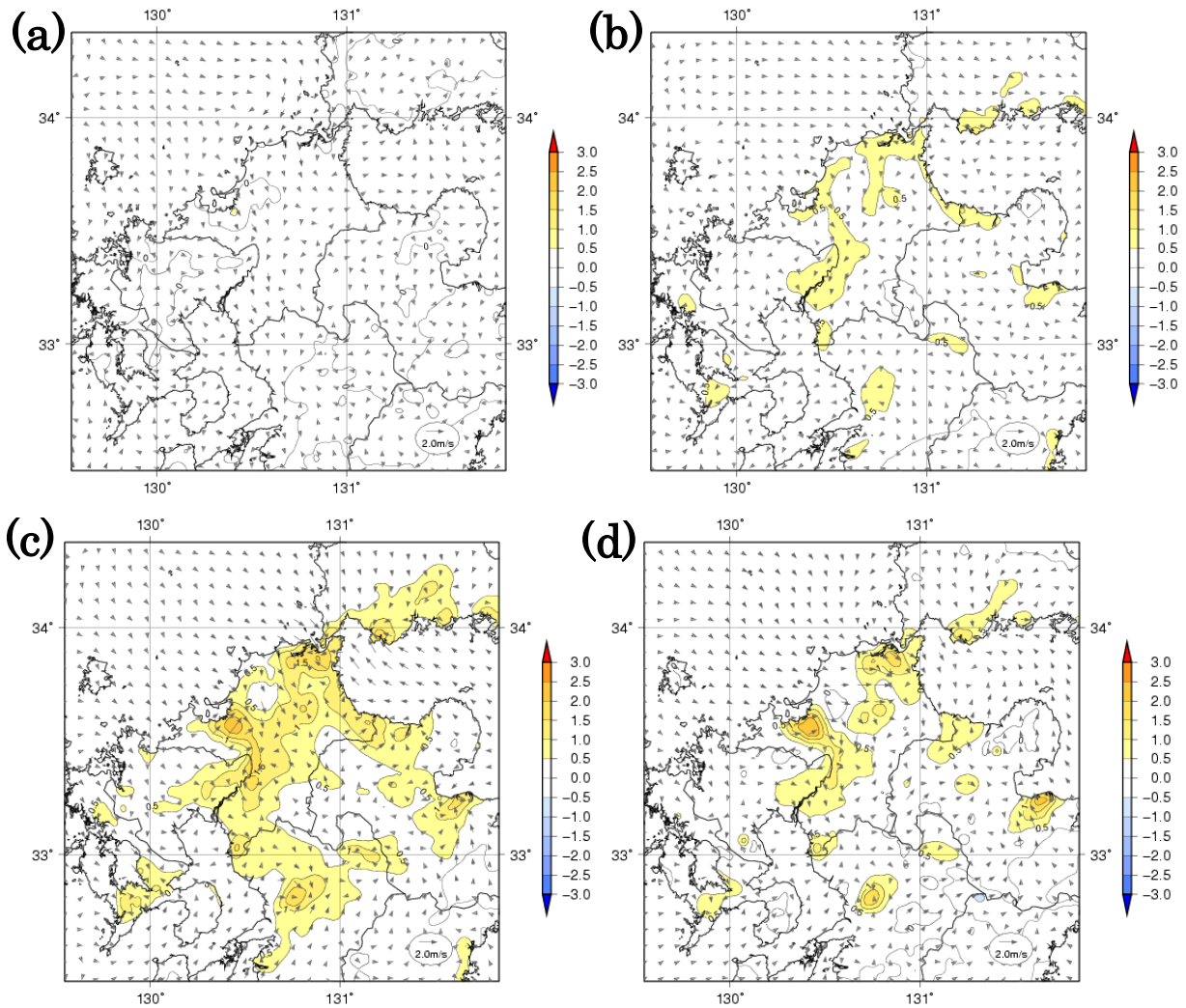


図 3.4 シミュレーションによる九州北部地方の 2008 年 7 月 25 日における(a)05 時、(b)10 時、(c)15 時、(d)20 時の「都市がある場合」と「都市がない場合」の気温(°C、等値線)と風(矢印)の差。正の値は「都市がある場合」の気温が高いことを示す。

ウ) 晴天弱風日 49 事例の解析結果

夏季の晴天弱風日における一般的な都市の影響を見るため、2007年～2009年の3年間における7月と8月のうち、表3.1の2つの条件を満たす日を晴天弱風日として抽出し、全ての事例について都市気候モデルによるシミュレーションを行い、これらを平均する解析を行った（以下「合成解析」という）。

表 3.1 夏季における晴天日、弱風日の抽出条件

晴天日	都市気候モデルの解析領域(248km×248km)に含まれるアメダス観測点のうち、70%以上の地点で日降水量1mm未満、かつ50%以上の地点で日照時間が7時間以上の日
弱風日	09時の気圧場から求めた一般風(地衝風)の風速が6m/s未満

図3.5に抽出条件を満たした49事例の合成解析の結果を示す。気温については、05時には25℃以上の領域が福岡、北九州などでみられる。15時には33～35℃の高温域が筑紫平野と熊本平野を中心に見られ、沿岸部では海風によりやや気温が低いところもある。また、福岡平野のほぼ全域は31℃以上となっている。20時には、平野部を中心に27℃以上であり、福岡、熊本、久留米では29℃以上の高温域が見られる。

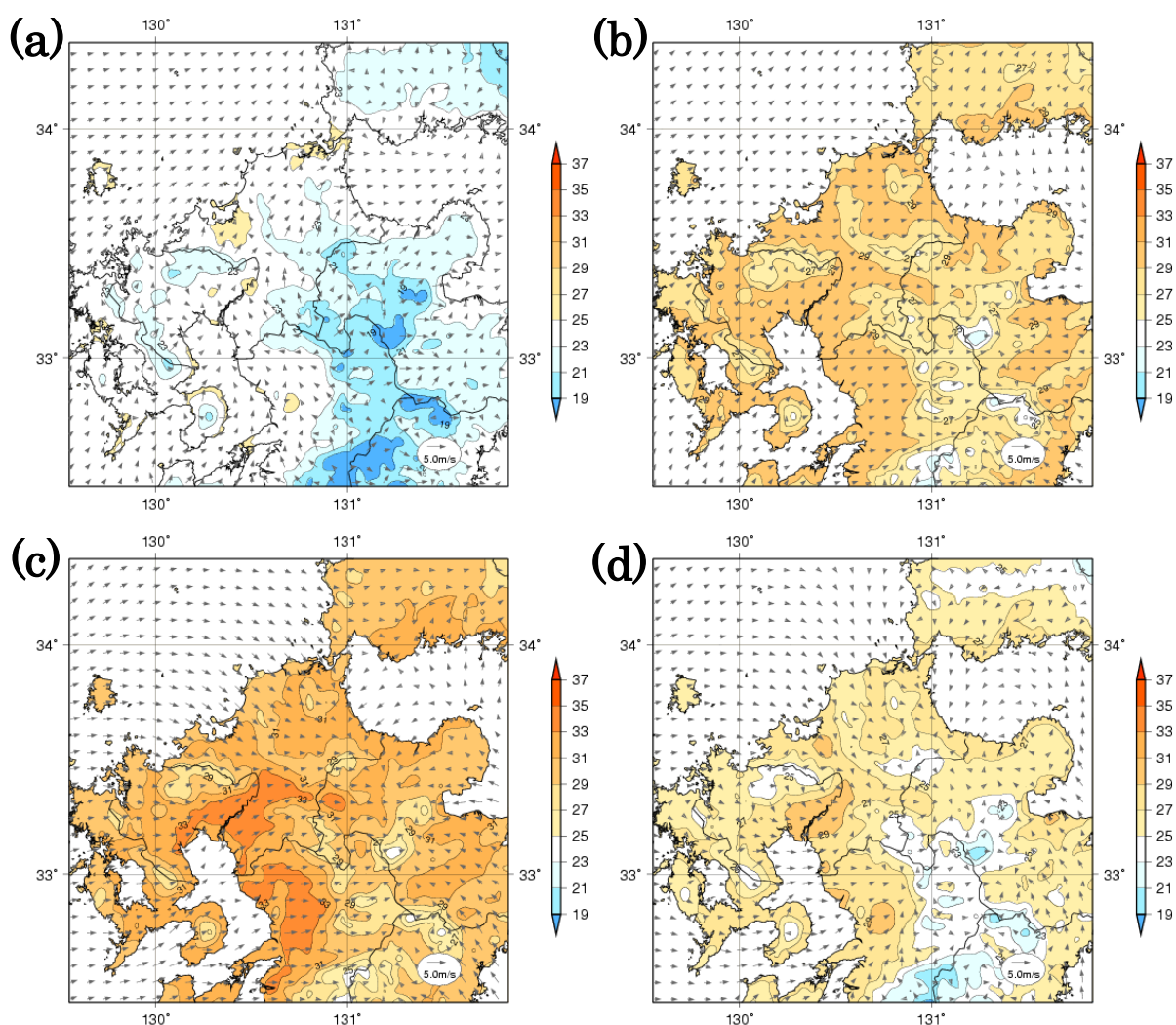


図 3.5 九州北部地方の夏季(7,8月)の晴天弱風日 49 事例について(a)05時、(b)10時、(c)15時、(d)20時の気温(℃,等値線)と風(矢印)の分布の合成解析結果

図 3.6 に、気温と風向・風速について都市がある場合とない場合の差を示す。2008 年 7 月 25 日の事例調査でみられたように、都市部を中心に日中から日没後にかけて都市の影響が顕著で、昇温も同程度である。したがって、2008 年 7 月 25 日の事例調査でみられた特徴は、夏季の晴天弱風日における一般的な傾向であると考えられる。

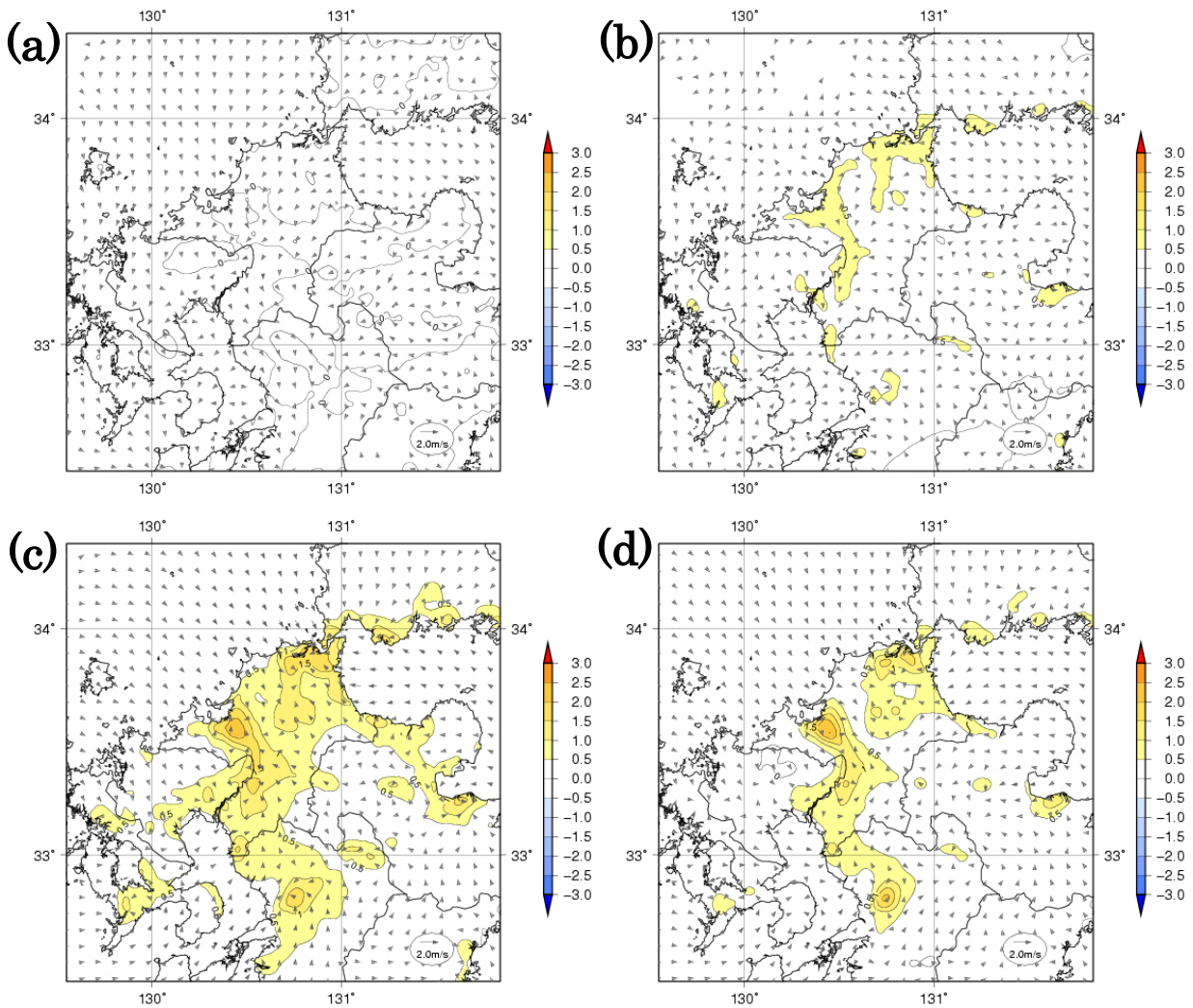


図 3.6 九州北部地方の夏季(7,8 月)の晴天弱風日 49 事例について(a)05 時、(b)10 時、(c)15 時、(d)20 時の「都市がある場合」と「都市がない場合」の気温(°C,等値線)と風(矢印)の差の合成解析結果。正の値は「都市がある場合」の気温が高いことを示す。

3. 2. 2 冬季における晴天弱風日(2010年2月24日の事例)

冬季の九州北部地方は、冬型の気圧配置になると北西の季節風により曇天となり降雪を伴うこともあるが、移動性高気圧に覆われて穏やかに晴れる日もある。2010年2月24日の日本付近は広く高気圧に覆われて気温が平年より高くなり、特に南からの暖かい空気が入った西日本を中心に2月の最高気温の記録を更新した地点が多かった。09時の地上天気図を図3.7に示す。この日の最高気温は福岡で22.9℃、熊本で23.4℃、福岡県太宰府と久留米、長崎県長崎と佐世保などでは2月の観測史上最高を記録するなど、多くの地点で最高気温が平年より10℃以上高かった。

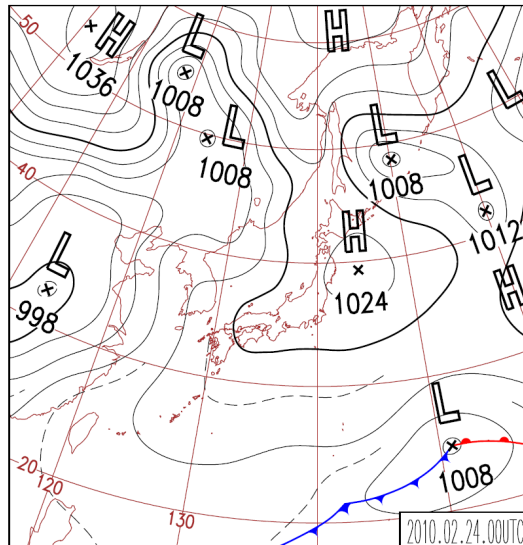


図 3.7 2010年2月24日09時の地上天気図

ア) 当日の気温と風の状況

図3.8は都市気候モデルでシミュレーションされた2010年2月24日の地上の気温と風の分布である。05時には、平野部を中心に7℃以上の領域が見られ、福岡と熊本では9℃を上回っている。また、沿岸部では、玄界灘等の暖かい海面水温の影響により概して気温が高い。その後、日中にかけて気温が上昇し、15時には西部の平野部と内陸部を中心に21℃を上回り、熊本付近では23℃以上となっている。20時でも、平野部を中心に高温の状態が続き、福岡と熊本、佐賀の都心部では17℃以上となっている。

風については、南からの風が終日吹いていたが、日中は、一部で海風が入っているところもあり、福岡付近では15時に玄界灘からの北よりの風(海風)が吹き込んでいる。20時になると玄界灘付近でみられた海風はみられない。

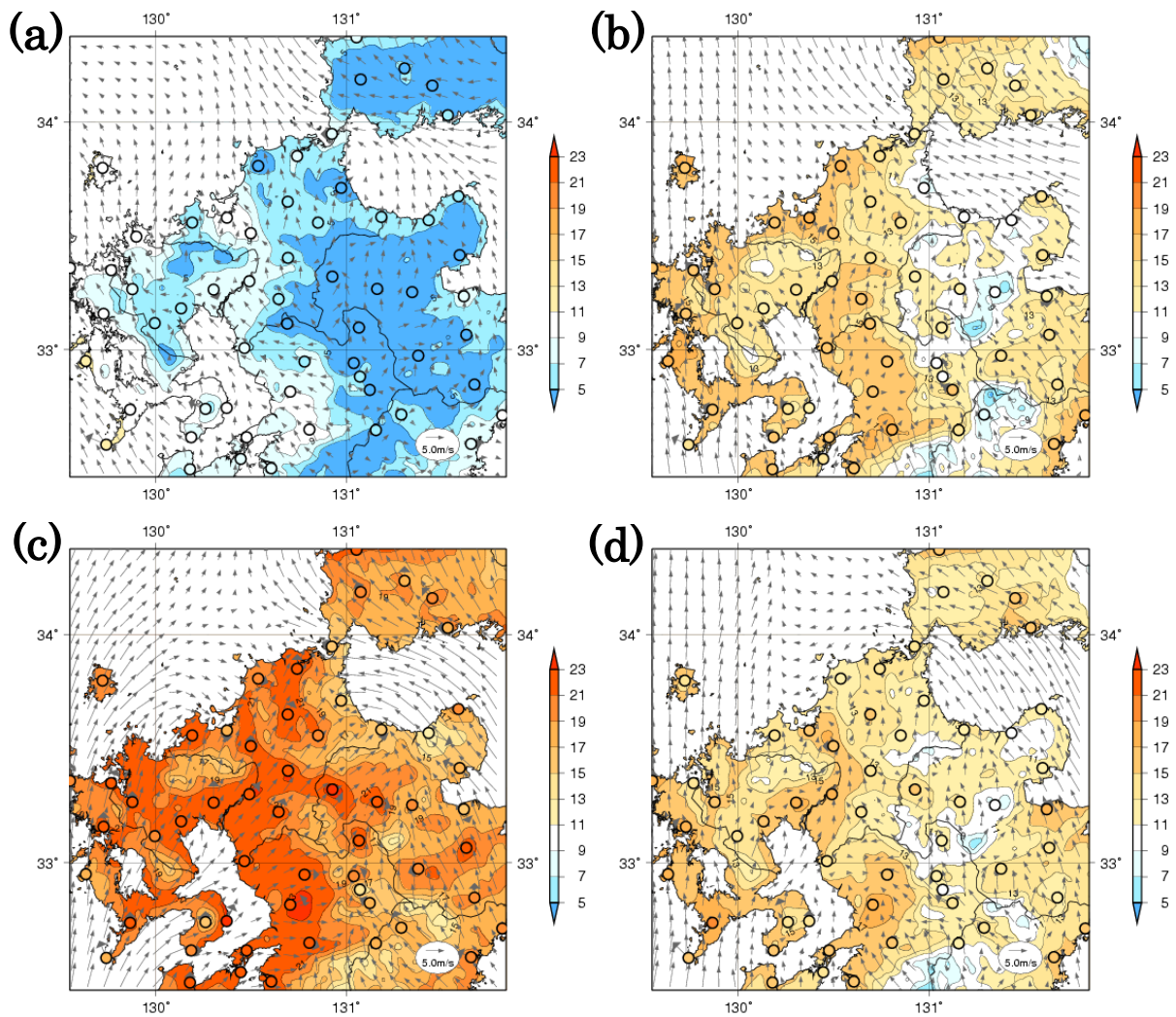


図 3.8 九州北部地方における 2010 年 2 月 24 日の(a)05 時、(b)10 時、(c)15 時、(d)20 時の気温(°C,等値線)と風(矢印)の分布。図中の○はアメダス観測点を表す。

イ) 都市による影響

図 3.9 は気温と風向・風速について都市がある場合とない場合の差を都市気候モデルによってシミュレーションした結果である。15 時には都市による昇温が平野部を中心に広がっており、福岡、北九州、久留米、熊本などで 1~1.5°C 昇温している。20 時には福岡や熊本などで都市部を中心とする同心円状のヒートアイランド構造が明瞭となる。以上から、冬季においても晴れて風が弱い日には、各都市で都市の影響により気温が上昇することが確認された。

なお、10 時に見られる都市部での気温低下については、草地等に比べて都市部は熱容量が大きいコンクリートに覆われることで、日射等により暖まるのに時間を要する（暖まりにくい）ためと考えられる。

また、2 章で示した統計調査においては、日最高気温よりも日最低気温の上昇が顕著となっており、都市化に伴う気温への影響は一般に日中より夜間の方が大きいということを反映していると考えられる。一方、シミュレーションでは前項で示した夏季の事例（図 3.4、図 3.6 参照）や本項で示した冬季の事例でも夜間から早朝にかけての都市による昇温の影響が十分に表現されていない。この原因としては、現在の都市気候モデルは、日中の日射による昇温についての再現精度は良いものの、夜間

の昇温要因となる人工排熱や建築物の蓄熱などの再現精度や、接地逆転層のシミュレーション精度が十分でないことが考えられることから、今後さらなる改善が必要である。

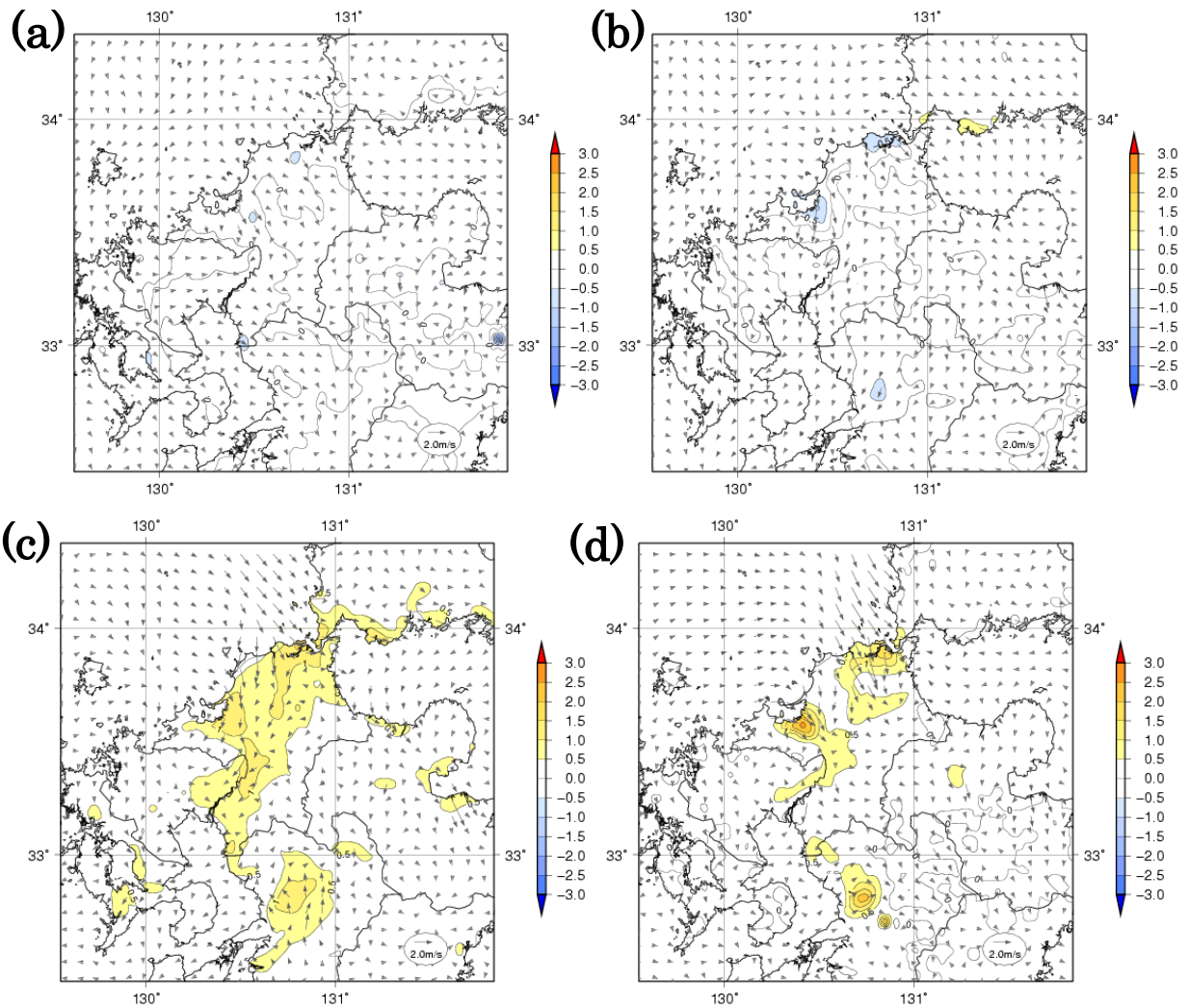


図 3.9 九州北部地方における 2010 年 2 月 24 日の (a)05 時、(b)10 時、(c)15 時、(d)20 時の「都市がある場合」と「都市がない場合」の気温(°C,等値線)と風(矢印)の差。正の値は「都市がある場合」の気温が高いことを示す。

3.3 福岡平野のヒートアイランド現象

この節では、福岡平野を対象に、風系によるヒートアイランド構造の変化、都市における高温の要因分析、福岡の顕著な高温事例における都市の影響について述べる。

ア) 風系によるヒートアイランド構造の変化

ヒートアイランドの構造は、その日の風速や風向の分布（風系）により変化する。特に、日中の海域と陸域の温度差によって生じる海風は、冷涼な空気をもたらし、ヒートアイランド現象の発達に影響を及ぼすと考えられる。ここでは、福岡平野において風系がヒートアイランド構造に及ぼす影響を海風が入りやすい日中の15時と日没後の20時について調べた。

図3.10は、3.2節で取り上げた晴天弱風事例の2008年7月25日、図3.11は、終日晴天で終日南寄りの風が観測された2009年8月27日の都市気候モデルでシミュレーションした地上の気温と風の分布である。風が弱かった2008年7月25日の15時には沿岸部に博多湾から海風が侵入しており、この沿岸部を除いて35℃以上の高温域が福岡の都心部から筑紫平野の内陸部にかけて広がっている。

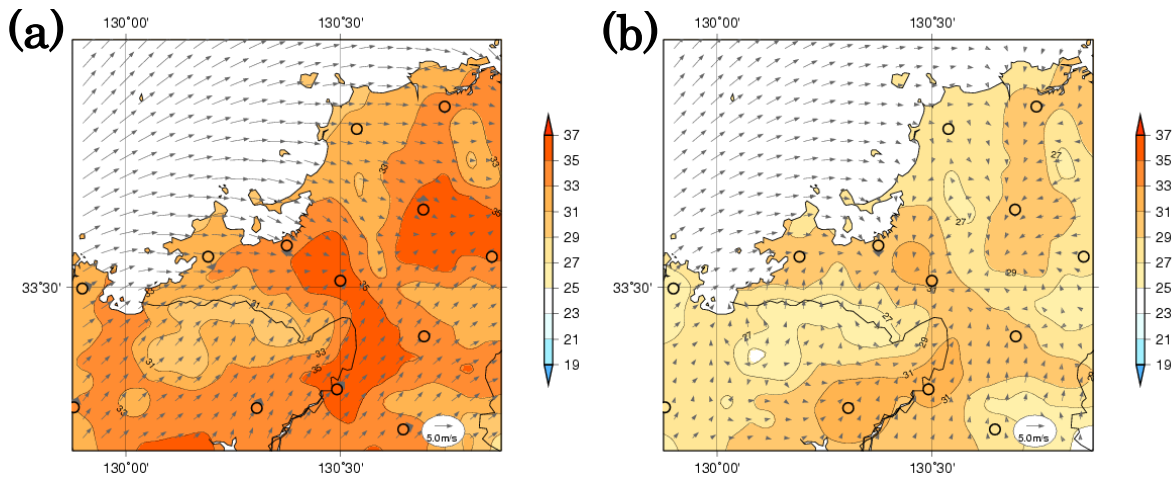


図 3.10 福岡周辺における 2008 年 7 月 25 日の (a)15 時、(b)20 時の気温(℃、等値線)と風(矢印)の分布

図中の○はアメダス観測点を表す。

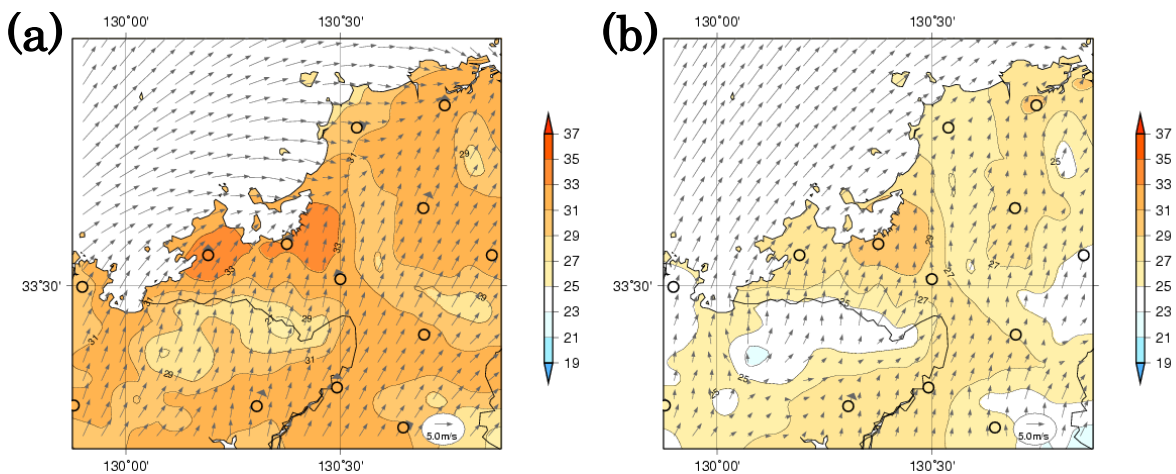


図 3.11 図 3.10 と同じ、ただし 2009 年 8 月 27 日について。

20時には風が弱まり、都心部を中心とした31°C以上の円状の高温域が見られる。南寄りの風が吹いた2009年8月27日には、15時でも海風は見られず、15時、20時とも沿岸部に開いた半円状の高温域が見られる。

図3.12と図3.13に、それぞれ2008年7月25日と2009年8月27日の「都市がある場合」と「都市がない場合」の気温と風の差（都市の影響）を示す。3.2節でも触れたが、両事例とも15時より20時に都市による気温上昇が大きい。また、弱風日には海風により沿岸部の昇温が抑制され、高温域の中心は内陸寄りに見られる一方、南寄りの風が吹く日には海風が侵入しないことで沿岸部でも昇温し、高温域が沿岸部寄りに位置し、人工被覆に即した気温分布となる（人工被覆の分布は図3.1(b)参照）。

これら、昼夜におけるヒートアイランド強度の違い、風系によるヒートアイランド構造の違いについては、久田ほか（2005）や久田ほか（2006）の福岡都市圏における定点観測による調査結果と整合的である。臨海都市におけるヒートアイランドの構造や都市化の影響を把握するにあたっては、海風の影響も重要な要素の一つであると考えられる。

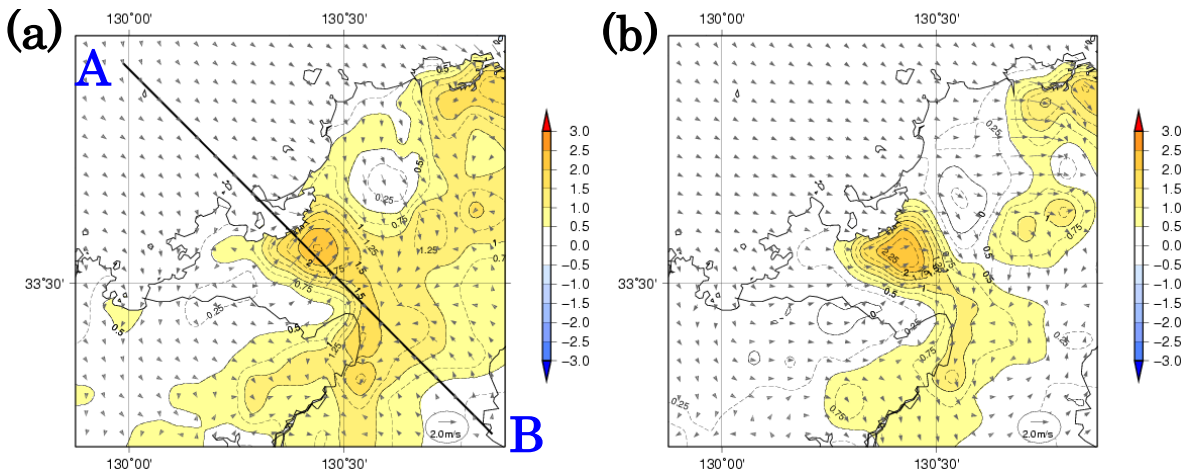


図 3.12 シミュレーションによる福岡周辺の2008年7月25日における(a)15時、(b)20時の「都市がある場合」と「都市がない場合」の気温(°C、等値線)と風(矢印)の差。正の値は「都市がある場合」の気温が高いことを示す。線 AB は断面図(図3.14)の断面線である。

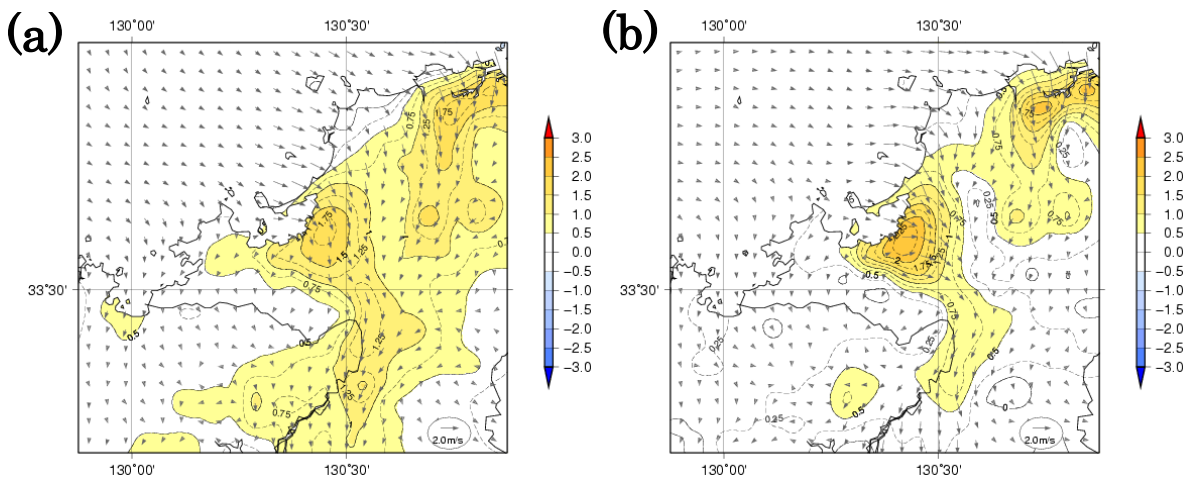


図 3.13 図 3.12と同じ、ただし2009年8月27日について。

イ) 上空の大気への都市の影響

図 3.14 に、福岡の都心部を通る北西から南東（図 3.12 参照）の鉛直断面における 2008 年 7 月 25 日の都市化にともなう気温と風の変化を示す。ここで、赤または青に着色した部分は都市による気温の変化、矢印は都市による風の変化を示している。都市による加熱の影響は、日中の 15 時に広範囲で見られ、都市部では高度約 1000m 付近まで及んでいることが示されている。さらに、都市部では地表面付近の風が収束していることや、上昇気流が強まる傾向も見られる。これらは、関東・近畿・東海地方の結果（「ヒートアイランド監視報告（平成 18 年夏季－関東・近畿地方）」6 章、ヒートアイランド監視報告（平成 20 年－東海地方）」2 章）と同様であるが、その規模は小さい。

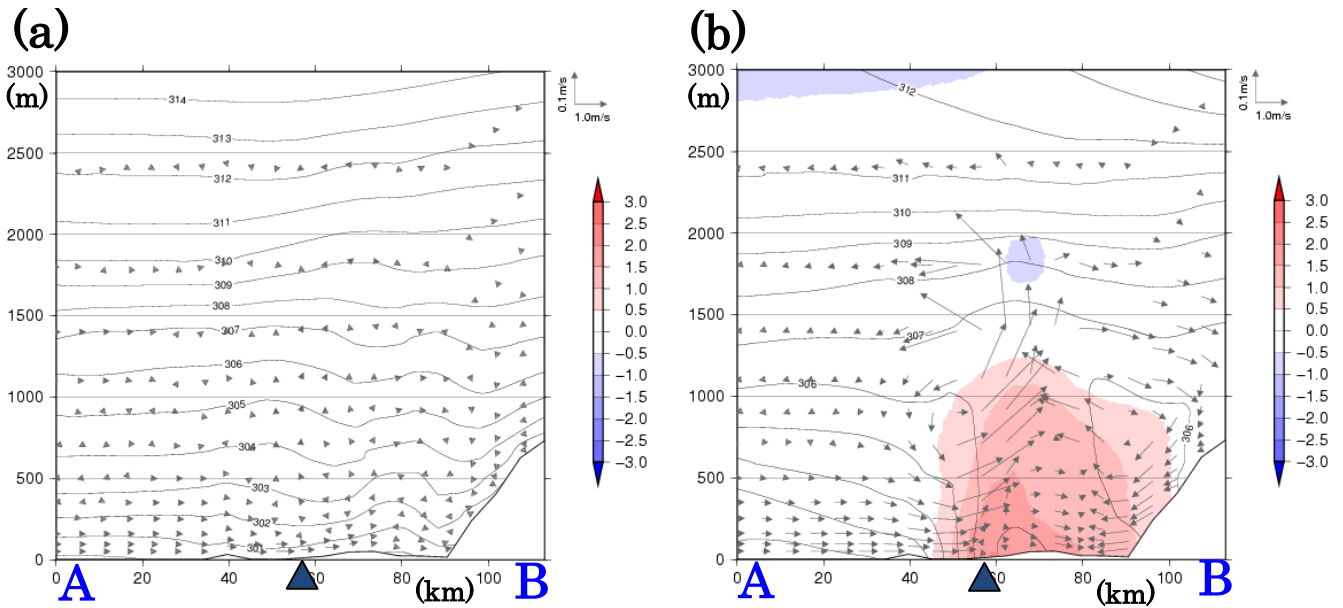


図 3.14 2008 年 7 月 25 日 (a)05 時、(b)15 時における福岡周辺の鉛直断面図

等値線は温位*(K)、陰影、矢印はそれぞれ「都市あり」と「都市なし」の温位と風の差。記号▲は福岡管区気象台の位置を示す。断面線は図 3.12 参照(A,B は断面の端を示す)。

※温位: 地上付近は上空に比べて気圧が高いため、周りの空気と熱をやり取りすることなく上空の空気を地上付近に持つと温度は上昇する。「温位」とは、このように上空の空気を地上(1000hPa)に引き下ろした時の温度である。通常は大気上空ほど大きい値となるが、日中に地表面が温められ上空との間で空気が掻き混ぜられやすい状況になると、大気上層と下層の温位差は小さくなる。図 3.14(b)では、都心部で地上から高度 1000m 付近にかけて上下の温位差が小さいという構造が現れているが、この構造の形成に都市化の影響が及んでいると考えられる。

ウ) 各要因の寄与

九州北部地方で都市による影響が最も大きく解析された福岡付近について、都市による昇温の要因を、人工排熱、土地利用（緑地から人工被覆面への変化など）、建築物（建築物の存在による上空の見通しや風通しの阻害など）の3つに分け、各要因の寄与を調べた（調査方法の詳細については、「ヒートアイランド監視報告（平成17年夏季・関東地方）」4章を参照されたい）。図3.15は2008年7月25日の15時および20時の結果である。日中の15時については、土地利用の寄与、次いで建築物による寄与が大きかった。これは、日中の都市においては、緑地の減少や人工被覆面の増加により、蒸発散作用による冷却効果が弱まること为主要な原因と考えられる。一方、日没後の20時は建築物による寄与が最も大きかった。夜間には、日中に建築物に蓄えられた熱が放出されることや、建築物による天空率の減少により放射冷却が妨げられることが原因と考えられる。人工排熱の影響は他の二つの要素に比べると相対的に小さいため明瞭ではないが、日中に比べて夜間における昇温の寄与が大きかった。なお、本シミュレーションで用いた4km格子のモデルでは人工排熱は平均化され、その影響は相対的に小さく見積られるものの、都市域内の局所的な高温を論じる際には人工排熱は無視できない要因の一つと考えられる。

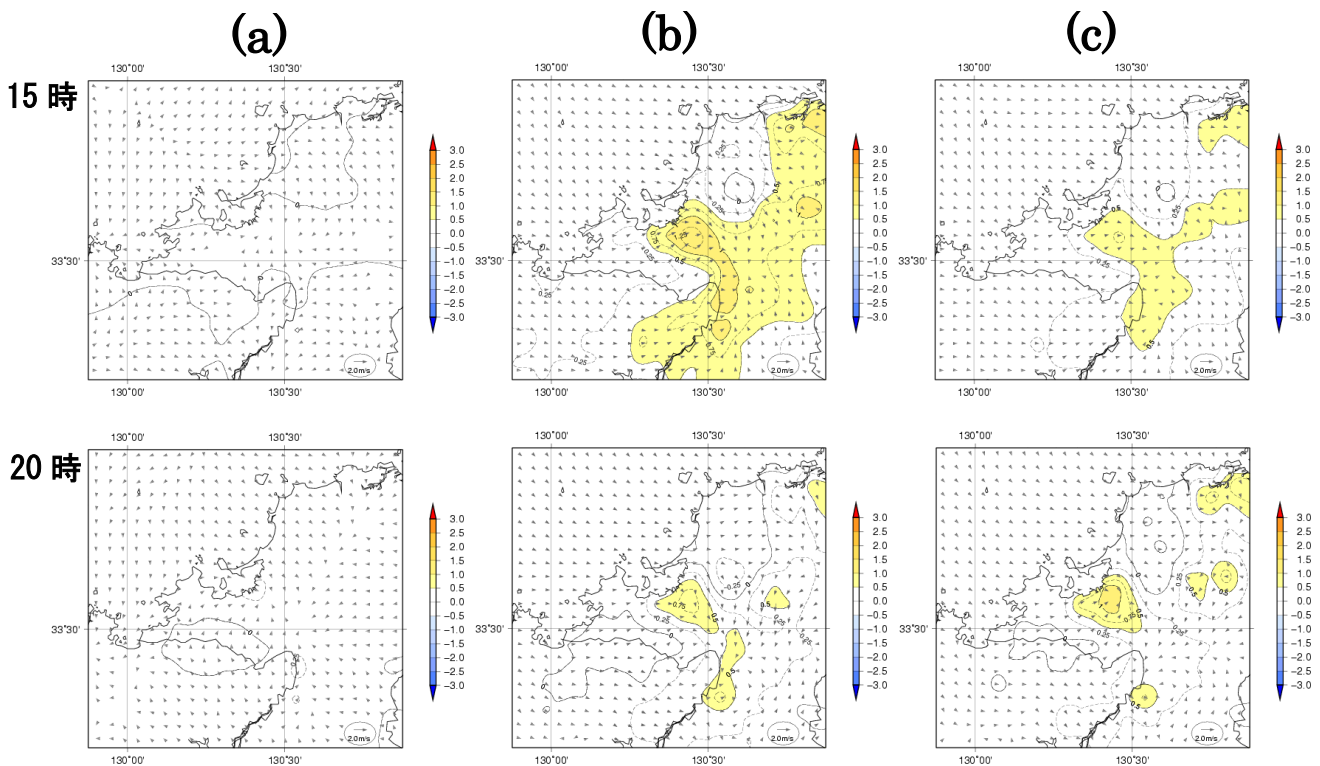


図 3.15 2008年7月25日(上段)15時および(下段)20時の福岡周辺における都市化の影響による気温上昇に対する、(a)人工排熱、(b)土地利用、(c)建築物の寄与(単位:°C)

エ) 顕著な高温日における都市の影響

福岡の日最高気温の観測史上1位から10位までの高い記録を表3.2に示す。福岡で記録的な高温となる日の特徴としては、太平洋高気圧に覆われて強い日射を受けることに加えて、南寄りの風が筑紫山地や九州山地を越えることによるフェーン現象が発生しており、これらの南寄りの風は、九州の西から南の海上に熱帯低気圧があることによりもたらされることが多い。記録5位の2004年6月20日には、沖縄本島付近の台風第6号の影響で、盛夏期ではないにもかかわらず顕著な高温となった。

近年の高温事例としては、2008年に4位と6位、2007年に7位の記録がある。記録4位の2008年8月11日には午後福岡で雷雨が観測されており、降水過程を扱えない都市気候モデルを用いたシミュレーションには不適当な事例であることから、6位の2008年8月2日について調査を行った。09時の地上天気図を図3.16に示す。九州の南海上に中心を持つ高気圧に覆われて強い日射を受けた上に、高気圧から日本海の前線に向かって吹く南西風が筑紫山地を越えることによるフェーン現象により、福岡の最高気温は37.2℃まで上昇した。

表 3.2 福岡における日最高気温の高い方から1～10位の記録(統計期間 1890～2009年)

順位	日最高気温(℃)	起日
1位	37.7	1994/8/15
2位	37.5	1994/8/11
3位	37.4	1994/8/16
4位	37.3	2008/8/11
5位	37.3	2004/6/20
6位	37.2	2008/8/2
7位	37.2	2007/8/11
8位	37.1	1990/8/31
9位	37.1	1990/8/21
10位	37.0	1994/8/10

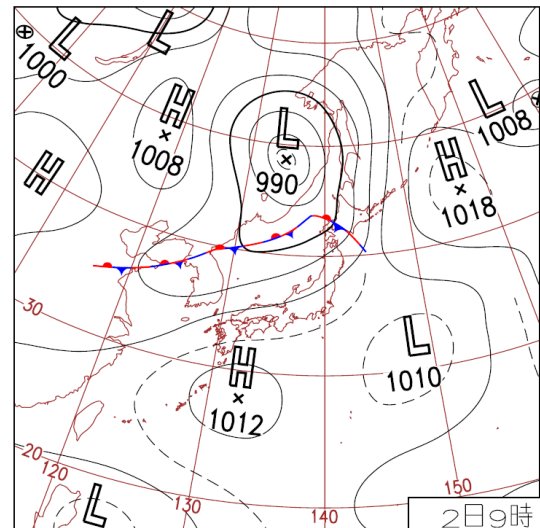


図 3.16 2008年8月2日09時の地上天気図

図3.17に都市気候モデルでシミュレーションされた地上の気温と風の分布を示す。15時には、福岡平野のほぼ全域に35℃以上の高温域が広がり、都心部では37℃以上の領域が表現されている。20時においても平野部のほぼ全域が29℃以上で、都心部では31℃以上である。図3.18に、都市がある場合とない場合の差(都市の影響)を示す。15時には、都市の影響により、福岡平野ほぼ全域で1℃以上、都心部では1.5～2℃、20時には都心部で2～2.5℃の昇温が見られる。この都市による昇温の程度は、図3.6に示した夏季49事例の平均と比べて同程度か弱いことから、この日に都市の影響が顕著に現れたとは言えない。このことから、この日の顕著な高温については、晴れて強い日射を受けたことや、フェーン現象などの自然要因の寄与が大きいと考えられる。近年の顕著な高温事例の2007年8月11日(福岡の日最高気温7位)についても結果は同様であった。

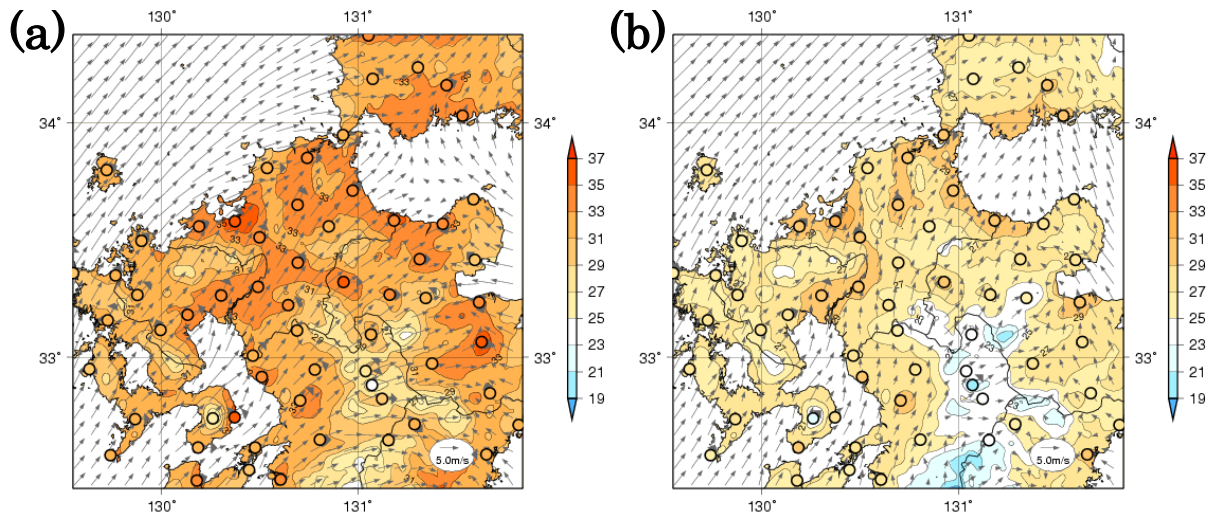


図 3.17 2008 年 8 月 2 日の (a)15 時、(b)20 時の気温(°C、等値線)と風(矢印)の分布
 图中的○はアメダス観測点を表す。

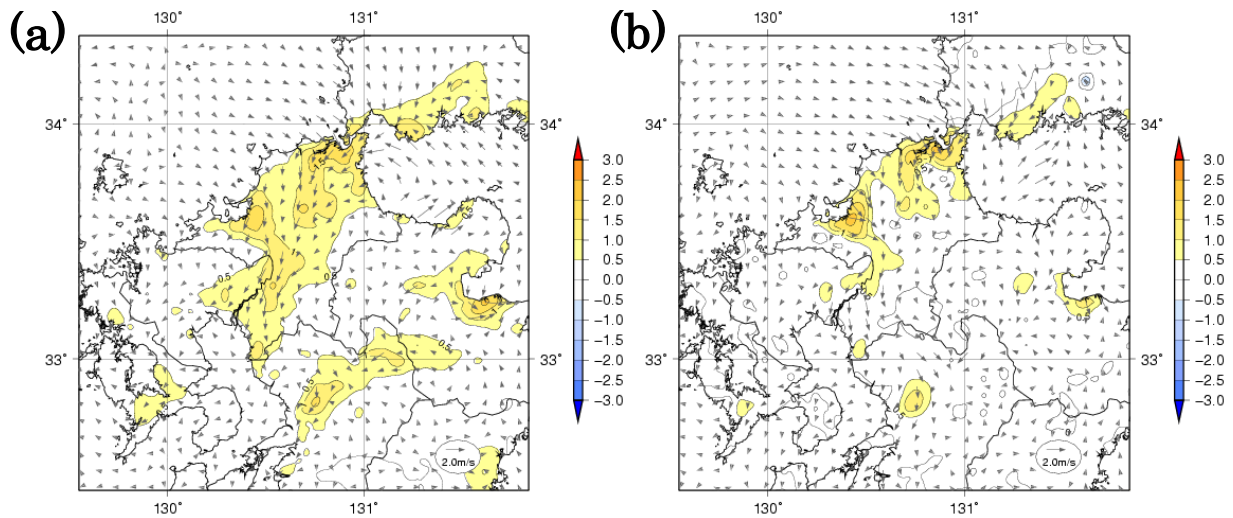


図 3.18 シミュレーションによる 2008 年 8 月 2 日における (a)15 時、(b)20 時の「都市がある場合」と「都市がない場合」の気温(°C、等値線)と風(矢印)の差。正の値は「都市がある場合」の気温が高いことを示す。

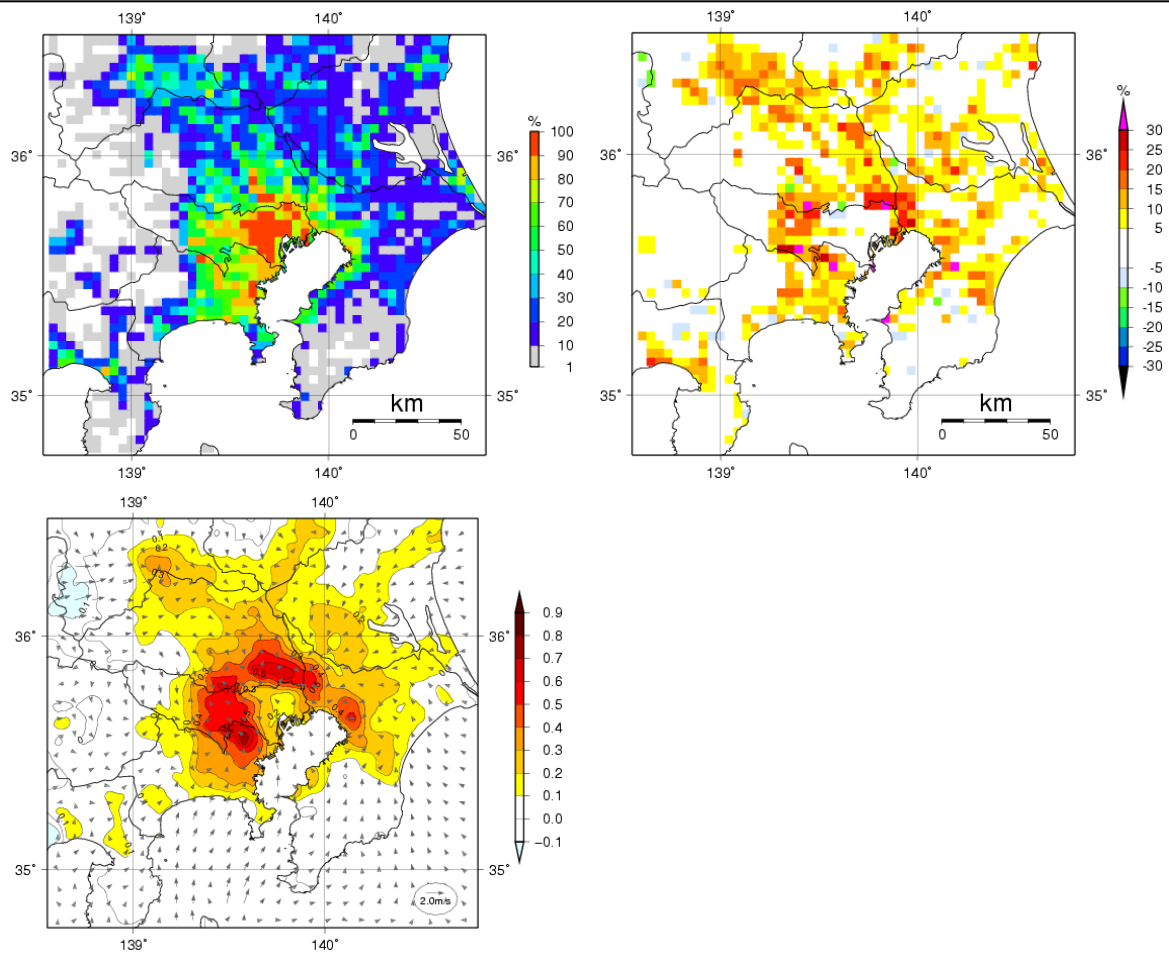
【コラム】 関東地方における過去 30 年の土地利用変化の影響について

都市気候モデルを用いたシミュレーションを行う際には、都市における土地利用や人工排熱など都市の情報が必要である。このうち、土地利用の情報については、国土交通省国土計画局が公開している国土数値情報の「土地利用メッシュ」(<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>)をもとに地表面を 6 つのカテゴリに分類し、そのカテゴリごとに地表面付近の計算を行っている。

ここでは、過去 30 年間の土地利用変化による気温への影響を把握するため、1976 年と 2006 年の土地利用データを用いて、都市気候モデルにより夏季の標準的な大気と海面水温の状態を仮定したシミュレーションをそれぞれ行った。これらの計算結果を比較することによって、過去 30 年間の土地利用の変化による影響を見積もることができる。

2006 年における関東地方は、人工被覆率（土地利用メッシュデータで「建物用地」、「幹線交通用地」、「その他の用地」が占める面積の割合）の高い領域が都心部を中心に郊外まで広がっている（次ページ左上図）。人工被覆率の 1976 年から 2006 年の変化（次ページ右上図）をみると、都心部を取り囲む地域で増加が著しく、30%以上増加した領域があるほか、主要幹線に沿って都市域の拡大が見られる。また、人工被覆率の上昇は関東平野の広い範囲に及んでおり、森林や水田の減少などの変化もみられる。

都市気候モデルで見積もられた過去約 30 年間の土地利用の変化による日平均気温の変化（次ページ下図）は、人工被覆率の増加の顕著な都心周辺部で大きく（最大で約+0.6℃）、都市化の影響にともない高温域が拡大していることが示されている。また、昇温域は、主要幹線沿いに関東平野全域で見られる。一方、人工被覆率の大きな変化のなかった東京都心部では気温の上昇は相対的に小さい。



左上図は、2006年の人工被覆率(%)。右上図は、過去約30年間の人工被覆率の変化量(%) (2006年と1976年の人工被覆率の差)。下図は、都市気候モデルで見積もられた日平均気温の変化(°C)。

4. 謝辞

本報告の作成にあたり、九州大学久田由紀子氏及び財団法人九州環境管理協会から資料のご提供とご助言をいただきました。ここに厚くお礼を申し上げます。

5. 参考文献

萱場互起,2009: 気象庁におけるヒートアイランド監視業務について —都市気候モデルによる解析事例の紹介—, 天気, 56, 955-960.

気象庁, 2005a: 気象観測統計指針

<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/index.html>

気象庁, 2005b: 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>

財団法人九州環境管理協会, 2004: 平成 16 年度福岡市ヒートアイランド対策検討業務報告書

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.

久田由紀子, 松永信博, 安東聡, 2005: 福岡都市圏における夏季と冬季のヒートアイランド構造の違い, 環境システム研究論文集, 33, 171-178.

久田由紀子, 松永信博, 安東聡, 2006: 海風進入が福岡都市圏の大気熱環境に及ぼす影響, 水工学論文集, 50, 487-492.

訂正

「ヒートアイランド監視報告 (平成 20 年—東海地方)」(平成 21 年 5 月 29 日公表)に誤りがありましたので訂正します。

(訂正内容) 表 4.1 「大都市および中小都市における気温の上昇率」(P.23)

中小都市の日最高気温、日最低気温の変化量 (単位 °C/100 年)

(誤) 日最高気温 +0.8、日最低気温 +1.5

(正) 日最高気温 +0.9、日最低気温 +1.8

なお、気象庁ホームページ掲載資料については、平成 21 年 12 月 10 日に訂正しました。