

福岡都市圏における夏季の ヒートアイランド構造

HEAT ISLAND STRUCTURE IN FUKUOKA METROPOLITAN AREA IN THE SUMMER SEASON

久田由紀子¹・杉原裕司²・松永信博²

Yukiko HISADA, Yuji SUGIHARA and Nobuhiro MATSUNAGA

¹学生員 工修 九州大学大学院総合理工学府 (〒816-8580 春日市春日公園6-1)

²正会員 工博 九州大学大学院総合理工学研究院 (〒816-8580 春日市春日公園6-1)

In order to examine the structure of urban heat island in the summer season, thermometers have been put in 71 instrument shelters of elementary schools in Fukuoka metropolitan area. A typical heat island pattern is seen by using the day-averaging air temperature in this area. The highest temperature of 26.4 °C is observed around Hakata JR Station. The heat island in the summer season appears more clearly in the nighttime, and the temperature in the urban area falls at the rate of about 0.2 °C/km toward the rural area. In the daytime, high temperature region of 28.0 °C spreads over the whole area of the metropolitan. The heat island intensities in the nighttime and the daytime are 1.3 °C and 1.5 °C, respectively. Though the difference between daily maximum temperature and daily minimum temperature is 3.2 °C at the region adjacent to Hakata Bay and reaches 5.1 °C at an inner area of Fukuoka plains.

Key Words : Urban Heat Island, Heat Island Intensity, Thermal Environment, Land Use

1. はじめに

多くの都市でヒートアイランドと呼ばれる高温化現象が深刻な問題となっている。都市の高温化の原因としては、人工排熱の増加、緑地や水面の減少、地表面被覆の変化、中高層ビルの増加による風系の変化等が挙げられる。ヒートアイランドの緩和対策として、屋上緑化や風の道の利用など様々な案が検討・研究されている。これらの対策をより効果的に行なうには、ヒートアイランドの実態を把握することが重要であり、そのためには都市から郊外に及ぶ広範囲で高密度な長期観測が必要である。また、そのような観測で得られたデータは、都市の大気熱環境の数値シミュレーションを行なう上での初期条件、境界条件として有用となる。

人口177万人の福岡都市圏では、1900～2000年の100年間で気温が2.5℃上昇していることが報告されている¹⁾。人口1千万人を越える東京の気温上昇率は100年間で2.9℃であり、福岡の気温上昇率は人口の遙かに多い東京の上昇率に近い値となっている。さらに、1985年以降の夏季については10年間に0.39℃の割合で上昇しており、その上昇率は都市化に伴って急激に増加している^{1), 2)}。関東や中部地方ではヒートアイランド現象に関してこれ

まで多くの研究がなされている^{3), 4), 5)}。しかしながら、福岡都市圏においては、片山ら⁶⁾による自動車をを用いた移動観測例があるだけで、長期・広域観測はほとんど行われていないのが現状である。

ヒートアイランド現象は地形や風系の影響を強く受けるため、都市固有の特性を有する場合も少なくないと考えられる。従って、福岡都市圏におけるヒートアイランド現象の解明は都市熱環境保全という観点からも極めて重要な課題である。このような背景から、我々は福岡都市圏における地上気温の水平分布の変化を長期にわたって定点観測することにより、ヒートアイランド現象の実態解明を試みている。

本研究では、熱中症の増加などによって近年問題となっている夏季のヒートアイランド構造について得られた結果を報告する。

2. 観測方法

福岡都市圏内の70校の小学校と九州大学農学部附属福岡演習林の百葉箱に、39個の温度計と32個の温湿度計を設置した。図-1 に福岡平野の地形および測器の設置点を示す。福岡平野の北側には玄界灘が広がり、東側と南

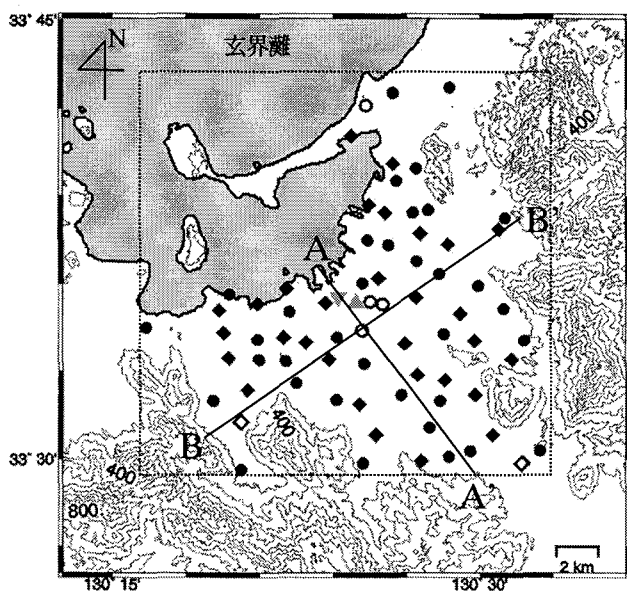


図-1 福岡都市圏の地形および測器設置点
丸印は温度計、菱形は温湿度計の位置を示す。▲はJR博多駅(H地点)、▼は天神(T地点)を示す。

西側は600～1000mの山に囲まれている。図中に▲で示すJR博多駅(H地点)と▼で示す天神(T地点)は、福岡都市圏の中でも最も都市活動の活発な地域である。図中の白抜き記号に関しては3(2)で言及する。点線の領域は解析範囲を示している。測器は約4km²に一つの割合で設置し、福岡都市圏全域にほぼ均等に分散させた。設置点の標高差は最大40m以内である。百葉箱の設置状態は小学校によって異なるが、極力状態の良い百葉箱を採用し、測器は百葉箱内の中央に置くようにした。観測には佐藤計量器製作所のSK-L200T(温度計35個)、SK-L200TH(温湿度計32個)およびTANDDのおんどり Jr.TR-52(温度計4個)を用いた。これらの器差は0.2℃以内であった。観測を2003年7月12日0JSTから開始した。データの取得は5分間隔であり、約27日ごとにデータ回収を行なっている。本報告では、観測開始から8月19日0JSTまでの38日間のデータを取り扱うこととする。

図-2 に国土地理院数値情報・土地利用メッシュを元に作成した福岡都市圏の土地利用図を示す。この図からも、福岡平野が広い範囲で市街化されていることがわかる。また、測器の設置位置は都心部の建物密集地帯から郊外の農用地や自然の残る地域をカバーしており、ヒートアイランドの実態を把握する上で有効であることがわかる。

3. 観測結果および解析

(1) 日平均のヒートアイランド構造

図-3 に38日分の気温データから得られた日平均気温分布を示す。ここで、標高100m以上の領域は黒く塗りつぶしてあり、太い等温線の間隔は1.0℃、細い等温線

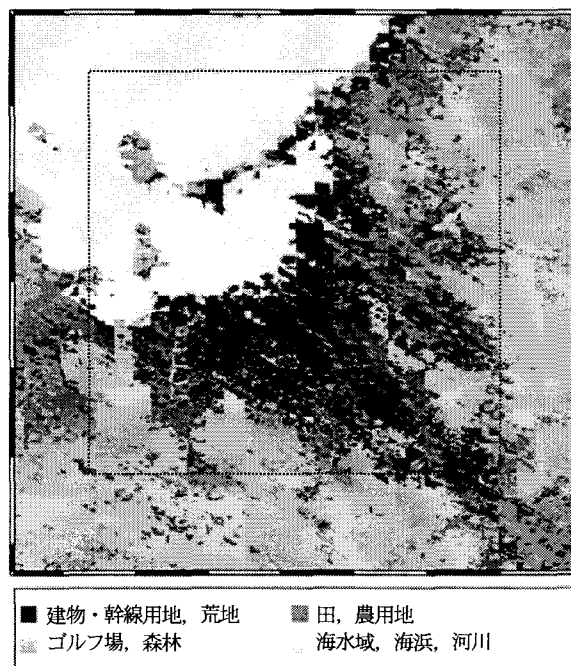


図-2 土地利用図

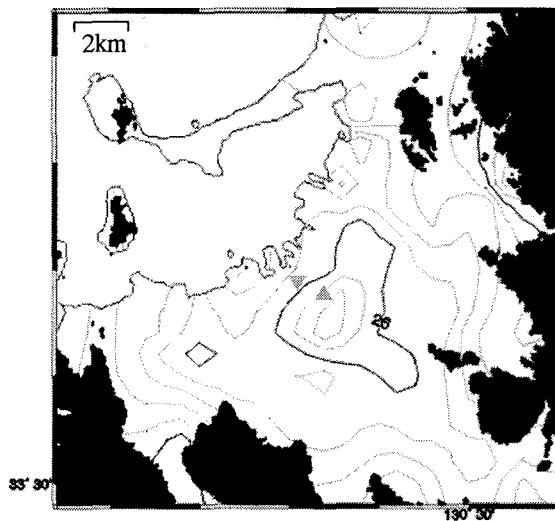
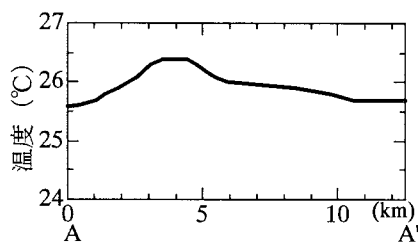


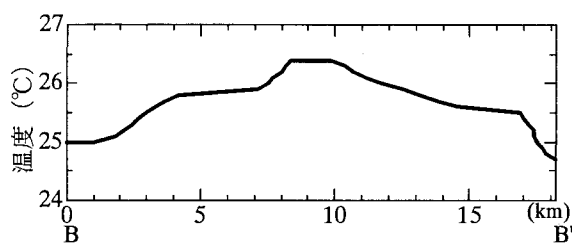
図-3 観測期間中の日平均気温分布 ▲はH地点、▼はT地点を示す。

の間隔は0.2℃である。気温の高い領域が福岡都市圏内のほぼ中央に集中し、郊外に向かうにつれて気温が低下する典型的なヒートアイランド構造を有していることがわかる。最も高い気温を示しているのはH地点周辺で約26.4℃に達している。また、郊外での気温は24℃前後である。一方、T地点ではH地点周辺ほど高温になっていない。福田ら⁷⁾⁸⁾によって福岡平野では北北西からの海風が安定して発生することが明らかにされており、T地点の気温上昇は海風の侵入により抑えられているものと考えられる。

図-4 にA-A'断面およびB-B'断面の日平均気温分布を示す。A-A'断面とB-B'断面の水平距離は、それぞれ12.5kmと18.2kmである。A-A'断面では気温は海岸線から内陸に向けて急激に上昇し、3.5km地点で最高気温に達する。この間の気温勾配は平均0.2℃/kmである。それより南側での気温は内陸に向けて緩やかに低下し、海岸



(a) A-A' 断面



(b) B-B' 断面

図-4 直線上の日平均気温の変化

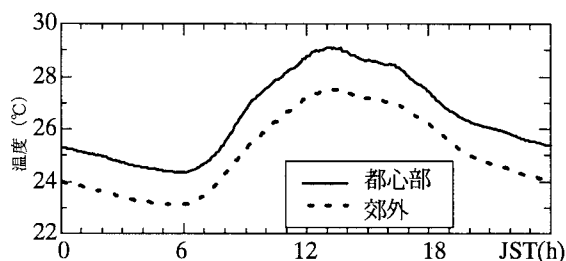


図-5 気温の日変化

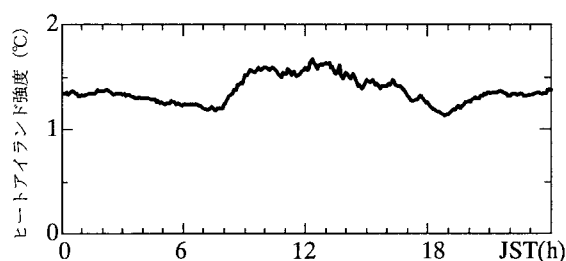


図-6 ヒートアイランド強度の日変化

より10.6km地点でほぼ一定となる。その間の気温勾配は $-0.1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ である。また、この断面内における最大気温差は約 0.8°C である。一方、B-B'断面では4.2km地点まで気温が上昇した後7.2km地点までほぼ一定値を保ち、再び上昇して8.3km地点で最高気温に達する。上昇区間の気温勾配は、それぞれ $0.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 、 $0.4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ である。次にゆっくりと低下した気温は17km地点から急激に低下する。その際の気温勾配はそれぞれ $-0.1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ と $-0.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ である。この断面では、最大気温の地点を挟んでほぼ対称的な分布形状を有している。このように、郊外で急激に気温が上昇し、ほぼ一定気温を保ったのちに都心部で再び上昇する。このような分布形状は、クリップ・プラトー構造として知られている⁹⁾。

(2) ヒートアイランド強度の日変化

図-5 に、観測期間38日分のデータをアンサンブル平均して得られた気温の日変化を示す。観測期間中の平均の日の出および日の入り時刻は、それぞれ0530JST、1917JSTであった。図中の実線と点線は、それぞれ都心において最も高い気温を示した3地点と郊外の3地点を選び平均した値を示す。それぞれの地点の位置は、図-1中に白抜き記号で示されている。郊外の代表点としては、海岸近くから1点、山麓から1点、最も内陸域から1点を選んだ。この3点は、土地利用からも現地調査からも郊外とみなせる位置である。この図より、都心および郊外ともに夜間下がり続けた気温は6JST過ぎに最低気温に達し、その後急激に上昇することがわかる。13JST過ぎに最高気温に達すると16JST頃までは比較的緩やかに低下し、その後19JSTにかけて急激に低下する。そして、翌日の6JSTまでは再びなだらかに低下することがわかる。

図-6 にヒートアイランド強度の日変化を示す。ヒートアイランド強度 ΔT は次式で定義されている¹⁰⁾。

$$\Delta T = T_{\text{urban}} - T_{\text{rural}}$$

ここで、 T_{urban} 、 T_{rural} はそれぞれ都心部の気温と郊外の気温を示す。 T_{urban} と T_{rural} として、それぞれ図-5で用いた3地点の平均値を用いた。図-6より、ヒートアイランド強度は、7JST過ぎから8JSTにかけて急激に大きくなり、12JST過ぎに最大値をとることがわかる。その後、ゆっくりと減少したのち19JST頃に最小値となり、21JSTから翌7JSTにかけてほぼ一定を保つ。最大ヒートアイランド強度は 1.7°C であり、夜間および日中の平均ヒートアイランド強度はそれぞれ 1.3°C と 1.5°C である。一般に、ヒートアイランド強度は夜間に大きくなると言われているが、それは晴天夜間に放射冷却が起きている場合のことである¹¹⁾。本解析では天候に関係なく観測期間中の全てのデータを平均したため、日中におけるヒートアイランド強度は夜間の値よりも大きくなっている。

(3) 夜間と日中におけるヒートアイランド構造の比較

最も気温の下がる6JSTを含む0～6JSTを夜間とし、最も気温の上がる13JSTを中心に10～16JSTを日中として、それぞれ6時間データの平均値から夜間と日中におけるヒートアイランド構造を比較する。図-7に夜間の気温分布を示す。等温線の幅は図-1と同じく、太い等温線の間隔が 1.0°C 、細い等温線の間隔が 0.2°C である。夜間には都心部を中心に島状の気温分布が見られる。高温域の中心はH地点周辺である。郊外に向けて放射状にほぼ等間隔で気温低下が見られる。高温域と海岸線との気温差は 0.4°C 程度であり比較的小さいことがわかる。

図-8に夜間のA-A'断面およびB-B'断面の気温変化を示す。A-A'断面では海岸線から最高気温地点までの気温勾配は約 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{km}$ である。そこから南では急激に気温低下し10.3km辺りでほぼ一定となる。夜間に都心部の熱が影響を及ぼす範囲はこの付近までと考えられる。最高気温地点からこの付近までの気温勾配は約 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ である。また、この断面の最大気温差は約 1.3°C である。一方、

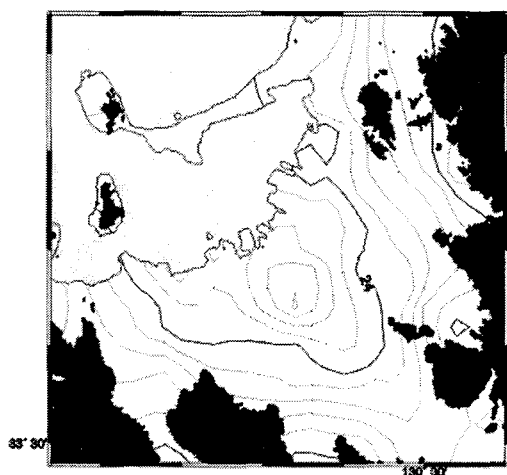


図-7 夜間の気温分布

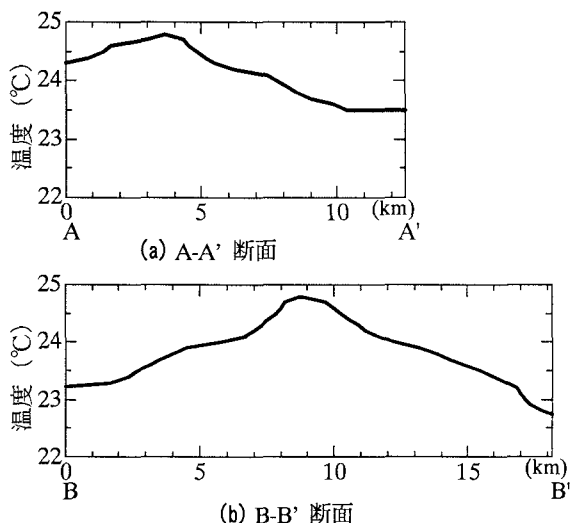


図-8 夜間の直線上の気温変化

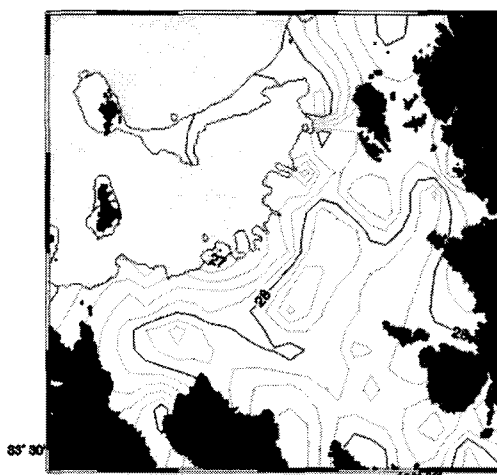


図-9 日中の気温分布

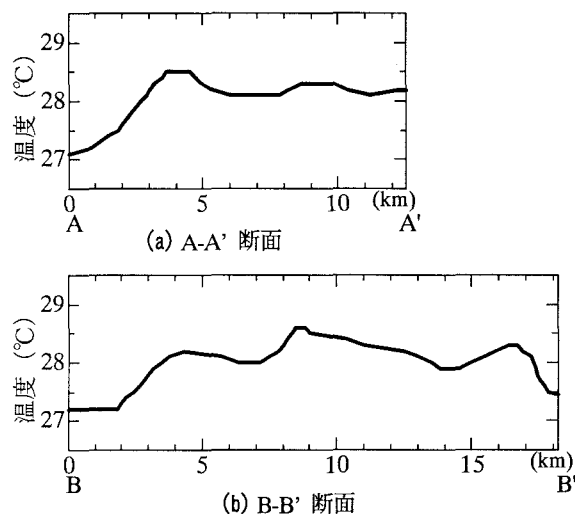


図-10 日中の直線上の気温変化

B-B'断面では最高気温を中心にほぼ左右対称な分布形状となっている。この断面での平均気温勾配は $0.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ であり、断面最大気温差は 2.0°C に達する。

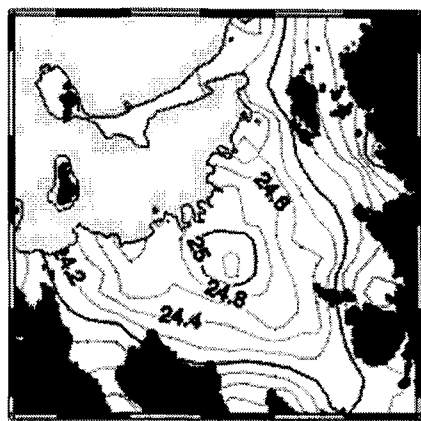
図-9 に日中の気温分布を示す。日中は 28°C 以上の高温域が福岡都市圏全域に広がっており、山麓や内陸まで高温状態になる。最も気温の低いのは海側の地域であり、海岸線に沿って全体的に気温が低くなっている。

図-10 に日中のA-A'断面およびB-B'断面の気温変化を示す。A-A'断面では海岸から急激に気温が上昇していることがわかる。その気温勾配は $0.4^{\circ}\text{C}/\text{km}$ であり、夜間の場合の約4倍である。さらに内陸では多少気温低下するものの最奥部までほぼ一定値を保っている。B-B'断面では、ヒートアイランド構造の特徴であるクリップ・プラトー構造が明瞭に形成されている。全体的に気温は高くなっており、最高気温はH地点に現れている。図-8 と図-10 からヒートアイランド強度を評価すると夜間の方が大きくなり、図-6 と一見矛盾するように思われるが、これはB-B'断面における郊外での日中の気温が福岡都市圏の郊外の気温を代表していないためである。

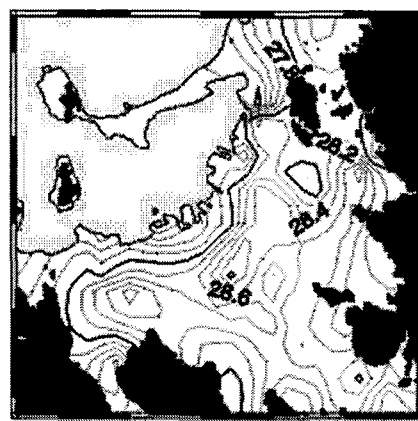
(4) ヒートアイランド構造の日変化

ヒートアイランド構造の1日周期の変動を見るために、1時間平均値の気温分布の日変化を検討した。図-11(a)～(h)に0JSTから21JSTまでの気温分布を3時間ごとに示す。0JSTに福岡平野を取り囲む 24°C の等温線は、3JSTには都心部周辺まで移動し、郊外ではさらに約 1°C 気温が下がる。夜間の郊外の冷え込みには、周辺の山腹斜面からの夜間冷気流の流入も寄与している可能性がある^{12), 13)}。9JSTになると、それまで都心の高温域から放射状に広がっていた等温線分布は一変し、高温域が全域に広がる分布を示す。12JSTでは海岸線と平行に伸びる等温線が確認でき、15JSTにはそれら等温線はさらに内陸に向けて進行する。この等温線の内陸への進行は海風の侵入による気温低下と関係があるものと思われる。この時刻においても、高温域は依然として福岡都市圏全域に広がっている。18JSTには高温域は都心部と一部地域のみとなり、再び放射状に近い分布が形成され始める。そして、21JSTには完全に放射状の気温分布に戻る。

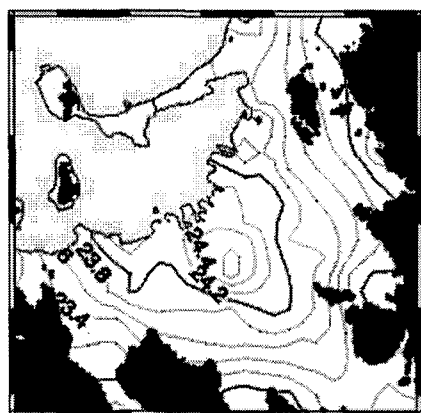
図-12 にA-A'断面およびB-B'断面の気温分布の日変化を示す。A-A'断面では最も気温の高くなる位置は1日を通して変化していないことがわかる。海岸側では気温の日変化は比較的小さく、その変動幅は約 3.2°C である。



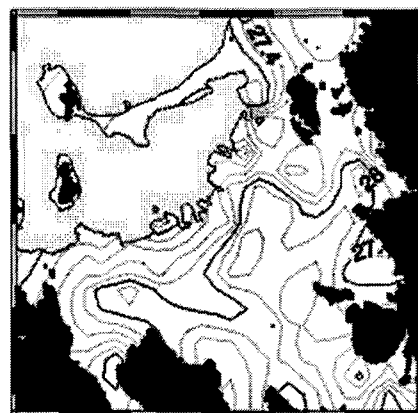
(a) 0JST



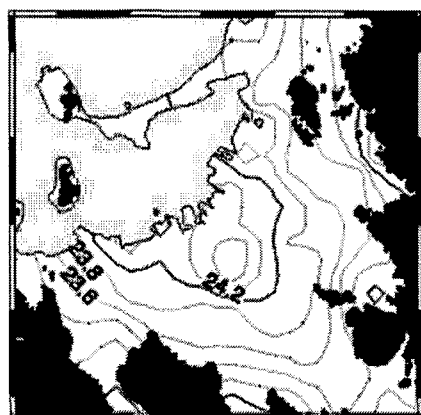
(e) 12JST



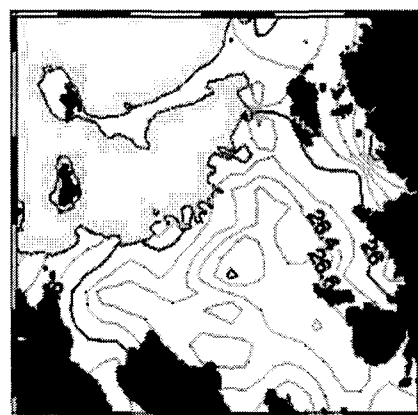
(b) 3JST



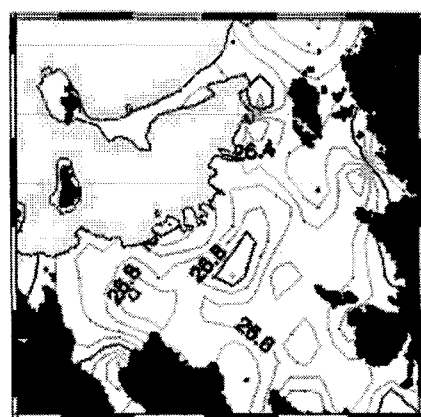
(f) 15JST



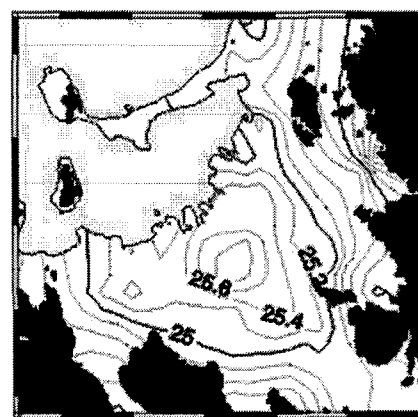
(c) 6JST



(g) 18JST



(d) 9JST



(h) 21JST

図-11 1時間平均された気温分布の日変化

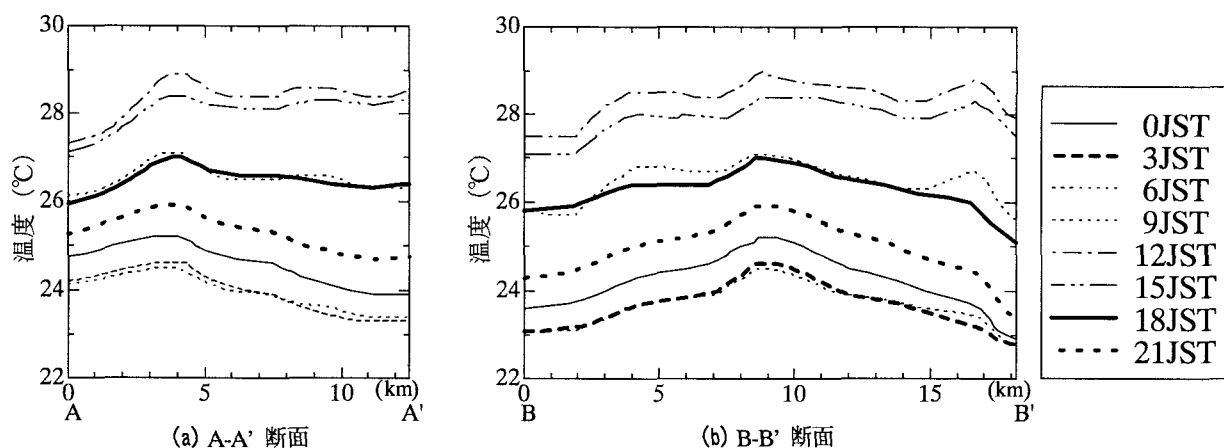


図-12 直線上の気温変化の日変化

最大日変化は最奥部で見られ、 5.1°C の変動幅をもつ。B-B'断面においても最も気温の高くなる位置は1日を通して変わらない。9JSTから15JSTにかけて高温域は全体に広がり、気温分布は一様化する。18JSTから翌6JSTまでは放射状の分布形状を示す。BおよびB'地点での1日の気温変動はそれぞれ 4.4°C 、 5.0°C であり、A-A'断面と比べると両端での気温変動の差異は小さい。

4. おわりに

合計71個の温度計を用いた定点観測により、夏季の福岡都市圏における気温の高密度・長期観測を行なった結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 夏季の日平均気温分布は、JR博多駅周辺を中心に放射状に広がっており、典型的なヒートアイランド構造を示す。最も高温な地域の気温は 26.4°C 以上に達し、郊外とは 1.4°C 前後の気温差が生じている。
- (2) 最大ヒートアイランド強度は 1.7°C であり、その発生時刻は12JST過ぎである。日中および夜間の平均ヒートアイランド強度はそれぞれ 1.5°C 、 1.3°C であり、日中の方が大きくなる。
- (3) 夜間の気温分布ではJR博多駅や天神を中心に高温域が形成され、郊外に向かって平均 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ の気温勾配を持って放射状に低下する。一方、日中には都市圏全域に 28°C 以上の高温域が広がる。
- (4) 日中、海岸線に沿った等温線が内陸に向けて移動する。1日の気温変動が最も大きいのは内陸域で 5.1°C である。一方、海岸側は変動幅が最も小さく 3.2°C である。

今後、これらのデータを天気や風系で区別して解析することにより、より詳細なヒートアイランド現象の定量的特性や形成メカニズムの解明が可能であるものと思われる。

謝辞：福岡市教育委員会の奥本晃氏には福岡市内の小学校の百葉箱の使用にあたり便宜を計っていただきました。福岡都市圏内の小学校および九州大学農学部附属福岡演

習林の百葉箱に測器を設置させて頂きました。御協力頂いた方々に深く感謝致します。九州大学大学院総合理工学府環境流体科学研究室にはデータ回収を手伝って頂きました。特に、工学部4年生の安東聡君にはデータ解析で御協力頂きました。ここに感謝の意を表します。本研究は、住友財団による研究助成の援助のもとで行われたことを付記します。

参考文献

- 1) 久田由紀子 他：都市化による福岡平野の気候変化，土木学会西部支部研究発表会講演概要集第2分冊，pp.586-587，2002.
- 2) 久田由紀子，杉原裕司，松永信博：福岡平野の都市化にともなう風系の変化，日本風工学会年次研究発表会梗概集，日本風工学会誌，第95号，pp.9-10，2003.
- 3) 山添謙一，一ノ瀬俊明：東京およびその周辺地域における秋季夜間の晴天時と曇天時のヒートアイランド，地理学評論，67A(8)，pp.551-560，1994.
- 4) 三上岳彦，浜田崇，渡辺正浩：住宅団地の都市気候環境——多摩ニュータウン南大沢地区の事例(大都市の地域経済構造と都市環境)，総合都市研究，53，pp.83-98，1994.
- 5) 榊原保志，森田昭範：長野県白馬村におけるヒートアイランドの日変化・季節変化，天気，49，pp.901-911，2002.
- 6) 片山忠久 他：都市内の土地利用状況と気温分布に関する調査研究，日本建築学会九州支部研究報告，第34号2，pp.301-312，1994.
- 7) 福田和代，松永信博：福岡市における海陸風の挙動，九州大学大学院総合理工学研究科報告，第20巻4，pp.335-339，1999.
- 8) 福田和代，松永信博，酒井聡一郎：福岡市における海風侵入の挙動，水工学論文集，第44号，pp.85-90，2001.
- 9) Oke, T. R., Boundary Layer Climates, Routledge, 1987.
- 10) Oke, T. R., City size and the urban heat island, Atmospheric Environment, 7, pp.776-779, 1973.
- 11) 榊原保志，三枝あかね：晴天日と曇天日のヒートアイランド強度の違いと夜間ヒートアイランドの成因，天気，49，pp.533-540，2002.
- 12) 竹林英樹，森山正和，糸川文崇：夏季夜間における山麓冷氣流の出現頻度と市街地における影響距離，日本建築学会計画系論文集，第542号，pp.99-104，2001.
- 13) 福田和代：福岡平野に流出する夜間冷氣流の野外観測，日本風工学会論文集，第93号，pp.103-114，2002.

(2003. 9. 30受付)