

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

久田由紀子¹・松永信博²・安東聡³

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

yukistar@esst.kyushu-u.ac.jp

²正会員 工博 教授 九州大学大学院総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

matunaga@esst.kyushu-u.ac.jp

³学生員 工修 九州大学大学院総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

ando@esst.kyushu-u.ac.jp

福岡都市圏ではヒートアイランド現象が深刻な問題となっており、ヒートアイランド現象の実態を解明するため、2003年夏から長期広域多点観測をおこなってきた。本論文では、人間の生活空間をとりまく熱環境の季節変化について検討するため、得られた観測データをもとに、夏季および冬季のヒートアイランド構造について解析する。ヒートアイランド強度は、夏季・冬季ともに日中に小さくなる。最も大きくなるのは冬季夜間で2.0℃以上になる。夏季日中の福岡都市圏の気温分布は全体に高温域が点在する。夏季夜間の気温分布は、高温域が都心部に集中し、郊外に向かうにつれて気温が低下するという典型的なヒートアイランド構造をもつ。冬季日中は夏季日中と同様に全体に高温域が点在する。冬季夜間は等温線が海岸線とほぼ平行に並び、海岸に近い地域ほど気温が高く、内陸に向かうにつれて低温になる。

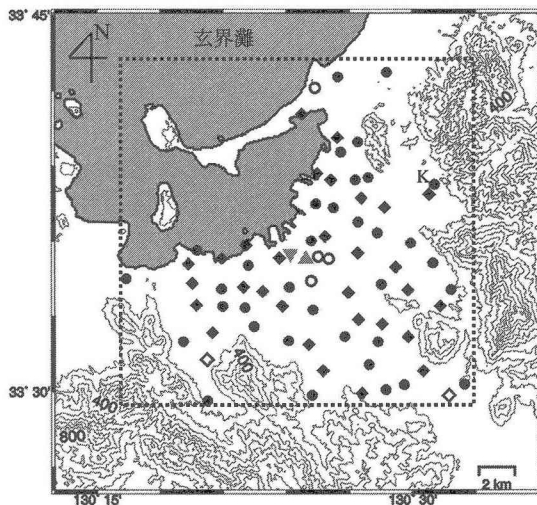
Key Word: Urban Heat Island, Heat Island Intensity, Seasonally change,
Summer season, Winter season, urbanization

1. はじめに

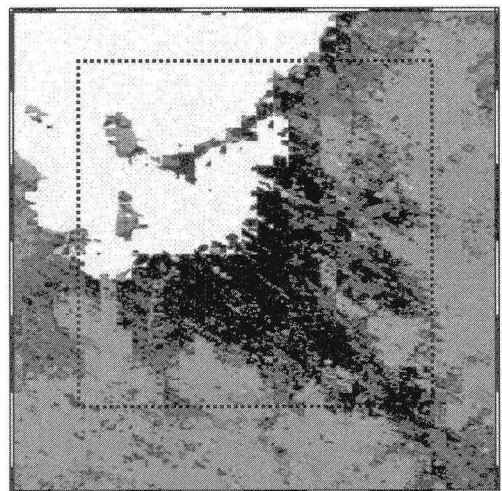
人工排熱の増加、地表面状態の変化、人工構造物の増加などにより、現在、日本のほとんどの大都市ではヒートアイランド現象と呼ばれる都市の高温化現象が深刻な問題となっている。この高温化により、大気汚染、エネルギー消費の増大、集中豪雨、熱中症の増加など、社会的な問題が発生している。高温化の原因として具体的には、空調施設や自動車等からの排熱、緑地・水面等の減少による地表面からの蒸発の抑制、コンクリートやアスファルトなどによる蓄熱効果、高層建築物の増加による日射吸収率の増加や風系の変化等が挙げられるが、これらは複雑に絡み合っている。また、これらは現代社会においては改善の難しい課題であり、ヒートアイランド現象にともなう様々な問題は深刻な状況であるといえる。ヒートアイランドの緩和対策としては、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、

そのためには都心部から郊外に及ぶ広範囲で高密度な長期観測が求められる。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⁾。一方、大都市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⁾ 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。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。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⁾による観測例があるが、彼ら



(a) 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、▼は天神、K は九州大学農学部附属福岡演習林を示す。



(b) 土地利用図

図-1 福岡都市圏の地形および土地利用図

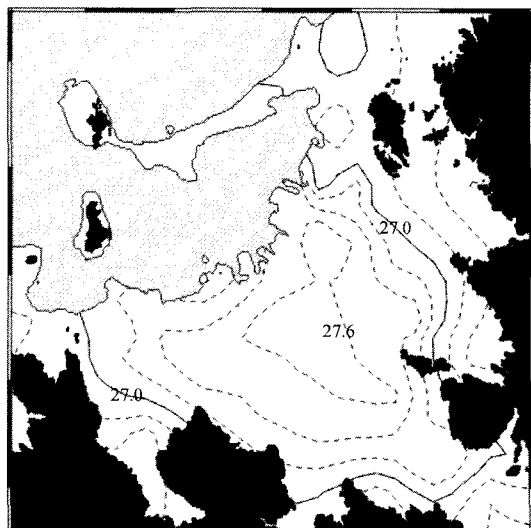
の観測は自動車を用いた移動観測であり、長期・広域観測ではない。このような背景から、我々は福岡都市圏における地上気温の水平分布の変化を 2003 年の夏季から長期にわたって定点観測することにより、ヒートアイランド現象の実態解明を試みている。これまでに、福岡都市圏における夏季のヒートアイランド構造を明らかにした⁷⁾。夜間には、福岡都市圏の最も都心部に位置する JR 博多駅や天神を中心に高温域が形成され、郊外に向かって平均 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{km}$ の気温勾配を持って同心円状に気温が低下する。一方、日中には都市圏全域に 28°C 以上の高温域が広がる。このように、夜間と日中では全く異なる気温分布を有することを示した。

本研究では、人間の生活空間をとりまく熱環境の変化を季節毎に検討する。温帯に属する日本は夏季と冬季の気温差が大きく、天候も大きく異なるため、ここでは第一段階として、ヒートアイランド構造の季節変化を夏季と冬季に得られた観測データより解析する。これらの季節毎のヒートアイランド構造の特徴について考察をおこなう。

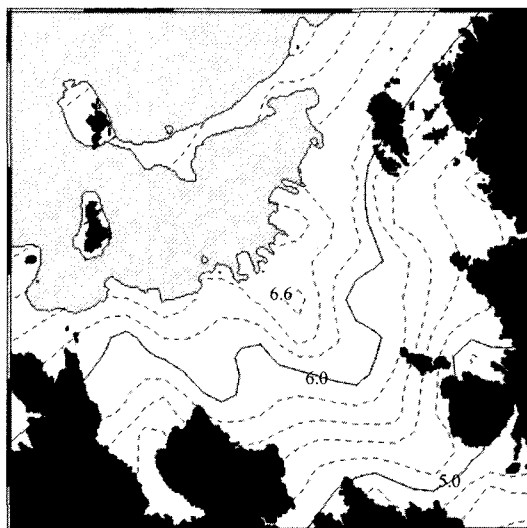
2. 観測方法

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 (a) に福岡平野の地形

および測器の設置点、図-1 (b) 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。図-1 (a) からわかるように、福岡平野の北側には玄界灘が広がり、東側には $600\sim 1000\text{m}$ の三郡山系と、南西側は同じく $600\sim 1000\text{m}$ の脊振山系が連なる。図中に▲で示す JR 博多駅と▼で示す天神は、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) でふれる。点線の領域は解析範囲を示している。図-1 (b) からわかるように、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、ヒートアイランド現象の実態を把握する上で有効であることがわかる。測器は約 4km^2 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。測器を設置する際に、百葉箱の状態を確認した。確認事項としては、百葉箱設置場所の地表面状態、周辺地表面状態、建物との距離、日当たり、そして雨漏りの可能性等の百葉箱自体の状態である。これらを考慮し、総合的に状態の良い百葉箱を採用した。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 のおんどとり Jr.TR-52(温度計 4 個)を用いた。これらの器差は 0.2°C 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、2003 年夏季までは



(a) 夏季



(b) 冬季

図-2 平均気温分布

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。2004 年冬季に関しては、10 分間隔でデータを取得している。本論文では、夏季として、2003 年 7 月 18 日 0 時から 9 月 13 日 23 時 55 分および 2004 年 6 月 14 日 0 時から 9 月 14 日 23 時 55 分までの計 150 日間、冬季として、2003 年 12 月 26 日 0 時から 2004 年 2 月 13 日 23 時 55 分および 2004 年 12 月 19 日 0 時から 2005 年 2 月 16 日 23 時 55 分までの計 100 日間に得られた観測データを解析する。2003 年夏季の福岡における平均気温は平年差 -0.4°C 、降水量の平年比は 121%、日照時間の平年比は 78%であり、2004 年夏季はそれぞれ $+1.4^{\circ}\text{C}$ 、60%、116%であった。2003 年 7 月は太平洋高気圧の張り出しが弱く梅雨前線が本州上や南岸に停滞し低温・寡照となった。8 月は太平洋高気圧に覆われる時期もあったが、前線が停滞し、低温・多雨・寡照となった。2004 年夏季は太平洋高気圧の勢力が強く高温・小雨・多照となった。2003 年冬季はそれぞれ $+0.8^{\circ}\text{C}$ 、80%、118%、2004 年冬季はそれぞれ $+0.4^{\circ}\text{C}$ 、139%、93%であった。2003 年冬季は冬型の気圧配置や寒気を伴った大陸の高気圧が張り出したことなどから気温の変動が大きかった。南岸を通る低気圧は発達せず、また大陸の高気圧に覆われることが多かったため、晴れの日が多く、降水量は平年を下回った。2004 年冬季は断続的に冬型の気圧配置となって寒気が入り、気温の変動が大きかった。低気圧が通過することが多かったことから降水量は平年を上回り、日照時間は下回った。データの欠測が各期間に数箇所づつあるが、欠測がある観測点に関しては、その季節の解析に用

いていない。

3. 観測結果および解析

(1) 平均気温分布

図-2 (a) (b) に夏季および冬季について、それぞれの全期間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、実線で示された等温線の間隔は 1.0°C 、破線で示された等温線の間隔は 0.2°C である。夏季には、気温の高い領域が福岡都市圏の都心部に集中し、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。最も高い気温を示しているのは JR 博多駅周辺であり、約 27.6°C に達している。また、郊外での気温は 26.6°C 前後である。冬季には、全体的に海岸線と平行に等温線が並び、海岸に近い地域ほど気温が高く、内陸に向かうにつれて低温になる。また、都心部が幾らか高温となる気温分布を有する。海岸付近と内陸では 2.0°C の気温差がある。

夏季と冬季について、それぞれ日中の 10 時から 15 時 55 分までの気温データを 1 時間毎にアンサンブル平均して得られた気温分布を図-3 (a) (b) に示す。等温線の間隔は図-2 と同じく、実線で示された等温線の間隔が 1.0°C 、破線で示された等温線の間隔が 0.2°C である。夏季の日中は、どの時間帯を見ても福岡平野全体に高温域が点在する気温分布であり、ヒートアイランド現象の特徴的な同心円状の構造は

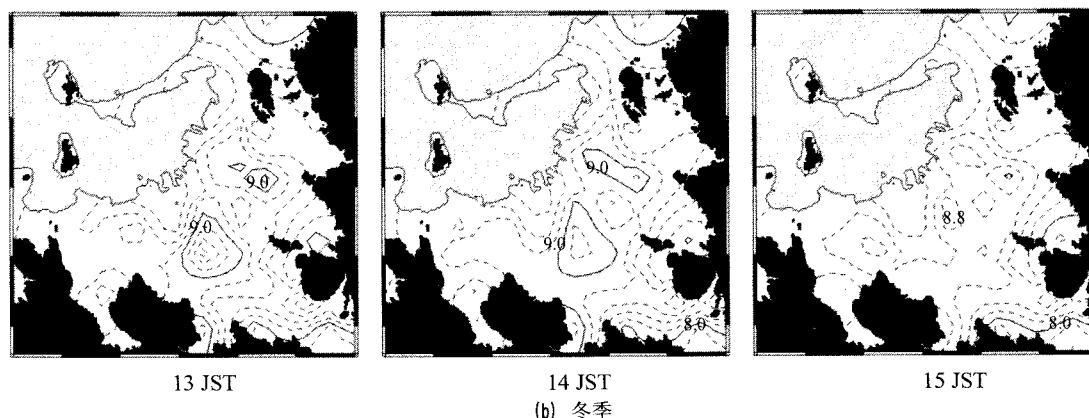
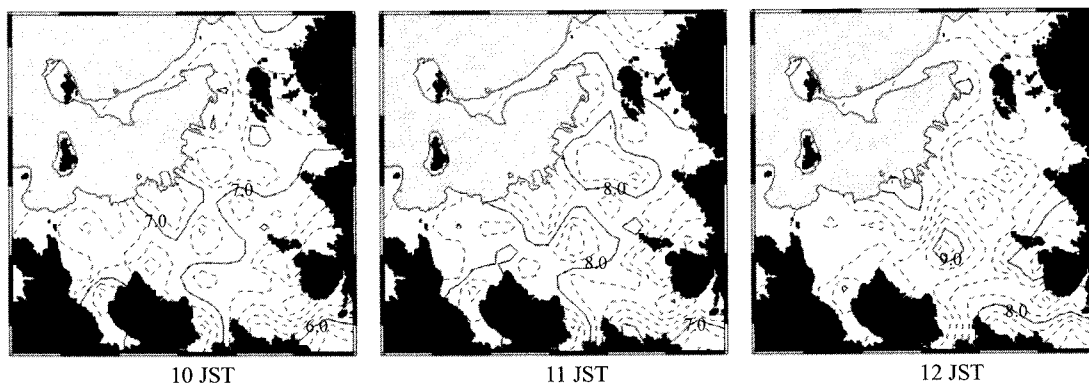
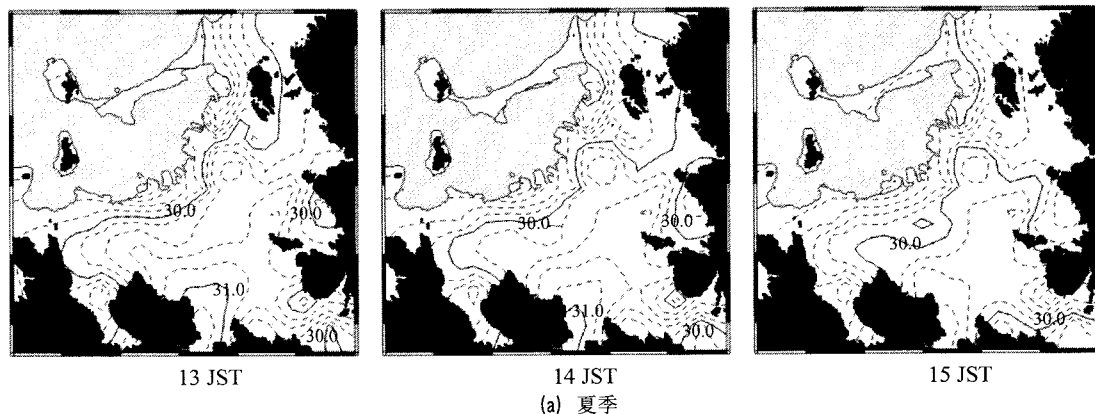
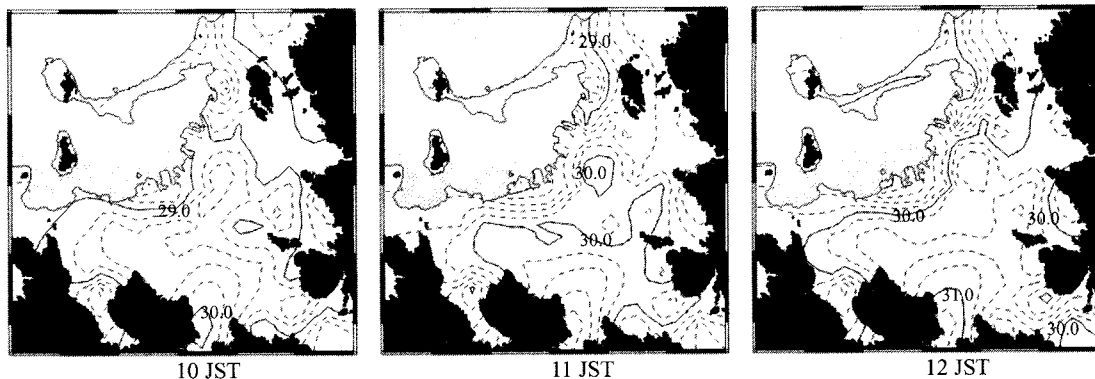


図-3 日中の気温分布 それぞれ1時間平均したもの。

見られない。10 JST では、郊外は 28.6℃、都心付近の高温域は 29.4℃であった。11 JST になると、海岸に近い地域での気温上昇はまだ見られないが、福岡平野東部と南西部の山沿いの気温は約 1.0℃上がり、市街地の気温は 30.0℃を超える。12 JST になると、海岸に近い地域を除き、福岡平野の気温は全体的に 30.0℃を超え、さらに高温域が平野全体に分散して現れる。13 JST になると、まだ若干気温が上昇を続ける地域はあるが、30.0℃を超える高温域はあまり変化しない。14 JST になると気温が低下し始め、15 JST になると 30.0℃を超える地域はピーク時の半分程度になる。日中に福岡平野全体にわたって高温域が広がるのは、日射の影響や都市活動による人工排熱の放出などにより対流が活発になっているためと考えられる。冬季日中も夏季同様、どの時間帯も高温域が福岡平野全体に点在する気温分布を有し、ヒートアイランド現象の特徴的な同心円状の構造は見られない。10 JST には、海岸に近い地域は 7.0℃台、内陸域は 6.0℃台となる。11 JST になると、北部および南西部は 8.0℃を超え、その間の地域も 7.0℃台になる。12 JST になると、幾つかの高温域が平野全体に分散して現れる。13 JST になるとそれらの高温域はさらに広がり、9.0℃を越える地域もあらわれる。この時間帯をピークに 14 JST からは気温が低下する。冬季も夏季と同様、高温域が福岡平野の全体に広がるのは対流が活発になっていることによるものと考えられる。

図-4 (a) (b) に、夏季および冬季について、それぞれ夜間の 0 時から 5 時 55 分までの気温データを 1 時間毎にアンサンブル平均して得られた気温分布図を示す。等温線の間隔は図-2 と同じである。夏季の夜間はどの時間帯も気温の高い領域が都心付近に集中し、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。0 JST では都心付近は 26.0℃を超え、郊外は 25.0℃以下であった。1 JST 以降も、気温は福岡平野全体にわたって低下し続け、5 JST には都心付近で 25.0℃台前半、郊外で 24.0℃以下となる。夜間の気温分布が都心部で最も高温となり同心円状に気温が低下する原因としては、田畑の比較的多い郊外が放射冷却で冷やされること、福岡平野を取り囲む三郡山系や脊振山系からの夜間冷気流の侵入により郊外の方から冷やされていくこと、都心部では日中に蓄積された熱が夜になっても放出され続けていることの 3 点が考えられる。冬季夜間は、どの時間帯も全体的に海岸線とほぼ平行に等温線が並ぶ。気温は海岸に近い地域ほど高く、内陸に向かうにつれて低温になる。0 JST では海岸に近い地域は 5.0℃を超えるが、内陸域は

3.0℃台である。1 JST 以降、気温は全体的に低下を続けるが、都心部では気温低下が遅れる。5 JST には海岸に近い地域で 4.0℃台、内陸域は 2.0℃台になる。

図-3 (a) (b) および図-4 (a) (b) からわかるように、夏季と冬季の気温分布について明確に違いが現れたのは夜間である。夏季夜間は典型的なヒートアイランド構造を有し、冬季夜間は海岸線とほぼ平行に等温線がならぶ。この違いの原因としては、夏季は晴天が多いため、特に郊外において放射冷却が進むが、冬季は曇天が多いため放射冷却が阻害されるためと考えられる。

(2) 気温の日変化とヒートアイランド強度

図-5 (a), (b) に夏季と冬季のそれぞれの期間について、都心部の 3 点と郊外の 3 点における気温の日変化を示す。都心部の 3 点としては最も高い気温分布を示した地域から 3 点、郊外の 3 点としては最も低い気温分布を示した地域から 3 点選ばれている。それぞれの地点の位置は、図-1 (a) 中に白抜き記号で示されている。郊外の 3 点については、図-1 (b) の土地利用図から郊外と判断できる位置である。また、現地調査からも郊外とみなせることを確認した。図-5 (a) からわかるように、夏季の気温は深夜の間は下がり続け、朝の 5 時過ぎに最低気温に達する。深夜から明け方までの都心部と郊外の気温差はほぼ 2℃であった。日の出とともに気温は上昇を始める。初期には郊外の気温上昇率が大きく、地点によっては昼までに都心部の気温と同程度まで上昇する。12 時過ぎに郊外も都心部も最高気温に達し、その後ゆるやかに下がり始める。14 時頃から郊外の気温低下率が大きくなる。18 時頃の気温低下率が都心部、郊外ともに最大になり、その後は再びゆるやかに低下し続ける。都心部の 3 点の気温は 1 日を通して地点による差はほとんど見られず、ほぼ同じ気温変化を示す。郊外の 3 点は日中に地点間の差が大きくなる。図-5 (b) からわかるように、冬季の気温は深夜の間に低下し続け、朝の 7 時過ぎに最低気温に達する。その後気温は上がり始めるが、郊外の方が都心部より数分程度早く上昇を始める。初期には夏季同様、郊外の気温上昇率が大きい。最高気温に達するのは 13 時過ぎで、その後低下し始めるが、郊外の方が気温低下率は大きい。冬季は都心部の気温も地点間の差が大きくなる。夏季・冬季ともに午後の気温低下率は都心部に比べて郊外が大きくなる。この原因としては、都心部では都市活動による人工排熱等が続くこと、建造物等に蓄積された熱が排出され続けること、郊外では周りを取り囲む山系からの冷気流によ

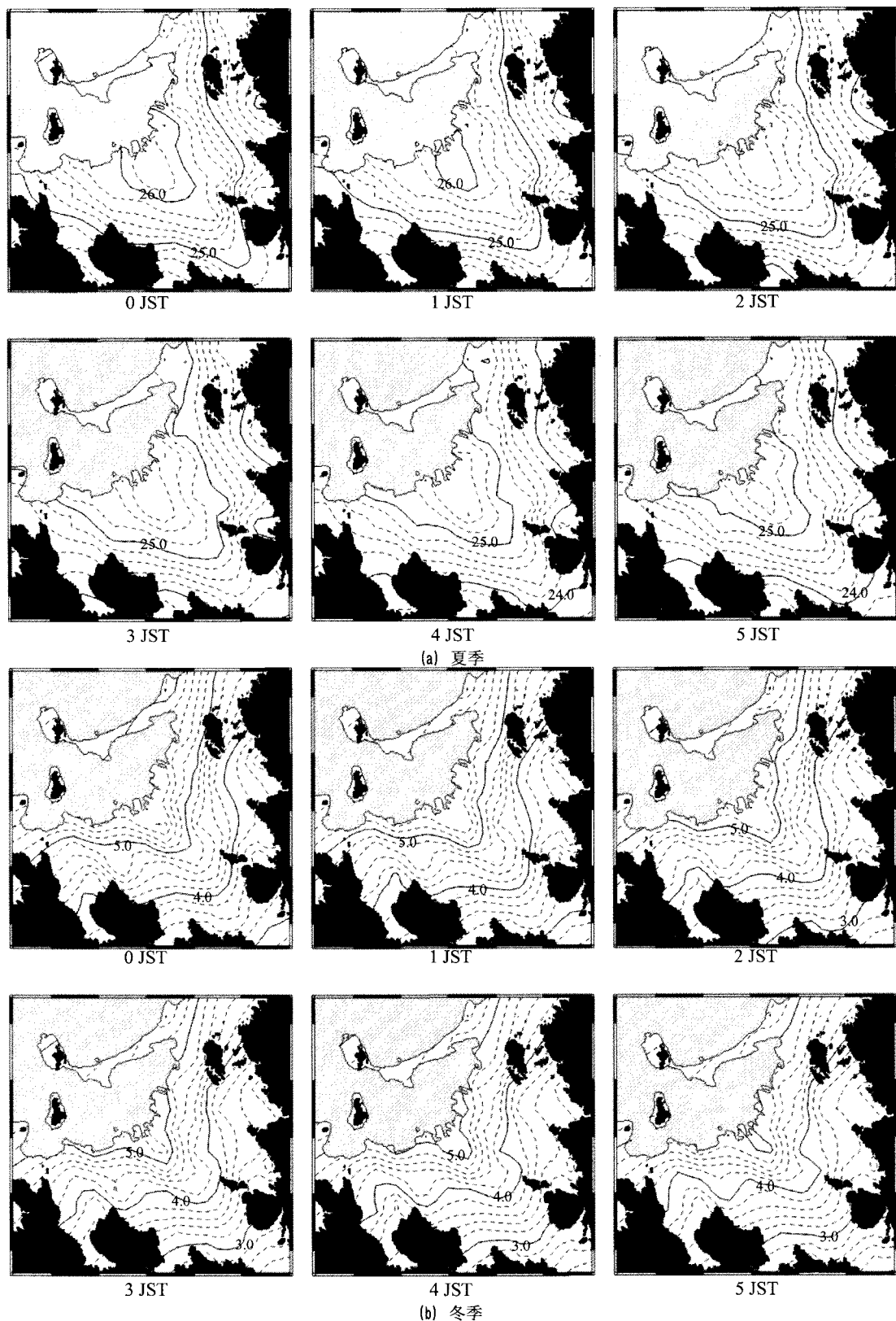


図-4 夜間の気温分布 それぞれ1時間平均したもの。

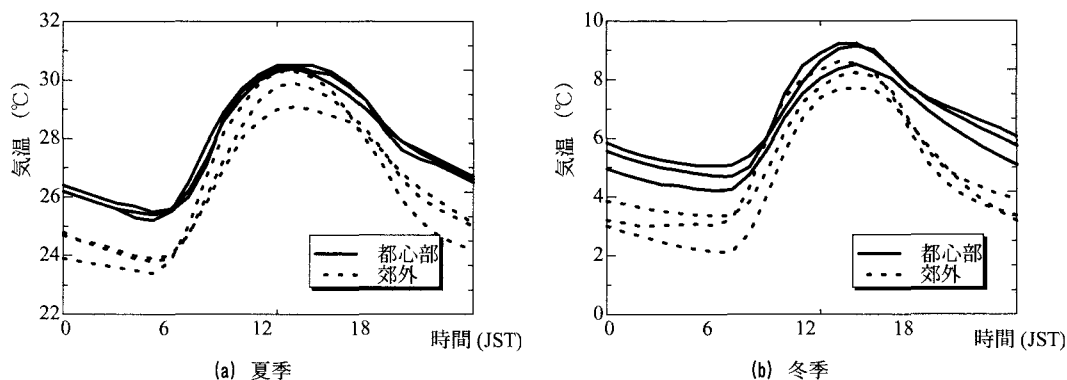


図-5 都心部および郊外の気温日変化

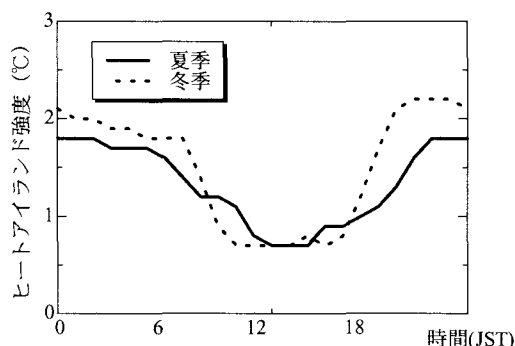


図-6 ヒートアイランド強度の日変化

り早く冷却されていることなどが考えられる。また、朝の気温上昇の開始時刻が郊外の方が都心部より早い原因としては、深夜から供給され続けていた山系からの夜間冷気流が日の出の頃にとまり、冷気流の末端が郊外を通過して去った後に郊外の気温は上昇し始めるが、冷気流はさらに都心部に向けて進み、都心部に到達した後に、都心部の気温が上昇を始めるためと推測される。

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⁸⁾。

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

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。本研究では、 T_{urban} と T_{rural} として、それぞれ図-1 (a) 中に白抜き記号で示されている 3 地点の平均を用いる。ヒートアイランド強度は夏季、冬季ともに夜間に大きくなり、日中に小さくなる。これは従来言われているヒートアイランド強度の特徴と一致する⁹⁾など。日中のヒートアイランド強度は夏季と冬季でほぼ同じ値になる。夕方から深夜にかけてのヒートアイランド強度は冬季の方が大きな値となり 2.2°C に達する。

5. おわりに

福岡都市圏において、2003 年夏から合計 71 個の温度計を用いて高密度・長期観測を行なった結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 夏季日中および冬季日中の気温分布は、福岡都市圏全域が高温になる。
- (2) 夏季夜間には、典型的なヒートアイランド構造を有する。都心部と郊外の気温差は 2.0°C 程度に達する。
- (3) 冬季夜間は、等温線が海岸線とほぼ平行になり、海岸に近い地域ほど気温が高く、内陸に向かうにつれて低温になる。気温差は 3.0°C 程度である。
- (4) ヒートアイランド強度は夏季、冬季ともに日中に小さく、夜間に大きくなる。最も大きくなるのは冬季の夜間で 2.2°C に達する。

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いただきました。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。ここに感謝の意を表します。本研究は、住友財団ならびに公益信託エスベック地球環境 研究・技術基金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) 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巻, pp.85-90, 2001.
- 4) 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
- 5) 榊原保志, 北原祐一: 日本の諸都市における人口とヒートアイランド強度の関係, 天気, 50, pp.625-633, 2003
- 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) 久田由紀子, 杉原裕司, 松永信博, 福岡都市圏における夏季のヒートアイランド構造, 水工学論文集, 第48巻, pp.181-186, 2004年2月.
- 8) Oke, T. R., City size and the urban heat island, Atmospheric Environment, 7, 1973.
- 9) 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.

HEAT ISLAND STRUCTURE IN FUKUOKA METROPOLITAN AREA IN THE SUMMER SEASON AND WINTER SEASON

Yukiko HISADA, Nobuhiro MATSUNAGA, Satoshi Ando

In order to examine the structure of urban heat island in Fukuoka metropolitan area, thermometers have been put in 71 instrument shelters of elementary schools in this area since summer of 2003. In the daytime of summer and winter, heat island intensities are small. The heat island intensities get largest in the nighttime of winter. A typical heat island pattern is seen in the nighttime of summer. The temperature difference of the high temperature and low temperature is almost 2.0 °C. In the nighttime of winter, an isothermal lines side by side from the coastline to inland area. The temperature difference is almost 3.0 °C.