

福岡都市圏における夏季夜間の ヒートアイランド構造

HEAT ISLAND STRUCTURES IN THE NIGHTTIME OF SUMMER SEASON IN FUKUOKA METROPOLITAN AREA

久田由紀子¹・松永信博²

Yukiko HISADA and Nobuhiro MATSUNAGA

¹学生員 修(工) 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 九州大学大学院教授 総合理工学研究院 (〒816-8580 春日市春日公園6-1)

The data obtained in the summer seasons of 2003 and 2004 were analyzed to examine the formation process of the urban heat island. The heat island structures with concentric isothermal lines are formed over Fukuoka metropolitan area when the background wind is weak. When the wind is strong, they are deformed because of the advection and the mixing of heat. When the background wind is weak and the cloud amount in the nighttime is small, the radiation cooling occurs and the falling rate of temperature in the rural area becomes larger than that in the downtown area. Its difference forms an obvious heat island structure over the whole area of Fukuoka metropolitan area. The heat island intensities decrease with the increase of the background wind speed and the cloud amount. The larger the solar radiation is in the daytime, the stronger the heat island intensities become in the nighttime, because the heat stored in the down town area is released in the nighttime.

Key Words : *Urban heat island, heat island intensity, radiation cooling, storage effect*

1. はじめに

多くの大都市では、ヒートアイランド現象と呼ばれる高温化現象が問題となっている。高温化の原因として、人工排熱の増加、緑地・水面等の減少などの地表面状態の変化、コンクリート等の人工構造物による蓄熱効果、高層建築物の増加による風系の変化等が挙げられるが、それらは複雑に絡み合っている。福岡都市圏では、1985年以降の夏季の平均気温が10年間に0.39°Cの割合で上昇している。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。福岡都市圏における熱環境特性に関する研究としては、片山ら¹⁾による観測例があるが、彼らの観測は自動車を用いた移動観測であるため、ヒートアイランド現象の形成要因を詳細に解明するには至っていない。

著者らは、福岡都市圏における気温の空間分布を明らかにするため、2003年夏季から長期にわたって多点同時観測を行い、ヒートアイランド現象の実態解明を試みている。著者らは、これまでに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を明らかにしている^{2),3)}。その結果、夏季夜間には福岡都市圏の都心を中心に高温域が形成され、等温線は同心円状のパターンをとり、郊外に向かって気温が低下すること、冬季夜間には海岸地

域に高温域が形成され、気温は内陸に向かって単調に低下すること、夏季、冬季とも日中には都市圏全域に高温域が一樣に広がることなどを見出した。

本研究では、福岡都市圏の夏季夜間におけるヒートアイランド構造と背景風との関係を調べた。また、背景風が弱い場合において、放射冷却に大きく関与する雲量がヒートアイランド構造にどのような影響を与えるかについて調べた。さらに日射により都市域に蓄積された熱が夜間のヒートアイランド構造に与える影響についても検討した。

2. 観測方法

図-1に示すように、福岡都市圏の北側は玄界灘が広がり、東側および南西側は600~1000mの山系が連なっている。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。図中の丸印(○と●)は温度計と温湿度計の設置点である。●で示す地点A~Fは、今回の解析対象地点である。地点CとDはJR博多駅周辺に位置し、福岡都市圏の都心部に対応する。温度計と温湿度計を約4km²に一つの割合で設置し、福岡都市圏全域にはほぼ均等に分散させた。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T&Dのおんどとり Jr. TR-52(温度計)4個を用いた. 観測を2003年7月12日から開始した. 観測方法の詳細は前報に記述されている.

本解析では欠損および異常値のなかった温度計34個, 温湿度計28個から得られた観測データを用いた. 本論文では, 夏季として, 2003年7月18日から9月13日および2004年6月14日から9月14日までの計151日の観測データを解析した.

3. 解析方法および解析結果

(1) ヒートアイランド構造に及ぼす背景風の影響

151日の観測データのうち, 夜間に降水が無い日を解析対象とするため, 福岡管区気象台の観測において「18JSTから翌6JSTまでに降水が0mmであること」を前提条件とした. 福岡都市圏における熱環境特性が背景風の強度によりどのように影響を受けるかについて明らかにするため, 背景風が弱い場合の条件として, 福岡管区気象台で取得されている観測データを用い, 「18JSTから翌6JSTまでの時間帯の平均風速が2m/s以下であること. 10分平均風速が常に3m/s未満であること.」を条件として課し, これらの条件を満たす日を抽出した. その結果, 降水が無く, 背景風が弱い日として, 34日が抽出された.

図-2(a)~(c)に19~20JST, 22~23JST, 翌1~2JSTの平均気温分布を示す. これら平均気温は, 18JSTにおける全地点の平均気温を基準値とし, 19~20JST, 22~23JST, 翌1~2JSTの気温分布から差し引き, 得られた34日のデータを平均したものである. 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. 19JSTにおいては, 東部や南部の山麓付近での気温低下が大きく, 都心を中心に等温線が同心円状となるパターンが形成し始めている. 22JSTでは, 都心を中心にした明瞭なヒートアイランド構造が形成され, 同心円状のパターンが福岡都市圏全体に広がっている. このときの都心と山麓の気温差は約3.0°Cであった. 翌1JSTには, 都市圏全体の気温は都心と山麓の気温差をほぼ一定に保ちながら一様に低下していることがわかる.

背景風の風速が強い場合の条件として, 「10分平均風速値が常に3m/s以上」という条件を用いた. この場合の抽出日数は4日間であった. 図-3に背景風が強い場合の平均気温分布を示す. 図-2と同様, 18JSTにおける全地点の平均気温を基準値として, 平均気温は19~20JST, 22~23JST, 翌1~2JSTの気温分布から差し引き, 得られた4日間のデータを平均したものである. 背景風の風速が大きい場合は, 小さい場合に比べて等値線の間隔が広く, 同心円状のヒートアイランド構造が不明瞭になっていることがわかる. この理由として, 背景風による熱の移流と平面的な混合により気温の一様化が進行したものである. 19JSTでは, 山麓付近の気温は図-2の場合と同程度まで低下しているものの, 都心から郊外に向けての気温勾配は図-2の場合より小さいことがわかる. これは, 風により都心の気温が一様に低下したためである.



図-1 福岡都市圏の地形および測器設置点. ○と●は温度計と温湿度計の設置点, ■は福岡管区気象台, 点線は解析領域を示す.

また, 図-2の場合と同様, 22~翌1JSTにかけて気温は全体的に一様に低下している.

図-4(a), (b)に背景風が弱い場合と強い場合の気温変化率の時間変化を示す. 実線は都心C, D地点の平均値, 破線は郊外のB, E地点の平均値, 点線は山麓のA, F地点の平均値を示す. 背景風が弱い場合と強い場合のいずれにおいても気温変化率は負の値を取っており, 夜間, 福岡都市圏全域にわたって気温が低下していることがわかる. 背景風が弱い場合は, 19~21JSTにかけて都心, 郊外, 山麓付近における気温低下率が大きく異なる. 山麓付近の気温低下率が最も大きく, 郊外, 都心の順に気温低下率が小さくなっていく. 22JST以降は気温低下率に地域の違いは見られない. 一方, 背景風が強い場合, 19~21JSTにおける気温低下率は非常に大きいものの, 場所による気温低下率の違いは夜間の全時間帯にわたってほとんど見られない. 背景風が弱い場合は, 風による熱の輸送は小さく, 放射冷却や斜面冷気流の発生などの対流現象が顕著となると考えられる. 従って, 図-4(a)における19~21JSTにおける気温低下率の違いは, 郊外における放射冷却や山麓付近の斜面冷気流の発生に関係していると推測される. この気温低下率の違いが, 都心と郊外との気温差を明瞭にし, 同心円状のヒートアイランド構造を形成するものと考えられる.

ヒートアイランド強度 T_{HI} の時間変化を図-5に示す. T_{HI} は山麓の2地点A, Fの平均値と都心の2地点C, Dの平均値との差として定義されている. 背景風が弱い場合, T_{HI} の値は21JSTまで急激に増加し, その後徐々に減少する. これは, 18~21JSTにおいて都心部よりも郊外で著しい気温低下が生じ, 21JST以降は都心部の気温低下量が郊外よりも若干大きくなることを示している. 一方,

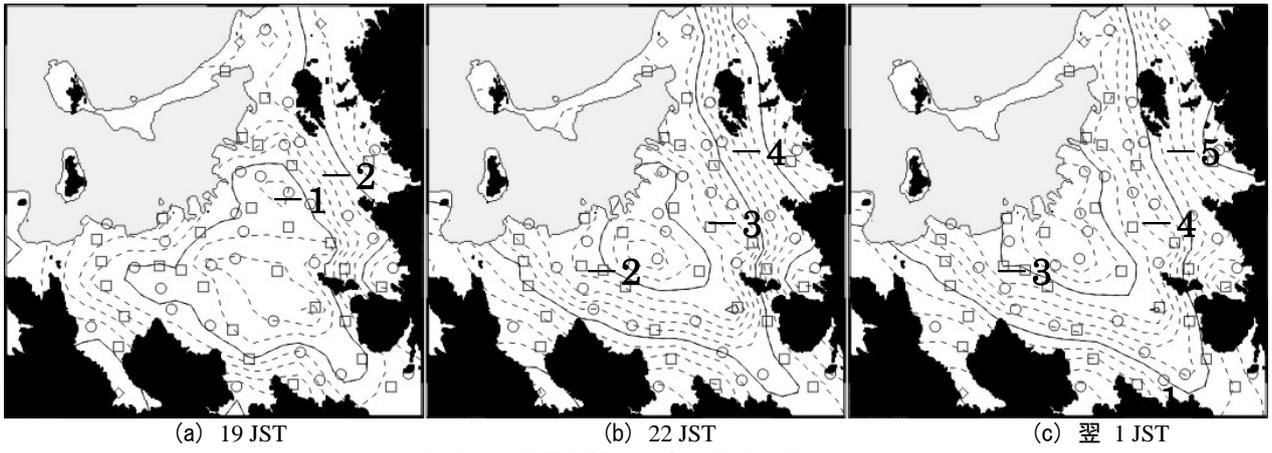


図-2 背景風が弱い場合の平均気温分布

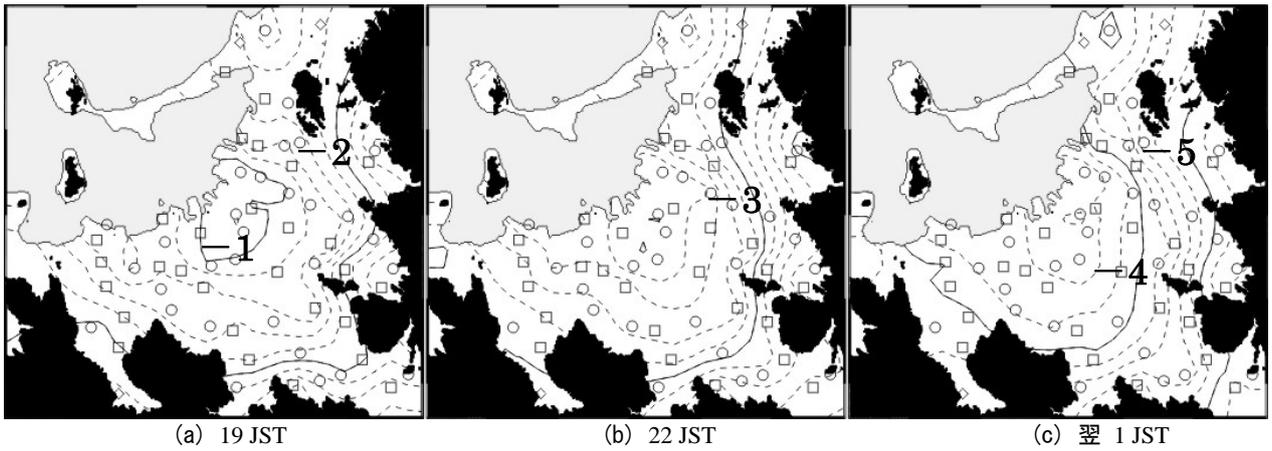
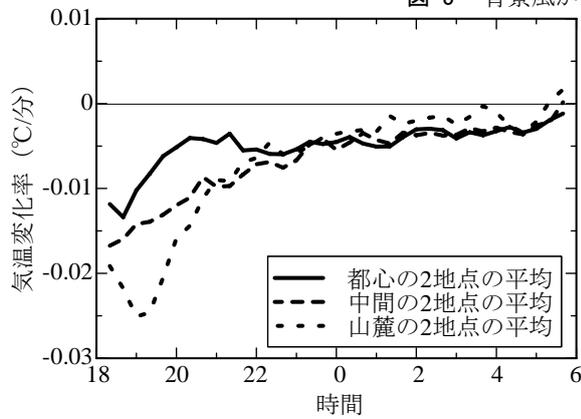
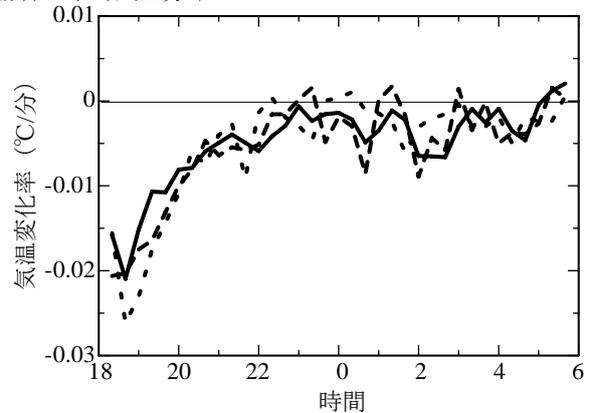


図-3 背景風が強い場合の平均気温分布



(a) 背景風が弱い場合



(b) 背景風が強い場合

図-4 気温変化率の時間変化

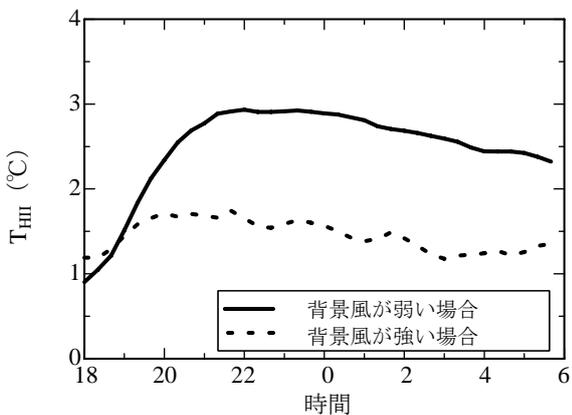


図-5 ヒートアイランド強度 T_{HI} の時間変化

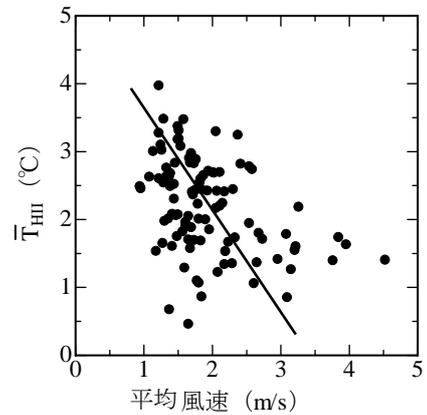


図-6 平均ヒートアイランド強度 \bar{T}_{HI} と福岡管区気象台における平均風速の関係 ($R=0.40$)

背景風が強い場合は、 T_{HII} は夜間全時間にわたってほぼ一定となる。これは、都心から郊外にかけて一様に気温が低下することを意味している。

図-6に、ヒートアイランド強度の平均値 \bar{T}_{HII} と福岡管区気象台における平均風速との関係を示す。Rは相関係数である。 \bar{T}_{HII} と平均風速はそれぞれ18JSTから翌6JSTにわたって平均された値であり、解析期間中において降水が0mmである全ての日に対して求められたものである。両者の間の相関はあまり良くないものの、平均風速が小さいほど \bar{T}_{HII} は大きくなる傾向が認められる。その理由として、晴天時において背景風の風速が小さければ小さいほど対流現象が顕著に現れ、郊外での放射冷却や山麓付近での斜面冷気流が発達しやすくなるためと考えられる。また、風速が大きくなるほど \bar{T}_{HII} が小さくなるのは、風により熱の移流と都市域の大気の混合が促進されるためと考えられる。

(2) 雲量の影響

夜間の雲量はその地域の放射冷却量に大きな影響を与える。ここでは、放射冷却の指標として夜間の雲量を条件に加え、ヒートアイランド構造に及ぼす雲量の影響について検討する。雲量が少ない日として、前節の背景風の風速が小さい場合の条件に、「平均雲量が4以下」の条件を加えて抽出した。抽出日数は7日間であった。雲量が多い日として、背景風の風速が小さい場合の条件に「平均雲量が7以上」の条件を加えて抽出した。抽出日数は4日間であった。福岡管区気象台では毎日3時間ごとに雲量が得られているが、18JST、21JST、翌3JST、6JSTにおける雲量を平均することにより夜間の平均雲量を算定した。図-7と8に、それぞれ雲量が少ない場合と多い場合の平均気温分布を示す。それぞれの時間帯は図-2、3と同様であり、平均値の求め方も同様である。雲量が少ない場合、19JSTには既に山麓から都心付近まで同心円状の気温分布が形成されており、気温勾配も大きく都心と山麓では2°C以上の気温差が生じている。22JSTには気温勾配はさらに大きくなり、3°C以上の気温差が生じている。翌1JSTでは22JSTにおける気温分布形状を保ちながら、福岡都市圏全体の気温が一様に低下している。雲量が多い場合、同心円状の等温線の間隔は、図-2の場合よりも広く、気温勾配は小さくなる。22JST、翌1JSTにも気温は低下するが、気温分布の形状は変化しない。両者の比較から、雲量が少ない場合には同心円状のヒートアイランド構造が形作られ、夜間の雲量はヒートアイランド構造に大きく影響することがわかる。

図-9(a)、(b)に、雲量が少ない場合と多い場合における気温変化率の時間変化を示す。いずれにおいても、気温変化率は負の値を取り、都市圏全域において気温が低下していることがわかる。雲量が少ない場合は、多い場合に比べて気温低下率は非常に大きく、特に、19~22JSTにかけて都心、郊外、山麓付近の気温低下率の違いが明瞭となっている。この明瞭な違いがヒートアイランド構造を形成している。22JST以降の気温変化率には地域的な違いは認められない。これらの結果から、同

心円状のヒートアイランド構造はほぼ22JSTまでに形作られることがわかる。雲量が多い場合は、変化率は大きな変動を示すものの、都心、郊外、山麓付近の値はほぼ同じで、時間的にもほぼ一定である。

ヒートアイランド強度 T_{HII} の時間変化を図-10に示す。雲量が少ない日の T_{HII} は22JSTまでに3°Cを超え、その後は緩やかに減少する。雲量が多い日との差は2°C前後にも達し、ヒートアイランド構造は雲量に強く依存することがわかる。

ヒートアイランド強度の平均値 \bar{T}_{HII} と平均雲量の関係を図-11に示す。平均値 \bar{T}_{HII} は18JSTから翌6JSTまでの平均値である。ここでの \bar{T}_{HII} と平均雲量は、背景風が弱い日を対象に求められている。平均雲量が8までは、平均雲量が大きくなるほど \bar{T}_{HII} は減少する傾向が見られ、平均雲量が8を超えたあたりから \bar{T}_{HII} の値は急激に小さくなる。

(3) 日射量の影響

日中において人工構造物に蓄積された熱が、夜になって徐々に放出される場合、都心部の気温低下が遅れ、ヒートアイランド構造がより明瞭となり、ヒートアイランド強度 T_{HII} が大きくなると考えられる。ここでは強い日射を受けた場合と受けない場合を比較し、夜間に形成されるヒートアイランド構造と日射量の関係について検討する。強い日射がある場合としては、背景風が弱いという条件に、「日中の積算日射量が20MJ/m²以上」の条件を加え、強い日射が無い場合としては、同じく風速が小さいという条件に、「10MJ/m²以下」の条件を加えることとした。図-12(a)、(b)に、それぞれ強い日射を受けた場合と受けない場合における気温の時間変化を示す。日中の積算日射量が多い場合の方が、夜間に都心と山麓地域との気温差が大きくなることがわかる。これは、日中に都心に蓄積された熱量の違いによって生じたものと考えられる。このように、日射による蓄熱が夜間に放出されれば都心の気温低下は遅れ、都心と山麓の気温の差が大きくなる。

ヒートアイランド強度 T_{HII} の時間変化を図-13に示す。日射が強い日の T_{HII} の値は21JST頃までに急激に増加し、その後緩やかに減少する。日射が少なかった日の T_{HII} は23JST過ぎまで緩やかに増加した後、減少する。このように、日射の強い日と弱い日の T_{HII} の値には大きな違いが生じることから、日射による都市域と郊外との間の蓄熱量の違いが同心円状のヒートアイランド構造を明瞭にすると推測される。

ヒートアイランド強度の平均値 \bar{T}_{HII} と積算日射量の関係を図-14に示す。 \bar{T}_{HII} は18JSTから翌6JSTまでの間の平均値である。ここで使用する \bar{T}_{HII} と積算日射量は、解析期間中において降水が0mmである全ての日に対して求めたものである。積算日射量が増加するほど \bar{T}_{HII} も大きくなる傾向があることがわかる。

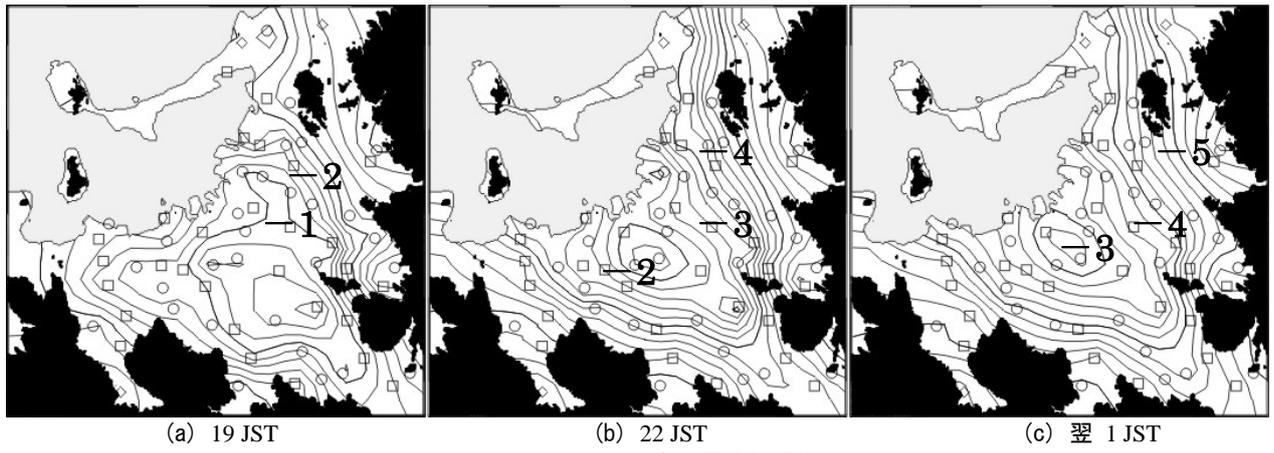


図-7 雲量が少ない場合の平均気温分布

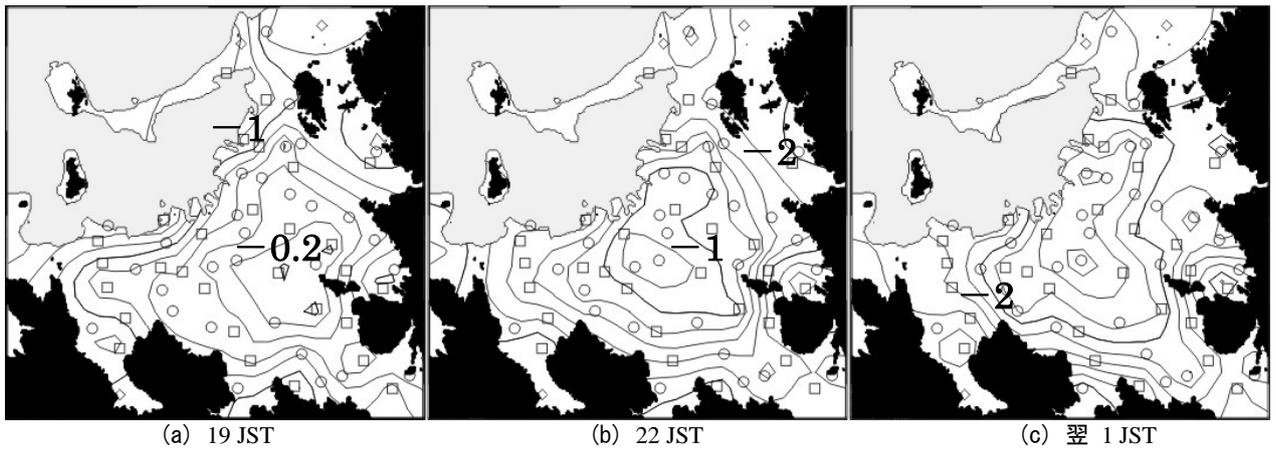


図-8 雲量が多い場合の平均気温分布

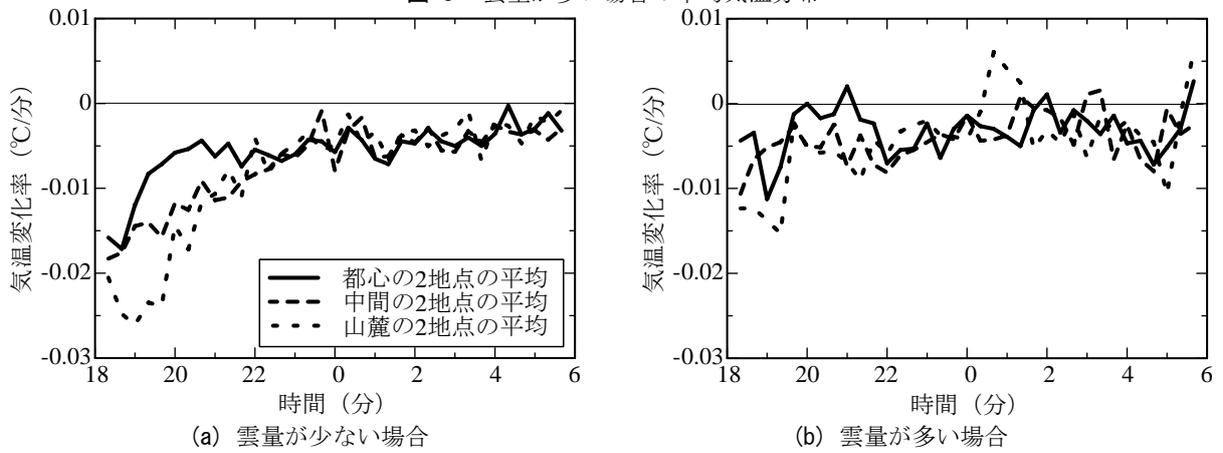


図-9 気温変化率の時間変化

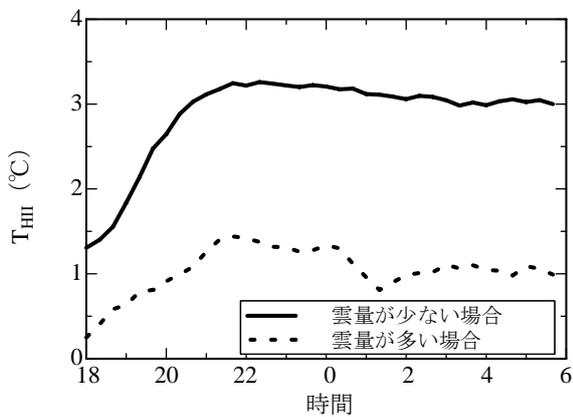


図-10 ヒートアイランド強度 T_{HI} の時間変化

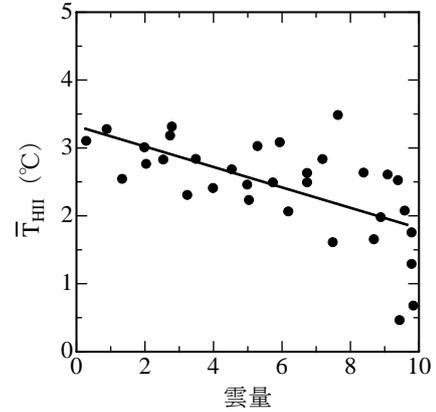
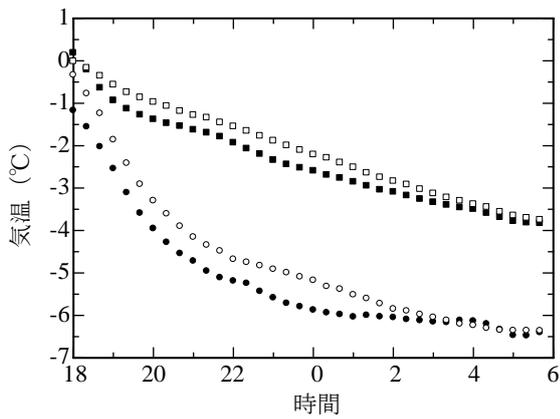
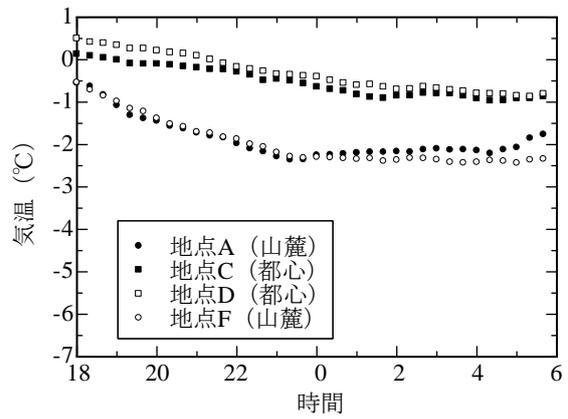


図-11 平均ヒートアイランド強度 \bar{T}_{HI} と平均雲量の関係 ($R=0.63$)



(a) 日中の積算日射量が大きい場合



(b) 日中の積算日射量が小さい場合

図-12 平均気温の時間変化

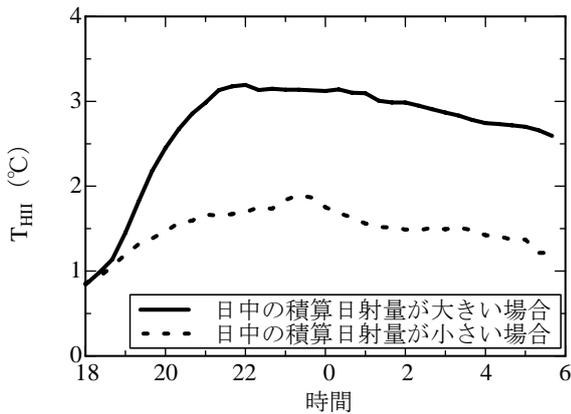


図-13 ヒートアイランド強度 T_{HI} の時間変化

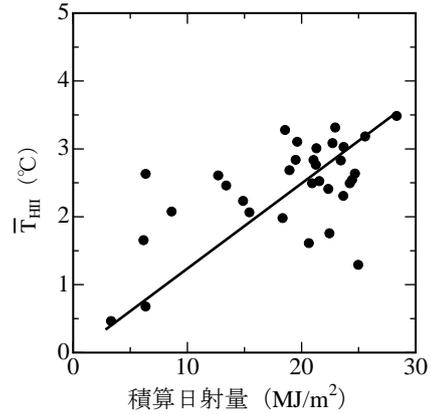


図-14 平均ヒートアイランド強度 \bar{T}_{HI} と積算日射量の関係 ($R=0.58$)

4. おわりに

2003年および2004年の夏季夜間のヒートアイランド構造について、降水がなく、背景風の風速が小さい場合を基本として、雲量の影響と日射による蓄熱の影響を検討した。得られた結果は以下の通りである。

(1) 背景風が弱い場合と強い場合では、気温分布に大きな違いが現れた。弱い場合には山麓地帯における気温低下が大きく、時間の経過とともに同心円状の等温線分布が福岡都市圏全体を覆うことになる。このため気温の空間勾配も大きくなる。18~21JSTの間で気温低下率に地域の違いが現れた。最も気温低下率が大きいのは山麓で、小さいのが都心である。この違いが、明瞭な同心円状のヒートアイランド構造を形成する。背景風が強い場合は、気温低下率に地域の違いは見られず、山麓と都心はほぼ同じ時間変化を示した。ヒートアイランド強度と平均風速の関係は、平均風速が大きいほどヒートアイランド強度が小さくなることを示した。

(2) 雲量が少ない場合と多い場合でも、気温分布に大きな違いが現れた。雲量が少ない場合には同心円状の等温線が山麓から都心まで密に並ぶ。18JSTから21JSTの間で気温低下率に地域の違いが現れた。最も気温低下率が大きいのは山麓で小さいのが都心である。雲量が多い場合、気温低下率は空間的、時間的にほぼ一様の分布を示した。ヒートアイランド強度と平均雲量の関係より、

平均雲量が大きいほどヒートアイランド強度が小さくなることが示された。

(3) 強い日射がある場合に夜間のヒートアイランド強度は大きくなる。これは、都心の蓄熱効果が夜間のヒートアイランド構造に大きく影響していることを意味している。

謝辞：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申し上げます。九州大学大学院総理工学府環境流体科学研究室の方々にはデータ回収を手伝って頂きました。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記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 久田由紀子, 松永信博, 安東聡: 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, 環境システム学論文集, Vol. 33, pp. 171-178, 2005.
- 3) 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.

(2005. 9. 30受付)