

福岡都市圏郊外における局地高温の形成

FORMATION OF LOCAL HIGH TEMPERATURE IN SUBURB OF FUKUOKA METROPOLITAN AREA

久田由紀子¹・深堀智子²・小田義裕³・松永信博⁴

Yukiko HISADA, Tomoko FUKAHORI, Yoshihiro ODA and Nobuhiro MATSUNAGA

¹正会員 博(工) 九州大学応用力学研究所 日本学術振興会特別研究員RPD
(〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

²学生会員 九州大学大学院 総合理工学府 修士課程 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

³学生会員 九州大学大学院 総合理工学府 修士課程 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

⁴正会員 工博 九州大学大学院教授 総合理工学府 福岡県春日市春日公園6-1

The region of local high temperature is formed in the suburb of the south part of Fukuoka metropolitan area. The data were obtained in the summer seasons of 2003 and 2004. They were analyzed to reveal the weather conditions in the case where the local high temperature appeared. It is seen when the flux of solar radiation was large and the wind speed was not so large. The difference between the averaged temperature over the whole observation region and that over the local high temperature region increases with the increase of the flux of solar radiation. The local high temperature seems to be strongly dependent on the local geophysical features.

Key Words : Urban heat island, Local high temperature

1. はじめに

近年、人工排熱の増加、緑地や水面の減少、人工構造物の増加などにより、多くの都市でヒートアイランド現象と呼ばれる高温化現象が深刻な問題となっている^{1), 2)}。この高温化は、大気汚染、エネルギー消費の増大、集中豪雨、熱中症の増加などの問題を引き起こす³⁾。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の案が検討・研究されているが⁴⁾、これらの対策をより効果的に行うためには、ヒートアイランド現象の実態を把握することが重要である。

福岡都市圏においても都市高温化は深刻化しており、1900年から2000年の間に平均気温が2.5℃上昇している。さらに、1985年以降の夏季に限れば10年間に0.39℃も上昇している。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が少なくない。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広域多点同時観測を行なった。これまでに福岡都市圏におけるヒートアイランド現象の特徴を明らかにし、夏季

においては都心部を中心に同心円状のヒートアイランド構造を有すること、冬季においては、都心部が最も高温となるが、等温線は海岸と平行に内陸方向に並び、内陸ほど気温が低下することを示した^{5), 6)}。また、海風の侵入による福岡都市圏の大気熱環境への影響についても明らかにし、海風による都市高温化の緩和効果は大きく、またその効果は海岸から20km離れて内陸にまで及ぶことを示した⁷⁾。さらに、これまでの観測から、福岡都市圏の南部に位置する山麓付近において、福岡都市圏の他のどの地域よりも高温になる地域があることが確認された。この地域は、観測により、少なくとも2km四方に広がっている。現地踏査からも、このような広い地域が高温になる要因と考えられる工場や施設などは存在しない。都心をはずれた郊外に、このような高温地域が現れるのは非常に興味深い現象である。

本研究では、この局地的な高温化現象が生じるときの気象条件、および高温化現象の実態を明らかにし、その現象の出現要因を検討する。

2. 観測方法

福岡平野の北側には玄海灘が広がり、東側には三郡山系、南西側には600～1000mの背振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。百葉箱の設置状態は小学校によって大きな違いがあるので、観測誤差を極力小さくするため、測器を設置する際には百葉箱の状態をひとつひとつ確認した。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、雨漏りの可能性、風通し等であり、総合的に状態の良い百葉箱を採用した。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。

使用した温度計は、SK-L200T（温度計）33個、SK-L200TH（温湿度計）33個およびJr.TR-52（温度計）5個である。これらの器差は0.2℃以内であり、5分間隔で気温データを取得するように設定した。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個から得られた気温データを用いた。

図-1に、福岡都市圏およびその周辺の地形と観測点を示す。天神・博多は福岡都市圏の中で最も都市活動が活発な都心部である。○と●で示す地点が観測地点であり、福岡平野の南部に位置する■で示される地域Xが局所的に高温となる。

本論文では、日平均気温が25℃以上となった日が4日以上連続する最初の日から、25℃未満となった日が4日以上連続する期間の前日までを夏季と定義し、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) 気温分布の経時変化

図-2(a)～(c)に、局地的な高温化現象が確認された日の一例として、2004年7月23日の気温分布の経時変化を示す。図-3(a)～(c)に、局地的な高温化現象が確認されなかった日の一例として、2003年8月14日の気温分布の経時変化を示す。(a)～(c)はそれぞれ、9JST、12JST、15JSTにおける気温データを1時間平均して得られた気温分布である。ここで、気温分布図は、 $T(x_k, y_k) = T_k$ ($k = 1, n$) としたときに、 $(1 - t)\nabla^4 T - t\nabla^2 T = 0$ ($\nabla^2 = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$) を満たす T_k を用いて作成した。 (x, y) は観測点の座標(緯度、経度)、 T は温度、 n は観測点の数である。また、 t はテンションの強さを示すものであり、この値が大きいほど1つの点の値の影響が広範囲に及ぶ。等温線の間隔は、実線で示された等温線の間隔が0.5℃、破線で示された等温線の間隔が0.1℃である。



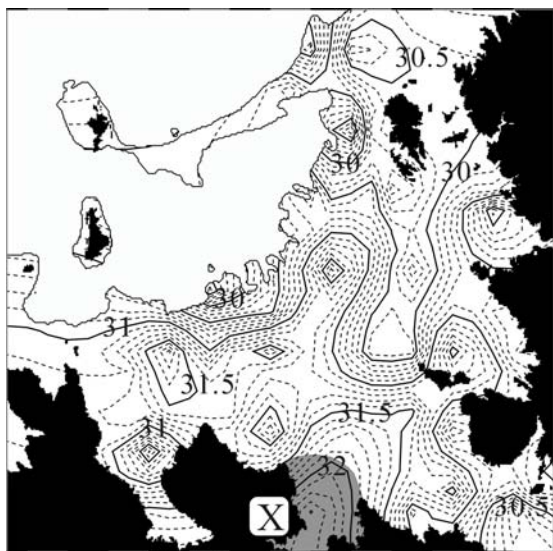
図-1 福岡都市圏の地形および観測点。

●は局地的に高温となる地域の観測点。○はその他の観測点。▲は福岡管区气象台、▼は大宰府のAMeDAS。

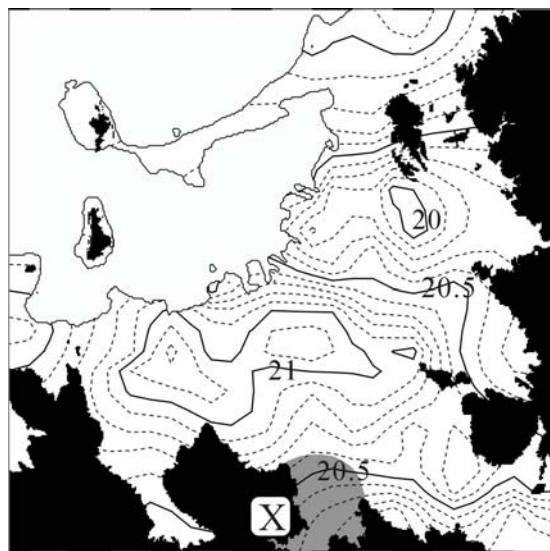
図-2(a)で示されるように、9JSTにおける福岡都市圏の気温分布は全体的に29.5℃から31.0℃程度である。地域Xの気温は32.0℃を越え、既に周辺より高くなっている。図-2(b)より、12JSTにおける都市圏全域の気温は上昇し、34.5℃～35.5℃程度である。地域Xの気温はさらに上昇し、36.0℃以上に達する。沿岸地域では海岸線に平行な等温線が密に並んでいるのがわかる。これは、海風の侵入により、海岸付近の気温が低下しているためである。図-2(c)より、15JSTにおける都市圏全域の気温は12JSTより低下している。しかし、地域Xの気温は低下せず、12JSTとほぼ同程度である。海岸線に平行な等温線は、内陸の方向に幅が若干広がる。地域Xと都心部との気温差は、9JSTに約1.4℃、12JSTに約3℃、15JSTに約4.3℃となる。

図-3より、9JSTと12JSTでは都心部の気温が高くなり、郊外に向かって同心円状に気温が低下する。15JSTにはその構造は崩れる。いずれの時刻においても、都心部の気温が郊外よりも高く、地域Xについても際立った上昇はみられない。

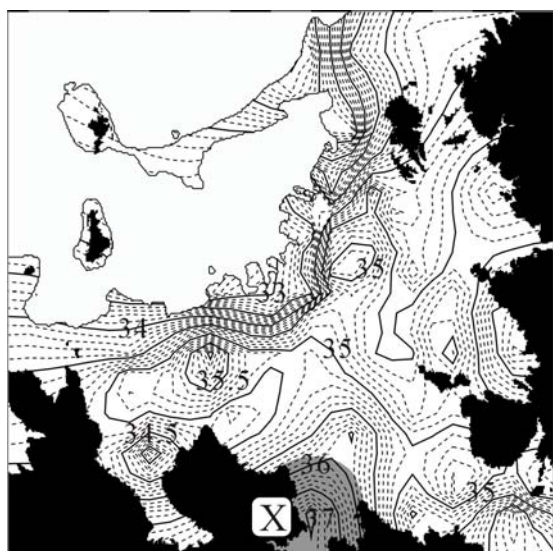
地域Xにおける3個の温度計の信頼性を検討した。温度計の精度は検定により、誤差は0.2℃以内であることが確認されている。温度計を設置している百葉箱および百葉箱周辺の状態も異常は認められない。3個の温度計は同時に、同じように上昇し、この場合の気象特性は類似している。この地域特性は、観測誤差とは考えられない。また、この地域を現地踏査したところ、一帯は低層住宅、田畑、小規模な森林が広がり、工場や熱源となるような大きな施設は存在しない。以上のことから、これらの地域が高温となる要因は気象的なもの、地形的なもの



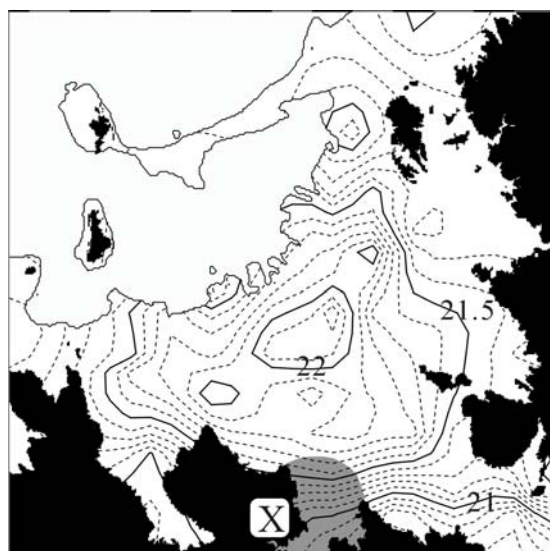
(a) 9JST



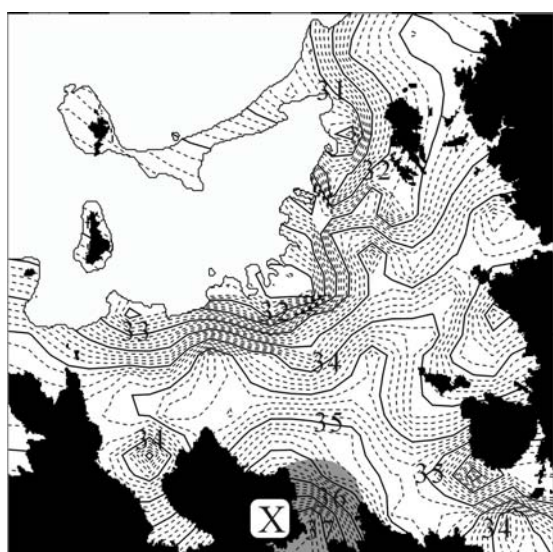
(a) 9JST



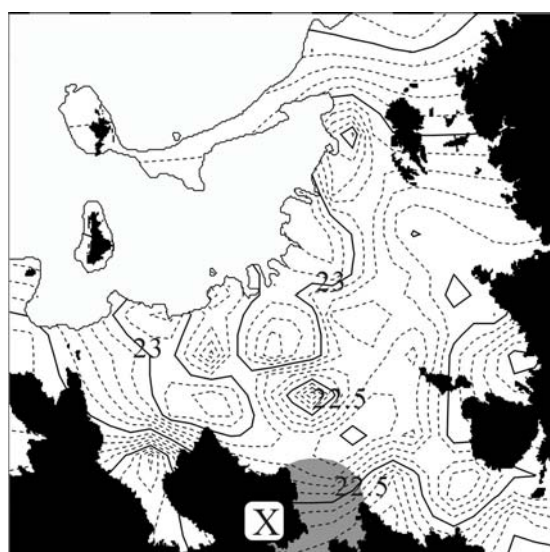
(b) 12JST



(b) 12JST



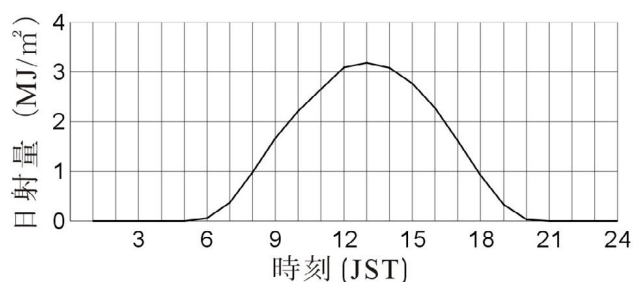
(c) 15JST



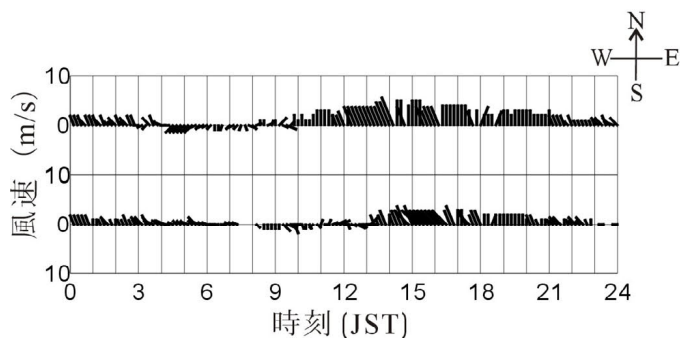
(c) 15JST

図-2 2004年7月23日(高温化現象が出現する日)の
気温分布

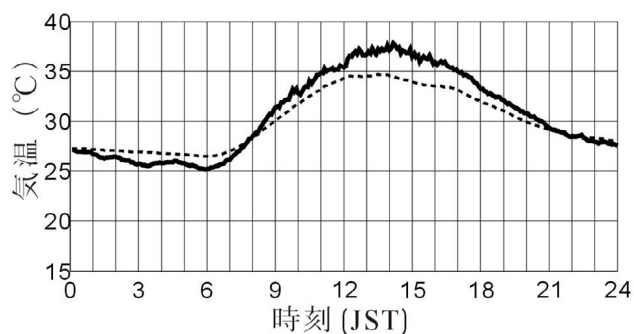
図-3 2003年8月14日(高温化現象が出現しない日)の
気温分布



(a) 全天日射量の経時変化

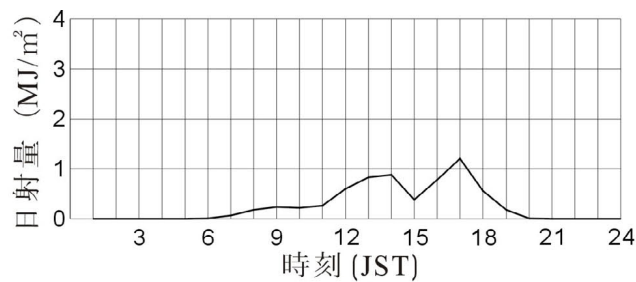


(b) 福岡管区気象台(上)と大宰府(下)における
風向・風速の経時変化

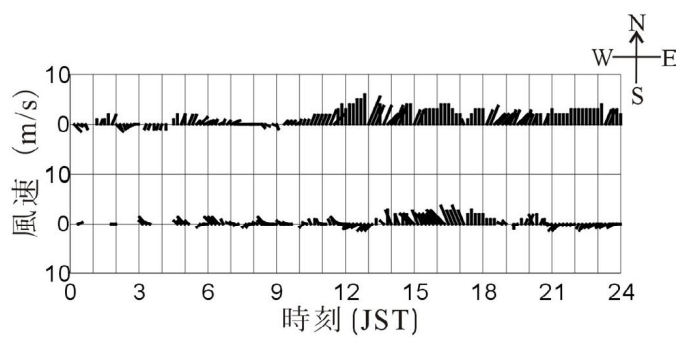


(c) 全観測点の平均気温(破線)と地域Xの平均
気温(実線)の経時変化

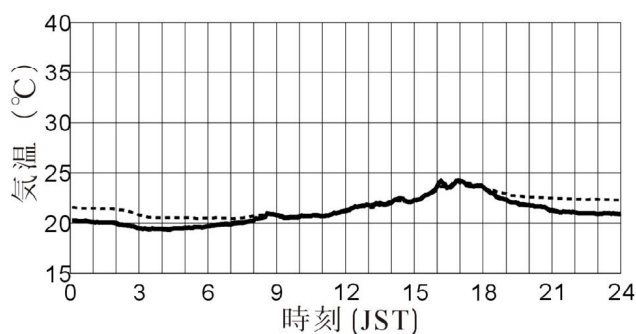
図-4 2004年7月23日(高温化現象が出現する日)の気象概況



(a) 全天日射量の経時変化



(b) 福岡管区気象台(上)と大宰府(下)における
風向・風速の経時変化



(c) 全観測点の平均気温(破線)と地域Xの平均
気温(実線)の経時変化

図-5 2003年8月14日(高温化現象が出現しない日)の気象概況

のであると考えられる。

(2) 気象条件と気温の経時変化

図-4(a)～(c)と図-5(a)～(c)に、それぞれ、2004年7月23日と2003年8月14日における気象概況を示す。(a)は福岡管区気象台における全天日射量の時別値の経時変化、(b)は福岡管区気象台と大宰府のAMeDASにおける風向・風速の10分値の経時変化、(c)は全観測点と地域Xにおける平均気温の経時変化を示す。ここで、地域Xの平均気温は、図-1の■内にある●の3点で測られた気温の平均値である。

図-4(a)から、全天日射量は6JST過ぎに増加し始め、13JSTには最大となり、その後単調に減少し、20JST頃までに0となることがわかる。この日は、1日を通して晴天日であったことがわかる。図-4(b)から、福岡管区気象台においては、4JST頃まで北西の風、4JSTから8JSTは南西の風、8JST過ぎからは北の風となることがわかる。大宰府においては、7JST頃まで北西の風、7JSTから

11JST頃は南東の風、11JST過ぎからは北の風となる。福岡都市圏における海風日の条件⁷⁾を用いて抽出すると、2004年7月23日は海風発生日となる。福岡都市圏における海風の侵入方向は北から北西である。福岡管区気象台においては8JST過ぎから、大宰府においては11JST過ぎから北の風となる。このことから、福岡管区気象台において8JST頃に侵入した海風は、約3時間後に内陸域にある大宰府に到達したと考えられる。図-4(c)から、地域Xの平均気温は、日の出前には全観測点の平均気温よりも低いことがわかる。8JST頃から地域Xの平均気温が全観測点の平均気温を越える。その気温差は時間の経過とともに増加し、14JST頃に最大となり3.4℃に達する。その後は減少し、21JST頃に全観測点の平均気温と同程度になる。局地的な高温化現象が確認できる日は、この日に限らず他の日についても、8JST頃にこの様に気温が逆転することがわかっている。その後の気温差は、気象状態によって異なる。福岡都市圏への海風の侵入開始の平均的な時刻は9JSTであることが分かっており⁸⁾、地域X

に海風が到達する時刻は12JST頃と推測される。このことより、この高温化現象は海風侵入とは無関係と考えられる。高温となる地域における夜間の平均気温が、全観測点の平均気温よりも低くなるのは、夜間には都心部を中心に高温地域が形成され、郊外に向かって気温が低下するというヒートアイランド現象によるためと考えられる。

図-5(a)より、日射は6JST 過ぎから生じ、15JSTに一旦は低下するが、また増加し始め、17JSTに最大となり、その後減少することがわかる。この日の積算日射量は2004年7月23日に比べ少ないことがわかる。図-5(b)から、福岡管区气象台では、9JST頃までは北の風と南の風が短時間周期で入れ替わり、その後は北の風となることがわかる。大宰府では、13JSTまでは北の風と南の風が短時間周期で入れ替わり、13JSTから21JSTは北の風となり、その後また南の風となる。図-5(c)から、日の出前には地域Xの平均気温が全観測点の平均気温よりも低く、図-4(c)と同じ気温の関係が認められる。8JSTから18JST頃にかけては、両者の平均気温の差はほとんどみられない。

(3) 局地高温現象の発生条件

ここで、地域X内にある3地点の平均気温と、全観測点の平均気温の差が著しい日を局地高温現象出現日とし、気温差がほとんどない日を局地高温現象非出現日と呼ぶことにする。解析のため、局地高温現象出現日の条件としては、「地域X内の3地点の平均気温が全観測点の平均気温より 2.0°C 以上高くなる時間が1時間以上ある日」と定義した。非出現日の条件としては、「同気温差が 0.2°C 以下となる時間が3時間以上ある日」と定義した。その結果、局地高温現象出現日として32日が抽出された。非出現日としては、31日が抽出された。ただし、台風の日除外している。

図-6に、局地高温現象の出現条件を示す。横軸は積算日射量 S_{day} であり、日の出から日の入りまでの1日の積算値としている。縦軸は平均風速であり、1日の風速の平均値である。●は局地高温現象の出現日を表し、△は非出現日を表している。また、Aで示す●は、2004年7月23日のデータであり、Bで示す△は、2003年8月14日のデータである。

局地高温現象出現日は、積算日射量が大きく、平均風速が弱い領域に集中していることがわかる。Aはこの条件の中に位置する。非出現日は、多くが積算日射量の小さい領域に位置する。Bはこの条件の中に位置する。また、積算日射量が大きい場合でも、平均風速が強い領域は非出現日となる。この理由としては、強風が吹くことで、日射や人工排熱などによる熱が広く分散されたためと考えられる。

(4) 局地高温強度

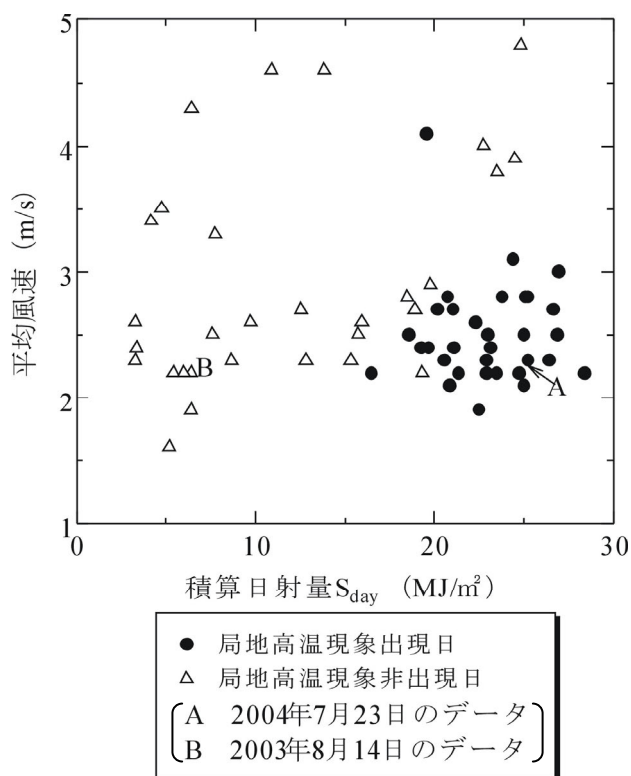


図-6 局地高温現象の出現条件

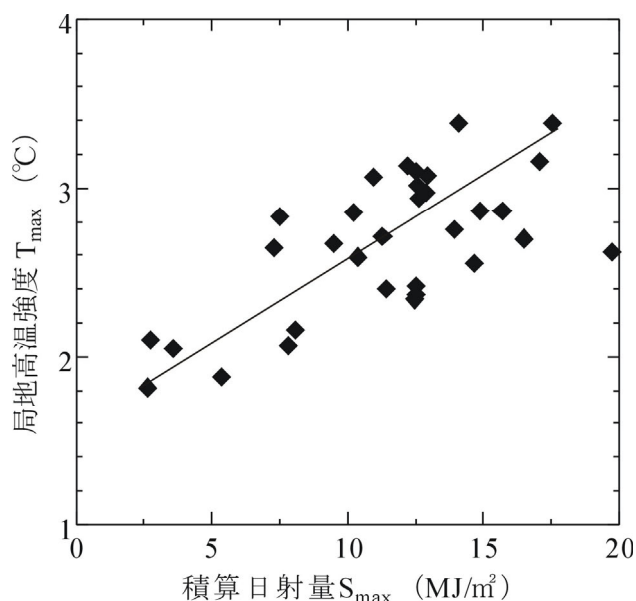


図-7 局地高温強度と積算日射量との関係

図-7に、局地高温強度 T_{max} と、積算日射量 S_{max} との関係を示す。ここで、地域X内の3地点の平均気温と、全観測地点の平均気温との気温差を T と定義し、日の出から日の入りまでの間に T が最大となったときの気温差を T_{max} とする。ただし、何らかの天候変化により一時的に日射量が減少し、その結果として T が小さくなる場合は、それ以前の最大気温差を T_{max} と定義する。 S_{max} は、日の出から T_{max} となる時刻までの日射量の積算値である。

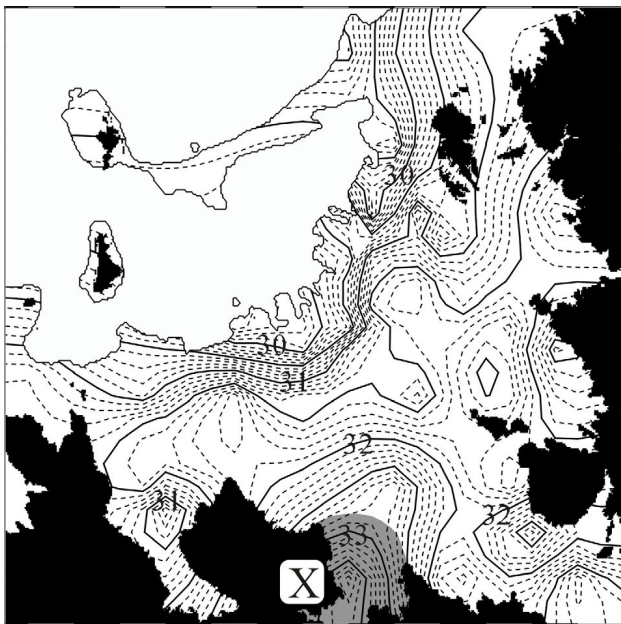


図-8 局地高温出現日の平均気温

図-7から、 S_{max} と T_{max} との間には正の相関があることがわかる。日射が大きいほど、地域Xの気温は、他の地域に比べ、著しく上昇すると考えられる。

(5) 局地高温出現日における平均気温分布

図-8に、局地高温現象出現日32日間の12JSTにおける気温を平均した分布を示す。等温線の間隔は、図-2、3と同様に、実線で示された等温線の間隔が 0.5°C 、破線で示された等温線の間隔が 0.1°C である。海岸線近くでは、海岸線に平行に伸びた等温線分布となっているが、内陸域では、海岸線に平行に伸びた等温線分布は崩れる。地域Xでは、他の地域と比較すると、著しく気温が高くなっていることがわかる。局地高温現象の出現地域は都市圏の郊外であり、人工排熱は都心部よりも明らかに少ない。人工排熱の少ない郊外において、都心部や他の郊外の地域よりも、地域Xの気温は高くなる。気温上昇の開始時間を考慮すると、海風による都心部からの熱の移流と考えることは困難である。局地的な高温化現象の出現地域は背後には高さ800m級の背振山系がちななる。このことから、地域Xは、盆地に近い形状となっていると考えられ、風が滞留し、熱の拡散が遮断されることにより、気温が極端に上昇するものと推測される。なお、地域Xと似た条件の地形が西側にも存在するが、そこでは高温域が明確にあらわれていない。その理由は十分に分かっていないのが現状である。今後、観測点を増やす、風の観測を追加するなど、さらなる詳細な観測が必要と考えている。

4. おわりに

福岡都市圏の南部に位置する山麓付近において出現す

る局地的な高温現象について検討した。本論文では、夏季について解析を行っている。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 局地的な高温化現象は日中に出現する。高温地域の平均気温は、8JST頃に都市圏全域の平均気温を上回り、時間の経過とともに両者の気温差は増大し、最大で 3.4°C 程度となる。夜間には、局地高温現象出現地域の平均気温は全観測点の平均気温よりも低くなる。
- (2) 局地高温の出現日は、積算日射量が大きく、かつ、平均風速の弱い日である。積算日射量が小さい日、および、平均風速の強い日には局地高温は出現しない。
- (3) 局地高温強度と積算日射量には、正の相関が確認された。日射が大きいほど、局所的に高温となる地域の気温が、福岡都市圏全域の平均気温よりも高くなる。

今後は、局地的な高温化現象の出現地域およびその周辺の風向・風速を詳細に調べることで、その地域周辺での局地的な熱の輸送を明らかにし、局地高温現象の形成要因を明確にする予定である。

謝辞

観測を行うにあたって、百葉箱の設置に御協力頂い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皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Oke, T. R. : Boundary layer climates. 2nd. Ed., Methuen, 1987.
- 2) 川村武 編：大気環境の科学3；都市の大気環境，東京大学出版会，1979.
- 3) 平成15年度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：環境省，2004.
- 4) 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，国土交通省，2004.
- 5) 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.
- 6) 久田由紀子，杉原祐司，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.
- 7) 久田由紀子，松永信博，安東聡：海風侵入が福岡都市圏の熱環境に及ぼす影響，水工学論文集，第50巻，pp. 487-492，2006.
- 8) 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.

(2007. 9. 30受付)