

# 姫路市におけるヒートアイランド研究 —気温分布の季節変化観測

Urban heat island observation in Himeji city:  
Seasonal variation of the horizontal and vertical temperature profile

古橋 和樹\*<sup>1</sup>                      河野 仁\*<sup>2</sup>  
Kazuki Furuhashi                      Hitoshi Kono

\*<sup>1</sup> 株式会社創発システム研究所 SOHATSU Systems Laboratory Inc.

\*<sup>2</sup> 兵庫県立大学名誉教授 Professor Emeritus at University of Hyogo

Corresponding author: Author Kazuki Furuhashi, furuhashi@sohatsu.com

## ABSTRACT

To study the urban heat island, we observed temperature at six sites in the city of Himeji over 21 months. The temperature was compared with those observed by the Automated Meteorological Data Acquisition System in Himeji (urban area), Fukusaki (rural area) and Ieshima (island). The vertical temperature profile was simultaneously observed on a tower at 18-m and 70-m heights. The results show that under land breezes, the average urban-rural temperature difference in early morning was 1.7°C in January and 1.4°C in August. The average urban-seaside temperature difference under sea breezes was 0.7°C at 12:00 in August. Temperature varied with downwind distance from the upwind edge of the Himeji urban area, under land or sea breezes. Potential temperature differences between the urban surface (18-m height), urban upper level (70-m height) and rural surface (1.5-m height) were small during January daytime. However, these differences were large during August daytime because of strong solar radiation.

キーワード: ヒートアイランド, 姫路市, 水平温度分布, 垂直温度分布

**Key Words** : Urban heat island , Himeji city, Horizontal temperature profile , Vertical temperature profile

## 1. はじめに

東京首都圏や近畿圏などの大都市では頻りにヒートアイランドの研究が行われているが、兵庫県姫路市では詳細なヒートアイランドの研究がされていない。姫路でのヒートアイランド研究はアメダス姫路と郊外の福崎を比較したもの<sup>(1)</sup>があるが、姫路市街地を含めた気温分布の観測は行われていない。姫路市は人口 54 万人<sup>(2)</sup>の中規模都市である。姫路市の地形の特徴は、北方に標高 200m~500m の山があり、この山は中国山地につながっている。(図 2)また、姫路市が位置する播磨平野西部は、中国山地を南北に横切る谷の出口にあたり、市川、夢前川、揖保川の 3 本の河川が平野に流れ込んでいる。南は瀬戸内海に面し、平野の南北方向の幅は約 7km である。本研究は、姫路市のヒートアイランドの観測を目的として、姫路市街地を含めた南北断面の気温の分布と市街地のタワーを使って、高さ 70m までの鉛直方向の気温分布を同時に観測したものである。

都市の水平断面の温度分布については熊本における長期

観測<sup>(3)</sup>、また東京大田区におけるタワーでの鉛直方向の観測<sup>(4)</sup>が行われているが、水平断面と鉛直方向とを同時に長期的に観測した研究例は日本では見当たらない。

また、福岡の事例<sup>(5)</sup>の様に、海陸風が海岸線に垂直方向の気温分布に影響を与えることが知られているため、同時期の風向についても調査した。

## 2. 方法

### 2.1 気温測定

解析に使った気温の測定点を図 1 と表 1 に示す。気温の測定点は 9 点である。9 点の内、著者らが設置した測定点が 6 点、アメダス測定局が 3 点(姫路、福崎、家島)である。著者らが設置した測定点の中で、自作の通風シェルターを設置したのは 4 点である。通風シェルターの電源が確保できなかった 2 点は、百葉箱を使用した。百葉箱内の温度は日中 0.2±0.1°C 高くなる<sup>(6)</sup>ため、日中については通風シェルターのデータのみ表示した。明け方の結果は両者を区別

せずに扱った。また、明石二見(W)の海水温の観測値<sup>(7)</sup>も解析に使用した。図1のU18,70(都心部)は通信タワーの地上高さ18m, 70mの観測点を指す。なお、各観測点の地上高さ、海拔高さはそれぞれ異なるため、海拔0mの温位に補正した。

気温の観測には、サーミスタ温度計(エスペックミック RT-31S, 機差補正後の精度は約±0.1℃)を用いた。サンプリング間隔は5分で行い、取得したデータから1時間平均値の温度を求めた。例えば、7時の気温は7:00~7:59の間に観測したデータの平均値である。ただし、アメダス測定局の7時の気温は6:59~7:00の平均値である。

観測期間は、2010年12月から2012年8月である。今回は2011年1月と2011年8月の2ヶ月を夏季と冬季の代表月のデータとして提示した。なお気温分布に関しては、2012年4月と2011年10月の春秋の結果も示した。

野外で観測を行うため、太陽からの日射や地表面からの輻射熱などの放射の影響を除去する必要がある。そのため、自作のアルミ3重構造の強制通風シェルターを作成した。作成したシェルターはアスман通風乾湿計と比較し、誤差が0.1℃以下での精度が確認された。

通風シェルターは電源が必要となるため、多数の観測点を確保できなかった。そのため測定点を選定する際に、局所的な気温変化を受けない、周辺数百mの範囲を代表する地域代表性の高い場所を選んだ。具体的には、建物屋上やタワー、学校のグラウンドといった通風性の良い測定点に温度計を通風シェルターに入れて設置した。建物屋上の温度計設置場所についても通風性の良い場所を探して設置した。U点については、日中、測定点の風上となる南方向にペントハウス(高さh=10m, 幅w=40m)があるため屋上の複数の点に温度計を設置して温度分布を調べた。温度の測定結果から通風性を検討し、日中最も温度が低くなる通風性の良い場所(ペントハウスから最も離れた距離x=5h)に温度計を設置した。なお、既存の風洞実験の結果(上原ら, 1998)<sup>(8)</sup>から、ペントハウスからx=5hの距離、屋上面からの高さz=1.5mではペントハウスが起こすキャビティーの外にあると推定できる。タワーの地上18m, 70mの測定点についてもLESモデルを使って、CFDで周辺建物の気流を計算し、気温測定点が周辺建物のキャビティー内に入らないことを確認している。その計算結果は省略した。

## 2.2 風配図の作成

河野、西塚<sup>(9)</sup>によると、姫路の風向の時間別変化と海陸の気温差の時間変化はよく対応していると報告されている。そこでアメダス姫路で観測された風のデータから風配図を作成し、気温分布との関係を調査した<sup>(9)</sup>。風配図の観測点を図2、図3に示す。

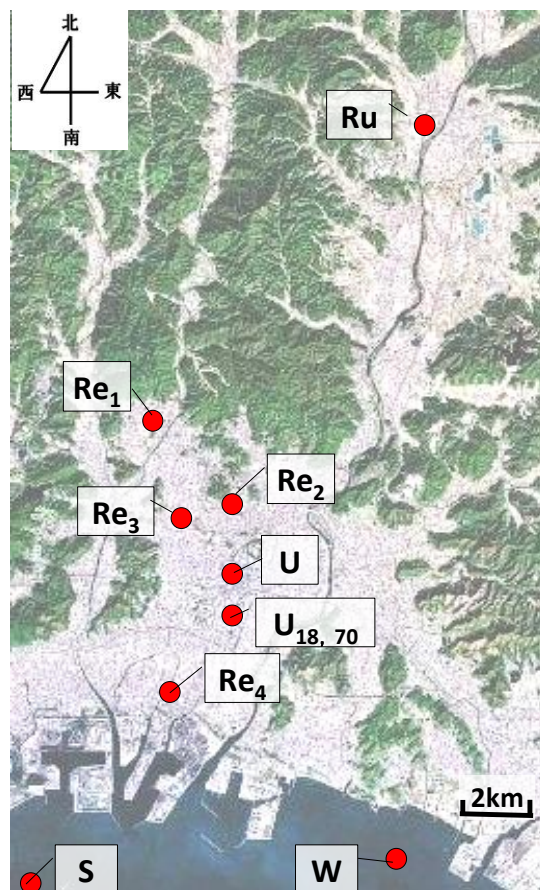


図1 温度測定観測点の分布  
南北：30km, 東西15kmの範囲を示す。  
写真出典：Google マップ

表1 気温測定点

記号	強制通風	測定場所	地上高さ(m)	土地利用
Re <sub>1</sub>	無	小学校校庭	1.5	郊外
Re <sub>2</sub>	無	小学校校庭	1.5	住宅
Re <sub>3</sub>	有	アメダス姫路	1.5	住宅
Re <sub>4</sub>	無	小学校校庭	20	住宅
U	有	建物屋上	33	都心部
U <sub>18</sub>	有	タワー	18	都心部
U <sub>70</sub>	有	タワー	70	都心部
Ru	有	アメダス福崎	1.5	郊外
S	有	アメダス家島	1.5	郊外

## 3. 結果と考察

### 3.1 1月と8月の風配図

毎日の6時と12時からそれぞれ前10分間の最多風向について、1月の31日間の頻度分布(風配図)を表したのが図2である。図2は南北30km, 東西15kmの範囲を示す。1月は、昼間12時は西寄りの季節風が多く、明け方6時は、北寄りの陸風が多かった。1月のアメダス姫路の平均風速

は2.9m/sであった。なお、福崎の明け方は全風向を加算した風向頻度が他の測定局と比べて少ないが、これは静穏の頻度が51.6%と多かったためである。

次に、8月の風配図を表したのが図3である。昼間12時は南寄りの海風が多く、明け方5時は北寄りの陸風が多かった。8月のアメダス姫路の平均風速は3.2m/sであった。

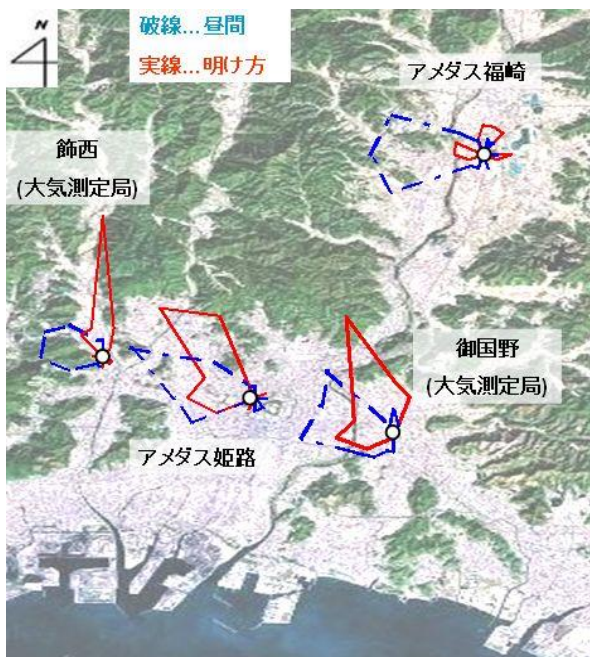


図2 1月の6時と12時の風配図  
(風配図内の○は、風配図中心を示す。図のサイズは縦横比が原図、図1と異なる。横が拡大されている)

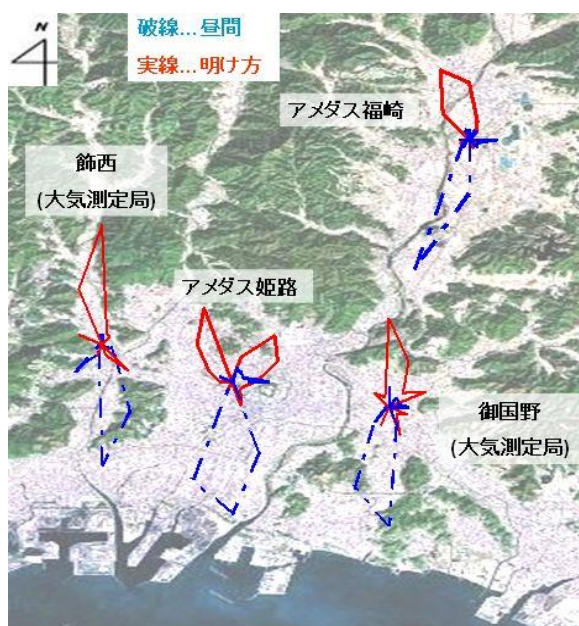


図3 8月の5時と12時の風配図  
(縦横比は原図と異なる)

### 3.2 1月と8月の気温分布

1月の6時および12時の気温の1ヶ月平均気温分布と95%信頼区間をグラフにしたものが図4である。95%信頼区間は、各測定点の月平均気温の95%信頼区間ではなく、6時には風上の福崎を基準点、12時には風上の家島を基準点とし、基準点と各測定点の気温差の母平均の95%信頼区間、つまり、地点間の気温差の月平均値の揺らぎ範囲を示している。以下、図5、図6、図7も同じである。ここで、我々の観測データは、正時から5分間隔にサンプリングした気温を12個平均したものを正時の気温とした。アメダスは正時前1分間の平均気温を正時の気温としている。両者に違いはあるが、その差は無視している。

昼間の12時では、都心部(U)は郊外(Ru)と比較して0.4℃高かった。この時の風は、西寄りの季節風である。

また、明け方の6時では都心部(U18)と郊外(Re1)とを比較して最大1.7℃の温度差が見られた。また都心部下流に位置する住宅地(Re4)の温度は都心部(U18)より0.3℃低いが、郊外(Ru)より1.4℃高い。ここで、都心部と郊外の気温差は95%信頼区間幅と比べて大きく、有意の差であることがわかる。以下、図5～図7も同様である。

明け方では北寄りの陸風が都心部に向かって吹いており、住宅街、都心部に移動するにつれて空気は暖められ、その影響が風下(Re4)の気温にまで及んでいると考えられる。

日中は西寄りの季節風であるが、都心部が郊外より高い分布になっている。

次に8月の気温分布を図5に示す。昼間12時は、都心部(U18)と海上の家島(S)との温度差は0.7℃であった。だが同時に郊外観測点(Ru)と海上の家島(S)との温度差は1.9℃あった。つまり、都心部のヒートアイランドより海陸の温度差の方が強く、海陸の温度差にヒートアイランドが隠れている構図になっていることが分かった。これは河野、西塚<sup>(1)</sup>の結果と整合する。この時の風は南寄りの海風であった。

また明け方5時は、郊外観測点(Ru)と都心部(U18)との温度差は最大1.4℃あった。この時の風は北寄りの陸風であった。8月の明け方の気温分布は1月と同様である。郊外から住宅街、都心部に移動するにつれて空気は暖められ、その影響が風下(Re4)の気温にまで及んでいると考えられる。昼間の気温分布は、海岸から内陸に進むに連れ、気温が上昇する。8月の結果は、風と気温分布の関係が1月の結果よりもより顕著に現れていた。これらの気温分布と海陸風との関係性は、人口規模の大きな福岡における観測例<sup>(5)</sup>などと整合している。なお、8月の晴れの日のみも調べたが、上記の8月のデータと特に変わらなかった。

春(4月)と秋(10月)は、昼間は海上の気温が最も低く内陸が最も高い、明け方は内陸の気温が最も低く都心部が最も高い、8月同様の気温分布となっていた。

4月の結果を図6に示す。明け方で郊外(Re1)と都心部(U18)との温度差が最大1.5℃、昼間12時は、都心部(U18)と海上の家島(S)との温度差が0.9℃、郊外観測点(Ru)と海上の家島(S)との温度差が2.2℃あった。

また 10 月の結果を図 7 に示す。明け方で郊外(Re1)と都心部(U18)との温度差が 1.4℃, 昼間 12 時において都心部(U18)と海上の家島(S) で 0.6℃の温度差, 郊外観測点 (Ru)

と海上の家島(S)との温度差が 1.1℃あった。なお, 10 月, 海側観測点(Re4)は観測機器の故障のため観測できなかった。4 月, 10 月の都心部 U 地点 12 時は欠測である。

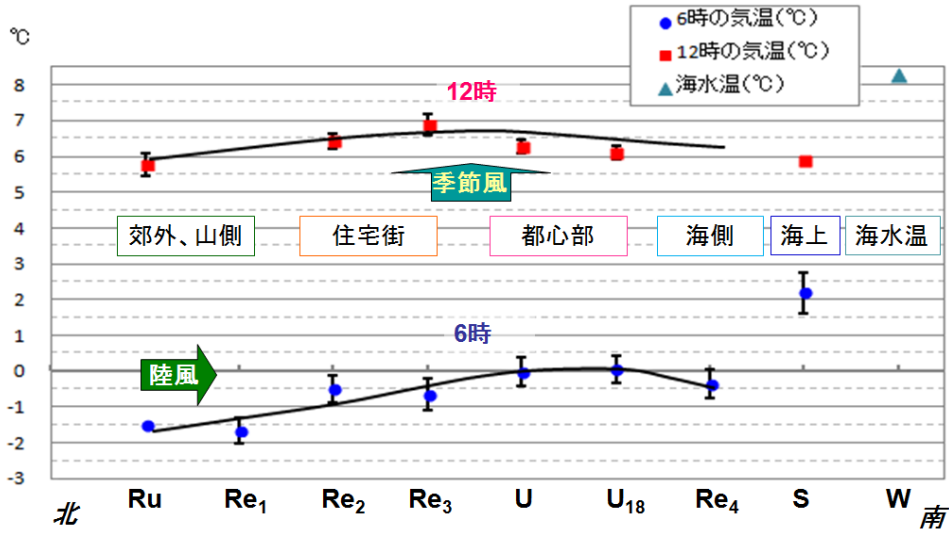


図 4 1 月の姫路市街地とその周辺の気温分布  
(6 時および 12 時の気温平均値と基準点との気温差母平均の 95%信頼区間)

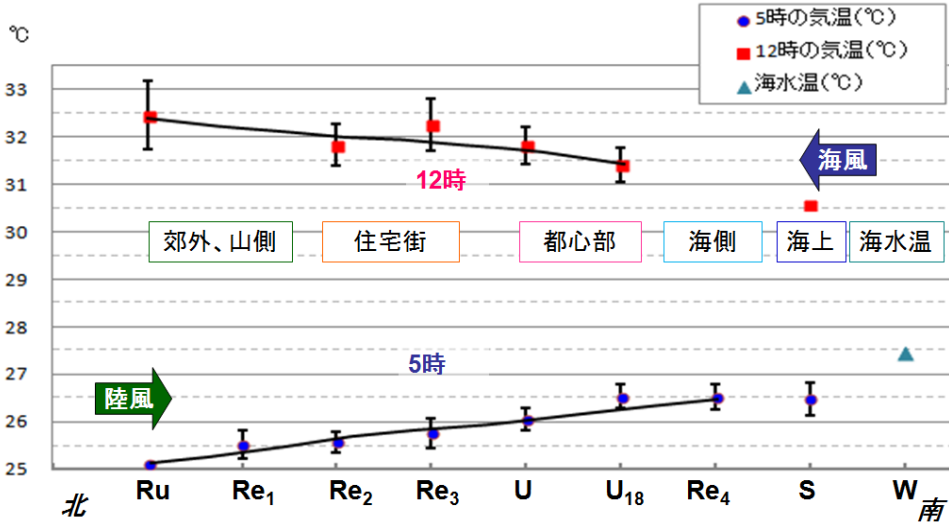


図 5 8 月の姫路市街地とその周辺の気温分布(5 時および 12 時)

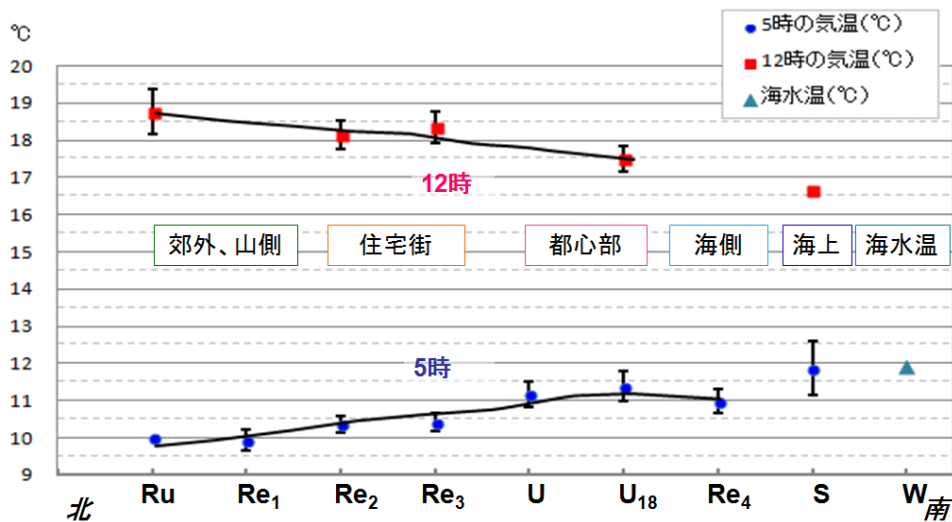


図6 4月の姫路市街地とその周辺の気温分布(5時および12時)

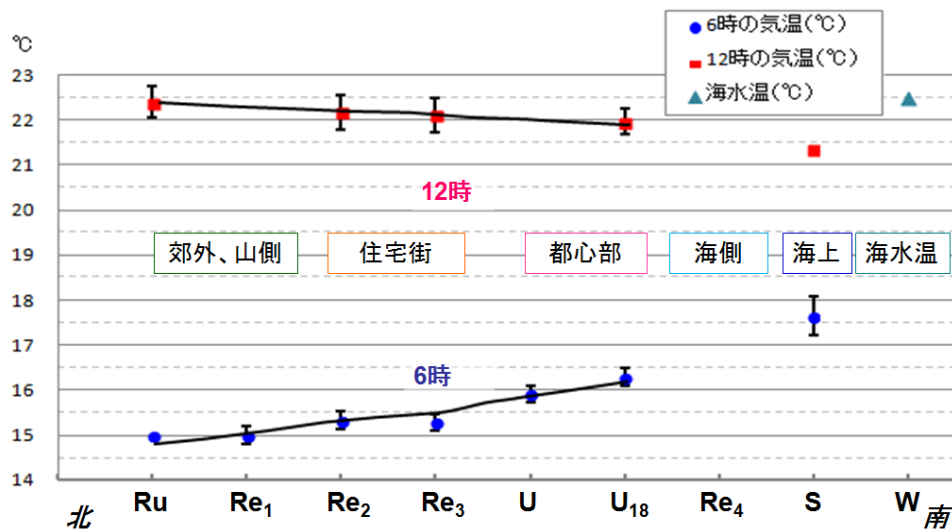


図7 10月の姫路市街地とその周辺の気温分布(6時および12時)

以上の結果から、明け方の郊外と都心部の気温差の季節最大は冬季に出現し、姫路市では1月平均値で1.7°Cであった。なお、風速1.4m/sと弱風で快晴であった1月12日には3.4°Cの最大気温差が観測されているが、東京で冬季に観測された6~7°C<sup>(10)</sup>や大阪での最大値5°C程度<sup>(11)</sup>のような大都市ほどの気温差ではない。都市と郊外の気温差に関しては、日々の気象条件の違いによる影響はあるが、本論文では月平均についての議論を中心とし、日々の気象条件にはこれ以上立ち入らない。

### 3.3 1月と8月の平均鉛直温位分布

1月と8月の鉛直方向の温位分布をそれぞれ図8と図9に示す。比較に用いたのは、観測点U(タワー)の地上高さ18mと70m、郊外観測点Ru(アメダス福崎)、海上観測点S(アメダス家島)、海水温W(明石二見)<sup>(7)</sup>の5点である。

1月の平均温位分布は、明け方6時では海陸(海上観測点Sと郊外観測点Ru)で3.7°Cの温度差、都心観測点(U18)と内陸郊外(Ru)で1.6°Cの温度差と、海陸、都心部と内陸郊外ともに大きな温度差があった。この時の鉛直方向の温位差、 $\theta(18m) - \theta(70m) = -0.4^\circ\text{C}/52\text{m}$ から気温の逆転層が発生しており、この時間帯では乱流による大気拡散が少ないと考えられる。

また、昼間の12時での都心観測点(U18)と内陸郊外(Ru)の温度差は0.3°C、都心部と海上観測点(S)の温度差が0.2°Cであり、昼間の都心部と郊外の温度差がほぼないという結果になった。この時の鉛直方向の温位差は $\theta(18m) - \theta(70m) = 0.2^\circ\text{C}/52\text{m}$ であり、大気の状態は弱不安定であった。この時の平均風速は3.6m/sであった。つまり乱流による大気拡散がある程度はあったと考えられる。

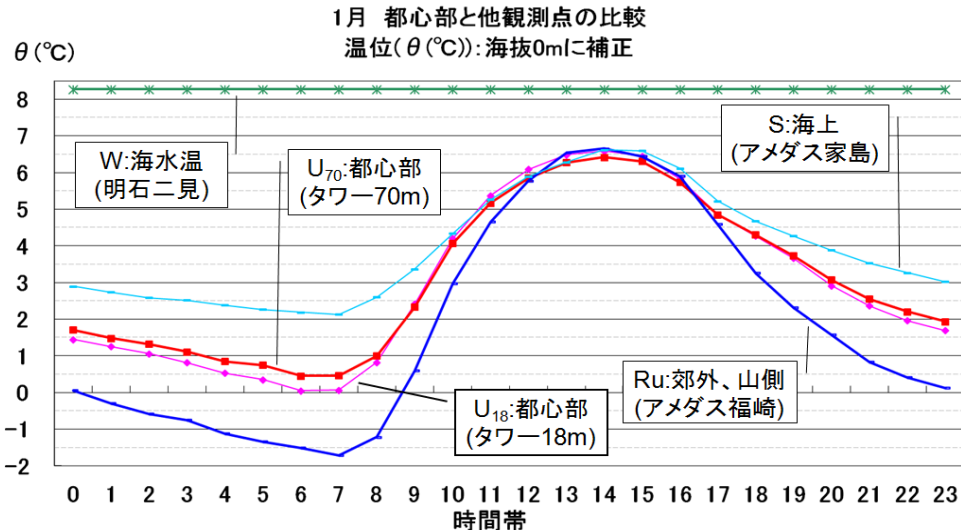


図8 1月平均の温位分布

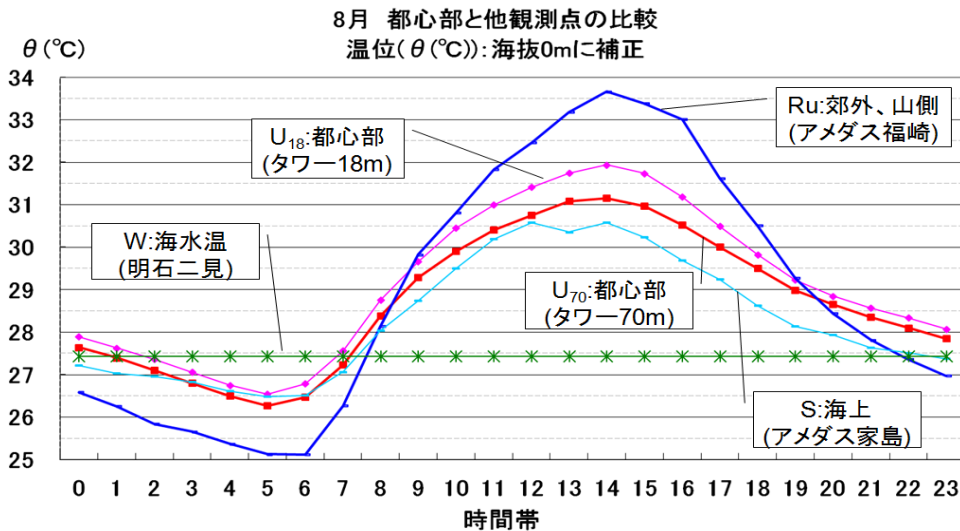


図9 8月平均の温位分布

次に8月の平均温位分布を示す。明け方5時は、都心部の方が内陸郊外より温度が1.4°C高かった。この時の大気安定度は、 $\theta(18m) - \theta(70m) = 0.2^\circ\text{C}/52\text{m}$ であり弱不安定であった。なお、この時の海陸の温度差(S-Ru)が1.2°Cであった。昼間の12時では、内陸郊外の方が都心部より1.1°C高く、また海陸の温度差(Ru-S)は1.9°Cあり、内陸の過熱が顕著であった。この時、 $\theta(18m) - \theta(70m) = 0.6^\circ\text{C}$ であり、上空70mは地表に比べて温位が低い状態であった。1月とは対照的である。

都市と郊外の気温差に対する大気安定度の影響は日射の影響がない夜間に出ると予想される。昼間は日射の影響が気温分布に強く現れ、大気安定度の影響は影に隠れてしまう。タワーの鉛直温位分布から、明け方は1月が8月よりも下層大気が安定であることが示されている。しかし予想に反し、明け方の郊外と都市部の気温差は、1月と8月に、顕著な違いは見られない。その理由は、風速にあると考え

られる。姫路では年間を通して、夜間に陸風が発達し、風速は1月と8月共に2m/s程度あり、夏冬の差が小さいことがわかっている<sup>(1)</sup>。この影響で、夜間の都市の空気の換気速度に大きな差がないために、気温分布の差が小さくなっていると思われる。

#### 4. 結論

人口規模54万人の姫路市においてヒートアイランドの観測を1年9ヶ月行い、次の結論を得た。

- (1) 夏冬ともに、陸風時(8月5時, 1月6時)および海風時(12時)に、姫路市街地では、風下方向に気温が変化するという結果が得られた。気温の分布が海陸風と関係するという結果については、福岡<sup>(5)</sup>と同様の傾向を示した。
- (2) 8月5時, 1月6時共に、陸風が吹き、5時および6時

の月平均気温は内陸部の郊外で最も低く、都心へ向かって気温が上昇する。上昇量は1月で1.7°C、8月で1.4°Cである。都心の約4km風下の住宅地においても都心部の高温がほぼ維持された。

- (3) 8月の12時は海風が卓越し、12時の月平均気温は海上(家島)が最も気温が低く、内陸に向かって1.9°C上昇する。一方、海上から都心への気温の上昇量は0.7°Cであり、都市のヒートアイランドの効果よりは海陸の気温差の方が大きい。
- (4) 1月の12時の月平均気温は、都心部(U)は郊外(Ru)と比較して0.4°C高かった。この時の風向は西寄りであった。
- (5) 1月の日中は都市の地上高さ18m、70mおよび郊外(地上高さ1.5m)との温位差はほとんどなかった。これと対照的に、8月の日中は、3点の温位差が顕著に現れており、強い日射による地表面加熱の影響が見られる。
- (6) 明け方の鉛直方向の温位差は、1月が $-0.4^{\circ}\text{C}/52\text{m}$ 、8月が $0.2^{\circ}\text{C}/52\text{m}$ であり、1月が8月よりも下層大気が安定である。それにも関わらず、1月と8月で明け方の郊外と都市部の気温差がほぼ同じである理由は、年間を通じて夜間2m/s程度に発達する陸風の影響で、都市の空気の換気速度に大きな差がないためであると考えられる。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、姫路市立飾磨小学校、姫路市立曾左小学校、ヤマトヤンキ姫路店、国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所に観測場所を提供して頂きました。ご協力に心から感謝の意を表します。

## 参考文献

- (1) 河野仁・西塚幸子、播磨平野(姫路)の海陸風の統計的解析、海面水温との関係、天気 53(9) (2006), pp.701-706.
- (2) 姫路市統計情報(2013.3)  
(<http://www.city.himeji.lg.jp/toukei/menu1.html>, 2013/4/15 参照)
- (3) 齊藤郁雄・久保隆太郎・酒井孝司・石原修、熊本市における気温・湿度分布の長期点観測 第1報 中規模都市のヒートアイランド現象に関する研究、日本建築学会環境系論文集,611(2007), pp.59-66.
- (4) 木本由花・森脇亮・神田学、長期観測に基づいた都市キャノピー内外における温位プロファイル特性、水工学論文集, 48(2004), pp.163-168.
- (5) 片山忠久・依田浩敏、福岡一海陸風を生かした都市づくり 都市環境のクリマアトラス, 93-104(2000), ぎょうせい.
- (6) 近藤純正ホームページ、「K23. 観測法変更による気温の不連続」  
(<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke23.html>, 2010/12/10, 2011/1/25, 1/30, 2013/4/15 参照).
- (7) 兵庫県立農林水産技術総合センター 水産技術センターホームページ、「水温観測情報」のページより  
([http://www.hyogo-suigi.jp/suion/pc\\_mnsui.htm](http://www.hyogo-suigi.jp/suion/pc_mnsui.htm), 2010/12/20 参照).

(<http://www.asahi-net.or.jp/~rk7j-kndu/kenkyu/ke23.html>, 2010/12/10, 2011/1/25, 1/30, 2013/4/15 参照).

- (8) 上原清・村上周三・老川進・若松伸司、温度成層下のストリートキャニオン内部流れに対する道路幅の影響に関する風洞実験、市街地における汚染物の拡散に関する実験的研究 その4、日本建築学会計画系論文集, No.510(1998), pp.37-44.
- (9) 気象庁、「過去の気象データ検索」のページより  
(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2010/12/20, 2013/4/15 参照).
- (10) 三上岳彦、都市のヒートアイランド現象とその形成要因—東京首都圏の事例研究—、地学雑誌 114(3) (2005), pp.496-506.
- (11) 鍋島美奈子・古崎靖朗・中尾正喜・西岡真稔、移動観測によるヒートアイランド現象の実測 大阪平野の夜間気温分布、日本ヒートアイランド学会論文集 Vol.1(2006), pp.51-56.

(Received July 22, 2013, Accepted April 3, 2015)