

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

EXPERIMENTAL STUDY OF HEAT ISLAND PHENOMINA BY MOBILE MEASUREMENT SYSTEM

HORIZONTAL AIR TEMPERATURE DISTRIBUTION AT NIGHT IN THE OSAKA PLAIN

鍋島美奈子^{*1}, 古崎靖朗^{*1}, 中尾正喜^{*1}, 西岡真稔^{*1}

Minako NABESHIMA, Yasuaki KOZAKI, Masaki NAKAO, Masatoshi NISHIOKA

^{*1} 大阪市立大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Osaka City University

Corresponding author: Minako Nabeshima, nabeshima@urban.eng.osaka-cu.ac.jp

ABSTRACT

There are 2 kinds of typically experimental method to survey urban heat island (UHI) phenomena: one is to analyze air temperature differences between urban and rural meteorological observatories; the other is to monitor horizontal temperature distribution by a mobile measurement from urban area to rural area. An advantage of the latter method is high spatial density of measured data. This paper proposes mobile measurement system for observing nocturnal urban heat island (UHI) phenomena and shows horizontal temperature distribution of the Osaka Plain. This paper shows a case of coastal supercity, Osaka, which has climatological problems caused by urbanization. For example, the daily minimum temperature has been kept high during the night in summer; the time to change from sea breeze into land breeze has been later. In this paper the horizontal temperature distribution in the Osaka Plain has been observed in the period of August - December 2005 using the mobile measurement system with GPS receiver. The mobile measurement system enables to measure some parameters while moving extensively at high speed, so that observation area during a few hours is expanded. The center of Osaka City had been higher than the average through the observation period. In winter Osaka bay coastal part has been higher area, while in summer the eastern part of the Osaka Plain has been higher area. The northern part and the southern part of the Osaka Plain have been found lower temperature area. UHI intensity is defined differences between average temperature of the center of Osaka City and that of the northern part or the southern part. Negative correlation between UHI intensity and infrared radiation has been pointed out. The maximum value of UHI intensity is 5 degree C, which has been observed on Nov. 9th.

キーワード：移動観測，高速道路，ヒートアイランド強度

Key Words: Mobile measurement, Express highway, Urban heat island intensity

1 研究の目的と背景

都市のヒートアイランド現象を把握するための方法として、AMeDASなどの気象観測点（以下、固定観測点とする）のデータを分析する方法があるが、一般に固定観測点の設置空間密度は粗く、都市内の空間分布を詳細に把握するのは難しい。観測点の密度を高める手段として、移動観測がある。自動車を利用した移動観測によって都市内の気温分布を観測した例として、榊原ら[1]による長野県の調査や、Bottyanら[2]によるハンガリーでの調査がある。いずれも内陸部の盆地に位置する小都市で行われた結果である。清田ら[3]の広島での調査、菊池ら[4]の名古屋での調査は、いずれも海に面した大都市での調査であるが、都市内の10km四方の範囲でおこなわれたものである。

本研究では、海に面した大都市大阪のヒートアイランド現象を、大阪平野の移動観測により明らかにする。気温分布を効率よく実測するために、高速道路を利用した移動観測ルートを設定し、計測車にGPS受信機を載せ、位

置情報と気温等の計測データを同時に記録することにより、短時間で広範囲の観測を可能にする。

西側に大阪湾を臨む大阪平野は、中心に人口263万人の大阪市があり、その周辺にベッドタウンが広がって

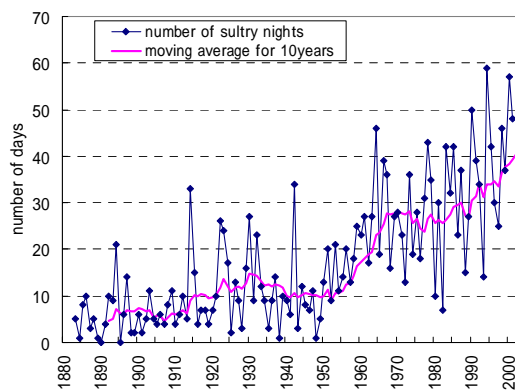


Figure 1 The number of sultry nights of Osaka from AMeDAS

る。京都盆地に通じる北東方向（淀川沿い）を除いて、平野の周辺を山地に囲まれており 20km × 30km 程度の広さである。この大阪平野でも他の大都市と同じように、都市化によって引き起こされる気候的な問題を抱えている。図 1 に示すように大阪管区気象台の熱帯夜日数は 1950 年代以降上昇傾向にあり、大阪市や大阪府下の周辺自治体でも夏季のヒートアイランド対策に力をいれている。

本論文では、2005 年 8 月から 12 月に行った移動観測より、夏から冬にかけての大阪平野における深夜の気温分布と、ヒートアイランド強度（以下、UHI 強度とする）についての分析結果を報告する。

2 観測装置

図 2 に観測車の断面図を、表 1 に測器概要を示す。ルーフキャリアに GPS、日射計、赤外放射計を設置している。また、観測車後部、地上高さ 350mm の位置に放射温度計を設置し、路面温度の計測を行っている。温度センサーには 0.1mm 径の熱電対を用いた。熱電対のセンサー部を日射遮蔽シェルター（真空断熱 PET ボトルホルダ

ー）の中心部に配置し、自然通風としている。日射遮蔽シェルターをステンレスの棒に連結し、走行時に観測車自身からの排熱の影響を受けないように、エンジンルーム上部、地上高さ 1500mm の位置に取り付けた。なお、本移動観測システムは、日中、夜間を問わず使用できるように設計した。

本論文では、上記観測項目のうち、気温について考察をおこなう。

3 実測の概要

図 3 に移動観測のルートと大阪市中心部の拡大図を示す。ルートのは半分は高速道路上であり、時速約 80[km/h] で走行すると 3 時間程度で 1 周できる。観測時間帯は 8 月と 12 月の一部を除いて午前 2~5 時である。計測間隔は 4 秒（GPS のみ 2 秒）で、約 80~90m 間隔に 1 個の観測点が得られる。観測高度は海拔 10~80m だが、起伏のある図 3 中の A B と C D 付近を除いては、およそ 20~40m 程度である。2005 年 8 月以降、月に 4 回程度の移動観測を継続的に行っている。

Table 1 Specific of the mobile measurement system

Instrument	Item	Specifications
Thermocouple Type T[CC] (0.1mm)	Air temp., Surface temp. in the shelter	Temperature range:-200 to 600 , Time constant : 1.1sec
Infrared Thermocouple Sensor (IRTS-P,CAMPBEL)	Road-surface temp.	Accuracy: ± 0.3 from -10 to 55 , Time constant : 0.25sec
Pyranometer (MS-802,EKO INSTRUMENTS)	Solar radiation	Spectral range:300 to 2800nm, Time constant : 2.0sec
Pyrgometer (MS-202,EKO INSTRUMENTS)	Infrared radiation	Spectral range:3 to 50 μ m, Time constant : 6.7sec
GPS Receiver (16-HVS,GARMIN)	latitude,longitude,UTC	NMEA(PGRMC),GPS accuracy:<15mRMS,95% typical
Data Logger (CR1000,CAMPBEL)	-	Error in TC(Type T) temperature: ± 0.412

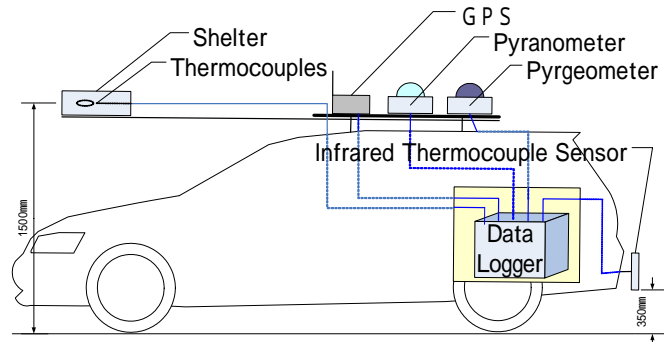
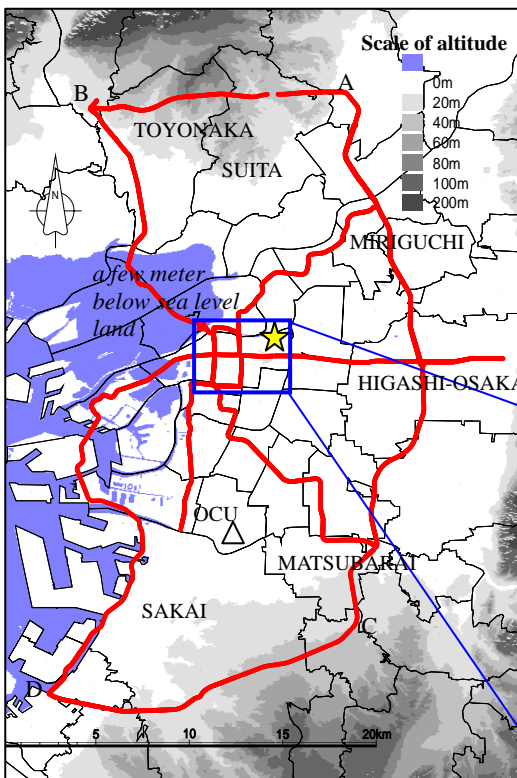


Figure 2 A cross section diagram of the mobile measurement system

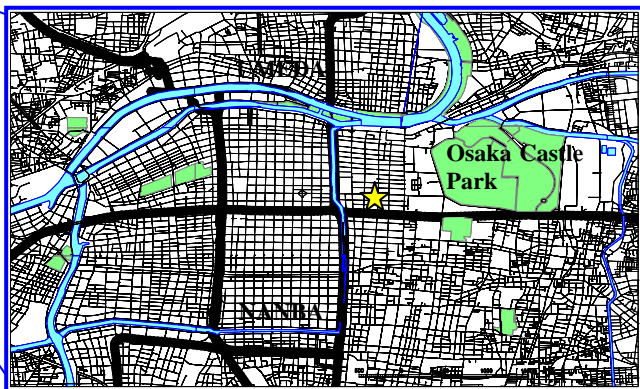


Figure 3 Observation route in the Osaka Plain using expressways (the left figure) and a close-up of the center of Osaka City (the right figure). A triangle mark in the left figure shows the weather station of Osaka City Univ. (OCU). A star mark shows the Osaka district meteorological observatory.

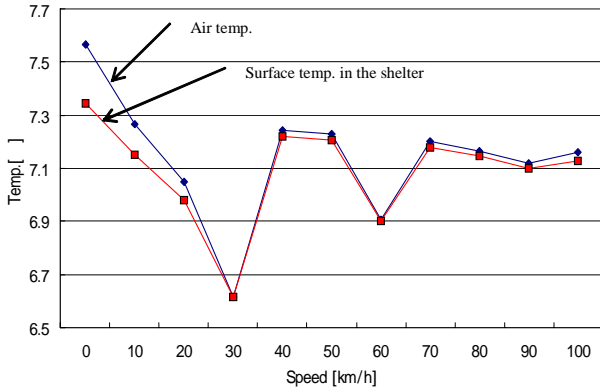


Figure 4 Air temp. and Surface temp. in the shelter

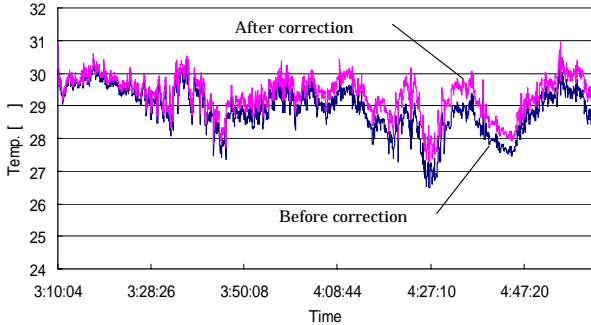


Figure 5 Sample data of time-based corrections on Aug. 12th

4 観測データの処理

4.1 有効なデータの選定

図4は、プレ調査として2004年12月22日夜間におこなった移動観測データのうち、シェルター内に設置した気温とシェルター内部の表面温度について、移動観測車の時速ごとに平均したものである。時速が20[km/h]以下では、気温の方が高くなっている。これは、高速道路の料金所や高速道路を乗り換えるときなどに移動速度が遅くなり、観測車自身や前方の自動車からの排熱の影響を受けているためと考えられる。本論文では、時速20[km/h]以上で走行中に観測されたデータのみを有効とする。

4.2 時刻補正

観測に要する時間は3時間程度であり、夜間に行うため、時間の経過とともに気温がゆるやかに低下する。そこで、気温については(1)式を用いて観測開始時刻に時刻補正をおこなう。本論文では、移動観測ルート周辺のアメダス観測点などの固定観測点を7点選び、補正に用いた。なお、固定観測点での1時間毎の気温は線形的に変化しているものと仮定する。

$$ct_i = t_i + \frac{\sum_{k=1}^n \Delta T_k \cdot l_{ik}^{-2}}{\sum_{k=1}^n l_{ik}^{-2}} \quad (1)$$

ここで ct は時刻補正された気温、 t_i は地点 i で観測された気温、 ΔT_k は観測開始時から地点 i に移動するまでに固定観測点 k ($1 \leq k \leq 7$) で観測された気温変化 l は地点 i と固定観測点 k との距離、 n は固定観測点数。

図5に、2005年8月12日に観測した時刻補正前の生データと、観測開始の午前3時に補正したデータの一例を示す。

4.3 観測高度変化の影響

観測ルート上の高度は概ね土地の標高と連動しており、図3のA地点からB地点に移動する時と、C地点からD地点に移動する時に大きく変化する。図6に2004年12月23日に実施した観測結果から、AB間とCD間の高度と気温の時系列変化と散布図を示す。高度はGPSにより得られた情報である。AB間、CD間ともに通過時間は10分程度なので、気温の時刻補正はしていない。

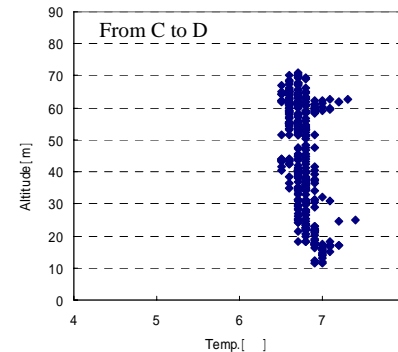
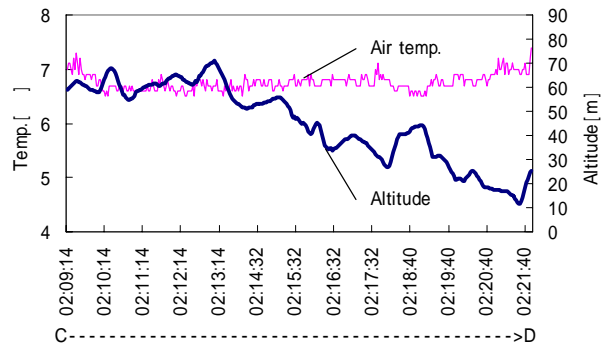
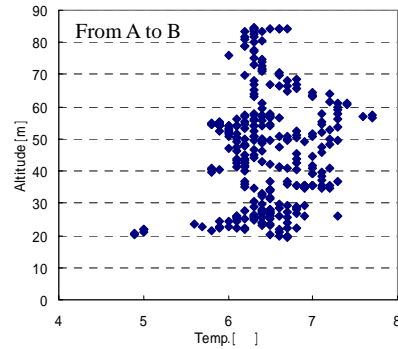
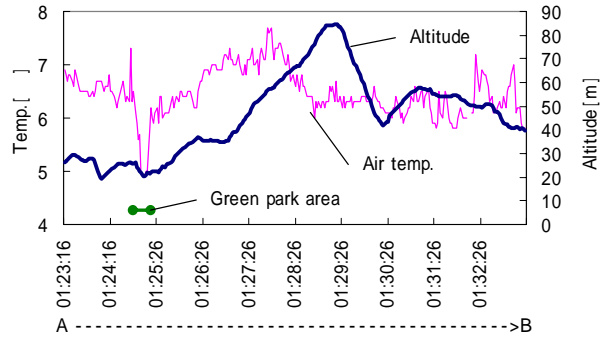


Figure 6 Time series and relationship between air temperature and altitude from the data measured on Dec. 23, 2004

AB間の高度変化は20~80mであり、気温変化は4.9~7.7であった。CD間の高度変化は10~70mであり、気温変化は6.5~7.4であった。AB間はCD間に比べて、周辺土地利用の変化が大きく、気温のばらつきが大きくなっていると考えられる。AB間にある大規模緑地(万博記念公園、広さ約260ha)の中心付近を通る時、高度は20m程度だが、最も低い気温が観測されている。一方、CD間は比較的類似した周辺土地利用(農地やため池が点在する住宅地域)であり、気温変化は小さいが、D地点に近づくと高度が低くなり、気温は約0.3上昇している。

なお、本論文では、大阪平野の気温分布の現状を把握することを目的としているので、土地の起伏に連動しておこる観測高度の変化は問題にせず、観測高度をそろえるための気温の高度補正はおこなわない。

4.4 空間解像度

別途おこなった実験より、0.1の熱電対の応答は一次遅れの式で近似でき、時定数は1.1秒であった。時速80[km/h]で移動しながら計測すると、熱電対のカットオフ空間周波数は約6.5[1/km]となる。つまり、150mに1cycle程度の周波数の変動をとらえることができる。本論文では広範囲の気温分布測定を目的としているので、十分な空間解像度であると考え、センサー応答の遅れに対する補正はおこなわない。

気温分布図作成時の空間解像度は緯度経度0.0027°メッシュ(約300mメッシュ)とする。1メッシュあたりに含まれる観測点はおおよそ3~5点である。

5 観測結果

2005年8~12月に行った移動観測について、観測日毎の平均値と標準偏差、大阪管区气象台(大阪市中央区、図3の印)の風向風速、雲量、絶対湿度、大阪市立大学屋上(大阪市住吉区、図3の印)で観測している下

向き赤外放射量を表2に示す。観測日の天候はいずれの日も晴れ若しくは曇りであった。9/25の標準偏差が最も小さく0.3、11/9と11/25が最も大きく1.5となった。

図7に平均値からの偏差で表した気温分布図を示す。図中の印は気象庁のアメダス、環境省の気象観測点、大阪府の大気汚染監視局などの固定観測点で、数値は観測された気温である。測定方法や高さなどがそれぞれ異なるため、厳密には比較できないが、広域的な傾向を確認するために記載した。

8月については、11時、3時ともに大阪市の中心部と東大阪市、松原市などの東部の内陸部で平均より1程度高くなり、北部の豊中市や大阪市の沿岸部、堺市の沿岸部・内陸部では、平均より1程度低くなっている。つまり、南部と北部の山際と、海側で平均より低く、大阪市中心部と東部の内陸で平均より高くなっている。この傾向は固定観測点の観測結果とも概ね一致している。

12月については、11時、3時ともに大阪市の中心部と沿岸部で平均より2程度、大阪市の南部でも平均より1程度高い。一方、北部の豊中市、吹田市、守口市や東南部の松原市、堺市の内陸部などで平均より1~2程度低くなっている。つまり、南部と北部の山際で平均より低く、海側と大阪市中心部で平均より高くなっている。この傾向は固定観測点の観測結果とも概ね一致している。

6 ヒートアイランド強度

大阪平野の観測結果より、気温が平均より高くなるエリアと、低くなるエリアの特定ができた。そこで、大阪市中心部を都心エリア、移動観測において気温が低くなる傾向が見られる北部と南部の山際を郊外エリア(図10参照)として、各エリアの平均気温の差をUHI強度[]とする。表3に各観測日の北部郊外エリアと大阪市中心部、あるいは南部郊外エリアと大阪市中心部とのUHI強度を示す。

Table 2 Summary of the mobile observations

Date, Starting Time(JST)	the mobile observation		the Osaka district meteorological observatory				At rooftop in five story building of OCU
	Average [degree C]	S.D. [degree C]	W.D.	W.S. [m/s]	Amount of cloud [n.d.]	Absolute humidity [g/kgDA]	Infrared Radiation [W/m2]
8/9, 23:00	30.5	0.8	SSW	1.9	10	17.27	435
8/10, 3:00	28.8	0.6	WSW	2.2	5	18.12	439
8/11, 23:00	31.5	0.8	W	3.1	-	17.37	426
8/12, 3:00	29.3	0.6	WSW	1.8	2	18.67	419
9/9, 2:00	25.6	0.5	NE	1.1	2	14.00	393
9/15, 2:00	21.9	0.7	NW	2.9	6	12.56	408
9/25, 2:00	23.6	0.3	N	3.2	-	11.33	418
9/29, 2:00	20.1	0.7	NE	1.5	1	10.88	368
10/13, 2:00	19.9	0.7	N	1.7	0	10.69	354
10/18, 2:00	19.6	0.4	NE	2.0	7	9.33	376
10/26, 2:00	16.1	0.9	NNE	1.5	-	7.59	317
10/30, 2:00	15.2	0.5	NW	0.9	10	7.01	350
11/9, 2:00	11.5	1.5	SSE	1.0	0	4.80	277
11/15, 2:00	14.4	0.7	WNW	2.1	-	6.61	342
11/25, 3:00	10.0	1.5	E	1.1	0	5.95	284
11/27, 2:00	10.6	0.9	ENE	1.0	8	5.44	322
12/11, 2:00	8.8	0.5	WNW	6.0	8	3.84	308
12/20, 19:00	7.9	0.8	NNW	2.1	4	3.07	267
12/20, 23:00	5.1	1.0	E	1.5	8	3.47	284
12/21, 3:00	4.3	1.0	SE	1.0	9	3.59	289

Table 3 UHI intensity between the center of Osaka City and the northern part or the southern part

Date, Starting Time(JST)	UHI intensity between the center of Osaka City and	
	Northern Part	Southern Part
8/9, 23:00	1.3	-0.4
8/10, 3:00	1.5	1.0
8/11, 23:00	0.9	1.3
8/12, 3:00	0.9	1.8
9/9, 2:00	0.5	1.0
9/15, 2:00	1.2	2.1
9/25, 2:00	0.9	0.6
9/29, 2:00	1.3	2.8
10/13, 2:00	1.3	2.2
10/18, 2:00	1.7	0.4
10/26, 2:00	1.3	4.0
10/30, 2:00	1.3	1.8
11/9, 2:00	5.0	5.0
11/15, 2:00	0.7	3.0
11/25, 3:00	3.9	2.2
11/27, 2:00	2.5	0.9
12/11, 2:00	-	1.0
12/20, 19:00	-	3.3
12/20, 23:00	3.4	3.9
12/21, 3:00	3.3	3.9

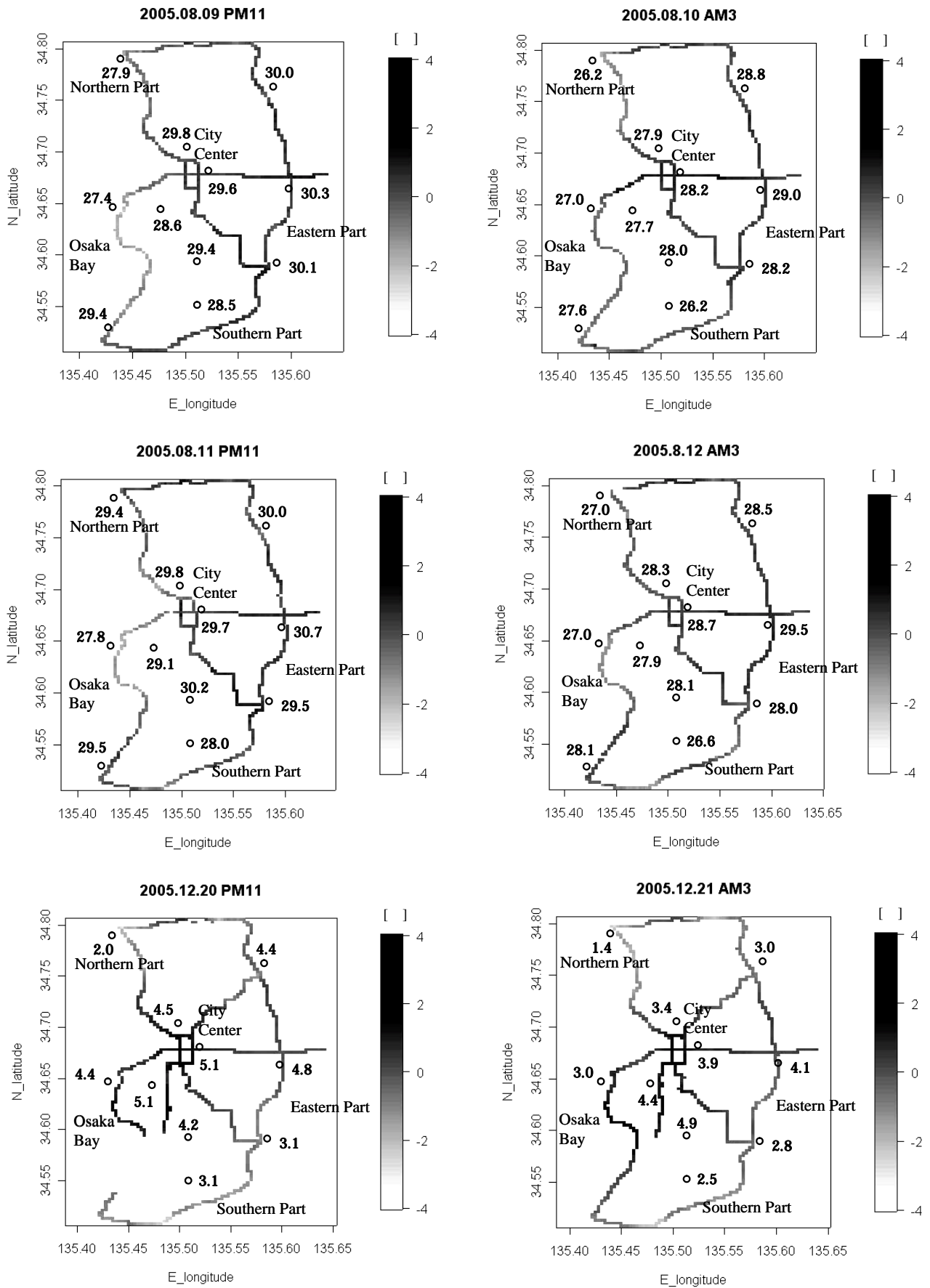


Figure 7 Color maps about horizontal distribution of average deviation of air temperature in surface layer. Round marks show weather station and value near those marks show air temperature.

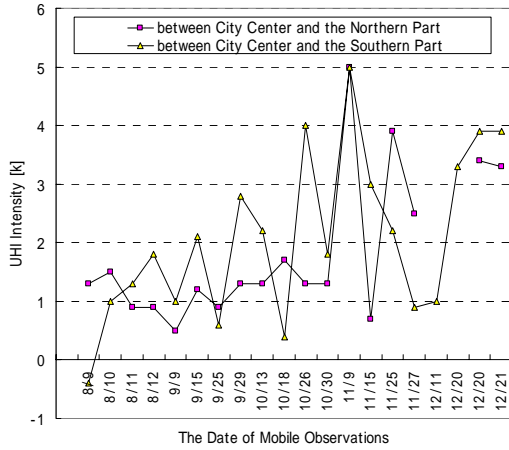


Figure 8 Trend of UHI Intensity

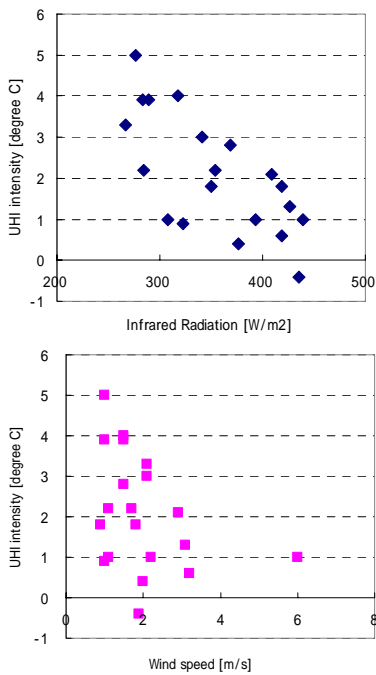


Figure 9 Relationship between UHI intensity (the center of Osaka City - the southern part of the Osaka Plain) and infrared radiation (the upper), and wind speed (the lower).

図 8 に UHI 強度の季節変化を示す . 夏季より秋 ~ 冬季にかけての方が UHI 強度は大きくなる傾向があることがわかる . 図 9 に UHI 強度 (大阪市中心部 - 南部郊外エリア) と赤外放射量 , あるいは風速の関係を示す . UHI 強度と赤外放射量にはゆるやかな負の相関が見られる . 一方 , 風速については , 観測日のほとんどが 2m/s 前後だったこともあり , 関係性を考察するには至っていない .

図 10 に , 11 月 9 日と 10 月 30 日について , 平均値からの偏差で表した気温分布図を示す . 表 2 より , 10/30 は雲が多く赤外放射量が大きくなった日で , 11/9 は観測日の中で赤外放射量が最も小さくなった日である . 10/30 は都心エリアと郊外エリアの差が小さい分布になっており , 11/9 は都心エリアと郊外エリアの差が明確な分布である . 11/9 の UHI 強度は 5.0 [] で最大になった .

赤外放射量は , 気温が高く , 下層大気中の雲と水蒸気量が多いほど大きくなるので , 高温多湿な夏季に最大になる . 秋 ~ 冬季にかけては気温と湿度は低下するので , 雲さえなければ赤外放射量も小さくなる . 赤外放射量が小さいほど夜間の放射冷却量が大きくなり , 天空率の高い郊外エリアでは気温が下がりやすくなる . しかし , 都心エリアでは建物密度が高く放射冷却が阻害されるため , 郊外エリアより気温が下がり難く , UHI 強度が大きくなったと考えられる .

7 まとめ

広範囲にわたる地域の移動観測を可能にするため , GPS を設置した移動観測システムを提案し , 実測をおこなった . 2005 年 8 月から 12 月にかけて , 夜間から深夜の時間帯に月 4 回程度の移動観測を継続的に実施した . 観測結果より , いずれの月においても大阪市中心部の気温は周辺よりも高くなる傾向が認められた . 夏期は大阪市の東側に位置する内陸部で , 冬期は大阪湾沿岸地域で気温が平均より高くなる傾向が認められた . また , 大阪市の中心部と , 北部郊外エリア , あるいは南部郊外エリアとの気温差を UHI 強度と定義し , その値を示した . 下向き赤外放射量が最小となった 11 月の晴天日に UHI 強度

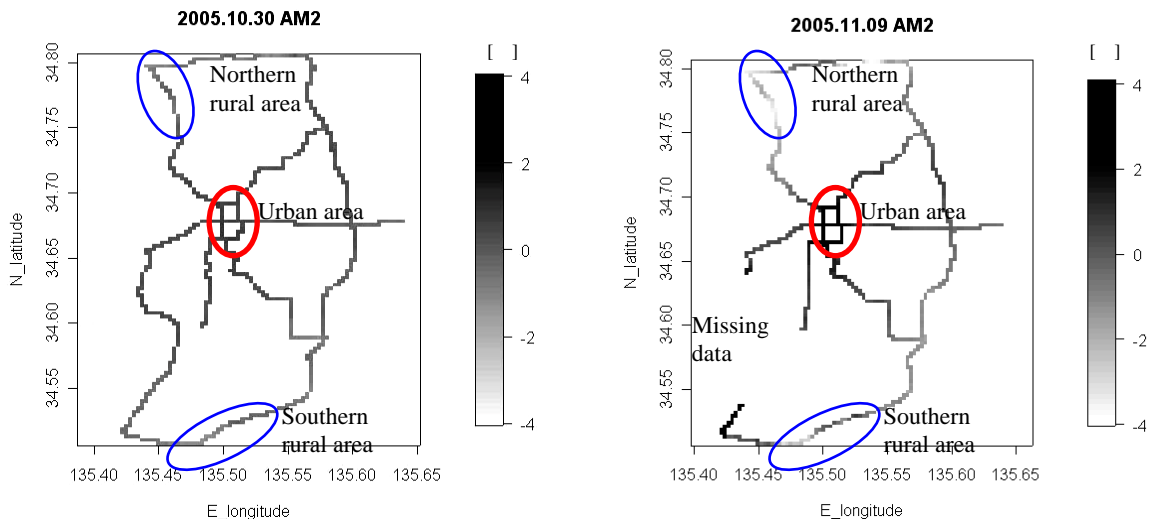


Figure 10 Color maps about horizontal distribution of average deviation of air temperature in surface layer on Nov. 9th

が最大で 5.0 となった。赤外放射量と UHI 強度には負の相関が見られ、放射冷却による郊外エリアの気温低下が確認された。

謝辞 本研究は文部科学省科学研究費補助金若手研究 B「都市のリアルタイム気温分布図作成に供する定点・移動観測データの時空間補間の研究」(研究代表者：鍋島美奈子)の援助を受けた。記して感謝します。

参考文献

- [1] Sakakibara, Y. and Matsui, E., 2005, Relationship between heat island intensity and city size indices/ Urban canopy characteristics in settlements of Nagano basin, Japan. *Geographical Review of Japan*, 78, 12, 812-824
- [2] Botlyan, Z. and Unger, J., 2003. A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theor. Appl. Climatol.*, 75, 233-243
- [3] 清田忠志, 谷口 明, 清田誠良, 中村安弘, 2006, 日本建築学会環境系論文集, 602, 69-75
- [4] 菊池信, 堀越哲美, 2005, 夏季と冬季における名古屋の都市気候観測調査, 日本建築学会環境系論文集, 595, 83-89

(Received June 10, 2006, Accepted July 12, 2006)