

## 神戸市における百葉箱を用いたヒートアイランド実態調査 — 夏季高温域の形成と風況との関連 —

宮崎 ひろ志<sup>1)\*</sup>・新元 美香<sup>2)</sup>・客野 尚志<sup>1)</sup>・田原 直樹<sup>1)\*</sup>

### Urban Heat Island Investigation in Kobe Using Natural Ventilated Screen Shelter The Formation of Mass of Hot Air in Summer and the Effect of Current of Air

Hiroshi MIYAZAKI<sup>1)\*</sup>, Mika NIIMOTO<sup>2)</sup>, Takashi KYAKUNO<sup>1)</sup> Naoki TAHARA<sup>1)\*</sup>

#### Abstract

The purpose of this investigation is to characterize the urban heat island phenomenon: UHI in the Kobe area. The subject run of the investigation started at July 1, 2004 and finished at September 30, 2004 (total 92 days). We measured air temperature with thermistor sensor at 31 temporal meteorological stations with screen shelters all located in elementary schools in the subject area. We recognize a clear difference in the character of UHI between the north side and south side of Mt. Rokko. 47.5 days of "Nettaiya" in average were recorded in the coastal urban area, while 22.3 days in average were registered on the north side of Mt. Rokko. In order to improve time resolution for the further analysis, we adopted the total number of hours of intense thermal condition as a new index for UHI. The threshold values for new indices were 25 degrees centigrade and 30 degrees centigrade. We draw a distribution of these new indices in a help of geographic information system. There we found in the coastal area a movement of the hot heated air mass in daytime in comparison with nighttime. There are three types of prevailing wind direction in this coastal zone; the rate of wind direction weighted with wind velocity in this area were as follows; 41.0% was sea breeze (SW) in daytime, 27.4% was land breeze (ENE) in nighttime. Using temperature anomaly as index, we identify the statistically significant correlation between the movement of hot air mass and wind directions. We also recognize the cooling effect of falling wind from Mt. Rokko in coastal urban area in summer time.

**Key words** : Urban heat island, Temperature anomaly, "Nettaiya (Japanese)" (intense hot night), the total number of hours of intense thermal conditions, geographic information system, natural ventilated screen shelter

#### はじめに

都市のヒートアイランド現象 (Urban heat island phenomenon; 以下「UHI」) は都心部の気温が郊外に比

べて高くなる現象で、近年都市に特有の環境問題として注目を集めている。20世紀中、地球全体の平均気温は約0.6℃ (日本では1.0℃) 上昇した。これに対し、日本の大都市では同じ時期に平均気温が2.5~3.0℃上昇した。UHI

<sup>1)</sup> 兵庫県立人と自然の博物館 自然環境マネジメント研究部 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6 Division of Environmental Management, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan Hiroshi Miyazaki: miyazaki@hitohaku.jp

<sup>2)</sup> 神戸市環境局地球環境課(当時) 〒650-8570 兵庫県神戸市中央区加納町6丁目5-1 Environment Bureau, City of Kobe ; Kanouchi 6-5-1, Chuo Ward, Kobe, 650-8570 Japan

\* 兼任: 兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 〒669-1546 兵庫県三田市弥生が丘6 Institute of Natural and Environmental Sciences, University of Hyogo ; Yayoigaoka 6, Sanda, 669-1546 Japan

の進行傾向は地球温暖化よりも顕著であると言える。

UHIは人工排熱の増加、人工被覆の増加および自然空間の喪失という都市における人工化の過剰な進展から生じる熱大気汚染であり、熱中症など健康への影響や、夏季の冷房負荷を高めるため二酸化炭素排出量の増加などをもたらす環境問題である。UHIの形成には都市形態や地形、気象条件などが複雑に影響しているとされ、有効なUHI対策を検討するためには、都市ごとにUHIについての実態調査が必須である。

気象庁の設置・運営する地域気象観測システム (Automated Meteorological Data Acquisition System; AMeDAS, 以下「アメダス」) は全国約1300カ所 (平均間隔17 km) で雨量を、また気温などの気象要素については約840カ所 (平均21km間隔) で測定を行っている。神戸市、阪神間およびその周辺には神戸、明石、三木、三田、豊中の5カ所観測点がある。UHIは気象現象としては1～10km前後の比較的小さなスケールで見られる現象であり、アメダス観測網だけでこの地域のUHIの実態を詳細に知ることは困難である。環境省ではヒートアイランドを熱汚染と位置付けているが、国、自治体が公害観測を目的として設置している大気観測局では気温観測は一部の観測局のみで行われている程度である。

本研究は神戸市のUHI対策支援を目的として、百葉箱など既存の環境観測資源を活用することにより詳細な気温調査を実施し、神戸市におけるUHI実態を明らかにすることである。

## 調査地と方法

本測定は2003年7月1日からスタートし、これまで兵庫県南部市街地におけるUHI実態解明を目的として表1に示すように6回の測定期間を設けて実施してきた。ここでは夏季のUHIを対象として、2004年7月1日～9月30日 (92日間) の期間に得られたデータを解析する。同期間の測定対象地域は兵庫県神戸市 (人口152万人、面積

表1 UHI実態調査のための測定期間

期間	測定方法	対象エリア
1 2003年7月1日～ 2003年9月30日	定点測定	神戸市
2 2003年11月1日～ 2004年3月10日	定点測定	神戸市
3 2004年1月27日～ 2004年2月10日	移動測定	神戸市・阪神間
4 2004年7月1日～ 2004年9月30日	定点測定	神戸市
5 2003年11月1日～ 2004年3月10日	定点測定	神戸市
6 2005年7月1日～ (現在測定中)	定点測定	神戸市・阪神間・播磨

552平方キロメートル (2005年5月現在)) である。

測定は百葉箱にデータログ付きサーミスタセンサ (エスペック社おんどとりJr.Tr-52, 以下「測定器」) を設置して行った。測定間隔は欠測や異常値が記録された場合の補間を目的として、毎正時を含んで15分間隔とした。測定開始は2004年7月1日午前0時 (LST以下同様) である。データログには時計が内蔵されていて、測定設定時にPC内部時計と同期した。これにより全測定器の測定時刻が同期されている。データログには最大16000点のデータが記録できる。サーミスタセンサは可測定範囲-20℃～80℃ (最大可測定範囲-60℃～155℃)、温度分解能0.1℃、可測定範囲における測定精度は±0.3℃である。

今回の調査で測定器を設置した測定ポイント数は31箇所である (表2)。表中、各測定地点の標高値は国土地理院発行「数値地図50mメッシュ (標高)」より百葉箱設置地点における標高値を読み取ったものである。測定ポイントに付した7桁のコードのうち、上2桁は都道府県コード (JIS X 0401)、続く3桁が市区町村コード (JIS X 0402) である。対象エリアおよび測定ポイントの分布状況を図1に示す。

表2 百葉箱測定ポイント

No.	Code	設置場所	緯度	経度	標高 [m]	備考
東 灘	1 2810101	HN小学校	34.7208	135.2969	3	
	2 2810102	SY小学校	34.7133	135.2669	13	
	3 2810103	UM小学校	34.7356	135.2539	244	
灘	4 2810201	ST小学校	34.7119	135.2453	16	
	5 2810202	MY小学校	34.7119	135.2236	59	
	6 2810203	RK小学校	34.7536	135.2350	793	六甲山上
中 央	7 2811001	CH小学校	34.6981	135.2025	27	都心
	8 2811002	MS小学校	34.6658	135.2158	0	
兵 庫	9 2810501	HY小学校	34.6781	135.1639	25	
	10 2810502	HD小学校	34.6700	135.1694	3	都心
長 田	11 2810601	NG小学校	34.6761	135.1508	59	
	12 2810602	NT小学校	34.6689	135.1461	38	
	13 2810603	NM小学校	34.6589	135.1533	6	
	14 2810604	CR小学校	34.6464	135.1442	4	
須 磨	15 2810701	NS小学校	34.6431	135.1242	9	
	16 2810702	TH小学校	34.6658	135.0964	124	
	17 2810703	SD小学校	34.6683	135.0856	126	
垂 水	18 2810801	SK小学校	34.6436	135.0925	93	
	19 2810802	OK小学校	34.6369	135.0733	45	
	20 2810803	KG小学校	34.6292	135.0458	21	
	21 2810804	TM小学校	34.6492	135.0494	61	
北	22 2810901	KT小学校	34.7858	135.2167	338	
	23 2810902	HJ小学校	34.7619	135.1883	309	
	24 2810903	YD小学校	34.7617	135.1347	188	郊外
	25 2810904	OB小学校	34.7258	135.1506	303	
	26 2810905	HT小学校	34.8189	135.1983	243	郊外
27 2810906	KD小学校	34.8564	135.2208	189		
西	28 2811101	TJ小学校	34.6925	135.0578	74	郊外
	29 2811102	KZ小学校	34.7400	135.0675	164	
	30 2811103	OD小学校	34.7522	135.0406	96	
	31 2811104	KS小学校	34.7053	134.9986	74	

注：上記緯度経度は平成14年4月1日施行の世界測地系による

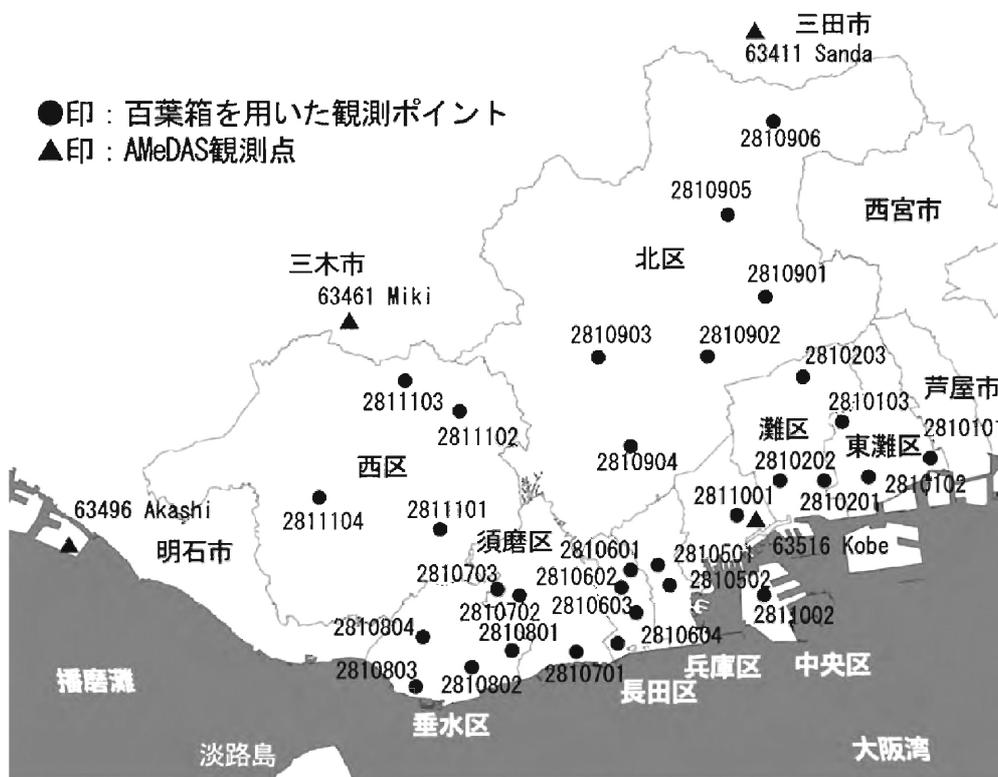


図1 対象エリアおよび測定ポイントの分布状況

## 結果

### 測定期間の気象概況

気象庁の観測結果より測定期間の全国の気温は平年を1℃以上上回ったところが多かった。7月後半は暑さが特に厳しく、東京、甲府など8地点で日最高気温の最高値（統計開始以来）を更新した。近畿地方の期間の気温は平年を1.2℃上回った。対象エリアおよびその周辺の気象庁気象官署各月別気候表を表3に示す。神戸では7月は気温が平年よりも2.8℃も高かった。また日照時間が長く、降水量が平年の13パーセントと極めて少ない状況であった。8月は、気温は平年並みで、降水量は水害をもたらした平成16（2004）年台風23号などの影響もあり淡路、但馬を中心に平年よりも多くなった。9月は、気温は再び平年よりも2.5℃も高かった。降水量、日射量はやや少なかったが平年並みであった。

### 測定結果

測定結果は測定器の回収を行い、データ保存、加工処理を行った。各測定点での期間中の測定回数は8832回/箇所 で欠測はなかった。

### 補正処理

測定データは器差補正、標高補正を行った。今回の測定期間での測定レンジは20℃～35℃程度であることから、測定値 $T_i^{mes}$ と真値 $T_i^{true}$ との間に $T_i^{true} = \alpha_i \times T_i^{mes} + \beta_i$ の

表3 測定期間の気候表

兵庫県気象観測官署4地点（2004年7～9月）

2004年		神戸	豊岡	姫路	洲本	
7月	気温	平均℃	28.9	27.5	28.1	27.0
		平年差	+02.8	+02.1	+02.2	+01.7
	降水量	mm	18.5	61.5	27.0	68.5
		平年比	13%	35%	17%	47%
日照時間	時間(h)	252.4	226.1	233.4	273.7	
	平年比	140%	139%	133%	132%	
8月	気温	平均℃	28.2	26.9	27.2	26.1
		平年差	+0.7	+0.6	+0.1	-0.2
	降水量	mm	169.0	223.5	157.5	419.0
		平年比	169%	180%	158%	387%
日照時間	時間(h)	181.9	174.2	166.2	198.1	
	平年比	88%	93%	82%	88%	
9月	気温	平均℃	26.3	23.6	24.8	24.0
		平年差	+02.5	+01.8	+01.8	+01.1
	降水量	mm	151.5	317.5	342.5	282.0
		平年比	88%	132%	191%	126%
日照時間	時間(h)	127.0	95.7	125.6	126.3	
	平年比	87%	80%	85%	81%	

下記気象庁報道資料より作成

7月：2004年8月2日発表気象庁報道資料

8月：2004年9月1日発表気象庁報道資料

9月：2004年10月1日発表気象庁報道資料

線形補正式が成り立つものとして、恒温恒湿装置を用いた実測を行って諸係数を求め、器差補正を行った。

恒温恒湿装置に全測定器を収め、測定・記録をスタートし、恒温恒湿装置の内部の気温を25℃（一定）、40℃

(一定)の状態に数十分維持し、このときの各測定器の測定値から $\alpha_i$ 、 $\beta_i$ 線形補正式係数を求めた。今回の測定では欠測、異常値等が見られなかったことから、以下の解析では毎正時に観測したデータのみ用いている。

測定ポイントの標高は海拔が最低3m～最高793mとその差が大きい。本調査は地上1.5メートル高さ気温のみの測定で、その他標高補正に必要な測定は行っていない。標高の及ぼす影響の程度を確認するため、簡便な方法として大気中立、乾燥断熱減率を仮定し、標高により気温

が $-6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 変化するとして標高補正を行った。標高値は表2に示した値を用いた。これにより海面高さに測定結果を補正し再度集計を行った。

百葉箱31地点での測定結果は以下のとおりであった。

以下本補正の有無は表4に示すように「標高補正なし」、「標高補正あり」として標記する。

表4 測定結果概要

2004年7月1日～9月30日毎正時データより作成

No.	Code	設置場所	標高補正なし(A)			標高補正あり(B)			補正前後差(B-A)			
			平均 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	最高 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	最低 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	平均 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	最高 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	最低 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	平均 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	最高 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	最低 気温 [ $^{\circ}\text{C}$ ]	
東 灘	1	2810101	HN小学校	27.6	35.9	18.9	27.6	35.9	18.9	0.0	0.0	0.0
	2	2810102	SY小学校	27.8	37.5	18.9	27.9	37.6	19.0	0.1	0.1	0.1
	3	2810103	UM小学校	25.2	33.6	17.1	26.7	35.0	18.6	1.5	1.5	1.5
	4	2810201	ST小学校	27.5	36.1	18.7	27.6	36.2	18.8	0.1	0.1	0.1
灘	5	2810202	MY小学校	27.3	37.0	18.3	27.6	37.3	18.6	0.4	0.4	0.4
	6	2810203	RK小学校	20.6	27.7	13.3	25.3	32.4	18.0	4.8	4.8	4.8
中 央	7	2811001	CH小学校	27.6	35.8	19.5	27.7	36.0	19.7	0.2	0.2	0.2
	8	2811002	MS小学校	27.3	36.0	20.0	27.3	36.0	20.0	0.0	0.0	0.0
兵 庫	9	2810501	HY小学校	27.2	37.6	18.3	27.4	37.8	18.5	0.2	0.1	0.1
	10	2810502	HD小学校	27.6	36.1	19.6	27.6	36.1	19.7	0.0	0.0	0.0
	11	2810601	NG小学校	27.1	35.9	19.3	27.4	36.2	19.7	0.4	0.4	0.4
長 田	12	2810602	NT小学校	27.0	35.4	18.8	27.2	35.7	19.0	0.2	0.2	0.2
	13	2810603	NM小学校	27.3	36.7	19.2	27.4	36.8	19.2	0.0	0.0	0.0
	14	2810604	CR小学校	27.1	35.9	20.0	27.1	35.9	20.0	0.0	0.0	0.0
須 磨	15	2810701	NS小学校	26.8	36.2	18.7	26.8	36.2	18.7	0.1	0.1	0.1
	16	2810702	TH小学校	26.1	35.2	18.3	26.8	35.9	19.0	0.7	0.7	0.7
	17	2810703	SD小学校	26.3	35.4	17.8	27.1	36.2	18.6	0.8	0.8	0.8
垂 水	18	2810801	SK小学校	26.3	34.6	18.4	26.9	35.2	18.9	0.6	0.6	0.6
	19	2810802	OK小学校	26.5	35.9	18.5	26.8	36.2	18.8	0.3	0.3	0.3
	20	2810803	KG小学校	26.8	36.2	18.8	26.9	36.3	18.9	0.1	0.1	0.1
	21	2810804	TM小学校	26.5	35.6	18.7	26.9	36.0	19.1	0.4	0.4	0.4
北	22	2810901	KT小学校	24.6	33.8	15.1	26.6	35.8	17.1	2.0	2.0	2.0
	23	2810902	HJ小学校	24.7	34.8	16.2	26.5	36.6	18.1	1.9	1.9	1.9
	24	2810903	YD小学校	25.1	34.5	15.3	26.2	35.6	16.5	1.1	1.1	1.1
	25	2810904	OB小学校	24.8	33.0	16.3	26.6	34.8	18.1	1.8	1.8	1.8
	26	2810905	HT小学校	25.0	33.8	15.9	26.4	35.2	17.4	1.5	1.5	1.5
	27	2810906	KD小学校	25.1	33.9	16.7	26.3	35.1	17.9	1.1	1.1	1.1
西	28	2811101	TJ小学校	24.9	34.2	14.0	25.4	34.6	14.4	0.4	0.4	0.4
	29	2811102	KZ小学校	26.2	34.1	17.4	27.2	35.1	18.3	1.0	1.0	1.0
	30	2811103	OD小学校	25.9	34.9	16.9	26.5	35.4	17.5	0.6	0.6	0.6
	31	2811104	KS小学校	26.4	34.8	18.1	26.8	35.2	18.6	0.4	0.4	0.4

考 察

熱帯夜日数

日本ではUHIの程度を評価する際、熱帯夜日数が用いられることが多い。各測定地点での熱帯夜日数を表5に示す。測定エリア内、測定期間内の熱帯夜日数は標高補正なしの場合、最多60日、最少0日、標高補正ありで最多60日、最少10日と、その差は非常に大きかった。

表5 熱帯夜日数

Code	設置場所	標高補正なし				標高補正あり			
		7月	8月	9月	計	7月	8月	9月	計
2810101	HN小	26	18	5	49	26	18	5	49
2810102	SY小	24	18	6	48	24	19	6	49
2810103	UM小	2	0	0	2	19	10	1	30
2810201	ST小	25	17	7	49	25	17	7	49
2810202	MY小	24	16	4	44	24	20	5	49
2810203	RK小	0	0	0	0	16	8	0	24
2811001	CH小	24	20	7	51	25	21	7	53
2811002	MS小	25	22	8	55	25	22	8	55
2810501	HY小	21	16	4	41	21	16	5	42
2810502	HD小	26	23	11	60	26	23	11	60
2810601	NG小	22	19	3	44	24	23	9	56
2810602	NT小	21	17	3	41	23	21	6	50
2810603	NM小	23	20	7	50	23	20	7	50
2810604	CR小	24	22	12	58	24	22	12	58
2810701	NS小	20	16	3	39	20	16	3	39
2810702	TH小	12	4	1	17	20	15	3	38
2810703	SD小	10	11	1	22	19	18	5	42
2810801	SK小	17	11	2	30	23	16	4	43
2810802	OK小	17	14	2	33	19	19	4	42
2810803	KG小	16	17	3	36	18	19	5	42
2810804	TM小	18	12	2	32	22	19	3	44
2810901	KT小	0	1	0	1	8	10	0	18
2810902	HJ小	0	1	0	1	8	11	0	19
2810903	YD小	2	1	0	3	6	9	0	15
2810904	OB小	0	0	0	0	18	14	2	34
2810905	HT小	2	2	0	4	8	9	0	17
2810906	KD小	2	2	0	4	9	8	0	17
2811101	TJ小	4	3	0	7	6	4	0	10
2811102	KZ小	3	3	4	10	7	15	5	27
2811103	OD小	5	5	0	10	10	9	0	19
2811104	KS小	14	10	1	25	19	15	1	35

表6に標高補正有無別熱帯夜日数度数分布を、また表7に区別熱帯夜日数の標高補正前後比較を示す。

標高補正ありの場合、熱帯夜日数10日未満の観測点はない(表6)。標高補正前後の臨海部市街地と六甲山以北の平均熱帯夜日数を比較すると、その差は縮小した(表7)。六甲山以北の平均熱帯夜日数を1とした場合、臨海部市街地の平均熱帯夜日数は、標高補正なしの場合6.8倍あったものが、標高補正により2.2倍に差が縮まった。しかし依然平均熱帯夜日数は2倍以上と大きく、標高補正だけではその差が解消されなかった。

表6 熱帯夜日数度数分布(標高補正有無比較)

熱帯夜日数	標高補正なし	標高補正あり
10日未満	9	0
10~19	3	7
20~29	2	2
30~39	5	5
40~49	7	10
50~59	4	6
60~69	1	1

表7 区別熱帯夜日数(標高補正有無比較)

神戸市	熱帯夜日数	
	標高補正なし	標高補正あり
東灘区	33	43
灘区(六甲山除く)	47	49
中央区	53	54
兵庫区	51	51
長田区	48	54
須磨区	26	40
垂水区	33	43
臨海部市街地 平均熱帯夜日数	40.1	47.0
灘区(六甲山上)	0	24
北区	2	20
西区	13	23
六甲山北側 平均熱帯夜日数	5.9	21.4

熱的過酷状況延べ時間による評価

UHIの程度を示す指標として「ヒートアイランド強度」や「熱帯夜日数」、「真夏日日数」などの指標が用いられる。「ヒートアイランド強度」は都心と郊外の気温差を指し、相対評価指標であるため、都市間のUHI程度の比較などには向いていない。熱帯夜日数などは絶対評価指標だが時間分解能が日単位と粗い。環境省では、東京でのUHI評価において、「25℃を超えた延時間数」、「30℃を超えた延時間数」という指標が利用されている。ここで25℃とは熱帯夜判定の閾値、30℃は真夏日判定の閾値である。これらの新しい指標は時間単位と時間分解能が向上することから、より詳細な解析が可能となる。本解析では熱的過酷状況を示す指標として、「25℃を超えた延

表8 測定期間内に25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数

	No.	Code	設置場所	標高補正なし			標高補正あり		
				30℃を超えた延時間	25℃を超えた延時間	熱帯夜日数	30℃を超えた延時間	25℃を超えた延時間	熱帯夜日数
東灘	1	2810101	HN小学校	442	1832	49	458	1832	49
	2	2810102	SY小学校	531	1836	48	548	1848	49
	3	2810103	UM小学校	122	1115	2	299	1615	30
灘	4	2810201	ST小学校	390	1856	49	412	1856	49
	5	2810202	MY小学校	419	1753	44	482	1828	49
	6	2810203	RK小学校	0	39	0	24	1310	24
中央	7	2811001	CH小学校	444	1860	51	452	1873	53
	8	2811002	MS小学校	312	1884	55	312	1884	55
兵庫	9	2810501	HY小学校	441	1746	41	459	1778	42
	10	2810502	HD小学校	374	1909	60	374	1909	60
長田	11	2810601	NG小学校	353	1768	44	381	1836	56
	12	2810602	NT小学校	306	1762	41	339	1817	50
	13	2810603	NM小学校	375	1843	50	375	1843	50
	14	2810604	CR小学校	200	1876	58	200	1890	58
須磨	15	2810701	NS小学校	234	1768	39	234	1768	39
	16	2810702	TH小学校	213	1473	17	300	1698	38
	17	2810703	SD小学校	263	1553	22	381	1738	42
垂水	18	2810801	SK小学校	194	1573	30	262	1769	43
	19	2810802	OK小学校	212	1671	33	243	1766	42
	20	2810803	KG小学校	257	1733	36	296	1793	42
	21	2810804	TM小学校	259	1648	32	305	1748	44
北	22	2810901	KT小学校	168	917	1	430	1497	18
	23	2810902	HJ小学校	167	956	1	376	1461	19
	24	2810903	YD小学校	192	1086	3	326	1405	15
	25	2810904	OB小学校	75	1013	0	310	1645	34
	26	2810905	HT小学校	187	1054	4	366	1452	17
	27	2810906	KD小学校	177	1144	4	306	1455	17
西	28	2811101	TJ小学校	147	1149	7	202	1251	10
	29	2811102	KZ小学校	245	1330	10	400	1606	27
	30	2811103	OD小学校	279	1350	10	367	1510	19
	31	2811104	KS小学校	251	1579	25	322	1683	35

時間数」, 「30℃を超えた延時間数」を採用した。表8に各測定地点の25℃を超えた延時間数, 30℃を超えた延時間数を示す。

表8では全測定結果の統計値より平均+標準偏差以上となる値にハッチをつけた。表8より「25℃を超えた延時間数」の特に大きい地点は長田区, 兵庫区, 中央区で, 最大は兵庫区の1909時間(標高補正あり, 測定期間総時間の84.5%に相当)であった。なおここで平均値+標準偏差以上の時間数となった地点を「25℃を超えた延時間数の特に大きい地点」などとした。一方, 表8より「30℃

を超えた延時間数」の特に大きい地点は兵庫区, 中央区, 灘区, 東灘区に見られた。最大は東灘区の548時間(標高補正あり, 測定期間総時間の24.8%に相当)であった。

表9に測定期間における「25℃を超えた延時間数」, 「30℃を超えた延時間数」の出現時刻をまとめた。表中の数字は度数を示す。全測定ポイント各時刻での度数をカウントした。

「25℃を超えた延時間数」が少なくなる時刻は表9より午前2時から午前6時までの未明早朝の5時間であった

表9 「25℃を超えた延時間数」「30℃を超えた延時間数」  
出現時刻度数（全31地点92日間）

時刻	標高補正なし		標高補正あり	
	25℃を超えた延時間数	30℃を超えた延時間数	25℃を超えた延時間数	30℃を超えた延時間数
0	1531	1	1940	2
1	1436	0	1845	0
2	1359	0	1759	0
3	1268	0	1649	0
4	1186	0	1522	0
5	1123	0	1434	0
6	1120	0	1464	0
7	1446	0	1751	0
8	1880	35	2158	46
9	2218	150	2444	236
10	2387	424	2535	662
11	2434	756	2567	1032
12	2482	1030	2621	1300
13	2525	1216	2644	1472
14	2527	1253	2644	1453
15	2529	1161	2642	1415
16	2504	957	2627	1199
17	2441	630	2572	849
18	2316	347	2507	507
19	2138	155	2423	219
20	1991	72	2280	93
21	1873	25	2204	38
22	1745	13	2121	13
23	1617	4	2011	5

ことが分かる。「25℃を超えた延時間数」が大きい地点は早朝のこれらの時間も25℃を超えることが多く、熱帯夜も多い地点であると考えられる。逆に「30℃を超えた延時間数」が特に多くなる時刻は午前11時から午後4時までの日中の6時間であった（標高補正あり）。「30℃を超えた延時間数」が大きい地点は、日中の気温が高い場所であると言える。

図2に熱帯夜日数と25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数との相関を示す。いずれも標高補正ありのデータを用いている。熱帯夜日数と25℃を超えた延時間数との相関は高く、 $R^2=0.9159$ であった。六甲山上のRS小学校、西区郊外のTJ小学校では熱帯夜日数に対して比較的25℃を超えた延時間数が少ない。これ以外の29ヵ所の相関は極めて高い。一方で熱帯夜日数と30℃を超えた延時間数との相関は低い。

つぎに図3に真夏日日数と25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数との相関を示す。図2の場合と

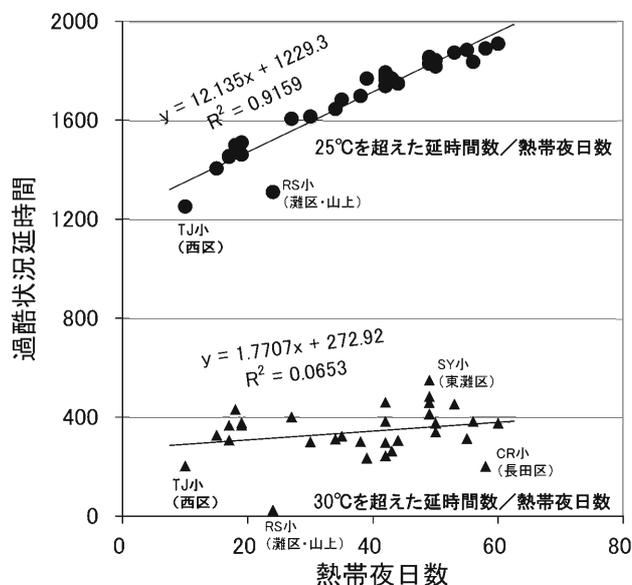


図2 熱帯夜日数と25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数の相関

逆に、真夏日日数と30℃を超えた延時間数との相関が $R^2=0.8747$ と高い。また真夏日日数と25℃を超えた延時間数との相関は $R^2=0.2135$ と低くなっている。

図2、3からも表8と同様に、30℃を超えた延時間数は真夏日日数と同様に日中の熱的過酷状況を示す指標であり、熱帯夜日数と25℃を超えた延時間数は夜間の熱的過酷状況を示す指標であることが確認できた。

図2では六甲山上のRS小学校、西区郊外のTJ小学校では熱帯夜日数に対して比較的25℃を超えた延時間数が少なかった。熱帯夜日数の条件を満たした場合でも、時間分解能が高いことにより、時間数が短い地点を抽出

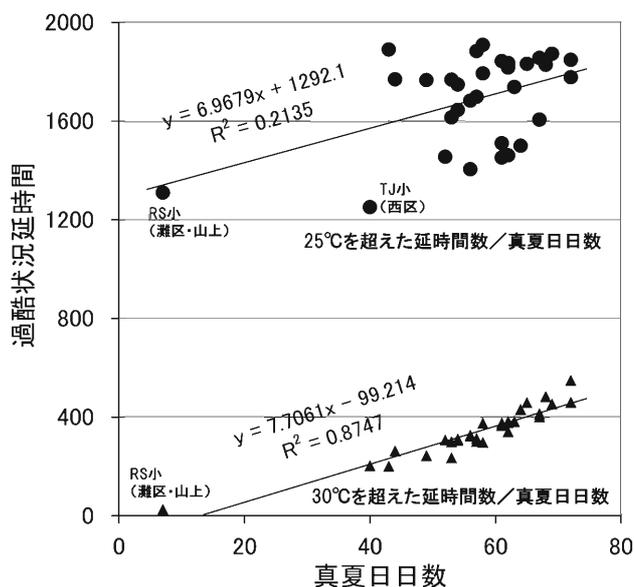


図3 真夏日日数と25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数の相関

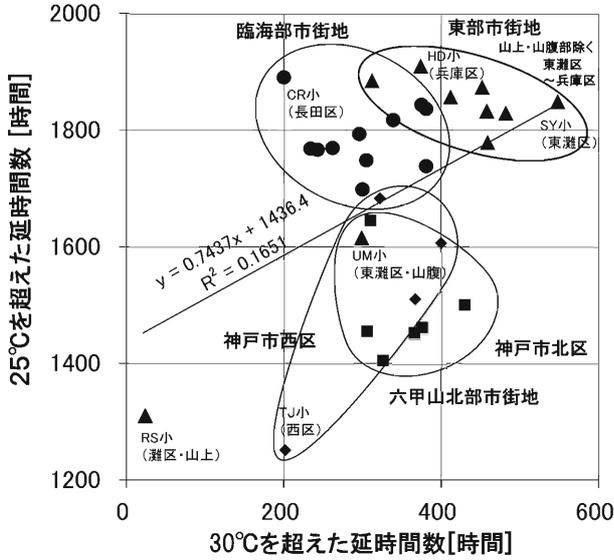


図4 25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数相関図

するなど、25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数を導入することにより詳細な情報が得られた。

図4に25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数の相関図を示す。

図中神戸市北区は■印、西区は◆印で示す。北区、西区は25℃を超えた延時間数が少ない。図中▲印は臨海部

市街地のうち東部市街地（神戸市東灘区～兵庫区）の観測ポイントを示す。25℃を超えた延時間数、30℃を超えた延時間数とも高い値を示している。●印は臨海部市街地西部（長田区～垂水区）の観測ポイントを示す。25℃を超えた延時間数は東部と同様に高い値を示すが、30℃を超えた延時間数ではやや低い値を示している。

図5、図6にそれぞれ「25℃を超えた延時間数」、「30℃を超えた延時間数」の分布図を示す。

図5は25℃を超えた延時間数の分布で、これは夜間の気温分布において特に気温が高い場所を示す。高温域が臨海部市街地全域に見られることがわかる。

一方、図6は30℃を超えた延時間数の分布で、これは日中の気温分布において特に気温が高い場所を示す。高温域は兵庫区の一部と中央区～東灘区に見られる。夜間の高温域が臨海部市街地全域に見られたのとは異なり、高温域は東寄り市街地のみに見られる。また播磨灘側の観測ポイントでは30℃を超えた延時間数が低い傾向が見られる。

測定期間の神戸海洋気象台での風況

首都圏では夜間、臨海部にある高温域の中心が、海風が発達する日中は東京都と埼玉県県境付近に移動することが知られている。神戸市臨海部市街地で見られる日中、気温の高いエリア(30℃を超えた延時間数の大きい地域)

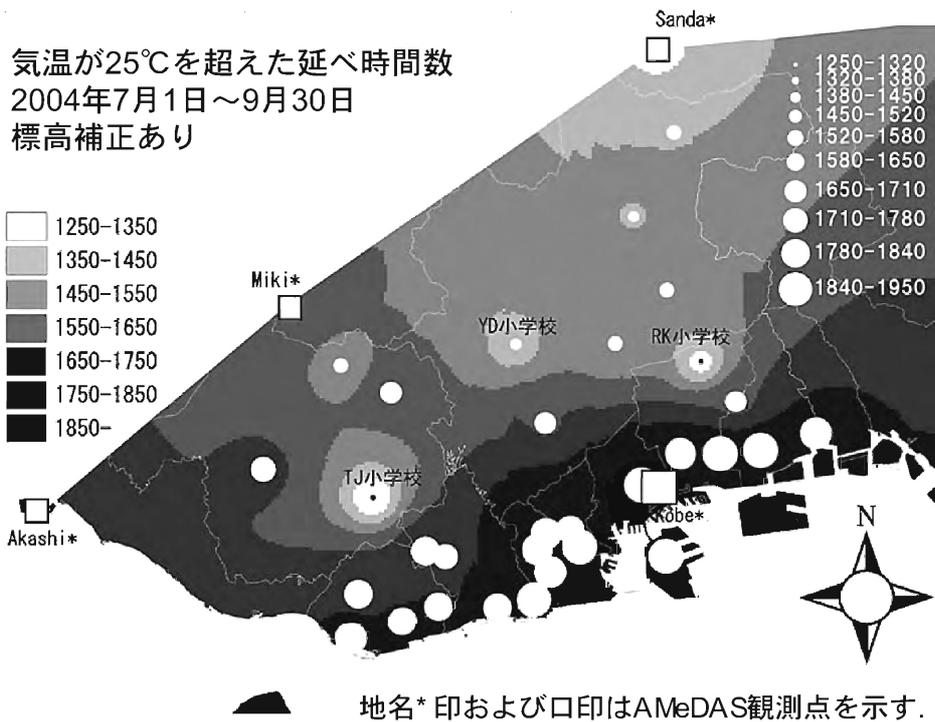


図5 測定期間内に25℃を超えた延時間数  
背景のグラデーションには、AMeDAS同時期観測値（神戸、明石、三木、三田、能勢、豊中、大阪、堺）を加えて作成した。（図6同様）

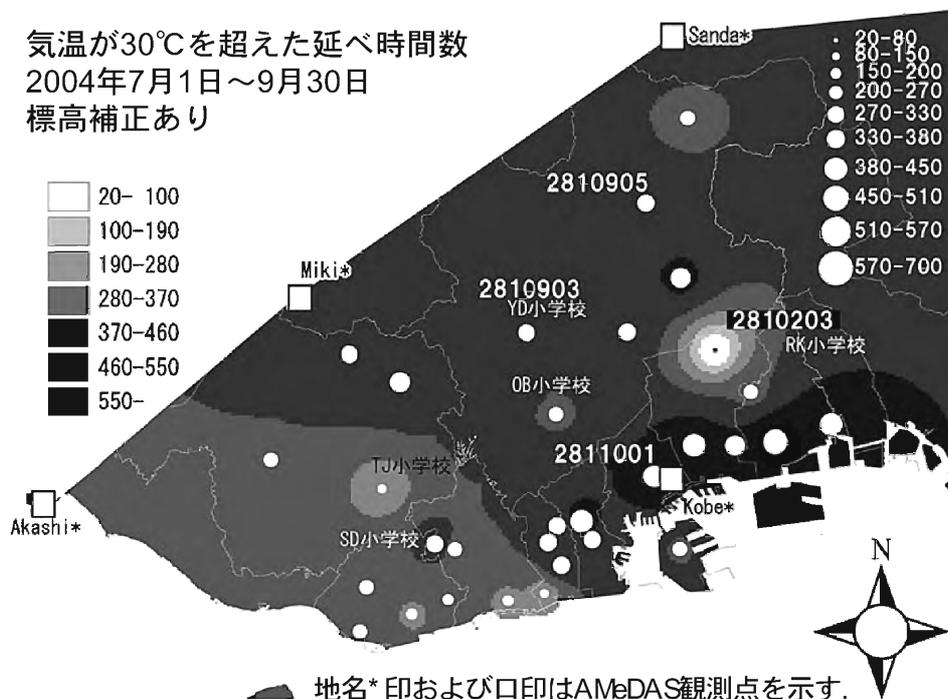


図6 測定期間内に30°Cを超えた延時間数

が、夜間気温の高いエリア（25°Cを超えた延時間数の大きい地域）よりも東側に偏る傾向が見られることとの関連を確認するため、神戸での風況を確認した。神戸海洋気象台（神戸市中央区灘浜町）での測定期間における風配図を図7に示す。

南西～西より吹く風が見られる度数が最も高く、16方位中この3方位からの風が全体の29.2%を占める。この風は地元では「浜風」と呼ばれる風で、大阪湾と大阪平野の間で見られる海風である。南西風は午前10時から午後6時までの間、西南西風は午後7時から午後10時までの間に最も度数が高い。すなわち南西方向から吹く浜風は日中から夕方にかけて高い頻度で現れる風である。

逆に北風は午後8時から翌朝6時にかけて出現度数が高く、東北東からの風は午前4時から午前10時ごろまでの間、出現度数が高い。北からの風は六甲山からの山風（凧風）と考えられる。また東北東からの風は大阪湾と大阪平野との間で見られる陸風である。これらの風は夜間から朝方にかけて高い頻度で現れる風である。

次に神戸海洋気象台における測定期間における風向別風速積算値を求めた。風況について風向別に風速で重み付けして比較するものである。結果を図8に示す。南西方向から吹く浜風は16方位中、南南西～西の16方位中4方位に分散する。これらの風向別風速積算値の合計は全体の41.0%を占めた。この風速の風が上記にあるように午前7時から午後10時まで高い頻度で現れた。

一方、陸風は午前4時から午前10時ごろまでの間、出

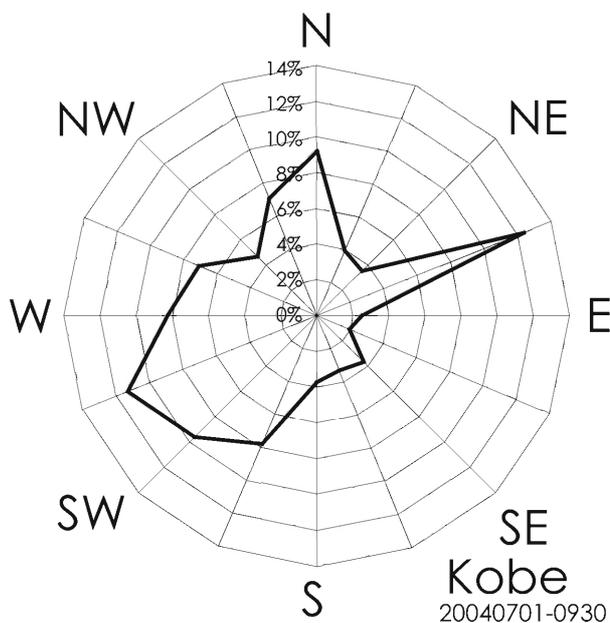


図7 風配図 神戸海洋気象台  
2004年7月1日～9月30日

現頻度の高い東北東からの風が卓越した。北東～東（3方位）の風向別風速積算値合計は全体の27.4%を占めた。六甲山方向からの風は北北西～北（2方位）で、この風向別風速積算値合計は全体の14.4%を占めている。

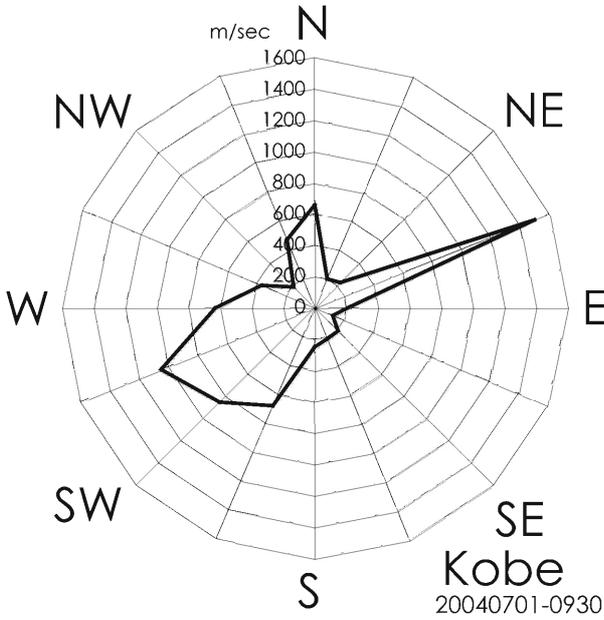


図8 風向別風速積算値 [m/sec] 神戸海洋気象台  
2004年7月1日～9月30日

気温偏差と風向との関連

風向と気温との関連を明らかにするため、気温偏差と風向との関連を解析した。気温偏差を求めるための平均気温は時刻別平均気温で、各旬毎に求めた。また風向は神

戸海洋気象台で観測された風向を用いた。なお本解析では臨海部市街地内一ヶ所の風向のみ用いるため、この解析は臨海部市街地だけを対象としている。気温偏差を風向別に分類した。この地域の特徴的風向である、(1) 浜風方向(西～西南西)、(2) 陸風方向(東北東)、(3) 六甲山方向(北北西～北)について、各風向時の気温偏差を図9～図11に示す。

図9の浜風時(西風)、市内全域で気温偏差はプラスとなる。神戸市西部(垂水区～須磨区、長田区一部)では気温偏差が0.0℃～0.1℃と低いが、神戸市中東部(長田区一部、兵庫区～東灘区)での気温偏差は0.2℃～0.4℃と風下の東側で高い。

一方、図10に示す陸風時(東風)、市内全域で気温偏差はプラスになるが、神戸市中東部(兵庫区、中央区、灘区、東灘区)の気温偏差0.1～0.4℃に比べて西部の気温偏差は0.5～0.9℃と明瞭に大きく、風向が逆になったときにも風下側の気温偏差が高くなる傾向が見られた。

浜風、陸風時の気温偏差分布について、臨海部市街地を東部(兵庫区～東灘区)と西部(垂水区～長田区)に分け、市区別のその差についての有意性を判定するため、t検定を行った。各風別P値を表10に示す。この表に見るように、浜風、陸風時、風上側、風下側の市街地で気温偏差には有意な差が見られると判定された。

六甲風時(北北西～北風)、気温偏差は0.0～-0.3℃と

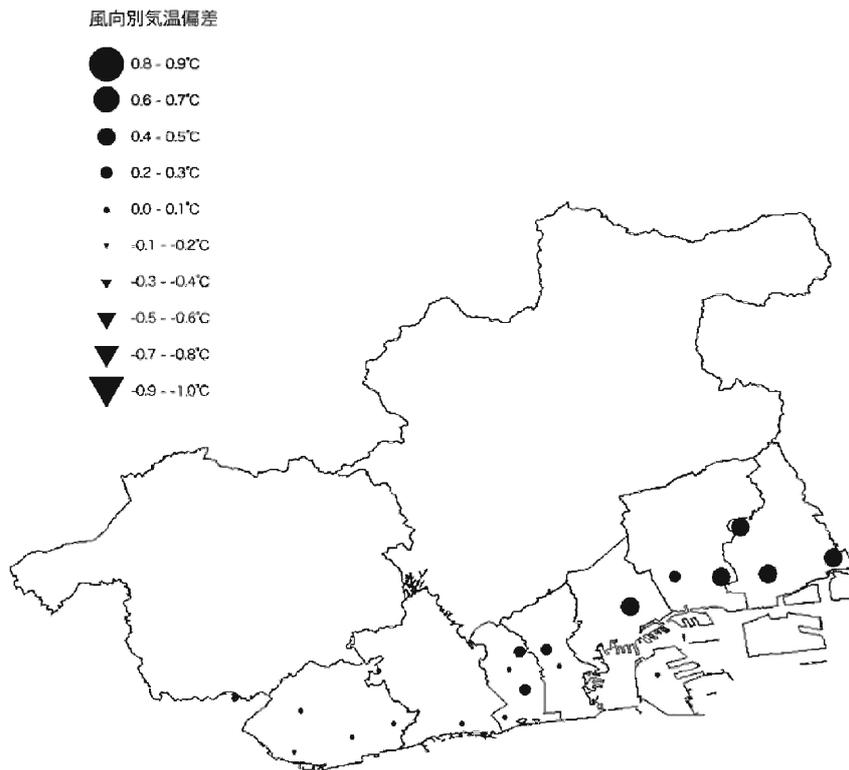


図9 浜風(西南西風)時気温偏差 2004年7月1日～9月30日  
風向は神戸海洋気象台での観測値

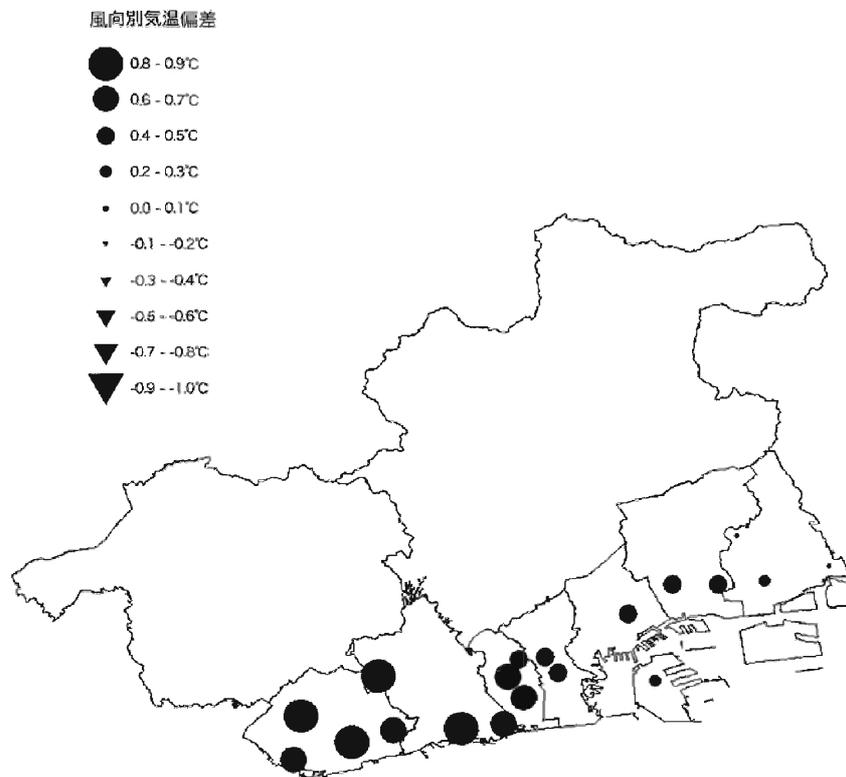


図10 陸風（東北東風）時気温偏差 2004年7月1日～9月30日  
風向は神戸海洋気象台での観測値

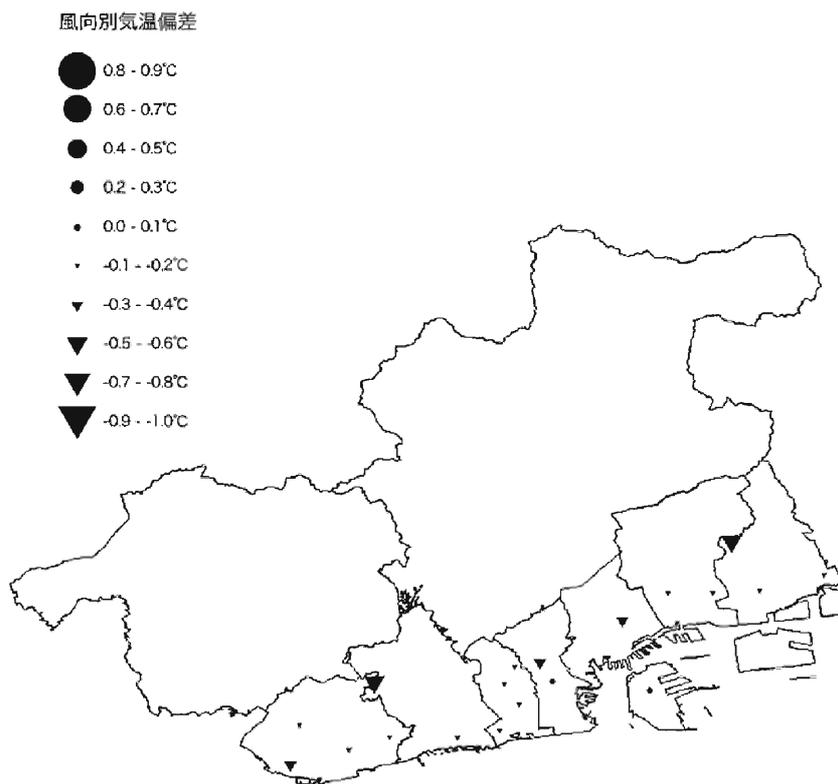


図11 六甲風（北北西風）時気温偏差 2004年7月1日～9月30日  
風向は神戸海洋気象台での観測値

表10 風向別風上側風下側気温偏差に見られる違いの有意性検定結果

風種別	風向	風上側 気温偏差 平均[°C]	風下側 気温偏差 平均[°C]	P値 (両側)
浜風	南西	0.0	0.2	0.21%
	西南西	0.0	0.2	0.01%
	西	0.1	0.3	0.01%
陸風	東北東	0.0	0.4	0.00%
	東	0.3	0.7	0.00%

臨海部市街地のうち

東部は兵庫区、中央区、灘区（六甲山を除く）、東灘区の4区

西部は垂水区、須磨区、長田区の3区とした。

マイナスとなる（図11）。また東灘区、中央区、兵庫区、須磨区では六甲山寄りの観測ポイントほど低い気温偏差が観測されている。これは六甲風が山地の冷気をもたらすことにより、臨海部市街地を冷やす効果が見られたものと考えられる。

本論では風向風速データは神戸海洋気象台で得られたデータのみ利用した。本解析域は地形的に六甲山を挟んで南北に分かれるなど、全域を代表する風向風速観測点は得がたいと考えられる。今後風向風速観測点情報を加えたより詳細な検討が望まれる。

## 結 論

- ・測定期間中の熱帯夜日数は最多60日～最少0日と、対象地域が1都市内であったにもかかわらず大きな差が見られた。
- ・臨海部市街地（神戸市東灘区～垂水区、六甲山上を除く）の平均熱帯夜日数は41.4日であった。これに対して六甲山北部市街地（神戸市北区、西区）の平均熱帯夜日数は5.1日と少なく、臨海部と六甲山北部の差が大きかった。
- ・測定ポイントの標高は最低海拔3m、最高793mとその差が大きいことから、標高の及ぼす影響を除去するため標高補正を行った。標高補正前後の臨海部市街地と六甲山以北の平均熱帯夜日数を比較すると、その差は縮小するものの、臨海部市街地での平均熱帯夜日数は六甲山以北市街地平均の依然2.1倍もあった。臨海部市街地と六甲山以北とは、標高以外の地形要素が影響している可能性があるほか、市街地形状、排熱分布、土地被覆などが影響していることが分かった。
- ・神戸市臨海部市街地に形成される温暖域は、夜間は全域に見られたが、日中、東寄りにその中心が移動することが観測された。

- ・測定期間の神戸海洋気象台の風向風速を解析したところ、（1）浜風（西～南南東風）、（2）陸風（東北東風）、（3）六甲風（北北西～北風）が卓越し、浜風は日中から夕方、六甲風は夜間から早朝、陸風は未明から早朝にそれぞれよく見られることが分かった。
- ・風向を風速で重み付けし比較した。この結果、浜風は41.0%、陸風は27.4%、六甲風は14.4%を占めた。
- ・旬別に時刻別平均気温を求めて気温偏差を求めた。この気温偏差の風向別分布図を作成した。
- ・浜風、陸風時に、気温偏差は風下寄りの市街地で上昇する傾向が見られた。浜風、陸風によりUHIによる温暖域が風下側に移動するものと考えられる。
- ・夏季、神戸市臨海部市街地で0.0～-0.3℃程度の六甲風による気温低減効果が見られた。

## 謝 辞

本調査の実施において神戸市環境局地球環境課の支援を頂いた。また百葉箱利用にあたり、神戸市教育委員会、各小学校の皆様よりご協力を頂いた。これらの支援、ご協力なしに本調査は実現できなかった。ここに記し謝意を表します。

本研究は平成16年度兵庫県立人と自然の博物館部門研究として行われたものの一部である。

## 和文要旨

神戸市におけるヒートアイランド現象実態調査のため31箇所百葉箱にサーミスタセンサを設置し2004年7月1日～9月30日の間計測した。測定結果は器差補正、標高補正を行った。熱帯夜日数は10日～60日と大きな差が見られた。臨海部市街地と六甲山北部市街地では熱帯夜日数が2.1倍と大きな差が見られた。「25℃を超えた延時間数」、「超えた延時間数」指標として導入し分布図を作成した。これより夜間、臨海部全域に高温域が形成されること、日中、高温域が臨海部市街地の東部に偏ることが確認された。測定期間の風向風速観測結果より、対象地域の風は浜風（南西風・日中）、陸風（東北東風・早朝）、六甲風（北北西風・夜間）の三種類に分類されることが分かった。気温偏差を求め、風向との比較を行った。浜風時、臨海東部で昇温、陸風時、臨海西部で昇温と、風下側で昇温が見られた。六甲風時は臨海部市街地で気温の低下が見られた。

## 文 献

環境省（2004）：「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」, 63p

- 環境省 (2002) : 「平成13年度ヒートアイランド対策手法に関する調査検討報告書」, 184p
- 環境省 (2001) : 「平成12年度ヒートアイランド対策手法に関する調査検討報告書」, 113p
- 環境省 (2001) : 「平成12年度環境省報告書, ヒートアイランド現象の実態解明と対策のあり方について報告書」, 129p
- 気象庁 (2004) : 「報道発表資料 (7月の天候, 8月の天候, 9月の天候)」, 13p, 12p, 16p
- 気象庁 (2002) : 「気候変動監視レポート2001」, 78p
- 気象庁編 (2002) : 「20世紀の日本の気候」, 116p
- 三上岳彦・安藤晴夫・横山仁・山口隆子・石井康一郎・塩田勉・森島  
濟・小島茂喜・泉岳樹 (2004) : 「東京都区内における夏期ヒート  
アイランドの時空間変動」, 東京都環境科学研究所年報 2004,  
p.11-17
- 向井愛・堀越哲美(1998):名古屋市中川運河における海風遡上が体感  
気候に及ぼす影響 笹島地区における「風の道」を活かした都  
市計画への提案, 日本建築学会大会 (1998年度) 学術講演梗概  
集D- 1分冊, p.689-690
- 日本建築学会 (2000) : 都市環境のクリマアトラス -気候情報を活  
かした都市づくり-, ぎょうせい, 113p
- 大元祐二・吉田篤正 (1999) : 岡山市内の気温と湿度の実測, 日本  
建築学会大会 (1999年度) 学術講演梗概集D- 1分冊, p.701-702
- 富重幸博・竹林英樹・森山正和・武本鐘浩(2001):大阪地域の気温分  
布に及ぼす海風の影響に関する研究, 日本建築学会大会 (2001  
年度) 学術講演梗概集D- 1分冊, p.941-942
- 牛山素行編 (2000) : 身近な気象・気候調査の基礎, 古今書院, 195p
- 吉田篤正 (1998) : 「岡山, 倉敷市内の気温と湿度の実測」, 日本建  
築学会大会 (1998年度) 学術講演梗概集D- 1分冊, p.657-658

(2005年7月31日受付)

(2006年1月24日受理)