

## 大阪市域の夏季におけるヒートアイランド現象の時空間特性と暑熱指標(WBGT)による評価

榊元慶子

Space-Time Characteristics of the Urban Heat Island in Summer and Evaluation  
using Wet Bulb Globe Temperature in Osaka City

Keiko MASUMOTO

## Abstract

In the summer of 2008, the number of heat stroke patients who visited the emergency hospital in Osaka City exceeded 410. This number was the highest in 5 years. The sea lies to the west of Osaka City, and the data recorded by the Heat Island Monitoring Network of Osaka City show that exhaust heat moves from the center of the city to the east because of the sea breeze during the daytime in summer. In 2007, the East Monitoring Station recorded the air temperature as  $>40^{\circ}\text{C}$ , which was approximately  $2^{\circ}\text{C}$  higher than that recorded by the representative station of the Japan Meteorological Agency (JMA). The space-time distributions in terms of “days according to classification of the temperature” were compared with respect to “degree hour (DH).” Although both indices, days and DH, showed that the distribution is high during daytime in the eastern part of the city, the distribution during nighttime was different. During nighttime, the DH was higher at the East Monitoring Station than in the central part of the city, but the number of days was not higher.

In August 2008, the wet bulb globe temperature (WBGT) was measured at the East Monitoring Station; this WBGT was compared to that measured at the representative station when the Ministry of the Environment (MOE) issued a warning regarding the possibility of a heat stroke. As a result, the time in the warning level at the East Monitoring Station was longer than the representative point. It was found that regions should be taken into consideration when issuing a warning regarding a heat stroke.

**Key words:** urban heat island, monitoring network, WBGT, heat stroke, air temperature, degree hour, urban meteorology

## I はじめに

都市部の気温が郊外より顕著に高くなるヒートアイランド現象は、市民にも広く知られるようになった。地球温暖化による気温上昇に加えて、高度な都市化による上昇、すなわち、ヒートアイランド現象が存在する大阪市のような都市部では、熱中症などの健康被害が増加する心配がある。2008年夏、大阪市域では、救急病院まで搬送された熱中症患者の数が400を超えた(Table 1)。直接、医療機関で手当てを受けた場合や、自己で適切な処置を行い、危機を免れた例は、この数字には

含まれない。環境省では熱中症に関連する暑さ指数として湿球黒球温度 = Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)を採用し、インターネットや携帯電話のサイト

Table 1 The number\* of heat stroke patients in Osaka City

Year	No. of Patients	Patients per million
2005	172	65.3
2006	240	91.1
2007	339	128.6
2008	413	156.7

\* National Institute for Environmental Studies

から、暑さ速報を発信している。

大阪市は2005年3月にヒートアイランド対策推進計画[1]を設定し、「2020年度までに、年平均気温の上昇傾向と「熱帯夜」の数の増加を抑制しなければならない」という目標をたて、各種対策を挙げている。国や自治体はもちろん、民間企業も、ヒートアイランド対策の提案や対策技術の導入が進んできている。しかしながら、その多くは生活空間レベルでの気温緩和策であり、広域の改善については、都市レベルでの対策を計画的に展開し、長期における気温変化の実態を把握した上で、その対策を評価しなければならない。計画の目標は数値的なものではないが、対策と目標は5年毎に見直される。定期的にこれら対策の実施結果を評価することが必要である。

そこで、本研究は、大阪市場における気温の実測データをもとに、対策計画の進捗を評価するための指標についての検討と、WBGTによる地域比較を行い、時空間特性に配慮した対策の展開に寄与することを目的としている。

## II 方法

### 1) 気温分布の計測と階級別集計

大阪市のヒートアイランド観測網は、市域の小学校の運動場等に設置されている百葉箱内に、温湿度センサー付きデータロガーを設置し、7、8、9月の3か月の気温を、10分間隔で測定している。

2008年の地点数は、中央部(淀川区、北区、中央区、天王寺区、阿倍野区、住吉区)14地点、西部(中央部より西の区域)17地点、東部(同東の区域)19地点の合計50地点であった。2008年に使用された機器は、佐藤計測器製データロガーSK-L200TH II およびセンサーSK-LTH II -2であった。データロガーの出力ファイルは「Microsoft社製 EXCEL」でデータ処理し、指標の集計を行った。コンターマップ作成には、KGT社製MicroAVS V10を使用した。

#### (1) 階級別日数

都道府県のスケールから見れば、大阪市場全体が暑い地域であると位置づけられがちであるが、大阪市のヒートアイランドモニタリング観測網によるこれまでの調査から、夜間は市の中心部が、日中は西部から東部にかけて高温化することを、筆者らが明らかにした[4,5]。特に、典型的な暑さの日において、日中の気温は、「熱の島」と呼ぶよりも、大阪港を底にした「すり鉢」のような分布形態をとる一方で、夜間には「熱の島」が現れた。これは、日中は大阪湾に特徴的な強い西風の影響があり、夜間は、全体に風が弱まっていることによるものと考えられる。

大阪市の対策計画では、「年平均気温」と「熱帯夜」日数を目標に取り上げているが、ここでは夏季の気温分布を評価する指標として「熱帯夜(夜間の最低気温が25℃以上の日を意味するが、便宜的に日最低気温として処理した)」と、「真夏日(日最高気温が30℃以上)」、「猛暑日(日最高気温が35℃以上)」、さらに、気象庁の定義にはないが、「酷暑の夜(日最低気温が28℃以上)」を加えて、4つの階級別日数を集計して検討を行った(Table 2)。この指標を加えた理由は、市域の夜間の気温は、他都市に比べて高く、熱帯夜だけでは地域分布の特徴が把握できないのと、環境省が夏の冷房温度を28℃に制御するよう勧めているためである。

また、これらの階級別日数は、7、8、9月の3か月合計で評価した。2005年からのモニタリング調査結果から、梅雨の期間、台風の接近、エルニーニョ・ラニーニャ現象の影響など、毎年の気候が異なり、暑さのピークが前後するため、経年変化を把握して、計画見直しに反映させるためには、8月のみの評価では不十分であると考えたからである[6,7]。

Table 2 Classifications of the temperature level in summer

Time zone	Class Defined name in Japanese	Daily air temperature (°C)
Day	‘Manatsubi’	$T_{max} \geq 30$
Day	‘Moushobi’	$T_{max} \geq 35$
Night	‘Nettaiya’	$T_{min} \geq 25$
Night	Extremely Hot Night*	$T_{min} \geq 28^{**}$

\* Undefined by Japan Meteorological Agency (JMA)

\*\*Japan Ministry of the Environment recommends that the temperature of air conditioning should be set to 28°C in the summer.

#### (2) 階級別Degree Hour(DH)

階級別日数の評価では、たとえば「熱帯夜」は、日最低気温が25℃以上であれば、そのレベルをどれだけ超えたか、また超えた長さが何時間であったかは、評価に含まれない。すなわち日数による指標では、暑さの程度を大まかに表現することはできるが、特徴のある熱環境を数量的に把握するには、不十分といえる。

そこで、階級で設定する気温との温度差と時間数を積算するDH(下式、表3)を集計した。

たとえば、猛暑日DHは、7時から19時までの日中に、35℃を超えた温度とその時間数とを積算して求め、単位は℃hourである。

$$\text{Degree Hour } (^{\circ}\text{Chour}) = \int_h (\text{temp} - T_c) dh$$

また、この階級別DHは、階級別日数同様、7、8、9月の3か月合計で評価した。

Table 3  $T_c$  for calculating the DH for each class

Time	Class	$T_c$ (°C)
Day h= 7:00 - 19:00	'Manatsubi'	30
	'Moushobi'	35
Night h= 19:00 - 7:00	'Nettaiya'	25
	Extremely Hot Night	28

2) WBGTの比較計測

WBGTは人体の熱収支に影響の大きい湿度、輻射熱、気温の3つを取り入れた指標で、乾球温度、湿球温度、黒球温度の値から計算されるもので、熱中症発生との関連性から、環境省が採用している指標である。日中、市域で最も高い気温を記録し、熱中症発生のリスクが高い東部のモニタリング観測点(みどり小学校、鶴見区)と、市域の代表点としてデータを用いることの多い大阪管区气象台(中央区)が位置する中央部の2カ所(Fig. 1)について、比較を行った。

東部は、敷地南西部の百葉箱近傍に、暑熱指標計(京都電子工業(株)製WBGT-101屋外改良型)を設置し、2008年7月31日から8月12日に、30分間隔で測定を行った。

また、中央部は、WBGTについては、環境省設置のWBGT値(公開)[2]を、気温は大阪管区气象台の統計値(公開)[3]を用いて、市域中央部のデータとして、東部と比較を行った。

Ⅲ 結果

1) 夏季3ヵ月間の気温の時空間特性

2008年7、8、9月の各観測点における10分間隔の気温をもとに、熱帯夜日数を合計した。ただし、期間中に欠測や異常値が出た観測点は解析から除き、48地点

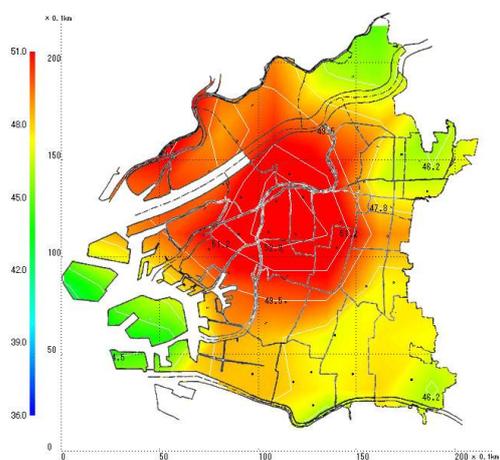


Fig. 2 Distribution of the number of 'Nettaiya' (nights) total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

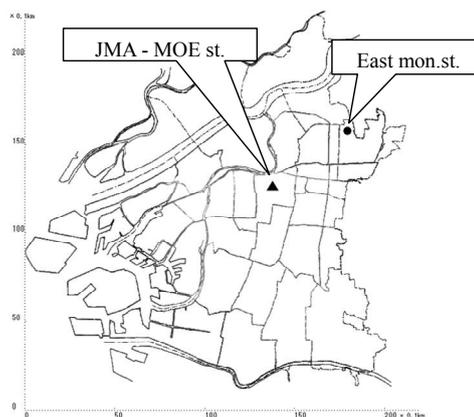


Fig.1 Location map of JMA-MOE station (▲) and East observation station (●) in Osaka City

のデータからコンターマップを作成した(Fig. 2)。熱帯夜日数の市域内分布は、市域周辺部で45日程度である一方、中央部は51日を超えた。

同様に解析した熱帯夜DH(Fig. 3)は、西部は1800°C hour、中央部は2100°C hourを超えたことがわかった。

酷暑の夜日数(Fig. 4)では、中央部で10日、西部、南部など周辺部では7日程度であるが、酷暑の夜DH(Fig. 5)は、高温域は中央部から東部に広がり、400°C hourを超えた。

真夏日日数(Fig. 6)、西部湾岸域では70日以下である一方、東部では73日を超えた。真夏日DH(Fig. 7)は、西部は1000°C hour、東部は1300°C hourを超え、日数と類似の分布傾向が見られた。

猛暑日日数(Fig. 8)は、西部で12日、市域東部は24日を超え、猛暑日DH(Fig. 9)は、西部は15°C hour、東部は30°C hourを超えた。

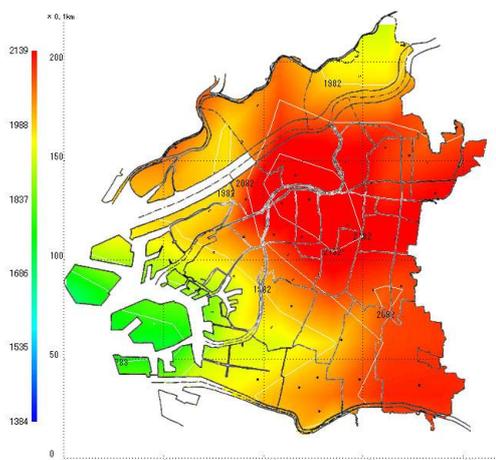


Fig. 3 Distribution of the number of 'Nettaiya' DH (°C hour) total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

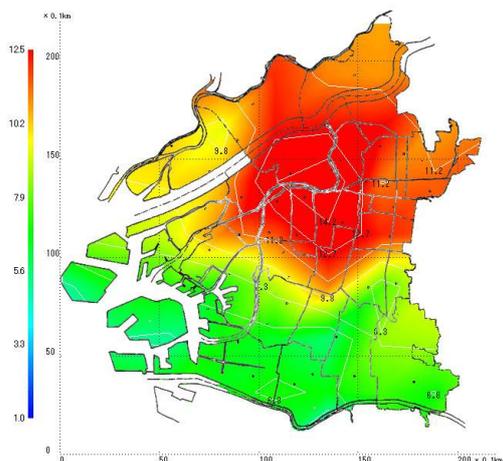


Fig. 4 Distribution of the number of Extremely Hot Nights total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

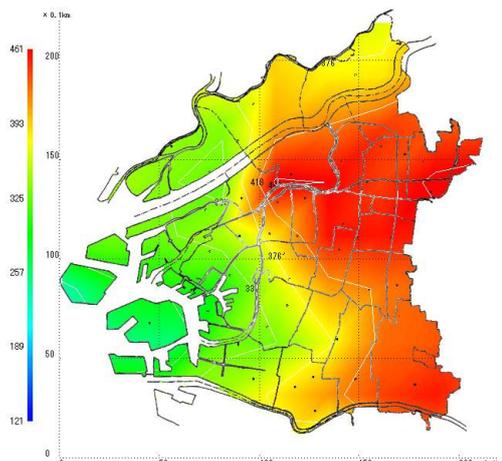


Fig. 5 Distribution of the number of Extremely Hot Night DH (°C hour) total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

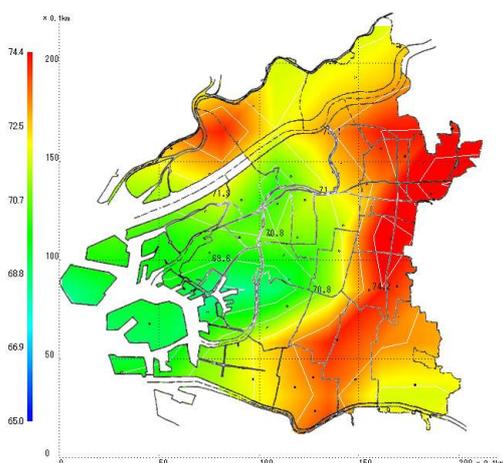


Fig. 6 Distribution of the number of 'Manatsubi' (days) total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

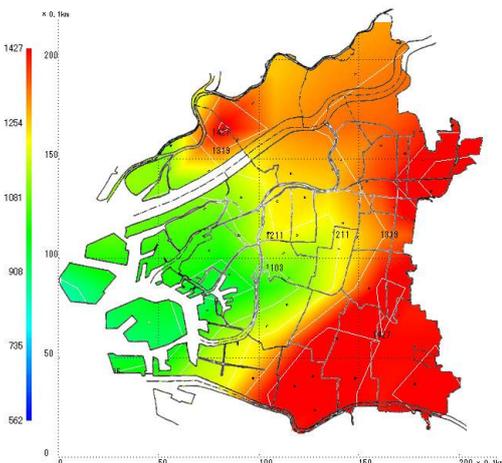


Fig. 7 Distribution of the number of 'Manatsubi' DH (°C hour) total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

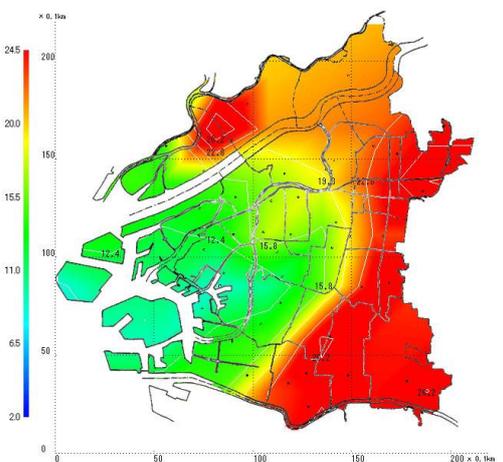


Fig. 8 Distribution of the number of 'Moushobi' (days) total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

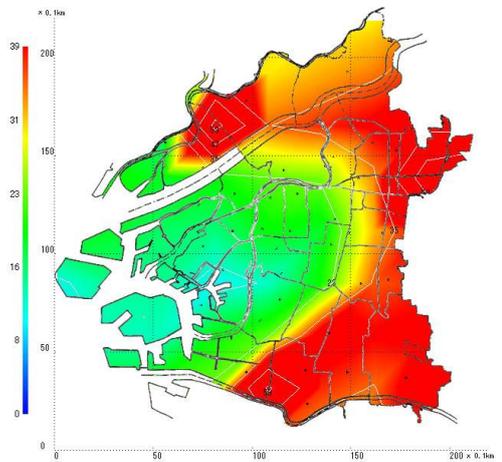


Fig. 9 Distribution of the number of 'Moushobi' DH (°C hour) total for 3 months from July to September in 2008 Osaka City Monitoring Network (48 points)

## 2) WBGTの比較

日本体育協会が取りまとめた「熱中症予防のための運動指針」では、「運動は原則中止(危険)」、「嚴重警戒」「警戒」「注意」「ほぼ安全」のリスクレベルが設定(Table 4)されており、環境省はこれをもとに、毎時のリスクレベルの速報値を公開している。

測定期間中の東部観測点と環境省のWBGTとを比較すると(Fig. 10)、東部は、日中のピークの高さも高いが、夜間も下がりにくい状況を示した。

また、日中、夜間を通して、期間中の平均気温は、气象台との差は0.3℃高く、WBGTは、環境省との差は0.9℃高かった。さらに、WBGTが31℃を超える危険レベルとなった時間数は、中央部で3時間、東部では5時間となった(Table 5)。

## IV 考察

地域の暑さの指標として、階級別の日数とDHを比較すると、夜間の指標である熱帯夜や酷暑の夜では、日数では中央部が顕著に高くなるが、DHでは、中央部だけでなく、東部も高くなる傾向が見られ、東部における日中の高温化の影響も反映していると考えられる。

日中の指標である真夏日や猛暑日では、日数もDHもほぼ同様の地域分布を示したが、DHは、内陸側が高温化する様相が、より顕著に現れ、地域の特性を反映していると考えられる。

たとえば、一定の気温を超えたかどうかを示す「日数」だけでみると、東部の地域では、中央部よりも良好

**Table 4** The risk level of heat disorders proposed by the Japan Amateur Sports Association (1994)

WBGT (°C)	Level	Recommendation
31	'Danger'	Stop exercises in principle
26	'Alert'	Stop severe exercises
25	'Advisory'	Take rests frequently
21	'Caution'	Frequent hydration
	almost safe	Proper hydration

**Table 5** Difference in the air temperature, WBGT, and risk level between the central and the eastern parts of Osaka City between July 31 and August 15, 2008

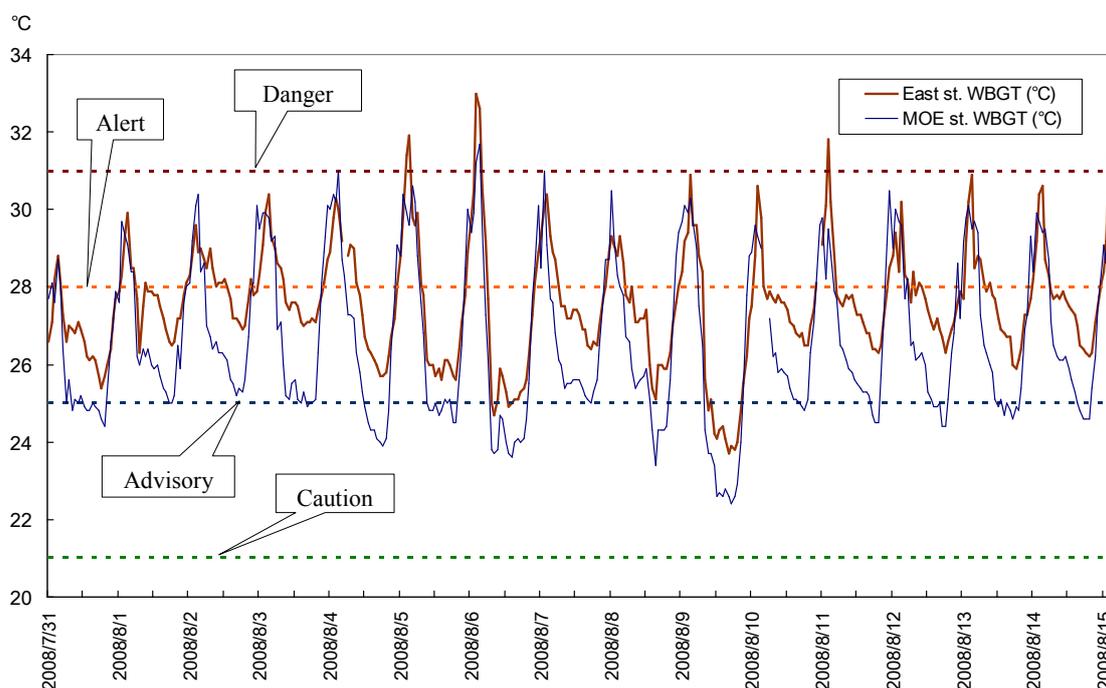
	JMA-MOE station (center)	East monitoring station (east)
Average air temperature* during the period (°C)	30.3	30.6
Average WBGT** during the period (°C)	26.9	27.8
Period of 'Danger' level (hour)	3	5

\* Japan Meteorological Agency (JMA)

\*\*Japan Ministry of the Environment (MOE)

にみえるが、一定の気温を何℃超えたか、また何時間超えたかを積算する「DH」でみると、東部は中央部よりも良好とはいえない。

市民にわかりやすい指標として、気温の階級別日数評価は有用であるが、暑さの程度と長さまで十分に評価できない。一方、DHは、より定量的に、地域特性を



**Fig. 10** WBGT at MOE station and East observation station in Osaka City from July 31 to August 15, 2008

顕著に表すことのできる指標であると思われる。

また、長期的な変化を評価する場合には、冷夏、猛暑の年などの変動も含んだ上で、数量的な考察をする必要があり、DHは、日数評価よりも適していると思われる。

WBGTについては、日中、中央部に比べて東部が高く、夜間も高い結果となった。これは周辺の建物からの輻射の影響も考えられるが、最低気温を示す時刻になっても、十分に下がってきておらず、観測点周辺の住宅地でも、ほぼ同様の環境であることが推定できる。

夜間については、嚴重警戒レベルを超えているわけではないが、代表値としての中央部の観測値とは異なって、暑熱環境にも地域特性があると考えられる。

したがって、環境省の熱中症発生予測を利用する場合でも、これら地域特性に配慮する必要があり、できればリスクの高い東部においても、WBGTの観測点を設置して、健康被害発生の予防を検討することも、今後の課題として考えられる。

## V おわりに

都市部特有のヒートアイランド現象は、詳細に調べると地域によって、時空間特性が異なり、さらに、街区レベルでは、土地利用の形態によっても異なる。また、効果があるとされている対策にも、適不適が存在し、それらを組み合わせる必要がある。

ヒートアイランド対策推進計画における目標の達成度は、暑さの程度、時間数や、空間的な広がりなど、時空間特性を反映した方法で評価し、地域特性に即した対策を講じることが必要だと思われる。

日中高温化する東部(内陸部)は、日射をさえぎり、建物への蓄熱を防ぐ対策が必要で、高木などの植栽、屋上緑化や打ち水などの蒸散、日中不在になる住宅では、断熱もしくは通風・換気などの具体的な対策が期待される。また、ミスト散布によって、高温化による健康被害発生を直接防ぐ効果も期待できる。

夜間高温化する中央部は、現在、高層マンションの建設が相次ぎ、単位面積あたりの夜間のエネルギー排出が懸念される。効率の高い新たなエネルギーシステムの導入が不可欠であろう。

都市計画の視点として、大阪市では、涼しい海風を、

温めずに内陸に通す、水とみどりのネットワークによる「風の道」のプロジェクトも進行している。

都市の熱環境問題の改善にむけて、継続的な現状把握と、中長期的な対策計画の評価は、今後も不可欠であると考えている。

**謝辞** ご協力をいただいた大阪市環境局環境施策部地球温暖化対策担当、大阪市立みどり小学校のみなさまに、深謝いたします。

(本研究の一部は、大阪市環境局の「大阪市ヒートアイランドモニタリング調査」として実施したものであり、第7回国際都市気候会議(ICUC-7) 2009年7月において発表[8]した。)

## 参考文献

- 1) 大阪市. 大阪市ヒートアイランド対策推進計画 2005年3月
- 2) 国立環境研究所. 環境省熱中症予防情報サイト <http://www.nies.go.jp/health/HeatStroke/index.html>, (2009/8/16).
- 3) 気象庁. 気象統計情報 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>, (2009/8/16).
- 4) 榊元慶子. 「熱環境問題」その世界的課題と地域的課題, 生活衛生 2006; 50(5): 317-322.
- 5) 榊元慶子, 谷口一郎, 野邑奉弘. 2005年の大阪都市域における気温分布の特徴とヒートアイランドの発生状況. 日本ヒートアイランド学会誌 2006; 1: 30-35.
- 6) 榊元慶子. 大阪都市域におけるヒートアイランド現象の時空間特性, 生活衛生 2007; 51(4): 215-224.
- 7) 榊元慶子, 鬼頭敬一. 大阪都市域における熱帯夜, 猛暑日数とデグリーアワーの地域特性. 日本ヒートアイランド学会第3回全国大会 2008: 102-103.
- 8) Masumoto K. Urban Heat Island in OSAKA CITY, Distribution of “NETTAIYA” and “MOUSHOBI” Degree Hours and Characteristics of Air Temperature. 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology Abstract Booklet 2008.