

大阪市における夏と冬のヒートアイランド現象の違いに 関する観測的研究

An Observational Study of the Difference on Urban Heat Islands
between Summer and Winter in Osaka City

奥 勇一郎^{*1} 梶元 慶子^{*1}
Yuichiro Oku and Keiko Masumoto

^{*1} 大阪市立環境科学研究所 Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences

Corresponding author: Yuichiro Oku, oku@storm.dpri.kyoto-u.ac.jp

ABSTRACT

In order to clarify the spatial and temporal variation of surface air temperature patterns in Osaka City, we applied principal component analysis and cluster analysis to characterize its diurnal variation patterns using 10-minute interval surface air temperature data obtained at 60 stations both in summer (July to August 2011) and in winter (December 2012 to February 2013). The first principal component in summer (winter), which the authors interpreted as characteristic of night time air temperature, explained 51.9% (60.4%) of the total variance. The second one, which was interpreted as characteristic of daytime air temperature, explained 27.1% (26.2%) of that. We found central area in Osaka City experience higher temperatures at night than surrounding areas due to the urban heat island effect. For the cluster analysis, 60 stations were grouped into 4 (3) types of diurnal variation of surface air temperature patterns in summer (winter), which were described by daily minimum temperature which acts as a primary factor and, only in summer, daily maximum temperature which acts as a secondary factor.

キーワード: ヒートアイランド, 大阪, 気温日変化, 主成分分析, クラスタ分析

Key Words: Urban heat island, Osaka, Diurnal variation of air temperature,
Principal component analysis, Cluster analysis

1. はじめに

ヒートアイランド現象は近年の都市部への人口集中や建造物の過密化, エネルギー消費の増大に伴って顕在化し, 気候変化に伴う気温上昇と合わさって都市の暑熱環境に悪影響を及ぼしており, 特に夏は熱中症発症者数の増加として既に市民の生命の脅威となっている⁽¹⁾. ヒートアイランド現象の原因としては人工排熱の増加, 地表面被覆の人工化, 建築物の高密度化が挙げられている⁽²⁾. これらは, 単に都市と郊外の気温差を形成するだけでなく, 都市域内の気温分布の形成にも寄与する^{(3),(4)}.

ヒートアイランド現象の実態把握を目的とした研究は, 気象観測や数値実験などにより数多く行われているが, ヒートアイランド現象の強度, 規模や範囲といった時空間分布は, 対象地域における地理的条件の違いで結果が大きく異なるため, 様々な地域における密な観測データの充実に必要不可欠である⁽⁵⁾. これまでに観測的研究が行われている主な地域は, 東京^{(6),(7),(8)}をはじめとして大阪^{(9),(10),(11)},

甲府⁽¹²⁾, つくば^{(13),(14)}, 岡山⁽¹⁵⁾, 岐阜⁽¹⁶⁾, 高知⁽¹⁷⁾などがある. 気温の時空間分布を把握するための統計的手法として, 主成分分析やクラスタ分析による気温特性の地域類型を行い, ヒートアイランド現象の要因解析を行っている^{(6),(7),(8),(11),(15),(16),(17)}. また, 住み心地の良い都市の観点から夏の暑さに対する社会の関心の高まりもあり, これら研究の多くは夏のヒートアイランド現象を対象としているが, 一部^{(15),(17)}は冬のそれとの比較を行い, 季節間の差の要因について考察している.

一方, 大阪市では 2005 年度に策定し 2011 年に改訂した「ヒートアイランド対策推進計画」に基づいて各種の対策を講じるとともに, 同市環境局では「ヒートアイランドモニタリング調査」として, 市内 60 小学校の百葉箱にロガー機能付き温湿度計を設置, 市域 223km²において約 3.7km²に 1 地点の割合の高細密な気温観測網を構築, 気温による地域特性の把握に努めるとともに対策の推進による効果を検証している.

本研究の目的は, 大阪市におけるヒートアイランド現象

に着目した気温の日変化特性による地域類型であり、先行

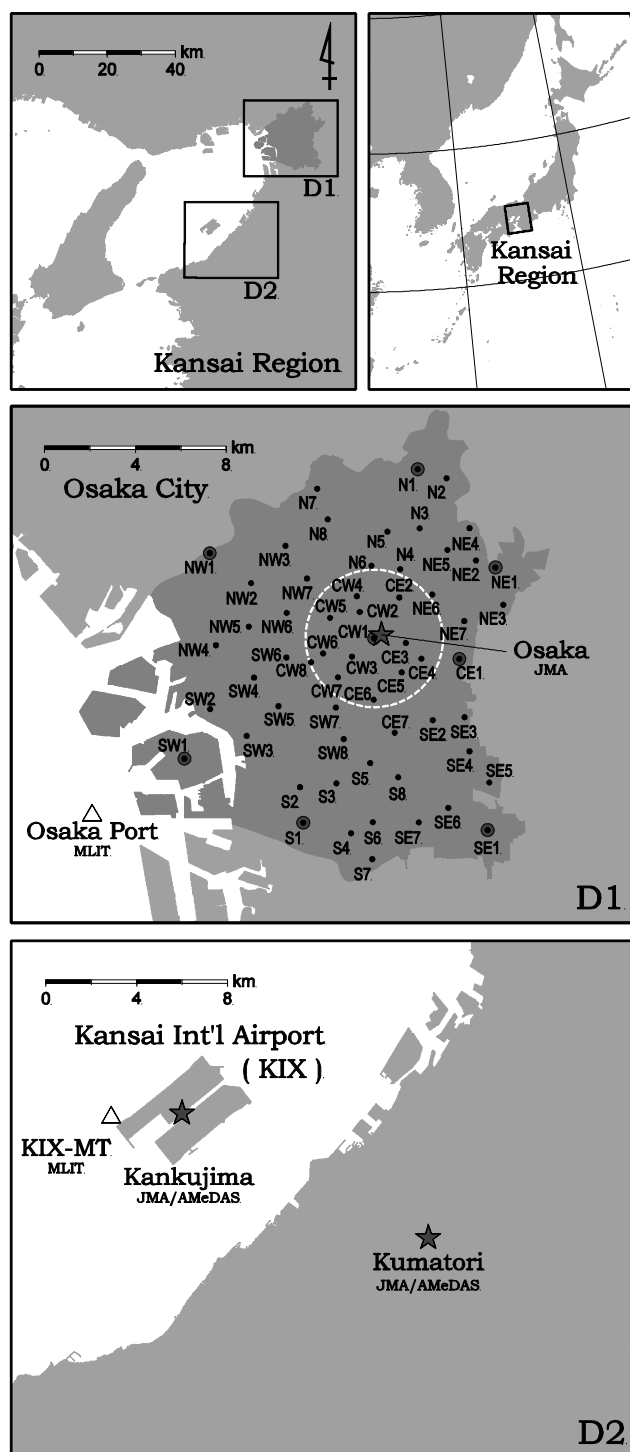


図 1: 観測地点の位置。D1 は大阪市とその周辺、D2 は関西空港とその対岸のそれぞれ拡大図。D1 の英数字付き黒色丸印・がヒートアイランドモニタリング調査の小学校を、このうち灰色丸印●は連続観測実施の小学校を、灰色星印★が大阪管区气象台と気象庁 AMeDAS 関空島および熊取を、白色三角印△が国土交通省近畿地方整備局の大阪港波浪観測塔と関空 MT 局をそれぞれ示す。D1 の白色破線は地点番号 10 番の南大江小学校から半径 3km の円を示す。円内の地域は、大阪市における経済活動の中心地域とほぼ一致する。

研究に習い主成分分析やクラスター分析により地域類型を行う。夏と冬の比較を行い、その要因について考察を行う。

2 章では使用したデータについて説明し、3 章では気温統計値、4 章では主成分分析の結果を示す。5 章では夏における海風の影響について調べ、6 章でのクラスター分析を用いた気温の日変化特性の地域類型とその検証の際の根拠とした。7 章で結論を述べる。

2. データ

大阪市環境局の「ヒートアイランドモニタリング調査」における市内小学校 60 地点で観測された気温データを使用する。観測期間は夏が 2011 年 7～9 月の 92 日間、冬が 2012 年 12 月～2013 年 2 月の 90 日間で、小学校既設の百葉箱にロガー機能付き温湿度計（株式会社佐藤計量器製作所製センサ SK-LTH II α-2、同ロガー SK-L200TH II α）を設置し、10 分間隔で気温データを記録する。百葉箱の設置面は芝または草地となっている 11 地点を除き、土である。また、周囲に百葉箱への日射を遮蔽する建物等が無い地点は 12 地点であり、残りは校舎や樹木の陰に入る時間帯が存在し、百葉箱に対する遮蔽物の方向も東西南北、様々である。一般に小学校の百葉箱は様々な条件下にあり⁽¹⁸⁾、設置条件の違いが気温測定に影響してしまう場合が多い。このことに関しては一例を挙げて 3.1 節で述べる。異常値を含む欠測を除いたデータ回収率は夏が 99.65%、冬が 99.38%であった。60 地点のうち主要 8 地点については 2012 年 5 月から連続観測を実施しており、夏と冬の比較を検証するためのデータとして使用する。気温の時空間分布における夏と冬を比較する際の参考データとして、前述の気温データと同じ観測期間における大阪管区气象台と気象庁 AMeDAS 関空島および熊取における気温、風向、風速データ、国土交通省近畿地方整備局の大阪港波浪観測塔と関空 MT 局の風向、風速、最上層海水温データを使用した。これらのデータは 1 時間値である。観測地点の位置を図 1 に示す。観測地点には便宜上、英数字から構成される地点記号を与えた。地点記号の英字 1 文字または 2 文字は連続観測を実施している主要 8 地点を中心とした 8 エリアを示しており、NW は北西部、N は北部、NE は北東部、SW は南西部、S は南部、SE は南東部、CW は中心部西側、CE は中心部東側をそれぞれ示す。1 つエリアには 7 または 8 の観測地点が属し、地点記号の末尾の数字 1 桁は主要 8 地点を「1」とするこれらエリア内における通し番号を与えた。なお、N7 と S3 の観測地点は夏と冬で設置地点が異なるが変更前と変更後の地点間距離がそれぞれ 0.9km と 1.1km であることから同一地点とみなして解析を行った。また、S7 では夏の観測データでやや高温になる傾向がみられたため、冬は夏とは異なる百葉箱を使用して観測を行った。

3. 気温統計値

図2は、日最低気温、日平均気温、日最高気温の期間平均値である。市域における地域特性がより明瞭に示せるよう各観測地点の数値は全60地点の平均値からの偏差で表示している。

3.1 日最低気温

夏における正の偏差の大きい地点は図1における地点記号（以下同様）S7（住吉区）の $+1.0^{\circ}\text{C}$ 、次いでCW4（北区）の $+0.9^{\circ}\text{C}$ 、CW3（中央区）の $+0.6^{\circ}\text{C}$ の順になっている。負の偏差の大きい地点はSW1（住之江区）の -0.8°C 、N2（東淀川区）の -0.6°C 、SE6（平野区）とNW5（此花区）の -0.5°C の順になっている。連続観測地点であるCW1（中央区）を中心に半径3kmの範囲を市の中心部とすると、

正の偏差が大きい上位9地点中の7地点がこの範囲に入る。そして、負の偏差が大きい上位9地点はすべて市の周縁部に位置する。市の中心部における最大値と市の周縁部における最小値との差は 1.7°C であり、この差は測定機器の精度 1.0°C よりも大きいことから、有意であるといえる。

一方、冬における正の偏差の大きい地点はS7（住吉区）の $+0.9^{\circ}\text{C}$ 、次いでCW3（中央区）の $+0.8^{\circ}\text{C}$ 、CW5（西区）で $+0.7^{\circ}\text{C}$ であり、負の偏差の大きい地点はNE1（鶴見区）の -1.1°C 、N2（東淀川区）とS7（住吉区）の -0.8°C であった。夏と同様に市の中心部における最大値と市の周縁部における最小値との差をとると 1.9°C であり、測定機器の精度 1.0°C よりも大きいことからこの差は有意であるといえる。この差が夏よりも冬の方が大きいのは、一般にヒート

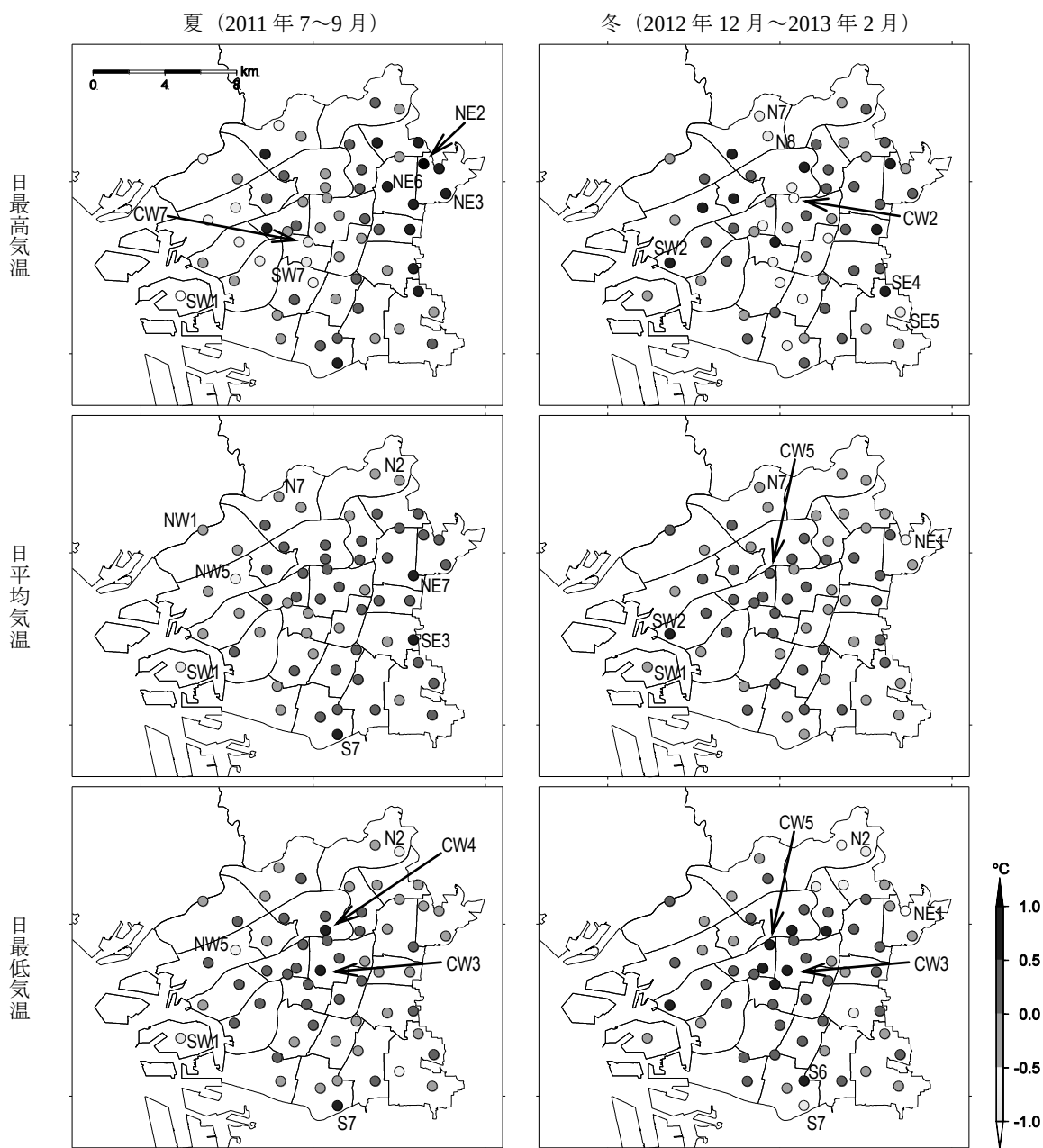


図2: 日最高気温（上段）、日平均気温（中段）、日最低気温（下段）の期間平均値の空間分布。それぞれ全60地点の空間平均値からの偏差で表示。

表 1: 気温日変化の主成分寄与率

主成分	固有値		寄与率 (%)		累積寄与率 (%)	
	夏	冬	夏	冬	夏	冬
第 1 主成分	74.8	87.0	51.9	60.4	51.9	60.4
第 2 主成分	39.0	37.7	27.1	26.2	79.0	86.6
第 3 主成分	20.7	12.0	14.4	8.3	93.4	94.9
第 4 主成分	3.5	2.6	2.5	1.8	95.8	96.7
第 5 主成分	2.6	1.7	1.8	1.2	97.7	97.9

アイランド現象が最も顕著となるのが冬の夜間から明け方にかけての日最低気温が記録される時間帯であると考えられていることから妥当であると言える。

ところで、およそ 1.6km しか離れていない S6 と S7（ともに住吉区）で冬における日最低気温の傾向が全く違うことが見て取れる。これには、百葉箱の設置条件の違いが影響していると思われる。S6 の百葉箱は幅 10m ほどの敷地の中央に位置し、その敷地の片側は 3 階建ての鉄筋校舎、反対側が交通量の多い片側 2 車線の幹線道路に沿う幅員約 5m の歩道になっている。一方、S7 の百葉箱は S6 と同じく幅 10m ほどの敷地のほぼ中央に位置しているものの、2 階建て以上の建造物に隣接しておらず周囲は土のグラウンドやプール、復員 10m 前後の道路になっている。たとえば、百葉箱を中心として直径 100m の円内の建物や道路といった人工被覆の割合に着目すると、S6 はおよそ 7 割から 8 割に達するが、S7 は 5 割もなくその多くは土のグラウンドとなっている。したがって、S6 は日最低気温が高くなる環境にあり、S7 は逆に低くなる環境にあることが、百葉箱の周囲の人工被覆率から推察される。

3.2 日平均気温

夏における正の偏差が大きい地点は S7（住吉区）の $+1.0^{\circ}\text{C}$ 、NE7（城東区）と SE3（生野区）の $+0.6^{\circ}\text{C}$ であり、負の偏差が大きい地点は SW1（住之江区）の -0.8°C 、NW5（此花区）の -0.5°C 、NW1（西淀川区）と N7（淀川区）と N2（東淀川区）の -0.3°C であった。市の内陸側に位置する東部と南部で正の偏差、市の北部と海側に位置する西部で負の偏差が見られる傾向にある。

一方、冬における正の偏差が大きい地点は SW2（港区）の $+0.8^{\circ}\text{C}$ 、CW5（西区）の $+0.5^{\circ}\text{C}$ であり、負の偏差が大きい地点は NE1（鶴見区）の -0.5°C 、SW1（住之江区）と N7（淀川区）を含む市の北部の 3 地点で -0.4°C であった。SW1 と市の北部が負の偏差が大きく、その他の地域に正の偏差が大きな地点みられる。

日平均気温に関しては、偏差の大きい地点が夏と冬で共通しているところがあるものの、空間分布や季節での特徴的な要素はみられない。

3.3 日最高気温

夏における正の偏差が大きい地点は、NE2（鶴見区）の

$+1.1^{\circ}\text{C}$ 、NE6（城東区）の $+1.0^{\circ}\text{C}$ 、NE3（鶴見区）の $+0.9^{\circ}\text{C}$ であり、負の偏差が大きい地点は、SW1（住之江区）の -1.1°C 、SW7 と CW7（いずれも浪速区）の -0.8°C であった。NE2 と SW1 との差は 2.2°C に達し、測定機器の精度 1.0°C よりも大きいことから、この差は有意であるといえる。正の偏差の大きい地点は、S7（住吉区）を除いて内陸側である市の東部に多くみられ、負の偏差の大きい地点は市の海側すなわち西側半分の地域に広く分布している。

一方、冬における正の偏差が大きい地点は、SW2（港区）の $+1.0^{\circ}\text{C}$ 、SE4（平野区）の $+0.9^{\circ}\text{C}$ 、負の偏差が大きい地点は CW2（中央区）の -1.0°C 、N7 と N8（ともに淀川区）と SE5（平野区）の -0.8°C であった。

日最高気温に関しては、夏に明瞭な東西分布がみられたものの、冬にはそのような分布はみられなかった。

4. 主成分分析

多地点の時系列気温データにおける主要な変動パターンを抽出し、その変動の特徴を把握するための統計的手法のひとつとして主成分分析がある。既往研究^{(6), (8), (11), (15), (16), (17)}においてはヒートアイランド現象の発生要因解析に用いられており、主成分分析を行うことで市域における気温変化の時空間分布特性を客観的かつ定量的に示すことが可能になると期待される。気温データを主成分分析に適用する具体的な方法は以下の通りである。

まず、任意の地点において解析対象期間中における毎時刻平均した気温データを用意する。10 分間隔でデータは取得されているので、144 個の気温データが計算される。これら 144 個のデータから平均値（すなわち日平均気温）を計算し、その偏差を求める。気温を時刻に関する 144 次元の多変量データとみなし、これを全 60 地点について求め、主成分分析の入力とする。主成分分析は分散共分散行列の固有値問題であるので、この入力により時間を関数とした固有ベクトルと観測地点を関数とした主成分得点が出力される。表 1 に主成分寄与率、図 3 に固有ベクトル、図 4 に主成分得点、図 5 に主成分得点の絶対値が 1.5 以上の地点における気温の時刻別平均値の日変化をそれぞれ示す。

4.1 第 1 主成分

表 1 から第 1 主成分の寄与率は夏で 51.9%、冬で 60.4%

に達し、第1主成分だけで全体の50%以上を占めている。
これは気温の時空間分布を決める要素が、冬の場合は第1

主成分だけで6割近く説明できるが、夏の場合は5割余りでとどまり他の要素による寄与が相対的に大きいことを意

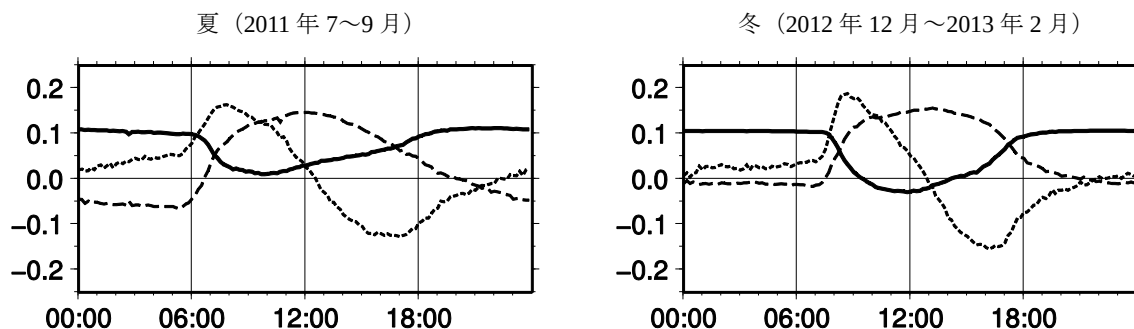


図3: 主成分分析で得られた固有ベクトル.

横軸は時間、縦軸は固有ベクトルの大きさ、実線は第1主成分、破線は第2主成分、点線は第3主成分を示す.

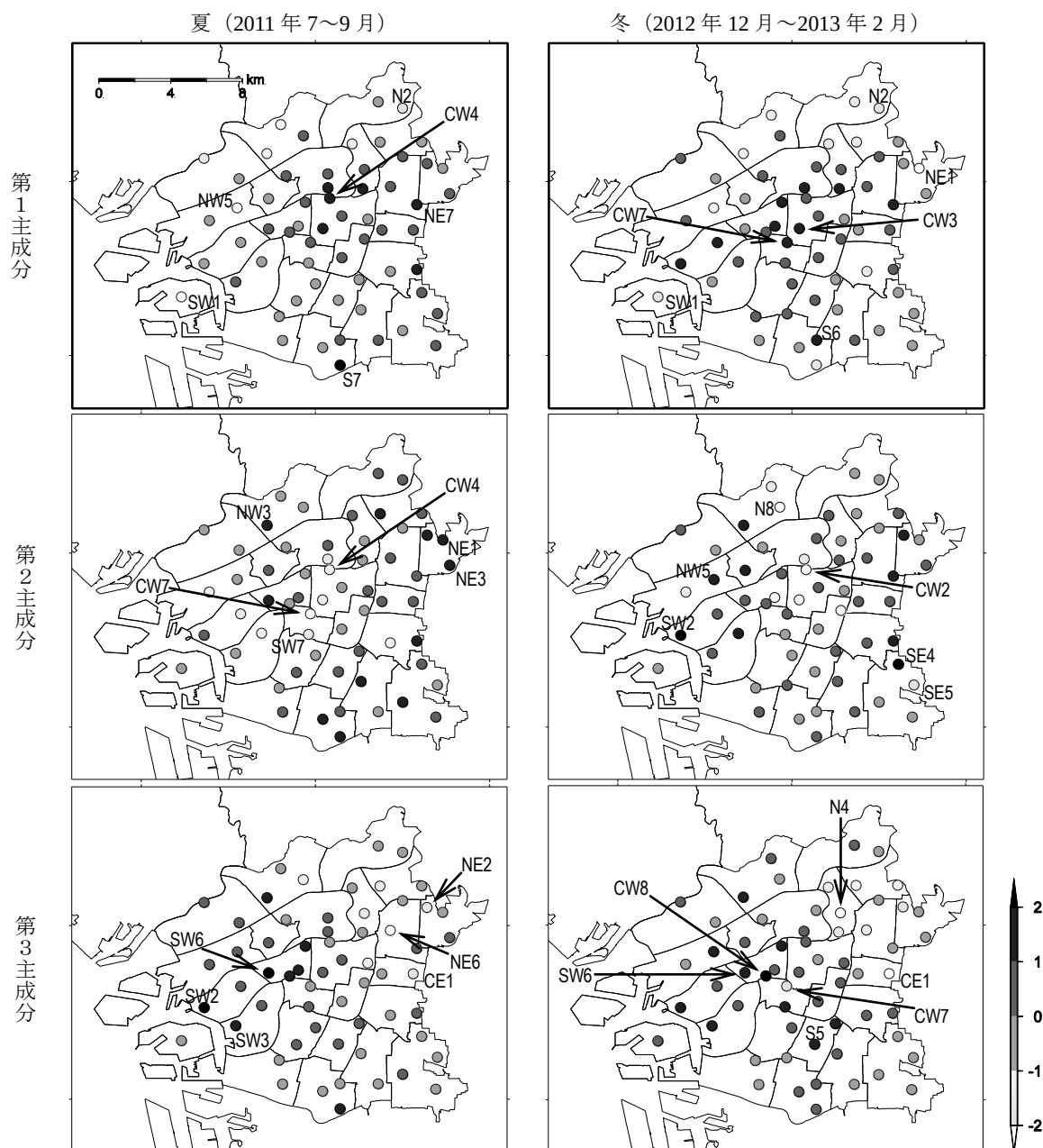


図4: 主成分得点の空間分布.

表 2: 主成分得点の絶対値が大きい上位 5 地点. 太字は絶対値が 1.5 以上.

主成分	季節	正の主成分得点					負の主成分得点				
		1 位	2 位	3 位	4 位	5 位	1 位	2 位	3 位	4 位	5 位
第 1	夏	S7	CW2	NE7	CW3	SE3	SW1	NW5	N2	NW1	N5
	冬	CW3	CW7	S6	CW5	CW4	NE1	N2	SW1	N5	S7
第 2	夏	CW7	CW4	SW7	SW4	CW3	NE3	NW3	NE1	SW6	NE2
	冬	CW2	N8	SE5	N7	CW4	SW2	SE4	NW5	NE2	NW3
第 3	夏	SW2	SW6	SW3	S7	CW8	NE6	CE1	NE2	N4	N3
	冬	CW8	S5	CW5	SW6	NW3	N4	CE1	CW7	NE2	CE2

味している.

次に, 図 3 から第 1 主成分の固有ベクトルは, 夏, 冬ともに夜間は+0.1 に近い値を示し, 日中はそれよりも値が小さく絶対値が 0 に近い値を示す共通点があることがわかる. 夏と冬とで異なる点に着目すると, 午前中の現象が夏は 6 時から始まるのに対して冬は 7 時 30 分からと若干遅くなる. 極小値は夏が 10 時に対して冬は 12 時であり, 夏は正の値であるが冬は負の値になる. 再び+0.1 を上回るのは夏, 冬ともに 19 時前後であり, 日付が変わるまでこの水準が維持される. 以上より, 第 1 主成分は日没後から翌日の日の出までの気温特性を反映しているものと推察できる. 先行研究^{(6),(15)}でも同様の解釈がなされている.

ここで, 図 4 の主成分得点の空間分布に着目すると, 夏における正の得点の大きい地点は S7 (住吉区) の+3.1, 次いで CW4 (北区) の+1.9, NE7 (城東区) の+1.8 の順であった. 負の得点の大きい地点は SW1 (住之江区) の-3.3, NW5 (此花区) の-2.4, N2 (東淀川区) の-1.8 の順であった. 一方, 冬における正の得点の大きい地点は CW3

(中央区) の+1.8, CW7 (浪速区) の+1.7, S6 (東住吉区) で+1.6 であり, 負の得点の大きい地点は NE1 (鶴見区) の-2.3, N2 (東淀川区) の-1.8, と SW1 (住之江区) の-0.7 であった. 主成分得点の正負による気温特性の違いを調べるため, 絶対値が大きい地点毎で気温の時刻別平均値を求め, その日変化を求め図 5 に示した. 図 5 からわかるように, 正の得点の大きい上位の地点は日最低気温が相対的に高く (図 2 では正の偏差が大きく), 負の得点の絶対値が大きい地点は日最低気温が低く (負の偏差の絶対値が大きく) なっている.

図 4 の第 1 主成分得点の空間分布は, 図 2 の日最低気温のそれと類似しており, 固有ベクトルの値と主成分得点の地域分布から, 第 1 主成分は夜間における気温の時空間分布を説明しているものと判断できる.

4.2 第 2 主成分

表 1 から第 2 主成分の寄与率は夏で 27.1%, 冬で 26.2% となっており, 第 2 主成分の寄与率は第 1 主成分の半分以

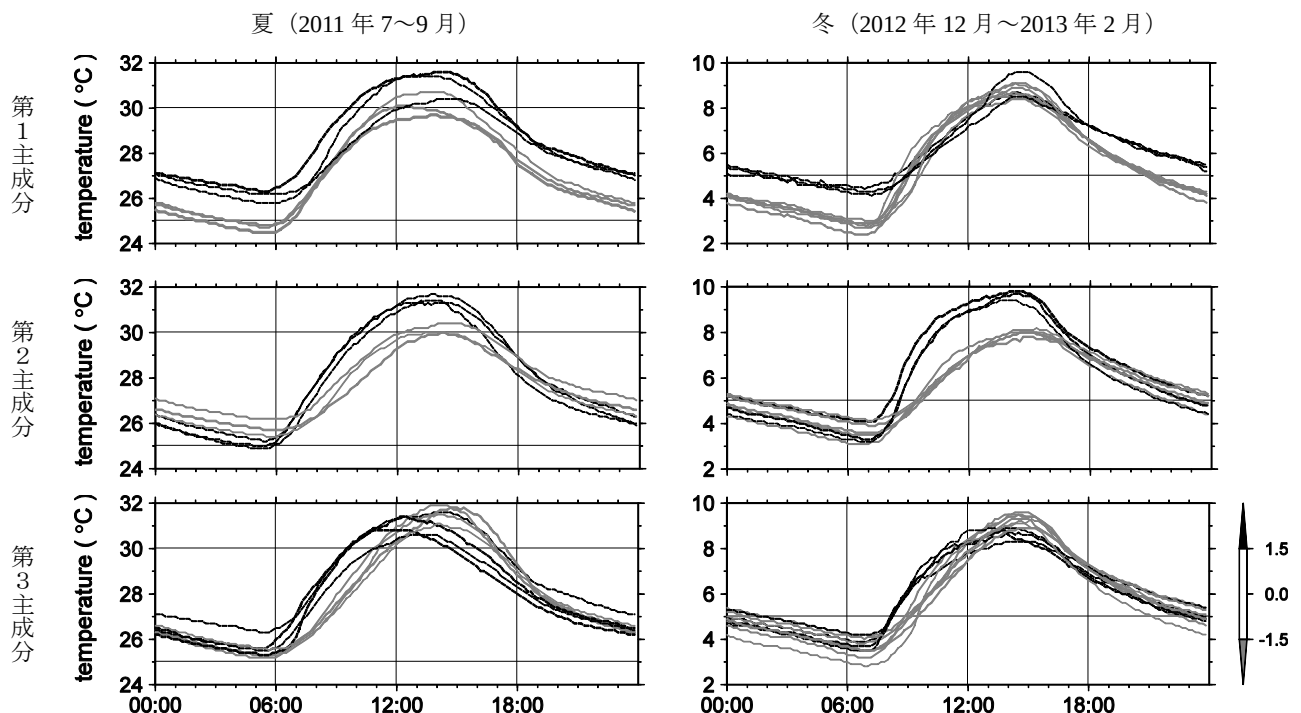


図 5: 主成分得点の絶対値が 1.5 以上である地点における時刻別気温の期間平均値の日変化. 対象地点は表 2 を参照.

下である。第 1 主成分との累積寄与率は夏で 79.0%，冬で 86.6%であり，第 2 主成分までで気温の日変化パターンにおける時空間分布の 8 割近く説明できることを示唆している。

図 3 の第 2 主成分の固有ベクトルについては，まず，冬に着目すると，7 時 30 分までは 0 に近い負の値が続いており，以降は正の値となり徐々に値が増加していく。13 時 10 分に最大値 0.16 に達した後は減少に転じ，夕方にかけて 0 に漸近し，21 時以降は再び 0 に近い負の値となる。夏の場合は，冬の場合と増減の傾向は共通するが，値が若干異なる。この増減の傾向は，第 1 主成分のそれと逆位相であり，第 1 主成分が夜間における気温の時空間分布を説明していると判断したことから，第 2 主成分は日中の気温特性を反映しているものと推察できる。先行研究⁽¹⁵⁾でも同様の解釈がなされている。

夏における正の得点が高い地点は，NE3（鶴見区）の +1.9，NW3（淀川区）の +1.8，NE1（鶴見区）の +1.7 であり，負の得点が高い地点は，CW7（浪速区）の -2.5，CW4（北区）の -1.6，SW7（浪速区）の -1.5 であった。一方，冬における正の得点が高い地点は，SW2（港区）の +2.9，SE4（平野区）の +2.0，NW5（此花区）の順であった。負の偏差が高い地点は CW2（此花区）の -2.2，N8（淀川区）の -2.0，SE5（平野区）の -1.8 の順であった。図 5 からわかるように，正の得点が高い上位の地点は日最高気温が相対的に高く（図 2 では正の偏差が大きく），負の得点の絶対値が高い地点は日最高気温が低く（負の偏差の絶対値が大きく）なっている。

図 4 の第 2 主成分得点の空間分布は，図 2 の日最高気温のそれと類似しており，固有ベクトルの値と主成分得点の地域分布から，第 2 主成分は日中における気温の時空間分布を説明しているものと判断できる。

4.3 第 3 主成分

表 1 から第 3 主成分の寄与率は夏で 14.4%，冬で 8.3%となっており，第 3 主成分の寄与率は第 2 主成分のおよそ半分である。第 3 主成分までの累積寄与率は夏で 93.4%，冬で 94.9%であり，第 3 主成分までで気温の日変化パターンにおける時空間分布の 9 割を超える割合の説明ができることを示唆している。

図 3 における第 3 主成分の固有ベクトルは，夏の場合，6 時まで正の値をとりつつ緩やかな増加傾向にあり，6 時以降は急激に値が増加する。7 時 50 分に最大値に達した後，値は減少し 12 時 40 分を境に正の値から負の値になる。17 時に最小値となった後は値が増加し，19 時以降はその増え方が緩やかになる。やがて 22 時 50 分以降は再び正の値となる。冬の場合は，夏の午前中にみられた急峻な増加が始まる時間が 7 時 30 分前後と 1 時間半近く遅くなり，最大値に達する時間も 8 時 40 分と後ろにずれる。夏と同様，その後減少し，13 時を境に正の値から負の値になる。16 時台に最小値をとり深夜にかけて 0 に漸近する。値の増減の傾向

は，夏と冬で類似している一方で，その午前中の増加率が大きくなり始める時間から夕方の増加率が小さくなるまでの時間が，夏の方が長く冬の方が短い点が異なる。ここではまず，図 5 の主成分得点の絶対値が高い地点における

気温の日変化に着目すると，夏，冬ともに正の得点の地点は午前中の気温の上がり方が大きく，午後の気温の下がり方が緩やかである傾向がみられる。一方，負の得点の地点は逆に午前中の気温の上がり方が緩やかであり，午後の気温の下がり方が急になっている。この解釈が正しいとすると，固有ベクトルにおける夏と冬の差は，日照時間の差によるものであると考えることができる。以上により，第 3 主成分は気温変化の緩急に関係している可能性が高い。先行研究⁽⁶⁾でも同様の解釈がなされている。

実際に，百葉箱と周囲の建物との相対的な位置関係は地点により様々であり，ゆえに日照時間や百葉箱が建物の陰になる時間帯も地点により一様ではない。また，一般に，木造のような熱容量の少ない建物が多いところでは気温は上がりやすく下がりやすい，コンクリートのような建物が多いところでは上がりにくく下がりにくい。主成分得点の空間分布は，これらの百葉箱をとりまく環境が地点により異なることで形成されているものと推測するが，日射の観測値などの判断するために必要な情報が不足しているため，原因の特定は今後の課題としたい。

5. 海風の影響

3 章の気温統計値および 4 章の主成分得点から，日最高気温および日中の気温特性を示す第 2 主成分得点の空間分布が，夏と冬で異なることを指摘した。ここではその要因について地表面付近で海から陸に向かって吹く風（海風），すなわち大阪湾から大阪平野に向かって吹く風に着目する。京阪神地域における海陸風循環に関する先行研究には，地上観測^{(19),(20)}や数値実験^{(21),(22)}に基づくものがあり，日中に海風が顕著になることが知られている。都市における暑熱環境の改善を図るため，この海風を市街地内部へ誘導する「風の道」施策が，環境省をはじめ多くの自治体において展開しようとの動きが活発化している⁽²³⁾。その際，誘導された海風のもつ気温と陸上の気温とに差があることが温度移流による効果を生むための必要条件となる。この章では，対象期間中における風と気温差について，夏と冬の昼夜別に調べた。

5.1 風配図

図 6 は大阪管区气象台，大阪港波浪観測塔，潮岬における 850hPa 面における風配図を夏と冬，それぞれ昼夜別で示している。大阪管区气象台における風配図は大阪市内（陸）におけるその代表値として，同様に大阪港波浪観測塔は大阪湾（海）の，潮岬における 850hPa 面の風配図は関西地域における一般場の代表値としてそれぞれ用いた。

まず，夏の日中の風配図に着目すると，大阪市内では西

南西と西の風向だけで全体の 36.6%，大阪湾では 48.7%を占めており，大阪市内では海風の頻度が高いことがわかる。

夜間は北北東から東北東までの風が大阪市内で 42.0%，波浪観測塔で 34.0%を占めており，大阪市内から大阪湾に向

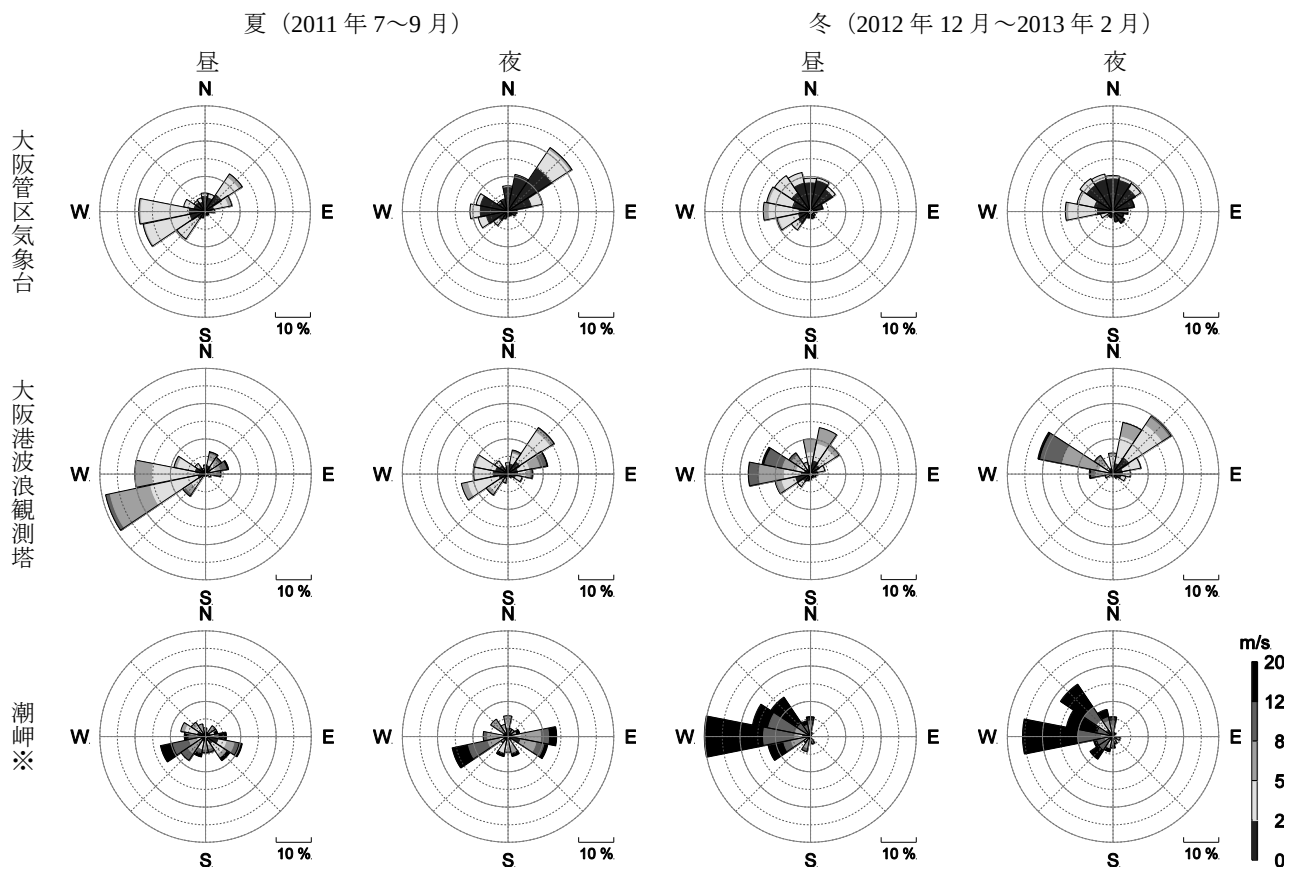
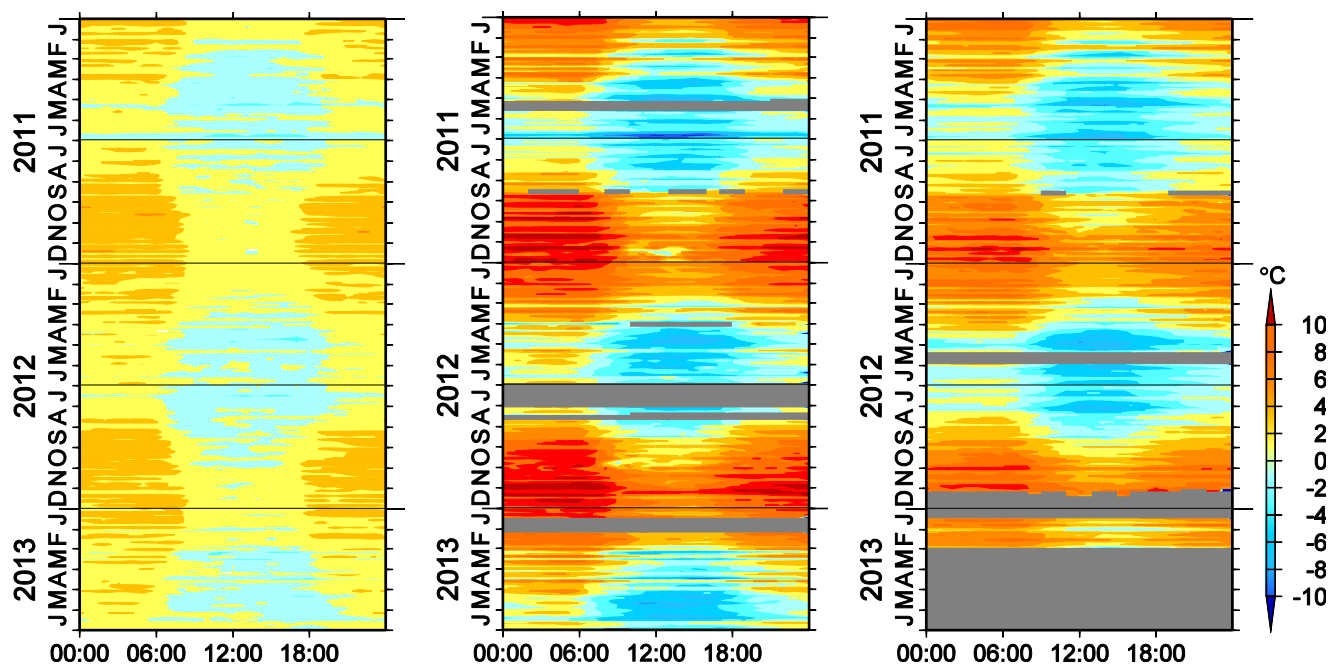


図 6: 季節別，昼夜別の風配図。

潮岬は高層観測における 850hPa 面の風，その他は地上観測の風。昼は 8 時から 20 時，夜は 20 時から翌日 8 時とした。



①関空島（気温）－熊取（気温） ②関空 MT 局（水温）－熊取（気温） ③大阪港（水温）－大阪管区気象台（気温）

図 7: 地点間における温度差の時間季節断面図。

横軸は時刻，縦軸は季節であり，どちらかの地点のデータが欠測の場合は灰色で図示。

かう陸風の頻度が高いことがわかる。一般場の風向きは昼夜を問わず西南西および東南東、南東の風がやや卓越するものの、大阪市内や大阪湾の夜間にみられた北東の風の頻度が相対的に低いことから、局地風であると考えられる。

一方、北西季節風が卓越する冬は一般場の風向きの62.7%が西から北西までの風向で占められていることがあり、大阪市内や大阪湾でも相対的に北西寄りの風向の占める割合が大きくなる。大阪市内では昼夜の違いがほとんどみられないが、大阪湾では北北東と北東の風が昼間 22.6%に比べて夜間 34.6%と若干頻度が高くなる傾向がみられる。

なお、図には示さないが大阪府南部における陸の代表地点としてのアメダス熊取、海の代表地点としての関空 MT 局における風配図でも、大阪管区气象台と大阪港波浪観測塔と同様の傾向がみられた。以上のことから、先行研究で指摘されている日中の海風が、夏において顕著に現れることが確認できた。

5.2 海陸気温差の時間季節変化

海風が確認できたので、次に海風と陸上と気温差を夏と冬、昼夜別で調べる。本来なら大阪市内の気温とその海風の風上側である大阪市近傍の大阪湾における気温との差をもって評価すべきであるが、後者の気温データがないため、代わりに大阪港波浪観測塔の海水温データを用いて大阪管区气象台の気温との差を求めることで評価を試みる。

一方、大阪府南部にはアメダス関空島と熊取があり、周囲を海に囲まれたアメダス関空島近傍には関空 MT 局がある。図 1 から大阪管区气象台と大阪港波浪観測塔とは直線距離で 14.9km、アメダス熊取と関空 MT 局とは 17.8km と同じくらい離れており、5.1 節で説明した通り両者の風況はよく似ている。そこで、まず①アメダス関空島・熊取との気温差を調べ、次に②関西 MT 局の海水温とアメダス熊取の気温の差との関係を押さえた上で、最後に③大阪港波浪観測塔の海水温と大阪管区气象台の気温との差を求め、先の関係から海風と陸上との気温差について推察する。

図 7 は横軸に時刻、縦軸に季節（年月日）とした①②③それぞれの温度差を示している。①において夏の 7 時から 19 時ぐらいまでアメダス熊取よりもアメダス関空島の方が気温は低く、その差は最大で 2℃程度になることがわかる。夏の日中以外は気温の高低関係が逆になる。①と②を比べると、温度差の大きさは異なるものの温度の高低関係は①と②で違いがないことがわかる。一方、②と③を比べると温度の高低関係だけでなく温度差の大きさも極めてよく似ていることがわかる。したがって、①は大阪市内の気温とその海風の風上側である大阪市近傍の大阪湾における気温との差を、定性的に示しているものと推察できる。

温度移流は、気温勾配（差）が大きいときに風速が大きいとその気温への影響が大きくなる。2m/s 以上のやや強い西南西から西北西の海風に着目すると、夏の日中の出現頻度が最も大きく全体の 30.6%に達することが図 6 からわかる。以上により、陸上よりも低い気温をもった海風が夏の

日中に卓越することが示せた。

温度移流による冷却効果は臨海部で最大となり、海岸線から内陸に向かうほど地表面からの加熱や陸上の相対的に気温の高い空気と混ざり合うことで効果は小さくなっていることが想像できる。定量的にどのくらい内陸まで効果があるのかについてはここでは議論しないが、少なくともこの冷却効果により、海に近い地域における夏の日中の気温上昇は抑えられ、その結果として 3.3 節の日最高気温や 4.2 節の第 2 主成分得点における東西分布が形成されているものと考えられる。これに対して夏の夜間や冬の日中は、海風があっても気温差は夏の日中と比べて相対的に小さく、気温の空間分布に差を与えるほどの温度移流はないものと思われる。

6. 気温の日変化パターンによる地域類型

6.1 クラスタ分析

4 章では夏、冬それぞれにおける気温の日変化パターンを明瞭に示す主成分を抽出することができたので、ここではこの結果に基づいた地域類型を行う。先行研究⁽¹¹⁾に習い、夏、冬それぞれにおける累積寄与率が 90%以上となる第 1 主成分から第 3 主成分までの主成分得点を入力として Ward 法によるクラスタ分析を行った。

クラスタ分析における類型化過程を示す樹形図より、夏の場合、4 類型化する際のクラスタ間の距離の増分に比べ 3 類型化する際の増分が大きくなっていることから、3 類型よりも 4 類型の方が無理なく類型化が行われていると判断した。同様に、冬の場合は 3 類型化する際のクラスタ間の距離の増分に比べ 2 類型化する際の増分が大きくなっていることから、2 類型よりも 3 類型の方が無理なく類型化が行われていると判断した。以降、夏は 4 類型に帰着させた場合の、冬は 3 類型の場合の結果について説明する。

類型別の地点数を表 3 に、地図上に地域類型した結果を図 8 に、類型別の気温の時刻別平均値の日変化を図 9 にそれぞれ示す。夏、冬ともに夜間の気温が高いグループから L3（赤色）、L2（橙色）、L1（青色）とし、夏の場合はこれらに属さない日最高気温が高いグループ H（紫色）がある。夏、冬、共通の特徴として大阪市の中心部は L3 または L2 の地点で占められており、市の周縁部に L1 が分布している傾向がある。特に CW1（中央区）を中心に半径 3km の範囲には L3 と L2 の地点のみで占められている。これは大阪市内においても顕著なヒートアイランド現象が確認できたことを示している。

夏においては、日最高気温が高い H の地点が市の中心部を除く地域に点在しているが、市の東側周縁部にやや多く偏った分布をしている傾向がみられる。これは 5 章で説明した海風の影響によるものと考えられ、市の西側の地域は、陸上よりも気温の低い空気が海風によってもたらされ日中の気温の上昇が抑えられるが、東側の地域はこのような効果が相対的に小さくなることが原因でないかと考えられる。

6.2 市の中心部との気温差の季節変化

6.1 節で導いた地域類型では、夏と冬で同じ類型に分類される地点がある一方で、夏と冬で異なる類型に分類された

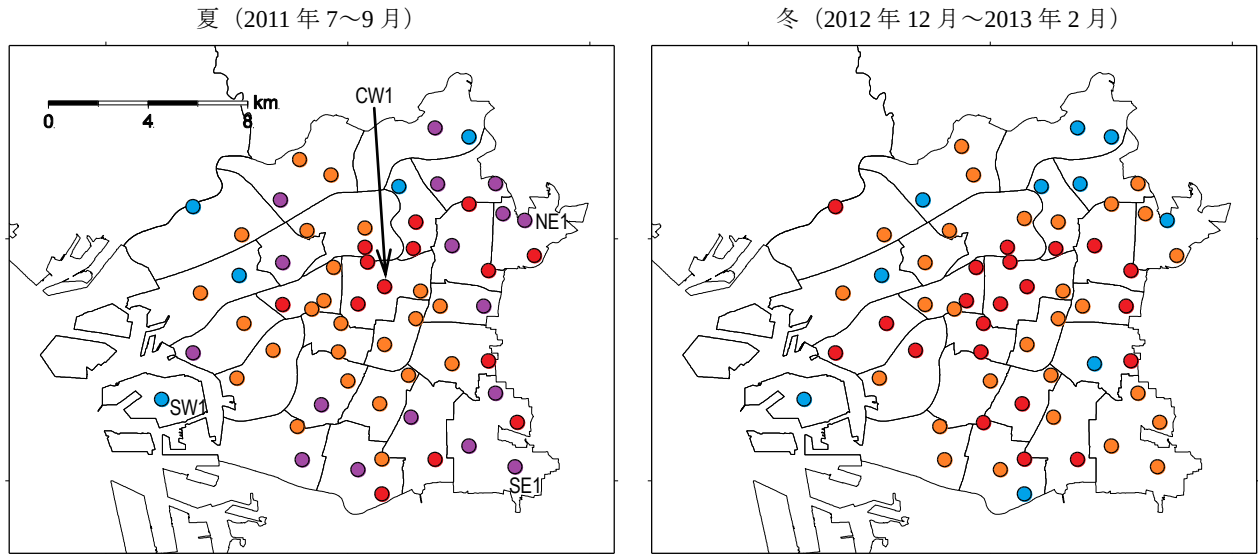


図 8: クラスタ分析の結果をもとに得られた類型（各類型の特徴は表 3 を参照）。

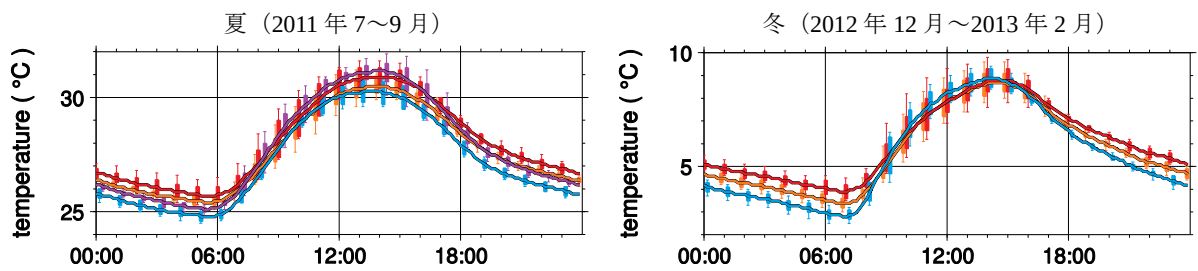


図 9: 各類型における時刻別気温の期間平均値の日変化（各類型の特徴は表 3 を参照）。

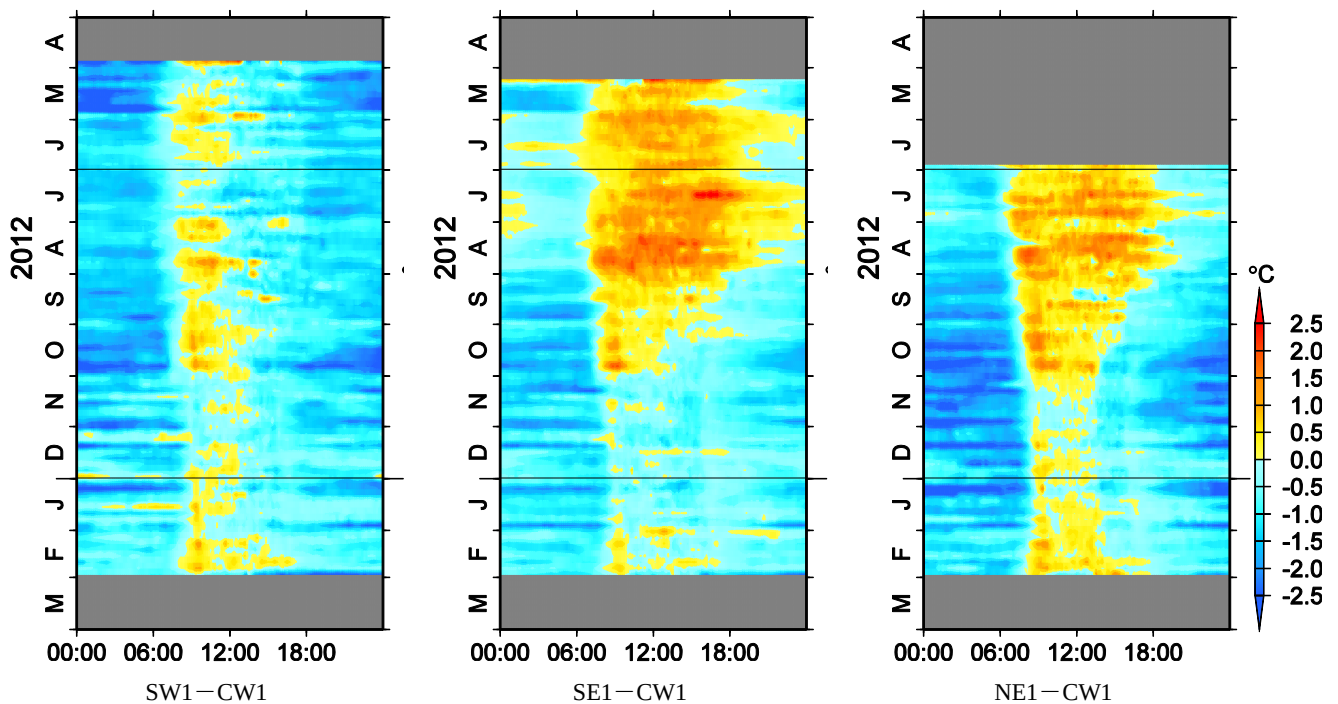


図 10: CW1 との気温差の時間季節断面図。

横軸は時刻，縦軸は季節であり，どちらかの地点のデータが欠測の場合は灰色で図示。

表 3: 各類型の地点数とその主たる特徴

記号	色	夏	冬	説明
L3		14	21	日最低気温が高い
L2		24	29	L1 と L3 の中間
L1		5	10	日最低気温が低い
H		17		日最高気温が高い

地点もある。ここでは後者の地点に着目し、その類型が遷移する過程について調べる。夏と冬に期間を限定せず連続観測を行った 8 地点のうち、市の中心部でありヒートアイランド現象での高温域に位置づけられる CW1（中央区）を基準に、他 7 地点との気温差を時刻別に求め、これを横軸に時間、縦軸に季節にとった季節変化図として図 10 に示した。CW1 は夏と冬ともに日最低気温が高い L3 に属していることも基準にした理由である。表 4 にこれら 8 地点における主成分得点と類型を示す。以下、代表的な 3 地点を例に CW1 との気温差の季節変化を調べる。

まず、夏と冬ともに類型が変わらない SW1（住之江区）との比較に着目する。図 10 より、夜間は CW1 より低く、12 月まではその差は 1℃以上ある。12 月以降は若干小さくなる。SW1 は夏と冬ともに L1 に属し、夏と冬ともに L3 の CW1 に比べると夜間の気温が低くなるという 6.1 節の類型化を支持する結果であるといえる。日中に着目すると CW1 と比べて最大で 1℃気温が高くなる場合が季節を問わずみられるが、12 月ぐらいまでの午後の時間帯は逆に気温が低くその差は 1℃以上に達する日も珍しくない。SW1 は 60 地点の中で最も海側に位置しており、この午後の気温差は 5 章で説明した海風の影響を顕著に受けているものと思われる。

次に、夏は H、冬は L2 に属する SE1（平野区）と比較する。図 10 より、6 月から 8 月までは日中の気温が CW1 を上回り、午後を中心に 2℃近く差がある時間帯がみられる。これに比べて夜間は気温差がないかやや低めとなる。9 月に入ると夜間の気温差は大きくなり、その差は 1℃以上になる頻度が増える。日中の気温差も 9 月以降は小さくなり、11 月に入ると逆に CW1 よりも気温が低くなる日が出てくる。SE1 との比較に関しては、6 月から 8 月までが夏の特徴、11 月以降が冬の特徴、両者の間の 9 月から 10 月

までが遷移期間であることがわかる。

最後に、夏は H、冬は L1 に属する NE1（鶴見区）と比較する。日中の気温差に着目すると、夏が H の SE1 と同じく 8 月までは CW1 よりも気温が高く、その差が 1℃以上に達する日もある。9 月以降、この気温差が小さくなり、気温が高い時間帯も短くなる。夜間の気温差に着目すると、8 月以降は CW1 より気温が低くなる頻度が増え、10 月に入るとその差が 2.5℃以上になる日もある。この点が冬に L2 に属する SE1 と L1 に属する NE1 との違いになると考えられる。SE1 と同様に NE1 との比較に関しても、8 月までが夏の特徴、11 月以降が冬の特徴、両者の間の 9 月から 10 月までが遷移期間であることがわかる。

7. まとめ

大阪市内 60 地点で行われた市域 223km² において約 3.7km² に 1 地点の割合という高細密な気温観測網の気温データを用いて、ヒートアイランド現象に着目した気温の日変化特性による地域類型を主成分分析、クラスター分析を用いて行った。

4 章の主成分分析の結果から、市域における気温の時空間分布を決定する要素は、夜間の気温特性が第 1 主成分として夏は寄与率 51.9%、冬は 60.4%、日中の気温特性が第 2 主成分として夏は寄与率 27.1%、冬は 26.2%、気温の緩急によるものが第 3 主成分として夏は寄与率 14.4%、冬は 8.3%であることが得られ、これらの累積寄与率は夏は 93.4%、冬は 94.9%に達することがわかった。6 章のクラスター分析による地域類型の結果、60 地点は日最低気温の低い方から L1、L2、L3 に分類され、市の中心部は季節を問わず L3 または L2 の地点で占められ L1 の地点がないことから、大阪市域においてヒートアイランド現象の構造があることが改めて確認された。また、夏にはこれらに属さない日最高気温が高くなる H の地点がみられた。この結果を受けて、夏と冬で異なる類型を示す地点に着目し、市の中心部の地点との気温差の時間・季節変化から、その成因として従来から指摘されている夏の日中に顕著となる大阪湾からの海風による気温上昇の抑制と関連づけた。

表 4: 主要 8 地点における主成分得点と類型

主成分	季節	CW1	CE1	NW1	N1	NE1	SW1	S1	SE1
第 1	夏	+0.6	+0.3	-1.4	-0.9	-0.5	-3.3	-0.7	+0.4
	冬	+0.9	+0.3	+0.4	-1.5	-2.3	-1.7	-0.0	-0.6
第 2	夏	-0.8	+0.4	-0.3	+0.4	+1.7	-0.8	+0.2	+0.9
	冬	+0.0	+0.8	+0.1	-0.3	-0.2	-0.8	+0.4	+0.2
第 3	夏	+0.0	-1.8	+0.3	-0.4	-0.7	-0.0	-0.0	-0.8
	冬	-0.2	-2.1	+0.9	+0.0	-0.1	+0.9	-0.1	-0.5
類型	夏	L3	H	L3	H	H	L1	H	H
	冬	L3	L3	L1	L3	L1	L1	L2	L2

謝辞

本研究では大阪市環境局による「ヒートアイランドモニタリング調査」で実施された気温観測データを使用しました。大阪管区気象台および AMeDAS 関空島、熊取における気象データ、潮岬における高層気象データは気象庁ホームページ掲載のものを、大阪港波浪観測塔と関空 MT 局の海水温および風向・風速データは国土交通省近畿地方整備局・大阪湾水質定点自動観測データ配信システムで公開されているものをそれぞれ使用しました。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) ヒートアイランド監視報告（平成 24 年），気象庁，<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/2013/himr2013.pdf>
- (2) 木村富士男，都市の熱汚染，大気汚染学会誌，27-6(1992)，A87-A94.
- (3) 菅原広史，池東旭，遠峰菊郎，ヒートアイランド強度算定のための都市気温分布の検討：ソウル(韓国)の例，天気，52-2(2005)，pp.119-128.
- (4) 菅原広史，成田健一，三上岳彦，本條毅，石井康一郎，都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変化と気象条件への依存性，天気，53-5(2006)，pp.393-404.
- (5) 藤部文昭，都市のヒートアイランド，天気，54-1(2007)，pp.9-12.
- (6) 鈴木知道，玄地裕，飯塚悦功，小宮山宏，真夏の東京の気温日変化パターンの抽出—統計手法によるヒートアイランド現象の把握—，天気，40-6(2001)，pp.383-391.
- (7) 安藤晴夫，塩田勉，森島済，小島茂喜，石井康一郎，泉岳樹，三上岳彦，2002 年夏期における都区部の気温分布の特徴について，東京都環境科学研究所年報，(2003)，pp.81-87.
- (8) 鈴木知道，飯塚悦功，東京の季節別・天候別の気温日変化パターン，天気，56-8(2009)，pp.627-635.
- (9) 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，1(2006)，pp.23-39.
- (10) 榊元慶子，谷口一郎，野邑奉弘，2005 年の大阪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論文集，1(2006)，pp.30-35.
- (11) 鍋島美奈子，西岡真稔，中尾正喜，大阪平野における夏季気温の水平分布構造，空気調和・衛生工学会論文集，140(2008)，pp.1-10.
- (12) 赤塚慎，宇野忠，十二村佳樹，杉田幹夫，甲府盆地における夏季夜間のヒートアイランド現象，日本ヒートアイランド学会論文集，6(2011)，pp.16-22.
- (13) 日下博幸，大庭雅道，鈴木智恵子，林陽生，水谷千亜紀，冬季晴天日におけるつくば市のヒートアイランド:予備観測の結果，日本ヒートアイランド学会論文集，4(2009)，pp.10-14.
- (14) 日下博幸，高根雄也，阿部紫織，高木美彩，重田祥範，大橋唯太，布和宝音，オープンスペースで実施した定点観測によ

って捉えられた夏季晴天日におけるつくば市のヒートアイランド:都市内外の気温差に関する不確実性の評価，日本ヒートアイランド学会論文集，7(2012)，pp.1-9.

- (15) 重田祥範，大橋唯太，岡山市を対象とした細密な気象観測によるヒートアイランド強度の解析，天気，56-6(2009)，pp.37-48.
- (16) 小倉啓史，勝田長貴，増田仙一，川上紳一，夏季の岐阜市における気温と湿度の時空間変化とヒートアイランド現象，岐阜大学教育学部研究報告(自然科学)，36(2012)，pp.125-132.
- (17) 武市伸幸，高知県南国市のヒートアイランドと形成要因，天気，49-1(2002)，pp.47-56.
- (18) 山口隆子，日本における百葉箱の歴史と現状について，天気，53-4(2006)，pp.265-275.
- (19) M. Mizuma. General aspects of land sea breezes in Osaka Bay and surrounding area, Journal of the Meteorological Society of Japan, 73 (1995), pp.1029-1040.
- (20) Y. Ohashi and H. Kida. Observational results of the sea breeze with a weak wind region over the northern Osaka urban area, Journal of the Meteorological Society of Japan, 79 (2001), pp.949-955.
- (21) Y. Ohashi and H. Kida. Numerical experiments on the weak-wind region formed ahead of the sea-breeze front, Journal of the Meteorological Society of Japan, 80 (2000), pp.519-527.
- (22) Y. Ohashi and H. Kida. Local Circulations Developed in the Vicinity of Both Coastal and Inland Urban Areas: A Numerical Study with a Mesoscale Atmospheric Model. Journal of Climate and Applied Meteorology, 41-1(2002), pp.30-45.
- (23) 北尾 菜々子・森山 正和・田中 貴宏・竹林 英樹：メソ気象モデル WRF を用いた大阪地域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，75-651 (2010)，pp.465-471.