

(85) 大阪平野北部冷気流の発生条件と 夜間ヒートアイランド現象との関係

玉井 昌宏¹・太田 晋一²

¹正会員 大阪大学准教授 大学院工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail:tamai@civil.eng.osaka-u.ac.jp

²学生会員 大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻博士前期課程 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail:shin_oota@civil.eng.osaka-u.ac.jp

北摂山地や六甲山地において形成され、大阪平野北部地域に流出する冷気流の発生条件と夜間気温に及ぼす影響について、アメダスデータ等の観測データを用いて検討した。アメダス豊中の一日単位の風向時系列により、各日を冷気流発生日等の風向変動パターンに分類したうえで、それを目的変数とし、地衡風ベクトルと日積算全日射量を説明変数とした非線形判別分析を行った。説明変数の分布から、地衡風が微弱で、日積算全日射量が大きい条件下において冷気流は発生しやすいことがわかった。冷気流発生時に大阪平野北部地域と中心部との気温差が大きくなるものの、中心部の日最低気温は非発生時に比較して高くなっており、この冷気流は夜間のヒートアイランド強度を増加させるものの、都市中心部の高温化の緩和には貢献していないことがわかった。

Key Words : Nocturnal Drainage, Urban Heat Island, Discriminant Analysis, Sea and Land Breeze, the Osaka Plain,

1. 研究目的

大阪平野は、北に北摂山地、東に生駒山地と金剛山地、南に和泉山地と西に大阪湾に囲まれた狭小な平野である。いくつかの先行研究¹⁾²⁾は、夜間に大阪平野中心付近より周囲山麓にむけて気温が低下していることを実測し、この平野において、この程度の空間スケールを持つヒートアイランド現象が発生することを主張している。

筆者ら³⁾は、夏季夜間に、大阪平野東方に位置する生駒山地や金剛山地の山腹において冷気流が発生し、大阪平野東部地域に流入すること、さらに、それがこの地域の日最低気温を2℃程度低下させる可能性のあることを示した。このことは、北摂山地や和泉山地など、大阪平野周囲の他の山地においても同様に冷気流が発生すると仮定すれば、人工排熱や高層建物群など一般的な都市ヒートアイランド(以下ではHIと記す。)現象の発生要因が存在しなくても、見掛け上HIに類似した同心円状の気温分布が形成される可能性のあることを示していると考えられる。同様の考え方は既往の研究においても散見される。例えば、久田ら⁴⁾は、福岡市周辺の地表面付

近の気温分布を計測して、HIの空間的な構造を検討している。その中で、夜間に同心円状の気温分布が形成される要因の一つとして、平野を取り囲む山系からの冷気流の流入を挙げている。また、竹林ら⁵⁾は、六甲山地南側(大阪湾側)斜面において形成される冷気流が海岸線に直交する方向の気温勾配を増加させること、その影響範囲は山際から約1kmの市街地までであり、その外側の地域では気温低下は望めないことを報告している。このように、夜間の冷気流が山麓郊外部を都市中心部に比較して「相対的に」低温化させる要因となっていることを勘案すれば、HI様の平面的な温度分布を解消することと、都市中心部の「絶対的な」高温化を緩和することは異なる問題であることに注意しなければならない。

冷気流が「見掛けの」HI様の気温分布の形成やHI強度の増加に貢献しているとしても、この気流が流入する地域においては絶対的な高温化の緩和を期待することができる。この冷気流の効用を積極的に活用するためには、その流入範囲や発生条件あるいは発生頻度等の検討が欠かせない。ところが、冷気流についての流体力学的な知見は多いが、利用を前提とした研究は、既述の竹林らの

成果や、浜田ら⁶⁾の長野市の裾花川から流出する山風に関するものを除けば皆無である。竹林らは、大阪湾沿岸域で共通して観察される広域海陸風の強弱に基づいて発生条件を検討し、同風が弱いときに冷気流が発生すると結論付けている。冷気流の空間スケールは海陸風のそれより一般的に小さいことから、海陸風の強弱が冷気流の発生条件になると考えることもできるだろう。しかしながら、千葉ら⁷⁾が土佐湾沿岸域で冷気流と陸風との流体力学的な相互関係を検討しているように、地表面熱収支の地域的な差異という類似の発生要因によって、両者は同時に発生すると考えるのが適当であると考えられる。したがって、海陸風と同様に、地衡風のような背景風の強さや日射量などが、冷気流の発生条件と関係していると推測され、彼らの結論には検討の余地がある。なお、このことに関連して、既述の久田らの検討では、福岡都市圏の HI 現象の発生と背景風や雲量、日射量との関係を検討しているが、この中では冷気流については言及していない。

筆者らは、大阪平野の北側に位置する北摂山地や六甲山地から平野に流出すると考えられる冷気流を、参考文献3で検討した東部冷気流と対比させて、大阪平野北部冷気流と呼んでいる。本研究では、この冷気流の発生条件と HI 強度や平野中心部の夜間気温に及ぼす影響について、アメダスデータなど種々の観測データを用いて検討する。

2. 方法

(1) 概要

本研究の第1の目的は、大阪平野北部冷気流の発生条件を明確にすることである。冷気流発生日と非発生日を区分して、それらを地衡風などの気象条件と関連付けることにより、発生条件を検討する。冷気流の発生要因は、海陸風と同様に地表面や山腹斜面での熱収支とその地域的な不均一であると考えられる。また、高々山地程度の空間スケールを有する流動であり、発生条件はこのスケールより大きい空間スケールの気流場、すなわち、背景風の状況にも影響される。そこで、ここでは、冷気流の発生条件として、日積算された全天日射量と地衡風の風速ベクトルの二つについて検討する。

大阪平野北部冷気流の発生と非発生の明確な判断基準はない。ここでは、大阪平野北部地域に位置するアメダス豊中（北緯：34度47.0分，東経：135度26.3分，標高：12m，設置位置：大阪国際空港内）の風向時系列によって判断する。大阪平野中心付近にはアメダス大阪（北緯：34度40.9分，東経：135度31.1分，標高：23m，設置位置：大阪市中心区）の観測地点がある。この地点の周辺土地利用は、土地利用区分でいうところの建物用

地（高層建物）である。両アメダスポイント間の距離は10 km程度である。後述するように、アメダス豊中において、夕刻から翌日早朝にかけて北西風が吹く場合に、アメダス大阪に比較して豊中の日最低気温は2℃程度低くなる。一方、その他の風向では、両地点の気温差は比較的小さい。こうした両地点の気流場と気温との関連性を考慮して、アメダス豊中の一日の風向変動により、冷気流発生日、西(海)風日、海陸風交替日、北風日、東・南風日の5つのパターンに分類する。これらのパターンを目的変数とし、地衡風ベクトルと日積算全天日射量を説明変数として判別分析を行う。なお、筆者らの事前の検討において⁸⁾、日積算全天日射量と雲量との間には有意な負の相関があること、また日積算全天日射量と日最低気温との間には有意な正の相関があることを確認している。地衡風ベクトルの算出には、(財)気象業務支援センター発行の高層気象観測年報を用いた。また、日積算全天日射量には、気象庁の公式サイトにおいて公開されている大阪管区気象台観測のデータを用いた。判別分析には、マハラノビスの距離を用いる。各パターンにおける説明変数の分布特性から冷気流の発生条件を検討する。また、各パターンの説明変数の重心(平均値)と各サンプルの説明変数のマハラノビス距離が最も短い日を、各パターンの最も典型的な日とする。アメダスデータおよび大阪府の大気汚染常時監視データを用いて、当該日の夜間の風速ベクトル図を描くことによって、気流場の平面的な構造について検討する。

本研究の第2の目的は、冷気流と夜間 HI 現象との関係を検討することである。ここでは、既述のアメダスデータを利用して、各パターンにおける大阪平野中心部と北部地域の夜間気温差や中心部の日最低気温について調査する。

(2) 夜間気流場のパターン分類

図-1は、2003年8月のアメダス大阪と豊中の気温と風向の時系列を示している。風向時系列の縦軸は、北方を16とする時計周りの16風向である。ここで、アメダス大阪、豊中両地点の日最低気温の差異（以下では、日最低気温差と呼ぶ。）に注目して、各日の風向について検討する。

Time=96, 120, 480, 504hour 頃の時刻において、アメダス大阪の日最低気温が26-27℃以上の高温であるのに対して、アメダス豊中の日最低気温が大阪に比較して2℃程度低くなっている。Time=96-102hourの時間帯では、アメダス大阪の風向が南東を中心として南から北東の間を変動しているのに対して、アメダス豊中では安定した北西風となっている。それより前のTime=84-96hourの時間帯では両地点ともに西寄りの風向となっている。Time=480-486hourの時間帯においても、アメダス大阪は

概ね南風、豊中は北西風となっている。同様に Time=468-480hour の時間帯では両地点ともに西寄りとなっている。このように、アメダス大阪の日最低気温が相対的に高く、かつアメダス豊中との日最低気温差が大きくなるのは、午後1時に両地点ともに西寄り、夜間遅くにアメダス豊中ポイントにおいて概ね北西の風向になる場合であることがわかる。アメダス豊中ポイントから北西方向に約5kmで北摂山地の山麓となることから、この北西方向の冷たい気流は、この山地から流下しているものと予想される。

次に、アメダス大阪の日最低気温が26℃以上であり、かつ両地点の日最低気温差が2℃より小さい Time=72, 144, 432, 552hour 頃の風向時系列に注目する。Time=72-78hour 頃を見ると、両地点の風向時間変動は類似しており、Time=74hour 頃にアメダス大阪では西寄りから東へ、豊中では西寄りから南寄りへと変化している。Time=144hour の前後12時間の時間帯では、両地点ともに概ね南西から西の風である。Time=432hour や552hour の前後の時間帯も Time=144hour と同様に西寄りの風が連吹していることがわかる。Time=552-558hour では、いずれの地点においても西寄りの風が吹いている。これらの時間帯の共通点は、昼間の西寄りの風が一晩中あるいは明け方頃まで継続することである。大阪平野においては、夏季夜間に陸風が発達しにくく、日中に形成された海風が連吹することが多いとされているが⁹⁾、これらの夜間はこうした状況にあたると思われる。筆者ら⁸⁾は大阪の夏季夜間の日最低気温と風向の関係を検討しているが、夜間の卓越風向が海からの西寄りである場合に、日最低気温が他の風向に比較して相対的に高くなることがわかっている。したがって、この時間帯の両地点の気温が比較的高くなっているのは、この西風の連吹に起因していると考えられる。

アメダス大阪の夜間気温が低かったのは Time=288,

312, 336, 360, 384hour 付近の夜間である。これらの時刻の前後24時間の時間帯で、風向は概ね北寄りあるいは東寄りとなっている。日中から翌朝にかけて、これらの風向が卓越する場合には、日最低気温が低くなることがわかる。

これらの変動パターンのほか、風向時系列には海陸風の交替が確認される。Time=24, 168, 696hour の前後24時間程度の時系列を観察すると、概ねこれらの時刻を境として、両地点ともに西寄りの海風から、北から東寄りの陸風に変化していることがわかる。これら海陸風交替が観察される日の翌朝にかけての日最低気温は、概ね26℃程度になっている。

以上より、アメダス大阪と豊中の日最低気温や日最低気温差が、両地点の風向変動パターンと強く関係していることが推測される。また、筆者ら¹⁰⁾は、1日単位の代表的な気象シナリオとして、海風交替日、西(海)風日、北風日、東風日、南風日の5つのパターンを用いることにより、大阪平野の大気環境リスク評価が可能であることを示している。これらを参考にして、本研究では、アメダス豊中の昼間と夜間の時間平均風向(VD, VN)によって、各日を冷気流発生日、西(海)風日、海陸風交替日、北風日、東・南風日の5つのパターンに分類する。冷気流発生日以外のパターンは非発生日である。時間平均風向(VD, VN)は、以下の手順で算出される。まず、アメダス豊中の各時間の16風向データを単位風向ベクトルに変換したのちに、それを単純に加算する。この合成ベクトルを16風向の形式で表示したものを時間平均風向とする。但し、通常の16風向は整数で表示されるが、ここでは小数第一位までの実数形式となっている。各年の8月のアメダス豊中における冷気流発生日時刻を考慮して、時間平均風向を求めるための昼間の時間帯を各日の13-18時とし、夜間の時間帯を翌日の0-5時とした。表1に一日単位のアメダス豊中の風向変動パターンと既述

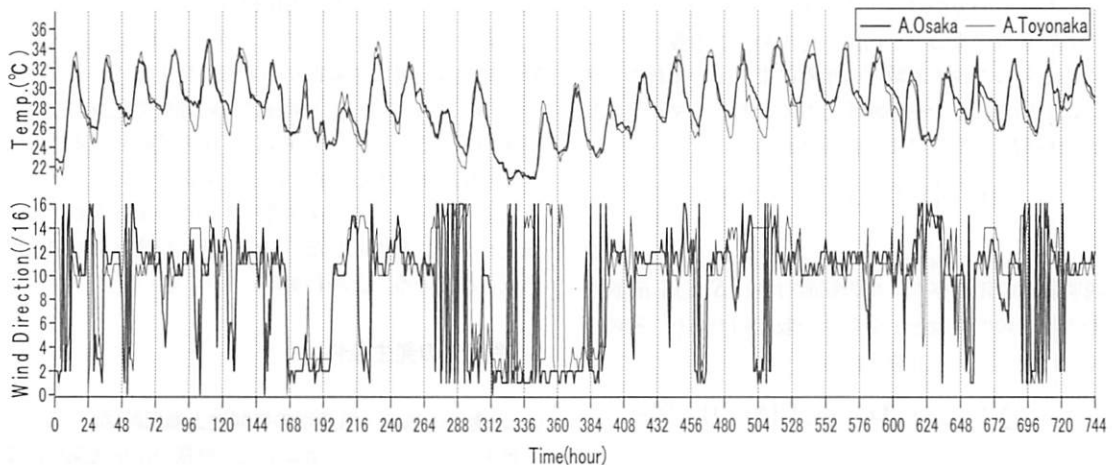


図-1 アメダス大阪、豊中の気温と風向の時系列(2003年8月)

表-1 一日単位のアメダス豊中の風向変動パターン

パターンと記号	想定する状況	判定基準
冷氣流発生日 D	昼間海風かつ 夜間冷氣流	$(8.0 \leq VD < 13.0) \wedge$ $(13.0 \leq VN < 15.0)$
西(海)風日 W	昼間海風かつ 夜間海風	$(8.0 \leq VD < 13.0) \wedge$ $(8.0 \leq VN < 13.0)$
海陸風交替日 B	昼間海風かつ 夜間陸風	$(8.0 \leq VD < 13.0) \wedge$ $\{(0.0 < VN < 8.0) \vee$ $(15.0 \leq VN \leq 16.0)\}$
北風日 N	昼間北風	$(0.0 < VD < 2.0) \vee$ $(13.0 \leq VD \leq 16.0)$
東・南風日 ES	昼間東風または 南風	$2.0 \leq VD < 8.0$

(注)VN について判定基準のないものは、無条件であることを意味する。∧：かつ、∨：または。

の時間平均風向との関係を示す。表中の判定基準は、大阪湾がその湾奥からみて南から西方向、16 風向で概ね 8 から 12 の風向の範囲に広がっていることや後述する判別分析の判別率の中率などを考慮して、試行錯誤により決定したものである。

(3) 冷氣流発生条件と判別分析

既述のように、表-1 の 5 つの風向変動パターンのいずれが発現するかは、地衡風ベクトルと日積算全天日射量によって決定されると仮定する。地衡風の計算には、(財)気象業務支援センター発行の高層気象観測年報の潮岬、輪島、米子の 3 地点の観測データを用いる。地衡風ベクトルは、これら 3 地点の海面更正気圧の勾配から算出される。地衡風ベクトルの算出の詳細は、参考文献 10 に詳しい。日積算全天日射量は、気象庁大阪管区気象台における全天日射量データを単純に加算して求めた。また、判別分析には、マハラノビス距離 (Generalized distance of Mahalanobis) に基づく非線形正準判別分析法を用いた。この方法は、予めパターンに分類されたデータの説明変数の重心 (平均値) を求め、この各パターンの重心と各日の説明変数との距離により、いずれのパターンに分類されるかを判断するものである。マハラノビス距離 GM_{ij} は次式により計算される。

$$GM_{ij} = [X_{ij}^{-1} S^{-1} X_{ij}]^{1/2} \quad (2-1)$$

ここに、 $X_{ij}^{-1} = (x_{i1} - x_{j1}, \dots, x_{ik} - x_{jk}, \dots, x_{in} - x_{jn})$: 第 k 説明変数の差のベクトルの転置行列、 S : 第 m 説明変数と第 n 説明変数との分散共分散行列であり、その要素 s_{mn} は次式により計算される。

$$s_{mn} = \sum_{i=1}^{Ns} (x_{mi} - \bar{x}_m)(x_{ni} - \bar{x}_n) / (Ns - 1) \quad (2-2)$$

ここに、 $\bar{x}_m = \sum_{i=1}^{Ns} x_{mi} / Ns$ である。

後述する分析結果において、あるパターンの「真の群」とは、表-1 の基準に従って判定した結果、そのパターンに当てはまるとされた日のグループのことである。また、「誤判別」とは、判別分析により、判定されたグループが真のグループと異なることを意味する。

判別分析では、2002-2009 年の各年 8 月を一カ月単位で個別に分析するケースと、これら 8 カ月分をまとめて分析するケースを設定した。分析結果の精度をはかる尺度の 1 つである判別率の中率は、一カ月単位の分析では最も高いもので 76.7% (2002 年 8 月と 2009 年 8 月)、最も低いもので 56.7% (2006 年 8 月) であり、平均 69.3% であった。また、8 カ月分をまとめた分析では 60.0% であった。

(4) 各パターンの風況

アメダスデータ並びに大阪府大気環境常時監視データを用いて、各パターンの典型的な日の夜間風速ベクトル図を描いた。誤判別された日を除外して、各パターンの説明変数の重心 (平均値) を求め、この重心とのマハラノビス距離が最も短い日を各パターンの典型的な日とした。2002-2009 年の各年 8 月すべてにおいて類似した結果が得られた。ここでは 2006 年 8 月における各パターンの午前 3 時の風速ベクトル図を図-2 に記載する。

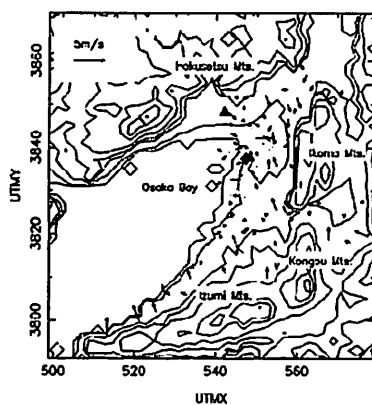
パターン D では、アメダス豊中付近や北摂山地南側の地域において北西風が吹いており、これが大阪平野北部冷氣流であると考えている。アメダス大阪付近では西寄り、つまり海域からの風が流入している。また、大阪湾に沿って南西方向に連なる和泉山脈や金剛山地から陸風が発生していることも確認される。アメダス大阪の北東 5km 付近において気流が収束している状況が確認される。パターン W では、大阪平野北部地域やアメダス大阪の西側の大阪湾湾奥部海岸線付近から生駒山麓まで広く西寄りの風となっている。パターン B では、大阪平野北部地域全域に北東寄りの陸風が発生している。パターン N においても B と同様に広い地域で北東寄りの風が吹いている。パターン ES は、B と比較して風速は大きく、N に比較すると風向はより東寄りである。

以上のように、アメダス豊中 1 地点の風向変動により風況パターンを作成したが、広範囲に想定された風況が形成されていることがわかる。

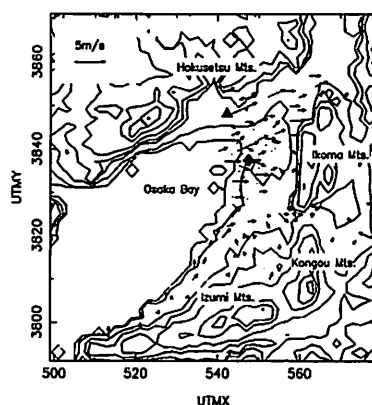
3. 冷氣流の発生条件

(1) 地衡風の風向・風速別の夜間地上風風配図

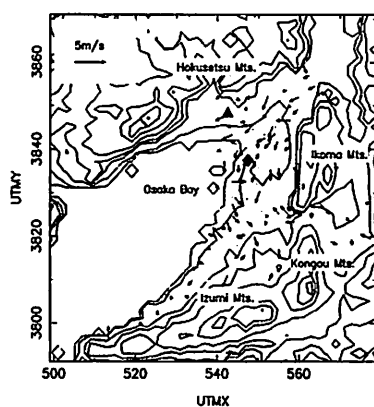
地衡風ベクトル、日積算全天日射量の冷氣流発生に及ぼす影響を定性的に検討するために、夜間地衡風の風向



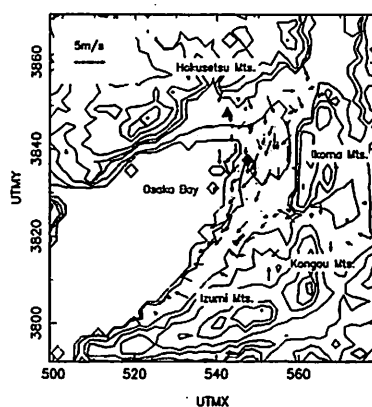
(a) Dの典型的な日 (10日)



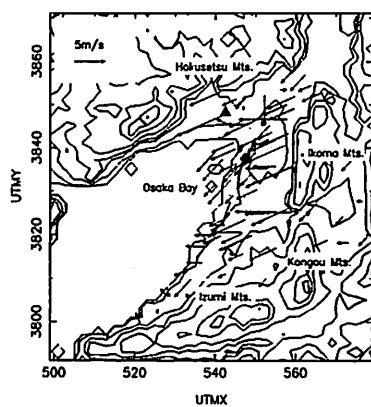
(b) Wの典型的な日 (2日)



(c) Bの典型的な日 (20日)

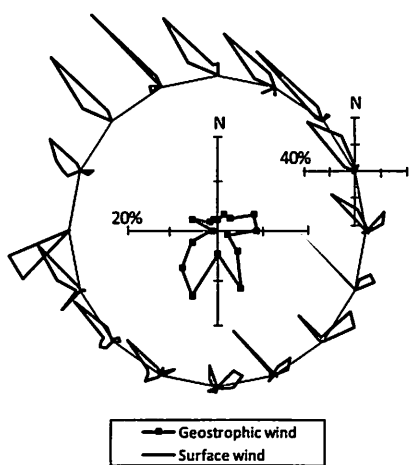


(d) Nの典型的な日 (23日)

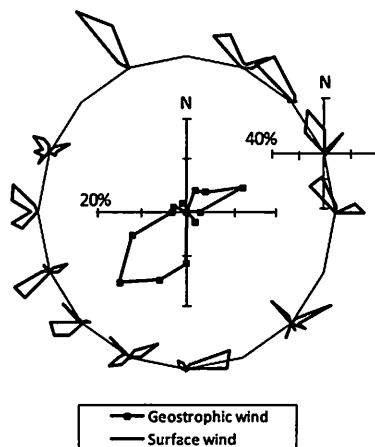


(e) ESの典型的な日 (16日)

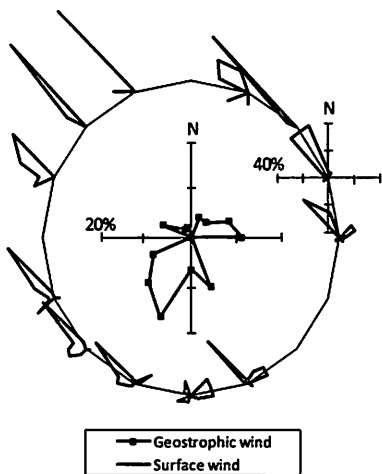
図-2 各パターンの典型的な日における夜間気流場 (2006年8月)
(◆: アメダス大阪, ▲: アメダス豊中)



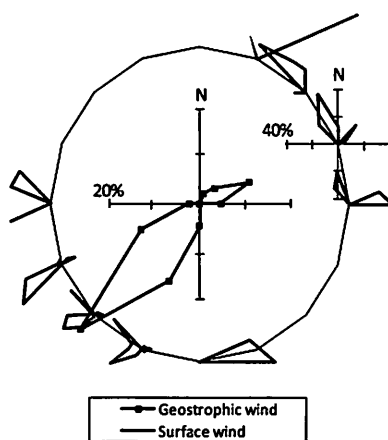
(a) 0-5m/s (80日分)



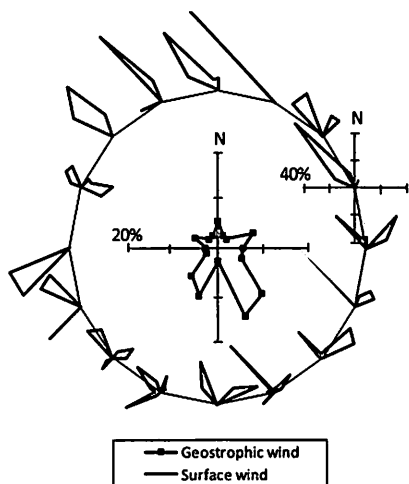
(b) 5-10m/s (100日分)



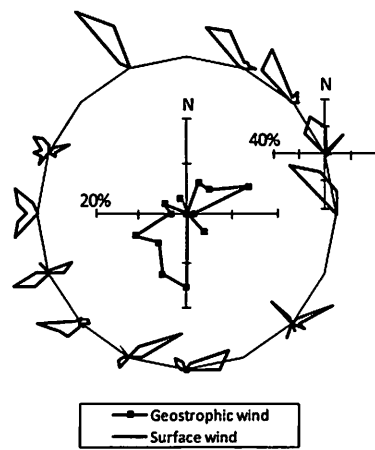
(c) 0-5m/s, 20.7MJ/m²以上 (44日分)



(d) 5-10m/s, 20.7MJ/m²以上 (43日分)



(e) 0-5m/s, 20.7MJ/m²未満 (36日分)



(f) 5-10m/s, 20.7MJ/m²未満 (57日分)

図-3 地衡風の風速・風向別地上風向頻度 (2002-2009年の各年8月, 計8カ月分より作成)

と風速レンジ別のアメダス豊中の夜間風配図（風向頻度分布）を作成した。用いたデータは、各年8月の8カ月分である。ここでは、森¹¹⁾の海陸風と気圧場の関連性についての研究にない、地衡風の風速レンジは 0m/s 以上-5m/s 未満と 5m/s 以上-10m/s 未満の二つとした。さらに、これらの風速レンジにおいて、16 方位の風向別に、地上風の夜間風配図を作成した。ここで、夜間は午前 0-5 時と、地衡風はその前日 21 時のデータを用いた。図-3(a), (b)はそれぞれ 0-5m/s と 5-10m/s のレンジの風配図である。両図の中央付近の風配図は 21 時の地衡風の相対頻度分布である。地衡風は 0-5m/s のレンジでは南西、南東、東寄りの風向の頻度が高く、西～北の頻度が

低い。地衡風が南南西～西南西、西北西～北～東北東の範囲の風向のときに、アメダス豊中は概ね北西風になっていることがわかる。既述の通り、アメダス豊中の北西方向には北摂山地の山麓があることから、この北西風は冷気流であると考えられる。地衡風風向が東南東～南の範囲では、この地域の一般的な陸風と同様の北東寄りの風が卓越している。この傾向は、アメダス大阪においても同様に観測されており、淀川に沿った風向となっている。5-10m/s のレンジでは、地衡風の風向は南～西南西と東北東の頻度が高い。地衡風風向が南～西南西の範囲では、南西あるいは西寄りの風の頻度が高くなっている。この地域における海風は南西あるいは西寄りの風であり、

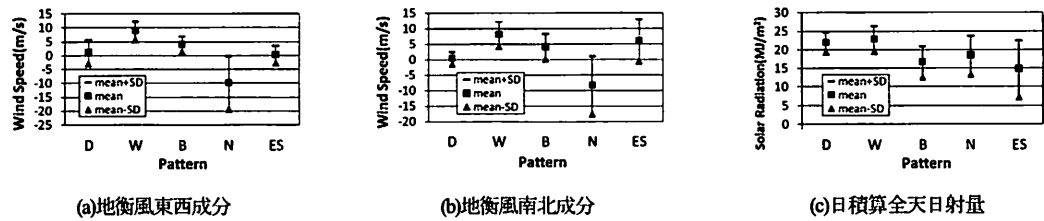


図-4 各パターンにおける説明変数の分布（2002年8月、真の群）

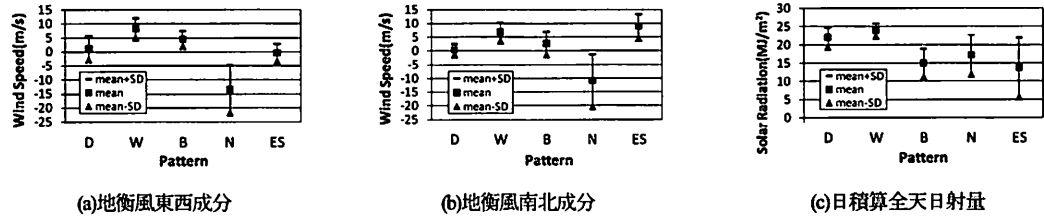


図-5 各パターンにおける説明変数の分布（2002年8月、誤判別を除く）

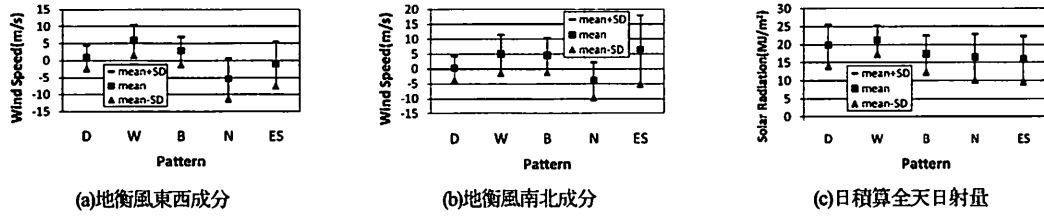


図-6 各パターンにおける説明変数の分布（8カ月、誤判別を除く）

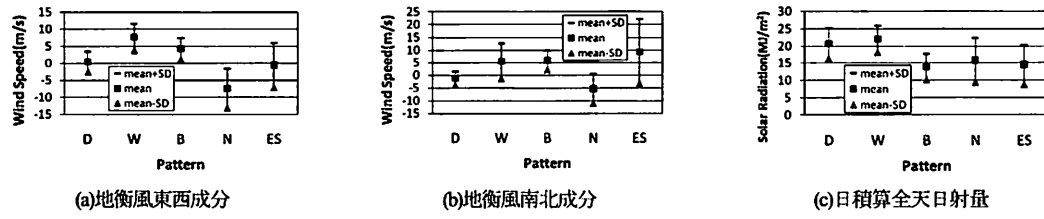


図-7 各パターンにおける説明変数の分布（8カ月、誤判別を除く）

表-2 説明変数の平均値のパターン間の差

(a)地衡風東西成分

		2002年8月				
		D	W	B	N	ES
8 カ 月	D		0.000 ** 0.001 **	0.138 0.143	0.014 * 0.001 **	0.622 0.421
	W	0.000 ** 0.000 **		0.001 ** 0.030 *	0.000 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **
	B	0.002 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **		0.000 ** 0.000 **	0.013 * 0.010 *
	N	0.000 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **		0.001 ** 0.000 **
	ES	0.008 ** 0.284	0.000 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **	

上段:真の群, 下段:誤判別除く, **:1%有意, *:5%有意

(b)地衡風南北成分

		2002年8月				
		D	W	B	N	ES
8 カ 月	D		0.000 ** 0.000 **	0.063 0.265	0.002 ** 0.002 **	0.031 * 0.001 **
	W	0.000 ** 0.000 **		0.018 * 0.030 *	0.000 ** 0.000 **	0.316 0.265
	B	0.000 ** 0.000 **	0.627 0.724		0.000 ** 0.004 **	0.448 0.023 *
	N	0.000 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **		0.000 ** 0.000 **
	ES	0.000 ** 0.000 **	0.324 0.046 *	0.208 0.082	0.000 ** 0.000 **	

上段:真の群, 下段:誤判別除く, **:1%有意, *:5%有意

(c)日積算全日射量

		2002年8月				
		D	W	B	N	ES
8 カ 月	D		0.696 0.182	0.099 0.061	0.305 0.202	0.175 0.159
	W	0.152 0.189		0.011 * 0.001 **	0.055 0.027 *	0.017 * 0.086
	B	0.044 * 0.000 **	0.000 ** 0.000 **		0.523 0.543	0.641 0.819
	N	0.012 * 0.002 **	0.000 ** 0.000 **	0.480 0.343		0.317 0.431
	ES	0.004 ** 0.000 **	0.000 ** 0.000 **	0.265 0.742	0.701 0.394	

上段:真の群, 下段:誤判別除く, **:1%有意, *:5%有意

地衡風の風速が大きくなると昼間に発達した海風が夜間まで連吹している、もしくは地衡風の影響による風であると推測できる。また、この地衡風風向の範囲では、北東寄りの陸風の頻度も比較的高い。これらより、アメダス豊中ポイント付近においては、地衡風がより小さいときに冷気流が発生しており、風速が大きくなると、夜間

に南西あるいは西寄りの海風、もしくは北東寄りの陸風が流入しやすいことが予想される。

次に、日積算全日射量の影響を検討するために、日積算全日射量の大小により二つのグループに分けた上で、図-3(a), (b)と同様の図を作成した。日積算全日射量の閾値は、誤判別された日を除いた8カ月分の冷気流発生日Dの平均値 20.7MJ/m²とした。図-3(c)~(f)は、それぞれ0-5m/s かつ 20.7MJ/m²以上、5-10m/s かつ 20.7MJ/m²以上、0-5m/s かつ 20.7MJ/m²未満、5-10m/s かつ 20.7MJ/m²未満のレンジを示している。0-5m/s の風速レンジでは、地衡風の風向が北西~北~東北東の範囲において、20.7MJ/m²以上未満ともに北西風が卓越している。地衡風風向が南南西~西南西の範囲においては、20.7MJ/m²以上では、北西風が卓越するのに対して、20.7MJ/m²未満では海風や陸風の発生が確認される。5-10m/s のレンジでは、南~西の地衡風に注目すると、0-5m/s のレンジと比較して、20.7MJ/m²以上未満ともに南西~西の風向や北東を中心とした風向が増加し、北西風の発生が減少していることがわかる。特に 5-10m/s, 20.7MJ/m²未満の場合に、陸風と考えられる北東寄りの風が多くなっていることがわかる。これらのことから、日積算全日射量の小さいときに陸風が発生しやすいか、あるいは陸風の影響を受けやすくなることが予想される。これは、日積算全日射量が大いほど海風が発達し、夜間まで連吹する可能性が高くなるためであると考えられる。

(2) 説明変数の分布

各パターンの説明変数の分布を比較することによって冷気流の発生条件を検討する。2002-2009年の各年8月を一カ月単位で分析を行ったが、各年の結果は互いに類似していた。そこで、ここでは紙面の都合から2002年8月の結果のみを示す。図-4は2002年8月の真の群により作成した分布である。(a), (b), (c)はそれぞれ地衡風東西方向風速成分、南北方向風速成分、日積算全日射量である。また、図-5は誤判別された日を除いて作成した分布を示している。図-6, 7は2002-2009年の各年8月の8カ月分、それぞれ真の群と誤判別を除いた分布を示している。また、表-2は、各説明変数のパターン間の平均値の差の検定を行った結果を示している。表中の数値は小数第3位までで表したp値を示している。各表の対角線の右上側と左下側は、それぞれ2002年8月と8カ月分の分析結果である。各セル中の上段、下段はそれぞれ真の群と誤判別を除いたものの結果である。説明変数別にみると、図-4~7の間で分布に大きな差異はない。標準偏差が変化する程度であり、パターン間の大小関係に大きな変動はない。8カ月分の分布には標準偏差が大きくなる傾向があるが、これは各パターンの説明変数の分布が年ごとに変

動していることによる。

冷気流発生日Dの地衡風成分は東西、南北成分ともに0.0m/s付近に分布しており、より静穏な状況で冷気流が発生することがわかる。一方、西(海)風日Wは、東西と南北方向風速成分ともに5.0~10.0m/sの範囲で発生している。これは、地衡風が大阪平野において観察される広域海風のそれと概ね一致した風向で、比較的強く吹く場合には、夜間に海から吹く風が生じやすいことを示している。一カ月単位では、DはB、ESに対して有意差がないケースもあるが、8カ月分の分析では、他の全てのパターンに対して有意差がある。図4~7より、Dの日積算全日射量はWと差異はないが、その他の3パターンよりも大きいように見える。表2より一カ月単位では他のパターンに対して有意差はないが、8カ月分ではWを除いて有意な差が認められる。これらのことからD、Wは日積算全日射量が比較的大きい日に発生するが、地衡風が弱い場合にDが、比較的強い南西寄りの地衡風の場合にはWが発生する。

海陸風交替日Bは、東西と南北方向風速成分の平均値は5.0m/s程度であり、両方向ともにWより有意に小さい。BとDを比較すると、8カ月分では有意差があるものの、一カ月単位では有意差はない。また、Bの日積算全日射量は、DとWに比較して小さい。これは、この地域では、好天日において夜間も海風が継続しやすいという従来の知見⁹⁾とも合致しているが、陸風は日射量の小さい日のほうが発生しやすいことを示している。既述の通り、日積算全日射量と雲量との間には負の相関があるものの、日積算全日射量が小さいことによる地上気温の低下が、雲量が大きくなることによる逆の効果を上回っていることを示している。Nの地衡風ベクトルは東西成分と南北成分ともに概ね負の値となっており、北~東寄りの地衡風が比較的強く吹くときに、このパターンが発生する。ESでは東西成分は風速の絶対値が小さく、南北成分は5m/sを平均値として概ね正の値に分布している。東西成分についてはDと、南北成分ではWと差異がない。NとESの日積算全日射量はWより小さいが、その他のパターンとの間では有意な差異はなかった。これらより、Nは日積算全日射量が小さく、地衡風が北寄りになるときに、ESは同様に日積算全日射量が小さく、南寄りの地衡風の場合に発生しやすいことがわかる。

風速成分について有意差が表れなかったのは、東西成分については誤判別を除いたD-ES間、南北成分については、W-B間、真の群によるW-ES間、B-ES間である。日積算全日射量については、D-W間とB、N、ES間に差がないこと、D、Wがその他の3パターンと比較して大きいことがわかる。地衡風東西成分の平均値の大小関係は、 $N < ES < D < B < W$ となっており、既述のとおりDにつ

いては概ね0.0m/s付近に分布している。南北方向成分については、W-B、W-ES、B-ES間の差異が小さく、平均値の大小関係は、 $N < D < B, W, ES$ となった。東西方向と同様にDは0.0m/s付近に分布している。以上の結果から、パターンDは地衡風が微弱であり、日積算全日射量が相対的に大きいときに生じることがわかる。

4. 冷気流とヒートアイランド現象との関係

冷気流と夜間HI現象との関係を検討するため、各パターンにおけるアメダス大阪と豊中の夜間気温差とアメダス大阪の日最低気温に注目する。それぞれの各パターンの分布を図8、図9に、パターン間の平均値の差の検定を行った結果を表3に示す。ここでは、アメダス豊中と大阪の気温をそれぞれ大阪平野北部地域(郊外部)と平野中心部を代表する気温と考えている。夜間気温差は、対象期間各日における0-5時のアメダス大阪と豊中の気温差を積算した値とした。日最低気温はアメダス大阪の同時時間帯における最低気温とした。真の群で作成した結果と誤判別を除いて作成した結果では、分布に大きな差異はなく、誤判別日を除くと標準偏差が小さくなる程度であった。そこで、ここでは、真の群で作成した図のみを掲載する。

図8より、冷気流が流入するパターンDでは、夜間気温差が6-15℃の範囲にあり、平均値が概ね10℃程度であることがわかる。時間平均して2℃程度中心部の気温が高くなっていることがわかる。これに対して、パターンNの夜間気温差の平均は6℃程度、W、B、ESでは2~4℃程度である。表3の有意差の検定結果からも、

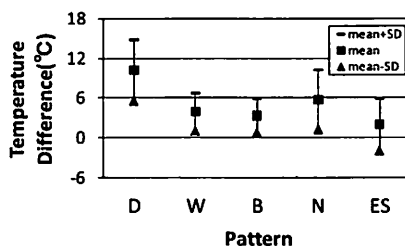


図8 アメダス大阪、豊中の夜間気温差

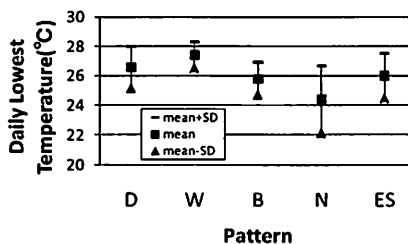


図9 アメダス大阪の日最低気温

表-3 平均値のパターン間の差

		夜間気温差				
		D	W	B	N	ES
日最低気温	D		0.000 **	0.000 **	0.000 **	0.000 **
	W	0.001 **		0.298	0.017 *	0.009 **
	B	0.005 **	0.000 **		0.002 **	0.079
	N	0.000 **	0.000 **	0.000 **		0.000 **
	ES	0.062	0.000 **	0.501	0.000 **	

**:1%有意, *:5%有意

冷気流発生時に大阪平野中心部と北部地域の気温差が増加していることがわかる。他方、W、B、ESは、そもそも夜間気温差が生じにくいから、夜間気温差を解消するような気流状況であると考えられる。

次に、図-9の日最低気温については、平均値の差の検定も考慮すると、日最低気温の大小関係は、D-ES間、B-ES間に有意な差がないことから、ESを除けば、 $N < B < D < W$ となっていることがわかる。これより、パターンDにおけるアメダス大阪の日最低気温はWより低いものの、Bより高くなっていることがわかる。Wは、夜間高温になるパターンであるが、これは筆者らの検討結果⁹⁾と一致する。Dの分布は25℃を上回っており、この気流の発生による大阪平野中心部の熱帯夜の解消はあまり期待できないことがわかる。

以上より、この冷気流は、大阪平野北部地域の夜間気温を低下させる効果を有するものの、中心部の高温化を緩和するには至らず、夜間の見掛けのHI強度を強める働きをしていることがわかった。

5. 結論

本研究では、大阪平野北側に位置する北摂山地から平野北部地域へ流入する冷気流発生条件と冷気流と夜間HI現象との関係について検討した。

アメダス豊中の地上風の風向データを用いて、1日単位の風向変動パターンを作成し、そのパターンを目的変数とし、地衡風ベクトルと日積算全日射量を説明変数として判別分析を行った。

説明変数の重心により求めた各パターンの典型的な日の夜間の気流場構造を検証することにより、アメダス地点によって風向変動パターンを作成することの妥当性を示した。冷気流発生パターンの典型日においては、大阪平野中心部には海風が吹き続けるのに対して、北部地域には北部冷気流が流入するという特異な気流構造を示した。

各パターンの説明変数の分布状況により、この冷気流は地衡風が微弱であり、日積算全日射量が大きいとき

に発生しやすいこと、日射量が大きく南西寄りの地衡風が吹く場合に夜間海風が吹きやすいこと、海陸風交替は比較的日射が弱い日に発生しやすいことなどが明らかになった。

冷気流の発生により、大阪平野北部地域と中心部との夜間気温差は平均的に2℃程度に達するものの、この気流は中心部の日最低気温の低下には貢献しないことがわかった。このことは、この冷気流が「見掛けの」HI現象の発生あるいは強化に寄与していることを示していると考えられる。

参考文献

- 鍋島美奈子、古崎裕朗、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, pp.23-29, 2006.
- 榎元慶子、谷口一郎、野邑泰弘：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、Vol.1, pp.30-35, 2006.
- 玉井昌宏、富林千尋：大阪平野に流入する冷気流に関する数値計算、環境システム研究論文集、Vol.37, pp.83-91, 2009.
- 久田由紀子、杉原裕司、松永信博：福岡都市圏における夏季のヒートアイランド構造、水工学論文集、Vol.48, pp.181-186, 2004.
- 竹林英樹、森山正和、糸川文嵩：夏季夜間における山麓冷気流の出現頻度と市街地における影響距離、日本建築学会計画系論文集、Vol.542, pp.99-104, 2001.
- 浜田崇、一ノ瀬俊明：山風の流入による夏季の都市気温への影響、地学雑誌、Vol.120(2), pp.403-410, 2011.
- 千葉修、山中信吾、山本泰久、荻野淳一：土佐湾沿岸部に流出する陸風と夜間冷気流の乱流構造、日本気象学会、天気、Vol.47(10), pp.39-50, 2000.
- 玉井昌宏、有光剛：大阪湾沿岸域の夏季夜間気温と海陸風の関係、環境システム研究論文集、Vol.36, pp.397-405, 2008.
- Mitsuo Mizuma: General Aspects of Land and Sea Breezes in Osaka Bay and Surrounding Area, Journal of the Meteorological Society of Japan, Ser. II 73(6), pp.1029-1040, 1995.
- 玉井昌宏、川原大典、有光剛：大気環境リスク評価のための気象シナリオ日の選択方法、環境工学研究論文集、Vol.47, pp.515-525, 2010.
- 森征洋：海陸風と気圧場の関係について一瀬戸内海地方中央部の場合、日本気象学会、天気、Vol.43(1), pp.33-41, 1999.

(2011.5.30 受付)

NOCTURNAL DRAINAGES IN THE NORTHERN OSAKA PLAIN, THEIR OCCURRENCE CONDITIONS AND RELATIONSHIPS WITH HEAT-ISLAND PHENOMENA

Masahiro TAMAI¹ and Shin-ichi OHTA¹

¹Dept. of Civil Engineering, Osaka University

The Osaka Plain faces with the Hokusetsu Mounts on the north. It is supposed that nocturnal drainages break out on the south-facing slope of the mounts and flows into the north part of the plain. Purposes of the present study are to clarify their occurrence conditions and to examine their relationship with nocturnal heat-island phenomena by analyzing such observational data as the AMeDAS data. After classifying daily time series of wind direction of the AMeDAS Toyonaka into typical daily fluctuation patterns, the non-linear discriminant analysis was carried out with the typical daily pattern as a dependent variable and geostrophic wind vector and daily solar radiation as independent variables. The occurrence conditions were clarified by examining distributions of the independent variables of each pattern. And the relationship was investigated by temperature differences between the north part and the center part of the plain and daily lowest temperature of the center part of each pattern.