

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

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*

(*東京都立大学理学研究科 **現東京都水道局 ***元非常勤研究員)

要 旨

東京都区内における夏期日中の気温偏差分布と卓越風系の関係について、METROS20およびMETROS100の観測データに基づいて解析を行った。その結果、夏期の典型的な海陸風循環日には、早朝に都心部を中心とするヒートアイランドが出現するが、日中は南よりの海風の移流効果で高温域が北部から北西部に移動すること、一方、湾岸部では東部を中心に冷涼な東京湾海風の侵入で気温が低い状態に保たれることなどが明らかになった。

キーワード：ヒートアイランド、東京、海陸風

Spatiotemporal variations of summer urban heat islands in Tokyo

MIKAMI Takehiko*, ANDO Haruo, YOKOYAMA Hitoshi,
YAMAGUCHI Takako, ISHII Koichiro, SHIODA Tsutomu**,
MORISHIMA Wataru***, KOJIMA Shigeki***, IZUMI Takeki*

*Tokyo Metropolitan University,

The Bureau of Waterworks, *ex-Associate Researcher

Summary

Detailed spatial and temporal variations in summer urban heat islands in Tokyo were analyzed using the new meteorological observation system (METROS) during the period 2002-2004. The results indicate that spatial temperature anomaly patterns and prevailing wind system in Tokyo are closely related. A case study was made on a typical summer day when the sea/land breeze circulation developed. As a result, it becomes clear that the urban heat island patterns centered in downtown Tokyo appears from late mid-night to early morning in accordance with the occurrence of weak land breeze, and that the center of high temperature area moves to the north/north-west by the advection of sea breeze from the Tokyo Bay during daytime (from around 9 a.m. to 9 p.m.). Negative temperature anomaly patterns which appear in and around the bayside area in the afternoon are distinctly connected with the invasion of cooled sea breeze from Tokyo Bay.

1 はじめに

近年、東京をはじめとする大都市では、都心部を高温の極とするヒートアイランド現象が深刻化している¹⁾。特に夏期の高温化は、熱中症患者数を増加させたり局地的な都市型集中豪雨発生の可能性を高めるため、都市に生活基盤をもつ人々にとっては無視できない問題になっている。

東京都では、ヒートアイランドの実態を正確に把握し、都市気候モデルの開発や緩和対策に資することを目的に2002年度から都区内20箇所での高精度気象観測（風向風速、気温湿度、降水量、気圧）システムMETROS20と100箇所の小学校百葉箱を利用した気温湿度の自動観測システムMETROS100を構築し、連続観測を実施している。その結果、夏季の日最高気温は都の北部で高く、湾岸部で低いこと、また日最低気温は都心部だけでなく、新宿・渋谷などの副都心地区や台東・墨田区などの東部地区でも高いことなどが明らかになった²⁾。

一般に、東京や大阪のような海に面した都市では、夏期の日中に海陸の温度差によって海から陸に向かう海風が吹くことが多い。海風の強さや卓越時間帯は、海陸の温度差や気圧配置によって異なるが、東京都心部では夜半近くまで都心部の高温状態が維持されるため、海風が深夜にも卓越することがしばしばある。

一方、夏期日中は南～南東の海風が卓越するため、特に湾岸地域では日中の高温が緩和される²⁾。海風は、午前中から午後にかけて内陸部に侵入してゆくが、都心部の高温な空気の移流によって、練馬区や板橋区など都の北部から北西部の地域では日最高気温が上昇することになる。このような状況で相模湾方面からの海風（南西～南南西）が侵入すると、東京湾海風との収束線に沿って、「環八雲」と呼ばれる積雲列が出現することがある³⁾。さらに、上空寒気の南下などで大気が不安定な状態において、鹿島灘方面からの北東よりの海風が侵入すると、3方向からの海風の収束で強化された上昇流が積乱雲を発達させて、時間雨量50mm以上の局地的な短時間強雨（いわゆる都市型豪雨）を引き起こすこともある⁴⁾。

このように、東京都内の夏期気温分布や局地的豪雨は、海風の風向や収束と密接な関連があると考えられる。そこで、本稿では2002年夏期から稼働している都内高密度観測システム（METROS）の気温、風向風

速観測データを用いて、都区内の夏季ヒートアイランドの時間的・空間的変動を海陸風や日中の卓越風系との関連で明らかにすることを目的に、事例解析を行った。

2 METROS20高精度観測システムについて

METROS100（百葉箱での温湿度観測）については、前報²⁾で詳細に述べられているので省略する。ここでは、都区内と隣接市部20箇所を設置されたMETROS20について述べる。図1は、METROS20（大きな丸印）とMETROS100（小さな丸印）の観測地点を示す。



図1 METROS観測点分布図（大きな丸印はMETROS20、小さな丸印はMETROS100を示す）

METROS20の観測項目は、風向風速、気温湿度、気圧、降水量の6項目である。設置場所は、主としてビルの屋上に設置してある。これは、海風や陸風など一般風の風向風速を的確に捉えるため、原則としてキャノピー層より上の風を測定している。

測器の設置高度は、場所によって異なる。周辺地区で周囲に高い建物の少ない場所では、建物下面から15～30m程度であるが、都心部で周囲に高層ビルの多い地区では地面からの比高が80～110m程度になる。風は高度に依存するため、同一地点での風の鉛直分布を議論する場合には高度補正を行う必要があるが、今回は都区内スケールで、キャノピー直上における風の場の空間分布を捉える目的から補正は行っていない。

3 2004年7月の都区内気温偏差分布事例解析

図2は2004年7月7日～13日の7日間における大手町（東京管区气象台）と練馬（AMeDAS）の気温変化を比較したものである。大手町は都心部に位置し、

周辺には中高層のオフィスビルや首都高速道路が走っている。一方、練馬は東京23区の北西部にあり、中低層の住宅地が広がっている。都区内ではめずらしく畑地も散在し、緑被率も比較的高い。気温の日変化をみると、日最高気温は大手町よりも練馬の方が最大で3.5℃高いが、日最低気温は逆に大手町の方が最大で3.7℃高くなっている。このことから、都心部にある大手町の方が北西部にある練馬よりも気温日較差が小さいことがわかる。

図2の期間中、前半の7月7日から9日にかけては、太平洋高気圧におおわれて安定した夏型気圧配置になっていた。大手町の日最高気温は34℃前後に達し、日最低気温も25℃以上の熱帯夜が継続した。風についても、日中は南よりの海風が卓越したが、夜半から早朝にかけては弱い陸風が吹いており、都区内の気温分布もこのような海陸風循環の影響を受けた空間分布が出現したと考えられる。そこで、典型的な海陸風循環日として、7月8日早朝から翌日9日の早朝までの24時間について、METROS20による風向風速分布とMETROS100による気温分布の図を重ね合わせることで、都区内の気温分布に及ぼす風の場の影響について検討する。ただし、気温は時間とともに変化するため、時間毎の100地点平均気温に対する各地点の偏差で表示した。例えば、-0.5℃というのは、その時間の都区内平均気温に比べて、その地点の気温が0.5℃低いことを示している。

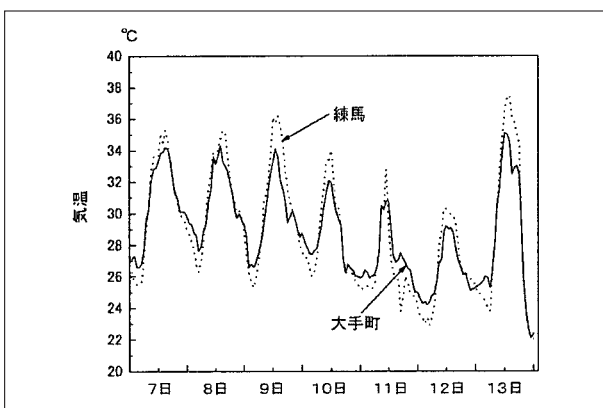


図2 大手町（東京管区气象台）と練馬（AMeDAS）の気温変化（2004年7月7日～7月13日）

図3（a～h）は、与えられた時刻における風向風速（ベクトル表示）と気温偏差分布を示している。以下に、時刻別の風と気温偏差分布の特徴を述べる。

(1) 2004年7月8日 午前4時（図3 a）

全域で北西からの陸風が吹いているが、都心部で強まっている。気温は、風下に当たる都心から品川区、大田区で高く、周辺区は相対的に低い。

(2) 2004年7月8日 午前7時（図3 b）

北部では北よりの弱い陸風が吹いているが、南部では都心の湾岸に中心を持つヒートアイランドに吹き込む低気圧性の循環が認められる。

(3) 2004年7月8日 午前9時（図3 c）

南部の湾岸地域で南からの海風が侵入し、北部の弱い陸風との間に収束域（海風前線）が認められる。このため、相対的な高温域の中心は、やや北上している。

(4) 2004年7月8日 正午（図3 d）

この時刻になると、都区内の全域で南よりの海風が卓越するようになるが、南西部では相模湾海風の侵入が明瞭に現れている。冷涼な東京湾海風の侵入で南東部の江戸川区、江東区では-1.5℃～-2.0℃の気温偏差域が広がっている。一方、都心部から北側では海風による移流効果で高温偏差になっている。

(5) 2004年7月8日 午後3時（図3 e）

都心部の全域で南より強い海風が吹いており、東部の湾岸地域から内陸に向かって負の気温偏差になっている。特に、江東区、江戸川区ではほぼ全域で-1.5℃を超える負偏差になっている点が注目される。反対に、練馬区、板橋区など北西部では海風の移流効果で相対的に気温が高い状態が継続している。

(6) 2004年7月8日 午後9時（図3 f）

この時間帯になっても都区内の全域で南よりの海風が卓越しており、海上よりも陸上の温度が高い状態にあることがわかる。気温偏差パターンは、午後3時の状態と類似している。

(7) 2004年7月9日 午前0時（図3 g）

南部の湾岸地域で、南西から南よりの海風が残っているが、北半部では北からの陸風が卓越し、高温域の中心も南下して同心円状のヒートアイランド構造が認められる。

(8) 2004年7月9日 午前4時（図3 h）

早朝になり、全域が陸風の支配下にあるが、風速は2m/s以下で比較的弱い。北よりの陸風の影響で、高温域はさらに南下して、大田区を中心とする南東部に移動している。冷涼な陸風の影響を受ける北東部がもっとも低温で、東部の江戸川区でも負偏差になっている。

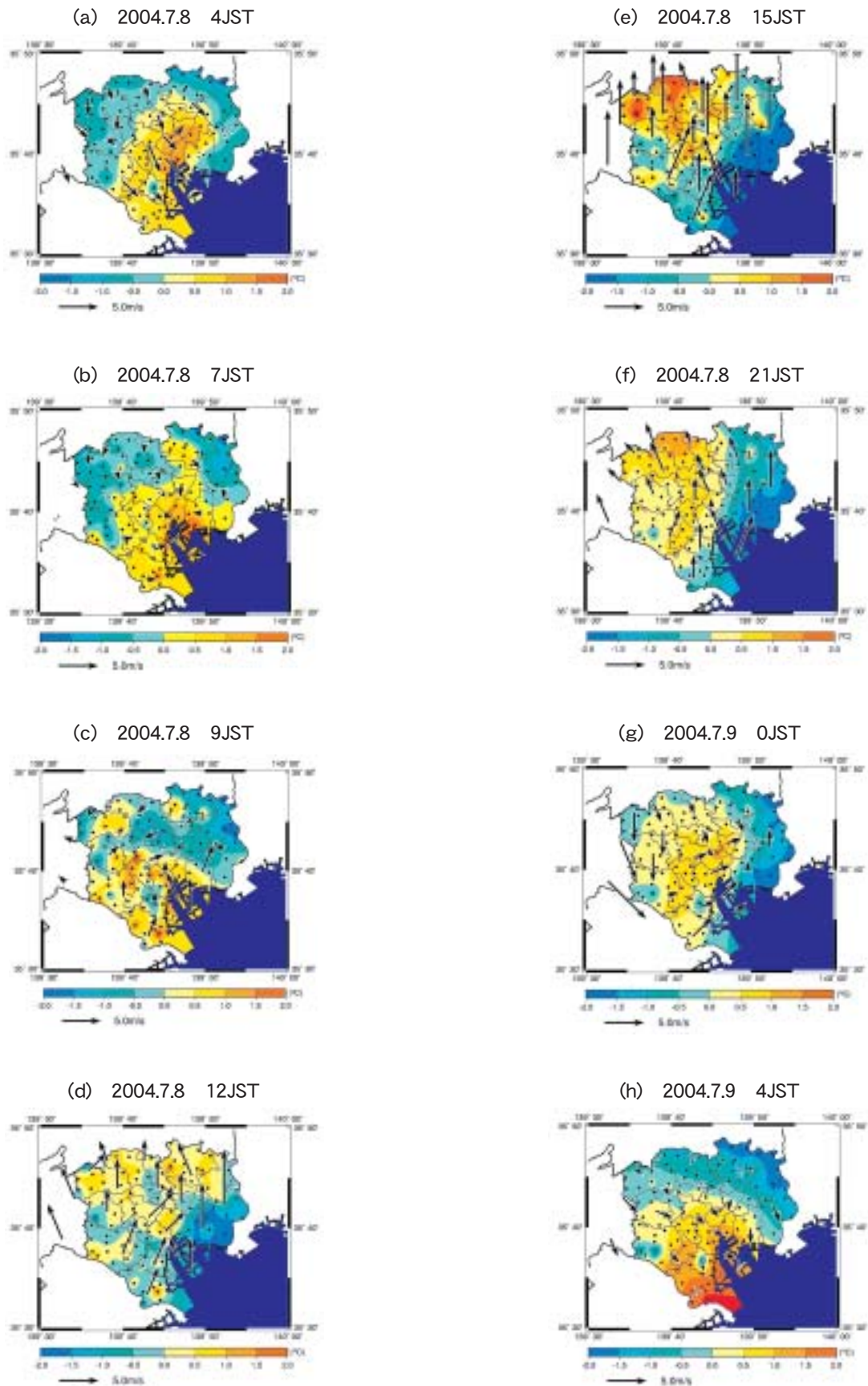


図3 典型的な海陸風循環日（7月8日～9日）における時刻別卓越風系と気温偏差分布

4 夏期日中の卓越風向別都区内気温偏差分布

前節の事例解析から、夏期都区内の気温分布は海陸風の影響を明瞭に受けることが明らかになった。しかし、夏期日中に必ず南からの海風が吹くとは限らない。気圧配置によっては、日中でも北よりの風が卓越する場合もある。そこで、2002年8月以降で、大手町（東京管区气象台）の日最高気温が30℃以上になった日（真夏日）を抽出し、12時～15時の卓越風向別にMETROS100による気温偏差分布の合成図を作成し、都区内の気温偏差分布と風系の関係について検討・考察した。

解析対象期間は、2002年8月1日～2004年7月14日で、この期間中に大手町で真夏日を記録したのは合計87日間である。卓越風向別に見ると、北風（N）が4日、北東風（NE）が1日、東風（E）が5日、南東風（SE）が12日、南風（S）が38日、南西風（SW）が22日、西風（W）が3日、そして北西風（NW）が2日であった。このことから、夏期の日中に高温となる日の午後は、南風の頻度がもっとも高いことが明らかになった。ただし、ここでの風向風速は大手町にある東京管区气象台（気象庁）で測定したもので、若干周辺の建物や地形の影響を受けている可能性も示唆される。

そこで、上記の卓越風向別に都区内の気温偏差の合成図とMETROS20の風ベクトル合成平均図を重ね合わせたのが、図4（a～h）である。この図をもとに、夏期高温日の午後2時（ほぼ日最高気温出現時刻）の気温偏差分布と午後（正午～午後3時）の卓越風系の関係について述べる。白ぬきが正偏差を示す。

(1) 北風（N，図4 a）

都区内のほぼ全域で北風になっており、風向のばらつきは小さい。北部と湾岸部が相対的に低温で、その間に東西に帯状の高温域が認められる。高温域の中心は、やや東部に偏っている。

(2) 北東風（NE，図4 b）

例数が1日しかないのので、一般化できないが、大手町では北東風であるにもかかわらず、METROS20ではほぼ全域で東北東～東の風が卓越している。気温偏差も東よりの風の影響で、全般に西部で相対的に高温となっている。

(3) 東風（E，図4 c）

基本的に北東風の場合と類似の気温偏差分布になっ

ている。風系は大手町と同じ東風が卓越しているが、湾岸部ではやや南よりの成分が付加されていて、湾岸に低温域が分布している。

(4) 南東風（SE，図4 d）

典型的な東京湾海風による卓越風系と考えられる。全般に湾岸部では冷涼な海風の影響で気温が負偏差になっているが、他の風系の場合と同じく、港区北部から北西方向に高温域が広がっている。

(5) 南風（S，図4 e）

最も例数が多く、典型的な東京湾海風卓越風系と言える。都心部に近い湾岸部を除いて、湾岸地域は負の気温偏差になっており、とくに江東区、江戸川区で気温低下が顕著である。

(6) 南西風（SW，図4 f）

大手町では南西風であるが、METROS20では南南西～南の風が卓越している。南風の場合と同じく、湾岸東部を中心に低温域が広がっており、移流効果で北部が全体に高温になっている。

(7) 西風（W，図4 g）

大手町では西風だが、METROS20では南西～南風が卓越している。高温域は、風下の北東部に集中しており、西部から湾岸部は負偏差になっている。

(8) 北西風（NW，図4 h）

例数が2日と少ないが、風ベクトルからわかるようにかかなり強い北西風が全域で吹いている。気温偏差で見ると限定的な偏りは不明瞭で、高温域と低温域が分散している。

5 考察

以上の解析結果から、夏期における都区内の気温分布は、海陸風循環にとまなう風系の日変化や日中の卓越風系と密接な関連のあることが明らかになった。

本来、海陸風は陸地と海洋の温度差によって生じるものであり、熱容量の大きい海洋の温度の日変化が小さいのに対して、熱容量の小さな陸地の気温の日変化が大きくなるため、一般に日中は海風が吹き、夜間は陸風が吹く。しかし、東京のように夜間にも高温状態が持続すると、海風の継続時間が長くなり、場合によっては夜半過ぎまで海風が吹くことになる。一方、陸風は相対的に弱く、ヒートアイランド強度（都心部と郊外の気温差）が強まる早朝には、高温域の中心部に収束する「ヒートアイランド循環」が現れることもあ

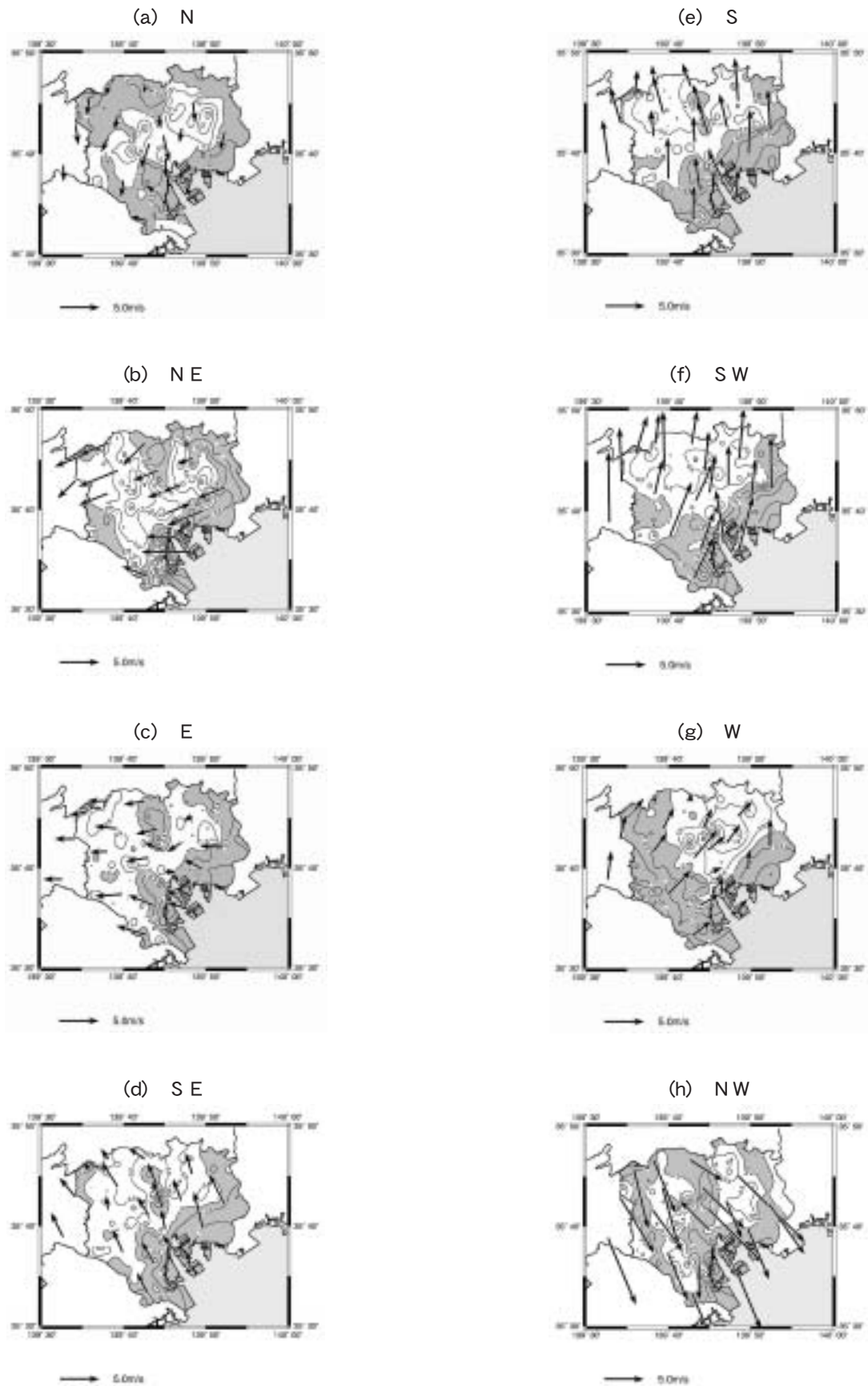


図4 卓越風系別の気温偏差合成図

る。

このように、東京都区内では海陸風循環に伴う風系の変化で気温偏差分布が空間的に変動するだけでなく、海陸風循環そのものがヒートアイランドの影響を受けるため、両者の相互関係についてさらに検討する必要がある。

一方、夏期の日本列島の気候を支配している北太平洋高気圧の動向や前線帯の位置によっても、都区内の卓越風系は大きく変動する。特に、夏期日中は北太平洋高気圧から吹き出す南よりの風と海風(東京湾海風、相模湾海風など)の相乗効果で強い南よりの風が吹くことが多いが、オホーツク海高気圧が発達したり、前線帯が南下すると、日中でも北東風が吹く場合もある。

4節では、夏期の日最高気温出現時刻の風系別に都区内の気温偏差分布の特徴を合成図解析により明らかにすることを試みた。その結果、夏季日中の気温偏差分布と卓越風向との間には一定の対応関係があり、気温正偏差域は相対的に風下側に変位することが明らかになった。興味深いことに、都区の東部では卓越風向にかかわらず負の気温偏差が現れやすい。これは、この地域を南北に流れる荒川に沿って流れる風の影響も無視できないと考えられる。したがって、今後都市計画においては、河川に沿う風の流れ(いわゆる風の道)を有効利用することが都市のヒートアイランド緩和対策として重要となるだろう。

6 まとめ

以上、2002年夏期以降に観測された都区内高密度高精度観測システム(METROS)のデータに基づいて、夏期の都区内気温偏差分布の特性を風系と関連づけて解析した。

これまでのヒートアイランドのモデルでは、高温の中心は都心部にあり、周辺の郊外に向かって低くなる「熱の島」を形成するとされているが、このような気温分布が出現するのは晴天無風時に限られ、多くの場合、高温域の中心は風下側にずれることが日本でも古くから指摘されている^{5), 6)}。

しかしながら、今回の解析で都区内の気温偏差分布が海陸風循環と密接に関連していることが明らかになったのは新知見であり、世界にも類のない高密度観測システムMETROSの成果と言えよう。

近年、東京をはじめとする大都市では、夏期の高温

化による都市住民への健康影響や都市型災害との関連が注目されるようになってきている。東京都でも、屋上緑化や保水性舗装の整備などがヒートアイランド緩和対策の一環として具体化されつつあるが、夏期日中の東京湾海風による冷却効果についても、「風の道」効果という観点から今後さらに研究を進めてゆく必要があるだろう。

謝辞

気温偏差図作成にあたり、波多野和儀氏に協力いただいた。記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 三上岳彦：都市ヒートアイランドの実態－東京の事例を中心に－，環境情報科学，32 (3)，pp.32-36 (2003).
- 2) 安藤晴夫・塩田勉・森島済・小林茂喜・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 (2003).
- 3) 甲斐憲次・浦 健一・河村 武・朴(小野) 恵淑：東京環状八号線道路付近の上空に発生する雲(環八雲)の事例解析－1989年8月21日の例－，天気，42，pp.417-428 (1995).
- 4) 永保敏伸・三上岳彦：首都圏に中心をもつ暖候期の短時間強雨の特性，日本気象学会予稿集，79，pp.313 (2001).
- 5) 榎根 勇：東京とその周辺地域における日最低気温分布の都市気候学的考察，地理学評論，33，pp.564-572 (1960).
- 6) 水越允治：都市気温の分布の風との関係についての一考察，地理学評論，38，pp.92-102 (1965).