東京 23 区における夏季の様々な広域風日のヒートアイランド対策効果

田村　英寿*　　石井康一郎　　横山　　仁　　安藤　晴夫
平口　博丸*　　佐々木啓行　　市野　美夏**
(*(財)電力中央研究所　**非常勤研究員)

要　旨

都市のヒートアイランドに対して、風の影響が非常に重要であることが既往の研究で指摘されている。本研究では、広域風の条件が異なる夏季晴天日の 3 日間それぞれを対象とした三次元数値シミュレーションを行い、東京 23 区におけるヒートアイランド対策の効果を予測した。対策としては、緑化推進・保水性舗装・高反射塗装・道路交通排熱削減・建物排熱削減の 5 種類を挙げ、30 年後の東京における実施量を想定した。上述した 3 日間について、各対策実施前後の地上気温の計算結果の差から効果を予測した結果、建物排熱削減の効果は強風日の方が小さいが、緑化推進の効果は逆に強風日の方が大きいといったように、対策の効果は広域的な風系によって変化し、その変化特性は対策の種類によって異なることが明らかとなった。

キーワード：ヒートアイランド、東京 23 区、地衡風、数値シミュレーション

Heat Island Mitigation Effect under Various Large-scale Wind Conditions for Tokyo 23 Wards in Summer

TAMURA Hidetoshi*, ISHII Koichiro, YOKOYAMA Hitoshi,
ANDO Haruo, HIRAKUCHI Hiromaru*, SASAKI Hiroyuki,
ICHINO Mika**
* Central Research Institute of Electric Power Industry,
** Associate Researcher

Summary

In previous studies, it has been indicated that effect of wind is very important for urban heat island phenomena. In this study, the effect of heat island mitigation measures in Tokyo is estimated by three-dimensional numerical simulation on three fine days of summer with different condition of large-scale wind respectively. Here, five mitigation measures (urban greening, water retentive pavement, high light-reflective paint, reducing anthropogenic heat emission from automobiles and reducing anthropogenic heat emission from buildings) are cited and the amount of each measure is assumed in Tokyo after 30 years. For three days mentioned above, a numerical simulation is carried out for cases before and after introducing each measure, and the effect of each measure is estimated by the differences of air temperature numerically calculated for these two cases. As a result, it is shown that the effect of mitigation measure in response to large-scale wind condition is varied largely with the kind of measure. For example, the effect of 'reducing anthropogenic heat emission from buildings' becomes smaller as increasing in large-scale wind, but the effect becomes larger for 'urban greening', inversely.

Key Word : heat island, Tokyo 23 wards, geostrophic wind, numerical simulation

1　はじめに

都市のヒートアイランド現象は、夏場の熱中症搬送者数の増加や冷房エネルギー消費量の増大を招く一因となっている [1]。この現象の実態を把握するため、東京都環境科学研究所（現、(財)東京都環境整備公社東京都環境科学研究所）と東京都立大学は2002年度より共同で、東京23区内を対象とした気温・湿度・風向・風速・気圧・降水量に関する高密度の気象観測（METROS100 および METROS20）を開始しており、これまでに、時間帯毎の東京23区内の高温域の出現場所の特徴や、高温域と風向との関連性などを明らかにしている [2),3)]。

こうした実態把握が進められる一方で、東京都は、条例による屋上緑化の義務化や、校庭の芝生化の推進、対策推進エリア（東京23区内4地域）の設定といった具体的な対策の実施も進めており、例えば屋上緑化は条例施行から約5年間（平成13年4月～平成18年2月）で都内に56ha導入されている [4)]。今後、こうしたヒートアイランド対策の実施をさらに効率的に進めていくためには、対策を実施する各地域の様々な特性も踏まえた上で、効果的な対策の種類や導入方法について事前に把握しておくことが重要と考えられる。

このため、東京都環境科学研究所、東京都立大学、電力中央研究所は、平成16年度に共同研究を実施し、東京23区内で将来的に想定される5種類の具体的なヒートアイランド対策について、ある晴天弱風の真夏日（2002年8月29日）の気象条件下での数値シミュレーションによる効果予測を試みた [5)]。その結果、各対策の効果の大きさとともに、効果の現れ方に風が重要な役割を果たすことが示された。上述の検討では、一般にヒートアイランドが発達しやすいといわれる風の弱い日を対象としたが、実際には夏の暑い日でも風向や風速は日によって様々であり、こうした条件の違いによって対策効果の現れ方も異なることが予想される。

そこで、東京都環境科学研究所、電力中央研究所は平成17～18年度に、広域的な風がヒートアイランド対策に及ぼす影響予測を目的とした共同研究を実施した。前報 [6)] では、広域風（ここでは中部日本全体（約300km四方程度）の平均的な気圧傾度に伴う風（地衡風）を指す）の効果を計算に考慮できるよう、上述の数値シミュレーションに用いた数値モデルを改良した。本報では、この改良した数値モデルにより、既報で対象とした弱風日も含めた広域風条件の異なる夏季の3日間を対象とした数値シミュレーションを実施し、各対象日の再現計算結果の妥当性を METROS との比較によって確認するとともに、広域風がヒートアイランド対策効果に及ぼす影響について調べた結果を報告する。

2　数値モデルおよび計算条件

(1) 数値モデルの概要

数値モデルは、既報 [5)] で用いた数値モデルと基本的に同じものであるが、気圧傾度に伴う地衡風の効果が計算に考慮されるよう改良が施されている [6)]。このモデルでは、数10～数100km四方の水平領域を対象として、上空約5kmまでの大気中の三次元風速・気温、比湿（水蒸気量）や地表・地中の温度、地表から大気への熱・比湿の輸送量を計算する。水平格子間隔は、大気中が1～数km程度で、地表・地中は大気中よりも細かい間隔（500m程度）を設定することが可能である。また、市街域については、建物群の凹凸が日射・長波放射や風の遮へいに及ぼす熱的効果が簡易的にモデル化された都市地表面モデルが適用され、建物屋上・建物壁・道路毎の表面温度および建物間空間内の気温・比湿が、それぞれ各水平格子内の平均値として計算される。

(2) 水平計算領域と計算格子

本検討で着目する東京23区は約35km四方の範囲内に収まる広さであるが、中部日本全体程度の空間スケールの地形条件によって発生する海陸風や山谷風の効果が計算に考慮されるよう、計算領域は東西388km×南北348kmとした（図1）。水平計算格子の大きさは、東京23区を包含する35km四方（以下、東京区部）内では全て1kmとし、その外側は東京区部から遠方にいくほど粗く最大4kmとなる可変格子とした。さらに、東京区部では、地表付近の温度環境をきめ細かく予測するため、地表・地中の水平格子間隔を大気中の半分の500mとした。

(3) 計算対象日と気象条件

計算対象日としては、2002年8月の晴天真夏日（気象庁東京管区気象台の日最高気温が30℃以上で天気が快晴または晴かつ降雨量がゼロの日）のうち、広域風の条件が異なる3日間（8/8, 8/20, 8/29）を選定した。各対象日の主な気象条件（数値シミュレーションの入力条件）を表1にまとめて示す。これらのうち、地衡風風速は中部日本各地の気象庁観測地点での地上気圧をもとに、藤部（1981）[7)] の方法で計算した。日中の

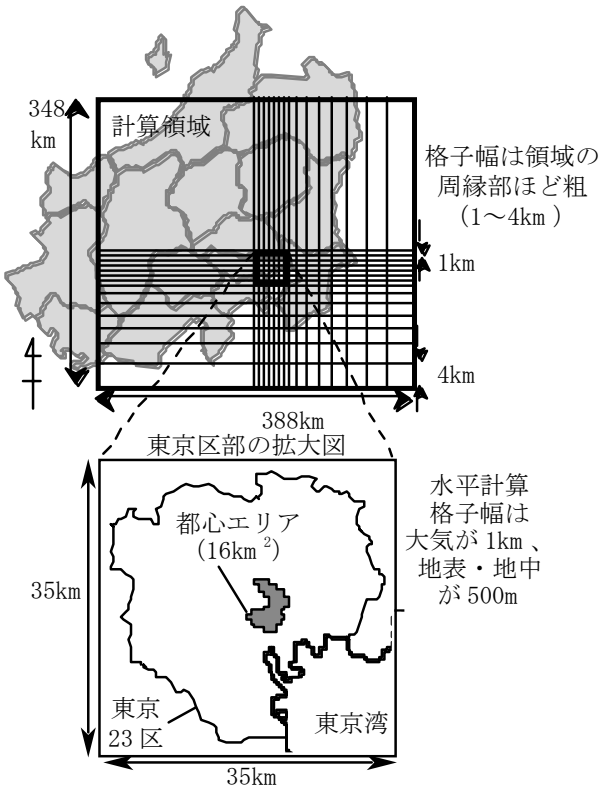


図１　水平計算対象領域および計算格子

都心部における地上高度 45m 風速は、8 日が約 7m/s の南南西風、20 日が約 9m/s の北西風、29 日が約 3m/s の南南東風である。なお、これら都心部の地上付近の風向や風速は、地表の摩擦力や局所的な海陸間の気圧差等の影響を受けるため、表 1 に示した地衡風の風向・風速とは一致しない。

(4) ヒートアイランド対策の条件

ヒートアイランド対策としては、東京 23 区内において 30 年後に実施が想定される 5 種類の対策（「緑化推進」「保水性舗装導入」「高反射塗装導入」「道路交通排熱削減」「建物排熱削減」）を対象とした。各対策の導入量を表２に、対策導入量の分布を図２に示す。なお、ここで想定した対策の種類および導入量は、既報[5]で検討対象とした 15 年後、30 年後の対策のうちの後者の条件と同じである。各対策の実施に伴い設定が必要となる計算条件（地表の物理変量や大気への排熱量）のうち、緑化推進および保水性舗装導入については、それぞれ東京都環境科学研究所で実施された屋上緑化の実証試験データ（緑化植物は芝を想定）[8]、および東京都土木技術研究所（現、東京都土木技術センター）

表１　各対象日（2002年8月）における計算入力気象条件

対象日	赤緯 [°]	日射の大気透過率 [-]	気温 [℃] 鉛直分布 = A + B×z[km]		比湿 [g/kg] 鉛直分布 =C×exp（D×z[km]）		地衡風風速 * [m/s]	
			A	B	C	D	東向き	北向き
8月 8日	16.2	0.60	27.0	-6.46	16.5	-0.4	11.7	0.3
8月 20日	12.5	0.60	20.0	-5.83	11.0	-0.4	-20.0	-20.9
8月 29日	9.6	0.55	25.0	-5.71	17.5	-0.4	4.6	5.6

* 表中の地衡風風速の値は日平均値、計算には 1 時間毎の値を使用

表２　検討対象としたヒートアイランド対策（実施対象は東京23区内）

対策	対策の実施の考え方	実施量（30 年後）
1) 緑化推進	敷地面積 1,000m² 以上の建物屋上および市街域の地上において、15 年後にみどり率 3% 増、30 年後にその 2 倍強の緑化を仮定した。	屋上 2463.0 ha（全屋上の 15.0%） 地上 1565.2 ha（市街地地上の 5.0%）
2) 保水性舗装導入	都心の 16km² に平成 15 年度の国内施工実績（約 10ha）の半分が毎年導入されると仮定した。	140.0 ha（都心エリア道路の 31.2%）
3) 高反射塗装導入	東京 23 区内の全屋上を対象として、15 年後に 10%、30 年後に 20% 導入されると仮定した。	3284.1 ha（全屋上の 20%）
4) 道路交通排熱削減	将来の燃費向上を考慮するとともに、15 年後時点で旅行速度の改善が進むとし、さらに 30 年後時点ではハイブリッド車の普及が進むと仮定した。	顕熱削減量 4.55 W/m²（削減率 41.5%） 潜熱削減量 0.26 W/m²（削減率 41.3%）
5) 建物排熱削減	住宅・業務用建築物それぞれについて、省エネ性能の向上およびトップランナー方式の機器の普及による効率改善を想定した。	顕熱削減量 3.68 W/m²（削減率 20.4%） 潜熱削減量 1.53 W/m²（削減率 25.6%）

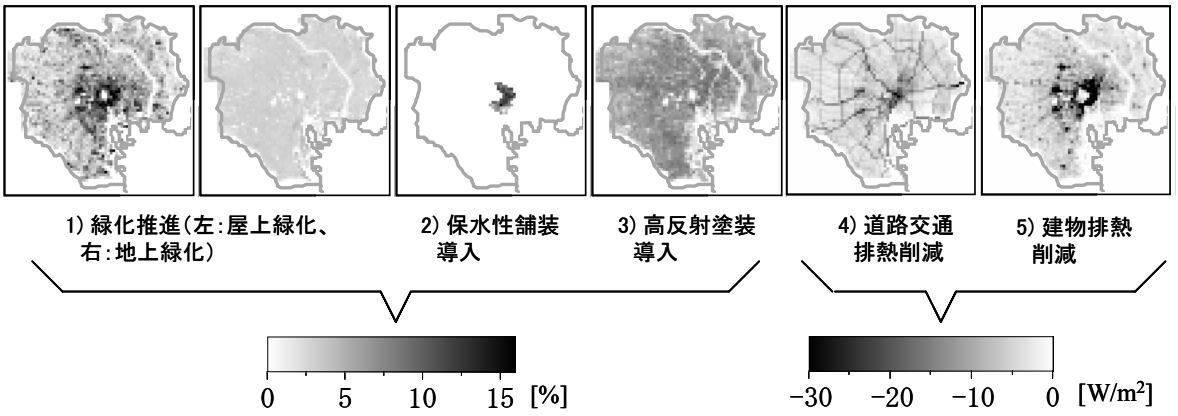


図２　各ヒートアイランド対策（表２の30年後）の導入分布（ 1),2),3)～実施面積率（500m四方の各水平格子面積に対する比率、4),5)～排熱変化量（日中14時の顕熱））

で実施された保水性舗装の実測データ[9]をもとに設定した。なお、上述したヒートアイランド対策の中には現時点で既に実施が進められているものもあるが、ここでは各対策の実施効果の最大値を調べるため、対策実施前の基準となる現状では全ての対策について実施量ゼロと仮定した。

３　METROS との比較による計算結果の妥当性確認

(1) 比較検討方法の概要

ヒートアイランド対策の効果予測に先立って、本章では、様々な広域風日の計算結果の再現性を確認することを試みた。比較に用いた METROS データは空間的な測定密度が高いため（特に METROS100)、気温等の空間的な分布を把握することが可能である。そこで、ここでは地上付近の風速・気温の分布について、２(3)で述べた 3 日間の各気象条件下の数値シミュレーション結果と METROS データとの比較を試みた。地上風速（METROS20）については、屋上の各測定地点の風速を指数則により地上高度 45m の風速に換算し、高度約 45m の計算結果と比較した。ただし、METROS20 の観測地点のうちの 2 地点で、風速の測定結果が屋上構造物や周辺ビルの影響を受けている可能性があることが指摘されているため[10]、今回の検討ではこれら 2 地点の結果を除外した。一方の地上気温（METROS100）については、地上約 1.5m で行われている観測結果と都市地表面モデル（２(1)参照）で計算された建物間空間内の気温（以下、建物間気温）の計算結果とを比較した。

(2) 風速の再現性

早朝 6 時および日中 14 時の風速について、観測結果および計算結果を図３に示す。早朝 6 時の観測結果を見ると、8 日は南南西風、20 日は北北西～北西風となっている。計算結果をみると、8 日の風速が観測と比べてやや強い、29 日の地点毎の細かい風向までは再現できていない、といった違いは見られるものの、各対象日とも風向・風速の観測値に近い結果が得られている。

日中 14 時の観測結果では、弱風日の 29 日でも東京湾からの海風が見られ、いずれの対象日とも風速・風向の傾向は計算によって正しく再現されている。なお、8 日の観測結果を見ると、風向は早朝と比べてやや反時計回りで風速もやや大きい。これは、地衡風と日中の東京湾からの海風が同じ南よりの風であったために、両者が足し合わさって南よりの風が強まったためと考えられる。一方、20 日には北よりの地衡風と南よりの海風が打ち消しあうと考えられるが、観測結果を見ると、これに反して、6 時よりも 14 時の方が北よりの風が強くなっている。既往の研究[11]によれば、地衡風風速が非常に大きい場合に地上風の日変化が海陸風によらず境界層乱流の日変化によって生ずることが指摘されており、地衡風風速が特に大きかった 20 日には、早朝と日中の風の違いが海陸風とは別の原因で生じていた可能性がある。

(3) 気温の再現性

早朝 6 時および日中 14 時の気温について、観測結果および計算結果を図３に示す。早朝 6 時の観測結果を見ると、弱風の 29 日は都心部の高温化が明瞭に現れているのに対し、強風日の 8,20 日には都心部の高温化は明瞭ではなく、都心部とその風下側（8 日は北部、20 日は南部）で気温が高くなっている。このような空間

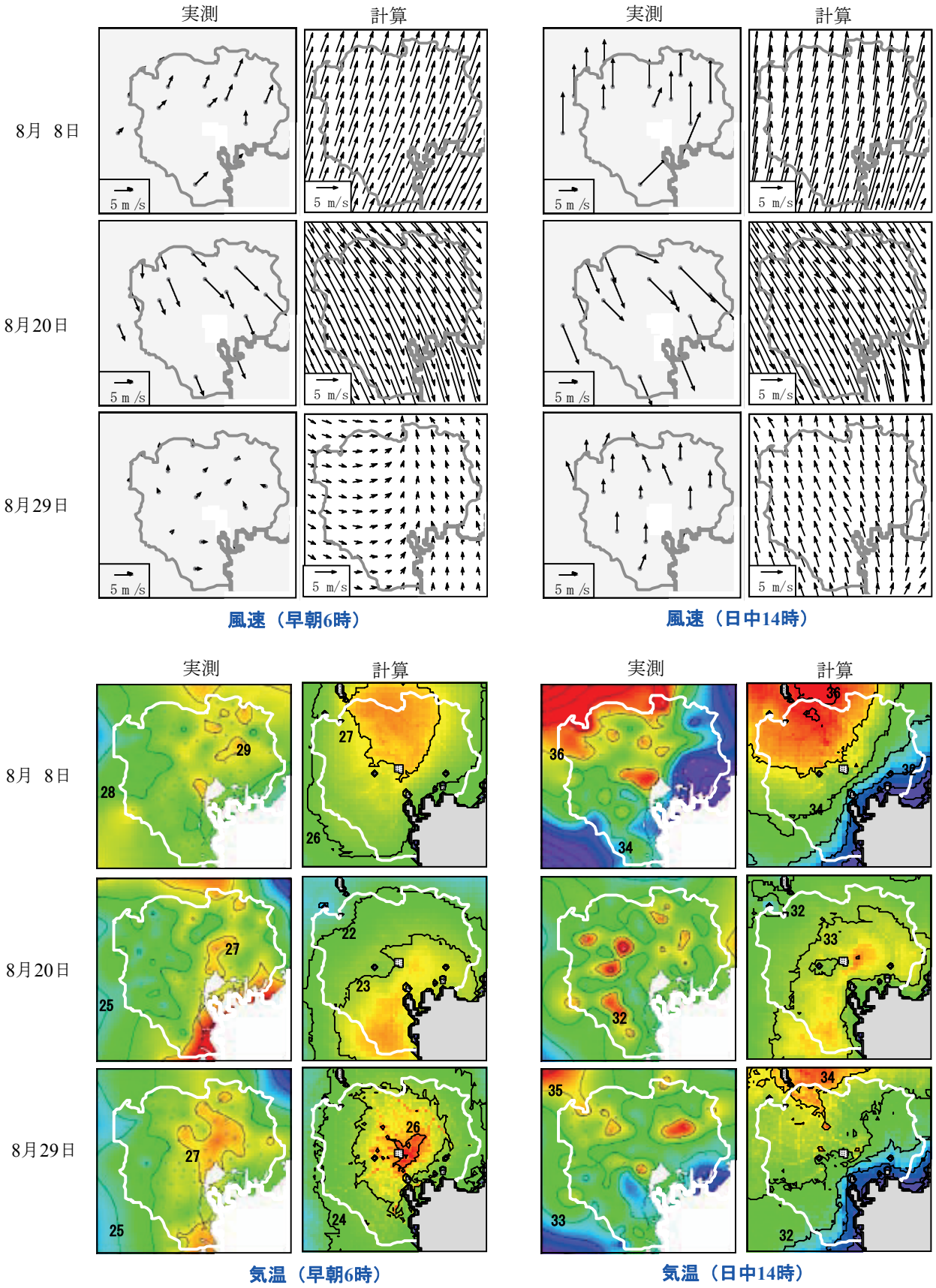


図３　METROS実測データと計算結果の比較（[上半分] 地上45m風速：実測は各地点のMETROS20を指数則により45m風速に換算、[下半分] 地上気温：計算は建物間空間内の平均値、実測はMETROS100（地上1.5m）、計算結果のグレー部 □ は市街地が存在しない計算格子、気温コンターの間隔は1℃）

的な気温分布の傾向が計算結果にも現れている。ただし、計算結果は実測よりも全体的に気温が低めに予測されており、特に 20 日は顕著である。これは、今回の計算では計算対象領域外の気象の時間的な変化が計算に反映されていないことが一因と考えられる。例えば 20 日の気象庁東京管区気象台における日最高気温は前日と較べて 4℃以上高く、日中の相対湿度も 50%以上低い。今回用いた手法では、このような時間的に大きく変化する気象場そのものを再現することは困難であったと考えられる。

日中 14 時の観測結果については、風向が南よりとなる 8 日と 29 日は都心風下側の内陸部で気温が高くなる。同じ傾向が計算結果にも見られる。一方、強い北西風の 20 日では、局所的に気温が高い場所や低い場所が見られるものの明瞭な高温域は現れていない。計算結果でも、都心から湾岸部でやや気温が高くなっているものの、8 日や 29 日と比べると高温域の現れる場所は不明瞭である。この一因として、都心部が東京湾のすぐ北側に位置しており（図 1 の都心エリアを参照）、風向が南～南東よりの 8,29 日には東京 23 区内の広い地域が都心部の風下側に位置するのに対し、北よりの 20 日には都心部の風下側がすぐ海となることが挙げられる。

以上のように、今回の計算では計算境界部での気象条件の設定を簡略化しているため、ある特定日の気象場そのもの（気温の絶対値など）を再現することは困難であるものの、各広域風日における風速・気温の空間的な分布の特徴は概ね正しく再現できていた。このため、モデル自身の挙動には大きな問題はないと考え、同一の気象条件下での地表パラメータ等の影響予測へのモデルの適用は妥当であると判断した。気象条件の設定方法の改良は、今後の検討課題に挙げられる。

4　ヒートアイランド対策の効果

(1) 各広域風日の気温低下量

前章で考察対象とした各対象日の計算結果をヒートアイランド対策実施前の基準とし、同じく各対象日について、表 2 中の各対策およびこれら全ての対策を同時に実施したケースについて計算を実施した。以降では、対策実施前と実施後の建物間気温の差を地上気温低下量と称し、これを考察対象とする。

早朝 6 時と日中 14 時における東京 23 区内平均および都心エリア内平均の地上気温低下量を表 3 に示す。

まず、東京 23 区平均と都心エリア平均とを較べると、早朝、日中ともに対策導入密度の高い都心エリアの気温低下量が 23 区平均よりも全体的に大きく、全対策を実施した場合、東京 23 区内平均の 1.5～2 倍程度である。また、対策毎の効果の大きさの違いに着目すると、風の弱い 29 日の早朝は排熱対策の効果が大きく現れているが、それ以外では緑化推進の効果が全対策中で最も大きいことが分かる。さらに、対象日毎の効果の違いに着目すると、例えば緑化推進の効果は強風日の 8,20 日の方が弱風日の 29 日よりも大きく現れるのに対し、自動車交通排熱削減や建物排熱削減の効果は強風日の 8,20 日の方が逆に小さく現れている。この原因については、次の(2)で考察する。

5 種類の対策のうちで日中に最も効果が大きく現れた緑化推進を例として、各対象日における日中 14 時の地上気温低下量分布を示したものが図 4 である。各分布図中の右下には対象日の都心における地上 45m での風向・風速の計算結果を示している。これによれば、緑化、特に屋上緑化の導入密度の高い都心部（図 2 参照）で地上気温低下量が大きく現れているが、同時に東京 23 区内の風下側の地域でも気温低下量が大きい。これは、対策の実施効果が移流により風下側に及んで大きく現れたことによる。このように、同じ緑化推進対策を実施した場合でも、気温低下量が多い地域は広域風の条件によって異なることが分かる。

表３　ヒートアイランド対策実施後の気温変化量[℃]

(1) 早朝6時

	東京 23 区内平均			都心エリア内平均		
	8/8	8/20	8/29	8/8	8/20	8/29
緑化推進	−0.06	−0.10	−0.03	−0.08	−0.16	−0.03
保水性舗装導入	−0.00	−0.00	0.00	−0.01	−0.02	−0.01
高反射塗装導入	−0.01	−0.01	−0.01	−0.01	−0.01	−0.01
道路交通排熱削減	−0.03	−0.02	−0.10	−0.04	−0.04	−0.19
建物排熱削減	−0.01	−0.01	−0.03	−0.02	−0.02	−0.06
全対策実施	−0.11	−0.14	−0.18	−0.18	−0.25	−0.31

(2) 日中14時

	東京 23 区内平均			都心エリア内平均		
	8/8	8/20	8/29	8/8	8/20	8/29
緑化推進	−0.20	−0.19	−0.20	−0.31	−0.32	−0.24
保水性舗装導入	−0.01	0.00	−0.01	−0.12	−0.10	−0.15
高反射塗装導入	−0.09	−0.08	−0.09	−0.11	−0.11	−0.09
道路交通排熱削減	−0.05	−0.04	−0.08	−0.10	−0.09	−0.15
建物排熱削減	−0.04	−0.03	−0.06	−0.11	−0.11	−0.14
全対策実施	−0.39	−0.35	−0.44	−0.76	−0.74	−0.78

(2) 広域風条件の違いが対策効果に及ぼす影響

前節(1)において、緑化推進と２種類の排熱対策との間で、広域風条件の違いによる効果の現れ方が大きく異なることが示された。本節では、この原因を分析する。

まず2種類の排熱対策（自動車交通排熱削減、建物排熱削減）では、弱風日の 29 日の方が強風日の 8,20 日よりも気温低下量が大きく現れている（表３参照）。これは、強風時ほど都心部の地上で放出された熱が水平移流や鉛直拡散によって郊外や上空に輸送されやすく、排熱変化の影響が都心部の地上気温変化に現れにくくなることで説明できる。

これに対して、緑化推進では、都心部の気温低下量は、上述した建物排熱削減とは逆に、風の強い 8,20 日の方が多い。この原因としては、以下の 2 つを挙げることができる。

ア　風速による熱輸送量の変化特性の違い

上述した排熱対策では、全ての対象日で排熱の条件を同一としているため、対策実施前後の排熱変化量は風速によらず一定である。これに対し、緑化推進の場合は緑化前後の地表熱収支が風速に応じてそれぞれ変化する。図５は、緑化前後における地表－大気間の顕熱輸送量の変化量と風速との関係を示したもので、3 日間の計算結果のほか、東京都環境科学研究所で夏季晴天日に行われた屋上緑化実証試験[8)]の結果も併せて示している。これによれば、緑化に伴う地表から大気への顕熱輸送の変化量（減少量）が、風速が小さいうちは強風時ほど大きくなることがわかる。ただし、実測ではある風速以上で減少量が頭打ちになっている。この一因として､植物の生理反応の影響が考えられる。植物からの蒸散速度は多くの場合、風速が小さいうちは風速に比例して大きくなるが、ある程度以上大きくなると頭打ちになることが指摘されており[12)]、この場合、風速が大きくなっても地表からの熱量のうち蒸散に伴う潜熱に振り分けられる熱量は増えない。このため、顕熱の減少量も頭打ちになったと考えられる。一方、数値計算では蒸発効率を一定値と仮定しており、上記のような植物生理の要因まで考慮されていない。今回得られた結果からは、計算によって得られた風速と顕熱変化量との関係は実態と大きく乖離していないと判断できるが、緑地のモデル化は今後検討すべき課題の一つである。

イ　東京 23 区内における対策の分布特性の違い

もう一つの原因として挙げられるのは、対象日毎の熱の水平移流効果の違いである。例えば、建物排熱削減の実施は都心部に集中すると想定しているのに対して、緑化推進（特に地上緑化）は東京 23 区全域に広く実施されると想定されている（図２参照）。図６は、緑化推進と建物排熱削減について、都心の大手町を終点として、各対象日の地上風向に対して風上側に、対策を実施した領域の風上端（東京 23 区の端）まで遡り、そこを始点として大手町を終点とした線分上の気温低下量を示したものである。これによれば、緑化推進では、東京 23 区内全体で対策が実施されているため、風

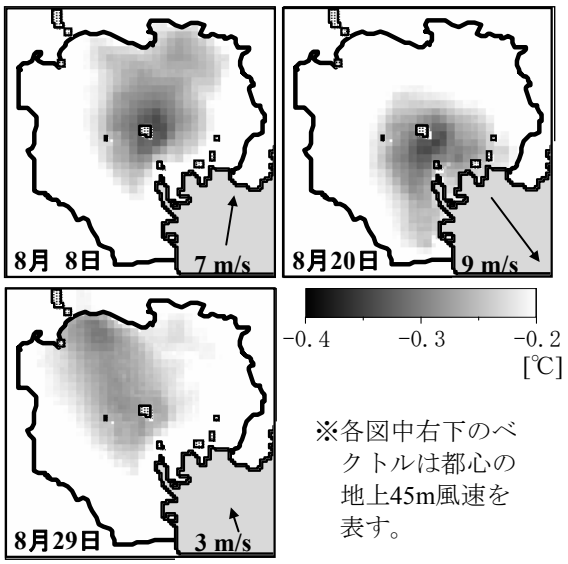


図４　日中14時における「緑化推進」実施後の地上気温変化量の分布

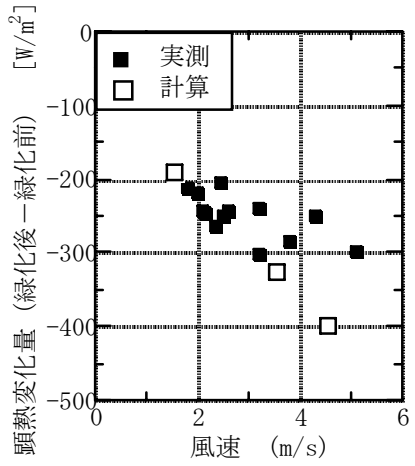


図５　緑化前後の顕熱変化量と風速との関係

下側（グラフの右側）ほど気温低下量は大きくなり、都心部の風上側の緑化の効果が都心部の気温低下に寄与していることがわかる。図６(1)中の各グラフの傾き、すなわち通過距離あたりの地上気温低下量は、アで述べた地表からの熱輸送変化量のほか、緑化率、熱の拡散速度、風速などにも依存し、これらは対象日毎に異なっている。この図によれば、29 日は他の日よりもグラフの傾きがやや大きいものの、風上端から都心までの距離が他の日の半分程度であり、これが 29 日の都心の気温低下量が小さくなっている一因と考えられる。一方の建物排熱削減（図６(2)）では、先の緑化推進と違って対策実施が都心部に集中しているため、風上側からの移流効果は小さく、都心の近くで気温が急に低下するという特徴が見られる。

６　おわりに

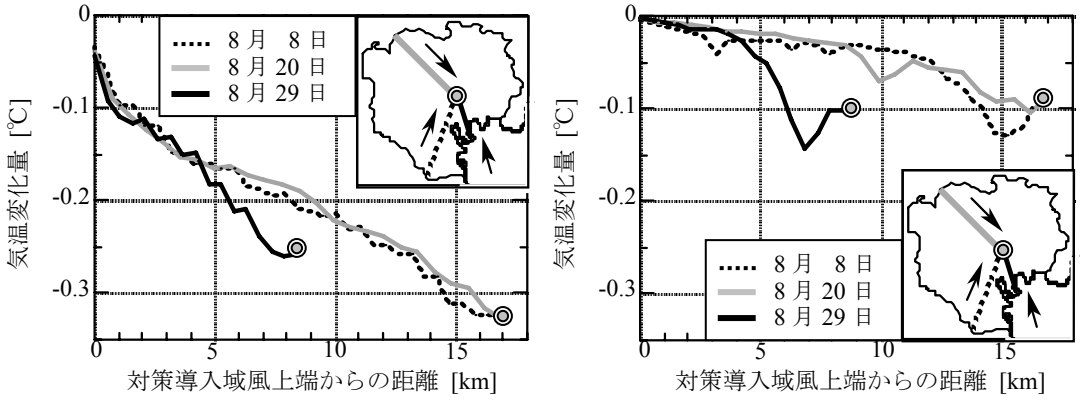
本研究では、広域風条件の異なる 2002 年 8 月の夏季晴天日 3 日間（8/8, 8/20, 8/29）を対象として、ヒートアイランド対策の効果の現れ方の違いを把握した。本研究で得られた主要な成果は次のようにまとめられる。

(1) 各対象日の気象条件下で再現計算を実施し、地上風速・気温分布の計算結果と METROS とを比較した。その結果、都心部の風下側で気温が高くなりやすい、強風日の日中に高温域が明瞭に現れにくいなど、風速・気温の面的な分布に関する定性的な特徴を数値計算によって再現できることを確認した。

(2) 東京 23 区内において 30 年後に実施が想定される 5 種類のヒートアイランド対策について、各気象条件下で各対策実施後の気温低下量を調べた。その結果、建物排熱削減の効果は強風日ほど小さくなるが、緑化推進の効果は逆に大きくなるなど、ヒートアイランド対策の効果は広域的な風系によって変化し、その特性（増減の向きや大きさ）は対策の種類によって異なることが明らかとなった。

参考文献

1) 環境省:平成 12 年度ヒートアイランド現象の実態解析と対策のあり方について報告書、147p. (2001)
2) 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、pp.1-7 (2003)
3) 三上岳彦・安藤晴夫・横山仁・山口隆子・石井康一郎、塩田勉・森島済・小島茂喜・泉岳樹：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、pp.11-17 (2003)
4) 東京都：東京の環境の現状と対策 (2006) ［http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kikaku/hakusho/2006/%EF%BD%90%EF%BD%84%EF%BD%86/main2.pdf］
5) 田村英寿・石井康一郎・横山仁・岩坪哲四郎・平口博丸・安藤晴夫・山口隆子・市野美夏・秋山祐佳里・三上岳彦：東京 23 におけるヒートアイランド対策導入効果の数値予測、東京都環境科学研究所年報、pp.10-18 (2005)
6) 安藤晴夫・田村英寿・岩坪哲四郎・市野美夏・横山仁・山口隆子・石井康一郎・平口博丸：ヒートアイランド



(1) 緑化推進　　(2) 建物排熱削減

図６　東京23区内の風上端から都心（大手町）までの距離と気温変化量との関係
（日中14時の計算結果、図中の ◎ の位置が都心）

に関する気温観測および数値予測実験の結果について、東京都環境科学研究所年報、pp.95-100 (2006)
7) 藤部文昭：海陸風の季節的特性、天気、Vol.28、No.6、pp.367-375 (1981)
8) 横山仁・山口隆子・石井康一郎：屋上緑化のヒートアイランド緩和効果－軽量薄層型屋上緑化に関する検討－、東京都環境科学研究所年報 2004、pp.3-10 (2004)
9) 峰岸順一・小林一雄・近江淳一・阿部忠行：保水性舗装の路面温度低減機能に関する検討、平 14. 都土木技術年報、pp.53-64 (2002)
10) 市野美夏・安藤晴夫・横山仁・山口隆子・石井康一郎：METROS で観測した風データの特性、東京都環境科学研究所年報、pp.101-103 (2006)
11) Fujibe, F : An effect of pressure gradient on the diurnal variation of wind in the atmospheric boundary layer, Journal of Meteorological Society of Japan, Vol.63, No.1, pp.52-59 (1985)
12) 長谷場徹也・武智修：蒸散に関する研究（４）蒸散に及ぼす風速の影響、農業気象、第 28 巻、第 2 号、pp.21-29 (1972)