

# 保水性舗装及び大規模緑地のヒートアイランド緩和機能について (都立日比谷公園における調査)

佐々木啓行 横山 仁 石井康一郎 成田 健一\* 菅原 広史\*\*

(\*日本工業大学 \*\*防衛大学校)

## 要 旨

都立日比谷公園内の歩道面に施工された保水性舗装のヒートアイランド緩和機能を明らかにするために、表面温度、気温及び熱収支の測定を行った。また、大規模緑地のヒートアイランド緩和機能を調べるため、日比谷公園内及び周辺街区における気温分布の測定、公園出口における微風の観測を行った。その結果、日中の保水性舗装では、表面温度と気温がアスファルト舗装に比べて低くなり、潜熱の発生も確認された。また、得られた気温分布から、日比谷公園全体としてヒートアイランド緩和機能を有することが示唆され、公園から冷気が流出する「にじみ出し現象」も確認された。

キーワード：保水性舗装、大規模緑地、ヒートアイランド、にじみ出し現象

## A Study of Mitigating Urban Heat Island by Water Retentive pavement and a large Urban Green (Research in Metropolitan Hibiya Park)

SASAKI Hiroyuki, YOKOYAMA Hitoshi, ISHII Koichiro

NARITA Kenichi\*, SUGAWARA Hirohumi\*\*

(\*Nippon Institute of Technology \*\*National Defense Academy)

## Summary

To investigate the effect of mitigating urban heat island by water retentive pavement, surface temperature, air temperature and heat balance were measured. To investigate the effect of a large urban green, the distribution of air temperature in Metropolitan Hibiya Park and neighboring towns was measured, and the weak wind which flow out from the park was measured. As a result, in daytime, surface temperature and air temperature of water retentive pavement were lower than those of asphalt pavement, and the generation of latent heat was observed. By analyzing the distribution of air temperature, it was showed that Hibiya Park as a whole has effect of mitigating. And the cold air seeping of the park was observed.

Key Words : Water retentive pavement, a large urban green, heat island, cold air seeping

## 1 はじめに

ヒートアイランド現象による都市の気温上昇は、熱中症などの人体への健康影響、大気汚染、都市型集中豪雨などとの関連が示唆されており、またエネルギー消費量の増加により、一層ヒートアイランド化が進行する恐れもあることから、早急な対策が求められている<sup>1)</sup>。

そのため、東京都は2003年3月に、ヒートアイランド対策に全庁的に取り組む方向性を取りまとめた「ヒートアイランド対策取組方針」を策定し、緑化、保水性舗装などの様々な対策に取り組んでいる。2005年4月にはヒートアイランド対策ガイドラインを策定し、その中で人工排熱量や地表面被覆率などに基づいた熱環境マップを作成している。マップでは、23区部を熱環境の特性により分類し、各地域の最適なヒートアイランド対策技術を公表している。さらに、重点的に対策を推進する「ヒートアイランド対策推進エリア」を設定し、対策を積極的に進めることとしている。

当所では、このような都の方針に基づき、区部のヒートアイランド現象の実態解明<sup>2)</sup>、屋上緑化による緩和効果の評価<sup>3)</sup>、(株)竹中工務店との共同研究で開発した保水性舗装の緩和効果の評価<sup>4)</sup>などの研究を行ってきた。さらに、(財)電力中央研究所との共同研究において、30年後に導入を想定した各種対策によるヒートアイランド緩和効果をシミュレーションし、緑化の効果が最も大きいという予測結果を得ている<sup>5)</sup>。

しかし、都がヒートアイランド対策技術として積極的な導入を予定している保水性舗装に関しては、実験室規模での調査にとどまっており、歩道などに広い面積で施工された保水性舗装が実際にどの程度の緩和機能を有するか評価することが課題となっている。

また、都のもう一つの重要な対策である緑化に関しては、都が緑化や屋上緑化を推進していくため、また環境省としても「クールシティ中枢街区パイロット事業」などの施策を実行していく上でも、緑地の持つ緩和機能を総合的に評価した知見が必要とされている。

そこで、本研究においては、都立日比谷公園内の歩道面に設置された保水性舗装の持つ緩和機能を明らかにすることを第一の目的として調査を行った。また、都心に存在する大規模緑地の一つである同公園において、緑地の緩和機能、特に緑地内に生成された冷気とその移流を観測することをもう一つの目的として調査を行った。

## 2 調査概要

### (1)保水性舗装に関する熱環境測定

今回調査を行った保水性舗装は、エンテック(株)製のFUJI(セラミック製)である。日比谷公園の歩道に施工された保水性舗装(FUJI)の施工断面図を図1に示す。

保水状態の保水性舗装(保水)の熱環境を、天然の芝生、一般的なアスファルト舗装及び保水状態でない保水性舗装(乾燥)の熱環境と比較するために、これら4つの試験区で表面温度・気温・熱収支の測定を2006年の7月23日～8月8日に行った。

保水性舗装(保水)区、保水性舗装(乾燥)区、芝生区、アスファルト舗装区の外観を図2に、芝生区における測定の様子を図3に示す。保水性舗装(保水、乾燥)の施工面積は約930 m<sup>2</sup>である。表面温度は長短波放射計により、気温は表面から2 cm～50 cmの高さに6箇所設置した熱電対により、熱収支は長短波放射計((株)英弘精機製・MR-50)と超音波風速温度計((株)カイジョーソニック製・DA600-3TV)により測定した。データの収録は1分間隔で行った。

なお、保水性舗装(保水)区(5 m四方、面積25 m<sup>2</sup>)に8月5日9:30～10:00に5 mmの灌水を行い、保水状態にした後に測定を開始した。

### (2)緑地内及び周辺の気温分布測定並びに緑地からの流出冷気の測定

日比谷公園内11箇所、公園周辺街区20箇所、皇居外苑14箇所において気温分布の連続測定を2006年の7月14日～9月15日に行った。

気温測定は、図4に示す日射遮蔽シェルタに温度ロガーを入れたものを全測定地点に設置することにより行った。シェルタは、塩ビ製パイプを用いた内筒を、断熱材を介してアルミ製の外角筒に装着し、さらにそれをコの字型のアルミ性外郭日除けで覆った構造となっている。外郭日除けの外側は日射反射率を高めるために白色塗装、外郭日除けの内側及びそれと向かい合う外角筒の外側は、放射伝達を小さくするため、アルミの金属光沢面としている。温度ロガーは、センサーの先端が円筒の中央になるよう、円筒下部にある収納ボックスに固定している。日比谷公園内と皇居外苑は木の幹につける形で設置し、設置高さは2.5 mとした。街路については街路灯のポールに同様に取付けた。データの収録は1分間隔で行った。

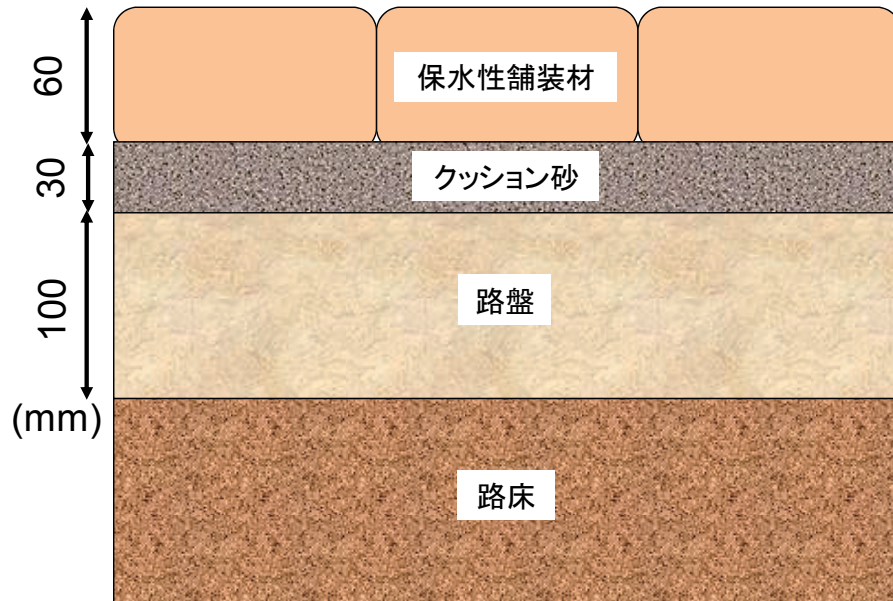


図1 保水性舗装（FUJI）の施工断面図

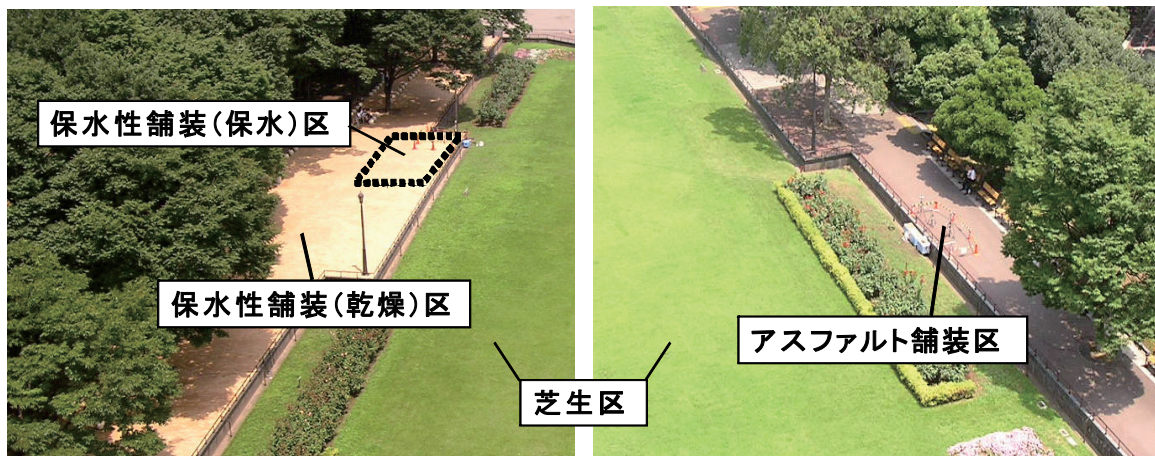


図2 保水性舗装（保水）区、保水性舗装（乾燥）区、芝生区、アスファルト舗装区の外観

流出冷気の観測は、公園出口4箇所において、フィルタ内に入れた熱電対により気温を、三次元超音波風向風速計（(株)カイジョーソニック製・SAT-500）により風向・風速を測定することにより2006年の7月31日～9月15日に行った。データの収録は1秒間隔で行った。

### 3 結果と考察

#### (1) 保水性舗装に関する熱環境測定

保水性舗装とは、多孔質構造や保水材を含有した構造により、水分の吸収・保水性に優れた舗装であり、蒸発散に伴う潜熱消費により温度上昇を抑制する効果を持つ。

図5にアスファルト舗装区、保水性舗装（保水）区及び芝生区における8月5日～8月7日の表面温度（30分平

均值）の変化を示す。日中は保水性舗装（保水）区がアスファルト舗装区より表面温度が常に低く、8月5日13:00頃に温度差が最大の約13℃となり、その翌日以後も温度差が継続し、8月6日13:00頃に約9℃、8月7日13:00頃にも約10℃の温度差があった。このことから、保水性舗装には表面温度の上昇を抑制する機能があり、その機能は保水後2日間以上持続することが観測された。また、芝生区は保水性舗装（保水）区よりも日中ほぼ常に表面温度が低かったことから、芝生も保水性舗装以上の上昇抑制機能があり、その機能が持続すると思われる。

また、夜間においても保水性舗装（保水）区と芝生区は、アスファルト舗装区に比べて約3～5℃表面温度が低くなっていることが観測された。

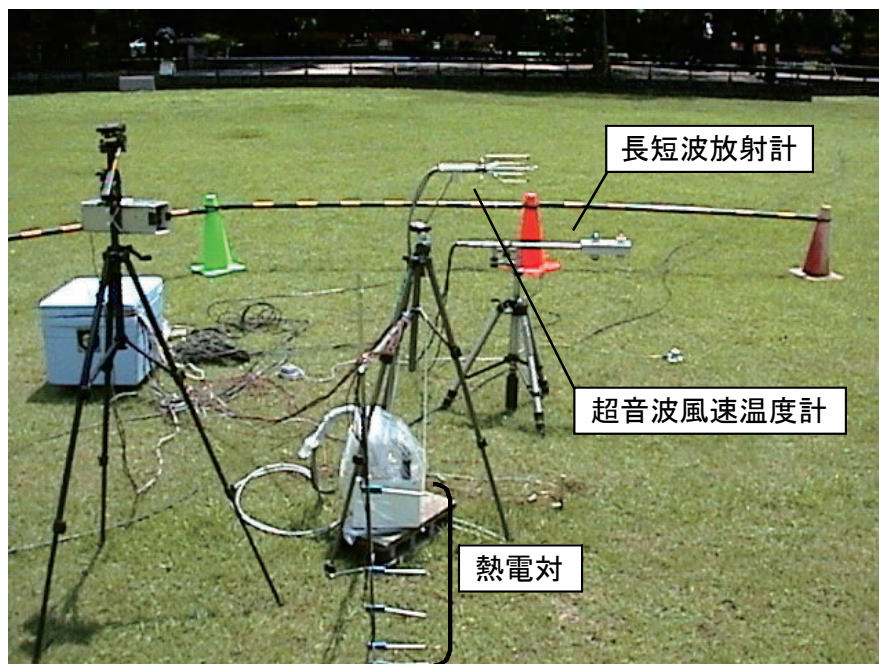


図3 芝生区における測定の様子

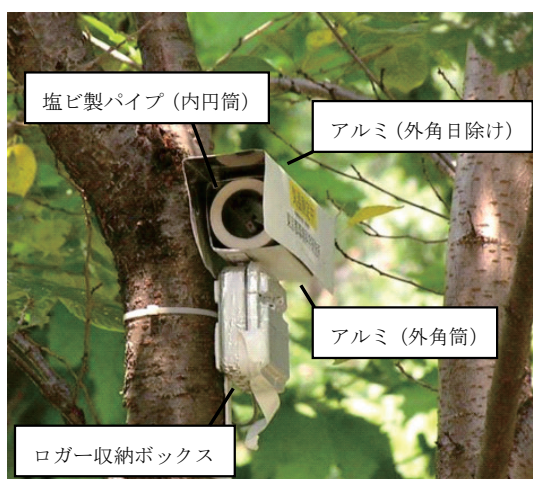


図4 気温測定用日射遮蔽フィルタ

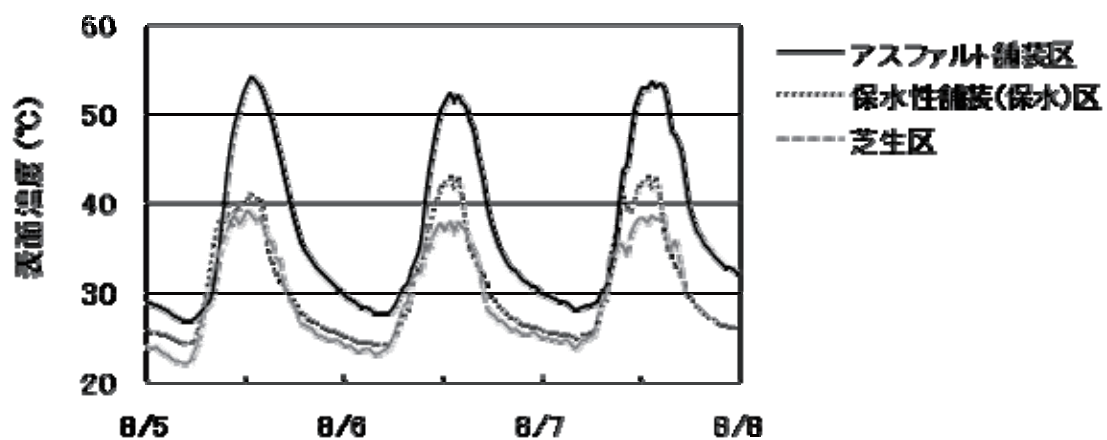


図5 アスファルト舗装区、保水性舗装（保水）区及び芝生区の表面温度の変化  
(8月5日～8月7日)

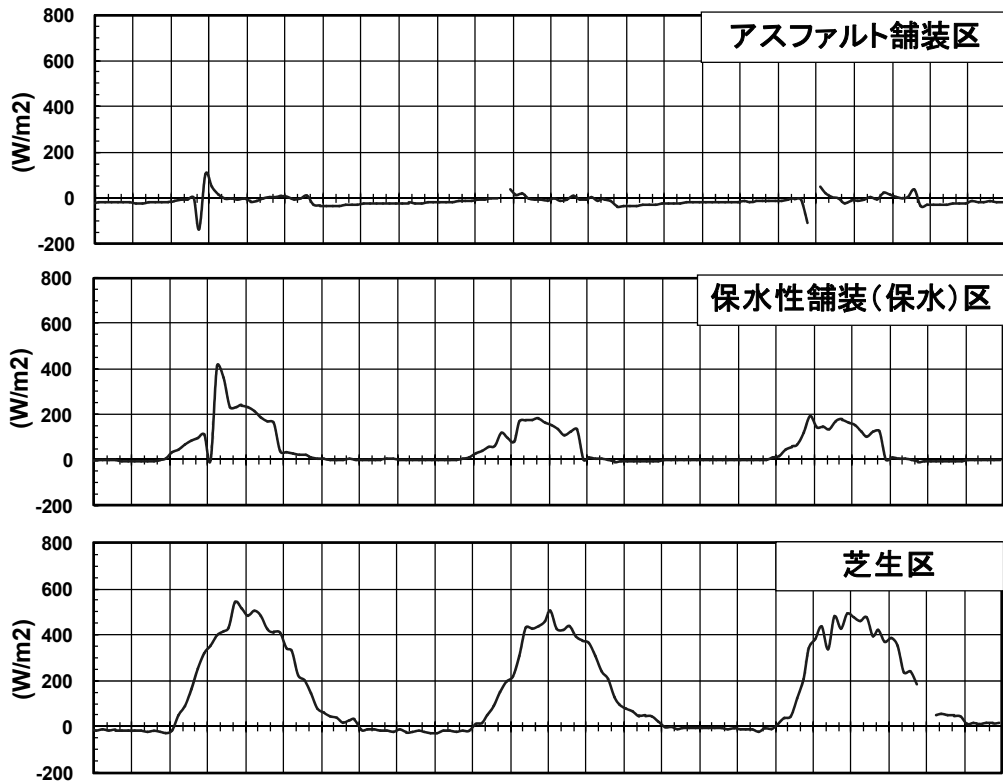


図6 アスファルト舗装区、保水性舗装（保水）区及び芝生区の潜熱の変化  
(8月5日～8月7日)

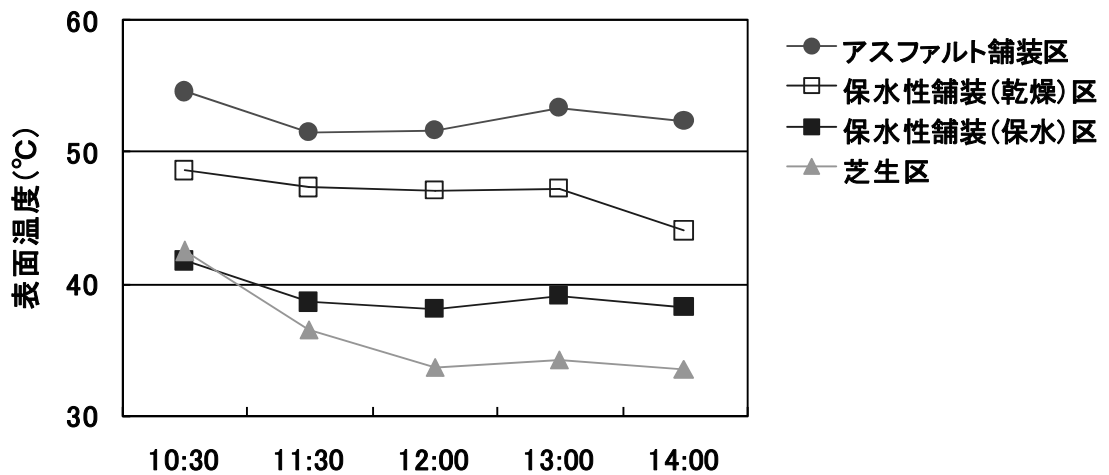


図7 4つの試験区の表面温度の時間変化（8月5日）

図6にアスファルト舗装区、保水性舗装（保水）区及び芝生区における8月5日～8月7日の潜熱量の変化を示す。アスファルト舗装区においては、全く潜熱が見られなかったが、保水性舗装（保水）区においては日中に約200 w/m<sup>2</sup>の潜熱が発生していた。このことから、日中の保水性舗装（保水）区の表面温度の上昇が抑制されていたのは、潜熱の発生による寄与が大きいこと

が分かった。また、芝生区においては400 w/m<sup>2</sup>以上の潜熱が発生しており、それによって保水性舗装以上に表面温度の上昇が抑制されていたことが考えられた。

潜熱の発生以外にも表面温度の差が生じる要因を検討するため、最も温度差が大きい8月5日の日中における、保水性舗装（乾燥）区を加えた4区分の表面温度（各測定時間の瞬間値）の変化を図7に示す。日中、保水性



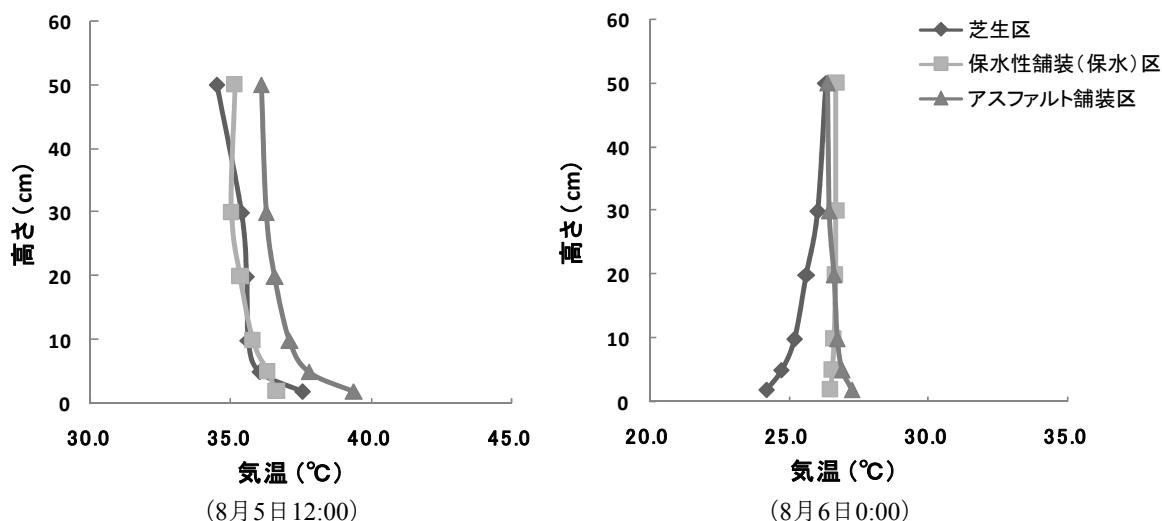


図8 アスファルト舗装区、保水性舗装（保水）区及び芝生区の高さ方向の気温分布

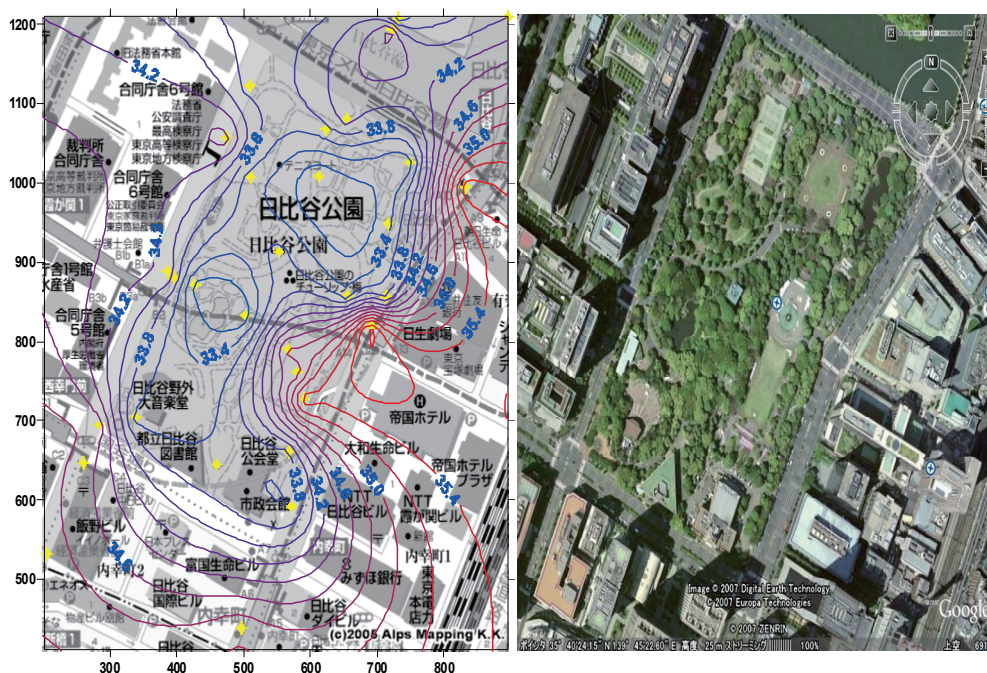


図9 日比谷公園内の日中の気温分布図（8月5日12:00）及び日比谷公園の全景

舗装（保水）区は保水性舗装（乾燥）区より $5^{\circ}\text{C}\sim 9^{\circ}\text{C}$ 温度が低くなっており、この温度差は保水による潜熱の発生によって生じていると考えられた。一方、保水性舗装（乾燥）区もアスファルト舗装区より常に $3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 温度が低くなっており、これは黒みがかった色をしているアスファルト舗装区に比べ、明るい薄茶色をしている保水性舗装（乾燥）区の日射反射率が高いためであると考えられ、この影響も大きいことが分かった。

次に、図8にアスファルト舗装区、保水性舗装（保水）区及び芝生区における、8月5日12:00及び8月6日0:00の

高さ方向の気温分布を示す。日中の気温分布は、アスファルト舗装区が最も高く、これに比べ保水性舗装（保水）区と芝生区は少し低温側にシフトしていた。5 cm以上の高さになると、保水性舗装（保水）区と芝生区の気温は同程度であった。気温の温度差は、表面温度に比べ小さくなるが、50 cmの高さにおいてもアスファルト舗装区と比べて保水性舗装（保水）区と芝生区の気温が低くなっており、この高さにも低下効果が現れていることが分かった。

夜間においては、保水性舗装（保水）区とアスファルト舗装区の気温はあまり差が見られなくなり、芝生



区だけが表面に近いほど気温が低くなった。芝生区の気温が低くなるのは、緑地が舗装などと比べて熱容量が小さく、放射冷却現象による温度低下が早く起こるためである。また、保水性舗装による温度低下機能は、夜間あまり観測されなかった。

## (2)公園内及び公園外温分布

図9に日比谷公園内の日中の気温分布図及び日比谷公園の全景を示す。日中の公園内においては、0.6℃程度の温度差が存在し、樹林が密な場所や水面（池）のある場所が低温となっていた。公園内においても、日中は潜熱が多く発生する場所がより低温になると考えられた。

図10に、日比谷公園、皇居外苑及び周辺市街地について、8月5日の夜間（最低気温時）と日中（最高気温時）の温度分布を示す。夜間及び日中とも、日比谷公園は周辺街区よりも明確に気温が低く、いわゆる「クールアイランド」を形成していた。このため、日比谷公園が周辺街区の気温上昇を抑制する緩和機能を有していることが考えられた。また、皇居外苑も日比谷公園と同様に低温域となっており、緩和機能を有していることが示唆された。

次に、周辺街区を地域ごとに比較してみると、日比谷公園西側については、夜間の気温が公園南側に比べて低くなっており、公園による影響を受けているようであった。これに対し、公園南側は気温が高く、公園南西端の交差点付近は最も高温となっていた。これは、この付近に停車している自動車排熱の影響と思われる。公園よりも排熱の影響が大きいためであると考えられる。日中についても、公園西側は比較的低温となっていたが、南側市街地は気温が高くなっており、熱源の存在が示唆された。市街地内における地点間温度差は3℃を超えていた。

公園東側についても、西側と同様に夜間の気温が低くなっており、公園の影響を受けていると考えられた。一方、日中は公園端までは温度が低いが、街路から東側はすぐに温度が上昇していた。日中の東側街路は測定範囲の中で最も高温となっていることから、交通量が西側よりも多く、最も強く交通排熱の影響を受けていると考えられた。市街地内における地点間の温度差は、西側街路よりもさらに大きく5℃を超えていた。

このように、日比谷公園の緩和機能による影響が現れていると推定される地域が周辺街区に見られた。しかし、交通排熱などの影響は大きく、日比谷公園の影

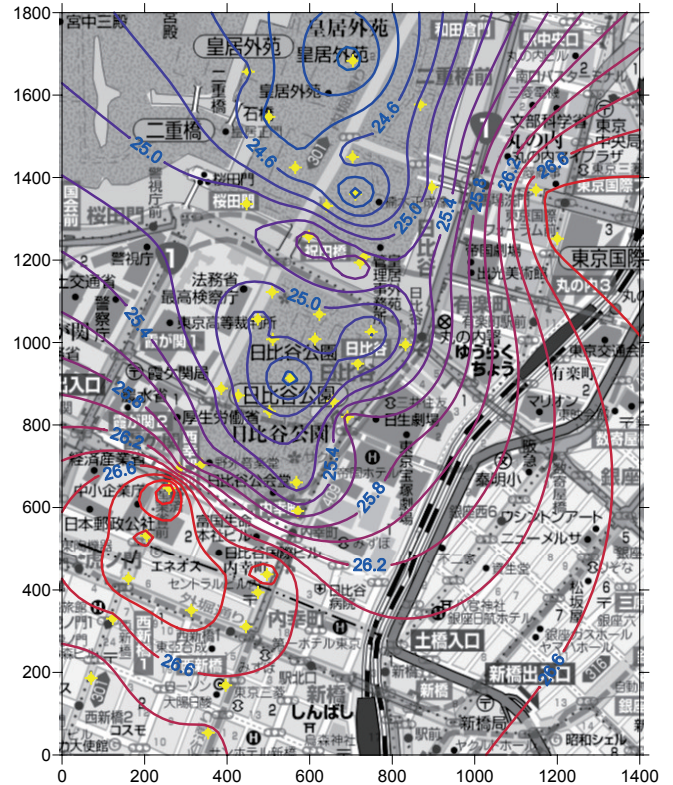


図10-1 日比谷公園、皇居外苑及び周辺市街地の気温分布（8月5日4:00～5:00）

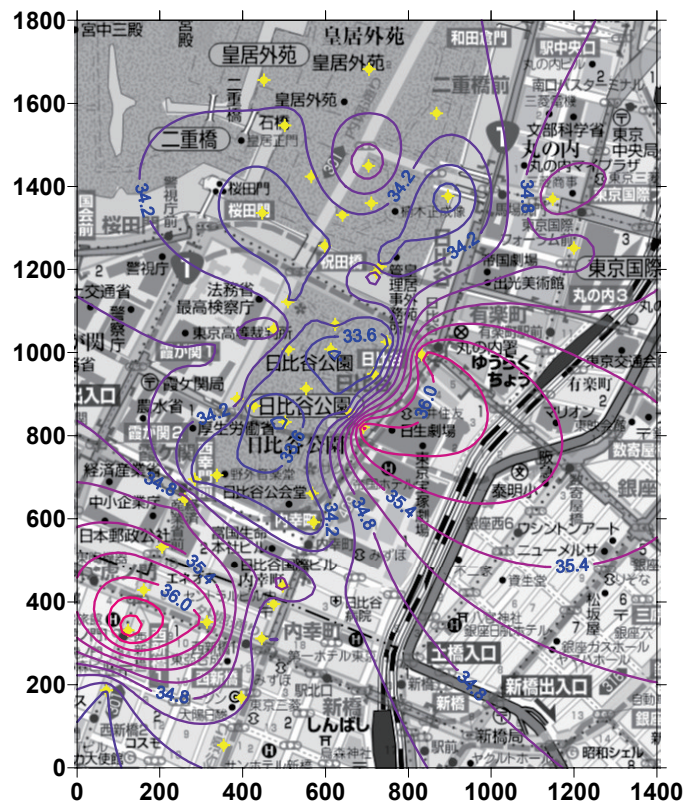


図10-2 日比谷公園、皇居外苑及び周辺市街地の気温分布（8月5日13:00～14:00）

響が打ち消されていると推定される地域も多いことが分かった。

### (3) 冷気のにじみ出し現象の調査

「クールアイランド」を形成している大規模緑地内においては、周辺地域の気温よりも低温の空気（冷気）が生成し、その冷気が周辺へ流出していると考えられる。この流出のメカニズムは日中と夜間で全く異なっており、日中は一般風による移流現象で風下へ冷気が流出していき、夜間は晴天・静穏な気象条件下で放射冷却によって生成された冷気が緑地から全方位へ流出することが報告されている<sup>6)7)8)</sup>。日中は一般風の影響が強いため流出する冷気のみをとらえることは困難で

あるが、晴天・静穏な夜間に蓄積した冷気はそれ自身の重みによって緑地から外部へゆっくりと流出するため、低温の微風としてとらえることができる。

8月2日～8月3日の夜間における、日比谷公園内3地点の風向、風速及び気温の変化を図11に示す（1地点は欠測）。3地点すべてにおいて3日の4:00～5:00にかけて約1℃の気温低下が認められる。このとき、風速はいずれも0.3 m/s程度と弱く、風向はすべて公園から周辺市街地へ流出する方向となっていた。この日の天気は快晴であり、一般風が弱く大気が安定であったため、放射冷却などにより夜間に冷気が生成・蓄積し、早朝に流出したと考えられる。

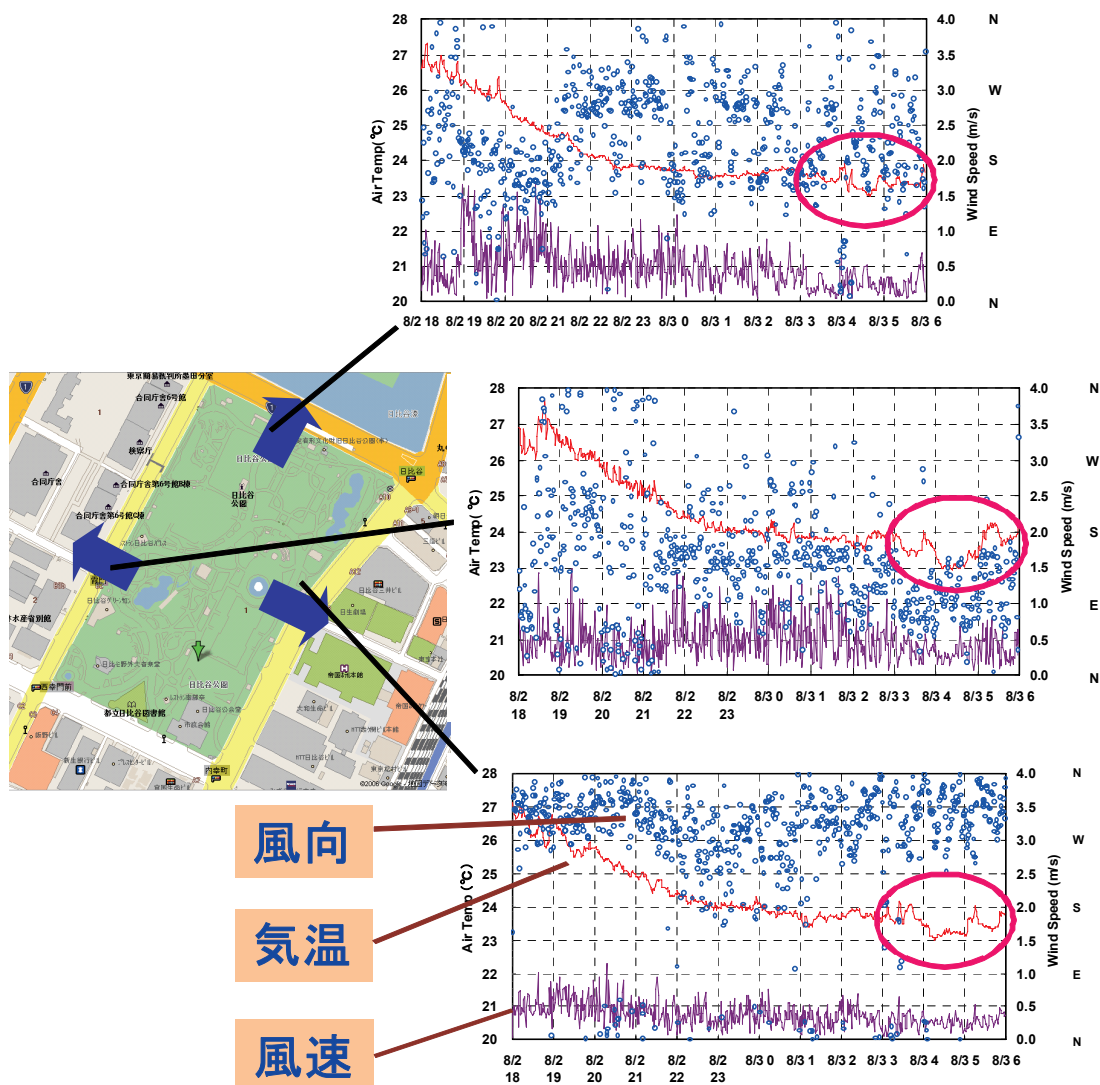


図11 公園出口付近3地点における気温・風向・風速の変化  
(8月2日～8月3日)



このような冷気の流出現象は新宿御苑でも観測されており、「にじみ出し現象」と呼ばれている<sup>8)</sup>。この現象は、緑地がある程度の規模でなければ観測されないと考えられている。日比谷公園の面積は約16haであり、新宿御苑の面積(58.3ha)の1/4程度であったが、今回「にじみ出し現象」が確認され、この規模の緑地においても発生することが分かった。

今回の観測期間で明確な「にじみ出し現象」が確認されたのは、47日間のうち晴天・静穏な天候の8日間だけであり、このような天候において発生し易いことが確認された（晴天・静穏な天候でも確認されなかった日もある）。

また、新宿御苑では「にじみ出し現象」の開始は早くても22:00頃からであったが、今回の日比谷公園の観測では日没直後の19:00頃から「にじみ出し現象」が始まった日があった。

#### 4 まとめ

今回の調査で次の事項が明らかとなった。

- 1)実際に施工された保水性舗装に関して、日中の表面温度及び気温がアスファルト舗装に比べて低く、潜熱が発生していることから、ヒートアイランド緩和機能を有することが確認された。また、緩和効果は2日間以上持続することが分かった。
- 2)日中及び夜間とも日比谷公園はクールアイランドを形成しており、ヒートアイランド緩和機能を有すると考えられる。しかし、周辺熱源の影響が強いために緩和効果が打ち消されてしまっていると考えられる部分領域が存在した。
- 3)日比谷公園において、晴天・静穏な天候の下で、夜間に蓄積した冷気が流出する「にじみ出し現象」が観測された。

今回の調査は、都の平成18年度重点事業「都立日比谷公園クールスポット強化事業」、ならびに環境省委託事業「平成18年度都市内の緑による熱環境改善効果調査検討委託業務」の一環として実施した。

#### 謝辞

本調査を行うにあたり、建設局東部公園緑地事務所に多大なるご協力を頂きました。深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1)環境省：平成16年度ヒートアイランド現象による環境影響に関する調査検討業務報告書、pp. 118(2005)
- 2)横山仁ら：夏期における東京都区部のヒートアイランドの実態について-2002年～2004年におけるMETROS観測結果-、東京都環境科学研究所年報、pp. 3-9(2005)
- 3)横山仁ら：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、pp. 3-10(2004)
- 4)三坂育正ら：感温性を有する保水性舗装によるヒートアイランド緩和効果に関する研究、東京都環境科学研究所年報、pp. 19-24(2005)
- 5)田村英寿ら：三次元数値シミュレーションによる東京23区のヒートアイランド対策効果予測、電力中央研究所報告
- 6)本條毅ら：都市緑地が周囲に及ぼす影響の微気象観測、農業気象、54、pp. 323-328(1998)
- 7)神田学ら：明治神宮の森の気候緩和機能・大気浄化機能の評価（1）1996年夏季集中観測、天気、44、pp. 713-722(1997)
- 8)成田健一ら：新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象、地理学評論、77-6、pp. 403-420(2004)