



特集



クールアイランドの形成

Green Cool Island in Urban Area

菅原 広史*¹ 成田 健一*²

Hirofumi SUGAWARA, Ken-ichi NARITA

key words: クールアイランド, にじみだし, 冷気流

1. はじめに

夏に街中の公園に行くと、街中にいる時よりも涼しく感じることもある。体感温度は放射や風などによっても変化するが、緑地で涼しく感じる原因のひとつには気温が低いことがある。本稿では都市内緑地の気温が周辺市街地よりも低くなる現象(クールアイランド現象)について概説する。なお、クールアイランド現象といった場合はこのように都市内緑地での現象を言うことが多いが、いわゆるヒートアイランド現象と逆に都市が郊外よりも低温となる現象(例えば Yamashita, 1990¹⁾; Watanabe, 1990²⁾; Parlow, 2003³⁾)を指すこともある。

都市内緑地から人間生活への影響としては大気汚染物質の吸収(神田ら, 1997⁴⁾)や心理的効果(石原・斉藤, 1991⁵⁾)などがあり、クールアイランド現象もそのうちのひとつとして考えることができる。最近施行された東京都の屋上緑化政策にみられるように、特に市街地への冷気の提供は夏の都市温暖化、特に熱帯夜の解消にその効果が期待されている。ここでは、このような人間生活への影響に視点を置きながら、クールアイランド現象の実態と生成要因について述べることにする。

2. 都市内緑地の気温分布

まず、気温分布に注目してみよう。浜田・三上(1994)⁶⁾、神田ら(1997)⁴⁾、丸田(1972)⁷⁾の実測結果をまとめると緑地内外での気温差は 2~4℃程度である。丸田(1972)によれば緑地

が広いほど気温差も大きい。

図1は筆者らが新宿御苑(東京都新宿区)において測定した気温分布の一例である。新宿御苑は JR 新宿駅東の繁華街近くに位置し、芝生地、樹林地などからなる周囲約 3.5km の緑地である。図は緑地内外の気温差が最大となった 03:00 の気温分布であるが、新宿御苑の南側境界から約 80m の所に約 1.6℃の温度傾度が存在することがわかる。この気温差は日中も存在するが、夜間の方が明確に見られることが多い。日中には日射により大気が不安定になるため局所的な気温差が生じにくいのである。この緑地と市街地との気温差は日没後時間とともにその大きさが増すが、最大傾度が発現する位置はあまり時間変化しない。図2には図1の点線に沿った気温分布を風向ごとに平均したものを示した。ただし縦軸は御苑内平均気温をゼロ、市街地平均気温を1として規格化してある。南風時に風下側の市街地において冷気により遠くまで到達していることがわかる。このように緑地の冷気は市街地側へ流出することにより、人工排熱などにより高温化した市街地での温熱環境を緩和する機能がある。新宿御苑の例ではその影響範囲は200m 程度であることがこの図からわかる。なお図2では風上側の市街地でも気温が低下している部分があるが、これは水平方向の乱流拡散によるものであろう。

*1 防衛大学校地球海洋学科 助手

Research Associate, Dept. Earth and Ocean Sciences, National Defense Academy

*2 日本工業大学工学部建築学科 教授

Professor, Dept. Architectuer, Nippon Institute of Technology

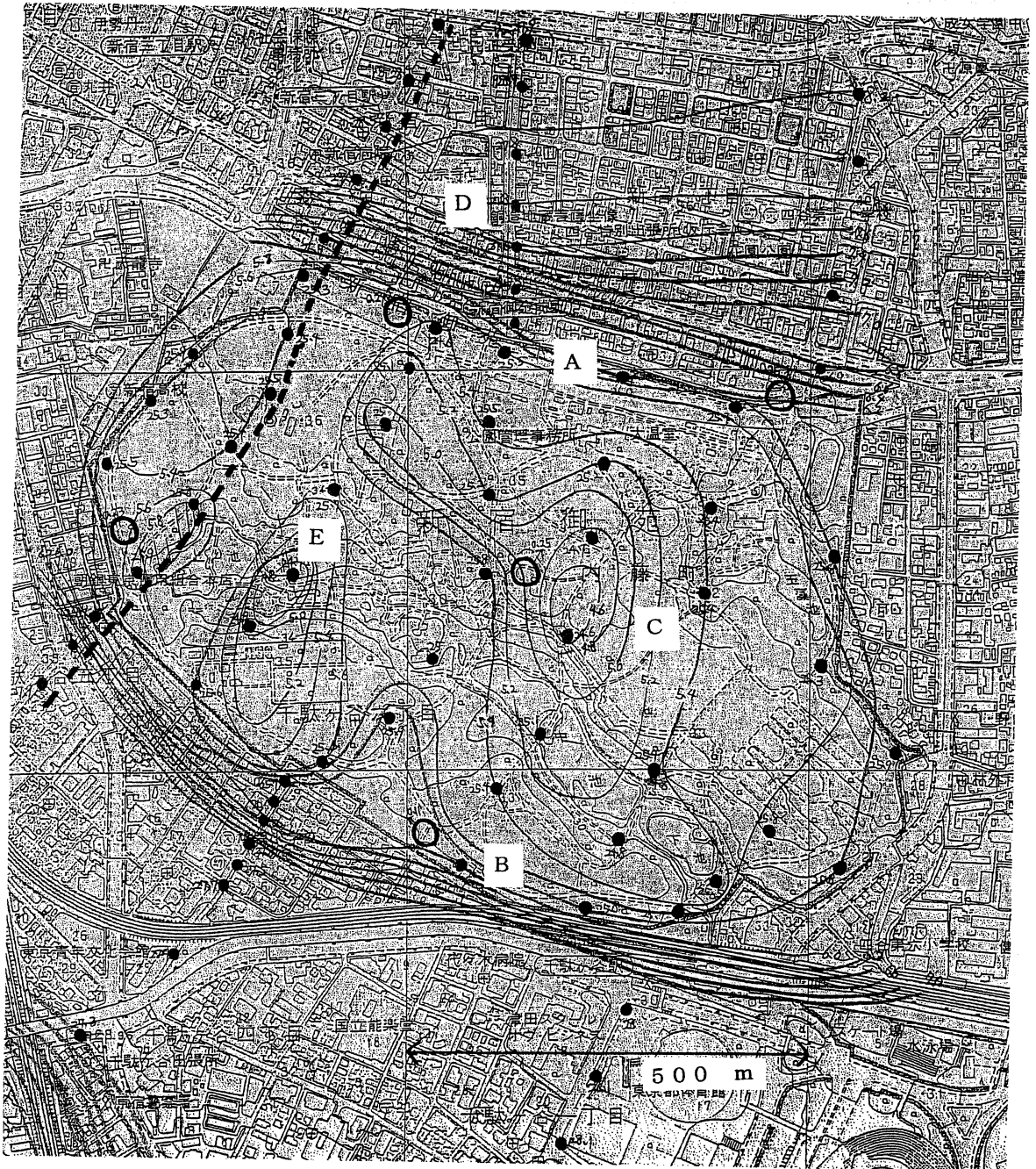


図1 新宿御苑における気温分布. 2000年8月5日03:00(前後5分ずつの平均値)の地上2mにおける測定値をもとに作成. 測定はサーミスタセンサと自然通風式の放射よけを用いて行った. 黒丸が観測地点. 点線と図2の気温断面図の基線で, アルファベットは後述する観測地点.

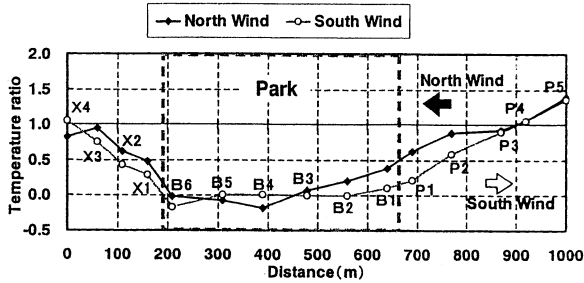


図2 新宿御苑における気温の南北断面図。日中も含めた平均値。図1の点線に沿った気温分布で、風向ごとに平均した。気温は規格化してある(本文参照)。

図1, 2は夏季の測定結果であるが、冬はどのような気温分布になっているのでしょうか? 図3は新宿御苑内と周辺市街地との気温差について、夏から冬にかけての季節変化をみたものである。10分ごとの値と一夜の平均値を晴天夜間について示した。気温差は冬に近づくにつれて一夜の中での変化が大きくなっていることがわかる。一方、一夜平均値はほとんど変化していない。10分ごとにみた場合の気温差の最大値が夏よりも冬に大きくなるのは、冬季の方が放射冷却が強く働き、市街地よりも熱容量の小さい緑地の方が良く冷えるためである。それでも一夜平均値が季節変化しないのは、冬季に植物が不活性になり蒸発散が減少する影響が、夕方の気温差を小さくしているからであると考えられる。緑地のクールアイランド現象は夏季には市街地を冷やす効果があるが、一方で冬季にもこのように低温源となることがわかる。ヒートアイランド現象の緩和を目的に緑地を増やすなどの政策を行う場合には、このような冬季の気温分布にも注意する必要がある。

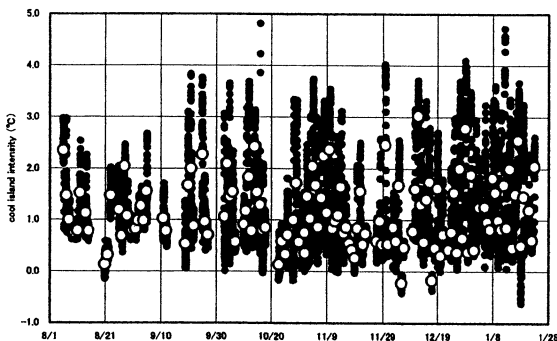


図3 新宿御苑内と周辺市街地との気温差(市街地-御苑)。10分平均値(黒丸)と一夜平均値(白丸)を晴天夜間について示した。新宿御苑内は5地点の平均値、市街地は周辺の小学校の百葉箱を利用した測定値。

3. 冷気のにじみだし

前節において緑地からの冷気の影響範囲が風向によって変化することを示した。一般風がある場合はこのように冷気が市街地側へ流出するが、一般風が静穏無風であっても水平密度差により重力流的に冷気が市街地側へ流出する現象が見られる。この現象はにじみ出しと呼ばれ、特に丸田(1972)⁷⁾による調査が詳しい。図4は筆者らが新宿御苑において観測したにじみ出しの例である。矢印は境界部分での風向であり超音波風速計を用いて測定した。この発散的な流れは一般風が弱くなるのとほぼ同時に見られるようになり、気温も同時に急激な低下を示している。新宿御苑周囲の境界部分の地形はほぼ平坦であることから、この発散風は緑地内に蓄積された冷気が水平密度差によって流出したものと考えられる。図5にはこの時の気温分布を示すが、冷気の到達範囲は80~90mと移流によって流出する場合(図2)よりは小さい。

この冷気の流出はどのような鉛直スケールの現象であろうか? 新宿御苑においてにじみ出す冷気の風速を2高度で測定した例を図6に示す。地点A, Bは図1に示すように新宿御苑の北端と南端であり、南端の地点では地上1.3mと6.0mの2高度に超音波風速計を設置した。なお6.0mは樹木の葉層の下端に相当する。午前2時以降に北側観測点で南風、南側地点で北風と発散的な流れとなっており、この時南側地点では2高度とも北風になっている。したがって、にじみ出す冷気の厚さは少なくとも6.0mであることがわかる。図7は同じ日に新宿御苑の中央部(図1中C地点)において係留気球により計測した温位の鉛直プロファイルである。図にはビル(図1中D地点)の非常階段を利用して計測したプロファイルも示した。にじみ出しが発現した時間帯には新宿御苑内に厚さ40mの接地逆転層が発達しており、この新宿御苑全体を覆うスケールの冷気の一部が図6に見られるように6.0m以上の厚さの冷気として捕らえられたものと考えられることができる。

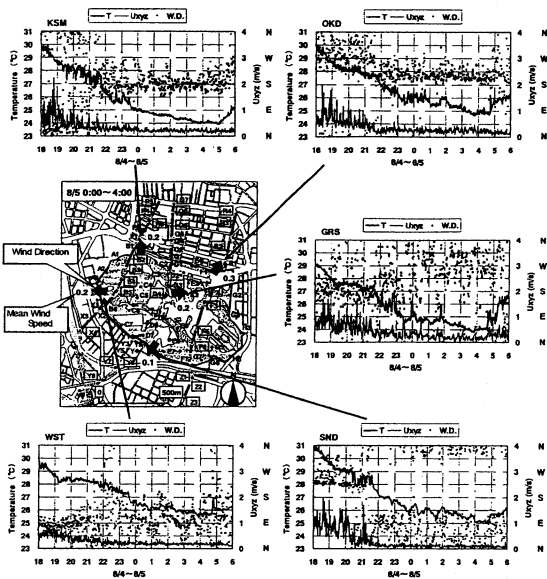


図4 新宿御苑で観測されたにじみ出しの例。2000年8月4～5日の夜間。気温および風向風速は地上1～1.5mに設置した超音波風速計による測定値。

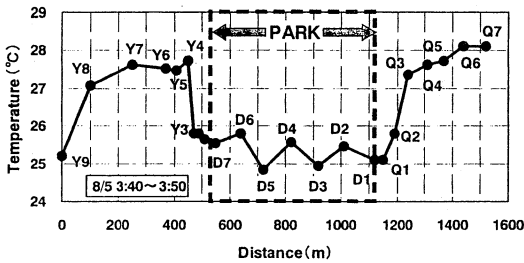


図5 にじみ出し発現時(2000年8月5日3:40～3:50)の気温分布。

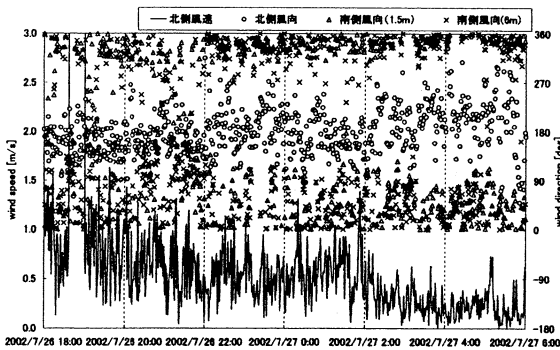


図6 にじみ出しの例。2002年7月26～27日の夜間。観測地点は図1に示した。南側地点では2高度での測定が行われている。

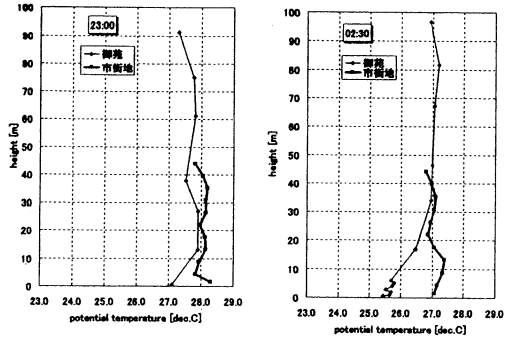


図7 新宿御苑における温位プロファイル。2002年7月26～27日。観測地点は図1に示した。

4. クールアイランドの形成要因

クールアイランド現象はどのような原因で生じるのであろうか？ 地表面熱収支の側面からその成因を見てみよう。図8は新宿のビル屋上から測定した新宿御苑付近の赤外面像である。クールアイランドが発達する深夜には新宿御苑の樹木は周辺の市街地よりも1℃程度低温である。昼間にはこの温度差はもっと大きい。

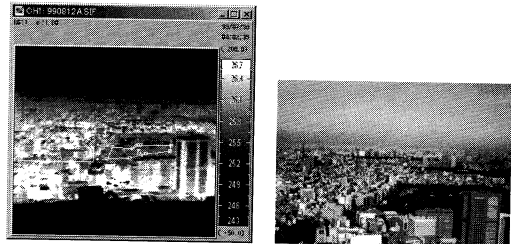


図8 新宿御苑付近の赤外面像(左)と同じエリアの可視画像(右)。1999年7月30日04:00に新宿の高層ビル屋上より撮影したもの。大気補正を行っていないため遠方の事物ほど低温に示されていることに注意。

図9は図8の新宿御苑(樹林地)とビル街(カメラから等距離のエリア)について時系列を示したものである。8月14日に降水があり、その後表面温度が日に日に上昇してゆく様子がわかる。ビル街では地表面に雨水が溜まることなく流出するため表面温度の上昇は急である。一方、新宿御苑では植物が蒸散を行うことにより表面温度の上昇は抑えられている。このように植物の蒸散作用により表面温度および顕熱フラックスが小さく抑えられていることが緑地が低温であることのひとつの理由である。前節まででは主に夜間のクールアイランド現象について述べてきたが、日中の蒸散作用は日中のみ

ならず夜間のクールアイランド形成に寄与している。すなわち、日中に潜熱フラックスの形で地表面からの放熱が行われると地中への貯熱は小さくなり、夜間は貯熱が小さい分より低温になるわけである。

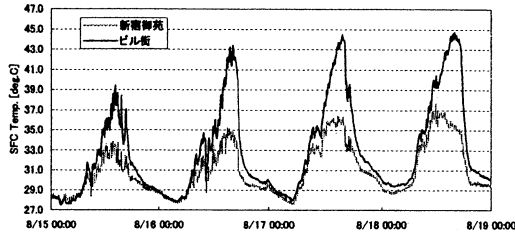


図9 表面温度の時間変化。新宿御苑の樹林およびビル街(図8参照)について示した。

一方で夜間の冷気生成は放射冷却によるものであり、蒸発散による潜熱フラックスは一般には夜間は非常に小さいか、時には凝結し地表面を加熱する側へ働くこともある。放射冷却は長波放射フラックスの収支がマイナスになることにより冷える現象であり、例えば空が見える開けた芝地などで顕著にみられる。図10は新宿御苑内の樹林帯(図1の地点E)において測定した気温の鉛直プロファイルである。図中には樹林のおおよその高さも示してある。夕方まで冷えるのは樹冠部(葉層の最上部)付近であり、それより下部では気温は遅れて低下していることがわかる。なお地表面付近に蓄積している冷気はこの場で生成されたものではなく、周辺の開けた芝生地から移流してきたものであることが、気温の時間変化より明らかになっている。このように夜間に冷気が生成されるのは空に対して開けた、長波放射収支がマイナスとなる面である。逆にこのことはビルの谷間など壁からの大きな長波放射を受けるような場所に公園をつくり植物を植えても、夜間の冷気生成効果はあまり期待できないことを意味する。

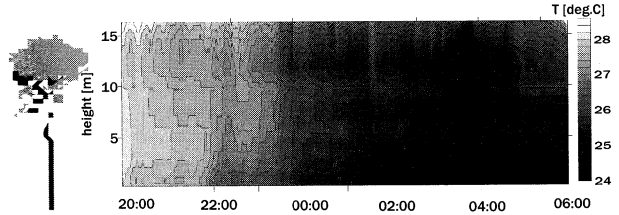


図10 新宿御苑内の樹林地における気温鉛直プロファイルの時間変化。左側の模式図は樹木のおおよその高さを示す。2000年8月4～5日。

謝辞

本稿で紹介した新宿御苑の観測結果は三上岳彦教授(東京都立大学)および本條毅教授(千葉大学)との共同観測によるものである。観測に際しては環境省新宿御苑管理事務所に支援いただいた。また観測を手伝ってくれた学生諸氏にも感謝する。

参考文献

- 1) Yamashita, S., The urban climate of Tokyo, Geographical review of Japan, 63, 1990, 98-107.
- 2) Watanabe, A., Observed conditions of heat and cool islands, Sci. Rep. Fukushima Univ., 46, 1990, 25-31.
- 3) Parlow, E., The urban heat budget derived from satellite data, Geographica Helvetica, 58, 2003, 99-111.
- 4) 神田学, 森脇亮, 高柳百合子, 横山仁, 浜田崇, 明治神宮の森の気候緩和機能・大気浄化機能の評価(1) 1996年夏期集中観測, 天気, 44, 1997, 31-40.
- 5) 石原修, 斉藤郁雄, 都市内緑地の都市気候緩和効果に関する実測調査, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 8, 1991, 57-60.
- 6) 浜田崇, 三上岳彦, 都市内緑地のクールアイランド現象—明治神宮・代々木公園を事例として—, 地理学評論, 67A-8, 1994, 518-529.
- 7) 丸田頼一, 公園緑地の都市自然環境におよぼす影響, 都市計画, 69・70, 1972, 49-77.