

ヒートアイランド対策としての緑地の機能 (緑地での冷氣生成・分布と都市気候への影響)

成田 健一

NARITA Ken-ichi 日本工業大学 教授

東京都をはじめとして、各地の自治体がヒートアイランド対策に取り組んでいるが、その施策の中で最も広く受け入れられているのが「緑を増やす」という対策メニューではなからうか。むしろ「みどり」という言葉のイメージが寄与している部分も大きいと思われるが、多くの人々が緑による涼しさを実感しているし、それだけ効果が期待されているからであろう。

しかしながら、現在ヒートアイランド対策として語られている緑地の機能の解説には、やや混乱があるように思われる。ここでは、筆者らがここ数年行ってきた新宿御苑での実測結果を例に挙げながら、この辺りの議論の整理を試みてみたい。

緑地のクールアイランド効果

緑地の効果としてまずイメージされるのは、夏場における涼しさ、クールスポットを作り出す効果であろう。これまでも様々な実測結果が報告され「緑地では〇℃低い」というデータが溢れているが、その値にはかなりの幅がある。この種のデータは、まずどのような条件下で、何時、どのような測定方法によって得られたものかをよく確認する必要がある。使用した測器や平均の取り方、また基準とした周辺市街地？の気温の定義の仕方、気温差は大きく変化してしまう。

図1は2000年の8月はじめの1週間、新宿御苑内外の気温を多点で連続計測した結果をもとに、緑地内外の気温差の日変化を求めたものである。緑地内は樹冠下に設置した10地点、周辺市街地は街路樹等に設置した16地点の平均(図2の四角で囲った地点)で、測定高さは約2m、1分毎の測定値の10分平均値であらわしている。緑地内が周辺市街地より何℃低いかという温度差(クールアイランド強度)で特徴的なのは、日中(6時~18時)の変化は比較的そろっていて、最高気温時頃にピーク(約2℃)をもつ変化パターンを示している。ただし、降雨直後の8/6だけは気温低下量が非常に大きくなっている。一方、夜間の変化は日ごとに大きく異なっており、日中より気温差が大きくなる日と小さくなる日があり、ピークの時間もずれている。

この図からまず、クールアイランド強度は条件によって日ごとにかなり変化する(従って1~2日の測定では特徴をつかむことは難しい)こと、日中の気温低下には蒸発散に伴う潜熱フラックスが大きく寄与していることなどがわかる。参考として、芝生広場で計測された地表面熱収支の結果を示しておく(図2)。これは、地面が受け取った正味の放射エネルギーに対する潜熱フラックスと顕熱フラックス(大気加熱量)をプロットしたもので、日射の2/3程度が潜熱フラックスとして消費されていることがわかる。その結果として、

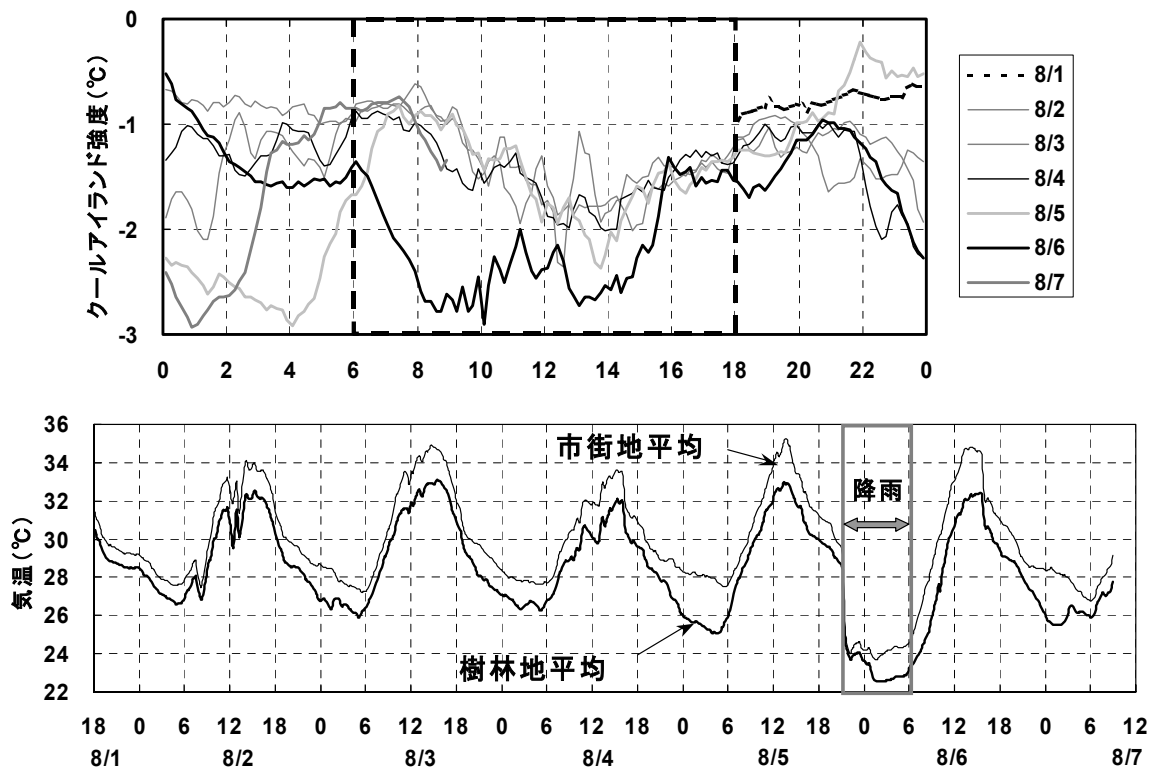


図1. 緑地内外の気温差（クールアイランド強度）の日変化－新宿御苑の例

大気加熱量は数十 W/m^2 と小さく抑えられている。

では、夜間の日ごとの温度差の違いは何に起因するのであろうか。

冷気の「にじみ出し現象」

図3は、大きな気温差があらわれた8/4～5

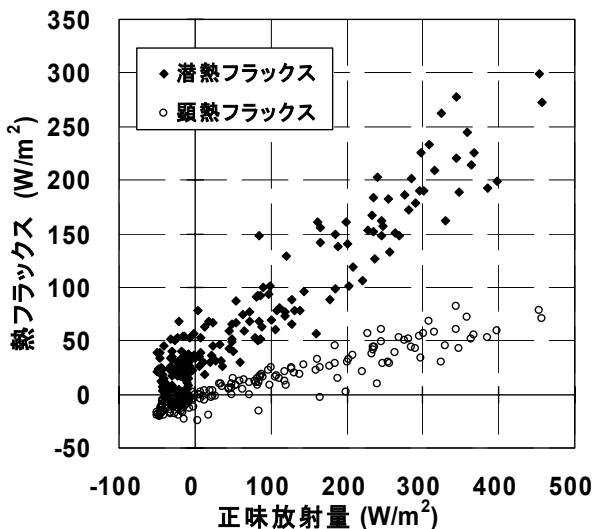


図2. 芝生面での熱収支-正味放射量に対する潜熱フラックスと顕熱フラックスの割合

の気温と風向風速の詳細な時間変化を示している。これは、緑地の境界に置かれた超音波風速温度計で測られたもので、22時頃を境に風向が明確に変化し、それと同時に風速が弱まり気温も大きく低下している。22時以降の風向に注目すると、北側境界は南風、南側境界は北風と、いずれも緑地から周辺市街地に流出する方向となっている。地図中の太い矢印は、緑地内がとくに冷え込んだ時間帯（0時～4時）の計5ヶ所の風向を表しており、全地点で周辺に流出する風向となっている。これは、いわゆる「冷気のにじみ出し現象」を明確に捉えた貴重なデータである。なお、「にじみ出し」の流速は、平均して $0.1\sim 0.3m/s$ 程度である。図4はこのときの緑地を横断する測線に沿った気温分布の例で、緑地境界から南側80m、北側約100mまで明確な低温域の広がりが見られる。交通量が多い幹線道路をまたぐ北側（測線Q）ではそれほど明確ではないが、住宅街に位置する南側（測線Y）では冷気の手先に鋭い崖状の気温ギャップが認められ、明確な冷気のフロントが形

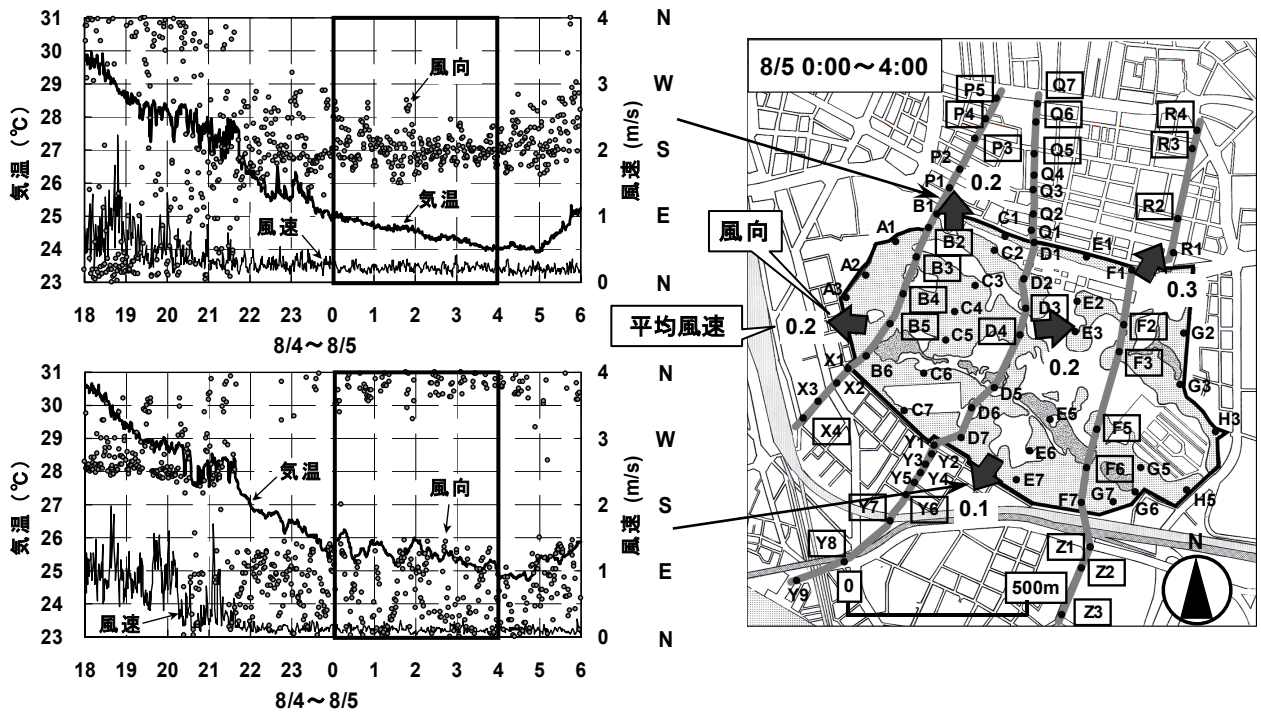


図3. 冷気の「にじみ出し現象」－新宿御苑の例

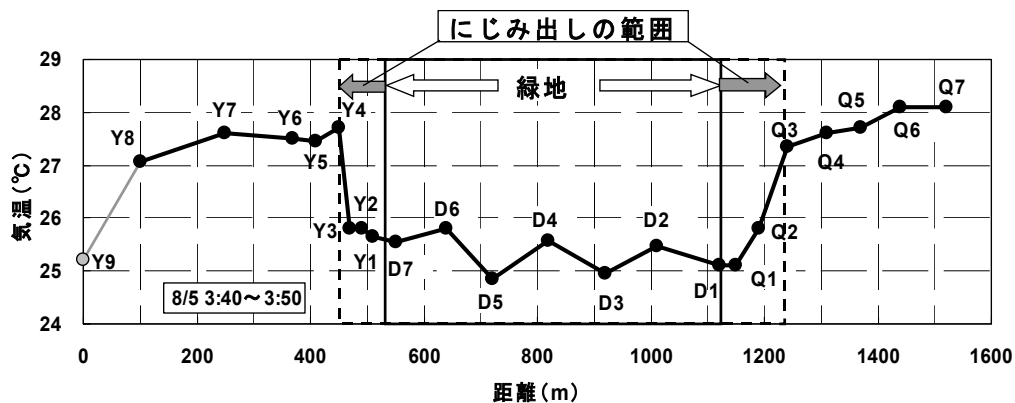


図4. 周辺市街地への冷気の「にじみ出し」の範囲－新宿御苑の例

成されている。なお、左端の Y9 地点は隣接する明治神宮の入口に位置しており、御苑とほぼ同温度の冷気が同じように生成されていることがわかる。

冷気の生成メカニズム

以上のようににじみ出し現象は、8/6～7にも見られ、このときやはり大きなクールアイランド強度が出現している。これらの夜に共通する特徴は、天空に雲がなく良く晴れていること、それから風がなく静穏であることである。一方、緑地内の夜間の気温分布を検討すると樹林地よりも芝生面でより低温となっ

ており、熱画像による表面温度の測定でも、樹冠表面よりも芝生面が冷えていることが確認された。さらに、樹冠下と芝生面の気温差の時間変動要因を検討すると、天空が雲で覆われる（下向長波放射量が増える）と気温差が小さくなり、また晴れていても風速が増加すると気温差が小さくなることがわかった（図5）。以上の現象から、緑地内の冷気は主に天空率が大きい芝生面で放射冷却によって生成され、大きな気温低下は、静穏条件で冷気が拡散せず、緑地の地面付近に冷気が溜まる場合に出現していると考えられる。

なお、その後の測定から、中央の芝生広場で形成された冷気が、緑地内の窪地を埋め、

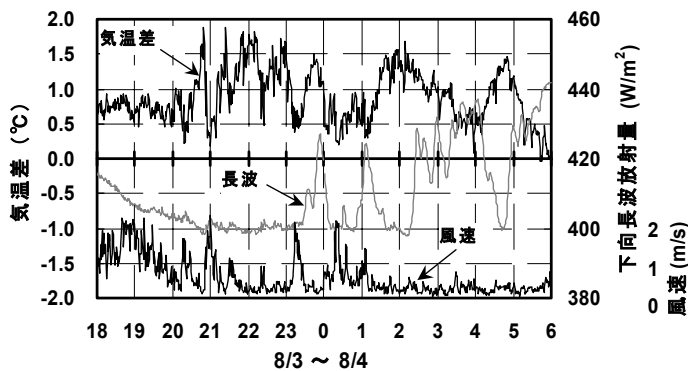


図5. 樹林地と芝生の気温差と気象条件

それが溢れるように市街地境界に達する状況が把握された(図7)。また、冷気のにじみ出しの厚さは、少なくとも8m以上に及ぶことも確認された。

緑地はなぜ涼しいのか？

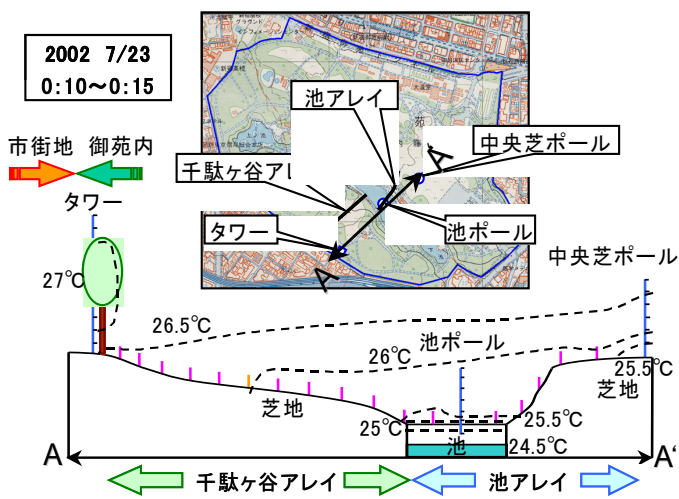


図7. 緑地内での冷気の貯留と動き

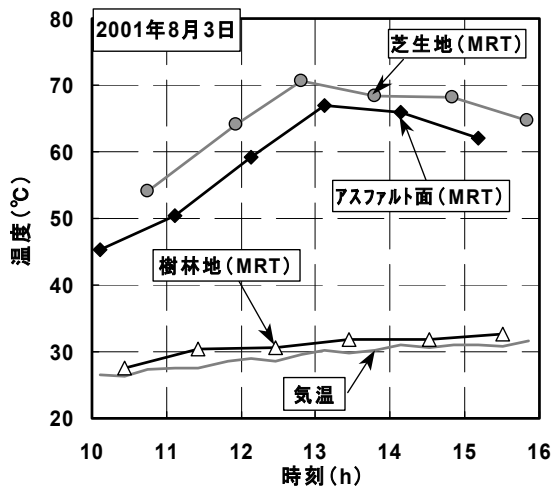
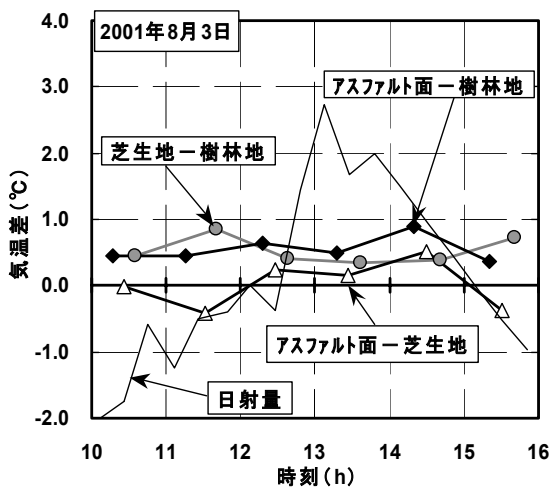


図8. 樹林地内外での気温差と周囲平均放射温度(MRT)の比較-新宿御苑の例

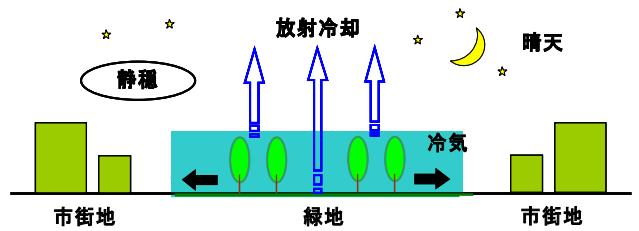


図6. 冷気の「にじみ出し現象」の模式図

以上のように、夜間の冷気の生成には芝生面の存在が大きいことがわかったが、日中については、やはり日陰を形成する樹林地の方が相対的に低温となる。これは、むしろ我々が日常体験する感覚から当然のこのように思われるが、実は日陰である樹冠下の気温とその外の日向面の気温は、意外なことにほとんど差がない。図8は、御苑内の樹冠下と周囲の芝生(日向)面、それから同じく日向のアスファルト舗装面上の気温を移動観測した結果である。測定は原理的に日射の影響を受けない超音波風速温度計を用いて行ったもので、樹冠下内外の気温差は日中の最大値でも1°Cに満たない。一方、右側の図は周囲の平均表面温度を表すMRTの測定結果で、日向と日陰では40°C近い温度差がある。このように、緑陰で体感する涼しさは、主に周囲から受ける「放射」による受熱量の差に起因しているものであり、気温差によるものではないことに注意すべきである。

日中は、一般に夜間に比べると風速が強いことから、空気の混合が盛んになり、局所的な気温差はあまり明確でなくなる。従って、暑熱環境をしのぐ空間としてのクールスポットを都市内に造るという観点からは、それ自身が高温とならない材料で日射を遮蔽し、風通しをよくするという工夫をすればよい。むしろ、このような空間をつくる材料として「みどり」が優れていることは言うまでもないが、このことといわゆる「ヒートアイランド対策」とは別ものと考えるべきであろう。

ヒートアイランド対策効果を何で計るか

以上の議論から見えてくることは、ヒートアイランド対策の効果を、何をもって評価するのかという問題である。ヒートアイランドという現象が、もともと気温の差から把握されていることを考えれば、「気温低下量」を尺度とするのが順当という考えが成り立つ。では、緑地のヒートアイランド対策効果は、緑地の気温が周囲の市街地よりも低ければ低いほど大きいといえるのだろうか。

先に述べた、夜間の「にじみ出し現象」をもう一度思い起こしてみよう。このとき、確かに緑地内は周辺の市街地に比べて大きく気

逆に周囲を冷やす効果は小さかったはずである。実際この時間帯に観測された顕熱フラックスはほぼゼロであり、周囲を冷やす効果はほとんどなかったと考えてよい。言い換えれば、周囲とは熱交換をせずに冷気を溜め込むことで自分だけが冷えているという状況が、結果として緑地での大きな気温低下を生み出しているのである。

緑地の効果の季節変化

最後に、緑地内外の気温差の要因をまとめる意味で、季節的な変化を見てみよう。新宿御苑においても、長期的な観測が現在行われているが、ここでは筆者が広島市内の緑地を対象に1年間を通して行った観測結果を例として取り上げる(図9)。これは、ケヤキを中心とした落葉樹林の緑地(広さ:約100×150m)の気温と周囲市街地3地点の平均気温の差をとったもので、晴天日のみを選び、日中と夜間について4月から翌年3月までの変化を表したものである。データは1分毎に収録したものを各々の時間帯について平均している。日中の気温低下は、明らかに夏季に大きく、落葉する期間にはほとんどなくなっている。一方、夜間については日中ほどの季節変

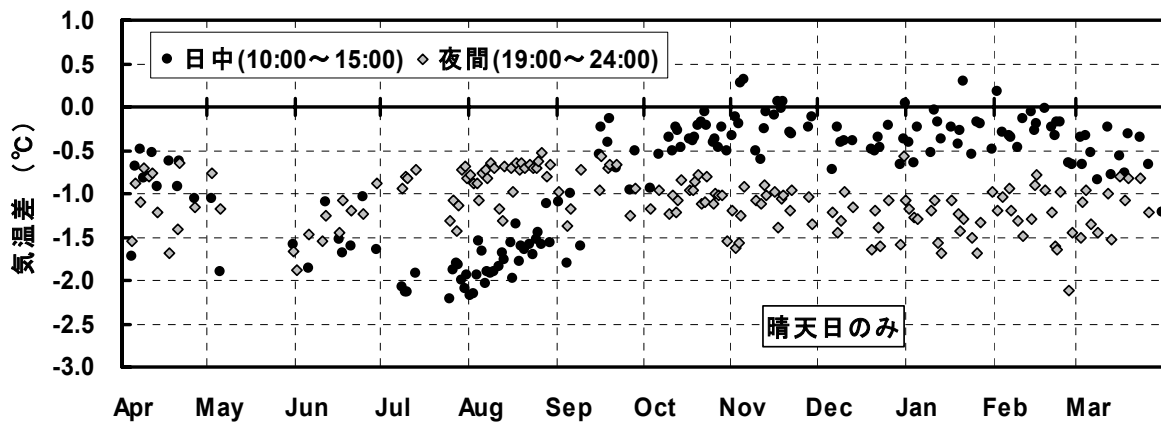


図9. 緑地内外の気温差の季節変化—広島中央公園での観測例

温が低下していた。しかし、それは静穏という条件下で冷気が拡散しなかったためであり、

化はなく、むしろ冬季にやや気温差が大きくなる傾向が認められる。これは空気が乾燥し、

放射冷却が強くなる冬季に気温低下が大きくなることを表していると思われ、夜間の気温低下は放射冷却が主因であるという新宿御苑での結果と符合している。

緑地における気温低下の要因としては、このような地表面の熱収支の違いにもとづくものに加え、緑地内では人工排熱が存在しないという効果も大きいと思われる。従って、気温差の測定結果には、基準とする市街地側の排熱による昇温特性も反映されることになる。

ヒートアイランド対策としての緑

これまで見てきたように、緑地の熱的効果は昼と夜でメカニズムが違う。日中は、蒸発散による潜熱交換と日射遮蔽、夜間は放射冷却と蓄熱の小ささが表面温度を下げる主要因である。一方、日中と夜間では大気の状態が大きく異なる。日中は風も強く上下混合も盛んで1km程度の厚さの混合層が発達する。それに対し夜間は風も弱く安定成層が形成されるため拡散・混合が弱くなる。一般に、都市域における人工排熱や地表面からの大気加熱量が郊外に比べて大きくなるのは日中である。にもかかわらず、ヒートアイランド強度が夜間に大きくなるのは、このような混合の強さに関する大気状態の差異に起因している。従って、一般に気温の水平分布と表面温度の空間分布は、夜間は比較的一致するが、日中はほとんど対応しなくなる。すなわち、発熱の多いエリアと気温が高くなるエリアが一致

しなくなる。どのようなズレ方をするかは地域の気候特性によるが、首都圏でいえば、海風の影響で日中の高温域は都心部よりも内陸側に出現する。

現実のヒートアイランド対策施策として「みどり」を考えた場合、以上のような理由から、夜間は緑を増やしたエリアの気温低下が期待できるが、日中は緑を増やすことでそのエリアにおける明確な気温低下を期待することは難しい。もっとも、緑を増やすことで、そのエリアからの大気加熱量は大幅に減少しているはずである。従ってマクロに見れば、日中の熱的効果は非常に大きいと言える。その意味では、「みどり」の効果を夜間は「気温」で、日中は「大気加熱量」でというように分けて考えるべきで、日中については、それに放射環境を改善するミクروسケールのクールスポット形成機能を加えてもよいと思う。いづれにしても、ヒートアイランド対策効果を一つの指標で評価することは適切ではないということである。東京都がヒートアイランド対策の具体的目標を「熱帯夜日数を少なくする」（夜間の気温を下げる）としているのは、対策を実施したエリアで効果が見えやすいという意味では正解かもしれない。

なお本稿で紹介した新宿御苑における結果は、都立大学三上岳彦・防衛大学菅原広史・千葉大学本條毅らとの共同研究の成果であることを付記しておく。