

## 緑でどこまで都市は冷やせるのか？

成田健一 [日本工業大学工学部教授]

### 1. はじめに

東京ではこの100年で年平均気温が3℃上昇した。東京白金の自然教育園では亜熱帯性のシュロが大繁殖！ この夏のサミットの折、これを「身近に迫る地球温暖化の危機」と称して多くのメディアが報道した。東京の温暖化のほとんどはヒートアイランドに起因するものなのに、明らかに世論をミスリードする内容である。この例に限らず、地球温暖化とヒートアイランドは、巷ではほとんど区別されていない。暑くなることに変わりはない？ とはいえ、原因とメカニズムが全く異なる両者を混同する報道は、まじめに対策を検討するうえでは大問題である。とりわけ「緑」に関しては、木陰での涼しさという共通体験と、光合成に伴うCO<sub>2</sub>吸収という教育の相乗効果で、最も期待される温暖化対策とされ、様々な緑化推進の施策が展開されている。果たして、その期待は正しいのだろうか？

昨今の状況は、ヒートアイランド対策を行うことは国のお墨付きをもらっているとの論調で、実際の施策の効果をしっかりと検討したうえで、費用対効果を勘案して導入の是非を問うという姿勢はほとんど無視されつつある。そんな中、一部からは、ヒートアイランド対策工事は「環境」という耳触りの良いフレーズに隠れた「新卒の公共工事」のばら撒きに過ぎないと批判も聞かれる。このような議論の判断材料を提供する意味で、ここでは特に「緑」による対策効果について整理してみたいと思う。

### 2. 「緑のカーテン」の涼しさ

考察の手始めとして、今注目を集めている「緑のカーテン」を取り上げてみよう。「緑のカーテン」とは、植物のツルや葉を窓の外に設置したネットに這わせたもので、夏の強い日差しを和らげ、蒸散効果により涼

風が得られ、クーラーなしでも部屋の温度を下げられる「自然のカーテン」との触れ込みで、市民活動を中心に広がりつつある。もともとは戸建住宅など小規模なものが中心であったが、プランターに灌水装置を組み込み、通気を確保しながら水位を一定に保つ工夫を加えることで高さ20m程度まで伸ばすことが可能となることから、東京では100を超える小学校で採用されている[図1]。「緑のカーテン」を推進しているHPの多くで「(緑は)蒸散作用により周囲の空気から熱を奪い、冷たい風を作り出す」と解説されている。本当に緑は空気を冷やす効果があるのだろうか？

「緑のカーテン」における蒸発散に伴う潜熱フラックスは100W/m<sup>2</sup>(平米当り毎秒100J[ジュール])程度である。今、0.5m/sのそよ風が緑のカーテンを通過しているとしよう。この空気が緑のカーテンにより1℃冷却されるためには、平米当り毎秒600Jの熱を奪う必要がある。仮に、蒸散に必要なエネルギーがす



図1 | 緑のカーテンの実施例(東京都杉並区)

べて空気から奪われたとしても、気温低下は $100/600 \approx 0.17^\circ\text{C}$ にすぎない。別の見方をし、葉の冷たさで空気が冷やされるとしよう。葉の重なりを考慮して葉面積は見付面積の5倍とし、熱伝達率を $12\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ とすると、 $600 \div 5 \div 12 = 10$ 、すなわち葉の表面温度は気温よりも $10^\circ\text{C}$ 低くなければ $1^\circ\text{C}$ の気温低下は起こらない。植物の葉が蒸散作用によって低温に保たれているというのは、本来自らの体が日射で高温化しないための生理活動である。蒸散のエネルギーはもっぱら日射であり、通常は周囲の空気から熱を奪うという効果はほとんどない。日向の葉っぱは気温よりもむしろ高温であるのが普通である。この「緑のカーテン」も含めて、木陰で感じる涼しさの正体は「受熱放射量が小さくなる」ことであり、気温は木陰でも日向でもほとんど差はない。

誤解が生まれる一因は、気温測定の高さにある。緑の効果は多くの場合日向と木陰の気温を比較することになるが、日向の気温を放射の影響を完全に防いで正確に測るのは容易ではない。放射による誤差はセンサ径や風速に依存するが、静穏時には $1\text{mm}$ のセンサで、遮蔽なしで $6^\circ\text{C}$ 、直達光を遮蔽しても $1^\circ\text{C}$ 以上高めに計測されてしまう。

### 3. 屋上緑化はヒートアイランド対策として寄与するか？

ヒートアイランド対策として、現在最も広く推進されている施策の一つが屋上緑化である。屋上の緑化は、最上階への熱の侵入を防ぐことで冷房負荷を低減し、屋上表面の温度を下げることでヒートアイランドを緩和すると説明されている。しかしながら、建物の空調負荷低減効果は建物自体の断熱性能で大きく変わってくる。屋上スラブに $50\text{mm}$ 程度の断熱材が挿入されている建物では、すでに断熱材の効果で室内への流入熱はほとんど防がれているため、屋上緑化を施しても付加的な削減効果はほとんどない。最近の一般的な建物では、この程度の断熱は通常施されている。大きな効果が現れるのは、倉庫や工場などの無断熱の建物の場合に限られる。

一方、屋上緑化が、ヒートアイランド対策としてどの程度気温低下に貢献するかに関しては、すでに多くの数値シミュレーション結果が報告されており、すべての建物に導入したとしてもエリアの気温低下量は $0.2^\circ\text{C} \sim$

$0.3^\circ\text{C}$ と報告されている。しかも屋上面の緑化では気温が下がるのは屋上面の近傍高さのみで、地上付近の気温低下にはほとんどつながらない。

このような屋上緑化に対する否定的な見解に対しては、そうだとでも緑化には二酸化炭素の吸収というメリットがあるはず、との意見が出される。樹高 $6 \sim 7\text{m}$ の通常の街路樹1本の $\text{CO}_2$ 吸収量は、年間 $400 \sim 500\text{kg-CO}_2$ 程度であるが、屋上緑化の場合は草地に低木が混じる程度という形態が大半である。草地の吸収量は年間平方メートル当たり $1.6\text{kg-CO}_2$ 、低木では1本当たり $25\text{kg-CO}_2$ 程度に過ぎない。そもそも二酸化炭素の吸収というのは、植物体の形成すなわちバイオマスが増加しないと生じない。にもかかわらず、屋上緑化では荷重制限ぎりぎりまで設計されているため「育てない」という管理が要求される。すなわち、本来的に $\text{CO}_2$ 吸収という目的とは相反する宿命にある。「屋上緑化は農業とは違う！」といわれる所以である。

室内空調負荷の削減効果がなければ、ビルオーナーへの直接的なメリットはなく、導入へのインセンティブは働かない。結局、屋上緑化はアメニティなどを狙った良質の緑化空間創りという観点から推進されるべきであ



図2 「グリーンロード・ネットワーク」と「風の道」の形成  
出典：『10年後の東京』／東京都／2006

り、ヒートアイランド対策を理由に普及を図るべきではない。

#### 4. 「風の道」の導入

東京都では、平成18年12月に発表した「10年後の東京」という報告の中で、皇居や明治神宮など大規模緑地をつなぐ「風の道」を描いている〔図2〕。一方、環境省では「都市緑地を活用した地域の熱環境改善構想」というプロジェクトで、新宿御苑を例に都市緑地の冷熱効果を最大限引き出すための街区案を示している。このような施策の契機となった一つが、新宿御苑での「冷気のにじみ出し」現象に関する研究である。晴天・静穏な夜間、都市内の緑地には放射冷却によって形成された冷気が蓄積し、深夜から早朝にかけてその冷気が四方の周辺市街地に流出する〔図3〕。新宿御苑の例では公園境界から80~90mまで冷気が達しており、この範囲の住宅は公園内とほとんど同じ2℃ほど市街地よりも涼しい空気に覆われる。冷気の厚さは9m程度に達し、2階建ての戸建住宅ならば全体が十分包まれる厚さを有している。このような夜間の冷気のにじみ出しは、ほとんど無風となる条件下で全方向に秒速10~20cmのゆっくりとした流れで重力流的に溢れ出る現象であ

る。一方、日中については、緑地の風下側の市街地に冷気が流出すると説明されるが、これは風による一方向への移流現象で全くメカニズムが異なる。日中の移流現象は活発な混合を伴う流れであるため、緑地から市街地に流出した冷気は急速に市街地の暖気と混ざることになる。そのため、図3のように緑地内の冷たさを保ったまま市街地へ広がるということはあるにない。結果として、夜間のように影響範囲を明確に把握することは市街地の形態的な複雑さも相まって非常に困難となるのが普通である。

東京都のプランにもあるように、東京駅東側の八重洲通りから東京駅を越えて行幸通りに沿って「海風」を導き皇居に誘導するという「風の道」計画が国土省を中心に進められている。ここでは、皇居に導入された海風が緑地によって冷却され冷たい空気となって北側や西側の市街地を冷やす、という効果が期待されている。しかしながら、緑にそのような過大な期待を描いて良いのだろうか？「緑のカーテン」とは異なり、樹林の場合には日陰となる林床が低温に保たれる効果が大きい。それでもなお、日中の緑の冷却効果はかなり限定的なものであり、空気を次々と冷却して放出してくれる熱交換器のように発想するのは間違いである。緑地は空調機の冷却コイルではないのである。

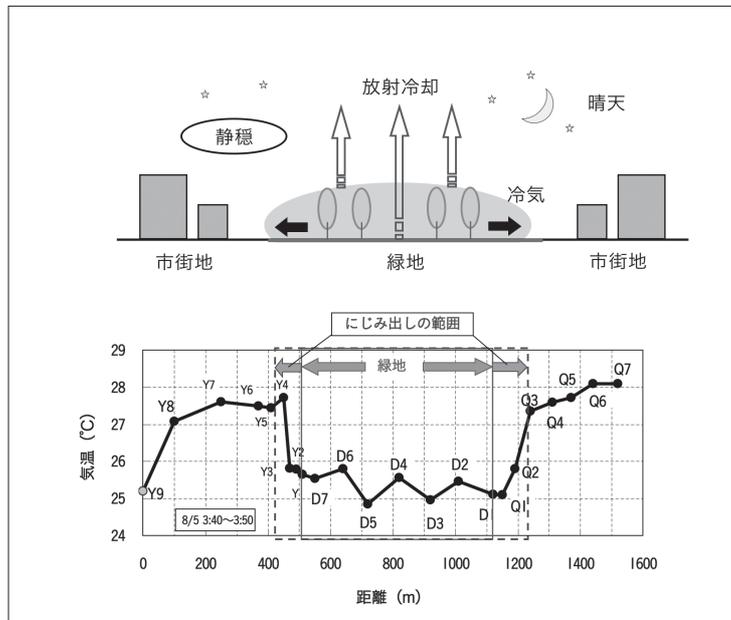


図3 | 都市内緑地における冷気のにじみ出し現象（新宿御苑の例）  
出典：成田健一ほか「新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象」／『地理学評論』77／pp.403-420／2004

#### 5. クールに考えようヒートアイランド

ヒートアイランドの対策効果をエリアの平均気温低下量で評価するならば、緑化に過大な期待をするのは間違いである。むしろ局所的なクールスポットを創造し、体感温度を下げる方策として緑を考えるのが妥当である。しかしながら、広域的な熱収支の観点から言えば、地表面の緑化以上に効率良く冷やす策はないのも事実である。我々には、将来世代に対して良質な自然インフラを都市に残す使命がある。限られた資産をどのように投資すべきか、真剣に考える必要がある。少なくとも正確で正しい認識を持ったうえで、合意形成をはかるというプロセスが必要と思われる。そのための議論が今、一方的な世論の盛り上がりで抹殺されている。理解が不足したままの環境論ほど、危うく怖いものはない。健全な世論が澎湃として巻き起こることを期待したい。