

## 都市のヒートアイランド現象とその対策効果について

日本工業大学 工学部 建築学科 教授 成田 健一

### はじめに

2004年のヒートアイランド対策大綱以来、国、地方自治体を問わず、ヒートアイランド対策事業が全国的に展開されている。その予算規模は、数兆円にのぼるといわれている。いくつかの自治体では、いわゆる地球温暖化対策とカップリングする形で施策が展開されており、京都議定書の目標期間に突入した2008年からは、各自治体が競って二酸化炭素排出抑制のための様々な事業を進めている。

このように、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上で、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」という耳障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の批判も聞かれる。このような議論の判断材料を提供する意味で、ここでは我が国におけるヒートアイランド現象の実態、並びに同現象の発現要因とその緩和に向けた対策について概観し、これからの方向性に関して整理してみたいと思う。

### 1. ヒートアイランド現象の実態

1900年以降の東京の年平均気温の変化を見ると、100年で3℃の割合(回帰直線の傾き=0.030)で上昇している(図1)。このような気温の変化には、ヒートアイランドの効果と地球温暖化の効果の両方が含まれている。図中に併示した「17地点平均」という数値は、国内の気象観測所のうち、気象庁が都市化の影響を比較的受けていないと判断した17地点(地点名は図の欄外を参照)の平均値である。従って、この変化が、地球温暖化の効果分とほぼ見なせる。この値が100年で1.1℃の上昇なので、東京のヒートアイランド現象による上昇分(図の右軸で表示)は100年で1.9℃と見積もれる。東京は地球温暖化の約3倍の割合で上昇している、とされる根拠である。

テレビなどでも、確かに最近の夏は暑くなっていることを実感しますよね...などとコメントされることが多いが、果たして本当だろうか?例えば、1950年以降の気温上昇を、日最低気温と日最高気温、さらに夏と冬についてその上昇傾向(回

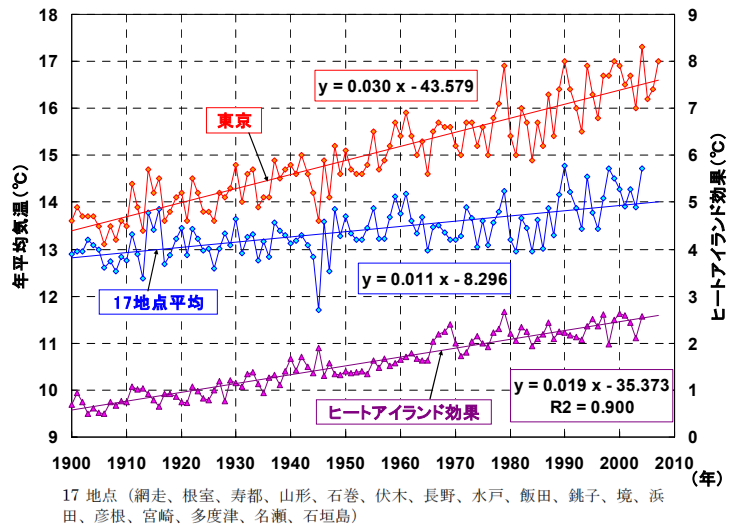


図1 東京の気温の時系列変化

帰直線の傾き)を確認してみよう。すると、最もニュースで騒がれる夏場(8月)の日中の最高気温は 0.0117 であり、先の年平均気温の上昇傾向より小さい。一方、冬場(2月)の早朝の最低気温は0.0611となっており、夏季日中の5倍以上の上昇割合となっている。すなわち、ニュースで騒がれる夏の昼間の暑さは余り変わっておらず、冬の寒さが和らいでいる効果の方がはるかに大きいというのが実態である。当然ながら、冬季の暖房用エネルギー消費は、ヒートアイランドの効果で大幅に削減されている。ヒートアイランドの報道は、もっぱら夏に行われ、冷房用のエネルギーの増大→空調排熱の増大という悪循環が問題視される。しかしながら、年間の住宅のエネルギー消費についてその内訳を見ると、暖房と給湯のエネルギーで半分以上を占めており、冷房のエネルギー消費は 2%ほどに過ぎない。暖房用と同じように、給湯用のエネルギーもヒートアイランド効果により削減されている。このように、エネルギー消費という観点のみからみると、ヒートアイランドは悪者にはなっておらず、むしろ省エネに大きく貢献しているということになる。

### 2. ヒートアイランドの発現要因

ヒートアイランド現象が発生する要因には、大きく分けて二つの側面がある(図2)。一つは人間活動に伴う人工排熱の発生(図中の①~④)、もう一つは地表面の人工化による熱収支構造の変化(図中の⑤~⑩、⑧は除く)である。後者については、被覆材料の改変によるもの(蒸発潜熱の減少・蓄熱の増大など)と地表面形状の複雑化によるもの(日射の多

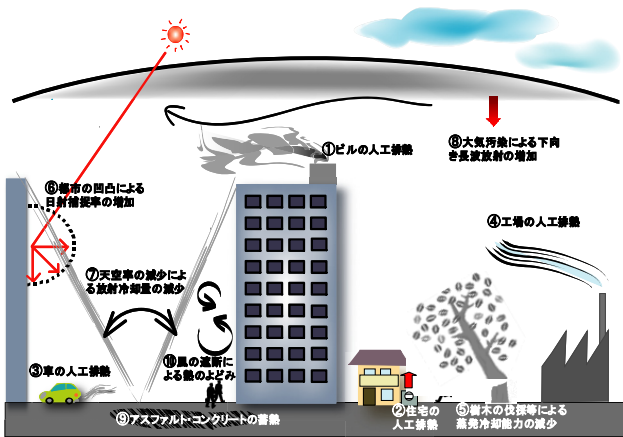


図2 都市高温化の要因 (建築研究所 足永原図)

重反射による反射率の低下、天空率の減少による放射冷却量の減少、風速の減衰などが主たる要因といえる。以上のように、都市の高温化のメカニズムは、二酸化炭素をはじめとする温室効果ガスによる地球温暖化とは、全く異なるものであり、両者を一元的に扱うのは議論を混乱させることにつながる。都市の高温化を防ぐことが地球温暖化にとっても重要、という論旨は明らかに間違いであり、ヒートアイランドという局所現象が地球温暖化というグローバルな現象に寄与している割合はほとんど無視できるオーダーである。

### 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ぎ、冷房負荷を低減する。また、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し、さらに雨水の流出を遅らせ洪水対策としても貢献する、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性能で大きく変わってくる。屋上スラブに5cm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無いに等しい。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、表面温度を下げる効果については、「高反射率塗料」を屋上面に塗れば、同等の効果は十分発揮される。日射の中心波長域である可視光の反射率は色に大きく左右されるため、アメリカなどでは建物の屋上面を白く塗装することが推奨されている。わが国では、建物の色を制限することには

抵抗が大きく、白色化の施策は展開されてこなかった。近年開発された「高反射率塗料」とは、色には関係しない近赤外線領域の反射率を選択的に高めた塗料で(図3)、これを塗布すると、白以外の色でも通常の同色の塗装に比べはるかに表面温度を下げるができる。

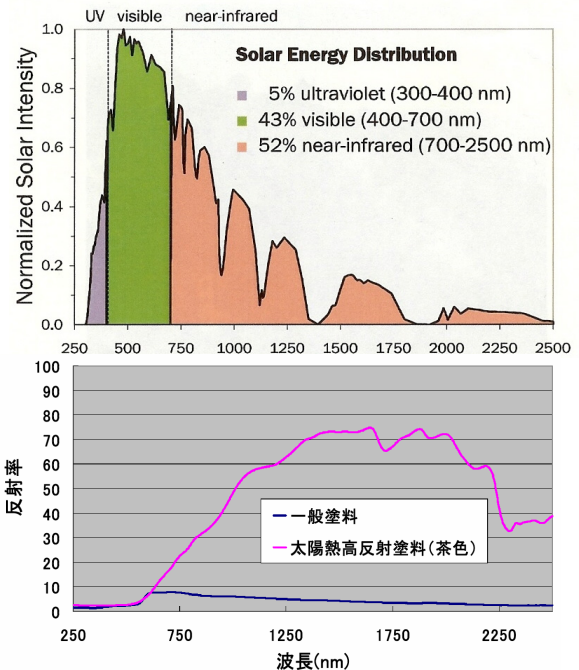


図3 太陽光のスペクトル(上)と高反射率塗料(茶色)の反射スペクトル(下)

屋上緑化は、施工後のメンテナンスに手間や費用がかかることから、最近では高反射率塗料にシフトする動きが活発化している。2001年に一定規模以上の建物に対し屋上緑化の義務化を行った東京都においても、現在は屋上緑化に高反射率塗料を加えた施策を「クールルーフ」推進事業と称して展開している。

一方、このようなクールルーフ化が、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、近年多くの数値シミュレーション結果が報告されている。それらによれば、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0.1度~0.2度という結果となっている。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、そうだとすると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が、本当にそうであろうか？政府が発表している「京都議定書目標達成計画(平成20年3月改

定)」においても、吸収源対策の一環として「都市緑化」の推進が謳われており、削減見込量として年間約 70 万 t-CO<sub>2</sub> という数値が計上されている。緑の CO<sub>2</sub> 吸収量に関しては議論があるが、樹高 6~7m の通常の街路樹 1 本の CO<sub>2</sub> 吸収量は、年間 400~500kg-CO<sub>2</sub> 程度である。しかしながら、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、草地の吸収量は年間平方メートル当り 1.6 kg-CO<sub>2</sub>、低木では 25 kg-CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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と思われる。

#### 4. 都市緑地のヒートアイランド緩和効果

強い日差しが照りつける夏の日中、木陰で感じる涼しさは多くの人にとって共通の体験である。緑地に対するヒートアイランド緩和効果は、期待が高まる一方である。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4)。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おり、平成 18 年度の環境白書にも掲載されている。

このような施策のきっかけとなっている一つが、われわれも参画して行ってきた新宿御苑での「冷気ににじみ出し」現象の存在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5)。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市街地よりも 2℃ほど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ににじみ出しは、ほとんど無風となる



図4 10年後の東京(2006年東京都より)

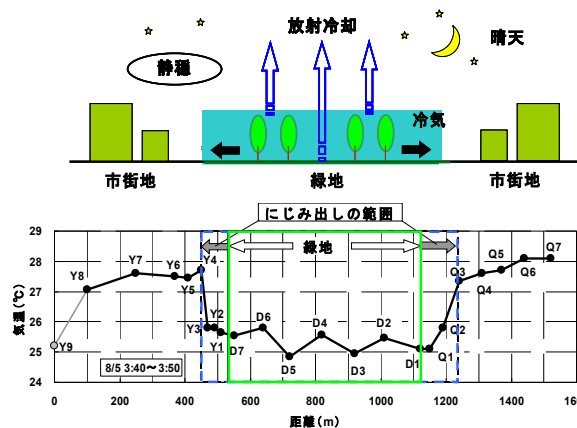


図5 都市内緑地における冷気ににじみ出し現象(新宿御苑の例)

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あふれ出る現象である。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5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」計画が国交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？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僅かに高温であるのが普通である。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。このように、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。

#### 5. ヒートアイランド対策効果の評価はできるのか？

建物緑化の対としてヒートアイランド対策の柱とされるのが、遮熱性舗装や保水性舗装など、道路を対象とした機能性舗装の導入である。遮熱性舗装とは、図4の高反射率塗料を舗装面に塗布したもので、一方、保水性舗装というのは舗装体の骨材の隙間に保水材を充填し、雨上がりの蒸発冷却効果の持続を狙ったものである。さて、例えばこれらの対策を導入したときの効果は、どのように評価すべきであろうか？実はこのヒートアイランド対策効果の評価というのは、そう簡単ではなく、議論を混乱させる源になっている。

何で評価をするかという評価指標を考えた場合、少なくとも3つの側面が考えられる。一つ目は文字通り「気温」を下げるという指標、二つ目は大気を加熱する「熱フラックス(大気加熱量)」を削減するという指標、そして三つ目は快適性を向上させるという人の「体感」による評価である。最後の「体感」による評価というのは比較的明確で、表面温度の低下による放射環境の改善、すなわちクールスポットを創出すれば達成可能で、空間スケールも限定されるため評価も容易である。それに対し、気温と大気加熱量による評価というのは難しい問題を多く抱えている。都市というのはスケールも大きく複雑な構造を持つ空間であるため、対策効果を実測のみで評価するというのには限界がある。対策には、相互に影響し合うものもあるため、導入結果の予測には、そのような複合影響も加味した数値シミュレーションが不可欠である。しかしながら、キャンピイ層と呼ばれる平均建物高さ以下の気層の振る舞いは、未だに十分なモデル化がなされておらず、研究途上に

ある。熱フラックスの評価では都市を構成する各表面における輸送係数の把握や樹木の密度で蒸散量が変化するオアシス効果の導入、気温の評価では複雑表面での拡散能の評価や大気安定度の影響などが課題として残されている。



図6 スケールモデルを用いたヒートアイランド屋外実験施設 (日本工業大学内)

本学では、図6に示す都市のスケールモデルを用いて、キャンピイ空間の気流性状や熱拡散について、基礎的な研究を継続している(戦略的創造研究推進事業、代表者:東京工業大学・神田 学 による)。

#### おわりにー「クールに考えよう、ヒートアイランド」

東京都のクールルーフ推進事業では屋上緑化に対して50%の補助を行っているが、仮に東京23区の建物面積の30%に屋上緑化を導入したとすると、整備単価を2万円/m<sup>2</sup>として総整備費は約2兆7千億円となる。一方、保水性舗装を考えた場合、東京都内の都市計画道路への導入をやはり整備単価2万円/m<sup>2</sup>で計算すると、総整備費は約1兆4千億円にのぼる。このような投資が、将来、無用な公共投資(工事)だったと批判されることが危惧される。評価技術が必ずしも十分でないため、費用対効果も明確に示せていないのが現状である。熱中症・睡眠障害などが取りざたされているが、そもそもヒートアイランドで重大な被害は発生しているのであるか？逆に「省エネ」などプラスの側面についても公平な評価がなされているのであるか？少なくとも正確で正しい認識を持った上で、合意形成をはかるというプロセスが必要であると思われる。われわれには、将来世代に対して、良質の自然インフラを都市に残す使命がある。そのための慎重な議論が今、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、危うく怖いものは無い。健全な世論が渡りとして起こることを期待したい。