

脱ヒートアイランド都市を目ざした街づくり (環境負荷の小さい快適な街)

梅干野 晃

Akira Hoyano

(放送大学)

1. 今日の都市環境問題とは

(1) 地球環境問題の縮図としての都市

今日の都市問題は、昭和 40 年代に典型七公害として取り上げられているものだけでなく多くの都市環境問題が存在する。むしろ近年は都市域においては、典型七公害以外の環境問題に関する苦情が増加していることを、『環境白書』は報告している。目に直接見えないがゆえに、また、計量化しにくいがゆえに、その公害の原因が特定しにくく、環境監視の対象となっていないものも多い。熱・エネルギーに関する諸問題及びそれによって引き起こされる環境問題、例えばヒートアイランド現象や建築外部空間の微気候なども、都市生活に直接的にも間接的にも多大な影響を及ぼしている。

都市への人口の集中は、都市の利便性とは裏腹に、人工化による極度の生態系の破壊等による生活環境の悪化をもたらし、同時に都市周辺の自然環境をも破壊しつつある。さらには、国を超えた地球レベルの環境問題も引き起こしている。地球環境問題とは、地球規模における生態系のバランスの破壊であるとすれば、今日の多くの都市における環境は、それとは比較にならないほど極度に人工化が進み、生態系が破壊されている。まさに都市環境問題は地球環境問題の縮図と言える。

(2) 都市気候(ヒートアイランド現象)の形成要因

目に直接見えない都市環境問題のひとつとして、都市気候に着目してみよう。都市気候、特に今日話題となっているヒートアイランド現象の主要な形成要因は、

- (1) 土地被覆の改変
- (2) 膨大なエネルギー消費
- (3) 大気の汚染

が挙げられる。

(1) については、

(1-1) 建物が密集し、高層建築が増えることによって地表面の凹凸が複雑になり、日射の吸収率が大きくなる(日射の反射率〈アルベド〉は小さくなる)。

特集

(1-2) 地表面の凹凸が大きくなると、地面や壁面から天空の見える割合が減るため、大気放射冷却が阻害される。

(1-3) 街の中の風速が平均的に減衰し、街の換気機能が低下する。

(1-4) 緑地や裸地などの透水面が減少することによって、雨水の保水能力が低下するとともに、蒸発潜熱による冷却作用が小さくなり大気を直接暖める顕熱が増大する。

(1-5) アスファルト舗装面やコンクリート造建物など熱容量の大きい材料や構造物が地面を覆うことによって、これらに日中吸収された日射熱が蓄熱されるなどのように、地表面を構成している材料や地表面の形状が変化することで、そこに特有の気候が形成されることになる。

(2) については、冷暖房、照明、自動車、工場での生産工程などによる人工排熱が大気へ直接放熱され大気を暖める。

(3) については、大気汚染によってスモッグが形成され、これが温室のガラスと同様の働きをする。地面から放射される赤外線が宇宙空間へ放射されず、大気中に吸収されるため、気温が上昇する。いわゆる「温室効果」が生じる。ただし、日中は、地表への太陽放射が減少するため、日中の表面温度上昇が抑制されることもある。

2. 都市は熱の島（ヒートアイランド現象）

(1) リモートセンシングでとらえたヒートアイランド現象

都市のヒートアイランド現象の主要な形成要因である、土地被覆の改変に着目し、リモートセンシングによる熱画像を見てみよう。

(1) 大都市東京と仙台

図1は人工衛星（セマティックマップパー：TM）からとらえた関東地方の夜間の熱画像である。赤が表面温度が高く、黄→青へと低くなる。収録された日時は4月の快晴日における夜10時である。

この時刻における地表面の熱収支状況は、日中、日射を吸収して表面温度が上昇した地表面では、大気放射冷却や接している空気との間の対流によって、表面温度が降下している。しかし、相模湾や東京湾は、大きな熱容量を持っているため、それらの表面温度は日中とほとんど変わらない。その結果、この時刻では、陸域より水域の表面温度が高い状況にある。ここで陸域に注目してみよう。

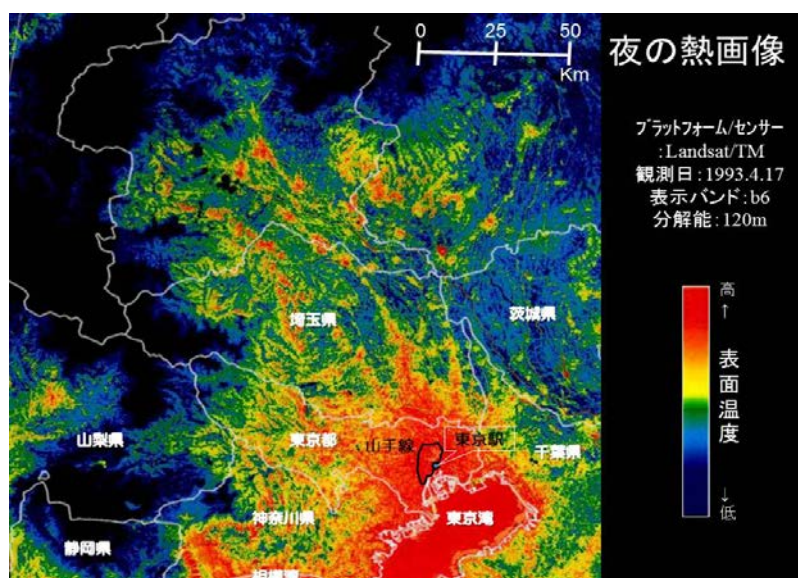


図1 人工衛星がとらえた関東平野の快晴日における夜間の熱画像（センサ：ランドサット TM，観測日：1993.4.17）

東京の郊外の表面温度は、黄色かまたは薄緑色に対して、東京の都心部である山手線沿線は、東京湾とほぼ同じ赤色で、高温域であることがわかる。同画像では、

分解能が悪いために識別できないが、建物の屋根（鉄板や瓦屋根のように熱容量の小さい屋根は除く）や舗装道路などの表面温度が高いことによる。大気への放熱が行われているにもかかわらず、日中吸収した日射熱が蓄熱されているため、表面温度は高温を保っている。その結果、これらの面に接した空気の温度は郊外に比べて下がりにくい。これが都市で熱帯夜の発生を助長する主要因である、夜のヒートアイランド現象である。

大気に直接放熱される人工排熱も要因の一つであるが、都市における土地被覆の改変、すなわち緑を伐採して舗装道路や建築を建設してきたことがヒートアイランド現象を引き起こしていることがわかる。

ここでもう少し都市に近寄ってみよう。図2は、仙台とその郊外を航空機マルチスペクトラルスキャナ（MSS）で収録した、夏の晴天日における正午の熱画像である。また、同図の下図は、航空機MSSで収録したデータを用いて作成した緑被分布図を示している¹⁾。

上図は航空機マルチスペクトラルスキャナーによって収録された仙台の市街地と郊外の熱画像。海や水田、そして森林の表面温度は気温と等しいかそれ以下である。これに対して、建築や舗装面で覆われた市街地や開発が進められている郊外の団地の表面温度は気温より20℃も高い。まさに都市砂漠だ。

特集

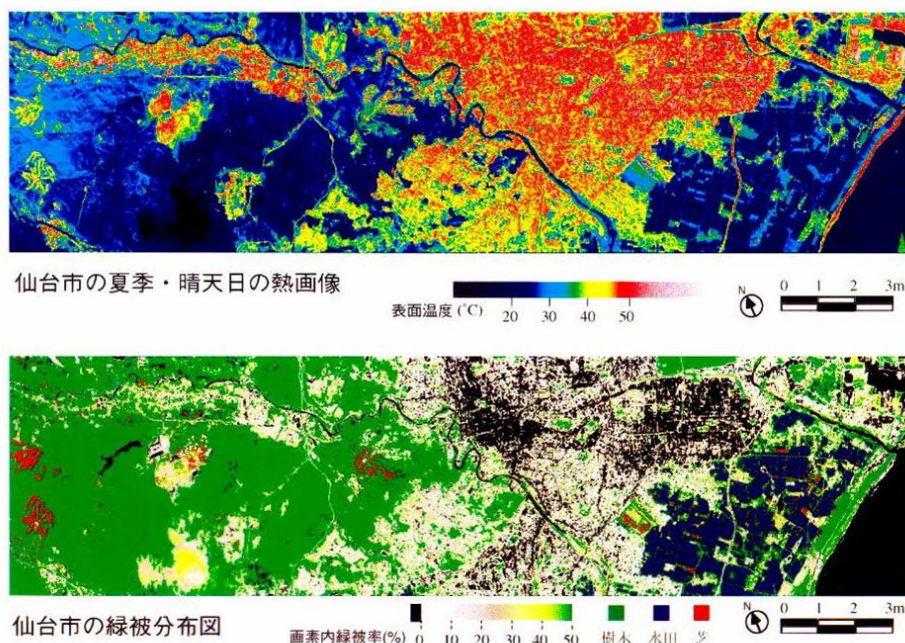


図2 仙台における夏季・晴天日の緑被分布と熱画像（航空機 MSS データより作成）²⁾

下図はリモートセンシングデータを使って作成した緑被分布図。上図と比較すると緑のあるところは表面温度が低く、緑のない市街地が高温を示していることがよくわかる。杜の都、仙台と言われるが、市街地の中には緑が少ない。

黒色の画素は、このデータの地上分解能である $10\text{m} \times 10\text{m}$ の中に緑がほとんど存在しないところであり、黄色の画素は緑被率 50% 前後、白色の画素は 10% 以下である。郊外は森林で取り囲まれているが、道路に沿って市街化され、森林を切り開いて近年開発された大規模集合住宅地や、点在するゴルフ場が目につく。海岸線一帯には、水田が広がっている。そして、中央は仙台市街地であるが、市街地の中には緑がほとんど分布していないことがわかる。

両図を比較してみよう。市街地の中でも、まとまった緑が存在する公園や青葉通り、定禅寺通りのケヤキ並木のところは表面温度が低いが、ほとんどの市街地は表面温度が 50°C 前後と高い。この表面温度の値は、海岸線の砂浜のそれとほぼ等しい。裸足では歩けない。すなわち、建物の屋根、特に瓦や鉄板屋根や日向の舗装道路の表面温度は、日中気温より 20°C 以上も高い。そのため、これに接した街の中の空気の温度も上昇する。これが昼のヒートアイランド現象である。これらの画像から、都市のヒートアイランド現象を抑制するための一つの対策は、失ってしまった緑を街の中に取り戻すことだとわかる。

我国では、ヒートアイランド現象は、大都市の問題としてマスコミが取り上げ、

特集

その後 2003 年にはヒートアイランド対策大綱が閣議決定され、脱ヒートアイランドを目ざした取り組みが始まった。一昨年には、大綱の見直しも行われた。上記のことからもわかるように、都市環境問題としてのヒートアイランド現象の形成要因を突き詰めれば、生活空間としての街のあり方と、都市のライフスタイルにあることがわかる。

(2) 街の中には熱があふれている

生活空間としての街（建築外部空間）の中に目を移してみる必要がある。街の中は快適なのだろうか。もし快適でないとすれば何が問題なのだろうか。

まず、人が建築外部空間のある場所に立ったとき、その人が周囲から受ける熱放射の程度を示す指標である平均放射温度（MRT）を全球熱画像²⁾から求めてみよう。

全球熱画像とは、人が立っている地点に赤外線放射カメラを設置し、そのカメラを 360° 回転させることによって、その人を取り囲むすべての面（ 4π [rad]）の熱画像を収録したものである。一般的な赤外線放射カメラ（視野角が 30° × 30° 程度）で収録される熱画像の約 72 枚分に相当する。この全球熱画像から、前述の式より平均放射温度を算出することができる。

ここでは、建築外部空間として、対照的な 2 ヶ所の例を示す。

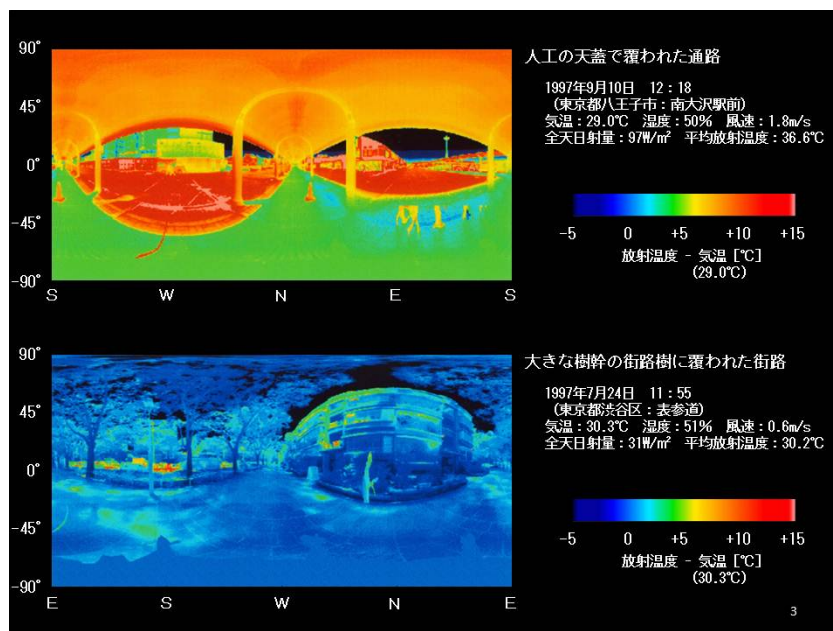


図3 全球熱画像による生活空間の熱放射環境の評価（駅前広場の天蓋の下と、大きな樹冠の街路樹に覆われた歩道の表面温度分布の比較）²⁾

特集

図 3（上）は、一面舗装された駅前広場で、歩行者を雨や日射から保護するために設けられた、東西に延びる人工天蓋の下に立ったときの全球熱画像である。天蓋で直達日射は遮へいされているため、立っているところは日陰になっている。しかし、日向の舗装面は赤色で高温を示し、天蓋の表面温度も日射熱の焼け込みで 40℃前後に達している。天蓋の日陰部分も朝方に入射した日射熱が蓄熱されていて 35℃を示している。ここの平均放射温度を算出すると 36.6℃となり、顔や手の温度より高い。気温は 30℃であるが、周囲からの熱放射で非常に不快な状態にある。

これに対して、図 3（下）の全球熱画像が収録された大きな樹冠のケヤキ並木の下の歩道では、樹冠で直達日射が遮へいされているだけでなく、樹冠の温度は気温とほぼ等しいため、前述の人工天蓋からの焼け込みもない。そして、歩道や建築の壁面も朝から日陰になっているため、それらの表面温度は気温相当に抑えられている。平均放射温度は、気温（30.3℃）とほぼ等しく、30.2℃であった。このような建築外部空間では、風が少しあれば涼しい。

もし、この歩道の舗装が、保水性舗装で湿っているとすれば、蒸発冷却で冷やされて、歩道の表面温度は湿球温度までは下がらないものの、気温より数℃低くなる。その結果、MRT の値は気温よりさらに低くなり、ここの歩道は人体に対して冷放射の空間となる。

以上のように、建築外部空間の空間形態とそこに使われている材料によって表面温度は大きく異なり、熱環境を規定していることが理解できよう。すなわち、街のあり方そのものが問題であると言える。

3. 今、なぜヒートアイランドなのか？—今日の街を問い直す

日本の多くの都市で形成されるヒートアイランド現象は、冬の晴天日の朝方において最も顕著に観測される。しかし、近年、蒸暑気候にある夏季において、ヒートアイランド現象が顕在化し、日中の気温上昇に加え、熱帯夜の発生日数の増加をもたらしている。また、屋外の生活空間に目を向けても、劣悪な熱環境は滞在者の熱的な快適性の低下をもたらすばかりか、熱中症患者が増加している。このような熱環境の悪化は、緑をはじめとした自然被覆が失われ、建物や舗装で地面が覆われるといった土地被覆の改変と、人間活動による膨大な人工発生熱がその主要な形成要因であることが、上記のことから理解できよう。

現在、大都市では都市再生プロジェクトが進められており、そこでは、街の活性化と環境共生を旗印にしているものの、現実には街の活性化のもとに、従来どおりの機能性、経済性の追求に終始しているようにも見られる。一方、地方小都市においても、里山の緑を伐採し、水田を埋め立て、市街地の無秩序なスプロール化が進ん

特集

でいる。特に、自動車社会に象徴される道路面積の増加や郊外の大型商業施設等の広大な駐車場などは、ヒートアイランド現象の大きな形成要因になっている。

このような状況を考えると、緊急のヒートアイランド対策も必要であるが、脱ヒートアイランド都市を目指した街づくりに向けての長期的ビジョンが不可欠と言えよう。すなわちヒートアイランド対策は、今までの機能性、効率優先の街づくりとライフスタイルを見直すことから始まる。

ところで、都市で生活する現代人は、90%以上の時間を室内で生活していると言われている。このことから、安全で快適かつ健康的な室内環境を得ることは、現代人にとって最も大きな関心事であり、学問的にも建築学や住居学をはじめとして、古くから多くの分野で研究対象となってきた。この室内環境は、今日カプセル化しつつある。しかし、一見屋外と切り離されているような室内環境も、建築外部環境、都市環境、地球環境と入れ子の関係にあるという認識が必要である。環境共生社会を実現するためには、室内環境を直接的に規定し、またマクロには都市環境を形成する基本単位である建築外部環境に注目しなければならない。

もう少し具体的に述べよう。建築の構成要素である屋根や壁は、室内環境を形成していることはここであえて言うまでもないが、目を屋外に移してみると、街の景観や熱環境をはじめとした建築外部環境を形成する主要素でもある。ここで建築外部空間という用語を用いているが、なじみのない方が多いのではなかろうか。すなわち、建築、室内、街といった用語に比べて、市民権を得た用語になっていないことからわかるように、生活空間をつくり出していこうという視点から、その対象として意識的に考えてこなかったと言えよう。

建築が造られ、道路が造られてくると、自然と建築外部空間がつくり出される。しかし、見方をかえると、道路や建築の屋根や壁や窓、塀、樹木などは、建築外部空間を構成する主要素であり、これらによって屋外に空間が形成され、その空間形態とそこを構成している材料によって、その街の景観や微気候が形成され则认为ねばならない。街の景観の議論には、熱環境や音環境、心理環境など、目に見えないいろいろな環境形成を担っている。建築外部空間を構成している材料の熱的特性や空間形態によって、太陽放射の熱収支のバランスが保たれ、その結果として特有の微気候が形成されることになる。

安全で快適かつ健康的な建築・都市を目指してきたはずの近代においても、機能性や利便性の追求が先行し、多くの環境問題を抱えている。

4. 脱ヒートアイランド都市を目指した街づくり-その規範

地球環境時代に求められる環境負荷の小さい、快適かつ健康的な街づくりとはど

特集

のようなものか。熱環境の視点では、脱ヒートアイランド都市を目指した、熱中症とも無縁な街づくりということになろう。前述のように、今日、都市には熱があふれている。ヒートアイランド現象を引き起こす主要因は、近代の街づくりそのものにある。

ヒートアイランド現象を抑制し、さらに生活の場に涼しい空間、クールスポットをどのようにつくり出すか。そして、もう一つ大切な視点を忘れてはならない。自然エネルギーを駆使したパッシブ手法で快適な室内環境をつくり出すためには、建築外部空間のポテンシャルがあって初めて成立する。すなわち、都市において快適な生活空間をつくり出すためには、建築外部空間の微気候に目を向けることが原点と言っても過言ではなかろう。今日の地球環境時代、地球環境の縮図とも言える都市は、周辺環境にやさしい、環境共生都市でなければならない。また、都市環境は、快適かつ健康的な生活空間でもなければならない。

しかし、すでに指摘したように、都市には熱があふれている。熱帯に近い日本の夏を考えると、吉田兼好が徒然草で「家のつくりようは夏を旨とすべし。冬は……」と述べていることは、街づくりにも当てはまる。ここでは、日本の気候風土に合った環境共生的な街づくりの規範と、具体的な街のあり方について考えてみよう。

熱環境設計に必要な視点としては、地域性、空間、材料の3点が挙げられる。すなわち、建築外部空間を構成する地面や建築の屋根や壁などのデザインがキーワードとなる。熱環境調整に有効な手法は、その土地の気候特性と大きく関わっている。そのため、環境共生的な熱環境設計の基本は、気候特性とその土地の持つポテンシャルを見抜くことにある。沖縄から北海道で、そして海浜地帯と山岳地帯で気候特性は大きく異なる。熱環境設計の難しい点は、夏の暑さと同時に、冬の寒さにも対応しなければならないことであるが、北海道や東北地方の一部を除くと、気候特性として夏季の蒸暑気候が挙げられる。蒸暑気候のもとでの設計規範は次のようになる。

- ① 地面や建物に入射する強烈な日射を徹底的に遮へいすること。そして、屋外的生活空間を日陰にすること。
- ② 風の通り道を確保し、通風を促進すること。この対策としては、風の通りやすい街並みのデザインや、風を取り込みやすいように建物配置を工夫することなどが挙げられる。樹冠の下は十分な高さをとること。
- ③ 緑、すなわち植物の蒸散作用、湿った地表面からの蒸発や蓄冷などの効果を活用すること。そこは日陰にし、風を通すこと。

建築外部空間の環境設計では、上記の手法をただ単に多く取り込めばよいというわけではなく、これらの対策手法をうまく組み合わせ、時にはそれらの相乗効果も

特集

もたらされるような工夫が求められる。その具体的な一つの街のあり方として、「緑で地面や建物をやさしく包む。少なくとも住宅地では大きな樹木の樹冠の下に住む」などがイメージできる。

以下では、日本の街づくりでは不可欠と言える都市・建築緑化（グリーンアーキテクチャ）を取り上げて、都市・建築緑化で構成された建築外部空間を提案するとともに、ヒートアイランド緩和効果や生活空間の快適な熱環境形成効果の予測・評価事例を紹介する。

5. 都市・建築緑化と街づくり

（１）都市・建築緑化の前に街の構造を見直す³⁾

近年、都市建築緑化といえば屋上緑化と壁面緑化ばかりが話題になるが、都市緑化と同時に街そのもののあり方を考え直す必要がある。

ヒートアイランド現象を招き、熱中症にかかるような今日の街を構成する建物や歩道、車道、広場、さらに天蓋などの構造物で構成される空間、そしてそれらを構成する材料を再検討してみよう。現状の街の中で緑化できる空間を探すのではなく、街の構造から考え直すことが重要であろう。図４は建築と緑化との関係を示したものである。例えば直方体の建築、地面から最も遠い屋上、鉛直に切り立ったカーテンウォールの壁面などは、上階に行くにしたがいセットバックさせることで、そこには屋上ともベランダとも言える容易に植栽可能な空間ができる。地上からのアプローチだけでなく、屋上からのアプローチという発想もあって良からう。

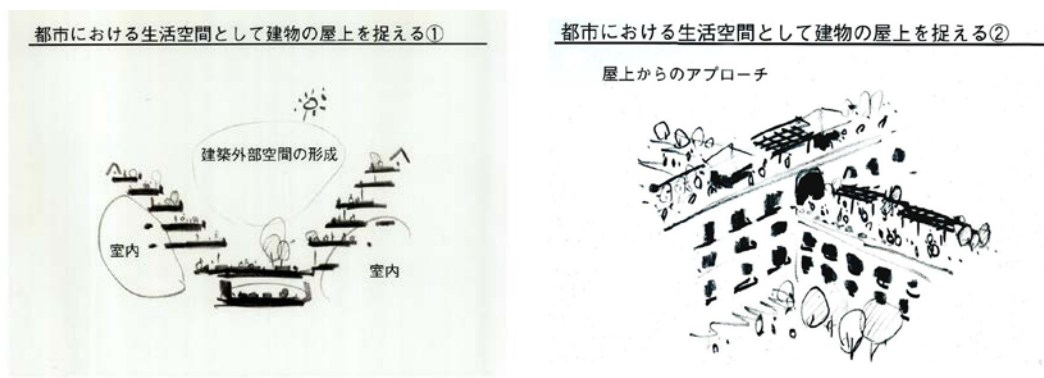


図４ 都市における生活空間としての建物の屋上をとらえる

（左：建物の壁面をセットバックしてベランダ空間をつくり、そこを緑化。右：地面からでなく屋上からのアプローチを考える。）

図５は、建築や道路、そして広場を緑で包んだ街のイメージである。例えば、駅

特集

前広場では、バスターミナルやタクシープールの上に、人工地盤をつくり、そこに森をつくってはどうか。森を構成する樹木の樹高が 15m であれば、その 2 倍、すなわち 30m×30m の面積があれば完全な自然とは言えないまでも生態系が保たれるという。街の中心にあって、安らぎの得られる貴重なクールスポットとなる。現在の街に、単に緑を取り込むという発想ではなく、街そのもののあり方から考えることによって、都市生活のための緑豊かな街づくりは可能となる。

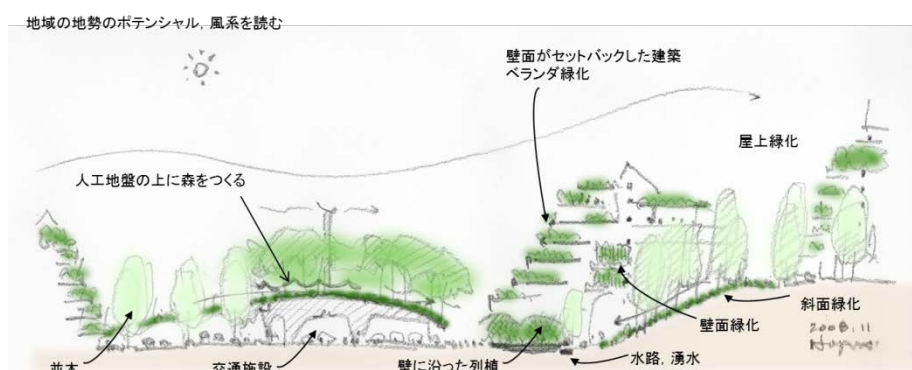


図 5 都市・建築緑化と街のイメージ

(屋上緑化、壁面緑化、ベランダ緑化、街路樹、駅前広場の人工地盤の緑化など、街そのもののあり方も考え直す)

(2) 都市・建築緑化と熱環境調整効果の予測・評価

(a) 屋外熱収支シミュレーションツールと熱環境の評価指標

都市を構成する街区やある敷地の熱環境設計のプロセスの中で、緑化手法が検討され、そしてその環境調整効果が議論されるとよい。

ここでは、熱環境設計の支援を目標として開発された「3D-CAD 対応熱環境シミュレータ」^{4)・5)}を紹介し、次にこれを使用した例で、緑化手法の効果を示す。

本設計支援ツールは、設計の各段階で熱環境を評価できること、また、伝熱シミュレーション等の高度な専門知識を持たない設計者が、通常の設計行為の延長上で使用し、対策手法の効果を自ら評価できることを基本コンセプトとしている。そこでは、3D-CAD ソフト上において入出力を完結するシステムが構築されている。

出力結果である全ての面の表面温度分布は、設計者や行政担当者はもとより一般の市民が熱環境対策の効果を視覚的に理解できるように、3D-CAD 上に貼り付けて表現される。これにより、自由な視点からの出力やアニメーション出力を可能としている。熱環境の評価指標としては、表 1 のような指標が算出されるが、ここでは以下の二つである。これらの指標は、全ての面の表面温度分布から求められる。

熱環境の定量的な予測・評価

1. 熱環境対策のための設計手法の効果の確認

➡ 3D-CADによる表面温度分布の可視化

2. 周辺環境への負荷の低減

大気への顕熱負荷 ➡ ヒートアイランドポテンシャル (HIP)
(対象地の全表面からの顕熱流量)

環境負荷 ➡ 室内熱負荷計算と連成し、空調負荷、
CO₂排出量の算出

3. 快適な屋外空間の創造

熱放射環境 ➡ 居住域高さの平均放射温度 (MRT)

クールスポット
の評価 ➡ CFDとの連成解析により、SET*の算出

12

指標としてのHIP -Heat Island Potential-

大気への顕熱負荷 (対象地の全表面からの顕熱流量)

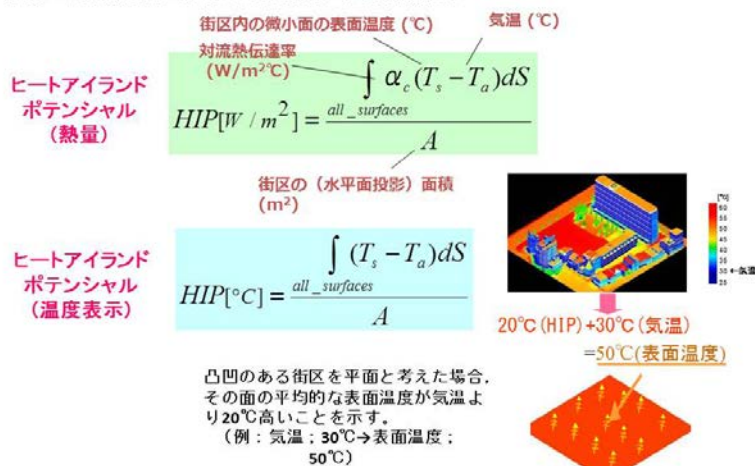


表 1 熱収支シミュレーション結果を用いた街の熱環境の予測・評価 (表面温度分布, 生活空間の平均放射温度 (MRT), 対象地の大気への顕熱負荷 (HIP) ^{4), 5)}

(ア) ヒートアイランドポテンシャル (Heat Island Potential : HIP)

環境共生の基本の一つは、敷地内の環境に配慮するだけでなく、開発行為によって周辺環境にできるだけ悪影響を与えないことである。そこで、対象地全体からの周辺環境への負荷を議論するための一つの指標として、大気を直接暖める要因である全表面からの顕熱負荷をヒートアイランドポテンシャル (HIP) で評価する ^{4), 9)}。

HIP は、開発等の対象となる敷地や街区が、周囲に及ぼす環境影響の指標として、ヒートアイランドを起こし得る度合いを評価するために筆者らが提案したものである。建物や地面など全ての表面から発生する顕熱の敷地または街区の面積に対する割合として定義される。この指標は、表 1 で示す式で算出される。温度換算して算出することで、敷地や街区が平坦であると仮定したときに、その面が気温より何度上昇したかを示す。なお、本シミュレーションツールはヒートアイランド現象が起

特集

こりやすい風の弱い日を仮定して予測を行うこととしている。そこで、都市キャノピー内の気温と風速には分布がないものと仮定して計算している。

(イ) 屋外生活空間の平均放射温度 (MRT) ^{5), 10)}

屋外生活空間の熱的快適性を決める主な要素は、環境要素として、気温、湿度、風向・風速、熱放射、そして、人間側の要素として着衣量と産熱量が挙げられる。屋外での熱放射を考える場合には、太陽放射（直達日射と天空日射）と周辺の地物からの反射日射からなる可視域及び近赤外域の放射と、周辺地物からの常温域における赤外域の熱放射に分けられる。ここでは、後者のみを対象とした熱放射を扱う。

屋外生活空間における熱環境評価としては、屋外生活空間を構成する地面や建築と最も関連する熱放射の評価指標である平均放射温度に注目し、居住域高さ（地上 1.5m）における平均放射温度を算出する。

(b) 戸建住宅地の緑化とその効果

約 1,000m² の敷地に 5 軒の戸建住宅を建設しようとした住宅地の開発を対象に、シミュレーションツールを用いて、5 軒の配置計画や道路計画と同時に、植栽計画について検討した一例を示す³⁾。

図 6 は、中央の舗装道路の周囲に 5 軒の住宅を配し、緑化をして、樹木の樹冠や樹高、樹木の配置を変更した 3 ケースの CAD モデルである。CASE1 は比較のために緑化が全くされていない場合、CASE2 は樹木で緑被率 30% の緑化がされた場合、そして、CASE3 は建物の屋根よりも高い大きな樹冠をもった樹木が植栽された場合である。

それぞれのケースにおける表面温度の算出結果を、住宅地全体の俯瞰と生活空間である中央の通路上に立ったときの各々の視点から、図 6（中）に示す。気象条件は、東京の晴天日。住宅の室内気温は自然室温。建築部位、地面等の日射反射率、熱伝導抵抗、樹木の樹冠形状や樹冠の日射透過率などを入力している。

設計の初期段階で、高木をどのように植栽したらよいか、これらの画像を見ながら議論できる。建築に関しては壁の方位や屋根の傾き、材料等による違いが、また樹木に関しては、配置・形状等による影響が表面温度分布に明確に表れている。例えば、樹木の樹冠が周囲にどのような日陰をつくり、そこがどのような表面温度分布になるのかといったように、緑化の効果を視覚的に理解し、設計者と施主などとの間で積極的なコミュニケーションを図りながら、良質な生活環境を創造していくといったプロセスが有効であろう。

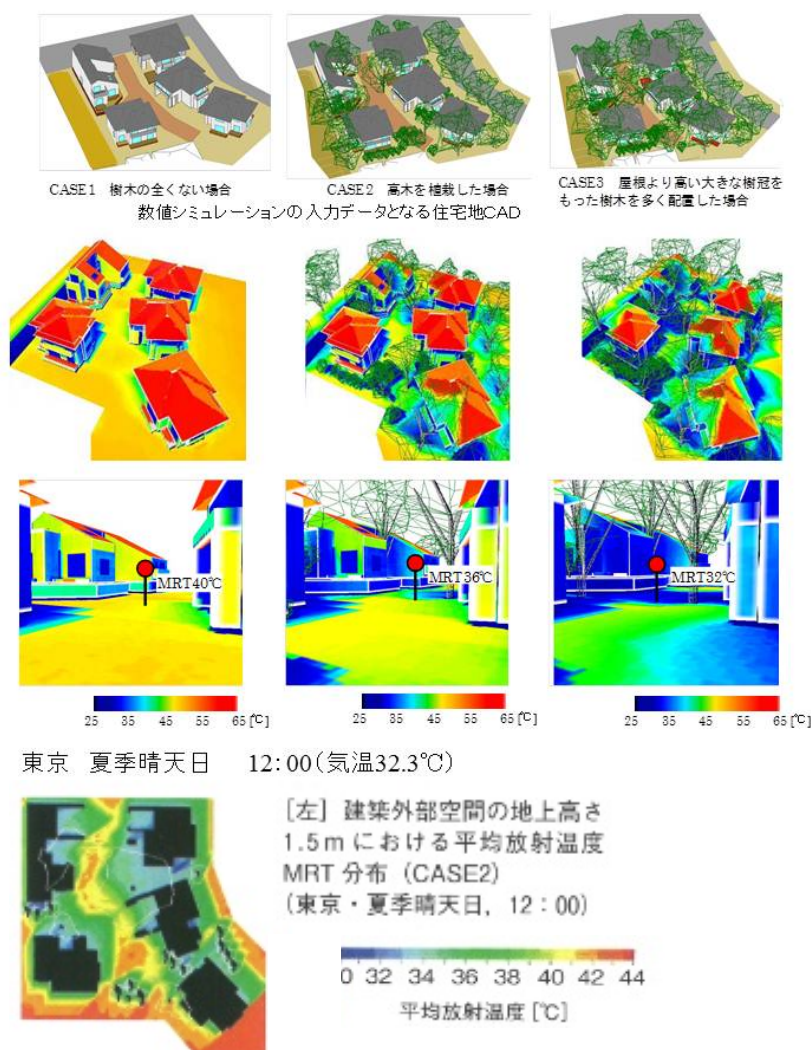


図6 緑化状態が異なる戸建住宅地の3D-CADと熱収支シミュレーションによる東京、夏季晴天日における正午（気温 32.3°C）の表面温度分布と生活空間のMRT分布（下）¹⁰⁾

（ア）建築外部空間の熱的快適性の評価

先に示したように、建築外部空間の熱的快適性の視点からは、地上の居住域高さ（地上 1.5m）における平均放射温度（MRT）分布により、設計案の熱放射環境を評価する。図6（下）より、12時において、敷地内では日向の舗装面と大きな樹冠下の日陰空間などで、MRTに10°C程度の差が生じている。このようなMRTの違いは、熱的快適性にも大きく影響を及ぼす。屋外における居住者の生活空間を想定し、その空間のMRTを上昇させないような高木の種類や配置を考えることができる。

（イ）大気への顕熱負荷：ヒートアイランドポテンシャルの評価

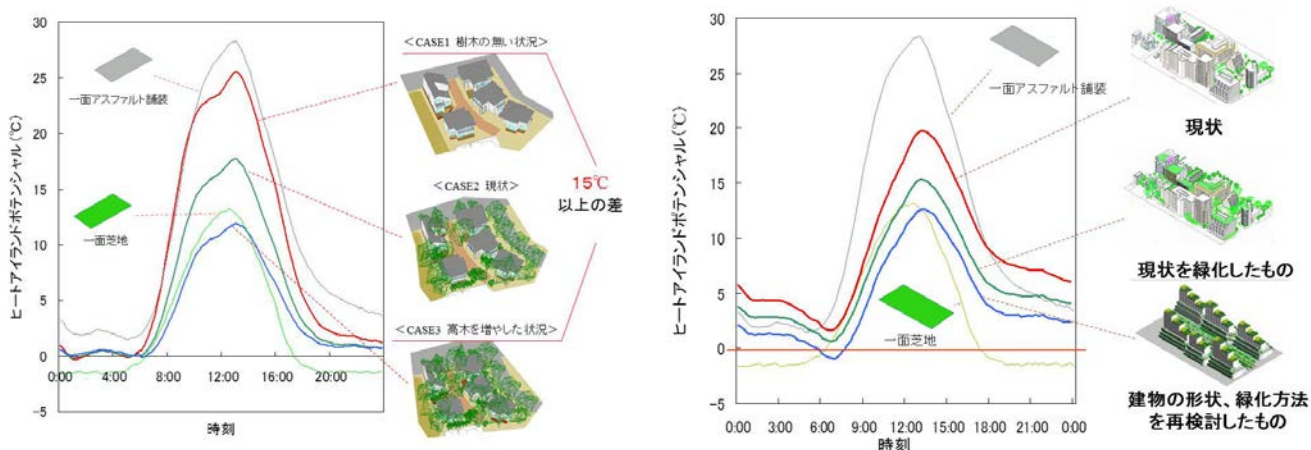
設計した住宅地が周辺の大気に及ぼす顕熱負荷については、ヒートアイランドポ

特集

テンシヤル（HIP）で評価する。図 8-1 は夏季・晴天日における HIP の日変化の算出結果である。高木の有無により，日中では最大で 15℃以上 HIP に差が生じている。

この差の意味するところは，次のように理解できる。この住宅地が周辺の大気を与える顕熱量は，正午ごろは，表面温度が気温より 26℃高い平坦な地表面と同等で，一面が平坦なアスファルト舗装面と同じくらい大気へ顕熱を放出していることを示している。ここに住宅の建物より高い大きな樹冠の樹木を植えると，正午の HIP は 12℃となり，一面が平坦な芝生の面とほぼ同じとなる。夕方から夜間にかけては，CASE1 及び CASE2 より HIP は下げることができるものの，芝地よりも下げることはできず，2℃程度高い。日中は，両設計案の間には，アスファルト面と芝生面との差に相当する顕熱量の違いが生じているということであり，高木植栽の効果の大きいことが確認できる。

これまでの設計・計画は，道路・建物の配置や空間形状といった点に主眼が置かれていた。以上の結果からも，熱環境設計では，植栽の配置や，ここでは扱っていないが，さらには，地面等の熱容量・保水性能といった材料の熱的性能を同時に考慮することの意義も示唆される。



左:図 8-1 対象地の大気への顕熱負荷（HIP）（住宅地を緑化した場合）¹⁰⁾

右:図 8-2 対象地の大気への顕熱負荷（HIP）（建築形状・緑化方法を同時に検討した場合）¹⁰⁾

(c) ストリートキャニオンの緑化とその効果

南北に通る幅員 20m の幹線道路と，その両側に立ち並ぶ商業ビルによって形成された，ストリートキャニオンと呼ばれる東京に実在する街並み（CASE1）を対象とした。そこにできるだけ大きな樹冠をもつ樹木を植栽したり，屋上緑化を行った

特集

場合 (CASE2), そして CASE3 は, 図 7 に示すように道路に中央分離帯を作って, 樹高 15m 程度の並木を配し, 両側の建築はセットバックさせた。そして建築のベランダや屋上を緑化した場合である。その結果, 地面や建築を緑で優しく包むことができる。³⁾

気象条件は, 同様に東京の夏季・晴天日で, 商業ビルは冷房され, 室温は日中 27℃ に設定している。

シミュレーションでは, 全表面温度の日変化が得られるが, 夏季・晴天日の 12:00 と 20:00 の表面温度分布を図 7 で見てみよう。

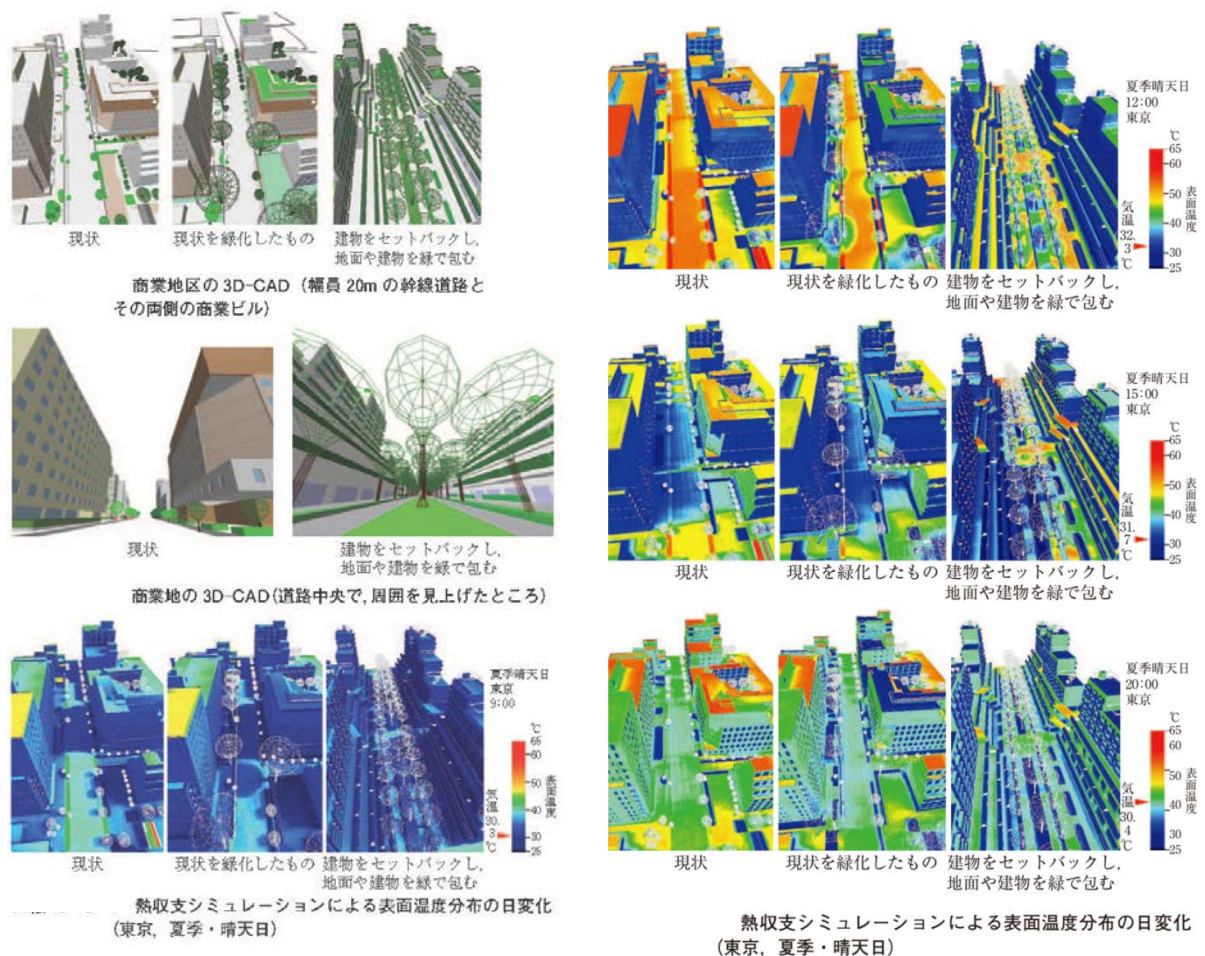


図 7 商業地区のストリートキャニオンの再考と熱収支シミュレーションによる表面温度分布の日変化 (東京, 夏季・晴天日) ¹⁰⁾

12:00 では, 太陽高度が高いため, 屋上や舗装道路などの地面の表面温度が高く, 建築の立面の表面温度は低い。とくにガラス窓の表面温度は, 冷房の影響が顕著にあらわれ, 気温よりも低い。道路の表面温度は CASE1 では 60℃ 近くに達する

特集

が、CASE3 では、ほとんどが並木の日陰になり、40℃前後に保たれている。20:00 の表面温度分布を見ると、日中日射を受けた建物の屋上や、舗装道路で日射熱が蓄熱されているところでは、気温 30℃よりさらに高い 35℃前後を示しているところが目につく。これに対して、緑に包まれているところでは、ほとんどのところが気温相当である。

図 8-2 は三つのケースの HIP の日変化である。住宅地の 3 ケースの場合と同様、日中に HIP は高くなるが、CASE1 でも 20℃程度で、住宅地の CASE1 と比べそれほど高くない。これは、地面が建築で午前中日陰になる部分が多いこと、建築の立面は午前中受けた日射熱が蓄熱されているところや、強くはないが日射が当たっている南面を除いては冷房の影響で表面温度が気温相当またはそれ以下であること、などが理由として挙げられる。すなわち、夏の日中では、冷房している高層の建築が密集して立ち並ぶことによって、地面や建築表面から大気への顕熱負荷は極端に増えることはないことを示していると言えよう。CASE3 のように、地面や建築を緑で包むことによって、日中の HIP は一面芝生に相当するまで抑えられる。

夕方の HIP の 3 ケースによる差は、正午の 7℃に比べて、5℃に及んでいる。CASE1 では、日没ころから一面アスファルト舗装面より HIP は高くなり、早朝までその傾向が続く。これが、今日の都市における熱帯夜の発生を助長している大きな要因であろう。日中は芝生相当の CASE3 でも、夕方は芝生より 5℃も高い。すなわち、日中の大気への顕熱負荷は緑化によって下げることができても、熱帯夜の発生を抑えることはいかに難しいかを物語っている。

以上、日本の都市づくりを考えるうえで不可欠とも言える都市緑化に焦点を当てて、ヒートアイランド緩和効果を考えてみた。当然ながら、都市緑化も、都市構造との関係の中でその効果が議論されねばならないことが理解できよう。

「太陽の道と風の道を考えて街をつくるように！」と、ローマ時代の建築家ビトルビウスは『建築書』中で述べている。近代の都市づくりは、経済性や効率が優先され、生活空間の微気候デザインには目が向けられなかったように思う。本章の初めにも述べたように、東京の下町でも、大正末期までは、江戸時代の面影が色濃く残っていたという。今、我々が見慣れている直方体の建築が乱立した街並みや、ストリートキャニオンは、たかだか 100 年足らずのものである。周囲への環境負荷をできる限り減少し、快適な生活環境を実現する街づくりが求められている。

6. クールスポット形成の基本と主な方法

今日の日本の街には熱があふれている。生活の場としての建築外部空間に涼しい場所、すなわちクールスポットをつくるにはどうしたらよいのか、クールスポット

特集

をつくり出すための基本的な考え方を説明する。

(1) クールスポットとは

高温、高湿の日本の夏，建築外部空間において，涼しいとはどのような状態なのだろうか。

寺田寅彦が言うように，非定常的に，刹那の涼しさを得ることではないだろうか。“涼しさは瞬間の感覚である。持続すれば寒さになってしまう”と，寺田寅彦は，日本の蒸し暑い夏の中での涼しさをとらえている。

生理学において，室内における温冷感の評価として，暑い・暖かい・中立・涼しい・寒い，という 5 段階評価がよく用いられる。ほぼ定常的な室内の熱環境を対象としているが，この場合 5 段階尺度は一次元上に位置づけられることを前提としている。これに対して，もともと元々暑くて蒸し暑い日本の夏の中で，涼しいという感覚は，涼しい・寒いという一次元的な評価ではないとも言われている。

涼しさが得られる環境側の条件としては，次のような項目が挙げられる。

- (イ) 気温が周囲より低いこと
- (ロ) 適度な気流感がある（一定風速でなく，ゆらぎがある）こと
- (ハ) 周囲からの冷放射があること
- (ニ) 相対湿度が低いこと（気温が 28℃ 以上になると相対湿度が効いてくる）

(2) クールスポット形成の方法

建築外部空間にクールスポットをつくり出すためには，徹底した日射遮 $\square$ と適度な通風を図ることが大前提である。クールスポットとはどのような空間かを明確にした上で，具体的な方法と，それらの効果について定量的に議論する。

冷やす工夫を列挙すると，

1. 蒸発冷却
2. 蓄冷，冷熱源としての大地の利用
3. 大気放射冷却
4. これらの複合効果

などが挙げられる。

結論から先に述べてしまうと，これらの冷やす工夫で得られる効果は，太陽放射による日向ぼっこの効果のように大きくはないということである。定量的に考えても，夏の地面が受ける太陽放射は $1,000 \text{ W/m}^2$ 近いのに比べて，蒸発冷却や大気放射冷却などは，ほぼその $1 / 10$ 程度であることから裏づけられる。しかし，この 100 W/m^2 前後のさらに数 10 W/m^2 の差によって，早朝の朝露や霜が降りたり

特集

する。また、日本の夏のように高温・高湿な地域では、大気中の水蒸気量が多いため、蒸発冷却、大気放射冷却ともに、乾燥した砂漠地域ほど大きな効果は期待できないが、日本の伝統的な生活の中で見られる早朝や日が沈んだ後の打ち水などは、蒸発冷却によって得られる涼しさの有効な方法であることは疑う余地はなかろう。

蒸発冷却や大気放射冷却で人を囲む面の表面温度が気温より下げられると、人は放射冷却によって涼しさが得られる。

最後にクールスポットの提案の一例を示そう。

図9の右は、地方都市の中心市街地で、ドーナツ化現象により、空き地となったところが駐車場として使われているところである⁶⁾。ここに大きな樹冠の樹木による緑化を行い、地面は蒸発冷却舗装をして、クールスポットになる空間を形成した例が左である^{7),8)}。

同図の下には、地上1.5メートルにおける平均放射温度(MRT)分布について、夏季・晴天日の15時シミュレーション結果を示す。現状のMRT分布は、35~40℃に対して、クールスポット空間は、樹冠により日陰空間になり、MRTは気温33℃より数度低い値を示していることがわかる。

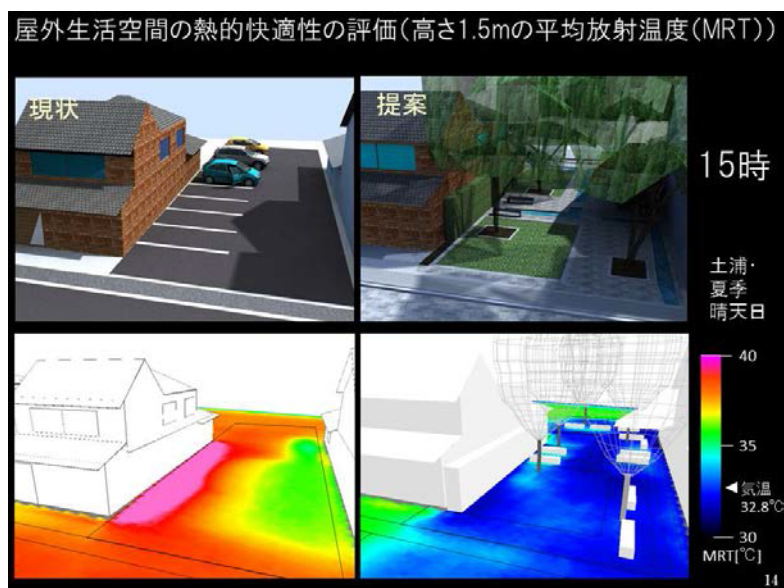


図9 屋外生活空間の熱的快適性の評価(高さ1.5mの平均放射温度(MRT))

市街地の中で空き地が駐車場として使われているところを緑化や蒸発冷却手法を取り入れてクールスポットを形成した提案と、シミュレーションによる生活空間の平均放射温度分布(MRT)の比較⁶⁾

特集

引用文献

- 1) 梅干野晃, 浅輪貴史分担, シリーズ地球環境建築・専門編 1 地域環境デザインと継承 第1版(2004.7), 第2版(2010.10), 「第5章 都市と地域の自然環境デザイン 5.1 緑化と地域微気候のデザイン」, pp98-103, 「第6章 都市の熱環境・エネルギーシステムデザイン 6.1 都市の熱環境デザイン」, pp118-125, 彰国社 日本建築学会編, 2004.7
- 2) 梅干野晃, 浅輪貴史, 何江, 平野絢也, 涌井隆史: 全球熱画像を用いた市街地生活空間の熱放射環境評価, 日本赤外線学会誌, 第16巻, 2号, pp99-106, 2007.10
- 3) 下村孝, 梅干野晃, 興水肇編著: 立体緑化による環境共生—その方法・技術から実施事例まで, (株)ソフトサイエンス社, 2005.11
- 4) 梅干野晃, 浅輪貴史, 中大窪千晶: 3D-CAD と屋外熱環境シミュレーションを一体化した環境設計ツール, 日本建築学会技術報告集, 第20号, pp195-198, 2004.12
- 5) 梅干野晃: 3D-CAD を用いた建築・都市熱環境予測・評価ツール, 日本ヒートアイランド学会誌, Vol.8, pp40-45, 2013.7
- 6) 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人, 河合英徳, 中村勉: 歴史的な街並を有する市街地における空地化とその環境影響評価 数値シミュレーションによる空地化が夏季熱環境と建物負荷量に及ぼす影響の解析, 日本建築学会環境系論文集, 第75巻, 第656号, pp899-905, 2010.10
- 7) 佐藤理人, 梅干野晃, 浅輪貴史: 熱環境に配慮したまちづくりのための環境情報の可視化システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp255-258, 2011.2
- 8) 河合英徳, 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人, 中村勉, 中村美和子: 地方中心都市の市街地における熱環境に配慮した空地の活用法の提案と評価, 環境の管理, 第72号, pp11-19, 2011.5
- 9) 梅干野晃編著: 都市・建築の環境とエネルギー, 放送大学教育振興会, 2014.3
- 10) 梅干野晃単著: 都市・建築の環境設計 熱環境を中心として, 数理工学社, 2012.4
- 11) 梅干野晃分担: 環境白書 平成21年度版, I部3章(2) 地域づくりと連携した削減効果の高い取組, (ア)「住宅地の熱環境改善による二酸化炭素の排出削減と快適性の向上」, pp92-94, ぎょうせい 環境省編, 2009.6