

特集／ヒートアイランド最新事情

ヒートアイランド現象と都市構造問題の最新事情 ～都市気候との関係をも踏まえて

成 田 健 一

はじめに

本稿に与えられた使命は、ヒートアイランド現象の原因として指摘されている都市構造問題の経緯と、最近の都市開発・ビル建築におけるヒートアイランド対策の最新事情を概観し、都市構造対策は進んでいるのか、そしてその結果、ヒートアイランド現象としての都市気候の状況がどのように変わったかなどを解説することである。

建物の形状に関する環境側面としては、高層ビルによる風害（ビル風）の方が以前から社会問題化し、環境アセスメントの重要な評価項目とされてきた歴史がある。これは上空風の吹き降ろしによる強風害が主であるが、昨今は「東京ウォール」と揶揄された汐留シオサイトに代表される弱風化とそれに伴う熱溜りによる高温化が注目され、「風の道」の確保が環境アセスのチェック項目として取り上げられるようになってきた。しかしながら、風の道の確保に関しては、ビル風に関する風環境基準のような定量的な判断基準が存在しないため、曖昧な議論に終わっているというのが実情である。ヒートアイランド現象というのは、風環境の変化だけで生じているわけではない。そのため、単独の影響評価は難しく、逆に対策による費用対効果も明確には推定できないからである。

1. ヒートアイランド対策の評価指標

本題に入る前に、議論を整理する意味で、ヒートアイランド対策の効果を評価する場合の三つの指標について述べておく。

ヒートアイランドというのは都市の高温化現象であるから、「気温の低下」を目標とするというのがまず考えられる評価指標である。しかしながら、100年で3度上昇した東京の気温を??度下げるといふ類の目標を立てると、その達成は容易なことではなくなってしまふ。次に考えられる指標は、気温上昇を招く「大気加熱量（熱フラックス）」を削減するというものである。これは人工排熱の削減と、都市表面の高温化対策による表面温度－気温差の縮小から、比較的容易に具体的な削減量を数値として示すことが可能である。しかしながら、必ずしも対策を施したエリアの気温が低下するとは限らないため、効果を実感しにくい。それに対し、例えばバス停や交差点など、多くの人の動線となる部分の温熱環境を局所的に改善するという「体感」を目標とした場合は市民の理解が得られやすい。これが三つ目の評価指標である。以上3つの評価指標のどれをねらいとするかによって、同じ対策を施しても効果の評価は全く異なるものになってしまう。

Recent Study about the Effect of Urban Structure on Heat Island Phenomena

Ken-ichi NARITA 日本工業大学工学部建築学科教授

キーワード ①風の道 ②運動量輸送 ③ビル風 ④斜面冷気

2. 都市空間構造の影響（二つの側面）

ヒートアイランド現象に対する都市の空間構造の影響を考える上では、大きく二つの側面がある。一つは、文字通り建物群が風を遮り、風通しを悪くするという側面である。

図1は、汐留のビル群を対象に行った風洞実験の一例で高さ30mレベルの風速比（建物群がなかった場合に対する平均風速の変化比）を表している¹⁾。風速が半分以下となる領域（風速比0.5以下）は風下側1.3kmまで及んでおり、風下1kmまでは風速が3割以下となる領域が広がっている。建物群の高さは約200mであるので、建物高さの概ね5倍の範囲では大きな影響を受けているといえる。ただ注意しなければいけないのは、実際の自然風は時々刻々風向が変化しており、弱風域のエリアも常に変化するという点である。その意味では、風向を固定したこのような風洞実験の結果は、影響が見る側に過大に受け取られる危険性がある。さらに、我々の日常生活空間である地上の街路レベルでは、中低層の密集建物によりすでに弱風化しているため、街路空間内では大きな風環境の悪化は起こっていないという結果も示されている。

このような建物スケールのミクロな影響とは別に、中高層の建物群が広域に分布した場

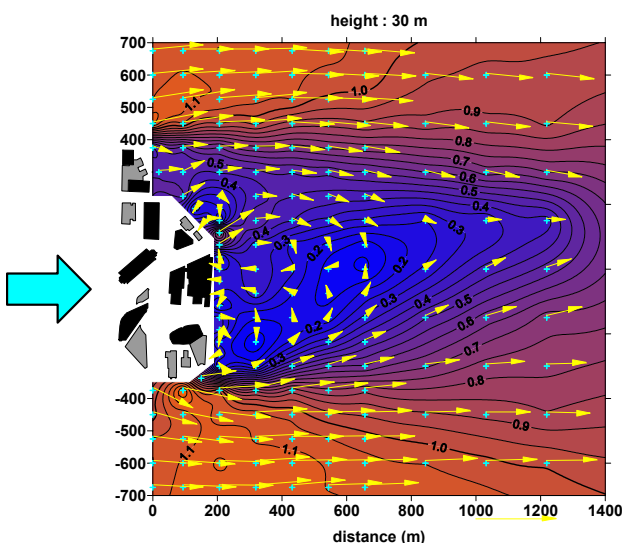


図1. 汐留ビル群による風環境の変化（風洞実験）

合のマクロな影響も問題視されている。図2は、実在する様々な街区の市街地模型を対象に、街区の平均的な風速を評価した結果で、グロス建ぺい率の増加とともに街区の風通しが悪化するという明確な関係が示されている²⁾。グロス建ぺい率というのは、敷地の面積に対してだけではなく、道路や公園、空地の面積などを含む地域全体の面積に対して建物の建築面積の総計が何パーセントを占めているのかということを表す建ぺい率のことである。またこの図では、同じグロス建ぺい率でも、低層住宅地よりも中高層の集合住宅の場合の方が、はるかに風通しが良くなるという結果となっている点も注目される。

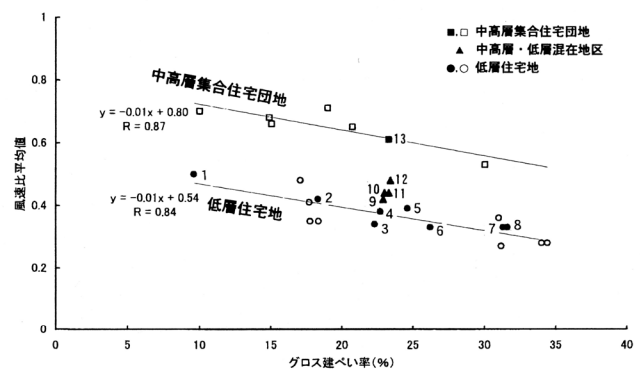


図2. グロス建ぺい率と風速比平均値の関係

このようにマクロに見れば、建物を建てることは地表面の摩擦（粗度）を増やすことになり、地表付近の風速を弱めるため、ヒートアイランド現象にはマイナスになる。現在、建築物の環境性能を評価し格付けする手法として、CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environmental Efficiency: 建築物総合環境性能評価システム) が多くの自治体で取り入れられている。一連のCASBEEファミリーの一つに、ヒートアイランドを対象としたCASBEE-HIがある。そこでは、建物建設による弱風化を極力防ぐ目的で、卓越風向に沿った建物の前後での運動量进行评估し、できるだけ運動量損失を小さくする、言い換えると建物の背後で風速

が弱くならないことが評価される。建物形状で考えると、卓越風向に対する建物の見付面積を可能な限り小さくする指導が行われている。

一方、以上のような風を弱めるという側面に対し、建物群には地表付近の風の乱れを増大させ熱交換を促進するという作用も考えられる。都市全体の放熱効率を考えた場合、真平らな都市は必ずしも最適解ではない。いわゆる熱交換器の設計では、流れに対する抵抗は増大させずに、熱の交換効率をいかに増大させるか、という視点で様々なフィンや突起物の形状が長年検討されてきた。同じような視点に立てば、都市についても、風速はできるだけ弱めずに、地表付近の熱拡散だけを促進するという都市構造があるかもしれない(図3)。

このような視点から、筆者らは「輸送速度」による風通しの間接評価実験を行ってきた³⁾。市街地における風速分布は非常に局所性が強いので、エリア平均の風通しを評価するには多点での風速計測が必要となり多大な労力を要する。一方、ヒートアイランドのモデル化を念頭に、建物配列による地表面の輸送速度の変化を検討した風洞実験の事例があり、その結果からは、間接的ではあるが、地表面の輸送速度が街区の風通しを空間平均として評価しているとみなすことができる。例えば、容積率一定の条件下における建物高さのバラツキの影響を検討すると、建物高さが全て等しいケースに比べ、最大で約40%も輸送速度が増大していることがわかった。

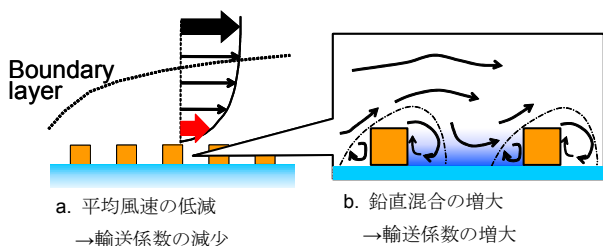


図3. 建物の増加が輸送係数に及ぼす二つの効果

近年、このような街区スケールでの空間構造を対象にした研究が盛んに行われるようになり、様々な成果が得られつつある。例えば、部分的に高層化した配列では、空気抵抗に対しては周囲から突出した数少ない高層建物の効果が大きいこと、グロス建蔽率に対しては輸送効率や空気抵抗を最大にするピーク値が存在すること、運動量輸送は空間構造に依存する形状抵抗が支配的なのに対し、熱などの輸送は表面抵抗が支配的となるため、運動量輸送ほどには都市の空間構造に敏感ではない、などの指摘がなされている⁴⁾⁵⁾。これらの成果は、いずれも重要な示唆を与えるものであるが、単純化されたモデル街区を対象とした結果であり、実在する複雑な市街地構造に適用するにはさらなる研究の蓄積が必要である。

3. 「風の道」の意味と効果

河川がヒートアイランドを分断するのではという指摘は地理学分野で古くからなされており、すでに1979年に広島市を対象にラフではあるが、その様子が気温分布図として表されている。広島ではその後、詳細な実測が重ねられ、風の道のデザインにつながる多くの知見が示されている⁶⁾。夏季日中、河川上では3.5~4.0℃周辺市街地よりも低温となっている(河幅約300m、河口からの距離は2.5~4.5km)。河道という空間は、市街地に比べ粗度も小さく、人工排熱もない。この時期、河川水は気温より冷たい。従って、河川上で風速が強くなり気温が低くなるのは当然である。結果として、河川が貫流する都市では、本来ならば一つのドーム状に形成されるヒートアイランドが、河道で分断される形となる。

海風が海域から市街地に侵入すると、市街地という地表面境界条件に対応した内部境界層が下層に形成される。一般に、内部境界層の厚さは、吹走距離(フェッチ:ここでは海岸線からの距離)の1/10~1/100程度の割合で発達する。すなわち、地表付近には高温で

風速の弱い気層が形成され、徐々にその厚さを増していく。従って、海岸からある程度内陸に入った市街地においては、少なくとも地表近くの高さでは直接海風の恩恵を得ることはできなくなる。

河風が、ヒートアイランド対策として注目される理由は、地表近くのレベルにおいて、市街地の奥深くまで海風を変質させずに導くという点にある。そして、この河風をヒートアイランド対策として生かすには、周辺市街地へとさらに導く工夫が必要となる。

図4は、風洞実験において、このような河風の広がりや周辺建物配置との関係を検討した結果の一例である⁷⁾。河川に直交する街路において、街路の風下側を高層化するか風上側を高層化するかで、街路空間への河風の広がりが大きく異なってくる。これは、高層建物の背後は負圧域となり河風を誘引するのに対し、建物風上側は壁面に沿った吹き降ろし気流により正圧域となり河風の侵入を妨げるためである。同様の検討から、建物を河川の両側に「ハの字」型に配置することにより、風向きにより河風の選択的導入が可能になることが示されている。このアイデアは、現在、品川区が進めている大崎エリアにおける目黒川を活用した街づくりに取り入れられている。

ここで注意しておかねばならない点は、目黒川（河幅約25m）の大崎駅付近（河口から約3km）の河道内を吹いている風は、決して河口から遡上してきた空気塊ではないということである。海風が卓越する条件下、大崎付近では確かに上流へ向かう風が恒常的に吹い

ている。しかしながら、このとき下流域では、河筋が途中で湾曲しているため、逆に河口へ向かう風が吹いている。大崎駅付近では、河道に沿って高層の集合住宅が立ち並んでいる。これらの建物が、上空を斜めに横切る海風を河道内に導き、螺旋状の流れとなって河道内を遡上している（図5）。一方、橋が架かる交差点部分では、逆に河道から直交する街路に風が流出している。このように河幅20~30m程度の中小河川では、上空から取り込まれた空気が次々に入れ替わりながら河道内を流れている。すなわち、水平的にオープンスペースが連続していることが「風の道」を形成している理由とは必ずしもなっていない⁸⁾。

このように河沿いの建物は、海岸から離れた市街地において、上空の涼風を地表面付近に取り込む作用をしているが、同様のことは街路沿いでも起こっている。図6は、有楽町のマリオン前の気温と上空風向の関係を表しており、吹き降ろしが起こる南風時に同一街路の他の地点に比べ、平均で1℃程度、場合によっては2℃以上涼しくなっていることが

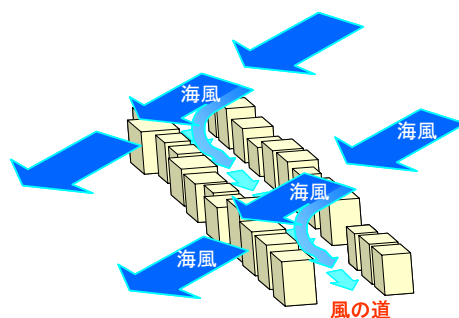


図5. 上空の海風の取り込みによる風の道の形成のイメージ

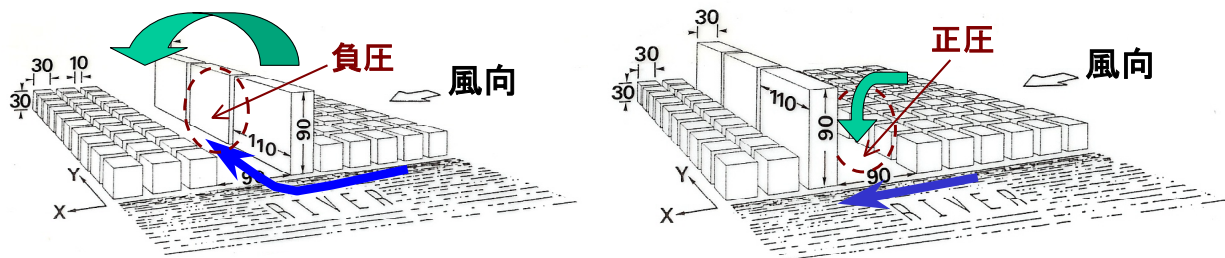


図4. 河川周辺の建物配置による河風の広がりの違い—左: 街路の風上側を高層化、右: 街路の風下側を高層化

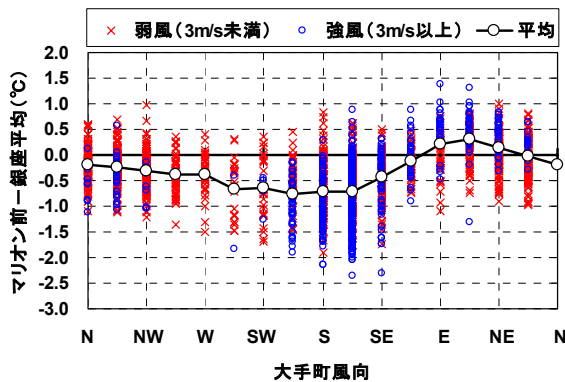


図6. 有楽町マリオンビル前の気温低下と風向の関係

わかる⁹⁾。このような建物による上空風の取り込みを、最近では「鉛直的な風の道」あるいは「3次元的な風の道」と称して積極的に評価するようになってきている。

また、図4からもわかるように、周辺よりも高い建物は風上側に正圧、風下側に負圧の空間を作り出す。このことを積極的に利用し、風向に直交する細街路の両端の建物高さを高くすること（一方は風上側、他方は風下側）で、細街路に流れを発生させるという提案も

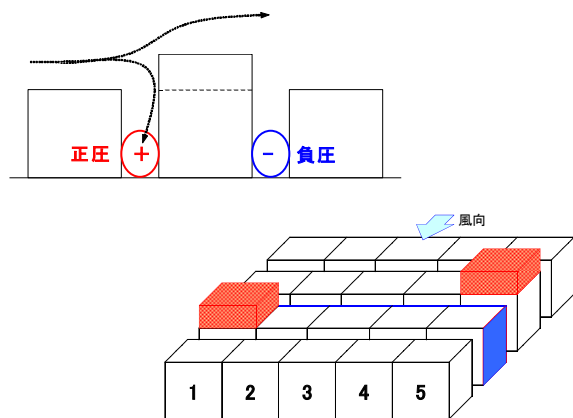


図7. 建物高さ変化による密集街区の風通しの改善

なされている（図7）¹⁰⁾。

4. 放射冷却を弱める天空率の減少

都市が高層密集化することの影響は、風に関するものに留まらない。日没後の放射収支は、下向きの長波放射量の多寡が支配的要因となり、それによって決まる放射冷却量が局所的な気温場を大きく左右する。特に大気が乾燥し放射冷却が強まる冬季の夜間は、天空率と地上気温がきれいな相関関係を示すようになる¹¹⁾。大気中の水蒸気量が多くなる夏季は冬季ほどではないが、地表面温度の低下量と天空率は強い相関を示す。例えば、昭和40年代に建てられた中層平行配置の古い団地を建て替え、高層の囲み型の住棟配置にすると放射冷却が弱まり夜間の気温が高くなるという報告もされている。

郊外では一般に、夜間、放射冷却により地表面付近に接地逆転層が形成されるが、都市部では日中の蓄熱と天空率の低下、さらに人工排熱の影響で、接地逆転層が形成されず日中の出を迎える。ただ、都市内に存在する大規模緑地では、晴天静穏な夜、郊外域と同じように冷気の蓄積が起こり、その冷気が周辺市街地に重力流的に流出する現象が起こる。これを冷気の「にじみ出し現象」と呼んでいる。近年、都市内に残された小規模の緑地でも、傾斜がある場合には、大規模緑地に匹敵する冷気流出が起こっていることがわかってきた（図8）¹²⁾。例えば首都圏にはこのような斜面緑地が東京23区内を含め多数存在している。比高としては20m程度のものが大半であるが、自然の「都市構造」が冷気の供給源として作用している可能性が高い。

おわりに

建物を中心とした都市の空間構造が都市気候に及ぼす影響について、筆者らの研究を中心に紹介した。この他にも最近注目されているトピックとして、高層ビル群の周辺で集中

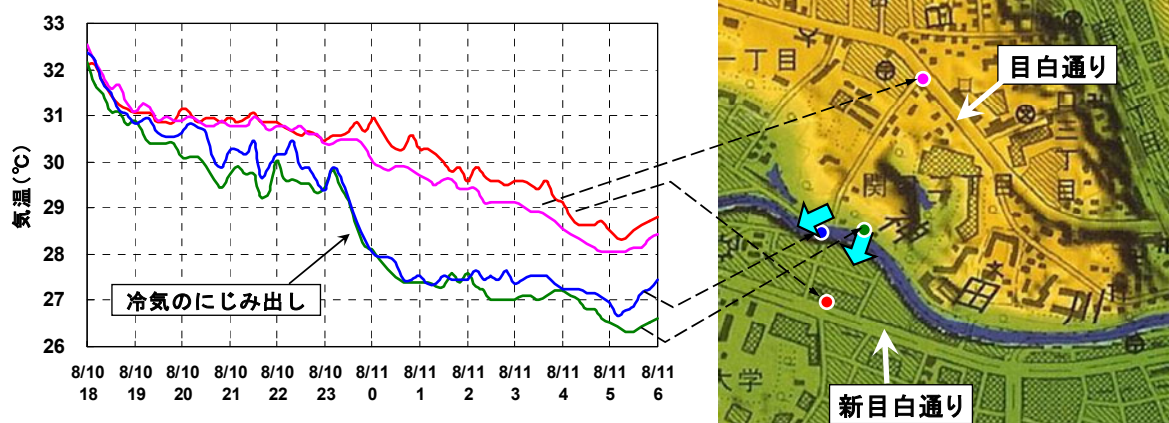


図8. 斜面緑地からの冷気のにじみ出しの事例（東京都文京区胸突坂、地図中の矢印は冷気の流出方向を表す）

豪雨が増加しているという報告がある。統計的には増加傾向が抽出されるということであるが、明確な因果関係はまだ示されていない。数値解析によるゲリラ豪雨の研究も盛んに行われているが、降雨現象の再現は現在でも難しく、同じ条件でもほんの僅か初期値を変えただけで結果が全く異なってしまうという不安定性があり、明確な結論には至っていない。

もう少し大きな山手線のエリア程度のスケールで、建物による粗度が増し、多量の熱供給がなされていることが、積乱雲の発達を促しているらしいという報告が最近の知見として注目されている。今後のさらなる研究成果に期待したい。

— 参考文献 —

- 1) 成田健一：汐留エリアの高層ビル群による風環境の変化に関する風洞実験，日本建築学会技術報告集，24，237-240（2006）
- 2) 久保田徹・三浦昌生・富永禎秀・持田 灯：実在する 270m平方の住宅地における地域的な風通しに関する風洞実験－建物群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響 その 1，日本建築学会計画系論文集，529，109-106（2000）
- 3) 成田健一・関根 毅・徳岡利一：市街地の蒸発量に及ぼす建物周辺気流の影響に関する実験的研究（続報），日本建築学会計画系論文報告集，366，1-11（1986）
- 4) 萩島 理・谷本潤・末永啓・池谷直樹・前田一行・成田健一：直方体粗度群の床面バ

ルクスカラー係数に関する風洞模型実験，日本建築学会環境系論文集，632，1225-1231（2008）

- 5) 池谷直樹，萩島理，谷本潤，田中雄大，成田健一：平面配列のランダム性、及び濃度境界層、粗度周辺気流の影響 直方体粗度群の床面バルクスカラー係数に関する風洞実験その2，日本建築学会環境系論文集，659，877-883（2010）
- 6) 村川三郎・関根 毅・成田健一・西名大作・千田勝也：都市内河川が周辺の温熱環境に及ぼす効果に関する研究（続報），日本建築学会計画系論文集，415，9-19（1990）
- 7) 成田健一：都市内河川の微気象の影響範囲に及ぼす周辺建物配列の影響に関する風洞実験，日本建築学会計画系論文集，442，27-35（1992）
- 8) 成田健一・鍵屋浩司：臨海都市における中小河川の風の道としての効果－東京・目黒川における微気象観測，日本建築学会環境系論文集，653，637-644（2010）
- 9) 成田健一ほか：皇居周辺を中心とした東京都心部の気温分布特性の解析，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，919-920（2009）
- 10) 成田健一：建物高さ変化による密集街区の風通しの改善に関する風洞実験，日本建築学会技術報告集，32，211-214（2010）
- 11) 成田健一：都市域における下向長波放射量の移動観測，環境情報科学論文集，15，249-254（2001）
- 12) 成田健一・菅原広史：都市内緑地の冷気のにじみ出し現象，地学雑誌，120(2)，411-425（2011）