

# 各種ヒートアイランド対策の導入が都市気温に及ぼす影響

—東京23区オフィスビル街を対象にした数値実験—

大橋 唯太

岡山理科大学総合情報学部生物地球システム学科

(2004年9月24日受付、2004年11月5日受理)

## 1. はじめに

近年、人口が集中する都市域では数十年前に比べて気温が着実に上昇しており、地球規模の温暖化現象による気温上昇が100年で1℃未満であるのに対し、都市域の気温上昇はその数倍にもあたると言われている(例えば、日下ほか、1998)。

都市域内の気温は、人工物の被覆やキャニオン形状といった街区構造の影響だけでなく、自動車や空調室外機からの排熱の影響も強く受けている。特に、人工排熱量と気温との間には相互作用があるため、都市域内の気温変動を予測するためには、建物への熱負荷量と冷房システムによる室外への除去熱量をできるだけ厳密に計算する必要がある。それを可能とする都市気象・ビルエネルギー連成数値モデルが近年、近藤・劉(1998)と亀卦川ほか(2001)によって開発された。これらのモデルは今後、ヒートアイランド対策や省エネルギー策の都市域内への大規模導入や、都市計画の際の熱環境予測に広く利用されることが期待されている。しかしながら、この数値モデルは未だきちんとした検証がされておらず、実際のヒートアイランド対策導入時の効果を定量的に議論することは现阶段で難しい。そこで本研究では、数値モデルの改良と、実際の都市気温の観測結果と計算結果の比較を通して、モデル利用の定量的な有効性を確保したうえで、各種ヒートアイランド対策や、省エネルギー策の導入による都市域内の大規模変化が、都市気温にどの程度影響が現れるか検討してみる。

## 2. 都市気象・ビルエネルギー連成モデルの概要

使用した数値モデルは、既述の近藤・劉(1998)と亀卦川ほか(2001)によって開発された都市気象・ビルエネルギー連成モデルを基礎としている。図1にモデル構造の模式図を示す。このモデルは、街区気象モデル(以降、CMと呼称)とビルエネルギー・排熱解析モデル(以降、BEMと呼称)で構成されており、CMで気象場の変動を、BEMでは冷房排熱量の変動をそれ

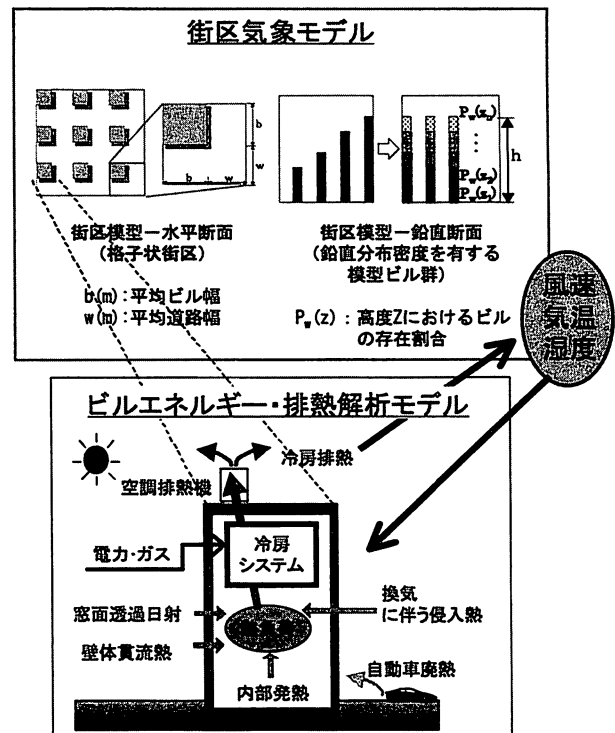


図1 都市気象・ビルエネルギー連成数値モデルの模式図

ぞれ予測する。

### 2-1 街区気象モデル (CM)

CMは、数百mスケールの都市街区区内における気象要素を再現する数値モデルである。図2にCMの詳細を表す模式図を掲げる。このモデルでは、1格子内(メソスケール気象モデルの格子間隔と同等かそれ以下)に同一の大きさを持った直方体形ビルが整形配列していると仮定されている。これらのビルはそれぞれ異なる高度を持っており、ビルの鉛直存在割合 $P_w(z)$ (高度が

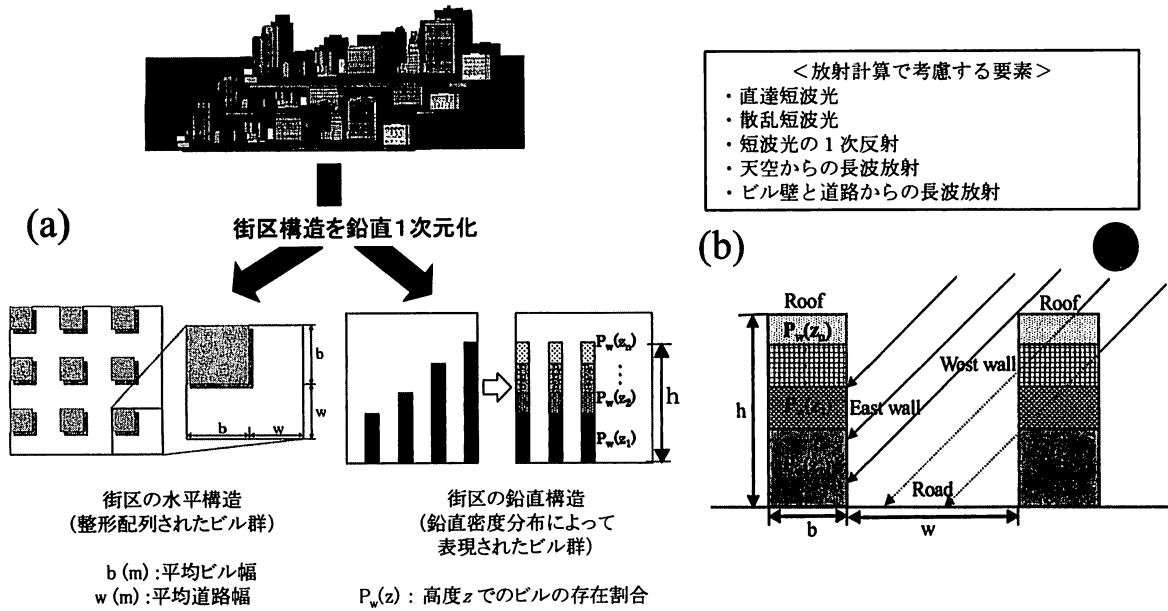


図2 CMで与えられる (a) 街区構造と (b) 放射環境

$z$ を超えるビル数の全ビル数に対する割合)を与えることによってそれを考慮している。

風・温度・湿度の鉛直分布は以下の基礎方程式によって予報される。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m m \frac{\partial u}{\partial z} \right) - cau \left( \sqrt{u^2 + v^2} \right) + f(v - v_g) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_m m \frac{\partial v}{\partial z} \right) - cav \left( \sqrt{u^2 + v^2} \right) - f(u - u_g) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h m \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{Q_s}{c_p \rho} \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{1}{m} \frac{\partial}{\partial z} \left( K_h m \frac{\partial q}{\partial z} \right) + \frac{Q_L}{L \rho} \quad (4)$$

$u, v$  (m/s) : 風速の東西成分・南北成分,  $\theta$  (K) : 温位,  $q$  (kg/kg) : 比湿,  $K_m, K_h$  (m<sup>2</sup>/s) : 運動量・熱(水蒸気)の鉛直拡散係数,  $f$  (1/s) : コリオリパラメータ,  $c$  (-) : ビルによる抵抗係数,  $a$ : ビルの面積密度 (m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>),  $u_g, v_g$  (m/s) : 地衡風の東西成分・南北成分,  $c_p$  (J/kg・K) : 空気定圧比熱,  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) : 空気密度,  $L$  (J/kg・K) : 蒸発による潜熱 (J/kg) ここで,

$$m = 1 - \frac{b^2}{(w+b)^2} P_w(z) \quad (5)$$

$b$  (m) : ビル幅,  $w$  (m) : 道路幅である。

(3)式中の $Q_s$ は、ビル壁面(東西南北の各側壁と屋上面)と大気との顕熱交換量( $Q_{ewall}$ ,  $Q_{ewall}$ ,  $Q_{ewall}$ ,  $Q_{ewall}$ と、 $Q_{roof}$ ), 冷房室外機からの排熱熱量( $Q_{anh}$ ), 室内換気による顕熱交換量の総和を表しており、一方で(4)式中の $Q_L$ はそれらの潜熱成分を意味している。

地中やビル壁体は大気層と同様に多層分割されており、熱伝導方程式を解くことによって道路面やビル壁面の温度が計算される。この時各面に入射するエネルギーは、短波入射量としては太陽からの直達光と天空からの散乱光、さらに隣のビル壁面からの反射・散乱光が存在する。道路面やビル壁面が隣のビルの陰になる割合に関しては、幾何学的な計算から求められるようになっている。もう1つの入射エネルギーである長波放射量は、天空からの長波放射と隣のビル壁面から射出される長波放射がある。これらの入射エネルギーはビル壁面や道路面で吸収され、顕熱輸送と壁や地中への伝導熱へと分配される。ただし、これは表面上で蒸発がない場合であり、植生などの水分蒸発が存在する際には、潜熱輸送への分配も必要となる。例えば、ヒートアイランド対策の一つである屋上緑化の評価をおこなう場合にはこのことが考慮されるようになってくる。

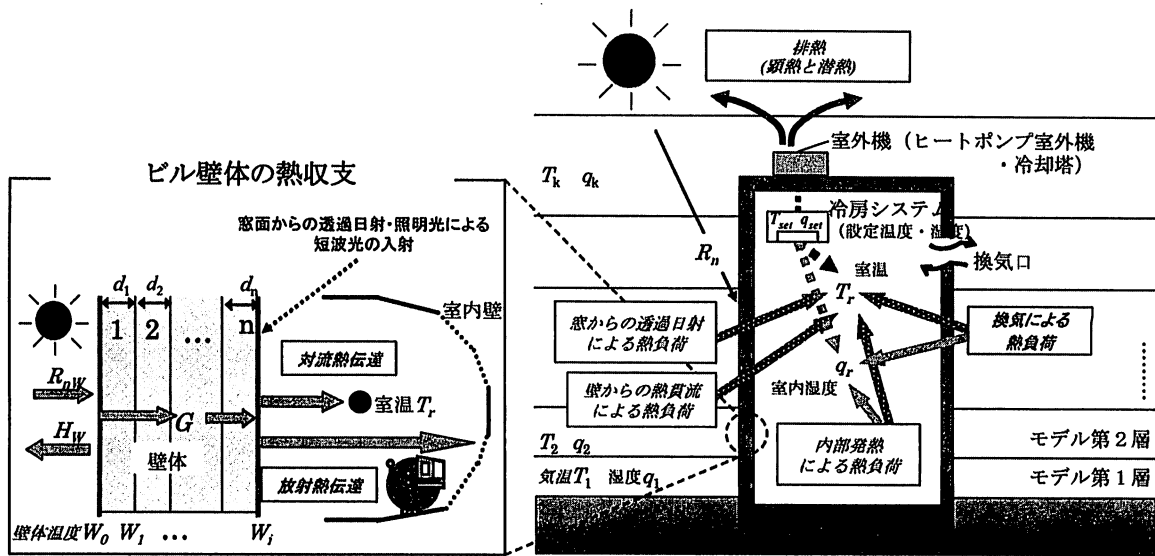


図3 BEMで計算されるビル内への熱負荷

街区内の気温の時間変化は(3)式からわかるように、乱流混合による熱拡散と建物からの顕熱供給 $Q_s$ によって決定される。その $Q_s$ については、次式で計算される。

$$Q_s = \{P_w(z) - P_w(z + dz)\} Q_{roof} \frac{b^2}{(w+b)^2 dz} + P_w(z) (Q_{ewall} + Q_{wwall} + Q_{swall} + Q_{nwall}) \frac{b}{(w+b)^2} + Q_{anth} \quad (6)$$

右辺第1項は屋上からの顕熱輸送量、第2項は東西南北の各側壁面から供給される顕熱輸送量、そして第3項が空調室外機からの人工排顕熱を表している。ビル表面の顕熱輸送はJurgesの式 (Jurges, 1924)、大気の流れ拡散係数はGamboの式 (Gambo, 1978) によってそれぞれ計算される。

このモデルの大きな特徴としては、街区内の気象要素を鉛直方向に計算できる点が挙げられる。これによって、都市域内で発生するヒートアイランド現象の鉛直構造を知ることができると同時に、各種ヒートアイランド対策の効果を鉛直方向に対して評価することもできる。

### 2-2 ビルエネルギー・排熱解析モデル (BEM)

BEMでは、ビルを1つのボックスとして取り扱うことによって、室内の熱収支計算がおこなわれる。図3にBEMにおける熱収支計算の模式図を示す。ここでは、窓面からの透過日射、壁体からの貫流熱、換気に伴う熱の流入、照明やOA機器、人体からの発熱量を求める

ことによって、ビル内への(顕熱・潜熱それぞれに対する)熱負荷を計算する。室内の冷房運転によって、その熱負荷と消費された電力やガスエネルギーは、排熱として外気に除去される。その除去熱量は毎時間の冷房稼働率(室内人員密度の時間変化から与えている)に依存しており、冷房エネルギー消費量 $E_c$ と冷房排熱 $Q_A$ は次のような関係式によって計算される。

$$E_c = \frac{H_{out} + E_{out}}{COP}, \quad \left( \because COP = \frac{H_{out} + E_{out}}{E_c} \right) \quad (7)$$

$$Q_A = E_c + H_{out} + E_{out} = \frac{COP + 1}{COP} (H_{out} + E_{out}) \quad (8)$$

ここで、 $H_{out}$ と $E_{out}$ はそれぞれ顕熱負荷と潜熱負荷の冷房処理量である。COPは冷房システムの成績係数を表しており、部分負荷率(=機器による熱負荷処理量/機器容量)と室外機周辺の外気温度への依存性を考慮して与えている。このモデルでは、多様な冷房システムタイプ(空冷式か水冷式か、電動式かガス式かなど)の設定が可能である。冷房システムが水冷式か空冷式かによって $Q_A$ は顕熱成分と潜熱成分に分離され、既述のCMの(6)式に顕熱成分が入力される( $Q_{anth}$ に相当)。つまり、この除去排熱が、CMで計算される気温・湿度場の変化に反映されることになる。BEMの検証は、実際のビル室内温度と冷房負荷処理量の変動の比較や、日最大電力需要の気温感応度の比較に関しておこなわれている(亀卦川ほか, 2001)。

CMとBEMの間では、上述のような仕組みによって動的な相互作用計算がおこなわれる。即ち、CMで計

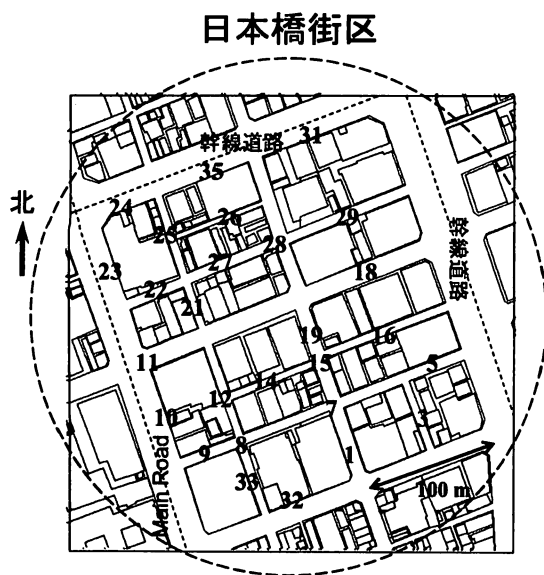


図4 モデル検証のために観測をおこなった東京都中央区日本橋のオフィスビル街区。番号は観測地点番号をあらわす。モデルに使用された街区構造パラメータは、破線で示した円領域で計算された。

算された街区内の気温・湿度に応じて冷房排熱量が決定され、それによって街区内の気温・湿度が変化するというフィードバック作用が考えられている。

### 3. 都市気象・ビルエネルギー連成モデルの改良と検証

#### 3-1 モデルの改良

大橋ほか(2004)では、CMの上部境界条件として、東京大手町にある東京管区気象台で測定された気温と絶対湿度の時間変化を与えている。CMの上部境界は通常、高度数百mの大気境界層中層部に設定される。その高度に対して、地上で測定された気象要素の時間変化をそのまま与える方法は、物理的に考えて妥当ではなく、CMの境界高度と同じ高度で測定された気象要素の値を直接与えることが望ましい。そこで本研究では、東京タワーで測定された250m高度の気温と風向風速をCMの上部境界条件として入力できるようにモデルを改良した。これらの実測値は1時間毎にCMの上部境界値として取り込まれ、その間の時間帯では線形内挿法によって推定された値が入力されていく。湿度は残念ながら東京タワーのデータが存在しないため、改良前と同様、アメダスの時間変化を与えている。

表1 計算条件

計算期間	2002年7月27日0時~7月30日13時 (解析期間は7月29日12時~7月30日12時)
天空からの短波・長波放射量	神田街区のビル屋上(高度約35m)での実測値
鉛直解像度	1m, 3m, 6m, (3m間隔).... 30m, (5m間隔).... 100m, (10m間隔)...., 250mまで
上端境界条件	東京タワーの高度250mでの実測値(風・気温)
初期温位	中立層を仮定

表2 CMでのビル・道路構造の設定条件

	アルベド	熱伝導率 ( $W m^{-1} K^{-1}$ )	体積熱容量 ( $J m^{-3} K^{-1}$ )
道路	上層 (アスファルト)	0.1	0.73
	下層 (土壌)	—	1.00
ビル	壁 (コンクリート)	0.2	2.28
	断熱材 (ポリエチレン発泡板, 室内側厚さ5cm)	—	0.04
	窓 (側壁面の30%)	0.4	—

表3 BEMでの各種設定条件

パラメータ	設定値
冷房設定温度	26.0 °C
冷房設定相対湿度	50.0 %
冷房時間帯	9~18 時 (8時より予冷運転)
熱源構成比	空冷式(顕熱排熱) 6 : 水冷式(潜熱排熱) 4
排熱源位置	屋上
延床面積に占める冷房面積の割合	60.0 %
外気導入量	平日 5.0 $m^3/(m^2 \cdot h)$ 休日 3.0 $m^3/(m^2 \cdot h)$
在室人員1人当たりの占有床面積	5.0 $m^2/人$
人体発熱量	顕熱 47.0 W/人 潜熱 55.0 W/人
窓面の日射透過率	0.3 (ブラインドを想定)
単位建物容積当たりの空気熱容量	$2.0 \times 10^4 J/(m^3 \cdot K)$ (家具、書類等の熱容量を含む)

#### 3-2 シミュレーション精度の検証

数値シミュレーションによって予測をおこなう際、使用する数値モデル(ここではCM-BEM連成モデル)の計算精度を事前に検証しておくことが必要である。そこで、実際に都市域で観測される実測値とモデルで計算される予測値が定量的に一致するかをまず確認する。

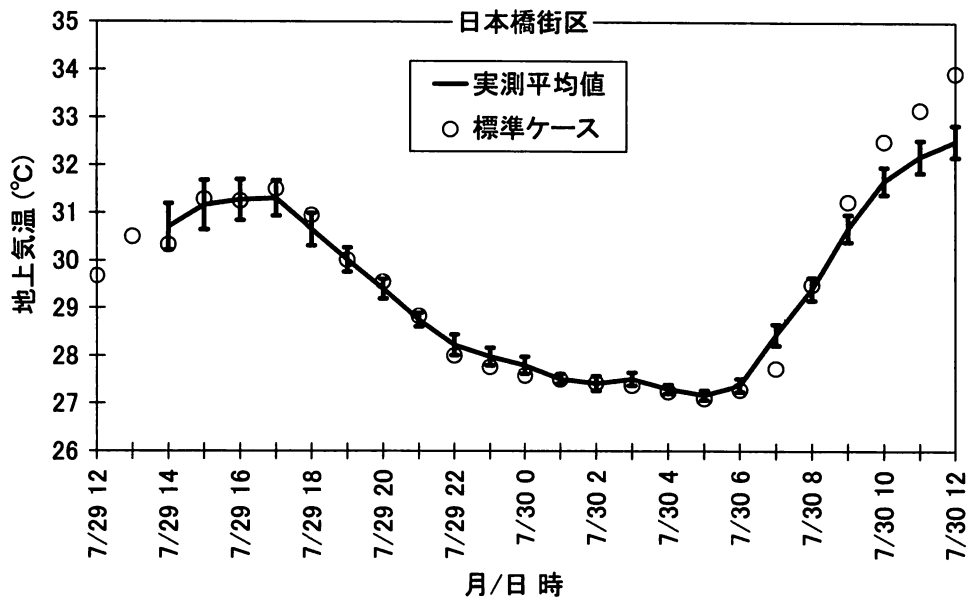


図5 地上気温の実測値とモデル計算値の時間変化。実線が実測の空間平均値（エラーバーは標準偏差），丸印はモデルでの計算値を表す。

大橋ほか（2003，2004）によって観測されたオフィスビル街区の地上気温をモデル計算気温と比較する。対象街区は東京都中央区日本橋であり，2002年7月29日から30日にかけて計27箇所地上気温の連続測定がおこなわれた（図4）。この期間の天候は，前半19日は比較的雲が多かったものの最高気温は30°Cを超え，後半20日はほぼ快晴で19日より気温が高くなり，典型的な真夏日となった。街区内気温の空間的なばらつきは，日中に大きく，夜間には小さくなる（図5の標準偏差を示すエラーバーを参照）。これは，日中には日向日陰の形成が地上気温の水平分布に大きな影響を与えているためである（大橋ほか，2003）。

この日本橋街区を対象に，観測日と同じ気象条件，観測場所と同じ街区構造条件をCM-BEM連成モデルに与えて，地上気温の日変化のシミュレーションをおこなった。モデル計算条件を表1に，CMでのビルと道路構造の設定条件を表2に，またBEMでの冷房運転・熱源機器構成など各種設定条件を表3に示す。

図5は，シミュレーション結果と実測結果の比較をしたものである。モデルでは，気温は街区平均値として高度毎に算出されるので，街区平均された実測気温と計算気温を比較するのが妥当である。7月30日の9時以降で計算値の過大評価がやや認められるものの，それ以外の時間帯ではかなりの精度で地上気温が予測さ

れていることがわかる。特に，日射の影響がなくなり気温が水平一様に近づく夜間の計算精度は，非常に高い。したがって，この数値モデルを使った都市熱環境の定量的な予測・評価が十分可能であると言える。

#### 4. 各種ヒートアイランド対策・省エネルギー策の都市気温への影響

##### 4-1 ヒートアイランド対策

現在，環境省や国土交通省，地方自治体が具体的に導入計画を検討しているヒートアイランド対策として，緑化，高アルベド塗料，地下ヒートシンクなどが挙げられる。緑化は，特に建物の屋上や側壁に植生を被覆させるものであり，ヒートアイランド対策では最もポピュラーで，既に導入されているビルも都市部に見られる。東京都は，新改築したビル屋上の20%以上を緑化することを既に義務付けている。

高アルベド塗料は，太陽光のうちの可視光及び近赤外領域に対する反射率を高めることで建物への熱負荷を抑えると同時に，気温を下げる効果を持っている。導入面積は，単純な塗布のために建物緑化よりも広く，導入までの時間も早いというメリットがある。その一方で，建物からの反射光が増えてしまい，街路を歩行する人の体感気温がかえって上がる恐れもある。

人工排熱のうち自動車排熱以外のものは，原理的に

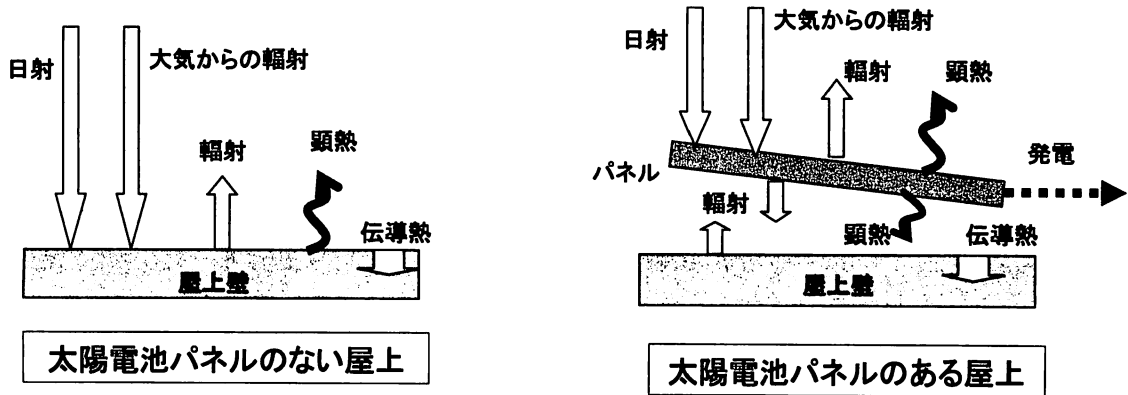


図6 ビル屋上で熱収支(左)と太陽電池パネルがビル屋上に設置された時の熱収支(右)。

大気以外のヒートシンクに吸収させることができるといわれている。この場合、ヒートシンク先として地下、海水、河川、下水、上水などが考えられ、特に地下ヒートシンクのヒートアイランド対策としての有効性が指摘されている(玄地, 2001)。技術的には既に十分可能な状況ではあるが、既述の対策に比べてコスト面で厳しい恐れがあるので、低コストの設置方法の開発が望まれている。

#### 4-2 省エネルギー策

今後、都市域に大規模普及が予想される太陽光発電システムを省エネルギー策として評価対象にする。太陽光発電システムは、建物の屋上に太陽電池パネルを設置し、太陽光をパネル面で吸収して電力へと変換する。太陽光という自然のエネルギーを使用するため、地球温暖化対策のための省エネルギーシステムとして、現在注目されている。

この太陽光発電が都市域で大規模に普及した場合、ビル屋上が太陽電池パネルで被覆されることによって、都市全体の熱収支が変化してしまう可能性が考えられる。図6は、日中、ビル屋上で通常生じる熱収支(左図)と、屋上に太陽電池パネルが設置されている時の熱収支(右図)を模式的に表現したものである。太陽電池パネルの設置によって、発電がビル内で発生する電力消費を賄う点や、屋上面が日陰になってビル内への日中の熱貫流を抑制する点で、大きな省エネルギー効果が期待できる。しかし、図6を見てもわかるように、太陽電池パネルの両面から大気へと顕熱輸送が生じてしまうため、パネルがない場合に比べてその周囲の気温が高くなる恐れがある。

太陽電池パネルが屋上に設置された時の熱収支式は

以下のように示される。

太陽電池パネル熱収支式：

$$(1-A)I + J - 2\varepsilon_p \sigma T_p^4 + \varepsilon_w \sigma T_w^4 - H_p - C_p \rho_p d_p \frac{dT_p}{dt} - P = 0 \quad (9)$$

太陽電池パネル顕熱輸送：

$$H_p = h_s(T_p - T_a) + h_b(T_p - T_i) \quad (10)$$

空気層(パネルと屋上面の間)熱収支式：

$$h_i(T_s - T_i) + h_w(T_w - T_i) + \frac{V_i C_a \rho_a d_i}{L}(T_a - T_i) - C_a \rho_a d_i \frac{dT_i}{dt} = 0 \quad (11)$$

屋上壁表面熱収支式：

$$\varepsilon_p \sigma T_p^4 - \varepsilon_w \sigma T_w^4 + h_w(T_i - T_w) - \lambda_w \left. \frac{\partial T_w}{\partial z} \right|_{z=z_0} = 0 \quad (12)$$

壁内部熱伝導式：

$$\frac{\partial T_w}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T_w}{\partial z^2} \quad (13)$$

屋根裏壁面熱収支式：

$$h_w(T_r - T_{wr}) + \lambda_w \left. \frac{\partial T_w}{\partial z} \right|_{z=z_1} = 0 \quad (14)$$

総括熱伝達係数：

$$h = aV + b \quad (15)$$

$A[-]$ : アルベド,  $d[m]$ : 厚さ,  $C_p \rho [Jm^{-3}K^{-1}]$ : 体積熱容量,  $H[Wm^{-2}]$ : 顕熱フラックス,  $h[Wm^{-2}K^{-1}]$ : 総括熱伝

表4 計算対象のケース設定

都市表面の改変ケース	設定状況
屋上緑化	屋上50%被覆, 芝生
側壁緑化	側壁40%被覆, ハイネズ
高アルベド塗料 (屋上塗布)	屋上100%被覆, アルベド0.8
高アルベド塗料 (側壁塗布)	側壁100%被覆, アルベド0.8
太陽光発電 (屋上に太陽電池パネル)	屋上50%被覆, 発電効率10%
排熱削減ケース	設定条件
地下ヒートシンク	大気への空調排熱をゼロ

達係数,  $I$  [ $Wm^{-2}$ ]: 短波日射量,  $J$  [ $Wm^{-2}$ ]: 長波日射量,  $L$  [m]: パネル長さ,  $P$  [ $Wm^{-2}$ ]: 単位面積あたりの発電量,  $T$  [K]: 温度,  $t$  [s]: 時間,  $V$  [ $ms^{-1}$ ]: 風速,  $z$  [m]: パネルに鉛直な座標,  $\alpha$  [ $m^2s^{-1}$ ]: 壁内熱拡散係数,  $\epsilon$  [-]: 射出率,  $\lambda$  [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ]: 熱伝導率,  $\sigma$  [ $Wm^{-2}K^{-4}$ ]: ステファンボルツマン定数である。ここで, 添え字は  $p$ : 太陽電池パネル,  $s$ : パネル表面,  $b$ : パネル裏面,  $a$ : パネル上空気,  $i$ : 空気層,  $w$ : 屋上壁,  $r$ : 屋根裏,  $z_0$ : 屋上壁表面,  $z_p$ : 壁屋根裏面を表す。

これらの熱収支式を連成モデルに組み込んだ。

#### 4-3 計算結果

ヒートアイランド対策の導入が, 実際どの程度気温低下に効果があるのか, 明確でないまま広範囲に導入されつつある。この問題を解決する手段として, 数値シミュレーションによる予測が挙げられる。先述の省エネルギー策である太陽光発電が, 都市部に大規模普及する計画がある場合に, 都市部の気温に影響が現れるかどうかを事前に調べておくことが可能となる。

以下, 3-2節で検証が済んだCM-BEM連成モデルを用いて, 今まで取り上げてきたヒートアイランド対策・省エネルギー策の導入時の都市気温への影響を, 日本橋街区を対象に評価をおこなう。

本研究の評価ケースを表4に掲げる。ヒートアイランド対策は, 屋上緑化, 側壁緑化, 高アルベド塗料(屋上塗布と側壁塗布), 地下ヒートシンク, 省エネルギー策としては太陽光発電を取り上げる。ただし, 先述のヒートアイランド対策のうちビルの緑化と高アルベド化は, 導入によって建物への熱負荷が減少するため,

省エネルギー策としての役割も併せ持っている。

屋上表面を改変する, 屋上緑化と太陽光発電に伴う太陽電池パネルの被覆面積は, ともに屋上の50%を占めるものとした(建設省, 1995)。側壁緑化に関しても同程度として扱った。一方, 高アルベド塗料は単純な塗布のため, 基本的に建物面積の100%に施すことが可能であると考えた。太陽光発電では, 発電効率(太陽光入射量に対する発電量の割合)を一般的な値である10%と想定した。

これらの対策が, 東京都中央区日本橋街区で大規模導入された際の地上気温の変化を計算した結果が図7である。太陽光発電以外は地上気温(高度1m)が下がる傾向にある。気温変化量の最大値と平均値をまとめたのが図8である。最も気温低下に効果があったのは, 日中は地下ヒートシンクであり, 最大で2°C, 平均でも1°Cの気温が下がっている。このことから, ビルからの排熱が日中の気温上昇に大きく寄与していることがわかる。一方, 夜間はビルからの排熱がなくなるため, 側壁に対する高アルベド化・緑化といったビル側壁の改変が最も気温を下げる。これらの側壁改変は, 屋上の緑化や高アルベド化などの屋上改変よりも昼夜問わず地上気温をよく下げている(日中平均, 夜間平均とも0.3~0.4°C)。これは, 側壁面の面積が屋上に比べて大きいことと, 地上近くにある側壁面が地上の気温により強い影響を及ぼしていることが理由にあげられる。現在最も盛んに導入が行われつつある屋上緑化は, 今回選んだ対策ケースの中では最も気温低下の効果が小さいことがわかる(日中平均, 夜間平均とも0.1°C未満)。

一方, 太陽光発電は, 図6でもわかるように太陽電池パネルを屋上面から離して設置をするため, パネルで覆われた屋上の面積が実質的に2倍に増えることになる(つまり, 太陽電池パネルの表面と裏面)。これに伴って, 表面から放出される顕熱輸送も, パネルの表面と裏面の両方から放出されることになるため, パネルがない場合の2倍になってしまう。また, パネル表面温度は屋上面温度よりも高くなるため, パネルからの顕熱輸送量自体も大きくなる。この顕熱輸送が増えた分, 気温が上昇することになったと考えられる。最大で1°C弱, 日中平均で約0.5°Cと, 側壁高アルベド化の気温の下げ幅と同程度の上げ幅をもっていることがわかる。

#### 4. おわりに

都市気象・ビルエネルギー連成数値モデルの改良を行い, 各種ヒートアイランド対策・省エネルギー策導入時の都市地上気温への影響を定量的に評価した。屋上緑化・側壁緑化・屋上高アルベド化・側壁高アルベ

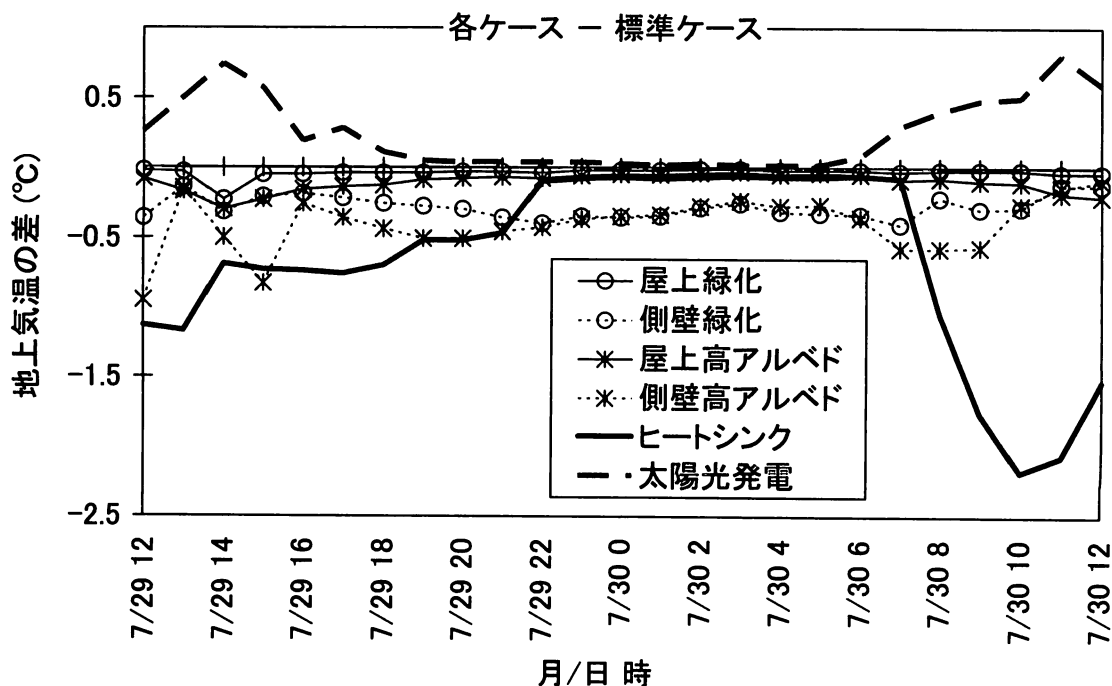


図7 各種ケース導入時と未導入時の地上気温の差（各ケース-標準ケース）。正值が気温上昇，負値が気温低下を表す。

ド化・地下ヒートシンク・太陽光発電の6つを評価対象に，東京都中央区日本橋のオフィス街区をモデルとして計算をおこなった。

地上気温の低下が最も著しかったのは，日中では地下ヒートシンクであり，冷房排熱を削減することがヒートアイランドの抑制に最も効果的であることが示唆された。一方，夜間は側壁緑化・側壁高アルbedo化が最も地上気温を下げ，側壁の冷却化が夜間に重要であることがわかった。ビル表面の改変ケースの場合，屋上よりも地上に近い側壁に対策が施されるものほど，気温低下にはより効果的であることが考えられる。

省エネルギー策の代表例でもある太陽光発電は，太陽電池パネルから大気への顕熱輸送が過剰になることによって，日中の地上気温を上昇させてしまう恐れがあることが示唆された。ただしその値は，本研究の設定条件で日中平均およそ0.5°Cである。

今回得られた結果は，あくまで本研究の条件設定・対象街区に対して得られたものであり，決して普遍的な結果であるとは言うことはできない。特に，都市キャノピー内の気温変動は，その上空の気象条件に大きく左右されるため，日によって対策導入時の気温低下の度合いは変化することが考えられる。したがって，

本研究で得られた気温低下量の値についての解釈は，十分に注意する必要がある。

#### 謝辞

本研究を進めるにあたって，（独）産業技術総合研究所の近藤裕昭氏，玄地裕氏，（株）富士総合研究所の亀卦川幸浩氏にご協力をいただきました。本研究は（財）住友財団環境研究助成（助成番号033342）を受けておこないました。

#### 参考文献

- Gambo, K.: Notes on the turbulence closure model for atmospheric boundary layers. J. Meteorol. Soc. Japan, Vol.56, pp.466-480, 1978.
- 玄地裕：ヒートアイランドの緩和方策～地域熱供給システム，地域蓄熱，地下ヒートシンク～，エネルギー・資源，Vol.22, pp.306-310, 2001.
- Jurges, W.: Der Wärmeübergang an einer ebenen Wand, Beihefte zum Gesundheits-Ingenieur, Beiheft 19, 1924.
- 建設省：緑化空間創出のための基盤技術の開発報告書，1995
- 亀卦川幸浩・玄地裕・吉門洋・近藤裕昭：建築空調エネルギー需要への影響を考慮した都市高温化対策評価手法の開発，エネルギー・資源，Vol.22, pp.235-240, 2001.
- 近藤裕昭・劉発華：1次元都市キャノピーモデルによる都市の



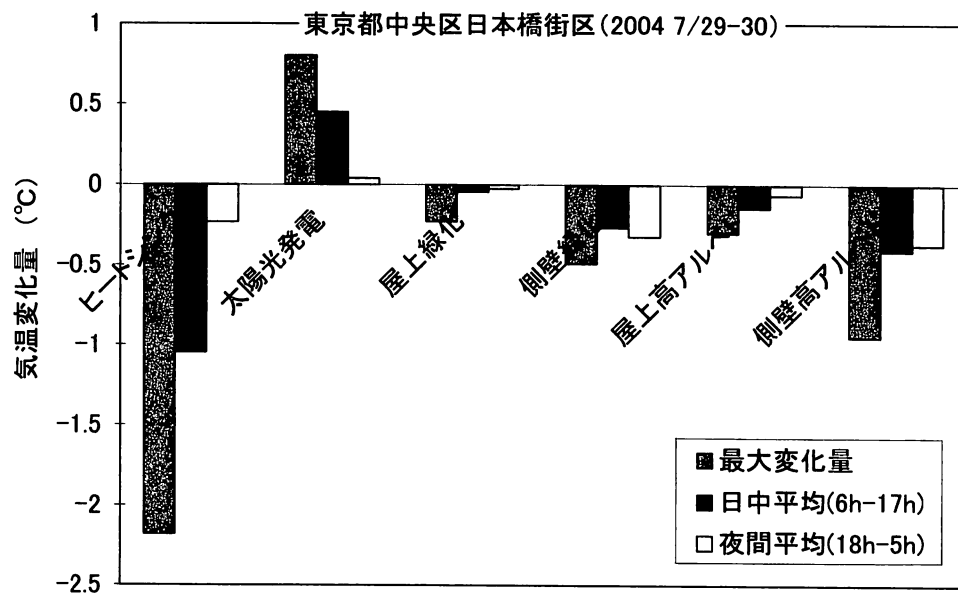


図8 各種ケース導入時と未導入時の地上気温差（各ケースー標準ケース）の最大量・日中平均・夜間平均。正値が気温上昇，負値が気温低下を表す。

熱環境に関する研究, 大気環境学会誌, Vol.33, pp.179-192, 1998.

日下博幸・西森基貴・安成哲三：最高・最低気温偏差の季節性を利用した都市化に伴う気温上昇率の推定, 天気, Vol. 45, pp. 369-378, 1998.

大橋唯太・玄地裕・亀卦川幸浩：東京都心の街区内気温の空間分布とその形成要因について, 環境情報科学論文集 17, No.17, pp.59-64, 2003.

大橋唯太・平野勇二郎・玄地裕・亀卦川幸浩・近藤裕昭・吉門洋：都市気象・ビルエネルギー連成モデルを用いた事務所街区内気温の数値シミュレーション, 水工学論文集, Vol.48, pp.133-138, 2004.

# **Influence of Heat-Island Countermeasures on Urban Thermal Environment**

— Numerical Experiments for Office Building Area in Tokyo —

Yukitaka OHASHI

*Department of Biosphere-Geosphere System Science, Faculty of Informatics,*

*Okayama University of Science*

*Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan*

(Received September 24, 2004; accepted November 5, 2004)

We investigated the influence of the countermeasures for urban heat-island, such as the planting trees and the high-albedo painting on the building roofs (green and white roofs), on the surface-air temperature at a Tokyo office area. The numerical model used in this study accurately reproduced the temperature measured in the office area. We simulated the quantitative influence of the green and white roofs, walls, the emitting heat into the ground (no waste heat), and Photovoltaic power generation (PV; the energy-saving measure), on the urban air-temperature with this model.

The results showed that the no waste heat and green/white walls most effectively decrease the surface-air temperature. On the other hand, the PV possibly increases the daytime urban temperature due to the increase of the sensible heat supplied from the solar-cell panel into the atmosphere.