建物緑化の違いが街区内の気温と湿度の分布に与える影響に関する数値解析

鈴木弘孝¹⁾・中山造成²⁾・田代順孝³⁾

1) (独)建築研究所 Building Research Institute

2) (株)環境シミュレーション Environmental Simulation Co., Ltd.

3) 千葉大学園芸学部 Fac. of Horti, Chiba Univ.

摘要:都市のヒートアイランド現象の対策として有力視されている屋上や壁面等建物緑化による温熱環境改善効果を定量的に把握することを目的として、実在の街区をモデルとしてCFD(計算流体力学)解析を行い、建物緑化の違いによる街区内部の温度と湿度の変化について数値解析を行った。解析の結果、対象街区での緑化なしに比べて、地表面・屋上の緑化と壁面緑化を組み合わせた場合、気温では街区中心部で最大で約4℃の低減、湿度では最大16%の上昇が見られ、実在街区を対象とした建物緑化による温熱環境改善効果の定量的な評価の可能性が示唆された。

キーワード: ヒートアイランド, 建物緑化, CFD

HIROTAKA, Suzuki, HIROMASA, Nakayama and YORITAKA, Tashiro: Numerical analysis on the influences of different building greening methods on temperature and humidity distributions in an urban block

Abstract: To quantitatively understand the effects of building greening, which involves greening of the walls and roof tops and is attracting attention as a means of mitigating the heat island phenomenon in cities and improving the thermal environment, a computational fluid dynamics (CFD) analysis was conducted using an actual district as a model to numerically analyze the changes in temperature and humidity in the district by building greening. The analysis showed that greening of the ground surface, rooftop and walls reduced the air temperature in the middle of the district by up to about 4°C from the case without greening and increased the humidity by up to 16%. It was suggested that quantitative evaluation of the thermal environment improvement effect of building greening could be estimated using CFD for actual block.

Key words: heat island, building greening, Computational Fluid Dynamics thermal environment,

1. はじめに

近年の急速な都市化の影響により緑地や水辺地が消失する一方、建築物や道路など、コンクリートやアスファルト等による地表面被覆の人工化、自動車や空調機器からの人工廃熱の増加等により、ヒートアイランド現象が顕在化しており、都市環境の改善・保全を図るため、早急な対策が求められている。東京都では2001年3月に「自然の保護と回復に関する条例」の改正により、1,000 m²以上の敷地において建築物を新築・改築する場合に屋上緑化を義務づけている¹⁰⁾。また、2004年6月には都市緑地保全法の改正により、大規模建築敷地においては緑化率の最低限度を定める「緑化地域制度」が創設されている¹¹⁾。これらの緑化施策の拡充により、建物の屋上、壁面等建物緑化の普及促進が期待される。

一方、今後、建物緑化の推進を図るためには、緑化の担い手と

なる住民や企業等に対して、生活空間単位として街区レベルにおいて緑化対策の温熱環境改善の効果を定量的に明らかにしていくことがその必要性を具体的に認識できるために有効かつ必要と考えられる。街区レベルにおける既往の研究例として、山村ら¹²⁾、吉田ら¹³⁾は、建物数棟により構成された街区モデルを対象に解析を行っているが、解析対象とした街区は立方体の建物を均等配置した架空の簡易街区モデルである。

建物の配置・形状を考慮した街区でのCFD解析例として、大黒ら⁷⁾(2003)は、河川に接する集合住宅計画地を対象として、高反射塗装等や壁面緑化が屋外の温熱環境に及ぼす影響について解析した例があるが、比較の対象も壁面と舗装面にとどまっており、緑化の効果検証としては十分とは言えない。

そこで、本研究は、建物緑化による街区レベルでの温熱環境改善効果についての定量的評価を行うための基礎データを得ることを目的として、東京都千代田区内の実在街区をモデル

にCFD(Computational Fluid Dynamics)解析を用いてシミュレーションを行い、建物の屋上や壁面等への緑化条件の相異による街区内の気温と湿度の分布について検討した。

2. 研究の方法

街区の温熱環境形成には、長波放射、短波日射を受けた建物や地表面からの放射、日射反射の放射収支、顕熱による対流熱や地盤や壁体への熱伝導の熱収支とともに、街区内の風の流れや、湿度等の要素が相互に影響している。これら温度、風、湿度の物理現象を総合的に流体解析するために、運動量、温度、湿度の輸送方程式をCFD(Computational Fluid Dynamics: 計算流体力学)により連成して解き、街区内での温度と湿度の分布についてシミュレーションを行った⁵⁾。

街区モデルとして、高度に土地利用の集積する東京都心部の業務地区に位置する千代田区大手町1丁目の実在街区を対象とした。街区の再現にあたっては、既存のGISデータである国際航業社製のRAMS-eを用いた。また、数値解析には(株)環境シミュレーション社製ウィンド・パーフェクトを使用した。

2003年8月5日13:00の気象庁のアメダス情報から、温度32.7℃、湿度56%、風速2.4m/sを本解析における気象条件の入力値として使用した。気象庁の風速測定点は地上70.5mの地点であり、本計算モデルでの流入境界条件として、廣川²⁾より次式を用いて、ベキ指数0.25のベキ乗則を適用して、各高さでの風速値を与えた。

$$\frac{U(z_2)}{U(z_1)} = \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^{0.25} \quad (1)$$

ここで、 $U(z_1)$, $U(z_2)$: 高度 z_1 , z_2 における風速 [m/sec]

また、屋上や壁面の緑化による入力条件を既存の文献を参考として表1のように設定した。本研究では、CFD解析を行うための乱流モデルとして標準 $k-\epsilon$ モデルを使用し、長波放射、短波日射による放射収支と地表面及び建物躯体からの放射・対流・伝導の熱収支を数値解析により求めた。自動車からの排出ガスによる熱や建物の空調による廃熱の影響は、今回の数値計算では考慮していない。

3. 基礎方程式と境界条件の設定

3.1 基礎方程式

本研究で用いた標準 $k-\epsilon$ モデルにおける基礎方程式は以下に示すとおりである。

$$\text{連続の式: } \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

運動量の輸送方程式:

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \langle u_j \rangle}{\partial x_j} = -\frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu_t \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \right) - g_i \beta (\langle \theta \rangle - \theta_0) \quad (3)$$

表1 緑化の入力条件

Table 1 Input conditions about planting

項目	数値
①壁面・葉面对流熱伝達係数	1.6J/m ² sec・℃ ³⁾
②植物表面からの蒸発量	4×10 ⁻⁵ kg/m ² sec ⁴⁾
③植物表面ルイス数	16.5 ¹⁾
④樹木の遮蔽率	0.750 ¹²⁾
⑤壁面緑化植物の遮蔽率	0.768 ³⁾
⑥葉面の輻射率	0.98 ⁴⁾
⑦蒸発潜熱 [L]	2.5×10 ⁶ J/kg
⑧蒸発効率	0.3 ⁹⁾

$$\text{温度の輸送方程式: } \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \langle \theta \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{H_i}{A_i \rho C_p} \right) \quad (4)$$

$$\text{湿度の輸送方程式: } \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \langle M \rangle}{\partial x_j} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{L_i}{A_i \rho L} \right) \quad (5)$$

ここで、 i, j, k 座標系(主流、水平、鉛直方向), x_i 方向の空間座標 [m], A_i 微小要素 i の面積[m²], g :重力加速 $g_1=g_2=0, g_3=9.8\text{m/s}^2$, u_i : i 方向の風速[m/s], H_i :対流熱伝達[W], L_i :蒸発潜熱[J/kg], P :圧力[kPa], t :時間[sec], β :体積膨張率[1/K], ν :動粘性係数[m²/s], θ :温度[K], M :絶対湿度[kg/kg], ρ :空気密度[kg/m³], C_p :比熱[J/kg・℃], $\langle \rangle$:レイノルズ平均操作

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

乱流エネルギー輸送方程式:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle k}{\partial x_i} = P_k + G_k + D_k - \epsilon \quad (7)$$

逸率の輸送方程式:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \epsilon}{\partial x_i} = \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k + C_{\epsilon 2} G_k - C_{\epsilon 3} \epsilon) + D_\epsilon \quad (8)$$

$$P_k = -\langle u_i' u_j' \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \quad D_k = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \quad D_\epsilon = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right)$$

ここで、 C_μ :0.09, $C_{\epsilon 1}$:1.44, $C_{\epsilon 2}$:1.92, σ_k :1.0, σ_ϵ :1.3

計算領域については、主流・水平方向に1,000m、鉛直方向に500mであり、格子数はそれぞれ200,200,60である。計算格子はスタッガード格子とし、速度などのベクトル変数は格子界面上を定義点とし、圧力・温度・湿度などのスカラー変数は格子の中心位置を定義点とした。

図1に、本研究での計算領域と再現した街区モデルを示す。ここで、解析対象とする街区モデルを中心として、半径600mの円形の範囲内において実在街区を再現しており、格子サイズは、主流・水平方向については街区モデル周辺600mまでを4m、その外部では不等間隔とした。再現した街区モデル内では気流の衝突・剥離・循環流などを実情に近づけるため格子を密に配置し、それより外部の領域では街区モデルの建築物による風の流入条件への影響を避けるため再現した街区モデルよりも広く計算領域を設定した。また、鉛直方向については、本解析の評価地点を地上1.5mとしたため、高さ10mまでは1

図-1 計算領域

Fig.1 Domain of calculation

表-2 境界条件として使用した入力値

Table 2 Input values of boundaries condition

項目	数値
壁面など躯体放射率	0.9 ⁶⁾
室温	26°C
地面の熱伝達率 [A]	1.16W/m ² ·K
地中温度 [T_g]	地中1.0mで288K
建物壁体から室内側への熱伝達係数 [K_i]	2.58W/m ² ·K

mに区分し、それより上空では不等間隔とした。各物理量(風速分布、気温分布など)の評価地点は、各メッシュの中央部であり、地上1.5 mの地点での解析値は、地盤より2メッシュ目の解析値を用いた。

3.2 建物外表面・地表面における境界条件

放射・対流・伝導の連成解析を行うための境界条件として吉田¹³⁾を参考として、地表面、建物壁面等を各格子からなる微小面要素に分割し、以下の方法により放射収支、熱収支の計算を行った。なお、建物及び地表面での熱伝導は非定常として扱った。

$$S_i + R_i + H_i + C_i + L_i = 0 \quad (9)$$

ここで、 S_i : 短波日射取得量 [W/m²], R_i : 長波放射取得量 [W/m²], H_i : 対流熱伝達量 [W/m²], C_i : 建物・地中への熱伝導 [W/m²], L_i : 植物の蒸散等による潜熱放射量 [W/m²]

$$R_{Di} = A_i \beta_i I_N \cos \theta \quad (10)$$

ここで、 R_{Di} : 微小面要素 i への直達日射量 [W/m²], A_i : 微小面要素 i の面積 [m²], β_i : 面要素 i に直達日射が照射される割合(照射率), I_N : 法線面直達日射量 [W/m²], θ : 着目している微小面要素の外向き法線ベクトルに対する太陽光の入射角 [rad]

$$R_{Si} = A_i F_{iS} I_{SH} \quad (11)$$

ここで、 R_{Si} : 微小面要素 i への天空日射量 [W/m²], F_{iS} : i 面から天空を望む形態係数, I_{SH} : 晴天時の水平面天空日射量 [W/m²]

$$I_{SH} = 0.5 I_0 \sinh(1 - P^{1/3}) / (1 - 1.4 \ln P) \quad (12)$$

ここで、 I_0 : 太陽常数 [W/m²] (=1.350), h : 太陽高度 [rad], P : 大気透過率

$$S_{Di} = \alpha_i (R_{Di} + R_{Si}) \quad (13)$$

$$R_{Si} = (1 - \alpha_i) (R_{Di} + R_{Si}) \quad (14)$$

ここで、 α_i : 微小面要素 i の日射吸収率, S_{Di} : 直接吸収される日射エネルギー [W/m²], R_{Si} : 反射される日射エネルギー [W/m²]

$$S_{Ai} = B_{ij} S_{Ri} \quad (15)$$

ここで、 S_{Ai} : 微小面要素 i に吸収される短波日射量 [W/m²], B_{ij} : ゲッパートの吸収係数

$$S_i = S_{Di} + \sum_{j=1}^n S_{Aj} \quad (16)$$

ここで、 S_i : 微小面要素 i 面に吸収される日射量 [W/m²]

$$R_i = \sum_{j=1}^n B_{ji} (\epsilon_j A_j \sigma T_j^4) - \epsilon_i A_i \sigma T_i^4 \quad (17)$$

ここで、 R_i : 長波放射量 [W/m²], B_{ji} : i 面、 j 面間のゲッパートの吸収係数, ϵ_j : 微小面要素 j の長波放射吸収率, A_j : 微小面要素 j の

面積 [m²], σ : ステファンボルツマン定数, T_j : 微小面要素 j の温度 [K], ϵ_i : 微小面要素 i の長波放射吸収率, A_i : 微小面要素 i の面積 [m²], T_i : 微小面要素 i の温度 [K]

$$H_i = A_i \alpha_e (T_a - T_i) \quad (18)$$

ここで、 H_i : 対流熱伝達量 [W/m²], A_i : 微小面要素 i の面積 [m²], α_e : 対流熱伝達率 [W/m²·K], T_a : 地表面・壁体・屋上面等近傍の温度境界層外側の温度 [K], T_i : 微小面要素 i の表面温度 [K]

なお、対流熱伝達率(α_e)は、佐々木ら¹¹⁾を参考に、以下の定義式により表されるユルグスの式を用いた。

$$\alpha_e = 5.3 + 3.6u \quad (u \leq 5 \text{ m/sec}) \quad (19)$$

$$\alpha_e = 6.47u^{0.78} \quad (u > 5 \text{ m/sec})$$

ここで、 u : 地表面および固体表面に隣接するスカラー風速 [m/s]

$$C_{bi} = -A_i \lambda (T_i - T_g) / \Delta z \quad (20)$$

ここで、 C_{bi} : 地中への熱伝導量 [W/m²], λ : 地面の熱伝導率 [W/m·K], T_i : 面要素 i の表面温度 [K], T_g : 深さ Δz [m]の地中温度 [K]

$$C_{gi} = -A_i K_i (T_i - T_{in}) \quad (21)$$

ここで、 C_{gi} : 建物への熱伝導量 [W/m²], K_i : 総合的な熱伝達係数 [W/m²·K] (ユルグスの式により算出)

$$L_i = A_i \alpha_w \beta_i L (f_a - f_s) \quad (22)$$

ここで、 L_i : 樹木など植物の蒸散による潜熱放射量 [W/m²], A_i : 樹冠を構成する葉群の表面積の合計 [m²] (= 樹冠体積×平均葉面積密度×2), α_w : 湿気伝達率 [kg/m²·sec·kPa], β_i : 蒸発効率, L : 蒸発潜熱 [J/kg], f_a : 樹冠を含む計算格子内の平均水蒸気分圧 [kPa], f_s : 樹冠を構成する葉群表面の平均飽和水蒸気分圧 [kPa]

表-2に境界条件として使用した入力パラメータの値を示す。

4. 街区モデルの設定と計算ケース

4.1 街区モデルの設定

本研究において対象とする街区モデルは、都心の業務地区の代表例として東京都千代田区大手町1丁目を選定した。当該実在街区の形状は、東西方向約200 m、南北方向約120 mの方形区画であり、街区内には高さ約70~100 mの建築が南側に3棟配置され、公開空地が設けられている。また、北側には街区内を東西方向に連絡する幅員約8 mの区画道路を挟んで、外周の幹線街路に沿って高さ約40 mの高層建築が配されている。

この実在地区における建物の形状や配置形態をリモートセンシング技術により計測された地表面粗度データ、すなわちGISデータを用いて忠実に再現した。街区モデルの平面図を図・2に示し、その諸元については表・3に示すとおりである。なお、建物の外壁はコンクリート壁、緑化部位の無い地表面はアスファルトとして取り扱った。

実際の建物表面は、コンクリートやガラス面など各種外壁材で構成され、それらに応じて日射の透過や反射等放射収支や熱収支も異なる。本研究では、実在街区を対象として建築敷地の個々の建物の高さや形状、配置等を計算モデル上に精緻に反映しているが、建物の外壁材を一律にコンクリートと仮定した。数値解析の実行にあたり、複合した緑化効果の特徴を捉えるため、表・4に示すとおり緑化無しモデル(ケース1)、地盤・屋上を各々の敷地面積の20%緑化したモデル(ケース2)、ケース2に建物の南西壁面の地上から30 mまでを壁面緑化したモデル(ケース3)の3つのケースをシミュレーションの計算ケースとして設定した。それぞれのケースの三次元画像を図・3に示す。

5. 結果と考察

設定した街区モデルにおいて、上述した基礎方程式と入力条件、街区モデルの設定条件等を基にCFD解析によるシミュレーションを行った。各計算ケースにおける数値解析の結果と考察を以下に記述する。

5.1 気温分布

図・4は、地上1.5 mの地点での気温分布を示している。ケース1では、対象街区内の建物に囲まれた中心部ではほぼ一様に34℃程度を示す。しかしながら、街区南東側の建物南部では36~37℃の高温域を示しており、入力値の31.7℃に対して約5~6℃高くなっている。本研究での街区モデルでは、建物の表面は一様にコンクリートと仮定していることから、実在の街区におけるガラス面等の建物表面の状態は忠実に再現していないため、今回の数値解析により得られた値は、実在街区での気温の分布よりも高く出力されている可能性がある。建物外壁のガラス面等表面仕上げの違い、建物内部の空調廃熱の影響等も考慮した街区内の気温への影響については、今後の課題である。北側の建物北部では31℃の低温域が見られるが、これは建物北側では日射が遮蔽されたことにより、日影の状態にあり地表面アスファルトの表面温度も上昇せず、建物南側の直達日射を受けた高温域に比較して10℃以上も低い低温域が形成されたと考えられる。

ケース2では、街区中心部では33℃を示し、ケース1に比べ、1℃程度低下している。街区南東側の建物南部では、高木と芝生を植栽したことにより、ケース1よりも2~3℃低減した。これは、高木による日射の遮蔽と芝生面からの蒸散等による地表面温度の低減が、気温の低減に寄与したものと考えられる。ケース3では、街区中心部では30℃を示し、ケース2に比べて4

図・2 街区モデルの位置

Fig.2 Location of the model block

表・3 街区モデルの設定条件

Table 3 Set condition of the block

項 目	数 値
地区面積	32,356㎡
建築面積	22,317㎡
延床面積	386,026㎡
空地面積	10,039㎡
建蔽率	69.0%
容積率	1,193.0%
空地率	31.0%
用途地域	商業地域

表・4 計算ケース

Table 4 Calculation cases

区 分	緑化条件
ケース1	緑化なし(ケース1)
ケース2	屋上と地表面の20%を緑化 (屋上部は、芝生を想定し、地表面は、街区外周に樹高6mの高木を4mおきに植栽、他は芝生を想定。)
ケース3	ケース2+壁面の南・西側を地表から30m緑化

℃程度低下している。街区南東側の建物南側においても、ケース2に比べて約3℃低下している。これは、壁面緑化により、直達日射の遮蔽、植物面からの蒸散作用に伴う潜熱消費により、建物外壁の表面温度が低減し、気温の低減に寄与したものと考えられる。なお、本計算結果では、建物表面を一様にコンクリートとして仮定したため、屋上や壁面等の緑化による温熱低減効果を過大に評価している可能性がある。

5.2 相対湿度分布

図・5は、街区内部での地上1.5 mの地点における相対湿度の分布を示したものである。ケース1では、街区中央部では45%、その周辺では45~60%の範囲の分布を示している。ケース2では、街区の中央部ではケース1と同様45%を示しているものの、特に対象街区南側の外周部では一様に55%となり、ケース1に比べて街区南側で高い数値を示した。これは、街区外周部に高木を植栽したため、樹木からの蒸散作用により、相対湿度が上昇したものと考えられる。さらに、ケース3では、全体

図-3 街区モデルと計算ケース

Fig.3 The block model and calculation case

図-4 気温分布

Fig. 4 Temperature distribution

図-5 相対湿度分布

Fig.5 Distribution of relative humidity

的に湿度が上昇し、対象街区中央部では60 %を示す。建物の南側と西側の壁面について地上から30 mまで壁面を緑化したことにより、高木や芝生からの蒸散に加えて、壁面からの植物の蒸散作用により街区中央部の湿度がケース1,2と比較して大幅に上昇したものと考えられる。

以上の気温、相対湿度の数値解析結果から、地表面の緑化に加えて壁面緑化を組み合わせることにより、街区内部での気温の低減が見られるとともに、樹木植栽や壁面緑化による相対湿度の上昇を定量的に確認することができた。

一方、本研究では、建物はコンクリート打ち放しとしており、今回の解析対象とした街区内部に立地している建物ではガラス面が多いが、本研究では一様に建物はコンクリート打ち放しとしており、実在の建物の表面性状に応じた表面温度や放射収支も再現できてはいない。また、建物内からの空調負荷や自動車から排出される熱負荷についても考慮しておらず、これらの諸点についてより再現性を高めたシミュレーション評価を行うことが課題である。

6. 実測値との比較

本研究においては、吉田らの方法¹⁴⁾に準じて、実在街区内部の日照部と日陰部において、気温と相対湿度を計測し、解析値との比較検討を行った。具体的には、2005年8月8日12:00～13:00の間に当該街区にてT and D社製おんどりRTR-72を用いて、図-1に示す調査地点①～⑥において、地上1.5 mにおける気温と相対湿度を計測した。計測結果と計算値との比較から、計算結果の妥当性について検討を行った。なお、実在街区内部では、敷地の20%以上が緑化されており、外周部の歩道上には街路樹も植栽されていたことから、計算ケースは実在街区での緑化現況に近いケース2の出力結果を用いて実測値との比較を行った。

表-5は計測結果と計算結果を比較したものである。

これより、アスファルト上において、日照部と日陰部との差についてみると、気温では実測値1.8℃に対して計算値2.1℃とほぼ同様の傾向が見られ、相対湿度では実測値、計算値とも

表-5 実測値と計算値

Table 5 Measured and calculated values

区 分	細 目	アスファルト上			広場上			樹木下		
		日照部	日陰部	差	日照部	日陰部	差	南歩道側	西歩道側	差
測定地点	地点番号	①	②		③	④		⑤	⑥	
温度 [°C]	計算値(a)	36.3	34.2	2.1	36.4	35.6	0.8	35.6	34.5	1.1
	実測値(b)	35.2	33.4	1.8	32.9	31.6	1.3	32.7	32.2	1.5
相対湿度	計算値(a)	50	52	2	53	58	5	52	55	3
	実測値(b)	49	51	2	51	57	6	55	55	0

2%と同じであった。これに対して、広場上についてみると、気温では実測値1.3°Cの差に対して計算値では0.8°Cであり、計算値の方の差が0.5°C小さくなっていた。これは、実在街区での建物の外壁はガラス面等を有しているのに対して、シミュレーションでは建物の外壁表面を一様のコンクリートの打ち放しとしたことから、数値計算では外壁からの輻射熱による影響がより強く作用し、日照部との温度差が小さくなったものと推察される。相対湿度では実測値が6%に対して、計算値では5%であり、ほぼ同様の傾向が見られた。

次に、樹木下では、気温では実測値1.5°Cに対して計算値1.1°Cと計算値の方の差が0.4°C小さくなっていた。一方、相対湿度では実測値では0%と差が見られなかったのに対して、計算値では3%の差となっていた。これは、実測日8月8日12時のアメダス情報では4.3m/sを記録していることから、実測日では風の影響を受けて湿度差が明確に現れなかった可能性があり、計算値では街区南側では気温の上昇とともに街区の西側に比べ相対湿度が低下したことにより差が生じたものと推察される。

なお、計測に際してセンサー部への直射日射を避けるため、計測記録に使用した画板(A4版)にて遮光したが、簡易計測として周辺からの散乱日射に対しての遮光措置は行わなかったため、計測値は実際の気温よりも高めに計測した可能性があり、今後さらに精査が必要である。

7. おわりに

実在街区をモデルに緑化条件の違いによる街区の温熱環境の相違について、CFD解析により、以下の知見を得た。

- 1) 気温の分布について、緑化なし(ケース1)に比べ、地表面と屋上緑化(ケース2)では最大2.0°Cの低減が見られ、壁面緑化(ケース3)ではさらに3.0°C低減が見られた。
- 2) 相対湿度について、緑化なし(ケース1)に比べ、地表面と屋上緑化(ケース2)では高木植栽の影響により街区南側外周部で10%の増加が見られ、壁面緑化(ケース3)では街区全体にわたり湿度が上昇した。
- 3) 実在街区での日照部と日陰部における気温と相対湿度について実測値と計算値との比較を行った結果、アスファルトと広場では計測結果との対応関係が見られたが、検証方

法に課題を残した。

風の流れ・気温・湿度を連成して解析するCFDの手法を用いることにより、屋上・壁面等の建物緑化による実在街区での温熱環境改善効果を確認することができ、その定量的評価に応用できることが示唆された。

引用文献

- 1) Gagge, A.P., Fobelets, L.G., Berglund (1986) A STANDARD PREDICTIVE INDEX OF HUMAN RESPONSE TO THE THERMAL ENVIRONMENT, ASHRAE Transactions 92(1): 709-731.
- 2) 廣川利男(1997) 構造物の耐風工学, 東京電機大学出版局, 東京, 688pp.
- 3) 梅干野晃・山下富大(1984) ツル植物による植栽スクリーンの日射遮蔽効果—日射透過率と表面温度について, 日本建築学会建築環境工学論文集第6号: 141-146.
- 4) 伊藤宏・洞田浩文・森川泰成・西村正和(1996) 屋外環境計画に関する研究—その4 市街地における緑化効果の検討, 日本建築学会大会学術講演要集(近畿): 957-958.
- 5) 村上周三(2000) CFDによる建築・都市の環境設計工学, 東京大学出版会, 東京, pp.1-2.
- 6) 沖中健・野島義照・小林達明・瀬戸裕直(1994) つる植物の被覆がコンクリート建物の壁面温度に及ぼす効果, 千葉大学園芸学部学術報告第48号: 125-134.
- 7) 大黒雅之・村上周三・森川泰成・持田灯・足永靖信・大岡龍三・吉田伸治(2003) 住宅団地を対象とした各種屋外温熱環境改善対策の効に関するCFD解析, 日本建築学会学術講演梗概集(東海): 621-622.
- 8) 佐々木澄・持田灯・吉野博(2001) 公園緑地からの冷気の流出とその熱的効果に関するCFD解析, 第15回数値流体力学シンポジウム: 1-4.
- 9) 鈴木弘孝・三坂育正・田代順孝(2007) 蒸発効率を指標とした壁面緑化の蒸発特性, ランドスケープ研究70(5): 401-406.
- 10) 東京都の自然の保護と回復に関する条例(2003)第6条1項
- 11) 都市緑地法(2004)第34条.
- 12) 山村真司・梅干野晃・浅輪貴史(2002) 建築外部空間デザインの設計支援を目的とした熱放射環境の予測手法の開発, 日本建築学会計画系論文集第554号: 85-92.
- 13) 吉田伸治・村上周三・持田灯・大岡龍三・富永禎秀・金相瑾(2000b) 対流・放射・湿気輸送を連成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析, 日本建築学会計画系論文集第529号: 77-84.
- 14) 吉田伸治・大岡龍三・村上周三・持田灯・磐田靖子(1999) 団地内キャニオン空間における夏季の温熱環境に関する研究(その3) 温熱環境に関する数値解析と実測の比較, 空気調和衛生工学会学術講演会講演論文集4: 1445-1448.

(2007.7.9 受理)