

気象庁 NHM への簡易都市キャノピーモデルの組み込み

青柳曉典, 清野直子 (気象研究所 環境・応用気象研究部)

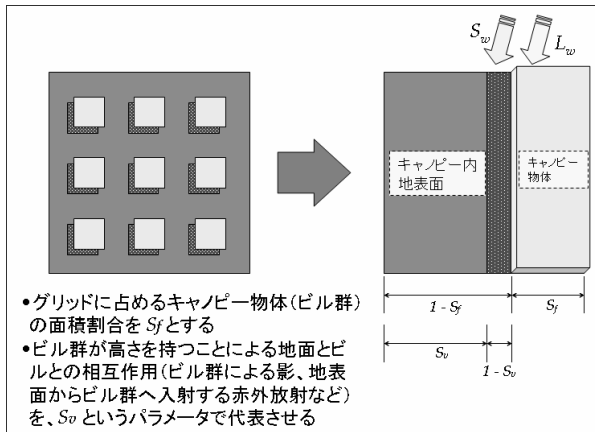
1. はじめに

気象研究所環境・応用気象研究部では, ヒートアイランド現象に関わる研究の一環として気象庁 NHM への簡易都市キャノピーモデルの組み込みを試みている. ヒートアイランド現象を再現するためには, ビル群による蓄熱やキャニオン構造による風速低下及びそれに伴うフラックスの変化などを考慮した都市キャノピーモデルが有効とされている. これらには Kusaka et al.(2001)の単層都市キャノピーモデルや, 鉛直方向に変化するキャノピー構造を表現する Kondo et al.(2005)の多層都市キャノピーモデルなどが提案されているが, 今回組み込んだのは, 気象庁(2006)で使用されている簡易な都市キャノピーモデルである. このモデルは, Deardorff(1978)の植生キャノピーの概念をもとに, 都市構造特有の地面-ビルの相互作用(日影, 天空率減少による放射冷却の減少など)を表すパラメータを追加し, 放射収支を都市用に定式化するものである.

本報告では, この簡易版都市キャノピーモデルの概要と典型的な事例について実施した試験計算結果を紹介する.

2. 簡易都市キャノピーモデルの概要

簡易都市キャノピーモデルでは, 単純な立方体をイメージする. グリッド内に占めるキャノピー物体(以下, ビル)の割合は S_f というパラメータで, また, キャノピー内地面(以下, 地面)とビルとの熱的相互作用を S_v というパラメータで表現する. このイメージを第1図に示す.



第1図 簡易都市キャノピーモデルのグリッドイメージ.

2.1 正味放射量の計算

第1図に示すグリッド構造において, ビル表面での正味放射量 R_f と地面での正味放射量 R_g はそれぞれ以下のように計算される.

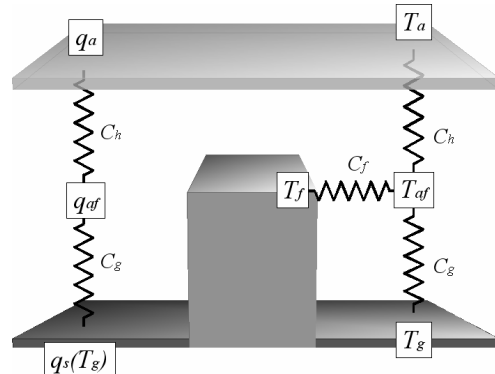
$$R_f = \left[\begin{aligned} & \{ 1 - (1 - S_f) S_v \} (1 - \alpha_f) S_w \\ & + \{ 1 - (1 - S_f) S_v \} L_w \\ & + (1 - S_f) (1 - S_v) \sigma T_g^4 \\ & - \{ S_f + 2(1 - S_f) (1 - S_v) \} \sigma T_f^4 \end{aligned} \right] / (S_f \cdot WAI)$$

$$R_g = \left[\begin{aligned} & (1 - S_f) S_v (1 - \alpha_g) S_w \\ & + (1 - S_f) S_v L_w \\ & + (1 - S_f) (1 - S_v) \sigma T_f^4 \\ & - (1 - S_f) \sigma T_g^4 \end{aligned} \right] / (1 - S_f)$$

ここに, S_w と L_w はそれぞれグリッドに入射する下向きの短波放射と長波放射を表す. 添え字 f, g はそれぞれビル, 地面の量であることを示す(S_f は除く). α はアルベド, T は(表面)温度を表す. σ はステファン-ボルツマン定数. WAI (壁面積指数) は, 真上から見たビルの面積に対する屋上面・壁面の総面積割合を表す(立方体であれば $WAI = 5$).

2.2 顕熱・潜熱フラックス・ビル温度の評価

大気第1層, キャノピー内大気, ビル, 地面の間で交換される顕熱・潜熱は, Deardorff(1978)の植生キャノピーの熱力学抵抗の概念を用い(第2図), 熱の移動はそれぞれバルク係数と風速で計算する.



第2図 顕熱・潜熱輸送の概念図.

T_a : 大気第1層の気温, q_a : 大気第1層の比湿,
 T_{af} : キャノピー内気温, q_{af} : キャノピー内比湿,
 T_f : キャノピー物体の温度,
 T_g : キャノピー内地面の温度,
 $q_s(T_g)$: 温度 T_g での飽和比湿
 C_h : バルク係数(キャノピー大気 / 大気第1層)
 C_f : バルク係数(物体 / キャノピー大気)
 C_g : バルク係数(地面 / キャノピー大気)

キャノピー内風速 U_{af} は以下のように, 大気第1層の摩擦速度 U_a^* から単純に決定する.

$$U_{af} = 0.83 \times U_a^*$$

また, 熱に関するバルク係数は以下で計算する.

$C_h = C_g$: Beljaas and Holtslag で計算
 (気象庁 NHM のフラックス計算ルーチンを利用)
 $C_f: C_f = 0.05 \cdot (1 + 0.3 / U_{af})$

キャノピー内大気温度 T_{af} , キャノピー内大気比湿 q_{af} は、これらの値をもとに、顕熱・潜熱フラックスの収支を表す以下の式から決定される。

[顕熱フラックスの収支]

$$\rho C_p C_h U_a (T_{af} - T_a) = \rho C_p C_g U_{af} (T_g - T_{af}) + \rho C_p \cdot WAI \cdot C_f U_{af} (T_f - T_{af})$$

[潜熱フラックスの収支]

$$\rho L C_h U_a (q_{af} - q_a) = \rho L \beta C_g U_{af} (q_s(T_g) - q_{af})$$

ρ , C_p , L , β はそれぞれ大気密度、大気の比熱、水の潜熱、地面の蒸発効率を表す。ビル温度は、コンクリートの熱容量 ($C_{concrete}$ = コンクリートの比熱 × 厚さ) をパラメータとして与え、ビルへの正味放射量 R_f と顕熱フラックスを考慮して以下の式で計算する。

$$\frac{dT_f}{dt} = [R_f - \rho C_p C_f U_{af} (T_f - T_{af})] / C_{concrete}$$

また、地面温度、地面比湿は気象庁 NHM のルーチンを使って予報する。

3. 数値計算実験

このモデルを用い、2005 年 8 月 4 日 21 時 [JST] を初期値として 24 時間の計算を実施した結果を以下に示す。なお、2005 年 8 月 4 日～5 日は典型的な晴天弱風日であった。

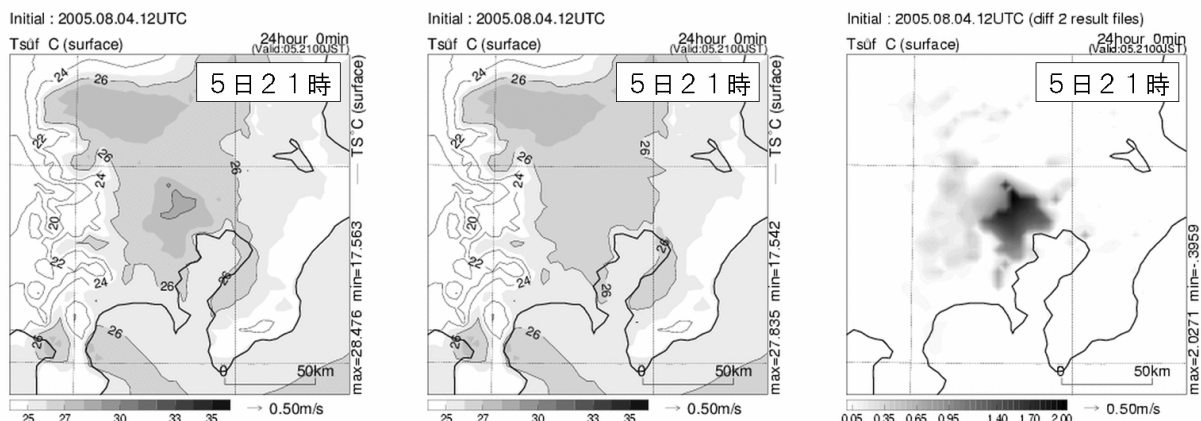
第 1 表に主要なパラメータを記す。計算領域は関東全域で、東京の中心部のみに都市グリッドが存在すると設定した。

第 1 表 都市キャノピーに関する変数の設定

変数	値
ビルの占める面積割合 (S_f)	0.5
地面 / ビル相互作用係数 (S_v)	0.5
キャノピーゼロ面変位	1.875 [m]
コンクリートの比熱	2.1×10^6 [J/m ³ K]
コンクリートの厚さ	1 [cm]
キャノピー物体のアルベド	0.15
地面のアルベド	0.1
地面の蒸発効率	0.1
都市の人工排熱	考慮せず

(注)コントロールランでは、陸地面のアルベドは 0.2

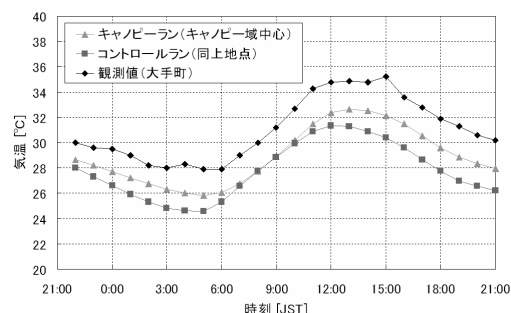
一例として、FT=24 の計算結果を第 4 図に示す。キャノピーラン(左)では、コントロールラン(中図)に比



第 4 図 FT=24 における地上気温の水平分布図。左:キャノピーラン(気象庁 NHM+簡易都市キャノピー), 中:コントロールラン(気象庁 NHM), 右:差分(キャノピーラン - コントロールラン)。

べて都市域での夜間の気温低下が押さえられ、ヒートアイランド現象が再現されているのがわかる。また、両者の差分(右)をみると、その都市域の影響が移流によって周辺へひろがっている様子もみられる。

キャノピー域中心での気温の時系列を、大手町での観測データとともに第 5 図に示す。この図から、キャノピーランはコントロールランに比べて、①気温の位相が遅れている、②日没後の気温低下幅が小さい、③日中の最高気温が高い、といった様子がわかる。また、全予報時間において、気温はより大手町での観測値に近づいていることがみてとれる。①はビルの熱容量の効果、②はビル・地面の相互作用を考慮した結果、③はアルベドを低く設定した結果であると考えられる。



第 5 図 キャノピー中心での地上気温時系列グラフ。

4. 今後の課題

この簡易都市キャノピーモデルでは、ビルの熱容量や相互作用係数などのパラメータが結果に対して大きな感度を持つことがわかった。今後は、ビル温度の予報に熱伝導方程式を解く、ビル/地面の相互作用を日中(日影の影響)と夜間(長波放射の影響)を分離して考える、等の改良を加える必要がある。

5. 参考文献

- Deardorff, 1978: J. Geophys. Res., 83, 1889-1903.
- 気象庁, 2006: 「ヒートアイランド監視報告」,
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/himr/index.html>
- Kondo et al., 2005: Bound.-Layer Meteor., 116, 395-421.
- Kusaka et al., 2001: Bound.-Layer Meteor., 101, 329-358.