

JMANHM 用簡易都市キャノピーモデルの改良

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代表される都市気候研究への利用を目指し、単層都市キャノピースキームの気象庁非静力学モデル(JMANHM)への導入を進めている。植生キャノピースキームの概念をもとにした簡易なスキームではあるが、初期導入後の数値実験では、

- ①気温の日変化位相の遅れ
- ②夜間の気温低下の抑制
- ③日中の最高気温の上昇

を確認することができた^[1]。これらは、基準ランと比較して、ビル群の大きな熱容量、ビル/地面の放射交換、小さなアルベドと蒸発効率、等を考慮した結果である。しかし、このように都市域での高温を表現可能であることがわかった一方で、ビル群表面の温度がその熱容量・熱慣性の設定に敏感であること、ビル/地面の放射に関する相互作用係数として天空率に相当するパラメータ1つで表現しているため、太陽天頂角に依存する日影の時間変化が十分表現されないこと、といった課題も判明した。

今回は、これまでに改良を行った熱伝導方程式によるビル表面温度の予報、太陽天頂角に依存した日影率の時間変化、についてまとめ、本改良によって地上気温の計算結果にどのくらいの修正が加えられるのかについて報告する。

2. 熱伝導方程式の導入

これまでの物体の表面温度を以下の式を用いて計算していた。

$$\frac{dT}{dt} = \frac{R_{net}}{c\Delta x} \quad (1)$$

R_{net} : 正味放射量 [W/m^2]
 c : 物体の体積熱容量 [$J/m^3.K$]
 Δx : 物体の厚さ [m]

しかし、この場合、厚さ Δx の物体の単位表面積あたりの総熱容量 $C = c\Delta x$ の与え方で物体温度の評価が大きく変わり、どのような厚さ・総熱容量が適当なのかの判断も恣意的とならざるを得ない。初期導入時には、物体の温度変化の位相のずれを見ながら、実効的な物体厚さとして 1[cm]という値を採用していた。

このような問題点を排除するため、物体温度を下記の熱伝導方程式を解いて予報するよう改良を加えた。

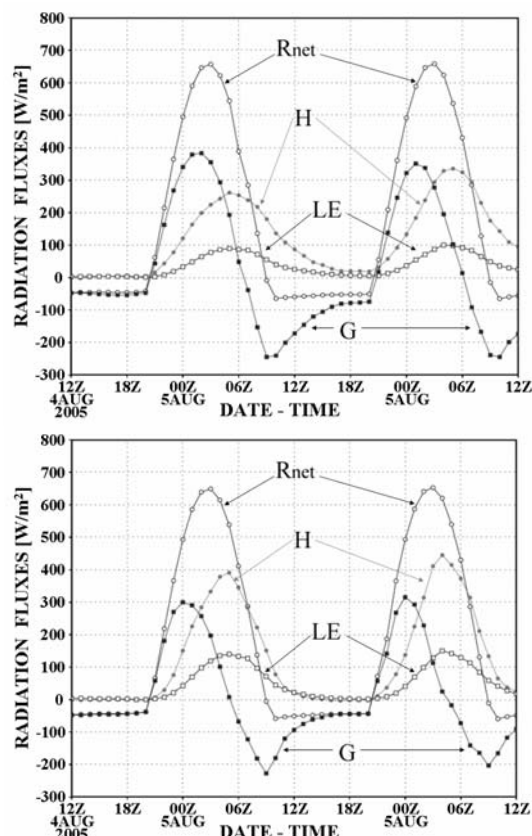
$$c(x)\frac{\partial T(t,x)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(x)\frac{\partial T(t,x)}{\partial x} \right] = -\frac{\partial G(t,x)}{\partial x} \quad (2)$$

x : 物体の表面からの深さ [m]
 $c(x)$: 物体の体積熱容量 [$J/m^3.K$]
 $\lambda(x)$: 熱伝導率 [$J/m.s.K$] $T(t,x)$: 物体の温度 [K]
 $G(t,x)$: 熱フラックス [$J/m^2.s$]

第 1 図は、都市域のグリッドにおける放射収支の時系列図の一例である。2005 年 8 月 4 日 21 時[ST]を初期時刻とし、48 時間の時間積分を行った。計算領域は関東域、東京都心部に都市グリッドを想定している。ビル

の熱伝導に関するパラメータの設定は、吉門ほか(2002)の設定(外側コンクリート層+断熱層+内側コンクリート層)を採用した^[2]。

熱伝導方程式を解くこと(上図)によって、ビル・地中への熱フラックス(G)の振幅は大きくなり、顕熱フラックス(H)は夜間も長く正の値を維持するよう修正されることがわかる。ただし、熱伝導を解く場合には、ビルの内側境界条件(この場合には室内気温)の与え方に感度があることに注意が必要である。なお、本事例では吉門ほか(2002)と同様、 $26^{\circ}C$ に設定した。

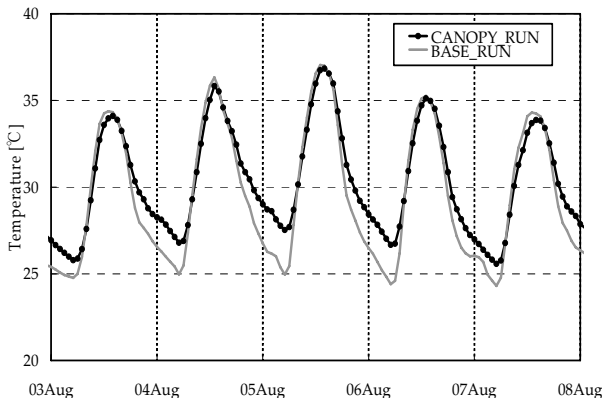


第 1 図 都市域中心グリッドにおける放射収支時系列図(2005 年 8 月 4 日 12 時[UTC]イニシャル)。上段:熱伝導方程式導入後、下段:熱伝導方程式導入前。
 R_{net} : 正味放射量, H : 顕熱フラックス, LE : 潜熱フラックス, G : 地中およびキャノピー物体への熱フラックス。

第 2 図は同じく関東域を対象として東京都心部に単層都市キャノピーを設定して行ったシミュレーション結果(CANOPY_RUN)で、都市キャノピー中心グリッドにおける地上気温の時系列をグラフにしたものである。各日、21 時[ST]をイニシャルとした 48 時間予報から、後半の 24 時間を抜き出して並べてグラフにしている。基準ランとして、JMANHM の標準的なパラメータ設定でのシミュレーション(BASE_RUN)を実施した。

基準ラン自体、東京都心部での蒸発効率を押さえる設定にしてあるため、日中の気温は基準ランとキャノピーランとでほとんど差が出ない。一方、夜間の冷

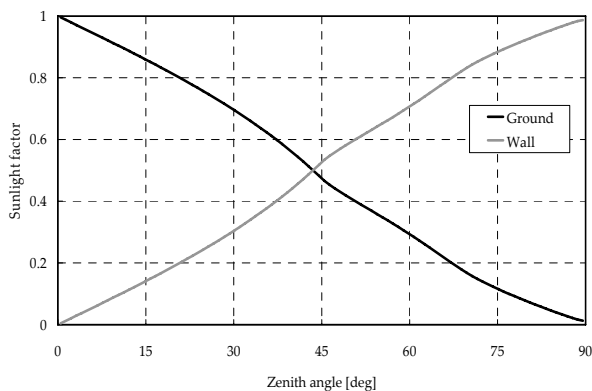
却率は大きな変更が加えられ、日々の最低気温が高く見積もられることがわかる。これは第1図にみられた、夜間における正の顕熱輸送の持続に起因していると考えられる。



第2図 都市域中心グリッドにおける地上気温の時系列図。2005年8月上旬の計算結果。各日21時[JST]を初期時刻とした48時間予報のうち、後半24時間を抽出して並べたもの。

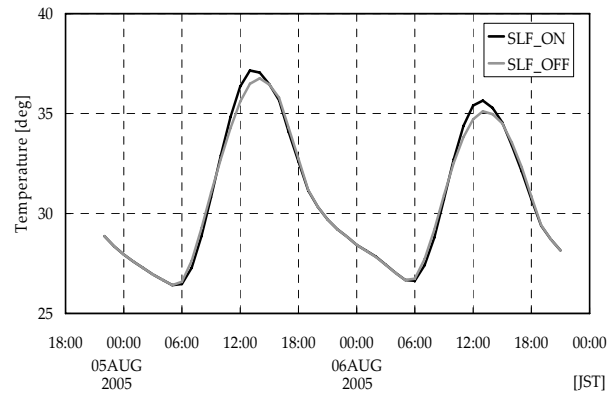
3. 日影の時間変化

短波放射・長波放射の配分には、現状では相互作用係数として $S_v (=0.5)$ で固定) というパラメータを定義して計算している。しかしながら、短波放射に関しては地面にできる影は太陽天頂角に依存し時間変化すると考えるのが自然である。このため、今回は新たに日光率として S_{if} を定義し、これを時間変化させることで短波放射の配分を制御することとした。この S_{if} はグリッド内地面の面積に占める、日が当たっている面積の割合で、南中時には1に近くなり、日の出と日没時には0になるよう設定する。第3図は、3次元の立体が均等に並んでいるとして計算した日光率の太陽天頂角依存性をグラフ化したものである。グラフには、壁に入射する短波の割合(壁面の日光率)も併せて描画している。



第3図 日光率の計算結果。ビル高:ビル幅:道路幅=1:2.5:1の都市構造を想定。横軸は天頂角。黒実線は地面の日光率、灰実線は壁面の日光率。

このパラメータをもとにして、2005年8月4日21時[JST]を初期時刻とした数値実験を実施した。都市域の中心グリッドにおける地上気温の時系列が第4図である。



第4図 都市域中心グリッドにおける地上気温の時系列図。初期時刻2005年8月4日21時[JST]、予報時間48時間の計算結果。SLF_ON:日光率を考慮。SLF_OFF:日光率を考慮せず。

日光率を考慮しない場合(SLF_OFF)に比べ、日光率を考慮した場合(SLF_ON)のほうが日中の気温が高く計算されている。ビル面では入射した短波放射をさらに各壁面に均等に配分するよう定式化されているが、地面ではそのまま地中熱流量に組み入れられるようになっている(次式参照)。

$$S_{wf} = \{1 - (1 - S_f) \cdot S_{if}\} \cdot (1 - \alpha_f) \cdot S_w / (S_f \cdot WAI) \quad (3)$$

$$S_{wg} = (1 - S_f) \cdot S_{if} \cdot (1 - \alpha_g) \cdot S_w / (1 - S_f) \quad (4)$$

S_w, S_{wf}, S_{wg} : 下向き短波放射量(グリッド平均, ビル群, 地面)

S_f : グリッドに占めるビル群の面積割合 S_{if} : 日光率

α_f, α_g : アルベド(ビル群, 地面) WAI : 壁面積指数

このため、日光率を考慮して日中の短波放射が地面により多く配分されると、ビル表面温度の変化に比べ、地面温度の変化のほうが大きくなり、グリッド平均としてみた地表面温度変化も大きく見積もられることが想像できる。今回、日中で約1°C程度の差が出たのは、このような効果によるものと考えられる。一方、日の出直後と日の入り直前では、逆に地面への短波放射が入りにくくなったことにより気温の上昇が若干抑えられている。夜間については、このパラメータが与える影響はほとんどなく、地上気温に差が出ないことも確認できる。

4. 今後の課題

今回、熱伝導方程式を導入することにより、現実的なパラメータを用いてビルの表面温度の予報をすることが可能となった。また、日光率 S_{if} を新たに導入したことで、ビル/地面へ入射する短波放射の時間配分を考慮することができるようになった。これにより、例えば平均ビル高が高くなると地上気温はどのように変化するかといった影響評価等への利用が期待できる。

今後は国土数値情報等から実際の都市域の広がりやその領域におけるビル群の閉める面積割合などを算出してシミュレーションを実施したい。その計算結果をもとに、アメダス等による現実大気の状態との比較検証を行うことが今後の課題である。

5. 参考文献

- [1] 青柳・清野, 2006: 第8回非静力学モデルに関するワークショップ講演予稿集。
- [2] 吉門ほか, 2002: 天気, 49, 887-899。