

植生が局所的な熱収支に及ぼす影響の評価に関する研究

豊橋技術科学大学 五来英一
 豊橋技術科学大学 学生員 岡村 聖
 豊橋技術科学大学 正会員 北田敏廣

1.はじめに

都市大気の夏季の高温化を緩和する一つの方法として都市緑化が注目されている。緑地の量や配置を適切に行うためには、その効果に対する予測手法を確立することが必要である。本研究では、植生の熱環境調整効果の定量的な検討を行うために、第一ステップとして Yamada(1982)の方法にならい、 $k-\varepsilon$ 乱流モデルに植生効果を取り入れ、植生地の大気境界層に関する鉛直 1 次元の数値シミュレーションを行った。

2.数値モデル

本研究で用いた $k-\varepsilon$ 乱流モデルは、筆者らの研究室で従来から継続的に研究を行ってきたものに、Yamada²⁾を参考に植生の効果を付け加えたものである。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = f(v - v_g) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{iv} \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \eta C_d a(z) u |u| \quad (1) \quad P = v_{iv} \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\} \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -f(u - u_g) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_{iv} \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \eta C_d a(z) v |v| \quad (2) \quad G = -\beta g \frac{v_{iv}}{\sigma_T} \frac{\partial \Theta}{\partial z} \quad (8)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{iv}}{\sigma_g} \frac{\partial \Theta}{\partial z} \right) + \frac{(1-\eta)}{\rho C_p} \frac{\partial R_N}{\partial z} + \frac{\eta}{\rho C_p} \left(1 + \frac{1}{B} \right)^{-1} \frac{\partial R_{NP}}{\partial z} \quad (3) \quad v_{iv} = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{iv}}{\sigma_q} \frac{\partial q}{\partial z} \right) \quad (4) \quad \sigma_T = 1.0, \quad \sigma_q = 1.0, \quad \sigma_k = 1.0, \quad \sigma_\varepsilon = 1.3$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{iv}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right) + P + G - \varepsilon + \eta C_d a(z) \left[|u|^3 + |v|^3 \right] \quad (5) \quad C_{1k} = 1.44, C_{2k} = 1.92,$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{v_{iv}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \left\{ P + (1 - C_{3\varepsilon}) G \right\} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} + \lambda \frac{\varepsilon}{k} \eta C_d a(z) \left[|u|^3 + |v|^3 \right] \quad (6) \quad C_{3\varepsilon} = 0(\text{unstable}), 1(\text{stable})$$

ここで、 u, v : 風速の x, y 方向成分、 u_g, v_g : 地衡風の x, y 方向成分、 ρ : 密度、 p : 気圧、 f : コリオリパラメータ、 g : 重力加速度、 Θ : 温位、 B : 植生でのボーエン比、 C_p : 乾燥空気 の定圧比熱、 k : 乱流運動エネルギー、 ε : 乱流運動エネルギーの散逸率、 P : シア生成項、 G : 浮力生成項、 β : 空気の体積膨張率、 η : 植被率 ($0 \leq \eta \leq 1$)、 C_d : キヤノピーの抵抗係数、 $a(z)$: 植生領域密度である。

3.境界条件

最下層 6m 以下で接地層を仮定し、地表面での熱収支式に次式²⁾を用いて地表面温度 T_s を計算した。

$$(1-\eta) \left[(1-\alpha_s) K^{\downarrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \right] + \eta R_N (h_t) (1-\eta) e^{-kL(h_t)} - Q_G - \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) Q_s = 0 \quad (10)$$

ここで、長波放射の式は、Pielke³⁾を参考に次式を用いた。

$$L^{\downarrow} = \sigma T^4(z_T) e^{-(z_T - z, T(z_T))} - \int_z^{z_T} \varepsilon(z - \hat{z}, T(\hat{z})) 4\alpha T^3 \frac{dT(\hat{z})}{d\hat{z}} d\hat{z} \quad (11)$$

$$L^{\uparrow} = \sigma T_s^4 + \int_0^z \varepsilon(z - \hat{z}, T(\hat{z})) 4\alpha T^3 \frac{dT(\hat{z})}{d\hat{z}} d\hat{z} \quad (12)$$

上方境界条件は、境界面に直角方向の勾配 0 で与えた。鉛直方向の領域上端は 2km とした。

4.結果と考察

計算時間は、太陽放射のデータに基づき 1985 年 5 月 12 日午前 7 時から 48 時間分 (2 日間) 行った。計算ステップは 3 秒である。初期条件として、地衡風は $u_g=10\text{m/sec}$ 、 $v_g=0\text{m/sec}$ で与え、地表面温位は 288k とし、上方に 5.5k/km の一定割合で上昇させ、相対湿度は鉛直方向に一樣に 70% とした。森林のパラメータは Yamada²⁾と同じである。また植生でのボーエン比は 1.5 とした。植生の存在が気象場に与える影響を検討するために植被率 η を $\eta=0$ (裸地)、 $\eta=0.9$ (植生地) とした。以下に示す結果は、すべて 2 日目のものである。

日中 (14 時) の温位の鉛直分布 (Fig.1) は、裸地の場合、地表付近で強い不安定層となるが、樹木が密な場合 ($\eta=0.9$) それが緩和されており、葉部による放射減衰効果によるものと考えられる。これは、適度な植生が存

在することによって植生層内の運動量の交換が効率的に行われた結果と考えられる。また樹木が密な場合とならない場合とでは地表面で約 3°C の温度差が生じており、この結果より最高気温時においても植生による熱環境の緩和が期待できることが確認できた。

一方、夜間（2 時）では裸地の場合安定層を示しているが(Fig.2)、植生が密な場合にはキャノピー層上部で温位が最低となり、そこから地面に向かうほど高温になっている。この時間における熱輸送方程式の放射の発散項の鉛直分布をみると、その点付近で負の極値、すなわち射出放射 > 入射放射が最大となっている(Fig.3)。よって、これより下では長波放射による熱の損失が減る傾向にあり、またこれより上では長波放射による冷却が生じていると考えることができる。

また、輸送方程式中のボーエン比の値が温位に与える影響を検討するため、ボーエン比を 0.5 として計算を行った(Fig.4)。ボーエン比が小さくなるということはより多くの熱エネルギーが蒸発散に使われるということの意味し、計算結果においてもボーエン比が 1.5 の時に比べ日中の温位が低くなっている。

樹木が存在する場合の風速は、植生キャノピーによる抵抗のために裸地のケースに比べ小さい(Fig.5)。

5. 結論

本研究の目的は、人間の活動によって都市熱環境に及ぼす影響の表れとしてヒートアイランド現象をとらえ、植生による熱環境の緩和を数値で評価するために、熱収支に植生効果を考慮したモデルを構築することである。本研究では、その第一ステップとして熱収支に植生効果を考慮した $k-\epsilon$ 乱流モデルを考察し、温位の日最高気温時における安定化傾向、および夜間の逆転層、植生内の風速の減少等、従来の説明と定性的には合う結果を得た。しかし、この結果はあくまでも仮定した条件下のものであり、今後より現実的なものとするためには、観測結果との比較を伴う研究が必要である。今後、植物の蒸散効果の考慮や各種パラメータのより良い選択とともに、熱環境緩和のための植生の最適な配置に関する研究等を行う予定である。

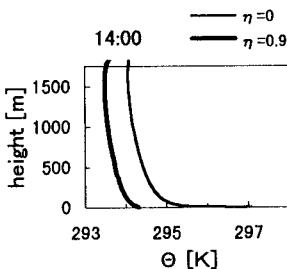


Fig.1 温位の鉛直分布(14:00)

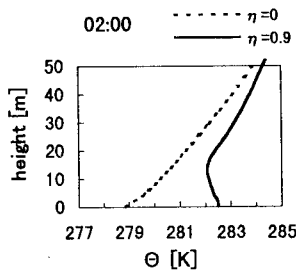


Fig.2 温位の鉛直分布(02:00)

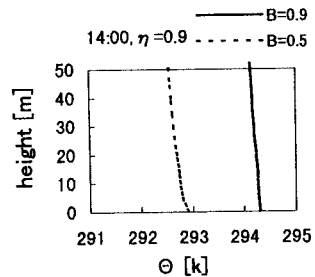


Fig.3 温位の鉛直分布(02:00)

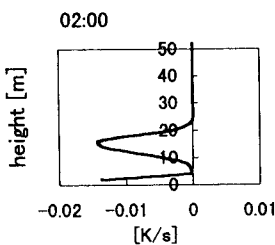


Fig.4 放射の発散項の鉛直分布

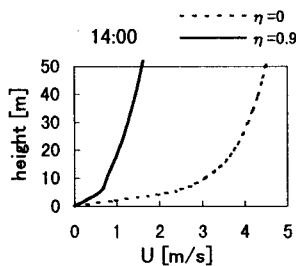


Fig.5 風速の鉛直分布(14:00)

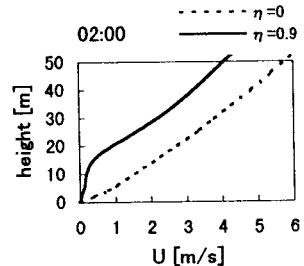


Fig.6 風速の鉛直分布(02:00)

参考文献

- 1) 例えば、北田敏廣、岡村聖、高木久之、1995： $k-\epsilon$ / メソスケール気象モデルによる濃尾平野の局地風解析－様々なスケールの地形効果－、環境工学研究論文集、32、241-252
- 2) Yamada, T., 1982: A numerical model study of turbulent air flow in above a forest canopy, J. Meteorol. Soc., 60-1, 439-454
- 3) Pielke, P. A., 1984: Mesoscale meteorological Modeling, academic press, pp612
- 4) Gross, G., 1993: Numerical Simulation of Canopy Flows, Springer-Verlag, Germany, pp167