

VI-89

植生キャノピーの微気候モデルの開発

埼玉大学工学部	正会員	ヴタンカ
埼玉大学大学院	正会員	藤野 毅
埼玉大学大学院	正会員	浅枝 隆
建設省土木研究所	正会員	児玉 法彰

1. 序論

森林キャノピー内の熱・水蒸気輸送のモデリングは、植物の生理作用のメカニズム、すなわち根から水分を取り込み茎から葉に水分を輸送し葉面において蒸散する作用、およびキャノピー内の放射伝達や熱輸送について把握することが必要である。そこで、これらの現象を再現するモデルを開発し、観測結果と比較を行った。

2. 基礎方程式

モデルは非定常の鉛直1次元モデルであり、水平方向には一様性を仮定している。植生キャノピーにおける熱収支、茎や根を含む植物キャノピー内の水分の移動はそれぞれ次式で表される。

$$\rho_{cp} c_{cp} \frac{dT_{cp}}{dt} = R_n - a(z)H_c(z) - a(z)Le_c(z), \quad (1)$$

$$C_p \frac{\partial \psi_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_p \frac{\partial (\psi_p + z)}{\partial z} \right) - S_p(z), \quad (2)$$

ここで、 ρ_{cp} 、 c_{cp} および T_{cp} はそれぞれ葉の密度、熱容量、および温度を示す。 t は時間; R_n は放射収支; $a(z)$ は葉面積密度(片側); $H_c(z)$ は葉面と大気間の熱交換; L は潜熱輸送; $e_c(z)$ は蒸発速度であり、 $z \geq 0$ で $S_p(z)$ と等価である。 C_p は植物の水分量; ψ_p は根-茎系におけるオスモティック圧力; K_p は根-茎系における透水係数; z は鉛直座標; $S_p(z)$ は根が水分を取り込む場合のソース項(逆に葉面からの蒸散によるシンク項にもなる)を示す。

また、植生キャノピー内における風速、気温、水蒸気密度の鉛直分布はそれぞれ次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left[(\nu + \nu_m(z)) \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \begin{cases} -a(z)\tau_c(z)/\rho_a & 0 \leq z \leq h_c \\ 0 & z > h_c \end{cases} \quad (3)$$

$$\frac{\partial T_a}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left[(\kappa_h + K_h(z)) \frac{\partial T_a}{\partial z} \right] = \begin{cases} a(z)H_c(z)/c_p \rho_a & 0 \leq z \leq h_c \\ 0 & z > h_c \end{cases} \quad (4)$$

$$\frac{\partial q_a}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial z} \left[(\kappa_m + K_m(z)) \frac{\partial q_a}{\partial z} \right] = \begin{cases} a(z)e_c(z)/\rho_a & 0 \leq z \leq h_c \\ 0 & z > h_c \end{cases} \quad (5)$$

ここで u は風速; τ_c は葉の運動量フラックス; ν と ν_m は動粘性係数および渦動粘性係数; $\tau_c(z)$ は葉の存在によって生ずるせん断力; ρ_a は空気密度; h_c はキャノピーの高さ; κ_h と K_h は熱の分子拡散係数および乱流拡散係数; T_a は気温; c_p は定圧比熱; κ_m と K_m 水蒸気の分子拡散係数および乱流拡散係数; q_a は比湿を示す。

葉表面と大気間における運動量、熱、水蒸気の輸送方程式は次のように与えられる(Kondo & Watanabe, 1992)

$$\tau_c(z) = \rho_a c_d u^2, \quad (6)$$

$$H_c(z) = c_p \rho_a c_h u (T_{cp} - T_a), \quad (7)$$

$$e_c(z) = \rho_a c_e (q_{*cp} - q_a), \quad (8)$$

ここで、 c_e および c_h は葉面と大気との間における水蒸気、熱の交換係数である。また、 q_{*cp} は葉面温度における飽和水蒸気圧である。

葉面と大気との間における水蒸気の交換係数の値は風速、気孔開度に依存することが知られている。すなわち、

$$c_e = g_0 f(I) f(\delta e_l) f(\psi_p), \quad (9)$$

ここに、 β は植物の種類によって定まる定数、 O_p 、 $f(R_{sn})$ 、 $f(T_{cp})$ 、 $f(\theta V)$ はそれぞれ気孔の開度で日射や二酸化炭素濃度、葉内の水分、湿度、葉の温度の関数で定まる。

植物キャノピー内での放射収支はVu et al (1998)のモデルを用い計算する。根の吸水モデルはHerkelrath et al (1977)を用いる。

植物キャノピー、蒸散、数値解析、実測、水ポテンシャル

連絡先:埼玉県浦和市下大久保255 埼玉大学工学部 電話:048-858-3567 ファックス:048-855-9361

3. 計算結果と考察

計算は1997年9月1から2日にかけてつくば市での植物キャノピーの実測(Vu et al, 1998)を対象に行なった。計算領域は、地表面から高さ100 mまでとし、地中は深さ10mまで、植生の高さは11.5mとした。

計算の初期条件として、観測で得られた気象条件、葉面の温度、土壌の温度、水分を与える。土壌のマトリック水頭および茎内の水ポテンシャルは観測で得られなかったため、仮定した。

図1に1997年9月1-2日の地上12m及び6m高さの気温の計算値と実測値の時間変化を示す。図2に同期間の地上12m,6m及び1.5m高さの葉温の計算値と実測値の時間変化を示す。これより計算値は実測値とほぼ等しいことが分かり、この数値モデルは樹林内の熱・水分移動の現象を再現できる。図3に植物キャノピー内の熱収支を示す。図中の「Solar」及び「Rnet」はそれぞれ植物キャノピー上の日射収支と赤外放射収支を示す。この期間は晴天であり昼間の最大日射収支は 700W/m^2 に達した。この時間の潜熱輸送は 450W/m^2 と見積もられた。図4に6時,9時,12時,15時,18時の風速の鉛直分布を示す。

3. まとめ

根-茎-葉系の水分移動を考慮した植生キャノピー内の1次元微気象モデルを開発し、キャノピー層内外の風速、気温、葉温分布の特徴をよく表現することができた。

モデルはキャノピー層内の日射、長波放射、葉面温度、水ポテンシャル、土壌水分、土壌温度等を物理的に、しかも詳細な部分にわたって計算することを可能にし、個々のファクターの影響を定性的に明らかにすると共に、異なる複数のファクターの相互の影響を明らかにすることを可能である。

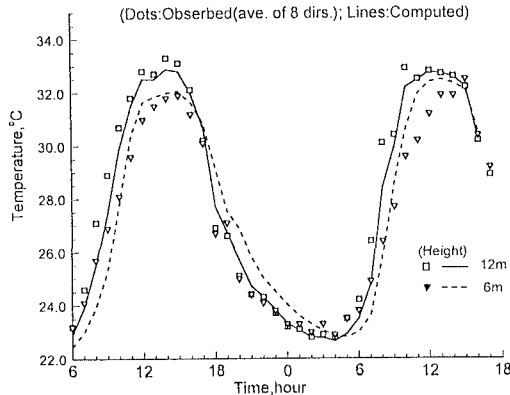


図1: 1997年9月1-2日の地上6m,12m高さの気温の計算値と実測値の時間変化

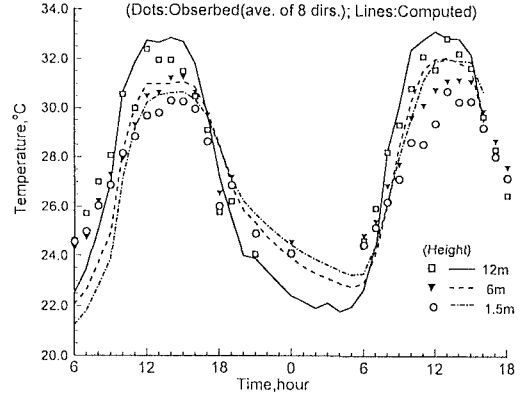


図2: 1997年9月1-2日の地上1.5m,6m,12m高さの葉温の計算値と実測値の時間変化

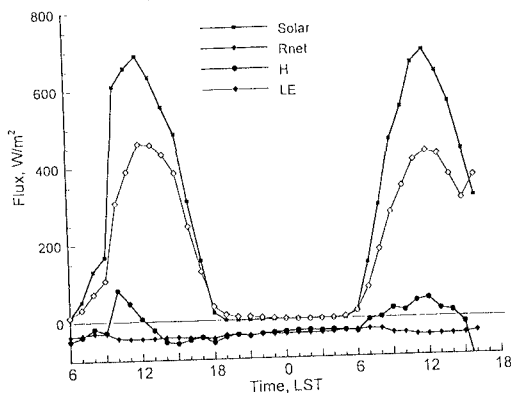


図3: 1997年9月1-2日の植物キャノピー内の熱収支の時間変化

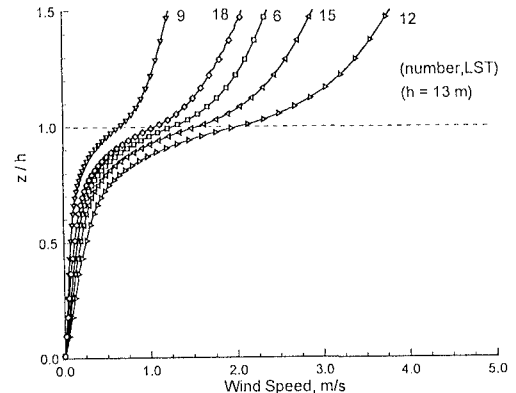


図4: 1997年9月1-2日の6時,9時,12時,15時,18時の風速の鉛直分布

参考文献

- Asaeda T., and Vu T. C. (1993) *Boundary-Layer Meteorol.* **65**, 159-179.
 Herkelrath W.N., E.E. Miller and W.R. Gardner (1977) *Soil. Sci. Am. J.*, **41**, 1039-1043.
 Kondo J. and T. Watanabe (1992) *J. Atmos. Sci.*, **49**, 2183-2199.
 Vu T.C., T. Fujino, T. Asaeda and H. Kodama (1998) *Annual J. Hydraulic Engng., JCSE*