

植生を考慮した二次元蒸発散モデル

京都大学防災研究所 正員 葛葉泰久

京都大学防災研究所 正員 池淵周一

京都大学大学院 学生員 ○田中賢治

1. はじめに 広域場からの蒸発散量を正確に把握することは、水文・水資源工学上重要な課題であるが、従来の裸地蒸発モデルでは、植生地を含んだ複合的な場を対象とすることはできない。そこで、広域場を解析の対象とするためには、裸地だけでなく植生地にも適用でき、さらに、裸地、植生地が混在する複合的な場にも適用できるモデルが必要となる。また、広域場からの蒸発散量を推定する場合、特に衛星等によるリモートセンシングデータを利用する際には、適切な時間的・空間的平均化作業が必要となるが、本研究ではこれらについての検討も行った。

2. モデルの概要 地表面での運動量 (τ)、顕熱フラックス (H) は、従来の裸地蒸発モデルと同様であり、大気の大安定性を考慮すれば、それぞれ次のように表される¹⁾。ここで用いる変数名については表1に示した。

$$\tau = -\rho a \left(\frac{\kappa u a}{\ln [(z-d_0)/z_{0m}] - \Psi_{sm}} \right)^2, \quad H = \rho a C_p u_* \left(\frac{\kappa (T_s - T_a)}{\ln [(z-d_0)/z_{0h}] - \Psi_{sh}} \right)$$

ただし、ここで用いている普遍関数 Ψ_s は、背の高い植生には適用できない。また水蒸気フラックスは、地面からの蒸発 (E_g) と植物からの蒸散 (E_v) に分けることができ、地中体積含水率が飽和含水率の約75%以上で、かつ葉表面に水滴が存在しない場合、変数 veg (植物の水平密度) を用いて、それぞれ次のように表される²⁾。

$$E_g = (1-veg) \rho a (q_s - q_a) / r_a$$

$$E_v = veg \rho a (q_s - q_a) / (r_s + r_a)$$

ここで、 r_a , r_s はそれぞれ大気抵抗、気孔抵抗であり、

$$r_a = \{ \ln [(z-d_0)/z_{0v}] - \Psi_{sv} \} / \kappa u_*$$

$$r_s = r_{smin} (LAI)^{-1} F_1 \cdot F_2^{-1} \cdot F_3^{-1}$$

と表される。ただし、 F_1 , F_2 , F_3 は、それぞれ太陽放射、水蒸気圧 (e)、気温が気孔抵抗に及ぼす影響を表すパラメータであり、

$$F_1 = (1+f) / (f + r_{smin} / r_{smax})$$

$$f = 0.55 (R_g / R_{gl}) (2/LAI)$$

$$F_2 = 1 - G (e_{sat}(T_s) - e_a)$$

$$F_3 = 1 - 0.0016 (298.0 - T_a)^2$$

となる。地表面での各フラックスの算定には、風速 u 、気温 T 、比湿 q の、大気中 (サフィックス a) および地表面 (同じく s) での値が必要となるが、これらは表2に示した方程式系で算定する。

ここで、鉛直拡散係数 K を、MellorらのPBLモデルで与えることにより、地表面条件の変化に伴うIBL (内部境界層) の発達を取り込むことができる。大気中の基礎式は移流項を含んでいるが、地表面と地表面直上の点の間を、移流がなく、フラックスが一定な領域 (CFL) と仮定し、ここでのフラックスとして地表面における値を用いることにした (図1参照)。また、地面と植物の気孔内の温度は実際には等しくはないが、ここでは近似的に地表面温度 T_s をそれら両方を代表する温度として扱っている。

表1 変数名

ρa : 空気の密度,	κ : カルマン定数
C_p : 定圧モル比熱,	u_* : 摩擦速度
d_0 : 地面修正量,	z_0 : 粗度長
LAI : 葉面積指数	σ : ボルツマン定数
α : アルベド,	ε : 放射率
R_a : 大気赤外放射,	R_g : 太陽放射
T_2 : 深層土壌温度, T_L : T_s の周期	
τ : 運動量, r_{smin} : 運動量, 熱, 水蒸気	
$(r_{smin}, r_{smax}, R_{gl}, G)$: 定数	

表2 大気および地表面の方程式系

大気の基本式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_m \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial q}{\partial z} \right)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

地表面の熱収支式

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = C_r H_a - \frac{2\pi}{T_L} (T_s - T_2)$$

$$H_a = (1-\alpha) R_g + \varepsilon (R_a - \sigma T_s^4) - H - \tau E$$

$$C_r = [(1-veg)/C_a + veg/C_v]^{-1}$$

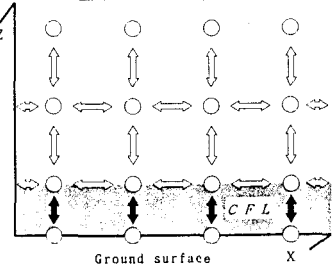


図1 CFL

3. 計算結果 地表面が一様な場合に LAI (葉面積指数)、放射強度を変えて様々なシミュレーションを行ったが、水蒸気フラックス、顕熱フラックス、地表面温度や、風速、気温、比湿の分布の時間推移より、本モデルが定性的には正しい結果を出力していることがわかった。そして、地表面が非一様な場合として、地表面が気流流下方向に、裸地—植生地—裸地 (それぞれ第1領域、第2領域、第3領域とする) と変化する場合を取り上げ、植生地領域長、放射強度を変えて様々なシミュレーションを行った。放射強度によっては、植生地上空の下層大気が時間経過とともに安定に向かい、裸地上空では時間経過とともに不安定に向かう場合がある。このため植生地を含んだ複合的な利用をされた場では、大気の安定性を考慮することが不可欠であると考えられる。図2はシミュレーション結果の一例で、破線は各点における積算蒸発散量の、各領域における平均値に対する比 (CUMRAT) を表している。第2領域 (植生地) において、CUMRATは直線的に減少するので、その回帰直線 (REG) も同時に示した。CUMRATはある地点での積算蒸発散量から領域平均積算蒸発散量を推定するための補正係数にあたるため、このREGは、その近似値となりうる。これは、1次関数で補正することにより、空間的平均化が可能であることを示唆するものである。この回帰直線は傾きだけで決定できるが (REGは中央において必ず1となる)、この傾きは放射強度、第2領域長等の関数となる。

つぎに、放射強度が時間的に変化する場合の、蒸発散強度の時間平均値に対する比 (Ratio) および放射強度の時間推移を、図3に示した。裸地においては少し時間的遅れがあるものの (地面は植物よりも熱容量が大きい)、Ratioは放射強度と同様の形になる (Ratioは正弦関数にある定数を加えて何倍かしたもので近似できる)。このため、ある時間における放射強度と最大放射強度との比を変数にすれば、Ratioは1次関数で近似できる。またこのRatioは、ある点のある時間における蒸発散強度からその点における時間平均値を推定するための補正係数にあたる。これは、1次関数で補正することにより、時間的平均化が可能であることを示唆するものである。

以上より、植生地領域内のある点のある時間における蒸発散強度を、1次関数の積で補正することにより、領域平均積算蒸発散量を求めることが可能であるといえる。

4. おわりに 以上、本モデルが、限定されてはいるものの植生地にも適用でき、また、裸地と植生地が混在する場合にも適用できるものであることを示した。また、時空間的平均化のためのアプローチの一例を示した。今後は、地中含水率および葉表面の水滴を取り込んだモデルに発展させ、また、観測データを用いて、本モデルが定量的に正しいかどうかを検討していくつもりである。

参考文献 1) Brutsaert, W.: Evaporation into the Atmosphere, D. Reidel Publishing Company, 1982.

2) Bougeault, P.: Parameterization Schemes of Land-Surface Processes for Mesoscale Atmospheric Models. In "Land Surface Evaporation.", pp.55-91, Springer-Verlag, 1991.

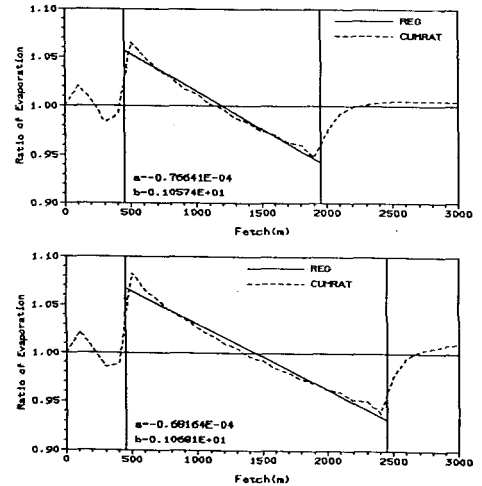


図2 CUMRATとREG

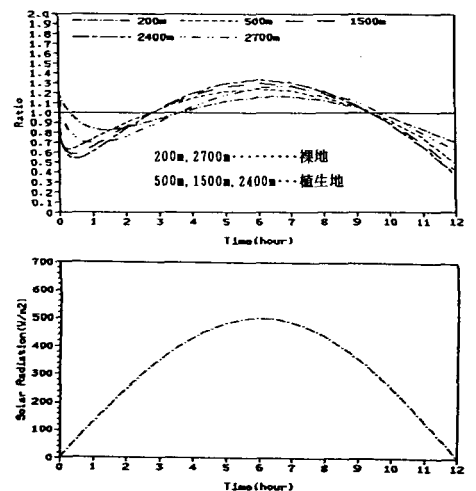


図3 Ratioと放射強度