

II-3 裸地蒸発量推定モデルの数値解析的研究

京都大学防災研究所 池淵周一
清水建設 土谷史郎
京都大学大学院 ○久保和幸

1. はじめに

日単位、半日単位での裸地蒸発量(大型ライシメータ観測値)は、降雨を伴わない場合Penman式に地表面土壤水分量の一次関数を抑制項として乗ずる^{基礎式}ことによりかなり高い再現性が得られる¹⁾。

ところが降雨を伴う場合や更に短い時間単位では、ライシメータの精度上、観測的研究は困難となる。そこでこうした場合を含め扱えるよう、本研究ではDe Vriesが与えた土壤中の水分と熱を同時に扱った基礎方程式をベースに数値解析モデルを構成し、パラメータによる感度分析、現地観測データとの比較などを通してモデルの有効性、限界性を考察した

$$\text{水分フラックス: } \frac{q_m}{\rho_s} = -D_v \nabla \theta_s - D_v \nabla T + K_i \quad (1)$$

$$\text{熱フラックス: } q_n = -\lambda \nabla T - \rho_v L D_v \nabla \theta_s + c_s (T - T_0) q_m \quad (2)$$

$$\text{水分の連続式: } \left\{ 1 - \frac{\rho_v}{\rho_s} + \frac{\partial \theta_s}{\partial \rho_s} \frac{\partial \rho_v}{\partial \theta_s} \right\} \frac{\partial \theta_s}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial \theta_s}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} \right\} \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla \cdot \left(\frac{q_m}{\rho_s} \right) \quad (3)$$

$$\text{熱の連続式: } \left\{ C + (L + c_s (T - T_0)) \theta_s \frac{\partial \rho_v}{\partial T} \right\} \frac{\partial T}{\partial t} + \left\{ (L + c_s (T - T_0)) \theta_s \frac{\partial \rho_v}{\partial \theta_s} + \rho_s c_s (T - T_0) - \rho_v (L + c_s (T - T_0)) \right\} \frac{\partial \theta_s}{\partial t} = -\nabla \cdot q_n \quad (4)$$

2. 基礎方程式系

本研究で用いるモデルは土壤内の熱と水の流れを拡散方程式型の連立偏微分方程式で表現したDe Vriesの考え²⁾をベースにしている。用いた基礎方程式並びに境界条件を一括表示しておく。また、鉛直一次元モデルとして土壤をn層に分割して扱う(図-1)。さらに地表面での q_{m1}, q_{n1} を評価する際に必要な量のうち与える量(観測データ)は $R_{net}, T_a, \rho_{va}, u, P$ の5項目であるとし、 T_s, ρ_{vs} は未知の値として扱う。そのため熱収支式の各項を地表面温度 T_s の関数として表し(ρ_{vs} も T_s の関数として与える)、そこから得られる T_s の陰関数よりその値を求めている。

q_m :水分フラックス, q_n :熱フラックス, ρ :液水の密度, D :拡散係数, ρ_v, θ, i :サフィクス(液体, 水蒸気, 等温での, 非等温での), θ :土壤水分量, ρ_v, θ, i :サフィクス(液水, 水蒸気, 空気) T :地温, K :不飽和透水係数, i :鉛直方向の単位ベクトル, λ :見かけの熱伝導率 L :気化熱, c :液水の比熱, T_0 :基準温度(273K), ρ_v :水蒸気密度, C_s :乾燥状態での体積熱容量, c_p :水蒸気の定圧比熱, C :湿った土壤の体積熱容量

境界条件
地表面: Milly and Eagleson³⁾が用いた方法を参考に、地表面での水分フラックス q_{m1} は地表面に湛水が生じている場合($\theta_1 < \theta_{or}$ の時湛水が生じると仮定, θ_1 :第一層の土壤水分量, θ_{or} :湛水開始水分量で降雨強度 P の関数として $\theta_{or} = \theta_1(1 - ap)$, a :定数),
 $\frac{q_{m1}}{\rho_s} = K_s$

湛水深 h_p の変化速度は

$$\frac{dh_p}{dt} = P + E - K_s - R_s$$

$$R_s = \begin{cases} P + E - K_s & h_p = h_{pmax} \text{ and } P + E - K_s > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

湛水が生じていない場合, $\frac{q_{m1}}{\rho_s} = P + E$
 K_s :飽和透水係数, h_p :湛水深, R_s :地表面流出高, h_{pmax} :最大湛水深
熱フラックス q_{n1} は地表面での熱収支から,
 $q_{n1} = S - R_{net} + \rho_s (L + c_s (T_s - T_0)) E + H + \rho_s c_s (T_s - T_0) P - \rho_s c_s (T_s - T_0) R_s - \rho_s c_s \frac{d}{dt} (h_p (T_s - T_0))$

3. モデルパラメータの設定

(1) 不飽和透水係数 K とマトリックポテンシャル ψ :飽和透水係数の測定、PF試験結果を

$$K(\theta) = K_s (\theta / \theta_{sat})^{2b+3}, \quad \psi(\theta) = \psi_s (\theta / \theta_{sat})^{-b}$$

に入れ最小二乗法から b, θ_{sat} の値を求めた。

(2) 拡散係数 $D_{\theta\theta}, D_{\theta v}, D_{T\theta}, D_{Tv}$ の算定および熱に関するパラメータ C, k の与え方:いずれもPhilip and de Vriesの方法によった。

(3) 大気境界層のフラックスの算定:蒸発強度 E ,顕熱フラックス H の算定には大気の安定度を考慮に入れた。

4. 数値解析とその適用結果

(3), (4)の連続式を差分法によって深さ方向、時間軸方向両者にわたって数値解析するが、その方法はCamillo and Schmutge⁵⁾の方法にならった。適

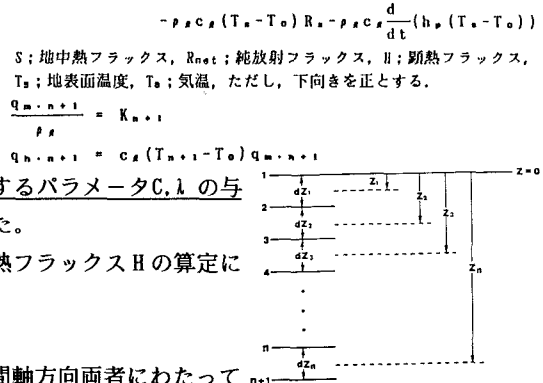


図-1. 土壤層の分割

用にあたっての差分間隔は、深さ方向には $Z_1=1.25$ (cm)、それ以下は Z_2 から順に5.0(cm)間隔に、時間軸上は1ステップ300秒とした。初期条件としての土壌水分量と地温の鉛直プロファイルの違いおよびモデルパラメータ K_s 、 b 、 λ_s (土粒子の熱伝導率)の値の違いによる比較、 K_s を上層と下層で値を変えた場合、大気の安定度を考慮した場合としない場合、といった多くのケースについて感度分析的検討を行なった。地表面流出が0と計算された昭和63年9月12日から23日までの結果と地表面流出を含む9月一か月間の適用結果の一例を図-2,3に示す。他の結果ともあわせて考察すると以下のものである。1)日蒸発量や土壌水分量の変化に対して K_s 、 b の感度は大きく、 λ_s の感度はそれらに比べて小さい。また、大気を常に中立として計算した結果と安定度を考慮したものとの比較では局所的には違いが見られるものの、日単位や半日単位といった時間単位でみると両者の間にはほとんど差はない。2)透水係数により地表面流出量の値に差が生じる。また、透水係数が小さくなると流出量は大きくなり、その損失のため蒸発量は小さくなる。3)用いたモデルは、いずれの場合もおおむね良好な再現性を示し、ライシメータでは得られぬ降雨日の蒸発量に対して地表面流出の算出を通して一つの推定値が得られた。

5. あとがき

観測値との比較により再現をさらに高めるためには、今後とも地表面境界条件や土壌水分特性曲線の再検討、さらにモデルの簡略化や差分間隔についての感度分析などを行なう必要がある。

参考文献

- 1)池淵・土谷・久保:大型ライシメータをベースにした裸地蒸発量のシミュレーションモデル,土木学会関西支部年講,昭和63年
- 2)De Vries:Simultaneous transfer of heat and moisture in porous media:Trans.Amer.Geophys.Union,39,1985,pp.909-916.
- 3)Milly and Eagleson:Parameterization of moisture and heat fluxes across the land surface for use in atmospheric general circulation models:Tech.Rep.279,R.M.Parsons Lab.,Dep. of Civ.Eng.,Mass.Inst. of Technol.,Cambridge,1982.
- 4)Philip and de Vries:Moisture movement in porous materials under temperature gradients:EOS Trans.AGU,38,1957,pp.222-228.
- 5)Camillo and Schmugge:A soil and atmospheric boundary layer model for evaporation and soil moisture studies:Water Resour.Res.,19,1983,pp.371-380.

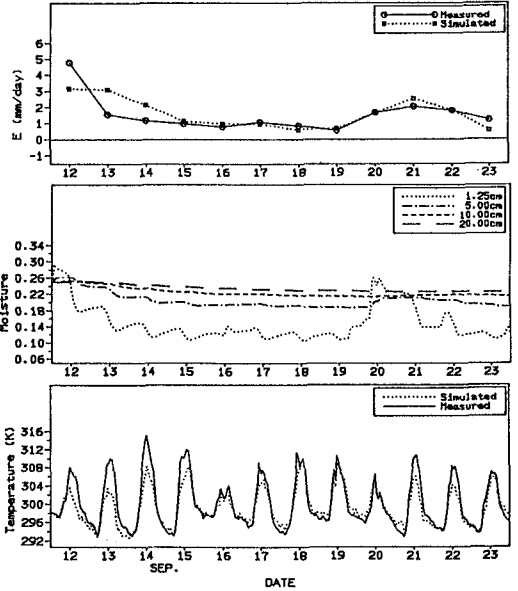


図-2. 観測値と計算値の比較

(a)日蒸発量 (b)土壌水分量 (c)地表面温度

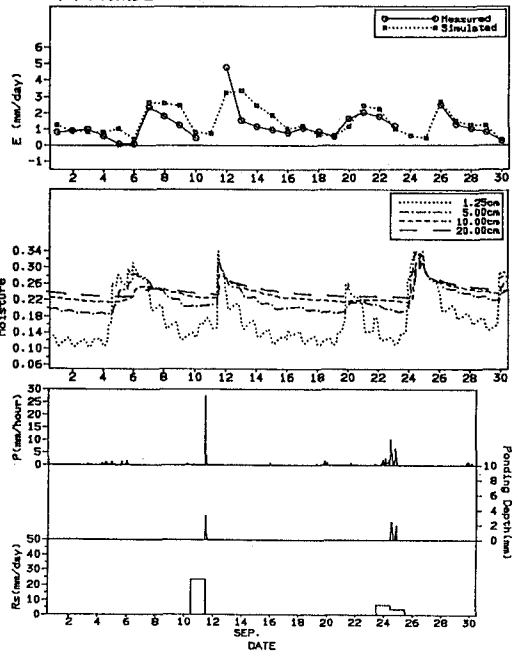


図-3. 観測値と計算値の比較

(a)日蒸発量 (b)土壌水分量 (c)地表面流出量