

II-120 大気-土壌結合蒸発モデルの観測データに対する再現性

東京大学 大学院 (日本学術振興会 特別研究員) 学生員 仲江川 敏之

東京大学生産技術研究所

正会員 沖 大幹、虫明 功臣

1. はじめに

今日環境問題が世界規模の社会問題となってきた。こうした中で都市の熱環境問題を考える場合の潜熱による冷却効果が、また地球規模の気候変動を予測する際の潜熱の大気-陸面相互作用が重要であることが広く認識されてきている。これは蒸発散(潜熱)が同時に熱と水の交換をする現象であることに起因するものである。このように蒸発散過程は環境問題と密接な関係にあるが、従来の研究では大気と陸面の相互作用という視点からは余り研究がなされてこなかった。

本研究では、蒸発散において発散を除いた基本的かつ重要な裸地面からの蒸発を取り扱う大気-土壌の相互作用を念頭に鉛直一次元モデルを構築し、そのモデルを用いて現地観測結果と比較検討を行なった結果を示す。

2. 大気境界層-土壌結合モデル

著者ら(1992)は、大気-土壌結合モデルによる簡単な数値実験を行なった。その結果、土壌水分に関する独立変数を不飽和透水係数を積分した(F-based equation)モデルでは、多土壌系の数値実験が大変困難であり、また安定性が必ずしも良くないことがわかった。そこで、土壌側の水分に関する独立変数を水理ポテンシャルとする Milly and Eagleson(1980)の定式化を採用して、モデルの構築を行なった。

2.1 土壌の支配方程式

(1) 土壌水分: Milly and Eagleson の研究の特徴は上述の独立変数を水理ポテンシャルとした他に、ヒステリシスも考慮した点にある。ただし本研究においては蒸発過程のみに注目しているので、この点は考慮していない。土壌水分としては液相(θ_{liq})と気相(θ_{air})を考え、水分フラックスについては液体水フラックス(q_{liq})、水蒸気フラックス(q_{vap})、吸着水のフラックス(q_{T_e})を考えると土壌水分に関する質量保存則は以下のように書き表される。

$$\frac{\partial}{\partial t} \{ \rho_{liq} \theta_{liq}(\psi) + \rho_{vap} \theta_{air}(\psi) \} = - \frac{\partial}{\partial z} \{ q_{liq} + q_{vap} + q_a \} \quad (1)$$

但し、 ψ は水理ポテンシャル、 z は基準面からの上向きの高さ、 ρ_{liq} と ρ_{vap} は各々液体水と水蒸気の密度である。

(2) 地温: 地温に関しては土壌内の各構成物質の熱容量を考え、熱量フラックスについてはフーリエの法則に基づく熱拡散(q_{h_F})、土壌水分移動による顕熱輸送(q_{h_s})並びに潜熱輸送($q_{h_{T_e}}$)、吸着水の移動に伴う熱量輸送($q_{h_{T_a}}$)の和によって表す。また $S_{h_{su}}$ は各構成物質の熱量を、 W は浸漬熱を表している。

$$\frac{\partial}{\partial t} (S_{h_{soil}} + S_{h_{liq}} + S_{h_{air}} + \rho_{liq} W) = - \nabla (q_{h_F} + q_{h_s} + q_{h_l} + q_{h_{T_a}}) \quad (2)$$

2.2 大気境界層の支配方程式

地表面での熱収支式は $R^{\downarrow}$: 下向き放射量、 $H^{\uparrow}$: 顕熱、 $LE^{\uparrow}$: 潜熱、 G : 地中への熱量、 σ : Stefan-Boltzmann 定数として、

$$R^{\downarrow} = \sigma T_s^4 + H^{\uparrow} + LE^{\uparrow} + G \quad (3)$$

となる。大気側の熱フラックスについては大気の安定度を考慮した式を用いた。例えば潜熱フラックスを表す式は、

$$LE = L \frac{a_v \kappa u_s \rho_{liq} (\bar{q}_s - \bar{q})}{\ln \frac{z - d_0}{z_0} - \Psi_{sv}(\zeta_{mo})} \quad (4)$$

となる。ここに q_s : 地表面の飽和比湿、 q : 大気の比湿、 κ : カルマン定数、 ζ_{mo} : 安定度を表す無次元高さである。

3. 観測データ

本モデルの現地観測データに対する再現性を見るために、浅沼(1991)と三枝(1991)によって行なわれた大気-土壌結合同時観測のデータを用いて検討した。詳細は上述した論文に譲るが、ここで観測データについて簡単にまとめる。

大気側の熱収支解析においてはボーエン比法を用いて各熱フラックスが計算されている。土壌側では水理ポテンシャルと地中温度が観測され、水収支法により蒸発量が計算されている。このようにして求められた観測値と2.に述べた数値モデルによって再現された値とを比較、検討する。

4. 数値実験の計算条件とパラメータ

水分特性曲線、不飽和透水係数、飽和体積含水率などの土壌特性は室内実験で決定された値を用いて、観測値に対する再現性をみる数値実験を行なった。

大気側のモデルに含まれる粗度パラメータは本モデルの大気モデルのみを用いて、顕熱と潜熱に対する粗度パラメータをモデルと観測値で総和が一致するよう最適化を行なった。こうして各々求められた粗度は、顕熱、潜熱輸送に対して各々 $26.465\nu_a/u_*$ と $0.811\nu_a/u_*$ になった。

5. 観測値の数値モデルによる再現性と考察

図1.に熱収支の、図2に土壤水分量の観測値とモデルによる結果の比較を示す。

まず、熱収支に着目する。図1.1に観測結果を、モデルによる再現結果を図1.2に示す。熱収支に関しては定性的にも、定量的にも良く一致していることがわかる。ただし、地中への熱伝導は大きく異なる点が日中に生じる。これは今回の計算において外部気象条件を1時間毎にパルス的に与えているためである。この点は改良する余地が残されている。また、3日目の潜熱が大きく見積もられているが、これは土壤水分量の所でも述べるように、蒸発抑制効果が実際の現象では生じているのに、モデルでは十分に土壤が乾燥しなかったために抑制が生じなかったからである。

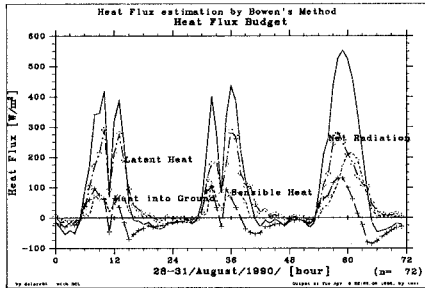


図 1.1 現地観測による熱収支解析結果

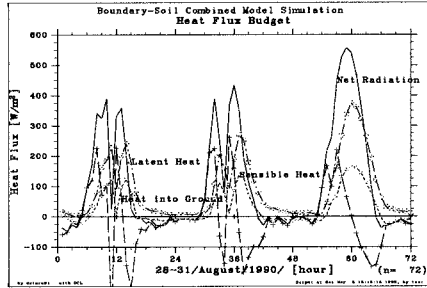


図 1.2 モデルによる現地観測熱収支の再現性

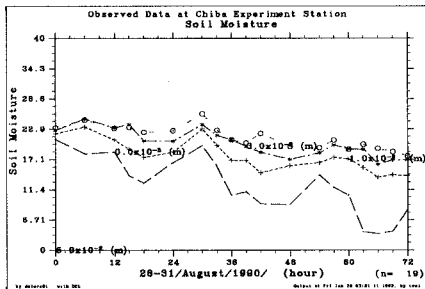


図 2.1 現地観測による土壤水分量観測結果

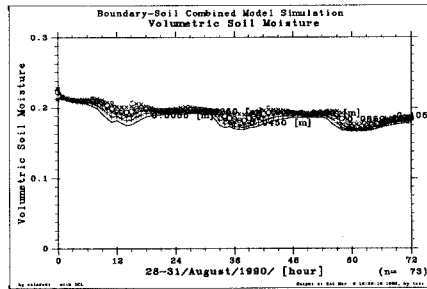


図 2.2 モデルによる現地観測土壤水分量の再現性

土壤水分に関して図2.1に観測結果を、シミュレーションによる再現結果を図2.2に示す。土壤水分量に関しては、余り良い結果は得られていない。特に表層土壤水分量は観測値では十分乾燥しているにも拘らず、数値実験では殆んど変化していない。これは水分特性曲線に残留土壤水分量付近に不連続点を含んでしまっていることが原因と考えられる。

6. おわりに

本研究の結果、熱収支に関しては定性的にも定量的にも良く観測値と一致することが確認されたが、土壤水分に関しては観測値ほど表層土壤の乾燥が進まず、蒸発抑制効果が再現できなかった。これは土壤モデルそのものに問題があるというより、水分特性曲線などの土壤特性を、特に高サクション領域において、測定することが困難であることと、求められた土壤特性をパラメタライズすることの難しさにあると考えられる。また、大気側の粗度などのパラメータの決定方法についても今後検討していく余地が残されている。今後は以上の点を検討し、より精度良く再現されるモデルへと改良を進めたい。

参考文献

- 浅沼 順他、1991:裸地面蒸発に関する大気境界層-土壤同時観測、水文・水資源学会 1991 年要旨集、242-245
- Milly, P.C.D. and P.S. Eagleson、1980:The Coupled transport of water and heat in a vertical soil column under atmospheric excitation、Tech. R.M. Parsons Lab.、MIT
- 仲江川 敏之他、1992:地面蒸発数値シミュレーションの基礎的研究、水文・水資源学会 1992 年研究発表要旨集、182-185
- 三枝 信子、近藤 純正、1991:裸地面蒸発の熱収支・水収支同時観測、水文・水資源学会 1991 年発表要旨集、238-241