

裸地からの蒸発プロセスに関する 数値解析モデル

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 〇土谷 史郎

1. はじめに 裸地からの蒸発メカニズムについては、Philip and de Vries(1957)¹⁾が土壌内の水分移動及び熱移動を同時に連立して記述する基礎方程式を誘導している。本研究では、この基礎方程式に基づいてCamillo and Schmugge(1981)²⁾が提案したモデルにならって数値解析を展開し、京都大学防災研究所地空相互作用実験所で得られた観測データとの再現性をはかるものである。

2. 基礎方程式の解法 土壌中の水分量を表す指標として、 θ (water volume / total volume) を定義し、以下、土壌水分量と呼ぶことにする。また、土壌内の温度を、地温 T とし、絶対温度(K)で表す。土壌水分量 θ と地温 T に関するフラックスは、それぞれ、モイスターフラックス q_θ 、ヒートフラックス q_h と呼ぶことにする。そこで、基礎方程式を深さ方向、時間軸方向の両者にわたって、数値解析する方法を述べるが、ここではCamillo and Schmugge(1981)の方法にならって数値解析を展開する。まず、土壌を n 層に分割する。そのため、連続式は $2n$ 個となる。それらは第 i 層 ($1 \leq i \leq n$) において、(1)、(2)のようにならされる。

$$d\theta_i/dt = -(\partial q_\theta / \partial z)_i \quad (1)$$

$$dT_i/dt = -(1/C_i)(\partial q_h / \partial z)_i \quad (2)$$

z ; 地表面からの深さ, C ; 体積熱容量

また、第 i 層における土壌水分量 θ と地温 T のフラックス、 $q_{\theta i}$ 、 q_{hi} は(3)、(4)のように与えられる。

$$q_{\theta i} = K_i - D_{\theta i}(\partial \theta / \partial z)_i - D_{Ti}(\partial T / \partial z)_i \quad (3)$$

$$q_{hi} = -\lambda_i(\partial T / \partial z)_i - L D_{\theta, vap i}(\partial \theta / \partial z)_i \quad (4)$$

K ; 不飽和透水係数, D ; 拡散係数, λ ; 熱伝導率, L ; 気化熱

時間軸方向に積分をするためには、(1)、(2)の右辺の値が必要となるため、まず、深さ方向への積分を考える。Fig. 1に示すように、各層の境界は $n+1$ 個となる。ここで、差分化することにより、地表面と底面の2つの境界を除く $n-1$ 個の境界での q_θ 、 q_h を求める。次に、地表面における両フラックス $q_{\theta 1}$ 、 q_{h1} は地表面における熱収支式、すなわち(5)における E と S が、それぞれ $q_{\theta 1}$ 、 q_{h1} に等しいとすることにより求める。

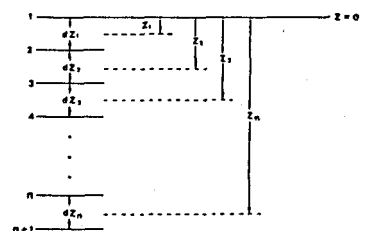


Fig.1 Diagram showing the division of the soil profile into n layers, each one of thickness dz_i .

$$S = R + LE + H$$

(5)

S; 土壌に吸収される熱フラックス, R; 純放射量フラックス
LE; 潜熱フラックス, H; 顕熱フラックス

また、底面での両フラックスについては、様々な与え方が考えられるが、本研究では、深い層では水分や温度の変化はほとんど起こらないと仮定し、 $q_{\theta n+1} = q_{\theta n}$ 、 $q_{hn+1} = q_{hn}$ のように与えた。以上より、隣りあうフラックスの深さに関する差分を求めることができ、時間に関する積分を実行することができる。

本研究では、数値解析法としてアダムスの方法を用いた。また、土壌中の種々のモデルパラメーターのうち、土粒子部分の熱伝導率 λ_s と空気力学上の粗度係数 C_i は、アウトプットへの感度が大きいと、未知のパラメーターとして扱う。そして、 λ_s と C_i は地表面温度 T_s のモデル計算値が、その実測値をよく説明できるような値になるまで動かし、その値を同定していく。

3. モデルの適用結果 λ_s と C_i の値について6ケースに分けてシミュレーションを行った。そのうち地表面温度 T_s の実測値をもっともよく再現しているケースをFig.2に示す。横軸のTime 0は1986年10月28日の午前0時に対応している。(a)は、その再現性を示すものである。(b)では、表層ほど温度変化が激しいという特徴を示している。(c)では、表層においては凝結・蒸発の現象を示す動きをし、深い層においては表層にくらべてほとんど変化がみられない。これらの挙動は現象上、十分に理解できるものである。(d)は、熱収支式の各フラックスを表している。ただし、下向きに正である。このうち、LEは潜熱フラックスであるが、(c)の土壌水分量の変化をよく説明している。また、この値を λ で割ることにより蒸発強度 E が算出され、蒸発量を推定することができる。

4. おわりに 以上のように、本モデルによって、現象上、十分に理解できる結果が得られた。しかしながら、実測値と十分に符合していない部分もあるため、大気低層部の安定度の評価、境界条件の設定、モデルパラメーターの設定等に対する検討を加えていく必要がある。これらとあわせ、本モデルの有効性、限界性をさらに検討していきたい。

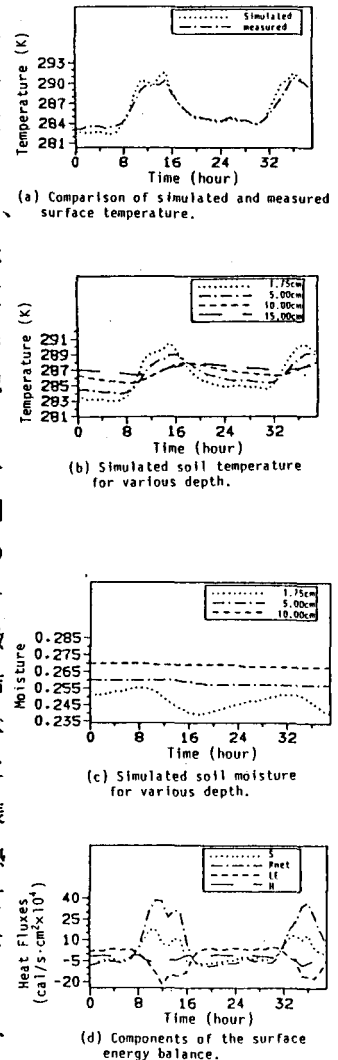


Fig.2 Various outputs as a function of time.

- 1) Philip, J.R., and D.A. de Vries, Moisture movement in porous materials under temperature gradients, Eos Trans. AGU, 38, 222-228, 1957.
- 2) P.J. Camillo, A soil and atmospheric boundary layer model for evapotranspiration and moisture studies, Water Resour. Res., 19, 371-380, 1983.