

マイクロ灌漑圃場における小規模移流が土壌中および接地気層内の水分動態に及ぼす影響評価

Evaluation of the effect of micro-scale advection on water movement in the soil and atmospheric surface layer in micro-irrigated fields

福岡 裕子* 弓削こずえ**
Yuko FUKUOKA* Kozue YUGE**

1. はじめに

節水灌漑の一つであるマイクロ灌漑は、消費水量を精度よく予測することでその効果を最大限に発揮できる。マイクロ灌漑圃場では、部分的に湿潤面が形成されるため、土壌面蒸発量が空間的に変化する。さらに移流が生じると、土壌面蒸発現象はより複雑化し、消費水量を求めることはますます困難となることが知られている (Yuge *et al.*, 2005)。移流条件下における消費水量を精度よく推定するためには、土壌中および接地気層における水分動態を解明することが必要であろう。本研究では、移流現象が土壌中および接地気層内の水分動態に及ぼす影響を評価することを目的として、シミュレーションモデルを構築し、風洞実験によってモデルの妥当性を検証した。

2. シミュレーションモデルの構築

土壌中における水分輸送および熱輸送の基礎方程式は、それぞれ次の式(1)および(2)で表現することができる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (D_w \frac{\partial \theta}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_w \frac{\partial \theta}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial x} (D_T \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_T \frac{\partial T}{\partial z}) + \frac{\partial K}{\partial z} \quad (1)$$

$$C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (\lambda \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda \frac{\partial T}{\partial z}) + L\rho_w \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial z}) \right\} \quad (2)$$

ここで、 θ : 体積含水率, C_v : 体積熱容量, D_T , D_w , D_{wv} : 熱, 水分および水蒸気勾配に関わる拡散係数, K : 不飽和透水係数, L : 蒸発潜熱, T : 地温, ρ_w : 水の密度, λ : 熱伝導率である。

また、土壌面より上部においては、移流の影響を考慮して水蒸気輸送および熱輸送を次式のよう表現することができる。

$$u \frac{\partial e}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial e}{\partial z} \right) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T_a}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial T_a}{\partial z} \right) \quad (4)$$

ここで、 u : 風速, e : 水蒸気圧, K_a : 拡散係数, T_a : 気温である。

また、地上と地下との境界における条件は次式の Neuman 境界条件を適用する。

$$E = L\rho_w \left(-D_w \frac{\partial \theta}{\partial z} - D_T \frac{\partial T}{\partial z} - K \right) \quad (5)$$

$$G = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} - L\rho_w D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (6)$$

ここで、 E : 土壌面における潜熱伝達量, G : 地中熱伝達量である。

地上の上部境界条件, 地下の下部境界条件には初期値を一定値として与え, 地上の最上流部においては水蒸気および温度勾配を 0 とした。

式(1)~(6)を用いて小規模移流を考慮した土壌中および接地気層の水分動態を推定するシミュレーションモデルを構築した。モデルの概要を Fig.1 に示す。図に示したように計算領域をセル

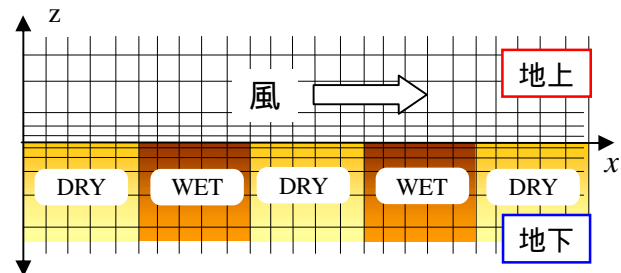


Fig.1 Schematic view of the simulation model

*九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

**九州大学大学院農学研究院 Faculty of agriculture of Kyushu University

キーワード: マイクロ灌漑, 移流, 土壌水分

に分割し，吹送方向を x 軸，鉛直方向に z 軸と定めた．式(1)~(6)を差分展開することによって地上部では気温および水蒸気圧を求め，地下部では体積含水率および地温を求めた．

3. 実験の概要

シミュレーションモデルの妥当性を検証するため，マイクロ灌漑圃場を模した風洞を用いて実験を行った．Fig.2 に示した高さ 1.0m の風洞装置内に，マイクロ灌漑圃場を想定して乾燥土と湿潤土を詰めたマイクロライシメータを図のように並べた．湿潤面と乾燥面の幅はそれぞれ 0.44m とした．初期状態において，湿潤土は体積含水率 35%，乾燥土は風乾状態とした．風洞装置は，閉鎖された環境内で一定方向の移流を生じさせるために用いたものであり，これにより吹送距離方向を x 軸，鉛直方向を z 軸とする 2 次元空間の座標系で考えることができる．本実験では，3 時間の通風を行った．通風前後の中央列のマイクロライシメータの質量を測定して土壌面蒸発量を定量評価した．

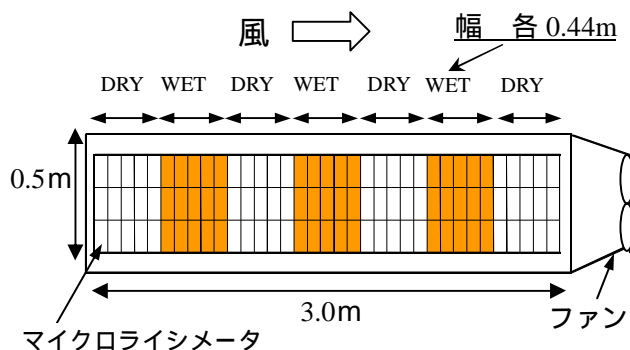


Fig.2 Schematic view of the wind tunnel

4. モデルの妥当性の検証

Fig.3 に，土壌面蒸発量についてシミュレーションの結果得られた計算値と実験により得られた実測値の比較を示す．この図より，湿潤面においては土壌面蒸発量が上流から下流にかけて低下していることが明らかである．また下流側の湿潤面ほど全体的に土壌面蒸発量は低下するという結果が得られ，計算値もその傾向をよく表していた．乾燥面においては，計算値と実測値には若干の誤差が見られた．これについては，実験の精度を高めるとともにモデルの初期条件などにつ

いても検討することが必要であると考えられる．

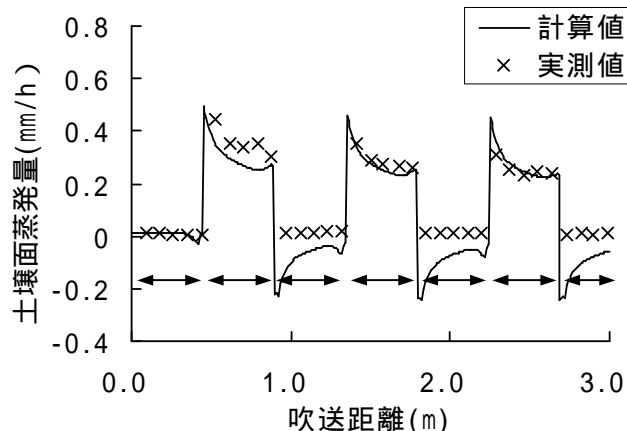


Fig.3 Comparison of simulated and measured soil surface evaporations

5. まとめ

本研究では，マイクロ灌漑圃場における小規模移流現象が土壌中および接地気層内の水分動態に及ぼす影響を評価することを目的として，シミュレーションモデルを構築した．モデルの妥当性を検証するため，マイクロ灌漑圃場を模した風洞で実験を行った．湿潤面においては，上流から下流にかけて土壌面蒸発量が低下する現象が実験によって得られたが，計算値はその傾向をよく表していた．乾燥空気の影響を大きく受けたのは，最も上流側に位置する湿潤面上流端部であり，土壌面蒸発量は最大値を示した．また，上流側にある乾燥面の数によっても湿潤土の蒸発量は大きく異なり，吹送距離が増加するにつれて湿潤土の土壌面蒸発量は低下する傾向が見られた．

本研究で導入した手法によって，複雑な水消費環境のマイクロ灌漑圃場において，移流を考慮に入れて土壌中および接地気層内の水分動態を明らかにすることができ，精度よく消費水量を定量化することが可能になった．これは，水資源が逼迫する乾燥地における効果的な灌漑に資するものと思われる．

引用文献

Yuge K., T. Haraguchi, Y. Nakano, M. Kuroda and M. Anan: Quantification of soil surface evaporation under micro-scale advection in drip-irrigated fields, Paddy and Water Environment, Vol.3, No.1, pp.5-12 (2005)