

マイクロ灌漑圃場における作物体が小規模移流現象と土壌水分動態に及ぼす影響 Evaluation the effect of crop canopy on micro-scale advection and soil water condition

○弓削こずえ*, 阿南光政**, 凌祥之*

YUGE Kozue*, Mitsumasa ANAN**, Yoshiyuki SHINOGI*

1. はじめに

マイクロ灌漑圃場では土壌水分環境が空間的に異なっている。土壌面に部分的に形成された湿潤面および乾燥面にそれぞれ異なる環境からの空気が流入することによる小規模移流現象が生じ、土壌中の水分動態は影響を受ける。さらには、作物体の影響によって、気流の乱れが生じ、土壌面蒸発現象は非常に複雑になるため、消費水量を精度よく推定することが難しい。

Yuge et al. (2005) はマイクロ灌漑圃場における小規模移流現象を考慮に入れて土壌面蒸発量を推定するモデルを構築している。しかし、作物体が気流に及ぼす影響を考慮して消費水量を推定する手法は未だに確立していない。

本研究では、マイクロ灌漑圃場における作物体が小規模移流現象に及ぼす影響を評価し、これを考慮に入れて土壌水分動態を推定することを目的とする。まず、作物体がマイクロ灌漑圃場における気流と、空気中の湿度および温度環境に及ぼす影響を評価した。これを用いて土壌中における水分動態を予測するモデルを構築した。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を用いて実験を行った。

2. シミュレーションモデルの構築

作物体周辺の風速分布は式(1)~(3)を用いて推定することができる。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial u}{\partial z} \right) - C_m S \sqrt{u^2 + v^2} u \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial v}{\partial z} \right) - C_m S \sqrt{u^2 + v^2} v \quad (3)$$

ここで、 u, v : 風速の水平および鉛直成分($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), ρ : 空気の密度($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), p : 空気の圧力($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$), K_a : 乱流拡散係数($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), C_m : 群落内の抵抗係数, S : 葉面積密度($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$)である。 K_a は、次式で求めることができる。

$$K_a = \lambda_m^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \quad (4)$$

式(4)のパラメータ λ_m は、群落の内外ごとに定められる。

空気中の湿度および温度環境は次式によって推定することができる。

$$\frac{\partial e}{\partial t} + u \frac{\partial e}{\partial x} + v \frac{\partial e}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial e}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial e}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial T_a}{\partial t} + u \frac{\partial T_a}{\partial x} + v \frac{\partial T_a}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_a \frac{\partial T_a}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_a \frac{\partial T_a}{\partial z} \right) \quad (6)$$

ここで、 e : 水蒸気圧(hPa), T_a : 気温($^{\circ}\text{C}$)である。

土壌中における水分および熱輸送は次式によって表現することができる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_w \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_T \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} \quad (7)$$

$$C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + L \rho_w \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \right\} \quad (8)$$

ここで、 C_v : 体積熱容量($\text{J}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$), D_θ : 水分勾配による拡散係数($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), $D_{\theta v}$: 水蒸気勾配による拡散係数($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), D_T : 温度勾配による拡散係数($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$), K : 不飽和透水係数($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), L : 水の蒸

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

** (株) 高崎総合コンサルタント Takasaki Sogo Consultant, Co. Ltd.

キーワード: 土壌面蒸発, シミュレーションモデル, 風洞実験

発線熱 ($J \cdot kg^{-1}$), T : 地温 ($^{\circ}C$), λ : 熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot ^{\circ}C^{-1}$), ρ_l : 水の密度 ($kg \cdot m^{-3}$), θ : 体積含水率 ($m^3 \cdot m^{-3}$)である。

以上の基礎方程式を用いて、マイクロ灌漑圃場の土壌水分状態を推定するモデルを構築した。まず、式(1)~(3)を用いて土壌面近傍の風速を求め、式(5)および式(6)によって土壌面直上の空気中の湿度と温度を推定する。これらをインプットデータとして土壌面における熱収支を推定し、これを境界条件として土壌中の水分および熱輸送を式(7)および(8)によって推定する。

3. モデルの妥当性の検証

モデルの精度を確認するため、Fig.1 に示した風洞を用いて実験を行った。マイクロ灌漑圃場を再現するため、飽和させた土壌と風乾状態の土壌を詰めた矩形の水槽を風洞内に設置し、湿潤面中央部に作物モデルを列状に並べた。湿潤面および乾燥面に土壌水分計および熱電対を埋設し、体積含水率および地温を連続測定した。さらに、風洞内の風速分布、湿度および気温を測定した。3時間通風を行った後、湿潤面および乾燥面において0.1m四方の領域の土壌をサンプリングし、体積含水率を実測した。

4. 考察

Fig.1 に示した風洞において3時間通風した後、に実測した体積含水率を Fig.2 に示す。この図より上流側の乾燥面は下流側より土壌水分状態が低い状態であることが明らかである。これは、下流側乾燥面では、上流側湿潤面からの比較的湿った空気が流入したことと、作物モデルによる風速の減衰が影響して土壌面蒸発が抑制されたためと考えられる。また、湿潤面においては土壌深さが浅い領域において、土壌面蒸発の影響によって深部よりも体積含水率が低い値となっている。深部では隣接する乾燥面への水分移動が顕著であったと推察される。

Fig.3 は、本研究で構築したモデルを用いて推定した深さ0.05mの体積含水率と、実測した値を示している。この図より、計算値は実測値とほぼ一致していることが明らかである。

5. おわりに

本研究では、マイクロ灌漑圃場における作物体が小規模移流現象と土壌水分動態に及ぼす影響を明らかにするために、シミュレーションモデルを構築した。モデルを用いて、作物体の影響を考慮して、風速分布、空気中の湿度およ

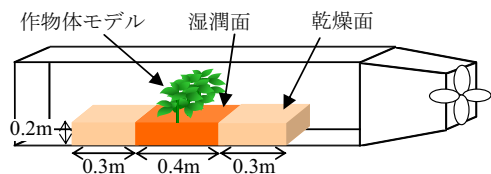


Fig.1 Schematic view of the wind tunnel.

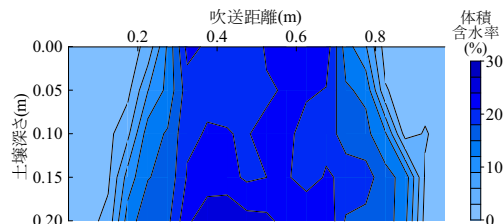


Fig.2 Spatial distribution of soil moisture content.

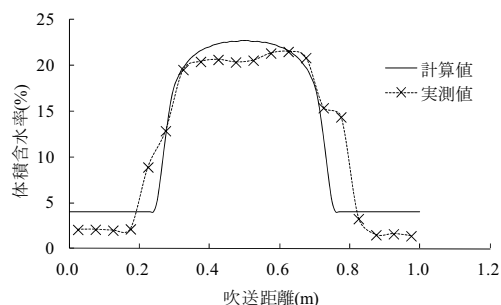


Fig.3 Comparison of the simulated and observed volumetric water content 3 hours after the beginning of the wind flow.

び温度環境を推定した。土壌面近傍の風速、湿度および気温を用いて土壌面における熱収支を推定し、これを境界条件として土壌中の水分動態を評価した。モデルの妥当性を検証するため、風洞内にマイクロ灌漑圃場を再現し、通風後の土壌水分状態を測定した。モデルを用いて計算した体積含水率は実測値を再現しており、モデルの妥当性を検証することができた。本研究で構築したモデルを用いることにより、マイクロ灌漑圃場における複雑な小規模移流現象を考慮して土壌水分状態を推定し、消費水量を精度よく評価することが可能である。

引用文献

Yuge et al. (2005) Quantification of soil surface evaporation under micro-scale advection in drip-irrigated fields, *Paddy and Water Environment*, 3(1), 5-12