

島尻マーヅ圃場における地中灌漑の節水効果の定量的評価

Evaluation of water saving effect of subsurface irrigation in Shimajiri Mahji field

○濱田耕佑*, 弓削こずえ**, 阿南光政***, 平川 晃***, 凌祥之****

Kosuke Hamada, Kozue Yuge, Mitsumasa Anan, Akira Hirakawa, Yoshiyuki Shinogi

1. はじめに 沖縄県では慢性的な農業用水不足に悩まされているが、その一方で、気候を活かした高収益の作物の栽培が進められており、水需要は高まりつつある。さらに、沖縄県の農地に広く分布する特殊土壌の島尻マーヅは、干ばつの影響を受けやすい特徴がある。これらの問題を受けて、節水灌漑の1つである地中灌漑が試験的に導入されている。この手法では灌漑後の土壌水分動態は目視できないため、適切な水管理は難しい。地中灌漑における土壌水分動態を解析する試みが行われている (El-Nesr et al., 2014) が、亜熱帯性気候条件下における特殊土壌の作物圃場で評価された例はほとんどない。本研究では島尻マーヅ圃場における効率的な水管理手法の確立を目指して、島尻マーヅの特性を考慮した土壌水分動態予測モデルを構築し、地中灌漑の節水効果の定量評価を行った。

2. 土壌水分動態予測モデルの構築 本研究では、次式の二次元場における土壌中の水分および熱輸送の基礎方程式を導入し、土壌水分動態を予測した。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_w \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_r \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_r \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} + S + Ir \quad (1)$$

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

ここで、 C_v :体積熱容量($\text{J m}^{-2} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)、 D_w :水分勾配に関わる水の拡散係数($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)、 D_r :温度勾配に関わる水の拡散係数($\text{m}^2 \text{ s}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)、 D_{wv} :水分勾配に関わる水蒸気の拡散係数($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)、 Ir :灌水量($\text{m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$)、 K :不飽和透水係数(m s^{-1})、 L :水の蒸発潜熱(J g^{-1})、 S :吸水項($\text{m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$)、 T :地温($^\circ\text{C}$)、 λ :土壌全体の熱伝導率($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)、 θ :体積含水率($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)、 ρ_l :水の密度(g m^{-3})である。

土壌面における境界条件として、式(3)および式(4)を導入した。

$$E = L\rho_l \left(-D_w \frac{\partial \theta}{\partial z} - D_r \frac{\partial T}{\partial z} - K \right) \quad (3)$$

$$G = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} - L\rho_l D_{wv} \frac{\partial \theta}{\partial z} \quad (4)$$

ここで、 E :土壌中における潜熱伝達量($\text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)、 G :地中熱伝達量($\text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)である。

式(1)、(2)、(3)および(4)を導入し、鉛直二次元場におけるシミュレーションモデルを構築した(Fig.1)。式(1)および式(2)を有限差分法で解き、Fig.1の各節点の体積含水率および地温を求める。土壌面における境界条件として式(3)および式(4)を用い、表層の体積含水率および地温を推定した。灌水チューブを想定した地点から灌水量を与えており、作物からの蒸散量として根による吸水速度を与えている。土壌面および灌水チューブの周囲では、水分の変化が著しいと考えられるため、計算

*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

**佐賀大学農学部/Faculty of Agriculture, Saga University

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

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

キーワード：節水灌漑，土壌水分動態，蒸発散

格子を細かく設定して計算を行った。

3. 検証実験 地中灌漑を模したアクリルのスリットを用いて、検証実験を2014年10月1日～12月1日にかけて行った。供試作物にはブロッコリーを用いた。実験期間中は土壌面日射量、土壌水分、地温および温湿度を10分間隔で測定した。スリット内に設置したテンシオメーターがpF2.2を示したときに深さ60cmに設けた灌水チューブから地中灌漑を行った。さらに、土壌物理試験を行い、島尻マーズの保水性および透水性を評価した。

4. モデルの妥当性の確認 検証実験で得られたデータを用いて、土壌水分動態予測モデルの妥当性を確認した。入力値として、10月11日～10月12日の検証実験で得られた観測データを用いた。Fig.2は深さ5cmおよび55cmの実測値と、モデルから得られた計算値を比較したものである。計算値は実測値の変動傾向を捉えており、構築したモデルの妥当性が確認された。

5. 節水効果の定量化 構築したモデルを用いて、地表灌漑を行ったシナリオで土壌水分動態を解析し、消費水量を構成する項目を算定した。この結果と地中灌漑の条件下で算出した値を比較し、地中灌漑の節水効果の定量評価を行った。Fig.3は地表灌漑および地中灌漑における消費水量を示したものである。地表灌漑における蒸発散量が 7.7mm d^{-1} であるのに対して、地中灌漑では蒸発散量が 5.6mm d^{-1} と、30%程低い値を示した。

6. まとめ 本研究では島尻マーズ圃場における節水灌漑の確立を目指し、地中灌漑圃場における土壌水分動態予測モデルを構築した。検証実験で得られた土壌水分の実測値は計算値とよく一致しており、モデルの妥当性を確認することができた。このモデルを用いて、地中灌漑と地表灌漑における蒸発散量を計算し、両者を比較することによって節水効果の定量評価を行った。その結果、地中灌漑は地表灌漑に比べて、蒸発散量が約30%抑え

られることが明らかになった。本研究により、島尻マーズ圃場における効率的な水管理手法の確立に資する成果が得られたといえる。

引用文献

El-Nesr et al. (2014) HYDRUS simulations of the effects of dual-drip subsurface irrigation and a physical barrier on water movement and solute transport in soils, Irrigation Science, 32 (2), 111-125

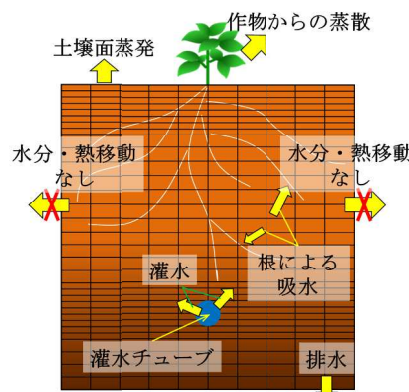


Fig.1 シミュレーションモデルの概要
Schematic view of the simulation model.

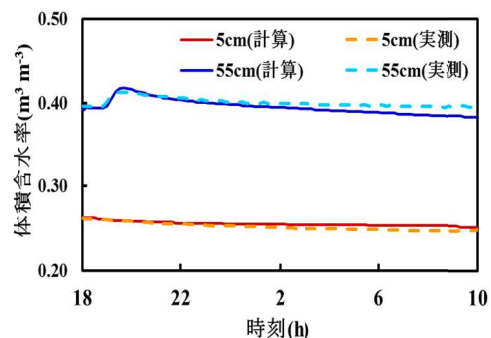


Fig.2 土壌水分の計算値と実測値の比較
Comparison of simulated and measured soil moisture condition.

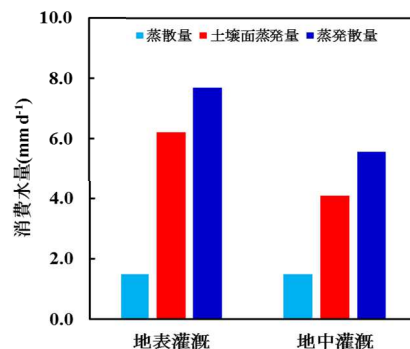


Fig.3 消費水量の比較
Comparison of water consumption under surface and subsurface irrigation.