

干拓農地における水分および塩分ストレスが作物生育に及ぼす影響評価

Evaluation the effect of water and salinity stresses on crop growing in reclaimed crop field

○弓削こずえ*, 濱上邦彦**, 阿南光政***, 濱田耕佑****

Kozue Yuge, Kunihiko Hamagami, Mitsumasa Anan, Kosuke Hamada

1. はじめに

諫早湾干拓事業によって造成された中央干拓地では、平坦な地形を生かして大規模で効率的な農業生産が行われている。しかし、干拓農地は作業効率に優れている反面、地下水位が高く、圃場の排水性が低いと、大雨の際には湿害が生じやすい。さらには地下水の塩水化などに伴う塩害のリスクも高いことが知られている。特に連続干天が生じると、作物が乾燥ストレスを受けるとともに、土壌中の塩分が根群域に遡上し、吸水阻害が生じる恐れがある。

本研究では、干拓農地において水分および乾燥ストレスが作物生育に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とする。まず、土壌中の水分および溶質動態を予測するモデルを導入し、このモデルの妥当性を確認するため、現地調査を行った。さらに、モデルを用いてシナリオ分析を行い、水分および塩分ストレスを予測した。

2. シミュレーションモデルの構築

本研究では、鉛直一次元場における土壌水分および溶質動態を評価するため、SWAPモデル(Van Dam et al., 2008)を導入した。本モデルでは、土壌中の水分および溶質輸送は次式によって表現される。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S_a(h) - S_d(h) \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\theta c + \rho_b Q)}{\partial t} = \frac{\partial(qc)}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\theta(D_{dif} + D_{dis}) \frac{\partial c}{\partial z} \right] - \mu(\theta c + \rho_b Q) - K_r S_a(h) c \quad (2)$$

ここで、 θ : 体積含水率($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)、 t : 時間(d)、 $K(h)$: 不飽和透水係数(cm d^{-1})、 h : 土壌水の圧力水頭(cm)、 $S_a(h)$: 作物根による吸水速度($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$)、 $S_d(h)$: 暗渠排水速度($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$)、 c : 溶質濃度 (mg cm^{-3})、 ρ_b : 乾燥密度 (mg cm^{-3})、 Q : 吸着

量 (g g^{-1})、 q : 土壌水の平均フラックス、 D_{dif} : 拡散係数 ($\text{cm}^2 \text{ d}^{-1}$)、 D_{dis} : 分散係数($\text{cm}^2 \text{ d}^{-1}$)、 K_r : 作物根吸収係数 (-)である。なお、本研究では溶質として塩化物イオンを対象とした。

作物根による吸水速度は水分あるいは塩分ストレス条件下では減少するが、これらのストレスを考慮し、次式によって式(1)の吸水速度を求める(Kroes et al., 2008)。

$$S_a(h) = \alpha_d \alpha_w \alpha_s S_p \quad (3)$$

ここで、 S_p : ポテンシャルの根の吸水速度($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3} \text{ d}^{-1}$)、 α_d , α_w , α_s : 乾燥, 湿潤および塩分ストレスによる吸水減少係数($0 < \alpha \leq 1$)である。吸水減少係数は土壌水分状態または土壌中の EC に依存する係数であり、作物ごとに定められている。

Fig.1に本研究で構築したモデルの概要を示す。計算領域を複数の層に分割し、各層に土壌水分特性に関わるパラメータを与えた。式(1)および式(2)を有限差分法で離散化し、各層をさらに細かいコンパートメントに分割して節点ごとの体積含水率および溶質の濃度を求めた。蒸発散量を求めて土壌面蒸発量と蒸散量に分離し、土壌面蒸発量を表面の境界条件として与えた。蒸散量は作物根の分布に応じて吸水量として与えた。暗渠排水量については、暗渠の設置深さおよび間隔を用い、Hooghoudtの手法により算定した。下端の境界条件としては地下水位を与えた。

3. モデルの妥当性の検証

モデルの精度を確認するため、中央干拓地の作物圃場において2013年7月25日～12月4日にかけて実験を行った。この間、作付作物は夏期がソルゴ、秋期がジャガイモであった。作物圃場の深度5cm, 15cm, 25cm, 45cm, 70cmの5深度において、土壌水分・温度・ECセンサー(5TE, Decagon)を埋設した。同深度において土壌をサンプリングし、水分特性曲線と飽和透水係数を

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

**岩手大学農学部 Faculty of Agriculture, Iwate University

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

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

キーワード : 根の吸水, 蒸発散, リーチング

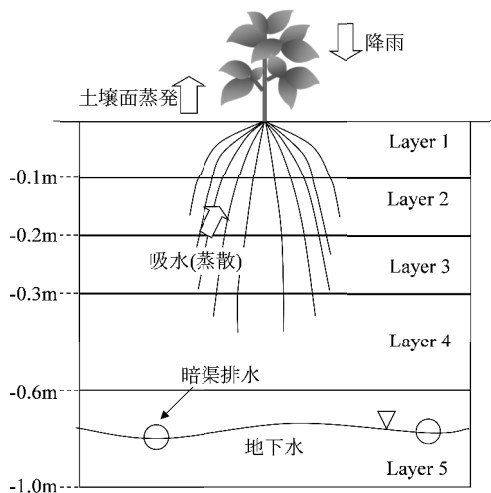


Fig.1 Schematic view of simulation model.

求めた。圃場に隣接する排水路において水位およびECを測定し、これを地下水位と見なして境界条件に用いた。さらに、圃場近傍において気象要素を測定し、Penman法によって蒸発散量を計算して表面の境界条件および根の吸水速度を求めた。Fig.2は深さ5cmで測定した体積含水率および計算値の比較を示している。計算値は実測値の変動傾向を概ね捉えており、モデルの妥当性を確認することができた。

4. 水分および塩分ストレスの定量評価

Fig.1に示したモデルを用いて、調査圃場の水分および塩分ストレスの状態を推定した。調査圃場では除塩が進んでおり、土壌中および地下水のEC濃度は極めて低かった。そのため、塩分ストレスはほとんど生じないと考えられる。そこで、地下水が塩水化したシナリオを設定し、水分および塩分ストレスによって蒸散量がどの程度減少するかを定量的に求めた。この条件においては、地下水の塩化物イオン濃度を 19.46 mg cm^{-3} と設定した。以上の条件下で計算した蒸散量の減少量をFig.3に示す。この図より、多量の降雨によって湿潤ストレスが頻繁に生じており、連続干天に伴って乾燥ストレスが表れることが明らかである。夏期の連続干天の際には乾燥ストレスが生じるとともに、塩分ストレスによって著しく根の吸水が阻害される結果が得られた。秋期にも連続干天による乾燥ストレスの発生が見られるが、この時の塩分ストレスの影響は夏期に比べると小さい。これは、夏期にはソルゴが栽培されているのに対し、秋期にはジャガイモが生育されており、根がより深い層まで分布するソルゴのほうが地下水塩水化の影響を強く受けたためであると考えられる。

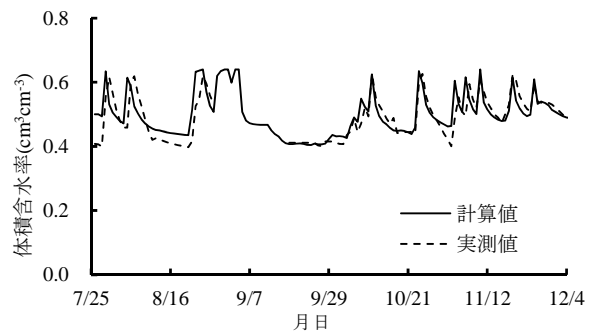


Fig.2 Comparison of the simulated and measured volumetric water content.

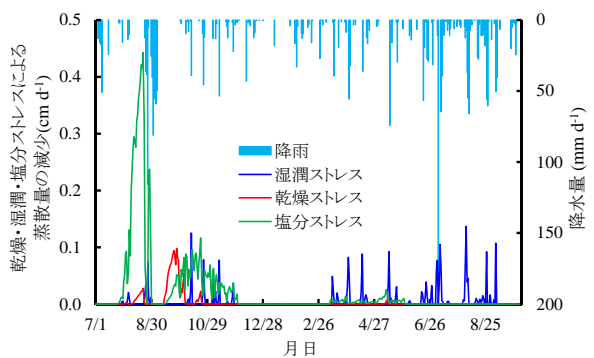


Fig.3 Simulated transpiration reduction due to wetness, drought and salinity

5. おわりに

本研究では、干拓農地において年間を通じて水分および乾燥ストレスが作物の生育に及ぼす影響を定量的に評価することを目的とし、SWAPモデルを導入して土壌中の水分および溶質動態を予測した。現地調査によってモデルの妥当性を検証し、シナリオ分析を行って水分および塩分ストレスによる蒸散量の減少量を求めた。その結果、連続干天や断続的な降雨によって乾燥および湿潤ストレスが生じることが明らかになった。また、地下水が塩水化した場合には、乾燥ストレスに伴って塩分ストレスが顕著になり、作物の生育に深刻な影響を与える懸念があることが示唆された。本研究で用いた手法によって、年間を通じて干拓農地における水分および塩分ストレス予測を行い、リーチングなどの適切な対策を講じることが可能である。

引用文献

- Kroes, et al. (2008): *SWAP version 3.2. Theory description and user manual*, Alterra report 1649, Wageningen University and Research centre, Wageningen, pp. 262.
- Van Dam et al. (2008): Advances of modeling water flow in variably saturated soils with SWAP, *Vadose Zone J.* 7, pp. 640-653