

点滴灌漑における湿潤土壌面への塩類集積の数値予測 Prediction of Salt Accumulation to a Wet Soil Surface under Drip Irrigation

○ 藤巻晴行^{*}, 嶋野隆寛^{*}, 井上光弘^{**}, 中根和郎^{***}

FUJIMAKI Haruyuki^{*}, SHIMANO Takahiro^{*}, INOUE Mitsuhiro^{**}, NAKANE Kazuro^{*}

1. はじめに

乾燥地・半乾燥地において、地表に設置したチューブから植物の根元に滴下する点滴灌漑は灌漑水の節減の切り札として普及しつつある。しかしながら、点滴灌漑は土壌面の湿潤域の周縁部すなわち作条間に塩類が集積し、それが点滴灌漑そのものによっては除去され得ないという欠点を有する。この条間集積塩が少量の降雨に伴い溶出し、根群域に侵入し、植物に塩ストレスを与える、という問題が古くから知られているが、条間集積塩の処理ないしは根群域への侵入防止対策は未だ確立されていない。そこで本研究では、基礎的研究の成果を可能な限り取り入れることにより、条間集積塩の集積過程を正確に予測できる数値モデルの開発を試みた。ここでは、数値モデルの信頼性検証実験の概要を報告する。

2. 実験方法

防災科学技術研究所地表面乱流実験棟の風洞内で以下の塩類集積実験を行った。幅 30cm、深さ 40cm、奥行 10cm の透明アクリル製土槽に風乾させた鳥取砂丘砂を 1.56 の仮比重でなるべく均一となるように充填した。水分および塩濃度分布を連続的に測定するため、土槽側面に開けた孔から TDR プローブ（土壌水分・塩分センサー）10 本を格子状に挿入し、土壌面が風洞の下面と一致するように設置した。はじめに清水で飽和した後、外径 20mm、長さ 200mm のポラスカップ 3 本を用いて土槽下端に -57cm の負圧を与え、排水を開始した。排水開始後 2 時間経過した時点で土槽上面を開放し、蒸発を開始するとともに電動ポンプで土槽端に埋設したポラスカップから灌漑を行った。以後、蒸発開始時刻を 0 とする。灌漑水には 3,000ppm 塩化ナトリウム水溶液を用いた。蒸発潜熱を補償するため白熱灯を地表面に自動的に照射し、温度をなるべく均一に保った。放射以外の気象条件は気温 25°C とし、湿度、風速を実験期間中ほぼ一定とした。水分、塩分の経時変化を自動測定しつつ、12 時間毎に重量測定を行ない、211 時間後に採土を行って終了した。

3. 数値解析

交互方向陰解法による水移動および溶質移動の数値解析プログラムを作成した。水移動の数値解析では等温水蒸気移動を考慮し、修正 Picard 型反復法により質量保存に努めた。また、大気境界条件において、塩クラストによる水蒸気通過抵抗を考慮した。移流分散方程式の数値計算にあたっては、土壌面付近で下方への拡散移動を過大評価するとの知見に基づき、表層 2cm において分散長を半分にした。水分移動特性ならびに溶質移動特性には、風洞実験とは別個に測定したものをを用いた。

4. 結果と考察

表層の水分および塩分分布を Fig.1 に示す。エミッタのある側の端を $x=0$ とする。実測値では滴下位置付近にもっとも集積しており、滴下位置のすぐ脇から塩クラストが形成されていたことが視覚的にも確認されたが、数値解析ではそのような分布は得られず、若干離れた位置に集中して集積していた。このずれは土壌面平均蒸発速度を過小評価する方向に作用したと考えられる。塩クラスト抵抗を考慮しない場合、集積域はさらに狭くなった。これは塩クラスト抵抗を考慮することの有効性の一つを示している。一方、水分分布については、数値解が湿潤範囲を半分程度に過小評価していた。これは 0.05-0.1 の体積含水率における不飽

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科 Univ. of Tsukuba キーワード：塩類集積，蒸発，点滴灌漑

** 鳥取大学乾燥地研究センター Arid Land Research Center, Tottori Univ.

*** 防災科学技術研究所 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

和透水係数を過小評価していたためと考えられ、今後、再測定と再計算を行う予定である。

土壌面全体の積算蒸発量の経時変化を Fig.2 に示す。時間の経過とともに湿潤域が減少し、土壌面平均の蒸発速度が減少するため、上に凸の経時変化を示している。数値解は実測値とよく一致しているものの、前述した過小評価と過大評価が打ち消し合った結果と考えられ、必ずしもモデルの精度を示しているとはいえない。塩クラスト抵抗を考慮した場合としない場合とでは積算蒸発量に大きな違いは生じなかった。点滴灌漑においては、塩クラストが形成されている湿潤域で蒸発が抑制されても、湿潤域がその分外側に広がることにより、蒸発抑制効果が打ち消されるためであろう。

$x=15\text{cm}$ における表層の水分分布および体積あたりの塩分量の分布を Fig.3 に示す。水分分布についてはよく一致している。この位置においては乾砂層が発達しており、蒸発は深さ 1cm あたりで生じていたと考えられる。数値解は土壌内部にピークがある分布の形状をおおむね再現しており、水蒸気移動を考慮することの有効性を示している。土壌面付近の塩分量を過小評価しているのは、土壌面が湿っていた時間をより短く解析していたためと考えられる。

5.まとめ

開発した数値モデルは、ラインソースの点滴灌漑で生じる2次元の水分塩分移動を概ね再現できたものの、塩クラストの形成モデルに課題が残された。理論的には滴下位置付近では外側に向かう移流が卓越し、滴下位置付近の濃度は灌漑水のそれに近くなるはずであるが、実際にはそうならなかった。この原因を今後解明していきたい。また、改めて水分移動特性の重要性が示されたと言える。

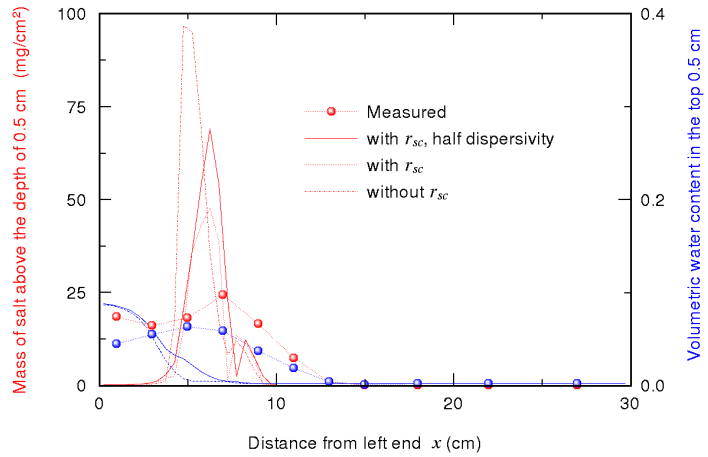


Fig.1 Horizontal distribution of salt and water near the soil surface.

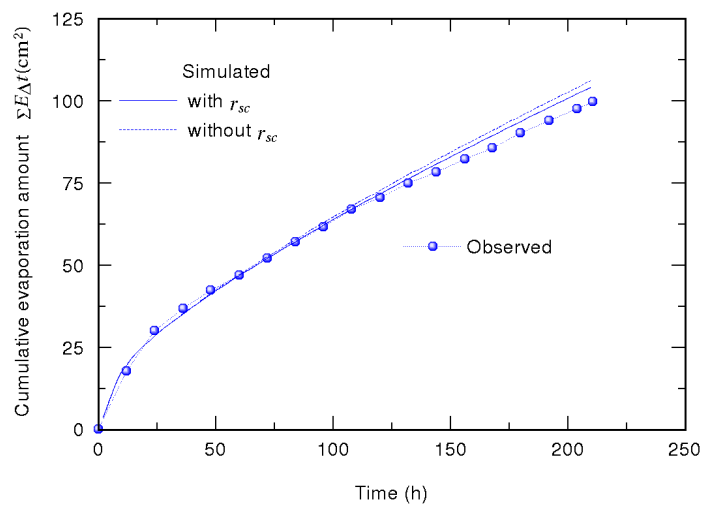


Fig.2 Observed and simulated cumulative evaporation amounts.

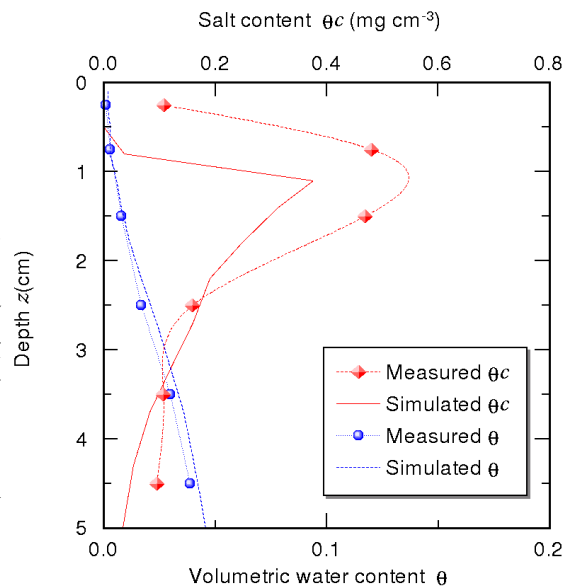


Fig. 3. Comparison of measured and simulated profiles of water content and salt content at $x = 15\text{ cm}$, $t = 228\text{ h}$.