

# 地表面および土壤中に分布する塩の濫觴(らんしょう)に関する研究

## Origin of accumulated and distributed salts above shallow ground water

○加藤千尋<sup>1,3</sup>・石田周也<sup>2</sup>・西村拓<sup>1</sup>・井本博美<sup>1</sup>・宮崎毅<sup>1</sup>

KATO Chihiro<sup>1,3</sup>, ISHIDA Shuya<sup>2</sup>, NISHIMURA Taku<sup>1</sup>, IMOTO Hiromi<sup>1</sup> and MIYAZAKI Tsuyoshi<sup>1</sup>

### 1. はじめに

乾燥地や半乾燥地では、塩を含んだ地下水が灌漑に利用されることが多く、灌漑による浅層地下水の上昇が、農地の塩類集積を促進することが報告されている<sup>1)</sup>。他方、地下水位が数mから十数mと比較的深い地域においても、灌漑量を少なくすることが塩類集積の抑制に効果があるという報告がある<sup>2)</sup>。このような地域では地下水から塩を含んだ水が地表面近傍まで上昇することは考えにくい。また、内陸部の乾燥地であっても数億年前の海進期に海底にあった影響で土壤中に炭酸塩や硫酸塩を含むことがある。

そこで本研究では、地下水位に着目し、地表面および土壤中に分布する塩の濫觴(物事の起源の意)を明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究方法

#### (1) 実験概要

室内実験として、灌漑水、土壌水、地下水にそれぞれ異なる塩を含む 50cm の土壌カラムを作成し、灌漑、蒸発を繰り返した。土壌試料には吸着の影響を排除するため豊浦砂を用い、塩は表 1 に示したものを用いた。各塩については予め土壌中の拡散係数を求め、本研究の条件においてその違いは影響ないことを確認した。

まず、土壌試料を  $\text{CaSO}_4$  溶液で体積含水率 3% に水分調整し、乾燥密度  $1.55\text{Mg m}^{-3}$  になるようにカラムに充填した。その後、 $\text{NaCl}$  溶液の地下水位を 50cm に設定し、カラム内の土壌水分分布が平衡状態になるまで待った。このとき、カラム上端は閉鎖し蒸発を防いだ。カラム中の水分状態が平衡に達したら、48 時間ごとに灌漑と蒸発のサイクルを 3 回繰り返した。灌漑は、給水深で 1cm 分の  $\text{KBr}$  溶液を地表面から与え、

地表面直上 30cm からレフランプを点灯し、蒸発を促進した。カラム周囲を発泡スチロール板で覆いランプの熱が下方へ伝わらないようにした。実験終了後、カラムを解体し各層の土壌を採取し、各深さの土壌水中の塩を種類ごとに定量した。塩の定量は  $\text{Na}^+$  は EC から換算、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$  は原子吸光法、陰イオンはイオンクロマトグラフ法を用いた。同じ条件の土壌カラムを二つ作成し、片方には熱電対、テンシオメータ、4 電極 EC センサを挿入し、連続測定を行った。もう一方のカラムは電子天びんに載せ質量変化を読み取ることで蒸発量を測定した。

同様の実験を、地下水位を 30cm として行った。豊浦砂の空気侵入値(AEV)は、およそ 30cm であり、また、AEV より大きいサクションでは排水が非常に速く進むことから、本研究では地下水位 50cm は地下水位が比較的深い場合を、地下水位 30cm は浅い場合を模している。

#### (2) シミュレーション

土壌中の水・溶質移動予測汎用プログラム HYDRUS1-D<sup>3)</sup>を用い、実験を再現する数値計算を行った。水分移動特性には van Genuchten-Muelem モデルを用い、そのパラメータは粒径組成と乾燥密度から予測した<sup>4)</sup>。また、溶質移動パラメータ(分散長)は、不飽和条件下の溶質置換実験により求めた。

シミュレーションでは実験の初期条件を得るために、まず所定の地下水位に設定し土壌全体が水分平衡に達するまでの過程を再現した。そしてその結果を初期条件とし、灌漑・蒸発条件を境界条件として実験の再現を試みた。数値計算では、土中水、地下水、灌漑水、全ての要素に塩が含まれている場合と、各要素のみに塩が含

1 東京大学大学院農学生命科学研究科 2.東京大学農学部 (The University of Tokyo) 3. 日本学術振興会特別研究員 DC (JSPS) キーワード: 塩類集積、地下水位、ゼロフラックス面

まれている場合を仮定した。

### 3. 結果と考察

図1に、地下水位が50cmの場合の灌漑1回目のサイクルの各時間における全水頭分布の変化を示す。ただし、25cm以深の全水頭はほぼ一定だったため省略した。乾燥が進むと、深さ約4.5cmで全水頭勾配の符号が変化しその上下で水移動の向きが変化するゼロフラックス面(ZFP)が出現した。2回目のサイクルでもZFPが出現し、3回目のサイクルでは蒸発過程途中で消失した。他方、地下水位30cmではZFPは出現しなかった。

図2、3にそれぞれ地下水位50、30cmの場合の、実験終了時の単位乾土重あたりの陰イオン濃度分布の実測値と計算値を示した。地下水位が深い場合は地表面およびその近傍に集中的に塩が蓄積し、その直下では塩濃度が低くなった。また地表面から深さ10cm程度までに分布する塩の大部分が、灌漑水由来であった。深さ10cmから30cmでは、全体に占める塩の中で土中水由来の塩の寄与率が高かった。地下水により水分状態が飽和に近い深さ30cm以深では、地下水由来の塩が大部分であった。塩を含んだ水は灌漑によって下向きに浸潤し、地下水と混ざることなく、ZFPが存在する間はZFPよりも上で上向きの移動が促進されたと考えられる。

他方、地下水位が浅い場合は、地下水が地表面まで到達した。その影響で土層全体で、高濃度の塩が分布した。地表面から深さ10cm程度までは灌漑水と地下水由来の塩の占める割合が高かった。また、地下水位が深い場合よりも上層10cmに分布する塩に対する土中水由来の塩の寄与は高かった。深さ15cmよりも下に分布する塩の大部分は地下水由来の塩であった。

### 4. まとめ

吸着の影響のない土壌では、地表面近傍に集積する塩の濃度は、地下水位が深い場合は灌漑水、地下水位が浅い場合は灌漑水と地下水で、地下水位が浅いときは深いときに比べて土中水由来の塩の寄与も高かった。

参考文献: 1) 久米ら (2003), 農土論集 223,133-139, 2) 佐藤ら (2006)農業農村工学会大会後援要旨集 246-247 ,3)Simunek et al. (2008) Vadose Zone J. 7:587-600, 4) Schaap, M.G et al. (1998), Soil Sci. Soc. Am. J. 62:847-855.

Table1 The type of solutions for experiment

溶液の種類	
土中水	10mmol L <sup>-1</sup> CaSO <sub>4</sub>
地下水	50mmol L <sup>-1</sup> NaCl
灌漑水	50mmol L <sup>-1</sup> KBr

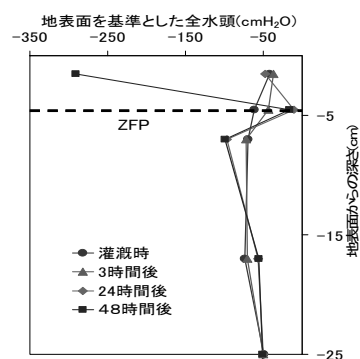


Fig.1 Changes in observed total potential during 1<sup>st</sup> irrigation cycle

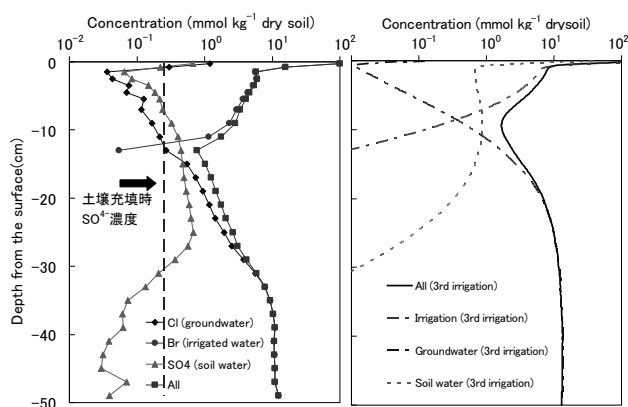


Fig.2 Comparison between observed and simulated salt distribution after the experiment when GW=50cm

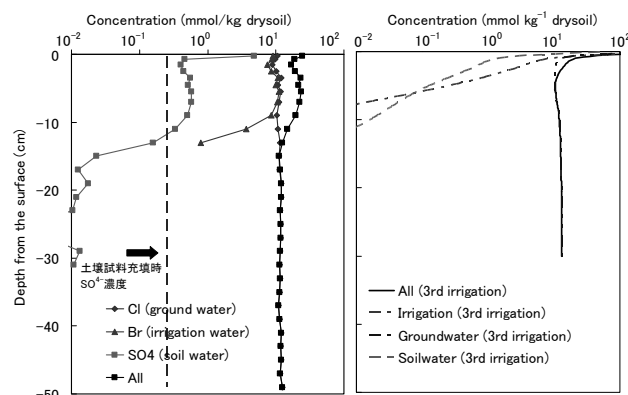


Fig.3 Comparison between observed and simulated salt distribution after the experiment when GW=30cm