

青森県太平洋沿岸地域の塩害農地における塩化物イオン濃度の挙動

Behavior of Cl⁻ concentration in salt-damaged agricultural land of the Pacific Ocean coastal area in Aomori Prefecture

○遠藤 明*・姜 東鎮*・神山 啓**

Akira ENDO*, Dong-Jin KANG* and Kei KAMIYAMA**

1. はじめに 東日本大震災の津波の海水により冠水した青森県八戸市市川地区は、農用地や水産加工工場を含む約 53ha、その冠水区域の五戸川河口付近と奥入瀬川左岸の最下流域に農地の多くが分布する。作付耕種は水稻・コムギ・ダイズ・イチゴであり、イチゴビニールハウスは 48 棟(114a)が全半壊、35 棟(82a)が冠水により甚大な被害を受けた。当該地東日本大震災から2年以上経過した現在においても、冠水した本地区の一部の農地土壌の電気伝導率は非常に高い。本報では、本地区の塩害農地土壌を効率的に除塩することを目的に、津波発生から約2年間における、対象農地土壌の塩化物イオン濃度の挙動を把握したので報告する。

2. 材料および方法

(1) 土壌物理性・化学性の特徴

はじめに、青森県八戸市市川地区の除塩未実施の水田において不攪乱土と攪乱土を採取した(2012年6月に深度5, 10, 20, 30, 40, 50cmから採土)。土壌掘削時、深度50cmにおいて大量の湧水が流出してくることを確認した(EC 1:5=4.75(mS cm⁻¹)、塩化物イオン濃度1455(mg L⁻¹)。国際法に基づく土性は砂壤土(SL)、乾燥密度は、0.92~1.25(Mg m⁻³)、土壌表面から深度15cmまでの三相分布(固相:液相:気相)は4:5:1、深度15~30cmでは4.5:5:0.5であった。飽和透水係数は作土層0~20cmにおいて10⁻²~10⁻³、耕盤・心土層20cm以深において10⁻⁴~10⁻⁵(cm s⁻¹)のオーダーであった。pH(1:2.5土壌水抽出液)は4.86~6.03、電気伝導率(1:5)は、基準値(青森県)の0.30(mS cm⁻¹)を大きく上回る0.45~0.86(mS cm⁻¹)であった。交換性陽イオンはCa²⁺で9.4~15.4、Mg²⁺で2.7~4.2、K⁺で0.5~1.1(cmole kg⁻¹)と適正範囲にあったが、Na⁺は4.2~9.1(cmole kg⁻¹)と非常に高く、特に、交換性ナトリウム率(ESP)は32.6%であり、塩害土壌の指標である15%を超えていた。

(2) 分散係数と遅延係数の算出(リーチング実験)

現地で採取した攪乱土壌を風乾・砕土した後、**図1**に示すアクリル製透明カラム(内径5cm、高さ50cm)の中に、現場の乾燥密度で高さ30cmまで充填した。次に、水道水を毛管上昇浸潤させ、カラム内の土壌を水分飽和した。次に、深度z=5, 10, 15, 20, 25cmに、ファイバー式土壌溶液採取器(DIK-305A、外径2.5mm、長さ50mm)を埋設した。

各深度の土壌溶液を採取するため、シリンジおよび採水チューブを採取器に接続した。次に、置換溶液(3.35%の塩化ナトリウム水溶液)を土壌表面に3日間湛水(平均間隙流速 $v_w=0.696(\text{cm hr}^{-1})$)し、任意の時刻(2~6時間おき)に採取器を設置した各深度および底面(z=30cm)から間隙水を採取した。次に、採水した試料液の塩化物イオン濃度(以下、Cl⁻濃度と呼ぶ)をイオンクロマトグラフ法で測定した。最後に、Lapudus and Amundson(1952)の解析解を適用し、非線形カーブフィッティング法を用いてCl⁻の水理的分散係数Dと遅延係数Rを算出した。

(3) 塩害農地土壌中の塩化物イオン濃度の計算

遠藤ら(2012)の数理モデルを用い、2011年3月11日~2012年12月における、任意の深度のCl⁻濃度を算出した。計算空間次元は鉛直方向1次元、地表面~深度50cmを解析領域とした。はじめに、採取した水田土壌の物理性(透水性・保水性など)・化学性(DやRなど)や気象庁の気象統計情報の日降水量データの諸パラメータを数理モデルに入力した。地表面(深度0cm)の境界条件は、海水が地表面に浸入する条件(2011年3月11日~3月13日の間、海水により冠水する条件、2011年9月22日と2012年6月20日の高潮により海水が浸入する条件)と降水・蒸発散の系依存型境界条件を与えた。底面の境界条件は、深度50cmにおいて地下水が存在する圧力境界条件(ポテンシャル=0)と圧力勾配境界条件(水流束=不飽和透水係数)を与えた。

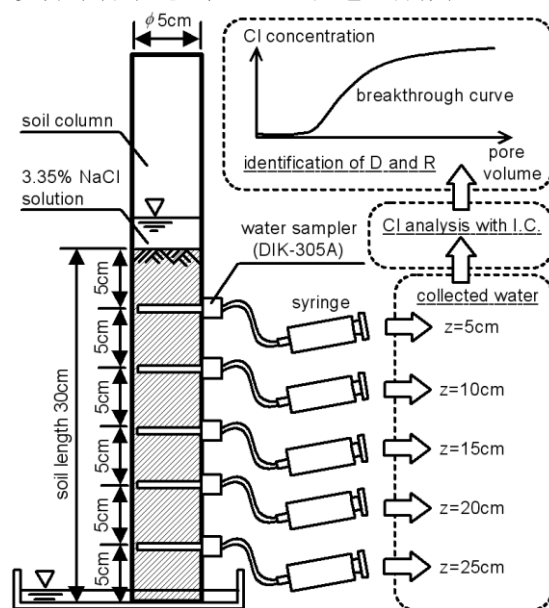


図1 リーチング実験装置の概要と解析の流れ

*弘前大学農学生命科学部 Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University **株式会社 キタコン** Kitacon Co., Ltd.
東日本大震災、塩害農地、除塩、数値解析

3. 結果および考察

(1) リーチング実験の結果

リーチング実験で得られた破過曲線を解析解に基づきカーブフィッティングした結果、水理学的分散係数 $D=4.197 \times 10^{-3}(\text{cm}^2 \text{min}^{-1})$ 、遅延係数 $R=1.030$ であることがわかった。また、ポアボリューム $T=0.48$ (全間隙量の約 1/2) では充填土壌長さの約 1/3 ($z < 10\text{cm}$) しか置換溶液に置き換わっていなかった。 $T=0.98$ (全間隙量) においては、土壌表面～深度 20cm 程度まで置換溶液に置き換わっていたものの、それ以深では間隙中が置換溶液で満たされていない状態にあった。また、 $T=1.27$ (全間隙量の 1.27 倍) では深度 25cm 程度まで置換されていた。土壌表面～深度 30cm のすべての土壌間隙が置換されるには $T=1.56$ の溶液が必要であったことから、当該土壌を全層にわたり除塩するためには全間隙量の約 1.6 倍の水が必要であることが明らかになった。

(2) 深度 20cm における体積含水率と Cl 量

地下水が存在する条件と、底面排水条件における土壌の体積含水率を比較した。図2(A)に底部を排水したことによる深度 20cm の体積含水率の低減効果を示す。横軸と縦軸はそれぞれ地下水存在下での条件と排水条件での計算結果である。体積含水率のデータポイントとその回帰直線 ($y=1.211x-0.107$) は、1:1 線よりも下側に分布した。このことは、当該深度の土壌体積含水率が地下水存在下よりも排水条件で低いことを表している。このことから、底面を排水したことによる作土層の土壌水分低減効果(最大で地下水存在条件の 1.3 倍低減)が認められた。図2(B)に排水効果による作土層の Cl 量の低減効果を示す。Cl 量も体積含水率と同様に、データポイントとその回帰直線 ($y=0.866x-0.054$) が、1:1 線よりも下側に分布したこ

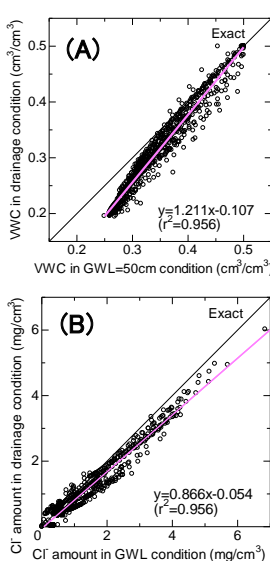


図2 体積含水率(A)と Cl 量(B)の低減効果

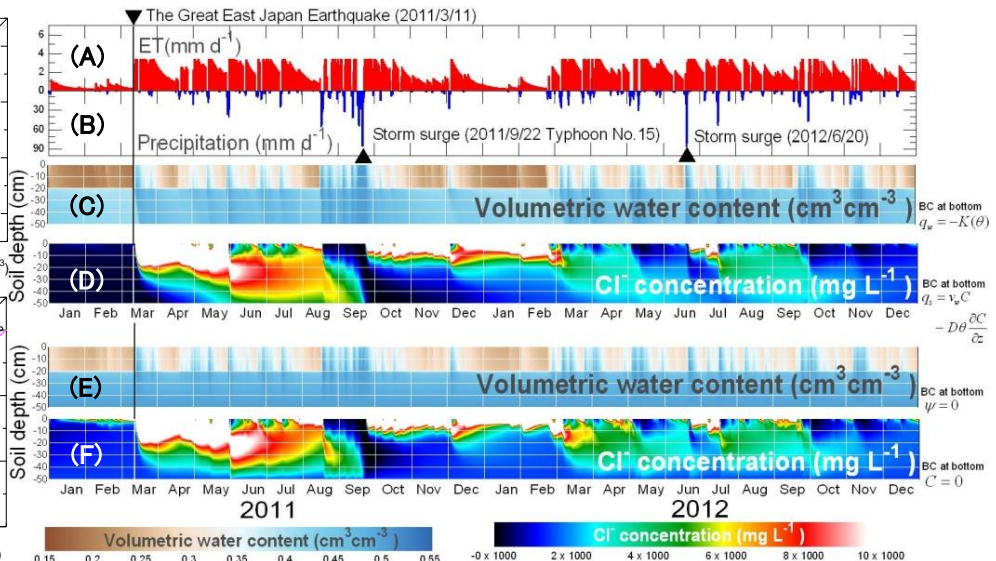


図3 体積含水率と間隙水 Cl 濃度のイソプレット(日蒸発散量(A)、日降水量(B)、排水条件での体積含水率(C)と Cl 濃度(D)、地下水条件での体積含水率(E)と Cl 濃度(F))

とから、排水促進による作土層の Cl 量低減効果(平均で地下水存在条件の 1.2 倍)が認められた。

(3) 体積含水率と土壌間隙水の Cl 濃度の挙動

図3に地下水条件と排水条件における体積含水率と Cl 濃度のイソプレットを示す。深度 50cm に地下水が存在する条件では、排水条件よりも体積含水率が総じて高かった。2011 年の台風 15 号の高潮による農地の冠水により、作土層の Cl 濃度が急増した。その後、翌年の春先～梅雨時季の降水により作土層の Cl 濃度が減少した。しかし、降水量が少ない冬～春先における地下水条件では、地下水の毛管上昇に伴って Cl の高濃度領域が上向きに推移する傾向にあった。以上のことから、海岸線に近い当該塩害農地においては、明渠や暗渠を敷設することにより、地下水位を低下させ排水を促進させることが必要であることが判った。

4. おわりに

東日本大震災の津波の冠水により生成した塩害農地土壌を効率的に除塩するために、津波発生から約2年間における対象農地土壌の塩化物イオン濃度の挙動を把握した。その結果、地下水位が常に高い本農地では、塩分が大量に含まれている地下水の影響を作土に及ぼさないようにする工夫が必要であることが判った。現在、本研究と関連し同時並行で表面剥離法による除塩の可能性を検討している。今後は、ホタテ貝殻粉末資材を用いた除塩やキャピラリーバリア法を併用した除塩手法の本農地への適用可能性を検証し、即効性・簡易性のある農地除塩技術を確立していきたい。

引用文献

遠藤明・神山啓(2012): 海岸付近の塩害水田土壌におけるリーチング特性と塩化物イオン濃度の挙動, 2012 年度農業農村工学会東北支部講要集, 14-15