

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450363

研究課題名(和文) マルチトレーサー法による農地土壌の塩性化・脱塩性化プロセスの解明

研究課題名(英文) Analysis of salinization and desalinization process of agricultural soil by multi-tracer method

研究代表者

久米 崇 (Kume, Takashi)

愛媛大学・農学部・准教授

研究者番号：80390714

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：灌漑水、排水そして土壌のサンプルを用いてストロンチウム(以下、Sr)安定同位体および各種微量分析を行った結果、上流から下流に向けて微量元素の濃度は高くなる傾向を示した。土壌抽出液中に含まれるSr安定同位体比の測定を行った結果、各サンプル土壌による水抽出による水溶性Srと酢酸抽出液による交換性Srの相関は高く、各サンプルにおけるSr同位体比および微量元素の特徴は明確に異なっていた。以上より、分析によって得られたデータから各サンプリング地点における塩分起源を解析すると上流から下流にかけて塩類化土壌における塩類の起源が海生起源から人為起源のものに置き換わってくる傾向を示すことが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We measured strontium isotope ratios ( $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ ) and concentrations of trace elements of irrigation water, drainage water and soil extracted water. Results showed that those concentrations increased from upper stream to downstream.

The  $87\text{Sr}/86\text{Sr}$  ratios of soil extract of water and acetic acid showed positive relationship, and the ratio of each sampling point showed distinctive value. The data showed salt origins of sampled soils changed from upper stream to downstream; sea water salt were replaced by that from irrigation water and other anthropogenic inputs in the study area. Therefore, the measurements could be applicable to analyze salinization and desalinization process in irrigated soils from past to present.

研究分野：農業工学

キーワード：ストロンチウム安定同位体 微量元素分析 土壌塩類化 灌漑 排水

1. 研究開始当初の背景

塩類化土壌についての評価方法や改良方法はすでに多くの研究蓄積がある。しかし、世界の乾燥地灌漑農地における塩類化土壌は増加している。

新たな塩類化土壌の発生を防ぎ、また既存の塩類化土壌の改良をより適切に進めるためには、塩分収支に基づいた水・塩分管理に加えて、塩分起源にも着目し塩分管理をしていく必要がある。

そこで、塩分起源に着目し、土壌の塩性化・脱塩性化プロセスを明確にしていくことで、塩分起源に着目した塩分管理をしていく方法を開発する必要がある。

2. 研究の目的

乾燥地域の灌漑農地は食料生産の高いポテンシャルを持つ一方で、種々の原因による塩性化被害を受けており、その解決は社会的要請となっている。

灌漑農地における塩性化問題の解決には塩性化メカニズムに加えて、営農による影響評価を十分考慮した地域的な塩性化プロセスの明確化が必要となる。

本研究は、ストロンチウム安定同位体が灌漑農地における塩分起源の推定に有効である研究成果を進展させ、微量元素分析等による水文環境評価にストロンチウム安定同位体を含む複数の環境トレーサーからなるマルチトレーサー法により水・塩分の起源とその動態を明確にすることで、塩性化のプロセスを解明した上での地域的な塩分管理法の確立を目指すものである。

3. 研究の方法

本研究の方法は、  
 現地調査およびサンプリング、  
 安定同位体および元素濃度分析、  
 混合モデルによる塩分起源の定量的解析、  
 塩性化プロセスの解明  
 からなる。

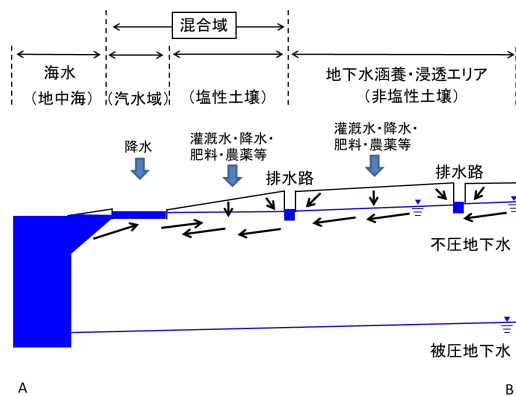


図1 サンプリングの概要図

上図に示すよう、サンプルは主に灌漑水、排水、土壌、肥料、農薬等について、海水・汽水域、塩性土壌、非塩性土壌から採取するものとする。サンプル中の塩分構成比率を測定結果を用いて、混合モデルで計算する。そして、得られた混合比と営農記録をもとに塩性化と脱塩性化のプロセスを検討する。

4. 研究成果

灌漑水、排水そして土壌のサンプルを用いてストロンチウム（以下、Sr）安定同位体および各種微量分析を行った結果、上流から下流に向けて微量元素の濃度は高くなる傾向を示した。

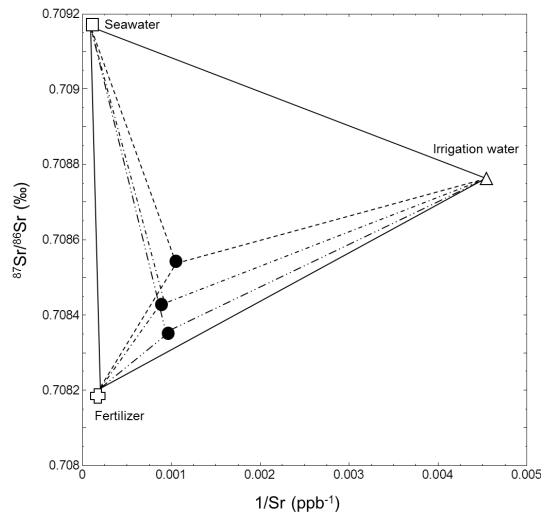


図2 混合モデル計算用のエンドメンバー（灌漑水、肥料、海水）と排水の 1/Sr (ppm) と  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (‰) のプロット図

図2はSr同位体比とその濃度をプロットした図である。図中の△は排水を表している。図2から明らかにわかるように灌漑水（図中 irrigation water）が農地を通して排水になるプロセスで、その濃度が増加し同位体比が様々な成分からの混合されることによって大きく変化していく。これは、上流から下流に向けて塩分が排出されていくプロセスを示している。

この時排水中に含まれる塩分について、混合モデルで計算すると、その塩分の構成割合は灌漑水が20~30%程度、肥料分が30~50%程度、海水が5~10%程度となる。灌漑水が他の起源の塩類を含んだ混合成分になって排水路に排水されていくことがわかる。

土壌抽出液中に含まれるの Sr 安定同位体比の測定を行った結果、各サンプル土壌における水抽出による水溶性 Sr と酢酸抽出液による交換性 Sr の相関は高かった ( $R^2=0.66$ )。また、各サンプルにおける Sr 同位体比およ

び微量元素の特徴は明確に異なっていた。

しかし、その中でも図1に示す混合域における塩性土壌サンプルの中で、特にこれまで灌漑（開発）の影響を受けていない土壌は他と異なった傾向を示していた。その土壌のデータは図3においてプロットされている。

図3からわかるように、プロットされたデータは水溶性 Sr 同位体比に対して、交換性 Sr 同位体比の方が明確に高くなる傾向を示していた。

これは、灌漑水、肥料、海水の Sr 安定同位体比がそれぞれ 0.7087‰、0.7082‰、0.7093‰である（図2）ことから考えると次のようになる。それは、今から 2600～3000 年前に、土砂堆積により調査地域が海面下から地上部に現れつつある時の塩分は海生起源の塩分が大半であったが、その後の灌漑農業によって灌漑水や肥料分がインプットされたために、Sr 安定同位体比がその影響を受けて水溶性および交換性の両方の Sr 安定同位体比が同じ値に近づいていった。

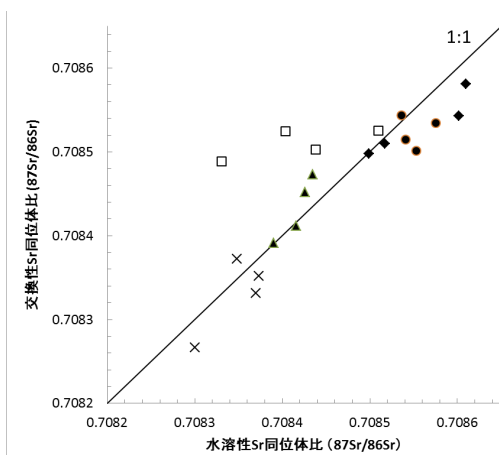


図3 土壌の水溶性 Sr 同位体比と交換性 Sr 同位体比のプロット

水溶性陽イオンと交換性イオンでその同位体比に差が見られる地点のサンプルでは、灌漑開発の影響が他のサンプリング地点に比べて小さいために、交換性陽イオンが未だに完全に灌漑水や肥料分を起源とする Sr に交換し切れていないために、1:1 線上に乗らないプロットとなったと考えられる（図3）。すなわち、未だ灌漑による除塩プロセスを経験していない土壌であるといえる。

さらに、これらの土壌から抽出したストロンチウムの濃度をみると、上流から下流に移動するにつれて 20ppb～2ppb（土壌：蒸留水=2g：25ml による抽出液の濃度）に低下していく傾向を示した。これは、おそらく施肥量に関係していると思われる。今回、土壌サンプルは5地点より採取したが、そのうちの3地点は灌漑開発が終了している上流域から採取している。残る2地点は、灌漑開発が完

了していない下流部から採取しており、うち1地点は未だ灌漑開発の影響を全く受けていない地点のサンプルである。よって、上流部においては多量の灌漑水と施肥によって Sr が大量にインプットされたため高い値を示していると考えられた。また、下流部の2地点については、未だ灌漑開発が十分に行われていないため灌漑水や肥料分からのインプットが少ないために、上流部に比べ下流部の方が土壌中に含まれる Sr 濃度が低い値を示したのではないかと考えられる。これは、灌漑水が農地を浸透し排水になる際にその濃度が上昇していくプロセスとは異なるといえよう。

以上より、分析によって得られたデータから各サンプリング地点における塩分起源を解析すると上流から下流にかけて塩類化土壌における塩類の起源が海生起源から人為起源のものに置き換わってくる傾向を示すことが明らかになった。このデータより、塩分起源という観点からみると、塩性化・脱塩性化のプロセスは、海生起源の塩分により始まり（塩性化）、灌漑農業の開発・進展とともに灌漑水や肥料分が農地に投入されていく中で、海生起源の塩分が人為起源の塩分に交換されていく（脱塩性化）ことが明確になった。また、濃度の点からみると、金属元素（Na, Ca, K, Mg 等）では上流から下流に行くに従ってその濃度は高くなる傾向を示すものの、微量元素である Sr については多量の灌漑水と大量の施肥のインプットの関係から、上流に比べて下流の方が濃度が低くなる傾向を示した。これらのデータが示すように、Sr 同位体比と微量元素濃度をトレーサーとして利用することにより、塩性化土壌における塩性化・脱塩性化のプロセスを科学的に議論できるようになり、このような塩分起源を考慮した地域的な塩分管理法の確立に向けた有用な知見を得ることができたと結論できる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Kume, T., Yamamoto, T., Shimizu, K., Jalaldin, A. 2015. Non-uniform distribution of soil salinity along a transect of an irrigation field in an arid area, International Journal of Environmental and Rural Development, 6-1, 181-187. (査読有)

〔学会発表〕(計1件)

Kume, T., Yamamoto, T., Shimizu, K., Jalaldin, A. 2015. Analysis of heterogeneous distribution of soil salinity in an irrigated district in Xingjiang Uygur, China, 7, March, 2015, Bohol, Philippine.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久米 崇 (KUME, Takashi)  
愛媛大学・農学部・准教授  
研究者番号：80390714

(2) 研究分担者

治多 伸介 (HARUTA, Shinsuke)  
愛媛大学・農学部・教授  
研究者番号：60218659

(3) 連携研究者

細野 高啓 (HOSONO, Takahiro)  
熊本大学・大学院先導機構・准教授  
研究者番号：30367065