

Sr 安定同位体による塩性土壌の塩類起源の推定

An estimation of origin of salt using Sr isotope in an irrigation district, Adana, Turkey

久米崇¹, 長野宇規², 中野孝教¹, 渡邊紹裕¹

Takashi Kume, Takanori Nagano, Takanori Nakano and Tsugihiko Watanabe

農地に集積した白い塩類の起源はどこか．乾燥地の灌漑農地において，一度でも土壌表層に集積した塩類を見たことがある人であれば，誰でも持つ素朴な疑問である．しかし，この疑問は素朴にして難問である．なぜなら，塩類の起源を推定するには地質を調べる必要があり，その農地環境に存在する塩類を構成するエンドメンバとその特性値を同定しなくてはならないからである．

従来までの研究では塩類の起源を地中の岩塩層，灌漑水中に含まれる塩類，肥料分，その農地を構成する土壌それ自身など，エンドメンバにおける塩分の濃度測定や文献を元におおよそ推定されてきた．そして，農学的な観点からはいわゆる塩収支を計算することで塩分管理をする工学的な手法が確立され，地質学的な観点から塩類の起源を明らかにする研究にはさほど注意が払われてこなかった感がある．例えば，FAO soils bulletin 55 (ed., FAO, 1985), ASCE Manual 71 (ed., Tanji, 1996), Salinisation of land and water resources (ed., Ghassemi et al., 1995), FAO Irrigation and Drainage Paper 61 (ed., Tanji and Kielen, 2002)などの灌漑排水と塩性土壌に関するバイブル的な書をも，若干の地質などの話が出てくる程度でこの点に注意が払われているとはいえない．

本発表では従来までの塩収支による工学的な塩分管理手法に流域レベルでの物質フローというオプションを付け加えることを視野にいれ，ストロンチウム安定同位対比（Sr 比）を用いた灌漑農地における塩類の起源を推定する手法について実証的に研究した結果を紹介する．また，一部に飛躍的な解釈があると認めつつ，本地域における土壌塩性化の歴史的なプロセスについて解釈を試みた．

対象地域はトルコ共和国セイハン川流域の最下流に位置する the Lower Seyhan Irrigation Project である (Fig.1)．調査は2006年8月の灌漑最盛期と2007年2月の農閑期に実施した．サンプリングは，灌漑最上流から下流にかけて，ダム水，灌漑水，排水，地下水，ラグーン水，地中海海水を対象に実施した．図中で，

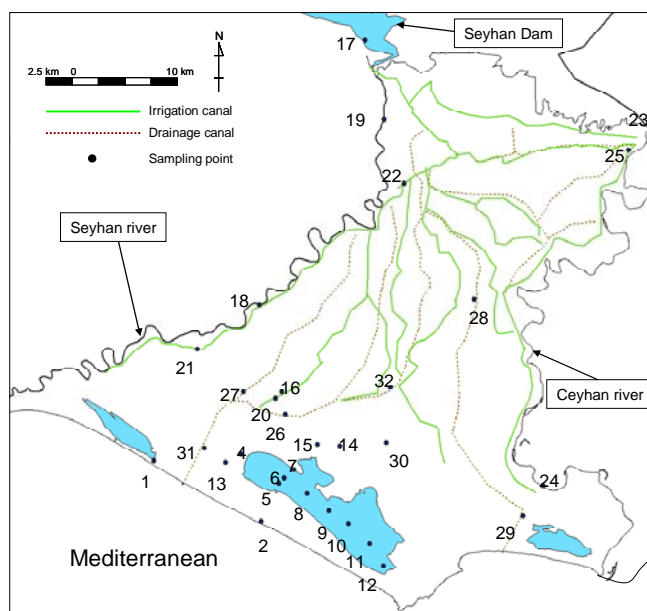


Fig.1 Situation of the sampling points

¹ 総合地球環境学研究所, Research Institute for Humanity and Nature

² 神戸大学大学院農学研究科, Graduate school of Agriculture, Kobe University

Keyword: Sr 安定同位体, 塩性土壌, 塩類, 起源, 灌漑排水

河川，用排水路，ラグーン，地中海以外にプロットされている点が地下水サンプリングポイントである。

水の主成分元素は総合地球環境学研究所のイオンクロマト装置(ICS-90)、また Sr を含む微量成分は四重極質量分析装置 (ACTLABS, Canada) を用いて測定した。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は同研究所の表面電離型質量分析装置 (Triton)を用いて測定した。試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は、標準試料である NIST-SRM987 の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を 0.710250 に正規化した。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ の測定精度は 0.000012 であった。

対象地域において土壌塩性化が発生しているのは Fig.1 中の No.14, 15, 26, 30 あたりである。ここでの塩類のエンドメンバは地中海からの塩水からなる Lagoon (Fig.1 中の No.5-12) からの塩水浸入によるものと灌漑水からの供給される塩類が考えられる。対象地域の土壌が風化した際に放出した塩類もエンドメンバとして有力であるが、現在測定中であるので分析の対象外とした。このほかには降水，肥料，農薬が主なエンドメンバと考えられるが対象とする金属元素の濃度が低いことから今回は考察の対象外とした。

塩類の起源を推定するには、 $1/\text{Sr}$ (ppb)と Sr 比 (‰) の散布図を描き，そこから得られる mixing line (Faure and Mensing, 1997) を形成するプロットのサンプリングカテゴリが何かを読み取ればよい。結論からいうと本研究の分析結果から，mixing line 上にプロットされていた (mixing line を形成したプロット) のは灌漑水，地下水 (深さ 1-2 m 程度の土壌水)，そして排水であった。Mixing line 上には，灌漑水と排水のプロットが塩性土壌の原因となる地下水のプロットを挟むようにしてプロットされた。一方，海水と Lagoon の汽水のプロットは mixing line からは大きく外れていた。

この分析結果から明らかにいえることは，灌漑区最下流で最も塩水浸入の影響を受けそうな沿岸部における塩性土壌の塩類の起源は，海水ではないということである。蒸発により海水以上の塩分濃度をもつ汽水域からわずか 1-2 km ほどしか離れていない地域の塩類の起源が海水ではないというのは，実は当初もっていた仮説からは大きく乖離した結果であった。土壌の Sr 比の測定結果を待っている段階なので明確ではないが，mixing line を形成するプロットのサンプリングカテゴリから，現状で土壌を塩性化させているのは灌漑水中に含まれる塩類と土壌自体が風化した際に放出した塩類であるとほぼ結論できる。

文献 (Dinc, 1991) によると，本灌漑地域は堆積土砂による氾濫原になる 2,000-3,000 年前には海底であった。氾濫原となってからは，Fig.1 にある Seyhan river と Ceyhan river の河道が変遷しながらもエジプトのナイルと同様の氾濫による塩類の洗脱と補給灌漑的な効果により，優良な土地では営農が行われていた。そして，近代に入り 1960 年代以降の排水路不備なままの灌漑によりほぼ全域で土壌が塩性化した。その後，セイハングダムからの大量の灌漑水と排水改良により灌漑区の上流域より徐々に除塩が進み現在に至った。おそらく，Seyhan river と Ceyhan river の氾濫原時代に多くの海生起源の塩類は洗脱されたのだろう。それに加え，現在の強力な灌漑圧力により塩水浸入が押さえられていると考えられる。しかし，カルスティックな集水域から貯留された塩分濃度の高いダム水を灌漑に使った結果，依然として排水不良な土地では蒸発と上流部からの塩類流入により土壌が塩性化しこれに土壌の風化によって放出された塩類が負荷されているというのが，本地域における土壌塩性化プロセスの有力な一つのストーリーとして考えられるのではないだろうか。

本研究は JSPS 科学研究費補助金 (No. 16380164, 研究代表：渡邊紹裕) により遂行したものである。