

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22780225

研究課題名（和文） ストロンチウム安定同位体と元素分析による灌漑農地の塩分起源の同定

研究課題名（英文） Estimation of Salt Origin of Irrigation District Using Strontium Isotope Ratio and Chemical Composition

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

研究成果の概要（和文）：研究の結果、ストロンチウム安定同位体比とそのイオン濃度による混合解析により、排水中における塩分の起源を定量的に明らかにすることができた。排水中に含まれる塩分の起源は主に灌漑水、肥料、海水であり、それらの混合比は灌漑期と非灌漑期で明確な違いを示すことが明らかになった。Na と Ca の起源について定量的な解析は未だ検討中であるが、ストロンチウム安定同位体比、Na/Sr、Ca/Sr のトレーサーと Sr の解析結果を用いることで、これらの環境中の動態を定性的に解釈することが可能であることが示された。

研究成果の概要（英文）：Salt origins of agricultural drainage water samples can be analyzed by the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratio and chemical composition. Plots of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ vs. $1/\text{Sr}$ suggested that the origin of salt in drain water were irrigation water, fertilizer and fossil seawater, and analysis of a mixing model incorporating these three end-components showed that the origins of Sr in drainage differed markedly between summer and winter. Origins of sodium and calcium of the drain water were also tested using $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and Na/Sr and Ca/Sr as tracers. While quantitative analysis has been in process, environmental dynamics of sodium and calcium could be interpreted by result of strontium isotope analysis using plots of those tracers.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：灌漑排水

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、これまでの乾燥地域における灌漑農地で発生している塩性化問題に対して、農地の塩分管理における塩分起源推定の必要性を指摘した。

従来まで、灌漑農地における塩分管理は、

元入れと排水における塩分量のバランスをとるリーチング要求量の考え方によって進められ必要な排水措置がとられてきた。これは、元入れにおける塩分量以上に塩分を排出させるように排水量を確保するという考え方である。

しかし、量のみに着目し起源を考慮しなければ実際には考慮すべき塩分のソースがあるにも関わらず、測定の見込みが生じ必要な排水量を過小評価する恐れがある。さらには、灌漑水や施肥による営農管理、それに伴う地質起源による塩分の溶解・排出などにより、対処すべき起源の塩分を見逃す可能性が生じる。

このように、より適切な塩分管理には塩分起源の明確化が不可欠であり、その結果、重点対処すべき点も特定できるようになる。

そのため本研究では、従来までの電気伝導度やイオン濃度に加え、地球科学的手法として注目されているストロンチウム安定同位体比をトレーサーとして用いる塩分起源の同定方法を提案した。

2. 研究の目的

本研究は、乾燥地の灌漑農地において、土壌塩性化の改良・防止および農業排水による環境負荷の削減に向けて塩分の起源を考慮した塩分管理手法を策定するための基礎研究である。具体的な目的は、高塩分濃度の農業排水再利用が行われ土壌塩性化が発生している地域を対象として、ストロンチウム安定同位体と元素濃度の組み合わせにより塩分の起源を同定することである。ここで、塩分起源の同定とは、塩分の構成要素について定性的かつ定量的に明らかにすることを意味する。

3. 研究の方法

本計画はサンプリング戦略、金属元素のトレーサーの決定、塩分起源の同定からなる。そのための基本的な作業内容は現地調査と試料サンプリング、安定同位体比の測定と元素濃度分析である。サンプリング戦略は、農業排水に焦点を絞り、幹線排水路の上流から下流をカバーする。塩分起源（構成要素）は事例対象地域の現実を考慮し灌漑水、肥料、農薬、降水、土壌、海水などを想定する。金属元素 (Na, Ca, Mg, K) のトレーサーには文献やデータを参考に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を軸に決定する。排水中における各起源の構成比の定量化は混合理論 (Faure and Mensing, 2005) を用いる。以上より、農業排水中に含まれる塩分起源の同定、つまり塩分の構成要素について定性的かつ定量的に明らかにしようとするものである。

(1) サンプリング戦略

乾燥地において土壌塩性化の問題が発生している灌漑区では、塩分を灌漑水によってリーチング（洗脱）して排水することで問題の対処をするのが一般的である。したがって、排水中の塩分に考慮すべき全起源の塩分情報が最も端的に表れると考えられる（図 1）。よって、サンプル試料は排水とそこに流入す

るであろう構成要素を想定する。本研究計画における工夫の一つは、上流から下流にかけて排水サンプリング、その排水中に含まれるであろう塩分起源候補のサンプル採取を行い、いわゆる上流・下流問題にも対処しようとするものである。

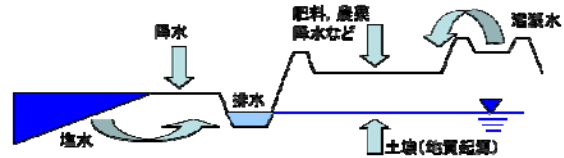


図 1. 排水と排水に流入する塩分のソース

(2) 金属元素 (Na, Ca, Mg, K) のトレーサーの決定

現状では、対象とする 4 種の金属元素 (Na, Ca, Mg, K) の同位体を直接測定することは技術的に困難であるため、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と元素濃度のイオン比をトレーサーとして利用する予定である。トレーサーについては、文献のレビューにより、いくつかの可能性あることを確認した。例えば、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と Na/Sr の組み合わせや Br/Cl などがそれである。

(3) 塩分起源の構成要素の定性的かつ定量的な解析

例えばストロンチウムでは、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と $1/\text{Sr}$ をトレーサーとして、排水におけるストロンチウム元素の起源を海水、灌漑水、肥料などと決定し、これを元に各起源の混合比を計算することができる。その比率は、混合理論 (Faure and Mensing, 2005) に基づいた計算により定量化される。

4. 研究成果

(1) 金属元素のトレーサーとしてのストロンチウムの起源

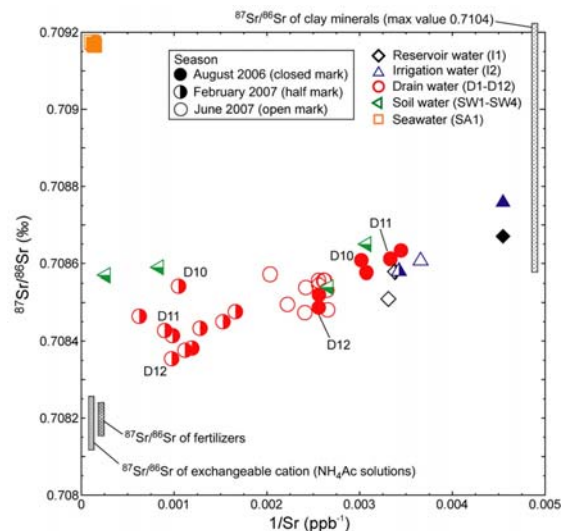


図 2 全サンプルにおける $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ と $1/\text{Sr}$ のプロット

本研究では、各種水サンプルについて、ストロンチウム安定同位体比および元素濃度分析を行った。その結果、金属元素全体のトレーサーとして扱うストロンチウムの同位体比と元素濃度の逆数を示したのが図2である。

サンプル水における特徴は明白で、灌漑水、海水、肥料、そして排水、それぞれがクラスター状にまとまりをつくり、分離していた。これにより、ストロンチウムについては、明白なグルーピングが可能であることがわかる。

混合モデルの適用のために、排水中に含まれる主要なソースを考えると、図2から灌漑水、海水、肥料がそれであることがわかる。

(2) 灌漑・非灌漑期のサンプル水中におけるストロンチウム同位体比および濃度

本研究では、取水を灌漑期と非灌漑期に行っている。これは、灌漑水による影響がどの程度、排水中に現れるかを検討するためである。

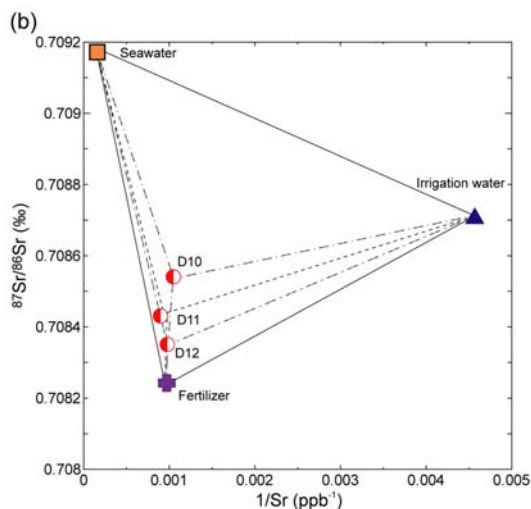
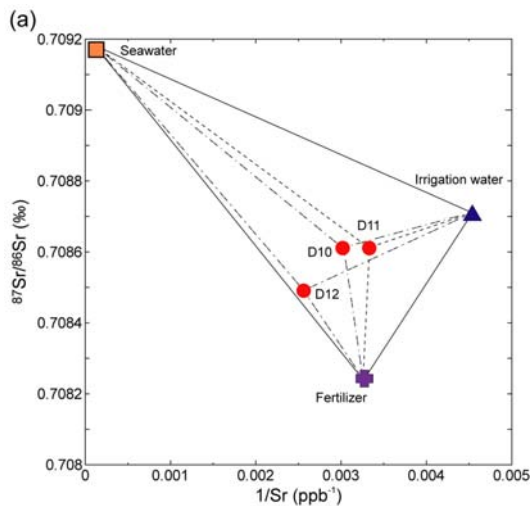


図3 灌漑期(a)と非灌漑期(b)におけるストロンチウム安定同位体比と濃度プロット

図3(a), (b)に示すように、ストロンチウムについては、明確な差異が認められた。

図中におけるD11, D12, D13は、幹線排水路の末端地点におけるサンプリング地点を示す。また、排水中のストロンチウム起源に与える影響は、D11, D12, D13との距離が近いほど大きい。

図から、排水(D11, D12, D13)に対して、灌漑期には灌漑水が大きな影響を与えることがわかる。一方、非灌漑期に排水に影響を与えているのは、肥料分であることがわかる。

また、排水を個別にみると、特に非灌漑期においてD10は3サンプル中で海水の影響が最も大きいこと、D12は3サンプル中で最も肥料分の影響が大きいことなどがみてとれる。

(3) 各排水に対する灌漑水、海水、肥料分の混合比

図3(a), (b)のデータを元にして、混合理論(Faure and Mensing, 2005)を用い、排水中における灌漑水、海水、肥料分の混合比を求めまとめた結果を図4に示す。

灌漑期は非灌漑期に比べて3地点すべての排水において灌漑水の影響が大きいことがわかる。また、海水の比率が小さいこともわかる。このように、灌漑期において、灌漑水の比率が大きく、海水の比率が低いのは、上流からの灌漑圧により海水起源の塩分が希釈されること、また塩水浸入が灌漑によって妨げられることなどが理由として挙げられる。同様の理由で、非灌漑期に比べると灌漑期には肥料分の比率も低くなっていると思われる。

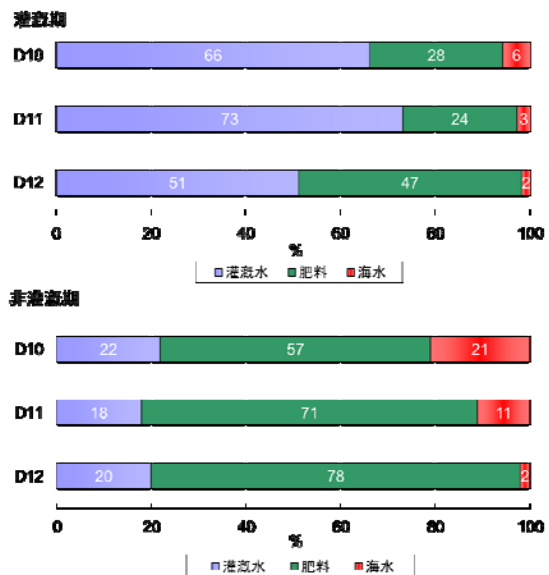


図4 灌漑期と非灌漑期における排水中(D10, D11, D12)のSrにおける灌漑水、肥料、海水の混合比

非灌漑期には、3地点における灌漑水の比率はほぼ20%で均一であった。一方、肥料と

海水については各地点において明確な特徴が認められた。

肥料分は、D10 が最も比率が低く、D12 が最も比率が高かった。これは、灌漑排水事業の進捗状況に影響を受けたものである。すなわち、D10 の排水ブロックでは未だに灌漑末端部に塩性土壌が多く残り、排水整備が遅れている。その結果、施肥量が相対的に少なくなっている。一方で、D12 の排水ブロックでは、排水整備により塩性土壌がほとんどみられない。これにより、D11 に比べると、相対的に施肥量が多くなっている。

また、海水についても同様で、D10 では未だに海生起源の塩分が残っていることから、灌漑水の影響が小さくなる非灌漑期には、排水中における比率が大きくなっている。D12 では、排水事業が進んでいることから、海生起源の塩分の除塩が進んでいることから、非灌漑期においてもそれほど比率は大きくない。

D11 については、排水中における肥料分と海水の比率は、D10 と D12 のちょうど中間程度の値を示している。

(4) 排水中における Na, Ca の混合比

本研究では金属イオン Na, Ca, K, Mg について、Sr と同様の方法でトレーサーの工夫により、その起源を同定することが研究目的の一つである。ここでは、塩性化の問題を扱う際に最も影響が大きい Na と Ca について、その起源を同定する試みを行ったので、その経過を報告する。なお、最終的な解析は現在進行中である。

図 5 は非灌漑期のデータにより、Na のトレーサーとしてストロンチウム安定同位体比と Na/Sr を用いて、Na 起源を明らかにしようとするものである。

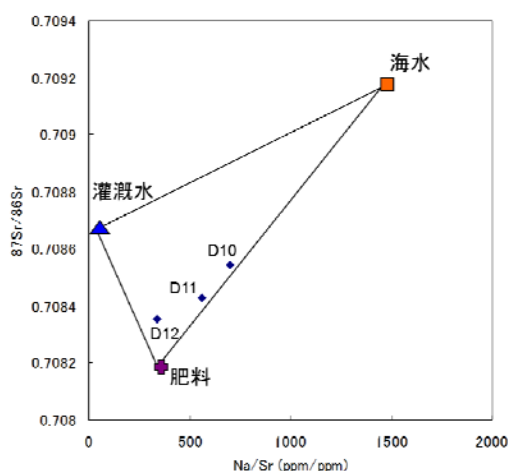


図 5 非灌漑期における排水中の Na の起源について $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ と Na/Sr をトレーサーとしてプロットしたもの

この図からわかるように、前述したストロンチウムと同様に、D10, D11, D12 の 3 点に明確な違いがあることがわかる。ストロンチウムの結果と同様に、D10 が海生起源の塩分の影響を最も大きく受け、D12 が最も影響を受けていないことがわかる。肥料についてもストロンチウムと同様に、D12 が最も影響を大きく受けて、D10 が最も影響を受けていないことがわかる。

Ca のトレーサーとしてストロンチウム安定同位体比と Ca/Sr を用いて、これまでと同様の方法でプロットしたのが図 6 である。ここでは、Na と同様に非灌漑期のデータを用いた。

ストロンチウムと同じ 2 価の陽イオンであり、イオン半径もほぼ同じであるカルシウムの環境中での動態はよく似ているといわれている。図 6 の結果は、図 3 (b) とよく似た結果を示した。これは、Ca のトレーサーとしてストロンチウム安定同位体比と Ca/Sr が有効であることを示していると考えられる。

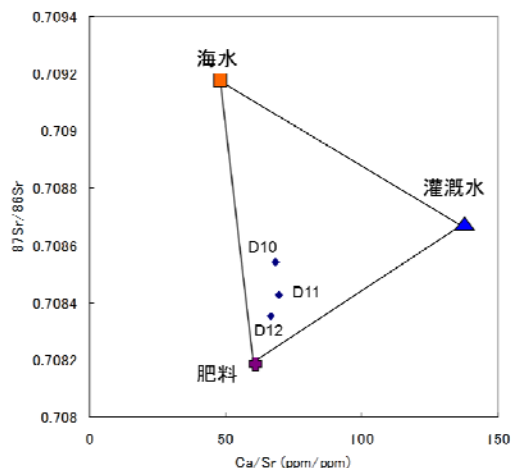


図 6 非灌漑期における排水中の Ca の起源について $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ と Ca/Sr をトレーサーとしてプロットしたもの

(5) まとめ

以上の結果から、金属元素のトレーサーとしてストロンチウム安定同位体比を用いた場合、サンプリング戦略、トレーサーの決定、混合理論のすべての研究方法が妥当であり、その混合比を用いて塩分起源を同定するという目的を達成することができた。

個別の金属イオン (Na, Ca, K, Mg) については、定量的にそれらが妥当であるかどうかについては未だ解析途中であり結論できていない。しかし、ストロンチウム安定同位体比と Na/Sr, Ca/Sr などのトレーサーの組み合わせによるプロットと、Sr の解析結果から、Na と Ca の定性的な塩分起源の解釈が可

能であることを示すことができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Takashi KUME, Daisuke Naito and Ken-ichi ABE, Building Social-Ecological Resilience of Coastal Agricultural Fields to Natural Disasters, International Journal of Advances in Management, Technology and Engineering Science, vol.2, Issue 6(2), 69-72, 2013, 査読有
2. Takashi Kume, Erhan Akca, Takanori Nakano, Takanori Nagano, Selim Kapur and Tsugihiko Watanabe, Seasonal Changes of Fertilizer Impacts on Agricultural Drainage in a Salinized Area in Adana, Turkey, Science of the Total Environment, vol.408, issue16, 3319-3326, 2010, 査読有

[学会発表] (計 4 件)

1. KUME, T., NAITO, D., ABE, K., Building Social-Ecological Resilience of Coastal Agricultural Fields to Natural Disasters, International Research Conference on 5th & 6th March, 2013 at First Hotel, Bangkok, Thailand, 5th, March, 2013
2. 久米崇, 長野宇規, 中野孝教, 渡邊紹裕, 混合モデルによる灌漑農地における塩類起源の定量的解析, 平成 24 年度農業農村工学会大会講演会, 2012 年 9 月 19 日 (札幌市)
3. 久米崇, Erhan Akca, 中野孝教, 長野宇規, Selim Kapur, 渡邊紹裕, トルコアダナの塩性化地域における排水に肥料が与える影響の季節変化, 第 1 回同位体環境学シンポジウム, 2011 年 9 月 29 日 (京都市)
4. Takashi Kume, Analysis of Surface and Subsurface Salinity Conditions using Strontium Isotope Ratio and Groundwater Numerical Model, Danish Japanese Water and Climate workshop, Stockholm Rica Hotel, Stockholm, Sweden, 9th, September, 2010

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 ()

研究者番号:

(3) 連携研究者 ()

研究者番号: