

福島市内山間部の水田の田水、用水およびイネの微量元素の分析

矢永誠人¹、三好弘一²、桧垣正吾³、森 一幸⁴、

西澤邦秀⁵、後藤祥子⁶、世良耕一郎⁷

¹ 静岡大学大学院理学研究科化学専攻
422-8529 静岡市駿河区大谷 836

² 徳島大学アイソトープ総合センター
770-8503 徳島市蔵本町 3-18-15

³ 東京大学アイソトープ総合センター
113-0032 文京区弥生 2-11-16

⁴ 株式会社イング
120-0043 足立区千住宮元町 14-1 ING ビル

⁵ 名古屋大学名誉教授
464-8602 名古屋市千種区不老町

⁶ 日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター
020-0603 岩手県滝沢市留が森 348-58

⁷ 岩手医科大学サイクロトロンセンター
020-0603 岩手郡滝沢市留が森 348-58

1 はじめに

2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故により、同発電所の複数の原子炉から多量の放射性物質が環境中に放出され、広範囲の汚染を引き起こした。それは田畑においても例外ではなく、結果として、土壌から作物への放射性物質の移行、特に放射性セシウムの移行が懸念されることになった。土壌から作物への放射性物質の吸収されやすさは、それぞれの田畑の土質や、用水や肥料中に含まれる主要元素や微量元素の影響を受けることが考えられる。したがって、土壌から作物へのセシウムの移行・吸収のメカニズムを解明するには、対象とする田畑の土壌や用水に含まれる主要元素や微量元素の濃度を知ることは不可欠となる。そこで本研究では、福島市内山間部の水田の田水および用水のサンプリングを継続的に行い、それらに含まれる主要元素や微量元素濃度の定量を行うとともに、出穂後の葉に含まれる種々の元素についての定量を行った。

2 実験

2.1 サンプリング

2014年5月～10月にかけて、福島市内山間部の田の用水（ため池水および湧水）並びに田水を採取し、(1:1)硝酸を加えてpH 2程度になるようにし、分析に供するまで保存した。また、8月下旬の出穂後のイネを採取した。

2.2 PIXE分析

水試料については、試料水 1 mL をマイクロチューブに分取し、In 内部標準溶液を加えて攪拌均一化後、プロレン膜上に滴下・乾燥したものを分析に供した。イネについては、各茎の穂に近いなるべく緑色の葉、数枚ずつをとり、数時間 105℃ で乾燥させた。その数十 mg を精秤し、In 内部標準溶液を加え、硝酸灰化したものをバックリングフィルムに滴下・乾燥し、ターゲットとした。それぞれ、(公社)日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンター(NMCC)の小型サイクロトロンにより加速した 2.9 MeV 陽子ビームを照射し、2 台の Si(Li) 半導体検出器を用いて試料から発生した X 線を測定し、得られたスペクトルを解析プログラム SAPIX により解析した。

3 結果および考察

3.1 田水および用水についての分析結果

水試料については、Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Cu、Zn、Ba、Br、Sr の 18 元素の定量を行うことができた。

図 1 および図 2 に、K および P 濃度の定量結果を示した。それぞれの図で WA-1、WB-9、K-1 および K-6 は田に付した記号（名称）であり、WA-1 および WB-9 の用水としては「ため池水」が用いられ、K-1 および K-6 の用水としては「湧水（沢水）」が利用されている。田水中の K 濃度は用水中の濃度よ

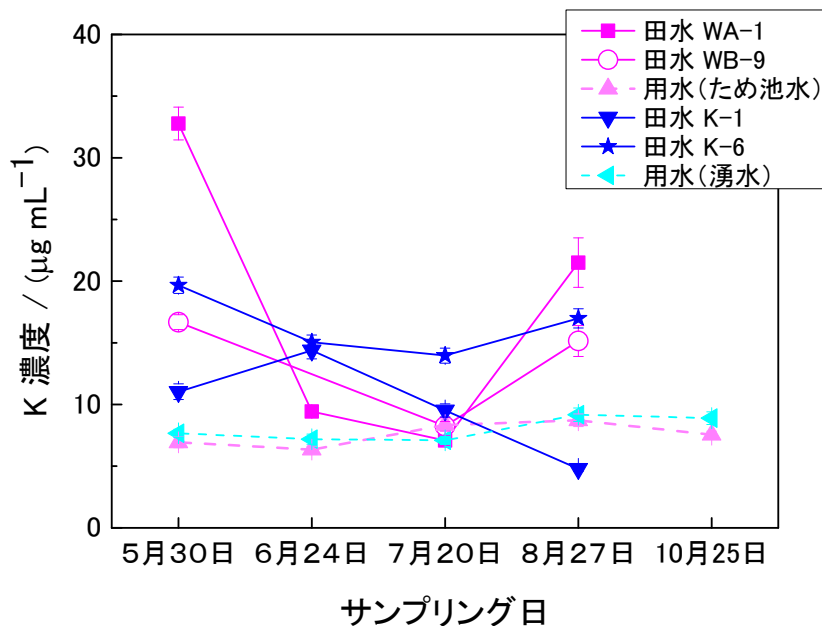


図 1 田水および用水中の K 濃度

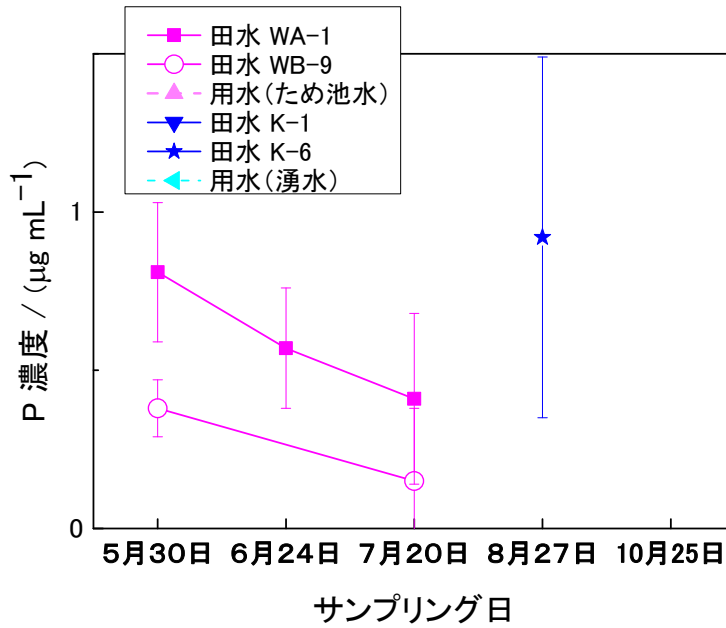


図 2 田水および用水中の P 濃度

高い傾向が認められる。特に 5 月の濃度が高い。また、図 2 に示したように、P に関しては田水中のみで検出された。これは、施肥の影響を受けたためと考えている。また、8 月下旬における田水中の濃度上昇は、自然減水により濃縮されたのではないかと考えている。

図 3 および図 4 は、それぞれ、Si 濃度および Ca 濃度を示したものである。図 3 に見られるように、用水中の Si 濃度は季節による変動が見られるが、いずれにおいても田水中の Si 濃度は用水中より低値を示していた。イネは Si を多く蓄積することがよく知られており、水中の可溶性のケイ酸がイネに取り

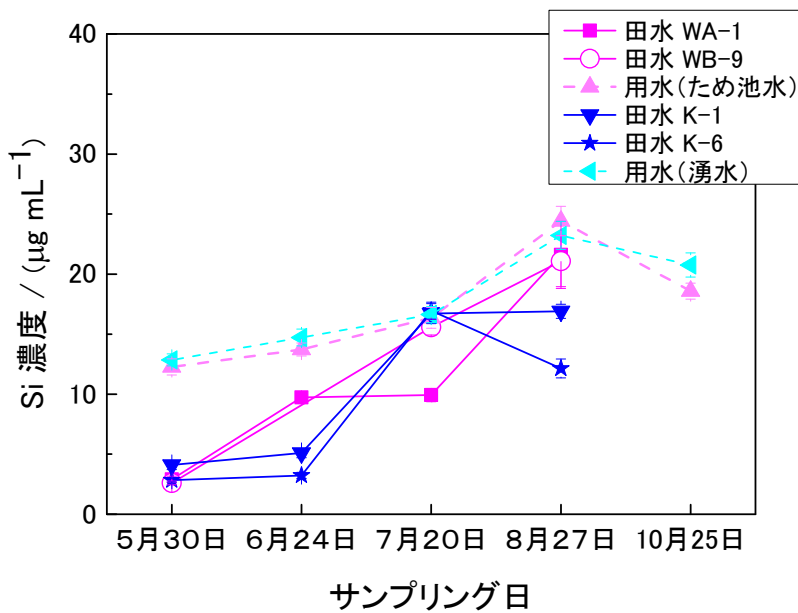


図 3 田水および用水中の Si 濃度

込まれたためと考えている。また、田水中の Ca 濃度は採水の時期による濃度の変動が認められたが、用水中ではサンプリング期間を通してほぼ一定の濃度を示していた。また、ため池水中の濃度と湧水（沢水）の濃度は異なり、ため池水中の濃度は常に低値を示していた。これら 2 種類の用水中の Na、Mg、Si、S、Cl、K、Mn、Fe、Cu および Zn 濃度については両者の間に有意な差は認められなかった。このことは、ため池では Ca イオンの固定化が行われていることを示しているのではないかと考えている。

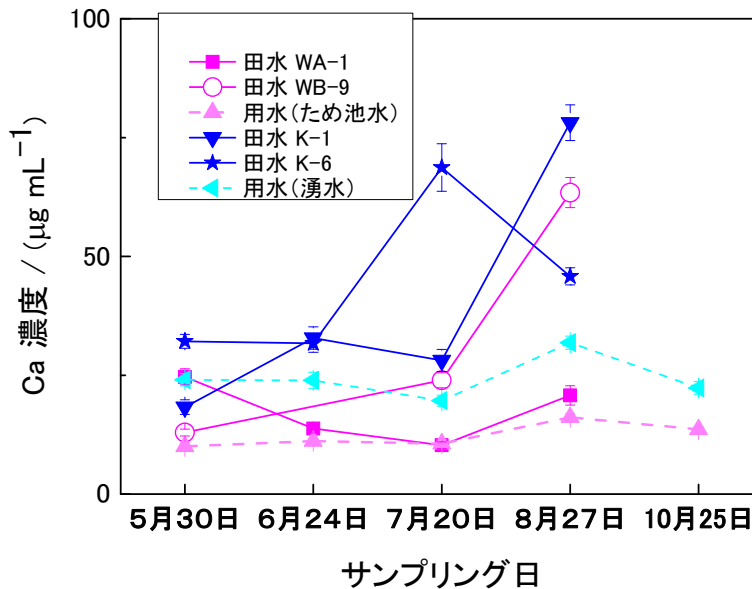


図 4 田水および用水中の Ca 濃度

3.2 イネの葉についての分析結果

イネの葉については、Na、Mg、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Cu、Zn、Ba、Br、Sr の 18 元素の定量を行うことができた。図 5～図 7 に、12 元素についての定量結果を示した。それぞれの図で、例えば、WA1-1、WA1-2、WA1-3 とあるのは、WA1 の田で採取した一株のイネから選んだ 3 本の茎に付した記号であり、横軸の 1 枚目、2 枚目・・・というのは各茎について稲穂に近い方から数えた葉の位置を意味している。

全体的な傾向として、各葉に含まれる元素濃度は、同じ株の葉であっても茎ごとに異なるという傾向が見られている。このことは、土壌中あるいは田水中の元素濃度とイネ中の元素濃度を比較する際、すなわち、放射性セシウムなどの吸収や移行を定量的に検討する際には、茎の選び方によっては必ずしも土壌中濃度との関係を正確に評価することができなくなる可能性があることを示している。

個々の元素について見てみると、まず、Si の値については他の元素に比べて著しくその濃度が高く、イネがケイ素を集積することと一致している。また、K、Ca、Mn および Fe 濃度については、それぞれの図に見られるように右上がりの傾向を示している。すなわち、新しい葉よりも古い葉の方の濃度が高く、古い葉から新しい葉へこれらの元素の転流があるとしてもその移行には時間がかかることを示している。一方、Cu および Zn 濃度については逆の傾向を認めることができる。このことは、葉の生長過程においてこれらの元素が要求されることを示していると考えている。また、K と同族元素である Na の濃度については特段の傾向を認めることはできず、同じアルカリ金属であるセシウムとの関連性においては、肥料中にも含まれるが、K が一つの指標となるのではないかと考えている。

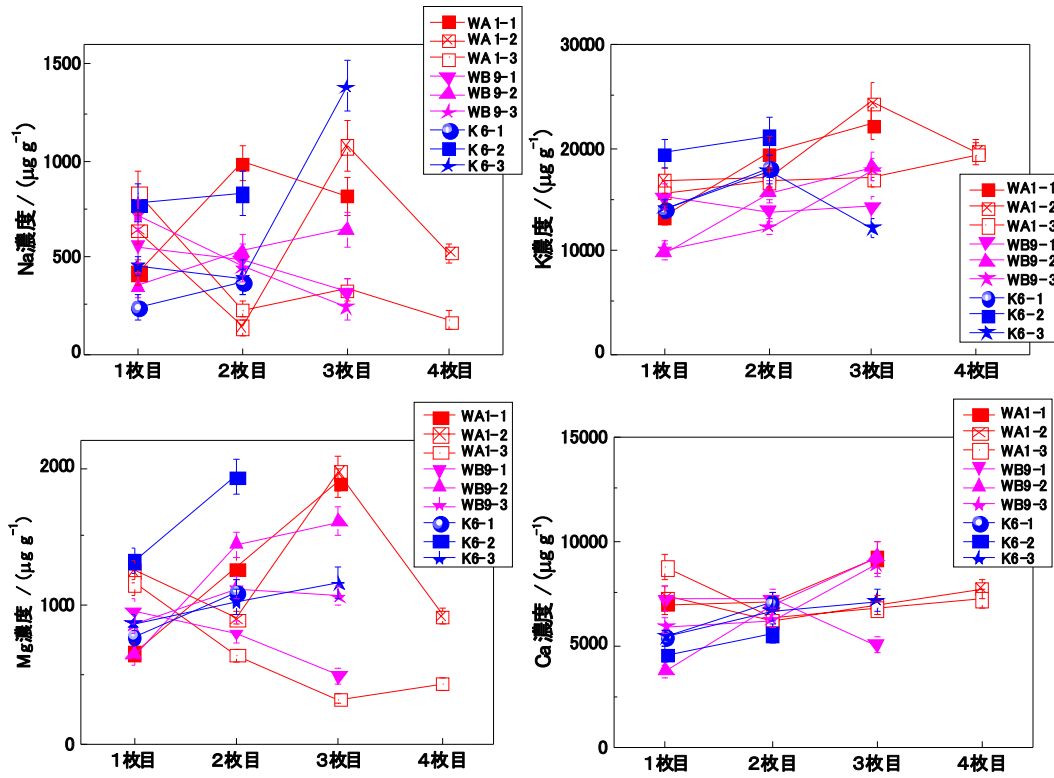


図5 イネの葉中のNa、Mg、KおよびCa濃度

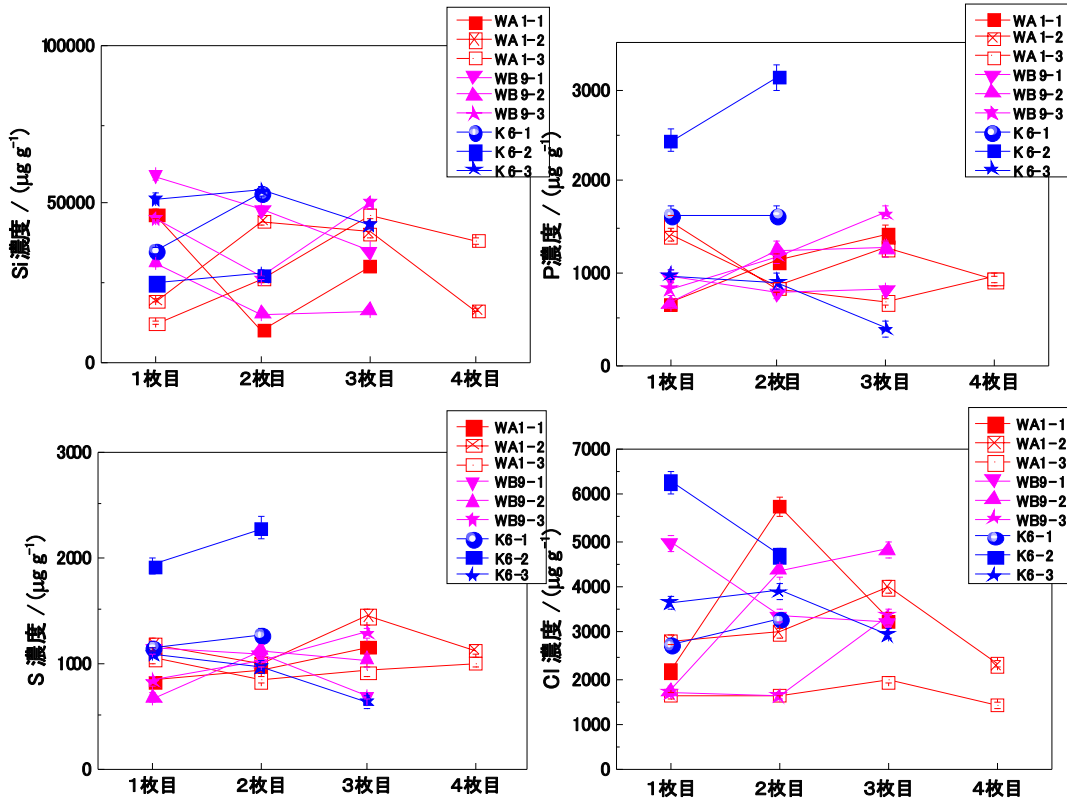


図6 イネの葉中のSi、P、SおよびCl濃度

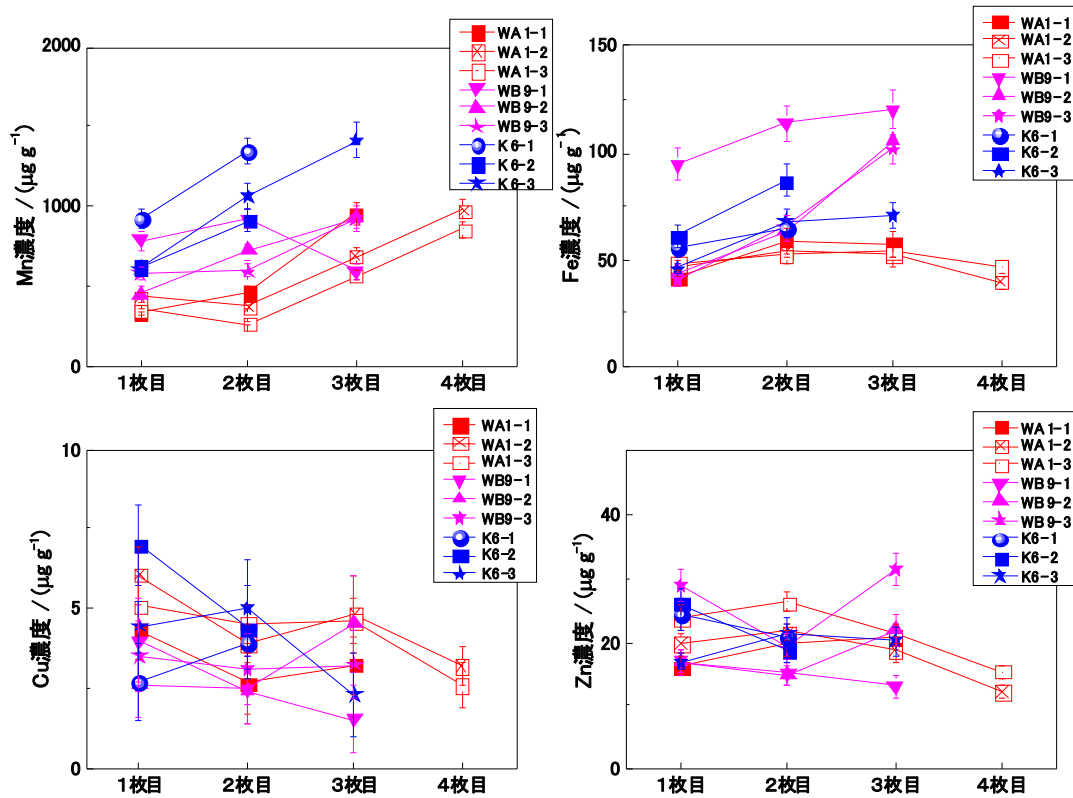


図7 イネの葉中の Mn、Fe、Cu および Zn 濃度

4 まとめ

本研究では、2014年5月～10月にかけて、福島市内山間部の田園地域において田水および用水（ため池水および湧水）並びに出穂後のイネを採取し、水およびイネの葉に含まれる微量元素の分析を行った。その結果、稲の生長（葉の成熟）と関連する元素が特定されるとともに、同一の株から生育したイネであっても、分析に用いる茎ごとに各元素濃度が大きく異なることから、土壌あるいは田水、用水からの放射性セシウムの吸収・移行を定量的に考慮する際には、その点に注意しなければならないことがわかった。

Analysis of the trace elements in paddy water, irrigation water and rice plants of mountainous region in Fukushima-city

M. Yanaga¹, H. Miyoshi², S. Higaki³, K. Mori⁴, K. Nishizawa⁵, S. Goto⁶ and K. Sera⁷

¹Department of Chemistry, Graduate School of Science, Shizuoka University
836 Ohya, Suruga-ku, Shizuoka 422-8529, Japan

²Radioisotope Research Center, Tokushima University
3-18-15 Kuramoto-cho, Tokushima 770-8503, Japan

³Radioisotope Center, The University of Tokyo
2-11-16 Yayoi, Bukyo-ku, Tokyo 113-0032, Japan

⁴ING Co., Ltd.
14-1 Senjumiyamotochou, Adachi-ku, Tokyo 120-0043, Japan

⁵Radioisotope Research Center, Nagoya University
(Emeritus Professor of Nagoya University)
Furocyo, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

⁶Nishina Memorial Cyclotron Center, Japan Radioisotope Association
348-58 Tomegamori, Takizawa 020-0603, Japan

⁷Cyclotron Research Center, Iwate Medical University
348-58 Tomegamori, Takizawa 020-0603, Japan

Abstract

PIXE analytical technique was applied to determine concentration of trace elements in paddy water, irrigation water (pond water and spring water) and leaves of rice plants, collected from May, 2014 to October, in mountainous region in Fukushima-city.

Concentration of 19 elements in total, such as Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Ba, Br, Sr, were satisfactory determined. As a result, elements related to growth of leaves were identified. It was also recognized that the concentrations of trace elements in each stem are considerably different even if the rice plants growing from a group of roots at the same position in a rice field. This fact will show the possibility to affect the quantitative evaluation of absorption for radioactive cesium from the soil or water to rice plants.