

4.2 放射性核種の動態に影響を及ぼす環境微生物群集評価技術の基盤構築

Development of Analytical Tools for Evaluation of Environmental Microbial Communities Related to Radionuclides Dynamics

海野 佑介, 武田 晃

環境影響研究部

Yusuke UNNO, Akira TAKEDA

Department of Radioecology

Abstract

The interaction of radioiodine and radiocesium with microbial communities is considered as a crucial issue for predicting the behavior of radionuclides in the environment. In this study, we focused on: 1) the effect of bacterial iodide oxidation on iodine mobility and 2) the adsorption of radiocesium by metal phytates and stability of adsorption against microbial activity.

Much attention is paid to long-life radioiodine (^{129}I) that has been emitted from nuclear fuel reprocessing plants, because its behavior in the environment has not sufficiently been clarified yet. Although various studies pointed out that iodide (I^-) mobility in soil was affected by I^- oxidizing bacteria which are capable of oxidizing I^- to I_2 , the ecology and role in I dynamics of these bacteria under field conditions has still remained unclear. In this study, soil core samples from a surface layer down to 50 cm were studied for their bacterial community structure and distribution of *IoxA* gene, which is one of the genes coding I^- oxidizing enzyme (IOE). Amplicon libraries of 16S *rRNA* gene were constructed for each soil layer, and sequenced by using MiSeq sequencer. Phylogenetic analyses of bacterial community structure revealed the decreasing tendency of relative abundance of *Alphaproteobacteria* with depth. *IoxA*-like sequences, which had high similarities to *IoxA* of *Alphaproteobacteria*, were only detected in the top surface soil. This study provides the first evidence that the IOE coding gene exists in surface soil, and further studies are needed in order to evaluate the contribution of the IOE coding gene on iodine mobility in soil environments.

Although, soil organic matter is considered to react with ^{137}Cs in soil, there are only a few studies about the direct interactions between ^{137}Cs and specific soil organic compounds. Phytic acid (*myo*-inositol hexakisphosphates) is highly stable in soil due to the formation of insoluble salts with Al, Ca, or Fe. We found that Al and Fe phytate have high sorption capacities for ^{137}Cs with K_d over $1.5\text{E}+5$. From actual soil solution samples collected from Fukushima City and Rokkasho, they also showed high ^{137}Cs removal ability. In addition, most of the ^{137}Cs were adsorbed by the phytate from solution mixed with clay minerals during a short time after the start of sorption. This suggests that the $^{137}\text{Cs}^+$ deposited from the atmosphere on slightly acidic soil is captured by organic compounds, such as the phytate, at least in an early stage after the deposition. To study the stability of the phytate- ^{137}Cs complex in soil environment, Miyako-gusa (*Lotus japonicus*) was preliminary cultivated in Murashige-Skoog medium mixed with the complex. The absorption of ^{137}Cs by *L. japonicus* was low in the sterilized medium but increased with inoculation of phytate decomposing bacteria *Burkholderia* sp. Flap1. Further study is required for clarifying the stability of the phytate- ^{137}Cs complex in soil environment.

1. 目的

環境微生物が生物地球化学的過程に果たす役割は極めて大きく、放射性核種の移行に対しても大きな影響を及ぼすと推定されている。そのため、土壌中における放射性ヨウ素及び放射性セシウムの長期的な挙動を予測し、更にその移動を制御するためには、環境微生物の影響を理解する必要がある。そこで本研究では、環境微生物群集評価技術の基盤構築を行い、これを用いた、土壌中ヨウ素酸化に関するテーマを実施するとともに、放射性セシウムを吸着する資材の特性評価及び微生物による分解に関するテーマを実施した。

1.1 土壌中ヨウ素動態に強い影響を及ぼす微生物機能の解明

長半減期核種 ^{129}I (半減期約 1600 万年) は核燃料再処理施設等の原子力施設から環境中に放出され、周辺の土壌表層に沈着する。土壌溶液中安定ヨウ素の増減は、ヨウ素動態に大きな影響を与えるため、環境中における放射性ヨウ素の挙動を理解する上で、その実態を把握することは極めて重要である。そこで本研究では、当研究所で見いだされた、微生物の影響により土壌溶液中ヨウ素の増減が生じることが示唆された現象について、環境微生物群集評価技術を用いた調査を行った。

1.2 高いセシウム吸着能力を持つ有機態リン酸資材の実用化

土壌中において放射性セシウムは長期的には粘土鉱物に固定されることで移行性が低下することが知られている。一方、短期的には有機物に吸着すると考えられており、吸着能力の高い有機物(塩)は有効な吸着資材となる可能性がある。我々は、平成 26 年度に行われた本自主研究において、土壌蓄積有機態リン酸の主要形態であるフィチン酸(*myo*-inositol hexakisphosphates)の難溶性塩に着目し、カルシウム塩は放射性セシウムをほとんど吸着しないが、アルミニウム塩及び鉄塩は放射性セシウムを特異的に吸着し、弱酸性から中性溶液中で、セシウムの K_d は $1.5\text{E}+5$ 以上であることを明らかにした。平成 27 年度は、アルミニウム塩及び鉄塩の実用化に向けた特性評価を、平成 26 年度に引き続き行い、さらに、土

壌中での分解性の検討に向けた基礎実験を行った。

2. 方法

2.1 土壌中ヨウ素動態に強い影響を及ぼす微生物機能の解明

平成 24 年度に行われた放射性ヨウ素移行パラメータ調査で、表層土壌に添加した無機態ヨウ素が、速やかに有機態ヨウ素に変化する現象が確認された(環境科学技術研究所 2013)。さらに、平成 26 年度に行われた本自主研究において、表層土壌では土壌溶液中の溶存ヨウ素量が多く、また溶存有機態ヨウ素も高い割合で存在することを確認した(環境科学技術研究所 2015)。ヨウ化物イオンからの有機態ヨウ素生成には、微生物による酸化作用の寄与が大きいたことが指摘されてきたが、具体的に寄与の大きな微生物の種類やヨウ化物イオン酸化酵素については、不明であった。そこで本研究では、土壌中におけるヨウ化物イオン酸化酵素の分布評価法をまず開発し、その後、土壌溶液中の溶存ヨウ素量が多く、また溶存有機態ヨウ素が高い割合で存在する土壌を対象として、ヨウ化物イオン酸化酵素の分布と活性を調査し、土壌微生物群集構造解析結果と合わせて溶存有機態ヨウ素の生成に寄与する土壌微生物の種類を調査した。

2.2 高いセシウム吸着能力を持つ有機態リン酸資材の実用化

酸性から弱酸性条件下で高いセシウム吸着能力を示すフィチン酸アルミニウム塩及び鉄塩(環境科学技術研究所 2015)の特性評価として、競合イオン存在条件下における本資材のセシウム吸着能力を評価した。また、実際の環境サンプルとして、土壌溶液を用いた場合における資材のセシウム吸着能力、さらに、土壌鉱物を共存させた場合における資材のセシウム吸着能力を評価した。加えて、資材に吸着した放射性セシウムの安定性を検討するため、放射性セシウムを吸着させた本資材をムラシゲスクグ培地に添加し、無菌条件下及びフィチン酸分解能を有する *Burkholderia* sp. Flap1 接種下でのミヤコグサ(*Lotus japonicus*)による吸収性を試験した。

3. 成果の概要

3.1 土壌中ヨウ素動態に強い影響を及ぼす微生物機能の解明

ヨウ化物イオン酸化酵素の配列特性を評価するため、ヨウ化物イオン酸化酵素をコードする塩基配列を、既存の手法よりも広範に評価可能な手法を開発した (Shiroyama 2015)。得られた情報をもとに、環境中のヨウ化物イオン酸化酵素の分布を評価可能な手法を開発した。本手法を放牧地表面層土壌 (0~50 cm) に適用するとともに、Miseq シークエンサーを用いた 16S rRNA 遺伝子解析による細菌群集構造解析を行った。その結果、特に溶存有機態ヨウ素量が多い最表層土壌において、ヨウ化物イオン酸化酵素活性が高く、ヨウ化物イオン酸化細菌近縁細菌群の相対的存在比率も高く、またヨウ化物イオン酸化酵素と相同性の高い配列も検出された。また、海水やかん水からは *α-proteobacteria* に属する細菌と *γ-proteobacteria* に属する細菌の保有するヨウ化物イオン酸化酵素と相同性の高い配列が検出されたのに反して、土壌からは *α-proteobacteria* に属する細菌の保有するヨウ化物イオン酸化酵素と相同性の高い配列のみが検出された (Fig. 1)。このため、海水やかん水と異なり、土壌では、*α-proteobacteria* に属する細菌の保有するヨウ化物イオン酸化酵素が、土壌中のヨウ化物イオンを酸化し、溶存有機態ヨウ素の生成に寄与することで、溶存ヨウ素濃度が高まることが示唆された。今後、土壌中に存在するヨウ化物イオン酸化酵素の特性や、ヨウ化物イオン酸化細菌の生態に関する理解が進むことで、放射性ヨウ素の挙動に関してより正確な予測が可能となることが期待される。

3.2 高いセシウム吸着能力を持つ有機態リン酸資材の実用化

フィチン酸アルミニウム塩及び鉄塩の吸着特性を評価した結果、土壌溶液中に存在する主要な競合イオンであるカリウム、アンモニウム及びカルシウムイオンの一般的な土壌環境において観測される濃度範囲において、本資材は高い放射性セシウム吸着能力を示した。また、実際に福島や六ヶ所から採取し

た土壌より調整した土壌溶液を用いた場合においても、高い放射性セシウム吸着能力を示した。さらに、粘土鉱物と競合させた場合においても、放射性セシウムは粘土鉱物ではなく資材に吸着した。これらの結果から、大気中から地表に沈着した放射性セシウムは、短期的には一定量が本資材のような有機物に吸着した状態で存在することが示唆された。

さらに、資材に吸着した放射性セシウムの安定性試験では、無菌条件下でミヤコグサによる放射性セシウムの吸収は少なく、フィチン酸分解能を有する *Burkholderia* sp. Flap1 を接種すると、吸収が増加することを確認した。今後、土耕系を用いた栽培試験を行い、土壌中における本資材の安定性について検討したい。

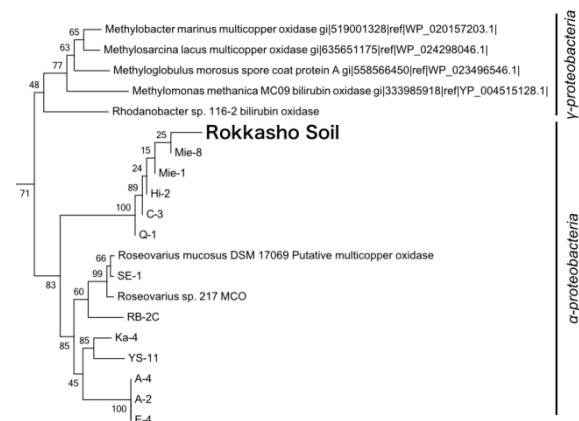


Fig. 1. Phylogenetic tree of IoxA found in iodide - oxidizing bacteria and related proteins in other bacteria.

引用文献

- 環境科学技術研究所 (2013) 平成 24 年度放射性ヨウ素環境移行パラメータ調査報告書. 青森県.
- 環境科学技術研究所 (2015) 平成 26 年度環境科学技術研究所年報.
- Shiroyama, K., Kawasaki, Y., Unno, Y., Amachi, S (2015) A putative multicopper oxidase, IoxA, is involved in iodide oxidation by *Roseovarius* sp. strain A-2. *Biosci Biotechnol Biochem.*, 79(11), 1898-905.