

速報

## 福島県の磁性土壌に対する 放射性セシウム濃度分析

佐々木侑輝，浅木 了，岩田高広，田島靖久，松田達郎，  
宮地義之，中島和夫，糠塚元気，吉田浩司

Reprinted from  
RADIOISOTOPES, Vol.62, No.7  
July 2013



Japan Radioisotope Association  
<http://www.jrias.or.jp/>

## 速 報



## 福島県の磁性土壌に対する放射性セシウム濃度分析

佐々木侑輝, 浅木 了, 岩田高広, 田島靖久\*, 松田達郎\*\*,  
宮地義之, 中島和夫, 糠塚元気, 吉田浩司\*

山形大学理学部

990-8560 山形県山形市小白川町 1-4-12

\*山形大学基盤教育院

990-8560 山形県山形市小白川町 1-4-12

\*\*宮崎大学工学部

889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1

2012年5月16日 受理

福島第一原子力発電所事故後(2011年4月30日)に福島県で採取した土壌に対して、磁石に吸引された土壌成分(磁性成分)とそれ以外の成分(非磁性成分)に分離後、それぞれの成分の放射性セシウム濃度分析を行った。磁性成分の単位重量あたりの放射性セシウム濃度は非磁性成分に比べ高く、その比は最大4倍近くに達した。

Key Words : Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, radioactive fallout, soil, radioactive caesium, magnetic separation

## 1. はじめに

福島第一原子力発電所の事故により放射性セシウム ( $^{134}\text{Cs}$  及び  $^{137}\text{Cs}$ ) や放射性ヨウ素 ( $^{131}\text{I}$ ) など多量の放射性核種が飛散し、福島県を中心として広い範囲の土壌が汚染された。この土壌の除染にはできるだけ簡便で経済的な方法が望ましい。例えば、磁石で砂鉄を吸引するように、汚染土壌を吸引することで、放射性の土壌成分を分離できるならば除染の一助となるだろう。

除染には、放射性セシウムが土壌のどのような成分に吸着されているかを究明することが重要である。土壌中のセシウムはイオン交換によってパーミュキライトなどの層状の粘土鉱物に強く吸着されることが指摘されている<sup>1),2)</sup>。これらの層状粘土鉱物が鉄などの磁性元素を含有しているならば、磁石を用いて吸引することで、放射性セシウムを分離し、放射性廃棄物の分量を減ずる可能性が期待できる。

一方、今回の事故では、使用済み核燃料に含まれるさまざまな核種や、原子力発電所の構造

材を構成する元素も放出されている。その中には磁性を持つ元素も含まれていると考えられる。これらが、放射性セシウムと結合している場合、同じ方法で、除染ができる可能性が残っている。

これらの可能性を探るケーススタディとして、福島県で採取した土壌試料を磁石に吸引される成分(磁性成分)とそれ以外の成分(非磁性成分)とに分けて放射性セシウムの放射能分析を行った。

## 2. 土壌試料

本研究における土壌試料は、2011年4月20日に福島県相馬郡飯館村の山林に面した舗装道路わきの平坦地(図1参照)で採取した土壌層位のA層(上層土)に分類される土壌である。土壌採取地点は、(1)住民の生活圏に比較的近いが、事故後に人の手が入っていない、(2)谷間のような狭隘な地形ではなく、上空を見渡すことができ、放射性降下物が素直に降下したと推定できる、などの条件を考慮して選定した。また、今回の事故で降下した放射性セシウムは、



図1 試料採取地。採取地点は矢印で示されている。

表面からの深度数 cm に集中している<sup>3)</sup>ことが知られているため、表面から深度 1 cm までの土壌を測定対象とした。

### 3. 方 法

土壌試料の一部を乾燥させた後、ネオジウム磁石を用いて磁性成分と非磁性成分に分離した。この結果、磁石に吸引された磁性成分 16.5 g と非磁性成分 49.7 g に分離された。これらの試料に対して、Ge 半導体検出器（キャンベラ社製 7500 SL）を用いて放射性セシウムの量を定量した。<sup>134</sup>Cs の定量には 796 keV、<sup>137</sup>Cs には 662 keV の  $\gamma$  線ピークを用いた。

### 4. 土壌試料の性質

本試料の土壌としての性質を明らかにするため、磁性成分、非磁性成分それぞれに対して(1)窒素・炭素濃度の測定、(2)X線回折(XRD)による分析を行った。

#### 4.1 窒素・炭素濃度の測定

土壌中の有機物量の指標となる窒素濃度、炭素濃度測定を大容量 N.C-ANALYZER SUMI-GRAPH NC-220 F（住化分析センター製）を用いて行った。結果は表 1 に示すように磁性成分の窒素濃度、炭素濃度は非磁性成分に対し 2 倍以上で、磁性成分に有機物が多く含まれている。

#### 4.2 X線回折による分析

磁性成分、非磁性成分に対する X 線回折による分析結果を表 2 に示す。本試料には石英、斜長石、雲母粘土鉱物（黒雲母）、角閃石などが含まれ、この地方に広く分布する花崗岩地質の基盤が風化した土壌であることがうかがえる。磁性成分には、鉄鉱石に由来する成分は観測されなかったが、雲母粘土鉱物、パーミキュライト、角閃石、ギブサイトの割合が非磁性成分に比べて高くなっている。これらの鉱物のうち、雲母粘土鉱物、パーミキュライト、角閃石は鉄、マンガンなどの磁性元素を含む場合もあることが知られている。一方、非磁性成分は主に石英、斜長石から構成されている。

### 5. 放射能測定の結果と考察

放射性セシウムの定量結果を表 3 に示す。磁性成分の放射能は土壌全体の 60% 程度であったが、重量で規格化した放射能濃度では磁性成分は非磁性成分の 4 倍程度に達している。つまり、表層から深さ 1 cm までの土壌を対象にした今回の実測結果に基づけば、全体の土壌重量の 20% 程度の磁性成分に 60% 近い放射性セシウムが集中していることを示している。

土壌中においてセシウムは 1 価の陽イオンと

表 1 土壌試料の窒素・炭素濃度

	窒素濃度 [重量%]	炭素濃度 [重量%]
試料全体	0.03	0.42
磁性成分	0.06	0.91
非磁性成分	0.02	0.35

表2 土壌試料に対する XRD による分析結果。観測された鉱物の石英指数を示す。石英指数は、それぞれの鉱物の最強線ピーク強度を純粋石英試料の最強線である (102) 反射強度で割った値 (%) である。使用した装置は、Rigaku 社製 MiniFlex II (条件: 30 kV, 15 mA)。

	ケイ酸塩粘土鉱物						その他の鉱物	
	ケイ酸	長石	粘土鉱物			沸石	その他	ギブサイト
	石英	斜長石	雲母粘土鉱物	カオリナイト	パーミキュライト	ソーダ沸石	角閃石	ギブサイト
磁性成分	3.1	0.4	1.5	1.3	1.5	0.2	3.3	1.5
非磁性成分	35.8	6.5	0.6	1.1	0.6		0.3	0.5

表3 土壌試料に対する放射性セシウムの放射能測定結果。放射能値, 放射能濃度値に対する誤差はそれぞれ最大 1.4 Bq, 最大 0.06 Bq/g である。表中の試料全体についての値は, 磁性成分, 非磁性成分についての測定値から計算で求めたものである。

$^{134}\text{Cs}(796\text{keV})$

	重量 (g)	放射能(kBq)	放射能比(%)	放射能濃度(Bq/g)	放射能濃度比 (磁性/非磁性)
磁性成分	16.5	0.54	58	33	4.2
非磁性成分	49.7	0.39	42	7.9	---
試料全体	66.2	0.93	100	14	---

$^{137}\text{Cs}(662\text{keV})$

	重量 (g)	放射能(kBq)	放射能比(%)	放射能濃度(Bq/g)	放射能濃度比 (対非磁性)
磁性成分	16.5	0.82	58	50	4.2
非磁性成分	49.7	0.59	42	12	---
試料全体	66.2	1.41	100	21	---

して振る舞い, イオン交換によってパーミキュライトなどの層状の粘土鉱物に強く吸着されることが知られている<sup>1),2)</sup>。また, 本土壌試料の磁性成分には, 雲母粘土鉱物, パーミキュライトなど磁性元素を含むタイプがある粘土鉱物が含まれていた。これらに吸着された放射性セシウムが粘土鉱物と共に磁石によって分離され, 磁性成分の放射能濃度が高くなったと考えられる。

本研究において, 放射性セシウムで汚染された表層土壌に対して全体で 1/4 程度の重量の磁性成分を分離することによって放射能値を半分

以上低減できる可能性が示された。土壌からの完全なセシウムの分離には至らないが, ネオジム磁石で吸引するという簡単な操作で, 放射能を半分ほどに低減できることになる。ただし, この結果は福島県の 1 地点の土壌試料だけを用いたケーススタディにおいて得られたものであり, 全ての汚染土壌に対して同様な効果が得られることを期待することはできない。今後, 更に広い範囲の様々な土壌試料に対して系統的な研究が望まれる。

## 文 献

- 1) 石川奈緒, 内田滋夫, 田上恵子, 放射性セシウムの水田土壌への吸着挙動における粘土鉱物の影響, *RADIOISOTOPES*, **56**, 519-528 (2007)
- 2) Kogure, T., Morimoto, K., Tamura, K., Sato, H. and Yamagishi, A., XRD and HRTEM evidences for fixation of cesium ions in vermiculite clay, *Chem. Lett.*, **41**, 380-382 (2012) (Editor's Choice) doi:10.1246/cl.2012.380
- 3) 塩沢 昌, 田野井慶太郎, 根本圭介, 吉田修一郎, 西田和弘, 橋本 健, 桜井健太, 中西友子, 二瓶直登, 小野勇治, 福島県の水田土壌における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度, *RADIOISOTOPES*, **60**, 323-328 (2011)

## Abstract

Analysis of Radioactivity Concentration of Radioactive Caesium for Magnetically Separated Soils

Yuuki SASAKI, Satoru ASAKI, Takahiro IWATA, Yasuhisa TAJIMA\*, Tatsuro MATSUDA\*\*, Yoshiyuki MIYACHI, Kazuo NAKASHIMA, Genki NUKAZUKA and Hiroshi Y. YOSHIDA\*: Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa, Yamagata-shi, Yamagata Pref. 990-8560, Japan, \*Institute of Arts and Science, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa, Yamagata-shi, Yamagata Pref. 990-8560, Japan, \*\*Faculty of Engineering, University of Miyazaki, 1-1 Gakuen Kibanadai-nishi, Miyazaki-shi, Miyazaki Pref. 889-2192, Japan

*After the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, soil collected in Fukushima Prefecture was separated into magnetic and non-magnetic parts with a magnet. Radioactivity of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  was measured for each part. It was found that the radioactivity per weight of the magnetic part is 4 times as high as that of the non-magnetic part.*

(Received May 16, 2012)