

## 福島第一原子力発電所事故の初期に放出された球状セシウム粒子 Cs-bearing spherical particles emitted from an early stage of the FDNPP accident

足立 光司<sup>1\*</sup>; 梶野 瑞王<sup>1</sup>; 財前 祐二<sup>1</sup>; 五十嵐 康人<sup>1</sup>  
ADACHI, Kouji<sup>1\*</sup>; KAJINO, Mizuo<sup>1</sup>; ZAIZEN, Yuji<sup>1</sup>; IGARASHI, Yasuhito<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> Meteorological Research Institute

We found radioactive Cs-bearing, spherical particles from the filters collected in March 14 and 15, 2011, just after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident, in Tsukuba. These particles mainly consist of Fe and Zn but contain detectable amounts of Cs using a scanning electron microscope (SEM) and energy-dispersive X-ray spectrometer (EDS). They are several micro meter and are hardly water soluble. They are mostly spherical, suggesting they formed through rapid cooling of radioactive materials. These particles were only found in the filters collected on March 14 and 15, 2011, and these filters had many spots of radioactive materials when measured using an imaging plate (IP). To date, we have identified six such Cs-bearing particles in the filter.

The finding of such Cs-bearing spherical particles suggests the following implications; understandings of the accident and health effects for the radioactive materials emitted at the early stage of the accident and estimations of the current and future environmental radioactivity contaminated by the particles.

Reference: Adachi K., Kajino M., Zaizen Y., and Igarashi Y., Emission of spherical cesium-bearing particles from an early stage of the Fukushima nuclear accident, Scientific Reports, 2013, 3, Article number: 2554.

キーワード: セシウム, 電子顕微鏡, エアロゾル, 放射性物質

Keywords: Cesium, electron microscope, aerosol, radioactive material

## 福島県およびその近隣における大気エアロゾル中のCs-137濃度の長期変化 Measurement of Cs-137 in atmospheric aerosols in Fukushima prefecture and the surrounding area

二宮 和彦<sup>1\*</sup>; 張 子見<sup>1</sup>; 大隅 悠史<sup>1</sup>; 松永 静<sup>1</sup>; 柿谷 俊輔<sup>1</sup>; 山口 喜朗<sup>2</sup>; 鶴田 治雄<sup>3</sup>; 渡邊 明<sup>4</sup>; 北 和之<sup>5</sup>; 篠原 厚<sup>1</sup>  
NINOMIYA, Kazuhiko<sup>1\*</sup>; ZHANG, Zijang<sup>1</sup>; OSUMI, Yuji<sup>1</sup>; MATSUNAGA, Shizuka<sup>1</sup>; KAKITANI, Shunsuke<sup>1</sup>; YAM-  
AGUHI, Yoshiaki<sup>2</sup>; TSURUTA, Haruo<sup>3</sup>; WATANABE, Akira<sup>4</sup>; KITA, Kazuyuki<sup>5</sup>; SHINOHARA, Atsushi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 大阪大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 大阪大学 RI センター, <sup>3</sup> 東京大学大学大気海洋研, <sup>4</sup> 福島大学, <sup>5</sup> 茨城大学

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Osaka University, <sup>2</sup>Osaka University Radioisotope Research Center, <sup>3</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, University of Tokyo, <sup>4</sup>Fukushima University, <sup>5</sup>Ibaraki University

東京電力福島第一原子力発電所より放出された、放射性物質の大気中濃度の監視、これら放射性物質の拡散や輸送過程、さらには再浮遊といった現象の解明のために、本研究グループでは2011年4月より、福島県を中心としたエリアで大気エアロゾルの採取を行っている。大気中の放射性セシウム濃度は事故当初と比べ、かなり減少してきているものの、いまだに検出されている。事故より3年が経ち、長期間にわたる大気中の放射性セシウム濃度のデータが蓄積されてきており、これらのデータから季節変動やよりローカルな再浮遊由来と考えられる現象を捉えたので、測定の実状と併せて報告する。

大気試料の採取は、福島県福島市、宮城県丸森町、茨城県日立市において行っている。それぞれハイボリュームエアサンプラーにて石英繊維ろ紙上にエアロゾルを捕集し、事故後すぐは1日、現在は3-4日連続運転し大気試料を採取した。試料は大阪大学 RI 総合センターにて、測定試料として整形し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて<sup>134</sup>Cs および<sup>137</sup>Csを定量した。測定は試料採取場所に応じて、相対効率15-40%の検出器を用いて試料あたり1-3日行っており、典型的な測定条件での1日測定の測定下限はおよそ50 mBq、大気試料の吸引量を3000 m<sup>3</sup>とすると $1.7 \times 10^{-5}$  Bq/m<sup>3</sup>である。

2013年以降、大気中の<sup>137</sup>Cs濃度は、福島市および丸森町においては $10^{-4}$ - $10^{-5}$  Bq/m<sup>3</sup>のオーダーであり、日立市では $10^{-5}$  Bq/m<sup>3</sup>のオーダーであった。福島市および丸森町では、同時に活性炭素ろ紙による気体状の放射性物質の採取を行っているが、有意なカウントは得られなかった。大気中のセシウム濃度は、3地点とも時間とともに緩やかな減少傾向が見られているが、時折前後の期間に採取された試料の10倍以上の高い濃度を示す試料が得られている。またこのような高濃度の試料は、採取地点間で相関が小さいことがわかった。このことは大気中のセシウム濃度の変動に、汚染された土壌のまきあげなどのローカルなイベントが大きく影響していることを示唆している。

キーワード: 大気観測, 大気中浮遊塵, 放射能測定, <sup>137</sup>Cs 濃度

Keywords: Atmospheric observation, Air dust, Radioactivity Measurement, Cs-137 concentration

## 宮城県南部で2年間(2012-2013)に観測されたCs-137の高濃度現象とその発生源推定

### Estimate of possible sources of high Cs-137 in atmospheric aerosols measured in south Miyagi during 2 years (2012-2013)

鶴田 治雄<sup>1\*</sup>; 司馬 薫<sup>1</sup>; 山田 裕子<sup>1</sup>; 草間 優子<sup>1</sup>; 荒井 俊昭<sup>1</sup>; 渡邊 明<sup>2</sup>; 長林 久夫<sup>3</sup>; 北 和之<sup>4</sup>; 篠原 厚<sup>5</sup>; 二宮 和彦<sup>5</sup>; 張 子見<sup>5</sup>; 横山 明彦<sup>6</sup>; 梶野 瑞王<sup>7</sup>; 中島 映至<sup>1</sup>  
TSURUTA, Haruo<sup>1\*</sup>; SHIBA, Kaoru<sup>1</sup>; YAMADA, Hiroko<sup>1</sup>; KUSAMA, Yuko<sup>1</sup>; ARAI, Toshiaki<sup>1</sup>; WATANABE, Akira<sup>2</sup>; NAGABAYASHI, Hisao<sup>3</sup>; KITA, Kazuyuki<sup>4</sup>; SHINOHARA, Atsushi<sup>5</sup>; NINOMIYA, Kazuhiko<sup>5</sup>; ZHANG, Zijian<sup>5</sup>; YOKOYAMA, Akihiko<sup>6</sup>; KAJINO, Mizuo<sup>7</sup>; NAKAJIMA, Teruyuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>2</sup> 福島大学, <sup>3</sup> 日本大学, <sup>4</sup> 茨城大学, <sup>5</sup> 大阪大学, <sup>6</sup> 金沢大学, <sup>7</sup> 気象研究所

<sup>1</sup> AORI, The University of Tokyo, <sup>2</sup> Fukushima University, <sup>3</sup> Nihon University, <sup>4</sup> Ibaraki University, <sup>5</sup> Osaka University, <sup>6</sup> Kanazawa University, <sup>7</sup> Meteorological Research Institute

**1. 目的:** 東京電力福島第一原子力発電所から放出される放射性物質の監視および土壌からの再飛散過程の解明などを目的として、日本地球惑星科学連合放射性物質観測チームは、2011年4月から、福島県を中心として広範な地域で、大気エアロゾル中の放射性物質の観測を開始しており、現在は、宮城県丸森町、福島県の福島市と郡山市、および茨城県日立市の4地点で、観測を継続している。ここでは、原発から北北西約55kmに位置する宮城県丸森町で、原発からの汚染気塊の影響と推測されるCs-137の高濃度現象がしばしば観測されたので、その概要を報告する。

**2. 調査方法:** 測定場所は、宮城県丸森町(丸森町役場)で、2011年12月から測定を開始した。ハイボリュームエアサンプラーで大気エアロゾルを数日間連続採取した試料は、大阪大学に送られてGe検出器で放射性物質が測定された。なお、Cs-134とCs-137だけが測定されたので、半減期が30年と長いCs-137のデータを解析に用いた。解析にあたり、丸森に設置されている気象庁のAMeDAS地点の気象データを用い、また、原発からの大気塊の輸送経路は、境界層乱流の効果を確率密度分布として反映できる、ラグランジュモデルを用いた前方流跡線解析により、48時間後まで追跡した。

#### 3. 結果と考察:

(1) Cs-137濃度は、2011年12月から2012年4月までは $10^{-4}$  Bq m<sup>-3</sup>のレベルだったが、その後次第に減少して2013年後半には $10^{-5}$  Bq m<sup>-3</sup>付近となった。しかし、濃度が一時的に急激に増加する現象が、冬から春先と、それ以外の時期に、しばしば観測された。

(2) 冬から春先にかけてのCs-137濃度の増加は、風速が大きく相対湿度が低く大気が乾燥している時期に観測されたので、その原因は、土壌などからの放射性物質の再飛散であると推測された。

(3) 一方、2012年の9月と11月および2013年の5~8月にかけて、しばしば $10^{-4}$  Bq m<sup>-3</sup>以上の高濃度が観測された。特に2013年8月16-20日に採取された大気エアロゾル中のCs-137濃度は $4.6 \times 10^{-3}$  Bq m<sup>-3</sup>と、測定を開始して以来の最高濃度となった。福島県放射線監視室の公表資料によれば、原発から2.8km北北西の双葉郡郡山局で、8月19日の6-12時と12-18時にダストモニターから回収した集じんろ紙中のCs-137は、各 $7.1 \times 10^{-1}$ 、 $8.7 \times 10^{-1}$  Bq m<sup>-3</sup>と非常に高い濃度を示した。また、東京電力福島第一原子力発電所は、「8月19日の9時半頃に免震重要棟前の連測ダストモニターで放射能高警報が発生しており、9時50分~10時10分にダスト採取した結果、Cs-134とCs-137の濃度が、各 $2.6 \times 10^2$ 、 $5.8 \times 10^2$  Bq m<sup>-3</sup>で放射性Cs濃度の上昇を確認した」とプレス発表した。8月19日の前方流跡線解析によれば、09時と12時に原発を出発した大気塊は、南よりの風で丸森に15時と18時頃に到達していた。これらから、丸森で8月16-20日に観測された高濃度のCs-137は、原発から直接輸送された汚染気塊が到達したためと推測された。

(4) その他の高濃度の時期も、前方流跡線解析によれば、ほとんどの場合、原発から午前中に出発した大気塊が、午後から夕方にかけて丸森に到達していたので、原発からの汚染気塊が直接到達したためと推定された。

(5) このように、Cs-137の濃度は低い、しばしば原発からの直接の影響とみられる高濃度現象が把握されたので、引き続き観測することが必要と思われる。

**謝辞:** 大気を採取してくださった宮城県丸森町役場の方々に深く感謝申し上げます。

キーワード: 大気エアロゾル, 放射性セシウム, 発生源推定, 前方流跡線解析

Keywords: atmospheric aerosols, radiocesium, source estimate, forward trajectory analysis

## つくばにおける福島事故後6ヶ月間の大気中の放射性セシウム担体に関する研究 Study on the carrier of airborne radiocesium collected for six month in Tsukuba after the Fukushima nuclear accident

兼保 直樹<sup>1\*</sup>; 小暮 敏博<sup>2</sup>; 向井 広樹<sup>2</sup>; 大橋 英雄<sup>3</sup>; 鈴木 芙美恵<sup>3</sup>; 赤田 尚史<sup>4</sup>; 奥田 知明<sup>5</sup>; 池盛 文数<sup>6</sup>  
KANEYASU, Naoki<sup>1\*</sup>; KOGURE, Toshihiro<sup>2</sup>; MUKAI, Hiroki<sup>2</sup>; OHASHI, Hideo<sup>3</sup>; SUZUKI, Fumie<sup>3</sup>; AKATA, Naofumi<sup>4</sup>  
; OKUDA, Tomoaki<sup>5</sup>; IKEMORI, Fumikazu<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所, <sup>2</sup> 東京大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 東京海洋大学, <sup>4</sup> 核融合科学研究所, <sup>5</sup> 慶應義塾大学理工学部, <sup>6</sup> 名古屋環境科学調査センター

<sup>1</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, <sup>2</sup>Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>3</sup>Tokyo University of Marine Science and Technology, <sup>4</sup>National Institute for Fusion Science, <sup>5</sup>Faculty of Science and Technology, Keio University, <sup>6</sup>Nagoya City Institute for Environmental Sciences

To obtain the knowledge on the physico-chemical properties of airborne radionuclides, we had been collected size-resolved aerosol in Tsukuba, Japan, since April 28, 2011, although the data obtained do not include the first radioactive plumes that reached to Tsukuba on March 15, 2011. From the initial result, we proposed a hypothesis that the sulfate aerosol was the potential carrier of the <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs that had undergone the middle- to long-range transport from the damaged reactor. We further inferred that re-suspended soil particles that attached radionuclides were not the major airborne radioactive substances from late April to May, 2011 (Kaneyasu et al., 2012).

Nevertheless, there are some issues to be addressed on the nature of airborne radionuclides. Those are, a) until when the sulfate aerosol acted as a carrier of the radiocesium released from the reactor, or the other substances acted as carriers instead, and b) what is the carrier substance when the re-suspension or re-emission of became the dominant source in the airborne radiocesium.

In this study, we address these subjects by analyzing the long-term aerosol samples collected later than those presented in the previous study. The temporal change in the activity size distribution of radiocesium for six month will be discussed. In addition, the carrier substance of radiocesium in the coarse mode size range aerosol is investigated by use of the autoradiograph and scanning electron microscope to the aerosol sample collected in 2011 summer.

キーワード: 放射性セシウム, 粒径分布, 再飛散, 電子顕微鏡, オートラジオグラフ

Keywords: radiocesium, size distribution, re-suspension, electron microscope, autoradiograph



## 土壌および森林からの放射性セシウムの再飛散 Resuspension of radioactive cesium from soil and forest

北 和之<sup>1\*</sup>; 田中 美佐子<sup>1</sup>; 木名瀬 健<sup>1</sup>; 藤澤 遥<sup>1</sup>; 山口 隆亮<sup>1</sup>; 木野 日美子<sup>1</sup>; 出水 宏幸<sup>1</sup>; 五十嵐 康人<sup>2</sup>; 三上 正男<sup>2</sup>; 足立 光司<sup>2</sup>; 吉田 尚弘<sup>3</sup>; 豊田 栄<sup>3</sup>; 山田 桂大<sup>3</sup>; 篠原 厚<sup>4</sup>; 二宮 和彦<sup>4</sup>; 大河内 洋<sup>5</sup>; 石塚 正秀<sup>6</sup>; 川島 洋人<sup>7</sup>; 中井 泉<sup>8</sup>; 阿部 善也<sup>8</sup>; 恩田 裕一<sup>9</sup>

KITA, Kazuyuki<sup>1\*</sup>; TANAKA, Misako<sup>1</sup>; KINASE, Takeshi<sup>1</sup>; FUJISAWA, Haruka<sup>1</sup>; YAMAGUCHI, Ryusuke<sup>1</sup>; KINO, Himiko<sup>1</sup>; DEMIZU, Hiroyuki<sup>1</sup>; IGARASHI, Yasuhito<sup>2</sup>; MIKAMI, Masao<sup>2</sup>; ADACHI, Kouji<sup>2</sup>; YOSHIDA, Naohiro<sup>3</sup>; TOYODA, Sakae<sup>3</sup>; YAMADA, Keita<sup>3</sup>; SHINOHARA, Atsushi<sup>4</sup>; NINOMIYA, Kazuhiko<sup>4</sup>; OKOUCHI, Hiroshi<sup>5</sup>; ISHIZUKA, Masahide<sup>6</sup>; KAWASHIMA, Hiroto<sup>7</sup>; NAKAI, Izumi<sup>8</sup>; ABE, Zenya<sup>8</sup>; ONDA, Yuichi<sup>9</sup>

<sup>1</sup>茨城大学, <sup>2</sup>気象研究所, <sup>3</sup>東京工業大学, <sup>4</sup>大阪大学, <sup>5</sup>早稲田大学, <sup>6</sup>香川大学, <sup>7</sup>秋田県立大学, <sup>8</sup>東京理科大学, <sup>9</sup>筑波大学

<sup>1</sup>Ibaraki University, <sup>2</sup>MRI, <sup>3</sup>TiTech, <sup>4</sup>Osaka Univ., <sup>5</sup>Waseda Univ., <sup>6</sup>Kagawa Univ., <sup>7</sup>Akita Pref. Univ., <sup>8</sup>Tokyo Univ. of Science, <sup>9</sup>Tsukuba Univ

平成 23 年 3 月の東京電力福島第一原子力発電所事故によって、環境中に放出された放射性セシウムなど放射性物質は、土壌、植生、海洋に沈着するとともに、今も様々な形を変えつつ環境中を移動＝移行している。大気による移行は、風によってすばやく広域に輸送・拡散させるという特徴をもつ。放射性セシウムの大気再飛散は、その刊行中の以降において無視できない役割を果たしていると考えられる。

我々のグループでは、福島県川俣町および浪江町といった比較的放射性セシウム沈着量が多い地区で、この再飛散の重要性、再飛散のメカニズムおよび再飛散量を明らかにすべく研究調査を行っている。放射性セシウムが土壌中の粘土鉱物に強く固定されていることから、当初は土壌粒子が風で舞い上がることににより再飛散が引き起こされているのではないかと予想された。しかし、大気放射能濃度の変動が土壌粒子の飛散とは異なることから、そう単純ではないことが明らかになった。ようやく最近、季節により再飛散の担い手もメカニズムも違っていることがわかってきた。浪江町でサンプルされた大気浮遊粒子の粒径別のセシウム 137 の放射能濃度を調べると、福島県で積雪がある 12-2 月 (降雪期)、梅雨入り前の 3-5 月 (春季)、梅雨入り以降の 6-9 月 (夏季) で異なる様相を示すことがわかった。降雪期には粒径 1  $\mu$  m 以下の微小粒子に放射性セシウムが集中し、春季には微小粒子の他に粒径 4  $\mu$  m 以上の粗大粒子にも放射性セシウムが分布し、夏季には粗大粒子に集中していることがわかる。粗大粒子を電子顕微鏡で観察すると、春季は土壌粒子がほとんどを占め、夏季には有機物粒子が主であり起源が異なることがわかった。春季には、比較的乾燥した地表から放射性セシウムを含む土壌粒子が飛散しているのに対し、夏季には森林から植物破片や花粉、孢子などの形で放出される粒子に、放射性セシウムが付着していると思われる。現在、冬季から春季の微小粒子について放射性セシウムの担体を明らかにすること、また季節毎に再飛散量を定量化するための研究を進めている。土壌および森林からの放射性セシウムの再飛散について、最新の結果を講演会時に報告したい。

福島県浪江町津島地区における粒径別鉛直一次元モデルを用いたダスト粒子による放射性物質の再浮遊の推定  
Evaluation of radioactivity resuspension by dust emission using a size-resolved 1-D vertical model in Namie, Fukushima

石塚 正秀<sup>1</sup>; 三上 正男<sup>2\*</sup>; 田中 泰宙<sup>2</sup>; 五十嵐 康人<sup>2</sup>; 北 和之<sup>3</sup>; 山田 豊<sup>4</sup>; 吉田 尚弘<sup>5</sup>; 豊田 栄<sup>5</sup>; 佐藤 志彦<sup>6</sup>; 高橋 嘉夫<sup>7</sup>; 二宮 和彦<sup>8</sup>; 篠原 厚<sup>8</sup>

ISHIZUKA, Masahide<sup>1</sup>; MIKAMI, Masao<sup>2\*</sup>; TANAKA, Yasuhito<sup>2</sup>; IGARASHI, Yasuhito<sup>2</sup>; KITA, Kazuyuki<sup>3</sup>; YAMADA, Yutaka<sup>4</sup>; YOSHIDA, Naohiro<sup>5</sup>; TOYOTA, Sakae<sup>5</sup>; SATO, Yukihiro<sup>6</sup>; TAKAHASHI, Yoshio<sup>7</sup>; NINOMIYA, Kazuhiko<sup>8</sup>; SHINOHARA, Atsushi<sup>8</sup>

<sup>1</sup> 香川大学, <sup>2</sup> 気象研究所, <sup>3</sup> 茨城大学, <sup>4</sup> 理化学研究所, <sup>5</sup> 東京工業大学, <sup>6</sup> 筑波大学, <sup>7</sup> 広島大学, <sup>8</sup> 大阪大学

<sup>1</sup>Kagawa University, <sup>2</sup>Meteorological Research Institute, <sup>3</sup>Ibaraki University, <sup>4</sup>RIKEN, <sup>5</sup>Tokyo Institute of Technology, <sup>6</sup>Tsukuba University, <sup>7</sup>Hiroshima University, <sup>8</sup>Osaka University

2011年3月の福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性核種は、地表面に広範囲に沈着しており、土壌粒子(ダスト粒子)に吸着することで、強風によりダスト粒子と共に二次放出として再浮遊することが危惧されている。筆者らは昨年、ダスト粒子による放射性物質の再浮遊の粒径別鉛直一次元モデルを構築し、土壌粒径分布が粒径別の大気放射能濃度に与える影響が大きいことを明らかにした。しかし、現地土壌は高濃度に汚染されており、様々な仮定を置いていた。本研究では、福島県浪江町津島地区における土壌粒径分布の分析および土壌放射能の測定を行い、現地土壌の地表面条件を明らかにした。また、現地における粒径別大気放射能濃度とモデル推定結果の比較を行い、一次元モデルの適用性およびダスト粒子による放射性物質の再浮遊について検討を行った。

キーワード: 二次放出, 放射性エアロゾル, ダスト, 福島原発事故

Keywords: Secondary emission, Radioactive aerosol, Dust, Fukushima accident

福島第一原子力発電所事故により放出されたヨウ素 131 の大気中動態に関する数値シミュレーション  
Simulation of I-131 in the atmosphere emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

滝川 雅之<sup>1\*</sup>; 鶴田 治雄<sup>2</sup>  
TAKIGAWA, Masayuki<sup>1\*</sup>; TSURUTA, Haruo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>AORI, Univ. of Tokyo

A large amount of radioactive materials was released into the atmosphere after the accident of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FD1NPP). Inhalation of iodine 131 is important for internal exposure, but the observation of iodine is quite limited especially in the early phase of the accident. We have conducted the simulation of radionuclides using a regional chemical transport model for March 2011. Calculated accumulated deposition of iodine 131 and caesium 137 was compared with the estimation using aircraft monitoring by MEXT and DOE (Torii et al., 2013). The model well captured the meridional gradient in the ratio of iodine 131 to caesium 137 around FD1NPP. The ratio of iodine 131 to caesium 137 is larger than 15 in the south of FD1NPP, and relatively small (around 0.7) in the northwest. This result implies that the regional model and the source term estimated by JAEA can generally reproduce eventual releases which cause large depositon over the land in March 2011.

キーワード: 数値モデル, 大気環境

Keywords: numerical simulation, atmospheric environment

## 放射性セシウム降下物量の指標としての地衣類の適用可能性 The applicability of lichens as indicator of radiocaesium fall-out following the Fukushima Daiichi nuclear accident

土肥 輝美<sup>1\*</sup>; 大村 嘉人<sup>2</sup>; 柏谷 博之<sup>1</sup>; 藤原 健壮<sup>1</sup>; 飯島 和毅<sup>1</sup>

DOHI, Terumi<sup>1\*</sup>; OHMURA, Yoshihito<sup>2</sup>; KASHIWADANI, Hiroyuki<sup>1</sup>; FUJIWARA, Kenso<sup>1</sup>; IJIMA, Kazuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構, <sup>2</sup> 国立科学博物館

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency, <sup>2</sup> National Museum of Nature and Science

地衣類は、菌類と藻類の共生体であり、(i) 樹皮や岩上などに着生し、陸上生態系に広く分布する、(ii) 維管束植物のような根を持たず、大気中の水分や浮遊物を直接取り込み保持する、(iii) 年間生長量が少なく寿命は数十年と比較的長い、などの性質を持つ。このような特性から、地衣類は大気圏核実験やチェルノブイリ事故など、長期間にわたり放射性降下物の汚染状況評価に用いられてきた。福島第一原子力発電所事故（以下、「事故」という。）により環境中に放出された放射性セシウムは、長期的に生活圏を含む生態系内を移動すると予想されることから、環境中の動態を把握していくことが必要である。放射性セシウムの土壌沈着量は、風雨等の自然要因等によって時間経過と共に比較的速く減少していくのに対し、地衣類中の放射性セシウムは長期間保持されることが報告されていることから、地衣類を放射性セシウム降下物量の指標として、動態評価に適用できる可能性が考えられる。しかし、我が国では、地衣類の放射性セシウム濃度に関する報告は少なく、地衣類を放射性降下物量の指標に適用した事例は無い。

本研究では、放射性セシウム降下物量の指標への適用可能性を検討するため、広く地衣類中の放射性セシウム濃度を調査し、放射性セシウム降下物量との関係を調べた。

2012年12月より、事故の影響を強く受けた福島県浜通り側を中心に、県内および関東地方で生育する地衣類を採取した。地衣類の種類については、福島第一原子力発電所周辺の低地に広く分布しているウメノキゴケ類に着目した。(1) 地衣類中の放射性セシウム濃度については、付着した樹皮等を除去し、乾燥させた後、CsIシンチレーション検出器およびGe半導体検出器を用いて、<sup>134</sup>Csおよび<sup>137</sup>Cs濃度を測定した。降下物量の目安には、地衣類採取地点における<sup>137</sup>Cs土壌沈着量（2011年6月時点）および空間線量率を用いた。(2) 地衣類の放射性セシウムの保持能力については、地衣類と着生していた樹皮の放射性セシウム濃度を比較することによって評価した。

ウメノキゴケ類の放射性セシウム濃度は、着生樹皮よりも高い傾向が認められた。このことから、ウメノキゴケ類は樹皮よりも高い放射性セシウム保持能力を有すると言える。また、<sup>137</sup>Cs土壌沈着量や空間線量率の高い地点では、ウメノキゴケ類中の放射性セシウム濃度は高く、互いに正の相関を示した。これらの結果から、ウメノキゴケ類が放射性セシウム降下物量の指標として適用できる可能性が示唆された。

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, 地衣類ウメノキゴケ類, 放射性セシウム

Keywords: Fukushima daiichi nuclear accident, Parmelioid lichens, radiocaesium



## 福島森林内におけるリターフォール、樹冠流、林内雨による放射性セシウムの降下量の把握

### Estimation of radioactive cesium translocation by litterfall, stemflow and throughfall in the forest of Fukushima

遠藤 いず貴<sup>1\*</sup>; 大手 信人<sup>1</sup>; 伊勢田 耕平<sup>1</sup>; 廣瀬 農<sup>1</sup>; 小林 奈通子<sup>1</sup>; 田野井 慶太郎<sup>1</sup>

ENDO, Izuki<sup>1\*</sup>; OHTE, Nobuhito<sup>1</sup>; ISEDA, Kohei<sup>1</sup>; HIROSE, Atsushi<sup>1</sup>; KOBAYASHI, Natsuko<sup>1</sup>; TANOI, Keitaro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科

<sup>1</sup> The University of Tokyo

2011年3月11日の地震と津波に起因する福島第一原子力発電所の事故により、周辺の森林域に多量の放射性物質が沈着した。樹冠に補足されたセシウム(Cs)は、さまざまな経路で林床に到達する。本研究は、年間に林床へ移動する放射性Csの量を推定するために、林床に移動するコンポーネントとその量をリターフォールと樹幹流、林内雨の測定をもとに調査した。

福島県伊達市の上小国川上流域の森林内に、落葉広葉樹とアカマツ(*Pinus densiflora*)の混交林に2プロット、スギ(*Cryptomeria japonica*)人工林に1プロットの調査区を設置した。リタートラップを各プロット内に5個ずつ設置し、毎月1度回収した。葉の試料は樹種ごとに分け、それ以外に枝、種子、樹皮に分けた。年間のリターフォール量とCs濃度から林床に降下したCs量を計算した。樹幹流と林内雨は、1-2か月毎に回収し、濾過して懸濁態を取り出した。放射性Cs濃度は、ゲルマニウム半導体検出器と、ヨウ化ナトリウム(タリウム)シンチレーションカウンタによって測定した。放射性Csとして<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csを検出したが、以下には<sup>137</sup>Csの結果のみを示す。

常緑樹のスギの葉やマツの針葉からは、落葉樹に比べ高濃度の<sup>137</sup>Csが検出された。原発事故当時に<sup>137</sup>Csが付着した葉がまだ樹冠に残っていることが考えられる。落葉樹の葉からも<sup>137</sup>Csが検出された。<sup>137</sup>Csが降下してから1年半が経過し、落葉樹は2度目の落葉であるが、葉から<sup>137</sup>Csが検出されたことから、樹体や根から樹体内に取り込まれた<sup>137</sup>Csが葉に転流している可能性がある。<sup>137</sup>Cs降下量は、落葉樹-マツ混交林内に比べスギ人工林内で約3倍多かった。その理由として、スギのリターフォール量が落葉広葉樹に比べ10%ほど多かったことと、葉の<sup>137</sup>Cs濃度が3倍高かったことが考えられる。

樹幹流と林内雨の濃度は大きく変わらなかった。樹幹流量に比べ、林内雨量の方が多かった。降水量が多いときほど林床に移動する<sup>137</sup>Cs量が多かったことから、降雨時に林内雨によって林床に移動する<sup>137</sup>Cs量が多いことが示唆される。年間の<sup>137</sup>Cs濃度は季節によって変動するものの、2012年と2013年で減少する傾向は見られなかった。林外雨の<sup>137</sup>Cs濃度は検出限界以下だったことから、事故から1年半以上が経過しても、葉への付着あるいは葉からの溶脱による樹冠からの<sup>137</sup>Csの供給は制限されておらず、安定した量の<sup>137</sup>Csが樹冠から林床に移動していることが考えられた。

## 森林環境中の放射性セシウムの移行と林床の空間線量率の経時変化 Effect of Radiocesium Transfer on Ambient Dose Rate in Forest Environment

加藤 弘亮<sup>1\*</sup>; 恩田 裕一<sup>1</sup>; ロフレド ニコラ<sup>1</sup>; 久留 景吾<sup>2</sup>; 河守 歩<sup>3</sup>

KATO, Hiroaki<sup>1\*</sup>; ONDA, Yuichi<sup>1</sup>; LOFFREDO, Nicolas<sup>1</sup>; HISADOME, Keigo<sup>2</sup>; KAWAMORI, Ayumi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター, <sup>2</sup> アジア航測株式会社, <sup>3</sup> 筑波大学大学院環境科学研究科

<sup>1</sup>Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Asia Air Survey Co., LTD., <sup>3</sup>Masters Program of Environmental Sciences, University of Tsukuba

We investigated the transfer of canopy-intercepted radiocesium to the forest floor following the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. The cesium-137 (Cs-137) contents of throughfall, stemflow, and litterfall were monitored in two coniferous stands (plantation of Japanese cedar) and a deciduous broad-leaved forest stand (beech with red pine). We also measured an ambient dose rate at different height in the forest by using a survey meter (TCS-172B, Hitachi-Aloka Medical, LTD.) and a portable Ge gamma-ray detector (Detective-DX-100T, Ortec, Ametek, Inc.).

In decreasing order of total Cs-137 deposition from the canopy to forest floor were the mature cedar stand, the young cedar stand, and the broad-leaved forest. The ambient dose rate in forest exhibited height dependency and its vertical distribution varied by forest type and stand age. The ambient dose rate showed an exponential decrease with time for all the forest sites, however the decreasing trend differed depending on the height of dose measurement and forest type. The ambient dose rates at the canopy (approx. 10 m-) decreased earlier than physical attenuation of radiocesium, whereas those at the forest floor varied among three forest stands. These data suggested that an ambient dose rate in forest environment can be variable in spatially and temporally reflecting the transfer of radiocesium from canopy to forest floor.

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, セシウム 137, 森林環境, 樹冠遮断, 移行, 空間線量率

Keywords: Fukushima Daiichi NPP accident, Cesium-137, Forest environment, Canopy interception, Transfer, Ambient dose rate

## 福島第一原発の北西地域における表層土壌の放射能比による3つの区分 Three different structures of radionuclide ratios on the surface soil in the northwestern area from the FDNPP

佐藤 志彦<sup>1\*</sup>; 末木 啓介<sup>1</sup>; 笹 公和<sup>1</sup>; 松中 哲也<sup>1</sup>; 柴山 尚大<sup>1</sup>; 高橋 努<sup>1</sup>; 木下 哲一<sup>2</sup>

SATOU, Yukihiro<sup>1\*</sup>; SUEKI, Keisuke<sup>1</sup>; SASA, Kimikazu<sup>1</sup>; MATSUNAKA, Tetsuya<sup>1</sup>; SHIBAYAMA, Nao<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>; KINOSHITA, Norikazu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学加速器質量分析グループ, <sup>2</sup> 清水建設技術研究所

<sup>1</sup>AMS Group, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Institute of Technology, Shimizu Corporation

福島第一原子力発電所事故によって福島県とその周辺地域では放射性核種による大規模な汚染が発生した。土地の汚染は原発の北西方向に集中していることが、事故初期における文部科学省の航空モニタリングと土壌採取調査の結果から明らかになっている。しかしながら福島第一原発事故では汚染源となった原子炉が3つもあるだけでなく、時期も複数回に及ぶため、地域ごとの汚染時期は空間線量変移等を取り入れたシミュレーションによって、再構築が試みられているものの、全容解明は行われている最中である。一方、文科省の土壌調査の結果から原発の北西方向にある高汚染地域は<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比を用いると2つに分けることが可能である。<sup>110m</sup>Agは核分裂によって生成する核種であり、半減期も約250日と長いため、汚染源の推定のみならず、輸送過程の推定が期待できる。そこで本研究では福島第一原子力発電所の北西方向を行政区とする双葉郡浪江町において40地点余の表層土壌の採取を行い、<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比を用い北西方向の放射性核種による汚染の実態解明を試みた。

本研究で対象とした放射性核種は<sup>137</sup>Cs、<sup>134</sup>Cs、および<sup>110m</sup>Agの3核種で、原子炉が緊急停止した2011年3月11日に壊変補正した。採取土壌の測定結果と文科省による北西方向の公表値を組み合わせると、<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比において3つの地域に分かれた。最も北側に属する地域は<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比が0.02、<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs比が0.92で、範囲も原発から15kmの範囲であり極めて限定的であった。一方、<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比が0.005と0.002の地点はいずれの<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs比も0.98で、これらの地域は原発から北西方向に伸び、それぞれが原発から60km離れた福島市付近まで到達していた。

ORIGENコードを用いた炉内燃料状態のシミュレーション結果によると、3月11日時点で1号機の<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比と<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs比がそれぞれ0.02と0.94で最も北側地域の値におおよそ一致した。一方、<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比が0.005と0.0002を示した地域は<sup>134</sup>Cs/<sup>137</sup>Cs比から2、3号機由来と推定される。しかしながら2、3号機のシミュレーション結果を基にすると<sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比は1/5-1/10程度しか観測されていない。政府事故調査委員会の発表では2、3号機からの放出が始まったのは14日以降である。銀の沸点はセシウムに比べ高く、地震発生から丸3日以上が経過し、1号機が放出した時に比べ炉心の冷却が進み、結果的に沸点が低いセシウムが主として放出されたと考えられる。

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, <sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs比, 表層土壌

Keywords: Fukushima Nuclear Power plant Accident, <sup>110m</sup>Ag/<sup>137</sup>Cs ratio, Surface soil

## 福島第一原子力発電所事故前後における土壌中の $^{129}\text{I}$ と $^{137}\text{Cs}$ の深度分布 Depth profiles of $^{129}\text{I}$ and $^{137}\text{Cs}$ in soil before and after the FDNPP accident

松中 哲也<sup>1\*</sup>; 笹 公和<sup>1</sup>; 末木 啓介<sup>1</sup>; 高橋 努<sup>1</sup>; 松村 万寿美<sup>1</sup>; 佐藤 志彦<sup>1</sup>; 柴山 尚大<sup>1</sup>; 北川 潤一<sup>2</sup>; 木下 哲一<sup>3</sup>; 松崎 浩之<sup>4</sup>

MATSUNAKA, Tetsuya<sup>1\*</sup>; SASA, Kimikazu<sup>1</sup>; SUEKI, Keisuke<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>; MATSUMURA, Masumi<sup>1</sup>; SATOU, Yukihiko<sup>1</sup>; SHIBAYAMA, Nao<sup>1</sup>; KITAGAWA, Jun-ichi<sup>2</sup>; KINOSHITA, Norikazu<sup>3</sup>; MATSUZAKI, Hiroyuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学, <sup>2</sup> 高エネルギー加速器研究機構, <sup>3</sup> 清水建設, <sup>4</sup> 東京大学

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>High Energy Accelerator Research Organization, <sup>3</sup>Shimizu Corporation, <sup>4</sup>The University of Tokyo

Massive nuclear fission products such as radioiodine and radiocesium were deposited on the land surface of Fukushima via radioactive pollution plumes derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. In order to evaluate inventory and penetration of accident-derived  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in the land surface, depth profiles of  $^{129}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$  atomic ratio and  $^{137}\text{Cs}$  in 30-cm-long soil cores before (May 2008) and after (November 2012) the accident were compared at two sites (Iw-2 and Iw-8) on the western area within 10 km from the FDNPP.

Total  $^{129}\text{I}$  inventories in soil core at two sites after the accident were estimated to be  $0.74 - 1.96 \text{ Bq m}^{-2}$ , 14 - 34 times higher than those before the accident ( $53.6 - 57.0 \text{ mBq m}^{-2}$ ). Average  $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$  ratios ( $(1.4 - 6.2) \times 10^{-7}$ ) in soil core after the accident were consistent with the  $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$  ratio of the radioactively-contaminated surface soils in Fukushima ( $1.5 \times 10^{-8} - 7.2 \times 10^{-6}$ , Miyake et al., 2012). We also estimated that total  $^{137}\text{Cs}$  inventories after the accident were  $0.60 - 3.15 \text{ MBq m}^{-2}$ , 280 - 470 times higher than those before the accident ( $2.1 - 6.7 \text{ kBq m}^{-2}$ ). Average  $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$  activity ratios (1.07 - 1.08) in soil core fell within the activity ratio in Unit 1 - 3 (0.94 - 1.08) of the FDNPP calculated by ORIGEN2 code (Nishihara et al., 2012). These results suggested that accurate total inventories of accident-derived  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in soil could be determined by deduction of those backgrounds at almost same site, thus, the FDNPP accident caused  $^{129}\text{I}$  deposition of  $0.69 - 1.90 \text{ Bq m}^{-2}$  and  $^{137}\text{Cs}$  deposition of  $0.59 - 3.14 \text{ MBq m}^{-2}$  on the western area within 10 km from the FDNPP. Moreover, deposited  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  at Iw-2 (4.2 km west from the FDNPP) were respectively, 2.9 and 5.3 times higher than those at Iw-8 (8.4 km west from the FDNPP).

Depth profiles of  $^{129}\text{I}$  concentration,  $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$  atomic ratio and  $^{137}\text{Cs}$  concentration before the accident were essentially declined from upper layer with depth at two sites. On the basis of the highest values in these profiles, background levels were determined to be  $420 \pm 11 \text{ Bq kg}^{-1}$  for  $^{129}\text{I}$ ,  $1.6 \pm 0.1 \times 10^{-8}$  for  $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$  and  $48 \pm 2.5 \text{ Bq kg}^{-1}$  for  $^{137}\text{Cs}$ . After the accident, significant elevated values of  $^{129}\text{I}$  ( $40.2 - 130 \text{ mBq kg}^{-1}$ ),  $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$  ( $(0.9 - 9.3) \times 10^{-6}$ ) and  $^{137}\text{Cs}$  ( $44.6 - 255 \text{ kBq kg}^{-1}$ ) were found in the uppermost layer at the two sites, then these profiles exponentially declined with depth. Approximately 90% of deposited  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  at two sites were absorbed upper  $37.4 - 50.5 \text{ kg m}^{-2}$  (4.1 - 4.3 cm) and upper  $13.3 - 21.3 \text{ kg m}^{-2}$  (1.0 - 3.1 cm) in depth, respectively. In addition, since the relaxation mass depths ( $h_0$ ) of  $^{129}\text{I}$  were  $9.2 - 12.8 \text{ kg m}^{-2}$  greater than those of  $^{137}\text{Cs}$  ( $6.8 - 11.7 \text{ kg m}^{-2}$ ) at two site, radioiodine was considered to penetrate slightly deeper than radiocesium in upper layer of both sites as Kato et al. (2012) found at 40 km northwestern site from the FDNPP. This is not contradicting to increasing tendency of  $^{129}\text{I} / ^{137}\text{Cs}$  activity ratio with depth at both sites. Based on the fact that both  $^{129}\text{I}$  and  $^{129}\text{I} / ^{127}\text{I}$  in soil after the accident declined to a background level under  $84.8 \text{ kg m}^{-2}$  in depth at Iw-2 and under  $133 \text{ kg m}^{-2}$  in depth at Iw-8, about 8 - 9% of accident-derived  $^{129}\text{I}$  were likely to penetrated  $37.4 - 84.8 \text{ kg m}^{-2}$  (4.3 - 8.6 cm) in depth at Iw-2 and  $50.5 - 133 \text{ kg m}^{-2}$  (4.1 - 10.2 cm) in depth at Iw-8.

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, 放射性ヨウ素, 放射性セシウム, 加速器質量分析, ガンマ線測定, 土壌分布  
Keywords: FDNPP accident, Radioiodine, Radiocesium, AMS, Gamma-ray analysis, Soil profile



## 福島第一原発事故により放出された $^{129}\text{I}$ の分布と $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ 比の評価 Distribution of $^{129}\text{I}$ in the environment released from the FDNPP accident and estimation of $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ ratio

笹 公和<sup>1\*</sup>; 松村 万寿美<sup>1</sup>; 末木 啓介<sup>1</sup>; 高橋 努<sup>1</sup>; 松中 哲也<sup>1</sup>; 佐藤 志彦<sup>1</sup>; 柴山 尚大<sup>1</sup>; 木下 哲一<sup>2</sup>; 西原 健司<sup>3</sup>; 松崎 浩之<sup>4</sup>

SASA, Kimikazu<sup>1\*</sup>; MATSUMURA, Masumi<sup>1</sup>; SUEKI, Keisuke<sup>1</sup>; TAKAHASHI, Tsutomu<sup>1</sup>; MATSUNAKA, Tetsuya<sup>1</sup>; SATOU, Yukihiko<sup>1</sup>; SHIBAYAMA, Nao<sup>1</sup>; KINOSHITA, Norikazu<sup>2</sup>; NISHIHARA, Kenji<sup>3</sup>; MATSUZAKI, Hiroyuki<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学, <sup>2</sup> 清水建設, <sup>3</sup> 日本原子力研究開発機構, <sup>4</sup> 東京大学

<sup>1</sup>University of Tsukuba, <sup>2</sup>Shimizu Corp., <sup>3</sup>Japan Atomic Energy Agency, <sup>4</sup>The University of Tokyo

福島第一原発事故により、核分裂生成の放射性核種が大量に放出された。しかし、 $^{131}\text{I}$ の半減期が約8日と短い為に、被ばく線量評価を実施する為の詳細データの入手が既に困難となっている。そこで、半減期約1,570万年の $^{129}\text{I}$ を $^{131}\text{I}$ の輸送及び降下・沈着量の推定に利用することが考えられる。本研究では、福島県内の表層土壌中の $^{129}\text{I}$ を加速器質量分析法(AMS)で測定し、陸域環境での $^{129}\text{I}$ 分布状況と $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ 比の関係を調査した。

本研究では、筑波大学において $^{131}\text{I}$ を測定した表層土壌(表面深さ5 cmまで)について、 $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ 同位体比を東京大学 MALT の加速器質量分析(AMS)装置により測定した(Matsuzaki et al., 2007)。安定ヨウ素である $^{127}\text{I}$ は ICP-MS を用いて測定を行い、 $^{129}\text{I}$ 濃度を算出した。なお、福島第一原発事故前の表層土壌中の $^{129}\text{I}$ 平均濃度は、 $(2.74 \pm 1.35) \times 10^8$  atoms/g となり、これが $^{129}\text{I}$ バックグラウンド値と推定される。福島第一原発事故後における表層土壌中の単位重量当たりの $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ 原子数比は、 $(4.02 \pm 0.81) \times 10^{-2}$  (2011年3月11日換算)となった。事故時の炉内放射能比は ORIGEN2 コードにより推定されており、各炉内の $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ 原子数比の計算結果は、 $3.18 \times 10^{-2}$  (1号機)、 $4.57 \times 10^{-2}$  (2号機)、 $4.81 \times 10^{-2}$  (3号機)である(Nishihara et al., 2012)。本報告では、陸域環境での $^{129}\text{I}$ 分布状況と福島県内の地域ごとの $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ 比の値を示す。また、ORIGEN2 コードによる計算結果と測定結果との比較、及び $^{131}\text{I}$ 沈着量の復元を試みた結果について報告する。

キーワード: 福島第一原発事故, 放射性ヨウ素,  $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ , AMS

Keywords: FDNPP accident, Radioiodine,  $^{131}\text{I}/^{129}\text{I}$ , AMS



## 細粒粘土鉱物に保持された微量セシウムの脱離挙動：セシウム固定に及ぼす粘土粒子凝集の影響

### Desorption behavior of intrinsic cesium in smectite: Effect of aggregation on the cesium fixation in clay particles

福士 圭介<sup>1\*</sup>; 酒井 遥<sup>2</sup>; 糸野 妙子<sup>3</sup>; 田村 明弘<sup>3</sup>; 荒井 章司<sup>3</sup>

FUKUSHI, Keisuke<sup>1\*</sup>; SAKAI, Haruka<sup>2</sup>; ITONO, Taeko<sup>3</sup>; TAMURA, Akihiro<sup>3</sup>; ARAI, Shoji<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学環日本海域環境研究センター, <sup>2</sup> 金沢大学理工学域自然システム学類, <sup>3</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科自然システム学専攻

<sup>1</sup>Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, <sup>2</sup>College of Science and Engineering, Kanazawa University, <sup>3</sup>Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University

The radiocesium from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident is retained at the surface soils around the power plant. The expandable fine grained clay minerals such as smectite and vermiculate are the candidates for the host phases of radiocesium. The sorption mechanism of cesium in the clay minerals is expected to be cation exchange reaction in the interlayer of the clay minerals. Therefore, the retained Cs must be desorbed to the solutions in the presence of high concentrations of major cations. On the other hand, some natural observations after the Fukushima accident have shown that the radiocesium in the contaminated soils or sediments is merely desorbed to the water even in saline solutions (e.g. Aoi et al 2013 JPGU meeting). The purpose of the study is to reproduce the unexpected fixation of cesium in clay minerals from the laboratory experiment by using standard well characterized smectite (Kunipia-F). The desorption behavior of intrinsic trace Cs (10 nmol/g from LA-ICP-MS) in smectite by major cations were systematically examined. The results of the present study showed that the aggregation of smectite by the presence of the divalent cations or high concentration of monovalent cations lead to the fixation of cesium in the clay aggregates.

Keywords: cesium, smectite, desorption, fixation, aggregation

## 化学形態分析に基づく放射性セシウムの移行挙動の評価 Evaluation of the migration of radiocesium based on chemical speciation

田中 万也<sup>1\*</sup>; ファン チャオファイ<sup>2</sup>; 近藤 宏壮<sup>2</sup>; 坂口 綾<sup>2</sup>; 高橋 嘉夫<sup>2</sup>  
TANAKA, Kazuya<sup>1\*</sup>; FAN, Qiaohui<sup>2</sup>; KONDO, Hiroaki<sup>2</sup>; SAKAGUCHI, Aya<sup>2</sup>; TAKAHASHI, Yoshio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 広島大学サステナセンター, <sup>2</sup> 広島大学院理地惑

<sup>1</sup>ISSD, Hiroshima University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Hiroshima University

Chemical form of radiocesium is fundamental information for evaluation of its migration in the environment. After the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident, we analyzed <sup>137</sup>Cs in aerosols, rock, soil, leaves, river suspended sediment and river water collected in Fukushima. Here, we review the migration of radiocesium in the environment based on our up-to-date data.

Many particles with high radioactivity were found in aerosols collected in March, 2011, where 50% to 90% of radiocesium was water-soluble. This means that radiocesium was still present mostly in a water-soluble fraction of aerosols before deposition and just after deposition on the ground. However, it was found that little amount of radiocesium was contained in a soluble fraction in soil and weathered rock samples by leaching experiments with water at various pH conditions. Possibly, such a soluble fraction of radiocesium was strongly fixed on rock and soil particles after dissolution in water (e.g. rainfall) on the ground. At the moment, chemical species of radiocesium would have changed from soluble to insoluble form. This strong fixation of radiocesium in soils can be explained by formation of inner-sphere complex in phyllosilicate minerals of clay minerals, which was confirmed by extended X-ray absorption fine structure (EXAFS) analysis. Field-scale observation reflected well the strong adsorption of radiocesium because most of the radiocesium stayed within 5 cm from the surface in soil layers.

In particular, in river and ocean systems, whether radiocesium is particulate or dissolved form is closely related to uptake by organisms and incorporation into food chain in ecosystems. We have monitored radiocesium concentrations in the Abukuma River system since summer in 2011. Total <sup>137</sup>Cs concentration in river water including both dissolved and particulate fractions decreased drastically from summer to winter in 2011, and then gradually decreased with time except at heavy rainfall events. From the strong fixation of radiocesium on soil particles, it was expected that radiocesium was predominant in particulate matter in river systems. More than 70% of radiocesium was particulate form, where the contribution of silt size (3 ~ 63 μm) fraction was the largest. However, radiocesium in dissolved fraction suggested an increase at estuary. This implies desorption of radiocesium from particulate matter because of an increase in salinity.

We made adsorption experiments to determine distribution coefficient,  $K_d$ , between fluvial sediment and river water, and further desorption experiments to examine the reversibility of adsorption-desorption process.  $K_d$  values determined by adsorption and desorption experiments were consistent, indicating that radiocesium adsorption was a reversible process. In addition, when artificial seawater was used for desorption experiment, the resulting  $K_d$  value was lower than that obtained using river water. This clearly demonstrated the influence of ionic strength on adsorption-desorption process through competition of cesium ions with other ions (e.g.,  $K^+$ ,  $Na^+$  and  $Ca^{2+}$ ), which is consistent with the field observation as noted above. Furthermore, we applied generalized adsorption model (GAM) to predict the distribution of radiocesium between particulate matter and water in the Abukuma River system. As a result, it was demonstrated that GAM can predict the apparent  $K_d$  values calculated from <sup>137</sup>Cs concentrations in fluvial sediment and river water as well as lower  $K_d$  values at estuary.

キーワード: 福島, 放射性セシウム

Keywords: Fukushima, Radiocesium

## 福島原発事故後の様々な土地利用からの土壌侵食による放射性セシウムの流出 Radiocesium wash-off associated with soil erosion from various land uses after the Fukushima Dai-ichi NPP accident

脇山 義史<sup>1\*</sup>; 恩田 裕一<sup>1</sup>; 吉村 和也<sup>2</sup>; 加藤 弘亮<sup>1</sup>

WAKIYAMA, Yoshifumi<sup>1\*</sup>; ONDA, Yuichi<sup>1</sup>; YOSHIMURA, Kazuya<sup>2</sup>; KATO, Hiroaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター, <sup>2</sup> 日本原子力研究開発機構福島技術本部

<sup>1</sup>Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Headquarters of Fukushima Partnership Operations, IAEA

Soil erosion is the initial process which drives radiocesium into the aquatic systems and therefore the quantification of radiocesium wash-off associated with soil erosion is indispensable for mitigating the risks. This study presents two year's observation of soil erosion and radiocesium wash-off to quantify differences in radiocesium behavior in various land uses. Seven runoff plots were established in four landscapes; uncultivated farmland (Farmland A1, Farmland B1), cultivated farmland (Farmland A2, Farmland B2), grassland (Grassland A, Grassland B) and Japanese cedar forest (Forest) in Kawamata town, an area affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. The discharged sediments were collected approximately every two weeks. In laboratories, collected sediments were dried and weighed for calculating soil erosion rates ( $\text{kg m}^{-2}$ ) and served for measurements of radiocesium concentration ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) with HPGe detectors. The erosivity factor of the Universal Soil Loss Equation (R-factor:  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) was calculated based on the data of precipitation. Standardized soil erosion rates ( $\text{kg m}^{-2} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha hr yr}$ ), observed soil erosion rates divided by R-factor, was  $1.8 \times 10^{-4}$  in Farmland A1,  $6.0 \times 10^{-4}$  in Farmland A2,  $1.5 \times 10^{-3}$  in Farmland B1,  $8.3 \times 10^{-4}$  in Farmland B2,  $9.6 \times 10^{-6}$  in Grassland A,  $5.9 \times 10^{-6}$  in Grassland B and  $2.3 \times 10^{-6}$  in Forest. These erosion rates were basically proportional to their vegetation cover of soil surfaces except for cultivated farmlands. Concentrations of Cs-137 in eroded sediments basically depended on the local deposition of Cs-137 and varied enormously with ranging several orders of magnitude in all the landscapes. For the observation period of time decreasing trends in concentrations of Cs-137 in eroded sediments were not obvious. To compare these results with those of Chernobyl, we calculated normalized solid wash-off coefficient ( $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$ ) with dividing the mean total concentration of Cs-137 in sediments by local deposition of Cs-137 (Konoplev et al., 1992). The coefficient was  $4.4 \times 10^{-5}$  in Farmland A1,  $1.3 \times 10^{-5}$  in Farmland A2,  $6.4 \times 10^{-5}$  in Farmland B1,  $1.0 \times 10^{-5}$  in Farmland B2,  $2.2 \times 10^{-5}$  in Grassland A,  $1.0 \times 10^{-5}$  in Grassland B and  $8.2 \times 10^{-5}$  in Forest. High erodibilities and relatively low values of normalized wash-off coefficients in cultivated farmlands can be attributed to the mixing of surface soil by ploughing. These values almost corresponded to those of Chernobyl. It was found that the total solid wash-off coefficient of radiocesium from farmlands is high and for 2 years period of time after the accident reaches 10%. Generally high precipitation in the region and steep slopes promote higher wash-off of radiocesium as compared to the Chernobyl case. Also, normalized wash-off coefficients exhibited relatively less volatility than erodibilities in the landscapes. These results suggest that soil erosion management is crucial for mitigating risks of radiocesium.

キーワード: 土壌侵食, 侵食プロット, Cs-137

Keywords: soil erosion, erosion plot, Cs-137

## 侵食に伴う放射性セシウム移行の経験モデルと沈着量および河川への流出量の将来予測

### The distributed models to predict interannual changes in inventory and discharge of rCs from river basin

近藤 昭彦<sup>1\*</sup>; 恩田 裕一<sup>2</sup>

KONDOH, Akihiko<sup>1\*</sup>; ONDA, Yuichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, <sup>2</sup> 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター

<sup>1</sup>CEReS, Chiba University, <sup>2</sup>CRiED, University of Tsukuba

平成 23 年 3 月に発生した東電福島第一原発の事故により環境中に放出された放射性物質は東日本の広範囲に拡散し、地表面近傍に沈着した。大量の放射性物質が沈着した阿武隈山地は低地の居住地、農耕地以外は大半が森林に被覆されている。放射性物質の移行は山地森林流域における水循環・物質循環とともに生起し、再配分が進行していくと考えられる。今後長期間にわたり放射性物質の分布と時間変化に対するモニタリングが必要であるが、同時に放射性物質の挙動を予測し、放射能対策に役立てる必要がある。本研究では分布型の侵食モデルと、侵食土砂の斜面下方への輸送モデルを構築し、放射性セシウム（ここではセシウム 137 を扱う）の沈着量の長期変化を予測することを目的とする。

分布型モデルの空間分解能は文部科学省から提供を受けた航空機モニタリングによる放射性セシウム沈着量データの分解能に合わせて 25m とした。計算範囲は阿武隈川を含む東電福島第一原発 80km 圏に含まれる 36 の流域の範囲とし、広域侵食量分布を計算し、侵食、運搬に伴う放射性セシウムの沈着量分布の経年変化、河川を通したセシウム輸送量を予測した。

侵食量を予測する USLE (Universal Soil Loss Equation) モデルの各項は、福島県川俣町山木屋地区に設置された USLE プロットにおける観測から導出された土地被覆ごとの USLE 式を使用し、グリッドごとに計算することにより、侵食量分布を求めた。

USLE モデルの入力として使う土地被覆は環境省による自然環境保全基礎調査成果である第 2 回～第 5 回植生調査集約シェープファイルを使用し、25m 分解能のラスターデータに変換して用いた。地形は国土地理院による 10mDEM を 25m 分解能にリサンプリングし、傾斜等の地形パラメータを求めた。植被率は 2011 年の雲補正が施された MODIS/NDVI データ（東京情報大学受信）を用いたが、250m 分解能を 25m 分解能にリサンプリングする際に、土地被覆データを利用して、土地被覆と NDVI 値の対応関係を修正した。

次に地形勾配に沿う侵食土砂の移動を予測する移行モデルを構築し、平成 23(2011) 年から平成 53(2041) 年までの 30 年間の土砂移動に伴うセシウムの沈着量の分布の変化の計算を行った。

分布型 USLE モデルで計算された侵食土砂は落水線に沿って斜面下方に運搬されると仮定し、時間ステップ  $\Delta T$  を 1 年として、グリッドごとに生産された土砂（侵食量）を下流側グリッドに移動させた。その際、 $\Delta T$  の間に下流側に移動する土砂量と侵食土砂量の比として SDR(Sediment Delivery Ratio) を設定した。SDR は最大値が 1 であるが、その値は経験的に決定する必要がある。現状では日本における値は不明であるが、SDR=1 を設定することにより土砂移動の最大値を計算した。

運搬される土砂に含まれるセシウムの濃度は沈着量 (Bq/m<sup>2</sup>) と流出（侵食）土砂のセシウム濃度 (Bq/kg) との比 ( $Sc$ ) を USLE プロットにおける観測により土地利用項目ごとに求め、沈着量に掛けることにより求めた。

斜面を移動する土砂は崩壊が生じない限り、急速に移動することはまれである。しかし、斜面基部、谷底の飽和帯が発生しやすい領域に土砂が到達すると出水時に侵食され、下流に運搬される。そこで、DEM から TPI(地形指数) を求め、飽和帯発生域（流出寄与域）を特定し、この領域に土砂が到達すると一定量が水流によって取り除かれるアルゴリズムとした。今回は河道近傍に到達したセシウムの 100 %が河川に流出するとして計算を行った。現実には河道内における滞留時間を考慮しなければならないため、セシウム流出量の最大値を計算していることになる。

計算の結果、侵食、斜面移動、水系からの運搬を考慮した放射性セシウムの沈着量分布は、放射壊変のみを考慮した沈着量分布と比較すると最大で 10 %程小さくなった。河川からの放射性セシウム流出量に関しては、観測点が流域下流端の岩沼地点にある阿武隈川では初年度の実測値と計算値がどちらも  $10^{13}$ Bq のオーダーで一致した。各河川流域からの放射性セシウム流出量は初期の 1～数年で急激に減少するが、その後は指数関数的に減少した。30 年後でも放射性セシウム流出量は上流に高濃度地域を含む新田川、請戸川では  $10^9$ Bq 程度、流域面積が大きい阿武隈川では  $10^{10}$ Bq 程度の値となった。

本研究結果は経験モデルによる計算結果であり、モデルの精度は観測情報の蓄積とともに再検討していく必要があるが、流出・土砂移動のメカニズムに基づいた経験モデルであるため、放射性セシウム移行の一端を表していると考えられる。

---

MAG38-17

会場:501

時間:5月2日 14:45-15:00

キーワード: USLE, 侵食量, 放射性セシウム, 沈着量変化, 分布型モデル, 福島

Keywords: Universal Soil Loss Equation, erosion rate, radioactive cesium, inventory change, distributed model, FUKUSHIMA



## 2012年6月の豪雨後に阿武隈川等に移行する河川懸濁粒子のCs-134, Cs-137放射能濃度の変動

### Cs-134 and Cs-137 radioactivity of riverine suspended solids in the Abukuma River after the heavy rain in June 2012

長尾 誠也<sup>1\*</sup>; 金森 正樹<sup>2</sup>; 落合 伸也<sup>1</sup>; 富原 聖一<sup>3</sup>; 山本 政儀<sup>1</sup>

NAGAO, Seiya<sup>1\*</sup>; KANAMORI, Masaki<sup>2</sup>; OCHIAI, Shinya<sup>1</sup>; TOMIHARA, Seiichi<sup>3</sup>; YAMAMOTO, Masayoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学環日本海域環境研究センター, <sup>2</sup> 金沢大学大学院自然科学研究科, <sup>3</sup> ふくしま海洋科学館

<sup>1</sup>LLRL, INET, Kanazawa University, <sup>2</sup>Grad. School of NST, Kanazawa University, <sup>3</sup>Environmental Aquarium Aquamarine Fukushima

2011年の東日本大震災の地震・津波の影響により福島第一原子力発電所で全電源喪失の事故が発生し、約15PBqのCs-134とCs-137が環境中に放出された。福島県や栃木県、群馬県の山間部でもCs-134, Cs-137蓄積量が相対的に高い地域が分布している。そのため、短期から長期の環境への影響を考えた場合、沈着した土壌等から河川を経由した放射性物質、特に被爆評価の観点からCs-134とCs-137の移行を検討する必要がある。本研究では、河川流域での放射性セシウム(Cs-134とCs-137)の動態を評価するため、阿武隈川における降雨イベントの影響について、懸濁粒子中のCs-134とCs-137の移行動態を調査した。

フィールド調査は阿武隈川上流(白河市)、中流(本宮市、伊達市)、下流(岩沼市)で2012年6月19-21日の間に実施した。また、宇多川、新田川、夏井川、鮫川においても、6月20日に同様の調査を行った。台風グッチョルは6月20日に日本に上陸し福島県内に77?136 mmの降雨を降らせた。採取した河川水は連続遠心分離法により分離した。分離した懸濁粒子はGe半導体検出器を用いてCs-134とCs-137を計測した。

採取した河川水のCs-134とCs-137放射能濃度は0.091?3.83 Bq/lの範囲を示し、粒子態の割合は平水時の77-89%から100%近くまで増加した。河川水懸濁粒子のCs-137の放射能濃度は、阿武隈川上流の白河でのBq/kgから下流の岩沼でのBq/kgまで徐々に増加した。また、太平洋に流れ込む宇多川では3200 Bq/kg、新田川では42440 Bq/kg、夏井川850 Bq/kg、鮫川で550 Bq/kgと、河川により大きな変動を示した。この変動は、流域の放射性セシウムの沈着量との相関性が認められた。以上の結果より、台風に伴う降雨により粒子に収着した放射性セシウムは、小河川では流域の放射性セシウムの沈着量に応じて変動するが、阿武隈川では上流から下流までに供給される放射性セシウムの含有量が高くなることを示唆している。

キーワード: 河川水, 放射性セシウム, 粒子態, 移行挙動, 降雨

Keywords: river water, radioesium, particulate forms, migration, heavy rain event

## 福島県内の河川における放射性セシウムの移行 Transportation of radiocesium through rivers in Fukushima

谷口 圭輔<sup>1\*</sup>; 吉村 和也<sup>2</sup>; Smith Hugh<sup>3</sup>; Blake Will<sup>4</sup>; 高橋 嘉夫<sup>5</sup>; 坂口 綾<sup>5</sup>; 山本 政儀<sup>6</sup>; 恩田 裕一<sup>1</sup>  
TANIGUCHI, Keisuke<sup>1\*</sup>; YOSHIMURA, Kazuya<sup>2</sup>; SMITH, Hugh<sup>3</sup>; BLAKE, Will<sup>4</sup>; TAKAHASHI, Yoshio<sup>5</sup>; SAKAGUCHI, Aya<sup>5</sup>; YAMAMOTO, Masayoshi<sup>6</sup>; ONDA, Yuichi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター, <sup>2</sup> 日本原子力研究開発機構, <sup>3</sup> University of Liverpool, <sup>4</sup> School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Plymouth University, <sup>5</sup> 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻, <sup>6</sup> 金沢大学環低レベル放射能実験施設

<sup>1</sup> Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, <sup>2</sup> JAEA, <sup>3</sup> University of Liverpool, <sup>4</sup> School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Plymouth University, <sup>5</sup> Department of Earth and Planetary Systems Science, Graduate School of Science, Hiroshima University, <sup>6</sup> Low Level Radioactivity Laboratory, Kanazawa University

福島第一原発事故によって、周辺地域に放射性セシウムなどの放射性核種が拡散された。この放射性セシウムは現在も河川網の中を移動し続けている。本研究では、阿武隈水系と浜通りの二級河川で採集された河川水中および浮遊砂中の放射性セシウム濃度のモニタリング結果を示し、福島県内における放射性セシウムの移行状況を報告する。

放射性セシウムのモニタリングは、阿武隈川およびその支流の口太川上の6地点において、2011年6月より開始された。その後、2012年10月から2013年1月までにさらに24の観測点が追加された。各観測点では、流量と濁度が測定されており、これらのデータをもとに浮遊砂濃度・浮遊砂フラックスが算出される。また、半月から1月ごとに河川水と浮遊砂試料を採取し、ゲルマニウム半導体検出器によりCs-134とCs-137の濃度を測定した。

浮遊砂中および河川水中の放射性セシウム濃度は経時的に減少傾向にあるが、事故後約1年を境にその減少速度は低下していた。

同じ日に採取された試料について、放射性セシウム濃度と流域の平均沈着量を比較すると、両者の間には正の相関がみられる。つまり、各地の放射性セシウム濃度を平均沈着量で正規化することができる。その正規化された放射性セシウム濃度は、Cs-137の場合を例にとると  $[At] = 1.551 \exp(-5.265 t) + 0.069 \exp(-0.266 t)$  という2重指数関数の形で表すことができた。ここで、 $t$ は事故後の経過時間で、単位は年である。

各モニタリング地点における放射性セシウムのフラックスは、流量・濁度のデータと放射性セシウム濃度から算出した。濁度から浮遊砂濃度を算出し、浮遊砂濃度に流量を乗じると浮遊砂のフラックスとなる。これに同時期の浮遊砂サンプルの放射性セシウム濃度を掛けることで、放射性セシウムフラックスを得る。2011年9月の台風15号の出水時に最も多くの放射性セシウムが流出していた。その後、放射性セシウムフラックスは減少傾向にあったが、2013年の2つの台風の際には放射性セシウムフラックスは流量の増加に伴いやや高い値を示した。

浮遊砂と河川水の間における放射性セシウムの分配係数  $K_b$  には、経時変化は認められなかったが、地域ごとの差異は認められた。その原因としては、流域の地質の影響などが考えられる。

キーワード: 放射性セシウム濃度, 浮遊砂

Keywords: Radiocesium concentration, suspended sediment

## 放射性核種の海域移行解析のための河口・沿岸域土砂輸送モデルの開発 A sediment transport model for analyzing the environmental dynamics of radionuclides in estuarine and coastal oceans

内山 雄介<sup>1\*</sup>; 山西 琢文<sup>1</sup>; 津旨 大輔<sup>2</sup>; 宮澤 泰正<sup>3</sup>

UCHIYAMA, Yusuke<sup>1\*</sup>; YAMANISHI, Takafumi<sup>1</sup>; TSUMUNE, Daisuke<sup>2</sup>; MIYAZAWA, Yasumasa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 神戸大学, <sup>2</sup> 電力中央研究所, <sup>3</sup> 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Kobe University, <sup>2</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), <sup>3</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)

福島第一原発（以下 1F と呼称）から漏洩した溶存態の放射性核種に対して、これまで国内外の研究機関等によって多くの海洋分散再解析が行われてきた。著者らのグループも多段ネスティングによる水平解像度 1 km の領域海洋モデルにより、2011 年 3 月 24 日に生じた 1F からの海洋への直接漏洩事故の再解析を行っている（内山ら, 2013, 土木学会論文集; 以下前報）。その結果、2011 年春期の福島県沖陸棚域における流速変動には海上風が大きく関わり、<sup>137</sup>Cs の漏洩開始から 5 月下旬まで陸棚波の影響を強く受けた南北方向の沿岸ジェットが形成され、放射性核種の初期分散パターンに対して強い影響を及ぼしていたことなどを明らかにした。海洋での放射性核種の分散は 1F からの直接漏洩に加えて大気からの降下や河川からの出水などの影響も受けるが、特に後者については懸濁態での移行過程に関する知見が不十分であり、その定量的な予測手法の確立が急務である。大気を経由して陸域に降下した放射性核種の多くは主に土壌表層の粘土画分の粒子に吸着し、降雨等に伴う水文過程によって懸濁態として河川から流出して沿岸域に堆積する。放射性核種は海底においても土粒子に吸着することが知られており、沈降速度のため溶存態と比較して浅海域に滞留しやすく、長期間にわたって沿岸に存在し続け、海洋生態系に対してより大きな影響を与えることが危惧される。したがって、放射性核種の沿岸域での拡散予測やインベントリ解析をより高精度で行うためには、陸域から河口へ至った土砂がどのように沿岸に堆積し、輸送および再懸濁・再輸送されるかを精緻に予測する技術が必要となる。

本研究では、前報で開発した福島沿岸の領域海洋モデルに対して Euler 型の土砂輸送モデルおよび海底堆積モデル (Blaas *et al.*, 2007) を組み込み、さらに多粒径土砂へと拡張することにより、細砂、シルト、泥の 3 成分から構成される土砂の輸送、再懸濁、沈降過程を予測するモデルを開発し、福島沿岸域に適用した結果について報告する。具体的には、前報の東北・北関東沿岸モデルからさらにもう一段階のネスティングを行い宮城・福島・茨城沿岸域モデルを構築し、2011 年 3 月から 8 月を対象とした再解析を行った。すなわち、JCOPE2（水平解像度 1/12 度）を最外側境界条件とし、領域海洋循環モデル ROMS を用いた 3 段階ネスティングにより、JCOPE2 → ROMS-L1（水平解像度約 3 km）→ ROMS-L2（同 1 km）→ ROMS-L3（同 250 m）へと順次ダウンスケーリングを行った。ROMS-L3 では active トレーサとしての土砂 3 成分を考慮し、海底からの再懸濁フラックスに関連する底面せん断応力の推定に対しては底層流れに加えて波浪の影響を考慮した。海底地形は内閣府中央防災会議による解像度 50 m の地形データを、波浪場は気象庁 GPV-CWM 再解析値にネスティングさせたスペクトル波浪推算モデル SWAN による 3 時間平均推算値（水平解像度約 1 km）を、海上風には気象庁 GPV-MSM 再解析値を用いた。海底土砂の初期粒径組成には、宮城県水産試験場および福島県水産試験場による報告値（1991 および 2013）を用い、最適内挿法で空間補間を行った。L3 領域内に存在する 6 本の一級河川、14 本の二級河川の河口における流量は、電中研 HYDREEMS による日平均推定値を与え、流入土砂フラックスは全国平均  $L'-Q'$  式（武川ら, 2013）および浮遊土砂量と流量の相関式（武田, 2001）から土砂の平均断面濃度を求め、流量を乗じた。流砂組成比には JAEA (2013) による USLE 準拠モデルを用いた河口部流砂量の結果をもとに与えた。その他の各種外力・初期・境界条件等に関しては前報と同様のものを使用した。放射性核種としては溶存態放射性セシウム <sup>137</sup>Cs（半減期約 30 年）のみを考慮し、土砂への吸脱着等（すなわち懸濁態 <sup>137</sup>Cs）は一切考慮していない。

講演では 250 m 解像度における溶存態 <sup>137</sup>Cs 分布特性、各河川からの土砂の輸送範囲、荒天時における再懸濁による土砂輸送の発生範囲などに関する解析結果を示し、海況との比較を行うとともに、吸脱着を考慮した場合の懸濁態・溶存態 <sup>137</sup>Cs の分布特性に関する考察などを行う予定である。

キーワード: 粒径別土砂輸送モデル, 放射性セシウム 137, 多段ネスティング, ROMS

Keywords: multi-class sediment transport model, radioactive cesium 137, multiple nesting approach, ROMS (Regional Oceanic Modeling System)



## 航空機モニタリングによる福島沿岸域の放射性核種濃度の分布 Distribution of radionuclides in the surface seawater developed by aerial radiological survey

猪股 弥生<sup>1\*</sup>; 青山 道夫<sup>2</sup>; 廣瀬 勝巳<sup>3</sup>; 眞田 幸尚<sup>4</sup>; 鳥居 建男<sup>4</sup>; 坪野 考樹<sup>5</sup>; 津旨 大輔<sup>5</sup>; 山田 正俊<sup>6</sup>  
INOMATA, Yayoi<sup>1\*</sup>; AOYAMA, Michio<sup>2</sup>; HIROSE, Katsumi<sup>3</sup>; SANADA, Yukihisa<sup>4</sup>; TORII, Tatsuo<sup>4</sup>; TSUBONO, Takaki<sup>5</sup>  
; TSUMUNE, Daisuke<sup>5</sup>; YAMADA, Masatoshi<sup>6</sup>

<sup>1</sup> アジア大気汚染研究センター, <sup>2</sup> 福島大学, <sup>3</sup> 上智大学, <sup>4</sup> 日本原子力開発機構, <sup>5</sup> 電力中央研究所, <sup>6</sup> 弘前大学

<sup>1</sup> Asia Center for Air Pollution Research, <sup>2</sup> Fukushima University, <sup>3</sup> Sophia University, <sup>4</sup> Japan Atomic Energy Agency, <sup>5</sup> Central Research Institute of Electric Power Industry, <sup>6</sup> Hirosaki University

### 【はじめに】

2011年3月11日の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所(FNPP1)の事故により、人工放射性物質が環境中に漏洩した。FNPP1から大気中に放出され、地表面に沈着した放射性物質の濃度分布については、地上や航空機モニタリングにおいて広域に行われている(鳥居ら, 2012)。しかし、FNPP1から海洋へ直接漏洩されたことによる海洋汚染や海洋生態系ひいては人体への健康影響が懸念されているにも関わらず、海洋における放射性核種については、スポット的な濃度が報告されているだけであり、その濃度分布の詳細については把握されていない。本研究では、海洋上空において行われた航空機モニタリングと in-situ で採取された海水中の放射性核種の濃度を比較し、さらに海洋モデルと組み合わせることにより、福島沿岸域における放射性核種の濃度の分布を明らかにすることを目的とした。

### 【航空機観測及びデータ解析方法】

2011年4月18日、米国エネルギー省(USDOE)が福島沿岸域において、大型 NaI 検出器を搭載した米軍機 C-12 で航空機モニタリングを行い、1秒毎に係数率(cps)を計測した。海水採取地点(東京電力モニタリングサイト)に対して半径500mの領域で観測された係数率について、海水中放射性核種(<sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs)の濃度比較を行った。海水中濃度の分布は最適内挿法を用いて調べた。領域海洋モデルについては、Regional Ocean Modeling System(Tsumune et al., 2012)を用いた。

### 【結果と考察】

モニタリングサイトにおける海水中の放射性核種濃度と全係数率(cps)は、高い相関係数(<sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs)の直線で近似できた。FNPP1の南～南東側に高濃度領域が認められ、最大濃度は<sup>131</sup>I 329 Bq/L, <sup>134</sup>Cs 650 Bq/L, <sup>137</sup>Cs 599 Bq/Lに達していた。高濃度域における<sup>131</sup>I/<sup>134</sup>Cs比は、0.6-0.7であった。2011年3月26日に、FNPP1の敷地内の汚染水で観測された<sup>131</sup>I/<sup>134</sup>Cs比は5.7であったこと(Tsumune et al., 2012)から、放射壊変を考慮すると海洋上空で観測された放射性物質の高濃度域は、FNPP1からの直接漏洩に起因するものと考えられた。放射性核種濃度の分布は海洋モデルでも再現できていたが、その濃度は過小評価であった。

福島沿岸域における混合層深度を10mと仮定(Estrat et al., 2012)して見積もった、航空機モニタリング領域における放射性核種の収支は、<sup>131</sup>I 0.8、<sup>134</sup>Cs 1.1、<sup>137</sup>Cs 1.3PB qであった。2011年4月18日までに、FNPP1からの海洋への直接漏洩量は3.4PB q(Tsumune et al., 2013)であることを考えると、4月18日には直接漏洩量の3分の1以上が福島沿岸域にあったことが推定された。

### 【引用文献】

- 鳥居他(2012) 航空機モニタリングによる東日本全域の空間線量率と放射性物質の沈着量調査, 日本原子力学会誌, 12-17.  
Tsumune et al. (2012) Distribution of oceanic <sup>137</sup>Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model. J. Environ. Radioact., 111, 100-108.  
Tsumune et al. (2013) One-year, regional-scale simulation of <sup>137</sup>Cs radioactivity in the ocean following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Biogeosciences, 10, 5601-5617.  
Estournel et al. (2012) Assessment of the amount of Cesium-137 released into the Pacific Ocean after the Fukushima accident and analysis of its dispersion in Japanese coastal waters. J. Geophys. Res. 117. doi:10.1029/2012JC007933.

キーワード: 航空機モニタリング, 海洋, 人工放射能, 空間線量率, 領域海洋モデル, 福島第一原子力発電所

Keywords: Airborne surveys, Ocean, Anthropogenic radionuclide, Gamma-ray peak count, Regional Ocean Modeling System, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

MAG38-22

会場:501

時間:5月2日 16:15-16:30

## 原発事故に対応する緊急システムの試作と海底堆積物中の福島起因放射性セシウムの解析に向けた海洋専門家の取り組み

### Approach taken by oceanography specialists toward building emergency system and analyzing radiocesium in bottom sediment

池田 元美<sup>1\*</sup>

IKEDA, Motoyoshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Hokkaido University

2011年3月11日に起きた地震とそれに伴う原子力発電所事故によって、東日本太平洋沿岸地域は大きな打撃を受け、そこからの復興を目指すと共に、想定される事故に備えることも求められる。万が一であれ、地震などに起因する原発事故が起きた場合に備えて、海洋汚染の拡大を正確に予測しモニタリングを的確に進める体制が必須である。海洋モデルを基盤に緊急対応システムを試作し、原発周辺海域で事故に備える体制の考案を開始した。また海底堆積物中で依然として高い濃度を保っている放射性セシウムのモニタリングとモデリングを進めると共に、海洋学会でシンポジウムを開催し、どのようなプロセスを経て海底堆積物に放射性核種が移行したのか検討してきた。植物プランクトン、動物プランクトンのデトリタス性懸濁粒子、懸濁土砂へ吸着し沈降した分、そして海水から直接吸着した分、さらに河川を経た土砂への吸着を比較検討して、懸濁土砂が鍵を握っていると推定した。

キーワード: 放射性物質, 緊急対応システム, 堆積物

Keywords: radionuclide, emergency system, sediments



## 福島第一原子力発電所事故によって海洋に漏洩したCs-137の海洋中の長期間の挙動 Long-term behavior of Cs-137 activity in the ocean following the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident

津旨 大輔<sup>1\*</sup>; 青山 道夫<sup>2</sup>; 坪野 考樹<sup>1</sup>; 立田 穰<sup>1</sup>; 三角 和弘<sup>1</sup>; 速水 洋<sup>1</sup>; 豊田 康嗣<sup>1</sup>; 吉田 義勝<sup>1</sup>; 植松 光夫<sup>3</sup>  
TSUMUNE, Daisuke<sup>1\*</sup>; AOYAMA, Michio<sup>2</sup>; TSUBONO, Takaki<sup>1</sup>; TATEDA, Yutaka<sup>1</sup>; MISUMI, Kazuhiro<sup>1</sup>; HAYAMI, Hiroshi<sup>1</sup>; TOYODA, Yasushi<sup>1</sup>; YOSHIDA, Yoshikatsu<sup>1</sup>; UEMATSU, Mitsuo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 福島大学, <sup>3</sup> 東京大学

<sup>1</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry, <sup>2</sup>Fukushima University, <sup>3</sup>Tokyo University

A series of accidents at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant following the earthquake and tsunami of 11 March 2011 resulted in the release of radioactive materials to the ocean by two major pathways, direct release from the accident site and atmospheric deposition.

We reconstructed spatiotemporal variability of Cs-137 activity in the ocean by the comparison model simulations and observed data. We employed a regional scale and the North Pacific scale oceanic dispersion models, an atmospheric transport model, a sediment transport model, a dynamic biological compartment model for marine biota and river runoff model to investigate the oceanic contamination.

Direct releases of Cs-137 were estimated for two years and six months after the accident by comparing simulated results and observed activities very close to the site. The estimated total amounts of directly released was  $3.6 \pm 0.7$  PBq. Directly release rate of Cs-137 decreased exponentially with time by the end of December 2012 and then, was almost constant. The daily release rate of Cs-137 was estimated to be  $3.0 \times 10^{10}$  Bq/day by the end of September 2013. The activity of directly released Cs-137 was detectable only in the coastal zone after December 2012. Simulated Cs-137 activities attributable to direct release were in good agreement with observed activities, a result that implies the estimated direct release rate was reasonable, while there is no observed data of Cs-137 activity in the ocean from 11 to 21 March 2011. Observed data of marine biota should reflect the history of Cs-137 activity in this early period. We reconstructed the history of Cs-137 activity in this early period by considering atmospheric deposition, river input, rain water runoff from the 1F NPP site and absorption in sediment. The comparisons between simulated Cs-137 activity of marine biota by a dynamic biological compartment and observed data also suggest that simulated Cs-137 activity attributable to atmospheric deposition was underestimated in this early period. In addition, river runoff model simulations suggest that the river flux of Cs-137 to the ocean was effective to the Cs-137 activity in the ocean in this early period. The sediment transport model simulations suggests that the inventory of Cs-137 in sediment was less than 10% of total released Cs-137. Sediment is not dominant sink of Cs-137 in the ocean.

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, 領域海洋モデル, セシウム 137

Keywords: Fukushima Daiichi NPP accident, Regional Ocean Model System, Cesium 137