

## 福島沖における原子力発電所事故後一年間の放射性物質海洋拡散シミュレーション One-year, regional-scale simulation of radiocaesium-137 radioactivity in the ocean following the Fukushima Daiichi Nucle

津旨 大輔<sup>1\*</sup>, 坪野 考樹<sup>1</sup>, 青山 道夫<sup>2</sup>, 植松 光夫<sup>3</sup>, 三角 和弘<sup>1</sup>, 前田 義明<sup>1</sup>, 吉田 義勝<sup>1</sup>, 速水 洋<sup>1</sup>

Daisuke Tsumune<sup>1\*</sup>, Takaki Tsubono<sup>1</sup>, Michio Aoyama<sup>2</sup>, Mitsuo Uematsu<sup>3</sup>, Kazuhiro Misumi<sup>1</sup>, Yoshiaki Maeda<sup>1</sup>, Yoshikatsu Yoshida<sup>1</sup>, Hiroshi Hayami<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電力中央研究所, <sup>2</sup> 気象研究所, <sup>3</sup> 東京大学大気海洋研究所

<sup>1</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry, <sup>2</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry, <sup>3</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

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. A 1-year, regional-scale simulation of <sup>137</sup>Cs activity in the ocean offshore of Fukushima was carried out, the sources of radioactivity being direct release, atmospheric deposition, and the inflow of <sup>137</sup>Cs deposited on the ocean by atmospheric deposition outside the domain of the model.

The rates of direct release of <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, and <sup>137</sup>Cs were estimated for 1 year after the 1F NPP accident by comparing simulated results and measured activities. The estimated total amount of directly released <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, and <sup>137</sup>Cs by the end of February 2012 were 11.1 PBq, 3.52 PBq, and 3.55 PBq, respectively. Tsumune et al. (2012) previously estimated the total amount to be 3.51 PBq by the end of May 2011. The total amount of directly released <sup>137</sup>Cs activity increased by 0.04 PBq between June 2011 and February 2012. We used an atmospheric transport model with atmospheric release rates to estimate atmospheric deposition onto the ocean.

We analyzed <sup>131</sup>I/<sup>137</sup>Cs activity ratios to investigate the contributions of each source of <sup>137</sup>Cs (Tsumune et al., 2012) and compared simulated results and measured activities. The fact that simulated <sup>137</sup>Cs activities attributable to direct release were in good agreement with measurements suggests that the estimated direct release rates were reasonable. Employment of JCOPE2 instead of HYCOM for nudging improved both the offshore transport result and the reproducibility of <sup>137</sup>Cs activities 30 km offshore. Simulated <sup>137</sup>Cs activities attributable to atmospheric deposition were underestimated relative to observations. The rate of atmospheric deposition onto the ocean was underestimated compared to measurements because of a lack of measurements of deposition itself when atmospheric deposition rates were estimated. Measured <sup>137</sup>Cs activities attributable to atmospheric deposition helped to improve the ability of simulated atmospheric deposition rates to reproduce observations. Simulated <sup>137</sup>Cs activities attributable to inflow of <sup>137</sup>Cs deposited onto the ocean outside the domain of the model were in good agreement with measurements in the open ocean in the model domain after June 2012.

Although the contribution of inflow increased with time and was dominant by the end of February 2012, the activity associated with directly released <sup>137</sup>Cs decreased exponentially with time and was present only in the coastal zone by the end of February 2012.

Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Accident, Regional Ocean Model, Radiocaesium, Release amount, Ocean dilution

## 東電福島第一原発事故後の海水中の放射性セシウムの濃度分布について Horizontal distribution of radiocaesium in the northwestern North Pacific after the accident of TEPCO's Fukushima NPS

青野 辰雄<sup>1\*</sup>, 本多 牧生<sup>2</sup>, 川上 創<sup>2</sup>, 才野 敏郎<sup>2</sup>

Tatsuo Aono<sup>1\*</sup>, Makio Honda<sup>2</sup>, Hajime Kawakami<sup>2</sup>, Toshiro Saino<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人放射線医学総合研究所, <sup>2</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構

<sup>1</sup>National Institute of Radiological Sciences, <sup>2</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

The accident of TEPCO's Fukushima Dai-ich Nuclear Power Station (Fukushima NPS) was caused by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and tsunami on March 11, 2011 and large amount of radioactive material were discharged by the hydrogen explosion and leaked from Fukushima NPSs to the ocean. To investigate the transport of radionuclides to the ocean and their dispersion, we conducted two cruises with the R/V Mirai in the western North Pacific about one and three months after this accident and measured caesium (Cs-134 and Cs-137) in seawater. During two cruises (from 14 April to 5 May and from 27 June to 3 August, 2011), 20-L seawater in the surface and shallow layer (< 200 m) were collected along the cruise track with an underway surface pump and a multiple water-sampling system, analysed by the ammonium phosphomolybdate/Cs compound method and measured by low back ground gamma spectrometry using Ge detectors.

Cs-137 in surface seawater ranged from < 0.002 to 0.284 and <0.001 to 0.561 Bq/kg during April and May and during June and August, respectively. The radiocaesium could not be detected in seawater of the Kuroshio extension current. Samples from stations off Fukushima and off Miyagi had higher Cs-137 (0.11 ~ 0.28 Bq/kg) than those at other stations in April, however, the highest Cs-137 was observed at JKEO (38.5N, 148.25E) and Cs-134 could be detected in the 200 m depth at JKEO and off Fukushima in June. At S1 (30N, 145E), is located in the south of the Kuroshio current, Cs-134 in the 200 m depth was observed in April, that was not detected in June. On the other hand, at K2 (47N, 160E), the activities of Cs-134 and Cs-137 were almost 0.01 Bq kg/kg in the surface seawater, and those of Cs-134 were less than the limit of detection (< 0.002 Bq/L) at the depth of 200 m in both April and June. The obvious variation of these activities were not observed around the observed northern east area. These results suggest that the dispersion of radiocaesium in the marginal area were effected of the atmospheric diffusion and the leakage of contaminated water, and that in open sea were effected of only the atmospheric diffusion after a half year from the accident.

キーワード: 放射性セシウム, 海水, 北太平洋, 東電福島第一原発事故

Keywords: radiocaesium, seawater, North Pacific, The accident of TEPCO's Fukushima NPS

福島第一原子力発電所事故に由来する放射性物質の北太平洋での表層輸送経路および冬季沈み込みについて  
Surface pathway and subduction of Fukushima radioactivity in the North Pacific Ocean in March 2011 - June 2012

青山 道夫<sup>1\*</sup>, 植松 光夫<sup>2</sup>, 浜島 靖典<sup>3</sup>, 津旨 大輔<sup>4</sup>

Michio Aoyama<sup>1\*</sup>, Mitsuo Uematsu<sup>2</sup>, Yasunori Hamajima<sup>3</sup>, Daisuke Tsumune<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 気象研究所, <sup>2</sup> 東京大学大気海洋研究所, <sup>3</sup> 金沢大学低レベル放射能実験施設, <sup>4</sup> (財)電力中央研究所

<sup>1</sup>Meteorological Research Institute, <sup>2</sup>Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>3</sup>LLRL, Kanazawa University, <sup>4</sup>Central Research Institute of Electric Power Industry

<sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs were released to the North Pacific Ocean by two major likely pathways, direct discharge from the Fukushima NPP1 accident site and atmospheric deposition. High density observations of <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs in the surface water were carried out at 322 stations by 17 cruises of cargo ships and several research vessel cruises since March 2011 till March 2012. Main body of radioactive surface plume of which activity was exceed 10 Bq m<sup>-3</sup> had been travelling along 40 oN, and reached International Date Line on March 2012. A feature was that the radioactive plume was confined along 40 oN when the plume reached International Date Line. Although activities of <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs in the surface water decreased rapidly, a maximum of activities of <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs in seawater at about 300 meters depth was observed at 40 oN 165 oE in June 2012. We can say that the observed maximum of <sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs was formed by subduction in winter 2011/2012 because a density of Central Mode Water of 26.3 kg m<sup>-3</sup> corresponded to about 300 meters depth in this region. Water column inventory of <sup>134</sup>Cs from surface to 1000 meters depth was 2710 +- 210 Bq m<sup>-2</sup> in October 2011 at 40 oN 165 oE and 80 % of water column inventory of <sup>134</sup>Cs existed shallower than 200 meters, however only 20 % of water column inventory of <sup>134</sup>Cs was shallower than 200 meters while 80% was deeper than 200 meters in June 2012 due to subduction in winter 2011/2012.

Keywords: Fukushima, radioactivity, plume, subduction, radiocaesium, subduction

## 直接流入由来福島原発放射性セシウムの黒潮続流を超えた亜熱帯域への拡がりの可能性

### Possible southward transport of the directly-discharged Fukushima-derived radiocesium across the Kuroshio Extension

熊本 雄一郎<sup>1\*</sup>, 村田昌彦<sup>1</sup>, 河野健<sup>1</sup>, 青山道夫<sup>2</sup>

Yuichiro Kumamoto<sup>1\*</sup>, MURATA, Akihiko<sup>1</sup>, KAWANO, Takeshi<sup>1</sup>, AOYAMA, Michio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 気象庁気象研究所

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup> Meteorological Research Institute

2011年3月11日の東北沖巨大地震とそれに引き続く大津波によって、福島第一原子力発電所から大量の放射性セシウムが環境へ放出された。発電所から放出された放射性セシウムの多くは、直接流入及び大気粉じんの海洋表面への落下を通じて北太平洋に移行した。高濃度の放射性セシウムを含む汚染水の直接流入による事故直後の海洋汚染は深刻であり、発電所ごく近傍におけるその海水中濃度は事故前よりも1000万倍近く高くなった。また、大気粉じん由来の放射性セシウムは亜寒帯域を中心に北太平洋全域に落下し、表面海水中濃度は事故前よりも1桁以上高くなったことが観測によって確認されている。事故から2年が経過し海水中濃度は希釈によって急速に減少しつつあるが、ごく沿岸域海底堆積物中濃度は依然高く、今後長期間にわたって海洋生態系への影響、さらに人体への健康影響のリスクを評価していく必要がある。一方で、外洋域を含む広範囲な海域において福島原発由来放射性セシウムの存在量およびその動態を把握することは、原発事故によるその総放出量および今後の拡散過程を推定するために必要不可欠である。我々は、2012年1-2月に福島第一原子力発電所から500km以上離れた北西部北太平洋において、海水中の溶存放射性セシウム濃度の鉛直分布を観測したのでその結果を報告する。海水試料採取は、(独)海洋研究開発機構「みらい」研究航海MR11-08において実施された。表面海水及び水深800mまでの海水は、それぞれバケツとニスキン採水器で採取された。各試料量は約20リットルで、すべての試料は船上でろ過し、濃硝酸を添加して酸性とした。陸上の実験室においてAMP法を用いて放射性セシウムを濃縮し、ゲルマニウム半導体検出器でCs-134(半減期2.07年)およびCs-137(半減期30.04年)の濃度を測定した。北海道沖親潮海域(北緯42度10分、東経143度49分)から北緯20度(北緯19度50分、東経149度20分)の亜熱帯域のすべての表面海水において、Cs-134が検出された(0.2~18 Bq/m<sup>3</sup>)。原発事故前の北太平洋表層水中Cs-134濃度は、検出限界以下であった。半減期の短いCs-134が検出されたことは、原発事故のおおよそ1年後、北緯20度以北のすべての観測点において福島第一原子力発電所由来の放射性セシウムが存在していたことを示している。亜寒帯域(おおよそ北緯39度以北)と亜熱帯域(おおよそ北緯35度以南)では、その濃度はそれぞれ4及び1 Bq/m<sup>3</sup>以下と低濃度であったのに対して、両海域に挟まれた混合海域(おおよそ北緯35~39度)の表層水では、相対的に高濃度のCs-134が観測された(8~18 Bq/m<sup>3</sup>)。これは、福島第一原子力発電所が混合海域に相当するおおよそ北緯37.5度に位置しており、汚染水の直接流入によって海洋に放出された放射性セシウムが東向する北太平洋海流によって運ばれてきたものと理解される。亜寒帯(北緯40度05分、東経145度22分)と混合海域(北緯37度25分、東経147度11分)におけるCs-134の鉛直分布をみると、表面水を含む冬季の鉛直混合層(0mから150~200m)ではほぼ均一な分布が確認された。一方、その混合層下層ではCs-134は検出限界以下であった。黒潮続流のすぐ南に位置する亜熱帯の観測点(北緯34度46分、東経148度52分)では、表層混合層中濃度は1 Bq/m<sup>3</sup>以下と低かったのに対して、混合層直下の200、300m層に5~9 Bq/m<sup>3</sup>のCs-134の極大が観測された。この極大層の海水密度( $\sigma\text{-}\theta$ )は25.2~25.4であったが、これは黒潮続流をはさんだ北側の混合海域における冬季の表面海水の密度に相当する。したがって、この黒潮続流すぐ南側の観測点におけるCs-134の極大は、その北側に位置する混合海域の直接流入由来Cs-134が、黒潮続流を超えて亜熱帯域に拡がった結果であると考えられる。さらに、同点では極大層下層の400、600m層においても、わずかではあるが有意にCs-134が検出されている。これらを鉛直一次的な輸送だけで説明することは困難であり、上記の極大と同様に等密度面上の海水混合によって混合海域から輸送されたものと考えられる。発表ではCs-137の測定結果も含めて、その他の観測点の結果についても述べる。

キーワード: 福島第一原子力発電所, 放射性セシウム, 北太平洋

Keywords: Fukushima Dai-ichi nuclear power plants, radiocesium, North Pacific



## 沈降粒子による福島第一原子力発電所事故由来放射性セシウムの海洋内部への輸送 Transport of Fukushima-derived radiocaesium to the ocean interior by sinking particle

本多 牧生<sup>1\*</sup>, 川上創<sup>2</sup>, 長尾誠也<sup>3</sup>, 渡邊修一<sup>4</sup>, 才野敏郎<sup>5</sup>

Makio Honda<sup>1\*</sup>, Kawakami, Hajime<sup>2</sup>, Nagao, Seiya<sup>3</sup>, Watanabe, Shuichi<sup>4</sup>, Saino, Toshiro<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構 地球環境変動領域, <sup>2</sup> 海洋研究開発機構 むつ研究所, <sup>3</sup> 金沢大学 環日本海域環境研究センター, <sup>4</sup> 海洋研究開発機構 むつ研究所, <sup>5</sup> 海洋研究開発機構 地球環境変動領域

<sup>1</sup>Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>Mutsu Institute of Oceanography, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>3</sup>Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, <sup>4</sup>Mutsu Institute of Oceanography, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>5</sup>Research Institute for Global Change, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

2011年3月11日に発生した「2011東北沖地震」とそれによって引き起こされた津波により福島第一原子力発電所(以下FNPP1)が大きく損壊した。その結果、大量の人工放射性核種が自然界に放出された。当時、我々のグループでは西部北太平洋の亜寒帯・亜熱帯循環域の観測地点K2とS1に時系列式セジメントトラップを設置していたためFNPP1の事故前後の沈降粒子を捕集することができた。分析の結果、人工放射性核種である<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csは両観測地点ともに、水深500mには2011年3月下旬、水深4810mには4月上旬には輸送されていたことが判明した。沈降速度は0-500m間で約36m/day、500-4810m間で180m/day以上であると推定された。<sup>137</sup>Cs濃度は0.14-0.25Bq/gであった。この値は2011年4月に収集された表層海水、懸濁粒子、動物プランクトンの濃度よりはるかに高いものであった。K2では2011年6月下旬まで、S1では7月下旬までに沈降してきた<sup>137</sup>Csフラックス総量はそれぞれ0.5Bq/m<sup>2</sup>、1.7Bq/m<sup>2</sup>であった。2011年4月の表層海水の<sup>137</sup>Cs濃度と表層混合層厚から推定された両地点への<sup>137</sup>Cs供給量、さらに海洋内への沈降量が一年間一定であると仮定すると、表層からの<sup>137</sup>Cs除去速度(滞留時間)は0.3-1.5%/year(68-312年)と推定された。これは過去の報告例とほぼ一致するものであった。現在2011年8月-2012年6月に捕集された粒子の分析中であるが、速報として、2012年6月までのK2の4810mの試料分析の結果、<sup>137</sup>Csフラックス、濃度ともに最大は2011年の6月頃に観測され、その後は徐々に低下していった。そしてFNPP1由来の<sup>134</sup>Csは2012年4月まで検出された。<sup>134</sup>Csフラックス総量は2.5Bq/m<sup>2</sup>以上であった。<sup>134</sup>Cs供給量が450Bq/m<sup>2</sup>と仮定すると表層からの<sup>137</sup>Cs除去速度(滞留時間)は0.6%/year以上(180年以下)となり先の推定値と同等のものであった。S1の水深4810mでは<sup>134</sup>Cs濃度最大値はK2より約半年遅い2011年12月に観測された。<sup>134</sup>Cs濃度測定のためには捕集試料が少なかつたため断言できないが、2012年2月まではFNPP1由来の<sup>134</sup>Csが観測された。2012年6-7月にはK2とS1において海底堆積物が採取され現在放射性セシウム測定が実施中である。講演では放射性セシウムの各点への供給量、沈降量、海底堆積物への蓄積量の比較を試みる。

キーワード: 福島第一原子力発電所事故, 人工放射性セシウム, 西部北太平洋, 沈降粒子, セジメントトラップ, 2011東北沖地震

Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Artificial radiocaesium, Western North Pacific, Sinking particle, Sediment trap, 2011 Tohoku-Oki Earthquake

## 西部北太平洋におけるプランクトン群集に含まれる福島由来放射性セシウムの水平分布

### Horizontal distribution of Fukushima-derived radiocesium in zooplankton in the north-western Pacific Ocean

喜多村 稔<sup>1\*</sup>, 熊本雄一郎<sup>1</sup>, 川上創<sup>1</sup>, 藤倉克則<sup>1</sup>, エリック クルーズ<sup>2</sup>

Minoru Kitamura<sup>1\*</sup>, Yuichiro Kumamoto<sup>1</sup>, Hajime Kawakami<sup>1</sup>, Katsunori Fujikura<sup>1</sup>, Eric C. Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> アメリカ海洋大気庁

<sup>1</sup>Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup>NOAA

福島原発由来の放射性核種は大部分が北太平洋に落ちたと考えられているが、海洋生物群集の汚染状況については見が限られている。本研究は、西部北太平洋外洋域の動物プランクトン群集に含まれる放射性セシウムの水平分布を明らかにする。北緯 19 度以北の西部北太平洋において 2012 年 1-2 月（福島原発事故の 10ヶ月後）、動物プランクトン採集を 10 測点、表面海水採取を 12 測点で行った。観測点は亜熱帯域、黒潮-親潮移行域、亜寒帯域にまたがり、最南端の測点（19 °N, 149 °E）は福島原発より 2100km 離れている。

全てのバルク動物プランクトンおよび海水試料から <sup>134</sup>Cs および <sup>137</sup>Cs が検出された。半減期の短い <sup>134</sup>Cs が検出されていることから、福島原発由来の放射性核種は最南端の観測点まで達していたと考えられる。動物プランクトン中の放射性セシウム濃度は、北緯 25 °付近の 2 測点で高い濃度を示し、亜寒帯域の 2 測点で低かった。<sup>137</sup>Cs 平均濃度は、事故前に東北地方沿岸で報告された濃度（0.09-0.4 Bq/kg-dw, Kaeriyama et al., 2008）より 1-2 桁高い。一方、表面海水中の放射性セシウム濃度は、黒潮-親潮移行域で高かった。

このように、動物プランクトン中および表面海水中の放射性セシウムは水平分布様式が異なり、北緯 25 °付近の動物プランクトン群集に認められたホットスポットは後者の分布様式では説明出来ない。これまでに、放射性セシウム濃度は動物の食段階と正の相関があり（Heldal et al. 2003）、クラゲ類・ヤムシ類など肉食者が卓越する群集で高い（Kaeriyama et al. 2008）ことが知られている。そこで、動物プランクトンの群集構造がセシウム濃度に影響しているか否かを検討した。ところが、高次分類群レベル（カイアシ類、オキアミ類、クラゲ類…）の組成、食性別組成、卓越して出現するカイアシ類とオキアミ類の種組成とバルク動物プランクトン群集中の放射性セシウム濃度に関係はみとめられなかった。

最後に、生態系内での放射性セシウムの移行に関して考察する。動物プランクトンの中には能動的な鉛直移動（夜間表層/昼間深層）を行う種があり、これらを介して深層の食物網に放射性セシウムは移行しうる。群集構造解析の結果、カイアシ類においては亜熱帯域で 3-35%、黒潮-親潮移行域および亜寒帯域で 77-88%、オキアミ類においては亜熱帯域で 20-60%、黒潮-親潮移行域および亜寒帯域で 80-100%の出現個体が日周鉛直移動者であった。このような動物プランクトンによる放射性セシウムの鉛直輸送は、亜熱帯域よりも黒潮-親潮移行域・亜寒帯域で多い可能性がある。

キーワード: 北太平洋, 動物プランクトン, 福島原発事故, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs

Keywords: North Pacific ocean, zooplankton, FDNPP accident, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs

## 東日本大震災による原発事故後、海底堆積物に蓄積した放射性セシウム Radiocesium stored in bottom sediments after the nuclear power plant accident due to the M9 earthquake

池田 元美<sup>1\*</sup>, 神田 穰太<sup>2</sup>  
Motoyoshi Ikeda<sup>1\*</sup>, KANDA, Jota<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学, <sup>2</sup> 東京海洋大学

<sup>1</sup>Hokkaido University, <sup>2</sup>Tokyo Univ. of Marine Science and Tech.

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、そこからの復興は始まったばかりである。海水における放射性セシウムの濃度は、2011年の夏までに大幅に低下しているが、海底堆積物については低下が極めて緩慢で、現在も依然として高い濃度を保っている。特に宮城から茨城にかけて、200メートル以浅の海底で濃度が高く、スポット的に特に高濃度の箇所が見ついている。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、海洋学会を中心とした専門家で検討と議論を継続し、本年3月にはシンポジウムで会員に問いかける。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見積もり、いずれも現状を説明できることを示した。実際に起きているプロセスを確定するためには、さらに試料を採取・分析する必要があり、その分析方法と観測計画を提案する。

キーワード: 放射性物質, 大震災, 堆積物

Keywords: radionuclide, earthquake, sediments

## Regional-scale transfer of fallout radiocaesium in river networks impacted by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Regional-scale transfer of fallout radiocaesium in river networks impacted by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

Hugh Smith<sup>1\*</sup>, Will Blake<sup>2</sup>, Yuichi Onda<sup>3</sup>, Kazuya Yoshimura<sup>3</sup>, Yosuke Yamashiki<sup>4</sup>, Yuki Matsuura<sup>5</sup>  
Hugh Smith<sup>1\*</sup>, Will Blake<sup>2</sup>, Yuichi Onda<sup>3</sup>, Kazuya Yoshimura<sup>3</sup>, Yosuke Yamashiki<sup>4</sup>, Yuki Matsuura<sup>5</sup>

<sup>1</sup>University of Liverpool, UK, <sup>2</sup>University of Plymouth, UK, <sup>3</sup>University of Tsukuba, <sup>4</sup>Kyoto University, <sup>5</sup>Yachiyo Engineering Co.

<sup>1</sup>University of Liverpool, UK, <sup>2</sup>University of Plymouth, UK, <sup>3</sup>University of Tsukuba, <sup>4</sup>Kyoto University, <sup>5</sup>Yachiyo Engineering Co.

The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident which followed the magnitude 9.0 earthquake and tsunami on 11 March 2011 resulted in the release of Cs-134 and Cs-137 into the surrounding environment, where highly elevated levels are reported. As a result, there is considerable concern about the redistribution of these radioactive contaminants from the atmosphere to vegetation, soil and aquatic systems. This study reports on the magnitude of fluvial transfer of Cs-134 and Cs-137 through river networks located across the fallout region. Initially six nested river monitoring stations were established within the Abukuma River basin from June 2011. Subsequently, an additional 24 stations were established between October and December 2012, which included a further 12 stations within the Abukuma basin and another 12 sites monitoring the smaller coastal catchments north and south of the power plant. Combined, these 30 sites provide a regional-scale measure of fallout radiocaesium transfer by river networks. The catchment areas range from 8 to 5,172 km<sup>2</sup> and span a large range in average catchment inventories of Cs-134 (16-2030 kBq/m<sup>2</sup>) and Cs-137 (19-2380 kBq/m<sup>2</sup>) based on MEXT inventory mapping. Flow and turbidity (converted to suspended sediment concentration) were measured at each station while bulk suspended sediment samples were collected at regular intervals using time-integrated samplers to allow measurement of Cs-134 and Cs-137 activity concentrations by gamma spectrometry. Preliminary monitoring data will be presented that shows highly elevated but generally declining activity concentrations of Cs-134 and Cs-137 on suspended sediment and provides a measure of the regional-scale variability in fluvial radiocaesium fluxes. While most radiocaesium is likely to remain in the soil profile, fluvial redistribution may contaminate downstream floodplains that were subject to low fallout and deliver significant quantities of highly contaminated fine sediment to the coastal zone.

キーワード: Fukushima, Radiocaesium, Sediment, Rivers, Contamination

Keywords: Fukushima, Radiocaesium, Sediment, Rivers, Contamination



## 福島県川俣町の試験水田における放射性セシウムのフラックスと流出特性の観測 Observation of flux and outflow-property of radioactive cesium in paddy field; A case study in Kawamata city, Fukushima.

吉村 和也<sup>1\*</sup>, 恩田 裕一<sup>1</sup>

Kazuya Yoshimura<sup>1\*</sup>, Yuichi Onda<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>1</sup>Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba

福島第一原子力発電所の事故に由来する、陸上に沈着した放射性セシウムの動態は、今後の土地利用、水系への移行・汚染に大きく関わる。福島県は有数の穀倉地帯であるが、水田における放射性セシウムの分布状況、除染に関する知見と効果、水田からの流出特性について、十分な知見が得られていないのが実情である。水田からの土壌・放射性セシウムの流出には、水管理や耕作スケジュール（灌漑期/非灌漑期）、放射性セシウム沈着量といった、様々な要因が寄与する。また、水田を介した放射性セシウムの動態において、取水時の流入も重要な要素である。そこで本研究では、川俣町山木屋地区の計画的避難区域に試験水田を設置し、灌漑期から非灌漑期を通じた放射性セシウムの流入・流出を評価した。併せて、浮遊土砂中の放射性セシウム濃度と沈着量の関係を解析した。

観測は通常の耕作をおこなった水田（通常水田、510m<sup>2</sup>）と、代かき前に表層土を5-10cm剥ぎ取った水田（除染水田、731m<sup>2</sup>）の2面を対象に実施した。放射性セシウムの初期濃度蓄積量を確認するため、土壌コア（14cm深）を各水田で12か所ずつ採取した。水田に流入・流出する水量はパーシャルフリウムと水位計（Trutrack社製）により、流入・流出水中の土砂濃度は、濁度計（ANALITE turbidity probe, MacVan Instruments製）によりモニターした。また期間積算浮遊土砂サンプラーにより、流入・流出水中の浮遊土砂を捕集した。データと捕集した浮遊土砂は、1~2週間おきに回収した。土壌コア、及び浮遊土砂試料は乾燥後、乳鉢で均一化し、ゲルマニウム半導体検出器で放射性セシウム濃度を測定した。またレーザー回折式粒度分布測定装置（SALD-3100、島津製作所製）により、試料の粒度分布を測定した。

通常水田、除染水田における総降雨量と土砂流出量の関係を、灌漑期、非灌漑期それぞれについて解析した結果、いずれも総降雨量と有意な相関を示した。総降雨量とセシウム<sup>137</sup>流出量との間にも有意な相関が確認された。以上の結果から、水田からの土壌、および放射性セシウムの流出量は、灌漑期と非灌漑期に分けることで総降雨量から推定することが可能であることが示された。非灌漑期の相関式の傾きは、両水田で灌漑期より高い値となり、非灌漑期では降雨に伴う流出が生じやすいことが確認された。セシウム<sup>137</sup>の流出量は、流入量を上回った。灌漑水の水源（集水域）における沈着量や、水管理についても評価することが重要であるが、水田における放射性セシウムの環境半減期は、壊変による半減期よりも早くなる可能性がある。浮遊土砂試料のCs-<sup>137</sup>濃度と沈着量の間には相関関係がみられ、土壌沈着量から流出土砂中の放射性セシウム濃度を推定する有用性が示唆された。

キーワード: 福島県, 水田, 放射性セシウム, 土砂, フラックス, 沈着量

Keywords: Fukushima prefecture, Paddy field, Radioactive cesium, Soil, Flux, Inventory

## 福島県飯館村比叡地区ため池堆積物に保持された放射性Csの特徴

### Characteristics of radioactive Cs in the sediment from the storage reservoir in Iitate village, Fukushima prefecture

青井 裕介<sup>1\*</sup>, 福土 圭介<sup>2</sup>, 北台 紀夫<sup>2</sup>, 糸野 妙子<sup>1</sup>, 柏谷 健二<sup>2</sup>, 山田 裕久<sup>3</sup>, 八田 珠郎<sup>4</sup>, 万福 裕造<sup>4</sup>

Yusuke Aoi<sup>1\*</sup>, Keisuke Fukushi<sup>2</sup>, Norio Kitadai<sup>2</sup>, Taeko Itono<sup>1</sup>, Kenji Kashiwaya<sup>2</sup>, Hirohisa Yamada<sup>3</sup>, Tamao Hatta<sup>4</sup>, Yuzo Manpuku<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 金沢大学自然科学研究科, <sup>2</sup> 金沢大学環日本海域環境研究センター, <sup>3</sup> 物質材料研究機構, <sup>4</sup> 国際農林水産業研究センター  
<sup>1</sup>Graduate School of Natural Science & Technology, Kanazawa University, <sup>2</sup>Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, <sup>3</sup>National Institute for Materials Science, <sup>4</sup>Japan International Research Center for Agricultural Sciences

福島県飯館村のため池底土に収着された放射性Csの特徴が詳細に検討された。ため池のコアを採取し深さごとの含水率、放射性Cs濃度、鉱物組成、密度を測定し、放射能が高い部分の粘土鉱物の同定と放射能を測定した。放出された放射性Csは鉱物中に強固に保持され、天然環境中では溶出せず、放射性Csの移行は鉱物の移動によってのみ起こることが示唆される。深さごとの放射性Cs濃度では、表層から9cmまでセシウム137濃度が20-30Bq/gの高い堆積物が存在しており、それ以深では急激に濃度が減少している様子が示された。Mass Depthによるコア深度の規格化を行い、セシウム137濃度と密度を比較すると、ため池堆積物のコアの放射性Cs濃度は一定の周期をもち、密度と逆相関をもつことが示された。この要因として降水量によるため池への供給土壌の含有物の変化が示唆される。降水量が増加すると放射性Csに対する収着能力が低く、密度の高い鉱物が流入するため、ため池程度の密度が上昇し、放射性Cs濃度が減少するというプロセスが起こっていることが考えられる。また放射性Cs濃度に周期性がみられ、密度や降水量と相互関係をもつことから、このため池底土の放射性Cs分布は生物攪拌や擾乱によるものではなく、堆積によるものであることを支持するといえる。以上のことから、ため池は汚染土壌が降雨などにより流出する際に、それらの一部を集積するシンクとしての機能をもつということがいえる。

キーワード: 放射性セシウム, 福島第一原子力発電所, 粘土鉱物, ため池堆積物

Keywords: radioactive Cs, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, clay minerals, storage reservoir sediment

## 阿武隈川における放射性セシウムの移行に及ぼす降雨の影響評価

### Effects of rain events on transport of radiocesium in the Abukuma River during 2011-2012

長尾 誠也<sup>1\*</sup>, 金森正樹<sup>2</sup>, 落合伸也<sup>1</sup>, 桐島陽<sup>3</sup>, 山本政儀<sup>1</sup>

Seiya Nagao<sup>1\*</sup>, KANAMORI, Masaki<sup>2</sup>, OCHIAI, Shinya<sup>1</sup>, KIRISHIMA, Akira<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> 東北大学多元物質科学研究所

<sup>1</sup>LLRL, INET, Kanazawa University, <sup>2</sup>Grad. School of NST, Kanazawa University, <sup>3</sup>IMRAM, Tohoku University

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。福島県とともに栃木県・群馬県の間山部でも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經由した放射性物質、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。台風グッチョルは6月20日に日本に上陸し福島県内に77-136mmの降雨を降らせた。採取した河川水は遠心分離と濾過により分離した。濾過した河川水中のCs-134とCs-137は、リンモリブデン酸アンモニウム沈殿法により分離した後、Ge半導体検出器を用いた線測定により分析した。分離した懸濁粒子も同様にGe半導体検出器を用いてCs-134とCs-137を計測した。

2012年4月18日と6月19日の平水時に採取した河川水のCs-134とCs-137放射能濃度は0.016-0.27Bq/lの範囲を示したが、6月の台風グッチョルに伴う降雨後に採取した河川水は最大で3.83Bq/lまで増加した。粒子態の割合は、平水時の77-89%から100%近くまで増加した。これらの変動は、各観測点での水位変動との関連性が認められた。つまり、台風に伴う降雨により粒子態の放射性セシウムがパルス的に陸域から海洋へ放出され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, 溶存形態, 粒子態, 移行挙動, 降雨

Keywords: river water, radiocesium, dissolved forms, particulate forms, migration behavior, rain events

## 福島第一原発事故により放出された放射性セシウムの阿武隈水系での挙動 The behaviour of radio-Cs in the Abukuma riverine system emitted from the FDNPP

坂口 綾<sup>1\*</sup>, 岩谷北斗<sup>1</sup>, 田中 万也<sup>2</sup>, 値賀晴香<sup>1</sup>, 範橋輝<sup>1</sup>, 門倉彰伸<sup>1</sup>, 高橋 嘉夫<sup>1</sup>

Aya Sakaguchi<sup>1\*</sup>, Hokuto Iwatani<sup>1</sup>, Kazuya Tanaka<sup>2</sup>, Haruka chiga<sup>1</sup>, Qiaohui Fan<sup>1</sup>, Akinobu Kadokura<sup>1</sup>, Yoshio Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 広島大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 広島大学サステナセンター

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

As a consequence of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident, a huge amount of radio-Cs was discharged into the environment. Especially for the Abukuma riverine system, which is the largest river in the Tohoku-area and can be a dominant water resource of this region, the watershed of this river has been seriously contaminated. To observe the fate/behaviour of radio-Cs in this region, we analysed Cs-137 in aerosol, soil, river suspended solid and sediments and water samples. In addition to the analyses of Cs-137 in natural samples, the adsorption/desorption experiments were conducted for analogous to natural system.

From the observations of riverine samples in the period from June/2011 to Dec./2012, it was found that Cs-137 dominantly existed in particle fraction rather than dissolved fraction. This is the opposite result of the situation of Ukraine in one to two years after the Chernobyl accident, and might be due to the differences of the content of organic matter in soil between Japan and Ukraine. This possibility is supported by our results of adsorption/desorption experiments of Cs and humic-acid on clay minerals. The concentration of Cs-137 in particulate fraction (Bq/L) in river water was decreased with date. However, the concentration in a suspended solid (Bq/g) was not decreased. So, it can be said the decrease of the concentration for Cs-137 (Bq/L) is apparent one rather than decontamination of river water. The concentration of dissolved Cs-137 (Bq/L), in Dec./2012, is one to two order of magnitude smaller than that in June/2011. This result suggested that the more soluble fraction was leached immediately after the accident, and a small amount of Cs-137 has been leached from soil steadily. Actually, we recognise the existence of Cs with some chemical species from the results of long term leaching-experiment of surface soil and aerosol. The difference of chemical species can show the specific leaching/desorption behaviour of Cs in the environment.

Using our results for riverine system and flow rate of Abukuma river, the amount of drained off Cs-137 from the river to the ocean was estimated as 13 TBq in the last two years. By the result of long term leaching-experiment of surface soil with seawater, it is estimated that about 20% of discharged Cs-137 to the ocean would be leached in the sea water.

キーワード: 福島第一原発, 放射性セシウム, 阿武隈水系

Keywords: FDNPP, Cs-137, Abukuma Riverine system

## 川俣町山木屋地区における放射性セシウムの移行状況集中モニタリング Transfer of fallout radiocesium in various terrestrial environment in Yamakiya district, Kawamata Town

恩田 裕一<sup>1\*</sup>, 加藤 弘亮<sup>1</sup>, 吉村 和也<sup>1</sup>, 安部 豊<sup>1</sup>, ジェレミー パティン<sup>1</sup>, 辻村 真貴<sup>2</sup>, 田村 憲司<sup>2</sup>  
Yuichi Onda<sup>1\*</sup>, Hiroaki Kato<sup>1</sup>, Kazuya Yoshimura<sup>1</sup>, Yutaka Abe<sup>1</sup>, Jeremy Patin<sup>1</sup>, Maki Tsujimura<sup>2</sup>, Kenji Tamura<sup>2</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> 筑波大学生命環境系

<sup>1</sup>Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, <sup>2</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

福島原発事故により地表に降下した放射性物質は、その後、土壌や河川等を通じて拡散することが予想される。そこで、様々な土地利用の地域における放射性物質の存在量・移動量の測定、森林を含む多様な土地利用からの放射性物質の再飛散量の測定を大学共同グループとして2011年7月以来行っている(FMWSE <http://fmwse.suiri.tsukuba.ac.jp/>)。調査内容は、森林から野放射性物質の移行、水の移動に伴う、放射性物質の土壌水・地下水・渓流水・河川水への移行調査と、様々な土地利用での土壌区画からの土砂および放射性物質の河川への移行モニタリングを行った。

調査地域は、阿武隈川水系口太川上流域の川俣町山木屋地区である。調査対象地のCs-137の沈着量は300~600 kBq/m<sup>2</sup>である。畑地、採草地、牧草地、およびスギ林を含む5カ所の傾斜地と試験水田を選定し、区画内からの土砂・放射性核種の流出量の観測を行った。また、口太川は、山木屋地区からの水・土砂の流出口となっており、阿武隈川に流下するため、その影響調査が重要であると考えられる。そこで、河川調査においては、口太川流域に合計4カ所および、阿武隈川本川に2カ所の調査地点を設けた。また、口太川流域内の2カ所に地下水観測用の井戸を設置した。さらに、阿武隈川本川の貯水池(蓬萊ダム)を調査対象とした。

調査対象地域に降下した放射性核種は、下方移動はあまり見られないが、森林では、降雨やリターによって林床に移行し、リターから下層土へ移行してていることがわかった。また、流域内の土壌に吸着された放射性セシウムは、調査区画調査より、主に土砂とともに移動し、河川を流下することがわかった。また土地被覆状況と勾配等と放射性核種輸送率には関連が見られた。これらのデータを用いて放射性物質の陸域からのモデル化を行っていききたい。

キーワード: 放射性核種, 移行, 土壌侵食, 森林, Cs-137

Keywords: Radionuclides, Transfer, Soil Erosion, Forest, Cs-137



## 森林環境中の福島第一原子力発電所由来の放射性セシウムの移行状況 Transfer of the Fukushima reactor accident-derived radionuclides in forest environments

加藤 弘亮<sup>1\*</sup>, 恩田裕一<sup>1</sup>, 河守歩<sup>1</sup>, 久留景吾<sup>2</sup>  
Hiroaki Kato<sup>1\*</sup>, Yuichi Onda<sup>1</sup>, Ayumi Kawamori<sup>1</sup>, Keigo Hisadome<sup>2</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>1</sup>Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, <sup>2</sup>Asia Air Survey Co., LTD.

The Fukushima Daiichi nuclear power plant accident resulted in extensive radioactive contamination of the forest environment in Fukushima and the neighboring prefectures. In this study, we analyzed radiocesium concentrations in rainwater, throughfall, stemflow, and litterfall to characterize the transfer of the deposited radiocesium in various forest stands (evergreen conifers and broad-leaved forests), in Tochigi (Cs-137 fallout < 10 kBq/m<sup>2</sup>) and Fukushima (Cs-137 fallout = 300-600 kBq/m<sup>2</sup>) prefectures. Furthermore, in-situ measurement of radiocesium were conducted to delineate spatio-temporal variability of radiocesium in the canopy and forest floor. The result of this study demonstrated that a large proportion of radionuclides which deposited on forest were initially trapped by canopies, and subsequently transferred to forest floor in association with throughfall, stemflow, and litterfall. In the deciduous broad-leaved forest, the highest radioactivity was found at the forest floor; however, 25-40% of the total deposited radiocesium remained in the canopy of evergreen coniferous forests one year after the reactor accident.

キーワード: 福島第一原子力発電所, 放射性セシウム, 森林環境, 樹冠遮断, 移行状況

Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Radiocesium, Forest environment, Canopy interception, Transfer

## 森林・山地域における放射性物質の移動挙動調査；システム解析手法の適用 Investigation of an environmental fate of radiocaesium in the Fukushima forests

新里 忠史<sup>1\*</sup>, 阿部寛信<sup>1</sup>, 渡辺 貴善<sup>1</sup>, 安江 健一<sup>1</sup>, 小田好博<sup>1</sup>, 佐藤治夫<sup>1</sup>

Tadafumi Niizato<sup>1\*</sup>, Hironobu Abe<sup>1</sup>, Takayoshi Watanabe<sup>1</sup>, Ken-ichi Yasue<sup>1</sup>, Yoshihiro Oda<sup>1</sup>, Haruo Sato<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 日本原子力研究開発機構

<sup>1</sup> Japan Atomic Energy Agency

### はじめに

現在、福島県内に残存する事故由来の放射性物質のうち、空間線量率を支配しているのはセシウム 134 (Cs-134) と 137 (Cs-137) である。Cs-134 の半減期は約 2 年と短いものの、Cs-137 は約 30 年と長い半減期であることから、今後長期にわたり放射線による健康影響を注視する必要がある。そのためには、放射性セシウムの環境中での現在の空間分布とともに、数十年以上の長期間を対象に移動の経路や移動に係る物理・化学過程といった移動プロセス及びフラックスを明らかにし、“実際に”生じている移動プロセスのモデル化と数値解析を通じた将来の放射性セシウムの時空間分布の予測及びそれに基づく人への影響可能性の評価が求められる。一方で、放射性セシウムの移動の場となる地球表層環境は、自然、人工を問わず相互に関連した複数の要素からなるシステムとして振る舞い、その移動に影響を及ぼすと考えられる。このため、放射性セシウムの時空間分布に関する将来予測では、移動に係る地球表層環境のシステム要素を識別し、放射性セシウムの移動プロセスをシステム要素の時空間分布及び相互作用と関連させて理解する必要がある。

本論では、原子力機構が福島県で実施している放射性セシウムの環境中移動調査・研究「福島長期環境動態研究プロジェクト」の概要及び県内森林・山地域の調査に基づくシステム要素の区分試案を提示する。

### プロジェクト概要

本プロジェクトでは、主たる未除染区域である森林・山地域から河川を経て生活圏・海域へと至る放射性セシウムの移動挙動を明らかにし、その移動を考慮した放射性セシウムの濃度分布の評価や被ばく線量を尺度とした人への影響可能性の評価結果に基づく移動抑制等の対策の提案を目的として、以下の調査研究を進める計画である。

1) 放射性セシウムの移動予測モデルの開発；森林・山地域から河川を経て生活圏・海域へと至る環境中の様々な移動経路において、土砂流亡や表流水、河川水、風等による放射性セシウムの移動挙動に係る調査を実施するとともに、それらの結果に基づいて、一連の移動を支配する個々の物理・化学現象の数値モデルを構築。

2) 生活圏での放射性セシウムの移動・影響評価モデルの開発；1) に基づく放射性セシウムの生活圏への移動及び生活圏内での移動や人への影響の可能性を、放射性セシウムの濃度分布や被ばく線量を尺度として定量化し、放射性セシウムの生活圏での移動や人への影響に対して重要となる可能性のある経路を評価できるモデルを開発。

3) 移動抑制等の対策の検討；重要な移動経路上における効率的な移動抑制等の対策の検討。

4) 包括的な評価システムの開発；上記一連の成果を包括した「環境中核種動態予測・移動抑制等対策システム（仮称）」の構築。

### 森林・山地域におけるシステム要素

福島県の阿武隈山地における森林・山地域の景観は、山麓の緩斜面を造成した平坦面上の家屋等を中心として、その上流側（山地側）に林地、下流側に耕作地等が分布する。そのような景観をもつ森林・山地域は、植生、地形、土壌、家屋や林道等の人工物からなるサブシステムに区分できる。それらサブシステムは、阿武隈山地の森林・山地域において実際に観察される雨水やリター、土砂の移動状況を踏まえて、放射性セシウムの移動に果たす機能の観点から以下のシステム要素に細分できる。例えば、植生サブシステムについては、大気から降下した放射性セシウムを雨水やダストとともに沈着させる高木層の樹冠、高木層の樹冠から滴下する放射性セシウムを沈着させる亜高木/低木層の樹冠、枝葉に付着した放射性物質を落葉により地表へ移動させる樹冠、樹冠から枝葉を経て林床への放射性セシウムの移動経路となる高木/亜高木/低木層の樹幹、林内雨等の雨滴にともなう放射性セシウムの土壌表面への直接的な移動を遮断する草本及び林床植物層、といったシステム要素に区分されると考えられる。また、地形サブシステムは、表面流の発生箇所や土砂やリターの移動が開始される尾根及び斜面、それらが堆積する谷頭凹地や谷底面の要素からなると考えられる。土壌については、土壌層位、間隙率等の土壌物性とともに、細根密度及び含まれる有機物や鉱物の種類とその量比により、放射性セシウムの移動に果たす機能が異なる複数のシステム要素に区分される。例えばリター層は、その分解過程により移動性の放射性セシウムを供給する機能が考えられる。

今後、現地で取得した植生、地形、土壌分布データや気象、表面流、土砂流亡等のモニタリング及び液相・固相試料の分析に基づき、システム要素の相互作用、各要素における放射性セシウムの存在形態や要素間の移動プロセス、フラックス及びそれらを統合した森林・山地域での放射性セシウムの移動シナリオ構築と移動プロセスのモデル化を進める予定である。

# Japan Geoscience Union Meeting 2013

(May 19-24 2013 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2013. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



MAG35-15

会場:国際会議室

時間:5月21日 14:45-15:00

キーワード: 放射性セシウム, 環境動態, 福島, 森林, システム解析

Keywords: radiocaesium, environmental fate, Fukushima, forest, systems analysis

## スギ葉から雄花への放射性セシウムの動態

### Dynamic of radiocesium from conifer needles to male flowers of sugi

金指 努<sup>1\*</sup>, 杉浦祐樹<sup>1</sup>, 竹中千里<sup>1</sup>, 小澤 創<sup>2</sup>

Tsutomu Kanasashi<sup>1\*</sup>, Sugiura Yuki<sup>1</sup>, Takenaka Chisato<sup>1</sup>, Ozawa Hajime<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大院生命農学, <sup>2</sup>福島県林研セ

<sup>1</sup>Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya univ., <sup>2</sup>Fukushima Prefectural Forestry Research Centre

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質が自然環境中に拡散し、汚染の原因になっている。森林環境中に降下した放射性物質は樹木に吸収され樹体内を移動しているため、福島第一原子力発電所からの拡散がほとんど無くなった2012年に展開した葉からも放射性物質が検出されている。同年には福島県のスギから放射性物質を含む花粉が確認され、吸引することによる人体への影響、花粉の飛散に伴う放射性物質の二次拡散が懸念される。スギ花粉に放射性物質が含まれるには、葉から雄花へ放射性物質が輸送されていることが予想されるが明らかにされていない。2013年のスギ花粉飛散前の葉から雄花に含まれる放射性物質濃度を測定し、その特徴を明らかにした。

雄花が付着したスギ葉を2012年12月1日から3日に福島県全域における任意の82地点から、また、2012年11月中旬から12月中旬にかけて、福島県を除く東北、関東、甲信越地方から採取した。各地点において異なる3個体から採取したサンプルは、実験室内にて雄花を分離し、葉は伸長した年ごとに3区分(2012年、2011年、2010年以前)に分離した。それぞれ水道水で付着物質を洗い流した後、蒸留水ですすぎ、80℃で48時間乾燥させた。雄花はそのままねじ口U型容器に封入し、葉は粉碎後に封入した。高純度ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメリーにより、サンプルに含まれる放射性セシウム(Cs-137、134)を測定し、乾重当たりの濃度(Bq/kg)を算出した。雄花については放射性セシウム濃度の測定後、花粉を分離・採集し、同様に花粉に含まれる放射性セシウム濃度(Bq/kg)を測定した。花粉は主にウェル型のゲルマニウム半導体検出器を使用した。サンプルの一部は、上記処理後に残った葉と雄花を、イメージングプレート(IP)を用いたオートラジオグラフィ法により、葉から雄花における放射性物質の分布箇所を画像で確認した。IPへの曝写は35~120時間、暗所にて行った。

各採取地点で2010年以前に採取した葉に、最も高い放射性セシウム濃度が検出された。IPの結果より、2010年以前に伸長した葉に、強い放射線を放つ部位がスポット状に存在していたため、原子力発電所事故により拡散・降下した放射性セシウムが表面に付着し、残存しているため高濃度になったと考えられる。

雄花の放射性セシウム濃度は2012年に伸長した葉よりも高い傾向があり、また、IPの結果では、雄花を除去した葉の先端にも比較的強い放射線を示す色の濃い部分が確認された。そのため、放射性セシウムが選択的に雄花に移行してい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, スギ, 針葉, 雄花, 放射性セシウム 137, 放射性セシウム 134

Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, sugi, needle, male flower, Cs-137, Cs-134

## 原子力発電所事故によって森林生態系に沈着した<sup>137</sup>Csの移行ダイナミクスについて Migration dynamics of <sup>137</sup>Cs deposited on the forested ecosystem in Fukushima after the nuclear power plant accident

大手 信人<sup>1\*</sup>, 村上正志<sup>2</sup>, 伊勢田耕平<sup>1</sup>, 鈴木隆央<sup>2</sup>, 田野井慶太郎<sup>1</sup>, 石井伸昌<sup>3</sup>  
Nobuhito Ohte<sup>1\*</sup>, Masashi Murakami<sup>2</sup>, Kouhei Iseda<sup>1</sup>, Takahiro Suzuki<sup>2</sup>, Keitaro Tanoi<sup>1</sup>, Nobuyoshi Ishii<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院農学生命科学研究科, <sup>2</sup> 千葉大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 放射線医学総合研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Agricultural and Life Sciences, University of Tokyo, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Chiba University,

<sup>3</sup>National Institute of Radiological Sciences

A massive amount of radioactive substances, including cesium-137 (<sup>137</sup>Cs), emitted from the disabled nuclear power plant, has been deposited on the forested areas in the northeastern region of Honshu Island, Japan after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. Forest ecosystems in these regions are particularly important, not only for the forest products industry but also for source areas of drinking water and for residential environments. To clarify the migrating mechanisms of <sup>137</sup>Cs deposited on the forested ecosystem, we initiated intensive field observations in a small catchment that included forest headwaters and farmlands in the northern part of Fukushima Prefecture. The following expected major pathways of <sup>137</sup>Cs export and diffusion were investigated: 1) transportation of dissolved and particulate or colloidal forms via hydrological processes within a forested catchment and export dynamics through the stream, and 2) diffusion through the food web in terrestrial and aquatic organisms of forests. Preliminary findings indicated the following: 1) Most of the <sup>137</sup>Cs was discharged as suspended matter. High water flow generated by storm acted to accelerate the transportation of <sup>137</sup>Cs from the forested catchments. Thus, the estimation of <sup>137</sup>Cs export requires precise evaluation of the high flow acceleration during storm events; 2) Because litter and its detritus may form the biggest pool of <sup>137</sup>Cs in the forested ecosystem, <sup>137</sup>Cs diffusion occurs more rapidly through the detritus food chain than the grazing food chain. Most predators have already ingested <sup>137</sup>Cs, particularly in aquatic environments. An urgent question that needs to be addressed is when and how <sup>137</sup>Cs diffuses through grazing food chains and how rapidly this process occurs. To elucidate or to be able to predict these phenomena, the mechanisms of <sup>137</sup>Cs release from litter and soil organic matter need to be clarified.

キーワード: <sup>137</sup>Cs 沈着, 森林生態系, 水文過程, 食物網

Keywords: <sup>137</sup>Cs deposition, forested ecosystem, hydrological process, food web



## 広葉樹林およびスギ林内および樹冠部での放射性セシウムの大気浮遊濃度の変化 Atmospheric radioactive cesium in the broad-leaf and Japanese cedar forest and canopy

北 和之<sup>1\*</sup>, 田中 美佐子<sup>1</sup>, 出水 宏幸<sup>2</sup>, 五十嵐 康人<sup>3</sup>, 三上 正男<sup>3</sup>, 吉田 尚弘<sup>4</sup>, 豊田 栄<sup>4</sup>, 山田 桂大<sup>4</sup>, 恩田 裕一<sup>5</sup>  
Kazuyuki Kita<sup>1\*</sup>, Misako Tanaka<sup>1</sup>, Hiroyuki Demizu<sup>2</sup>, Yasuhito Igarashi<sup>3</sup>, Masao Mikami<sup>3</sup>, Naohiro Yoshida<sup>4</sup>, Sakae Toyoda<sup>4</sup>,  
Keita Yamada<sup>4</sup>, Yuichi Onda<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 茨城大学理学部, <sup>2</sup> 茨城大学工学部, <sup>3</sup> 気象研究所, <sup>4</sup> 東京工業大学総合理工学研究科, <sup>5</sup> 筑波大学 アイソトープ環境動態  
研究センター

<sup>1</sup> Faculty of Science, Ibaraki University, <sup>2</sup> Faculty of Engineering, Ibaraki University, <sup>3</sup> Meteorology Research Institute, <sup>4</sup> Interdisciplinary  
Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, <sup>5</sup> Center for Research in Isotopes and Environmental  
Dynamics, Tsukuba University

2011年3月の福島第1原子力発電所の事故に伴い、環境中に放出された放射性核種は、地表だけでなく植生の表面にも付着した。特にスギなど常緑針葉樹林は、当時も葉をつけていたことから多くの放射性セシウム等を付着させていることが報告されている。この放射性セシウム等が、植生から環境中に再放出され拡散していく経路の一つとして大気中への放出がある。植生から大気中への放射性セシウムの放出についてのモデル化をめざし、放出量とその変化を明らかにする目的で、広葉混合樹林、スギ若齢林での調査を行った。

2011年7月より川俣町山木屋地区での2カ所の林地調査地点、スギ若齢林と広葉樹混合林)で継続して林床部および樹冠部での単位体積大気中の放射性セシウムによる放射能(以下、大気放射能濃度)を観測している。林床には、ハイボリュームエアサンプラーにインパクトを装着したものを設置し、大気放射能濃度を、エアロゾルの粒径別に測定するとともに、林内に建てたタワー最上部にローボリュームエアサンプラーを設置し樹冠部での大気放射性核種による放射能濃度を測定した。また自動気象ステーションを設置し、風向風速や降水量も測定している。

2011年9月以降は、広葉樹混合林およびスギ若齢林ともに林床部での大気中のセシウム-137による放射能濃度が、樹冠部に比べ2倍程度高くなっている。これは林内では大気中のセシウム-137による放射能濃度に高度方向の勾配が存在し、林内で放射性セシウムが大気中に放出されていることを示している。樹冠部と林床部での放射能濃度比が広葉樹混合林内とスギ若齢林でほぼ同じことは林内での再飛散フラックスが両者であまり違いがないことを示唆している。但し、土壌の放射性セシウム存在量はスギ若齢林付近では広葉樹混合林付近の2/3程度であるにもかかわらず、林床での大気中の放射性セシウムによる放射能濃度がスギ若齢林と同程度かむしろ高い傾向にあることは、スギ若齢林内での放射性セシウムの再飛散放出係数(再飛散放出係数×地表セシウム存在量が再飛散による放出フラックスになる)がより高いこと、あるいはスギ植物体表面からの放出や林内雨が植物体表面で跳散し粒子化するなどの過程が寄与している可能性を示しており、今後より詳細な解析を行い検討する必要がある。

裸地における大気中のセシウム-137による放射能濃度と畑地、スギ若齢林樹冠部、広葉樹混合林樹冠部での濃度を比較すると、裸地と畑地では比較的良好な正相関を示し、濃度比は地表セシウム存在量の比(約1.5)とほぼ一致していることで、土壌から大気への放射性セシウムの再飛散放出係数は両地点でほぼ一致していることを示している。それに対し、スギ若齢林樹冠部および広葉樹混合林樹冠部での濃度は、平均的には裸地と同程度であるもののばらつきが大きい。また、林床部での濃度はさらに2倍程度高いことになる。これに加え、地表セシウム存在量が、広葉樹混合林では小学校グラウンドと同程度と思われ、またスギ若齢林では2/3程度と低いことを考え合わせると、林内での放射性セシウムの再飛散フラックスおよび再飛散放出係数が有意に裸地や畑地より高い可能性を示している。但し、この濃度差が林内からその外への拡散が小さいためである可能性もあり、今後ばらつきの原因と合わせ検討し講演会時に報告したい。

キーワード: 福島第一原発事故, 環境放射能, 再飛散

Keywords: Fukushima daiichi nuclear plant accident, environmental radioactivity, re-suspension

## 森林に降下した放射性セシウムのモデルを用いた動態予測

### Predicted spatio-temporal dynamics of radiocesium deposited onto forests following the Fukushima nuclear accident

橋本 昌司<sup>1\*</sup>, 松浦 俊也<sup>1</sup>, 南光 一樹<sup>1</sup>, 鶴川 信<sup>2</sup>, 志知 幸治<sup>1</sup>, リンコフ イゴール<sup>3</sup>, シャー ジョージ<sup>4</sup>, 金子 真司<sup>1</sup>

Shoji Hashimoto<sup>1\*</sup>, MATSUURA, Toshiya<sup>1</sup>, NANKO, Kazuki<sup>1</sup>, UGAWA, Shin<sup>2</sup>, SHICHI, Koji<sup>1</sup>, LINKOV, Igor<sup>3</sup>, SHAW, George<sup>4</sup>, KANEKO, Shinji<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 森林総合研究所, <sup>2</sup> 鹿児島大学, <sup>3</sup> アメリカ軍事技術研究開発センター, <sup>4</sup> ノッティンガム大学

<sup>1</sup>FFPRI, <sup>2</sup>Kagoshima University, <sup>3</sup>US Army Engineer R&D Center, <sup>4</sup>University of Nottingham

Radiocesium (<sup>134</sup>Cs and <sup>137</sup>Cs) released from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant to the atmosphere contaminated a large area of Japan's land surface, the majority of which is covered by forest (Hashimoto et al. 2012b). The availability of countermeasure options for forest areas is limited to restriction of access and removal of contaminated materials (Hashimoto et al. 2012a). Even considering only the most heavily contaminated forests ( $>=$  <sup>134</sup>, <sup>137</sup>Cs 1000 kBq m<sup>-2</sup> in 2011), however, the total volume of radioactively contaminated materials is estimated to be 33 million cubic meters and 21 Tg (dry matter) (Hashimoto et al. 2012b). To develop effective countermeasures to mitigate the impacts of radioactive contamination of forests, detailed monitoring of the radiocesium migration and re-distribution is essential. In addition, it is useful to be able to predict the future dynamics of the radiocesium between forest components; modelling is the best tool for this prediction. Here we simulated the dynamics of radiocesium deposited on Japanese forest ecosystems in 2011 using a model that was developed for tracking radionuclides in forest ecosystems after the Chernobyl accident in 1986 (RIFE1 model). The fate of the radiocesium was simulated using the initial conditions observed following the Fukushima accident. In addition, the simulation results were incorporated with a spatial distribution map of deposited radionuclides that was based on an air-borne survey. The simulation demonstrated that in the first two years after initial deposition radiocesium is retained primarily in the soil surface organic layer. Over a period of five to ten years radiocesium is predicted to move from the surface organic soil to the mineral soil, which will eventually become the largest reservoir of radiocesium within forest ecosystems. Spatial analysis clearly shows the reduction in the extent of contaminated areas which will occur as a result of natural decay of radiocesium, as well as the spatial distribution of radiocesium in each forest component. Considering the heavier rainfall and warmer conditions in Japan than in the countries contaminated by the Chernobyl accident, migration of radiocesium from organic to mineral soil may be faster than predicted. Although the uncertainty of our simulations should be taken into account, they provide a basis for understanding and anticipating the future dynamics of radiocesium in Japanese forests following the Fukushima accident.

Hashimoto, S., I. Linkov, G. Shaw, S. Kaneko (2012a) Radioactive contamination of natural ecosystems: seeing the wood despite the trees. *Environmental Science and Technology*, 46, 12283-12284  
<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es304145n>

Hashimoto, S., S. Ugawa, K. Nanko, K. Shichi (2012b) The total amounts of radioactively contaminated materials in forests in Fukushima, Japan. *Scientific Reports*, 2, 416, doi:10.1038/srep00416  
<http://www.nature.com/srep/2012/120525/srep00416/full/srep00416.html>

キーワード: 森林, 放射性セシウム, 除染, モデル, 広域評価, 土壌

Keywords: forest, radiocesium, decontamination, model, regional prediction, soil

MAG35-19

会場:国際会議室

時間:5月21日 15:45-16:00

