

## 強酸抽出後の残渣土壌に含まれる放射性粒子

## Radioactive particles in residual soil after strong acid leaching

\*佐藤 志彦<sup>1</sup>、末木 啓介<sup>1</sup>、笹 公和<sup>1</sup>、国分 宏城<sup>2</sup>、足立 光司<sup>3</sup>、五十嵐 康人<sup>3</sup>

\*Yukihiko Satou<sup>1</sup>, Keisuke Sueki<sup>1</sup>, Kimikazu Sasa<sup>1</sup>, Kouki Kokubun<sup>2</sup>, Kouji Adachi<sup>3</sup>, Yasuhito Igarashi<sup>3</sup>

1.筑波大学数理物質系、2.福島県環境創造センター、3.気象研究所

1.Faculty of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba, 2.Centre for Environmental Creation Fukushima Prefecture, 3.Meteorological Research Institute

2011年3月11日に発生した東日本大震災に起因する、福島第一原発事故では環境中に大量の放射性物質が放出した。地表面に沈着した放射性物質のうち、半減期が約30年であるセシウム137の除去技術の確立は、除染に伴い発生する土壌の減容化のためにも不可欠である。本研究では2012年10月に福島県本宮市で採取した土壌に対し、強酸リーチングを含む連続化学抽出を行い、残渣中に含まれる放射性物質の存在形態を把握することで、土壌中に存在する放射性セシウムに対する基礎情報を取得した。

未処理の土壌に含まれる<sup>137</sup>Csは2011年3月11日時点で8 kBq/kgだった。水溶性成分、陽イオン交換成分、有機物付着成分、強酸抽出成分を順番に抽出し、最終的に約50%の放射性セシウムが残留した。存在形態を把握するため残渣土壌のオートラジオグラフィーを取得したところ、無数のスポット状汚染が見られた。このスポット汚染を直接取り出し、透過型電子顕微鏡で観察すると球状の塊で、さらにエネルギー分散型X線分析により、鉄、亜鉛、ケイ素、酸素さらにセシウムが元素として検出された。これらの特徴は茨城県つくば市で事故直後に観測されたセシウム含有粒子(Adachi et al., 2013)に類似しており、つくば市で見つかったCs含有粒子が広範囲に分析していると考えられる。また粒子全体に占めるケイ素と酸素の割合が大きく、この特徴はSatou et al., (2015)およびYamaguchi et al., (2016)とも類似している。ケイ酸塩は一般的に耐酸性を示すため、同様の現象が放射性粒子にも見られたものと考えられる。

キーワード：放射性粒子、ケイ酸化合物、耐酸性

Keywords: Radioactive particle, Silicate compound, Acid resistance

## 大気中Cs-137濃度の長期予測モデル式の提案とAICによる評価

## Long-term prediction models of atmospheric concentration of Cs-137 and their comparison with AIC

\*小西 将貴<sup>1</sup>、羽田野 祐子<sup>1</sup>\*Shoki Konishi<sup>1</sup>, Yuko Hatano<sup>1</sup>

1.筑波大学

1.University of Tsukuba

福島第一原子力発電所の事故により、大気中に放出された放射性核種の一つであるCs-137は半減期が約30年と非常に長く、大気中に長期的とどまり、汚染をし続ける。大気中の濃度変化を長期的に予測できる大気中Cs-137濃度の長期予測モデル式が提案されてきた。

本研究では、はじめに、大気中Cs-137濃度変化の季節変動に注目し、長期予測モデル式と実データの残差の時系列データの解析を行った。エネルギースペクトル、大気中Cs-137濃度には1年間の周期的な変動が見られた。濃度は、夏に上がり冬に下がる、1年周期のサインカーブのような挙動を示すことが分かった。この変動は、季節依存の変化であると考えられる。これを従来のモデル式に組み込み、季節変動を考えた新たなモデル式として提案した。続いて、現在提案されているモデル式の評価を行った。大気中Cs-137濃度変化を示すモデル式はいくつか提案されているが、どのモデルが最良であるか、定量的な評価がなされていない。これを、モデル式と実データの残差と、自由パラメータ数で評価する、赤池情報量基準(AIC)を用いて、モデル式の評価を行った。まず、季節変動を入れたモデルと入れないモデルの比較を行った。その結果、季節変動を考えたモデルのほうが、実データとの整合性が高く、良いモデルであると判断された。続いて、モデル式同士の評価を行った。その結果、 $C(t)=A\exp(-\lambda_{\text{decay}}t)t^{-\alpha}$ ( $C(t)$ は時間 $t$ での濃度、 $A$ 、 $\alpha$ は自由パラメータ)が現在提案されている中では最良のモデル式であると判断された。以上から、現在提案されているモデルでは、 $C(t)=A\exp(-\lambda_{\text{decay}}t)t^{-\alpha}$ に季節変動を考えたものが、長期的な濃度変化を表すモデルであると考えられる。

キーワード：放射性核種濃度、エアロゾル、再浮遊

Keywords: activity concentration, aerosol, resuspention

## 福島第一原発事故由来放射性セシウムの再浮遊：孢子は重要な役割を果たすのか？

Resuspension processes of Fukushima radioCs: Could fungal spore play a significant role?

\*五十嵐 康人<sup>1</sup>、北 和之<sup>2</sup>、牧 輝弥<sup>3</sup>、竹中 千里<sup>4</sup>、木名瀬 健<sup>2</sup>、足立 光司<sup>1</sup>、梶野 瑞王<sup>1</sup>、関山 剛<sup>1</sup>、財前 祐二<sup>1</sup>、石塚 正秀<sup>5</sup>、二宮 和彦<sup>6</sup>、大河内 博<sup>7</sup>、反町 篤行<sup>8</sup>

\*Yasuhito Igarashi<sup>1</sup>, Kazuyuki Kita<sup>2</sup>, Teruya Maki<sup>3</sup>, Chisato Takenaka<sup>4</sup>, Takeshi Kinase<sup>2</sup>, Kouji Adachi<sup>1</sup>, Mizuo Kajino<sup>1</sup>, Tsuyoshi Sekiyama<sup>1</sup>, Yuji Zaizen<sup>1</sup>, Masahide Ishizuka<sup>5</sup>, Kazuhiko Ninomiya<sup>6</sup>, Hiroshi Okochi<sup>7</sup>, Atsuyuki Sorimachi<sup>8</sup>

1.気象研究所、2.茨城大学、3.金沢大学、4.名古屋大学、5.香川大学、6.大阪大学、7.早稲田大学、8.福島県立医科大学

1.Meteorological Research Institute, 2.Ibaraki University, 3.Kanazawa University, 4.Nagoya University, 5.Kagawa University, 6.Osaka University, 7.Waseda University, 8.Fukushima Medical University

著者らは、福島第一原発事故の放射能汚染による大気環境影響評価のため、福島県内の汚染地域に設置された観測地点で放射性セシウムの大気への再飛散を研究してきた。その結果、1) 都市部での観測結果と異なり、典型的な里山である観測点では、特に夏季に放射性Csの大気中濃度が上昇し(Fig. 1), 2)これを担う粒子は、見た目や光学顕微鏡像からダストと思われたが、意外にもその大部分が実は生物由来であること(Fig. 2)を見出した。真菌類が放射性Csをカリウムと誤認し濃縮する事実を考慮すると、再飛散を支える実体として孢子が想定できる。仮に真菌孢子のみが<sup>137</sup>Csを運ぶとして、孢子一個当たりの<sup>137</sup>Cs量を幾つかの仮定下で推定すると、 $5 \times 10^{-10} - 3 \times 10^{-7}$  Bq/個となり、森林から孢子が $9 \times 10^3 - 5 \times 10^5$ 個/m<sup>2</sup>/秒飛散する必要がある。この値は、Sesartic & Dallafior (2011) Table 2のForestの最大値387個/m<sup>2</sup>/秒よりも1~3桁も大きい。しかし実際、今夏の予備観測で、バイオエアロゾル個数濃度は $5 - 8 \times 10^5$ 個/m<sup>3</sup>に達することが確認され、我が国の森林から予想以上のバイオエアロゾルの飛散が起きていることがわかった。さらに上記仮定に基づくと、大気中<sup>137</sup>Cs濃度は $2.5 \times 10^{-4} - 0.15$  Bq/m<sup>3</sup>となり、現実の放射性Csの再飛散と凡そ辻褄が合う。これらから、夏季におけるバイオエアロゾルによる放射性Csの再飛散を真剣に考慮すべきことがわかってきた。

キーワード：福島第一原発事故、放射性セシウム、再浮遊、バイオエアロゾル、ダスト

Keywords: the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, Radioactive cesium, Resuspension, Bioaerosol, Dust

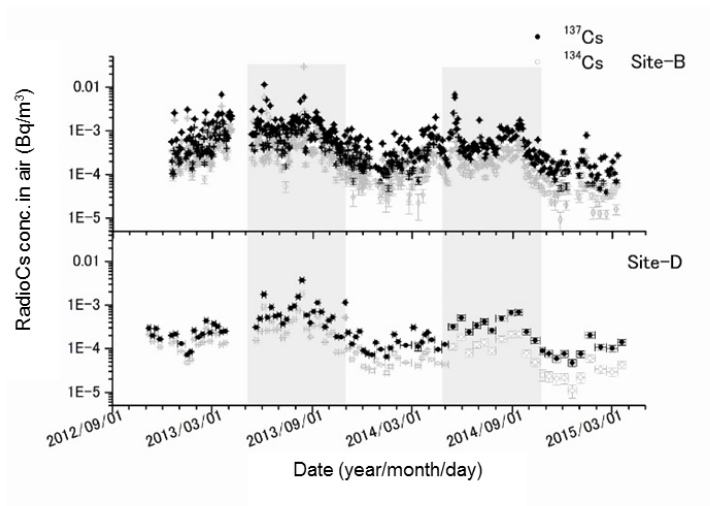


Fig. 1: Temporal trends in atmospheric radioCs concentrations in contaminated area in Fukushima Prefecture during fall of 2012 to spring of 2015 Shaded: summer season

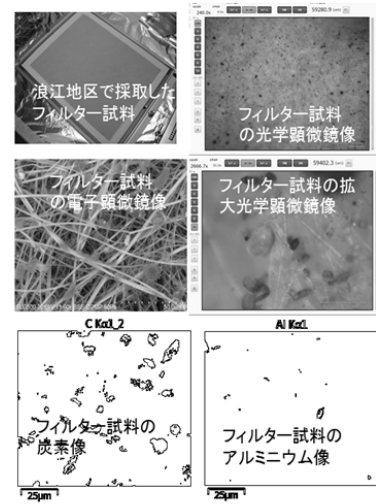


Fig. 2: Photos of a filter specimen sampled in summer; optical microscopic views, and electron microscopic views The bottom panel shows carbon distribution (left) and aluminum one (right).

## 空間線量率と気象条件の相関に関する研究

## Correlation-study about the ambient dose rate and the weather conditions

\*古谷 真人<sup>1</sup>、羽田野 祐子<sup>1</sup>、青山 智夫<sup>2</sup>、五十嵐 康人<sup>3</sup>、北 和之<sup>4</sup>、石塚 正秀<sup>5</sup>

\*Masato Furuya<sup>1</sup>, Yuko Hatano<sup>1</sup>, Tomoo Aoyama<sup>2</sup>, Yasuhito Igarashi<sup>3</sup>, Kazuyuki Kita<sup>4</sup>, Masahide Ishizuka<sup>5</sup>

1.筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻、2.筑波大学アイトソープ環境動態研究センター、3.気象庁気象研究所、4.茨城大学理学部、5.香川大学工学部

1.Department of Risk Engineering, Faculty of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, 2.Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, 3.Meteorological Research Institute, 4.College of Science, Ibaraki University, 5.Faculty of Engineering, Kagawa University

長期間の被ばくリスクは、放射性核種の再浮遊プロセスによって引き起こされるとされている。そこで、私たちは放出された放射性核種の大気・地表面での挙動に着目する。放射性核種は土壌へ沈着、大気中を漂うなど複雑な挙動をするが、それらには気象条件が大きく影響を与えている。それに伴い、線量と気象条件の関係を明らかにする必要がある。

本研究では、空間線量率と気象条件との相関関係を解析している。放射性崩壊の線量の減少を取り除いた空間線量率の変動は、土壌水分と負の相関関係があることが確認された。この結果により、気象データを使用し空間線量率を回帰させることができた。逐次的に状態推定値を更新することができるカルマンフィルタを使用した空間線量率の推定も実測値と制度の高い結果を得ることができた。

キーワード：福島事故、放射性核種、カルマンフィルタ

Keywords: Fukushima Accident, Radioactive nuclides, Karman Filter

大気電場計測で沈着放射性物質の影響高度が概算できるか？

Can we estimate vertical profile of radiation caused by deposited radioactive materials from atmospheric electric field measurement?

鴨川 仁<sup>1</sup>、\*鈴木 裕子<sup>1</sup>、木村 嘉尚<sup>1</sup>

Masashi Kamogawa<sup>1</sup>, \*Yuko Suzuki<sup>1</sup>, Yoshihisa Kimura<sup>1</sup>

1.東京学芸大学教育学部物理学科

1.Department of Physics, Tokyo Gakugei University

The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake generated large tsunami resulting in serious damage to the Fukushima Daiichi nuclear power plant (FDNPP). The damage caused radioactive materials be discharged to the environment. After the discharge, transported radioactive materials were deposited around east Japan. The radioactive deposition modulated atmospheric electricity such as the decrease of atmospheric electric field (AEF) for several months. From the ground-based observations of AEF, detectable modulated area on the ground was estimated only within a few hundred kilometers from FDNPP. In addition, we estimate the modulated height above the ground by applying the observed data to a global electric circuit model, so that the modulated height was up to approximately 1 km, which agrees with aerial radiation monitoring. Therefore, the ground-based AEF observation might contribute to estimating the vertical profile of radiation.

キーワード：放射線、大気電場、電気伝導度

Keywords: Radiation, Atmospheric Electric Field, Conductivity

## 空間的冪特性を考慮した土壤中Cs-137の移行モデルの検討

Stochastic modeling of the migration of Cs-137 in soil considering a power law tailing in space

\*岡 宏樹<sup>1</sup>、羽田野 祐子<sup>1</sup>

\*Hiroki OKA<sup>1</sup>, Yuko Hatano<sup>1</sup>

1.筑波大学大学院システム情報工学研究科リスク工学専攻

1.Department of Risk Engineering, Graduate school of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

土壤表面に付着したCs-137は降雨等により下方へ浸透する。放射性核種の地中移行モデルとしては、He and Walling (1996) らによって移流拡散方程式 (Advection Diffusion Equation: ADE) が提案されている。これは通常拡散と呼ばれるガウス型の濃度分布を持つ拡散過程を示すモデルである。しかしながら、福島県土壤中のCs-137の濃度分布には空間における冪乗則の特性が見られ、ADEでは表現できない非ガウス性の拡散過程を示していることを確認した。このような拡散過程は異常拡散と呼ばれている。本研究では、Cs粒子（またはCs溶液）が土壤中を移行する際に、土壤環境の変動による影響を受け拡散係数がバラつきながら移行していると考えることによりモデル化を行った。土壤環境の変動は、土壤を構成する成分（粘土、リター、砂など）や、間隙サイズの違いにより発生するものとする。具体的には、拡散係数を確率変数として与えモデル化を行う。ADEにおける解析解を、拡散係数  $D$  における条件付き確率  $C(x, t | D)$  とし、ベイズの定理により  $C(x, t) = \int_{(0-\infty)} C(x, t | D) * f(D) * dD$  を計算する。ここで、 $f(D)$  は拡散係数  $D$  の確率密度関数である。このモデルは空間非整数階微分の特性と同じような、空間的な冪乗の特性を示す。

キーワード：Cs-137、異常拡散、空間的冪特性

Keywords: Cs-137, Anomalous diffusion, Power law tailing in space

## フラクタル地形を利用した福島事故後のセシウム土壌流出量の推定

Estimation of caesium runoff after the Fukushima accident with the consideration of the fractal mountain geometry

\*加藤 遼<sup>1</sup>、羽田野 祐子<sup>1</sup>

\*Ryo Kato<sup>1</sup>, Yuko Hatano<sup>1</sup>

1.筑波大学

1.University of Tsukuba

In Fukushima Daiichi NPP accident, a lot of radioactive substance was released into a wide range of Fukushima Prefecture. It is necessary to estimate how long and how much radioactive contaminants will be discharged from the forest to the rivers and eventually to the sea. In this study, we tried a new method of prediction caesium (Cs-137). We apply the fractal geometry of the surface of mountains, thereby estimate the amount of runoff of surface soil with Cs-137 attached. It is a method to calculate z (height) coordinates of arbitrary points. We calculate the height of the location that we want to know from average of neighborhood points with the white noise. We can simulate a ridgeline of mountain, which similar to the real mountain. In the study, I used the midpoint displacement expanded into three dimensions. The universal soil loss erosion (USLE) model was used to calculate the volume of soil erosion of the simulated ground. And we calculate erosion of Cs-137 from the soil erosion volume. We compared this data of Cs-137 erosion and erosion of real ground. We found that our result agrees with the data roughly. So we concluded this method used the fractal simulation is useful.

キーワード：排出、流出、放射性核種

Keywords: discharge, runoff, radionuclide



## カリ施肥レベルによるダイズの放射性セシウム吸収量の変化

## Uptake of radioactive Cs by soybeans depending on the level of K application

\*本島 彩香<sup>1,2</sup>、内田 智子<sup>1</sup>、太田 健<sup>1</sup>、信濃 卓郎<sup>1</sup>

\*Sayaka Motojima<sup>1,2</sup>, Tomoko Uchida<sup>1</sup>, Takeshi Ota<sup>1</sup>, Takuro Shinano<sup>1</sup>

1.国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、2.新潟大学大学院自然科学研究科

1.National Agriculture and Food Research Organization, 2.Graduate school of science and technology, Niigata University

## [Introduction]

After the Nuclear Power Plant accident, radioactive contamination of farmland caused contaminated crop production. It is known that radiocesium (radio Cs; Cs-134 + Cs-137) behaves similarly to potassium (K) in the environment; when the concentration of exchangeable K in soil is low, plants uptake radio Cs easily. Because soybeans (*Glycine max*) require substantial K, soybeans more easily absorb radio Cs from soil than other crops. Inhibition of absorption of radio Cs using K fertilization is required for safe crop production.

In this study, we investigated the time-dependent change of radio Cs concentration in soybeans, and the exchangeable K and radio Cs concentration when changing K fertilizer application rate. This information may be applied to develop an optimal method for inhibition of radio Cs absorption.

## [Materials and Methods]

The study site is located in Fukushima Prefecture. Soybeans were seeded in June and harvested in October, 2015. Soil samples were collected before seeding and at five-leaf, full flowering, full seed, and full maturity stage from directly under the plants. Plant samples were also collected at each of these growth stages. Plant samples were separated into leaves, petiole, stems, pods, and beans and the growth amount, yield, and radio Cs concentration were measured for each part. The exchangeable K concentration, radio Cs concentration and exchangeable radio Cs concentration were also determined.

We conducted an exchangeable K level test and K sustained effect test. The basal fertilizer was N-P-K = 3-12-0 kg/10 a in all tests. In the exchangeable K level test, five levels of exchangeable K were set: no K fertilizer (3 years) and 15, 30, 50, and 70 mg K<sub>2</sub>O/100 g. The K fertilizer was applied at seeding. Non-planted plots dressed with the same levels of K fertilizer were also established. We also investigated the sustained effect of K, in which the concentration of exchangeable K was set to 70 mg after harvesting in 2014, and no K fertilizer was applied to the same sections in 2015. All tests were conducted in triplicate.

## [Results and Discussions]

The average concentration of radio Cs in soil was 3,391 ±240 Bq/kg at harvest.

In the Exchangeable K level test, there was no major difference in bean yield between exchangeable K levels. The grain radio Cs concentration and transfer factor from soil to beans (TF) decreased for applications greater than 30 mg K<sub>2</sub>O (relative to no K fertilizer and 15 mg K<sub>2</sub>O). The highest exchangeable radio Cs in soil was found before seeding in all treatments. For all treatments, the exchangeable radio Cs content throughout the year was lower when exchangeable K levels were higher. The no K fertilization, 15 and 30 mg K<sub>2</sub>O plots had higher exchangeable radio Cs content than non-planted plots. This suggests that when soil K<sub>2</sub>O content is below 30 mg, soybean planting increases exchangeable radio Cs in soil.

Because there was sustained K effect of 2013 and 2014, planted plots had different soil K contents before seeding. However, the exchangeable K concentration was similar in all non-planted plots, and at levels over 30 mg K<sub>2</sub>O/100 g, it increased after fertilization to five-leaf. Exchangeable K at

harvest was comparable between K levels regardless of planting status. Thus, the no K fertilization and 15 mg  $K_2O/100$  g have higher radio Cs concentrations and TF because of a lack of exchangeable K and an increasing exchangeable radio Cs.

The concentration of grain radio Cs in the K sustained effect test was lower than in the no K fertilization plots. This suggests that the exchangeable K concentration before seeding was higher, presumably because sufficient K content had been ensured. But the soil  $K_2O$  content decreased with time-dependent, so there is a risk that radio Cs concentration of grain will increase next cultivation.

キーワード：放射性セシウム、大豆、カリウム

Keywords: Radioactive Cs, Soybean, Potassium

134Csと137Csの北太平洋東経165度線に沿う1980,2002,2011,2012および2015年の鉛直分布  
Vertical profiles of 134Cs and 137Cs in 1980, 2002, 2011, 2012 and 2015 along 165 deg. E  
in the North Pacific Ocean

\*青山 道夫<sup>1</sup>、津旨 大輔<sup>2</sup>、坪野 考樹<sup>2</sup>、浜島 靖典<sup>3</sup>、熊本 雄一郎<sup>4</sup>、中野 俊也<sup>5</sup>

\*Michio Aoyama<sup>1</sup>, Daisuke Tsumune<sup>2</sup>, Takaki Tsubono<sup>2</sup>, Yasunori Hamajima<sup>3</sup>, Yuichiro Kumamoto<sup>4</sup>, Toshiya Nakano<sup>5</sup>

1.福島大学環境放射能研究所、2.電力中央研究所、3.金沢大学低レベル放射能実験施設、4.海洋研究開発機構、5.気象庁

1.Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, 2.Central Research Institute of Electric Power Industry, 3.Low Level Radioactivity Laboratory, Kanazawa University, 4.Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 5.Japan Meteorological Agency

134Cs and 137Cs, hereafter radiocaesium, were released to the North Pacific Ocean by two major likely pathways, direct discharge from the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FNPP1) accident site and atmospheric deposition off Honshu Islands of Japan, east and northeast of the site. Activities of radiocaesium released by the FNPP1 accident were measured along 165 deg. E in 2011, 2012 and 2015. In this presentation, we present long term behavior of FNPP1 released radiocaesium in the ocean interior of the North Pacific Ocean based on the observations and model simulations through 2015. We also discuss about 137Cs profiles observed in 1980 and 2002 in the same region which derived from atmospheric nuclear weapons tests conducted in late 1950s and early 1960s.

In 2002, the 137Cs profile along 165°E in the North Pacific Ocean is characterized by several subsurface cores with high 137Cs, including two 137Cs concentration maxima at 20°N, 165°E, one at 250 m and one at 400–500 m depths. The shallower maximum is in the density range of subtropical mode water (STMW) and the deeper one is in the density range of central mode water (CMW). The main 137Cs cores, therefore, were formed by movements of STMW and CMW in the interior ocean during the past four decades in 2002. The 137Cs has been transported from subarctic region to subtropics and tropics as a result of subduction.

In October 2011, 134Cs activity derived from FNPP1 accident showed a maximum of  $24.4 \pm 1.77$  Bq m<sup>-3</sup> at 26 meters depth at 40°N, 165°E and 80 % of 134Cs inventory existed shallower than 200 meters depth while 134Cs activity showed a maximum of  $9.18 \pm 0.71$  Bq m<sup>-3</sup> at 301 meters depth at 39°N, 165°E and only 20 % of 134Cs inventory existed shallower than 200 meters depth in June 2012.

In June 2012, 134Cs activity also showed a maximum at subsurface at 29°N, 165°E. This subsurface maximum, which was also observed along 149°E, might reflect the southward transport of FNPP1-derived radiocaesium in association with the formation and subduction of STMW. In June 2012 at 34°N–39°N along 165°E, 134Cs activity showed a maximum at around potential density = 26.3 kg m<sup>-3</sup>, which corresponds to CMW. 134Cs activity was higher in CMW than in any of the surrounding waters, including STMW. These observations indicate that the most effective pathway by which FNPP1-derived radiocaesium is introduced into the ocean interior on a 1-year time scale is CMW formation and subduction. In June–July 2015 at 36°N–44°N along 165°E, there are only very weak signal of subduction of FNPP1-derived radiocaesium which means subducted radiocaesium might move eastward from this region.

キーワード：放射性セシウム、北太平洋、沈み込み、福島第一原発事故

Keywords: radiocaesium, North Pacific Ocean, subduction, Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FNPP1) accident



## ダム湖における降雨時の土砂・セシウム137の挙動に対する感度解析

Sensitivity analyses of sediment and  $^{137}\text{Cs}$  behaviors in reservoirs during rainfall events\*操上 広志<sup>1</sup>、北村 哲浩<sup>1</sup>\*Hiroshi Kurikami<sup>1</sup>, Akihiro Kitamura<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

1. Japan Atomic Energy Agency

Investigations and simulations are important to understand sediment and radioactive cesium migration in reservoirs contaminated by the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. In the previous study, we presented one- and two-dimensional simulations of sediment and radioactive cesium migration in the Ogaki Dam reservoir located in the middle reach of the Ukedo River and found that the reservoir played an important role to delay and buffer the movement of radioactive cesium in heavy rainfall events and that the buffer effect depended on particle sizes of suspended sediment and the water level in the reservoir. In this study, to understand the sensitivity of intensity and duration of flood events to discharges of sediment and radioactive cesium during flood events, we performed sensitivity analyses by using the FLESCOT code, a three-dimensional finite volume model developed by the Pacific Northwest National Laboratory. It considers turbulent water flow and transports of multi-size sediment and radioactive cesium both in dissolved and particulate forms. The results showed that the discharge proportions depended on sediment size, event intensity and event duration. The proportions of sediment/ $^{137}\text{Cs}$  discharges increase, as event duration is shorter/heavier. The silt component is a main carrier of radioactive cesium in larger events, while the clay-sorbed and dissolved forms are dominant in smaller events. In heavier events, resuspension of bed sediment took place.

キーワード：福島第一原子力発電所、ダム湖、感度解析、FLESCOT、セシウム、土砂

Keywords: Fukushima Daiichi NPP, Reservoir, Sensitivity analysis, FLESCOT, Cesium, Sediment

## 亀裂性岩盤を通過する地下水中の放射性セシウムの移行挙動について

## Study on transport behavior of cesium in the ground water via fractured rock

\*竹内 真司<sup>1</sup>、林 武司<sup>2</sup>、藪崎 志穂<sup>3</sup>、鈴木 弘明<sup>4</sup>、加藤 ありさ<sup>1</sup>、森谷 健人<sup>1</sup>\*Shinji Takeuchi<sup>1</sup>, Takeshi Hayashi<sup>2</sup>, Shiho Yabusaki<sup>3</sup>, Hiroaki Suzuki<sup>4</sup>, Arisa Kato<sup>1</sup>, Kento Moriya<sup>1</sup>

1.日本大学、2.秋田大学、3.福島大学、4.日本工営

1.Nihon University, 2.Akita University, 3.Fukushima University, 4.Nippon Koei

## はじめに

東京電力福島第一原子力発電所（以下、発電所）事故により放出された放射性セシウム（以下、Cs）は、福島県東部の阿武隈高地周辺に広く降下し、特に発電所から北北西方向に放射性物質の濃度が高い地域が分布する。阿武隈高地は、基盤に亀裂性岩盤である花崗岩類が広く分布している。降下したCsの多くは表層から数～10cm程度の土壌に吸着しているとされている（原子力機構、2015）が、土壌層が薄く基盤岩が表層付近に分布したり直接露出したりする地域も存在する。このような地域では、Csが基盤岩中の高透水路である亀裂を介して、比較的速やかに地下水を移行する可能性は否定できない。特に<sup>137</sup>Csの半減期は約30年であることから、涵養後、基盤岩中の亀裂を介して流出域の湧水や井戸水中の放射能濃度が時間の経過とともに増加する可能性も考えられる。このような可能性の検討は、既に湧水域や井戸水を利用している住民や今後帰還を検討している住民にとって最大の関心事のひとつと考えられる。しかしながらこれまでのところ、事故により放出されたCsの亀裂性岩盤中での長期挙動についての検討事例は皆無である。このため、亀裂性岩盤を通過したと考えられる地下水の水質や年代、Cs濃度を測定するとともに、Csの涵養域から流出域までの移行特性を解明し、将来的な流出域での被ばく線量などを予測するための調査研究を実施している。本発表ではこれまでの成果の一部を紹介する。

## 調査領域の概要

今回事例として検討した領域は、福島県南相馬市小高区大富周辺である。この地域は西側の阿武隈高地に前期白亜紀の花崗岩類が分布し、東側の低地には新第三紀堆積岩類が分布する。花崗岩類と堆積岩類は南北走向で高角度傾斜を有する双葉断層を境に接している。大局的な地下水流動は西側の高地から涵養した降水が浸透し、東側の低地に流動していると考えられる。

## これまでの結果

**地形・地質構造**：花崗岩類と堆積岩類の境をなす双葉断層付近に存在する採石場において、マイロナイト様に変形した岩石が厚さ数十メートル以上に渡って分布していることを確認した。一般にマイロナイトは、断層運動に伴い地下数km～10km程度で形成される延性変形を伴う変形岩であり、形成当初は面構造に直交する方向の地下水流動に対してはバリア機能を有していたと考えられるが、その後の隆起などの変形運動により、現状ではマイロナイトの面構造を高角度で切断する脆性亀裂が多数確認された。また、この亀裂の一部からは毎分数ml程度の湧水が確認された。なお涵養域と考えられる阿武隈高地の森林地域では、4μSv/h程度の比較的高い空間線量率を示す地域が確認された。

**水質分析**：東側の低地の堆積岩類分布域には、深さ約45mの自噴井戸が存在する。この井戸水とマイロナイトの面構造を高角度で切断する脆性亀裂から湧水をそれぞれ採取し、水質分析およびトリチウム濃度等の分析を行った。その結果、両者とも滞留時間は比較的長く、地下水年代は概ね25～30年であると推定された。さらに自噴井戸の地下水中のCsの懸濁物質吸着態と溶存態の濃度を測定したところ、両者とも検出限界値以下であることが分かった。

**地下水流動解析**：調査領域を対象に、花崗岩類（上位に風化花崗岩を層状に設定）と双葉断層および堆積岩類を考慮した地質モデルを構築し、既存の透水係数データベース（梅田ほか1996）に基づいてそれぞれの地質に対応する透水係数を設定し、3次元の地下水流動解析を実施した。その結果、断層の透水性によって、水頭分布などの地下水流動状況が大きく変わる結果となった。また、自噴井戸の地下水（地下水年代25～30年）の起源は、移行時間の観点からは阿武隈高地からの涵養ではなく、双葉断層の東側の堆積岩類である可能性が示唆された。

## 今後の予定

今後は、湧水や井戸水の水質分析やCs濃度の測定、詳細に地形を表現したモデルに基づく地下水流動解析などを行い、この地域の地下水やCsの移動の特性を明らかにし、流出域での水利用に伴う将来的な被ばく線量の予測などを実施する予定である。

本研究はJSPS科研費15K14277を使用した。

キーワード：福島、亀裂性岩盤、放射性セシウム、移行挙動

Keywords: Fukushima, Fractured Rock, Radioactive Cesium, Transport Behavior