

福島第一原発近傍の2地点におけるSPM計使用済みテープろ紙の分析による放射性核種の動態

Time series of atmospheric radiocesium just after the accident at two SPM monitoring sites near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

*鶴田 治雄¹、大浦 泰嗣²、海老原 充²、大原 利真³、森口 祐一⁴、中島 映至⁵

*Haruo Tsuruta¹, Yasuji Oura², Mitsuru Ebihara², Toshimasa Ohara³, Yuichi Moriguchi⁴, Teruyuki Nakajima⁵

1. リモート・センシング技術センター、2. 首都大学東京、3. 国立環境研究所、4. 東京大学、5. 宇宙航空研究開発機構
1. Remote Sensing Technology Center of Japan, 2. Tokyo Metropolitan University, 3. National Institute for Environmental Studies, 4. The University of Tokyo, 5. Japan Aerospace Exploration Agency

東電福島第一原子力発電所事故直後における大気中放射性物質の時空間分布の解明のため、大気環境常時測定局で使用されている、 β 線吸収法浮遊粒子状物質(SPM)計中の使用済みテープろ紙に採取された放射性セシウムの分析を、これまで東北地方南部と関東地方南部の99地点で実施して、その解析結果とデータ集を2つの論文(Tsuruta et al., Sci. Rep., 2014; Oura et al., JNRS, 2015)で公開した。その後、第一原発から約4km及び16km近傍に位置したSPM局2地点(双葉、楡葉)における事故直後のテープろ紙の提供を受け、SPM中の放射性セシウムを分析した結果の概要を報告する。まず、SPM計が東日本大震災直後も正常に作動していたかどうかを調べて慎重に検討した結果、信頼できると判断した。そこで、2011年3月12-23日(楡葉は3月14-23日)の期間、1時間連続採取されたSPM試料中のCs-134とCs-137濃度を分析した。また、これらのデータを総合的に解析するにあたり、福島県のモニタリングポスト(MP;上羽鳥、山田、繁岡、山田岡など)と第一・第二原発のMPの空間線量率、気象庁のAMeDAS地点と1000hPaの風向風速なども利用した。その結果、これまでの99地点のデータだけではわからなかった、原発近傍の大気中放射性セシウム濃度の詳細な時間変化が、初めて明らかになった。原発より北西方向に位置する双葉では、Cs-137が高濃度($>100 \text{ Bq m}^{-3}$)となったピークは、3月12-13日、15-16日、18-20日に6回も測定され、その多くはプルーム/汚染気塊として、さらに北西～北方へ運ばれたことが明らかになった。また、原発より南側に位置する楡葉でも、高濃度のピークが、3月15-16日、20-21日に6回測定され、その多くは、プルーム/汚染気塊として、風下側の関東地方か福島県南部に運ばれた。これらのプルーム/汚染気塊は、これまでの論文で明らかにしたプルーム/汚染気塊と良い対応が見られたが、今回の測定で新たに見つかったものも、いくつか存在した。また、近くのMPの空間線量率のピークとCs-137濃度のピークとを比較した結果、両者のピーク時間がほぼ一致し、良い対応関係が見られた。とくに、3月12日午後3時における双葉でのCs-137の高濃度のピークは、近くのMPで期間中に最大となった空間線量率のピーク時間とよく一致し、放射性物質のFD1NPP近傍での動態が、詳細に明らかになった。謝辞：2地点のテープろ紙を提供して下さった福島県に感謝します。この研究は、文科省科研費「ISET-R」と環境省推進費「5-1501」で実施中である。

キーワード：福島第一原子力発電所、放射性セシウム、浮遊粒子状物質、大気汚染常時監視網、経時変化
Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Radiocesium, Suspended particulate matter, Air pollution monitoring network, Time series

SPMテープ濾紙より分離された放射性エアロゾルの放射光X線複合分析による化学・物理的性状解明

Investigation of chemical and physical properties of radioactive aerosols sampled from SPM tape filters using multiple synchrotron radiation X-ray analyses

*小野崎 晴佳¹、小野 貴大¹、飯澤 勇信¹、阿部 善也¹、中井 泉¹、足立 光司²、五十嵐 康人²、大浦 泰嗣³、海老原 充³、宮坂 貴文⁴、中村 尚⁴、鶴田 治雄⁵、森口 祐一⁶

*seika onozaki¹, Takahiro Ono¹, Yushin Iizawa¹, Yoshinari Abe¹, Izumi Nakai¹, Kouji Adachi², Yasuhito Igarashi², Yasuji Oura³, Mitsuru Ebihara³, Takafumi Miyasaka⁴, Hisashi Nakamura⁴, Haruo Tsuruta⁵, Yuichi Moriguchi⁶

1. 東京理科大学、2. 気象庁気象研究所、3. 首都大学東京、4. 東京大学先端科学技術研究センター、5. リモート・センシング技術センター、6. 東京大学

1. Tokyo University of Science, 2. Meteorological Research Institute, 3. Tokyo Metropolitan University, 4. Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, 5. Remote Sensing Technology Center of Japan, 6. The University of Tokyo

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の事故により、膨大な量の放射性物質が環境中に放出された。大気中に放出された放射性物質の一形態として、「Csボール」と呼ばれる放射性Csを含む球状微粒子が注目を集めている。Csボールは2011年3月14日から15日にかけてつくば市内で捕集されたエアロゾル中から初めて発見され¹⁾、燃料由来の核分裂生成物を含む非水溶性のガラス状物質であることが明らかとなっている²⁾。近年の調査により、同様の放射性粒子が福島県内の土壌³⁾を始めとする様々な環境試料中に幅広く存在することが示唆されているが、東京を含む関東地方における飛散状況は明らかではない。そこで本研究では、SPM（浮遊粒子状物質）が捕集された関東地方の複数の大気汚染常時監視測定局でのテープ濾紙を試料⁴⁾として、放射性エアロゾルの分離を行い、その化学・物理的性状を非破壊で分析した。SPring-8の放射光マイクロビームX線をプローブとして、蛍光X線分析法（SR- μ -XRF）により粒子の化学組成を、X線吸収端近傍構造分析（SR- μ -XANES）およびX線回折分析法（SR- μ -XRD）により化学状態を調べた。

本研究でSPM濾紙試料から分離された放射性粒子は、いずれも直径1 μ m前後の球形という共通した物理的性状を有していた。¹³⁴Cs/¹³⁷Cs放射能比（約1.0）に基づき、これらの粒子は福島第一原発2号機または3号機から放出されたと予想される。これらの性状は、先行研究^{1,2)}で報告されたCsボールの性状とよく一致しているが、約2 μ mとされるCsボールに比べて直径がやや小さい。SR- μ -XRFにより、全ての粒子から核燃料の核分裂生成物由来とも考えられる様々な重元素（Rb, Mo, Sn, Sb, Te, Cs, Ba etc.）が共通して検出され、いくつかの粒子は微量のUを含むことが明らかとなった。さらに我々は粒子から検出された4種類の金属元素

（Fe, Zn, Mo, Sn）についてSR- μ -XANESから化学状態を調べたが、いずれの分析結果も高酸化数のガラス状態で存在することを示唆していた。またSR- μ -XRDからも、これらの粒子が非晶質であることが確かめられた。このように、関東地方のSPM濾紙から採取された粒子とCsボールの間に化学的・物理的性状の明確な類似性が見られたことから、我々は3月15日の時点で関東広域にCsボールと同等の放射性物質が飛来していたと結論付けた。同時にこれらの分析結果は、燃料由来の可能性のあるUが事故直後の時点で関東の広い範囲にまで到達していたことを実証するものである。

当日の発表では、流跡線解析による放出時間・飛散経路の推定を通じて、関東地方へのCsボールの飛散について多角的な考察を行う予定である。

謝辞：SPM計テープ濾紙を提供して下さった全ての自治体に感謝します。

1) K. Adachi *et al.*: *Sci. Rep.* **3**, 2554 (2013).

2) Y. Abe *et al.*: *Anal. Chem.* **86**, 8521 (2014).

3) Y. Satou *et al.*: *Anthropocene* **14**, 71 (2016).

4) H. Tsuruta *et al.*: *Sci. Rep.* **4**, 6717 (2014).

キーワード：福島第一原発事故、放射性物質、放射光X線分析、大気粉塵

Keywords: Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, radioactive material, Synchrotron radiation
X-ray analysis, aerosol

Unsteady source term estimation of the Fukushima dai-ichi release using contributed radiological measurements

*Carolynne Hultquist¹, Guido Cervone¹

1. Geoinformatics and Earth Observation Laboratory and the Institute for CyberScience, Pennsylvania State University Main Campus

A new methodology is presented for reconstructing the unsteady release rate of an atmospheric nuclear release using a Lagrangian atmospheric transport and dispersion (T&D) model, contributed concentration measurements, and stochastic search techniques. The methodology was applied to the reconstruction of the 2011 Fukushima nuclear release using an atmospheric T&D model and contributed radiation data from the Safecast citizen science project.

First, the Safecast contributed measurements were compared to official aerial surveys completed by the Department of Energy (DOE) and the National Nuclear Security Administration (NNSA) in 2011. It is shown that the Safecast data provides a reliable spatial estimation of radiation concentration when compared to official data.

Then a T&D model is run to simulate the nuclear release using high resolution terrain and meteorological data. The model simulates multiple sequential releases with a constant rate. The model values are decayed to the dates for which Safecast data are present, and an error is then computed between the observed and simulated concentrations. A statistical process is performed to find scalar multipliers that minimize the error between observed and simulated values.

The outcome of the optimization is the non-steady release rate concentration for the Fukushima nuclear release over land. This is because the release rate is estimated for primarily land-based data so the estimation does not include consideration for the plume of radiation that spread over the ocean.

Environmental concerns and human impacts can be better addressed with long-term monitoring that confirms the prediction of models representing dynamic behavior of radionuclides dispersed in the environment.

Keywords: dispersion, radiation, fukushima, spatio-temporal analysis

夏季-秋季における放射性セシウム大気再飛散のメカニズム

Mechanism of resuspension of radiocesium in summer and autumn

西岡 拓哉¹、*北 和之¹、林 奈穂¹、佐藤 武尊¹、五十嵐 康人²、足立 光司²、財前 祐二²、豊田 栄³、山田 桂太³、吉田 尚弘³、牧 輝弥⁴、石塚 正秀⁵、二宮 和彦⁶、篠原 厚⁶、大河内 博⁷、阿部 善也⁸、中井 泉⁸、川島 洋人⁹、古川 純¹⁰、羽田野 祐子¹⁰、恩田 裕一¹⁰

Takuya Nishioka¹, *Kazuyuki Kita¹, Naho Hayashi¹, Takeru Sato¹, Yasuhito Igarashi², Kouji Adachi², Yuji Zaizen², Sakae Toyoda³, Keita Yamada³, Naohiro Yoshida³, Teruya Maki⁴, Masahide Ishizuka⁵, Kazuhiko Ninomiya⁶, Atsushi Shinohara⁶, Hiroshi Okochi⁷, Yoshinari Abe⁸, Izumi Nakai⁸, hiroto kawashima⁹, Jun Furukawa¹⁰, Yuko Hatano¹⁰, Yuichi Onda¹⁰

1. 茨城大学理学部、2. 気象研究所、3. 東京工業大学、4. 金沢大学、5. 香川大学、6. 大阪大学、7. 早稲田大学、8. 東京理科大、9. 秋田県立大学、10. 筑波大学

1. Faculty of Science, Ibaraki University, 2. Meteorology Research Institute, 3. Tokyo Institute of Technology, 4. Kanazawa University, 5. Kagawa University, 6. Osaka University, 7. Waseda University, 8. Tokyo University of Science, 9. Akita Prefectural University, 10. Tsukuba University

背景・目的

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、原子炉施設から多量の放射性物質が周辺地域に飛散・拡散し土壌や植生に沈着した。地表に沈着した放射性核種が今後どのように移行するか定量的に理解していくことが、モデル等により今後の推移を理解する上で重要である。重要な移行経路の一つとして地表から大気への再飛散がある。我々のグループのこれまでの観測で、山間部にある高線量地域では、夏季に大気中の放射性セシウムが増加していることが明らかになっている。夏季の森林生態系からの放射性セシウム再飛散過程を明らかにすることが本研究の目的である。

観測

2012年12月より浪江町下津島地区グラウンドにおいて約10台のハイボリュームエアサンプラーによって大気エアロゾルを高時間分解能でサンプリングし、Ge検出器で放射能濃度を測定している。この大気エアロゾルサンプルの一部を取り出し化学分析及び顕微鏡観察を行っている。2015年よりグラウンドおよび林内で、バイオエアロゾルサンプリングを月に1-2回程度実施している。また、感雨センサーを用い、降水時・非降水時に分けたサンプリングも行っている。200mくらい離れた林内でも同様の観測を行っている。さらに、パッシブサンプラーによる放射性核種の沈着フラックスを測定するとともに、土壌水分と風速など気象要素を自動気象ステーション(AWS)にて、エアロゾル粒子の粒径別濃度を電子式陰圧インパクト(Electric Low-Pressure Impactor, ELPI)、黒色炭素エアロゾル濃度および硫酸エアロゾル濃度をそれぞれブラックカーボンモニタおよびサルフェートモニタにて連続的に測定している。

結果と考察

2015年夏季に行った観測と、そのサンプルのSEM-EDS分析により、夏季の大気セシウム放射能濃度は炭素質粒子濃度と正相関していることが分かった。夏季には粒径5 μm 程度の炭素質粒子が多く、バイオエアロゾルサンプリングとその分析の結果、真菌類の孢子、特にキノコが主な担子菌類孢子が多数を占めていることが分かった。但し、降水中には、カビが多い子囊菌類孢子がむしろ多い。大気粒子サンプルの抽出実験を行った結果、夏季には放射性セシウムの半分以上が純水で抽出される形態(水溶性あるいは水溶性物質で付着した微小粒子)であることもわかった。

そこで、2016年夏季には、大気粒子サンプル中の真菌類孢子の数密度と大気放射能濃度の関係を調べるとともに、キノコを採取してその孢子の放射能濃度を測定して、大気放射能濃度が説明できるか、また大気粒子サンプルと同様に、半分程度の純水抽出性を持つか調べた。その結果、大気放射能濃度と孢子と思われる粒子の個数とは明瞭な正相関を示し、降水時には子囊菌類が増加することが示された。また、採取したキノコ孢子

の放射性セシウムは、半分以上純水で抽出され、大気粒子サンプルと同様に性質を示すこともわかった。但し、採取した胞子は放射能は高いものの、それだけで大気放射能を説明できない可能性がある。

キーワード：放射性セシウム、大気再飛散、バイオエアロゾル、真菌類胞子

Keywords: radioactive cesium, atmospheric resuspension, bioaerosol, fungi spore

大気モデル相互比較に基づく福島第一原発事故起源の ^{137}Cs の動態解析 Model inter-comparison of atmospheric Cs-137 from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident

*北山 響¹、森野 悠¹、滝川 雅之²、中島 映至³、速水 洋⁴、永井 晴康¹、寺田 宏明⁵、斉藤 和雄⁶、新堀 敏基⁶、梶野 瑞王⁶、関山 剛⁶、Didier Damien⁷、Mathieu Anne⁷、大原 利真¹、鶴田 治雄^{8,9}、大浦 泰嗣¹⁰、海老原 充¹⁰、柴田 徳思¹¹

*Kitayama Kyo¹, Yu Morino¹, Masayuki Takigawa², Teruyuki Nakajima³, Hiroshi Hayami⁴, Haruyasu Nagai¹, Hiroaki Terada⁵, Kazuo Saito⁶, Toshiki Shimbori⁶, Mizuo Kajino⁶, Sekiyama Tsuyoshi⁶, Damien Didier⁷, Anne Mathieu⁷, Toshimasa Ohara¹, Haruo Tsuruta^{8,9}, Yasuji Oura¹⁰, Mitsuru Ebihara¹⁰, Tokushi Shibata¹¹

1. 国立環境研究所、2. 海洋研究開発機構、3. 宇宙航空研究開発機構、4. 電力中央研究所、5. 日本原子力研究開発機構、6. 気象庁気象研究所、7. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire、8. リモート・センシング技術センター、9. 東京大学、10. 首都大学東京、11. 日本アイソトープ協会

1. National Institute for Environmental Studies, 2. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 3. Japan Aerospace Exploration Agency, 4. Central Research Institute of Electric Power Industry, 5. Japan Atomic Energy Agency, 6. Meteorological Research Institute, 7. Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, 8. Remote Sensing Technology Center of Japan, 9. University of Tokyo, 10. Tokyo Metropolitan University, 11. Japan Radioisotope Association

After the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident in March 2011, atmospheric simulation models played important roles in understanding the atmospheric behaviors of radionuclides. For the evaluation of the validity and variability of model results, model inter-comparison provides valuable and useful information. In this study, we compared results of seven atmospheric transport models to simulate atmospheric ^{137}Cs released from the FDNPP. All of model results used in this analysis were submitted for the model inter-comparison project of Science Council of Japan (2014). Model reproducibility was assessed from comparison with the observed hourly atmospheric concentrations of ^{137}Cs at 90 sites in Tohoku and Kanto regions (Tsuruta et al., 2014).

Tsuruta et al. (2014) identified 9 plumes (P1 –P9) which passed over Tohoku and/or Kanto regions. P1, P5 and P6 passed through the northern coastal area of Fukushima prefecture to the Pacific Ocean from FDNPP in the night of March 13, morning of 18th and afternoon of 19th, respectively. P2, P4, P7 and P9 reached Kanto region in the morning of 15th, morning of 16th, afternoon of 20th and morning of 21st, respectively. P3 and P8 widely spread over Fukushima prefecture in the afternoon of 15th and night of 20th, respectively.

On average, performance of the models was the best for P2 with FA2 (fraction of simulated data that reproduced the observations within a factor of 2) of 10% ~ 40%. Model performance for P1, P3 and P8 was moderate with FA2 of 0% ~ 10%. The models generally reproduced the observed ^{137}Cs concentrations in plumes which widely spread inland of Tohoku or Kanto regions (P2, P3, and P8). By contrast, the models largely underestimated the observed ^{137}Cs concentrations for P4, P5, and P6, which passed coastal areas of Japan.

Ensemble average of seven models showed reasonable performance for most of plumes, and no individual models reproduced better than the ensemble average for all the plumes. These results suggest that ensemble average is effective for reliable and stable simulation of radioactive plumes.

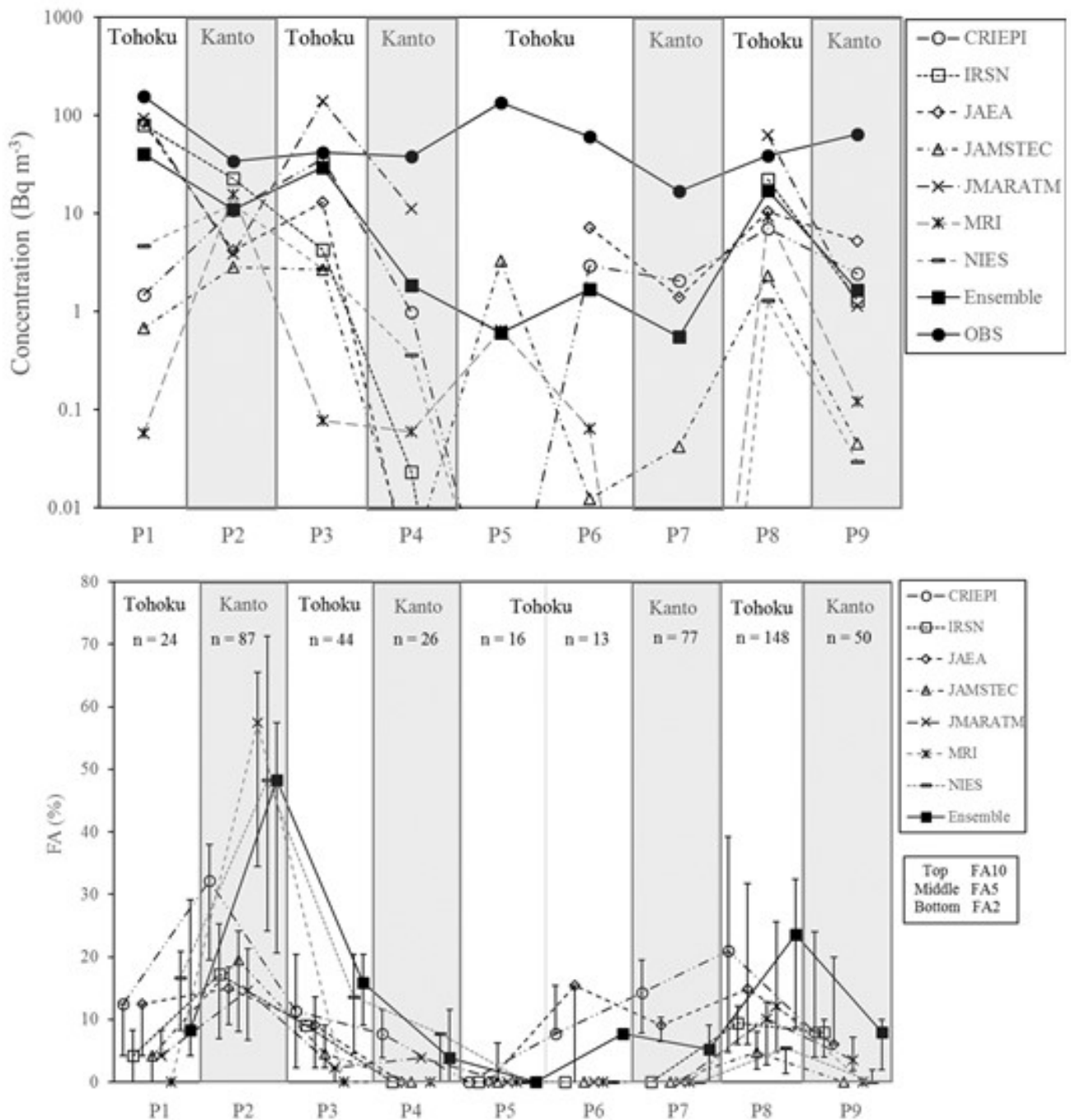
References

Science Council of Japan, September 2, 2014.
Tsuruta et al., Scientific Reports, 4:6717, 2014.

Fig. (top) Observed and simulated average concentrations of ^{137}Cs in nine radioactive plumes ([Observed- ^{137}Cs] 10 Bq m^{-3}). (bottom) Fraction of simulated data that reproduced the observations within a factor of 2, 5, and 10 (FA2, FA5, FA10, respectively).

キーワード：モデル相互比較、セシウム-137、福島第一原発事故

Keywords: Model inter-comparison, Cs-137, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident



福島第一原発事故に関わる放射能・放射線測定メタデータ検索システムの開発

Development of meta-database system for radiation monitoring related to the Fukushima Dai-ichi reactor accident.

*伊藤 好孝¹

*Yoshitaka Itow¹

1. 名古屋大学宇宙地球環境研究所

1. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

2011年3月の福島第一原発事故によって環境に放出された放射能・放射線について、政府、自治体、企業、研究者、一般市民に至る様々な人々により多種多様な測定が行われている。これらの一部はデータベースとして整理され一般公開されているものもある。しかし大部分の測定データは存在すら知られていないものも多い。これらのデータのメタデータ情報を収集してデータベース化し、測定量、測定日時、地点などからデータの所在を検索できる「福島第一原発事故に関わる放射能・放射線測定メタデータ検索システム」を開発した。このシステムによってデータの相互利用が強化されると共に、データ自身の恒久アーカイブ化への端緒が開かれると期待される。本講演では、本メタデータ検索システムの内容と今後の展開について報告する。

キーワード：メタデータベース、福島第一原発事故、放射線測定データ

Keywords: meta-database, Fukushima Dai-ichi reactor accident, Radiation monitoring data

日本地球惑星科学連合一放射化学会連携による福島第一原子力発電所近傍における事故5年後の 土壌中放射性物質の調査概要

Investigation of soil radionuclide near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant 5-year after the accident by JpGU-JNRS team

*北 和之¹、篠原 厚²、河津 賢澄³、二宮 和彦²、稲井 優希²、箕輪 はるか⁴、大槻 勤⁵、木野 康志⁶、小荒井 一真⁶、斎藤 敬⁷、佐藤 志彦⁸、末木 啓介⁹、高宮 幸一⁵、竹内 幸生¹⁰、土井 妙子¹⁰、阿部 善也¹¹、岩本 康弘¹²、上杉 正樹¹³、遠藤 暁¹⁴、大河内 博¹²、勝見 尚也¹²、神田 晃充²、久保 謙哉¹⁵、小池 裕也¹⁶、末岡 晃紀¹²、鈴木 杏菜²、鈴木 正敏⁶、鈴木 健嗣³、高瀬 つぎ子³、高橋 賢臣²、張子 見²、中井 泉¹¹、長尾 誠也¹³、南部 明弘²、藤田 将史²、森口 祐一¹⁸、谷田 貝 亜紀代¹⁷、横山 明彦¹³、吉田 剛²、吉村 崇²、渡邊 明³

*Kazuyuki Kita¹, Atsushi Sinohara², Kencho Kawatsu³, Kazuhiko Ninomiya², Yuki Inai², Haruka Minowa⁴, Tsutomu Ohtuki⁵, Yasushi Kino⁶, Kazuma Koarai⁶, Takashi Saito⁷, Yukihiko Sato⁸, Keisuke Sueki⁹, Koichi Takamiya⁵, Yukio Takeuchi¹⁰, Taeko Doi¹⁰, Yoshinari Abe¹¹, Yasuhiro Iwamoto¹², Masaki Uesugi¹³, Satoru Endou¹⁴, Hiroshi Okochi¹², Naoya Katsumi¹², Akimitsu Kanda², Kenya Kubo¹⁵, Yuya Koike¹⁶, Akinori Sueoka¹², Anna Suzuki², Masatoshi Suzuki⁶, Kenji Suzuki³, Tsugiko Takase³, Masaomi Takahashi², Zi Jian Zhang², Izumi Nakai¹¹, Seiya Nagao¹³, Akihiro Nanbu², Fujita Nobuhumi², Yuichi Moriguchi¹⁸, Akiyo Yatagai¹⁷, Akihiko Yokoyama¹³, Go Yoshida², Takashi Yoshimura², Akira Watanabe³

1. 茨城大学、2. 大阪大学、3. 福島大学、4. 東京慈恵会医科大学、5. 京都大学、6. 東北大学、7. 尚絅学院大学、8. 日本原子力研究開発機構、9. 筑波大学、10. 国立環境研究所、11. 東京理科大学、12. 早稲田大学、13. 金沢大学、14. 広島大学、15. 国際基督教大学、16. 明治大学、17. 弘前大学、18. 東京大学

1. Ibaraki University, 2. Osaka University, 3. Fukushima University, 4. The Jikei University School of Medicine, 5. Kyoto University, 6. Tohoku University, 7. Shokei Gakuin Daigaku, 8. Japan Atomic Energy Agency, 9. Tsukuba University, 10. National Institute of Environmental Studies, 11. Tokyo University of Science, 12. Waseda University, 13. Kanazawa University, 14. Hiroshima University, 15. International Christian University, 16. Meiji University, 17. Hirosaki University, 18. University of Tokyo

【研究背景】

2011年3月に起こった、東京電力福島第一原子力発電所の事故により、福島県を中心とする陸域に大規模な放射能汚染が起こった。事故後の2011年6月には、日本地球惑星科学連合および日本放射化学会を中心とした有志の研究グループが、汚染状況の把握のための土壌採取のフィールド実験を実施した。これにより初期の汚染状況が明らかとなったが、航空機サーベイ等による汚染状況の把握は継続して行われているものの、実際に土壌を採取して汚染状況の詳細を把握する大規模な調査はそれ以降行われていない。

事故から5年以上が経過し、土壌に沈着した放射性核種（主に放射性セシウム：¹³⁴Csおよび¹³⁷Cs）は環境中でその化学形態等を変化させ、土壌の深部への浸透や流出により、初期とは異なる分布状況に変化していることが予想される。帰還困難区域の除染作業が開始されようという状況で、土壌の放射性核種の汚染状況を把握するのはきわめて重要である。そこで本研究では、福島県内の帰還困難区域を中心として土壌採取のフィールド実験を行い、その分析により現在の汚染状況の把握することを目的に実施した。

【調査概要】

本研究プロジェクトは、2016年6月から9月にかけての9日間、のべ176名で実施した。福島県内の帰還困難区域を中心として、公共施設等を選定したうえで、各自治体との情報交換を行い、除染が行われていない地点全105か所を土壌採取場所として選択した。まずはNaIシンチレーターもしくは電離箱を用いて地面から1 mお

よび5 cmの空間線量の測定を行い、専用の採土器を用いて表層より5 cmの土壌を採取した。試料採取場所におけるばらつきを評価するために、1地点ごとに5試料の採取を実施し、5年間の環境中での放射性核種の移動状況を評価するために、土壌は表層部の0.0-2.5 cmと、深部の2.5-5.0 cmに分けて採取した。また放射性核種の移行過程をより詳しく調べるために、4地点につき1地点程度、深さ30 cmのコア試料の採取も行った。本講演では、この調査について概要を説明し、事故直後と5年後の比較などいくつかの初期結果について簡単に紹介する。より詳細な結果については、別の講演にて報告が行われる。

キーワード：福島第一原子力発電所、放射性セシウム、土壌沈着濃度

Keywords: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, Radiocesium, soil deposition density

福島第一原子力発電所近傍における事故5年後の土壌中放射性物質の調査 初期結果

Radioactivity in soil from near the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant at five years after the accident

*箕輪 はるか¹、北 和之²、篠原 厚³、河津 賢澄⁴、二宮 和彦³、稲井 優希³、大槻 勤⁵、木野 康志⁶、小
荒井 一真⁶、齊藤 敬⁷、佐藤 志彦⁸、末木 啓介⁹、高宮 幸一⁵、竹内 幸生¹⁰、土井 妙子¹⁰、上杉 正樹¹¹
、遠藤 暁¹²、奥村 真吾¹³、小野 貴大¹⁴、小野崎 晴佳¹⁴、勝見 尚也¹⁵、神田 晃充³、グエン タットタ
ン¹²、久保 謙哉¹⁶、金野 俊太郎¹⁵、鈴木 杏菜³、鈴木 正敏⁶、鈴木 健嗣⁴、高橋 賢臣³、竹中 聡汰¹¹
、張 子見³、中井 泉¹⁴、中村 駿介¹²、南部 明弘³、西山 雄大⁵、西山 純平⁶、福田 大輔¹³、藤井 健悟¹³
、藤田 将史³、宮澤 直希¹¹、村野井 友⁶、森口 祐一¹⁷、谷田 貝 亜紀代¹⁸、山守 航平¹¹、横山 明彦¹¹
、吉田 剛³、吉村 崇³

*Haruka Minowa¹, Kazuyuki Kita², Atsushi Shinohara³, Kencho Kawatsu⁴, Kazuhiko Ninomiya³,
Yuki Inai³, Tsutomu Ohtsuki⁵, Yasushi Kino⁶, Kazuma Koarai⁶, Takashi Saito⁷, Yukihiro Satou⁸,
Keisuke Sueki⁹, Koichi Takamiya⁵, Yukio Takeuchi¹⁰, Taeko Doi¹⁰, Masaki Uesugi¹¹, Satoru Endo¹²,
Shingo Okumura¹³, Takahiro Ono¹⁴, Seika Onozaki¹⁴, Naoya Katsumi¹⁵, Akimitsu Kanda³,
Nguyen Tat Thanh¹², Kenya Kubo¹⁶, Shuntaro Kinno¹⁵, Anna Suzuki³, Masatoshi Suzuki⁶, Kenji
Suzuki⁴, Masaomi Takahashi³, Sota Takenaka¹¹, Zi Jian Zhang³, Izumi Nakai¹⁴, Shunsuke
Nakamura¹², Akihiro Nambu³, Yudai Nishiyama⁵, Junpei Nishiyama⁶, Daisuke Fukuda¹³, Kengo
Fujii¹³, Nobufumi Fujita³, Naoki Miyazawa¹¹, Tomo Muranoi⁶, Yuichi Moriguchi¹⁷, Akiyo Yatagai¹⁸
, Kouhei Yamamori¹¹, Akihiko Yokoyama¹¹, Go Yoshida³, Takashi Yoshimura³

1. 東京慈恵会医科大学、2. 茨城大学、3. 大阪大学、4. 福島大学、5. 京都大学、6. 東北大学、7. 尚絅学院大学、8. 日本原
子力研究開発機構、9. 筑波大学、10. 国立環境研究所、11. 金沢大学、12. 広島大学、13. 明治大学、14. 東京理科大
学、15. 早稲田大学、16. 国際基督教大学、17. 東京大学、18. 弘前大学

1. The Jikei University School of Medicine, 2. Ibaraki University, 3. Osaka University, 4. Fukushima University, 5. Kyoto
University, 6. Tohoku University, 7. Shokei Gakuin University, 8. Japan Atomic Energy Agency, 9. Tsukuba University,
10. National Institute for Environmental Studies, 11. Kanazawa University, 12. Hiroshima University, 13. Meiji
University, 14. Tokyo University of Science, 15. Waseda University, 16. International Christian University, 17. Tokyo
University, 18. Hirosaki University

【はじめに】日本地球惑星科学連合および日本放射化学会を中心とした研究グループにより、福島第一原子
力発電所事故により放出された放射性物質の陸域での大規模な調査が2011年6月に実施された。事故より5年
が経過した2016年、その調査結果をふまえて放射性物質の移行過程の解明および現在の汚染状況の把握を目的
として本研究プロジェクトを実施した。2016年6月から9月にかけて、のべ9日間176名により、帰還困難区域
を中心とする福島第一原子力発電所近傍105箇所において、空間線量率の測定および土壌の採取を行った。プ
ロジェクトの概要については別の講演にて報告するが、本講演では福島県双葉郡大熊町・双葉町の土壌中の放
射性セシウム¹³⁴Csおよび¹³⁷Csのインベントリ、土壌深部への移行、¹³⁴Cs/¹³⁷Cs濃度比、また空間線量率との
相関についての評価を報告する。

【試料と測定】2016年6・7月に福島県双葉郡大熊町・双葉町の帰還困難区域内で未除染の公共施設36地点
から深さ5 cm表層土壌を各地点5試料ずつ採取した。試料は深さ0-2.5 cmと2.5-5 cmの二つに分割し、乾燥処
理後U8容器に充填し、Ge半導体検出器を用いてγ線スペクトルを測定し、放射性物質を定量した。

【結果と考察】¹³⁷Csのインベントリを航空機による空間線量率の地図に重ねたプロットを図1に示す。最大
濃度はインベントリで¹³⁷Csが68400kBq/m²、比放射能で1180kBq/kg・dryであった。インベントリは空間
線量率との明確な相関がみられた。深部土壌（深さ2.5-5.0 cm）放射能/浅部土壌（深さ0-2.5 cm）放射能の

比はおおむね1以下で表層の値の高い試料が多かったが、試料ごとの差が大きかった。また原子力発電所より北北西方向に $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 濃度比が0.87-0.93と明確に低い値を持つ地点が存在した。

キーワード：福島第一原子力発電所、放射性セシウム、Cs-134、Cs-137、土壌沈着濃度

Keywords: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, radiocesium, Cs-134, Cs-137, soil deposition density

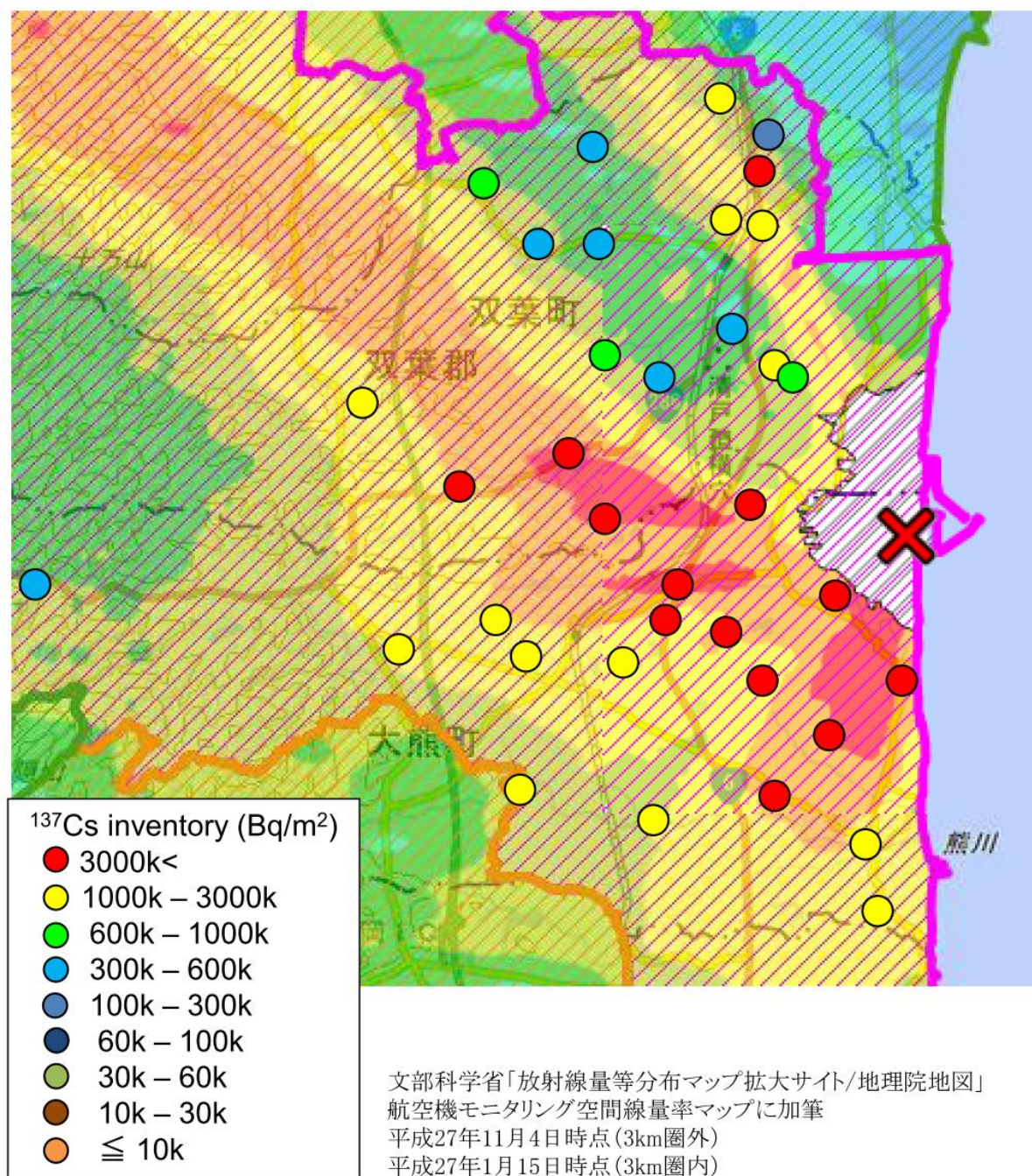


図1. 2016年の土壌調査による ^{137}Cs インベントリ
(2016年7月1日時点) 36地点(双葉町18地点、大熊町18地点)

放射性セシウムの土壌への収脱着が深度プロファイルおよび空間線量率に与える影響に対する数値解析的検討

Numerical study on sorption kinetics affecting vertical profile of radiocesium in soil and air dose rates

*操上 広志¹、Malins Alex¹

*Hiroshi Kurikami¹, Alex Malins¹

1. 日本原子力研究開発機構

1. Japan Atomic Energy Agency

放射性セシウムは土壌への強い収着特性を有する一方、深度方向に緩やかに移動し、その結果として空間線量率は物理減衰以上の低減を示している。放射性セシウムの深度分布はExponential型あるいはそれ以上に深度方向に延伸する型が多く認められる。このような放射性セシウムの分布の変遷は、数値解析によって収脱着の反応速度と分散の効果で説明しうることがわかってきた。本報告では、収脱着の反応速度を考慮した移流分散モデルおよび放射線輸送モデルを用い、放射性セシウムの深度分布変化に基づく空間線量率変化の予測結果を例示する。空間線量率の低下は、フォールアウト後10年程度まで放射性セシウムの土壌深度方向への移動により物理減衰以上であることが期待される。その後は、放射性セシウムの土壌への固定化が進むとともに物理減衰程度になると想定される。

キーワード：福島第一原子力発電所事故、放射性セシウムの深度分布、Exponential分布、収脱着速度論

Keywords: Fukushima NPP accident, radiocesium vertical distribution, exponential-shape distribution, sorption kinetics

福島県の森林における放射性セシウムの移行と林内空間線量率の時間変化傾向

Temporal changes of radiocesium transfer and ambient dose rate in forest of Fukushima Prefecture

*加藤 弘亮¹、恩田 裕一¹、Saidin Zul¹、山口 敏朗¹

*Hiroaki Kato¹, Yuichi Onda¹, Zul Hilmi Saidin¹, Toshiro Yamaguchi¹

1. 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター

1. Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba

本研究では、福島第一原子力発電所事故後4年間にわたって、森林樹冠に捕捉された放射性セシウムの林床への移行状況の観測を実施してきた。スギ人工林の2林分（31年生壮齢林及び18年生若齢林）とコナラ・アカマツからなる広葉樹混交林を対象として、樹冠通過雨、樹幹流、落葉等に含まれる放射性セシウム濃度を測定した。また、サーベイメータと可搬型ゲルマニウムガンマ線検出器を用いて、林内の異なる高度における放射性セシウムの計数率と空間線量率の測定を行った。調査対象森林において、林内の空間線量率は、樹種や林齢によって異なる特徴的な垂直分布を示した。また、林内空間線量率はいずれの森林においても時間とともに指数関数的な低下傾向を示したが、測定高度や樹種によって異なる低下速度を示した。樹冠（およそ10 m高）の空間線量率は物理減衰速度よりも早く低下したが、林床（1 m高）の空間線量率は調査森林によって異なる低下傾向を示した。本研究の観測結果から、林内空間線量率は樹種や林齢による樹冠から林床への放射性セシウム移行状況の違いを反映して空間的・時間的に異なる時間変化を示すことが示唆された。また、林内空間線量率の低減は、原発事故後4年間（平成23年～26年）とその後の2年間（平成26年～27年）で異なる傾向が認められた。このことから、林内空間線量率の長期変化傾向を予測するためには、林内の放射性セシウムの移行メカニズムと空間分布の時間変化を解明することが必要であることを示した。

キーワード：福島第一原子力発電所事故、森林環境、放射性セシウム、空間線量率

Keywords: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Forest Environment, Radiocesium, Ambient dose rate

除染農地における土砂および ^{137}Cs の移動

Migration of sediment and ^{137}Cs on decontaminated arable lands

*脇山 義史¹、恩田 裕一^{1,2}

*Yoshifumi Wakiyama¹, Yuichi Onda^{1,2}

1. 福島大学環境放射能研究所、2. 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター

1. Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, 2. Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba

現在、放射性物質が多量に沈着した地域では、表土の剥ぎ取りや客土などの除染作業が進められている。放射性物質の除去あるいは埋没による空間線量率の低下が期待されるが、人為的な土壌のかく乱によってその土地の水文応答や土砂動態が変化する可能性がある。しかし、これまでに除染地における土砂の ^{137}Cs および動態を調べた研究はほとんどない。本研究では、除染地を含む利用条件の異なる土地において土砂および ^{137}Cs の流出量を観測し、除染が土砂および ^{137}Cs 動態に及ぼす影響の解明に取り組んでいる。観測は未除染地の4か所（未耕作畑、耕作畑、草地、森林）と除染地の2か所（未耕作、耕作）に設置した土壌侵食プロットによって行っている。これまでの観測の結果、除染地で生産される土砂の ^{137}Cs 濃度は除染前に比べて1オーダー小さい値を示した。また、除染地の土砂流出量は、除染前の畑と同等であり、除染前の森林や畑より大きかった。除染地における土砂の ^{137}Cs 濃度と土砂流出量から算出した ^{137}Cs 流出率は、未除染の畑より少なく、未除染の森林や草地より大きい値となった。以上の結果から、除染によって畑のような侵食されやすい土地では ^{137}Cs の移動量が減少する一方で、森林や草地などの侵食されにくい土地では ^{137}Cs の移動量が増加する可能性が示唆される。除染地の表面流出率や細粒土砂の発生量を見ると、除染前の畑に比べて、表面流が発生しにくく、細粒土砂の流出が少ないという傾向が見られた。今後、除染地における土壌の粒径や透水性を把握し、その土壌侵食プロセスを明らかにすることが課題である。

キーワード：除染、土壌侵食、斜面、 ^{137}Cs

Keywords: Decontamination, Soil erosion, Slope, ^{137}Cs

福島河川中のセシウム濃度の急速な低減傾向とその要因

The rapid decline of Cs-137 concentration in Fukushima rivers

*恩田 裕一¹、谷口 圭輔²、脇山 義史³

*Yuichi Onda¹, Keisuke Taniguchi², Yoshifumi Wakiyama³

1. 筑波大学アイソトープ環境動態研究センター、2. 福島県環境創造センター、3. 福島大学環境放射能研究所

1. Center for Research on Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, 2. Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation, 3. Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

福島原発事故後5年間のモニタリングによって、福島河川中の放射性セシウム濃度は激減した。本発表では、その低下要因および濃度がチェルノブイリより1桁低いことを紹介する。また、除染の効果についても算定したのでその結果も報告する。

キーワード：セシウム137、福島原発事故、河川流出

Keywords: Cs-137, Fukushima NPP accident, runoff from rivers

セシウム包有微粒子が河川水中のセシウムの固液分配へ与える影響

Effect of Cesium-bearing Microparticles to the Solid-Liquid Distribution of Cesium in Rivers

*三浦 輝¹、栗原 雄一¹、谷口 圭輔²、坂口 綾³、桧垣 正吾⁴、恩田 裕一³、高橋 嘉夫¹

*Hikaru Miura¹, Yuichi Kurihara¹, Keisuke Taniguchi², Aya Sakaguchi³, Shogo Higaki⁴, Yuichi Onda³, Yoshio Takahashi¹

1. 東京大学大学院 理学系研究科、2. 福島県環境創造センター、3. 筑波大学大学院 アイソトープ環境動態研究センター、4. 東京大学 アイソトープ総合センター

1. Department of science, Graduate school of The university of Tokyo, 2. Center for Environmental Creation Fukushima Prefecture, 3. Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba, 4. Isotope science center, The university of Tokyo

Introduction: The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident occurred on 11th March 2011 and a lot of radionuclides were emitted into the environment from the reactors (Yoshida and Takahashi, 2012). About 1.3×10^{16} Bq of Cesium-137 (Cs-137) was deposited to the ground by dry and wet depositions (Chino et al., 2011). According to Konoplev et al. (2016), solid-liquid distribution coefficient K_d values in Fukushima rivers are by 1-2 orders of magnitude higher than those in Chernobyl and it is possibly because the presence of Cs-bearing microparticles and higher Radiocesium Interception Potential (RIP) values of soils in Fukushima than those in Chernobyl. Cesium-bearing microparticle is a glassy, water-insoluble particle (Adachi et al., 2013). Cesium and many other elements from the reactor were found in the microparticles (Abe et al., 2014). The calculation of isotope ratio of Cs shows that the particles are from unit 2 or 3 (Nishihara et al., 2012). In this paper, the microparticles in suspended particles on the filters in river waters will be shown, focusing on the effect of the microparticles to the K_d values in the rivers. If there are the microparticles on the filter, apparent K_d value will be higher than intrinsic K_d value related to the adsorption-desorption reaction to the clay minerals.

Method: Suspended particles (3-63 μm) were collected from some rivers in Fukushima Prefecture by filtering water (60-90 L) in 2014 - 2016. After the filters were dried, total radioactivity of Cs-137 on the filters was measured by high purity Germanium semiconductor detector (HPGe). Planar distribution of radiation of filter was measured by autoradiography with Imaging Plates (IPs). After microparticle with high radioactivity was found on the filter, it was separated from other particles by water and NaI scintillation counter. Our method can separate microparticles more quickly and efficiently than previous methods (Adachi et al., 2013). Also, the microparticles can be more readily found by Scanning Electron Microscope (SEM) without using glue in the separation processes. The microparticles were measured by SEM coupled with Energy Dispersive x-ray Spectroscopy (EDS) to determine that the particles were similar to the particles reported in Adachi et al. (2013) etc. In the end, radioactivity of Cs-137 in the microparticle was measured by HPGe.

Result: Some hot spots were found on filters of Kuchibuto River collected in 2014 and 2015 by autoradiography. No hot spots were found on the filters from other rivers. The results of SEM-EDS showed that these hot particles and reported Cs-bearing microparticles were almost similar because they consist of elements such as Si, Cs, Fe, and Zn. Radioactivities of Cs-137 in the microparticles were about 0.8-3.0 Bq. Their isotope ratios of Cs (Cs-134/Cs-137 around 1.1) showed that the microparticles were from unit 2 or 3 of FDNPP. On filters collected on 3rd May 2014, 30% of Cs-137 on the filters was from the microparticles, while 46% of Cs-137 on filters was from the microparticles for the samples of 11th

November 2015. If K_d value is calculated using these filters, the value will be overestimated compared with intrinsic K_d value that assumes adsorption-desorption reactions on clay minerals etc. The filters after 1-3 years from the accident and from different places should be measured successively. These results may explain the phenomenon that K_d values in rivers in Fukushima are higher than those in Chernobyl. The effect of the Cs-bearing microparticles must be considered when K_d values of Cs in Fukushima are discussed.

キーワード：福島、セシウム、セシウム含有粒子、原発事故、放射能、固液分配

Keywords: Fukushima, Cesium, Cesium-bearing particle, nuclear power plant accident, radioactivity, Solid-liquid distribution

Radiocaesium in the North Pacific Ocean derived from atmospheric weapons tests and Fukushima accident: A review of past and present

*青山 道夫¹

*Michio Aoyama¹

1. 福島大学環境放射能研究所

1. Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University

1, Two major sources terms of radiocaesium to the Ocean from the Fukushima accident and fallout from atmospheric weapons tests before the accident

The ¹³⁷Cs derived from atmospheric weapons test conducted late 1950s and early 1960s and the inventory in the North Pacific Ocean in 1970 was 290 +- 30 PBq (Aoyama et al., 2006). Some portion of the ¹³⁷Cs in the North Pacific Ocean were transported to South Pacific Ocean and Indian Ocean and also radioactive decay occurred with a half-life of 30.7 years, the ¹³⁷Cs inventory in the North Pacific Ocean before the FNPP1 accident decreased to 69 +- 7 PBq as of 2011 (Aoyama et al., 2016).

There are two major sources of radionuclides to the environment derived by the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FNPP1) accident in 2011. The largest and earliest source of artificial radionuclide was atmospheric release from FNPP1, which led to atmospheric deposition on both land and in the ocean. Atmospheric release peaked mid of March 2011 and total amount of atmospheric release of ¹³⁷Cs was estimated to be 15.2-20.4 PBq and same amount of ¹³⁴Cs was also released because activity ratio of ¹³⁴Cs vs. ¹³⁷Cs was almost 1 (Aoyama et al., 2016). About 20 % of released radiocaesium fell on land and 80% of released radiocaesium fell on the ocean. Therefore 11.7-14.8 PBq of ¹³⁷Cs was injected in the North Pacific Ocean as atmospheric deposition.

Second largest source was the direct discharge of contaminated waters to the ocean since 26 March 2011 and peaked on 6 April 2011 based on analysis of ¹³¹I vs. ¹³⁷Cs activity ratio (Tsumune et al., 2012). Total amount of released ¹³⁷Cs was estimated to be 3.5 +- 0.7 PBq. A combined input to the North Pacific Ocean of ¹³⁷Cs from both atmospheric deposition and direct discharge was therefore estimated to be 15.2 -18.3 PBq.

2, Three major pathways of FNPP1 derived radiocaesium in the North Pacific Ocean

The fastest pathway of FNPP1 derived radiocaesium might be surface pathway. FNPP1-derived radiocaesium injected at north of Kuroshio front by atmospheric deposition and direct discharge spread eastward in surface water up to 200 meters by the North Pacific Current across the mid-latitude North Pacific (Aoyama et al., 2016). In 2013 main body of FNPP1 radiocaesium in surface layer was already in the eastern Pacific. A model simulation (Tsubono et al., 2016) also shows good agreement with the observed radiocaesium activities in the Pacific Ocean reported by several studies.

The second pathway is subduction of central mode water (CMW). A maximum of radiocaesium activity in June/July 2012 was observed at potential densities of 26.1-26.3 at 34 deg. N-39 deg. N, 165 deg. E, which correspond to 400 meters depth. The density is in a range of density of CMW and radiocaesium activity was higher than those in the surrounding waters, including STMW. In June-July 2015 and June 2016 at 36°N-44°N along 165°E, there are only very weak signal of subduction of FNPP1 radiocaesium. This means that subducted radiocaesium might move eastward from this region. Before the Fukushima accident, ¹³⁷Cs maximum corresponding CMW region was observed, however, it located at 20°N, 165°E because it was 40 years after subduction (Aoyama et al., 2008).

The third pathway is subduction of subtropical mode water (STMW). FNPP1-derived radiocaesium injected at south of Kuroshio front by atmospheric deposition transported to southward rapidly due to subduction of STMW at potential densities of 25.1-25.3. In 2015 along 165 deg. E, FNPP1 radiocaesium

corresponding STMW spread entire subtropical gyre and a part of them reached 2 deg. N and recirculated in the subtropical gyre and reached Japanese coast.

3, Mass balance of FNPP1 radiocaesium in the North Pacific

^{134}Cs inventory was estimated to be 8 PBq in surface layer in summer 2012 (Inomata unpublished).

Kaeriyama et al. (2016) estimated that ^{134}Cs inventory in STWM in 2012 was about 4 PBq. We believe that FNPP1 derived ^{134}Cs injected in the North Pacific was 15.2 - 18.3 PBq. Therefore ^{134}Cs inventory can be estimated 3-6 PBq in CMW at this moment based on a mass balance of FNPP1 radiocaesium.

The ^{137}Cs inventory in the North Pacific Ocean before the FNPP1 accident, which was derived mainly from nuclear weapons testing, was 69 PBq at the end of 2010. Thus, the FNPP1 accident increased the ^{137}Cs inventory of 15.2 - 18.3 PBq by as much as 22 - 27%.

キーワード：福島事故、核実験降下物、北太平洋

Keywords: Fukushima accident, global fallout, North Pacific Ocean

北太平洋における福島第一原子力発電所事故に由来する放射性セシウムの6年間の拡散状況

Oceanic dispersion of radioactive cesium derived from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident in the North Pacific during six years

*帰山 秀樹¹

*Hideki Kaeriyama¹

1. 水産研究・教育機構

1. Japan Fisheries Research and Education Agency

福島第一原子力発電所事故による放射性セシウム(¹³⁴Csおよび¹³⁷Cs)の環境放出により北太平洋全域の表層の放射性セシウム濃度が上昇した。水産研究・教育機構では2011年3月より水産物の緊急モニタリング調査を開始、それ以降海洋生態系を構成する様々な生物群、環境試料における放射性セシウム濃度の把握と、放射性セシウムの海洋生態系内における挙動を解析してきた。本研究では、海洋生態系における放射性セシウムの挙動を把握する際の最も基礎となる情報である、溶存態放射性セシウムの北太平洋における拡散状況を採水調査の結果に基づき報告する。調査は漁業調査船による資源調査航海などの機会を活用し、バケツによる表層海水の採取や採水器を用いた鉛直多層採水により得た海水20L試料を対象とした。その他、福島県沿岸では漁船を用いた用船調査、福島県水産試験場の協力による小名浜地先の汲み上げ海水などを採取している。海水試料はリンモリブデン酸アンモニウム共沈法を適用し、ゲルマニウム半導体検器によるガンマ線測定に基づき放射性セシウム濃度を求めた。

北太平洋の広域拡散状況の把握という観点では144E、155Eおよび175.5Eにおける南北側線を設け、2011年7月、10月、2012年7月、2013年7月に表面海水採水による観測を実施しており、黒潮続流の北側における東方への拡散状況を把握している。また2012年9月の鉛直断面観測により、黒潮続流の南方においては亜熱帯モード水に補足された放射性セシウムを確認した。事故当時に減衰補正した¹³⁴Csの総量は 4.2 ± 1.1 PBqと試算され、北太平洋全域における福島第一原発事故由来の¹³⁴Cs放出量の22~28%が亜熱帯モード水に存在すると推定された。亜熱帯モード水の輸送先である日本南方の亜熱帯海域に着目し、放射性セシウムの経年変化を¹³⁷Csの水深0~500mの水柱積算値で見ると2012年の 3600 Bq m^{-2} から2015年の 1500 Bq m^{-2} まで減少していることが明らかとなった。冬季の鉛直混合により亜熱帯モード水の一部は表層水塊へ表出し、移流・拡散により福島第一原発事故由来の放射性セシウムは希釈されたと推察される。

一方、福島第一原子力発電所近傍海域として小名浜地先における汲み上げ海水を週一回の頻度で採水し放射性セシウム濃度の時系列変動を解析している。小名浜地先における溶存態放射性セシウム濃度は基本的に緩やかな減少傾向を示すものの、夏季および冬季にスパイク状に濃度の上昇が認められる。特に冬季、爆弾低気圧が福島県沖合を北上した時期に顕著な放射性セシウム濃度の上昇が認められた。2013年12月から2014年2月の期間には福島第一原子力発電所と小名浜の中間に位置する四倉沖で物理観測を実施しており、その際の流速データは、四倉沖で強い南向きの流れが継続した時期と、小名浜地先で放射性セシウム濃度が上昇した時期が一致することを示している。すなわち福島第一原子力発電所近傍の海水が強い南下流により小名浜地先近傍まで希釈をされずに移流したと推察される。このように福島第一原子力発電所近傍海域における溶存態放射性セシウムの分布は時空間的に変動が大きく、今後も引き続きモニタリング調査が必要である。

キーワード：福島第一原子力発電所事故、放射性セシウム、北太平洋、モード水

Keywords: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Radioactive cesium, North Pacific, Mode
water

海底地下水湧出による放射性セシウムの沿岸海域への移行：間隙水の地球化学的特徴によるアプローチ

Transport of Fukushima-derived radiocesium into the coastal ocean via submarine groundwater discharge: an approach from geochemical character of pore water

*神林 翔太¹、張 勁²、成田 尚史³

*Shota Kambayashi¹, JING ZHANG², Hisashi Narita³

1. 富山大学大学院理工学教育部、2. 富山大学大学院理工学研究部、3. 東海大学海洋学部

1. Graduate School of Science and Engineer for Education, University of Toyama, 2. Graduate School of Science and Engineer for Research, University of Toyama, 3. School of Marine Science and Technology, Tokai University

陸域から海洋への放射性セシウム (Cs) の供給源として河川水以外に海底地下水湧出 (Submarine Groundwater Discharge: SGD) の存在が指摘されている。しかし、採取が容易な河川水に対し、SGDは一般的に目に見えない現象であるため試料採取が困難であり、これまで定量的な評価が行われていなかった。本研究では、汽水湖「松川浦」で収集した海底堆積物中の間隙水の化学分析を通じてSGDを含めた陸域から沿岸域への放射性Csの流入量を見積もることを目的とした。

間隙水及び同地点の直上水に含まれる¹³⁷Cs濃度はそれぞれ1,398 mBq/L、117.7 mBq/Lであった。この結果は、海底堆積物から間隙水中に有意な量の放射性Csが溶脱していることを示している。また、フィックの法則を用いてフラックスの計算を行った結果、堆積物表層から直上水へ11.3 mBq/cm²/hの¹³⁷Csの逸出が起きる事が推定された。さらに、本研究で得られた堆積物-間隙水間の分配比と松川浦の表層堆積物に含まれる¹³⁷Cs濃度の平均値を用いて湖水中に逸出される¹³⁷Csフラックスを見積もると0.08 GBq/dayと推定され、松川浦に供給される¹³⁷Csの大部分を占めていることが明らかになった。本研究の結果から、沿岸海域には海水が海底下に潜り、堆積物間隙水の逸出という形で再び海洋へと流出する再循環水(Recycled Submarine Groundwater Discharge: RSGD)によって多量の放射性Csが供給されており、今後、沿岸海域や外洋における放射性Csの評価に供給源としてSGDを把握する重要性が示唆された。

キーワード：放射性セシウム、海底地下水湧出、間隙水、松川浦

Keywords: Fukushima-derived radiocesium, Submarine Groundwater discharge, Pore water, Matsukawa-ura Lagoon

福島第一原子力発電所事故時に海洋へ直接漏洩した¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and ³Hの 領域海洋シミュレーション

Regional-scale oceanic simulations of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ³H radioactivity directly released by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident

*津旨 大輔¹、坪野 考樹¹、三角 和弘¹、立田 穰¹、青山 道夫²、広瀬 勝巳³

*Daisuke Tsumune¹, Takaki Tsubono¹, Kazuhiro Misumi¹, Yutaka Tateda¹, Michio Aoyama²,
Katsumi Hirose³

1. 一般財団法人 電力中央研究所、2. 福島大学 環境放射能研究所、3. 上智大学 理工学部

1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, 3. Faculty of Science and Technology, Sophia University

A series of accidents at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (1F NPP) 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. Additional release pathways by river input and runoff from 1F NPP site with precipitation and were also effective for coastal zone in the specific periods before starting direct release on March 26 2011. The activities attributable to the direct release were observed adjacent to the 1F NPP site. The sea side impermeable wall was closed at 26 October 2015. We estimated the direct release rate of ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr and ³H for more than four-and-a-half years after the accident by the Regional Ocean Model System (ROMS).

Direct release rate of ¹³⁷Cs were estimated by comparing simulated results and measured activities adjacent to the 1F NPP site (adjacent to 5,6 discharge and south discharge). Direct release rate of ¹³⁷Cs was estimated to be 2.2×10^{14} Bq/day and decreased exponentially with time to be 3.9×10^9 Bq/day by 26 October 2015. Estimated direct release rate have exponentially decreased with constant rate since 4 November 2011. Apparent half-life of direct release rate was estimated to be 346 days. The estimated total amounts of directly released ¹³⁷Cs was 3.6 ± 0.7 PBq from 26 March 2011 to 26 October 2015. Simulated ¹³⁷Cs activities attributable to direct release were in good agreement with observed activities, a result that implies the estimated direct release rate was reasonable. Simulated ¹³⁷Cs activity affected off coast in the Fukushima prefecture.

⁹⁰Sr/¹³⁷Cs activity ratio of stagnant water was 0.05 in the basement of the 1F NPP reactor 2 turbine building on 27 March 2011. Direct release rate of ⁹⁰Sr was estimated to be 1.1×10^{13} Bq/day from 26 March to 6 April 2011 using the activity ratio in stagnant water because the stagnant water released to the ocean in this period (Tsumune et al., 2012). And the temporal change of direct release rate was estimated by the measured ⁹⁰Sr activity adjacent to 1F NPP. Directly release rate decreased exponentially to 3.9×10^{10} Bq/day by 30 April 2011. The direct release rate was constant and decreased exponentially from 27 June to 16 December 2013. And the direct release rate was 2.9×10^9 Bq/day by 26 October 2015. The estimated total amounts of directly released ⁹⁰Sr was 208 ± 42 TBq.

³H/¹³⁷Cs activity ratio of stagnant water was 8.7×10^{-3} in the basement of the 1F NPP reactor 2 turbine building on 27 March 2011. Directly release rate of ³H was estimated to be 1.9×10^{12} Bq/day from 26 March to 6 April 2011 and decreased exponentially by 16 April 2011. The rate was decreased exponentially with constant rate by 26 October 2015. The direct release rate was estimated to be 7.7×10^9 Bq/day at 26 October 2015. The estimated total amounts of directly released ³H was 131 ± 26 TBq.

キーワード：福島第一原子力発電所事故、領域海洋モデル、直接漏洩、放射性セシウム、放射性ストロンチウム、トリチウム

Keywords: Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident , regional ocean model, direct release, radiocaesium, radiostrontium, tritium

Radiocaesium activities in the North Pacific Ocean Water from 1945 to 2020 Calculated by eddy-resolving ROMS

*坪野 考樹¹、三角 和弘¹、津旨 大輔¹、青山 道夫²、廣瀬 勝己³

*Tsubono Takaki¹, Kazuhiro Misumi¹, Daisuke Tsumune¹, Michio Aoyama², katsumi hirose³

1. 一般財団法人 電力中央研究所、2. 福島大学、3. 上智大学

1. Central Research Institute of Electric Power Industry, 2. Fukushima University, 3. Sophia University

We conducted the ensemble simulation of ^{137}Cs activity in the North Pacific Ocean (NPO) water from 1945 to 2020, before and after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (1F NPP) accident, because we used the estimations of ^{137}Cs activity flux, but climatology as physical forcing. Using the Regional Ocean Model System (ROMS) with high resolution ($1/12^\circ$ - $1/4^\circ$ in horizontal, 45 levels in vertical), of which domain was the NPO, we preliminarily estimated a factor multiplying the total of ^{134}Cs fluxes, which have been estimated for the atmospheric deposition and the direct discharge from the accident. The direct comparison of the observed and calculated ^{134}Cs showed that the total ^{134}Cs Flux was 1.6 times greater than the previous estimate. We re-calculated the ^{134}Cs activities in the NPO water using the flux multiplied by 1.6 and confirmed the improvement of the simulation by the multiplied flux, which suggested that each the ^{134}Cs and ^{137}Cs inventories in the NPO increase by about 16PBq due to the accident. For the hindcast and forecast of the ^{137}Cs activity in the NPO water, we calculated the ^{137}Cs activity in the NPO water from 1945 to 2020 by using the global fallout flux due to atmospheric nuclear weapons' tests and the Chernobyl accident and the estimated fluxes of the 1F NPP accident. For the calculation, five ensemble calculations of ^{137}Cs activity were conducted by moving the start period of the input flux for one year. The ^{137}Cs activity in the surface water showed that the plume due to the 1F NPP accident with relatively higher activity than 5 Bq m^{-3} was transported to the western area of 135°W in 2015, while the activity of the plume was rather lower than that in 1985. The peak year of the ^{137}Cs activity can be estimated from the hindcast and forecast. The ^{137}Cs activity in the surface water north of 30°N shows that the peak activity of ^{137}Cs reached 180° in 2011, but in 2012 it moved near 180° and in 2017 moved around 90°W . The total inventory of ^{137}Cs in the NPO increased up to 77 PBq in 2011 and gradually decreased to 61PBq in 2018 by transport outside of the domain, which is almost the same as that in Dec. 2010. The whole amount of ^{137}Cs in the subsurface layer (200-600m depth) is larger than that in the surface layer (0-200m depth) since the 1F NPP accident except 2011.

キーワード : ^{137}Cs 、北太平洋、渦解像モデル

Keywords: ^{137}Cs , North Pacific ocean, eddy-resolving model

