

茨城県つくば市で観測された原発事故由来の放射性ストロンチウム Radioactive strontium from the Fukushima Nuclear Power Plant accident observed at Tsukuba, Ibaraki, Japan

五十嵐 康人^{1*}, 岩井和加里¹, 佐向洋², 鍋島一真¹, 梶野 瑞王¹

IGARASHI, Yasuhito^{1*}, Wakari Iwai¹, Hiroshi Sakou², Kazuma Nabeshima¹, KAJINO, Mizuo¹

¹ 気象研究所 環境・応用気象研究部, ² アトックス

¹Meteorological Research Institute, ²Atox Co. Ltd.

はじめに

1986年のチェルノブイリ事故以降、重大な原子力事故は発生しておらず、大気環境中での人工放射性核種の濃度水準は、きわめて低いレベルで推移してきた。ところが、2011年3月11日に東北大地震・津波により東京電力福島第一原子力発電所が被災して重大事故となり、新たに大気環境へチェルノブイリ事故の数分の一に達する放射性物質が放出・付加された。この大規模な汚染によって、大気環境中での人工放射性核種の濃度水準も大きな影響を受けた。気象研究所では、大気試料の採取及び試料中の放射能の分析を事故前後で継続した。これまで報告したのは、Ge半導体検出器によって化学操作等なしに測定が可能な線放出核種の結果のみであった。その後放射性Srの分析を開始したので、本発表では大気中濃度および月間降下量について、報告する予定である。

分析方法概要

茨城県つくば市の気象研究所観測露場に設置した大容量サンプラー（柴田科学製 HV-1000F）により、石英繊維フィルター（アドバンテック QR100, サイズ 203mm × 254mm）に大気を通し、大気エアロゾルを捕集し、試料とした。通常は1週間以上の捕集時間だが、事故が明らかになったことから、1回の捕集時間は6時間～1日とした。サンプラーの流量は700 L/minで設定しており、収集された空気量は約250, 500, または1000立方メートル（それぞれ捕集時間が6, 12, 24時間のとき）になる。放射性Sr分析は、以下のペレット作成前にパンチで打ち抜いた試料の一枚を分析に供した（約2%相当）。放射性Srを発煙硝酸法等からなる沈澱法を主体とした放射化学分離により精製し、最終的に炭酸Sr塩として線源固定した。⁹⁰Y放射能の成長および⁸⁹Srの減衰を見るために、低バックグラウンド2 ガスフロー検出器で長期間にわたり放射能を測定した。他方、線放出核種の定量は、試料を油圧プレス器によりペレット状に圧縮した後、Ge半導体検出器を用いて行った。なお、最初の濃度ピーク以前の試料は濃度が低く、つくばにある検出器は汚染を受けて測定が困難だったため、大きな汚染が及んでいない西日本にある京都大学原子炉実験所で測定した。

月間大気降下物試料の採取は、事故前後で途絶えることなく、気象研究所および群馬県榛名山で実施した。降下物試料はGe半導体検出器で線放出核種を定量した後、一部を使用して放射性Srの分析を大気フィルター試料と同様の化学操作で分離、放射能の計測に供した。

結果概要

つくばでの線放出核種の大気中濃度時系列データは、3月中に二度の上昇を示した。これらのピークは、2011年3月における、福島原発からの放射性プルームの関東平野への顕著な移流拡散事象を捉えていた。放射性Srが検出できたフィルター打ち抜き試料も3月15日前後、および3月21日前後の試料のみであり、それ以外では試料供試量が少なかったため、検出下限を下回った。⁸⁹Srは半減期50日ほどで半減するため、フィルター試料では検出が困難であった。¹³⁷Cs/⁹⁰Sr比は検出事例では約1000程度で、原子力安全保安院の⁹⁰Sr放出量評価とほぼ合致する数値と考えている。さらに、それぞれの移流事象では事故現場での放出物の違いがあると考えられ、酸への溶解性が異なることもわかった。

キーワード: 放射性ストロンチウム, 大気試料, 福島原発事故, 放出量

Keywords: Radioactive strontium, Atmospheric samples, the Fukushima accident, Emission inventory

福島第1原子力発電所事故由来のエアロゾル態放射性セシウムの微物理・化学特性 Physico-chemical characteristics of airborne radio cesium from the Fukushima accident

兼保 直樹^{1*}, 大橋英雄², 鈴木芙美恵², 奥田知明³
KANEYASU, Naoki^{1*}, Hideo Ohashi², Fumie Suzuki², Tomoaki Okuda³

¹ 独立行政法人 産業技術総合研究所, ² 東京海洋大学, ³ 慶応大学

¹Nat. Inst. Advanced Industrial Sci&Tech, ²Tokyo Univ. of Marine Sci.& Tech., ³Keio University

福島第一原子力発電所事故の直後より、ハイボリューム・エアサンプラ等により捕集された大気エアロゾル中の放射性核種の測定は各地で実施され、多くの結果が公表されている。しかし、これらの放射性核種の大気中からの湿性(雲過程を含む)・乾性沈着による除去、および呼吸器内の各部位への沈着を考える際に重要な情報と考えられるエアロゾル中の放射性核種の粒径分布については、その測定例をほとんど見ない。そこで、事故後40日以上が経過した時点ではあるが、茨城県つくばにおいて大気エアロゾルの粒径別捕集を開始し、そこに含まれる放射性核種の測定を実施した。また、捕集されたエアロゾル中放射性核種の液相への抽出実験を実施した。

エアロゾル捕集は茨城県つくば市にある産業技術総合研究所の4階バルコニーにおいて、2011年4月28日より低圧型カスケードインパクト(Low-pressure cascade impactor, Tokyo Dylec LP-20)を用いて実施した。12段の衝突捕集材としてアルミニウムシートまたは石英繊維フィルター(Pallfex 2500QAT-UP)を用い、13段目のバックアップフィルターには同じ石英繊維フィルターを用いた。吸引流量は 23.6 L min^{-1} 、吸引時間は事故後に相当の日数が経過したことから2週間~40日と長く取った。放射性核種の測定は東大宇宙線研究所に設置された低バックグラウンドガンマ線スペクトロメーターを用いて行われた。

2011年4月28日~5月12日にアルミシート上(最終段は石英繊維)に捕集された大気エアロゾル(LPI-AIST-1 サンプル)中の¹³⁷Csおよび¹³⁴Cs放射能粒径分布はほぼ同型で、その大部分がサブミクロン領域に分布していた。粒径分布は $0.5\text{-}0.7 \mu\text{m}$ に最大値を持ち、かつ $0.2\text{-}0.3 \mu\text{m}$ にも極大値を持つ二峰性の特徴的な形を示した。この二峰性の特徴は次の5月12~26日のLPI-AIST-2 サンプル(石英繊維フィルター上に捕集)では消え、 $0.5\text{-}0.7 \mu\text{m}$ に最大値を持つ単峰のLog-normal型のピークとなっている。

LPI-AIST-1および2 サンプルから分析されたエアロゾル主要成分の質量粒径分布のうち、 nss.SO_4^{2-} の質量粒径分布は¹³⁷Csおよび¹³⁴Csの放射能粒径分布とほぼ同じ微小域に存在した。一方、他の組成の多くは粗大域に存在した。LPI-AIST-1のCs同位体でみられた微小域での二峰性の分布は、 SO_4^{2-} の質量粒径分布によく見られるdroplet modeの形成とほぼ一致する。また、LPI-AIST-1および2の放射能中央空気力学径(Activity Median Aerodynamic Diameter: AMAD)は nss.SO_4^{2-} の質量中央空気力学径と一致した。また、今回測定された放射性CsのAMADは、事故形態の違いにもかかわらず、チェルノブイリ事故時に各地で測定された¹³⁷CsのAMADとあまり大きな差がない。

これより得られる結論は、以下のものである。

- ・放射性セシウムの大部分がサブミクロン域(Accumulation mode)にあるということは、土壌粒子収着・再飛散はこの時点(2011年4月末~5月)では少ない
- ・放射性セシウムの放射能粒径分布はsulfate粒子の質量粒径分布ときわめて近い分布であり、サブミクロン域にダブルピークがみられたことは、その担体・輸送メディアはsulfateである可能性が大きいことを示す。すなわち、放射性セシウムの湿性除去過程のモデリングにはsulfateを使えとえられる。
- ・本結果からは、内部被曝評価のためBqをSvに変換するeffective dose conversion factorを選択する際、ICRP-66のデフォルト値であるAMAD: $1 \mu\text{m}$ (公衆カテゴリ)は大き過ぎる可能性があることが示唆された。

また、チェルノブイリ事故時に採取された同様なエアロゾル・サンプルでは、水のみで抽出可能な放射性セシウムは20%程度で、0.1M程度の塩酸で抽出処理を行っても、依然30%以上の放射性セシウムは抽出できなかったことが報告されている。そこで、LPI-AIST-1で最大の放射能粒径を示した8段目($0.5\text{-}0.7 \mu\text{m}$)に捕集されたエアロゾル・デポジット中の放射性セシウムの液相への successive な抽出実験を行った。サンプルが捕集されたアルミシートの1/4枚を純水(水画分)中に20分間静置して引き上げ、次に0.1Mの塩酸(塩酸画分)中に20分浸してこれも引き上げ、最後に1Mの塩酸中にアルミシートごと全溶解させた(残渣)。この抽出実験の結果については講演で発表する。

キーワード: 放射性セシウム, 粒径分布, 内部混合, 硫酸塩, エアロゾル
Keywords: radio cesium, size distribution, internal mixture, sulfate, aerosol

福島第1原子力発電所から放出された放射性物質量の逆解析による推定 Estimation of released radioactive materials from Fukushima power plant by inverse model

眞木 貴史^{1*}, 梶野 瑞王¹, 田中 泰宙¹, 関山 剛¹, 千葉 長¹, 五十嵐 康人¹, 三上 正男¹

MAKI, Takashi^{1*}, KAJINO, Mizuo¹, TANAKA, Taichu¹, Tsuyoshi Thomas Sekiyama¹, Masaru Chiba¹, IGARASHI, Yasuhiro¹, MIKAMI, Masao¹

¹ 気象研究所

¹ Meteorological Research Institute

2011年3月に発生した福島原子力発電所の事故において多量の放射性物質が放出された。本件に関し、国内外の様々な機関が輸送モデルを用いた予測結果を公表したが、その殆どは放出量を固定値や推定値としたために予測結果はあくまでも相対的なものに留まった。今回は、この放出量の推定を目的として逆解析の手法 (Maki et al., 2011) を応用し、輸送モデルのタグ付き輸送実験の結果と放射線量観測データを元に、放出された放射線量を推定するシステムの構築を行った。

輸送モデルはMRI-PM/r (梶野ら、2011) のタグ付きトレーサー実験の結果を用いた。水平解像度は5km (予測範囲は500km × 500km)、6時間毎、高度は3レベル (0-100m、100-200m、200-400m) の一定量放出のタグ付き輸送実験を行った。観測データは文科省等が実施している環境放射能のモニタリング結果の49地点の特別値を用いた。放出量の先験情報としては先行研究 (Chino et al., 2011) の結果を用いた。現在、全球的な観測データ (CTBT など) と全球エアロゾル輸送モデルMASINGAR (Tanaka et al., 2003) の計算結果を用いた解析を実施中である。

逆解析を用いることによって、観測データにもより整合し、かつ与えた先験情報からも大きく離れない解析結果を得ることができた。解析精度や解析可能な空間・時間分解能は与える観測データの質と量に大きく依存することも分かった。また、今回の解析で先験情報よりも高い放出量極大値を解析することができた。

本システムを発展させることによって、原発等の事故発生時における速報的な監視予測システムの構築や総放出量の精密な解析が可能になることが期待できる。同システムの構築には沈着過程も含めた輸送モデルの精緻化と、より多数の観測データ入手、より確からしい先験情報の入手などが鍵になると考えられる。

キーワード: 逆解析, 福島第1原子力発電所, 放射性物質

Keywords: Inverse model, Fukushima Dai-ichi nuclear power plant, radioactive materials

気象研究所における放射性物質の大気輸送の数値シミュレーション Numerical simulation of atmospheric transport of radionuclides in Meteorological Research Institute

田中 泰宙^{1*}, 梶野 瑞王¹, 眞木 貴史¹, 関山剛¹, 五十嵐 康人¹, 千葉長¹, 三上 正男¹

TANAKA, Taichu^{1*}, KAJINO, Mizuo¹, MAKI, Takashi¹, Tsuyoshi T. SEKIYAMA¹, IGARASHI, Yasuhito¹, Masaru CHIBA¹, MIKAMI, Masao¹

¹ 気象庁気象研究所

¹ Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

気象研究所では、これまでに放射性物質の観測研究とともに、1986年のチェルノブイリ原発事故による放射性物質、再処理工場から放出されるクリプトン 85、土壌を起源とするラドン 222 とその壊変物質など、大気輸送モデルによる放射性物質のシミュレーション研究を行ってきた。我々は現在、東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の事故による放射性物質の大気輸送に関するシミュレーションを行っている。放出された放射性物質の輸送・沈着の時空間分布を定量的に評価し、これをもとに領域および全球の大気輸送モデルの開発・改良を行っている。放射性物質輸送のシミュレーションを行う全球モデルには、エアロゾルモデル Model of Aerosol Species IN the Global Atmosphere (MASINGAR) を用いる。ここで示す実験の設定では、水平格子間隔約 0.56 °(TL319)、鉛直方向 40 層 (地表 ~ 0.4hPa) で、水平風速場は気象庁全球気象解析値を用いたナッジング手法によって気象場を現実近づけている。放出量は Chino et al. (2011) の推定値を用いている。放射性物質としては ¹³⁷Cs, ¹³³Xe, ¹³¹I などを扱い、基本的には他の大気微量成分と同様に、大気中への放出・大規模移流、乱流混合や対流輸送等のサブグリッドの輸送、化学反応や放射性壊変による変化、乾性および湿性沈着を考慮している。領域大気輸送モデルである MRI-PM/r (Passive-tracers Model for Radioactivity) は、高度な乾性沈着、CCN 活性、IN 活性のパラメタリゼーションと、粒子ダイナミクス、混合相の雲微物理過程、放射性核種の微物理・化学過程、および環境エアロゾルとの相互作用を組み込んだ新しいモデルである。このモデルは、エアロゾルをカテゴリ法によりプライマリ放射性核種 (PRI), エイトケン粒子 (ATK), 累積モード粒子 (ACM), 海塩粒子 (SS), 土壌粒子 (DU), 花粉 (POL) に分類し、凝縮、蒸発、凝集、雲核活性、氷晶核活性、溶解、衝突併合 (washout), 雲微物理過程 (rainout; 雲水 CLD, 雲氷 ICE, 雨滴 RNW, 雪 SNW, 霰 GRW カテゴリ間の変換過程), 乾性沈着などの素過程を考慮している。大会では、これらのモデルによる成果の概要と課題点について報告する。

キーワード: 数値シミュレーション, 大気微量物質, 環境放射能

Keywords: Numerical simulation, Atmospheric trace substances, Environmental radioactivity

福島原発事故後の東日本における大気放射能濃度の変化

Intensity of atmospheric radioactivity over East Japan after Fukushima nuclear plant accident

北和之^{1*}, 笠原理絵¹, 出水宏幸¹², 渡邊明², 鶴田治雄³, 植松光夫³, 桧垣正吾³, 吉田尚弘⁴, 豊田栄⁴, 篠原厚⁵, 五十嵐康人⁶, 三上正男⁶, 恩田裕一⁷, 末木啓介⁷, 滝川雅之⁸, 長林久夫⁹, 横山明彦¹⁰, 連携緊急放射性物質サンプリングチーム大気班および分析班¹¹

KITA, Kazuyuki^{1*}, KASAHARA, Rie¹, Hiroyuki Demizu¹², WATANABE, Akira², TSURUTA, Haruo³, UEMATSU, Mitsuo³, Shogo Higaki³, YOSHIDA, Naohiro⁴, TOYODA, Sakae⁴, Atsushi Shinohara⁵, IGARASHI, Yasuhito⁶, MIKAMI, Masao⁶, ONDA, Yuichi⁷, Keisuke Sueki⁷, TAKIGAWA, Masayuki⁸, Hisao Nagabayashi⁹, Akihiko Yokoyama¹⁰, Radioactivity monitoring team¹¹

¹茨城大学理学部, ²福島大学, ³東京大学, ⁴東京工業大学, ⁵大阪大学, ⁶気象研究所, ⁷筑波大学, ⁸海洋研究開発機構, ⁹日本大学, ¹⁰金沢大学, ¹¹日本地球惑星科学連合-地球化学会-放射化学会, ¹²茨城大学工学部技術部

¹Faculty of Science, Ibaraki University, ²Fukushima University, ³University of Tokyo, ⁴Tokyo Institute of Technology, ⁵Osaka University, ⁶Meteorological Research Institute, ⁷Tsukuba University, ⁸JAMSTEC, ⁹Nihon University, ¹⁰Kanazawa University, ¹¹JPGU-GSJ-JNRS, ¹²Ibaraki University

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって、原子炉施設から放射性物質がその時の気象条件に応じて周辺地域に飛散・拡散した。その結果生じた放射性物質汚染は、付近の住民にとっての深刻な問題であるのみならず、国民にとって最大の関心事の一つである。事故発生直後から、科学者・研究者として専門的知識を活かし、国民の不安を少しでも解消し、また放射性物質による環境汚染の影響を客観的に予測するために必要な情報を取得する活動を開始すべきであるという議論が有志により行われた。特に地球惑星科学連合に所属する地球化学、大気科学、および放射化学の研究者が連携し、大気、降水、土壌、地下水のサンプリングを系統的かつ広範囲に行い、精密な放射化学分析を実施することが提案され、地震に続く混乱の中ではあったが、いち早く実行に移された。

その活動の一環として、大気中に放出・浮遊・輸送されていく放射性物質の濃度を調べるため、3月下旬より北海道から沖縄まで20地点を越える場所でエアロゾルサンプリングが実施された。3月以降は大規模な放射性物質放出が起こっていないため、福島第一原子力発電所を囲むように配置された11ヶ所に縮減しつつ、9月まで24-72時間間隔でのサンプリングを実施し、現在も福島市、郡山市、丸森町、日立市の4箇所継続している。本研究では、これらのサンプリングにより明らかになった事故後1年余りの大気放射線濃度の変動について示す。

各地の放射性セシウムによる大気放射能濃度は、3月～5月には減少傾向を示したが、それ以降9月まではほぼ横ばいであった。9月以降はさらに濃度は減少した。しかし、単調に減少するのではなくしばしば短期的に10倍以上の濃度増加が見られた。この増加は、しばしば日立、柏、横浜など、福島第1原発から同方向の地点でほぼ同時に発生すること、極大値の変動が、福島第1原発西門での測定値の増減傾向とよく一致していることから、低濃度ながらも事故現場から漏出され続けていた放射性物質が大気中を輸送されていることを示し、JAMSTECにより開発された大気輸送モデルも多くの場合でその増加を再現している。

それに対し、風向から見て福島第1原発からの輸送がないときにも、モデルでは極めて低濃度と推定されるが、観測ではある程度の濃度の放射性物質が検出されている。その濃度は、福島～郡山>柏～日立>横浜という順となっており、事故現場から拡散されたものだけではなく、観測地点周辺において土壌から再飛散された放射性物質が、バックグラウンド的に浮遊していることを示唆している。

冬季になり、乾燥と強風による放射能濃度の増大が懸念されていたが、福島第1原発周辺の高濃度の放射性物質が沈着した地域が多くでは、大気放射能差濃度は低下し、降雪や土壌の凍結の影響であると考えられる。しかし1月以降、放射能濃度が若干増加する傾向も見られており、今なお予断を許さない状況が続いていることを示している。その原因についても考察していきたい。

キーワード: 大気放射能

Keywords: atmospheric radioactivity

領域大気輸送モデルを用いた地表および海洋への放射性物質沈着量分布の推定 Estimation of radionuclides' deposition over the land and ocean using a regional chemical transport model

滝川 雅之^{1*}, 渡邊 明²

TAKIGAWA, Masayuki^{1*}, WATANABE, Akira²

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 福島大学

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, ²Fukushima University

To reveal the transport and deposition processes of radionuclides that have been emitted from the Fukushima Daiichi nuclear power plant after the nuclear accident caused by the Tohoku earthquake and tsunami, we have conducted numerical simulation of radionuclides (¹³¹I and ¹³⁷Cs) using a regional chemical transport model. Data assimilation using nudging for wind field and relative humidity was applied with the 10-minutes' interval ground-based observation, and the model-calculated meteorological fields with the ground-based observations in Fukushima prefecture showed that the model was capable to reproduce the change of wind direction following to the passage of low-pressure systems, and precipitation periods in March 2011. The transport and deposition process of two major discharges on March 15 was estimated using tag-tracer methods. The air mass from the first discharge released during 7-10 JST was transported southward, and 13% of ¹³⁷Cs was deposited mainly over Kanto area via dry deposition process. In the afternoon, wind direction was changed following to the approach of low-pressure system, and the air mass from the first discharge was transported northward and 13% of ¹³⁷Cs was deposited mainly over Naka-dori area in Fukushima prefecture via wet deposition process corresponding with the precipitation since 15-16 JST. The model showed that the deposition over Naka-dori area occurred within 3 hours after the beginning of precipitation, although the intensity of precipitation was less than 0.5 mm/hr during that period. The air mass from the second discharge occurred at 13-17 JST was transported northwestward, and 47% of ¹³⁷Cs in second discharge were estimated to be deposited over the land. The comparison of accumulated deposition of ¹³⁷Cs at Azuma-yama mountains supposed that the radionuclides from the Fukushima Daiichi nuclear power plant were trapped within the boundary layer, and the highest concentration existed at around 1000-1500 m above the ground level.

キーワード: 放射性物質, 化学輸送モデル, 大気化学, 物質輸送

Keywords: radionuclides, chemical transport model, atmospheric chemistry, chemical transport

Impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants on the Ocean Impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants on the Ocean

Steven Jayne^{1*}, Ken Buesseler¹, Nicholas Fisher²
JAYNE, Steven^{1*}, Ken Buesseler¹, Nicholas Fisher²

¹Woods Hole Oceanographic Institution, ²SUNY Stony Brook

¹Woods Hole Oceanographic Institution, ²SUNY Stony Brook

The triple disaster of the March 11, 2011, earthquake, tsunami and subsequent radioactivity releases from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plants are unprecedented events for the oceans. In response, we organized a research cruise in June, 2011 off Japan to study Fukushima derived radionuclides in the waters and biota off Japan. This presentation will provide an overview of these successful sampling activities and our plans for analyses of a wide range of radionuclides. We focus on the cesium-137 and cesium-134 surface distributions and vertical profiles obtained during this cruise. The highest cesium concentrations at that time were not necessarily at the closest sampling point 30 km from the Fukushima NPPs, but 70-100 km off shore. Furthermore, as part of this effort, 24 surface drifters were deployed and subsequently tracked. The trajectories of these drifters indicate that much of the contaminated water was being pulled away from the coast on the northern side of Kuroshio Extension. However, some of the drifters stayed in the coastal region suggesting that some contaminated water may recirculate in this area before being washed off-shore. The absence of drifter crossings across the Kuroshio Extension core suggests that it inhibits the southward spreading of contaminated water, at least over the western Pacific ocean. Measurements of different radioactive contaminants seem to agree with our interpretation based on drifters. These results are discussed in context of prior cesium levels in the waters off Japan and in comparison to radionuclide results from other studies in 2011 off Japan.

キーワード: Fukushima, radionuclides, Kuroshio, ocean circulation

Keywords: Fukushima, radionuclides, Kuroshio, ocean circulation

福島原発事故一ヶ月後における西部北太平洋の海水と動物プランクトンのセシウム濃度

Concentration of Cs of seawater and zooplankton in the western North Pacific one month after the Fukushima accident

本多 牧生^{1*}, 青野辰雄¹, 青山道夫¹, 浜島靖典¹, 川上創¹, 喜多村稔¹, 升本順夫¹, 滝川雅之¹, 宮澤泰正¹, 才野敏郎¹
HONDA, Makio^{1*}, AONO, Tatsuo¹, AOYAMA, Michio¹, HAMAJIMA, Yasunori¹, KAWAKAMI, Hajime¹, KITAMURA, Minoru¹, MASUMOTO, Yukio¹, TAKIGAWA, Masayuki¹, MIYAZAWA, Yasumasa¹, SAINO, Toshiro¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

In March 2011, an accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant (FNPP-AC) was caused by the Tohoku earthquake and tsunami. As a result, gigantic amount of artificial radionuclides were emitted to the atmosphere, land and ocean. To investigate the transport of radionuclides to the ocean and their dispersion, we conducted a cruise with the R/V Mirai in the western North Pacific about one month after the FNPP-AC and measured caesium (¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs) in seawater and zooplankton. In addition, a numerical simulation of radionuclide dispersion in the ocean was conducted with a particle-tracking model using surface currents reproduced by the Japan Coastal Ocean Predictability Experiment 2 (JCOPE2) model. A modified one-way nested global/regional air quality forecasting system (AQF) was also applied to simulate the time/space variations in the ¹³⁷Cs aeolian deposition flux over the western North Pacific. ¹³⁷Cs concentration in surface seawater ranged from 0.004 to 0.284 Bq kg⁻¹ (average 0.048 Bq kg⁻¹). Samples from stations off Fukushima and Miyagi had higher ¹³⁷Cs concentrations than those at other stations. ¹³⁷Cs concentrations north of 40N were relatively higher than those south of 35N. These ranged from a few times to two orders of magnitude higher than those measured before FNPP-AC. ¹³⁴Cs were detected while not detectable before FNPP-AC and ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs were estimated to be 1 within measurement error. Because the ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs ratio of drain water and air from the FNPP was reported to be nearly 1, radionuclides from the FNPP were likely transported to nearly all of the stations. At station K2, the ¹³⁷Cs concentration in zooplankton from the surface mixed layer was 1.72 Bq kg⁻¹ and that in zooplankton from the subsurface layer was 3.16 Bq kg⁻¹. The corresponding values at S1 were 4.01 Bq kg⁻¹ in the surface mixed layer and 4.31 Bq kg⁻¹ in the subsurface layer. ¹³⁴Cs was also detected in all zooplankton, with ¹³⁴Cs/¹³⁷Cs ratios of nearly 1 within measurement error. The ¹³⁷Cs concentration of zooplankton around Japan was less than 0.1 Bq kg⁻¹ during the last decade. Thus, the observed concentrations were one to two orders higher than before 11 March. Previously reported values of the concentration factor (CF), the ratio of the Cs concentration of zooplankton to that of ambient, range from 10 to 100, whereas we estimated the CF for zooplankton in this study to range from 200 to 840, an order of magnitude higher than previous observations. The above CF has been estimated under steady state. Thus these might not be applied to our case that Cs concentration of seawater and zooplankton were measured one month after FNPP-AC and both concentrations were still transient. Moreover a possible explanation to this enrichment is that particulate materials with high ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs that originated in the FNPP were adsorbed onto the zooplankton, rather than taken up by them, and collected along with the zooplankton. JCOPE2 results showed that plumes of radioactively contaminated water extended north-eastward near the coast to 40N and eastward along the northern flank of the Kuroshio extension about one month after the FNPP-AC. The high ¹³⁷Cs concentration off Fukushima and Miyagi can be qualitatively explained by dispersion of the water discharged directly into the ocean from the FNPP. In contrast, the JCOPE2 result showed no detectable ¹³⁷Cs north-east of the FNPP beyond 40N, 150E, despite relatively large values observed there during the cruise, suggesting that radionuclides were transported to distant locations to the north-east by another mechanism. An AQF model indicated that ¹³⁷Cs emitted from the FNPP would have been deposited over a wide area of the western North Pacific. Therefore, the observed high ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs concentration in seawater, SS and zooplankton might be attributable mainly to this aeolian input of particles with high ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs concentration.

キーワード: 福島第一原発, セシウム, 西部北太平洋, 海水, 動物プランクトン, 数値シミュレーション

Keywords: Fukushima Daiichi NPP, Caesium, Western North Pacific, seawater, zooplankton, numerical simulation

放射性物質の海洋汚染を組織的にモデリングする Coordinated efforts of modeling radionuclide distribution in the ocean

池田 元美^{1*}
IKEDA, Motoyoshi^{1*}

¹ 北海道大学
¹Hokkaido University

福島第一原子力発電所が東日本大震災の津波によって制御不能におちいり、大気に放出された放射性物質はすばやく拡がった。4月上旬における海洋への直接放出は、沿岸域から黒潮続流に取り込まれた。日本海洋学会ではワーキング・グループをつくり、海洋科学専門家を組織化すると共に、関連分野にも共同作業をよびかけた。シミュレーションも系統的なモデル比較を行っている。特に注目するプロセスは、沿岸から黒潮への取り込み、海底堆積物への蓄積、北太平洋全域への拡散である。この情報を公開し、思慮深い市民が現実を理解できるよう適切な解説を付けることを心がけている。ワーキング・グループの責任はわが国に留まることなく、国際的な情報公開にまで及ぶと考えている。

キーワード: 放射性元素, 海洋汚染, モデリング, 海底堆積物
Keywords: radionuclide, marine pollution, modeling, bottom sediments

福島県、阿武隈山地における放射性物質の空間分布の特性

Characteristics of the distribution of radioactive materials in Abukuma Mountains, Fukushima Prefecture

近藤 昭彦^{1*}, 小林 達明², 鈴木 弘行³, 唐 常源²

KONDOH, Akihiko^{1*}, KOBAYASHI, Tatsuaki², SUZUKI, Hiroyuki³, TANG, Changyuan²

¹ 千葉大学環境リモートセンシング研究センター, ² 千葉大学園芸学研究科, ³ 千葉大学薬学研究院

¹CEReS, Chiba University, ²Graduate School of Horticulture, Chiba University, ³Graduate School of Pharmaceutical Sciences

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東電福島第一原発の一連の事故により大量の放射性物質が環境中に放出され、阿武隈山地をはじめとして広範囲で放射性物質が地表面に沈着した。その結果、人の暮らしが奪われ、この問題の解決のために“科学技術”は大きな課題を負ったといえる。

これまでに福島県を含む広域を対象として空間線量率、沈着量等の地図化が試みられている。しかし、地域はそれぞれが狭くても個性を持つ。今後数十年の単位で放射性物質の環境中における挙動を理解するためには場の特徴の理解に基づいた地域主体のモニタリングが必要である。

そこで、計画的避難区域に指定されている福島県川俣町山木屋地区および周辺地域において可能な限りの空間密度で空間線量率や放射能の分布を観測、測定した。その際、精度は優れているが測定に時間がかかる方法だけでなく、簡便な測定方法も試み、放射性物質の分布の空間的な不均質性の理解を試みた。

2. 観測・測定手法

1) 空間線量率の走行サーベイと歩行サーベイ

GEORADIS社製携帯型放射線量・成分測定装置ガンマー線スペクトロメータRT-30はGPSから位置情報を取得し、移動しながら連続的に空間線量率を計測できる。走行サーベイでは車内位置と車外の1m高の値の変換係数により地上1m高さの空間線量率を連続的に記録した。歩行サーベイではザック内のRT-30の位置を1m高に調整し、歩行しながら測定を行った。

2) 表面汚染密度

富士電機製NHJ2を土壌面に当て、表面汚染密度(Bq/cm²)を計測した。ゲルマニウム半導体検出器による測定結果と比較したところ、簡易測定法として有効であることを確認した。

3) 土壌放射能

通常はゲルマニウム半導体測定器による計測を行うが、多地点を迅速に測定することはできない。そこで、コルクボーラーと栄研チューブによる表層5cmの採土とオートウェルガンマカウンターによる測定結果を試みた。その結果、採土が短時間で可能なこと、多数のサンプルを連続的に測定できるため、簡易測定法として有効であることを確認した。

3. 空間線量率、沈着量の分布の特徴

(1) 阿武隈山地スケールの空間線量率

2011年7月、8月に飯館村、川俣町を含む広域の走行サーベイを行った。飯館村では林道も走行し、詳細な分布を得た。その結果を添付の図に示す。空間線量率の空間分布は不均質性が高く、土地被覆が変わると不連続に空間線量率が変わるのが明らかとなった。また、空間線量率の分布は原発事故時のブルーム(放射能雲)の移動の様式を記録しているように見える。

(2) 歩行サーベイによる小流域スケールの空間線量率分布

山林および田畑の歩行サーベイを行った。その結果、狭い領域でも空間線量率は不均質な分布を持つことが明らかとなった。土質の違いによる空間線量率の相違、尾根スケールでは原発側(南東側)の斜面が空間線量率が高くなる傾向が認められている。山地小流域内でも空間線量率は変動した。また、水田圃場では道路寄りでも低く、圃場内部で高い分布の例が得られている。

(3) 土地被覆別の表面汚染密度、沈着量の特徴

常緑針葉樹(杉ヒノキおよびアカマツ林)、落葉広葉樹、水田、畑においてリター層上下、および深度10cmまで土

壤の放射能の計測を行った。その結果、水田と畑の表層(0~5cm深)の放射能は水田で高いこと。杉林と雑木林(落葉広葉樹)では、落葉落枝の放射能は雑木林で高く、0~5cm深の土壌は杉林で高いといった結果が得られているが、結果の多様性を今後検証する予定である。

(4) 生活用水の放射能

山木屋地区では広域水道には依存しておらず、用水は住居を含む里山流域の地下水を引水して利用されている。多くの井戸は集水地形の谷部に数m深度の井戸を掘削し、玉石を充填して井戸枠で覆った構造であり、長い場合には数百mほどパイプで引水している。山木屋地区の13カ所の井戸から採水し、放射能を計測した。その結果はすべて放射性セシウムの検出なし($<1\text{Bq}$)であった。この結果は地下水流動の特徴から類推できるが、CFCsを使った年代測定を行っており、講演時には結果を示すことができると思われる。

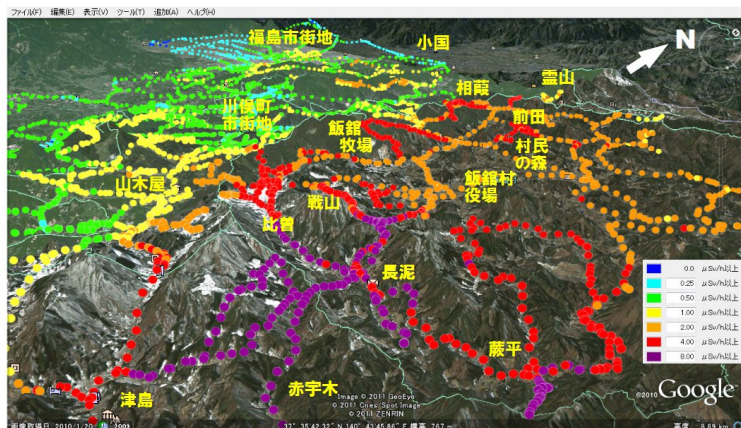
4. おわりに

様々な地形、植生域における空間線量率、放射能の測定を行い、分布の把握を行った。また、雑草等の植物に吸収された放射能、測線に沿った空間線量率や放射能の分布等のデータ収集を進めており、纏まったものから報告する予定である。

“科学知”は普遍的な真理を探究した結果得られる知識であるが、暮らしの復興のためには場の複雑性を認識し、“個別性”の理解が重要である。このような立場のScienceを推進することにより、人と自然の関係性の理解に基づく復興対策の確立が可能と考えている。

キーワード: 福島第一原発事故, 福島県川俣町山木屋地区, 空間線量率マッピング, 放射能マッピング, 不均質性

Keywords: accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Yamakiya district, Kawamata-machi, Fukushima Prefecture, dose rate mapping, radioactivity mapping, ununiformity



Radioactive fallout: lesson from Chernobyl and what could be experienced for the Fukushima post-accidental situation

Radioactive fallout: lesson from Chernobyl and what could be experienced for the Fukushima post-accidental situation

Olivier Masson^{1*}

MASSON, Olivier^{1*}

¹Nuclear Safety and Radioprotection Institute

¹Nuclear Safety and Radioprotection Institute

Most of northern hemispheric countries have experienced radioactive fallout (from atmospheric nuclear weapon tests, Chernobyl or from Fukushima) but except in the case of the global fallout, various impacts were noticed both at short time scale and in the context of more or less long post-accidental situations. It is probably too early to determine precisely the evolution in the environment of the radionuclides that were released by the Fukushima accident. Thus it could be interesting to share our point of view both in the light of our respective experience of radioactive fallout and deposition and considering the respective environmental features of Europe (France) and Japan. What we have learnt from Chernobyl and what information is still needed and could be experienced from the Fukushima accident or applied to the Fukushima situation, is of great concern in the framework of atmospheric deposition.

Of course, distance from the source is a key (first order) parameter as well as initial conditions that yield to deposition mapping. After initial deposition, contaminated areas act as a delayed and secondary source that can explain the resilience of formerly deposited radionuclides in the atmosphere.

At European scale, Chernobyl provides a lasting step effect in the time series of airborne levels whereas Fukushima did not. This lasting step effect belonged to resuspension mechanisms that became rapidly predominant as the airborne levels drop down radically. Resuspension and biomass burnings provided most of the peaks of activity levels in France. Those mechanisms are encountered in France as well as in Japan but probably with different magnitude and possibly with different consequences regarding the evolution of the background level. A review of those mechanisms and their respective importance will be presented.

Spatially, we observed some deposition heterogeneity that corresponds first to different deposition patterns, especially in mountainous ecosystems. Snow and cloud deposition are among the main typical patterns that distinguish deposition conditions in highlands and lowlands. Occult deposition by cloud/fog water can explain higher levels at altitude locations compared to what could be expected from a rain deposition relationship. In addition, this study could benefit to lowlands and coastal areas where fogs occur, either seasonally or on a regular basis.

Results obtained in samples taken at the summit of a low-altitude mountain will be commented.

キーワード: airborne radioactivity, ¹³⁷Cs, deposition, resuspension, chernobyl, fukushima

Keywords: airborne radioactivity, ¹³⁷Cs, deposition, resuspension, chernobyl, fukushima

森林環境における福島第一原発事故による放射性物質の時空間分布特性 Spatio-temporal variability of the deposited radioactive materials in forest environments after the Fukushima Daiichi NP

加藤 弘亮^{1*}, 恩田裕一¹, 小松義隆¹, 依田優紀¹

KATO, Hiroaki^{1*}, Yuichi ONDA¹, Yoshitaka KOMATSU¹, Hiroki YODA¹

¹ 筑波大学生命環境系

¹ Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

Soil, vegetation and other ecological compartments are expected to be highly contaminated by the deposited radionuclides after the Fukushima Daiichi nuclear power plant (NPP) accident triggered by a magnitude 9.1 earthquake and the resulting tsunami on March 11, 2011. Study site have been established in Yamakiya district, Kawamata Town, Fukushima prefecture, located about 35 km from Fukushima power plant, and designated as the evacuated zone. The total deposition of radioactive materials at the study site ranged from 0.02 to >10 M Bq/m² for Cs-137. The mature cedar, young cedar, and broad-leaf stands were selected as experimental site for the monitoring of spatio-temporal variability of the deposited radionuclides after the accidental release of radioactive materials. In order to measure the vertical distribution of radioactivity in forest, a tower with the same height of tree have been established at each experimental site. The measurement of radioactivity by using a portable Ge gamma-ray detector (Detective-DX-100, Ortec) and radionuclide analysis of leaf samples at different height revealed that a large proportion of radionuclides which deposited on forest were trapped by canopies of the cedar forests. In contrast, in the broad-leaf forest highest radioactivity was found at the forest floor. Furthermore, spatio-temporal variability of radioactivity at the forest floor indicated that huge amount of caesium still remains on the canopy of coniferous forest, and subsequently transfers to forest floor in association with throughfall, stemflow, and litter fall.

キーワード: 福島原発事故, 放射性核種, 森林, 時空間分布

Keywords: Fukushima NPP accident, Radionuclides, Forest, Spatio-temporal variability

福島第一原発事故により放出された放射性セシウムの環境中での不均質分布 Heterogeneous distribution of radiocesium in the environment emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant

田中 万也^{1*}, 坂口 綾², 金井 豊³, 鶴田 治雄⁴, 篠原 厚⁵, 高橋 嘉夫²

TANAKA, Kazuya^{1*}, SAKAGUCHI, Aya², KANAI, Yutaka³, TSURUTA, Haruo⁴, Atsushi Shinohara⁵, TAKAHASHI, Yoshio²

¹ 広島大学サステナセンター, ² 広島大学大学院理学研究科, ³ 産業技術総合研究所地質調査総合センター, ⁴ 東京大学大気海洋研究所, ⁵ 大阪大学大学院理学研究科

¹ISSD, Hiroshima Univ., ²Graduate School of Science, Hiroshima Univ., ³Geological Survey of Japan, AIST, ⁴AORI, The Univ. of Tokyo, ⁵Graduate School of Science, Osaka Univ.

We analyzed ¹³⁷Cs in aerosols, rocks, soils and river suspended sediments collected after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. Based on the results of analysis, we discussed the behavior and transportation of radiocesium in natural environments after the accident. First, radionuclides were emitted from FDNPP as hot particles transported by the air, which contained water-soluble fractions of radiocesium. Radiocesium still existed in water-soluble fractions just after deposition on the ground. Subsequently, interaction of hot particles with water (e.g. rainfall) dissolved and strongly fixed radiocesium on rocks and soil particles, which changed radiocesium into insoluble form. The distribution of hot spots was possibly controlled by the initial position of deposition on the ground. Consequently, hot spots were studded on the surface of rocks rather than uniformly distributed. Cesium-137 concentrations of < 2 μm fraction of rocks, soils and river suspended sediments were higher than those of the corresponding bulk samples. The distribution of radiocesium in river suspended particles was not homogeneous during transportation by way of rivers, reflecting the heterogeneity of radiocesium in rocks and soils. Leaching experiments demonstrated that radiocesium in rocks, soils and river suspended sediments were fairly insoluble, showing that the adsorption reaction is irreversible. The heterogeneous distribution of radiocesium in aerosols, soils and suspended particles is originated from the presence of hot particles in aerosols. Dissolution of radiocesium in the hot particles in the aerosols and subsequent irreversible adsorption on the soil particle complex are responsible for the preservation of the heterogeneity in soils and also in river suspended particles. The present results showed that their radioactivities are retained by only a part of the constituent in soils and suspended particles originally transported as hot particles in the aerosols.

Keywords: Radiocesium, heterogeneity, soil, Fukushima, FDNPP accident

異なる地表面被覆下の土壌水における放射性セシウム濃度分布 The Cs-134 and Cs-137 concentrations in soil water covered by different vegetations

辻村 真貴^{1*}, イシュワル・ブン¹, 恩田 裕一¹, 羽田 真奈美¹, 五十嵐 康人²
TSUJIMURA, Maki^{1*}, Ishwar Pun¹, ONDA, Yuichi¹, HADA, manami¹, IGARASHI, Yasuhito²

¹ 筑波大学, ² 気象研究所

¹University of Tsukuba, ²Meteorological Research Institute

草地、牧草地、および森林地を対象とし、深度 10 ~ 50 cm までの土壌水を、サクシオンライシメータにより採水し、濾過後、ゲルマニウム検出器により Cs-134 および Cs-137 濃度分析に供した。試料採取は、2011 年 6 月から 8 月にかけて、福島県伊達郡川俣町山木屋地区において、1 週間から 10 日間隔で実施した。その結果、草地および放牧地の土壌水においては、0.1 ~ 2.5 Bg/kg の Cs-134、Cs-137 濃度が検出され、とくにもっとも浅い 10cm の Cs 濃度が高いという特徴がみられたのに対し、森林地においては深度 50cm において 1.6 Bg/kg と比較的高い濃度が検出された。

キーワード: セシウム, 土壌水, 森林, 草地

Keywords: cesium, soil water, forest, grassland

水田からの代かき排水における放射性セシウムの連続モニタリング Continuous monitoring of radiocesium in drainage water from a paddy field during puddling

吉本 周平^{1*}, 今泉 眞之¹, 石田 聡¹, 塩野 隆弘¹, 奥島 修二¹, 中達雄¹

YOSHIMOTO, Shuhei^{1*}, IMAIZUMI, Masayuki¹, ISHIDA Satoshi¹, SHIONO Takahiro¹, OKUSHIMA Shuji¹, NAKA Tatsuo¹

¹ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所

¹Institute for Rural Engineering, National Agriculture and Food Research Organization

Decontamination of agricultural lands contaminated with radiocesium after the accident of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant of Tokyo Electric Power Company is urgently requested. Ministry of Agricultural, Forestry and Fisheries (MAFF) has currently been undertaking development of decontamination measures for soils in agricultural lands. In cooperation with MAFF, Institute for Rural Engineering (NIRE) has conducted experiments for decontamination in paddy fields of Iitate Village, Fukushima Prefecture, which is included in the planned excavation zone with 20-50 mSv per year due to fallout from the accident. One of the NIRE experiments was a decontamination method "mixing soils and removal using water", in which muddy water was drained from paddy fields where surface soil and radiocesium was mixed with water. The muddy water was extracted by pump for disposal.

In this experiment, a monitoring equipment made up of a NaI(Tl) detector was developed and applied to an experimental decontamination in paddy fields for continuous monitoring of concentration of radiocesium in muddy water. The detector of monitoring equipment was a 5-inch diameter NaI(Tl) crystal with a photomultiplier tube, that was put into a large plastic bucket. A hole was made 30.5 cm above the bottom of the bucket for regulating the discharge flow from the bucket. Its resolution was about 7%. Signals from the detector were amplified by a gain controller and then sent to a 1,024-channel pulse height analyzer. The energy range was set to 0-2,048 keV so that the targeted nuclides (Cs-134: 605 and 795 keV; Cs-137: 662 keV; K-40: 1,460 keV; Bi-214: 1,765 keV) could be observed. The ratio of emissions of gamma ray from nuclides to detected peak counts, called the detection factor here, was determined by measuring 3.0M KCl aqueous solution (3,700 Bq L⁻¹) in the bucket. At depth of 30.5 cm in the bucket, the detected peak count for K-40 was 123 cps, and therefore the detection factor was calculated as 3.2 L⁻¹.

The experiment of muddy water removal was executed in two paddy fields, named as Field C1 and C2. The area of each of them was 420 m². In both C1 and C2, the soil was ploughed together with 42 m³ of supplied water, and then the muddy water was discharged by four suction pumps. In Field C2, additionally, the soil was tilled before the water injection, and the soil and water were manually stirred by dragging PVC pipes during the latter part of the pumping. The drained volume of muddy water was 12 m³ from Field C1, and 17.6 m³ from Field C2. The monitoring equipment was installed at an outlet of one of the pumps. The measurement time was set to ten seconds, and obtained spectra were logged every ten seconds. Radioactivity of Cs-134 and Cs-137 was calculated from the peak counts around 795 keV and 605-662 keV, with multiplying the detection factor 3.2 L⁻¹. On the other hand, 300 mL of the emitted muddy water was sampled every five minutes, and then taken back to the laboratory for measurement of radiocesium concentrations (5-inch NaI(Tl) scintillation counter, 600-second measurement). Results of the continuous monitoring and the laboratory measurement are shown in Fig. 1. The former part of the continuous measurement in Field C1 was unavailable because of malfunction of power supply. The fluctuation of radioactivity obtained by the continuous monitoring was well consistent with that by the laboratory measurement, and revealed that radiocesium concentration in the muddy water reached more than 20,000 Bq L⁻¹ during the manual stirring although usual radioactivity in the pumped water ranged 5,000-10,000 Bq L⁻¹.

Keywords: NaI(Tl) scintillation counter, gamma ray spectrometry, decontamination evaluation, Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant

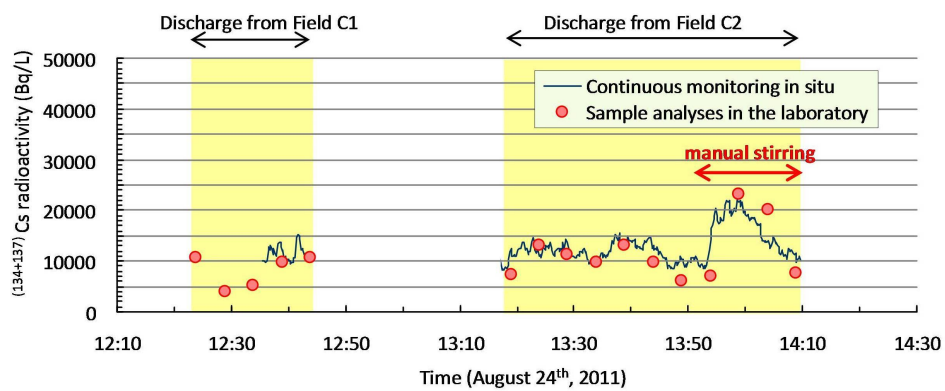


Fig.1 Results of the continuous monitoring of radiocesium in the emitted muddy water by the continuous monitoring equipment and those in the samples measured in the laboratory.