

## 福島長期環境動態研究（F-TRACE）における現地調査の現状

飯島和毅<sup>\*1</sup> 新里忠史<sup>\*1</sup> 佐藤治夫<sup>\*1</sup> 油井三和<sup>\*1</sup>

日本原子力研究開発機構では、福島第一原発事故で汚染された山地地域の森林から生活圏・海への放射性セシウムの移動挙動を評価するとともに、将来のセシウム移動に伴う被ばく線量の変化を予測し、特定された被ばく上重要な移動経路上のセシウムの移動抑制手法を提案することを目指した福島長期環境動態研究（F-TRACE）プロジェクトを進めている。本報では、水流による河川系の移動経路に着目し、2012年末からの現地調査で明らかになった放射性セシウムの移動挙動について報告する。

**Keywords:** 福島第一原発事故, 環境動態, 放射性セシウム, 河川系

JAEA has carried out “the project on the Long-term Assessment of Transport of Radioactive Contaminant in the Environment of Fukushima (F-TRACE project)” since the end of 2012. Radioactive caesium has been distributed by the fall out by Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (1F-NPP) accident, and forests in mountain areas have large amount of inventory of radioactive caesium and cover relatively large part of contaminated area of Fukushima. In this project, the transport behavior of radioactive caesium from the forests to biosphere and sea is evaluated by computer simulation based on the results of field observation and laboratory experiments. The results are used to predict evolution of effective dose of the residents in the affected area due to the transport, specify the dominant pass way of caesium, and propose effective methodology to constrain the transport along the pass way. This study reports the specific transport behavior of caesium observed in the basins of five rivers by means of the field investigation and laboratory experiments during the first year of the project.

**Keywords:** Fukushima Dai-ichi NPP accident, transport in the environment, radioactive cesium, river water system

### 1 はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災後の福島第一原子力発電所の事故により、多量の放射性物質が環境中に放出された。その中でもCs-134, Cs-137等の放射性セシウムは、空間線量率への寄与が大きく、被ばく評価上最も重要な核種である[1]。

放出された放射性セシウムは、土壤、樹木、建物等に沈着するが、沈着したものも水流や風などの駆動力を受けて移動する可能性がある(Fig. 1)。特に、福島県は山地が70%以上を占めており、この山地地域の森林は放射性セシウムの大きなインベントリーとなっている。したがって、この山地地域の森林に存在する放射性セシウムが、水流や風などにより移動する挙動を調べることは、除染されたエリアで生活再開後の再汚染に対する懸念に対し、具体的に答えるためにも不可欠である。また、放射性セシウムの移動挙動を予測することができるようになれば、放射性セシウムの集まりやすい場所を集中的に除染することで、除染の効率を向上させることが可能になる。

そこで、日本原子力研究開発機構（以下、原子力機構）では、福島県内の環境における放射性セシウムの移動挙動を長期にわたり観測するとともに、移動挙動を解析・予測するためのツールを開発することを目的として、福島長期環境動態研究 F-TRACE (Long-term Assessment of Transport of Radioactive Contaminant in the Environment of Fukushima) プロジェクトを2012年11月に開始した。

本プロジェクトでは、将来の放射性セシウムの移動予測結果に基づき、生活圏における被ばく線量の変化を調べ、線量への寄与が大きい移動経路を特定するとともに、それ

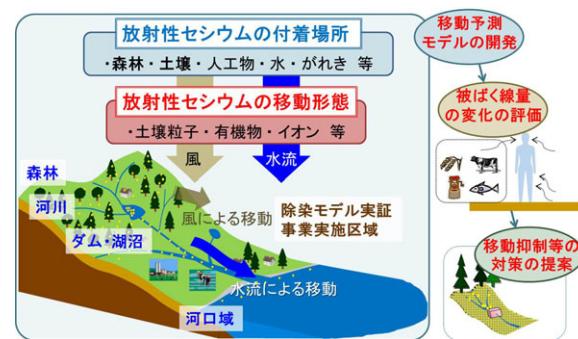


Fig. 1 Concept of the F-TRACE project

らの経路における放射性セシウムの移動を抑制することによる被ばく線量低減方策を提言することも視野に入れている。

山地地域の森林に存在する放射性セシウムの移動経路としては、河川水系を水流により移動する経路や、風により生活圏に至る経路などが考えられる(Fig. 1)。このうち、水流による移動については、河川水系を森林、河川、ダム・ため池、河口域に区分し、それぞれの場所において現地調査を進め、放射性セシウムの移動を支配すると考えられる個々の物理的・化学的プロセスの現象理解・モデル化を進めるとともに、モデル解析に必要なパラメータの設定を進めている。一方、風による移動については、除染モデル実証事業において除染をおこなった区域のうち、比較的線量率の高かった区域において現地調査を進め、放射性セシウムの移動の有無および移動を支配すると考えられるプロセスの抽出を進めている。本稿では、このうち水流による移動に関する現地調査の現状について、報告する。

### 2 調査対象エリア

水流による放射性セシウムの移動に関する調査については、福島県の浜通り側の中小河川のうち、比較的高線量率の地域を流れる5河川を対象に実施している(Fig. 2)。第一段

Status of field investigation on the long-term assessment of transport of radioactive contaminant in the environment of Fukushima (F-TRACE project). by Kazuki IJIMA (ijima.kazuki@jaea.go.jp), Tadafumi NIIZATO, Haruo SATO, Mikazu YUI.

\*1 日本原子力研究開発機構 福島技術本部 福島環境安全センター  
Fukushima Environmental Safety Center, Headquarters of Fukushima Partnership Operations, Japan Atomic Energy Agency  
〒960-8034 福島県福島市置賜町1-29 佐平ビル8階

階としてこれらの河川を対象とすることについては、以下のようなメリットがある。

- ・ いずれの河川も河口付近の線量率は低いことから、高線量率の上・中流エリアからの放射性セシウムの移動挙動を高感度で検出できる。
- ・ いずれの河川も数十 km の長さで、流域を比較的モデル化しやすい。

現在調査を進めているエリアおよびそれぞれのエリアの特徴は、以下の通りである。

### (1) 森林

- ・ 川俣町山木屋地区：落葉広葉樹林
- ・ 川内村荻地区：常緑針葉樹林、落葉広葉樹林
- ・ 大熊町熊川上流：常緑針葉樹林
- ・ 浪江町請戸川上流：常緑針葉樹林（下流側）/落葉広葉樹林（上流側）

### (2) 河川・河口域

- ・ 小高川：ダムなし、河口砂州小、流域での除染活動大
- ・ 請戸川・高瀬川：請戸川のみダムあり（ダム影響評価可能）、河口砂州大、流域放射性セシウムインベントリー大
- ・ 前田川：ダムなし、河口砂州大、流域放射性セシウムインベントリー大
- ・ 熊川：ダムなし（支流にはあり）、河口砂州大
- ・ 萩野沢川・富岡川：ダムあり、河口砂州大、流域での除染活動大



Fig. 2 Targeted areas for water flow transportation

### (3) ダム・ため池

- ・ 萩ダム（萩野沢川水系）：限定的な流域、運用期間長
- ・ 滝川ダム（富岡川水系）：運用期間短
- ・ 大柿ダム（請戸川水系）：流域放射性セシウムインベントリー大
- ・ 大熊町・双葉町内平野部ため池：放射性セシウムのインベントリー大、多様な流域環境

## 3 現地調査の現状

### 3.1 森林

森林における調査のうち、川内村荻地区の常緑針葉樹林（杉人工林）における調査の現状について述べる。

#### (1) 鉛直方向移動プロセス

10 m × 7 m の比較的単一な斜面に観測プロットを設置し、降雨量、樹幹流量および林内雨量を観測するとともに、リターフォール、樹幹流および林内雨による樹冠から地表への放射性セシウムの移動挙動を連続的に観測している (Fig. 3)。



Fig. 3 Concept of the observation plot in the forest

また、地表から地中への放射性セシウムの移動挙動を調べるために、斜面上の異なる場所において、スクレイバープレートを用いて、定期的に放射性セシウムの深度方向の濃度プロファイルを調べている (Fig. 4)。常緑針葉樹林内の斜面中腹では、リター層で最も高い放射性セシウム濃度が認められたが、林縁部の落葉広葉樹部ではリター層の下の表土部分で最も濃度が高かった。これは、植生と地形が異なるため、土壤及びリターの侵食・運搬・堆積等の状況が異なることに起因すると考えられた。しかし、いずれの場所においても、90%以上の放射性セシウムは地表から 5 cm 以内にとどまっており、土壤中の鉱物等に強く吸着されていることが示唆された。

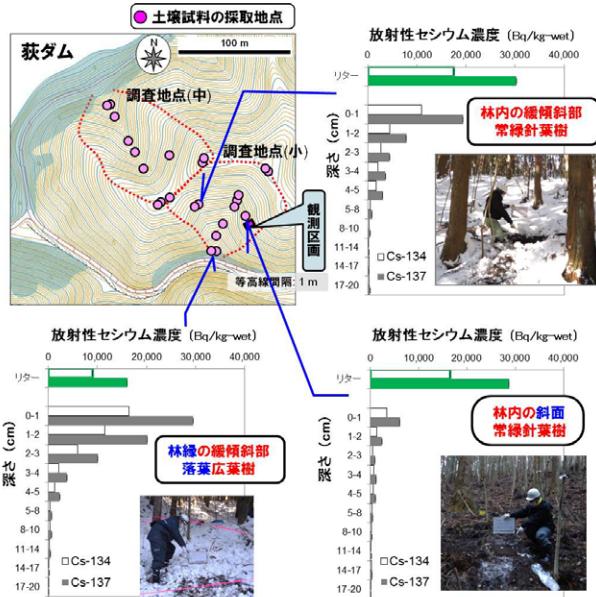
これらの鉛直方向の放射性セシウムの移動挙動は、インベントリーからの放射性セシウムの供給速度を規定するもので、森林からの放射性セシウム移動モデルの初期放射性セシウム濃度データとして利用される。

#### (2) 水平方向移動プロセス

森林内の水平方向の移動プロセスについては、観測プロットにおいて発生する表面流および土砂を全量回収し、放射性セシウム濃度を測定することにより、降雨を起点とし

て発生する表面流量/土砂流亡量の観測およびそれらに含まれる放射性セシウムの濃度分析を継続的に行っている（Fig. 3）。

水平方向の放射性セシウムの移動挙動は、森林から河川水系への放射性セシウム移動速度を規定するもので、森林からの経験論的移動モデルの検証や、現象論的移動モデルの入力データ設定に利用される。



**Fig. 4 Depth profile of radioactive caesium in the subsurface of different position of the slope in the forest**

### 3.2 河川

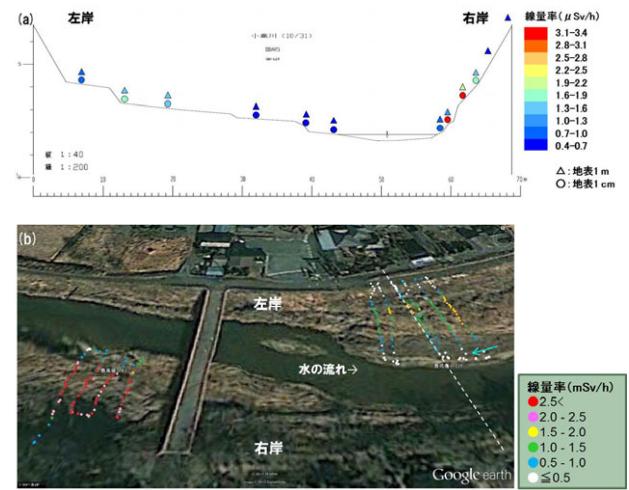
河川調査では、各河川の上流から河口まで、10~20か所の測定点を設け、高水流量時期前後に定期的に流量、濁度、線量率分布等を測定するとともに、水、河床土、河川敷土壤等の試料を採取し、放射性セシウム濃度、粒径分布、鉱物組成等の分析を行っている。ここでは、河川における調査のうち、南相馬市小高川における成果を中心に述べる。

#### (1) 河川敷における調査

中流域における河川敷の線量率分布をみると、通常の河道に近い部分では線量率が低く、河道から1~1.5 m程度高い部分で最も高い線量率が認められた（Fig. 5）。このような線量率の高い場所には植生が繁茂し、細粒分の堆積物が認められた。一方、河道に近い場所には、砂や礫の堆積が顕著で、植生や細粒の堆積物はほとんど認められなかった。このような河川敷の線量率分布傾向は、いずれの河川の中・下流域においても認められた。また、事故以降の小高川の水位記録によると、線量率の高い部分に水が到達したのは、2011年9月の台風15号等数回であった。これらのことから、河川の中・下流域における放射性セシウム移動挙動を以下のように推定した。

- 台風等の高水流量時に、上流から放射性セシウムを高濃度で収着した細粒分の土壤粒子が輸送され、高水敷の植生に捕捉される。
- 河道付近の砂礫部分に堆積した細粒分の土壤粒子は、その後の増水時に浸食され、下流に流される。

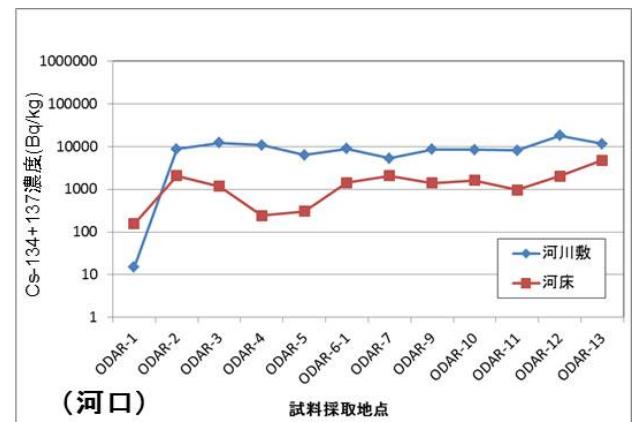
これらの中・下流域の河川敷における放射性セシウムの移動挙動や線量率分布データは、河川における移動モデルの入力データ設定や検証データとして利用される。



**Fig. 5 Distribution of dose rate (a) across the river and (b) around the flood channel at the middle stream of Odaka river (measured on 12 May, 2013)**

#### (2) 河川全体の傾向

小高川の上流から下流までの河川敷（高水敷）表土中の放射性セシウム濃度を見ると、流域の線量率によらず濃度はほぼ一定であったが、河口に最も近い点では濃度が大きく減少した（Fig. 6）。また、河床土については、河口に最も近い点を除き、河川敷土壤中濃度より低かった。河床土の方が濃度が低いのは、常に河川水と接触しているため、可逆的な収着成分が脱離されたためと推測される。一方、河口に最も近い点で河床土・河川敷土壤とも濃度が低いのは、5河川の中では小高川のみである。



**Fig. 6 Concentration of radioactive caesium in the sediments taken at river channel and flood channel of Odaka river (sampled on Jan. 2013)**

この原因として考えられるのは、河口からの海水流入挙動の違いである。小高川以外の河川では、満潮時においても河口からの海水の流入は顕著ではなく、河川水中の塩濃度上昇はわずかである（請戸川の場合、河口直近の底部付

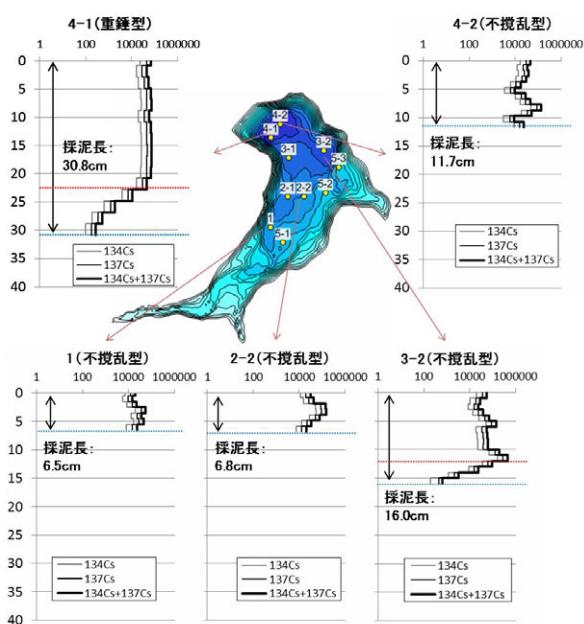
近で 0.44%). これは、河口に海からの砂の供給に起因すると考えられる砂州が顕著に形成されているためと推測される。これに対して小高川では、砂州がほとんど形成されておらず、河口付近の底部付近河川水中的塩濃度は 1.4~2.5% と海水に近い濃度が認められている。この高い塩濃度により可逆的な吸着成分が脱離されたため、小高川河口付近の河床土および河川敷土壤中の放射性セシウム濃度が低いと推測される。

これらの河川堆積物中の放射性セシウム濃度データは、河川における移動モデルの入力データ設定や検証データとして利用される。

### 3.3 ダム

ダムにおける調査のうち、川内村荻ダムにおける調査の現状[2]について述べる。

ダム内の測深結果をみると、南西側のダム上流側から北東側の下流側に向かって徐々に深くなり、北西側のダム放水口付近（4-1 附近）で最も深くなっている（Fig. 7）。深さが異なる場所で重錐型あるいは不搅乱型採泥器で堆積物を採取したところ、水深の深い場所では細粒の堆積物が比較的厚く堆積している可能性が示唆された。



**Fig. 7 Depth profile of radioactive caesium in the bottom sediment of Ogi-dam reservoir (sampled on Jan. 2013)**

堆積物中の放射性セシウム濃度は、場所によらず表層付近では  $10^4$  Bq/kg のオーダーであった。一方で、湖水の試料を各測定点において 3 深度（水面付近、中間点、湖底直上）で採取し、放射性セシウム濃度を測定したところ、2 試料を除き、全て検出限界（約 2 Bq/L）以下であった。放射性セシウムが有意に検出された 2 試料についても、 $0.45 \mu\text{m}$  メンブランフィルターでろ過した後のろ液中の放射性セシウム濃度は全て検出限界以下であった。これらの値から、湖水中における湖底表層付近の堆積物に対する放射性

セシウムの吸着分配係数は、 $10^4$  L/kg 以上と推測された。

これらのダム堆積物の堆積状況や放射性セシウム濃度データは、河川上流域での土砂とともに移動する放射性セシウムの負荷量評価、上流域でのモデルの検証データとして利用される。

### 4 まとめ

これまでの現地調査により、河川やダムにおいて放射性セシウムが上流から下流に移動している可能性が示唆された。また、森林内の地表深部への放射性セシウム移行挙動やダム堆積物に対する吸着分配係数の大きさから、放射性セシウムは土壤中あるいは堆積物中の鉱物粒子等に強く吸着されていると考えられる。今後、現地調査結果に基づきモデルに必要なデータを整備するとともに、移動挙動の現象理解を進め、モデルによる予測解析を進めていく。

### 参考文献

- [1] Miyahara, K., Tokizawa, T., Nakayama, S.: Decontamination Pilot Projects to Build a Knowledge Base for Fukushima Environmental Restoration., *Mater. Res. Soc. Symp. Proc. of 2012 Fall Meeting* (in press).
- [2] Funaki, F., Hagiwara, H., Tsuruta, T.: The Behaviour of Radio caesium Deposited in an Upland Reservoir After the Fukushima Nuclear Power Plant Accident. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc. of 2013 Fall Meeting* (in press).