

## 1. 1. 2 総合的環境移行・線量評価モデルの検証

### Validation of the Advanced Environmental Transfer and Dose Assessment Model for Radionuclides Released from the Nuclear Fuel Reprocessing Plant in Rokkasho

長谷川 英尚, 柿内 秀樹, 佐藤 雄飛, 伊志嶺 聡伸, 植田 真司, 高久 雄一  
環境影響研究部

Hidenao HASEGAWA, Hideki KAKIUCHI, Yuhi SATOH, Akinobu ISHIMINE  
Shinji UEDA, Yuichi TAKAKU  
*Department of Radioecology*

#### Abstract

The first commercial nuclear fuel reprocessing plant in Japan, located in Rokkasho, Aomori Prefecture finished its final testing using actual spent nuclear fuels and it is now preparing for full operation. The advanced environmental transfer and dose assessment model (AdvETDAM) was developed to estimate areal and temporal distributions of radionuclides around the plant and the radiation doses resulting from these radionuclides. To validate the model using actual field data, we measured the concentrations of radionuclides ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{129}\text{I}$ , etc.) in environmental, agricultural and livestock samples collected at points around the plant, and we also measured the environmental  $\gamma$ -ray dose rates at IES.

Because no nuclear fuel rods have been sheared or dissolved at the plant since October 2008, we found concentration levels of the radionuclides in most environmental samples collected in FY 2020 were similar to the background ones before the plant test operation, except for several samples. Iodine-129 deposited on soil and lake sediment surfaces around the plant has still remained at a higher level than each background level. The mean  $^{129}\text{I}$  deposition fluxes observed at the IES site, Futamata and Hirosaki from FYs 2016 to 2020 were approximately the same level:  $2.0 \pm 2.9 \text{E-}6$ ,  $1.9 \pm 3.3 \text{E-}6$  and  $2.1 \pm 3.9 \text{E-}6 \text{ Bq m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , respectively. In addition, the temporal variations of  $^{129}\text{I}$  deposition fluxes at the IES site, Futamata and Hirosaki have shown similar patterns: high in winter and low in other seasons. These observed facts can be reasonably explained by assuming that the  $^{129}\text{I}$  discharged from commercial reprocessing plants in Europe was transported long distances by winter monsoons.

To improve the accuracy of the model prediction in AdvETDAM, we have investigated the distributions and transfer of radionuclides in a terrestrial environment in Fukushima Prefecture after the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant. In FY 2020, we continuously studied two subjects: the re-suspension rate of radiocesium; and the discharge rate of radiocesium via rivers. The atmospheric concentrations and fluxes of  $^{137}\text{Cs}$  gradually decreased during FYs 2012 to 2015 with different effective half-lives, however, both values after 2015 have become nearly constant. The clear seasonality with high atmospheric  $^{137}\text{Cs}$  concentration in summer and low concentration in winter that we reported in our previous studies was not found. The estimated discharge rate of  $^{137}\text{Cs}$  from the river catchments of the two small rivers in Iitate Village since 2011 was less than 2% of  $^{137}\text{Cs}$  deposited in the catchments, showing that most of the  $^{137}\text{Cs}$  has still remained on the soil surface in the catchments.

## 1. 目的

大型再処理施設に由来する排出放射性核種 ( $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 、 $^{129}\text{I}$ 及び $^{85}\text{Kr}$ 等)の六ヶ所村及びその周辺地域における環境移行及び排出放射性核種による現実的な線量評価を行うことを目的として、施設周辺における気圏、陸圏及び水圏より採取した環境試料、及び農畜水産物・日常食試料中の放射性核種等濃度を測定し、これらのデータを用いて、これまで整備した総合的環境移行・線量評価モデル(以下、「総合モデル」)を検証する。さらに、東京電力福島第一原子力発電所の事故(以下、「福島原発事故」)により放射性Cs等が環境中に放出されている福島県において、それらの環境中における挙動を観測することで、通常得ることが難しい環境移行パラメータ等を求め、総合モデルにおける予測精度のさらなる向上に資することとした。

令和2年度は、六ヶ所村を中心とした地域において、気圏、陸圏及び水圏の様々な環境試料及び農畜水産物・日常食試料を対象に排出放射性核種濃度の調査を継続して実施した。また、環境研構内に整備した実験圃場において、キャベツ、ダイコン、牧草及びイネを栽培するとともに、排出放射性核種のバックグラウンドデータを取得した。さらに、大気拡散サブモデルのパラメータとなる $^{137}\text{Cs}$ の再浮遊率、及び河川集水域の $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量と河川を通した $^{137}\text{Cs}$ 流出率との関連等の知見を集水域サブモデルに反映するため、これらに関連する調査を福島県において継続した。

## 2. 方法

六ヶ所村を中心とした地域における大気、降水、植物及び土壌の各試料、及び農畜水産物・日常食試料中の $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 等濃度を測定した。さらに、尾駱沼、尾駱沼集水域等の六ヶ所村水圏環境における水・堆積物・生物試料中の $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 等濃度を測定した。加えて、環境研構内の実験圃場で農作物を栽培し、 $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 等濃度を測定した。

福島県における調査では、浪江町において粒径別大気エアロゾル中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度を測定し、そのデータを用いて放射性Csの再浮遊率を推定するとともに、

$^{137}\text{Cs}$ 降下量との関係を検討した。さらに、福島県浜通りの河川を対象に、河川水中の $^{137}\text{Cs}$ 濃度を測定し、河川を通した $^{137}\text{Cs}$ 流出率等を求めた。

## 3. 成果の概要

### 3.1 排出放射性核種等の測定結果及びモデルの検証

大型再処理施設における使用済み燃料のせん断・溶解処理試験(以下、「せん断・溶解処理試験」)が平成18年3月～20年10月にかけて実施された影響により、同期間中に採取された大気及び降下物中の排出放射性核種( $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ )濃度は試験前のバックグラウンドの水準から有意に上昇した(Hasegawa et al., 2017)。一方、せん断・溶解処理試験以降は、ほとんどの試料中の排出放射性核種濃度はバックグラウンドの水準となり、令和2年度も同様であった。

平成28年4月以降に主排気筒周辺の東西及び遠方の弘前市で採取した全大気降下物中の $^{129}\text{I}$ 濃度から算出した降下量の時系列変化は、冬季に増加し、その他の季節で低下するといったほぼ同様の変動パターンを示した(図1)。 $^{129}\text{I}$ 降下量の変動範囲は、主排気筒東側の環境研本所において $2.2\text{E}-7\sim 1.6\text{E}-5\text{ Bq m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ (平均 $2.0\pm 2.9\text{E}-6\text{ Bq m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ )、西側の二又において $1.5\text{E}-7\sim 1.9\text{E}-5\text{ Bq m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ (平均 $1.9\pm 3.3\text{E}-6\text{ Bq m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ )であり、ほぼ同様だった。ユーラシア大陸方面からの季節風が卓越する冬季に降下量が増加し、それ以外の季節で降下量が低下するといった明瞭な季節変化は、大型再処理施設から約80 km西に位置する弘前市でも繰り返し観測された。加えて、弘前における降下量は $1.0\text{E}-7\sim 2.3\text{E}-5\text{ Bq m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ (平均 $2.1\pm 3.9\text{E}-6\text{ Bq m}^{-2}\text{ d}^{-1}$ )の範囲で変動しており、六ヶ所村とほぼ同様であった。このように3地点で共通した季節変化及び降下量が観測されることは、局地的な影響ではなく、ヨーロッパの大型再処理施設から排出され大陸からの季節風により長距離輸送された $^{129}\text{I}$ の影響を考慮することで説明可能である(Kadowaki et al., 2018)。

六ヶ所村内で採取された農畜水産物中の放射性核種濃度は、せん断・溶解処理試験以降、試験期間中

に比べて低くなる傾向が認められ、引き続き同様の傾向だった。また、日常食中排出放射性核種濃度は、せん断・溶解処理試験期間中及びその前後で明確な差異はなく、試験の影響が見られなかったが、令和2年度も同様だった。さらに、環境研構内に整備した実験圃場（畑地、牧草地及び水田）で栽培したキャベツ、ダイコン、牧草及びイネの $^3\text{H}$ 、 $^{14}\text{C}$ 及び $^{129}\text{I}$ 濃度を測定し、これらの濃度がせん断・溶解処理試験前に収穫された同作物と同様のレベルであることを確認した。一方、六ヶ所村内の表層土壌にはせん断・溶解処理試験期間中に排出された $^{129}\text{I}$ の蓄積が認められ、その沈着量は大型再処理施設の主排気筒から北西方向でやや多く、東側では少ない傾向であった。また、施設周辺水域では尾駁沼湖底堆積物にも排出された $^{129}\text{I}$ が蓄積されたままの状態であることを確認した。

なお、本調査で得られた排出放射性核種による被ばく線量は、公衆の被ばく線量限度と比較して、いづれも無視できる水準であった。

### 3.2 福島県内における放射性核種移行研究

福島県浪江町における $^{137}\text{Cs}$ の再浮遊率は $1 \times 10^{-11}$ か

ら $1 \times 10^{-9} \text{ m}^{-1}$ の範囲であり、概ねヨーロッパ各地での報告例の範囲内だった。再浮遊率は事故からの時間の経過とともに減少した（事故後5年間における実効半減期は約1.2年）。一方、通行制限が解除され、除染作業が開始された平成29年9月以降には再浮遊率の上昇傾向が確認された（変動範囲は上記同様）。

福島河川における河川水中の懸濁態及び溶存態成分を含む $^{137}\text{Cs}$ 流出率は漸減する傾向が認められた。また、福島河川に関して、平成23年度から令和2年度の期間、集水域全体の $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量の河川を通しての総流出量を推定すると2%未満であり、流域の $^{137}\text{Cs}$ が流出しにくいことが明らかとなった。加えて、土地利用形態で比較すると、水田や畑地の多い河川が、森林形態の多い河川と比べて流出しやすい傾向にあった。

### 引用文献

Hasegawa et al. (2017) *J. Environ. Radioact.* 171, pp. 65-73

Kadowaki et al. (2018) *Atmos. Environ.* 184, pp. 275-291

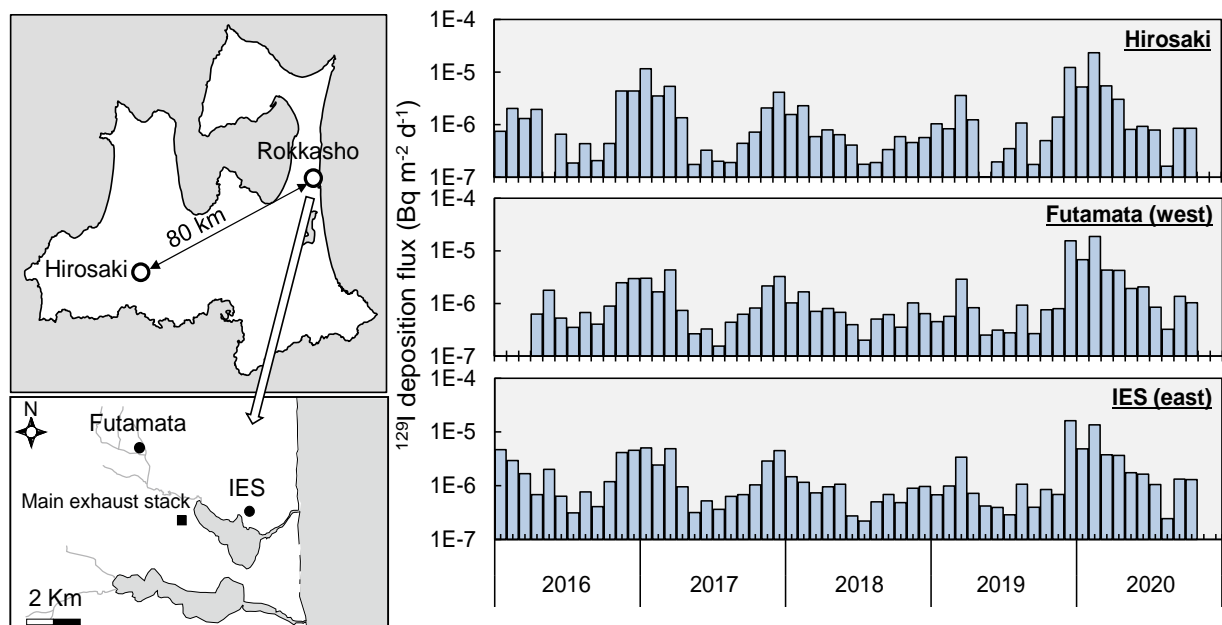


Fig. 1 Temporal variations of  $^{129}\text{I}$  deposition flux at the IES site, Futamata and Hirosaki.