

## 第5章 被ばく線量評価法及び $\alpha$ 放射性核種に関する調査研究

### Dose Assessment of Natural Radiation and Distribution of Natural $\alpha$ -emitting Radionuclides in the Environment

大塚 良仁, 五代儀 貴, 高久 雄一, 久松 俊一  
環境影響研究部

Yoshihito OHTSUKA, Takashi IYOGI, Yuichi TAKAKU, Shun'ichi HISAMATSU  
*Department of Radioecology*

#### Abstract

Natural background radiation doses for residents and the ecosystem in Rokkasho, Japan are important for evaluating the significance of the dose from radionuclides discharged from the first commercial spent nuclear fuel reprocessing plant located there. The aims of this study were to establish methods for measuring the environmental  $\gamma$ -ray radiation dose to people in their actual living environment and the natural radiation dose to biota in the aquatic environment of Lake Obuchi neighboring the plant. Since the background level of natural  $\alpha$ -emitting radionuclides is also useful as a reference for such radionuclides as Pu assumed to be discharged from the plant, this study also had another purpose of obtaining the concentration level of natural  $\alpha$ -emitting radionuclides in various environmental samples.

Environmental  $\gamma$ -ray dose rates to people living in Aomori City were measured for 1 week in each season in FY 2013 by using personal electrical dosimeters that were able to log data. Dose rates in various working and living environments were also measured for a year with glass dosimeters. The mean personal radiation dose for 10 volunteers was 38 nGy h<sup>-1</sup> and higher than the value of 32 nGy h<sup>-1</sup> estimated using measurement results in various environments obtained with glass dosimeters and the mean spending time in each environment from the literature. The values of this study were measured by personal dosimeters which had been calibrated by <sup>226</sup>Ra absorbed dose in air. Self-dose of the detectors and the cosmic ray dose were corrected by using data from control detectors in a box shielded with 5-cm-thick lead.

To estimate external radiation dose to biota in Lake Obuchi, radiation dose in the lake water and its out flow, Obuchi River, were measured with glass dosimeters placed in watertight boxes and submerged in the water. Concentrations of radionuclides in Pacific herring (*Clupea pallasii*) were also measured to estimate internal dose to the fish. The radiation dose rate at the surface of the lake water was found to be 27 nGy h<sup>-1</sup>, and the dose rate exponentially decreased with depth until a point 1 m above the bottom sediment. Dose rate in the Obuchi River was measured as 30 nGy h<sup>-1</sup> which was slightly higher than the value in the lake surface due to gamma-rays from bottom sediment. The radionuclide in the highest concentration in the Pacific herring was <sup>40</sup>K. The fish internal dose rate was evaluated to be 75 nGy h<sup>-1</sup> using dose conversion coefficients of pelagic fish calculated by FASSET with ~50% contribution by <sup>210</sup>Po to the dose rate. A voxel phantom of the Pacific herring was constructed by using a three-dimensional scanner for future dose calculations.

Natural  $\alpha$ -emitting radionuclides were determined for samples of various environmental media in Rokkasho: soil, sediment, lake water, precipitation, and aerosol samples. Rice paddy soil samples from five

sites in Rokkasho were analyzed, and it was found that  $^{210}\text{Po}$  was present in the highest concentration among natural  $\alpha$ -emitting radionuclides. Mean concentration of  $^{210}\text{Po}$  in the 0 – 60 cm depth of these soil samples was about 650 times larger than the assumed  $^{238}, ^{239}, ^{240}\text{Pu}$  concentrations discharged from the plant. Polonium-210 also was found in the highest concentration of alpha-emitters in sediment samples in Lake Obuchi, and atmospheric deposition and aerosol samples collected in IES, while  $^{238}\text{U}$  originating from seawater was the highest in lake water samples from Lake Obuchi.

## 1. 目的

本調査では、青森県六ヶ所村に立地する大型再処理施設に由来すると想定されている被ばく線量や排出放射性核種（Pu等）の環境中濃度に対する的確な対照を得ることを目的とする。このため、県民の生活実態に沿った環境 $\gamma$ 線による被ばく線量を得ると共に、水生生物の自然被ばく線量の評価法を確立し、六ヶ所村内の土壌及び湖水等の天然 $\alpha$ 線放出核種等の濃度レベルを明らかにすることを目標とする。

## 2. 方法

青森市の生活環境における環境 $\gamma$ 線線量率を明らかにするために、青森市内の屋内職場環境、住宅及び屋外にガラス線量計を設置し、環境 $\gamma$ 線線量率を測定した。さらに、生活実態に沿った外部被ばく線量のデータを取得するために、青森市内で働く10名を対象に、個人線量計を用いて季節別に各1週間の環境 $\gamma$ 線線量率の個人モニタリングを実施した。

尾駈沼と尾駈川の各1地点にガラス線量計を設置して、水中の線量率を測定するとともに、尾駈沼内で採取したニシンの全身試料、並びに解剖して得た部位別試料中放射性核種等を測定した。さらに、平均的な大きさのニシンをモデルとして、これを3Dスキャナーで撮影し、ニシンの簡易ボクセルファントムを作成した。

六ヶ所村の水田土壌を採取して、土壌中天然 $\alpha$ 線放出核種等を分析して鉛直分布を明らかにするとともに、逐次抽出法を用いて、これらの放射性核種の存在形態を調査した。尾駈沼内6地点、並びに二又川及び尾駈川の表面水と、尾駈沼沼奥部の堆積物を採取し、これらの試料中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の濃度を分析した。加えて、環境研構内において、約10日間隔で大気降下物を採取するとともに、エアロゾ

ルを約10日当たり1日間採取し、採取試料中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の濃度レベルを調査した。

## 3. 成果の概要

### 3.1 生活環境外部被ばく線量の調査

#### (1) 青森市の生活環境における環境 $\gamma$ 線線量率測定

ガラス線量計により環境 $\gamma$ 線線量率を測定した結果、年平均線量率は $34 \text{ nGy h}^{-1}$  ( $19\sim 52 \text{ nGy h}^{-1}$ )であり、これまで青森市の人工物の少ない屋外で測定した年平均線量率である $28 \text{ nGy h}^{-1}$  ( $25\sim 31 \text{ nGy h}^{-1}$ )と比較して高く、その変動範囲も広いものであり、建材等の人工物が影響しているものと考えられた。総務省の社会生活基本調査による青森県の生活行動別の時間を用い、各生活行動場所の環境 $\gamma$ 線線量率に本調査による測定結果とこれまでの人工物の少ない屋外の測定結果を割り当てて、青森市民の環境 $\gamma$ 線線量率を計算した結果、 $32 \text{ nGy h}^{-1}$ であった。なお、職場の線量率としては、国勢調査及び経済センサスにおける青森県の産業別就業者数の重みを付けた平均値を用いた。

#### (2) 生活環境における個人の環境 $\gamma$ 線被ばく線量率測定

環境 $\gamma$ 線線量率の個人モニタリングを実施した結果、平成25年6月、8月、11月及び平成26年1月の各1週間の各個人の平均環境 $\gamma$ 線被ばく線量率は $38 \text{ nGy h}^{-1}$  ( $31\sim 48 \text{ nGy h}^{-1}$ )であり、年実効被ばく線量は $0.23 \text{ mSv y}^{-1}$  ( $0.19\sim 0.30 \text{ mSv y}^{-1}$ )であった。この値は前述の生活環境における環境 $\gamma$ 線線量率測定結果等から計算される値よりも若干高かった。なお、(1)及び(2)の値は $^{226}\text{Ra}$ による空気吸収線量で校正した測定器を胸につけて測定した空気吸収線量相当値である。また、上記の値はいずれも各々の線量計を5 cmの鉛で囲み測定した値を差し引いて

自己照射寄与等を補正した値である。

### 3.2 水生生物の線量評価法の開発

#### (1) 尾駁沼及び尾駁川水中の線量率測定

平成 25 年 4 月～平成 26 年 3 月の尾駁沼湖心部の水面における平均線量率は約 27 nGy h<sup>-1</sup>であり、平成 23 年度～24 年度に得られた尾駁沼沼奥部、湖心部及びアマモ場の水面における線量率の平均値と同等であった。水中における線量率は、水深と共に減少したが、湖底堆積物表面から 1 m 以内の水深では、堆積物中  $\gamma$  線放出核種に由来すると思われる線量率のわずかな増加が認められた。尾駁川の河床から約 10 cm (水深約 40 cm) 離れた水中の線量率の平均は 30 nGy h<sup>-1</sup>であり、尾駁沼水面 0 m における平均の値よりもわずかに高かった。

#### (2) 尾駁沼のニシン中放射性核種等の濃度測定

ニシンの全身試料で最も高濃度の放射性核種は <sup>40</sup>K であった。測定した放射性核種濃度と線量換算係数文献値を用いて計算した全身の吸収線量率は 75 nGy h<sup>-1</sup> となり、最も寄与の大きかった核種は <sup>210</sup>Po であった。ニシンの部位別 <sup>210</sup>Po 濃度は、内臓中濃度が他の部位と比較して顕著に高濃度であった。

#### (3) 尾駁沼のニシンの簡易ボクセルファントム作成

簡易ボクセルファントムの内部は、骨、内臓、卵巣及び筋肉等の 4 つ領域に分類した。今後、この簡易ボクセルファントムと堆積物、湖水及びニシン中の部位別放射性核種及び安定元素濃度を使用して、モンテカルロ法によりニシンの被ばく線量率を計算する予定である。

### 3.3 環境中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の分布調査

#### (1) 六ヶ所村水田土壌中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の鉛直分布及び存在形態の調査

表層から深度 60 cm まで採取した水田土壌中で最も高濃度の天然  $\alpha$  線放出核種は、ほとんどの場合 <sup>210</sup>Po であったが、平成 23 年度に調査した未耕地土壌表層の様な高 <sup>210</sup>Po 濃度の土壌層は認められなかった。大型再処理施設から排出が見込まれる Pu 同位体のうち、 $\alpha$  線放出核種である <sup>238</sup>Pu、<sup>239</sup>Pu 及び <sup>240</sup>Pu の合計 (Pu( $\alpha$ )) の表層土壌中濃度評価値は、水田土壌中 <sup>210</sup>Po の平均濃度の約 1/650 に相当する。

逐次抽出法により水田土壌中  $\alpha$  線放出核種の存在形態を分析した結果、<sup>210</sup>Po の 56%～100%が硝酸抽出成分と残渣成分として存在しており、大気圏核実験を起源とする人工放射性核種の <sup>239+240</sup>Pu の大部分は遊離酸化物吸蔵態及び硝酸抽出成分中に存在することが判明した。

#### (2) 尾駁沼の表面湖水中天然 $\alpha$ 線放出核種等の水平分布及び沼奥部堆積物中天然 $\alpha$ 線放出核種等の鉛直分布の調査

尾駁沼の 5 地点、尾駁川及び二又川表面水中で最も高濃度の  $\alpha$  線放出核種は <sup>238</sup>U であった。尾駁沼及び尾駁川表面水中 <sup>238</sup>U の 99%以上が 0.2  $\mu$ m 以下の溶存態として存在しているが、二又川河川水中の溶存態 <sup>238</sup>U の存在割合は 93%～95%と、尾駁沼及び尾駁川表面水よりもやや懸濁態成分で存在している割合が多かった。沼奥部にある主流入河川である二又川河口付近の地点を除く沼内 5 地点間に <sup>238</sup>U 濃度差はほとんど認められなかったが、二又川河口地点の <sup>238</sup>U 濃度は他の地点よりも低濃度であった。

尾駁沼沼奥部の堆積物中で最も高濃度の天然  $\alpha$  線放出核種は <sup>210</sup>Po であり、その濃度は深度が深くなるに従い減少した。堆積物中 <sup>210</sup>Po は親核種の <sup>210</sup>Pb とほぼ放射平衡になっているが、<sup>238</sup>U や <sup>226</sup>Ra とは全ての深さで非平衡であった。<sup>210</sup>Po を除いた  $\alpha$  線放出核種の鉛直分布は、堆積物表層から 20 cm までは顕著な濃度変化は認められなかった。<sup>239+240</sup>Pu の鉛直分布は、平成 24 年度に調査した湖心部の堆積物と異なり、採取した長さ 20 cm の堆積物コア試料中では、深度による顕著な濃度変化は認められなかった。

#### (3) 六ヶ所村における大気降下物及びエアロゾル中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の濃度測定とその変動調査

平成 25 年 1 月～12 月の期間に、六ヶ所村で最も降下量の多かった天然  $\alpha$  線放出核種は <sup>210</sup>Po であり、<sup>238</sup>U 及び <sup>232</sup>Th のそれぞれ約 25～800 倍及び約 24～1600 倍の降下量であった。エアロゾル試料中で最も高濃度の核種も <sup>210</sup>Po であり、<sup>238</sup>U 及び <sup>232</sup>Th のそれぞれ約 22～2100 倍及び約 54～4700 倍の濃度であった。大型再処理施設から排出が見込まれる Pu( $\alpha$ ) の大気浮遊じん中濃度評価値は、エアロゾル中平均 <sup>210</sup>Po 濃度の約 1/240 に相当することが分かった。