

## 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 in various working and living environments in Hachinohe City were measured for a year in FY 2014 with glass dosimeters. Environmental  $\gamma$ -ray dose rates to people living in the city were also measured for 1 week in each season by using personal electrical dosimeters that were able to log data. Using results obtained, we examined whether measured dose rates in various environments can reproduce personal dose rates. 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. The mean personal dose rate for 10 volunteers was found as 0.20 mSv  $y^{-1}$  and similar to the value of 0.22 mSv  $y^{-1}$  estimated using measurement results in various environments obtained with glass dosimeters and the mean spending time in each environment from the literature. This showed that the personal dose rate measured by the personal dosimeter could be reproduced by the combination of the measured dose rates in various environments and the mean spending time.

To estimate radiation dose to biota in Lake Obuchi, salmon (*Oncorhynchus keta*) and flatfish (*Platichthys stellatus*) were collected and analyzed for radionuclides to obtain internal radiation dose rates. Internal dose rates of the salmon and flatfish were evaluated to be 1.2E+2 nGy  $h^{-1}$  and 8.5E+1 nGy  $h^{-1}$ , respectively, using dose conversion coefficients for a pelagic fish calculated by the ERICA-tool. Polonium-210 burden in their bodies contributed 63 – 71% of these dose rates. Voxel phantoms of the salmon, flat fish, Japanese pond smelt (*Hypomesus nipponensis*) and Pacific herring (*Clupea pallasii*) collected from Lake Obuchi were constructed on the basis of X-ray computed tomographic (CT) images for estimating their radiation dose rates accurately. Internal and external dose rates of a seagrass (*Zostera marina*), Japanese pond smelt and Pacific herring were estimated by the Monte Carlo code (EGS5) using each voxel phantom developed by us so far, getting the dose rates of 7.4E+1 nGy  $h^{-1}$ , 8.7E+1 nGy  $h^{-1}$  and

1.2E+2 nGy h<sup>-1</sup>, respectively.

Natural  $\alpha$ -emitting radionuclides were determined for samples of various environmental media in Rokkasho: soil, lake water, precipitation and aerosol samples. Soil samples from five grass-field sites in Rokkasho were analyzed, and we found that <sup>210</sup>Po in the surface layer was in the highest concentration among natural  $\alpha$ -emitting radionuclides in most of the sites. Mean concentration of <sup>210</sup>Po in soil samples in 0 to ~60 cm depth was found to be ~1,000 times larger than the assumed <sup>238</sup>, <sup>239</sup>, <sup>240</sup>Pu concentrations discharged from the plant. In water samples collected in the Obuchi River and Lake Obuchi, <sup>238</sup>U had the highest concentration among the natural  $\alpha$ -emitting radionuclides excluding a site near the Futamata River estuary. We found 88 – 90% of <sup>238</sup>U in the waters was presented as dissolved phase passing through a filter with 0.2  $\mu$ m pore size. Daily variation of the  $\alpha$ -emitting radionuclide concentrations in atmospheric deposition and aerosol samples was observed during about one week in four types weather conditions; rain, Kosa (yellow dust), a typhoon, and snow. Polonium-210 was found in the highest concentration of alpha-emitters in both deposition and aerosol samples in every weather condition.

## 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ともに、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

### 2.1 生活環境外部被ばく線量の調査

八戸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 $\gamma$ 線線量率を測定するとともに、八戸市内で働く10名を対象に、個人線量計を用いて季節別に各1週間、個人の環境 $\gamma$ 線被ばく線量率の測定を実施し、得られた生活環境における環境 $\gamma$ 線線量率測定結果により、個人の線量率を再現できるかを検討した。

### 2.2 水生生物の線量評価法の開発

六ヶ所沖及び尾駸沼内で採取したサケ及び尾駸沼内で採取したママガレイの全身試料、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、平均的な大きさのサケ及びママガレイのCT画像からこれらの簡易ボクセルファントムを作成した。加えて、平成24年度に採取したワカサギ及び平

成25年度に採取したニシンについても、同様の方法でこれらの簡易ボクセルファントムを作成した。平成23年度に作成したアマモ並びに平成26年度に作成したワカサギ及びニシンの各簡易ボクセルファントムを用いて、これらの水生生物が自然の状態で受けている被ばく線量率をモンテカルロ法を用いて計算した。

### 2.3 環境中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の分布調査

六ヶ所村の牧草土壌を採取して、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。さらに、尾駸沼内6地点、並びに二又川及び尾駸川のそれぞれ1地点において、上げ潮の始めと終わり頃にそれぞれ1回表面水を採取し、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、降雨、黄砂、梅雨、台風及び降雪時の1週間における大気降下物とエアロゾル中天然 $\alpha$ 線放出核種等濃度の日変動を調査した。

## 3. 成果の概要

### 3.1 生活環境外部被ばく線量の調査

以下で述べる線量率は全て線量計を5 cmの鉛で囲み測定した値を差し引いて補正した値である。

#### (1) 八戸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八戸市内の環境 $\gamma$ 線線量率測

定結果と平成 23 年社会生活基本調査の青森県民の生活時間を組み合わせて算出した実効線量の年平均は、 $0.22 \pm 0.068 \text{ mSv y}^{-1}$ であった。

## (2) 八戸市の生活環境における個人の環境 $\gamma$ 線被ばく線量率測定

平成 26 年 6 月、8 月、11 月及び平成 27 年 1 月の各 1 週間の各個人の平均環境 $\gamma$ 線被ばく線量率を測定した結果、各個人の環境 $\gamma$ 線被ばくによる実効線量の年平均は  $0.20 \text{ mSv y}^{-1}$  ( $0.14 \sim 0.28 \text{ mSv y}^{-1}$ ) であった。

(1)と(2)の結果から、八戸市の様々な生活環境における環境 $\gamma$ 線線量率測定結果により推定した線量率は、個人線量計の平均値及び変動をほぼ再現できることが明らかとなった。

## 3.2 水生生物の線量評価法の開発

### (1) 尾駁沼のサケ及びカレイ中の放射性核種等の濃度測定

サケ及びヌマガレイの全身試料で最も高濃度の放射性核種は  $^{40}\text{K}$  であり、ERICA-tool による線量換算係数を用いた全身吸収線量を求めたところ、最も寄与の大きかったのは、いずれの魚類も  $^{210}\text{Po}$  であった。部位別に  $^{210}\text{Po}$  濃度を比較したところ、いずれの魚類も内臓中濃度が他の部位の濃度と比較して顕著に高かった。サケの試料については、内臓を幽門垂とそれ以外に分けて分析したところ、幽門垂はこれ以外の内臓に比べて約 2 倍高濃度であった。

### (2) 尾駁沼のサケ及びカレイの簡易ボクセルファントム作成

サケ及びカレイの被ばく線量率の計算に用いる簡易ボクセルファントムを作成するために、尾駁沼で採取したこれらの試料の内、平均的な大きさの個体を X 線 CT 撮画して、この CT 画像を基に、これらの簡易ボクセルファントムを作成した。さらに、平成 24 年度に採取したワカサギ及び平成 25 年度に採取したニシンについても、同様の方法でこれらの簡易ボクセルファントムを作成した。これらの簡易ボクセルファントムの内部は、骨、内臓、卵巣（カレイを除く）、筋肉等、エラ（サケ及びカレイのみ）及び眼球（サケのみ）の領域に分類した。

### (3) 尾駁沼のアマモ、ワカサギ及びニシンの被ばく線量率計算

アマモ、ワカサギ及びニシンの内部被ばく線量率は全身でそれぞれ  $4.4\text{E}+1 \text{ nGy h}^{-1}$ 、 $6.2\text{E}+1 \text{ nGy h}^{-1}$  及び  $1.0\text{E}+2 \text{ nGy h}^{-1}$  となり、アマモでは  $^{40}\text{K}$ 、 $^{238}\text{U}$  及び  $^{210}\text{Po}$ 、ワカサギ及びニシンでは  $^{40}\text{K}$  及び  $^{210}\text{Po}$  の寄与が大きかった。湖水中放射性核種を線源とした場合のアマモ、ワカサギ及びニシンの外部被ばく線量率は、それぞれ  $1.6\text{E}+0 \text{ nGy h}^{-1}$ 、 $1.1\text{E}+0 \text{ nGy h}^{-1}$  及び  $7.5\text{E}-1 \text{ nGy h}^{-1}$  であり、最も線量率に寄与する核種はいずれの水生生物についても  $^{40}\text{K}$  であった。堆積物を線源とした場合の水中線量率を試算した結果、堆積物表面から 1.5 m 離れた位置には放射線はほとんど届かず、尾駁沼の中層以浅で生活している魚類の堆積物中放射性核種に由来する被ばくは無視できるほど小さいと判断された。地下茎が堆積物内にあるアマモについても、堆積物に由来する外部被ばく線量率は  $5.3\text{E}+0 \text{ nGy h}^{-1}$  であり、内部被ばく線量率と比較して小さいことが明らかになった。平成 23 年度～25 年度に尾駁沼で測定した水中線量率の鉛直分布から計算した宇宙線電離成分による外部被ばく線量率計算値と合わせたこれらの水生生物の被ばく線量率は、アマモ  $7.4\text{E}+1 \text{ nGy h}^{-1}$ 、ワカサギ  $8.7\text{E}+1 \text{ nGy h}^{-1}$  及びニシン  $1.2\text{E}+2 \text{ nGy h}^{-1}$  となった。線源別の自然被ばく線量率に占める割合は、体内（内部被ばく）が約 60%～80%、宇宙線電離成分が約 19%～30%であった。湖水及び堆積物の寄与はそれぞれ約 1%～2%及び 0%～7%であり、これらの自然被ばく線量率への寄与は小さいことが分かった。

## 3.3 環境中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の分布調査

### (1) 六ヶ所村牧草地土壌中の天然 $\alpha$ 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 47～60 cm まで採取した牧草地土壌中で最も高濃度の天然 $\alpha$ 線放出核種は、第 1 層では  $^{210}\text{Po}$  であるが、平成 23 年度に調査した未耕地土壌表層の様な高  $^{210}\text{Po}$  濃度の土壌層は認められなかった。また、第 4 層では  $^{226}\text{Ra}$  の方が高濃度で存在していた。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  $^{238}\text{Pu}$ 、 $^{239}\text{Pu}$  及び  $^{240}\text{Pu}$  の合計 ( $\text{Pu}(\alpha)$ ) の表層土壌中濃度評価値は、牧草地土壌中  $^{210}\text{Po}$  の平均濃度と比較すると約 1/1000 に相当する。

逐次抽出法により牧草地土壌中 $\alpha$ 線放出核種の存在形態を分析した結果、 $^{210}\text{Po}$ の99%~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して後から負荷された人工放射性核種の $^{239+240}\text{Pu}$ の大部分は遊離酸化物吸蔵態、硝酸抽出成分及び残渣中に存在することが判明した。

## (2) 尾駸沼の表面湖水中天然 $\alpha$ 線放出核種等の水平分布調査

尾駸沼、尾駸川及び二又川表面水中で最も高濃度の $\alpha$ 線放出核種は $^{238}\text{U}$ であった。沼奥部から流入する二又川の河口付近の地点を除いた尾駸沼内及び尾駸川表面水中 $^{238}\text{U}$ は、その99%以上が $0.2\ \mu\text{m}$ 以下の溶存態として存在していた。二又川河川水中の溶存態 $^{238}\text{U}$ の存在割合は約88%~96%と、尾駸沼及び尾駸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 $^{238}\text{U}$ 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 $^{238}\text{U}$ 濃度は他の地点よりも低濃度になる傾向が認められた。

## (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 $\alpha$ 線放出核種等濃度の1週間の日変動調査

降雨（調査年月：平成26年3月）、黄砂（平成26年4月~5月）、梅雨（平成26年7月）、台風（平成26年8月）及び降雪（平成26年12月及び平成27年1月）の気象条件の期間の約1週間について、大気降下物中の天然 $\alpha$ 線放出核種等の降下量の日変動を調査した結果、最も降下量の多かった天然 $\alpha$ 線放出核種は $^{210}\text{Po}$ であり、その降下量は $^{238}\text{U}$ 及び $^{232}\text{Th}$ の約 $2.7\text{E}+1\sim 2.7\text{E}+3$ 倍であった。大気降下物と同時に採取したエアロゾル試料中の天然 $\alpha$ 線放出核種等濃度の日変動を調査した結果、エアロゾル試料中で最も高濃度の核種も $^{210}\text{Po}$ であり、 $^{238}\text{U}$ 及び $^{232}\text{Th}$ の $5.9\text{E}+1\sim 5.2\text{E}+3$ 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 $\text{Pu}(\alpha)$ の大気浮遊じん中濃度評価値は、エアロゾル中平均 $^{210}\text{Po}$ 濃度の約1/220に相当することが分かった。