

第2章 天然放射能による被ばく線量に関する調査研究

2.1 天然放射線による青森県民と六ヶ所村森林生態系の線量評価

Evaluation of Natural Radiation Dose of People in Aomori Prefecture and Forest Ecosystem in Rokkasho

大塚 良仁, 五代儀 貴, 高久 雄一, 久松 俊一
環境動態研究部

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

Abstract

The natural background radiation dose is important for evaluating the significance of the dose from the small amounts of radionuclides that are being released from the first commercial spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho, Japan. In this study, the background radiation dose of Aomori Prefecture residents was assessed, and a dose evaluation method for the forest ecosystem in Rokkasho was developed to study environmental protection.

Natural radiation consists of cosmic rays, environmental γ -rays and radiation from Rn and internal radionuclides. The cosmic ray dose rate can be estimated from the height above sea level and the magnetic latitude of the target area. Radon concentrations have already been measured throughout the prefecture, and dose rates from Rn were evaluated. Although we previously measured environmental γ -ray dose rates throughout the prefecture, measurement points around Rokkasho were scarce. In this study, the dose rates were measured in areas surrounding Rokkasho to get their detailed distribution. The internal dose rate was also evaluated by analyzing radionuclides in the so-called total diet and individual food item samples collected in Rokkasho and Aomori City. The cumulative γ -ray dose at five locations in the northwestern area of Shimokita Peninsula was measured using glass dosimeters in FY 2009. The dose rates ranged from 22 to 39 nGy h⁻¹, and were within the range of the dose rates in Aomori Prefecture. The sums of the committed effective dose due to annual ingestion of natural radionuclides in the total diet samples and the effective dose rate from ⁴⁰K cited in the literature were estimated to be 0.55 mSv for agricultural farm workers in a study done during FYs 2008-2009 and 0.59 mSv for office workers in a study done during FYs 2006-2009. Over 98% of these doses were attributed to ²¹⁰Po, ⁴⁰K, ²¹⁰Pb, ¹⁴C and ²²⁸Ra. Analytical results of vegetables, fruits, mushroom and processed foods (tofu, kon-nyaku and natto) showed that the committed effective doses from natural radionuclides ingested annually through the products were 0.022 and 0.019 mSv for the farm and office workers, respectively, corresponding to 6 and 5% of each committed effective dose.

Mice, moles, and the fox as their predator were selected as representative animals of the forest ecosystem in this study, and their radiation doses derived from natural sources, i.e. environmental γ -rays, Rn, and internal radionuclides, have been planned to be measured during FYs 2006 - 2010. The study for the fox was started from FY 2009 succeeding that for the small mammals. Environmental γ -ray dose rates and Rn concentrations were measured in and around burrows for medium-sized mammals, presumably foxes, in the southern part of Rokkasho during June-November 2009. A female Japanese red fox (*Vulpes vulpes*

japonica) and a female raccoon dog (*Nyctereutes procyonoides viverrinus*) were caught with traps set around some of the burrows. After sacrificing them, their body burdens of natural radionuclides were analyzed. Before dissecting the red fox, its MRI tomography images were taken for construction of a voxel phantom. The environmental γ -ray dose rates ranged from 17 to 33 nGy h⁻¹ in and around the burrows, and the dose in the burrows decreased with distance from their entrance. Ranges of the mean ²²²Rn concentrations in and around the burrows were 2.5E+1 - 1.4E+3 Bq m⁻³ and 4 - 6 Bq m⁻³, respectively. The radon equilibrium factor varied from 0.29 to 0.43 around the burrows. The mean internal dose rates of the red fox and the raccoon dog were estimated as 56 nGy h⁻¹ and 0.44 μ Gy h⁻¹, respectively, with dose conversion factors using a very simple phantom. The difference between them was mainly caused by the 12 times higher body burden of ²¹⁰Po in the raccoon dog than the red fox. Voxel phantoms which had internal organs structure were produced for a mouse (*Apodemus argenteus*), a mole (*Urotrichus talpoides*) and a fox. The small animal phantoms were made by size adjustment of the Digimouse, which is a mouse voxel phantom published by the South California University. The phantom of the fox was constructed from the MRI tomography images for the red fox caught in this study.

1. 目的

本調査では、青森県六ヶ所村の大型再処理施設の操業に伴って排出される放射性核種による線量を考察する際に、比較対照として必要な自然放射線・天然放射性核種による青森県民の被ばく線量の評価を行うと共に、六ヶ所村森林生態系が受けている線量を評価する手法を確立する事を目的としている。平成 21 年度は、下北半島北西部の生活環境における環境 γ 線線量率の地域内分布を調査すると共に、六ヶ所村民と青森市民の天然放射性核種の年間摂取量を明らかにして内部被ばく線量を求めた。更に、生態系として六ヶ所村に代表的な森林環境に注目し、六ヶ所村南部で確認された中型動物の巣穴付近において環境 γ 線線量率及びラドン濃度を測定するとともに、その巣穴付近で捕獲した中型ほ乳動物の部位別放射性核種濃度を求め、内部被ばく線量を推定した。更に、小型及び中型動物の被ばく線量計算に使用するボクセルファントムを作成した。

2. 方法

2.1 六ヶ所村周辺市町村の γ 線地域特性調査

六ヶ所村周辺に位置する下北半島北西部の 5 地点において環境 γ 線線量率を測定した。また、環境研構内において環境 γ 線線量率を測定し、線量率の変動と気象要素の関連を調べた。

2.2 日常食調査

六ヶ所村及び青森市の勤労世帯及び農業世帯の日常食試料（1 日の調理済み食事を 5 人分まとめたもの）を平成 21 年 5 月、8 月、10 月及び平成 22 年 1 月の指定した平日に陰膳法により収集し、試料中の天然放射性核種を分析した。

2.3 食品別調査（野菜類）

六ヶ所村と青森市において 26 品目の野菜類を平成 21 年 4 月から 11 月にマーケットバスケット方式で購入し、全ての試料について試料中天然放射性核種を未調理のまま分析した。なお、分析した野菜類には、果実類、きのこ類及び農産加工品を含む。

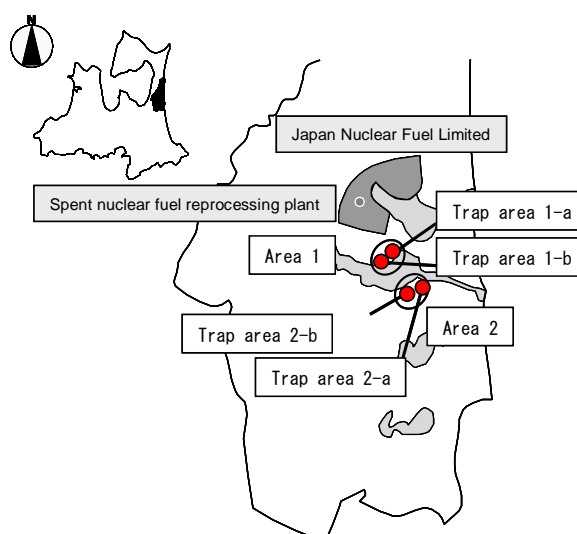


Fig. 1 Sampling sites (●) for medium-sized mammals in the southern part of Rokkasho

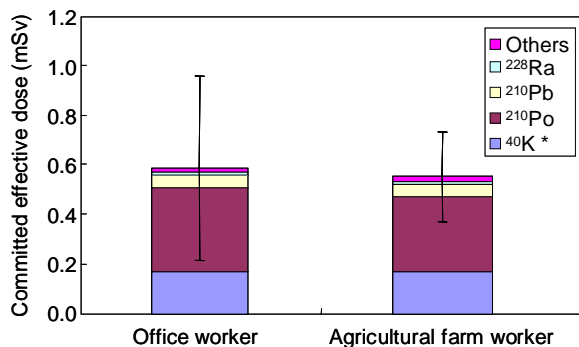


Fig. 2 Mean committed effective dose from natural radionuclides ingested annually through total diet samples of agricultural farm workers in FYs 2008-2009 and of office workers during FYs 2006-2009 in Rokkasho Village and Aomori City. Each error bar shows the standard deviation of results from 16 farm workers and 32 office workers, respectively. “Others” means the sum of doses for ¹⁴C, ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra, ^{228,232}Th, and ²³⁸U.

2.4 六ヶ所村南部における中型動物（キツネ等）巣穴中のγ線線量率調査

六ヶ所村南部で確認された中型動物の巣穴3地点及びその周辺に測定地点を設けて、平成21年6月～11月に積算線量の測定を行った。更に、土壌から受ける線量への核種別寄与の割合を評価するためにIn-situ Ge 半導体検出器を用いて環境γ線スペクトル測定を行った。

2.5 六ヶ所村南部における中型動物（キツネ等）巣穴中のラドン濃度調査

パッシブ型ラドン・トロン弁別測定器を用いて平均的なラドン濃度を把握すると共に、電子式測定器によりラドン濃度及びラドン子孫核種濃度の短期の変動を測定した。

2.6 六ヶ所村南部における中型動物（キツネ等）の部位別放射能濃度調査

六ヶ所村南部の中型動物の巣穴付近において2つの調査地域（Area 1及び2）を選定し（Fig. 1）、鳥獣捕獲等（鳥類卵採取等）許可を取得した。各地域に2つのトラップエリアを設けて、生け捕り罠を仕掛けた（平成21年7月）。捕獲した動物を解剖して、肺、腎臓、脾臓、肝臓、心臓、大腿骨、脳、眼球、筋肉、脊椎、皮膚、体毛、甲状腺、胃腸管、生殖器官及びそれ以外の部位に分け、これらを部位別に天然放射性核種濃度を分析した。胃腸管内の内容物（胃内容物）については別途試料とした。

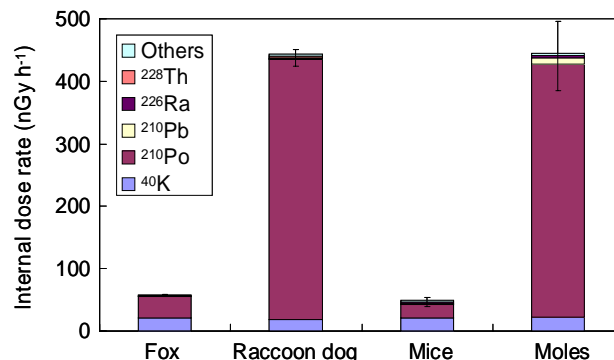


Fig. 3 Mean internal radiation dose rates of a fox, a raccoon dog, mice and moles. The rates and error bars of mice and moles show the mean and standard deviations of results from 20 samples in beech (2006), oak (2007) and coniferous (2008) forests of Rokkasho. “Others” means the sum of doses for ¹³⁷Cs, ²²⁸Ra, ²³²Th, and ^{234,238}U.

2.7 動物の被ばく線量を計算するファントム（線量評価用モデル）の作成

小型動物については、南カリフォルニア大学が作成したマウスファントム（Digimouse）を基に、平成18年度から20年度に六ヶ所村内の森林環境において捕獲したヒメネズミ及びヒミズの平均体長に調節したボクセルファントムを作成した。中型動物のファントムについては、六ヶ所村南部で捕獲したホンドキツネを解剖前に磁気共鳴画像装置（MRI）で撮画した体内断層写真等を基にキツネファントムを作成した。

3. 成果の概要

3.1 六ヶ所村周辺市町村の環境γ線地域特性調査

下北半島北西部の屋外の環境γ線線量率は22～39 nGy h⁻¹であり、青森県全域の調査結果の範囲内で幅広く分布していた。環境γ線線量率の変動要因を明らかにするために、平成21年4月から11月までの降雨事象について、降雨時の気団の通過経路及び通過高度と降水量当たりの線量増加率の関連を調べた。その結果、線量増加率は、海洋上を長く通過してきた気団では低く、大陸から来た気団では高い傾向があった。更に、降水に伴うラドン子孫核種の地表への降下量は降水量の指数乗に比例すると仮定して、降水量から線量上昇率を計算した結果、線量率上昇を精度良く再現できた。

3.2 日常食調査

測定した天然放射性核種の年間経口摂取による預託実効線量は、勤労世帯及び農業世帯共に、世界の平均値に比べて高かった。これは、 ^{210}Po の摂取量が高いことによるものである。預託実効線量と ^{40}K の実効線量文献値 (Uchiyama ら, 1996) を合計した内部被ばく線量に占める各放射性核種の寄与を計算した結果、 ^{210}Po の寄与が最も高く、続いて、 ^{40}K 、 ^{210}Pb 、 ^{228}Ra 及び ^{14}C (環境科学技術研究所, 2010) であった。これらの5核種で内部被ばく線量の98%以上を占めることが判明した。平成18年度から21年度までの勤労世帯及び平成20年度と21年度の農業世帯の内部被ばく線量の平均は、それぞれ0.59 mSv 及び0.55 mSv と推定された (Fig. 2)。

3.3 食品別調査 (野菜類)

最も濃度が高い放射性核種は、シイタケを除く野菜類試料では ^{40}K であり、次いで ^{87}Rb 、 ^{228}Ra であったが、シイタケでは $^{40}\text{K} > ^{87}\text{Rb} > ^{137}\text{Cs}$ の順であった。野菜類の年間摂取に由来する預託実効線量は、勤労世帯及び農業世帯でそれぞれ0.019 mSv 及び0.022 mSv と計算され、日常食調査において推定した天然放射性核種による預託実効線量のそれぞれ5%及び6%であった。

3.4 六ヶ所村南部における中型動物 (キツネ等) 巣穴中の γ 線線量率調査

平成21年6月から11月までのキツネの巣穴及びその周辺における平均値は $17 \sim 33 \text{ nGy h}^{-1}$ であり、巣穴では奥に行くに従い線量率が低くなっていた。無積雪時に巣穴周辺において in-situ γ 線スペクトル測定を実施し、環境 γ 線線量への U 系列、Th 系列、 ^{40}K 及び ^{137}Cs の平均寄与割合を調べた結果、それぞれ18、36、45 及び1%であり、過去に調査したブナ林、ミズナラ林及び針葉樹林と比較すると ^{137}Cs の寄与が低く、 ^{40}K の寄与が高かった。

3.5 六ヶ所村南部における中型動物 (キツネ等) 巣穴中のラドン濃度調査

平成21年6月から11月までのキツネの巣穴及びその周辺におけるラドン濃度の平均値は、それぞれ

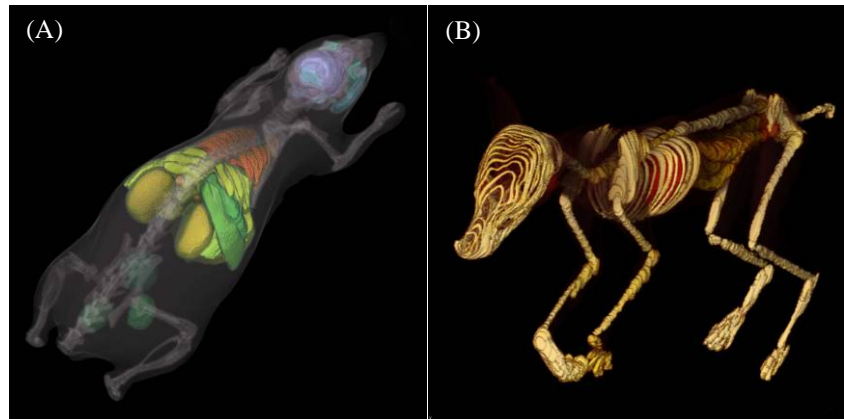


Fig. 4 Diagonal views of (A) a mouse (*Apodemus argenteus*) and (B) a fox (*Vulpes vulpes japonica*) for voxel phantoms

$2.5\text{E}+1 \sim 1.4\text{E}+3 \text{ Bq m}^{-3}$ 及び $4 \sim 6 \text{ Bq m}^{-3}$ であった。巣穴内では奥に行くほどラドン濃度は高くなっていた。巣穴周辺で短期のラドン及びラドン子孫核種濃度の変動を測定した結果、平衡係数は平均0.29～0.43であり、過去に調査した森林内と同様に、一般的に言われている屋外の値に比べて低い値であった。

3.6 六ヶ所村南部における中型動物 (キツネ等) の部位別放射能濃度調査

六ヶ所村南部において捕獲したメスのホンドキツネ及びホンダヌキの部位別放射性核種濃度を測定し、全身内部被ばく線量率を算出した結果、それぞれ 56 nGy h^{-1} 及び $0.44 \text{ }\mu\text{Gy h}^{-1}$ であった (Fig. 3)。これは、ホンダヌキの体内平均 ^{210}Po 濃度がホンドキツネと比較して高く、 ^{210}Po の線量換算係数が比較的大きな値であることによる。両中型動物共に内部被ばく線量率に最も大きく寄与する天然放射性核種は ^{210}Po であった。

3.7 動物の被ばく線量を計算するファントム (線量評価用モデル) の作成

本調査で作成した小型及び中型動物のボクセルファントムを Fig. 4 に示す。小型動物のヒメネズミとヒミズのファントムは、ボクセルサイズのみが異なるので、ここではヒメネズミのファントムのみを示した。

引用文献

- Uchiyama, M. et al., (1996) *Health Phys.*, **71**, 320-325.
環境科学技術研究所 (2010) 平成21年度排出放射能環境分布調査報告書。