

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

Natural Radiation Dose of People in Aomori Prefecture and Development of the Dose Evaluation Method for the 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.

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 southwestern area of Shimokita Peninsula was measured using glass dosimeters in FY 2010. The dose rates 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 ^{40}K cited in the literature were estimated to be 0.55 mSv for livestock farm workers in a study done in FY 2010 and 0.58 mSv for office workers in a study done during FYs 2006-2010. Household-numbers weighted mean dose for Aomori Prefecture was evaluated as 0.58 mSv from the doses for fishery, agricultural, livestock and office workers in Aomori Prefecture in a study done during FYs 2006-2010. Analytical results of edible wild plants and beverages including seasoning, confectioneries and pickles showed that the committed effective doses from natural radionuclides ingested annually through the products were 0.023 and 0.020 mSv for the farm and office workers, respectively.

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, were measured during FYs 2006 - 2010. The study for the fox starting in FY 2009 was continued in FY 2010. Environmental γ -ray dose rates and Rn concentrations were measured in burrows for medium-sized mammals, presumably foxes, in the northern part of Rokkasho during June-November 2010. 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. The environmental γ -ray dose rates ranged from 15 to 61 nGy h⁻¹ in the burrows, and the dose in the burrows decreased with distance from their entrance. Ranges of the mean ^{222}Rn concentrations in the burrows were 4.1E+1 - 2.1E+3 Bq m⁻³. The radon equilibrium factor

varied from 0.18 to 0.27 around the burrows. Mean ^{210}Pb and ^{210}Po concentrations in the body of the raccoon dog were two and eight times higher than that in the red fox, respectively, while mean ^{40}K concentrations in both animals were similar to each other.

Radiation dose rates from ^{222}Rn and its progenies in the lung of mouse (*Apodemus argenteus*), shrew mole (*Urotrichus talpoides*) and middle-size mammals were calculated on the assumption of their circadian life history as $1.1\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$, $1.7\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ and $1.2\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$, respectively, and the dose rates of bronchus were $1.4\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$, $2.3\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ and $2.0\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$, respectively.

External dose rates of the mouse, the shrew mole and Japanese red fox were evaluated by using the respective phantoms that had been constructed in FY 2009 and a Monte Carlo radiation dose calculation code (EGS4). Respective mean external dose rates were evaluated as 51 nGy h^{-1} , 51 nGy h^{-1} and 34 nGy h^{-1} for the mouse, the shrew mole and the red fox. Mean internal dose rates of the mouse, shrew mole, red fox and raccoon dog were estimated as 37 nGy h^{-1} , $4.0\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$, 50 nGy h^{-1} and $2.3\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$, respectively.

1. 目的

大型再処理施設からの排出放射性核種による周辺住人の被ばく線量を考察する際には、比較対照として自然放射線・天然放射性核種による青森県民の被ばく線量（県民自然被ばく線量）が必要である。このため、施設周辺市町村の環境 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る。

更に、生態系が受けている線量を評価する手法を確立することを目的として、六ヶ所村に代表的な森林環境内において、一般的に放射線に対する感受性が高いとされるほ乳動物を対象として調査を進めてきた。平成22年度は、六ヶ所村北部において中型動物を捕獲して部位別放射性核種濃度を求めると共に、中型動物の巣穴における環境 γ 線線量率及びラドンとその子孫核種の濃度を調査した。更に、線量評価用ボクセルファントムを用いて、小型及び中型動物の外部及び内部被ばく線量を計算した。

2. 方法

下北半島南西部（5 地点）においてガラス線量計を用いて環境 γ 線線量率を測定すると共に、In-situ Ge半導体検出器を用いて環境 γ 線のスペクトル測定を行った。また、環境研構内のモニタリングポストによる環境 γ 線線量率の測定結果を用いて、線量率の変動と気象要素の関連を調べた。

六ヶ所村及び青森市の勤労世帯及び畜産世帯から日常食（1日の調理済み食事を5人分まとめたもの）

を平成22年5月、7月、10月及び12月の指定した平日に陰膳法により採取し、地域・業種・採取時期毎に天然放射性核種を分析した。加えて、六ヶ所村と青森市において平成22年4月から11月に山菜、飲料、調味料、菓子類及び漬物をマーケットバスケット方式で購入し、可食部試料中天然放射性核種を分析した。更に、比較的摂取重量が多いにも係わらず、平成18～21年度の分析品目から漏れていた食品も入手し、分析した。

六ヶ所村北部において、平成22年6月及び7月にホンドキツネとホンダヌキの各1頭を捕獲し、解剖して、部位別に天然放射性核種濃度を分析した。また、捕獲地点周辺で確認された巣穴とその周辺において、環境 γ 線線量率及びラドン濃度等を測定した。測定した環境 γ 線線量率及びラドン濃度からこれらによる被ばく線量を計算した。更に、平成21年度に作製した小型及び中型動物の被ばく線量計算用ボクセルファントムを用いて、平成18～20年度に捕獲した小型動物（ヒメネズミ及びヒミズ）及び平成21～22年度に捕獲した中型動物（ホンドキツネ及びホンダヌキ）の外部及び内部被ばく線量率を計算した。外部被ばく線量率の計算には、六ヶ所村内の各種森林土壌及びリター中放射性核種及び安定元素濃度等を使用した。内部被ばく線量率の計算には、各動物の部位別放射性核種及び安定元素濃度を用いた。

3. 成果の概要

1) 県民自然被ばく線量の評価

(1) 六ヶ所村周辺市町村の環境 γ 線線量率地域特性調査（下北半島南西部）

下北半島南西部の屋外の環境 γ 線線量率の変動は比較的大きかったが、青森県全域の調査結果の変動範囲内であった。降雨時の気団の通過経路と降水量当たりの線量増加率の関連を調べた結果、線量増加率は気団の通過経路と相関が高いことが判明した。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試算した結果、線量率上昇を精度良く再現できた。

(2) 日常食調査（勤労世帯及び畜産世帯）

青森県民の業態別内部被ばく線量（天然放射性核種の年間経口摂取による預託実効線量と体内 ^{40}K の年間実効線量文献値を合計した値）の平均は、漁業世帯が勤労世帯、農業世帯及び畜産世帯よりも顕著に高かった。得られた各業態の内部被ばく線量と青森県内の業態別世帯数から計算した青森県内の内部被ばく線量の世帯平均は $5.8\text{E}-1\text{ mSv}$ となった。内部被ばく線量への寄与割合は、 ^{210}Po が最も高く、続いて ^{40}K 、 ^{210}Pb 、 ^{228}Ra 及び ^{14}C であり、これらの5核種で内部被ばく線量の98%以上を占めていた。

(3) 食品別調査（山菜・飲料等）

平成18～22年度に調査した食品別試料中放射性核種濃度を用いて、青森県民の食品中天然放射性核種の年間摂取による預託実効線量を食品群別に計算したところ、預託実効線量への寄与割合は、水産物・水産加工品が約84%と最も高かった。これは、水産物・水産加工品の ^{210}Po 濃度が、他の食品群と比較して高いためである。

2) 森林生態系線量評価法の開発

(1) 六ヶ所村北部における中型動物（キツネ等）巣穴中の環境 γ 線線量率調査

平成22年6月から11月までの巣穴内の環境 γ 線線量率の平均値は $15\sim 61\text{ nGy h}^{-1}$ 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in-situ γ 線スペクトル測定を実施し、環境 γ 線線量率への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、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。

(2) 六ヶ所村北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22年6月から11月までの巣穴内のラドン濃度の平均値は、 $4.1\text{E}+1\sim 2.1\text{E}+3\text{ Bq m}^{-3}$ であり、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 $0.18\sim 0.27$ 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（0.6、UNSCEAR, 2000）に比べて低い値であった。これまでの測定により得られた各種の環境におけるラドン濃度を用い、地上と巣穴での生活時間を仮定して小型及び中型動物のラドンによる被ばく線量率を計算した結果、小型動物のヒメネズミ、ヒミズ及び中型動物（キツネ及びタヌキ）の肺の線量率は、それぞれ $1.1\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ 、 $1.7\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ 及び $1.2\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ であり、気管支の線量率はそれぞれ $1.4\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ 、 $2.3\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ 及び $2.0\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ となった。

(3) 六ヶ所村北部における中型動物（キツネ等）の部位別放射能濃度調査

六ヶ所村北部で捕獲したホンドキツネとホンダタヌキの部位別 ^{210}Po 及び ^{210}Pb 濃度は、部位による濃度差が非常に大きい、 ^{40}K 及び ^{87}Rb では小さかった。この傾向は、平成21年度に六ヶ所村南部で捕獲したこれらの動物の調査結果と同様である。ホンダタヌキの ^{210}Pb 及び ^{210}Po の全身平均濃度は、ホンドキツネのそれぞれ約2倍及び約8倍であったが、 ^{40}K については両者の濃度差はほとんどなかった。

(4) 小型及び中型動物の被ばく線量計算

平成21年度に作製したヒメネズミファントム並びにヒミズファントム及びキツネファントムを用いて、平成18～20年度に捕獲した小型動物（ヒメネズミ及びヒミズ）及び平成21～22年度に捕獲した中型動物（ホンドキツネ及びホンダタヌキ）の外部及び内部被ばく線量率を計算した。これらの動物の地上と巣穴での生活時間を（2）と同様に仮定して、ヒメネズミ、ヒミズ及び中型動物の平均外部被ばく線量率を計算した結果、それぞれ 51 nGy h^{-1} 、 51 nGy h^{-1} 及び 34 nGy h^{-1} となった。一方、ヒメネズミ、ヒミズ、ホンドキツネ及びホンダタヌキの内部被ばく線量率は、それぞれ 37 nGy h^{-1} 、 $4.0\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ 、 50 nGy h^{-1} 及び $2.3\text{E}+2\text{ nGy h}^{-1}$ と計算された。いずれの動物も内部被ばく線量率に最も寄与する核種は ^{210}Po であった。