

1.5 樹木の被ばく線量評価法の開発に関する調査研究

Development of Dose Assessment Method for a Conifer

大塚 良仁, 藤井 正典, 綾部 慈子, 植田 真司, 高久 雄一, 久松 俊一
環境影響研究部

Yoshihito OHTSUKA, Masanori FUJII, Yoshiko AYABE, Shinji UEDA,
Yuichi TAKAKU, Shun'ichi HISAMATSU
Department of Radioecology

Abstract

Since conifers are known to be more sensitive than other organisms in the general environment, we planned to establish the radiation dose assessment method for one type of conifer and get its natural background radiation dose rate. After considering that the first commercial spent nuclear fuel reprocessing plant is now preparing for full operation, we selected a forest of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*), about 4 km away from the main stack of the plant, as our target field. In addition, we studied the iodine dynamics in the forest for possible radioiodine release from the plant.

To obtain basic data (shape, weight, elemental composition and radionuclide concentration) for a Japanese black pine tree of midrange size, one black pine tree of midrange size in the target field was collected each year from 2017 to 2019. Wet weights of the above-ground and root-system parts in the pine tree collected in July 2019 were found to be 378 kg and 80 kg, respectively. Litter and soil samples in 0 – 2 m depths around the pine tree were also collected and analyzed for apparent density, and stable element and radionuclide concentrations for radiation dose evaluation.

In order to evaluate radiation dose to the tree by the radiation transport code using a Monte Carlo method (NCNPX and PHITS), a pine tree phantom of the above-ground part had been constructed in FY 2018 and the root-system part was produced from results for two sample trees collected in FYs 2017 and 2018. The phantom consisted of a geometrically shaped main structure with voxel phantoms consisting of $1 \times 1 \times 1$ mm voxels for a lateral branch at each of three height levels, and a below-ground part including a stump, a lateral root and a taproot. In our target field, the crown of a pine tree in the midrange size has about 23 nodes at different heights with 3 to 4 lateral branches on average. By using NCNPX and PHITS and the phantom, we estimated absorbed dose rate in the whole tree was $55 - 72 \text{ nGy h}^{-1}$ including cosmic rays.

To study iodine dynamics in the forest, stable iodine concentrations in plant, atmospheric and hydrological samples collected inside and outside the forest were measured. Mean dry deposition rates of particulate, and organic and inorganic gaseous iodine from the atmosphere to the tree canopy were estimated to be $4.8\text{E-}3$, $6.7\text{E-}3$ and $1.2\text{E-}3 \text{ m s}^{-1}$, respectively, by using data during the non-precipitation period. The apparent removal rate of iodine by a 1-mm precipitation was estimated to be $4.8\text{E-}6 \text{ g m}^{-2}$ during March – October 2019.

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周辺に広く生育し、放射線感受性が高いとされるクロマツの被ばく線量率を計算する手法を確立するとともに、その手法を用いて、比較対照となる自然被ばく線量率を求める。さらに、大気放出される放射性ヨウ素によるクロマツの被ばく線量評価を可能とすることを目的とする。

令和元年度は、平成28年度に設定した当該施設東側に位置するクロマツ林調査区に隣接するエリアから根部を含むクロマツ1個体及び土壌等を採取して、クロマツの線量評価用ファントムの作成及び自然被ばく線量率の計算に必要なデータを取得した。さらに、クロマツ地上部の被ばく線量率計算に必要な線源領域の大きさの設定、クロマツ地上部基本ファントムの作成を行うとともに、部位別の線量換算係数を試算して、クロマツ地上部の自然被ばく線量率を得た。加えて、クロマツ林内外において大気降下物、並びに大気中粒子態及びガス態ヨウ素の濃度等を測定して、大気中ヨウ素のクロマツへの乾性沈着速度及び降雨による見かけの除去速度を求めた。

2. 方法

2.1 クロマツの被ばく線量評価法の開発

調査区内の平均的な大きさのクロマツ1個体の地上部及び根部を採取して、主幹、側枝、根株、杭根及び水平根を分取した。主幹、根株、杭根及び水平根の1次根について木質部の直径、並びに師部及び外樹皮の厚さを測定するとともに、側枝について、葉の存在しない部位と存在する部位の位置を計測した。側枝及び根部の詳細な形状や配置に関するデータを求めるために、高さ別に採取した3側枝試料の枝、齢別の葉及び球果、並びに杭根及び水平根の形状、分岐及び配置に関するデータを取得した。これらの形状計測後に全ての試料を乾燥させて、部位別乾重量を求めた。

クロマツ根部の被ばく線量率計算に必要な線源領域を設定するとともに、平成29及び30年度クロマツ試験木の根部の形状データを用いてクロマツの根部ファントムを作成し、平成30年度に構築したクロマ

ツ地上部基本ファントムに結合して、クロマツ個体ファントムを作成した。この個体ファントムを用いて、クロマツ地上部の部位別被ばく線量換算係数を放射線輸送コードMCNPX及びPHITSを用いたモンテカルロ法により試算して、クロマツの自然被ばく線量率を得た。

2.2 クロマツの自然被ばく線量率調査

平成30年度に採取したクロマツ林内土壌及び2.1において分取した部位別試料中の放射性核種濃度を測定した。

2.3 クロマツ林内におけるヨウ素の挙動調査

調査区内外において月別に全（湿性＋乾性）大気降下物及び降雨期間別に採取した。無降雨期間における降下フラックスは全降下フラックスから降雨期間中のフラックスを差し引いて求めた。さらに、大気中粒子態、全ガス態及び無機ガス態ヨウ素濃度を無降雨時及び降雨期間別に調査した。有機ガス態濃度は全ガス態から無機ガス態濃度を差し引いた値とした。加えて、クロマツの樹幹流中ヨウ素濃度と2.1で採取したクロマツの部位別試料中ヨウ素濃度を分析した。これらのデータを用いて、大気中ヨウ素のクロマツへの乾性沈着速度及び降雨等によるクロマツ中ヨウ素の見かけの除去速度を求めた。

3. 成果の概要

3.1 クロマツの被ばく線量評価法の開発

令和元年度に採取したクロマツ地上部の主幹、樹冠及び無葉部の形状は、いずれも円錐であった。主幹の高さ及び底面直径はそれぞれ17.6 m及び26.7 cm、樹冠の高さ、底面直径及び無葉部の底面直径はそれぞれ7.3 m、3.3 m及び1.9 mであった。主幹直下には直径27 cm及び高さ31 cmの円柱状の根株があり、そこから下方に延びる1本の杭根と地下浅くに延びる8本の水平根があった。杭根の基部直径及び全長はそれぞれ21 cm及び160 cmであった。平成29年度、30年度及び令和元年度に採取した試験木の各々3本の水平根の基部直径から長さを求めるアロメトリー式を作成し、3個体の試験木の水平根の平均基部直径75 mmから推定した水平根の平均長は287 cmとなった。地上部及び根部の総湿重量はそれ

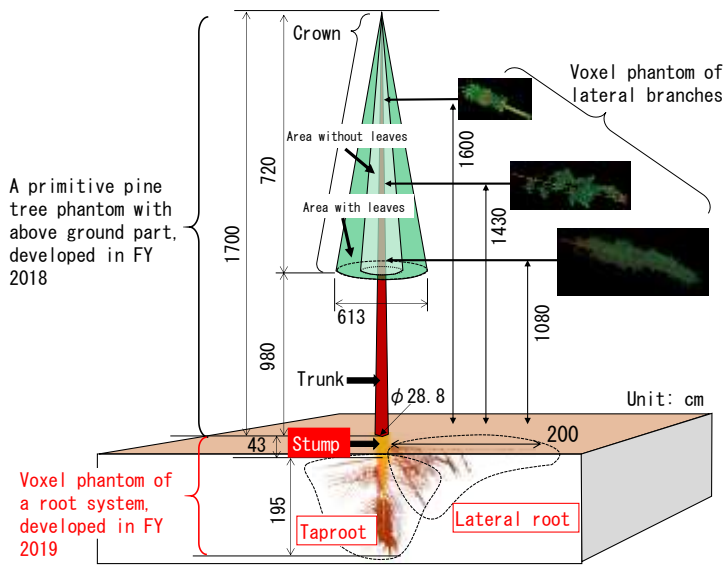


Fig. 1 Dimensions of a pine tree phantom with above and below ground parts.

ぞれ 378 kg 及び 80 kg であった。

平成 29 年度及び 30 年度に採取したクロマツの根部形状を基に根部のボクセルファントムを基本サイズ $1 \times 1 \times 1$ mm のボクセルで作成した。この根部ファントムを、平成 30 年度に作成したクロマツ地上部基本ファントムの直下に接続したクロマツ個体ファントムを構築した (Fig. 1)。

根部の被ばく線量計算時に十分な線源領域の大きさは、根部ファントム領域の側面から 50~50.7 cm、底面から 40~50 cm の範囲となった。個体ファントム地上部の線源領域は、平成 30 年度に設定した空気層の線源範囲 (半径 185 m、高さ 200 m) とした。この領域の中心に個体ファントムを配置して、当該ファントムの部位別・核種別・線源別線量換算係数を求めた。得られた換算係数に平成 29 年度及び 30 年度試験木の部位別放射性核種濃度と平成 29 年度に採取した土壌試料中放射性核種濃度を用いて試算したクロマツの部位別自然被ばく線量率に宇宙線電離成分の寄与 27 nGy h^{-1} を加えた値は、地上部及び根部でそれぞれ $53 \sim 73 \text{ nGy h}^{-1}$ 及び 66 nGy h^{-1} となった。

3.2 クロマツの自然被ばく線量率調査

クロマツの葉及び短枝中 ^{40}K 及び ^{87}Rb 濃度は、当年の葉及び短枝が最も高濃度であったが、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po 、

^{232}Th 及び ^{238}U は特に短枝において高濃度であり、かつ古い葉齢の短枝ほど高濃度であった。師部中 ^{40}K 及び ^{87}Rb は、木質部や外樹皮よりも高濃度であったが、 ^{232}Th 及び ^{238}U は外樹皮が最も高濃度であった。

土壌試料中 ^{238}U と ^{226}Ra はほぼ放射平衡に達しており、両核種ともに深さ 5~10 cm に濃度の極大があった。 ^{232}Th — ^{228}Ra — ^{228}Th 間にはほぼ放射平衡に達しており、これらの 3 核種は ^{238}U と似た鉛直分布であった。 ^{40}K 濃度は顕著な濃度変動は認められなかった。

3.3 クロマツ林内におけるヨウ素の挙動調査

平成 31 年 1 月~令和元年 12 月のクロマツ林外のヨウ素の月別全降下フラックスは林内におけるフラックスに比べて概ね大きい、冬期ではその差が小さくなる傾向が認められた。林内外における全ガス態ヨウ素濃度は、粒子態濃度に比べて平均約 7 倍大きく、両成分ともに林外の方が概ね高濃度であった。

平成 31 年 1 月~2 月の無降雨期間中の林内外における大気降下物及び大気中粒子態、有機ガス態及び無機ガス態ヨウ素濃度を用いて計算した各成分のヨウ素の乾性沈着速度の平均値は、それぞれ $4.8\text{E-}3$ 、 $6.7\text{E-}3$ 及び $1.2\text{E-}3 \text{ m s}^{-1}$ となり、UNSCEAR (2011) が報告する値と比較して、粒子態の値は同等であるが、無機ガス態は約 1/8、有機ガス態は約 2 倍の値であった。

降雨期間中の林内外におけるヨウ素降下量及び大気中ヨウ素濃度等からクロマツ中ヨウ素の降雨等による見かけの除去速度を計算した結果、降雪事象が認められなかった平成 31 年 3 月~令和元年 10 月において降水量 1 mm 当たり $4.8\text{E-}6 \text{ g m}^{-2}$ と見積もった。

引用文献

UNSCEAR (2011) Source and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2008 reports to the general assembly with scientific annexes, Vol. II, p. 232-233.