

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 under final safety review of its operation by the Nuclear Regulation Authority, 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.

We plan to get data on shape, weight, elemental composition and radionuclide concentration using three black pine trees of midrange size in the target field. The first tree was sampled and various measurements were made in FY 2017. In FY 2018, the second tree was collected on July 31 –August 1, 2018. Wet weights of the above- and below-ground parts were found to be 430 kg and 96 kg, respectively. Litter and soil samples in 0 – 2 m depths around this second 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 (EGS5), a pine tree phantom of the above ground part was constructed from results for five sample trees collected in fiscal years of 2016 and 2017. The phantom consisted of a geometrically shaped main structure with voxel phantoms consisting of 1×1×1 mm voxels for a lateral branch at each of three height levels. In our target field, the crown of a pine tree in the midrange size has about 25 nodes at different heights with 3 to 4 lateral branches on average. By using EGS5 and the phantom, we estimated absorbed dose rate in the whole above ground part was 61 nGy h⁻¹ including cosmic rays.

To study iodine dynamics in the forest, we measured stable iodine concentrations in plant, atmospheric and hydrological samples collected inside and outside the forest. Mean dry deposition rates of particulate, and organic and inorganic gaseous iodine from the atmosphere to the tree canopy were estimated to be 5.0E-3 m s⁻¹, 5.0E-4 m s⁻¹ and 5.0E-2 m s⁻¹, respectively, by using data during the non-precipitation period. The mean removal rate of iodine by stem flow was estimated to be 7.8E-7 g m⁻² d⁻¹ during June 2018 – March 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。

平成30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取得するために、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。

クロマツ地上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28及び29年度クロマツ試験木の地上部の形状データを用いてクロマツ地上部基本ファントムを作成した。さらに、この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EGS5を用いたモンテカルロ法により試算して、クロマツ地上部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29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

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。平成30年度に採取した主幹の高さ及び底面直径はそれぞれ17.8 m及び28.6 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6.4 m、5.6 m及び1.8 mであった。主幹直下には直径27 cm及び高さ43 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18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195 cmであった。3本の水平根について形状計測を行った結果を基に、基部直径から長さを求めるアロメトリー式を作成し、18本の水平根の平均基部直径7 cmから推定した水平根の平均長は341 cmとなった。地上部及び根部の総湿重量はそれぞれ430 kg及び96 kgであった。

作成したクロマツ地上部基本ファントムの主幹の高さ及び底面直径はそれぞれ17 m及び28.8 cmとなった。樹冠の高さは7.2 mであり、付葉部及び無葉部の底面直径はそれぞれ6.1 m及び1.8 mとなった（Fig. 1）。さらに、高さ10.8 m、14.3 m及び16.0 mの3種類の側枝のボクセルファントムを基本サイズ1×1×1 mmのボクセルで作成した（Fig. 2）。

クロマツ地上部の被ばく線量計算時に十分な線源

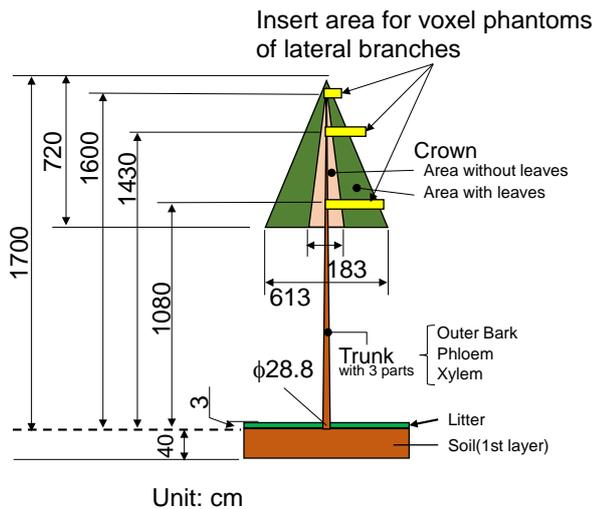


Fig. 1 Dimensions of a primitive pine tree phantom with above ground part.

領域を計算した空気層及び土壌層の半径はともに 185 m、厚さはそれぞれ約 200 m 及び 0.4 m となった。この線源領域の中心にファントムを配置して、クロマツ地上部の部位別・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 年度試験木の部位別放射性核種濃度と 3.2 で得た土壌中放射性核種濃度を用いて試算したクロマツ地上部の部位別自然被ばく線量率は 34 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 10~20 cm に濃度の極大があった。 ^{232}Th — ^{228}Ra — ^{228}Th 間はほぼ放射平衡に達しており、 ^{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 30 年 1 月~平成 31 年 2 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 6 倍大

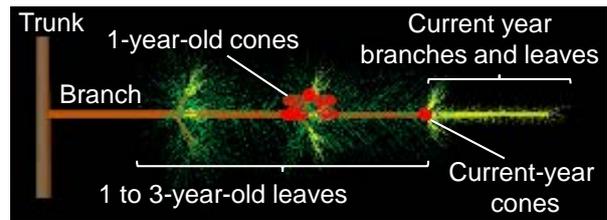


Fig. 2 A 3D image of the voxel phantom of a lateral branch at 16.0 m height above the ground.

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 $5.0\text{E-}3$ 、 $5.0\text{E-}4$ 及び $5.0\text{E-}2 \text{ m s}^{-1}$ となり、UNSCEAR (2011) が報告する値と比較して、無機ガス態は約 1/14 であるが、粒子態及び有機ガス態の値は同等であった。

平成 30 年 6 月~平成 31 年 3 月の樹幹流によるヨウ素の見かけの除去フラックスの平均は $7.8\text{E-}7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ であった。

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.