

## 1.4 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 Black Pine Conifer

大塚 良仁, 谷 享, 植田 真司, 高久 雄一  
環境影響研究部

Yoshihito OHTSUKA, Takashi TANI, Shinji UEDA, Yuichi TAKAKU  
*Department of Radioecology*

#### Abstract

Since conifers are known to be more sensitive to radiation exposure 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 in Aomori Prefecture, we selected a forest of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) trees, about 4 km 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.

In order to evaluate radiation dose rate to the pine tree by the radiation transport code using a Monte Carlo method (PHITS), we constructed the pine tree phantom which matches the tree midrange size in the target field. The phantom was produced from shapes, weights, and elemental compositions which we obtained from seven tree samples collected during 2016 to 2019. The phantom of stem and canopy had a geometrical shape. In addition, three lateral branches at different heights, a stump, a horizontal root, and a tap root were polygon type phantoms with resolution of 1×1×1 mm. In our target field, the crown of a pine tree in the midrange size had about 23 nodes at different heights with 3 to 4 lateral branches on average. Furthermore, these trees having the same size as the main structure of the phantom were evenly distributed surrounding the phantom. By using PHITS, the phantom and mean concentration of radionuclides analyzed in the trees and soils collected from 2017 to 2019, we estimated absorbed dose rate in the whole tree was 51 nGy h<sup>-1</sup> 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 above-ground part of the tree were estimated to be 6.7E-3, 2.1E-3 and 1.7E-2 m s<sup>-1</sup>, respectively, by using data obtained during the non-precipitation period. We established collecting methods of <sup>129</sup>I in atmospheric and hydrological samples inside and outside the forest in order to evaluate dry and wet deposition velocities to the above-ground part and washing out rate from the above-ground part of <sup>129</sup>I released by the reprocessing plant. Furthermore, we obtained the concentration of <sup>129</sup>I in the tree and soil samples collected in 2019 by the AMS method.

## 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のクロマツへの乾性及び湿性沈着速度、並びに除去速度の取得に必要な降下物及び大気中<sup>129</sup>Iの試料採取法を確立することを目的とする。

令和2年度は、当該施設東側に位置するクロマツ林調査区内において令和元年度に採取した土壤中の放射性核種濃度を測定するとともに、平成28～令和元年度に調査区に隣接するエリアから採取したクロマツ試験木7個体の形状データ等を基に線量評価用のクロマツ群落ファントムを作成して、線源別・核種別・部位別の線量換算係数を計算し、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安定ヨウ素の濃度等を測定して、大気中安定ヨウ素のクロマツへの乾性沈着速度を求めるとともに、林内外における降下物及び大気中<sup>129</sup>Iの試料採取法を確立した。

## 2. 方法

### 2.1 クロマツの被ばく線量評価法の開発及び自然被ばく線量率の計算

令和元年度に採取したクロマツ林内土壌試料中の放射性核種濃度を測定した。さらに、平成28～令和元年に調査区内で採取した平均的な大きさのクロマツ7個体の地上部及びこの7個体のうち3個体の根部（根株、杭根及び水平根）の形状データを基に、クロマツ群落ファントムを構築した。主幹及び樹冠は幾何形状を組み合わせたファントム、3種類の高さの側枝、並びに根部の根株、杭根及び水平根は、解像度1×1×1 mmのポリゴンファントムを作成した。このファントムの周辺には、評価対象のクロマツ地上部と同形状の周辺木を配置して、クロマツ林を模した群落ファントムとした。評価対象のクロマツ及び周辺木、並びにこれらを配置したリター及び土壌層の密度、安定元素濃度及び放射性核種濃度等は、平成28～令和2年度に実測した値の平均値を入力した。

クロマツの線源別・核種別・部位別線量換算係数は、放射線輸送コードPHTISを用いたモンテカルロ計算により求め、得られた換算係数に対応する平成29～令和2年度に得た土壌試料やクロマツの部位別試料中放射性核種濃度の平均値を乗じて、クロマツの自然被ばく線量率を求めた。

### 2.2 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の全（湿性＋乾性）大気降下物及び降雨期間別の降雨を採取して、それぞれの期間の安定ヨウ素の降下フラックスを求めた。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安定ヨウ素濃度を無降雨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。無降雨期間における安定ヨウ素の降下量及び大気中濃度から大気からクロマツ林への乾性沈着速度を計算により求めた。

林内外における無降雨及び降雨期間中の降下物及び大気中<sup>129</sup>Iの採取法を確立するために、これらの試料中の<sup>129</sup>I採取条件の最適化を行うとともに、試料採取器を作成し、クロマツ林調査区内外における降雨事象別の試料中<sup>129</sup>I濃度を測定した。加えて、クロマツの部位別試料及びクロマツ林土壌試料中<sup>129</sup>Iのバックグラウンド濃度をAMS法により測定した。

## 3. 成果の概要

### 3.1 クロマツの被ばく線量評価法の開発及び自然被ばく線量率の計算

土壌試料中<sup>238</sup>Uと<sup>226</sup>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。<sup>232</sup>Th－<sup>228</sup>Ra－<sup>228</sup>Th間はほぼ放射平衡に達しており、これらの3核種は<sup>238</sup>Uと似た鉛直分布であった。<sup>40</sup>Kは深さ0～5 cmの濃度が深さ5 cm以深の濃度よりもやや小さいものの、深さ5～200 cmでは顕著な濃度変動は認められなかった。

作成したクロマツ群落ファントムをFig. 1に示す。線量評価対象のクロマツは計算領域の中心に配置した。線源領域としての空気層及び土壌層の範囲は、それぞれ平成30年度及び令和元年度に設定した大きさとした。樹冠には側枝が分岐する節が平均23存在

するが、本調査では頭頂部から6、12及び18節目（地面からの高さ11.4、13.4及び15.3 mに相当）の側枝ポリゴンファントムを作成して、樹冠ファントムに挿入して側枝の部位別線量換算係数を計算した。側枝の各部位の大きさに比べて、線源領域が極めて大きい空気や土壌層からの放射線輸送計算では、対象側枝ポリゴンファントムを覆う円柱を配置して、線源から輸送される放射線をその円柱の外壁に一旦入射させ、その入射場所、角度及びエネルギー等の分布を基にこの円柱の内壁から再度放射線を輸送させる接続計算法を適応し、計算精度の向上を図った。

作成したクロマツ群落ファントムの線源別・核種別・部位別線量換算係数に、リター及び土壌試料、並びにクロマツ部位別試料中放射性核種濃度を乗じた値に、六ヶ所村における宇宙線電離成分による線量率27 nGy h<sup>-1</sup> (Ohtsuka et al., 2015) を加えたクロマツの自然被ばく線量率は51 nGy h<sup>-1</sup>となった。

### 3.2 クロマツ林内におけるヨウ素の挙動調査

令和2年1月～12月のクロマツ林外の安定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ですが、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安定ヨウ素濃度は、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～令和2年12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の安定ヨウ素濃度を用いて計算した各成分の安定ヨウ素の乾性沈着速度の平均値は、それぞれ6.7E-3、2.1E-3及び1.7E-2 m s<sup>-1</sup>となり、無機ガス態成分の速度が最も大きかった。またこれらの乾性沈着速度とUNSCEAR (2011) が報告する速度を比較すると、粒子態の値は同等であるが、無機ガス態は約1/3、有機ガス態は約4倍の値であった。

クロマツ林内外における無降雨及び降雨期間中の降下物中<sup>129</sup>I降下量観測には、本調査で安定ヨウ素用に作成した試料採取器が転用可能であることが分かった。大気中粒子態及び全ガス態<sup>129</sup>Iは、それぞれ1枚のシリカろ紙 (QR-100、ADVANTEC製) とその後段に2段重ねにした活性炭繊維ろ紙 (C560TA、ワカイダエンジニアリング製) を配置し、大気を流速30 L

min<sup>-1</sup>で1ヶ月採取すると全ガス態成分は捕集効率95%以上で採取可能であり、各成分のバックグラウンドレベルの<sup>129</sup>I濃度が定量可能であることが分かった。採取期間1ヶ月に占める降雨期間は13～16%であることから、上記の採取条件では降雨期間に採取した試料中<sup>129</sup>Iは定量下限値以下になるが、1ヶ月間連続採取した試料と無降雨期間に採取した試料中の濃度から計算により降雨期間中の大気中濃度を求めることが可能である。

令和元年度に採取したクロマツ試験木の部位別試料中<sup>129</sup>I濃度を測定し、当該施設本格稼働前の濃度分布を明らかにした。同年度にこの試験木周辺から採取した土壌中<sup>129</sup>I濃度は深さ0～10 cmが最も大きく、深度の増加とともに減少した。<sup>129</sup>I蓄積量は3.2E-1 Bq m<sup>-2</sup>であり、そのうち使用済燃料のせん断・溶解処理試験に由来する蓄積量は2.3E-1 Bq m<sup>-2</sup>と推定され、六ヶ所村内の最大値2.6E-1 Bq m<sup>-2</sup> (環境科学技術研究所, 2020) と同等であった。

### 引用文献

環境科学技術研究所 (2020) 令和元年度排出放射能環境動態調査報告書 pp. 245-255.

Ohtsuka et al. (2015) *Radiat. Prot. Dosim.* 167, pp. 235-238.

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

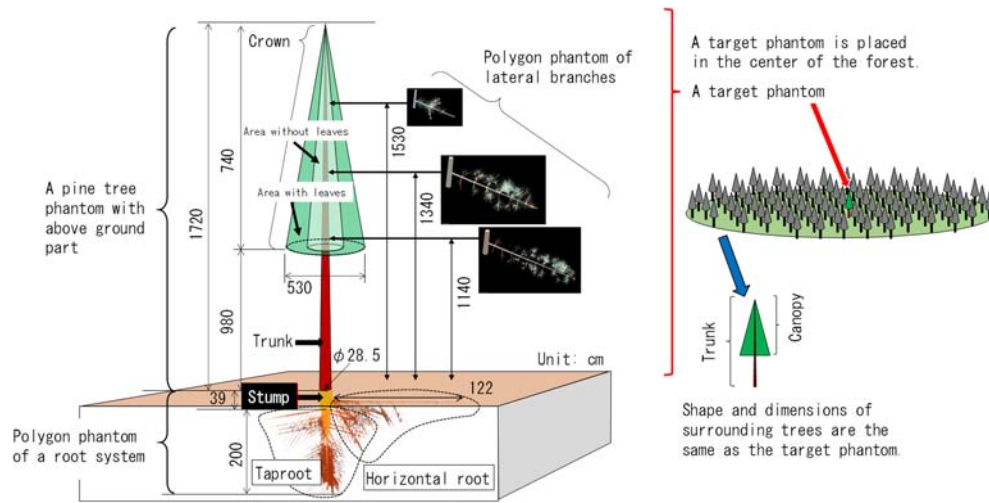


Fig. 1 Dimensions of a pine tree phantom centered in a black pine forest.