

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, 植田 真司, 高久 雄一, 久松 俊一
環境影響研究部

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

Abstract

Protection of an ecosystem itself from radiation has become an important theme in the research field of radiation safety. 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 construction in Rokkasho, Japan, 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.

Four black pine trees in midrange size were felled as pilot samples in the target forest in 2016 for preparing a phantom of the tree type. Samples of different-age leaves, branches and trunks were collected, followed by measuring their dimensions, weights, and water contents. From the relation of the trunk diameters at several heights above the ground, heights and lengths of every branch, the shape of the trunk, the outer shape of the crown and the space inside the crown without leaves were found to be represented by cone shapes. Mean wet-weight and the standard deviation were 399 ± 176 g of the above-ground parts of those samples. The wet-weight of their trunks, branches and leaves contributed about 89%, 8% and 3%, respectively, to the total weight on average.

For deciding the phantom composition, we measured stable elements in the plant parts, while we determined natural radioactive nuclide concentrations for calculating internal dose. For getting background external dose rate, the horizontal distribution of environmental γ -ray dose rates in the forest were measured with glass dosimeters. The dose rates at five or ten points in the forest were at a similar level with the mean dose rate of 22 ± 0.4 nGy h⁻¹.

To study iodine dynamics in the forest, we made preliminary measurements of iodine concentrations in the tree samples, dry deposition fluxes onto the tree and removal rates by rainfall and litter fall. Mean inventories of stable iodine in the crown and trunk were evaluated to be $3.8E-3$ and $1.7E-3$ g individual⁻¹, respectively. The iodine dry deposition rate of $1.9E-4$ to $9.6E-4$ m s⁻¹ to the forest crown was evaluated from the difference of dry depositions inside and outside the forest and gaseous iodine concentration outside the forest. The estimated deposition rate was comparable to that for methyl iodine reported in the literature. A mean removal rate of iodine from the crown by 1 mm rainfall was estimated to be $3.3E-6$ g m⁻² by the difference of wet iodine deposition inside and outside the forest. Litter fall including deciduous tree leaves contributed to the iodine removal of $3.5E-6$ g m⁻² d⁻¹ in the forest during April 2017 – January 2018.

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し、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とともに、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。このため、①クロマツの被ばく線量率を評価する手法を確立する、②クロマツの自然被ばく線量率を求める、③大気中ヨウ素のクロマツへの沈着速度及びクロマツ中ヨウ素の降雨等による除去速度を明らかにすることを目標とする。

平成28年度は、当該施設東側に位置するクロマツ林に設定した100 m×100 mの調査区に隣接するエリアからクロマツ地上部を予備試験試料として採取して、クロマツの線量評価用ファントムの作成に必要なデータ取得の予備試験を行った。さらに、林内の環境γ線線量率のバックグラウンドレベルを明らかにするために、調査区内の線量率の水平分布を測定した。加えて、大気降下物及び大気中粒子態及びガス態ヨウ素の採取・分析方法を確立して、大気中ヨウ素のクロマツへの沈着速度及び降雨による洗浄効果に関する予備試験を行うとともに、落葉によるクロマツ地上部から土壌へのヨウ素移行量を明らかにした。

2. 方法

2.1 クロマツの被ばく線量評価法の開発

平成28年4月～5月に調査区内の植生を調査して、クロマツの個体数密度及び胸高直径の平均値を得た。当該調査区に隣接する作業用通路の工事時に、上記のクロマツの平均的な胸高直径と同等の4本を伐倒して、それらの地上部を試験木試料とした。これらの試験木試料の主幹は、地面からの高さ別直径を、側枝は主幹との接続部の高さ及び直径、並びに葉のない部分（無葉部）及び葉の付いた部分（付葉部）の長さをそれぞれ測定した。

各試験木試料の主幹は伐倒直後に湿重量を測定した後、3～4種類の高さにおいてディスク状試料を切り出し、木質部、成長線、内樹皮及び外樹皮を分取

して、それぞれの含水率を測定した。各々の主幹乾重量は、それぞれのディスク状試料から得た木質部の含水率平均値から計算により求めた。さらに、各々の試験木の樹冠上部及び下部から採取した1本の側枝から当年、1年及び2年製の葉及び短枝を採取して、含水率を測定した。加えて、樹冠の下部に相当する側枝1本の幹との接続部付近からディスク状試料を採取して、主幹のディスク状試料と同様に4部位を分取して、それぞれの含水率を測定した。

上記で採取しなかった側枝は、枝、当年葉、1年葉、2年葉及び3年葉に分別した後、側枝別・部位別に乾重量を測定した。これらの側枝の部位別含水率と乾重量から側枝の部位別湿重量を計算により得た。

含水率測定用試料の一部を用いて、それぞれの安定元素（H、C、N、Na、Mg、Al、K、Ca及びRb）濃度を分析した。H、C及びN以外の安定元素の測定では、葉及び短枝、並びに主幹及び枝の外樹皮及び内樹皮試料を水を用いて60分間超音波洗浄を行い、試料表面に付着した塵等を除去した後、洗浄済み試料とともに洗浄液も測定した。

2.2 クロマツの自然被ばく線量率調査

平成28年6月～平成29年3月の期間に、クロマツ林調査区域内の5ないし10地点において、2～3ヶ月を1期としてガラス線量計を設置して、当該調査区内の環境γ線線量率の水平分布をガラス線量計を用いて測定した。さらに、個人線量計のエネルギー特性試験を行うとともに、当該調査区内の同一地点に40日間個人線量計とガラス線量計を設置して、両者の測定値から個人線量計の機器校正定数を求めた。加えて、平成28年8月～12月の期間において月に一度の頻度で調査区内の5地点ないし10地点に個人線量計を24時間に設置して環境γ線線量率を測定した。

2.1において採取したクロマツ地上部の部位別試料の一部を用いて、放射性核種濃度を測定した。葉及び短枝、並びに主幹及び枝の外樹皮及び内樹皮については、安定元素の分析時と同様に、水を用いて60分間超音波洗浄を行った後、洗浄済み試料とともに洗浄液も測定した。

2.3 クロマツ林内におけるヨウ素の挙動調査

大気降水物、並びに大気中粒子態及びガス態ヨウ素の採取・分析法の確立を行うとともに、これらの試料中濃度の予備試験を行った。さらに、六ヶ所村の平均的な雨水の元素組成に調製したヨウ素を含まない人工雨水を用いて、環境研構内の保有林で採取したマツ葉試料を対象に葉の洗浄試験を行うとともに、2.1で採取した部位別試料の一部を用いて、ヨウ素濃度を分析した。加えて、降雨時及び無降水時における調査区内外におけるヨウ素降下量を調査して、大気中ヨウ素のクロマツへの沈着速度及び降雨による洗浄効果に関する予備試験を行った。加えて、陸圏蓄積評価調査において調査区内で月別に採取したリターフォール試料の一部を用いて、これらのヨウ素濃度を分析した。

3. 成果の概要

3.1 クロマツの被ばく線量評価法の開発

(1) クロマツの部位別形状及び安定元素濃度測定の予備試験

調査区に生育するクロマツの個体数密度は、990 個体 ha⁻¹、胸高直径の平均及び標準偏差は 24±7 cm であり、4 本の試験木の胸高直径は、16~31 cm の範囲であった。これらの試験木の主幹直径並びに側枝の全長、無葉部の長さ及び付葉部の長さとの高さの関係から、クロマツの主幹及び樹冠の外形、並びに樹冠内の葉の存在しない空間は円錐で示すこ

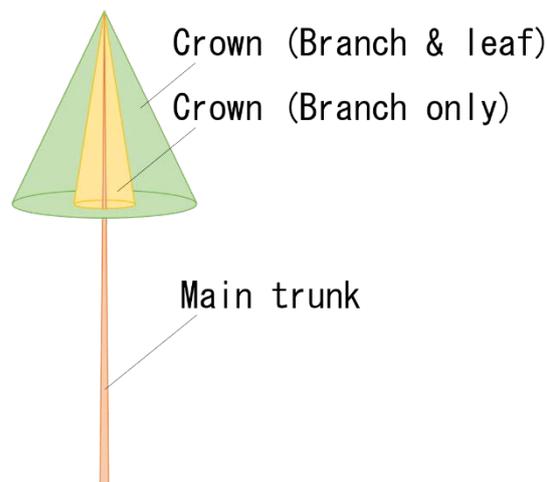


Fig. 1 The external form of Japanese black pine constructed based on the test trees in a Rokkasho forest.

とが可能であることが分かった (Fig. 1)。

試験木の地上部総湿重量の平均及び標準偏差は 399±176 kg であった。地上部総湿重量の 89%は主幹、残りの 11%は樹冠であるが、そのうち 8%は枝、3%は葉で占められていた (Fig. 2)。

部位別試料中 H 及び C の乾燥重量当たりの濃度は、部位による顕著な濃度差が認められなかったが、N は部位による濃度差が顕著であり、木質部では定量下限値以下であった。Na、Mg、Al、K、Ca 及び Rb の濃度の合計は、全体の濃度の 3%以下であり、クロマツの被ばく線量評価用ファントム作成時には、H、C、N 及び酸素 (O) のみを考慮することとした。

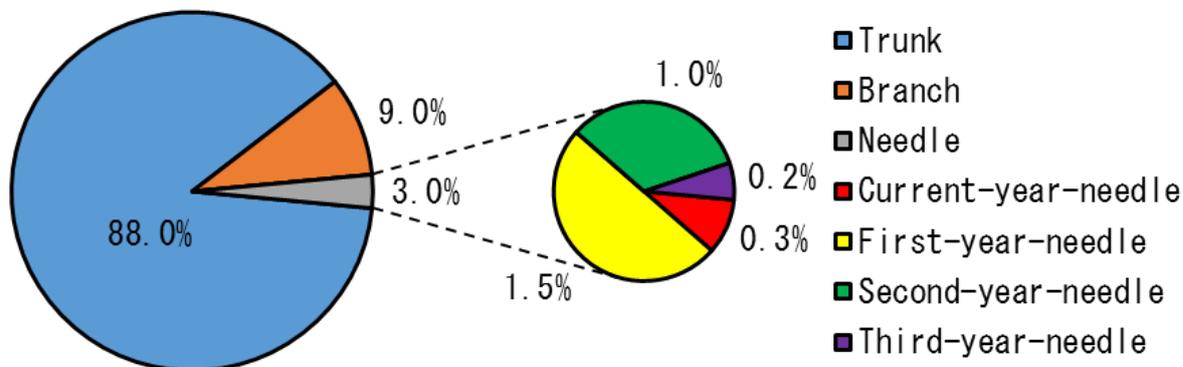


Fig. 2 The average percentage of wet-weight of each part in the above-ground part of four pine trees.

3.2 クロマツの自然被ばく線量率調査

(1) クロマツ林内における環境 γ 線線量率の水平分布調査

クロマツ林調査区内の5ないし10地点の各地点における環境 γ 線線量率の平均及び標準偏差は $22 \pm 0.4 \text{ nGy h}^{-1}$ であり、測定地点の違いによる環境 γ 線線量率の差異は認められなかった。なお、値はガラス線量計を5 cm厚の鉛で囲み測定した値を差し引いた値である。

個人線量計の感度は、661 keV以上のエネルギーでは、顕著な感度低下及び個人線量計の正面及び裏面方向からの γ 線照射に対する感度の違いは認められなかった。当該調査区内の5ないし10地点に設置した個人線量計の24時間の測定値に、得られた機器較正定数に乗じた環境 γ 線線量率計算値の平均は、ガラス線量計を用いて測定した線量率の平均と同等であった。

(2) クロマツ中放射性核種の部位別濃度測定の予備試験

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、土壌起源物質であるAlと同様に、特に短枝が高濃度であり、かつ古い年齢の短枝ほど高濃度であった。枝及び主幹では、成長線中 ^{40}K 及び ^{87}Rb が他の部位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。

3.3 クロマツ林内におけるヨウ素の挙動調査

(1) クロマツ林内外の大気降下物及び大気中ヨウ素に関する予備試験調査

湿性及び乾性ヨウ素降下量観測に必要な湿性及び乾性別大気降下物の採取方法について、降水量1 mm以上の雨による湿性降下物採取法及び3日間の採取で定量可能な乾性降下物採取法を確立した。

大気中粒子態ヨウ素の捕集に適したフィルタを選定するとともに、このフィルタによる粒子態採取と活性炭フィルタによるガス態ヨウ素採取を組み合わせ、粒子態及びガス態ヨウ素を同時に採取する方法を確立した。

(2) 大気中ヨウ素の沈着に関する予備試験

クロマツ林調査区内外のヨウ素の乾性降下量の差

から計算したクロマツ地上部への乾性沈着降下量は平均約 $2\text{E-}6 \text{ g m}^{-2} \text{ 日}^{-1}$ となり、環境研構内で平成26年11月～平成27年10月の大気中ガス態ヨウ素濃度の平均値 $2.4\text{E-}8 \text{ g m}^{-3}$ （平成27年度排出放射能環境移行調査）を用いて計算した乾性沈着速度 $1.9\text{E-}4 \sim 9.6\text{E-}4 \text{ m s}^{-1}$ は、メチルヨウ素の沈着速度文献値（UNSCEAR, 2011）に近い値であった。

(3) 降雨によるヨウ素の除去に関する予備試験

人工雨水を用いて環境研構内のクロマツから採取した2年葉中ヨウ素の降雨による除去量を推定した結果、マツ葉から除去されたヨウ素は最大でも2%であった。4本の試験木の短枝中ヨウ素濃度は葉中濃度よりも高濃度であり、かつ古い年齢のものほど高濃度であった。主幹及び枝中濃度は、木質部<成長線<内樹皮<外樹皮の順に高濃度であった。試験木の部位別重量及びヨウ素濃度から計算した樹冠及び主幹のヨウ素蓄積量はそれぞれ $3.8\text{E-}3 \text{ g 個体}^{-1}$ 及び $1.7\text{E-}3 \text{ g 個体}^{-1}$ であった。

当該調査区内外のヨウ素の湿性降下量の差から計算した降水量1 mm当たりのクロマツ樹冠からの除去速度は平均 $3.3\text{E-}6 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ となり、樹冠からの見かけの除去速度は $3.9\text{E-}2 \text{ 日}^{-1}$ と計算された。

(4) リターフォール中ヨウ素濃度の月変動調査

平成28年4月～平成29年1月の期間に採取したリターフォール試料中ヨウ素濃度から計算したクロマツ地上部から地表へのヨウ素除去量は平均 $3.5\text{E-}6 \text{ g m}^{-2} \text{ 日}^{-1}$ であり、そのうち約60%がクロマツに由来していることが分かった。