

## 福島第一原発事故で汚染されたクリとカラマツの樹冠位置と放射性セシウム濃度

田中憲蔵<sup>1</sup>・齊藤哲<sup>2</sup>・梶本卓也<sup>3</sup>

1 森林総合研究所

2 森林総合研究所関西支所

3 森林総合研究所東北支所

**要旨**：福島県でクリとカラマツの葉と枝の放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) 濃度を樹冠高別に測定した。クリは樹冠上層と下層、カラマツは樹冠上層、中層、下層に分けた。クリは当年枝と2年生以上の旧枝、葉の3器官に、カラマツは2年生以上の旧枝、長枝と短枝についてはそれぞれ枝と葉の部分の計5つに分け試料とした。試料は乾燥後粉砕し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて  $^{137}\text{Cs}$  濃度を測定した。クリは各器官とも樹冠上層に比べ下層で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が高かった。カラマツについては樹冠の上層に比べ、中層でやや濃度が高かった。また、器官間の濃度差も見られ、クリは枝に比べ葉でやや濃度が高かった。カラマツは短枝の  $^{137}\text{Cs}$  濃度がかなり高い値を示した。以上から樹冠位置や器官間での  $^{137}\text{Cs}$  の濃度差を考慮することで、樹木や森林全体の  $^{137}\text{Cs}$  蓄積量の推定精度が向上できると考えられた。

**キーワード**： $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 、樹冠、福島第一原発事故、放射性物質

Changes in  $^{137}\text{Cs}$  concentration among crown positions in *Castanea crenata* and *Larix kaempferi* contaminated by the accident of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power PlantTanaka KENZO<sup>1</sup>, Satoshi SAITO<sup>2</sup>, Takuya KAJIMOTO<sup>3</sup>

FFPRI., Tsukuba, Ibaraki, 305-8687

Kansai Res. Cent., FFPRI., Kyoto, Kyoto, 612-0855

Tohoku Res. Cent., FFPRI., Morioka, Iwate, 020-0123

**Abstract**: We studied  $^{137}\text{Cs}$  concentration among crown positions in leaves and branches in *Castanea crenata* and *Larix kaempferi* in Kawauchi, Fukushima. Shoots samples were collected in upper and lower crowns in *Castanea* and upper, middle and lower crown in *Larix*, respectively, in September 2014. All shoots were divided into leaves, current year and old branches in *Castanea*. In *Larix*, we divided samples into five categories; more than 2-years-old long branch, leaf and branch in long and short shoots, respectively. The concentration of  $^{137}\text{Cs}$  was measured by using a germanium semiconductor detector (GEM20-70). In *Castanea*,  $^{137}\text{Cs}$  concentration was higher in the lower part of each organ than in the upper part of the crown. The concentration of *Larix* was slightly higher in the middle than in the upper part of the canopy. In addition, there was a difference in the concentration among organs, and the concentration in *Castanea* was slightly higher in the leaves than in the branches. In contrast, *Larix* showed significantly higher concentration of  $^{137}\text{Cs}$  in the short branches compared with other organs. These results suggested that the differences in  $^{137}\text{Cs}$  concentration between canopy positions and organs may be indispensable for estimating precisely amount of  $^{137}\text{Cs}$  in the whole trees and forests.

**Key-word**:  $^{137}\text{Cs}$ , chestnut, larch, Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant, radioactive material

## I はじめに

東京電力福島第一原発事故で放出された放射性セシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) により、広範囲の森林が汚染された (2)。 $^{137}\text{Cs}$  による汚染は、森林内で均質ではなく微地形や斜面方位、樹種でも差があることが分かっている (1, 7, 12, 13)。さらに、 $^{137}\text{Cs}$  の分布は樹冠位置でも異なる可能性がある。

特に落葉樹では、葉の入れ替わりに伴い、樹体内での  $^{137}\text{Cs}$  の移動や根から吸収された  $^{137}\text{Cs}$  がどの樹冠位置に移動するかにより樹冠内での濃度差が大きくなる可能性がある。一般に、葉の元素濃度は樹冠の位置で変化することが知られ、例えば *Pinus banksiana* では窒素やカリウムなどの養分は光合成など生理活性が活発な樹冠の上部

により多く分配されることが知られている(8)。しかし、葉の $^{137}\text{Cs}$ については樹冠内でどのように濃度分布するかについては不明な点が多い。また当年生の枝についても葉と同様に成長がよく、生理活性の高い部位に養分が集積しやすいと思われる(4, 11, 14, 15)。一方、原発事故当時から存在した古い枝に関しては、直接汚染の影響が大きい樹冠位置で $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高くなる可能性もあるが、雨水による溶脱や枝内部の組織内での転流、木部の成長による希釈も影響すると考えられる。

本研究では、落葉樹成木の樹冠位置により、葉と枝の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が器官別にどのように異なるのか明らかにすることを目的にクリとカラマツを対象に調査を行った。

## II 材料と方法

1. 調査地 調査は、福島県川内村の二次林とカラマツ植栽地で行った。調査地は原発から約30 kmで、2011年の $^{137}\text{Cs}$ の樹木の初期沈着量は約 $300 \text{ kBq m}^{-2}$ であった(3)。調査対象樹種は天然生のクリと植栽したカラマツを2本ずつ選んだ。

2. 調査方法 2014年9月に供試木を伐採した。クリは樹高が12.8mと13.5m、カラマツは樹高が25.3mと25.9mの個体であった。クリは樹冠上層と下層、カラマツは樹冠上層、中層、下層に分けた。各層内の枝を採取後、均質になるようよく混ぜ合わせた。クリは当年枝と2年生以上の旧枝、葉の3区分に、カラマツは2年生以上の旧枝(長枝のみ)、長枝(当年生)の枝と葉、短枝(複数年生)の枝と葉の5区分に分け試料とした(図-1)。全ての試料は、乾燥器(75°C)で72時間程度乾燥させてから細かく粉碎し、放射性Cs濃度( $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ )をゲルマニウム半導体検出器(GEM20-70, セイコーEG&G)で測定し、半減期を使って基準日(2014年の9月1日)に補正した値を用いた(12)。また解析は値が高く半減期の長い $^{137}\text{Cs}$ 濃度を用いて行った。

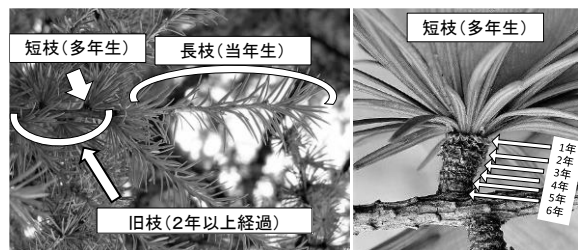


図-1. カラマツの短枝と長枝

Fig.1 Long and short branches of larch shoot.

## III 結果と考察

1. 樹冠位置と $^{137}\text{Cs}$ の分布 今回調べた2樹種とも樹冠位置間での $^{137}\text{Cs}$ 濃度には明確な違いが見られた。

クリは葉、当年枝、旧枝ともに樹冠上層に比べ下層で $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高かった(図-2)。葉や当年枝では樹冠上層が下層に比べ20-30%程度 $^{137}\text{Cs}$ 濃度が低かったが、旧枝では下層に比べ上層ではその濃度が半分程度とかなり低かった。この傾向は、2個体とも共通していた。一方、カラマツでは2個体ともに2年生以上の長枝(旧枝)や短枝については樹冠の上層に比べ、中層や下層で濃度が高く、特に短枝では、上層に比べ中層や下層の値が2から4倍高かった(図-3)。カラマツの当年の長枝や、短枝と長枝の葉では、短枝や旧枝ほどの大きな樹冠位置間での差は見られず、およそ50%以内の違いであった。これらクリとカラマツで見られた樹冠の位置による $^{137}\text{Cs}$ 濃度の差は、初期沈着量と樹体内での $^{137}\text{Cs}$ の転流パターンがそれぞれ樹冠位置間で異なることを示している可能性もある。クリとカラマツは研究例がほとんどないが、スギの樹皮については初期沈着の影響が調べられており、樹冠上層で $^{137}\text{Cs}$ 濃度が高くなる結果が得られている(9, 10)。しかし、本研究では樹冠上層の事故時から存在していたと思われる旧枝や短枝の $^{137}\text{Cs}$ 濃度は、樹冠中層や下層に比べ低かった。この違いは、サンプリングを行った事故後3年間で、樹冠上層では下層に比べ枝の肥大成長が速いため、直接汚染を受けた組織の割合が低下し、 $^{137}\text{Cs}$ 濃度が下がった可能性がある。また下層の葉や当年枝の場合は、近くの濃度の高い旧枝から $^{137}\text{Cs}$ が転流した可能性が考えられる。植物の器官で窒素や炭水化物などの物質の需要が増したときは、最も近い幹やシュートからこれらが供給される割合が高くなるため(5)、 $^{137}\text{Cs}$ も同様に近くの枝などから転流している可能性がある。

2.  $^{137}\text{Cs}$ 濃度の器官間での違い  $^{137}\text{Cs}$ はクリとカラマツともに葉や枝といった器官間での濃度差が見られた。クリは2年生以上の旧枝に比べ、当年枝や葉で濃度が高かった(図-2)。特に、樹冠上層では旧枝の $^{137}\text{Cs}$ 濃度は葉の半分以下であった。スギやコナラなどでは、新しい当年生シュートでは光合成や成長などの生理活性が高く、セシウムに元素特性がよく似たカリウムも集積し、それに伴って $^{137}\text{Cs}$ が輸送され濃度が上昇することが指摘されており、今回の結果と矛盾しなかった(4, 12, 14, 15)。一方、カラマツは短枝や2年生以上の長枝の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が葉や当年生の長枝に比べ高い値を示した(図-3)。特に、短枝の $^{137}\text{Cs}$ 濃度が他の器官に比べ非常に高く、葉や当年枝の10倍から20倍の濃度になることもあった。短枝の濃度が高くなったのは、短枝は肥大成長をほとんどせず伸長成長も遅いことや、長寿命で、直接

汚染を受けた部位の残存量の割合がほかの器官に比べると相対的に高くなるためと考えられた (図 - 1, 6)。

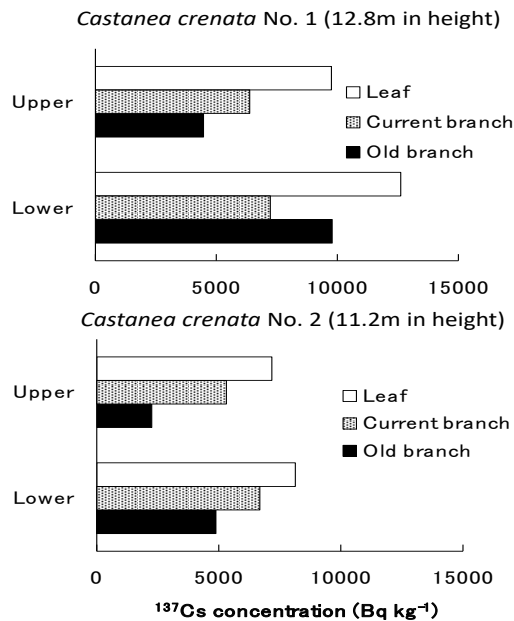


図-2. <sup>137</sup>Cs濃度の樹冠内変化 (クリの2個体)  
Fig.2 Changes on <sup>137</sup>Cs activity between crown positions in two *C. crenata* trees.

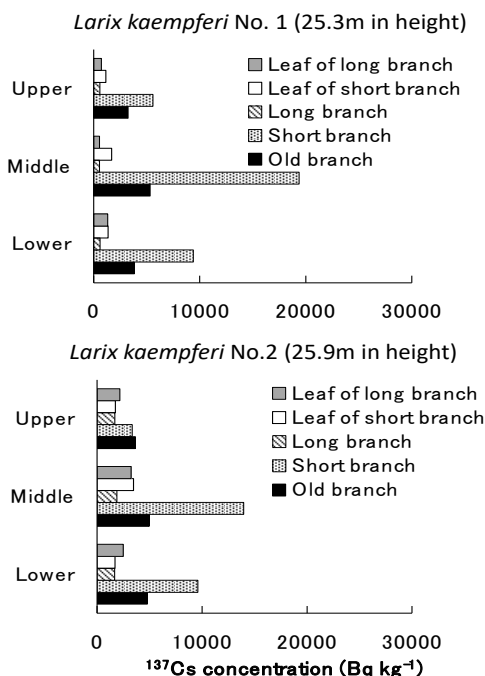


図-3. <sup>137</sup>Cs濃度の樹冠内変化 (カラマツの2個体)  
Fig.2 Changes on <sup>137</sup>Cs activity among crown positions in two *Larix kaempferi* trees.

#### IV まとめ

以上から、クリとカラマツは葉や短枝、長枝といった器官間だけでなく、樹冠の位置により <sup>137</sup>Cs 濃度が大きく異なることが分かった。これらの違いを考慮することで、樹木の個体だけでなく森林全体の放射性セシウム蓄積量の推定や、森林内での放射性セシウムの動態予測の精度の向上に役立つと考えられる。

**謝辞:** 本研究の実施にあたって現地調査や分析等で森林管理署や森林総研の方々のご協力を頂いた。厚くお礼申し上げます。また本研究は、森林総研交付金プロジェクト「森林の放射性セシウム動態解明による将来予測マップの提示」と「きのこ原木林及び特用林産物の利用再開可能林分判定手法の開発」, 林野庁委託事業「森林内における放射性物質実態把握調査事業」により実施した。

#### 引用文献

- (1) Broadley MR, Willey NJ (1997) Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa. *Environ. Pollut.* 97:11-15
- (2) Hashimoto S, Ugawa S, Nanko K, Shichi K (2012) The total amounts of radioactively contaminated materials in forests in Fukushima, Japan. *Sci. Rep. 2: Article number 416*
- (3) 梶本卓也・齊藤哲・川崎達郎・壁谷大介・矢崎健一・田中浩・太田敬之・松本陽介・田淵隆一・清野嘉之・高野勉・黒田克史・藤原健・鈴木養樹・小松雅史・大橋伸太・金子真司・赤間亮夫・高橋正通 (2015) 東京電力福島第一原子力発電所事故で影響を受けた森林の放射性セシウムの挙動—事故後2年間の林冠から地表への移行過程からみた樹種特性—. *日林誌.* 97:33-43
- (4) Kanasashi T, Sugiura Y, Takenaka C, Hijii N, Umemura M (2015) Radiocesium distribution in sugi (*Cryptomeria japonica*) in Eastern Japan: translocation from needles to pollen. *J. Environ. Radioact.* 139: 398-406
- (5) Kozłowski TT, Pallardy SG (1996) *Physiology of woody plants.* Elsevier
- (6) 中田功 (1966) カラマツの短枝と常緑針葉樹の針葉の寿命. *北方林業.* 18: 179-183
- (7) 直江将司・阿部真・田中浩・赤間亮夫・高野勉・山崎良啓・藤津亜季子・原澤翔太・正木 隆. (2017) コナラ落葉に含まれる放射性セシウムの空間分布に斜面方位と落葉量が与える影響. *日林誌.* 99: 34-40
- (8) Morrison IK (1972) Variation with crown position and

leaf age in content of seven elements in leaves of *Pinus banksiana* Lamb. Can. J. For. Res. 2: 89-94

(9) 小川秀樹・横田かほり・新井志緒・櫻井哲史・吉田博久 (2019) 福島第一原子力発電所事故由来  $^{137}\text{Cs}$  による 2012 年のスギ樹皮の垂直汚染分布. 森林立地 61: 15-22

(10) Ohashi S, Okada N, Tanaka N, Naka, W, Takano S (2014) Radial and vertical distributions of radiocesium in tree stems of *Pinus densiflora* and *Quercus serrata* 1.5 y after the Fukushima nuclear disaster. J. Environ. Radioact. 134:54-60

(11) Rantavaara A, Vetikko V, Raitio H, Aro L (2012) Seasonal variation of the  $^{137}\text{Cs}$  level and its relationship with potassium and carbon levels in conifer needles. Sci. Total Environ. 441: 194-208

(12) 田中憲蔵・梶本卓也・齊藤哲・三浦覚 (2017) 福島第一原発事故後に植栽萌芽した 3 樹種の当年枝と葉の放射性セシウム濃度. 関東森林研究 68: 9-12

(13) 田中憲蔵・齊藤哲・三浦覚・梶本卓也・小林奈通子・田野井慶太郎 (2018) 福島第一原発事故で汚染された様々な樹種の葉内  $^{137}\text{Cs}$  と K 濃度の関係. 関東森林研究 69: 39-42

(14) 田中憲蔵・齊藤哲・三浦覚・梶本卓也 (2019) 福島第一原発事故後に更新したアカマツ, スギ, コナラの枝葉の  $^{137}\text{Cs}$  濃度の季節変化. 関東森林研究 70: 77-80

(15) Yoshihara T, Hashida SN, Abe K, Ajito H (2014) A time dependent behavior of radiocesium from the Fukushima-fallout in litterfalls of Japanese flowering cherry trees. J. Environ. Radioact. 127: 34-39

付表-1. クリとカラマツの樹冠位置, 器官別の放射性セシウム ( $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$ ) 濃度

Appendix. 1 Concentrations of  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$  among organs and crown positions in *Castanea crenata* and *Larix kaempferi*.

Species	Tree number	Organ type	Position	Radiocesium concentration	
				$^{134}\text{Cs}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )	$^{137}\text{Cs}$ (Bq kg <sup>-1</sup> )
<i>Castanea crenata</i>	1	Old branch	Upper	764	2254
<i>Castanea crenata</i>	1	Old branch	Lower	1519	4879
<i>Castanea crenata</i>	1	Current year branch	Upper	1755	5309
<i>Castanea crenata</i>	1	Current year branch	Lower	2103	6682
<i>Castanea crenata</i>	1	Leaf	Upper	2504	7173
<i>Castanea crenata</i>	1	Leaf	Lower	2724	8135
<i>Castanea crenata</i>	2	Old branch	Upper	1449	4468
<i>Castanea crenata</i>	2	Old branch	Lower	3279	9788
<i>Castanea crenata</i>	2	Current year branch	Upper	2200	6382
<i>Castanea crenata</i>	2	Current year branch	Lower	2570	7234
<i>Castanea crenata</i>	2	Leaf	Upper	3218	9758
<i>Castanea crenata</i>	2	Leaf	Lower	4225	12624
<i>Larix kaempferi</i>	1	Old branch	Upper	1136	3243
<i>Larix kaempferi</i>	1	Old branch	Middle	1774	5315
<i>Larix kaempferi</i>	1	Old branch	Lower	1267	3834
<i>Larix kaempferi</i>	1	Short branch	Upper	2291	5585
<i>Larix kaempferi</i>	1	Short branch	Middle	6755	19363
<i>Larix kaempferi</i>	1	Short branch	Lower	3294	9391
<i>Larix kaempferi</i>	1	Long branch	Upper	399	1141
<i>Larix kaempferi</i>	1	Long branch	Middle	630	1686
<i>Larix kaempferi</i>	1	Long branch	Lower	435	1364
<i>Larix kaempferi</i>	1	Leaf of short branch	Upper	187	588
<i>Larix kaempferi</i>	1	Leaf of short branch	Middle	176	543
<i>Larix kaempferi</i>	1	Leaf of short branch	Lower	261	603
<i>Larix kaempferi</i>	1	Leaf of long branch	Upper	203	723
<i>Larix kaempferi</i>	1	Leaf of long branch	Middle	181	541
<i>Larix kaempferi</i>	1	Leaf of long branch	Lower	379	1324
<i>Larix kaempferi</i>	2	Old branch	Upper	1217	3653
<i>Larix kaempferi</i>	2	Old branch	Middle	1683	4975
<i>Larix kaempferi</i>	2	Old branch	Lower	1622	4795
<i>Larix kaempferi</i>	2	Short branch	Upper	1186	3341
<i>Larix kaempferi</i>	2	Short branch	Middle	4693	13946
<i>Larix kaempferi</i>	2	Short branch	Lower	3244	9592
<i>Larix kaempferi</i>	2	Long branch	Upper	551	1686
<i>Larix kaempferi</i>	2	Long branch	Middle	670	1886
<i>Larix kaempferi</i>	2	Long branch	Lower	483	1666
<i>Larix kaempferi</i>	2	Leaf of short branch	Upper	533	1756
<i>Larix kaempferi</i>	2	Leaf of short branch	Middle	1102	3482
<i>Larix kaempferi</i>	2	Leaf of short branch	Lower	523	1716
<i>Larix kaempferi</i>	2	Leaf of long branch	Upper	729	2177
<i>Larix kaempferi</i>	2	Leaf of long branch	Middle	1113	3251
<i>Larix kaempferi</i>	2	Leaf of long branch	Lower	781	2488