

## 福島原発事故で汚染された森林における様々な樹木種の放射性セシウム濃度 Concentration of radiocesium in various tree species grown in forest ecosystems affected by the accident of Fukushima Nuclear Power Plant

田中憲蔵\*<sup>1</sup>・梶本卓也\*<sup>1</sup>・齊藤哲\*<sup>1</sup>・川崎達郎\*<sup>1</sup>・小松雅史\*<sup>1</sup>・壁谷大介\*<sup>1</sup>・矢崎健一\*<sup>1</sup>・太田敬之\*<sup>1</sup>・  
田淵隆一\*<sup>1</sup>・松本陽介\*<sup>1</sup>・宇都木玄\*<sup>1</sup>・酒井武\*<sup>1</sup>・飛田博順\*<sup>1</sup>・伊東宏樹\*<sup>1</sup>・大橋伸太\*<sup>1</sup>・黒田克史\*<sup>1</sup>・  
高野勉\*<sup>1</sup>・赤間亮夫\*<sup>1</sup>・高橋正通\*<sup>1</sup>

Tanaka KENZO\*<sup>1</sup>, Takuya KAJIMOTO\*<sup>1</sup>, Satoshi SAITO\*<sup>1</sup>, Tatsuro KAWASAKI\*<sup>1</sup>, Masabumi KOMATSU\*<sup>1</sup>,  
Daisuke KABEYA\*<sup>1</sup>, Kenichi YAZAKI\*<sup>1</sup>, Takayuki OTA\*<sup>1</sup>, Ryuichi TABUCHI\*<sup>1</sup>, Yosuke MATSUMOTO\*<sup>1</sup>, Hajime UTSUGI\*<sup>1</sup>,  
Takeshi SAKAI\*<sup>1</sup>, Hiroyuki TOBITA\*<sup>1</sup>, Hiroki ITO\*<sup>1</sup>, Shinta OHASHI\*<sup>1</sup>, Katsushi KURODA\*<sup>1</sup>, Tsutomu TAKANO\*<sup>1</sup>,  
Akio AKAMA\*<sup>1</sup> and Masamichi TAKAHASHI\*<sup>1</sup>

\* 1 森林総合研究所

FFPRI, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687, Japan

**要旨:** 福島県内で3カ所の異なる汚染度の調査地(川内, 大玉, 只見)を設定し, 生育しているクマシデやミズキなど6~17樹種の葉と幹枝の放射性Csの濃度を2012年から2014年にかけて毎年測定した。調査地の林分は, 主にスギ人工林であるが, ヒノキとアカマツ人工林, 落葉広葉樹二次林も調査地に加えた。測定試料は樹木個体を伐採し, 葉と幹枝に切り分け採取した。各試料は乾燥後粉碎しゲルマニウム半導体検出器(GEM20-70)を用いて放射性Cs(<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの合計値)の濃度を測定した。2012年から2014年にかけて3調査地とも, 葉と幹枝の放射性Cs濃度は減少傾向にあった。放射性Cs濃度は葉に比べ幹枝で高かった。樹種間で放射性Cs濃度に違いが見られ, ミズキの葉の濃度はやや低かった。また, 大玉のサンプルを用い樹種間の葉のカリウム濃度と放射性Cs濃度を比較したところ有意な相関は無かったが, 放射性Cs濃度が最も高いコシアブラではカリウム濃度も高い値を示し, この樹種のカリウムを集積しやすい特性が葉の高い放射性Cs濃度と関係している可能性が考えられた。

**キーワード:** カリウム, コシアブラ, 福島第一原発事故, 放射性セシウム

**Abstract:** We have monitored contents of radiocesium in stem-branch and leaf of various forest tree species, such as *Carpinus japonica* and *Cornus controversa*, from 2012 to 2014 in three different sites (Kawauchi, Otama, Tadami) in Fukushima Prefecture, each of which was contaminated at different levels by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident in 2011. In these experimental sites, research plots of different forest types at each site were established. We selected plantations of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*), Japanese red pine (*Pinus densiflora*), Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*), and secondary deciduous broad-leaved forest (dominated by *Quercus serrata*) for the study sites. To collect the leaf and stem-branch samples, we harvested individuals of the target species (n=5-14 per site). All collected samples were oven-dried for 72hr. Concentrations of radiocesium were measured for grinded samples by using germanium semiconductor detector (GEM20-70). Average radiocesium concentrations in the leaf and stem-branch reduced from 2012 to 2014, though several species showed different patterns. The concentration also differed between species, e.g. *Cornus controversa* showed lower value than other species. Relationship between leaf potassium and radiocesium concentrations was not significant. However, *Acanthopanax sciadophylloides*, showing the highest radiocesium concentration, also had higher leaf potassium than other studied species.

**Keywords:** *Acanthopanax sciadophylloides*, *Cornus controversa*, Cs, potassium

### I はじめに

植物は様々な物質を体内に吸収し, 成長や繁殖を行っている。2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故(以下, 福島原発事故)で大量に放出された放射性セシウム134と137(以下, 放射性Cs, <sup>3</sup>)についても, 植物は体内に取り込むことが明らかになっている(1, 2)。しかし, 福島原発やチェルノブイリ原発事故後の調査から, 植物の種類によって葉など樹体内に蓄積する放射性Csの濃度に大きな違いがあることが報告されている(1, 2, 7, 14)。福島原発事故での研究

は, 特に草本類を中心に多種での測定が行われ, アカザ科やイネ科の一部で高濃度の放射性Csの蓄積が認められている(14)。また, イネの85品種間での放射性Cs蓄積量の比較から, 品種間で有意にCs吸収量が異なり, これらの違いが遺伝的に支配されている可能性が示唆されている(10)。一方, 樹木の放射性Cs濃度については報告された樹種数が限られており(8, 12, 15), 事故後の放射性Cs濃度の変化についての知見も限られている(5, 6, 9)。チェルノブイリ原発事故の影響を受けたヨーロッパの森林でもいくつかの樹種で報告があり, 種によっ

てCs蓄積量に違いがあることが分かっている(1, 2)。しかし、共通する種もほとんど無いためその結果を日本にそのままあてはめることは難しいと思われる。また、チェルノブイリ原発事故後の草本などの研究から、放射性Csの植物体内での挙動は、同じアルカリ金属で性質が似たカリウムに類似するとの指摘があり、主に葉や茎の成長点で集積する可能性が高い(2, II)。

この研究では、福島原発事故で放出された放射性Cs濃度が様々な樹木種でどのように異なるのか、落葉広葉樹の小径木を中心に汚染度の異なる福島県内の3カ所の森林で3年間モニタリングした結果を報告する。また、葉のカリウム濃度と放射性Cs濃度の関係についても検討を行う。

## II 材料と方法

調査は、福島県内の川内村、大玉村、只見町の計3ヶ所で行い、2011年7-8月の放射性Cs蓄積量はそれぞれ263, 19.3, 2.2 (kBq m<sup>-2</sup>)であった(4, 5)。川内村はコナラ林、只見町ではスギ林、大玉村ではアカマツ林とコナラが優占する落葉広葉樹林で試料を採取した。各林分の林齢は約40年生である(4, 5)。

供試木については1調査地につき6から17樹種を選んだ(付表-1)。ほとんどの個体は、胸高直径10cm未満の小径木で統一した。放射性Cs濃度測定用の幹枝と葉の試料は個体を伐倒して採取した(4)。測定誤差を減らすために、樹冠の様々な部位の葉を均等に採集し、よく混ぜて試料とした。また、枝幹についても様々な太さの部位を切断後、混ぜて測定試料とした。コナラとクリの大きな個体については樹冠を2から3層に分け葉や枝を採取し、ブルーシート上で枝と葉をより分けてよく混ぜてから測定試料を採取した(4)。全ての試料は、乾燥器(75°C)で72時間程度乾燥してから細かく粉碎し、放射性Cs濃度(<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csの合計値)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、半減期を使って各年の基準日(9月1日)に補正した値を用いた(4)。また、葉の放射性Cs濃度と元素特性が似ているとされるカリウム濃度との比較を、2014年に大玉で採集した9樹種(アカマツ, アワブキ, エゴノキ, クリ, コシアブラ, コナラ, スギ, ホオノキ, リョウブ)について行った。葉のカリウム濃度は高田ら(13)のデータから各樹種の平均値を用いた。

## III 結果と考察

1. 葉と幹枝の放射性Cs濃度の年変動 採集した落葉広葉樹の平均の葉と幹枝の放射性Cs濃度は、3調査

地とも2012年から2014年にかけてばらつきはあるが減少する傾向を示した(図-1)。また、葉に比べ幹枝の放射性Cs濃度の方が高い傾向がみられた。しかし、梶本ら(5)が本研究と同一調査地の常緑針葉樹について詳しく解析した結果、スギとヒノキでは、葉のCs濃度の方が幹枝に比べ数オーダー高いことを報告している。この違いは、葉寿命の長いスギやヒノキでは、事故直後に高濃度の放射性Csに汚染された葉がまだ樹冠内に残っているため値が高くなったと考えられる(5)。一方、同じ針葉樹でも、葉寿命が2~3年とスギの約半分しかないアカマツでは、葉の放射性Cs濃度も素早く減少した(5)。YOSHIHARAら(15)も、常緑、落葉を問わず事故後に展葉した広葉樹の葉の放射性Cs濃度が大きく低下することを報告している。一方、2012年から2014年まで継続して調査出来た落葉広葉樹について、放射性Cs濃度の年変動を調べたところ、葉、幹枝共に減少している樹種もあるものの、2013年に最も高い値を示す樹種も確認できた(図-2)。同様の事故後の放射性Cs濃度の上昇は、大玉のコナラからも報告されている(5)。これらの変動は個体間差や、調査地の微地形の違いによる土壌などの放射性Cs濃度のばらつきを反映しているものと考えられ(5, 6)、種間差や年変動の検出には、同一個体でのモニタリングや多個体のサンプリングが必要になると考えられた。

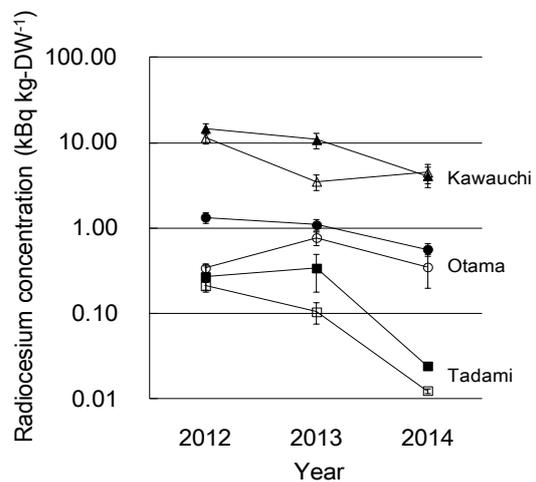


図-1. 幹枝と葉の放射性Cs濃度の年変化. 幹枝はシンボルの塗りつぶし、葉は白抜きで示す. 調査した全種の平均値を用いた。

Fig. 1 Changes on radiocesium concentration in stem-branches and leaves in three sites from 2012 to 2014. Data sets were average values of all sampled species. Filled symbols mean stem-branch and opened symbols mean leaves.

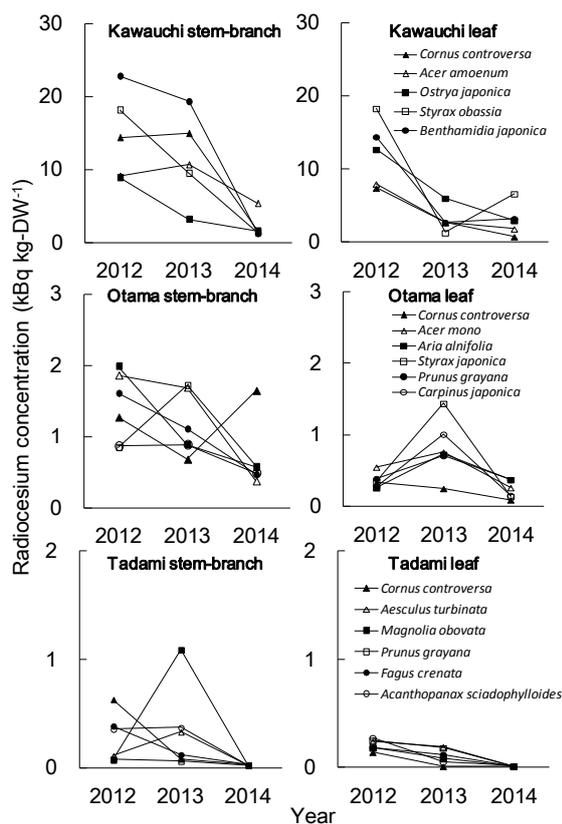


図-2. 2012年から2014年にかけての3調査地における樹種ごとの幹枝と葉の放射性Cs濃度の変化。

Fig. 2 Changes on radiocesium concentration in stem-branches and leaves in three sites from 2012 to 2014.

**2. 葉のカリウム濃度と放射性Cs濃度の関係** 葉のカリウム濃度と放射性Cs濃度を2014年に大玉で採集した9樹種について比較したところ、有意な正の相関は見られなかった ( $r^2=0.15, P>0.05$ )。しかし、放射性Cs濃度が他の樹種より6~40倍も高いコシアブラでは葉のカリウム濃度も約16000ppmと高く、逆にCs濃度の低いアカマツなどの樹種ではカリウム濃度もかなり低い値を示すことが分かった(図-3)。チェルノブイリ原発事故後の調査でも、葉にカリウムを蓄積しやすい植物で放射性Cs濃度が高い可能性が指摘されており(1,2)、コシアブラの高い放射性Cs濃度は、カリウムを蓄積しやすい性質と関係している可能性がある。また、コシアブラについては、草本を含む他の植物に比べると葉の放射性Csが非常に高いことが報告されている(6,8)。

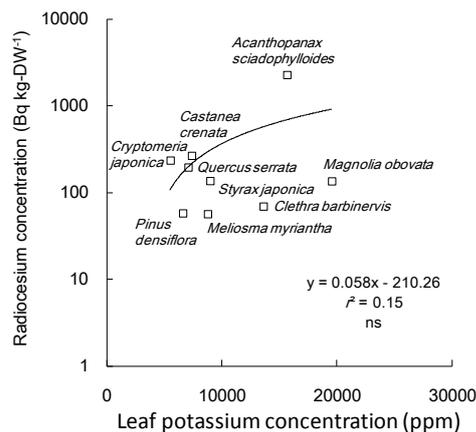


図-3. 葉のカリウム濃度と放射性Cs濃度の関係。放射性Cs濃度は大玉で2014年に得られたデータを使用した。

Fig. 3 Relationship between leaf potassium and radiocesium concentrations in Otama site at 2014.

**3. まとめ** 福島原発事故後の森林への放射性Cs降下による樹木の葉や幹枝のCs濃度は年々低下傾向にあると考えられた(5)。しかし、樹種間での濃度差が大きい可能性が高く、今後、調査個体数を増やし、さらに葉内でのカリウムなど他元素の蓄積パターンとの関係解析から、どのような特性を持つ樹種で放射性Csを蓄積しやすいのか解明する必要がある。

**謝辞**

試料木の採取等の現地調査、分析に際し、磐城、福島、会津の各森林管理署(支署)、福島県川内村の関係者各位、森林総合研究所の多くの研究員及び非常勤職員のご協力を頂いた。厚くお礼申し上げます。なお本研究は、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」と森林総研交付金プロジェクト(課題番号201205)により実施した。

**引用文献**

(1) BROADLEY, M. R., and WILLEY, N. J. (1997) Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa. *Environ. Pollut.* **97**:11-15  
 (2) BROADLEY, M. R., WILLEY, N. J., and MEAD, A. (1999) A method to assess taxonomic variation in shoot caesium concentration among flowering plants. *Environ. Pollut.* **106**:341-349  
 (3) HASHIMOTO, S., UGAWA, S., NANKO, K., and SHICHI, K. (2012) The total amounts of radioactively

contaminated materials in forests in Fukushima, Japan. Scientific reports, **2**: Article number 416

(4) 梶本卓也・高野勉・齊藤哲・黒田克史・藤原健・小松雅史・川崎達郎・大橋伸太・清野嘉之 (2014) 森林生態系における樹木・木材の放射性セシウム分布と動態の調査法. 森林総合研究所研究報告 **13**:113-136

(5) 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

(6) KIYONO, Y., and AKAMA, A. (2013) Radioactive cesium contamination of edible wild plants after the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. Jpn. J. For. Environ. **55**:113-118

(7) KOBAYASHI, D., OKOUCHI, T., YAMAGAMI, M., and SHINANO, T. (2014) Verification of radiocesium decontamination from farmlands by plants in Fukushima. J. Plant Res. **127**:51-56

(8) NAKAI, W., OKADA, N., OHASHI, S., and TANAKA, A. (2015) Evaluation of <sup>137</sup>Cs accumulation by mushrooms and trees based on the aggregated transfer factor. J. Radioanalytical Nucl. Chem. **303**:2379-2389.

(9) OHASHI, S., OKADA, N., TANAKA, N., NAKAI, W., and 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

(10) OHMORI, Y., INUI, Y., KAJIKAWA, et al. (2014) Difference in cesium accumulation among rice cultivars grown in the paddy field in Fukushima Prefecture in 2011 and 2012. J. Plant Res. **127**:57-66

(11) OHMORI, Y., KAJIKAWA, M., NISHIDA, S., TANAKA, N., Koba-YASHI, N.I., TANOI, K., FURUKAWA, J., and FUJIWARA, T. (2014) The effect of fertilization on cesium concentration of rice grown in a paddy field in Fukushima Prefecture in 2011 and 2012. J. Plant Res. **127**:67-72

(12) TAGAMI, K., UCHIDA, S., ISHII, N., and KAGIYA, S. (2012) Translocation of radiocesium from stems and leaves of plants and the effect on radiocesium concentrations in newly emerged plant tissues. J. Environ. Radioact. **111**:65-69

(13) 高田実弥・高松武次郎・佐竹研一・佐瀬裕之 (1993) 陸上植物葉の元素濃度 - 中性子放射化分析データ集 I-. 270pp. 国立環境研究所

(14) YAMASHITA, J., ENOMOTO, T., YAMADA, M., ONO, T., HANAFUSA, T., NAGAMATSU, T., SONODA, S., and YAMAMOTO, Y. (2014) Estimation of soil-to-plant transfer factors of radiocesium in 99 wild plant species grown in arable lands 1 year after the Fukushima 1 Nuclear Power Plant accident. J. Plant Res. **127**:11-22

(15) YOSHIHARA, T., MATSUMURA, H., HASHIDA, S., and NAGAOKA, T. (2013) Radiocesium contaminations of 20 wood species and the corresponding gamma-ray dose rates around the canopies at 5 months after the Fukushima nuclear power plant accident. J. Environ. Radioact. **114**:60-68

Appendix 1. 調査地, 調査年別の試料採集した落葉広葉樹のリスト. +は試料採取有, -は無を表す.

Appendix 1 List of all sampled deciduous broad-leaved trees. +; collected, -; not collected.

Species	Study sites								
	Kawauchi			Otama			Tadami		
	2012	2013	2014	2013	2013	2014	2014	2013	2014
<i>Acanthopanax sciadophylloides</i>	-	-	-	-	-	+	+	+	+
<i>Acer amoenum</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Acer japonicum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Acer mono</i>	-	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Aesculus turbinata</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>Aria alnifolia</i>	-	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Benthamidia japonica</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Carpinus japonica</i>	-	-	+	+	+	+	-	-	-
<i>Castanea crenata</i>	-	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Clethra barbinervis</i>	-	-	+	-	-	+	-	-	-
<i>Cornus controversa</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Fagus crenata</i>	-	-	-	-	-	-	+	+	+
<i>Magnolia obovata</i>	-	-	+	-	-	+	+	+	+
<i>Meliosma myriantha</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Ostrya japonica</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Prunus grayana</i>	-	-	-	+	+	+	+	+	+
<i>Quercus crispula</i>	-	-	-	+	-	+	-	-	-
<i>Quercus serrata</i>	-	-	+	-	+	+	-	-	-
<i>Stewartia pseudocamellia</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Styrax japonica</i>	-	-	-	+	+	+	-	-	-
<i>Styrax obassia</i>	+	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Zelkova serrata</i>	+	+	-	-	-	-	-	-	-