

## アカマツ、コナラ、スギの枝葉の放射性セシウム濃度と成長量の関係

田中憲蔵<sup>1</sup>・齊藤哲<sup>2</sup>

1 森林総合研究所

2 森林総合研究所関西支所

**要旨**：樹木の  $^{137}\text{Cs}$  濃度と成長量の関係を明らかにするために、福島県で原発事故後に植栽したコナラとスギ、天然更新したアカマツ、事故後に萌芽更新したコナラの萌芽枝について調査した。2017 年の生育期間の成長量（地際直径、樹高、地上部バイオマス）と、同年 10 月に採取した当年生の枝と葉の  $^{137}\text{Cs}$  濃度を比較した。スギは成長量と  $^{137}\text{Cs}$  濃度には正の相関がみられ、成長の良い個体で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が高かった。一方、アカマツとコナラは成長の良い個体で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が低い場合があったが、有意ではなかった。これらの種間差の要因については不明だが、スギでは成長が良い個体ほど養分の要求度や蒸散量が高く、土壌から  $^{137}\text{Cs}$  を吸い上げやすいことが考えられた。一方、アカマツやコナラの成長が良い個体では、バイオマスにより吸収した  $^{137}\text{Cs}$  が希釈され濃度が低下した可能性が考えられた。

**キーワード**： $^{137}\text{Cs}$ 、希釈効果、コナラ、スギ、放射性物質

**Relationship between leaf and branch radioactive cesium concentration and growth of konara oak, Japanese cedar, and Japanese red pine saplings**Tanaka KENZO<sup>1</sup>, Satoshi SAITO<sup>2</sup>

FFPRI., Tsukuba, Ibaraki, 305-8687

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

**Abstract**: To clarify the relationship between  $^{137}\text{Cs}$  concentration and growth rate in tree saplings, we investigated  $^{137}\text{Cs}$  concentration in current-year leaf and branch of konara oak, Japanese cedar, and Japanese red pine saplings, which are regenerated after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. Annual growth of diameter and height in 2017 was compared with those  $^{137}\text{Cs}$  concentrations in October, 2017. In Japanese cedar, a positive correlation was found between  $^{137}\text{Cs}$  concentration and annual diameter or biomass growth. In contrast, in Japanese red pine and konara oak, the  $^{137}\text{Cs}$  concentration was low in several well-growing saplings, though it was not significant. Although clear reasons of these interspecific differences is unknown, it was considered that Japanese cedar with high growth also had higher demand of nutrients for growth and water for transpiration, and thus those traits may cause larger amount of  $^{137}\text{Cs}$  uptake from the soil compared with lower growth saplings. In Japanese red pine and konara oak with higher growth,  $^{137}\text{Cs}$  in saplings may be diluted by their larger biomass and then the concentration decreased in such saplings.

**Key-word**:  $^{137}\text{Cs}$ , dilution effect, konara oak, Japanese cedar, radioactive material

**I はじめに**

福島第一原発事故により森林や樹木が放射性物質で汚染された(3, 5)。放出された放射性物質のうちセシウム 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) は半減期が 30 年と長いので、長期間森林の汚染が続くことになる(11)。汚染された森林における放射性物質の動きを正確に推定するためには、事故により直接汚染された樹木に加え、事故後に新しく成長してきた樹木についても、どのような条件や樹種、個体で樹体への放射性物質の吸い上げが大きくなるかなど、その

特性を把握する必要がある(3)。

直接放射性物質の汚染を受けていない植物でも、根から  $^{137}\text{Cs}$  を吸収し、植物体の汚染が進むことが分かっている(1, 8, 9, 15)。特に、樹木では当年性の枝や葉といった新しく形成された器官で  $^{137}\text{Cs}$  濃度が高くなることが知られている(6, 7, 11, 13)。一方、同じ林分に生育する樹種内でも個体間での  $^{137}\text{Cs}$  濃度差が大きいことが分かっている(5, 14)。これら個体間差については、成長の良い個体や部位でバイオマスにより濃度が希釈され低

下する希釈効果や、蒸散量や養分要求度の高い個体で<sup>137</sup>Cs が根から大量に樹体に吸い上げられて濃度が高くなることなどが指摘されているが、詳しいことは分かっていない(9,11,16)。これら個体間差の要因が分かれば、どのような個体で濃度が高くなるのか予測できるかもしれない。一方、<sup>137</sup>Cs 濃度は樹種間での濃度差が大きく、<sup>137</sup>Cs の吸い上げメカニズムにも種間差があると考えられており、成長量と<sup>137</sup>Cs 濃度の関係についても樹種間差があるかもしれない(1,11,14)。

本研究では、事故後、皆伐した森林に植栽したスギ、コナラと、天然生のアカマツ、萌芽更新したコナラについて、当年枝と当年葉の<sup>137</sup>Cs 濃度と個体の年成長量にどのような関係があるのかを調べた。

## II 材料と方法

1. 調査地 福島県田村市都路地区の皆伐後の林地で調査を行った。調査地の2015年11月の空間線量は約0.5 μSv hr<sup>-1</sup>で、放射性Csの沈着量は約130 kBq m<sup>-2</sup>であった(7)。スギは2013年に植栽した個体を、アカマツは事故後に発芽定着した実生を各10個体調査に用いた。また、コナラは2013年に植栽した個体と、2012年に伐採した株から発生した萌芽個体を各10個体選んだ(15)。

2. 調査方法 2017年10月に3樹種の当年生シュートを樹冠全体から採取した。アカマツとコナラについては枝と葉に分けて放射性Csを測定した。スギは、枝と葉の区別が困難なため分けずにシュート全体を葉とした。

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砕し、放射性Cs濃度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(2017年9月1日)に補正した値を用いた(5)。放射性同位体である<sup>134</sup>Csも検出されたが濃度が薄いため本研究では<sup>137</sup>Csの濃度で評価した。

個体の成長量を調べるため2016年12月と2017年12月に各個体の地際付近の直径と樹高を測定した。また地際直径や樹高を用いて相対生長関係から地上部の葉と幹枝の総乾燥重量(地上部バイオマス)を計算した。計算式はアカマツでは西岡らの式を用いた(12)。また、スギとコナラについては既存のデータベース(2)から地際直径と地上部の総乾燥重量の関係を調べ推定した。使用した相対生長式は以下のとおりである。

アカマツの地上部バイオマス(W)を地際付近の直径(D)と樹高(H)を用いて、幹重量(S)、枝重量(B)、葉重量(L)から推定する相対生長式:

$$W = WS + WB + WL$$

$$WS = 0.02182 \times (D^2 \times H)^{0.9548}$$

$$WB = 0.01262 \times D^{2.364}$$

$$WL = 0.005921 \times D^{2.288}$$

コナラの地上部バイオマス(W)を地際直径(D)から推定する式:  $W = 0.0316 \times D^{2.6239}$

スギの地上部バイオマス(W)を地際直径(D)から推定する式:  $W = 0.0056 \times D^{2.1521}$

## III 結果と考察

スギの葉の<sup>137</sup>Cs濃度と、直径や地上部バイオマスの成長量との間に有意な正の相関が見られた(図1, 表1)。一方、スギの樹高成長量と<sup>137</sup>Cs濃度には有意な相関はなかったが、成長が良い個体で<sup>137</sup>Cs濃度が高い個体があった(図2)。葉の<sup>137</sup>Cs濃度と直径や地上部バイオマスの成長量の間にも同様の傾向があった(図2, 表1)。

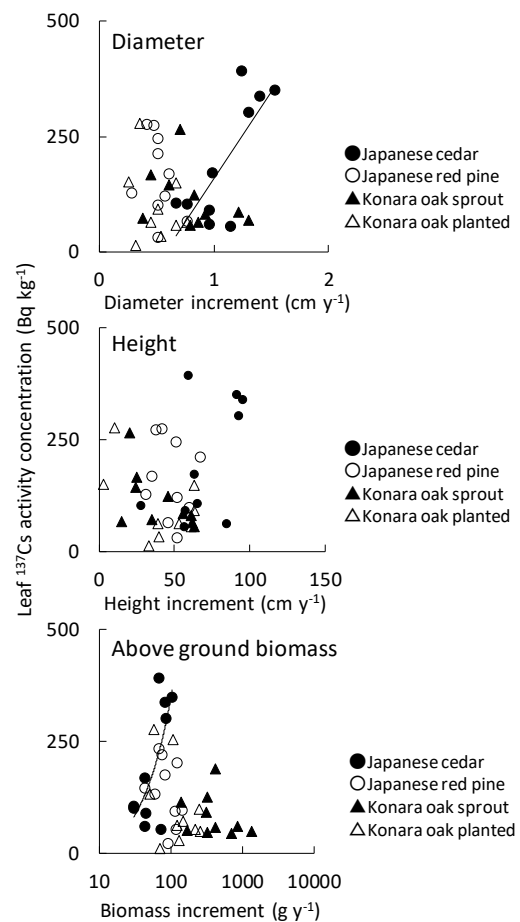


図-1. 葉の<sup>137</sup>Cs濃度と直径、樹高、地上部バイオマスの各年成長量の関係

Fig.1 Relation between foliar <sup>137</sup>Cs concentration and annual growth of diameter, height and aboveground biomass.

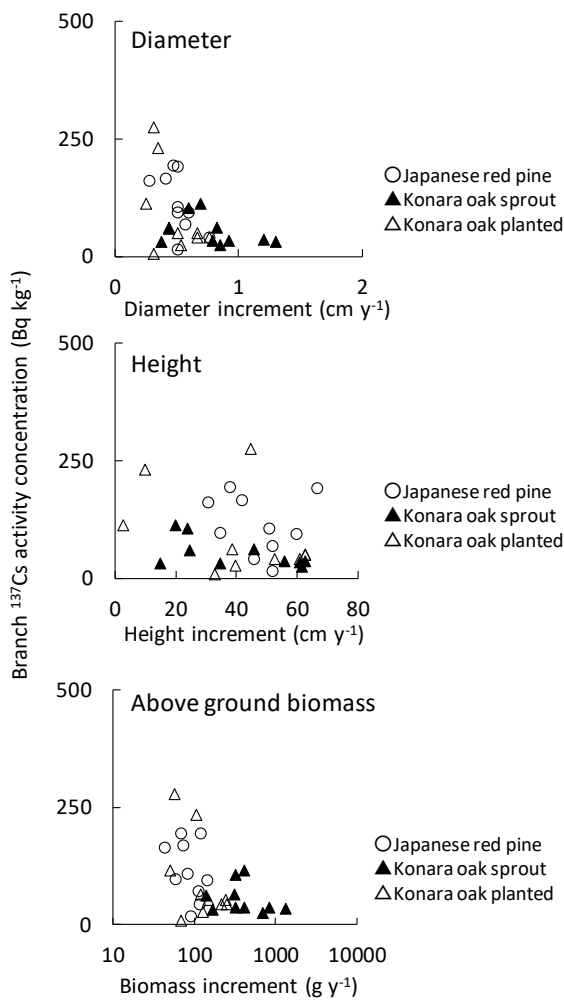


図-2. 当年枝の <sup>137</sup>Cs 濃度と直径，樹高，地上部バイオマスの各年成長量の関係

Fig.2 Relation between current-year branch <sup>137</sup>Cs concentration and annual growth of diameter, height and aboveground biomass.

これらの正の相関から，スギでは成長の良い個体ほど <sup>137</sup>Cs の土壌からの吸い上げ量が大きくなると考えられた。一般的に成長が良い個体では，個体全体の蒸散量も増加する (10)。また，成長の良い個体では，カリウムや窒素などの養分の要求度が高く，土壌からこれらのミネラルを大量に吸い上げているものと考えられる (10)。Cs は植物にとって必須元素ではないが，Cs と元素特性がよく似ているカリウムと同時に樹体内に吸い上げられると考えられている (9,11)。これらのことから成長の良い個体では蒸散流や養分の吸収に伴って，土壌から樹体内に取り込まれる <sup>137</sup>Cs が増加し，濃度が上昇したと考えられた。一方，コナラとアカマツでは，スギとは逆に成長の良い個体で，葉や枝の

表 - 1. 当年枝葉の <sup>137</sup>Cs 濃度と年成長量 (直径、樹高、地上部バイオマス) の関係の統計結果. *r* は相関係数を，*P* は有意確率を示す。

Table 1. Statistical results of the relation between <sup>137</sup>Cs concentration and annual growth of diameter, height and aboveground biomass (AGB).

Species	Organ		Diameter	Height	AGB
Japanese red pine	Foliar	<i>r</i>	-0.34	-0.15	-0.40
		<i>P</i>	0.33	0.67	0.25
	Branch	<i>r</i>	-0.59	-0.14	-0.41
		<i>P</i>	0.07	0.70	0.25
Japanese cedar	Foliar	<i>r</i>	<b>0.78</b>	0.51	<b>0.73</b>
		<i>P</i>	<b>0.01</b>	0.13	<b>0.02</b>
Konara oak planted	Foliar	<i>r</i>	-0.29	-0.48	-0.12
		<i>P</i>	0.45	0.19	0.76
	Branch	<i>r</i>	-0.52	-0.41	-0.47
		<i>P</i>	0.12	0.24	0.17
Konara oak sprout	Foliar	<i>r</i>	-0.37	-0.58	-0.32
		<i>P</i>	0.30	0.08	0.36
	Branch	<i>r</i>	-0.36	-0.58	-0.34
		<i>P</i>	0.30	0.08	0.34

<sup>137</sup>Cs の値が低い個体が多く見られた (図1, 2)。コナラの植栽と萌芽個体をプールして解析した場合には，葉の <sup>137</sup>Cs 濃度と樹高成長量に有意な負の相関が見られた ( $r=0.52, P<0.05$ )。また，枝の <sup>137</sup>Cs 濃度と，アカマツの直径成長やコナラ萌芽個体の樹高成長量間の *P* 値も 0.07 ~ 0.08 と小さく，相関係数も -0.58 程度の値を示した (図2, 表1)。両者の負の関係から，大きく成長する個体ほど成長したバイオマスによる <sup>137</sup>Cs 濃度の希釈効果が大きくなり，その濃度が低下したと考えられた (11)。こうした希釈効果は，様々な植物の窒素やカリウムなど他の元素でも確認されている (4)。コナラやアカマツでは，当年シュートの季節的な <sup>137</sup>Cs 濃度の変化と，当年枝や個葉の平均重量に希釈効果が確認されており，本研究結果は個体ベースでも希釈効果が働く可能性を示していると考えられた (7)。

#### IV まとめ

以上から，樹種により，個体の成長量と <sup>137</sup>Cs 濃度の関係は異なる可能性が示された。スギでは成長が良い個体ほど蒸散や養分要求度が高く，土壌から <sup>137</sup>Cs を吸い上げやすくなり濃度が増加する可能性が示された。一方，アカマツとコナラでは，成長が良い個体ほど，吸い上げた <sup>137</sup>Cs が成長したバイオマスによって希釈され，濃度が低下した可能性が考えられた。今後，個体数を増やす

ことや経年測定を行うこと、カリウムや Cs の安定同位体 ( $^{133}\text{Cs}$ ) などの分析を行うことで、これらの傾向や要因を確かめることが可能になると考えられた。

**謝辞**：本研究の現地調査や分析等でふくしま中央森林組合や森林総研の方々のご協力を頂き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 Cs 動態解明による将来予測マップの提示」、「きのこ原木林及び特用林産物の利用再開可能林分の判定手法の開発」、農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業：放射能汚染地域におけるシイタケ原木林の利用再開技術開発」、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) Falster DS, Duursma RA, Ishihara MI, Barneche DR, FitzJohn RG, Vårhammar A, et al. (2015) BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants. *Ecology* 96: 1445
- (3) 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
- (4) Jarrell WM, Beverly RB (1981) The dilution effect in plant nutrition studies. *Advance. Agronomy.* 34: 197-224
- (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) Kenzo T, Saito S, Araki M, Kajimoto T (2020) Vertical distribution of radiocesium concentrations among crown positions and year-to-year variation in four major tree species after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident. *J. Environ. Radioact.* 225:106447.
- (7) Kenzo T, Saito S, Miura S, Kajimoto T, Kobayashi NI, Tanoi K (2020) Seasonal changes in radiocesium and potassium concentrations in current-year shoots of saplings of three tree species in Fukushima, Japan. *J. Environ. Radioact.* 223:106409
- (8) Kanasashi T, Sugiura Y, Takenaka C, Hiji N, Umemura M (2015) Radiocesium distribution in sugi (*Cryptomeria japonica*) in Eastern Japan: translocation from needles to pollen. *J. Environ. Radioact.* 139: 398-406
- (9) Kobayashi, R., Kobayashi, N.I., Tanoi, K., Masumori, M., Tange, T., 2019a. Potassium supply reduces cesium uptake in Konara oak not by an alteration of uptake mechanism, but by the uptake competition between the ions. *J. Environ. Radioact.* 208, 106032
- (10) Kozłowski TT, Pallardy SG (1996) *Physiology of woody plants.* Elsevier
- (11) Nimis PL (1996) Radiocesium in plants of forest ecosystems. *Studia Geobotanica.* 15: 3-49
- (12) 西岡正仁・梅原徹・永野正弘(1982) 箕面山サル生息地域周辺の森林における樹種別、器官別の現存量. 昭和56年度箕面山猿調査報告書 117-139
- (13) 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
- (14) 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
- (15) 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
- (16) Yera TS, Vallejo VR, Valcke E, Colle C, Förstel H, Millán R, Jouglet H (1999)  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  root uptake prediction under close-to-real controlled conditions. *J. Environ. Radioact.* 45: 191-217