

福島第一原発事故で汚染された様々な樹種の葉内 ^{137}Cs と K 濃度の関係

Relationship between leaf radiocesium and potassium concentrations in various tree species after the accident of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant

田中憲蔵^{*1}・齊藤哲^{*1}・三浦覚^{*1}・梶本卓也^{*2}・小林奈通子^{*3}・田野井慶太郎^{*3}Tanaka KENZO^{*1}, Satoshi SAITO^{*1}, Satoru MIURA^{*1}, Takuya KAJIMOTO^{*2}, Natsuko I. KOBAYASHI^{*3}, Keitaro TANOI^{*3}

*1 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute., Tsukuba, Ibaraki, 305-8687

*2 森林総研東北

Tohoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute, Morioka, Iwate, 020-0123

*3 東京大学大学院農学生命科学研究科

Graduate School of Agricultural Sciences, The University of Tokyo, Tokyo, 113-8657

要旨: 福島県大玉村で様々な樹種の葉を 2014 年と 2015 年に採取し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて ^{137}Cs 濃度を測定した。樹種間で ^{137}Cs 濃度に大きな違いが見られ、最も高い値を示したコシアブラは低い値を示したミズキに比べ、いずれの年も 20 倍以上高い値を示した。次に、一般に Cs とよく似た挙動を示すカリウム(K)に着目した。K 濃度は測定した 2 年とも種間で似た傾向が見られ、種間で数倍の違いがあった。また、各樹種の葉の K 濃度に加え、他の 7 元素(Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, Na)と葉の ^{137}Cs 濃度の関係を調べたが、Mn を除き有意な関係はなかった。Mn 濃度はコシアブラで非常に高いため、種間で ^{137}Cs 濃度と正の相関が認められた。

キーワード: カリウム, コシアブラ, セシウム, ミズキ, マンガン

Abstract: We measured leaf ^{137}Cs concentrations of 16 (2014) and 12 tree species (2015) in Otama, Fukushima, Japan. Concentrations of ^{137}Cs were measured for grinded samples by using a germanium semiconductor detector (GEM20-70). Concentrations of leaf potassium (K) and other 7 elements (Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, Na) were quantified by ICP-AES method. The highest ^{137}Cs concentration was observed in *Acanthopanax sciadophylloides*, whereas that value on *Cornus controversa* was the lowest among species. Interspecific relationship between most leaf elements (Al, B, Ca, Fe, K, Mg, Na) and ^{137}Cs concentrations were not significant. In contrast, leaf Mn concentration positively related with ^{137}Cs concentration due to very high accumulation of Mn in *A. sciadophylloides*.

Keywords: *Acanthopanax sciadophylloides*, *Cornus controversa*, manganese, potassium, radiocesium

I はじめに

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(放射性 Cs)により森林が広域で汚染された(3)。森林の放射性 Cs の動態予測や、汚染された樹木の利用を適切に行うためには、樹木に蓄積している放射性 Cs 量の正確な評価が必要である(3)。

チェルノブイリ原発事故や福島原発事故の調査から、植物においては草本、木本を問わず放射性 Cs の蓄積に種間差があることが認められている(1, 11, 13, 16)。これら種間差の要因については、事故直後の樹皮からの放射性 Cs の吸収量が種間で異なる点や、根からの放射性 Cs の吸収量の違いが指摘されている(2, 11)。特に、事故から数年経った時点での放射性 Cs の種間差は主に根か

らの吸収量の違いにあることが安定 Cs と放射性 Cs の同位体比の差から示されている(11)。しかし、なぜ種間で根からの放射性 Cs の吸収量が違うのかについては、Cs の吸収過程や菌根の種類などから調査がなされているが不明な点が多い(9, 15)。一方、同一種内での研究から、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(K)に類似しており、K が集積する部位で高くなることが指摘されている(17)。また、葉の K 含有量にも種間差があり(12)、K を多く含む種で放射性 Cs が蓄積しやすい可能性がある。さらに、特定の元素を選択的に蓄積する樹種も存在し(5, 12)、これらの性質と放射性 Cs の蓄積の種間差に何か関係があれば、どのような植物で Cs を蓄積しやすいのかといった予測や、Cs の吸収機構の解明、Cs 吸収を抑制する手法の開発に

役立つ可能性がある。

この研究では、福島原発事故で放出された放射性 Cs 濃度が様々な樹種でどのように異なるのか、種間の葉の K 濃度と放射性 Cs 濃度の関係に着目して調査を行った。また、K と同時に定量可能なアルミニウム(Al)、ホウ素(B)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、鉄(Fe)、マンガン(Mn)、ナトリウム(Na)についても放射性 Cs 濃度との関係を調べたので報告する。

II 材料と方法

調査は、福島県大玉村の落葉広葉樹二次林とスギ人工林で行なった。2011 年 7-8 月の放射性 Cs 蓄積量は 19.3(kBq m⁻²)であった(4)。葉の試料は 2014 年が 16 種、2015 年は 12 樹種から採取した(表-1)。葉は、樹冠全体から採取し、よく混ぜ合わせて検体とした。全ての試料は、乾燥機で乾燥後粉碎し、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、半減期を使って各年の基準日(9 月 1 日)に補正した値を用いた(13)。また、¹³⁴Cs の濃度が薄いため本研究では ¹³⁷Cs の濃度で評価した。葉は ¹³⁷Cs 濃度の測定後、湿式灰化法で分解し、ICP 発光分光分析法で K など 7 元素(Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, Na)を定量した。

表-1. 採集した樹種と個体数。

Table1. Sampled species and number of individuals.

Species	Local name	Abb.	2014	2015
<i>Acanthopanax sciadophyloides</i>	Koshiabura	Acs	1	3
<i>Acer mono</i>	Itayakaede	Acm	1	3
<i>Aria alnifolia</i>	Azukinashi	Ara	1	3
<i>Carpinus japonica</i>	Kumashide	Caj	1	3
<i>Castanea crenata</i>	Kuri	Cac	2	0
<i>Clethra barbinervis</i>	Ryobu	Clb	1	3
<i>Cornus controversa</i>	Mizuki	Coc	1	3
<i>Magnolia obovata</i>	Honoki	Mao	1	3
<i>Meliosma myriantha</i>	Awabuki	Mel	1	0
<i>Prunus grayana</i>	Uwamizuzakura	Prg	1	3
<i>Quercus crispula</i>	Mizunara	Quc	1	0
<i>Quercus serrata</i>	Konara	Qus	4	3
<i>Stewartia pseudocamellia</i>	Natsustubaki	Stp	1	0
<i>Styrax japonica</i>	Egonoki	Stj	1	1
<i>Cryptomeria japonica</i>	Sugi	Crj	3	3
<i>Pinus densiflora</i>	Akamatsu	Pid	3	3

III 結果と考察

1. 種間での葉の ¹³⁷Cs 濃度 葉の ¹³⁷Cs 濃度は、種間で異なると考えられた。2 年とも採取できた 12 種の葉の ¹³⁷Cs 濃度は、いずれの採取年でも同じ傾向を示し、コシアブラやウワミズザクラで高く、ミズキやホウノキで低かった(図-1A)。特にコシアブラの ¹³⁷Cs 濃度は非常に高く、ミズキやホウノキ、クマシデなど濃度の低い樹種の 20~30 倍あった。コシアブラが他の木本や草本に比べ高

い ¹³⁷Cs 濃度を示すことはこれまでの研究でも指摘されている(5, 11, 13)。また、この樹種は安定同位体の ¹³³Cs の濃度も高いことから Cs を蓄積しやすい特性があると考えられた(1, 10)。さらに、Cs の同位体比の研究からコシアブラは経根由来の放射性 Cs が多いことが分かっており(10, 11)、Cs を土壌から吸収しやすい生理的な機構が存在すると考えられた。

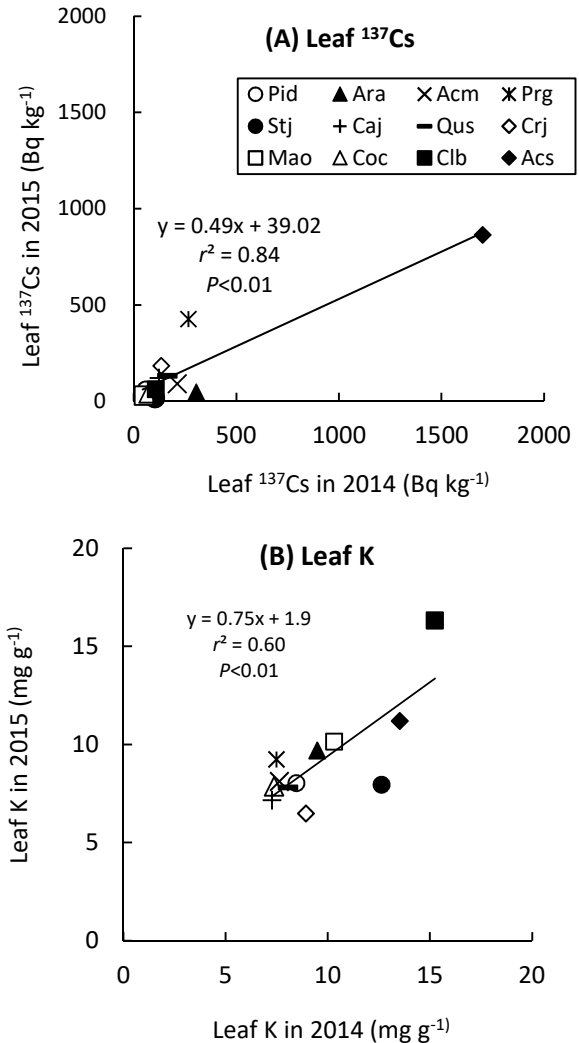


図-1. 12 樹種の 2014 年と 2015 年の葉の ¹³⁷Cs 濃度 (A) と K 濃度(B)。略号は表-1 を参照。

Fig.1 Leaf ¹³⁷Cs (A) and K (B) concentrations of 12 tree species between 2014 and 2015. Abbreviations of tree species are shown in Table 1.

2. 種間での葉の K 濃度 葉の K 濃度にも種間で最大 3 倍程度の差があった(図-1B)。葉の K 濃度は測定した 2 年ともリョウブやコシアブラで高く 10(mg g⁻¹)以上であった(図-1B)。一方、クマシデやホウノキでは 2 年

とも低く、濃度が高い樹種の約 1/3 の値であった。また、針葉樹のアカツとスギも K 濃度が低く、常緑針葉樹で K 濃度が低いというこれまでの報告と矛盾しなかった (12)。

3. 葉の ¹³⁷Cs 濃度と K 濃度の関係 葉の ¹³⁷Cs 濃度と K 濃度には 2014 年, 2015 年ともに有意な関係は見られなかった(図-2A, 2B)。このことから、種間での ¹³⁷Cs 濃度の違いは、K 濃度の種間差以外の主要な要因があるものと考えられた。特に、葉の K 濃度が最も高かったリョウブは ¹³⁷Cs 濃度が低かった。一方、¹³⁷Cs 濃度が最も高いコシアブラは K 濃度も 2 番目に高い値を示し、K を蓄積しやすいと考えられた。

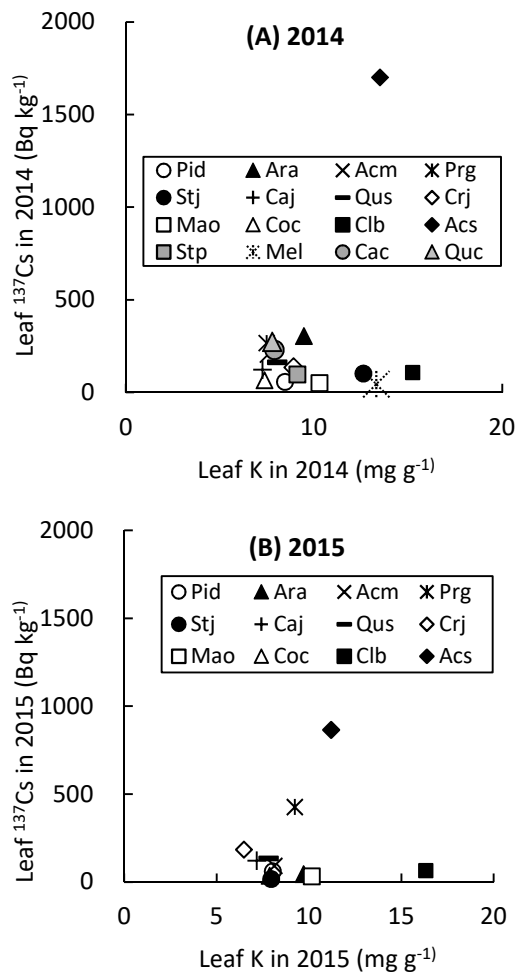


図-2. 葉の ¹³⁷Cs 濃度と K 濃度の関係。(A)2014 年と(B)2015 年。略号は表-1 を参照。

Fig. 2 Relationships between leaf ¹³⁷Cs and potassium (K) concentrations in 2014 (A) and 2015 (B). Abbreviations of tree species are shown in Table 1.

4. 葉の ¹³⁷Cs 濃度と 7 元素濃度の関係 葉の ¹³⁷Cs と Al, B, Ca, Fe, Mg, Na 濃度には有意な関係は見

られなかった(表-2)。しかし、葉の Mn 濃度は ¹³⁷Cs の濃度が高かったコシアブラで高い値を示し、そのため両者に有意な正の相関があった(表-2)。また、¹³⁷Cs が 2 番目に高かったウワミズザクラでも Mn が検出されたが、それ以外の樹種ではほぼ検出限界以下の濃度であった。コシアブラの高い Mn 集積能力については古くから知られており、この研究の最大値(葉乾重あたり 0.96%)や平均値(同 0.52%)は既往研究(同 0.3~2.3%)の範囲内であった(e, 8, 12)。コシアブラの高い Mn 集積能力には、根圏での Mn の可溶化と Mn 輸送を担うトランスポーター(運搬体)の存在が指摘されている(7, 15)。コシアブラの根圏では pH が低下し Mn の可溶化を促進することがわかっており(7)、これと同時に Cs の吸収も促進している可能性がある。実際、土壌の pH の低下が植物の Cs の吸収を促進することが分かっている(14)。また、根の内生菌が作る鉄運搬体が根圏における Cs および Mn の脱着を促進する可能性も指摘されているが、野外での詳細なメカニズムは不明である(15)。これらコシアブラの Mn 吸収能力の生化学的機構と、この樹種の高い ¹³⁷Cs 蓄積に関連がある可能性がある。

表-2. 葉の ¹³⁷Cs 濃度と 7 元素濃度の相関分析結果。数値は相関係数を示し、'ns'は有意差なしを意味する。

Table 2. Results of correlation analyses between concentrations of ¹³⁷Cs and 7 elements in leaf. 'ns' means not significant.

Elements	Correlation coefficient (r^2) and statistical significance	
	2014	2015
	(n=16 species)	(n=12 species)
Al	0.009, ns	0.000, ns
B	0.008, ns	0.021, ns
Ca	0.033, ns	0.084, ns
Fe	0.030, ns	0.066, ns
Mg	0.001, ns	0.001, ns
Mn	0.960, $p < 0.01$	0.863, $p < 0.01$
Na	0.000, ns	0.058, ns

IV まとめ

樹木の ¹³⁷Cs 濃度は種間で大きく異なることが明らかになったが、その種間差の要因については樹種による葉の K 濃度の差からだけでは説明がつかなかった。また、葉の ¹³⁷Cs と Al, B, Ca, Fe, Mg, Na 濃度にも有意な相関は見られずこれらの元素蓄積の種間差と ¹³⁷Cs の蓄積には関連は低いと考えられた。一方、コシアブラの ¹³⁷Cs と Mn 濃度が非常に高いために両者に有意な正の

相関が見られたが、その生理的な要因については今後研究を進める必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたって現地調査や分析等で福島県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」、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「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) 赤間亮夫・清野嘉之・大橋伸太 (2017) コシアブラ樹体内のセシウム 133 とセシウム 137 の分布. 関東森林研究. 68: 73-74
- (2) BROADLEY, M. R., WILLEY, N. J. (1997) Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa. Environ. Pollut. 97: 11-15
- (3) HASHIMOTO, S., UGAWA, S., NANKO, K., 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・齊藤哲・川崎達郎ら (2015) 福島原発事故で汚染された森林の樹木地上部における放射性セシウムの蓄積量. 関東森林研究 66:159-162
- (5) KIYONO, Y., 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
- (6) MEMON, A. R., ITÔ, S., YATAZAWA, M. (1979) Absorption and accumulation of iron, manganese and copper in plants in the temperate forest of central Japan. Soil Sci. Plant Nutri. 25: 611-620
- (7) MIZUNO, T., HIRANO, K., HOSONO, A., KATO, S., OBATA, H. (2006) Continual pH lowering and manganese dioxide solubilization in the rhizosphere of the Mn - hyperaccumulator plant *Chengioplanax sciadophylloides*. Soil Sci Plant Nutri. 52: 726-733
- (8) MIZUNO, T., ASAHINA, R., HOSONO, A., TANAKA, A., SENOO, K., OBATA, H. (2008) Age-dependent manganese hyperaccumulation in *Chengioplanax sciadophylloides* (Araliaceae). J. Plant Nutri. 31: 1811-1819
- (9) NAKAI, W., OKADA, N., OHASHI, S., TANAKA, A. (2015) Evaluation of ¹³⁷Cs accumulation by mushrooms and trees based on the aggregated transfer factor. J. Radioanalytical Nucl. Chem. 303: 2379-2389.
- (10) SUGIURA, Y., KANASASHI, T., OGATA, Y., OZAWA, H., TAKENAKA, C. (2016) Radiocesium accumulation properties of *Chengioplanax sciadophylloides*. J. Environ. Radioact. 151: 250-257
- (11) SUGIURA, Y., SHIBATA, M., OGATA, Y., OZAWA, H., KANASASHI, T., TAKENAKA, C. (2016) Evaluation of radiocesium concentrations in new leaves of wild plants two years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. J. Environ. Radioact. 160: 8-24.
- (12) 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-. 国立環境研究所, つくば, 270pp.
- (13) 田中憲蔵・梶本卓也・齊藤哲ら(2016)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. 関東森林研究 67: 45-48
- (14) 山口紀子・高田裕介・林健太郎・石川 寛・倉俣正人・江口定夫・吉川省子・坂口 敦・朝田 景・和穎朗太・牧野知之・赤羽幾子・平舘俊太郎 (2012) 土壌—植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因. 農環研報 31: 75-129
- (15) YAMAJI, K., NAGATA, S., HARUMA, T., OHNUKI, T., KOZAKI, T., WATANABE, N., NANBA, K. (2016) Root endophytic bacteria of a ¹³⁷Cs and Mn accumulator plant, *Eleutherococcus sciadophylloides*, increase ¹³⁷Cs and Mn desorption in the soil. J. Env. Radioact. 153: 112-119
- (16) YAMASHITA, J., ENOMOTO, T., YAMADA, M., ONO, T., HANAFUSA, T., NAGAMATSU, T., SONODA, S., 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
- (17) YOSHIHARA, T., HASHIDA, S. N., 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