

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340083

研究課題名(和文) 森林性木本植物の樹幹内における放射性セシウムの循環と蓄積実態の解明

研究課題名(英文) Clarification of the circulation and accumulation of radiocesium in the wood stem in forest trees

研究代表者

飯塚 和也 (IIZUKA, Kazuya)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：20344898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スギにおける¹³⁷Cs濃度に関して調査した。

心材と辺材の¹³⁷Cs濃度の比は、徐々に高くなり、事故後2年には2前後になった。また、¹³⁷Cs濃度とK量との関係を検討した。心材において、含水率が高く、材色の明度が低い個体は、¹³⁷Cs濃度が高くなる傾向があった。心材と辺材境界で¹³⁷Cs濃度のピーク値が得られ、¹³⁷Cs濃度は髄に向かって徐々に減少した。対照的に、心材のK量はほぼ一定のままであった。¹³⁷Cs濃度の心材と辺材の比は、K含有量と有意に正の相関があった。これらの結果から、辺材から心材への¹³⁷Csの動きは心材と辺材のK含有率に関係している可能性が示唆される。

研究成果の概要(英文)：In the present study, radial variations in ¹³⁷Cs concentration were investigated in Japanese cedar after the accident. The ratio of heartwood to sapwood's ¹³⁷Cs concentration gradually increased, and it was around 2 in the second year after the accident.

The relationship of ¹³⁷Cs concentration and potassium (K) content was established. Trees with a higher moisture content and lower lightness value in heartwood tended to have higher ¹³⁷Cs concentrations in the heartwood. In these trees, the peak values of ¹³⁷Cs concentration were obtained at the heartwood and sapwood boundary, and ¹³⁷Cs concentration gradually decreased toward the pith side. By contrast, K content within the heartwood remained almost constant. The heartwood to sapwood ratio of ¹³⁷Cs concentration was significantly and positively correlated with that of K content. Based on these results, we suggest that ¹³⁷Cs movement from sapwood to heartwood might be related to the K content ratio of heartwood and sapwood.

研究分野：森林資源保全学

キーワード：放射性セシウム 森林性木本植物 スギ 樹幹木部 循環と蓄積 初期の影響

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に発生した東日本大震災にともない東京電力福島第一原子力発電所が事故を起こし、環境中に放射性物質が放出・飛散した。

その結果、莫大な量の放射性降下物により、福島県をはじめ、近隣県の森林地帯も汚染された。特に、放射性セシウムである ^{137}Cs は、半減期が30年と長い。このため、林業活動や木材、山菜、キノコなど林産物に与える影響は、長期間にわたることが懸念される。

2. 研究の目的

本研究は、「森林性木本植物の樹幹内における放射性セシウムの循環と蓄積実態の解明」を目的とした。研究対象とした主な木本植物は、福島県をはじめ、近隣県で最も重要な林業樹種であるスギとした。

3. 研究の方法

(1) 材料のスギは、事故を起こした東京電力福島第一原子力発電所から、南西方向に約130kmに位置する栃木県の県北の塩谷町に設置している宇都宮大学農学部附属演習林から採取した。材料は、2011年10月から2016年2月の期間において、間伐材と主伐材から採取した。

(2) 材料のスギの円盤を伐採木から採取し、樹皮、辺材、心材に区分した。

放射性セシウム濃度を測定するため、全乾状態でパウダ - 状に粉碎して、U-8 容器に充填した。

放射性セシウム濃度の測定は、Ge 半導体検出器で行った。

木部の含水率は、心材と辺材別に、浮力法で生材体積を求め、常法で算出した。

カリウム量は原子吸光法で測定した。

心材色は、色彩色差計 ($L^*a^*b^*$) で明度 (L^*) を測定した。

4. 研究成果

(1) 2011年11月～2016年2月の間の調査結果

演習林の経営管理では、保育間伐を林齢25年、利用間伐を林齢40年、そして主伐を林齢60年とした施業基準が設定されている。2011年11月以降にスギ立木を伐採し、そこから任意に選木した材料の ^{137}Cs 濃度の測定結果を、表1に示した。測定部位は、一番丸太の元口の地上高0.2～0.4m部位である。事故後の5年間の測定の結果、辺材と心材において、大きな変動はみられなかった。平均濃度をみると、保育間伐では、全ての調査地で心・辺材ともに45 Bq / kg dw 以下であった。また、利用間伐および主伐では、25 Bq / kg dw 以下の値を示した。一般食品の放射性物質の暫定規制値は100 Bq / kg dwである。演習林産の木材は、半減期2年の ^{134}Cs を考慮しても、十分低い値であると考えられる。また、主伐木は、小径木の保育間伐よりも、 ^{137}Cs 濃度が低い傾向があることは、直径(肥大成長量)の大きな立木ほど、汚染程度が低くなる傾向があることが考えられる。

表1 林分別のスギ材のCs 137 濃度の調査結果の概要

作業	林齢(年)	林班	採取年月	個体数	心材(H) (Bq/kg dw)		辺材(S) (Bq/kg dw)	
					平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
保育間伐	25	3	2011.11	7	16	7	21	4
	25	1	2012.11	20	43	27	39	28
	26	1	2013.10	9	37	8	14	5
	27	1	2014.10	7	32	8	19	7
	33	2	2016.02	80	43	26	20	11
利用間伐	45	4	2012.11	6	23	12	17	5
	40	4	2013.01	20	20	7	17	8
	40	7	2014.03	12	19	9	11	3
	40	5	2015.12	6	21	6	12	1
主伐	61	2	2011.12	5	4	2	10	3
	60	8	2013.04	7	16	4	15	6
	61	8	2013.10	10	17	9	14	13
	62	2	2014.11	6	21	9	17	13
	61	4	2015.01	20	18	12	12	5
	63	2	2015.10	6	23	19	14	10

つぎに、 ^{137}Cs 濃度における心材と辺材の比の年次変化を図1に示した。年次変化は年度で示した。2011年度の調査では、心材と辺材の ^{137}Cs 濃度の比は、1.0以下であったが、事故後1.5年を過ぎた調査結果で1.0以上の値を示し、徐々に高くなるように推移した。また、その比は、主伐は、保育間伐と利用間伐より低い値で推移する傾向があった。これは、樹木の直径と心材率に関係していると推察される。

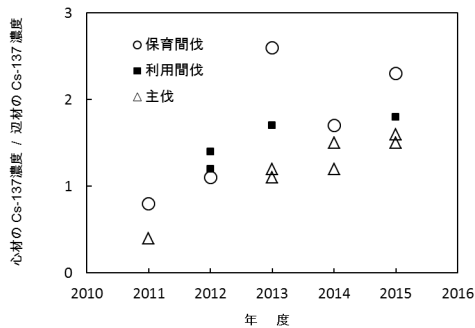


図1 137Cs 濃度における心材と辺材の比の年次変化

常緑樹のスギは、フォールアウトによる放射性降下物が立木の葉や樹皮に沈着、また経根吸収された放射性セシウムは、樹幹木部に吸収され、辺材から心材に容易に転流する性質がある。しかしながら、コナラとアカマツでは、スギと比べ、放射性セシウムが容易に辺材から心材へ転流しないことが報告されている (Ohashi et al, 2014)。このため、立木に吸収された放射性セシウムの木部における移動は、樹種特有の挙動を示すことが推察される。特に、スギの心材は、含水率が高い個体の存在、材色により視覚的に判断される赤心材や黒心材などの材色がカリウムと関係していることが知られている (Kubo and Ataka, 1998)。今後、放射性セシウムと同類のアルカリ金属であるカリウムとの関連性も併せて、木部へ移動した放射性セシウムの挙動に関する研究を進める必要があると考えられる。

(2) 立木における木部と樹皮の137Cs濃度

表1に示した3林分(林齢40年が2林分および林齢63年が1林分)における木部と樹皮のCs-137濃度を、図2に示した。樹皮には、外樹皮と内樹皮があるが、本調査では区分していない。木部の心材と辺材の137Cs濃度は、表1に示したとおり、大きな変動はなかった。しかしながら、樹皮の137Cs濃度は、同林齢である2014年3月のサンプルと比べ2015年12月では、半分以下の180 Bq/kg dwの値であった。2015年10月の林齢63年

のサンプルの樹皮も200 Bq/kg dwであった。

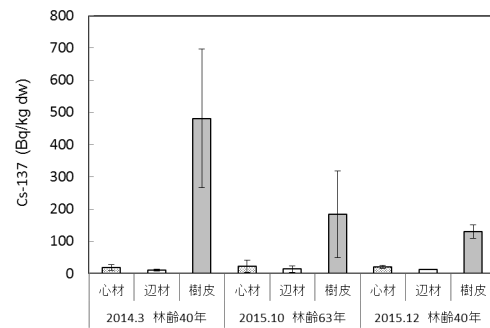


図2 異なる林齢における心材、辺材、樹皮別の137Cs濃度 エラーバー:標準偏差 (n(2014)=12, n(2015)=6)

樹皮に沈着した放射性セシウムは、樹幹流や樹皮の剥離・脱落により、樹木から放出される。また、一部の放射性セシウムはイオンの形態で樹皮を経由して木部に移動したと考えられる。現在、樹皮に存在する放射性セシウムは、事故の初期段階から物理的に樹皮に結合・固定しているものが主体で、それ以外に、根吸収由来のものが存在する可能性も考えられる。樹皮の137Cs濃度が、1年9ヵ月で半減以下になった原因は、この期間内での樹皮の機械的な剥離・脱落の可能性が高いことが推察される。さらに、事故3年以上の時間が過ぎると、樹皮の137Cs濃度は低下するが、木部では大きな変動がみられなかったことから、樹皮の濃度から、木部の濃度を推定することは困難であると考えられる。また、樹皮に沈着した放射性セシウムのうちイオン化できる化学形態のものは、事故の初期段階で樹幹木部に吸収し、移行が始まっていた可能性が推察される。表1で示すとおり、少なくとも事故後7ヵ月後において、辺材から心材にかけて、137Csの存在が確認された。

(3) 樹高方向の木部と樹皮の137Cs濃度の推移

樹高方向の木部と樹皮の137Cs濃度を、図3に示した。樹皮をみると、地上高0.3m~7.2mの間は、ほぼ同様な値で推移していた

が、11.2mでは濃度が20%程度高い値を示した。一方、木部をみると、地上高にかかわらず、心・辺材ともに樹皮と比べ、¹³⁷Cs濃度はかなり低い値であった。しかしながら、一番丸太の元口である地上高0.3mでは、心・辺材ともに他の地上高よりも、多少高い値を示した。このため、表1の測定値は、樹幹木部に吸収された放射性セシウム濃度を、過少評価するものでないことが推察された。

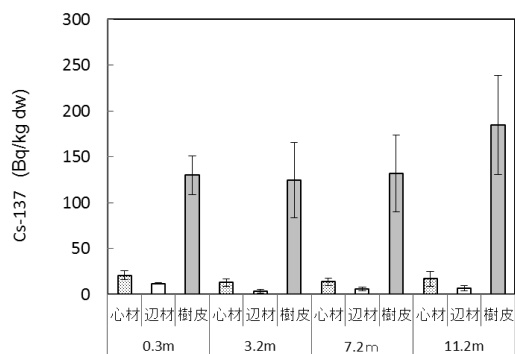


図3 林齢40年(2015年12月調査)の樹高方向の¹³⁷Cs濃度の分布

エラーバー：標準偏差 (n = 6)

(4) 半径方向の¹³⁷Cs濃度の推移

まず、事故後1年10ヶ月後の2013年1月(「初期段階」という。)と事故後4年9ヶ月の2015年12月(「次の段階」という。)の林齢40年のスギについて、¹³⁷Cs濃度の半径方向の推移を図4に示した。心材は3等分(髄に近い方からH1, H2, H3)、辺材は半径方向に2等分(心材に近い方からS1, S2)の計5区分割した。1区分は、半径方向で2~3cmであった。サンプル数は2013年で20個体、2015年で6個体であった。樹体に沈着した¹³⁷Csは、樹皮や葉を經由して、また土壌中からは根を經由して、樹幹木部に吸収し移動する。¹³⁷Cs濃度は、「初期段階」では、辺材から心材に向けて増加し、辺材と隣接する心材部で最も高い値を示し、その後髄に向けて減少した。一方、「初期段階」の2年11ヶ月後の「次の段階」の¹³⁷Cs濃度は、辺材で低く心材で高い値を示し、心材の3区分では、

ほぼ同様な値を示した。辺材に吸収された¹³⁷Csは、半径方向の移動として、木部の放射組織を經由し、心材へ移行すると推察される。

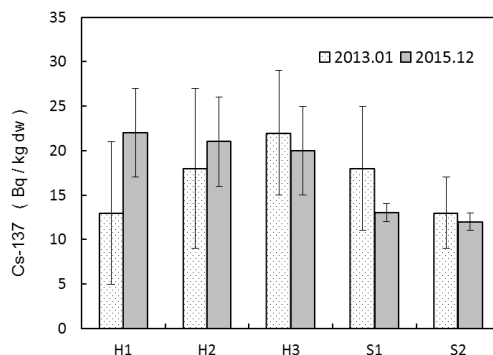


図4 調査年の異なる林齢40年の半径方向の¹³⁷Cs濃度の分布

エラーバー：標準偏差 (n(2013) = 20, n(2015) = 6)

つぎに、同一林小班において2014年11月(林齢62年)と2015年10月(林齢63年)の2年にわたり調査した林分について、樹幹木部の¹³⁷Cs濃度の半径方向の推移を図5に示した。心材は5等分(髄に近い方からH1, H2, H3, H4, H5)、辺材は半径方向に2等分(心材に近い方からS1, S2)の計7区分割した。両年のサンプルともに同様な推移パターンを示した。辺材から心材に向かい濃度は増加し、辺材と隣接する心材部(H5)が最も高い値を示し、髄に向かうに伴い減少する傾向が示された。この分布パターンは、図5で示した林齢40年の「初期段階」のものと類似していた。¹³⁷Csの移動速度により濃度の半径方向の分布のパターンは決定され、それは直径の長さに影響されることが示唆された。このため、事故後4年を過ぎた林齢40年と林齢63年の¹³⁷Cs濃度分布の半径方向のパターンは異なり、直径の短い(心材面積の少ない)前者では心材の濃度はほぼ一定の値になっているが、一方、直径の長い(心材面積の大きい)後者では、心材の髄周辺に向かうにしたがい低い値を示した。このことから、スギ木部に吸収された¹³⁷Csの半径方向

の移動は、髄に向かう一方であり、一定の速度で移動している可能性があることが推察される。

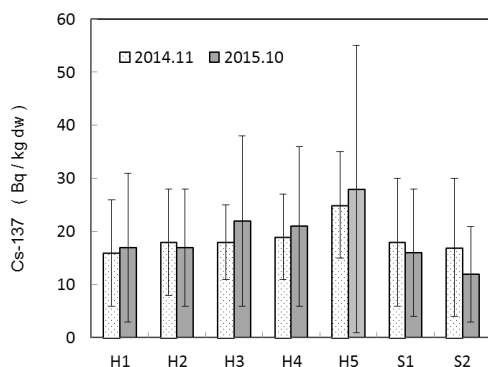


図5 同一小班(林齢62生と63年生:2014年11月と2015年10月調査)における半径方向の¹³⁷Cs濃度の分布

エラーバー:標準偏差 (n = 6)

片山ら(1986)は、年輪数115の京都芦生産のスギにおいて、¹³⁷Cs濃度が約80年間一定の値を示したことを報告している。本調査における林齢60年以上のスギ心材では、¹³⁷Cs濃度は髄に向かう方向に移動しており、時間が過ぎるとともに一定の値を達することが推察される。

(5) スギ樹幹木部における¹³⁷Csとカリウムの関係

スギの心材にける基本的な性質について、一般的に、明度(L*値)(色が暗いほど値が低く、明るいほど値が高い)とカリウム量との間に負の相関がある。また、含水率とカリウム量と間に正の相関があるといわれています。このため、カリウムと同じアルカル金属であるセシウム、ここでは放射性セシウムとカリウムの木部内における挙動を検討する必要があります。

同一林分に降下した放射性セシウムは、均一でなく、不規則に分布し、このため局所的に濃度の高いスポットや低いスポットが存在することが推察される。

成木では、福島事故以前に木部の形成に

ともないカリウムは経根吸収により樹体内に吸収されている。このため、樹体に沈着する放射性セシウム量はカリウムの存在に無関係である。したがって、樹幹木部に吸収された放射性セシウム濃度とカリウム量の関係を単純に検討できないと考えられる。

そこで、放射性セシウム濃度の心材と辺材の比とカリウムのその比の関係を調べた。その結果、両者には有意な正の相関が認められた。

以上の結果を踏まえ、放射性セシウムの辺材から心材への移動には、カリウム量の心材と辺材の濃度勾配が影響していることが示唆された。

<引用文献>

- Kuroda K., Kagawa A. and Tonosaki M. (2013) Radiocesium concentrations in the bark, sapwood and heartwood of three tree species collected at Fukushima forests half a year after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 122: 37-42.
- Ohashi S., Okada N., Tanaka A., Nakai W. and Takano S. (2014) Radial and vertical distributions of radiocesium in tree stems of *Pinus densiflora* and *Quercus serrate* 1.5 y after the Fukushima nuclear disaster. *Journal of Environmental Radioactivity* 134: 54-60.
- Ogawa H., Hirano Y., Igei S., Yokota K., Arai S., Ito H., Kumata A., Yoshida H. (2016) Changes in the distribution of radiocesium in the wood of Japanese cedar trees from 2011 to 2013. *Journal of Environmental Radioactivity* 161: 51-57.
- Wang W., Hanai Y., Takenaka C., Tomioka R., Iizuka K. and Ozawa H.

(2016) Cesium absorption through bark of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*). Journal of Forest Research: DOI 10.1007/s10310-016-0534-5

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

飯塚 和也 他、森林・樹木における放射性セシウムの挙動() 宇都宮大学農学部演習林報告、査読無、2016、59-64

<http://hdl.handle.net/10241/10362>

飯塚 和也 他、森林・樹木における放射性セシウムの挙動()、宇都宮大学農学部演習林報告、査読無、2015、33-36

<http://hdl.handle.net/10241/10342>

飯塚 和也 他、森林・樹木における放射性セシウムの挙動() 宇都宮大学農学部演習林報告、査読無、2014、91-93

<http://hdl.handle.net/10241/9568>

[学会発表](計 11件)

飯塚 和也 他、スギの樹幹木部における放射性セシウム濃度の分布パターン、日本森林学会 128 回、2017.3、鹿児島大学(鹿児島県、鹿児島市)

山崎 丈生、飯塚 和也 他、スギにおける立木位置と樹幹木部の放射性セシウムとの関係、日本森林学会 128 回、2017.3、鹿児島大学(鹿児島県、鹿児島市)

飯塚 和也 他、スギ若齢木に吸収された放射性セシウムの樹体内の濃度分布、日本植物学会 80 回、2016.9、沖縄コンベンションセンター(沖縄県、宜野湾市)

飯塚 和也 他、異なる線量率地域に生育したスギ樹幹木部における ^{137}Cs 濃度の分布、アイソトープ・放射線研究発表会 53 回、2016.7、東京大学(東京都)

飯塚 和也 他、福島原発事故後 4 年 8 ヶ月におけるスギの木部半径方向の ^{137}Cs 濃度の特徴、日本木材学会 66 回、2017.3、

名古屋大学(愛知県、名古屋市)

飯塚 和也 他、栃木県塩谷町におけるスギとコナラ材に関する ^{137}Cs 汚染状況の年次変化、日本森林学会 127 回、2016.3、日本大学(神奈川県、藤沢市)

飯塚 和也 他、スギ樹体内に吸収された放射性セシウムとカリウムの挙動の関係、日本植物学会 79 回、2015.9、トキメッセ(新潟県、新潟市)

飯塚 和也 他、スギの植栽による林業的除染の可能性の模索 - 幼齢なスギに経根吸収された ^{137}Cs の実態調査 -、アイソトープ・放射線研究発表会 52 回、2015.7、東京大学(東京都)

飯塚 和也 他、スギにおける幼齢木のカリウムと放射性カリウムの挙動および成木心材のカリウムの分布、日本森林学会 126 回、2015.3、北海道大学(北海道、札幌市)

飯塚 和也 他、Relationship between radioactivity cesium concentration and color of heartwood in sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) affected by fallout due to the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident、IAWPS2015、2015.3、Tower Hall Funabori (Tokyo)

飯塚 和也 他、スギとヒノキの木部における放射線セシウムの分布の 2,3 の特徴、アイソトープ・放射線研究発表会 51 回、2014.7、東京大学(東京都)

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯塚 和也 (IIZUKA, Kazuya)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号: 20344898