

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00635

研究課題名(和文) 樹木内の物質循環に基づく放射性セシウムの木部への集積・蓄積機構の解明

研究課題名(英文) Elucidation of Accumulation Mechanism of Radiocesium in Stem wood Based on Material Circulation in 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) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、主に栃木県県北で実施された。スギについて、Cs-137濃度の樹幹内変動、特に半径方向の移動を時系列に調査した結果、Cs-137は心材に集積し、拡散による木部内の移動速度は、樹体に依存していた。また、作出したスギ10クロン各3個体を汚染土壌に単木混合方式で植栽した結果、枝葉の濃度はクロンよりも土壌の汚染度の影響を受けていた。一方、シイタケ用原木であるコナラでは、Cs-137は、心材に集積する傾向はなく、樹皮、木部(心・辺材)の濃度は、2016年以降は大きな変化が観察されなかった。採取した原木による露地栽培のシイタケ子実体のCs-137を測定し、食用としての可否を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における調査は、主に栃木県県北で実施された。

スギは、建築用や木質バイオマス用と多様な用途があり、日本において重要な造林樹種である。スギ樹幹木部の心材は、Cs-137を集積・蓄積する傾向があり、これはカリウム含有量と連動している。心材にCs-137が存在することで、芯持ち柱として使用される場合、木材の内部にCs-137を封印することになり、外部に放出される放射線がかなり低減される。このことは、使用に際しての安全性の担保になると考えられる。

現地のコナラで露地栽培された生シイタケのCs-137濃度は、事故後10年において、全てのサンプルで規制値100Bq/kg以下を示した。

研究成果の概要(英文)：This study was conducted mainly in the northern part of Tochigi Prefecture.

As a result of examining the variation of Cs-137 concentration in the stem, especially the radial movement of the Japanese cedar, Cs-137 accumulated in the heartwood, and the movement speed in the xylem by the diffusion depended on the tree body. In addition, as a result of planting each 3 individuals of 10 clones of cedar produced in the polluted soil by the single tree mixing method, the concentration of branches and leaves was affected by the pollution level of the soil rather than the clone.

On the other hand, in *Quercus serrata* (Japanese oak), the original wood for shiitake, Cs-137 did not tend to accumulate in heartwood, and the concentrations of bark and wood (core and sapwood) did not change significantly after 2016. The authors measured Cs-137 of fruiting body of shiitake cultivated in open field using collected raw wood, and evaluated its usability as food.

研究分野：森林資源保全学

キーワード：放射性セシウム 樹木 物質循環 集積・蓄積 辺材 心材

1. 研究開始当初の背景

(1) 森林を構成する樹木の樹冠は、表面積が大きく大気中の汚染物質を捕集しやすい事が知られている。放射性物質の場合も同様で、ガスや粒子として樹冠に沈着することに加えて、雨とともに降下する放射性物質の一部も樹冠に捉えられる。森林生態系において、放射性降下物の中で半減期の長い¹³⁷Csは、事故10年後でも80%程が残存している。

(2) 我が国の森林・林業および木材産業にとって、針葉樹であるスギは植林面積や蓄積が最も多く、重要な樹種のひとつである。また、広葉樹であるコナラは、特用林産物であるシイタケの原木栽培用として重要な樹種です。この樹種を対象として、樹体内の放射性セシウムの移動(転流)を把握し、木部への集積・蓄積機構を明らかにすることで、将来の木材の利用の適合性を予想すること必要である。

2. 研究の目的

(1) 2011年3月に発生した東日本大地震に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、大量の放射性核種が環境に放出・飛散した。福島県の南側に隣接する栃木県においても、放射性降下物による森林汚染が広範囲に広がった。

本研究では、原発事故後10年目に向か時期の数年間の調査の結果である。調査対象の樹種は、建材用材や木質バイオマスエネルギー - に使用するスギ、ならびにシイタケ用原木となるコナラとそこから発生したシイタケ子実体である。

(2) 研究の目的は、森林生態系における物質循環に基づき放射性セシウムの樹幹木部の蓄積機構を解明することである。事故初期は樹体に沈着した放射性セシウムは葉、樹皮、また経根吸収され、ならびに事故後に植栽された造林木は経根吸収が行われている。樹幹木部に吸収された放射性セシウムは、樹高(垂直)方向と半径(水平)方向に移動している。半径方向では放射性セシウムが辺材から心材へ移動し、そこで蓄積されると考えられ、メカニズムは未だ不明であるため、その機構の解明を進める。

3. 研究の方法

調査地および材料収集は、主に栃木県北部の塩谷町船生地区である。当地は、空間線量率が0.23a μ Sv/h以上である汚染状況充填調査地域に指定された。

採取したサンプルの調製は、基本的に全乾状況下でパウダ - 状に粉碎し、U-8容器に充填した。¹³⁷Cs放射能は、宇都宮大学バイオサイエンス教育研究センター - に設置してあるGe半導体検出器(SEIKO EG&G, ORTEC)により測定した。

4. 研究成果

(1) スギ樹幹木部の¹³⁷Cs放射能(Bq/kg dw)の経時変化に関する調査をした。得られた結果は、

以下のとおりである。

本調査地におけるスギ樹幹木部における ^{137}Cs は、林齢（樹体サイズ）により 3 区分されたグル - プ間内の ^{137}Cs 放射能の大小は存在したが、事故後 2 年目と事故後 5 年以降と比べると、辺材全体の放射能は低下したが、心材全体では顕著な増減は観察されなかった。このため、放射能の比 [心材/辺材] は増加し、2~3 になった。

心材における半径方向の ^{137}Cs は、拡散により領域内全体に進行し、年月の経過に伴い放射能が均一の平衡状態になり、その後、髄周辺部位の放射能が高くなる傾向が示唆された。さらに、心材の半径方向において、 ^{137}Cs 放射能が平衡状態に至る時間は、林齢に関係なく、樹幹の直径（心材面積）に依存しており、直径が大きい部位は、小さい部位と比べ、全領域に ^{137}Cs が均一（平衡状態）に拡散するまでに時間を要する（図-1）。以上より、 ^{137}Cs 放射能が平衡状態に至る時間は、樹体サイズに依存していることが推察された。

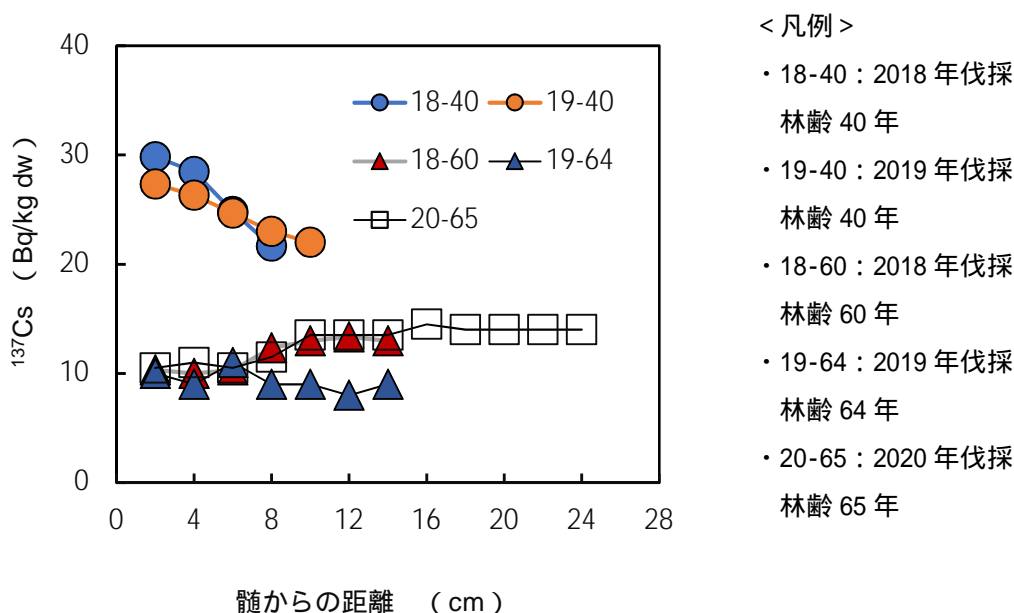


図-1 2018年～2020年に調査したスギ樹幹の心材における半径方向の ^{137}Cs 放射能の推移 注) 測定は地上高 0.2～0.4 部位、サンプル数は 2～6 個体

心材における半径方向の ^{137}Cs は、拡散により領域全体に拡がり、年月の経過に伴い放射能は平衡状態になり、その後、髄周辺部の放射能が高くなる傾向がみられた。このことは、心材と辺材のカリウム含有量の差異が要因のひとつであると推察されている。

林齢 12 年のスギにおいて、経根吸収と推察され樹体内で検出された ^{137}Cs 放射能は、雄花で生成される花粉嚢が最も高い値を示した。また、樹幹において、樹皮の放射能を 1.0 とすると、樹皮 (1.0)、心材 (平均値 0.7)、辺材 (平均値 0.3) の順で高い値を示した (図-2)。また、樹皮の放射能から木部の放射能が推定できる可能性が示唆された。

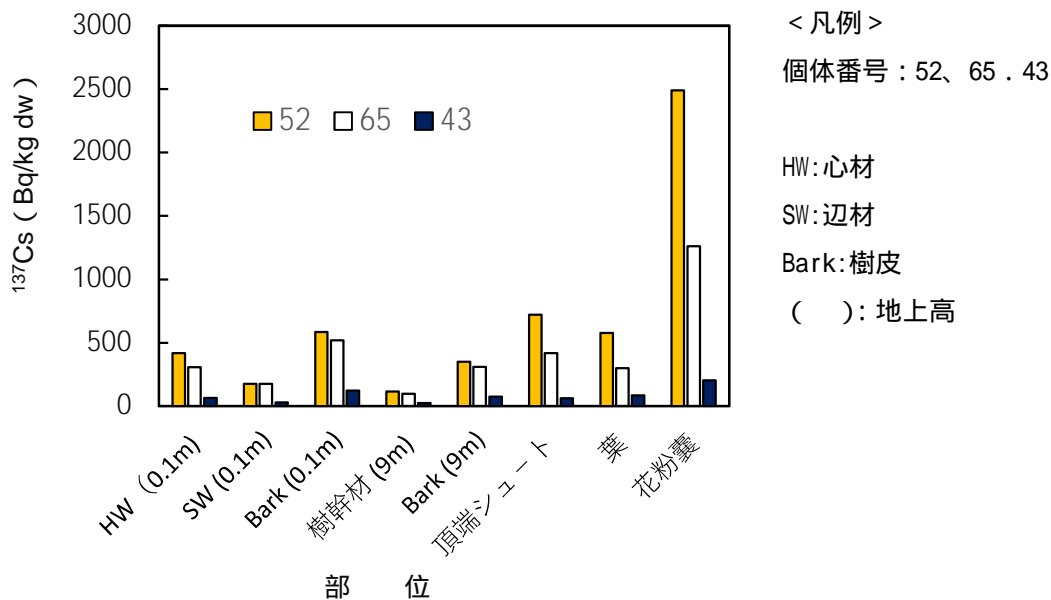


図-2 林齢 12 年の樹体内における ^{137}Cs 放射能の分布

(2) スギクロ - ンを供試した ^{137}Cs の経根吸収に関する調査した。得られた結果は、以下のとおりである。

挿し木より作出した 10 クロ - ン、1 クロ - ン当たり 3 個体を供試し、2016 年 5 月に汚染林地に単木混交方式で植栽して試験地を設定した。植栽後 3 成長期を経たスギ幼齢木の枝葉および植栽木周辺の表層土壌の ^{137}Cs 放射能を測定した。

若齢なスギの枝葉の ^{137}Cs 放射能は、クロ - ンによる経根吸収能よりも土壌表層の汚染程度に影響を受けることが推察された。

微地形にも影響されると可能性がある土壌表層 (深度 5cm) の ^{137}Cs 放射能は、土壌の重量含水率との間に正の相関がある傾向がみられた。このことから、表層における水分環境等が、 ^{137}Cs の存在に影響を及ぼしていることが推察された。

(3) 森林土壌に関する調査した。得られた結果は、以下のとおりである。

2011 年 2 月の皆伐後、裸地の状態のまま 3 月の福島原発由来の放射性降下物により汚染された小班に、5 月にスギを植栽した。この林地を対象に事故 3 年半後の 2014 年 9 月と事故後 10 年 1 ヶ月後の 2021 年 4 月に表層土壌 (A 層) の 30 cm までの ^{137}Cs 放射能 (Bq/kg dw) を 5cm 単位で測定した。両林地ともに、深度 5cm までに ^{137}Cs 放射能の 85 ~ 90% が存在し、10 cm までには 90 ~ 95% が検知された。以上より、森林土壌に降下した ^{137}Cs は、事故 10 年後においても、土壌表層 5cm に 90% 程度が留まり、垂直方向にほとんど移動していないことが明らかになった。

事故後 10 年 1 ヶ月の 4 月に、林齢 110 年と 40 年のヒノキ林、10 年 (事故当時裸地) のスギ林の森林土壌の表層土壌の ^{137}Cs 放射能は、放射能の平均値の高い順は、スギ林齢 10 年、

ヒノキ林齢 40 年、ヒノキ林齢 110 年であった。ヒノキ林齢 110 年の森林では、事故当時の放射性降下物が樹冠や樹皮表面に付着・沈着したため、土壌への降下量が他の 2 林地と比べ、少なかったことが推察される。

(4) コナラのシイタケ用原木および露地原木栽培された子実体の ^{137}Cs の動態に関する調査した。得られた結果は、以下のとおりである。

2016 年 12 年から 2020 年 12 月の間の毎年採取したシイタケ用原木のコナラ立木の地上高 0.2 m 部位の樹皮、辺材、心材の ^{137}Cs 放射能は、それぞれほぼ一定の類似した数値を示し、平均で 200、20、10 Bq/kg dw の値が検出された。また、2020 年 12 月に採取したシイタケ用原木(材長 90cm, 直径 10cm)の樹皮、辺材、心材の ^{137}Cs 放射能も、上記と同様な値が得られた。

コナラは上記 1 で示したスギと異なり、 ^{137}Cs 放射能は辺材が心材よりも高い値を示す傾向がある要因のひとつは、カリウム含有量が関与していることが推察された。コナラのカリウム含有量は、スギのそれと異なり、辺材と心材との間に有意差が見られない傾向があった。このため、心材に ^{137}Cs が集積しない可能性がある。

露地栽培により得られたシイタケ子実体(含水率を 80%に調整した生シイタケ)の ^{137}Cs 放射能について、2015 年と 2017 年に採取した子実体には、規制値の 100Bq/kg を超えたサンプルが存在した。しかしながら、事故 10 年後の 2021 年 4 月に採取した子実体のサンプル(10 サンプル、1 サンプル当たり子実体 2~5 個)は、全て規制値の以下であり、平均 61 Bq/kg(標準偏差 ± 13)であった。

<引用文献>

飯塚 ほか 6 名、森林・樹木における放射性セシウムの動態()宇都宮大学農学部演習林報告、54、2018、39-42

飯塚 ほか 5 名、森林・樹木における放射性セシウムの動態()宇都宮大学農学部演習林報告、56、2020、83-86

飯塚 ほか 5 名、森林・樹木における放射性セシウムの動態()宇都宮大学農学部演習林報告、57、2021、57-59

IIZUKA K. ほか 7 名, Translocation of ^{137}Cs in the Woody Parts of Sugi (*Cyptomeria japonica*), Radiocesium Dynamics in a Japanese Forest Ecosystem, Springer, 2019, 119-128

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Wang W., Hanao Y., Takanaka C., Tomioka R., Iizuka K.	4. 巻 323
2. 論文標題 Translocation of cesium in the branches of Japanese cedar (<i>Cryptomeria japonica</i>) and Konara oak (<i>Quercus serrata</i>)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry	6. 最初と最後の頁 959-964
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10967-019-06996-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 清水奈名子・手塚郁夫・飯塚和也	4. 巻 48
2. 論文標題 栃木県北部の宅地敷地内における土壤中の放射性セシウム - 2018年12月の調査結果報告 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 宇都宮大学国際学部研究論集	6. 最初と最後の頁 39-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 飯塚和也・大島潤一・逢沢峰昭・大久保達弘・石栗 太・横田信	4. 巻 56
2. 論文標題 森林・樹木における放射性セシウムの動態 () - 福島原発事故後7年のわたるスギ樹幹木の137Csの半径方向の経年変化 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 宇都宮大学農学部演習林報告	6. 最初と最後の頁 83-86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 飯塚和也、大島潤一	4. 巻 355
2. 論文標題 宇都宮大学演習林のスギ材におけるCs-137濃度に関するモニタリング	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 水利科学	6. 最初と最後の頁 13-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 飯塚和也・宮本尚子・大島潤一・逢沢峰昭・大久保達弘・石栗 太・横田信三	4. 巻 54
2. 論文標題 森林・樹木における放射性セシウムの動態() - スギの心材の特性および ¹³⁷ Csの動態 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 宇都宮大学農学部演習林報告	6. 最初と最後の頁 39-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iizuka Kazuya, Toya Narumi, Ohshima Jyunichi, Ishiguri Futoshi, Miyamoto Naoko, Aizawa Mineaki, Ohkubo Tatsuhiro, Takenaka Chisato, Yokota Shinso	4. 巻 64
2. 論文標題 Relationship between ¹³⁷ Cs concentration and potassium content in stem wood of Japanese cedar (<i>Cryptomeria japonica</i>)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Wood Science	6. 最初と最後の頁 59~64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10086-017-1673-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 飯塚和也・大島潤一・石栗 太・逢沢峰昭・大久保達弘・横田信三
2. 発表標題 スギ樹幹木部における放射性セシウム、安定セシウム、およびカルウムの動き
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関本 均・篠原友里・関口景子・平田 慶・飯塚和也
2. 発表標題 スギ苗の放射性Cs吸収に及ぼす硝化の影響
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中島 芳・深澤瑛一・逢沢峰昭・飯塚和也・大久保達弘
2. 発表標題 福島原発事故8年後の栃木県高原山におけるブナ樹体内の放射性セシウム分布
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深澤瑛一・逢沢峰昭・飯塚和也・大久保達弘
2. 発表標題 福島原発事故後9年間のブナ林における落葉の放射性セシウムの空間分布
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大久保達弘・斎藤智之・深澤瑛一・飯塚和也・逢沢峰昭
2. 発表標題 栃木県高原山ブナ林林床のミヤコザサ群落の放射性セシウム動態
3. 学会等名 第131回日本森林学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯塚和也、瀬戸研祐、大島潤一、宮本尚子、逢沢峰昭、大久保達彦
2. 発表標題 異なる林齢のスギ樹幹木部におけるCs-137濃度の分布パターンの共通性
3. 学会等名 第130回日本森林学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚和也、大島潤一、石栗 太、横田信三
2. 発表標題 スギ樹幹木部における137Cs濃度の分布パタ - ンの経年変化とサイズ依存性
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯塚和也、大竹勇希、大島潤一、石栗 太、横田信三
2. 発表標題 福島原発事故後6年間のスギ樹幹木部における137Cs濃度の分布パタ - ンの経年変化
3. 学会等名 第68回日本木材学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 飯塚和也、安田菜生、久保田優美、逢沢峰昭、大久保達弘
2. 発表標題 原発事故5年を過ぎたスギ木部ならびにコナラ原木シイタケに関する137Cs濃度
3. 学会等名 第129回日本森林学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Takenaka C., Hijii N., Kaneko N., Ohkubo T., Iizuka K., et al.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 234
3. 書名 Radiocesium Dynamics in a Japanese Forest Ecosystem	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------