

研究資料

森林除染に資するための木本種への放射性物質の移行係数把握

福山 文子*、竹中 千里**

目 次

要 旨	
I はじめに	40
II 調査方法	40
III 結果	41
IV 考察	44
V おわりに	45
VI 引用文献	45

要 旨

放射性物質に汚染された森林土壌の樹木植栽による長期的な浄化、ファイトレメディエーションを行う際、その除染効率を高めるために樹木への放射性物質の吸収移行の程度を苗畑および林地で移行係数を用いて評価した。供試した樹種はスギ、アカマツ、コナラおよびコシアブラの4種である。林地の放射性物質の移行係数は苗畑より高く、樹種別ではコシアブラが最も高く、ついでコナラ、アカマツであり、スギは最も低かった。これら4種の地上部バイオマス量が大きく異なったので、植栽木へ移行される放射性物質の量を考慮してバイオマス量当たりの移行係数を算出したところ、4樹種間に統計的有意差は認められなかった。

キーワード： 移行係数、ファイトレメディエーション、バイオマス

受付日 令和元年8月30日

受理日 令和元年10月28日

*現福島県農林水産部森林保全課、**名古屋大学大学院生命農学研究科

課題名 森林除染に資するための木本種への放射性物質の移行係数把握

(県単課題 平成26～29年度)

I はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に起因する津波により東京電力福島第一原子力発電所事故が発生した。この事故により大量の放射性セシウムが広範囲にわたり拡散し、福島県内の森林も汚染された。森林に沈着した放射性セシウムは、事故後、リター層や表層土壌に多く確認されたが⁵⁾、森林からの流出は少ないことが報告されており²⁾、長年にわたり森林内に放射性セシウムが残存すると考えられる。

汚染された森林土壌に対しては樹木を植栽し、長期間をかけて土中の放射性セシウムを吸収させて浄化する方法、ファイトレメディエーションが提案されている。しかしながら、樹種による吸収能力の違いなど解明すべき点が多々残されている。そこで、本研究では、福島県内の苗畑および林地に放射性セシウムに汚染されていない苗木（無汚染苗木）を植栽し、放射性セシウムの苗木への移行の程度を移行係数とバイオマス量を用いて4種の樹木で比較検討した。これらの結果から土壌除染能力の高い樹種について考察した。

II 調査方法

福島県郡山市の福島県林業研究センター内の苗畑と福島県伊達郡川俣町の落葉広葉樹林の林地において、福島県外産の無汚染苗木を用いて調査を実施した。

苗畑では、機械で深さ20cmまで耕耘した箇所と耕耘していない箇所に分け、それぞれの箇所にスギ（耕耘区；8本、非耕耘区；8本）、アカマツ（耕耘区；8本、非耕耘区；8本）、コナラ（耕耘区；12本、非耕耘区；8本）、コシアブラ（耕耘区；8本、非耕耘区；8本）を植栽した。スギとアカマツは2012年4月に、コナラとコシアブラは2013年4月に植栽した。林地には、苗畑と同様の樹種を用い、スギ（15本）、アカマツ（15本）、コナラ（15本）、コシアブラ（20本）を植栽した。いずれの樹種も2015年11月に植栽したが、スギおよびアカマツについては、冬期に野生動物による食害が発生したため、2016年4月にそれぞれ、15本ずつ補植した。

土壌から植物への¹³⁷Csの移行を把握するために、土壌円筒を用いて表層0～5cmの土壌を採取した。苗畑の耕耘区で10箇所、非耕耘区で8箇所、林地では各植栽木の地際周辺の3か所から土壌サンプルを採取した。これらの土壌サンプルを風乾させた後、2mmメッシュのふるいにかけて、105℃で24時間以上乾燥させた。また、植栽木については苗畑で2016年9月、林地では2017年9月に地上部を採取し、サンプルに付着した埃などをブラシで軽く落とした後、葉、枝、樹皮、材に分け、それぞれを粉碎後、80℃で24時間以上乾燥させ、乾燥重を計測した。

乾燥させた土壌および植栽木の各サンプルはU8容器に密閉し、ゲルマニウム半導体検出器を用いて¹³⁷Cs濃度を求めた。なお、¹³⁷Cs濃度は採取した日に減衰補正した。

土壌から植物への¹³⁷Csの移行係数を求める場合、通常は土壌の重量あたりの¹³⁷Cs濃度が用いられている。しかし、森林土壌においては、土壌中の粒子の密度や根の分布等が畑と比べて不均一であるため、単位面積あたりの濃度を用いて算出する移行係数が提案されている⁴⁾⁶⁾。本研究では、林地植栽試験を含むため、後者を用いた。

$$\text{移行係数 (m}^2/\text{kg)} = \text{植物体の } ^{137}\text{Cs 濃度 (Bq/kg)} / \text{土壌の } ^{137}\text{Cs 濃度 (Bq/m}^2\text{)}$$

バイオマス量の異なる樹種間での移行係数の比較にあたっては、まず部位別に計測した

^{137}Cs 濃度に各部位のバイオマス量を乗じて、その合計値で地上部の ^{137}Cs 総量を求め、この総量を全バイオマス量で割ることにより地上部全体の ^{137}Cs 濃度を算出した。得られた ^{137}Cs 濃度と土壌の ^{137}Cs 濃度の比を求め地上部移行係数とした。

$$\text{地上部移行係数 (m}^2\text{/kg)} \\ = [\Sigma (\text{各部位の } ^{137}\text{Cs 濃度} \times \text{各部位のバイオマス量}) / \text{全バイオマス量}] / \text{土壌の } ^{137}\text{Cs 濃度}$$

III 結果

表一 1 には苗畑と林地試験区の土壌における ^{137}Cs 濃度を示す。林地は苗畑に比べはるかに高い ^{137}Cs 濃度であった。苗畑では耕耘区と非耕耘区で異なり、非耕耘区はおよそ 2 倍の ^{137}Cs 濃度であった。

表一 1 苗畑と林地における土壌（表層 0～5 cm）の ^{137}Cs 濃度

	苗畑（耕耘）	苗畑（非耕耘）	林地
土壌の ^{137}Cs 濃度 (Bq / m ²)	44, 047	89, 441	179, 847

各試験地における移行係数を表一 2 に示す。生育期間は苗畑のスギとアカマツでは 4 年、苗畑のコナラとコシアブラでは 3 年、林地では 4 樹種とも 2 年である。 ^{137}Cs 濃度が苗畑の耕耘区では 101 サンプル中 41 サンプル、非耕耘区では 86 サンプル中 38 サンプルと大部分が検出下限値以下（10Bq/kg 以下）を示し、これらは移行係数算出では除外した。なお、林地のサンプルはすべて検出下限値を上回っていた。

表一 2 で植栽木すべての平均値を算出し、試験区、部位別に移行係数を比較すると、苗畑では耕耘区、非耕耘区ともに樹皮が最も高く、枝あるいは材が最も低い数値を示し、耕耘の有無の差は顕著ではなかった。一方、林地では葉が 0.0062 と最も高く、材が 0.0014 と最低値を示した。苗畑と林地を比較すると、苗畑の移行係数は、小数点第 4 位から第 5 位の値を示しているが、林地では生育期間が苗畑よりも短いにも関わらず、いずれの部位でも小数点第 3 位の値を示した。

表一 2 苗畑と林地の部位別移行係数 (m²/kg)

	葉	枝	樹皮	材
苗畑（耕耘区）	0.00022	0.00017	0.00029	0.00019
苗畑（非耕耘区）	0.00022	0.00007	0.00058	0.00006
林地	0.0062	0.0030	0.0052	0.0014

苗畑では検出下限値以下のサンプルが多かったので、地上部移行係数の樹種間比較は林地のみで行うこととした。

図一 1 に示すように、林地の樹種別地上部移行係数はコシアブラが最も高く、ついでコナラ、アカマツで、スギが最も低かった。これら樹種間の差異についてクラスカルウォリ

ス検定を行ったところ、スギとコナラおよびコシアブラの差は5%水準で有意であった。

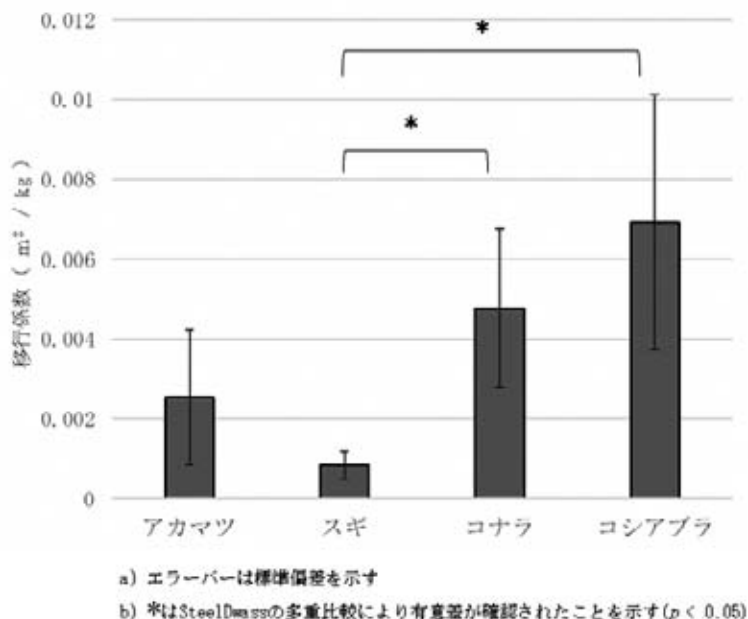


図-1 林地の樹種別地上部移行係数

図-2には林地の樹種別バイオマス量を示した。スギが最大で、コナラ、アカマツ、コシアブラの順で小さくなった。スギとコシアブラの差異は5%水準で有意であった。

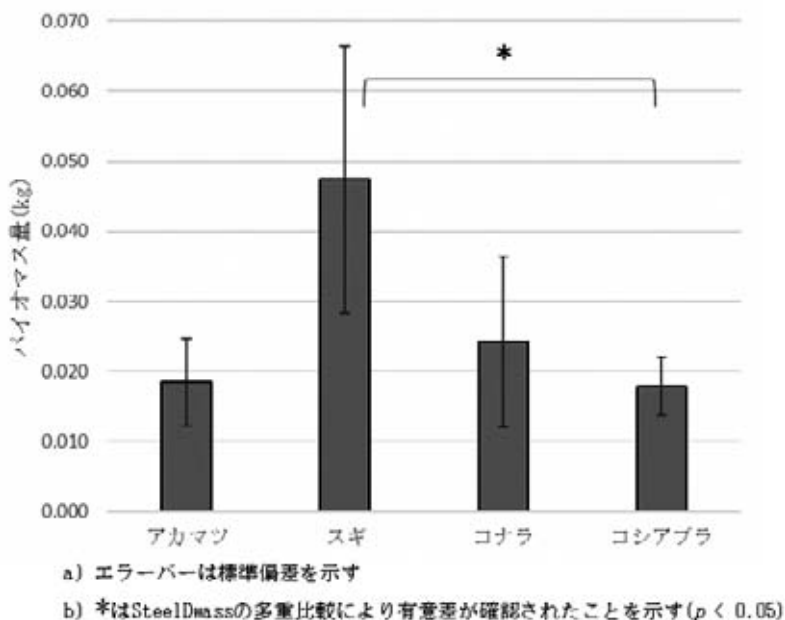
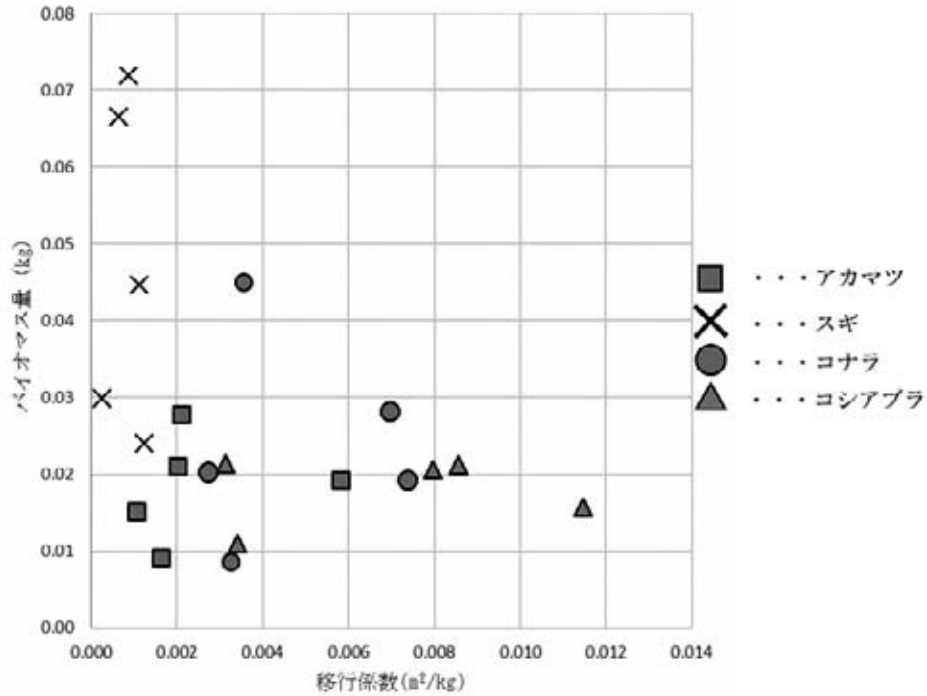


図-2 林地の樹種別バイオマス量

地上部のバイオマス量にかなりの差異がみられたので、地上部移行係数とバイオマス量との関係を図-3に示した。最大のバイオマス量を示したスギは、バイオマス量のばらつきは大きいですが、地上部移行係数は低い数値に収れんしていた。一方、コシアブラはバイオ

マス量のばらつきは小さいが、地上部移行係数に大きなばらつきがみられた。アカマツ、コナラはほぼ中間の散布を示した。地上部移行係数とバイオマス量との間には明瞭な関係は認められず、移行係数が高くバイオマス量の大きな樹種は本研究では確認できなかった。



図一3 地上部のバイオマス量と地上部移行係数との関係

地上部移行係数とバイオマスとの間に明瞭な関係は認められなかったが、バイオマス量に大きな樹種間差異があったので、¹³⁷Csの植物への吸収を樹種間で直接比較するために以下の式に示すように各樹種のバイオマス量で補正を行い、結果を図一4に示した。

補正移行係数＝

$$\text{植物体の } ^{137}\text{Cs 濃度 (Bq/kg)} \times \text{バイオマス量 (kg)} / \text{土壌の } ^{137}\text{Cs 濃度 (Bq/m}^2\text{)}$$

補正移行係数はコシアブラが最も高く、コナラ、アカマツ、スギの順で低くなった。しかしながら、これら樹種間の差異は有意とはならなかった。

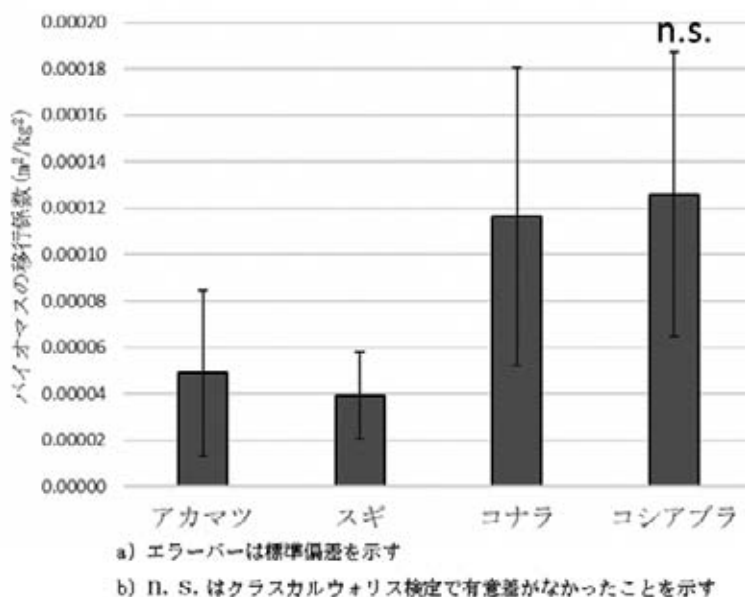


図-4 林地の樹種別総¹³⁷Cs量に対して補正した移行係数

IV 考察

苗畑と林地の表層5cmの土壌の¹³⁷Cs濃度を測定したところ、苗畑に比べ林地できわめて高い数値が得られた。苗畑では耕耘区が非耕耘区に比べ¹³⁷Cs濃度が低かったが、これは耕耘による土壌の反転や構造の差異によると考えられた。苗畑と林地に無汚染苗木を植栽し、それぞれの移行係数を算出したところ、生育期間が短いにも関わらず林地の方が移行係数は高かった。

林地での移行係数は、スギが低く、コナラ及びコシアブラが高かった。野生のコシアブラにおける¹³⁷Csの移行係数は他樹種よりも高いことが報告されており³⁾⁴⁾、コシアブラの根の分布や根に共生している内生菌根菌によって、種特異的な¹³⁷Cs集積が起こっている可能性が指摘されている³⁾⁴⁾。また、樹木における根からの¹³⁷Cs吸収の違いは樹種に依存するとされている¹⁾。本研究でも樹種の違いを明らかにしたが、地上部のみでの分析であり、植栽後の年数も4年以下と短いため、地下部も含めた今後の継続調査が必要と思われた。

汚染された森林土壌の浄化にあたっては、植栽木の¹³⁷Cs吸収の絶対量の多いことが望まれ、かつ後処理を考慮するとバイオマス量は少ないことが望ましい。地上部バイオマス量と移行係数との関連をみたところ(図-3)、コシアブラはバイオマス量が少ないが高い移行係数を示した。本研究ではコシアブラの活着率が林地で25%と低く、ファイトレメディエーションの素材として用いる場合には活着率向上の技術検討が必要である。さらに、¹³⁷Cs吸収量を樹種間で比較するために、バイオマス量で補正した移行係数を算出したところ、コシアブラが最大でスギが最小であったが(図-4)、統計的有意差は見出すことはできなかった。今回の試験では移行係数とバイオマス量を用いて検討したが、より効率的なファイトレメディエーションを行うには、植栽木の成長速度も重要と思われ、これらの要因を組み入れた研究が今後必要と考えられる。

V おわりに

後処理を考慮したファイトレメディエーションを行うとすると、移行係数が高く、バイオマス量の少ない樹種が望ましい。コシアブラを含め、さらに効率の良い樹種の探索が必要である。さらに、除染を効率よく行うためには、植栽後どの時期に除去するのが適切か、も課題として残る。これらの課題解決のためには、除染地域の環境も考慮した植栽木の探索選定、根系も含めた成長解析が重要と考える。

VI 引用文献

- 1) Calmon, P., Y. Thiry, G. Zibold et al. (2009) Transfer parameter values in temperate forest ecosystems: a review. *Journal of Environmental Radioactivity* 100 : 757-766.
- 2) 飯島和毅 (2015) 森林から河川水系を移動する放射性セシウムの環境動態研究の現状. *地球化学*. 49 : 203-215.
- 3) 村松康行・杉山翠・大野剛ら (2014) 林産物への放射性セシウムの移行について (2. 吸収メカニズムと吸収抑制対策、〈特集〉放射性土壌汚染対策. *日本土壌肥科学雑誌* 85 (2) : 117-120.
- 4) Sugiura, Y., M. Shibata, Y. Ogata et al. (2016) Evaluation of radiocesium concentrations in new leaves of wild plants two years after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accidents. *Journal of Environmental Radioactivity* 160 : 8-24.
- 5) Takahashi, J., K. Tamura, T. Suda et al. (2015) Vertical distribution and temporal changes of ¹³⁷Cs in soil profiles under various land uses after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant Accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 139 : 351-361.
- 6) 山口紀子・高田裕介・林健太郎ら (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. *農業環境技術研究所報告*. 31 : 75-129.

福島県林業研究センター研究報告 第52号

令和2年1月31日発行

編集発行者 **福島県林業研究センター**
福島県郡山市安積町成田字西島坂1
〒963-0112 TEL(024)945-2160(代)
FAX(024)945-2147
URL : <http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/37370a/>
E-mail : forestry.rc@pref.fukushima.lg.jp

印刷所 **陽光社印刷株式会社**
福島県福島市南矢野目字萩ノ目裏1-1
〒960-0112 TEL(024)553-4600(代)
FAX(024)554-4420