

令和 3 年 5 月 24 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05738

研究課題名(和文) 樹木の放射性Cs吸収移行の土壌肥料的解析 - 林床の硝酸化成や樹体のK栄養の影響 -

研究課題名(英文) Plant-soil scientific analysis of radioactive Cs absorption and translocation of tree affected by nitrification of forest floor and K nutritional status of tree

研究代表者

関本 均 (Sekimoto, Hitoshi)

宇都宮大学・農学部・教授

研究者番号：10261819

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：Kと同様にNH<sub>4</sub><sup>+</sup>にはスギ苗の<sup>137</sup>Cs吸収抑制効果があることがわかった。土壌には硝酸化成(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>からNO<sub>3</sub><sup>-</sup>に変換)作用があるので、硝酸化成に伴ってNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の<sup>137</sup>Cs吸収抑制効果は低下することが示された。スギ苗の<sup>137</sup>Cs経根吸収はKの共存で明らかに抑制された。<sup>137</sup>Csの吸収移行に及ぼす<sup>137</sup>Cs添加後のK処理の影響はなかった。また、体内Kレベルが高いと<sup>137</sup>Csの吸収移行は増加することが示唆されたが、反対の事例もあった。挿し木実験からKは不定根への<sup>137</sup>Csの転流を抑制される傾向が確認された。<sup>137</sup>CsとKの相互関係を吸収・移行・転流のそれぞれの場面ごとに詳細に検討する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

樹木の放射性Csの吸収移行と林床の挙動は、不溶態が大半を占める「全量」ではなく、「植物可給態(水溶性と希酸可溶性)」の放射性Csで評価されるべきである。可給態放射性Csの植物吸収や林床での挙動は、同じく植物可給態である、NやKなどの養分の動態に影響される。本研究は樹木や林床の放射性Csの挙動を、養分動態や植物の栄養生理に関連付けて、「農業分野の土壌肥料的・植物栄養生理学的観点を森林科学分野に応用」しようとするものであり、新規な視点を提供することができた。また、森林科学分野では馴染みがないRIトレーサー実験を行ったことから、新しいツールを用いた研究例となった。

研究成果の概要(英文)：The pot test and RI experiment were carried out and the following results were obtained. Similar to K, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> was found to have an inhibition of <sup>137</sup>Cs absorption in Sugi seedlings. Since the soil has nitrification (reaction from NH<sub>4</sub><sup>+</sup> to NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), it was shown that the effect of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> decreased with nitrification.

The absorption and transfer of <sup>137</sup>Cs in roots of Sugi seedlings was clearly suppressed by the coexistence of K. There was no effect of K treatment after the addition of <sup>137</sup>Cs on the transfer of <sup>137</sup>Cs from root to shoot. It was also suggested that high levels of K in shoot may increase the absorption and transfer of <sup>137</sup>Cs from roots, but in some cases the opposite result was obtained. Furthermore, by experiments of Sugi shoot-cuttings confirmed that K suppressed the translocation of <sup>137</sup>Cs to adventitious roots. Hereafter, it was necessary to examine in detail the interrelationship between <sup>137</sup>Cs and K for each situation of absorption, transfer, and translocation.

研究分野：土壌肥科学、森林科学

キーワード：放射性セシウム スギ苗 アンモニウム カリウム 吸収 移行 転流

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

森林生態系はきわめて複雑な系であり、樹木の可給態放射性 Cs の吸収や林床でのその挙動は、N や K などの養分の動態に影響されることを強く意識する必要がある。陽イオンである  $K^+$  は、陰イオンである硝酸イオン ( $NO_3^-$ ) がカウンターイオン (電荷バランスのペアとなるイオン) となるので、K の吸収移行は  $NO_3^-$  の影響を受ける。放射性 Cs は同族元素の K と拮抗吸収することが知られているので、放射性 Cs の吸収移行もまた、 $NO_3^-$  の影響を受けると推察される。一方、林床において  $NO_3^-$  は有機態窒素 (有機物) から  $NH_4^+$  経て、硝酸化成菌の働きで  $NO_3^-$  が生成さる。つまり、放射性 Cs の樹木の吸収移行や林床での挙動は、K のみならず硝酸化成の影響を受けると考えられる。また、K の放射性 Cs 吸収移行抑制効果は、両者を同時に与えた時の現象の解析がほとんどであるが、放射性 Cs 吸収に先立つ K の投与が有効であるのか、放射性 Cs 吸収の後でも有効であるのかはわかっていない。

### 2. 研究の目的

樹木の可給態放射性 Cs の吸収や林床での挙動は、N や K などの養分の動態に影響されるので、樹木の放射性 Cs 吸収移行に及ぼす  $NO_3^-$  の影響を  $NH_4^+$  の作用と比較することで明らかにすること、すなわち、硝酸化成の影響を検討すること、放射性 Cs 吸収移行に及ぼす樹体の K 栄養状態の影響、すなわち、予め K を吸収させた K リッチな樹体の放射性 Cs 吸収移行の検討を目的とする。本研究は樹木や林床の放射性 Cs の挙動を、養分動態や植物の栄養生理に関連付けて、「農業分野の土壌肥料学的・植物栄養生理学的観点を森林科学分野に応用」しようとするものである。

### 3. 研究の方法

#### A. $NO_3^-$ と $NH_4^+$ がスギ苗の $^{137}Cs$ 吸収に与える影響

##### (1) ポット栽培試験

赤玉土 2.2kg と福島県川俣町山木屋地区のコナラ・ミズナラ林で採取した A0 層 50g (放射性 Cs で 2032 Bq 相当) を入れたポットに、2 年生のスギコンテナ苗を定植した。1/10 ホーグランド液を改変し、N を  $NO_3^-$  主体にした  $NO_3^-$  溶液と、 $NH_4^+$  主体に改変した  $NH_4^+$  溶液を、週に 1 度、100mL/pot 与えながら、20 週間、ガラス室で栽培した。また、 $^{137}Cs$  吸収に及ぼす  $NO_3^-$  の影響は、 $K^+$  の有無によっても変化すると考えられるので、 $K^+$  を 4 倍量にした試験区を設けた。すなわち、 $NO_3^-$  区 (標準 K)、 $NH_4^+$  区 (標準 K)、 $NO_3^-$  区 (K4 倍)、 $NH_4^+$  区 (K4 倍) の 4 試験区を設定した。栽培後、当年枝葉・枝葉・茎・根の 4 部位に分け乾燥・粉碎した後、計量して U-8 容器に詰め、各試験区 5 反復ずつ、ゲルマニウム半導体検出器で  $^{137}Cs$  の分析を行った。

##### (2) RI 実験

スギ裸苗をポットに植え、約 2 か月間養生させた。その後、水耕栽培に移行した。5 つの試験区を設け、水耕液の全 N (0.7 mmol/L) のうち、 $NH_4^+$  と  $NO_3^-$  の割合が 100 : 0、75 : 25、50 : 50、25 : 75、0 : 100 となるように設定した。水耕栽培開始から 2 週間後、10kBq/L の  $^{137}Cs$  を 1 週間に 1 回添加して、さらに 2 週間栽培を行い、茎葉部の  $^{137}Cs$  を計測した。

#### B. K 処理がスギ苗の $^{137}Cs$ 吸収・移行に及ぼす影響

##### (1) $^{137}Cs$ 添加前後および同時の K 処理がスギ苗の $^{137}Cs$ 吸収・移行に及ぼす影響 (RI 実験)

###### 1) $^{137}Cs$ 添加前の K 処理の影響

1 年生のスギ苗を 1/10 ホーグランド液を改変した水耕液で栽培した。異なる K 濃度 ( $\alpha$  欠乏)、0.15 (標準)、0.6 (4 倍)、2.4 (16 倍) mmol/L で 2 週間栽培した後、 $^{137}Cs$  を 20000 Bq/L になるように水耕液に添加し、1 週間  $^{137}Cs$  処理した (この時の K 濃度は 0.15 mmol/L)。処理後、茎葉部の  $^{137}Cs$  を計測した。また、異なる K 濃度での栽培終了時 ( $^{137}Cs$  投与前) に、各試験区の地上部を採取し、乾燥・粉碎後、乾式灰化し K 含量を測定した。

###### 2) $^{137}Cs$ 添加後の K 処理の影響

スギ苗を K 濃度 0.15 mmol/L で水耕栽培し、 $^{137}Cs$  を 10000 Bq/L になるように水耕液に添加し、1 週間栽培を継続した。その後、 $^{137}Cs$  を含まない、異なる K 濃度の水耕液で 2 週間栽培し、茎葉部の  $^{137}Cs$  を計測した。

###### 3) $^{137}Cs$ 添加と同時の K 処理の影響

スギ苗を K 濃度 0.15 mmol/L で 2 週間水耕栽培した後、異なる K 濃度に変更すると同時に  $^{137}Cs$  を 10000 Bq/L になるように添加して 1 週間栽培を継続し、茎葉部の  $^{137}Cs$  を計測した。

##### (2) 挿し木スギ苗茎葉部に含まれる $^{137}Cs$ の不定根への転流に与える K の影響

那須塩原市金沢に植栽された  $^{137}Cs$  を含むスギ茎葉部を用いた。水道水で挿し木する水浸漬区と 2.4 mmol/L の KCl 水溶液で挿し木する KCl 浸漬区を設けた。約 5 ヶ月間、挿し木を行った後に発根を確認し、挿し穂を回収した。挿し穂と不定根に分けて  $^{137}Cs$  と K の測定を行った。

### 4. 研究成果

#### A. $NO_3^-$ と $NH_4^+$ がスギ苗の $^{137}Cs$ 吸収に与える影響

##### (1) ポット栽培試験

標準 K の当年枝葉・枝葉・茎において、 $^{137}Cs$  濃度は  $NH_4^+$  区よりも  $NO_3^-$  区で高くなった。一方、

K4倍区(4K)においては、標準Kよりも<sup>137</sup>Csレベルは明らかに低く、Kによる<sup>137</sup>Cs吸収抑制が認められた。このKの抑制効果は、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>区とNH<sub>4</sub><sup>+</sup>区で差はなく同等であった。当年枝葉において、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>区の<sup>137</sup>Cs濃度は4Kのそれとほぼ同等であり、Kと同様にNH<sub>4</sub><sup>+</sup>によって<sup>137</sup>Cs吸収・移行は抑制されると考えられた(図1、2)。

ただし、土壌中NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の硝化(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>→NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)の進行に伴い、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の<sup>137</sup>Cs吸収抑制効果は低下することが予想された。

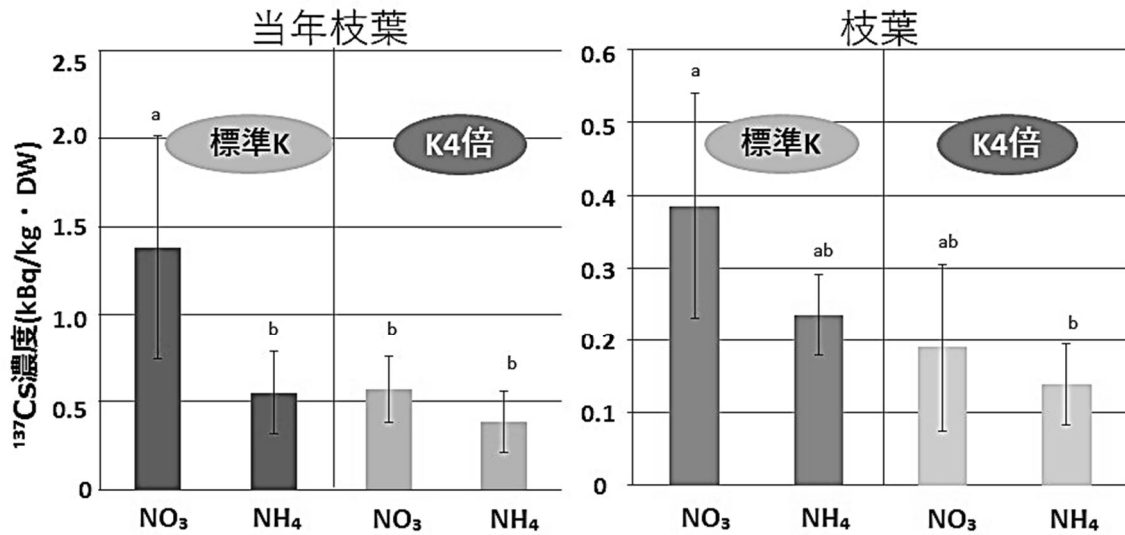


図1：NO<sub>3</sub><sup>-</sup>とNH<sub>4</sub><sup>+</sup>がスギ苗の<sup>137</sup>Cs吸収に与える影響(1)

(p < 0.05) 検出限界：2.8~27Bq/kg · DW

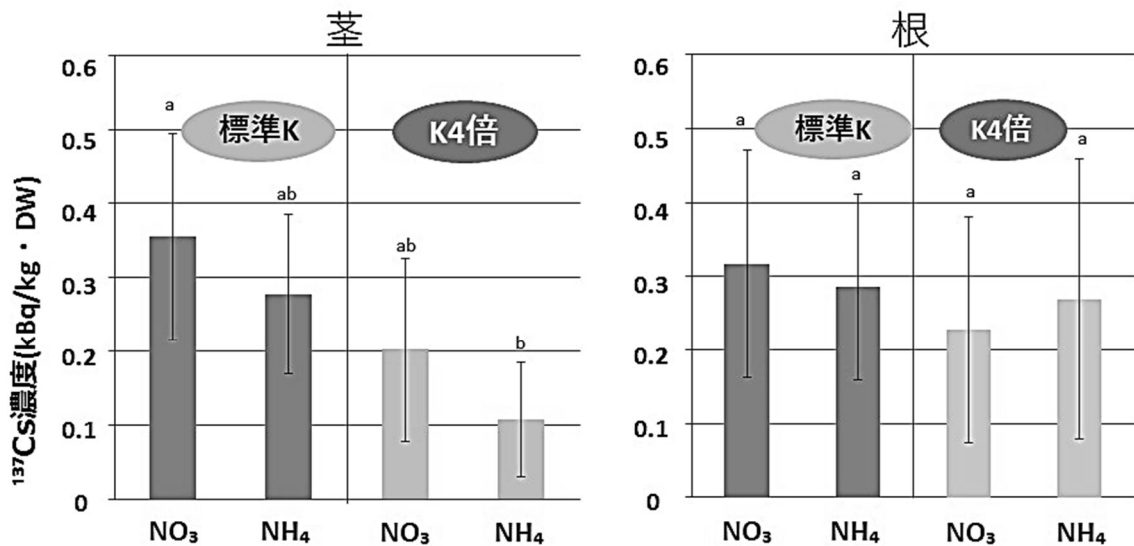


図2：NO<sub>3</sub><sup>-</sup>とNH<sub>4</sub><sup>+</sup>がスギ苗の<sup>137</sup>Cs吸収に与える影響(2)

(p < 0.05) 検出限界：2.8~27Bq/kg · DW

### (2) RI 実験

水耕液のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>の割合が大きいほどスギ苗の<sup>137</sup>Cs濃度は低く、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の割合が大きくなるほど<sup>137</sup>Cs濃度は高かった(図3)。

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>にはスギ苗の<sup>137</sup>Cs吸収・移行抑制効果があり、土壌の硝酸化成(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>→NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)によって、その効果が低下することが示された。



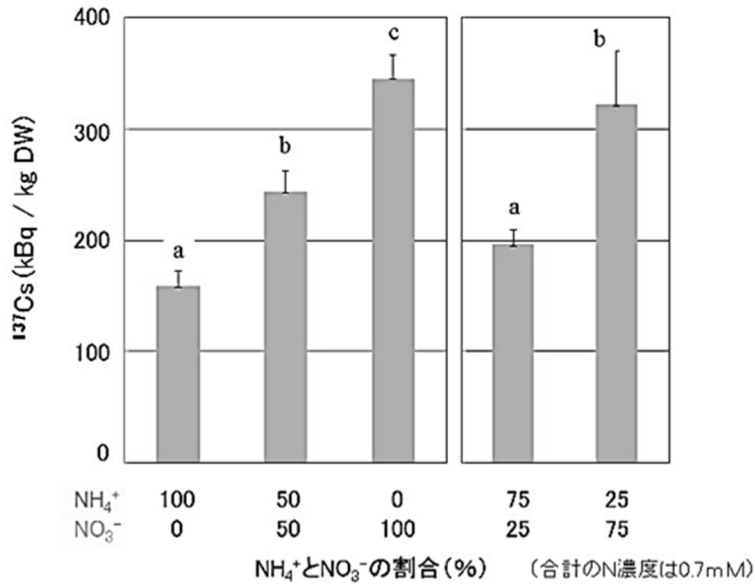


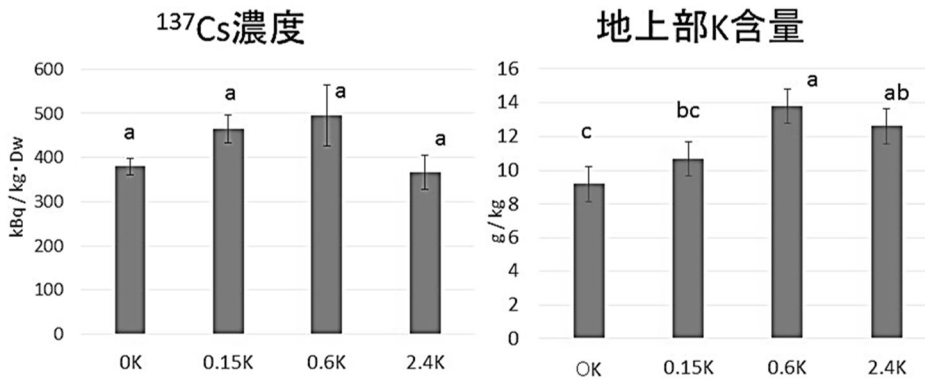
図3:  $\text{NH}_4^+$ と $\text{NO}_3^-$ の割合がスギ苗の $^{137}\text{Cs}$ の吸収に及ぼす影響(RI実験)

B. K 処理がスギ苗の  $^{137}\text{Cs}$  吸収・移行に及ぼす影響

(1)  $^{137}\text{Cs}$  添加前後および同時の K 処理がスギ苗の  $^{137}\text{Cs}$  吸収・移行に及ぼす影響 (RI 実験)

1)  $^{137}\text{Cs}$  添加前の K 処理の影響

スギ苗の  $^{137}\text{Cs}$  濃度に有意差はなかったが、 $^{137}\text{Cs}$  濃度の増減は体内 K レベルの増減に対応した (図4)。体内 K レベルが高いと  $^{137}\text{Cs}$  の吸収・移行は増加する可能性が示唆された。予めの K 処理によって K チャネルが活性化され  $^{137}\text{Cs}$  の吸収移行が増加した可能性が考えられた。

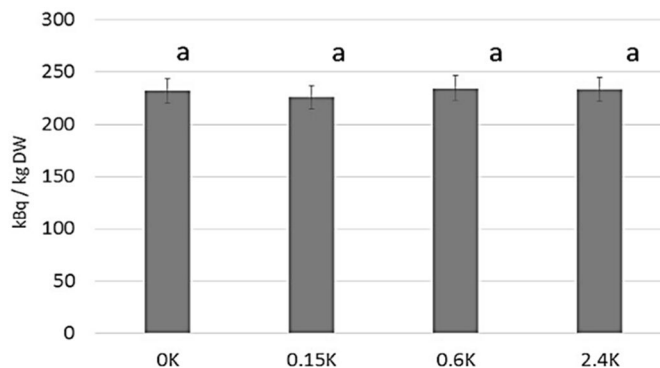


同じアルファベット間には危険率5%で有意差がないことを示す

図4:  $^{137}\text{Cs}$ 添加前後および同時のK処理がスギ苗の $^{137}\text{Cs}$ 吸収・移行に及ぼす影響 ( $^{137}\text{Cs}$ 添加前のK処理の影響)

2)  $^{137}\text{Cs}$  添加後の K 処理の影響

$^{137}\text{Cs}$  の移行に及ぼす  $^{137}\text{Cs}$  添加後の K 処理の影響はなかった (図5)。



同じアルファベット間には危険率5%で有意差がないことを示す

図5:  $^{137}\text{Cs}$ 添加前後および同時のK処理がスギ苗の $^{137}\text{Cs}$ 吸収・移行に及ぼす影響 ( $^{137}\text{Cs}$ 添加後のK処理の影響)

3)  $^{137}\text{Cs}$  添加と同時の K 処理の影響  
 スギ苗の  $^{137}\text{Cs}$  吸収・移行は K 欠乏で助長され、0.15 mmol/L 以上の K の共存によって明らかに抑制された (図 6)。

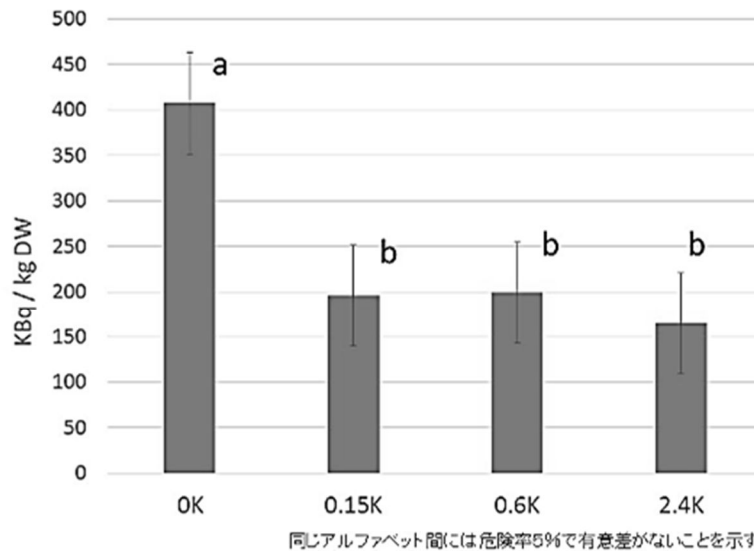


図6:  $^{137}\text{Cs}$ 添加前後および同時のK処理がスギ苗の $^{137}\text{Cs}$ 吸収・移行に及ぼす影響 ( $^{137}\text{Cs}$ 添加と同時のK処理の影響)

(2) 挿し木スギ苗茎葉部に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  の不定根への転流に与える K の影響

挿し穂の  $^{137}\text{Cs}$  放射能が高いと不定根の  $^{137}\text{Cs}$  放射能も高くなる傾向があった。測定した  $^{137}\text{Cs}$  放射能と乾物重から、植物体全体の  $^{137}\text{Cs}$  放射能に対する不定根の  $^{137}\text{Cs}$  放射能の割合(移行率)を求めた。不定根への移行率は、水浸漬区で 19.2%、KCl 浸漬区で 13.4%であり、KCl 浸漬区の移行率は低くなる傾向があり、K は不定根への  $^{137}\text{Cs}$  の転流を抑制する可能性が考えられた(図表省略)。K 濃度は水浸漬区よりも KCl 浸漬区で高かった。分配率(%)と K 濃度の分布を示した(図 7)。K 濃度と分配率には負の相関がみられ、K 濃度が高くなるほど  $^{137}\text{Cs}$  の根に対する分配が少なくなる傾向が確認された。

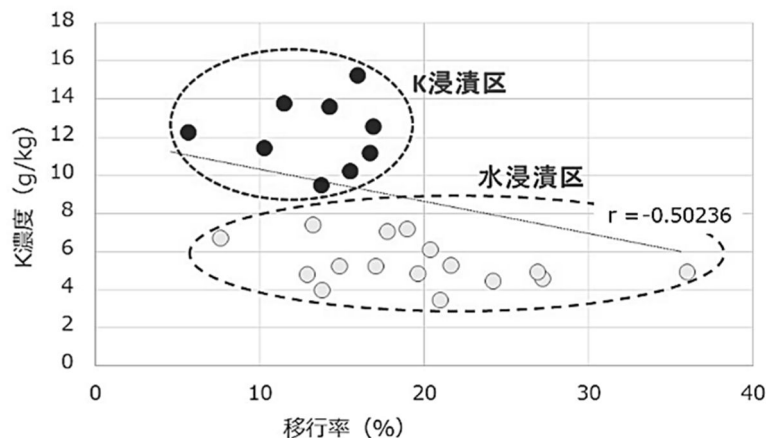


図7: 植物体全体の $^{137}\text{Cs}$ 放射能に対する不定根の $^{137}\text{Cs}$ 放射能の割合(移行率)と植物体のK濃度との関係

まとめ

ポット試験および RI 実験を遂行し以下のような成果を得た。K と同様に、 $\text{NH}_4^+$ にはスギ苗の  $^{137}\text{Cs}$  吸収抑制効果があることがわかった。土壌には硝酸化成 ( $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ ) 作用があるので、硝酸化成にともなって、 $\text{NH}_4^+$ によるスギ苗の  $^{137}\text{Cs}$  吸収・移行抑制効果は低下することが示された。スギ苗の  $^{137}\text{Cs}$  経根吸収・移行は K の共存によって明らかに抑制された。この知見は農作物で認められる現象と同様であった。 $^{137}\text{Cs}$  の移行に及ぼす  $^{137}\text{Cs}$  添加後の K 処理の影響はなかった。また、体内 K レベルが高いと  $^{137}\text{Cs}$  の吸収・移行を促進する可能性が示唆されたが、反対の結果出る事例もあった。さらに、挿し木実験から、K は不定根への  $^{137}\text{Cs}$  の転流を抑制する傾向があった。今後、吸収・移行・転流する  $^{137}\text{Cs}$  と K の相互関係を、吸収・移行・転流のそれぞれの場面ごとに詳細に検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hitoshi Sekimoto, Yuri Shinohara, Keiko Sekiguchi, Kei, Hirata and Kazuya Iizuka
2. 発表標題 Effect of NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> and NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , i.e. nitrification, on uptake of radioactive Cs in Japanese cedar
3. 学会等名 Congress IUFRO(International Union of Forest Research Organization) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 関本 均・柴田和人・大塚功大・飯塚和也
2. 発表標題 スギ茎葉に含まれる放射性Csの根への転流とKの影響
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 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 関本 均・樋口彩香・岩田明里・仲本溪香・平田 慶
2. 発表標題 137Cs添加前後および同時のK処理がスギ苗の137Cs吸収に及ぼす影響
3. 学会等名 第132回日本森林学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hitoshi Sekimoto(eds. C.Takenaka et.al)	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 234 (分担論文: 159-166)
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
研究 分担者	大久保 達弘  (Ohkubo Tatsuhiro)  (10176844)	宇都宮大学・農学部・教授   (12201)	
研究 分担者	飯塚 和也  (Iizuka Kazuya)  (20344898)	宇都宮大学・農学部・教授   (12201)	

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
---------	---------