

7.11. 放射性セシウム吸収能が高い菌根菌への地表処理の影響調査

(1) 目的

福島県東部の阿武隈山系は、東京電力福島第一原子力発電所事故前は日本有数のしいたけ等原木（コナラ）生産地であったが、放射性物質の影響によりしいたけ等原木林の伐採・更新が進んでいない。一部では山林所有者による自主的な伐採・更新が行われているが、現状での用途は安価なパルプチップである。そのため、本来のしいたけ等原木として再び利用することが出来るような、コナラ林の更新技術・管理技術が求められている。

コナラの吸収根は菌根菌と共生して菌根となっており、菌根菌が土壌から養分水分を吸収してコナラの根に渡している。菌根菌の種類は土壌環境により異なり、地表の攪乱の影響を強く受けるとともに菌により放射性セシウム吸収能も異なる。そのため本調査では、伐採跡地で通常の地拵えを行った場所と強度に攪乱した場所とで菌根菌相を比較することを目的とした。しかし、菌根菌の子実体が発生せず菌根菌相が同定できなかつたので、植栽木の吸収特性の違いを検討して、菌根菌相の違いを推定する参考にした。

(2) 調査方法

調査地は田村市都路地区の標高 700 m 前後のコナラ原木林である。全体及び調査区の位置を図 7.11.-1 に示す。2020 年度の推定空間線量率は 0.2~0.5 $\mu\text{Sv/h}$ とされる領域に含まれる。森林組合によりパルプチップ用材として立木の収穫が行われたあと 2019 年に地拵え再造林が行われた林分で調査を実施した。なお、地拵え発生物は持ち出されず林内に帯状に堆積されている。

2022 年度の調査では、菌根菌子実体の発生調査と作成済みの処理区の維持を継続するとともに、2021 年度に植栽・採取した材料を用いて、地表処理と地上部の放射能レベルとの関係について分析を行った。

分析に用いた苗木は、2021 年 4 月 9 日に設けた 3 箇所の調査区に植栽した市販のコナラ裸苗である。それぞれ 20 本、合計 60 本を植栽した。各調査区は等高線方向に横長の 10 m \times 20 m とし、半分の 10 m \times 10 m を強度地かき区、残りを対照区とした。強度地かき区については、全面的な地かきは行わず、植栽地点のみ 1 m 四方について落葉層と A 層を除去し、かき取った土壌等は付近の地拵え堆積物の上に積んだ。落葉層は対照区でも地拵えの影響を受けておおむね 3 cm 程度と薄く、A 層は必ずしも明瞭ではなかったが B 層の明るい色の土壌が現れるまで全層を除去した。10 cm 以上の凹みになったところはなかった。2020 年度の処理との違いは、A 層まで除き B 層を露出させた点と、強度地かき区内のササの地下茎や他樹種の根系を極力除去した点である。両区の代表例を写真 7.11.-1 に示す。

2021 年 11 月 23 日に植栽後 6 ヶ月でサンプリングした個体の乾燥試料を用い、放射能の分析に供した。なお、地下部は直接土壌と接しており土壌の放射能との分離が不可能であると考えられたため、各個体の地下部は切除し、地上部だけを供試した。その際、主軸につい

では土壌による汚染が懸念されたため、必要に応じて超音波洗浄機を併用しつつ、湿ったキムワイプで拭いて色が付かなくなるまで洗浄した。その上で剪定鋏を用いて長さ3ないし5 mm 程度に裁断した。サンプルは U-8 容器に入れて常法通り乾燥してゲルマニウム半導体検出器により測定した。

(3) 結果及び考察

ゲルマニウム半導体検出器による測定の結果、図 7.11.-2 に示すとおり、強度地かき区から得られたサンプルの放射能は、対照区から得られたサンプルの放射能と比較して有意に低かった (Mann-Whitney U-test, $p=0.01$)。

今回の結果で両区の放射能が大きく違った原因は、直接には放射性セシウムを多く含む表層土壌を除去したことだと考えられる。昨年度、採集した強度地かき区に移植した苗木に形成された菌根は周囲の土壌中に存在する菌根菌の菌糸体から感染定着したものであると考えられるため、汚染された表層土壌が存在する強度地かき区周囲の成木や苗木と、強度地かき区に移植した苗木とは、菌根菌の菌糸体によって接続されていると考えられる。菌根菌には子実体への放射性物質の移行係数が高い種が多いことから、樹体間でも菌糸体経由での放射性物質の移行が起きて対照区に近い放射能が検出されると予想していた。しかし実際には明瞭な差が出たことから、菌糸体経由での樹体間の放射性物質の移行は今回の条件ではあまり重要ではなかったと考えられる。

このことの原因として、一つは B 層に生息する菌根菌は B 層にのみ分布して A 層以上の汚染を取り込まない性質の菌である可能性、もう一つは A 層にも生息するが放射性物質の輸送能力が低い菌である可能性である。いずれにしても、わずか 1 m 四方の強度地かき処理区内の試験実生への放射性物質の輸送には、外部のコナラ成木等と連結する菌糸体は重要な役割を果たしていないことが示唆される。

菌根菌相については、今年度も処理区を含む調査地周辺で菌根菌の子実体を採集することができなかった。強度地かきによる菌根菌相への影響を明らかにするためには、当該試験地における子実体や菌根の発生可能性についても考慮しつつ、昨年度報告した菌根から DNA を抽出して判別する方法を用いて解析を進める必要がある。

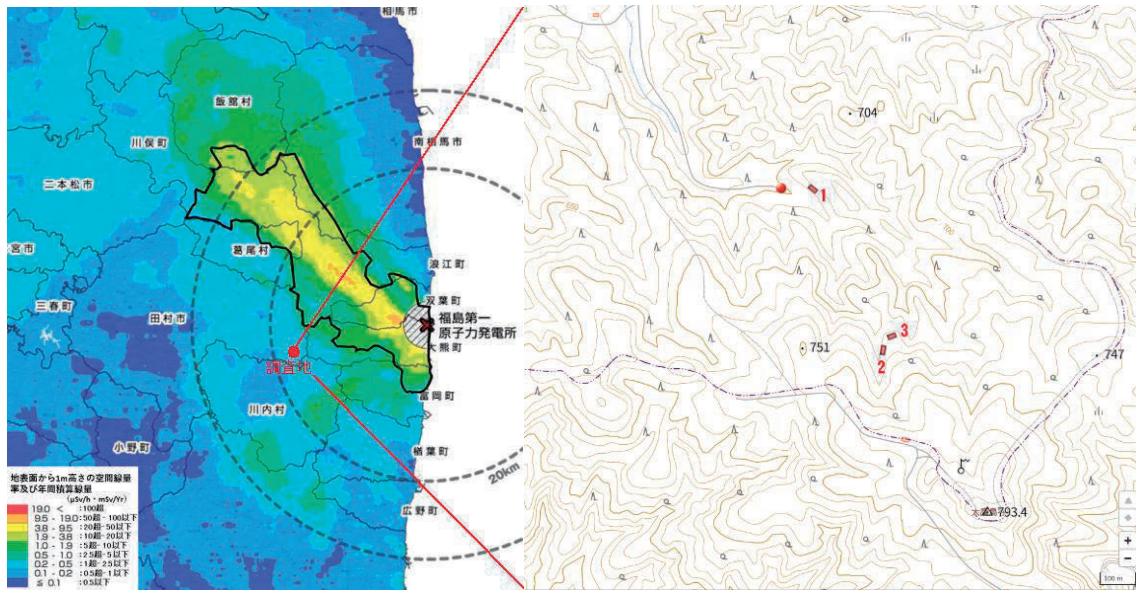


図 7.11-1 試験地の地図とサブプロットの配置（線量マップは 2020 年）



写真 7.11-1 対照区（左）及び強度地かき区（右）の地表の状態

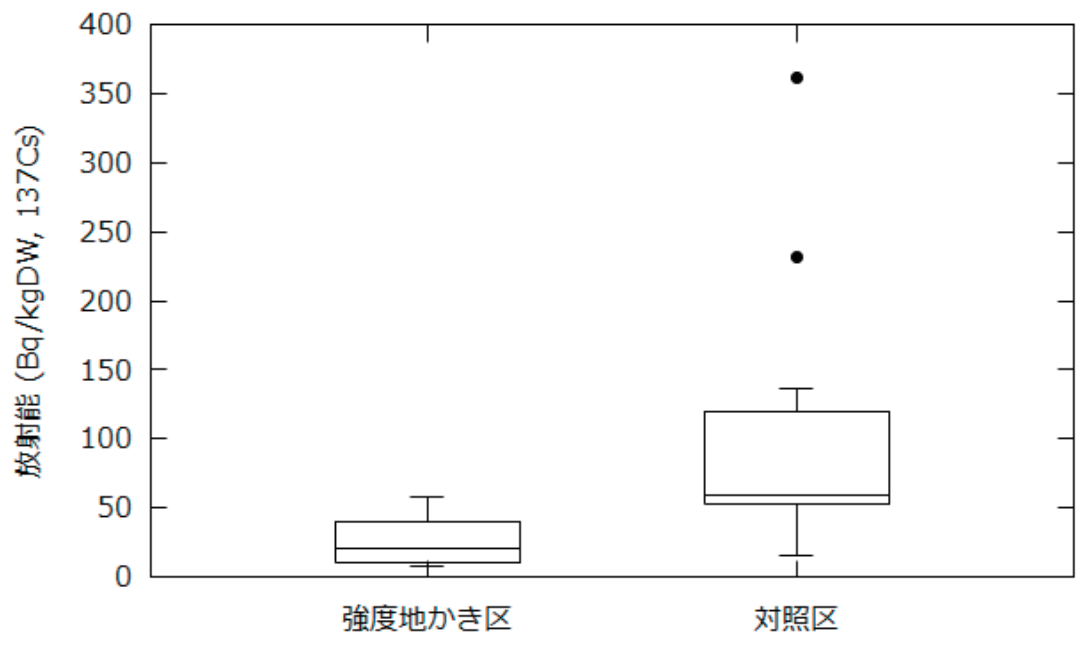


図 7.11.-2 強度地かき区と対照区のコナラ実生苗地上部の放射能

7.12. 出水時に流出する懸濁物質中の放射性セシウム濃度調査

(1) 目的

放射性セシウムの多くが森林内にとどまり、森林から流域外に流出する放射性セシウムは主に懸濁物質中に存在し、また含まれる放射性セシウム総量は非常に少ないことがわかってきた。一方で、ここ数年、温暖化が原因と考えられている大雨等により極端に大きな出水（降雨に伴う増水のことを指す）が各地で発生しており、福島県でも、2019年台風19号では総雨量300 mmを超える大雨となった。こうした極端な出水によって放射性セシウムが森林から拡散することを不安に思っている市民も多い。出水時の流量や懸濁物質濃度の変動については知見の集積があるが（佐藤，2006；参考文献1、篠宮・横山，2019；参考文献2）、懸濁物質中の放射性セシウム濃度に関する知見は少ない。そこで、本研究では出水時に流出する懸濁物質の放射性セシウム濃度の特徴を明らかにすることを目的とした。また、時間単位で懸濁物質の放射性セシウム濃度の変動を解明できる可能性があるため、今年度、自動採水器を用いた連続採集で懸濁物質中の放射性セシウム濃度を定量的に把握できるかについても検証した。

(2) 調査方法

調査は茨城県石岡市の筑波共同試験地内の理水試験地で行った。理水試験地は、流域面積3.79 ha、標高290～390 m、地質は黒雲母片麻岩（その上に関東ロームが被覆）、林況は尾根部にコナラを主とする広葉樹林、それ以外はスギ、ヒノキ人工林である（森林総合研究所，2023；参考文献3）。懸濁物質は、2020年4月14日より流域末端付近の溪流の水流が流れ込むように設置したプラスチック製コンテナに溜まったものを、ステンレス製のハンドスコップを用いて月1回の頻度で回収した（他の予算で採集した期間あり）。2022年1月より、採集期間中に概ね1出水に対応する試料を回収した。これは、採集期間に複数の降雨が発生し、期間雨量が多くなった場合、どの出水の時に流出した懸濁物質か判別しにくくなるためである。試料は研究室に持ち帰り、2,000 μ m、212 μ m、63 μ mのふるいを用いて水浸状態で土粒子を指でほぐしながら、粒径を区分した（写真7.12.-1）。なお、有機質を含む状態を保ちつつ粒径を区分するため、粒度分析で通常行う過酸化水素による有機物分解やヘキサメタリン酸ナトリウム等の分散剤投入は実施していない。75 $^{\circ}$ Cで24時間以上乾燥させて重量（およそ1～35 g）を測定した後、全量をU-8容器に詰め、ゲルマニウム半導体検出器を用いてCs-137濃度を測定した。Cs-137濃度は採集日を基準に換算した。

自動採水器により連続採集された懸濁物質の放射性セシウム濃度の定量的可能性を検証するため、自動採水器（ISCO, Model6712）を理水試験地の最下流域に設置した。自動採水器は、雨量計で30分あたり2.0 mmの雨量が観測されると起動し、約1Lの渓流水を1時間間隔で採集するように設定された。採取された渓流水は、ガラス繊維フィルター（Whatman, GF/F）でろ過して、残留物を懸濁物質とした。乾燥させた後、フィルターをU-9容器に入れ、Cs-137濃度をゲルマニウム半導体検出器で測定した。定量的可能性を検討するのが目

的であるため、Cs-137 濃度の補正は行っていない。

(3) 結果及び考察

1) 粒径別の Cs-137 濃度の経時変化

2020年5月13日から2022年9月14日までに回収した懸濁物質のCs-137濃度の変動を、採集期間の雨量とともに図7.12-1に示す。2,000 μm 以上と2000~212 μm のCs-137濃度は100 Bq/kg前後で推移した。ただ、2022年3月30日に回収した2000~212 μm のCs-137濃度は261 Bq/kgとこれまでで最大であった。212~63 μm のCs-137濃度は概ね200~400 Bq/kgの範囲で推移した。63 μm 以下のCs-137濃度は、2020年7月14日(879 Bq/kg)にやや高かったものの、概ね400~700 Bq/kgの範囲で変動した。2020年7月14日の63 μm 以下の懸濁物質のCs-137濃度はやや高かったが、出水時は砂などの大きな粒径の流出が多くなる(篠宮・横山, 2019; 参考文献2)ため、63 μm 以下の懸濁物質のCs-137濃度変動が懸濁物質を通じたCs-137流出に及ぼす影響は小さいと考えられる。約2年半の観測期間で、懸濁物質のCs-137濃度に大きな変動はなく、前述した濃度範囲で推移した。なお、2022年度に採集された結果を付け加えても採集期間の雨量と粒径別Cs-137濃度は関連が認められなかった。

2) 自動採水器により連続採集された懸濁物質のCs-137濃度の定量可能性

8月30日に自動採水器で採集された4試料の結果を表7.12-1に示す。8月30日の日雨量は17.0 mmで、18時~19時の間に時間雨量11.0 mm/hが記録された。降雨ピークから外れている時間のデータをみると、例えば20:31に採集された懸濁物質濃度は73.5 mg/L、Cs-137濃度は487 Bq/kgであった。出水のピーク時から時間がたつにつれて懸濁物質の量が少なくなってくるので、Cs-137を定量できなくなる可能性もあるが、連続雨量20 mm程度の出水イベントであっても、ピーク時付近であれば懸濁物質のCs-137濃度は定量可能であることがわかった。

今年度もこれまでと同様に大規模な出水時の試料を採集することができなかったが、今後、出水時に1時間程度の時間間隔で連続的に試料採集できる方法も組み合わせて、出水時における懸濁物質のCs-137濃度の変動特性を明らかにするための観測を継続する予定である。

参考文献

1. 佐藤弘和(2006) 浮遊土砂の流出抑制に配慮した森林管理方法. 日本森林学会誌 88: 50-59.
2. 篠宮佳樹、横山雄一(2019) 極端に大きな出水時の森林流域からの栄養塩流出: 2011年7月の高知県西部四万十川源流域における事例、水環境学会誌 42: 219-229.

3. 森林総合研究所（2023）森林理水試験地データベース。
<https://www2.ffpri.go.jp/labs/fwdb/sites/tsukuba.htm>（2023年1月）

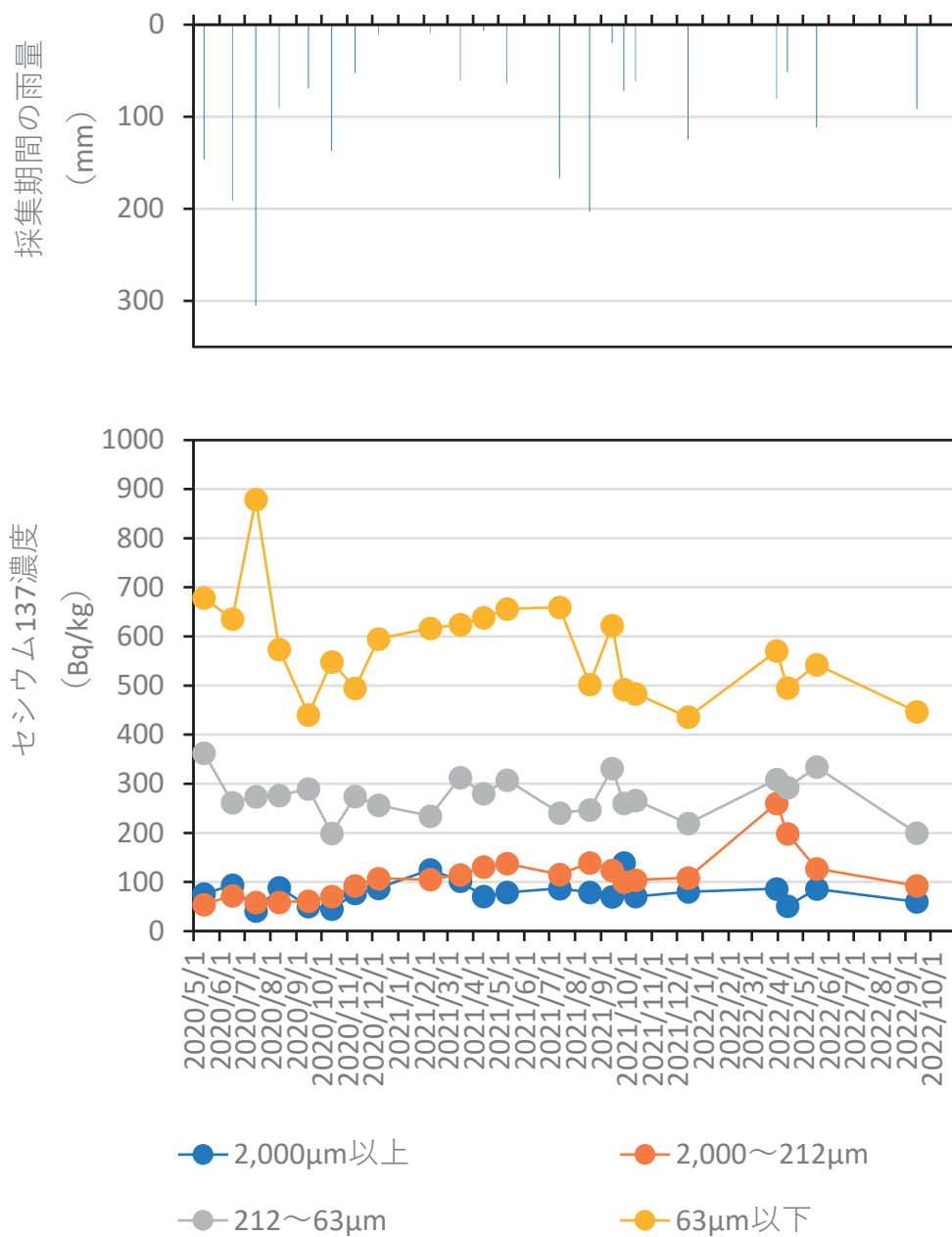


図 7.12.-1 森林流域から流出する懸濁物質の粒径別の Cs-137 濃度及び採集期間の雨量の変化



写真 7.12.-1 採集された懸濁物質

左から 2,000 μm 以上、2,000 \sim 212 μm 、212 \sim 63 μm 、63 μm 以下の懸濁物質試料

表7.12.-1 2022年8月30日の出水時の懸濁物質におけるCs-137濃度

採集日時		時間雨量*	懸濁物質濃度	Cs-137濃度
		mm/h	mg/L	Bq/kg
2022/8/30	18:31	11.0	967.9	520
2022/8/30	19:31	0.5	206.4	456
2022/8/30	20:31	0.5	73.5	487
2022/8/30	22:31	0.0	57.5	557

* 時間雨量は、毎時00～59分の積算で表示

関連業績

OHASHI Shinta (大橋伸太)、KURODA Katsushi (黒田克史)、ABE Hisashi (安部久)、KAGAWA Akira (香川聡)、KOMATSU Masabumi (小松雅史)、SUGIYAMA Masaki (杉山真樹)、SUZUKI Youki (鈴木養樹)、FUJIWARA Takeshi (藤原健)、TAKANO Tsutomu (高野勉)、Decadal trends in ^{137}Cs concentrations in the bark and wood of trees contaminated by the Fukushima nuclear accident (福島原発事故で汚染された樹木の樹皮及び材中の ^{137}Cs 濃度の 10 年間の変化傾向)、Scientific Reports、12、11243、<https://doi.org/10.1038/s41598-022-14576-1>

Takuya Manaka (真中卓也)、Masabumi Komatsu (小松雅史)、Wataru Sakashita (坂下渉)、Naohiro Imamura (今村直広)、Shoji Hashimoto (橋本昌司)、Keizo Hirai (平井敬三)、Satoru Miura (三浦覚)、Shinji Kaneko (金子真司)、Tadashi Sakata (阪田匡司)、Yoshiki Shinomiya (篠宮佳樹)、Ten-year trends in vertical distribution of radiocesium in Fukushima forest soils, Japan (福島の森林土壌における放射性セシウム鉛直分布の 10 年間の傾向)、Journal of Environmental Radioactivity、251-252、106967、<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106967>

Shoji Hashimoto (橋本昌司)、Masabumi Komatsu (小松雅史)、Satoru Miura (三浦覚) (2022) Forest Radioecology in Fukushima – Radiocesium Dynamics, Impact, and Future (森林の放射線生態学 —放射性セシウムの動き、生態系や社会への影響、そして未来—)、Springer、<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-16-9404-2>

大前芳美 (2022) 森林における放射性セシウム分布の変化、木材工業、77 (7) : 250-255

篠宮佳樹 (2022) 東日本大震災からの森林・林業の復興に残された課題、山林、1657 : 19-25

金子真司 (2022) 福島原発事故における森林総合研究所の初期活動と成果、山林 1663 : 36-43

真中卓也、高田裕介、三浦覚、橋本昌司 (2022) 放射性セシウム研究の進展と土壌肥料科学の貢献 2. 農地及び森林土壌の放射性セシウムの分布と動き、日本土壌肥料学雑誌、93 (5) : 305-312

篠宮佳樹 (2022) 森林総合研究所における森林内の放射性セシウムに関する最近の研究成果、
土壌の物理性、152 : 31-38

明間民央 (2022) 菌根菌が放射性セシウムの取り込みに与える影響：重度地かきが苗木のセシウム取り込みを抑制する可能性、菌根研究会札幌大会 12 月発表

小河澄香、明間民央 (2022) 菌根菌が放射性セシウムの取り込みに与える影響：土壌鉍物からセシウムを溶出する能力の評価/重度地かきが苗木のセシウム取り込みを抑制する可能性、菌根研究会札幌大会 12 月発表

香山雅純、三浦覚、篠宮桂樹 (2023) 福島県に生育するコシアブラの葉内の放射性セシウム及び各種元素濃度の季節変化、第 70 回日本生態学会大会 3 月発表予定

三浦覚、大橋伸太、荒木眞岳、小松雅史、橋本昌司、長倉淳子、坂下渉、今村直広、眞中卓也、重永英年、篠宮佳樹 (2023) 放射性セシウムに汚染された森林における植栽木や実生の面移行係数、第 134 回日本森林学会大会

長倉淳子、小松雅史、平井敬三、眞中卓也、久保田、遠藤宏之 (2023) カリウム施肥がヒノキ植栽木の成長とセシウム吸収におよぼす影響、第 134 回日本森林学会大会 3 月発表予定

大橋伸太、黒田克史、香川聡、山下香菜、杉山真樹、安部久 (2023) 樹皮・木材中の ^{137}Cs 濃度の 2011 年から 2022 年にかけての変化傾向、第 134 回日本森林学会大会 3 月発表予定

大前芳美、篠宮佳樹、阪田匡司、坂下渉、三浦覚、大橋伸太、今村直広、赤間亮夫 (2023) 落葉除去による除染がスギの放射性セシウム吸収に及ぼす影響、第 134 回日本森林学会大会 3 月発表予定

坂下渉、三浦覚、大橋伸太 (2023) コナラの事故後萌芽更新木と直接汚染木の放射性セシウム濃度比較、第 134 回日本森林学会大会 3 月発表予定

阪田匡司、篠宮佳樹、大橋伸太、奥田史郎、眞中卓也、坂下渉、三浦覚 (2023) 放射性物質高濃度汚染地域における森林内の放射性セシウムの分布、第 134 回日本森林学会大会 3 月発表予定