

7.11. 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が各地で発生しており、福島県でも、2019年の台風19号では総雨量300mm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)、いまだ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、出水時の時間単位での懸濁物質の放射性セシウム濃度の変動特性について明らかにした。

(2) 調査方法

調査は茨城県石岡市の筑波共同試験地内の筑波森林水文試験地で行った。森林水文試験地は、流域面積3.79ha、標高290~390m、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 μm 、212 μm 、63 μm 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。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°Cで24時間以上乾燥させて重量(およそ1~48g)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。

また、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の可能性を検証するため、自動採水器(ISCO, Model6712)を森林水文試験地の最下流に設置した。自動採水器は、雨量計で30分あたり2.0mm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24回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。なお、粒径による分画は行っていない。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。最大の測定時間は86400秒である。Cs-137濃度は採集日を基準に

換算した。

(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2023年8月15日までに回収した懸濁物質のCs-137濃度の変動を、各採集期間の雨量とともに図7.11.-1に示す。2,000 μm 以上と212~2,000 μm のCs-137濃度は100Bq/kg前後で推移した。63~212 μm のCs-137濃度は概ね200~400Bq/kgの範囲で推移し、63 μm 以下のCs-137濃度は、2020年7月14日(879Bq/kg)にやや高かったものの、概ね400~700Bq/kgの範囲で変動した。つまり観測期間を通して、粒径が小さいほどCs-137濃度が大きい傾向が認められた。63 μm 以下のCs-137濃度は、概ね6~8月までは600Bq/kg以上と高めに、それ以降は400~500Bq/kgと低めに推移していた。つまり、63 μm 以下のCs-137濃度は季節変動している傾向がみられた。これは、毎年夏季の大規模な出水によって63 μm 以下の懸濁物質のなかでも粗粒な粒子が溪流近傍の土壌から溪流へ流出し、結果として夏季に流出する懸濁物質の63 μm 以下の画分に占める粗粒な粒子の割合が相対的に増えるために、6~8月以降のCs-137濃度は低くなると考えられる。約3年半の観測期間で、2,000 μm 以上と212~2,000 μm のCs-137濃度に経年的な変化はみられなかった。その一方で、63~212 μm と63 μm 以下のCs-137濃度は、経年的なCs-137濃度の低下が観測された。この要因の1つは、Cs-137濃度の物理的減衰によるものであると考えられる。ただし、2020年5月13日から2023年8月15日までの物理的減衰によるCs-137濃度の低下は9%であり、物理減衰曲線を下回る形で推移しているため、63~212 μm と63 μm 以下のCs-137濃度については、物理的減衰以上の濃度低下が起きている可能性がある。各採集期間の雨量と粒径別Cs-137濃度の関係について、2023年度に採取された結果を付け加えても関連が認められなかった。

2) 出水時に連続採集された懸濁物質に含まれるCs-137濃度変動特性の解析

2022年8月30~31日に自動採水器で採集された24試料(4試料は検出限界以下)の結果を図7.11.-2に示す。この降雨イベントの総雨量は17.5mmで、最大降雨強度は、8月30日18時~19時の11.0mm/hであった。降雨終了付近の8月31日3時までの懸濁物質のCs-137濃度は400~700Bq/kgで、8月31日3時以降の懸濁物質のCs-137濃度は600~900Bq/kgと、降雨終了後Cs-137濃度は上昇する傾向にあった。同様の傾向は、既往の報告(Shinomiya et al., 2014; 参考文献4)の出水時に観察されている。これは、先述のように、土粒子の粒径が大きいとCs-137濃度が小さい傾向があり、かつ降雨中は懸濁物質に粒径の大きな粒子が相対的に増えるためと考えられる。

以上のように、本研究では大規模出水時の懸濁物質中のCs-137濃度の変動を解析することはできなかったが、63 μm 以下の細粒な懸濁物質のCs-137濃度が季節変動する可能性を示唆することができた。この他、森林流域の出水時において懸濁物質に含まれるCs-137濃

度が低下する傾向を確認できた。

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 12 月)
4. Shinomiya et al. (2014) Radioactive cesium discharge in stream water from a small watershed in forested headwaters during a typhoon flood event. *Soil Science and Plant Nutrition* (2014), 60, 765–771.

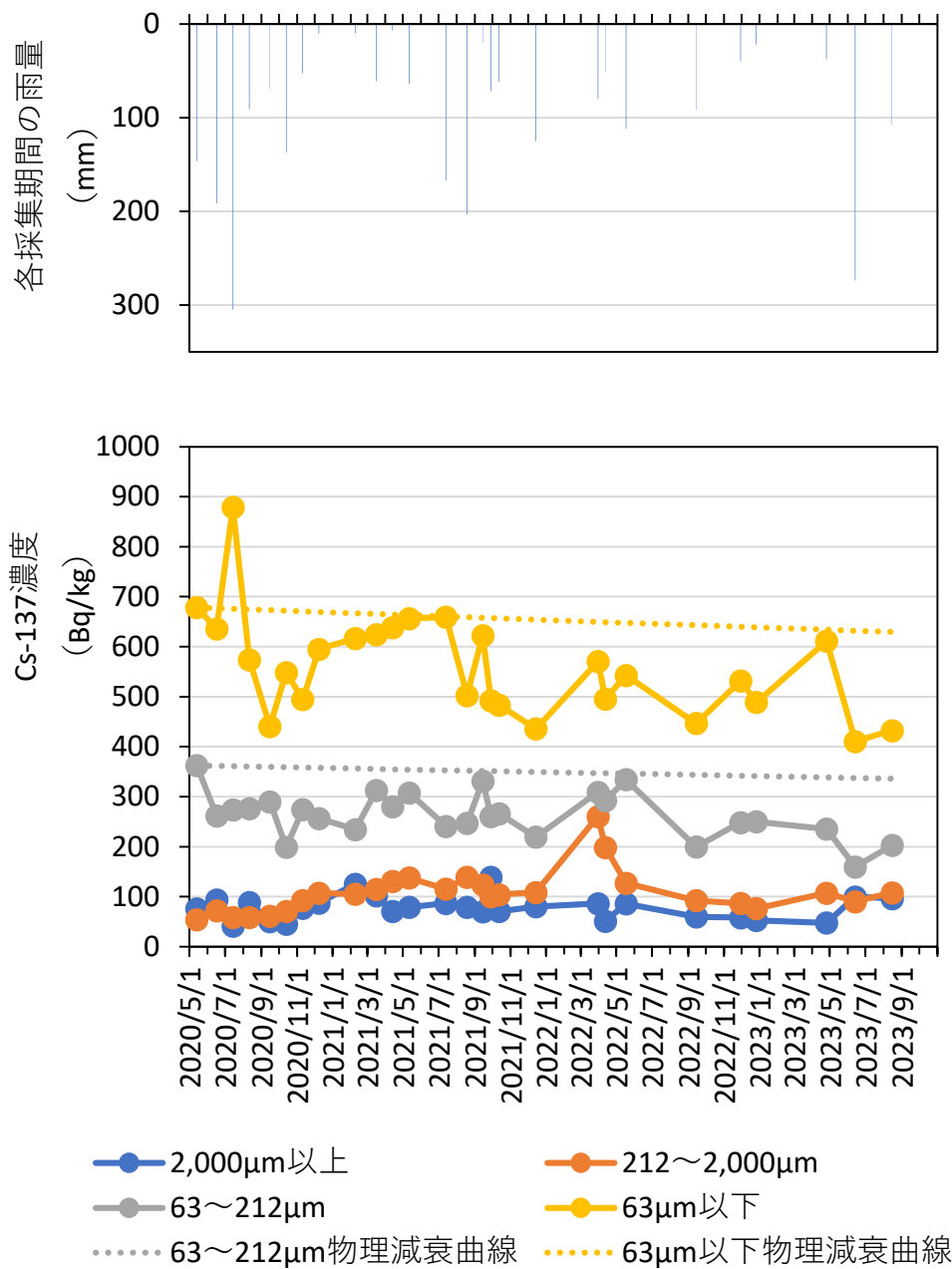


図 7.11.-1 森林流域から流出する懸濁物質の粒径別の Cs-137 濃度及び各採集期間の雨量の変化

*雨量は、アメダス（柿岡）から引用した。

**黄色及び灰色の点線は、それぞれ粒径 63 µm 以下、63~212 µm に関する、初回の採水日（2020 年 5 月 13 日）の Cs-137 濃度を基準とする物理減衰曲線を示す。

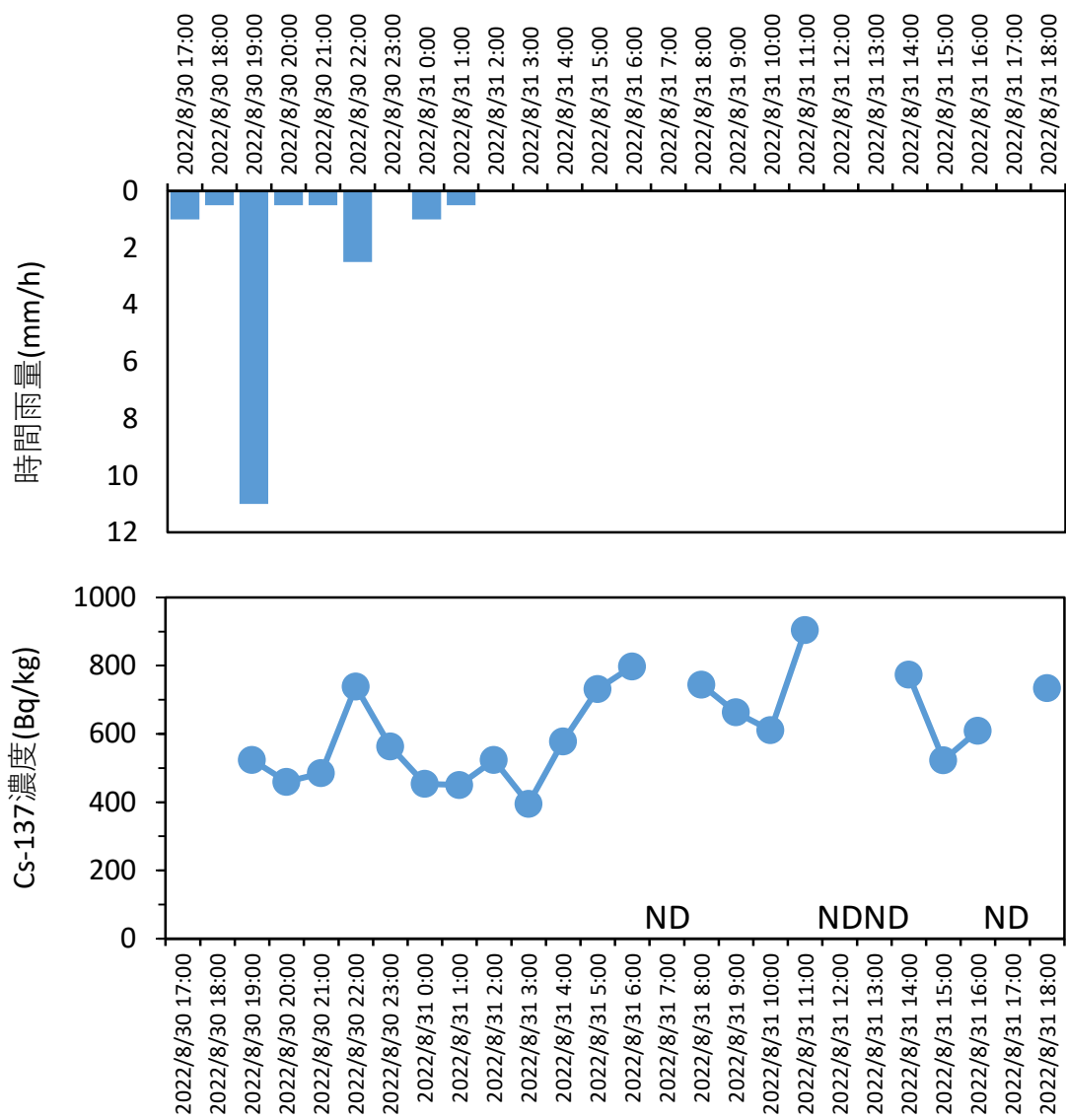


図 7.11.-2 出水時に連続採集された懸濁物質に含まれる Cs-137 濃度変動特性

ND： 検出限界以下

*雨量は、アメダス（柿岡）から引用した。

関連業績

MANAKA Takuya (眞中卓也)、ARAKI G Masatake (荒木眞岳・林野庁)、OHASHI Shinta (大橋伸太)、IMAMURA Naohiro (今村直広)、SAKASHITA Wataru (坂下渉)、OGO Sumika (小河澄香)、KOMATSU Masabumi (小松雅史)、SAKATA Tadashi (阪田匡司)、SHINOMIYA Yoshiki (篠宮佳樹) (2023) Radiocesium mobility in different parts of the two major tree species in Fukushima (福島における二つの主要樹種の各部位中の放射性セシウムの動きやすさ)、Scientific Reports、13、9144

SAKASHITA Wataru (坂下渉)、IMAMURA Naohiro (今村直広)、SAKATA Tadashi (阪田匡司)、TSUNEOKA Ren (常岡廉・東京大学)、SHINOMIYA Yoshiki (篠宮佳樹) (2024) A pilot study of radiocesium activity concentration in the stemflow of deciduous broad-leaved trees: Its relationship with leaves and outer bark as of 2022-2023 (落葉広葉樹の樹幹流の放射性セシウム濃度の予備試験: 2022-2023年現在の葉および外樹皮との関係)、Journal of Environmental Radioactivity、273:107385

OHMAE Yoshimi (大前芳美・森林総研 PD)、SAKASHITA Wataru (坂下渉)、SAKATA Tadashi (阪田匡司)、IMAMURA Naohiro (今村直広)、MIURA Satoru (三浦覚)、AKAMA Akio (赤間亮夫・森林総研非常勤職員)、SHINOMIYA Yoshiki (篠宮佳樹) (2024) Effect of litter removal five years after the Fukushima accident on ¹³⁷Cs uptake by Japanese cedar (福島事故後5年目の落葉除去がスギのセシウム¹³⁷吸収に及ぼす影響)、Journal of Environmental Radioactivity、273:107390

ITÔ Hiroki (伊東宏樹)、MIURA Satoru (三浦覚)、KOMATSU Masabumi (小松雅史)、KANASASHI Tsutomu (金指務)、NAGAKURA Junko (長倉淳子)、HIRAI Keizo (平井敬三) (2023) Variability in radiocesium activity concentration in growing hardwood shoots in Fukushima, Japan (福島の広葉樹当年枝における放射能濃度のばらつき)、PLOS ONE、18 (12)、e0293166

大橋伸太、黒田克史、安部久、香川聡、杉山真樹、鈴木養樹、眞中卓也、橋本昌司、小松雅史、坂下渉、三浦覚、阪田匡司、篠宮佳樹、高野勉、平井敬三、今村直広、藤原健、金子真司 (2023) 原発事故後10年間の森林土壌・木材中の放射性セシウムの動きを解明、森林総合研究所研究成果選集 2023 (令和5年版)、14-15

吉村真由美編 環境 Eco 選書 16、放射線と生き物、北隆館 (320頁)、2023年7月、ISBN: 978-4-8326-0766-8

SAKASHITA Wataru (坂下渉)、MIURA Satoru (三浦覚)、NAGAKURA Junko (長倉淳子)、KANASASHI Tsutomu (金指努・福島大学) (2023) Toward the Estimation of Radiocesium Activity Concentration in Trunks of Coppiced *Quercus serrata*: Leaf Availability Instead of Felling (コナラの幹における放射性セシウム濃度推定に向けて: 伐倒調査に代わる葉の利用可能性)、Agricultural Implications of Fukushima Nuclear Accident (IV) :After 10 Years (Springer, Singapore、276 頁)、149-159

KOBAYASHI Riona (小林里緒奈・住友林業)、MASUMORI Masaya (益守眞也・東京大学)、TANGE Takeshi (丹下健・東京大学)、TANOI Keitaro (田野井慶太郎・東京大学)、KOBAYASHI Natsuko I. (小林奈通子・東京大学)、MIURA Satoru (三浦覚) (2023) Effect of Exchangeable and Nonexchangeable Potassium in Soil on Cesium Uptake by *Quercus serrata* Seedlings (土壌中の交換態および非交換態カリウムがコナラ苗木のセシウム吸収に及ぼす影響)、Agricultural Implications of Fukushima Nuclear Accident (IV) :After 10 Years (Springer, Singapore、276 頁)、171-184

MASUMORI Masaya (益守眞也・東京大学)、KOBAYASHI Natsuko I. (小林奈通子・東京大学)、TANOI Keitaro (田野井慶太郎・東京大学)、NIHEI Naoto (二瓶直登・福島大学)、MIURA Satoru (三浦覚)、KANASASHI Tsutomu (金指努・福島大学) (2023) Challenge to Resume Production of Mushroom Bed Logs by Potassium Fertilizer Application (カリ肥料施用によるきのこ原木生産再開への挑戦)、Agricultural Implications of Fukushima Nuclear Accident (IV) :After 10 Years (Springer, Singapore、276 頁)、197-202

MIURA Satoru (三浦覚) (2023) Studies on the Revitalization of Radioactive-Contaminated Mushroom Log Forests: Focus on Shoots (放射能汚染されたキノコ原木林の再生に関する研究: 当年枝に着目して)、Agricultural Implications of Fukushima Nuclear Accident (IV) :After 10 Years (Springer, Singapore、276 頁)、203-220

ITO Eriko (伊藤江利子)、MIURA Satoru (三浦覚)、AOYAMA Michio (青山道夫・筑波大学)、SHICHI Koji (志知幸治) (2023) Global Fallout: Radioactive Materials from Atmospheric Nuclear Tests That Fell Half a Century Ago and Where to Find Them (グローバルフォールアウト: 半世紀前に降下した大気圏核実験由来の放射性降下物とその行方)、Agricultural Implications of Fukushima Nuclear Accident (IV) :After 10 Years (Springer, Singapore、276 頁)、233-256

今村直広、大橋伸太、坂下渉、眞中卓也、大前芳美、篠宮佳樹 (2024) 安定同位体 Cs を用

いたコナラとスギの土壌からの放射性 Cs 吸収深度の推定、第 135 回日本森林学会大会
3 月発表予定

坂下渉、今村直広、阪田匡司、常岡廉、篠宮佳樹 (2024) 2022-2023 年の葉・外樹
皮が樹幹流放射性セシウム濃度に与える影響、第 135 回日本森林学会大会 3 月発表予
定

大前芳美 (森林総研 PD)、坂下渉、阪田匡司、今村直広、三浦覚、赤間亮夫 (元森林総研職
員)、篠宮佳樹 (2024) 事故後 5 年目の落葉除去がスギ材の放射性セシウム濃度に及ぼ
す影響、第 135 回日本森林学会大会 3 月発表予定

三浦覚、坂下渉、長倉淳子、阪田匡司 (2024) コナラ当年枝の休眠期における ^{137}Cs 放射能
濃度に及ぼすシュートの二次成長の影響、第 135 回日本森林学会大会 3 月発表予定