

多摩川集水域50地点定期モニタリングによる
放射性セシウム蓄積スポット調査

2019年

小池 裕也

明治大学理工学部 専任講師

共同研究者 萩原 健太

研究成果報告書

2017年1月10日付第2017-07号

調査・試験研究課題

多摩川集水域 50 地点定期モニタリングによる 放射性セシウム蓄積スポット調査

小池裕也, 萩原健太

明治大学大学理工学部

「多摩川集水域における底質中の放射性セシウムの 30 年後を見据えた挙動解析」の成果より, 多摩川の上流から下流までモニタリングした結果, 上～中流域の本流に比べて支流と下流域で底質中放射性セシウム濃度が高い傾向にあることが確認でき, 河口域への移行が推測された。また, 多摩川集水域の中下流に位置する宿河原での定点観測から, 雨水により多摩川集水域において中流域から下流への放射性セシウムの流入が生じていることも示唆された。そこで, 多摩川集水域 50 地点で同一時期のサンプリングを行った。さらに厳選した 25 地点において四半期毎の調査を実施することで季節変動を観測した。奥多摩湖や支流上流域から溶存態セシウムが検出されたことから, 中流・下流域の溶存態セシウムの供給源であることが考えられる。底質中放射性セシウムは, 多摩川本流では下流域で濃度が高く, 支流では上流域で濃度が高い傾向にあったことから, 本流と支流では底質の移行状況に違いが確認された。現在の多摩川集水域の溶存態セシウム濃度は非常に低いオーダーであるが, 奥多摩湖や支流上流域では依然として検出限界以上の濃度レベルで存在している。さらに, 底質中放射性セシウムの濃度分布及び底質試料の化学分析結果より奥多摩湖や支流上流域が放射性セシウムの蓄積スポットであると推定することができた。

1. 緒言

東京電力株式会社福島第一原子力発電所(FDNPP)事故後、水環境中の放射性セシウムのモニタリングとして、各機関で分布の把握と中長期的な変動の調査が行われてきた。事故により原子炉内から環境中に放出された放射性核種の中でも、 ^{137}Cs は放出量が多く、かつ半減期が約 30 年と長いため中長期的なモニタリングの対象となっている。特に河川水は、湖や海洋に流入するので、河川水中の溶存態として存在する放射性セシウムは環境中に分散していくと考えられ、河川集水域などの水環境に降下した放射性セシウムは、放射線防護の観点からその挙動が注視されている。Tsuji ら¹⁾ は、福島県の阿武隈川集水域及び太田川にて河川水のモニタリング調査を報告している。2012 年 9 月の阿武隈川本流の溶存態セシウムは、 ^{134}Cs で $<0.005\sim 0.024 \text{ Bq L}^{-1}$ 、 ^{137}Cs で $<0.003\sim 0.044 \text{ Bq L}^{-1}$ であり、懸濁態セシウムは、 ^{134}Cs で $<0.002\sim 0.081 \text{ Bq L}^{-1}$ 、 ^{137}Cs で $<0.001\sim 0.126 \text{ Bq L}^{-1}$ であった¹⁾。阿武隈川では懸濁態セシウムが溶存態セシウムに比べ約 10 倍高く検出されていることが確認できる。また、阿武隈川本流での放射性セシウム濃度は、上流域から下流域へと至るにつれ濃度が高くなる傾向にあった。2013 年 1 月に採取された阿武隈川本流の河川水では、下流域で濃度は依然として高いものの、上流域でも濃度が高い地点が存在した。2013 年 1 月に採取された阿武隈川支流の口太川や釈迦堂川の河川水ではその傾向は得られず底質中放射性セシウム濃度は、どの地点でも同程度であった。2013 年 5 月での太田川の放射性セシウム濃度は上流域で高く、下流部では低い傾向にあった。太田川は FDNPP に非常に近い位置にある河川であり、上流部では空間線量も高い。河川中でも、沈降量が多い上流部では、放射性セシウム濃度が高い傾向にあったと考えられる。阿武隈川を含め、福島県での河川中放射性セシウムの研究調査は行われており、多くの知見が得られている²⁻⁴⁾。しかし、これらは福島近傍の知見であり、環境が異なる関東圏とは異なると考えられる。関東圏の河川である利根川、多摩川、荒川、江戸川での河川水中放射性セシウムのモニタリングも実施されている^{5,6)}。どの河川からも放射性セシウムが検出されたことから、関東圏の河川中放射性セシウムの存在は明らかであるが、その動態解明には到っていない。

多摩川集水域における放射性核種の観測や調査も行われている。吉田ら^{7,8)} は、多摩川の流域における底質及び付近の河岸の土壌中に放射性セシウムを確認している。「多摩川

集水域における底質中の放射性セシウムの 30 年後を見据えた挙動解析⁹⁾ の成果より、多摩川の上流から下流までモニタリングした結果、上～中流域の本流に比べて支流と下流域で底質中放射性セシウム濃度が高い傾向にあることが確認できたため、河口域への移行が推測された。多摩川集水域の中下流に位置する宿河原での定点観測からは、雨水による出水時に底質中放射性セシウム濃度が、平水時の 2～3 倍程度高くなることが確認されている⁹⁾。これらの結果から、雨水により多摩川集水域において中流域から本流への放射性セシウムの流入が起こっていることが示唆された⁹⁾。多摩川近傍に放射性セシウムが存在していることは明らかであるが、多摩川集水域における放射性セシウムのモニタリングは少ない^{7,9)}。海洋への流出や都市河川での放射性セシウムの移行評価を行うため、河川のモニタリング調査を行う必要がある。そこで、「環境中における放射性物質の中長期的な変動追跡の重要性」と「より低濃度な汚染状況の把握の必要性」という観点から、関東圏の一級河川であり低線量地域に属する多摩川に着目し、河川に存在している放射性セシウムの動態やその性状を調査した。

本研究では、多摩川集水域において厳選した採取地点で同一時期のサンプリングを四季にあわせ定期的実施するべく、研究課題を「多摩川集水域 50 地点定期モニタリングによる放射性セシウム蓄積スポット調査」と設定した。放射性セシウムの上流から下流へ移行や局所的な蓄積も確認されているため、詳細かつ高精度な放射性セシウムの挙動解析を実施することが目的である。河川水中に溶けているセシウムと浮遊物質に吸着しているセシウムの形態別定量値を算出し、河川水及び底質中放射性セシウムの定量及び化学形態を特定するとともに、空間線量、周辺土壌及び底質の分析データを用い河川水中の放射性セシウム動態の評価を試みた。定期サンプリングにより、河川水・底質中の放射性セシウムの分析及び河川水中放射性セシウムの広域観測と周辺環境との比較・評価を行った。さらに、今後四半期ごとに実施できる現地分析手法と大容量濃縮技術を提案する。

多摩川集水域における放射性セシウムの化学形態と河川水への溶出・移行を特定することで、放射性セシウムの局所的な蓄積地点を把握し、30 年後まで多摩川集水域での放射性セシウムの挙動を追っていくことが最終目標である。

2. 実験

2.1. 河川水及び底質試料の採取

試料採取地点は、多摩川集水域全域を網羅するために、上流 19 地点、中流 15 地点、下流 16 地点の計 50 地点を選定した。採取地点の内訳としては、丹波川 1 地点、小菅川 1 地点、奥多摩湖 4 地点、多摩川本流 18 地点、平井川 3 地点、秋川 4 地点、谷地川 1 地点、浅川 5 地点、大栗川 2 地点、三沢川 2 地点、平瀬川 1 地点、野川 7 地点、宿河原用水路 1 地点である。各地点でのサンプリングでは底質と河川水を同時に採取した。図 1 に多摩川集水域の試料採取地点概略図を、図 2 に多摩川集水域採取地点の写真を、表 1 に採取地点名と採取地点の緯度・経度を示す。試料採取期間は、2017 年 12 月～2018 年 12 月とし、三ヶ月毎に採取を実施することで、放射性セシウムの季節変動を追った。試料採取の際は、空間線量率と水質を測定した。空間線量率は、地上 5 cm と地上 1 m で GM 計数管を搭載する携帯型サーベイメータ (Get smart XR; Rigaku) を用いて測定を行った。水質成分は、バケツに河川水 5 L を採取し、静置した後に水質チェッカー (HORIBA, U-52) を用いて、水温、pH、酸化還元電位、電気伝導度、溶存酸素量、溶解性物質質量及び濁度を測定した。

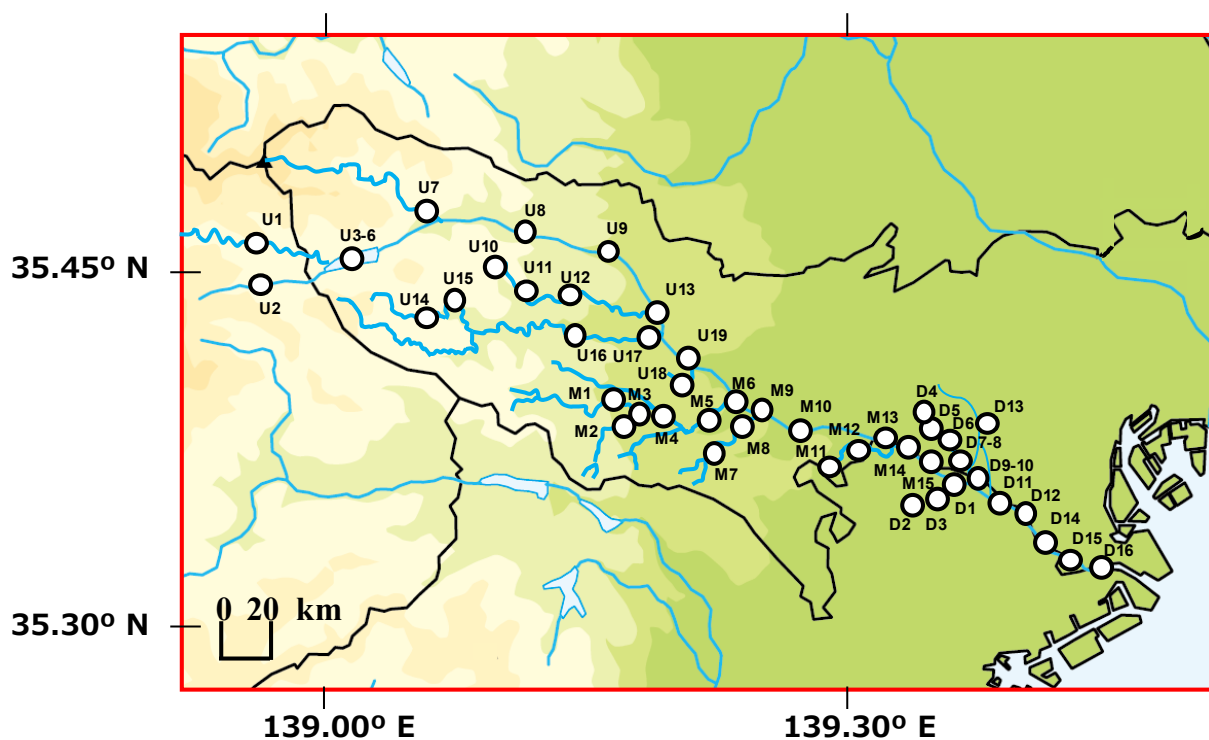


図 1 多摩川集水域における河川水及び底質試料採取地点の概略図。

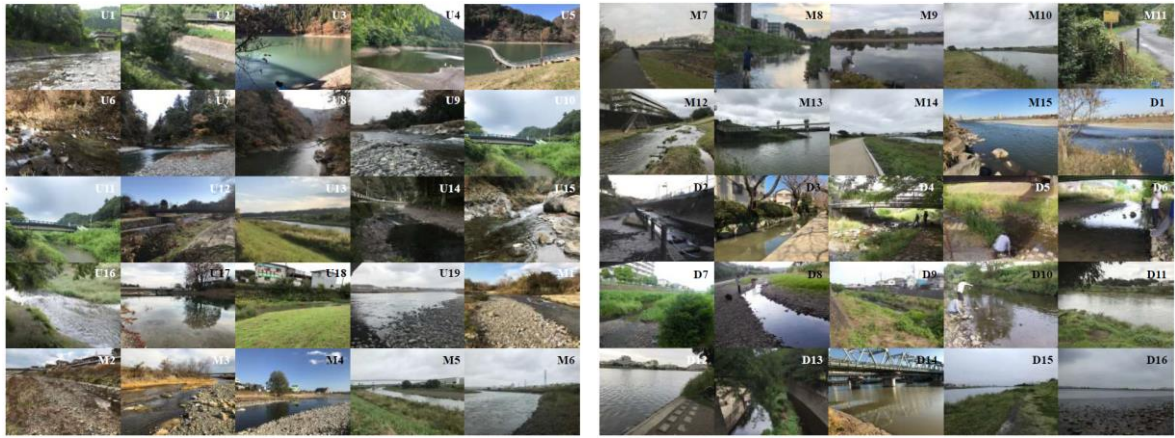


図 2 多摩川集水域における試料採取地点の様子.

表 1 多摩川集水域における試料採取地点(試料ナンバー)の一覧

No.	Sampling point	GPS data	
		Latitude	Longitude
U1	丹波川	35°47'19.7"	138°55'29.4"
U2	小菅川	35°45'40.52"	138°56'13.2"
U3	峰谷橋(奥多摩湖)	35°46'50.35"	139°00'56.66"
U4	奥多摩フィールド付近(奥多摩湖)	35°47'09.84"	139°00'52.83"
U5	留浦浮橋(奥多摩湖)	35°46'42.37"	138°59'21.95"
U6	山のふるさと村(奥多摩湖)	35°45'52.41"	139°01'23.10"
U7	日原川合流点	35°48'27.1"	139°05'46.7"
U8	青梅澤野	35°48'09.79"	139°11'42.32"
U9	青梅リバーサイドパーク	35°45'45.6"	139°17'48.6"
U10	平井川上流	35°45'42"	139°13'38"
U11	平井川中流	35°44'36.8"	139°14'59.6"
U12	平井川下流	35°44'17.8"	139°18'00.9"
U13	平井川合流点	35°43'09.4"	139°19'44.8"
U14	清水橋(北秋川)	35°44'44.9"	139°07'22.6"
U15	北秋川合流点(北秋川)	35°44'22.5"	139°08'38.7"
U16	乙津橋(秋川)	35°43'29.3"	139°10'43"
U17	秋川合流点(秋川)	35°42'55.4"	139°19'02.5"
U18	谷地川	35°41'10.3"	139°20'29.3"
U19	昭島下水処理場付近	35°41'43.07"	139°22'27.5"
M1	北浅川	35°40'07"	139°18'42"
M2	南浅川	35°40'07"	139°18'42"
M3	南浅川合流点(浅川)	35°40'07"	139°18'42"
M4	大和田橋(浅川)	35°39'41"	139°20'52"
M5	新井橋(浅川)	35°40'06.8"	139°25'04.6"
M6	府中四谷橋	35°39'30.41"	139°26'16.8"

表 1 (Continued)

No.	Sampling point	GPS data	
		Latitude	Longitude
M7	中和田橋 (大栗川)	35°38'28.50"	139°25'43.87"
M8	霞ヶ関橋 (大栗川)	35°38'51"	139°26'48.33"
M7	関戸橋	35°39'04.8"	139°27'29.9"
M10	多摩河原橋	35°38'36.30"	139°31'41.20"
M11	三沢川源流	35°36'39.15"	139°27'13.46"
M12	三沢川中流	35°38'11"	139°30'55"
M13	三沢川合流点	35°38'05"	139°32'46.29"
M14	五本松	35°38'00.72"	139°33'18.82"
M15	宿河原	35°37'12.9"	139°34'46.5"
D1	二子玉川ゲートボール場付近	35°36'48.3"	139°36'40.1"
D2	平四丁目公園 (平瀬川)	35°35'58"	139°34'09"
D3	北村橋 (宿河原用水路)	35°36'56.39"	139°34'36.49"
D4	弁天橋 (野川)	35°41'51"	139°29'39"
D5	泉橋 (野川)	35°40'49"	139°31'47"
D6	大沢橋 (野川)	35°40'11.5"	139°32'14.9"
D7	たかや橋 (野川)	35°39'00"	139°34'39"
D8	谷戸橋 (野川)	35°38'17"	139°35'29"
D9	町田橋 (野川)	35°37'28"	139°36'24"
D10	野川合流点 (野川)	35°36'53"	139°37'18"
D11	丸子橋ゴルフ場付近	35°35'01.44"	139°40'07.21"
D12	川崎リバーサイドゴルフ場付近	35°33'20.1"	139°41'47.2"
D13	祖師谷公園 (仙川)	35°39'13.5"	139°35'58.8"
D14	六郷土手	35°32'15.8"	139°42'11.5"
D15	味の素川崎工場付近	35°32'08.58"	139°42'46.17"
D16	首都高下	35°32'28.1"	139°44'30.2"

2.2. 河川水及び底質試料の γ 線スペクトロメトリー

河川水試料は、ポリタンクを 3 回共洗いした後、20 L を直接採水した。懸濁態はガラス繊維フィルター (Whatman GF/F, 保持粒子径 0.7 μm , 47 mm 径) に河川水試料 20 L を流速 80 mL min⁻¹ 以下にて通水した。ガラス繊維フィルター上に保持された懸濁物中の放射性セシウムを懸濁態セシウム試料とした。河川水中に溶存するセシウムの濃縮には、固相抽出ディスク法を採用し⁹⁾、固相抽出ディスクには、3MTM エムポアTM ラドディスク セシウム (ラドディスク) を用いた。前処理としてラドディスクに純水 100 mL を通水後、ガラス繊

維フィルターを通過した試料 20 L を流速 80 mL min⁻¹ 以下にて通水し、ラドディスク上に保持された溶存態を溶存態セシウム試料とした。底質試料は、スコップにより直接採取できる水深 10~50 cm の表層 5 cm 未満を、1 kg 程度採取しポリ袋に保存した。採取した試料は、乾燥機により 105°C で 24 時間乾燥し、円錐四分法で縮分した。測定試料は、ねじ口式ポリスチレン容器 U-8 (U-8 容器; 高さ: 68 mm, 内径: 56 mm, 関谷理化) に充填し、高純度ゲルマニウム半導体検出器 (HPGe detector; PGT, INC.) で 4 時間以上 γ 線測定を行った。¹³⁴Cs は 604.7 keV, ¹³⁷Cs は 661.7 keV の γ 線ピークから放射能濃度を算出した。検出効率^{10,11)}は、¹⁵²Eu 密封小線源 (日本アイソトープ協会) と KCl 試薬を用いて膜状または充填高さごとで算出した^{10,11)}。すべての試料でサンプリング日を基準に半減期補正を施した。

2.3. 逐次抽出法による底質中放射性セシウムの化学形態別分析

Tessier ら¹²⁾ が考案した逐次抽出法を宿河原の底質に適用し、底質中放射性セシウムの化学形態を調べた。この逐次抽出法は、試料中の微量金属元素を、イオン交換態 (IE), 炭酸塩態 (CB), Fe-Mn 酸化態 (OX), 有機物態 (OB), 残留物態 (RES) の五つの区分に分画する抽出実験である。IE は放射性セシウムが水溶性化合物 (塩化物等) として存在する区分であり、この区分は試料中から水に可溶であり、容易に遊離するため、環境中での移動性が高い。CB は放射性セシウムが炭酸塩と結合している形態と考えられ、雨水等の弱酸で環境中に放出される可能性がある区分である。また、OX は放射性セシウムが Fe-Mn 酸化物に取り込まれている形で存在し、Fe-Mn 酸化物の構造が壊れる還元的雰囲気⁹⁾で溶出する。OB は放射性セシウムが有機物質 (フミン酸やフルボ酸) などと結合している区分であり、化学的に安定だが、長時間かけて環境中に溶出する。RES は、放射性セシウムが一次鉱物や二次鉱物と結合している形態で存在しており、環境中に溶出される可能性が最も低い区分である。逐次抽出実験手順は先行研究⁹⁾と同様である。最終残渣を RES 試料とし、85°C で 24 時間乾燥した。各抽出液は攪拌後、溶出液と残渣を遠心分離機で 3000 rpm, 20 分で遠心分離を行い、ガラス繊維フィルターにてろ過した。溶出液及び最終残渣は、それぞれ U-8 容器に充填し、HPGe detector で 6 時間ガンマ線測定を行った。

3. 結果及び考察

3.1. 河川水質データ及び空間線量率

多摩川集水域では、上流域から下流域にかけて電気伝導度及び溶解性物質量が上昇していた。特に、多摩川下流域(D11, D12, D14~D16)にかけては、より顕著であった。この地域は、海域に非常に近い地点であり、海水の流入により値が上昇したことが考えられる。上流域では値が低い事から、丸子橋付近までは海水の寄与が示唆される。河川水が滞留する奥多摩湖や局所的に濁度の値が高い地点も存在したが、濁度も本流の下流域で高い傾向が見られた。本流下流域では、河川の流れにより底質が破碎され、粒径の細かな底質が多く存在するため、底質の巻き上げが頻繁に起こるためと推察される。

2017年12月に実施したサンプリングにおける多摩川集水域で観測された空間線量率は、地表5cmで $0.04\sim 0.24\ \mu\text{Sv h}^{-1}$ 、地表1mで $0.04\sim 0.17\ \mu\text{Sv h}^{-1}$ の範囲であった。地表5cm及び1mでの空間線量率は、多摩川上流域高い傾向にあった。特に、奥多摩湖や丹波川では空間線量率が高かった。

3.2. 現地分析手法と大容量濃縮技術の検討

固体試料である底質を溶液化しディスク状に濃縮することで、容積を0.4%に減少できるため25倍濃縮となり、ラドディスクは放射性セシウムを含む溶液の処理方法として有効であった⁹⁾。最高の条件で、固体直接分析¹³⁾の検出下限の1/60程度まで高感度化できた⁹⁾。河川水試料については、従来の濃縮はりんモリブデン酸アンモニウム(AMP)法¹⁴⁾によって行ってきた。水溶性であるAMPにpH1以下の酸性溶液下で溶存態セシウムを吸着させる。これをろ過し、回収したAMPをろ紙と共に測定する。サンプル液量の減容のため、ディスク状試料への減容化を検討し、AMP法とラドディスクセシウムを用いた固相抽出ディスク法の検出限界を比較した。同量の20Lに補正して比較すると固相抽出ディスク法の方が検出限界は $8.1\pm 0.8\ \text{mBq}$ と、AMP法の $24\pm 2\ \text{mBq}$ より小さくなり、精度の良い結果が得られた。したがって、多地点サンプリングの際には、河川水の採水量を20L(ポリタンク1個)と設定した。

可搬型の放射線測定器を用いるオンサイト分析法は、採取した試料を現地で定量分析できるため、従来法より短時間で汚染分布を調査できる。そこで、環境水試料濃縮用ポンプ

と可搬型遮へい体を組み合わせることで、将来的に放射性セシウムをより迅速かつ簡便なオンサイト分析法を検討した。環境水試料濃縮用ポンプは、RO 逆浸透膜浄水器対応浄水器用ポンプ(雨水屋ノーマ)とインラインフィルターホルダー(メルクミリポア)で製作した。環境試料中の放射性セシウムは、ラドディスクを使用して分離・濃縮した。可搬型遮へい体は、3D プリンター(XYZ プリンティングジャパン, da Vinci 1.0 AiO)で型を製作し、遮へい材を装着、充填したものをを用いた。遮へい材として、銅板(3 mmt)とタングステンシート(日本タングステン製, 3 mmt), 鉛玉(直径 2 mmφ, 純度 97%)を組み合わせることで製作した遮へい体に Get Smart XR を装着することで(図 3), バックグラウンド計数率が未使用時の 50% 程度, 検出限界及び定量下限は約 30% に低減できた。遮へい体の全重量は運搬可能な 9 kg であり, 放射性セシウムのオンサイト分析に使用可能である。50 地点の分析条件を統一するため, 実際の分析には使用できなかったが, 今後の現地分析手法として十分に提案できるシステムが構築できたと考える。

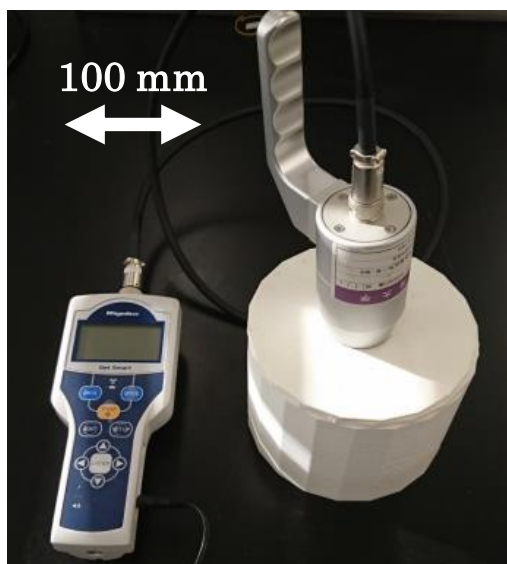


図 3 可搬型 NaI シンチレーション検出器及び製作した遮蔽体の写真.

3.3. 多摩川集水域における河川水中放射性セシウムの分布状況

多摩川集水域の上～下流域で 2017 年 12 月に採取した河川水中の溶存態及び懸濁態セシウム濃度の一覧を表 2 に示す。 ^{134}Cs は事故から半減期以上の時間を経過しているため, 値が小さくなっており議論が難しいことから, ^{137}Cs を中心に議論を行う。多摩川集水域にて採取した河川水中の溶存態セシウムは上流から下流の多くの地点で検出された。多く溶存態セシウムが検出された地域は中流域から下流域(M14～D15)であり, D14 の六郷土手では $2.7 \pm 0.6 \text{ mBq L}^{-1}$ を示した。下流部では, 河川の流れによる移行が示唆される。ま

た、六郷土手付近は干潮域であり、水質パラメータも丸子橋付近では電気伝導率や溶解性物質の上昇が確認されている。海水の流入も多いことから、海水中に存在する放射性セシウムが流入することも考えられる。上流域では奥多摩湖(U3)と日原川合流点(U7)にて溶存態セシウムが検出された。奥多摩湖などの多摩川源流域では、事故から数年経った現在も溶存態セシウムが微量ながら存在し、それらが多摩川本流に流れ込んでいると考えられる。多摩川支流の浅川上流域(M3)では溶存態セシウム濃度が2017年12月の結果で最も高い、 $6.2 \pm 1.7 \text{ mBq L}^{-1}$ を示した。支流上流域では、放射性セシウムが検出されるスポットが存在し、本流に流れ込むことが考えられる。放射性セシウムが検出されなかった地点も存在したが、固相抽出ディスク法の適用により検出限界は 0.05 mBq L^{-1} と低い値であり、多摩川集水域に存在する溶存態セシウムは極低濃度まで減少していると考えられる。

懸濁態セシウムは、日原川合流点(U7)、首都高下(D16)のみで検出された。懸濁物セシウム濃度は減少していると考えられる。100 L以上の採水により検出できる可能性はあるが、現実的でない。首都高下は、多摩川河口部に位置し、波により常に濁度が高い地点である。懸濁物量が他の地点よりも多いため、懸濁物セシウムが検出されたと考えられる。日原川合流点では、溶存態セシウムも懸濁態セシウム同様に検出されたことから、奥多摩湖及び日原川からの放射性セシウムの供給が示唆される。

表 2 多摩川集水域における2017年12月の溶存態及び懸濁態セシウム濃度

No.	Sampling point	Activity concentration / mBq L^{-1}			
		Dissolved		Suspended	
U1	丹波川	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)	
U2	小菅川	測定中			
U3	峰谷橋(奥多摩湖)	2.06	±	0.44	N.d.(0.08)
U4	奥多摩フィールド付近(奥多摩湖)	測定中			
U5	留浦浮橋(奥多摩湖)	測定中			
U6	山のふるさと村(奥多摩湖)	測定中			
U7	日原川合流点	3.78	±	0.48	0.07 ± 0.02
U8	青梅澤野	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)	
U9	青梅リバーサイドパーク	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)	
U10	平井川上流	測定中			
U11	平井川中流	測定中			
U12	平井川下流	測定中			
U13	平井川合流点	測定中			
U14	清水橋(北秋川)	測定中			
U15	北秋川合流点(北秋川)	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)	
U16	乙津橋(秋川)	測定中			
U17	秋川合流点(秋川)	N.d.(0.05)		測定中	
U18	谷地川	測定中			
U19	昭島下水処理場付近	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)	
M1	北浅川	測定中			
M2	南浅川	測定中			
M3	南浅川合流点(浅川)	6.23	±	1.66	測定中
M4	大和田橋(浅川)	N.d.(0.05)		測定中	
M5	新井橋(浅川)	測定中			
M6	府中四谷橋	N.d.(0.05)		測定中	

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, (); Detection limit

表 2 (Continued)

No.	Sampling point	Activity concentration / mBq L ⁻¹		
		Dissolved		Suspended
M7	中和田橋 (大栗川)			測定中
M8	霞ヶ関橋 (大栗川)			測定中
M9	関戸橋	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)
M10	多摩河原橋	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)
M11	三沢川源流	N.d.(0.05)		測定中
M12	三沢川中流			測定中
M13	三沢川合流点			測定中
M14	五本松	0.54 ±	0.15	測定中
M15	宿河原	2.57 ±	0.8	N.d.(0.08)
D1	二子玉川ゲートボール場付近	N.d.(0.05)		測定中
D2	平四丁目公園 (平瀬川)			測定中
D3	北村橋 (宿河原用水路)	0.78 ±	0.18	N.d.(0.08)
D4	弁天橋 (野川)			測定中
D5	泉橋 (野川)			測定中
D6	大沢橋 (野川)			測定中
D7	たかや橋 (野川)			測定中
D8	谷戸橋 (野川)			測定中
D9	町田橋 (野川)			測定中
D10	野川合流点 (野川)			測定中
D11	丸子橋ゴルフ場付近			測定中
D12	川崎リバーサイドゴルフ場付近	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)
D13	祖師谷公園 (仙川)	1.09 ±	0.26	N.d.(0.08)
D14	六郷土手	2.73 ±	0.57	N.d.(0.08)
D15	味の素川崎工場付近	N.d.(0.05)		N.d.(0.08)
D16	首都高下	N.d.(0.05)	0.32 ±	0.03

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, (); Detection limit

※ 河川水中の放射性セシウムは、分析手法の高感度化を検討した上で、未検出の試料が多かった。分離濃縮作業は進めたが、多摩川集水域における放射性セシウムの局所的な蓄積地点の把握を目的としているため、底質の分析を優先した。2019年度での分析終了を目指して研究を進め、河川水の分析結果が得られしだい報告する。

3.4. 多摩川集水域における底質中放射性セシウムの分布状況

2017年12月の50地点サンプリングの結果を表3に示す。2018年3月、6月、10月に実施した25地点サンプリングの結果を表4及び表5に示す。2017年12月に採取した底質中¹³⁷Cs濃度の分布図を図4に示す。上流域では底質中放射性セシウム濃度が低い、下流域に至るにつれ濃度が上昇していることが確認された。また、本流よりも支流の方が、底質中セシウム濃度が高いことから、支流において放射性セシウムを含む底質の堆積が起きていると考えられる。先行研究⁹⁾を裏付けする結果であるが、より詳細な蓄積スポットを確認することができた。2018年3月～10月の底質中放射性セシウム濃度分布図を図5～図7に示す。2017年12月の試料は、全50地点で採取を実施したが、

2018年3月～10月は採取地点を厳選し、多摩川本流 15 地点と多摩川支流において2017年12月のサンプリング時に放射性セシウム濃度が高かった 10 地点の計 25 地点で実施した。

表 3 多摩川集水域における 2017 年 12 月の底質中放射性セシウム濃度

No.	Sampling point	Activity concentration / Bq kg ⁻¹					
		¹³⁴ Cs (±1σ)			¹³⁷ Cs (±1σ)		
U1	丹波川	0.4	±	0.1	2.0	±	0.2
U2	小菅川	0.4	±	0.1	3.6	±	0.4
U3	峰谷橋 (奥多摩湖)	0.4	±	0.1	7.2	±	0.3
U4	奥多摩フィールド付近 (奥多摩湖)	1.6	±	0.1	9.4	±	0.3
U5	留浦浮橋 (奥多摩湖)	1.3	±	0.2	6.0	±	0.6
U6	山のふるさと村 (奥多摩湖)	N.d. (0.2)			25.6	±	1.1
U7	日原川合流点	N.d. (0.2)			0.8	±	0.2
U8	青梅澤野	N.d. (0.2)			1.2	±	0.2
U9	青梅リバーサイドパーク	0.7	±	0.1	2.5	±	0.3
U10	平井川上流	4.7	±	0.2	40.4	±	0.6
U11	平井川中流	1.0	±	0.1	9.2	±	0.1
U12	平井川下流	0.6	±	0.1	6.3	±	0.2
U13	平井川合流点	No data					
U14	清水橋 (北秋川)	0.4	±	0.1	7.0	±	0.6
U15	北秋川合流点 (北秋川)	0.5	±	0.1	4.1	±	0.2
U16	乙津橋 (秋川)	0.3	±	0.1	2.9	±	0.2
U17	秋川合流点 (秋川)	1.3	±	0.2	9.2	±	0.7
U18	谷地川	0.6	±	0.2	8.2	±	0.6
U19	昭島下水処理場付近	1.5	±	0.2	10.5	±	0.7
M1	北浅川	0.6	±	0.2	7.1	±	0.6
M2	南浅川	1.4	±	0.2	17.7	±	0.7
M3	南浅川合流点 (浅川)	1.5	±	0.1	11.6	±	0.3
M4	大和田橋 (浅川)	0.8	±	0.2	5.8	±	0.5
M5	新井橋 (浅川)	N.d. (0.2)			5.0	±	0.2
M6	府中四谷橋	0.4	±	0.1	2.0	±	0.2

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, (); Detection limit

表 3 (Continued)

No.	Sampling point	Activity concentration / Bq kg ⁻¹					
		¹³⁴ Cs (±1σ)			¹³⁷ Cs (±1σ)		
M7	中和田橋 (大栗川)	3.1	±	0.4	44.6	±	1.6
M8	霞ヶ関橋 (大栗川)	2.2	±	0.3	22.0	±	1.0
M9	関戸橋	No data					
M10	多摩河原橋	0.4	±	0.1	4.4	±	0.1
M11	三沢川源流	No data					
M12	三沢川中流	2.2	±	0.4	28.9	±	1.4
M13	三沢川合流点	0.9	±	0.2	22.9	±	1.1
M14	五本松	1.1	±	0.3	11.7	±	0.9
M15	宿河原	1.2	±	0.2	12.9	±	0.7
D1	二子玉川ゲートボール場付近	0.6	±	0.1	5.6	±	0.2
D2	平四丁目公園 (平瀬川)	9.1	±	0.5	84.7	±	1.6
D3	北村橋 (宿河原用水路)	4.7	±	0.5	45.2	±	1.7
D4	弁天橋 (野川)	11.0	±	0.7	105.4	±	2.5
D5	泉橋 (野川)	6.0	±	0.3	61.9	±	1.0
D6	大沢橋 (野川)	3.8	±	0.4	64.7	±	1.8
D7	たかや橋 (野川)	N.d. (0.2)			6.0	±	0.5
D8	谷戸橋 (野川)	1.2	±	0.1	10.8	±	0.2
D9	町田橋 (野川)	3.1	±	0.3	24.1	±	1.0
D10	野川合流点 (野川)	4.1	±	0.5	27.6	±	1.4
D11	丸子橋ゴルフ場付近	N.d. (0.2)			12.9	±	0.4
D12	川崎リバーサイドゴルフ場付近	2.3	±	0.3	15.7	±	0.9
D13	祖師谷公園 (仙川)	No data					
D14	六郷土手	1.8	±	0.3	23.7	±	1.2
D15	味の素川崎工場付近	No data					
D16	首都高下	N.d. (0.2)			2.2	±	0.1

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, (); Detection limit

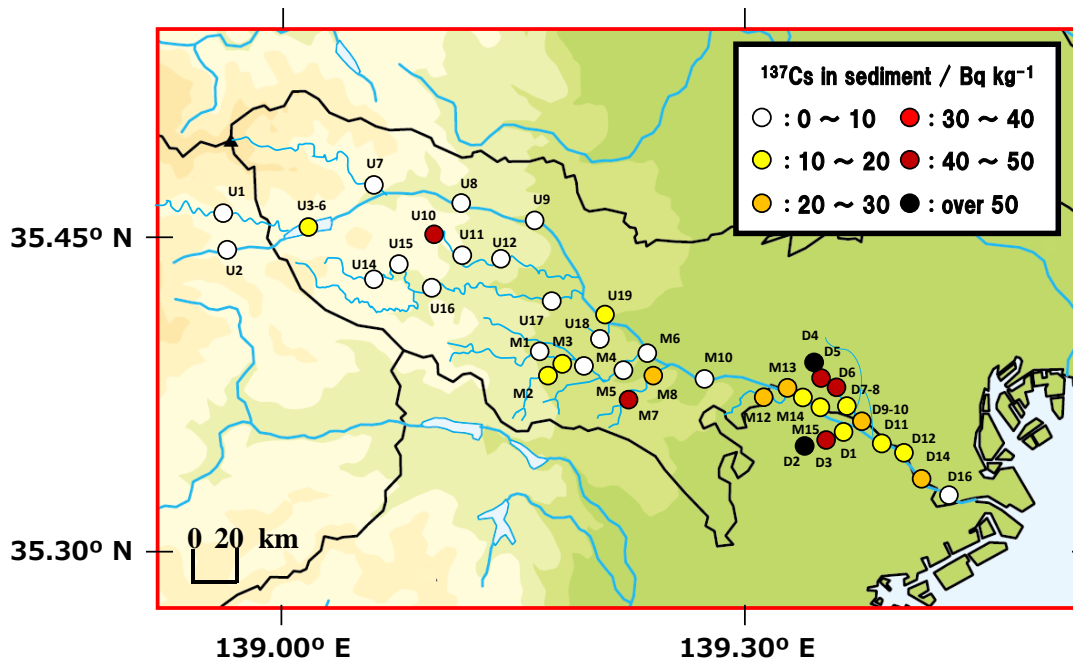


図 4 2017 年 12 月に採取した底質中 ¹³⁷Cs 濃度の分布図.

表 4 多摩川集水域における 2018 年 3 月, 6 月, 10 月の底質中 ¹³⁴Cs 濃度

No.	Sampling point	Activity concentration of ¹³⁴ Cs in sediment ($\pm 1\sigma$) / Bq kg ⁻¹								
		2018/3/2-4		2018/6/24-26			2018/10/12-14			
U1	丹波川	N.d. (0.2)		N.d. (0.2)			N.d. (0.2)			
U3	峰谷橋(奥多摩湖)	N.d. (0.2)		0.5	±	0.1	0.1	±	0.1	
U4	奥多摩フィールド(奥多摩湖)	3.1	±	0.4	0.9	±	0.2	N.d. (0.2)		
U5	留浦浮橋(奥多摩湖)	N.d. (0.2)		1.8	±	0.1	5.5	±	0.6	
U6	山のふるさと村(奥多摩湖)	2.6	±	0.4	N.d. (0.2)			N.d. (0.2)		
U7	日原川合流点	0.2	±	0.0	N.d. (0.2)			N.d. (0.2)		
U8	青梅澤野	0.8	±	0.2	0.3	±	0.1	N.d. (0.2)		
U9	青梅リバーサイドパーク	N.d. (0.2)		N.d. (0.2)			N.d. (0.2)			
U10	平井川上流	1.3	±	0.1	N.d. (0.2)			N.d. (0.2)		
U19	昭島下水処理場	5.8	±	0.5	4.0	±	0.4	2.1	±	0.2
M2	南浅川	-	-	-	0.2	±	0.1	0.1	±	0.1
M6	府中四谷橋	N.d. (0.2)		0.8	±	0.2	N.d. (0.2)			
M7	中和田橋(大栗川)	4.3	±	0.4	N.d. (0.2)			2.6	±	0.3
M8	霞ヶ関橋(大栗川)	3.2	±	0.2	N.d. (0.2)			N.d. (0.2)		
M12	三沢川中流	N.d. (0.2)		2.6	±	0.2	0.5	±	0.2	
M13	三沢川合流点	N.d. (0.2)		1.1	±	0.1	1.8	±	0.3	
M15	宿河原	8.3	±	0.6	10.3	±	0.3	2.5	±	0.3
D2	平四丁目公園(平瀬川)	17.2	±	0.8	3.7	±	0.3	0.7	±	0.1
D3	北村橋(宿河原用水路)	4.0	±	0.4	9.4	±	0.5	4.3	±	0.2
D4	弁天橋(野川)	1.3	±	0.1	N.d. (0.2)			0.5	±	0.1
D5	泉橋(野川)	N.d. (0.2)		N.d. (0.2)			N.d. (0.2)			
D6	大沢橋(野川)	3.1	±	0.4	3.1	±	0.2	3.5	±	0.3
D9	町田橋(野川)	6.8	±	0.5	3.7	±	0.3	3.6	±	0.3
D11	丸子橋	N.d. (0.2)		1.4	±	0.2	1.7	±	0.2	
D14	六郷土手	N.d. (0.2)		2.5	±	0.2	1.6	±	0.2	

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, (); Detection limit

表 5 多摩川集水域における 2018 年 3 月, 6 月, 10 月の底質中 ¹³⁷Cs 濃度

No.	Sampling point	Activity concentration of ¹³⁷ Cs in sediment ($\pm 1\sigma$) / Bq kg ⁻¹								
		2018/3/2-4		2018/6/24-26			2018/10/12-14			
U1	丹波川	2.0	±	0.1	2.9	±	0.4	2.9	±	0.4
U3	峰谷橋(奥多摩湖)	17.3	±	0.4	3.6	±	0.3	3.9	±	0.3
U4	奥多摩フィールド(奥多摩湖)	17.9	±	1.0	14.2	±	0.7	30.2	±	0.9
U5	留浦浮橋(奥多摩湖)	11.0	±	0.5	14.8	±	0.3	29.7	±	1.6
U6	山のふるさと村(奥多摩湖)	10.6	±	0.8	6.9	±	0.4	6.5	±	0.5
U7	日原川合流点	1.6	±	0.1	3.2	±	0.4	2.1	±	0.2
U8	青梅澤野	2.6	±	0.3	1.3	±	0.1	3.6	±	0.4
U9	青梅リバーサイドパーク	1.9	±	0.3	1.1	±	0.1	3.1	±	0.1
U10	平井川上流	67.2	±	2.0	60.6	±	1.8	2.8	±	0.3
U19	昭島下水処理場	9.9	±	0.4	6.0	±	0.3	21.8	±	0.7
M2	南浅川	27.8	±	0.6	13.1	±	0.8	2.8	±	0.3
M6	府中四谷橋	-	-	-	8.5	±	0.4	6.8	±	0.6
M7	中和田橋(大栗川)	41.6	±	1.3	44.4	±	0.5	46.1	±	1.3
M8	霞ヶ関橋(大栗川)	27.6	±	0.6	36.5	±	1.2	29.1	±	1.1
M12	三沢川中流	27.6	±	0.6	33.3	±	0.8	25.2	±	1.2
M13	三沢川合流点	16.9	±	0.5	12.1	±	0.3	22.5	±	1.1
M15	宿河原	8.2	±	0.3	8.8	±	0.6	9.4	±	0.2
D2	平四丁目公園(平瀬川)	77.2	±	1.8	63.7	±	1.6	75.7	±	2.1
D3	北村橋(宿河原用水路)	38.2	±	1.4	45.3	±	0.8	124.8	±	1.4
D4	弁天橋(野川)	88.5	±	2.0	108.9	±	0.9	54.7	±	0.9
D5	泉橋(野川)	171.1	±	2.9	38.4	±	1.2	14.6	±	0.5
D6	大沢橋(野川)	35.4	±	1.3	108.3	±	2.0	41.4	±	1.0
D9	町田橋(野川)	14.3	±	0.5	10.6	±	0.4	33.2	±	1.2
D11	丸子橋	13.5	±	0.4	17.4	±	0.7	28.5	±	0.7
D14	六郷土手	26.3	±	0.7	27.3	±	0.7	24.4	±	0.7

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, (); Detection limit

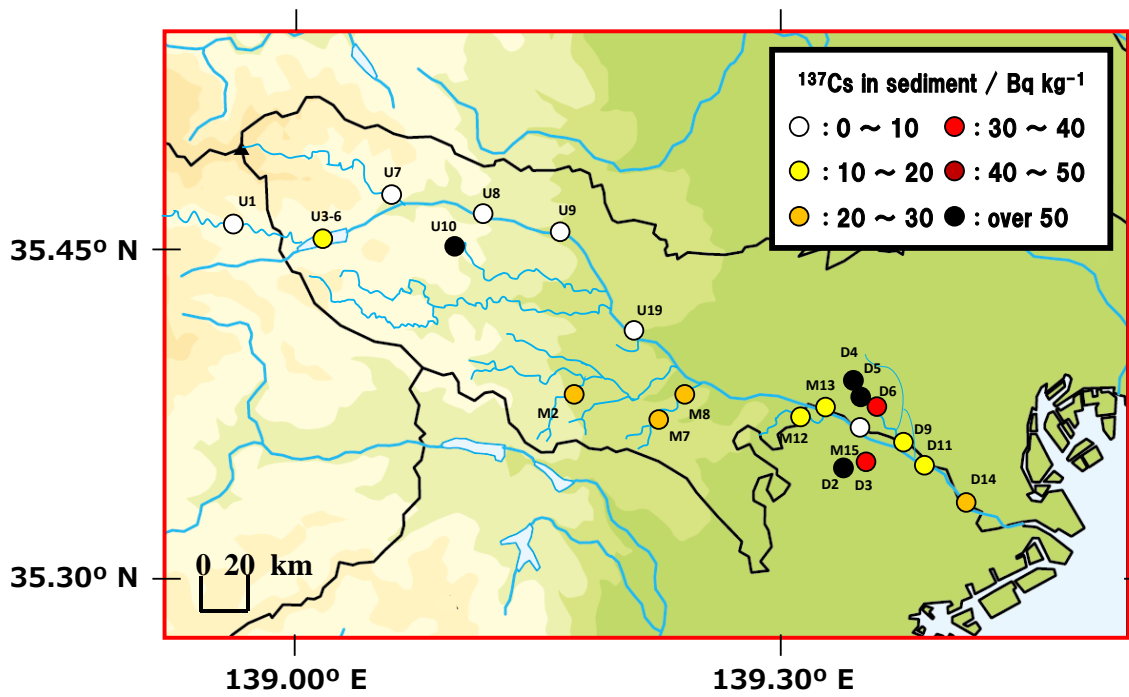


図 5 2018 年 3 月に採取した底質中 ^{137}Cs 濃度の分布図.

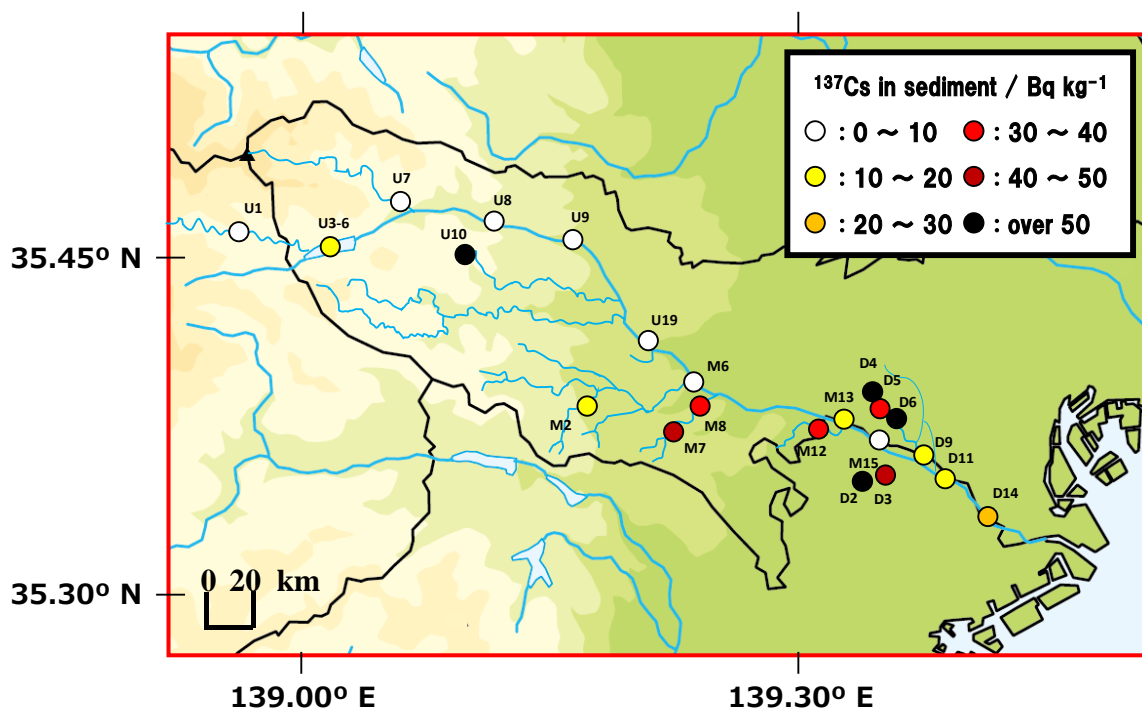


図 6 2018 年 6 月に採取した底質中 ^{137}Cs 濃度の分布図.

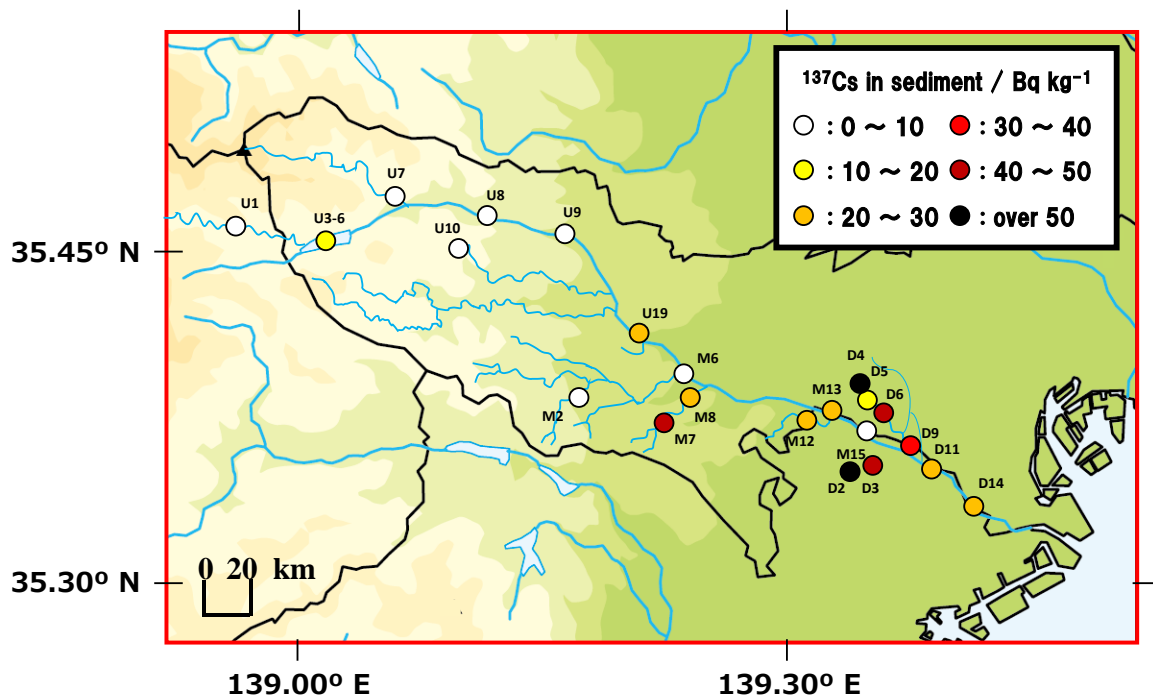


図 7 2018 年 10 月に採取した底質中 ^{137}Cs 濃度の分布図.

2017 年 12 月の試料と比較して濃度の変動はあまり見られなかったが、濃度が変化した地点も存在した。多摩川上流域では底質中セシウム濃度は低く、下流域に至るにつれ濃度が上昇している。奥多摩湖(U3~6)では周囲に比べ、底質中セシウム濃度が高く、局所的な堆積が見られた。奥多摩湖では河川の流水による底質の移行が起きないためであると考えられる。上流域では、丹波川(U1)、日原川合流点(U7)、青梅澤野(U8)、青梅リバーサイド付近(U9)では低濃度で推移しており、濃度上昇などは観測されなかった。日原川合流点(U7)では、河川水で濃度上昇が見られたが、底質での濃度上昇は見られなかった。これは河川水でのみ、放射性セシウムの移行が起き、底質中セシウムの濃度変動に関わらなかったと考えられる。また、昭島下水処理場付近(U19)では、2018 年 10 月に採取した試料では濃度上昇が見られた。奥多摩湖での経時変化は、峰谷橋(U3)及び山のふるさと村(U6)では、濃度が低下する傾向にあったが、奥多摩フィールド付近(U4)及び留浦浮橋(U5)では濃度が上昇する傾向であった。奥多摩フィールド付近及び留浦浮橋は、峰谷川及び丹波川の河口に位置するため、底質の移行が濃度変動の要因になることが考えられる。多摩川本流では、源流である奥多摩湖から下流域にかけて濃度が上昇していることがわかる。また、最下流の首都高下(U16)で濃度が低下した。この地点では、波の浸食により底質が沖合に流されることが考えられる。福島県松川浦での底質中セシウムの深度分布結果で

は、15～20 cm などでも0～5 cm と同様なレベルでの放射性セシウムの堆積が見られている事から¹⁵⁾、底質中に存在する放射性セシウムがより下方に移行していることも考えられる。中流付近の、三沢川との合流点(M13)で採取した底質試料は高い放射性セシウム濃度を示した。支流からの底質の移行と共に放射性セシウムも流れ込むことが示唆された。多摩川中流・下流域では、地点により濃度傾向が異なり、府中四谷橋(M6)、宿河原(M15)、六郷土手(D14)では濃度変動は観測されず、三沢川合流点(M13)、丸子橋(D11)では2018年10月に濃度上昇が観測された。府中四谷橋は浅川の合流点付近に近い地点であるが、濃度上昇が観測されなかった。

多摩川支流(平井川、浅川、大栗川、野川)では、上流域で高濃度の底質中放射性セシウムが観測され、上流から下流に至るにつれ濃度が低下していることが確認された。多摩川本流よりも流量が少ないため、底質の移行が起きにくいことが考えられる。そのため、上流部での堆積が起き、流量が多くなる支流下流域では、底質中セシウム濃度が低くなることが示唆される。多摩川支流野川での経時変化では、局所的な濃度上昇は観測されたが、濃度変動は見られなかった。しかし、2018年10月の野川上流域(D4～D6)では濃度が減少し、下流の町田橋では上昇した。他の支流での上流域(U10, M12)でも濃度が減少したことから、9月の降雨や台風に伴い、河川の流量の上昇し底質の移行が起きたことで、合流点や下流域で濃度が上昇することが推測される。

河川周辺土壌中放射性セシウム濃度(表6及び表7)は多摩川本流及び支流野川の両方で、底質中放射性セシウム濃度よりも高い傾向にあった。多摩川源流域の丹波川や野川上流域の弁天橋で濃度が高いことから、周辺土壌からの河川への流入による放射性セシウムの供給も考えられる。

表6 多摩川本流で採取した周辺土壌及び底質中の放射性セシウム濃度

No.	Sampling point	Activity concentration in sediment / Bq kg ⁻¹				Activity concentration in soil / Bq kg ⁻¹							
		¹³⁴ Cs (±1σ)		¹³⁷ Cs (±1σ)		¹³⁴ Cs (±1σ)		¹³⁷ Cs (±1σ)					
U1	Tanbagawa	0.2	±	0.1	2.7	±	0.2	8.5	±	0.5	70.5	±	1.7
U8	Omesawano	N.d. (0.2)		7.7	±	0.4	0.6	±	0.1	25.1	±	0.5	
M15	Shukugawara	4.0	±	0.4	21.2	±	1.0	3.1	±	0.7	34.8	±	0.7
D16	Shutokoshita	N.d. (0.2)		4.7	±	0.3	21.4	±	0.5	169.5	±	1.7	

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, 0; Detection limit

表 7 多摩川支流野川で採取した周辺土壌及び底質中の放射性セシウム濃度

No.	Sampling point	Activity concentration in sediment / Bq kg ⁻¹						Activity concentration in soil / Bq kg ⁻¹					
		¹³⁴ Cs (±1σ)			¹³⁷ Cs (±1σ)			¹³⁴ Cs (±1σ)			¹³⁷ Cs (±1σ)		
D4	Bentenbashi	11.7	±	0.6	98.1	±	2.0	12.5	±	1.8	158.0	±	6.7
D5	Izumibashi	8.4	±	0.5	64.2	±	1.6	14.7	±	1.4	111.1	±	3.4
D6	Osawabashi	3.5	±	0.2	44.1	±	0.7	9.8	±	0.9	63.0	±	2.1
D8	Yatobashi	1.7	±	0.2	7.3	±	0.5	N.d. (0.5)			13.1	±	0.8
D10	Nogawagoryuten	1.6	±	0.2	16.4	±	0.8	11.4	±	0.8	113.9	±	2.3

Activity concentration of radioactive cesium have been corrected to sampling date

N.d.; Not detected, (); Detection limit

3.5. 底質中放射性セシウムの化学形態別分析

2013年から2017年にかけての宿河原での逐次抽出実験結果を図8に示す。宿河原での逐次抽出試験結果より、そのほとんどがOXとRESに分類された。OX及びRESは不溶性形態であり、河川水及び雨水などの環境水と触れた際でも溶出することがなく、底質中に留まると考えられる。底質のX線回折分析より、粘土鉱物のピークが見られていることから、OX、RESの放射性セシウムは粘土鉱物中に取り込まれ、吸着していることが示唆された。一方で、水溶性であるIE及びCBは検出されなかった。事故直後に存在した水溶性放射性セシウムは、河川の流れにより洗い流されたため、宿河原の底質中に存在しないことが考えられる。川崎市で採取された土壌の逐次抽出試験結果ではOXが約25%、RESが約75%であった¹⁶⁾。これは、多摩川集水域における底質と類似した結果であった。川崎市で採取された土壌と宿河原の底質中の放射性セシウムは同様な形態で存在していると考えられる。

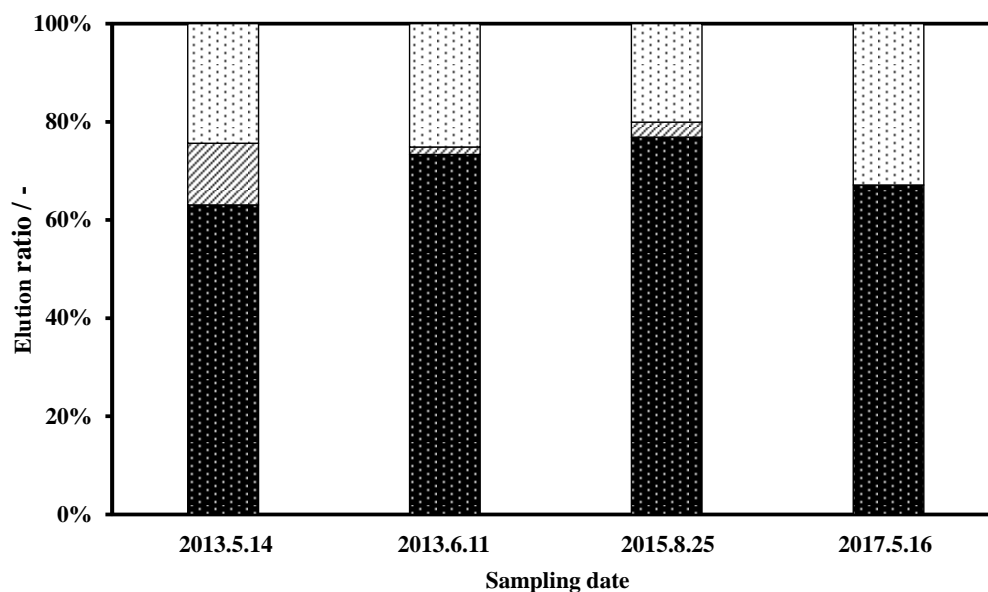


図 8 多摩川(宿河原堰堤下流)における底質中の¹³⁷Cs存在割合.

☐ : OX fraction, ▨ : OB fraction, ■ : RES.

4. 結言

河川中の放射性セシウムは、溶存態、懸濁態、底質の三つの形態で存在していると考えられる。溶存態は放射性セシウムが河川水中に Cs^+ として存在する形態(溶存態セシウム)、懸濁態は河川水中に浮遊する $1 \mu\text{m}$ 以上の粒子中に存在する形態(懸濁態セシウム)、底質は河川の河床に堆積する砂及び粘土・シルトに放射性セシウムが存在する形態である。溶存態セシウムは、根から植物中に取り込まれることで移行する。懸濁態セシウムは、土壌中粒子に取り込まれ、河川の流れによる長距離輸送による二次拡散が生じる。底質中放射性セシウムは、長期間河床に滞留することが考えられる。よって、環境での存在形態が異なる三つの形態全てをモニタリングすることで河川中での動態を明らかにすることができる。懸濁物及び底質のより詳細な化学分析が今後必要であると考えられる。

多摩川集水域で放射性セシウムのモニタリングを行うことで、低線量地域での汚染状況の把握と移行に関する情報を取得することができた。溶存態セシウムの広域モニタリングの結果、中流・下流域で溶存態セシウムが多く検出された。奥多摩湖や支流上流域から溶存態セシウムが検出されたことから、中流・下流域の溶存態セシウムの供給源であることが考えられる。底質中放射性セシウムは、多摩川本流では下流域で濃度が高い傾向にあった。また、多摩川支流では上流域で濃度が高い傾向にあったことから、本流と支流では底質の移行状況に違いがあると考えられる。溶存態セシウムの分析結果をふまえると、多摩川支流が底質中放射性セシウムの多摩川本流への供給源の一つであると推測される。2017年12月から2018年10月にかけての季節毎の広域モニタリング結果より、2018年10月で、支流合流点付近での底質中放射性セシウム濃度の上昇と多摩川支流の底質中放射性セシウム濃度の低下が観測された。このことから、多摩川支流に存在している底質が降雨や台風により、合流点付近に移行したことが示唆される。

底質中放射性セシウムは OX 及び RES として存在しており、粘土鉱物中に取り込まれ、吸着している固定化されている可能性がある。底質中放射性セシウムの定点観測結果より、底質中放射性セシウム濃度は時間経過に伴い減衰していた。得られた結果より、FDNPP 事故から 30 年経過した場合の底質中放射性セシウム濃度は現在の約 $1/7$ になることが示された。降下した放射性セシウムは降雨などのイベントと共に流れによる移行と沈降を繰り返しながら、緩やかな減衰を辿ることが示唆されたため、溶存態及び懸濁態、底質のモニ

タリングは今後も継続する必要がある。

河川水系における放射性セシウムに関する研究では懸濁態セシウムに焦点をおいたものが多く報告されているが、そこに溶存態セシウムを絡めた報告は少ない。本研究で得られた多摩川集水域における底質の観測値と、懸濁態、さらに溶存態の二形態の放射性セシウムの分析結果を加えて解析を続けることで、今後の低濃度に推移していく放射性セシウムの河川集水域での蓄積や効率的な除染に関する知見に繋がると考えている。

謝辞

本研究に助成を頂いた公益財団法人とうきゅう環境財団(現:公益財団法人 東急財団環境部)に深く感謝いたします。また本研究の実施にあたり、現地臨時備役者及び室内臨時備役者として研究活動に参加した明治大学大学院理工学研究科の福田大輔氏, 秋山将人氏, 笠利実希氏, 高橋朋基氏, そして明治大学放射化学研究室の皆様のご協力に対して心からの謝意を表します。

5. 参考文献

- 1) H. Tsuji, T. Yasutaka, Y. Kawade, T. Onishi and T. Komai: *Water Res.*, **60**, 15 (2014).
- 2) Y. Shinomiya, K. Tamaji, M. Kobayashi, Y. Ohnuki, T. Shimizu, S. Iida, T. Nobuhiro, S. Sawano, Y. Tsuboyama and T. Hiruta: *Soil Sci. Plant Nutr.*, **60**, 765 (2014).
- 3) S. Somboon, N. Kavasi, S. K. Sahoo, K. Inoue, H. Arae, H. Tsuruoka, H. Shimizu and M. Fukushima: *J. Environ. Radioact.*, **195**, 40 (2018).
- 4) 三上剛史, 眞家永光, 嶋田浩, 塚田祥文, 柿崎竹彦, 馬場光久, 高松利恵子, 丹治肇: *水環境学会誌*, **39**, 171 (2016).
- 5) 長尾 誠也, 金森 正樹, 鈴木 究真, 落合 伸也, 井上 睦夫: *分析化学 (BUNSEKI KAGAKU)*, **66**, 243 (2017).

- 6) Y. Oura and M. Ebihara: *Geochem. J.*, **46**, 303 (2012).
- 7) 吉田政高, 石井正人, 喜多和子, 伊藤晴夫, 佟曉波, 董玫: とうきゅう環境財団研究成果報告書(学術研究 No. 309) (2014).
- 8) 吉田政高, 石井正人, 喜多和子, 伊藤晴夫, 佟曉波, 董玫: とうきゅう環境財団研究成果報告書(学術研究 No. 322) (2016).
- 9) 小池裕也, 萩原健太: とうきゅう環境財団研究成果報告書(学術研究 No. 326) (2017).
- 10) 小池裕也, 鈴木亮一郎, 越智康太郎, 萩原健太, 中村利廣: 分析化学 (*BUNSEKI KAGAKU*), **66**, 263 (2017).
- 11) 福田 大輔, 萩原 健太, 鈴木 亮一郎, 栗原 雄一, 中村 利廣, 小池 裕也: *Radioisotopes*, **67**, 59 (2018).
- 12) A. Tessier, P. G. C. Campbell and M. Bisson: *Anal. Chem.*, **51**, 844 (1979).
- 13) 小池裕也, 福田大輔, 塩原良建: *J. Soc. Inorg. Mater., Japan (Muki-Materiaru)*, **25**, 108 (2018).
- 14) 保高徹生, 申文浩, 恩田裕一, 信濃卓郎, 林誠二, 塚田祥文, 青野辰雄, 飯島和毅, 江口定夫, 大野浩一, 吉田幸弘, 上東浩, 北村清司, 久保田富次郎, 野川憲夫, 吉川夏樹, 山口裕顕, 末木啓介, 辻英樹, 宮津進, 岡田往子, 栗原モモ, Sandor Tarjan, 松波寿弥, 内田滋夫: 分析化学 (*BUNSEKI KAGAKU*), **66**, 299 (2017).
- 15) 有田康一, 矢部徹, 林誠二: 土木学会論文集 G (環境), **70**, III_225 (2014).
- 16) 越智康太郎, 藤井健悟, 萩原健太, 大淵敦司, 小池裕也: 分析化学 (*BUNSEKI KAGAKU*), **66**, 175 (2017).

多摩川集水域50地点定期モニタリングによる
放射性セシウム蓄積スポット調査
(研究助成・学術研究 VOL. 48—NO. 338)

著 者 小池 裕也
発行日 2019年12月
発行者 公益財団法人 東急財団
〒 150-8511
東京都渋谷区南平台町5番6号
TEL (03) 3477-6301
FAX (03) 3496-2965
<http://foundation.tokyu.co.jp>