

第2 調査研究成果

テーマ「放射性物質対策の効果持続性の把握」

河川敷等における除染効果持続性の検証

1. 背景

東京電力福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性物質が大気中に放出され、周辺地域が広範囲に汚染された。環境汚染への重要な対策の一つとして、外部被ばくリスクを低減するための除染が行われた。除染は、住宅、公共施設、道路等の生活空間を中心に実施されたほか、河川や湖沼等の水環境では、河川敷の公園も除染された¹⁾。その他にも、河川や湖沼のモニタリング、水道水の検査、ため池の放射性物質対策、環境動態研究等、県民の安全確保や不安軽減のために、国、地方公共団体、研究機関等において、水環境における様々な放射性物質対策が講じられている。

河川敷等においては汚染状況の事前調査を踏まえた表土除去が空間線量率の低減に有効であることと等をフェーズ1において示した。一方、河川敷においては出水等に伴う土砂の侵食・堆積を通じた空間線量率の変動がみられることから、除染後の効果持続性の検証や空間線量率の変動要因の評価等が重要である。そこで福島県環境創造センターでは、2019年からのフェーズ2においては引き続き除染実証試験の効果持続性を検証するとともに、河川公園を対象として空間線量率逡減に関わる各種要因の寄与を時空間的に検討した。今回、これらの概要をまとめた。

2. 実施内容及び方法

2. 1. 河川敷における除染効果持続性の検証

2. 1. 1. 内容

河川は事故によって環境中に沈着した放射性セシウムの陸域における主要な輸送経路である。放射性セシウムは土壌粒子と強く結合する性質があり、懸濁態として特に出水時に輸送された結果、河川敷には放射性セシウムを含む土砂が厚く堆積する場合がある。フェーズ1において河川敷の放射性セシウムの分布状況を踏まえた除染の実施が空間線量率の低下に有効であることを明らかにしたが、河川敷においては除染後に土砂が再び堆積し、再汚染が生じる懸念がある。河川敷の植生があると流れの抵抗となって土砂を捕捉しやすいため、河川敷の管理を終えた後の挙動を知り、必要に応じて適切な対策をとることが重要である。そこで、除染試験を行った河川敷を対象に試験後7年間の経過を調査した。

2. 1. 2. 方法

実証試験は東京電力福島第一原子力発電所の北西 55 km に位置する阿武隈川の 3 次支流、上小国川の最下流部で実施した (図 1(a)、(b))。放射性セシウムの沈着量は 300–600 kBq/m² (セシウム 134 と 137 の合計) である²⁾。流域の大部分は森林に覆われ、河川沿いに農地と宅地が分布している (図 1(b))。試験区画は総延長 170 m、堤防幅は平均 15 m、平水時の河道は概ね 2–6 m 幅である (図 1(c)、(d))。河川左岸は小学校とその通学路、右岸は樹園地であり、高水敷は事故前には小学校の授業等に利用されていた。

試験地の変遷を図 2 に示す。2014 年に除染実証試験を行った後、2016 年までは除草を行い、河川敷の植生を刈り取った。2017 年以降は除草作業をやめ、植生を繁茂させた。当センター以外が行った人為的な攪乱として、2018 年に調査地の右岸上流側で災害復旧工事が行われ、堤防が修復されたほか河川敷の形状が変化した。2019 年及び 2021 年には河川改修工事の一環で、高水敷の掘削作業が行われた。2021 年から 2022 年にかけて右岸の拡幅工事が行われた。なお、除染実証試験の結果についてはフェーズ 1 報告書及び Nishikiori and Suzuki (2017)³⁾ で詳細に報告されている。

継続調査について 2020 年まで試験区間の地表 1 m 高さの空間線量率を、NaI シンチレーション式サーベイメータを用いて測定した。また、測定地点の標高を RTK-GPS を用いて測定し、出水による調査地の標高変化を観測した。高水敷の堆積物の礫を除いた試料について放射性セシウム濃度を測定し、試料の全重量に占める泥画分(シルトと粘土)の割合を算出した。

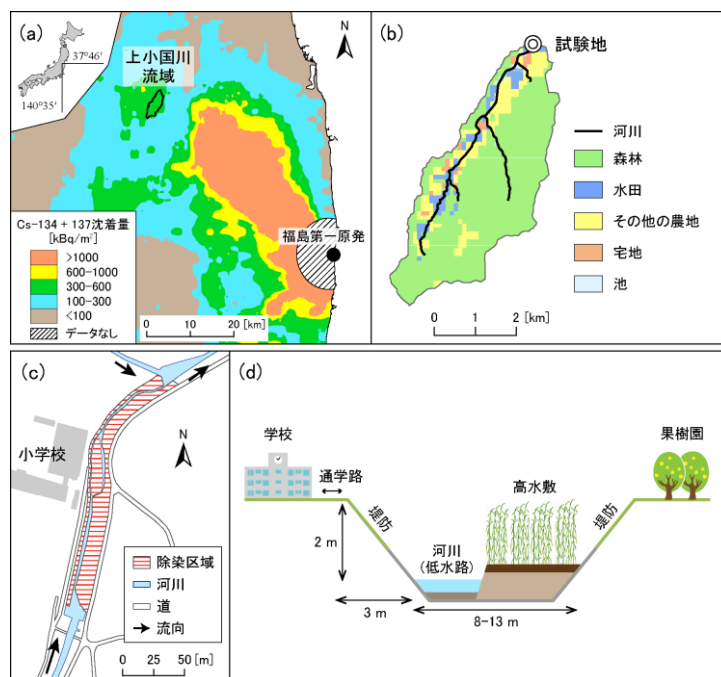


図 1 調査地概要

注：放射性セシウムの沈着量は第 3 次航空機モニタリング (2011 年 7 月 2 日換算) の結果²⁾から作成。高水敷は常時水が流れている河川(低水路)より一段高い敷地を指す。



図2 試験地の変遷

2. 2. 河川公園における空間線量率の変化

2. 2. 1. 内容

河川敷においては放射性セシウムを高濃度で含む土砂が出水によって堆積することで、局所的な放射性セシウムの蓄積とそれに伴う空間線量率の上昇がみられることがある。その一方で、台風のような大きな出水時には堆積土砂の侵食や放射性セシウム濃度の低い土砂の堆積による遮へいを通じて空間線量率の低下が生じることもある。これを自然減衰作用と呼ぶ。河川敷における長期的な汚染状況および空間線量率の変化傾向を捉えるためには、出水をはじめとするイベントの影響を定量的に明らかにする必要がある。加えて、出水イベント等による空間線量率の変化は地形や土地利用状況によって空間的に不均質に生じるため、線量分布を明らかにすることも重要である。本研究では、2つの河川公園を対象に除染及び台風による出水が公園内の空間線量率に与える影響を面的に評価した。

2. 2. 2. 方法

調査は福島県浜通りの新田川下流の河川公園 2 か所で行った (図 3)。公園 A は新田川本流沿いに、公園 B は新田川の一次支流である水無川沿いに位置する。水無川は上流にダムを持つという特徴がある。流域の放射性セシウム沈着量は上流部で高く、1,000 kBq/m²を超えるが、公園 A で 490 kBq/m²、公園 B で 210 kBq/m²である²⁾。面積は公園 A、公園 B ともに 2.7 ha である。公園 A においては 2016 年はじめに、公園 B においては 2017 年に公園内部の除染作業が行われた。南相馬市においては 2015 年 9 月、2017 年 10 月、及び 2019 年 10 月に台風が到来し、2015 年及び 2019 年の台風により公園内が冠水した。公園 A においては 2 度の台風で堤防の一部が損傷した。2019 年の令和元年東日本台風の後には両公園において多量の土砂の堆積がみられている。なお、令和元年東日本台風後の調査結果については別章において詳述する。

2015 年 8 月より可搬型ガンマ線計測装置 (ガンマプロッターH、日本放射線エンジニアリング株式会社) を用いて、調査地の地表 1 m 高さの空間線量率を測定し、得られたデータを普通クリギングによって補間し、解像度 2 m の空間線量率マップを作成した。

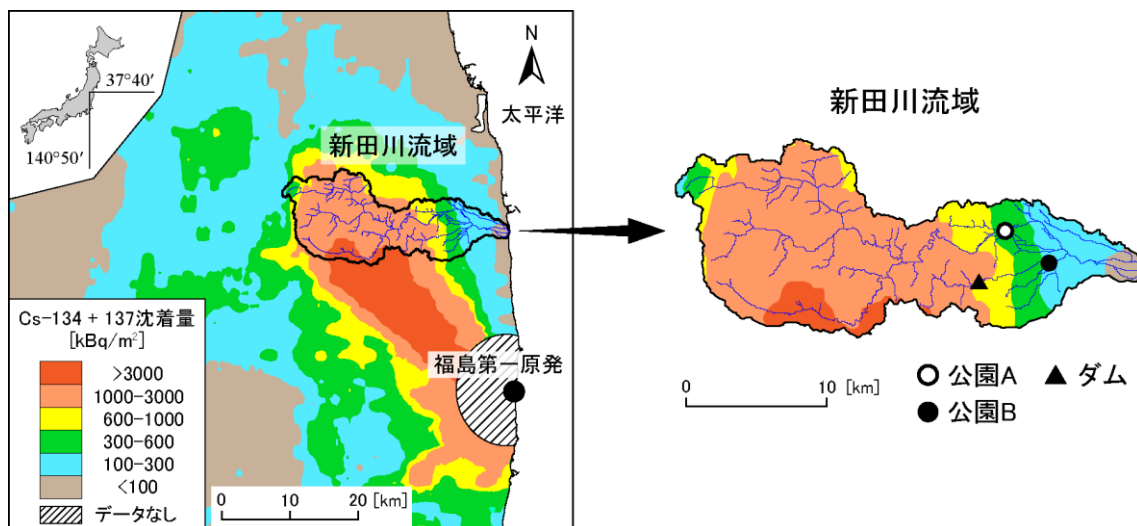


図 3 調査地位置図

注：放射性セシウムの沈着量は第 3 次航空機モニタリング (2011 年 7 月 2 日換算) の結果²⁾ から作成

2. 3. 既往の文献との比較

福島県内には大小さまざまな河川が流れており、上流域の放射性セシウム汚染状況や出水の様子等が異なっており、当センターの調査をそのまま一般化することは難しい。そこで、河川敷における空間線量率や堆積土砂の性状等を対象とした論文を収集・整理し、福島県内における調査地以外の河川敷の状況について検討し、本調査と比較した。

3. 結果

3. 1. 河川敷における除染効果持続性の検証

図4に実証試験後の河川敷の空間線量率の変化を示す。除染エリアにおいては除染実証試験によって空間線量率は概ね半減し、それ以降継続的に低下した。低下のペースは放射性セシウムの物理減衰と同程度であり、除染後の汚染の進行は確認されなかった。一方、非除染エリアにおいては除染エリアよりも空間線量率低下のペースが早かった。台風(2015年9月および2019年10月)通過後に空間線量率の低下が大きいことから、出水による自然減衰の影響と考えられる。

植生が繁茂した河川敷への土砂堆積について、2016年12月～2017年8月の堆積物は泥画分が若干高く、実証試験から2016年冬までの堆積土砂に比べて放射性セシウム濃度が高かった。ただし、実証試験以前に堆積していた土砂に比べると泥画分、放射性セシウム濃度ともに低かった。一方、2017年12月には10月の台風によって厚さ20cm程度の土砂が堆積していたが、堆積土砂は砂質であり放射性セシウム濃度も低かった。除草を止めて1年では再汚染が進行するまでには植生が回復しなかったと考えられる。また、台風のような大出水においては植生の土砂の捕捉能力に限りがあった。従って、数年に一度程度のペースの除草作業によって、ある程度土砂の堆積に伴う放射性セシウムの再汚染を抑制できることが示唆された。

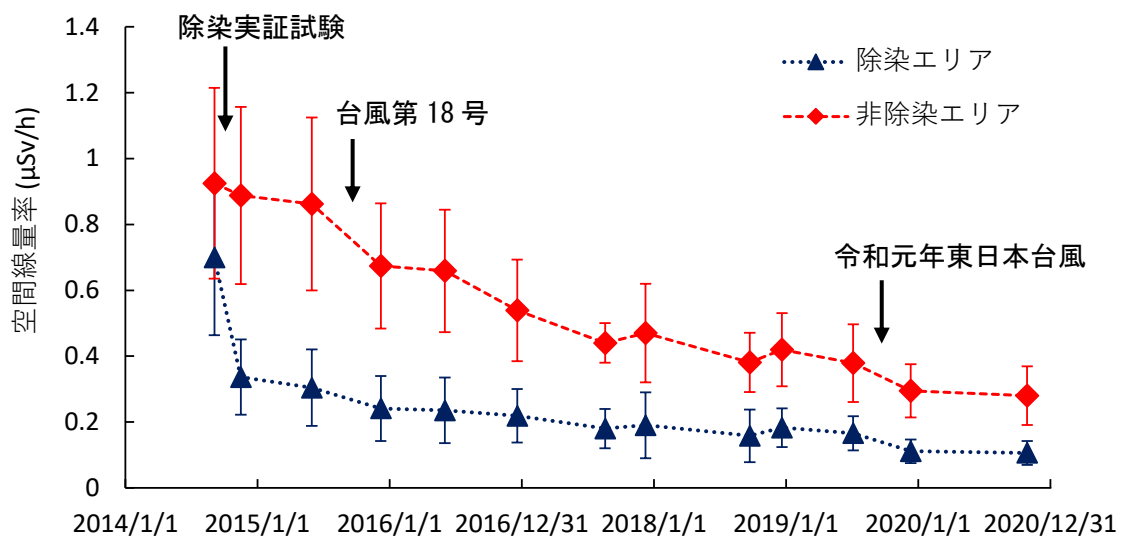


図4 上小国川調査地の空間線量率の変化

注) エラーバーは標準偏差を示す。

3. 2. 河川公園における空間線量率の変化の検討

図 5 に公園 A における 2015 年 8 月から 2021 年 5 月までの空間線量率変化をマップで示す。調査を開始した 2015 年から 2021 年にかけて公園全体で空間線量率が低下した。公園内部の差をみると、大きな出水の後には新田川に沿った河川近傍、特に大きな侵食の生じた公園北東部において空間線量率の低下が著しかった(図 5(b)、(f))。2015 年の台風通過後には河川敷に砂質土砂が多量に堆積しており、放射線遮へいの効果があったと考えられる。一方、2019 年の台風通過後には河川敷の土砂の一部が流失しており、線源の除去による空間線量率の低下が生じていた。

除染作業の後には、精力的に除染された公園内部のみで空間線量率が低下した(図 5(c))。また、2020 年 12 月には公園南東の河川沿いにおいて空間線量率の低下がみられるが(図 5(i))、これは台風被害への対応として行われていた河川工事により堆積土砂が撤去されたことに由来している。河川敷の一部において現在でも放射性セシウムを含む土砂が堆積している場合があることが明らかとなった。

空間線量率の中央値の変化を図 6 に示す。空間線量率は 3 度の台風及び除染作業後に低下していた。河川公園における空間線量率の低下は主に放射性セシウムの物理減衰、降雨による放射性セシウムの下方浸透、台風時の侵食・堆積効果、および除染等の人為的影響が考えられ、2015 年 8 月～2021 年 5 月の期間におけるそれぞれの寄与率は 34%、13%、12%、40%と推定された。公園 A における台風の影響の大きさが明らかとなった。

公園 B における空間線量率の変化を図 7 に示す。公園 B は面する河川の規模が小さく、また上流にダムがあるためか、2015 年の台風第 18 号後の空間線量率変化は僅かであった。一方、2019 年の令和元年東日本台風の後は大きく空間線量率が低下しており、台風の規模の違いによる影響が表れていた。

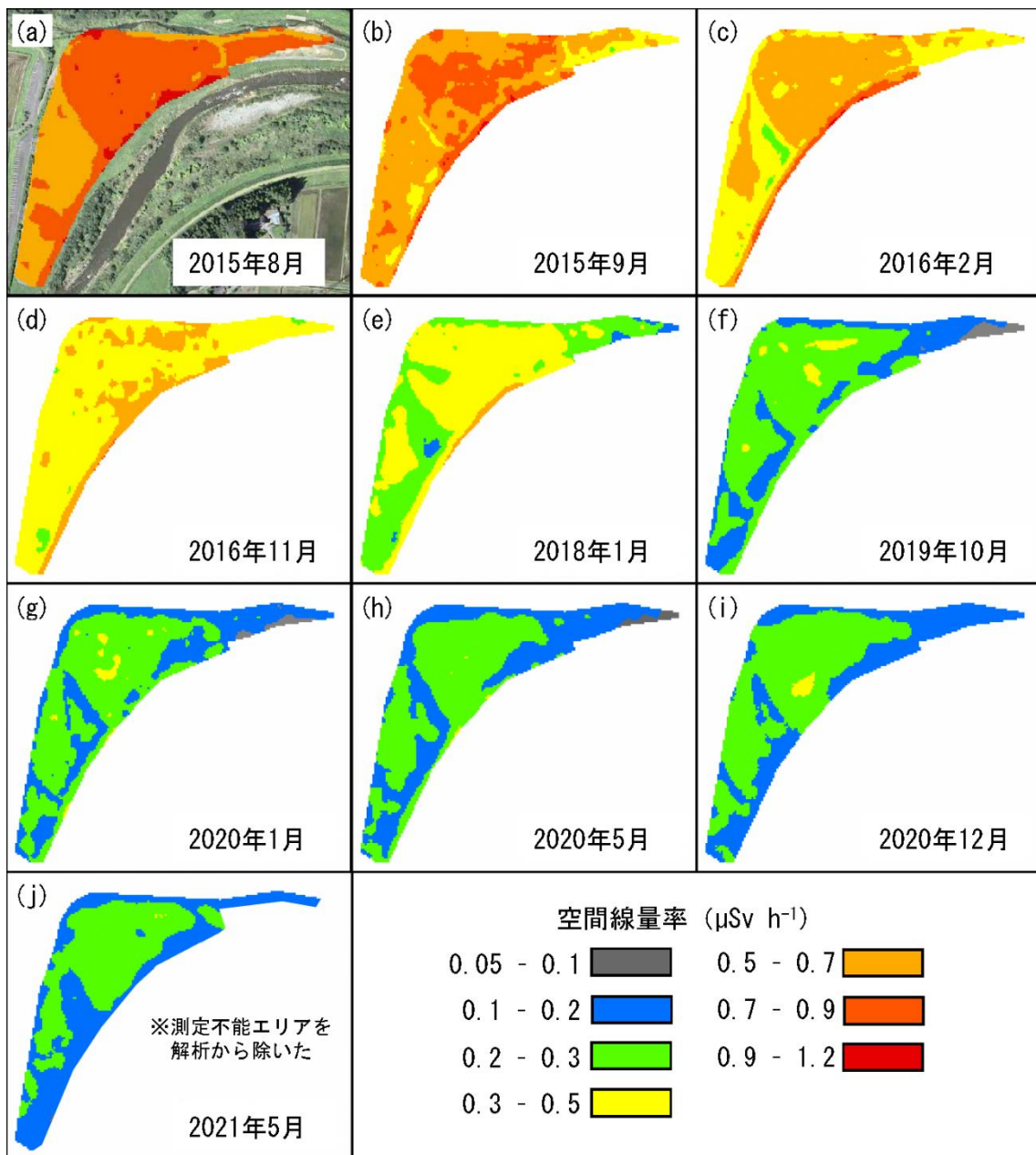


図5 公園Aにおける空間線量率の空間分布変化

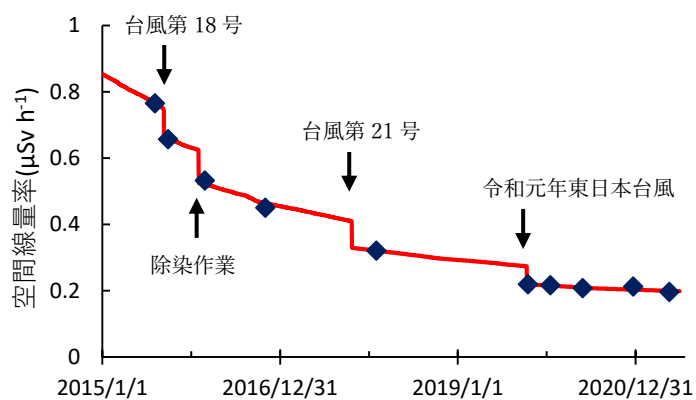


図6 公園Aの空間線量率マップ中央値の経時変化

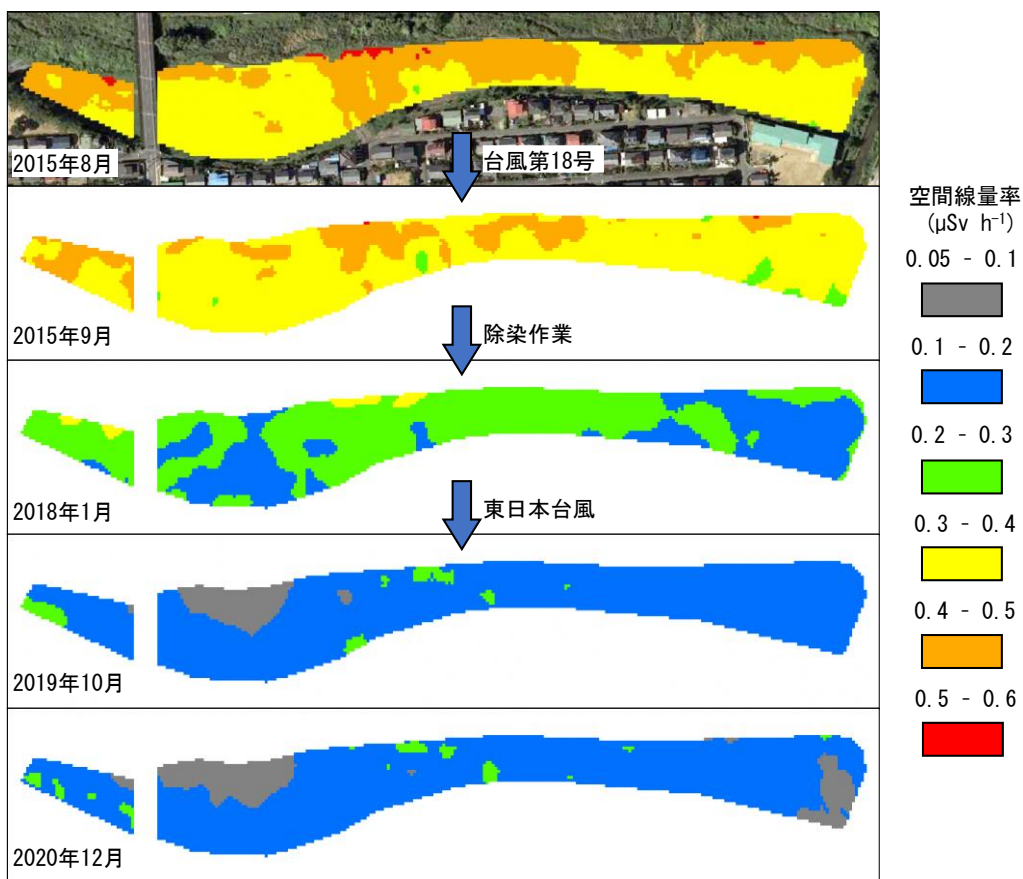


図7 公園Bにおける空間線量率の空間分布変化

3. 3. 既往の文献との比較

図8に収集した論文が対象とした調査地を示す。主に汚染が生じた阿武隈川以東において広い範囲で調査が行われている。震災から数年の間に発表された事故後初期の報告においては、植生の繁茂する河川敷を中心に放射性セシウムの蓄積に着目した研究例がみられた^{4, 5, 6, 7)}。これらの研究では植生の繁茂によって放射性物質が事故直後の沈着以上に蓄積しており、汚染が進行していることが示された。この結果は当センターがフェーズ1で確認した、除染実証試験前の河川敷や河川公園における堆積土砂中の放射性セシウム深度分布や蓄積量の傾向と一致している。

一方、2015年に発生した台風第18号以降の影響を調査した論文においては、出水後に空間線量率が低下すること⁸⁾、放射性セシウム濃度の低い土砂が地表面に堆積することで放射線の遮へいが生じること⁹⁾などが示され、出水に伴う空間線量率低下がみられるようになってきている。JAEAの調査¹⁰⁾においても河川敷の空間線量率は2012～2016年にかけて低下していることが示されている。加えて、河川水中の放射性セシウム濃度は大半の河川において継続的に低下していることから¹¹⁾、今後も出水に伴い空間線量率が低下する傾向が持続することと考えられる。

従って、福島県内の河川において出水に伴って放射性セシウムの再汚染が進行することは一般的ではなく、むしろ多くの地点においては自然減衰作用によって空間線量率が低下していくことが予想される。

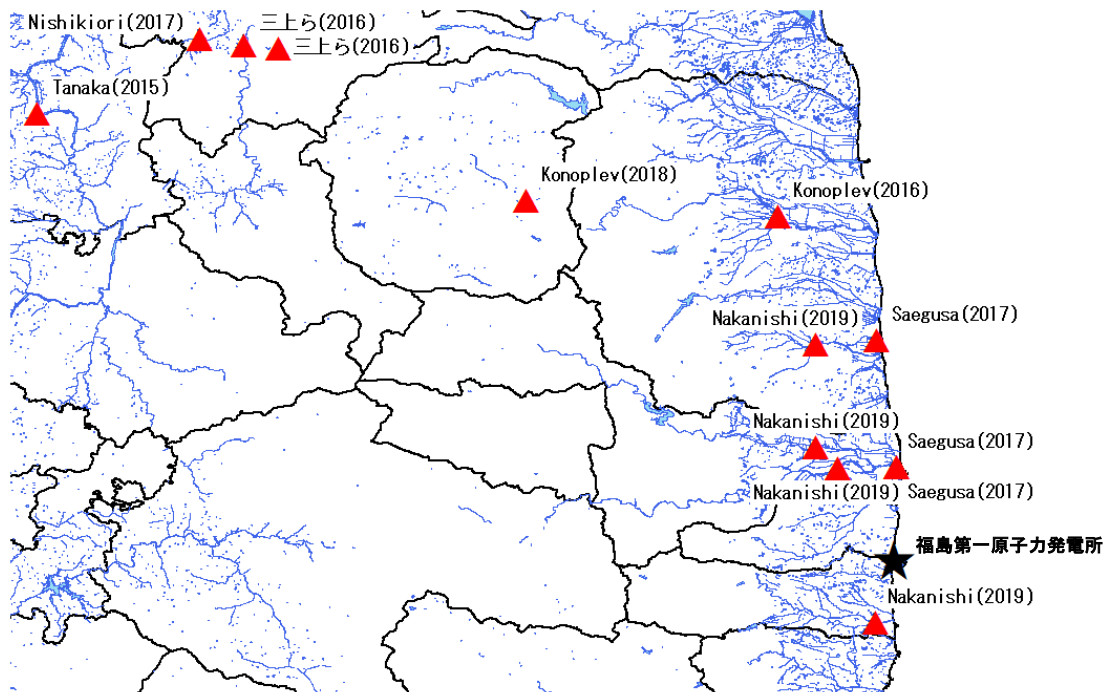


図8 既往の研究の調査地

注) 多地点調査を行った論文の場合には河川の代表位置1点で示している

4. まとめ

フェーズ2においては、河川敷や河川公園において除染後の効果持続性について空間線量率変化や堆積土砂の性状から検証を行った。河川敷・河川公園ともに空間線量率は継続的に低下しており、台風等の出水後にも線量率は低下した。これは大規模出水が再汚染にはつながらないことを示唆している。この傾向は既往の研究ともおおむね一致しており他の河川においても空間線量率は低下傾向にあった。以上のことから、河川敷等においても一度行った除染の効果は比較的維持するものと考えられる。また、除染を行っていない河川においても、一般的には自然減衰の作用によって空間線量率が低下していくことが予想される。

なお、本章の内容について、上小国川の河川敷の継続調査結果については Yamasaki et al. (2020)¹²⁾ において公表されている。

謝辞

末筆ながら、お忙しい中調査に御協力いただいた自治体の御担当者の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省 (2018) 除染関係ガイドライン (平成 25 年 5 月 第 2 版 (平成 30 年 3 月追補)) . <http://josen.env.go.jp/material/> (2024 年 1 月 26 日最終閲覧)
- 2) 文部科学省 (2011) 第 3 次航空機モニタリングの放射性セシウムの沈着量の測定結果 (2011 年 7 月 2 日換算). https://emdb.jaea.go.jp/emdb_old/portals/b1020201/ (2024 年 1 月 26 日最終閲覧)
- 3) Nishikiori T., Suzuki S. (2017) Radiocesium decontamination of a riverside in Fukushima, Japan. *Journal of Environmental Radioactivity* 177, 58-64.
- 4) Evrard O., Chartic C., Onda Y., Patin J., Lepage H., Lefevre I., Ayrault S., Ottele C., Bontre P. (2013) Evolution of radioactive dose rates in fresh sediment deposits along coastal rivers draining Fukushima contamination plume. *Scientific reports* 3, 3079.
- 5) 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 (2016), 阿武隈川支流の堤外地表層における ¹³⁷Cs 濃度の経時的変化. *水環境学会誌* 39(5), 171-179.
- 6) Saegusa H., Ohyama T., Iijima K., Onoe H., Takeuchi R., Hagiwara H. (2016) Deposition of radiocesium on the river flood plains around Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity* 164 36-46.
- 7) Konoplev A., Golosov V., Laptev G., Nanba K., Onda Y., Takase T., Wakiyama

- Y., Yoshimura K. (2016) Behavior of accidentally released radiocesium in soil-water environment: Looking at Fukushima from a Chernobyl perspective. *Journal of Environmental Radioactivity* 151, 568-578.
- 8) Konoplev A., Golosov V., Wakiyama Y., Takase T., Yoschenko V., Yoshimura T., Parenjuk O., Cresswell A., Ivanov M., Carradine M., Nanba K., Onda Y. (2018) Natural attenuation of Fukushima-derived radiocesium in soils due to its vertical and lateral migration. *Journal of Environmental Radioactivity* 186, 23-33.
- 9) Nakanishi T., Sato S., Matsumoto T. (2019) Temporal changes in radiocesium deposition on the Fukushima floodplain. *Radiation Protection Dosimetry* 184(3-4), 311-314.
- 10) Taniguchi K., Onda Y., Smith H.G., Blake W., Yoshimura K., Yamashiki Y., Kuramoto T., Saito K. (2019) Transport and redistribution of radiocesium in Fukushima fallout through rivers. *Environmental Science and Technology* 53(21), 12339-12347.
- 11) JAEA 福島長期環境動態研究における河川調査で行われた河川敷の線量率分布調査結果. https://emdb.jaea.go.jp/emdb_old/portals/1030113000/ (2024年1月26日最終閲覧)
- 12) Yamasaki T., Suzuki S., Nishikiori T. (2020) Control of radiocesium recontamination by plant removal along a decontaminated riverside in Fukushima, Japan. *Journal of Environmental Management* 270, 110856.