

<報文>

福島県浜通りにおける河川中の放射性セシウムの動き*

竹内幸生**・入澤歩**・那須康輝**・樊少艶**・谷口圭輔***・恩田裕一****

キーワード ①放射性セシウム ②河川 ③懸濁態 ④実効環境半減期 ⑤移行量

要 旨

2011年3月に発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性核種は環境中に沈着した。そのうちセシウム137は、降雨などによって土壌粒子などに吸着した懸濁態として河川へ流入し、海域へ輸送される。福島県などによる河川観測の結果、事故直後から11年間が経過した現在、河川における懸濁態セシウム137濃度は1/10から1/100に低下した。2012年4月から2022年3月までの浜通りの主要な河川の実効環境半減期の平均値は、懸濁態で3.0年と計算され、同期間の河床土(4.7年)及び河川沿岸域の海底土(23年)と比べて短い傾向が見られた。2012年10月から2019年12月までの懸濁態セシウム137移行量を計算すると、初期沈着量の1.6%程度と小さかったが、台風などの大雨が降るような大きな出水では、現在でも海域への移行量が大きくなることが明らかとなった。

1. はじめに

2011年3月に発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所事故により、福島県をはじめする環境中へ大量の放射性核種が放出された。そのうち、セシウム137 (¹³⁷Cs)は放出量が多く、かつ半減期が約30年と長い¹⁾ため、環境中における動きを把握することは、生物に対する長期的な被ばく線量を評価するうえで重要である。大気中に放出された¹³⁷Csのうち約20%(2.7PBq)は、福島県の陸域に降下・沈着したとされる²⁾。また、福島県の面積の約71%を占める森林域³⁾には、初期沈着量の67%(1.8PBq)が沈着したとの報告がある²⁾。事故直後から2015年までの観測結果では、ほとんどの¹³⁷Csが森林域の地表面付近に留まっていること、森林域から流出する¹³⁷Csの移行量は1年間に初期沈着量の0.3%以下であることが報告されている。

一方、陸域から河川に流入した¹³⁷Csは、イオンなどのように河川水中で溶存した状態(溶存態)あるいは河川水中の土壌粒子などに吸着された状態(懸濁態)で下流域へ移行する^{2,4,5,6)}。これまでの福島県内河川の調査では、河川を流下した¹³⁷Csの80%以上が懸濁態であったことが報告されている^{2,4,5,6)}。特に大規模な出水時では、2011年台風15号による¹³⁷Cs移行量(6.2TBq)が、2011年8月か

ら2012年5月までの観測期間全体の60%以上であったことが報告されている⁵⁾。また、2019年から2020年の3回の出水調査の解析結果から、懸濁態¹³⁷Cs移行量は、降雨時の降雨量と降雨強度との間に関係性があることが報告されている⁷⁾。懸濁態の供給源は、2011年6月から2015年8月までの観測結果から、水田、畑地、市街地からの寄与が85%、森林からの寄与が15%であったことが報告されている⁶⁾。

なお、懸濁物質に対する海水による抽出試験の結果、懸濁物質中の¹³⁷Csの2.8~6.6%が溶出するなど、懸濁態¹³⁷Csが海水中の溶存態¹³⁷Cs濃度の上昇に寄与することが示されている^{7,8)}。

帰還困難区域以外の除染特別地域及び汚染状況重点調査地域では、2018年に面的除染作業が完了しているが、除染されていない森林域に初期沈着量の約9割の¹³⁷Csが残存していると考えられている²⁾。近年、自然災害が多発しており、2019年10月の「令和元年東日本台風」では、福島県も大規模な出水に伴う自然災害に見舞われ、陸域から海域へ大量の¹³⁷Csが流出した⁸⁾。このような状況を踏まえ、河川における¹³⁷Cs濃度の推移と海域への移行量を把握することは重要となっている。

*Dynamics of radiocesium in rivers in Hamadori, Fukushima Prefecture

**Yukio TAKEUCHI, Ayumi IRISAWA, Kohki NASU, Shaoyan FAN (福島県環境創造センター) Fukushima Prefectural Centre for Environmental Creation

***Keisuke TANIGUCHI (津山高等工業専門学校) National Institute of Technology, Tsuyama College

****Yuichi ONDA (筑波大学アイソトープ環境動態研究センター) Center for Research in Isotopes and Environmental Dynamics, University of Tsukuba

空間線量率が十分に低下した地域では、避難指示が解除され、住民の帰還が進んでいる。また、帰還困難区域の6自治体の特定復興再生拠点においても2023年3月を以って避難指示が解除される。これらの地域において、安心安全のための情報整備の必要性が増している。

福島県環境創造センターでは2015年10月の設立当初から現在まで、河川を介して移行する¹³⁷Csの動きを把握することを目的とし、福島県内の中通り及び浜通りの河川観測を行ってきた。この事業は2011年から国の委託事業としてモニタリングを実施してきた筑波大学の観測を引き継いだものである。そこで本報では、2022年3月までの観測結果をもとに、特に福島県浜通りの河川における¹³⁷Cs濃度と懸濁態¹³⁷Cs移行量の経時変化の傾向について報告する。

2. 調査概要

2.1 調査地点及び観測機材

福島県の浜通り地域に位置する主要な河川を対象に、9地点の河川観測地点を設置した(図1)。

観測地点の河道内に、浮遊砂サンプラー⁹⁾を設置し、2~3か月の期間で連続的に浮遊砂を捕集した。また、濁度計を設置し、河川水の濁度データを10分間隔で収集した。更に、河川水位のデータについても10分間隔で収集した。詳細な調査地点及び観測機材は既報^{6),10)}のとおり。

2.2 調査方法

2.2.1 懸濁態¹³⁷Cs濃度

浮遊砂サンプラーから浮遊砂を回収し、凍結乾燥後(2017年10月以前はドライオープンによる乾燥)、Ge半導体検出器により、懸濁態¹³⁷Cs濃度(Bq/kg)を定量した。

2.2.2 河床土及び海底土の¹³⁷Cs濃度

環境省は、対象河川において河床土及び河川沿岸域における海底土を年4~10回採取し、その¹³⁷Cs濃度の定量結果(検出下限値10Bq/kg)を環境省のホームページで公開している¹²⁾。各観測地点における懸濁態との比較対象として、河床土と海底土の¹³⁷Cs濃度の推移を調査した。なお、真野川の河床土は小島田堰に近い地点を、新田川の河床土は水無川と合流後の地点を比較対象とした。

2.2.3 実効環境半減期

懸濁態¹³⁷Cs濃度の測定結果を用いて、観測開始から2022年3月までの実効環境半減期を算出した。加えて、環境省が実施している浜通りの主要な河川の河床土及び海底土の¹³⁷Cs濃度の観測結果¹²⁾を用いて、2012年4月か

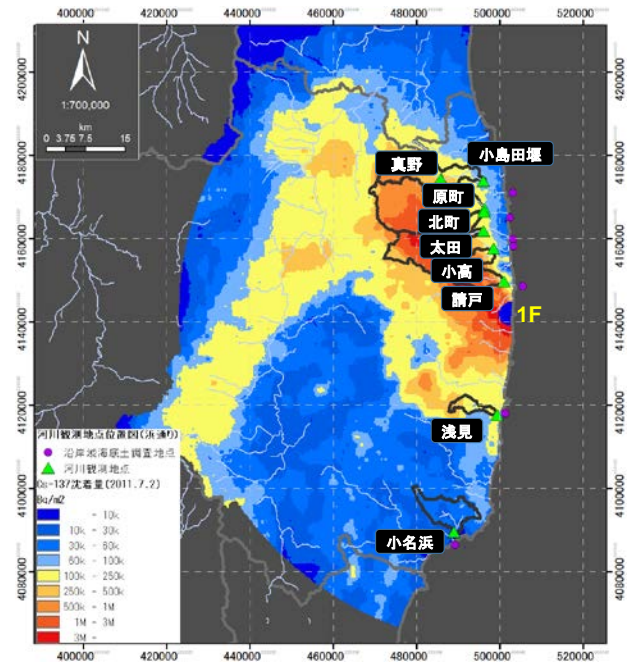


図1 河川観測地点の位置図

図のカラーコンターは、地表面における¹³⁷Cs初期沈着量(2011/7/2時点)を表す。「文部科学省(2011), 文部科学省による第3次航空機モニタリングの測定結果について」¹¹⁾より作成

ら2022年3月までの実効環境半減期を算出し、懸濁態、河床土及び海底土の実効環境半減期との比較を行った。

2.2.4 懸濁態¹³⁷Cs移行量

各観測地点において、水位流量曲線式(以下、H-Q式)を作成し、H-Q式を用いて水位から河川流量を算出した。また、濁度の基準試料と懸濁物質濃度の関係から得られた換算式により河川中の懸濁物質濃度を算出した。2.2.1で得た懸濁態¹³⁷Cs濃度に河川流量及び懸濁物質濃度を掛け合わせることで、懸濁態¹³⁷Csの月間移行量を算出した^{6),10)}。加えて、懸濁態¹³⁷Cs移行量を流域の初期沈着量で除し、流域の初期沈着量に対する¹³⁷Cs累積移行割合を算出した^{6),10)}。なお、請戸地点については、2018年以降の算出が完了していないため除外した。

3. 結果

各観測地点における事故後11年間に得られた河川中の懸濁態¹³⁷Cs濃度の推移を示す(図2(a))。事故から11年が経過した2022年3月時点では、懸濁態¹³⁷Cs濃度は2011年8月~9月(一部の地点は2012年10月)の濃度と比較して、概ね1/10~1/100以下に低下した。比較対象とした河床土及び海底土の¹³⁷Cs濃度は、概ね1/10~1/100及び1/10程度であった(図2(b)及び(c))。¹³⁷Cs濃度は、小

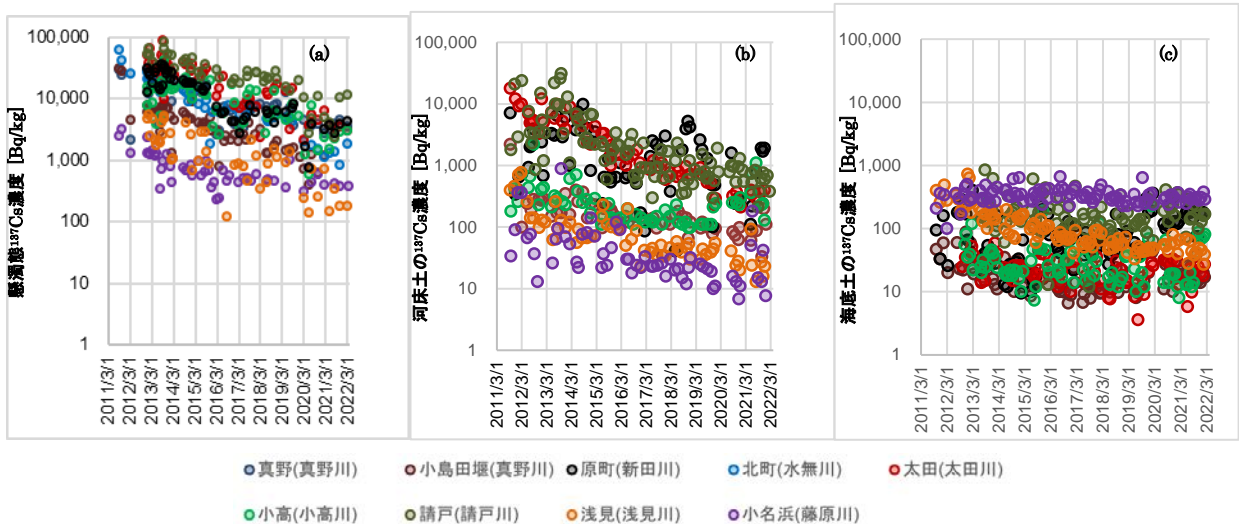


図2 懸濁態(a), 河床土(b), 海底土(c)の¹³⁷Cs濃度

※ 真野（真野川）及び北町（水無川）については懸濁態のみを対象とした

名浜地点と浅見地点を除き、懸濁態、河床土、海底土の順で小さくなっていった。小名浜地点は、懸濁態と海底土の濃度がほぼ同じ、浅見地点は、河床土と海底土の濃度がほぼ同じとなっていた。2012年4月～2022年3月の期間における懸濁態、河床土、海底土の¹³⁷Cs濃度の実効環境半減期を示す(図3)。各観測地点における懸濁態¹³⁷Cs濃度の実効環境半減期の平均値は3.0年であった。比較対象とした河床土及び海底土の実効環境半減期の平均値は、それぞれ4.7年及び23年と算出された。いずれも¹³⁷Csの物理学的半減期(約30年)よりも速く濃度が低下していることが分かった。また、海底土の実効環境半減期の平均値は、河川水中の懸濁態及び河床土よりも一桁

大きく、ゆるやかな濃度低下傾向であることが分かった。

2012年10月～2019年12月までの8観測地点における懸濁態¹³⁷Cs月間移行量の推移を図4に、流域の初期沈着量に対する懸濁態¹³⁷Cs累積移行割合を図5に示す。この観測期間において、2015年9月の台風18号、2017年10月の台風21号、2019年10月の台風19号(令和元年東日本台風)による大規模な出水があった。原町地点における、これらの出水を含む懸濁態¹³⁷Cs月間移行量は、それぞれ年間移行量の89%、50%、71%を占めていた。

一方、各観測地点の初期沈着量に対する懸濁態¹³⁷Cs累積移行割合は0.11～1.6%であった。また、先に述べた原町地点における3つの出水を含む、2015年9月、2017年10月、2019年10月の懸濁態¹³⁷Cs月間移行量は、初期沈着量の0.52%、0.090%、0.14%であった。台風などの大雨が降るような大きな出水では、海域への移行量が大きくなることが分かった。しかし、初期沈着量に対しての移行量は小さく、河川上流域に依然として多くの¹³⁷Csが残存していると考えられた。

4. まとめ

事故後11年間の懸濁態¹³⁷Cs濃度は、観測開始時と比較して、概ね1/10～1/100以下に低下していた。加えて、11年が経過した現在も、福島県内の河川を流れる懸濁態¹³⁷Cs濃度は低下傾向を示していた。実効環境半減期は、懸濁態で約3.0年であり、¹³⁷Csの物理学的半減期(約30年)よりも速く濃度が低下していることが分かった。また、2012年10月～2019年12月までにおける浜通りの主要な河川から海域への懸濁態¹³⁷Cs移行量は、台風などの大規模出水時には大きく、年間移行量の多くを占めるが、

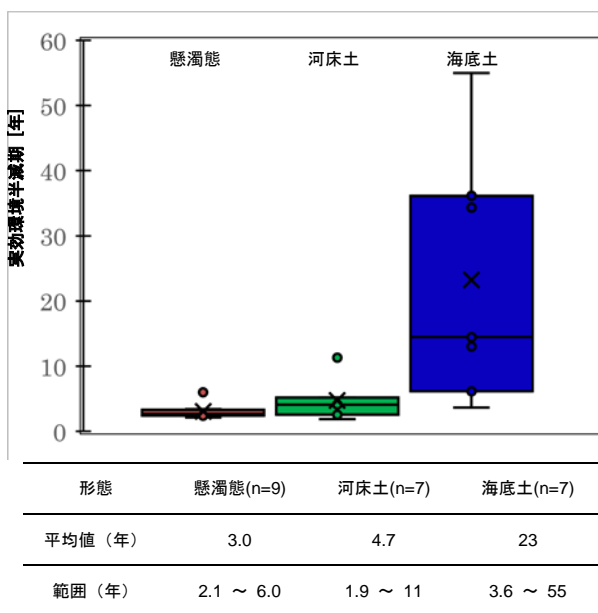


図3 懸濁態、河床土、海底土の実効環境半減期(対象期間2012年4月～2022年3月)

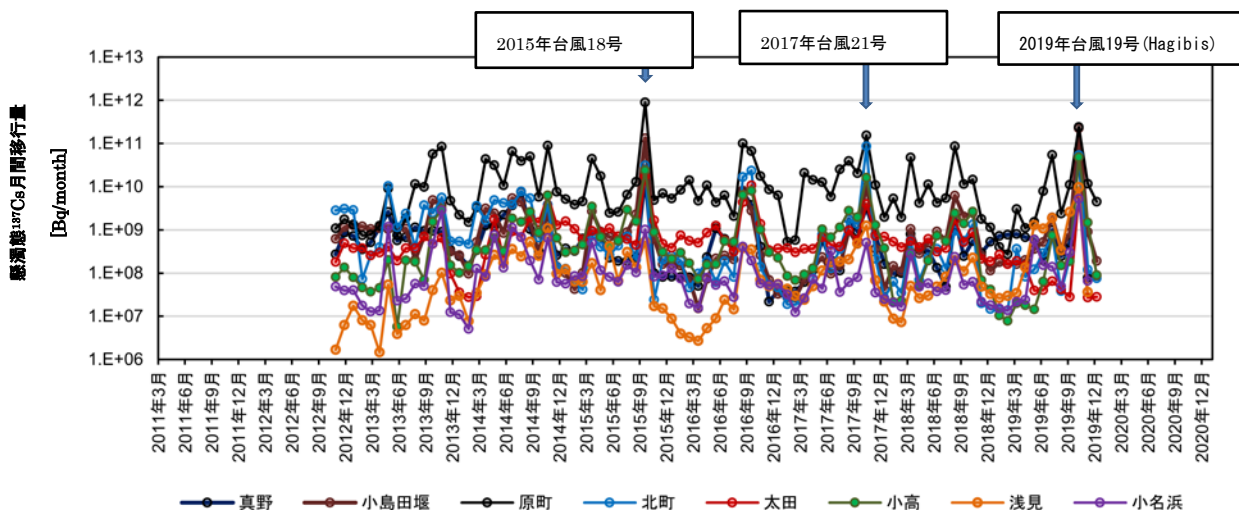


図4 懸濁態¹³⁷Cs月間移行量

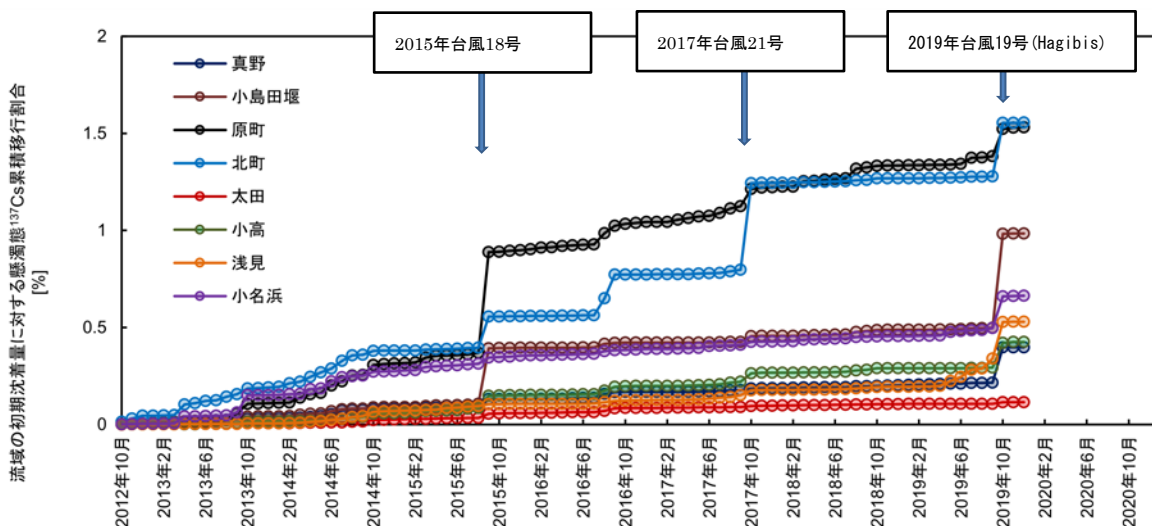


図5 流域の初期沈着量に対する懸濁態¹³⁷Cs累積移行割合

初期沈着量に対しての移行量は小さく、依然として河川上流域に多くの¹³⁷Csが残っていると考えられた。

5. 引用文献

1) 原子力災害対策本部：原子力安全に関するIAEA閣僚会議に対する日本国政府の報告書，2011
 2) Onda Y., Taniguchi K., Yoshimura K., Kato H., Takahashi J., Wakiyama Y., Coppin F., Smith HG. : Radionuclides from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in terrestrial systems. *Nature Reviews Earth & Environment*, **1**, 644-660, 2020
 3) 福島県農林水産部：令和3年 福島県森林・林業統計

書（令和2年度），2021
 4) 飯島和毅：森林から河川水系を移動する放射性セシウムの環境動態研究の現状，*地球科学*. **49**, 203-215, 2015
 5) Yamashiki Y., Onda Y., Smith HG., Blake WH., Wakahara T., Igarashi Y., Matsuura Y., Yoshimura K. : Initial flux of sediment-associated radiocesium to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Scientific Reports*, **4**, 3714, 2014
 6) Taniguchi K., Onda Y., Smith HG., Blake W., Yoshimura K., Yamashiki Y., Kuramoto T., Saito K. : Transport and Redistribution of Radiocesium

- in Fukushima Fallout through Rivers.
Environmental Science and Technology, **53**, 12339–12347, 2019
- 7) Niida T., Wakiyama Y., Takata H., Taniguchi K., Fujita K., Konoplev A. : A Comparative study of riverine ^{137}Cs dynamics during high-flow events at three contaminated river catchments in Fukushima. *Science of the Total Environment*, **821**, 153408, 2022
- 8) Takata H., Wakiyama T., Niida T., Igarashi Y., Konoplev A., Inatomi N. : Importance of desorption process from Abukuma River' s suspended particles in increasing dissolved ^{137}Cs in coastal water during river-flood caused by typhoons. *Chemosphere*, **281**, 130751, 2021
- 9) Philips JM., Russell MA., Walling DE. : Time-integrated sampling of fluvial suspended sediment: a simple methodology for small catchments. *Hydrological Processes*, **14**, 2589–2602, 2000
- 10) Taniguchi K., Onda Y., Smith HG., Blake W., Yoshimura K., Yamashiki Y., Kuramoto T. : Dataset on the 6-year radiocesium transport in rivers near Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Scientific Data*, **7**, 433, 2020
- 11) 文部科学省 : 文部科学省による第3次航空機モニタリングの測定結果について, 2011
- 12) 環境省 : 東日本大震災の被災地における放射性物質関連の環境モニタリング調査 : 公共用水域, https://www.env.go.jp/jishin/monitoring/results_r-pw.html (2022.12.23アクセス)