

福島県内の河川における放射性セシウム濃度の推移

中西 貴宏
Nakanishi Takahiro

1. はじめに

福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）事故により陸域に沈着した放射性セシウムの一部は、河川を通じて下流や河口へと移動している。河川水は飲料水や灌漑用水といった水資源として重要な役割を果たしており、農産物や淡水生態系へのセシウム移行等を介した人体への放射線影響が懸念されている。事故直後には数 Bq/L 以上の濃度で検出された河川水の放射性セシウム濃度は、現在は 1 Bq/L 未満まで低下しており、環境省によるモニタリング調査では不検出の状態が続いている¹⁾。一方で、同調査からは、一部の淡水魚で食品中の放射性物質に関する基準値（100 Bq/kg）を超える個体が現在も検出されている。

河川水に含まれる放射性セシウムのうち、イオンのように水に溶けた状態で存在している溶存態セシウムは、生態系へ移行しやすいため、特に関心を集めてきた。事故直後から実施されてきた多くの研究から、2014 年までの 3 年間における溶存態 ¹³⁷Cs 濃度の実効半減期は 0.7~1.8 年と見積もられている^{2, 3)}。しかし、チェルノブイリ原子力発電所事故後のウクライナの河川では溶存態 ¹³⁷Cs 濃度の減少速度は年月の経過と共に遅くなることが報告されている⁴⁾。そのため、長期的な放射線影響を評価する上で、福島県内の河川における溶存態 ¹³⁷Cs 濃度の将来予測が重要な課題となっている。

本稿では、福島第一原発より 20 km 圏内を流れる 2 つの河川、請戸川と太田川（図 1）における 2015 年以降の ¹³⁷Cs 濃度の推移について解説する。なお、

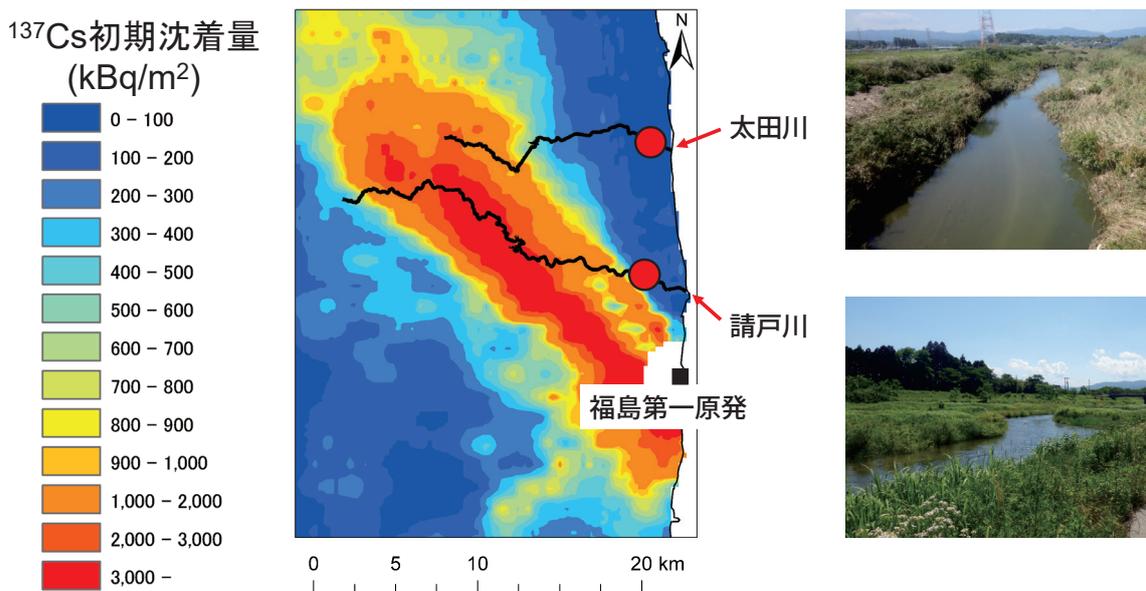


図 1 調査を実施した請戸川と太田川の位置図。調査地点を赤丸で記す。

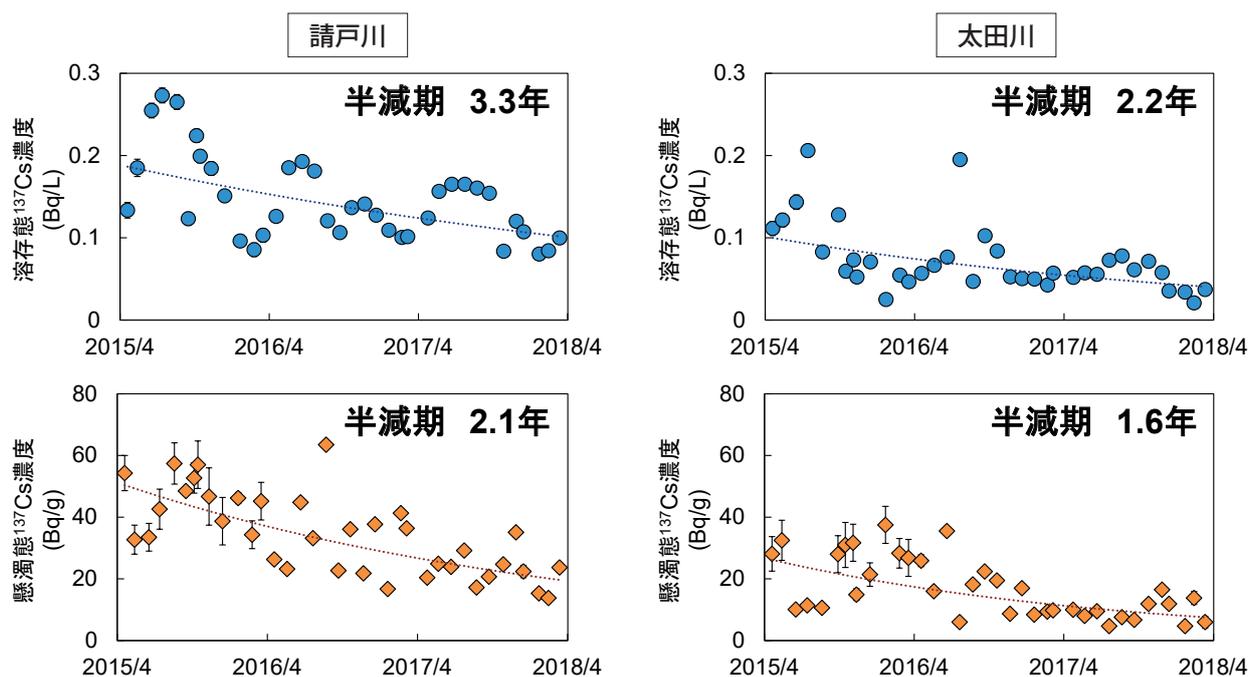


図2 観測された河川の溶存態¹³⁷Csと懸濁態¹³⁷Csの濃度推移。参考文献14)掲載図を和訳後、一部改編

本稿では河川水に含まれるセシウムについて、孔径0.45 μmのろ紙でろ過されたものを懸濁態セシウム、ろ液に含まれるものを溶存態セシウムと定義している。

2. 河川水の放射性¹³⁷Cs濃度の推移

筆者らが2015年4月から2018年3月までに毎月観測した請戸川と太田川における溶存態・懸濁態¹³⁷Cs濃度の経時変化を図2に示す。事故後4年から7年までの期間の¹³⁷Cs濃度の推移は2つの河川で類似の変動を示した。溶存態¹³⁷Cs濃度には季節的変動が見られるものの、両形態共に¹³⁷Cs濃度は低下傾向にある。請戸川の¹³⁷Cs濃度は溶存態・懸濁態共に太田川の約2倍となるが、これは流域の¹³⁷Cs沈着量と比例関係にある。この関係は事故後1-2年時点の観測結果からも報告されている^{5,6)}が、7年経過しても関係が維持されていることは、本調査で得られた情報が他河川における¹³⁷Cs濃度将来予測にも適用できる可能性を示唆する。

観測期間における請戸川と太田川の¹³⁷Cs濃度の実効半減期を指数関数で近似して求めた結果、溶存態¹³⁷Csで 3.3 ± 0.7 年と 2.2 ± 0.6 年、懸濁態¹³⁷Csで 2.1 ± 0.5 年と 1.6 ± 0.3 年であった。この結果は、

¹³⁷Csの物理学的半減期(30.1年)よりも十分に速い低下速度である一方、前述した事故後3年間ににおける溶存態¹³⁷Cs濃度の実効半減期と比較して長期化していることを示す。しかしながら、観測された実効半減期はウクライナ河川におけるチェルノブイリ原子力発電所事故数年後の半減期⁷⁾と類似している。すなわち、福島県内の河川における将来的な¹³⁷Cs濃度予測にとって、ウクライナ河川の事例は重要な指標となり得る。

3. 河川に供給される放射性セシウムのソース

河川には現在も微量ながら放射性セシウムが供給されていることが明らかになったが、溶存態¹³⁷Cs濃度は、懸濁態¹³⁷Cs濃度に比べて実効半減期が長く、季節的変動が顕著であることから、両形態で¹³⁷Csのソースが異なると考えられる。

懸濁態¹³⁷Csの供給源としては、土壌流亡による表層土壌やリター(落葉落枝)が挙げられる^{8,9)}。リターや表層土壌に存在する¹³⁷Csは時間と共に深層へ移行しつつあることが分かっており^{10,11)}、ソースの¹³⁷Cs濃度と共に河川の懸濁態¹³⁷Cs濃度は今後も低下していくと推測される。

一方、溶存態¹³⁷Cs濃度は、水温の上昇と共に高

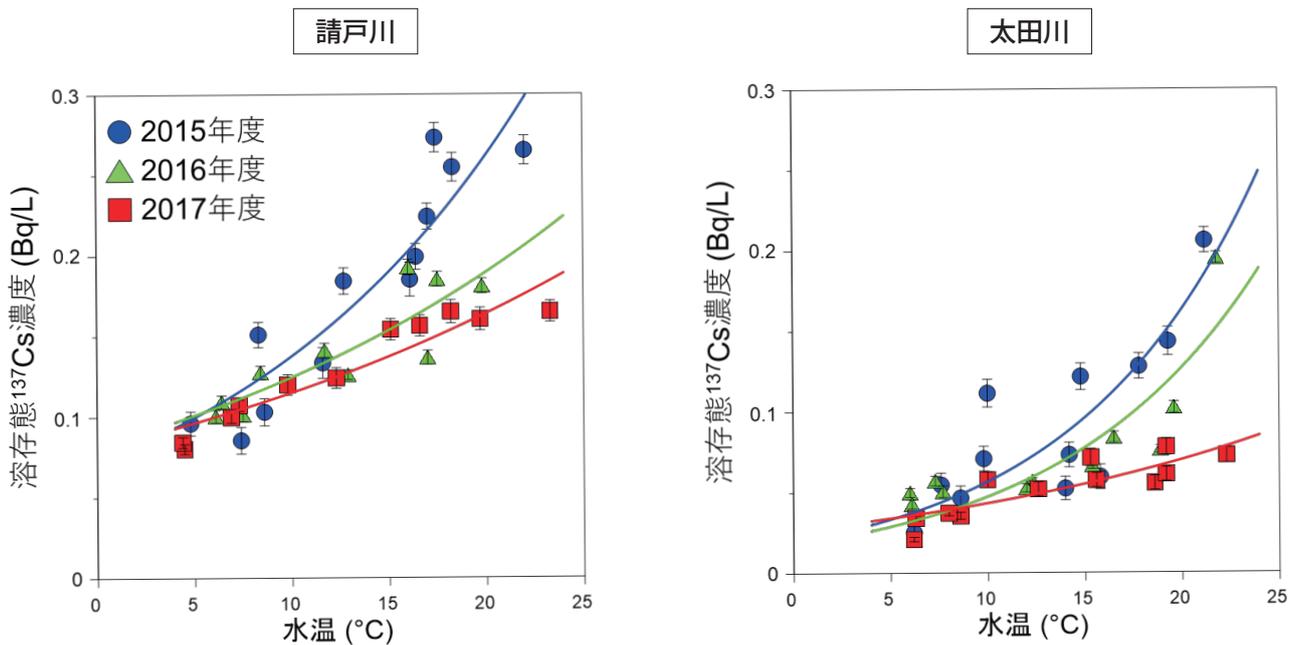


図3 水温と溶存態¹³⁷Cs濃度の関係。参考文献14)掲載図を和訳後、一部改編

くなる傾向にある。このような季節変化は事故後数年を経た森林小河川でも見られている^{9, 12)}。森林で観察されている¹³⁾ように、河畔に存在するリターが分解される時にそれらに付着していた放射性セシウムが溶出するため、分解が活発になる夏期に河川水の溶存態¹³⁷Cs濃度が高くなると推測される。したがって、セシウムを含むリターが継続的に河畔へ供給された場合、溶存態¹³⁷Cs濃度の低下速度は遅くなると考えられる。

そこで、年度毎に水温と溶存態¹³⁷Cs濃度の関係を整理した(図3)。2015年度には温度上昇に伴い2倍以上に¹³⁷Cs濃度が上昇していたが、その上昇幅は年々小さくなっていることが分かる。つまり、森林のリターに含まれる¹³⁷Csが減少していく¹¹⁾と共に、河川への溶出の影響も少なくなっていくと考えられる。対照的に、冬期の溶存態¹³⁷Cs濃度は低下速度が緩やかである。このことは、水温に依存しない、半減期を長くする溶存態¹³⁷Csのソースが潜在していることを暗示する。河川に流入する地下水に含まれる溶存態¹³⁷Cs濃度は十分に低いことが分かっている³⁾。また、懸濁物質については、前述した通り懸濁態¹³⁷Cs濃度の半減期が溶存態¹³⁷Cs濃度よりも速いことから、半減期を長くするソースとして考えにくい。1つの可能性として、流下しにくい

比較的大きな粒子、例えば河床の砂礫からの溶出が考えられる。実際、請戸川や太田川で観測されている河川底質の¹³⁷Cs濃度¹⁾と、筆者らが示した冬期の溶存態¹³⁷Cs濃度との間の見かけの分配係数(Kd: L/kg)は、 $3 \times 10^3 - 5 \times 10^4$ と調査期間の初期から平衡に近い状態にある。もしも河川底質が主要なソースとなった場合、¹³⁷Cs濃度は現在の冬期と同レベルまで低下する一方で、実効半減期は12~15年程度まで長期化すると考えられる。今後数十年のソース究明と対策のため、更なる調査が必要とされる。

4. おわりに

本稿とその後の観測結果から、事故から8年以上経過した現在でも、河川水の¹³⁷Cs濃度は物理的半減期よりも十分に速い速度で低下していることが明らかになった。しかしながら、溶存態¹³⁷Cs濃度の低下速度は緩やかになってきており、今後十数年は濃度レベルが下がりにくいと推測される。生活用水や農産物には影響のない濃度レベルであるが、現時点で基準値を超える一部の淡水魚については、問題の長期化が危惧される。淡水生態系への移行メカニズム解明と共に、生態系の潜在的¹³⁷Csソースであ

る河川水の ^{137}Cs 濃度を今後も継続的に監視していく必要がある。

【備考】

本稿に掲載している調査結果の内容は、T. Nakanishi らによる “Trend of ^{137}Cs concentration in river water in the medium term and future following the Fukushima nuclear accident”¹⁴⁾ を基にしており、クリエイティブ・コモンズの下でライセンスされている。

参考文献

- 1) 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, http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/results_r-pw.html
- 2) Ochiai, S., *et al.*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **307**, 2167-2172 (2016)
- 3) Iwagami, S., *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, **166**, 458-465 (2017)
- 4) Smith, J.T., *et al.*, *Environ. Sci. Technol.*, **38**, 850-857 (2004)
- 5) Tsuji, H., *et al.*, *Water Res.*, **60**, 15-27 (2014)
- 6) Yoshimura, K., *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, **139**, 370-378 (2015)
- 7) Smith, J.T., *et al.*, In Final Report: Aquifers and Surface Waters in the Chernobyl area: Observations and Predictive Evaluation. Project IC15 CT98-0205 (2001)
- 8) Naulier, M., *et al.*, *Sci. Total Environ.*, **579**, 1560-1571 (2017)
- 9) Muto, K., *et al.*, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **314**, 403-411 (2017)
- 10) Mishra, S., *et al.*, *J. Geochem. Explor.*, **169**, 163-186 (2016)
- 11) Imamura, N., *et al.*, *Sci. Rep.*, **7**, 8179 (2017)
- 12) Tsuji, H., *et al.*, *J. Geophys. Res.*, **121**, 2588-2599 (2016)
- 13) Nakanishi, T., *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, **128**, 9-14 (2014)
- 14) Nakanishi, T., *et al.*, *Chemosphere*, **215**, 272-279 (2019)

((国研)日本原子力研究開発機構)