

放射性セシウム粒子により引き起こされる水生昆虫の放射性セシウム濃度のばらつき

石井弓美子*¹
Ishii Yumiko

三浦 輝*²
Miura Hikaru

1. 背景

1.1 福島県における淡水魚の放射性セシウム汚染

東京電力福島第一原子力発電所の事故から10年以上が経過した現在でも、福島県の一部地域では放射性セシウム（以下「RCs」）濃度が100 Bq/kgを超える淡水魚が散見され、出荷制限が続いている¹⁾。そのため、環境から淡水魚へどのようにRCsが移行するのかを明らかにすることは、将来的な淡水魚のRCs濃度予測や、内水面漁業等の淡水魚利用に向けた管理のために重要である。淡水魚に含まれるRCsは、そのほとんどが餌を通して取り込まれることが分かっており²⁾、魚の餌となる水生昆虫のRCs濃度を明らかにする必要がある。そこで、福島県太田川で採集された水生昆虫のRCs濃度を個体ごとに測定したところ、RCs濃度のばらつきが見られた。本稿では参考文献³⁾の結果を基に、このようなばらつきの要因となるRCs粒子の水生昆虫への取込みについて紹介する。

1.2 RCs粒子とは

RCs粒子とは、RCsを多く含むガラス質の不溶性微粒子で、不溶性Cs粒子やCsボールとも呼ばれる^{4,5)}。RCs粒子は事故時の炉内情報を保持している可能性があることに加え、その物理化学的性状から長期的な環境動態や被ばく影響を考えるうえで重要であるため、福島原発事故後に多数の研究が行われてきた。これまでに東日本の様々な環境試料から発見されているが、生物への取込みについては報告されていなかった。

2. 研究の方法

福島県太田川において2018年にヒゲナガカワトビケラとヘビトンボという食性の異なる2種の水生昆虫の幼虫を採取した（図1）。これらの水生昆虫のRCs濃度が比較的高い個体に対して、オートラジオグラフィ分析（放射性物質の二次元分布を画像化する手法）を行い、RCs粒子の有無を確認した。

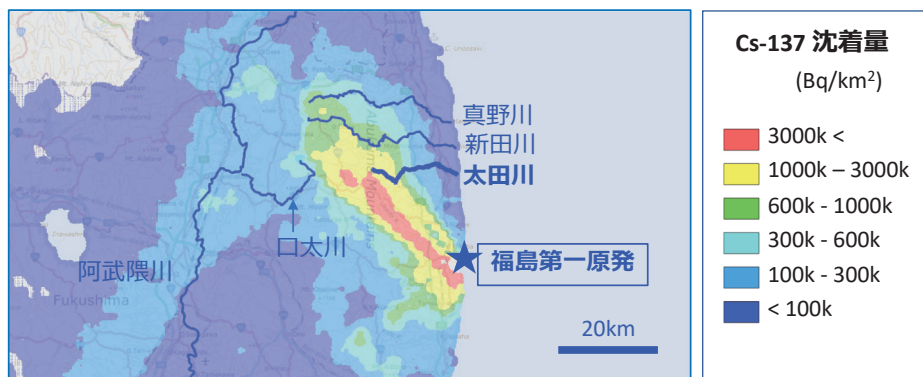


図1 調査を実施した太田川の位置

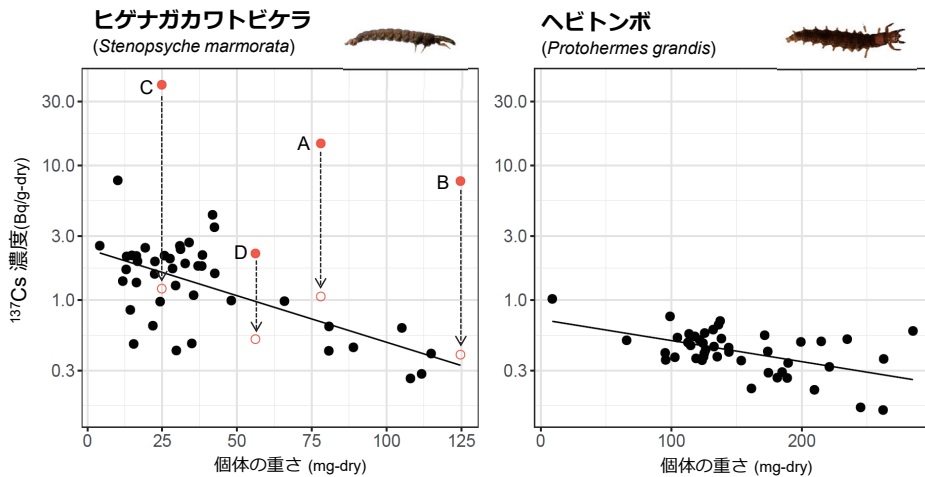


図2 水生昆虫個体ごとの重さと RCs 濃度の関係

A～D (赤い丸) は RCs 粒子の見つかったサンプル。白抜き丸は、RCs 粒子を取り除いた後の体組織内の RCs 濃度。参考文献3) の図を改変

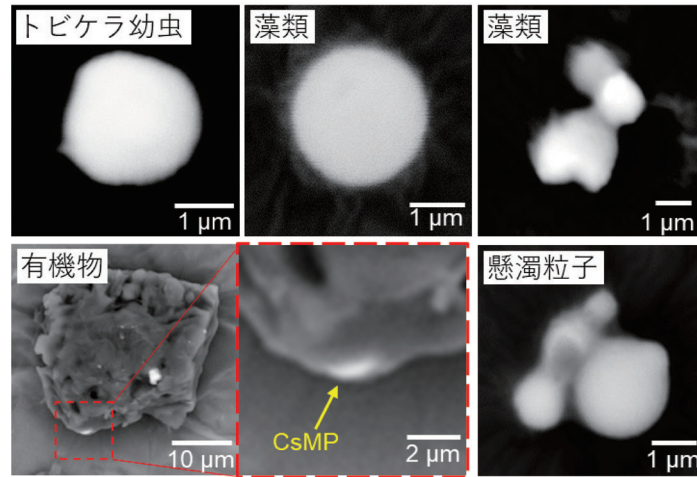


図3 トビケラの幼虫、藻類、河川流下物（有機物、懸濁粒子）から単離された RCs 粒子の電子顕微鏡写真

有機物から発見された RCs 粒子は、大きな粒子に埋まった状態で存在していた。参考文献3) の図を改変

個体から RCs 粒子が見つかった場合には粒子を単離し、電子顕微鏡等による分析を行った。更に、ヒゲナガカワトビケラの餌となる河川中の藻類や河川を流下する粒子（粒径 1000 μm 以上の有機物と 0.45～1000 μm の懸濁粒子）を採取して同様の手法を適用し、RCs 粒子の有無を調べた。

3. 結果と考察

3.1 水生昆虫の RCs 濃度

ヒゲナガカワトビケラとヘビトンボの RCs 濃度を個体ごとに測定した結果、どちらの水生昆虫でも大

きな個体ほど RCs 濃度が低い傾向が見られた (図2)。これは、消化管内容物の RCs 濃度が体組織の RCs 濃度よりも高く、大きい個体ほど消化管内容物の体全体に占める重量の割合が小さいためである。

RCs 濃度のばらつきに注目すると、ヒゲナガカワトビケラでは他の個体より 1 桁程度 RCs 濃度の高い個体 (図2, A～C) が見られたのに対し、ヘビトンボではそのようなばらつきは見られなかった (図2)。また、ヒゲナガカワトビケラの A～D サンプルからは RCs 粒子が確認された。RCs 粒子を取り除いた後にこれらのサンプルを再測定すると RCs 濃度が大幅に減少したことから、ヒゲナガカワトビケラに

散発的に見られた高い RCs 濃度は、RCs 粒子の取込みによるものと確認された。RCs 粒子は、ヒゲナガカワトビケラだけでなくその餌となる藻類や有機物、懸濁粒子等の河川流下物からも発見された。

3.2 RCs 粒子の特徴

RCs 粒子は放出源の違い (= 発電所の各号機で事故時の炉内環境が異なる) により性質の異なる複数のタイプ (タイプ A~C) が報告されている^{4,6,7)}。本研究で発見された RCs 粒子を電子顕微鏡や Ge 半導体検出器を用いて分析したところ (図 3)、大きさや元素組成、Cs の放射能等からタイプ A (福島第一原発 2 号機由来) に分類される RCs 粒子であることが分かった。タイプ A はサイズが 1 μm 程度であり、粒子あたり 10^{-2} から 10^2 Bq 程度の RCs を含むものが報告されている⁵⁾。サイズが小さいため水に懸濁しやすく、これまでも河川懸濁粒子に含まれていたことが報告された⁸⁾。当時の風向き等の研究から、タイプ A が太田川の集水域の方角にも飛散したことは予測されていたため^{9,10)}、本研究により太田川の種々のサンプルからタイプ A が発見されたことは予想どおりであった。

3.3 RCs 粒子の生態系への取込み

RCs 粒子は、これまでにさまざまな環境試料から報告されているが、本研究は生物に取り込まれることを初めて示した。また、ヒゲナガカワトビケラ 46 匹中 4 匹から RCs 粒子を発見したが、ヘビトンボ 45 匹からは見つからなかった。この違いは、2 種の水生昆虫の餌の違いによると考えられる。ヘビトンボは他の小さな水生昆虫等を食べる肉食性であるが、ヒゲナガカワトビケラは石の隙間に網を張り、川を流れる藻類や有機物等を餌としている (図 4)。ヒゲナガカワトビケラの餌は、RCs 粒子と同程度の大きさ

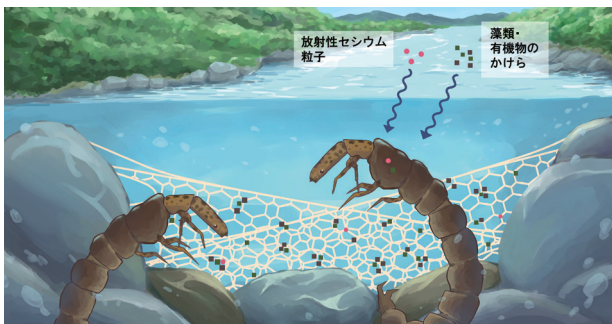


図 4 ヒゲナガカワトビケラに取り込まれる RCs 粒子のイメージ図

であるため、川を流れる RCs 粒子を餌と一緒に取り込みやすいと考えられる。本研究の結果は、東日本に広く分布する RCs 粒子が水生昆虫から魚、鳥類等水域や陸域の食物網にも取り込まれる可能性を示している。しかしながら、生物の被ばくリスクの面から見ると、RCs 粒子は不溶性であり、トビケラの餌は数日で消化管から排出されるため¹¹⁾、RCs 粒子も餌と共に体外へ排出されると考えられる。RCs 粒子から溶出した RCs が筋肉等の体組織にほとんど取り込まれないことは、RCs 粒子を取り込んだ個体の RCs 濃度が、粒子を取り除いた後には他の個体と同程度まで減少したことからも明らかである (図 2)。

4. 今後の展望

RCs 粒子の生物への取込みは、生物影響のリスクは少ないと考えられるものの、生物への RCs 移行の理解を妨げる要因になる。生物試料に RCs 粒子が含まれる場合、個体による RCs 濃度の大ききばらつきを引き起こすため生物への移行予測の不確実性を増加させる。生態系内において、RCs 粒子中の Cs は水溶性の Cs とは全く異なる挙動を示すため、食物網に移行する RCs の動態を理解するには RCs 粒子の存在を考慮することが重要である。

参考文献

- 1) Wada, T., *et al.*, *Journal of Environmental Radioactivity*, **258**, 107103 (2023)
- 2) Morgan, I.J., *et al.*, *Journal of Fish Biology*, **43**, 877-888 (1993)
- 3) Ishii, Y., *et al.*, *PLOS ONE*, **17**, e0268629 (2022)
- 4) Adachi, K., *et al.*, *Scientific Reports*, **3**, 2554 (2013)
- 5) Igarashi, Y., *et al.*, *Journal of Environmental Radioactivity*, **205-206**, 101-118 (2019)
- 6) Ono, T., *et al.*, *Bunseki Kagaku*, **66**, 251-61 (2017)
- 7) Kubo, A., *et al.*, *Marine Pollution Bulletin*, **161**, 111769 (2020)
- 8) Miura, H., *et al.*, *Geochemical Journal*, **52**, 145-154 (2018)
- 9) 三浦輝, 他, *地球化学*, **55**, 122-131 (2021)
- 10) Miura, H., *et al.*, *Scientific Reports*, **11**, 5664 (2021)
- 11) Fujino, T., *et al.*, *Landscape and Ecological Engineering*, **14**, 37-43 (2018)

(*1 国立環境研究所 福島地域協働研究拠点,

*2 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部)