

2024年11月28日

報道関係者各位

国立大学法人筑波大学  
国立大学法人福島大学

## 放射能汚染地域の大規模な森林火災は河川への放射性核種の移動性を高める

2020年4月に発生した、ウクライナのチョルノービリ（チェルノブイリ）規制区域（放射能汚染地域）での大規模な森林火災が放射性物質の再分布に与える影響を、溶出試験と河川の長期観測データ解析から評価しました。その結果、火災は河川を介した<sup>137</sup>Csと<sup>90</sup>Srの再拡散を促進することが分かりました。

放射能汚染地域における森林火災は、放射性物質の再拡散や住民の被ばくといった重大な懸念を引き起こします。本研究では、2020年4月にウクライナのチョルノービリ（チェルノブイリ）規制区域内で発生した大規模な森林火災が、河川中の<sup>137</sup>Cs（セシウム137）および<sup>90</sup>Sr（ストロンチウム90）の再拡散に与えた影響を調査しました。火災後に現地で採取された炭化残留物や土壤に含まれる<sup>137</sup>Csと<sup>90</sup>Srの存在画分を特定し、河川中の<sup>137</sup>Csおよび<sup>90</sup>Sr濃度の長期的なモニタリングデータを解析しました。

解析の結果、炭化残留物や土壤に含まれる<sup>137</sup>Csおよび<sup>90</sup>Srの存在量は、チョルノービリ原子力発電所からの距離が増すにつれて減少しており、これはチョルノービリ原発事故後の初期の沈着パターンと一致しました。また溶出試験により、炭化残留物に含まれる水溶性の<sup>137</sup>Csと<sup>90</sup>Srの存在量は、土壤のそれよりも有意に高くなっています。火災は河川を介して<sup>137</sup>Csと<sup>90</sup>Srの再拡散を促進することが分かりました。火災の前後で、チョルノービリの河川流域における<sup>137</sup>Csの濃度に顕著な増加は見られませんでしたが、<sup>90</sup>Sr濃度は有意に増加してウクライナの飲料水基準（2 Bq/L）を超える値を示しており、これは、炭化残留物や土壤から溶出した<sup>90</sup>Srが河川に流入したことが原因だと考えられます。

### 研究代表者

筑波大学生命環境系

五十嵐 康記 准教授

福島大学環境放射能研究所

アレクセイ コノプリョフ 特任教授



## 研究の背景

放射性物質は、大規模な火災などにより、再拡散される可能性があります。特に、 $^{137}\text{Cs}$ （セシウム 137）や  $^{90}\text{Sr}$ （ストロンチウム 90）は半減期が長く、環境や公衆衛生に関する懸念を引き起こします。また、近隣に河川がある場合は、陸域の  $^{137}\text{Cs}$  や  $^{90}\text{Sr}$  を上流から下流に輸送する重要な経路となる上、火災後には、炭化残留物<sup>注1)</sup>や土壌が河川に流入して、河川中の  $^{137}\text{Cs}$  や  $^{90}\text{Sr}$  濃度に作用することが考えられます。1986 年に発生したチョルノービリ（チェルノブイリ）原発事故では多量の放射性物質が環境中に放出され、事故後、その周辺の約  $2600\text{km}^2$  が立入規制区域に設定されました。本研究では、2020 年 4 月に発生し、チョルノービリ立入規制区域の約 1/3 が消失した大規模な森林火災について、この区域内にある河川流域を対象に、炭化残留物や土壌に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  および  $^{90}\text{Sr}$  濃度とその存在画分を溶出試験<sup>注2)</sup>から特定し、長期観測データとの比較から、この火災が河川中の  $^{137}\text{Cs}$  や  $^{90}\text{Sr}$  濃度に与えた影響を解析しました。

## 研究内容と成果

まず、森林火災の影響を受けた土壌と炭化残留物中に存在する放射性物質の量を調べました。土壌および炭化残留物中に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の量は、原発から  $1.5\text{km}$  圏内のサイトで最も高く、原発からの距離に伴って低下していました（図 1a, b）。しかしながら、土壌から炭化残留物への  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の移行は、原発からの距離（汚染の程度）や視認された火災の強度とは関連がありませんでした（図 1c）。これまでの研究から、炭化残留物に含まれる物質の移行が燃焼温度と関連していることが分かっており、 $^{137}\text{Cs}$  および  $^{90}\text{Sr}$  の移行と燃焼温度との関連などを、さらに詳細に検証する必要があると考えられます。

次に、炭化残留物及び土壌中の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の存在形態を確認しました。火災の鎮火直後、火災跡地から炭化残留物と土壌を採取して溶出試験を実施し、 $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の水溶態<sup>注3)</sup> (F1) および交換態<sup>注4)</sup> (F2) を特定しました。その結果、炭化残留物に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  の移動性画分 (F1 + F2) は土壌のそれよりも約 10 倍高くなっていた一方で、 $^{90}\text{Sr}$  では炭化残留物の移動性画分は土壌のそれよりも低くなっていました。しかし、炭化残留物に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の水溶態はいずれも、土壌のそれよりも大きいことが明らかになりました（図 2）。

さらに、この森林火災が河川流域の放射性物質濃度に与えた影響を解析しました。チョルノービリ規制区域内の河川を対象に、森林火災の前後での河川中の  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{90}\text{Sr}$  の濃度変化を調べたところ、 $^{137}\text{Cs}$  濃度は火災前後で明瞭な変化は見られませんでしたが、 $^{90}\text{Sr}$  濃度は火災後に顕著な上昇を示し、ウクライナにおける飲料水の許容限度 ( $2 \text{Bq/L}$ ) を超える値が観測され（図 3）、特に春の融雪時と夏の降雨時に、土壌表面や炭化残留物から  $^{90}\text{Sr}$  が河川に溶出している可能性が示されました。ここで、河川中の  $^{90}\text{Sr}$  の濃度上昇はチョルノービリ規制区域内だけで観測されており、下流域では飲料水の許容限度を大きく下回っていました。

## 今後の展開

本研究の結果から、放射能汚染地域における大規模火災は、炭化残留物からの放射性物質溶出を促進させ、近隣の河川の放射性物質の濃度上昇に寄与することが確認されました。また、火災の燃焼温度が炭化残留物からの放射性物質溶出に大きく関与する可能性も示されました。今後、より詳細な溶出試験や燃焼実験を通じて、炭化残留物に含まれる放射性物質の存在形態を明らかにしていく予定です。

参考図

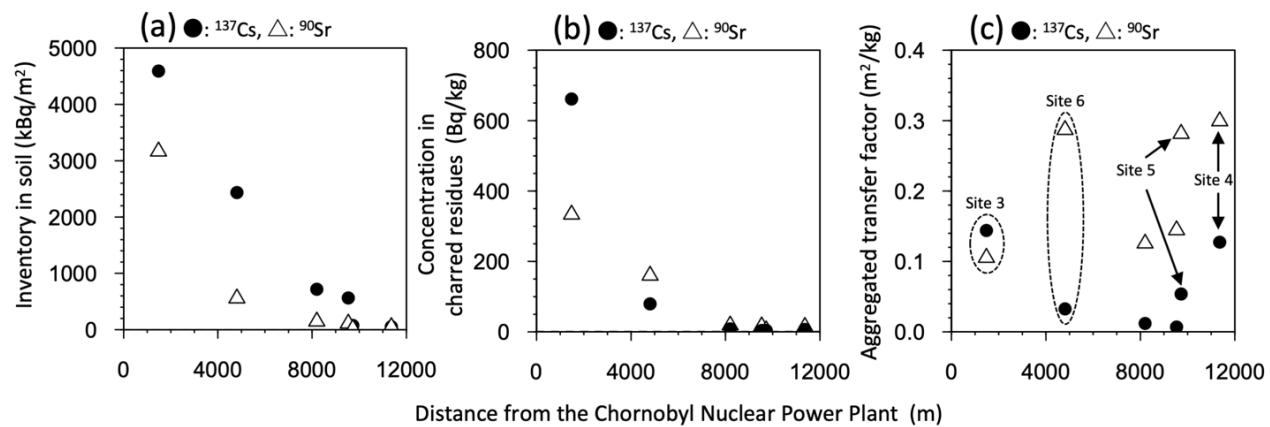


図 1 (a) 原発からの距離と土壤中の放射性物質量、(b) 炭化残留物中の放射性物質量、および、(c) 土壤から炭化残留物への放射性物質の面移行係数<sup>注5)</sup>の関係。

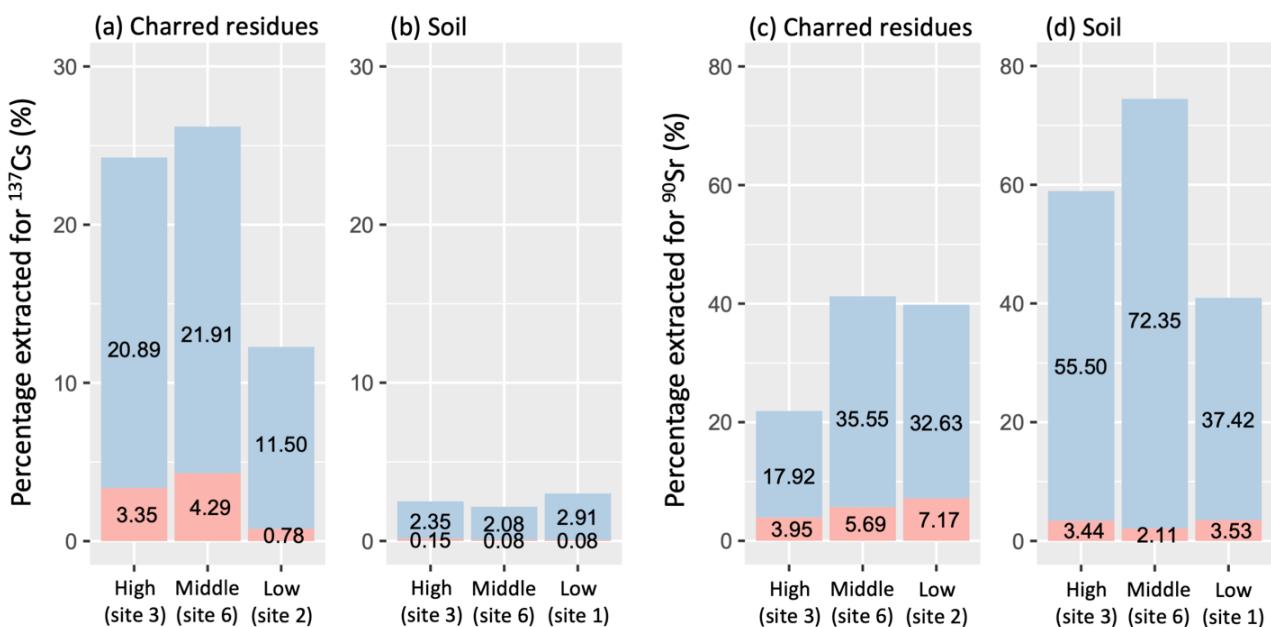


図 2 炭化残留物と表面土壤中に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  および  $^{90}\text{Sr}$  の水溶性画分（赤）と交換性画分（青）の割合。図中の high、Middle、Low はサンプリング地点での汚染レベルを示す。

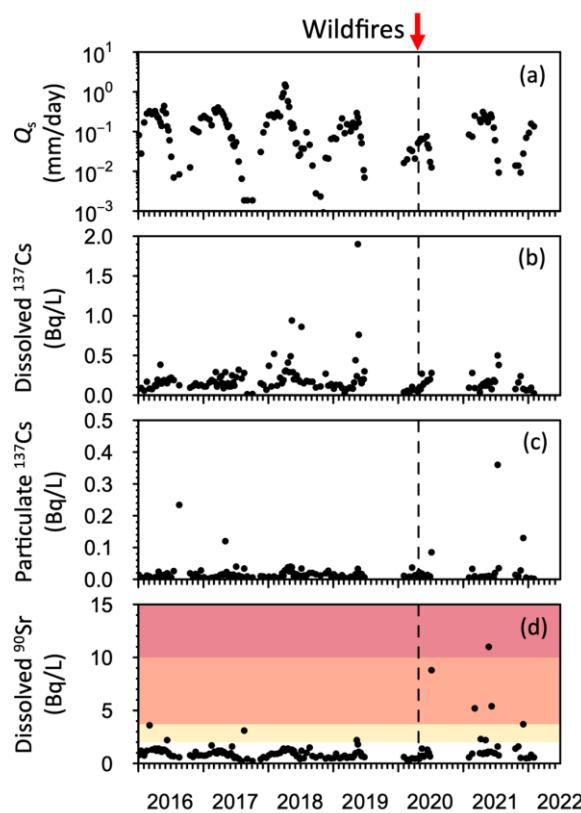


図 3 2016 年から 2022 年までの、(a) 河川流出量 ( $Q_s$  : mm/day)、(b) 溶存  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (Bq/L)、(c) 懸濁  $^{137}\text{Cs}$  濃度 (Bq/L)、(d) 溶存  $^{90}\text{Sr}$  濃度 (Bq/L)。図中の黄色、オレンジ色、赤色の領域は、それぞれウクライナにおける飲料水での  $^{90}\text{Sr}$  許容濃度レベル ( $> 2 \text{ Bq/L}$ )、TPL-91に基づくレベル ( $> 3.7 \text{ Bq/L}$ )、WHOに基づくレベル ( $> 10 \text{ Bq/L}$ ) を示す。(TPL-91 とは、チョルノービリ原発事故後の 1991 年に旧ソ連保健省が定めた「食品および飲料水中のセシウム放射性核種とストロンチウム 90 の暫定許容レベル」のこと。)

#### 用語解説

注 1) 炭化残留物 (charred residues)

火災の過程で完全に燃え尽きなかった炭化物と主灰の総称。火災により植物や有機物は燃焼するが、自然環境下では完全な燃焼には至らず、鎮火後に黒色の炭化物と白い主灰からなる残留物が生成する。

注 2) 溶出試験 (extraction test)

対象とする物質（本研究では  $^{137}\text{Cs}$  および  $^{90}\text{Sr}$ ）が水や特定の溶媒に溶け出る量を、室内実験から定量すること。

注 3) 水溶態 (water soluble fraction)

本研究では、溶出試験の結果、蒸留水に溶出した  $^{137}\text{Cs}$  および  $^{90}\text{Sr}$  の濃度のこと。

注 4) 交換態 (exchangeable fraction)

本研究では、溶出試験の結果、1M の酢酸アンモニウム溶液に溶出した  $^{137}\text{Cs}$  および  $^{90}\text{Sr}$  の濃度のこと。

注 5) 面移行係数 (exchangeable fraction)

土壤から炭化残留物への放射性物質移行を示す指標。本研究では、炭化残留物の重量あたりの放射性物質濃度を土壤の単位面積あたりの放射性物質量で割った値を用いた。

## 研究資金

本研究は、日本学術振興会（JST）および国際協力機構（JICA）が支援する持続可能な開発のための科学技術研究連携プログラム（SATREPS）の助成を受けて実施されました。また、科学研究費助成金（B）18H03389、科学研究費助成金（A）22H00556、および独立行政法人環境再生保全機構、環境研究総合推進費（JPMEERF20211R03）から支援を受けました。

## 掲載論文

【題名】 Effects of Large-Scale Wildfires on the Redistribution of Radionuclides in the Chernobyl River System

(大規模森林火災がチョルノービリ河川システムの放射性物質再拡散に与える影響)

【著者名】 Yasunori Igarashi<sup>a\*</sup>, Valentyn Protsak<sup>b</sup>, Gennady Laptev<sup>b</sup>, Igor Maloshtan<sup>b</sup>, Dmitry Samoilov<sup>c</sup>, Serhii Kirieiev<sup>c</sup>, Yuichi Onda<sup>a</sup>, Alexei Konoplev<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Center for Research in Radiation, Isotopes, and Earth System Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan

<sup>b</sup> Department of Environment Radioactivity Monitoring, Ukrainian Hydrometeorological Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, 37 Prospekt Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine

<sup>c</sup> State Specialized Enterprise “Ecocentre,” State Agency of Ukraine on Exclusion Zone Management, Vulytsya Shkil’na, 4, Chernobyl, 07270, Ukraine

<sup>d</sup> Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, 1 Kanayagawa, Fukushima-shi, Fukushima, 960-1296, Japan

【掲載誌】 *Environmental Science & Technology*

【掲載日】 2024年11月11日

【DOI】 10.1021/acs.est.4c07019

## 問合わせ先

【研究に関するご質問】

五十嵐 康記（いがらし やすのり）

筑波大学 生命環境系 准教授

TEL: 029-853-4211

Email: [igarashi.yasunori.gm@u.tsukuba.ac.jp](mailto:igarashi.yasunori.gm@u.tsukuba.ac.jp)

URL: <https://www.ied.tsukuba.ac.jp/>

【取材・報道に関するご質問】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: [kohositu@un.tsukuba.ac.jp](mailto:kohositu@un.tsukuba.ac.jp)