

チェルノブイリと森林火災 — 地表面における放射性物質の再拡散の視点から —

五十嵐康記

Igarashi Yasunori

難波 謙二

Nanba Kenji

1. はじめに

2020年4月にチェルノブイリで発生した森林火災は、約1か月燃え続け1986年のチェルノブイリ原発事故で“チェルノブイリ規制区域(ChEZ)”が設定されて以来、最も規模が大きいものとなった。現在、福島大学環境放射能研究所では、2017年よりウクライナの放射線管理を担当する3つの行政機関を含む12の研究機関と共同で国際研究プロジェクト(SATREPS)¹⁾に取り組んでいる。本稿では、ChEZにおける森林火災の現状とその影響に関し、これまでの研究成果を交え報告する。

2. チェルノブイリと森林火災

ChEZにおける森林火災は、2020年が初めてではない。記録が残っている1996年以降でも3年に1回程度の頻度で森林火災が発生している²⁾。しかしながら、2020年4月は、鎮火までの時間、焼失面積等、これまでの森林火災とは大きく異なっていた。

2020年4月の森林火災は、4月3日に発生したChEZ西部のUsh川堤内地の草原火災が発端である³⁾(図1)。4月9日までに、旧コパチ村周辺(通称:赤い森とその周囲¹⁾)を焼き、旧チェルノブイリ市街地及びチェルノブイリ原子力発電所まで数kmの地

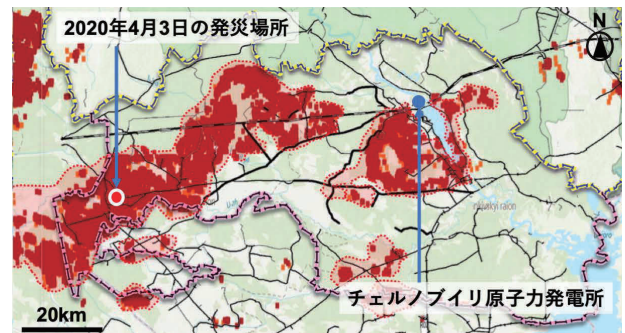


図1 2020年4月のチェルノブイリ森林火災の延焼地域 (Tree project より加筆して引用: <https://bit.ly/35fcrPJ>)

黄色破線はウクライナとベラルーシの国境、赤色破線はウクライナ国内の規制区域。図中赤丸が4月3日の火災発生箇所、火災は東西方向へ延焼を続け、最終的にはプリピャチ川左岸まで到達した

点にまで延焼した。4月16日には降雨により大部分が鎮火したとの報告がなされたが、最終的な鎮火報告がウクライナ立入禁止区域庁(SAUEZM)より発表されたのは5月4日であった⁴⁾。結果的に、2020年4月のChEZ森林火災は、約1か月にわたり延焼を続け、最大で20,000 ha⁵⁾の森林や草地を焼き、火災に伴うエアロゾルとしての¹³⁷Cs放出量は100~1,000 GBq⁶⁾とも推定された²⁾。

ウクライナ国立原子力放射線安全科学技術センター(STC NRC)の発表⁷⁾によると、キエフ市内の

1 原発事故直後、高い放射線のために立ち枯れしたヨーロッパアカマツ(*Pinus sylvestris* L.)を伐採し埋め立て処分した場所である。現在もマツ林となっているが、これは埋め立て後に植林したものである

2 世界的なコロナ禍のため、現地における調査研究が進んでいない。このため、2020年9月時点の執筆時でも、リモートセンシングや大気シミュレーションモデルを用いた一時的な推計値の紹介となっていることをご承知いただきたい

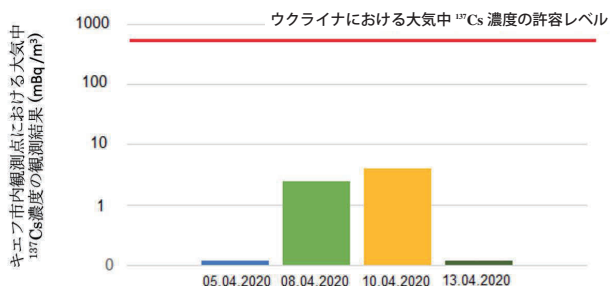


図2 2020年4月5日から13日までのキエフ市内観測点における大気中¹³⁷Cs濃度の観測結果

STC NRC, 2020.4.14 発表内容を引用。図中赤線はウクライナにおける大気中¹³⁷Cs濃度の許容レベル 800mBq/m³を示している

大気中¹³⁷Cs濃度は4月5日より上昇を始めた(図2)。4月9日以降、原発近くの汚染の程度が高い地域(赤い森とその周辺)への延焼により、4月11日にはキエフで約3 mBq/m³の大気中¹³⁷Cs濃度を観測した。その後は低下傾向を示し、4月18日までは0.03 mBq/m³となり、火災発災前と同じ程度にまで戻ったことが確認された(ウクライナにおける大気中¹³⁷Cs濃度の許容レベルは800 mBq/m³)。キエフ周辺では、移動式放射線モニタリングカーでも大気中¹³⁷Cs濃度の測定が実施され、基準値より2桁程度低い結果を観測した。

2020年4月のChEZ森林火災を起因としたキエフにおける内部被ばくの上昇は0.01 μSvと推定されている⁷⁾。キエフにおける一般的な年間の被ばく線量は0.8 mSvであり(目標年間被ばく量は1.0 mSv)、1986年のチェルノブイリ原発事故以来、最大規模の森林火災であっても追加の被ばくがいかにか小さいか理解できると思う。ここまでは、特に2020年4月の森林火災に着目し、特に火災によるエアロゾルとしての¹³⁷Csの再拡散に着目してきた。同時に、ChEZでは、地表面における放射性物質の再拡散現象も重要な経路であり⁸⁾、これまで多数の観測的研究がなされてきた。次項では、地表面における放射性物質の再拡散と森林火災の影響を考える。

3. 森林火災と地表面

地表面における放射性物質の再拡散現象とは、表面流による水及び土砂とそれに含まれる放射性物質の移動現象のことを指す。ChEZにおいては、冬季の土壤凍結と融雪、夏季の豪雨(人工降雨実験)を

対象として、流域全体からの輸送量推定やモデルパラメータ取得の目的から、表面流中に含まれる溶存態・懸濁態としての¹³⁷Cs及び⁹⁰Sr濃度の観測的研究が事故直後から進められてきた⁹⁻¹²⁾。

森林火災は地表面や表面流にどのような影響を与えうるのか?これに対し土壌の「撥水性」と「浸透能」から考えてみる。どちらも、自然界において発生する現象である。土壌が極度に乾燥すると撥水性を持つことは古くから知られている。また、地表面を遮る植生がないと、雨滴が持つ落下エネルギーは地表面の土壌団粒構造を破壊し、土壌表面の浸透能は著しく低下¹³⁾することが知られている。更に、森林火災では追加の影響が確認されている。まず、燃焼した木材に含まれる樹脂成分の一部は地表面に到達し、表面土壌に付着することで土壌の撥水性を高める¹⁴⁾。また、火災熱そのものの影響でも土壌の撥水性が生じることが分かっている¹⁵⁾。森林火災後の地表面は灰分に覆われる。灰分は降雨を経験することで土壌表面を覆う層を形成し浸透能が低下する¹⁶⁻¹⁷⁾。森林火災を経験した地表面では、これらの素過程が複数組み合わせたり表面流が発生するので、未攪乱の土壌表面に比べ表面流が発生しやすくなると言える。

4. 森林火災跡地における表面流と放射性物質の再拡散

筆者らは、SATREPSチェルノブイリ課題の中で、2016年7月に“赤い森”にて発生した森林火災の跡地と未攪乱の森林地とを比較することにより(図3)、火災が表面流の発生や表面流に含まれる放射性物質に与えた影響を実際の現地観測から明らかにした。地表面における表面流の観測手法はいくつか提案されているが、本観測ではUSLE式土壌侵食プロット¹⁸⁾を用いた。図3で示したように、対象とした火災跡地ではヨーロッパアカマツは樹冠まで完全に燃えており、土壌表面は灰分が堆積し土壌表面を覆う植生はない。一方で、未攪乱の森林地では、土壌表面は森林や下層植生により完全に覆われている。

2018年5月から9月までの観測期間中、火災跡地及び未攪乱森林地からの流出率(=流出量/降雨量×100)は、それぞれ0.98%と0.37%となった。これは、同じ雨に対して、火災跡地での表面流は未攪乱の森林地に対して約3.7倍高い(表面流が発生



図3 2016年7月15日から同月18日にかけて発生した森林火災の様子(図上)。森林火災跡地(図左下)と未撈乱森林地(図右下)に設置された表面流観測施設(USLE式土壌侵食プロット)の様子(Igarashi *et al.*, 2020 より加筆して引用)

しやすい)ことを示しており、火災により土壌の撥水性が上昇し、浸透能が低下したためと考えられる。

図4では森林火災跡地に設置された土壌侵食プロットにおける表面流の観測結果を示す。赤破線で囲まれた部分は土壌が飽和しており、表面流が発生していることが実際に確認された。表面流の発生は森林火災跡地からの ^{137}Cs 及び ^{90}Sr の再拡散量に大きく影響した。

^{137}Cs の固液分配係数(K_d)は、未撈乱の森林に比べ火災跡地において30倍高い結果となった。これは、火災跡地では地表面植生等懸濁物の輸送を阻害する要因がないことにも起因する。また、森林火災跡地においては、土砂移動の観点から放射性物質の再拡散を評価することが重要であると考えられる。本研究で対象とした未撈乱の森林地においては、

1987年に表面流の計測が行われている。よって、森林火災を含む一切の撈乱が無い場所における、 ^{137}Cs 及び ^{90}Sr の正規化溶存態及び正規化懸濁態濃度(=観測値/観測時のインベントリ)も既存研究と比較された。いずれの濃度も、1987年より1から2オーダー程度低下していた。これは、放射性物質の下方浸透により、表面流に含まれる放射性物質の濃度が低下したためと考えられる。

5. おわりに

これまで述べたように、森林火災により植生に含まれる放射性物質はエアロゾルとして直接的に再拡散する。それだけでなく、森林火災は地表面における放射性物質の再拡散にも影響することが理解していただけたと思う。2016年の火災は、河川より離れた場所で発生していたため、発生した表面流が直接的に河川へ流入することは無いと考えられる。しかしながら、例えば、観測された表面流に含まれる溶存態 ^{90}Sr 濃度(約80 Bq/L)は、ChEZの最も汚染された河川で計測される溶存態 ^{90}Sr 濃度(約0.1~3.0 Bq/L)¹⁹⁾と比べても、かなり高濃度である。よって、河川近傍にて森林火災等が発生し、表面流が直接的に河川へ流入するような場合、下流の河川中の放射性物質濃度にも注意を払う必要があるだろう。

今後も、現在の観測を継続し、更なる観測事実を積み重ねると同時に、モデルを組み合わせることで河川への影響を定量的に推定する研究へ発展させていきたい。最後に、チェルノブイリ規制区域にて継続的な調査・研究を行うにあたり、協力いただいた関係者にこの場を借りて感謝いたします。

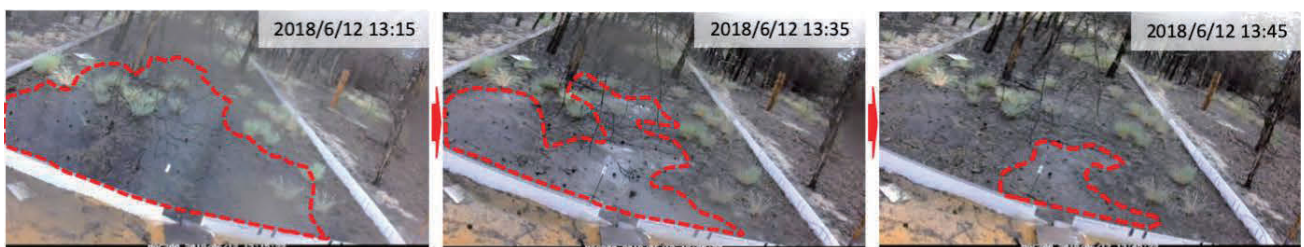


図4 森林火災跡地に設置された土壌侵食プロットにおける表面流の観測結果
赤破線で囲われた部分は土壌が飽和しており表面流が発生している部分

参考文献

- 1) (国研)科学技術振興機構 (JST) と独立行政法人 国際協力機構 (JICA) の連携事業である地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS) での採択課題「チェルノブイリ災害後の環境管理支援技術の確立」(研究代表者: 難波謙二)
- 2) Ager, A. A., *et al.*, *Sci. Total Environ.*, **696**, 133954 (2019)
- 3) ウクライナ立入禁止区域管理庁, <http://dazv.gov.ua/novini-ta-media/vsi-novyny/pro-radiatsijnu-situatsiyu-u-zoni-vidchuzhennya-u-rajoni-pozhezh-stanom-na-04-04-2020-17-55-godinu.html> (2020)
- 4) ウクライナ立入禁止区域管理庁, <http://dazv.gov.ua/novini-ta-media/vsi-novyny/operativna-informatsiya-shchodo-likvidatsiji-lisovikh-pozhezh-na-teritoriji-zoni-vidchuzhennya-2.html> (2020)
- 5) フランス放射線防護原子力安全研究所, https://www.irsn.fr/EN/newsroom/News/Documents/IRSN_Information-Report_Fires-in-Ukraine-in-the-Exclusion-Zone-around-chernobyl-NPP_15042020.pdf (2020)
- 6) Talerko, M., *et al.*, EGU General Assembly 2020, Online, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-10066> (2020)
- 7) ウクライナ国立原子力放射線安全科学技術センター, https://sstc.ua/news/pidsumki-shodo-radiacijnoyi-situaciyi-u-kiyevi-pov-yazanoyi-iz-lisovimi-pozhezhami-u-zoni-vidchuzhennya?fbclid=IwAR0EMqVvUKINdDVrYbMRckwD5k_qGNHDZ4mAsgVSAxpwxuEszh9R0_yQD (2020)
- 8) Radiological Conditions in the Dnieper River Basin. Radiol. Cond. Dnieper River basin Assess. by an Int. Expert team Recomm. an action plan., IAEA (2006)
- 9) Borzilov, V.A., *et al.*, *Meteorogiya i Hidrogiya*, **11**, 43-53 (1988)
- 10) Bulgakov, A.A., *et al.*, *Sov. Soil Sci.*, **23**, 124-131 (1991)
- 11) Bulgakov, A.A., *et al.*, *Experimental study and prediction of dissolved radionuclide wash-off by surface runoff from non-agricultural watersheds.*, Springer Netherlands (1999)
- 12) Garcia-Sanchez, L., *et al.*, *Radioprotection*, **40**, S519-524 (2005)
- 13) Nanko, K., *et al.*, *Catena*, **72**, 348-361 (2008)
- 14) Wells, C.G., *et al.*, *USDA General Technical Report*, WO-7, 34 (1979)
- 15) Scott, D.F., *et al.*, *J. Hydrol.*, **121**, 239-256 (1990)
- 16) Onda, Y., *et al.*, *Catena*, **72**, 13-20 (2008)
- 17) Moody, J.A., *et al.*, *Earth Sci. Rev.*, **122**, 10-37 (2013)
- 18) Wischmeier, W.H., *et al.*, *Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning*, USDA (1978)
- 19) Igarashi, Y., *et al.*, *Sci. Rep.* 1-6. Springer US. doi: 10.1038/s41598-020-66623-4 (2020)

(福島大学環境放射能研究所)