

## 特集1

# 深刻な原発事故を乗り越えて 再びその土地で暮らすために

なんば けんじ  
難波 謙二

福島大学 共生システム理工学類 教授/  
環境放射能研究所 所長  
2016年度よりSATREPS研究代表者

マーク・ジェレズニヤク

福島大学 環境放射能研究所 特任教授

環境放射能研究所  
INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY

かなさし つとむ  
金指 努

福島大学 環境放射能研究所  
プロジェクト研究員

たかやま ふみ  
高山 芙美

福島大学 環境放射能研究所  
研究コーディネーター

ながた ひろこ  
永田 広子

福島大学 環境放射能研究所  
国際コーディネーター

人類はこれまで、さまざまなハザードに見舞われながらもそれらに対処し、乗り越えることで生活を紡いできた。過去に経験したことのない深刻な原子力発電所事故に見舞われたウクライナと日本が、国際共同研究でこの新たな課題に挑む。環境を正確に把握できる観測手法を確立し、再びその土地で暮らし続けるための道を模索する。今後起こるかもしれない万が一の事態に備え、その知見を積み重ね、次世代につなぐ。

## チェルノブイリの「いま」に学ぶ 25年後の福島を知る手掛かりに

世界が脱炭素に向け大きな転換を図る中、再生可能エネルギーの活用が進んでいる。しかし、それだけでは成長を維持しながら、2050年までに実質二酸化

炭素排出量ゼロの目標を達成することは難しい。そのため二酸化炭素排出量が比較的少ない、原子力発電の活用も継続して見込まれている。日本原子力産業協会の調査によれば、21年1月1日現在、世界中では400基以上の原子力発電所が運転中で、新たな炉の建設や小型モ

ジュール炉の開発などの技術開発も進んでいるという。

しかし、ひとたび事故が起きれば、その被害は計り知れない。最も有名なものの1つが、1986年4月に起きたチェルノブイリ原子力発電所事故だろう(図1)。稼働中の原子炉で爆発が起こり、炉心燃料

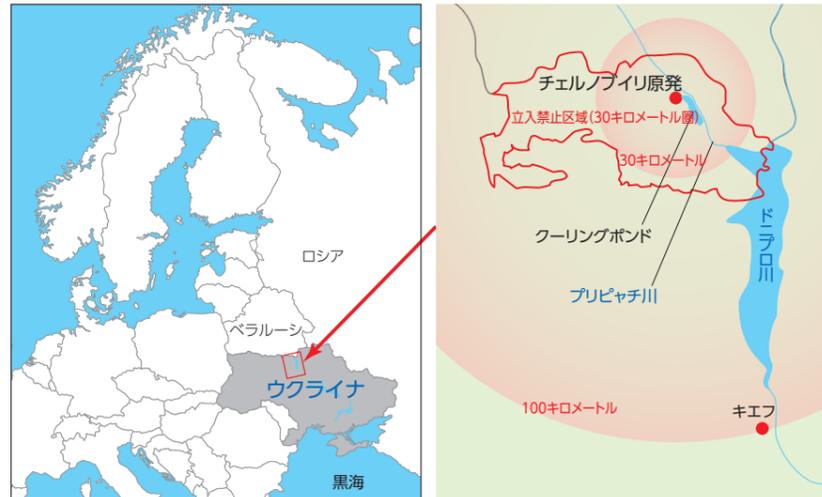


図1 チェルノブイリ原子力発電所は、ウクライナの首都・キエフから北に100キロメートルほど離れた所にある。事故現場から半径30キロメートル圏内は現在でも立入禁止区域となっており、その広さはウクライナ領土内だけでも2600平方キロメートルに及び。

と黒鉛の火災が発生した。これにより、放射性的ヨウ素やセシウム、ストロンチウム、さらにウランやプルトニウムなどを含む燃料そのものの一部までもが大量に飛散する結果をもたらした。原発からおよそ30キロメートルの区域は、半減期が約30年のストロンチウム90やセシウム137で高濃度に汚染され、現在に至るまで「立入禁止区域」とされている。またプルトニウムなど、さらに長寿命の放射性物質で汚染されたおよそ10キロメートル圏内は、一層厳重に管理されている。

しかし近年、この区域を利活用する動きが始まっているという。「住民の帰還は今後も考えられていませんが、経済活動に利用しようという動きが出ています」と説明するのは、研究代表を務める福島大学環境放射能研究所の難波謙二所長だ。ウクライナ政府は、荒廃と自然回帰がない交ぜとなったこの地への観光客の受け入れや、既存の送電設備を利用した風力・太陽光発電の新設など、活用の道を模索し始めている。こうした中で、区域内を安全に利用するためのルールづくりや、新たに区画を再編するゾーニングといった課題が浮上しているという。

一方、福島第一原子力発電所では11年3月の大地震と津波の影響で、原子炉への冷却水の供給が停止し、高温下で発生した水素による爆発が起きた。炉心の重大な破壊を免れた結果、飛散した主な放射性物質は、放射性ヨウ素、セシウムにとどまった。現在は、事故後「帰還困

難」とされた区域に対しても除染が進み、復興への道筋として住民の帰還が始まりつつある。

こうした災害を経験した2国による国際研究「チェルノブイリ災害後の環境管理支援技術の確立」が、16年からSATREPSで始まった。「チェルノブイリは、福島の25年後を知る手掛かりになると考えています。福島で問題となる環境中の放射性セシウムが、今後どのようになっているかわかる可能性があります。それは、タイムトラベルとも言えるでしょう」と難波さんはその意義を語る。

またウクライナ人として、チェルノブイリを中心に、自然環境中における放射性物質の移行に関するモデル予測研究を長年行ってきた、福島大学環境放射能研究所のマーク・ジェレズニャク特任教授は、このプロジェクトのメリットを「住民の帰還が始まる日本の事例を学ぶことは、ウクライナにとって重要です。日本の研究者も、ウクライナの科学者が35年かけて蓄積してきた知識を身につける機会になります」と説明する。

### 冷却水の供給源で水位低下 周辺環境の変動を把握へ

この共同研究プロジェクトは、4つの研究課題を軸に進められている(図2)。1つ目は、原子炉へ冷却水を供給するための人工池であるクーリングポンド(CP)を対象とする研究。2つ目は、立入禁止区域内の土や水の動きと、それに伴う放射性物質の移動。3つ目は、大気を介した放射性物質の長距離移送についてだ。そして最後に、これらの成果を取りまとめ、立入禁止区域の新たな利用ルールやゾーニングの基準となる提言を、ウクライナ政府へ提出することを目指している。

原子力発電はウランの核分裂時に放出される熱を用い、水を高温高圧の蒸気

に変え、タービンを回して発電を行う。この蒸気は冷却され、再び発電に用いるサイクルをくり返す。CPはその冷却を担う長さ10キロメートル幅2キロメートルの人工池で、東側に隣接するプリピャチ川の水をポンプでくみ上げ、高い水位が維持されてきた。しかし14年、廃炉の一環としてポンプ機能が停止し、以来その水位は下がり、陸が出現した(図3)。

発電所の近くに位置するこの池には、多くの放射性物質が飛散、降下した。「水位の低下が、水中や池底にある放射性物質にどのような化学的、物理的变化や影響を与えるのか把握しようとしています。また、生息する淡水魚の放射線量を調べるとともに、陸地化した場所にやってくる動物への影響も調べています」と福島大学環境放射能研究所の金指努プロジェクト研究員は説明する(図4,5)。

また放射性物質は、池の水の移動とともに運ばれる可能性が高い。しかし、それは単に表流水としてだけではない。地中への浸透による地下水への加入なども含めて考える必要があるという。そのため、CP周辺に新たに地下水観測用の井戸を掘り、流れや水位の変化、放射性物質を含む水質の定常的な観測も始めている。

難波さんたちは、こうして得られた水の動きや変化のデータベースに、洪水が起こればどのような影響が出るのか、雨の増減はどのような変化につながるのかといった、水文学の知見を駆使し、変動のシミュレーションを組み立てようとしている。CPは既に、プリピャチ川の水位と釣り合った状態とみられる。CPに隣接する事故を起こした原子炉を含め、チェルノブイリ周辺を流れる表流水と地下水を通じた、放射性物質移動の長期的な変動の把握を目指している。

### 放射性物質が外部に移動 水や土壌、森林火災でも

水に溶ける性質を持つストロンチウムを捕捉することも重要だと指摘するのは、プロジェクト開始時より現地調査に携わる福島大学環境放射能研究所の五十嵐康記特任助教だ。「ストロンチウムは川

に流れ出し、区域外へ運び出される可能性を持っています。どこからどれくらいの流出があるのか、それを決める要因は何かを明らかにしたいと考えています」と語り、放射性物質の立入禁止区域から外部への移動について研究を行っている。

チェルノブイリ事故が福島と大きく異なる点は、原子炉が大規模に破損し、燃料粒子も周辺環境に放出されたことだ

という。燃料粒子に含まれるストロンチウムは燃料粒子の風化に伴い、水に溶けて移動しやすい性質を発揮する。そのためチェルノブイリ周辺の河川では、燃料粒子から溶出したストロンチウムが、現在でも高濃度で検出されている。また融雪時期には、河川水のストロンチウム濃度が上昇することもわかった。福島における最新の知見では、季節的な土壌の凍



図3 チェルノブイリ原発CPのLandsat衛星写真。水位低下初期(左。15年8月撮影、水面標高107.5メートル)に比べ、水位低下後期(右。17年5月、水面標高106.3メートル)ではかなり水位が低下したことがわかる。図はアメリカ地質調査所(USGS)のLandsat-8データを使用して作成。

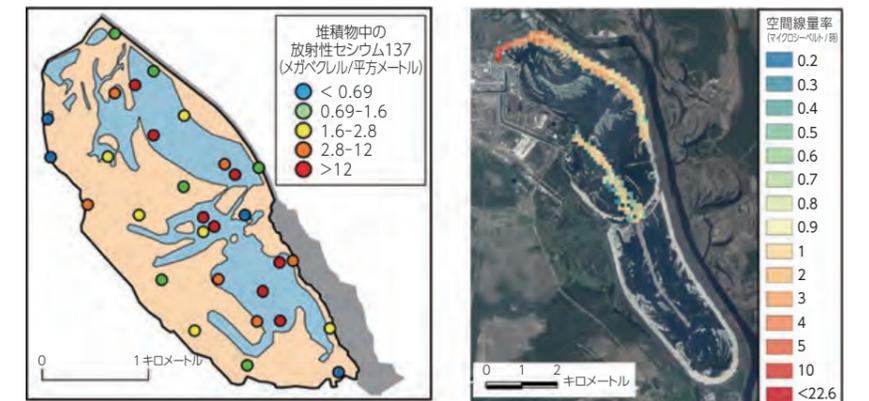


図4 CP西部における堆積物中の放射性セシウム137の分布(左)とCP北部の空間線量率分布(右。背景には2020 CNES/Airbus 2020 Googleを使用)。CPでは、陸地化したエリアの空間線量率を測定し、GPSの位置情報とリンクさせたマッピングも行っている。今後このエリアを利用する計画もあるため、重要なデータとなる。



図5 立入禁止区域内の河川調査(左)とオオナマズなどCPで捕獲された魚類への影響を調査する様子(右)。ヨーロッパオオナマズは、CPの生態系の頂点にあたる生物であり、30年以上生存する。放射性物質の生物への影響を調べるには、うってつけの生物でもある。

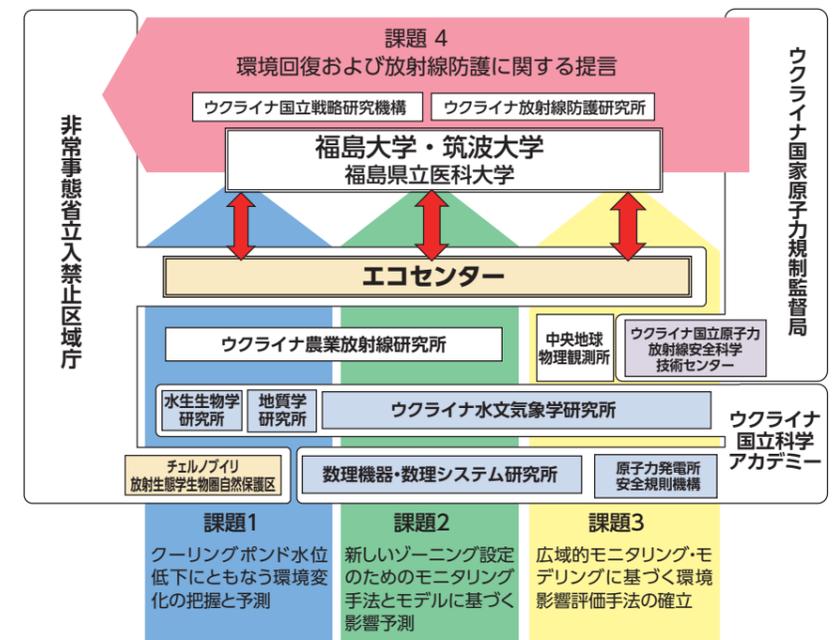


図2 プロジェクトの概要

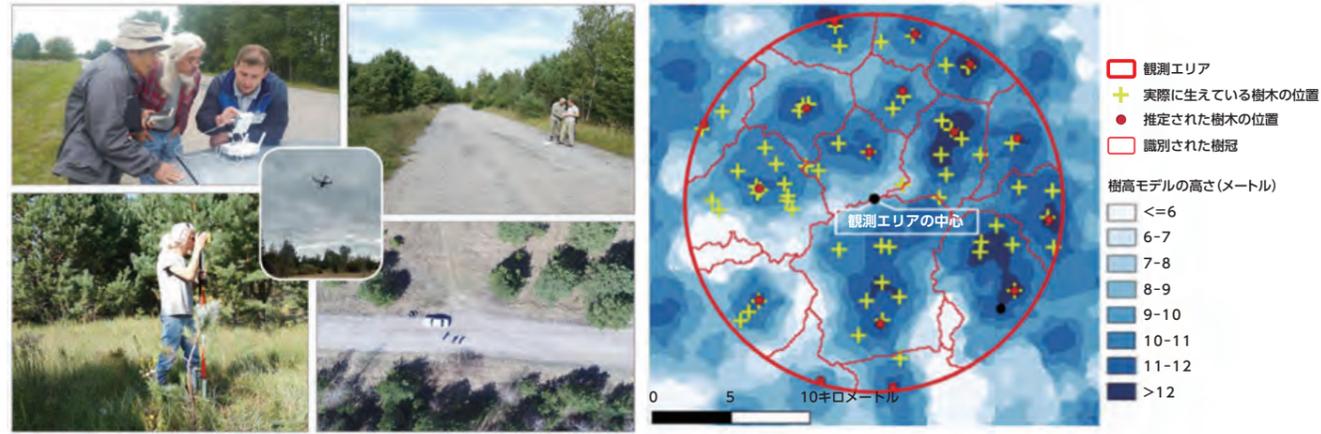


図6 チェルノブイリ立入禁止区域における地上観測とドローンによる調査の様子(左)と、ドローンの画像から推定された樹木の位置と実際の測定で検出された樹木の位置の例(右)

結・融解の変化は、土壌侵食を変化させ、放射性セシウムやストロンチウムを移動させる動きをすることも確認されている。チェルノブイリでも、土壌の季節変化と河川水の間を含め、そのメカニズムを明らかにしようとしている。

さらに18年には、立入禁止区域内で森林火災が発生した。森林火災では、植物由来の脂質を含む灰が地表に堆積する。その結果、土壌の水はけが悪くなり、雨が降ると表面土砂が流出しやすくなるという。燃焼灰を含む土砂には、植物が取り込み蓄積した放射性物質が含まれるため、再拡散の視点からも注目すべき事象だ。そして、森林火災跡地ではこの土砂の移動が通常の森林地帯と比較すると約3.7倍多く、移動する放射性セシウム濃度は約30倍に達することが明らかになった。

この結果に対し、五十嵐さんはこう説明する。「この火災は、河川から離れた場所で起こったため、土砂が直接河川へ流れ込む可能性は低いと考えています」。

また区域外への影響は、幸いにも小さいと予測している。しかし20年には、再び大規模な森林火災が発生し、区域内の森林の3分の1が焼失した。ここから発生する土砂の移動と周辺河川の間を含め、そのメカニズムを明らかにし、影響を注視していく必要がある。

また、森林管理や火災の影響を事前に評価する上で重要となるのが、森林バイオマスの分布とそこに含まれる放射性物質の量を把握することだという。五十嵐さんは、滞在時間の限られた立入禁止区域内で効率よくこれらをモニタリング・評価するため、ドローンを活用した手法を新たに開発した(図6)。これにより、森林バイオマスの分布と生育状況の観測・マッピングが行われ、正確なデータも取得され始めている。この成果が実用化できれば、高放射線量地域で調査を行う作業者の被ばく量を低減することができる。また、複雑な地形を持つ福島の高放射線量地域でも、高性能ドローンを導入した調査が可能になると期待されている。

### 車両に搭載した機器で計測データを即公表し安心感を

「チェルノブイリ周辺で森林火災や洪水が起こると、放射性物質の影響が変化するのではないかとという危惧が住民にあります。うわさも広がりやすく、正確な情報を提供することが重要になります」と話すのは、放射性物質の広域移動について調べるジェレズニャクさんだ。プロジェクト以前から、現地で長らく研究を進

めてきた第一人者でもある。

チェルノブイリで火災が発生すると、その煙は100キロメートル遠方に位置する首都キエフにも到達する。煙による放射性物質の再拡散のモニタリングには、定点観測が適応できず、煙が通過する地点で、的確に観測を行う必要がある。これに対応するため、ウクライナでは、分析機器を搭載した車両「モバイルラボラトリー」を用いた、移動観測の工夫も行われてきた。

しかし、煙の到達を確認してから駆け付けるのでは間に合わず、これまでは有効な観測を行う機会を逃し続けてきたという。そこで今回の共同研究では、煙の移動をあらかじめモデリングし、到達予測地点に向かう試みを実施した。その結果、18年、20年と二度にわたり発生した森林火災の影響を、正確な値で検出することができた(図7, 8)。火災の影響はあるものの、観測値はウクライナの基準値を超えるものではないことが明らかとなり、その結果をすぐさま公表した。これにより、市民の納得と安心感を得ることができたという。

このように、モデリングとモバイルラボラトリーで、火災の影響を把握する独自の手法を新たに確立することができた。「日本では森林火災はまれですが、応用可能な場面は出てくると思います」とジェレズニャクさんは自信を見せる。また今後は、洪水によるストロンチウムの河川水への再拡散と、キエフの水道水源へ与える影響を対象とする調査に発展させていきたいと意欲を示している。

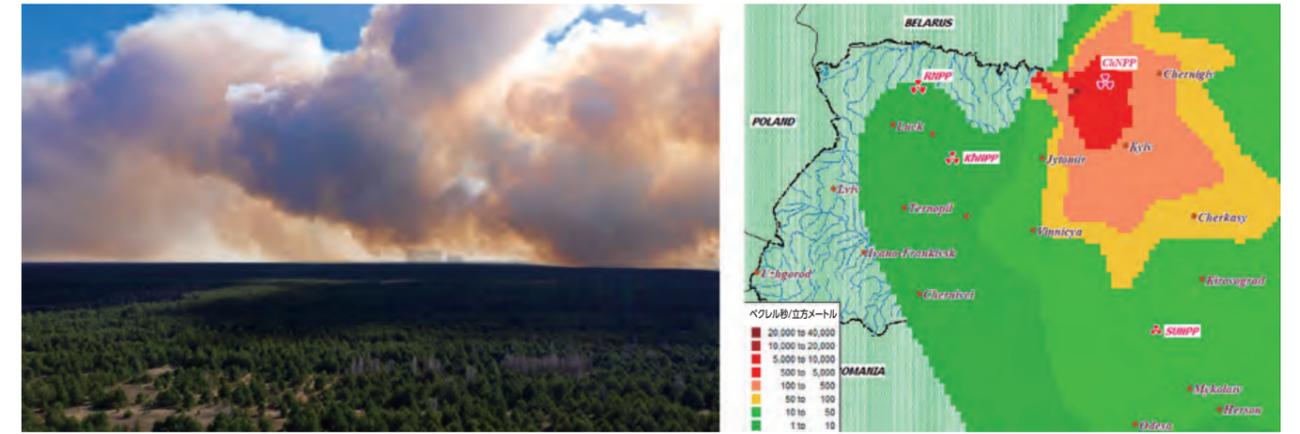


図7 20年4月に立入禁止区域で発生した森林火災の様子(左)と、それによる大気中のセシウム137濃度のシミュレーション結果(右) (Talerko et al., 2021 Atmos. Pollut. Res. より引用)

歴史的変遷を受け、ウクライナはこれまで経済的に不安定な状況を抱えてきた。そのため、事故当時から同じ分析機器を用い、調査研究が続けられてきた背景がある。一方で、福島第一原発事故までの25年間に、科学技術は大きく進歩してきた。高精度かつ効率よく放射性物質を分析する機器や、手法の確立も進んでいる。

こうした状況下、ウクライナでは直面する立入禁止区域の再編成という課題に対し、他国の積極的な協働と助言が必要とされているのだという。最終目標として難波さんが取りまとめる、環境回復や放射線防護に関する具体的な提言は、チェルノブイリの今後を左右する一手になると期待されている。

### 終わりのないテーマ 国際貢献する道も模索

もともと環境微生物学を専門とする難波さんは、土壌や河川の成り立ちとそこに存在する微生物の動きを調べてき

た。そして、福島大学に赴任して程なくの11年3月、大震災に見舞われた。「自分の研究を振り返ると、人間の営みにより排出された汚染物質を微生物が処理し、浄化する過程を追いかけてきました。震災を受けて、自分にもできることがあるだろうと、放射線関連の論文を読み、機材を借りて調査を開始し、今に至ります」と当時を振り返る。

こうした物質循環の視点を持つ難波さんは、自然界に意図せず組み込まれた放射性物質を追うことで、それがトレーサーの役割をし、これまで見えなかった物質の流れが見えるようになったという。そしてこうした発見は、基礎科学の探究へも通じるのだと指摘する。

例えば、立入禁止区域内には形態異常の松が存在する。放射性物質の影響で、生育中にうまくホルモンが働かないことに起因すると考えられるが、それを明らかにするためには、未解明である松の成長メカニズムを知る必要がある。このように、環境放射能の研究から新しく

多様なテーマが広がっていると話し、基礎研究への還元にも意欲を見せる。

16年に始動し、6年間で予定する本プロジェクトも大詰めを迎えている。プロジェクトの取り組みや知見は、専門機関や教育の場から注目を集め、講演や授業に招かれる機会も増えた。今後は教育や社会還元という視点から、両国の成果の活用や日本としての責任を果たし、国際貢献する道も模索していくという。

35年が経過しても、チェルノブイリへ帰還を望む住民がいる。また、立入禁止区域から200~300キロメートル離れた地点で、汚染食物の摂取が原因と考えられる、内部被ばくの高い地域が存在するという。放射性物質のもたらす影響は広域かつ長期的で、解明しなければならぬことはまだ多い。人類が初めて直面する課題が、福島にもチェルノブイリにも変わらず存在し続ける。科学的探究という側面も含め、終わりのないテーマに挑む、本プロジェクトの今後の発展に注目していきたい。

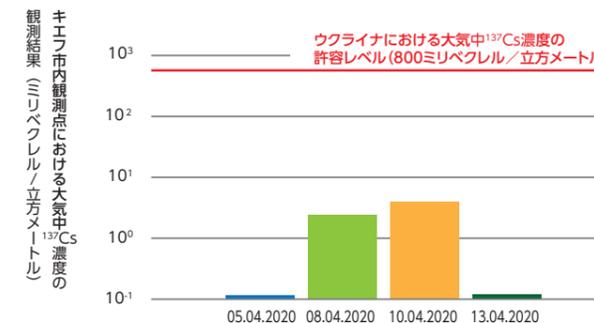


図8 20年4月5~13日までのキエフ市内観測点における大気中のセシウム137の濃度観測結果(SSTC NRS, 2020.4.14発表内容より引用)。図上部の赤線はウクライナにおける大気中のセシウム137濃度の許容レベル、1立方メートル当たり800ミリベクレルを示しており、火災の影響でも基準値を超えていなかったことを明らかにした。