

JST news

未来をひらく科学技術

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

2

February 2022



住民が主体的に手掛ける災害復興
小水力発電で持続可能なむらづくり



03

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

08

特集 2

住民が主体的に手掛ける災害復興 小水力発電で持続可能なむらづくり



12

世界を変える STORY

iPS細胞で腎臓の再生に挑む 人工透析患者を減らしたい



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

14

NEWS & TOPICS

脳細胞が短期記憶を保持する機能発見 筋肉収縮と同程度の力で伝達物質放出を増強 ほか



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

16

さきがける科学人

人の役に立つ素材開発を目指して

量子科学技術研究開発機構
量子ビーム科学部門 高崎量子応用研究所
先端機能材料研究部 主幹研究員
大山 智子



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

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。

JSTは、シンクタンク機能、研究開発、産学連携、次世代人材育成、科学と社会との対話など、多岐にわたる事業を通じて、持続可能な開発目標 (SDGs) の達成に積極的に貢献していきます。



編集 長：安孫子満広
科学技術振興機構 (JST) 広報課
制 作：株式会社伝創社
印刷・製本：株式会社丸井工文社

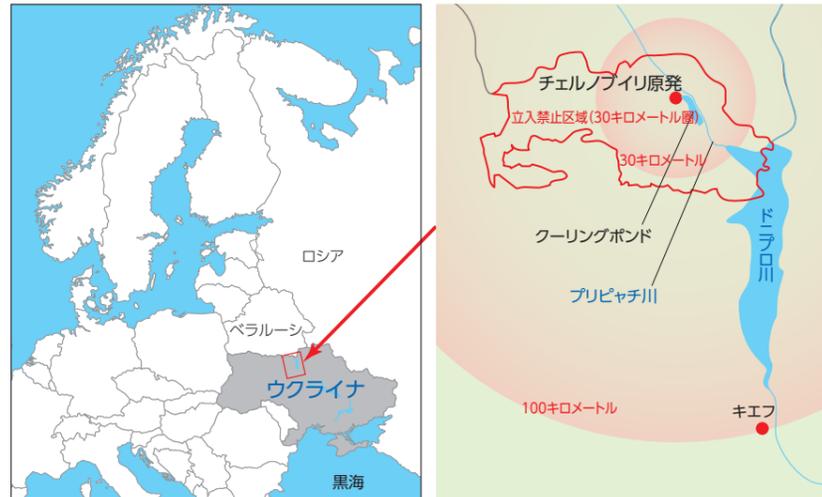


図1 チェルノブイリ原子力発電所は、ウクライナの首都・キエフから北に100キロメートルほど離れた所にある。事故現場から半径30キロメートル圏内は現在でも立入禁止区域となっており、その広さはウクライナ領土内だけでも2600平方キロメートルに及び。

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。

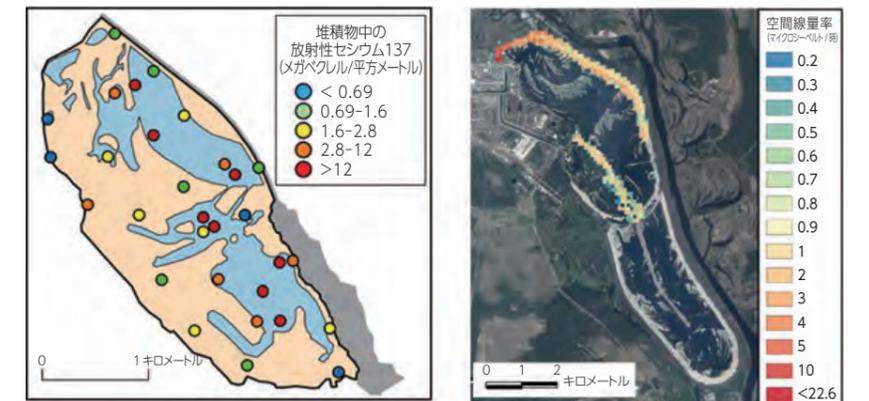


図4 CP西部における堆積物中の放射性セシウム137の分布(左)とCP北部の空間線量率分布(右。背景には2020 CNES/Airbus 2020 Googleを使用)。CPでは、陸地化したエリアの空間線量率を測定し、GPSの位置情報とリンクさせたマッピングも行っている。今後このエリアを利用する計画もあるため、重要なデータとなる。



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。

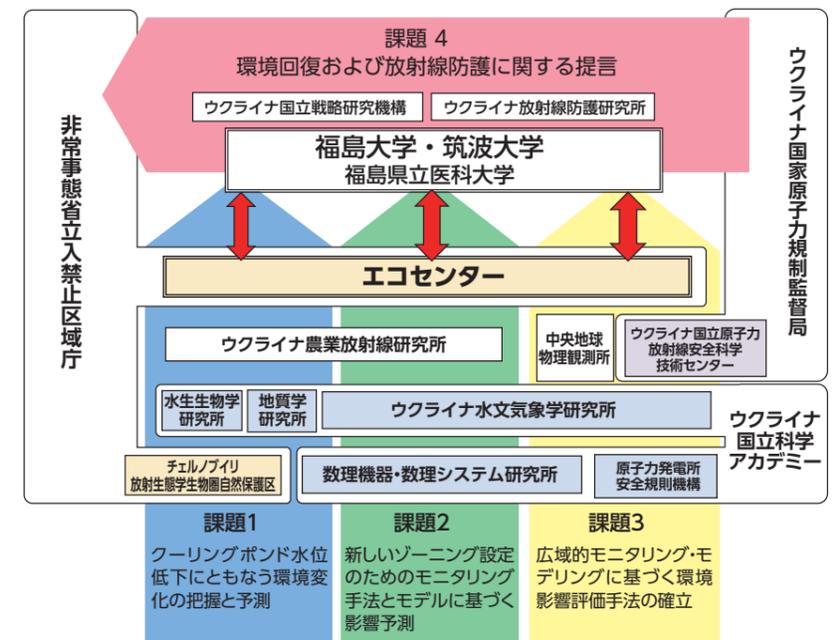


図2 プロジェクトの概要

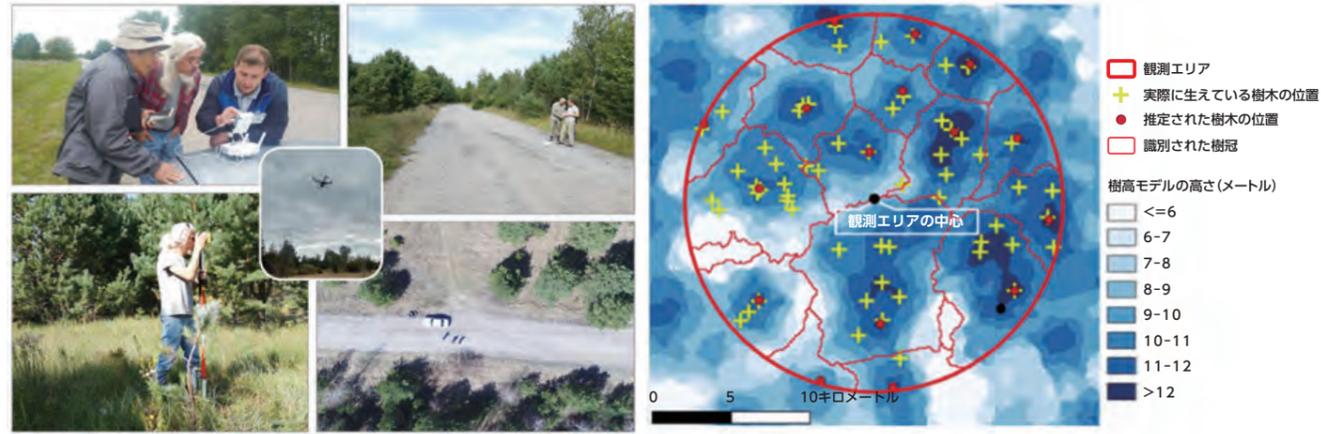


図6 チェルノブイリ立入禁止区域における地上観測とドローンによる調査の様子(左)と、ドローンの画像から推定された樹木の位置と実際の測定で検出された樹木の位置の例(右)

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。

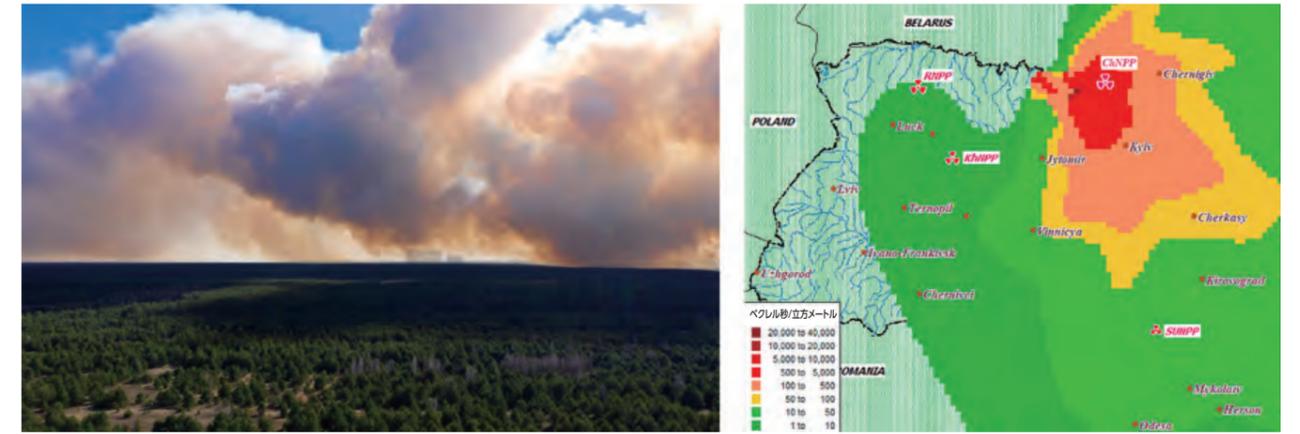


図7 20年4月に立入禁止区域で発生した森林火災の様子(左)と、それによる大気中のセシウム137濃度のシミュレーション結果(右)(Talerko et al., 2021 Atmos. Pollut. Res. より引用)

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。

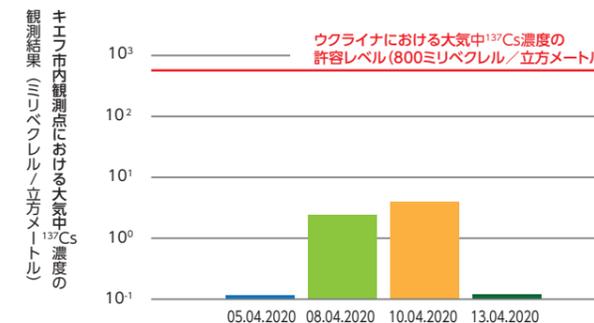


図8 20年4月5~13日までのキエフ市内観測点における大気中のセシウム137の濃度観測結果(SSTC NRS, 2020.4.14発表内容より引用)。図上部の赤線はウクライナにおける大気中のセシウム137濃度の許容レベル、1立方メートル当たり800ミリベクレルを示しており、火災の影響でも基準値を超えていなかったことを明らかにした。

特集2

住民が主体的に手掛ける災害復興 小水力発電で持続可能なむらづくり



しまたに ゆきひろ
島谷 幸宏
九州オープンユニバーシティ 代表理事
2020年よりRISTEX研究代表者

日本では東日本大震災を始め、大規模自然災害が発生すると、行政主導による復旧・復興事業が行われるが、防災が最優先されるため、住民の要望は反映されにくいのが現状だ。そのため、地域社会が分断される事例も多い。そこで九州オープンユニバーシティの島谷幸宏代表理事は、小水力発電の導入をきっかけに、地域が主体となって地域固有の資源を活用した持続可能なむらづくりを行うためのシナリオ形成に取り組んでいる。

被災した小学校跡地を活用 きっかけは若者の移住支援

2017年の九州北部豪雨で大きな被害を受けた福岡県朝倉市。被災から4年たった今も、復興の途上にある。最も甚大な被害を受けたのは、筑後川の支流、赤谷川流域の松末地区だ(図1)。ここでは今、河川や道路・農地などの復旧

工事と並行して、被災して廃校になった松末小学校跡地を復興のシンボルとして活用しようとするプロジェクトが始まっている。小学校の跡地を住民の憩いの場として再生し、併せて自家消費型の小型水力発電機を設置しようというのだ。

この小学校は豪雨被害により2階まで浸水したことから、完全な取り壊しが

計画されていた。しかし「コミュニティの中心である小学校を残し、災害を語り継ぐ場所として整備し、子どもたちや地域の人々が水にも親しめる空間にしたい」と住民が声を上げ、市と交渉の末、21年7月に取り壊さずに保存することが決まった。RISTEXの「小水力エネルギーを活用した災害復興時における主体形成と持続的むらづくりのシナリオ形成」を通して松末地区の復興を支援してきたリバー・ヴィレッジの村川友美代表取締役は、「住民の皆さんが地域の将来を考え、地域づくりを徐々に自分たちの手に取り戻しつつあるのを感じます」と感慨深げだ。

近年、日本では異常気象による豪雨被害が拡大しているが、行政主導の災害復旧では防災が最優先され、長期的な地域づくりの視点が欠けるという問題点が指摘されている。プロジェクトの研究代表者である九州オープンユニバーシティの島谷幸宏代表理事はこう



図1 福岡県朝倉市松末地区の九州北部豪雨被災前(上)と被災後(下)

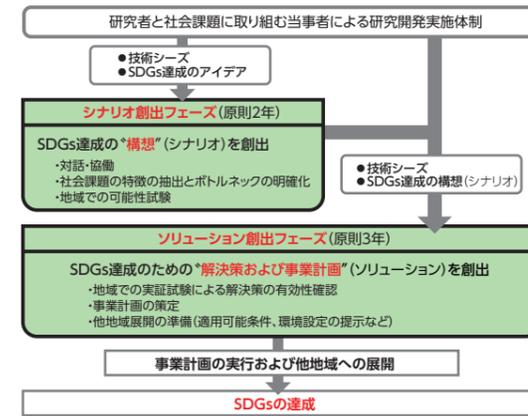


図2 RISTEX「SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム」の事業概要



図4 宮崎県五ヶ瀬町で行われた会合の様子

話す。「大規模な災害ほど、行政側は復旧するだけで手いっぱいになります。住民の要望に向き合う余裕は当然なくなり、住民不在のままトップダウンで復旧が進められてしまいます」。

しかも、縦割り行政では河川の護岸工事、道路整備、宅地造成などの事業がバラバラに進み、住民は生活再建の見通しすら立てられない。そのうち、復興への活力がそがれ、特に高齢化や人口減少に悩む地域はますますやせ細ってしまう。復興における地域の主体をどのように形成するのかという課題を、島谷さんは長年抱き続けていた。時を同じくして、こうした地域課題の解決策を探ることを目指してRISTEXの「SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム」が19年に発足したことから、応募を決めたという(図2)。

主体形成の切り札として島谷さんが着目するのは、地域の水資源を使った再生可能エネルギーの導入である。河川工学が専門の島谷さんは、いわば治

水のエキスパートだ。「日本には水がたくさんあり、山間部ほど豊富です。地域の水資源を使い、小水力発電所を設置して、地域での発電を目指す。そのため話し合いを住民たちが継続することで、地域に主体が形成されていき、復興への活力を取り戻すことができる。そう仮説を立てました」と話す(図3)。

島谷さんが小水力発電を活用した地域づくりを始めたのは、10年からスタートしたRISTEX「I/Uターンの促進と産業創生のための地域の全員参加による仕組みの開発」プロジェクトがきっかけだった。この時は災害復興ではなく、宮崎県五ヶ瀬町で若者のIターン・Uターン支援のための地域づくりがテーマだった(図4)。当時、プロジェクトのスタッフだった村川さんはこう振り返る。「地域住民が水力発電に取り組むには、水力発電の技術だけでなく、資金集めや組織づくり、地域での理解促進、法律の知識など、さまざまな社会技術が必要です。にも関わらず、その部分がすっぽり

抜け落ちていたことがわかりました。これらのサポートをトータルで行う組織として、リバー・ヴィレッジが誕生した。プロジェクト成果の1つという位置づけにとどまらず、リバー・ヴィレッジは以降、九州地方を中心に小水力発電を切り口とした地域づくりを精力的に支援してきた。

思い入れのある場所を残す 専門家とアイデアを具体化

そこに豪雨被害が甚大だった松末地区の住民から「小水力をやって、地元を元気にできんやろうか」と島谷さんに相談があったという。災害後、多くの住民が他地区や市外へ転出し、世帯数は被災前の225から被災後は83にまで減少した。特に被害が甚大だった松末小学校付近の3集落では、被災から2年経過した19年時点でも、帰還できた世帯はゼロという状態だった。巨大な復旧工事のはざま、主体を失った地域は希望も失っていく。そんな状況に住民たちは危機感を抱いていた。

しかし、松末地区は平時には水量が少なく、これまでリバー・ヴィレッジが手掛けてきたような、事業性が見込める規模の水力発電は難しかった。そこで島谷さんが以前から開発を進めていた、より小さな自家消費型水力発電の実証を兼ねた導入を目指すことにしたのである。島谷さんが技術開発を担当し、村川さんが地域の主体形成をサポートするという役割分担で、20年10月からプロジェクトが始まった。

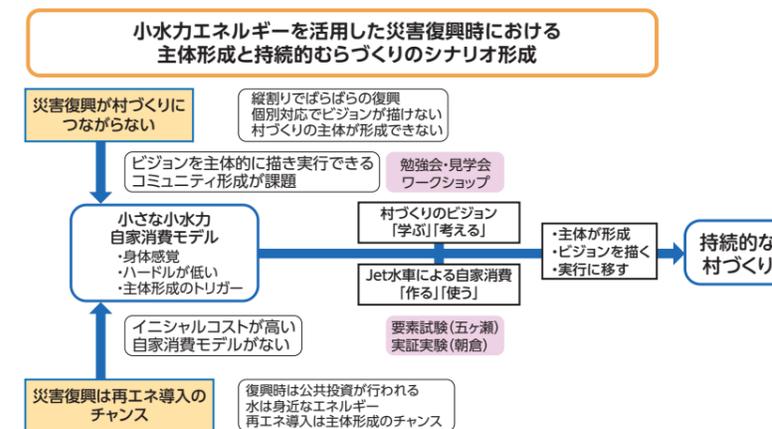


図3 島谷さんが提案したプロジェクトの概要



むらかわ ともみ
村川 友美
リバー・ヴィレッジ 代表取締役
2020年よりRISTEX協働実施者

んたちの模索が始まった。サポートを行う九州大学の先生や学生たちも交えて、毎月1回のペースで会合を開き、小水力発電と地域復興について理解を深め、導入に際しての課題や実施項目の洗い出しを行っていった。今後取り組むべき項目と具体的な課題が洗い出された頃から、住民の発言が前向きなものに変わっていったという。

住民の多くは高齢者だ。生活再建のめども立たず、行政主導で振り回される一方だった復興事業に疲弊している様子だった。また自分たちが頭の中に描いていた、小学校を中心としたコミュニティ再生という考えを、行政にうまく伝える手段を持っていなかった。「九州大学やリバー・ヴィレッジの専門家がサポートに入り、みんなが可視化できるような絵を一緒に描き、コミュニティ内や行政との議論ができるような下地づくりを行いました」と村川さんは説明する。

現在、小水力発電の導入自体は復旧工事のスケジュールの都合で一時的に中断しているが、住民が自分たちで地域のビジョンをより詳細に話し合うようになってきた。村川さんも、水をきっかけに前向きな地域づくりに発展しそうな気配が出てきたと、手応えを感じているという。「水害と隣り合わせの地域ほど、水力発電のポテンシャルは高くなります。プロジェクトはまだ道半ばですが、小水力発電を切り口とした地域復興の可能性が見えつつあります」と期待をにじませる。

村川さんたちがまず行ったのは、住民へのヒアリングだ。被災前の暮らしや被災時の状況、現在の暮らし、期待する松末の将来像について、住民の声に耳を傾けた。当初は住民を集めたワークショップを予定していたが、コロナ禍のため大勢で集まることが難しく、地域では比較的若い60代を中心に、区外に避難中の人も含めて約20人に個別ヒアリングを行った。

ヒアリングでわかったことは、コミュニティの拠点だった小学校が、住民

にとって大変思い入れのある場所だということだった(図5)。140年以上の歴史があり、これまで祭りや運動会などさまざまな行事が行われてきた。「この小学校は豪雨時に住民や児童たち30人ほどが避難し、翌日ヘリで救出されるまで、一晩を過ごした場所でもありました。自分たちを守ってくれた建物を壊さずに、残してほしいという声も聞かれました」と村川さん。

小学校の跡地をなんとか利用できないかと、住民のコアメンバーと村川さ



図5 被災を受け取り壊しが予定されていた松末小学校跡地(左)と、跡地利用のアイデアプラン(右)

3Dプリンターで作るJet水車 単身世帯の電力を賄う

今回導入を予定している小水力発電機は、従来の売電型よりも小さい3キロワットの自家消費型だ。節電している単身世帯であれば、年間を通じてこの小水力発電だけで電力量を賄うことも可能だ。「日本には松末だけでなく、小さい水場がたくさんあります。そうした所でも発電できれば、多くの地域で小水力発電ができるようになります」と自家消費型には島谷さんの込めたこんな思いがある。売電型と自家消費型を地域の規模や希望に合わせて選ぶことで、地域づくりにも柔軟性が生まれる。海外では一般的な電力の自家消費モデルを、日本でも確立していきたいと意気込む。

しかし、小型の水力発電機は海外製がほとんどで、導入コストが高く、設置には重機が必要だった。そこで島谷さんは、住民が自分たちで簡単に制作・設置できるよう、3Dプリンターで形成できる軽量かつシンプルな構造の「Jet水車」を開発した(図6)。スプリングラーのようなノズルから吹き出す水流によって回転するのが特徴だ。現在、Jet水車は以前実施したプロジェクトで縁のあった宮崎県五ヶ瀬町で実証実験段階にある(図7)。

先に設置されていた500ワットの発電機の横に、地域住民と一緒に作業小屋を建て、エアコンや冷蔵庫の電力を

自家発電で賄っている。「小屋づくりや発電機を設置するための土木作業は、地元の人たちも手伝ってくれました。皆さん、小水力発電にとっても興味を持ってきています」と島谷さん。五ヶ瀬町では今後、小屋にドライフルーツを乾燥させる装置を設置し、ご当地商品の製造にも活用していく予定だ。発電機自体は、実証実験を通して改良を進めたのち、松末地区に導入されるという。



図7 五ヶ瀬町では地域の方々や水路や小屋も手作りし、現地で実証試験に取り組んでいる。

主体形成の先に目指すもの 「作る」と「使う」をセットに

コロナ禍と重なった今回のプロジェクトは、村川さんたちがほとんど地域に入ることができず、地域住民も集まりにくい状況下で進められてきた。住民とは個別にしか会えていないという。「復興への思いや主体性も人によってバラバラなので、地域として主体が形成されているとはまだ言えない状態です」と村川さんは現状を説明する。今後の動きとしては、22年の2~3月に松末地区の全体会議を開き、住民の合意形成につながる話し合いをしていきたいと考えている。

主体形成の先に目指すのは、「作る」と「使う」をセットにした持続的な地域づくりだ。人は長い間エネルギーを自ら生み出して活用してきたが、科学の発展とともに電気は発電所で作り、電線で各家庭に届くという、「作る」と「使う」

が分離してしまった状態だ。復興地域に自家消費型の小水力発電を導入することで、地域資源である水を使って自分たちで電気を作り、地域の必要なものに形を変えて使う。そして、壊れたら自分たちで直して、また作って使い続けられるようになる。

「災害や復興で力を落としている方々にとって、再び何かを自分たちの手で生み出すという行為は、自信や希望につながっていくと思います」と村川さんはその効果を語る。プロジェクトではこうした取り組みを通じて、持続的な地域づくりにつながるシナリオを明らかにして、次のソリューション創出フェーズでは他地域へも広げていきたいと今後のビジョンを語る。

トップダウン式のコンクリート主体の国土づくりで活力が失われつつあるが、地域には本来、自分たちで作る力があると話す島谷さんの言葉は、地域への信頼と期待に満ちている。「地域には未来に向かう力があると信じています。地域に主体が形成されていれば、それが復興の主体にもなっていきます。主体のある地域だけが、災害に遭っても生き残っていけるのです」と島谷さんは熱く語る。

どうすれば自分たちの力で地域の将来を考えていけるようになるのか、それを専門家がどうサポートしていけるのか。地域との関係性構築では、明文化できていない独自のノウハウも多い。島谷さんと村川さんの挑戦は、専門家が自分たちの専門的知見を活かして持続可能な社会づくりを支援するための、貴重な示唆に富んだ先行事例になると期待されている。



図6 Jet水車(左)とその模式図(右)。一般的な水力発電では、ノズルと水車が別になっており、ノズルから放出した水を水車に当てて水車を回転させる仕組みなのに対し、Jet水車はノズルから噴出される水の反動で水の噴出方向と反対向きにノズル自体を回転させる水車だ。3Dプリンターで試行錯誤を重ね、この形ができた。

iPS細胞で腎臓の再生に挑む 人工透析患者を減らしたい

医療の進歩は著しいが、腎臓はひとたび機能が低下すると治療や修復が難しく、腎移植以外の根治的な治療法は存在しない。そのため、悪化した場合には生涯人工透析を受け続けることになり、患者の生活の質も大きく低下することは避けられない。これに対し、腎臓を保護する働きを持つ腎臓の前駆細胞を移植する細胞療法を考案し、実用化を目指すのはリジェネフロ(京都府京都市)だ。人工透析患者を減らしたいと、ヒトiPS細胞を用いた再生医療の実現に挑む。

モデルマウスで効果実証も 製薬会社は実用化から撤退

腎臓は体内に2つある握りこぶしほどの大きさの臓器で、血液をろ過して老廃物や余分な塩分を尿として体の外へ排出する機能を担う。しかしこの機能が損なわれると、老廃物などが体内にたまって命に関わるが、腎移植以外の有効な治療法はいまだに確立されていない。腎移植も患者数に対して提供者が圧倒的に少ないのが実情だ。そのため、多くの患者が生涯にわたって人工透析を受け続けなければならない。現在、透析患者は日本に約34万人、予備軍となりうる慢性腎臓病(CKD)の患者は、成人の7人に1人、1300万人以上いると見積もられている。

こうした現状を改善するべく、京都大学iPS細胞研究所の長船健二教授は、CKDを悪化させない治療法の研究に取り組んでいる。「臓器や組織の多くは自ら再生する能力があり、病気や怪我をしても元の状態に戻りますが、腎臓にはありません。このことに医学生の時、興味を持ちました」ときっかけを語る。長船さんが医学生だった頃は、再生医療研究はまだ活発ではなく、傷ついた腎臓を蘇らせることは不可能といわれていた。

腎臓内科医として臨床経験を積んだが、より多くの患者を助けるために治療

法を開発したいと2000年に東京大学大学院理学系研究科博士課程に入学した。そしてマウス胎仔期に腎臓ができる過程を調べる中で、06年に腎臓において血液から老廃物をこしとるネフロン前駆細胞を世界で初めて発見した(図1)。腎臓は複雑な構造をしているため、ネフロン前駆細胞が得られても、患者に移植できるだけの腎臓まで培養することは難しかった。

08年に京都大学iPS細胞研究センター(当時、現iPS細胞研究所)に移った長船さんは、ネフロン前駆細胞をCKD患者の腎臓に移植する研究に取り組んでいた。その際、傷ついた臓器の保護を目的に組織幹細胞を移植する細胞療法が行われていることを知ったという。「この手法を参考に、iPS細胞からネフロン前駆細胞を作って移植すれば、腎臓を保護できるだろうと考えました」と長船さんは振り返る。

15年に腎臓病モデルマウスの腎臓の被膜下にネフロン前駆細胞を移植する実験を行い、CKD患者が腎臓を保護するために使っている薬よりも、症状の悪化を抑えられる可能性を見いだした。詳しい仕組みの解明は現在も進められているが、ネフロン前駆細胞が分泌する分子が腎臓を保護するとともに、腎臓の線維化を防ぐ働きをし、症状の悪化を抑えているのではないかと考えられている。



いしきりやま としひろ
石切山 俊博
代表取締役社長

おさふね けんじ
長船 健二
取締役最高科学顧問/
京都大学 iPS細胞研究所 教授

やまぐち かつひさ
山口 勝久
取締役CFO

これなら透析治療を必要とする前にCKD患者の悪化を抑えられ、製薬会社との共同研究を進めるも、実用化までは至らなかった。「利益を上げていかなければならない製薬会社は、通常2~3年ほどで実用化できなければ、研究の継続は難しいのです。最終的には撤退となりましたが、ネフロン前駆細胞移植には期待していただき、6年間も共同研究に関わってくれました」と感謝の思いを口にする。

熱意に動かされ起業 来年にも臨床試験へ

その後も長船さんは自身の研究がCKD患者に大きな福音をもたらすと信じ、実用化の道を模索し続けていた。そこで知人を介して出会ったのが、石切山俊博代表取締役だ。国内外の製薬会社で経営幹部を務めた石切山さんは、当時をこう振り返る。「技術の高さはもちろんで

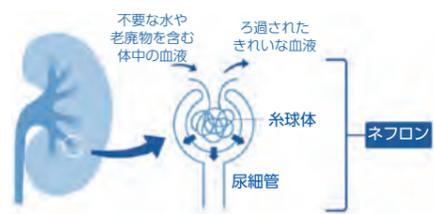


図1 腎臓に数多く存在するネフロンでは、血液から老廃物がこしとられて尿が作られていく。長船さんは、このネフロンのもとになる前駆細胞を発見して、現在、細胞療法に利用しようとしている。

すが、患者さんを思う熱意に心動かされました。これまでは利益優先でしたが、この研究に賭けてみようと思いました」。そして、石切山さんと長船さんは、19年9月にリジェネフロを設立した。

治療法を確立するためには、安全性の検討を欠かすことはできない。iPS細胞は一定数が分化せずに残ると腫瘍化するリスクもあるとされるが、がんに関連した遺伝子を使わず、遺伝子導入に用いるウイルスも安全なものが開発された。加えて、確実にネフロン前駆細胞に分化誘導する独自技術の開発に成功した。こうして副作用の出ない方法も確立できたことから22年に安全性試験を実施し、23年から患者に対する臨床試験を行う予定だ。

「腎移植後に腎臓の機能が急速に損なわれることがあるため、最初は腎移植を受けた患者さんを対象に、ネフロン前

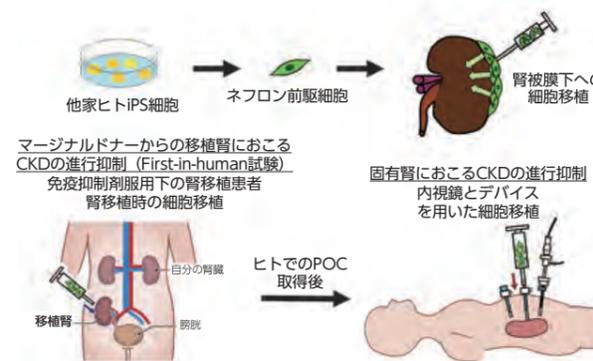


図2 他の人のiPS細胞(他家ヒトiPS細胞)からネフロン前駆細胞を作り、慢性腎臓病患者の腎臓の被膜下に細胞移植を行う。安全性と効果の検証や腎臓にネフロン前駆細胞を移植するための器具の開発が進む。

駆細胞移植で腎臓を保護できるかどうかを確かめようとしています」と長船さんは説明する(図2)。腎移植患者は免疫拒絶を抑えるために免疫抑制剤を服用するため、ネフロン前駆細胞に対する拒絶も起こりにくい。また腎臓が通常は腰部の深いところにあるが、移植腎は鼠径部の浅いところに植えてあるため、患者の負担を抑えてネフロン前駆細胞を移植できるという。

成果を戦略的に事業化 安定した収益の確保も

従来iPS細胞から移植可能な細胞に培養するには莫大なコストがかかってきたが、ネフロン前駆細胞を大量に作り出す技術も開発した。「患者1人にネフロン前駆細胞を移植するのに、400万円程度まで費用を抑えられるようになりました」と財務を担当する山口勝久取締役CFOは説明する。人工透析にかかる医療費は患者1人当たり年間約400万円とされており、透析の開始時期を1年でも遅らせることができるなら、十分に見合うだろう。

しかしこうした治療法を実用化するまでには、莫大な資金と時間が必要なことは想像に難くない。リジェネフロではネフロン前駆細胞から糸球体と尿管を含む腎臓オルガノイドの作製に成功しており、薬剤開発や病態解析用として先駆けて事業化する予定だという。「ベンチャーでは、いかに継続して資金を調達するかが重要です。研究途中の成果でも、価値を見極めて事業化することで、収益の確保を目指しています」と山口さんは戦略を語る。

世界に目を向ければCKD患者は約8億5000万人に上り、国内外を問わず腎臓の

有効な治療法確立を待ちわびる声は多い。長船さんの開発したiPS細胞由来ネフロン前駆細胞を用いた治療法が確立すれば、人工透析患者を減らすことができるだけでなく、医療費も抑えられるだろう。3人の堅実な歩みが、今まさに世界を変えようとしている。

HISTORY

2006年

長船さんがマウスの胎仔から世界で初めて腎臓の素となるネフロン前駆細胞を発見

2008年

さきがけ「多発性嚢胞腎患者由来のiPS細胞を用いた病態解析」(08~11年度)で、常染色体優性多発性嚢胞腎(ADPKD)特異的iPS細胞を樹立し、ヒトiPS細胞から尿管細胞などの腎細胞を分化することに初めて成功

2015年

再生医療実現拠点ネットワークプログラム「慢性腎臓病に対する再生医療開発に向けたヒトiPS細胞から機能的な腎細胞と腎組織の作製」(13~17年度、期中に日本医療研究開発機構(AMED)へ事業移管)で、腎臓病モデルマウスにヒトiPS細胞由来ネフロン前駆細胞を移植し、症状の悪化が抑えられることを実証

2019年

リジェネフロ設立

2023年

SUCCESS(20年度~)の出資を受けるなどし、腎移植患者へのヒトiPS細胞由来ネフロン前駆細胞移植の臨床試験を開始

20XX年

ネフロン前駆細胞移植を実用化し、CKD患者の症状悪化を抑え、人工透析治療の開始時期を遅らせることに成功

腎疾患は、再生医療による治療がもっとも待ち望まれている領域の1つです。透析に移行する患者さんを、できる限り少なくしていきたいです。



研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「光の特性を活用した生命機能の時空間制御技術の開発と応用」
研究課題「記憶構造を解明する新しい光操作・画像法の開発」脳細胞が短期記憶を保持する機能発見
筋肉収縮と同程度の力で伝達物質放出を増強

人の脳には約1000億個のニューロンと呼ばれる神経細胞があり、それらが神経ネットワークを形成しています。これまでの研究で、神経細胞は軸索と樹状突起の間にあるシナプスを介して、神経細胞間で電気や化学物質を使った情報伝達が行われ、記憶や学習が可能になることが知られていました。

東京大学大学院医学系研究科の河西春一郎教授らは、このシナプスにおける情報伝達の第3の様式として、神経細胞の樹状突起上に存在するトゲ構造の上に形成されるスパインの増大と圧感覚を介した「力学的な伝達方法」を発見しました。研究者らはシナプスの運動性を見るために新たに開発した、3次元的な1点でグルタミン酸が放出できる2光子アンケイジング法と、光を使った刺激・測定技術を組

み合わせ、単一スパイン増大の効果を調べました。すると、シナプス内ではスパインが1平方センチメートル当たり0.5キログラムという筋肉の張力並みの力で軸索

を押し、軸索はその圧を感知して機能的に応答していることがわかりました。この力によってスパインの変化を素早く読み出し、短期的な記憶の保持に使用している可能性が示唆されました。

この成果は、末梢神経だけでなく中枢神経でも軸索の末端に感覚受容機能があることを世界で初めて

示したものです。スパインやシナプスには精神疾患に関わる分子が多く集まっているため、研究の進展により診断や治療についての新たな知見に期待が集まります。



戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「細胞内現象の時空間ダイナミクス」
研究課題「シナプスの力学カップリングを担う軸索終末機構」

研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「新たな生産プロセス構築のための電子やイオン等の能動的制御による革新的反応技術の創出」
研究課題「レドックスメカノケミストリーによる固体有機合成化学」「固相メカノラジカルの化学と応用」120年の歴史を塗り替え、調整方法を刷新
ペースト状グリニャール試薬の合成に成功

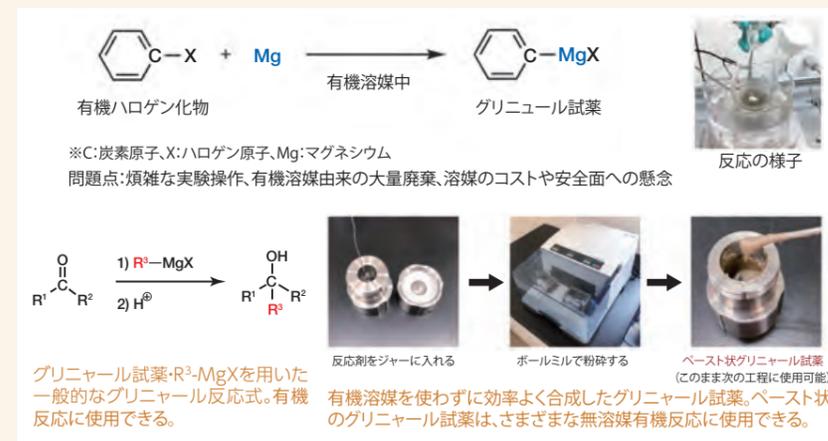
有機合成において最も重要な反応剤の1つであるグリニャール試薬は、1900年に初めてその合成が報告されて以降、およそ120年にわたって幅広く利用されています。しかし、高純度の有機溶媒を用いて有機ハロゲン化合物とマグネシウム片を混合する一般的な調製法は、実験操作の煩雑さ、有機溶媒由来する廃棄物や毒性、安全性が問題視されていました。

そこで、北海道大学創成研究機構化学反応創成研究拠点の伊藤肇教授らの研究グループは、ボールミルという粉砕機を用いて金属製のボールを反応基質とともに直接ジャーに入れ、素早く左右に振動させ、機械的に強くかき混ぜる「メカノケミカル合成」と呼ばれる方法を利用し、有機培養をほとんど使用せずに

効率よくペースト状のグリニャール試薬を合成することに成功しました。

この合成法は容器内の水分や酸素の影響を受けにくい、有機溶媒の使用量をこれまでの約10分の1にまで低減できます。またペースト状なので、さまざ

まな有機合成反応に、そのまま使用することも可能です。新たな手法の普及によって、化学製品や医薬品、機能性材料の生産における環境負荷を抑え、生産プロセスのコスト削減に結びつくことが望まれます。



研究成果

戦略的創造研究推進事業ERATO

連尾メタ数値システムデザインプロジェクト

自動運転シミュレーションの能力を向上
事故につながるシナリオを効率よく発見

交通事故が多発する中、交通事故の防止や、商用ドライバー不足への対応を目指し、自動運転車の開発が急速に進んでいます。「レベル3」といわれる条件付運転自動化技術を搭載した車も市販されるようになりました。しかし交通状況が複雑な街中を自由に自動運転モードで走行するまでには至っていません。

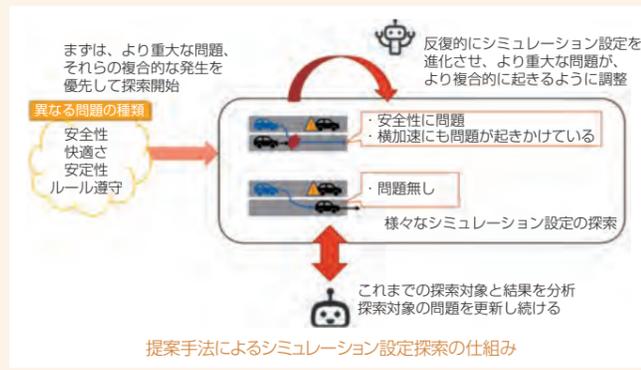
国立情報学研究所の石川冬樹准教授らの研究チームは、運転前にシミュレーション検査する際に、「進化計算」と呼ばれる最適化技術を活用し、さらにその技術を「見張る」ような機構を設けました。これにより自動運転システムで重大な事故につながったり、事故でなくとも交通ルールや快適さを損ねたりする可能性を、自動で効率よく見つける技術の開発に成功しました。

追い越しや右折などのシナリオごとに起こりえない事象を見つけ、不要なシミュレーション検査を除外したり、優先度を下げたりするのが特徴です。また、特に重大な事故につながる可能性の高い「強い加速と急ハンドルが同時に発生する」状況で、さらに事故を引き起こしやすい深刻なシナリオは、優先度を上げて探索

を続けました。その結果、短時間で効率よく事故につながるシナリオを発見できるようになりました。

シミュレーションによる検査能力が向上す

ることにより、高コストでレアケースを試すづらい実車試験を補えます。今後は、安全性評価基準の確立や国際的な標準化動向にも対応し、安全性・信頼性の論証や説明をしっかりと裏付ける方法論を明確にすることで、実用性を高め、安心安全な自動運転システムの確立に貢献します。



研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「現代の数値科学と連携するモデリング手法の構築」
研究課題「次世代暗号に向けたセキュリティ危殆化回避数値モデリング」安全で効率的な暗号技術を開発
量子コンピューターでも解読は不能

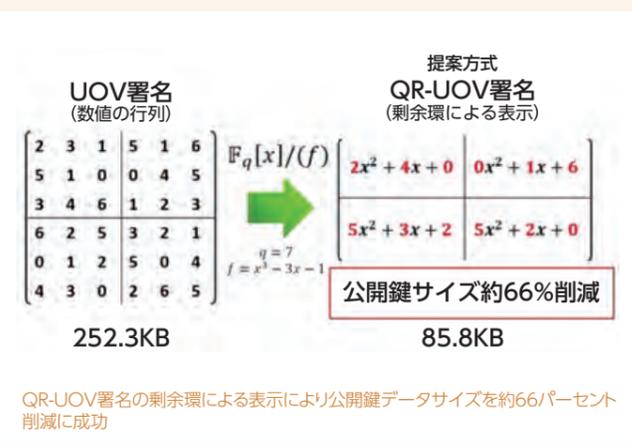
デジタル署名技術は私たちの生活のさまざまな場面で利用され、情報社会の安全性を支えるコア技術として重要性を増しています。現在普及している暗号方式は、大規模な量子コンピューターが実現すると、解読できることが知られています。そのため、量子コンピューターでも解読できない暗号技術の開発が進んでいます。

そこで、東京大学大学院情報理工学系研究科の高木剛教授らの共同研究グループは、新たなデジタル署名技術「QR-UOV署名」を開発しました。安全性は高いものの、検証の際に使う公開鍵のデータサイズが大きいことが課題だった従来の「Rainbow署名」と比較し、安全性を低下させることなく公開鍵のデータサイズを約66パーセン

ト削減することに成功しました。Rainbow署名は多変数多項式問題の難しさを安全性の根拠とした「UOV署名」を拡張することにより効率化していますが、QR-UOV署名は数値の行列で表現されていたUOV署名の公開鍵を、「剰余環」と呼ばれる代数系の多項式で表現している点の特徴です。

今回の提案方式は、量子コンピューターの時代にも安全かつ効率的なデジタ

ル署名であるため、個人認証やデータ保護などその特長を生かしたアプリケーションにも活用できます。特に長期的な安全性が必要であり、通信負荷の低減が求められるセキュリティシステムへの応用が見込まれます。



さきがける 科学人

vol.112

Profile

福島県出身。2012年早稲田大学理工学術院先進理工学
研究科博士後期課程修了。博士(理学)。同年日本原子力研
究開発機構へ。量子科学技術研究開発機構主任研究員を
経て、21年より現職。20年よりACT-X研究者。



人の役に立つ 素材開発を目指して

Oyama Tomoko

大山 智子

量子科学技術研究開発機構
量子ビーム科学部門 高崎量子応用研究所
先端機能材料研究部 主幹研究員

Q1.理系に進んだきっかけは？

**A1. カール・セーガンの「COSMOS」を
読んで物理の面白さに目覚める**

実は高校の途中までは文系志望のつもりでした。親から「学問に文も理もない」とアドバイスを受け、自分のやりたいことを見つけるために図書館の本を読んでいくうちに、天文学者のカール・セーガンの「COSMOS」に出会いました。この本を通じて哲学を土台として科学があることを知り、科学全般、特に物理に興味を持ちました。

大学に入り、「何か人の役に立つことを学びたい」と考える中で、分子や原子といった極めて小さなレベルで材料に変化を起こすことができる「量子ビーム」の世界に魅了されました。化学薬品などを使わずに、分子を切ったりつないだりして材料の性質を根底から変えられるのが量子ビームの魅力です。新しい素材を自分の手で一から作ってみたい。それが研究の原動力になっています。



培養基材の作製に使う微細加工フィルムや開発中のマイクロ流体デバイス

Q2.細胞培養に着目したきっかけは？

**A2.量子ビームを用いて体の中と似た
培養環境を作り出したい**

不治の病といわれるような難治性疾患は、取り出した細胞をうまく培養できず、病気の原因が突き止められていない場合が多いと聞きました。病気になると体から細胞を取り出して原因を調べますが、培養するのは固いプラスチックの板の上がほとんどです。一方で体の中の細胞は、たんぱく質や糖でできたゼリーのように柔らかな環境で活動しているので、異なる環境に取り出された細胞は体内とは全く異なる振る舞いをします。この状態で調べても、正しい原因を追究することができません。そこで、量子ビームを用いて「体の中と似た環境を作り出すことはできないか」と考えたのが、細胞培養基材の開発に取り組みきっかけでした。

2021年7月に、細胞が接着面を引っ張るごく小さな力でも変形するような「フレキシブル細胞培養薄膜」の開発に成功しました。固いプラスチック上の細胞は平面状に広がるだけでしたが、この薄膜の上で培養すると、細胞にヒダや突起などの立体構造を作らせることができます。胃や腸のように凹凸がある臓器表面にもフィットする移植治療用細胞シートへの応用を視野に、現在研究を進めています。

ACT-Xでは、これまで関わることのな

かった分野の方と交流が生まれてい
ます。細胞培養で困っている方が多いこと
や、こんな培養基材が欲しいというニーズ
を知ることができ、自身の研究に活路を見
いだすことができた実感しています。

Q3.10年後の目標は？

**A3.自分が作った細胞培養基材が
新たなスタンダードになる**

培養した細胞だけで体の中の現象を
理解することは難しく、例えば薬の効き目
を正確に評価するには、多くの動物を犠
牲にせざるを得ません。こうした状況を少
しでも改善できるよう、体の中における細
胞の振る舞いをより正確に再現したり、特
定の細胞機能を引き出したりできる培養
基材を作りたいです。10年後には、細胞培養基材の新たなスタンダード
になることを目指しています。

また、培養基材だけでなく、人工血管な
ど移植医療器具の改良や開発も行ってい
ます。物理化学生命科学医学薬学と、さ
まざまな分野の研究者と一緒に研究開発
を進めていけたらうれしいです
ね。今後も量子
ビームの可能性
を広げるチャレ
ンジを、続けてい
きたいと思います。



休日は家族でよく山歩きに出かけます。写真は榛名山で娘と。

