

明日へ向けて

私たちの取り組み



No.3
2014年12月

日本原子力研究開発機構
福島研究開発部門

廃炉に係る研究拠点を整備し、廃止措置を推進 福島廃炉技術安全研究所 河村 弘 所長に聞く

ロボットを使って、1F炉心の水漏れを止める

― 櫛葉遠隔技術開発センターがめざすものは？

東京電力福島第一原子力発電所（1F）では、現在、廃炉に向けた取組が進んでいます。事故を起こした原子炉建屋内は放射能レベルがとて高いので、人間が入って容易に作業することはできません。このため、廃炉作業を進めるためには、遠隔で操作できる機器や装置を開発し、利用する必要があります。櫛葉遠隔技術開発センターは、開発された機器や装置を1F建屋内に実装するために作られる実証試験施設です。

1Fを廃炉するための長期的なスケジュールを示すロードマップでは、期間を大きく3期に分けています。第1期は使用済み燃料プール内の燃料を取り出し始める期間で、2013年に終了しました。現在は第2期であり、炉心にある燃料デブリの取り出し準備を2021年までに完了する予定です。この期間中に炉建屋内を調査したり、除染するとともに、炉内を循環している水漏れを止めなければなりません。水止めをしないと、水を張って燃料デブリを取り出す準備ができないからです。そこは放射線量がとて高いので、作業は遠隔で操作できる機器を使って行わなければなりません。廃炉の進展は、まさに遠隔操作機器の開発に負うところが大きいと言えます。

遠隔操作機器にはいろいろなものがあります。走り回るロボットも、宇宙船で物をつかんだりするロボットアームも遠隔操作機器です。それらの機器は、本当に1F建屋内で実証できるかどうかの試験や機器を操作する人の訓練を念入りに行わなければなりません。しかしながら、1Fでは急を要したことと、実証試験を行う施設がなかったために、事前の試験や訓練が十分に行われないままに機器が投入されました。このため、1F建屋内から戻ってこないロボットの数が増えているのが実情です。櫛葉遠隔技術開発センターは、完成度の高いロボットを1F建屋内に実装できるようにするため、がれきが散乱するような空間を作って、ロボットがそこできちんと動くかを試験し、ロボットを投入する前の最終確認試験を行う、国内唯一の施設になります。加えて、操作員がきちんと操作できるように念入りに訓練を行うことも重要になります。

― 作業を終えて戻ってきたロボットはどうするのでしょうか？

作業を終えて戻ってきたロボットに対しては、1F建屋内でメンテナンスや修理をする必要があるかもしれません。そのときは、現在は、除染した後、人間の手でそれらの作業を行うこともあります。機器を交換する必要がある場合に遠隔で簡単に交換できるようなくみにできれば、省力化でき、作業員の被ばくも減らすことができます。私たちはこのようなロボットを世に送り出すことをめざしています。

また、1Fに近い浜通りには、技術力があるたくさんの中小企業があります。それら地元の企業の人たちと共同でロボットを開発することで、地元企業の活性化や地元の人が活躍できる場を提供し、地元に貢献できないかと思っています。

― 遠隔操作機器について、さらに詳しくお話しを。

遠隔操作機器は作るだけでなく、それをうまく操作できるようにしなければなりません。レーシングカーはそのいい例です。操作スキルが重要で、それによって現場での作業も効率化されます。そのため、私たちは、ロボット操作に係る作業者の操作訓練等のため、バーチャルリアリティシステムの導入とロボットシミュレータの開発を手がけています。バーチャルリアリティというのは、自分があたかもその場所にいるような感覚を仮想空間で実現するものです。最先端の技術では触ったら痛いと感じることができるようなどまでできています。

なぜそのようなことをやるのかと言うと、作業現場は放射能で汚染されているのでそこには入れません。放射線量を下げて入れるようになったとしても、長い間作業することはできません。このため、その場所がどうなっているかを事前に詳細に調べて実際に近い状況を模擬した空間を作り、それを使ってできるだけ効率よく、短時間で作業が行えるように訓練しておくことが必要です。例えば、作業時にロボットが何かにぶつかることがわかれば、その寸法を短くしてぶつからないようにすることもできます。作業を効率化するために、事前に工夫することもできます。それらによって作業時の被ばくを減らすこともできますし、工期自体も短縮することができるようかもしれません。また、バーチャルリアリティシステムに線量マッ



地元との協働で、櫛葉を国際的な研究拠点に

プを入れておくと、その作業のためにどれぐらい被ばくするかも事前にわかるため、それに基づいた作業計画を立てることもできます。

このようなシステムが実際に現場で使われたことはなく、本格的に行うのは国内では初めてです。とりわけ、1Fの原子炉の中を3次元で体験できるのは、ここしかありません。さらにこのシステムは、IF事故の記録を保存し、アーカイブ化することもできます。

—いつごろから使えるのでしょうか？

最初に炉建屋内のウォークスルー機能を整備し、来年8月にはその基本的なものを完成させます。次に、先ほど述べた止水作業のための機能を整備し、2～3年の間に必要な基本的機能を開発・整備完了する予定です。とはいえ、炉心の中はまだわからないことがたくさんあるので、必要に応じてさまざまなものを追加できるように機能開発していく必要があると考えています。

また、がれきの上を歩くことができるようなロボットは、原子力災害時だけでなく一般の災害時にも使えます。この波及効果は大きい。先日の御嶽山の噴火のような時にも、遠隔操作で探索をすることもできる可能性があります。

1例としてあげると、1Fに投入されている三菱重工業製のロボットは、東海村のJCO事故が起こった時に開発したものを、福島第一原子力発電所事故後に改造して完成させたものです。開発されたロボットを災害対応ロボットセンターですぐに使えるように日頃から維持管理をしておくといったしくみが日本にあると、いざ鎌倉と言うときに役立つと思います。自動車の場合だと車検や運転免許の更新があるように、ロボットの機能や操作する人のスキルが維持されているかどうかを確認する標準試験法も整備する必要があります。原子力災害対応用としては世界で初めてのこの試みを成功させるために、原子力機構では現在、専門家を集めて、そのための検討を進めています。

—国際的な取組は？

アメリカでは、9.11テロを経て、災害対応ロボットの実証試験を行う施設を作りました。テキサスA&M大学のディザスターシティにある施設では原子力だけではなく、地震や山崩れ、列車事故等が起きた時にそのロボットが使えるかどうかを実証し、技術者の訓練にも使っています。原子力機構はそのテキサスA&M大学と今年8月に「遠隔技術に関する覚書」を結びました。この施設ネットワークを通じて研究者のネットワークを構築し、世界レベルでの研究開発を可能にしたいと考えています。標準試験法の適正化や認証制度の構築については、アメリカの国立標準技術研究所（NIST）と協議しています。

—事故後3年経過して印象に残っていることと、福島での業務にかける思いを。

事故当時は大洗研究開発センターの副所長として、大洗研究開発センターの3.11復旧活動と教訓を生かした防災対策を約1年間行っていました。それ以降、1年間は材料試験炉の再稼働に向けた活動を行っていました。そして、昨年4月1日に福島廃炉技術安全研究所の所長に就任し、現在に至っています。

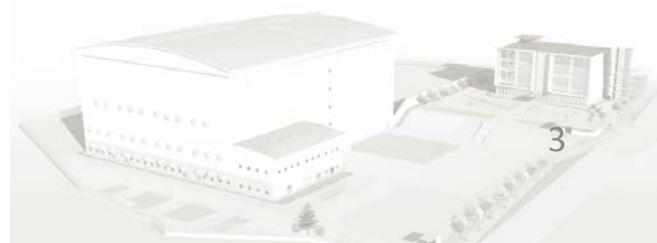
昨年からは福島対応に従事することで、事の重大さをあらためてひしひしと感じています。原子力に携わる人間として、果たさなければならない責任があるという気持ちでやっています。また、事故発生から今までの3年間は、緊急時の対応が主でした。今後は30～40年を見据えて取り組むフェーズに切り替わっていきます。それをふまえたグラウンドデザインを作ったところです。

—今後の課題と福島県民の皆さんへ向けて。

このセンターに来なければ研究できないというような研究拠点を作り、みんなで力を合わせて廃炉に取り組んでいくことを推進していきたいと思っています。

また、全国大学共同利用システムのように、不特定多数の大学の先生方がたくさん集まってこれのような仕組みを考えています。櫛葉は原子力機構の研究拠点ではなく、日本の研究拠点を目指しますとともに、国内外に研究成果を発信していきます。さらに、研究者だけでなく、技術者や現場で活躍する作業員も集まるような場所にします。ロボットを開発し、廃炉を進めていくためには、研究者はもとより技術者を含め、多くの知を結集しなければ実現できません。

こうしたことを行うことで、この施設が福島県、特に櫛葉町の人たちにとって「おらが町」の誇れる研究施設になればいいなと思っています。また、櫛葉町からは、修学旅行生が見に来ることができるような施設にしてほしいと言われています。小学生が課外学習でここへ来て、ここに来て楽しかった、わくわくしたと作文に書いてもらえるような施設になることをめざします。



汚染水タンクからの漏洩を検知する



東京電力株式会社福島第一原子力発電所（以下、発電所）敷地内に設置されている汚染水タンクからの漏洩を検知するために、福島研究開発部門では、新たに開発した長さ50 m のPSF（Plastic Scintillation Fiber）を用いた汚染水漏洩監視モニタの開発、及びその実用化に向けて、様々な試験を発電所において実施しています。

福島第一原子力発電所事故から3年が経過し、発電所の敷地内では汚染水対策が喫緊の課題となっています。現在、原子炉建屋内で発生した汚染水は、放射性物質の除去装置で処理される前に、一旦敷地内のタンクに保管されています。昨年度から汚染水タンクからの漏洩事象が発生しており、様々なメディアで取り上げられています。現在、対策としては、タンクの堰のかさ上げ、カメラによる遠隔監視及びパトロールによる目視確認等を行っていますが、お金と手間がかかっており、リアルタイムで漏えい箇所を検知できる方法が求められています。また、堰内にたまる雨水の処理についても問題になっており、現在はサンプリングにより放射能の分析を実施していますが、現地でダイレクトに計測できる手法が必要となっています。

（例えば、原子力規制庁ホームページ；

https://www.nsr.go.jp/committee/yuushikisya/tokutei_kanshi_wg/data/0008_02.pdf

原子力機構福島研究開発部門では、事故以来、PSF（Plastic Scintillation Fiber）を用いた放射線分布の計測手法を開発し、様々なフィールドで測定してきました。本検出器は、コア（中芯部）に放射線を感じて発光するプラスチックシンチレータを使用した光ファイバーを採用しています。光ファイバーの両端には光センサー（光電子増倍管）を配置し、入射された放射線の数数を数えます。

また、両端の光センサーが検知した光の到達時間差から検出部の発光位置（放射線の入射位置）を特定することができます。本検出器は、通常のサーベイメータとは異なり、放射線の分布を測定できること、水中でも計測できることから、広い場所の除染前後の計測やため池底の放射線分布測定等に利用されています。

・除染前後の計測：原子力機構HP

<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat03/pdf/plastic.pdf>

・ため池底の計測：原子力機構HP

<http://fukushima.jaea.go.jp/magazine/pdf/topics-fukushima050.pdf>

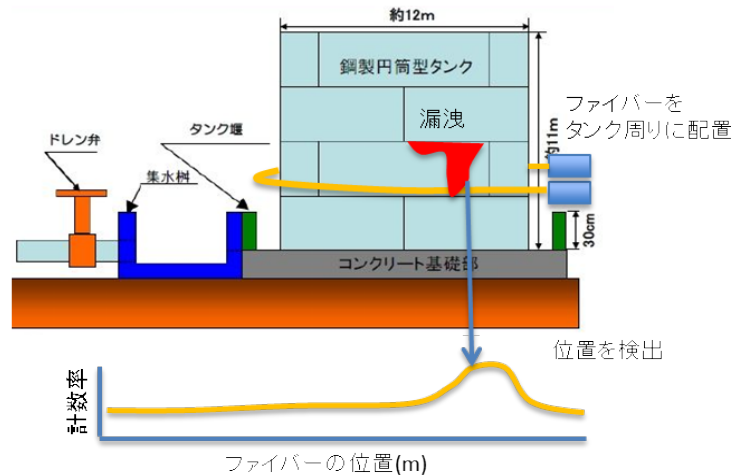
今回、原子力機構では、PSF の特徴を生かし、汚染水の漏洩監視に使用できるシステムの開発を行いました。本システムでは、50 m のファイバーを新たに開発し、汚染水タンクの周りを囲める長さとしています。

本システムは、右図で示したように、タンク周りに設置し漏洩を迅速に検知できるとともに、放射能濃度への換算も可能なので、堰内の雨水の濃度測定も可能です。本システムの妥当性を検証するために、敷地内のラボで、放射能が既知のサンプルを用いて実際に検出できることを確認しています。

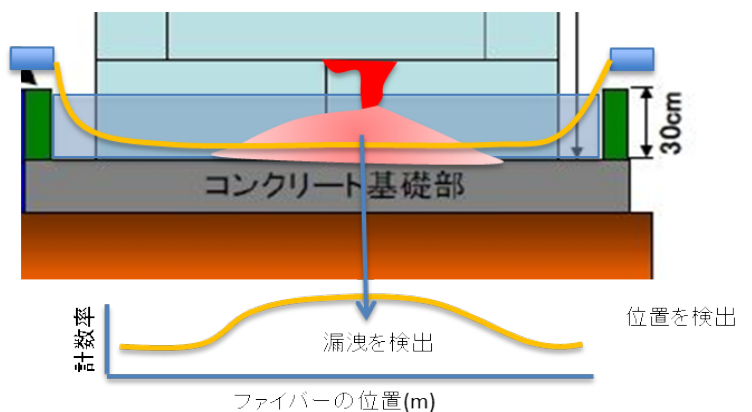
現在では、試作機を実際にタンクの周辺に配置し、長期的な機器の健全性を確認する試験を行っています。今後、東京電力とメーカーと協力し、1日も早い実用化をめざし、汚染水対策に貢献していきたいと考えています。

【活用案】

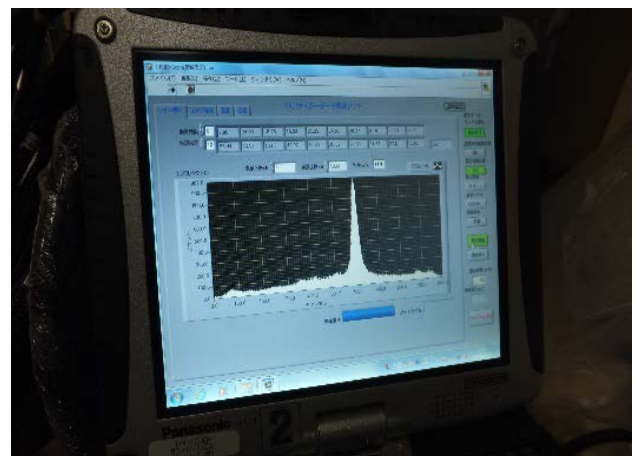
○ 案1: タンク周りでの漏洩検知



○ 案2: 堰内雨水中の漏洩検知



既知の汚染水サンプルにPSFを浸漬

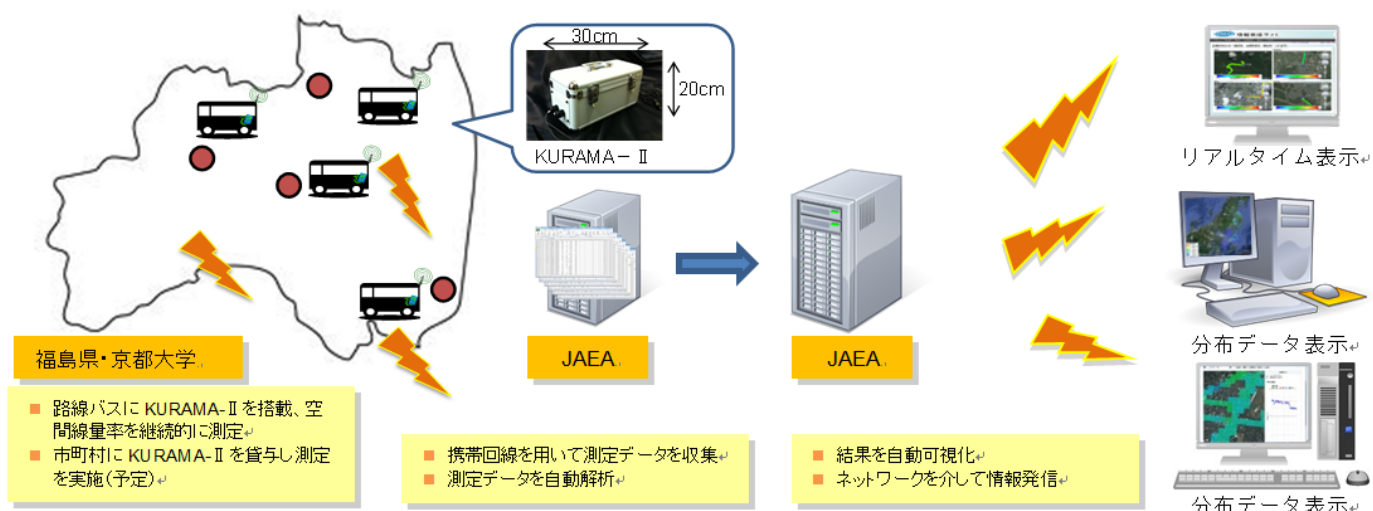


浸漬時の計測画面(ピークが汚染水と接触している部分)

県内の線量率をリアルタイムで表示 41市町村を走るバスに計測システムを搭載



原子力機構は県内を走る路線バス32台を用いて測定した空間線量率のデータを、福島駅前のビル内でリアルタイムに公開する事業を始めた（＝写真上）。
昨年8月より、福島県内4市（会津若松市、いわき市、郡山市、福島市）4台の路線バスによるモニタリング情報をリアルタイムに公開していたが、福島県が測定器を28台増強し、測定対象地域を全県規模に拡大（59市町村中41市町村[13市18町10村]）。それに伴い、大型ディスプレイによるリアルタイム表示も全県規模表示に対応した。



路線バスから得られた測定データを表示するしくみ

GPS連動型放射線自動計測システム「KURAMA-II」

路線バスで走行中に空間線量率を測るために搭載されているのは、京都大学原子炉実験所の谷垣 実助教（＝写真右）らが開発したGPS連動型放射線自動計測システム「KURAMA-II」（Kyoto Univ. RAdiation MApping System）。従来のモニタリングカーに代わり、容易に安価でリアルタイムに可視化できるようにと2011年4月に短期間でKURAMAを開発。その後、生活圏での継続的な空間線量率のモニタリングを目指し、小型化・完全自動化したKURAMA-IIが完成した。

KURAMA-IIはCsI検出器、CPUを搭載した計測シャーシ、シャーシに挿入される。3G/GPSモジュールから構成される。放射線（空間線量率）の値を移動しながら連続的に測定し、各計測場所の正確な位置情報をGPSで取得。両者の値を関連づけて高密度に記録することができる。計測は、3秒間隔で行われ、携帯電話3G回線を通じて30秒ごとに集約サーバに送信される。路線バスの始動で電源が供給され、運転手を煩わせることなく、すべて自動で計測が行われる仕組みだ。

生活圏を常時走行している路線バスに搭載することで、効率よくモニタリングを行っている。路線バスでの経験や成果を踏まえ、生活圏内の他の移動体への展開も見据えた開発を進めたいと谷垣助教は語る。



KURAMA-II 搭載路線バスを福島県全県規模に拡大

福島県では、KURAMA-IIを、県内各地における空間線量率の分布状況をきめ細かに調査するために用いている。昨年11月から、定期路線バスを運行するバス会社3社の協力を得て28台を常時運用している。路線バスを含めた全ての測定データは、約1週間後に福島県の放射線監視室HPで公開している。（右の写真は福島県生活環境部原子力安全対策課の伊藤主任主査）

<http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/soukou.html>

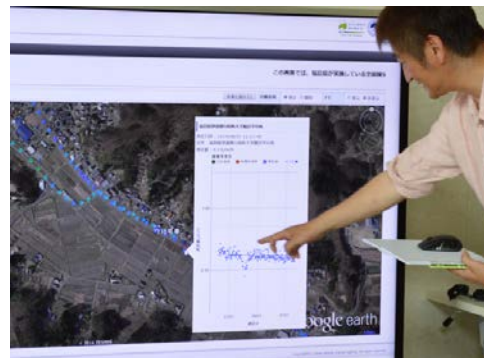


空間線量率をリアルタイムにマップ上に表示

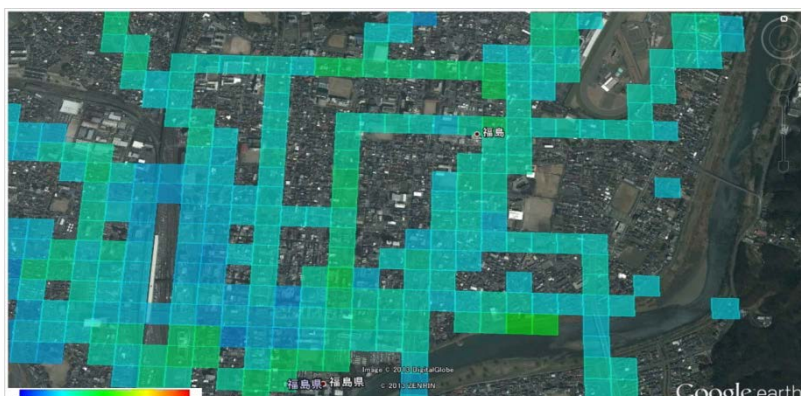
原子力機構では、この装置から得られたデータを集約して可視化する技術を開発。福島駅前のユニックスビルのロビーにある大型画面では、このデータをリアルタイムで見ることができる。定期路線での測定のため、地点ごとに空間線量率の経時変化も見ることができる。また、インターネットでも約一カ月後に公開され、Google Earthでのマップ表示、1カ月ごとの測定結果のダウンロードが可能。<http://info-fukushima.jaea.go.jp/joho/>



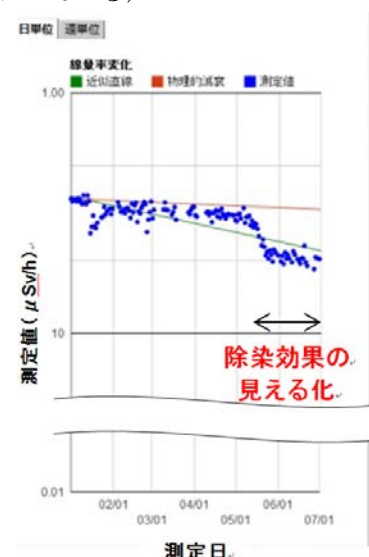
測定中の空間線量率（拡大表示）
走行速度により測定間隔の変化が確認できる。



降雪による遮蔽効果による低減の例
（一時的に数値が下がっている）



線量率の経時変化を見ることで、除染効果を可視化
左図の赤い部分は測定地点、右はその変化を表した図。
除染後に線量率が低下している。



福島で環境動態研究を実習する 学生インターンシップに12人が参加



原子力機構では、夏休みを利用して、原子力に関心を持つ学生を受け入れるインターンシップを行っている。今年、福島県内での実習を希望したのは、12名。そのうち、福島県内の環境動態研究をテーマとした実習のもようを紹介する。

原子力機構では、福島県内の森林、河川、ダム、河口域での放射性セシウムの動きを調査するプロジェクト（F-TRACE）を行っている。
この調査に興味を持ち、今回の実習に参加したのは、大学院で原子力安全工学を専攻している坂手さんと、土壌学を専攻している韓さん。ともに、福島県に来たのは初めてだ。

8月20日。福島第一原子力発電所から南西約14kmに位置する川内村の森林。初めに斜面に定めた測線に沿って2mごとに、地表1mの高さと地表での空間線量率の測定を行う。その後、斜面の角度、土壌の様子などの地形の様子などを、一つ一つノートに書き込んでいく。山の傾斜は20度。まっすぐに立っているのもやっただ。

次に、後日分析するための試料を採取する。土壌やリター層とよばれる森林地表面の落葉や枝、また、樹木の葉や樹皮を採取する。
この日、福島県内各地で最高気温は30度をゆうに超えた。森林の中も蒸すような暑さ。額の汗をぬぐいながら、作業を進める。

8月21日。川内村の東に位置する富岡町で地衣類調査を行う。地衣類とは、菌類と藻類の共生体でコケに似ている。植物とは異なり根を持たず、体全体から様々な物質を長期間にわたって蓄積することから、原子力機構では放射性物質がどのように広がったかを知る手掛かりとして調査を行っている。

GMサーベイメータを使って、地衣類が生息している街路樹の表面やその周辺の放射能濃度を測定する。周りからの放射線を遮蔽するためにコリメータを使って測定する。原子力発電所事故との関連性を調べるために、方角や高さを変えて測定を行う。



8月27日。森林で採取した試料を分析する。この日、最初に使用したのは、イメージングプレートという機器。これを使うと放射能濃度の高いところがより黒く映るため、樹木や葉のどこで放射性物質が多い傾向なのか調べることができる。森林調査で採取した木の葉と樹皮を使って測定を行う。

さらに、採取した土壌の放射能濃度をGe半導体検出器を使って測定する。先日森林で採取した土壌は、乾燥させ、粒の大きいものと小さいものに分け、どのような傾向があるのか調べた。

研修最終日。10日間にわたって行われた森林調査、地衣類調査、分析作業で得た調査結果と実習の感想を発表した。

「実習をとおして、現場調査の面白さと大変さを知った。また、測定したデータを整理して、報告をまとめるのには思ったよりも時間がかかり、環境動態調査は地道な作業だと感じた。」「今回、初めて福島に来て、津波や震災の跡など、復興がほとんど進んでいない現状を目の当たりにして驚いた。福島の復興のためにも、今回の実習を今後の研究に役立てていきたい。」

実習生は今後の期待を胸に帰路についた。



なお、福島事務所で受け入れた他の実習生は、原子力機構が開発した測定器を使ったモニタリングの実習や、近隣自治体で行っている除染活動への協力等を現地で体験した。





郡山女子大の学生が霧箱で放射線のしくみを説明 学園祭で放射線や除染をテーマに展示発表

「霧箱ってなに？」
「放射線が通った跡を見ることができる装置です」
「どうしてそれを見ることができるの？」
「放射線が通った時にできるイオンにアルコール分子がくっついて、目に見える大きさの粒子になるからです。例えるならばアルコールの雲」
見たことがない装置をのぞき込みながら質問をくりかえす子供たちに、女子学生らが真剣に答える。

福島県郡山市にある郡山女子大学。ここで開催された同大学の学園祭ではキャンパスの一角に、「放射線と除染について」というブースが設置され、霧箱の実演が行われた。説明するのは、同大のナチュラルライフスタイル部（NLS）に所属する学生部員たち。子供たちからの質問攻めにあって答えに窮すると、原子力機構の職員が助け舟をだすこともあった。

郡山女子大学は10月4－5日、同大学で学園祭を開催した。もみじ会と呼ばれるこの学園祭では、専攻科による日ごろの学習成果の発表や、クラブやサークルによる演奏会や模擬店など、子供から大人まで楽しむことができるさまざまな催しが行われた。

そのような催しの一つとして今年は、放射線と除染をテーマにした企画が実施された。福島県と同大との連携事業によるもので、専用に設けられたブースではキャンパス内の空間線量率の測定結果の発表や、霧箱の作成と実演が行われた。

キャンパス内の空間線量率を測定し発表

空間線量率の測定結果発表を前に、部員たちはまず、原子力機構の職員の指導をうけながらキャンパス内のあちこちを測定した。使用したのは原子力機構の福島環境安全センターが開発したγプロッタと呼ばれるスティック型の測定器。地上5cmと1mの高さの空間線量率を同時に図ることができ、高精度のGPS装置が取り付けられているため位置情報も記録される。測定結果は、リアルタイムにパソコン上の地図に表示されるしくみだ。

なお、同大のグラウンドと駐車場の一角には、除染で発生した除去土壌が保管してある箇所がある。測定したところ、除染土壌が保管してある場所は、それ以外の場所と空間線量率がほとんど変わらないことがわかった。この結果を部員たちはパネルを使って、ブースで発表した。

霧箱で放射線を見た

次の企画は「霧箱」の実演。ブースに置かれた霧箱の前に、部員がそのしくみを説明する。地球上には放射線が降り注いでいる。それが通った跡を見ることができるのはなぜか。部員たちは飛行機雲ができる理由を例にあげて、霧箱の中に「お空がある」「アルコールの雲ができる」と工夫して説明する。 α 線が薄い紙で止まってしまう実演も事前の実習通りに成功した。

最後が「霧箱」の製作。材料は、透明カップ、カップの底に貼る黒い紙、隙間テープ、アルコールなど簡単に入手できるものがほとんど。線源にはランタン用のマントルを使った。事前に実習で作り方を学んだ部員たちは来場者にその方法を説明し、一緒に作っていく。子供たちもうまく作ることができ、放射線を見ることができた。

今回の催しに際して福島環境安全センターは、福島県や郡山女子大の部員たちとともに企画段階からこれに参画。測定器の提供や測定実習の指導、霧箱の実演指導などに協力した。これらの活動を通して部員は放射線の種類や特徴を学び、リスクコミュニケーションに求められる説明の難しさなどを学んだ。来場者の方々も部員たちの真剣な説明や実演を通して、放射線の種類や特徴などについて理解が進んだと思われる。



contents

- 02 廃炉技術を開発し、廃止措置を加速する
- 04 汚染水タンクからの漏えいを検知する
- 06 県内の線量率をリアルタイムで表示
- 08 福島で環境動態研究を実習する学生インターンシップに12人が参加
- 10 郡山女子大の学生が霧箱で放射線のしくみを説明

明日へ向けて

福島研究開発部門

〒100-8577 東京都千代田区内幸町2-2-2

TEL 03-3592-2111(代表)

福島事業管理部

〒960-8031 福島県福島市栄町6-6 NBFユニックスビル1階

TEL 024-524-1060 FAX 024-524-1073

JAEA 福島
ホームページ



<http://fukushima.jaea.go.jp/>

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

2014年12月 No.3

表紙: 汚染水タンクでのモニタリング作業(p. 4)

裏表紙: インターンシップでやってきた学生が森林調査を実習(p. 8)