

アトムサイエンス くまとり vol.24

2019 秋冬号

<https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/>

巻頭特集

東京電力福島第一原子力発電所事故の 環境への影響について



京都大学複合原子力科学研究所広報誌

東京電力福島第一原子力発電所事故の環境への影響について

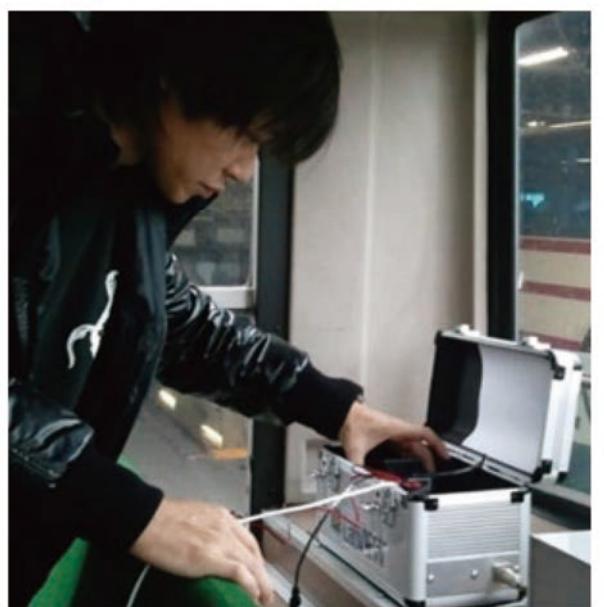
福島を見守る「目」

～GPS連動型放射線自動計測システムKURAMAについて～
粒子線基礎物性研究部門・核ビーム物性学分野 谷垣実助教

東京電力福島第一原子力発電所事故は「五感で認識できない放射線と生活の中でどう向き合うか」という問題を提起しています。その一つの答えとして、広範囲の放射線分布を迅速に把握できるGPS連動型放射線自動計測システムKURAMA (Kyoto University RAdiation MAPPING system) やKURAMA-IIを開発しました。

KURAMAは車等で移動しながらGPSにより測定した位置と放射線データを同時に記録するシステムですが、他の類似のシステムと異なり、クラウドを活用し広域に多数展開した測定車のデータをリアルタイムで共有や可視化できることが特徴です。その後継機であるKURAMA-IIでは、小型軽量化、起動～測定～停止までの完全自動化の実現、堅牢性や信頼性、機器構成の柔軟性が向上しました。これにより、原子力規制庁が100台のKURAMA-IIにより年2回行う定期的な東日本全域の放射線モニタリングや、60台のKURAMA-IIを福島県内の路線バス等に設置して行う生活圏の継続的な放射線測定が実現できました。この他、小型軽量なKURAMA-IIを人が持ち歩いて住宅地や田畠などを歩き、詳細な放射線の分布や土壤に残留する放射性セシウムの量を推定する技術も開発されました。このようにKURAMAやKURAMA-IIは被災地域にしっかりと根付き「地域を見守る目」の役割を果たしています。

これらの成果は国際会議での口頭発表や論文として発表されているだけでなく、事故を踏まえてのより良い原子力防災の実現



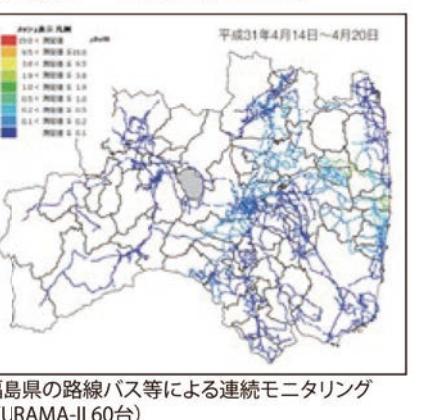
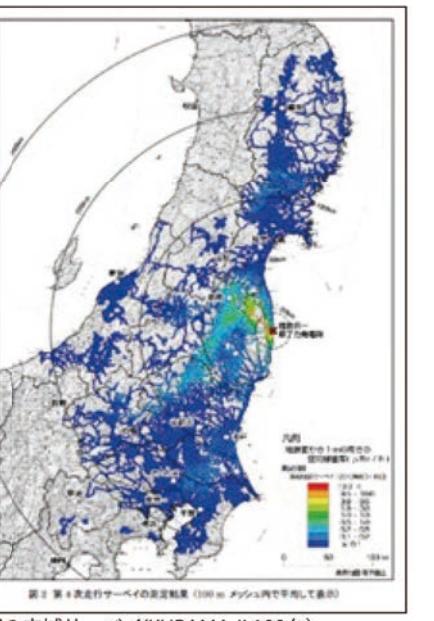
路線バスに搭載されるKURAMA-II



リアルタイムに可視化されるKURAMA-IIの測定データ

においても重要な役割を担い始めています。具体的な例として、KURAMAやKURAMA-IIを使った測定法が新たな緊急時のモニタリング手法として標準化されたこと、さらに、それが原子力規制庁の緊急時モニタリングのマニュアルに収録されたこと、原子力施設を持つ地方自治体などで緊急時対応のための機材として導入が開始されたことがあげられます。

事故から学んだことをしっかりと活かしていくことは被災された方々の願いでもあります。そのことを胸にこれからも精力的に研究開発を続けていきたいと思っています。



福島県の路線バス等による連続モニタリング
(KURAMA-II 60台)

原発事故に由来する放射性セシウム一大気中での変動

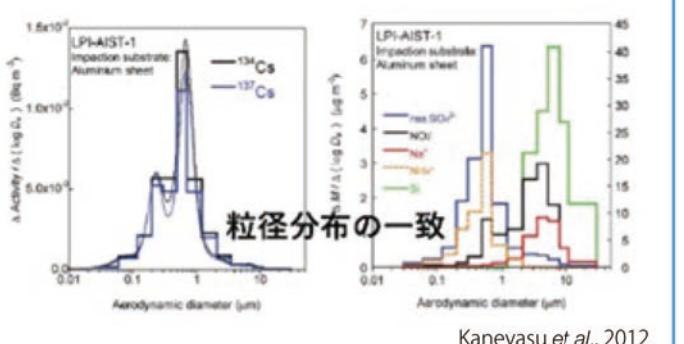
原子力基礎工学研究部門・放射線管理学分野 五十嵐康人教授

福島第一原発事故で放出された放射性核種のうち、大気への放出量が多く線量への寄与が大きい放射性セシウム(^{134}Cs , ^{137}Cs ; 以下Csと略す)について研究を進めています。大切なのは放出量や濃度の変動ですが、事故現場から放出(一次放出)されたCsの形態・性状や、汚染した地表面などからの再浮遊(二次放出; ごくごくわずかですが、例えば土ぼこりで汚染の一部が大気へ再度放出され続けます)も安全・安心の確保の点から重要です。

原子炉熔融の際に環境へ漏えいするCsの形態は、水溶性の高いヨウ化セシウムか水酸化セシウムと想定されてきました。実際に、よく知られた報告Kaneyasu *et al.* (2012)では、2011年4～5月につくば市で採取したCsではサルフェートエアロゾルが担体と推定され、水溶性が確認されました。ところが、同年3月に関東地方へ最初に輸送された放射性雲を捉えた大気フィルター試料では、 ^{90}Sr 分析のための熱濃硝酸抽出でも溶け残るCsが相当量あり(Igarashi *et al.*, 2015)、不溶性成分の存在がわかりました。また

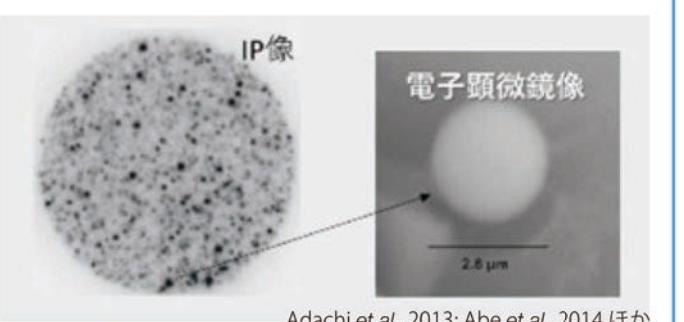
2011年4月28日～5月12日

- サルフェート (水溶性エアロゾル)
- ✓ サブミクロン
- ✓ 易溶性
- ✓ 比放射能 数十Bq/数μg $\simeq 10^7 \text{Bq/g}$



2011年3月14日～3月15日

- × 不溶性固体粒子
- ✓ スーパーミクロン～PM2.5
- ✓ 比放射能 $\sim 10^{11} \text{Bq/g}$
- ✓ 不溶性 Fe,Zn,Cs,O,Si
- ✓ 非結晶→ガラス状



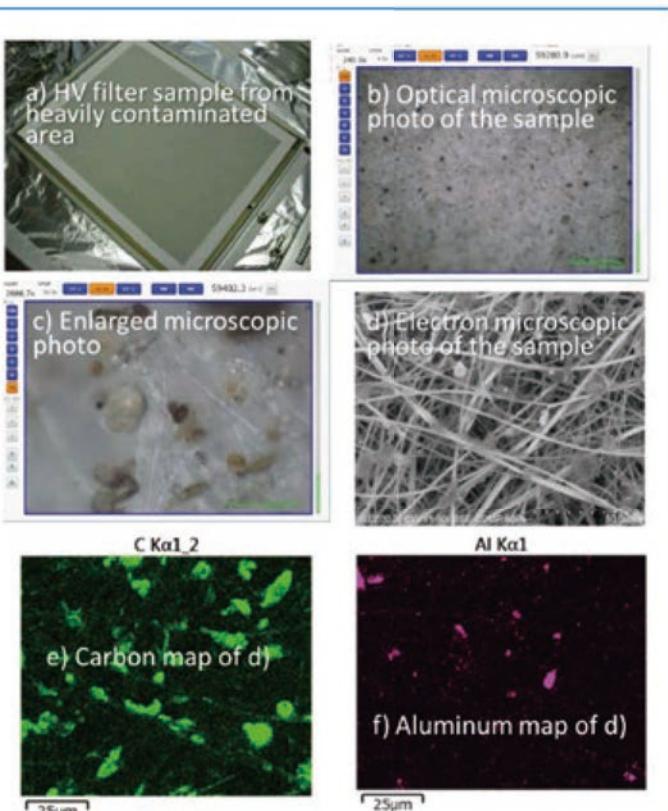
一次放出Csの形態のまとめ

サルフェート(水溶性)はKaneyasu *et al.* (2012)による。不溶性固体粒子はAdachi *et al.* (2013), Abe *et al.* (2014)などによる。

同じ試料をイメージング・プレート(IP)と呼ばれるデジタル化オートラジオグラフィー手法で調べると、多数の放射性物質の濃集点が見出されました。福島第一原発事故による汚染物にIPで濃集点がみられることは多くの報告があり正体が追求されましたが、解明までに至りません。そこで私たちは不溶性Cs粒子の単離に挑戦し、電子顕微鏡や放射光施設でのX線分析などで、その物理・化学性状を調べることに成功しました(Adachi *et al.*, 2013, Abe *et al.*, 2014など)。

このほか、大気へのCs再飛散を福島県内の汚染地域で長期観測した結果、都市部での観測結果と異なり、典型的な里山である観測点では夏季にCsの大気中濃度が上昇し、これを担う粒子は当初は土ぼこりと思われましたが、意外にも生物由来でありました(Kinase *et al.*, 2018)。Csは徐々に生態系へ取り込まれます。キノコがCsを濃縮すること、シタケ胞子の汚染が高濃度であること、夏季にも胞子は高濃度になることから、バイオエアロゾル観測を行い、真菌類胞子が夏季の再浮遊の主体であることを示しました(Igarashi *et al.*, 2019)。このように、従来の知見に無いCsの形態や再浮遊現象の存在がわかつてきました。

さらに量的な評価を加えるために、共同研究者の協力を得てエアロゾル輸送モデルを用いたり、バイオエアロゾルやCsの森林から大気への放出フラックス(単位時間あたり、単位面積あたりの放出量)観測を適用したり、という工夫を進めています。また、不溶性Cs粒子の基礎物性の解明を進めることで、事故の際にどのような事象が発生したか(すなわち、事故進展の理解)、ぼう大な量の廃棄物の減容・圧縮や、廃炉作業の安全・安心に寄与することを想定しています。



二次放出Csの形態—Csを運ぶ生物粒子の証拠

a) 大気フィルターの写真、b)とc) 光学顕微鏡写真、d) 電子顕微鏡写真、e)とf) X線分析による炭素とアルミニウムの分布。生物粒子の存在により炭素ばかりが目立っている。Igarashi *et al.* (2019)による。

ASKレポート1

研究ハイライト

放射性物質の環境動態を調べる

原子力基礎工学研究部門・放射線管理学研究分野

五十嵐康人教授

放射性物質については原子力施設周辺等で汚染が生じていないか監視(モニタリング)が行われるとともに、一般環境でもモニタリングが行われます。みなさんの暮らしや健康を守るために、さらに放射性物質の環境での動き(動態)を調べてその知見を活かすことが大切です。放射性物質がどのような経路を通り人体に届くか、その経路全体での濃度を調べたり、空気や海の水だったり、ある決まった試料での放射性物質の濃度変化や量的な変化を長期に追跡する手法が取られます。図1に私の前職場で続けられた放射性物質の毎月の大気降下量(降雨によつたり風による沈着)の記録を示します。対数で描かれるため分かりにくいと思いますが、大気圏核実験から2011年3月の東京電力福島第一原発事故までの変動がよくわかります。一番不思議なことは、大気への直接の放出源がない時代(1990-2000年代)でも大気中にずっと放射性物質があることでした。何か発生源があるはずです。一旦地表に沈着した放射性物質はごくわずかですが、大気中へ再浮遊・

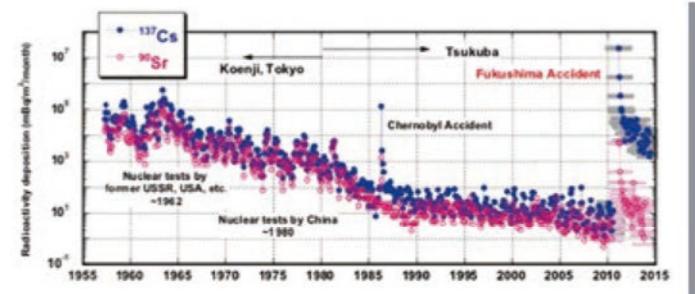
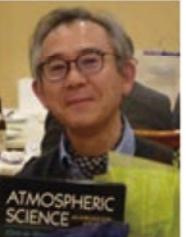
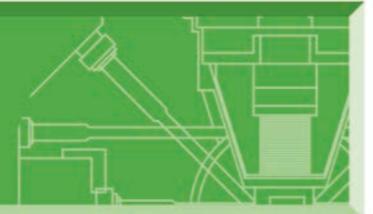


図1: ^{90}Sr と ^{137}Cs の1957年~2014年の毎月降下量(東京一つば)
縦軸は対数(ミリBq/平米/月) Igarashi et al.(2015)より



固体核燃料と液体核分裂生成物化学種間のぬれ性

安全原子力システム研究センター・原子力防災システム研究分野

黒崎健教授

福島第一原子力発電所(1F)で生じた事故において、核分裂生成物(FP)である放射性セシウム(Cs)と放射性ヨウ素(I)が環境中に放出され、Csによる周辺環境汚染とによる公衆被ばくを引き起こしました。このため、燃料からのCsとIの放出挙動を知ることは、現在多数実施されている1F関連研究の中でも、最も優先度の高い課題とされています。しかしながら、公開されているデータのばらつきは大きく、多くの不確かさが残されています。



このような背景のもと、私のグループで実施した先行研究において、液体のヨウ化セシウム(CsI)が固体核燃料である二酸化ウラン(UO₂)に対して接触角ゼロ度で極めて良好にぬれ広がること(図1)、ならびに、UO₂固体内部深くまで液体CsIが容易に浸透することを見出しました[1]。固液間のぬれ性は、固体から液体を引きはがすのに必要なエネルギーと密接に関係しています。このため、固体UO₂と液体CsI間のぬれ性が高いことは、固体UO₂表面から液体CsIを引

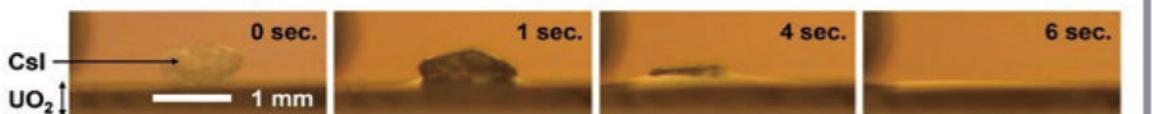


図1: 固体UO₂上でのCsIの溶融の様子 [1]

食品タンパク質の凝集体構造を量子ビームで解き明かす

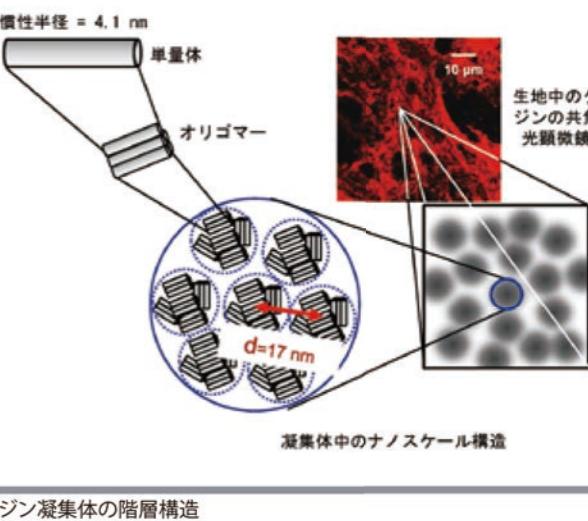
粒子線基礎物性研究部門・粒子線物性学研究分野

裏出令子特任教授

食品の中に含まれるタンパク質は栄養素としてだけではなく、“食品物性”にとても重要な役割を果たしています。たとえば、パンやうどんを作る小麦粉生地は“抗張力”と“伸展性”を兼ね備えた優れた物性を有していますが、この物性は主に生地中のタンパク質凝集体であるグルテンによって支配されています。グルテンは、小麦粉に水を加えて捏ねる生地作製の過程で小麦粉に含まれるグリアジンやグルテニンというタンパク質が水和し、混じり合うことにより形成された凝集体です。しかし、グルテンの中でグリアジンやグルテニンがどのように凝集体構造を形成しているのかは、実はよくわかっています。タンパク質の凝集体はナノスケールからミリスケールに至る階層構造になっていますが、物性の‘源’はナノスケールの凝集体構造にあり、その構造に依存した分子間相互作用により動的性質が発揮されていると考えられます。我々はグルテンタンパク質を主な研究対象として、食品科学分野では未開の領域として取り残されてきたナノスケールのタンパク質凝集体構造を量子ビーム(X線および中性子線)を用いる小角散乱解析により明らかにする研究を行っています。これまでに、研究所に設置されたX線小角散乱装置や中性子小角散乱装置、およびSPring-8(兵庫県)、PF(茨城県)、ANSTO(豪州シドニー)といった国内外の研究機関の小角散乱装置を用いて解析を行い、水中でグリアジン分子が集まってナノ粒子を形成し、濃度が濃くなるに従ってナノ粒子間の距離が短縮することを明らかにしてきました。また、グルテンタンパク質は水に不溶性で天然状態で抽出でき



ないことが研究の障害となってきたのですが、我々はグルテンの約半分を構成するグリアジンだけを天然状態を維持したまま蒸留水で抽出する方法を開発し、研究が可能となりました。さらに、生地の物性を劇的に変化させる食塩がグリアジンのナノ粒子間の距離を短縮させ、これが動的粘弾性や曳糸性などの物性への影響と対応関係にあることも見いだしています。今後は小麦タンパク質以外の食品タンパク質についても物性とナノスケール構造との関係を追求し、食品の新規な加工技術の開発に役立てていきたいと思っています。



グリアジン凝集体の階層構造

ASKレポート2 放射線障害防止法の改正について

RI管理室長 沖雄一准教授



強化(防護措置)が求められます。従来から核燃料物質に関しては同様の防護が要求されていましたが、今回、数量の大きな放射性同位元素(例えばコバルト60の大線源など)に対しても防護措置を施す必要があります。

放射線障害防止法は、従来のsafetyの観点に加えて、特定放射性同位元素自身を守るというsecurityに関する条文が追加され、名称も放性同位元素等規制法(放射性同位元素等の規制に関する法律)に変わりました。その他の改正点については、報告義務の強化や、廃棄物の取り扱いの合理化、事業所責任の明確化などに関する条文が追加されました。

この防護措置の対象となる事業所は、今年8月末までにその対応を完了し、9月から関連するセキュリティの強化を行うこととなります。本研究所におきましては、RIセキュリティなどにも対応するため、新たにRI管理室が本年4月1日に発足し、関連する業務を行うことになりました。今後とも、研究者への影響が過大とならないように留意しながら、皆様の協力を得て適正な放射線管理に取り組んで参ります。



技術室・吉永尚生さんに聞く

Q1:複合原子力科学研究所に来られたいきさつを教えてください。

業種がなかなか定まらずフランフランしていたところ、学生時分にお世話になった研究室の先輩(元当所職員)からお声がけいただき、お世話になることになりました。大阪に生まれ育ちながら原子炉の存在すら知りませんでした。採用試験の分野は電気とかつて専攻していた分野とは箸にも棒にもかからない、お門違いなところに来てしまったという印象でした。

Q2:現在の職務内容について簡単に教えてください。

実験設備管理部に所属していて放射線を取扱う施設や大小様々な実験設備の保守管理、運営が主な業務です。医療や物理など様々な分野の研究者が必要とする装置、設備の開発に携わる機会(写真1)もあり、今までの業務経験だけでなく新たなスキルを体得できる

のが楽しみになっています。最近だと小型のコンピューターとロボットとを組み合わせてwebブラウザで制御、監視できる調査ロボットを作ったのが面白かったです。(写真2)

Q3:出身地のご当地自慢をお聞かせください。

泉州には大きな河川はありませんが枚方に大阪と京都を結ぶ淀川があり、「くらわんか船」などかつて交易の要となっていました。河



profile
吉永尚生(よしながひさお)
出身地:大阪府枚方市
出身大学:京都工芸繊維大学大学院

ASK インタビュー 京都大学複合原子力科学研究所の人たち

技術室・上田哲也さんに聞く

Q1:複合原子力科学研究所に来られたいきさつを教えてください。

統一試験後の機関訪問で訪問させていただいたのがきっかけです。幅広い仕事ができることい説明を受けて、興味を持ち面接を受けてみようと思いました。

Q2:現在の職務内容について簡単に教えてください。

臨界装置の維持、管理、運転です。直近の仕事でいうと、原子炉は1年に1回、検査を受ける事になっているので、その検査対応をしていました。検査が終わると研究者や学生の実験が始まるので、そのための臨界装置の運転業務がメインの業務になっていきます。

Q3:出身地のご当地自慢をお聞かせください。

便利なところです。都会へのアクセスがいいです。

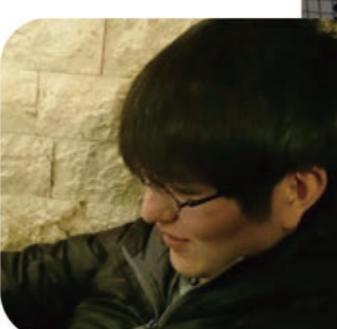
Q4:休日はどのように過ごされていますか?

旅行に行ったり、自分が住んでいる場所とは違うところに出かけたりする事が多いです。

Q5:仕事やプライベートで今後やってみたいことはありますか?

仕事では電気関係の知識や資格を取得して、トラブルがあった時

に対応できるようになります。プライベートでは料理が上手くなるように、できるだけ自炊したいと思っています。



profile
上田哲也(うえだてつや)
出身地:兵庫県



川敷も含めるとかなり開けているので広い空に映える夕焼けがとても美しくときどき恋しくなります。

Q4:趣味はなんですか?

学生の時から始めた合気道は今も続けていて今年で23年になります。護身術や相手の力を使う技と表現されることの多い武道ですが、意外なほど積極的な姿勢を内包していて相手を投げる技には派手さの中に相手を思いやる気持ちが込められているところに惹かれます。老若男女を相手に問わないところも好きです。

Q5:モットーを教えてください。

一番の足かせは自分の思い込みが原因でしょうか。合気道に通ずるところでもありますが何か物事がうまく進まないときは自分の思い込みがないか周りに聞いて指摘してもらうのが解決の早道になることが多いです。



写真2

ASK WORLDレポート1

熊取滞在記

原子力基礎工学研究部門・同位体利用化学研究分野

Mohamed Solimanさん



Hello! My name is Mohamed Soliman from Atomic Energy Authority, Egypt. I am doing research work in radiochemistry.

In November 2017, I have arrived Japan to attend a two-years postdoctoral fellowship awarded by Japan Society for the Promotion of Science at the Integrated Institute for Radiation and Nuclear Science (KURNS), Kyoto University. First of all, I would like to thank all people who are working at KURNS especially Professor Ohtsuki's Lab staff for their support in establishing my new life in Japan as well as my research work.

My research theme in Japan is the use of nuclear research reactor to monitor and evaluate the air and environment quality in Kumatori-cho. It involves the collection of airborne particulate matters and quantifying their concentration levels in air as well as performing composition analysis using neutron activation technique to determine around 20 inorganic elements including aluminium, arsenic, bromine, calcium, chlorine, chromium, cobalt, copper, magnesium, manganese, sulphur vanadium...etc. My results reveal that Kumatori-cho has a clean air which meets the World Health Organization (WHO) guidelines for air quality.

I am living in Hineno with my family. We are enjoying the Japanese life style, schools' system, and peaceful environment. One of the unforgettable moments when my family got the chance to visit the Institute during the Sakura Day, they could take a tour inside the nuclear research reactor, doing experiments by themselves, and enjoying the beauty of sakura trees as well.

こんにちは。私はエジプトの原子力公社(Atomic Energy Authority)から来たモハメド・ソリマンです。放射化学の分野で研究をしています。

私は2017年11月に来日し、2年間の日本学術振興会の特別研究員として京都大学複合原子力科学研究所(京大複合研)に在籍しています。まず、日本での新しい生活と研究活動を始めるのに尽力していただいた京大複合研の方々、特に大槻研究室のスタッフのみなさんに感謝します。

私の日本での研究テーマは、研究炉を用いて熊取町の空気や環境品質をモニターし評価することです。具体的には空気中の浮遊粒子状物質を捕集し、それらの濃度レベルを測定し、中性子放射化分析法を用いて成分分析を行います。分析対象はアルミニウム、ヒ素、ホウ素、カルシウム、塩素、クロム、コバルト、銅、マグネシウム、マンガン、硫黄、バナジウム等の約20種類の無機元素です。これらの分析を行った結果、熊取町の空気は世界保健機構(WHO)による空気質ガイドラインを満たした、きれいな空気であることがわかりました。

私は家族と一緒に日根野で生活し、日本のライフスタイル、学校制度や、平和な環境を楽しんでいます。家族で京大複合研の一般公開に訪れた時、研究所のスタッフに研究炉の中を案内してもらい、そこで行われている研究について紹介してもらったことは、美しい桜とともに忘れられない素晴らしい思い出のひとつになりました。



ASK WORLDレポート2

アメリカ滞在記



粒子線基礎物性研究部門・粒子線物性学研究分野

井上倫太郎准教授

にとっておくことに致します。

NISTのNSEの装置責任者は我々の良く知っている長尾道広博士ですので、私のbroken Englishを披露せずに細かい実験条件を議論できたことが非常に良かったです。測定に時間がかかるので最初のデータが出てくるまで色々と気がかりでしたが、最初に概ね予想通りの結果が得られた時はまさに報われた気が致しました。本プロジェクトに関与頂いたすべての共同研究者の方に深く御礼申し上げます。そして、これから得られたデータを丁寧に解析してタンパク質の動きを明らかにしていきたいと思います。



NSE装置の前で。左から、筆者、共同研究者の矢木先生、長尾さん、Methaneeさん

我々の体の中で最も重要な構成成分としてタンパク質があげられます。それでは、そのタンパク質は生体内でどのように動いているか?、更にその動きは機能とどのように関連しているか?と言った問題を解決するために、日々研究に取り組んでいます。特に、タンパク質の動きをいかにして検出するかが最大の問題でありますが、我々は中性子スピニエコー法 (NSE) が有効ではないかと考えております。ところが、そのNSEを使った実験はどこでも行える訳ではなく全世界的にみても10台も無い非常に貴重な装置ですので、そもそも実験自体がかなり限られております。ところが、幸運なことにアメリカ国立標準技術研究所 (NIST) にある中性子散乱施設 (NCNR) にあるNSE装置のビームタイムを頂きましたので、我々はタンパク質の動きを見るために2019/5/20-2019/6/1の期間NSE実験を行ってきました。当然の話ですが実験するためには当然ですがサンプル(しかも大量のサンプル)が必要とされます。サンプル調製はNSE測定に参加された分子研の矢木真穂先生、大学院生のMethanee Hiranyakornさんが主導で行って頂きましたが、いかんせん通常のタンパク質研究の観点からいくと膨大な量と言うことでJAEAの中川洋博士、些末ながら杉山研のメンバーも加わりサンプル調製を分担して行いました。最後の最後に矢木先生の執念で無事サンプル調製が終わった時は本当にほっとしました。なお、ここでは、あえて書きませんがNISTに行くまでも色々とトラブルがありました。その件に関してはまた別の機会



肉もばっちり堪能しました

