

アイトープ° 総合部門

アイソトープ総合部門

部門長 中島 覚

アイソトープ総合部門は、自然科学研究支援開発センターの一つの部門として全学の教育研究の支援を行うとともに、私たちの放射線施設だけでなく全学の放射線施設の中心として放射線安全管理に貢献することがミッションです。それと同時に、広島大学の教育研究にも直接貢献してまいりました。この場では、令和元年度の活動の一部を紹介するとともに今後アイソトープ総合部門がどうあるべきかについて述べることにより、ご挨拶に代えさせていただきます。なお、私たちの活動は放射性同位元素教育研究部と放射性同位元素管理部の二つの部で行っています。それぞれの部には1名ずつ専任教員が配置されており、その教員が中心になって業務を積極的に行っています。活動の詳細はそれぞれの部の活動報告にまとめられていますのでそちらをご覧ください。さらに、令和元年11月からは、総合実験支援・研究部門アイソトープ総合部と改組されました。

1. 学内での貢献

放射性同位元素、放射線発生装置の利用は法令で規制されています。それらを利用するためには、放射線業務従事者として登録される必要があります。その登録には、教育訓練と健康診断を受けなければなりません。私たちは教育訓練を行い、健康診断のアレンジを行い、保健管理センターに実施していただいたうえで登録を行っております。教育訓練は毎年約20回、日本語のみならず、英語でも行っております。私どもの施設を使った放射性同位元素の利用に関しては、実験室の提供、共同利用機器の整備、安全管理、被ばく管理を行い、また他施設の利用者に対しては、証明書の発行、被ばく管理を行っています。

私たちは、私たちの放射線施設だけでなく、広島大学内の他放射線施設の安全管理に関しても貢献しています。部門長は全学の放射性同位元素委員会では委員長として貢献しておりますし、部門のメンバーは重点自主検査の重要な検査員となっております。私たちはまた、学内他施設の教育訓練の支援を行っており、そして工学研究科、総合科学研究科、生物圏科学研究科の放射線施設の放射線管理の支援を行っています。これまでも学内で議論してまいりましたが、令和元年度、東広島キャンパスの放射線施設の集約化の検討が具体的に進みました。令和2年度から、東広島キャンパスでは旧工学研究科と放射光科学研究センターの専任教員以外の放射線業務従事者は、本センターで登録を行います。

「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」が「放射性同位元素等の規制に関する法律」に変更され、令和元年8月30日までに対応しなければなりません。新しい法律では新たに放射性同位元素の防護（セキュリティ対策）が追加されましたので、関係部局と協力して学長裁量経費をお願いして対応してまいりました。今回の法令改正にはさらに多くの変更があり、その変更を放射線障害予防規程に反映させなければなりません。令和元年8月30日が予防規程の変更の期日のため、全学の中心に

なって変更を行いました。

2. 全国での貢献

私たちは日本アイソトープ協会、日本放射線安全管理学会、大学等放射線施設協議会等を通して全国の RI 施設と連携を取りながら活動しています。この中では、それぞれ、理事、会長、理事として活動しており、これは全国的にも広島大学が貢献しなければならないことであると考えています。これからも、広島大学のセンターとしてのプレゼンスをより一層あげていきたいと意気込んでおります。

3. LP への貢献

広島大学では、「放射線災害復興を推進するフェニックスリーダー育成プログラム ―放射線災害による人と社会と環境の破綻からの復興を担うグローバル人財育成―」が平成23年度、文部科学省「博士課程教育リーディングプログラム」に採択されました。私どものアイソトープ総合部門は放射能環境保全コースの支援をさせていただいています。また、アイソトープ総合部門はこのプログラムのトレーニングセンターとなり、アイソトープ総合部門を使用して実習を行っています。教授は放射能環境保全コースのコースリーダーとして貢献しており、また令和元年度、このプログラムの学生8名が教授のグループに在籍し、年度末に2名が無事博士の学位を取得しました。この点に関してもなお一層貢献したいと考えています。

4. 独自の教育・研究

アイソトープ総合部門は、これまで理学部及び大学院理学研究科の教育・研究に貢献してまいりました。今年度から、全学教養教育「自然科学研究の倫理と法令」の一部を本部門の教員で担当することになりました。教養教育として、全学部生に法令の下で放射線を安全に利用する意味をしっかりと伝えたいと考えます。

支援センターの教員であっても各自の研究を進めることは大学人として当然であります。スタッフ全員がこのことも忘れず研究活動を展開していかなければならないと考えています。アイソトープ総合部門（部）としては引き続き放射線安全管理に関する研究や環境保全に関する研究、さらには福島復興に関する研究を進めていきたいと考えています。また、教授は理学研究科化学専攻分子反応化学講座で放射線反応化学研究グループを率いており、放射線が関係する化学研究を中心に教育研究を積極的に行っています。

私たちは全学的な放射線安全管理と放射線利用教育研究の推進に努めるとともに我々独自の研究も強く進めてまいります。それと同時に、放射線災害からの復興の核となるグローバル人財育成にも、微力ですが努めてまいりたいと思います。さらに、学外での活動においても広島大学として相応の貢献をしたいと考えています。より一層貢献してまいりますので、ぜひ関係各位のご理解を賜りたく存じます。

【専任教員の研究紹介】

福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの中での移行 中島 寛

私たちのグループは本学の大学院リーディングプログラム (LP) に貢献している。LP の学生の研究指導においては、私たちの専門の放射化学が貢献できものを考え、福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの中での移行に関するテーマを中心に設定している。放出された核種の中で ^{137}Cs の半減期は 30 年と長いので、環境中での移行を明らかにすることは、将来の被ばく評価にもつながる。具体的には次の 3 点を進めている。

放射性物質の移行は多くの研究グループが調査している。その中で私たちが貢献できるテーマを探した。日本海での移行については研究が少なく、私たちが貢献できると考えた。会津地方の放射性セシウムが阿賀野川経由で新潟沖に流出し海流に乗って移行したと仮定した。直江津沖、加茂沖、酒田沖、宗谷岬沖、野付沖でサンプリングし、阿賀野川から日本海へ流出した放射性セシウムが対馬海流に乗って北上し、その後東樺太海流に乗って標津方面へ移行したと考察した。(Fig. 1)

内部被ばくへの懸念から、事故後米をはじめとする食の安全について問題視されてきた。特に福島県は、日本における米の主要な生産県でもある。汚染米の発現を抑制するためには、同族元素であるカリウムの水田土壌中の濃度を高くするように指示された。私たちは、その他の因子 (土壌の粒径分布や共存する鉄の状態等) の重要性や休耕の効果なども示した。さらに、毎月サンプリングし、土壌中の ^{137}Cs や ^{40}K の濃度や稲への移行の経月変化を追跡し、 ^{137}Cs と ^{40}K の競争的移行や共同的移行を明らかにした。(Fig. 2)

周辺流域から湖への放射性セシウムの移行を明らかにすることは、どの程度環境浄化が進んだかの評価にもつながる。また、湖水は飲み水になり得るので、内部被ばくの評価のためにも重要である。すなわち、上流側の調査はどの程度除染されたかの評価の指標になり、下流側の調査は汚染状況のモニタリングになる。私たちは周辺流域の土壌中の ^{137}Cs 濃度と湖底堆積物中の ^{137}Cs 濃度の比を使ってその移行を明らかにしようとしている。(Fig. 3)

- 1) Y. Nabae, S. Miyashita, and S. Nakashima, *Radiat. Saf. Manage.*, **15**, 9-14 (2016).
- 2) Y. Nabae, S. Miyashita, and S. Nakashima, *Radiat. Saf. Manage.*, **16**, 8-12 (2017).
- 3) Y. Nabae, M. Tsujimoto, S. Miyashita, and S. Nakashima, *Radioisotopes*, **67**, 573-581 (2018).
- 4) M. Tsujimoto, S. Miyashita, H. T. Nguyen, and S. Nakashima, *Radiat. Saf. Manage.*, **15** 1-8 (2016).
- 5) M. Tsujimoto, S. Miyashita, H. T. Nguyen, and S. Nakashima, *Radiat. Saf. Manage.*, **19**, 10-22 (2020).
- 6) H. T. Nguyen, M. Tsujimoto, S. Miyashita, and S. Nakashima, *Radioisotopes*, **68**, 13-18 (2019).
- 7) H. T. Nguyen, M. Tsujimoto, and S. Nakashima, *Hyperfine Interactions*, **240**, 122 (2019).
- 8) T. Basuki, S. Miyashita, M. Tsujimoto, and S. Nakashima, *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **316**, 1039-1046 (2018).
- 9) T. Basuki, W. C. Bekelesi, M. Tsujimoto, S. Nakashima, *Radiat. Saf. Manage.*, **19**, 23-34 (2020).

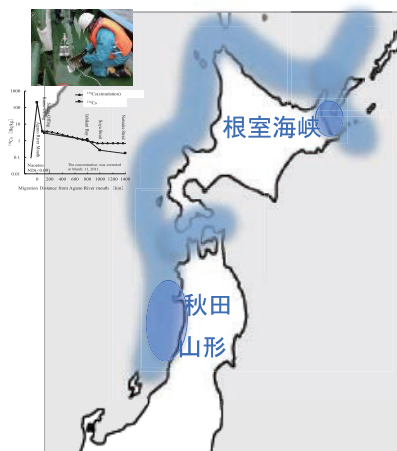


Fig. 1 Migration path of ^{137}Cs along sea current.



Fig. 2 Transfer of ^{137}Cs from soil to rice plant.

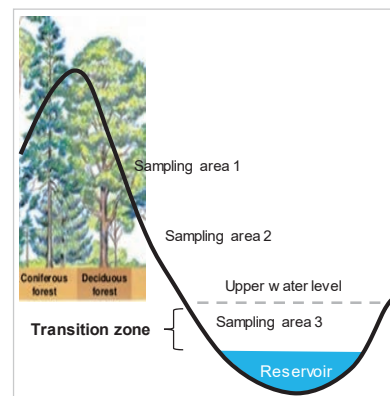


Fig. 3 Migration of ^{137}Cs from land to waterbody.

【施設利用者の研究紹介】

DNA にトラップされたトポイソメラーゼ 2 の除去機構

統合生命科学研究科遺伝子化学研究室 津田 雅貴、井出 博

トポイソメラーゼ 2 (Top2) は、DNA の複製時に生じる DNA のもつれを解消する酵素である。反応中間体として、DNA の 5'切断端と Top2 活性部位のチロシン残基が共有結合した複合体 (Top2 covalent complex: Top2cc) を形成する。抗がん剤であるエトポシド (ETP) は Top2cc を安定化し、Top2 を DNA 切断末端にトラップすることにより細胞死を引き起こす。Top2cc は、プロテアソームで分解された後、Top2 と DNA の間のホスホジエステル結合が Tyrosyl-DNA phosphodiesterase 2 (Tdp2) によって加水分解され DNA から除去されると考えられている。実際、Tdp2 タンパク質は、DNA5'端に結合したチロシン残基を除去する (図 1)。しかし、細胞内において、Top2 とプロテアソームの機能的な関係性はわかっていない。

ヒトリンパ芽球細胞 (TK6) を ETP で処理後、ETP を除いた培地で培養し、細胞からゲノム DNA を精製した。DNA に結合したタンパク質は、ウェスタンブロットで検出した。Top2 は、本来の分子量より高分子側にスメアしたバンドとして見られた。このスメアバンドは、ポリユビキチン抗体でも検出された。この結果から、Top2cc はポリユビキチン化されることが分かった。次に、野生型および Tdp2 遺伝子破壊 TK6 細胞の Top2cc 除去動態をプロテアソーム 阻害剤の有無で比較した。その結果、Top2cc はプロテアソーム依存的または非依存的な経路で修復されることが分かった。さらに、両経路は Tdp2 依存的経路と非依存的経路に分かれていることが分かった。また、ETP 処理した細胞から抽出したゲノム DNA を用いて、Tdp2 がタンパク分解なしに Top2cc を除去することを生化学的に示した。本研究から、Top2cc 修復において、新規なプロテアソーム非依存的機構が存在することが明らかになった。

(参考論文)

・ Tsuda M, Kitamasu K, Hosokawa S, Nakano T, Ide H. Repair of trapped topoisomerase II covalent cleavage complexes: Novel proteasome-independent mechanisms. *Nucleosides, Nucleotides & Nucleic Acids*. 139(1-3):170-184 (2020)

・ Tsuda M, Kitamasu K, Kumagai C, Sugiyama K, Nakano T, Ide H. Tyrosyl-DNA phosphodiesterase 2 (TDP2) repairs topoisomerase 1 DNA-protein crosslinks and 3'-blocking lesions in the absence of tyrosyl-DNA phosphodiesterase 1 (TDP1). *DNA Repair*. in press (2020)

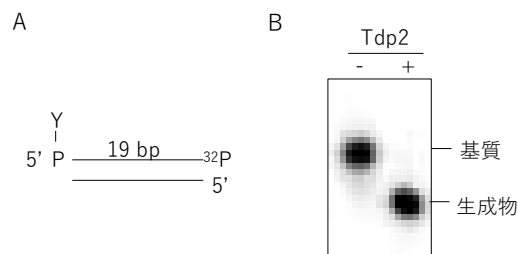


図 1: 放射性標識した DNA を用いた実験

(A) 5' にチロシン残基 (Y) を結合させたオリゴの 3' 端を ^{32}P で放射性標識し、相補鎖とハイブリダイズさせた二本鎖 DNA 基質を調整した。この DNA と Tdp2 タンパク質を 37°C でインキュベートし、生成物を変性アクリルアミドゲルで電気泳動した。FLA9500 で反応生成物を検出した。

(B) 反応生成物の電気泳動像