

# アイソトープ総合部

## アイソトープ総合部

部長 中島 覚

自然科学研究支援開発センター総合実験支援・研究部門アイソトープ総合部は、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4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グループと放射性同位元素管理グループの二つのグループで行っています。それぞれのグループには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グループの活動報告にまとめられていますのでこちらをご覧ください。

### 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。そして登録された方の被ばく管理も行っています。

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。

令和2年度、放射線の量等の信頼性確保が法令に導入されました。それに伴い放射線障害予防規程を改正しなければならず、令和4年度は全学の中心になって変更箇所の整理、改正案の提案を行いました。

### 2. 全国での貢献

私たちは日本放射線安全管理学会、大学等放射線施設協議会、日本アイソトープ協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、会長、理事、各種委員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を使用して放射線計測演習を行っています。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4年度、このプログラムの学生4名が教授のグループに在籍し、3名が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は、これまで理学部及び大学院先進理工系科学研究科の教育・研究に貢献しております。総合実験支援・研究部門は全学教養教育「自然科学研究の倫理と法令」を開講しており、本部の教員も一部、担当しています。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ています。

支援を行う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、教授は先進理工系科学研究科化学プログラム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材育成にも、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】

### 放射性セシウム及びストロンチウムの環境中での移行から物質科学へ 中島 寛

私たちのグループは本学の化学プログラムの中の研究グループであり、大学院リーディングプログラム (LP) にも貢献している。したがって環境中の放射性物質の移行を引き続き研究しつつ、それに関連した物質科学研究も進めた。具体的には以下のとおりである。

これまでの放射性セシウムのコメへの移行研究は一つの田での研究が主であったが、私たちは福島県内で離れた 2 か所の田で調査し、その移行の違いを比較して検討した。 $^{90}\text{Sr}$  は  $\beta$  壊変のみを示すので測定は容易ではないが、 $^{88}\text{Sr}$  を添加し ICP-MS を用いて回収率を評価したうえで、放射平衡を待って液体シンチレーション検出器を用いて測定した。グローバルフォールアウトの寄与も考慮して、環境中での移行の違いをセシウムと比較して議論した。

放射性セシウムの除染研究を進めた。化学的な除染方法として酸を用いた除染研究は多いが、環境にやさしい界面活性剤を用いた除染研究を行った。具体的には、Na-ベントナイト、Ca-ベントナイト、カオリナイト、イライトに CsCl を吸着させ、それを 2 種類の界面活性剤を用いて除染効率を調べた。除染挙動は粘土の構造を反映したものとなった。一例として、カオリナイトからの除染の例を図 1 に示す。少量の界面活性剤で効率よく除染できるとともに、さらに濃度を上昇させるとミセルを形成し、より完璧に除染できることが分かった。

モンモリロナイトや合成粘土のアミノクレイへのセシウムの吸着実験を行うと、CsCl 濃度が高い場合、モンモリロナイトに比べてアミノクレイへたくさんのセシウムが吸着していることが分かった。これを詳細に調べると CsCl のナノ粒子がアミノクレイで保護されて存在していることが分かった。さらにセシウムリッチな粒子も発見した。

アミノクレイを保護剤として用いて金ナノ粒子を生成させ、*p*-ニトロフェノールの還元反応の触媒活性を調べた。金ナノ粒子は触媒活性があることが知られているが、Au-Mn 系でより効率的な触媒活性を示すことが分かった。

$^{137}\text{Cs}$  を目で見てわかる物質の開発に興味を持った。放射線計測に比べて目で見て観測することは容易ではないが、そのための基礎研究を行った。酸化グラフェンを用いたセシウム検出の研究を進めた。酸化グラフェンとセシウムグリーンの複合体を合成し、CsCl を添加して発光強度の変化をみた。発光強度が Cs を添加すると増加することが分かった。

酸化鉄ナノ粒子の研究を進めた。ヘマタイトは可視光を用いた光フェントン反応を起こすので、有害有機物の分解反応の触媒となるのでその分解反応を研究した。さらに、ヘマタイトは低温では反強磁性、室温では弱強磁性となるモーリン転移を示す。Nb をドーピングすることにより、半分の鉄がモーリン転移する興味深い現象を発見した。

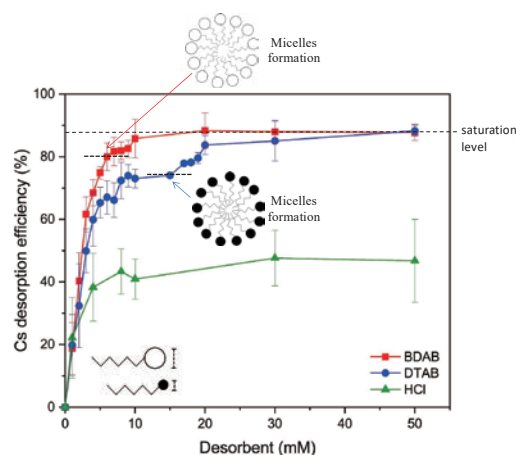


Fig. 1. Cs desorption from kaolinite.

- 1) W. C. Bekelesi, T. Basuki, and S. Nakashima, *Radiat. Saf. Manage.*, **21** 1-12 (2022).
- 2) W. C. Bekelesi, T. Basuki, S. Higaki, and S. Nakashima, *Radiat. Saf. Manage.*, **21** 26-35 (2022).
- 3) H. Wijayanto, M. Tsujimoto, T. Basuki, and S. Nakashima, *AIP-CP*, **2381**, 020107 (2021).
- 4) H. Wijayanto and S. Nakashima, *Applied Clay Science*, **228**, 106649 (2022).
- 5) T. Basuki and S. Nakashima, *ACS Omega*, **6**, 40, 26026-26034 (2021).
- 6) T. Basuki and S. Nakashima, *Nano-Structures & Nano-Objects*, **34**, 100953 (2023).
- 7) B. S. Nugroho, A. Kato, C. Kowa, T. Nakashima, A. Wada, M. N. K. Wihadi, and S. Nakashima, *Materials*, **14**, 5577 (2021).
- 8) B. S. Nugroho and S. Nakashima, *RSC Advances*, **12**, 19667-19677 (2022).
- 9) H. Rahman and S. Nakashima, *Applied Phys. A*, **128**, 564 (2022).

## 【施設利用者の研究紹介】

### BSD2 による酸化失活 Rubisco の還元再活性化

統合生命科学研究科 数理生命科学プログラム 島田 裕士

2022 年において 80 億人の世界人口は、2050 年までには 90 億人を突破すると予想されている。それに伴う世界規模での食糧危機は、作物生産にさらなる収量増大と安定化を迫っている。更に COP27 による宣言では、世界共通の長期目標として地球平均気温上昇を抑える努力追求が挙げられており、CO<sub>2</sub> を含む温室効果ガスの排出削減が求められている。日本政府も 2020 年に「2025 年カーボンニュートラル及び脱炭素社会の実現」を目指すことを宣言し、様々な分野で脱炭素化に向けた取り組みを加速している。植物の光合成は CO<sub>2</sub> の吸収源かつバイオマス生産の源であり、光合成能力の増強は上記問題解決方法の一つと考えられる。光合成には多くの律速段階が有り、光合成の光エネルギー変換効率はわずか数パーセントであり、このことは光合成の効率を上昇させる理論的余地が多く残っていることを示している。

Ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase (Rubisco) は植物の光合成において CO<sub>2</sub> を固定する律速酵素である。一般的な酵素の代謝回転数  $k_{cat}$  が 1,000 ~ 100,000 sec<sup>-1</sup> であるのに対して Rubisco は  $k_{cat} = 3$  sec<sup>-1</sup> と圧倒的に低く、Rubisco は光合成の律速酵素となっている。また、Rubisco は還元状態では酵素活性を有しているが、酸化状態では Rubisco のシステイン残基間でジスルフィド結合 (S-S 結合) を形成し失活する事が報告されている。我々が発見した BSD2 タンパク質はジスルフィド結合を還元する Protein disulfide reductase 活性を有していることが示された。また、BSD2 は葉緑体内で Rubisco と相互作用することも示された。そこで、BSD2 タンパク質が酸化失活している Rubisco を還元再活性化させることができるのかを *in vitro* で解析した。Rubisco の活性測定には RI ラベルされた NaH<sup>14</sup>CO<sub>3</sub> から生じる <sup>14</sup>CO<sub>2</sub> を基質として用いた (図 1)。酸化した Rubisco と大腸菌で発現・精製した BSD2 タンパク質有無でインキュベートし、経時的に Rubisco の活性を測定した (図 2)。その結果、BSD2 タンパク質と共にインキュベートした Rubisco は経時的に活性が上昇した。一方、BSD2 タンパク質無しでインキュベートした Rubisco は其の活性の上昇は観察されなかった。これらの結果から、BSD2 タンパク質は酸化失活した Rubisco を還元再活性化させることが示された。今後は、BSD2 の高発現が光合成に及ぼす影響等を *in planta* で解析していく予定である。

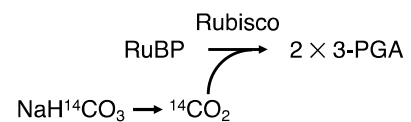


図1: Rubiscoの酵素反応

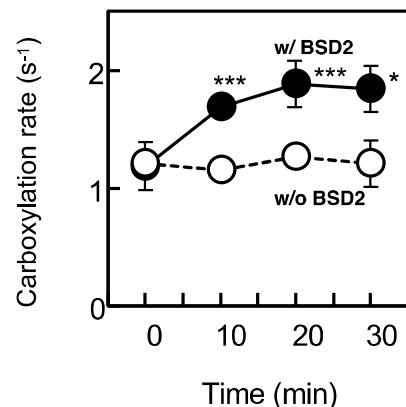


図2: BSD2によるRubiscoの還元活性化

#### 参考論文

Overexpression of BUNDLE SHEATH DEFECTIVE 2 improves the efficiency of photosynthesis and growth in Arabidopsis. *The Plant Journal* (2020) 102:129-37.