

## 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、平成 29 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。

### 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、また学内外の施設の利用者に対して証明書の発行、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きたいと考えています。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、そして空間線量やスミア検査などの測定に関しても貢献しております。このような観点からの全学支援も積極的に行っていきたいと考えています。

「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」に変更されました。これまでの法律の目的は、放射線業務従事者の放射線障害の防止と公共の安全確保が目的でしたが、新しい法律ではこの目的に加えて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。この法令改正には多くのことが含まれており、全学の中心になって対応を進めております。

今年度は、日本学術会議から「大学等における非密封放射性同位元素使用施設の拠点化について」の提言が出されました。これを受けて私たちの大学はどのような対応を取るべきか検討しなければなりません。

### 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、副部長、副部長、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。今年度は特に、日本放射線安全管理学会の教育訓練の時間と内容に関するアドホック委員会の委員長、委員として貢献してまいりました。また、原子力規制庁原子力規制人材育成事業のフィールドモニタリング実習にも参加しました。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材養成―」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、また平成 29 年度末現在このプログラムの学生 8 名が教授のグループに在籍し、勉学に励むとともに研究を進めています。この点に関しましてもお一層貢献したいと考えています。

### 4. 独自の研究

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人材の育成にも、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。

## 【アイソトープ総合部門での研究紹介】

### 環境中の微生物による Cs の移行に与える影響に関する研究

稲田晋宣

2011年3月の福島第一原子力発電所事故により環境中に放射性物質が放出された。中でも $\gamma$ 線放出核種であるCs-137は、長い半減期(30.04年)を持っており、環境中の挙動が注目された。食物では放射能測定が行われ、植物ではCs-137の吸収について多数報告された。CsはKやNaと同じアルカリ金属で微量であるが環境中に存在しているが、Kのように生態に必要な元素ではなく、機能的に生体内のKと取って代わる(あるいは補う)ことはできない。また生体に取り込まれる際にKの取込みを阻害するなどの毒性が知られている。一方でその耐性は微生物種により異なり、Csを蓄積する微生物種も報告されている。環境中には多く微生物が存在しているが、生育の過程で環境中の元素を吸収し、その中でCs-137をその菌体内に取り込み、蓄積した状態で環境中を移動することで、Cs-137の環境中の動態に影響を与えている可能性を考えた。

我々は、広島大学東広島キャンパスの下水およびキャンパス下流の角脇調節池の環境放射能調査および微生物に関する解析を行ってきた。環境水中には多くの微生物が存在することから、この環境水サンプルを用いて微生物によるCsの影響について検討することにした。

池水中の微生物(群)への影響は、は固体培地上に池水を接種し、現れるコロニーの数を計測することで確認した。様々な濃度のCsを含む固体培地上に池水を接種しCsの影響を確認した結果、比較的低濃度(1mMや5mM)では変化は確認できず、10mMからコロニー形成数の減少が確認された(図1)。一般的に、細胞内に取り込まれたCsはKチャネルを通して細胞外に排出されるがその効率はKと比較して非常に低いことが知られている。生育阻害は、Csを細胞内に取り込み、蓄積した影響によるものと推察される。

また生育速度は遅くなる(コロニーが小さくなる)が、比較的高濃度のCs存在下でも生育する種も存在していた(図2例えば20mM)。これらの種は(生育できない種と比較して)、細胞内のCsを効率良く排出できる、またはCsの取込効率が低いなどの可能性が考えられた。培地の栄養素を低下させた時、Csの耐性が変化しており、この耐性は代謝と関連していると考えられる。また生育の低下とともに、Csの細胞内の蓄積による影響と思われる色素生産性が消失する種も確認された。微生物種の同定を行ない、これらの機能の違いについて比較解析を行っている。Csの毒性に関する報告がある一方で、Csによって活性化される、あるいは安定化する酵素に関する報告もあり、Csが生体内の酵素活性などの機能に影響を及ぼしていることが分かる。中にはCsに応答する機能も存在する可能性も十分に考えられる。

本来生物は、自然環境中に存在しており、Csに限らず環境中に存在する元素により応答する機能を有していることは十分考えられる。微生物が本来持っている機能を活用することを目指し、今回のCsの耐性に関連する機能に加えてその他の元素に応答する機能についても解析していく予定である。

コロニー形成数 ( $\times 10^2$  /mL)

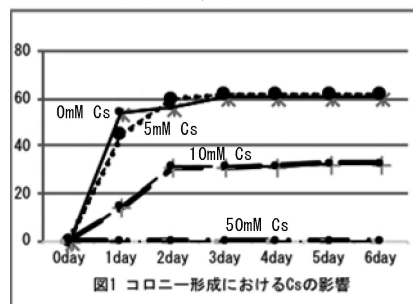
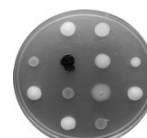
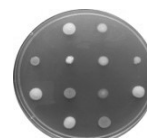


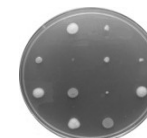
図1 コロニー形成におけるCsの影響



0mM Cs



10mM Cs



20mM Cs

図2 Csを含んだ培地でのコロニー形成

## 【施設利用者の研究紹介】

### リン代謝経路の再構築によるバイオセーフティー技術開発

大学院先端物質科学研究科 分子生命機能科学専攻 廣田隆一

遺伝子組換え技術は現在のバイオテクノロジーを支える基盤技術である。異種生物由来のDNAを宿主微生物に導入することで新たな能力を付与したり、代謝経路を改変してバイオプロセスにおける物質生産性を大きく高めることができる。さらに最近ではゲノム編集技術の発展やDNA合成の大幅な効率化によって、従来の技術では作ることができなかったような、いわゆる「合成生物」と呼ばれるような育種株を作り出すことも可能になってきている。これら遺伝子組換え微生物（GMM）の利用は、もはや実験室内の物理的に封じ込められた範囲だけでなく、環境、医療、農業分野など開放系での様々な局面が想定されている。しかし、GMMの開放利用は、生物多様性の保全に及ぼすリスクの点から、カルタヘナ法による規制を受ける。また、物理的に封じ込められた条件であっても産業目的の様に大規模で培養が行われる場合は、漏出のリスクに備えた拡散防止措置を執ることが望まれる。「生物学的封じ込め」は、GMMが環境中では生存できない遺伝的性質をあらかじめ与えておくことで拡散を防ぐ概念である。合成生物学が進展し、開放系を想定したGMM開発が進められている現在、生物学的封じ込めによるバイオセーフティー技術が注目され始めている。

リンはあらゆる生物の必須元素であり、自然環境中ではリン酸（ $\text{HPO}_4^{2-}$ ）あるいはそのエステル体の形態で存在するが、環境中では制限栄養塩となりやすい。バクテリアはリンの獲得系を発達させており、酸化状態が異なるリンを利用する能力を備えているものが存在する。我々は、微生物が有する様々なリンの代謝機構の研究を行ってきた過程で、バクテリアがもつ特殊なリン代謝経路を生物学的封じ込めに利用する事を考えた。亜リン酸（ $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ）は3価のリンであり、天然にはほとんど存在しない。そこで、リン酸を利用できず、亜リン酸だけしか利用できない性質を作ることができれば、その生物は環境中では生存できなくなると考えられる。つまり、亜リン酸の要求性による増殖のコントロール、すなわち生物学的封じ込めが可能になると考えた。亜リン酸デヒドロゲナーゼ（PtxD）は亜リン酸を酸化する酵素である。亜リン酸利用能の付与はこの遺伝子の導入によって可能であった。次に必要となったのは、リン酸の利用能力を喪失させることであったが、これは内在性のリン酸（および有機リン酸）輸送体遺伝子の破壊により可能であった。問題になったのは、「リン酸を取り込まず、亜リン酸だけを選択的に細胞内に取り込むことのできる輸送体」が存在するかということであった。様々なリン輸送体の探索を行い、幸運にもこの様な性質を示す輸送体を発見することができた。この輸送体の基質選択性のメカニズムはまだ不明であるが、放射性同位元素（ $^{32}\text{P}$ ）で標識されたリン酸を使用した取り込み実験により、この輸送体はリン酸に対しては全く特異性を示さないことが確認されている（図1右）。作製した大腸菌の封じ込め株は、期待通り亜リン酸培地でのみ増殖し、他のいかなる培地（リン源がリン酸あるいはリン化合物である通常の培地）でも全く増殖しないということが確認された（図2矢印）。

この封じ込め手法の重要な特徴のひとつは、エスケープ変異株（リン酸利用能を獲得した変異株）の出現頻度が著しく低いことである。これは、バイオセーフティー技術に求められる最も重要な要素のひとつであり、本手法は現時点で報告されている中で最も効果が高い。さらに、この手法はシンプルであるため原理的にはあらゆる生物に適用可能である。現在我々はバイオ燃料生産の有望な宿主として注目されている微細藻類への適用を試みており、実際に藍藻で利用できることを確認している。

生物を「創る」研究が急速に進展している一方で、安全に「使う」研究は大きく後れをとっており、バイオテクノロジーに対する不安や懸念を生み出すひとつの要因になっている。人類の有益な技術としてバイオテクノロジーを安全に活用するためにも、より実用的で効果の高いバイオセーフティー技術の開発が必要である。今後、様々な利用局面を想定した実験により、封じ込め株の安定性や環境中へのインパクトを評価していく予定である。

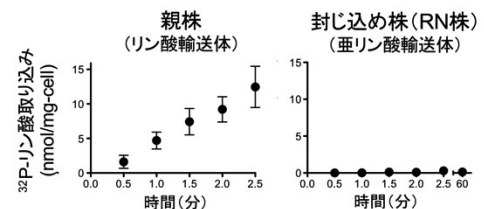


図1: 放射性リン酸 ( $^{32}\text{P}\text{-PO}_4^{3-}$ ) を用いた取り込み試験

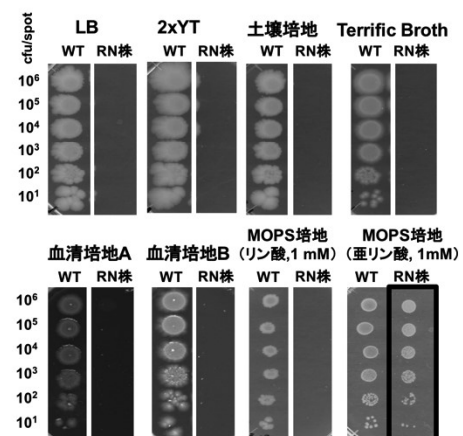


図2: 様々な培地における封じ込め株の増殖