

生体内を駆けめぐるセシウム元素の動きを見る方法

鈴木 伸郎 尹 永根 河地 有木
Suzui Nobuo Yin Yong-Gen Kawachi Naoki

1. 背景

食の安全・安心を確保するため、農作物に含まれる有害な物質を低減させることは重要な研究課題となっている。特に日本では、足尾銅山鉱毒事件を始めとする公害等で、有害元素が食を汚染させたために発生した健康被害を経験した過去がある。したがって、特定の元素を吸収しにくくする栽培法の探索や作物品種の作出、あるいは有害元素を良く吸収する植物で汚染された土壌を浄化する、いわゆるファイトレメディエーションを目的とした植物研究が注目を集めてきた。そこで量子科学技術研究開発機構の高崎量子応用研究所（高崎研）では、様々な元素の植物体内動態を追跡・可視化する RI イメージング技術の開発を行ってきた。

2000 年代は主食であるコメの深刻なカドミウム汚染が注目されており、国内の汚染土壌が広範囲に広がっていることもあり、植物体内のカドミウム動態が農学系の学会では大きな研究テーマとなっていた。そこで高崎研では、カドミウムのポジトロン放出核種 ^{107}Cd （半減期：6.5 時間）の製造と精製方法を確認し、イネの根から吸収されたカドミウムの動態をポジトロンイメージングにより可視化することで、カドミウムが節で導管から篩管へ乗り換え、篩管を通じてコメの部分に到達し蓄積される主要経路を明らかにした¹⁾。更にカドミウムの吸収能を左右する根細胞内の液胞に存在する重金属輸送タンパク質の働きを定量的に評価したり、新たに作出された品種と既存品種との差を定量的な画像で評価したり

する等といった、基礎科学的な植物生理機能の解明から農業に直結するような結果を幅広い分野をまたいで得ることができた。

このような経験のもと、東京電力福島第一原子力発電所の事故以降、環境中に放出された ^{134}Cs や ^{137}Cs といった放射性セシウムに対する関心が高まったことを受け、生体内セシウム動態をイメージングするための技術開発を開始した。特に放射性セシウムが畜産物や農作物等を介して体内に吸収され、臓器に移行し、体外に排出されるまでの動きを詳細に説明する、セシウム元素の生体内動態モデルについて、多くの研究がなされていたが、摂取直後の体内動態については、詳細な知見は少なかった。体内に取り込まれたこれら放射性セシウムの動きをイメージングできれば、誤って摂取したり、吸い込んだりした場合の内部被ばくの影響を理解することに役立つ他、生体からのセシウム排出のメカニズムを解明し、放射性セシウムの体外除染剤等の開発につながることを期待できると考えた。

2. ポジトロン放出核種 ^{127}Cs の製造・精製

原発事故直後、ガンマカメラ方式で ^{137}Cs を対象としたイメージング技術の開発を行ったが²⁾、解像度やイメージング装置の使用性に限界を感じ、一般的ながん検診に用いられるポジトロン断層法（Positron Emission Tomography: PET）装置で撮像可能なポジトロン放出核種 ^{127}Cs （半減期：6.25 時間）の製造に取り組んだ。

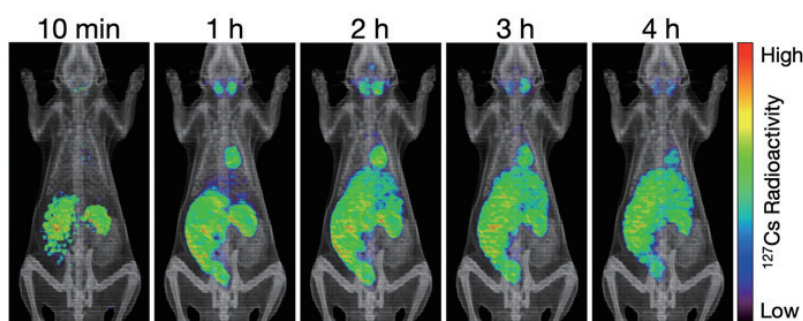


図1 小動物用 PET で撮像したラットに投与した ^{127}Cs の投与直後から 4 時間後までの動き

サイクロトロンで高速に加速したヘリウムイオンビームをヨウ素に照射することで生じる ^{127}I (α , 4n) ^{127}Cs 核反応を用いるため、実証試験では加速エネルギー 55 MeV, 0.5 μA のヘリウムイオンビームを、125 mg (0.8 mmol) のヨウ化ナトリウム試料に 2 時間照射した。この結果、放射能量 80 MBq の ^{127}Cs が生成できた。

ここで得られた ^{127}Cs をモル数に換算すると 4.3 pmol と極めて少量であり、これをトレーサ実験に用いるためには、この ^{127}Cs 周辺の約 2 億倍のヨウ素イオンとナトリウムイオンを除去する必要がある。ヨウ素イオンについては、陰イオン交換カラムで容易に除去できるが、ナトリウムイオンはセシウムイオンと性質が似ているため、除去することが非常に困難であった。そこで、セシウム元素を選択的に捕集するリンモリブデン酸アンモニウムを放射線グラフト重合で布に固定した材料³⁾に着目した。グラフト重合とは、ビニール袋等に使われているポリエチレン等のプラスチック素材に放射線を照射した後、素材の性質を維持した状態で、接ぎ木のように新たな機能を導入し、プラスチックの特性を改良する技術である。このグラフト重合で作成したセシウム捕集材を活用してナトリウムイオンを除去し、 ^{127}Cs トレーサを精製する技術を確立した。

3. セシウム動態の撮像実験

このようにして得られた ^{127}Cs トレーサを生きたラットの尾静脈内に投与し、小動物用の PET/CT 装置で撮像したところ、生体内のセシウムの動きを 1 時間ごと 4 時間まで捉えることができた (図 1)。X 線 CT 画像と重ね合わせた結果、 ^{127}Cs トレーサは血

流を通して腎臓、小腸、唾液腺、心臓等の臓器に集積した後、徐々に各臓器の外に移動する様子が明らかになった。体内吸収直後のセシウム元素の動態を世界で初めてイメージングすることに成功したと言える⁴⁾。

4. 結語

これまで体内の放射性セシウムはホールボディカウンタを用いて計測されてきたが、摂取直後からリアルタイムに体内のセシウムの分布を追跡し、可視化することは困難であった。今回開発したセシウム元素を対象とした RI イメージング技術を用いることにより、各臓器内のセシウムの量が摂取後からリアルタイムに観測できる。放射性セシウムの各臓器への移行率を非破壊的に計算できるようになり、内部被ばく線量の評価研究に役立つ。また、これまで高崎研が実施してきた植物ポジトロンイメージング装置を用いた研究に利用することで、作物のセシウム輸送メカニズムの解明のみならず、農作物への放射性セシウムの低減技術の開発につながることを期待できる。

参考文献

- 1) Fujimaki, S., et al., *Plant Physiology*, **152**, 1796-1806 (2010)
- 2) Kawachi, N., et al., *J. Environ. Radioact.*, **151**, 461-467 (2016)
- 3) Shibata, T., et al., *Radiat Phys Chem.*, **119**, 247-252 (2016)
- 4) Suzui, N., et al., *Scientific Reports*, **10**, 16155 (2020)

(量子科学技術研究開発機構 量子ビーム科学部門
高崎量子応用研究所 放射線生物応用研究部)