

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06962

研究課題名(和文) 動植物におけるセシウム動態解析のためのポジトロンイメージング技術の開発

研究課題名(英文) Development of positron imaging technology for cesium kinetic analysis in plants and animals

研究代表者

鈴木 伸郎 (SUZUI, Nobuo)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線生物応用研究部・主幹研究員(定常)

研究者番号：20391287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ポジトロンを放出するセシウムトレーサを開発し、生きた動植物におけるセシウム動態の非破壊的イメージングを実現した。具体的には、セシウムのポジトロン放出核種であるCs-127(半減期：6.25時間)の製造・精製方法を確立した。Cs-127トレーサを植物に投与し、植物研究用ポジトロンイメージング装置(PETIS)を用いて様々な植物におけるセシウム動態を解析した。さらに、Cs-127トレーサを生きた動物に投与し、ポジトロン撮像法(PET)を用いてセシウム動態を可視化することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本手法により動植物体内におけるセシウムの輸送メカニズムの解明や動態モデルの構築を行うことが可能となった。セシウム動態に関する基礎的な知見を収集することで、将来起こりうる原子力発電所でのシビアアクシデントに対する確率論的リスク評価(PRA: Probabilistic Risk Assessment)に繋げ、社会的意義の高い成果の発信が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a positron-emitting cesium tracer and realized non-destructive imaging of cesium dynamics in living animals and plants. First, we have established a method to produce and purify positron-emitting radionuclide, Cs-127 (half-life: 6.25 h). Next, we administered Cs-127 tracer to plants and analyzed the cesium kinetics in various plants using the Plant Research Positron Emission Imaging System (PETIS). Furthermore, we administered Cs-127 tracer to living animals and successfully visualized the cesium dynamics using positron emission tomography (PET).

研究分野：植物栄養学

キーワード：放射性セシウム PET

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故以来、動植物体や人体における放射性セシウムの動態に対する関心が高まっていた。米(イネ)については、栽培時にカリウムを施肥することでセシウムの吸収を抑制させ、基準値(100 Bq/kg)を超えさせずに出荷できているが、放射性セシウムの食物汚染問題が解決した訳では決してなかった。ダイズ等のマメ科植物ではカリウムを十分施肥したにも関わらず基準値を超える例があったことから、「植物」における放射性セシウムの動態について、未だに数多くのなすべき研究があった。また、人間が経口摂取した放射性セシウムが、どの器官にどの程度の速度で蓄積され、体外に排出されるのか?この様な疑問や不安に答えることに加え、放射性セシウムによる内部被ばく線量をより正確に算出するために、「動物」における放射性セシウムの動態についても詳細に解析する必要がある。

このような放射性セシウムの動態解析の研究において、生きた動植物体内におけるセシウムの動態を可視化する技術は非常に強力なツールであった。研究開始当初までに、東京大学が開発したベータ線イメージング装置や原子力機構が開発したピンホール型ガンマカメラにより、植物における放射性セシウム(Cs-137)の動態が可視化されていた。しかしながら、撮像対象を動物とした場合、ベータ線の組織透過力の弱さ(前者)、高エネルギーのガンマ線源を結像させるが故の解像度の悪さ(後者)が障害となり、どちらの技術を用いても可視化することができない状況であった。

2. 研究の目的

ポジトロンを放出するセシウムトレーサを開発し、生きた動植物におけるセシウム動態の非破壊的イメージングの実現を目的とした。具体的には、1)セシウムのポジトロン放出核種である Cs-127(半減期:6.25時間)の製造・精製方法を確立する、2)Cs-127トレーサを植物に投与し、植物研究用ポジトロンイメージング装置(PETIS)を用いて様々な生きた植物におけるセシウム動態を解析する、3)Cs-127トレーサを生きた動物に投与し、ポジトロン撮像法(PET)を用いてセシウム動態を可視化する、の3つを目標とし、本研究を進めた。

3. 研究の方法

(1) Cs-127の製造・精製方法の確立

ヨウ化ナトリウムの前面にアルミニウム板を入れることで、入射エネルギーの調整を行った。セシウム捕集カラムに吸着させた Cs-127 を $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液で溶出する際、超低速のペリスタポンプを利用することで、流速を 1/10 程度まで低下させた。

(2) 生きた植物におけるセシウム動態の可視化

供試植物として水耕栽培した3週令のダイズとシロバナルーピンを用いた。(1)の方法で精製した3 MBqのCs-127を含む1 mMの $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液1 mLを50 mM CaCl_2 溶液20 mLと混合したトレーサ溶液を植物の根に投与し、PETISでCs-127の動態を撮像した。

(3) 生きた動物におけるセシウム動態の可視化

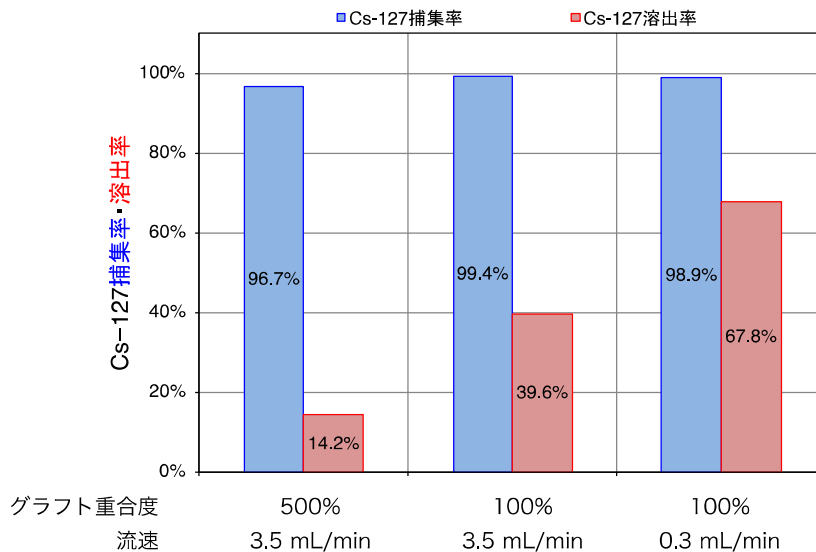
高崎量子応用研究所のAVFサイクロトロンを用いて製造したCs-127を、セシウム捕集材を充填したカラムで精製した後、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターへ輸送し、6週令のラットの尾静脈内に投与して、小動物用PET装置を用いて撮像した。

4. 研究成果

(1) Cs-127 の製造・精製方法の確立

ヘリウムイオンビームをヨウ化ナトリウムターゲットに照射することで、核反応 $I-127(\alpha, 4n)Cs-127$ により Cs-127 が生成されるが、副生成物の Cs-129 由来の 412 keV (62%) のガンマ線がポジトロンイメージング (511keV の同時計測) のノイズとなっているため、Cs-129 を可能な限り含まない Cs-127 の照射条件を検討した。その結果、ターゲットの位置でのビームの最適なエネルギーが 55 MeV であることを確認した。

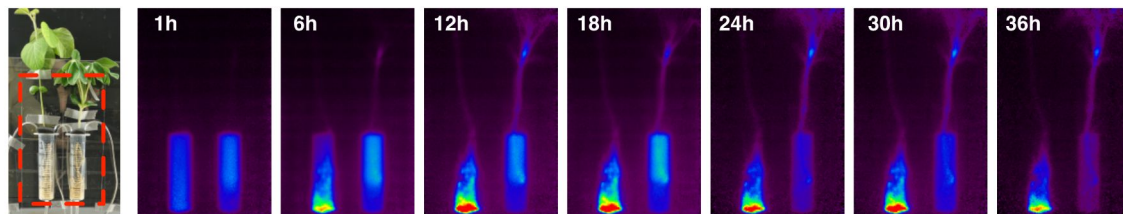
陰イオン交換カラムを用いてターゲット由来のヨウ素イオンを除去し、セシウム捕集材を充填したカラムを用いてターゲット由来のナトリウムイオンを除去した後、5 mM の $(NH_4)_2SO_4$ 溶液 10mL をセシウム捕集カラムに通液することで Cs-127 を溶出していた。この最終トレーサ溶液に含まれる $(NH_4)_2SO_4$ 濃度を可能な限り低くするための条件検討を行った結果、セシウム捕集材のグラフト率を 500% から 100% に下げ、 $(NH_4)_2SO_4$ 濃度の流速を 3.5 mL/min から 0.3 mL/min に変更することで、1 mM の硫酸アンモニウム溶液 1mL で Cs-127 を 68% の回収率で溶出することに成功した。



グラフト重合度と溶出速度の違いによる Cs-127 溶出率の変化

(2) 生きた植物におけるセシウム動態の可視化

マメ科植物であるダイズとシロパナループンに Cs-127 トレーサ溶液を経根投与し、ポジトロンイメージング装置で 36 時間撮像したところ、ダイズでは Cs-127 がほとんど根に留まっていたのに対し、シロパナループンでは Cs-127 が速やかに地上部へと移動する動画像が得られ、同じマメ科の植物でもセシウムの移行様式が全くことなるが明らかとなった。

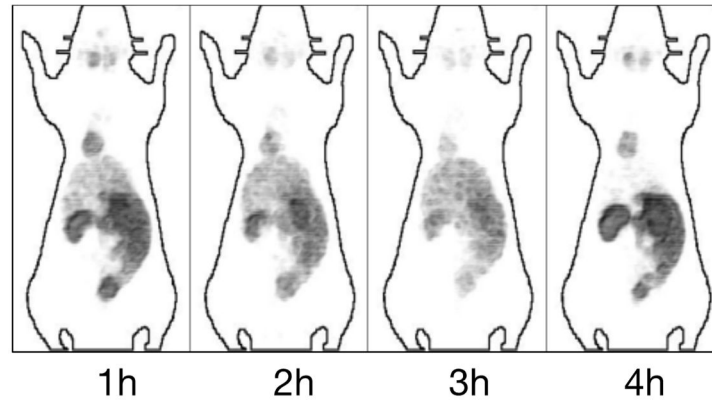


ダイズ シロパナループン

植物 (シロパナループン) におけるセシウムの PETIS 画像

(3) 生きた動物におけるセシウム動態の可視化

生きたラット体内におけるセシウムの分布画像を4時間に亘り取得することに成功した。得られたPETデータを詳細に解析したところ、Cs-127が腎臓、心臓、そして唾液腺に局在していることが明らかになった。本結果は、破壊的な手法を用いた放射性セシウムの局在解析の過去の報告と一致した。



動物（ラット）におけるセシウムのPET画像

現在の放射性セシウムによる内部被ばく線量の算出は、動物実験及びヒトの尿・糞便中のデータに基づいている。経口摂取された可溶性セシウムの90%以上が消化管で吸収されるが、リアルタイムな挙動・動態は未だ不明である。今後は、開発したCs-127トレーサをラットに経口投与し、生体内のセシウム動態をPET装置で可視化し、各臓器への移行速度を算出することで、放射性セシウムによる内部被ばく線量の正確な評価に資する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nobuo Suzui, Yong-Gen Yin, Satomi Ishii, Hitoshi Sekimoto, Naoki Kawachi	4. 巻 13
2. 論文標題 Visualization of zinc dynamics in intact plants using positron imaging of commercially available ⁶⁵ Zn	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Plant Methods	6. 最初と最後の頁 40
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s13007-017-0188-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Nobuo Suzui, Yong-Gen Yin, Satomi Ishii, Hitoshi Sekimoto, Naoki Kawachi
2. 発表標題 Noninvasive imaging of zinc dynamics in an intact plant using commercially available radionuclide, ⁶⁵ Zn.
3. 学会等名 18th International Plant Nutrition Colloquium（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木伸郎, 柴田卓弥, 尹 永根, 保科宏行, 藤巻 秀, 瀬古典明, 河地有木
2. 発表標題 植物体内のセシウム動態を可視化するポジトロン放出トレーサの開発
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2017年度仙台大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Noninvasive imaging of zinc movement in an intact plant using ⁶⁵ Zn
2. 発表標題 Nobuo Suzui, Yong-Gen Yin, Satomi Ishii, Naoki Kawachi
3. 学会等名 18th International Conference on Heavy Metals in the Environment（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鈴井伸郎
2. 発表標題 植物体内のセシウム動態を可視化するポジトロン放出核種 ¹²⁷ Csトレーサの開発.
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	渡部 浩司 (WATABE Hiroshi) (40280820)	東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・ 教授 (11301)	