

同時発表：
筑波研究学園都市記者会（レク）
文部科学記者会（資料配布）
科学記者会（資料配布）



セシウムを吸収した植物の細胞内での分布の可視化に世界で初めて成功

～除染用の“スーパー植物”開発に大きな期待～

平成26年6月16日

独立行政法人 物質・材料研究機構

独立行政法人 理化学研究所

概要

1. 独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：潮田資勝）国際ナノアーキテクトニクス研究拠点（拠点長：青野正和）YAMATO-MANAプログラム¹⁾の小松広和 研究員と、同じく国際アーキテクトニクス研究拠点の有賀克彦 主任研究者・超分子ユニット長らは、独立行政法人・理化学研究所環境資源科学研究センターのアダムス英里 特別研究員、Ryoung Shin（申怜）ユニットリーダーと共同で、従来法では実現できなかった、植物の細胞内におけるセシウム分布を可視化する方法を世界で初めて開発した。

2. 福島第一原発事故以来、環境中に放出されたセシウム、とくに放射性の¹³⁷Cs（半減期 30.17 年）は広く社会的な問題になっている。様々な除染法が検討される中、植物に土壌・水中のセシウムを吸わせて除染する方法（ファイトレメディエーション²⁾）はセシウムの濃縮が可能のため、廃棄物が少なく、コストや環境負荷が小さいことなどで注目され、さらに、これまでに行われている汚染土壌の撤去による除染とは異なり、肥沃な表土を撤去する必要がないことから、農地で活用するメリットが期待される。当初、既存の植物では吸収効率の低さが問題になったが、一方でその利点の多さから、現在も効率的にセシウムを吸う植物の開発が急がれている。しかし、植物細胞内でのセシウムの輸送や蓄積のメカニズムがほとんど解明されておらず、品種改良など開発に必要な基礎的知見が不足している。

3. 今回開発した方法では、「セシウムグリーン」という蛍光プローブ³⁾を用い、炭酸セシウム粒子をマイクロメートルレベルの高い分解能で検出可能で、細胞内部でのセシウム分布を可視化することができる。研究では一般的なモデル植物であるシロイヌナズナ⁴⁾の細胞内において、セシウムがどの組織に局在するかをイメージングした。シロイヌナズナを高濃度の炭酸セシウムを含む培地で生育させた後、子葉にセシウムグリーンを作用させると、子葉においてセシウムの存在を示す緑色の蛍光が確認できた。さらに、セシウムグリーンの精密な位置検出特性を活かし、蛍光顕微鏡で観察した結果、セシウムは子葉の細胞内の液胞に蓄積する傾向があることが示された。

4. 本研究で開発された手法を適用することで、セシウムの植物への輸送・蓄積メカニズムの解明や、ファイトレメディエーションに適する植物の選別・品種改良を、大きく促進できると期待できる。本法は、化学的性質（セシウムグリーンでの検出のされやすさ）が放射性セシウムと変わらない、安全な非放射性セシウムを用いて実行できるため、特殊な実験設備が必要とせず、汎用性の高い手法である。

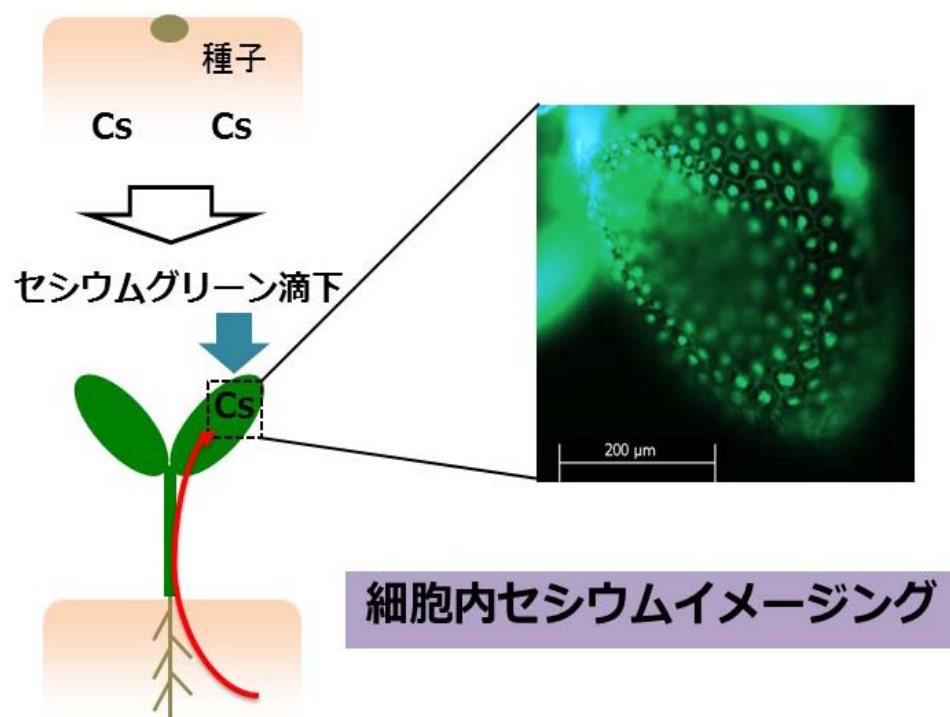
5. 本研究成果は、アメリカ化学会誌「ACS-Applied Materials & Interfaces」に掲載される。

研究の背景

2011年の東日本大震災によって環境中に大量の放射性物質が放出された。中でもセシウム 137 (^{137}Cs) は、半減期 30.17 年であり、今後数十年～数百年にわたって問題となる環境汚染である。現在、様々な除染法が検討されており、その一つとして、植物を使ったセシウムの除染法（ファイトレメディエーション）が注目されている。具体的には、セシウムによって汚染された土壌に植物を植え、植物にセシウムを取り込ませて回収することで、除染する方法である。この方法は現在の土壌剥離と比べ、メリットが多く、例えば、植物によりセシウムの濃縮が可能で、山林など土壌剥離が困難な場所でも適用が可能、さらに植物体を乾燥・焼却することにより廃棄物量を劇的に減らすことができ、コストや環境負荷が小さいことなどが挙げられる。また農地では肥沃な土壌を撤去する必要がないことも重要である。

ただし、この手法を実用化するためには、セシウムを効率的に取り込む植物を選別したり、品種改良を行ったりする必要があり、セシウム取り込み機構の細胞レベルでの理解が必須である。しかしながら、セシウムの正確な局在情報を可視化するための直截的かつ簡便な方法が無いため、現状では基礎的な知見も欠如している。例えば、既存の放射線分析法では、非常に感度の高いガイガーカウンター、シンチレーションカウンター、ガンマ線カメラなどが存在するが、空間分解能に関しては最小でも 1 メートル程度であり、位置情報に乏しい欠点がある。それに対して、生物、医学分野で用いられている蛍光法は、分解能がマイクロメートル以下であり、さらに、高速、簡便、高感度であることから、細胞や細胞小器官の働きを詳細に調べる手法として用いられている。

本研究グループでは、セシウムグリーンと称する「セシウム蛍光プローブ」を開発しており、そのメタノール溶液を炭酸セシウム固体に塗布することで蛍光を検出できる。これまで土上にあるミリメートルレベルの炭酸セシウム粒子（非放射性）を検出することに成功していた。本研究では、セシウムグリーンの精密な位置検出特性を利用することで、植物内のセシウムのマイクロメートルレベル、すなわち細胞レベルの分布を可視化し、セシウムがどの細胞組織に局在するのかを、蛍光顕微鏡で観察することを目的とした。



研究の成果

○植物における細胞内セシウム分布イメージング

セシウムグリーンを植物細胞に作用させ、蛍光顕微鏡によって細胞内でのセシウム分布を検出した。具体的には、シロイヌナズナ(*Arabidopsis*)を0.5 mMの炭酸セシウムが入った培地で種から九日間生長させ、得られた子葉をフリーズドライし、セシウムグリーンのメタノール溶液を滴下して、蛍光を観測した。蛍光顕微鏡による直接観察により、子葉の細胞のなかに丸く局在した緑色の蛍光が観測されたことから、細胞内の液胞にセシウムが局在している可能性が見出された(図1)。これは、液胞が植物細胞内で不要物を溜め込む働きがあることと合致している。このように、セシウムグリーンを用いた実験によって、セシウムが植物細胞の特定器官に濃縮・蓄積される傾向が示された。

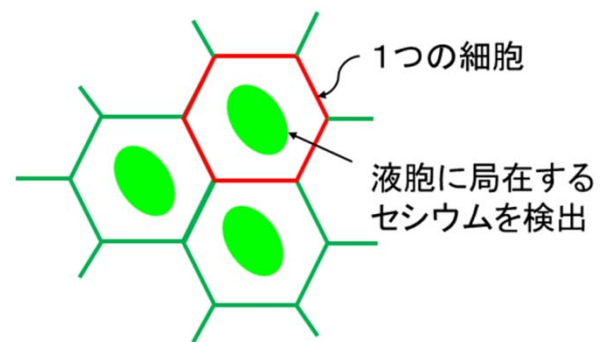
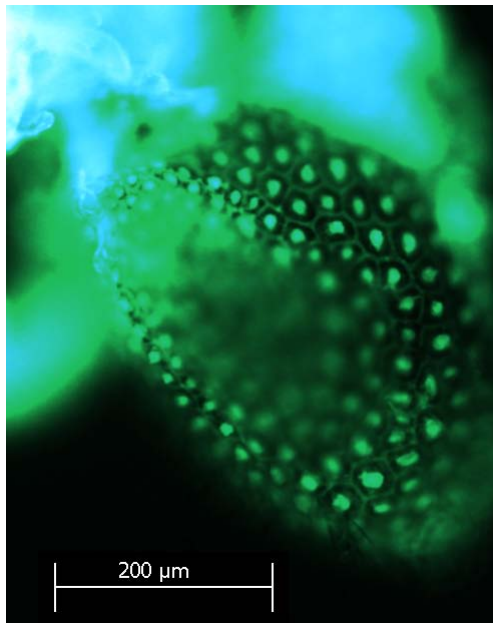


図1 シロイヌナズナ子葉の蛍光イメージ(セシウムグリーンメタノール溶液滴下)。細胞内の液胞と考えられる部位から明るい蛍光が観測された。

○セシウムグリーンの高分解能とセシウム選択性について

本法は植物細胞以外のセシウム分布の微量計測にも適している。今回、髪の毛の直径より小さい、マイクロメートルレベルの炭酸セシウム粒子を蛍光顕微鏡によって他の粒子（炭酸カリウムなど）と区別できることを確認した（図2A）。

セシウムグリーンマイクロメートルレベルの高分解能とセシウム選択性を確かめるために、蛍光顕微鏡によって固体サンプルを用いたモデル実験を行い、緑色蛍光の観察を行った。炭酸セシウム、炭酸カリウムの固体混合サンプルに、セシウムグリーンメタノール溶液を滴下し、蛍光顕微鏡下で蛍光を測定すると、炭酸セシウム上のみで緑色の蛍光を確認できた（図2B）。一方、炭酸カリウム上では青色の蛍光だった（図2C）。これらは、光透過フィルターを用いることで容易に区別できる。

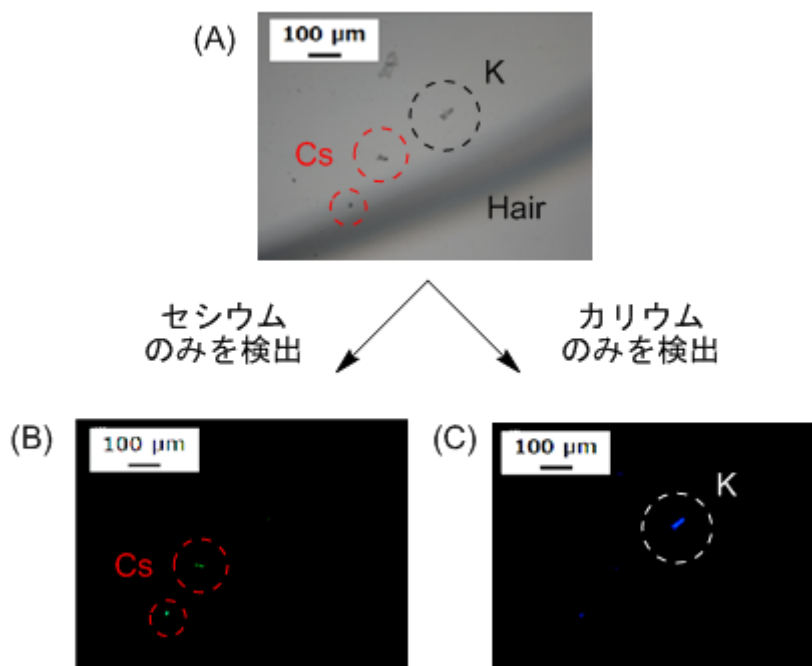


図2 セシウムグリーンを使って炭酸セシウムと炭酸カリウムの極小粒子を見分ける

(A) 髪の毛、炭酸セシウム、炭酸カリウム粒子の光学顕微鏡画像。

髪の毛の直径は約100マイクロメートル。

(B) 緑色の光のみ透過するフィルターを通して見た蛍光顕微鏡画像。

炭酸セシウム粒子のみが光って見える。

(C) 青色の光のみが透過するフィルターを通して見た蛍光顕微鏡画像。

炭酸カリウム粒子のみが光って見える。

○セシウムグリーンとは

我々が開発してきたセシウム蛍光プローブ（セシウムが存在する場所で蛍光を発する物質）は、セシウムグリーン（図3）と称され、既に市販されている（東京化成工業）。セシウムグリーンは炭酸セシウムに対して、そのメタノール溶液を塗布もしくは散布することで、緑色の蛍光を発する。この蛍光性は放射性セシウムでも変わらない。具体的な発光メカニズムとしては、セシウムグリーン分子からのプロトン脱離・エチレングリコール鎖とセシウムの相互作用により、吸収・蛍光波長の長波長化を引き起こして緑色蛍光を発すると考えられる。

今回、我々はセシウムグリーンの精密な位置検出特性を利用し、一般的なモデル植物であるシロイヌナズナの細胞内において、セシウムがどの組織に局在するかを可視化イメージングした。なお、実験には非放射性のセシウムを用いているため、安全である。

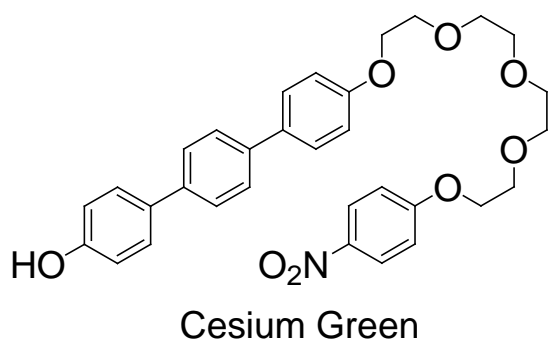


図3 セシウムグリーンの構造

波及効果と今後の展開

本研究では、細胞レベルでの高分解能を達成することにより、ファイトレメディエーションにおけるセシウムの蓄積原理、蓄積効率についての研究を促進することができる。今後、どのような植物にセシウムが濃縮されやすいかや、品種改良を進める上での重要な知見を得ることが期待できる。

セシウムグリーンを検出能力を増強することで、より詳細な植物中のセシウム分布を調査し、セシウム取り込みのメカニズムを解明する予定である。このような精密な検出手法を確立することで、ファイトレメディエーションに適する植物の選別、および品種改良の促進にさらに大きく貢献できると期待している。

また、汚染地域での農業が再開される際に、作物、特に可食部へのセシウムの蓄積の有無を確認するなど、消費者の安全指針として、ひいては農業復興の一助として活用されることが望まれる。

備考

本研究は、文部科学省 WPI プログラム、Yamato-MANA プログラムの援助を受けて行われました。

掲載論文

題目：“Intracellular Imaging of Cesium Distribution in Arabidopsis using Cesium Green”

著者：Akamatsu, Masaaki; Komatsu, Hirokazu; Mori, Taizo; Adams, Eri; Shin, Ryoung; Sakai, Hideki; Abe, Masahiko; Hill, P. Jonathan; Ariga, Katsuhiko

雑誌：ACS Applied Materials and Interfaces (accepted, 巻、号、ページ数未定)

用語解説

1) YAMATO-MANA プログラム

物質・材料研究機構の世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA) が、2013 年度に発足した Young, Aspiring Motherland Academics TO MANA (YAMATO-MANA) プログラム。本プログラムは、優秀な日本人若手研究者をリクルートして国際的で先進的な研究環境下で育成し、日本の将来を担う人材を生み出していくことを目標としている。

2) ファイトレメディエーション

ファイトレメディエーション (phytoremediation) とは、植物が気孔や根から水分や養分を吸収する能力を利用して、土壌や地下水、大気汚染物質を吸収、分解する技術である。

3) 蛍光プローブ

特定の分子と結合したり反応すると、分子の電子的構造が変化して、蛍光強度が変化したり、色調が変化したりする機能性分子の総称。がん細胞のみを選択的に発光させたり、生物内の分子の状態や機能を生きている状態で可視化したりすることが可能である。

4) シロイヌナズナ

シロイヌナズナ (学名: *Arabidopsis thaliana*) は、アブラナ科シロイヌナズナ属の一年草であり、植物のモデル生物として有名。2000 年 12 月に植物としては初めて全ゲノム解読が終了した。ゲノムサイズは 1.3 億塩基対、遺伝子数は約 2 万 6000 個とされ、全ゲノムが解読されたモデル植物である。

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

有賀 克彦

独立行政法人物質・材料研究機構

国際ナノアーキテクニクス研究拠点 (MANA)

主任研究者

E-mail: ARIGA.Katsuhiko@nims.go.jp

TEL: 029-860-4597

(有賀不在時対応)

中西 和嘉

独立行政法人物質・材料研究機構

国際ナノアーキテクニクス研究拠点 (MANA)

MANA 研究者

E-mail: NAKANISHI.Waka@nims.go.jp

TEL: 029-860-4892、 090-9307-1969

(報道担当)

独立行政法人物質・材料研究機構 企画部門 広報室

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL: 029-859-2026

FAX: 029-859-2017