

セシウムの存在位置をミリメートル以下の精度で可視化

～汚染廃棄物の大幅削減やセシウム拡散挙動の把握へ期待～

平成24年12月20日

独立行政法人 物質・材料研究機構

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ゥクス研究拠点（拠点長：青野 正和）超分子ユニット（ユニット長：有賀 克彦）の森 泰蔵博士研究員とジョナサン ヒル MANA 研究者らは、固体表面や生物中におけるセシウム¹³⁷の分布を蛍光により可視化できる超分子²材料を開発しました。
2. 東日本大震災にともなう福島第一原子力発電所事故により多くの放射性物質が漏洩し広い範囲が汚染されました。中でも放射性セシウム同位体であるセシウム 137 は半減期が 30 年と長く、今後も主な放射線源であり続けます。政府は放射性物質により汚染された地域の除染を計画・実施しています。放射性セシウムの分布を可視化できれば除染作業を効率化でき、除染による汚染物質の削減にもつながると期待できます。現在、産学官が協力し放射性物質を可視化するカメラの研究開発を行っています。
3. 本グループは、超分子相互作用を利用してセシウムを検出する蛍光プローブ³を開発しました。この蛍光プローブはセシウムを内包すると緑色の蛍光を発するため、固体表面に分布するセシウムの位置を目で確認できます。この蛍光プローブは既存の放射性物質を検出する方法よりも高い空間分解能を有し、ミリメートル以下の精度でセシウムの分布を可視化できます。
4. セシウムを含む土壌に蛍光プローブを溶かしたアルコールを噴霧し、そこへ紫外線を照射するとセシウムに汚染された箇所だけが緑色の蛍光を発します。これにより、セシウムに汚染された箇所のみを選択的に除去でき、汚染廃棄物の大幅な削減が期待できます。
5. セシウムを含む水に浸した植物の茎断面に蛍光プローブを溶かしたアルコールを噴霧し、そこへ紫外線を照射すると、セシウムを含む部分のみが緑色に光りました。つまり、セシウムの拡散挙動や蓄積過程を視覚的に把握することもできます。
6. 本研究成果は、セシウムの分布をミリメートル以下の精度で可視化することができ、除染の効率化やセシウムの拡散・蓄積過程の解明などに大きく貢献すると期待されます。
7. 本研究成果は、科学雑誌「Science and Technology of Advanced Materials」で 2013 年 1 月にオンライン公開される予定です。

研究の背景

東日本大震災にともなう福島第一原子力発電所事故により原子炉から多くの放射性物質が飛散し、福島県をはじめとする広い地域が汚染されました。事故直後は放射性ヨウ素同位体であるヨウ素 131 が検出されましたが半減期が約 8 日と短いため徐々に減少し、現在は半減期の長い放射性セシウム同位体が検出されています。セシウム 137 は半減期が約 30 年と比較的長いため今後も主な放射線源としてあり続けます。そのため、政府は放射性物質により汚染された地域の除染を計画・実施しています。中でも、放射性セシウムを除去し回収する方法が模索されています。放射性セシウムの分布を可視化できれば除染作業を効率化でき、除染による汚染物質の削減にもつながると期待できます。

文部科学省は航空機によるスクリーニングを実施し、広い範囲での空間線量率の分布状況、放射性セシウムの沈着状況を調査しています。自治体や民間などが空間線量計などを用いて各地域の放射線量を測定しています。放射線量は均一に分布するのではなく、放射性物質が集積し局所的に放射線量の高いホットスポットが存在することが知られています。従来の放射線測定器で、このホットスポットを特定するのは容易ではありません。そこで現在、産学官が協力し放射性物質を可視化するカメラの研究開発を行っています。これまでに、空間線量の高低を測定できるポータブルガンマカメラ⁴⁾や超広角コンプトンカメラ⁵⁾を基に放射性物質の分布状況を可視化できるカメラなどが開発されてきました。

しかし、これらのカメラは高価なため広く一般で使用することはできません。また、既存の放射線測定器よりも分解能が高く、数百から数メートルの空間にある放射性物質の分布を可視化するのには適していますが、それより小さな領域で使用するには不向きです。数センチメートルから数マイクロメートルのごく狭い領域の放射性物質、特に放射性セシウムの広がりを目で確認できれば、安全で、安心した生活を送ることができます。セシウムは通常自然界には多く存在しないため、放射性セシウムでなくとも、セシウムそのものを見つけることが汚染物質の検出に有効であると考えられます。

成果の内容

本研究では、超分子相互作用を利用してセシウムを検出する蛍光プローブを開発しました。図 1 に示すように、この蛍光プローブはセシウム存在下のみで緑色の蛍光を発します。固体表面に存在するセシウム粒子の位置を目で確認でき、汚染された箇所のみを取り除くことができます(図 2)。

このプローブは、蛍光を発するフェノール誘導体⁶⁾にエチレングリコール鎖⁷⁾を介してニトロベンゼン⁸⁾が接続された分子構造を有しています。環状につながったエチレングリコール鎖はクラウンエーテルと呼ばれ、その径に応じたナトリウムやカリウムなどの金属イオンを内包することが知られています。クラウンエーテルのように構造に応じて他の物質と相互作用する分子を超分子と呼びます。本蛍光プローブのエチレングリコール鎖の長さはセシウムを選択的に取り込むように調節されています。また、セシウムを内包したときのみ、フェノール誘導体は緑色の蛍光を発します。セシウムとよく似た化学的性質を示すが、イオン径の異なるナトリウムやカリウムの場合、蛍光プローブは緑色ではなく青色の蛍光を示しました(図 1)。つまり、本蛍光プローブはセシウムを選択的に内包し緑色の蛍光を発することが明らかになりました。

具体的な検出法を図 2 に示します。セシウムを含む土壌に蛍光プローブのアルコール溶液を噴霧し紫外線を照射すると、セシウムを含む土壌だけが緑色に光ります。緑色の蛍光により土壌中の汚染箇所を容易に目で見て特定でき、汚染された土壌のみを簡単に除去することができました。これにより、汚染廃棄物の大幅な削減が期待できます。

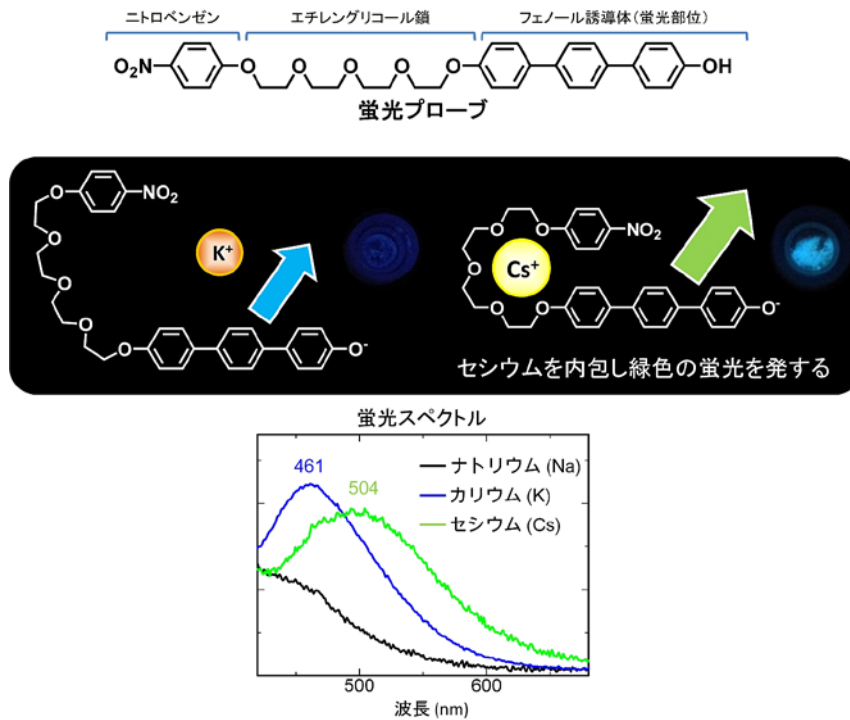
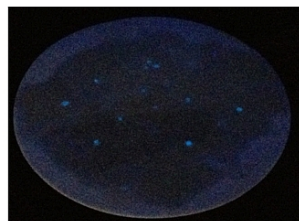


図1 セシウムを検出する蛍光プローブの分子構造と蛍光メカニズムおよび蛍光スペクトル



土壌中のセシウムを可視化し、取り除く



ろ紙上のセシウム粒子を可視化

図2 土壌中やろ紙上のセシウムを可視化

また、ろ紙の上に散布された数ミリメートルから数百マイクロメートルのセシウム粒子も同様の手法で緑色の蛍光を示し、その位置を視覚的に特定することがわかりました。つまり、数センチメートルから数マイクロメートルのごく狭い範囲に分布するセシウムを可視化することができました。

スギ花粉などの粒径 40 マイクロメートル以上の粒子であれば目視できます。10 センチメートル平方の土壌に付着した粒径 40 マイクロメートルのセシウム 137 を可視化できれば、居住禁止区域に相当する 300 ~ 30,000 kBq/m² の放射線濃度を検出できる計算になります。

さらに、植物中におけるセシウムの蓄積挙動を観察しました。ひまわりの切り花を炭酸セシウム水

溶液に数日間浸します。真空凍結乾燥したひまわりの茎断面に蛍光プローブのアルコール溶液を噴霧し紫外線を照射すると、緑色に発光しました（図3）。水や炭酸カリウム水溶液に浸したひまわりは緑色の蛍光を示しませんでした。つまり、蛍光プローブを用いることで、ひまわりが吸収したセシウムの分布を目で観察できました。放射性でないセシウムでも、同様の手法で拡散・蓄積挙動を視覚化可能です。

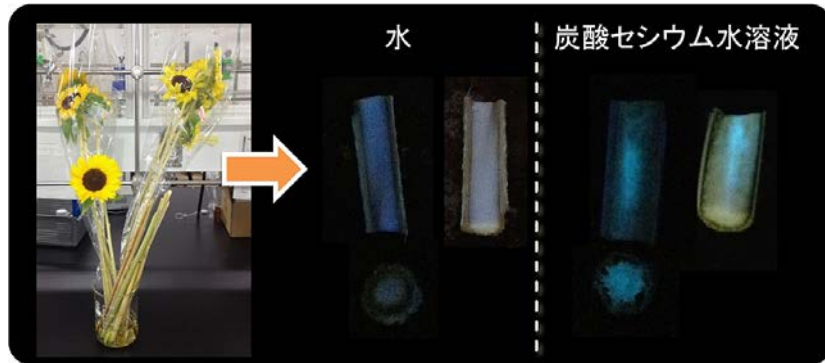


図3 ひまわりの茎中のセシウムの分布を可視化

波及効果と今後の展開

図4に示すように、測定スケールに応じて航空機によるモニタリングや放射線量測定機、放射性物質を可視化できるカメラそして本研究で開発した蛍光プローブを使い分けることで、放射性セシウムによる汚染状況をより細かく把握することができます。また、蛍光プローブと本機構で開発されたセシウムを吸着する材料とを組み合わせることで除染作業の効率化が期待されます。特に、蛍光プローブは数センチメートル以下の小さな領域におけるセシウムの分布状況を把握するのに適しています。また、放射性でないセシウムを用いることで土壌や食品、生体などの試料中におけるセシウムの分布状況を安全かつ視覚的に観察できます。つまり、セシウムの拡散・蓄積過程の解明に大きく貢献します。

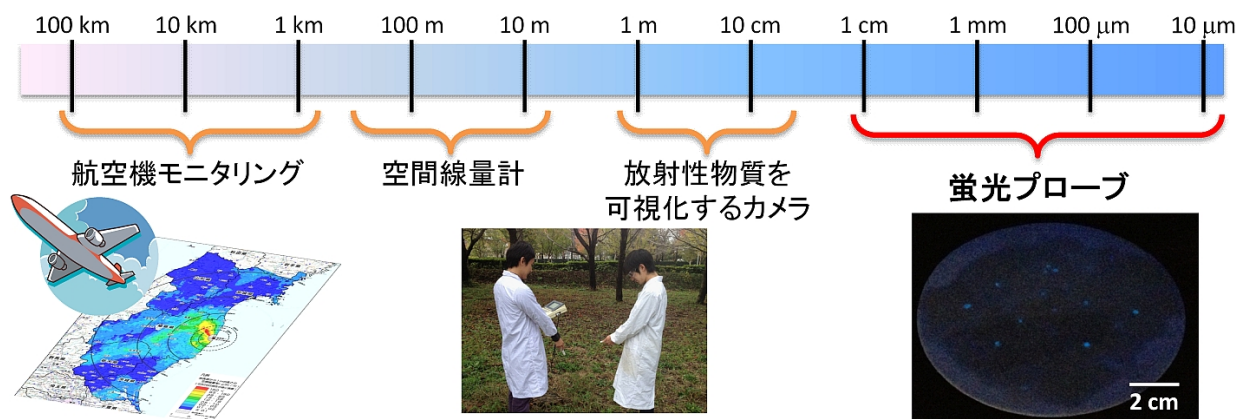


図4 スケールに即した測定方法でセシウム分布を把握する

本技術で期待される技術のまとめ

- 1) 蛍光プローブのアルコール溶液を噴霧し、紫外線を照射するだけでセシウムの存在を緑色の蛍光で観察できる。
- 2) 数センチメートルから、数マイクロメートルの精度でセシウムの存在位置を可視化できる。スギ花粉などに相当する大きさのセシウムの存在を可視化できる。
- 3) 従来の方法と比較して、汚染廃棄物の量を大幅に削減可能。
- 4) 10センチメートル平方の土壤に粒径40マイクロメートルのセシウム137粒子が付着している場合、表面沈着量に換算して約300～30,000 kBq/m²の飯舘村や浪江町に相当する汚染状況を可視化できる。
- 5) 固体表面のみならず、生体や試料中のセシウムの分布も可視化できる。
- 6) 食物中におけるセシウムの拡散・蓄積状況を把握するモデル実験への応用が可能。

掲載論文

題目：Micrometer-level Naked-eye Detection of Caesium Particulates in the Solid State Science and Technology of Advanced Materials

著者：Taizo Mori, Masaaki Akamatsu, Ken Okamoto, Masato Sumita, Yoshitaka Tateyama, Hideki Sakai, Jonathan P. Hill, Masahiko Abe and Katsuhiko Ariga

雑誌：Science and Technology of Advanced Materials Vol.14 (2013) January.

用語解説

1) セシウム

安定同位体であるセシウム133は原子時計の基準点に用いられます。東京電力福島第一原子力発電所では放射性同位体であるセシウム134（半減期約2年）、セシウム137（半減期約30年）が漏洩し、広い範囲を汚染しました。除染作業の対象元素となっています。

2) 超分子

複数の分子が相互作用により集まって、個々の分子を超える機能を発現するもの。1987年のノーベル化学賞を受賞した研究です。

3) 蛍光プローブ

蛍光を利用して特定の化学物質を検出する試薬やその方法。高感度な検出が可能で、強度を測定することで対象物質の濃度を知ることができます。

4) ポータブルガンマカメラ

東芝 | 放射線ホットスポットを可視化するポータブルガンマカメラ装置の開発について

http://www.toshiba.co.jp/about/press/2011_12/pr_j1302.htm (2011年12月13日)

5) 超広角コンプトンカメラ

JAXA | 「超広角コンプトンカメラ」による放射性物質の可視化に向けた実証試験について

http://www.jaxa.jp/press/2012/03/20120329_compton_j.html (2012年3月29日)

三菱重工 | 放射性物質を可視化する「放射性物質見える化カメラ」を開発

<http://www.mhi.co.jp/news/story/121115-1.html> (2012年11月15日)

6) フェノール誘導体

ベンゼンの置換基にヒドロキシ基（水酸基）を有するフェノール類のこと。酸や塩基を加えることで電子状態が変化し色や発光色が変化します。フェノール誘導体のフェノールフタレインは、酸塩基指示薬としてアルカリ性の検出に用いられます。

7) エチレングリコール鎖

エーテル結合が鎖のようにつながった分子。これが環状につながった分子をクラウンエーテルと呼び、その内径に応じた金属イオンを内包することが知られています。エチレングリコール鎖も、その長さに応じた大きさの金属イオンに巻き付くように内包します。

8) ニトロベンゼン

置換基にニトロ基を有するベンゼン類。ニトロ基が水素結合することで、色々な分子を相互作用します。本蛍光プローブでは、エチレングリコール鎖がセシウム内包する手助けをしています。

本件に関するお問い合わせ先

(研究内容に関すること)

独立行政法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)

主任研究者 有賀 克彦 (ありが かつひこ)

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

TEL: 029-860-4597

URL: http://www.nims.go.jp/mana/people/principal_investigator/k_ariga/index.html

独立行政法人物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA)

博士研究員 森 泰蔵 (もり たいぞう)

E-mail: MORI.Taizo@nims.go.jp

TEL: 029-851-3354 (内線 8456)

URL: <http://www.nims.go.jp/super/HP/Mori/mori.html>

(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