

## 福島第一原発近くの小学校内に高濃度放射性セシウム含有微粒子が大量残留

—福島旧避難区域への安心できる帰還に向けて—

### ポイント

- ① 福島の旧避難区域への帰還のためには、安全性に関する情報、特に建物内部におけるセシウムの分布と存在状態に関する情報をできる限り示す必要がある。
- ② 原発に最も近い、現在閉鎖されている小学校の内部には高濃度放射性セシウム含有微粒子が最大で1平米あたり2400個以上残留していることを発見。
- ③ 今後、建物内部における高濃度放射性セシウム含有微粒子の分布を把握、理解した上でより安心できる帰還につながることを期待。

### 概要

事故後12年経過し、除染等により環境中の放射能は大幅に低減してきたことから、帰還困難区域の一部解除が施行されてきています。現在残っている環境中の放射能は主に半減期が約30年のセシウム137によるもので、私たちの周辺や屋内においてその存在状態、分布を正しく知ることは、帰還をより安全なものにするために欠かせません。一方で通常は環境中に低い濃度で存在しているこの放射性セシウムが高濃度に濃集する直径数ミクロンの高濃度放射性セシウム含有微粒子(CsMP)がメルトダウンの時に大量に形成して、原発から環境中に放出されたことが分かってきました。PM2.5と同じで見えないほど小さく、局所的に高い放射能を放つことからその分布が懸念されていますが、特に屋内に流入した粒子や沈積した粒子の数は分かっておらず、その定量的計測法の開発と建物内部での存在量や分布の解明が望まれていました。

九州大学大学院理学研究院の宇都宮聡准教授および理学府修士課程の笹田和希氏(研究当時)と小宮樹氏(研究当時)らの研究グループは、スタンフォード大学、ナント大学、ヘルシンキ大学、東工大、筑波大、国立極地研と共同で、福島第一原発から南西方向に約2.8km離れた、事故後閉鎖されている小学校の建物内部を2016年に初めて調査して、独自で開発した手法を用いて廊下に残留する粉塵に含まれる高濃度放射性セシウム含有微粒子を定量することに成功しました。その結果、高濃度放射性セシウム含有微粒子が1平米から集められた粉塵中に2,400個以上含まれる場所、粉塵全体の放射能のうち約39%がその微粒子由来の場所が存在しました。一方で、建物の外では微粒子由来の放射能が全体の1.5%程度であることから、今回の結果は、事故時に放出されたセシウムの中に短い期間ですが多量の高放射性セシウム含有微粒子が含まれ、それらが建物の開閉状態によっては建物内部に流入して粉塵として残されることを示唆しています。今後は同様の手法を用いながら、帰還困難区域の建物内部にこの粒子がどの程度流入して、残留しているかを把握し、安心できる帰還につなげることが期待されます。

本研究結果は、2023年4月8日にChemosphere誌に掲載されました。

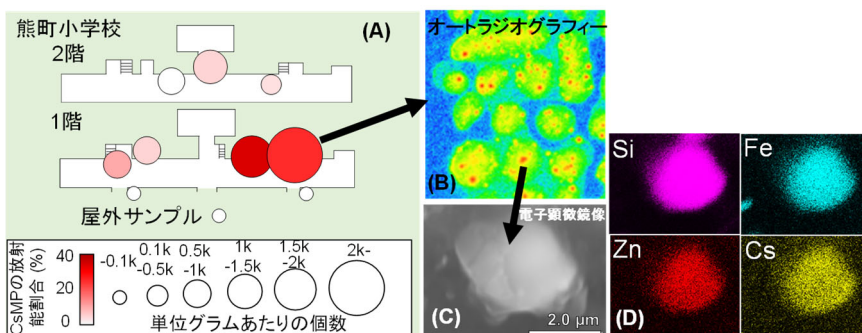


図1 (A) 熊町小学校の見取り図と高濃度放射性セシウム含有微粒子の分布。(B)床に残っていた粉塵のオートラジオグラフィ。 (C)と(D)粒子の電子顕微鏡像と元素マップ。

## 【研究の背景と経緯】

2011年3月に起きた福島第一原発事故で放出された放射性核種の中には $10^{15}$ – $10^{16}$ ベクレル(※1)程度の放射性セシウムが含まれていました。セシウム-137の半減期が約30年のため、12年経過した現在でも原発近傍の表層環境には放射能が残っている場所もありますが、除染等により放射能が低減した帰還困難区域の一部が解除されてきています。放射性セシウムは屋外だけでなく、屋内にも残っている場合があります。私たちの身の回りにおける放射性セシウムの存在状態、分布量に関する情報を得ることは、帰還をより安全なものにするために必要です。一般的にアルカリ金属であるセシウムは水に溶けやすく(水溶性)、表層土壌や粉塵粒子に薄く希釈された水溶性セシウムが吸着した状態で存在することが知られています。一方で、近年水に溶けにくく(難水溶性)、放射性セシウムが高濃度に濃集する直径数ミクロンの高濃度放射性セシウム含有微粒子(※2)が関東地方の広い範囲まで飛散したことが分かってきました。この粒子の大きさは数ミクロン程度と非常に小さく、ケイ素、鉄、亜鉛、セシウム、酸素を主成分に持ちます(図1)。セシウムの濃度は高いもので数10パーセント含まれる粒子もあり、吸引して生体内部に沈着した場合に局所的に高い放射能の影響があると考えられることから、その存在が懸念されていました。小さいサイズのために大気とともに建物内部に流入して沈着する粒子もあり、屋内における粒子の量や分布を知れば安全性の指標の一つになります。しかし、これまで屋内の粒子数に関するデータは全く報告されておらず、高濃度放射性セシウム含有微粒子の定量的計測法の開発と建物内部での存在量の解明が望まれていました。

## 【研究の内容と成果】

本研究では、福島第一原発から南西方向約2.8 kmに位置する、事故後閉鎖されている小学校の建物内部を2016年に初めて調査しました(図2)。特に一階、二階の廊下床面に残留している粉塵そして建物外の集積した粉塵と表層土壌を参照試料として採取し、分析に用いました。

本研究ではまず、以前定量オートラジオグラフィ法を基にして表層土壌中の高濃度放射性セシウム含有微粒子を定量するために開発した手法(Ikehara等2018)を、従来よりも75倍高い放射能で汚染された汚染粉塵/土壌にまで適用できるように粒径選別をより細分化しました。この改良した定量法を小学校粉塵試料に適用したところ、建物一階、二階の床に残留していた粉塵からそれぞれ一平方メートル当たり490–2480個、73–200個の高濃度放射性セシウム含有微粒子が計測されました(図1)。

また、Ikehara等(2018)で設定した高濃度放射性セシウム含有微粒子を通常の土壌から分別するしきい値よりも低いすべてのホットスポットを計数すると、より小さいサイズの高濃度放射性セシウム含有微粒子が存在する可能性も示唆されました(図3)。これらの結果から玄関のある一階の方が多く粒子が存在することと、建物東側により多くの粒子が存在していることが分かりました。また、粉塵全体の放射能に対する高濃度放射性セシウム含有微粒子の放射能の割合(粒子の放射能割合、またはRF値)を計算すると一階、二階それぞれ6.9–39%と4.5–6.6%となりました。幅広いRF値は、粒子を含む大気の流れとその後の水溶性セシウムを吸着した土壌粉塵の流入が一定の割合ではなかったことを示唆しています。一方で建物の外では粉塵、表層土壌ともにRF値が一様に1.5%程度であり、原発事故後の一連のセシウム放出過程で大量の水溶性のセシウムが均等に沈着したことを示しています。また、屋外と比較して建物内の粉塵のRF値は非常に高く、建物内部には一連の降雨による水溶性セシウムの沈着がないことから、建物内に流入した原発事故直後の大気の中に高い割合で高濃度放射性セシウム含有微粒子が含まれていたことを示唆しています。本研究の結果から、建物の開閉状態によっては高濃度放射性セシウム含有微粒子が建物内部に流入して粉塵として残されることが分かりました。

### 【今後の展開】

現在、帰還困難区域への帰還が進んでいます。屋外と屋内ともに現在の検出される汚染はセシウムの残留が原因ですが、風雨の影響をうけた屋外のセシウムとは異なり、屋内のセシウムは高濃度放射性セシウム含有微粒子が高い割合で残留している場所があります。今後は本研究と同様の手法を用いながら、複数の建物内部にこの粒子がどの程度流入しているか検証して、その存在を認識し、適切に対処することで安全性の向上につながると期待されます。

### 【図表】



図2 2016年の調査時における熊町小学校内部の様子と調査の状況 (A) 地震発生時の教室がそのまま残されている。(B) 地震発生時に本が散乱したまま残された図書室。(C) 回廊の粉塵採取作業の様子。

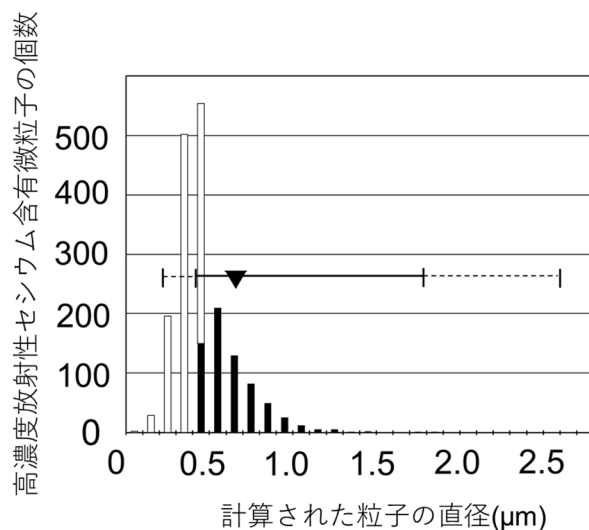


図3 小学校1階の玄関前で採取された粉塵約0.5gに含まれていた高濃度放射性セシウム含有微粒子のサイズに依存した存在量。密度と単位質量あたりの放射能を測定値と同じ程度と仮定して計算した粒子の直径を横軸にとっている。黒い棒グラフは改良された粒子定量法から求められた粒子の分布。白い棒グラフはIkehara等(2018)で設定した高濃度放射性セシウム含有微粒子のしきい値より小さいすべてのホットスポットを数え上げた場合まで拡張された粒子の分布図。逆三角▼印はIkehara等のしきい値で確定された高濃度放射性セシウム含有微粒子の平均サイズで、実線は計算された粒径範囲を表し、点線は実測された単位質量あたりの放射能の最大値と最小値をもとに計算された粒径範囲。

### 【用語解説】

(※1) ベクレル (Bq)

放射能の単位。一秒間に崩壊する原子核の数。

(※2) 高濃度放射性セシウム含有微粒子 (Cesium-rich microparticle, CsMP)

ケイ素、鉄、亜鉛、セシウム、酸素を主成分にもつ直径がサブミクロンから数ミクロン程度の微粒子。放射能は1ベクレル未満から数十ベクレル以上になるものもある。放射性のセシウム134とセシウム137の放射能比がおよそ1となり、原発内部のセシウムの放射能比と一致する。

### 【謝辞】

本研究は JSPS 二国間交流研究、放射能環境動態・影響評価ネットワーク共同研究拠点 (ERAN) F22-20 の助成を受けたものです。

### 【論文情報】

掲載誌：Chemosphere

タイトル：Occurrence of radioactive cesium-rich micro-particles (CsMPs) in a school building located 2.8 km south-west of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant.

著者名：Kazuki Fueda; Tatsuki Komiya; Kenta Minomo; Kenji Horie; Mami Takehara; Shinya Yamasaki; Hiroyuki Shiotsu; Toshihiko Ohnuki; Bernd Grambow; Gareth T. W. Law; Rodney C. Ewing; Satoshi Utsunomiya

D O I : 10.1016/j.chemosphere.2023.138566

50 日間無料リンク <https://authors.elsevier.com/a/1gtYcAOMA1OjA>

### 【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院 理学研究院 准教授 宇都宮 聡 (ウツノミヤ サトシ)

TEL : 092-802-4168 FAX : 092-802-4168

Mail : utsunomiya.satoshi.998@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL : 092-802-2130 FAX : 092-802-2139

Mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp