

令和 5 年 9 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01145

研究課題名（和文）放射性セシウム担体物質の諸特性に基づくその定量法の開発と汚染土壌等への適用

研究課題名（英文）Development of quantification methods of radiocesium-bearing materials by their properties and application to contaminated soils

研究代表者

小暮 敏博 (Kogure, Toshihiro)

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・教授

研究者番号：50282728

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 27,900,000円

研究成果の概要（和文）：福島原発事故で放出された放射性セシウム(RCs)の環境中での存在形態には、土壌中の層状珪酸塩鉱物などに吸着・固定したもの(CsSM)と原子炉から直接飛散した珪酸塩ガラス微粒子に溶け込んだもの(CsMP)の2つがあることがわかっている。この2つ存在比やその地域依存性を推定する方法を確立することを本研究の主な目的とした。適当な条件での酸処理によってCsSMからはRCsがほぼ溶出する一方で、同じ処理ではCsMPはあまり溶解せずRCsはほとんど溶出しないことを明らかになった。この手法により、農業用不織布や汚染土壌中のCsSMとCsMPの存在比やその土壌深さ依存性を見積もることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

福島原発事故が発生してから既に12年が経過したが、周囲の一部地域の空間線量は依然高く、その主因は土壌中に存在するRCsが発するガンマ線である。そこで異なる2種類のRCsの存在形態の比を定量的に見積もるための信頼性のある手法を提案した本研究の社会的意義は非常に大きく、今後の汚染地域におけるRCsの動態や効率的な除染法の確立に貢献するものである。また最表層付近の放射能へのCsMPの寄与が地域によっては半分近くなるが数cm下ではそれが大きく減少するなど、これまで積み上げられた原発汚染の実態解明のための学術的研究に大きなインパクトを与える成果と言える。

研究成果の概要（英文）：Radioactive cesium (RCs) released by the Fukushima nuclear power plant accident exists in the environment mainly with two forms: cesium adsorbed and fixed mainly on phyllosilicate minerals in soil (CsSM), and that dissolved in micro-particles of silicate glass scattered directly from the broken reactors (CsMP). The purpose of this study was to establish a method for estimating the abundance ratio of these two forms and their regional dependence, to discuss dynamics of radiation and decontamination in the future. It was elucidated that RCs was completely released from CsSM by acid treatment under an appropriate condition, while RCs from CsMP was hardly eluted because CsMP was not so soluble by the same treatment. Using this method, the abundance ratio of CsSM and CsMP in contaminated non-woven fabric and soils from Fukushima-Prefecture and its soil depth dependence could be estimated.

研究分野：鉱物学、物質科学、電子顕微鏡

キーワード：福島原発事故 放射性セシウム 放射性ガラス微粒子 土壌鉱物 層状珪酸塩鉱物 酸処理 溶出率

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年の福島第一原子力発電所事故による周辺地域への放射性セシウム (Radioactive cesium: RCs) の拡散・沈着により、帰宅困難地域や山林での依然高い空間線量、大量に発生した除染廃棄物、RCsの農産物への移行や汚染物質の再飛散の懸念など、現在でも多くの問題が残されている。その解決のためには、環境中のRCsの存在形態やその動態の詳細を明らかにする必要がある。もちろんこのRCsの存在形態については、これまでも国内のいくつかの研究グループによって精力的に調べられてきた。例えば土壌中でのRCsは、過去の研究例や放射能分布の経時変化などから、土壌中の鉱物(土壌鉱物)に強く吸着・固定していると考えられていたが、我々のグループはオートラジオグラフィと電子顕微鏡などのミクロスコピックな手法を組み合わせ、福島県東部の地質である花崗岩類の風化土壌(マサ土)に豊富に存在する風化黒雲母(鉱物学的には黒雲母-パーミキュライト混合層鉱物と呼ぶべきもの)などの層状珪酸塩鉱物(今後これをCs-sorbing mineral: CsSMと略記する)が主要なRCsの担持物質であることを、実汚染土壌の分析(Mukai et al., 2014)と室内実験(Mukai et al., 2016)で明らかにした。さらにこのような風化黒雲母に固定されたRCsは、通常のイオン交換プロセスではほとんど溶脱せず、環境負荷の小さいような化学的手法ではその除去が難しい一方で、放射性Csは土壌中で“安定”に固定されていることが示された(Mukai et al., 2018)。他方、CsSMに吸着・固定されたRCs以外に、破損した原子炉から直接飛散した、高密度にRCsを含む珪酸塩ガラス微粒子(いわゆるセシウムボール、ここではCs-bearing microparticle: CsMPと略記)が広範囲に飛散したことが明らかとなった(例えばAdachi et al., 2013、Yamaguchi et al., 2016)。

このような状況の中、放射能汚染の詳細な理解とその解決を確実に進めていくためには、この2種類(あるいはそれ以外の)のRCs担持物質がどの程度の割合で環境中に存在するのか、そしてその割合の地域依存性などを定量的に解明することが今日求められていると言える。しかしこれまで我々が行ってきたようなオートラジオグラフィとミクロスコピックな分析を組み合わせた手法では、定量的な評価にはあまりに多大な労力と時間を必要とする。そして、このため汚染試料中の各RCs担持物質の存在割合の推定は、これまでほとんどなされていなかったと言ってよい。

2. 研究の目的

上述のような背景の中、本研究の目的は我々がこれまで精力的に進めてきたCsSMやCsMPの構造や諸特性(特に様々な条件によるCs脱離特性)の研究を基にして、汚染された各種試料中にこれらのRCs担持物質がどの程度の割合で含まれているかを定量的に解析する手法を確立し、福島県を中心とする放射能汚染の実態を詳細かつ正確に理解することでその解決に貢献することである。特に福島県地方の放射能汚染物質の主体を占める汚染土壌に適用できる手法の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究では福島県での汚染試料の採集、実験室での様々な汚染試料の前処理(分級、粉碎、混合)、試料の電気炉による過熱や酸による溶解実験、さらにゲルマニウム半導体検出器による試料や溶液のガンマ線強度測定やイメージングプレート(IP)を用いたオートラジオグラフィなどの手法を用いた。

4. 研究成果

(1) 汚染試料中RCs担持物質の定量手法の選択

上述のように本研究の主な目的は、汚染試料中の RCs 担持物質の種類とその割合を定量的に評価できる手法を探索することである。オートラジオグラフィと電顕等のミクロスコピックな手法を組み合わせたこれまでの手法(例えば Mukai et al., 2014)では個々の放射性粒子の特定と判別はできるが、定量的な見積もりは期待できない。そのため今回はマクロスコピックな評価手法を用いることでこの目的を達成することを考えていく。汚染物質から単離した CsSM や CsMP からどのように RCs が放出されるかを調べた我々のこれまでの結果から、今回の目的には、研究開始時には以下の2つの方法が考えられた。

熱プロセスによる RCs 脱離特性の違い：我々は以前に汚染物質や除染廃棄物が様々な焼却施設に持ち込まれた場合、そこに含まれる CsMP や CsSM が加熱によりどのような変化を起こすかを調べた(Okumura et al., 2018)。その結果、大気中での 900-1000°C の加熱により、CsMP 中の RCs は珪酸塩ガラス中での拡散によってほぼ大気中に放出されることがわかった。一方 CsSM 等を含む土壌ではその程度の加熱では放射能の減少が起きないという報告があり、これよりこの程度の温度での加熱による放射能の減少を CsMP の割合とみなせると考えた。しかしながらその後の実験で、CsMP 単体ではそこからの RCs は消失するが、CsMP を土壌に含有させて加熱した場合は、土壌全体の放射能は減少しないことが明らかとなった。これは CsMP から放出された RCs が周囲の土壌鉱物に再吸着されたと解釈したが、これより熱処理では土壌中などの CsSM と CsMP の判別はできないと判断した。

酸処理による RCs 脱離特性の違い：CsSM と CsMP では RCs の担持の様相が大きく異なる。CsSM では RCs はあくまでもその表面や表面近傍の珪酸塩層の層間に吸着あるいは固定されている。よって適当な溶解液で鉱物表面の原子数層を溶解させれば、RCs は脱離する筈である。これに対して CsMP ではその主体の珪酸塩ガラス中の固溶成分として RCs は存在しており、その溶出にはガラス微粒子全体の溶解が必要である。またこの2つの物質の溶解速度の溶液 pH 依存性も大きく異なる。一般に黒雲母等は低い pH (強酸性) でその溶解速度が非常に大きくなる。一方、SiO₂ 成分の多い CsMP は強アルカリではよく溶けるが、中性以下の pH での溶解速度は高くない。これより pH の低い酸で溶解させれば CsSM は表面原子の溶解により容易に RCs を放出する一方で、CsMP はたとえその表面が若干溶解しても微粒子が残る限り RCs の溶出はそれほど大きくないはずである。このような推察を元に、濃度の異なる温塩酸(90%)で24時間溶解させた場合の CsSM と CsMP の放射能変化を調べた所、明らかに CsSM は 0.1M 程度の温塩酸への浸漬でその放射能を完全に失うのに対して、CsMP は数%の放射能の低下に留まっていた(Okumura et al., 2020)。そこで本研究では、この温酸処理によって、汚染試料中の CsMP と CsSM の存在比を見積もることにした。

(2) 農業用不織布への適用

酸処理による RCs 担持物質の定量化の応用として、まず原発事故時に福島県の畑地で使用されていた農業用不織布における RCs の存在形態を調べた。いくつかの濃度の温塩酸による処理において、浸漬時間と不織布がもつ放射能の関係を図1に示す。その放射能は浸漬から24時間後に大きく減るが、その後の減少は非常に緩やかとなる。我々はこの浸漬初期の放射能減少量が CsSM に担持された RCs であり、残りが CsMP に含まれる RCs と推定した。そして各浸漬時間後の不織布の IP オートラジオグラフィにより、24時間の浸漬でも CsMP 由来と考えられる輝点のほとんどが残っていることから

この推定は正しいと判断した。これらの結果より、この農業用不織布では、その放射能の3-4割がCsSM由来であり、残りがCsMP由来であると見積もられた(Okumura et al., 2020)。また同様な分析は例えば植物組織やハウスダストなどにも応用可能であることを示した。

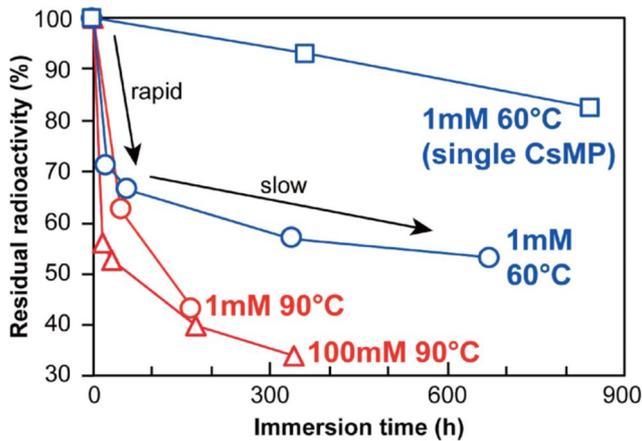


図1. CsMPと農業用不織布の温塩酸への浸漬による放射能変化の時間依存性。農業用不織布の放射能は浸漬初期に大きく減少するが、その後CsMPと同様な減少の時間依存性を示す。

(3) 福島県の高濃度汚染土壌中のRCs担体物質の推定

上記のように温塩酸によるRCsの溶出率はCsSMとCsMPでは大きく異なり、これにより農業用不織布に付着したRCs担持物質の定量が可能であることがわかった。しかしながら、本研究の主目的の汚染土壌に関しては、この手法が単純に適用できないことが、その後明らかになった。その原因を箇条書きにすると以下のようなことになる。

土壌に温塩酸処理を施した場合、CsSM以外の大量の鉱物も同時に溶解し、このために溶液はすぐにシリカに対して飽和状態になる可能性がある。これによりCsSMの表面近傍が十分に溶解しないか、あるいは温度を下げたときなどに起こる非晶質シリカ等の沈殿物にRCsが再吸着するような現象が起こり、その結果溶出率が低く出てしまう。これを避けるためには、土壌と塩酸溶液の固液比を十分大きくしなくてはならない。実験の結果、この問題を避けるための固液比は200(mL/g)以上必要であることが明らかになった。

一方、実験室での溶解実験でこのような大きな固液比を実現するには、土壌試料を少量にするか、大量の温塩酸を使用する必要がある。後者は実験の効率性や安全性の観点から望ましくない。一方土壌試料を少量にすることは、そのような少量の放射線測定で試料全体の放射能を測定しているかという問題が出てくる。特に一粒子あたりの放射能が数Bqに達するCsMPの存在のために、少量の試料では放射線量のバラツキが大きくなってしまったことがわかった。



図 土壌試料中の鉱物粒子の放射能密度: R_p/W_p
 土壌試料中のCsMPの放射能密度: $R_t/W_t - R_p/W_p$
 図を見積もるために提案された分析手順

この問題を解決するために考案した汚染土壌試料のための測定手順を図2に示す。ここで重要な事は、i) 対象となるそれなりの土壌試料を十分に混合・粉碎し、CsSMに関しては少量の分取でも十分分散がない処理を行ない(これを母試料と呼ぶ)、ii) この母試料から少量を分取して十分な固液比(ここでは300 mL/g)で温塩酸による溶解抽出を行なうが、ここで溶出率の計算における分母は母試料の放射能密度(Bq/g)を用いる。これによる求まる溶出率は

ほぼ CsSM からだけのものと考え、これと母試料の放射能密度との差を母試料中の CsMP の放射能密度とみなす。

この手順に従い、福島県の帰宅困難地域内の 3 つの地域から採取した約 30 cm の土壌コアを 1.5 cm の深さで区分し、そこからの温塩酸による RCs の溶出率を測定した。その結果を下の図（図 3）に示す。2 カ所の森林表土では、深さとともに放射能密度は急激に減少し、これは従来の報告と一致するが、その温塩酸による溶出率は、深さとともに明らかに増大している。特に最表層では半分以下の溶出率となっている一方で、深いところではほぼ 100% の溶出率となっている。これが鉱物粒子に吸着・固定した RCs（CsSM）とすれば、残りが CsMP からの放射能の割合と判断できる。つまり、この森林の最表層では、その放射能の半分近くが CsMP からのものである一方、5-6 cm 下では CsMP はほとんど存在しないことになる。一方もうひとつの牧草地からの土壌では、やはり深さとともに急激に放射能密度は減少するが、どの深さでもその溶出率は 80% 近い値となった。つまりこの地域では RCs の多くは表面でも CsSM であると判断できる。またこのような 3 カ所の土壌の CsMP の存在量の違いは、定性的には土壌に密着させて感光させた IP 上の強い輝点の密度によっても確認することができた。

このように実際の汚染土壌試料中の RCs の存在形態の割合（CsSM と CsMP の比）を見積もった結果は、福島原発事故の発生依頼初めての成果と言える。一方汚染土壌を IP 上に分散させ、適当な閾値より強い輝点を CsMP と判断する手法も提案されているが（Ikehara et al., 2018）その閾値の設定に明確な根拠がなく、あくまでも相対的な比較と言える。また今回の結果で、福島県地方のある高汚染地域の土壌の表層部分の半分近くの RCs あるいは放射能が CsMP 由来であるというのは非常に重要な結果であり、今後のこの地方の汚染の拡散、生態系への影響、除染プロセスなどにおける貴重な情報である。今後今回開発された手法を用いて、様々な地域の汚染土壌の分析が行なわれ、福島県地方の汚染の詳細がさらに明らかになることが望まれる。

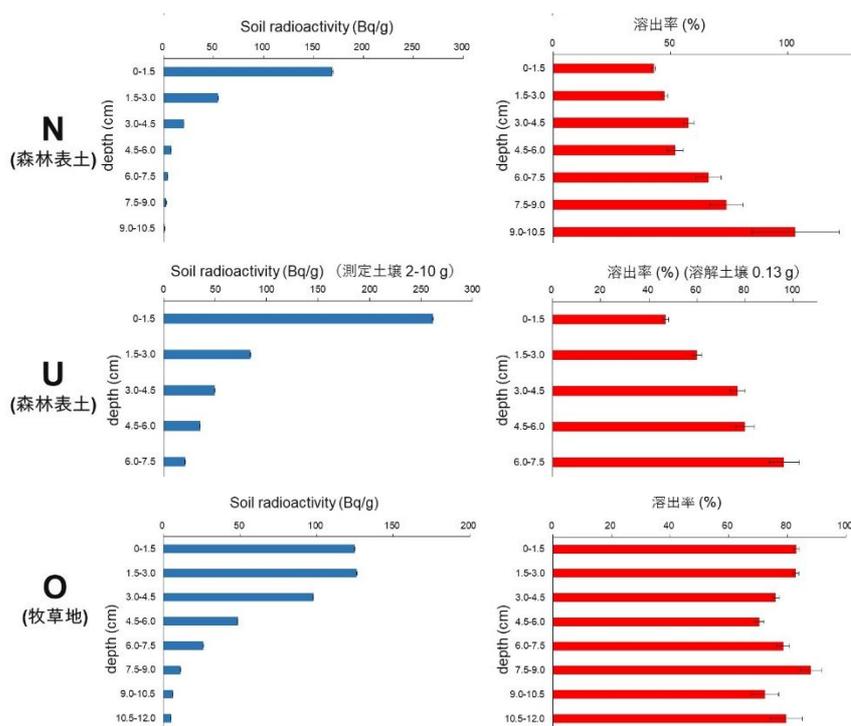


図 3 . 帰宅困難地域内の 3 カ所から採取された土壌コアの放射能密度の深さ分布（左）と、各深さの土壌からの温塩酸による溶出率の違い（右）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Okumura Taiga, Yamaguchi Noriko, Kogure Toshihiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Dissolution behavior of radiocesium-bearing microparticles as a function of solution compositions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4307
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-31519-6	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 -
1. 著者名 K. Tamura, H. Yamashita, T. Kogure, M. Morita, A. Yamagishi, H. Sato	4. 巻 25
2. 論文標題 Removal of cesium ions from radioactively contaminated soils using microwave treatment.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Clay Science	6. 最初と最後の頁 7-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11362/jcssjclayscience.MS-21-2	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 -
1. 著者名 Sakuma Hiroshi, Kawai Kenji, Kogure Toshihiro	4. 巻 105
2. 論文標題 Interlayer energy of pyrophyllite: Implications for macroscopic friction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1204 ~ 1211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2020-7333	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kogure Toshihiro	4. 巻 55
2. 論文標題 Visualization of clay minerals at the atomic scale	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Clay Minerals	6. 最初と最後の頁 203 ~ 218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1180/clm.2020.27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okumura Taiga, Yamaguchi Noriko, Kogure Toshihiro	4. 巻 49
2. 論文標題 Distinction between Radiocesium (RCs)-bearing Microparticles and RCs-sorbing Minerals Derived from the Fukushima Nuclear Accident Using Acid Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1294 ~ 1297
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200374	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 -

1. 著者名 Miura Hikaru, Ishimaru Takashi, Ito Yukari, Kurihara Yuichi, Otsuka Shigeyoshi, Sakaguchi Aya, Misumi Kazuhiro, Tsumune Daisuke, Kubo Atsushi, Higaki Shogo, Kanda Jota, Takahashi Yoshio	4. 巻 11
2. 論文標題 First isolation and analysis of caesium-bearing microparticles from marine samples in the Pacific coastal area near Fukushima Prefecture	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5664
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-85085-w	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 -

1. 著者名 Kurihara Yuichi, Takahata Naoto, Yokoyama Takaomi D., Miura Hikaru, Kon Yoshiaki, Takagi Tetsuichi, Higaki Shogo, Yamaguchi Noriko, Sano Yuji, Takahashi Yoshio	4. 巻 10
2. 論文標題 Isotopic ratios of uranium and caesium in spherical radioactive caesium-bearing microparticles derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-59933-0	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 -

1. 著者名 Miura Hikaru, Kurihara Yuichi, Yamamoto Masayoshi, Sakaguchi Aya, Yamaguchi Noriko, Sekizawa Oki, Nitta Kiyofumi, Higaki Shogo, Tsumune Daisuke, Itai Takaaki, Takahashi Yoshio	4. 巻 10
2. 論文標題 Characterization of two types of cesium-bearing microparticles emitted from the Fukushima accident via multiple synchrotron radiation analyses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-68318-2	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 -

1. 著者名 Igarashi Yasuhito, Kogure Toshihiro, Kurihara Yuichi, Miura Hikaru, Okumura Taiga, Satou Yukihiko, Takahashi Yoshio, Yamaguchi Noriko	4. 巻 205-206
2. 論文標題 A review of Cs-bearing microparticles in the environment emitted by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Radioactivity	6. 最初と最後の頁 101 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jenvrad.2019.04.011	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 -

1. 著者名 Okumura Taiga, Yamaguchi Noriko, Kogure Toshihiro	4. 巻 48
2. 論文標題 Finding Radiocesium-bearing Microparticles More Minute than Previously Reported, Emitted by the Fukushima Nuclear Accident	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1336 ~ 1338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190581	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 -

1. 著者名 Kurihara Yuichi, Takahata Naoto, Yokoyama Takaomi D., Miura Hikaru, Kon Yoshiaki, Takagi Tetsuichi, Higaki Shogo, Yamaguchi Noriko, Sano Yuji, Takahashi Yoshio	4. 巻 10
2. 論文標題 Isotopic ratios of uranium and caesium in spherical radioactive caesium-bearing microparticles derived from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-59933-0	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 -

1. 著者名 Okumura Taiga, Yamaguchi Noriko, Suga Hiroki, Takahashi Yoshio, Segawa Hiroyo, Kogure Toshihiro	4. 巻 10
2. 論文標題 Reactor environment during the Fukushima nuclear accident inferred from radiocaesium-bearing microparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-58464-y	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26件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 小暮敏博, 山口紀子, 高久侑己, 向井広樹, 奥村大河
2. 発表標題 土壤中放射性セシウムの深度分布における放射性微粒子の寄与の推定
3. 学会等名 日本放射化学会 第66回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河野 竜輝, 井上 紗綾子, 佐久間 博, 端 健二郎, 渡邊 雄二郎, 小暮 敏博, 田村 堅志
2. 発表標題 汚染土壌におけるセシウム吸着安定化機構の考察
3. 学会等名 環境放射能除染学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村大河, 山口紀子, 小暮敏博
2. 発表標題 汚染土壌中の放射性ガラス微粒子 (CsMP) インベントリ推定法の開発
3. 学会等名 第10回環境放射能除染学会 (Zoom) (Oral P.)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小暮敏博, 山口紀子, 奥村大河
2. 発表標題 酸、アルカリ処理による汚染物質中の放射生セシウムの存在形態の定量化
3. 学会等名 第64回粘土科学討論会 (信州大学・オンライン). (Oral P.)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 海老澤駿, 小暮敏博
2. 発表標題 福島県東部に分布する粘土鉱物の種類とその起源
3. 学会等名 第64回粘土科学討論会 (信州大学・オンライン). (Poster P.)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村大河, 山口紀子, 小暮敏博
2. 発表標題 福島原発事故に由来する放射性セシウム担体物質の新しい判別法
3. 学会等名 日本原子力学会 2020年秋の大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Inoue, S., K. Tamura, K. Midorikawa, T. Kogure
2. 発表標題 literplayer Structure in K-Al Exchanged Phillogopite
3. 学会等名 The 4th Asian Clay Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kogure, T., T. Okumura, D. Beaufort
2. 発表標題 Vermicular Illite-Kaolinite Intergrowth Diagenetically Formed in a Sandstone Reservoir
3. 学会等名 The 4th Asian Clay Conference 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下山 巖、馬場祐治
2. 発表標題 粘土鉱物の相変態誘起を介したCs除去に関するアルカリ塩化物の反応促進効果
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会・放射光科学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村大河、菅大暉、高橋嘉夫、小暮敏博
2. 発表標題 福島原発事故により放出された放射性微粒子に含まれるFeの価数および軽元素の有無
3. 学会等名 日本地球化学会 第66回年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦 輝、栗原雄一、山本政儀、坂口 綾、桧垣正吾、高橋嘉夫
2. 発表標題 放射光X線を用いた福島第一原子力発電所1号機由来の不溶性Cs粒子中のU-Zr粒子の発見
3. 学会等名 日本地球科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshio Takahashi
2. 発表標題 MIGRATION OF RADIOCESIUM AND RADIOIODINE IN THE ENVIRONMENT EMITTED DURING FUKUSHIMA DAI-ICHI
3. 学会等名 Migration2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池亮祐、小暮敏博
2. 発表標題 風化黒雲母にみられる混合層鉱物を含む虹鉱物の定量的評価と微細構造観察：XRDシミュレーションとFIB-TEMの活用
3. 学会等名 第63回粘土科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥村大河、山口紀子、菅大暉、高橋嘉夫、小暮敏博
2. 発表標題 放射性Cs含有微粒子から推測される福島原発事故発生時の2号機の炉内環境
3. 学会等名 日本原子力学会 2019年秋の大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Miura, H, Y. Kurihara, M. Yamamoto, A. Sakaguchi, N. Yamaguchi, S. Higaki, Y. Takahashi
2. 発表標題 Comparison of Radiocesium-Bearing Microparticles of Different Shape and Elemental Distribution by Multiple Synchrotron
3. 学会等名 Goldschmidt2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Okumura, T., T. Hara, and T. Kogure
2. 発表標題 Analysis of Radioactive Microparticles Emitted from the Fukushima Nuclear Plant by Using Advanced STEM Techniques
3. 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2019 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 緑川 慶, 田村 堅志, 端 健二郎, 渡邊 雄二郎, 佐久間 博, 出口 健三
2. 発表標題 変質黒雲母のセシウム吸着特性と吸着サイトの固体NMR解析
3. 学会等名 環境放射能除染学会 第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kikuchi, R., and T. Kogure
2. 発表標題 Nanosopic structures and chemistry of mixed layer biotite vermiculite in the weathering profile in Abukuma granitic rocks in the eastern part of Fukushima, Japan
3. 学会等名 2019EUROCLAY International conference on clay science and technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kogure, T.
2. 発表標題 Visualization of Clays at the Atomic Scale
3. 学会等名 2019EUROCLAY International conference on clay science and technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦 輝, 栗原雄一, 山本政儀, 坂口 綾, 田中万也, 桧垣正吾, 高橋嘉夫
2. 発表標題 放射光X線を用いた福島第一原子力発電所1号機由来の不溶性セシウム粒
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会 JPGU2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥村大河、山口紀子、土肥輝美、藤原健壯、飯島和毅、小暮敏博
2. 発表標題 福島原発事故により発生した放射性微粒子の環境動態：加熱および溶解特性について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 奥村大河、小暮敏博、山口紀子、土肥輝美、藤原健壯、飯島和毅
2. 発表標題 原発事故由来放射性ガラス微粒子の様々な溶液中での溶解挙動
3. 学会等名 第20回「環境放射能」研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉田 剛、下山 巖
2. 発表標題 セシウムフリー鉱化法によるCs汚染鉱物の光触媒材料への変換と環境浄化への再生利用
3. 学会等名 環境放射能除染学会第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下山 巖
2. 発表標題 セシウムフリー鉱化法を用いた土壌除染における硝酸塩添加剤の効果
3. 学会等名 環境放射能除染学会第8回研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimoyama, I.
2. 発表標題 Soil decontamination by cesium-free mineralization with CaCl ₂ ; Effect of chlorine on phase transformation of a clay mineral
3. 学会等名 17th International Conference on the Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimoyama, I, Y. Baba
2. 発表標題 Importance of halogen for soil decontamination using cesium-free mineralization; A Role of chlorine on phase transformation
3. 学会等名 17th International Conference on the Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere (Migration 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019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	高橋 嘉夫 (Takahashi Yoshio) (10304396)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授 (12601)	
研究分担者	山口 紀子 (Yamaguchi Noriko) (80345090)	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・グループ長補佐 (82111)	
研究分担者	田村 堅志 (Tamura Kenji) (80370310)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・グループリーダー (82108)	

6. 研究組織（つづき）

	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	下山 巖 (Shimoyama Iwao) (10425572)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 先端基礎研究センター・研究主幹 (82110)	削除、2022年3月31日

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関