

2024年3月19日

報道関係者各位

慶應義塾大学先端生命科学研究所

高放射線環境の水中に生息する微生物群を明らかに

慶應義塾大学先端生命科学研究所に所属する藁科友朗（慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科博士課程2年）と金井昭夫教授（同大学院 政策・メディア研究科 教授を兼任）らの研究グループは、日本原子力研究開発機構などとの共同研究により、廃炉過程にある福島第一原子力発電所原子炉建屋内に生息する微生物群¹⁾を明らかにしたと発表しました。

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波により、福島第一原子力発電所の事故が引き起こされ、同原子力発電所は廃炉に向けた取り組みが進められています。今回、2号機原子炉建屋トーラス室²⁾に滞留した高い放射線物質（ 1×10^9 Bq¹³⁷Cs/L）を含むトーラス室水を例に取り、細菌の種類を判別できる16S rRNAの配列の塩基配列を解読することで、同環境に生息する細菌の種類と割合を網羅的に明らかにすることができました。その結果、トーラス室水は近隣の海などに比べて細菌の多様性は低いものの、わずかながらも限定された細菌が生息する環境であることが明らかとなりました。また、放射線に強い耐性を有するような細菌は見出されませんでした。これらの細菌の群集としての特徴は、ダメージを受けた原子炉を含め原子力施設の解体を考える上での安全管理や廃棄物処理の効率化への活用が期待されます。

本研究は文部科学省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業 国際協力型廃炉研究プログラム」の中で行われ、慶應義塾大学、日本原子力研究開発機構、理化学研究所、国立遺伝学研究所、カザン大学（ロシア）、東京工業大学、東洋大学、順天堂大学との共同研究になります。また、本成果は、米国微生物学会が発行する専門誌「Applied and Environmental Microbiology」に2024年3月12日にオンラインにて発表されました。

【本研究成果のポイント】

- 廃炉過程にある福島第一原子力発電所 2号機原子炉トーラス室に滞留したトーラス室水に生息する細菌の種類と割合を明らかにした。
- トーラス室水に生息する細菌の多様性は近隣の海のそれなどに比べて極めて低く、限定された細菌によって構成されることが明らかになった。
- 同定された細菌の群集としての特徴は、ダメージを受けた原子炉のみならず原子力施設の解体を考える上での安全管理や廃棄物処理の効率化への活用が期待される。

1. 【研究の背景】

2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波により、福島第一原子力発電所の事故が引き起こされ、同原子力発電所は廃炉に向けた取り組みが進められているところです。米国スリーマイル島の原子力発電所事故後においては、照明を受けた汚染水中で藻類が繁殖する例が報告されており、微生物が廃炉の妨げとなることが知られていました。一方で、事故を受けた福島第一原子力発電所に生息する微生物の生態系を解明する研究は極めて限られています。本研究では、このような研究の先駆けとして、2号機原子炉トーラス室に滞留した高い放射線物質を含むトーラス室水を例に取り、その微生物群集を明らかにする目的で立案されました。

2. 【研究成果の概要】

本研究では、事故当時から滞留していた高い放射能を有するトーラス室水 (1×10^9 Bq¹³⁷Cs/L) に生息する細菌群集について解析を行いました。まず、東京電力の協力を得て取得したトーラス室水から細菌に由来すると考えられる極めて微量なDNAを調製しました。このDNAから全ての細菌に存在すると考えられる16S rRNAの配列をPCR法³⁾にて増幅し、その塩基配列を、ナノポアシーケンサー (MinION)⁴⁾を用いることで決定することができました。さらに、16S rRNAの配列は細菌の種類によって少しずつ異なることを利用して、トーラス室水に生息する細菌の種類と割合を明らかにすることができました。

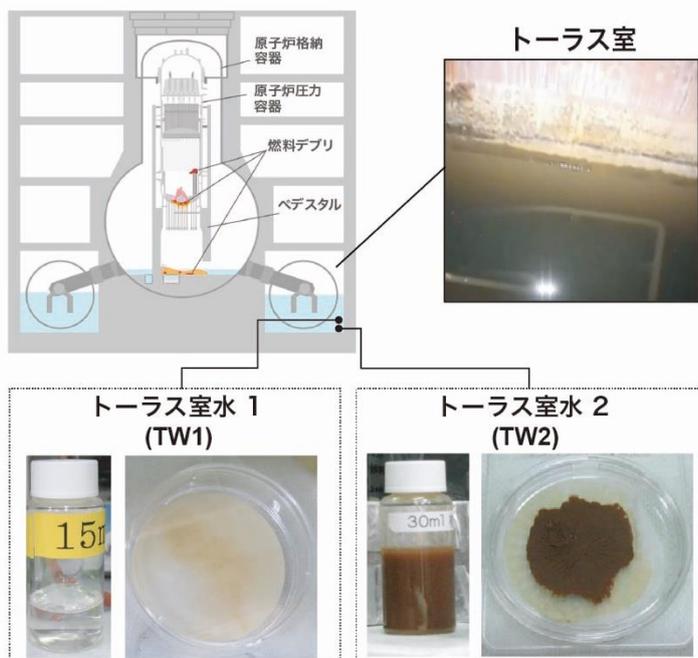


図1. 福島第一原子力発電所2号機トーラス室から得られたトーラス室水の概要

福島第一原子力発電所2号機の断面図およびトーラス室内の写真(上)、実験に用いたトーラス室水(バイアル瓶にて保存)と同水を濾過したフィルターの写真(下)。トーラス室水は、底から30cm - 1m程度の場所(TW1)と最下層部(TW2)から採取されました。

トーラス室水から得られた細菌の配列データを、公共のデータベースに登録された細菌データと参照することで以下の知見が得られました。まず、トーラス室水の細菌群集は周囲の海や土壌の環境と比較して多様性が低く、細菌群集の構造も大きく異なりました。細菌群を構成する主なバクテリアは、チオ硫酸塩酸化細菌である *Limnobacter* (リムノバクター) 属とマンガン酸化細菌である *Brevirhabdus* (ブレビラブドゥス) 属であることがわかりました。

これらの結果は、トーラス室が特殊な環境であり、そこに適した細菌が生息していることを示唆しています。また、ここで同定された多くのバクテリアは、通常、海洋環境やバイオフィルム⁵⁾環境で見られる細菌属であり、放射線耐性として広く知られる細菌の存在は確認されませんでした。この理由

として、トーラス室中の電離放射線量は、多くの細菌の増殖を直ちに阻害するほどの線量ではない可能性が考えられました。しかしながら、一部の細菌属はフランスやブラジルなどの核関連施設で見られる細菌と共通していることが確認されており、今後更なる解析が必要であると考えています。

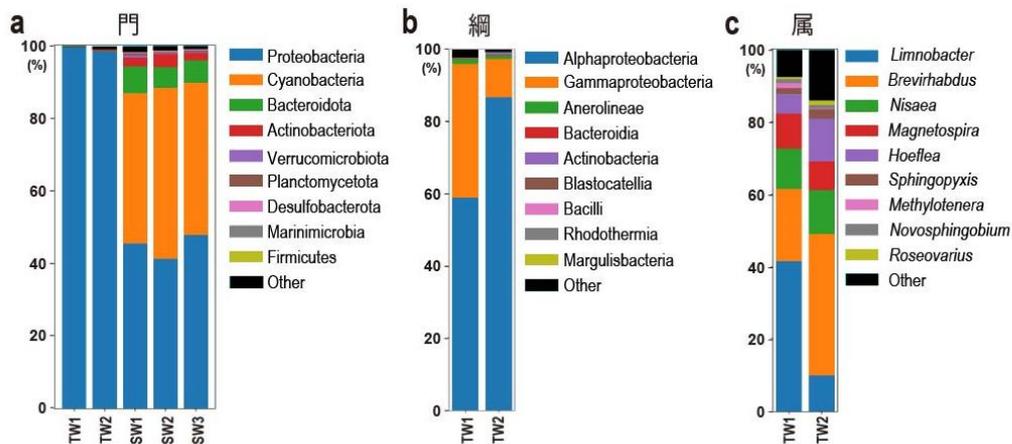


図 2. トーラス室 (TW1 および TW2) から同定された細菌群集の各分類レベル (門・綱・属)⁶⁾ における群集構造 (細菌の種類と割合)

門レベルでは TW1 および TW2 とともにプロテオバクテリア門のみからその細菌群集が構成されていて、福島近隣の海水中の細菌群集 (SW1-SW3) に比べて多様性が低いことがわかります。属レベルまで解像度を上げると、この門に属する細菌はチオ硫酸塩酸化細菌である *Limnobacter* (リムノバクター) 属とマンガン酸化細菌である *Brevirhabdus* (ブレビラドゥス) 属であることがわかります。

3. 【今後の展望】

本研究成果は、放射性物質に曝露された環境における微生物群集の具体的な属を明らかにすること、および滞留水や処理水中の細菌の特性についての理解を進めるものです。原子力施設を廃止するための解体などにおける安全管理や廃棄物処理の効率化のために、生物環境の影響評価に対する貢献が期待されます。

【特記事項】

本研究は、文部科学省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成事業 国際協力型廃炉研究プログラム (廃炉加速化研究プログラム・研究代表者：金井昭夫)」で実施されました。

【用語解説】

- 1) **微生物群**：土壌、海水、ヒトの腸内など特定の環境に生息する微生物の集団。これらの微生物群は、その環境における生態系のバランスやホストの健康に重要な役割を果たしています。本研究では、細菌に着目して解析を行なっています。
- 2) **トーラス室**：事故時に原子炉や格納容器内の圧力の上昇を抑制するサプレッションチェンバを収納している部屋です。通常は水が滞留する場所ではないのですが、本研究のサンプル採取当時は、建屋に流入した海水や淡水が混合、滞留していました (図 1 を参照)。
- 3) **PCR 法**：Polymerase Chain Reaction (ポリメラーゼ連鎖反応) は、特定の DNA 断片を選択的に大量に増幅するための手法です。この方法は、非常に少量の DNA から特定の DNA 領域を数百万～数十億倍に増幅することができるため、分子生物学、遺伝学、生物医学研究、法医学、病原体の検出など、多岐にわたる分野で非常に重要なツールとなっています。
- 4) **ナノポアシーケンサー (MinION)**：オックスフォード・ナノポアテクノロジー社製の小型で持ち運び可能な、高速かつ大量の塩基配列を解読できる装置 (次世代シーケンサー)。その利便性と迅速性から、現場での遺伝子解析や疾病診断にも活用されています。

- 5) **バイオフィーム**：微生物が形成する生物膜であり、バイオフィーム中には多くの微生物が存在します。また、バイオフィームの形成は、微生物腐食に関与するほか、環境ストレスへの耐性を有することが知られています。
- 6) **分類レベル（門・綱・属）**：生物を系統的に分類するための体系であり、生物の多様性を階層的に整理し、生物間の関係を理解するために使用されます。この体系は、生物をドメインから種までの異なる階級に分類することにより、生物学的な類似性と進化的関係を反映します。

【掲載論文】

<タイトル>

Microbiome analysis of the restricted bacteria in radioactive-element-containing water at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

<著者>

Tomoro Warashina, Asako Sato, Hiroshi Hinai, Nurislam Shaikhutdinov, Elena Shagimardanova, Hiroshi Mori, Satoshi Tamaki, Motofumi Saito, Yukihiisa Sanada, Yoshito Sasaki, Kozue Shimada, Yuma Dotsuta, Toru Kitagaki, Shigenori Maruyama, Oleg Gusev, Issay Narumi, Ken Kurokawa, Teppei Morita, Toshikazu Ebisuzaki, Akihiko Nishimura, Yoshikazu Koma, and Akio Kanai

<掲載誌>

Applied and Environmental Microbiology

<掲載日>

2024年3月12日（オンライン発表）

<DOI>

<https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.02113-23>

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

金井 昭夫（かない あきお）

慶應義塾大学先端生命科学研究所・教授（同大学院 政策・メディア研究科・教授）

Tel: 0235-29-0524 E-mail: akio@sfc.keio.ac.jp

（報道に関すること）

慶應義塾大学先端生命科学研究所 渉外担当 塩澤、五十嵐

Tel: 0235-29-0802 Fax: 0235-29-0809 E-mail : office[at]ttck.keio.ac.jp

※ご取材の際には、事前に上記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは、山形県政記者クラブ、鶴岡市記者会等に送信させていただいております。