

2023年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名 (注: 学位論文題名が英語の場合は和訳をつけること)

環境中に放出された人為起源ガドリニウムの環境動態調査に関する研究

学位の種類: 修士 (放射線学)

東京都立大学大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 放射線科学域

学修番号 22897701

氏名: 磯田 凌

(指導教員名: 井上 一雅)

注: 1 ページあたり 1,000 字程度 (英語の場合 300 ワード程度) で、本様式 1~2 ページ (A4 版) 程度とする。

原子番号 64 のガドリニウムは重金属の希土類元素であり、生体内必須元素と拮抗することで強い毒性を示す。ガドリニウムは MRI (Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴画像) 造影検査に造影剤として利用されており、キレート構造を付与することで人体への投与から排泄までの安全性が確保されている。しかし、ガドリニウム造影剤が有するキレート構造は、太陽光などの強い紫外線によって破壊されることが報告されている。つまり、人体から排泄されたガドリニウム造影剤は、河川や海に流れ込む際に分解される可能性がある。加えて、ガドリニウムを蓄積した水性生物の生物学的影響には、遺伝子発現、細胞恒常性、殻形成、代謝活性の低下だけでなく、抗酸化効果の変化の影響もあると報告されているため、キレート構造が破壊されたガドリニウムは、水生生物の生命に悪影響を及ぼし、さらには河川水を水源とする飲用水において浄水処理では除去できなかったガドリニウムをヒトが摂取することで健康被害をもたらす可能性がある。実際に、アメリカとドイツで行われた水質汚染研究 (アメリカ: 2022 年、ドイツ: 2006 年) では、アメリカの河川水からバックランド (B.G) に対して高いガドリニウム濃度の値が報告されており、先進国を中心とした河川水や下水、浄水に含まれるガドリニウム濃度が他の希土類元素と比較して高いことが注目されている。

MRI 設置台数がアメリカ (12,137 台) に次いで世界 2 位の日本 (6,578 台) の首都である東京都でも人為起源ガドリニウムにおける水質汚染調査が 2019 年に行われた。東京都は国内で最大数の MRI 設置台数 (23 区内: 554 台、23 区外: 150 台、計: 704 台) を有しており、人為起源による環境内のガドリニウム濃度の上昇が懸念されている。先行研究では、東京都内の下水処理施設で処理された下水、河川水 (上流から下流を含む) および浄水場から配水された浄水 (飲用水) を採水して、水中のガドリニウム濃度の測定が行われた。得られた結果から、ガドリニウムの B.G. 濃度に対して下水で 6.6-76 倍、河川水で 0.83-103.36 倍、浄水で 1.1-5.0 倍の高いガドリニウム濃度が検出された。B.G. 濃度に対しての試料中のガドリニウム濃度である Gd/Gd^* が 1.4 以上の場合、人為起源の影響によるガドリニウム濃度の上昇が考えられるため、東京都内の下水・河川水・浄水 (飲用水) のほとんどの試料で人為起源ガドリニウムの介入によるガドリニウム濃度の上昇を確認し、ガドリニウムの起源について MRI 検査用造影剤であると示されている。日本は世界 2 位の MRI 設置台数を有しているが、人体から排泄されたガドリニウムに関する研究報告は極めて少ないのが現状である。

このような背景のもと本研究では、MRI 設置台数が東京都に次いで多い大阪府 (485 台) の府庁所在地である大阪市 (172 台) において、下水、河川水および河川水に含まれるガドリニウム濃度を誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) により分析し、人為的要因に起因するガドリニウム濃度の一連の環境動態を明らかにすることに加え、MRI 設置台数や計画人口

とガドリニウム濃度の相関関係を明らかにすることを目的とした。

本研究は大阪市内の下水処理施設に流れ込む流入水、放流される放流水、河川水(取水塔部も含む)、飲用水を各2Lずつ計45ヶ所の採水を行った。採水した試料を、固相充填カラムを用いた濃縮操作を行った後、ICP-MSで分析を行い定量した。ICP-MSを用いた分析により求められた希土類元素パターンから人為的に増加したガドリニウム(Gd)と理論上のバックグラウンド濃度(Gd^*)との相対存在度(Gd/Gd^*)と試料中のガドリニウム濃度(Gd_{anth})を算出した。加えて、得られた各試料中のガドリニウム濃度からガドリニウムの環境動態マップを作成した。

本研究で得られた結果より、大阪市内の各水中におけるガドリニウム濃度は、下水処理水で1.9-22.8 ppt、河川水(取水塔部も含む)で1.8-105.7 ppt、飲用水で0.1-0.4 pptであり、下水処理水、河川水から高濃度なガドリニウムが検出された。加えて、今回採水を行ったほとんどの地点で Gd/Gd^* が1.4を上回り、下水処理水中におけるガドリニウム濃度とMRI設置台数の相関関係で正の相関関係が得られたことから、人為起源ガドリニウムの介入による水中のガドリニウム濃度の上昇が生じていると考えられた。下水処理施設からの放流水から高いガドリニウム濃度が検出されたことから、河川水や飲用水におけるガドリニウム濃度の上昇は下水処理施設から放流された人為起源ガドリニウムの介入によるものと示唆された。河川水のガドリニウム濃度は、上流域から下流域に進むにつれ減少している傾向があった。これは、水量の増加によるガドリニウム濃度の希釈による影響が考えられた。飲用水においては全地点で低いガドリニウム濃度となったため、浄水処理でおおよそその人為起源ガドリニウムは除去されていると考えられるが Gd/Gd^* が1.4を上回ったことから下水処理施設から放流された人為起源ガドリニウムは河川水だけではなく、河川水を水源とする飲用水にまでも影響を及ぼしていることが示唆された。

以上のことから、本研究により人体から排泄された人為起源ガドリニウムは下水処理施設では除去されず河川水に放流され、河川水や河川水を水源とする飲用水中のガドリニウム濃度の上昇に影響を及ぼすことが示唆された。