

SY1-1

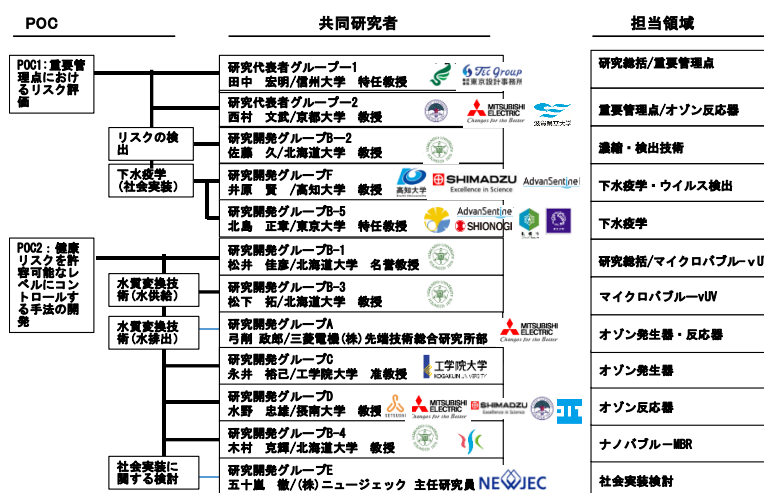
健全な社会と人を支える安全安心な水循環系の実現

○田中 宏明^{1, 2}、松井 佳彦³

¹京都大学、²信州大学工学部、³北海道大学

近年に国内でも通常の浄水処理では除去できない化学物質（有機フッ素化合物等）や薬剤耐性細菌やウイルスなどの病原微生物が、水循環系から見つかるなど、様々な水利用で人の健康リスクが懸念されている。安全安心な水環境の創出と水利用、さらに公衆衛生に対して頑強な未来社会の構築を構想し、人や社会と環境の間で循環する水を総合的に捉え、日常的に利用・飲食する水の安全、人や社会の活動に伴い水環境へ排出される水の安全を確保し、子供から高齢者までの

誰もが、無意識に水に関わる様々な健康リスクから守られる社会を目指すため、JST 未来社会創造事業にて、水インフラ技術を開発している。図に示すように、本研究課題の POC（概念実証）1 は、重要管理点の明確化と人健康リスクの実態解明であり、水循環系における重要管理点の明確化とリスク実態の解明と下水疫学の社会実装による感染症リスクヘレジリエントな社会の構築である。また POC 2 は、重要管理点において健康リスクを許容可能なレベルにコントロールする手法の開発である。これら 2 つの POC は相互に連携させ開発している。



Realization of Safe and Secured Water Cycle System Supporting Healthy Society and People

Hiroaki Tanaka^{1, 2}, Yoshihiko Matsui³

¹Kyoto University, ² Faculty of Engineering, Shinshu University, ³Hokkaido University

Chemical substances that cannot be removed through conventional water treatment—such as PFAS—as well as pathogenic microorganisms including antimicrobial-resistant bacteria and viruses, have been recently detected in the water circulation system, raising concerns about human health risks associated with various water use. To create a safe and secure water environment and ensure resilient public health in future society, this initiative envisions a comprehensive approach to water that circulates between people, society, and the environment. It aims to ensure the safety of water used daily for drinking and consumption, as well as the safety of water discharged into the environment through human and societal activities. The goal is to build a society where everyone—from children to the elderly—is unconsciously protected from various health risks associated with water. Under the JST MIRAI Program, technologies for water infrastructure have been under development. Proof of Concept (POC) 1 focuses on identifying critical control points and clarifying actual health risks. This includes defining critical control points within the water circulation system, elucidating the nature of these risks, and implementing wastewater-based epidemiology to build a society resilient to infectious disease threats. POC 2 involves developing methods to control health risks at these critical points to acceptable levels. These two POCs are being developed in close coordination with one another.

SY1-2

下水疫学の社会実装

井原 賢

高知大学農林海洋科学部

我々の研究グループは下水から得られる公衆衛生情報を利用し、感染症の脅威から守られる社会の実現のため、下水疫学の社会実装に取り組んできた。本公演ではこれまでの成果の概要を紹介する。

私が京都大学に在籍していた 2020 年 10 月、滋賀県大津市水再生センターでの下水疫学調査をスタートした。週 5 日(月-金)の頻度で主に流入下水を採取し下水中の新型コロナウイルスを PEG 沈殿法によって濃縮し、ウイルスから RNA を抽出し、リアルタイム PCR(qPCR)を実施した。その結果、感染の第 3 波～第 6 波において下水中の新型コロナウイルスの遺伝子量と新規感染者数に高い相関関係が観察された。また、下水中のウイルス遺伝子量が地域における感染の波の始まりの早期検知に有効であることも示すことができた。これらの成果を受けて、株式会社日吉、株式会社ウォーターエージェンシー、京都大学、および高知大学が滋賀県と共同して滋賀県の複数下水処理場での下水疫学調査を継続している。下水中の新型コロナウイルス遺伝子量の調査結果は令和 5 年 8 月より京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センターHP において一般に公開されている。この HP の情報は一般市民からの注目も高く、滋賀県からも定点での新規感染者の報告数を実態を捉えているかどうかの確認として下水サーベイランスデータを常に参照されており重要な情報源となっているとの評価をいただいている。また、我々は下水疫学の技術を市中における薬剤耐性菌の検知や畜産現場での家畜感染症の検知にも応用している。この成果もご紹介する。

Wastewater-based epidemiology (WBE) implementation in society

Masaru Ihara

Faculty of Agriculture and Marine Science, Kochi University

Our research group has been working on the social implementation of wastewater-based epidemiology (WBE) to help build a society protected from infectious disease threats by utilizing public-health information derived from wastewater. In this presentation, I will provide an overview of our achievements to date.

In October 2020, while I was at Kyoto University, we launched a WBE monitoring program at the Otsu City Water Reclamation Center in Shiga Prefecture. We collected influent wastewater five days a week (Monday–Friday), concentrated SARS-CoV-2 in wastewater using the PEG precipitation method, extracted RNA, and performed real-time PCR (qPCR). As a result, we observed a strong correlation between the concentration of SARS-CoV-2 genes in wastewater and the number of newly reported COVID-19 cases during the third through sixth waves of the epidemic. We also demonstrated that viral gene concentrations in wastewater can serve as an effective early indicator for the onset of community infection waves.

Building on these findings, Hiyoshi Corporation, Water Agency Inc., Kyoto University, and Kochi University are continuing WBE surveillance in collaboration with Shiga Prefecture at multiple wastewater treatment plants. Since August 2023, the results of SARS-CoV-2 monitoring in wastewater have been publicly available on the website of the Research Center for Environmental Quality Management (RCEQM), Graduate School of Engineering, Kyoto University. The website has attracted significant public interest, and Shiga Prefecture has noted that the wastewater surveillance data are an important resource for verifying whether case numbers reported from sentinel medical facilities accurately reflect the real situation.

Furthermore, we are expanding WBE applications to detect antimicrobial-resistant bacteria in urban communities and to identify livestock infectious diseases at agricultural sites. These results will also be introduced in this presentation.

SY1-4

経済的に実現可能な真空紫外線ベースの PFAS 浄水処理の可能性

○松下 拓¹、阿久戸 太陽²、白崎 伸隆¹、松井 佳彦¹

¹ 北海道大学大学院工学研究院, ² 北海道大学大学院工学院

本研究では、経済的に実現可能な PFAS の浄水処理を構築することを目指し、真空紫外線 (VUV) ベースの促進還元処理と、ナノろ過 (NF) 処理やイオン交換 (IX) 処理を組み合わせた処理システムについて実験的な検討を行った。VUV ベースの促進還元処理は、紫外線ベースの促進還元処理に比べて PFOS を迅速に分解できることが示されたが、処理を最適化しても、VUV の促進還元処理単独では、経済的に実現可能であるとされるエネルギー効率 (1 m^3 中の PFOS 濃度を 1 ケタ落とすために必要な電力量である $\text{EE/O} < 2.5 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{order})$) を達成することは難しいと判断された。そこで、浄水処理は NF あるいは IX により行い、そこで生成される NF 濃縮水や IX 再生水に含まれる PFOS を VUV ベースの促進還元処理で分解する組み合わせ処理について検討したところ、NF との組み合わせに比べ、IX との組み合わせの方がエネルギー的に有利であることが分かった。しかしながら、IX 再生水中に高濃度で含まれる硝酸イオンと NOM が、促進還元処理による PFOS の分解を大きく抑制することも分かった。前処理によりこれらの濃度を 1/10 にすることができれば、IX と VUV ベースの促進還元処理の組み合わせにより、経済的に実現可能であるエネルギー量で PFOS を分解除去できる可能性が示された。

Potential of vacuum-UV-based processes for economical PFAS drinking water treatment

Taku Matsushita¹, Taiyo Akuto², Nobutaka Shirasaki¹, and Yoshihiko Matsui¹

¹ Faculty of Engineering, Hokkaido University, ² Graduate School of Engineering, Hokkaido University

This study aimed to develop an economically feasible drinking water treatment train for PFAS removal by combining a vacuum ultraviolet (VUV)-based advanced reduction process (ARP) with nanofiltration (NF) or ion exchange (IX) treatment. Experiments demonstrated that VUV-based ARP decomposed PFOS more rapidly than UV-based ARP; however, even after optimization, VUV-based ARP alone could not achieve the energy efficiency considered economically viable ($\text{EE/O} < 2.5 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{order})$, the electric energy required to reduce PFOS concentration by one order of magnitude in 1 m^3 of water). Therefore, a combined treatment approach was investigated, in which PFOS contained in NF concentrate or IX regenerant was decomposed by VUV-based ARP. The combination with IX was found to be more energy-efficient than that with NF. Nevertheless, high concentrations of nitrate and natural organic matter (NOM) in IX regenerant significantly inhibited PFOS degradation. It was suggested that if these inhibitory substances could be reduced to one-tenth of their original concentrations through pretreatment, the combination of IX and VUV-based ARP could achieve PFOS decomposition at an energy consumption level considered economically feasible.

新興化学物質の環境分析とリスク評価の新展開

New Developments in Environmental Analysis and Risk Assessment of Emerging Chemicals

コーディネーター 鑓迫 典久（愛媛大学大学院農学研究科）
国末 達也（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）

近年、化学物質の多様化と使用量の増大に伴い、従来の規制枠組みでは把握しきれない「新興化学物質（emerging chemicals）」の環境中存在とリスクが大きな課題となっている。PFAS、マイクロプラスチック、難分解性ポリマー、医薬品・パーソナルケア製品（PPCPs）など、環境中での挙動・変換・生物影響が複雑な化学群が注目されている。本シンポジウムでは、これら新興化学物質の分析技術の最前線とリスク評価手法の新展開を俯瞰し、今後の化学物質管理および内分泌かく乱影響評価の方向性について議論する。

また、分析化学研究者が多い環境化学討論会と生理生化学者の多い内分泌攪乱物質学会との今後の技術的及び人的交流を図り、協調・協働で研究を進めていく上での、人的交流を図っていく上でも重要である。

国末 達也（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）

座長：鑓迫 典久

「タイヤから溶出する添加剤由来化合物の網羅的スクリーニング」

＜概要＞タイヤには多様な化学添加剤が含まれ、その中の老化防止剤由来化合物 6PPD-quinone（6PPD-Q）はサケ科魚類に強い毒性を示す。本研究では、降雨時の溶出を想定してタイヤ粒子（CMTT）の溶出試験を行い、LC-QToFMS/MS によるノンターゲット分析を実施した。結果として、加硫促進剤や老化防止剤など 31 種の添加剤関連化合物を同定し、40℃では 25℃より溶出量が増加することが確認された。一方、UV 劣化粒子では添加剤がほとんど検出されず、分解が示唆された。

田上 瑠美（愛媛大学沿岸環境科学研究センター）

座長：鑓迫 典久

「新興 PFAS を追う：環境水・野生生物における網羅的スクリーニングと分析課題」

＜概要＞下水処理水が流入する河川水や工場排水を対象に、高分解能質量分析計（LC-QToF-MS）を用いた PFAS のノンターゲット定性解析を実施した。その結果、ペルフルオロアルキルエーテルカルボン酸（PFECAs）や ω -ヒドロペルフルオロカルボン酸（ ω -HPFCAs）など、複数の新興 PFAS の存在が明らかとなった。また、これら新興 PFAS の野生生物からの検出事例や分析上の課題についても触れる。さらに、ゼブラフィッシュ胚を用いた PFECAs の甲状腺ホルモン恒常性機能への影響評価についても紹介する。

水川 葉月（愛媛大学大学院農学研究科 環境保全学コース）

座長：国末 達也

「室内の新興化学物質：ヒトやペット動物への影響評価を考える」

＜概要＞室内には PPCPs、PFAS、VOCs、農薬類といった様々な化学物質が存在している。室内で生活するヒトやペット動物は日常的に、これらの化学物質に曝露していると考えられるが、その実態やリスクは不明である。本発表で、これまで調査してきたハウスダスト等に含まれる化学物質の残留実態を明らかにするとともに、居住者などへの影響を考える。

鑓迫 典久（愛媛大学大学院農学研究科）

座長：国末 達也

「メダカを用いた PFAS のモニタリング調査」

＜概要＞PFOS や PFOA などの PFAS は環境中に広く残留し、生物に濃縮される。私たちは日韓共同で、土壌・水・メダカ中の PFAS 濃度を調査した。メダカ 1 尾から PFAS を測定できる技術を活用した。2012～2017 年に日本各地合計約 50 地点（定点約 8 点）で調査した結果、PFAS はすべての媒体から検出され、全体的に西日本で高かったが、地域によって特異的に高い場所がみられ発生源の違いが示唆された。水中では低分子（C5～11）、底質やメダカでは高分子（C8～14、C10～14）が検出され、メダカによるモニタリングの有効性が確認された。

総合討論

タイヤから溶出する添加剤由来化合物の網羅的スクリーニング

○国末 達也、田上 瑠美、仲山 慶
愛媛大学 先端研究院 沿岸環境科学研究センター

タイヤには加硫促進剤、老化防止剤、架橋剤、有機ゴムのスコーチ防止剤などが添加されている。老化防止剤の N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine の変化体 6PPD-quinone (6PPD-Q) は、一部のサケ科魚類に対して強い致死毒性を有することが明らかとなった。タイヤ粒子中の化学物質を実測した近年の研究では、6PPD-Q 以外の変化体や原料、不純物の存在も確認されている。しかしながら、そのような化学物質における環境動態や生態毒性に関する知見は不足している。本研究では、降雨時におけるタイヤ粒子から水中への化学物質の溶出を想定したタイヤ粒子(cryo-milled tire tread: CMTT)の溶出試験を実施し、液体クロマトグラフー四重極飛行時間型質量分析計(LC-QToFMS/MS)を駆使して水中に溶出した化学物質のノンターゲット分析を試みた。また、溶出試験の温度と時間、そして UV 劣化させたタイヤ粒子による溶出量の変化を解析した。

分析の結果、CMTT 溶出液から加硫促進剤、老化防止剤、架橋剤、合成原料、それらの変化体や不純物が検出された。標準物質との照合から、31 種のタイヤ添加剤由来化合物を Confidence level 1 で同定した。溶出試験の時間と温度を変えて溶出量の変化を解析したところ、同定した物質の多くは 24 h と 96 h でピーク強度は同程度を示したが、25℃ よりも 40℃ のピーク強度が高くなった。このことから、路面温度が高温になる夏季に、路面流出水へのタイヤ由来物質の溶出量が増加することが推測された。UV 劣化させた CMTT の溶出液からは添加剤のピークがほとんど検出されず、UV 照射による添加剤の分解が示唆された。

Comprehensive screening of additive-derived compounds leaching from tire tread

Tatsuya Kunisue, Rumi Tanoue, Kei Nakayama

Center for Marine Environmental Studies, Premier Institute for Advanced Studies, Ehime University

Tires contain additives such as vulcanization accelerators, antioxidants, crosslinking agents, and scorch inhibitors for organic rubber. It has been revealed that 6PPD-quinone (6PPD-Q), a transformation product of the antioxidant N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine, exhibits acute lethal toxicity to several salmonid fish. Recent studies measuring chemicals in tire particles have confirmed the presence of transformation products other than 6PPD-Q, raw materials, and impurities. However, information on the environmental fate and ecotoxicity of such chemicals is still lacking. The present study conducted a leaching experiment using cryo-milled tire tread (CMTT) to simulate the leaching of additive-derived compounds from tire particles into rainwater. Then non-target analysis of the chemicals leached into water obtained from the above leaching experiment was performed by using a liquid chromatograph-quadrupole time-of-flight mass spectrometer (LC-QToFMS/MS). We also analyzed changes in the peak intensity of each compound detected depending on UV-degraded CMTT, and water temperature and duration of the leaching experiment.

As a result, non-target analysis revealed the detection of vulcanization accelerators, antioxidants, crosslinking agents, synthetic raw materials, and their transformation products and impurities in the CMTT eluate. By verifying with standard substances, which are commercially available, 31 tire additive-derived compounds were identified with confidence level 1. When the peak intensity of each compound detected was analyzed by changing the water temperature and duration of the leaching experiment, many of the identified tire additive-derived compounds showed similar peak intensities at 24 and 96 hours, but their peak intensities were higher at 40℃ than at 25℃. This result indicates that the amount of tire-derived compounds leached into road surface runoff increases in the summer when road surface temperatures are high. No peaks of almost tire additive-derived compounds were detected in the UV-degraded CMTT eluate, suggesting that they were decomposed by UV irradiation.

人の環境化学物質汚染への医療の現場からの取り組み

コーディネーター 久保 和彦

公益社団法人 福岡医療団 千鳥橋病院 耳鼻咽喉科・頭頸部外科

人が何らかの疾患に罹患する要因は、最近では環境要因、遺伝要因、心理要因の3つからなるというのが一般的である。環境汚染物質による健康影響は環境要因そのものではあるものの、その感受性はエピジェネティック変化を含む遺伝要因によって決まっており複雑である。一方、医療行為の中で治療は患者が最も期待する要素であるが、医学的治療法には薬物療法、手術療法、リハビリテーション、心理・精神療法などが存在し、中でも薬物療法が最も多く使用されている。薬物は体内に入れば吸収されずに排泄されるものもあるし、吸収後も代謝の有無によって未変化体や代謝物として多様な種類の化学物質を排泄している。残念ながら医療従事者のほとんどは排泄後の環境汚染について知識を持っていないし、おそらく大方関心も持っていないだろう。そのような背景の中、我々医療従事者は化学物質曝露によって発生した健康被害を見逃さずに把握しなければならないし、PPCPsとしての医薬品の不必要な投与と環境排出を防ぐ責務を担っているはずである。

そのための人を対象とした医学研究は倫理的ハードルが高く、研究費も非常に高額であり、自分の専門領域以外の診療もしなければならない大学外医療機関で研究を行うことはかなり困難である。したがって、本学会における人と環境汚染物質との関連についての研究はエコチル調査を含む疫学調査が一般的であり、かつ大学所属者の研究がほとんどであった。しかしながら、非大学所属者であっても環境汚染に目を向け、本学会で発表した方もかつて存在した。4大公害やカネミ油症などの大規模健康被害イベントも、患者は最初から大学病院を受診するのではなく一般の医療機関をまず受診しているわけで（イタイイタイ病の荻野医師など）、大学外医療機関の医療従事者が気付かなければ環境汚染による健康被害は闇に葬られてしまう危険性も存在している。そのため、私は大学外医療機関における草の根運動的な活動を本シンポジウムにて紹介したい。

本シンポジウムでは、医療関係者と環境化学物質という観点からシンポジストを選別・招聘した。上記の趣旨からあえて大学所属者以外から選出した。ご講演頂くのは、

大島 民旗先生：淀川勤労者厚生協会 相川診療所 所長（内科医）

演題名 「大阪ダイキン工場周囲のPFAS汚染の実態」

大山 美宏先生：健生会 昭島相互診療所 副所長（内科医）

演題名 「昭島地域におけるPFAS汚染と対策」

加来 由彩先生：福岡医療団 千鳥橋病院 薬剤部科長（薬剤師）

演題名 「ポリファーマシーに対する病院薬剤師の取り組み」

の3名である。まずは私が医療者と環境汚染物質に関するイントロダクションを述べた後、順番に各演者に発表していただく予定である。各人ごとに発表と質疑応答を行うため、総合討論は時間の都合上割愛させていただく。是非とも本シンポジウムを生耳で聞いていただいて、一般の医療従事者の草の根活動に少しでも関心を示して頂ければ幸いである。