

第 425 回雑誌会

(May. 21, 2025)

(1) Sewage Protein Information Mining: Discovery of Large Biomolecules as Biomarkers of Population and Industrial Activities

Carrascal, M., Jiménez, E., Fang, J., López, C., Ginebreda, A., Barceló, D. and Abian, J.
Environmental Science & Technology, 57, 10929, 2023.

Reviewed by R. Tachibana

下水化学情報マイニング (SCIM) は、下水から集団の健康状態や生活習慣を評価する手法である。近年、SCIM のバイオマーカーとしてタンパク質の利用が提案されているが、下水中に存在するプロテオームは未だ解明されていない。そこで本研究では、下水中のプロテオームを明らかにするとともに、プロテオームと人為的な活動の相関を分析し、SCIM に有用なタンパク質バイオマーカーの特定を目的とした。試料水は、処理人口および産業活動が異なるカタルーニャ州の 10 か所の下水処理場において、2020 年 12 月、2021 年 4 月、7 月の計 3 回、流入下水を採取した。遠心分離によって試料中のタンパク質を可溶性タンパク質と粒状タンパク質に分画し、トリプシンを用いてそれぞれの分画をペプチドに消化した。得られたペプチドを LC-MS/MS によって分析し、下水中の主要なタンパク質と供給源を特定した。さらに、各下水処理場のプロテオームを比較し、試料の採取時期や集水域の土地利用との関係について検討した。

LC-MS/MS による分析の結果、4,318 種のペプチドが同定され、827 種のタンパク質が流入下水中に存在していることが判明した。流入下水中にはヒト由来のアミラーゼなどの膵臓酵素や家畜の血液由来のアルブミンが多量に含まれていたため、下水中の主なタンパク質の供給源はヒトの排泄物と家畜の血液であることが明らかになった。流入下水中のヒトアミラーゼの存在量が下水処理場の処理人口に比例して増加する傾向が確認されたため、ヒトアミラーゼの存在量から人口をリアルタイムで推定できる可能性が示された。家畜由来のアルブミンは、下水集水域の家畜数よりも食肉加工場の存在との間で相関が確認された。また、健康バイオマーカーとして注目されているヒト免疫グロブリンを分析したところ、採取地点ごとのヒト免疫グロブリンの存在量は、試料の採取時期によって、最大で 8,105 倍に変動した。これは、旅行や観光によって、下水処理場の利用人口の変動が原因であると考えられた。そこで、採取時期におけるヒト免疫グロブリンをヒトアミラーゼで正規化した。その結果、時期による変動を最大で 11 倍に抑制できた。したがって、ヒトアミラーゼをはじめとした流入下水中の豊富なヒト由来のタンパク質は、他のヒト由来のタンパク質の正規化に有用であることが示された。以上のことから、下水中のアミラーゼ、免疫グロブリン、およびアルブミンは、SCIM におけるバイオマーカーとして有望であることが示唆された。

(2) Bacteriophages from faecal contamination are an important reservoir for AMR in aquatic environments

Nolan, T. M., Sala-Comorera, L., Reynolds, L. J., Martin, N. A., Stephens, J. H., O'Hare, G. M. P., O'Sullivan, J. J. and Meijer, W. G.

Science of The Total Environment, **900**, 165490, 2023.

Reviewed by M. Hayashida

形質導入によるファージを介した薬剤耐性遺伝子（ARGs）の伝播は水環境中における薬剤耐性菌の増殖に関連しており、ファージは ARGs の貯蔵庫として推察されている。また、糞便汚染源マーカーである crAss ファージはヒトの腸内に大量に存在することから、糞便汚染による水環境中へのファージの負荷は、形質導入による遺伝子の伝播を促進する可能性がある。そこで本研究では、糞便汚染がファージと ARGs の濃度に与える影響について評価することを目的とした。試料は、2019 年 5 月～2020 年 5 月の期間、3 つの河川の源流部、都市部、および農業地域から採取した（全 14 地点、231 サンプル）。crAss ファージを含む体細胞感染性大腸菌ファージは、プラーク法によって検出した。河川水 100 mL を 0.22 μm フィルターでろ過し、フィルターとろ液のそれぞれから DNA を抽出した。qPCR 法によって、crAss ファージの検出と各分画の DNA 中に含まれる ARGs（blaTEM, qnr S, tetO, sul 1）を定量し、ファージの ARGs 保有率を評価した。さらに、ファージ濃度と ARGs 濃度との相関関係を求め、糞便汚染と ARGs の関係を評価した。

3 つの河川の全ての地点から体細胞性大腸菌ファージと crAss ファージが検出された。crAss ファージの検出率は、源流部が最も低く（6 %～24 %）、次いで農業地帯（34 %～71 %）、都市部（61 %～91 %）であった。このことから、下流に向かうにつれて糞便汚染が進行していることが示唆された。また、4 種類の ARGs も全ての地点のファージ分画から検出された。ARGs の検出率も源流部が最も低く（0 %～19 %）、農業地域と都市部が高い傾向にあった（6 %～72 %）。さらに、2 つのファージと ARGs 濃度には有意な相関が確認され、糞便汚染レベルが高いほど、ARGs の濃度も増加する傾向にあった。特に、体細胞感染性大腸菌ファージは、全ての ARGs と有意な相関が確認された（ $p \leq 0.001$ ）。これらの結果から、農業や都市活動による糞便汚染によってファージ中の ARGs 濃度が増加することが示唆された。また、水環境中において、ファージは細菌よりも環境ストレスに強く、生存能力が高いことから、対象とした河川ではファージが ARGs の貯蔵庫として機能している可能性がある。細菌だけを対象とした ARGs の解析ではファージ中の ARGs は見過ごされ、実際の水環境中における ARGs の動態を過小評価する恐れがある。本研究によって、ファージ中の ARGs に着目する必要性が強調された。

第 426 回雑誌会

(Jun. 4, 2025)

(1) Seasonal dynamics of odor compounds concentration driven by phytoplankton succession in a subtropical drinking water reservoir, southeast China

Wu, T., Zhu, G., Wang, Z., Zhu, M. and Xu, H.

Journal of Hazardous Materials, **425**, 128056 (2022).

Reviewed by R. Kondo

貯水池のジェオスミンや 2-メチルイソボルネオール (2-MIB) などの臭気物質は、飲料水の品質を大きく低下させる要因となる。しかし、貯水池におけるジェオスミンや 2-MIB の発生を促進させる原因や季節による濃度分布の変化は明らかとなっていない。そこで本研究では、貯水池におけるジェオスミンと 2-MIB 濃度の長期観測を行い、臭気物質の時間的・空間的分布と発生を促進させる原因について検討した。中国の天目湖の 3 地点において、冬季から夏季の期間 (2020 年 1 月～9 月) で調査を実施した。この期間において、春季から雨季、夏季の期間 (2020 年 3 月～8 月) は隔週で調査した。それ以外の期間は隔月で調査した。各地点の表層水サンプルは水面下 0.5 m、深層水サンプルは水面下 2 m から 2 m 間隔で採水した。ジェオスミンと 2-MIB の濃度は、水試料を 0.45 μm GF/F 膜を用いてろ過し、ろ液をヘッドスペース固相マイクロ抽出ガスクロマトグラフ質量分析法で測定した。また、各採水ポイントにおいて、植物プランクトンの生物量と種類、T-N、T-P、有機懸濁物質 (OSS) も測定した。濁度は、水面から水底まで 1 m 間隔で測定した。

全調査期間における臭気物質と生物量の相関関係を解析した結果、天目湖における 2-MIB 濃度は *Aphanizomenon*、ジェオスミン濃度は *Achnanthes* と *Cyclotella* の存在量と強い相関を示し、これらの植物プランクトンが臭気物質を生産することが明らかになった。調査開始時の冬季には、臭気物質の濃度が低く、2-MIB は検出されなかった。ところが春季になると、水温と日照時間の増加に伴い、浅層における各臭気物質濃度が上昇し、ジェオスミンと 2-MIB は、それぞれ 7.67 ng/L と 87.22 ng/L となった。6 月以降は雨季となり、浅層における各臭気物質濃度は徐々に減少し、浅層よりも深層において濃度が高くなった。この要因として、雨季で日照時間が減少し、植物プランクトンの総生物量が減少したこと、並びに降雨による高濁度の流入水で密度流が形成され、浅層で増殖した植物プランクトンが深層に降下したことが考えられる。雨季から夏季にかけて水底付近や富栄養層において、各臭気物質の濃度が増加して最大となった。雨季から夏季の臭気物質の濃度は、濁度や T-N、T-P、OSS と強い相関を示した。以上のことから、貯水池におけるジェオスミンと 2-MIB 濃度は、植物プランクトンの季節的遷移に加えて水質、気象条件の影響を受けることが明らかになった。これらの知見は貯水池における臭気発生の予測と水質管理に寄与する。

(1) Anthropogenic pollution may enhance natural transformation in water, favouring the spread of antibiotic resistance genes

Sivalingam, P., Sabatino, R., Sbaffi, T., Corno, G., Fontaneto, D., Borgomaneiro, G., Rogora, M., Crotti, E., Mapelli, F., Borin, S., Pilar, A. L., Eckert, E. M. and Di Cesare, A
Journal of hazardous materials, **475**, 134885, 2024.

Reviewed by S. Tamai

下水中に存在する細胞内 DNA (inDNA) と細胞外 DNA (exDNA) には、薬剤耐性遺伝子 (ARG) や可動遺伝因子 (MGE) が含まれており、水平伝播による薬剤耐性の拡散に寄与している可能性がある。また、人間活動に伴う微生物汚染などの人為的な汚染は ARG の持続性や水平伝播を促進させる可能性があるが、その関係性は明らかになっていない。そこで本研究では、ARG の拡散における人為的汚染の影響を評価するため、湖水と下水における ARG の遺伝子多様性の比較と、人為的汚染による形質転換頻度の変化を検討した。水試料は、イタリアの湖と消毒後の下水放流水をそれぞれ 3 地点から採取した。試料を 0.22 μm のフィルターでろ過し、フィルター上の残渣から抽出した DNA を inDNA、ろ液から抽出した DNA を exDNA とした。メタゲノム解析によって取得した配列から、contig と Metagenome assembled genomes (MAG) を作成し、細菌叢、ARG、High-risk ARG、および MGE を検索した。さらに、湖水と下水を任意の割合で混合した培養基を作成し、2 種類の薬剤耐性プラスミド (1×10^9 copies/mL) と抗菌薬 (カナマイシン : 20 mg/L, ストレプトマイシン : 10 mg/L) を添加してから 28°C で 48 時間培養した。培養後、試料全量をろ過し、フィルターから抽出した DNA のプラスミドのコピー数を qPCR 法で測定し、人的汚染と形質転換の関係性を評価した。

湖水と下水の細菌叢・ARG の多様性は大きく異なったが、同一地点における inDNA と exDNA の遺伝子多様性は類似していた。湖水と下水で ARG の多様性が異なることから、放流された ARG の持続性は限定的であることが示唆された。また、細菌叢と ARG の多様性は、下水において有意に高く、inDNA と exDNA では inDNA の方が多様性に富んでいた ($p \leq 0.05$)。しかしながら、High-risk ARG では、湖水と下水のどちらにおいても inDNA と exDNA の間に有意な差が無く、湖水では High-risk ARG の存在量が exDNA において多かったことから、exDNA は High-risk ARG の重要な供給源である可能性が示唆された。人為的汚染と形質転換の関係性を評価した結果、培養基における下水の割合が増加するほどに、プラスミドのコピー数が有意に増加し、人為的汚染によって形質転換が促進されることが示唆された。本研究は、人為的汚染がプラスミドの伝播を促進させることを初めて実験的に証明しており、その詳細な機構の解明のために更なる研究が必要である。

第 428 回雑誌会

(Jun. 19, 2025)

(1) Antibiotic resistance genes in the coastal atmosphere under varied weather conditions: Distribution, influencing factors, and transmission mechanisms

Zhang, T., Yan, L., Qi, J., Su, R., Li, X., Sun, S., Song, Y., Wei, M. and Zhang, D.

Environmental Pollution, **368**, 125695 (2025).

Reviewed by R. Funaguma

抗菌薬の使用による薬剤耐性菌の発生は世界的な問題となっている。近年、金属イオン等の抗菌薬以外の物質や可動遺伝因子 (MGEs) も薬剤耐性遺伝子 (ARGs) の発現や拡散に関連していることが報告されている。しかし、大気中における ARGs の発現や拡散に關与する要因やメカニズムに関する調査は少ない。そこで本研究では、大気中における ARGs と ARGs を発現する要因物質の存在実態とそれらの共生關係について調査した。エアロゾルは、各季節の通常時と煙霧が発生した汚染時に、エアサンプラーを用いて 24 時間採取した。エアサンプラーに装着したフィルターから DNA を抽出し、配列を取得した。遺伝子解析によって、ARGs、細菌種、MGEs、金属耐性遺伝子 (MRGs)、殺生物剤耐性遺伝子 (BRGs) を検索した。また、フィルターから無機イオンを抽出し、イオンクロマトグラフィーで定量した。その後、ARGs に対して細菌種、MGEs、MRGs、BRGs、気象データ、粒子状物質濃度、無機イオンとのそれぞれの相関關係を共起ネットワーク分析、マンテル検定、偏最小二乗回帰分析 (PLS-MS 分析) から評価した。さらに、人為的汚染の指標であるインテグラーゼ遺伝子の *int11* を用いて、ARGs の存在量との回帰分析を行った。

ARGs、MRGs、および BRGs の存在量は、冬、秋、夏、春の順で多く、同様の変動を示した。ARGs の多様性は、秋が最も高く、次いで春、冬、夏の順で多かった。また、秋と春は多方向からの気流が観測されたが、冬と夏は一方向のみの気流であった。このことから、発生源の異なる気団が ARGs の多様性に影響を及ぼしている可能性があった。また、共起ネットワーク分析の結果、ARGs は、MRGs と最も関連しており (19.66 %), 次いで BRGs (18.70 %) との関連性が確認された。一方で、ARGs と気象データ、粒子状物質濃度、無機イオンとの関連性は確認されず、これらの要因は ARGs の発現に寄与していなかった。PLS-MS 分析でも同様に、ARGs は MRGs、BRGs とのみで有意な正の相関を示した ($r>0.55$, $p<0.5$)。以上のことから、金属や殺生物剤によって細菌が MRGs や BRGs を獲得するとともに、ARGs に対して共選択を獲得したことが示唆された。また、ARGs と *int11* の回帰分析を行った結果、大気中に存在する ARGs の 55 % は人間活動に起因して発生していることが予測された。以上の結果から、人為的汚染により発生する MRGs と BRGs が、大気における ARGs の発現や拡散を促進することが示唆された。

第 429 回雑誌会
(Jun. 25, 2025)

(1) Characterisation of microbial communities and quantification of antibiotic resistance genes in Italian wastewater treatment plants using 16S rRNA sequencing and digital PCR

Bonanno, G., Bonomo, C., Brandtner, D., Mancini, P., Veneri, C., Briancesco, R., Coccia, A. M., Lucentini, L., Suffredini, E., Bongiorno, D., Musso, N., Stefani, S. and La Rosa, G. Science of The Total Environment, **993**, 173217, 2024.

Reviewed by R. Kashima

下水処理場（WWTP）は、公衆衛生を保全する重要な施設である。しかし、処理後の放流水中に薬剤耐性菌（ARB）や薬剤耐性遺伝子（ARGs）が生残することが明らかとなっており、WWTP 管理の課題となっている。本研究では、WWTP における ARB や ARGs を包括的に評価するために、処理方法の異なる 3 つの WWTP（WWTP1, 2, 3）において季節ごとにモニタリング調査を行った。各 WWTP から 3 か月ごとに流入水と放流水を採取した。夏期は処理プロセスが異なるため、夏期においては消毒前の処理水もサンプルとして採取した。各試料をフィルターで通水し、フィルターから DNA を抽出した後、16S rRNA の V3-V4 領域を対象に菌叢解析を行った。また、WHO が公表している Bacterial priority pathogens list をもとに、優先病原細菌を検出した。さらに、dPCR を用いて 6 種の ARGs（*sul* 1, *tet* A, *bla* TEM, *bla* OXA48, *bla* CTX-M-1, *bla* KPC,）とインテグロン（*int* 1）の定量を行った。

菌叢解析の結果、流入水と放流水から、それぞれ 43 属と 71 属の細菌属が検出され、流入水と比較して、消毒後の放流水の方が細菌の多様性の高いことが明らかとなった。また、同定された細菌のうち、流入水と放流水から、それぞれ 6 属と 7 属の優先病原細菌が検出され、それぞれ相対存在量の 21.8%と 15.5%を占めた。*Acinetobacter* 属は最も高い割合で検出され、流入水と放流水で、それぞれ 15.5%と 8.7%であった。dPCR の結果、すべての放流水から 6 種の ARGs が検出されており、環境中に拡散していることがわかった。処理方法の違いによって ARGs の処理性能は異なり、WWTP 1 における *tet* A, *bla* TEM, *bla* OXA48, ならびに WWTP3 における *bla* TEM, *bla* OXA48, *bla* CTX-M-1 の年平均存在量は、下水処理プロセスによって有意に減少した。しかし、*bla* KPC の年平均存在量は、全ての WWTP において有意に増加した。ARGs の除去効果は季節ごとでも異なっており、WWTP 1 と 2 では、それぞれ夏期と冬期において全ての ARGs が増加した。一方の WWTP 3 では、夏期において *bla* KPC を除く全ての ARGs が大きく減少した。以上のことから、処理方法の違いや季節によって ARGs の除去効果が異なっていることが示された。また、本研究によって、下水処理による ARGs の除去効果は限定的であることが示唆された。

(2) Insight into the phylogeny and antibiotic resistance of *Pseudomonas* spp. originating from soil of the Białowieża National Park in Northeastern Poland

Lewandowska, W., Mahillon, J., Drewnowska, J. M. and Swiecicka, I.

Frontiers in microbiology, **16**, 1454510, 2025.

Reviewed by K. Owada

抗菌薬の使用による薬剤耐性菌の増加は、国際的な問題となっている。特に、*Pseudomonas* 属細菌は抗菌薬に対する自然耐性を有し、さらに水平伝播によって薬剤耐性遺伝子を獲得することが報告されている。しかしながら、*Pseudomonas* 属細菌の薬剤耐性に関する研究は、病院内における報告が多く、自然環境由来の *Pseudomonas* 属細菌の薬剤耐性に関する知見は乏しい。そこで本研究では、人為的影響が少ない自然環境由来の *Pseudomonas* 属の薬剤耐性プロファイルを明らかにし、環境株と臨床株の関連性について解析した。試料は、ポーランドの国立公園において、40 地点から地表の深さ 10 cm の土壌サンプルを採取した。土試料 1 g を抗菌薬含有 LB 液体培地で培養し、培養液を抗菌薬（主に streptomycin）含有 Mueller-Hinton で培養することで薬剤耐性菌を選択した。生育したコロニーを単離後、基質特異性と遺伝子解析（16S rRNA, gyrB）によって菌種を同定した。そして、抗菌薬名に薬剤耐性を示した *Pseudomonas* 属細菌に対し、さらに 24 種類の抗菌薬に関する最小発育阻止濃度（MIC）試験を実施し、薬剤耐性プロファイルを取得した。また、PCR 法によって 3 種の薬剤耐性関連遺伝子（ampC, extrusion protein MATE family, RND efflux system, outer membrane lipoprotein）を検出した。

いくつかの土壌サンプルから *Pseudomonas* 属細菌が 41 株分離され、それらの菌種は *P. fluorescens* (25 株), *P. psychrophila* (1 株), *P. koreensis* (5 株), *P. putida* (10 株) の 4 系統に分類された。また、MIC 試験の結果から、全ての分離株が 13 種類の抗菌薬に対し、3 種類以上耐性を有する多剤耐性菌であることが確認された。これは、全ての分離株から抗菌薬排出タンパク質の生成に関わる遺伝子である extrusion protein MATE family が検出されたことに起因すると考えられる。また、*P. fluorescens* 系統では、全ての株から ampC が検出され、そのうちの 9 株から RND efflux system, outer membrane lipoprotein が検出された。さらに、臨床上極めて重要な抗菌薬であるイミペネムに耐性を示す細菌が 17% (7/41 株) 検出され、全てが *P. fluorescens* 系統に分類された。人為的影響がほとんどない環境においてもイミペネム耐性菌が検出されたことから、*P. fluorescens* 系統は、祖先や進化的経路を共有していることが示唆された。一部の環境由来株では、これらの結果から、土壌は、細菌や遺伝子が蓄積地として機能している可能性がある。

第 430 回雑誌会

(Jul. 2, 2025)

(1) Plastisphere assemblages differ from the surrounding bacterial communities in transitional coastal environments

Marques, J., Ares, A., Costa, J., Marques, M.P.M., de Carvalho, L. A. E. B., and Bessa, F.

Science of the Total Environment, **869**, 161703 (2023).

Reviewed by K. Okuno

環境中に存在するプラスチック破片には、Plastisphere と呼ばれる固有の細菌群集が形成されている。Plastisphere には病原性の細菌が含まれていることから、河口や海岸などの人口密度が高く、人為的汚染によってプラスチックが大量に蓄積している地点では、病原細菌による健康被害が懸念される。しかし、沿岸地域を含むさまざまな環境から採取したプラスチックの細菌群集に関する調査研究は少ない。そこで本研究は、ポルトガルの河川の河口部から採取したプラスチックと表層水、ならびに隣接する海岸から採取したプラスチックと砂に存在する細菌群集を調査した。水試料中のマイクロプラスチックは、試料を 1.2 μm のフィルターでろ過し、フィルター上のプラスチックを回収した。砂試料中のプラスチックは肉眼で確認できるものを採取した DNA 抽出キットを用いて各試料から DNA を抽出し、16S rRNA の V4 領域を対象に菌叢解析を行った。配列レベルでの菌種の分類には Amplicon Sequence Variants (ASVs) を使用し、プラスチックとその周辺環境との細菌叢の相同性を比較した。試料間における細菌多様性の比較は、種内多様性の比較と主座標分析によって実施した。

プラスチックと非プラスチック試料に共通する ASVs の割合は、河口と海岸では、それぞれ 10.2%と 18.9%であった。また、両環境のプラスチックにおける固有の ASVs の割合は 54.6%以上と高く、Plastisphere は固有の細菌叢を形成していた。種内多様性は、非プラスチック試料と比較して、プラスチックの方が高かったが、両者の種内多様性に有意な差は確認されなかった。さらに、主座標分析と菌叢解析から、海岸におけるプラスチックと砂の細菌叢と比較して、河口のプラスチックと表層水の細菌叢は大きく異なった。河口では、表層水と比較して、プラスチックにおいて多くの *Firmicutes* 門が検出された。*Firmicutes* 門に属する細菌は、下水に関連する細菌であり、本研究で対象とした河口域内には 2 つの下水処理場が存在することから、プラスチックから検出された *Firmicutes* 門は下水由来であると考えられる。また、河口のプラスチックから海洋から頻繁に検出される *Maribacter* 属が多く検出されており、河口のプラスチックは海洋の影響を受けていることが示唆された。これらの結果から、マイクロプラスチックは水域生態系における細菌の輸送媒体として機能していると推察され、ヒトの健康に影響を与える可能性が示唆された。

第 431 回雑誌会

(Jul. 9, 2025)

(1) Enhanced ballasted flocculation process using magnetite-based ballast materials and a vortex flash mixer for drinking water treatment in response to both flood and dry seasons

Lee, W. and Kim, J.

Chemical Engineering Journal, **474**, 145589, (2023).

Reviewed by R. Hirashima

バラスト凝集沈殿法は高濁度水を高速に処理できる手法として注目されており、バラスト材 (BM) の比重を大きくすることで沈降速度の高速化が可能となる。しかし、既存の攪拌機では比重の大きな BM を十分に攪拌することは困難である。そこで本研究では、高い攪拌強度を持つボルテックスフラッシュミキサー (VFM) を使用して、比重の大きな合成マグネタイト系 BM を用いたバラスト凝集法の性能を評価した。実験は韓国の浄水場に設置した容量 300 m³/d のパイロットスケールプラント (平均流入濁度: 10 NTU) で実施した。BM となる合成マグネタイトは、塩化第二鉄六水和物 (FeCl₃ · 6H₂O) と塩化第一鉄四水和物 (FeCl₂ · 4H₂O) を用いて共沈法で作成した。浄水場の原水に、NaOH を用いて pH7-9 に調整し、無機凝集剤としてポリ塩化アルミニウム (PAC) を 30~80 mg/L の範囲で注入した。また、BM の注入量は 100~2,000 mg/L の範囲で変化させ、VFM による攪拌は G 値 450-1,050 /s の条件で行った。各条件における処理能力は、処理水濁度とフロックの沈降速度で比較検討した。さらに、2020 年の 1 月から 12 月にわたって、長期運転試験を実施し、処理水質の長期安定性を評価した。

凝集沈殿試験の結果、PAC の最適注入量は 50 mg/L、最適 pH 範囲は 7.75-8.50 となり、最適条件における濁度除去率は 93%以上になった。BM の最適注入量は 1000 mg/L であり、処理水濁度は 1.3 NTU、沈降速度は 2.5 cm/s となった。また、濁度除去率と沈降速度は、G 値が 900 /s に達するまで増加した。450 /s と 900 /s の G 値を比較すると、沈降速度は 4~5 倍に増加した。G 値 450 /s で約 1,785 μm であったバラストフロックの粒径は、900 /s において約 855 μm に縮小し、有効密度が増加したことから、G 値を上昇させることによって、さらに高密度なバラストフロックの形成が促進されたと考えられる。12 か月の長期運転試験では、流入水温の低い 12 月から 2 月にかけて処理水濁度は増加し (3~5 NTU)、流入水温の高い 5 月から 9 月において処理水濁度は低下した (1 NTU)。これは、水温が低下することによって水の粘性が上昇し、凝集剤の分散特性が低下したためであると考えられる。以上のことから、VFM を使用した高比重 BM による凝集沈殿法では、適切な水温管理を行うことによって、水処理施設の小規模化に貢献できることが示された。

(2) Maximum desorption of perfluoroalkyl substances adsorbed on granular activated carbon used in full-scale drinking water treatment plants

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Asami, M. and Matsui, Y.

Water Research, **254**, 121396, (2024).

Reviewed by H. Yoshida

粒状活性炭（GAC）は、PFAS の効果的な除去方法として飲料水処理施設（DWTP）で広く用いられている。しかしながら、吸着処理後の GAC から PFAS が脱着することで処理水の PFAS 濃度が上昇する現象が確認されている。そこで本研究は、実際の現場で使用されている GAC を使用し、PFAS の脱着可能性を明らかにすることを目的とした。GAC 試料は、表層水を取水源とする DWTP（DWTP-K）において 4 か月使用された GAC フィルターの表層から 1.5 m まで 0.5 m 間隔で GAC を採取した。使用済 GAC は粉碎後、複数の溶媒（ジクロロメタン、アセトン、メタノール、硫酸ナトリウム溶液、次亜塩素酸ナトリウム溶液）を用いた溶媒超音波処理法と高速溶媒抽出法を行い、最適な抽出条件の検討、ならびにフィルター深度ごとの GAC への PFAS 吸着量の評価を行った。さらに、DWTP-K の流入水と同様のイオン組成に調整した PFAS を含まない水に、使用済 GAC を 0~1,000 mg/L になるように添加し、振とう期間を 4 か月に設定し、1 か月ごとに脱着水を採取した。各試料水は 0.45 μm フィルターでろ過後、SPE-UHPLC-MS/MS 法によって分析した。また、GAC フィルターの使用開始日から終了日までの流入水と処理水の PFAS 濃度を 1 か月間隔でモニタリングし、使用済 GAC への PFAS 負荷量を算出し、PFAS 脱着量/PFAS 負荷量を PFAS 脱着率として評価した。

使用済 GAC からの PFAS の抽出に最適な条件を検討した結果、最も有効な抽出法はメタノール/溶媒超音波処理法であった。また、DWTP-K では GAC フィルターの深度によって吸着される PFAS の種類が異なり、表層ほど長鎖 PFAS が多く、深度が深くなるにつれて短鎖 PFAS が多く吸着していた。これは、短鎖 PFAS は疎水性が低く、初めに上層で吸着した後に脱着され、より深い層に移動したことを示唆している。脱着水の PFAS 濃度を分析した結果、疎水性が低く（Log Dow 値：-1~1）、スルホン基を持つ PFAS は脱着しやすく、特に疎水性の低い PFBS の脱着率は 120% となった。これに対して、疎水性が高く（Log Dow 値：1~4）、カルボキシ基を持つ PFAS は脱着しにくく、疎水性の高い PFNA の脱着率は 20% となった。さらに、Log Dow 値がゼロに近い PFAS は、周囲の液相の PFAS 濃度が低下すると容易に脱着した。このことから、DWTP において PFAS 濃度の低い水が流入した際に疎水性が低い PFAS は GAC から容易に脱着されることが示唆された。以上の結果から、DWTP で用いる GAC フィルターには吸着の不可逆性を向上させる対策が求められる。

第 432 回雑誌会
(Jul. 18, 2025)

(1) Urban wastewater contains a functional human antibody repertoire of mucosal origin

Stephenson, S., Eid, W., Wong, C. H., Mercier, E., D'Aoust, P. M., Kabir, M. P., Baral, S., Gilbride, K. A., Oswald, C., Straus, S. E., Mackenzie, A., Delatolla, R., and Graber, E. T. *Water Research*, **267**, 122532, 2024.

Reviewed by R. Tachibana

血清疫学調査は、集団の血清における免疫グロブリン (Ig) の有無と、その分布を測定することによって、集団免疫の獲得状況を評価する手法である。しかしながら、各個人の血清を対象とした調査方法は分析コストと労力が膨大になる。そこで本研究では、下水中に含まれる Ig に着目し、感染症の流行と下水中の Ig の関係性、および下水処理場への流入過程における Ig の抗原抗体反応の保持性を評価することを目的とした。試料は、オタワの下水処理場から流入下水、および一次汚泥を採取した。各試料は、遠心分離によって液相および固相に分離し、吸光光度法で総タンパク質濃度を測定した。また、総タンパク質を SDS-PAGE で分子量ごとに分離し、ウェスタンブロッティングと質量分析を用いて、5 種類の Ig (IgG, IgA, IgM, IgD, IgE) を同定した。さらに、ELISA 法によって各 Ig を分析した。また、小規模施設における本手法の適応可能性を評価するため、オタワ大学、オタワ市内の住宅地、および緊急収容施設から排水を採取し、同様の分析を行った。さらに、感染症の流行とワクチン接種率による下水中の Ig の変動を評価した。

流入下水と一次汚泥の両試料において、総タンパク質濃度は液相と比較して固相で高く、それぞれ約 10 倍と 3 倍であった。IgG, IgA, および IgM は両試料の固相から検出されたが、液相からは検出されなかった。ELISA 法による分析では、両試料の固相において、IgA の濃度は IgG と IgM と比較して著しく高かった。これは、ヒトの糞便に IgA が高濃度に存在していることに起因すると考えられる。さらに、両試料の固相から、新型コロナウイルスに特異的な IgA と IgG が検出され、それらの濃度は試料中の新型コロナウイルスの RNA 濃度とワクチン接種率に関連して変動することが観察された。また、A 型インフルエンザウイルスと RS ウイルスのそれぞれに特異的な IgA も検出されたため、下水中の Ig は抗原抗体反応を保持していることが明らかになった。さらに、小規模施設での検討においても新型コロナウイルスに特異的な IgA と IgG の検出が確認された。小規模施設は、下水処理場と比較して排泄から短時間で Ig を採取できるため、排水における Ig の分解が抑制され、より抗原抗体反応を保持した Ig を検出することが可能である。本研究は、下水中の Ig の分布が感染症の流行と関連していることを示し、下水中の Ig の分析は、集団免疫の動向を把握するための新たな手法となる可能性を示唆した。

第 433 回雑誌会
(Jul. 23, 2025)

(1) Microplastic biofilm: An important microniche that may accelerate the spread of antibiotic resistance genes via natural transformation

Wang, H., Xu, K., Wang, J., Feng, C., Chen, Y., Shi, J., Ding, Y., Deng, C. and Liu, X
Journal of hazardous materials, **459**, 132085, 2023.

Reviewed by S. Tamai

マイクロプラスチック (MP) は表面が疎水性であることから、細菌が付着し、バイオフィームが形成されやすい。また、MP には自然形質転換能を有する細菌が付着されやすい可能性が指摘されている。水中に存在する細胞外 DNA は粒子に吸着することで分解されにくくなることから、MP バイオフィームにおける形質転換を介した薬剤耐性遺伝子の伝播の可能性も否定できない。そこで本研究では、MP バイオフィーム中において、自然形質転換能を有する細菌の形質転換の実態を評価した。レシピエント細菌としてグラム陽性菌の *Bacillus subtilis* とグラム陰性菌の *Acinetobacter baylyi*、薬剤耐性プラスミドとして複製機構の異なる 2 種類のプラスミド (pRK415, pUC19) を使用し、形質転換実験を実施した。200 mL の栄養培地にプラスミド、MP、およびレシピエント株をそれぞれ 1 種類ずつ添加し、30°C (*B. subtilis*)、または 37°C (*A. baylyi*) で 72 時間培養した。培養後、抗菌薬入りの培地でバイオフィームから抽出した細菌と浮遊細菌から形質転換体を選択した。MP の種類、サイズ、劣化による形質転換頻度の変化を明らかにするために、大きさの異なる (0.3 mm, 3 mm) ポリプロピレン (PP)、ポリエチレン、ポリスチレン、および UV で劣化させた MP を使用した。また、対照群として石英砂を使用した。さらに、各試料で形質転換頻度が変化する原因を明らかにするために、バイオフィームから RNA を抽出し、qPCR によってバイオフィーム関連遺伝子と細菌の生理活性に関わる遺伝子を定量した。

バイオフィームごとの MP の形質転換頻度は、石英、浮遊細菌と比較して有意に高かった。バイオフィーム内で形質転換が促進される可能性が示唆された。しかし、石英と浮遊細菌では形質転換頻度に有意差がなかったことから、MP が形質転換の場として適していることが推察された。MP の種類による形質転換頻度を比較したところ、PP において最も高く、石英と比較して最大で 1,000 倍に増加した (形質転換頻度, PP : 10^{-3})。形質転換頻度は MP のサイズによっても異なり、0.3 mm の MP において有意に高かった。さらに、劣化した MP の形質転換頻度が有意に上昇することが確認され、新品の PP と比較して、劣化 PP の形質転換頻度は 77 倍になった。RNA 解析の結果、線毛運動、接着、および形質転換能力を向上させる遺伝子の発現量が増加しており、これらの遺伝子が MP バイオフィームでの形質転換頻度の向上に寄与していることが明らかになった。これらの結果は、MP バイオフィームが環境中における薬剤耐性菌の拡散の場となりえることを示唆している。

(2) Antibiotic resistance genes in bacteriophages from wastewater treatment plant and hospital wastewaters

Joana, P., Ricardo, S. and Silvia, M.

Science of The Total Environment, **892**, 164708, 2023.

Reviewed by M. Hayashida

コリスチンやバンコマイシンは抗菌治療の最終手段であり、慎重に使用されているが、それらの抗菌薬に耐性を持つ細菌も確認されている。また、ファージは形質導入によって薬剤耐性遺伝子 (ARGs) を拡散させることから、临床上重要な ARGs の伝播にファージが関連している可能性がある。しかしながら、ファージが保有する临床上重要な ARGs の情報は不足している。そこで本研究では、病院と下水処理場からの環境への ARG の拡散を想定し、病院廃水と流入下水におけるファージの ARGs 保有実態を調査した。水試料は、ポルトガルに位置する 3 つの病院廃水と、その処理水が流入する 5 つの下水処理場から採取した。各試料は中空糸膜ろ過とポリエチレングリコール沈殿によって濃縮後、0.22 μm のフィルターでろ過し、DNase で処理した後に DNA を抽出した。そして、qPCR 法でファージに含まれる临床上重要な ARGs (*bla_{TEM}*, *bla_{CMY}*, *bla_{SHV}*, *bla_{CTX-M}*, *mcr-1*, *mecA*, *vanA*) を定量し、ファージの ARGs 保有率を評価した。さらに、病院廃水と流入下水の ARGs プロファイルを比較し、病院廃水による環境中への ARGs 拡散の影響について検討した。

β ラクタム系抗菌薬に対する ARGs (*bla_{TEM}*, *bla_{CMY}*, *bla_{SHV}*, *bla_{CTX-M}*) は、全ての試料中のファージから高頻度 (40%~85%) かつ高濃度 (10^3 copies/L~ 10^4 copies/L) で検出された。特に、*bla_{TEM}* と *bla_{SHV}* は、病院廃水において他の *bla* 遺伝子よりも高い検出率を示し、病院での抗菌薬の使用が影響していると考えられた。一方、*mcr-1*, *mecA*, *vanA* の検出率は、全ての試料で低く (5%~40%)、比較的低濃度 (検出下限値以下~ 10^3 copies/L) であった。ファージにおけるコリスチン、バンコマイシン耐性遺伝子 (*mcr-1*, *vanA*) の保有は、これまでに報告されておらず、临床上重要な抗菌薬への耐性がファージを介して拡散する可能性が示唆された。また、病院廃水とその廃水が流れ込む下水のファージが保有する ARGs の検出率を比較したところ、両者の間における ARGs の検出率は有意に異なった ($p = 0.01$)。この結果は、下水中の ARGs 保有ファージの主要な供給源が病院廃水だけではないことを示唆しており、抗菌薬の使用量、畜産業の影響、下水集水地域の廃水特性などが複雑に関与していると考えられる。これらの結果から、ファージは病院廃水や下水における ARGs の保存および拡散の重要な輸送体であることが示唆された。本研究は定量的な評価にとどまっており、ARGs を保有するファージの動態解明が今後の課題である。

第 434 回雑誌会 (Jul.30, 2025)

(1) Spatial and temporal dynamics of microbes and genes in drinking water reservoirs: Distribution and potential for taste and odor generation

Zhangsun, X., Guo, H., Du, Q., Li, N., Xue, S., Li, R., Ma, W., Liu, X., Zhang, H. and Huang, T.

Journal of Hazardous Materials, **479**, 135708 (2024).

Reviewed by R. Kondo

貯水池におけるカビ臭の原因物質である 2-メチルイソボルネオール (2-MIB) の主な発生原因は藍藻類と放線菌である。しかし、既往の研究では、2-MIB の主要な発生源は藍藻類であると推察されており、放線菌による影響は過小評価されている。そこで本研究では、放線菌が異臭味被害に与える影響を明らかにするために、貯水池における 2-MIB 合成遺伝子を持つ細菌を特定することを目的とした。試料は 2022 年 6 月 (夏), 10 月 (秋), 12 月 (冬), 2023 年 3 月 (春) の計 4 回にわたり、中国の金盆鎮貯水池 (JP) と茜坑貯水池 (XK) の表層水, 中間層水, 底層水, および堆積物を採取した。水試料は 0.22 μm フィルターを用いてろ過し、フィルターから DNA を抽出した後、シーケンサーによって配列を取得した。取得した配列から菌種同定を行い、2-MIB 合成酵素をコードする遺伝子を検索した。さらに、中間層水を除く、夏季と冬季の試料から、2-MIB 合成遺伝子である *mic* 遺伝子を qPCR で定量し、2-MIB による異臭味被害のリスクを把握するための指標としての利用可能性を評価した。また、水質条件として、DO, pH, 水温, TN, TP, および 2-MIB 濃度を測定した。

2-MIB 合成酵素の存在割合は、春季と秋季と比較して、夏季と冬季において高い傾向を示し、主要な 2-MIB 合成酵素であるグラニルニリン酸 2-メチル基転移酵素 (GPPMT) は、両貯水池で豊富に存在した。GPPMT は、JP と XK において、それぞれ、81.13~100 % と 34.61 %~45.28 % が放線菌に由来しており、*Streptomyces* と *Rhodococcus* が主要な 2-MIB 生産菌として検出された。しかし、夏季の JP 表層水に注目すると、GPPMT の 96.52 % が藍藻類由来であり、*Pseudanabaena* と *Cyanobium* が主要な 2-MIB 生産菌であった。これは、水温の上昇によって藍藻類が表層付近で増殖したことが原因であった。また、試料中の *mic* 遺伝子の存在量は夏季と比較して冬季で高くなり、放線菌の存在量と正の相関があったことから、冬季における 2-MIB の主要な生産者は放線菌であることが示唆された。特に、2-MIB 濃度がピークに達した XK の冬季サンプルでは、*mic* 遺伝子濃度が計測期間中の最大値である 5.42×10^4 copies/L となり、*mic* 遺伝子存在量は 2-MIB による異臭味被害を把握するツールとして利用可能であることが示された。以上のことから、放線菌が貯水池における 2-MIB の主要な発生源であることが示唆された。

第 435 回雑誌会

(Aug. 7, 2025)

(1) Bacterial stress adaptation and antibiotic resistance in dust-transportable bioaerosols originating from the Gobi Desert

Maki, T., Takami, H., Pointing, S. B., Kurosaki, Y., Fukui, H., Bin, C. and Kai, K.

Environmental Pollution, **383**, 126759 (2025).

Reviewed by R. Funaguma

エアロゾルによる薬剤耐性菌の大気拡散は世界的な公衆衛生の懸念となっている。また、砂漠地帯において、エアロゾルによって長距離輸送される細菌は環境ストレスに対し、強い耐性を保持する可能性が報告されている。そこで本研究では、ゴビ砂漠を対象とし、異なる高度でエアロゾルに存在する細菌の環境ストレス耐性と薬剤耐性を比較し、長距離輸送される細菌について調査した。エアロゾル試料は、ゴビ砂漠において、地上 3 m と 500 m の地点で滅菌ポリカーボネートフィルターを用いて採取した。フィルターを生理食塩水に浸し、懸濁液を作成した。その後、懸濁液から DNA を抽出し、Illumina HiSeq によって配列を取得し、菌種と細菌の代謝機能に関連する遺伝子について検索した。また、一般細菌の培養に用いられる TS 培地に懸濁液を添加し、エアロゾルの環境株を回収した。その後、16S rRNA を対象に環境株の菌種同定を行った。環境株を 0~30 % (w/v) NaCl を添加した培地で培養し、細菌の環境ストレス耐性を評価した。また、ディスク法によるアンピシリン (AMP)、クロラムフェニコール (CP)、ならびにテトラサイクリン (TC) に耐性を示す環境株の割合を両地点で比較した。さらに、最小発育阻止濃度 (MIC) 試験による AMP と CP の各濃度 (0~16 mg/L) において耐性を示す環境株の割合も両地点で比較した。

両サンプルの DNA 配列は、*Pseudomonadota* 門と *Bacteroidota* 門で主に構成された。また、検出された 12 種類の細菌の代謝機能うち、10 種類は高高度である 500 m の存在量が多く、環境ストレス耐性に関連する代謝機能を多く保持していた。環境株では、*Bacillus* 属と *Arthrobacter* 属が主要な細菌種であった。NaCl (25 %~30 % w/v) に耐性を保持する環境株の割合は、3 m で 0 % であったのに対し、500 m では 55 % と高く、高高度に存在する細菌は環境ストレスに対する耐性があることが示唆された。ディスク法を行った結果、3 m と比較して 500 m の方が、AMP と TC への耐性を持つ環境株の割合が多かった。同様に、MIC 試験でも、500 m のサンプルにおいて AMP (0.25~16 mg/L) に耐性を保持する環境株の割合は 100 % であった。これに対して、3 m では 41 % であった。このことから、高高度に存在する細菌は薬剤耐性も多く保持していることがわかった。以上の結果から、砂漠環境においてエアロゾルによって長距離輸送される細菌は、環境ストレスに適応しながら、薬剤耐性も保持している可能性が示された。

第 436 回雑誌会

(Sep 10, 2025)

(1) Contrary effects of increasing temperatures on the spread of antimicrobial resistance in river biofilms

Bagra, K., Kneis, D., Padfield, D., Szekeres, E., Teban-Man, A., Coman, C., Singh, G., Berendonk, T. U. and Klümper, U.
mSphere, 9(2), e0057323 (2024).

Reviewed by R. Kashima

河川中に存在するバイオフィルムのような微生物群衆内では、細菌の薬剤耐性の獲得を促進する一方で、下水由来の薬剤耐性菌 (ARB) や薬剤耐性遺伝子 (ARG) が環境中に拡散することを防ぐ最初の防御壁としての役割を担っている。しかしながら、微生物群衆はストレスを与えられることによって細菌の構成や機能に影響を与え、防御反応の強度が変化する。特に、気候変動に伴う水温上昇は細菌に大きなストレスを与えるが、水温の上昇がバイオフィルムの防御機能にどのような影響を与えるのかは不明である。そこで本研究では、水温上昇が河川河床等に形成されるバイオフィルムのレジストームに与える影響を明らかにすることを目的として、バイオフィルム内における ARG の動態と、下水から流入する外来の ARG の定着率を検討した。水試料は、河川と下水処理場の流入地点から採取した。スライドガラスを河川に浸漬し (48 日間)、生育したバイオフィルムを試料として用いた。実験室で河川環境を再現するため、フィルター滅菌した河川水を循環させて人工水路を作成した。この水路の水温を 20°C, 25°C, 30°C に設定し、汚染イベントを模擬して下水を循環させた。排水添直前と添加後の 1, 4, 7, 14 日目にバイオフィルムを採取し、バイオフィルムから DNA を抽出後、qPCR 法によって ARG, 可動性因子 (MGE), および 16S rRNA による菌種同定を実施した。そして、温度によるバイオフィルムの ARB に対するレジリエンス機能の変化を評価した。

30°C のバイオフィルムにおける総 ARG の相対存在量は、20°C および 25°C のバイオフィルムと比較して有意に高く ($P < 0.01$)、高温条件が ARG の存在量を増加させることが示唆された。下水添加後 1 日目のバイオフィルムでは、下水無添加のバイオフィルム内で検出下限値以下であった *ermB*, *ermF*, および *blaOXA58* が高濃度で検出され、下水流入初期段階において下水由来の ARG がバイオフィルム内に侵入したことが確認された。しかし、30°C 条件では全ての侵入してきた ARG が経時的に有意に減少した ($P < 0.05$)。また、30°C における ARG の減少速度と減少率は、20°C と 25°C と比較して著しく高く、外部からの ARG の侵入に対するレジリエンス機能の向上によって定着率が低下した可能性が示唆された。以上のことから、高温条件はバイオフィルム内の ARG を増加させる一方で、外部からの ARG の侵入に対するレジリエンス機能の向上することが示唆された。

第 437 回雑誌会
(Sep. 17, 2025)

(1) Detection of faecal bacteria and antibiotic resistance genes in biofilms attached to plastics from human-impacted coastal areas

Liang, H., de Haan, William P., Cerda-Domenech, M., Mendez, J., Lucena, F., Garcia-Aljaro, C., Sanchez-Vidal, A. and Balleste, E.

Environmental Pollution, **319**, 120983, (2023).

Reviewed by K. Okuno

プラスチック表面は細菌によるバイオフィルムが形成されやすいことから、プラスチックは病原細菌の拡散や薬剤耐性遺伝子 (ARGs) の水平伝播に関連している可能性がある。また、下水処理場からは処理されなかった一部のマイクロプラスチックが排出されており、海洋プラスチックの汚染源となることが報告されている。そこで本研究では、下水処理場などの人為的影響を受ける 2 か所の異なる海洋を対象に、海水、海底堆積物、およびプラスチックの試料に存在する糞便指標細菌、病原細菌、ARGs の存在実態を調査した。試料は、スペインの下水処理水が流入する海洋から海水、浮遊プラスチック、および海底堆積物を採取し、海底堆積物に含まれるプラスチックを回収した。そして、各試料について糞便性細菌の大腸菌と腸球菌を計数した。また、プラスチックに存在する病原性細菌の *Vibrio* 属と *Pseudomonas* 属を選択培地で計数した。さらに、各試料から DNA を抽出し、qPCR によって、大腸菌、腸球菌、ヒトの糞便に特有なウイルスである crAssphage、および ARGs (*sulI*, *tetW*, *bla_{TEM}*) を定量した。

両地点で採取した海水から大腸菌と腸球菌が、それぞれ $0.3 \sim 5.7 \times 10^2$ CFU/100ml と $0.7 \sim 2.1 \times 10^2$ CFU/ml で検出された。また、crAssphage が全海水サンプルの 88 % から検出されたことから、海水は下水の影響を受けていることがわかった。16S rRNA で正規化した糞便性細菌の相対存在量は、海水と海底堆積物よりもプラスチックの方が多く、プラスチックは糞便性細菌が保持されやすいことが示唆された。浮遊プラスチックからは *Vibrio* 属と *Pseudomonas* 属がそれぞれ 3.9×10^2 CFU/mm² と 4.1 CFU/mm²、一方の海底堆積物プラスチックからは 1.25 CFU/mm² と 0.25 CFU/mm² で検出され、病原細菌数は浮遊プラスチックの方が多かった。ARGs は、浮遊プラスチック試料の 60% 以上から検出され、*sulI*, *tetW*, *bla_{TEM}* は、それぞれ 1.9×10^2 gene copies (gc)/mm², 62 gc/mm², 18 gc/mm² で検出された。また、16S rRNA で正規化した *sulI* と *tetW* の相対存在量は、プラスチック試料が最も多かった。以上の結果から、海水と堆積物と比較して、プラスチックは糞便性細菌と ARGs が保持されやすいことが明らかになった。病原細菌を保持した浮遊プラスチックによって、海洋中で病原細菌を輸送拡散させるリスクが懸念される。

(2) Evidence of horizontal gene transfer and environmental selection impacting antibiotic resistance evolution in soil dwelling *Listeria*

Goh, Y. X., Anupoj, S. M. B., Nguyen, A., Zhang, H., Ponder, M., Krometis, L. A., Pruden, A. and Liao, J. Nature Communications, 15(1), 10034 (2024).

Reviewed by K. Ohwada

土壌は、薬剤耐性遺伝子（ARG）の天然の貯蔵庫として機能しており、新たな薬剤耐性菌の出現や拡散と関連している。特に、*Listeria monocytogenes* は土壌に生息する病原細菌であり、臨床環境や食品加工工場などから薬剤耐性菌として検出されている。しかしながら、*Listeria* 属細菌の薬剤耐性に関する研究において、自然環境由来の薬剤耐性や環境条件が *Listeria* 属細菌の保有する ARG に及ぼす影響に関する知見は乏しい。そこで本研究では、自然環境由来の *Listeria* 属細菌における薬剤耐性プロファイルと環境要因の関係性を検討した。試料は、アメリカの人為的影響が少ない自然環境から 1,004 地点の土壌サンプルを採取し、ストレス応答調節に関与する固有の *sigB* 遺伝子を有する *Listeria* 属細菌 594 株を選別して用いた。*Listeria* 属細菌の機能的な ARG は、遺伝子解析によって同定した。*Listeria* 属細菌における水平伝播の実態を評価するため、各細菌が保有する ARG の系統解析を実施し、ARG の相同組み換えの履歴から水平伝播の証拠を検索した。また、細菌の DNA から水平伝播に関連する可動性遺伝要素を検索した。さらに、環境データ（地理情報、土壌を構成する物質の存在量、気象データ、周辺地域の土地利用）と ARG の保有数・遺伝的多様性の相関を機械学習によって解析し、*Listeria* 属が保有する ARG に影響を与える環境要因を明らかにした。

遺伝子解析の結果から、*L. monocytogenes* の近縁種であるほど、5 つの機能的な ARG である *lin* (82.66%), *mprF* (82.32%), *sul* (81.14%), *fosX* (60.77%), および *norB* (58.42%) を保有していることが確認された。また、これらは臨床治療で使用する抗菌薬に耐性を与える ARG ではなかった。水平伝播の履歴は、*L. monocytogenes* の近縁種内で確認されたが、近縁種と遠縁種間では確認されなかった。また、遺伝子解析の結果から、トランスポゾン、挿入配列、プラスミド、およびプロファージなどの接合伝達や形質導入を介して獲得した ARG は少なかった。しかし、遊離 DNA の取り込みに関連する遺伝子や鞭毛関連遺伝子を持つ *L. monocytogenes* の近縁種が多いことから、形質転換によって ARG を獲得することが示唆された。また、環境要因と ARG の相関を解析した結果、ARG の保有数は土壌中のアルミニウム濃度と正の相関を示したが、マグネシウム濃度とは負の相関を示した。さらに、ARG の遺伝的多様性と周囲の森林被覆率に正の相関が確認された。このことから、野生動物の糞尿を媒介に多様な ARG が蔓延していることが示唆された。

第 438 回雑誌会

(Oct. 6, 2025)

(1) Detection of SARS-CoV-2 Proteins in Wastewater Samples by Mass Spectrometry

Lara-Jacoba, L. R., Islam, G., Desaulniers, J. P., Kirkwood, A. E., and Simmons, D. B. D.
Environmental Science & Technology, **56**, 5062-5070, 2022.

Reviewed by R. Tachibana

下水疫学調査（WBE）は、COVID-19 の蔓延状況を監視する手法として、世界中で広く使用されている。COVID-19 を対象とした WBE では、RT-qPCR を用いた SARS-CoV-2 RNA 検出法が最も一般的に使用されており、LC-MS/MS を用いた WBE は、ほとんど検討されていない。そこで本研究では、LC-MS/MS を用いて、下水中の SARS-CoV-2 タンパク質の存在を評価し、WBE への適応可能性を検討することを目的とした。試料は、2020 年 10 月から 2021 年 4 月までの 15 週間にかけて、カナダのオンタリオ州に位置する 2 つの下水処理場（WWTP1, WWTP2）から、計 115 サンプルの流入下水を採取した。試料にアセトンを追加し、遠心分離によってタンパク質を沈殿させた後、還元剤で還元処理を行った。さらに、ヨードアセトアミドを用いてアルキル化を行い、その後、ギ酸でタンパク質をペプチドに消化した。最後に、LC-MS/MS を用いてペプチドを検出し、UniProt でタンパク質を同定した。また、SARS-CoV-2 タンパク質と RNA による WBE の特徴を比較するため、流入下水から RNA を抽出し、RT-qPCR による解析を行った。そして、タンパク質と RNA の検出強度に対して、前後 15 日間の新規 COVID-19 症例数とのクロスコリレーション解析を行い、各日数差における相関を調査した。その後、最大の相関係数が得られた日数差について、ピアソン相関分析で統計的有意性を検定した。

LC-MS/MS によって、7 種類の SARS-CoV-2 タンパク質に由来する 245 種類のペプチドが同定された。7 種類の SARS-CoV-2 タンパク質の中で、最も頻繁に検出されたタンパク質は pp1ab であり、陽性サンプルの 97.82% で検出された。これは、pp1ab が COVID-19 患者の糞便や尿中に豊富に存在する可能性や、他の SARS-CoV-2 タンパク質と比較して分子量が大きく（794,058Da）、分解されにくいことに起因すると考えられる。クロスコリレーション解析とピアソン相関分析の結果、pp1ab は WWTP1 と WWTP2 において、それぞれ 6 日と 5 日前の新規 COVID-19 症例数と最大の相関係数（ $r=0.4527, 0.4945$ ）を示した（ $p<0.0001$ ）。一方の RNA は、WWTP1 と WWTP2 において、それぞれ 4 日と 10 日後の新規 COVID-19 症例数と最大の相関係数（ $r = 0.7556, 0.4500$ ）を示した（ $p < 0.0001$ ）。このことから、pp1ab は COVID-19 感染直後に体内で生産され、SARS-CoV-2 RNA に先行して下水中に排出されることが明らかになった。したがって、LC-MS/MS を用いた下水中の pp1ab の監視は、COVID-19 の蔓延状況を早期に把握することができる可能性を示すとともに、タンパク質を用いた WBE の有用性を示唆した。

(2) The role of bacteriophages in facilitating the horizontal transfer of antibiotic resistance genes in municipal wastewater treatment plants

Qiang, W., Min, W., Qingxiang, Y., Lingran, F., Hao, Z., Ruifei, W. and Ruimin, W.
Water Research, **268**, 122776, 2025.

Reviewed by M. Hayashida

水平伝播は、薬剤耐性遺伝子（ARGs）を拡散する主要なプロセスであり、ファージは形質導入や形質転換に寄与している。また、下水処理場は薬剤耐性菌のホットスポットであり、遺伝子の水平伝播によって ARGs が拡散している。そこで本研究は、ファージによる ARGs やプラスミドの拡散など、ファージが ARGs の水平伝播に与える影響を明らかにすることを目的とした。試料は、中国の下水処理場の曝気槽から排水と汚泥の混合物を採取し、0.22 μm フィルターでろ過してファージ濃縮液を作成した。また、アモキシシリン、アジスロマイシン、テトラサイクリンを混合した培養液によって、試料水から多剤耐性菌（MRB）のスクリーニングを行った。その後、MRB 培養液とファージ濃縮液、3 種類の抗菌薬を混合し、37°C で 10 日間共培養した（共培養区）。さらに、ファージが ARGs の水平伝播に与える影響を明らかにするため、オートクレーブ処理したファージ濃縮液を用いた同様の操作も行った（対照区）。そして、各混合液中の細胞内 DNA（iDNA）、細胞外 DNA（eDNA）、ファージ DNA を抽出し、遺伝子解析によって菌叢解析と ARGs、プラスミドの検出を行った。

遺伝子解析の結果、培養前後の混合溶液から 11 種の ARGs が検出された。そのうち 9 種の ARGs が、共培養の過程でファージ DNA において有意に増加しており（ $p < 0.05$ ）、*ermB* が最も多く検出された。iDNA と eDNA における ARGs は共培養後に増加したが、細菌叢の変化は確認されなかった。このことから、iDNA と eDNA における ARGs の増加は、特定の MRB の増加ではなく、ファージによる形質導入あるいはファージの溶菌作用による細胞外への ARGs の放出に起因していることが示唆された。また、共培養前にはファージ DNA のみで検出された 5 種の ARGs が、培養後の iDNA においても検出されたことから、ファージが保有する ARG が形質導入によって細菌に伝播したと推察された。さらに、共培養区で 291 種、対照区で 191 種の細胞外プラスミドが検出されており、ファージの作用によって、細胞外プラスミドの種類が増加した。加えて、より多くの ARGs をコードしやすいと考えられる長鎖プラスミド（20 kb 以上）の数は、共培養区において多かった。ファージは、形質導入における ARGs のベクターとして機能するだけでなく、宿主のプラスミドを放出させることで、その他の細菌の形質転換も助長する可能性が示唆された。以上のことから、ファージは ARGs の水平伝播を多面的に促進する存在であると考えられる。

第 439 回雑誌会

(Oct 20, 2025)

(1) Prophage induction by non-antibiotic compounds promotes transformation of released antibiotic resistance genes from cell lysis

Lu, J. and Guo, J

Water research, **263**, 122200, 2024.

Reviewed by S. Tamai

プロファージは溶原性ファージが宿主に感染した際に導入した遺伝子であり、宿主が外的刺激を受けた際にプロファージからファージが誘導され、宿主を溶菌する。プロファージは薬剤耐性菌 (ARB) から検出されていることから、ファージによる溶菌に伴って ARB から薬剤耐性遺伝子 (ARGs) が放出され、形質転換によって ARB が拡散する可能性がある。一方で、高濃度の消毒剤は細菌に損傷を与えるが、水環境中に残留する低濃度の消毒剤が細菌に損傷を与え、ファージの誘導を促すかは明らかになっていない。そこで本研究では、消毒剤によるファージ誘導が、ARGs の拡散と形質転換に与える影響を評価し、そのメカニズムについて検討した。消毒剤としてトリクロサンとナノ銀を使用し、細菌として ARGs とプロファージを保有する 15 種類の臨床分離 ESKAPE 病原体を使用した。初めに、消毒剤濃度とファージの誘導の関係性を評価した。細菌培養液に消毒剤を各濃度 (0, 0.01, 0.1, 1, 10, 100 $\mu\text{g/L}$) で添加し、37°C で最大 8 時間培養した。遠心分離後、上澄みを 0.22 μm フィルターでろ過し、フローサイトメトリーによってウイルス粒子数 (VLP) を測定した。また、自然形質転換能を持つ *Acinetobacter baylyi* とウイルス回収液を使用して形質転換実験を行い、ファージの誘導に伴って放出された ARGs による形質転換の促進を評価した。さらに、消毒剤の添加による活性酸素 (ROS) や遺伝子発現量の変化から、ファージ誘導のメカニズムについて検討した。

15 種類の細菌のうち、8 種類が各消毒剤を 100 $\mu\text{g/L}$ の添加することによってウイルス粒子数が 2~4 倍に増加した (最大 11,437 VLPs/ μL)。さらに、放出された ARGs 量は各消毒剤の濃度が 1 $\mu\text{g/L}$ から有意に増加し、100 $\mu\text{g/L}$ では未添加条件と比較して 2.7~3.2 倍に増加した。*A. baylyi* の形質転換率はトリクロサン濃度 1.0 $\mu\text{g/L}$ から有意に増加し、100 $\mu\text{g/L}$ において最大となった。しかし、ドナー遺伝子としてプラスミドを使用した場合、形質転換率は変化しなかった。このことから、トリクロサンによる刺激が形質転換を促進したのではなく、細胞外 ARGs 量が増加したことで形質転換が促進されたと考えられる。また、ROS や RNA の発現量は消毒剤の添加によって増加したが、ROS を捕捉剤で減少させることによってウイルス粒子数、形質転換率、および RNA 発現量は低下し、ROS による酸化ストレスがプロファージ誘導を促進していた。プロファージの誘導はトリクロサンが低濃度 (1 $\mu\text{g/L}$) の条件で発生したことから、環境中の微量な消毒剤が ARGs の拡散に影響を与えている可能性がある。

(2) Long-term removal of perfluoroalkyl substances via activated carbon process for general advanced treatment purposes

Nakazawa, Y., Kosaka, K., Yoshida, N., Asami, M. and Matsui, Y.

Water Research, **245**, 120559, (2023).

Reviewed by H. Yoshida

人体に健康被害を引き起こす PFAS は環境に残留しやすいため、その除去は不可欠である。PFAS 除去に有効な活性炭吸着は、多くの浄水場で利用されているが、活性炭の PFAS 除去特性に関する情報は少なく、浄水場における粒状活性炭 (GAC) フィルターや粉末活性炭 (PAC) は PFAS 除去のために最適化されていない。そこで本研究では、GAC フィルターによる PFAS 除去における長期的な運用の有効性と PAC 処理における最適な PAC 投与量を評価することを目的とした。試料は、4 か月に一度の頻度で GAC フィルターを交換している F 浄水場において、1 ヶ月月ごと (2021 年 : 1 月 ~ 2022 年 : 9 月) に原水と処理水のサンプルを採取した。また、異なる PAC 注入率 (10 ~ 20 mg/L) で処理を行っている 12 カ所の浄水場の原水と処理水を採取した。各原水と処理水は GF/F フィルターでろ過後、固相抽出 UHPLC-MS/MS によって PFAS 濃度を測定し、処理水濃度/原水濃度から PFAS の残留比を算出した。

F 浄水場及び PAC を使用している全ての浄水場の原水と処理水において、カルボン酸を含む PFAS (PFCA) が検出された。また、処理水中の PFCA 残留比は、炭素鎖数が減少するとともに増加した。最も炭素鎖数の多い (C9) PFNA では、残留比は 0 ~ 0.3 であったが、最も炭素鎖数の少ない (C4) PFBA では、残留比は 0.3 ~ 1.3 となり、GAC から脱着していることが明らかとなった。さらに、全ての PFCA 残留比は、水温の上昇とともに増加した。これは、水温が上昇することで活性炭微細孔内での物質の拡散速度が増加し、飽和状態となった GAC 内で有機物と PFCA の置換が活発に行われたためであると考えられる。PAC 処理を用いた浄水場においても、F 浄水場と同様に炭素鎖数の少ない PFCA が処理水中に残留した。また、炭素鎖数の少ない PFCA の残留比は PAC の注入率と強い負の相関を有していた。さらに、PFCA の残留比と PAC 注入率に直線の相関関係があると仮定した場合、炭素鎖数が 7 以上の PFCA では PAC 注入率が数十 mg/L で残留比 0.1 を達成できるのに対して、PFBA では 1000 mg/L 以上の注入率が必要であると推定された。以上の結果から、一般的な活性炭処理では炭素鎖数の少ない PFCA の除去が困難であるため、GAC フィルターを用いる場合は交換頻度をさらに増やす必要がある。また、PAC 処理の場合には、注入率の増加ではなく、微粉末化などの吸着性能を向上させる工夫が重要である。

第 440 回雑誌会
(Oct. 27, 2025)

**(1) Study on optimization of coagulation-flocculation of fish market wastewater using
bittern coagulant – response surface methodological approach**

Bagastyo, A. Y., Anggrainy, A. D., Gatneh, S., Nurhayati, E., Susanti, D., Widodo, E.,
Soehartanto, T. and Warmadewanthi, I.

Water Science & Technology, **85**, 10, (2022).

Reviewed by R. Hirashima

にがりとは高濃度の Mg と高いイオン強度を有しているため、排水処理の代替凝集剤として注目されている。にがりとは、費用対効果や濁質除去効率が高く、大量生産が可能であるなどの利点があるが、にがりを排水処理に使用した事例は少なく、その有効性に関する知見は乏しい。そこで本研究では、魚市場の排水処理に用いる凝集剤としてにがりを適用し、にがりの性能評価と処理条件の最適化を目的とした。原水はインドネシアの魚市場から採取した。また、にがりとはインドネシアの製塩業の排水回収ピットから採取した。原水の pH を 7.5, 9.0 および 10.5 に調整した後、それぞれの条件下において、にがりを 0.5, 1.5, および 2.5 mL/L 注入し、凝集沈殿試験を実施した。試験はジャーテスターを用いて、1 分間の急速攪拌 (120rpm) と 30 分間の緩速攪拌 (40rpm) を行った後、30 分間静置させた。上澄み液を採取し、全浮遊物質 (TSS), COD, アンモニア態窒素, およびリン酸の除去率と残留 Mg 濃度を測定した。また、各項目に応答曲面法 (RSM) を用いて、最適条件を求めるモデルを作成し、分散分析で統計的有意性を検定した。さらに、沈殿した汚泥を採取し、X 線回折 (XRD) 分析で汚泥の特性を評価した。

凝集沈殿試験の結果、にがりの注入量が 1.5 mL/L、原水の pH が 10.5 の条件において、TSS, COD, アンモニア態窒素, およびリン酸の除去率は、それぞれ 93.3%, 87.5%, 37.6%, および 91.3% で最大となり、残留 Mg 濃度が最も低かった。しかしながら、処理水の COD とアンモニア態窒素濃度はインドネシアの排水処理基準値を超過しており、処理水の高度処理が必要であることが示された。また、作成したモデルから算出された最適な条件は、原水 pH 10.5, にがりの注入率 1.284 mL/L となった。このモデル予測値は実験結果と有意に適合しており ($p < 0.05$), 作成したモデルの適合性が示された。すべての項目において XRD の結果、汚泥には工業的に価値のある鉱物である方解石とストルバイトが、それぞれ 48.6% と 51.4% で含まれていた。このことから、にがり凝集沈殿によって得られた汚泥を工業用原材料として再利用できる可能性が示唆された。

第 441 回雑誌会 (Nov. 10, 2025)

(1) Removal of long- and short-chain PFAS from groundwater by foam fractionation

Klevan, C., Allen, V. O., Mukai, K., Gomes, A., Xia, S., Caines, S., Woodcock, J. M. and Pennell, D. K.

Environmental Science Water Research & Technology, **11(10)**, 2267-2470 (2025).

Reviewed by R. Kondo

人間の健康に対する脅威である PFAS は気液界面に蓄積されやすいことから、泡沫分離による除去が期待されている。しかし、PFAS の除去率は水質条件によって変化する可能性があるため、各水質条件に対応したパイロット試験を行う必要がある。そこで本研究では、地下水に溶解した PFAS の泡沫分離法による除去性能を評価した。原水は、イオン強度を 8.5 mM に調整した合成地下水に、長鎖 PFAS として PFOA と PFOS、短鎖 PFAS として PFBA と PFBS をそれぞれ 0.4~400 µg/L となるように添加した。また、起泡剤および捕集剤となるカチオン性界面活性剤として分子量の異なる 3 種のトリメチルアンモニウム化合物 (CTAB (C₁₉), DTAB (C₁₅), OTAB (C₁₁)) と高分子 PolyDADMAC を用いた。泡沫分離処理は回分式装置において、原水 1 L にカチオン性界面活性剤を 1 mg/min で連続注入し、空気流量を 0.47 L/min で曝気し、所定時間後の処理水を回収した。さらに、アメリカの軍事基地 2 地点から 27 サンプルの実汚染地下水を採取し、泡沫分離処理を行った。気水界面親和性は Wilhelmy 法で測定した表面張力の値から評価した。原水および処理水中の PFAS 濃度は超高速液体クロマトグラフ法を用いて測定した。

気水界面親和性から最適なカチオン性界面活性剤を検討したところ、CTAB の気水界面親和性が最も高いことから、地下水の泡沫分離処理に最適なカチオン性界面活性剤は CTAB を選定した。さらに、長鎖 PFAS は短鎖 PFAS よりも気水界面親和性が高くなった。また、各 PFAS 初期濃度における CTAB を用いた泡沫分離処理では、長鎖 PFAS を 5 分の処理時間で 99% 以上除去することが可能であったが、短鎖 PFAS を 99% 以上除去するためには 50 分の処理時間が必要であった。このことから、泡沫分離処理では、長鎖 PFAS と短鎖 PFAS が気泡表面で吸着競合を起こし、優先的に長鎖 PFAS が除去された。また、対照実験として行ったカチオン性界面活性剤の無添加条件においても、PFOS と PFOA でそれぞれ 90% と 60% が除去されており、気泡の破裂によって長鎖 PFAS が大気中に拡散される可能性が示唆された。実汚染地下水からは 11 種の PFAS が検出されたが、15 分の泡沫分離処理によって全 PFAS 濃度を定量下限値以下に低減することが可能であった。また、検出された PFAS のなかで最も炭素鎖数の短い PFBA は、他の PFAS の除去が進行するまで除去されなかった。以上のことから、CTAB を添加した泡沫分離処理は、地下水における幅広い濃度の PFAS 除去に有効であることが明らかとなった。

(2) Differential effects of wastewater treatment plant effluents on the antibiotic resistomes of diverse river habitats

Lee, J., Ju, F., Beck, K., & Bürgmann, H.

The ISME journal, 17, 1993–2002. (2023).

Reviewed by R. Kashima

下水処理場は、河川における薬剤耐性遺伝子 (ARGs) の供給源の一つである。しかし、既存の研究は特定の ARGs や細菌群集に焦点を当てたものが多く、包括的な知見は依然として不足している。また、化学汚染物質の生物濃縮のように、ARGs が食物連鎖を通じて蓄積される可能性についても明らかにされていない。このような知見の不足により、ARGs に対する体系的なモニタリング体制は未だ確立されていない。本研究は、下水処理場の放流水が河川中の多様な細菌群集に及ぼす影響を明らかにし、河川における ARGs のモニタリング対象を特定することを目的とした。調査はスイス国内の 9 カ所の下水処理場とその受入河川で実施した。放流水は下水処理場から直接採取し、河川の上流、放流水直下、および下流からは、河川水、底質、岩石表面のバイオフィルムを採取した。また、河川の各地点において、食物連鎖の低層に位置する水生生物のヨコエビ (*Gammarus* spp.) を採集した。水試料は、5.0 μ m のフィルターで通水した後、ろ液をさらに 0.22 μ m のフィルターに通水し、懸濁粒子に付着した細菌と遊離生活性の細菌に分画した。底質とバイオフィルムのバイオマスは、遠心分離で回収した。また、ヨコエビの腸の内容物をバイオマスとして回収した。分画・回収した試料から DNA を抽出し、Illumina MiSeq によって ARGs の同定を行った。また、16S rRNA を用いた細菌群集の同定も行った。

同定の結果、水試料中の細菌群集は人や動物由来、その他の試料は自然由来の細菌で構成されていた。また、全ての試料から、合計 677 種類の ARGs が同定され、その構成や多様性は環境区分 (放流水、河川水、底質、バイオフィルム、ヨコエビ) ごとに異なっていた。特に、ヨコエビにおける ARGs の多様性は、他の環境区分と大きく異なっており、放流水による影響は確認されなかった。他方、9 か所すべての河川において、河川水の多様性は他の環境区分と比較して、放流水との類似性が高かった。また、下流の河川水において、*sulI*, *aadA*, およびクラス A- β ラクタマーゼ遺伝子が有意に増加した ($p < 0.05$)。以上の結果から、河川における ARGs のモニタリングは、*sulI*, *aadA*, クラス A- β ラクタマーゼ遺伝子を指標とし、放流水の影響が最も大きい環境区分である河川水に焦点を当てるべきであることが示された。また、ヨコエビとその他の試料で ARGs の多様性に相関は確認されず、ARGs の生物濃縮は発生していないことが確認された。

第 442 回雑誌会
(Nov. 21, 2025)

(1) Aerosol particles released from grit chambers of nine urban wastewater treatment plants in typical regions: Fugitive characteristics, quantitative drivers, and generation process

Wang, W., Yang, K., Li, L. and Han, Y.

Water Research, **274**, 123162, 2025.

Reviewed by R. Funaguma

下水処理場における攪拌や曝気を伴う下水処理は、下水由来の病原細菌を含むエアロゾルを放出し、健康被害を及ぼす可能性がある。生物処理や汚泥脱水処理によって発生するエアロゾルに関する研究は多いが、沈砂池に着目したエアロゾルの研究は少ない。そこで本研究では、沈砂池から発生したエアロゾル中の病原細菌による健康リスクを評価した。調査地点は、処理法と曝気量が異なる 9 つの処理場における沈砂池を対象にした。試料は、沈砂池から下水とエアロゾルを採取した。エアロゾルを捕集したフィルターを滅菌水に懸濁させ、懸濁液からエアロゾル中の細菌を計数した。また、細菌懸濁液をガラス容器に注入し、曝気 (0.5, 1.0, 1.5 m³/h) した際に発生したエアロゾルの粒子数と細菌数を比較した。次に、16S rRNA 遺伝子によるエアロゾルと下水の菌叢解析を行った。そして、主座標分析から病原細菌の類似性を調査した。さらに、沈砂池から発生したエアロゾル中の病原細菌に通年暴露された際の感染確立 P_y (per person per year: pppy) と疾病負荷 DB (Disability Adjusted Life Years pppy: DALYs pppy) を WHO の文献をもとに算出した。

沈砂池の処理方法による細菌数を比較したところ、曝気式沈砂池におけるエアロゾルの細菌数は 1,192 CFU/m³ と最も多かった。また、曝気式沈砂池において、曝気量が 4.0 m³/h におけるエアロゾルの細菌数は 1,361 CFU/m³ であったが、曝気量 3.5 m³/h では 1,595 CFU/m³ であり、曝気量が低下すると細菌数が増加した。シミュレーション実験によるエアロゾルの粒子数と細菌数は、曝気量が最小である 0.5 m³/h の時に最大となり、空気流量が増加するにつれ、エアロゾル粒子数と細菌数は有意に減少した。低空気流量の曝気時に生成される粒径の小さい気泡は、水面で破裂する際により多くのエアロゾル粒子を放出することから、低曝気量における細菌数の方が高曝気量よりも多かったと推察される。主座標分析を行った結果、下水とエアロゾルにおける病原細菌の組成は類似しており、エアロゾルの病原細菌が下水由来であることが示唆された。沈砂池のエアロゾルから検出された病原細菌による P_y は $8.67 \times 10^{-4} \sim 2.08 \times 10^{-1}$ pppy, 平均 DB は 4.83×10^{-4} DALYs pppy となった。この値は、WHO とアメリカ合衆国環境保護庁の基準値 (P_y : 1.0×10^{-4} pppy, DB: 1.00×10^{-6} DALYs pppy) よりも高く、処理場の作業員等に健康被害を及ぼす可能性が示唆された。

第 443 回雑誌会

(Dec. 1, 2025)

(1) Time-series incubations in a coastal environment illuminates the importance of early colonizers and the complexity of bacterial biofilm dynamics on marine plastics

Lemonnier, C., Chalopin, M., Huvet, A., Le Roux, F., Labreuche, Y., Petton, B., Maignien, L., Paul-Pont, I. and Reveillaud, J.

Environmental Pollution, **312**, 119994, (2022).

Reviewed by K. Okuno

海洋中のマイクロプラスチック（MP）の表面には、プラスチックフィア（PS）と呼ばれるバイオフィームが形成される。PS は形成後 1~2 週間程度で急速に細菌叢が変化する。しかしながら、海洋中の MP の滞留時間が不明であることから、環境中における PS の細菌叢の時間的遷移は明らかになっていない。また、PS は、周辺環境や付着するプラスチックの種類によって変化することが示唆されているが、詳細なメカニズムは未解明である。本研究は、PS の時間的・空間的变化に着目し、細菌叢や形成要因を解明することを目的とした。調査は、フランスの海洋で実施した。3 種類の MP（PE, PP, PVC）を海水中に浸漬させ PS を形成させた。浸漬実験は、実際の潮間帯において 14~147 日間、潮下帯において 35~140 日間行い、浸漬期間中 4~5 回、各 MP と海水を回収した。潮間帯で各回収日の 7 日前に MP を浸漬し、付着した細菌を初期定着細菌と定義した。採取した海水は、孔径の異なる 4 つのフィルター（60 μm , 5.0 μm , 1.0 μm , 0.2 μm ）でろ過し、浮遊性細菌と付着性細菌を分画した。全ての試料は、DNA 抽出後、16S rRNA を解析し、MP と海水の細菌叢を比較した。加えて、順列多変量分散分析（PERMANOVA）を行い、浸漬場所と時間、MP の種類が、微生物群集に与える影響の有意性を評価し、PS の形成要因を特定した。

初期定着細菌として、計 555 種の細菌が同定された。優占種は *Alteromonas* 属と *Pseudoalteromonas* 属であり、浮遊プラスチックから頻繁に検出される属と一致した。一方で、長期間海水に浸漬させた MP では浸漬期間が長いほど、初期定着細菌の相対存在量は減少し、菌叢が安定化して行くことが明らかになった。また、海水試料と MP の細菌叢は異なり、MP では *Proteobacteria* 門と *Cyanobacteria* 門などの MP を基質として利用可能な光合成細菌が多く存在した。PERMANOVA 解析の結果、浸漬場所や MP の種類によって微生物群集が有意に異なった。特に、潮汐や温度などの変化が激しい潮間帯では、乾燥に強い *Phormidesmis* 属が優占した。また、潮間帯の PVC は、PP, PE と比較して、*Phormidesmis* 属の存在量が低かった。PVC は添加剤を多く含むことから、*Cyanobacteria* 門である *Phormidesmis* の生育を阻害したと推察される。以上の結果から、周辺環境や MP の種類、浸漬時間が PS の形成に影響を与える要因であることが明らかとなった。

第 444 回雑誌会

(Dec. 8, 2025)

(1) Assessment of Antibiotic Resistance Among Isolates of *Klebsiella* spp. and *Raoultella* spp. in Wildlife and Their Environment from Portugal: A Positive Epidemiologic Outcome

Sabença, C., de la Rivière, R., Barros, P., Cabral, J. A., Sargo, R., Sousa, L., Dapkevicius, M. d. L. E., Silva, F., Lopes, F., Abrantes, A. C., Vieira-Pinto, M., Caniça, M., Igrejas, G., Torres, C. & Poeta, P.

Pathogens, 14(1), 99. (2025)

Reviewed by K. Ohwada

薬剤耐性の蔓延は、ヒトや動物、環境にまたがる深刻な脅威であり、ワンヘルスの観点から多分野による対策が求められており、環境中の薬剤耐性菌の実態を把握する必要性が高まっている。腸内細菌科に属する *Klebsiella* 属や *Raoultella* 属は、ヒトや動物の腸管に加え、土壌や水域など多様な環境に広く分布している。さらに、これらの細菌はバイオフィルムを形成することから、水平伝播による薬剤耐性遺伝子 (ARGs) の拡散に寄与する可能性が指摘されている。本研究は、野生動物と環境中に存在する *Klebsiella* 属と *Raoultella* 属の薬剤耐性、およびバイオフィルム形成能を評価し、薬剤耐性の拡散の可能性を検討した。試料として、森林 10 地点から、動物の糞便、河川水、および土壌を採取した。各試料は栄養培地で増菌後、*Klebsiella* 選択培地と大腸菌群選択培地に塗布し、単離株を MALDI-TOF によって菌種同定した。その後、15 種類の抗菌薬を用いてディスク拡散法による薬剤耐性試験を行った。さらに、薬剤耐性を示す株は、PCR 法とゲノム解析によって保有する ARGs を確認した。バイオフィルム形成能は、各単離株の培養液を添加した 96 well plate を 37°C で 24 時間培養後、各ウェルに形成されたバイオフィルムをクリスタルバイオレットで染色し、吸光度から評価した。

採取した 378 試料から、36 株の *Klebsiella* 属と 10 株の *Raoultella* 属が同定された。*Klebsiella* 属は *K. pneumoniae* (22/36 株)、*Raoultella* 属は *R. planticola* (8/10 株) が優占種であった。薬剤耐性試験の結果、全 46 株のうち、45 株は 15 種類の抗菌薬に対して感受性であった。また、土壌から採取された *K. pneumoniae* のみが多剤耐性の ESBL 産生菌であった。唯一検出された多剤耐性 *K. pneumoniae* の遺伝子解析の結果、複数の β -ラクタマーゼ遺伝子などが検出された。さらに、この分離株は抗菌薬が多用される人為的な環境に存在する細菌と薬剤耐性プロファイルの類似性が示された。また、バイオフィルムの形成能を評価した結果、全 45 株中 44 株がバイオフィルム形成能を有していることが確認された。以上の結果から、各環境試料の *Klebsiella* 属と *Raoultella* 属の単離株は、ほとんどが薬剤感受性であった。しかしながら、バイオフィルム形成能を有しており、環境中において長期間生存することによって、薬剤耐性の拡散に関与することが示唆された。

第 445 回雑誌会

(Dec. 15, 2025)

(1) Multicomponent PFAS sorption and desorption in common commercial adsorbents:

Kinetics, isotherm, adsorbent dose, pH, and index ion and ionic strength effects

Umeh, A, C., Hassan, M., Egbaru, M., Zeng, Z., Al Amin, M., Samarasinghe, C. and Naidu, R.

Science of The Total Environment, **904**, 166568, (2023).

Reviewed by H. Yoshida

水処理の現場では、吸着剤に吸着した PFAS が脱着することが報告されている。しかし、その実態は限定的な条件下における検証であり、異なる水質条件下で吸着した複数種の PFAS が脱着する可能性に関する研究は少ない。そこで本研究では、異なる水質条件が PFAS の吸着と脱着に及ぼす影響を評価することを目的とした。pH (4~8) とイオン強度 (Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} : 1~100 mM) を調整した人工地下水に、3 種類の短鎖 PFAS (PFBS, PFPeA, PFHxA) と 6 種類の長鎖 PFAS (PFHxS, PFHpA, PFOA, PFOS, PFNA, PFDA) をそれぞれ、1,000 $\mu\text{g/L}$ となるように添加して試料水を作成した。また、吸着材には粒径を 63~150 μm に調整した粉末活性炭 (PAC) を用いた。試料水 30 mL に PAC を 300 mg/L となるように注入し、24 時間吸着試験を行った後に遠心分離で PAC を分離した。その後、PFAS を添加していない 30 mL の試料水に PAC を再懸濁させ、24 時間脱着試験を行った。吸着試験後の上澄み液と脱着試験後の懸濁液を 0.45 μm シリンジフィルターでろ過し、このろ液について LC-MS/MS で分析後、PFAS の吸着率と脱着率を算出した。

長鎖 PFAS の吸着率は、pH や各イオン強度の違いに関わらず 100 % となり、水質が変化しても脱着する傾向は確認されなかった。一方で、短鎖 PFAS では、pH7 において吸着率は最小と最大でそれぞれ 20% と 80% であった。また、pH が低下するに伴って、吸着率が増加し、脱着率が低下した。これは疎水性相互作用の小さい短鎖 PFAS が中性条件下では溶離しやすいが、弱酸性条件下では PAC の表面の正電荷によって、負の電荷をもつ PFAS が静電的に吸着したと推察される。また、イオン強度が上昇するとともに、短鎖 PFAS の脱着率は増加した。特に、 Cl^- と NO_3^- のイオン強度が増加した場合において増加し、PFBS で 10 %, PFPeA で 50 %, PFHxA で 10 % となった。これは溶液中の各遊離イオンが PAC の吸着部位と競合したことと、陰イオンが電気二重層を圧縮することで PFAS と PAC 間の静電引力が弱まったことが推察された。以上のことから、pH や競合陰イオンは、PAC からの短鎖 PFAS 脱着に強い影響を与える一方で、長鎖 PFAS の脱着には影響を与えないことがわかった。

第 446 回雑誌会
(Dec. 22, 2025)

(1) Coagulation-flocculation performance and floc properties for microplastics removal by magnesium hydroxide and PAM

Li, B. Y., Zhao, J., Ge, W., Li, W. and Yuan, H.

Journal of Environmental Chemical Engineering, **10**, 2, (2022).

Reviewed by R. Hirashima

マイクロプラスチック (MP) は、浄水場や下水処理場の放流水から多量に確認されており、既存の水処理プロセスの MP 除去性能評価が求められている。しかし、一般的な補助凝集剤であるポリアクリルアミド (PAM) を用いた MP 除去に関する研究は存在するものの、無毒で環境負荷の小さい $\text{Mg}(\text{OH})_2$ と併用した研究は限られている。そこで本研究では、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ と PAM を用いたフロック形成の評価と、PAM のイオン性、添加タイミング、および添加量がフロック形成に与える影響を明らかにすることを目的とした。原水は、カオリン、フミン酸、ポリエチレン (PE) がそれぞれ 20 mg/L, 12 mg/L, 50 mg/L になるように脱イオン水に添加し、pH を 12 に調整した模擬自然水を用いた。全ての凝集実験は 2 分間の急速攪拌 (300 rpm) と 5 分間の緩速攪拌 (60 rpm) を行った後、5 分間静置させた。急速攪拌開始 30 秒後に Mg^{2+} を 40 mg/L になるように添加し、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ を生成させた。PAM はイオン性 (アニオン性、カチオン性、非イオン性、両性)、添加タイミング (急速攪拌開始 30, 60, 90, 110, 120 秒後)、および添加量 (1, 2, 3, 4, 5, 6 mg/L) を変化させ、最適な凝集条件を求めた。

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ 単独の凝集沈殿では、PE をほとんど除去することができなかった。しかしながら、アニオン性 PAM を急速攪拌開始 110 秒後に 5 mg/L 添加した場合において最も除去率が高く、PE 除去率は 84.9% となった。PE の除去率は、アニオン性 PAM は添加量の増加に伴って向上する傾向が確認された。また、アニオン性 PAM の添加タイミングが早いほど PE の除去率は低下した。これは、早期に添加すると急速攪拌時間が長くなり、大きなせん断力が長時間作用することによってフロックが破壊され、フロックの粗大化が阻害されたことが推測される。 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 凝集と PAM を組み合わせることによって、PE の除去率は大幅に向上した。これは、アニオン性 PAM の架橋作用によって、より大きな粒形のフロックが形成されることで、粒形の小さい PE が効率的に除去できたためであると考えられる。以上のことから、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ とアニオン性 PAM を用いた凝集沈殿は、水処理プロセスにおける MP 除去へ応用できる可能性を示した。