

## 脱炭素社会構築に寄与する嫌気性技術の貢献と課題

### 嫌気性微生物処理研究委員会

9月7日午前に開催された第25回日本水環境学会シンポジウム嫌気性微生物処理研究委員会のセッションでは、ここ数年におけるシンポジウムで実施されてきた公募による一般公演会の形式を変更し、委員会で招聘した研究者による招待講演が行われた。最近とくに関心を高めている脱炭素社会構築に関して、幅広い視点からの話題提供がなされた。その後、脱炭素社会構築を含めた未来社会における嫌気性微生物反応の活用について、参加者を交えた意見交換が行われた。嫌気性微生物反応の適用への期待や可能性そして課題等、紙面やネット画面情報では得難い、対面による本音を含めた議論と、忌憚のない意見交換・知見交換と情報共有がなされた。

招聘研究者は、企業における研究開発に長年取り組み、嫌気性微生物反応の多様な適用ケースについて、反応の機序解明とそのエビデンスに基づく運転制御手法開発を数多く実施されている水ing株式会社 片岡直明博士、エンジニアリングのみならず農学の観点から資源循環や食糧生産等に関する多くの研究実績がある大阪公立大学大学院農学研究科 遠藤良輔博士、水環境のみならず廃棄物の処理・処分にも造詣が深く、基礎研究から実用研究まで幅広く展開されている豊橋技術科学大学の大門裕之博士の3名である。以下に招待講演と議論の内容の概要を紹介する。

#### (1) バイオマスのメタン発酵処理システム開発事例と今後の期待 (水ing(株) 片岡直明)

まず、これまでに取り組まれた嫌気性微生物反応の適用事例が、歴史的経緯や社会的背景とあわせて紹介された。メタン発酵処理システムの活用例として、家畜糞尿、コーヒー粕、茶粕、汚泥、下水汚泥について、システム構成、設計や操作に必要な、負荷率などの具体的な数値情報、システムの特徴と期待される効果等が説明された。コーヒー粕を下水汚泥とともに消化する事業は国内で実装化されており、その稼働実績や地域バイオマスの受入事例として紹介された。

またメタン発酵システムの他に、嫌気性発酵制御による水素・メタン二段発酵の開発についても紹介された。

最後に、脱炭素社会構築に向けては、①地域バイオマスの一体的な社会廃棄物循環システムの推進、②徹底的なバイオガス化やバイオガス有効利用、③発酵残渣や消化液の肥料利用等による地域資源循環、④汚泥堆肥、熱、CO<sub>2</sub>の農業利用を通じた連携の推進が、求められる事項であることが説明され、より一層の展開への期待が示された。

#### (2) 宇宙および地上における循環的食料生産の基盤技術としての嫌気性処理 (大阪公立大 遠藤良輔) 未来社会として人類が宇宙においても活躍の場を広げ

るためには、閉鎖システムでの資源循環や資源循環型食糧生産が必要である。宇宙での植物生産を想定した肥料化技術については、メタン発酵を適用した技術が養液栽培用培養液を得る観点においては、他技術と比較してより有用であるとの研究成果が報告された。物質循環に加えてエネルギー収支を把握することで、将来展開の期待と課題も示される。講演では微生物機能を利用した資源循環の可能性と課題についても議論され、課題の具体例として、メタン発酵における消化液利用時の高pH等が示された。宇宙におけるメタン利用は、有用であるものの、現状では議論があまりなされていない状況についても報告された。

地球温暖化防止や脱炭素社会構築に向けての行動規範や効果を理解するためには、物質循環の理解が不可欠である。また物質循環を定性的・定量的に把握できれば、地球上のみならず宇宙においても人間が活動するための必要な条件が見えてくる。脱炭素社会構築に留まらない、微生物機能の活用について、大きな可能性が紹介された。

#### (3) 循環型脱炭素社会構築に向けた嫌気性技術の進むべき道と現在位置 (豊橋技科大 大門裕之)

脱炭素社会に向けて2050年には少し時間があり、水素社会等の、現状では夢物語的な議論や提言がなされる中で、2030年に向けて達成すべき一次目標に到達するためには、現実的で地に足の着いた方策の推進が必要となる。日本国内でようやく実機として設置された縦型乾式メタン発酵システムが紹介され、その特徴や優位性がまず示された。そして大門研究室にて実施されている小規模廉価型メタン発酵システムの社会実装研究で示された、地域循環共生圏形成と災害時にも活用できる強靱化社会構築の観点からの有用性が紹介された。また食品廃棄物を利用した発酵助剤や、発酵促進のための触媒として活性炭を活用する研究成果も示され、実装化に向けた具体的な技術紹介がなされた。その後、嫌気性技術が進むべき方向についての議論が交わされた。当学会のシンポジウム時では、主としてエンジニアリング面での議論がなされてきていたが、規制緩和や時限立法の制定など、実装化に向けた研究推進の経験を踏まえた話題提供がなされ、多様な着眼点からの議論がなされた。

招待講演の後は、全体討論として、各講演内容に加えて、委員会の具体的な活動についても議論された。嫌気性微生物反応は、微生物学、生物工学等多くの関連分野において様々な観点から多様な手法を駆使して研究が進められてきている。他分野との交流の場としても機能する研究委員会活動を、今後推進・展開していく予定である。  
(京都大学 西村文武)

# 環境リスク把握のための MS 技術の進展と活用

MS 技術研究委員会

## 1. 活動領域

本研究委員会は、質量分析 (MS) を用いた環境中化学物質の微量分析技術の開発と活用を目的に活動している。得られた成果の普及や関連情報の共有を目的に Web サーバーを開設し (<https://ee-net.ne.jp/ms/>)、発表内容の公開、メーリングリストによるリアルタイムな情報交換、電子シンポジウム (e-シンポ) の開催等を行っている。

## 2. 発表の概要

今回は、ポスター発表は見送り口頭発表のみとし、11 題の発表があった。

高橋 (ジエールサイエンス) らは、水中の GC/MS 対象農薬の抽出に要する時間の短縮化を目的とし、ディスク型固相カラムを用いて、通水速度、溶出溶媒をパラメータに添加回収試験を行った。水道水を使用した場合、通水速度を  $100 \text{ mL min}^{-1}$ 、溶出溶媒をアセトン/ヘキサン (1:1) とし、136 成分中 129 成分において 70% 以上の回収率が得られた。高桑 (アジレント・テクノロジー) らは、ヘリウム世界的な需給の逼迫を受け、キャリアガスを水素に代替したヘッドスペース-GC/MS による水道水中の VOC の添加回収試験を 2 種類の MS イオン源を用いて行ったところ併行精度、真度ともに良好で、とくに水素ガス専用のイオン源を使用した場合、1,4-ジオキサンのピークのテーリングが改善された。竹峰 (埼玉県環科国七) らは、植物プランクトン等の微小生物に影響を及ぼすとされる溶存性有機態窒素化合物のうち、33 物質を対象に LC-QToFMS の HILIC モードによる一斉分析を試みた。添加回収試験を通じて 33 物質中 19 物質が回収率 70% を、10 物質が 50% を上回っていた。さらに河川水中から検出された尿素については、試料採取後ただちにろ過することで試料の運搬や保管中の分解を抑制できることを確認した。松村 (兵庫県環研セ) らは、水質中の 4,5-ジクロロ-2-*n*-オクチルイソチアゾール-3-オン分析に関して GC-MS を用いて検討し、LC-Si と ENVI-Carb を組み合わせたクリーンアップでも夾雑物の影響を除去しきれなかった。そのため、高分解能の GC-MS を使用することで安定した測定を可能とした。水質試料中における保存性試験では、採水後にリン酸を添加することで、長期間 (19 日間) の保存が可能であることが分かった。高原 (ジエールサイエンス) らは、水中の有機フッ素化合物 (PFASs) 分析の際に懸念される流路や移動相由来のバックグラウンドに対して、高純度の活性炭ビーズを充填した Delay カラムを用いて低減させる手法を試みた。Delay カラムを HPLC 装置のミキシングポンプとオートサンプラーの間に接続してバックグラウンドの影響を確認したところ、従来の ODS 系の Delay カラムと比較して同等以上のバックグラウンド低減効果を得られ、さらに圧力も低く抑えることができた。小野 (大阪府環農水研) らは、夾雑成分の多い廃棄

物最終処分場浸出水における PFASs の固相抽出手法について、性質の異なる固相カートリッジを用いて回収率と夾雑物のクリーンアップ効果を比較した。回収率について、短鎖～長鎖まで幅広く回収するためには弱陰イオン交換系のカートリッジが適していることが示され、クリーンアップ効果は、グラファイトなどを用いてもイオン化抑制の原因になる夾雑成分を除去しきれないことが示唆された。

ラマスワミイ (バラティダサン大学) らは、GC/MS を用いて、インドの河川環境で有害性が懸念される化学汚染物質 (Emerging Chemical Contaminants, ECCs) の分析を行った。その結果、医薬品・生活関連物質 (PPCPs) のトリクロサンや可塑剤のノニルフェノールなどは、いくつかの河川サンプルで環境リスクが懸念される濃度であった。黒石 (島津テクノリサーチ) らは、海洋生分解性プラスチック Poly (3-hydroxy-butyrates-co-3-hydroxyhexanoate) (PHBH) の分解生成メカニズムの解明のため、分解中間生成物の定性・定量を行った。LC-ToFMS で定性分析し、生分解試験後の PHBH ペレットのバイオフィームの間隙水から、PHBH のモノマーおよびオリゴマーを検出した。また、オリゴマーの濃度がモノマーより 1~2 桁程度高いことを確認した。西野 (東京都環科研) らは、LC-MS/MS を用いて公共用水域ならびに下水処理場の放流水・流入水中の PPCPs の分析を行った。公共用水域では、一部の地点で PNEC を超過した物質があった。下水処理場では、オゾン処理を通じて多くの物質が放流水中濃度と比較して低減していたが、リン酸エステル系難燃剤の TDCPP は、ほとんど変化がなかった。オゾン処理を通じて除去しきれなかった物質に関しては、いずれも PNEC 未満の濃度であった。中野 (大阪大学) らは、HPLC を用いて 19 種類のキラル PCB の分離と同定のための簡単に迅速な方法を開発した。HPLC でキラル分画を行い、各分画ごとに旋光度を測定し、量子化学計算結果と一致することを確認した。これらの結果は、GC/MS を用いた PCB キラル分離分析におけるエナンチオマーの同定に利用でき、PCB 代謝研究とエナンチオ選択的 RyR 研究へ応用できることを示した。頭士 (産総研) は、ノンターゲット分析で得られる情報のみから、構造同定を経ずして、QSAR アプローチにより物性や毒性値などのリスク評価情報を推定することを試みた。GC-MS の保持時間情報とマススペクトル情報を化学構造に関する情報と見立て、ML ベースの QSAR 手法によりそれらの物性値と毒性値を推定する手法 (Detective-QSAR) を確立した。Detective-QSAR は、無料で利用できるように web サイト上で公開されている。

今年には現地開催が実現できたものの、ポスター発表を見送り口頭発表のみとしたが、以上のように多様な発表演題が集まり、また、質問や討議に関しても活発で有意義な情報交換を行うことができた。

(兵庫県環境研究センター 松村千里)

# 生物処理生態工学技法の高度効率化による 環境再生保全と流域適正管理

生物膜法研究委員会

地球温暖化抑制、生物処理生態工学の高度化および生態環境リスクの低減化による環境再生保全は極めて重要な位置づけにある。このような点を踏まえ、温室効果ガス零目標が示された現在における流域管理を含めた環境再生保全技法の展開は極めて重要と言え、水質汚濁・富栄養化対策、汚泥減量化資源化対策、省エネ・電力削減温室効果ガス抑制対策、温室効果ガスの水域での挙動評価、生態環境リスク低減化の両立化が必要であることから、環境再生保全のための適正な流域管理をテーマとして実施した。

流域管理における緩和策・適応策等を踏まえたバイオエコシステム導入環境再生保全（NPO 法人バイオエコ技研 稲森隆平、稲森悠平、(株)明電舎 鮫島正一、新井喜明、打林真梨絵、千葉工業大・先進工 村上和仁、東北大院・工 西村修）では、温室効果ガス零目標が示された現在における流域管理を含めた環境再生保全技法の展開は、極めて重要と言えるため、水質汚濁・富栄養化対策、汚泥減量化資源化対策、省エネ・電力削減温室効果ガス抑制対策、温室効果ガスの水域での挙動評価、生態環境リスク低減化の両立化が必要であるとされた。このことを踏まえ、地球温暖化防止のためには適応策だけでは困難であり、温暖化対策全体では緩和策を補完する適応策と温室効果ガスの排出を抑制する緩和策を同時に進めることが必須であることが示された。

生活排水の下水処理水放流河川などにおける亜酸化窒素の挙動解析と温暖化対策（東洋大・理工 山崎宏史、柿島隼徒、毛塚拳巧、各務絢香、国環研 蛭江美孝、小野寺崇）では、下水処理水を起源とした放流河川における亜酸化窒素の挙動解析を行い、排出係数および複数の排出係数に合わせた GHGs 排出量算定方法を検討するとともに、生活排水処理分野における削減方策について考察した。その結果、GHGs 排出量算定方法と削減方策を明らかにするとともに、生活排水処理施設の高度処理化は、排出係数と活動量の削減に寄与することが示された。

生活排水対策としての浄化槽分野における温暖化対策に向けたシミュレーション解析（日環教センター 古市昌浩、東北大院・工 西村修、東洋大・理工 山崎宏史）では、浄化槽分野における現時点と、2030 年度時点（汚水処理概成）における浄化槽の設置基数と排出量を算出し（BAU）、排出量削減目標に対する達成度を把握するとともに、2030 年までに汚水処理概成を達成した場合の排出量に関するシミュレーション解析を行い、温暖化対策を考察した。その結果、2030 年度浄化槽分野における日本全体での温室効果ガス排出量は、2013 年度比 -30%、エネルギー改革（エネ起源分半減化）を織り込むと 53% の削減が示唆された。また、地球温暖化対策と富栄養化対策の両立する窒素・リン除去方式の高度処理化の推進および既設浄化槽への展開を含めた維持管理手法の開発の重要性が示された。

アナモックスプロセスにおけるパラメータ解析による最適条件高度化（東洋大院・理工 井坂和一、平野達也、北原央士、東洋大・理工 山崎宏史、埼玉県・環科国セ 見島伊織）では、アナモックスプロセスで必要とされる微生物機能の制御方法として、排水中の重金属類の濃度を調整する手法を開発した。その結果、微量元素濃度を制御することで、特定微生物の活性促進、 $N_2O$  発生量の低減効果がみられ、新たな環境再生保全技法になることが示された。

水循環健全化のためのクーリングタワー内のスライム・レジオネラ菌・藻類の発生抑制新技術対策（(株)イガデン 五十嵐武士、五十嵐覚）では、新たな電気分解法を導入した地球温暖化対策で重要な省エネ・高効率適正技術システムを構築することを目的として効果の検証が行われた。その結果、細胞膜に穿孔を与える除菌効果などメカニズムが複合的に作用し、クーリングタワー内のスライム・レジオネラ菌・藻類の発生の防止に対し MICRO WATER SYSTEM<sup>®</sup> 電気分解法の大きな効果が実証された。

高度処理のための過曝気低 pH 環境および曝気自動制御下の微小動物の群集構造解析（(公財)琵琶湖・淀川水保研 類家翔、和田桂子、中川一、NPO バイオエコ技研 稲森隆平、稲森悠平、(株)明電舎 鮫島正一、新井喜明）では、琵琶湖-淀川水系の中で、希釈効果が弱いと考えられる河川の実例を踏まえた上で過曝気による低 pH 環境および曝気自動制御下における微生物相のデータを基に、 $\alpha$ ・ $\beta$  多様性指数を活用することによる、pH の中性化および微生物相変化の相互関係からの多様性解析を行った。その結果、AOSD 系のように曝気・無曝気を適切に繰り返す自動制御運転は pH の中性化および最小の曝気量制御で処理性能の向上に資することが示された。

環境リスク低減解析のためのマイクロコズム WET 試験法の活用と評価（千葉工業大・先進工 村上和仁、佐藤颯介、大平和成、飯田龍介、NPO バイオエコ技研 稲森隆平、稲森悠平、(株)明電舎 鮫島正一）では、マイクロコズムを用いた WET 試験法（マイクロコズム WET 試験）の開発およびマイクロコズム WET 試験による実排水・環境水の生態毒性を評価することを目的として実験的検討が行われた。その結果、マイクロコズム WET 試験の成果より、生態系機能・構造の両面からのエコシステムレベルでの全毒性評価が可能となり、マイクロコズム WET 試験の有用性が示された。また、現状の「魚類・甲殻類・藻類」という異なる栄養段階に属する生物種を用いた単一種試験と少なくとも並列に、生態系評価に係る複数生物種試験としてマイクロコズム試験を位置づけ、「エコシステムレベル」での影響評価を踏まえた総合的な試験システムとして構築することが必須であることが示された。

(NPO 法人バイオエコ技術研究所 稲森悠平、稲森隆平、  
国立環境研究所客員研究委員 徐開欽)

# プラスチック社会と身近な水環境を振り返る

## 身近な生活環境研究委員会

近年、プラスチックによる環境汚染は深刻な問題であることが白日の下に晒されるようになってきたが、我々はプラスチックの使用者かつ排出者でもあるので生活者としての行動変化が求められる。そこで我々を取り巻くプラスチックに関連する問題を整理し、生活者としての考え方と行動の方向性を探るべく、「プラスチック社会と身近な水環境を振り返る」と題したセッションを開催し、公募による5題の発表を通じて理解と議論を深めた。以下では各発表の概要と総合討論での議論について報告する。

### 1. 学生アンケート等から見た減プラスチック生活の実態と展望

風間真理（環境カウンセラー）ほか

ある2つの大学で学生を対象としたプラスチック行動に関するアンケート調査を実施し、減プラスチック生活に向けた各種行動をとる人の割合と意識について調査した。両大学とも回答の傾向は類似し、マイバッグ持参等は高い行動割合を示したが、マイボトルの使用や台所タワシの置き換え等のように行動割合または意識の低いものもあり、これらを改善するには適切な情報提供やプラスチック代替品の普及に向けた努力が必要だとした。そのうえで1回限りのプラスチックの利用を減らす、代替品を利用し、代替できない場合は長く使う、劣化したプラスチックは適切に処分する、のステップで減プラスチック生活に取り組むのがよいとした。

### 2. 減プラスチック生活と代替品の課題

小寺正明（環境・国際研究会）

プラスチックは水圏に限らず大気圏なども含む地球全体の問題であるが、マテリアルリサイクルは課題が多いため、いずれは廃棄されるプラスチックの使用量を削減することが求められる。冒頭でプラスチックストローの代替品としての紙ストローまたはステンレス製ストロー等の展望や課題を示した。続いてペットボトルや台所用スポンジの代替品であるマイボトルやセルローススポンジ等を例に、背景に横たわる各国の政策的相違を踏まえながら、減プラスチック生活は消費者の選択を通じて取り組むものと、量り売りや飲料容器のリユースシステムの導入等販売側の努力で解決すべきものの2つがあることを指摘した。

### 3. 静岡市の市街地を流れる河川におけるマイクロプラスチック調査

山田建太（常葉大学）

静岡市の市街地を流下する巴川でマイクロプラスチックの存在状態を調査した。検出されたのは大部分がポリエチレンまたはポリプロピレンであり、マイクロプラスチックの形状や色は上流よりも下流で多様となり、数密度は全国平均以上の値を示した。海洋に流入するマイクロプラスチックに関しては地方都市の河川も無視できない量の負荷であることから大都市圏以外の河川についても詳細な情報を必要とした。さらにそうした河川におけるプラスチックの源を探るために巴川流域における河川

近傍の家庭ゴミ集積場の数・位置と川ゴミ量の関係を調査したところ両者の間に一定の関係が見られることもわかった。

### 4. プラスチック処理がもたらした健康被害～杉並病と寝屋川病

山室真澄（東京大学大学院）

杉並区では廃プラスチック処理施設の稼働直後より近隣住民らが神経症状を主とする健康被害を訴えた。住宅の大气からは反応性の高いトルエンジイソシアネート等が検出され、施設の処理工程で発生した気体が拡散する間に化学反応を起こして発生したと考えられ、ホルムアルデヒド濃度の詳細な調査結果もこの仮説を支持した。同様の健康被害が寝屋川市でも報告され、住宅地にて高濃度で検出されたホルムアルデヒドは日射量の増加に少し遅れて濃度の上昇が観測された。司法は関係性を否定したが、これらは廃プラスチック処理工程で排出された物質より健康被害をもたらす物質が生成される事例といえる。

### 5. 川から見るマイクロプラスチック汚染

二瓶泰雄（東京理科大学）

プラスチックは、とくに微細化して海洋に流出すると回収は極めて困難となる。そこで陸から海洋へ流出するマイクロプラスチックの実態を把握するために全国の河川の約300ヵ所でサンプリング調査をしたところ、人の居住の有無にかかわらず全国のほぼすべての河川からマイクロプラスチックを検出し、変動幅は大きいものの数密度の平均値は日本近海の値と同程度であることがわかった。なお、全国で唯一マイクロプラスチックが検出されなかった尾瀬では古くからゴミの持ち帰り運動が取り組まれており、これを示唆の事例としたうえで、プラスチックの発生源としてはポイ捨て以外にもさらにプラスチック製品の不用意な取り扱いや家庭ゴミ集積場の不適切な管理等を挙げることができるとした。

### 【総合討論】

総合討論では、ペットボトルによりヨシの萌芽が阻害されている琵琶湖の事例等の報告が続いた。プラスチックの問題のきっかけはストローの突き刺さったウミガメの映像がセンセーショナルに報道されたことであったが、今日では広範囲に環境が損なわれており、廃プラスチックの処理の問題やマイクロプラスチックの人への取り込みが蓋然的であることを踏まえると、プラスチックはもはや命に関わるわがことの問題である。問題解決のためには多方面からの取り組みが求められるが、生活者の視点からは、代替品や代替方法を活用する等して企業も消費者もプラスチックの使用量を減らすこと、プラスチック汚染源となるゴミ集積場を改善し清掃活動を継続すること、そして知識を普及するために広く市民科学を展開していくことが必要であると総括してセッションを終えた。

（大阪市立環境科学研究センター 大島 詔）

# 微生物の代謝フロンティア

## 微生物生態と水環境工学研究委員会

今年度は「微生物の代謝フロンティア」と題して、4名の国内の大学および研究機関の先生方に最先端の研究をご講演いただくとともに、11名の若手からベテランの研究者の方々に最新の研究をポスター発表していただきました。

海洋研究開発機構の井町寛之先生には、「培養から見えてきた代謝のフロンティア」と題してご講演いただきました。深海の泥から分離したアスガルド類アーキアMK-D1株が、生体合成に必要とされる20種のアミノ酸のうち11種類を合成できず、その供給をパートナー微生物に依存していたこと、さらには他のアスガルド類アーキアの多くがアミノ酸のほかにビタミンやヌクレオチドも合成できないことを、培養と比較ゲノム解析から明らかにされました。私たち真核生物の代謝ルーツの一端を示す大変興味深いお話でした。

産業技術総合研究所の延優先生には、「遺伝子から読み解く微生物の生き様」と題してご講演いただきました。微生物がどのように動き、食べ、協力・競合し、適用していくかを視覚的に捉えることは極めて難しいが、膨大な遺伝子情報をもとにそれらを読み解くことが可能である、という重要な示唆をいただきました。ポイントとなる酵素反応の例示に加え、有用なソフトウェアの情報を提供いただくなど、大変有意義で実践的なご議論をいただきました。

宮崎大学の井上謙吾先生には、「微生物燃料電池の電流生成メカニズム」と題してご講演いただきました。鉄還元や微生物燃料電池のモデル微生物である *Geobacter sulfurreducens* において、最近明らかになった細胞外電子伝達機構（とくに subtilisin 様プロテアーゼ OzpA による切断が関与する *c* 型シトクロム OmcZ の成熟過程）や独自に分離した高電流生成能を有する *G. sulfurreducens* 新規2株の比較ゲノムによって明らかになった生理学的多様性など、大変興味深い知見を一連のデータからご紹介いただきました。

広島大学の橋本晶先生には、「DHSリアクターを用いたエコバイオテクノロジー」と題してご講演いただきました。スポンジ担体を気相に吊した DHS (Downflow Hanging Sponge) リアクターの適用によって多様で特異な好気性微生物（アンモニア耐性メタン酸化菌、Mn酸化菌やMn酸化物利用菌など）の集積に成功された最新の知見のご紹介を通じて、微生物群集構造を制御する、エコロジーとバイオテクノロジーを融合した「エコバイオテクノロジー」の重要性に関して大変貴重なお話をいただきました。

以上の招待講演に続いてポスター発表を行いました。新潟薬科大学の井口晃徳先生のご発表では、低温メタン

発酵槽から分離された Tetramethyl ammonium hydroxide を分解するメタン生成古細菌の新規性をゲノム解析より明らかにされました。東北大学の景政柊蘭さんのご発表では、サイズ分画した活性汚泥のメタゲノム解析により多様な *Ca. Saccharimonadia* の代謝機能を示されました。東北大学の前田稜太さんのご発表では、PET原料製造廃水を処理する UASB 汚泥のメタゲノム解析により、門レベルで新規な未培養系統群の代謝能を評価されました。北海道大学の押木守先生のご発表では、DHSリアクターでの *Nitrospira* 優占化の要因をメタゲノム解析、同位体培養、定量PCRにより多角的に明らかにされました。長岡技術科学大学の蔵下はづきさんのご発表では、都市下水処理活性汚泥のメタゲノム解析から、汚泥に普遍的に存在する Myxococcota 門細菌の代謝特性を評価されました。産業技術総合研究所の黒田恭平さんのご発表では、PET原料製造廃水処理 UASB 汚泥のメタゲノム解析から、複数の廃水構成成分の分解遺伝子などを同定されました。21世紀水倶楽部の斉藤均先生のご発表では、嫌気性消化と好気性発酵を結合した有機廃棄物資源化の重要性が示されました。The Institute for Restoration of Lakes Swamps の Tadahiro Mori 先生のご発表では、TCOM (Thermophilic contact oxidation method) の有する特質すべき性質（廃棄汚泥や排出物がほぼないことなど）が示されました。群馬大学の伊藤司先生のご発表では、マイノリティの非脱色細菌 *Bacillus subtilis* S4ga 株の共存によってマジョリティ細菌 *Enterococcus faecalis* T6a1 株の脱色活性が向上することが明らかにされました。産業技術総合研究所の青柳智さんのご発表では、高感度 rRNA-SIP によりメタン発酵槽内の酢酸・プロピオン酸酸化菌が同定され、さらにそれらの環境攪乱に対する応答が示されました。産業技術総合研究所の佐藤由也さんのご発表では、活性汚泥生態系における捕食性細菌の機能と役割を RNA-seq および網羅的代謝産物解析により明らかにされました。

本シンポジウムは3年ぶりに対面での開催となりました。微生物生態と水環境工学研究分野を世界的に牽引する国内の先生方のご講演を直接お聞きするとともに、ポスター発表でも広い世代・分野の研究者を巻き込んだ活発な議論がなされました。当該研究分野における国内の研究の最新知見や動向を知る、とても素晴らしいセッションとなりました。素晴らしい言葉を言葉で表現するのは難しいですが、会場の真剣な空気と講演後のわいた拍手にあらわれていたように思います。ご参加いただいた皆様に深く御礼申し上げます。

(産総研 堀 知行, 群馬大学 伊藤 司)

# 水環境における農薬の生態リスク評価の現状と今後の課題

## バイオアッセイによる安全性評価研究委員会

本年度は“水環境における農薬の生態リスク評価の現状と今後の課題”と題して、環境省、大学、研究所、民間など異なる立場の演者に依頼し、最初に委員長の山本からセッション開催の趣旨を説明した後、6件の発表が行われた。

最初の1題目として、伊澤航氏（環境省水環境課農薬環境管理室）に「農薬施策の変遷と水域の慢性影響評価の導入について」と題した講演をいただいた。農薬の登録制度における環境影響に関するこれまでの歴史とともに、2018年12月に施行された改正された農薬取締法に基づき、影響評価の対象が「水産動植物」から「生活環境動植物」に見直され、水草や鳥類、野生ハナバチ類を用いた影響評価が開始されたほか、国内使用量の多い農薬から再評価が順次実施されていることが紹介された。また、長期間残留する農薬のばく露にともなう慢性影響評価に関する検討が現在進められていて、現時点で協議されている案についても紹介された。

次の関島恒夫氏（新潟大・農）からは、「メソコスムを用いて水田生態系に対する農薬暴露の影響を評価する」と題して、水田生態系を模した生物間相互作用を加味した実験水槽（メソコスム）において、出荷量が増加が認められるネオニコチノイド系のクロチアニジンおよびジアミド系のクロラントラニプロールで処理した際の生物群集への経年的影響に関する講演をいただいた。ベントス群集には初年度から影響が認められた一方で、動物プランクトンや大型水生生物群集への影響は2年目以降に拡大することや、とくにクロチアニジンについては、シオカラトンボの老齢幼虫の変態を抑制かく乱する作用が確認されたとの結果が報告された。

3題目の「種の感受性分布に基づく複数の農薬の生態影響評価（農研機構：永井孝志氏）」では、これまで演者らが農研機構において実施してきた種の感受性分布（SSD）に基づく評価や、複数の農薬について同一作用機作は濃度加算（CA）モデル、異なる作用機作は独立作用（IA）モデルを利用して累積リスクを計算し、複数農薬によって影響を受ける種の割合（msPAF）を推定した結果ならびに、これらの評価のために作成・公開されたツールについて紹介があった。また、付着珪藻群集の組成をあらわす指標と、除草剤によるmsPAFに比較的高い相関が認められることや、殺虫剤および除草剤の累積リスクが20年間でそれぞれ92%および53%減少したこと、慣行栽培から農薬使用の制限を行う特別栽培や農薬流出防止対策によって低減できるリスクが同程度であることを定量的に相互比較できるとの調査結果も報告された。

休憩を挟んで次の4題目の「水草を用いた農薬を対象にした生態毒性試験法開発の現状と課題（国環研：山岸隆博氏）」では、現在、農薬の生態リスク評価に用いられている浮遊植物（ウキクサ）を用いた試験法や、経済協力開発機構（OECD）で承認された沈水植物（ホザキノ

フサモ）、ならびに現在検討中の抽水植物（ドジョウツナギ）を用いた試験法について、植物の系統分類学的、生活環ならびに植物への取り込み・作用形態の観点から比較検討ならびに考察された結果が報告された。ウキクサの生活環のうち花芽形成をエンドポイントとした試験を確立したほか、ホザキノフサモの試験では体表からの吸収の寄与が大きく底質からの寄与が少ないこと、ドジョウツナギは底質からのばく露が大きいことからばく露評価が難しいことなどが試験結果とともに示された。

5題目の「農薬の各国／地域における生態影響評価の現状について（日本曹達：松本建氏）」では、日本、米国および欧州での農薬の生態影響評価の特徴について、近年新たに評価対象となった項目を中心にその内容と実務上の懸念点について紹介があった。日本では2019年から農薬取締法の改正にともないミツバチ・野生バチの評価が導入されたこと、米国では2022年1月から絶滅危惧種のリスク評価の運用が厳格化されたこと、欧州では2018年のガイダンスの発効により、内分泌かく乱作用の評価が必要となったことなどが紹介された。とくに、欧州食品安全機関（EFSA）において、内分泌かく乱のLevel 3である魚類短期繁殖毒性試験（FSTRA：OECD TG229）や両生類変態試験（AMA：OECD TG231）などが要求される物質が増加している点、非標的生物における作用機序（MoA）の説明が必要である点など、複雑化や要求される試験の増加、試験精度の向上が課題である点などが報告された。

最後の6題目となる「農薬の水生生物に対する多世代影響および薬剤耐性について（残農研：石母田誠氏）」では、日本の湖沼に広く生息するタイリクアオムキミジンコとカーバメート系殺虫剤ピリミカープを用いて、一時的なばく露および（15世代にわたる）継続的なばく露による多世代試験の報告があった。本報告では、急性遊泳阻害試験による48時間の半数影響濃度により世代間の感受性を捉え、内的自然増加率（生活史影響の指標）にも着目していた。一時的なばく露を行うと、親の感受性にかかわらず、高感受性幼体が産生することや、内的自然増加率には次世代まで影響がないことなどが示された。また、継続的なばく露試験では、ばく露初期では感受性が上昇するものの後期で感受性が低下すること、薬剤耐性を獲得したミジンコは増殖しにくいことなどが報告されたことから、多世代試験が効果的であることが示された。

依頼発表後の総合討論では、聴衆や演者の間で意見交換が行われ、改めて水環境における農薬の生態リスク評価の特徴や重要性について再確認された。最後に本研究委員会幹事長の新野が全体総括を行い、セッションを閉じた。

（国立環境研究所 山本裕史，  
（株）三菱ケミカルリサーチ 新野竜大）

# 微生物学的水質情報を活用した水環境・衛生管理の最前線

## 水中の健康関連微生物研究委員会

昨年4月に水質環境基準における衛生指標微生物が大腸菌群数から大腸菌数に切り替わったことを受け、今年度のシンポジウムでは、大腸菌の指標性や新たな活用方法、大腸菌を補完する指標微生物の導入や病原微生物による感染症リスク評価等、本研究委員会でのこれまでの活動成果と今後の方向性を共有することを目的に、「微生物学的水質情報を活用した水環境・衛生管理の最前線」と題したセッションを企画した。

シンポジウムは3年ぶりの現地参加も可能なハイブリッド方式で開催され、発表者・聴講者ともに現地参加とオンライン参加が半々程度であり、あわせて60~70名程度の参加者数であった。ハイブリッド方式とすることで、他の業務や海外滞在中等の事情により現地参加が難しい方の参加も可能となり、オンライン参加の方からも質問が多くなされ、例年以上に活発なセッションとなった。

以下に各セッションの概要を発表題目および発表者名とともに示す。13件の発表のうち5件が新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の下水疫学研究に関連するものであり、最新の研究成果が発表される場となった。

第1セッションでは、研究委員会委員長である片山浩之教授（東京大）による趣旨説明に続き、7件の研究発表が行われた。

①COVID-19 感染流行期における工場下水中からの SARS-CoV-2 検出

川田滋久（東芝インフラシステムズ）

②東京オリンピック・パラリンピック選手村における COVID-19 下水疫学調査の実装

北島正章（北海道大）

③近畿地方下水処理場における新型コロナウイルスおよびノロウイルスの下水疫学調査 井原 賢（高知大）

④異なる下水処理プロセスにおける新型コロナウイルス除去性能の評価 本多 了（金沢大）

⑤下水疫学の普及に向けた規格化のいくつかの可能性 遠藤礼子（京都大・biobot）

⑥ RT-PCR 阻害物質を含む河川水試料中の RNA ウイルスを対象とした定量 RT-PCR 手法の比較検討

端 昭彦（富山県大）

⑦定量限界未満の水中病原体濃度の推定アルゴリズム 加藤 毅（群馬大）

①~⑤は COVID-19 の下水疫学調査に関する研究発表であり、①では本会 COVID-19 タスクフォース発行の検出マニュアルに記載されている手法を改良して工場下水に適用した結果、③では近畿地方の下水処理場において新型コロナウイルスに加えてノロウイルスを測定した結果、④では標準活性汚泥法や膜分離活性汚泥法等の異なる

下水処理方式による新型コロナウイルスの除去率の測定結果が報告された。②では、東京オリンピック・パラリンピック開催時に選手村で下水疫学調査を実施し、発表者らが開発した高感度検出技術を活用することで、変異株の検出をはじめ臨床検査を補完する情報を得ることができる旨が報告された。⑤では、ここ2年で急速に技術開発・社会実装が進んだ下水疫学調査を持続的に活用していく上での規格化の重要性が紹介された。⑥では、河川水中の RNA ウイルスの検出に及ぼす反応阻害の影響と改善手法を検討した結果が報告された。また、⑦では、微生物の非検出データを補完することを目的に多変量正規分布モデルを評価した結果が報告された。

第2セッションでは、水環境中におけるファージや薬剤耐性菌等の実態調査に関する6件の発表が行われた。

⑧雨天時越流水によるウイルス汚染調査のための F 特異 RNA ファージ G III の定量手法の提案

安井 碧（東京大）

⑨スタ場における微生物の存在実態調査

原本英司（山梨大）

⑩雨天時の下水処理場および河川における微生物濃度の変動 井原 賢（高知大）

⑪山形県の河川におけるふん便指標細菌の薬剤感受性 西山正晃（山形大）

⑫関西地方の河川から単離した ESBL 産生大腸菌のゲノム解析 五味良太（京都大）

⑬環境水中の薬剤耐性遺伝子汚染を測定するためにはどちらが効果的か？～環境 DNA と薬剤耐性菌～

西川可穂子（中央大）

⑧では糞便汚染指標となり得る F 特異 RNA ファージ G III を細胞培養 PCR で測定する手法を開発し、東京湾の海水に適用した結果、⑨では野生動物が泥浴びや飲水のために集まるスタ場において大腸菌や微生物起源解析マーカーを測定した結果、⑩では雨天時の下水処理場と河川においてノロウイルスや大腸菌等を測定した結果が報告された。⑪~⑬は薬剤耐性菌に関する研究であり、⑪では河川水中の薬剤耐性大腸菌と腸球菌の年間を通じた実態調査の結果、⑫では河川水から単離した ESBL 産生大腸菌のゲノム解析による遺伝学的特性の解析結果、⑬では河川水中の環境 DNA と薬剤耐性菌の測定結果が報告された。

最後に、片山教授の進行により、下水疫学や衛生指標微生物に関する研究の今後の展望等について参加者同士の意見交換を行った。

（山梨大学 原本英司）

# 湿地・沿岸域の今と未来

## 湿地・沿岸域研究委員会

本セッションでは特別講演1題、一般発表11題の計12題の講演・発表がハイブリッド形式で行われた。オンラインと会場を合わせた聴講者数が最大で80名程度と盛況の中、活発な討議が進められた。

特別講演として、港湾空港技術研究所の桑江朝比呂氏に「ブルーカーボン研究の動向と今後の展開」と題してご講演をいただいた。湿地・沿岸域をとりまくブルーカーボン研究の最新の動向や、政策上あるいは社会実装上の展望と課題など、広範な内容を分かりやすく解説していただいた。カーボンニュートラルの達成に対する、湿地・沿岸域におけるブルーカーボン研究の重要性や役割について理解が深まったと感じている。

内間（千葉工大）らによる「東京湾沿岸域におけるマイクロプラスチック検出状況と二枚貝の濾過摂食による体内蓄積」では、東京湾奥部9地点の底泥中マイクロプラスチックの分布状況や、ホンビノスガイを用いた濾過実験から、マイクロプラスチックの形状の違いが二枚貝の取り込みに影響を与えることが報告された。

田中（京都大）らによる「イソギンチャクによるマイクロプラスチックの蓄積・排出に及ぼす粒径の影響」では、粒径が1.1 μmと小さいマイクロプラスチックがセイタカイソギンチャクに蓄積されやすいことが、蛍光顕微鏡による観察やPyro-GC/MS分析によって示された。

山本（山口大）らによる「熱帯泥炭沿岸の海岸浸食・泥炭地崩壊に伴う粒子態炭素流出量の推定」では、インドネシアのブンカリス島を対象とした泥炭地崩壊に伴う海洋中への懸濁態有機炭素の流出量の推定結果が紹介された。ドローン撮影および衛星画像を活用し、泥炭地崩壊による懸濁態有機炭素の流出の寄与が近年増加していることを示した。

木村（京都大）らによる「琵琶湖北湖西岸針江に生息する貴重植物と外来植物に影響を及ぼす土壤環境特性の検討」では、琵琶湖北湖西岸針江地区の抽水植物群落を調査し、土壤環境の特性が植生の分布に影響を与えていることが示された。また、貴重植物、外来種、在来種などの種の特性を加味した新しい多様性評価指標が提案された。

大久保（滋賀県大）らによる「琵琶湖における漁網付着物増加原因の検討（貧酸素化が原因か?）」では、琵琶湖の漁網付着物の増加原因が貧栄養化によるもの仮説を検証するために、琵琶湖で行った栄養塩添加実験の結果が紹介された。実験では栄養塩添加と付着物との間に明確な関係性は見られず、仮説は支持されなかった。しかし、付着物の群集構造や現存量などに関する貴重なデータが提示され、今後の展開に期待する質疑が行われた。

藤林（九州大）らによる「瑞梅寺川流域を対象とした溶存態ケイ素動態の評価」は、福岡県瑞梅寺川において、

ダム貯水池によって溶存態ケイ素が取り込まれていることを示した。また、ダムの運用が開始された1980年代以降に河口干潟に対する溶存態ケイ素の供給量が低下した可能性をコアサンプルの解析から示した。

玉置（石巻専修大）らは「攪乱条件下に造成された松島湾東部海域の人工干潟の発達過程」において、宮城県松島湾に2018年に造成された人工干潟の底質環境の経年変化を報告した。造成から2年を経過すると、攪乱に対する底生環境の変動が小さくなるとともに生物量が増加し、自律安定した生態系へと変遷していることを示した。

菅原（秋田県大）らによる「環境DNAを用いた淡水二枚貝タテボシガイの分布調査及び好適環境条件の探索」では、秋田県八郎湖においてタテボシガイの幼生を紐状担体でトラップし、環境DNAを測定する手法を用いて生息密度を推定し、環境要因との関係を調べた。底泥の中央粒径が大きい地点でタテボシガイの密度が大きくなることを指摘した。

丸尾（東北大）らによる「機械学習を用いた海産プランクトンの光合成速度推定モデルの検討」では、青森県陸奥湾を対象として、植物プランクトンの基礎生産量を推定するための高精度なモデルを機械学習によって開発した。溶存鉄および光条件が重要なパラメーターとなったことを報告した。

島山（東北大）らは「浅海域の沈降過程における粒状有機物の分解と酸素消費」において、宮城県志津川湾のカキ養殖場における有機物動態を脂肪酸や同位体などを指標に解析した結果を報告した。粒状有機物の深度方向の質的な分布や、酸素消費特性に関する新しい知見を示した。

坂巻（東北大）らによる「志津川湾の一次生産過程に及ぼす流域からの栄養塩供給の影響」では、志津川湾を対象として陸域から流入する栄養塩類が生産者に及ぼす影響を評価した。窒素が細菌の、リンが藻類の生産を高めることを脂肪酸を指標とした解析から明らかにし、陸域から供給される栄養塩類の窒素・リン比が、海域の粒状有機物の質に影響を与えることを指摘した。

9月8日午前には葛西海浜公園にて見学会を開催した。葛西海浜公園には、西なぎさと東なぎさと呼ばれる二つの人工干潟が造成されており、西なぎさは海水浴場としても利用される（※東なぎさの立ち入りには申請・許可が必要）。見学会では、葛西臨海公園パークレンジャーの木村様から西なぎさ・東なぎさの特徴や生物などについて映像や資料をもとに解説していただいた後、実際に西なぎさを散策し干潟の生物を観察した。カニや二枚貝類、それらを食べるアカエイや鳥類などが見られ、人工干潟にも多くの生物が定着していることを実感した。

（九州大学 藤林 恵）



# 流域の水物質動態と社会・生態系の関わりの探究

## 流域物質動態とノンポイントソース研究委員会

本セッションでは、ノンポイントソースからの負荷流出特性や流域中の様々な物質の動態に関する研究に加え、これらの研究が社会や生態系とどのような関わりがあるかを知るべく企画・募集し、6件の講演がなされた。また、「流域物質動態とノンポイントソース」に関連する研究プロジェクトを共有するという目的で、例年の総合討論の代わりに研究委員会委員が現在遂行している、または遂行していた研究プロジェクトの紹介の時間を設けた(合計9件)。セッションは、講演とプロジェクト紹介の2部構成で行い、対面・オンラインのハイブリッド形式で実施した。対面参加者は10名ほどであったが、オンラインからの参加が多く全体で42名の参加があった。

### 1. 分流式下水道が整備された市街地の雨水管での生活排水を起源とする汚染物質の分布

(尾崎則篤(広島大院)ほか)

都市部からのノンポイント負荷の汚濁特性を把握することの一環として、分流式下水道における複数の異なる都市景観(歴史的景観地区、ニュータウン住宅地など)をもつ市街地の雨水管または側溝を対象として、無降雨時に滞留している水中の生活関連化学物質を分析した結果の報告があった。あわせて、発光細菌を対象とした生物検定試験を実施し、濃度分析との比較・検討報告もあった。污水管の整備からの経過年数に対応した異なる特徴が、生活排水に関わる生活関連化学物質(香料物質)や生物検定値に反映されている可能性が示された。

### 2. 代かき時水田汚濁の流出モニタリング: 緩効性肥料プラスチックカプセルを中心に

(原田茂樹(福島大)ほか)

水田からの緩効性肥料由来のプラスチック流出を抑制する技術を開発することを念頭に、稲わら、土砂などの夾雑物に含まれるプラスチックカプセルの性状に関する調査報告があった。夾雑物を寸法で分画し、肥料成分のカプセルからの流出の有無を調べるなど、緻密な観察を行うことで施肥量(TN)とカプセル量に強い相関があることが指摘された。また、未分解のカプセルは水田に残存している可能性があるとの報告があった。本調査を踏まえて、プラスチックの流出抑制に向けた水管理、除去技術が提案された。

### 3. 河川流下負荷量の不偏推定とその信頼区間について

(多田明夫(神戸大)ほか)

河川負荷量の不偏推定量の考え方とHorvitz-Thompson推定量についての発表があった。当該推定量は、概ね河川負荷量の不偏推定に適用可能であり、多少の計算を行うだけで過去のデータも活用できるものの、月1回の低頻度定期調査データに基づき年間負荷量を推定する場合、95%中央信頼区間の幅が真値の数十~数千倍とすることもあり、課題が残されているとのことであった。また、単年度負荷量の不確かさを小さくするには、標本サイズを大きくするか、サンプリング確率が瞬間負荷量の大きさ

に比例するように工夫する必要があるとのことであった。

### 4. 生態系の物質循環への人間活動由来の排水負荷量の取込み

(生地正人(四電技コン))

水質浄化法の一つである、底面が傾斜した薄層構造体にスポンジ等の担体を充填した傾斜土槽法と槽内土壌の利活用についての紹介があった。本法は工夫によっては微生物による有機物(BOD)と栄養塩類(総リン(TP)、総窒素(TN))の浄化率向上が見込まれるだけでなく、槽内の土壌の農地還元によって農作物、ひいては生態系の生産能力回復の可能性もあるとの提案がなされた。本技術が水質浄化と農業をバランスよくつなげる重要な架け橋となり、「豊穡の大地、豊穡の海」の再生・維持への貢献が見込まれるとのことであった。

### 5. 気候変動による水環境への影響 ①メカニズムとモデリング

(小松英司(明治大)ほか)

流域の要素(森林、河川など)ごとに、気候変動による影響のメカニズムやそれに基づく予測手法についての報告があった。陸水域の水温や水質・生態系のモデルの長期予測精度の向上を図り、気候変動による将来予測の不確実性を減らしていくことが重要であるとの指摘があった。また、最新の排出シナリオ、全球気候および地域領域気候モデルによる2100年までのマルチシナリオを用いた気候変動に対する水系システムの長期変化・影響の評価や、気候変動が水環境に及ぼす将来の影響に対する対策とともに、不可逆的な影響の場合には適応策が求められることも指摘された。

### 6. 気候変動による水環境への影響 ②琵琶湖流域における感度分析

(佐藤祐一(琵琶湖研セ)ほか)

気候変動による水環境への影響を念頭に、琵琶湖の全層循環が完了しない主な原因の究明に関する報告があった。原因として暖冬による表層水温上昇、猛暑による水体への蓄熱量の増大に着目し、2018年度末の全層循環未完了の要因の寄与度について、数理モデルを用いた感度分析が行われた。その結果、暖冬だけ、あるいは猛暑だけがなかったとしても、全層循環は完了していなかった可能性があること、暖冬による寄与度の方が大きい、夏季の猛暑による影響も一部残存している可能性があることが示唆された。

### 7. 委員からの研究プロジェクト紹介

6名の委員より研究プロジェクトの紹介がなされた。ノンポイントソースからのプラスチック類、重金属の排出量やその抑制、負荷量推定の方法等に関する報告があり、とくにノンポイント研究の知見を活かしたプラスチック関連調査への展開が着目された。研究内容の情報を共有するとともに、共同研究の可能性を確認した。流域物質動態・ノンポイントソースの実態の解明が確実に進んでいることが改めて感じられた。

(大阪公立大学 櫻井伸治)

# 膜による事業継続を考える ～膜と生きる～

## 膜を利用した水処理技術研究委員会

本研究委員会のシンポジウム参加は20回目である。セッション前半は4件の膜に関する最新の研究事例についての報告を行った。後半は膜による事業継続の事例紹介と位置付けて、初めに長岡先生の基調講演を行い、その後4件の民間事業所および上下水道での事例紹介を行い、膜が事業継続にどのように貢献できるかについて、聴講者を交えてディスカッションを行った。

### 1. 口頭発表

座長：大西真人（日立製作所）

#### 1-1 「実用化に向けた仕切板挿入型 MBR 装置の運転状況について」 円谷輝美（前澤工業）

MBRの省エネ化に有効な技術である仕切板挿入型 MBRの実用化に向け、実水深での大型実証試験を実施した。5ヵ月の安定運転を行い、およそ3年間浸漬洗浄不要で運転継続できる結果を得た。消費電力量は、日処理水量 20,000 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> を想定して試算した結果、0.19 kWh m<sup>-3</sup> となり、従来高度処理と比較し50%以上の削減効果が期待できることがわかった。

#### 1-2 「凝集処理における膜ろ過水質評価指標に関する一考察」 貝谷吉英（水ing）

膜汚染物質に関する解析ツールの有用性が種々示されているが、機器自体が高価であり、測定が容易ではないなど、汎用的なツールにはなり得ない。そこで簡便な膜ろ過試験を用いた凝集膜ろ過向け水質評価指標を提案し、評価事例を示した。凝集条件の違いによるファウリングポテンシャルの違いが明らかとなり、運転管理におけるモニタリングツールとしての有用性が示された。

#### 1-3 「水処理膜のライフサイクルマネジメント」

山村 寛（中央大）

世界的にプラスチックに係る資源循環等の重要性が高まっている中、水処理に用いられた使用済み RO 膜の廃棄に対する課題への取り組みも求められている。インドの工業団地を例に、海淡水で使用後、脱塩率の低下した RO 膜を用いて、工場排水中の TDS を冷却水基準まで低減可能カラボおよびパイロット規模の試験により検証を実施し、中古膜の適用が可能であることを実証した。

#### 1-4 「高負荷 MBR による都市下水高度処理と下水中有機物回収の同時達成」 木村克輝（北海道大）

下水からの有機物回収を目的とし、極短の SRT/HRT で運転する高負荷 MBR について、ベンチスケール実験を実施した。適切な運転条件の採用により膜閉塞の抑制を効率的に行いながら、有機物の70%を回収し、処理水の TOC を 6.5 mg L<sup>-1</sup> まで低減することが達成できた。水

処理でのエネルギー収支をプラスへ転換できる可能性が示された。

### 2. 基調講演

座長：木村克輝（北海道大）

#### 「上下水道システムにおける膜分離技術導入の将来展望」 長岡 裕（東京都市大）

浄水においては着実に膜処理が進んでいるものの、まだまだマイナーな処理法といえる。近年は敷地面積が少ない場合に適用される例が増えている。

下水においては、MBRの適用例は限定的ではあるが、欠点となっている消費電力量については、標準法に近いレベルまで下がってきており、今後の普及に期待したい。

### 3. 事例紹介

座長：長岡 裕（東京都市大）

#### 3-1 「食品への膜利用～分離・精製イミダゾールジペプチド～」 佐藤謙一郎（東海物産）

チキンエキス中に含まれる機能性成分であるイミダゾールジペプチドを分離精製するために、UF、NF膜処理にイオン交換処理を加える方法を考案し、汎用性のあるイミダゾールジペプチド高含有の製品化に成功した。

#### 3-2 「浄水処理工程における RO 膜の利用について」

上條政幸（明治）

食品製造工場の製造用水として工業用水を浄水処理して用いているが、ある時、製造用水から薬品臭が検出される状況が発生した。調査した結果、工業用水に由来する臭化物イオン等が一因と推定され、RO膜を処理工程に追加する対策を行った。

#### 3-3 「膜処理設備の導入による 燕市・弥彦村浄水場施設再構築事業への貢献」 赤木信雄（JFE エンジ）

広域化による課題解決として、既存4浄水場を廃止し、1つの統合浄水場を建設することになった。高濁への対応、ダウンサイジングへの対応、運転・維持管理性などから膜ろ過方式が優位となり、採用に至った。

#### 3-4 「MBR 導入による下水処理機能高度化と水辺の魅力空間づくり（大阪市）～「水都大阪」の水辺魅力の向上をめざして～」 山本貴司（大阪市・建設局）

中浜下水処理場の更新において、施設のコンパクト化などから MBR を採用した。MBR の超高度処理水は、水都大阪の再生をめざし、東横堀川、道頓堀川へ導水し、水質改善、水辺魅力向上に貢献している。

（メタウォーター（株） 大和信大）

# 水環境分野における紫外線応用の新知見

## 紫外線を利用した水処理技術研究委員会

本シンポジウムでは、水環境分野における紫外線応用に関する最新の研究成果について合計5件の発表が行われ活発なディスカッションが展開された。以下にその概要を記す。

### 1. 「紫外線の断続的照射による光回復の抑制効果」

大瀧雅寛（お茶大・基幹研究院）

水処理において微生物の不活化を目的とした紫外線の照射方式としては連続的な照射が一般的であるが、例えば、貯留タンクから一部取り出して紫外線を照射してタンクに戻す循環式照射においては照射と非照射を繰り返す断続的な照射方式となる。一方紫外線処理の短所とし細菌の光回復が挙げられるが、既報によれば大腸菌(B/r)をUV照射し、その後一定時間暗所下におくことで光回復能力が大幅に抑制されることが示されている。

本研究では対象細菌として緑膿菌および大腸菌を用いて、断続照射方式における光回復抑制効果の有無を検証した。

緑膿菌(ATCC15442)は高い光回復能力を持つことが確認された。また大腸菌(NBRC3301)および緑膿菌(ATCC15442)の単離培養株を対象として、紫外線連続照射後の可視光照射と暗所保存後の可視光照射、さらに紫外線断続照射による暗所保存条件後の可視光照射における光回復を比較したところ、両細菌とも紫外線連続照射後の暗所保存による抑制効果と紫外線断続照射後の光回復抑制効果がほぼ同じであることがわかった。しかしその効果はいずれのケースも非常に小さいものであった。

### 2. 「複合UV-LED照射によるアオコ形成Cyanobacteriaの種場不活性化の試み」

姜雨晴（温州大・中国）

社会と経済の急速な発展にともない、人類は環境資源を過剰に開発し、その結果、水の流れにともなって河川や湖沼に大量の窒素やリンが濃縮され、中国や世界各地では様々な水域の富栄養化の問題が深刻になっている。この問題に関して、浚渫による除去や覆砂による栄養塩の取り込み抑制などの対策が行われているが、大規模な土木工事が必要となり、建設工事による水環境への二次的な悪影響も考慮しなければならない問題がある。本研究では、最大6種類の紫外線ランプを用いた実験装置とマルチウェルプレートを用いた手法を開発し、中国・太湖の堆積物や藍藻類を対象に紫外線照射実験を実施した。

シアノトキシンに対する265nmの単一波長の紫外線の分解効果は、他の波長と比較して非常に高いものであった。また、265nmと275nmの複合波長による照射は良好な水の華抑制効果を示した。

### 3. 「インド農村部貧困層家庭における紫外線消毒による安全・安心な飲料水の提供」

岩崎達行（スタンレー電気）

インド農村部では24時間給水されていない世帯が多く、各家庭で貯水タンクを設けて必要な時に利用している。しかし、配管途中での汚染やタンクの不適切な維持管理により、安全な水道水を飲用できないことが多々ある。

SDGsのゴール3（すべての人に健康と福祉を）およびゴール6（安全な水とトイレを世界中に）への貢献を目

指し、安全・安心な飲料水の確保を目的として、インドバンジャブ州ランプール村のほぼ全世帯に相当する70世帯(72カ所)の家庭の蛇口手前に紫外線消毒装置を設置し、6ヵ月間の実証実験を行った。

17カ所の家庭で聞き取り調査を行った結果、紫外線消毒により下痢症の発生頻度が減った(14カ所/17カ所)ことが確認でき、下痢症低減への有効な技術の一つであることがわかった。また、紫外線消毒処理を行うことが、味覚の変化に影響を与えないことが確認できた。また、味がよくなったとの意見があり、これはミネラルを除去しない紫外線消毒の特徴があらわれた結果と考えられる。

### 4. 「染料マイクロカプセルラグランジュ線量計(DMC-CA)を用いた紫外線照射装置」

出口憲一郎（千代田工販）

紫外線量分布の実測を試みたバリデーション手法として、紫外線感光性染料を塗布したDMSを用いたラグランジュ線量計法が提案されている。しかし、複雑な多変量解析(逆畳み込み演算)が必要なことや、逆畳み込み演算にともなう誤差の拡大など、汎用性や実用性に課題がある。筆者らは、紫外線感光性染料を封入したDMCに着目し、DMCを用いた回分式紫外線照射試験を実施し、DMCをラグランジュ線量計として適用するための基礎的検討を行った。

本研究に用いた紫外線照射装置の通水試験条件に対して、MS2の場合には2.9log不活化( $MS2\ RED=70\ mJ\ cm^{-2}$ )までの範囲において、Qβの場合には3.1log不活化( $Q\beta\ RED=36\ mJ\ cm^{-2}$ )までの範囲において、それぞれ生物線量計法と同等の精度でDMC-LA法により対象微生物のlog生残率を予測可能であることが確認された。また以上の結果から、本研究における紫外線照射装置の平均紫外線量算出方法の妥当性、および紫外線照射装置のバリデーションに対するDMC-LA法の適用性が示唆された。

### 5. 「パルス電源駆動によるUV-LEDの長寿命化」

志賀淳一（メタウォーター）

UV-LEDは既存技術である水銀ランプと比較して寿命が短く、ライフサイクルコストの低減が課題となっている。そこで、本研究では、パルス電源駆動をUV-LEDへ適用することで、駆動方式の違いによる消毒効果と、UV-LEDの寿命への影響について実験により確認した。

UV-LEDを用いて、定電流駆動とパルス駆動により大腸菌ファージMS2に対して紫外線を照射し、生残率を測定したところ、パルス電源駆動による紫外線照射においては、定電流駆動より4%~9%程度高い生残率を示した。UV-LEDを定電流駆動とパルス駆動とパルス駆動後に定電流に切り替えた3系列で線量率の経時変化を比較したところ、パルス駆動後に定電流に切り替えた系列は、初期のパルス駆動時は他の系列同様に線量率が低下したが、定電流駆動に切り替えた直後から線量率は回復し、その後も劣化は抑制された。このことから駆動方式をパルス駆動と定電流駆動を組み合わせることによりUV-LEDの線量率低下が抑制され長寿命化の可能性が示唆された。（メタウォーター 志賀淳一）

# 2030年を見据えた産業排水の処理・回収技術

## 産業排水の処理・回収技術研究委員会

本研究委員会では、2件の招待講演と6件の一般講演を行った。2030年を見据え、生産性向上や脱炭素化、労働人口の減少や熟練技術者の技術継承といった課題を抱える昨今の産業排水処理において、エネルギー消費や処理コストの低減、運転の省力化や処理の高効率化などを目的とした様々な技術が紹介された。以下に各講演の概要を紹介する。

### 1. 招待講演

(株) 東芝の古藤氏には、「産業分野における東芝の先進 AI 活用」と題して、産業分野における AI 活用の意義、目的から進展状況、実際の取り組み内容を、東芝での事例を交え、解説いただいた。産業の様々な分野で拡大する AI 活用の具体事例を紹介いただくとともに、AI の品質管理、外部環境やニーズの変化に応じた AI の進化を支える MLOps (Machine Learning Operations) の取り組みを紹介いただいた。さらには、AI 利用におけるリスク顕在化に対する規制動向や、道路、ガス、水道のような重要インフラへの AI 適用における課題について解説いただいた。

メタウォーター (株) の中村氏には、「単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による下水高度処理技術について」と題して、国交省 B-DASH 実証事業にて進めた ICT、AI 制御を用いた下水高度処理について、技術の概要および実証事業内容と結果、今後の展望を紹介いただいた。統計的機械学習、最適化理論を利用した統合演算システムによる送風量制御を行うことで、高度処理の省エネが可能となる点について解説がなされた。そして、実設備の運転において、従来と同等の処理水質を得ながら送風電力の約 16% 低減が実証されたこと、総費用が約 13% 低減されるなどの試算結果が得られたこと、今後更なる能力向上に取り組むことなどが紹介された。

### 2. 一般講演

オルガノ (株) の福水氏には、「画像センサ型凝集剤自動注入制御システムの開発」と題して、多品種を製造する飲料工場の実排水の凝集処理プロセスに対して、反応槽に設置した画像センサによる凝集剤の自動注入制御の検討事例を紹介いただいた。凝集フロクの成長度合いを数値化し、PAC の注入量を制御することで、画像センサ導入前の凝集剤一定注入と比較し、薬剤注入量や汚泥発生量を削減できる試算結果を得たとのこと。排水の成分やセンサ設置位置の影響などに関する質疑応答が行われた。

栗田工業 (株) の西村氏には、「飲料工場 UASB 装置の故障リスク解析とメタン稼働率アップ」と題して、嫌気性 UASB + 活性汚泥の嫌気系列と、好気性流動床の好気系列の並列運転からなる工場排水処理設備における排水量配分に関して、故障リスク金額と運営費の観点を加味した計算モデルを構築し、適切な流入負荷配分等を評価した結果について報告いただいた。嫌気系列の負荷増

加は故障リスクを増加させるものの、積極的な活用により運営費を低減できることから、総合的な見直しにつながったとの見解であった。負荷変動のリスクや好気系列のリスクの考え方についての議論がなされた。

前澤工業 (株) のゾルザヤ氏には、「正浸透法における運転条件及び膜洗浄方法に関する基礎検討」と題して、下水中の有機物のエネルギー利用に向けた濃縮回収のために正浸透法を用いる場合の運転条件と膜洗浄方法に関して行った基礎検討結果を報告いただいた。清水実験でクロスフロー流速や駆動溶液濃度条件および膜の内部分極の影響性などを確認したうえで、実下水実験において膜透過水流束や膜汚染に関する知見、また、膜洗浄薬品の種類や洗浄条件に関する知見が得られたことが報告された。

水 ing (株) の北澤氏には、「新規油除去技術と低含水率油分汚泥の燃料化の検討」と題して、含油排水処理における油分除去工程にスクリーン型機械濃縮機の適用を検討した事例を報告いただいた。pH 調整後、油水分離剤を注入してフロクを形成させたうえでスクリーン型機械濃縮機に投入することで、コンパクトかつ低動力で油分除去できることを確認した。SS および n-ヘキサン抽出物の除去率は 90% 以上、濃縮汚泥の含水率は 75% 以下であった。また、濃縮汚泥の圧搾工程を付加することで汚泥含水率は 50% 台まで低減され、低位発熱量は下水炭化汚泥と同程度の 12,000~12,800 kJ kg<sup>-1</sup> となって燃料化が可能と推測された。

三菱ケミカル (株) の木子氏には、「次世代ばっ気方法～バブルレス酸素透過膜を用いた MABR～の展開」と題して、酸素透過膜を用いた MABR (Membrane Aerated Biofilm Reactor) のパイロット試験結果について報告いただいた。MABR は、酸素透過膜の外表面に生物膜を形成させ、膜内部から直接酸素を供給することで、酸素を効率的に使用するシステムである。模擬排水を用いたパイロット試験では、COD 除去は短時間で立上げが完了し、窒素除去に関しては 50 日程度で馴養が完了した。60 日目以降に生物膜の肥大化により処理が悪化したことから、生物膜を適切な厚さで維持することが課題であり、今後検討していくとのことであった。

栗田工業 (株) の小松は、「醸造排水汚泥を対象とした嫌気 MBR の膜汚染挙動」と題して、嫌気 MBR における膜汚染挙動について、ベンチスケール試験結果を基に解析した事例を報告した。次亜洗浄で回復した有機系汚染は、汚染物質が膜細孔および捕捉された粒子上に捕捉されていく中間閉塞モデルで近似でき、クエン酸洗浄で回復した無機系汚染は、有機系汚染の閉塞係数が増加 (膜細孔が減少) する形で表現された。嫌気 MBR では、汚泥中の溶存 CO<sub>2</sub> が膜ろ過前後の圧力低下で気化し、ろ過水側で pH が上昇する現象があり、無機系汚染の挙動はこの pH 変化がもたらしたものと推測された。

(栗田工業 (株) 小松和也)

# 環境エンジニアリングにおける電気化学的技術

## 電気化学的技術研究委員会

電気化学的技術研究委員会のシンポジウムでは、現地参加8件、オンライン参加3件の計11件の発表が行われた。公募は現地参加の2件であり、それぞれの概要は以下のようであった。

### (1) UVと電解の組み合わせによる医薬品分解の高効率化 江口栄抛（東邦大院）ほか

医薬品のジクロフェナクを対象に、UV単独、電解単独、UV→電解およびUV→UV+電解のそれぞれについて、分解効率およびエネルギー効率が検討された。UV254 nm、陽極 BDD、陰極 Pt、電流密度 20 mA cm<sup>-2</sup> の条件において、2段階処理はUVまたは電解単独に比べ、分解効率が5~30%向上し、エネルギー効率も高くなることが示された。

### (2) 多孔性錯体結晶と電解による有機フッ素化合物の高効率濃縮分解 鳥巢亜麻音（東邦大院）ほか

ペルフルオロオクタン酸 (PFOA) について、多孔性錯体結晶の吸着剤 ZIF-8により濃縮し、その後電気分解する処理技術の効率化が検討された。PFOA 溶液 100 mg L<sup>-1</sup>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 電解質 5 mM、陽極 BDD、陰極 Pt、電流密度 40 mA cm<sup>-2</sup> の条件において、5倍濃縮後の ZIF-8を酸塩基処理で破壊することにより、無機化エネルギー効率が2倍弱向上した。

### (3) 電解次亜塩素酸 /UV 処理における鉄塩添加効果

岸本直之（龍谷大・先端理工）ほか

電解生成したHOClにUV照射してできるラジカル (HO<sup>•</sup>, Cl<sup>•</sup>) を利用する1,4-dioxaneの処理に対して、UV (254 nm) 吸光係数の高い第二鉄イオン (Fe<sup>3+</sup>) の添加効果が調べられた。電解セルとUVセルを循環する回分実験結果から、HOClが多い条件（高電流）では阻害効果、UVが過剰（低電流）の条件のみ Fe<sup>3+</sup> 添加の正の効果が確認された。

### (4) pH制御電気化学凝集を用いた乳牛糞尿液分からの抗生物質の磁気分離 植原優貴（神戸大院・農）ほか

オキシテトラサイクリン (100 mg L<sup>-1</sup>) とマグネタイト (250 mg L<sup>-1</sup>) を投入した酪農廃水に対して鉄電極を用いた電気化学凝集を行い、重力または磁気による分離操作が行われた。pHの上昇をとまなう電気化学凝集では0.1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>によりpHが制御され、重力分離はpH8.7、磁気分離はpH7.0で除去率が最も高くなり、pH制御の重要性が示された。

### (5) 生物電気化学システムによる抗生物質と抗生物質耐性遺伝子の除去特性 範鳳龍（京都大）ほか

1槽式連続上向流型微生物燃料電池の抗生物質（スルファメトキサゾール、クラリスロマイシン）除去特性が下水二次処理水を用いて調べられた。電圧は安定し、TOCおよび抗生物質の除去率は対照系より高く、それぞれ約80%および約100%であった。また、抗生物質耐性遺伝子は、int1、ermFおよびsul Iの除去性能が高いことが示された。

### (6) 活性炭を用いたFe-N-C型触媒の調整とその酸素還元反応活性 渡邊智秀（群馬大院・理工）ほか

微生物燃料電池 (MFC) のカソードへの適用を目指し、活性炭を用いたFe-N-C型触媒の調整条件と酸素還元反応 (ORR) 活性の関係が調べられた。鉄源と窒素源を変えて600~1000℃の範囲で熱処理を行い、鉄源に鉄(II)フタ

ロシアニン、窒素源に尿素を使用した系で高いORR活性が得られ、また、800~900℃で最大となることが示された。

### (7) 堆積物微生物燃料電池を用いた直上水ばっ気システムの検討 松木昌也（福岡県・保環研）ほか

充放電可能なコンデンサベースの回路を用いて、堆積物微生物燃料電池 (SMFC) の電力によるばっ気の底質直上水への効果が検証された。約2分間の並列充電とばっ気ポンプへの1秒間の直列放電が約3ヵ月半繰り返された。装置は安定的に最大出力 (0.43 mW) 付近で稼働し、エネルギー効率は68%、直上水NH<sub>4</sub><sup>+</sup>は1.4 μM未満にまで低下した。

### (8) 高度処理浄化槽汚泥への微生物燃料電池の適用による効果 窪田恵一（群馬大院・理工）ほか

鉄電解リン除去型浄化槽の汚泥と処理水を用いて、微生物燃料電池 (MFC) の浄化槽への適用効果が検証された。DOC濃度が高く、カソード周辺でのDO消費により発電性能は他のMFCに比べやや低かったものの、汚泥内のDTNの分解促進や、汚泥に蓄積されたリンの溶出抑制が可能であった。また、汚泥内の鉄成分の形態変化も示唆された。

### (9) アノード面積を考慮した下水処理微生物燃料電池の包括的モデル計算 田中文親（名古屋工大・社会工）ほか

エアカソードを用いたアニオン交換膜型微生物燃料電池 (MFC) の数値モデルが検証された。2基のMFCへ下水最初沈殿池流出水を循環させ、HRTおよび炭素ブラシアノード本数を変えたところ、アノード面積と有機物濃度を統合したアノード有機物供給量により、MFC全体の電流密度、電力密度が計算可能であることが示された。

### (10) 土壌微生物を介した電子伝達による *Dehalococcoides* 属細菌の電気化学脱塩素化の促進

孟令宇（名古屋工大・社会工）ほか

脱ハロゲン化細菌である *Dehalococcoides* 属細菌への電子供与方法が検討された。水田土壌を接種し、電気化学セルによりカソードを分極 (-0.3 V vs SHE) した系でのみ約1 mMのテトラクロロエチレンが同濃度レベルのエチレンまで無害化された。共培養実験から、*Desulfohalobium* 属細菌が電極間の電子伝達を担っている可能性が示唆された。

### (11) マイコンで動作制御した微小電極による微生物燃料電池内部のpH分布の自動測定

廣岡佳弥子（岐阜大・流域研セ）ほか

微生物燃料電池の電極近傍のpH分布を測定するため、位置センサーを有する先端径数μmの微小pH電極の有効性が検証された。位置センサーとしてpH電極先端外周に液体金属（ガリウム）を塗布し、アノードへの接近・停止をマイコン操作で行ったところ、電極先端の接触（破壊）時間が測定でき、高精度のpH分布測定が可能であった。

### (12) 総合討論 座長：岸本直之（龍谷大・先端理工）

座長から、各発表者に対して研究内容の課題等に関してヒアリングが行われ、まとめとして、電気化学的技術の課題と今後の方向性等が述べられた。

（株式会社ヤマト 小森正人）

# 地球温暖化を巡る水環境の現状・課題と対応

熱帯・亜熱帯地域水環境研究委員会／汽水域研究委員会

地球温暖化を巡る沿岸域を含めた陸水・汽水域の水環境の現状・課題と対応策について、国内外の調査研究や取り組み事例等を踏まえ、多角的な観点から議論する。その趣旨から、今回は上記のタイトルで、熱帯・亜熱帯地域水環境研究委員会と汽水域研究委員会とで共同開催した。今回はハイブリッドでの開催となり、会場で約15名、オンラインで40名以上参加いただいた。

前半4題は汽水域研究委員会会員による講演が行われた(座長:清家泰(島根大学))。

## 1. 「気候変動と汽水域」 (山室真澄(東京大学))

地球温暖化が日本の汽水域、とくに汽水湖に及ぼす影響を整理した。汽水域では海の沿岸域同様、地球温暖化による水温上昇と淡水流入量の増加によって、底質中有機物が増加すると考えられる。汽水域ではそれに加え、海面上昇による高塩分水流入量が増加することで成層の強固化が進むと予測され、これらにより現在より貧酸素化が進みやすくなると考えられる。

## 2. 「霞ヶ浦における夏季の湖岸と湖心の水温の違い」 (小室 隆(港湾空港技術研究所))

潟湖である霞ヶ浦で、夏季の表層水温が湖岸域と湖心で異なることを示した。湖岸域は湖心よりも温まりやすく冷めやすいので、全体の平均水温では湖心との有意差はなかったが、漁獲対象種であるワカサギが暑さで斃死するとされる30℃以上の水温で多重比較検定を行うと、湖岸部の平均水温の方が湖心よりも有意に高かった。魚類や二枚貝などは湖岸部を主な生息域とすることから、湖心部での水温モニタリングだけでは、温暖化が生態系に与える影響が過小評価される可能性がある。

## 3. 「汽水域における塩分上昇に伴う硫化水素の生成について」 (菅原庄吾(島根大学))

実験結果から、塩分が3PSUを超えると硫化水素の生成は基質濃度に依存せず最大生成速度に近い速度となったことを報告し、温暖化によって海水面が上昇して塩分が高くなることにより、青潮が発生しやすくなる可能性を指摘した。また淡水・汽水にかかわらず貧酸素化が進むと鉄還元菌によってリン酸鉄のリンが遊離するが、汽水域では硫酸還元菌によって生成された硫化水素もリン酸鉄と反応して硫化鉄を生成しリンを遊離させるため、淡水域よりも貧酸素化によるリン溶出量が大きくなる。

## 4. 「波浪による底質輸送を伴う人工海浜におけるアマモ生息条件について」 (伊豫岡宏樹(福岡大学))

ドローンによる撮影や潜水調査、音波測深機による人工海浜の地形変化と、植栽されたアマモ場の変化について紹介した。人工海浜は堤防で囲まれた形状で、開口部には潜堤が設けられているため、砂の流出はほとんどなかった。このような状況で、安定したアマモ群落は東部の地形変化が少ない範囲に形成されていたが、同様に地

形が安定している西部では形成されていなかった。その原因としてアオサが堆積することが考えられる。

後半は熱帯・亜熱帯地域水環境研究委員会会員による2題の講演が行われた(座長:中野拓治(琉球大学))。

## 5. 「サンゴ礁生態系保全のための気候変動適応策」 (熊谷直喜(国立環境研究所))

亜熱帯・熱帯では白化の高頻度化や復元力の低下などによりサンゴは減少し、温帯域では南方種の分布北限の拡大や海藻藻場からサンゴ群集への移行などサンゴの増加が生じている。しかし、気候変動速度にサンゴの応答速度は追従できておらず、分布拡大域においても白化の発生やオニヒトデによる捕食が問題となるなど分布域全体としては減少傾向にあり、高緯度においても保全が必要である。気候変動にともなうサンゴへの影響としては広域的な要因と地域的な要因が複合的に作用している。広域的な要因としては海洋熱波の頻発化にともなうサンゴ白化の高頻度化があげられる。地域的な要因としては豪雨や大型台風の増加による直接的なサンゴの破壊の他、農地等からの赤土等の流出の影響がある。目下の気候変動適応策としては、広域的な要因を直接軽減するのは困難だが、地域的な要因を軽減することでサンゴへの負荷の総量を抑える努力がなされている。

## 6. 「サンゴ礁生態系保全行動計画と沖縄県の取組」 (大城一幸(沖縄県自然保護課))

サンゴ礁生態系を良好な状態で保全していくため、環境省は「第三期サンゴ礁生態系保全行動計画2022」を策定し、定期的な達成状況の評価と見直しを行うこととしている。沖縄県では、サンゴ礁の保全・再生に関する取り組みとして、「サンゴ礁保全再生事業」、「サンゴ礁保全再生地域モデル事業」を実施し、サンゴ種苗の白化対策に関する調査研究等を行った。沖縄県におけるサンゴ礁保全の重要な課題の一つである陸域からの赤土等の流入を抑えるため、「沖縄県赤土等流出防止対策基本計画」を策定し、赤土等流出量の削減に向けた総合的な取り組みを実施している。サンゴ礁の保全上の課題については、気候変動にともなう海水温の上昇、陸域からの赤土等や栄養塩の流入等があげられる。サンゴ礁の保全再生活動を進めるには、地域の特性に応じた活動が重要であることから、地域が主体となった取り組みを広めていく必要がある。

## 7. 総合討議

地球温暖化を巡る水環境の現状・課題と対応について、オンラインおよび現地参加による発表および活発な意見交換が行われ、それらを通じて今回の合同セッションのテーマの重要性や発展性が示された。

(東京大学 山室真澄,  
元沖縄県衛生環境研究所 宮城俊彦)

# 農産業に関わる水・バイオマス利用の技術とシステム

## 農産業に関わる水・バイオマス循環技術研究委員会

本セッションは、1件の招待講演と4件の依頼講演から構成され、畜産、地域振興策および汚泥乾燥技術に関するトピックを取り扱った。

持続可能な畜産を支えるための技術開発の現状

(荒川愛作氏, 農林水産省)

畜産の基礎知識、面白いところでは生産物1kgに必要な飼料量や発生するふん尿量、あるいは、畜産物の輸出先などの紹介の後、持続可能な農業に関する「みどりの食料システム戦略」、とくに畜産に特化して「持続的な畜産物生産の在り方検討会の中間とりまとめ」の内容を紹介された。水環境分野に近いところでは、化学肥料利用量の低減目標、家畜排せつ物利活用としてペレット化堆肥の利活用、飼料自給率（とくに濃厚飼料）の向上施策（水田を活用した子実用トウモロコシ生産や放牧利用など）、畜産分野からの温暖化対策（アミノ酸バランス飼料の給与、排せつ物処理のスマート化など）について説明があった。また、関連して諸外国の動きとして、EUの「ファーム to フォーク戦略」や米国の「農業イノベーションアジェンダ」も紹介された。肥料、農薬、抗菌剤、そして、カーボンフットプリント削減など、我々の分野においても興味深い話題が満載であった。

住み続けられるいすみへ～サンセバスティアン化計画～

(山口高幸氏, いすみ市)

東京から特急列車で70分のいすみ市も過疎化の流れには逆らえず、2000年には42,000人を超えていた人口が2040年代には25,000人を割り込む試算もある。いすみ市は、「住み続けられる」という点にフォーカスし、①地元産業である一次産業の発展、②移住を受け入れる雰囲気醸成、③受け継がれてきた自然環境の保全と整備、をビジョンとする積極的な地域振興を当事者として進めている。例えば、一次産業の発展、個人所得の向上、あるいは、就業機会の創造については、優れた農産品・水産物を産出できる特徴を生かし、それぞれ高付加価値化を図ること、価値を共有すること、さらには、観光や教育に結び付けること、などを実践されてきた。「かっこいい一次産業」を標榜し、後継者問題や新規就業に一石を投じている。今後について、いすみ市として地域商社の設立に関わり、地域のDX化などさらに踏み込んだ地域おこし施策の取り組みを紹介された。

輸入飼料に依存しない畜産経営の確立を目指して

(高橋憲二氏, 千葉北部酪農農業協同組合)

畜産の持続性を担保する取り組みについて解説された。畜産で生じるふん尿の処理と昨今の高騰する飼料費に対して、耕畜連携を進め、ふん尿の耕地での利用と飼料作物生産による飼料自給化を目指す構想を紹介された。骨格となる取り組みはコントラクター（請負）事業と混合飼料の供給事業である。コントラクター事業では、耕種農家は高齢化が進んでおり飼料作物生産の持続性に懸念があることから、飼料作物生産に関わる作業を畜産農家

側が請け負える体制を整備する。混合飼料の供給事業では、品質の担保できる濃厚飼料原料として飼料米や食品副産物にも目を向け、1年を通して必要な栄養素を含む混合飼料を安価に安定して供給できる体制を整備する。将来計画として、「安全安心は当たり前」のもと、環境負荷低減を目指したカーボンフットプリントの利用やバイオガスプラント発電事業の構想も紹介された。また、耕畜連携を進めるコツについても紹介があった。

下水汚泥発酵乾燥技術の開発と今後の展開

(中久保亮氏, 農業・食品産業技術総合研究機構)

密閉縦型堆肥化装置を利用した下水汚泥の乾燥技術および乾燥物の用途に関する報告がなされた。密閉縦型堆肥化装置は、畜産廃棄物にて6,000基の普及実績のある技術である。本装置は運転にオペレーターの経験を要する難点があったが、講演者の提案技術（排気発酵熱量に応じてブロワ送気量を可変）により自動運転が可能となった。この技術を下水汚泥に展開した結果が紹介された。下水汚泥は、畜産廃棄物と比べて排気発酵熱量が低いことから、それに応じた副原料（廃白土など）が併用される。39 m<sup>3</sup>の発酵槽に対して未消化下水汚泥をHRT10日程度で投入した結果、水分24%の発酵乾燥汚泥が得られた結果を示された。発酵乾燥汚泥は木質ペレット並みの熱量を有し、セメントキルンに投入されれば灰分利用のほか熱源としても利用可能となる。また、有機質肥料としても利用可能であり、試算によると下水汚泥コンポストより50%近くのコストダウンが可能とのことであった。一次産業振興策の経済効果計測に関する一考察

(土屋哲氏, 高知工科大学)

各種の施策が地域経済に及ぼす効果を推計する方法の一つに産業連関分析がある。しかし、産業連関分析では通常、生産・供給側の制約を考慮せず、需要を満たす生産が可能であることが前提となっているため、こうした制約を緩和する施策に適用する際には注意を要する。例えば乾燥地など、水資源に強い制約がある地域で、使用可能な水量が増加することにより農作物の増産を見込むとする。しかし、農作物の増産に合わせて、例えば肥料使用量が増加し、その生産に関わる水使用量も増加する。この場合、農作物そのものの生産、および生産の波及にともない必要となる水使用量全体が、増加した水資源量を超過してはいけませんが、産業連関分析にはこの制約が内包されない。講演者は、資源配分の最適化を求める線形計画法に産業連関体系を組み込むとともに、水資源量を制約条件の一つとして明示的に扱うことにより、資源制約をとまなう経済効果の計測法を、再生水の農業利用を例に紹介された。

(同志社大学 赤尾聡史)

# 水供給システムにおけるリスク及び不確実性とその対応策

## 将来の水環境変化に対応した水供給システム研究委員会

今年度のシンポジウムでは、水供給システムにおけるリスク及び不確実性とその対応に関する以下の発表があった。

### (1) 水道における有機リン系農薬由来の消毒副生成物の管理

松下 拓 (北海道大学)

塩素処理により、コリンエステラーゼ (ChE) 活性阻害を引き起こすオキソン体を生成する農薬については親農薬以外にオキソン体も測定すべきであるが、メタジオンなど8種類の有機リン系農薬は、オキソン体も測定する必要がないとされてきた。そこで独自に開発したChE活性阻害試験により調べたところ、メタジオンは塩素処理によってオキソン体が生成し、ChE活性阻害率が大幅に上昇したことから、親農薬に加えてオキソン体も測定する必要があることが示された。また、ダイアジノンの毒性は、親農薬とオキソン体の毒性の和であることから、親農薬とオキソン体を測定することが適切である。

### (2) 水道水源における病原微生物汚染とリスク管理

三浦尚之 (国立保健医療科学院)

全国の浄水場から採取した水道原水 (地表水 21 ヶ所、地下水 5 ヶ所) および飲用井戸 (浅井戸 9 ヶ所) 中のウイルス濃度を測定したところ、ノロウイルスは胃腸炎流行期に 48%~81% の原水から検出されたが、ロタウイルスは非流行期でも検出率が高く、家畜由来のウイルスが含まれることが示唆された。トウガラシ微斑ウイルスは、高頻度かつ高濃度で検出されたことから、ウイルス除去の指標になりうることが示された。

### (3) 再生水利用を見据えた水道水源の水質管理

小松一弘 (信州大学)

水道水源となっている河川等に放流された下水処理水の影響を評価するための方法として、水中の溶存有機物の特性評価法の一つである EEM 法を用いて、2 ヶ所の下水処理場の処理水槽で採取したサンプルを分析した。EEM 測定結果を、PARAFAC (によって評価したところ、5 つの Peak が得られた。このうち Peak X は、下水流入水に比べて、下水処理水中の濃度が 40%~53% であることから、下水処理によって、半分程度が除去されていることが示された。この Peak X は、河川水中で分解しにくく、河川水中への下水処理水混入のマーカースとして使用できる可能性がある。Peak X の由来を調べた結果、入浴剤中に含まれる成分であることが確認された。

### (4) 地下水利用における水質リスク

黒田啓介 (富山県立大学)

地下水の涵養は極めてゆっくりとしたものであり、流れも遅いため、一度汚染を受けると、自然に浄化するまでは長い年月を要する。比較的浅い井戸を利用している家庭用の井戸では、深井戸を利用している水道用の井戸

よりも大腸菌群や糞便性大腸菌の検出割合が高く、注意が必要である。また、2022 年には、米国 EPA が PFOA と PFOS の生涯健康勧告値の中間改定値として、これまでの  $70 \text{ ng L}^{-1}$  から、それぞれ  $0.004 \text{ ng L}^{-1}$  と  $0.02 \text{ ng L}^{-1}$  と大幅に低い値を示したことから、今後の地下水利用に関して大きな制約となる可能性がある。

### (5) 横浜市水源の道志川における水源水質のリスク管理

内山 諒 (横浜市水道局) ほか

横浜市の主要な水源である道志川は、これまでカビ臭による障害はほとんどなかったが、2016 年以降は、2-MIB (メチルイソボルネオール) が検出されるようになった。そこで、道志川における 2-MIB 発生状況と発生原因を調査した。その結果、道志川では、道志ダム下流の道志川の河床の石に糸状藍藻類である *Microcoleus autumnalis* が付着しており、2-MIB 発生の原因となっていることが示唆された。また、2-MIB の自動観測装置を設置することで、最大 1 時間に 1 回の測定が可能となり、急激な 2-MIB 濃度の上昇に対して、迅速な粉末活性炭処理による対応が可能となった。

### (6) モバイル PCR を用いた水道水源の Geosmin 産生藍藻類のモニタリング

大森惇平 (神戸市水道局) ほか

水道水源における藍藻類の *Anabaena* の発生によるカビ臭被害が増加しているが、形態が似た *Anabaena* が同時に発生することから、原因種の同定にカビ臭合成酵素の遺伝子を PCR で定量する方法が注目されている。しかし、既存の方法は、煩雑なため、携行型 PCR を用いた環境 DNA 迅速簡易分析法により、現場で Geosmin 産生藍藻類のモニタリングを行った。その結果、携行型 PCR による分析の所要時間は 1 時間程度と従来法の約半分であり、さらに従来法による *Anabaena* の検出結果と一致したことから、高い頻度で *Anabaena* の発生を検知できることが示された。

### (7) 水道システムにおける老朽化と自然災害リスクを考える

平山修久 (名古屋大学)

水道事業における法定耐用年数である 40 年を超過した管路の割合は年々増加しており、基幹管路の耐震化率も 25.9%にとどまっている。2007 年能登半島沖地震、2011 年東日本大震災、2016 年熊本地震のデータに基づき、管路耐震化率と管路被害率の関係を解析したところ、両者には負の相関があり、とくに耐震化率が 20% 以下の場合には、管理被害率が大幅に上昇した。また、2022 年明治用水頭首工の大規模漏水事故から、二重化やバックアップにより、点検・補修を行うことが重要であることが示された。

(東京大学 滝沢 智)



# 地域からの発信～水環境研究で明らかになった新事実～

地域水環境行政研究委員会／共催：全国環境研協議会

## 1. はじめに

地域水環境行政研究委員会は2019年に発足した比較若い研究委員会であり、昨年度に引き続き、全国環境研協議会に共催いただき今回のセッションを開催した。セッションでは、環境省の木村ほのか氏、神奈川県環境科学センターの長谷部勇太氏および福岡県保健環境研究所の平川周作氏による招待講演がなされた。また、2021年度「地域水環境行政研究委員会優秀論文賞」の受賞者を代表して地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所の伊藤耕二氏にご講演いただいた。研究発表については、当初予定されていた4件の発表のうち、1件が取り止めとなった。

## 2. 講演・発表の概要

### 2.1 良好な水環境の保全・創出に向けた環境技術実証事業の取組と今後の展開

(環境省・総合政策課、木村ほのか氏)

環境技術実証事業（ETV事業）の概要説明および水・土壌環境保全技術に関する具体的事例、近年の実証技術数の推移などが紹介された。またETV事業の今後の展開として、実証メリットの向上やスタートアップ支援等によるETV事業の活性化、諸外国のETV制度との連携・協力などについて紹介がなされた。

### 2.2 GC-HRMSによる廃棄物処分場浸出水中 POPs の分析手法の構築及び実態把握

(大阪府・環農水総研、伊藤耕二氏)

廃棄物処分場における残留性有機汚染物質（POPs）の長期的な適正管理に向けて、POPsの効率的な分析手法を構築し、安定型および管理型の産業廃棄物最終処分場および一般廃棄物最終処分場の浸出水中 POPs を分析し、濃度と異性体構成比等について検討した結果が紹介された。

### 2.3 水質の指標種探索と環境 DNA 調査への活用

(神奈川県・環科セ、長谷部勇太氏)

良好な水域環境の指標となる魚種の環境 DNA 調査から水質改善効果を把握する調査手法を開発することを目的とし、指標種の選定および指標種に特異的なプライマープロベセットについて検討した結果が紹介された。

### 2.4 環境 DNA を用いた水質環境基準の指標となる魚種の分布調査

(福岡県・保環研、平川周作氏)

魚類の網羅的な検出が可能な環境 DNA メタバーコーディング法の活用可能性を検討するため、河川における採捕調査と環境 DNA 分析の比較、類型指定の指標種の検出状況に関する調査結果が紹介された。

### 2.5 閉鎖性海域の水環境を対象とした気候変動の影響予測と栄養塩類管理について

(国環研、東博紀氏)

気候変動影響下の栄養塩管理の効果や周辺環境への影響予測に向けて、瀬戸内海、東京湾および伊勢湾・三河湾を対象に実施したRCPシナリオに基づく気候変動の影響予測シミュレーション結果、適応策としての湾灘ごとの栄養塩管理の効果評価に関する検討結果について発表がなされた。

### 2.6 瀬戸内海の TN が減少しても COD が下がらないことの検証とモデル化

(兵庫県・環研セ、鈴木元治氏)

瀬戸内海の海水中の全窒素濃度は減少し続けているにもかかわらず、CODが微増傾向にあることの原因となる炭素：窒素比（C：N比）の上昇について、有機物のC：N比上昇が海水中の生分解によることの検証結果とそのモデル式について発表がなされた。

### 2.7 それが地方環境研究所の生きる道～未来戦略に関する一考察～

(埼玉県・環科国セ、大原利真氏)

予算・人員の減少、頻繁な組織改編など多難な状況に遭遇している一方で、地域知や地域社会との協働、地域環境の保全策・予防策を講じやすいなどの強みを有している地方環境研究所（地環研）について、地域協働、分野横断研究、自治体間連携、モニタリングベース研究など、地環研の今後の方向性（未来戦略）について発表がなされた。

各講演・発表終了後に行われた総合討論では、会場およびオンライン参加者を交えて活発な意見交換がなされた。

## 3. おわりに

本研究委員会では、本セッションにおける優れた研究発表を称賛し、その実績を周知するために「地域水環境行政研究委員会優秀発表賞」の表彰制度を設けている。今年度の受賞者は国立環境研究所の東博紀氏となった。受賞の詳細は本研究委員会HPに掲載している。また同HPでは、環境省の木村ほのか氏および埼玉県環境科学国際センターの大原利真氏による講演・発表の動画も公開しているので、こちらもあわせてご覧いただきたい(<https://jswe-local.org>)。

次年度以降も、産官学を交え、地域の水環境の諸問題に対応する有益な情報交換の場を継続する予定である。また、優秀発表賞および優秀論文賞の表彰も継続予定である。会員の皆様には、ぜひ、入会の検討およびセッションでの発表をお願いしたい。

(東京都環境科学研究所 石井裕一)

# マイクロプラスチック研究の最前線, 分析手法の最前線

## マイクロプラスチック研究委員会

「マイクロプラスチック研究の最前線, 分析手法の最前線」と題して, 最新のマイクロプラスチック (以下 MP または MPs) の動態や観測・分析手法に関する話題を 12 席提供した。会場とオンラインをあわせて, 常時 70 名前後の参加があった。以下に各席の概要を紹介する (敬称略)。

1. ネットサンプリングに基づく微細プラスチック濃度の不確実性評価 (片岡智哉/愛媛大院・理工)  
ネットサンプリングに基づく MMP (Meso- and Micro Plastics) 濃度計測において目詰まりがもたらす不確実性を評価するため, 大堀川と利根運河で異なる 5 つの濾水時間で MMP のサンプリング実験を行い, 目詰まりの影響に関する詳察が報告された。
2. ドローン撮影とニューラルネットワークを用いた砂浜上マイクロプラスチック広域定量方法の開発 (亀田 豊/千葉工業大・創造工)  
ドローン撮影技術と画像解析技術を組み合わせた方法によって, 砂浜上のプラスチックおよび MP の同定・定量技術の開発内容と, その実現可能性に関して報告がなされた。
3. 水環境における MPs の大気由来の直接寄与分 (奥田哲士/龍谷大・先端理工)  
水環境への MPs の発生源として, 大気由来の寄与分が大きいと考えられる数百  $\mu\text{m}$  以下の微細あるいは繊維状の MPs 負荷量について, 休業期間中のプールでの捕集量に基づいて, 湖沼水面への直接負荷を推定した結果の報告がなされた。
4. 水田施用緩効性肥料の被覆殻由来 MP の魚類捕食性について (大久保卓也/滋賀県大・環)  
水田地域の水域の底泥に存在する被覆肥料由来 MP の分布ならびに水田地域に生息する魚類が被覆肥料由来 MP を摂食しているか否かを調べるための消化管内容物の調査結果の報告がなされた。
5. 群馬県内の利根川におけるマイクロプラスチックの実態調査 (宮里直樹/群馬高専)  
陸域から海域へ流出する MPs の分布の実態を把握することを目的として, 群馬県内の利根川における MPs の量と種類を調査した結果の報告がなされた。
6. 異なる生活型及び生育環境における魚中のマイクロプラスチックの存在実態 (天野桃歌/新潟薬大・応生)  
魚類の生活型および生育環境の違いが魚体中の MP 存在状況に及ぼす影響を評価することを目的として, 新潟県内の貨物専用港, 漁港の定住魚と回遊魚の MP 暴露量を調査した結果の報告がなされた。

7. 模擬太陽光照射によるポリエチレン粒子の変化とその pyrene 吸着への影響 (齋藤卓生/富山県立大)  
プラスチックの劣化が汚染物質の吸着に与える影響を評価することを目的として, 擬似太陽光の照射によるポリエチレン粒子の変化と, pyrene を用いた化学物質吸着量を調査した結果の報告がなされた。
8. マイクロプラスチックの回収を指向したガラス焼結体の作製と細孔解析 (町田慎悟/東京理科大・先進工)  
フィルタを用いて MP を回収する際に, MP の選択回収ができる材料として, ガラスビーズフィルタの応用を検討するために, ガラスビーズフィルタの気孔とその分布の設計と解析を行った結果の報告がなされた。
9. 水試料中の繊維状マイクロプラスチック分析における誤検出低減のための実験環境整備の取り組み (鈴木裕識/岐阜大・工)  
水試料中の繊維状 MPs の分析における誤検出を低減することを目的として, 異なる実験環境における大気由来の繊維状 MPs の調査をもとにした, 分析作業工程由来の繊維状 MPs のコンタミネーションの可能性ならびに誤検出低減のための環境整備に資する知見について報告がなされた。
10. 顕微ラマン分光法による  $1\ \mu\text{m}$  以上のマイクロプラスチック自動同定定量分析手法の開発 (亀田 豊/千葉工業大・創造工)  
顕微ラマン分光装置を用いて, CCD イメージ画像から抽出した測定対象粒子のラマンスペクトルを自動で測定する手法において, 測定時間が大幅に増加する問題を解消する方策として, 高速イメージングラマン機能を有する顕微ラマン分光装置を用いて  $1\ \mu\text{m}$  以上の MPs を自動分析する手法の報告がなされた。
11. 外航船調査を利用した全球レベルの海洋中微細マイクロプラスチックの重量濃度分布特性 (藤田恵美子/千葉工業大・創造工)  
外航船の協力を得て回収した全球の海洋における  $20\ \mu\text{m}$  以上の MPs の粒子数濃度分布と重量濃度分布および各ポリマー組成, ならびに重量濃度と粒子数濃度との関連性について報告がなされた。
12. 都市河川表層における微細マイクロプラスチック分析時のコンタミネーションと不均一性 (中尾賢志/大阪市・環科研セ)  
都市河川表層における  $10$  から  $300\ \mu\text{m}$  未満の微細 MPs 分析時のコンタミネーションと試料の不均一性に関する検討結果について報告がなされた。  
(東洋大学 大塚佳臣)