

厚生労働科学研究費補助金 (健康安全・危機管理対策総合研究事業)  
総合研究報告書

大規模災害および気候変動に伴う利水障害に対応した環境調和型  
水道システムの構築に関する研究

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官

研究要旨

「大規模災害や気候変動に伴う利水障害に対応した環境調和型水道システム」の提案を目指し、流域システムの水管理対策に関する研究、気候変動に伴う生物障害対策に関する研究、ならびに水道システムの環境調和と持続可能性の評価に関する研究を実施した。

①流域システムの水管理対策に関する研究

全国浄水場流域における気候変動による月平均気温変化の分布を可視化することができた。相模ダム流域流出モデルを作成し、将来気候変動シミュレーションを行った。また、高分解能・高質量精度 LC/MS, 及び、におい嗅ぎシステムを装備した GC に高分解能質量分析を接続した GC/MS による一連の検討の結果、生ぐさ臭の原因生物であるウログレナが生産する臭気成分を 3 成分発見した。秋季循環形成後の芹川ダムでは、微生物による 2-MIB 分解が発現し、濃度低減に寄与すること、またこの生物分解は、化学合成された市販 2-MIB よりも、自然界に存在する生物産生型 2-MIB に対して、速度が大きいことが示唆され、次世代シーケンサーによる微生物群集構造解析に基づく比較により、Actinobacteria 門 Ilumatobacter 属が 2-MIB 分解に寄与する可能性が示唆された。

②気候変動に伴う生物障害対策に関する研究

次世代シーケンサーを用いた各処理工程水の生物相解析の結果、川崎市上下水道局長沢浄水場のろ過水において主要な綱は時期によって異なること、また、沈澱処理水とろ過水で、多くの月で主要となる綱は大きく異なることがわかった。リード数が多く検出頻度の高い微生物は、5 門 17 属に分類された。千葉県水道局栗山浄水場のろ過水においても長沢浄水場と同様に Proteobacteria 門の割合が大きかった。水道水源である草木湖において群集構造解析を行った結果、その構造は水深、時期により異なることが明らかとなった。また、本手法がろ過漏出障害原因微生物を詳細に評価する上で有用であることが明らかとなった。16S rRNA 遺伝子アンプリコンシーケンシングの結果、長沢浄水場ろ過水から 18 属が主要な細菌として検出された。浄水場ろ過水における主要な細菌の実湖沼における分布は、表層に分布するもの、中層・底層に分布するもの、全層に分布するものと、細菌の種類によって深度方向の分布が異なることが明らかとなった。

凝集過程において、*Synechococcus* sp. と *Microcystis aeruginosa* とともに荷電中和が起こり、*Synechococcus* では pH が 5 と 6 の間で、*Microcystis* では 6 と 7 の間で正電荷から負電荷に変化した。PAC を用いて pH6.5 と 7 における荷電中和に必要な凝集剤注入量を求めたところ、*Microcystis* は pH 変化の影響は認められなかったが、*Synechococcus* では pH のわずかな変化に大きな影響を受けることが明らかになった。また、最適凝集剤注入量における残留濁度は *Microcystis* と比較して *Synechococcus* で著しく高く、荷電中和のために多量の凝集剤注入量を必要とする条件下で再分散が生じている可能性が考えられた。カオ

リン懸濁液およびピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験では、通常ポリ塩化アルミニウム (PAC) の多量注入はゼータ電位のマイナス値を大きくし、凝集フロックの再分散を引き起こすため濁度上昇が発生する原因である可能性が示唆された。一方、高塩基度 PAC の使用は、多量注入した際でも高い濁度除去効果があり、特徴の一つである残留アルミニウム濃度の低減効果も確認できた。濁除去効果の高い高塩基度 PAC であるが、生物除去に関しては濁除去と同等の効果が得られない可能性が示唆された。ピコ植物プランクトン懸濁液およびポリスチレン系粒子懸濁液を用いた凝集実験では、凝集剤適正添加量までは凝集沈殿効果が高まるものの、過剰な添加は未凝集の粒子数を増加させ、濁度上昇が発生する要因となり得ることが示された。また、ピコ植物プランクトンのゼータ電位は凝集剤の適正添加によっても凝集の適正範囲に到達せず、凝集沈殿除去性を低下させていることが明らかになった。したがって、ろ過漏出障害の回避のためにジャーテストによって詳細に凝集剤最適添加量を求めて適正添加につとめること、適正添加量の範囲で凝集沈殿を行い粗大化させたフロックを除去し、あらためて凝集剤を添加して成長させたフロックをろ過によって除去する二段凝集は効果的であること、二段凝集において凝集剤の添加量が多い場合はろ過継続時間が短縮し、アルミニウム漏出の可能性も高まることから、凝集沈殿におけるジャーテストのような適正添加量を決定できる簡便な二段凝集テストを開発する必要があること等が対策として重要であると考えられた。

多くのカビ臭発生は、ジオスミンおよび 2-MIB の両方によるものであったが、それらどちらかのみ事例もあった。カビ臭物質合成酵素遺伝子群は、産生微生物である藍藻類と放線菌でそれぞれ保存されており、藍藻類と放線菌間の遺伝子配列の相同性は低いことから、藍藻類と放線菌を明瞭に区別定量できることがわかった。日本由来のジオスミン産生藍藻類では、異なる「属」間においては、*geoA* 遺伝子ホモログの遺伝子塩基配列の相同性を利用することにより「属」毎に分けられる一方、2-MIB 産生藍藻類は、「属」毎に分けられないことがわかった。分子生物学的手法を用いてカビ臭物質産生微生物の個体群数を定量することは、カビ臭発生予測手法の構築に活用できることがわかった。また TN/TP が高い際に 2-MIB 産生量が高くなることがわかった。クロロフィル合成が活発ではない定常期から死滅期に、1 細胞あたりのジオスミン産生量および 2-MIB 産生量が高くなった。カビ臭物質の局在は、ジオスミンは細胞内に、2-MIB は細胞外 (溶存態) に多く存在することが明らかになった。また、2-MIB 産生に関与するメチルトランスフェラーゼ遺伝子が、2-MIB 濃度が上昇する以前に高いことがわかった。本知見は、浄水処理プロセスの管理に資する。一方、水源におけるジオスミン産生株のモニタリングのために、形態観察では困難なジオスミン産生藍藻類の識別に有効と期待できる multiple whole-cell PCR 法を開発した。本手法は、qPCR 装置を導入していない施設においても有効な手法となると期待できる。

藍藻類の分類整理において、主に光学顕微鏡を使用する水道生物分野では、透過型電子顕微鏡や遺伝子解析による情報を必要とする Komárek の体系に基づく正確な分類・同定は現実的には困難であり、光学顕微鏡を用いた迅速な分類・同定及び計数を基本とする水道生物分野では、今後も光学顕微鏡による分類体系に基づいた従来の種名を踏襲することが妥当と考えられた。

次世代シーケンサーを用いたろ過漏出原因微生物の給配水系での挙動調査では、門レベルの解析で浄水場ろ過水と給水栓水の細菌相構成比は似ていたが、綱レベルの解析から、給水栓水でアルファプロテオバクテリア綱の存在比率が高くなる傾向が見られた。また、

ろ過水より給水栓水で高い比率を示す細菌の存在を確認し、給配水系統で再増殖やバイオフィルムを形成する細菌の可能性を示唆した。

### ③水道システムの環境調和と持続可能性の評価に関する研究

平成 28 年熊本地震のアンケート調査により、資機材の有用性や活動上の課題等が抽出された。平成 28 年台風 10 号調査解析では、降水量と最大断水戸数の相関性が可視化された。

御嶽山噴火調査では、噴火直後の牧尾ダム流入濁度は、出水時だけでなく平水時においても千度以上となり、その傾向は約 2 ヶ月間継続した。一方、放流濁度は、試験放流の 12 月、水位低下期 3 月、及び出水貯留の 4 月を除くと、例年とほぼ同様の値まで低下していた。一方、噴火後 2 年が経過しても、出水後の pH は、流入水では pH4.5、貯水池内では pH4.0、放流水では pH3.5 まで低下する場合がある。カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ホウ素、フッ素については、流入地点で濁度が極端に高い場合は、環境基準値を上回ることがあるが、そのような場合でも溶解成分で比較すると、ほぼ環境基準値以下になっていた。一方、貯水池地点と放流地点では、貯水池内でほとんどの火山噴出物（濁質）が沈降するというダムによる副次的効果の影響で、環境基準値以下になっていた。

全国 21 か所の水道原水中での 2-MIB の粉炭への平衡吸着量を実測したところ、1 µg/L の 2-MIB 平衡濃度下では、超純水中に比べて、水道原水では平衡吸着量が 38～75%に低下することがわかった。また、分子量 1～3 kDa 程度の、励起 220 nm/蛍光 415 nm の蛍光ピークを有する有機物が、水道原水中での 2-MIB 平衡吸着に対する競合成分の一つと推測された。5 種類の粉炭に対する Geosmin と 2-MIB の吸着量を確認したところ、Geosmin のほうが吸着されやすいことが確認された。さらに、各浄水場と、活性炭生産拠点を可視化するデータベースを作成し、このデータベースを活用して、各浄水場における薬品調達の脆弱性を評価する手法を確立した。

ダム貯水池の濁水長期化は場所により大きな差があり、中には濁水が年間で 251 日間に及んだものがあることがわかった。また、水道統計における原水濁度解析の結果、16 年間の経年変化として、原水濁度の最高値が高かった浄水場数の増加傾向は認められなかった。16 年間で原水濁度の年間最高値が 500 度以上になったのが 1 年のみであった浄水場が半数を占めたが、4 年以上年間最高値が 500 度以上になった浄水場が 18 施設あり、そのうち、8 施設が北海道、5 施設が関東地方の浄水場であった。九州北部豪雨についての調査では、筑後川の水位が上昇し、従来にないほど原水濁度が増加した（最高 7,600 度）。水道事業者では、PAC 注入率の増量、別水源の活用等により対応し、浄水の濁度の上昇等を回避することができた。

2004 年 12 月のスマトラ島沖地震による津波後には、被災地にて下痢症、コレラ、赤痢、チフス等の発生が見られたが、大規模な流行には至らなかった。スリランカでは、政府が早期から塩素消毒された飲用水と衛生的な居住環境の供給を徹底したため、給水タンクや井戸の水は微生物学的に概ね良好な水質だった。2005 年 8 月のハリケーン・カトリーン後には、テキサス州ヒューストンの避難所において 1169 人の感染性胃腸炎の集団発生があり、患者便試料からはノロウイルスが検出された。2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震後の福島県郡山市の避難所においてもノロウイルスによる 212 人の感染性胃腸炎の集団発生が見られた。大規模災害発生後に水感染による胃腸炎の流行は確認されなかったが、避難所において汚物や汚染物が適切に処理されなかったり、トイレが衛生的でなかったために、集

団発生が起こった可能性が指摘された。また、途上国においては、津波や洪水の発生後に創傷感染による破傷風やレプトスピラ症の流行があり、傷口を洗浄し衛生的に保つためには、衛生的な環境に加えて安全な水の供給が不可欠であると考えられた。また、国際的な動向として、SDGsのターゲットや気候変動を考慮したWSPs策定ガイダンスにおいて、災害時における感染症対策に関する言及が見られた。

## A. 研究目的

持続可能な水道システム構築において、危機管理への対応、安全な水の供給、ならびに水道サービスの持続性が必要とされており、大規模地震等の広域災害、気候変動による大雨降水量に伴う原水高濁度化や無降水日の増加による渇水、また水温上昇に伴う生物障害への対策は、今後の持続可能な水道システム構築の要諦である。一方で、水道システムにおいても気候変動の緩和がより一層求められる状況から、本研究では「大規模災害や気候変動に伴う利水障害に対応した環境調和型水道システム」の提案を目指し、研究期間内に以下の3つの検討を実施した。

- ①流域システムの水管理対策に関する研究
- ②気候変動に伴う生物障害対策に関する研究
- ③水道システムの環境調和と持続可能性の評価に関する研究

## B. 研究方法

### ①流域システムの水管理対策に関する研究

水道水源流域の水収支ならびに水質に与える気候変動の影響評価を行うことを目標とし、全国規模での表流水利用浄水場の流域における、2つの温暖化シナリオ（RCP2.6及び8.5）下での気候変動モデル（MIROCならびにMRI）計算結果に基づく月平均気温の変化の推算、及び相模川流域中の相模ダム流域の日流出量を計算する水文モデルの構築を行った。後者のモデリングには準分布型水文モデル（Soil and Water Assessment Tool; SWAT）（USDA他）を用い、同モデルのツールであるSWAT-CUPによるパラメータ補正を行った。計算対象としては、2004年を初期化期間、2005

年～2007年を補正期間、2008年～2009年を検証期間とした。

さらに相模ダム流域の河川流出モデルとして、複雑さの異なる3つのモデル（回帰式、タンクモデル、SWAT）を作成し、洪水、渇水の流出量の予測性を比較した。また、SWATモデルに関しては、代表的濃度経路（RCP）2.6、4.5、8.5でのModel for Interdisciplinary Research on Climateのversion 5（MIROC5）による将来（2081～2100年）気候計算結果を入力としたシミュレーションを行い、過去の気象条件下での流出と比較した

水道水生ぐさ臭の臭気原因物質を同定することにより、現在の官能試験による水質管理に代えて、機器分析による水質管理に道を開くことを目的とし、各種検討を実施した。臭気原因物質は、予想される物理化学的性質からGC/MSによる分析が適していると考えられるが、未知物質の構造推定には、ソフトなイオン化であるelectrospray ionization、および、構造推定に有効なlinear ion trapを備えた高分解能・高質量精度LC/MSが適しているため、LC/MSで被検物質を測定できるようにするための誘導体化処理方法を検討し、これを確立した。確立に際し、臭気物質の一般的な構造に鑑み、臭気原因物質を、アミン類、アルコール類、チオール類およびカルボニル化合物と仮定した。確立した方法を用いて、生ぐさ臭の原因生物である黄色鞭毛藻綱*Uroglena americana*が発生した際に採取した表流水および水道原水の誘導体化処理を行い、高分解能・高質量精度LC/MSを用いて生ぐさ臭原因物質を探索した。また、臭気原因物質は、予想される物理化学的性質からGC/MSによる分析が適していると考えられる。このため本年度は、昨年度までのLC/MSによる検討に代えて、におい嗅ぎシステムを装備したGCに高分

解能質量分析を接続した GC/MS による検討を実施した。生ぐさ臭の原因生物であるウログレナが発生した際に採取した水道原水と、ウログレナの培養液を分析した。

秋季循環形成後の芹川ダムでの藻類ならびに 2-MIB 挙動を調査した。

## ②気候変動に伴う生物障害対策に関する研究

長沢浄水場の原水、沈澱処理水、ろ過水について、次世代シーケンサーを用いて 16S rRNA 遺伝子アンプリコンを解析し、約 3 年間にわたり微生物相について評価を行った。さらに、16S rRNA 遺伝子アンプリコンシーケンシングの結果、長沢浄水場のろ過水で主要であった細菌が実際のダム湖においてどのような消長を示しているのか検討を行った。

ピコ植物プランクトン *Synechococcus* sp. と藍藻 *Microcystis aeruginosa* を用いて凝集に関わる基本的特性としての pH とゼータ電位の関係、荷電中和に必要な凝集剤注入量、および荷電中和時の残留濁度を比較検討した。また、カオリン懸濁液およびピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験を行った。さらに、ピコ植物プランクトン懸濁液およびポリスチレン系粒子懸濁液を用いて凝集剤添加量を変化させた凝集実験を行い、凝集沈殿除去特性を検討した。

カビ臭物質合成酵素遺伝子群の保存性を DNA シーケンシングで明らかにした塩基配列と遺伝子配列データベースから得た塩基配列を用いて、マルチプルアライメント解析により明らかにした。カビ臭物質合成酵素遺伝子群の発現量解析は、総 RNA 抽出後、Real-Time RT PCR 法にて明らかにした。カビ臭物質は、固相抽出-GC-MS 法により分析し、カビ臭物質の細胞内外の局在は、フィルターろ過による溶存態濃度および総量をそれぞれ解析することにより決定した。ジェオスミン産生藍藻類の簡易識別法は、DNA 抽出をせずに直接 PCR 法を実施する、whole-cell PCR 法によりジェオスミン合成酵素遺伝子 *geoA* を標的として開発した。

水道生物分野での藻類の学名の取り扱いについて提案を行なうことを目的として、文献調査に基づき藍藻類の分類について整理した。

次世代シーケンサーを用いたろ過漏出障害原

因微生物の同定技術を給水栓水に適用し、ろ過漏出原因微生物の給配水系での挙動を 1 年間にわたり調査した。

## ③水道システムの環境調和と持続可能性の評価に関する研究

平成 28 年熊本地震の応援給水活動について、実際に活動を行った水道事業者の方々へのアンケートにより、資機材の有用性や活動上の課題等を抽出した。また、平成 28 年台風 10 号により発生した断水について、文献調査に基づき市町村ごとに最大断水戸数、断水期間、及び断水原因を整理した。さらに、GIS を用いて 8 月 29～31 日の 3 日間降水量、最大断水戸数・断水期間、台風進路、水道給水区域の情報を統合して断水被害の分布を解析した。また、甚大な被害をうけた岩手県下閉伊郡岩泉町の視察を行った。

平成 26 年の御嶽山噴火が牧尾ダムの水質に与えた影響を調査した。

全国 21 か所の水道原水中での 2-MIB の粉炭への平衡吸着量を実測し Freundlich 式で整理した。1 µg/L の 2-MIB 平衡濃度下では、超純水中に比べて、水道原水では平衡吸着量が 38～75% に低下することがわかった。また、原水の水質を測定し、低下量を説明しうる指標を検索した。また、5 種類の粉炭に対する Geosmin と 2-MIB の吸着量を確認した。さらに各浄水場と、活性炭生産拠点を可視化するデータベースを作成した。また、このデータベースを活用して、各浄水場における薬品調達の脆弱性を評価する手法を検討した。

大規模災害および気候変動に伴う利水障害として、水害による水道原水の濁度上昇に着目し、ダム貯水池および水道システムへの影響を解析し、対応策を検討した。まず、水資源機構が管理しているダム貯水池の濁水長期化についてデータを整理した。また、平成 12 年度から平成 27 年度までの水道統計における全国の浄水場の原水濁度の最高値の傾向を解析した。さらに平成 29 年 7 月に発生した九州北部豪雨について、水道原水の濁度上昇の状況および水道事業者の対応について調査を行った。

世界で過去 15 年間に発生した大規模災害に着目し、被災地における水系感染症及び蚊媒介感染症の発生状況や飲料水の水質に関する情報を整

理した。また、災害時における感染症リスクの管理について、最近の国際的な動向を調査した。

## C. 研究結果及び D. 考察

### ①流域システムの水管理対策に関する研究

全国の上水道及び簡易水道の総給水量の約10%に相当する浄水場の流域における気候変動による月平均気温変化(1981~2000年と2081~2100年の平均値の差)の分布を可視化することができた。また全国的にみると、気温上昇はRCP2.6では1~3°C、同8.5では3~5°C程度と予想された。

SWATによる相模ダム流域流出モデルについては、補正~検証期間に対して良好なパラメータセットを得た。また高濁等を引き起こす洪水時、あるいは渇水時の流量予測を行ううえで重要となるピークや基底流量に対しても十分な予測性がみられた。

相模ダム流域の3モデル比較においては、洪水、渇水双方を再現するにはSWATが適していることがわかった。また、SWATでの気候変動シミュレーションにおいては、過去の気象条件下での流出と比較したところ、将来(2081~2100年)の2,4月の渇水の増加、6,7月の洪水の増加が示唆された。

高分解能・高質量精度LC/MSを用いた生ぐさ臭原因物質探索の結果、原因物質の候補物質として1個を発見した。すなわち、水道原水のTONおよび原因生物である*Uroglena americana*の中群体換算数と相関関係が認められ、別水系から採取した*Uroglena americana*の培養液からも検出された物質が発見され、その分子式をC<sub>13</sub>H<sub>20</sub>O<sub>3</sub>と推定した。さらに、におい嗅ぎシステムを装備したGCに高分解能質量分析を接続したGC/MSによる検討の結果、生ぐさ臭の原因生物であるウログレナが京都市上下水道局蹴上浄水場取水池において発生した際に採取した水道原水と、神奈川県宮ヶ瀬ダム放流水から採取したウログレナの培養液において、共通する臭気成分が3成分発見された。

秋季循環形成後の芹川ダムでは、微生物による2-MIB分解が発現し、濃度低減に寄与することが示唆された。またこの生物分解は、化学合成された市販2-MIBよりも、自然界に存在する生物産生型2-MIBに対して、速度が大きいことが示唆された。2-MIB濃度低減能が認められた検液と認められなかった検液とを対象とした、次世代シーケンサーによ

る微生物群集構造解析に基づく比較により、2-MIB濃度低減能が認められた各種検液ではActinobacteria門*Ilumatobacter*属の構成割合が共通して大きいという結果が得られたことから、本属が2-MIB分解に寄与する可能性が示唆された。

### ②気候変動に伴う生物障害対策に関する研究

次世代シーケンサーを用いた各処理工程水の生物相解析の結果、川崎市上下水道局長沢浄水場のろ過水においてAlphaproteobacteria綱、Betaproteobacteria綱、Gammaproteobacteria綱が主に検出され、主要な綱は時期によって異なった。また、沈澱処理水とろ過水の微生物相を比較したところ、多くの月で主要となる綱は大きく異なった。リード数が多く検出頻度の高い微生物は、5門17属に分類された。これらの中には原水、沈澱処理水におけるリード数は少なく、ろ過水において5%以上に高まるものもあった。千葉県水道局栗山浄水場のろ過水においても長沢浄水場と同様にProteobacteria門の割合が大きく、Proteobacteria門に占めるAlphaproteobacteria綱、Gammaproteobacteria綱の割合はそれぞれ、60%、34%であった。従属栄養細菌による濁度への影響が大きいことが示唆されたため、水道水源である草木湖において群集構造解析を行った。その結果、表層、中層、底層ともにProteobacteria門、Actinobacteria門、Bacteroidetes門で微生物群集が構成され、その構造は水深、時期により異なることが明らかとなった。また、長沢浄水場の原水、沈澱処理水、ろ過水の、次世代シーケンサー解析の結果、本手法がろ過漏出障害原因微生物を詳細に評価する上で有用であることが明らかとなった。さらに、原水はBetaproteobacteria綱およびActinobacteria綱が主要となった。沈澱処理水は主にBetaproteobacteria綱の占める割合が高かった。ろ過水は多くの月でGammaproteobacteria綱が主要となった。16S rRNA遺伝子アンプリコンシーケンシングの結果、長沢浄水場ろ過水から18属が主要な細菌として検出された。主要な細菌の中で*Flavobacterium*属、*Sediminibacterium*属、*Limnohabitans*属、*Crenothrix*属、*Methylocaldum*属は宮ヶ瀬湖において総リード数に占める割合が1%を超え、細菌群集における主要な構成細菌と考えられた。浄水場ろ過水における主要な細菌の実

湖沼における分布は、表層に分布するもの、中層・底層に分布するもの、全層に分布するものと、細菌の種類によって深度方向の分布が異なることが明らかとなった。

*Synechococcus* sp.と *Microcystis aeruginosa* とともに pH の上昇とともに荷電中和が起こり、*Synechococcus* では pH が 5 と 6 の間で、*Microcystis* では 6 と 7 の間で正電荷から負電荷に変化した。PAC を用いて pH6.5 と 7 における荷電中和に必要な凝集剤注入量を求めたところ、*Microcystis* は pH6.5 および 7 の両条件において凝集剤注入量は 5 から 10mg/L 必要であり pH 変化の影響は認められなかったが、*Synechococcus* では pH6.5 において 50 から 60mg/L、pH7 において 100 から 200mg/L と多量の凝集剤注入量が必要であり、pH のわずかな変化に大きな影響を受けることが明らかになった。また、最適凝集剤注入量における残留濁度は *Microcystis* と比較して *Synechococcus* で著しく高く、荷電中和のために多量の凝集剤注入量を必要とする条件下で再分散が生じている可能性が考えられた。カオリン懸濁液およびピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験では、濁度やゼータ電位、粒径変化の結果から、通常ポリ塩化アルミニウム (PAC) の多量注入はゼータ電位のマイナス値を大きくし、凝集フロックの再分散を引き起こすため濁度上昇が発生する原因である可能性が示唆された。一方、高塩基度 PAC の使用は、多量注入した際でも高い濁度除去効果があり、特徴の一つである残留アルミニウム濃度の低減効果も確認できた。濁度除去効果の高い高塩基度 PAC であるが、生物除去に関しては濁度除去と同等の効果が得られない可能性が示唆された。ピコ植物プランクトン懸濁液およびポリスチレン系粒子懸濁液を用いて凝集剤添加量を変化させた凝集実験では、凝集剤添加量と濁度や粒径毎の粒子数の関係から、適正添加量までは凝集沈殿効果が高まるものの、過剰な添加は未凝集の粒子数を増加させ、濁度上昇が発生する要因となり得ることが示された。また、上澄水に残留する粒子のゼータ電位の結果から、ピコ植物プランクトンのゼータ電位は凝集剤の適正添加によっても凝集の適正範囲 (-10~10mV) に到達せず、凝結反応が進まないことが凝集沈殿除去性を低下させていることが明らかになった。したがって、ろ過漏出

障害の回避のためにジャーテストによって詳細に凝集剤最適添加量を求めて適正添加につとめること、適正添加量の範囲で凝集沈殿を行い粗大化させたフロックを除去し、あらためて凝集剤を添加して成長させたフロックをろ過によって除去する二段凝集は効果的であること、二段凝集において凝集剤の添加量が多い場合はろ過継続時間が短縮し、アルミニウム漏出の可能性も高まることから、凝集沈殿におけるジャーテストのような適正添加量を決定できる簡便な二段凝集テストを開発する必要があること等が対策として重要であると考えられた。

カビ臭発生の実態として、水道水質基準値を超える水源の多くが、河川であったが、カビ臭発生源は上流であると考えられることも多かった。多くのカビ臭発生は、ジェオスミンおよび 2-MIB の両方によるものであったが、水源によっては、それらどちらかのみ事例もあった。カビ臭物質合成酵素遺伝子群は、産生微生物である藍藻類と放線菌でそれぞれ保存されており、藍藻類と放線菌間の遺伝子配列の相同性は低いことから、藍藻類と放線菌を明瞭に区別して、定量できることがわかった。日本由来のジェオスミン産生藍藻類では、異なる「属」間においては、*geoA* 遺伝子ホモログの遺伝子塩基配列の相同性を利用することにより「属」毎に分けられることがわかった。一方、2-MIB 産生藍藻類は、「属」毎に分けられないことがわかった。カビ臭物質産生微生物個体群数の増加とカビ臭物質濃度の間には正の相関関係があることを室内実験からも確認し、分子生物学的手法を用いてカビ臭物質産生微生物の個体群数を定量することは、カビ臭発生予測手法の構築に活用できることがわかった。一方、TN/TP カビ臭物質産生への影響の知見から、TN/TP が高い際に 2-MIB 産生量が高くなることがわかった。また、クロフィル合成が活発ではない定常期から死滅期に、1 細胞あたりのジェオスミン産生量および 2-MIB 産生量が高くなった。カビ臭物質の局在は、ジェオスミンは細胞内に、2-MIB は細胞外(溶解態)に多く存在することが明らかになった。また、2-MIB 産生に関与するメチルトランスフェラーゼ遺伝子 (*mts* 遺伝子) が、2-MIB 濃度が上昇する以前に高いことがわかった。本知見は、浄水処理プロセスの管理に資する。一方、水源におけ

るジェオスミン産生株のモニタリングのために、形態観察では困難なジェオスミン産生藍藻類の識別に有効と期待できる multiple whole-cell PCR 法を開発した。本手法は、半定量的な手法へと発展も可能であることから、qPCR 装置を導入していない施設においても有効な手法となると期待できる。

藍藻類の分類整理において、主に光学顕微鏡を使用する水道生物分野では、透過型電子顕微鏡や遺伝子解析による情報を必要とする Komárek の体系に基づく正確な分類・同定は現実的には困難である。したがって、光学顕微鏡を用いた迅速な分類・同定及び計数を基本とする水道生物分野では、今後も光学顕微鏡による分類体系に基づいた従来の種名を踏襲することが妥当と考えられた。

次世代シーケンサーを用いたろ過漏出原因微生物の給配水系での挙動調査では、門レベルの解析で浄水場ろ過水と給水栓水の細菌相構成比は似ていたが、綱レベルの解析から、給水栓水でアルファプロテオバクテリア綱の存在比率が高くなる傾向が見られた。さらに詳細な解析から、ろ過水より給水栓水で高い比率を示す細菌の存在を確認した。この結果は、給配水システムで再増殖やバイオフィームを形成する細菌の可能性を示唆している。

### ③水道システムの環境調和と持続可能性の評価に関する研究

平成 28 年熊本地震のアンケート調査により、資機材の有用性や活動上の課題等が抽出された。地震発生直後には照明器具、仮設給水栓セット、携帯型残留塩素計の有用性が高かった。また半数以上が交通や滞在における問題を感じていた。地震発生から 1 週間経過後には残留塩素計のニーズが高かった。高齢者に関する問題としては、水の運搬や、高齢者への配慮における問題が生じていた。また、全般の問題としては、資機材不足の他、情報伝達が不十分であったことや、指揮系統が不安定であったことが問題として抽出された。

平成 28 年台風 10 号調査解析では、降水量と最大断水戸数の相関性が可視化された。また、簡易水道の給水区域では、断水期間が長くなる傾向が見られた。岩泉町視察では、取水設備の流出や浄水設備の水没等、同地の水道設備が依存する、山

間部の小さな河川の急激な水位変化に伴う被害の大きさを確認した。また、北海道地域での簡易水道での被害と降水の関係を、水源流域を含めた形で可視化することで、水源流域での降水の様子が明らかとなった。さらに、南富良野町幾寅では、今回被害をもたらした降水が、同観測地点の過去 40 年間に例を見ない豪雨であり、気候変動によって増加する懸念のある豪雨対策の重要性が伺えた。

御嶽山噴火調査では、牧尾ダムの水質に与えた影響として、噴火直後の流入濁度は、出水時だけでなく平時においても千度以上となり、その傾向は約 2 ヶ月間継続した。一方、放流濁度は、試験放流を実施した 12 月、水位低下期の 3 月、及び出水を貯留する 4 月を除くと、例年とほぼ同様の値まで低下していた。噴火後 2 年が経過した現在においても、出水後の pH は、流入水では pH4.5、貯水池内では pH4.0、放流水では pH3.5 まで低下する場合がある。健康項目について、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ホウ素、フッ素については、流入地点で濁度が極端に高い場合は、環境基準値を上回ることがあるが、そのような場合でも溶解成分で比較すると、ほぼ環境基準値以下になっていた。一方、貯水池地点と放流地点では、貯水池内でほとんどの火山噴出物（濁質）が沈降するというダムによる副次的効果の影響で、環境基準値以下になっていた。

全国 21 か所の水道原水中での 2-MIB の粉炭への平衡吸着量を実測し Freundlich 式で整理したところ、1 µg/L の 2-MIB 平衡濃度下では、超純水中に比べて、水道原水では平衡吸着量が 38~75% に低下することがわかった。また、励起 220 nm/ 蛍光 415 nm の蛍光強度と吸着量低下に比較的高い線形相関関係がみられた。吸着前後の EEM の変化、及び分子量分布測定の結果から、分子量 1~3 kDa 程度の、励起 220 nm/ 蛍光 415 nm の蛍光ピークを有する有機物が、水道原水中での 2-MIB 平衡吸着に対する競合成分の一つと推測された。また、5 種類の粉炭に対する Geosmin と 2-MIB の吸着量を確認したところ、Geosmin のほうが吸着されやすいことが確認された。また、石炭系粉炭では、構造の違いが吸着質に与える影響の違いの可能性が示唆された。さらに、各浄水場と、活性炭生産拠点を可視化するデータベースを作成し、こ



のデータベースを活用して、各浄水場における薬品調達の脆弱性を評価する手法を確立した。

ダム貯水池の濁水長期化について、ダム貯水池により大きな差があり、中には濁水が年間で251日間に及んだダム貯水池があることがわかった。また、水道統計における原水濁度解析の結果、16年間の経年変化として、原水濁度の最高値が高かった浄水場数の増加傾向は認められなかった。平成13年度は、高濁度となった浄水場数が多く、平成20年度および平成21年度は少なかった。16年間で原水濁度の年間最高値が500度以上になったのが1年のみであった浄水場が半数を占めたが、4年以上年間最高値が500度以上になった浄水場が18施設あった。18施設のうち、8施設が北海道、5施設が関東地方の浄水場であった。九州北部豪雨についての調査では、水道事業体の取水地点が存在する久留米市の降水量は100mm/日程度であったが、上流部では局地的に500mm/日以上の降水量が観測され、筑後川の水位が上昇し、従来にないほど原水濁度が増加した(最高7,600度)。水道事業体では、PAC注入率の増量、別水源の活用等により対応し、浄水の濁度の上昇等を回避することができた。原水濁度や上流地域の降水量の監視、近隣水道事業体、関係機関との情報交換、代替水源の有効性等が確認された。

2004年12月のスマトラ島沖地震による津波後には、被災地において下痢症、コレラ、赤痢、チフス等の発生が見られたが、大規模な流行には至らなかった。スリランカでは、政府が水系感染症の流行対策として早期から塩素消毒された飲用水と衛生的な居住環境の供給を徹底したため、給水タンクや井戸の水は微生物学的に概ね良好な水質だった。2005年8月に米国ルイジアナ州を襲ったハリケーン・カトリーナ後には、テキサス州ヒューストンの避難所において1169人の感染性胃腸炎の集団発生があり、患者便試料からはノロウイルスが検出された。2011年3月の東北地方太平洋沖地震後の福島県郡山市の避難所においても、ノロウイルスによる212人の感染性胃腸炎の集団発生が見られた。大規模災害発生後に水系感染による胃腸炎の流行は確認されなかったが、避難所において汚物や汚染物が適切に処理されなかったり、トイレが衛生的でなかったために、集団発生が起こった可能性が指摘された。また、途

上国においては、津波や洪水の発生後に創傷感染による破傷風やレプトスピラ症の流行があり、傷口を洗浄し衛生的に保つためには、衛生的な環境に加えて安全な水の供給が不可欠であると考えられた。また、国際的な動向として、SDGsのターゲットや気候変動を考慮したWSPs策定ガイダンスにおいて、災害時における感染症対策に関する言及が見られた。

## E. 結論

### ①流域システムの水管理対策に関する研究

全国の気候変動による月平均気温変化の分布が可視化された。相模ダム流域気候変動シミュレーションにおいて、将来(2081~2100年)の2、4月の濁水の増加、6、7月の洪水の増加が示唆された。高分解能・高質量精度LC/MSを用いた生ぐさ臭原因物質探索の結果、原因物質の候補物質として1個を発見し、その分子式を $C_{13}H_{20}O_3$ と推定した。さらに、におい嗅ぎシステムを装備したGC/MSによる検討の結果、ウログレナの発生した水道原水と、ウログレナの培養液において、共通する臭気成分を3成分発見した。芹川ダムでの微生物による2-MIB分解と、その分解速度が化学合成2-MIBと比して、自然界に存在する生物産生型2-MIBで大きいこと、またActinobacteria門Ilumatobacter属が2-MIB分解に寄与する可能性が示唆された。

### ②気候変動に伴う生物障害対策に関する研究

次世代シーケンサーを用いて、川崎市上下水道局長沢浄水場と千葉県水道局栗山浄水場の各処理工程水、及び草木湖における生物群集構造を明らかにし、本手法がろ過漏出障害原因微生物を詳細に評価する上で有用であることがわかった。また、浄水場ろ過水から検出された主要な細菌の実湖沼における分布は、細菌の種類によって深度方向に異なることが明らかとなった。

*Synechococcus* sp.と*Microcystis aeruginosa*を用いた凝集実験の結果から、*Synechococcus*がpHのわずかな変化に大きな影響を受けること、最適凝集剤注入量における残留濁度は*Microcystis*と比較して*Synechococcus*で著しく高いことがわかった。カオリン懸濁液およびピコ植物プランクトン懸濁液を用いた凝集実験では、通常ポリ塩化アルミ

ニウム (PAC) と比較し、高塩基度 PAC では、多量注入した際でも高い濁度除去効果があった。濁度除去効果の高い高塩基度 PAC であるが、生物除去に関しては濁度除去と同等の効果が得られない可能性が示唆された。ピコ植物プランクトン懸濁液およびポリスチレン系粒子懸濁液を用いて凝集剤添加量を変化させた凝集実験では、過剰な添加は濁度上昇の要因となり得ることが示された。また、ピコ植物プランクトンのゼータ電位は凝集剤の適正添加によっても凝集の適正範囲に到達せず、凝結反応が進まないことが凝集沈殿除去性を低下させていることが明らかになった。

カビ臭発生の多くは、ジェオスミンおよび 2-MIB の両者によるものであったが、どちらかのみ事例もあった。藍藻類と放線菌間の遺伝子配列の相同性が低いことから、カビ臭物質合成酵素遺伝子群により藍藻類と放線菌を明瞭に区別定量できることがわかった。日本由来のジェオスミン産生藍藻類では、*geoA* 遺伝子ホモログの塩基配列の相同性を利用することにより「属」毎に分けられる一方、2-MIB 産生藍藻類は、「属」毎に分けられないことがわかった。分子生物学的手法を用いたカビ臭物質産生微生物の個体群数定量が、カビ臭発生予測手法の構築に活用できることがわかった。また TN/TP が高い際に 2-MIB 産生量が高くなることがわかった。定常期から死滅期に、1 細胞あたりのジェオスミンおよび 2-MIB の産生量が高くなった。カビ臭物質の局在は、ジェオスミンは細胞内に、2-MIB は細胞外（溶存態）に多く存在することが明らかになった。また、2-MIB 産生に関与するメチルトランスフェラーゼ遺伝子が、2-MIB 濃度が上昇する以前に高いことがわかった。一方、水源におけるジェオスミン産生株のモニタリングのために、形態観察では困難なジェオスミン産生藍藻類の識別に有効と期待できる multiple whole-cell PCR 法を開発した。

藍藻類の分類整理において、主に光学顕微鏡を使用する水道生物分野では、透過型電子顕微鏡や遺伝子解析による情報を必要とする Komárek の体系に基づく正確な分類・同定は現実的には困難であり、光学顕微鏡を用いた迅速な分類・同定及び計数を基本とする水道生物分野では、今後も光学顕微鏡による分類体系に基づいた従来の種名を踏襲することが妥当と考えられた。

次世代シーケンサーを用いた挙動調査では、門レベルの解析で浄水場ろ過水と給水栓水の細菌相構成比は似ていたが、綱レベルの解析から、給水栓水でアルファプロテオバクテリア綱の存在比率が高くなる傾向が見られた。また、ろ過水より給水栓水で高い比率を示す細菌の存在を確認した。

### ③水道システムの環境調和と持続可能性の評価に関する研究

平成 28 年熊本地震のアンケート調査により、資機材の有用性や活動上の課題等が抽出された。平成 28 年台風 10 号調査解析では、降水量と最大断水戸数の相関性が可視化された。御嶽山噴火調査では、牧尾ダム流入水及び放流水の濁度、pH の傾向や、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、セレン、ホウ素、フッ素の挙動が整理された。全国 21 か所の水道原水中を用いた実験により、2-MIB の粉炭への平衡吸着量が超純水と比較して水道原水中で 38~75%に低下することがわかった。5 種類の粉炭に対する Geosmin と 2-MIB の吸着量を確認したところ、Geosmin のほうが吸着されやすいことが確認された。さらに、各浄水場と、活性炭生産拠点を可視化するデータベースの作成と、これを活用した浄水場の薬品調達の脆弱性を評価する手法を確立した。

ダム貯水池の濁水長期化が整理された。また、水道統計における原水濁度解析の結果、16 年間の経年変化として、原水濁度の最高値が高かった浄水場数の増加傾向は認められなかった。九州北部豪雨についての調査では、筑後川の水位が上昇し、従来にないほど原水濁度が増加したことがわかった。また水道事業体では、PAC 注入率の増量、別水源の活用等により対応し、浄水の濁度の上昇等を回避することができた。

本研究では、世界で過去 15 年間に発生した大規模災害として、スマトラ島沖地震、ハリケーン・カトリーナ、台風 Ketsana、東北地方太平洋沖地震、及びタイ洪水における水系感染症及び蚊媒介性感染症の流行状況を調査した。その結果、スマトラ島沖地震による津波後にはアチェ州においてマラリアの流行が、ハリケーン・カトリーナ及び東北地方太平洋沖地震後には避難所においてノロウイルスによる感染性胃腸炎の流行が確認された。途上国の被災地においては、下痢症、

コレラ、赤痢、チフス等の発生が見られたが、大規模な流行には至らなかった。一方で、津波や洪水の発生後に創傷感染による破傷風やレプトスピラ症の流行があり、傷口を洗浄し衛生的に保つためには、衛生的な環境に加えて安全な水の供給が不可欠であると考えられた。また、国際的な動向として、SDGs のターゲットや気候変動を考慮した WSPs 策定ガイダンスにおいて、災害時における感染症対策に関する言及が見られた。

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

Kishida N, Sagehashi M, Takanashi H, Fujimoto N, Akiba M. Nationwide survey of organism-related off-flavor problems in Japanese drinking water treatment plants (2010–2012). *J Water Supply Res T* 2015;64(7):832-8.

Fujimoto N, Mizuno K, Yokoyama T, Ohnishi A, Suzuki M, Watanabe S, Komatsu K, Sakata Y, Kishida N, Akiba M, Matsukura S. Community analysis of picocyanobacteria in an oligotrophic lake by cloning 16S rRNA gene and 16S rRNA gene amplicon sequencing. *J Gen Appl Microbiol* 2015;61(5):171-6.

秋葉道宏, 下ヶ橋雅樹, 靱山将. 水供給システムにおける気候変動の影響—生物障害の発生に及ぼす水温上昇の影響について—, 用水と廃水 59(1), 45-50, 2017.

渡邊英梨香, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 藤瀬大輝, 秋葉道宏. 培養法および 16S rRNA 遺伝子アンプリコンシーケンシングによる浄水場ろ過水の細菌相の評価, 用水と廃水 59(3), 197-203, 2017.

野村宗弘, 安齋英悟, 秋葉道宏, 西村修. ピコ植物プランクトンのろ過処理に及ぼす凝集の効果, 日本水処理生物学会誌 52(3), 65-71, 2016.

北村壽朗. 相模川水系における障害生物-障害生物の遷移と本川における藻類の繁殖事例-, 用水と廃水 58(7), 509-516, 2016.

### 2. 学会発表

渡邊英梨香, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 藤瀬大輝, 岸田直裕, 秋葉道宏. 16S rRNA 遺伝

子アンプリコンシーケンシングによる浄水処理工程水の細菌相の評価. 平成 27 年度全国会議 (水道研究発表会); 2015 年 10 月, さいたま市. 同講演集 630-631, 2015.

靱山将, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏. 気候変動の水道システム影響評価のための相模川流域水文モデルの作成. 日本水環境学会第 50 回年会; 2016 年 3 月; 徳島. 同講演要旨集, p.486, 2016.

加村瑞希, 遠藤雅也, 篠原健吾, 内海真生, 岸田直裕, 秋葉道宏, 清水和哉. カビ臭物質産生微生物によるカビ臭物質産生特性. 日本水環境学会第 50 回年会; 2016 年 3 月; 徳島. 同講演要旨集 630, 2016.

靱山将, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏. 気候変動影響評価のための河川流出モデルの予測性比較. 平成 28 年度全国会議 (水道研究発表会); 2016 年 11 月, 京都市. 同講演集, 218-219, 2016.

靱山将, 永見健輔, 桑原直樹, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏. 水道水源流域の水文モデルの作成と気候変動の影響評価. 第 51 回日本水環境学会年会; 2017 年 3 月, 熊本市. 同講演集, 414, 2017.

新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 大木 章, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏. 高分解能 MS と多変量解析による水道原水生ぐさ臭原因物質の探索, 第 51 回日本水環境学会年会; 2017 年 3 月, 熊本市. 同講演集, 627, 2017.

渡邊英梨香, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 藤瀬大輝, 秋葉道宏. 培養法と 16S rRNA 遺伝子アンプリコンシーケンシングによる浄水場ろ過水の細菌相の評価. 平成 28 年度全国会議 (水道研究発表会); 2016 年 11 月, 京都市. 同講演集, 758-759, 2016.

渡邊英梨香, 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 藤瀬大輝, 松倉智子, 秋葉道宏. 浄水場処理工程水における微生物相の長期的評価. 第 51 回日本水環境学会年会; 2017 年 3 月, 熊本市. 同講演集, 204, 2017.

多田早奈恵, 田中伸幸, 千葉信男, 西村修, 秋葉道宏. ピコ植物プランクトンの凝集処理プロセスの最適化, 日本水処理生物学会誌別巻 (36), 16, 2016.

多田早奈恵, 田中伸幸, 千葉信男, 秋葉道宏, 西村修. ピコ植物プランクトンによる凝集阻害

- メカニズムと凝集処理プロセスの改善, 第 51 回日本水環境学会年会; 2017 年 3 月, 熊本市. 同講演集, 431, 2017.
- 穠山紗耶, 月野慎也, 木村奈々, 中島敦, 岸田直裕, 内海真生, 秋葉道宏, 清水和哉. カビ臭物質産生における引き金因子の解明. 第 51 回日本水環境学会年会; 2017 年 3 月, 熊本市. 同講演集, 603, 2017.
- 下ヶ橋雅樹, 島昌伸, 嶽仁志, 小坂浩司, 島崎大, 秋葉道宏. 平成 28 年熊本地震の応援給水活動に関するアンケート調査. 平第 51 回日本水環境学会年会; 2017 年 3 月, 熊本市. 同講演集, 111, 2017.
- 小野島広大, 今本博臣. 御嶽山噴火に伴う対応及び水質に関する影響. 平成 28 年度国土交通省国土技術研究会, 2016 年 11 月, 東京都千代田区, 自由課題, 安全安心 1, 2016.
- 高橋威一郎, 高瀬勝教, 廣川諒, 河野博幸, 馬見塚守, 岐津英明. 秋季循環形成後の芹川ダムにおける 2-メチルイソボルネオール の低減についての評価. 平成 28 年度全国会議(水道研究発表会); 2016 年 11 月, 京都市, 同講演集, 788-789, 2016.
- 藤瀬大輝, 渡邊英梨香, 藤本尚志, 秋葉道宏. 次世代シーケンサーによるろ過漏出障害原因微生物の給配水系での挙動. 平成 28 年度全国会議 (水道研究発表会). 2016 年 11 月; 京都市. 同講演集, 760-761, 2016.
- 新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 大木 章, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏, NPH 誘導体化アルデヒドを LC/MS で測定する際の妨害物質の除去, 第 52 回日本水環境学会年会, 1-J-11-4.
- 新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 大木 章, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏, DNPH 誘導体化における測定妨害物質の除去を目的とした固相抽出の適用, 第 20 回日本水環境学会シンポジウム, p.123.
- 新福優太, 高梨啓和, 中島常憲, 大木 章, 下ヶ橋雅樹, 秋葉道宏, 高分解能質量分析計と多変量解析による水道水生ぐさ臭原因物質の探索, 環境科学会 2017 年会, 1C-0930/P-18.
- Yuta Shinfuku, Hirokazu TAKANASHI, Tsunenori Nakajima, Akira Ohki, Masaki Sagehashi and Michihiro Akiba, Exploring a Fishy-Smelling Substance in Raw Waters for Water Supply with High Resolution Mass Spectrometry and Multivariate Analysis, the Water and Environment Technology Conference 2017, Hokkaido, Hokkaido University, 3A-17.
- Yuta Shinfuku, Hirokazu Takanashi, Tsunenori Nakajima, Akira Ohki, Masaki Sagehashi and Michihiro Akiba, Exploring a fishy-smelling compound in raw waters with high resolution mass spectrometry and multivariate analysis, 26th Symposium on Environmental Chemistry, Shizuoka, 3E-06.
- 清水和哉, 穠山紗耶, 月野慎也, Hanchen Miao, 内海真生, 秋葉道宏. 第 55 回日本水処理生物学会年会; 2017 年 11 月; 大阪. 要旨集 pp.19
- 館祥之, 多田早奈恵, 坂巻隆史, 野村宗弘, 西村修, ピコ植物プランクトンの凝集処理におけるフロック径分布, 日本水処理生物学会誌別巻, (37), p.62, 2017
- 館祥之, 多田早奈恵, 野村宗弘, 坂巻隆史, 西村修, ピコ植物プランクトン凝集処理において上澄み水に残留する粒子の特性, 土木学会東北支部技術研究発表会 (平成 29 年度) (CD-ROM), 2p., 2018
- 下ヶ橋雅樹, 三浦尚之, 平島邦人, 佐野大輔, 西村修, 秋葉道宏 (2018). 平成 28 年台風 10 号による東北・北海道での水道被害と降水特性. 第 52 回日本水環境学会年会; 2018 年 3 月 15~17 日, 札幌. 同講演集, p. 474.
- 下ヶ橋雅樹, 藤井隆夫, 高梨啓和, 秋葉道宏 (2018) 水道におけるカビ臭物質の吸着に与える活性炭構造の影響, 化学工学会第 83 年会, 吹田市, 2018 年 3 月, 要旨 USB メモリ.
- G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)
1. 特許取得  
該当なし
  2. 実用新案登録  
該当なし
  3. その他  
該当なし