

201429001A

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

水道システムにおける生物障害の
実態把握とその低減対策に関する研究

平成26年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 秋葉道宏
(国立保健医療科学院)

平成27(2015)年 3月

目 次

研究班の構成	1
I. 総括研究報告書	
水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究	5
秋葉 道宏	
II. 分担研究報告書	
1. 国内の浄水場における近年の生物障害の発生傾向	17
秋葉 道宏、岸田 直裕、下ヶ橋雅樹	
2. 水道事業体におけるピコプランクトンの検査法に関する実態調査	23
秋葉 道宏、藤本 尚志、岸田 直裕、下ヶ橋雅樹	
田中 和明、北村 壽朗、荒井 活人、藤瀬 大輝	
3. 分子生物学的手法によるろ過漏出障害の原因生物の評価	29
秋葉 道宏、藤本 尚志	
4. 生物障害を起こさないための浄水処理技術の開発	45
秋葉 道宏、西村 修	
5. 水源貯水池における障害生物の発生実態解明	57
秋葉 道宏、清水 和哉	
6. 生物障害に対応した省エネルギー型水道システムの開発	65
秋葉 道宏、高梨 啓和、下ヶ橋雅樹	
7. 水道水中浮遊生物粒子のリアルタイム測定法の基礎および実証研究	75
秋葉 道宏、岸田 直裕、田中 和明、藤瀬 大輝、高橋 威一郎	
8. 相模川本川における障害生物の繁殖事例	93
秋葉 道宏、北村 壽朗、渡邊 洋大、岩谷 梓	
III. 研究成果の刊行に関する一覧表	110

研 究 班 の 構 成

研究代表者

国立保健医療科学院統括研究官 秋 葉 道 宏

研究分担者

東北大学東北大学大学院工学研究科教授 西 村 修
東京農業大学応用生物科学部醸造科学科教授 藤 本 尚 志
鹿児島大学大学院理工学研究科准教授 高 梨 啓 和
国立保健医療科学院生活環境研究部主任研究官 岸 田 直 裕
東洋大学生命科学部応用生物科学科講師 清 水 和 哉

研究協力者

神奈川県企業庁水道水質センター微生物課長 北 村 壽 朗
東京都水道局水質センター検査課生物係長 荒 井 活 人
川崎市上下水道局水管理センター水道水質課技術職員 藤 瀬 大 輝
神戸市水道局事業部水質試験所技術職員 清 水 武 俊
大分市水道局管理部浄水課水質管理室主査 高 橋 威 一 郎
独立行政法人水資源機構環境室水環境課長 太 田 志 津 子
独立行政法人水資源機構環境室水環境課参事役 今 本 博 臣
国立保健医療科学院国際協力研究部主任研究官 下 橋 雅 樹
国立保健医療科学院客員研究員 田 中 和 明
国立保健医療科学院研究生 田 中 太 一

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

水道システムにおける生物障害の
実態把握とその低減対策に関する研究

平成26年度 総括研究報告書

研究代表者 秋葉道宏
(国立保健医療科学院)

平成27年3月

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）
総括研究報告書

水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究

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

本研究では、水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策手法の提案を目的とした調査研究を実施した。

近年の生物障害の発生傾向を明らかとすることを目的に、昨年度までに実施した国内広範囲の浄水場を対象とした生物障害に関するアンケート調査結果と、約10年前に実施された同様の調査結果を比較した。その結果、約10年前の調査と比べ、特に北海道・東北、関東地方において生物障害の発生が増加していた。また、障害の種類別に見ると、異臭味障害、ろ過漏出障害が増加し、ろ過閉塞障害が減少していた。異臭味障害の中でも、*Uroglena* 属による生ぐさ臭による障害が増加していることがわかった。

水道事業体におけるピコプランクトンの検査法に関する実態を明らかとすることを目的に、全国17の水道事業体を対象としたアンケート調査を実施した。水道水源および水道原水を対象にピコプランクトンの検査を実施している事業体が多かったが、約半数の事業体では沈殿池やろ過池出口の水でも検査を行っていることがわかった。また、試料を固定せず、メンブレンフィルターを用いた濃縮を行い、G 励起フィルターのみで蛍光観察を行っている事業体が多いことが判明した。

クローン解析および次世代シーケンズ解析により、ろ過漏出障害を引き起こすピコプランクトンの生物相解析を行った。浄水場原水では *Synechococcus* sp. 0BB26S03 に近縁なクロンの割合が大きく、ろ過水では *Synechococcus* sp. MH305 に近縁なクロンの割合が大きくなる傾向があり、*Synechococcus* 属の種類によって処理工程における除去特性が異なる可能性が示唆された。次世代シーケンサーを用いた 16S rRNA 遺伝子アンプリコン解析により、浄水場工程水において従属栄養細菌である Proteobacteria 門の割合が高く、濁度への寄与が大きいことが示唆された。また原水、沈澱水と比較してろ過水のほうが *Synechococcus* 属の割合が高まる傾向にあり、*Synechococcus* 属の砂ろ過による除去率が低いことが示唆された。

凝集沈殿・ろ過工程におけるピコプランクトンの除去特性について検討した。ピコプランクトンを凝集沈澱処理するためには、粘土粒子等に比べて比重が小さく沈澱除去が困難であること、また粘土粒子等に比べてより多くの凝集剤注入量を必要とし、結果としてフロックの再分散を生じる可能性が高いことから、ろ過処理前に適切な凝集剤注入量によってろ過除去可能なフロックを形成する凝集ろ過法は、ピコプランクトンの除去には極めて合理的であると考えられた。

水質年報等のパブリックデータを解析した結果、水道原水中のカビ臭原因物質が水道水質基準値を超えた浄水場は増加傾向にあり、南日本から関東北部地域までの分布であったが、2 ng/L を超えた浄水場は全国に分布していた。近年、関東北部以北における水道水質基準値を超えるカビ臭発生報告がなされてきていることから、水道水質基準値を超えるカビ臭発生が北上していくと推測された。

生物障害の発生に伴って間接的に変化するエネルギー消費量などを明らかにすること、また、粒状活性炭処理プロセスの導入などの生物障害に対する恒久的対策の有効性を示すこと等を目的とした検討を行った。その結果、生物障害の発生に伴い増加す

る二酸化炭素排出量の全国値が全国の浄水場で消費された二酸化炭素排出量に占める割合は0.81%であると推算された。また、シナリオ分析の結果、今後、生物障害の発生頻度の上昇や発生する臭気物質濃度の上昇により粉末活性炭の注入日数や注入率が上昇した場合には、粒状炭処理プロセスなどを導入することの有効性が明らかとなった。

生物粒子計数器の有効性と、浄水処理工程におけるピコプランクトンのモニタリングへの適用および濁度管理への応用の可能性について検討した。ピコプランクトン濃度 100 から 10,000 細胞/ml の範囲で良好に測定できることを確認した。川崎市長沢浄水場の実証実験では、ろ過水の連続測定を行い、浄水工程の水質データや薬品注入との関係性を解析し、二段凝集処理では、非生物粒子より生物粒子の除去率が低いことを突き止めた。桐生市元宿浄水場の実証実験では、粒径が比較的大きく低蛍光強度領域にピコプランクトンの分布がある事を突き止め、生物障害の主要な原因であることが確かめられた。

2014 年に相模川本川における今後の障害生物繁殖の可能性を調べるために、本川の生物障害調査を実施した。その結果、本川中流域の磯辺頭首工の湾処（わんど）部や堰堤部、河床の泥表面において障害生物の繁殖が観察され、生物障害の監視上注意が必要であることが示された。

研究分担者

西村 修	東北大学東北大学大学院 工学研究科 教授
藤本尚志	東京農業大学 応用生物科学部 醸造科学科 教授
高梨啓和	鹿児島大学大学院 理工学研究科 准教授
岸田直裕	国立保健医療科学院 生活環境研究部水管理研究領域 主任研究官
清水和哉	東洋大学 生命科学部 応用生物科学科 講師

A. 研究目的

水道システムに危害を及ぼす生物には、病原微生物のほか、飲料水の異臭味や着濁原因となる生物、浄水処理を阻害する生物等（以降、障害生物）が存在する。障害生物が水道システムに及ぼす危害は「生物障害」と呼ばれている。研究分担者らが実施した予備調査によって、一部の浄水場では、生物障害の発生により薬剤・電力使用量が増加し、浄水処理コストが著しく増加することが明らかになっており、生物障害が水道システムに及ぼす影響は無視できない。しかしながら、健康に直接影響を及ぼす化学物質等のリスクと比較して、生物障害のリスクに関

しては、その実態把握やリスク低減に関する検討が遅れているのが現状である。

そこで本研究では、東日本大震災により、浄水処理に使用する薬剤が逼迫し、電力使用量の削減が強く求められている状況も鑑み、水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策手法の提案を目的とした。

B. 研究方法

1) 国内の浄水場における近年の生物障害の発生傾向

近年の生物障害の発生傾向を明らかとすることを目的に、昨年度までに実施した国内広範囲の浄水場を対象とした生物障害に関するアンケート調査結果と、約 10 年前に実施された同様の調査結果を比較した。

2) 水道事業体におけるピコプランクトンの検査法に関する実態調査

全国 17 の水道事業体を対象としたピコプランクトンの検査法に関するアンケート調査を実施した。アンケート調査項目は、検査対象試料およびその水量、固定方法、前処理方法、濃縮方法、観察方法、判定方法である。

3) 分子生物学的手法によるろ過漏出障害の原因生物の解明

相模湖を水源とする川崎市上下水道局長沢浄水場の各工程水を対象とし、継続してクローニング法を用いてピコプランクトンの生物相について解析するとともに、次世代シーケンシングによる 16S rRNA 遺伝子アンプリコン解析を用いて詳細な評価を行った。

4) 生物障害を起こさないための浄水処理技術の開発

培養したピコ植物プランクトンを懸濁させた原水を用いてラボスケールの凝集ろ過処理実験、および凝集沈殿ろ過処理実験を行い、二段凝集処理の効果を解析した。

5) 水源貯水池における障害生物の発生実態解明

パブリックデータとして公表されている水道統計や水質年報から、生物障害発生の地理的分布を解析し、障害生物の発生実態を把握した。

6) 生物障害に対応した省エネルギー型水道システムの開発

昨年度までに構築した、地理情報システムを用いた浄水薬品の輸送による二酸化炭素排出量の推算方法を用いて、生物障害の発生に伴い間接的に増加する二酸化炭素排出量を推算した。また、粉末活性炭処理プロセス、粒状炭処理プロセス、膜ろ過プロセスおよびオゾン処理プロセスを組み合わせるなどの 5 種類のシナリオを設定して、イニシャルコストとランニングコストを推算してシナリオ分析を行い、これらのプロセスの導入による恒久的対策の有効性を検討した。

7) 水道水中浮遊生物粒子のリアルタイム測定法の基礎および実証研究

室内実験では、試料にピコプランクトン (*Synechococcus* sp. NIES-947 株) 培養液を使用し、ピコプランクトンが発する蛍光を生物粒子計数器で検出が可能であるかを確かめ、従来の蛍光顕微鏡法と比較をした。さらに、川崎市長沢浄水場および桐生市元宿浄水場にて実証実験を行った。

8) 相模川本川における障害生物の繁殖事例

相模川本川中流域の磯辺頭首工の湾処（わんど）部や堰堤部、河床の泥表面におけるカビ臭原因物質産生藻類等の障害生物の繁殖状況等を調査した。

C. 研究結果およびD. 考察

1) 国内の浄水場における近年の生物障害の発生傾向

約 10 年前の調査と比較して、本調査においては、北海道・東北地方、関東地方において生物障害の発生件数が特に多かったことから、比較的高緯度の低水温地域において生物障害の発生が増加傾向にあると推測された。本調査期間中の夏期は高気温であったため、主要な障害生物であり、高水温を好むシアノバクテリア（藍藻類）が、このような地域の水道水源において増殖しやすかったことが、生物障害発生増加の原因の一つであると示唆された。今後の気候変動によって、生物障害の発生がさらに増加するおそれもあり、気候変動への適応策に関する検討を進めていくことが重要である。

2) 水道事業者におけるピコプランクトンの検査法に関する実態調査

水道水源および水道原水を対象にピコプランクトンの検査を実施している事業者が多かったが、約半数の事業者では沈殿池やろ過池出口でも監視を行っていることがわかった。

多くの事業者で試料を固定せずに、試験を実施していることがわかった。4 事業者でグルタルアルデヒドを使用した固定操作を行っているが、固定操作が計数に影響を与える可能性が近年指摘されており、適切な固定方法について検討を進めていく必要がある。

メンブレンフィルターを用いた濃縮を行い、G 励起フィルターのみで蛍光観察を行っている事業者が多いことが判明した。

3) 分子生物学的手法によるろ過漏出障害

の原因生物の解明

クローニング解析により *Synechococcus* 属の組成を比べたところ、原水では *Synechococcus* sp. 0BB26S03 に近縁なクローンの割合、検出頻度が多いことが明らかとなった。沈澱水では *Synechococcus* sp. 0BB26S03 に加えて Uncultured *Synechococcus* sp. clone LS51、*Synechococcus* sp. MW6B4、*Synechococcus* sp. MH305 に近縁なクローンの検出頻度が高く、多くの *Synechococcus* 属の種類が検出されることが明らかとなった。ろ過水では *Synechococcus* sp. 0BB26S03 に近縁なクローンおよび *Synechococcus* sp. MH305 に近縁なクローンの割合および検出頻度が高いことが明らかとなった。2013年6月～9月の原水・沈澱水において PC-type である *Synechococcus* sp. 0BB26S03 に近縁なクローンの割合が多いが、ろ過水では PE-type である *Synechococcus* sp. MH305 等に近縁なクローンの割合が多く、*Synechococcus* 属の種類によってろ過池における除去特性が異なる可能性が示唆された。

次世代シーケンス解析では、工程水において Proteobacteria 門、Actinobacteria 門、Bacteroidetes 門といった従属栄養細菌の割合が大きく、80～100%を占めた。ろ過水に占める Proteobacteria 門の割合が高く、濁度への寄与が大きいことが示唆された。2013年8月、10月、11月は原水、沈澱水に比較してろ過水のほうが Cyanobacteria 門の割合が高まった。この時、Cyanobacteria 門に占める *Synechococcus* 属の割合は 95%であり、*Synechococcus* 属の砂ろ過による除去率が低いことが示唆された。

4) 生物障害を起こさないための浄水処理技術の開発

ピコ植物プランクトンのような粒径の極めて小さい植物プランクトンに対して 5 mg-PAC/L の凝集剤を注入した凝集沈澱ろ過法において、粒径 200 μ m 超にピークをもち、10 μ m 以下のフロックがほとんど存在しないフロックを形成することが

可能であり、このようなフロックは沈澱によっては 50%程度しか除去できないものの、ろ過によってほぼ完全に除去できることが明らかになった。しかし、凝集剤注入量がより少ない 2 mg-PAC/L の場合、濁度は完全には除去されずろ過漏出が生じた。一方、凝集剤注入量がより多い 10 mg-PAC/L の場合、ろ過水の濁度は 0 度となったものの、ろ過閉塞が生じた。さらに、ろ過水へのアルミニウムの漏出という観点から、最適凝集剤注入量より高い場合も低い場合もアルミニウム濃度が高まることが示唆された。

5) 水源貯水池における障害生物の発生実態解明

水道原水中の 2-MIB 濃度が 10 ng/L を超えた浄水場は、南日本から関東北部地域までとなっているが、平成 23 年度に青森県において初めて 2-MIB 濃度が 10 ng/L を超えたことが報告されている。水道原水中の 2-MIB 濃度が 2 ng/L を超えた浄水場は、すでに北海道まで至り、全国的に分布している。ジェオスミンにおいても、水道原水濃度が 10 ng/L を超えている浄水場のほとんどが南日本から関東の北部地域までとなっているが、年度によっては、東北地域を越えて北海道で検出された。従って、2-MIB とジェオスミンのどちらにおいても水道原水濃度が 2 ng/L を超えた浄水場は、全国に分布していた。北海道に着目すると、高頻度の年度では、平成 17 年度および平成 18 年度のおよそ 10 倍高い頻度で発生していることがわかった。高頻度化の傾向は、多くの県においても同様であった。以上から、微生物のカビ臭原因物質産生の引き金を刺激する環境因子が顕在化すると、平成 23 年度の青森県で観測された様に水道原水の濃度が突発的に 10 ng/L を超えることがあると推測され、水道原水濃度が 10 ng/L を超える浄水場の分布が北上していくと推測された。水道水質基準値を超えるカビ臭発生は、突発的に起こる事が多いことから、カビ臭原因物質産生に関与する引き金を明らかにし、カビ臭発生予測手法

の確立が希求される。

6) 生物障害に対応した省エネルギー型水道システムの開発

生物障害の発生に伴う間接的な二酸化炭素排出変化量は、全国で 35,186 t-CO₂/年が増加することが明らかとなった。この値は、浄水処理による二酸化炭素排出量の年間値の 0.81% である。以上により、今後、生物障害の発生頻度や発生期間、臭気物質濃度が上昇した場合には、対策が望まれる。

シナリオ解析を実施した結果、平均送水量 500,000 m³/日の規模の浄水場において、粉末活性炭の平均注入率が 27 mg/L 以上になると、粒状炭処理プロセスを導入した方がコスト面で有利になることが明らかとなった。

7) 水道水中浮遊生物粒子のリアルタイム測定法の基礎および実証研究

生物粒子計数器と蛍光顕微鏡法の計数値の平均値はほぼ一致し、蛍光顕微鏡法の計数値のばらつきと比べて、生物粒子計数器の計数値のばらつきは小さかった。また、塩素処理後の試料のモニタリングに適用した結果、これまで蛍光顕微鏡で検出できなかった蛍光についても高感度で検出できることが確認された。

長沢浄水場の実証実験では、ろ過水の連続測定を行い、浄水工程の水質データや薬品注入との関係性を解析した。その結果、二段凝集処理では、非生物粒子より生物粒子の除去率が低いことを突き止めた。この現象は、蛍光顕微鏡法より高感度にピコプランクトンの動態を観測できるようになったことで得られた、二段凝集処理の機構解明に向けた新たな発見であり、ろ過水濁度低減に向けた重要な指標であると考えられる。

本宿浄水場の実証実験では、ピコプランクトンの発生傾向が長沢浄水場と異なっており、粒径が比較的大きく低蛍光強度領域にピコプランクトンの分布がある事を明らかとした。

8) 相模川本川における障害生物の繁殖事例

本川中流域の磯辺頭首工の湾処（わんど）部では障害生物として湖沼性珪藻類の *Cyclotella* spp.、*Synedra acus*、*Asterionella formosa* が繁殖することが明らかとなった。*S. acus* は低濃度のリン酸態リン濃度でも繁殖が可能で、磯部頭首工湾処部において、これらの3種のなかで優位に増殖し、今後も増殖する可能性が示唆された。また、本川河床の泥や磯部頭首工湾処で越流が起きているときの堰堤部コンクリート壁において、カビ臭原因物質を産生する着生藻類や付着藻類が分離され、カビ臭障害の原因のひとつとなる可能性が示唆された。着生藻類を含む泥や付着藻類のマットについては、障害生物を単離して調査を行う手法に加えて、障害生物が混在する泥やマットとして取り扱い、カビ臭障害への影響を評価する方法も重要と考えられた。

E. 結論

1) 生物障害に関するアンケート調査結果を比較することで、我が国の浄水場における生物障害の発生傾向を明らかとすることができた。高緯度地域でも生物障害が発生する傾向にあり、これまで以上に生物障害対策を進めていく必要があると考えられた。

2) 水道事業体で実施されているピコプランクトンの検査法の実態を明らかとすることができた。採用されている試験法は多様であり、それぞれの有効性について今後調査していく必要があると考えられた。また、試料の固定方法等についても検討が必要である。

3) 長沢浄水場ろ過水から *Synechococcus* sp. 0BB26S03、*Synechococcus* sp. MH305 に近縁なクローンが検出され、主要なろ過漏出障害の原因生物である可能性が示唆された。次世代シーケンサーによる 16S rRNA 遺伝子アンプリコン解析によりろ過水に占める Proteobacteria 門の割合が高く、濁度への寄与が大きいことが示唆された。

次世代シーケンサーにより水道水源

の微生物群集構造を門レベルから属レベルまで定量的に評価することが可能であった。水域ごとに優占する *Synechococcus* 属の種が異なり、様々な種の *Synechococcus* 属がろ過漏出障害の原因となる可能性が示唆された。

4) ピコ植物プランクトンのように、凝集沈澱処理において多量の凝集剤注入量を必要とする懸濁物質の除去には、ろ過の前に凝集剤を添加する凝集ろ過法が合理的な処理法である。ただし、凝集剤注入量が少ない場合粒径 $10\mu\text{m}$ 以下のフロックが形成され、凝集剤注入量が多い場合フロックの再分散により一部が粒径 $10\mu\text{m}$ 以下となることから、最適な凝集剤注入量によってフロック径を $10\mu\text{m}$ 以上に保つことが肝要である。

5) 水道水質基準値を超えるカビ臭発生が東北地方および北海道へと北上していくことが推測された。生物障害は、地域によらず、今後も高頻度で発生する傾向が続くことが予想された。水道システムにおける生物障害の対策は、環境化学的知見のみならず生物・生態学的知見に立脚することが極めて重要であると結論した。

6) 生物障害の発生頻度の上昇や発生する臭気物質濃度が上昇した場合には、生物障害の発生に伴うエネルギー消費量、および二酸化炭素排出量の増加が問題になる可能性があることがわかった。また、生物障害の対策として現在最も広く実施されている粉末活性炭の注入に代えて、粒状活性炭処理プロセスなどの導入が運用コスト面で有効になるケースを、シナリオ解析を通じて明らかとした。

7) 生物粒子計数器を用いることで水道における浄水工程水中のピコプランクトン、特にこれまで測定が難しかった塩素処理後の試料の測定が可能となり、連続運転実証実験から浄水場での利用も可能である事が示された。また、得られたデータは、ろ過水濁度に影響を及ぼす二段凝集処理の効果を詳細に捉えることができ、効率的な処理方法の検討につながっていくことが期待される。

8) ダム・湖沼等の閉鎖性水域だけでなく、河川においても湾処部や川床底泥、コンクリート堰堤等では障害生物が繁殖する可能性があり、生物障害の監視上注意が必要である。

F. 健康危険情報
なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) Fujimoto N, Matsuo E, Murata M, Nomura K, Ohnishi A, Suzuki M, Enmoto K, Yamaguchi S, Yanagibashi Y, Kishida N, Akiba M. Evaluation of the small-eukaryote community composition in a mesotrophic lake by sequencing the 18S rRNA genes. *Jpn J Water Treat Biol* 2014;50(2):85-94.

2) 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* (in press).

3) 岸田直裕. アオコによる利水障害の実態. *水環境学会誌* 2014;37(5): 175-8.

2. 学会発表

1) 高橋威一郎, 河野博幸, 高瀬勝教, 田村智美, 馬見塚守, 岐津英明. 原水中のピコプランクトンに関する計測方法— 蛍光顕微鏡の観察条件及び前処理ろ過の検討 —. 日本水道協会平成 26 年度全国会議. 2014 年 10 月;名古屋. 同講演集. p. 530-1.

2) 藤本尚志, 大西章博, 鈴木昌治, 藤瀬大輝, 岸田直裕, 秋葉道宏. クローニング法および次世代シーケンサーによるろ過漏出障害原因生物の評価. 日本水道協会平成 26 年度全国会議; 2014 年 10 月;名古屋. 同講演集. p. 540-1.

3) 岩谷梓, 渡邊洋大, 北村壽朗. 相模川本川滞留域における障害生物の繁殖事

例. 平成 26 年度日本水道協会関東地方支部水質研究発表会 ; 2014 年 11 月 ; 東京. 同講演集. p.29-31.

- 4) 安齋英悟, 千葉信男, 秋葉道宏, 西村修. ピコ植物プランクトンに対する凝集ろ過法の効果. 日本水処理生物学会第 51 回大会 ; 2014 年 11 月 ; 甲府. 日本水処理生物学会誌別巻第 34 号. p.12.
- 5) 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. 分子生物学的手法による浄水場処理工程水のピコシアノバクテリア生物相の評価. 第 49 回日本水環境学会年会 ; 2015 年 3 月 ; 金沢. 同講演集 (印刷中).
- 6) 下ヶ橋雅樹, 高梨啓和, 秋葉道宏. 浄水処理プロセスにおける生物障害のエネルギー環境負荷. 化学工学会第 80 年会 ; 2015 年 3 月. 同講演要旨集 (印刷中).

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

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

水道システムにおける生物障害の
実態把握とその低減対策に関する研究

平成26年度 分担研究報告書

平成27年3月

分担研究報告書 1

国内の浄水場における近年の生物障害の発生傾向

研究代表者 秋葉 道宏
研究分担者 岸田 直裕
研究協力者 下ヶ橋 雅樹

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）
「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：国内の浄水場における近年の生物障害の発生傾向

研究代表者 秋葉 道宏 国立保健医療科学院 統括研究官
研究分担者 岸田 直裕 国立保健医療科学院 主任研究官
研究協力者 下ヶ橋 雅樹 国立保健医療科学院 主任研究官

研究要旨

近年の生物障害の発生傾向を明らかとすることを目的に、昨年度までに実施した国内広範囲の浄水場を対象とした生物障害に関するアンケート調査結果と、約10年前に実施された同様の調査結果を比較した。その結果、約10年前の調査と比べ、特に北海道・東北、関東地方において生物障害の発生が増加していた。また、障害の種類別に見ると、異臭味障害、ろ過漏出障害が増加し、ろ過閉塞障害が減少していた。異臭味障害の中でも、*Uroglena* 属由来の生ぐさ臭による障害が増加していることがわかった。

A. 研究目的

水道システムに危害を及ぼす生物には、病原微生物のほか、飲料水の異臭味や着濁原因となる生物、浄水処理を阻害する生物等（以降、障害生物）が存在する。障害生物が水道システムに及ぼす危害は「生物障害」と呼ばれている。研究分担者らが実施した予備調査によって、一部の浄水場では、生物障害の発生により薬剤・電力使用量が増加し、浄水処理コストが著しく増加することが明らかになっており、生物障害が水道システムに及ぼす影響は無視できない。しかしながら、健康に直接影響を及ぼす化学物質等のリスクと比較して、生物障害のリスクに関しては、その実態把握やリスク低減に関する検討が遅れているのが現状である。

本年度は、近年の生物障害の発生傾向を明らかとすることを目的に、昨年度までに実施した国内広範囲の浄水場を対象とした生物障害に関するアンケート調査結果¹⁾と、約10年前に実施された同様の調査結果²⁾を比較した。

B. 研究方法

表1に約10年前に実施された調査と本研

究で実施された調査の概要を示す。どちらも2年間を調査対象としている。本研究の調査対象水道事業体数は約10年前の調査に比べ僅かに少ないが、無視できる程度の差と考えられた。また本研究では、約10年前の調査を参考に対象事業体を選定しており、選定によって生じる差は大きくないと推測された。約10年前の調査期間と比べ、本調査期間の平均気温は若干高く、特に夏期において高気温であった。

約10年前の調査と本調査において、地域別の報告事例数、生物障害の種類別の報告事例数を比較した。また、報告事例の多かった異臭味障害については、臭気の種類や原因生物の比較も実施した。約10年前の調査における報告事例数の詳細な集計方法は文献²⁾に記載されていなかったため、過去の調査担当者にヒアリング調査を実施し、本調査の集計でも可能な限り集計方法を近づけたが、完全に一致させることは困難であり、必ずしも正確な比較となっていないことに注意が必要である。また、集計方法の統一によって、前年度までの報告書¹⁾に記載されている事例数とは異なる値となっていることにも注意する必要がある。

C. 研究結果および D. 考察

1) 地域別の生物障害の発生傾向

図 1 に、地域別の生物障害の報告事例数の比較を示す。約 10 年前の調査と比較して、本調査においては、北海道・東北地方、関東地方において生物障害の発生件数が特に多かったことから、比較的高緯度の低水温地域において生物障害の発生が増加傾向にあると推測された。表 1 に示した通り、本調査期間中の夏期は高気温であったため、主要な障害生物であり、高水温を好むシアノバクテリア（藍藻類）が、このような地域の水道水源において増殖しやすかったことが、生物障害発生増加の原因の一つであると示唆された。今後の気候変動によって、生物障害の発生がさらに増加するおそれもあり、気候変動への適応策に関する検討を進めていくことが重要である。

2) 種類別の生物障害の発生傾向

図 2 に、種類別の生物障害の報告事例数の比較を示す。約 10 年前の調査と比較して、異臭味障害、ろ過漏出障害が増加し、ろ過閉塞障害は減少していた。

異臭味障害が増加した理由の一つに、平成 16 年に実施された水道水質基準等の改正が挙げられる。水道水質基準として、カビ臭原因物質であるジェオスミン、2-MIB が追加されるとともに、水質管理目標設定項目に臭気強度 (TON) が設定されたことで、以前よりも異臭味問題が顕在化しやすくなったと推測される。また、夏季の高気温 (水温) の影響で、異臭味障害の主要な原因生物であるシアノバクテリアが水道水源で増殖しやすくなったことも理由の一つであると示唆された。

ろ過漏出障害が増加した主な理由は、浄水場 (ろ過池) における濁度管理が以前よりも厳格化されているためであると考えられる。平成 19 年より従来の暫定指針が廃止され、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」が適用されたが、地表水を水源とし、

原水に指標菌が検出される浄水場では、ろ過池の濁度を 0.1 度以下に維持することが求められている。

ろ過閉塞障害が減少した主な理由は、複層ろ過等の対策手法が普及したためであると推測された。実際に、昨年度までに実施したアンケート調査¹⁾においても、過去 10 年間にろ過池の複層化を実施したと回答した水道事業者が一部存在している。

3) 異臭味障害の発生傾向

図 3 に、異臭味障害報告事例における臭気の種類を示すが、約 10 年前の調査と比較して、本調査では生ぐさ臭による異臭味障害の発生が多かった。また、図 4 に障害生物別の異臭味障害報告事例数の比較を示すが、約 10 年前の調査と比較して、本調査では *Anabaena* 属による障害が減少し、*Uroglena* 属による障害が増加していた。*Uroglena* 属は生ぐさ臭を発生する障害生物として知られており、*Uroglena* 属による生ぐさ臭の被害が近年増えていると推測された。本研究では生ぐさ臭による異臭味障害が増加した原因を明らかにすることはできなかったが、カビ臭に加えて生ぐさ臭による異臭味障害にも今後注意を払っていく必要があると考えられた。

E. 結論

生物障害に関するアンケート調査結果を比較することで、我が国の浄水場における生物障害の発生傾向を明らかとすることができた。高緯度地域でも生物障害が発生する傾向にあり、これまで以上に生物障害対策を進めていく必要性があると考えられた。

G. 研究発表

1) 論文発表

該当なし

2) 学会発表

該当なし

H. 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

I. 参考文献

1) 秋葉道宏 (2014) 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) 「水道システムにおける生物障害

の実態把握とその低減対策に関する研究」平成 25 年度総括・分担研究報告書.

2) 日本水道協会 (2006) 生物障害を起こさないための浄水処理の手引き. 日本水道協会, 東京.

3) 気象庁 (2015) 日本の月平均気温偏差 (°C) http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/list/mon_jpn.html (Accessed 2015/02/24).

J. 謝辞

アンケート調査の実施にあたり、ご協力いただいた水道事業者、日本水道協会関係者の方々に深くお礼申し上げます。

表 1 調査の概要

	約 10 年前の調査 ²⁾	本調査 ¹⁾
調査対象期間	H13.4~15.3 (約 10 年前の 2 年間)	H22.10~H24.9 (最近の 2 年間)
対象事業者数*	81	79
対象浄水場数	記載なし	239
平均気温の偏差**	+0.15 (7-9 月 : +0.30)	+0.20 (7-9 月 : +0.68)
合計報告事例数***	186	272

*事業統合等による変更を除いて 79 事業者は同一であることから、対象事業者による差は僅かと思われる。

**1981~2010 年の 30 年平均値を基準値とした時の偏差 (日本の平均、気象庁 HP³⁾)

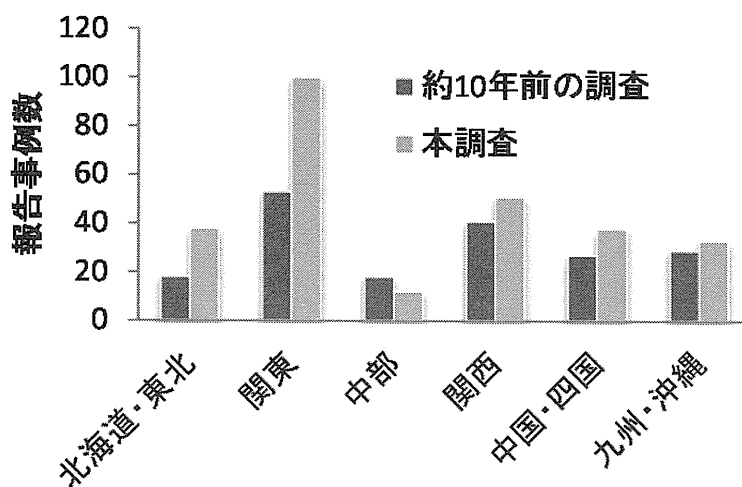


図 1 地域別の生物障害の報告事例数の比較

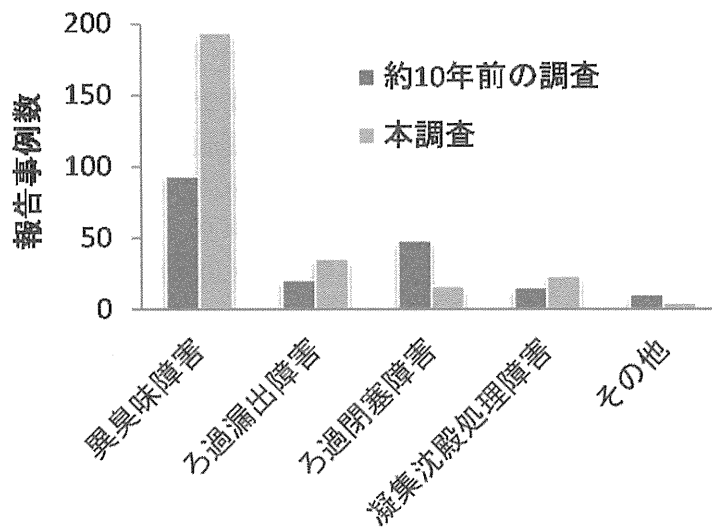


図2 生物障害の種類別の報告事例数の比較
 (注：約10年前の凝集沈殿処理障害の調査期間は1年半であり、2年間実施したと仮定すると、本調査の報告事例数と同程度となると予想される。)

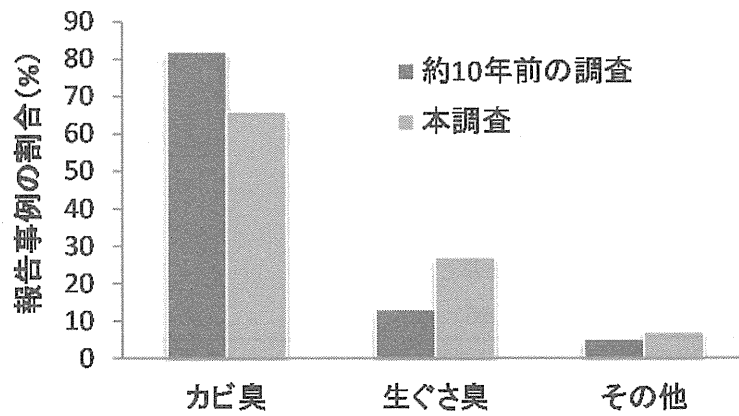


図3 臭気の種類別の比較

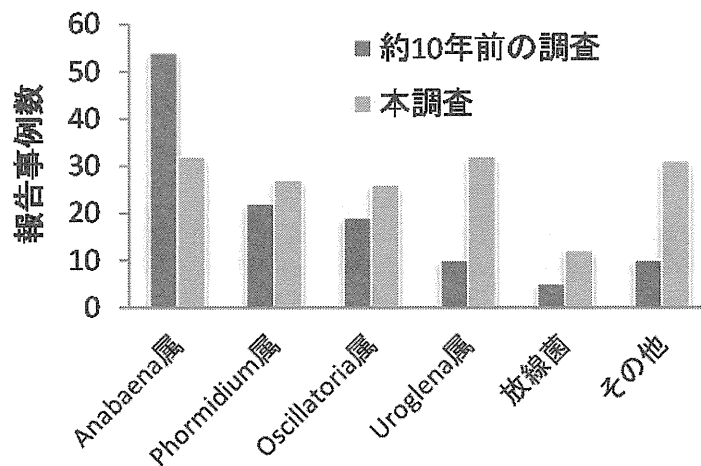


図3 障害生物別の異臭味障害報告事例数

水道事業体におけるピコプランクトンの
検査法に関する実態調査

研究代表者	秋葉 道宏
研究分担者	藤本 尚志
研究分担者	岸田 直裕
研究協力者	下ヶ橋 雅樹
研究協力者	田中 和明
研究協力者	北村 壽朗
研究協力者	荒井 活人
研究協力者	藤瀬 大輝

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）
「水道システムにおける生物障害の実態把握とその低減対策に関する研究」
分担研究報告書

研究課題：水道事業体におけるピコプランクトンの検査法に関する実態調査

研究代表者	秋葉 道宏	国立保健医療科学院 統括研究官
研究分担者	藤本 尚志	東京農業大学 応用生物科学部 教授
研究分担者	岸田 直裕	国立保健医療科学院 主任研究官
研究協力者	下ヶ橋 雅樹	国立保健医療科学院 主任研究官
研究協力者	田中 和明	国立保健医療科学院 客員研究員
研究協力者	北村 壽朗	神奈川県企業庁水道水質センター
研究協力者	荒井 活人	東京都水道局水質センター検査課 生物係長
研究協力者	藤瀬 大輝	川崎市上下水道局水管理センター水道水質課 技術職員

研究要旨

水道事業体におけるピコプランクトンの検査法に関する実態を明らかとすることを目的に、全国 17 の水道事業体を対象としたアンケート調査を実施した。水道水源および水道原水を対象にピコプランクトンの検査を実施している事業体が多かったが、約半数の事業体では沈殿池やろ過池出口の水でも検査を行っていることがわかった。検査水量は、ピコプランクトンの濃度が低くなる浄水工程の後段に行くほど多くなる傾向にあった。また、試料を固定せず、メンブレンフィルターを用いた濃縮を行い、G 励起フィルターのみで蛍光観察を行っている事業体が多いことが判明した。

A. 研究目的

昨年度までに実施した全国 79 の水道事業体および 239 の浄水場を対象とした生物障害に関するアンケート調査によって、浄水の濁度上昇等を引き起こすろ過漏出障害の主要な原因微生物はピコプランクトンであることが明らかとなった¹⁾。ろ過漏出障害の対策を実施するためには、水道水源や浄水場工程水におけるピコプランクトン数を正確に把握することが重要であるが、非常に微細なピコプランクトンの検査は一般に困難であり、水道事業体間で検査法の差も大きいと予想される。

そこで本研究では、ピコプランクトンの検査法に関する実態を明らかとすることを目的に、全国の水道事業体へアンケート調査を行った。

B. 研究方法

昨年度までに実施した生物障害に関するアンケート調査¹⁾や各種学会報告等によって、ピコプランクトンによるろ過漏出障害が発生していることが明らかとなった 16 の水道事業体を対象にアンケート調査を実施した。このうち、1 事業体においては 2 つの検査法を採用していたため、別々に計数することとした（計 17 事業体）。

アンケート調査項目は、検査対象試料およびその水量、固定方法、前処理方法、濃縮方法、観察方法、判定方法である。

C. 研究結果および D. 考察

1) 検査対象試料およびその水量

表 1 に示す通り、水道水源および水道原水を対象にピコプランクトンの検査を実施している事業体が多かったが、約半数の事業体では沈殿池やろ過池出口でも監視を行っていることがわかった。また、一部の事業体で

は、配水池や排水処理工程の水の検査も実施していた。検査水量は、ピコプランクトンの濃度が低くなる浄水工程の後段に行くほど多くなる傾向にあった。

2) 試料の固定・前処理方法

表2に示す通り、多くの事業体で試料を固定せずに、試験を実施していることがわかった。4事業体でグルタルアルデヒドを使用した固定操作を行っているが、固定操作が計数に影響を与える可能性が近年指摘されており、適切な固定方法について検討を進めていく必要がある。

試料の前処理を実施していたのは1事業体のみであり、孔径5.0 μmのポリカーボネート製フィルターを用いたろ過を実施していた。孔径の大きいフィルターを用いたろ過を前段階で実施することで、ナノプランクトン等のピコプランクトンよりも大型のプランクトンを取り除くことが可能であり²⁾、観察が容易になると予想される。

3) 試料の濃縮方法

表3に示す通り、大部分の事業体では、メンブレンフィルターを用いた濃縮を行っていることがわかった。また、親水性PTFEフィルター、黒色ポリカーボネートフィルターを採用している事業体が多かった。

一部の事業体では、遠心沈殿法を採用し、また無濃縮でも検査を実施していた。遠心は、1,000~1,500gで20~30分と、通常のプランクトンの濃縮と同程度³⁾の条件で行われていた。今後、ピコプランクトンの濃縮に有効な遠心沈殿条件についても検討していく必要があると考えられる。

4) 試料の封入・観察方法

表4に示すとおり、水もしくはイマージョンオイルを用いて封入を行っている事業体が多かったが、一部でその他の封入剤も使用していた。また、封入無で観察を行っている事業体も存在した。

顕微鏡観察時の対物レンズの倍率は、40

倍に設定している事業体が多かったが、20倍や100倍等も一部で採用されていた。蛍光観察時の励起にはG励起フィルターを使用している事業体が最も多かった。一方、一部の事業体ではG励起に加え、B励起でも観察を行っていたが、これはPEタイプ、PCタイプ等のピコプランクトンのタイプ分けを容易にするためであると推測される。また、観察時のピコプランクトンの判定には上水試験法記載の判定方法³⁾を採用している事業体がほとんどであったが、一部でその他の判定方法⁴⁾を採用していた。

E. 結論

水道事業体で実施されているピコプランクトンの検査法の実態を明らかとすることができた。採用されている試験法は多様であり、それぞれの有効性について今後調査していく必要があると考えられた。また、試料の固定方法等についても検討が必要である。

G. 研究発表

1) 論文発表

該当なし

2) 学会発表

該当なし

H. 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

I. 参考文献

- 1) 秋葉道宏(2014)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)「水道システムにおける生物障害