201330009A

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

研究代表者　秋葉道宏
（国立保健医療科学院）

平成２６（２０１４）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生物障害の発生および対策実態の把握 ・・・・・・・・・・・・・・ 17
　秋葉 道宏、岸田 直裕、下ヶ橋雅樹

２．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 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39
　秋葉 道宏、藤本 尚志

３．曝気循環によるアオコ・カビ臭の抑制 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
　秋葉 道宏、太田志津子、今本 博臣

４．生物障害を起こさないための浄水処理技術の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 61
　秋葉 道宏、西村　修

５．生物障害に対応した持続的な水道システムの検討 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
　秋葉 道宏、高梨 啓和、下ヶ橋雅樹

Ⅲ．研究成果の刊行に関する一覧表 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 79

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

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
神戸市水道局事業部水質試験所係長	小　田　琢　也
東京都水道局水質センター検査課生物係長	及　川　　　智
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
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	下ヶ橋　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	小保内　啓　太
国立保健医療科学院研究生	松　本　　　悠

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２６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。

我が国の浄水場における生物障害の発生および対策実態を明らかとすることを目的に、全国 79 の水道事業体および 239 の浄水場を対象としたアンケート調査を実施した。その結果、平成 22 年 10 月から 24 年 9 月までの 2 年間に、生物障害が発生したのは、79 水道事業体のうち 49 事業体（62%）、239 浄水場中 102 浄水場（43%）であり、多くの水道事業体が生物障害に悩まされていることが明らかとなった。地域別の生物障害の発生割合は、水道事業体数をベースとして計算すると、北海道・東北で 50%、関東で 77%、中部で 33%、関西で 53%、中国・四国で 79%、九州・沖縄で 58%であり、多少の地域差はあるものの、全ての地域で生物障害が発生していた。障害の種類別の発生割合は、浄水場数をベースとして計算すると、異臭味障害が 63%、ろ過漏出障害が 17%、凝集沈殿処理障害が 9%、ろ過閉塞障害が 9%、その他の障害が 2%であり、異臭味障害の発生が特に多いことがわかった。

ろ過漏出障害対策に関する基礎的知見を得ることを目的として、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、分子生物学的手法を用いてピコプランクトンの生物相について解析した。その結果、ろ過水から 2013 年 6 月から 9 月にかけてオーストリアのモンド湖からの分離株である *Synechococcus* sp. MH305 に近縁なクローンが高い割合で検出され、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。原水では *Synechococcus* sp. 0BB26S03 に近縁なクローンの割合が大きく、ろ過水では *Synechococcus* sp. MH305 に近縁なクロー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。また、次世代シークエンサーを用いた 16S rRNA 遺伝子アンプリコン解析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。

水道水源における障害生物の発生抑制手法として曝気循環設備に着目し、その効果を把握するため、9 ダム貯水池で実証実験を行った。その結果、貯水池総リン濃度が 0.04mg/L 以下のダム貯水池の場合は、年最大水温勾配を 0.1℃/m 以下になるように曝気循環設備を運転すれば、*Microcystis* によるアオコを抑制することがわかった。一方、カビ臭原因藻類である *Anabaena*、*Phormidium* と *Oscillatoria* については、曝気循環設備を運転しても、抑制効果が見られるケースと見られないケースがあった。

ピコ植物プランクトンの凝集沈殿処理に及ぼす急速撹拌強度、撹拌時間および凝集剤種類の影響を検討し、*Synechococcus* sp.のフロックは、G 値の増加とともに増加する傾向を示し、ポリシリカ鉄(PSI)の場合 G 値 $250s^{-1}$、撹拌時間 90 秒、ポリ塩化アルミニウム(PACl)の場合 G 値 $200s^{-1}$、撹拌時間 60 秒で最大径を示すこと、それぞれ撹拌強度がさらに増加する、あるいは撹拌時間がさらに長くなるとフロック径の減少が起こることがわかった。また、PACl に比べて PSI においてフロック径の成長促進、沈殿除去性向上が認められたものの、フロックに取り込まれない粒子が多数存在し、除去限界

が存在する可能性も示唆された。
本研究では、災害の発生に対する浄水場の脆弱性を薬品確保の観点から検討するため、また、生物障害の発生対策の必要性などをエネルギー消費量および対策コストの観点から評価するために、昨年度実施した浄水場へのアンケート調査の結果を解析する。今年度は、浄水薬品の製造工場などの情報として、薬品工場名、取扱薬品、所在地、電話番号など、151項目を集約した。また、東日本大震災時の薬品確保状況の調査により、広範囲で浄水薬品の確保が問題となったこと、災害対策マニュアルの整備状況の調査により、その整備率が低く、整備の推進が必要であることが示された。さらに、生物障害の発生によって増加する浄水薬品製造量から、その増加量の生産に伴う電力消費増加量および二酸化炭素排出増加量をアンケート調査結果と各種原単位調査結果に基づいて推算したところ、浄水処理に要する電力消費量と二酸化炭素排出量の年間値は、それぞれ0.11%、0.79%増加するという結果を得た。ただし、この推算結果は、浄水薬品の輸送による二酸化炭素排出量の変化を含んでおらず、これを推算する必要がある。そこで、地理情報システムを用いてこれを推算する方法を確立した。

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 准教授
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分野
　主任研究官

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生物障害の発生および対策実態の把握

全国79の水道事業体および239の浄水場を対象としたアンケート調査によって、平成22年10月から24年9月までの2年間に発生した生物障害の発生および対策実態を明らかとした。また、水道事業体における生物試験の実施状況についても調査した。

対象事業体の選定にあたっては、各地域間に大きな偏りのないようにした。全対象浄水場の合計の平均送水量は約22,000,000m^3/dであり、日本全国の総平均給水量の約41%を占めている。

2) 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、分子生物学的手法を用いてピコプランクトンの生物相について解析した。また、次世代シークエンスによる詳細な群集構造解析法を確立するため、草木湖等水源の真正細菌の16S rRNA遺伝子アンプリコン解析を行った。

3) 曝気循環によるアオコ・カビ臭の抑制

水道水源における障害生物の発生抑制手法として曝気循環設備に着目し、その効果を把握するため、アオコ・カビ臭による水質障害が継続して発生している9ダム貯水池にて実証実験を行った。対象となるダム貯水池は、洪水期の貯水容量が4,000千m^3の小規模ダムから33,000千m^3の大規模ダムまで、貯水池総リン濃度は過栄養から中栄養のダムまで広範囲に及んでいる。

4) 生物障害を起こさないための浄水処理技術の開発

急速撹拌強度および急速撹拌時間がピコ植物プランクトンのフロック形成に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、実験的検討を行った。ピコ植物プランクトンとして、国立環境研究所より入手した*Synechococcus* sp. (NIES-1348)を用いた。また、凝集剤としてポリ塩化アルミニウム(PACl）とポリシリカ鉄(PSI）を用いた。

5) 生物障害に対応した持続的な水道システムの検討

昨年度実施したアンケート調査を集計し、浄水薬品の製造工場または代理店の情報を集約（リスト化）した。また、東日本大震災が発生した際に薬品確保に支障が生じたか否かを調査するとともに、災害時の薬品確保マニュアルの整備状況を調査した。さらに、アンケート調査によって得られた生物障害発生時の浄水薬品注入率の変化から、必要な浄水薬品製造量の変化を算出し、その変化量の浄水薬品を製造するのに必要な電力消費量（以下、間接的な電力消費量）および二酸化炭素排出量（以下、間接的な二酸化炭素排出量）を推算した。なお、二酸化炭素排出量については、この間接的な二酸化炭素排出量だけでなく浄水薬品の輸送によっても発生するため、地理情報システム（Geographic Information System：GIS）を用いて、浄水薬品の輸送距離を推算する手法を検討し、予備的な解析を行った。

C．研究結果およびD．考察

1) 国内の浄水場における生物障害の発生および対策実態の把握

対象期間中に生物障害が発生したのは、アンケート対象79水道事業体のうち49事業体（62%）、239浄水場中102浄水場（43%）であり、多くの水道事業体が生物障害に悩まされていることが明らかとなった。また、全生物障害事例数は340であった。多少の地域差はあるものの、全ての地域で生物障害が発生していた。特に北海道・東北地域でも多くの生物障害が確認されたことから、水温が低い環境下でも生育可能な障害生物も多く存在していると考えられた。

生物障害が発生した浄水場の水源は98%が地表水であった。障害生物の多くが光合成能を持つ藻類、シアノバクテリア（藍藻類）であることから、地表水で特に障害生物が発生しやすいと考えられる。

生物障害の種類は、浄水場数をベースとすると、異臭味障害の割合が63%と最も多く、次いでろ過漏出障害17%、凝集沈殿処理障害9%、ろ過閉塞障害9%、その他の障害2%の順であり、肉眼的生物の流出障害は本調査では報告されなかった。

生物試験担当者の職種は、多く（71%）が化学職採用者であり、生物職採用者が担当できている事業体は一部（13%）に留まっていることが明らかとなった。その他16%の回答の中には、農学職採用者等、生物試験と関連があると予想される回答が多かったが、一部で一般職や電気職が担当しているとの回答があり、生物を専門とする職員を確保することの困難さが伺えた。本調査で明らかとなった通り、生物障害は全国的に発生頻度が高く、水道システムにおける重要な課題の一つであると考えられ、その対策には原因生物の同定が必須である。今後、生物職採用者の割合を増加させることが強く望まれる。

2) 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

工程水において*Synechococcus*属は58

塩基配列が検出され、99%以上を同一のOTUとしたところ8 OTUsに分けられた。全工程水を解析できた月の*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が多いことが明らかとなった。ろ過水では7月、10月を除いて*Synechococcus* sp. MH305に近縁なクローンの割合が大きく、*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。3、7、9、10、12月はろ過水において真核藻類の葉緑体に含まれる遺伝子のクローンが多く検出された。

8月の原水より一株（N-1）、10月の原水より一株（N-2）、9月の沈殿水より一株（N-3）の計3株のピコシアノバクテリアの分離に成功した。N-1株、N-2株はPC-typeの桿菌であった。N-3株はPE-typeの桿菌であった。分離株の遺伝子解析の結果、N-1株は*Synechococcus* sp. 0BB26S03、N-2株は*Synechococcus* sp. PS721、N-3株はUncultured *Synechococcus* sp. clone LS51に近縁なピコシアノバクテリアであることが明らかとなった。N-3株は未培養の系統であるPDⅡに位置する*Synechococcus*属であることが明らかとなった。

草木ダム堰堤直上流の表層水を対象とした次世代シークエンス解析では、1試料あたりのリード数は16万リードから20万リードであった。各門のリード数の割合を評価したところProteobacteria門のリード数は各月において43～60%であり主要な微生物群であることが明らかとなった。Cyanobacteria門のリード数は細胞数が10^5～2×10^5cells/mlと高い7、8月は20%を占めたが、4×10^4cells/mlと低下した10月は1%となった。Cyanobacteria門に占める*Synechococcus*属の割合は70%以上であり、細胞数の高い7、8月は約90%となった。*Synechococcus*属について種レベルで評価すると、細胞数が高い7、8月は*Synechococcus* sp. MH305の割合が高く90%以上を占めた。細胞数が低下した10月は*Synechococcus* sp. PS721が約60%を占め、季節によって*Synechococcus*の種組成が変化することが示唆された。

3) 曝気循環によるアオコ・カビ臭の抑制

曝気循環設備増設（設置）後の月平均水温勾配は、洪水流入による影響で水温勾配が上昇している月を除けば全ダムで低下した。全ダムの年最大水温勾配の範囲は、曝気循環設備設置前が0.39～1.54℃/m、曝気循環設備増設前が0.01～1.06℃/m、曝気循環設備増設（設置）後が0.00～0.13℃/mの範囲となっており、循環が進んでいることが分かる。

曝気循環設備増設後、藍藻綱は多くのダムで細胞密度が低下した。細胞内にガス胞を持つ*Microcystis*は、全貯水池で細胞密度が低下した。一方、カビ臭原因藻類である*Anabaena*、*Phormidium*と*Oscillatoria*については、曝気循環設備を運転しても、抑制効果が見られるケースと見られないケースがあった。このことから、曝気循環設備の運転パターンとこれらの種の消長について更なる検討が必要であると考えられる。

年最大水温勾配及び貯水池総リン濃度とアオコ・カビ臭発生との関係を調べた結果、アオコの抑制を目指す場合は、貯水池総リン濃度が0.04mg/L以下であれば、年最大水温勾配を0.1℃/m以下にすれば良いと考えられた。また、小規模なアオコの発生を許容する場合は、貯水池総リン濃度が0.05mg/L以下であれば、年最大水温勾配を0.3℃/m以下にすれば良いと考えられた。なお、貯水池総リン濃度0.05mg/L以上の場合は、曝気循環設備を運転してもアオコの抑制に繋がらない可能性が考えられる。一方、カビ臭については、年最大水温勾配と貯水池総リン濃度との関係に一定の傾向がみられなかった。

4) 生物障害を起こさないための浄水処理技術の開発

フロック形成（d50）に及ぼす急速攪拌強度および撹拌時間の影響について調べた結果、*Synechococcus* sp.のフロックは、

G値の増加とともに増加する傾向を示し、PSIの場合最大で238.8μm(G値250s^{-1}、撹拌時間90秒)に達した。しかし、撹拌強度が250から320s^{-1}とさらに大きくなるとフロック径は174.3μm(G値320s^{-1}、撹拌時間90秒)と小さくなった。さらにG値が増加するとフロック径も再び増加し、197.2μm(G値1,110s^{-1}、撹拌時間90秒)になった。また、いずれのG値においても撹拌時間としては90秒において最大のフロック径となり、それ以上の時間ではフロック系の減少、すなわちフロックの破壊が生じることが明らかであった。一方、PAClの場合も同様の傾向であったが、PSIと比較してフロック径は小さく、最大で159.2μm(G値200s^{-1}、撹拌時間60秒)であった。

フロックの成長・破壊に及ぼす撹拌強度と撹拌時間の影響は、PSIとPAClで同様の傾向であったが、基本的にPSIの形成するフロック径が大きいこと、一方で未凝集の*Synechococcus*が残存する傾向があることが明らかとなった。

5) 生物障害に対応した持続的な水道システムの検討

薬品工場等を所在地の情報を基に計数した結果、151件の薬品工場を集約することができた。

東日本大震災が発生した際の薬品確保に関しては、広範囲で浄水薬品の確保が問題となったことが分かった。災害時の薬品確保マニュアルの整備状況については、その整備率が低く、整備推進の必要性がうかがえた。

生物障害の発生が報告された浄水場を対象として、原単位情報を用い、間接的な電力消費変化量を推算した。その結果、多くの浄水場・多くの障害発生ケースでは、生物障害の発生に伴って浄水薬品の注入率が上昇し、間接的な電力消費量が増加していた。一方で、障害発生時に薬品使用量が低下しているケースがいくつかみられたが、浄水場ごと、障害発生の事象ごとではなく、地域ごとの集計および日本全国の集計においては、生物障害の発生に伴う間接的な電力消費量はすべて増加していた。間接的な電力消費量は、水道施設の電力使用量の年間値の0.11%であった。同様に、間接的な二酸化炭素排出量の変化量を推算した。その推算結果は、間接的な電力消費変化量の推算結果とほぼ同様の結果となった。また、全国での間接的な二酸化炭素排出量の増加量は浄水処理による二酸化炭素排出量の年間値の0.79%であった。なお、この推算結果は浄水薬品の製造による二酸化炭素排出量であり、浄水薬品の輸送による排出量を含んでいない。

さらに、障害の種類毎・必要となる浄水薬品の種類毎に間接的な電力消費量や間接的な二酸化炭素排出量を推算したところ、間接的な電力消費増加量への影響が大きいのは、障害の種類別では異臭味障害、浄水薬品の種類別では粉末活性炭および凝集剤であった。また、間接的な二酸化炭素排出増加量への影響が大きいのは、異臭味障害発生時の粉末活性炭であった。また、単位送水量あたりの影響を検討したところ、間接的な電力消費量の増加量は、凝集沈殿障害発生時の凝集剤が最も大きく、次いで異臭味障害発生時の粉末活性炭が大きかった。間接的な二酸化炭素排出量については、異臭味障害発生時の粉末活性炭使用量増加の影響が顕著であった。

構築した方法で浄水薬品の輸送に伴う二酸化炭素排出量の推算が可能なことを確認するため、各地域から無作為に6事業体の13浄水場を選択し、浄水薬品の輸送距離を予備解析した。その結果、浄水場と薬品工場等の組み合わせによっては、浄水薬品の輸送経路の解析ができない事例が生じたが、本年度は海上輸送の無視や、薬品工場等の所在地情報が不明，経路推察が不能、薬品工場が海外であるなどの解析不能な場合を解析対象から除外し、改良トンキロ法による二酸化炭素排出量を推算した。その結果、輸送距離を算出したすべての項目について推算が可能であった。

E．結論

1) 多少の地域差はあるものの、全ての地域で生物障害が発生しており、国内広範囲の水道事業体が生物障害に悩まされていることが明らかとなった。障害の種類別に見ると、異臭味障害の発生が特に多いことがわかった。生物試験担当者の職種は、多くが化学職採用者であり、生物職採用者が担当できている事業体は一部に留まっていることが明らかとなった。今後、生物職採用者の割合を増加させることが強く望まれる。

2) 長沢浄水場の工程水についてクローニングを行った結果、原水では *Synechococcus* sp. 0BB26S03 に近縁なクローンの割合が大きく、ろ過水では *Synechococcus* sp. MH305 に近縁なクロー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。工程水から 3 株のピコシアノバクテリアを分離し、そのうちの一株は未培養の系統に位置する *Synechococcus* 属であることが明らかとなった。また、次世代シークエ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。

3) 貯水池総リン濃度が 0.04mg/L 以下の場合は、年最大水温勾配を 0.1℃/m 以下になるように曝気循環設備を運転すれば、*Microcystis* によるアオコを抑制できることがわかった。一方、カビ臭原因藻類である *Anabaena*、*Phormidium* と *Oscillatoria* については、曝気循環設備を運転しても、抑制効果が見られるケースと見られないケースがあった。ダム貯水池でカビ臭が発生すると、下流浄水場に大きな影響を与えることが懸念されることから、曝気循環設備の規模や運転パターンとカビ臭原因藻類抑制との関係について、更に実証データを蓄積し検証していく必要がある。

4) ピコ植物プランクトン懸濁液の凝集処理性に関して、PAC に比べて PSI はより少量で荷電中和を可能とするとともにフロック径の巨大化効果を有していることがわかったが、一方でフロックに取り込まれない粒子が、PAC よりも多く存在する可能性も示唆された。

5) 浄水薬品の製造工場または代理店の情報が集約された。また、東日本大震災時の浄水薬品の確保が広範囲で問題となったことが明らかとなった。さらに災害時の薬品確保マニュアル整備率が低く、マニュアル整備を推進する必要性が示された。また、生物障害が発生した際の薬品注入率の変化に伴う電力消費変化量、および薬品輸送に伴う排出を除く間接的な二酸化炭素排出量の変化を推算し、これらの値を浄水処理に伴う全電力消費量および二酸化炭素排出量と比較したところ、それぞれ 0.11%、0.79%であった。浄水薬品の輸送による二酸化炭素排出量の推算方法を確立し、予備的な解析を行った結果、薬品工場等の所在地情報が不明な場合などの一部の事例を除いたすべての事例について二酸化炭素排出量を推算できた。

F．健康危険情報

なし

G．研究発表

1. 論文発表

1) Kishida N., Konno Y., Nemoto K., Amitani T., Maki A., Fujimoto N. and Akiba M. (2013) Recent trends in microorganism-related off-flavor problems in drinking water treatment systems in Japan. Water Science and Technology: Water Supply, **13**(5), pp.1228-1235.
2) 藤本尚志，村田昌隆，大西章博，鈴木昌治，矢島修，岸田直裕，秋葉道宏 (2013) 分子生物学的手法による浄水場における濁度障害原因生物の解明. 水道協会雑誌, **82**(5), pp.2-10.
3) 今本博臣，田作光良，古里栄一 (2013) 曝気循環によるアオコ・カビ臭抑制の効果検証—9 ダム貯水池の実証実験

結果から一．ダム工学 **23**(4)，pp.278-289.

2. 学会発表

1) Kishida N, Sagehashi M, Takanashi H, Akiba M. Nationwide survey of oorganism-related off-flavour problems in Japanese drinking water treatment plants (2010-2012); The 10th IWA Symposium on Off-Flavours in the Aquatic Environment; 2013 Oct; Tainan; Taiwan.
2) Aktas T.S., Fujimoto N., Kishida N., Akiba M., Aikawa Y. and Nishimura O. (2013) Comparison of coagulation performance and floc characteristics of polysilica iron (PSI) and poly aluminum chloride (PACl) for water treatment; Seventeenth International Water Technology Conference IWTC: 2013, Nov; Istanbul; Turkey.
3) 岸田直裕，下ヶ橋雅樹，高梨啓和，秋葉道宏，藤本尚志．浄水場における生物由来の異臭味障害対応の全国実態調査．第 48 回日本水環境学会年会；2014 年 3 月；仙台．
4) 水野恵伍，藤本尚志，大西章博，鈴木昌治，岡崎慎一，岸田直裕，秋葉道宏，野田尚宏，松倉智子，関口勇地．クローニングおよび次世代シークエンサーによる宮ヶ瀬湖のピコシアノバクテリア群集構造解析．第 48 回日本水環境学会年会；2014 年 3 月；仙台．
5) 藤本尚志，大西章博，鈴木昌治，岸田直裕，秋葉道宏，村田直樹，野田尚宏，松倉智子，関口勇地．次世代シークエンサーによる鰐川の植物プランクトン生物相の評価．第 48 回日本水環境学会年会；2014 年 3 月；仙台．
6) 福田真美子，藤本尚志，大西章博，鈴木昌治，村田直樹，岸田直裕，秋葉道宏．分子生物学的手法による鰐川の植物プランクトン生物相の評価．第 48 回日本水環境学会年会；2014 年 3 月；仙台．
7) 遠藤沙紀，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におけるろ過漏出障害原因生物の評価．第 48 回日本水環境学会年会；2014 年 3 月；仙台．
8) 小高千裕，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相模湖のピコシアノバクテリア生物相の評価．第 48 回日本水環境学会年会；2014 年 3 月；仙台．
9) 今本博臣，太田志津子，田作光良．曝気循環設備を用いたアオコ・カビ臭抑制のための実証実験．応用生態工学会第 17 回研究発表会；2013 年 9 月；大阪．
10) 宮内悠馬，高梨啓和，中島常憲，大木章，下ヶ橋雅樹，岸田直裕，秋葉道宏．生物障害の発生に伴う浄水処理プロセスのエネルギー消費量の変化の解析．環境科学会 2013 年会；2013 年 9 月；静岡．
11) 高梨啓和，宮内悠馬，中島常憲，大木章，下ヶ橋雅樹，岸田直裕，秋葉道宏．生物障害の発生に起因する浄水処理プロセスのエネルギー消費量の変化の解析．平成 25 年度日本水環境学会九州支部研究発表会；2014 年 3 月；鹿児島．

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２５年度　分担研究報告書

平成２６年３月

分担研究報告書１

国内の浄水場における生物障害の発生および対策実態の把握

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生物障害の発生および対策実態の把握

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

我が国の浄水場における生物障害の発生および対策実態を明らかとすることを目的に、全国 79 の水道事業体および 239 の浄水場を対象としたアンケート調査を実施した。その結果、平成 22 年 10 月から 24 年 9 月までの 2 年間に、生物障害が発生したのは、79 水道事業体のうち 49 事業体（62%）、239 浄水場中 102 浄水場（43%）であり、多くの水道事業体が生物障害に悩まされていることが明らかとなった。地域別の生物障害の発生割合は、水道事業体数をベースとして計算すると、北海道・東北で 50%、関東で 77%、中部で 33%、関西で 53%、中国・四国で 79%、九州・沖縄で 58%であり、多少の地域差はあるものの、全ての地域で生物障害が発生していた。生物障害が発生した浄水場の水源は 98%が地表水であった。全調査対象浄水場における水道水源の種類の割合と比較すると、生物障害が発生した浄水場では、ダムや湖沼水を経由した水源の割合が明らかに増加しており、停滞性水域で発生した藻類等の障害生物によって、国内の浄水場において生物障害の被害が多く発生していると推測される。障害の種類別の発生割合は、浄水場数をベースとして計算すると、異臭味障害が 63%、ろ過漏出障害が 17%、凝集沈殿処理障害が 9%、ろ過閉塞障害が 9%、その他の障害が 2%であり、異臭味障害の発生が特に多いことがわかった。

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、生物障害の発生および対策実態を明らかとすることを目的に昨年度実施した、国内広範囲の浄水場を対象としたアンケート調査結果の解析を進めるとともに、調査規模を拡大した。

B. 研究方法

全国 79 の水道事業体および 239 の浄水場を対象としたアンケート調査によって、平成 22 年 10 月から 24 年 9 月までの 2 年間に発生した生物障害の発生および対策実態を明らかとした。また、各事業体における生物試験の実施状況についても調査した。

表 1 に示すとおり、各地域間に大きな偏りのないように対象事業体を選定した。調査対象浄水場の平均送水量の分布を図 1 に示す

が、5,000 m^3/d 以下の小規模な浄水場から 500,000 m^3/d 以上の大規模な浄水場まで含んでいる。また、全対象浄水場の平均送水量の合計は約 22,000,000 m^3/d であり、日本全国の総平均給水量[1)]の約 41%を占めている。

アンケート調査票の策定は、素案をもとに、協力が得られた浄水場に事前アンケート調査およびヒアリング調査を実施し、修正点を抽出して改善することによって行った。また、本アンケート調査では、表 2 に示すとおり、既往文献[2)]を参考に、生物に起因する障害を 6 種類に分けて分類し、集計した。

C. 研究結果および D. 考察

1）生物障害の発生割合

対象期間中に生物障害が発生したのは、アンケート対象 79 水道事業体のうち 49 事業体（62%）、239 浄水場中 102 浄水場（43%）であり、多くの水道事業体が生物障害に悩まされていることが明らかとなった。また、全生物障害事例数は 340 であった。なお、本報告書では、同様の障害事例でも発生期間の異なるものは異なる事例として計数している。

図 2 に示すとおり、多少の地域差はあるものの、全ての地域で生物障害が発生していた。特に北海道・東北地域でも多くの生物障害が確認されたことから、水温が低い環境下でも生育可能な障害生物も多く存在していると考えられた。

2）水道水源の種類

図 3 に示すとおり、生物障害が発生した浄水場の水源は 98%が地表水であった。障害生物の多くが光合成能を持つ藻類、シアノバクテリア（藍藻類）であることから、地表水で特に障害生物が発生しやすいと考えられる。全調査対象浄水場における水道水源の種類の割合と比較すると、生物障害が発生した浄水場では、ダムや湖沼水を経由した水源の割合が明らかに増加しており、停滞性水域で発生した藻類等の障害生物によって、国内の浄水場において生物障害の被害が多く発生していると推測される。

3）生物障害対策のための浄水処理方式の変更

過去 10 年間に生物障害対策のために浄水処理方式を変更した浄水場は 15/239（6%）であり、変更内容は、生物処理施設の導入、ろ過池の複層化、pH 調整・酸注入施設の導入、高度処理施設の導入等であった。新しい設備を導入し、浄水処理方式を変更することは、初期コストが大きく掛かることになるが、障害生物の発生頻度が高い場合は臨時の対応を続けるよりも経済的であると推測される。

4）生物障害の種類

図 4 に示すとおり、生物障害の種類は、浄水場数をベースとすると、異臭味障害の割合が 63%と最も多く、次いでろ過漏出障害 17%、凝集沈殿処理障害 9%、ろ過閉塞障害 9%、その他の障害 2%の順であり、肉眼的生物の流出障害は本調査では報告されなかった。日本水道協会が平成 13-14 年度に実施した本調査と同規模の実態調査においても異臭味被害の割合が 49%と最も高く[3)]、我が国の浄水場において異臭味障害が長期的に問題となっていることが示された。異臭味被害の多くがカビ臭に起因するものであったが、カビ臭原因物質のジェオスミン、2-MIB は、水道水質基準項目にも入っていることから、障害として報告されやすいと考えられる。また、ろ過漏出障害についても、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針[4)]」において、ろ過池等の出口の濁度を 0.1 度以下に維持することが求められており、異臭味障害同様、報告されやすいと推測される。

なお、全体の 2%を占めるその他の障害は、生物に起因する沈殿池の景観の悪化等（発泡等）であり、水道水質に直接影響を及ぼす障害ではなかった。

5）各生物障害の詳細

5－1）異臭味障害

5－1－1）異臭味原因物質の種類

異臭味障害は調査期間全体で87浄水場からのべ243事例報告された。図5に異臭味原因物質の種類の割合を示すが、障害事例数をベースとすると、カビ臭（ジェオスミン）が37%と最も多く、次いでカビ臭（2-MIB）30%、生ぐさ臭22%、海藻臭4%、藻臭3%の順であった。また、その他の臭気（3%）としてクサヤ臭等が報告された。前述のとおり、水道水質基準となっているカビ臭原因物質の割合が最も多く、多くの浄水場で被害が発生していることが明らかとなった。なお、「水道水質データベース」によると、我が国の近年の水道原水中のジェオスミンの検出率は2-MIBよりも高く[5)]、本調査結果と一致していた。このことは、本実態調査方法の妥当性を部分的ではあるが示しているといえる。

また、生ぐさ臭による被害も比較的多く発生していることが明らかとなった。事例数の計数方法が同一でないため単純な比較はできないが、平成13-14年度の実態調査では、生ぐさ臭の発生割合は13%と報告されており[3)]、本実態調査と比べ少ない比率であった。このため、近年生ぐさ臭の被害が増加する傾向にあると示唆された。

５－１－２）異臭味原因物質濃度

表3に示すとおり、水道原水中のカビ臭（ジェオスミン）、カビ臭（2-MIB）濃度の最大値は、500 ng/L以上であり、水道水質基準を大幅に超えていたが、浄水中の平均濃度では3 ng/L程度であり、多くの事例で適切な浄水処理が行われていたと推測される。一方、一部の事例では水道水質基準である10 ng/Lを超過しており、浄水処理で対応できない事例もあることがわかった。

カビ臭以外の臭気については、原水においては水質管理目標値を超過する事例が多かったが、浄水ではすべての事例で目標値以下の数値であった。

５－１－３）異臭味障害の原因生物

表3に示すとおり、カビ臭の原因生物の割合は、シアノバクテリア（藍藻類）が最も多く、一部放線菌が原因の事例も報告された。シアノバクテリアの内訳は、ジェオスミンの場合は *Anabaena* 属が最も多く、一部で *Oscillatoria* 属、*Phormidium* 属、*Microcystis* 属が原因の事例も報告された。このうち、*Anabaena* 属、*Phormidium* 属、*Oscillatoria* 属はジェオスミンを産出することが報告されているが[6)]、*Microcystis* 属については報告されていないことから、別の原因生物であった可能性も示唆される。2-MIBの場合は、*Phormidium* 属、*Oscillatoria* 属の割合が高く、一部で *Anabaena* 属が原因の事例も報告された。このうち、*Phormidium* 属、*Oscillatoria* 属は2-MIBを産出することが報告されているが[6)]、*Anabaena* 属は報告されておらず、別の原因生物であった可能性も示唆される。また、原因生物が不明の事例も多かった。ジェオスミン・2-MIBを産生する微生物の種類は非常に多様であり[6), 7)]、原因生物を特定することの困難さが伺えた。

生ぐさ臭の原因生物については、黄金藻類と魚卵の割合が高かった。黄金藻類の内訳はほとんど全てが *Uroglena* 属であった。一例だけ報告された *Dinobryon* 属は、「上水試験法[8)]」の「水道における試験対象生物（障害生物）分類群」には記載されていない属であるが、この事例では、同時に *Uroglena* 属も報告されており（複数回答）、*Uroglena* 属が主要な原因微生物であった可能性が高い。なお、*Mallomonas* 属や *Synura* 属も異臭味障害を引き起こす黄金藻類として報告されているが[8)]、本調査においては、これらの微生物は報告されなかった。

その他の臭気の原因生物としては、シアノバクテリア、珪藻、アメーバ等が報告された。本報告書では「上水試験法[8)]」の「水道における試験対象生物（障害生物）分類群」に基づき分類を行っているが、一部の事例の中には「上水試験法」にも記載されていない、アメーバの *Asterocaelum* 属等が含まれており、これまでにほとんど報告されていない原因生物が一部の浄水場で問題となっていることが明らかとなった。このようなこれまで報

告事例の少ない障害生物が、実際に国内の浄水場でどの程度問題となっているかについても、今後調査する必要があるだろう。

５－１－４）異臭味障害の発生時期および原水水質

図 6～8 に各生物障害の発生時期、発生時の原水の水温、pH の分布を示す。異臭味障害の発生時期については顕著な地域差は認められなかった。異臭味障害は、夏期に多く発生していることが明らかとなった。夏期は貯水池等で水温躍層が形成されやすく、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増殖しやすい環境である。また、シアノバクテリアは他の藻類と比べて増殖に適する水温が高いと示唆されており[9]、高水温となる夏期に発生しやすいと考えられる。実際に異臭味障害発生時の原水水温は、水道水質データベースに載っている日本全国の浄水場の原水水温[10]と比べ高い分布となっている（図 7)。一方、低水温である冬期にもある程度異臭味障害が発生していたが、この時期の事例の多くが *Uroglena* 属による生ぐさ臭に起因していた。*Uroglena* 属が原因の事例の平均原水水温は 13℃であったが、*Uroglena* 属は他の藻類と比べて貯水池における出現水温が低いことが知られている[11]。

異臭味障害が発生した際の原水 pH は水温と同様に日本全国の浄水場の原水 pH[10]と比べ高い分布となっている（図 8)。これは、シアノバクテリアや藻類が水源で発生し、光合成に伴う pH 上昇が起こったためであると推測される。このことら、富栄養化が進行し、pH が上昇している水源では異臭味障害が発生しやすく、注意が必要であると考えられる。

５－１－５）異臭味障害への対応

図 9 に異臭味障害への対応策の種類とその割合を示す。粉末活性炭処理 58%、前塩素の中止 13%、凝集処理の強化や凝集補助剤の注入 10%、粒状活性炭処理 5%、生物処理 3%、その他 11%であり、多くの浄水場において浄水処理コストが大きく増大すると考えられる臨時の粉末活性炭処理によって対応していることが明らかとなった。また、前塩素の中止や凝集処理の強化・凝集補助剤の注入の回答も多く、浄水処理方法の臨時の変更で対応している浄水場も多いことがわかる。水源での対応に関する回答が少なかったが、これはアンケート対象が水道事業体であり、管理可能な自己水源を有していない事業体が多いことが理由の 1 つであろう。なお、その他の回答の中には、薬剤散布、取水の減量、他の水源との混合、浄水の相互融通等が含まれている。

５－２）ろ過漏出障害

５－２－１）ろ過漏出障害の原因生物

ろ過漏出障害は調査期間全体で 23 浄水場からのべ 49 事例報告された。図 10 にろ過漏出障害の原因生物の種類とその割合を示すが、ピコプランクトンの割合が 36%と最も多く、次いで緑藻類 18%、珪藻類 16%、シアノバクテリア 14%、その他 5%の順であり、原因生物が不明の事例も 11%報告された。

ピコプランクトンとは 0.2～2 μm の大きさのプランクトンの総称である。非常に小型のために顕微鏡観察による分類が困難であり、「上水試験法[8]」においても属レベルの分類がなされていないが、最低でも属レベルの同定を行わないと、処理に有効な運転条件を確立することは困難であるため、本研究班では、分担研究課題 2「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」において、分子生物学的手法を用いたピコプランクトン群集の構造解析を実施している。詳細については分担報告書を参照されたし。

緑藻類についても、アンケート調査では 70%が属レベルでの同定がされておらず、ろ過漏出の原因となるような小型の緑藻の同定が極めて困難であることが示された。なお、1 例報告された *Volvox* 属は、従来、ろ過漏出障害を引き起こすとは報告されていなかった[8]。このような事例についても今後詳細な調査が必要であると考えられる。

珪藻類については、全て属レベルの報告が

あり、*Cyclotella* 属が 78%、*Skeletonema* 属が22%であった。シアノバクテリアについても属レベルの報告が多く、*Microcystis* 属が 74%、*Anabaena* 属が 13%であった。これらの属は、全てろ過漏出を引き起こすと報告されている微生物である[8)]。

その他として報告された微生物は、袋形動物（ワムシ）、汚水性細菌（ズーグレア）、原生動物（属不明）であるが、これらはろ過漏出障害を引き起こすとは報告されておらず[8)]、今後詳細な調査が必要であると考えられた。

５－２－２）ろ過漏出障害の発生時期および原水水質

異臭味障害に比べ、夏期の高水温時の障害発生が多かったことから（図 7, 8）、今後の気候変動の影響が特に懸念される。また、pH についても異臭味障害に比べ、高 pH 時の発生が多かった。違いが生じる要因としては、原因生物の違いが挙げられるが、先述の通り、ろ過漏出障害を引き起こす原因生物は、非常に小型のために顕微鏡観察による分類が困難であり、今回の調査でも詳細な同定の情報が報告されていない事例も多く、考察は困難である。今後、同定手法の確立が強く望まれる。

５－２－３）ろ過漏出障害発生時の濁度変化

表 4 にろ過漏出障害発生時の原水、沈殿水出口、ろ過池出口の濁度を示す。障害発生期間中の平均値で見ると、ろ過池出口の平均の濁度は 0.02 度であり、十分な処理が行われていたと考えられるが、障害発生期間中の最大値で見ると、各障害事例の平均でも浄水場独自の管理目標値と同程度であり、ろ過漏出障害発生時の濁度管理が困難であることがうかがえた。一部の事例では、「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針[4)]」において求められているろ過池出口濁度 (0.1 度) 以上の値となっており、適切な対策技術の開発・普及が望まれる。なお、ろ過池から漏出し、浄水に着濁被害を及ぼす微生物による障害であるが、沈澱池出口の濁度も比較的高い値であることから、ろ過工程だけでなく、凝集沈殿処理工程でも除去が困難な微生物が原因となっていると考えられる。

５－２－４）ろ過漏出障害への対応

図 11 にろ過漏出障害への対応策の種類とその割合を示すが、二段凝集（再凝集）処理が 43%で最も多く、次いで凝集処理の強化や凝集補助剤注入 23%、凝集時 pH 値の低減対策 12%、前塩素処理 9%の順であり、多くが凝集沈殿処理の改善に関するものであった。最も回答の多かった二段凝集処理は、ろ過漏出障害の主な原因となるピコプランクトンの処理に効果的であるとの報告が多く[12)-14)]、有効な対応策であると考えられる。一方、二段凝集処理のメカニズムや最適な処理条件に関する報告は少なく、今後の調査研究が必要であると考えられる。なお、その他 13%の中には、ろ過洗浄頻度の変更やろ過速度の変更等の回答があった。

５－３）凝集沈殿処理障害

５－３－１）凝集沈殿処理障害の原因生物

凝集沈殿処理障害は調査期間全体で 12 浄水場からのベ 26 事例報告された。図 12 に凝集沈殿処理障害の原因生物の種類とその割合を示す。シアノバクテリアが 68%と最も多く、次いで珪藻類が 21%、緑藻類が 11%の順であった。属レベルで見ると、シアノバクテリアの *Aphanocapsa* 属を除く全ての属が凝集沈殿処理障害を引き起こすと報告された微生物であった[8)]。*Aphanocapsa* 属が検出された事例では、凝集沈殿処理障害を引き起こすことが知られる *Microcystis* 属が同時に検出されており、*Microcystis* 属の方が原因であった可能性もある。また、*Aphanocapsa* 属は形態学的に *Microcystis* 属に酷似しており、凝集沈殿処理障害を引き起こす可能性も否定できないため、今後の調査が望まれる。

５－３－２）凝集沈殿処理障害の発生時期および原水水質

凝集沈殿処理障害は、他の障害と同様に夏

期に多く発生していた（図 7)。夏期における障害の多くは、高水温を好むシアノバクテリアを原因生物とする事例であった。一方、水温分布を見てみると、他の障害に比べ低水温期にも多く発生していることがわかる（図 8)。これらの低水温期における障害は、北海道・東北地域で発生したものであり、これらの事例の原因生物については不明（無回答）であるが、低水温下で増殖可能な藻類が原因となっていた可能性が考えられる。pH については他の生物障害と同様、富栄養化が進んでいると考えられる高 pH の水源で障害が発生していた。

５－３－３）凝集沈殿処理障害発生時の濁度変化

表 4 に示した通り、障害発生期間中の平均値で見ると、沈澱池およびろ過池出口の濁度の平均値は、それぞれ 0.28、0.01 度であり、良好に処理が行われていた事例が多いことがわかる。一方、障害発生期間中の最大値で見ると、一部でろ過池濁度 0.1 度を超過している事例も見られた。なお、ろ過漏出障害と比べ、沈澱池出口の濁度も低い傾向が得られている。

５－３－４）凝集沈殿処理障害への対応

図 13 に示すとおり、凝集沈殿処理障害への対策を行う際には、予想通り、ろ過池出口の濁度上昇を判断基準としている浄水場が多いことがわかった。また、一部の浄水場では、水源または原水中の生物数の変化や生物除去率の低下を指標として用いていることが明らかとなった。

図 14 に凝集沈殿処理障害への対応策の種類とその割合を示す。凝集処理の強化や凝集補助剤注入が 43%と最も多く、次いで二段凝集処理（再凝集）19%、前塩素処理 19%、他の水源との混合 9%、硫酸銅散布 9%の順であり、凝集処理能の改善によって対応している事例が多かった。

５－4）ろ過閉塞障害

５－４－１）ろ過閉塞障害全般

ろ過閉塞障害は調査期間全体で 12 浄水場からのべ 18 事例報告された。その多くは単層ろ過（砂ろ過）を行っている浄水場での事例であったが、2 事例（2 浄水場）では、複層ろ過を行っており、複層ろ過でも対応できない障害が存在することが明らかとなった。

５－４－２）ろ過閉塞障害の原因生物

図 15 にろ過閉塞障害の原因生物の種類とその割合を示すが、珪藻類が 61%と最も多く、次いで緑藻類 11%、渦鞭毛藻 11%の順であり、原因生物不明の事例も 17%存在した。大半が珪藻類の *Synedra* 属によるものであり、本微生物が国内の浄水場におけるろ過閉塞障害の主要な原因生物となっていることが示された。なお、報告されたほぼ全ての属がろ過閉塞障害を引き起こすと報告されていたが[8)]、*Ceratium* 属のみ報告されていなかった。*Ceratium* 属が検出された事例では、ろ材平均粒径の小さいろ過池でろ過継続時間の減少が確認され、原水・沈殿水において通常検出されない *Ceratium* 属が一定数観察されたものの、原因生物であるとは断定できておらず、別の原因生物である可能性もある。

ろ過閉塞障害の原因生物の長径は、回答があった全ての事例で 100～500 μm の範囲であり、予想通り、大型の生物がろ過閉塞の原因となっていることがわかった。

５－４－３）ろ過閉塞障害への対応

図 16 に示すとおり、ろ過閉塞障害への対策を行う際には、ろ過継続時間の変化を判断基準としている浄水場が多いことがわかった。また、一部の浄水場では、損失水頭の上昇速度や原水等の生物数の変化を指標に判断していることがわかった。なお、生物障害発生時は、生物障害が発生していない時期と比較して、ろ過継続時間を平均で約 18%短縮していることもわかった（急速ろ過)。なお、緩速ろ過については 1 浄水場でしかろ過閉塞障害は報告されていないが、その浄水場では、障害発生時に 5 割ろ過継続時間を短縮し

ていた。損失水頭については、平均で 0.3 m の上昇が起きていることが報告された。

図 17 にろ過閉塞障害への対応策の種類とその割合を示す。凝集処理の強化や凝集補助剤注入が 41%と最も多く、次いで前塩素処理 23%、他の水源との混合 23%、ろ過時間短縮および低速度ろ過 9%、ろ過池洗浄時間の短縮 4%の順であり、凝集沈殿処理での対応が多かったが、一部で取水やろ過処理での対応が行われていることが明らかとなった。なお、一例報告されたろ過池洗浄時間の短縮は、一見効果が期待できないように感じられるが、ろ過閉塞障害がろ過層表面付近でのみ生じることが多いことから、洗浄時に表面洗浄を十分に行うことにより、通常よりも短い時間で洗浄を行うことで、多くの給水量を確保することが可能になると報告されている[2)]。

６）生物試験の実施状況

図 18 に水道事業体における生物試験の実施状況を示すが、調査対象が比較的大規模な事業体であったこともあり、大部分が独自に生物試験を実施していることがわかった。一方、図 19 に示すとおり、生物試験担当者の職種は、多く（71%）が化学職採用者であり、生物職採用者が担当できている事業体は一部（13%）に留まっていることが明らかとなった。その他 16%の回答の中には、農学職採用者等、生物試験と関連があると予想される回答が多かったが、一部で一般職や電気職が担当しているとの回答があり、生物を専門とする職員を確保することの困難さが伺えた。

本調査で明らかとなった通り、生物障害は全国的に発生頻度が高く、水道システムにおける重要な課題の一つであると考えられ、その対策には原因生物の同定が必須である。今後、生物職採用者の割合を増加させることが強く望まれる。

E. 結論

多少の地域差はあるものの、全ての地域で生物障害が発生しており、国内広範囲の水道事業体が生物障害に悩まされていることが明らかとなった。障害の種類別に見ると、異臭味障害の発生が特に多いことがわかった。異臭味障害の原因生物は、カビ臭原因物質を産生するシアノバクテリアや放線菌が多かったが、生ぐさ臭原因物質を産生する黄金藻類や魚類（魚卵）についても比較的多く報告された。一方、原因生物が不明のケースも多く、障害生物種の同定の困難さも伺えた。また、異臭味障害には、粉末活性炭処理で対応している浄水場が多いことがわかった。調査対象水道事業体では、大部分が独自に生物試験を実施していることがわかった。一方、生物試験担当者の職種は、多くが化学職採用者であり、生物職採用者が担当できている事業体は一部に留まっていることが明らかとなった。

G. 研究発表

1) 論文発表

(1) Kishida N., Konno Y., Nemoto K., Amitani T., Maki A., Fujimoto N. and Akiba M. (2013) Recent trends in microorganism-related off-flavor problems in drinking water treatment systems in Japan. Water Science and Technology: Water Supply, **13**(5), pp.1228-1235.

2) 学会発表

(1) Kishida N, Sagehashi M, Takanashi H, Akiba M. Nationwide survey of oorganism-related off-flavour problems in Japanese drinking water treatment plants (2010-2012); The 10th IWA Symposium on Off-Flavours in the Aquatic Environment; 2013 Oct; Tainan; Taiwan. Proceedings of the 10th IWA Symposium on Off-Flavours in the Aquatic Environment. p.69.

(2)岸田直裕，下ヶ橋雅樹，高梨啓和，秋葉道宏，藤本尚志．浄水場における生物由来の異臭味障害対応の全国実態調査．第 48 回日本水環境学会年会；2014 年 3 月；仙台．同講演集（印刷中）.