

国内外における生物障害に関連する事例調査

研究代表者	秋葉	道宏
研究分担者	柳橋	泰生
研究分担者	浅田	安廣
研究協力者	井上	拓也

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）

「水道事業の流域連携の推進に伴う

水供給システムにおける生物障害対策の強化に関する研究」

分担研究報告書

研究課題：国内外における生物障害に関連する事例調査

研究代表者	秋葉 道宏	国立保健医療科学院	生活環境研究部	部長
研究分担者	柳橋 泰生	福岡大学工学部		教授
研究分担者	浅田 安廣	国立保健医療科学院		主任研究官
研究協力者	井上 拓也	国立保健医療科学院		研究生

研究要旨

処理技術の向上等により湖沼水質は全般的に改善されつつあるが、富栄養化等の影響による藻類の異常発生に伴う水道生物障害の被害は国内外問わず、未だに生じているのが現状である。そこで藻類の異常増殖等による生物障害の発生への対策に向けた情報収集を目的とし、日本での過去のカビ臭発生事例及び気象データとの関連性の検証、湖沼水質改善に関する中国で取組の調査を行った。

日本での過去のカビ臭発生事例調査について、平成5年から平成30年の約25年間に発行された文献やインターネットで収集した76件のカビ臭発生事例と気象データを用いて、カビ臭発生事例発生傾向と気象条件（気温、降水量、日照時間、水温）との関係性についてとりまとめた。

中国での湖沼水質改善への対策として工場排水の規制、下水道の整備、流入河川の浄化対策、浚渫、水生生物による水質浄化対策など総合的な対策の他に、導水事業による水質浄化事業の実施があげられた。

A. 研究目的

水道の水源地であるダム貯水池や湖沼等では排水などの流入により富栄養化が進み、しばしば藻類の異常増殖といった水道水源の状況悪化が問題となっている。処理技術の向上等により日本の湖沼水質は全般的に改善されつつあるが、まだ対策が必要な状況である。

日本では富栄養化等の影響による水道の異臭味等の被害は未だに生じているのが現状である。その中でも一部の藍藻類や放線菌等により産生される2-メチルイソボルネオール（以下2-MIB）やジェオスミンが原因であるカビ臭による異臭味問題は、水道の

異臭味等による被害の中で大きな割合を占めている。そのため安全でおいしい水の供給を今後も維持していく上では、カビ臭の水道水源での管理が重要となる。

一方海外に視野を向けた場合、中国では、2007年5月、水源としていた太湖におけるアオコの大発生により無錫市の水道水が汚染される事件が起こった。その後、水源湖沼の対策が進められ、汚染が激しかった太湖北東部や滇池の全窒素濃度は10年間で半減しているなどの改善がみられる。

以上、藻類の異常増殖等による生物障害の発生は国内外に問わず生じている。そこで本研究では、下記に示す内容に関して文

献調査を行った。

(1) 日本で問題となる生物障害としてカビ臭による異臭味問題を取りあげ、過去のカビ臭発生事例及び発生時の周囲の概況などを検証した。

(2) 藻類の異常発生に関連する湖沼での水質改善について、中国での対策事例を調査する。

B. 研究方法

(1) 日本全国におけるカビ臭発生事例調査

本研究では、全国のカビ臭発生状況（水源、原因物質、産生物質及び水源へ流出した要因等）や傾向を分析するため、平成5年から平成30年の約25年間において、カビ臭の発生報告が確認されている事例を公開されている各種文献やインターネットで収集し、気象等の要因との関係について解析を行った。

・事例調査

平成5年から平成30年の約25年間に発行された、公益財団法人日本水道協会発行の水道研究発表会講演集及び水道協会雑誌、日本水環境学会の講演集、株式会社産業用水調査会発行雑誌「用水と廃水」からカビ臭発生事例を調査・収集を行った。

また、CiNii Articles、J-STAGE、国会図書館デジタルコレクション、AgriKnowledgeや、インターネット検索サイト（Yahoo、Google）を用いて、カビ臭発生事例を調査・収集するとともに、地方衛生研究所及び地方環境研究所等の報告や発表論文も調査・収集した。

・気象データ

気象庁で公表されている過去の気象データから、発生事例の発生地点の月別の平均気温、降水量の合計、日降水量の最大、日照時間を収集するとともに、1981年から2010年の30年平均値も収集し、解析に使用した。なお、カビ臭は発生月前から繁殖していると考えられることから、カビ臭発

生月から前2ヶ月の気象データも含めて収集した。また、河川の水温については、国土交通省の水文水質データベースから発生年度の水温を収集した。

(2) 中国での湖沼対策事例調査

1996年からの第9次五カ年計画で「三河三湖」に指定され、重点対策がとられるようになった太湖、滇池について、富栄養化や対策実施状況を整理した。

また中国において実施されている水質汚濁対策の中で特徴的なものの一つに水質保全・改善を目的とした大規模な導水事業の実施状況、効果等について整理した。

C. 研究結果およびD. 考察

(1) 日本全国におけるカビ臭発生事例調査

各種文献やインターネットで収集した結果、76件のカビ臭発生事例を確認できた。76事例について発生地域について図1にまとめる。今回の調査では公表されているという観点より実施しているため、実際に生じている事例数とは乖離があると考えられるが、日本全国でカビ臭発生事例が確認できたことから、全国でこのような事例が発生する可能性があることが示唆された。

続いて、発生事例について、原因物質、産生物質、発生要因、カビ臭発生水域ごとに区分分けを行った。その内訳を、以下の図2から図5に示す。

カビ臭原因物質としては、2-MIBが45%と最も多く、次にジェオスミンが29%であった。

産生物質としては、70%が藍藻類によるものであった。放線菌については、これまで濁水で貯水池の水位が低下した場合に放線菌によるカビ臭発生事例が確認された。

発生要因としては、63%が自然発生であったが、人為的要因も約11%あった。人為的要因とは、工場や下水処理施設からの排水によりカビ臭が発生したものや、農業用

ため池の清掃に伴う放流水によりカビ臭が発生したもの、ダム湖の循環曝気装置の運用変更に伴い水温が上昇しカビ臭が発生したもの等、人間の行動によりカビ臭の発生に影響を与えたものとして整理した。

発生水域は、河川が42%、ダム湖が39%、池・沼が19%であった。主には閉鎖性水域において富栄養化による藻類の増殖や、底土からのカビ臭原因物質の流出が要因と考えられる。また、河川についても上流のダム湖でカビ臭原因物質が発生・放流された影響を受けたものが含まれている。

続いて、各カビ臭発生事例に対して気象データとの関連性について調査した。

まずカビ臭発生時の気温及び平年気温との関係について整理する。カビ臭発生時(カビ臭発生月の前2ヶ月含む)の月平均気温は、16°C以上で発生している割合が66%となり、比較的気温が高い時期にカビ臭が発生している傾向があった。また、1981年から2010年の30年平均値(平年値)と比較した場合、約61%が平年より月平均気温が高い時に発生しており、平年より気温が高い場合にカビ臭が発生している傾向があった。日本全体でとらえた場合、温暖な気候の地域での発生が多いことが報告されており¹⁾、気温が比較的高い場合にカビ臭が発生する可能性が高くなることが考えられる。

次いで、降水量との関係について整理する。カビ臭発生時(カビ臭発生月の前2ヶ月含む)の月間降水量について、1981年から2010年の30年平均値(平年値)と比較した場合、約56%が平年より少ない場合に発生している傾向があった。また、平年の1.5倍を越える月間降水量があった場合に発生している事例が約16%あった。そこで短時間に強雨が発生している気候とカビ臭発生状況に関係性があるのかを明らかにするため、カビ臭発生時の月間降水量と日最大降水量との関係について整理した。なお、気象庁では、1時間雨量50mm以上80mm

未満を強い降雨として定義していることから、日最大降水量が50mm以上を強い降雨があったと判断し、東京の1981年から2010年の30年平均値である月間降水量と日最大降水量50mmと比較した場合、月間降水量の約30%となったことから、30%を判断基準とした。

日最大降水量と月間降水量を比較した場合、日最大降水量が月間降水量の約30%を超えるような降雨があった場合が約59%もあり、短時間で強い降雨があった場合にカビ臭が発生している傾向があった。つまり、カビ臭発生時の降水量との関係としては、平年より降水量が少ない時に、湖沼や河川の循環速度が遅くなり、原因物質である藍藻類等が繁殖しやすいことが要因ではないかと考えられる。また、短時間で強い降雨がある時又は平年と比較して降水量が大幅に多かった場合、ダムの底水や河床に存在していた原因生物(放線菌等)が、放流や河川流量の増加により放出されることでカビ臭が発生していることが考えられる。

続いて、日照時間との関係性について整理する。カビ臭発生時(カビ臭発生月の前2ヶ月含む)の月間日照時間について、1981年から2010年の30年平均値(平年値)と比較した場合、約57%が平年より長い場合に発生している傾向があった。

カビ臭発生時の日照時間との関係としては、平年より日照時間が長い時は、藍藻類の光合成に必要な光量を得やすいため、繁殖に適した環境になることが要因と考えられる²⁾。

最後に水温との関係について整理する。ジェオスミン及び2-MIBともに、水温ピーク付近から下がり始める時期まで観測される傾向にあった。また、水温は20°C以上の高水温期に発生する傾向を示したが、2-MIBについては15°C付近での発生も見られた。ジェオスミンは発生してから終息までの期間が短く、2-MIBは長くなる傾向があった。

(2) 中国での湖沼対策事例調査

重点対策湖沼である太湖、滇池に着目し、近年のデータが公表されている太湖、滇池について、全窒素濃度および全リン濃度(年間平均値の全地点平均値)を日本の主な指定湖沼と比較した。太湖および滇池の全窒素濃度については、日本の印旛沼、手賀沼とほぼ同じ水準にあり、全リン濃度について、太湖は霞ヶ浦(西浦)と同じ水準、滇池は以前、印旛沼、手賀沼と同水準であったものが最近では霞ヶ浦(西浦)の水準まで急激に低減してきている。

Liuら(2015)は、滇池について水質や対策の状況の変遷についてレビューを行っている³⁾。国家の5カ年計画に対応して水質の状況および対策の実施状況を整理した内容を表1に示す。1986年から2000年にかけて水質は急速に悪化(5年間で全窒素濃度25.7%増加、全リン濃度37.8%増加)し、2001年から2010年にかけても速度は緩やかになりつつも悪化は継続した。しかしながら、2001年以降、10年間で41.8億米ドルの投資が行われ、分流式下水道の整備、河川改修、浚渫、導水、排水流入防止、生態系整備等が行われ、さらに2011年以降、5年間で67.2億米ドルの投資が行われ対策が継続された。その結果、2012年において、2010年と比較して、全窒素濃度は64.2%減少し、全リン濃度も77.2%減少した。

湖沼の水質保全対策としては、日中とも、工場排水の規制、下水道の整備、流入河川の浄化対策、浚渫、水生生物による水質浄化対策など総合的な対策が取られているが、中国における特徴的な対策として導水事業がある。導水事業は水不足の地域に水が豊富な地域の水を導水することが主目的であるものが多いが、太湖、滇池等では水質改善を目的に実施されており、重点対策湖沼である巢湖でも事業が計画されている。

太湖での導水事業としては「引江濟太」があり、長江の水を太湖に導水する事業で

ある。当初の目的は、太湖の洪水に対応するため太湖の水を排除することであったが、現在では、太湖流域の水質の悪化を緩和し、流域の水環境を改善して、水の流動速度を加速して太湖の換水周期を短縮することにある。また、滇池での導水事業として流域外の牛欄江にダムを建設し、揚程233mのポンプでダムの水を滇池流域内の河川に導水し滇池に水を送る事業がある。2007年以降、滇池は水道水源として利用されていないが、補水事業により滇池に清浄な水を補充し、滇池の水環境を改善し、昆明で水不足に陥った際に、滇池の水を都市生活用水と工業用水として供給することとしている。

以上、湖沼環境は複雑であり、水質の保全・改善には、個々の条件に対応した種々の対策を講ずる必要がある。中国においては、長年、その対策の一つとして大規模な導水事業による湖沼の水質改善が図られてきており、生態系への影響を含め知見が蓄積されつつある。

E. 結論

藻類の異常増殖等による生物障害の発生への対策に向けた情報収集を目的とし、(1)日本での過去のカビ臭発生事例及び気象データとの関連性の検証、(2)湖沼水質改善に関する中国で取組の調査を行った。

(1)全76件の事例調査結果から国内におけるカビ臭発生状況の傾向と発生要因に関わる気象条件について以下にまとめる。

- 発生物質...2-MIBが45%と最多、次にジェオスミンが29%
- 発生要因...自然発生が多い(63%)
- 発生水域...河川が42%、ダム湖が39%、池・沼が19%
- 気温...月平均気温が16℃以上
- 降水量...平年より降水量が少ない場合、また短時間で強い降雨がある場合
- 日照時間...月間日照時間が平年より長い場合

●水温...20℃以上で発生。2-MIB については15℃付近での発生も見られた。水温ピーク付近から下がり始める時期まで発生。

(2)中国における重要湖沼の水質の改善状況をみると、顕著に改善されているところがあった。その対策として工場排水の規制、下水道の整備、流入河川の浄化対策、浚渫、水生生物による水質浄化対策など総合的な対策の他に特徴的な対策として、導水事業による水質浄化事業の実施があげられた。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

1.論文発表

該当なし

2.学会発表

柳橋泰生, 楊露. 中国におけるアオコ等の水質汚濁に関する文献調査. 第53回日本水環境学会年会講演集, 甲府市, 2019.3, 同講演集, p.219.

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) 日本水道協会 : 生物起因の異臭味水対策の指針, 日本水道協会, 東京, 345p, 1999.

2) 三崎 貴弘, 土屋 十圀: 河川の光環境と濁度が付着藻類の増殖速度に与える影響に関する研究, 環境システム研究論文集, Vol.36, pp.437-444, 2008.

3) Liu W., Wang S., Zhang L., Ni Z.: Water pollution characteristics of Dianchi Lake and the course of protection and pollution management, *Environ. Earth Sci.*, Vo. 74(5), pp.3767-3780, 2015.

J. 謝辞

本研究(1)については国立保健医療科学平成30年度院水道工学研修の一部として実施し、当研修の研修生であった愛知県企業庁吹元雅崇氏、奈良県水道局西浦優己氏、横浜市水道局太田真吏男氏、神奈川県内広域水道企業団林心平氏に全面的な協力を得ました。記して謝意を表します。

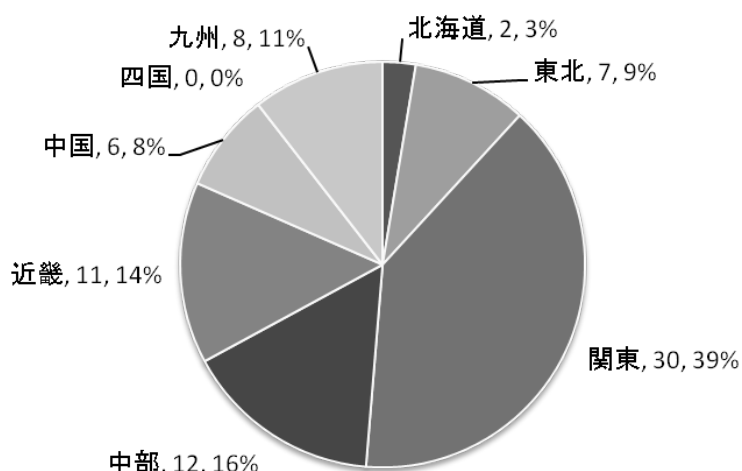


図1 文献調査で得られた全76事例におけるカビ臭発生地域の内訳

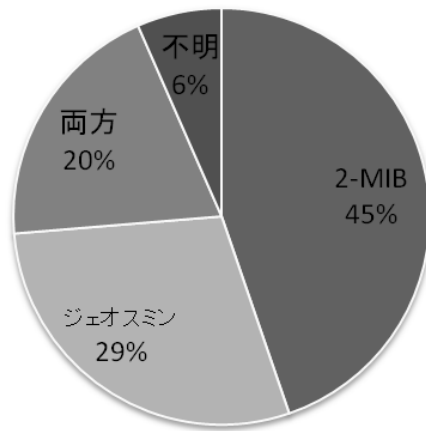


図 2 文献調査で得られた全 76 事例におけるカビ臭原因物質の内訳

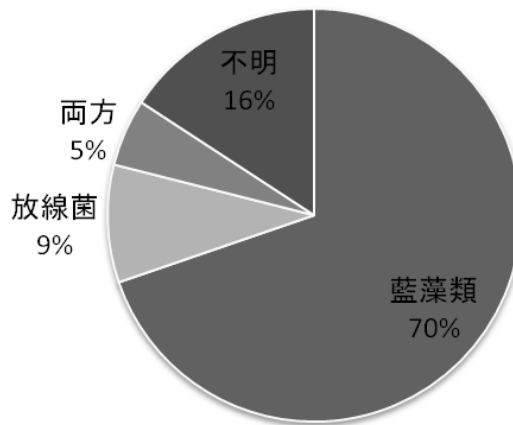


図 3 文献調査で得られた全 76 事例におけるカビ臭原因物質産生生物の内訳

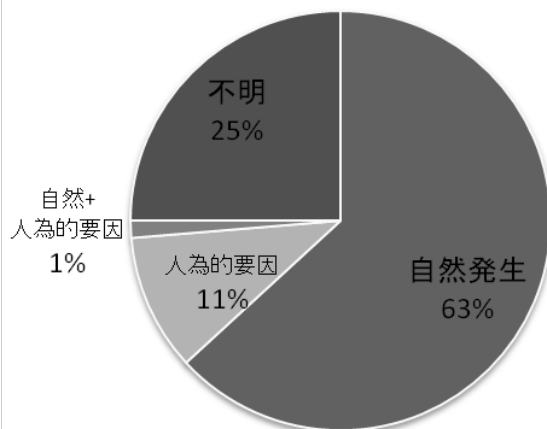


図 4 文献調査で得られた全 76 事例におけるカビ臭発生要因の内訳

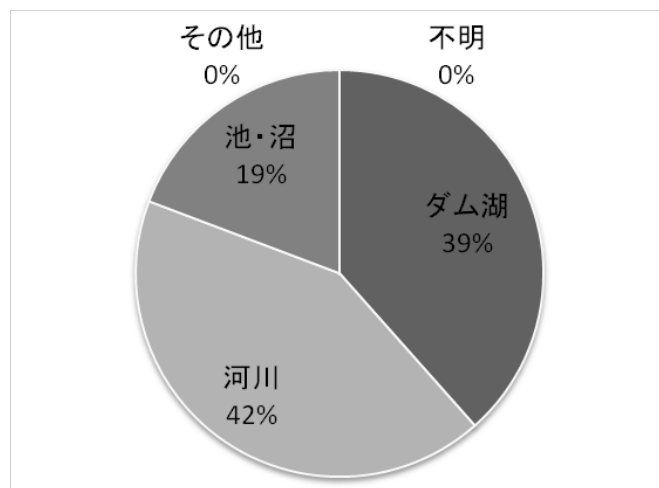


図 5 文献調査で得られた全 76 事例におけるカビ臭発生水域の内訳

表 1 滇池の水質の状況および対策の実施状況³⁾

年代	5 箇年計画	水質の状況	対策の実施状況
1986～ 2000	第7次～第9次	【急速悪化期】 ・経済の高度成長 ・点源・非点源とも増加 ・草海（昆明近傍）で5年毎にTN濃度が25.7%、TP濃度が37.8%増加	【開始期】 ・工場廃水対策の実施 ・しかし、生活廃水や非点源による汚染が増加 ・1996年、国が「三河三湖」の一つに指定
2001～ 2010	第10次～第11次	【緩速悪化期】 ・草海で5年間でTN濃度が13.4%、TP濃度が5.4%増加 ・外海（草海以外の大部分）でTN濃度が24.8%、TP濃度6.6%増加	【格闘期】 ・汚染対策に10年間で41億8千万米ドル投資 ・分流式下水道の整備、河川改修、浚渫、導水、廃水流入防止、生態系整備等
2011～ 2015	第12次	【改善予備期】 ・2012年、TN濃度3.99mg/L(64.2%減)、TP濃度0.14mg/L(77.2%減)(2010年比)	【達成予備期】 ・汚染対策に5年間で67.2億米ドル投資 ・汚濁負荷の削減強化のほか、汚染対策の新しい手法も検討

