

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：水源貯水池における障害生物の発生実態解明

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 清水 和哉 東洋大学 生命科学部 応用生物科学科 講師

研究要旨

水道システムにおいて、気候変動による環境因子の変動や水温の上昇によって、水道障害物質が、水道水質基準値を突発的かつ持続的に超える事例が発生することや障害生物が異常増殖することが危惧されている。そこで、水質年報等のパブリックデータから、生物障害の分布の変動を把握することを目的とした。その結果、かび臭物質の水道水質基準値 0.00001 mg/L (10 ng/L) を超えた水道原水は増加傾向にあり、南日本から関東北部地域までの分布であったが、2 ng/L を超える水道原水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かび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かび臭発生が北上していくと推測された。水道統計から得た粉末活性炭の年間使用量とかび臭発生頻度は正の相関関係にあり、粉末活性炭の年間使用量は増加傾向にあることがわかった。異常増殖した植物プランクトンの属・種は、N/P 比と関係があることが確認された。

A. 研究目的

我が国の水道水源のほとんどが、表流水であるため、水道水源の水質は気候変動に影響を受けやすい。そのため気候変動による環境因子の変動や気温上昇に伴う水温の上昇は、水環境生態系を構成する微生物群集構造に影響を与えるとともに微生物の水道障害物質産生の引き金を刺激し、水道水質基準値を突発的かつ持続的に超えることや障害生物が異常増殖することが危惧されている。そこで、水質年報等のパブリックデータから、生物障害の分布の変動を把握することを目的とした。

B. 研究方法

パブリックデータとして公表されている水道統計¹⁾⁻¹⁰⁾や水質年報¹¹⁾⁻²¹⁾から、生物障害発生分布を解析し、障害生物の発生実態を把握した。水資源機構の管理水源の水質年報は、植物プランクトンの異常発生の状況が記

載されているため、異常増殖した植物プランクトンが異なる水源の水質を比較解析した。対象とした生物障害は、水道統計においては、かび臭物質（2-メチルイソボルネオール（2-MIB）、ジェオスミン）とし、水質年報からは植物プランクトンの異常増殖の発生状況とした。かび臭発生分布は、水道水質基準値が 0.00001 mg/L (10 ng/L) 以下と設定されていること、2 ng/L 程度までヒトが感知できることが報告されている²²⁾ことから、水道原水のかび臭物質濃度が、それぞれの濃度を超えた陽性回数(検出数)を解析した。また、水道統計に記載されている粉末活性炭や粒状活性炭、凝集剤の年間使用量の変動を解析した。

C. 研究結果および D. 考察

1) かび臭発生の実態把握

国内外において気候変動に伴う温暖化は、水道障害生物の異常増殖の発生頻度の上昇

および非発生地域が発生地域となるリスクが高まるという報告が多くなされている²³⁾⁻²⁵⁾。日本水道協会が発行している水道統計から得たかび臭物質の検査回数（陽性回数）から検出データを解析すると、平成 19 年度以降においてかび臭物質の発生頻度が上昇していることがわかった（図 1）。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。北海道においては、昭和 26 年から平成 21 年の年平均気温を比較すると、気温が約 1°C 上昇していたことが報告されている²⁶⁾。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、かび臭物質産生微生物のかび臭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かび臭物質濃度が突発的に 10 ng/L を超えることがあると推測され、かび臭物質濃度が 10 ng/L を超える水道原水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かび臭発生は、突発的に起こる事が多いことから、かび臭物質産生に關与する引き金を明らかにし、かび臭発生予測手法の確立が希求される。

2) 浄水処理薬品の年間使用量の変動

水道統計から浄水処理に用いる薬品の使用量を解析したところ、高度浄水処理法に用いる粉末活性炭の年間使用量は増加傾向に

あり、平成 24 年度において水道用水供給事業と上水道事業の合計で、19524.68 t であった。粒状活性炭においては、年間補充使用量は若干増加したものの、年間再生使用量は減少傾向にあることがわかった（図 2）。一方、凝集剤は平成 2 年度から平成 17 年度まで増加傾向にあったが、平成 23 年度および平成 24 年度は、平成 17 年度よりも少ない年間使用量であった。従って、粉末活性炭の年間使用量とかび臭発生の増加が正の相関関係にあることがわかった。以上から、かび臭発生が頻発する傾向が継続するに伴い、粉末活性炭の年間使用量が増加し続けると推測され、浄水処理コスト面からも、水源現場で実施可能なかび臭発生抑制手法の構築が期待される。

3) 植物プランクトンと水質との関係

植物プランクトンの異常増殖は、水温や窒素およびリンが関連していると広く知られている。原核生物である藍藻類によるアオコが広く知られているが、同様に真核生物である藻類による淡水赤潮も水道障害生物として大きな問題となっている。植物プランクトンの発生状況を水資源機構が公表している水質年報から解析すると、平成 15 年度から平成 25 年度までの期間において、生物障害を引き起こす植物プランクトンの異常発生が毎年報告されており、アオコのみならず淡水赤潮が決まった水源において頻発していた。淡水赤潮の主な原因生物は、*Peradinium bipes* であったが、一部水源においては、生ぐさ臭の原因生物である *Uroglena* sp. も観察された。淡水赤潮は全国的に分布しているが、水資源機構の管理水源に限定すると淡水赤潮発生水源は、吉野川水系に多くみられた。淡水赤潮の発生水源の例として吉野川水系である早明浦ダム、アオコの発生水源の例として利根川・荒川水系である霞ヶ浦として、それぞれ総窒素（TN）および総リン（TP）それらの比（TN/TP 比）を比較解析した。TN および TP は霞ヶ浦の方が高い値を示したが、TN/TP 比は低い値を示した。N/P 比が、植物プランクトンの優占に關連するという報告と同様となった²³⁾。近年の霞ヶ浦の TN/TP 比が、平成 15 年度および平成 16 年度の早明浦ダムの値と同程度を示す時期もあったが、淡水赤潮の発生は記載されていなかった。つまり、TN/TP 比や水温のみならず、植物プラ

ンクトン相を含む微生物群集構造の違いが、異常増殖する植物プランクトンの属・種に影響を与えたと考えられた。水道システムにおける生物障害への対応を強固とする生物障害原因生物群の異常増殖や障害物質の発生予測手法の確立のために、窒素やリンといった環境化学的調査データの継続的取得のみならず、顕微鏡観察や分子生物学的解析による生物種の同定・定量データの継続的取得が必須である。加えて、障害生物の代謝制御系のうち、障害物質産生に関与する引き金の機構解明および障害生物の異常増殖に関連する微生物群集構造等に立脚した種間相互作用の解明が重要である。

E. 結論

水道障害生物は、特定の汚濁源を有しない場合においても細胞密度が極めて低いながらも水環境中に生息していることが知られている。特に、かび臭物質産生原因となる放線菌は、底質中に広く分布している。室内実験研究から気候変動による様々な環境因子の変動や温暖化の進行に伴う水温上昇によって、植物プランクトンの異常増殖やかび臭物質等の二次代謝産物の産生が活発化することが考えられている。本研究成果から、水道水質基準値を超えるかび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。水道障害生物である植物プランクトンの発生については、異常増殖が確認された生物が、規模に関わらず、ほぼ毎年継続的に観測されることがわかった。また水道障害は、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。以上から、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。

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

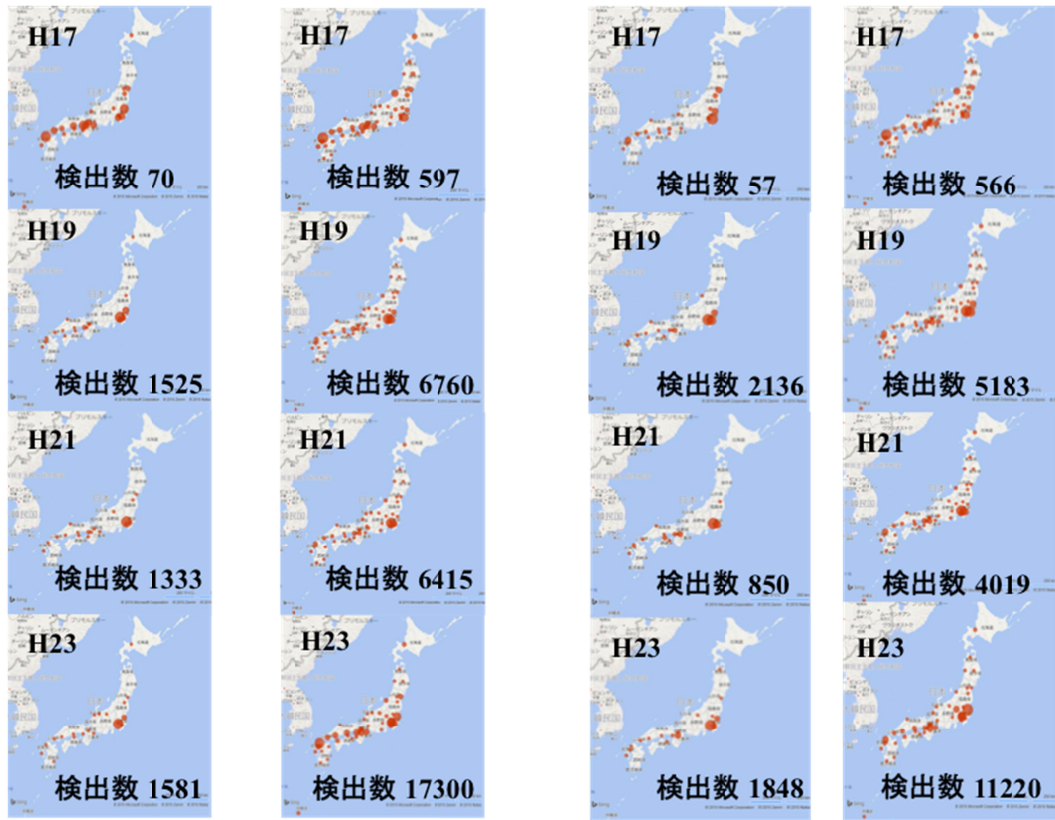
I. 参考文献

- 1) 日本水道協会 (1990) 平成 2 年度水道統計 施設・業務編 . 日本水道協会, 東京.
- 2) 日本水道協会 (1995) 平成 7 年度水道統計 施設・業務編 . 日本水道協会, 東京.
- 4) 日本水道協会 (2000) 平成 12 年度水道統計 施設・業務編 . 日本水道協会, 東京.
- 5) 日本水道協会 (2005) 平成 17 年度水道統計 施設・業務編 . 日本水道協会, 東京.
- 6) 日本水道協会 (2005) 平成 17 年度水道統計 水質編 . 日本水道協会, 東京.
- 7) 日本水道協会 (2011) 平成 23 年度水道統計 施設・業務編 . 日本水道協会, 東京.
- 8) 日本水道協会 (2011) 平成 23 年度水道統計 水質編 . 日本水道協会, 東京.
- 9) 日本水道協会 (2012) 平成 24 年度水道統計 施設・業務編 . 日本水道協会, 東京.
- 10) 日本水道協会 (2012) 平成 24 年度水道統計 水質編 . 日本水道協会, 東京.
- 11) 水資源機構 (2003) 平成 15 年水質年報. 水資源機構, 埼玉.
- 12) 水資源機構 (2004) 平成 16 年水質年報. 水資源機構, 埼玉.
- 13) 水資源機構 (2005) 平成 17 年水質年報. 水資源機構, 埼玉.
- 14) 水資源機構 (2006) 平成 18 年水質年報. 水資源機構, 埼玉.
- 15) 水資源機構 (2007) 平成 19 年水質年報. 水資源機構, 埼玉.

- 16) 水資源機構 (2008) 平成 20 年水質年報.
水資源機構, 埼玉.
- 17) 水資源機構 (2009) 平成 21 年水質年報.
水資源機構, 埼玉.
- 18) 水資源機構 (2010) 平成 22 年水質年報.
水資源機構, 埼玉.
- 19) 水資源機構 (2011) 平成 23 年水質年報.
水資源機構, 埼玉.
- 20) 水資源機構 (2012) 平成 24 年水質年報.
水資源機構, 埼玉.
- 21) 水資源機構 (2013) 平成 25 年水質年報.
水資源機構, 埼玉.
- 22) Young W.F., Horth H., Crane R., Ogden T.,
and Arnott M. (1996) Taste and odour
threshold concentrations of potential
potable water contaminants. *Water
Research* 30(2), pp.331-340.
- 23) 藤本尚志, 福島武彦, 稲森悠平, 須藤隆
一 (1995) 全国湖沼データの解析による
藍藻類の優占化と環境因子との関係.
水環境学会誌, 18(11), pp. 901-908.
- 24) Paerl W. H. and Huisman J. (2008) Blooms
like it hot. *Science* 320, p. 57
- 25) Paerl W. H. and Paul J. V. (2012) Climate
Change: links to global expansion of
harmful cyanobacteria. *Water Research*
46(5), pp. 1349-1363.
- 26) 気象庁札幌管区气象台、函館海洋气象台
(2010) 北海道における気候と海洋の変
動. 気象庁札幌管区气象台, 北海道.

J. 謝辞

本研究を展開するにあたり、資料の提供ならびに適切なるご助言を賜った、国立保健医療科学院田中和明氏、水資源機構ダム事業本部太田志津子氏に対し深甚なる謝意を表する。



原水ジェオスミン濃度 10 ng/L超

(a) ジェオスミン濃度の動態と分布

原水2-MIB濃度 10 ng/L超

(b) 2-MIB 濃度の動態と分布

図1 水道原水におけるかび臭物質濃度の動態と分布

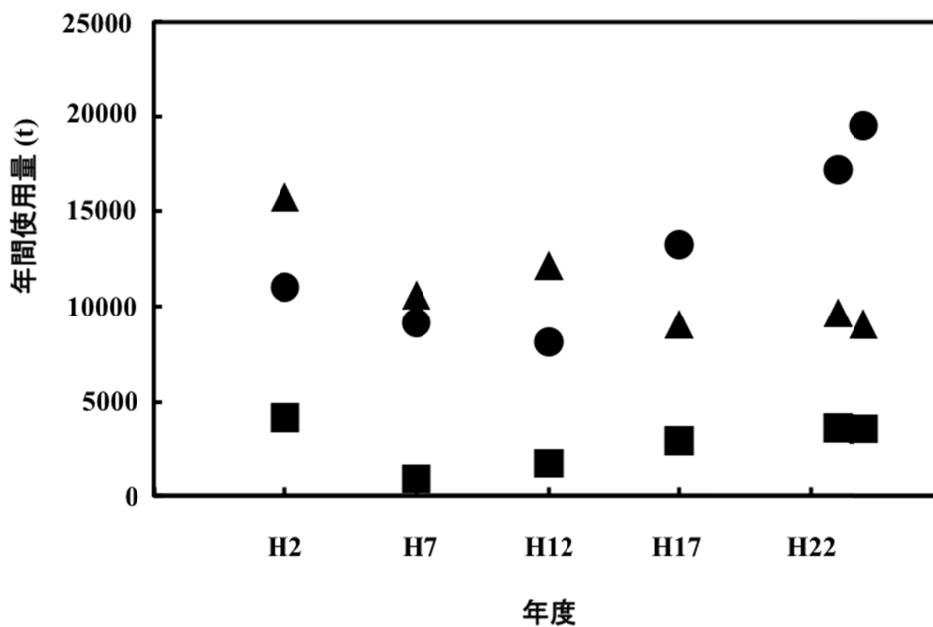


図2 粉末活性炭および粒状活性炭の年間使用量の変動

は粉末活性炭年間使用量、 は粒状活性炭の年間再生使用量、 は粒状活性炭の年間補充使用量を示す。