令和6年度 水質保全研究助成 成果報告会

発表者資料

〔令和7年3月14日〕



目 次

| 1. | 琵琶湖で新たにブルームを形成す るようになった微細藻類の分類学 的・水処理生物学的研究 | 滋賀県立琵琶湖博物館 大塚 泰介 総括学芸員 | 1- | 1 ≀ 12 |
|----|--|----------------------------------|----|--------------|
| 2. | 近年の温暖化が琵琶湖北湖の溶存 メタン動態に与える影響の解明研 究 | 京都大学生態学研究センター 中野 伸一 教授 | 2- | 1 ≀ 10 |
| 3. | 琵琶湖・瀬田川流域における抗菌薬 による水環境汚染の実態解明 | 立命館大学(総合科学技術研究機構) 澤田 和子 専門研究員 | 3- | 1 ≀ 8 |
| 4. | 水道原水中に含まれる溶存有機物 間の相互作用と窒素系消毒副生成 物の生成特性 | 京都大学大学院 地球環境学堂 多田 悠人 助教 | 4- | 1 1 12 |
| 5. | 淀川流域下水オゾン処理場における 定期調査とリアルタイム水質を用いた 省エネルギーな制御法の開発 | 京都大学大学院 地球環境学堂 川口 康平 特定助教 | 5- | 1 ≀ 9 |

令和7年3月7日版

琵琶湖で新たにブルームを形成するようになった微細藻類の 分類学的・水処理生物学的研究

滋賀県立琵琶湖博物館 大塚 泰介 総括学芸員



品間湖周辺に生息する日本一長~いミミズⅠハッタミミズを大... ● markee UpCathtraff PLFA DEBandWebELLE1 201540001



大塚泰介 根来 健 (琵琶湖博物館)

おしながき

- 1. 研究目的
- 2. 研究方法
- 3. この3年間で論文を出版できた種 Raphidiopsis raciborskii, Fragilaria longifusiformis ssp. eurofusiformis, Cymbella compactiformis, Cymbella janischii
- 4. 一定の進展はあったものの論文報告に至らな かった種

Dolichospermum minisporum sensu Ohtsuka *et al.,* Uroglenopsis sp., Discostella sp., Achnanthidium catenatum, Sellaphora constricta

- 5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討
- 6. プランクトン図鑑の作成
- 7. 今後の課題
- 8. 本研究と関連した成果公表(2024年度分)

1. 研究目的

- 今世紀に入って新たに琵琶湖および内湖 でブルームを生じるようになった微細藻 類のいくつかについて
 - ▶形態、遺伝子、発生状況などの基本 情報を解明
 - ▶浄水場などへの影響を検討
- ・琵琶湖博物館で作成を進めているプラン クトン図鑑に、当該種の基本的情報を掲 載する。
- さらに琵琶湖集水域で最近になって見られるようになった付着藻類のうち、HAB (有害藻類ブルーム)を引き起こす恐れがある種についても、同定して出現状況を報告する。

- 烏丸半島(琵琶湖南湖東岸)および西の 湖でプランクトンネットおよび採水に よってプランクトンを定期的に採集する。
- 関係者から寄せられた情報を手がかりに、 サンプルをいただいたり現地に採集に 行ったりして追加材料を集める。
- 珪藻についてはクリーニングをして殻だけにした上で、光学顕微鏡および走査電子顕微鏡で形態観察する。
- 同定が困難な場合には十分な文献調査を 行った上で、専門家に同定を依頼する。
- 必要に応じて単離培養を行い、国立科学 博物館の辻 彰洋博士に送って遺伝子(主 にrbcL)解析を行って同定を確認する。

2. 研究方法

3. この3年間で論文を出版できた種

- *Raphidiopsis raciborskii*は、2022年11月にに近畿圏で初めて琵琶湖博物館生態観察池で見つかり、同年秋と翌2023年夏に大発生した。しかし2024年に行われた池干しによってほとんど出現しなくなった。
- Cymbella janischiiは、2022年5月に近畿圏で初めて 安曇川の朽木地域で見つかった。しかしそれ以 降も分布は狭い範囲に留まり、他地点への拡散 は認められていない。
- Fragilaria longifusiformis ssp. eurofusiformisは、 2021-22年冬に琵琶湖南湖および西の湖でUlnaria japonicaに次ぐ優占種となった。2024年1月にも 南湖で増加したが、この際に濾過閉塞障害は起 こらなかった。
- Cymbella compactidformisは、2020年頃から天野川 や犬上川などで目立ってきた。しかし今のところ、本種を優占種とする付着珪藻ブルームは観察されていない。



4.一定の進展はあったものの論文報告に至らなかった種(1)



- ・ 琵琶湖で2020年から出現している *"Dolichospermum minisporum"*は、辻彰 洋らの遺伝子解析によって別属である 可能性が示された。しかしその後、詳 細な検討はできていない。
- 琵琶湖のウログレナには複数種が混在している疑いがかけられた。しかし複数の場所で採集された多様な形態の100群体のrbcL遺伝子を解析したところ、全て同種で遺伝的変異もほとんどないことが明らかになった。ただし本種はUroglenopsis americanaよりUroglenopsis botrysに近縁な、おそらくは新種である(投稿準備中)。
- ・ 琵琶湖南湖では2024年11月から2025年 2月にかけてまとまった量のウログレ ナが発生し、12月上旬にはもう少しで 赤潮になるレベルにまで増加した。



4. 一定の進展はあったものの 論文報告に至らなかった種 (2)

- 琵琶湖南湖で冬期に優占することがある直径3~5µmの超 小型円盤形珪藻は、Chang & Chang-Schneider (2008)が Discostella nana (Hustedt) T.P.Changの組み替え論文で示し た電子顕微鏡写真と形態がよく一致した。しかし本種の 条線は光学顕微鏡下でも十分に解像可能であるのに対し て、Hustedt (1957)の原図には条線が描かれておらず、 Simonsen (1987)が示したタイプ写真でも、原記載と形態 的に一致するものは条線がずっと細かいので、別種の可 能性が高い。単離培養による遺伝子の調査に成功してい ないため、未だ新種記載に踏み切れず。
- 琵琶湖博物館生態観察池で発生していたAchnanthidium catenatumは、2024年に池干しを行った後、ほとんど発生していない。報告論文の執筆に必要な情報が揃っているが、まだ執筆に取りかかれていない。
- 犬上川と堅田内湖から見つかり、当初*Sellaphora tanghongquii*としていた珪藻は、後の文献調査で *Sellaphora constricta*が正名であることが明らかになった。 現在、九州からの出現報告と併せて報告論文を執筆中で ある。

5. 「微小円盤状珪藻| 定量方法

の検討(1)問題の所在









- 根来健は、冬期に琵琶湖南湖あるいは北湖港湾部などで、直径3~5 μm の微小な円盤形珪藻が10⁴ cells/mlオーダーで優占していることを発見 した。そして冬期、ピコプランクトンの発生が少ない時期にしばしば 起こる濾過漏出障害の原因になっていることを示唆した。
- 本種はDiscostella属の、おそらくは新種であることが明らかになった。
- しかし本種はあまりに小さいため、通常のプランクトン計数板を用いて100~200倍で観察しても、ほぼ確実に見逃される。
- 一方、ピコプランクトンが濾過漏出障害を起こすときと比べて細胞数が1桁以上少ないので、ピコプランクトンの計数法も検出に向かない。
- それではどのようにすれば、本種のような微小珪藻を確実に定量する ことができるだろうか?
- そこで、2025年2月27日に烏丸半島前の琵琶湖南湖で得た試水を材料として、3つの計数方法による定量結果の比較検討を試みた。



パソコン上で撮影された像に含まれる珪藻の被殻を
 同定計数する。

1-5



- 試水をプランクトン計数 板(松浪硝子工業)に注 ぎ、倒立顕微鏡のステー ジ上に30分間静置する (珪藻を全て底まで沈め るため)。
- 倒立顕微鏡で40倍の対物 レンズを用い、適当に間 隔をあけながら、0.5 mm×0.5 mmのマス目内 に殻の中心がある珪藻を 全て同定計数していく。



5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (5)微分干渉顕微鏡×セキスイ検鏡プレートによる定量

- 試水6本の遠沈管に試水10 mlずつ を注ぎ、自動遠心分離機で450Gで 3分間遠心分離した後、手回し遠 心分離機で約250Gで1分間遠心分 離して上澄みを捨てる。沈殿物を 滅菌濾過した湖水で洗い、1本の セキスイ検鏡プレート(積水マテ リアルソリューションズ)に注ぎ、 倒立顕微鏡のステージ上に30分間 静置する(珪藻を全て底まで沈め るため)。
- 倒立顕微鏡で40倍の対物レンズを 用い、適当に間隔をあけながら、
 0.5 mm×0.5 mmのマス目内に殻の 中心がある珪藻を全て同定計数す る。



5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (6)SEM 2000倍で見える世界

- SEM、2000倍で撮影した写真では、
 同定形質が概ね写り込んでいるため、
 小型円盤型珪藻の
 同定が可能になる。
- ただし生細胞については殻の裏面が観察できないので、同定に迷うことがある。



5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (7)割れた珪藻の殻をどう扱うか?

- SEM観察では試料処理の際に濾 過と乾燥を行うため、硬い殻を もたない藻類はほぼ観察できな い。
- そして珪藻についても、変形したり割れたりしたものが数多く 観察される。
- そこで今回、変形したり割れたりしていても被殻の全体が残っているものは計数し、ごく一部でも欠けているものは計数しなかった。

計数した







- 5.「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (8) SEM 1000倍での観察および水凍結乾燥法
- 倍率を1,000倍に下 げると観察時間を大 幅に短縮できるが、 もはや小型円盤型珪 藻の同定形質は写り 込んでいない。
- 潰れやすい藻類を計 数するために水凍結 乾燥法によるプレパ レーションも試みた が、藻類が周縁部に かたまってしまった ため断念。



5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討(9) 倒立顕微鏡400倍で見える世界

 これは観察視野 (直径約600 µm) の1/4程度を撮影 したものだが、ど こにDiscostella sp. が写っているか、 わかるだろうか?





5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (11)計数結果の比較

SEMによる定量

| 種 | カウント ^{細」} (c | 抱密度 ells/μl) |
|---|--------------------------|------------------|
| Discostella sp. | 33 | <mark>4.0</mark> |
| Discostella woltereckii? | 1 | 0.1 |
| Stephanodiscus minutulus | 11 | 1.3 |
| Stephanodiscus hantzschii f. tenuis | 2 | 0.2 |
| Stephanodiscus bideranus var. oestrupii | 27 | 3.3 |
| Cyclostephanos dubius | 7 | 0.8 |
| Cyclostephanos invisitatus | 9 | 1.1 |
| Cyclotella atomus | 1 | 0.1 |
| (他の円盤形珪藻計) | 58 | 7.0 |
| Aulacoseira ambigua | 3 | 0.4 |
| Asterionella formosa | 1 | 0.1 |
| <i>Fragilaria</i> sp. | 1 | 0.1 |
| Staurosirella sp. | 2 | 0.2 |
| Sellaphora pupula | 1 | 0.1 |
| Achnanthidium sp. | 1 | 0.1 |
| Nitzschia draveillensis | 1 | 0.1 |
| Nitzschia fonticola | 1 | 0.1 |
| Sellaphora saugerresii | 2 | 0.2 |
| Sellaphora nigri | 1 | 0.1 |

倒立顕微鏡による定量

| 分類群 | カウント ^{細川} | 抱密度 ells/µl) |
|--------------------------|--------------------|------------------|
| Discostella sp. | 22 | <mark>1.8</mark> |
| (他の円盤形珪藻) | 34 | 2.7 |
| Asterionella formosa | 4 | 0.3 |
| Aulacoseira pusilla | 4 | 0.3 |
| Nitzschia subacicularis? | 2 | 0.2 |
| Nitzschia sp. | 1 | 0.1 |
| Komma? | 4 | 0.3 |
| Trachelomonas? | 1 | 0.1 |
| Pseudanabaena sp. | 23 | 1.8 |

微分干渉顕微鏡による定量

| 分類群 | カウント 細胞和 (cells | 密度 s/µl) |
|----------------------|--------------------|------------------|
| Discostella sp. | 34 | <mark>3.9</mark> |
| (他の円盤形珪藻) | 23 | 2.6 |
| Asterionella formosa | 5 | 0.6 |
| Fragilaria sp. | 2 | 0.2 |
| Pinnularia sp. | 1 | 0.1 |
| Chroomonas? | 1 | 0.1 |
| Komma? | 1 | 0.1 |
| Monoraphidium? | 1 | 0.1 |
| 球形の緑藻 | 1 | 0.1 |



6. プランクトン図鑑の作成 (2) 琵琶湖でアオコをつくるラン藻

これまでの文献調査と遺伝子に基づく検討、そして撮りためた写真の精査により、琵琶湖および集水域ではガス胞をもつ浮遊性ラン藻が少なくとも24種発生してきたことが明らかになった。

| Dolichospermum affine | " Dolichospermum minisporum" | " Planktothrix pseudagardhii" |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| D. crassum | Sphaerospermopsis eucompacta | Microcystis aeruginosa |
| D. flos-aquae | S. oumiana | M. flos-aquae |
| D. hangangense | Raphidiopsis raciborskii | M. ichthyoblabe |
| D. mucosum | Aphanizomenon flos-aquae | M. novacekii |
| D. smithii | Cuspidothrix issatschenkoi | M. smithii |
| D. ucrainicum | Oscillatoria kawamurae | M. viridis |
| D. sp. cf. circinale | Planktothricoides raciborskii | M. wesenbergii |

ただしその多くが、発生終期になって異形細胞やアキネートが成熟したり、群体 が成長するのを待たないと同定できないーミネルヴァの梟は黄昏時に飛び立つ

7. 今後の課題

- ・近年になってふえはじめた微細藻類の可及的速やかな同定と情報提供
 ▶論文執筆が追い付いていない。寄せ手(共同研究者)を求む!
- 水道生物としての有害種の増加を手早く検出する技術の確立
 - ➤ Dolichospermumのカビ臭物質生成種あるいは有毒種を、アキネートが 発達しない初期に類似種と区別する技術の開発(顕微鏡観察か、遺伝 子検査か?)
 - ➤ Discostella sp.のようなナンノプランクトン下限に近いサイズの微細藻 類が、濾過漏出障害が起こるレベルで増えてきたときに、いち早く検 出する技術の開発(常にバックグラウンドで少し出現しているのであ る程度の定量性が必要)
- 技術講習と電子図鑑の整備
 - ▶ 水処理生物基礎講座との連携
 - ▶ 電子図鑑「琵琶湖のプランクトン」の公開(5月までにアオコの原因 となるラン藻全種を公開予定)
- 次世代の「形態も分子もできる」微細藻類研究者・技術者の育成

8. 本研究と関連した成果公表(2024年度分)

学会発表など

根来健. 浄水処理(水道)と珪藻類. 日本珪藻学会第45回大会 公開シンポジウム「珪藻と社会」、2024 年6月23日、酪農学園大学.

根来健・大塚泰介.プランクトンの変動.令和6年度日本水産学会秋期大会水産環境保全委員会企画研究 会琵琶湖における環境変動と漁業生産の変化:瀬戸内海と比較して考える、2024年9月27日、京都大学.

根来 健. 環境調査において過小評価される淡水産浮遊珪藻とその特性. 日本珪藻学会第43回研究集会 公開シンポジウム「珪藻が出ない!」、2024年10月20日、琵琶湖博物館.

 一瀬 諭・根来 健・大塚泰介・辻 彰洋. 琵琶湖南部・瀬田川に突然出現した Coronia echeneis (Ehrenberg ex Kützing) Ehrenberg について. 日本水処理生物学会第60回大会、2024年11月3日、姫路市市民会館.

- 根来健・大塚泰介. 琵琶湖で再増殖し始めた直鎖型 Aulacoseira ambigua. 日本水処理生物学会第60回大会、 2024年11月3日、姫路市市民会館.
- 根来健・大塚泰介. 滋賀県安曇川中流域で増殖を始めた外来性ミズワタクチビルケイソウ. 日本陸水学 会近畿支部会第36回研究発表会、2025年3月8日、京都大学.

大塚泰介. 珪藻の固有種と外来種 外来種の増加は人新世の現象か?2025年日本プランクトン学会春季シンポジウム「珪藻研究の最前線」、2025年3月16日、東京海洋大学.(予定)

雑誌記事

大塚泰介・辻 彰洋 (2024) 外来珪藻はなぜ次々と見つかるようになったか?月刊海洋 56(10): 675-685.

新聞記事

大塚泰介 (2024)植物プランクトンの盛衰①~④. ビワハツ 琵琶湖博物館研究だより. 朝日新聞滋賀版 (2024年4月7日、21日、5月5日、19日)

書籍

石上三雄・一瀬諭・大塚泰介 (2024) びわ湖のプランクトン フォト&ムービー. 文理閣

琵琶湖の小さな生き物を観察する会(編) (2025)ミクロの世界にようこそ 琵琶湖博物館マイクロアクア リウムから. 京都新聞出版センター (3月末刊行予定) 近年の温暖化が琵琶湖北湖の溶存メタン動態に与える影響の解明研究

京都大学生態学研究センター 中野 伸一 教授 (代理発表:立命館大学 池谷 透 授業担当講師)

2025年3月14日

近年の温暖化が 琵琶湖北湖の溶存メタン動態 に与える影響の解明研究

京都大学生態学研究センター

池谷 透(立命館大学理工学部)

0 - 本年度の成果報告

- 底層の溶存メタンの国内湖沼間比較 (琵琶湖のメタン動態の特徴)
- 深層溶存メタン動態の変動要因の検討
 (深層における変動の内部要因・外部要因)
- 琵琶湖のメタン動態形成要因に関する課題































16 - まとめと課題

- ✓ 国内湖沼間比較 (特に底層)溶存メタン濃度の低さが琵琶湖の特徴
- 富栄養化レベル(溶存有物濃度)が低いことが溶存メタン濃度の一義的要因と考えられる
- 国内最大水深ながら湖盆形状は大気や沿岸堆積物の影響を受けやすいすり鉢状
 2000年以降、水温上昇・貧酸素化の影響は強くなっているが、溶存メタン濃度は低い状態が持続 … 大きな謎 集水域の農業活動(硫安などの施肥)から琵琶湖に供給される硫黄・窒素が(嫌気性)メタン酸化容量を上げている?
 水温上昇によって沿岸堆積物でも嫌気度が高まり、硫酸還元の影響で湖盆全体の硫酸塩濃度は低下傾向 姉川沖などでは波動や水温変化による擾乱によって堆積物(間隙水成分)の浮上・拡散が促進されている?
- ✓ 琵琶湖の深層メタン動態の内部変動要因と外部変動要因について
 2023年までの細菌組成の詳細解析を実施
 - メタン代謝活性が低い訳ではなく、深層の溶存酸素低下時に(好気性)メタン酸化細菌群 と(嫌気性)メタン酸化に関連する硫酸還元菌の増加を確認(2019・2020年) 2000年以降、水温上昇・貧酸素化の影響は強くなっている(内部変動要因-1)
 - メタン濃度の年々変動が季節躍層を隔てた表層と深層で同期(2017-2024年) 晩秋期に水温低下によって密度流が沈降?(2017年)(外部変動要因-1) 細菌捕食者によってメタン酸化細菌密度が制御(内部変動要因-2)

| 17 - まとめと課題 - 2 |
|--|
| ✓ 2019-2020年に沖合湖底境界層でメタン酸化が促進 ● メタン生成抑制なのか、(嫌気性)メタン酸化促進なのか?(内部要因形成) メタン酸化細菌によって硫化水素が蓄積せずに硫酸還元菌が硫酸還元反応でメタン酸化の電子受容体供給が持続していることが重要? |
| 沿岸堆積物の嫌気状態がメタン動態と水質形成にどのように影響しているか?(外部要因形成) 2023年の沖合表層で硫酸還元菌が増加傾向を示したこととの関係(水温上昇の影響?) 「河川水」・「沿岸堆積物境界層」・「沖合表層」・「沖合深層」までをつなぐ細菌群・硫黄同位体比・溶存メタン共存 因子(アルミニウム・キレート複合体?)の分析・検討が必要 |
| ✓ 琵琶湖のメタン動態の形成要因に関する課題 ● 姉川沖で確認された沿岸堆積物からの拡散促進のメカニズム? |
| 琵琶湖水温上昇の将来予測と晩秋期の密度流形成量の関係についての検討 メタン酸化細菌の捕食によって高次栄養段階に炭素がどの程度転送されている? (バルク炭素同位体比による栄養段階解析を予定) |
| ● 沖合底層からの拡散と密度流沈降によって沿岸底層から深層に流入する溶存メタンの行方の検討 |

琵琶湖・瀬田川流域における抗菌薬による水環境汚染の実態解明

立命館大学(総合科学技術研究機構) 澤田和子專門研究員



| 本研究の対象抗菌薬 | | | | |
|--------------------------------|--|---|--|--|
| 结菌薬 | エリスロマイシン (EM) | リンコマイシン (LCM) | レボフロキサシン(LVFX) | |
| 加图米 | マクロライド系 | リンコマイシン系 | ニューキノロン系 | |
| 構造式 | Он 環境リスク H ₃ C OH OH OH <td></td> <td></td> | | | |
| 分子式 | C ₃₇ H ₆₇ NO ₁₃ | C ₁₈ H ₃₄ N ₂ O ₆ S | C ₁₈ H ₂₀ FN ₃ O ₄ | |
| 分子量 (g/mol) | 733.93 | 406.54 | 361.38 | |
| 抗菌スペクトル | グラム陽性菌、マイコプラズマ | グラム陽性菌 | グラム陽性菌、陰性菌、マイコプラズマ、 緑膿菌 | |
| 作用機序 | リボソーム50Sサブユニットに作用し て、タンパク質合成を阻害 | リボソーム50Sサブユニットに作用し て、タンパク質合成を阻害 | DNAの複製を阻害 | |
| 販売量(2005~2021年) | 17~107 t/年 | 21~48 t/年 | 17~20 t/年 (2002) (八十島ら, 2004) | |
| 予測環境中濃度(PEC)/ 予測無影響濃度(PENC) | 0.08 | 0.12 | リスクなし (八十島ら, 2004) | |
| | | | | |

研究目的
 ✓ 水環境中に残存し易いと推定されるEM、LCMおよびLVFX
 を対象として、水環境中の実態を明らかにする

<complex-block>tintered by the series of t

3-2





3-3









まとめ

<u>濃度</u>

- 水試料中のEMおよびLCM濃度は8月、10月に広範囲で検出される傾向
- SS試料中からEMおよびLCMが検出された地点において、半数が水試料からは未検出の地点だった
- LVFXは特定の時期・場所で検出される傾向

<u>耐性菌</u>

- EMおよびLCM耐性菌は時期によらず河川・湖水中の広範囲に一定数存在
- LCM耐性菌は50%以上を超える地点が8月、10月に集中→LCM濃度も8月、 10月に検出される傾向
- LVFX耐性菌は調査水域の北部エリア(野洲川から葉山川)で検出

河川・湖水中の抗菌薬は季節依存的に発生するのではなく、使用した時期・エリ アで検出され、水試料中やSS濃度が低くても、SSに吸着した抗菌薬が下流域 に流下している可能性がある

14

謝辞

本研究は、令和5年度、令和6年度公益財団法人琵琶 湖・淀川水質保全機構水質保全研究助成による助成を 受けて実施しました。 ここに記して謝意を表します。 水道原水中に含まれる溶存有機物間の相互作用と窒素系消毒副生成物の生成特性

京都大学大学院 地球環境学堂 多田 悠人 助教

琵琶湖・淀川水質保全機構 令和6年度 水質保全研究助成 成果報告会

水道原水中に含まれる 溶存有機物間の相互作用と 窒素系消毒副生成物の生成特性

京都大学大学院地球環境学堂 多田悠人、越後信哉

背景:水道水中の消毒副生成物とは?

何を, どこまで, どうやって制御するのか

4-1

*所属研究室で行われた研究(未発表データ)

Δ

背景: 消毒副生成物の生成経路

背景: 琵琶湖・淀川水系中の水道原水の特性1)

1) 越後信哉:琵琶湖・淀川水系における超親水性溶存有機物の化学的描像,令和3年度 水質保全研究助成

h

7

窒素化合物存在下における 含窒素消毒副生成物の生成特性の把握

 (課題1)
 モデル物質を用いた、3分子以上が関与するDCANの 反応経路に関する検討

●(課題2) 琵琶湖・淀川水系の環境水の塩素処理によるDCANの 生成特性

(課題1) モデル物質を用いた、3分子以上が 関与するDCANの反応経路に関する検討

9

実験方法: モデル物質

※フェノールのみアンモニア濃度を0-3 mg N/Lの複数段階に設定

実験方法: 塩素処理

京都大学大学院 地球環境学堂 多田 悠人 助教

10

11

反応経路に関する考察

(課題1) まとめ

- ●構造内に窒素を含まない溶存有機物も、含窒素物質の共存下 でDCAN前駆物質になり得る。
- ●含窒素物質はDCANの生成を促進もしくは低減どちらにも 作用する。
- DCAN生成量への影響は、物質の種類および濃度によって 変化し、詳細な反応経路の解明には、さらなる研究が必要で ある。

(課題2) 琵琶湖・淀川水系の環境水の 塩素処理によるDCANの生成特性

実験方法: 対象試料

琵琶湖南湖水(大津港で採取)

●下水処理場の放流水(放流口で採取、A, B, Cとする)
 溶存有機炭素・窒素, アンモニア態窒素: A < B < C

| | 琵琶湖南湖水 | А | В | С |
|---------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 採水日 | 2024/11/21 | 2024/8/22 | 2024/8/22 | 2024/8/22 |
| DOC(mg/L) | 1.5 | 2.1 | 2.2 | 3.9 |
| DON (mg N/L) | 0.15 | 0.19 | 0.27 | 0.45 |
| NH₃ (mg N/L) | 0.11 | 0.06 | 0.13 | 0.38 |
| NO ₂ ⁻ (mg N/L) | 検出されず | 検出されず | 検出されず | 検出されず |
| NO ₃ - (mg N/L) | 0.03 | 3.8 | 4.1 | 4.5 |

17

結果と考察:DCAN生成量

21

(課題2) まとめ

- ●非窒素含有物質も環境水の影響を受けて、DCANの前駆物質 となり得る。
- ●溶存有機炭素・窒素,アンモニア態窒素の濃度が高い試料ほど、フェノールのDCAN生成を促進する。
- ●アニリンのDCAN生成量に与える影響は、環境水によって異なり、影響因子の複雑さが示された。
- アンモニウムイオンの影響は、溶存有機炭素濃度の高い試料
 ほど影響を受ける可能性が示された。

本研究のまとめ

- ●モデル物質を用いた塩素処理により、構造内に窒素を含 まない溶存有機物も、含窒素物質の共存下で窒素系消毒 副生成物の前駆物質になり得ることを示した。
- ●これら反応が琵琶湖・淀川水系中の環境水でも成立する
 ことを示した。
- ●DCANの生成には多種多様な因子が複雑に影響を与えて おり、生成量の変化要因を特定するには、さらなる研究 が必要である。

淀川流域下水オゾン処理場における定期調査と リアルタイム水質を用いた省エネルギーな制御法の開発

京都大学大学院 地球環境学堂 川口 康平 特定助教

淀川流域下水オゾン処理場における定期調査 とリアルタイム水質を用いた省エネルギーな 制御法の開発

〇川口康平1) 山部海2)

1) 京都大学大学院地球環境学堂

2) 京都大学工学部

研究背景

大腸菌はオゾンにより容易に不活化されるが、 処理場の水質試験年報の大腸菌群の除去率はそこまで高くない。

〇本研究の第1回目採水の実験結果(オゾン処理槽流入水を使用)

| 反応スケール | オゾン注入率 (mg/L) | 大腸菌除去率 |
|--------|---------------|--------|
| 実規模 | 3 | 90% |
| 実験室規模 | 1 | 88% |

➡実規模では実験室規模の3倍のオゾン注入率が必要。 (おそらく不均一反応のため)

> 実規模のオゾン処理性能を簡単に評価できる方法が必要! ☑ 効率的な運転条件の探索(PDCAサイクルが回る) ☑ 処理水質の保証

5-2

研究結果: 処理性能モデル構築

2024-11-13T09の推定された1パラメータの分布の確率密度関数

京都大学大学院 地球環境学堂 川口 康平 特定助教

研究結果: 処理性能モデル構築 ※RMSE = 残差の絶対値 10

汎化性能を示すために交差検証(1つの蛍光物質を除外してパラメータ推定をし、 そのパラメータを用いて除外した蛍光物質の残存率を予測)を行った。

研究結果:処理性能モデル構築

推定した分布パラメータを用いて、 $[k_{0_3}, k \cdot_{OH}]$ の組合わせの時の残存率を計算していくと下図が得られる。

11

本研究で採用した、 f[0₃]dt:指数分布,

結論

- 1. オゾン処理槽の前後の水をHPLC-RF分析するだけで、オゾンと・OHによって 単純に減少する物質は平均値7%の精度で推定可能。
- 2. オゾン処理槽のJ[O₃]dtとJ[·OH]dtは1パラメータ分布で十分に表現可能であり、 そのパラメータは水温でリアルタイムに推定可能。
- 3. 下水二次処理水のみかけの色度はO3ではなく、・OHによって主に除去される。

今後の展望

- 1. 不均一反応により処理性能が1/3程度になっているので改善する価値が高い。
- 最も基礎である*f*[O₃]dtと*f*[·OH]dtが分かったので、
 単純に減少する物質以外もある程度推定可能と思われる。
 ・多段階反応を経てのホルムアルデヒド、NDMAの生成量予測
 - ・フロック効果を加味しての微生物・ウイルスの除去率の推定
 - ・細胞膜破壊を考慮しての薬剤耐性遺伝子の除去率の推定
- 3. 蛍光物質の構造式が分かるとより確固たるオゾン処理管理方法になる。
- 4. 今回はオゾン注入率一定の期間を取り上げたが、分布パラメータとオゾン 注入率の関係を求めれば、必要十分な除去率を選択可能になる。
- 5. 網羅的に推定できることを活かして、下水オゾン処理が琵琶湖・淀川水系に もたらしている効用を見積もれる可能性がある。

謝辞

本研究の実施においては公益財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構の金銭的支援を 受けました。また、国内の下水処理場Aの皆様には採水の協力をいただきました。 ここに感謝します。