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]



🥯 公益財団法人 琵琶湖·淀川水質保全機構

目 次

| | | | | 頁 |
|-----|--|----------------------------------|----|--------------|
| 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 2 |
| 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 ≀ 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 2 |

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

令和6年度 水質保全研究助成 成果報告会

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



琵琶湖周辺に生息する日本一長~いミミズ!ハッタミミズを大 ...

whee Unionship Avail Million Stranger



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

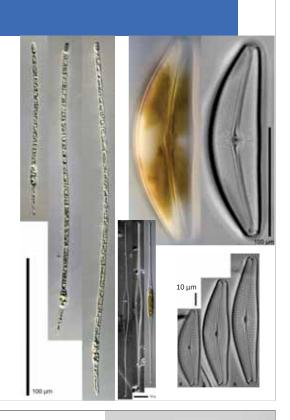
- 今世紀に入って新たに琵琶湖および内湖 でブルームを生じるようになった微細藻 類のいくつかについて
 - ▶形態、遺伝子、発生状況などの基本 情報を解明
 - ▶浄水場などへの影響を検討
- 琵琶湖博物館で作成を進めているプランクトン図鑑に、当該種の基本的情報を掲載する。
- さらに琵琶湖集水域で最近になって見られるようになった付着藻類のうち、HAB (有害藻類ブルーム)を引き起こす恐れがある種についても、同定して出現状況を報告する。

2. 研究方法

- 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。

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。



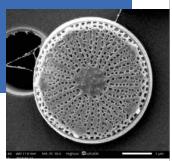
4. 一定の進展はあったものの 論文報告に至らなかった種 (1)

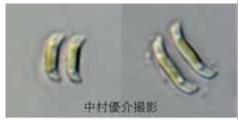
- 琵琶湖で2020年から出現している "Dolichospermum minisporum"は、辻彰 洋らの遺伝子解析によって別属である 可能性が示された。しかしその後、詳 細な検討はできていない。
- 琵琶湖のウログレナには複数種が混在している疑いがかけられた。しかし複数の場所で採集された多様な形態の100群体のrbcl遺伝子を解析したところ、全て同種で遺伝的変異もほとんどないことが明らかになった。ただし本種はUroglenopsis americanaよりUroglenopsis botrysに近縁な、おそらくは新種である(投稿準備中)。
- 琵琶湖南湖では2024年11月から2025年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



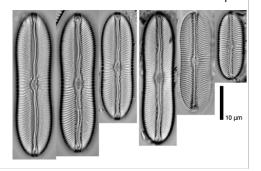
4. 一定の進展はあったものの 論文報告に至らなかった種 **(2)**

- 琵琶湖南湖で冬期に優占することがある直径3~5 μm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。

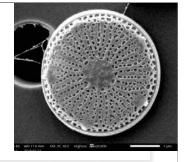




10 um



5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (1) 問題の所在

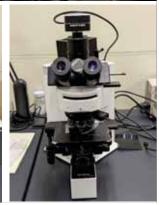


- 根来健は、冬期に琵琶湖南湖あるいは北湖港湾部などで、直径3~5 μm の微小な円盤形珪藻が10⁴ cells/mlオーダーで優占していることを発見した。そして冬期、ピコプランクトンの発生が少ない時期にしばしば起こる濾過漏出障害の原因になっていることを示唆した。
- 本種はDiscostella属の、おそらくは新種であることが明らかになった。
- しかし本種はあまりに小さいため、通常のプランクトン計数板を用いて100~200倍で観察しても、ほぼ確実に見逃される。
- 一方、ピコプランクトンが濾過漏出障害を起こすときと比べて細胞数が1桁以上少ないので、ピコプランクトンの計数法も検出に向かない。
- 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。

- 5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討
- (2) 3つの計数方法
- a. SEMによる定量
- b. 倒立顕微鏡 + プランク トン計数板による定量
- c. 微分干渉顕微鏡 + セキ スイ検鏡プレートによ る定量







- 5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (3) SEMによる定量
- 10 mlの試水を直径25 mm、孔径2 μmのPCTEフィルタで濾過する(濾過面の直径16 mm)。
- フィルタの一部を切り取って試料台に貼り、ホット プレート上で乾燥させる。
- 試料を白金によりイオンコーティングする。
- SEMを用いて、一定の間隔で選んだ視野を2,000倍で 写真撮影していく(今回は54視野)。
- 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。

- 5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (4)倒立顕微鏡×プランクトン計数板による定量
- 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。

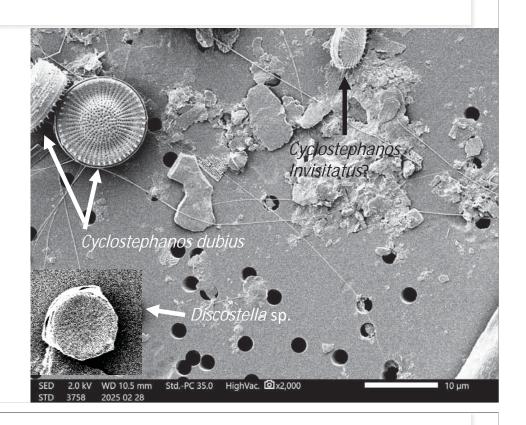


- 5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (5)微分干渉顕微鏡×セキスイ検鏡プレートによる定量
- 試水6本の遠沈管に試水10 mlずつを注ぎ、自動遠心分離機で450Gで3分間遠心分離した後、手回し遠心分離機で約250Gで1分間遠心分離して上澄みを捨てる。沈殿物を滅菌濾過した湖水で洗い、1本のセキスイ検鏡プレート(積水マテリアルソリューションズ)に注ぎ、倒立顕微鏡のステージ上に30分間静置する(珪藻を全て底まで沈めるため)。
- 倒立顕微鏡で40倍の対物レンズを 用い、適当に間隔をあけながら、
 0.5 mm×0.5 mmのマス目内に殻の 中心がある珪藻を全て同定計数する。



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

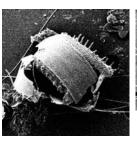
- SEM、2000倍で撮 影した写真では、 同定形質が概ね写 り込んでいるため、 小型円盤型珪藻の 同定が可能になる。
- ただし生細胞については殻の裏面が観察できないので、同定に迷うことがある。



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







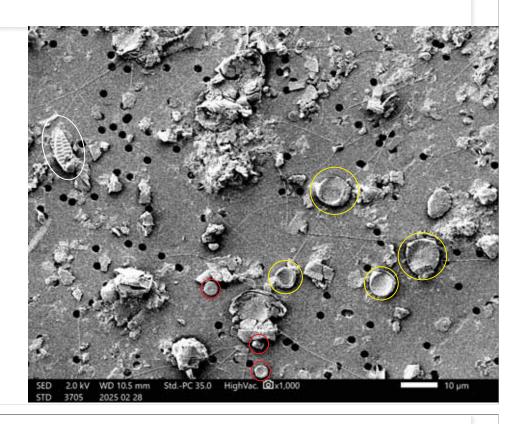
計数しなかった



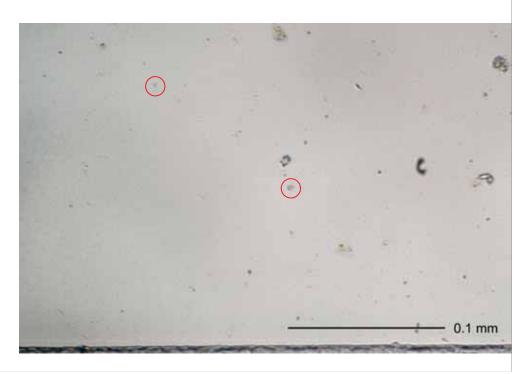




- 5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (8) SEM 1000倍での観察および水凍結乾燥法
- 倍率を1,000倍に下 げると観察時間を大 幅に短縮できるが、 もはや小型円盤型珪 藻の同定形質は写り 込んでいない。
- 潰れやすい藻類を計 数するために水凍結 乾燥法によるプレパレーションも試みた が、藻類が周縁部に かたまってしまった ため断念。



- 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 (10) 微分干渉顕微鏡400倍で見える世界

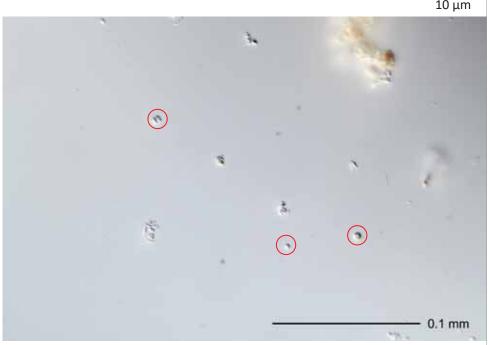
水浸レンズで撮影





10 μm

- これはグリッド内視 野(250 µm×250 um) よりもやや広 い範囲を撮影したも のである。
- 倒立顕微鏡による観 察よりはDiscostella sp. が判別しやすく なった…のか?
- また、珪藻の殻骸が、 より観察しやすく なった。→大型の円 盤状珪藻は半数以上 が殻だけ。



5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (11)計数結果の比較

| SEIVI | トーエ | 5 | 正重 | |
|-------|-----|---|----|--|
| | | | | |

| 種 | カウント | 細胞密度 (cells/µl) |
|---|------|--------------------|
| Discostella sp. | 33 | 4.0 |
| 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 | g | 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 |
| Fragilaria 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 | 細胞密度 (cells/μl) |
|--------------------------|------|--------------------|
| Discostella sp. | 22 | 1.8 |
| (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 細胞密度 (cells/μl) | |
|----------------------|-------------------------|-----|
| Discostella sp. | 34 | 3.9 |
| (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 |

5. 「微小円盤状珪藻」定量方法の検討 (12) 計数方法まとめ

- 2025年2月27日の琵琶湖南湖では微細なDiscostella sp. が優占していなかった(4×10³ cells/ml程度)が、それでも湖水10 μl程度の定量により、十分に信頼できる計数値が得られた。
- SEM観察は微細珪藻の種同定を可能にする点で優れているが、結果が 分かるまでに時間がかかりすぎ、試料をつくる段階で多くの珪藻の被 殻を壊している可能性がある。また、細胞の生死判定ができないため、 死細胞が多い場合には細胞数を過大評価することになる。
- 倒立顕微鏡+プランクトン計数板による観察は最も簡易であるが、プランクトン計数板の光学特性の悪さにより、5 μm以下の珪藻では見逃しが多くなる。
- 遠沈濃縮した試水を微分干渉顕微鏡 + セキスイ計数プレートで観察する方法では、ごく小型の珪藻でもあまり見逃していないことがわかったが、正確な定量には相当の修練が必要である。

6. プランクトン図鑑の作成 (1) 電子図鑑作成の方針

- ▶ 琵琶湖で新たに出現した、HABを形成しうる微 細藻類の分類は、検討すればするほど「わかっ ていないことがよくわかる」ばかりで、このま までは一向に現場で使える知識にならない。
- ▶ そこで見切り発車の格好で、電子図鑑の原稿作成を始めた。
- ▶ 手始めにアオコをつくるラン藻について、琵琶湖とその集水域に出現する種を網羅する図鑑を作成している。
- ▶ この図鑑には、顕微鏡写真、大きさ、形態の特徴の他、琵琶湖で出現した時期、長期的盛衰、毒性、環境への影響などの情報を網羅し、引用文献もつけている。



本当はサンプルページをお見せできるはずだったのですが、・・・データベース公開システムのエラーで表示できません。

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

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)

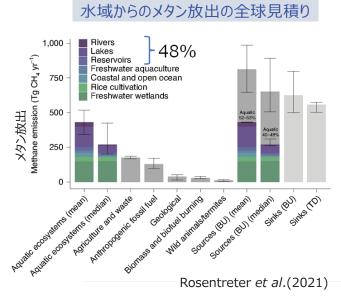
2025年3月14日

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

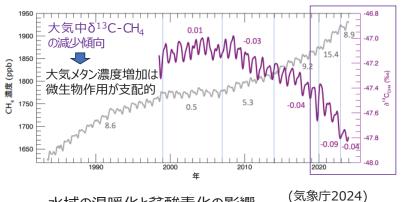
0 本年度の成果報告

- 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

1 水域の温暖化と貧酸素化;溶存メタン動態への影響



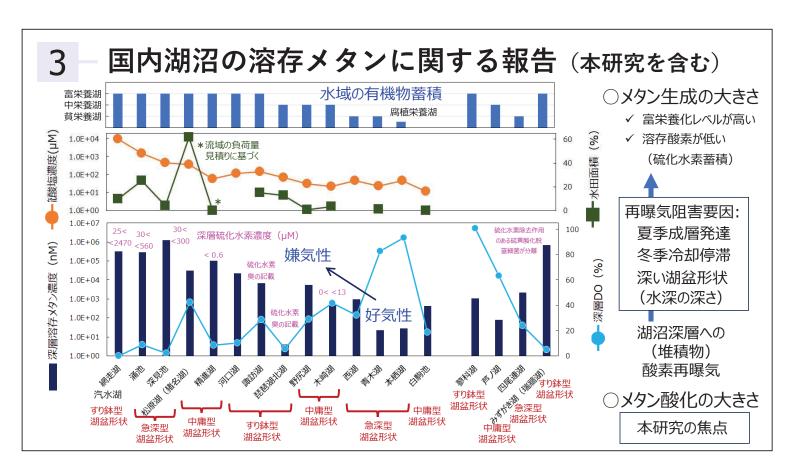
全球平均メタン濃度とメタン炭素同位体比(δ¹³C-CH₄)

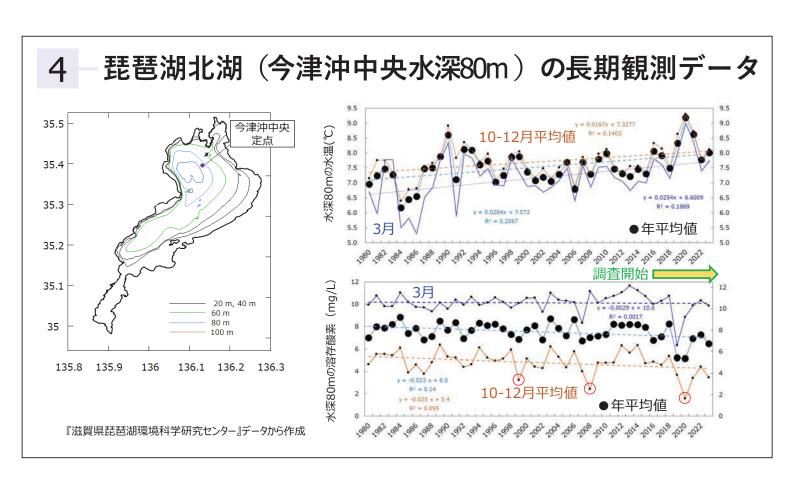


水域の温暖化と貧酸素化の影響 富栄養化による水域の有機物蓄積

★ メタン動態の理解が重要 (有機物の最終分解産物)

国内湖沼の溶存メタンに関する報告(本研究を含む) 富栄養湖 大気の影響 中栄養湖 腐植栄養湖 貧栄養湖 (湖面の割合) 硫酸塩濃度(nM) (%) 1.0E+04 *流域の負荷量 見積りに基づく 1.0E+03 40 等価直径 1.0E+02 20 1.0E+01 1.0E+00 1.0E+07 深層硫化水素濃度 (µM) 水深のアスペクト比 (1/100) のある硫黄酸化脱 1.0E+06 (PM) 突細菌が分離 1.0E+05 硫化水素 深層溶存メタン濃度 1.0F + 04水深のアスペクト比 (1/30) **人** 急深型 1.0E+03 1.0E+02 水深 1.0E+01 1 0F+00 提機構批構 撒街湖 瞬形湖 即機識糊 48.10 欄推測 大湖流湖 大概描 制剂 搬捷湘 機及調 梅捕 (排制 趙) すり鉢型 またがある。 対し、 対し、 対し、 急深型 中庸型 ・中庸型 すり鉢型 汽水湖 堆積物の影響 すり鉢型 中庸型 **」**中庸型 湖盆形状 中庸型 湖盆形状 湖盆形状 (斜面の割合) すり鉢型 急深型 急深型 湖盆形状 湖盆形状 湖盆形状 湖盆形状





5 琵琶湖のメタン鉛直分布と経年変動 琵琶湖のメタン代謝に関わる先行知見と温暖化による冬季冷却弱化の影響 底泥表層のメタン酸化速度ならびに (好気性) メタン酸化細菌群が共有 成層発達と鉛直混合不全 する pmoA遺伝子のコピー数の分布 外部強制力 Tsutsumi et al (2012) ・冬期の全層循環 Constant of methane consumption rate (nmol Pa⁻¹ hour⁻¹ [ml sediment]⁻¹) 0 0,1 0,2 0,3 pmoA gene copy number (×10⁷ copy [ml sediment]⁻¹) 0 2.0 4.0 6.0 8.0 ・台風による擾乱 河川・沿岸帯からの移流 site Sh Murase (2002, 2003) Tsunogai et al (2021) Ξ 10 (c) methane (nM) 20-底泥表層メタン酸化 Tsutsumi et al (2012) 25 Kojima et al (2012) 00,00 嫌気代謝生成 30-地質的生成 Tsutsumi et al (2012) Murase & Sugimoto Kumagai et al (2021) 35 Goto et al (2017) (2001,2002) Murase (2002)

湖底堆積物由来メタン

6 - 調査地点(2016~2024年)



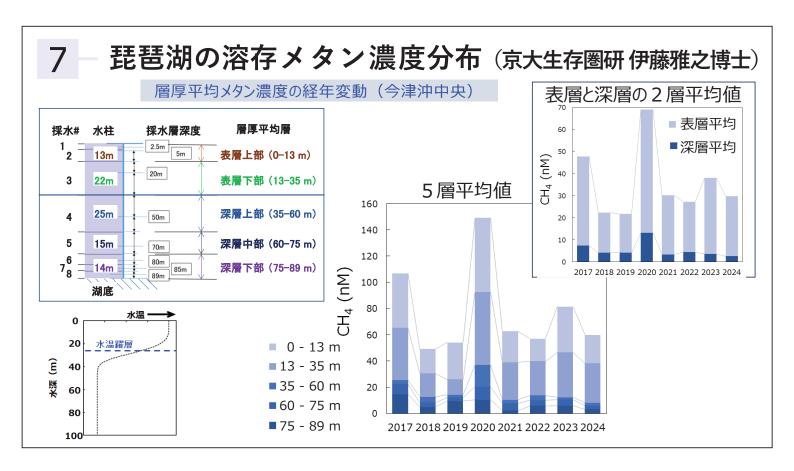
北湖

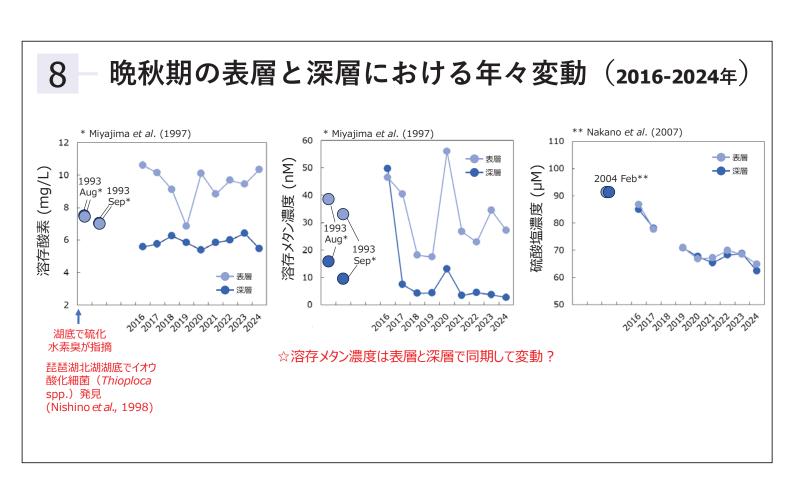
2016年: 北湖第一湖盆最深点(水深約104 m)12月 2017~2024年:今津沖中央(水深約89 m)10~12月 2023~2024年: T1(水深約90 m)通年季節調査

2024年: 日野川沖 (水深約30 m) 12月 2024年: 愛知川沖 (水深約30 m) 12月 2024年: 天野川沖 (水深約29 m) 12月 2024年: 姉川沖 (水深約30 m) 12月 2024年: 安曇川沖 (水深約26 m) 12月 2024年: 野洲川沖 (水深約36 m) 12月

流入河川

2023年: 日野川沖河口 12月 2023年: 長命寺川河口 12月 2023年: 愛知川河口 12月 2023年: 姉川河口 12月 2023年: 安曇川河口 12月 2023年: 安曇川河口 12月





9 メタン生成と酸化に関わる細菌群の作用

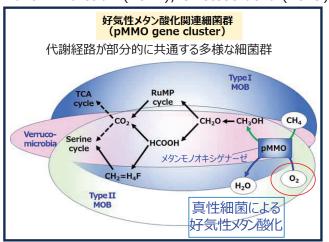
(深層溶存メタンの内部変動要因)

 好気的(微好気的)条件
 資酸素化

 メタン生成
 阻害

 メタン酸化
 好気性酸化

Tavormina et al. (2011); Chistoserdova (2019)



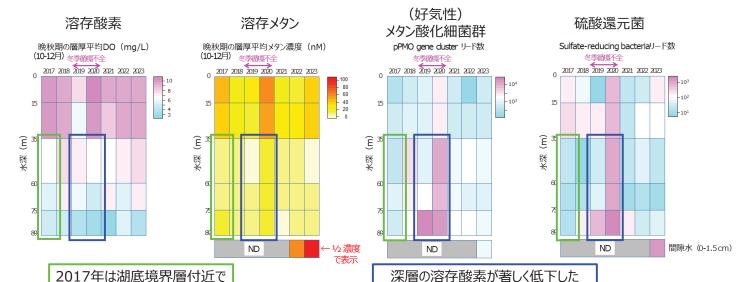
(Cui et al. 2019) 新たなメタン酸化機構の提唱 嫌気性メタン酸化関連細菌群 細菌群・古細菌群間の相互作用的代謝 1 NH₄⁺ ANAMOX N₂ 古細菌による 嫌気性メタン酸化 € _{0.5}. CH₄ CH_{4 DAMO} CO₂ マンガン呼 (還元) DAMO Bac (NC10) Mcr Mcr **►** CO₂ 0 CH₄ DAMO CO₂ OX bac 4 Fe/Mn- Fe2+/Mn²⁺ (還元) 硫酸還元菌による硫酸 -0.5-

SO₄2-

塩から硫化水素の生成

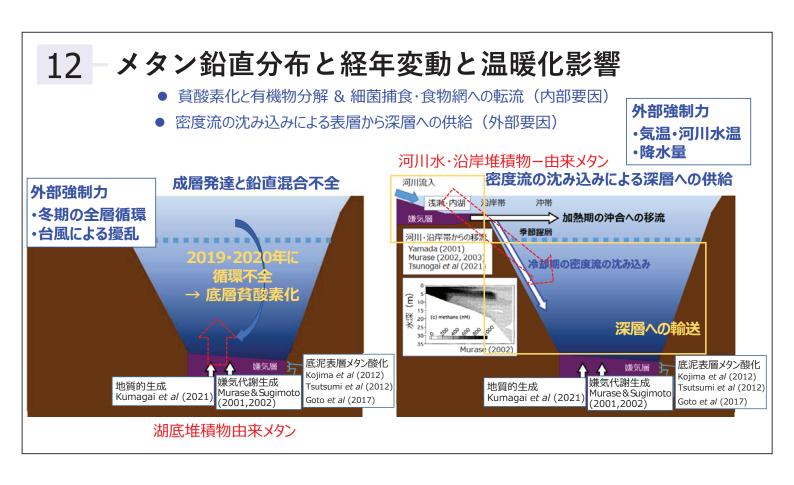
硫酸塩・硝酸塩を電子受容体としてメタンを酸化

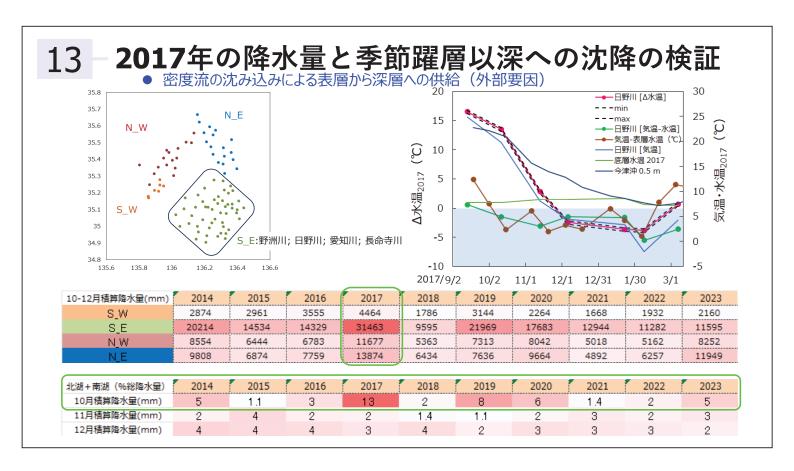
10 - 溶存酸素・溶存メタン・細菌群の年々変動 深層溶存メタンの内部変動要因 (北湖: 今津沖中央) 溶存酸素 溶存メタン (好気性) メタン酸化細菌群 硫酸還元酸

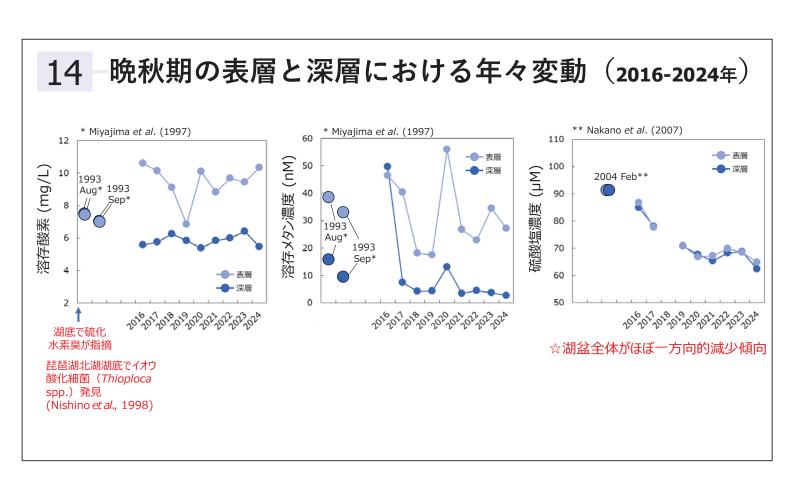


(好気性) メタン酸化細菌・ 硫酸還元菌の密度が低く、 溶存メタンが高い 2019・20年は(好気性)メタン酸化 細菌・硫酸還元菌の密度が高く、 溶存メタンが低い

メタン酸化細菌群の検出状況 2017年は深層の硫酸還元菌密度が 低下し、完全酸化型より不完全酸化 型が多い(堆積物間隙水に類似) 深層溶存メタンの外部変動要因 完全酸化型の出現割合 硫酸還元菌の出現割合 硫酸還元菌 溶存酸素 CO-SRB / (CO-SRB + IO-SRB) 晩秋期の層厚平均DO(mg/L) (10-12月) _{冬季循環不全} SRB / (SRB + pPMO-GC) Sulfate-reducing bacteriaリード数 冬季循環不全 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 0.1 15 € 35 £ 35 Œ Œ 光彩 水浴 然 60 間隙水 (0-1.5cm) ND ND ND x 0.7 濃度 (好気性) メタン酸化細菌群 CO-SRB: Complete oxidizina SRB SRB: Sulfate-reducing bacteria IO-SRB: Incomplete oxidizing SRB 完全酸化型の硫酸還元菌 pPMO-GC: pPMO gene duster 低分子有機物を利用する際に 不完全酸化型の硫酸還元菌 二酸化炭素まで酸化 低分子有機物を利用する際に酢酸など を酸化生成物として残す不完全酸化型

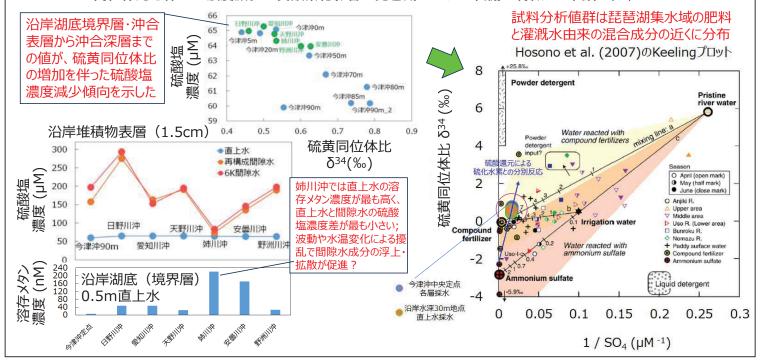






15 - 琵琶湖への硫酸塩流入と硫酸還元(2024年12月)

同位体比を伴った濃度減少と貧酸素化影響・琵琶湖のメタン代謝の特徴との関係(?)



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 専門研究員

令和6年度 琵琶湖·淀川水質保全機構 研究助成 2024年3月14日(金) 成果報告会

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

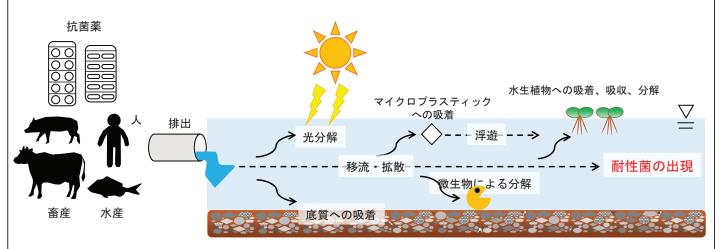


立命館大学総合科学技術研究機構 専門研究員 澤田和子

1

抗生物質

- ✓ 抗生物質は、細菌や真菌の産生物質であり、他の微生物の細胞壁の合成 や機能、DNAの合成を阻害し、静菌・殺菌作用を示す。
- ✓ 抗菌薬は、微生物感染症の予防や治療のため、医療や農畜水産業などの 分野において必要不可欠なものである。



アンピシリン、オキシテトラサイクリン、エリスロマイシン、リンコマイシンの物性調査から、リンコマイシンは水環境中に残存しやすいことが示唆された。(澤田ら、2023)

2

本研究の対象抗菌薬

| 抗菌薬 | 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) |
|--------------------------------|--|---|--|
| 机图案 | 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 | 日本の は | 初期評価 CH ₃ O HO H CH ₃ H HN H OH H ₃ CS OH | F O OH OH |
| 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) |

<u>研究目的</u>

✓ 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

,



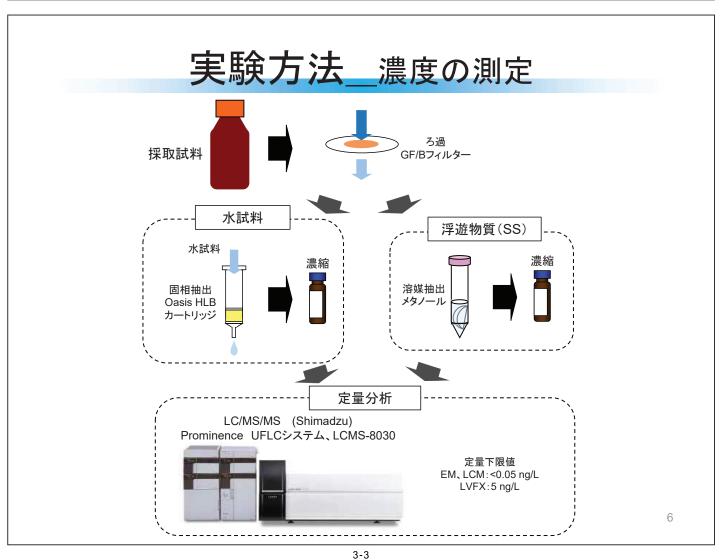


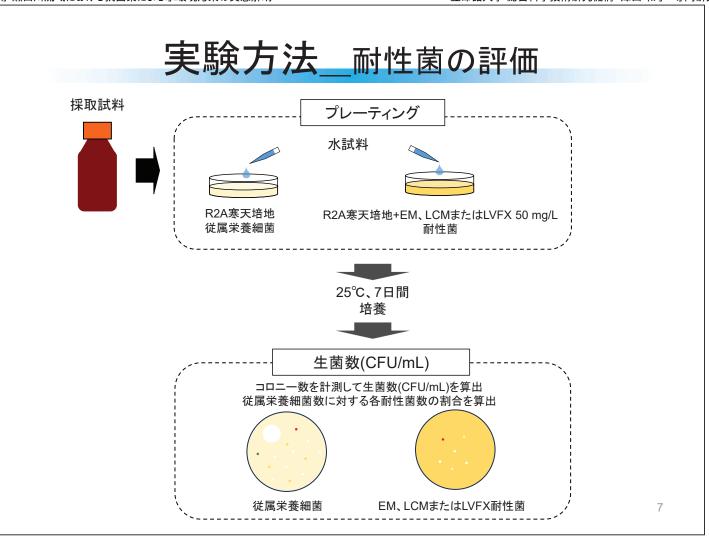
河川:野洲川下流、葉山川下流、瀬田川上流3地点

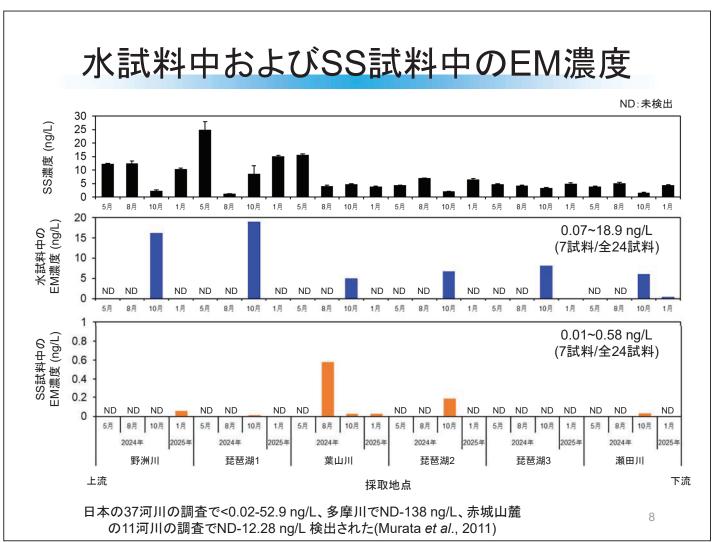
琵琶湖:湖岸3地点

4

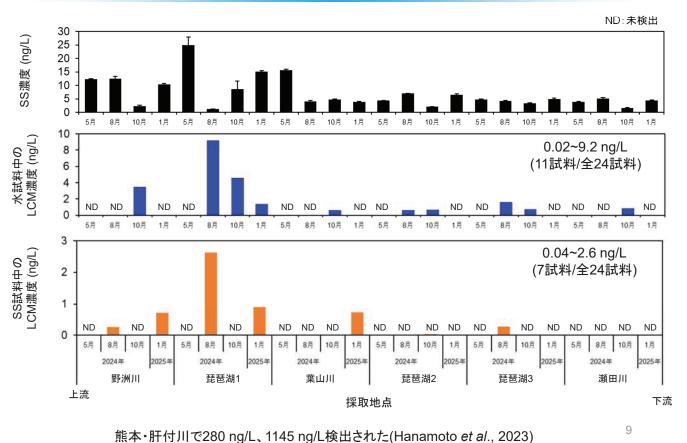


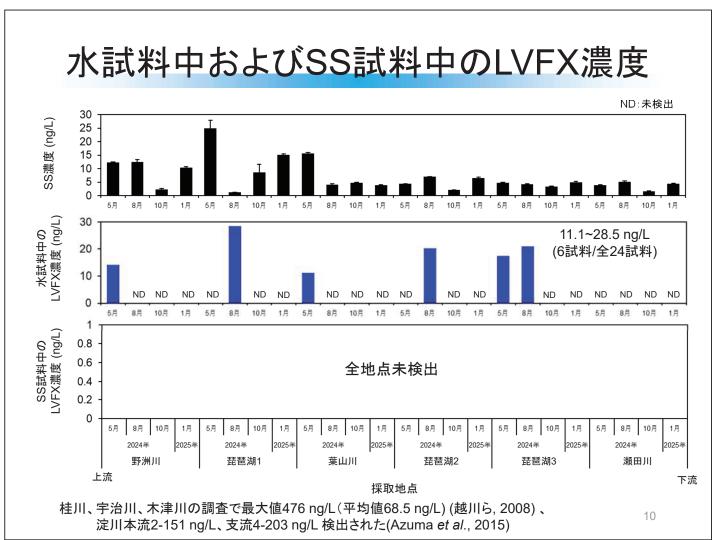


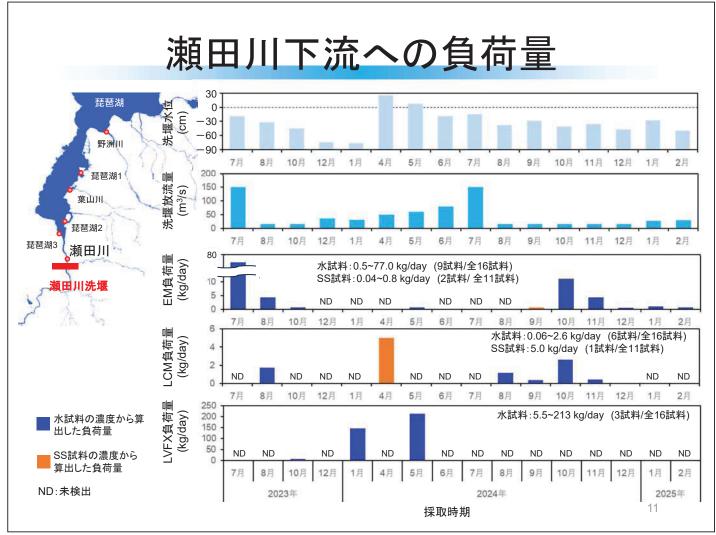


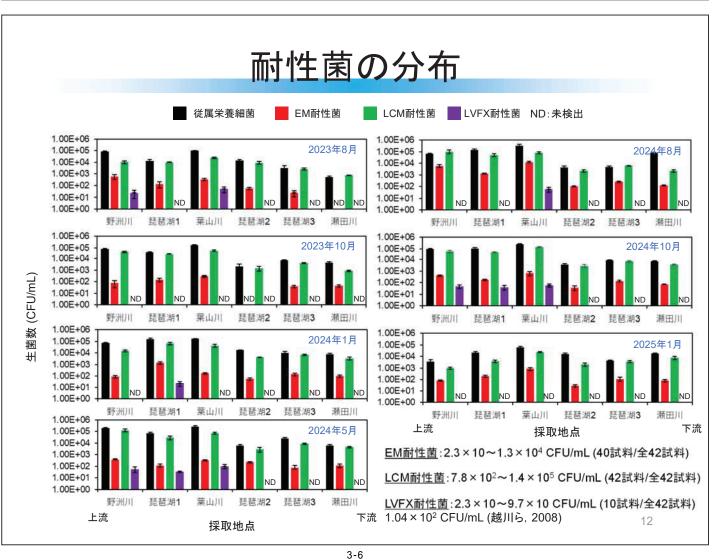


水試料中およびSS試料中のLCM濃度

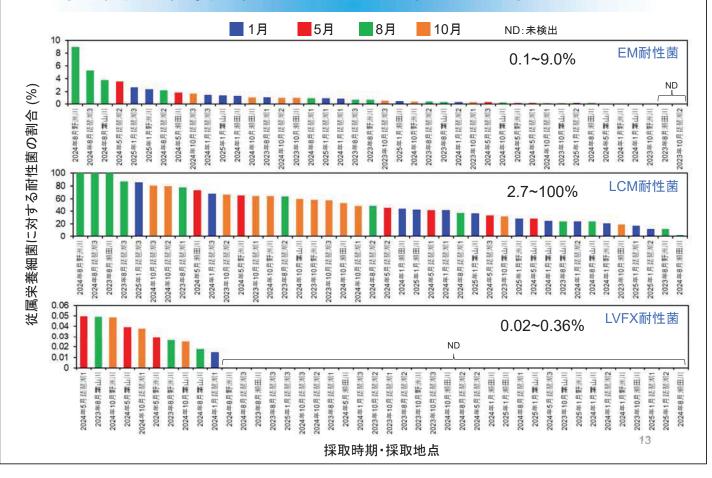








従属栄養細菌に対する各耐性菌の割合



まとめ

濃度

- ____ ● 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

耐性菌

- 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

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

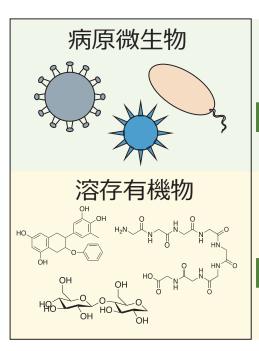
琵琶湖·淀川水質保全機構 令和6年度 水質保全研究助成 成果報告会

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

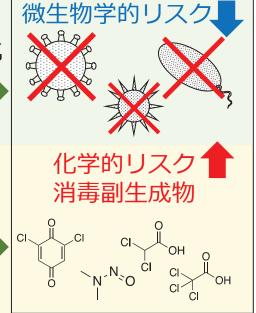
背景: 水道水中の消毒副生成物とは?

1



死滅・不活化 塩素処理

別の物質に 変化 塩素処理



何を, どこまで, どうやって制御するのか

背景: 含窒素消毒副生成物

- 窒素 (N) を含む消毒副生成物
- 事性が高く、近年、注目を集めている
- 水道水質基準等の体系において、以下の物質が記載

●ジクロロアセトニトリル(DCAN) : 水質管理目標設定項目

●それ以外のハロアセトニトリル : 要検討項目

●N-ニトロソジメチルアミン(NDMA):要検討項目

● DCANは、検出頻度・濃度が比較的高い

背景: 含窒素溶存有機物から生成する有機クロラミン

3

先行研究*



塩素処理

含窒素消毒副生成物 CI CI N

有機クロラミン類 (R-NH-CI) 有機ジクロラミン類 (R-N-CI2)

有機クロラミン類が、溶存有機物と反応し、含窒素消毒副生成物を 生成する可能性を示唆

5

背景: 消毒副生成物の生成経路

先行研究 (2分子間での反応)

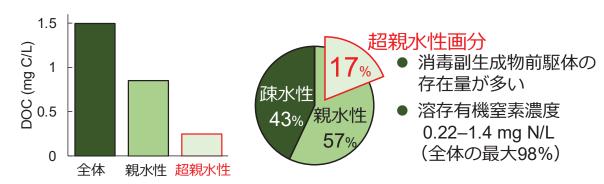


本研究 (3分子以上が関与する反応)



背景: 琵琶湖・淀川水系中の水道原水の特性1)

● 溶存有機物の存在実態 (琵琶湖水の例)



- ●消毒副生成物生成能の高い超親水性画分には、 有機態窒素が比較的高濃度で存在
 - 3分子以上が関与する含窒素消毒副生成物の生成が 起こっている可能性

研究目的

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

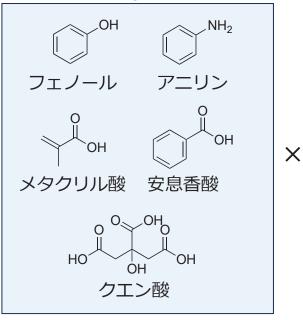
7

(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

実験方法: モデル物質

窒素を含まないグループ (3 mg C/L)



含窒素物質 (0, 0.3, 3 mg N/L)

塩素存在下で、クロラミン になるもの 単体ではDCANは生成しない

※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

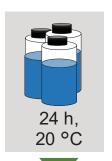
C

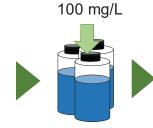
リン酸緩衝液: 5 mM (pH=7)

塩素添加量: 40-80 mgCl₂/L(過剰量)



試料: 10 mL





アスコルビン酸Na

DCAN 濃度

LC-MS/MS

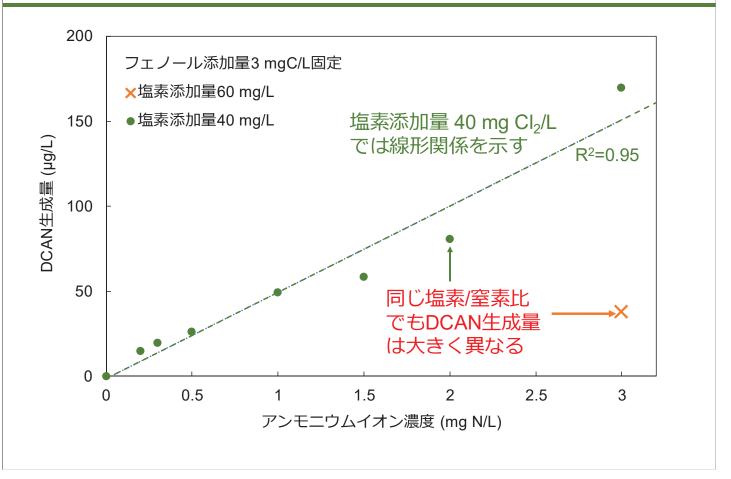


残留塩素濃度 二 (遊離・結合塩素)

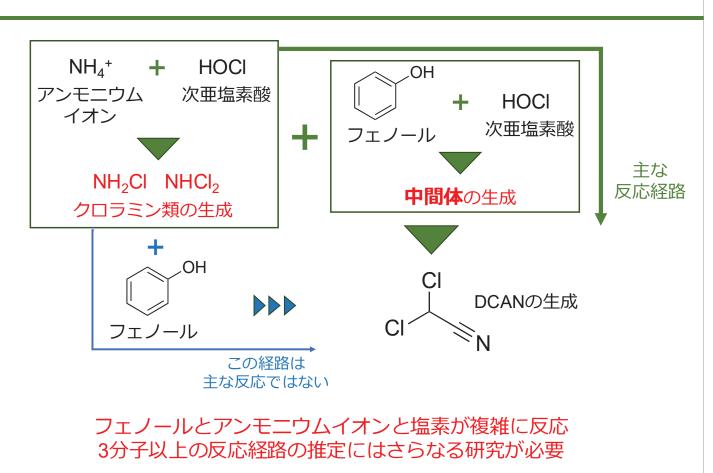
DPD法 (@ 515 nm)

結果と考察: アンモニウムイオン存在下のフェノールからのDCAN生成

10

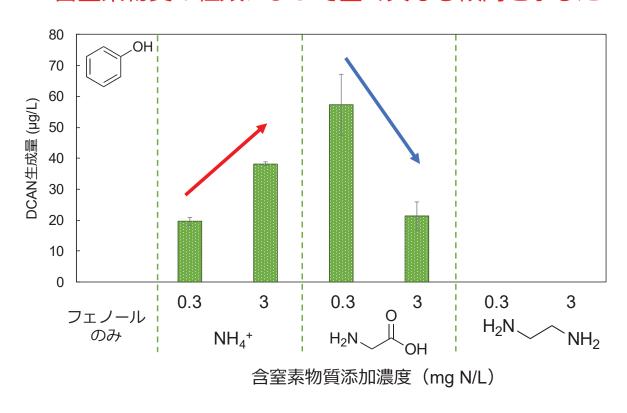


反応経路に関する考察



結果と考察: フェノールのDCAN生成量

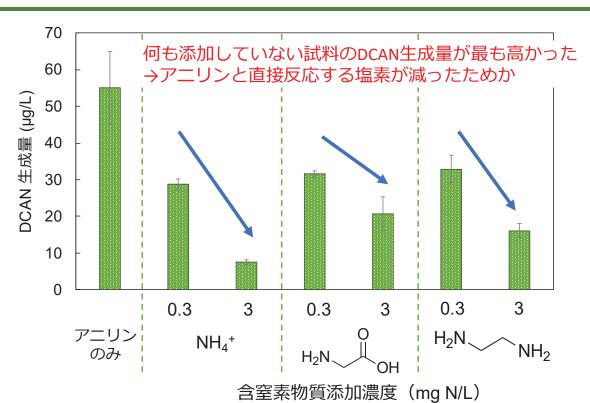
含窒素物質の種類によって全く異なる傾向を示した



結果と考察: アニリンのDCAN生成量

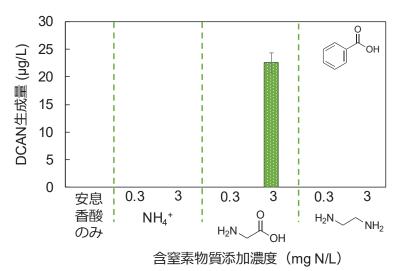


13



含窒素物質であり、単体でDCANを生成できる物質には 相互作用が負に作用することが示唆

結果と考察: その他のDCAN生成量



- 安息香酸は反応性が低い物質 (カルボキシル基の電子吸引性)
- 今まで消毒副生成物に全く関与しないと思われてた物質も、溶存有機物の相互作用により消毒副生成物を生成する可能性が示唆された

メタクリル酸、クエン酸からはDCANは検出 されなかった

(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

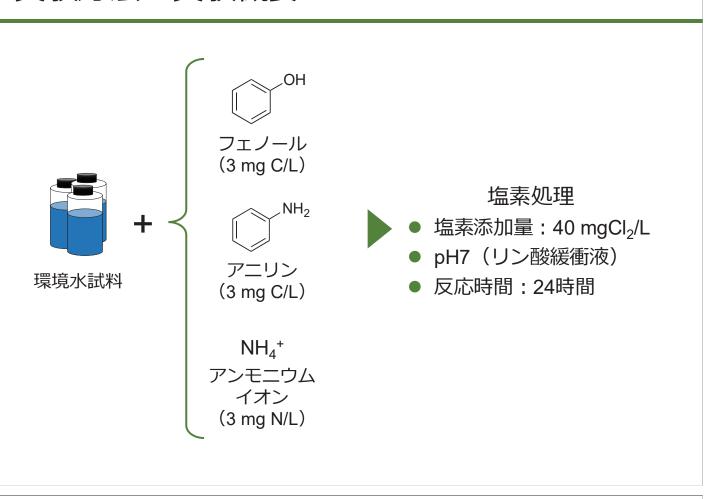
実験方法: 対象試料

- 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

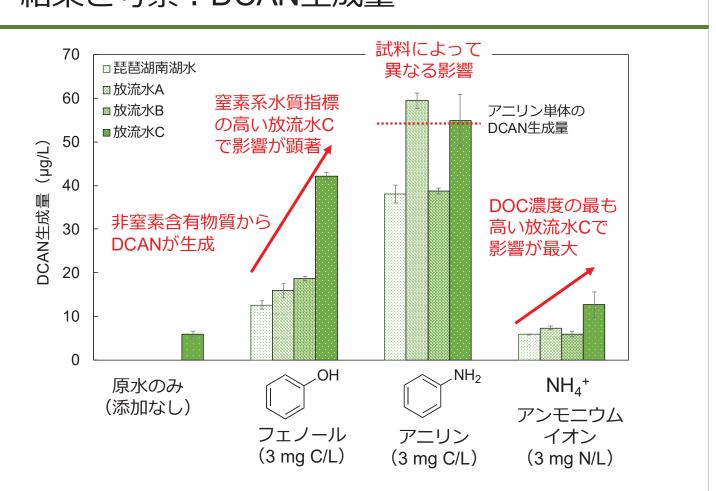
| | 琵琶湖南湖水 | Α | В | С |
|----------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 採水日 | 2024/11/21 | 2024/8/22 | 2024/8/22 | 2024/8/22 |
| DOC(mg/L) | 1.5 | 2.1 | 2.2 | 3.9 |
| DON (mg N/L) | 0.15 | 0.19 | 0.27 | 0.45 |
| NH ₃ (mg N/L) | 0.11 | 0.06 | 0.13 | 0.38 |
| NO ₂ - (mg 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 |

19

実験方法:実験概要



結果と考察: DCAN生成量



(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。

謝辞

本研究をご支援いただき心より感謝申し上げます。

ご清聴ありがとうございました。

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

○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 1

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。

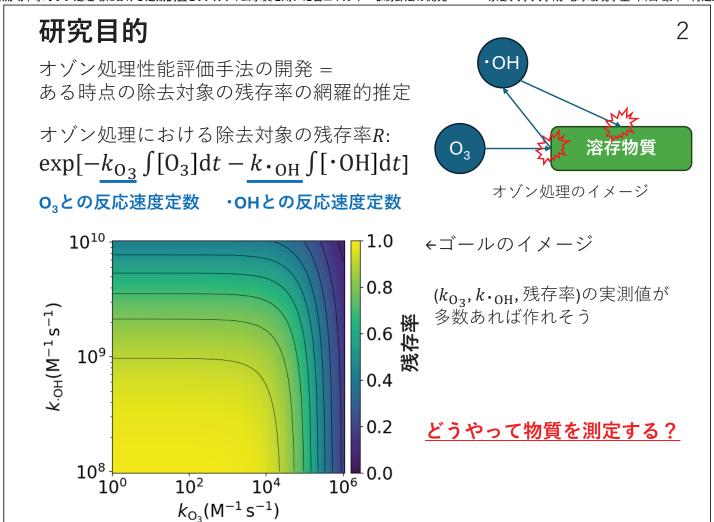
○本研究の第1回目採水の実験結果(オゾン処理槽流入水を使用)

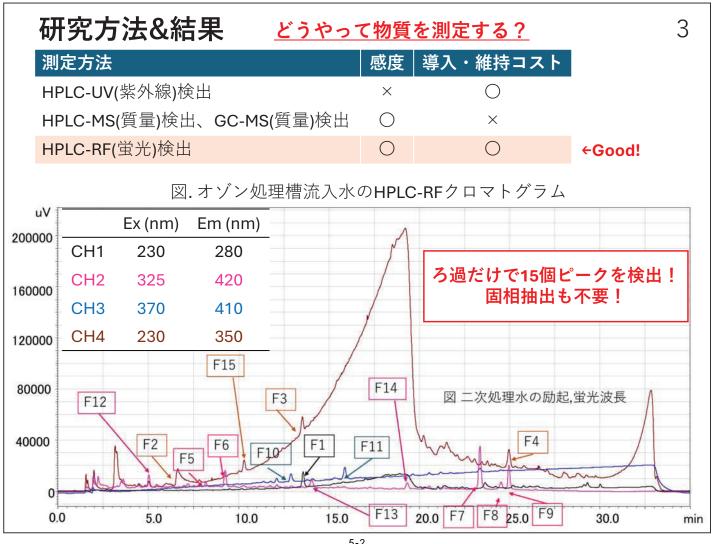
| 反応スケール | オゾン注入率 (mg/L) | 大腸菌除去率 |
|--------|---------------|--------|
| 実規模 | 3 | 90% |
| 実験室規模 | 1 | 88% |

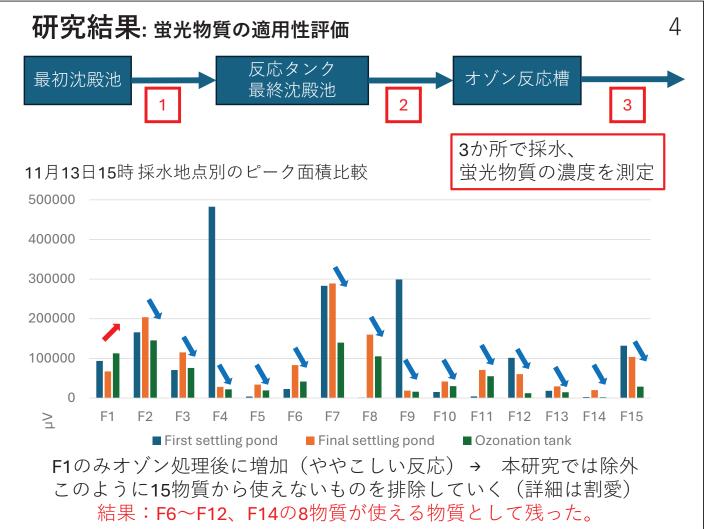
⇒実規模では実験室規模の3倍のオゾン注入率が必要。 (おそらく不均一反応のため)

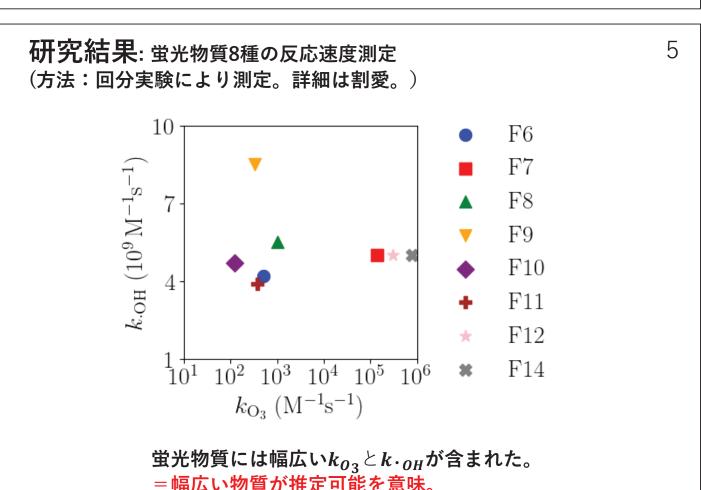
実規模のオゾン処理性能を簡単に評価できる方法が必要!

- ☑ 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

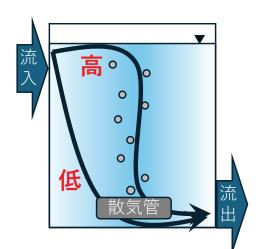








研究方法: 処理性能モデル構築



実オゾン処理槽での $\int [O_3]dt$, $\int [\cdot OH]dt$ には分布があり、それぞれ下記の分布をするとしてモデル化する。 {}内はパラメーター数。

| 指数分布 | {1} | 半コーシー分布 | {1} |
|-------|-----|---------|-----|
| 半正規分布 | {1} | ガンマ分布 | {2} |

例)両方とも指数分布する場合、R: 残存率 $f(x; \lambda) = \lambda \exp[-\lambda x]$ (指数分布)

E[R]

$$= E[\exp[-k_{O_3} \int [O_3] dt - k \cdot_{OH} \int [\cdot OH] dt]]$$

$$\begin{split} &= \int_{0}^{\infty} \exp[-k_{\mathrm{O}_{3}} x \lambda_{\mathrm{O}_{3}} \exp[-\lambda_{\mathrm{O}_{3}} x]] \mathrm{d}x \int_{0}^{\infty} \exp[-k \cdot_{\mathrm{OH}} x \lambda \cdot_{\mathrm{OH}} \exp[-\lambda \cdot_{\mathrm{OH}} x]] \mathrm{d}x \\ &= \frac{\lambda_{\mathrm{O}_{3}}}{\lambda_{\mathrm{O}_{3}} + k_{\mathrm{O}_{3}}} \frac{\lambda \cdot_{\mathrm{OH}}}{\lambda \cdot_{\mathrm{OH}} + k \cdot_{\mathrm{OH}}} \end{split}$$

➡実処理場での残存率は分布パラメータと k_{0_3} , $k\cdot_{\mathrm{OH}}$ でモデル化した。

研究方法&結果: 処理性能モデル構築

選択万法:

選択方法:修正赤池情報量基準

 $AICc = n\operatorname{Ln}\left(\frac{\operatorname{SSE}}{n}\right) + 2p + \frac{2p(p+1)}{n-p-1}$

7

n: サンプルサイズ p: モデルのパラメータ数

SSE: 残差二乗和

※小さいほど良いモデル

 $\int [O_3] dt$, $\int [\cdot OH] dt$ に各4分布の 計16個の組合わせで蛍光物質8種 の残存率を再現するような

最適なモデルを選択

2024-11-13T09の結果(他も同様)

| 2024-11-1310307和木(旧句间水) | | | | |
|-------------------------|----------------------|------|-----|--|
| $\int [O_3] dt$ | $\int [\cdot OH] dt$ | AICc | | |
| Gamma | Gamma | | -17 | |
| Gamma | Exponential | | -26 | |
| Gamma | Half-Cauchy | | -27 | |
| Gamma | Half-Normal | | -26 | |
| Exponential | Gamma | | -27 | |
| Exponential | Exponential | | -32 | |
| Exponential | Half-Cauchy | | -32 | |
| Exponential | Half-Normal | | -32 | |
| Half-Cauchy | Gamma | | -27 | |
| Half-Cauchy | Exponential | | -32 | |
| Half-Cauchy | Half-Cauchy | | -32 | |
| Half-Cauchy | Half-Normal | | -32 | |
| Half-Normal | Gamma | | -27 | |
| Half-Normal | Exponential | | -32 | |
| Half-Normal | Half-Cauchy | | -32 | |
| Half-Normal | Half-Normal | | -32 | |
| | | | | |

ガンマ分布が混ざると悪くなる。

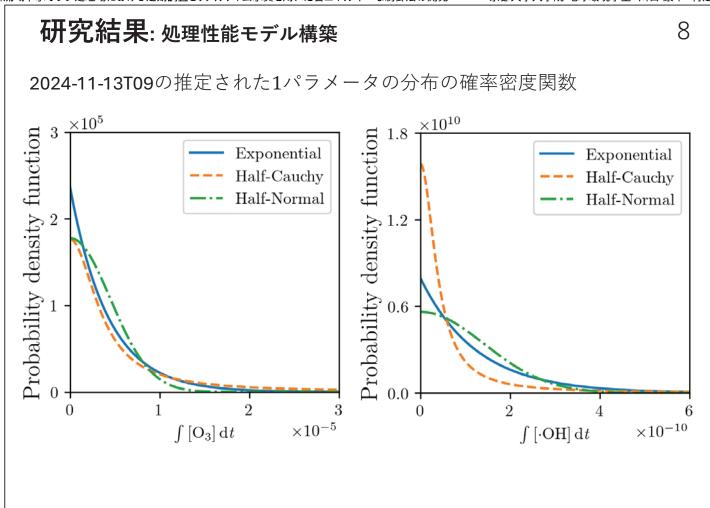
➡1パラメータの分布が良い。

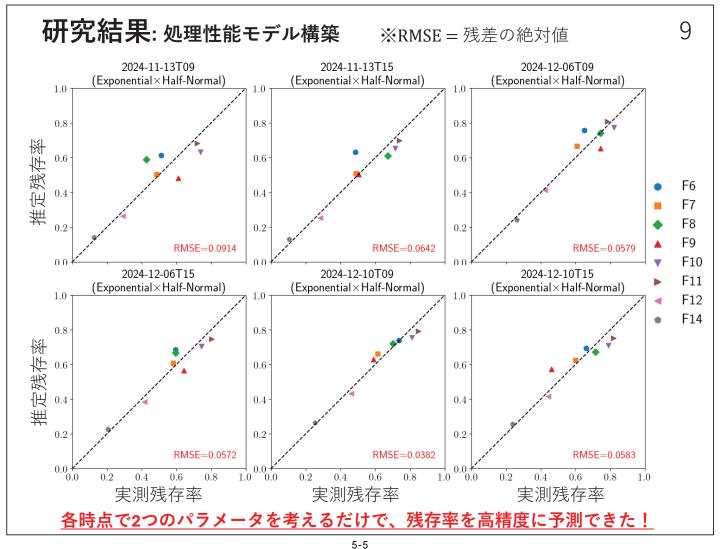
1パラメータの分布同士の組合わせで明確な違いはない。

→本研究ではわずかに良かった下記 に決定。

$$\int [O_3] dt$$
 :指数分布

$$\int [\cdot OH] dt$$
 :半正規分布



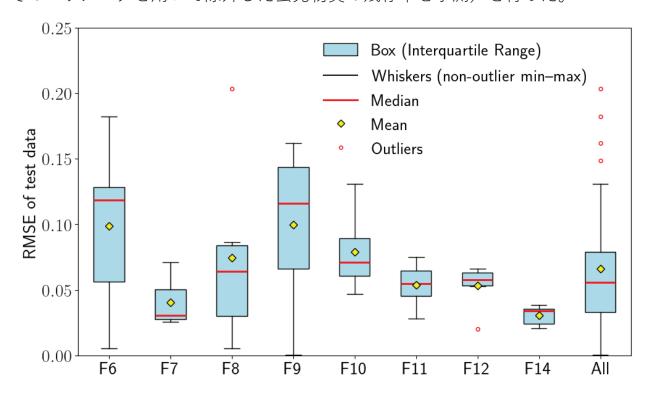


研究結果: 処理性能モデル構築

※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。



全データのRMSEは平均値7%、中央値6%と低く高精度に残存率が予測可能

研究結果: 処理性能モデル構築

11

推定した分布パラメータを用いて、 $[k_{O_3}, k_{\cdot OH}]$ 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。

2024-11-13T09

10¹⁰
-0.8

10¹⁰
-0.6
-0.4
-0.2
-0.2

 k_{O_3}

 10^{4}

 10^{2}

 10^{8}

 10^{0}

本研究で採用した、 $\int [O_3] dt$: 指数分布,

 $\int [\cdot OH] dt$:半正規分布の場合

$$E[R] = \frac{\lambda_{O_3}}{\lambda_{O_3} + k_{O_3}} \operatorname{erfcx}(\frac{k_{\cdot OH}\sigma}{\sqrt{2}})$$

erfcx: 相補誤差関数

 λ : 指数分布パラメータ

σ: 半正規分布パラメータ

例)

 $[1.0,10^8] \rightarrow E[R] = 0.999,$

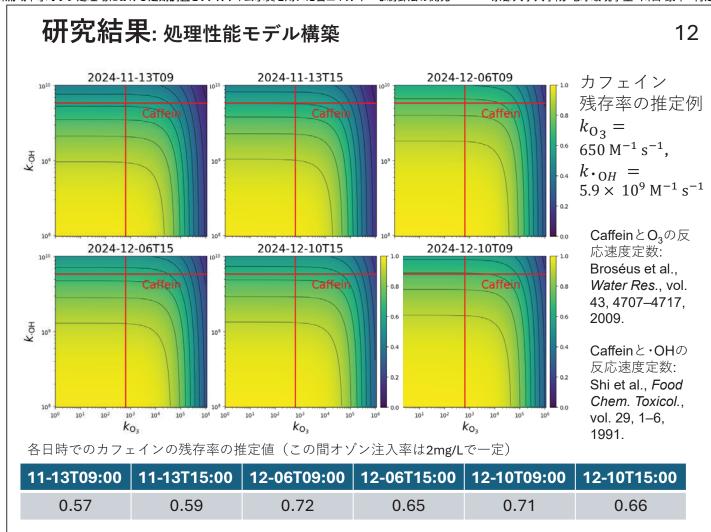
 $[1.1,10^8] \rightarrow E[R] = 0.998,$

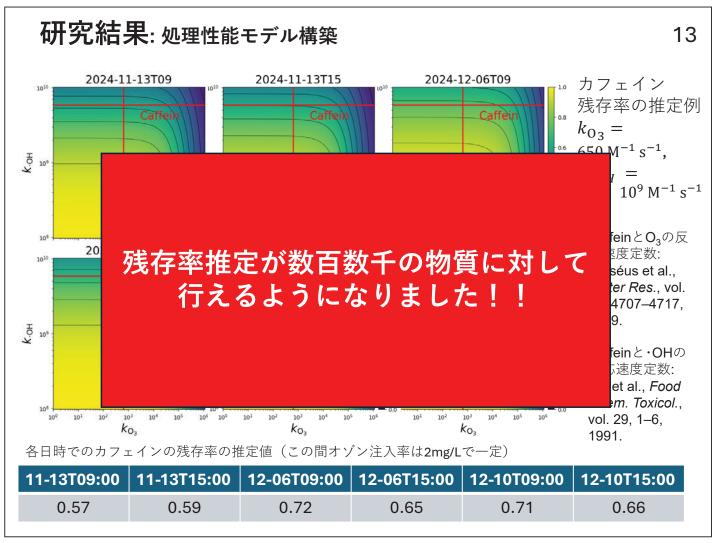
 $[1.2,10^8] \rightarrow E[R] = 0.997,$

. . .

 10^{6}

0.0





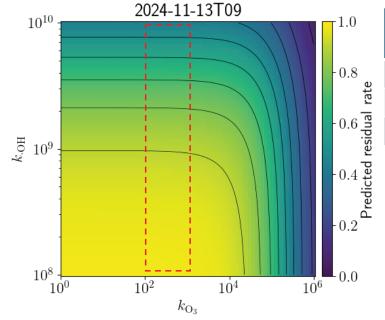
研究結果: 色度除去

14

色度に関して、色度を一つの物質のように扱って、反応速度定数を測定した。

 $\exp[-k_{O_3}\int[O_3]dt - k \cdot_{OH}\int[\cdot OH]dt]$





| 採水日時 | $k_{0_3} $ (M ⁻¹ s ⁻¹) | $(M^{-1} s^{-1})$ | |
|-------------|---|-----------------------|--|
| 11-13T09:00 | 1.0×10^{3} | 4.6 × 10 ⁹ | |
| 12-06T09:00 | 2.5×10^2 | 4.2 × 10 ⁹ | |
| 12-10T09:00 | 3.6×10^{2} | 2.7 × 10 ⁹ | |



等値線が水平な範囲→オゾンとの反応速度定数に無関係→オゾンとの反応は無視可能 **二次処理水の色度は・OHによって除去されることが示された**。(世界初)

研究結果:残存率リアルタイム推定

水質と分布パラメータの線形回帰R²

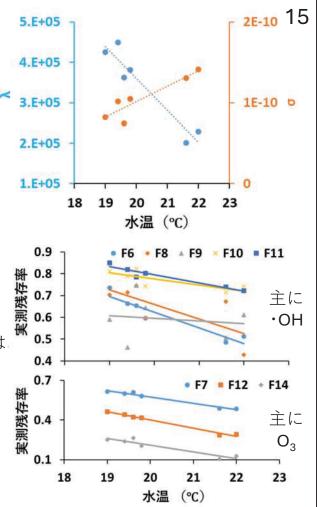
| | λ | σ |
|----------------------|------|------|
| 水温 | 0.91 | 0.83 |
| 色度残存率 | 0.89 | 0.65 |
| рН | 0.87 | 0.62 |
| 1分間の過マンガン酸消費量 | 0.59 | 0.47 |
| TOC | 0.35 | 0.34 |
| 波長 254nm の吸光度 | 0.34 | 0.21 |

水温で分布パラメータをほぼ推定可能。

水温 \rightarrow 分布パラメータ \rightarrow 残存率推定 k_{O_3} と $k_{.OH}$ の温度依存性が分かっている場合は 水温上昇で除去率が上がるかも判定可能。

$$E[R] = \frac{\lambda_{O_3}}{\lambda_{O_2} + k_{O_2}} \operatorname{erfcx}(\frac{k \cdot OH \sigma}{\sqrt{2}})$$

逆に、よく用いられるTOCや波長254nmの 吸光度は相関が高くなく、不適。



結論

16

- 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。
- 3. 下水二次処理水のみかけの色度は O_3 ではなく、 $\cdot OH$ 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。
- 2. 最も基礎である $\int [O_3] dt \, \mathcal{O}(O_3) dt \, \mathcal{O}(O_3) dt$ 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。