

令和4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...

YouTube

YouTube びわこのちからチャンネル【琵琶湖博物館公式】 2023/02/03



大塚泰介
根来 健
(琵琶湖博物館)

今日お話しする内容

- 本研究の目的と背景
- 琵琶湖と内湖の新顔浮遊ラン藻（アオコ形成種）
 1. *Planktothrix pseudagardhii*
 2. *Raphidiopsis raciborski*
- 琵琶湖と内湖の未同定浮遊珪藻
 1. *Discostella* sp.
 2. *Fragilaria* sp.
- 琵琶湖流入河川の新顔付着珪藻
 1. *Cymbella janischii*
 2. *Cymbella compactiformis*
- 今後の課題
- 本研究と関連した成果公表

本研究の目的

- 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珪藻およびラン藻の数種について
 - 確実に同定形態、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計画しているプランクトン図鑑に、当該種的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。

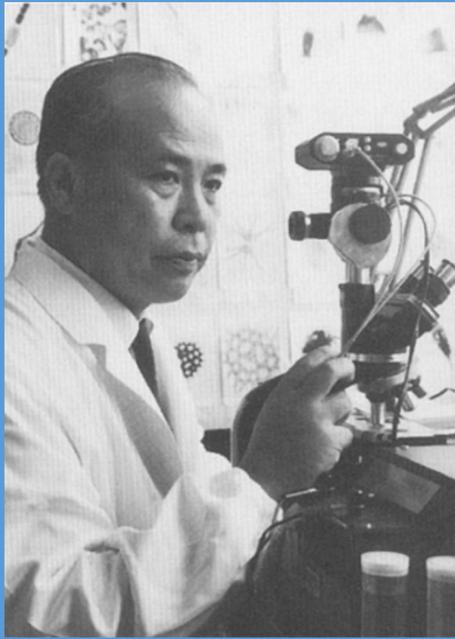
HABsとは何か？

- HABs（Harmful Algal Blooms；有害藻類ブルーム）とは、ヒトや他の生物に対して悪影響を及ぼす微細藻類（ラン藻を含む）の大増殖のことである。
- 狭義には有毒藻類の大増殖を指す。広義には毒性に関係なく、生態系あるいは人間活動への悪影響が大きいものの全般を指す。
- 一般には赤潮・アオコなど浮遊性種の大増殖を指す。しかし近年、底生あるいは付着性種によるHABsも注目されている。

微細藻類の外来種？

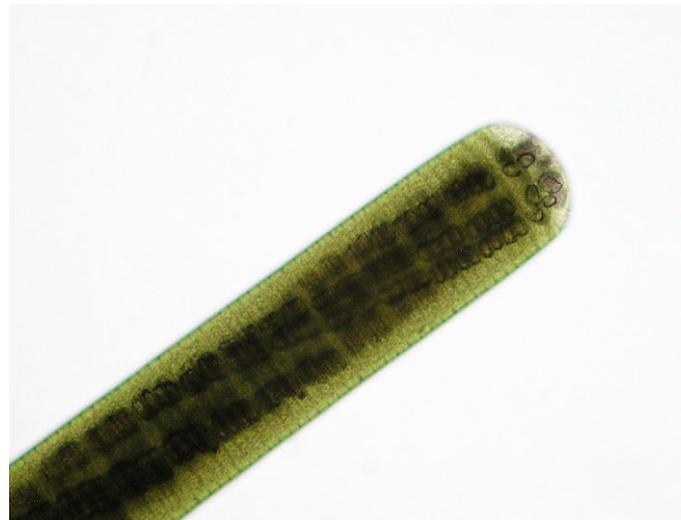
- 微生物については、“Everything is everywhere, but, the environment selects”（全てがどこにでもいる、ただ環境が選ぶだけ）という説が根強い。
- しかし分類学の進展により、繊毛虫や珪藻については、種はおろか属レベルの地域固有性さえも存在することがわかってきた。
- エアロゾルとして運ばれる珪藻の種は限られており、ほとんどの水生種は空気中で乾燥により死に絶えるため、遠距離の移動は難しい（気生種はよく生きたまま飛んでいる）。
- 水鳥の羽毛に付着して、湿潤状態を保ったまま数百kmを運ばれることはあり得るが、その先で定着できるかは多分に環境次第。
- ところが人や物資の長距離移動が頻繁に起こるようになると、水生微生物が長距離を生きたまま移動する確率が急激に上がる。
 - ✓ 水産物とともに
 - ✓ 遊漁用などの種苗とともに
 - ✓ 餌の活エビなどとともに
 - ✓ 胴長靴などの釣りの装備に付着して

長年の継続的な観察が外来種を暴く



福島博 (2001) 日本珪藻学会初代会長 根来健一郎先生のご逝去を悼む.
Diatom 17: 149-159.

- 珪藻にしてもラン藻にしても、長期にわたり観察を続けてきた人が、最近になって急増してきたことを発見して外来種であると分かる事例が多い。
 - 根来健一郎博士は中国東北部（当時の満州）から *Oscillatoria kawamurae* を新種記載（1943年）→1944年に京大臨湖実験所に赴任、以後ずっと琵琶湖のプランクトンを観察→1990年に琵琶湖では初めて発見
 - 本種は肉眼でも形がわかるほど巨大で目立つ。新種記載した張本人が40年以上も見逃してきたはずがない。



インパクトが小さいから無視されてきたのでは？

- そんなことはない！
- 微細藻類のブルームは文字通り場を支配し、水域環境を変える。
- 光や栄養塩の奪い合い（搾取型競争）に強い種は、在来のプランクトンだけでなく水草などにも影響を及ぼす。
- 毒をもつ種、悪臭を放つ種も少なくないので、環境だけでなく水道を介して人間生活にも悪影響が及ぶ。



琵琶湖と内湖の新顔浮遊ラン藻（アオコ形成種） 1
“*Planktothrix pseudagardhii*”

- かつて*Oscillatoria*と呼ばれていたグループの一種。
- 糸状群体の幅 = 細胞径約4-7 μm 、先端はあまり細くならない。
- 2021年10月に西の湖でアオコの優占種になり、国立科学博物館で形態と遺伝子の両面から調べたところ、日本から初報告の本種であることが明らかになった。
- 本種が外来種かどうかは不明。以前から琵琶湖にわずかながら生育し、*Oscillatoria tenuis*、*Planktothrix agardhii*などと誤同定されてきた可能性が捨てられない。



— 10 μm

現在、辻彰洋氏らが記載論文 を準備中

- これまでタイ、モンゴル、中国から報告されているが、日本からの報告はない。
- 本種は国際原核生物命名規約により記載されているが、国際藻類・菌類・植物命名規約からは不当名である。
- そこで辻彰洋氏を中心に、本種を日本から初めて正式に報告するとともに、植物・藻類・菌類命名規約による正式な記載の準備をしている。
- 今まで毒性および臭気物質産生の報告はない。しかし2021年10月に本種のアオコが発生した際には、周辺の浄水場で臭気が観測されたので、今後の再検討が必要である。

琵琶湖と内湖の新顔浮遊ラン藻（アオコ形成種）2 *Raphidiopsis raciborskii*

- かつて*Anabaenopsis*、*Cylindrospermopsis*などに含まれていた。
- 群体の一端に卵形の異型細胞があり、その反対側の終端より少し手前に楕円形のアキネートができる。
- 2022年夏に琵琶湖でわずかに出現。その後10月頃から、琵琶湖博物館生態観察池に築造以来初めてアオコが発生、調べてみると本種だった。形態（新山優子氏）、遺伝子（辻彰洋氏）の両面から同定確認。
- 古くは1935年に、当時25歳の根来健一郎氏によって神之池（現在の茨城県神栖市）から報告されたものの、その後の日本からの報告はきわめて少ない。他水域では霞ヶ浦（茨城県）、不忍池（東京都台東区）、石垣島（沖縄県）のダム湖、小川原湖（青森県上北郡東北町）から知られているに過ぎない。



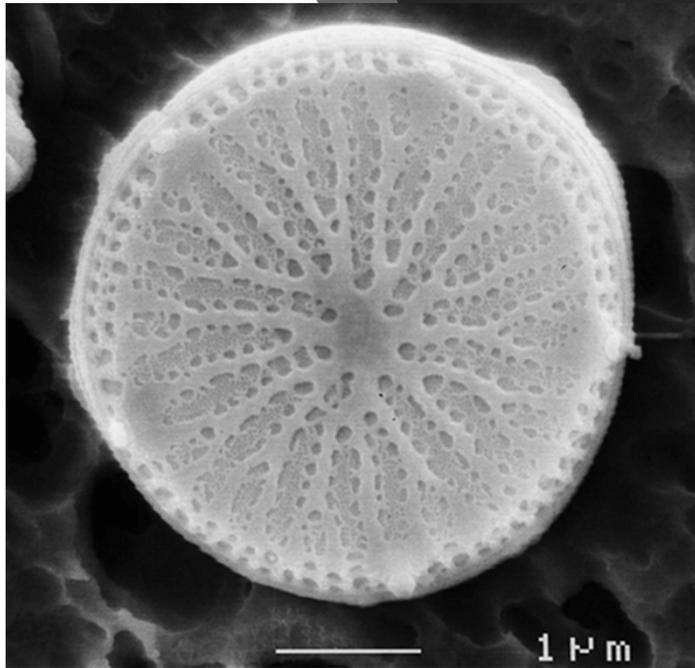
100 μm

「世界最悪のアオコ構成種」

- *Raphidiopsis raciborskii*は世界的に分布を拡大しており、最も悪名高い浮遊ラン藻になりつつある。
 - 高密度のアオコを形成
 - キリンドロスペルモプシン（肝臓毒）、サキシトキシン（神経毒）を持つ株がある
 - 琵琶湖ではセタシジミなどに取り込まれ、貝毒を引き起こす危険性
- 本種は従来、熱帯性とされている。温帯湖沼では夏期の水温**25°C**以上の条件でのみブルームを形成するとされてきた。培養実験でも、ほぼ全ての株が**15°C**以上で増殖し、至適水温は**30°C**程度。
- しかし近年、中国などで水温**15°C**以下でも本種がブルームを引き起こす事例が報告されており、低水温耐性のある生態型の出現が示唆されている。琵琶湖博物館生態観察池でも**10**月からアオコを形成し、**11**月までアオコ状態が続いた（大塚ら 投稿中）。

琵琶湖集水域に出現した本種の生理・生態・毒性を研究する必要あり

琵琶湖と内湖の未同定浮遊珪藻 1 *Discostella* sp.

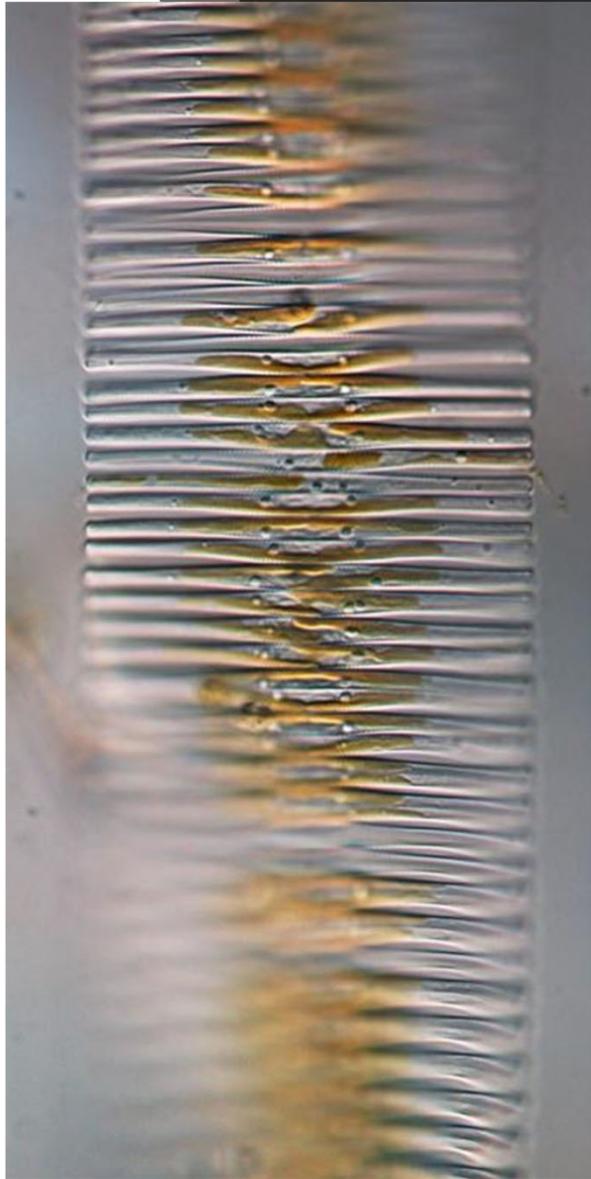


- 直径3-5 μm の、ごく小型の円盤型珪藻である。
- 2021年1-2月に、琵琶湖南湖で珪藻の優占種になっていた（ただし細胞数の上で）。
- 走査電子顕微鏡を用いた詳細な形態観察の結果、本種はこれまで琵琶湖から報告されていない種で、辻彰洋氏が国立科学博物館のエキシカータで*Discostella* sp. Kasumi として報告した種と酷似していることが明らかになった。
- 本種について申請者らが日本珪藻学会研究集会（2022年11月）で報告し、珪藻の形態分類に関する日本トップクラスの専門家たちの意見を仰いだが、誰も同定できなかった。
- *Discostella* sp. Kasumiも遺伝子解析の結果、データベースにあるどの種とも遺伝的に異なることがわかっており、新種の可能性が高い。

見逃されてきた *Discostella* sp.

- 日本珪藻学会研究集会での発表後、後藤敏一氏（近畿大学特任教授）は、1979年に琵琶湖南湖で採集された試料に本種と思われる珪藻が大量に含まれていたことを明らかにした。
- つまり、本種はずっと見過ごされてきたか、他の種（たとえば *Cyclotella glomerata*）と誤同定されてきた可能性が大きい。
- そこで現在、辻氏および後藤氏と本種の分類に関する共同研究を始めている。

琵琶湖と内湖の未同定浮遊珪藻 2 *Fragilaria* sp.

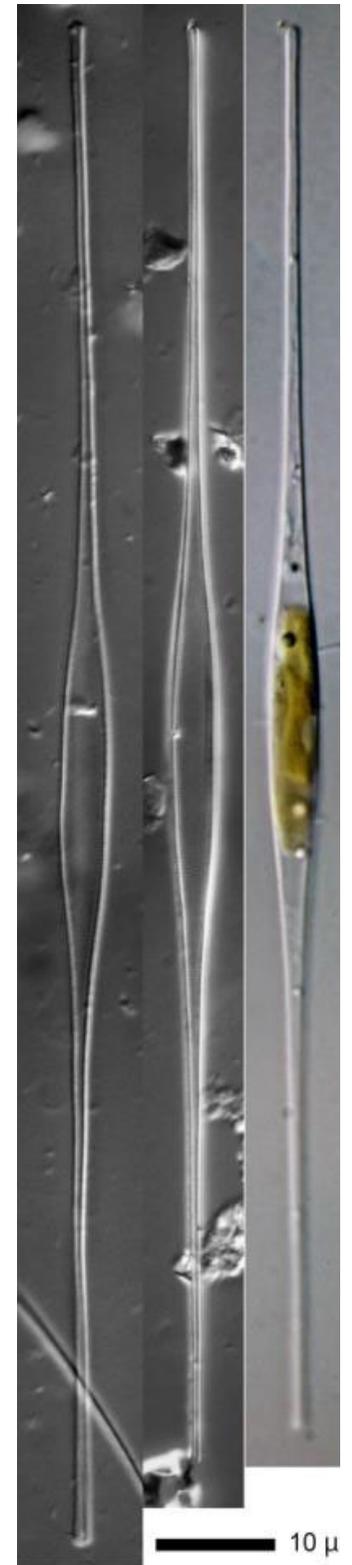


- 本種は従来、オビケイソウ *Fragilaria crotonensis* と同定されてきた。しかし *F. crotonensis* が平面的な群体をつくるのに対して、本種はねじれた群体をつくることで容易に区別できる。
- 高倍率の光学顕微鏡および走査電子顕微鏡による観察の結果、本種は *F. crotonensis* に比べて条線が粗く、また殻面がほぼ 90° ねじれているため、これが細胞同士の接合部をずらして群体をねじれさせていることが明らかになった。
- また国立科学博物館の辻彰洋氏による遺伝子解析の結果、本種は *Fragilaria crotonensis* とは遠縁で、*Fragilaria longifusiformis* ssp. *euromfusiformis* などと近縁の別種であることが明らかになった。
- 現在、新種記載の準備中（遅れています）

補足

Fragilaria longifusiformis ssp. *eurofusiformis*

- 本種は一見ハリケイソウ *Ulnaria* に似ているが、オビケイソウ *Fragilaria* の一種である。
- 2021-2022年冬には、琵琶湖南湖および西の湖で、ネットプランクトン中の第二優占種となった。第一優占種はハリケイソウ (*Ulnaria japonica*)。
- 本種は広島県のダム湖や霞ヶ浦などからも出現し、辻彰洋氏らが日本からの初報告を準備中だった。そこで琵琶湖からの出現報告を加えて、本種の日本からの初産出を論文報告した (辻ら 2022)。



琵琶湖流入河川の新顔付着珪藻 1

Cymbella janischii

(ミズワタクチビルケイソウ)

- 殻長0.2 mm前後もある巨大珪藻。
- 米国北西部の固有種で、現地ではもともと希少種扱いだった。
- 日本では2006年に筑後川のアユ消化管内容物として初めて発見された（洲澤ら 2011）。
- 2010年代に入ってから、九州と関東の河川上中流部で急激に分布を拡大（洲澤・洲澤 2021）。
- 2018年頃から、甲信越、東海、東北、北陸、山陰などでも次々と見つかる。
- そして2022年5月、琵琶湖流入河川の安曇川で、近畿で初めて発見される（麦倉ら 2022）。



ミズワタクチビルケイソウの 何が問題か？

- 安曇川ではまだ、ごく限られた場所
でしか肉眼的規模で増殖していない。
- しかし大増殖すると、薄茶色のミズ
ワタ状のコロニーが、河床全面を覆
うようになる。
- アユにとって摂食が難しいため、大
繁茂するとアユが寄り付かなくなる。
- 薄いバイオフィルムを摂食するよう
に適応した多くの河川性水生昆虫も
生息しがたくなる。



神流川（群馬県）2022年11月1日
（麦倉佳奈氏提供）

芦澤晃彦・加地弘一 (2019) ミズワタクチビルケイソウが放流アユの定着に与える影響. 山梨県水産技術センター事業報告書 46: 34-38.

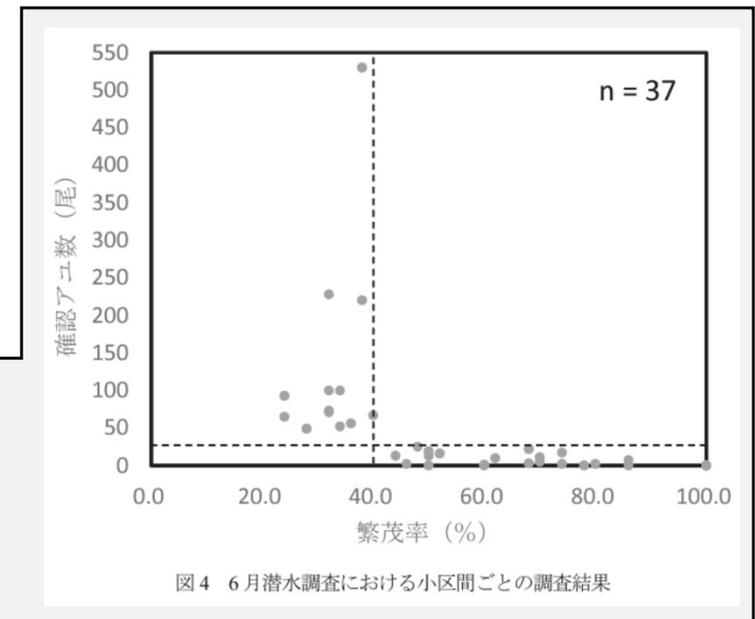
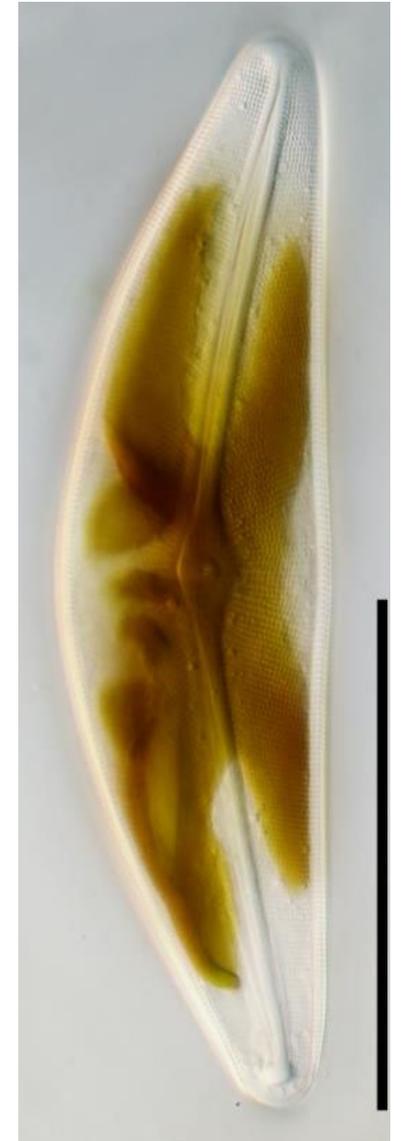


図4 6月潜水調査における小区間ごとの調査結果

ミズワタクチビルケイソウが 繁茂しやすい環境は？

- 北米（原産地）および日本の観察から、
 - ▶ 河川上～中流の清水域の流れが緩い場所で多く見られる。
 - ▶ 最適水温は10-15°C程度で、一般に20°Cを超えると衰退する（群馬県では26.5°Cで採集された記録もある）。
 - ▶ 原産地では弱アルカリ性（pH 7.9 ± 0.2）で電解質が多い（EC 254 ± 33 μS/cm）水域に最適点をもつとされている（Bahls 2007）。
 - ▶ 原産地では窒素分に乏しい（DIN 4.3 ± 0.7 μM/L）ものの、リンをやや豊富に含む（TP 1.3 ± 0.2 μM/L）窒素制限の水域に最適点をもつとされている（Bahls 2007）。日本でも同様の傾向が確認されている（麦倉佳奈氏卒論）。ただし多摩川上流部では高N/P比でも大量繁茂（石井 2021）。
- 上記のうち何が根本的な要因かは、今のところ不明。

繁茂しやすい条件の解明が必要



ミズワタクチビルケイソウ対策？

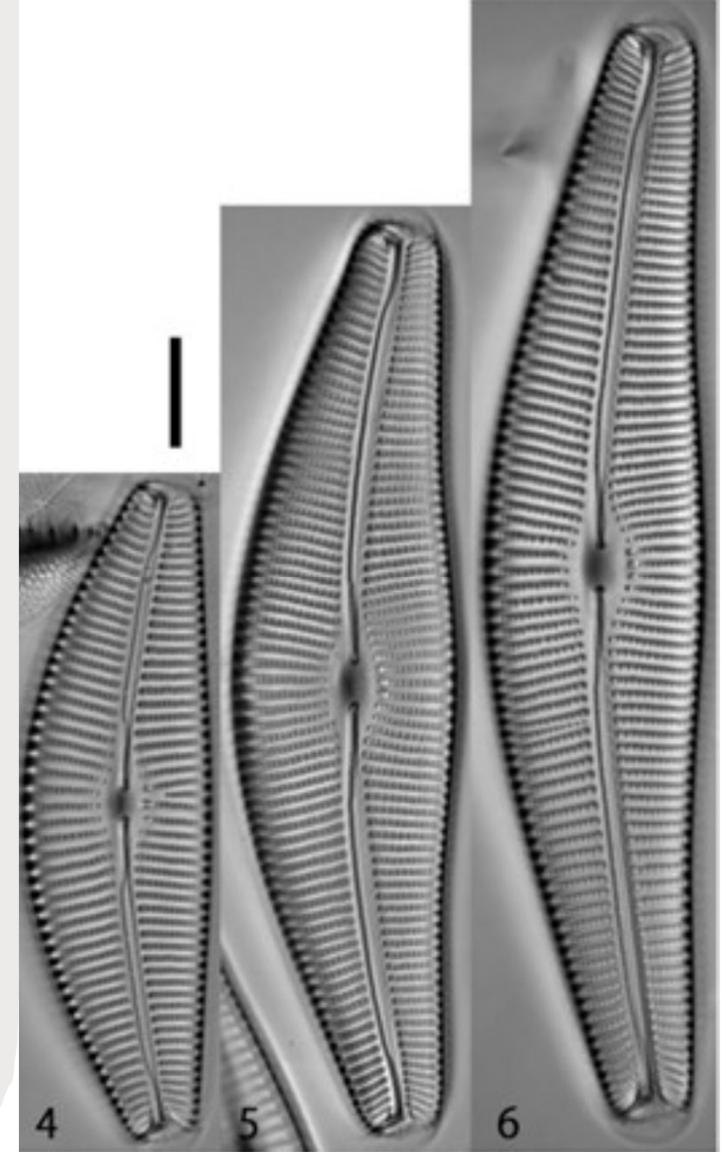
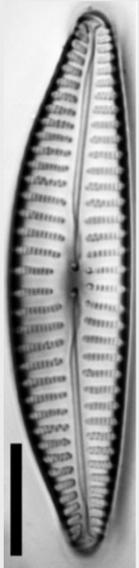
- ダムのフラッシュ放流などによって洗い流す方法は奏功していない。
- 今のところ移入を食い止めて分布拡大を遅らせるしか方法がない。
- 移入経路は主に以下の2つと考えられている。
 1. ニジマスなどについて養鱒場経由で拡散
 2. 釣具等に付着して川から川へと移動
- 従って対策としては
 1. 養鱒場のモニタリング、魚の移動に現場水を用いない、河川や管理釣り場へのニジマスなどの放流をなるべく避ける
 2. 川から川へ移動する前に、釣具を熱湯（60℃以上）につけてよく洗い、十分に乾かす。それができない場合には、網や胴長靴のフェルト底などを5%以上の食塩水に1分以上浸すか、水を切って消毒用アルコールを十分に吹きかける。

「塩で防げ！ ミズワタクチビルケイソウ」

<https://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/attach/pdf/naisuimeninfo-8.pdf>

琵琶湖流入河川の新顔付着珪藻 2 *Cymbella compactiformis*

- 中型のクチビルケイソウ（殻長0.04-0.1 mm）
- 中国の長江流域から2020年に新種記載された（Liu et al. 2020）。
- 日本では2020年頃から見られるようになった。琵琶湖流入河川では、天野川と犬上川から見つかっている（泉野ら 投稿中）。ただし本種のブルームは今のところ確認されていない。
- これまで出現した全ての場所で、*Cymbella distalebiseriata-liyangensis*種複合体と共存していた（泉野ら 投稿中）。
- *C. distalebiseriata*、*C. liyangensis*ともに、2018年に中国の長江流域から新種記載された種で（Liu et al. 2018, Zhang et al. 2018）、日本からは2021年に始めて報告された（大塚ら 2021）。



天野川個体群の光学顕微鏡写真
（泉野ら 投稿中より）

今後、詳細の調査が必要

今後の課題

- これまで見られなかった微細藻類が、突如として優占種あるいは準優占種として出現する事例が多発しているので、可及的速やかに同定して情報収集・情報提供していく必要がある。
 - ▶ 今年度も当初の研究予定になかった種が3種も見つかり、そちらに注力した結果、予定していた種の研究が滞った。
 - ▶ 本研究では扱っていないが、2011年に琵琶湖で初めて観察されたオーストリア原産の接合藻、*Micrasterias hardyi*が2016年秋から琵琶湖北湖で大発生したのは記憶に新しい。
- また、以前から数多く出現していたにもかかわらず、他種と混同されたりして認識されてこなかった種もある。生物多様性の評価と、浄水場などへの影響の両面から研究される必要がある。
 - *Discostella* sp., *Fragilaria* sp. の記載を急ぐ必要
- こうした研究成果は、講演会などにより水道・水産関係者に共有される必要があるが、それだけでなく電子図鑑などで誰でも容易にアクセスできる情報として整理される必要がある。
 - ▶ 琵琶湖博物館で準備中の電子図鑑「琵琶湖のプランクトン」は、新産種の多さと分類学的混乱により、なかなか公開準備が進まない。
- 何より本研究分野への若手の参入が必要
 - ▶ 形態分類も分子分類もできる研究者・技術者育成の必要性

100 μm

本研究と関連した成果公表

研究会

琵琶湖の微小生物ワークショップ 第1回 琵琶湖南湖における鱗片を有する黄金藻（講師：伊藤裕之氏） 2022年8月10日、琵琶湖博物館。（琵琶湖博物館主催）

琵琶湖の微小生物ワークショップ 第2回 浮遊性シアノバクテリア講演会（講師：新山優子氏・辻彰洋氏） 2022年12月22日、琵琶湖博物館。（琵琶湖博物館・国立科学博物館共催、日本水処理生物学会後援）

学会発表など

大塚泰介・根来 健・辻 彰洋. 西の湖（滋賀県）で出現した *Fragilaria longifusiformis* ssp. *europusiformis*. 日本珪藻学会第43回大会、2022年6月4日、オンライン.

辻 彰洋・大塚泰介. 本邦産の針状淡水浮遊性珪藻の整理と系統. 日本珪藻学会第43回大会、2022年6月4日、オンライン.

根来 健・大塚泰介・辻 彰洋. 2021年度冬季における *Ulnaria japonica* の増殖と近似種の出現. 日本水処理生物学会第58回大会、2022年11月19日、熊本大学.

根来 健・大塚泰介・辻 彰洋. 琵琶湖産の直径3~5 μm の円盤型珪藻の検討. 日本珪藻学会第42回研究集会、2022年11月26日、東京海洋大学.

大塚泰介・根来 健・佐藤晋也・石川可奈子・辻 彰洋. 要注意！琵琶湖淀川水系の「ミクロの外来生物」. 地域自然史と保全研究発表会シンポジウム「『視えない』外来種問題」、2023年2月26日、大阪市立自然史博物館.

論文

辻 彰洋・中川 恵・溝渕 綾・大塚泰介 (2022) 淡水棲プランクトン珪藻 *Fragilaria longifusiformis* ssp. *europusiformis* の本邦における近年の出現. *Diatom* 38: 14-17.

麦倉佳奈・Eldrin D.L.R. Arguelles・鎌倉史帆・大塚泰介・佐藤晋也 (2022) ミズワタクチビルケイソウ *Cymbella janischii* の近畿地方からの初記録およびその生細胞の形態観察. *Diatom* 38: 49-53.

・他2編を投稿中（*Raphidiopsis raciborskii* および *Cymbella compactiformis* の出現報告）