

令和5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 - びわこのちからチャンネル【琵琶湖博物館公式】 - 2023/02/03

YouTube



大塚泰介  
根来 健  
(琵琶湖博物館)

# おしながき

- 研究目的
- 研究方法
- 年度当初に研究を計画していた種の研究進展状況
  1. *Planktothrix pseudagardhii* Suda & Watanabe, nom. nud.
  2. *Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Aguilera *et al.*
  3. *Discostella* sp.
  4. *Fragilaria* sp.
  5. *Fragilaria longifusiformis* ssp. *eurofusiformis* Lange-Bertalot & S.Ulrich
  6. *Ulnaria japonica* (F.Meister) Tuji
- 新たに研究対象に加えた種の研究状況
  1. *Dolichospermum minisporum* sensu Ohtsuka *et al.*
  2. *Achnantheidium catenatum* (Bílý & Marvan) Lange-Bertalot
  3. *Uroglenopsis* sp.
  4. *Cymbella compactiformis* B.Liu & D.M.Williams
  5. *Sellaphora constrictum* Kociolek & Q-M.You
- 研究成果の統合と発信
- 今後の課題
- 本研究と関連した成果公表

# 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計画し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。

# 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。

年度当初に研究を計画していた種の研究進展状況

## 1. “*Planktothrix pseudagardhii*”

- 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。
- 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。
- 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。

**本年度の研究の進展なし**

# 年度当初に研究を計画していた種の研究進展状況

## 2. *Raphidiopsis raciborskii*

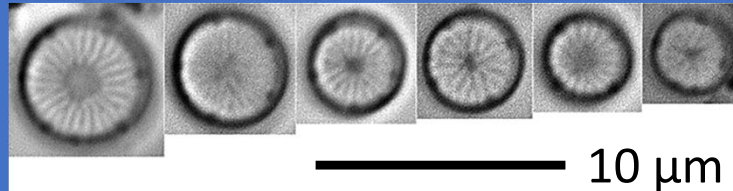


- 2022年夏に琵琶湖でわずかに出現。その後10月～12月に、琵琶湖博物館生態観察池でアオコを形成。
- 世界的に分布を拡大しており、最も悪名高い浮遊ラン藻になりつつある。
  - 琵琶湖ではセタシジミなどに取り込まれ、貝毒を引き起こす危険性→琵琶湖博物館産株の毒性はまだ不明
- 本種は従来、熱帯性とされている。温帯湖沼では夏期の水温25°C以上の条件でのみブルームを形成するとされてきた。培養実験でも、ほぼ全ての株が15°C以上で増殖し、至適水温は30°C程度。
- しかし近年、中国などで水温15°C以下でも本種がブルームを引き起こす事例が報告されており、低水温耐性のある生態型の出現が示唆されている。
- 琵琶湖博物館生態観察池では2023年6～10月に再び発生し、7～9月には著しいブルーム（10<sup>8</sup> トリコム/L程度）を形成した。
  - 現在進めている池干しで発生を抑えられるか？

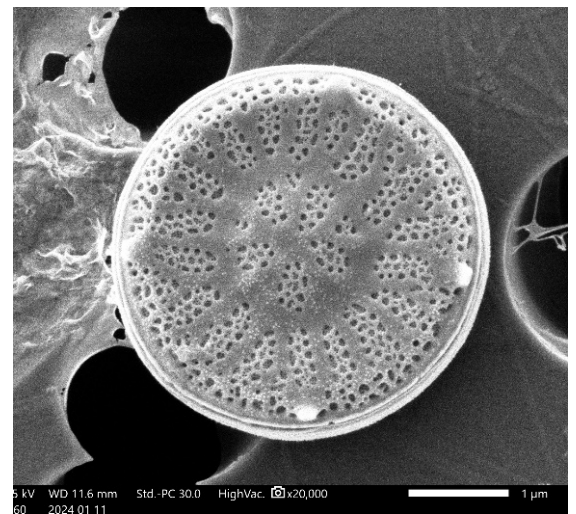
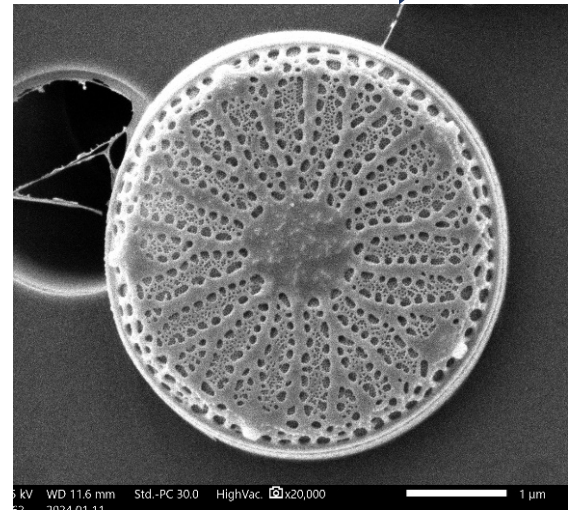
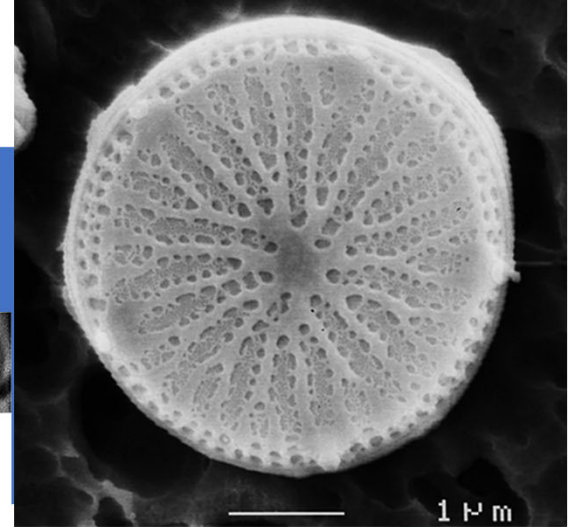


# 年度当初に研究を計画していた種の研究進展状況

## 3. *Discostella* sp.



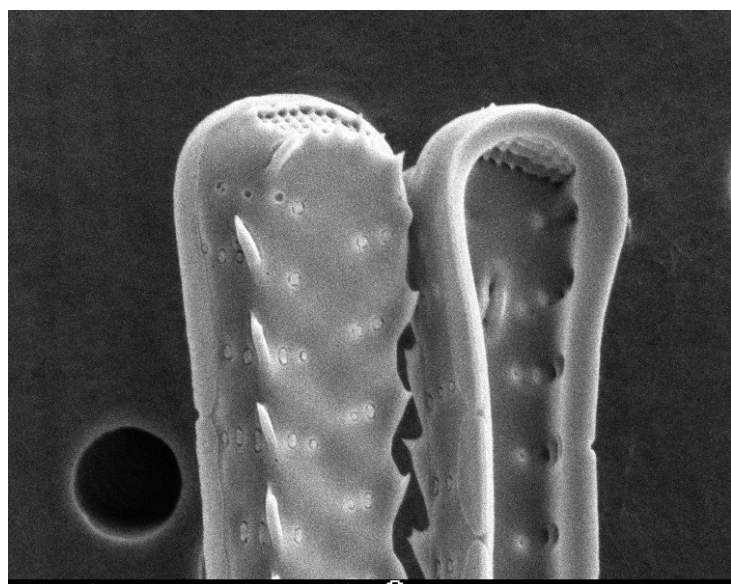
- 直径3-5  $\mu\text{m}$ の、ごく小型の円盤型珪藻。
- 2021年1-2月に、琵琶湖南湖で珪藻の優占種になっていた（ただし細胞数の上で）。以後も冬期にまとまった量が発生している。
- 1979年に琵琶湖南湖で採集された試料にも本種と思われる珪藻が大量に含まれており、近年侵入した種ではない（後藤敏一氏；私信）。
- 辻彰洋氏が国立科学博物館のエキシカータで*Discostella* sp. Kasumi として報告した種と酷似している。
- 本種はChang & Chang-Schneider (2008) が*Discostella nana* (Hustedt) T.P.Chang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する。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（著作権の関係で原図とタイプ写真は非表示）。
- 現在、遺伝子分析に供するために単離培養に挑戦中だが、まだ成功していない。
- 2023年12月、本種は琵琶湖南湖の今津漁港でも多数出現した。この際、類似種の*Discostella lakuskarluiki* (Manguin ex Kociolek & Reviere) Potapova et al. も多く見られた。→下の写真
- こうしたナノプランクトン下限サイズの微細藻類が優占することはほとんど想定されていなかったようで、根来らが2023年11月の水処理生物学会大会で本種を紹介したところ、驚きの声が多数寄せられた。→検査の穴



## 年度当初に研究を計画していた種の研究進展状況

### 4. *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。
- 本種は *F. crotonensis* に比べて条線が粗い。また走査電子顕微鏡による観察の結果、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。



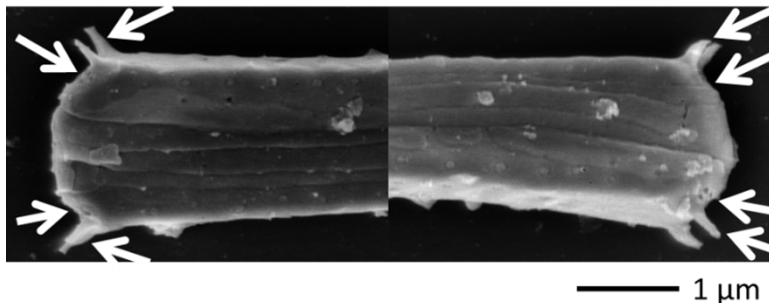
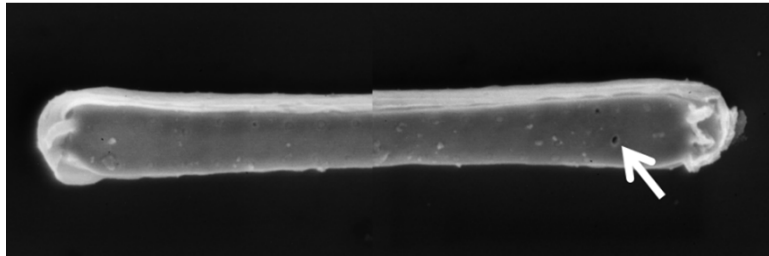
- 辻彰洋らの遺伝子 (*rbcL*) 解析により、本種は *Fragilaria crotonensis* とは遠縁で、*Fragilaria longifusiformis* ssp. *euofusiformis* などと近縁の別種であることが明らかになった。
- 本種は2020年頃から琵琶湖であまり発生しなくなり、研究が滞っていた。しかし2024年2月下旬よりまとまった量の発生が見られたので、現在、再度の単離培養と詳細な形態観察を進めようとしている。



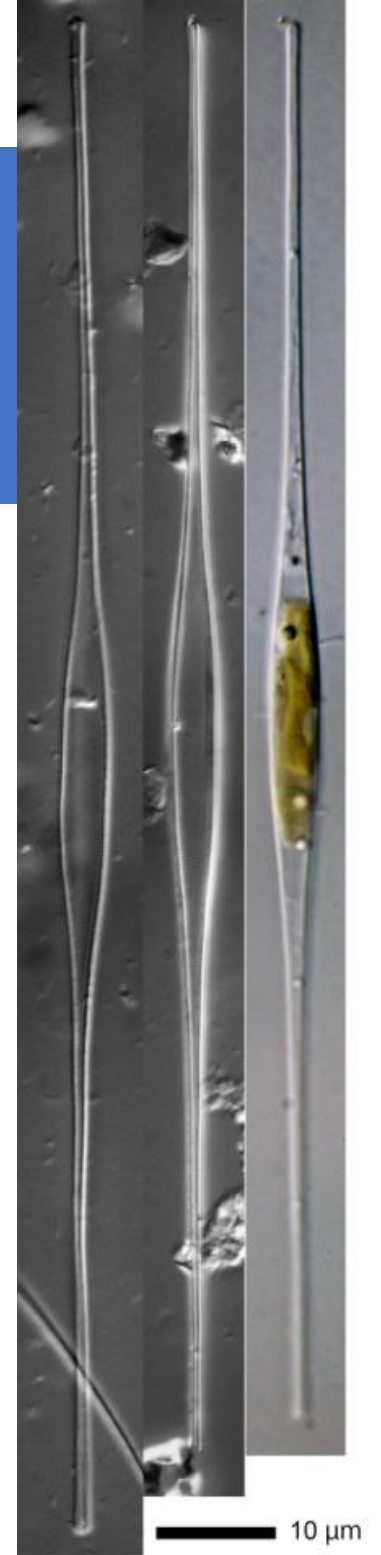
## 年度当初に研究を計画していた種の研究進展状況

### 5. *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。このときの第一優占種は後述のハリケイソウ *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）。



- 本種は2024年1月から、再び琵琶湖南湖で増加した。しかしこの期間に浄水場でろ過閉塞障害が報告されていないため、どうやら類似種 *Ulnaria japonica* などと異なり、ろ過閉塞障害を引き起こすことはないようである。
- Van de Vijver et al. (2023) は、26<sup>th</sup> International Diatom Symposium の発表で、*Fragilaria* は大きく3つの属に分割されるべきであるとした。そして、そのどれにも該当しない種の例として本種（基本亜種 *F. longifusiformis*）を挙げた。したがって本種は近く、新設された別属に移される可能性がある。



# 年度当初に研究を計画していた種の研究進展状況

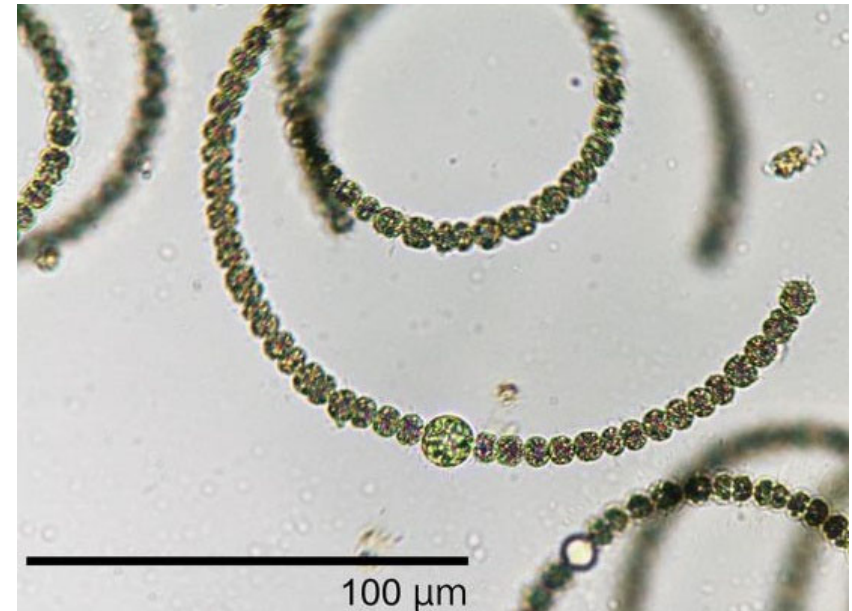
## 6. *Ulnaria japonica*

- 本種は*Synedra acus*と同定されてきたハリケイソウの一種である。浄水場で凝集沈殿処理障害を起こし、ろ過閉塞障害を引き起こすことで悪名高い。
- 2021年12月頃から本種と思われる珪藻が琵琶湖南湖で大発生し、淀川下流域まで流下して、琵琶湖および下流域を水源とする各地の浄水場でろ過閉塞障害を引き起こした。これはTuji (2009) による本種の*Ulnaria*属への組み替え論文が出版され、本種の存在が広く知られるようになって以降初めてのことであった。
- 一方、国立科学博物館の辻彰洋博士は北浦（茨城県）、鳴滝ダム（岡山県）などから本種とよく似た隠蔽種の存在を認め、大塚、根来らとともに新種記載論文を準備中である（まだネット上で公開できない）。
- この隠蔽種は、分子分類学的には*U. japonica*と明確な違いがあるものの、光学顕微鏡的特徴には僅かな違いしかない。現在、計量形態学的に区別する方法を検討中である。またSEMによる観察に基づき、この隠蔽種と*U. japonica*との明確な形態の違いを明らかにしたので、これを上記の新種記載論文で公表する予定である（まだネット上で公開できない）。
- 今後、この隠蔽種が琵琶湖淀川水系でも出現していないかを調査し、浄水場における処理性を確認する必要がある。

# 新たに研究対象に加えた種の研究状況

## 1. *Dolichospermum minisporum* sensu Ohtsuka et al.

- 本種は2020年夏に琵琶湖南湖でブルームを形成し、*Dolichospermum minisporum* (M.Watanabe) Tuji & Niiyama と同定された。
- 本種はgeosminを生成することが知られており、2020年夏の琵琶湖南湖におけるかび臭発生の原因となった（野口ら 2022）。
- 本種の琵琶湖からの出現は既に野口ら (2022)、大塚ら (2023) などにより報告されている。ただし大塚ら (2023) が示した顕微鏡写真は、未熟なアキネートを持つ他種を誤同定した可能性がある。
- ところが国立科学博物館の辻彰洋博士が琵琶湖産本種の遺伝子を分析したところ、*Dolichospermum* とは別属であることが示唆された。そのため琵琶湖に出現した本種がタイプ産地である千葉県印旛沼の *D. minisporum* と同種であるか否かを含め、形態および分子の両面からの分類学的再検討を始めている。



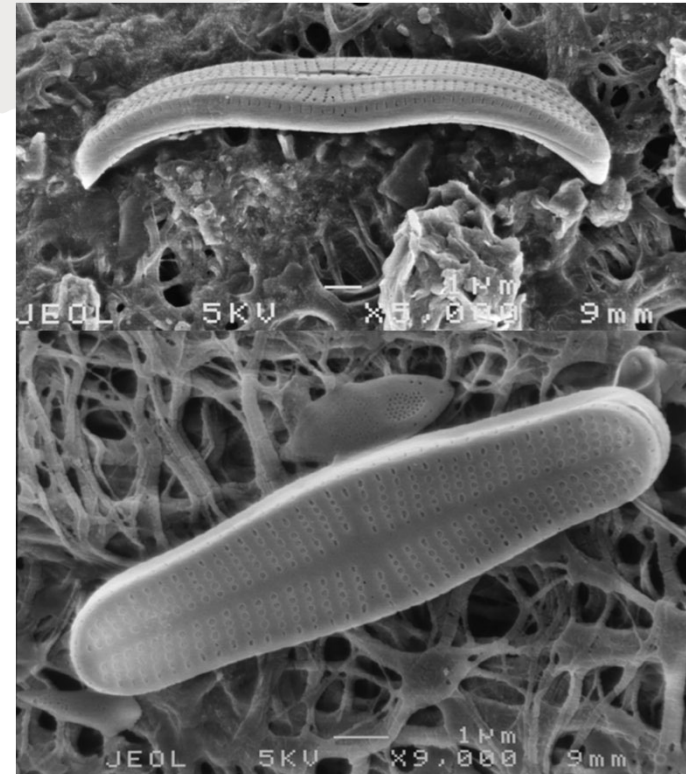
（一瀬諭氏撮影）

本種は2023年8～10月にも琵琶湖南湖で発生したが、風向きの関係か東岸ではたいへん少なく、追加の試料を得ることができず十分な検討ができなかった。

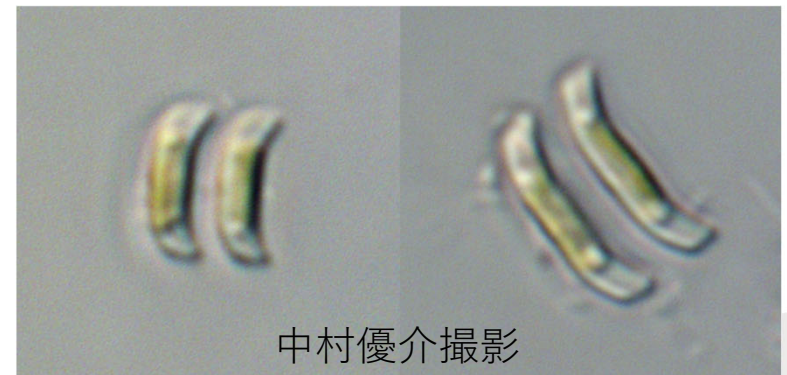
# 新たに研究対象に加えた種の研究状況

## 2. *Achnantheidium catenatum*

- 本種は*Achnantheidium* (ツメワカレケイソウ属) としては2種しか知られていない真性の浮遊性珪藻である。タイプ産地はボヘミア地方 (チェコスロバキア) のダム湖だが、原産地はアフリカだと考えられている。
- 外来種と考えられ、2021年頃から井の頭池 (東京都) と鳴滝ダム (岡山県) で出現するようになった。いずれも高密度で増殖することがあり、透明度の著しい低下を招いている。鳴滝ダムでは細胞密度が $4 \times 10^7$  cells/Lに達したことがあった。
- 日本に先立ち、中国でも2010年頃から見つかるようになった (馬ら, 2013)。
- 本種は2022年秋、琵琶湖博物館生態観察池の底泥上からも確認され、その後、水柱からもしばしば見いだされている。しかし生態観察池における本種の優占は起っていない。
- 大塚ら (2023) は本種の出現状況を日本珪藻学会第44回大会で報告し、論文執筆を準備中である。



琵琶湖博物館生態観察池 2023/1/17



中村優介撮影

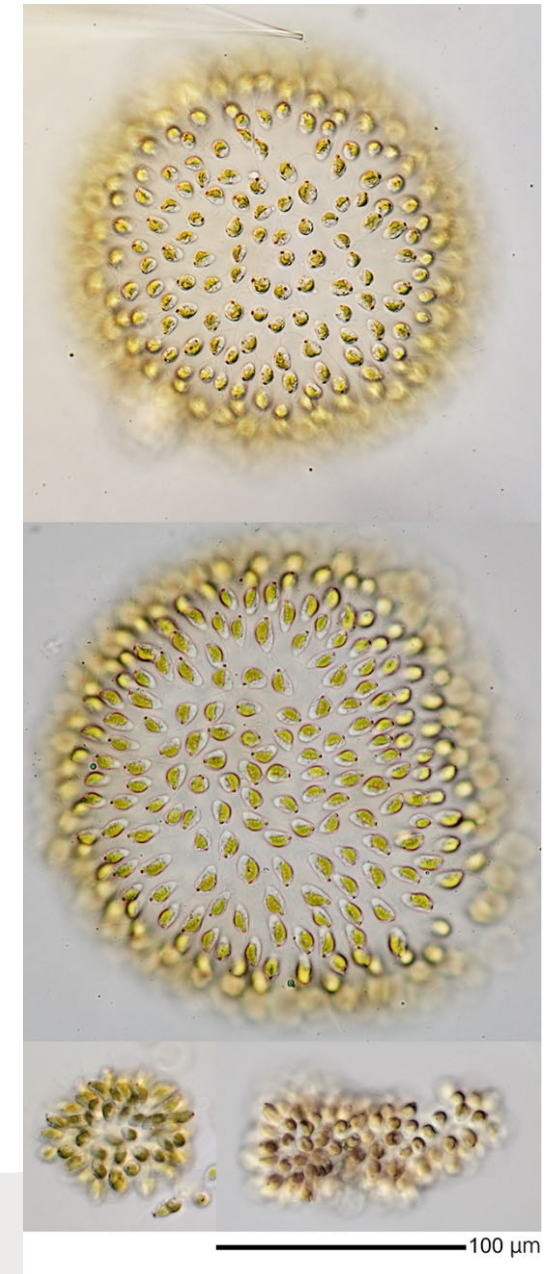
10 µm

同上 2023/4/10

# 新たに研究対象に加えた種の研究状況

## 3. *Uroglenopsis* sp.

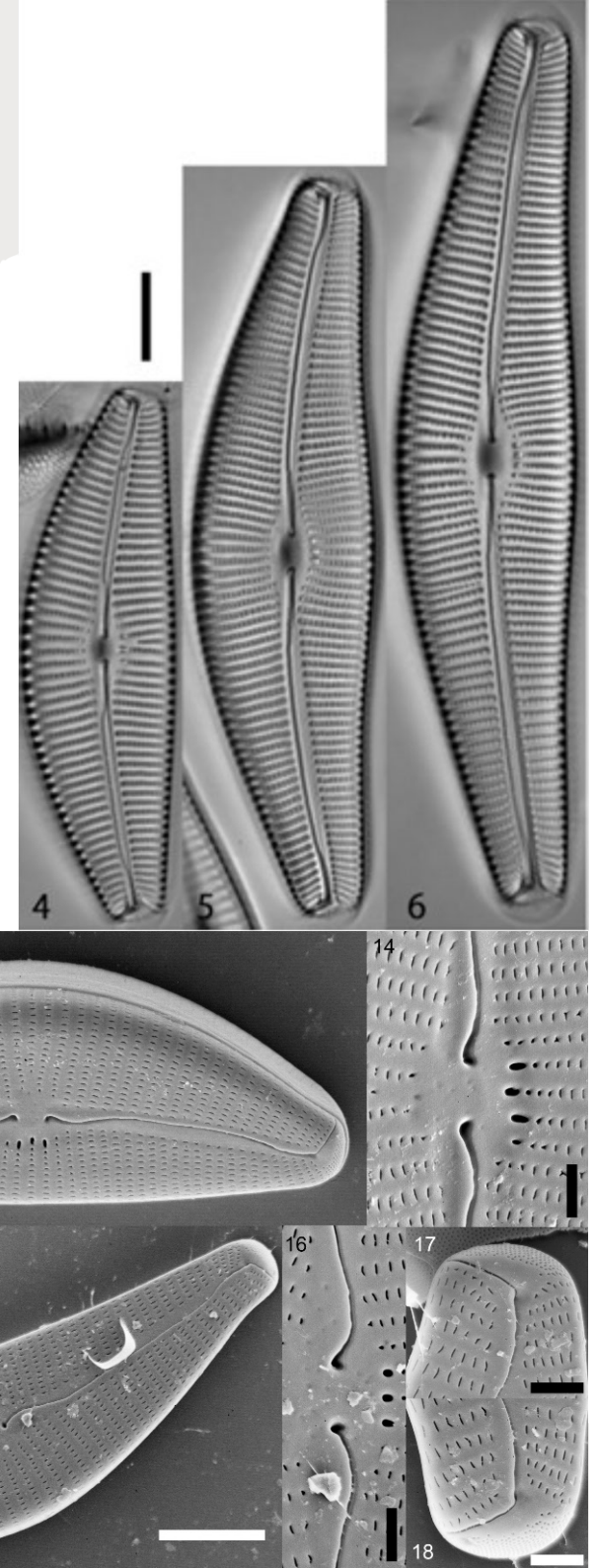
- 本種は1977年から琵琶湖で淡水赤潮を形成してきた種で、一般にはウログレナあるいはニセクスダマヒゲムシと呼ばれている。現在の分類基準では*Uroglenopsis americana* (G.N.Calkins) Lemmermannとされる。
- 2022年4月頃から、本種の小型で密な群体がしばしば見られるようになった。こうした小型群体では、細胞は極めて細長くなることもある。2種が混在していることが疑われたので琵琶湖の様々な時期、場所で採集した様々な形状の群体の遺伝子を分析したところ、全て同種で遺伝的な変異もほとんどないことが明らかになった。
- 一方で、琵琶湖産の本種は北米産の*U. americana*とは遺伝的にやや異なっており、むしろ欧州産の*Uroglenopsis botrys* (Pascher) Pascherに近縁であることが明らかになった（詳細はまだネット上で公開できない）。
- 現在、国立科学博物館の辻彰洋博士らと共に、上記成果の論文報告を準備している。また本種を新種記載すべきかどうかについても検討している。



# 新たに研究対象に加えた種の研究状況

## 4. *Cymbella compactiformis*

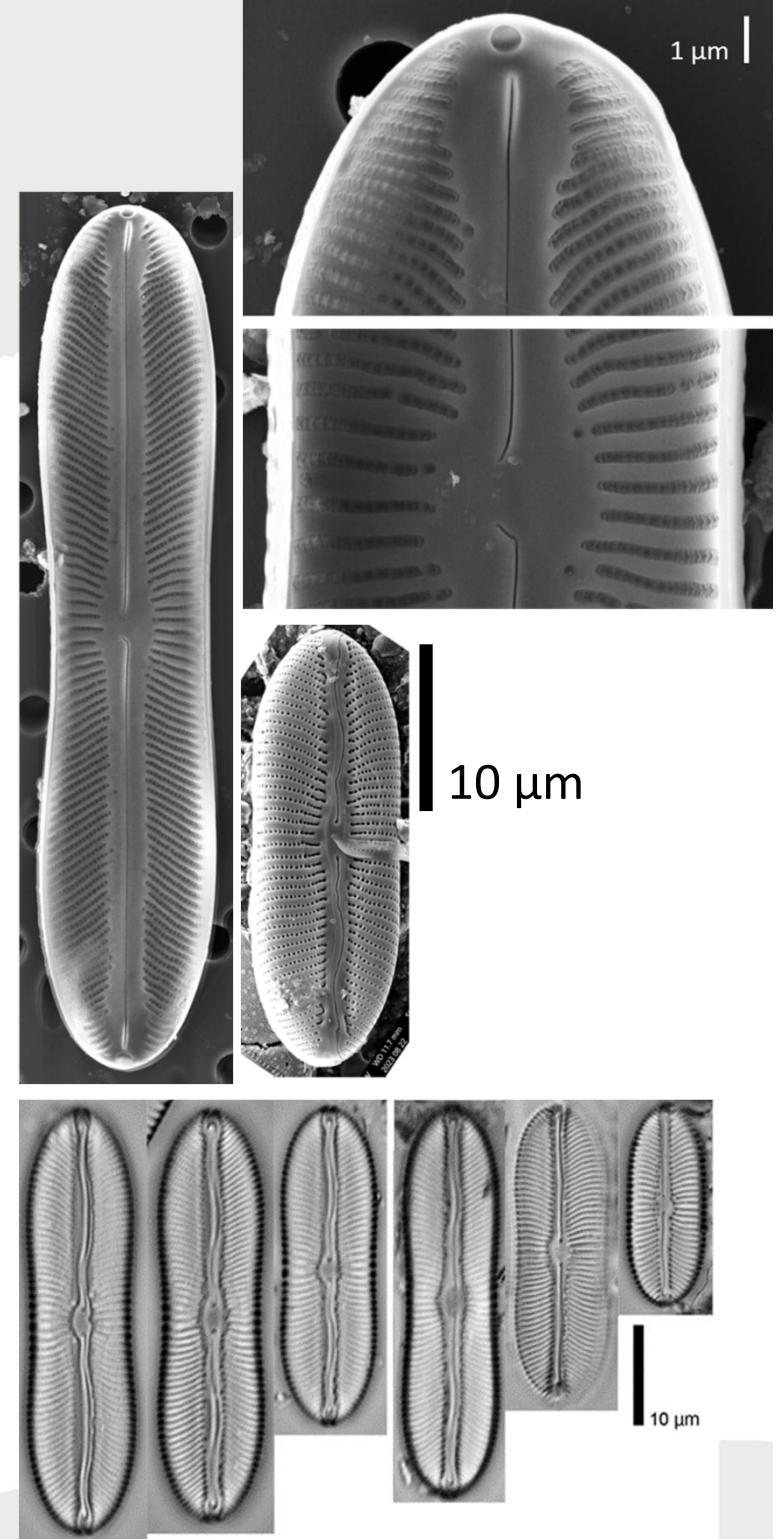
- 中型のクチビルケイソウで、中国の長江流域から2020年に新種記載された（Liu *et al.* 2020）。
- 日本では2020年頃から見られるようになった。琵琶湖流入河川では、天野川と犬上川から見つかっている。
- 今年度、懸案だった本種の日本からの出現報告を論文として出版した（泉野ら, 2023）。
- 本種のブルームは今のところ報告されていない。しかし近年、北米産*Cymbella janischii*、在来種*Cymbella subturgidula*、*Cymbella tumida*などクチビルケイソウのブルームが多発するようになり、漁業被害の事例（放流アユが居着かなくなる、漁網に大量に付着して漁の妨げとなる）もあることから、本種についても一応の警戒が必要である。



# 新たに研究対象に加えた 種の研究状況

## 5. *Sellaphora constrictum*

- 本種は琵琶湖流入河川である犬上川で**2021**年に得られた試料中に僅かに含まれていた。
- 同種と思われるものが、**2015**年から矢作川（愛知県）でも発見されていた（内田・洲澤, **2018**）。
- **2023**年夏から、本種が堅田内湖で急増し、一時期、ヨシ付着珪藻の優占種になることがあった。九州の河川では砂泥上で優占した事例もあるという。
- 私たちは当初、本種を中国南部から**2022**年に報告された *Sellaphora tanghongquii* Ni et al. と同定していた。
- ところが様々な方法で処理された日本産標本を観察した結果、**2018**年に報告されていた本種と *S. tanghongquii* との違いが、単に殻の保存状態あるいはクリーニング方法の違いによるものであることが判明した。
- そこで現在、本種の日本からの報告論文を、日本各地で本種を見つけて大塚に相談してきた人たちとともに準備中である。



特集：『視えない』外来種問題

## 要注意！琵琶湖とその集水域の「ミクロの外来生物」

|                     |         |
|---------------------|---------|
| 滋賀県立琵琶湖博物館          | 大塚 泰 介  |
| 滋賀県立琵琶湖博物館          | 根 来 健   |
| 福井県立大学海洋生物資源学部      | 佐 藤 晋 也 |
| 琵琶湖環境科学研究センター総合解析部門 | 石 川 可奈子 |
| 国立科学博物館植物研究部        | 辻 彰 洋   |

Caution! Alien microalgae in Lake Biwa and its catchment area. Taisuke Ohtsuka\* (Lake Biwa Museum), Takeshi Negoro (Lake Biwa Museum), Shinya Sato (Faculty of Marine Science and Technology, Fukui Prefectural University), Kanako Ishikawa (System Analysis Division, Lake Biwa Environmental Research Institute) and Akihiro Tuji (Department of Botany, National Museum of Nature and Science)

\*Corresponding author

In recent years, new microalgae have been discovered one after another in the Lake Biwa Basin, some of which have proliferated to form blooms. Among them, we present five species of alien microalgae (including possible ones) recently discovered in the Lake Biwa Basin that are forming or may soon form HABs (Harmful Algal Blooms). *Cymbella janischii* is an invasive diatom native to North America. In 2022, its invasion was confirmed in the Ado River for the first time in the Kinki region. Blooms of this species cover riverbeds as thick viscous colonies and adversely affect the growth of sweetfish, *Plecoglossus altivelis*. A benthic cyanobacterium *Microseira wollei* was discovered in the South Basin of Lake Biwa in 2012. Initially, it was thought to be an alien species native to North America, but genetic analyses revealed that it is genetically different from the North American population at the level of a separate species. It covered the bottom of the lake as thick mats and adversely affected the growth of bivalves and aquatic earthworms. In the Lake Biwa Basin, blooms due to new cyanobacteria were observed for three consecutive years from 2020. *Dolichospermum minisporum* which bloomed in the South Basin of Lake Biwa in September 2020 was found to produce geosmin, a musty odor substance. "*Planktothrix pseudagardhii*" bloomed in Lake Nishino in October 2021; it was the first discovery of this species from Japan. In 2022, *Raphidiopsis raciborskii*, which has been considered tropical, bloomed at a pond of Lake Biwa Museum from October to December when the water temperature dropped. One of the reasons why cyanobacterial blooms continue to occur in Lake Biwa despite improved water quality may be the continuous emergence and bloom formation of new species of cyanobacteria.

**Keywords:** Baas Becking's hypothesis, endemism of microorganisms, Ken-ichiro Negoro, phosphorus in the sediment, The Lake Biwa Ordinance

要旨：琵琶湖盆では近年、新顔の微細藻類が次々と発見され、その一部は大繁殖してブルームを形成している。その中には外来種かその可能性がある種が多く含まれている。本報ではこうした新顔の微細藻類のうち、HABs (Harmful Algal Blooms; 有害藻類ブルーム) を形成したか、近い将来にその可能性がある5種を紹介する。ミズワタケビルケイソウ *Cymbella janischii* は北米原産の外来種である。2022年に近畿圏で初めて、安曇川への侵入が確認された。本種が大繁殖すると河床を分厚い粘質群体として覆い、アユの生育などに悪影響を及ぼす。底生ラ

# 研究成果の統合と発信1 要注意！琵琶湖とその集水域の「ミクロの外来生物」

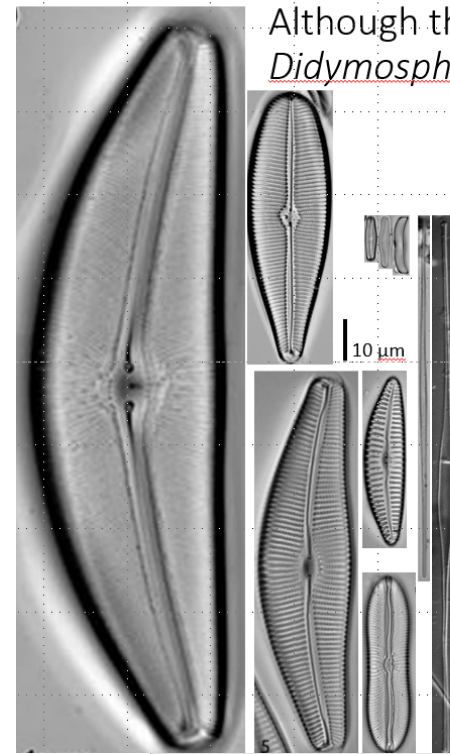
- 2023年2月「地域自然史と保全 研究発表会」のシンポジウム「『視えない』外来種問題」で発表した内容を増補して、「地域自然史と保全」特集記事として刊行。
- 微細藻類の外来種が実際に存在すること、近年になって新たな外来種の発見が増加していることを示した。
- また近年になって見つかった、琵琶湖で外来種の可能性がある微細藻類の例として、*Cymbella janischii*、*Microseira wollei*、*Dolichospermum minisporum*、"*Planktothrix pseudagardhii*"、*Raphidiopsis raciborskii*の5種を紹介した。

## 研究成果の統合と発信 2

Diatoms presumed to have recently invaded Lake Biwa Basin in Central Japan.

- 山形で2023年8～9月に行われた第26回国際珪藻シンポジウムで、2020年以降に琵琶湖集水域から新たに見つかった、外来種と考えられる珪藻8種を紹介した。

1. *Cymbella distalebiseriata-liyangensis* species complex
2. *Cymbella compactiformis*
3. *Sellaphora tanghongquii* (?)
4. *Cymbella janischii*
5. *Gomphoneis minuta*
6. *Fragilaria longifusiformis* ssp. *eurofusiformis*
7. *Achnanthisidium catenatum*
8. *Fragilaria saxoplanctonica*



Although this session focus on *Didymosphenia geminata* & *Cymbella janischii*,

there are many other diatom species which are presumed to be introduced from a distant place in the world.

- They are not always invasive, but some of them form blooms and may have negative impacts on aquatic environment.
- From the Lake Biwa Basin, we found eight diatom species (incl. *C. janischii*) presumed to be introduced from outside Japan during the three years after 2020.

Why did these diatom new faces debut one after another?

- Ohtsuka brought and dispersed them.
  - Is a lie! Don't take it seriously.
- Ohtsuka and his merry companions began to work hard to find out.
  - It may be true...
- The diatoms that have recently appeared in the Lake Biwa Basin are various in their presumed origins and habitat environments.
  - There may be multiple causes.
- However, it can be pointed out that the following common factors may facilitate the invasion and proliferation of alien species of diatoms.
  - Increased movement opportunities for diatoms related to fisheries and recreational fishing.
  - Increases in vacant niches due to changes in the local aquatic environment and global climate change.

# 研究成果の統合と発信 3 Cyanobacterial water blooms in Lake Biwa - revisiting 40 years of history

- 広島で2023年11月に行われた第20回国際有害藻類シンポジウムで、一瀬 諭氏が（ほぼ一人で）毎週調査してきた瀬田川のプランクトンの調査結果をベースに、本研究の成果などに基づく分類学的再整理をして、1983年の最初のアオコ発生以来40年間のアオコ構成種の変遷を概観した。
- 琵琶湖に次々と新たな種が侵入して、その時々環境に適応した種が増殖してきたことが、富栄養化の改善にもかかわらずアオコの発生がおさまらない一因であると考察した。

## Cyanobacterial water blooms in Lake Biwa -revisiting 40 years of history

Taisuke Ohtsuka<sup>1\*</sup>, Takeshi Negoro<sup>1</sup>, Akihiro Tuji<sup>2</sup>, Yuko Niiyama<sup>2</sup>, Kanako Ishikawa<sup>3</sup> and Satoshi Ichise<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lake Biwa Museum, 1091 Oroshimo, Kusatsu, Shiga 525-0001, Japan.

<sup>2</sup> National Museum of Nature and Science, 4-1-1 Amakubo, Tsukuba, Ibaraki 305-0005, Japan

<sup>3</sup> Lake Biwa Environmental Research Institute, 5-34 Yanagasaki, Otsu, Shiga 520-0022, Japan

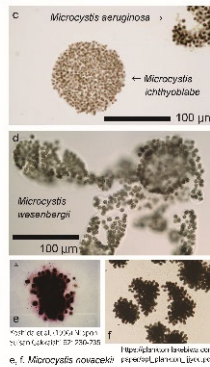
\*E-mail: ohtsuka-taisuke@biwahaku.jp



Lake Biwa is the largest and oldest lake in Japan. It is 669 km<sup>2</sup> in area, 275 km<sup>3</sup> in water volume. The North Basin, the main basin is 41 m in the mean depth. The South Basin, the sub-basin is 4 m in the mean depth. Lake Biwa is an ancient lake. It is a structure lake made by fault movement. Its origins date back more than 4 million years ago and even after moving to the current position, it will be over 430 thousand years. So far more than 60 endemic species have been known. In 1983, a water bloom caused by cyanobacteria that have gas vesicles and accumulate on the water surface (hereinafter referred to as "cyanobacterial scum formation") first appeared in the South Basin of Lake Biwa, irrespective of its oligo- to mesotrophic water. At that time, the cause was thought to be eutrophication. For 40 years since then, however, cyanobacterial water blooms have appeared almost every year in the South Basin of Lake Biwa despite success in reducing eutrophication.

Since 1981, an outbreak of *Anabaena* has caused a problem with the gessmin musty odor in Lake Biwa. At that time, the dominant species was identified as *Anabaena microscopica* var. *robusta* (Okayama et al. 1982). This species first formed cyanobacterial scum in Lake Biwa in 1983. This species has since been identified such as *Anabaena microscopica* or *A. microscopica* var. *crassa*, but as many micrographs do not show mature akinete, accurate re-identification is currently impossible. Tuji et al. (2023) recently revealed, however, that the species that generate the musty odor was in fact *Dolichospermum hangangense*, a recently described new species from South Korea. Since then, however, some similar species such as *Dolichospermum planctonum* and *Dolichospermum smithii*, which do not produce gessmin, reported from Lake Biwa by Watanabe (2007) also have been reported without being distinguished.

In 1985, the dominant species was replaced by *Dolichospermum affine* from *D. hangangense*. Although this species appeared in Lake Biwa and South Lake as late as 1978 (Negoro 1986), it first became dominant in 1985. After that, this species occasionally proliferated until 1995, but it became an extremely rare species when submerged plants began to flourish in South Lake Biwa. This species does not produce any musty odor substances.



In 1987, a cyanobacterial scum formation consisting mainly of *Microcystis* first appeared in Lake Biwa. At that time, the dominant species were identified as *Microcystis aeruginosa* and *Microcystis wesenbergii* (Ichise et al. 1988). Negoro (1991) reported, however, that *M. aeruginosa* collected from the western shore of South Basin in 1990 generally had small cells 2.5-3.5 µm in diameter, and show the microphotographs of the colonies in which the cells existed somewhat sparsely in the matrix. According to the identification criteria, it is identified as *Microcystis ichthyoblabe*. Probably both *M. aeruginosa* and *M. ichthyoblabe* were growing together in Lake Biwa at that time, but they were not differentiated.

A large-scale of cyanobacterial water bloom mainly caused by *Microcystis* also occurred in 1988, but in subsequent years it became small-scale and sporadic. After 1995, when submerged plants began to flourish in South Lake Biwa, *Microcystis* rarely formed water blooms.

Cyanobacterial scum formation has been occurring in the harbor areas of North Basin since 1994, and the dominant species have been identified as *M. aeruginosa* and *M. wesenbergii*.

Looking at the photograph taken by Yoshida et al. (1996), the cell diameter is large, about 4 µm, and the colony is quite dense, which is consistent with the characteristics of *M. aeruginosa*. However, Satoshi Ichise, one of the author of the present study, later identified it as *Microcystis novaezealandiae*. A microphotograph taken by Ichise at the time shows the characteristics of hemispherical colonies facing each other, supporting the identification.

*Oscillatoria kawamurae* was first discovered in Lake Biwa in 1990 (Negoro 1991), and began blooming in 1998. It is a gigantic species that can exceed 80 µm in breadth. Dr. Ken-ichiro Negoro, who described this species as a new species from northeastern China in 1944, had been observing plankton in Lake Biwa for many years since he was assigned to the Otsu Hydrobiological Station, Kyoto University in 1948. It is unreasonable that he could have overlooked such a conspicuous species for decades, so this species is probably an invasive species in Lake Biwa. However, after 2010, outbreaks of this species have stopped.

*Aphanizomenon flos-aquae* first formed scum in Lake Biwa in 1999 (Ichise et al. 2000). It can grow even at low water temperatures, and the strain from Lake Biwa can grow at temperatures above 8°C, with the optimum water temperature being around 23-29°C (Iijima et al. 2001). Although this species continues to occur until now, it has never become dominant after 2012.

The scum formation of *O. kawamurae* and *A. flos-aquae* increased with the increase in submerged plants. Both species form large colonies and have high surfacing speeds, so it is possible that the environment with weak vertical mixing created by submerged plants is relatively advantageous for both species.

In recent years, *Dolichospermum* (or similar cyanobacteria) has once again become a major component of cyanobacterial scum formation.

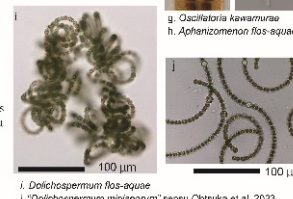
*Dolichospermum flos-aquae* was first found in Lake Biwa in 1989 and first formed scum in 1999. After that, it decreased again, but since 2013 it has often become a major component of cyanobacterial scum formation.

*Dolichospermum affine* was rarely seen from 1996 to 2012, but since 2017 it has become a major constituent species of cyanobacterial scum, and especially in 2018, it formed large-scale scum.

An unidentified cyanobacterium originally identified as *Anabaena microscopica* (= *Dolichospermum hangangense*) suddenly formed a scum in 2020 and has continued to occur every year since then. This species produces gessmin and in 2020 caused musty odor damage in water supplies sourced from the South Basin. Akihiro Tuji and his colleagues revealed that this species does not belong to *Dolichospermum* and is probably an undescribed species (see O-211 of this symposium).



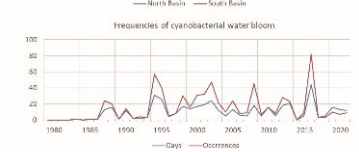
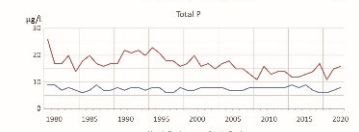
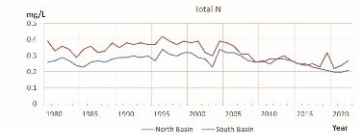
A cyanobacterial water bloom observed on the western shore of the South Basin in October 31, 2023.



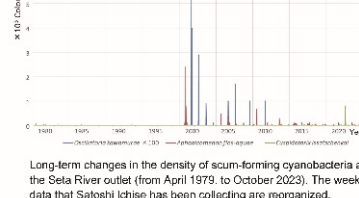
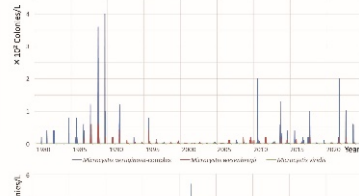
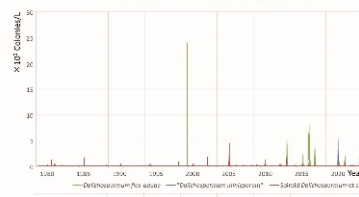
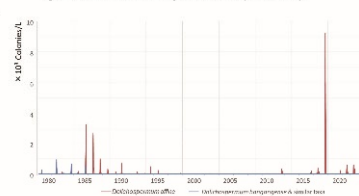
i. *Dolichospermum flos-aquae*  
j. *Dolichospermum minisparum* sensu Ohtsuka et al. 2023

In 2023, cyanobacterial scum formation mainly consisted of *Dolichospermum* spp. was observed in a wide area of South Basin from late July, but it decreased after Typhoon No. 7 hit on August 15. However, severe bloom continues only in restricted areas on the eastern shore of the South Basin even at the end of October. The dominant species were mainly *Microcystis aeruginosa* (not *M. ichthyoblabe*) in September, but shifted to spirial *Dolichospermum* species (and maybe its similar genera) in October.

Cyanobacterial scum formation continue to occur in the South Basin despite declining nutrient levels. One possible mechanism for this is that previously unknown cyanobacteria species emerged from Lake Biwa one after another, and species suited to the environment of the time became dominant.



Changes in total N, total P and frequencies of cyanobacterial algal bloom. Data from Shiga Prefecture (2000-2023)



Long-term changes in the density of scum-forming cyanobacteria at the Seta River outlet (from April 1979 to October 2023). The weekly data that Satoshi Ichise has been collecting are reorganized.

Special thanks to  
-Ken-ichiro Negoro (Lake Biwa Museum)  
-Yuko Niiyama (National Museum of Nature and Science)  
-Takeshi Negoro (Lake Biwa Museum)  
-Satoshi Ichise (Lake Biwa Environmental Research Institute)  
-Kanako Ishikawa (Lake Biwa Environmental Research Institute)  
-Akihiro Tuji (Lake Biwa Environmental Research Institute)  
-Yukio Ohtsuka (Lake Biwa Environmental Research Institute)  
-Taisuke Ohtsuka (Lake Biwa Museum)

# 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。
  - *Fragilaria longifisiformis* ssp. *eurofusiformis*、*Raphidiopsis raciborskii*など
- 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
- さらに分子分類や形態の精査などにより、従来の同定の誤りが発覚することもある。
  - *Uroglenopsis* sp., *Dolichospermum minisporum* sensu Ohtsuka et al. など
- 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。
  - 新産種が次々と現れ、また研究が進むにつれて分類学的な不明点がどんどん明らかになるために、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」の公開準備はなかなか進まない。

# それでも・・・

この分野の他地域の研究者・技術者によれば、琵琶湖は恵まれているらしい。

■ 過去の研究とモニタリングの蓄積がある。

◆これがなければ、外来種の存在など誰も気づかない

■ 注目して研究している人たちが今なお多い。

◆地元大学・行政機関の研究者・学生たち

◆ハイアマチュア（琵琶湖博物館はしかけなど）

◆他地域に転出してでも研究を続け協力してくれる「琵琶湖育ち」の研究者たち

若手研究者・技術者諸君！

私たちが高齢化、後継者不足に悩む今だからこそ、この分野に本格的に参入してみませんか？

琵琶湖で今、研究を始めれば、巨人の肩に立って研究の王道を進み、きっと次世代の第一人者になれますよ!!

# 本研究と関連した成果公表（2023年度分）

## 学会発表など

大塚泰介・根来 健・井上晴絵・小倉謙一・草間雄大・辻 彰洋. 日本からの*Achnanthes catenatum*の出現報告. 日本珪藻学会第44回大会、2023年5月13日、文教大学あだちキャンパス.

Ohtsuka T, Negoro T, Izumino H, Sato S, Tuji A. Diatoms presumed to have recently invaded Lake Biwa Basin in Central Japan. The 26<sup>th</sup> International Diatom Symposium, Aug. 29<sup>th</sup>, 2023, Yamagata Terrsa.

Ohtsuka T, Negoro T, Tuji A, Niiyama Y, Ishikawa, K, Ichise S. Cyanobacterial water blooms in Lake Biwa - revisiting 40 years of history. 20th International Conference on Harmful Algae, Nov. 6<sup>th</sup>, 2023. Grand Prince Hotel Hiroshima.

Tuji A, Niiyama Y, Ohtsuka T, Nakagawa M, Ichise S. Taxonomy and phylogeny of geosmin-producing *Dolichospermum* species. 20th International Conference on Harmful Algae, Nov. 10<sup>th</sup>, 2023. Grand Prince Hotel Hiroshima.

根来 健・大塚泰介・辻 彰洋. 琵琶湖南湖で多産する円盤型珪藻. 日本水処理生物学会第59回大会、2023年11月18日、山形大学鶴岡キャンパス.

## 論文

大塚泰介・鈴木隆仁・辻 彰洋 (2023) 琵琶湖辺の池におけるラン藻*Raphidiopsis raciborskii*のブルーム形成. 日本水処理生物学会誌 59: 27-32.

泉野央樹・洲澤多美枝・大塚泰介 (2023) 西日本3 河川からの *Cymbella compactiformis* の出現. Diatom 39: 47-53.

## その他

大塚泰介・根来 健・佐藤晋也・石川可奈子・辻 彰洋 (2023) 要注意！琵琶湖とその集水域の「ミクロの外来生物」. 地域自然史と保全 45: 25-38.