

# 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・根来 健

## 1. はじめに

HABs (Harmful Algal Blooms; 有害藻類ブルーム) は河川・湖沼管理上の大問題である。ガス胞をもち水面に集積するラン藻のブルームは「アオコ」と総称される (渡辺 2007)。湖沼の生態系破壊や有毒物質、カビ臭物質の産生による利水障害などを引き起し、ときに有毒種の発生により人体への影響も懸念される (Huisman *et al.* 2018)。淡水浮遊珪藻のブルームはアオコや淡水赤潮 (鞭毛藻のブルーム) に比べて悪影響は小さいが、発生する種によっては浄水場で濾過障害の原因になることがある (石橋ら 2016; 根来 2022)。近年では琵琶湖南湖底におけるラン藻 *Microseira wollei* (Farlow ex Gomont) G.B.McGregor & Sendall ex Kenins の繁茂 (高村ら 2019, 芳賀ら 2019) や、九州および関東を中心とした日本全国の河川上中流部での外来付着珪藻ミズワタクチビルケイソウ *Cymbella janischii* (A.W.F.Schmidt) De Toni の繁茂 (洲澤ら 2011, 洲澤・洲澤 2021) のように、底生微細藻類が大発生して環境に悪影響を及ぼす事例も増えてきている。

アオコに対する最も確実な対策は、一般に栄養塩負荷の削減であるとされる。しかし琵琶湖および内湖では、栄養塩負荷の削減により窒素やリンの濃度が低下したにもかかわらず、なおもアオコが発生し続けている。琵琶湖ではアオコを構成するラン藻の種が経年的に交代してきており、その一部はかつて琵琶湖で観察されることがなかった種である。このことは、その時々の琵琶湖および内湖の環境に適合したラン藻が次々と侵入してブルームを形成し続けていることが、アオコの発生が続いている一因であることを示唆する。したがって、琵琶湖および内湖で新たにアオコを形成し、あるいは近く形成する懸念がある種を正しく分類し、その生理・生態を理解することが、有効な対策のための第一歩になる。

浄水場で濾過障害を引き起こす珪藻ブルームも、広義の HAB と言える。濾過障害を引き起こす珪藻として最もよく知られるのが *Synedra acus* Kützing である。本種は凝集剤を入れてもほとんど沈殿せず、濾過床表面付近で捕捉されて目詰まりを起こす濾過閉塞障害を引き起こす (石橋ら 2016)。ところが *S. acus* が増殖しても、濾過閉塞障害があまり起こらない場合があることも経験的に知られてきた。近年、*S. acus* は付着性の種であり、これまで本種として同定されてきた浮遊性珪藻には *Ulnaria* 属や *Fragilaria* 属の複数種が含まれており、その中で *Ulnaria japonica* (F.Meister) Tuji が最も普通であることがわかってきた (Tuji 2009)。一方で小型の珪藻には、ピコ植物プランクトン (直径約 2  $\mu\text{m}$  以下のラン藻) やバラバラになったアオコの細胞などと同様に、砂濾過層を通過してしまい濾過漏出障害を引き起こすものがある (根来 2022)。小型の *Cyclotella* 属などが原因とされているが、その実態についてはいまだ不明な点が多く、原因となる珪藻の種も分かっていない。

本研究の目的は、琵琶湖とその集水域で新たにブルームを形成するようになったか、今後その可能性がある微細藻類を正確に同定し、形態と分子の両面から分類学的に記述して、今後の HABs 対策に役立てることである。HABs の原因となる藻類の形態学的特徴が明らかになるとともに、DNA バーコーディングでマーカーとなる遺伝子の塩基配列が決定されれば、近い将来にこうした種を顕微鏡観察や PCR 検査などによって容易に検出できるよう

になる。また、こうした分類学的な研究成果とともに、それぞれの種の発生状況および環境への影響や、海外などでの発生情報を集積して電子図鑑に掲載することで、浄水場など現場での対応が格段に容易になる。結果として本研究の成果は、琵琶湖と集水域の環境保全と順応的管理に大きく貢献することが期待される。

## 2. 材料と方法

琵琶湖南湖の烏丸半島（滋賀県草津市；35.073°N, 135.932°E）および西の湖渡合橋周辺（近江八幡市；35.167°N, 136.086°E）で、表層水およびネットプランクトンの採集を行った。アオコが発生する7~10月および珪藻のブルームが生じる1~3月を中心として、不定期に採集を行った。ネットプランクトンはNXXX25のネットを用いて、岸壁から投入・斜め引きを行うことによって非定量的に採集した。また、滋賀県「県政 e しんぶん」（<https://www.pref.shiga.lg.jp/kensei/koho/e-shinbun/oshirase/>）に掲載されるアオコ発生の報告や、琵琶湖博物館水族展示室マイクロアクアリウムで毎日採集され生体展示されているプランクトンなども、調査を行う目安とした。他にも寄せられる情報をもとに、琵琶湖集水域の様々な場所で試料採集を行った。2023年2月以降の調査では、ポータブルマルチ水質計MM-42DP（東亜 DKK）を用いて、現場水の水温、pH、電気伝導率を同時測定した。採集した試料は生体観察および保存用としたが、対象とする珪藻やラン藻が多いと思われた時には、試料の一部を国立科学博物館に送って単離培養と遺伝子解析に供した。

採集を行った当日に、生試料の顕微鏡観察を行った。光学顕微鏡写真を、微分干渉装置を備えた生物顕微鏡に取り付けた顕微鏡用 USB デジタルカメラ WRAYCAM-NOA2000（レイマー）によって撮影した。生物顕微鏡は BX60（オリンパス光学）を用い、2023年8月以降は Eclipse Ni-U（NIKON）を併用した。撮影した写真を Photoshop 2022（Adobe）上で倍率調整し、必要に応じて計量形質を測定した。

採集した表層水試料を1Lとり、酢酸ルゴール液を約5mL加えてメスシリンダー内で7日間以上沈殿させ、上清を捨てて50倍に濃縮した。濃縮試料に対してさらに酢酸ルゴール液を約0.1mL加えて追固定し、保存した。

珪藻被殻を観察する準備として、塩酸-熱濃硫酸-過酸化水素法（Ohtsuka & Kitano 2020）あるいはパイプユニッシュ法（南雲 1995）による濃縮試料のクリーニングを行った。洗浄試料の一部をプレウラックス（マウントメディア、富士フイルム和光純薬）で封入して永久プレパラートとした。上述のデジタルカメラにより、×100の油浸対物レンズ（N.A. = 1.40 または 1.45）を用いて明視野像あるいは微分干渉像を撮影した。また一部の試料については試料を電界放出形走査電子顕微鏡（FE-SEM）により観察して殻の微細構造を調べた。FE-SEM として2023年3月まで JSM-6301F（日本電子）、2023年4月以降は JSM-IT700HR/LV（日本電子）を用いた。撮影した写真を Photoshop 2022（Adobe）上で2,000倍に調整して計量形質を測定した。

## 3. 結果と考察

### 3.1. 年度当初に研究を計画していた種

#### 3.1.1. *Planktothrix pseudagardhii* Suda & M.M.Watanabe, nom. nud.

本種については今年度、研究の進展が見られなかったため割愛する。

#### 3.1.2. *Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Aguilera *et al.*

本種は2022年夏に琵琶湖でわずかに出現し、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したので、その出現を論文報告した(大塚ら 2023)。本種の日本からの報告はこれまで茨城県、東京都、石垣島(沖縄)のいくつかの湖沼に限られており、今回の報告が琵琶湖淀川水系からの初報告であった。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( $10^8$  トリコーム/L程度)を形成した。

本種は本来、熱帯性とされている。しかし近年の世界的な分布拡大に加え、高密度のアオコを形成し、毒を産生する株があることなどから、世界で最も悪名高いラン藻となりつつある(Padisák 1997)。琵琶湖で増殖するとセタジミなどに取り込まれ、貝毒を引き起こす危険性がある。なお、琵琶湖博物館産株の毒性は今のところ不明である。

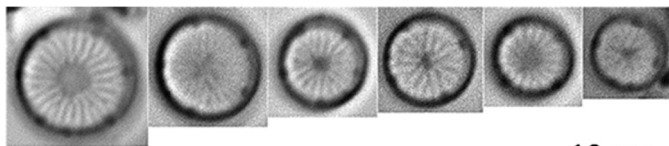
本種は従来、熱帯性とされている。温帯湖沼では夏期の水温 $25^{\circ}\text{C}$ 以上の条件でのみブルームを形成するとされてきた。培養実験でも、ほぼ全ての株が $15^{\circ}\text{C}$ 以上で増殖し、至適水温は $30^{\circ}\text{C}$ 程度とされている。しかし近年、中国などで水温 $15^{\circ}\text{C}$ 以下でも本種がブルームを引き起こす事例が報告されており、低水温耐性のある生態型の出現が示唆されている。

本種がブルームを形成した琵琶湖博物館生態観察池では、2024年2月中旬から実験的に池干しを進めている。この池干しで本種の発生が抑えられるか、経緯を見守りたい。



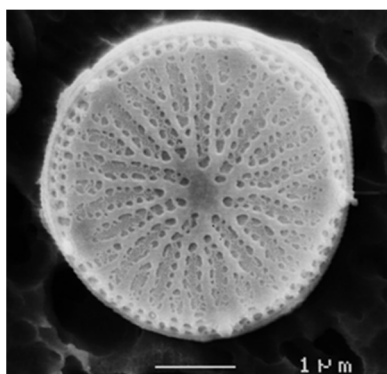
### 3.1.3. *Discostella* sp.

本種は直径3-5  $\mu\text{m}$ 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細胞数の上での優占種になった。以後も冬期にまとまった量が発生している。ただし後藤敏一氏(近畿大学特任教授)は1979年11月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いるのを確認しているため、少なくとも近年になって琵琶湖に侵入した種ではない。



琵琶湖産の本種と思われる写真は、辻・伯耆(2001)で *Cyclotella glomerata* Bachmann として示されているが、後に Tuji & Williams (2006) が行ったタイプ標本の調査で *C. glomerata* はこれとは

全く異なる種であることが明らかになっている。また本種は、国立科学博物館のエキシカータで *Discostella* sp. Kasumi として報告された種(Tuji 2014)とも酷似している。



文献調査の結果、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ことが明らかになった。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、*D. nana* の基礎異名である *Cyclotella nana* 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、原記載とサイズが一致するものは条線がずっと細かいことが明らかになった。従って本種は *D. nana* ではない。

本種はたいへん小型で群体もつくりないうえに、浄水場で濾過床を通過して濾過漏出障害を引き起こしてきた可能性がある。しかし、水道業界では従来、こうしたナノプランク

トンの下限に近い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ある。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。

琵琶湖産の本種を遺伝子分析に供するために単離培養に挑戦中だが、たいへん小さいため難しくまだ成功していない。現在、セルソーターを用いた単離を試みている

本種は2023年12月、琵琶湖北湖の今津漁港でも多数出現した。この時、類似種の *Discostella lakuskarluki* (Manguin ex Kociolek & Reviere) Potapova *et al.* も多く見られた。本種は木崎湖から新変種として記載された *Cyclotella glomerata* f. *nipponica* Skvortzov (= *Discostella nipponica* (Skvortzov) Tuji) と同種とされた (Potapova *et al.* 2020)。そうであれば本種はこれまでに木崎湖と琵琶湖から報告されていることになる。なおその場合、命名規約上の先名権は先に *Cyclotella lacuskarluki* Manguin ex Kociolek & Reviere として種レベルで先に正式記載されている *D. lakuskarluki* にある。

### 3.1.4. *Fragilaria* sp.

本種は従来、オビケイソウ *Fragilaria crotonensis* Kitton 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。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。また本種は *F. crotonensis* に比べて条線が粗い。今のところ本種と似た種の報告は見当たらず、新種の可能性が高い。

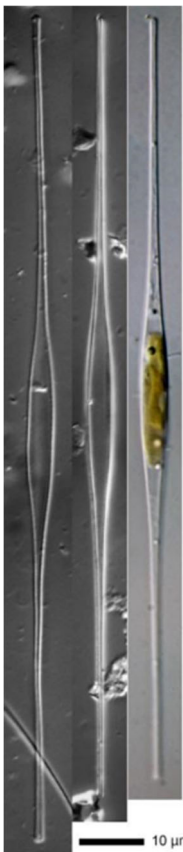
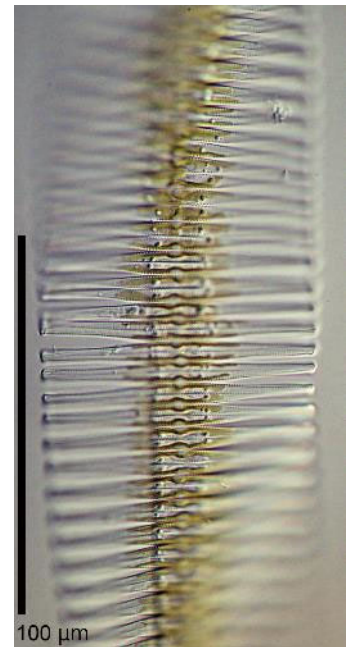
辻彰洋氏（国立科学博物館）らの遺伝子 (*rbcL*) 解析により、本種は *Fragilaria crotonensis* とは遠縁で、後述の *Fragilaria longifusiformis* ssp. *eurofusiformis* などと近縁の別種であることが明らかになった。

本種は今世紀に入った頃から琵琶湖で目立ち始め、春期にブルームを引き起こす年もあった。もともと琵琶湖にわずかながら生息していた種なのか、移入種なのか、今のところ明らかでない。

本種の新種記載のために、状態が良い大量のサンプルと単離培養株が必要であるが、2019年までの研究に供された試料の状態はあまり良くなく、単離培養した株も絶えてしまった。そこで再度の単離培養の機会を待っているが、2022年、2023年には本種の大規模な発生は見られず、単離培養に成功しなかった。2024年2月下旬から琵琶湖でまとまった規模の発生が見られるので単離培養を試みているが、襟鞭毛虫の付着が多いことが単離を困難にしている。

### 3.1.5. *Fragilaria longifusiformis* ssp. *eurofusiformis* Lange-Bertalot & S.Ulrich

本種は浮遊性オビケイソウの一種で、おそらくは欧州原産の外来種である。2021年12月頃から琵琶湖南湖で発生し、2022年1月から西の湖でも発生が認められた。すでに辻彰洋氏（国立科学博物館）らと共著で、本種



の日本からの初産出を論文として報告した（辻ら 2022）。詳細な観察結果や類似種との区別のポイントについても、前年度の報告書で紹介している。

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。

Bart Van de Vijver 氏（ベルギー国立植物園）らは、26th International Diatom Symposium の発表で、*Fragilaria* は少なくとも3つの属に分割されるべきであることを示した。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. longifisiformis*）を挙げた。本種の形態的および遺伝的特異性は、筆者らの走査電子顕微鏡による形態観察、および辻彰洋氏（国立科学博物館）らによる *rbcL* 遺伝子分析によっても明らかになっている。したがって本種は近く、先述の *Fragilaria* sp. と併せて新設された別属に移される可能性がある。

### 3.1.6. *Ulnaria japonica* (F.Meister) Tuji

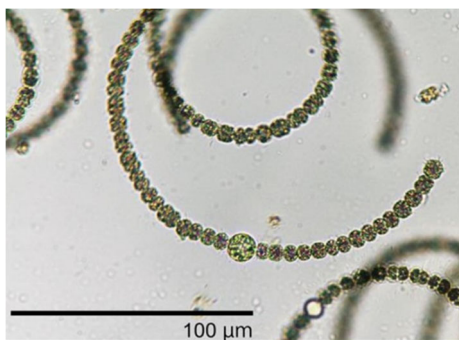
本種は *Synedra acus* と同定されてきたハリケイソウの一種である。浄水場で凝集沈殿処理障害を起こし、ろ過閉塞障害を引き起こすことで悪名高い。2021年12月頃から本種と思われる珪藻が琵琶湖南湖で大発生し、淀川下流域まで流下して、琵琶湖および下流域を水源とする各地の浄水場でろ過閉塞障害を引き起こした。これは Tuji (2009) による本種の *Ulnaria* 属への組み替え論文が出版され、本種の存在が広く知られるようになって以降初めてのことであった。

辻彰洋氏（国立科学博物館）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。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（まだ詳細を公表できない）。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。



## 3.2. 新たに研究対象に加えた種

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



（一瀬諭氏撮影）

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。

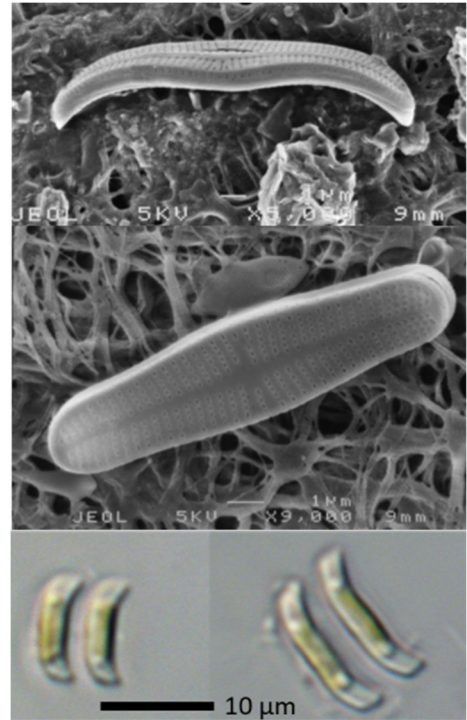
ところが辻彰洋氏（国立科学博物館）が琵琶湖産本種の遺伝子を分析したところ、琵琶湖産の株は *Dolichospermum* とは別属であることが示唆された。そのため琵琶湖に出現した

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。

### 3.2.2. *Achnantheidium catenatum* (Bílý & Marvan) Lange-Bertalot

本種は *Achnantheidium* 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。

本種は2022年秋、琵琶湖博物館生態観察池の底泥上から確認され、その後、水柱からもしばしば見いだされている。ただし生態観察池では本種を主とするブルームは発生していない。本種は外来種と考えられ、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し、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（小倉謙一氏 私信）。なお本種は日本に先立ち、中国でも2010年頃から見られるようになった（馬ら 2013）。



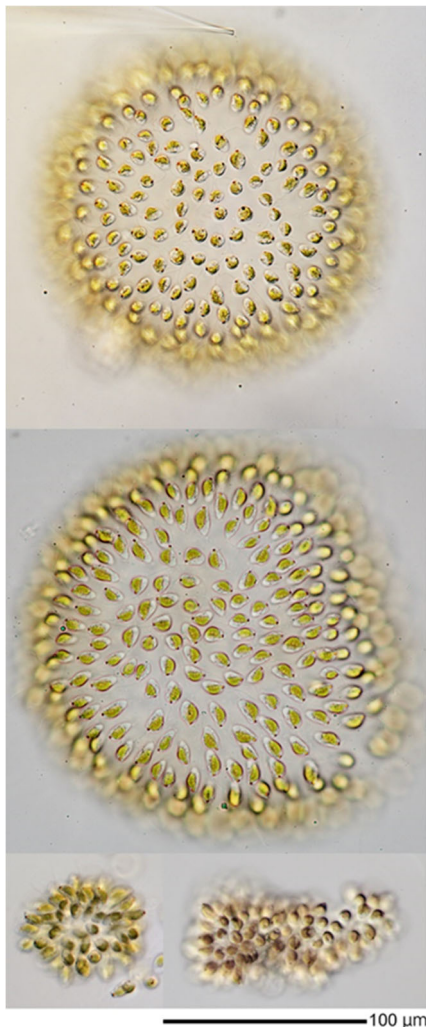
大塚らは本種の日本における出現状況を日本珪藻学会第44回大会で報告し、現在、論文を準備中である。

### 3.2.3. *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 とされている。

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がある。そのため本種とされてきたものに2種が混在していることが疑われた。そこで根来が琵琶湖の北湖と南湖で、様々な時期に採集した様々な形状の計100群体を単離し、辻彰洋氏（国立科学博物館）が *rbcL* 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。

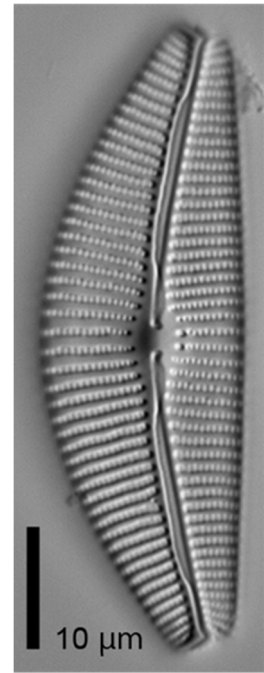
一方、琵琶湖産の本種は北米産の *U. americana* とは遺伝的にやや異なっており、むしろ欧州産の *Uroglenopsis botrys* (Pascher) Pascher に近縁であることが確認された（まだ詳細を公表できない）。現在、国立科学博物館の辻彰洋博士らと共に、上記成果の論文報告を準備している。また本種を新種記載すべきかどうかについても目下検討中である。



### 3.2.4. *Cymbella compactiformis* B.Liu & D.M.Williams

本種は主に河川の付着藻類として出現する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。

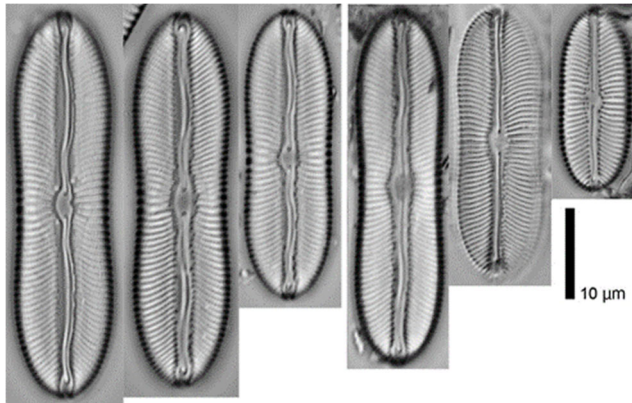


### 3.2.5. *Sellaphora constrictum* Kociolek & Q-M.You

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。2023年夏から堅田内湖で急増し、一時期、ヨシ付着珪藻の優占種になることがあった。同種と思われるものが、2015年から矢作川 (愛知県) でも出現している (内田・洲澤, 2018)。

近年、九州の河川では砂泥上で優占することがあるという (福留真樹氏私信)。

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、2017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、本種の日本からの初報告論文を、日本各地で本種を発見した人たちとともに準備中である。

## 4. 研究成果の統合と発信

### 4.1. 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『「見えない」外来種問題』で発表した内容を増補して、2023年6月に「地域自然史と保全」特集記事として出版した (大塚ら 2023)。本記事では、微細藻類の外来種が実在すること、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。また近年になって琵琶湖及び集水域で見つかった、外来種 (国内外来種含む) またはそ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。このうち *D. minisporum* については、先述の通りその後の研究で *Dolichospermum* 属でないことが示唆されている。

### 4.2 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。

*Cymbella distalebiseriata-liyangensis* species complex

*Cymbella compactiformis*

*Sellaphora tanghongquii* (?)

*Cymbella janischii*

*Gomphoneis minuta*

*Fragilaria longifusiformis* ssp. *euofusiformis*

*Achnanthydium catenatum*

*Fragilaria saxoplanctonica*

このうち *S. tanghongquii* については、後に *Sellaphora constrictum* の後継異名であることが判明した。

#### 4.3. 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（琵琶湖環境科学研究センター）が1979年4月から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。

#### 5. 総括と今後の展望

本研究を開始した2022年4月以降にも、琵琶湖淀川水系で近くブルームを引き起こす可能性がある種が、本研究の対象としなかったものも含めて新たに数種見つかった。また *D. minisporum* sensu Ohtsuka *et al.* や *Uroglenopsis* sp. のように、本研究の開始以前から知られているものの、今年度になって同定上の新たな問題が浮上してきた種もある。私たちが直接関与していないところでも重要な発見があった。琵琶湖で1980年代前半にカビ臭問題を引き起こし、1983年に初めてアオコを形成したラン藻は、これまで *Anabaena macrospora* またはその変種とされてきた。しかし Tuji *et al.* (2023) は、本種は *A. macrospora* ではなく、2020年に新種記載されたばかりの *Dolichospermum hangangense* H.J.Choi & M.-S.Han であることを明らかにした。

このように琵琶湖とその集水域に出現する微細藻類のうち、これまでにブルームを形成したか、近くその可能性がある種については、形態に基づく正確な（再）同定が必要である。また、こうした種のマーカーとなる遺伝子の塩基配列を確定することが、今後のモニタリングおよび検査を容易にするためにいよいよ重要になっている。

しかし如何せん、次々と出現してブルームを形成する藻類の種数に対して、現在の私たちの研究体制は多勢に無勢である。そこで本研究の成果を電子図鑑などとしてまとめることにより、若手研究者の新規参入を容易なものにしていきたい。

#### 5. 引用文献

Chang T-P, Chang-Schneider H (2008) Zentrische Kieselalgen in Kemptener Seen. Berichte der Bayerischen Botanischen Gesellschaft 78: 5-15.

芳賀裕樹・酒井陽一郎・石川可奈子 (2019) 琵琶湖南湖における2017年9月の沈水植物の現存量の平面分布. 陸水学雑誌 80: 13-21.

Huisman J, Codd GA, Paerl HW, Ibelings BW, Verspagen JMH, Visser PM (2018) Cyanobacterial



- blooms. *Nature Reviews Microbiology* 16: 471–483.
- Hustedt F (1957) Die Diatomeenflora des Flußsystems der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen* 34(3): 181-440, 1 pl.
- 石橋健二・平島隆義・井上 剛・平木貞憲・三池純子 (2016) 浄水場における *Synedra acus* によるろ過閉塞障害の発生とその対応事例. *日本水処理生物学会誌* 52: 85-91.
- 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.
- Liu B, Williams DM, Li Y, Tang, Z-S (2020) Two new species of *Cymbella* (Bacillariophyceae) from China, with comments on their valve dimensions. *Diatom Research* 35: 99-111.
- 马 沛明・施 练东・赵 先富・张 俊芳・陈 威・胡 菊香 (2013) 一种淡水水华硅藻——链状弯壳藻(*Achnanthis catenatum*). *湖泊科学* 25: 156-162.
- 南雲 保 (1995) 簡単で安全な珪藻被殻の洗浄法. *Diatom* 10: 88.
- 根来 健 (2022) 水中微小生物と浄水処理障害. *環境技術* 51: 161-165.
- 野口暁生・藤原俊一郎・舩岡英彰・片岡稔之 (2022) *Anabaena minispora* による高濃度のカビ臭の発生. 令和3年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp. 156-157.
- Ohtsuka T, Kitano D (2020) Diatom flora of a wet grassland on mineral soil conserved in the Ritsumeikan University Biwako-Kusatsu Campus in Shiga Prefecture, central Japan. *Diatom* 36: 1-12.
- 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.
- 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.
- Padisák J (1997) *Cylindrospermopsis raciborskii* (Wołoszyńska) Seenayya et Subba Raju, an expanding highly adaptive blue-green algal species: Worldwide distribution and review of its ecology. *Archiv für Hydrobiologie, Suppl.* 107: 563-593.
- Potapova MG, Aycok L, Bogan D (2020) *Discostella lacuskarluiki* (Manguin ex Kociolek and Reviers) comb. nov.: a common nanoplanktonic diatom of Arctic and boreal lakes *Diatom Research* 35: 55-62.
- Simonsen R (1987) Atlas and catalogue of the diatom types of Friedrich Hustedt. J. Cramer, Berlin-Stuttgart.
- Suda S, Watanabe M, Otsuka S, Mahakahant A, Yongmanitchai W, Nopartnaraporn N, Liu Y, Day JG (2002). Taxonomic revision of water-bloom-forming species of oscillatoriod cyanobacteria. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 52: 1577-1595.
- 洲澤多美枝・清野聡子・真山茂樹 (2011) 筑後川上流に大量出現した *Cymbella janischii* (A.W.F.Schmidt) De Toni と *Gomphoneis minuta* (Stone) Kociolek & Stoermer : 外来種珪藻の可能性について. *Diatom* 27: 58-64.
- 洲澤 譲・洲澤多美枝 (2021) 酒匂川(神奈川県)で採集された外来種ミズワタクチビルケイソウ. *神奈川自然誌資料* 42: 87-93.
- 高村典子・馬淵浩司・中田聡史・吉田 誠・高村健二・西田一也・岩木眞穂・松崎慎一郎・今藤夏子・山口晴代・小熊宏之・山野博哉・焦 春萌・石川可奈子・酒井陽一郎・永田貴丸・芳賀裕樹・西野麻知子・牧野 渡 (2019) 試験研究報告 地方創生共同研究(生態系)湖沼の生態系の評価と管理・再生に関する研究. 琵琶湖環境科学研究センター研究報告書 15.4 pp.

- Tuji A (2009) The transfer of two Japanese *Synedra* species (Bacillariophyceae) to the genus *Ulnaria*. Bulletin of the National Science Museum Tokyo Ser. B. 35: 11-16.
- Tuji A (2014) Nos. 118. *Discostella* sp. Kasumi. In: Tuji A (ed.) ALGAE AQUAE DULCIS JAPONICAE EXSICCATAE VI, p. 20-21. National Museum of Nature and Science, Tsukuba, Japan.
- 辻 彰洋・伯耆晶子 (2001) 琵琶湖研究モノグラフ 琵琶湖の中心目珪藻. 滋賀県琵琶湖研究所, 大津.
- 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. *eurofusiformis* の本邦における近年の出現. Diatom 38: 14-17.
- Tuji A, Niiyama Y, Ichise S (2023) Distribution and Phylogeny of *Dolichospermum hangangense* (Nostcales, Cyanobacteria) Found in Japanese Lakes and Reservoirs. Bulletin of the National Science Museum Ser. B 49: 83-95.
- Tuji A, Williams DM (2006) The identity of *Cyclotella glomerata* Bachmann and *Discostella nipponica* (Skvortzov) Tuji et Williams comb. et stat. nov. (Bacillariophyceae) from Lake Kizaki, Japan. Bulletin of the National Science Museum Ser. B 32: 9-14.
- 渡辺眞之 (2007) 日本アオコ大図鑑. 誠文社新光堂, 東京.

## 7. 本研究と関連した成果

謝辞などで本研究助成のサポートを明示した成果に\*を記した。

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 *Achnantheidium 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 26th International Diatom Symposium, Aug. 29th, 2023, Yamagata Terra.

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. 6th, 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. 10th, 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.