

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)。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)。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。琵琶湖でアオコ発生が継続している一因として、植物プランクトンの種の交代が考えられる。琵琶湖のアオコ構成種のうち、*Dolichospermum affine* (Lemmermann) Wacklin et al. (根来 1986)、*Dolichospermum flos-aquae* (Brébisson ex Bornet et Flahault) Wacklin et al. (Watanabe 1996)、*Oscillatoria kawamurae* Negoro (根来 1991)、*Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet et Flahault (一瀬ら 2000)、*Dolichospermum minisporum* (M.Watanabe) Tuji et Niiyama (野口ら 2021) などは全て、琵琶湖でアオコが初めて発生した 1983 年以前には琵琶湖から知られていなかった種であり、初めてブルームを形成した年かそれよりも少し前に初めて琵琶湖から確認されている*。このように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、栄養塩負荷の削減だけでは十分なアオコ対策にならない一因になっていると考えられる。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(日本水道協会 2008, 石橋ら 2016)。ところが *Synedra 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* と同定されてきた浮遊性珪藻は実は *S. acus* ではなく、*Ulnaria* 属や *Fragilaria* 属の複数種があり、その中で最も一般的なのは *Ulnaria japonica* (F.Meister) Tuji 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 μm 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、濾過床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ラン藻および珪藻を形態と分子の両面から分類学的に記述し、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。

*ただし根来 (1986) は、「琵琶湖疏水で得た標本に基く私の顕微鏡写真の記録では、1978年8月21日のものに明らかにこの種の存在が認められた」としており、*D. affine* は1983年のアオコ発生よりもかなり前から琵琶湖に生息していた可能性がある。

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。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。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。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調査を行った。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 BX-60 (オリンパス光学) に取り付けられた顕微鏡用 USB デジタルカメラ WRAYCAM-NOA2000 (レイマー) によって撮影した。

採集した表層水試料を 1 L とり、酢酸ルゴール液を約 5 mL 加えてメスシリンダー内で 72 時間以上沈殿させ、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 0.1 mL 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) 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; JSM-6301F, 日本電子) により観察して殻の微細構造を調べた。撮影した写真を Photoshop 2022 (Adobe) 上で 2,000 倍, 550 dpi に調整して計量形質を測定した。

3. 結果と考察

3.1. これまでに同定できた種

3.1.1. *Planktothrix pseudagardhii* Suda & M.M.Watanabe, nom. nud. (図1)

本種は2021年10月に西の湖で大発生し、アオコを形成した。根来が送った試料に基づいて辻彰洋博士（国立科学博物館）がラン藻に特異的なプライマーで *rbcL* 遺伝子のPCRを行い、得られた塩基配列の分析により本種であることを明らかにした。ただしこの時に得られたサンプルでは高倍率の顕微鏡写真を撮影しておらず、また単離された株は増殖せず絶えてしまった。本種は2022年7月頃から再び琵琶湖南湖および西の湖で発生したので、これを高倍率の顕微鏡写真を撮影して詳細な形態の観察を行った。また、辻博士らが琵琶湖から送られた試料から本種の単離培養に成功した。

琵琶湖産本種のトリコームの幅（細胞径）は大部分が 5-7 μm で、原記載 (3.0-6.4 μm ; Suda *et al.* 2002) よりもやや幅広であった。細胞の長さは細胞径よりも小さかった。トリコームはしばしば 500 μm 以上の長さになった。トリコームは全体がほぼ同じ太さで先端が丸くなり、先端に向けて細くなるものは観察されなかった。

本種はこれまでタイ、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。ただし本種が外来種かどうかは今のところ不明である。以前から琵琶湖など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。本種を *P. agardhii* と形態的に区別することは今のところできない (Suda *et al.* 2002)。したがって有効な同定形質を抽出することも今後の課題である。また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・植物命名規約によれば有効な記載ではなく、不当名である。そこで現在、辻博士を中心に、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ための準備を進めている。また2021年10月西の湖で本種が大発生した際、湖岸までかび臭がたちこめ、水道事業者による調査で湖水からはかび臭物質である geosmin および MIB がともに高濃度で検出された。ところが本種を遺伝子解析用に精製する過程でかび臭がなくなったので、かび臭物質は混入していた他のラン藻などが生産していた可能性がある。本種の培養株が確立されたので、今後は本種がかび臭物質を生成しうるかについても検討可能になる。

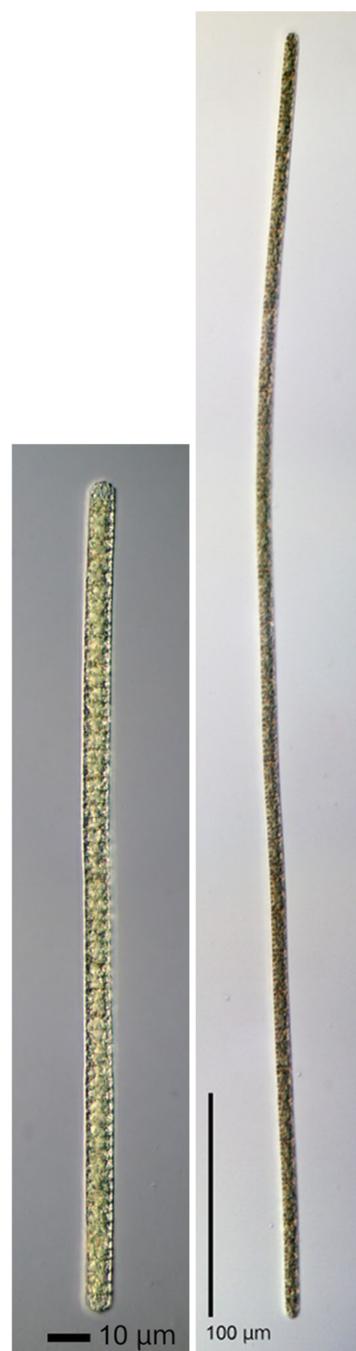


図1 *Planktothrix pseudagardhii*

3.1.2. *Raphidiopsis raciborskii* (Woloszynska) Aguilera *et al.* (図2)

本種は2022年の夏期に琵琶湖南湖でわずかに見られ、さらに10月以降に琵琶湖博物館生態観察池でアオコを形成した。生態観察池でブルームのピークに達していた11月3日

に詳細な形態観察を行い、本種と同定した。また11月7日に採水して国立科学博物館に送り、新山優子博士による形態観察によって、また辻彰洋博士らによるラン藻特異プライマーを用いた *rbcL* 遺伝子の分析によって、それぞれ同定が確認された。GenBank のタクソノミーデータベースが、*Cylindrospermopsis raciborskii* (*R. raciborskii* の同タイプ異名) を採用しているため (2023年3月時点)、*Cylindrospermopsis* 属として登録を行った (*Cylindrospermopsis raciborskii* Ak2263; accession number: LC757484.1)。国立科学博物館で生態観察池から得られた本種の単離培養に成功しているが、増殖がたいへん遅く、まだ様々な試験に供するには至っていない。

本種はトリコームの一端に異形細胞 (窒素固定を行う細胞)、その反対側の末端より少し中央寄りにアキネート (休眠孢子) をつくる。ただし本研究で観察されたトリコームの中には、異形細胞とアキネートのどちらか、あるいはその両方を欠くものも見られた。トリコームは中央部でやや太く、先端に行くにつれて特に異形細胞がない側で細くなった。生態観察池産本種のトリコームの幅 (栄養細胞の細胞径) は最も太い部分で 2.5-3.5 μm であり、渡辺 (2007) の記述よりもやや幅広の傾向が認められた。栄養細胞の長さは 6-19 μm 、トリコームの長さは最長で 250 μm 程度だった。異質細胞はやや膨れた円錐形で、幅 3.0-3.5 μm 、長さ 6-8 μm だった。アキネートは栄養細胞よりも幅広の楕円形だったが、その大きさは成熟の程度により様々だった。

本種はかつて *Anabaenopsis* 属あるいは *Cylindrospermopsis* 属に含まれていた。日本からの報告は、21世紀初頭まで根来 (1935) による神ノ池 (茨城県) からの報告に限られていた。近年になって茨城県、東京都、石垣島 (沖縄) のいくつかの湖沼から報告されたが、琵琶湖淀川水系からは知られていなかった。

本種は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)。本来は熱帯性とされ、温帯での繁殖は夏期の高水温時に限られていた。しかし今世紀に入って世界的に分布を拡大し、また温帯域で低水温時にアオコを形成する事例が知られるようになった。本種には肝臓毒シリンドロスペルモプシン (*cylindrospermopsin*) および神経毒サキシトキシン (*saxitoxin*) を生成する株があることが知られている。サキシトキシンについては麻痺性貝毒の原因になることが懸念され、琵琶湖でも内湖やため池で発生した本種が琵琶湖本湖に流出してセタジミなどを毒化する可能性がある。したがって今後、琵琶湖とその周辺で発生した本種の毒性を確認するとともに、その動向に注目していく必要がある。

なお、本分類群に関する2023年3月初頭までの研究成果については、日本水処理生物学会誌に調査論文として投稿されて受理済みであり、2023年6月に発行される第59巻2号に掲載予定である (大塚ら 2023)。

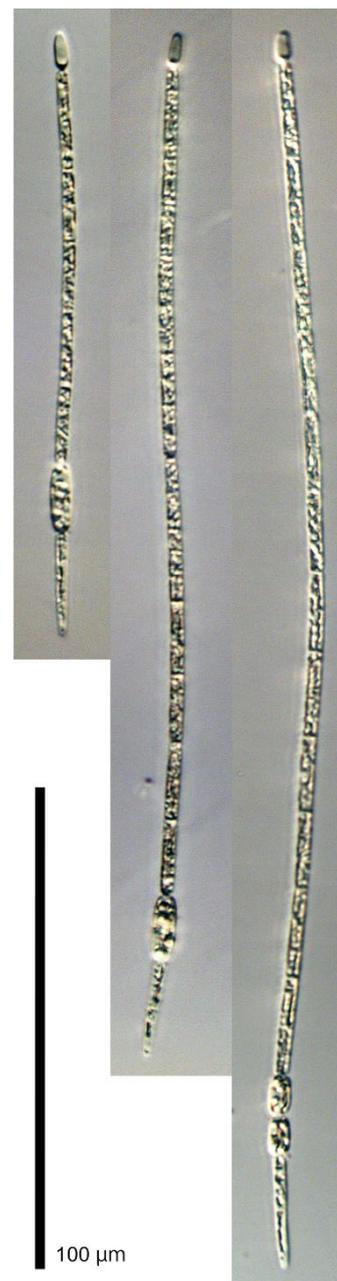


図2 *Raphidiopsis raciborskii*

3.1.3. *Fragilaria longifusiformis* ssp. *euofusiformis* Lange-Bertalot & S.Ulrich (図3)

本種は2021年12月頃から琵琶湖南湖で発生し、同じ頃から西の湖でも発生が認められた。低倍率の顕微鏡下では同定ができなかったため、2022年1月16日に琵琶湖南湖の烏丸半島で採集した試料をクリーニングしてマウントメディアで封入し、高倍率の光学顕微鏡で観察した。本種は Siver *et al.* (2006) が示した *Fragilaria longifusiformis* Siver *et al.* のベルギー個体群とよく似ていたが、一方でタイプ産地に近いアメリカ合衆国産の個体群よりずっと殻幅が大きかった。そこで本種名を国立科学博物館のウェブサイト「ダム湖のプランクトン」および「河川水辺の国勢調査」の資料に上げていた辻彰洋博士に連絡したところ、本種の欧州個体群は Lange-Bertalot & Ulrich (2014) によって亜種 *F. longifusiformis* ssp. *euofusiformis* に分類されていること、広島県のダム湖や霞ヶ浦などからも出現していて報告準備中であることが明らかになった。そこで辻博士らと共著で、本種の日本からの初産出を論文として報告した (辻ら 2022)。

本種は2022年1月31日に西の湖渡合橋周辺で得られた試料にも多く含まれ、量的に *Ulnaria japonica* (F.Meister) Tuji に次ぐ第二優占種になっていた。そこで高倍率の光学顕微鏡で葉緑体などの形状を観察するとともに、試料をクリーニングして光学顕微鏡と走査電子顕微鏡による殻の詳細な形態観察を行った。

本種の葉緑体は、殻の中央付近の太い部分に1枚ある。西の湖産本種の殻長は120 μm 程度のものが多く、133 μm に達するものもあり、原記載 (70-120 μm ; Lange-Bertalot & Ulrich 2014) よりも大型の傾向があった。殻幅は3.5-4.0 μm のものが多く、原記載 (3-4 μm ; Lange-Bertalot & Ulrich 2014) と同程度かやや幅広だった。条線密度は殻中央付近で28~30本/10 μm ほどであるが、LMの明視野ではほとんど解像できず、微分干渉装置を用いるなどして観察する必要がある。SEMで観察すると、条線を構成する胞紋が著しく細かく、その表側開口に輪形篩板を持ち、殻中央部では完全に塞がっていることが多い。唇状突起は殻の一方の極のみにある。殻端に2本の棘と殻端小孔域がある。

本種は一見ハリケイソウ *Ulnaria* に似ているが、別属オビケイソウ *Fragilaria* の一種である。辻博士らは本種がねじれた群体をもつ *Fragilaria* sp. (後述) と遺伝的に近縁であることを明らかにした。

本種は低倍率の顕微鏡下では *Ulnaria* および *Nitzschia* の一部の種と区別しがたい。しかし琵琶湖でよく出現する類似種のうち、*U. japonica* は一回り大型で、殻端はさほど細くならない。また条線は粗く、400倍程度の光学顕微鏡下で十分に解像できる。また *Nitzschia draveillensis* Coste & Ricard (しばしば *Nitzschia acicularis* (Kützing) W.Smith と誤同定されてきた) の葉緑体は、殻の中央にある核をはさんで両端側に2枚ある。また400倍程度の光学顕微鏡下でも、片側の殻縁に肋骨が観察できる。今後、低倍率の顕微鏡下での同定ポイントを整理する必要がある。

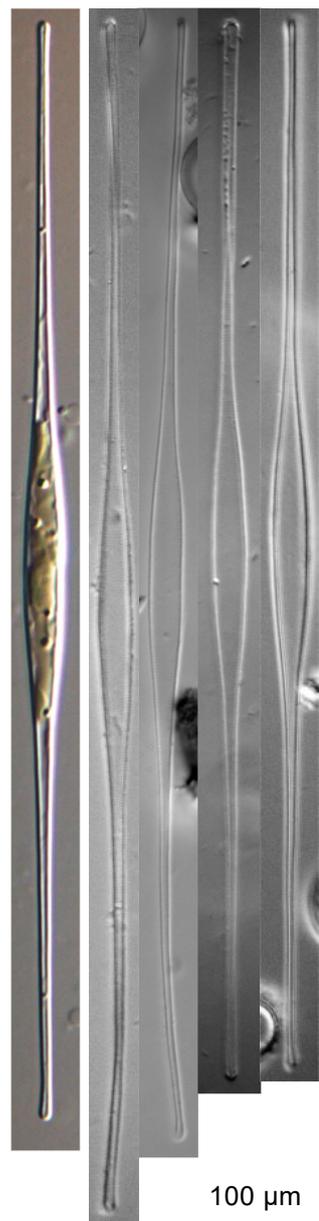


図3 *Fragilaria longifusiformis* ssp. *euofusiformis*

3.1.4. ミズワタクチビルケイソウ *Cymbella janischii* (A.W.F.Schmidt) De Toni (図4)

Cymbella (クチビルケイソウ属) は付着珪藻で、河川にも湖沼にも出現する。粘質の柄を伸ばして基質上に密集して付着し、しばしば枝分かれした柄を長く伸ばして綿状の付着物となることがある。特に北米原産のミズワタクチビルケイソウ *C. janischii* は、近年、九州および関東を中心とした日本全国の河川上中流部に分布を広げ(洲澤ら 2011, 洲澤・洲澤 2021)、しばしば河床を広く覆って景観を損ねるとともに、定着するアユ個体数の著しい減少を招いた例が報告されている(芦澤・加地 2019)。また、冬期から春期にかけて琵琶湖の魴網を汚損する藻類として、近年では *Cymbella subturgidula* Krammer が中心となっている(大塚 未発表)。

安曇川で珪藻を採集していた佐藤晋也博士(福井県立大学教授)から、2022年5月18日の調査で、ミズワタクチビルケイソウの群体を発見したという報告を受けた。そこで翌月6月20日の調査に同行し、本種が安曇川の高島市朽木地域に分布していることを確認した。これまで近畿地方からミズワタクチビルケイソウの報告はなかったため、佐藤研究室の4回生、麦倉佳奈氏を筆頭著者として共著論文を投稿し、出版された(麦倉ら 2022)。また、本種の安曇川からの出現について2023年2月2日に滋賀県水産課とともに記者発表を行い、拡散防止のための注意喚起を行った。

安曇川のミズワタクチビルケイソウはその後減少し、2023年2月28日時点でほとんど認められなかったが、支流などにわずかに残っていることが確認された。今後の動向に注目したい。



図4 *Cymbella janischii*

3.2. 未同定の種

3.2.1. *Discostella* sp. (図5)

ごく小型の円盤型珪藻である。2021年1~2月に琵琶湖南湖で採集された試料を走査電子顕微鏡下で観察したところ、数の上では本種が珪藻の優占種になっていた。走査電子顕微鏡(SEM)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あることが明らかになった。

SEM観察の所見は以下の通りであった。殻の直径3.1-5.2 μm。殻表面に明瞭な中心域は観察されない。条線は縁辺に向けて分岐する。殻縁有基突起は殻面-殻套境界域に4-6個あり、基部は2脚である。殻面有基突起は存在しない。唇状突起が殻面-殻套境界域に1個あり、突出は弱い。殻裏面にも肋が発達する。

本種は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(Tuji 2014)。ただし *Discostella* sp. Kasumi の唇状突起は柄をもち長く突出するのに対して、琵琶湖産 *Discostella* sp. のそれは突出が弱いという違いがあるため、さらなる検討が必要である。

本種は今のところ未同定であり、新種の可能性がある。本種について日本珪藻学会第42回研究集会(2022年11月26日)で報告し、専門家たちの意見を仰いだり、誰も同定できなかった。*Discostella* sp. Kasumi も *rbcL* 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いる (Tuji 2014)。

なお研究集会終了後に、後藤敏一博士 (近畿大学特任教授) が、1979年11月26日に京都市水道局が採集し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。すなわち本種は以前から琵琶湖に出現していたものの、小さすぎて見落とされてきた可能性が大きい。そこで現在、辻博士および後藤博士と本種に関する共同研究を進めようとしている。

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。冬期の *Microcystis* 属やピコ植物プランクトンが少ない時期に濾過漏出障害が起こった際には、原水を濾過して SEM で観察するなどして本種のような小型珪藻の密度を調べる必要があるだろう。

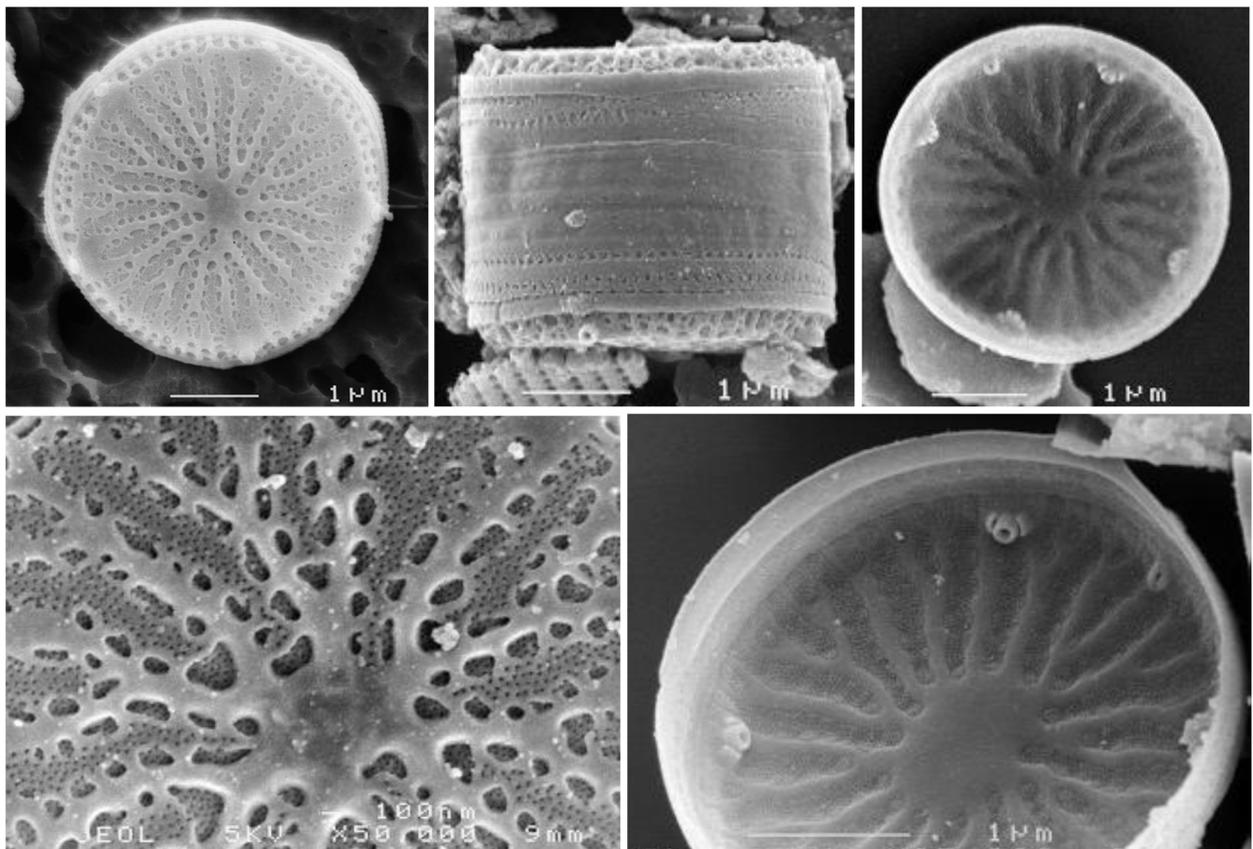


図 5 *Discostella* sp. (SEM)

3.2.2. *Fragilaria* sp. (図 6)

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。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。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。

本種については 2019 年に光学顕微鏡および SEM による観察でその特異な形態が明らかにされており、また国立科学博物館の辻彰洋博士による遺伝子解析の結果、本種は *Fragilaria crotonensis* とは遠縁であることが明らかになっている。また先述した *F.*

longifusiformis ssp. *eurofusiformis* は、*rbcL* 遺伝子解析の結果、本種と近縁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。

4. 総括と今後の展望

2022年2月末の時点では、*P. pseudagardhii*、*F. longifusiformis*、*Fragilaria* sp.、*U. japonica* の4種について研究を進める予定で本研究の申請書を提出した。ところが、本研究開始以降に、琵琶湖集水域で *R. raciborskii* や *C. janischii* など、より大きな悪影響が懸念される HABs 原因藻が出現したために、その報告を優先することになった。また、本研究開始前後に SEM 観察によってその存在に気づいた「隠れた優占種」*Discostella* sp. については、1979年にはすでに琵琶湖で相当数が発生していたことが明らかになり、これまで単に見逃されていたか、誤同定されていただけであることがわかってきた。

2023年度の研究では、まだ研究論文としてまとまっていない *P. pseudagardhii*、*U. japonica*、*Fragilaria* sp.、*Discostella* sp. について各関係者との共同研究を進め、可能な限り論文を出版していきたい。また、辻彰洋博士らの分子系統学的研究により、日本では *Ulnaria* 属（狭義のハリケイソウ類）の浮遊性種に少なくとも3種があり、うち1種は未記載であることが判明している。この3種の浄水場での処理性の違いも、今後解明すべき課題である。ただし琵琶湖と集水域では2020年以来、これまで琵琶湖から知られていなかった新たな種によるブルーム形成が毎年起こっており、外来種と思われる珪藻の発見も相次いでいるので、今後も注視するとともに、必要に応じて研究対象としていきたい。

5. 引用文献

- 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.
- 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

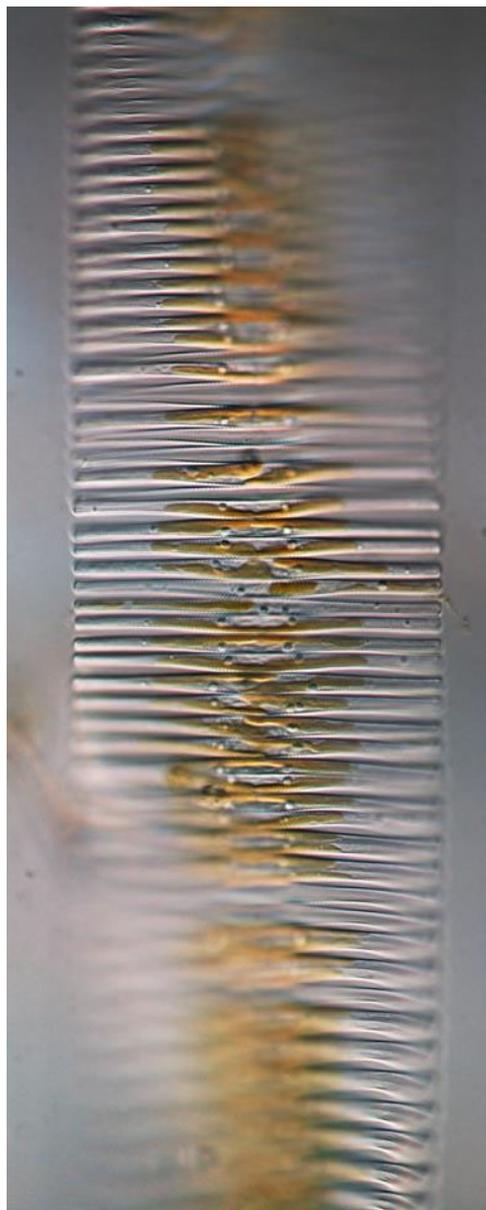


図6 *Fragilaria* sp.

- blooms. *Nature Reviews Microbiology* 16: 471–483.
- 一瀬 諭・若林徹哉・水島清嗣・野村 潔 (2000) 琵琶湖における *Aphanizomenon flos-aquae* の出現について. 滋賀県衛生環境センター所報 35: 83-87.
- 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.
- Lange-Bertalot H, Ulrich S (2014) Contributions to the taxonomy of needle-shaped *Fragilaria* and *Ulnaria* species. *Lauterbornia* 78: 1–73.
- 麦倉佳奈・Eldrin DLR 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.
- 南雲 保 (1995) 簡単に安全な珪藻被殻の洗浄法. *Diatom* 10: 88.
- 日本水道協会 (2008) 日本の水道生物—写真と解説—改訂版. 日本水道協会, 東京.
- 根来健一郎 (1986) 琵琶湖の浮游性藍藻 *Anabaena affinis* Lemmermann. 日本水処理生物学会誌 22(2): 1-5.
- 根来健一郎 (1991) 1990年夏の琵琶湖のアオコ(青粉). 植物分類, 地理 42: 159-164.
- 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・船岡英彰・片岡稔之 (2021) *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・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 (印刷中)
- Siver PAS, Morales EA, Van de Vijver B, Smits M, Hamilton PB, Lange-Bertalot H, Hains JJ (2006). Observations on *Fragilaria longifusiformis* comb. nov. et nom. nov. (Bacillariophyceae), a widespread planktic diatom documented from North America and Europe. *Phycological Research* 54: 186-195.
- 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 讓・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・岩木真穂・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・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. *euofusiformis* の本邦における近年の出現. *Diatom* 38: 14-17.

Watanabe M (1996) Studies on planktonic blue-green algae 6. Bloom-forming species in Lake Biwa (Japan) in the summer of 1994. *Bulletin of the National Science Museum Tokyo Ser. B.* 22: 1-10.

渡辺眞之 (2007) 日本アオコ大図鑑. 誠文社新光堂, 東京.

6. 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。

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. *euofusiformis*. 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.

*大塚泰介・根来 健. 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.(公財)琵琶湖・淀川水質保全機構令和4年度水質保全研究助成成果報告会、2023年3月24日、オンライン.

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. *euofusiformis* の本邦における近年の出現. *Diatom* 38: 14-17.

根来 健 (2022) 水中微小生物と浄水処理障害. *環境技術* 51: 161-165.

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.

*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 (印刷中)