

日本珪藻学会第 39 回研究集会（東京）プログラム

期 日：2019 年 11 月 30 日（土）・12 月 1 日（日）
会 場：東京学芸大学（東京都小金井市貫井北町 4-1-1）
学会会長：出井雅彦
研究集会実行委員長：真山茂樹
共 催：東京学芸大学

第 1 日 11 月 30 日（土）

12:00 受付開始 C103 教室
企業展示 C103 教室
ポスター掲示 C203 教室
12:45 開会 学会長挨拶・研究集会実行委員長挨拶

《口頭発表》中央講義棟 C204 教室 【座長 佐藤晋也】

- 12:50 O1 大気中の微粒子として浮遊する珪藻の特徴—大潟村における 2019 年 8 月～9 月の例—
○千葉 崇・木口 倫・井上 誠・永吉武志（秋県大・生物資源）・間所洋和（秋県大・システム）・西内李佳（千葉県博・生態環境）・辻 彰洋（科博・植物）
- 13:05 O2 日本周辺海域に分布する海産浮遊性珪藻の水塊指標性の再検討
○渡辺 剛・田所和明・宮本洋臣（水産機構・東北水研）・永井直樹（気象庁・海洋気象課）・黒田一紀（ヤムシ研究会）
- 13:20 O3 珪藻が海鳥を介して運ばれる可能性
○吉岡夢生・鈴木秀和・神谷充伸（海洋大・藻類）・綿貫 豊（北大・資源生態）
【座長 大塚泰介】
- 13:35 O4 Observations on the type samples of fossil *Proboscia* species
○Yuki Uezato・Richard W. Jordan（山大・理）
- 13:50 O5 微化石自動鑑定システムを用いた *Eucampia antarctica* の殻形状の分類
○石野沙季・板木拓也（産総研・GSJ）
- 14:05 O6 種組成データ分析手法の学習用オンライン教材としての SimRiver の有効性と課題
加藤和弘（放送大学）
- 14:20 写真撮影
14:30 休憩

《ポスター発表》中央講義棟 C203 教室 【座長 千葉 崇】

- 14:50 ◆高校生の研究発表
PH ザリガニ甲羅上に付着する珪藻の季節変化について
○中野和真・中捨克兜（海城中学高等学校生物部）
- ◆一般発表
P1 千葉県小湊産紅藻マギレソゾ上の付着珪藻相
○菅原一輝・鈴木秀和・神谷充伸（海洋大・藻類）・長田敬五（日歯大・新潟・生物）
- P2 珪藻遺骸群集から明らかにする北海道日高地域沿岸における相対的海水準とイベント層形成の関係
○中西 諒（東京大）・嵯峨山積（北海道総合地質研究センター）・横山祐典・宮入陽介・芦寿一郎（東京大）
- P3 立命館大学びわこ・くさつキャンパスにある中間湿原の珪藻植生
○大塚泰介（琵琶湖博物館）・北野大輔（滋賀県大・環境科学）
- P4 機械学習による種判別プログラムの開発と、幾何学的形態計測に基づく種判別法の比較
○樋口悠太・藤井道夫・真山茂樹（東学大）
- P5 日本産クチビルマガイケイソウ属 *Seminavis* の形態と分類
○笹野 凧・鈴木秀和・神谷充伸（海洋大・院・藻類）・長田敬五（日歯大・新潟・生物）
- P6 タコクラゲから出現した *Protokeelia* sp.
○寺尾和明・真山茂樹（東学大）

【座長 納谷友規】

- P7 多摩川河口域干潟の砂泥堆積過程解明のための珪藻利用
○大本拓輝・西田尚央・真山茂樹(東学大)
- P8 Fossil marine diatoms from Marmorito, NW Italy
Kazuki Hoshina (Yamagata University)・Francesca Lozar (Torino University)・○Richard W. Jordan (Yamagata University)
- P9 軟 X 線分光顕微鏡による珪藻被殻中の元素分布および化学状態分布の可視化
石原知子(理研)・大河内拓雄(JASRI/理研)・山口明啓(兵庫県立大/理研)・○大浦正樹(理研)
- P10 *Melosira varians* の殻形態とその形成過程
○小山諒太郎・真山茂樹(東学大)
- P11 神奈川県野島公園の管棲珪藻相とその群集構造
○牟田神東陽奈・鈴木秀和・神谷充伸(海洋大・院・藻類)・長田敬五(日歯大・新潟・生物)
- P12 中新世後期の地中海における *Chaetoceros* 休眠胞子の観察
○杉本菜緒(山形大・理工)・Richard W. Jordan(山形大・理)
- P13 三重県古琵琶湖層群上野層(鮮新統)から産出した *Praestephanos* 属珪藻
○小島隆宏(筑波大学・生命環境)・齋藤めぐみ(国立科学博物館・地学)

16:10 休憩

《珪藻研究討論会》中央講義棟 C204 教室

【座長 真山茂樹】

16:20~17:40 「ひとり悩まず、ひとり占めせず、参加者みんなで考えよう！」

18:30~20:30 懇親会

武蔵小金井駅北口「北海道イタリアン ミアボッカ」

東京都小金井市本町 5-1-18 nonowa 武蔵小金井ムサコガーデン

TEL 050-3313-3007

第2日 12月1日(日)

8:30 受付開始 C103 教室

企業展示 C103 教室

《口頭発表》中央講義棟 C303 教室

【座長 渡辺 剛】

9:10 O7 蘭牟田池から見出された2分類群について

田中宏之(前橋珪藻研)

9:25 O8 秋田県の下部更新統田沢層から産出した *Lindavia costata*

○納谷友規・小松原 琢・細井 淳(産総研・地質情報)

9:40 O9 壊機法珪藻試料の比重法による分画精製

○中嶋 信・恒矢重毅・楨野陽介(東大・法医)・岡馬恵介(国際医療大・法医)・田中佳代・岩瀬博太郎(千葉大・法医)

9:55 O10 ねじれた群体を作る *Fragilaria crotonensis* に関する考察

○根来 健・大塚泰介(滋賀県立琵琶湖博物館)・辻 彰洋(国立科学博物館)

10:10 最優秀発表賞表彰式

10:15 お知らせ

10:20 休憩

《公開シンポジウム》「珪藻—明日に架ける橋」中央講義棟 C303 教室

セッション1

【座長 鈴木秀和】

10:40 《多様性》

珪藻の多様性

出井雅彦(文教大学教育学部生物)

11:10 《エネルギー》

海洋ケイ藻によるバイオ燃料/化成品用グリーンオイル生産技術

松本光史(電源開発株式会社)

11:40 《環境》

外来種ミズワクチビルケイソウの出現の現状と環境DNAによる早期検出の試み

洲澤 譲(河川生物研究所)

12:10 鶴木陽子（九州大学農学研究院）
休憩（C303・C204 教室にて飲食可）
ポスター撤収

セッション 2

【座長 伯耆晶子】

13:10 《アート》
顕微鏡の発展と珪藻アートの誕生
奥 修（マイクロワールドサービス）

13:40 《教育》
珪藻教材を用いた河川環境意識とグローバル意識の育成を図る授業プログラム
里見研悟（沼田市立沼田小学校）

14:10 《工業利用》
珪藻土の工業利用について
角 博明・小谷涼音（昭和化学工業株式会社）

14:40 休憩

セッション 3

【座長 真山茂樹】

14:55 《医療》
Diatoms as a Bioderived Nanosilica Particle for Bone Repair Applications（骨修復のための生物由来
ナノシリカ粒子としての珪藻）
Matthew Julius（米国 St. Cloud State University）

15:25 《バイオテクノロジー》
スマートセルインダストリーで活用される細胞工場としての珪藻
田中 剛（東京農工大学工学研究院）

15:55 **総合討論**

16:20 閉会

協 賛：昭和化学工業株式会社
日本コントロールシステム株式会社
サイエンス・アイ株式会社
(株)内田老鶴圃
(株)パレオ・ラボ
(株)エル・エム・エス

同時開催：「ケイソウ展」珪藻，知と美の小宇宙 part II

期間：11月28日（木）～12月5日（木）毎日10時～18時
場所：東京学芸大学芸術スポーツ4号館 美術科ギャラリー「アクティホール」
及び中央講義棟 C102 教室（ワークショップ会場，土日のみ）
実行委員会：東京学芸大学デザイン工芸 古瀬研究室，鉄矢研究室，正木研究室
東京学芸大学自然科学 真山研究室

後援：小金井市教育委員会

協力：石丸 隆
奥 修（マイクロワールドサービス）
忍足和彦（有限会社グレンデル）
鈴木博之（ヘリオストーム）
田中 亨（カールツァイス株式会社）
日本ケイソウ土建材株式会社
有限会社浜野顕微鏡
株式会社日立ハイテクノロジーズ
William A. Gorcica（米国 St. Cloud State University）

(O1) ○千葉 崇**・木口 倫**・井上 誠**・永吉武志**・間所洋和**・西内李佳***・辻 彰洋****: 大気中の微粒子として浮遊する珪藻の特徴—大潟村における2019年8月~9月の例—

珪藻が微粒子として大気中に存在し、風により移動していることは以前から指摘されている(Harper & McKay 2010)。大気中に浮遊する珪藻はその大部分が珪藻殻(死細胞)としてであり、生細胞はほとんどないと考えられているが、その一部は培養可能であると言われている(溝渕ら 2010)。大気中の珪藻を採取する場合、例えば高所にて降雪などを採取する方法がある。この方法は安全に珪藻を採取できるが、空気中のバックグラウンド粒子を採取しているのか、雪を採取しているのか厳密には区別できないという問題がある。一方、微粒子採取には、微粒子捕集サンプラー(例えばSSPM-100:島津製作所)を用いて大気中の微粒子を直接捕集する方法もある(遠藤ら 2007)。

本研究では、日射量が最も高い月である8月を対象として、2019年8月4日~9月1日にかけて秋田県立大学大潟キャンパスにおいてSSPM-100を用いて得られた珪藻について同定・計数を行った。なお、珪藻の生死判定のため、プレパラート作成に染色法(小杉 1985)を用いた。また採取時の気象情報は、大潟における風向、風速、気温及び日照時間などを参照した(気象庁 2019)。

分析の結果、晴天時及び風速が小さい条件下における試料からは、生細胞が全く検出されなかったが、降雨時かつ風速が大きい条件下においては、*Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia borealis*, *Luticola mutica*の生細胞が検出された。また、8月16日の台風時においてのみ、汽水-海水生種 *Tryblionella granulata* や *Cocconeis scutellum* の殻が認められた。以上のことは土壌に由来する珪藻生体の大気中の移動において、降雨、風速、日射量が関与していることを示唆している。

(* 秋県大・生物資源, ** 秋県大・システム,
*** 千葉県博・生態環境, **** 科博・植物)

(O2) ○渡辺 剛**・田所和明**・宮本洋臣**・永井直樹**・黒田一紀***: 日本周辺海域に分布する海産浮遊性珪藻の水塊指標性の再検討

日本の周辺では太平洋側に黒潮や親潮、日本海には対馬海流やリマン海流などの海流系が存在しており、これに対応して珪藻の分布も複雑になっている。各海流系において環境要因との応答により指標種を定義し、水塊の指標として利用してきた。本研究では、気象庁が広域的に長期間行ったモニタリングデータ(44年分、14,733サンプル)を活用して、珪藻分類群と水温・塩分との関係を解析し、1970年代以降更新されていなかった日本の周辺海域に分布する珪藻の指標性について再検討する。

珪藻は全試料から246分類群が出現した。珪藻群集はクラスター解析によって5グループに類型化され、出現する水塊または海域を反映することが報告されている(1 亜寒帯, 2 黒潮-親潮移行域, 3 黒潮暖流域, 4 赤道域, 5 熱帯・亜熱帯)。本研究では、各クラスターで最も高い細胞密度を示した3分類群(*Thalassiosira nordenskiöldii*: 亜寒帯, *Skeletonema costatum* sensu lato: 黒潮親潮移行域, 黒潮暖流域, 熱帯・亜熱帯, *Pseudo-nitzschia delicatissima* sensu lato: 赤道域)を各海域または水塊の代表種として、その指標性について考察した。*T. nordenskiöldii* は沿岸冷水種とされ、親潮域の春季ブルームの主要な構成種である。本研究でも本種は春に卓越し、主に北海道から北日本周辺海域に分布しており、低水温(0-5°C)の塩分33psu付近に高頻度で出現した。この結果は、本種が親潮の流路や水塊に分布することを示唆し、親潮水塊の指標種となりうることを示しており、従来の指標性を支持した。*Skeletonema costatum* s.l. は沿岸種とされ、沿岸や内湾でブルームを形成する。本研究では季節を問わず、温帯の沿岸域を中心に分布しており、幅広い水温・塩分に出現した。本分類群は沿岸水の指標種となりうる可能性はあるが、2000年代に入り11種に細分化され、本邦においても同所的に複数種が出現することが報告されている。季節性や水温・塩分との関係等から生態的に分類可能か検証が求められる。*P. delicatissima* s.l. は沿岸冷水種とされるが、赤道域の代表種となり、本研究でも広域に分布し、高温・高塩分度高

頻度に出現した。本種も近年分類の再検討により複数種の混在が認められていることから、その指標性については慎重に検討する必要がある。

(* 水産機構・東北水研, ** 気象庁・海洋気象課,
*** ヤムシ研究会)

(O3) ○吉岡夢生**・鈴木秀和**・神谷充伸**・綿貫 豊** : 珪藻が海鳥を介して運ばれる可能性

珪藻は、特別な散布体をもたないにも関わらず、様々な水圏環境にて広域に分布するため、何かを媒介して分散していると考えられる。鳥類の羽や排泄物などは、種子を運ぶ散布に寄与するとして注目されてきた。淡水域では水鳥のフンから珪藻を含む微細藻類が確認されたが、海域では海鳥の試料が入手困難であることなどから研究報告が少ない。本研究は、海産珪藻が海鳥の羽を介して運搬される可能性を探ることを目的とした。

北海道天売島にて繁殖する海鳥ウトウ *Cerorhinca monocerata* を対象とし、2018年5月、2019年7月に調査を行った。試料は帰巢時の親鳥を捕獲後、羽を洗浄して得た。比較のため、親鳥が雛に持ち帰ったクジメ稚魚他2種の胃内容と営業地周辺の水域からも珪藻を採集した。

2018年5月の羽の試料では、ウトウ12個体から9属11分類群1未同定分類群の海産付着珪藻が出現し、*Licmophora communis* が優占した。出現種の多くはクジメ稚魚の胃内と海岸から得た珪藻の種と一致したため、ウトウが周辺海域に滞在し、採食する間に珪藻が羽に付着したと考えられる。2019年7月に採集したウトウ4個体からは海産種はほとんど見られず、汽水生の珪藻が確認された。5月と7月の種組成の相違の要因として、ウトウの採食域に生育する珪藻の種組成が変化したことが考えられる。

(* 海洋大・藻類, ** 北大・資源生態)

(O4) ○Yuki Uezato**・Richard W. Jordan** : Observations on the type samples of fossil *Proboscia* species

During the 1960s-1970s, a number of fossil *Rhizosolenia* species (later transferred to *Proboscia*) were poorly described, accompanied by either indistinct holotype sketches or light micrographs. As a consequence, most of the *Proboscia*-like specimens subsequently reported are unnamed. To alleviate this problem the type materials of *P. interposita*, *P. praebarboi*, *P. praealata* and *P. barboi* are being re-investigated in order to provide more detailed descriptions and clearer illustrations.

In this study, though, the focus has been on *Pycilla barboi* Brun, which was described from Sendai in 1894. The type slide contains two complete valves, beautifully preserved, but the specimens are different; one has a narrow proboscis tip, the other has large polar spinulae. For nomenclatural stability, the latter should be chosen as the type specimen of *P. barboi sensu stricto*, since its morphology fits the current species concept. Unfortunately, no type material exists in the Brun Collection, so one was observed from the Hustedt Collection, which contains complete valves of the same two forms that Brun illustrated. Henceforth, other late Miocene-Pliocene forms can now be formally described and named.

(*Yamagata Univ.)

(O5) ○石野沙季**・板木拓也** : 微化石自動鑑定システムを用いた *Eucampia antarctica* の殻形状の分類

珪藻の生物地理を把握し、古環境指標となりうる種を特定するには、顕微鏡観察による種の分類・個体カウントの作業が研究時間の多くを占めてきた。特に、少産種を対象とした個体数の調査や珪藻殻の形状(面積や長径など)の計測には、膨大な時間を要するという難点があった。例えば、南大洋で観察される *Eucampia antarctica* の殻の連鎖数は海水の被覆度によって異なることが指摘されており、殻の末端型(Terminal valve)と中間型(Intercalary valve)の比率(*Eucampia* Index)が調査されている(例えば Whitehead et al., 2002)。しかし、*Eucampia* Index は海水被覆度の

指標として期待されている一方で、南大洋の広大な海域で *Eucampia antarctica* の2種類の殻を大量に計数する作業時間は膨大であり、今まで *Eucampia* Index の大規模な調査は行われていないのが現状である。

上記の問題に対して、発展しつつある人工知能技術を用いて、*Eucampia antarctica* を自動で鑑定するシステムを実現することができれば、膨大であった作業時間を大幅に短縮することが可能となる。近年、産業技術総合研究所では、100-10 μ m サイズの微化石自動鑑定システムが開発された。そこで、本研究ではこのシステムを活用して南大洋各地で *Eucampia* Index を効率的に計測し、*Eucampia* Index 値と海水被覆度との関連性を詳細に検討することを目的とした。この微化石自動鑑定システムは、電動ステージ付き光学顕微鏡でプレパラート上の個々の粒子を自動で撮影し、ディープラーニング（人工知能の学習法）ソフトウェアによって画像から目的の粒子を鑑定するという機能を備えている。ディープラーニングで *Eucampia antarctica* の自動鑑定を行うには、教師データ（分類を覚えるためのフォルダ分けされた画像集）を作成する必要がある。本発表では、微化石自動鑑定システムの概要に加えて、教師データの作成方法および現段階における自動鑑定した分類結果の精度について発表する。

(* 産総研・地質調査総合センター)

(O6) 加藤和弘：種組成データ分析手法の学習用オンライン教材としての SimRiver の有効性と課題

“SimRiver”は、河川の水質と河川流域の人間活動との関係を、珪藻の種組成の変化を通じて学ぶためのシミュレーションプログラムである。“SimRiver”では、珪藻の種組成は水質汚濁と水温という2つの環境傾度に沿って変化するという設定の元で、ランダムサンプリングの要素も組み込んだうえで作成された、種組成変動モデルが用いられている。このモデルが多様な環境条件設定の下で生成する種組成のデータを用いることで、汚濁指数や種多様度の指数の計算、多変量解析といった、種組成データの分析法を、環境条件と対応づけられた様々な種組成のデータについて実習することができる。固定されたテストデータを用いた実習と比べると、自らデータを得て分析を行い、得られた結果を考察するという一連の過程は、現実の野外調査研究により近く、学生の学習意欲を高めることが期待される。

演者は、放送大学大学院において「生物群集種組成データの分析法」というオンライン授業を、“SimRiver”を用いて開設している。これまでに履修した学生からは、実際の調査に近い形で手法を学べた、といった肯定的な評価が得られている一方で、作業に時間がかかる等の課題も指摘されている。この授業で多変量解析の手法を学び、修士論文研究に役立てた学生もいる。本発表では、現状を報告の上、解決すべき課題と今後考えられる展開について紹介する。

(放送大学・オンライン教育センター)

(O7) 田中宏之：蘭牟田池から見出された2分類群について

鹿児島県に所在する蘭牟田（いむた）池は、標高295m、最大深度2.7m（平均深度0.8m）、直径1.1kmの火山湖である。湖水のpHは6.8-7.0、水面の約3分の1は湿原で、泥炭が形成され「蘭牟田池の泥炭形成植物群落」として国の天然記念物に指定されている。

演者はこの池から *Aulacoseira imparis* Siver et al., *Stauroneis stauroneis* var. *japonica* H. Kobayasi & Ando を見出した。前者は、最近蘭牟田池から報告されたが、日本では一か所のみである。後者は、他の湖沼からも産出報告があるがSEM写真は報告されていない。これら2分類群の形態の詳細を報告する。

Aulacoseira imparis はアメリカ・ニュージャージー州の湖から記載されたもので、全面に胞紋がある殻面（径8-19 μ m）、先端がイカリ状に分岐し、基部には多数の微小突起が所在し、長さが不揃いな分離針、しばしば殻の外側は薄い二次的なシリカ層で覆われ、内側は厚いスポンジ層が発達する。

Stauroneis stauroneis var. *japonica* は仙女が池（埼玉県）から

最初に見出された。その後大峰山池沼群（群馬県）、信州竜池・琵琶池（以上長野県）、山門湿原（滋賀県）、蘭牟田池等から報告されている。披針形で、殻端は細く伸びたくちばし形、殻長93-113 μ m・殻幅17.5-20 μ m、条線は10 μ mに16-18本、縦走肋線は10 μ mに約16本、横帯の幅は1.5-2.5 μ m、胞紋の外側は細い縦長の開口であるが、内側では円～やや横に伸びた円形師板であった。

(前橋珪藻研)

(O8) 納谷友規*・小松原琢*・細井 淳*：秋田県の下部更新統田沢層から産出した *Lindavia costata*

Lindavia costata (= *Pliocenicus costatus*) は、当初他の *Pliocenicus* 属とされていた珪藻と同様に化石種と考えられていたが、後にシベリア東部の湖沼で現生することが確認された淡水生の浮遊性珪藻である。これまで日本における本種の産出は、長野県美ヶ原高原に分布する下部更新世の湖成層からの報告のみであり、本種の地理的分布や産出年代についてはほとんど情報がなかった。本発表では、秋田県仙北市に分布する下部更新統田沢層の湖成層に含まれる珪藻化石群集を検討した結果、日本では2例目となる *L. costata* の産出が確認されたので報告する。田沢層から産出した *L. costata* には円形と楕円形の蓋殻が含まれ、LMとSEMで観察された他の形態学的特徴も本種の特徴と良く一致する。田沢層において *L. costata* が産出した層準のすぐ近くでは、約1.85±0.13MaのFT年代が得られている（小坂ほか、2008）。また、美ヶ原高原における本種の産出層準を含む地層の年代は、1.56-1.53Maとされる（向井ほか、2009）。これらの産出記録は、*L. costata* が前期更新世の中期頃には日本の中部～東北地域の内陸部に分布していた可能性を示す。

(* 産総研・地質情報)

(O9) 中嶋 信*・恒矢重毅*・楨野陽介*・岡馬恵介**・田中佳代***・岩瀬博太郎***：壊機法珪藻試料の比重法による分画精製

[はじめに] 壊機法は水中死体の肺等の臓器から強酸を加熱して、珪藻被殻を取り出すクリーニング法だが、2点ほどの問題がある。1つ目は、比重の軽い海水珪藻被殻の検出率が低い点、2つ目は、溺水と共に肺に吸引したシルトが除去できず珪藻被殻の顕微鏡観察にくい点である。この2点を改善するため若干の工夫を行ったので報告する。

[方法および結果] 壊機法は、処理の過程で発煙硝酸（比重1.52）や硫酸（比重1.84）を加え数時間砂皿上で加熱するため高比重1.4-1.5の溶液となっていた。

そこで、海水溺死事例1の肺の溶解液を精製水で希釈し、比重1.4、比重1.2、比重1.1に調整し、回収される珪藻片濃度を比較した。その結果、比重1.4では珪藻濃度11.7±3.6/g、比重1.2で102.1±47.4/g、比重1.1で1924.7±678.0/gと回収率が上昇し、各群にはp<0.05の有意差を認め、低比重では検出珪藻の種類も増加した。

次に、溺死事例の肺の溶解液を精製水で遠心洗浄し標本作成直前の沈渣を、パラタングステン酸ナトリウム（SPT）比重2.1水溶液で分画したところ、ほとんどのシルトが除去された。さらに、比重2.1、2.3、2.5、2.7で重層分画したところ10検体の平均で、比重2.1で56.2%、比重2.3で39.9%、比重2.5で3.7%、比重2.7で0.2%となった。この結果、比重2.1+2.3SPTで分画すると95%以上の回収率が得られ、比重2.1SPT分画に比較するとシルトは多いが、珪藻被殻の観察に支障はないと考えられた。

(* 東大・法医, ** 国際医療大・法医, *** 千葉大・法医)

(O10) 根来 健*・大塚泰介*・辻 彰洋**：ねじれた群体を作る *Fragilaria crotonensis* に関する考察

Fragilaria crotonensis Kitton は、世界の湖沼に出現する浮遊性珪藻であり、浄水処理の分野においては、凝集阻害や過閉塞などの障害をもたらす生物として世界的に知られている。琵琶湖においても主に冬から春にかけて出現し、時には優占種となる。

しかし、昨年度の本研究会での報告のように、十数年前から帯状の群体の形態に変化が見られ始め、近年はねじれた群体が多産するに至っている。2018年2月7日に、琵琶湖南湖南東湖岸にある琵琶湖第1疏水取水口で採取したサンプルには、従来の平面的な群体とねじれた群体が混在しており、条線がやや粗いものどやや密なものが観察された。これが群体のねじれと関係しているのか検討した。

2019年6月2日に、琵琶湖南湖北東の烏丸半島南岸で採取されたサンプル(通常群体とねじれ群体が混在)から、マイクロピペットを用いて単離し、1/2希釈のWC培地を用いて培養した。単離培養が成功した19-01株は平面群体、19-02株はねじれ群体の形質が同一培地内で安定して観察されていることから、両者は異なった個体群であることが推定された。10 μ 当たりの条線数は、前者は17-18本、後者は13-14本と分かれた。琵琶湖博物館に保存されていた2010年4月27日に琵琶湖北湖の今津港サンプルから単離された培養株の固定標本を調べたところ、平面群体で条線数は17-18本であった。現在、遺伝子的な相違がないか調べを進めている。

(* 琵琶湖博物館, ** 国立科博・植物)

(PH) 中野和真・中捨克兜：ザリガニ甲羅上に付着する珪藻の季節変化について

珪藻が他の生物の体表に付着することは以前から知られている。珪藻が付着先の生物の移動を分布拡大に利用している可能性もあり、特にウミガメに関して離れた地点間での付着珪藻の種組成の比較などの研究が行われている(R. Majewska et al., 2017)。しかし、淡水域の生物に付着する珪藻に関する研究は少なく、淡水域に生息するザリガニ類に付着する珪藻では、イタリアの河川での研究が1件報告されたのみである(E. Flasco et al., 2018)。そこで本研究ではザリガニ類の甲羅上に付着する珪藻群集の種組成と個体数を調べることに加え、その季節変化を調べることを目的とした。

埼玉県所沢市の溜め池において、晩秋(2018年11月と2019年10月)、春(2019年4,5月)、夏(2019年8月)にアメリカザリガニ(*Procambarus clarkia*, 以下ザリガニと表記)の甲羅上の珪藻について調査を行った。珪藻はザリガニの甲羅をこすって採集し、マウントメディアで封入し、永久プレパラートを作成した。作成したプレパラートを検鏡し、珪藻の種同定と殻数の計数を行った。またその結果を用いて珪藻を付着様式と付着強度ごとに分け考察した。周囲の環境との比較のため、溜め池の落ち葉や泥に付着する珪藻も同様に調べた。

晩秋(2018年11月)はザリガニ甲羅上では *Gomphonema* 属の珪藻が明らかに優占していたが、落ち葉上では *Suriella* 属などが優占していた。春の珪藻の種組成はザリガニ上と泥上で差が見られなかった。夏の珪藻の種組成も同様に差があまり見られなかったが、春に比べ付着力の強い珪藻の割合がわずかに増加していた。珪藻の個体数はザリガニ甲羅上の方が落ち葉や泥の上より明らかに少なかった。またザリガニの個体間にも珪藻数の個体数にばらつきがみられた。

発表では、これに加えて現在分析中の2019年10月のデータも交え考察を行う予定である。

(海城中学高等学校生物部)

(P1) 菅原一輝・鈴木秀和・神谷充伸・長田敬五**：千葉県小湊産紅藻マギレソソ上の付着珪藻相

ソゾ属 *Laurencia* はイギス目フジマツモ科に属する紅藻で、本邦各地の潮間帯に生育する多様な分類群である。ソゾ属が藻体内に含有するテルペン類などの二次代謝産物は、珪藻を含め、海産動物植物に対して付着・摂食阻害を示すことが知られている。本研究では、このような海藻上の付着珪藻相を調査し、その特徴を明らかにすることを目的とした。

基質海藻は千葉県鴨川市千葉大学海洋バイオシステム研究センター前の磯にて採集したマギレソソ *Laurencia saitoi* とした。得られた試料を定法に従って処理したのち、顕微鏡観察と同定、種組成の算出を行った。

その結果、現在までに15属23種2未同定分類群が確認された。主な出現分類群は、*Nagumoea africana* (出現頻度15.3%)、*Pteronocola inane* (9.3%)、*Grammatophora marina* (7.7%)、*Navicula* sp. (6.3%)、*Rhoicosphenia genuflexa* (6.0%)、*Cocconeis scutellum* var. *parva* (4.3%) であった。また、本邦初報告の *Falcula* sp. (6.0%) と *Druelago cuneata* (3.0%)、主に寒海で報告がある *Cocconeis californica* (1.7%) が見出された。

今回は先行研究と合わせ、海域や基質海藻による付着珪藻相の相違および本研究で確認された特徴的な分類群 *Nagumoea africana*, *Falcula* sp., *Druelago cuneata*, *Cocconeis californica* の形態について報告する。

(* 海洋大・藻, ** 日歯大・新潟・生物)

(P2) 中西 諒**・嵯峨山積**・横山祐典*・宮入陽介*・芦寿一郎*：珪藻遺骸群集から明らかにする北海道日高地域沿岸における相対的海水準とイベント層形成の関係

北海道の太平洋沿岸ではこれまでに胆振海岸東部や厚岸湾などで珪藻遺骸群集を用いて海水準の復元が行われてきた(澤井, 2007; 嵯峨山ほか, 2008など)。こうした相対的海水準の変動は津波などの自然災害を明らかにする上で重要である。本研究対象の日高地方においてはこれまでに完新世の相対的海水準に関する研究に乏しく、自然災害史解明の障害となっている。そこで本研究では珪藻遺骸の群集解析を行い、完新世の海水準高頂期~海退期に当たる層準を明らかにし、砂質イベント層の形成時期との関係性を明らかにする。研究対象は日高沿岸地域の3地点(海溝に近い方から鶴苦沢・三石・勇払)の海食崖露頭とした。鶴苦沢では9層のイベント層(中西ほか, 2019)、三石では5層の砂質イベント層を確認している。砂質イベント層が確認される層準では汽水の影響を示唆する *Diploneis ovalis* (Hilse) Cleve や *Rhopalodia acuminata* Krammer が多く産出するものの、その上位のイベント層が確認されない層準においては Sawai (2001) で upland に生息するとされる *Pinnularia* 属や *Eunotia* 属が優占するような群集へと変化した。¹⁴C年代測定の結果、塩性湿地から高地への環境変化は3000-2000BPにみられ、これは相対的海水準の低下が影響したものと考えられる。この結果から、津波などのイベントを調べる際、海溝から離れた地域においても珪藻遺骸を用いた海水準変動の復元が重要であると言える。

(* 東京大学, ** 北海道総合地質学研究中心)

(P3) 大塚泰介*・北野大輔**：立命館大学びわこ・くさつキャンパスにある中間湿原の珪藻植生

日本中部以西の中央構造線の北側に沿って、数多くの小規模な中間湿原が存在する。その大部分が暖温帯の、標高が低い丘陵地に位置するにもかかわらず、しばしば湿原に特有の植物相を示す。そして多くの場合、泥炭層の発達がほとんど見られない鉍質土壌湿原である。

立命館大学びわこ・くさつキャンパスには、ヌマガヤを優占種とする鉍質土壌湿原が、キャンパス内の別の場所から表土ごと移植された湿原とともに維持されている。この湿原群は、この場所本来の湧水とともに、くみ上げられた地下水によって涵養されている。私たちはこの湿原群から4本の植物試料(オオミズゴケ2本、ヌマガヤ2本)を採集し、その上に付着する珪藻を調べた。

試料を採集した3地点の水質は、pHが5.4-6.1、ECが4.8-17.5 mS/mと、地点によって大きく異なり、弱い硫酸酸性を示す地点があった。

30属108種の珪藻が見出され、そのうち10種が未同定である。属ごとでは *Pinnularia* が20種と最も多く、*Eunotia* が12種でこれに続いた。この両属の種数が全種数に占める(E+P)比は30%で、本州の高層湿原における値(31-66%)よりも小さかった。一方、低層湿原で出現種数が多くなるとされる *Cymbella* (広義) が10種、*Gomphonema* も8種出現した。強酸性水域にのみ出現するとされてきた *Pinnularia osoresanensis* や、これまでニューカレドニアからのみ知られていた *Frustulia mamillaris* など、いくつかの興味深い種が出現した。

(* 琵琶湖博物館, ** 滋賀県大院・環境科学)

(P4) ○樋口悠太・藤井道夫・真山茂樹：機械学習による種判別プログラムの開発と、幾何学的形態計測に基づく種判別法の比較

珪藻の種の判別方法には、光学顕微鏡や電子顕微鏡を使用して観察された微細構造を含む形態的特徴に基づくものと、DNA バルコードなどの分子配列に基づくものがある。形態による判別では、殻の外形におけるくびれや突起を定量的に表現することが難しく、観察者の主観的な判断に頼らざるを得ない一面がある。その解決方法の一つとして、幾何学的形態計測ソフトウェアである Thin-plate spline (TPS) を用いて、珪藻の外形を xy 座標に変換し、そのデータを統計的に比較することで、珪藻種を判別する試みがしばしば行われている。

また近年では車や鳥などの画像を機械学習により自動で判別するプログラムが開発されているように、画像データからピクセルを読み込み、識別する技術が誕生している。

本研究では、珪藻の機械学習による種判別プログラムの開発を試み、その結果を TPS による判別法のものと比較することでプログラムの有用性を検討した。

種内での形態変異に幅があることで知られている *Pinnularia acidojaponica* とそれに形態が類似する 5 種類の *Pinnularia* をプログラムによって判別したところ、正答率 85% を上回る結果を得た。TPS の判別結果と機械学習によるプログラムの判別結果の比較から、外形に着目した機械的な処理による種判別法の有用性について考察する。

(東学大)

(P5) ○笹野 隼*・鈴木秀和**・神谷充伸*・長田敏五**：日本産クチビルマガイケイソウ属 *Seminavis* の形態と分類

クチビルマガイケイソウ属 *Seminavis* は、フナガタケイソウ科に属する底生羽状珪藻である。本属の本邦産種について、殻と帯片の微細構造は十分に解明されていない。今回は、神奈川県沿岸から得た *S. basilica* Danielidis, *S. macilenta* (Gregory) Danielidis & D. G. Mann および *S. robusta* Danielidis & D. G. Mann の 3 種を光学および走査電子顕微鏡を用いて観察した。殻と帯片の微細構造について、先行研究との比較検討結果を報告する。

S. basilica の殻の外形は半披針形、腹側殻縁はほぼ直線状、背側殻縁は弧状に湾曲。殻長 31.0–61.2 μm, 殻幅 6.5–8.5 μm。条線密度は腹側で 27–28 本/10 μm, 背側で 26–28 本/10 μm。腹側条線は殻の全長にわたってほぼ平行、殻の中央付近でわずかに放射状。殻中央部の 2 つの縦溝末端は、それぞれ反対方向に偏向。

S. macilenta の殻の外形は半披針形、腹側殻縁はほぼ直線状、背側殻縁は弧状に湾曲。殻長 17.5–22.0 μm, 殻幅 3.5–4.0 μm。条線密度は腹側で 17.5–19 本/10 μm, 背側で 16.5–19 本/10 μm。*Seminavis* の中では小型で、腹側条線は殻の全長にわたり単一の胞紋で構成される。

S. robusta の殻の外形は半披針形、腹側殻縁はほぼ直線状またはわずかに湾曲、背側殻縁は弧状に湾曲。殻長 36.2–56.0 μm, 殻幅 5.5–8.7 μm。条線密度は腹側で 18.5–20 本/10 μm, 背側で 18–20 本/10 μm。腹側条線は殻の中央付近で放射状、殻端付近で平行。帯片は 3 タイプからなる。

(* 海洋大・院・藻類, ** 日歯大・新潟・生物)

(P6) ○寺尾和明・真山茂樹：タコクラゲから出現した *Protokeelia* sp.

沖縄近海で採取されたタコクラゲの切片を人工海水中に浸漬したところ、数日後に容器の底面に茶褐色の付着物が肉眼で観察された。この付着物を植え継いだところ、極めて速く増殖した。光学顕微鏡で観察すると、生細胞は粘質により基物に付着し、その粘質により相互に付着した集塊を形成していた。硫酸により有機物を除去した被殻は非常に小さく、長さ 8–10 μm。対をなす三日月形の殻から構成されていたが、形が崩れているものも多く、条線は観察困難であった。

走査型電子顕微鏡では、殻は薄く、背側の殻套が高く観察された。条線は二重胞紋列より構成され、条線密度は 10 μm あたり約

32 本であった。縦溝は「くの字」形に配列し、殻外面で弱く隆起し、殻内面に中心節を持つ。殻内面では殻面と殻套の接合部で、それぞれの縦溝枝に沿って無紋の板状の構造が存在し、これは殻面と殻套の横枝に連続する小骨様の構造によって懸架されていた。これと同様の板状構造は従来の *Protokeelia* 種では観察されていないが、縦溝周りの全体の構造は未発達縦溝管として捉えることができるため、本珪藻を *Protokeelia* sp. と同定した。

Protokeelia 属は有孔虫の細胞内共生藻を単離培養したことにより殻を生じた *P. hottingeri* Reimer et Lee をタイプとする属である。タコクラゲには渦鞭毛藻が共生することが知られている。現時点で本研究で得られた *Protokeelia* sp. がタコクラゲに共生していた証拠は無いが、細胞サイズは一般的な共生珪藻のものと同様であった。今後は本珪藻とタコクラゲとの関係を明らかにしたい。

(東学大)

(P7) ○大本拓輝・西田尚央・真山茂樹：多摩川河口域干潟の砂泥堆積過程解明のための珪藻利用

日本の河口域では潮位差が小さく、平常時に上流域から供給される泥の量が少ない。このため泥と砂が規則的に重なる「潮汐堆積物」が認められない場合が多い。このような条件の河口域で堆積物が形成されるプロセスは、従来、必ずしも十分には検討されていない。

本研究では、多摩川右岸の河口域干潟において、2017 年の台風 21 号、および 2019 年の台風 19 号通過後の表層泥と、ハンディジオスライサーを用いた長さおよそ 1 m のコア試料を採取した。そして、そこに含まれる珪藻種の本래の生育地の特性による砂泥堆積過程の解明を試みた。

大型台風後の表層泥からは、いずれも淡水生珪藻が多く見られたことから、この泥は淡水域に由来するものと考えられた。また、コア試料では深さ 40 cm 程度までの堆積泥でも淡水生珪藻が多くを占めていたことから、これらの泥層は洪水等の大出水で一気に堆積し、その後攪乱されないほど凝縮していることが考えられた。しかし、より深い位置(約 60 cm)に認められた泥では海水生プランクトン種の割合が高かった。これは、この深さの泥の堆積過程が上部に見られたものとは異なることを示唆するものである。また、コア試料中の堆積砂ではどの層にも汽水域に出現する種が多くを占めた。砂は泥と比べ短期間で相対的に多量に堆積しないため、干潟本来の環境である汽水域に生息する種がそのまま堆積砂中に残ったものと考えられた。

(東学大)

(P8) Kazuki Hoshina*・Francesca Lozar**・Richard W. Jordan*: Fossil marine diatoms from Marmorito, NW Italy

The outcrop at Marmorito in northwest Italy consists of Marmorito limestone, sandstone and diatomite in ascending order. In the past, few studies were conducted on the diatomites, which are not laminated. We collected 28 samples from the diatomites, and observed and counted the diatoms and calcareous nannofossils using the light microscope and the scanning electron microscope. Based on calcareous nannofossils, the age of the diatomites is considered to be Burdigalian (lower Miocene). Although the nannofossils were well preserved, most of the diatoms were fragmented. *Stephanopyxis* spp., *Chaetoceros* resting spores, *Paralia sulcata* and *Rhaphoneis fossile* were commonly observed. While the diatoms represent a typical shelf assemblage, the nannofossils lived offshore. This suggests that seasonal river run-off carried shelf diatoms over the slope in the wet season, while nannoplankton thrived in the dry season when nutrients were introduced into the surface waters through vertical mixing.

(*Yamagata Univ., **Torino Univ.)

(P9) 石原知子*・大河内拓雄***・山口明啓****・大浦正樹*:
軟X線分光顕微鏡による珪藻被殻中の元素分布および化学状態分布の可視化

環境指標にも使われる珪藻について、その被殻の形成過程等に関する研究を推進するため、被殻中に含まれる元素の分布やそれらの化学状態分布の可視化を目指して軟X線分光顕微鏡の整備と観察手法の開発を進めている。本手法では、従来の走査型電子顕微鏡(SEM)等と比べ、元素固有の吸収端を積極的に利用することで、元素選択的・化学状態選択的な観察ができることが大きな特徴となっている。最初の研究例として、乾燥したクモノスケイソウの被殻の観察を行ったので、その詳細について報告する。

実験は、大型放射光施設SPring-8から得られる高輝度軟X線ビームを用い、2種類の軟X線分光顕微鏡(光電子顕微鏡、走査型軟X線顕微鏡)により、被殻中の元素分布を観察し、それらの元素の化学状態を調べるため軟X線吸収スペクトルの測定を行った。観察の結果、被殻を構成する主成分の珪素と酸素の他、微量なカルシウムが検出されている。講演では、手法の詳細を紹介するとともに、得られた観察結果を考察し、今後の研究について展望する。

(* 理研・放射光科学研究センター、

** 高輝度光科学研究センター、*** 兵庫県立大・高度研)

(P10) 小山諒太郎・真山茂樹: *Melosira varians* の殻形態とその形成過程

殻の形成過程を知ることは、多様な形態を獲得した珪藻の系統進化を理解するうえで意義がある。本研究では中心珪藻の中で古い系統に位置する *Melosira varians* の殻形成過程の解明を試みた。

多摩川で採集した試料を単離培養後、硫酸で処理し、走査型電子顕微鏡で観察した。完成後の被殻は円筒形で、二重のシリカの層から構成されていた。殻外面の層には直径約100nmの穴が高い密度で分布し、殻内面の層にはより密度の低い輪形師板で閉塞された胞紋が散在した。また、殻面に中心環と思われる構造は認められなかった。殻外面には唇状突起の外部開口が直径約500nmの穴として散在した。

観察された最も初期段階の構造は、親細胞の接殻帯片の内面の殻側に、一周して存在する沈着間もないシリカの輪と、そこから接殻帯片に接して等間隔で伸長するシリカの縦糸構造であった。また、この構造の末端は不明瞭に途切れていた。縦糸構造間には、あみだくじのように横糸構造が形成されていた。縦糸と横糸構造の密度は、完成殻内側の層に見られる胞紋列の縦および横方向の密度と類似した。このため、この構造物は形成初期の殻と考えられた。殻套部の胞紋は、殻套端付近でのみ貫殻軸方向に平行に整列するが、殻面側では整列が崩れた。また、殻は内面の層が最初に形成された。内面層の形成初期の胞紋は六角形の開口を示したが、形成段階が進むとそれは円形となった。その後、内側層の外側に、より穴の密度が高い外面層が形成された。

(東学大)

(P11) 牟田神東陽奈*・鈴木秀和*・神谷充伸*・長田敬五**:
神奈川県野島公園の管棲珪藻相とその群集構造

本研究は、海産管棲珪藻を継続的に採集することで、出現種とその群集構造に関する知見を得ることを目的とした。採集地は神奈川県横浜市金沢区野島公園とし、2019年3月から9月まで、毎月1, 2回の採集を行った。採集した管棲珪藻の樹枝状群体からチューブを1本取り出して生細胞を観察した後、ブリーチング法によって被殻洗浄、永久プレパラートを作製し、LMおよびSEM下で観察・写真撮影を行った。

期間中、管棲珪藻は常に出現し、*Berkeleya rutilans*, *Cylindrotheca* sp., *Navicula ramosissima*, *Navicula* sp. 1, *Navicula* sp. 2, *Nitzschia* sp., *Parlibellus berkeleyi*, および *Parlibellus* sp. の単種あるいは複数種による混生群体が観察された。群体は3月が最も多く、それぞれの大きさは150mm程度だったが、群体数は夏季に向けて減少し、徐々に目視での発見が難しいほど小さくなった。8月にはほとんど確認されず、バイオフィームに混ざった1本のチューブがLM下で僅かに確認できる程度になった。9月になるとチューブ

の数が少し増加した。調査期間を通して出現したのは *B. rutilans* のみで、他種は出現時期に差が見られた。3-4月は *Parlibellus* sp. と *N. ramosissima* の混生型、5-6月は *Navicula* sp. 1, 7-8月は *Navicula* sp. 1 と *Navicula* sp. 2 が多く出現した。 *B. rutilans* や *Navicula* sp. 1 は、チューブ内に単種で生育する場合と、 *Nitzschia* sp. や *Cylindrotheca* sp. などと混生する場合が見られた。

(* 海洋大・院・藻類、** 日歯大・新潟・生物)

(P12) 杉本菜緒*・Richard W. Jordan**:
中新世後期の地中海における *Chaetoceros* 休眠胞子の観察

中新世後期(5.97Ma-5.33Ma)地中海ではメッシニアン塩分危機(MSC)という地質学的イベントが起きた。このイベントは大西洋と地中海の間の海峡が閉じたことで、地中海への海水の流入が途絶え海水が干上がってしまったものである。当時の古環境を復元するために地中海の珪藻を観察した結果、*Chaetoceros* 休眠胞子が数多く見つかった。*Chaetoceros* 属は湧昇が起こる沿岸地域の全一次生産量25%以上を担っている重要な珪藻グループで、その一部は休眠胞子を形成する。また、様々な形状をもっており形態属に分けられる。そこで今回は地中海各地域のMSCとMSC以前のサンプル(特にGavdos島Metochia層)とギリシャのCrete島Prassas(鮮新世)のサンプルを用いて *Chaetoceros* 休眠胞子に着目して観察・同定を行った。サンプルは光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡を用いて観察した。

結果として、特徴的なトゲやコブの構造を持っている *Xanthiopyxis* 属が多く見られ、*Xanthiopyxis polaris*, *Xanthiopyxis typeA*, *typeB* が数多く観察できた。他の形態属も見られ、*Gemellodiscus cingulus* や *Monocladia humilis* などが確認できた。全サンプルで構成している形態属の傾向は概ね似ていたが、Crete島Prassasでは特に多様な種が見られた。また、地中海の地域によって *Chaetoceros* 休眠胞子の特徴に違いが見られるかについても考察する。

(* 山形大・理工、** 山形大・理、)

(P13) 小島隆宏*・齋藤めぐみ**:
三重県古琵琶湖層群上野層(鮮新統)から産出した *Praestephanos* 属珪藻

三重県伊賀市大山田地域には鮮新統古琵琶湖層群上野層が分布している。この地域の上野層は過去の琵琶湖(大山田湖)とその周辺で形成されたと考えられており(川辺1994)、琵琶湖の固有種 *Praestephanos suzukii* に類似する珪藻化石が本層から産出することが報告されている(石角ほか2013; 大塚ほか2018)。演者らは、上野層から産出する *Praestephanos* 属珪藻の層序学的分布と系統関係を明らかにすることを目的として、大山田地域の丘陵部および服部川沿いの露頭から堆積物試料を採取し、珪藻化石の観察を行った。

産出した *Praestephanos* 属は2種(*P. sp. 1* と *P. sp. 2* とする)であった。両者の形態学的特徴はよく似ており、共通する特徴は以下の通りである。殻は円盤型で、直径は10-50μm程である。殻面は、小型の個体は1回波打ち、大型の個体は2回波打ち。殻套は非常に浅い。胞紋は殻套有基突起付近に密度が変化する。東線は10μmあたりに3-5本で、東線中の胞紋は殻面/殻套境界付近で3-8列である。殻の外側では、縁領域の東線が窪むことがあり、肋は隆起する。肋上の殻面/殻套境界付近に小さな刺がある。3個(*P. sp. 2* はまれに2個)の付随孔を伴う殻面有基突起が中心域にあり、保存の良い個体では窪みの中にあることが確認される。殻套有基突起は、外側では短管を伴って開口し、内側では3個の付随孔を伴う。殻套有基突起と肋の位置には不一致がある。唇状突起は1個で、外側では管を伴い開口する。

両者の形態学的特徴の違いには、殻面有基突起の数と殻套有基突起の密度がある。*Praestephanos sp. 1* の殻面有基突起は1個(まれに2個)で、殻套有基突起は10μmあたりに4-6個である。一方、*Praestephanos sp. 2* の殻面有基突起は1-9個で、殻套有基突起は10μmあたりに3-4個である。

2種の産出年代はそれぞれ、*Praestephanos sp. 1* が約4.0Ma~約3.8Ma、*Praestephanos sp. 2* が約3.8Ma~約3.7Maである。また、両者の産出層準の間(約3.8Ma)には、両者の中間的な形態を持つ

個体が産出する。このように、層序学的に下位より、まず *Praestephanos* sp. 1 が、次に両者の中間形が、そして *Praestephanos* sp. 2 が産出することから、*Praestephanos* sp. 1 と *Praestephanos* sp. 2 は祖先・子孫の関係にある可能性がある。

(* 筑波大・生命環境, ** 科博・地学)

(ご挨拶) 真山茂樹：珪藻—明日へ架ける橋

珪藻は肉眼では見ることでできないミクロの生物です。18世紀初頭に初めて存在が知られた珪藻は、顕微鏡の発達に伴い、水中で最も多様に進化した生物として知られるようになりました。また、細胞を覆うガラス質の殻は、その美しい形と模様によって、多くの人々を魅了してきました。そして、電子顕微鏡の発達により明らかにされた、殻の微細構造と幾何学的な模様は、珪藻の分類学を一段と進歩させました。一方、珪藻は生物量の多さから、今日では生態系における重要な生産者として君臨しています。また、様々な環境に異なる種が出現するため、世界各国で環境指標として使用されています。時にその性質が犯罪捜査に使われることは、警察物のドラマでよく知られているところです。珪藻の遺骸が堆積し、地層を作るまでになったものが珪藻土です。珪藻土は湿度調整能の高い壁材として、また、最近では風呂場の足拭きマットとしてよく知られるようになりました。珪藻化石は過去の地球環境を語る代弁者です。また、津波堆積物中の珪藻遺骸は、過去の大地震による津波の影響を知る上で重要です。これらの分野の基礎研究は、いつの時代になっても大切なものであり続けるものでしょう。

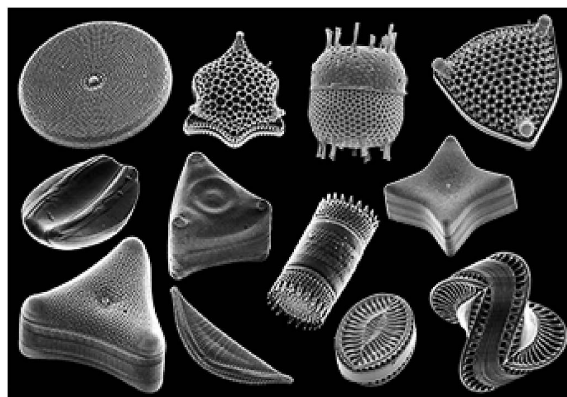
しかし、珪藻の科学は伝統的な分野ばかりではありません。新しい分野で、新しい手法を使った研究が、様々なゴールを目指して行われています。本シンポジウムでは、多様性、エネルギー、環境、アート、教育、工業、医療、バイオテクノロジーの分野からホットな話題を提供してもらうことにしました。そして、珪藻の持つ夢と可能性について、参加者の皆さん同士で語り合っていただければと思います。このシンポジウムが、明日の人々の暮らしと珪藻学をつなぐ架け橋となることを願ってやみません。

(東京学芸大学)

(多様性) 出井雅彦：珪藻の多様性

珪藻が地球上で最も繁栄し、地球上の生物を支える最も重要な生き物、と言ったら言い過ぎでしょうか。珪藻は単細胞の光合成生物ですので、光合成によって有機物を生産し、増殖し、酸素を放出します。この有機物の生産量は莫大で、陸上植物全体の生産量に匹敵するとも言われています。その一部が水中の動物プランクトンや魚などの多くの生物の餌となり生態系を支えています。また、放出する酸素の量も莫大で、地球上の光合成生物の全排出量の4分の1に相当します。これほど重要な役割を果たしているにもかかわらず、多くの人にとっては珪藻ってなに？、どこにいるの？、見たことないけど…？、とほとんど認識されていません。しかし、本当はとても身近な存在なのです。金魚やメダカの水槽のガラスがいつの間にか茶色くなること、河原の石がヌルヌル滑ることは誰でも知っています。そのガラスや石のヌルヌルをこすり取って顕微鏡で観ると、それらは単なる汚れではなく沢山の生き物の集まり、その中には沢山の珪藻がいます。また、魚は何を食べていますか、と聞かれたら、プランクトンと答えるでしょう。正解です。実はそのプランクトンのほとんどが珪藻なのです。珪藻は川や海だけではなく、畑や庭の土にもいます。時には風によって飛んでいることもあります。珪藻の多くは数十μしかありませんので、一つひとつの細胞を肉眼で直接見ることは出来ませんが、私達の周りのいたるところでしっかりと生きています。

多様な環境に生育しているだけでなく、その多様な形、造形にも驚かされます。円形、披針形、楕円形、三角形、四角形、五角形、…と、その形をなんと表現したら良いのか分からないくらい多種多様な形があります。この形は細胞を包む細胞壁の形であり、この細胞壁は被殻と呼ばれ、珪酸質 ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, シリカ) でできています。外形の多様性もさることながら、被殻に刻まれた緻密な模様が更に多様性を広げ、10万種と言われる程の種類数の多さにつながっています。この緻密な模様は、電子顕微鏡でしか観る



ことが出来ないほど微細で、ミクロを超えたナノレベルの造形です。実際にどんな形や構造なのか、その一端を紹介いたします。

このような多様で複雑な形がどのようにして作られるのか、その形成過程についても紹介したいと思います。殻のどの部位から珪酸化が始まり、どのように発生が進み、多様な形と模様が作られるのかはとても興味深い問題です。最初に珪酸化される部位は、パターンセンターと呼ばれています。中心珪藻のそれはリング状の中心環 (anulus) であり、リングを中心に放射状に殻形成が進行します。一方、羽状珪藻 (縦溝類) では縦溝中肋 (raphe sternum) と呼ばれる棒状のものが最初に作られ、それを中心に左右に殻形成が進みます。

もう一つ、珪藻の有性生殖の多様性についても紹介したいと思います。珪藻は分裂するたびに小さくなる特性があります。そのため、分裂を繰り返すと最初の殻の半分以下のサイズまで小さくなってしまいます。これを元の大きなサイズに戻すために有性生殖を行います。有性生殖の様式は、大きく分けると2つの様式があります (近年3つ目の様式が発見されましたが)。中心珪藻では卵子生殖、羽状珪藻では同形配偶です。いずれも増大胞子と呼ばれる珪藻特有の接合子を形成し、大きさを回復します。この生殖の過程で様々なシリカの構造体が作られます。

(文教大学 教育学部・生物)

(エネルギー) 松本光史：海洋ケイ藻によるバイオ燃料/化成品用グリーンオイル生産技術

微細藻類は、太陽光と CO_2 と無機塩を利用して生育することができ、様々な物質を生み出すことができる。その1つがバイオ燃料/化成品に変換できるグリーンオイルである。微細藻類の中には、このグリーンオイルを大量に蓄積することができることができる微細藻類が存在しており、ケイ藻もその1つである。ケイ藻は河川、湖沼、海洋など様々な所に生育しており、ケイ殻をまとった微細藻類である。

微細藻類を用いてグリーンオイル生産を行うには、大量に且つ安定的に生産する培養技術が必要となる。微細藻類を大量に培養する方法は、既存技術としてポンドやレースウェイといった開放型で培養する方法、ガラスチューブやソフトバックなどのバイオリクターを用いる封鎖型で培養する方法が取られている。これらの培養方法は、高付加価値生産用の微細藻類を生産することを目的として実用化されている。

微細藻類によるグリーンオイル生産が世界中で行われているが、どのようなモチベーションで行われているだろうか。微細藻類を含むバイオマス利用について、それは CO_2 削減効果や環境負荷低減効果が期待できるということであろう。

しかしながら、実用化されている従来の培養方法は、 CO_2 削減を目的としたものではなく、経済性 (ビジネス) を主目的においた培養方法であるといえる (CO_2 を排出してもいい製品を作るという考え方)。このため、 CO_2 削減効果を主目的として場合、期待される目的を達成させる為には、適切な微細藻類の選定や安価で低エネルギー、低 CO_2 排出型の培養方法が必要になる。このため、培養方法は基本的に屋外開放型で太陽光を有効に利用することが

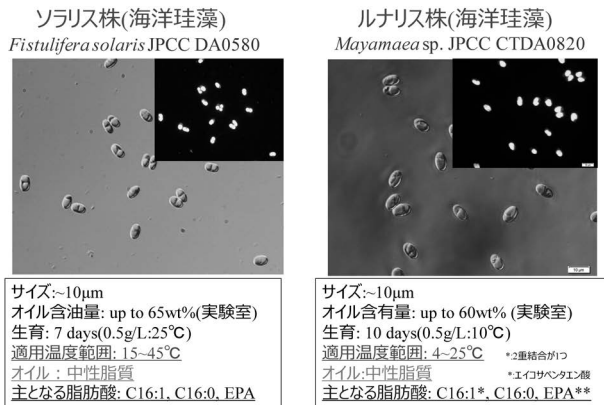


図 ソラリス株とルナリス株の特徴

前提になり、既存技術ではない新たな培養方法を考える必要がある。

J-POWER では、海洋微生物に着目し、微生物コレクションを構築してきた。その微生物コレクションの中から、グリーンオイルを藻体内に最も多く蓄積する微細藻類の検索を行った結果、海洋ケイ藻 *Fistulifera solaris* JPCC DA0580 株（以下、ソラリス株）を見出した。J-POWER でのグリーンオイル生産技術研究の開始はこのケイ藻が得られたからといっても過言ではない。

更に、ソラリス株と同等なオイル蓄積性を有し、生育温度特性が異なる海洋ケイ藻 *Mayamaea* sp. JPCC CTDA0820 株（以下ルナリス株）を新たに見出した（図）。

現在、この 2 つの海洋ケイ藻ソラリス株とルナリス株を用いた低エネルギー型培養方法による屋外大量培養技術開発、更に、グリーンオイル一貫生産プロセス技術の開発を進めているところである。

そこで今回、微細藻類によるグリーンオイル生産に求められる技術を整理し、J-POWER の取り組みについて解説しながら、グリーンオイルの社会実装への道筋などについて、皆様と討論したい。

（電源開発株式会社 技術開発部 若松研究所）

（環境）洲澤 謙*・鶴木(加藤)陽子**：外来種ミズタケヒルケイソウの出現の現状と環境 DNA による早期検出の試み 外来種ミズタケヒルケイソウの出現の現状

珪藻は水圏生態系の基礎生産者であり、海洋での群集動態を通じ、地球の物質循環に大きく貢献している。陸水域においても魚類等の餌として重視され、多様な種は水質や環境を特徴づける生物指標に利用されるが、赤潮など異常増殖による負の側面もある。ニュージーランドの河川では釣り客に付随し侵入したとみられる *Didymosphenia geminata* が大発生し、2004 年から問題化した。日本へも北米原産の *Cymbella janischii* (A.W.F. Schmidt) De Toni ミズタケヒルケイソウが侵入した。両種は有柄の大型細胞で、肉眼視できる大きなマット状群体を形成するなど共通点が多い。

C. janischii を 2006 年に初めて筑後川から確認して以来、各地で報告が相次いでいる。現在の出現情報は全国 24 水系（九州 11 水系、関東・中部 11 水系、東北 2 水系）に及ぶ。北海道、近畿、中国、四国はまだない。

確認地点はダムや堰の下流となる場所が多い。減水区間などダム下流では柄付着型の *Cymbella* 属や *D. geminata* が多く出現する（白鳥ほか 2008, Kirkwood *et al.* 2007）という指摘がある。また出現情報の多い関東・中部は湧水を利用した養鱒やマス放流が盛んで、*C. janischii* と原産地が重なるニジマスに付随しての侵入を同わせる。九州も湧水の多い地域であることが定着の一因と推測でき、人為的な侵入の機会が少ない場所でも、条件が合えば蔓延することが予想される。

本種の問題は社会的に顕在化しつつあり、水産試験場の調査では放流アユの定着に悪影響を及ぼす傾向が認められ、また親水や

景観を阻害するとして市議会に取り上げられる例もあった。他の様々な外来種の拡散を防ぐ為にも、野外活動装備の洗浄、注意喚起、モニタリング、放流の見直しなどの対策実施が望まれる。

川や湖の水質は概ね改善したが、本来期待された生態系の回復とは異質な状況がある。化石や標本に殻の証拠を残しやすい珪藻は、今後も広く環境変化の把握に役立つだろう。

環境 DNA による早期検出の試み

近年、遺伝子解析技術の進歩により、環境中に存在する DNA（環境 DNA）を解析することで、そこに生息する生物を把握することが可能になってきている。環境 DNA は、*C. janischii* の視覚的検出が困難な初期進入時の検出に威力を発揮し、本種の存在不在を明らかにすることで、生態・生理学的特性の解明および効率的な拡散防止対策が可能になると期待される。そこで、環境 DNA による *C. janischii* の検出系を確立するために、日本に侵入した本種の遺伝子配列を決定し、特異的なプライマーの設計および環境サンプルのサンプリング方法について検討を進めている。

日本国内 6 か所（福島、群馬、東京、山梨、静岡、大分）のサンプルについて、大小サイズの異なるものも含めて 5 遺伝子座 (*rbcl*, *psaB*, *psbA*, 18S, 28S) 計 6,542 塩基対を解析した結果、いずれも同じ配列であった。GenBank に登録されている原産国アメリカ本種の配列 (6,361 塩基対) とは、末端の付加配列と疑われる 2 を除いて一致し、近縁種との系統解析では原産国本種と同じ枝に分類された。各遺伝子座のデータベース上の種間変異を解析した結果、最も変異が大きいものは 28S であり、次に *psaB* であった。特異的なプライマーセットを 28S で 3 セット、*psaB* で 2 セット設計しており、今後これらの特異性を検証するとともに、検出精度を上げるために国内近縁種の配列も確認する予定である。

環境 DNA は珪藻のモニタリングに有効であるが、検出度を確立したとしても、一度侵入した外来種を完全に撲滅するのはおそらく困難と思われる。物や人の移動がグローバル化する現在、いつまた別の外来珪藻が侵入するとも限らない。根本の策として、*D. geminata* の被害を受けたニュージーランドのように、珪藻を含む内水面の総合的な保全を考慮した入国審査と厳重な検疫が日本でも必要と思われる。

*(有)河川生物研究所, **九州大学大学院農学研究院)

（アート）奥 修：顕微鏡の発展と珪藻アートの誕生

顕微鏡と珪藻：珪藻は顕微鏡が光学的に未完成の時代に認識されるようになった小さな生物である。珪藻の被殻に刻まれている微細構造は当時の顕微鏡対物レンズでは解像が難しいものも多数あったため、この微細構造がどこまで見えるかで対物レンズの品質や限界性能が判定できることが判明した。1840 年代に英国のソリットがこのことを指摘して以来、珪藻がレンズテストに用いられるようになった。このため、珪藻学者が高性能の顕微鏡を必要としたのと同じように、顕微鏡メーカーもレンズをテストできるような微細構造を持つ珪藻を必要とした。この時代にも高性能な顕微鏡は存在したが、光学理論が未完成であったため、顕微鏡対物レンズは理論に基づいた工業製品のレベルには達していなかった。完成したレンズは出荷前に珪藻プレパラートでテスト検鏡して品質管理を行う必要があった。顕微鏡対物レンズをテストするために適した珪藻種についても整理されていった。たとえば Dippel は 1882 年に出版した本の中でレンズテストに適した珪藻について詳しく述べている。顕微鏡の理論解像限界が約 200nm 程度と認識され始めた頃、このレベルの周期的な微細構造を持つ淡水珪藻 *Amphipleura pellucida* がテスト物体として利用され初め、著名な研究者たちがこの珪藻で新たに開発した検鏡法や機器の性能をアピールした。カールツァイス社のエルンストアッペが光学理論を完成させた 19 世紀後半以降も、珪藻は顕微鏡の性能を確認するため、あるいは顕微鏡操作の練習用の物体として重宝されている。

珪藻アートの誕生：このような時代背景から、必要な珪藻が必要な位置にマウントされた標本が求められていたことは疑いない。自由自在に珪藻を配置できればテスト用の検査板として重宝するだけでなく、見て楽しむ幾何学模様などを描くこともできる。珪

藻アートというものを世界最初に作ったのは誰なのかは不明であるが、J.D.メラーが1866年にはすでに製作しており、その後レンズテスト用のテストプレパレートも製作している。珪藻アートの「作り方」についての秘密が明かされたのは1897年のことで、スペインでパンフレットが印刷された。これは翌年(1898年)にフランス語版が作られ、改訂版はマドリッドで1925年に作成され、その英訳版が1926年にRMSに掲載された。現在ではweb上でも珪藻のマウント法の情報を見ることができる。しかしテクニックの奥義まではわからない。

主なマウンター: J.D.メラー(ドイツ)が飛び抜けてハイレベルの作品を残している著名なマウンターである。ほかにワトソン & ソンズやタルトックスなどのメーカーが珪藻アートやテストプレートを提供していた。個人でも現在に至るまで数名以上のマウンターが確認されている。日本では過去に津村孝平が珪藻アートを作っている。2019年現在、職業的に珪藻アートを供給している代表的なマウンターは、英国のKlaus Kemp、筆者、イタリアのStefano Baroneの三人とされているが、趣味的に珪藻アートを作っている人はヨーロッパやアメリカ等で複数存在しているようである。

珪藻アートの意義: 珪藻アートは何もないガラス面に珪藻被殻だけを配置することができるので、もし一切の夾雑物を含まない究極の「無」の空間に珪藻を置き、暗視野で検鏡すれば、視野内に珪藻以外の「光」が一切存在しない花火のような光景を作り出すことができる。このことにより生じる印象は強烈で生涯忘れ得ぬものとなる。珪藻は多種多様な形態の表現だけでなく、その微細な構造が生み出す光の回折や干渉によって「色」を表現することも可能である。眼下に美しい驚異の世界が広がれば、それは珪藻入門、あるいは顕微鏡観察入門の扉としては最適である。また、理想的な光学条件の位置に珪藻を配置できるため、顕微鏡の練習用標本やテスト物体としての価値が高いばかりでなく、種によっては珪藻を縦・横にも配置できるので珪藻の形態把握に便利である。筆者製作の珪藻アート等はこれまで10年の販売実績があるが、個人のコレクションとして、また大学や博物館などの教育・展示用、光学会社の検査板として多用されている。

(マイクロワールドサービス)

(教育) 里見研悟: 珪藻教材を用いた河川環境意識とグローバル意識の育成を図る授業プログラム

珪藻は河川や海洋、湖沼など様々な水域に生育している微小藻類である。その種が多様性をもつことから、指標生物として河川の水質判定に利用されている。珪藻の細胞を覆うガラス質の殻は不活性で、長年保存されても質的に変化しない。このため、珪藻を用いた教材は、学習者に対し過去から現在にかけての河川環境変化を、物的証拠を伴って理解させることが可能である。河川水質の変化は人為影響に依るところが大きいが、学習者が原因と結果の関係を理解し、科学的根拠をもってグローバルに環境問題を考えるようになることは、持続可能な開発目標(SDGs)達成に応じる今日の理科教育に期待されるものである。

本研究では、河川環境理解とグローバル意識の育成を目的とする、珪藻を用いた教材と授業プログラムを開発し、日本と米国の高等学校、およびインドにおける異なる言語(英語、カンナダ語、マラーティー語)を使用する学校で授業を行い、その効果を測定した。授業では最初に、過去と現在に採集された珪藻標本から撮影された珪藻群集の写真を提示した。次に、生徒は水質判定シミュレータであるSimRiverを用いて、類似する種構成を示す擬似プレパレートが作成されるよう、それぞれの時代の流域環境を予想し、シミュレーションによって検証した。SimRiverは河川の環境攪乱と珪藻群集間の関係理解のために作成された教育用シミュレーションソフトウェアである。学習者が流域環境(土地利用、人口分布、および下水処理場の有無)を設定すると、季節と採集地点に応じた珪藻のプレパレートがその都度モニター上に合成表示されるため、通常困難とされる環境変化の再現をシミュレーションによって可能とする。その後生徒は、提示された自国と他国の過去と現在の珪藻写真を比較し、そこに示された珪藻群集の種構成か

ら他国の河川環境変化の過程を推測した。事前事後に実施したアンケート調査からは、日本、米国、インドのほぼ全てのグループで、「河川と環境攪乱の関係」と「外国の自然環境」に対する学習意欲の向上が認められた。また、上記2項目の学習意欲の向上は互いに相関を示した。さらに、自由記述された回答文の計量テキスト分析において、インドの3言語グループでは事前と事後の意識が、いずれも自らの生活や生物に関するものから、環境改善や外国に関するものへと変化したことが示された。対応分析におけるこれらのグループの重心は事後において近接しており、異なるグループの生徒が本授業プログラムから同様の効果を受けたことが示唆された。また、日本のグループでは身近な河川状況に関するものから改善すべき課題に関するものへと、米国のグループでは生活や生物に関するものから水質に関するものへと意識が変化した。また、授業後に、日本のグループは発展途上国に関して、インドの3グループでは先進国に関して意識を強くもつようになった。さらに、日本のグループは過去に河川の環境汚染を経験した国として、インドのグループは現在、環境汚染に直面している国として、それぞれ異なる立場から河川環境の問題や改善を意識していることが認められた。意識の変化様式はそれぞれの地域で異なっており、今後、地域ごとの結果の違いを考慮した授業プログラムの開発が必要である。

世界には深刻な水環境に直面している国が多く存在している。一方で、日本のようにかつての水環境問題を克服してきた国も存在する。それぞれの立場の国が、地球市民として、持続可能な社会をつくる意識をもつことで開発目標の達成に近づくことができるだろう。今後は、この珪藻教材を用いた授業プログラムを基に、様々な国や地域における教育活動を通して、未来を担う子供達によりよい世界を築くための橋脚となりたい。

(沼田市立沼田小学校)

(工業利用) 角 博明*・小谷涼音** : 珪藻土の工業利用について

珪藻は地球上の酸素生成の約25%を担うといわれている植物プランクトンであり、地球の生命活動において非常に大きな役割を果たしています。また、自然界以外にも、養殖業やバイオ燃料としての利用など工業的にも注目されています。生きた珪藻が工業利用目的で注目され始めたのは近年のことですが、珪藻の化石、つまり珪藻土は古くから人々の暮らしに利用されてきました。かつてはレンガ等、建材としての利用が殆どでしたが、現在では建材以外にも濾過助剤や充填材として、建築業界だけでなく、飲料、食品、医薬品、化学、ゴム業界など幅広い分野で使用されています。

珪藻土とは、海や湖沼で大量増殖した珪藻が死滅して堆積し、長い年月をかけて有機物が分解され珪藻殻のみになり、地層となったものを指します。また、珪藻土には大きな二つの特徴があり、それは珪藻殻の形を残しているため多孔質である点と、主な構成元素はシリカであるため化学的に安定している点です。珪藻土は採掘場所によって優占種の違いや堆積年数による粒度や純度の違いはありますが、この2つの特徴は変わりません。弊社はこの特徴を最大限に引き出すために、採掘した珪藻土を粉砕、乾燥、焼成、分級を経て精製されたものを珪藻土製品とし、社会に供給しています。

弊社の珪藻土製品は主に粒度によって分けられた多数のラインナップを揃えており、目的に合わせて製品を使い分けられます。珪藻土製品は様々な用途で使用されていますが、用途の多くを占めるのは濾過助剤としての利用です。濾過助剤とは、その名の通り濾過を助けるものことで、濾過助剤を添加することにより、濾過速度の向上、濾過継続時間の延長、清澄性の向上といったメリットがあります。これらのメリットは珪藻土が多孔質であることに由来し、多数の細孔があることによって、固形分を捕捉し、液体・気体は通すため、濾材の目詰まりを抑えることから得られます。一般的に、濾過速度を速くしたい場合は粒度が大きい融剤焼成品、清澄性を上げたい場合は粒度が小さい焼成品と、目的によって製品を使い分けることができます。また、化学的に安定していることにより、濾過対象物に影響を与えません。これらのことから、珪藻土は濾過助剤に最適であるとされ、ビールやワイン等の飲料や醤油

等の食品、医薬品、はたまたプールの濾過など、幅広い分野での濾過に使用されています。

他の珪藻土製品用途として、充填材用途が挙げられます。主に塗料、合成樹脂、ゴム分野で充填材として利用されます。珪藻土はただ増量目的で添加されている訳ではありません。塗料分野では多孔質であることによる艶消し効果や蒸気を放出してフクレやハガレを抑制する目的でも添加されます。また、合成樹脂、ゴム分野では増量目的の他、熱の不良導体であることによる耐熱性向上の為に添加されます。

珪藻土製品は建材分野でも使用されます。耐熱性を生かしてケイ酸カルシウム板への添加や、有名なものと珪藻土壁が挙げられます。珪藻土壁は多孔質であることによる水蒸気の吸放湿性を生かし、湿度の調整を行うため、珪藻土壁の室内では年中快適な湿度を保つことが出来ます。

上記で紹介した用途以外にも、珪藻土は様々な方法で利用されています。多孔質による吸液性の高さや薬剤に対して不活性であることから農薬等の担体としての利用や、珪藻土粒子の硬さや細かさ、吸水性を生かした害虫防除資材としても使用されています。また、私たちの生活に身近なものと、珪藻土バスマットやコースターが挙げられます。これらも多孔質であることによる高い吸水性が活用されています。

珪藻土は目に見えるところ、見えないところ、あらゆる場面で使用されており、私たちの生活に必要な不可欠なものになっています。珪藻は生きている間も、死滅して化石になった後も、私たちの生活を支えてくれているのです。

(昭和化学工業株式会社 * 営業統括部, ** 研究分析センター)

(医療) M. L. Julius¹, F. Buchanan², T. A. Adesalu³, and P. J. Walsh⁴ (M. ジュリウス¹, F. ブキャナン², T. A. アデサル³, P. J. ウォルシュ⁴): **Diatoms as a Bionanoparticle for Bone Repair Applications (骨修復のための生物由来ナノシリカ粒子としての珪藻)**

Nature has evolved multiple organisms with the ability to synthesize novel inorganic silica structures. Diatoms are among the most amazing with silica cell walls that contain a nanopatterned surface. They are renowned for their strikingly intricate morphological features that cannot be replicated synthetically. Clinically available 45S5 Bioglass has now been implanted into over 1.5 million patients to repair bone and dental defects and other new commercial products have started to come onto the market. Diatom produced biosilica is biochemically equivalent to 45S5 Bioglass. The production of synthetic silica requires highly toxic chemicals and is very energy intensive, whereas the biosilicification of diatom silica has been reported to occur at close to physiological pH under ambient conditions, thus offering a 'green' silica additive for bone repair. Purified diatom silica have been shown to be non-toxic to macrophages and bone cells. Additionally, diatoms have been found to be a versatile material for blending with others for novel bone repair techniques. This presentation will detail this discovery process and present novel diatom based bone repair treatments.

自然は新規の無機シリカ構造合成能を持つ多くの生物を進化させました。珪藻類はナノサイズの模様があるシリカの細胞壁をもつ、最も驚くべきものの一つです。その細胞壁は合成では複製できない、たいへん複雑な形態をしていることで知られています。従来、臨床的に入手できる45S5バイオガラスは、骨や歯の欠損を修復するために150万人以上の患者に埋め込まれてきましたが、今では他の新しい市販製品も市場へ出回り始めています。珪藻が作るバイオシリカは生化学的には45S5バイオガラスと同等です。合成シリカの製造には毒性の高い化学薬品が必要であり、またエネルギーも非常に消費します。一方、珪藻は周囲環境の下、生理的pH付近でケイ化を行うため、骨修復に対し「グリーン」なシリカ添加剤となるのです。精製した珪藻のシリカはマクロファージや骨細胞に対して無毒であることが示されています。さらに、珪藻は新しい骨修復技術のために、他の物質と混合できる多目的な材

料であることがわかっています。本講演ではバイオガラスとしての珪藻利用の発見過程を述べると共に、珪藻を使用した新しい骨修復治療を紹介します。

¹ St. Cloud State, Biological Sciences, St Cloud, Minnesota, United States of America,

² Queen's University Belfast, School of Mechanical & Aerospace Engineering, Belfast, United Kingdom,

³ Department of Botany, University of Lagos, Nigeria,

⁴ Queen's University Belfast, School of Chemical Engineering, Belfast, United Kingdom)

(バイオテクノロジー) 田中 剛: **スマートセルインダストリーで活用される細胞工場としての珪藻**

バイオテクノロジーを利用して気候変動や食糧問題などの地球規模の課題を解決し、持続可能な成長を目指すバイオエコノミーを実現するための取り組みが、世界各地で行われている。このような背景の中、日本では生物の細胞が持つ物質生産能力を人工的に最大限まで引き出し、最適化された細胞“スマートセル”を創出し、産業で活用する“スマートセルインダストリー”の確立への取り組みが進められている。スマートセルインダストリーでは生物の細胞の一つの工場(細胞工場)と見立てて、遺伝子機能や代謝系を制御し、望みの製品(有用物質)を生産する。利用する細胞は大腸菌、酵母、植物細胞など様々な選択肢があるが、シリカ被殻を生産し、光合成により生育する珪藻も魅力的な選択肢の一つと言える。本講演では、珪藻のバイオテクノロジー分野での活用についてまとめ、今後の展望を述べる。

シリカ被殻を利用した機能性材料の創生

珪藻の細胞を覆う被殻は非晶質のシリカから成る。被殻上には形態分類学上の重要な情報となる微細孔が存在するため、材料科学の観点から見れば、被殻は比表面積(体積に対する表面積の比)が大きく品質が均一な多孔質材料と言える。表面積の大きい多孔質材料には機能性分子を大量に固定化することができることから、珪藻の被殻を用いて、医療、環境分野で利用可能な機能性材料の創出が試みられている。例えば筆者らは、海洋性珪藻 *Fistulifera solaris* の被殻を酸化チタンで被覆することにより、水の浄化などに利用される光触媒材料を創出している(*ACS Applied Bio Materials* (2018) 1, 2021-2029)。その他にも、がん細胞に特異的に結合する抗体を *Thalassiosira pseudonana* の被殻に固定化し、抗がん剤をがん細胞へ運ぶための運搬体を構築する研究(*Nat Commun* (2015) 6, 8791)などが報告されている。さらに、被殻としての形態を保持したまま、材質を非晶質シリカから結晶性シリコンに化学変換できることも報告されている(*Nature* (2007) 446, 172-175)。多孔性の結晶性シリコンはガスセンサ素子や、エレクトロニクス素子、光学材料としての利用できる。このように被殻の表面特性や材質を改質することで、様々な分野で応用できるバイオマテリアルが創出されている。

珪藻細胞を用いた機能性有用物質の生産

珪藻は栄養源が枯渇すると細胞内にオイル(トリアシルグリセロール)を蓄積する。珪藻オイルからは、バイオ燃料の原料となるパルミチン酸やパルミトレイン酸などの脂肪酸の他に、エイコサペンタエン酸やドコサヘキサエン酸といった高度不飽和脂肪酸(PUFA)が得られる。これらのPUFAは、健康サプリメントなどに利用される他、養殖魚の飼料成分としての需要が高い。世界人口の増加に伴う食糧生産の拡大や、天然水産資源の持続的利用のためにも、養殖魚産業への期待は大きい。現在は、魚油を原料として生産されているPUFAであるが、魚を生産するために魚を必要とするジレンマに陥っており、安定的な供給が課題とされている。筆者らは、珪藻オイルからPUFAを生産するために *F. solaris* の高密度培養系を確立し、微細藻類で最も高いPUFAの生産性を達成した(*Bioresour Technol* (2017) 245, 567-572)。今後、魚油の代替としてPUFAの安定供給に寄与できると考えられる。さらに、遺伝子組み換え技術を利用して、PUFA生産能を改変した珪藻や医薬品原料を生産する珪藻が創出されるなど、珪藻の代謝改変による有用物質生産に関する新たな取り組みが広がっている。

以上のように、珪藻は有用物質を生産する細胞工場として様々な分野で利用することができ、その重要性は、ますます増加すると考えられる。今後、ゲノム編集技術などにより、高度に生物機能を制御された珪藻が創出され、スマートセルインダストリーにおいて大いに活用されることが期待される。

（東京農工大学 大学院工学研究院 生命機能科学部門）