

日本珪藻学会第 39 回研究集会企画

公開シンポジウム

珪藻—明日に架ける橋

Open Symposium
Bridge to tomorrow diatomology



2019年12月1日(日)
東京学芸大学

珪藻—明日へ架ける橋

珪藻は肉眼では見ることの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大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

真山 茂樹

珪藻の多様性

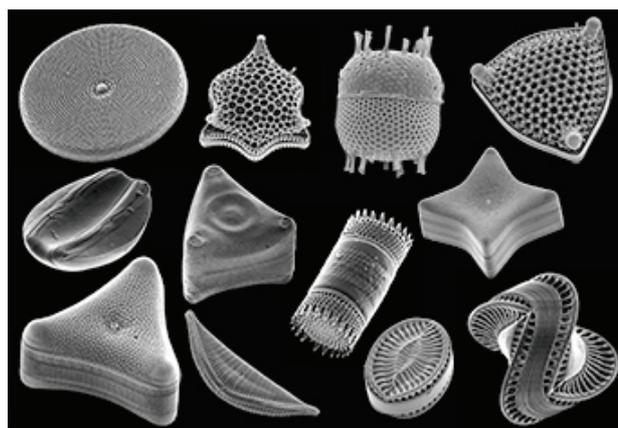
出井 雅彦

文教大学 教育学部・生物

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に茶色くなること、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)。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を作られます。

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 技術開発部 若松研究所

微細藻類は、太陽光と CO₂ 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CO₂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、CO₂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（CO₂を排出してもいい製品を作るという考え方）。このため、CO₂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CO₂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 JPC 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. JPC CTDA0820 株（以下ルナリス株）を新たに見出した(図)。

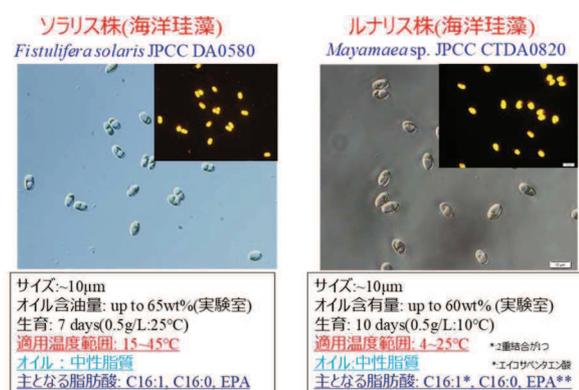


図 ソラリス株とルナリス株の特徴

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。

外来種ミズタ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 讓*・鶴木 (加藤) 陽子**

* (有)河川生物研究所, **九州大学大学院農学研究院

外来種ミズタクチビ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 ミズタクチビ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伺わせる。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、本種の在不在河川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 カ所(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 塩基を除いて一致し、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、検出法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括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。

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

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ラ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、改訂版はマドリードで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。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&ソンス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供給していた。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。

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

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、未来を担う子供達がよりよい世界を築くための橋脚となりたい。

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 *営業統括部, **研究分析センター

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、地層となったもののことを指します。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碎、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出来ます。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も添加されます。

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。

Diatoms as a Bioderived Nanosilica Particle for Bone Repair Applications

M.L. Julius¹, F. Buchanan², T.A. Adesalu³, and P. J. Walsh⁴

骨修復のための生物由来ナノシリカ粒子としての珪藻

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

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

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

³Department of Botany, University of Lagos, Nigeria

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

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。

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 大学院工学研究院 生命機能科学部門

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”を創生し、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を一つの工場（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。

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
