

## 植物科学における藻類リソースの魅力について

河地正伸<sup>1</sup>, 小亀一弘<sup>2</sup>, 川井浩史<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所生物生態系環境研究センター

〒305-8506 つくば市小野川 16-2

<sup>2</sup> 北海道大学大学院理学研究院

〒060-0810 札幌市北区北 10 条西 8 丁目

<sup>3</sup> 神戸大学内海域環境教育研究センター

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

Masanobu Kawachi<sup>1</sup>, Kazuhiro Kogame<sup>2</sup> and Hiroshi Kawai<sup>3</sup>

### Fascination points of algal resource in plant science

Key words: algae, diversity, protist, resource, seaweeds

<sup>1</sup> Center for Environmental Biology and Ecosystem Studies, National Institute for Environmental Studies, 16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

<sup>2</sup> Faculty of Science, Hokkaido University,

Kita 10-jo, Nishi 8-chome, Kita-ku, Sapporo 060-0810 Japan

<sup>3</sup> Kobe University Research Center for Inland Seas

1-1 Rokkoudaicho, Nada-ku, Kobe 657-8501 Japan

DOI: 10.24480/bsj-review.10c2.00162

### 1. 多様な藻類と NBRP 藻類

藻類は「主に水中で生活し酸素発生型の光合成を行う」という特性でくくられた生物である。コケ、シダ、種子植物のいわゆる陸上植物を除いた残りの全ての「酸素発生型の光合成」を行う生物が藻類というカテゴリーの中にも含まれている。藻類からは区別されている陸上植物ですら、その起源を辿ると車軸藻と近縁の藻類から進化したことが分かっている。藻類には原核生物や真核生物、単細胞性から、海藻のように多細胞で複雑な体制・生活史をもつものまで、多種多様な生物が含まれており、進化的には大きく離れた系統群の総称である。藻類は、湖沼や沿岸、海洋といった普通の水環境だけでなく、温泉、雪氷、高塩環境、乾燥地帯などの様々な極限環境にも生育している。海洋や湖沼の一次生産者として、炭素循環に大きく寄与するほか、水界の窒素循環・硫黄循環への貢献も大きく、富栄養化した環境で大量繁殖するアオコや赤潮は身近な水環境問題としてしばしば話題にあがる。サンゴや地衣類で知られているように共生関係を営む藻類も数多く、それぞれの生態系において重要な構成要素となっている。さらには、葉緑体に退化した核が残っているグループや二次的に光合成能力を失った系統の例が多数知られるなど、葉緑体進化のダイナミズムを実感することができる生物群も含まれている。このように藻類リソースの最大の特徴は、進化系統的な多様性と多様な生育環境への適応によって藻類が獲得した多様な生物学的特性にあると言えるだろう。

M. Kawachi, K. Kogame & H. Kawai -1

ナショナルバイオリソースプロジェクト (NBRP) の一員として、藻類リソースは第 1 期より参画して、収集・保存・提供を行っている。NBRP における活動として、これまでに国内における藻類リソースの収集・集約と保存・提供体制の整備、リソースの高品質化や付加情報の整備等を行いつつ、広報・展示活動による啓蒙と利用拡大、国際的データベースへの登録等の国際展開を図ることで、ライフサイエンスの基盤的研究を推進するに資する高水準のリソース整備に取り組んできた。

## 2. NBRP 藻類の体制と最近の実績

現在、代表機関である国立環境研究所 (以下, NIES コレクション) では、微細藻類と絶滅危惧藻類, そして藻類と系統的に近いプロティストといったリソースの収集・保存・提供を行っている (<http://mcc.nies.go.jp>)。そして分担機関の神戸大学 (以下, KU-MACC) は大型藻類リソースの収集・保存・提供を担当 (<http://ku-macc.nbrp.jp>)、北海道大学は、両コレクションの重要な継代培養保存株のバックアップを担当している。

NBRP 藻類における 2018 年度の実績を例として挙げておこう。2018 年度には研究コミュニティ他から 86 株の保存株の寄託受け入れを行い, NIES コレクションでは 2,925 株, KU-MACC では 1,095 株を公開, そして国内 920 株, 国外 219 株の提供を行った。これらの提供株はアオコ・赤潮対策, AGP 試験, 生態毒性試験等の環境研究, 藻類バイオマス研究や生理活性物質の探索等の応用利用, 光合成や生理・代謝機能の解析, ゲノム解析, 分類, 系統進化といった基礎研究, そして教育利用など, 様々な目的で利用されており, 2018 年度には合計 120 報 (平均 IF 値は 4.17) の成果論文が利用者により発表された。



図 1 凍結保存 (左, 国立環境研究所の凍結保存タンク) および継代培養保存による藻類リソースのバックアップ (右, 北海道大学の培養棚)。

震災等によるリソースの消失を防ぐための危険分散相互バックアップとして, 凍結保存株は複数の施設で保存しており (図 1 左), NIES コレクションから KU-MACC へ新たに 81 株を, KU-MACC から NIES コレクションへ新たに 70 株を輸送して, 相互にバックアップし, その累計は NIES 株 1,620 株, KU-MACC 株 766 株に達している。また凍結保存が困難で, か

つ重要性が高い株については北海道大学で継代培養によるバックアップ (図 1 右) を行っており, これらは NIES コレクションからの 430 株および KU-MACC からの 120 株の合計 550 株となっている。

広報・展示活動においては, 日本植物学会大会, 日本分子生物学会年会等, 5 件の関連集会において NBRP 藻類の活動について紹介した。またそのほかにも利用拡大に向けた活動として, GBIF (地球規模生物多様性情報共有 DB) への 57 株の地理情報の登録 (合計 935 件), 20 株の DNA バーコード情報の整備, 12 株の全ゲノムやオルガネラゲノム情報の整備といった付加情報の整備に加えて, メールニュース配信 (年 3 回), 藻類培養トレーニングコースの開催 (年 2 回), 藻類・プロテオストムービーの YouTube 公開 (年 10 件程度), 施設および事業のパンフレット作成と配付, ツイッター発信 (179 件) 等を行った。

### 3. 藻類リソースの魅力と付加情報整備

#### 3-1. 系統的多様性から見る藻類の特色

藻類はもともとその単純な体制や水中という生活環境から, 陸上植物の祖先的な生物群であると考えられてきた。しかしながら近年の分子系統学的研究から, 藻類の多くは陸上植物とは系統的に大きく異なるグループで構成されることが分かってきた。現在, 真核生物は少なくとも 9 つのスーパーグループからなることが分かっている (図 2)。

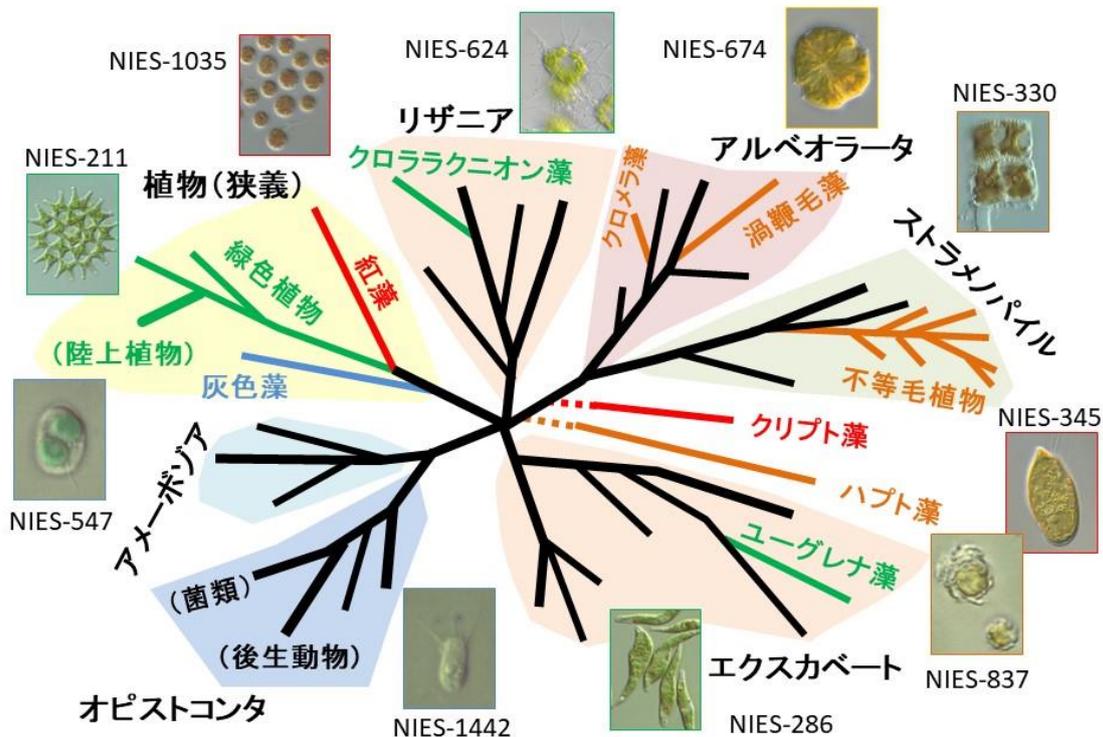


図 2 真核生物の多様な系統 Baldauf (2003) をもとに改変。色の付いた枝は藻類と陸上植物。黒い枝の大部分は無色プロテオスト。

その多くは顕微鏡的な微生物で、これらのグループのうち、アメーボゾアとオピストコンタを除く全てのグループで、藻類と呼ばれる系統群が含まれることが知られている。この模式的な系統樹の中で、さまざまな色で示した藻類を含む系統の枝が散在しているのは、各グループで独立して葉緑体が獲得されたことによると考えられている。前述したように光合成を行うという共通の特徴をもつ藻類は、実は進化・系統的に遠く離れたものを含んでいる生物群である。こうした系統の違いは、細胞構造や生理学・生化学的特徴、その他のさまざまな生物学的特性の違いとして現れることになる。真核生物全体に跨がる藻類の多様性が、まさに研究リソースとしての藻類の魅力の1つと言えるだろう。

### 3-2. 葉緑体の進化，成立機構解明のためのリソース

藻類には、各々のグループに特徴的な葉緑体が確認されている。クリプト藻（図 3A）とクロララクニオン藻（図 3B）という系統的に大きく異なる藻類の葉緑体では、葉緑体の元となった真核生物の核の名残り（ヌクレオモルフ）が存在する。クリプト藻は紅藻，クロララクニオン藻は緑藻に由来する葉緑体を有すること，そしてクリプト藻のヌクレオモルフは、3 染色体でゲノムサイズが 0.55Mb，約 600 の遺伝子をコードすることが明らかになっている。こうしたヌクレオモルフの存在は葉緑体の由来とオルガネラの進化プロセスを直接示す証拠となっている。*Paulinella chromatophora* という藻類（図 3C）では、他の藻類の葉緑体とは起源の異なる葉緑体（区別のためシアネレと呼ばれている）が存在する。興味深いことに *Paulinella* のシアネレでは、他の藻類の葉緑体で既に核ゲノムに移行した光合成関連遺伝子等が残っており、葉緑体というオルガネラに移行する途中段階にあると考えられている。



図 3 葉緑体の進化，成立機構解明のためのリソース例

A. クリプト藻 (*Cryptomonas rostratiformis*, NIES-345), B. クロララクニオン藻 (*Chlorarachnion reptans*, NIES-624), C. *Paulinella chromatophora* (NIES-2635)。

他にもいろいろな藻類やプロティストで細胞内共生や盗葉緑体とも呼ばれる興味深い現象が見つかっている。例えば、ハテナ (*Hatena arenicola*) というプロティストは、一見すると緑色の葉緑体をもつ鞭毛性の藻類のように見えるが、実は自由生活性のプラシノ藻を細胞内に取り込んで、サイズと形を改変することで、あたかも葉緑体のように利用している生物なのである。このプラシノ藻は *Nephroselmis* の一種であることが分かっている。ハテナは取り込

んだ *Nephroselmis* をどのように改変・コントロールしているのか、ハテナの核には *Nephroselmis* のゲノムの一部がすでに移行しているのかなど、ハテナは葉緑体成立の初期過程を解明する上で、興味深い研究対象となっている。更に藻類や藻類に近縁な無色プロティストでは、二次的に葉緑体を失った後、再び葉緑体を獲得するような例も多数見つかっている。葉緑体というオルガネラの進化や成立過程を研究する上で、藻類は格好の魅力的なリソースといえるだろう。

### 3-3. 光合成研究・応用研究のための藻類リソースの魅力

藻類リソースには、増殖能に優れ、高密度に増殖して、実験的な取り扱いの容易な種がいる。光合成研究や生理・生化学的研究、そして応用利用を目指した開発研究など、様々な研究分野で用いられてきた *Chlorella* (図 4A) や *Euglena* (図 4B) は、その代表的な藻類である。後者はユーグレナとも呼ばれ、バイオ燃料や食品等の応用利用を目指した開発研究が近年盛んに行われている。*Dunaliella* (図 4C) は高塩環境に適応した緑藻の一種で、開放的なプールのような培養池 (図 4D) でも高塩環境を維持することで、純粋培養に近い状態で大量培養することが可能である。増殖能はそれ程高くはないが、細胞外に重油相当のオイルを蓄積する *Botryococcus braunii* (図 4E), アスタキサンチンという有用物質を生産する *Haematococcus lacustris* (図 4F) なども近年よく応用研究分野で使われるようになったリソースである。

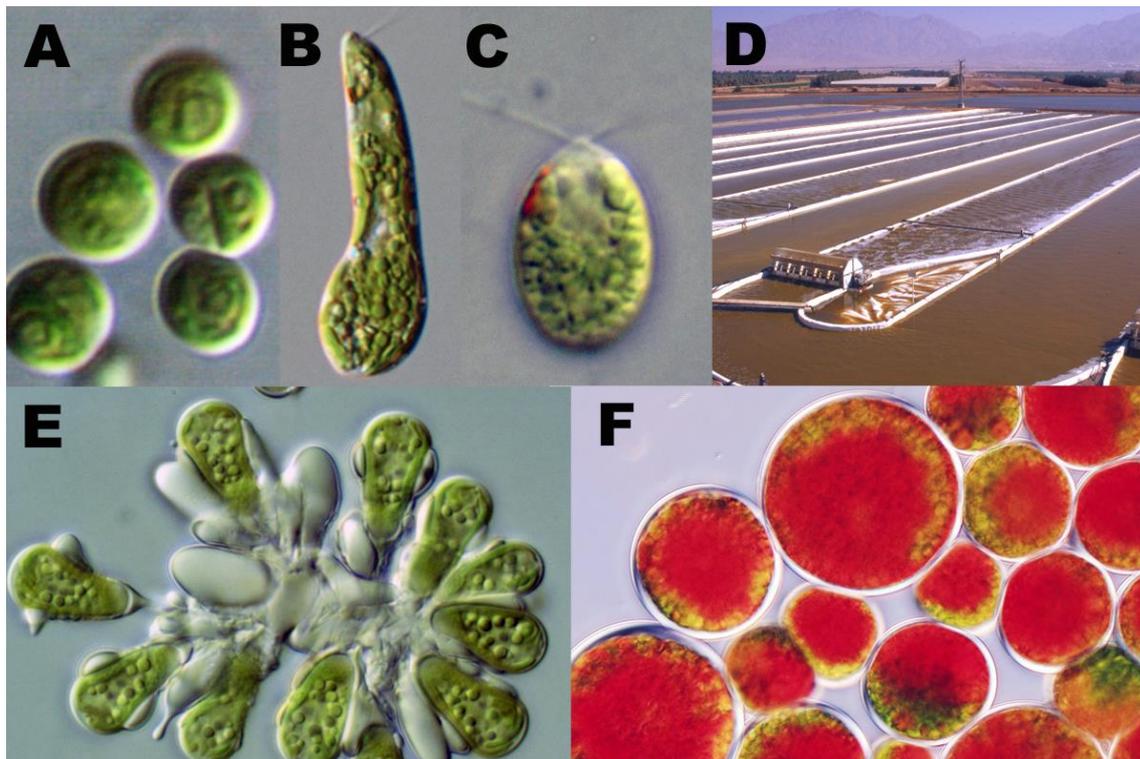


図 4 光合成研究・応用研究のための代表的な藻類リソース

A. *Chlorella vulgaris* (NIES-2170), B. *Euglena gracilis* (NIES-48), C. *Dunaliella tertiolecta* (NIES-2258), D. イスラエルの *Dunaliella* ファーム, E. *Botryococcus braunii* (NIES-836), F. *Haematococcus lacustris* (NIES-2164)。

### 3-4. 海藻リソースの魅力

海藻は主に海で生活する大形藻類であり、沿岸域生態系の重要な構成要素であるほか、日本人にとっては古くから食用のみならず糊料として、また、「藻塩焼（もしおやき）」と呼ばれる製塩やワカメ刈りの神事、神社の祭礼の際の供物など、宗教行事に至るまでさまざまな用途に用いられてきたなじみ深い生物資源である。「海藻」も「藻類」と同じく、進化的には多様な系統群の総称であり、紅藻（図 5A,B）、アオサ藻（緑藻）（図 5C）、および褐藻（図 5D,E）が含まれる。一方、アマモやスガモなども海藻と同じく海で生活する大形の光合成生物であるが、それらは陸上植物（被子植物）であることから、海藻には含めず、「海草」として区別している。

アオサ藻（緑藻）、褐藻および紅藻はそれぞれ系統的に大きく離れた単細胞の藻類（いわゆる植物プランクトンや底生微細藻類）を祖先として、定着・大形化する進化をとげた生物群である。このためその構造や機能は、細胞レベルやそれ以下の生理・生化学レベルでは祖先の単細胞藻類と基本的に共通している。一方、大形化・多細胞化する過程でさまざまな新たな構造や機能を獲得しており、これらの特徴やそれらを実現している遺伝子はほとんどのものが新奇であり、またアオサ藻、褐藻、紅藻の間でも著しく異なっていることが多い。たとえば定着・大形化の過程で必須の役割を果たす細胞壁の構成多糖や構造は系統群毎に大きく異なる。構成多糖は陸上植物を含む緑色植物では、セルロースを主体にするものが多いが、アオサ藻類にはセルロースではなくマンナン、キシラン、グルカンなどを主成分とするものが見られる。一方、褐藻ではアルギン酸、フコイダン、セルロースが、紅藻では寒天、フノラン、カラギナン、セルロースなどが主成分となっている。また、多くの海藻は陸上植物と同様に、多細胞化することで大形化し、また複雑な組織を発達させているが、アオサ藻では多核化することで直径数 cm を超える巨大細胞や長さ数 m を超える長い囊状の体を発達させるものも見られる。また、海藻類は定着生活をおくることから、水温、光強度、光質、紫外線、乾燥、淡水や高塩環境等の環境ストレスや季節性に適応するための多様な生理・生化学的なメカニズムと生活史型を進化させてきた。これらの性質について、これまでは一部の実験生物として確立した種を除くと、もっぱら自然下で観察・実験するか、野外から採集してきた藻体を実験材料として用いて研究が行われてきた。一方、1960~70年代に多くの藻類の単藻培養株を室内で培養し、生活環を完結させるとともに実験生物として利用する技術が確立された。しかし、多様な研究領域の研究者が、それぞれの研究目的にあった種を採集し、単藻化し、また長期間保持することはしばしば困難を伴い、あまり大きな広がりとはならなかった。これは海藻類の系統分類学的な研究においても同様で、1980年代から始まった海藻の分子系統学的研究においても、もっぱら野外から採集された試料が用いられてきた。

これに対し、神戸大学では所属する研究者が自らの研究において確立した培養株を基礎に、NBRP の第 1 期において神戸大学と北海道大学で収集した株、さらに国内外の研究者（たとえば D.G. Müller, E.C. Henry, A.F. Peters, J.A. West, J.R. Waaland, 菊地則雄博士ら）が収集した株の寄託を受け、保有株の充実を図ってきた。その結果、アオサ藻、褐藻、紅藻を含めると、約 30 目、約 70 科、約 160 属、約 340 種の 1,095 株を保有・公開しており、KU-MACC は網羅している系統群の多様さ、提供可能な株数のいずれにおいても世界随一の海藻カルチ

ヤーコレクションとなった。特に褐藻類については、培養保存が困難な一部の分類群を除き、保有している培養株だけで褐藻類全体の系統樹が構築できるほど、多様な系統群を網羅的に収集しており、また後述する全ゲノム解析が終了した種についても可能な限り収集・提供している。また、これらの公開株についてはその約 90%については *rbcL* または *cox3* の塩基配列を取得して、分類学的な位置の確定と品質保証のためのタグ情報として用いているほか、約 75%は凍結保存されている。

大形海藻全体を通じて海藻の全ゲノムが解読されたのは 2010 年に発表された褐藻シオミドロ属 (図 5D) のシオミドロ *Ectocarpus siliculosus* が初めてであり、海藻のゲノム研究は微細藻類を含む多くのモデル生物と比べるとそのスタートがかなり遅れた。しかしながら、その後、紅藻ではツノマタ属の一種 *Chondrus crispus* (図 5B)、スサビノリ *Pyropia yezoensis* (図 5A)、褐藻ではマコンブ *Saccharina japonica*, オキナワモズク *Cladosiphon okamuranus*, モズク *Nemacystus descipiens*, アオサ藻ではアオサ属 (図 5C) の一種 *Ulva mutabilis* などの全ゲノムが相次いで報告され、さらにはそれぞれの系統群で多数の種について網羅的にゲノム解析を行うプロジェクトも進行している (たとえば 'Phaeoexplorer Project')。残念ながら、紅藻類や褐藻類では現時点では有効な遺伝子組み換えやゲノム編集の手法が確立されておらず、陸上植物や動物で一般化した分子生物学的な研究手法を用いることができないことが多い。しかし、各系統群のゲノム情報が整備されてきたことで、さまざまな研究領域において海藻に対してこれまでよりはるかに多様な解析手法を用いることが可能になった。このため、KUMACC のリソースを活用した研究が進み、生物資源としての海藻の重要性がこれまでもまして高まることを期待している。

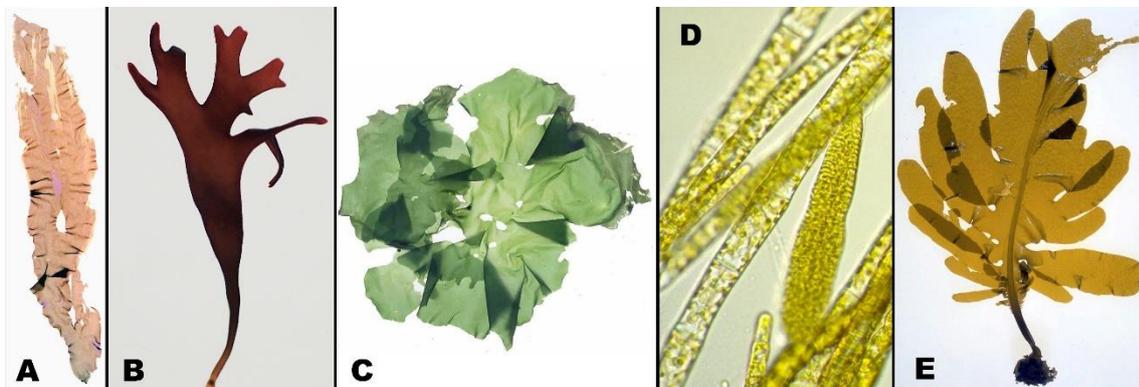


図 5 代表的な海藻リソース。A. スサビノリ *Pyropia yezoensis*, B. ツノマタ属の一種 *Chondrus crispus*, C. アオサ *Ulva australis*, D. シオミドロ属の一種 *Ectocarpus* sp., E. ワカメ *Undaria pinnatifida*。

### 3-5. 付加情報整備

NBRP 藻類の基本的な役割は、ライフサイエンスに重要な保存株の収集、保存、提供を行うことを通じて、関連研究分野の発展と社会貢献を行うことにある。こうした基本的な役割に加えて、様々な研究分野で利用されている保存株を対象として、利用者の利便性を高め、利用拡大にも繋がるような付加情報の整備も重要といえるだろう。藻類では、伝統的に形態分

類に基づいて種同定が行われており、NBRP 藻類リソースの多くでも同様である。一方、近年の分子系統学的研究に基づいて、分類体系の見直しや整理が行われる中で、種名改訂、目や綱と言った高次分類群レベルでの変更が必要となるケースも増えている。NBRP 藻類では、こうした分類情報の変更について、文献等の情報収集や有識者へのヒアリングを行い、変更内容を精査した上で、必要に応じて、速やかに保存株の分類名を変更してきた。また形態的な特徴に乏しく、種同定の困難なグループなどを優先的な対象として、分類情報の確からしさを保証するための作業として独自に DNA バーコーディング情報 (18S rDNA, 16S rDNA 配列, COI, *cox3*, *rbcL* 遺伝子等) の取得を行い、保存株の付加情報として整備、更に DDBJ 等の国際塩基配列データベースへの登録、公開を行った上で、ホームページ上の保存株情報でもデータベースへのリンクを整備してきた。将来的には、全保存株について、DNA バーコーディング情報を整備していく必要があるだろうと考えている。

保存株において、長年の継代培養の過程で、世代交代が生じて別ステージの細胞が混在したり、形態異常が起きたりすることもある。また他種がコンタミネーションして、もとの種に置き換わるといったことが発生するリスクについても配慮しておく必要があるだろう。こうしたリスクを回避するために、保存株を提供する際には、光学顕微鏡による形態観察等の検査を行ってきた。また保存株の付加情報として、光学顕微鏡、電子顕微鏡による細胞観察画像や動画、そして試験管内での生育状況の写真などについても整備を進めており、ホームページ上の保存株情報からいつでも閲覧・参照できるようになっている。DNA バーコード情報と同様、こうした細胞状態を示す画像等の情報についても、全ての保存株を対象として整備していく予定であり、NIES コレクションの重要なルーチンワークとなっている。

最近では、国際的な生物多様性データベースである GBIF (地球規模生物多様性情報共有 DB) への藻類保存株の地理情報登録も進めている。毎年 100 前後のペースで保存株の登録を進めており、2018 年 4 月の段階で 878 件が登録されている。こちらも全保存株を対象としており、登録数が増えるに従って、様々な形でデータベースが活用されるだろう (GBIF 内の NIES コレクションのページ: <http://www.gbif.org/dataset/c26bed28-1ac2-4c07-a18e-c801f3f188c1>)。更に NIES コレクションでは、研究に利用され、研究成果として発表された論文リストが、保存株情報内に格納されている。論文で使われた他の株番号や PubMed そして DOI 情報もリンク付きで整備されている。こうした成果論文の情報ソースは、利用者に定期的に連絡して情報収集するとともに、Google Scholar 等の文献検索で能動的に把握するようにしている。

## 4. NBRP 藻類の今後の取り組み

### 4-1. 多様な藻類リソースの抱えるジレンマ

藻類のもつ多様性は、リソースとしての魅力となっているが、リソースを保存する立場からすると、悩みの種となることがある。NIES コレクションの場合、公開株 2,339 株のうち、786 株が凍結保存、約 1,553 株が継代培養で管理・維持されている。約 2/3 の継代培養保存株のために、76 種類の培地と 7 種類の培養容器が使われ、様々な温度、光条件が設定されている。植え継ぎ間隔はリソースによっていろいろで、毎週の生育検査や定期的な無菌検査が欠

かせない。長年培ってきた独自のノウハウで多様なリソースを継代培養保存しているが、それでも毎年のように死滅してしまうリソースが出るのが現状である。継代培養で維持されている株の中には、現在の技術では凍結保存が不可能なもの、生存率が低いながらも何とか凍結保存が可能なものが含まれている。今後はこれまで以上に条件検討に工夫を重ねて、生存率の向上や、たとえ低い生存率でも安定した凍結保存に移行できる検査法を確立したいと考えている。NBRP のいろいろな保存機関の研究者の方々とも情報交換、技術交流することで、新しい凍結保存技術の開発にも取り組んでいきたい。

#### 4-2. ゲノム情報の拡大・無菌株の拡大

ゲノム情報が整備された保存株は、様々な研究目的で利用されることにも繋がり、結果として提供数を増やすことに大きく貢献している。これまで一度も利用されなかった株であっても、ゲノム情報が整備されることで、利用されはじめることになる。保存株の付加情報としてのゲノム情報の整備は、コレクションにとっても重要なミッションとして取り組む必要があると考えており、近年のゲノム解析にかかるコストの低減もそれを後押ししてくれている。2016 年には、課題名「NIES コレクションのシアノバクテリアのゲノム情報整備」が、NBRP ゲノム情報等整備プログラムで採択された（事業代表：広瀬侑・豊橋技術科学大学）。豊橋技術科学大学、国立遺伝学研究所、国立環境研究所が連携して取り組むことで、ゲノムサイズが大きく、高精度なゲノム情報の整備が世界的に遅れているヘテロシスト形成グループの 31 株のゲノム解析を効率よく終了することができ、ゲノム情報をデータベース CyanoBase にて公開した (<http://genome.microbedb.jp/cyanobase>)。

ところで、ゲノム解析を行うには、保存株がクローナルでしかも無菌であることが望ましいのは言うまでも無い。現在の NIES コレクションの無菌株の占める割合は約 20%であるが、この割合を効率的に増やしていくことが、今後の課題となっている。藻類保存株を用いた研究の多くが、バクテリア混在下で行われてきたこと、保存株によっては無菌状態とすることで増殖が不安定になったり、場合によっては死滅したりする事例もある。また種によっては、多糖で細胞が覆われていて、細胞表面に強固に付着しているバクテリアを取り除くことが物理的に困難なこと、抗生物質や化学物質（次亜塩素酸等）による耐性が低く、化学的な除菌作業の困難な場合のあることなどが無菌化を阻む障壁となっている。将来に渡り、コンスタントにゲノム解析を進めるために、そしてゲノム解析だけでなく、安定的な保存や再現性の高い実験を行うためにも、保存株の無菌化は積極的に取り組むべき業務の一つとなっている。残念ながら、効率よく無菌株を増やすための画期的な方法は今のところ存在しない。我々がこれまでに行ってきたのは、種々の抗生物質処理、次亜塩素酸処理、超音波処理による多糖類や細胞表面に付着したバクテリアの除去、フローサイトメトリによる細胞ソーティング等の無菌化に有効な方法を単独で、あるいは複数を組み合わせて試行することで、種々の保存株の無菌化にケースバイケースでの対応を行ってきた。無菌化に成功しても、増殖能が低下して、死滅するような保存株も存在する。培地には含まれない、バクテリア由来の何らかの栄養素を必要としているのかもしれない。現在、こうした無菌化の困難な保存株について、バクテリア混在下でのトランスクリプトーム解析等を行っており、必須栄養素に関する手が

かりが得られ始めている。こうした情報は培地改良にも繋がることが期待されている。

## 5. おわりに

### 5-1. 震災から学んだこと

2011年3月11日に発生した東日本大震災は、国立環境研究所のNIESコレクション保存施設にも大きな影響を与えた。電気、水、ガスのライフラインが長期間停止して、植え継ぎ等の作業が困難な状況となった。培養に必要な照明も温度も制御できずに、いつ復旧されるのかも解らない不安の中で、昼間は保存株を日の当たる場所に移動するなどの切迫した対応が必要だった。一方、凍結保存株を保管していた液体窒素保存タンクは、長期の停電でもタンク内温度が保持され、震災の影響を免れることができた。神戸大学の海藻培養装置が大きな被害を被った1995年の阪神・淡路大震災を教訓に、2008年から神戸大学KU-MACCと国立環境研究所NIESコレクションの間で凍結保存株を相互に保管する取り組みが始められていたのも大きな安心材料であった。こうした震災経験は、NBRP藻類リソースにおいて、貴重なリソースを守るための危険分散の取り組みの重要性を考える教訓となっている。

### 5-2. 世界一多様な藻類コレクションを目指して

世界には大小様々な規模の藻類コレクションが存在する。その中で2,000株以上の保存株を保有するコレクションとして、USAのNCMA(旧CCMP)とUTEX, ヨーロッパのCCAP, RCC, SAG, そして国立環境研究所のNIESコレクションがある。NCMAは海産の微細藻類, UTEXは陸水産の藻類, RCCは海産ピコプランクトンといった特色をもつ。NIESコレクションの場合、当初は赤潮やアオコなど環境問題に関わる微細藻類コレクションであった。その後、NBRPの開始とともに、国内の研究機関、保存機関からの移管が進むことで、光合成研究や細胞分裂のモデル生物、生態毒性試験株、新奇分類群や新種記載に用いられた分類学上重要な保存株、絶滅の危機に瀕する淡水産大型藻類、藻類と近縁な無色プロティスト、水産養殖の餌料藻、有用物質を産生する藻類など、多岐にわたる保存株を管理、保存するようになった。神戸大学KU-MACCの場合、参画する研究者自らが多様な保存株を確立・収集するとともに、前述したように海藻の保存株を用いた研究で世界をリードしてきた研究者の収集した保存株の寄託を受け入れることで、多様な系統群の収集を行ってきた。また、コンブ類やアマノリなどの経済的に重要な海藻や、全ゲノム解析の進展をふまえた収集も行い、系統解析を始めとする株情報の充実を図ってきた。以上のように、NBRPにおける活動を通じて、ライフサイエンスや応用研究に重要な保存株がNBRP藻類に整備されるようになった。国立環境研究所と神戸大学の両機関の保存株を併せると、世界有数の規模の藻類コレクションである。

地球上で最も多様に分化、繁栄している生物は、多細胞化して複雑な組織が作られ、大型化していった陸上植物と後生動物と言えるだろう。しかし元を辿れば、陸上植物は車軸藻という藻類の仲間から、そして後生動物は単細胞性の襟鞭毛虫の仲間から派生したグループである。真核生物全体の多様性から見ると、微生物の一部の系統から多様化したということになる。地球上の生物の多様性を真に理解するには、もっと藻類や微生物の世界に目を向ける

必要がある。真核生物全体の系統樹の中で、藻類は無色プロティストの枝の中に点在している（図2）。藻類の多様性や進化について研究する上でも、こうした無色プロティストは貴重な存在であるが、培養に有機物や餌となる生物を必要とすることから、一般的な藻類株の培養保存とは勝手が異なる。とは言え、藻類の中にも、光合成だけでなく、有機物やバクテリアを資化する混合栄養性の種や葉緑体を二次的に失った種が少なからず存在しており、こうした藻類の培養ノウハウの蓄積とともに、無色プロティストの培養にも次第に対応できるようになってきた。真核生物全体を網羅する多様なコレクションの整備は、NBRP 藻類でしか行えないことだろう。利用者や研究コミュニティからの意見・要望に耳を傾けて、研究に必要とされている多様な藻類リソースプラス無色プロティストを今後も収集、拡充するとともに、品質向上やゲノム情報等の様々な付加情報の整備を、そして広報・展示活動を継続することで、世界一多様な藻類コレクションを目指していきたいと考えている。

## 6. 謝辞

NBRP 藻類は日本医療研究開発機構（AMED）の助成を受けて実施している（18km0210116j0002）。本稿執筆の機会を頂いたお二人のオーガナイザーに感謝申し上げます。

## 引用文献

Baldauf, S. L. 2003. The deep roots of eukaryotes. *Science* 300:1703-1706.