

BBG021-01

会場:301A

時間:5月26日 14:15-14:45

藻類から見た地球進化と地球環境

Phycological perspective on evolution of life and earth environment

井上 勲^{1*}

Isao Inouye^{1*}

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科

¹Life and Env.Sciences, Univ. Tsukuba

生命の誕生によって生物が地球の物質とエネルギー循環の要素に加わった。人類活動を含めて、生命は地球環境の主要な要素である。生命の誕生以来、生態系には、二度にわたって大規模な飛躍、拡大があったと考えられる。第一に、原核生物の生態系から真核微生物による生態系への変化である。多くの原核細胞は直径がおよそ $1 \mu\text{m}$ であることに対して、真核細胞は数十?数百 μm と桁違いに大きい。 $1 \mu\text{m}$ の原核生物と $100 \mu\text{m}$ の真核生物では、生物量として 100 万倍の違いがある。真核細胞の出現は、100 万倍の体積をもつ生物による生態系を支えるだけ光合成による基礎生産量が増加したことを示唆している。第二の飛躍は、多細胞生物による生態系の出現である。単細胞の真核生物と多細胞生物の体積の差も 100 万倍のオーダーだと言われている。すなわち、真核微生物の生態系から多細胞生物の生態系への変化にも、100 万倍の生物量を支えるだけの基礎生産量の増加があったことになる。原核細胞から多細胞生物への進化全体で考えると、生物個体に 1 兆倍の体積の増加があったことを意味する。大型多細胞生物が繁栄したのはおよそ 6 億年前のカンブリア爆発の頃だと考えられているから、陸上の生態系がはじまる古生代以前に、原核生物の時代と比較して、1 兆倍の生物量をもつ生物からなる生態系を支えるだけの基礎生産が確立されていたことを示唆している。このような驚異的な生態系の拡大を支えた基礎生産を担った生物とその進化を理解することが、地球の変遷を正しく理解するうえで重要である。

生物と地球環境は相互に作用しながら進化し、現在の生態系と地球環境をつくりあげてきた。生物進化と地球環境の形成に決定的な影響を及ぼした最も重要な生物進化のイベントは、酸素発生型光合成の出現と考えられる。酸素発生型光合成では、水が分解され、副産物として酸素が発生する。分子酸素の出現によって、大気と海洋は好気環境に不可逆的に変化し、それに伴って、生態系も大きく変わった。酸素呼吸を行う生物が中心的な役割をになう生物進化の新たな方向が生まれた。酸素発生型光合成は、シアノバクテリア（藍藻、ラン藻）で、およそ 30 億年前に出現したといわれる。原核生物から真核生物への進化の過程には、地球環境の好気化が大きな役割を果たしたと考えられる。真核生物の誕生の過程は諸説あり、正確なことはほとんどわからないが、真核化とほぼ時を同じくして、あるいは同時に、細胞共生によって -プロテオバクテリアを取り込むことで、酸素呼吸の場であるミトコンドリアが獲得されたと考えられている。酸素呼吸は嫌気呼吸に比べて最大 19 倍のエネルギー生産効率があり、ミトコンドリアの獲得によって、生態系が大きく変化したと想像される。

真核生物におけるもう一つの重要な進化は、葉緑体をもち、酸素発生型光合成を行う真核生物、すなわち「植物」の誕生である。従属栄養の真核生物とシアノバクテリアの細胞共生によって確立した（年代は不明）。樹木や草を含む緑色植物と海苔などの紅色植物がこの植物の子孫と考えられている。緑色植物は、古生代のシダ類、中生代の裸子植物、新生代の被子植物として、陸上生態系の規模と多様性を支える基礎生産者としての役割を果たして現在に至っている。一方水圏では、別の進化が進んだ。最初の共生（一次共生）で植物になった緑色および紅色植物（一次植物）が再度従属栄養真核生物と共生（二次共生）することで、新たな植物（二次植物）の系統が生まれて、中生代から現在に至る海洋の基礎生産を担い、炭素循環を駆動する生物ポンプとして機能している。渦鞭毛藻類、円石藻類、珪藻類は、いずれも二次植物で中生代以降の主要な植物プランクトンであり、また、同じく二次植物の褐藻類は大陸の沿岸で魚介類の繁殖と生息の場として海中林を形成している。陸上での緑色植物の多様性と生態系が拡大する一方で、海洋では二次植物の進化によって、新たな生態系が生まれ、現在の海洋環境の形成につながったと考えられる。

以上のように、生物進化と地球環境は密接に関連している。現在の地球、生命環境を正しく理解するには、地質年代のそれぞれの境界における基礎生産の規模を明らかにすることが必須である。カンブリア爆発、そして P/T, K/T 境界前後の基礎生産の絶対量が明らかになれば、地球と生命の歴史は、生態系の拡大、生命圏の拡大という視点で語る事が可能になると思われる。

キーワード: 藻類, 酸素発生型光合成, 真核生物, 細胞共生, 二次植物, 地球生態系

Keywords: algae, oxygenic photosynthesis, eukaryotic organisms, endosymbioses, secondary plants, global ecosystem

BBG021-02

会場:301A

時間:5月26日 14:45-15:00

植物という生き方の進化 Evolution of the photosynthetic life

中山 剛^{1*}

Takeshi Nakayama^{1*}

¹ 筑波大・生命環

¹University of Tsukuba

植物（陸上植物と藻類）は酸素発生型光合成という機能を通じて地球の進化に大きく関わってきた。この機能はシアノバクテリアによって地球上で初めて、そしてただ1回だけ獲得され、酸素増加、オゾン層形成、二酸化炭素減少、有機物供給などによって現在の地球環境を作り上げた。この酸素発生型光合成という機能は一次共生（葉緑体の誕生）によって真核生物へも広がり、さらに二次共生、三次共生によって現在見られる植物の多様性が成立した。しかし共生による植物化はすでに起こってしまったものだけではない。現在でもさまざまな生物が植物と共生することによって自らが植物になろうとしている。また光合成をして植物として生きながらも、ものを食べている生物もいる。さらに植物となってしまったものの中には、二次的に植物であることをやめてしまい他から有機物を得て生きている生物も多い。このように植物という生き方は複雑な進化を遂げ、今現在も進化しながら現在の地球環境を作り上げている。

キーワード: 共生, 藻類

Keywords: endosymbiosis, algae

BBG021-03

会場:301A

時間:5月26日 15:00-15:15

渦鞭毛藻に見られる現在進行中の共生現象 Ongoing process of plastid acquisition in dinoflagellates

山口 晴代^{1*}, 井上 勲²

Haruyo Yamaguchi^{1*}, Isao Inouye²

¹ 国立環境研究所, ² 筑波大学

¹NIES, ²University of Tsukuba

渦鞭毛藻は現在、約 2,000 種が知られており、形態的・生態的に多様化したグループである。渦鞭毛藻は、紅藻由来の葉緑体を 2 次共生によって獲得し、2 次植物と呼ばれる。しかし、既知の渦鞭毛藻の約半分がその光合成能を二次的に失い、従属栄養性の生活様式に戻ったことが知られている。また、現在の海洋において、光合成性の渦鞭毛藻は珪藻や円石藻と同様、非常に重要な生産者であるが、一方、従属栄養性の渦鞭毛藻は、微生物食物連鎖（微生物食物網）の中で消費者の役割を果たしている。

いくつかの従属栄養性渦鞭毛藻の中には、3 次共生によって新たな葉緑体を獲得し、再び光合成能を獲得したものが知られている。3 次共生とは、2 次植物と渦鞭毛藻との細胞内共生現象の事である。3 次共生をした渦鞭毛藻の葉緑体はその由来によって、ハプト藻タイプ（*Karenia* など）と珪藻タイプ（*Durinskia* など）の 2 つに分けられる。これらの 2 つのタイプの葉緑体を持った渦鞭毛藻では、3 次共生によって新たに獲得された葉緑体が娘細胞に均等に分配され、完全に細胞の一部として機能していることが知られている。

3 次共生は、2 次植物を捕食することで始まったが、渦鞭毛藻には、3 次共生の途中段階を示すものが知られている。3 次共生の途中段階を示す渦鞭毛藻を研究することは、遙か昔に起こった葉緑体の獲得過程を考察する上で非常に重要である。今回の発表では、6 種のギムノディニウム目渦鞭毛藻に見られる葉緑体の獲得現象について紹介する。これらの渦鞭毛藻では、クリプト藻と呼ばれる 2 次植物の葉緑体（と一部のオルガネラ）を一時的に細胞内に保持し、葉緑体として使うことが知られている。この一時的な葉緑体は、クレプトクロロプラスト（盗んだ葉緑体）と呼ばれる。クレプトクロロプラストとする種の特異性やそのオルガネラの細胞内での残存程度は種ごとに異なっており、このことは取り込んだ藻類を単なる餌から完全な葉緑体へ統合するまでの異なる進化段階を示していると思われる。これらの移行段階を比較することで、葉緑体獲得段階の理解が進むと考えられる。今後は、これらの渦鞭毛藻のゲノム解析を進めることでさらに葉緑体獲得過程の詳細が明らかになるだろう。

渦鞭毛藻は少なくとも中生代以降、大繁栄を遂げた藻類群の 1 つである。この渦鞭毛藻の大繁栄には、このような栄養摂取様式の劇的な変化が関係しているのかも知れない。また、渦鞭毛藻の休眠細胞（シスト）は微化石として堆積物中に残り、中生代および新生代の層序学の共通の研究対象である。

キーワード: 藻類, 渦鞭毛藻, 3 次共生, クレプトクロロプラスト

Keywords: algae, dinoflagellate, tertiary endosymbiosis, kleptochloroplast

BBG021-04

会場:301A

時間:5月26日 15:15-15:30

真核生物ゲノムの可塑性：渦鞭毛藻類葉緑体関連遺伝子の起源を例に Plasticity of eukaryotic genomes: The proteomes of dinoflagellate plastids as a case study

稲垣 祐司^{1*}

Yuji Inagaki^{1*}

¹ 筑波大院・生命環境科学

¹ Univ. Tsukuba

真核生物の細胞体制がどのように確立されたかを推測する上で、細胞内共生体由来のオルガネラを無視することはできない。真核細胞内の主要オルガネラにはミトコンドリアと葉緑体（色素体）があるが、ミトコンドリアは細胞内共生したプロテオバクテリア由来の真核生物進化の極めて初期に確立したと考えられている。ミトコンドリア共生後、灰色藻類・紅藻類・緑色植物の祖先細胞が色素体の起源となるシアノバクテリアを細胞内に取り込んだと考えられる。

これらオルガネラ獲得過程では、共生体・宿主細胞のゲノム構造にも大きな変化が起こったはずである。共生体ゲノムにおいては、宿主細胞内での「生活様式」に不必要となった遺伝子群は削除され、オルガネラの機能と維持に必要な遺伝子の大部分は宿主核に転移したと考えられる（endosymbiotic gene transfer; EGT）。従って、細胞内共生体をもつ真核生物のゲノムには、EGTで獲得したとも考えられるバクテリア型遺伝子が検出される。

本講演では、主に渦鞭毛藻類ゲノムに存在する葉緑体関連遺伝子の起源について解説する。祖先的渦鞭毛藻細胞は紅藻を起源とする peridinin 型葉緑体をもっていたと考えられるが、二次的な光合成能の消失や、元々もっていた peridinin 型葉緑体を他の真核共生藻由来の葉緑体と置換した「非 peridinin 型」葉緑体が見られる。近年非 peridinin 型葉緑体をもつ複数の渦鞭毛藻類からの網羅的遺伝子転写物（EST）データに基づき、葉緑体タンパク質のプロテオームが推測されてきた。興味深いことに、これらの渦鞭毛藻類は、非 peridinin 型葉緑体の起源となった真核藻類の葉緑体遺伝子を EGT で獲得すると同時に、（現在では失った）peridinin 型葉緑体で用いられていた遺伝子を葉緑体置換後にも「使い回し」をしていることが分かった。さらに、細胞内共生体とは無関係なバクテリアや真核生物から遺伝子を水平的に獲得し、その産物を葉緑体に輸送しているケースも多数発見されている。従って、藻類をふくめ真核生物一般のゲノムは系統的にキメラな遺伝子の集合体であり、我々の想像以上に可塑性が高いと考えられる。

キーワード: 真核生物, ゲノム進化, 細胞内共生, 渦鞭毛藻類, 色素体, プロテオーム

Keywords: eukaryotes, genome evolution, endosymbiosis, dinoflagellates, plastids, proteome

BBG021-05

会場:301A

時間:5月26日 15:30-15:45

微化石古生物学が描く藻類進化のダイナミクス Dynamics of algal evolution represented by micropaleontological research

須藤 斎^{1*}

Itsuki Suto^{1*}

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹Dpt. Earth & Planet. Sci., Nagoya Univ.

0) 進化を知るための化石研究

生物進化解明のための研究は、多くが現生生物の遺伝学的研究であるが、実際の証拠は化石の形態的变化を調べるしか方法がない。例えば代表的な海洋一次生産者である珪藻に関するものには、Yanagisawa & Akibaによる化石珪藻種の進化学的研究や Finkel et al. (2005)による珪藻殻サイズの縮小化などがある。しかし、これらの化石種と現生種の研究を直接つないだものはほとんど行われていない。そこで、本発表では珪藻キートケロス属化石の分類学的研究と、本属の生態的特徴から明らかになってきた進化イベント、その進化が他の生物に及ぼした影響について紹介する。このような研究には、詳細な化石情報に加え、現生種の生態などの情報を組み合わせることが重要であり、分野を超えた研究が望まれる。

1) 海生珪藻キートケロス属休眠孢子化石研究の重要性

海生珪藻キートケロス属は現世の海洋中、特に沿岸湧昇流域で最も重要なグループであると考えられ (Hasle & Syvertsen, 1996)、その一次生産量は海洋全体の20-25%に上ると言われている (Werner, 1977)。栄養塩が豊富な環境では、多くのキートケロス属種は、他の珪藻栄養細胞と同様に薄い珪質の細胞壁をもつ細胞が素早く分裂し鎖状の形態を作っていく。しかし、これらの薄い細胞壁は堆積後に溶解し化石としては保存されない (Itakura, 2000)。一方で、栄養塩が枯渇すると、多くが殻の厚い休眠孢子を形成し、海底に沈降する。その後、湧昇などによる海底の栄養塩の再供給による富栄養化と海面までの運搬が起きるまで海底に留まる (McQuoid & Hobson, 1996)。休眠孢子的厚い珪質の殻は、化石として保存されやすく、沿岸堆積物中に他の珪藻殻化石とともに大量に発見することができる。そのため、休眠孢子化石は過去の一次生産や海洋環境を調べるための重要な情報を持っているといえる。

2) 始新世/漸新世境界におけるキートケロス爆発イベント (CEE)

これまで休眠孢子を形成する栄養細胞の殻は溶解しやすく化石として保存されないためや、また休眠孢子的形態が非常に単純で分類が難しいことなどから、休眠孢子的分類はほとんど行われてこなかった。そのため、他の珪藻化石は詳細な分類や生層序学的な研究が陸上調査や DSDP, ODP, IODP などによる海底掘削によって得られた新生代の堆積物を用いて行われてきたにも関わらず (例えば Yanagisawa & Akiba, 1998)、地質学・古生物学的な見地から休眠孢子化石の重要性にはほとんど注意が払われてこなかった。

近年になって、海底掘削や陸上で採取された堆積物などを用いて、休眠孢子化石の詳細な分類と生層序・古海洋学的研究が行われるようになった (e.g. Suto, 2006)。その結果、ノルウェー海で掘削された DSDP Site 338 と ODP Holes 908A, 913B の堆積物から、数百万年間の期間に、種の多様性の10倍以上の急激な増加、産出頻度の急増、殻サイズの半減などを含む明確なキートケロス属休眠孢子爆発イベント (*Chaetoceros* Explosion Event, CEE) が確認された (Suto, 2006, Suto in prep.)。

キートケロス属休眠孢子と渦鞭毛藻休眠シストの形成に関する生態学的な違い (休眠孢子発芽のきっかけは光と栄養、休眠シストは水温) から、Suto (2006) は、以下の可能性を示唆した。i) 海洋一次生産者の主役が始新世以前は渦鞭毛藻であったが、漸新世以降は珪藻、特にキートケロス属に入れ替わった、ii) ノルウェー海が、始新世には毎年同じ時期に季節的湧昇により栄養塩が供給されるような環境だったが、南極還流の発達によって世界中の海洋の鉛直混合システムが変化し (Falkowski et al., 2004)、漸新世には表層への栄養塩供給が不安定になり、不定期に栄養塩が供給される環境へと変化したためである。

キートケロス属休眠孢子爆発イベントは、東赤道大西洋掘削サイト (DSDP Holes 366 と 369A) でも確認されたことから (Suto, in prep.)、世界中の海洋で同様の変化が起きていた可能性がある。さらに、本イベントは、始新世/漸新世境界付近でそれまで陸上に生息していた古クジラ類が、海生大型哺乳類であるクジラの仲間、特に珪藻を餌とする小型甲殻類を食べるヒゲクジラ類に進化していった時期と一致している。このことから、海洋の鉛直構造の変化が栄養塩環境を変えた結果、キートケロス属をはじめとする珪藻類が多様化・増加し、それらを餌とする多種の海洋生物が進化をしていったという共進化 (Suto presented in AGU, 2007) が起きた可能性が高い。

キーワード: 珪藻, 微化石古生物学, 古海洋, 進化, 始新世/漸新世境界, 藻類
Keywords: diatoms, micropaleontology, paleoceanography, evolution, Eocene/Oligocene Boundary, algae

BBG021-06

会場:301A

時間:5月26日 15:45-16:00

有孔虫-紅藻類共生系の成立と維持機構を探る Symbiosis between foraminifer and red algae.

横山 亜紀子^{1*}

Akiko Yokoyama^{1*}

¹ 筑波大学・院・生命環境

¹ Grad. Sch. Life Env. Sci., Univ. Tsukuba

浮遊性有孔虫の一部や大型の底生性有孔虫には、シアノバクテリア、珪藻、緑藻、渦鞭毛藻、紅藻、ハプト藻などの微細藻類が共生する。宿主有孔虫の分類群ごとに特定の藻群が共生する対応関係がみられ、共生藻の種も各藻群で1-数種と限られる。共生藻は、有孔虫の細胞質内部で分裂増殖するが、クレプトクロロプラスト化した一部の珪藻由来の色素体を除けば、宿主から取り出した後も藻類培養株として維持することができ、共生体は自律性をもった生物として振舞うことができる。さらに、有孔虫-紅藻の共生系は、紅藻が自律した細胞のまま他の生物に共生している唯一の系である。したがって、紅藻を色素体の起源とするクリプト藻類や、不等毛植物などの二次共生生物の色素体獲得の初期段階を理解する上で重要な知見をもたらすことが期待される。

紅藻を共生する有孔虫は、熱帯-亜熱帯の暖海にのみ生育するペネロプリス科有孔虫に限定される。共生紅藻は、微細構造の特徴から、チノリモ *Porphyridium purpureum* と同定された (Lee1990)。*P. purpureum* は陸域の土壌表面から海域に広く分布する自由生活性の単細胞性紅藻であるが、共生紅藻が遺伝的あるいは生理生態的に同一の性質を示すかは調査されていなかった。そこで、日本国内外より有孔虫を採集し、共生紅藻を単離して培養株を作製し、SSU rDNA 配列に基づく系統解析、塩分濃度に対する増殖特性や光合成補助色素組成などを調査した。その結果、共生紅藻は土壌産の *P. purpureum* とは独立した系統群を形成し、色素や塩分濃度に対する増殖特性などにおいても異なる性質を持つことが明らかとなった。共生紅藻が含まれるクレードには、非共生の *P. purpureum* も含まれたが、それらの生育地はいずれもペネロプリス科有孔虫が生育する熱帯-亜熱帯の暖海域に限定されており、土壌産のものとは異なる生理的性質を持っていた。したがって、共生紅藻を含むクレードのものは、*Porphyridium* 属の新種とすべきであるとの結論を得た。一方、宿主の有孔虫は、1個体ごとにDNAを抽出し、宿主特異的プライマーを用いてSSU rDNAを増幅し、塩基配列を決定した。その結果、調査したすべての紅藻共生の有孔虫は単系統群を形成した。SSU rDNAの解析で共生紅藻、その宿主それぞれが単系統であることが強く支持されていることから、有孔虫が紅藻を共生させるシステムを確立したのは1回であると推測される。共生紅藻内部で地理的な分化がみられるものの、有孔虫の種分化に伴い共生藻が遺伝的に分化したかどうかについては、今後さらに解析を深めて明らかにしていく予定である。

キーワード: 有孔虫, 微細藻類, 紅藻, 共生, ペネロプリス科, チノリモ

Keywords: Foraminifer, Microalgae, Red algae, symbiosis, Peneroplidae, *Porphyridium*

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



BBG021-07

会場:301A

時間:5月26日 16:00-16:15

大型有孔虫 - 微細藻共生系を促進・崩壊させる環境要因 Environmental factors that enhance or collapse foraminifer-microalgal symbiosis

藤田 和彦^{1*}

Kazuhiko Fujita^{1*}

¹ 琉球大学理学部物質地球科学科

¹ University of the Ryukyus

Algal symbionts-bearing large benthic foraminifers are known as prolific primary and carbonate producers in coral-reef associated environments at the present and geological times. Understanding the mechanism of foraminifer-microalgal symbiosis is necessary to clarify their responses to secular variations in the Earth system, paleoceanographic changes, and future global environmental changes. Here I reviewed environmental factors that enhance or collapse the foraminifer-microalgal symbiosis. Negative factors which reduce net primary production of algal symbionts and the growth of a foraminiferal host include extremely high and low temperature, low pH, stagnant water motions and high nutrient concentrations. On the other hand, positive factors which enhance net primary production and calcification are poorly known. Our new culturing results indicated that higher pCO₂ enhanced the calcification of symbiont-bearing hyaline taxa due to enhanced photosynthetic activity of the symbionts under high pCO₂ seawater. Future culturing experiments under unrealistic seawater chemistry will give new insights into the mechanisms of foraminiferal-microalgal symbiosis.

BBG021-08

会場:301A

時間:5月26日 16:30-16:45

サンゴと褐虫藻の共生確立と崩壊

Establishment and breakdown of symbiosis between corals and zooxanthellae

小池 一彦^{1*}, 山下 洋¹

Kazuhiko Koike^{1*}, Hiroshi Yamashita¹

¹ 広島大学生物圏科学研究科

¹ Graduate School of Biosphere Science

さんご礁を彩る造礁サンゴには、無数の渦鞭毛藻（褐虫藻）が共生している。サンゴは褐虫藻なしには生存できないし、褐虫藻はサンゴから住処と栄養塩、炭酸ガスを供給される「相利共生」に見える。この共生はサンゴが最も栄えた三畳紀から脈々と続くものであるが、この進化的にも確立した感のある共生関係は、じつはかなり不安定なものでありそうだ。

褐虫藻はサンゴの細胞内に共生する。ほとんどのサンゴ種は褐虫藻を親から受け継がず、餌粒子から褐虫藻を選択し自らの細胞内に収める（この点でも彼らの関係の始まりはチャレンジングである）。どうやって？これは現在に至るまで最も議論の多い、解明されていない点ではあるが、どうやらサンゴはレクチンによって褐虫藻を認識しているようだ。レクチンは糖鎖を認識し、褐虫藻のみならず、様々な微細藻の表面に結合する。ただし、結合した後の反応が違う。それまで泳ぎ回っていた褐虫藻は運動を停止し丸く変形し、それでも活発に増殖する。他の共生藻になり得ない微細藻は破裂するか凝集・増殖阻害をつける。その後、北里大学の神保らの研究によって、褐虫藻の糖鎖を除去した場合、サンゴとの共生率が著しく下がることが明らかになっている。余談だが；自由生活状態の褐虫藻には、当然鞭毛があり、発達した眼点がある。しかし、一旦動物と共生すると、鞭毛と眼点を作らなくなる（シャコガイに共生する褐虫藻においては、その萌芽があるが）。動物側にとっては、共生者が外を見ずにじっとしてくれていた方が都合良いはずで、どうもあまりに良くできた奴隷化機構だ。

サンゴが褐虫藻を取り込むとして、では、そもそも海水中に共生ソースとなる褐虫藻は存在するのだろうか？定量PCRを用いて海水中の褐虫藻を定量してみると、さんご礁海域の海水1L中には多いときで数十万細胞の密度で褐虫藻が存在していることがわかった。共生が基本状態であるべき褐虫藻がなぜ海水中に泳ぎ回っているのか？環境DNAクローン解析や、多数の培養株作成の努力により；まず環境中には、動物と共生しないグループの褐虫藻がいるらしいこと（彼らの存在意義は何なのか？進化的に自由生活を取るに至ったか？その逆か？など興味はつきないが、まだまだ情報不足）、一方、サンゴ内に見いだされる褐虫藻も多数単独で存在していることなどがわかった。前者はさておき、後者はサンゴへの共生ソースと考えると良いだろう。しかし彼らの由来は？もしかして周辺サンゴから排出されてきたものではないか？そうなるとソースであり、シンクなのか？

次にわれわれはサンゴからの褐虫藻排出現象を調べた。水槽で飼育した一見健全なサンゴからは、実に規則正しい日周性を持って褐虫藻が海水中に排出されていた。健全で規則正しい共生の崩壊（？）である。現場ではどうだろう？多数のサンゴの枝に透明容器をかぶせて、一定時間あたりに溜まってくる褐虫藻を定量PCRで調べると、1時間、サンゴ表面積1cm²あたり、多いときで6000細胞もの褐虫藻が放出されていた。しかも、遺伝子クレード別に定量すると、クレードCと呼ばれる比較的環境適応性の低いとされるタイプの褐虫藻が優先的に排出され、環境変化に強い（とされる）クレードDの排出は、その組織内構成比と比較して極めて少なかった。環境変化に弱いものを捨て、強いものを残すすれば、気候変動を生き抜くサンゴの健全な戦略作業なのかもしれない。

長い進化上の歴史を経てもなお、自由生活状態を取り得る褐虫藻といい、それを無理矢理つなぎ止め、要らなくなったら捨てるというサンゴの戦略といい、彼らは実はお互いに自由でたくましい。

キーワード: 褐虫藻, サンゴ, ゴーザンテラ

Keywords: Symbiodinium, coral, zooxanthella

BBG021-09

会場:301A

時間:5月26日 16:45-17:00

白亜期末の天体衝突による環境変動と光合成生物の絶滅

Mass extinction of photosynthetic organisms and environmental perturbation caused by an impact at the K/Pg boundary

大野 宗祐^{1*}, 後藤 和久¹

Sohsuke Ohno^{1*}, Kazuhisa Goto¹

¹ 千葉工業大学

¹ Chiba Institute of Technology

今から 6550 万年前の K-Pg 境界における生物大量絶滅は、生物種の過半数が絶滅したと言われる生物史上の大事件である。この生物大量絶滅を引き起こしたのが天体衝突であるという説は、アルバレスらによって提唱され [Alvarez et al., 1980]、現在ではメキシコのユカタン半島のチチュルブクレーターの天体衝突が原因であることは広く受け入れられている [Schulte et al., 2010 など]。

ところが、天体衝突によってもたらされる環境変動と具体的な大量絶滅のメカニズムについては未だほとんど分かっていない。当初アルバレスらが考えた環境変動のメカニズムは、衝突により巻き上げられた粉塵が大気中に長くとどまり、それが太陽光を遮り光合成を阻害した、というものである。しかしその後、大気中での粉塵の滞留時間が短いこと [Toon et al., 1982 など]、長期間にわたり大気中に浮遊する微少なサイズの粉塵の量が少ないこと [Pope et al., 2002 など] が示され、現在では粉塵による長期間の光合成遮断は難しかったのではないかと考えられている。そのため、硫酸エアロゾルや煤による日射遮蔽や酸性雨など様々な環境変動と大量絶滅のメカニズムの仮説が提案されてきているが、どれも決定打というにはほど遠い。

絶滅機構の究明が滞っている最も重要な理由の一つは、最新の生物学的な観点、議論、研究が不足している点であると我々は考えている。特に、地質学や天体衝突の物理から提案された環境変動仮説に対する光合成生物の挙動は、陸域海域の大量絶滅を理解する上での急所であると考えられているものの、未だ研究が進んでいない。本発表では、天体衝突の物理と地質学の専門家の立場から、提案された環境変動仮説と絶滅パターンの地質記録をごく簡単にレビューし、白亜期末の大量絶滅を理解するためのブレークスルーのきっかけが生まれるような議論を行うことを目指したい。

キーワード: 天体衝突, 大量絶滅, K/Pg 境界, 環境変動

Keywords: impact, mass extinction, K/Pg boundary, environmental perturbation

BBG021-10

会場:301A

時間:5月26日 17:00-17:30

光合成生物の多様性と一次生産者のパラダイムシフト Paradigm shift of primary producers of the Oceans

宮下 英明^{1*}

Hideaki Miyashita^{1*}

¹ 京都大学大学院人間・環境学研究科

¹ Kyoto University

光栄養生物は、光エネルギーを利用して膜を介したプロトンの電気化学ポテンシャル差を形成し、これを利用して有機物質を合成する。生態系の形成・維持に必要なエネルギーは、そのほとんどがこのプロセスを介して固定された太陽放射エネルギーであり、光栄養生物は、生態系に有機物質を供給するという点で生態系のエネルギーフローの原点である。海洋では、地球上のほぼ半分に相当する年間約 50Gt の一次生産が行われているといわれており、長い間、珪藻類や鞭毛藻類などの真核藻類が、このエネルギーフローを担っていると考えられてきた。しかし、近年の色素組成分析技術の発展、微生物検出手法の多様化、フローサイトメトリーやメタゲノム解析技術の出現によって、以下のことが明らかにされてきた。

- 1) Prochlorococcus /Synechococcus のピコシアノバクテリアが多量に分布している (1-3)。
- 2) バクテリオクロロフィル a を含む好気性の非酸素発生型光合成細菌が広く多量に分布している (4)。
- 3) プロテオロドプシンを含有する細菌が広く分布している (5)。
- 4) 真核ピコプランクトンが多量に分布している (6,7)。
- 5) 海洋底泥には、クロロフィル a のみならず、さまざまクロロフィルおよびその分解物が堆積している (8)。

これらの発見は、海洋のエネルギーフローの原点が、必ずしも珪藻類や鞭毛藻類などクロロフィル a を基盤とする光合成によるものだけではなく、遥かに多様な光栄養生物がこれに寄与していることを示唆する。

本シンポジウムでは、これらの背景をふまえて、これまでブラックボックスとして扱われてきた海洋のエネルギーフローを担っている“一次生産者”の多様性に関するパラダイムシフトについて議論する。

1. Waterbury, J. B., Watson, S. W., Guillard, R. R. L. & Brand, L. E. Widespread occurrence of a unicellular marine, planktonic, cyanobacterium. *Nature* 277, 293-294 (1979).
2. Johnson, P. W. & Sieburth, J. M. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnol. Oceanogr.* 24, 928-935 (1979).
3. Chisholm, S. W. et al. A novel free-living prochlorophyte abundant in the oceanic euphotic zone. *Nature* 334, 340-343 (1988).
4. Kolber, Z. S., Van Dover, C. L., Niederman, R. A. & Falkowski, P. G. Bacterial photosynthesis in surface waters of the open ocean. *Nature* 407, 177-179 (2000).
5. Beja, O. et al. Bacterial rhodopsin: evidence for a new type of phototrophy in the sea. *Science* 289, 1902-1906 (2000).
6. Liu, H. et al. Extreme diversity in noncalcifying haptophytes explains a major pigment paradox in the open ocean. *PNAS* 106, 12803-12808 (2009).
7. Cuvelier, M. L. et al. Targeted metagenomics and ecology of globally important uncultured eukaryotic phytoplankton. *PNAS* 107, 14679-14684. (2010)
8. Kashiyama, Y. et al. Evidence of global chlorophyll d. *Science* 321, 65 (2008)

キーワード: 光合成, シアノバクテリア, 微細藻類, バクテリオクロロフィル, プロテオロドプシン, 太陽放射

Keywords: photosynthesis, cyanobacteria, microalgae, bacteriochlorophyll, proteorhodopsin, solar radiation

BBG021-11

会場:301A

時間:5月26日 17:30-17:45

真核性ピコプランクトンの多様性 Biodiversity of eukaryotic picoplankton

河地 正伸^{1*}

Masanobu Kawachi^{1*}

¹ (独) 国立環境研究所

¹ National Institute for Environmental Stu

ピコからナノサイズの植物プランクトンは、海洋環境に優占的に存在しており、基礎生産者として重要なフラクシオンとなっている。その構成は、原核性のピコ植物プランクトン (Prochlorococcus と Synechococcus) と真核性のピコ植物プランクトンであり、後者は多様な分類群で構成されることが知られている。これまでに 2 μm 以下の細胞サイズの種は約 20 種、3 μm 以下にサイズを拡大すると約 70 種が報告されている。これらの種の多くは、培養株を用いて種の記載がなされてきた。一方、ピコサイズのフラクシオンを対象とした環境 DNA 等の解析 (クローニングとシーケンシング、DGGE、FISH 等) からは、多様性の一部のみが明らかにされているに過ぎないことが示唆されているが、多くは形態情報を欠いており、実体については不明である。

現在、JST 日仏研究交流事業において、ピコからナノサイズの微細藻群を対象として、環境試料からゲノムと多様性情報を包括的に解析するための研究手法の開発について検討を行っている。様々な海洋環境試料中の未培養・未知微細藻群に関するゲノム情報や形態等の多様性情報を集積することも目標としている。本講演では、ピコプランクトンの多様性及び生態的重要性について概説した後、日仏共同でこれまでに行ってきた、フローサイトメトリを活用した環境 DNA 及びメタゲノム解析、そして環境試料への凍結保存法の適用について紹介したい。

キーワード: ピコプランクトン, 生物多様性, 系統

Keywords: picoplakton, biodiversity, phylogeny

BBG021-12

会場:301A

時間:5月26日 17:45-18:00

藻類ブルームへのウイルスの量的・質的インパクトについて Viral impacts on algal blooms: quantitative and qualitative effects

長崎 慶三^{1*}

Nagasaki Keizo^{1*}

¹ (独) 水産総合研究センター

¹ Fisheries Research Agency

近年、ブルームを形成する藻類に感染するウイルスの単離事例が増えつつあり、その性状が徐々に解明されてきた。本講演では、藻類ウイルスの生態学的役割の重要性について主に紹介する。HcRNAVは鎖長4.4kbの一本鎖RNAをゲノムとして持つ多面体ウイルスであり、貝類を斃死させる赤潮原因渦鞭毛藻ヘテロカプサ・サーキュラリスカーマに感染する。RNA依存性RNAポリメラーゼの系統解析結果から、本ウイルスは既知のあらゆるウイルスとは異なるグループに属することが明らかとなり、最近になってようやくICTVにより新属(Dinornavirus属)として認められた。三重県英虞湾における6年以上に亘る現場調査の結果、本宿主-ウイルス間の密接な生態学的関係が明らかとなった。ウイルス側は株感染特異性の異なる複数のタイプから、宿主側はウイルス感受性パターンの異なる複数のタイプからそれぞれ構成される。したがって、ウイルス感染は宿主個体群内のクローン構成を変化させることになる。ゲノム解析の結果、ウイルス表面の微構造の差により、この感染特異性が支持されている可能性が示唆された。おそらく自然水界中では、両者の多様性は我々の想像以上に大きく、複雑な関係が成立しているのであろう。以上のことから、宿主藻体個体群はウイルスの影響を明らかに受けていること、そしてその影響は宿主の生物「量」を変化させるのみならず、宿主個体群の「質」にも及ぶものと考えられた。

キーワード: ウイルス, 微細藻類, 赤潮, 水圏生態学

Keywords: virus, microalgae, algal bloom, aquatic ecology

BBG021-13

会場:301A

時間:5月26日 18:00-18:15

栄養物質供給に対する外洋域の植物プランクトンおよび従属栄養生物の応答 Responses of phytoplankton and heterotrophs in open oceans to nutrient supply

鈴木 光次^{1*}, 津田 敦²
Koji Suzuki^{1*}, Atsushi Tsuda²

¹北海道大学大学院地球環境科学研究院, ²東京大学大気海洋研究所
¹Hokkaido University, ²University of Tokyo

植物プランクトンが光合成を行い、増殖するためには細胞を構成する多くの元素を取り込む必要がある。しかしながら、Liebigの最小律によると、生物の成長は、ある与えられた時間において、栄養素の中で最も存在量の少ない元素によって制限される。本講演では、外洋域に生息する植物プランクトンの制限因子と考えられる栄養物質の動態、および栄養物質が供給された際の植物プランクトン、延いては従属栄養生物の応答について、西部北太平洋外洋域を主な題材として、近年の研究を紹介する。西部北太平洋亜寒帯域は、冬季鉛直混合により中深層から多量の栄養物質が表層にもたらされ、春季から夏季にかけての日射量の増加および表層の成層化により植物プランクトンの増殖が活発となる。しかしながら、夏季の北太平洋亜寒帯外洋域は、植物プランクトン現存量の指標であるクロロフィルa濃度は、表層に存在する硝酸塩濃度から期待される値より低いことから、近年、高硝酸塩-低クロロフィル(HNLC: high nitrate, low chlorophyll)海域として、知られるようになった。同海域のHNLCの主原因の1つとして、海水中の鉄不足が考えられる。海水での鉄の溶解度は低く、外洋域では陸からの鉄供給量も低下する。同海域の鉄不足を検証するために2001年および2004年夏季に現場鉄散布実験(それぞれ、SEEDSおよびSEEDS-IIと呼ばれる)が実施された。SEEDSでは鉄散布後に大型中心目鎖状珪藻*Chaetoceros debilis*による大規模なブルームが発生したが、SEEDS-IIでは、SEEDSよりも多量の鉄を海水中に散布したにもかかわらず、緑藻およびクリプト藻を中心とした微小鞭毛藻類の小規模なブルームが形成された。これら植物プランクトン群集の応答の違いが生じた理由として、SEEDS-IIにおける(1)メソ動物プランクトンの高い摂餌圧(2)比較的深い表層混合層深度による生物利用可能鉄の希釈とそれに伴う大型珪藻類の鉄利用不足の継続が考えられた。興味深いことに、SEEDS-IIでは、海水中の溶存有機炭素濃度はみかけ上変化しなかったが、植物プランクトンの増殖に伴い、バクテリア生産力の増加が確認されるとともに、真正細菌群集の組成が変化し、殺菌菌類の出現も示唆された。これら現場鉄散布実験を通して、海水中の鉄利用性が西部北太平洋亜寒帯外洋域の生態系および生物地球化学過程を大きく支配することが明らかとなった。一方、西部北太平洋熱帯・亜熱帯域では、年間を通して、亜表層に密度躍層が発達することから、通常、表層の硝酸塩は枯渇している。このため、高い細胞表面積/体積比を持つ栄養物質取り込み効率の優れた細胞サイズの小さいピコ植物プランクトン(<3 μm)が植物プランクトン群集中で優占する。これら細胞に加え、ラン藻類等の窒素固定生物が同海域の生物地球化学過程に重要な役割を果たしている。近年、熱帯・亜熱帯域では、台風を含む熱帯低気圧の強度が年々増加している可能性がある。西部北太平洋熱帯・亜熱帯域において、1997年から2007年の間、衛星リモートセンシングで検出された台風は170個あり、その内の62%は有意な表層クロロフィルa濃度の増加をもたらしていたことが判明した。特に、2003年の台風17号においては、クロロフィルa濃度が初期値より最大約7倍増加し、通常より高いクロロフィルa濃度が約1ヶ月間継続した。これは、台風通過後、水柱で湧昇流が発生したことによるものと考えられる。しかしながら、台風通過後に増加した植物プランクトン群集がどのような種によって構成されていたかは不明であり、これら植物プランクトンが生態系や生物地球化学過程に与える影響も不明である。このため、2007年と2008年の9月上旬において、西部北太平洋熱帯・亜熱帯外洋域の表層水と亜表層水を実験的に混合した船上培養を6回行い、どのような植物プランクトン種が増加する可能性があるのかを調査した。共通した結果として、培養後、珪藻類および黄金色藻類に特有なカロテノイド色素が増加した。また、検鏡により、*Pseudo-nitzschia seriata* complexなどのマイクロサイズ(>20 μm)の珪藻細胞が増加したことを確認した。幾つかの実験では、沿岸海域でよく見られる鎖状の中心目珪藻種が数多く出現した。これら結果は、今後の台風強度の増加に伴い、西部北太平洋熱帯・亜熱帯外洋域では主に大型珪藻類からなる植物プランクトンブルームの数が増加する可能性を示唆している。

キーワード: 制限栄養物質, 海洋現場鉄散布実験, 台風擾乱

Keywords: limited nutrients, in situ iron fertilization experiments, typhoon disturbance

BBG021-14

会場:301A

時間:5月26日 18:15-18:30

海洋における微生物群集の動態と光栄養 Dynamics and phototrophy of microbial communities in the ocean

浜崎 恒二^{1*}, 佐藤 由季², 谷口 亮人³
Koji Hamasaki^{1*}, Yuki Sato², Akito Taniguchi³

¹ 東京大学大気海洋研究所, ² 北海道大学大学院環境科学院, ³ 近畿大学大学院農学研究科

¹AORI, The University of Tokyo, ²Hokkaido University, ³Kinki University

近年、海洋表層水中の従属栄養細菌群集の一部は、光エネルギーを補完的に利用する能力を持ち、海洋の食物連鎖や物質循環に少なからず影響を与えている可能性が指摘されている。従来、海洋には酸素発生型の光合成細菌いわゆる藍藻類が広く分布することが知られており、珪藻や渦鞭毛藻といった真核性の藻類と並んで、海洋生態系における主要な基礎生産者となっているが、酸素非発生型の光合成細菌の多くは、硫化水素や水素を電子供与体として利用する嫌気性細菌であり、現在の好気的な海洋環境においては比較的マイナーな存在であるとされてきた。しかし、最近になって一部の酸素非発生型光合成細菌は、海洋表層水中に普遍的に分布することが明らかになっており、生態系への新たなエネルギー供給経路として関心を集めている。好気性光合成細菌は、1979年に好気条件下で光化学反応によるエネルギー生産を行う細菌として報告された。芝らによって、本邦沿岸域の海藻や海浜砂、表面海水より初めて分離され、後に新属 *Erythrobacter* 及び新属 *Roseobacter* と命名された。その後、芝らの培養法を用いた探索によって、少なくとも沿岸域においては普遍的に分布する可能性が示されていたが、多くの研究者は一部の環境に限定的に分布するにすぎないと考えていた。しかし、2000年に米国の Kolber らによりバクテリオクロフィルに由来する蛍光シグナルの直接測定などから、貧栄養外洋域の広い範囲に光合成細菌が分布することが報告された。彼らの推定では、好気性光合成細菌は全細菌数の11%を占め、BChl量は全Chl量に対して5-10%に達するとされ、その生態学的役割が俄に注目を集めることとなった。一方、好気性光合成細菌と並び、海洋表層における広範囲な分布とその生態学的重要性が示唆されているのが、光依存性プロトンポンプによるエネルギー合成を行う細菌群である。従来から、ある種の好塩性古細菌は、バクテリオロドプシンとレティナル複合体による光依存性プロトンポンプを持ち、光エネルギーをATP合成に利用することが知られており、最近まで古細菌のみが有する機能であると考えられていたが、モンレー湾の環境DNA試料から作成されたBACクローンの解析によって、細菌由来の類似タンパク質が発見され、プロテオロドプシンと名付けられた。その後、南極海、ハワイ沖、地中海、紅海の環境DNA試料から、複数のタイプのプロテオロドプシンが見出されたことから、普遍的かつ広範囲な分布が明らかとなってきた。最初の発見が、未培養の系統群に属する細菌に由来するものであったため、当初プロテオロドプシン細菌は難培養であるとされたが、ある種の細菌グループから容易に培養可能な株が見出され、当初予想された以上に多くの細菌がこの機能を有するらしいことが示されつつある。光合成細菌やプロテオロドプシン細菌は、有機物を主要炭素源とするため基礎生産者としての寄与は小さいと考えられる。しかし、光によるエネルギー生産は、有機物の同化効率を高める効果をもたらし、光照射下では増殖が促進されることから、従属栄養細菌群集全体の生態効率を高めることになると考えられる。もし、これら細菌の現存量が比較的大きな割合を占める環境で、光による増殖促進が起こるとすれば、光環境によって有機物の生成のみならず、分解や同化の過程も影響を受けることになる。本講演では、こうした光利用細菌群集が、海域や季節によってどのような消長を示すのか、またその環境中における増殖や生残が有機物供給や光によってコントロールされている可能性について、微生物海洋学的側面から考察したい。

キーワード: 海洋細菌, 光合成細菌, ロドプシン, 光従属栄養

Keywords: marine bacteria, photosynthetic bacteria, rhodopsin, photoheterotrophy

BBG021-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

Rhopalodia 科珪藻に見られる細胞内共生シアノバクテリアの起源と分子進化 Origin and molecular evolution of endosymbiotic cyanobacteria seen in rhopalodiacean diatoms

中山 卓郎^{1*}, 池上 裕子², 中山 剛², 井上 勲², 稲垣 祐司², 笠井 文絵¹

Takuro Nakayama^{1*}, Yuko Ikegami², Takeshi Nakayama², Isao Inouye², Yuji Inagaki², Fumie Kasai¹

¹ 国立環境研究所生物圏環境研究領域, ² 筑波大学大学院生命環境科学研究科

¹NIES, ²University of Tsukuba

Rhopalodia 科に所属する *Rhopalodia* 属および *Epithemia* 属の珪藻は、細胞内に spheroid body と呼ばれる共生シアノバクテリアを有する。spheroid body の機能に関する決定的な証拠は未だ挙げられていないが、spheroid body を持つ *Rhopalodia gibba* には他の珪藻には見られない窒素固定能が認められることから、spheroid body が窒素固定の場として機能している可能性が指摘されている。興味深いことに、spheroid body は、宿主（珪藻）細胞外では生存できず、葉緑体やミトコンドリアと同様に宿主細胞に依存していると考えられている。また、Spheroid body のチラコイドは著しく退化していること、および蛍光顕微鏡下で自家蛍光を呈さないことなどから、spheroid body は既に光合成能を失っているとされる。これらのことを踏まえると spheroid body は、窒素固定に特化したオルガネラとして宿主細胞に統合されているか、もしくはその中途段階にあると考えられる。細胞内共生を通じたオルガネラ獲得は真核細胞の進化において極めて重要なイベントであるが、その進化機構を解明する上で Rhopalodia 科の珪藻が重要な手掛かりを持つ可能性は高い。しかし、これまで詳細な研究の対象となったのは Rhopalodia 科珪藻の中で *R. gibba* 一種のみであり、spheroid body の起源や進化について不明な点が多く残されている。

本研究では、まず spheroid body の起源について考察するため、複数種の Rhopalodia 科珪藻 (*Rhopalodia* 属 1 種、*Epithemia* 属 2 種) から宿主核および spheroid body の rDNA 配列を取得し、それぞれの分子系統解析を行った。宿主珪藻核の rDNA を用いた解析において、Rhopalodia 科珪藻は高いブートストラップ値によって支持される単系統群を形成した。また Spheroid body rDNA を用いた解析においても、全種の Spheroid body は単系統であることが強く示唆され、さらにその系統関係は宿主 rDNA による解析と一致していた。このことは、spheroid body が Rhopalodia 科珪藻の共通祖先によって一度だけ獲得され、宿主珪藻の種分化の過程を通じて受け継がれてきたものであることを示している。

次に、異なる種における spheroid body の分子進化を比較するために、*Epithemia turgida* の spheroid body ゲノムから窒素固定遺伝子クラスター配列を取得し、既に公開されている *R. gibba* の相同配列と比較を行った。先行研究において、*R. gibba* spheroid body の当該配列では偽遺伝子化や遺伝子の欠損などが起きていることが報告されていたが、比較の結果、*E. turgida* の spheroid body においてもほぼ同様の変異が起きていることが認められた。しかし同時に、偽遺伝子内における欠損部位などに差異も見受けられ、宿主珪藻の種分化に伴って spheroid body ゲノムにもそれぞれ独自の遺伝的変化が起きていることが示唆された。

キーワード: 細胞内共生, シアノバクテリア, 窒素固定, 珪藻

Keywords: Endosymbiosis, Cyanobacteria, Nitrogen fixation, Diatom

BBG021-P02

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

紅藻系二次共生藻類の進化・海洋進出イベントを理解する Understanding evolution and rise of algae with secondary red plastids in the sea

柏山 祐一郎^{1*}

Yuichiro Kashiyama^{1*}

¹ 筑波大学数理物質科学研究科化学専攻

¹Dept. Chemistry, University of Tsukuba

(1) 背景: Why is the land green and the ocean red? (Falkowski et al., 2003); そして”いつ”, ”どうやって”

Falkowski et al. (2004) は、生命学者と地球化学者の双方に、海洋における藻類の進化について重要な問題提起をしたランドマーク的論文である。すなわち、古生代の海洋で繁栄した緑藻のグループが、顕生代の中葉に、現在の海洋に見られるような紅藻系二次共生藻類に取って代わられている地質学的事実を提示した。古生代の藻類の化石記録はきわめて限定的だが、古生代には緑藻類が主要な基礎生産者だったと考えられ、そこから陸上植物が進化した (The land is "green")。一方、中生代に入ると、三畳系上部から渦鞭毛藻、ジュラ系から円石藻と珪藻の化石記録が始まり、その多様化は現在につながる紅藻系二次共生藻類中心の海が、中生代以降に形成されていったことを示唆する。紅藻系二次共生藻類とは一次共生藻類である紅藻を細胞内に取り込み葉緑体化し、植物的に生存可能になったプロティストのグループである (The ocean is "red")。Falkowski et al. (2004) は、この”入れ替わり”の要因として、(a) 二次共生藻類の生理学的利点 (b) 生化学的利点を挙げ、特に後者については、紅藻および紅藻系葉緑体の要求する金属が現在の海水組成により適していることを示した。しかし、彼らの説明は”入れ替わり”以前に紅藻系が繁栄しなかったこと、ゲノム解析は紅藻系二次共生藻類の成立が後期原生代まで遡ることについて矛盾する。

(2) 顕生代の藻類進化の足取りを理解するための新しい方法論の提案

本研究では、分子化石、特に化石ポルフィリンを用いた藻類進化の軌跡を理解するための新しいアプローチを提案する。化石ポルフィリンは各種クロロフィルが縮成作用を受けて堆積物中に保存される”光合成の化石”である。全ての緑藻はクロロフィル *b* を生産し、ほぼ全ての紅藻系二次共生藻類は各種クロロフィル *c* を生産し、それぞれの色素はそれぞれの分類群に特有のバイオマーカーと見なしうる。重要なことに、クロロフィル *b* とクロロフィル *c* はそれぞれ特有の化学構造を持つ化石ポルフィリンとして保存されることが、クロロフィルの化学的タフノミー研究より示唆されている (Kashiyama, 2010)。従って、堆積岩から抽出された化石ポルフィリンを調べることで、当時のクロロフィル *b* とクロロフィル *c* の相対的生産量を見積もることが可能である。筆者はさらに、熟成が進みポルフィリンが抽出されなくなった堆積岩からもクロロフィル *c* の証拠を示す分析法も開発している。近年の海洋微生物学の発展は、現在の海でもピコプランクトンとして緑藻類が量的に重要であること、化石に残らない紅藻系二次共生藻類が非常に多様であることを示しており、緑藻-紅藻系二次共生藻類の進化史は従来考えられてきたよりも複雑であると考えられる。化石ポルフィリンの研究からこれら藻類の進化の軌跡を記述することで、顕生代の藻類進化の理解に重要な貢献が可能であるといえよう。

Falkowski PG, Katz ME, Knoll AH, Quigg A, Raven JA, Schofield O & Taylor FJR (2004a) The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science* **305**, 354-360.

Falkowski PG, Schofield O, Katz ME, Van De Schootbrugge B, & Knoll AH (2004b) Why is the land green and the ocean red? In: Therstein H & Young JR (eds) *Coccolithophores*, Elsevier, pp 429-453.

柏山祐一郎 (2010) 化石ポルフィリンのタフノミー: 分子レベル同位体指標としてのポテンシャルを引き出すために. *Res. Org. Geochem.* **26**, 39-71.

キーワード: クロロフィル *c*, 紅藻系二次共生藻類, 二次共生, 葉緑体, マクロ進化, 化石ポルフィリン
Keywords: chlorophyll-c, red algae, secondary symbiosis, plastid, macroevolution, fossil porphyrin

BBG021-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

貧酸素環境に生息する底生有孔虫 *Virgulinea fragilis* の細胞内内生生物の共生機構： 特に盗葉緑体の獲得機構について Chloroplast acquisition in *Virgulinea fragilis* (foraminifera)

土屋 正史^{1*}, 豊福 高志¹, 植松 勝之², 北里 洋¹

Masashi Tsuchiya^{1*}, Takashi Toyofuku¹, Katsuyuki Uematsu², Hiroshi Kitazato¹

¹ 独立行政法人海洋研究開発機構, ² 株式会社マリン・ワーク・ジャパン

¹JAMSTEC, ²Marine Works Japan Ltd.

底生有孔虫 *Virgulinea fragilis* は、貧酸素環境に生息し、バクテリアとクレプトプラストの2種類の細胞内内生生物が見られる。それらは、貧酸素環境への適応に役割があると考えられている。本研究では、これらの内生生物の獲得様式に注目して、細胞内の内生生物の存在形態が、宿主有孔虫にとってどのような影響を与えるのかを明らかにすることにあり、盗葉緑体を中心にその獲得様式と機能を推測した。*V. fragilis* の細胞内にはプロテオバクテリアを細胞の表面付近に保持し、生息海域が異なっても同じバクテリアを持つ。分子系統樹のプロテオバクテリアの姉妹群には、有機物を利用するバクテリアが含まれ、細胞内のバクテリアも宿主が産生する有機物を効率よく利用している可能性が高い。これに対して、クレプトプラストはすべての海域で珪藻由来の葉緑体を保持するが、その種類は、海域や季節ごとに異なる。興味深いことに、珪藻葉緑体にあるはずの膜のうち、外側の膜が断片化されていることが明らかになった。他の生物でもクレプトプラストが知られているが、珪藻葉緑体をクレプトプラストとして、細胞内に保持するのは、これまでのところ、有孔虫のみである。有孔虫は、細胞内に珪藻を取り込む際に、殻を物理的にはがすことができ、細胞質を選択的に取り込むことができる。さらに、取り込まれた珪藻の細胞からは、細胞質のみ消化し、葉緑体を一定期間保持していることが観察された。このことは、宿主の細胞質と盗葉緑体の間で、物質のやり取りが可能にする戦略であると考えられる。

キーワード: 底生有孔虫, *Virgulinea fragilis*, 盗葉緑体, 共生細菌, 共生機構, 進化

Keywords: Benthic foraminifera, *Virgulinea fragilis*, Kleptoplast, symbiotic bacteria, symbiosis, evolution

BBG021-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

沿岸性小型底生有孔虫と細胞内共生藻類との関係 Relationship between coastal benthic foraminifera and its symbiotic algae

辻本 彰^{1*}, 森谷公香¹, 大谷修司¹, 野村律夫¹
Akira Tsujimoto^{1*}, Kimika Moritani¹, Shuji Ohtani¹, Ritsuo Nomura¹

¹ 島根大学 教育学部

¹ Faculty of Education, Shimane University

近年、沿岸海域において生元素 (P, N, Si) のバランスに変化が生じており、このバランス変化が植物プランクトンを基盤とする海洋食物連鎖の崩壊を引き起こす可能性が指摘されている。有孔虫の多くは藻類を摂食しており、殻の機能形態と摂食する藻類との関係が指摘されている。また、有孔虫は緑藻・紅藻・珪藻・渦鞭毛藻などの各種藻類を細胞内共生させていることも知られている。このような事実から、近年の栄養塩バランスの変化が沿岸性の有孔虫に影響を及ぼす可能性が指摘できる。大型有孔虫と共生藻類との関係に関する研究報告はあるものの、沿岸性小型底生有孔虫と藻類との関係に関する報告は少なく、その関係には不明な点が多い。このような観点のもと、現在沿岸性底生有孔虫とその共生藻類との関係に関する研究を行っている。本講演では、沿岸性小型底生有孔虫の細胞内から単離培養された藻類について報告する。

日本海に面する島根県松江市島根町の海岸や中海、大阪湾の沿岸域で試料となる底生有孔虫を採取した。島根町の海岸で採取した有孔虫は海藻や現場海水とともに実験室に持ち帰り、恒温水槽内で飼育した。島根町の海岸域では、海藻付着型の *Amphistegina* や *Glabratella*, *Quinqueloculina* などの有孔虫が多く存在した。現場海水を滅菌処理し、ダイゴIMK培地および Na_2SiO_3 を添加して藻類培養のための培地を作成した。滅菌海水を用いて有孔虫殻を洗浄した後、実体顕微鏡下で有孔虫殻を破壊して原形質を分離した。分離した原形質を滅菌海水を用いて数回洗浄し、培地を分注した10mlの試験管を用いて20℃、12時間明期・12時間暗期に設定した培養器内で培養した。*Amphistegina* や *Glabratella*, *Quinqueloculina*, *Ammonia beccarii* などの有孔虫種に関して藻類の単離培養を試みたところ、各種の有孔虫試料から藻類の増殖が確認された。増殖した藻類のほとんどが珪藻類であり、珪藻の *Cylindrotheca closterium* は *Amphistegina* や *Quinqueloculina*, *A. beccarii* などの有孔虫種から産出したが、*A. beccarii* からの出現率が高かった。また、*Amphistegina* からは珪藻の *Nitzschia* sp. が、*Glabratella* からは珪藻の *Amphora* sp. などが特徴的に産した。摂食された藻類が未消化のまま残存していた可能性も考えられるものの、各種有孔虫と藻類の間にはある種の嗜好性が存在する可能性がある。

キーワード: 底生有孔虫, 共生藻類, 珪藻

Keywords: benthic foraminifera, symbiotic algae, diatom

BBG021-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

岩礁地性底生有孔虫 *Planoglabratella opercularis* にみられる盗葉緑体の共生機構の解明 Kleptoplastidy in the benthic foraminifera *Planoglabratella opercularis* (d'Orbigny)

宮脇 省次^{1*}, 植松 勝之³, 土屋 正史², 多米 晃裕³, 三宅 裕志¹

Seiji Miyawaki^{1*}, Katsuyuki Uematsu³, Masashi Tsuchiya², Tame Akiniro³, Hiroshi Miyake¹

¹ 北里大学大学, JAMSTEC, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ (株) マリン・ワーク・ジャパン

¹JAMSTEC/Kitasato Univ., ²JAMSTEC, ³Marine Works Japan LTD.

本研究では、底生有孔虫 *Planoglabratella opercularis* (d'Orbigny) に共生する藻類の存在形態を明らかにし、与える藻類の違いが葉緑体の取り込み・維持期間・消化にどのように影響するのかを明らかにすることを目的とし、有孔虫類にも見られる特殊な共生機構（盗葉緑体現象）が宿主有孔虫の代謝に欠かせないものであるか検証することを目標とする。

有孔虫類は、様々な種類の藻類が共生していることが知られている。有孔虫に見られる共生藻類は、緑藻、紅藻、褐藻、渦鞭毛藻、珪藻などが知られており、進化の系統によって共生させる藻類の違いが見られる。また、共生藻類は石灰質殻を持つ有孔虫にのみ見られるものであり、有孔虫の種分化や石灰質有孔虫類の多様性が増大するきっかけになっていると考えられる。浮遊性有孔虫の場合、共生藻類は殻の形成に深く関与しているという報告があるが、その機構については、不明なままである。有孔虫は、共生藻類を獲得する事で貧栄養海域に適応するとともに、細胞を大型化させる（大型有孔虫類の進化）ことが可能となり、生殖の際に生じる配偶子数やクローン個体の数を増加させることができ、より大きな集団を形成することができるなど、共生によって種の多様化、多様な環境への適応が促されていると考えられる。

一方、有孔虫には藻類の共生とは異なる共生様式として盗葉緑体が明らかになっている。盗葉緑体は、外来性の藻類の葉緑体を取りこみ、まるで宿主のオルガネラのように細胞内に保持する現象である。これまでの研究では、盗葉緑体が実際に光合成能を示唆しているが、その取り込みや維持期間についての報告はない。このため、どのような要因で葉緑体が駆動するかは、確かな結論は得られていない。

これまでに *P. opercularis* の共生生物に関する報告はないが、予察的な蛍光顕微鏡下の観察では、細胞質内に赤色の自家蛍光が確認された。このことから共生藻もしくは盗葉緑体を持っている可能性が考えられる。また、絶食状態で飼育すると細胞質の色が時間経過とともに退色していくため、ただ保持し一定期間機能を持たせるだけでなく時間経過と共に消化吸収されていることも示唆される。本研究では、細胞質内で葉緑体がどのように変化するのかを、実体顕微鏡、蛍光顕微鏡、位相差倒立顕微鏡で観察するとともに、時間経過とともに段階的に固定し、透過型電子顕微鏡 (TEM) で細胞内の微細構造を観察した。また、どのような共生藻類が細胞内に存在するのかを、DNA 塩基配列を決定し、分子系統解析を行うことで取り込まれる葉緑体の特異性を調べた。

TEM による細胞内の超微細構造観察の結果、底生有孔虫 *P. opercularis* で、はじめて盗葉緑体を確認した。得られた塩基配列は、Genbank データベースにある *Amphora ovalis* と uncultured diatom のそれぞれの珪藻種とは 98 % 前後の相同性を持つ。本有孔虫種が保持している葉緑体は、クサリ珪藻綱の珪藻類であることが明らかになったが、その種の特定には至っていない。

蛍光顕微鏡観察では、時間経過とともに、盗葉緑体が退色する傾向が明らかになった。絶食状態では、2週間以内に盗葉緑体は消化されることから、頻りに珪藻を取り込み、盗葉緑体として保持する必要がある。また、珪藻以外の藻類で盗葉緑体現象が観察できるかどうかを明らかにするため、生きたクロレラと殺したクロレラをそれぞれ与えて細胞の変化を追跡した。その結果、両方の条件で、クロレラを取り込みを確認できた。殺したクロレラの自家蛍光は非常に微弱であるが飼育期間を通して生きたクロレラと死んだクロレラを与えたものの蛍光強度の差は少なかった。絶食個体と餌を与えた個体の比較からエネルギー源となりうるものを取り込むことで、積極的に盗葉緑体を維持していることが推測できる。

BBG021-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

放散虫に共生する藻類の多様性 Diversity of symbiotic algae in Radiolaria

湯浅 智子^{1*}, 堀口健雄²

Tomoko Yuasa^{1*}, Takeo Horiguchi²

¹ 東京学芸大・自然科学系, ² 北海道大学院・理学研究院

¹Tokyo Gakugei University, ²Hokkaido University

Acantharea, Polycystinea, および Phaeodarea は浮遊性原生生物で, 熱帯から極海までの広い海域に分布している. これら 3 綱に対して, “放散虫” という総称が多くの研究者によって用いられており, 近年, 18S rDNA 領域を用いた分子系統解析が報告され (例えば Polet et al., 2004; Yuasa et al., 2005; Kunitomo et al., 2006), Rhizaria としてまとめられている.

これら 3 綱のうち Polycystinea は一般に細胞内部に共生藻を宿しており, 光合成を行うことのできる共生体の獲得は, 放散虫が地質時代における幾度も生物絶滅期を乗り越えられた要因のひとつだと考えられている. これまで, 渦鞭毛藻・プラシノ藻・ハプト藻の電子顕微鏡観察, および分子系統解析の報告がされているが (Anderson, 1983; Gast and Caron, 1996 など), 共生している状態の時は同定に必要な細胞外被や鞭毛などの形態的特徴が欠けているため, それらがどのような種であるのか同定はなされていない. 本研究では, Polycystinea に共生している藻類の分子系統解析, および超薄切片の電子顕微鏡観察を行い, その系統および分類学的位置を検討した.

キーワード: 放散虫, 共生, 藻類, Polycystinea, 微細構造, 18S rDNA

Keywords: Radiolaria, symbiosis, algae, Polycystinea, ultrastructure, 18S rDNA

BBG021-P07

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

琵琶湖北湖における *Synechococcus* spp. の遺伝的多様性と群集動態 Genetic diversity and community dynamics of *Synechococcus* spp. in the northern basin of Lake Biwa

大久保 智司^{1*}, 細川 由貴¹, 石川可奈子², 宮下 英明¹
Satoshi Ohkubo^{1*}, Yuki Hosokawa¹, Kanako Ishikawa², Hideaki Miyashita¹

¹ 京大院 人間・環境, ² 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

¹ Grad Sch of Human Env Stud, Kyoto Univ, ² LBERI

Synechococcus 属は細胞サイズが 0.8-2.0 μm の単細胞シアノバクテリアである。このような細胞サイズのプランクトンをピコプランクトン (0.2-2.0 μm) と呼ぶが、*Synechococcus* のようなピコ植物プランクトンは、様々な水圏生態系において重要な一次生産者の一つである。湖沼に優占するピコ植物プランクトンの多くは、海産の *Synechococcus* や *Prochlorococcus* を含む「ピコ植物プランクトンクレード」(sensu Urbach et al. 1998) と呼ばれる系統群に属する、淡水性の *Synechococcus* 属シアノバクテリアであることが知られている (Becker et al. 2004)。琵琶湖の北湖では、このようなピコシアノバクテリアの存在量が、最も多い夏季には 10^5 - 10^6 cells/ml レベルに達し、全体のクロロフィル量に占めるピコシアノバクテリアのクロロフィル量の割合が約 45% に達すると報告されている (Nagata 1986)。琵琶湖におけるピコシアノバクテリアの存在量は季節的に変動するが、一年を通して常に 10^3 cells/ml 以上存在しており、湖内の物質循環や生態系に大きな影響を与えていると考えられる。琵琶湖ではこれまでに細胞の色調や系統的位置の異なる 3 株の *Synechococcus* spp. (ピンク株、グリーン株、ブラウン株) が分離されており (Maeda et al. 1992)、これらが琵琶湖に出現する主たるピコシアノバクテリアであると考えられていた。しかし、細胞サイズが小さく形態が単純であることから、顕微鏡下での形態や色調観察によってピコシアノバクテリアの違いを識別・同定するのは困難であり、実際に琵琶湖の湖水中に存在する *Synechococcus* spp. の多様性やその動態についてはわかっていない。最近では、DNA をマーカーとした分子生物学的手法によって、環境中に存在する微生物の多様性や群集構造に関する解析が可能となってきた。そこで本研究では、分子生物学的手法を用いて琵琶湖北湖の湖水中に存在する *Synechococcus* spp. の遺伝的多様性とその垂直分布、季節変動について解析した。

2009年4月から2010年3月にかけて、琵琶湖北湖の地点 N4 (35°22'44"N, 136°5'43"E) において月に1回採水を行った。採水はニスキン採水器を用いて表層から湖底直上まで深度別に行い、GF/F ガラス繊維ろ紙 (直径 25 mm) を用いて各深度の湖水 1 L を吸引し、ろ紙から DNA を抽出し、それを鋳型として、単細胞シアノバクテリアの 16S rRNA 遺伝子に特異的なプライマーセット GC-CYA353F/CYA781R(b) を用いて PCR を行った。増幅された PCR 産物を変性剤濃度勾配ゲル電気泳動 (DGGE) によって分離し、互いに移動度の異なるバンドを切り出してその塩基配列を決定した。さらに、得られた塩基配列情報を用いて系統解析を行った。

PCR-DGGE によって検出された塩基配列のうち、*Synechococcus* に由来するものは全て「ピコ植物プランクトンクレード」に属した。各系統型の系統関係について解析したところ、クレード内でさらに 14 の異なるサブグループに分かれた。これまでに分離されている株のうち、ピンク株と同じ、あるいは近縁な系統型は 4-8 月、および 1-3 月のサンプルから検出され、DGGE バンドの濃さからこの時季のピコシアノバクテリア群集中で最も量の多い系統型の 1 つであると考えられた。一方、グリーン株、ブラウン株と近縁な系統型は 8 月の 0-10 m のサンプルからのみ検出され、夏季のピコシアノバクテリアの増加はこれらの系統型の増加が影響していると考えられた。また、9-12 月にかけて相対的に多く検出された系統型は、これまで琵琶湖で報告されたことのないものであった。深度別に比較すると、6-9 月のサンプルでは検出される系統型の組成が深度によって異なっていた。表面から温度躍層まで (0-20 m) は 1 つもしくは 2 つの系統型が相対的に多かったが、それよりも深い所では存在する系統型やその組み合わせが深度によって異なっていた。それに対して、4-5 月および 10-3 月のサンプルでは、表層から湖底直上まで検出される系統型の組成はほとんど変わらなかった。以上の結果から、琵琶湖には、これまでに分離されている株とは異なる複数の系統型の *Synechococcus* spp. が存在することが明らかとなった。また、群集内で優占する系統型や各系統型の垂直方向の分布パターンが月によって異なっており、琵琶湖の *Synechococcus* spp. は季節によってその存在量が変動するだけでなく、出現する系統群やそれらの組成も変動していることが明らかとなった。

キーワード: シアノバクテリア, ピコプランクトン, シネココッカス, 琵琶湖, 群集動態

Keywords: cyanobacteria, picoplankton, *Synechococcus*, Lake Biwa, community dynamics

BBG021-P08

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

分子生物学的手法を用いた琵琶湖北湖の植物プランクトンの多様性解析 Analysis of Genetic Diversity of Phytoplankton in Lake Biwa using Molecular Biological Technique

細川 由貴^{1*}, 大久保 智司¹, 石川 可奈子², 宮下 英明¹
Yuki Hosokawa^{1*}, Satoshi Ohkubo¹, Kanako Ishikawa², Hideaki Miyashita¹

¹ 京都大学大学院人間・環境学研究科, ² 滋賀県琵琶湖環境科学研究センター

¹ Grad Sch Human Environ Stud, Kyoto Univ, ² Lake Biwa Environmental Research Institute

琵琶湖は日本最大の面積を誇る湖であり、古い歴史をもつことが知られている。また、さまざまな生物を育み、微生物や魚類において多くの固有種や希少種が生育していることでも知られており、生物学的にも高い関心を持たれている。このため、琵琶湖における植物プランクトンの調査は長期に渡って続けられており、これまでに500種以上の植物プランクトンが分類・同定されているほか、全菌数や種構成の季節変動などのデータの蓄積も多い。

近年では分子生物学的手法によって環境中に存在する微生物の多様性や群集構造を解析することが可能となっている。そこで本研究では、分子生物学的手法のひとつであるPCR-変性剤濃度勾配ゲル電気泳動(PCR-DGGE)法を用いて、琵琶湖北湖(N4地点)における植物プランクトン群集構造の垂直分布と周年変動を解析した。

2009年4月から翌年3月に琵琶湖北湖N4地点(35°22'44"N, 136°5'43"E, 水深約90m)において表層から湖底直上まで10mおきに採取した湖水を、GF/Fガラス繊維濾紙で吸引ろ過し、全DNAを抽出した。これを鋳型として、GC-341F/CYA781Rプライマーセットを用いてPCR-DGGEを行った。得られたバンドの塩基配列を決定し、相同性の高い配列をBLAST検索するとともに系統樹を作成して生物種を推定した。

この結果、12月から4月には珪藻類とクリプト藻類が、5月から10月にはシアノバクテリアが優勢して検出されるという、大まかな季節変動があることが分かった。特にシアノバクテリアに関しては、顕微鏡下では認識されていなかった多様な遺伝子型が検出された。さらに、*Radiocystis* sp. や *Acaryochloris* sp. など琵琶湖未記載の種が存在することや、既報のものとは異なる多様な *Synechococcus* sp. が存在することが明らかになった。

琵琶湖において本方法を用いた研究をさらに続けることにより、未記載の種の存在を示すこと、より詳細な多様性を明らかにすることができると思われる。

キーワード: 植物プランクトン, 多様性, 周年変動, PCR-DGGE

Keywords: phytoplankton, diversity, seasonal variation, PCR-DGGE

海洋性酸素非発生型好気性光合成細菌・*Roseobacter*属と*Erythrobacter*属の光合成特性 Photosynthetic characteristics of marine aerobic anoxygenic phototrophic bacteria *Roseobacter* and *Erythrobacter* strains

佐藤 由季^{1*}, 浜崎恒二², 鈴木光次³
Yuki Sato^{1*}, Koji Hamasaki², Koji Suzuki³

¹北海道大学大学院・環境科学院, ²東京大学・大気海洋研究所, ³北海道大学大学院・地球環境科学研究所

¹GSES, Hokkaido University, ²AORI, the University of Tokyo, ³FEES, Hokkaido University

<導入> 光合成色素バクテリオクロロフィル (BChl) *a*を有する酸素非発生型好気性光合成細菌 (Aerobic Anoxygenic Phototrophic bacteria: AAnPB) は、光栄養と従属栄養の両方の栄養様式を用いて増殖することが出来る。そのため、AAnPBの代謝様式は「光従属栄養」と呼ばれている (Yurkov and Csotonyi 2009)。近年、AAnPB と、プロテオロドプシンを有する細菌やシアノバクテリアである *Prochlorococcus* を含むその他の光従属栄養生物とを合わせて、生命活動におけるエネルギー獲得の観点から、新しい機能グループとして分類してきた (Beja and Suzuki 2008; Cottrell and Kirchman 2009)。

生態学的な観点では、Kolber et al. (2001) は、AAnPB は外洋表層において全菌数に対し少なくとも11%を占めると報告した。その後、AAnPB は海洋表層に広く分布しており、その現存量の時空間変動は大きいことが明らかとなってきた (例えば、Schwalbach and Fuhrman 2005; Lami et al. 2007)。しかしながら、AAnPB 群集の動態を何が支配しているのかということは未だに明らかにされていない。この一つの理由として、AAnPB の生理生態学的特性が未だによく理解されていないことがある。例えば、AAnPB の増殖に対する光合成の寄与はほとんど定量化されていない (Yurkov and Csotonyi 2003)。一方、海洋性 AAnPB の単離株のほとんどは *Roseobacter* 属と *Erythrobacter* 属から得られている。Koblizek et al. (2003) は、*Erythrobacter* 属に属する単離株を数種用いて、16S rRNA 遺伝子と *pufM* 遺伝子の塩基配列、増殖速度、生体内の吸収スペクトル、励起蛍光スペクトル、色素組成の観点から、その生化学的および生理学的特性を決定した。さらに、Koblizek et al. (2010) は、*Roseobacter* クレードに属する AAnPB (COL2P 株) の光合成特性を明らかにした。しかしながら、他の AAnPB については未だ報告がなく、更に、*Roseobacter* 属と *Erythrobacter* 属の光合成特性の違いも不明なままである。

<目的> 本研究の目的は、異なる2属の AAnPB、*Roseobacter* 属および *Erythrobacter* 属の単離株の光合成特性における相同性と相違性を明らかにすることである。

<方法> 沿岸域から *Roseobacter* 属に属する海洋性 AAnPB (OBYS 0001 株) を分離し、生理学的および生化学的特性を、特に光合成特性に注目して調べた。その際、比較対象として *Erythrobacter longus* NBRC 14126 タイプストレイン株を用いた。ZoBell 2216E 液体培地中で20度で培養し、増殖期ごとに以下の4項目の測定を行った。1. 増殖速度 (蛍光顕微鏡直接計数法)、2. 光合成活性 (バクテリオクロロフィル可変蛍光光度法)、3. 光合成色素分析 (高速液体クロマトグラフィー)、4. 光学特性分析 (分光蛍光光度法)。

<結果および考察> 増殖曲線は、OBYS 0001 株および NBRC 14126 とともに同じパターンを示した。細胞内 BChl *a* 濃度は、両株ともに定常期において最大となった。生体内の励起蛍光スペクトル/光学密度は、OBYS 0001 株が 470-600 nm の領域で NBRC 14126 株よりも高い値を示した。可変蛍光測定では緑色光励起下で、OBYS 0001 株の光化学系 II の有効光吸収断面積 (sigma PSII) が、NBRC 14126 株より大きかった。これらの結果は、*Roseobacter* が *Erythrobacter* より、緑色光を効率的に捕集していることを示唆している。一方、光化学系 II の光化学反応の量子収率 (F_v/F_m) は、OBYS 0001 株では常に NBRC 14126 株よりも低い値であった。また、OBYS 0001 では、 F_v/F_m と増殖速度との間には有意な正の相関 ($p < 0.05$) があつたが、NBRC 14126 株ではなかつた。これらの結果が示唆することは、AAnPB には、 F_v/F_m を単純に増殖速度のプロキシとして用いることは出来ないということであり、この不確実性は AAnPB の従属栄養性に起因しているのかもしれない。

キーワード: 酸素非発生型好気性光合成細菌, *Roseobacter*, *Erythrobacter*, 可変蛍光, 吸収スペクトル, 励起蛍光スペクトル
Keywords: aerobic anoxygenic phototrophic bacteria, *Roseobacter*, *Erythrobacter*, variable fluorescence, absorption spectrum, fluorescence excitation spectrum

Japan Geoscience Union Meeting 2011

(May 22-27 2011 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



BBG021-P10

会場:コンベンションホール

時間:5月26日 10:30-13:00

pH環境を制御した有孔虫飼育実験 Environmental pH effect on living foraminifera

豊福 高志^{1*}

Takashi Toyofuku^{1*}

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

近年、大気中の人為起源二酸化炭素が増加し続けている。従来からこの二酸化炭素を始めとする温暖化ガスの影響による地球温暖化が重要な環境問題として認識されていた。最近になって、二酸化炭素が海洋に溶解することに起因する、海洋の酸性化が新たな問題としてクローズアップされ始めている。海洋が酸性化した場合、炭酸カルシウムの殻を持つ生物にどのような影響を与えるかについては現在様々な実験で調べられているところである。本研究では実験室内に異なるpH環境を再現し、海洋の主要な炭酸塩生産者のひとつである有孔虫を飼育し、殻形成や生態に与える影響を検討する。

キーワード: 有孔虫, pH, 飼育実験

Keywords: foraminifera, pH, culture experiment