

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 μm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 μmの原核生物と100 μm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

Japan Geoscience Union Meeting 2011

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

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



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

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*

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き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

Japan Geoscience Union Meeting 2011

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

©2011. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



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 μ m 以下の細胞サイズの種は約 20 種、3 μ m 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、近年の研究成果を紹介する。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