

藻類

The Japanese Journal of Phycology (Sôru)

第44巻 第2号 1996年7月10日



日本藻類学会

日本藻類学会は1952年に設立され、藻学に関心を持ち、本会の趣旨に賛同する個人及び団体の会員からなる。本会は定期刊行物 *Phycological Research* (英文誌) を年4回、「藻類」(和文誌) を年3回刊行し、会員に無料で頒布する。普通会員は本年度の年会費7,000円(学生は5,000円)を前納するものとする。団体会員の会費は12,000円、賛助会員の会費は1口20,000円とする。

問い合わせ、連絡先：(庶務) 〒060 北海道札幌市北区北10条西8丁目 北海道大学理学研究科生物科学専攻系統進化学講座 堀口健雄 (TEL 011-706-2745, FAX 011-746-1512, e-mail horig@s1.hines.hokudai.ac.jp), (会計) 〒060 北海道札幌市北区北10条西8丁目 北海道大学理学研究科生物科学専攻系統進化学講座 小亀一弘 (TEL 011-706-2745, FAX 011-746-1512, e-mail kogame@s1.hines.hokudai.ac.jp), (入退会、住所変更、会費) 〒305 茨城県つくば市天久保4-1-1 国立科学博物館植物研究部 北山太樹 (TEL 0298-53-8975, FAX 0298-53-8401)

和文誌「藻類」への投稿：〒305 つくば市天王台1-1-1 筑波大学生物科学系 井上 勲 (TEL 0298-53-6655, FAX 0298-53-6614, e-mail iinouye@sakura.cc.tsukuba.ac.jp)

英文誌 *Phycological Research* への投稿：〒657 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学内海域機能教育研究センター 川井浩史 (TEL 078-803-0552, FAX 078-803-0488, e-mail kawai@gradura.scitec.kobe-u.ac.jp)

1995-1996年役員

会 長：吉田忠生 (北海道大学)

庶務幹事：堀口健雄 (北海道大学)

庶務幹事：北山太樹 (国立科学博物館) (会員事務担当)

会計幹事：小亀一弘 (北海道大学)

評 議 員：藤田雄二 (長崎大学)

原 慶明 (山形大学)

川井浩史 (神戸大学)

熊野 茂

増田道夫 (北海道大学)

中野武登 (広島大学)

岡崎恵視 (東京学芸大学)

奥田一雄 (高知大学)

奥田武男

田中次郎 (東京水産大学)

谷口和也 (東北区水産研究所)

渡辺 信 (国立環境研究所)

渡辺 信 (富山大学)

山本弘敏 (北海道大学)

横浜康継 (筑波大学)

吉崎 誠 (東邦大学)

和文誌編集委員会

委員長：井上 勲 (筑波大学)

実行委員：藤田大介 (富山県水産試験場)

堀口健雄 (北海道大学)

飯間雅文 (長崎大学)

出井雅彦 (文教大学)

片山舒康 (東京学芸大学)

川口栄男 (九州大学)

前川行幸 (三重大学)

宮村新一 (筑波大学)

奥田一雄 (高知大学)

白岩善博 (新潟大学)

田中次郎 (東京水産大学)

委 員：日野修次 (山形大学)

堀 輝三 (筑波大学)

市村輝宜 (北海道大学)

石川依久子 (東京学芸大学)

真山茂樹 (東京学芸大学)

増田道夫 (北海道大学)

中原紘之 (京都大学)

大野正夫 (高知大学)

都筑幹夫 (東京薬科大学)

横浜康継 (筑波大学)

渡辺 信 (富山大学)

日本藻類学会秋季シンポジウムのお知らせ

秋季シンポジウムおよび懇親会を、日本植物学会第60回大会（福岡、九州大学）の前日に下記のように開催します。多くの方のご参加をお願いします。

日時：1996年10月9日（水） 15:30-17:30 シンポジウム
18:00-20:00 懇親会

シンポジウム・懇親会会場：九州大学六本松地区（〒810福岡市中央区六本松4-2-1）

（植物学会会場と同じ場所ですが、農学部のある箱崎地区とは異なりますのでご注意ください。六本松地区へは、博多駅および天神よりバスが多数でており、約30分、九大前下車となります。なお、会場となる教室は当日六本松キャンパス入口に掲示いたします。）

演者・演題（座長：奥田武雄）

- (1) 礁池におけるモズク類2種の生態と養殖 沖縄県農林水産部 当間 武
- (2) 長崎県下における磯焼けとその回復のための技術的問題 長崎県水産試験場 四井敏夫

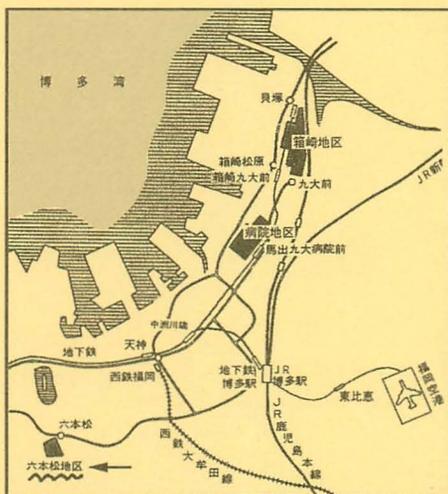
懇親会参加申し込み：懇親会参加ご希望の方は、はがき又はFAXにて氏名・所属をご記入の上、申込み期限までに世話人（下記）宛お送り下さい。e-mailでの申込みでも結構です。会費は当日会場にてお支払い下さい。（シンポジウムのみ参加される方は必要ありません）

懇親会費用：3,000円

申込み期限：1996年8月末日

世話人：川口栄男

〒812福岡市東区箱崎6-10-1
九州大学農学部水産学第2教室
Tel: 092-642-2892, Fax: 092-642-2907
e-mail: skawagu@agr.kyushu-u.ac.jp



日本藻類学会第21回大会（広島）

日本藻類学会第21回大会を下記の日程で開催いたします。

平成9年3月26日（水）
エクスカーショ
編集委員会
評議委員会
3月27日（木）：シンポジウム
研究発表会
総会
懇親会
3月28日（金）：研究発表会

大会会場：広島大学理学部（東広島市鏡山1-3-1）

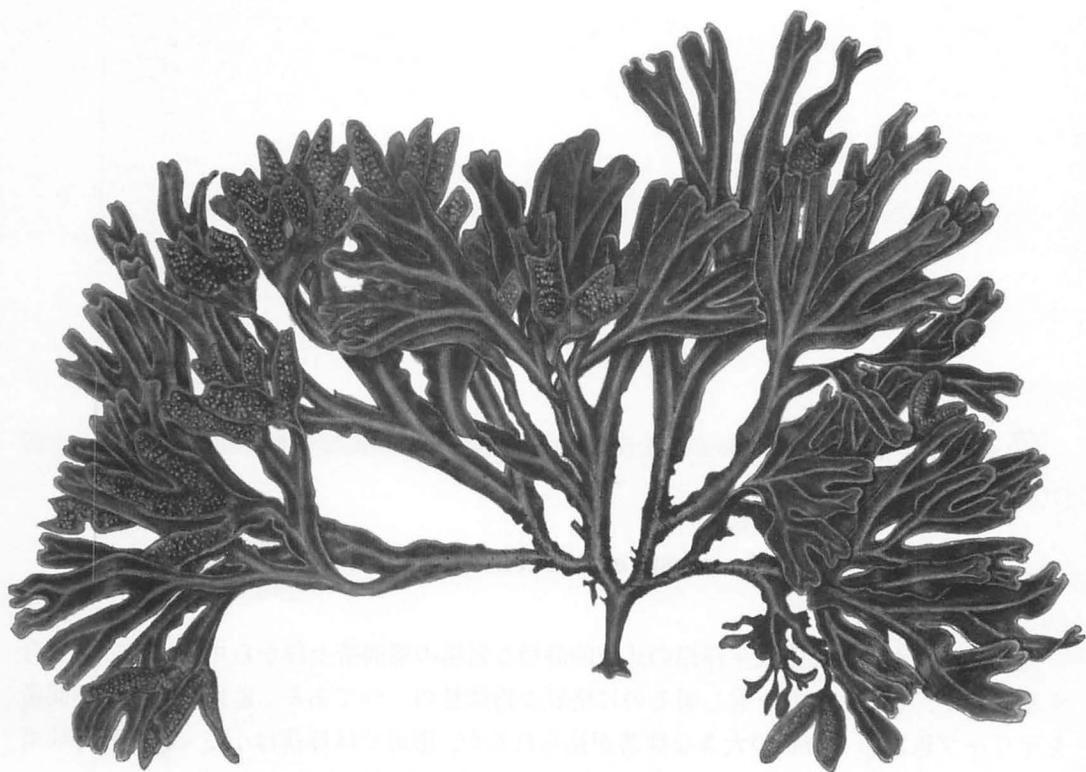
研究発表は口頭とポスターを考えています。

大会の詳細については、次号に掲載しますが、ご連絡などありましたら、下記をお願いいたします。

世話人：中野武登

Tel. 0824-24-7452, Fax: 0824-24-7452

e-mail: tnakano@alpha01.sci.hiroshima-u.ac.jp



藻類アート

Fucus distichus L. subsp. *evanescens* (C. Ag.) Powell ヒバマタ

褐藻ヒバマタは北海道太平洋岸の比較的静穏な岩場の潮間帯上部から中部にかけて生育する海藻で、寒流の勢力を推し測るのに格好な指標種の一つである。道東地方では潮間帯をオリーブ色に彩る帯状の大きな群落が見られるが、道南では群落は小さく、津軽海峡東口に近い汐首岬あたりでは1~2本の藻体が稀に生えるだけになる。

かつてアラスカ南東部のニシン漁業の基地シトカの入江で、干潮時にヒバマタによく似た *Fucus* の大群落を見て驚いたことがある。それから十数年後、シトカからやって来た三人の研修生をつれてデパート探訪にでかけ、偶然にもこの海藻にニシンが卵を産みつけた偽物の「子持ち昆布」を発見し、彼らの "Crazy!" という声を背に買い求めて試食してみた。結果は期待通り (?) crazy な味であった。ヒバマタを見るたびにアラスカの海岸に群生していた *Fucus* の情景と、その時の彼らの不思議そうな顔を思い出す。

絵は6月に厚岸で採集した標本に依った。

藻類の光合成系で機能するタンパク質の系統性と進化

三室 守

基礎生物学研究所 (444 岡崎市明大寺町西郷中 38)

Mamoru Mimuro 1996. Phylogeny and evolution of proteins functioning in algal photosynthetic systems. Jpn. J. Phycol. (Sôri) 44: 75-86.

Phylogeny of several kinds of proteins functioning in algal photosynthetic systems is discussed on the basis of primary structure and pigment composition. A relationship of antenna pigment-protein complexes and reaction center (RC) complexes among different phyla is the primary point of discussion. The RC complexes are strictly preserved in algae, and this is, in principle, also the case for antenna proteins, however antenna pigments show diversity, which results in a difference in apparent color. An appearance of cyanobacteria is discontinuous step for the evolution of photosynthetic organisms, and some processes to appearance of cyanobacteria are discussed. Finally, the origin of two kinds of reaction center complexes found in algae was searched in photosynthetic bacteria, and the phylogeny and continuity of reaction center complexes and antenna polypeptides is discussed between algae and photosynthetic bacteria.

1. 藻類の系統性

光合成は植物の最も基本的な代謝反応である。その反応機構は、ラン藻から高等植物に至るまで基本的には同じ機構が働いていると考えられている。したがって、この反応系で観察される変異（光合成色素の変化など）は、分類群の指標とされるほどである。図1に現在受け入れられている藻類から高等植物に至る系統性を示す。

ラン藻を起源として、紅藻、クリプト藻、渦鞭毛藻、黄色藻類、緑色藻類に分類されている。これらの系統性を光合成色素の分布を基に考えると、原核生物であるラン藻は、クロロフィル(Chl) aとフィコビリナンパク質を色素として持つ。Chl aとbを持つプロクロロムも原核生物である。ラン藻は真核生物との共生により紅藻へと進化し、紅藻が総ての真核光合成生物の基になったと考えられる。紅藻はラン藻と同じ光合成色素組成を持つ。紅藻と同じくフィコビルンを持つ藻類としてクリプト藻が存在する。クリプト藻はChl cを同時に持つようになった。さらに、紅藻を基に、Chl a, Chl c, 種に特徴的なカロテノイドを持つ黄色藻類, Chl a,

Chl b, ルテインを持つ緑色藻類, が独自の方向に進化した。これらとは異なる特異な系統を持つものとして渦鞭毛藻がある。これは、葉緑体を持たず摂餌によりエネルギーを得る種から、他の生物との強い共生性を完了させている種まで非常に幅の広い生物群である。Chl a, Chl cの他に特徴的な光合成色素、ペリディニンというカロテノイドを含んでいる（後述）。

こうした藻類の発展段階では、原核-真核, 真核-真核の藻類の間での共生関係が、種の多様性, 進化のひとつの原動力になっていることが知られている(原1995)。葉緑体を取り囲む膜系の統一的な解釈には、真核生物の間の共生は大きな説得力を持つ。こうした過程では、光合成反応を担う機能タンパク質も系統的に分布することが容易に想像できる。そこでこの稿では、(1) 藻類の光合成で機能するタンパク質の系統性を探り、その起源を光合成細菌に求める、(2) ラン藻(ラン色細菌)の出現の意味を、藻類という観点ではなく光合成生物という観点から統一的に思考する、という点を中心に解説していく。

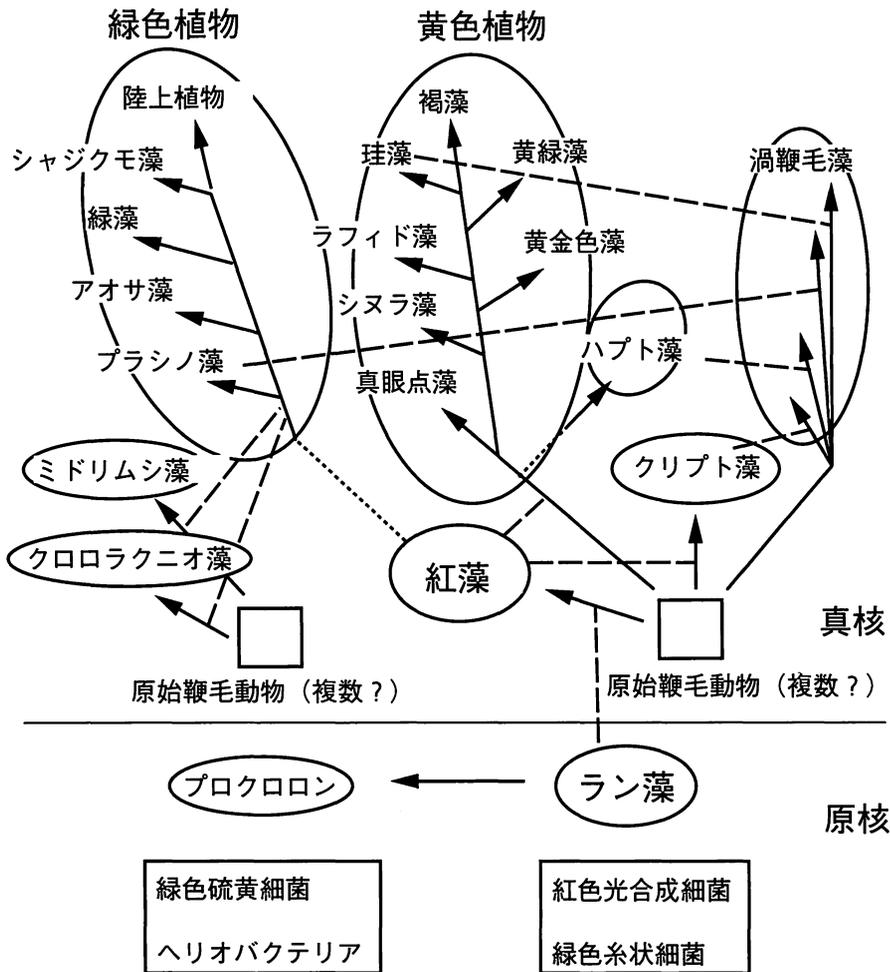


図1 藻類の系統性. 神戸大学, 川井博士によって作成された図を使用。点線は系統的な関係を, 破線は共生が起こった事を示す。

2. 光合成反応系と機能タンパク質

光合成反応系の構成, 基本的な反応は次のように理解されている (図2)。反応はチラコイド膜上に配置された構成要素によって担われる。光合成色素により吸収された光エネルギーは, 色素の間を受け渡され, 最終的に反応中心分子へ集められる。反応中心では, 光合成反応の最も重要な光電変換反応が起こり, 光エネルギーは電気エネルギーへと変えられる。藻類などの酸素を発生する光合成系では, 2種類の反応中心が存在し, 互いに協調的に働くことによって反応を進める。光化学系2反応中心 (PS 2 RC) は, 水を酸化する

ことによって電子を供給する。光化学系1反応中心 (PS 1 RC) は, NADP⁺を還元する。反応中心で駆動された電子の流れは, 電子伝達成分 (シトクロム b₆-f) を通る間にプロトン移送と共役して, 膜の両面でのプロトンの濃度勾配を作る。これがATP合成に用いられる。生成したNADPHとATPはCO₂固定に使われる。

こうした基本的な構成成分の中で, 電子伝達に関与する成分は, ラン藻から高等植物までの間でほとんど変化していないことが知られている。電子伝達系が高度に完成したシステムであり, 許される変異の幅が小さかった, と理解できる。一方, 光を集めるアンテナ系では色素の変異が知られている。そこで, このふた

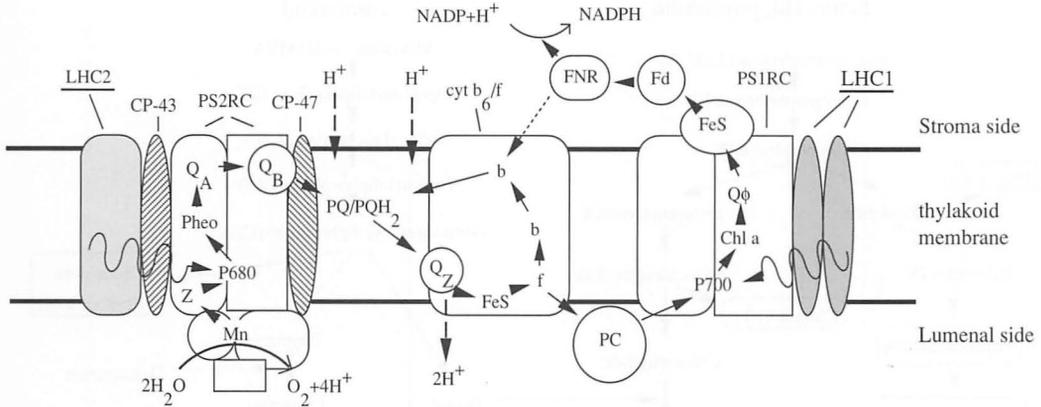


図2 高等植物・藻類での光合成反応系の模式図

チラコイド膜に配置されたアンテナ色素タンパク質、電子伝達に関与するタンパク質を示す。影を付けた部分はアンテナ色素タンパク質を示し、その中で、下線を付したものはペリフェラルアンテナを、それ以外はコアアンテナを意味する。矢印のついた実線は電子の流れを、破線はプロトンの流れを、波線はエネルギーの流れを示す。

Mn, マンガン分子; Z, チロシン残基; P680, PS2RCの電子供与体; Pheo, PS2RCの電子受容体; Q, キノン; FeS, 鉄硫黄クラスター; f, シトクロム f, b, シトクロム b, PC, プラストシアニン; P700, PS1RCの電子供与体; Chl a, PS1RCの電子受容体; Qφ, キノン; Fd, フェレドキシン; FNR, フェレドキシン-NADP還元酵素

つの種類の機能タンパク質を基にして、藻類の系統関係を考えてみる。

2-1. 反応中心の系統性

2-1-1. 光化学系1反応中心 (PS 1 RC)

藻類と高等植物のPS 1 RCは、分子量82 kD (*psa A*), 84 kD (*psa B*) のふたつのポリペプチドから構成される (Fish and Bogorad 1985)。一次構造が基本的に似ているので、起源は同一であり、遺伝子重複・変異が加わった結果、現在ようになったと解釈できる。相同性の高いふたつのポリペプチドから構成されることから、ヘテロダイマー型反応中心と呼ばれる。ラン藻と高等植物での相同性は、*psa A*, *psa B* でそれぞれ76%, 70%で、よく保存されている。

PS 1 RC複合体には多くの色素が結合している。電子供与体はChl a 2量体 (スペシャルペアーと呼ばれる)、電子受容体はChl a単量体であるが、結合している色素の全量は、約100分子のChl aと15-20分子のβ-caroteneである。電子伝達に関与しない色素はアンテナ色素として機能する。アンテナ色素も含む反応中心であることから、Antenna/Reaction Center Complex (A/R complex) と呼ばれる。

2-1-2. 光化学系2反応中心 (PS 2 RC)

藻類と高等植物のPS 2 RCは、PS 1 RC同様にふたつのポリペプチドから構成される。それらはD₁タンパク質 (*psb A*), D₂タンパク質 (*psb B*) と呼ばれ、分子量がそれぞれ38 kD, 39 kDである (Nanba and Satoh 1987)。その一次構造をみると両者は非常に相同性が高く、起源は同一であることが理解できる。PS 1 RC同様にヘテロダイマー型反応中心と呼ばれる。ラン藻と高等植物のD₁タンパク質、D₂タンパク質の相同性はそれぞれ、84%, 86%で、本質的に変化が少ない。PS 2 RCはアンテナを欠くのでR complexと呼ばれる。

PS 2 RCを構成する色素分子は、2分子のフェオフィチン (Pheo) aあたり、Chl aが4-6分子、β-caroteneが1-2分子である。この中で、電子供与体はChl a 2量体、電子受容体はPheo a単量体である。したがって、2-4分子のChl a, 1分子のPheo a, 1-2分子のβ-caroteneは直接電荷分離反応に関与するわけではなく、その機能は完全には理解されていない。一部はアンテナ色素としても機能できる (Mimuro et al. 1995)。

上記2種類の反応中心は総ての酸素発生型光合成を行う生物に存在する。種の間でのそれらの相同性は非常に高く、変異に乏しい。電荷分離の反応効率がほぼ100%である事を考えると、ラン藻において獲得され

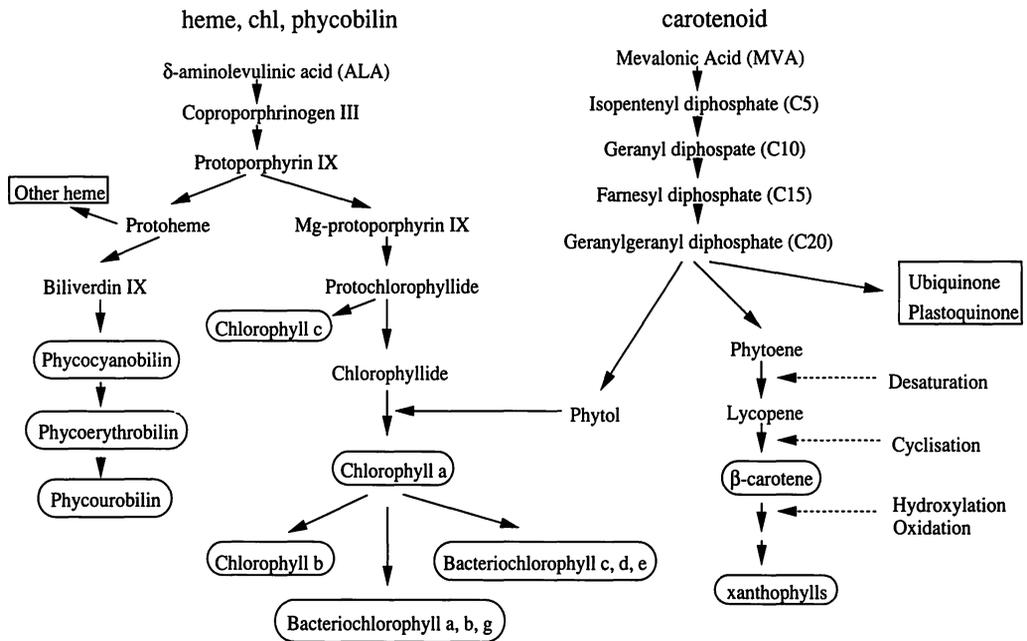


図3 光合成色素の生合成経路（一般的な合成経路）

長円で示した物質は反応中心や光合成アンテナ色素として、また長方形で示した物質は電子伝達成分として機能しているものを示す。種によっては一部を欠く。

た反応中心は既に十分に完成されており、変異を生むことが極めて少なかった事を示している。したがって反応中心タンパク質を基に系統性を論じることは容易ではない。

2-2. アンテナ色素・色素タンパク質の系統性

反応中心に比べてアンテナ色素は分類体系に応じた特徴ある分布を示す（三室 1995）。アンテナ色素としては、Chl a, Chl b, Chl c, (Chl d?), フィコビルン, カロテン, キサントフィルがあり、これらが分類群に対応した分布を示す。しかし、各々の色素の合成系は、カロテノイドを除いて種特異性があるとは考えられていない。したがって分布そのものが重要であり、合成に関与する酵素（群）を指標として系統性を論じることは容易ではない。

一方、色素タンパク質は結合する色素にしたがって数種類の分子が存在する。色素は、タンパク質と結合して、色素タンパク質複合体を形成する。そこで、アンテナ系については、色素の合成系について概要を述

べた後に、色素タンパク質について系統性を考察する。

2-3. 色素の合成系

2-3-1. Chl 合成

Chl は、総ての生物に存在するポルフィリンの合成系から分岐して合成される（図3）。 δ -aminolevulinic acid (5-ALA) を出発物質としてポルフィリンの合成系が始まり、途中で分岐してChl 合成系へ入る（Senge 1993）。Chl の分子構造の特徴は、クロリン環構造を持ち5番目のリングが存在することである。この存在でその光学特性がポルフィリンとは大きく異なっている。Chl a は、プロトポルフィリンにMg が配位し、プロトクロロフィリド、クロロフィリドを経て、さらに側鎖としてアルコール（フィトール）が付加され合成が完了する。Chl a はChl b やバクテリオクロロフィルの合成の前駆体となっている。Chl c は側鎖に高級アルコールを持たない。その合成はChl a の途中、プロトクロロフィリドから起こる。Chl c の特徴は π 電子系が4

つのピロールリングにまたがることで、基本的にポルフィリンと同じ光学的性質、赤色部の弱い吸収と、ソーレー帯（青色部）の強い吸収、を示す。したがって Chl a, Chl b をアンテナ色素に使うことと Chl a, Chl c を使うことでは、吸収する光の性質が大きく異なる。

2-3-2. カロテノイド合成

カロテノイドの合成系は、分子生物学の進展により最近の数年間で大きく理解が進んだ（図3）（Armstrong 1994, 三沢 1996）。出発物質は Mevalonic acid で、炭素数5の基本ユニット（Isopentenyl diphosphate）を単位として重合が進み、Geranylgeranyl pyrophosphate が2分子結合することでC₄₀の骨格構造（phytoene）が完成する。この物質に対して、不飽和化、環化、が起こることによってβ-carotene が合成され、さらに、還元、酸素原子導入、水酸基の導入などの反応が続き、多くの種類のカロテノイド、キンサトフィルが合成される。藻類を特徴付ける多くのカロテノイドの合成酵素は、今の段階では十分に理解されているとは言えないが、その全体の数は決して多くはなく、ひとつの酵素で数種類の合成が可能、すなわち個々の酵素の基質特異性が低い、と推測されている（高市、私信）。

β-carotene はPS 1 RC, PS 2 RCのいずれにも結合し、藻類、高等植物に普遍的に存在するカロテノイドである。一方、種によって変化するカロテノイドも藻類には多い。代表的な例を挙げると、ラン藻のエキネノン、ミクソキサントフィル、紅藻のルテイン、クリプト藻のアロキササンチン、渦鞭毛藻のペリディニン、褐藻・珪藻のフコキササンチン、緑色藻類のルテインなどである。これらの総てがアンテナとして機能しているのではないが、合成酵素の分布による系統性のひとつの指標になりうる形質である。

2-3-3. フィコビルン合成

フィコビルンは、ラン藻、紅藻、クリプト藻に存在する水溶性の色素タンパク質の発色団である。フィコビルンはポルフィリンの合成系から分岐した経路により合成される（図3, Beale 1994）。プロトヘムまで合成が進んだ後に環構造が開裂し、Biliverdin IX a を経て、フィコシアノビルンが合成され、それが還元を受けて、フィコエリスロビルン、フィコウロビルンと短波長側に吸収極大を持つ色素へと変わっていく。クリプト藻の場合には、一部側鎖が修飾された色素が用いられる。フィコビルンは他の色素と異なり、タンパク質に共有結合する。このためには酵素が必要で、ここ数

年でかなり明らかになってきた（Glazer *et al.* 1995）。

2-4. アンテナ色素タンパク質の機能的分類

光合成アンテナ色素タンパク質には機能的に2種類の複合体がある。反応中心と直接相互作用しているコアアンテナと、直接は相互作用していないペリフェラルアンテナである（図2, 4）。PS 1 RCはA/R複合体なのでRCがコアアンテナを兼ねる、といえる。一方、PS 2 RCはR複合体なのでコアアンテナとして、CP-43, CP-47と呼ばれる2種類の色素タンパク質複合体が存在し、さらにペリフェラルアンテナが存在する。ペリフェラルアンテナにはふたつの反応中心に対応して2種類が存在する。PS 1 RCに対応するLHC 1, PS 2 RCに対応するLHC 2である。系統的に特徴的な色素は多くの場合、LHC 2に結合している。

2-5. アンテナ色素タンパク質の系統性

PS 2 RCと相互作用する2種類のコアアンテナ、CP-43, CP-47は総ての酸素発生型光合成生物に見いだされている（図4）。この両者は相同性が極めて高く、起源は同一であると考えられている（Bricker 1990）。酸素発生型光合成生物の中では、反応中心と同じく、種を通じて極めて相同性が高いタンパク質であり、変異は少ない。反応に必須の構造、機能を持つことが容易に考えられる。

一方、ペリフェラルアンテナは、系統的にふたつのファミリーに区分される。グロビンファミリーとCABファミリーである。

2-6. ラン藻、紅藻のアンテナ系とフィコビルン

ラン藻の場合にはフィコビルンタンパク質がフィコビリソームという会合体を形成してチラコイド膜の細胞質側に存在し、PS 2 RCのコアアンテナにエネルギーを渡す（Sidler 1994）。LHC 1, LHC 2は知られていない。フィコビルンタンパク質の特徴は、それがグロビンファミリーということである。フィコビルンタンパク質はふたつのサブユニット（αとβ）から構成される。各々のサブユニット構造を見ると、サブユニットをつなぐためのヘリックスを除いた部分はミオグロビンの構造に似ていて、また色素（フィコシアノビルンなど）が共有結合するアミノ酸の位置は、ミオグロビンでヘムが結合する位置と同じで、機能の相同性が保たれている。フィコビルンはまさにグロビンファミリーであることが示されている（Pastore and Lesk 1990）。

ラン藻と同じく原核光合成生物であるプロクロロ

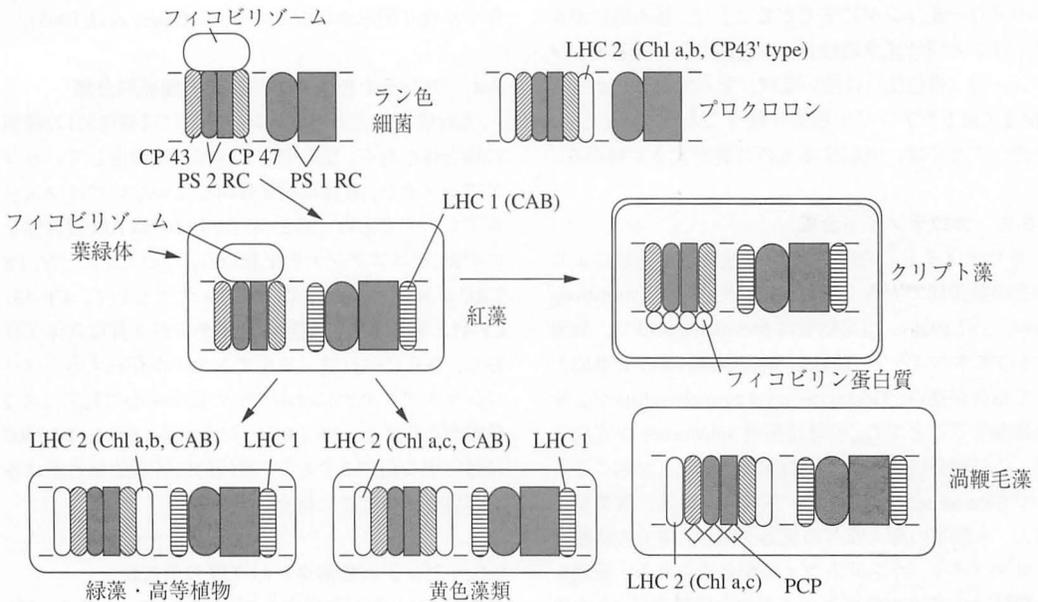


図4 藻類での反応中心、アンテナ色素タンパク質の系統性

図2の反応模式図を参照されたい。チラコイド膜を挟んで、上側がストローマ側、下側がルーメン側を示す。

はChl *a/b* (LHC 2) を持ち、緑藻、高等植物の祖先型と考えることもできる。プロクロロンのLHC 2の系統性をアミノ酸配列から考察すると、ラン藻で鉄欠乏時に誘導される特殊なタンパク質 (CP43') に高い相同性があることが判明した (La Roche *et al.* 1995)。このCP43'はコアアンテナであるCP43との関連が深く、したがってプロクロロンのLHC 2が独自のものではなく、ラン藻との関連が深く、ひとつの独立したグループを形成するのではないと考えられる。

紅藻は基本的にはラン藻と同じ色素系であり、PS 2 RCにはフィコビリゾームからエネルギーが供給されるが、近年、PS 1 RCにはLHC 1が存在することが確認された (Wolfe *et al.* 1994)。これは、ラン藻から紅藻へ進化し、葉緑体の誕生と同時に起こったアンテナ系での唯一の変化である。このLHC 1にはゼアキサンチンが多く結合している。これは他のLHC 1を保有する藻類とは大きく異なる性質である。

紅藻の出現に伴って考慮すべきことは遺伝子の存在位置の変化である。ラン藻が持っていた遺伝子の中で、多くは核へと移行しているが、光合成系を維持するために必要である反応中心タンパク質、コアアンテナタンパク質をコードする遺伝子の多くは葉緑体に残

されている。高等植物ではペリフェラルアンテナ色素タンパク質をコードする遺伝子は総て核に存在するが、紅藻 *Porphyra* では、フィコビリタンパク質が葉緑体のなかにコードされており、移行の中間形質であることを示している (Reith and Munholland 1993)。クリプト藻でもフィコビリタンパク質が葉緑体のなかにコードされている (Douglas 1992)。

2-7. 紅藻からの展開

この紅藻からのアンテナ系の変化は3通りある。ひとつはクリプト藻、渦鞭毛藻への経路であり、他はそれぞれ、黄色藻類、緑色藻類への経路である (図1,4)。

クリプト藻では、フィコビリタンパク質を保持すると同時にChl *c*を合成するようになり、黄色植物への道が開かれた。フィコビリタンパク質はフィコビリソームを形成することがなくなった。その一次構造をみると、ふたつのサブユニット (α と β) のうちで、 α サブユニットのN末端側に大きな欠失が起こり、その結果、会合体の形成パターンが、ラン藻・紅藻の場合の C_3 対称性から C_2 対称性へ変化していることが観察された (Sidler *et al.* 1990)。これがフィコビリソーム形成を阻害する要因かもしれない。

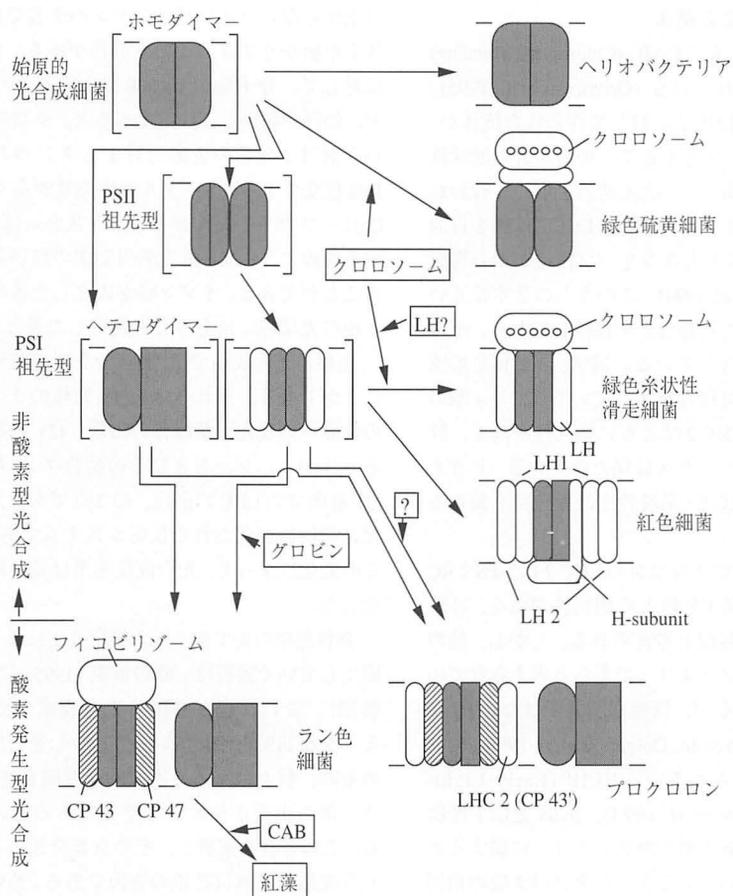


図5 光合成原核生物での反応中心、アンテナ色素タンパク質の系統性

大きな鍵カッコで囲まれたものは、進化の途中に存在したと考えられる中間形で、現存の生物に見いだすことはできない。

渦鞭毛藻は独自の色素、ペリディニンを持つ。分子構造を見ると理解できるように、このカロテノイドは他の藻類において見いだされるカロテノイドとは非常に異なった構造をしている。炭素数は38で他(C₄₀)より少なく、イリデンブテノライド環はこのカロテノイドにだけみられる。ペリディニンは水溶性のタンパク質に結合し、ペリディニンクロロフィルタンパク質(Peridinin-Chlorophyll a-protein, PCP)を形成する(Hiller et al. 1995)。この結晶構造が昨年明らかにされた(Hoffman et al. in press)。このタンパク質の一次構造を他のアンテナ色素タンパク質のそれと比較した結果、まったくユニークなものであることが明らかになった。この意味で、渦鞭毛藻のアンテナ系は不連続な性質を持っている。その起源は現在は知られていないが、意外なルーツに突き当たるのではないかと想像し

ている。渦鞭毛藻のアンテナ色素タンパク質として、膜内在性のChl a/c-ペリディニンタンパク質があり、これはLHC 2に相当する。

紅藻からの二通りの経路は大きく異なっている。緑色藻類への経路では、LHC 1, LHC 2が存在し、LHC 2に結合する色素としてはChl a, Chl b, ルテインが主なものとなる。黄色藻類では、LHC 1, LHC 2が存在し、LHC 2に結合する色素としてはChl a, Chl c, フコキサンチンとなる。ルテインとフコキサンチンの分子構造は大きく違い、後者にはアレン基が挿入されている。黄色藻類に特徴的に存在するカロテノイドは、アレン基、アセチレン基、などを持ち、緑色藻類とはかなり異なった性質を示す。こうした修飾の必然性は現段階では明らかではない。

2-8. LHC 1, LHC 2 の関係

LHC 1, LHC 2 はともに CAB (Chlorophyll a binding) gene ファミリーとされている (Grossman *et al.* 1995)。これは、高等植物の LHC 2 に対して作られた抗体が、LHC 1, LHC 2 ともに反応することから両者の近縁性が確認されたものである。二次元結晶を用いて行われた高次構造解析が示すところでは、LHC 2 は膜を貫通する 3 本のヘリックスと大きなループ構造とから構成される (Kuhlbrandt *et al.* 1994)。このうちの 2 本は互いに局所的な対称性 (C_2 対称性) を保持しており、その周囲に色素分子が結合している。通常、3 量体を形成しており、全体は C_3 対称性を示している。アミノ酸の配列から、LHC 1, LHC 2 はともに相同性が高く、膜を貫通する 3 本のヘリックスは保たれている、と考えられる。この LHC の起源・系統性が最近注目を集めるようになってきた。

原核生物であるプロクロロンの LHC 2 は、PS 2 RC のコアアンテナである CP 43 との相同性が高く、紅藻の LHC 1 とは異なる起源と考えられる。しかし、他の LHC は総てひとつのファミリーであると考えられている。ラン藻に存在するが、機能が明解ではない HLIP (High Light-Induced Protein, Dolganov *et al.* 1995) や高等植物、藻類で検出されている ELIP (Early Light-Induced Protein, Levy *et al.* 1993)、*psbS* 遺伝子産物 (Wedel *et al.* 1992)、などがこのファミリーに属すると考えられるようになった。こうしたタンパク質の相同性に基づいて、さらに解析が進むと考えられる。

LHC 2 でのエネルギー移動経路を調べると、カロテノイド (ルテイン、またはフコキサンチン) は直接 Chl a にエネルギーを渡し、Chl b、または Chl c を経由して Chl a にエネルギーを渡すことは観察されていない。この事実はふたつの構造的類似性、色素の結合位置の類似性を如実に示す事実と考えられる。

2-9. 藻類の光合成系の変異

こうして、光合成系での機能タンパク質複合体の系統性を論じてきて明らかになった事は、反応中心は基本的に変化せず、アンテナ系の色素タンパク質も基本的には保持され、変化していったのは結合する色素そのものである、という事実である。進化の圧力については、定説はないが、私は次のように考えている。

ラン藻、紅藻のフィコビリナンパク質 (PE, PC, APC) は可視光の領域のほとんど総ての光を吸収できる利点があるが、単位タンパク質当たり、色素の密度

の上がないフィコビリナンパク質では、生産のコストが掛かりすぎるといふ不利がある。1 分子の色素に対して、分子量が 10,000 以上のタンパク質が必要で、効率が悪い。これに比べると、クロロフィルタンパク質は 1 分子の色素に対するタンパク質量がその 10% 程度ですみ、トータルの生産性が高くなる。Chl a / Chl c-フコキサンチンというシステムは、水界で棲息するために、もっとも光利用効率の高い色素系と考えることができる。オゾン層が成立した後の大気下での水中の光環境にはもっとも適応した系となっている。

藻類の光合成系では、明らかな不連続性を見いだすことができる。それらは、(1) 原核のラン藻から真核の紅藻への変化、葉緑体の出現、(2) 渦鞭毛藻におけるペリディニン、およびその結合タンパク質の出現、(3) 紅藻での LHC の出現、の 3 点であり、その他は非常に相同性が保たれた反応システムであると言える。この変化によって、光合成反応系は見かけ上大きく変化した。

真核藻類の間で起こった細胞共生により新たな種が誕生していく過程は、原の解説 (1995) に詳しい (図 1 参照)。これは現在も続く光合成系の変化のダイナミックな側面を伝えている。しかし光合成系全体を眺める時、我々はずっと本質的な疑問を持つ。それは、ラン藻の出現が極めて不連続であるという事実である。この過程を解析し、その意義を知ることが藻類の光合成系の理解に必須の要因である。地球上でのラン藻の出現は、36 億年前とも 27 億年前ともいわれている。地球に酸素の大気をもたらし、それによって生物の進化の方向を変えたとされるラン藻の光合成系の不連続性を以下の稿で明らかにしていきたい。

3. 反応系のひな型「光合成細菌」

光合成を行う始源的な生物群として光合成細菌が知られている。現在、5 つの系統群に分類されている (図 5)。ヘリオバクテリア、緑色硫黄細菌、緑色滑走糸状細菌、紅色細菌、ラン色細菌である。ラン色細菌はもちろん今までラン藻と書いてきたものである。これらはいずれも原核光合成生物である。この中でラン色細菌以外は酸素を発生しない光合成反応を営むので無酸素型光合成と呼ばれる。これらは、酸素に対する抵抗性からふたつに分類される。絶対嫌気性細菌 (ヘリオバクテリアと緑色硫黄細菌)、嫌気性細菌 (緑色滑走糸状細菌、紅色細菌) である。起源を考える時、原始地球の大気組成は酸素が極めて低い濃度しかなかった事

表1. 光合成生物のRCの性質の比較

	二量体 構成	分子量 (kDa)	電子 供与体	電子 受容体	A/R or A	色素数
ヘリオバクテリア	ホモ	68	BChl <i>g</i>	8-OH-Chl <i>a</i>	A/R	~35
緑色硫黄細菌	ホモ	64	BChl <i>a</i>	Chl <i>a</i> analog	A/R	~40
PS 1	ヘテロ	82, 84	Chl <i>a</i>	Chl <i>a</i>	A/R	~100
緑色滑走性細菌	ヘテロ	35, 35	BChl <i>a</i>	BPheo <i>a</i>	R	6
紅色細菌	ヘテロ	31, 35	BChl <i>a</i> (<i>b</i>)	BPheo <i>a</i> (<i>b</i>)	R	6
PS 2	ヘテロ	38, 39	Chl <i>a</i>	Pheo <i>a</i>	R	6 or 8

分子量は代表的な値であり、種によって異なる。

実から、絶対嫌気性細菌がより古い種であることが考えられるが、16S rRNAの相同性を基にすると、緑色滑走糸状細菌が初期の段階で分岐していることが明らかになっている (Woose 1987)。近年の解析から、光合成反応の基本的な部分は総て光合成細菌で獲得され、かつ完成されたことが明解に示されるようになってきた (松浦 1995)。そこで反応中心、アンテナ系について、その起源、系統性を考察する。

3-1. 反応中心

絶対嫌気性細菌と嫌気性細菌では極めて異なった光合成反応系を構成している (表1)。

ヘリオバクテリアと緑色硫黄細菌では、反応中心は同じポリペプチド2分子から構成される (ホモダイマー)。分子量はヘリオバクテリアと緑色硫黄細菌の間で多少異なるが、前者が68 kD、後者が64 kD程度である。この複合体には、電子移動を担う色素の他に、アンテナとして機能する色素分子がそれぞれ、35分子、40分子程度結合している。これは既に述べたA/R複合体であり、PS 1 RCと同じ性質である。系統的にはこれらの光合成細菌の反応中心がルーツであると考えられる。

緑色滑走糸状細菌と紅色細菌の反応中心は、非常に相同性の高い2本のポリペプチドから構成されている (ヘテロダイマー) が、両者の間では基本的な違いが認められる。紅色細菌では、分子量は約31 kD (L subunit), 35 kD (M subunit) の他に、H subunit (分子量28 kD) が結合する。種によっては、RCにc型シトクロムが結合している場合もある。RCに結合する色素は、4分子のBChl *a* (または*b*, 種に依存)、2分子の

BPheo *a* (または*b*)、さらに1分子のカロテノイドである。一方、緑色滑走糸状細菌では、ポリペプチドはL subunit (35 kD), M subunit (35 kD) で、H subunitは存在しない。結合する色素は、3分子のBChl *a*, 3分子のBPheo *a*, と1分子のカロテノイドである。すぐに理解できるようにこの構成はPS 2 RCと同じであり、R複合体である。したがってPS 2 RCのルーツと考えられる。

こうした性質は単にタンパク質、色素の組成だけでなく、他の電子伝達成分からも支持される。PS 1 RCの場合には、電子受容体がChlの派生物である (ヘリオバクテリアでは8-OH-Chl *a*, 緑色硫黄細菌ではChl *a*の異性体) という他にはみられない特徴があり、また鉄-硫黄 (Fe-S) クラスターを持つ。光合成細菌の電子伝達成分にはBChlしか存在しないという考えは潰え去り、新たな考えを持つ時期が到来したと言える。このことは、また色素の合成系に新たな視点をもたらした。BChlはChl *a*を前駆体として合成されるのであるが、この合成系が必然であったことが理解される。絶対嫌気性細菌は電子受容体としてChlを合成する必要があるのである。一方、PS 2 RCについては、電子受容体がPheo分子であること、2種類のキノンが電子伝達成分として機能することなど、紅色細菌との類似性が高い。これらの事実から、我々は藻類の反応中心のルーツを知ることとなった。

3-2. アンテナ色素タンパク質

紅色細菌はコアアンテナ (LH 1, Karrasch *et al.* 1995)、ペリフェラルアンテナ (LH 2, McDerminnt *et al.* 1995) の2種類を持っており、それぞれの結晶構造が発表さ

れている。両者ともに、ただ1度膜を貫通するヘリックスを持つサブユニット成分 (α と β) から構成され、ヒスチジン残基が BChl のリガンドになっている。BChl はダイマーとしてふたつのサブユニットに挟まれた形で存在する。ペリフェラルアンテナにはモノマーも存在する。

このアンテナタンパク質の相同性を調べてみると、紅色細菌の中での類似性は極めて高いのに比較して、他の光合成系の機能タンパク質とは相同性が低い。したがって、このアンテナ色素タンパク質は酸素発生型光合成生物には受け継がれなかった性質と考えることができる。反応中心の系統性を考える時、この不連続性は際だったものとなる。

3-3. ラン色細菌の起源

ここで重要な問題点に突き当たる。それは、如何にしてルーツが異なる2種類の反応中心が、ラン色細菌の中に共存するような反応系が生まれたか、すなわち、ラン色細菌の起源は何か、である。真核藻類の例にならって細胞内共生を考えることがもっとも説明としては簡単である。ひとつの考え方としては、紅色細菌が宿主で、緑色細菌が共生したという説を取ることができる。理由は、細胞内の酸素濃度を考えると逆では成立しないことである。しかし、宿主、共生生物の役割分担についてはまったく想像の域を出ない。

松浦 (1995) は、酸素発生をする光合成系を獲得した紅色細菌に、緑色細菌の RC と電子伝達成分 (cyt *b*/*c*₁ 複合体, Fe-S クラスター, フェレドキシン) などの遺伝子が種間移行して、ラン色細菌が出現したという仮説を提唱している。本質的には、緑色細菌側が後から共生したという点では同じである。

遺伝子の種間移行は、光合成細菌の間では「クロロソーム」にみられる。これは、緑色硫黄細菌、緑色糸状滑走細菌に共通してみられるアンテナ系であるが、前述のようにこのふたつの系統群は、RCの構造、酸素に対する親和性などが大きく異なるために、共通の祖先を持つとは考えられない。にもかかわらず共通のアンテナ系を持つ理由としては、遺伝子の種間移行がもっとも妥当な考え方である。

3-4. ラン色細菌の出現に伴う反応系の変化

反応中心、アンテナ色素タンパク質の系統性とラン色細菌の出現との関連をもう少し深く考えてみたい。PS 2 RC では極めて本質的な変化が生じている。それ

は、酸化還元電位の大きな変化である。ラン色細菌は水を酸化して電子を供給するために、高い酸化電位 (1V以上) を必要とする。このために4分子の Mn 原子から構成される水分解系を獲得した。この反応系は他にはなく、ルーツを探ることが容易ではない。

アンテナで起こる変化は PS 2 RC のコアアンテナである CP-43, CP-47 と、ペリフェラルアンテナであるフィコビリンの獲得である。ともに不連続なもので、その起源となるべき適当な候補がない。CP-43, CP-47 のヘリックスの一部は、ヘリオバクテリアの反応中心のヘリックスの一部と相同性が高いことが指摘されている (Vermaas 1994) が、他の光合成細菌ではまったく類似のタンパク質が見いだされていないので、必ずしも納得できる説明ではない。フィコビリタンパク質は前述のようにグロビンファミリーであり、その起源は光合成細菌の成分としては現在明らかになっていない (ただし、大腸菌には存在することが知られている, Wakabayashi *et al.* 1986)。こうした観点から見ると、ラン色細菌では当然と思われたフィコビル色素の存在そのものが極めて不可思議な事項であることに思いついた。外から導入された遺伝子によりもたらされたと考えることはできるが、現実にはそのルーツを探る場合、その道は容易には現れてこない。

最近、ラン色細菌の光合成系で、細胞当たりの反応中心の相対含量が環境に応じて変化することが明らかになってきた。もっともよく知られた例は、光条件に応じて PS 1 RC と PS 2 RC の量比が変動するのであるが、その時に制御を受けるのは PS 1 RC の方で、PS 2 RC は一定の値に保たれる (Fujita *et al.* 1994)。その代わりに、PS 2 RC の D₁ タンパク質は電荷分離反応を起こした後で分解され、さらに補修されて新しい複合体を形成することが明らかになってきた。こうした代謝の制御機構が系統性や宿主-共生種に関して新たな視点を開く可能性もあるが、現段階では未知数である。

4. 今後の検討課題

藻類の世界だけを見ていれば、自明の事であったラン藻 (ラン色細菌) を起源とする系統性が、光合成生物全体としての視点からは極めて不連続な過程であることを述べてきた。こうした事を明らかにする時のキーワードは「細胞内共生」であろう。藻類の間では極めて自然と考えられている、原核-真核、真核-真核の細胞内共生が、実は原核-原核でも起こっており、それがラン色細菌を生み出したとすれば、より統一的

な視点から光合成生物全体の系統性を考えることが可能となる。今後は、系統性や細胞共生を実験的にも解析することが必要となるであろう。

謝辞

この原稿を書くにあたり、基礎生物学研究所、村上明男博士、稲垣言要博士、鞆達也氏、日本医科大学、高市真一博士、北海道大学、堀口健雄博士に貴重な助言をいただいた。また、藻類の系統性については、神戸大学、川井浩史博士の図を使わせていただいた。この場を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

(オリジナル論文よりも総説、解説を引用している)

- Armstrong, G. A. 1994. Eubacteria show their true colors : Genetics of carotenoid pigment biosynthesis from microbes to plant. *J. Bacteriol.* 176 : 4795-4802
- Beale, S.I. 1994. Biosynthesis of cyanobacterial tetrapyrrole pigments : Hemes, chlorophylls and phycobilins. pp. 519-558. In : D.A. Bryant ed. *The Molecular Biology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands
- Bricker, T.M. 1990. The structure and function of CPa-1 and CPa-2 in photosystem II. *Photosynthe. Res.* 24 : 1-13.
- Dolganov, N.A.M., Bhaya, D. and Grossman, A.R. 1995. Cyanobacterial proteins with similarity to the chlorophyll *a/b*-binding proteins of higher plants : evolution and regulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 92 : 636-640.
- Douglas, S.E. 1992. Eukaryote-eukaryote endosymbioses : Insights from studies of a cryptomonad alga. *BioSystems* 28 : 57-68.
- Fish, L.E. and Bogorad, L. 1985. Two partially homologous adjacent light-inducible maize chloroplast gene encoding polypeptide of the P700 chlorophyll *a* protein complex of photosystem I. *J. Biol. Chem.* 260 : 1413-1421.
- Fujita, Y., Murakami, A., Aizawa, K. and Ohki, K. 1994. Short-term and long-term adaptation of the photosynthetic apparatus : Homeostatic properties of thylakoids. pp. 677-692. In : D.A. Bryant ed. *The Molecular Biology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Glazer, A.N., Fairchild, C.D., Jung, L.J. and Chan, C.F. 1995. Phycobiliproteins : Studies of bilin attachment. vol. I, 3-9. In : P. Mathis ed. *Photosynthesis : from Light to Biosphere*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Grossman, A.R., Bhaya, D., Apt, K.E. and Kehoe, D.M. 1995. Light-harvesting complexes in oxygenic photosynthesis : Diversity, Control and Evolution. *Ann. Rev. Genetics* 29 : 231-88.
- 原 慶明 1995. 今も続く進化—細胞内共生と植物の発展. *遺伝* 49 : 43-50.
- Hiller, R.G., Wrench, P.M. and Sharples, F.P. 1995. Amino acid sequences of the light-harvesting proteins of the dinoflagellate *Amphidinium carterae*. Vol. I, pp. 29-34. In : P. Mathis ed. *Photosynthesis : from Light to Biosphere*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Karrasch, S., Bulloch, P.A. and Ghosh, R. 1995. The 8.5 Å projection map of the light-harvesting complex I from *Rhodospirillum rubrum* reveals a ring composed of 16 subunits. *EMBO J.* 14 : 631-638.
- Kuehlbrandt, W., Wang, D.N. and Fujiyoshi, Y. 1994. Atomic model of plant light-harvesting complex by electron crystallography. *Nature* 367 : 614-621.
- La Roche, J., Partensky, F. and Falkowski, P. 1995. The major light-harvesting antenna of *Prochlorococcus marinus* is similar to CP43', A Chl binding protein induced by iron limitation in cyanobacteria. vol. I, 171-174. In : P. Mathis ed. *Photosynthesis : from Light to Biosphere*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Levy, H., Tal, T., Shaish, A. and Zamir, A. 1993. Cbr, an algal homolog of plant early light-induced proteins, is a putative zeaxanthin binding protein. *J. Biol. Chem.* 268 : 20892-20896.
- 松浦克美 1995. 原始光合成系と光合成細菌. *遺伝* 49: 18-22.
- McDermint, G., Prince, S.M., Freer, A.A., Hoathornthwaite-Lawless, A.M., Papiz, M.Z., Cogdell, R.J. and Isaacs, N.W. 1995. Crystal structure of an integral membrane light-harvesting complex from photosynthetic bacteria. *Nature* 374 : 517-521.
- Mimuro, M., Tomo, T., Nishimura, Y., Yamazaki, I. and Satoh, K. 1995. Identification of photochemically inactive pheophytin molecules. *Biochim. Biophys. Acta* 1232, 81-88.
- 三室 守 1995. もっと光を！—光を集めるアンテナ色素系の進化. *遺伝* 49 : 37-42.
- 三沢典彦 1996. 遺伝子レベルで解明されたカロテノイド合成経路. *蛋白質核酸酵素* 41 : 337-346
- Nanba, O and Satoh, K. 1987. Isolation of a photosystem II reaction center consisting of D-1 and D-2 polypeptides and cytochrome *b*-559. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 84 :

- 109-112.
- Pastore, A. and Lesk, A.M. 1990. Comparison of the structures of globins and phycocyanins : Evidence for evolutionary relationship. *Proteins. Struc. Funct. Genet.* 8 : 133-155.
- Reith, M. and Munholland, J. 1993. A high-resolution gene map of the chloroplast genome of the red alga *Porphyra purpurea*. *The Plant Cell* 5 : 465-475.
- Senge, M.O. 1993. Recent advance in the biosynthesis and chemistry of the chlorophylls. *Photochem. Photobiol.* 57 : 189-206.
- Sidler, W., Nutt, H., Kumpf, B., Frank, G. Suter, F., Brenzel, A., Wehrmyer, W. and Zuber, H. 1990. The complete amino acid sequence and the phylogenic origin of phycocyanin-645 from the cryptomonatan alga *Chroomonas* sp. *Biol. Chem. Hoppe-Seyler* 371 : 537-547.
- Sidler, W.A. 1994. Phycobilisome and phycobiliprotein structures. pp. 139-216. In : D.A. Bryant ed. *The Molecular Biology of Cyanobacteria*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- Vermass, W.F.J. 1994. Evolution of heliobacteria : Implications for photosynthetic reaction center complexes. *Photosynthesis Res.* 41 : 285-294.
- Wakabayashi, S., Matsubara, H. and Webster, D.A. 1986. Primary sequence of a dimeric bacterial haemoglobin from *Vitreoscilla*. *Nature* 322 : 481-483.
- Wedel, N., Klein, R., Ljungberg, U., Andersson, B. and Herrmann, R.G. 1992. The single-copy gene *psbS* codes for a phylogenically intriguing 22 kDa polypeptide of photosystem II. *FEBS Lett.* 314 : 61-66.
- Woese, C.R. 1987. Bacterial evolution. *Microbiol. Rev.* 51 : 221-271.
- Wolfe, G.R., Cunningham, F.X., Durnford, D., Green, B.R. and Gantt, E. 1994. Evidence for a common origin of chloroplasts with light-harvesting complexes of different pigmentation. *Nature* 367 : 566-568.

褐藻アラメ・カジメの生理特性

倉島 彰¹・横浜康継²・有賀祐勝¹

¹ 東京水産大学藻類学研究室 (108 東京都港区港南 4-5-7)

² 筑波大学下田臨海実験センター (415 静岡県下田市 5-10-1)

Akira Kurashima¹, Yasutsugu Yokohama² and Yusyo Aruga¹ 1996: Physiological characteristics of *Eisenia bicyclis* Setchell and *Ecklonia cava* Kjellman (Phaeophyta). Jpn. J. Phycol. (Sôrui) 44:87-94.

Photosynthetic and respiration rates were compared between *Eisenia Bicyclis* and *Ecklonia cava*. The optimum temperature for light-saturated photosynthesis was 25-29 °C in sporophytes of both species and the maximum photosynthetic rate was higher in *Ei. bicyclis* than in *Ec. cava*. The optimum temperatures became low with decreasing light intensities. Under light lower than 50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ the net photosynthetic rate was lower in *Ei. bicyclis* than in *Ec. cava* at all temperatures investigated. Daily compensation light quantity estimated from photosynthesis-light curves was higher in *Ei. bicyclis* than in *Ec. cava* at an environmental temperature. Daily compensation light quantity of gametophytes was higher in *Ei. bicyclis* than in *Ec. cava* at all temperatures investigated. These results suggest that *Ec. cava* can grow in deeper water as compared with *Ei. bicyclis* under a definite temperature, and that *Ec. cava* can grow in warmer regions as compared with *Ei. bicyclis* under a definite light condition.

Key Index Words: daily compensation light quantity-Ecklonia cava-Eisenia bicyclis-irradiance-photosynthesis-temperature

¹Laboratory of Phycology, Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo 108, Japan

²Shimoda Marine Research Center, University of Tsukuba, Shimoda 5-10-1, Shizuoka 415, Japan

アラメ *Eisenia bicyclis* Setchell とカジメ *Ecklonia cava* Kjellman はともに大型の多年生褐藻で、日本の太平洋沿岸に密な海中林を構成する。海中林は岩礁域における主要な 1 次生産の場であると同時に魚類の生育場として、また、直接的に植食動物の餌料として重要である。

両種の分布域については、アラメは岩手県から九州北部までであるのに対し、カジメは北関東から九州までとされており (川嶋 1989, 月館ら 1991)、アラメの方がやや北方に分布する。また、両種がともに生育する場所ではアラメの方がカジメより浅所に生育することが知られている (喜田・前川 1982, 1983)。これらのことから両種間には温度あるいは光に対する生理特性の相違があるものと考えられる。

近年、アラメとカジメの光合成あるいは呼吸速度の測定法が確立されたことから (Sakanishi *et al.* 1988)、

両種の光合成特性について多くの研究がなされてきている (Maegawa *et al.* 1987, 1988, Haroun *et al.* 1989, Sakanishi *et al.* 1988, 1989, Aruga *et al.* 1990)。Maegawa *et al.* (1987, 1988) は両種の幼胞子体の光合成-光曲線を比較して、カジメはアラメに比べ光量の少ない深所に生育できることを明らかにした。一方、藻類の水平分布は温度の影響を受けるとされるが (van den Hoek and Breeman 1989, Lüning 1990)、ある藻の光合成-温度曲線において最大光合成速度を示す水温は、その藻の生育環境の水温よりかなり高いという一般的な傾向が存在することから (Yokohama 1973, Davison 1991)、光合成-温度曲線から直接水平分布を論ずることは困難と言える。

本研究では、アラメとカジメの異なる水温のもとで得られた光合成-光曲線から、各水温における光補償点を求め、さらに水温ごとの日補償積算光量を算出し、それらの値から両種の水平分布域の相違について考察した。

材料と方法

アラメとカジメの胞子体は静岡県下田市の鍋田湾から潜水によって採集し、直ちに筑波大学下田臨海実験センターに運んだ。これら胞子体は、実験の前処理を行うまで同センター内の屋外流水槽中に保存しておいた。

・配偶体の培養

屋外流水槽中に保存された胞子体から子嚢斑部を切り取り、濾過海水および水道水で洗浄し、2-3時間風乾させた後、滅菌海水に浸して遊走子を放出させた。遊走子をピペットで吸い取り、シャーレ内の滅菌海水に滴下して希釈した後、スライドガラス上に滴下した。スライドガラス上に遊走子が着生したことを確認した後、腰高シャーレに移して培養を行った。培養条件は水温20°C、光強度約10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、明暗周期12L:12Dとし、培地にはPESI培地を用いた。培地交換は2週間に1度行った。配偶体がある程度増えてから500mlのフラスコに移し、同じ条件下で通気培養を行った。2-4週間後に、光強度約10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、明暗周期12L:12D、水温10, 20, 25°Cの条件下に移し、さらに2-3週間通気培養した後に実験に用いた。

・光合成の測定

光合成および呼吸速度の測定には差働式検容計(プロダクトメーター, Yokohama and Ichimura 1969)を用いた。胞子体については、3.5cm²に打ち抜いた円形葉片を10mlの濾過海水と共に反応容器に入れて測定を行った。配偶体については、細断した後に10mlのPESI培地と共に反応容器に入れて測定を行った。光源にはスライドプロジェクター(Cabin 67-Z)を用い、ニュートラルフィルター(Hakuba CF-SND -2, -4, -8)で光強度を調節した。光量子束密度の測定には光量子計(LICOR LI-185B)を用いた。

胞子体の光合成-温度曲線および呼吸-温度曲線を作成する場合には、側葉から打ち抜いた円形葉片を流海水中に一晩浸した後に測定に用いた。水温は5-29°Cの7段階とし、1回の測定に同一の葉片を用いて5°Cから順に水温を上げていった。測定に先立ち、20°C、400 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で約30分間予備振盪をおこなった。

胞子体の光合成-光曲線を作成する場合には、打ち抜いた円形葉片を流海水中に3時間浸した後に、光強度を50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ に、水温を5, 10, 15, 20, 25, 27°Cの6段階に設定し、各条件下で通気しながらの前培養を12-24時間行った後、水温をそのままに保って0-50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の間の4段階の光強度で測定を行った。配偶体については、培養した藻体を遠心機を用いて集め

た後に培地交換をしてから、20°Cでは0-400 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の間の7段階の光強度の下で、10および25°Cでは0-50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の間の4段階の光強度の下で測定を行った。

・生長実験

全長5-10cmの胞子体を採集し、付着物を取り除いた後に葉状部の面積が3-4cm²となるように先端を切断した。光強度10および50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、温度5, 15, 25°C、明暗周期12L:12Dの条件下で培養を行った。培養は濾過海水中で行い、海水は毎日交換した。24時間ごとに藻体の輪郭をトレーシングペーパーに写し取り、スキャナー(Epson GT8000)を用いてコンピューターに取り込み、ソフトウェア(NIH image 1.55)によって面積を求めた。6日間培養を行った後に、培養時と同一の温度で光合成を測定し光合成-光曲線を得た。

・日補償積算光量の計算

日補償積算光量は以下のような方法で求めた。各温度で得られた光合成-光曲線から0-25 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の間で1次回帰し、光合成-光曲線の初期勾配を得た。この初期勾配を α とし、t°Cにおける補償点をCt, t°Cにおける呼吸速度をRtとすれば、次の関係が成り立つ。

$$Ct=Rt\cdot\alpha^{-1} (\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$$

また、Ctの24時間分の積算光量は当該温度において生存に必要な1日当たりの光量つまり補償積算光量といえるが、これをCdtとすれば次の関係が成り立つ。

$$Cdt=0.0864Ct\cdot\alpha^{-1} (\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1})$$

結 果

胞子体の生理特性

アラメおよびカジメ胞子体の7段階の光強度下における純光合成および呼吸-温度曲線を季節ごとに得たが、5月の結果をFig.1に示した。高温域では測定時の光強度が高いほど純光合成速度が高く、また、低温になるほど光強度による差が小さくなる傾向が見られるが、5°Cにおいて25-400 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲で値がほとんど変わらなかったことが分かる。両種とも400 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ において純光合成速度が極大値に達した温度は、27.5°Cであり、種間に差は認められなかった。光強度が低くなると純光合成速度が極大値に達する温度は低温側に移るが、その位置は不明瞭になる傾向が見られた。12.5 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ においては10°Cから20°Cの間で値はほぼ一定となったが、アラメでは約20°Cを越えると、そしてカジメでは約25°Cを越えると値が負となった。400 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ における値は一般にアラメの方がカジメより高く、50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下ではカジメの方がアラメよ

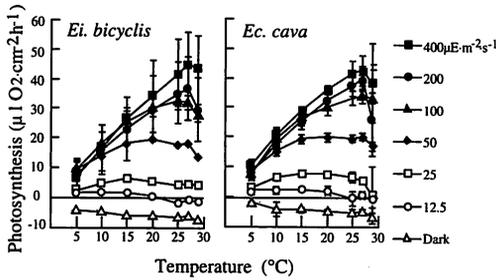


Fig. 1. Photosynthesis-temperature curves at different experimental light intensities in sporophytes of *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava* determined in May.

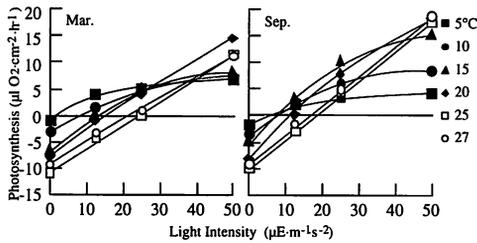


Fig. 2. Photosynthesis-light curves at different experimental temperatures in sporophytes of *Eisenia bicyclis*.

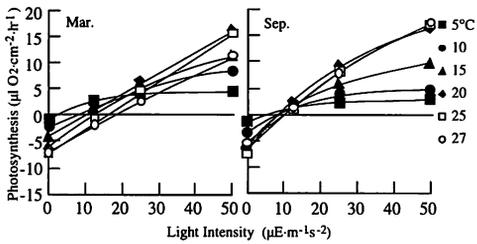


Fig. 3. Photosynthesis-light curves at different experimental temperatures in sporophytes of *Ecklonia cava*.

り高くなった。

暗所における呼吸速度は、測定した5°Cから29°Cまでの範囲でアラメの方がカジメより高い傾向が通年見られた。温度の上昇につれて呼吸速度は徐々に高くなるが、2月の低温期には27°Cから29°Cにかけて急激に上昇する傾向が両種のいずれでも見られた。

2ヶ月おきにアラメとカジメの胞子体で光合成-光曲線を得たが、3月と9月の曲線を Fig. 2 および Fig. 3

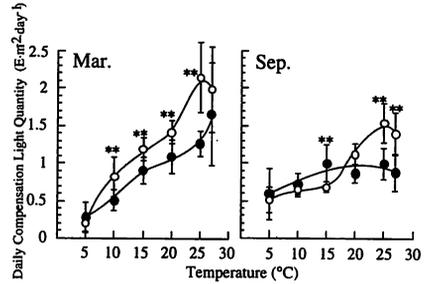


Fig. 4. Daily compensation light quantity-temperature curves calculated from photosynthesis-light curves in sporophytes of *Eisenia bicyclis* (open circles) and *Ecklonia cava* (solid circles). Vertical bars indicate SD. **=significant, $p < 0.01$; *=significant, $p < 0.05$ (t-test).

に示した。1月から11月のいずれの月でも、10-27°Cでは純光合成速度は0.25 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲で直線的に増加した。5°Cにおいては25 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で飽和に達した。両種とも10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下の弱光下では5°Cにおける純光合成速度が最も高かったが、12.5-25 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の範囲では他の水温における値とほぼ同じとなり、50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ では最も低くなった。呼吸速度は温度が高くなるにつれて高くなった。曲線の初期勾配は15-27°Cの範囲ではほぼ一定で、5°Cと10°Cではやや低かった。初期勾配は、5°Cにおいてはアラメの方がカジメより高い値であったが、他の温度ではほぼ同じ値となった。

Fig. 2 および Fig. 3 の各光合成-光曲線上の補償点から計算したアラメとカジメの日補償積算光量-温度曲線を Fig. 4 に示した。3月には一般にアラメの方がカジメよりも日補償積算光量は大きかったと言える。これは、同じ温度条件ではアラメの方がカジメより生育に必要な最低限の光量が多く、逆に同じ光条件下ではアラメの方がカジメより生育可能な上限水温が低いことを示す。一方、5-15°Cの範囲では値はほぼ同じか、アラメの方が低くなった。両種とも、低温部における日補償積算光量は7月から9月の高水温期にかけて高くなる一方、高温部における値は逆の傾向を示し、その結果特にカジメでは、7月には15°Cにおける日補償積算光量が1.29 $\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ であるのに対し25°Cでも1.33 $\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ とほとんど変わらず、9月には15および25°Cともに1.00 $\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ となるというように、15-25°Cの範囲で値はほぼ一定となった。アラメでは高温期にはカジメの場合と似た傾向がやや低温側で見られた。

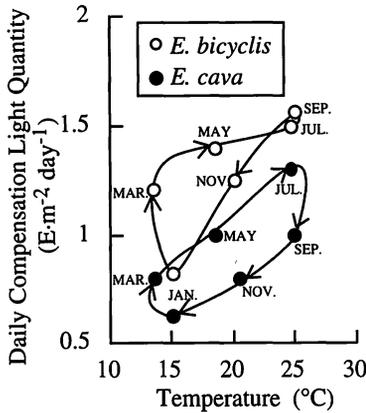


Fig. 5. Seasonal changes of the daily compensation light quantity in sporophytes of *Eisenia bicyclis* (open circles) and *Ecklonia cava* (solid circles) in relation to the mean seawater temperature of each month.

Fig. 5 に鍋田湾の年間水温の変化と、その水温に対応する各月の日補償積算光量をプロットした。両種とも、生育環境において生育に必要なとする最低限の光量は冬より夏に大となるものと言える。また、1年を通してアラメとカジメで重なる部分はほとんどなく、季節にかかわらず同一温度条件下ではアラメの方がカジメより常に必要とする最低限の光量が大で、逆に同一光条件下ではアラメの方がカジメより生育可能な上限水温が低いと判断される。

・配偶体の生理特性

Fig. 6 にアラメとカジメの配偶体と孢子体の 20°C における純光合成—光曲線を示した。両種とも、孢子体では約 200 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で光飽和に達したのに対し、配偶体では約 50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で光飽和に達したとみなせる。光飽和に達した時の純光合成速度はアラメ孢子体では 1.04 $\mu\text{l O}_2\cdot\mu\text{g chl. a}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 、同配偶体では 0.59 $\mu\text{l O}_2\cdot\mu\text{g chl. a}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 、カジメ孢子体では 1.30 $\mu\text{l O}_2\cdot\mu\text{g chl. a}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 、同配偶体では 0.75 $\mu\text{l O}_2\cdot\mu\text{g chl. a}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ であった。また、光補償点は、アラメ孢子体では 11.9 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、同配偶体では 3.4 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、カジメ孢子体では 4.8 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、同配偶体では 1.3 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ であり、両種とも配偶体における値は孢子体の約 1/3 であった。

10°C、20°C および 25°C の各温度で培養した配偶体の 10°C、20°C および 25°C の各温度で得られた純光合成—光曲線を Fig. 7 に示した。高温で培養したものほど 50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ での純光合成速度が低く、呼吸速度も低い傾向が見られる。曲線の初期勾配には培養および測

定温度による違いは認められなかったが、測定時の温度が高いほど 50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ での純光合成速度は高くなった。

アラメとカジメの配偶体の日補償積算光量—温度曲線を Fig. 8 に示した。日補償積算光量は、各温度で培養した配偶体の初期勾配 (Fig. 7) と、配偶体の呼吸—温度曲線から計算したものである。両種とも高温で培養したものほど日補償積算光量は低くなった。孢子体

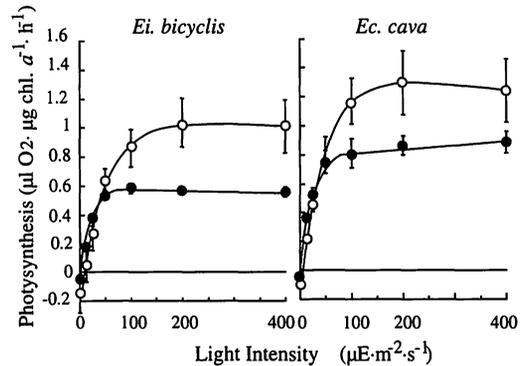


Fig. 6. Photosynthesis-light curves of sporophytes (open circles) and gametophytes (solid circles) of *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*.

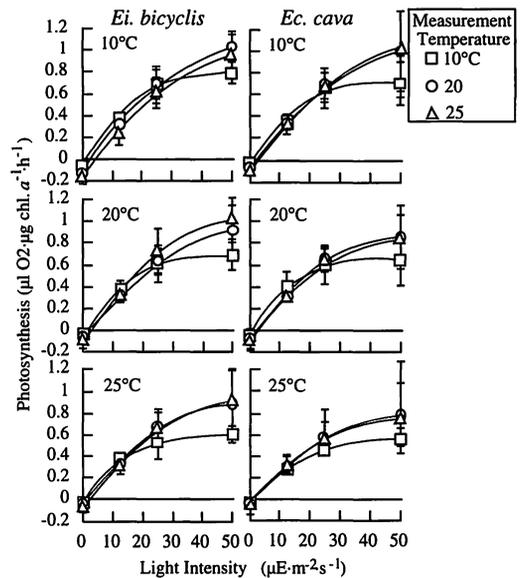


Fig. 7. Photosynthesis-light curves measured at 10°C, 20°C and 25°C in gametophytes of *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava* cultured at different temperature.

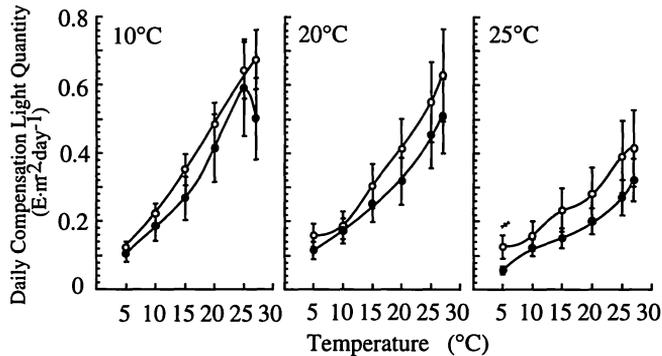


Fig. 8. Daily compensation light quantity-temperature curves of gametophytes of *Eisenia bicyclis* (open circles) and *Ecklonia cava* (solid circles) grown at 10°C, 20°C and 25°C. Vertical bars indicate SD. * = significant, $p < 0.05$ (t-test).

と同様に配偶体でもカジメの方がアラメより日補償積算光量が全温度域で小となったが、胞子体と配偶体を比較すると、両種とも配偶体では胞子体の場合の約1/2-1/3の値となった。

・幼胞子体の生長試験

前述の各条件下での純光合成測定の結果から判断されたアラメおよびカジメ胞子体の生理特性を裏づける目的で、10および50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の光強度と5、15および25°Cの温度を組み合わせた6条件の下で両種の幼胞子体を6日間培養し、その間における葉面積の増加を相対値でFig. 9に示した。両種とも最も面積が大きくなったのは15°C、50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の下であった。光強度が10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の場合には、アラメは5°Cで最も生長したが、カジメは15°Cで最も生長し、次いで5°C、25°Cの順であった。50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の場合には両種とも15°Cで最も生長したが、25°Cと5°Cでの結果を比較するとアラメでは5°C、カジメでは25°Cの方がよく生長した。また、15°Cおよび25°Cで培養した場合にはいずれの光条件下でもカジメの方がアラメよりよく生長したが、5°Cではアラメの方がよく生長した。図には示さなかったが、25°C、12.5 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の条件下で培養したものは両種ともほとんど生長せず、特にアラメでは葉状部の一部が枯死して培養開始時より面積が小さくなった個体が見られた。

上記の6日間培養した後の幼胞子体について、培養時と同一の温度で光合成を測定し、得られた光合成-光曲線から日補償積算光量-温度曲線を求めた結果をFig.10に示した。両種とも50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養したものより10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養したものの方が日補償積算光量は小となった。50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養した場合には、両種

とも高温になるほど日補償積算光量は大となった。10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養した場合には、アラメでは高温になるほど日補償積算光量が大きくなる傾向が明瞭であったのに対し、カジメでは傾向は不明瞭で、15°Cで最も小となり、5°Cでやや大となった。また、50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養した場合にはいずれの温度でもアラメの方がカジメより日補償積算光量は大となったが、10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養した場合には5°Cでアラメの方がカジメより日補償積算光量が小となった。

考 察

アラメとカジメの水平分布を比較すると、アラメの方がやや北方に分布することから、温度に関する生理特性に違いがあるものと予想されたが、光飽和下における純光合成-温度曲線の極大値となる温度には両種間で差が認められなかった。さらに、極大値となる温度も25-29°Cと本研究を行った鍋田湾の平均水温である19°Cより6-10°C高いというSakanishi *et al.* (1989)の報告と同様の結果が得られた。しかしながら、50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下の弱光下の光合成-温度曲線では、純光合成速度が極大値を示す温度は10-20°Cと低温側に移り、生育地である鍋田湾の年間平均水温19°Cに近い温度となった。このような弱光下では純光合成速度はアラメの方がカジメより低く、さらに2月、5月および11月には、光強度12.5 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ における純光合成速度が高温下では負となったが、負となり始める水温はアラメの方が低かった。これは5月に得られた12.5 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の下での純光合成-温度曲線で顕著であり、アラメの純光合成速度は約20°Cで負となったのに対し、カジメでは約25°Cまで正であった。呼吸速度はいずれの温度にお

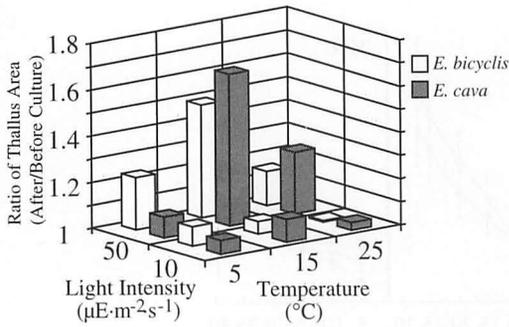


Fig. 9. Growth of young sporophytes of *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava* in culture for 6 days at different light and temperature conditions.

いてもアラメの方がカジメより高かった。

海藻の光合成-温度曲線において極大値を示す温度は、一般に生育水温や生長の最適温度よりかなり高くなることが知られている (Yokohama 1973, Lüning 1990, Davison 1991)。これは、同一の性質を有する試料の各温度条件に対する短期的反応の結果とみなされており、それぞれの温度で長期間培養すると純光合成速度が極大値を示す水温は変化することが示されている (Davison 1987, Li and Morris 1982, Kübler and Davison 1995)。これらの研究では、光合成-温度曲線を求める際には温度以外が律速因子とならないように飽和光強度で光合成速度の測定を行っている。しかしながら、アラメ・カジメ群落内の光強度は極めて低いことが報告されており (前川・喜田 1987)、両種の生理特性を比較するためには、実際の生育環境に近い弱光下において光合成-温度曲線を求めるべきであると考えられる。

アラメ・カジメ群落内の光環境に近い弱光下での純光合成速度はアラメの方が低く、また呼吸速度はアラメの方が高かったことから、様々な温度で純光合成-光曲線を求め、それぞれの温度で両種が生育するのに必要な最低限の光量すなわち日補償積算光量を求めてみた結果、1年を通じて生育温度付近においてはアラメの方がカジメよりも生育に必要な最低限の光量が大きいことが明らかとなった。これは、両種が同所的に生育する場合には、アラメの方がカジメよりも浅所に分布するということであり、Maegawa *et al.* (1987, 1988) の結果を支持するものである。また3月の結果を同一の光条件下で見た場合、アラメの方がカジメよりも生育可能な上限温度が低いとみなすことができ

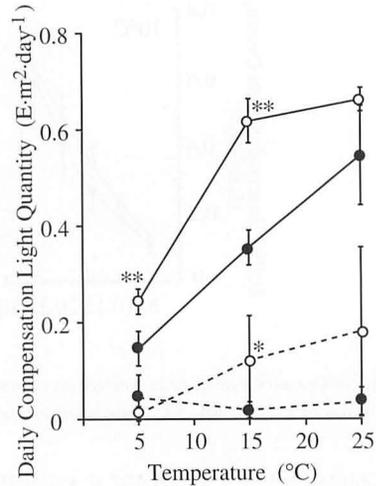


Fig. 10. Daily compensation light quantity-temperature curves in young sporophytes of *Eisenia bicyclis* (open circles) and *Ecklonia cava* (solid circles) after culture for 6 days at $50\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (solid lines) and $10\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (dotted lines). **=significant, $p < 0.01$; *=significant, $p < 0.05$ (t-test).

る。これらの結果は水平分布においてアラメの方が北方にカジメの方が南方に分布することを示すものである。なお、カジメでは5°Cにおける光合成-光曲線の初期勾配が、他の温度における光合成-光曲線の初期勾配よりも顕著に低く、日積算補償光量もアラメより大となったが、この結果はアラメが分布する北方域にカジメが分布しないという事実に対する生理的要因を示唆するものと言える。

日補償積算光量-温度曲線は季節変動を示し、両種とも7-9月の夏季には高温域での日補償積算光量は低くなり、同一光条件下での高温耐性が高くなった。鍋田湾においては7-9月に最も水温が高くなる。また、カジメ群落の現存量が最大となり (Yokohama *et al.* 1987) 相互被陰により群落内の光強度が低下することから、これは7-9月の高温・低光強度期における馴化と考えられる。このような馴化が見られたものの、それぞれの月の平均水温における日補償積算光量は、両種とも夏から秋の高温期には冬から春の低温期に比して高くなった。夏季にはカジメの生産力は低下する (Yokohama *et al.* 1987) が、群落内の光強度が低下するにもかかわらず日補償積算光量が他の季節より高いことがその理由の一つと考えられる。各月の平均水温に

おける日補償積算光量を両種間で比較すると、いずれの月においてもアラメの方がカジメより高い値を示した。すなわち、両種とも季節的な変化に応じた馴化が認められるが、アラメよりもカジメの方が弱光および高温に対して有利な生理特性を有していると考えられる。

なお、アラメ・カジメは、夏から秋にかけて子嚢斑を形成するが、カジメでは子嚢斑の占める面積は葉状部全体の30%に達し (Haroun *et al.* 1989, 倉島 1989), 子嚢斑部の光合成活性は子嚢斑を形成していない部分に比べて低く、光補償点も高くなることが報告されている (Aruga *et al.* 1990, 倉島 1989)。これらのことから本研究で得られた夏から秋の日補償積算光量は過小評価となっている可能性がある。

アラメとカジメの配偶体についても、光合成-光曲線を求めて日補償積算光量-温度曲線を得た。配偶体については野外で採集するのは不可能なため、鍋田湾における最低水温に近い10°C、最高水温に近い25°C、平均水温に近い20°Cで培養を行い、それぞれについて測定を行った。Kübler and Davison (1995) は、*Chondrus crispus* において培養温度および測定温度ともに純光合成速度および初期勾配に影響を与えることを報告している。しかし、本研究では両種とも培養温度による初期勾配の差は認められなかった。一方、どの温度で培養したのも、測定温度が高いほど50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ における純光合成速度が高くなったが、測定温度による初期勾配の差も認められなかった。

配偶体の日補償積算光量は、カジメの方が全温度域で小となったことから、胞子体同様、配偶体でもアラメよりカジメの方が高温・弱光下に適していると考えられる。胞子体と配偶体とを比較すると、両種とも配偶体の方が光補償点および光飽和点ともに低いことがわかる。配偶体では光飽和時の純光合成速度も低く、胞子体と比べて典型的な陰生植物の特徴を有していると言える。さらに、両種とも配偶体の日補償積算光量が胞子体と比べてはるかに小であり、同一の光条件下、特に弱光下では配偶体は胞子体よりもかなりの高温下で生育可能であることを示している。両種とも低温で培養すると高温下での日補償積算光量が高く、高温で培養すると低くなったが、これは胞子体の冬季と夏季の日補償積算光量の変化に対応する。コンブ目の配偶体では胞子体に比べて生長の適温や生存上限温度が高いことが知られている (Wiencke *et al.* 1994)。本研究の結果はこれらの培養条件に関して得られてきた知見を支持するものであると言える。

幼胞子体を温度および光条件を変えて培養した場合、10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養した幼胞子体の方が50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養したものより日補償積算光量が低くなった。これは、弱光下で培養した幼胞子体の呼吸速度が極めて低くなるためである。藻類が深所や弱光下で生育すると、呼吸速度が低下すると同時に光補償点も低くなることが知られており (Lüning 1990), アラメ・カジメでも馴化が認められたと言える。幼胞子体でも成体と同様に、低温域を除き同一条件下ではアラメの方がカジメより日補償積算光量が高いという関係は変わらなかった。

日補償積算光量は生育に必要な最低限の光量を示すものであることから、日補償積算光量が大であるほど同一の光条件下での生長が遅くなることが予想される。従って、培養後の幼胞子体の日補償積算光量-温度曲線から、10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot 5^\circ\text{C}$ の条件下で培養した後にはアラメの方がカジメより面積が増加し、他の条件下ではカジメの方が面積が増加しているものと推測される。さらに、50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養すると両種とも低温ほになると面積が増加し、10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養するとアラメは低温になるほど、カジメでは15°Cで最も面積が増加しているものと推測することができる。しかし、10 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養した場合には推測通りとなったものの、50 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ で培養した場合には両種とも5°Cよりも15°Cで面積が増加し、推測とは異なっていた。これは、光合成-光曲線から明らかなように、5°Cでは約25 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ において光飽和に達し、それ以上の光量を利用できないためと考えられる。

本研究では、胞子体および配偶体の種々条件下での純光合成速度を測定することにより生理特性を比較した。その結果、同一の温度条件下ではアラメよりカジメの方が生育に必要な最低限の光量が少なく、同一の光条件下ではアラメよりカジメの方が高温まで生育可能であることが明らかとなった。このような生理特性の違いが、垂直分布ではアラメよりカジメの方が深所に、水平分布ではアラメよりカジメの方が高温水域に生育する理由の一つであろう。藻類の分布域は、藻体の生存の限界の温度だけでなく生殖の限界の温度にも依存する (Cambridge *et al.* 1984)。アラメの配偶体については8°Cから24°Cで生長し、8°Cから20°Cで有性生殖器官を形成することが報告されている (谷口・秋山 1982) が、胞子体については培養が困難であることから、成熟条件は明らかになっておらず今後の課題である。また、日補償積算光量-温度曲線からアラ

メ・カジメは温度が上昇するとより多くの光量を必要とすることが明らかとなった。従って、光条件が変わらずに高水温となったり、あるいは温度条件が変わらずに光強度が低くなることは、アラメ・カジメ群落の生産力の低下さらには衰退につながるものと言える。

引用文献

- Aruga, Y., Toyoshima, M. and Yokohama, Y. 1990. Comparative photosynthetic studies of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) bladelets with and without zoosporangial sori. *Hydrobiologia* 204/205 : 473-477.
- Cambridge, M., Breeman, A. M., Oosterwijk, R. van and Hoek, C. van den 1984. Temperature responses of some North Atlantic *Cladophora* species (Chlorophyceae) in relation to their geographic distribution. *Helgoländer Meeresunters.* 38 : 349-363.
- Davison, I. R. 1987. Adaptation of photosynthesis in *Laminaria saccharina* (Phaeophyta) to changes in growth temperature. *J. Phycol.* 23 : 273-283.
- Davison, I. R. 1991. Environmental effects on algal photosynthesis : Temperature. *J. Phycol.* 27 : 2-8.
- Haroun, R., Yokohama, Y. and Aruga, Y. 1989. Annual growth cycle of the brown alga *Ecklonia cava* in central Japan. *Topics in Marine Biology* 53 (2-3) : 349-356.
- Hoek, C. van den and Breeman, A. M. 1989. Seaweed biogeography of the North Atlantic : Where are we now? p55-67. In : D. J. Garbary and G. R. South (eds.) *Evolutionary Biogeography of the Marine Algae of the North Atlantic*. NATO ASI Series Vol.G22, Springer-Verlag, Berlin.
- 川嶋昭二 1989. 日本産コンブ類図鑑. 北日本海洋センター, 札幌.
- 喜田和四郎・前川行幸 1982. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究 - I 志摩半島御座岬周辺における群落の分布と構造. *三重大実研報* 3 : 41-54.
- 喜田和四郎・前川行幸 1983. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究 - II 熊野灘沿岸各地域における群落の分布と構造. *三重大実研報* 10 : 57-69.
- Kübler, J. E. and Davison, I. R. 1995. Thermal acclimation of light-use characteristics of *Chondrus crispus* (Rhodophyta) . *Eur. J. Phycol.* 30 : 189-195.
- 倉島彰 1989. 褐藻カジメ (*Ecklonia cava* Kjellman) の子囊斑形成とそれに伴う光合成活性の変化. 東京水産大学修士学位論文.
- Li, W. K. W. and Morris, I. 1982. Temperature adaptation in *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin : Photosynthetic rate compensation and capacity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 58 : 135-150.
- Lüning, K. 1990 *Seaweeds. Their Environment, Biogeography and Ecophysiology*. John Wiley & Sons, New York.
- 前川行幸・喜田和四郎 1987. アラメ及びカジメ群落の生産構造に関する研究. *藻類* 35 : 34-40.
- Maegawa, M., Yokohama, Y. and Aruga, Y. 1987. Critical light conditions for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis. *Hydrobiologia* 151/152 : 447-455.
- Maegawa, M., Kida, W., Yokohama, Y. and Aruga, Y. 1988. Comparative studies on critical light condition for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*. *Jpn. J. Phycol.* 36 : 166-174.
- Sakanishi, Y., Yokohama, Y. and Aruga, Y. 1988. Photosynthesis measurement of blade segments of brown algae *Ecklonia cava* Kjellman and *Eisenia bicyclis* Setchell. *Jpn. J. Phycol.* 36 : 24-48.
- Sakanishi, Y., Yokohama, Y. and Aruga, Y. 1989. Seasonal changes of photosynthetic activity of a brown alga *Ecklonia cava* Kjellman. *Bot. Mag. Tokyo* 102 : 37-51.
- 谷口和也・秋山和夫 1982. アラメ配偶体の生長及び成熟に対する水温と光条件. *東北水研研報* 45 : 55-59.
- 月館真理雄・新井章吾・成原淳一 1991. 宮崎県門川地先のカジメ群落の観察. *藻類* 39 : 389-301.
- Wiencke, C., Bartsch, I. Bischoff, B., Peters, A. F. and Breeman, A. M. 1994. Temperature requirements and biogeography of Antarctic, Arctic and amphiequatorial seaweeds. *Bat. Mar.* 37 : 247-259.
- Yokohama, Y. 1973. A comparative study on photosynthesis-temperature relationships and their seasonal changes in marine benthic algae. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 58 : 463-472.
- Yokohama, Y. and Ichimura, S. 1969. A new device of differential gas-volumeter for ecological studies on small aquatic organisms. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 25 : 75-80.
- Yokohama, Y., Tanaka, J. and Chihara, M. 1987. Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu Peninsula on the Pacific coast of Japan. *Bot. Mag. Tokyo* 100 : 129-141.

三重県尾鷲湾におけるアラメ群落の生育環境と消長

前川行幸¹・栗藤和治²

¹三重大学生物資源学部藻類増殖学研究室 (514 三重県津市上浜町 1515)

²三重県尾鷲市役所水産課 (519-36 三重県尾鷲市中央 10-43)

Miyuki Maegawa¹, Kazuharu Kurifuji² 1996: Growth environment and variation of *Eisenia* marine forest of Owase Bay, Mie Prefecture. Jpn J. Phycol. (Sôru) 44:95-102.

Distribution and population structure of *Eisenia bicyclis* marine forest in Owase Bay were studied. Almost fronds of *Eisenia* in Owase Bay have relatively short stipe length and age. Fronds with 0-2cm and 2-5 cm long of stipe length were corresponded to the age of one and two years, respectively. So, it was thought that regeneration cycle of *Eisenia* marine forest in this bay was 2-3 years. Relationships between environmental factors and changes of *Eisenia* marine forest in Owase Bay were surveyed. *Eisenia* marine forest distributed all over the bay till 1957. Then, it reduced gradually to be scattering only in several point of the bay in 1986-1991. Recently it recovered north area near the mouse of the bay. It was thought that several environmental factors influenced to the changes of *Eisenia* marine forest in Owase Bay. One of them is inflow of thermal effluents from a thermal power plant located inner area of this bay and others are eutrophication by fish culture carried out in large scale in the bay and inflow of sewage.

Key Index Words: distribution-Eisenia bicyclis-growth environment-marine forest

¹ Laboratory of Phycology, Faculty of Bioresources, Mie University, Edobashi 2-80, Tsu, Mie 514, Japan

² Fisheries Section, Owase City Office, Chuou 10-43, Owase, Mie 519-36, Japan

褐藻類コンブ科に属するアラメ *Eisenia bicyclis* Setchell は、太平洋沿岸では岩手県南部から九州南端まで、日本海沿岸では鳥取県から九州西岸までの広く分布している。本種は大型の多年性海藻であり、低潮線付近から漸深帯にかけての水深 5m 程度までの岩礁域に海中林を形成する。海中林は本邦沿岸浅所における最も主要な一次生産生物であるばかりでなく、葉上動物群集から、植食動物、群落を隠れ場ないし摂餌の場として利用する魚類に至るまで豊富な生物相を有する固有の生物社会を構成している。水産の立場からも、沿岸海域の有用水産資源にとっての生育の場、あるいは資源増殖の場としての藻場の有効性は重要視されてきており、各地で藻場の造成事業が進められている(寺脇ら 1991)。近年、群落の衰退あるいは大型海藻が全く見られない、いわゆる磯焼けの海域が我が国沿岸にも認められる。その原因については、他の海藻との競合(岩橋ら 1979)、海況変動(河尻ら 1981)、植食

動物による摂餌圧(中久 1980) 等いくつか指摘がされてきたが、明確には分かっていないのが現状である。三重県尾鷲湾においては、過去には湾の全域に広く分布していたアラメ群落は、近年に至り急速に衰退した。しかし、ここ数年前から回復の傾向をみせている。そこで、尾鷲湾を研究対象域としてアラメ群落の現況を把握し、また生育環境と消長との関係を明らかにするために本調査、研究を行った。

調査海域と方法

三重県尾鷲湾(Fig.1)は、紀伊半島南東部、熊野灘沿岸の太平洋に面した湾で、海岸線はリアス式、半閉鎖的な水質環境となっている。湾内では、魚類の生簀養殖が盛んであり、水力発電所からの淡水の放流、火力発電所からの温排水放出等、湾内の海況、水質の環境変動が激しい。海藻植生の面から見ると、湾内には

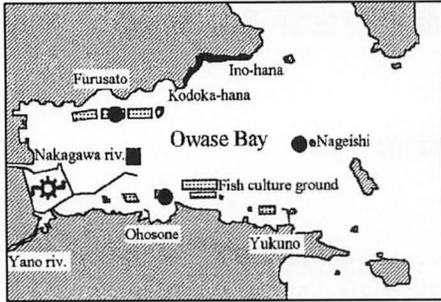


Fig. 1. Maps of Owase Bay with showing points measuring water temperature (●) and water quality (■).

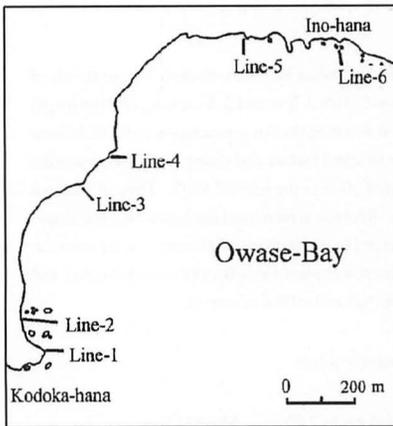


Fig. 2. Maps showing the location of line transect survey from Kodoka-hana to Ino-hana near the mouse of Owase bay.

波浪等外洋の影響を直接受ける外洋型、準外洋型から、湾内域の内海型、内湾型の海藻まで分布している(前川 1995)。本調査、研究対象域としては、アラメ群落と比較的よく発達している湾口部北側のコドーカ鼻から猪ノ鼻にかけての沿岸域を選定した。

各調査地点ではライントランセクト法(鳥田ら 1973)により、6-line (Fig. 2), 岸から沖へ 50m, line-2 についてはさらに沖合に 50m, 幅 0.5m の測帯をとり、測帯に沿って 2m 区間ごとの水深、地形、底質及びアラメの茎長組成、生育密度などを測定した。茎長・乾重量の相対生長関係および年齢組成を調べるために、line-2 周辺から 1995 年 8 月に約 50 個体、10 月に約 100 個体、大小さまざまな標本を刈り取った。採集した標本は淡水で洗浄後、茎部と葉部に分離し、茎長・茎径と茎部・葉部及び個体の乾重量の測定を行った。茎長は生長点から茎の最下部までとした。乾重量は天日乾

燥である程度水分を除去し、その後約 85°C で 1 昼夜送風乾燥し秤量して求めた。アラメの茎長・乾重量の相対生長関係および年齢解析は、前川・喜田 (1984) の方法を用いた。

アラメの高温限界については、1995 年 6 月に line-2 付近から採集した材料を三重県水産技術センター尾鷲分場に運び実験を行った。まず、材料に付着した動物や汚れを取り除き、約 20m² 程度の大きさに切り、一昼夜流海水中に静置した。光合成、呼吸の測定は改良型プロダクトメータ(作動式検容計、横浜・前川 1988)を用いて行い、光源にはプロジェクターランプを用い、光強度は 200 μE·m⁻²·s⁻¹ とした。反応容器および対照容器には 200ml 培養瓶型フラスコに 50ml の濾過海水を入れ、反応容器にはさらに試料を入れて実験を行った。水温は 20°C から 2.5°C 間隔で段階的に上昇させ、同一個体を用いて各水温での光合成・呼吸速度を活性が失われる水温まで測定し高温限界を求めた。測定には 9:00 から 16:00 まで約 7 時間を要した。得られた結果は標準状態(0°C, 1 気圧)における 1 時間、1cm² あたりの酸素放出量で表した。

アラメ群落の消長と環境要因の変動との関係を明らかにするため、さまざまな資料を調査した。まず、アラメ群落の消長は、喜田(未発表)、テクノ中部(1988, 1989, 1990, 1991)、前川(1995)の調査報告から、アラメの生育場所や生育量等を抜粋しとりまとめた。尾鷲湾の魚類養殖の概要については、尾鷲の漁業(1986, 1994)や栗藤・浜口(1991)を参考にした。尾鷲湾の水質については、尾鷲市水質環境データ集(1992, 1994, 1995)を引用し、水温の連続測定データは尾鷲市環境課が測定した 1988-1994 年のデータを取りまとめた。

結果

・アラメ群落の消長

湾内のアラメ群落の消長をとりまとめ、Fig. 3 に示した。1957-1962 年には、湾最奥部の漁港付近を除き、尾鷲湾のほぼ全域に広く分布していたアラメは、その後、1976 年にはコドーカ鼻から猪ノ鼻付近と、湾南岸に点在する状態にまで減少していた。1986-1991 年には、コドーカ鼻、行野付近の湾口部でわずかに点在するのみとなり、群落としては維持されていないものと考えられた。1994-1995 年では、湾南岸でアラメは全く確認されなかったが、コドーカ鼻付近では分布域を広げており、群落を形成するほどにまで回復しているの

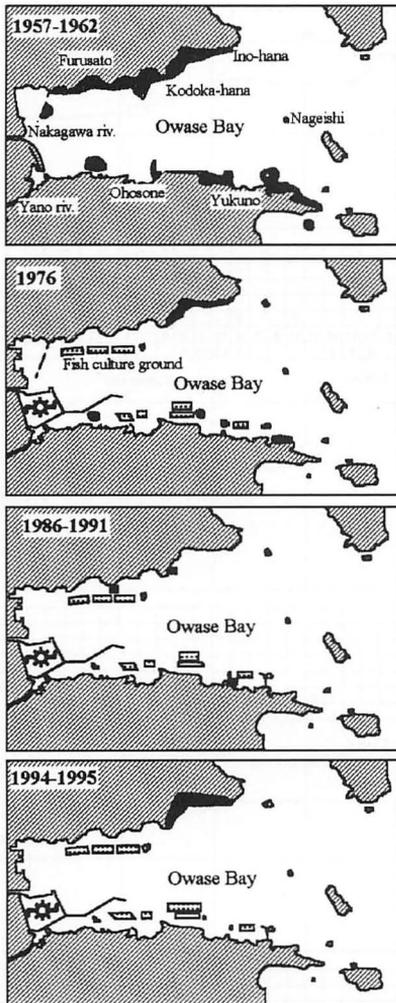


Fig. 3. Changes of the distribution of *Eisenia* marine forest from 1957 to 1995.

が確認された。

・アラメ群落の現況

ライントランセクト法による line-1-line-6 のアラメ群落の分布状況と群落構造を Fig. 4 に示した。line-2 については 0-50m を line-2-1、50-100m を line-2-2 として示した。調査は、line-2 は 1995 年 10 月 10 日、line-1、3-6 は 10 月 19 日に行った。line-1 では、岸から約 20m 付近までは 2m 前後の浅い岩盤であり、30m 付近で水深 5m、40m 付近では水深 7-8m になり、岸から約 38m 付近まで岩盤、巨礫が続き、それより沖では小礫が点在

する砂地が続いている。茎長 0-5cm のアラメが岩盤に点在しており、岸から 5m 付近に多く見られた。岸付近の波当たりの強い水深 0-1m には石灰藻が多く、水深 1-2m にはアヤニシキ、シマオオギが多く見られた。水深 5m 以深になると岩盤、転石上にノコギリモクが多く、シマオオギも点在していた。岸から 40m、礫から砂地に変わる付近にはサンゴも点在していた。

line-2 は群落が発達し、岸から 100m 付近までアラメが確認された。岸から約 10m までは水深は 1m までで浅く、石灰藻、ヒジキなどの小型海藻やホンダワラ類が岩盤上に密生しており、アラメは生育していなかった。岸から 10m を過ぎたあたりから 40m 付近までは、水深 1-2m で底質は岩盤、巨、中礫であり、アラメが密生し、アラメ群落の中にノコギリモクやトゲモク等のホンダワラ類も点在する。岸から 40m を過ぎ、水深 3-4m 付近の岩盤や比較的大きい礫上にアラメが最も密生しており、その間に石灰藻、シマオオギ、ホンダワラ類が見られた。岸から 60m を過ぎに巨礫があり、ここにもアラメが密生している。その先は水深 6-8m になり転石が続き、トゲモク、シマオオギが多くアラメは減少する。岸から 80m を過ぎたあたりから、水深 8-9m で転石、砂地が続き、砂地にある転石上に大型のノコギリモク生育し、アラメは転石上に点在するのみとなる。line-2 のアラメは、ほとんどが茎長 0-5cm、特に 2-5cm が多く、水深 6m、底質が転石、砂地になると少なく、砂地に点在する転石にもわずかではあるが生育していた。line-1 と同様、礫から砂地に変わる付近にはサンゴも点在していた。

line-3 は、岸から水深 2-4m の岩盤、転石が続き、48m 付近から砂地に変化する。全体的にみて岩盤上にアラメが広く生育しており、茎長 0-5cm のものがほとんどであるが、ここでは 5-40cm の大型個体も点在しているのが確認できた。岩盤、転石上には石灰藻が多く、大型のノコギリモクやトゲモクも点在し、トサカマツ、タマイタダキ、シマオオギなどの小型藻類も全体的に見られた。

line-4 では、岸から約 30m まで水深 2-4m の岩盤、巨礫が続き、アラメ比較密生して群落を形成していた。他の line- と同様に 0-5cm、特に 2-5cm の小型個体が多くみられた。岸付近にはイソモク、マクサもあり、トゲモク、ノコギリモクが点在していた。岸から 30m 付近からは転石でウニが多く、シマオオギ、タマイタダキなども見られた。48m からは砂地に変わり、藻類の生育は見られなくなった。

line-5 は、岸近くは岩盤で、10m 付近から転石、30m

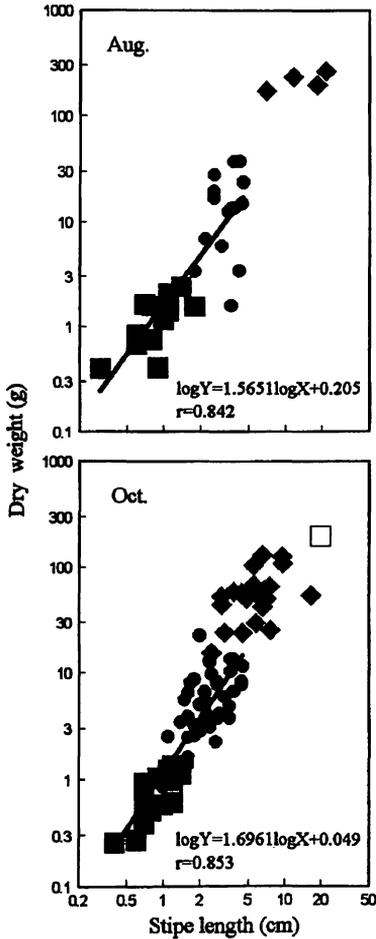


Fig. 5. The allometric relation of *Eisenia bicyclis* in August and October in 1995. Regression equation and correlation coefficients are shown together. Symbols show fronds at the age of one (■), two (●), three (◆) and four (□).

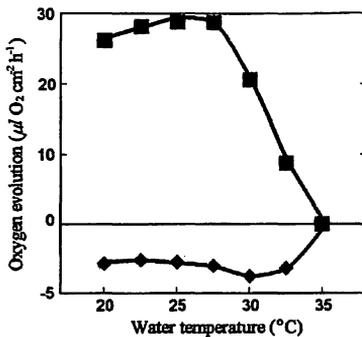


Fig. 6. Photosynthesis-temperature and photosynthesis-light curves of *Eisenia bicyclis*.

付近から砂地になるが、アラメの個体数は少なく、岸から10m、水深2-3m付近と、転石上に確認されただけであった。岸近くにはヒジキ、イソモクが多く、また、岸から10m付近まではウニが多く、岩上は石灰藻に覆われ、いわゆる磯焼けの現象を呈していた。岸から10mより沖ではノコギリモクの大型個体が転石上に多く確認できた。40m過ぎの点石上には、ミルが点在していた。

line-6は、岸付近から水深2-4mのなだらかな岩盤、転石が続き、岸から40mあたりから砂地と転石地帯となる。大型のトゲモク、ノコギリモクが全体密生し、いわゆるガラモ場を形成し、アラメはその間に点在するのみであった。石灰藻、トサカマツ、タマイタダキ、シマオオギ、ユカリ、シワヤハズなどの小型海藻も多く見られた。

アラメの相対生長を、Fig. 5に示す。相対生長式については1年目と2年目について計算した。3年目以降のアラメは茎上部が分叉し、1-2年目の個体とは異なる相対生長を示すが(前川, 喜田 1984), 調査対象域内には3年目以上の大型個体がごく少なく、相対生長は計算することができなかった。相対生長関係と年齢組成から茎長0-2cmは1年目、2-5cmは2年目、5-10cmは3年目の藻体であるとほぼ断定できる。しかし、志摩半島のアラメに比べ、尾鷲湾のアラメでは最高で4年、多くは1-2年目までの藻体で占められていた。尾鷲湾の1-2年目のアラメの相対生長は志摩半島沿岸の1-2年目のアラメ(前川, 喜田 1984)とほぼ一致していた。

・アラメの高温耐性

アラメの光合成-温度曲線, 呼吸-温度曲線をFig. 6に示した。光合成, 呼吸活性とも温度の上昇に伴い高くなり、光合成は25-27.5°Cで、呼吸は30°Cで最も高い値を示した。光合成, 呼吸は高温側で活性は急速に低下し、両者は35°Cで活性が失われた。光合成の限界水温は、2.5°C間隔で水温を上昇させていった場合、正の値を示す最高水温とし、呼吸の場合についても同様にして評価した。本実験ではアラメの限界温度は光合成, 呼吸とも32.5°Cであった。

・尾鷲湾の水質とアラメ群落

尾鷲湾のアラメ群落に及ぼす可能性のある人為的な要因について、調査した資料から解析を行った。まず、沿岸土木工事についてみると、1961年からの火力発電所建設が始まり、1970年代以降、行野や大曾根等、主

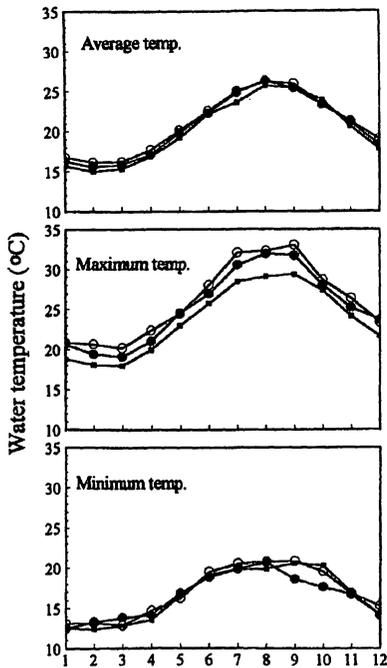


Fig. 7. Monthly changes of average water temperature, maximum temperature and minimum temperature at Furusato (●), Ohosone (○) and Nageishi (■) at depth of 1 m from 1989 to 1994.

に湾の南側において港湾整備や護岸工事が現在にまで引き続いて行われている。湾への流入水については、1964年からの火力発電所の稼働、1987年の増設による温排水放流 (54.6t/sec)、1962年稼働の中川上流の水力発電所からの淡水放流 (25t/sec)、矢の川上流の採石場からの濁水、生活様式の変化に伴う家庭排水の増加とその海洋投棄等が挙げられる。

尾鷲湾の水温データについては、尾鷲市が湾内3地点 (水深1m) において1時間間隔で測定されたデータを元に、1988年10月から1994年4月までの約5年間の平均と最高・最低水温を月別に集約し、Fig. 7に表した。最高、最低水温は、5年間を通じてその月の最も高いもしくは低い水温として表した。平均水温については、湾口部の投石がやや低い傾向がみられるものの、3地点ともほとんど差はみられなかった。これに対し、最高水温には3地点で大きな差がみられ、湾中央部南側の大曽根が最も高く、ついで北側の古里高く、湾口部の投石が最も低いという特徴的な変化を示した。特に大曽根では7月から9月にかけて30°Cを大きく越え33°Cに達した。古里でも9月には32°Cに達

している。湾口部の投石では最高水温は9月で29.4°Cであった。最低水温は3地点で大きな差はみられなかったが、湾南側の古里で9-10月にかけて他の2地点に比べ2°C程度低くなっているのが特徴的であった。

尾鷲湾中央部における水質のいくつかの項目について、1976年以降の経年変化をFig. 8に示した。透明度は変動はあるもの増加傾向にあり、1976年の5.7mから1994年には7.5mへと高くなった。DOも増加傾向にあり、6.6ppm前後から7.4ppmへと高くなっている。pHにはほとんど変化はみられず8.1-8.2程度であった。次に有機汚濁指標としての全窒素 (TN)、全リン (TP) およびCODの経年変化について述べる。TNは増加傾向にあり、1985年までは0.1-0.18mg/l程度であったものが1990年以降では0.2-0.27mg/lにまで増加している。TPは0.02mg/l程度でほとんど変化していない。CODは減少傾向ではあるが、養殖生産量と同じような変動が見られ、1980年前後の養殖の最も盛んな時期に高く、1983、1984年には2.4とピークになり、魚類生産量の減少とともに低下し、1992年には1.4まで減少した。しかし、CODは再び増加傾向をみせ、1993年には1.7、1994年には2.0に上昇した。

考察

現在、尾鷲湾のアラメ群落はやや回復傾向にあり、コドーカ鼻から猪の鼻付近、特にline-2付近を中心に群落の拡大が見られている。この沿岸付近は岩盤、転石が続いており、アラメの生育に適した水深2-5m付近に安定した着定基盤が存在する海域である。Fig. 4に示したライトトランセクト調査の結果からも幼体が多数見られ、群落は安定して維持されているものと思われる。しかし、尾鷲湾のアラメは、喜田・前川 (1984) が調査した志摩半島沿岸のアラメ群落とは異なり、茎長が5cmまでの小型個体が多く。年齢も2年目までの個体が大部分であった。したがって、尾鷲湾のアラメ群落の更新周期は2-3年と、志摩半島沿岸のそれの6-7年に比べかなり短い。この原因は今回の調査からは明らかにすることができなかったが、湾内の水質悪化、特に透明度不足により、6-7年といった大型の個体となるための十分な光を得ることが困難なこと、また、志摩半島沿岸に比べやや温暖な環境であることなどが原因として考えられた。

アラメ群落の消長に及ぼすいくつかの要因について検討したが、いずれもアラメ群落の消長の原因として十分可能性があると考えられた。以下にいくつかの

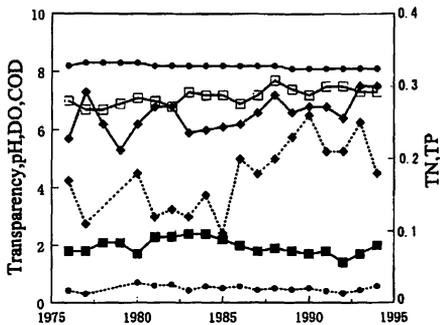


Fig. 8. Changes of transparency (—◆—), pH (—●—), DO (—□—), COD (—■—), TN (---◆---) and TP (---●---) at the central point in Owase Bay from 1976 to 1994.

例を挙げて説明する。尾鷲湾のアラム群落はFig. 3に示したように、特徴的な消長を示した。すなわち、1957-1962年には、尾鷲湾のほぼ全域に広く分布していたアラムは、1976年にはコードカ鼻から猪ノ鼻付近と、湾南岸に点在する状態にまで減少し、1986-1991年には、湾口部でわずかに点在するのみとなり、1994-1995年では、湾南岸の行野付近でアラムは全く確認されなかったが、コードカ鼻付近では分布域を広げており、群落を形成するほどにまで回復していた。この原因としてはさまざまな要因が考えられる。湾への流入水による影響として、火力発電所からの温排水の放流およびダム放水が、湾内の水温環境に大きな変化を与えていると思われる。湾奥部からの温排水は、湾南岸に沿って拡散する機会が多くみられており（関根ら1993）北岸の古里側より、南岸の大曾根側の水温が常に1-2°C程度高く、大曾根地先水温は33°Cを越える水温がしばしば測定されている。高温水がアラムに与える影響については、前川・杉山（1995）は、アラムの光合成の高温限界を33-33.5°Cと報告している。本研究においてもアラムの高温限界は32.5°Cであり、これらの数値は大曾根地先で観測した最高温度とほぼ一致する。アラム群落の衰退は湾南岸で顕著に見られることから、温排水の放流は尾鷲湾南岸域におけるアラム群落衰退の一因と考えられる。また、1980年代以降から南岸の行野や大曾根で港湾工事が進められており、埋め立てなどによりアラムの生育場所が減少したこともアラム群落衰退の要因と考えられる。

水力発電所、特に中川上流の坂本ダムからの濁水は、砂泥の海底への堆積によりアラム遊走子の着定を阻害し、さらに一時的に透明度の悪化も引き起こすと考えられる。採石場からの濁水も同様である。また、

一時に大量に放流される淡水も何らかの影響を与えている可能性がある。生活排水についても、尾鷲湾沿岸の市町村は下水浄化施設を持たず、すべて尾鷲湾に流出することから、湾内の水質悪化の一因と考えられる。

尾鷲湾全域的に見て、アラム群落衰退の大きな要因は、1970-1980年代にかけて湾内各所で盛んにおこなわれた魚類養殖に伴う有機汚濁による影響と考えられる。1970年代に魚類養殖が急激に増加し、それに伴いFig. 3に示したようにアラム群落の急速な衰退がみられている。また、養殖されている場所にも関連がみられ、魚類養殖生簀が設置されている場所付近でアラム群落の消滅が著しい。Fig. 8に示した尾鷲湾の水質の経年変化からも、魚類養殖が湾の水質に重大な影響を及ぼしている経過がうかがえる。最近にいたり、アラム群落が湾口部で回復してきたのは、魚類養殖における配合餌料の普及による生餌使用量の大幅な減少、餌の改良、ハマチからマダイへの養殖魚種の変化等が考えられる。しかし、最近では透明度は高くなっているもののTNは依然増加しており、水質が良くなっているとはいえない。魚類養殖は多量の有機物負荷を湾内水域に与え、富栄養化によるアラムの生育阻害、浮泥の堆積によるアラム胞子の着定阻害（寺脇ら1991）等がアラム群落の衰退の原因と考えられるが、詳細については今後の検討を必要とする。

以上、いくつかの要因はアラム群落の消長に対し直接・間接に影響を及ぼすことが推察されたが、主要な要因を特定することはできなかった。これは、湾内の水質に及ぼす要因が多岐にわたり、いずれの要因もアラム群落の消長の原因として十分可能性があると考えられるためである。尾鷲湾内のアラム群落は衰退したとはいうものの、現在コードカ鼻付近において群落の回復がみられていることから、この付近に着定基盤を造成し群落の拡大をはかることは可能と考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、フィールド調査の便宜をはかっていただき、また多くの資料を提供していただいた尾鷲市水産課、同環境課および三重県水産技術センター尾鷲分場、尾鷲農林水産事務所水産部に対し、深く感謝の意を表します。

引用文献

岩橋義人・稲葉繁雄・伏見 浩・佐々木 正・大須賀

- 穂作 1979. 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態学的研究－IV 分布と群落の性状. 静岡水試研報 13: 75-82.
- 河尻正博・佐々木 正・影山佳之 1981. 下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動. 静岡水試研報 15: 19-30.
- 栗藤和治・浜口勝則 1991. 熊野灘での沿岸漁業をとりまく諸問題. 水産海洋研究 55: 251-258.
- 前川行幸・喜田和四郎 1984. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究－III アラメ藻体における相対生長の季節変化. 三重大水産研報 11: 189-198
- 前川行幸 1995. 海藻調査. 温排水影響調査報告書, 43-50, 尾鷲湾調査研究会
- 前川行幸・杉山篤 1995. 潮間帯に生育する海藻の高温耐性と垂直分布の関係. 水産増殖 43: 429-435
- 中久喜昭 1980. 磯焼け漁場の海中林造成試験. 栽培技研 9: 25-30.
- 尾鷲市水産課 1986,1994. 尾鷲の漁業.
- 尾鷲市環境課 1992,1994,1995. 尾鷲市環境データ集.
- 尾鷲市環境課 1995. 尾鷲市の環境.
- 関根義彦・中川勝裕・栗藤和治・野田耕史・高芝芳裕 1993. 尾鷲湾内部の水温・塩分の水平分布. 三重大生物資源紀要 11: 113-144
- テクノ中部 1988,1989,1990,1991. 尾鷲三田火力発電所 3号機運転後環境調査報告書.
- 寺脇利信・川崎保夫・本田正樹・山田貞夫・丸山康樹・五十嵐由雄 1991. 海中林造成技術の実証. 第2報 三浦半島西部でのアラメおよびカジメの生態と生育特性. 電力中央所研究報告 U91022: 1-69.
- 寺脇利信・後藤 弘・本田正樹 1991. 海中林造成技術の実証. 第1報 技術動向の文献・事例調査. 電力中央所研究報告 U91021: 1-69.

海中林造成の基礎と実践

谷口和也

水産庁東北区水産研究所 (985 宮城県塩釜市新浜町 3-27-5) *

Kazuya Taniguchi 1996: Fundamental and practice of marine afforestation. Jpn. J. Phycol. (Sôri) 44:103-108.

Recent studies on the succession of marine algal communities in the sublittoral zone have contributed to the development of marine afforestation technology in coralline flats called "Isoyake" where the crustose corallines are dominated. Coralline flats enlarge its area when the communities of large perennial brown algae that form marine forest are reduced by the combined hydrographical factors of high temperature and/or low nutrients. Succeedingly, destructive grazing by dense populations of herbivores such as sea urchin maintain coralline flats. Since dibromomethane, the secondary metabolite of crustose corallines induces normal metamorphosis of sea urchin larvae, an enforced grazing pressure sustain coralline flats. Marine afforestation in coralline flats reduce grazing pressure at the primary stage due to the growth of large annuals. This relative decrease in grazing pressure drives algal succession towards the final marine forest stage.

Key Index Words: algal succession, coralline flat, Isoyake, marine afforestation, marine forest

Kazuya Taniguchi, Shinhama 3-27-5, Shiogama, Miyagi 985, Japan.

はじめに

日本沿岸の漸深帯岩礁海底には、浅所に大型多年生のコンブ目やヒバマタ目褐藻の優占する海中林が、深所に殻状の多年生紅藻無節サンゴモの優占するサンゴモ平原 (Ayling 1981) が形成されている。海域によっては、海中林とサンゴモ平原との境界域に小型多年生海藻の優占する草原が認められる。海中林は、陸上森林以上の高い生産力 (吉田 1970, 有賀 1974, 谷口・山田 1978, Yokohama *et al.* 1987, 谷口・山田 1988) によって、アワビ、サザエ、イセエビなど重要な水産生物の漁業生産を支えている。このため、海中林が衰退してサンゴモ平原が拡大、持続すれば、水産生物の漁獲量が著しく低下するので、古くから磯焼け (遠藤 1911) と呼ばれていた。ここでは、海中林とサンゴモ平原とを対極とする海藻群落の変動機構についての生態学的理解と、その理解にもとづいてサンゴモ平原に海中林を造成し、磯焼けを克服した実践例を紹介する。

磯焼けの発生海域と原因

海中林やテングサ群落が衰退することによって磯焼けが発生したり、あるいは現在でも持続している海域は、Fig. 1 に示したように 25 道県に及び、その大部分は外洋域に面している (柳瀬 1981)。

これまで、海域によって異った多くの磯焼けの原因が報告されているため (田村 1951)、磯焼けについての統一した生態学的理解が困難な印象を与えている。しかし、原因を自然の生態学的要因と人為的要因に分けて整理すれば (Table 1) 理解が可能になる (谷口ら 1995)。

生態学的要因は、地史的時間の中で確立してきた海藻群落を最も主要な一次生産者とする岩礁域固有の生物群集の変動をもたらす必然的、可逆的な条件である。無機環境の変化は、相対的に偶然な一時的変化も含み、生物の生存と再生産に直接影響を及ぼすため、磯焼け発生の主要な要因とみなされる。遠藤 (1911) が磯焼けの記載の中で無節サンゴモも含めて死亡する海藻と残存する海藻を認めているのは、環境変化に対して海藻毎に生存の生理学的閾値が異なる結果であることを示している。生物の影響は、環境変化によって生物種間関係が変化することを示しており、主として磯焼けの持続に係わる要因である。

* 現住所：981 宮城県仙台市青葉区堤通雨宮町 1-1 東北大学農学部生物海洋学講座

* Present address : Laboratory of Biological Oceanography, Faculty of Agriculture, Tohoku University, Tsutsumidori-Amamiya, Aobaku, Sendai, Miyagi 981, Japan

Table 1. Cause of marine forest decline

I. Ecological factors	II Artificial factors
1. Environmental change	1. Over harvest
1) Hydrographic variation (temperature, nutrient, wave action etc.)	2. Low of transparency by pollution
2) Geophysical change (tsunami, eruption, flood waters etc.)	3. Suspension of silt and drift sand
	4. Waste water from mine factories
2. Biological effects	5. Oil pollution
1) Grazing by herbivorous animals	6. Synthetic detergent (?)
2) Inhibition of algal growth by crustose coralline red algae	7. Agricultural chemicals (?)

(Taniguchi et al. 1995)

人為的要因は、海藻ばかりでなく沿岸生物すべてに偶然的に生存条件を奪い、しかもその要因が取り除かれな限り最終的にはすべての生物を死滅に追い込む不可逆的な過程をたどる。したがって、これらの要因は生態学的要因と類似した現象を示すが、生態学的要因とは決定的に異なり、環境破壊そのものである。この要因には、過剰な収穫や、陸上森林の過剰な伐採によって沿岸に大量の淡水や土砂が流入するなど生態学的要因と区別するのに困難な例もある。地球温暖化のように人間活動が地球規模で環境に影響する事態が憂慮される現在 (谷口 1991)、要因を区別するのにさらに困難さを増している。しかし、人為的要因は個々の要因を明確にして環境修復技術を開発すれば人間自身の手で取り除くことができる。この場合も海藻群落の変動機構を生態学的に理解することが前提となる。

磯焼けの発生と持続

磯焼けは、海況変動に対応して生物種間関係が変化する結果、海中林とサンゴモ平原とが相互に拡大と縮

小を繰り返すサイクリックな遷移の過程 (Fig. 2) でサンゴモ平原が拡大、持続した結果起る現象である (谷口ら 1995)。

磯焼けをもたらすサンゴモ平原の拡大は、世界各地ではほぼ共通する高水温、低栄養の海況下で海中林が衰退した結果として観察されている。日本の太平洋沿岸に主に分布するアラメ、カジメ海中林の場合は、黒潮蛇行期など暖流が強勢な海況下で死亡率が高まり、加入率が低下する結果衰退する (河尻ら 1981, Yokohama et al. 1987, Taniguchi 1991)。過去 50 年近くも磯焼けが持続していた北海道日本海沿岸では対馬暖流の流量増加による温暖化がホンメコンブ群落の衰退をもたらしたと推定されている (北海道 1994)。北アメリカ沿岸のオオウキモ海中林の衰退もエル・ニーニョ現象の発生が引き金となっている (Tegner and Dayton 1987)。また、高水温の海況下では、しばしば発生する台風などの大きな時化にともなう強い波動によっても、藻体が海底から大量に離脱して海中林は崩壊する (Tegner and Dayton 1987)。

浅所へ拡大したサンゴモ平原は、優占する無節サンゴモが揮発物質、ジプロモメタンを分泌してウニなど植食動物の着底、変態を誘起して集め (Fig. 3. Taniguchi et al. 1994)、それらの高い摂食圧で他の海藻を排除して持続する。無節サンゴモは、自らの平原をウニの発生の場として提供するとともに、ウニの高い摂食圧を利用して維持するといえよう。

他方、無節サンゴモは生長にともなって表層の死細胞を剥離していくので、この作用によって他の海藻の着生を阻害してサンゴモ平原を持続させるとの考えもある (Masaki et al. 1984)。しかし、無節サンゴモの着生阻害作用は着生する海藻の種類と海況に対応して温度依存的に発現するので (谷口 1994)、サンゴモ平原の持続にとって重要ではない。ウニなど植食動物の存在は表層の死細胞を除去する役割によって無節サンゴモの生長に寄与していると考えられる。



Fig. 1. The areas recorded marine forest decline (Yanase 1981).

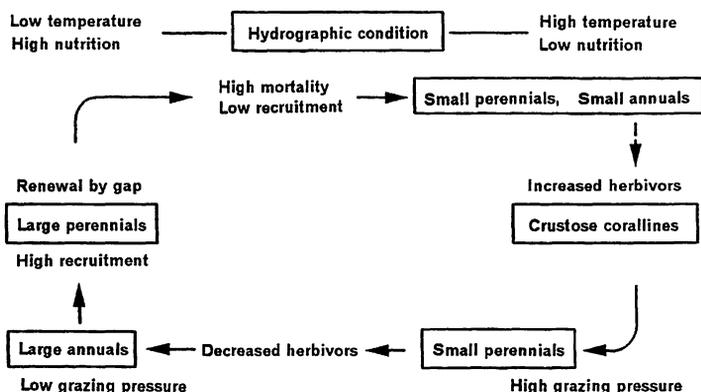


Fig. 2. Cyclic succession of marine algal communities in the sublittoral zone (Taniguchi *et al.* 1995).

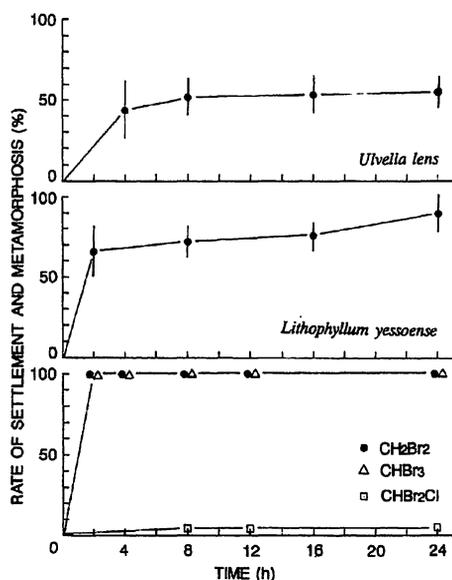


Fig. 3. Rate (%) of sea urchin, *Strongylocentrotus nudus* larvae settled and metamorphosed in response to substrates of live *Ulvella lens* (top), live *Lithophyllum yessoense* (middle), and solutions of dibromomethane (CH_2Br_2), tribromomethane (CHBr_3) and chlorodibromomethane (CHBr_2Cl) (bottom). solid circles and empty symbols represent metamorphosis and settlement, respectively (Taniguchi *et al.* 1995).

海中林の回復

サンゴモ平原から海中林の形成に至るには、植食動物に対して化学的防御物質を生産する小型多年生海藻による摂食圧の排除、次いで大型1年生海藻による摂食圧の吸収によって大型多年生海藻の発芽個体が保護される過程をたどる (Fig. 2)。着生阻害作用をもつ無節サンゴモ上には、毎年冬～春季には植食動物の摂食

活性の低下も関連して付着珪藻やヒトエグサ、アナオサなど短命な小型1年生海藻の生育が常に認められる。これらに対して、アミジグサ科褐藻やフジマツモ科紅藻に代表される小型多年生海藻は、テルペン (Fig. 4) やフェノールなど植食動物に対する化学的防御物質を生産してサンゴモ平原に高密度に生息する植食動物を排除し、長期にわたって草原を形成する。

化学的防御物質を生産する海藻として、東北地方太平洋沿岸ではアビやウニを排除することからケカツグサ (凶作草) と呼ばれるフクリンアミジ (谷口ら 1989, 1992b)、北海道日本海沿岸ではマギレンソとエゾヤハズ (白石ら 1991, 1992)、本州日本海沿岸ではアミジグサとシワヤハズ (谷口ら 1993)、西日本沿岸ではウミウチワとウスバウミウチワが明らかにされている。これらの海藻は、光条件が良好で植食動物が高密度に生息するサンゴモ平原に生育の場を見出し、化学的防御物質を獲得して自らの草原を維持することを可能にした。また、小型多年生海藻が形成する草原は、摂食圧を排除する自らの維持機構によって後達の大型海藻の侵入を保障し、海中林の形成を促進すると考えられる。

小型多年生海藻の草原は、高密度に形成されると大型海藻の侵入を妨害する傾向も認められる。しかし、低水温の海況下でコンブやワカメなど大型1年生海藻が速やかに高密度の群落を形成して小型多年生海藻を排除する (Taniguchi 1991)。大型1年生海藻は高い生長速度と高密度の群落によって摂食圧に対抗していると考えられる。

一年未満で消滅するこれらの群落は、同時に発芽して海中林を構成するアラメ、カジメなど寿命が永く生長がおそい大型多年生海藻に対する発芽段階での摂食

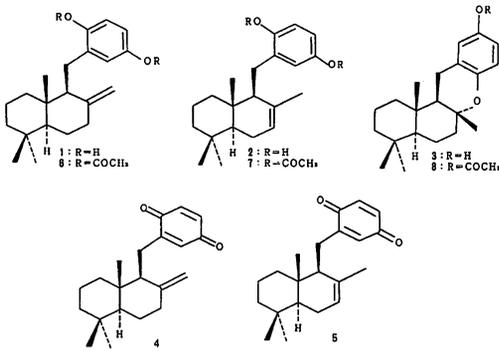


Fig. 4. Chemical structures of active sesquiterpene derivatives, 1-5 obtained from the brown alga *Dictyopterus undulata* (Taniguchi et al. 1993).

圧を吸収する役割を果すことによって海中林の形成を促進する。この知見は、アラメ、カジメ海中林の造成に応用されている (Taniguchi 1991)。

海中林の維持

海中林は、化学的防御物質としてフロロタンニンを生産して植食動物を排除するとともに、ギャップ更新によって安定的に維持される。

海中林を構成する大型多年生海藻は共通して水溶性のポリフェノール化合物、フロロタンニン (谷口ら 1991) を生産するが、生長が速い大型1年生海藻は生産しない (谷口ら 1992)。また、多年生海藻の中でもツルアラメのように藻体が小型の種で最も多く、アラメのように大型の種で最も少ないという適応的な化学的防御機構を示している (谷口ら 1992)。しかし、フロロタンニンは水溶性なので藻体が死亡すると失われる (谷口ら 1992a)。アワビやウニが生育している藻体を直接摂食せずに脱落して流れ藻となった藻体や側葉を主に摂食するのはこのためである。

海中林は、すべての年齢群がモザイク的に分布して構成されている (谷口・鬼頭 1988)。このため、高齢

個体が死亡して密度が低下し、林床に光が差し込むようになった場所 (ギャップ) では後継群が顕著に形成されるようになる。海中林は、場所的に高齢個体の死亡と後継群の形成を繰り返して全体としては安定的に維持されている (Maegawa and Kida 1989, Maegawa et al. 1988, 谷口 1990)。この機構は陸上森林と同様なギャップ更新である。アラメ海中林では、ギャップ更新を利用して満2歳以上の大型個体を5個体/m²以下に制御する管理によって高い生産力の下に安定的に維持できることが明らかにされている (谷口 1990a)。しかし、死亡率が高く、加入率が低い高水温の海況が持続すれば、海中林はギャップの拡大によって衰退し、サンゴモ平原が拡大する。

海中林の造成

海中林の造成は、1) 種苗の生産と供給、2) 着生基質の整備、3) 種苗の保護育成の各要素技術からなり (Table 2)、中でもサンゴモ平原の持続要因としての摂食圧対策である種苗の保護育成が最も重要である (谷口ら 1995)。

植食動物が生息できない砂浜海域では、水産生物の漁場拡大を目的に天然石やコンクリートブロックによる着生基質の整備だけで、近隣の海中林から供給される生殖細胞が着生して容易に海中林が形成される (川崎・寺脇 1994)。

サンゴモ平原に海中林を造成するためには、植食動物の年間摂食量を経験的に海中林の年間純生産量の1/3~1/4以下に制御する必要があるとされる (高間ら 1981)。カリフォルニア沿岸では衰退したオオウキモ海中林を定期的なウニの駆除によって回復させた (North 1971)。日本では東北地方沿岸でサンゴモ平原から植食動物の駆除を継続するとともに、マコンブをロープ養殖して残存する植食動物への餌料供給と成熟した藻体からの遊走子の供給によってマコンブ群落の形成に成功した (菊地ら 1979)。しかし、この実験で最初に優占群落を形成したのはアカモクであり、マコンブ群落の形成は親潮が強勢な寒冷な年 (奥田 1986)

Table 2. Elements of marine afforestation technology

I. Production and supply of seed and seedlings	II. Preparation of substratum	III. Protection of seeds and seedlings
1. Transplantation of matured adult	1. Establishment of artificial reefs	1. Removal of herbivorous animals
2. Mass-scattering of zoospores, gametophytes and young sporophytes	2. Blasting of rocks	2. Reduction of grazing pressure by other algae
3. Long-line culture and sea bottom transplantation of sporophytes	3. Destruction of other algae	3. Access obstruction against herbivorous animals
		4. Enclosure of seedlings by net
		5. Utilization of natural chemicals

(Taniguchi et al. 1995)

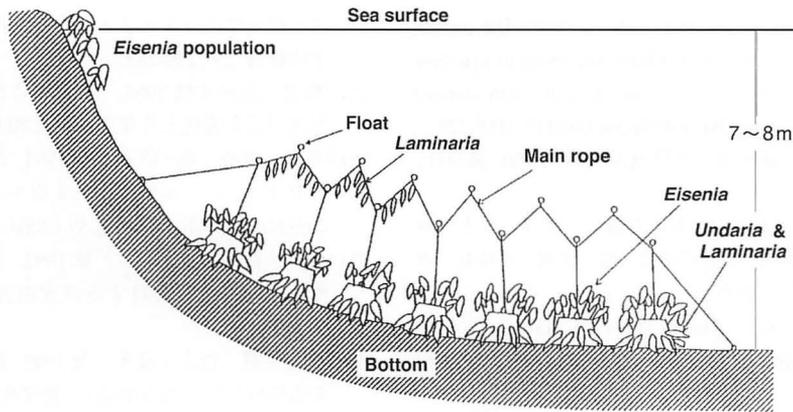


Fig. 5. Schematic diagram of marine afforestation of *Eisenia bicyclis* (Taniguchi 1989).

まで待たねばならなかった。無節サンゴモのマコンブに対する着生阻害作用の低下とマコンブの最適な繁茂条件は寒冷な海況であることが分かる。

磯焼けが問題化していた北海道日本海沿岸ではキタムラサキウニの駆除の継続によって日本海特産種のフシジモク優占の海中林の形成をみた(北海道1994)。ここで当初期待されたホソメコンブが生育しなかったのは無節サンゴモの着生阻害作用が発現する温暖な海況にあったことは明らかである。その後の北海道におけるウニ駆除事業によって寒冷な年や冬季に低温化する内湾においてはホソメコンブ群落の形成が確認されている。これら事業規模での海中林造成の成功によって、北海道日本海における磯焼けは“森林伐採による鉄分不足”であるとする説(松永1993)は全く根拠を失った。

アラメ、カジメ海中林の造成は、徳島県では海藻礁に植食動物の這い上り防止装置を取り付けること(中久1981)によって、また長崎県では植食動物の駆除と海面近くに設置した施設から成熟した藻体の垂下による遊走子の供拾(四井・前迫1993)によって成功している。東北地方沿岸においては、アラメ海中林の造成に際して生長が速い大型1年生海藻のワカメ・マコンブの人工種苗をアラメ種苗とともに移植する方法が実施され成果を挙げている(Taniguchi 1991)。この場合、海藻礁の中～下部にワカメやマコンブの種苗を移植して植食動物への餌料供給と這い上り防止を図るとともに、マコンブのロープ養殖を併用して生長がおそいアラメ種苗に対する摂食圧を低減させた(Fig. 5)。これは、海中林の形成過程にもとづいて生長のおそいアラメ種苗を保護する技術が有効となった例である。この技術の行使によって約1,000m²の造成された海中林の生産力にもとづいて1t近いエゾアワビの生産を可能と

した。今後、化学的防御物質を生産する小型多年生海藻を利用して植食動物を排除する方法の開発が期待される。

引用文献

- 有賀祐勝 1974. 資源としての海藻. 遺伝 28 : 49-54.
- Ayling, A. M. 1981. The role of biological disturbance in temperate subtidal encrusting communities. *Ecology* 62 : 830-847.
- 北海道 1994. 海域特性総合利用技術開発調査報告書(磯焼けグループ). 1-68. 海域特性総合利用技術開発調査検討委員会(磯焼けグループ)事務局, 北海道水産部栽培漁業課.
- 河尻正博・佐々木正・影山佳之 1981. 下田市田牛地先における磯焼け現象とアワビ資源の変動. 静岡県水産試験場報告 15 : 19-30.
- 川崎保夫・寺脇利信 1994. 藻場の造成. 74-85. 磯部雅彦(編) 海岸の環境創造, ウォーターフロント学入門. 朝倉書店, 東京.
- 菊地省吾・浮 永久・秋山和夫・鬼頭 鈞・菅野 尚・佐藤重勝・桜井喜十郎・鈴木 博 1979. アワビ餌料藻類の造林技術開発に関する研究. 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究. 農林水産技術会議事務局研究成果 116 : 129-189.
- Maegawa, M. and Kida, W. 1989. Regeneration process of *Ecklonia* marine forest in the coastal area of Shima peninsula, central Japan. *Jpn. J. Phycol.* 37 : 194-200.
- Maegawa, M., Kida, W., Yokohama, Y. and Aruga, Y. 1988. Comparative studies on critical light conditions for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*. *Jpn. J. Phycol.* 36 : 166-174.

- Masaki, T., Fujita, D. and Hagen, N. T. 1984. The surface ultrastructure and epithelium shedding of crustose coralline algae in an "Isoyake" area of south western Hokkaido, Japan. *Hydrobiologia* 116/117: 218-223.
- 松永勝彦 1993. 森が消えれば海も死ぬ. 1-190. 講談社, 東京.
- 中久義昭 1981. 藻場・海中林の造成—アラメ・カジメ場. 116-129. 日本水産学会(編) 藻場・海中林. 恒星社厚生閣, 東京.
- North, W. J. 1971. The biology of giant kelp beds (*Macrocystis*) in California. *Nova Hedwigia Beihefte* 32: 1-600.
- 奥田邦明 1986. 1984年の異常冷水現象の発生過程について. 東北水研研報 48: 87-96.
- 白石一成・谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 1991. 褐藻エゾヤハズのメタノール抽出物によるキタムラサキウニとエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌 57: 1945-1948.
- 白石一成・谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 1992. 褐藻エゾヤハズの植食腹足類 2 種に対する摂食阻害. 東北水研研報 54: 103-106.
- 高間 浩・児玉正碩・山内幸児 1981. 藻場造成技術(技術論). 43-66. 水産庁研究部研究課(編), 昭和 55 年度指定調査研究, 海中林構築物周辺の水産生物の資源生態に関する事前研究報告書(海藻関係).
- 田村 正 1951. 磯焼け対策の重要性. 北水試月報 8: 28-36.
- 谷口和也 1989. アラメ海中林の造成と管理. 農林水産技術会議事務局, マリーンランニング計画技術指導書シリーズ 2: 1-7.
- 谷口和也 1990. 牡鹿半島沿岸におけるアラメ群落の更新過程. 東北水研研報 52: 9-12.
- 谷口和也 1990a. アラメ群落の後継群形成に及ぼす間引効果. 日水誌 56: 595-597.
- 谷口和也 1991. CO₂ 気候変化と増殖業への影響—藻類. 農業および菌芸 66: 215-220.
- 谷口和也 1994. 海中林の維持管理技術の開発. 農林水産技術会議事務局, バイオコスモス計画平成 5 年度研究報告 245-255.
- Taniguchi, T. 1991. Marine afforestation of *Eisenia bicyclis* (Laminariaceae: Phaeophyta). NOAA Technical Report NMFS 102: 47-57.
- 谷口和也・鬼頭 鈞 1988. アラメ群落における年級群組成の変動. 日水誌 54: 1583-1588.
- 谷口和也・山田悦正 1978. 能登飯田湾の漸深帯における褐藻ヤツマタモクとノコギリモクの生態. 日水研報告 29: 239-253.
- 谷口和也・山田秀秋 1988. 松島湾におけるアカモク群落の周年変化と生産力. 東北水研研報 50: 59-65.
- 谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 1991. 褐藻ツルアラメのポリフェノール化合物によるエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌 57: 2065-2071.
- 谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 1992. コンブ科褐藻数種のエゾアワビに対する摂食阻害活性. 日水誌 58: 577-581.
- 谷口和也・關 哲夫・蔵多一哉 1995. 磯焼けの機構と克服技術としての海中造林. 野生生物保護 1: 37-50.
- 谷口和也・白石一成・蔵多一哉・鈴木 稔 1989. 褐藻フクリンアミジのメタノール抽出物に含まれるエゾアワビ被面子幼生の着底, 変態阻害物質とその作用. 日水誌 55: 1133-1137.
- 谷口和也・秋元義正・蔵多一哉・鈴木 稔 1992a. 褐藻アラメの植食動物に対する化学的防御機構. 日水誌 58: 571-575.
- 谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔・白石一成 1992b. 褐藻フクリンアミジのジテルペン類によるエゾアワビに対する摂食阻害作用. 日水誌 58: 1931-1936.
- 谷口和也・山田潤一・蔵多一哉・鈴木 稔 1993. 褐藻シワヤハズのエゾアワビに対する摂食阻害物質. 日水誌 59: 339-343.
- Taniguchi, K., Kurata, K., Maruzoi, T. and Suzuki, M. 1994. Dibromomethane, a chemical inducer on settlement and metamorphosis of the sea urchin larvae. *Fisheries Science* 60: 795-796.
- Tegner, M. J. and Dayton, P. K. 1987. El Niño effects on southern California kelp forest communities. *Advances in Ecological Research* 17: 243-279.
- 柳瀬良介 1981. 磯焼けの起こる要因および回復しない要因(原因論). 9-39. 水産庁研究部研究課(編), 昭和 55 年度指定調査研究, 海中構築物周辺の水産生物の資源生態に関する事前研究報告書(海藻関係).
- 遠藤吉三郎 1911. 海産植物学. 1-748. 博文館, 東京.
- Yokohama, Y., Tanaka, J. and Chihara, M. 1987. Productivity of the *Ecklonia cava* community in a bay of Izu peninsula on the Pacific coast of Japan. *Bot. Mag. Tokyo*, 100: 129-141.
- 吉田忠生 1970. アラメの物質生産に関する 2・3 の知見. 東北水研研報 30: 107-112.
- 四井敏雄・前迫信彦 1933. 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験. 水産増殖 41: 67-70.



研究技術紹介

光合成における炭酸ガス固定と酸素発生量の相関 および酸素電極測定法

和田野 晃

大阪府立大学・農学部 (593 堺市学園町 1-1)

Akira Wadano 1996. The use of oxygen electrode in measurements of photosynthesis. Jpn. J. Phycol. (Sôru) 44:109-114.

The use of oxygen electrode is described in measurements of photosynthesis. The stoichiometry of the oxygen evolved is explained for the photosynthetic fixation of CO_2 . The stoichiometry for oxygen and carbon dioxide is checked for not only Calvin-Benson cycle but also photorespiration. Fundamental ways to treat the oxygen electrode is shown for getting accurate results of photosynthetic measurements.

Key Index Words: oxygen electrode, stoichiometry, oxygen, carbon dioxide

Akira Wadano: Osaka Prefecture University, Gakuencho 1-1, Sakai 593, Japan

はじめに

光合成の測定は、炭酸ガスの減少を直接測定する赤外吸収ガス分析法 (Infra Red Gas Analysis: IRGA)、固定炭酸ガス量を放射性同位体を用い検出する方法、および固定炭酸ガスの量に応じて放出される酸素を酸素電極で検出する方法が主に用いられる。それぞれ一長一短があるが、ここではその中でも取り扱いが最も容易な酸素電極による方法を取り上げてみる。この電極による酸素の測定は、HeyrovskyとShikataによる滴下水銀電極を用いるポーラログラフィーの創出に端を発している。この電極でも酸素が分解されることは知られていたが、大きな白金電極を緑葉にあてると酸素濃度の変化が観測出来ることが判明するまでに10年余りの時間が必要であった。その後、コロジオンで白金面を覆うと電極が安定化することが明らかにされ、さらに1956年にはClarkが画期的な電極系を考案するに至った (Clark 1956)。彼は電極を膜で覆い試料から隔離し、膜を通過する酸素のみを測定することが可能であることを示した。この電極は、直接試料と接しないので汚染されず、さらに膜はイオンを透過させる必要がないので疎水性のものを使うことが可能である。こ

のことは試料が必ずしも溶液状でなくてもこの電極による酸素濃度の測定が可能であることを示している。しかし、光合成を気体中の酸素濃度の変動により測定する装置は多くはなく、英国のWalker教授が考案し、Hansatech社が販売しているLD1/2はその典型的なものである。その詳細は別の成書に示されているので (Walker 1955)、ここでは溶液中の酸素測定を主に記すことにする。

1) 固定炭酸ガスと放出酸素のストイキオメトリー

少し光合成の炭酸ガス固定について復習をしながら、放出される酸素の測定がどの程度固定された炭酸ガスを反映しているかを確認しておく。図1は光化学系IとIIを示す略図である。光化学系IIは水2分子より電子を4個受け取り、光のエネルギーを用いてQAに受け渡す。この4個の電子は電子伝達体の流れ、光化学系Iで再度光エネルギーで高エネルギー状態になり、フェレドキシンを経由し、2分子のNADPをNADPHに還元する。この間に電子伝達系により、ストロマからチラコイド内腔へプロトンが運ばれ、その濃度勾配によりATPが作られる。このATPの生成のス

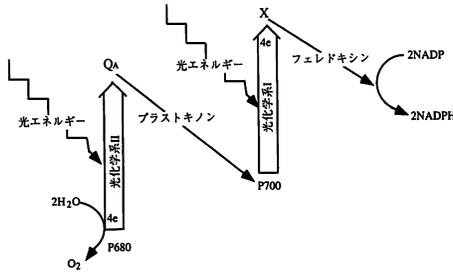


図1. 光合成の電子伝達系 水2分子が参加され4電子が光化学系IIに渡り、電子伝達系を通り、最後に2分子のNADPが還元される。

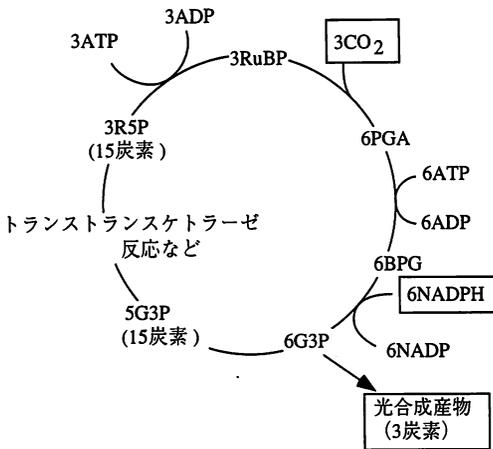


図2. Calvin-Benson Cycle 3分子の炭酸ガスが固定され、3炭素化合物のトリオースが1分子生成されると、6分子のNADPHが酸化される。

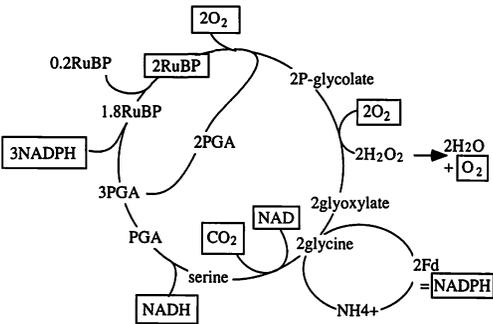


図3. 光呼吸経路 2分子のRuBPに2回オキシゲネーションが生じると、合計3分子の酸素が使われ、1分子の炭酸ガスが生じる。その間に、差し引き4分子のNADPHが酸化される。

トイキオメトリーは、サイクリックな電子の流れでNADPHが生産されず(水から電子が光化学系II流れない)にATPの生産だけが起る経路もあるので、炭酸ガスの固定と酸素の発生量のストイキオメトリーと無関係であると考えても間違いではない。ともあれ、水が2分子酸化され酸素が1分子発生すると4等量の電子が光化学系に渡り、電子伝達系を経て、2分子のNADPHが生成する。

一方、光合成の暗反応(Calvin-Benson回路)でのNADPHとATPの消費は固定される炭酸ガス量とどのような相関があるだろうか。図2には、3分子の炭酸ガスがCalvin-Benson回路で固定され、光合成産物として3炭糖が1分子作られる場合のATPとNADPHの消費が示してある。前述したようにATPの消費量は酸素発生に厳密な相関関係はないと考えられるので、NADPHの消費量に視点をあてると、3分子の炭酸ガスが固定され、3炭糖が1分子固定されるのに6分子のNADPHが1、3-ビスホスホグリセリン酸(BPG)をグリセルアルデヒド3-リン酸に還元するのに使われる。従って、1分子の炭酸ガスを固定するのに2分子のNADPHが消費されることになる。上述の水の酸化による酸素の発生と生成されるNADPHの量比と考え合わせると、1分子の炭酸ガスの固定は1分子の酸素の発生を伴うことになる。

光化学系による光のエネルギーの利用と酸素発生には、活性酸素の生成経路も関与している。しかし、光化学系に関与する電子伝達系から酸素に電子がもれ、過酸化水素ができて、最終的に水と酸素になれば、水が酸化され酸素が発生し、酸素が還元されさらに水と酸素に不均化される結果となり、netの酸素の出入りはないと考えられる。一方、光呼吸は時に光合成炭酸ガス固定の50%に及ぶといわれており、netの酸素出入りがありそうで、無視するわけにはいかないが、Farquharとvon Cammerer(1982)によると次のようになる(図3)。RuBPにたいしてオキシゲネーションが一度おこると、3.5 ATP、2NADPH、1.5O₂が消費され、0.5 CO₂が生成される。ところで、2分子のNADPHは上述のように1分子の酸素の発生に相当する。従って上記結果は3.5 ATP、0.5 O₂の消費と0.5 CO₂の発生となる。彼らの考え方は以下のように理解される。光呼吸で2分子のRuBPが酸素を受け取り、2分子のグリコール酸を生成すると考える。生成したグリコール酸はもう2分子の酸素を消費して、グリオキシル酸と過酸化水素を各2分子生成する。過酸化水素はカタラーゼなどにより分解され2分子の水と1分子の酸素を生

成する。その結果、この過程での酸素の消費は1分子となる。次にグリオキシル酸はアミノ基転移をうけグリシンになる。2分子のグリシンよりセリン、NADH、炭酸ガス各1分子が生じる。このセリンが1分子のPGAになるのに1分子のNADHを消費する。合計3分子のPGAが生成し、最終的に1.8分子のRuBPを再生するには3分子のNADPHを必要とする(残りの0.2分子のRuBPは光合成炭酸ガス固定系により補給されると考える)。一方、グリシンから遊離したアンモニアを固定するのに1分子のNADPHを必要とする。これらを合計すると、2分子のRuBPに対してオキシゲネーションが2回生じると、1.8分子のRuBPが再生されるまでに、3分子の酸素が消費され、1分子の炭酸ガスが生じ、4分子のNADPHが酸化される。光化学系はそのNADPを還元するために2分子の酸素を発生するので、結局ここでも1分子の酸素の消費は1分子の炭酸ガスの生成に相当することになり、酸素1分子の発生は炭酸ガス1分子の固定と考えても問題ない。従って、光呼吸の有無にかかわらず、炭酸ガス固定量は酸素発生量を測定すれば良いことになる。

2) 酸素電極による酸素測定原理 (萩原 1977)

市販されている酸素電極には大別してガルバニー電池型とClark電極型と呼ばれる2種類ある。しかし光合成の測定に用いられるのは、一般に後者のClark電極型であるので、ここでは前者については言及しないことにする。Clark型電極の基本構造は図4に示したように、白金の陰極と電解液のKCl溶液、及び銀/塩化銀の陽極、電極膜よりなっている。両電極間には、0.6Vの電圧をかけて、流れる電流を測定する。陰極側ではO₂がプラチナ表面で2eを受け取り還元され、H₂O₂と2OH⁻を生じる。さらにH₂O₂は2eを電極より受け取り2OH⁻となるので陰極付近の電解液は短時間でアルカリとなる。そのため炭酸ガスがより溶けやすくなり電気の出力が不安定になるので、電解液として炭酸イオンと緩衝液を含む溶液を使う場合もある (Delieu and Walker 1981)。陽極側では、4Agと4Cl⁻から4AgClを生じ、さらに4eを電極に受け渡す。この4eの電極での授受を電流として測定するので、測定される電流は陰極で消費されるO₂量と化学量論的に相関がある。

実際に光合成測定で筆者の周りによく使われている酸素電極には、Hansatech社、Rank Brothers社、及びYellow Spring社のものがある。前2者は構造的にも比較的類似しており、専用のセルにとりつけられているが(図5)、3番目のものは専用のセルはなく、例えば

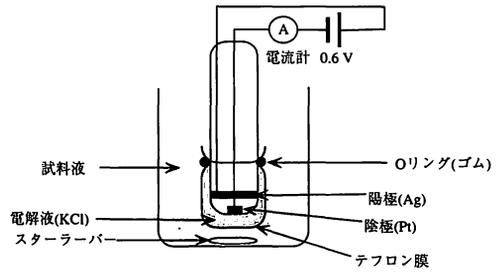


図4. Clark型複合酸素電極の基本構造 陽極と陰極を包埋する支持体には、ガラスや樹脂が用いられている。電解液には、KClを含む緩衝液、保水剤としてグリゼロールを加えたものなどがある。テフロン膜と陰極・陽極の間は、レスポンスが悪くなるので出来るだけ隙間を作らないようにする。

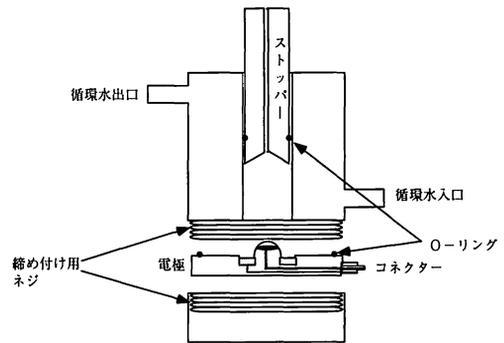


図5. 専用のセルにつける電極 Hansatech社の電極アンプリーは、試料セル部分と電極が別々になっており、ネジで締め付け組み立てる。電極の管理が容易である。

独自に設計したケモスタットに取り付け使用する時などに便利である(図6)。

電極も自作は可能であるが、筆者の周りでは購入している。一方、電極に一定電圧を供給する電源及び電流測定装置は少し価格が高いこともあり、工夫して自作することも珍しくはない。図7はその装置の一例である。電池は以前は水銀電池を使用していたが、アルカリ電池でも実用上差し支えない。ただ水銀電池は電圧が最後まで一定しているが、アルカリ電池は長時間使用し電力が無くなると少しずつ電圧が下がる傾向があるので、テスターなどで電圧をチェックする方が無難ではある。スイッチはどんなものでも支障ない。抵抗は低雑音のものが望ましいが、さほど神経質になる必要もない。1mV入力記録計は、入力インピーダンスが1MΩ以上のものでチャートスピードの変えられるものであれば使用可能である。感度を上げたい時

は、記録計が接続している $2\text{K}\Omega$ の抵抗を $20\text{K}\Omega$ に換え、 10mV 入力で $0\text{-}100$ 合わせをした後、 1mV に感度を上げて使用する。

3) 測定例

a) 必要な装置

酸素電極 Hansatech 社 DW2/2 など
 電極制御器 Hansatech 社 CBI-D2 など
 記録計
 循環高温水槽
 窒素ボンベ
 空気用コンプレッサーもしくは代用品（金魚用ポンプなど）
 光源 スライドプロジェクターなど
 マグネティックスターラーとスターラーバー

これらの器具の中でスターラーとスターラーバーは、比較的軽んじられがちであるが、ノイズを少なくするためには非常に重要である。スターラーには低速で安定した回転が得られ、火花によるノイズを避けるためブラシレスのモーターを使用しているものを選ぶ。スターラーバーは電極膜を傷つけない（普通は試料室の構造上電極膜に接しないようになっている）で、かつ回転むらなくスムーズに搅拌出来るものを購入する。記録計は前述のように入力抵抗の高いものを用意する。古くても差し支えないが、真空管時代のもの

のは入力抵抗が一般に低いのでさけた方が無難である（これは杞憂？）。

b) 測定

酸素電極のアセンブルは少なくとも前日にしておいたほうが測定値が安定する。まず酸素電極のキャリブレーションを行う。酸素の溶解度は表1（笹川・関根1955）に示したように、温度と分圧により定まり、例えば1気圧、摂氏25度の空気と平衡になっている水溶液には約 $250\mu\text{M}$ の酸素が溶解している。そこでまずセルに緩衝液に懸濁した試料もしくは緩衝液を適量満たす。スターラーで搅拌しながら、空気を小さい気泡になるように通気する。測定電圧が一定になるまで放置し、その電圧値を空気に含まれる酸素と平衡にある溶液の酸素飽和値とする。次に窒素を通気し、電圧が一定になったときその値を酸素濃度0の時の出力電圧とする。この操作を2、3度繰り返し、チャートに描かれた電圧の差を $250\mu\text{M}$ の酸素に相当すると考える（図4）。スターラーの回転速度は、バブリングを窒素から空気、もしくは逆の操作をしたとき平衡になるまでにあまり長い時間がかからない程度に設定する。次にストッパーを挿入する。ストッパーには、あらかじめ試料の容量が一定になるように印をつけておく。ケモスタットの場合、その容量はサンプリングの容量により異なるが、光合成を測定する場合は、後で加える重碳酸溶液や阻害剤の容量が問題にならない程度の試

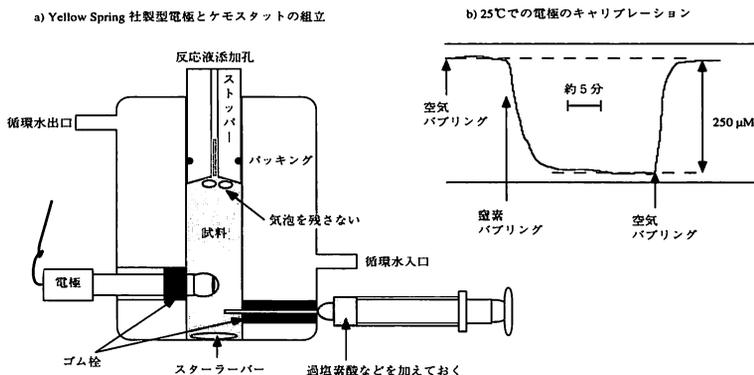


図6. ケモスタット組み込んだに Yellow Spring 社製型電極と電極のキャリブレーション 窒素と空気をバブリングし、ブンゼン係数より、記録計のチャート幅がいくら酸素に相当するかを求めておく。酸素光合成のタイムコースを追跡しながら、代謝中間体の濃度の変化を調べるためにはケモスタットを用いる。あらかじめ一定量の過塩素酸などをいれた注射筒に一定時間ごとにサンプルをとる。

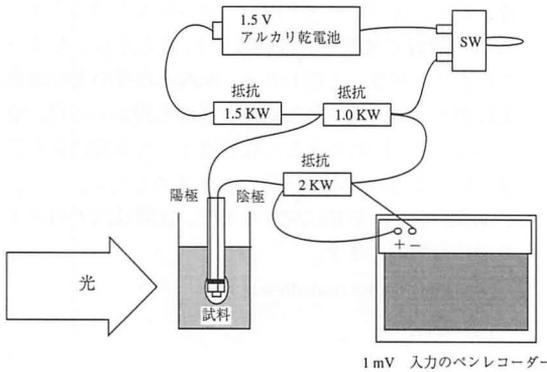


図7. 簡易型の酸素電極電源 簡易型ではあるが、電池を電源とするのでノイズは少なく、測定精度は良い酸素電極電源である。ただし、このままではゼロ点補償が記録計の機能に依存しているので感度の切り替えが困難である。

料容量とする。例えば、20 μ lの重炭酸溶液を加える場合はその100倍の2ml程度にする。このストッパーを挿入するとき、試料の中に気泡を残さないように注意する。試料中の気泡はノイズや、酸素発生測定の直線性欠如などの原因になる。測定中にも発生した酸素が飽和し、気泡を作ることがあるので、最初に気泡がなくてもノイズがではじめたら試料セルをチェックする。光はスライドプロジェクターなどを用い照射する。集光と熱線を取り除くために丸底フラスコに水のみたしたものを試料セルと光源の間に置く。光の強さを調整するには、白色フィルターやオパールガラスなどを用いるが、ガーゼを適当に重ねたもので代用できる。試料セル内の光量を測定するにはHansatech社のQRT1 Quantithermが便利である。試料の濃度はラン藻を用いる場合で、最終5 μ g Chl/ml程度にしている。測定値は濃度変化で現れるので、絶対値の変化に換算する。5 μ g Chl/mlの試料で2mlのセルを用いて、20 μ Mの酸素が5分間で発生したとすると、

$$\begin{aligned} \text{発生酸素量} &= 20 \times 2 / 1000 / (5 \times 2) / 5 = 40 \text{ nmol} / 10 \\ &\mu\text{g Chl} / 5 \text{ min} = 0.8 \mu\text{mol} / \mu\text{g Chl} / \text{min} \\ &\text{となる。} \end{aligned}$$

4) コンピューターでのデータの取り扱い

3, 4年前までは新しいパソコンは比較的貴重品であり、ペンレコーダーの代わりにアナログ・デジタルコンバーター (A/Dコンバーター) を付け、酸素測定装置に常設しておくのは困難であった。そこで我々は

古くてハードディスクすら付いてないパソコンにRS232Cで接続できるA/Dコンバーターを付け、雑誌に掲載されたソフトを組み合わせてペンレコーダー用のソフトを作りデータの取り込みを行っていた。その後の処理は、データをテキストファイルの形でセーブし、アップル社Macintoshの表計算ソフトで行った。その時、データの取得に用いていたNECのパソコンのフロッピーディスクの容量2DD=640KB, 2HD=1.2MBの仕様に随分面倒な思いをさせられた。我々のところでは、Hanzatch社の光合成測定システムが稼働しているが、そのコントロールはIBMのパソコンで行っている。この3社のパソコンで共通に使えるフロッピーのフォーマットは、NECのパソコンでは例外的とも思われる取り扱いを受けている9セクターフォーマットの2DD (720KB)のみである。例えばドライブBでその共通に使えるフロッピーディスクを初期化するには、MS-DOSのコマンドラインで

FORMAT B : /9

と入力する。この/9 (スラッシュ・ナインという) を初期化のコマンドFORMATのスイッチというが、光合成を研究目的とする人でそれを知らない方は珍しくない(少なくとも筆者の身の回りでは)。少し余談になるが、この720KBフォーマットの2DDは日本語のワープロ専用機でMS-DOS変換する際にもよく使われており、ワープロの文章をMacintoshやIBMコンパチのパソコンで使うのに便利なフォーマットでもある。この720KBのフロッピーは内容がテキストファイルであれば、MS-DOSのファイルが読める多くのワープロ、DOS/V, Macintosh, NEC98などのパソコンで読み書きが可能であり、共通のソフトが存在する場合にはそのソフトのファイルは共有できる。例えばNEC98のLOTUS-123のワークシートやグラフはMacintoshでそのまま読み込みが可能である。ただその場合一点だけ注意が必要で、そのディスクの全てのファイルの名前は半角8文字以下の英数字のみで記す必要がある。漢字や仮名を用いるとファイルそのものが表示されなかったり、そのファイルの後に書き込んだファイルが全て表示されなくなる可能性がある。

前述の自作のシステムは現在でも稼働しており、自分でもやってみたくと思われる方には必要な情報とPASCALのソースは差し上げることは出来る。しかし現在ではすでに市販のものもあり、特殊な目的でない限り自作はさして生産的ではない。例えばHansatech社のPC対応2ペンレコーダーエミュレーションソフトQYS1とフル/ハーフ・ISA拡張スロット付きIBMコンパチブルコンピューターインターフェースカード

表1. 酸素のブンゼン係数と空気と平衡になっている水中濃度

温度 (°C)	ブンゼン係数 ($\mu\text{l/ml}$)	水中濃度 (μM)
0	0.04872	474
10	0.03793	357
15	0.03441	350
20	0.03091	309
25	0.02822	251
30	0.02612	229

(笹川・関根 1955) 水中濃度は25°C, 1気圧, 1モルの気体の体積を22.41としてブンゼン係数より計算した。

IF2の組み合わせで使い易い2ペンのレコーダをパソコン上で実現できる。その後の処理は上述の変換法を用いればどの種のパソコンでも行うことが可能である。

5) おわりに

酸素電極での光合成測定は、原理としてはそう新しいものではない。テフロン製の薄い膜が電極膜として使われ初めてから電極自体に画期的な進歩があったわけでもない。むしろ変わったところは、コンピューターを取り入れたシステムが作られ始めたことであろう。筆者の学部でも共通の備品としてHansatech社のシステムが導入されている。このシステムの利便さは、例えば光の強さをコンピューターから制御できるので、光飽和曲線をとるのは非常に簡単である。しかし、原理はやはり酸素電極であるから、電極の取り扱いを間

違えると、何のデータを取ったのか分からなくなる。

この解説ではスペースの都合上、書き忘れてしまっていることが多いと思われる。Walker教授の光合成測定に関する著書は、光合成の測定の原理から応用、蛍光の測定の生理的意味など教科書として非常に良くできていると思われる。一読をおすすめしたい。

最後に、この解説に関する感想、質問は以下のメールアドレスにお願いします。

wadano@center.osakafu-u.ac.jp

参考文献

- Clark, Jr., L. C. R. 1956. Monitor and control blood and tissue oxygen tension. *Trans. Am. Sci. Artificial Internal Organs*, 2: 41
- Delieu, T. and Walker, D. A. 1981. Polarographic measurement of photosynthetic oxygen evolution by leaf discs. *New Phytol.*, 89: 165-178
- Farquhar, G. D. and von Caemmerer, S. 1982. Modeling of photosynthetic response to environmental conditions, p. 549-587. In: O. L. Lange, P. S. Nobel, C. B. Osmond and H. Ziegler (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol12B, Springer-Verlag, Berlin.
- 萩原文二 (編) 1977. 電極法による酸素測定. 講談社, 東京
- 笹川泰治・関根隆光 1955. ワールブルグ検圧計の使い方. p.509-605. 赤堀四郎 (編) 酵素研究法, 朝倉書店, 東京
- Walker, D. A. 1995. 光合成測定, 上田悦範・平 知明・竹田恵美・和田野晃 (監訳), 旭光通商

正誤表

44巻1号掲載の「光合成研究法シリーズ」三室 守「光合成色素および光化学系反応中心の定量法」中に以下の誤りがありました。訂正します。

	誤り	正
14 ページ右カラム, 7 行目	Benett and Bogorad 1975	Benett and Bogorad 1973
18 ページ, 付録 2	Chl の計算結果の単位 mg/ml	$\mu\text{g/ml}$

吉崎 誠：日本藻類学会第20回大会（船橋・東邦大学）をふりかえって
Makoto Yoshizaki : Report of the 20th Annual Meeting of the Japanese Society
of Phycology in Funabashi (Toho University, March 28-29, 1996)

日本藻類学会第20回大会は、1996年3月28・29日の両日、千葉県船橋市にある東邦大学理学部で開催された。大会参加者は非会員も含み一般170名、学生72名、それに大会を手伝ってくれた人達8人を加えると、250人となった。発表数は口演発表62件、展示発表19件、特別展示発表1件、シンポジウム1件(5題)であった。これまでになく発表件数が多く、2会場で同時に発表を進めることとなった。大会開催両日ともに盛況で、両日夕方に行われた懇親会はいずれもが盛況であった。大会はすべて順調にすすみ、主催者として参加者のみなさまに感謝申し上げます。ありがとうございました。

日本藻類学会々則の第2条に「本会は藻学の進歩普及を図り、併せて会員相互の連絡並びに親睦を図ることを目的とする。」とある。第3条は第2条の目的を達するために行う事業が述べられている。日本藻類学会第20回大会を引き受けるにあたり、この会則に則った大会にするべく様々なことを考えた。近年、大きな発展を遂げた学問分野をあげると生物学と天文学であるという。藻類学会での研究発表を見ると、物質レベルから、細胞、組織、器官、個体、生態、環境問題まで広い分野にわたり、取り扱われる分類群は藻類のみならず菌類から海草までと多様である。さらに、経験豊かな人から、若い大学生までと参加者も多彩であり、年々参加者も増加の傾向がある。藻類学会の発展はとどまることを知らない。ところが、東邦大学は私立のほとんど女子大に等しい小さな大学である。まず、東邦大学で開催するとすると宮地和幸と吉崎の二人で運営しなければならない。手助けしてもらえない学生の手も少ない。けれども、それだけにいろんな試みができるに違いないと思ったのである。まず、第19回大会の懇親会席上で、次回大会を東邦大学で開催することが紹介された後、直ちに、千葉県立中央博物館の宮田昌彦氏、国立教育研究所の鳩貝太郎氏、宮地と吉崎の4人で第20回大会準備委員会を組織し、大会会長に吉崎、庶務と会計を宮地が担当することを決めた。その後7回の委員会を開き第20回大会が開催されたのである。会則に則して、大会の特別企画としてシンポジウ

ムを計画し、一つの曲折を経て、横浜康継先生(筑波大学下田臨海実験センター)にオーガナイザーをお願いし、「海の中の森林生態学」を企画してもらった。大会を千葉県で開催することでもあり、千葉県の海藻食文化を紹介したいとして、「千葉県の海藻の文化誌」を特別展示発表することにし、鳩貝と吉崎が担当することとした。また、採集会を行うなどが議論され、実行可能な企画はどんどん実行することにした。これらの企画は直ちに実現し、横浜先生は講演要旨をとりまとめ、鳩貝は取材に走り回り、大会初日の懇親会で「山武太巻き寿司研究会」の太巻き寿司実演交渉が成立した。千葉県北部で食べられている「かいそう(コトジツノマタの蒟蒻)」も銚子の加工業者に注文した(これは当日山岡容子君が銚子までとりにいってくれた)。採集会は鳩貝が交渉し、館山市にある千葉県立水産共同実習所で3月25日から27日まで、これから大型藻類を勉強しようとしている若い人達の参加を求めて開催することにし参加者を募った。そして、啓蒙のために280枚のポスターを作成し、大会開催案内と共に海苔・海藻生産加工販売に携わる企業、水産加工食品業者、漁業組合、研究所など、これまであまり働きかけたことのない人達の参加を求めた。

大会当日は好天に恵まれ、600枚も用意した傘袋を使わずにすんだ。少ないスタッフでいかに滞りなく進行し、しかも参加者に満足してもらえるかにスタッフ全員が心を配った。そのために、各会場に責任者を置いた。A会場は鳩貝、B-C会場は宮地、D会場は宮田が担当した。パソコン画面に表示するタイムキーパーを各会場に設置した。スライド係りは鈴木浩文君をヘッドとし、吉崎と鳩貝が主催する生物教育研究ゼミのメンバーに手伝ってもらった。また、採集会参加者も積極的に手伝ってくれた。受付は亀井純子君(かずさアカデミアパーク)に責任者となってもらった。休憩室は竹内亜希子君が担当し、懇親会用に握り飯を用意することは黒谷玲子君を責任者とした。大門由佳君は連絡係として走り回ってくれた。山岡容子君は東邦大学で学会を引き受けた時から、あらゆる雑用を積極的に引き受けてくれた。また、愚息吉崎総雄には適所

で働いてもらった。かくして、大会は滞り無く進行したのである。大会開催当日、様々なハプニングがあった。座長の無断欠席が1件、展示会場では何の連絡もないまま、展示発表開始2時間前になってもポスターを貼らない発表者がいて会場責任者をあわてさせた。29日に石川茂雄先生ご夫妻が大会にお見えになられた。懇親会場には石川先生の種子の写真を展示してあったのでご記憶の方も多かろうと思うが、石川先生は岡村金太郎の直弟子であられ、いわゆる岡村先生の自宅で開かれた岡村塾で岡村先生の声咳にふれた方であり、横浜康継・石川依久子・斉藤宗勝氏の先生でもある。折から斉藤宗勝氏の口演を親しく聞かれ、シンポジウムも聞かれて帰られた。

懇親会は東邦大学ラウンジの2階を会場として開催された。予想を上回る盛況であった。吉田忠生学会会長挨拶、大会会長挨拶、そして宮田、宮地、鳩貝の大会スタッフと、大会を手伝ってくれた人達が紹介された後、かつて東邦大学教授であった加崎英男先生に乾杯の音頭をとっていただいた。山武太巻き寿司研究会の実演は見事であったし、予想を超える参加者だったので、アツという間に用意した食べ物や飲み物がなくなってしまうのではないかと心配したのだが、最後には握り飯を持ち帰ってもらうことができ、これも好評であった。

29日も各会場とも順調に進行し、活発な討論が行われた。シンポジウムも大成功であった。これまであまり参加してもらえなかった人達にも接することができたし、議論も各所で活発に行われていた。29日の懇親会も盛況であった。三浦昭雄先生（青森大学）にお世話いただき、金田漁業協同組合組合長理事武内英雄殿と全国海苔貝類漁業協同組合連合会会長理事長木一殿から素晴らしく優秀な海苔を提供していただきました。この海苔は山武太巻き寿司の実演に用いられました。残りはこの懇親会の終わりに、三浦昭雄先生から参加者に手渡ししていただきました。かくて、日本藻類学会第20回大会は終わった。これまでになくたくさ

んの方々に参加いただき、活発な議論をしていただき、また、親睦を深めていただいたことに感謝します。横浜先生には当日学会会場で販売したご著書と、海藻おしばの売上金をご寄付いただきました。お礼申し上げます。大会開催に当たり協力していただいたスタッフや、手伝ってくれたみんなに深く感謝します。大会の運営にばかり専念して、藻類若手の会にまでは手が回りませんでした。お詫び申し上げますが、若い人達の礼儀ある態度も欲しいものです。

最後に会計報告をします。

収入	
学会よりの補助金	120,000
大会参加費（前納）	822,000
当日大会参加費	486,000
採集会参加費	380,000
寄付	105,000
出店料	60,000
雑費	2,100
利息	154
合計	1,975,254
支出	
ポスター、案内等印刷費	307,558
通信費	43,300
運送費	15,717
文房具類	61,749
特別展示	62,460
採集会	347,948
茶菓子代	23,156
昼食代	23,420
懇親会費	893,318
酒代	60,266
慰労会費	90,947
雑費	45,415
合計	1,975,254

(〒274 千葉県船橋市三山2-2-1 東邦大学理学部生物学科)

鳩貝太郎：日本藻類学会第20回大会海藻採集会参加記

1996年3月28日から東邦大学理学部で開催された日本藻類学会第20回大会に先立ち、3月25日から27日まで、館山市沖ノ島で海藻採集会が行われた。これから大型藻類を勉強しようという若い人をと募集したところ、たくさんの応募があった。中には精神年齢は誰よりも若いという定年後の経験豊かな人や、臨海実習の講師を頼まれているのだが、海藻はサッパリわからないで困っているという人もいたのだが、年齢の若い方から20人に参加をしてもらうことにした。結果的には間際になって不参加者があり、17人が参加した。

3月25日は朝から冷たい雨が降っていた。午後1時には、会場とした千葉県立水産共同実習所に全国から新進気鋭の若者達が集合した。吉崎誠大会会長みずから採集会の講師をつとめ、早速講義が始まった。採集会の趣旨説明に続いて、採集場所である館山市の特徴を次のように話された。「千葉県の南端にある館山市は、黒潮の影響を受けて暖海性海藻が多数生育している。今では埋め立てられて陸続きとなってしまったが、かつては鷹ノ島（高ノ島）は館山湾に浮かぶ島であった。ここに現在の東京水産大学の前身である水産講習所の臨海実験所があった。岡村金太郎先生は、ここで海藻の研究をしたことから、館山湾を基準産地とする海藻がたくさん記載された。今回の採集会では日本藻類図譜の図とそっくりな形をした海藻がたくさん採集できる。是非たくさんの海藻を採集し、たくさんの押し葉を作ってほしい」。参加者の熱意が通じて、講義の途中で雨もあがったので宿舎とした「大浜旅館」のマイクロバスで沖ノ島に向かい、そこで2時間ほど海藻の採集をした。沖ノ島もかつては館山湾に浮かぶ小島であったが、埋め立て地と砂州でつながり、陸繋島となってしまった。時にこの砂州に大量の海藻が打ちあがったり、漂ったりしているのだが、今回はわずかであった。参加者はまだ冷たい海に入り、熱心に海藻の採集に夢中であった。実習所に帰ると、すぐに押し葉作りにとりかかった。採集してきた海藻を台紙に広げたとこで吉崎先生に種名を確認してもらった。25日の採集だけでは、種類が限られるであろうことを予測していた吉崎先生は、大会準備で忙しいにもかかわらず、24日には館山に採集に来て、たくさんの種類

を取りそろえて準備してくれていた。それらを参加者に種名を教えながら配布し、押し葉の種類数を増やせるように配慮していた。夕方6時から1時間の夕食後、10時半までもみな熱心に押し葉作りに励んだ。そのために、用意したさらし布と新聞紙は底をつき、追加の手配をしなければならなかった。

26日は、朝食の後、8時15分から講義を開始した。藻類の分類群と特徴について、ヒビロウドの生活環について話され、続いてヒビロウドの生殖器官と果孢子体の発達過程を顕微鏡で観察した。午後は再びバスで沖ノ島へ採集に出発した。沖ノ島の手前の岸壁では海



藻の生育帯の観察、記録の取り方など詳しく説明された。採集では先日とは異なり、ほとんどの人がねらいをつけて採集をしていた。採集後、鷹ノ島の弁天社の境内にある、博士漁翁岡村（漁翁は岡村金太郎先生の号）の銘がある石碑の前で記念撮影をした（写真）。碑文をここに紹介する。「此処に鎮座まします巖島太神は嘉保年間当国の国司源親元公の勧請する所にして靈驗あらたかに漁人の崇敬常に浅からざりしも年代の久しき神域漸く荒廃せんとするを憾とし茲に大正九年極月十二の網主相議り神威を永遠に仰がため修理を施し管轄を行い馬刀藻樵三百本杉五十本を植え輪魚の美を昔日に復するを得たり因って碑を建て此企に興れる者の芳名を録し永く後昆に伝えんとす

大正十年旧三月十五日 博士 漁翁岡村 撰

（この下に館山会網総代網世話人 堀口辰之助 他

14名の刻名がある) 碑は高さ2mに少し足りず、幅70cmである。

沖ノ島から帰ると誰もが直ちに押し葉作りをはじめた。海藻の名前もだいぶおほえ、押し葉作りも手慣れて、目標とした1人100枚の押し葉作りに大部分の人が成功したようであった。

27日も昨日同様に講義をスタートし、顕微鏡観察が行われた。作った押し葉は、段ボール板にはさんで通風乾燥した。大量に作った押し葉は東邦大学の実習室に運ばれて乾燥を続け、29日の学会終了後に吉崎先生が種名を確認して、参加者に手渡された。各自が、吸水紙の交換をすることなく3日後にはできあがったたくさんさんの押し葉を持ち帰れることは夢のような素晴らしいことであった。

今回の参加者は次の通りである。

江端弘樹・谷 昌也・嶋田 智・山岸幸正(北大・理・大学院)、奥村宏征・村松知明(三重大・生物資源・大学院)、加藤惣一郎(鹿児島大・水産)、佐久間茂雄・守屋真由美(筑波大・生物)、高津 翼(芙蓉開発)、竹内亜希子・大門由佳・永井祐二(東邦大学・生物)、前田修之(佐賀・伊万里農林高)、奈島弘明(兵庫・夢野台高)、松山和世(東水大・大学院)、吉永一男(三洋テクノマリン)。

参加者の感想の一部を紹介する。

今までの臨海実習で海藻標本を作ったことはあったが、これほど多量に作ったことはなく、よい経験でした(奥村)。採って、採って、作って、作って、大満足な採集会でした。吉崎先生の鋭い徹やかにこやかな笑顔は最高でした(嶋田)。採集会に参加して多くの人と知り合えたことは大変うれしいことです。また、標本を速く、きれいに、たくさん作ることを覚えたことは、これからの知識の蓄積に役立つと思います(谷)。初日の海につかっでの採集はとても冷えました。けれど、バケツに8分目ほども採集でき、押し葉を作りながら少しは名前が覚えられたのではないかと思います。今回の採集会では、藻類を扱う同じ仲間を得られたことが大きな収穫でした。このような採集会はずっと続けてゆく方がよいと思います(守屋)。今回参加して本当に良かった。紅藻類が何種類か見分けがつくようになった。ヤブレグサを採集できたのもうれしかった(奈島)。誰も教えてくれる人がいない状態で多少行き

詰まりを感じていました。これを機会にさらに勉強を進め、佐賀の海藻目録を作りたいと思っています。吉崎先生はじめ多くの人と話ができて、実習ができ、つながりが持ったことに感謝します(前田)。自分が長らく調査をしている場所では、よく知っていると思っていた海藻と、沖ノ島で採集したものの形態が大きく異なっていることに驚いた。海藻の形態の地域変化を改めて実感すると共に、同種であっても各地のサンプルを知るということがとても重要であることを実感した。さらには実際に採集したことによって海藻の生育環境を知ることがいかに必要であるかも実感させられた(吉永)。

今回採集できた海藻をリストアップする。紅藻類：マルバアマノリ、オニアマノリ、カモガシラノリ、フサノリ、ヒラフサノリ、ニセフサノリ、ヒラガラガラ、マクサ、オバクサ、ヒビロウド、ビリヒバ、ヘリトリカニノテ、キントキ、コメノリ、トサカマツ、ヒトツマツ、ハナフノリ、フクロフノリ、サクラノリ、ニクムカデ、タンバノリ、フダラク、ツルツル、ムカデノリ、ユカリ、カイノリ、スギノリ、ベニスナゴ、ホウノオ、ミリン、ツノマタ、オキツノリ、ハリガネ、トサカノリ、オゴノリ、オオオゴノリ、ミゾオゴノリ、カバノリ、シラモ、ツルシラモ、イバラノリ、カギイバラノリ、サイダイバラノリ、タチイバラノリ、アツバノリ、フクロツナギ、フシツナギ、ケイギス、サエダ、ナガウブゲグサ、カギウスパノリ、シマダジア、ユナ、キクソソ、クロソソ、コブソソ、コザネモ、ホソコザネモ。褐藻類：カゴメノリ、カヤモノリ、シワノカワ、ネバリモ、フクロノリ、フトモズク、イシゲ、イロロ、イワヒゲ、ハバノリ、ムチモ、アラメ、カジメ、クロメ、ワカメ、アミジグサ、コモングサ、サナダグサ、オオバアミジ、ヘラヤハズ、ヤハズグサ、ウミウチワ、ヒジキ、ジョロモク、アカモク、ウミトラノオ、イソモク、エンドウモク、オオバノコギリモク、オオバモク、ノコギリモク、タマハハキモク、ヤツマタモク、マメダワラ。緑藻類：ヒトエグサ、ウスバアオノリ、ボタンアオサ、アナアオサ、ヤブレグサ、チャシオグサ、オオシオグサ、ハネモ、ミル、クロミル、ナガミル。

(〒153東京都目黒区下目黒6-5-22 国立教育研究所科学教育研究センター生物教育研究室)

松山和世：第2回藻類学春の学校参加記（1996年3月30日～4月2日）

1996年3月28～29日に行われた日本藻類学会第20回大会の興奮も冷めやらぬ大会翌日、私は春の学校に参加するために筑波大学を訪れました。筑波大学中央のバス停に着くと大学構内が工事中のため集合場所がわかりにくいことを気遣って迎えに来て下さっていた堀口先生の笑顔に出迎えられました。自分の研究でどうしても透過型電子顕微鏡を使った観察をしたいと考えていた私は、不安と緊張、期待を胸に集合場所のD508室（筑波大・生物、植物系統・分類研究室）へ向かいました。D508室では1時の開始時間を黙ったまま待っている我々に筑波大学の院生の方がコーヒーを入れて下さり、少しくつろいだ気分になったところで第2回春の学校は始まったのでした。

さっそく実験室に移動してテキストを配布してもらい、講師の先生方と参加者の簡単な紹介の後、1日目のスケジュールの説明を受けました。テキストは講師の先生方による手作りのもので、透過型・走査型電子顕微鏡についての概要と手順が書かれており、初めて電顕を使う人にもわかりやすいように試料作製時に用いる薬品の説明や、薬品等購入時の留意点と具体的なメーカー名なども書かれていました。初日は走査電顕についての概要や手順についての説明を受け、試料作製を行いました。観察する試料には、筑波大学の院生の方が培養していたハプト藻 (*Gephyrocapsa oceanica*)、クリプト藻 (*Rhodomonas* sp.)、淡水産と海産のユグレン藻 (*Euglena* spp.)、シヌラ藻 (*Synura* sp.)、ペティネラ藻 (*Apedinella radians*) を提供していただき、各自がその中から好きなものを観察しました。作業中は随時具体的に注意点を教えて頂き、各工程での空き時間には提供して頂いた藻類を生物顕微鏡で観察したり、ディスカッション顕微鏡で採水した海水から渦鞭毛藻をパスツールピペットを使って分離する様子を見せて頂いたり、大変密度の濃いものでした。試料にと頂いた藻類は初めて目にするものがほとんどで、それぞれとても面白い形態をしており、それらが動く様子はとても印象的でした。試料を臨界点乾燥または凍結乾燥させている間、分離した渦鞭毛藻を走査電顕で見せて頂きました。生物顕微鏡で見た時よりも大きくはっきりと外部形態が見え、光顕ではわからなかった細かい凹凸までよく見えました。これまで雑誌などの写真でしか見たことがなかった渦鞭毛藻の大変ユニ-

クな形態を実際に走査電顕を通して目にすることができて大変感動しました。夕食後、翌日用いる緩衝液や器具の準備をして春の学校1日目が終わりました。宿泊施設の研修センターまでは講師の先生自らがワゴン車を運転して我々を運んで下さいました。

2日目は透過電顕試料の作製をしました。前日同様、透過電顕についての概要とその日のスケジュール、手順の説明の後実習に入りました。試料は峯先生が培養されたハネモ (*Bryopsis plumosa*) でした。スケジュールは試料作製工程を全て体験することを重視して組まれていましたが、浸漬等の時間を短縮することによってその日の夕飯前までに全員なんとか浸漬の最終工程までたどり着くことができました。夕飯の時に行った参加者の研究紹介ではいろいろな分野の話が聞け、また自分の研究について話をするのができてとても有意義でした。



3日目の午前中は「膜はり」と「トリミング」を実習し、超薄切片をつくり載物するまでを見せて頂きました。昼食後に電子染色を実習し、いよいよ試料の観察となりました。二人一組でペアごとに走査電顕と透過電顕を操作し、試料の観察と写真撮影を行いました。先生方のご指導のおかげであの巨大な電顕を自分の手で操作し、試料の見たい部分を思うように観察できた時は言葉では言い表せない感動を覚え、夢中になって電顕を操作しました。またハネモでは遊走細胞の鞭毛断面が観察でき、かつて教わった通りの9+2構造を確認することができたことも感動でした。夕食時に行った前日の研究紹介のつづきと懇親会では大いに盛り上がり、話しは尽きなかったのですが門限のためやむなく宴は終了しました。浸漬していた試料の重合



の準備をしてオープンに入れた後、大急ぎで宿泊施設へ戻りました。宿泊施設ではその場にいるメンバーだけで懇親会第2部が開かれ、引き続き熱心なディスカッションが夜更けまで行われました。

最終日は現像して頂いた前日に撮影したフィルムを頂き、後片づけを行った後、堀口先生と峯先生の普段なかなか聞くことのできないような興味深い研究の話聞くことができました。そしてこの後、第2回藻類学春の学校は解散となりました。

今回も藻類学春の学校は日本の藻類学の発展を願う講師の先生方の学問に対する純粋な熱意と、労苦を惜しまない献身的な努力のおかげで充実した内容の濃いものとなりました。プログラムは全てにおいて参加者側に立って考えられており、先生方の細心の注意に

よってトラブルも無く無事終了することができました。これから電顕の仕事を始めようとしている私にとっては、危険な薬品の取り扱い方についても具体的に教わり、安価な代用品なども教えて頂き、とても勉強になりました。また藻類を材料に研究をしている仲間や先生方と出逢い、いろいろな話を聞くことができたことも大変有意義でした。この様な企画があったらまた参加したいと思います。

最後になりましたが、今回の春の学校の講師としてご尽力下さった神谷先生、堀口先生、峯先生、いろいろな面で便宜を図って下さった筑波大学の井上先生、内田先生、院生の方々に心から感謝します。

参加者氏名：秋山満知子（筑波大・物質工学M1）、安藤綾乃（東海大・海洋M2）、垣田浩孝（四国工業技術研究所）、金井塚恭裕（東学大・生物M2）、小林正美（筑波大・物質工学）、辻 彰洋（京大・生態研センターD2）、松山和世（東水大・藻類D2）、村岡大祐（北大・水産D2）

講師：神谷充伸（神戸大・内海域センター）、堀口健雄（北大大学院・理）、峯一郎（高知大・理）

（〒108 港区港南 4-5-7 東京水産大学藻類）

書評 新刊 紹介



まるいはマリモ 阿寒マリモ自然誌研究会 文、
稗田一俊ほか写真 月刊たくさんのふしぎ 1996
年 5 月号 (第 134 号) 福音館書店 680 円

タンチョウヅルの飛来地として有名な北海道阿寒町といえはマリモの産地としても全国的に有名である。本書「まるいはマリモ」は福音館書店から発行されている小学生向けの月刊誌「たくさんのふしぎ」の 1 シリーズである。この本によるとマリモの仲間は河口湖・山中湖・西湖などにも存在するが、丸いマリモは世界中で阿寒湖にのみ存在するという。本書の内容は我々がマリモに対して抱く疑問、例えば、マリモとはどんな生き物なのか？どこからやってきたのか？どんな環境に住んでいるのか？みやげ物屋の人工マリモはどうやってつくするのか？などに丁寧に答えてくれる。親子で対話をしながら読み進むと楽しいだろう。

本書の執筆者は筑波大学下田臨海実験センター長の横浜康継氏、阿寒町教育委員会学芸委員の若菜勇氏であり、写真撮影はフリーカメラマンの稗田一俊氏ほか

による。横浜康継氏は伊豆下田で海藻の光合成を独自に開発した実験装置により30年以上研究されてこられた。若菜勇氏はシオグサの生活史の研究に造詣が深くマリモ保護のための研究をされている。稗田一俊氏は長年川の魚などを撮ってこれた方で、阿寒湖の水の透明な季節と水の揺れない時間を巧みに選んで迫力のある写真を撮っておられる。本書の特徴はマリモの外見だけを撮った一般的な写真集にしていないところにあり、マリモの体を分解して示し体の内部が光合成により緑色を保っていることを科学的な目で見つめている。この本を読むことによってマリモの生命力の強さをも認識させられるとともに、本書をつくられた執筆者・写真家・阿寒町教育委員会の方々のマリモに対する深い愛情がしのばれる。

しかし、悲しいことに現在このマリモは棲息数が減っているという。阿寒湖内の 4 ヶ所の棲息地のうちの半分でマリモが絶滅してしまった。観光船の遊覧・生活排水の流入・水力発電や林業開発の影響などによるという。これに対して我々はどうのように対処すべきか？この問題に対する解答は本書には示されており、読者 1 人 1 人が考えなければならないことなのである。

内田英伸 (筑波大学生物科学系)

Manual de Metodos Ficologicos K. Alveal, M.E. Ferrario, E. C. Oliveira and E. Sar (Eds.) Universidad de Concepcion, Concepcion, Chile. 定価 5,600 円 (送料別), 863 頁, 1995.

本書は、チリ、ブラジル、アルゼンチンの大学のスタッフが中心となってまとめられたスペイン語による「藻類実験法」である。スポンサーとして南米にある寒天業界がかかわっているために、非常に安い価格になっている。

対象となっている分野は、微細藻類から海藻まで幅広い。微細藻類は 21 項に分けられており、採集法から電子顕微鏡による観察、それぞれのグループの分類・同定法が記述されている。それぞれの項目は実践的な記述で引用文献が多いのが特徴である。

大型藻類は 26 項目になっており、採集法・種の見分け方から始まり、種々の培養法、組織培養法が紹介されている。海藻の交雑実験法や DNA 抽出法にも触れている。海苔、オゴノリ類など有用海藻は養殖法が詳しい。筆者らは緑藻の養殖法を記述した。寒天など

の多糖類の構造決定法などにもふれている。汚染・重金属関係の研究法の記述もある。この本の特徴は、実験法と総説が一緒になってあまり形式にとらわれず、執筆者にまかされて書かれていることである。執筆者の多くは、南米の研究者であるので、引用文献などを追うことによって、研究の動向を知る手がかりともなる。

国際化の時代でスペイン語圏からの来訪者も多くなるので、手元にあっても良い本である。購入方法は、チリの Prof. Alveal に注文すれば、送金用のフォームが郵送してきて VICA カードなどで送金できる。筆者らは購入の便宜をはかることができる。

購入先: Prof. Krisler Alveal: Universidad de Concepcion, Department de Oceanografia, Casila 2407-10, Concepcion, Chili. Fax: + 56-41-225400
E-mail: KALVEAL@BUHO,DPI.UDEC.CL

大野正夫, Jacqueline Rebello
(高知大学海洋生物教育研究センター)

書評 新刊 紹介



横浜康継・野田三千代 共著

海藻おしば カラーな色彩の謎

94pp., (オールカラー印刷), 海遊舎 2,800円

海そして海藻をこよなく愛し、専門の海藻の光合成の研究の合間に美しい海藻おしば標本を作り続けてきた著者(横浜さん)が、この度は一緒におしば作りに魅せられてきたグラフィックデザイナー(野田さん)の協力を得て、共著でさらに美しい本を出版した。見て楽しい読んで分かりやすい、子供から大人そして専門家まで海藻の魅力と大切さを理解できる参考書になり、図鑑にもなる美しい本といえる。

まず、我々日本人にとって食卓で馴染みの深い海藻の紹介とそのカラフルな色彩の謎解きから始まる。海の干潮の仕組みと干潮時における海底探索の仕方、帯状分布や潮だまりの観察など、学生実習のときのよい参考にもなるが、そこに生育する一つ一つの種についても著者の優しくそして光合成研究者の厳しい観察の目が光る。また、それぞれの種類の形態について日常生活に使われる日用品や道具などに例えて説明をしているので、海藻を全く知らない人でもその形状を想像し海底の世界に引き込まれていく気分になる。そして美しい海藻おしばのカラー写真を十分に堪能させてから、それら海藻が何故様々な色彩を持っているのか、

紅藻・褐藻・緑藻のそれぞれについて、それらの色素と海中の光(質)そして光合成との関係を分かりやすく説明する。また、海藻が我々日本人にとって万葉の時代から親しまれてきたことについて、なりの花や海松色については、確かに古代の人々の方が自然の観察力に優れていたのではないかと、今一度我々に自然を慈しみ眺める余裕と持つべきではないかを考えさせる。

地球そして生命の誕生と藻類の関わり、大気圏における酸素とオゾン層の成因及び二酸化炭素の行方、地球温暖化と人類の破壊活動については、著者の持論として本を書く毎に警鐘を鳴らし続けてきたことであるが、掛け替えのない地球をどう守るべきかを提起する。利便性・経済性のみを追求して他を顧みない現代の人間社会に対して、研究者が共に警告し環境破壊からわが地球船を守る努力が今本当に必要であることを痛感させられる。

最後に、楽しい海藻のおしば作りの実際についてイラスト入りで丁寧に説明し、年賀状やクリスマスカードの作り方まで示されているが、それも子供の時から海辺での採集や標本作りを通して、46億年の地球の歴史に関心をもち理解していくことにも繋がると思う。

繰り返しになるが、とにかく、見て美しい読んで楽しく分かりやすい、海藻についての参考書になり図鑑にもなる。そして藻類・植物の光合成を通してのわれら地球の環境保全のための啓蒙書でもある。それぞれの書棚に学校の図書室に必ず置いておきたい一冊である。

館脇正和(北海道大学理学部附属海藻研究施設)

Abbott, I. A. (Ed.): Taxonomy of Economic Seaweeds. With reference to some Pacific species. Vol. V. xx + 254pp. California Sea Grant College, University of California, 9500 Gilman Drive, La Jolla, California 92093-0232. 1995. \$10.00

1993年7月にハワイ大学で行われた「第5回有用海藻の分類に関する国際ワークショップ」の成果をまとめた論文集である。今回のワークショップには日本、アメリカ合衆国、中国、韓国、ベトナム、フィリピン、マレーシア、タイ、フィジー、チリから22名が参加した。内容は、ホンダワラ属、テングサ属、オゴノリ属、

キリンサイ属の4つの節に分かれており、それぞれに分類上重要な記載、指摘がされている。ホンダワラ属では、日本に産する section *Zygocarpicae* 10種の詳細な記載と検索表が書かれている。また、section *Acanthocarpicae* で subsection と series を設ける試みがされている。テングサ属では、韓国産テングサ目8種4変種の検索表とノートが書かれている。オゴノリ属では、4新種、1新変種が記載されている。また、オゴノリ属97種のリストが最近10年間の文献付きでまとめられている。キリンサイ属の節では、ベータカラギーナンをもつ *Betaphycus philippinensis* が新属新種として記載され、2種がこの属と新組み合わせられている。

最後になったが、本書は参加者の一人で1994年に亡くなられた C. F. Chang 教授に捧げられている。

小亀一弘(北大・理・生物科学)

書評 新刊 紹介



Algae : an introduction to phycology
C. van den Hoek, D. G. Mann and H. M. Jahns 著,
Cambridge University Press
Paperback edition : 24.95 ポンド (39.95 US\$)
ISBN : 0 521 31687 1
Hardback edition : 70.00 ポンド (110.00US\$)
ISBN : 0 521 30419 9, 1996

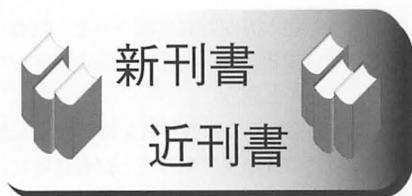
本書は1978年に出版されたドイツ語の藻学教科書「Algen」の英語版である。とは言え、内容はその後の藻学分野の研究の進展をもとに大幅に更新されている(本書と並行して1993年にはドイツ語版も出版されている)。一般に藻類の多様性を認識する際に用いられる様々な形質の説明を導入部とする教科書が多いのに対し、本書のIntroductionでは真核生物の成り立ち(共生説)から説明が始まる。そして「藻類」が生物界においてどのような系統的な位置を占めるグループであるかについて、わかりやすい解説がなされている。藻類が進化的に多様なグループの集まりであることを考えればこのように真核細胞進化のごく初期段階にまず目を向けて藻類を生物界の中に位置づけるという視点は当を得たものであり好感を覚える。以下に続く各論では藻類の全グループ(門の階級, 原核藻類も含む)についての解説がなされる。HeterokontophytaやChlorophytaのように大きなグループでは、さらに網のレベルで章を立てての解説がある。各論部分のそれぞれの章は概ね以下の構成となっている; 門(網)の一般的な特徴(箇条書きに体制, 鞭毛, 細胞外被, 葉緑体, 色素などの特徴がまとめられている), 門(網)に属する生物の種数と分布・生態の特徴, その分類群に固有なあるいは特筆すべき特徴の解説, 分類系, いくつかの種類の具体例。解説では形態レベルの特徴, 生活史の様式などに加えて細胞分裂様式や鞭毛装置構造など微細構造レベルのデータも数多く引用されている。本書の特徴の一つとして, 透過型電子顕微鏡写真をトレースした線画をふんだんに使っている点が挙げられる。著者等によれば「出来ることなら多くの本物の電顕写真を使いたかった」ということらしいが, かえって本物の写真を並べるよりエッセンスを抽

出したこれらの図の方が特に電顕写真を「読む」ことに慣れていない読者にとってははるかに理解しやすいものとなっていると思う。

ところで, おそらくこの教科書を開いた誰もが驚くのは緑色植物門の分類系であろう。緑色植物には3つの主な系統があつて, それらは緑藻綱, アオサ藻綱, シヤジク藻綱にまとめられる(ブラシノ藻綱を含めた4綱制)・・・と理解していたところに, 突然Prasinophyceae, Chlorophyceae, Ulvophyceae, Cladophorophyceae, Bryopsidophyceae, Dasycladophyceae, Trentepohliophyceae, Pleurostrophyceae, Klebsormidiophyceae, Zygnematophyceae, Charophyceaeという11綱制を目の当たりにすることになるのだから。著者等の意図は, 主に鞭毛装置構造に基づく4綱制にさらに細胞分裂様式や細胞壁組成, 生活史など固有の形質で明確にまとめることの出来るグループは綱としてまとめてしまうということである。4綱制がようやく定着しつつあり, またいくつかの遺伝子に関しては情報も多くなってきたとは言え, 分子系統学的な証拠はまだようやく蓄積が始まったところであるという現状を考えるとこの分類群の細分はいささか時期尚早との印象はまぬがれない。しかしながら, 考えてみれば伝統的な緑藻類の分類基準であった体制レベルの進化が必ずしも系統を反映していないことが明確となった今日, 4綱制も11綱制も本質的に変わりはないのであろうし, 分子の証拠からTrebouxiophyceaeという綱を新設しようという提唱も別の研究者によってなされているという最近の動きもある。いずれにしろ今後は, 緑藻類の高次分類系は, 4綱制よりは細分化の方向へ向かうことになるのであろう。

本書はそれぞれの分類群について十分なページ数が割かれており, 基本的な事柄から最新の研究成果まで豊富な情報が盛り込まれている。さらに巻末の用語の説明や引用文献も充実している(ただしほとんどが1990年以前のものである)。藻類全体を理解するための羅針盤としてすぐれた教科書であると言える。もともと本書は大学院生や学部の学生を対象としたものであるが, 藻学の講義をおこなう者にとっても役立つ本である。講義の際には, 本書に「スライドシリーズ」藻類の多様性」(日本藻類学会企画委員会)が加わればまさに鬼に金棒である。

堀口健雄(北海道大学大学院理学研究科)



海藻おしば カラフルな色彩の謎 横浜康継・野田
三千代 共著, 94pp., 海遊舎 2,800円

まるいはマリモ 阿寒マリモ自然誌研究会文, 稗田一
俊ほか写真 月刊たくさんのふしぎ1996年5月号(第
134号)福音館書店 680円

21世紀の海藻資源 生態機構と利用の可能性 大野正
夫(編著) 緑水産学叢書-2, A5版280頁(カラー4頁),
緑書房 3,800円

分子系統学 長谷川政美・岸野洋久(著)1996, 岩波書
店 ISBN4-00-005938-6, 4200円

Bibliotheca Lichenologica, Band 48. J-G Knoph, K Shrüfer
and HJM Sipman (eds.), Series: BIBLIOTHECA
LICHENOLOGICA, 1995, 27 papers, 478 pages, Gebrüder
Borntraeger, Germany, 125ポンド

Seagrass Biology. Proceedings of an International
Workshop, Rottnest Island, Western Australia 25-29 January
1996, 1996, J. Kuo, R. C. Phillips, D. I. Waker and H.
Kirkman (Eds.), 385 pages, col. photos, University of
Western Australia, ISBN 0864224451, A\$ 80

Algal Ecology: Freshwater Benthic Ecosystems.
Stevenson, 1996, R. J. et al. (Eds.), pp. 758, Academic
Press, ISBN 0126684502, 約 13,000円

Silicoflagellates (Dictyochophyceae).
Biblio. Phycologica, Band 100. Desikachary, T.V. et al.
1996. over 300 pages, 83 B&W plates. paperback. \$143.00

Contributions in Phycology. Volume in honour of
Professor T.V. Desikachary. Prasad, A. K. et al. (eds.)
1996. Nova Hedwegia Beih. 112. 612 figures, 47 tables, 2
appendices. 552 p. paperback. \$216.00

Lichen Biology, Thomas H Nash III, 303 pages, figs, tabs.,
CUP, GBP 50 - 1995 hardback, GBP 16.95 - 1996 paperback

The Genus *Characiopsis* Borzi (Mischococcales,
Tribophyceae): Taxonomy, Biogeography and Ecology,
1995, Haydeé Pizarro, Series: BIBLIOTHECA
PHYCOLOGICA 98, 147 pages, plates., Gebrüder
Borntraeger, Germany 52.50ポンド

Progress in Phycological Research, Volume 11. Round,
F. E. R and Chapman, D. J. (Eds.), 1995, 400 pages.
Biopress, 約 85ポンド

Bibliographic Checklist of Non-Marine Algae in Australia.
Day, S. A., Wickham, T. J., Entwistle, T. J. and Tyler, P. A.
1995, 276 pages, b/w illus. ABRs, Australia 約 35ポンド

表紙写真



これまでと少しばかり違う表紙の図柄にトライした。この
号に書評が掲載された2冊の新刊書「海藻おしば」と「ま
るいはマリモ」の表紙を、それぞれの出版社の許可を得て
掲載した。いずれの本も広く社会や子供を意識して作られ
ているが、書評にもみえるように、専門家にとっても大変
役に立つ内容を含んでおり、また藻類の面白さと藻類を理
解することの大切さを訴える力をもっている。このような
書物がもっと世に出ていけば、藻類の”市民権”も確かな
ものになっていくだろうと思いつつこの表紙を選んだ。ず
いぶんタイプは異なるが、いずれも美しい装丁だと思う。

和文誌編集委員会 井上 勲

(海遊舎および福音館書店の許可を得て掲載)



学会・シンポジウム情報



1996年8月9-13日：第11回国際進化原生生物学会
11th Biennial meeting of the International Society for
Evolutionary Protistology (ISEP) Universität zu Köln
(43巻1号) (<http://134.95.209.48/institute/botanik/bot1/melkonian/isep11.html>)

1996年8月11-18日：第1回ヨーロッパ藻類会議 1st
European Phycological Congress (43巻2号) (<http://134.95.209.48/institute/botanik/bot1/melkonian/epc1.html>)

1996年9月1-7日：第14回国際珪藻シンポジウム(東京)
14th International Diatom Symposium (43巻2号)
(ftp://ftp.ndu.ac.jp/pub/14th_IDS)

1996年9月7-13日：A freshwater algae course. (by
Eileen J. Cox and L. Elliot Shubert) (The Natural History
Museum-London), the Kindrogan Field Centre in the
Scottish highlands.

Kindrogan Field Centre, Enochdhu, Blairgowrie, Perthshire
PH10 7PG, U.K., Telephone: +44 (0) 1250 881286; Fax
+44 (0) 1250 881433

1996年9月10-11日：Evolutionary Relationships
Among Protozoa: A Joint meeting of the British Section
of the Society of Protozoologists, The Linnean Society and
the Systematics Association (44巻1号)

1996年10月9日(水)：日本藻類学会秋季シンポジウム、
九州大学六本松地区(本号)

1996年10月10-12日：日本植物学会第60回大会、九

州大学

1996年10月：第8回国際カルチャーコレクション会
議 8th International Congress of Culture Collections
(ICCC-VIII), Baarn, Netherlands (43巻1号) (<http://www.wdcm.riken.go.jp/ICCC8/>)

1996年11月16日：1996年藻類談話会、奈良女子大
(本号)

1996年11月16-17日：ユーグレナ研究会第12回研究
集会、日本体育大学(本号)

1996年3月26-28日：日本藻類学会第21回大会、広島
大学、連絡先：中野武登, Tel. 0824-24-7452, Fax: 0824-
24-7452, e-mail: tnakano@alpha01.sci.hiroshima-u.ac.jp

1997年8月10-16日：第6回国際藻類学会議 6th
International Phycological Congress Leiden, The
Netherlands (43巻1号)

1997年6月25-29日：第8回有毒藻類国際会議 VIII
International Conference on Harmful Algae, Vigo, Spain
Beatriz Reguera. Conference Coordinator. VIII International
Conference on Harmful Algae, Instituto Espanol de
Oceanografa, Aptdo 1552. 36280 Vigo. Spain.

1997年5月7-10日：第2回アジアーパシフィックマ
リンバイオテクノロジー会議および第3回アジアーパ
シフィックアルガルバイオテクノロジー会議, The
Second Asia-Pacific Marine Biotechnology

次ページ下へ続く

第2回アジアーパシフィックマリンバイオテクノロジー会議
および第3回アジアーパシフィックアルガルバイオテクノロジー会議
**The Second Asia-Pacific Marine Biotechnology (APMBC'97) / The Third Asia-Pacific
Conference on Algal Biotechnology (APCAB'97), Phuket, Thailand**

期間：1997年5月7-10日、オーガナイザー：International Organizing Committee for Asian-Pacific Society of Marine
Biotechnology (APSMB) および Local Organizing Committee (Chairperson, Prof. Dr. Piamsak Menasveta)。

Session 1, Algal Biotechnology : Session 2, Aquaculture Biotechnology : Session 3, Environmental Biotechnology : Session
4, Marine natural products : Session 5, Marine Microbial Ecology and Physiology.

予約申込締切：1996年12月31日。予約申込会費：US\$ 300.

連絡先：The APMBC & APCAB'97 Secretariat, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC),
Ministry of Science, technology and environment building, Rama VI Rd., Bangkok 10400, Thailand, TEL : (66-2) 245 7374,
(66-2) 245 5002; FAX : (66-2) 246 4850。1996年10月15日までに pre-registration form を送付した方に Final
Announcement を返送する (1997年2月中旬)。なお、第1回 APMBC'95 は 1995年9月に静岡県清水市で開催された。

1996年度藻類談話会のお知らせ

藻類談話会(旧関西藻類談話会)は藻類を研究材料とする幅広い分野の研究者の集まりで、西日本を中心に講演会や研究交流を行っています。今年度は以下の通り講演会を企画しています。ふるってご参加くださいますようご案内申し上げます。

日 時：1996年11月16日(土) 13:00-16:00

場 所：奈良女子大学理学部(〒630 奈良市北魚屋西町, 近鉄奈良駅から北側へ徒歩約10分)

講演予定(一部変更の可能性有り)

榎本幸人(神戸大学・内海域機能教育研究センター): 海産多核緑藻類

各務富紀子, 野口哲子(奈良女子大学・理学部): 緑藻 *Botryococcus* を用いた細胞内小胞輸送の研究

新免輝男(姫路工業大学・理学部): 車軸藻を用いたアクトミオシン系運動の解析

竹下俊治(広島大学・学校教育学部): 共生藻類 *Trebouxia* 属に関する分類学上の問題点

参加費: 500円(通信費など)

談話会終了後, 懇親会が予定されています。談話会および懇親会の参加希望者は下記の宛先までご連絡願います(当日参加も可)。申し込みされた方には後日, 詳細についてお知らせいたします。

参加申し込み・問い合わせ先: 〒606-01 京都市左京区吉田二本松町 京都大学総合人間学部自然環境学科
幡野 恭子 TEL: 075-753-6854 FAX: 075-753-6864 e-mail: hatano@gaia.h.kyoto-u.ac.jp

ユーグレナ研究会第12回研究集会のお知らせ

日 時: 1996年11月16-17日(土) 午後1時より17日(日) 午後2時まで

会 場: 日本体育大学 百年記念会館4階(横浜市青葉区鴨志田1221-1) Tel & Fax 045-963-7935 (参加費無料)

シンポジウム: 1. クラミドモナスの変異株と遺伝子操作~ユーグレナへの応用に向けて~
2. 真核藻類の系統進化~ユーグレナの位置づけ~

パネルディスカッション: 「藻類研究の最先端技術」

一般演題の募集: 一般発表はポスターとさせていただきます。発表演題目, 発表者名, 所属をFAX (0722-50-7318) で7月末日必着でユーグレナ研究会事務局までお知らせ下さい。予稿集その他の詳細は追ってお知らせします。

連絡先: 大阪府立大学農学部生物化学科食品代謝栄養学研究室内
ユーグレナ研究会事務局 Tel & Fax 0722-50-7318

続き(前ページから)

(APMBC'97) / The Third Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology (APCAB'97), Phuket, Thailand. (本号に案内あり)

1997年7月21-25日: 10th International Congress

of Protozoology (ICOP-10)

University of Sydney, Australia. Professor D.J. Patterson, School of Biological Sciences, Zoology A08, University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia. tel: (61) 2 351 2438, fax: (61) 2 351 4119, email: paddy@extro.ucc.su.oz.au

Robert G. Sheath*・Kirsten M. Mueller*・Alan Whittick*・Timothy J. Entwisle** : *Nothocladia lindaueri* (紅藻カワモズク目) の形態と生殖の再検討 淡水産紅藻 *Nothocladia lindaueri* Skuja [=*Batrachospermum lindaueri* (Skuja) Necchi et Entwisle] の栄養的な形態と生殖について光学顕微鏡と電子顕微鏡による検討を行った。本種は 2 層の cap layer を持ち、外側のものはドーム状をした典型的なカワモズク目のピットプラグを持つ。毛細胞の伸長に際しては一次細胞壁は破れ、基部の鞘となる。毛細胞は一つの核と多くのゴルジ体、小胞体、小胞を含んでいる。分枝した受精毛と受精した造果器が本種では初めて明らかになった。分裂時の細胞列の頂端の細胞は細胞の核に隣接して zone of exclusion (リボゾームや他のオルガネラが入り込めない領域 [訳注]) が存在し、そこには一つの polar ring が見られた。造果枝と包葉の細胞において中心部に明瞭な核が、また、プロプラスチド、小胞体および小胞が見られた。これらの細胞の間では、ピットプラグが崩壊し互いの原形質が開放型のピットコネクションを通じて連絡するようになる。造果器は多くのミトコンドリアと小胞を含んでいる。受精毛の頂端部分の細胞壁は厚く、よく染色される。果胞子体の中央部は開放型の原形質連絡を持つ融合細胞のかたまりからなり、中間部分の造果枝ははのかたまりから生じる。相称形の造果器の基部、融合細胞のかたまりからなる果胞子体の中央部および例外なく無限成長する造果枝の組み合わせはカワモズク科の中ではこの種だけで見られる。*N. lindaueri* の標本には造精器と単胞子嚢の両方を有する *Audouinella meiospora* が着生する糸状体が見られた。*N. lindaueri* における精子の形成は未だ知られていない。(*Department of Biology, Memorial University of Newfoundland, St John's, Newfoundland A1B 3XG, Canada, **National Herbarium of Victoria, Royal Botanic Gardens Melbourne, Birdwood Avenue, South Yarra, Victoria 3141, Australia)

本村泰三 : 多核緑藻マガタマモ (緑藻, ミドリゲ目) の細胞周期の解析 多核緑藻マガタマモの細胞周期について顕微定量測光と 5-ブロモデオキシウリジン (BrdU) の取り込み実験から調査した。DNA ポリメラーゼ α の阻害剤であるアフィディコリンによる細胞周期同調化実験から S 期は約 12 時間であることが明らかになった。さらに BrdU の取り込み実験から G2 期は約 2 時間であると推定した。ところでマガタマモでは核分裂を行う核集団は細胞内においてパッチ状に分布し、ほぼ同調的に核分裂を行うことが知られているが、同様に G1 期の核集団のなからパッチ状の核集団がほぼ同調的に S 期に進行することが明らかになった。つまり、マガタマモに見られる特徴的な核分裂は G1 期から S 期への移行時の細胞周期制御が重要であることが明らかになった。(051 北海道室蘭市母恋南町 1-13 北海道大学理学部附属海藻研究施設)

W.A. Nelson・G.A. Knight : ニュージーランドの固有偏着生藻 *Porphyra subtumens* (紅藻ウケノリ目) の培養下における生活史 本論文はニュージーランドの固有種で *Durvillaea* の偏着生藻である *Porphyra subtumens* J. Agardh ex Laing (紅藻ウケノリ目) の培養下での成長に関する初めての報告である。これまでに自然藻体で観察されていた胞原胞子 (archeospor) は直接葉状体を形成する。野外で採集された藻体由来の胞子はコンコセリスに発達する。コンコ胞子は新しい藻体を形成し、培養下での生活環は完結する。これまでの本種の報告では研究者によっては特殊な形状の胞子形成を伴う無性の生活史が、また別の研究者によっては葉状体の上に造精器と造果器が形成されるとの報告がなされ混乱が見られた。(Museum of New Zealand Te Papa Tongarewa, PO Box 467, Wellington, New Zealand)

宮地和幸 : 日本産モツレグサ属の分類学的研究 I ウズモツレグサについて 日本に生育するモツレグサ属の一種であるウズモツレグサの正確な記載とさらに、生活環や分布について報告した。ウズモツレグサの形態的な特徴は掌状の藻体で、枝は細く、鈎状の小枝が存在し、藻体は全体的に小さい。その藻体の枝の太さは基部で 30-40 μm あり、中部で 50-130 μm (70-110) μm あり、上部で 30-150 μm であった。主枝の中部の太さは採集地によって異っており、室蘭では 70-130 μm (平均 100 μm) あり、一方、他の地域では 50-100 μm (平均 70 μm) となっていた。上部の糸状体の太さは成長期の終わりに向かって徐々に細くなるのが分かった。細胞は単相体で染色体数 4 本を持つ多核である。細胞分裂は *Spongomorpha-Acrosiphonia* complex で従来報告されているのと同様な細胞分裂であることが分かった。生活環は異型世代交代をおこない、モツレグサの本体は配偶体で、胞子体は単細胞嚢状になった。単細胞嚢状の胞子体から遊走子が放出して、新たな多核な糸状性の配偶体が発芽する。ウズモツレグサは雌雄同株であり、配偶体も胞子体も 5°C 長日条件で最も良く成長した。また、配偶体は、15°C では異常な成長となり、胞子体は 15°C では正常に成長し、遊走子は形成しなかった。(274 千葉県船橋市三山 2-2-1 東邦大学理学部生物学教室)

石田健一郎*・中山 剛*・原 慶明**：クロララクニオン植物の分類学的研究 II. クロララクニオン藻の属の規定と新属新種 *Gymnochlorella stellata* および新属 *Lotharella* の記載 クロララクニオン植物の新属新種 *Gymnochlorella stellata* Ishida et Y. Hara をグアムの Anae 島より分離培養した。本種は緑色をした星形のアメーバ状単細胞生物で、多数の糸状仮足を有するが網状ネットワークを形成せず、生活環を通じて細胞壁を持つ細胞や遊走細胞を生じない等の特徴をもつ。葉緑体の微細構造は既知種のものとは基本的には類似するが、ピレノイドが特異であり、基質に葉緑体膜の内膜に由来するチューブ状構造が多数侵入する。本藻を新属新種にするにあたり、ピレノイドの微細構造とヌクレオモルフの位置を属の分類形質、栄養細胞の形態と生活環のパターンを種の分類形質として採用し、クロララクニオン植物門の分類体系を提案した。微細構造の研究がなされていない *Cryptochlorella perforans* Calderon-Saenz et Schnetter を除く既知種を新しい分類体系の下で再評価し、*Chlorarachnion* 属の訂正と新属 *Lotharella* の記載を行った。これに伴い、以前記載した *Chlorarachnion globosum* Ishida et Y. Hara を、*Lotharella globosa* (Ishida et Y. Hara) Ishida et Y. Hara に組み換えた。(*305 つくば市天王台 1-1-1 筑波大学生物科学系, **990 山形市白川町 1-4-12 山形大学理学部生物学科)

中山 剛*・渡辺 信**・三井 薫*・内田英伸*・井上 勲*：18SrDNA 塩基配列に基づくクラミドモナス目とクロロコクム目の系統関係 緑藻綱クラミドモナス目の *Chlamydomonas moewusii* とクロロコクム目 5 種 (*Chlorococcum hypnosporum*, *Chlorococcum oleofaciens*, *Chlorococcum* sp., *Tetracystis aerea*, *Protosiphon botryoides*) について核コード小サブユニットリボゾーム RNA 遺伝子 (18SrDNA) の塩基配列を決定した。これらの藻類は全て時計回りの鞭毛装置を持っている。この配列を他の緑色藻類 20 種の配列とともに系統解析に用いた。その結果、時計回りの鞭毛装置を持つ藻類は単系統群 (CW group) を形成した。CW group は 3 つの主要なグループに分かれたが、これらのグループを支持する形態的な特徴は見いだせない。18SrDNA の系統樹は、クラミドモナス目とクロロコクム目が非単系統群であることを明らかに示した。これは CW group 内において、栄養細胞の体制が系統関係を反映していないことを示唆している。また *Chlamydomonas* 属と *Chlorococcum* 属も側系統群もしくは多系統群であることが示された。本研究の解析結果は、高次分類において遊走子の細胞壁の有無や多核細胞といった形質はあまり有用ではないことを示唆している。(305 つくば市天王台 1-1-1 筑波大学生物科学系, 930 富山市五福 3190 富山大学教育学部生物学教室)

Catherine A. Russell*・Michael D. Guiry*・A. Rose McDonald**・David J. Garbary**：Griffithsia pacifica (紅藻イギス目)の葉緑体運動におけるアクチンの関与 *Griffithsia pacifica* Kylin においては葉緑体は顕著な日周運動を行う。すなわち、明期の始めには葉緑体は細胞内において均一に分布しているが、その後細胞両端付近の葉緑体は中央部に移動し顕著な葉緑体のバンドを形成する。そして明期の終わりにはまた葉緑体は均一に分布するようになる。以上の葉緑体運動は、サイトカラシン B により阻害を受けた。さらにサイトカラシン B は頂端細胞・仮根細胞において顕著な形態異常を誘導した。また細胞内マイクロフィラメンの配向、サイトカラシン B による分断化についてローダミン・ファロイジン染色により観察を行い、紅藻細胞における細胞内小器官の運動に及ぼすアクチンの関与を明らかにした。(*Department of Botany and Martin Ryan Marine Science Institute, University College Galway, National University of Ireland, Galway, Ireland; **Department of Biology, St Francis Xavier University, Box 5000 Antigonish, Nova Scotia B2G 2W5, Canada)

田村 寛・峯 一朗・奥田一雄：褐藻ワイジガタクロガシラ (褐藻, クロガシラ目) におけるセルロース合成酵素複合体とマイクロフィブリルの構造 褐藻ワイジガタクロガシラ (*Sphacelaria rigidula* Kuetzing) は、セルロースマイクロフィブリルを合成する。このことは、CBHI (セロビオヒドロラーゼ I) を結合させた金粒子による標識実験から決定された。ワイジガタクロガシラのセルロースマイクロフィブリルは、薄いリボン状の構造を呈し、約 2.6 nm の一定の厚さを持ち、幅は 2.6-30 nm の範囲で変化する。数本の筋がマイクロフィブリルの長軸に沿って見られる。成長したワイジガタクロガシラの細胞壁は 3 つまたは 4 つの層から構成されるが、セルロースマイクロフィブリルは細胞壁の外側から 3 番目の層に沈着する。フリーズフラクチャー法によって、ワイジガタクロガシラのセルロース合成酵素複合体 (TCs) が観察された。TCs は、原形質膜 PF 断面に存在し、膜に押し付けられてきたマイクロフィブリルの刻印の先端に位置する。TCs は、一列に直線状に配列するサブユニットから構成される。サブユニットの平均直径は約 6 nm で、隣り合うサブユニットは約 9 nm おきに配列し、その間隔は比較的一定である。TC を構成するサブユニットの数は 10-100 の間で変化する。その結果、TC 全体の長さが大きく変化する。薄いリボン状のマイクロフィブリルの合成のために提案されてきているモデルを、ワイジガタクロガシラにおけるマイクロフィブリル合成に適用した。(780 高知市曙町 2-5-1 高知大学理学部生物学教室)

学 会 録 事

1. 評議員の交代

本会評議員の三本善昭氏(東北地区)および野崎久義氏(関東地区)はそれぞれ関東地区、東京地区へ異動されたため評議員を辞任された。本会会則付則第4条により東北地区の評議員には次点の谷口和也氏に、関東地区の評議員には次点の吉崎誠氏に就任していただいた。任期は残任期間である本年12月31日までである。

2. 日本藻類学会第20回大会

1996年3月28~29日、東邦大学理学部(船橋市)において第20回日本藻類学会大会を開催した。大会会長は吉崎誠氏(東邦大学)で、一般講演は86題(うち展示発表19題、特別展示発表1題)におよんだ。大会参加者は250名であった。また、講演数が多かったことから2会場を用いて並行して発表がおこなわれた。

大会1日目に同会場で総会を開催し、引き続き習志野ラウンジにて懇親会をおこなった。懇親会は準備委員会関係者皆さんの真心のこもった手作りのもてなしであった。2日目の午後には、シンポジウム「海の中の森林生態学」(オーガナイザー横浜康継氏、筑波大学下田臨海実験センター)が開催され、5名の演者による講演がおこなわれた。シンポジウムに引き続き、シンポジウム懇親会が開催され再び楽しい一時を過ごすことが出来た。大会の運営にあたっては、吉崎大会会長を始め、宮地和幸氏、宮田昌彦氏、鳩貝太郎氏外多数の方々にご尽力いただいた。ここに記して厚く御礼申し上げる。

第20回大会参加者名簿

赤池章一、鯉坂哲朗、阿部英治、阿部信一郎、有賀祐勝、飯泉 仁、飯間雅文、飯山美紀、五十嵐聖貴、生富成一、池原宏二、石川依久子、石川茂雄、石本佳代、井上 勲、井上吉教、猪狩裕代、今泉真知子、今井正江、今西茂男、内田英伸、榎本幸人、恵良田真由美、Elster, J、大島 明、大竹敏博、大谷修司、太田雅隆、大野正夫、大浜 武、大森和子、岡崎恵視、奥田一雄、加崎英男、梶村光男、片山舒康、加藤法子、金井塚恭裕、金子謙一、加納康子、神谷充伸、香村眞徳、亀井淳子、川合正允、河内伸子、川口恵司、川口栄男、川島昭二、河地正伸、金南吉、金亨根、工藤倫彰、熊野茂、高原隆明、小亀一弘、国分利幸、小林 弘、小林一郎、小林正美、小鷲繁実、今野敏徳、斉藤宗勝、坂田康一、嵯峨直恒、坂西芳彦、阪部 舞、坂本節子、佐藤博雄、佐藤征弥、佐野郷美、沢田 威、篠原よし子、清水則和、志村秀明、杉山孝一、鈴木素弘、須田彰一郎、関山繁信、高津 翼、高野敬志、高橋 晃、竹内

利一、竹下俊治、田中次郎、谷口和也、種蔵俊之、千原光雄、月館真理雄、寺島由紀彦、傳法 隆、道家章生、徳田拓士、中島 泰、長島秀行、長嶋美香子、中野武登、中村章彦、中山克己、中山恭彦、南雲 保、難波謙二、二宮早由子、野崎久義、能登谷正浩、橋都重人、長谷川雅俊、花方信孝、畠中芳郎、鳩貝太郎、馬場将輔、濱田 仁、林田文郎、春谷芳明、半田信司、樋口澄男、日野修次、福島 博、藤田大介、藤田隆夫、藤田雄二、藤森 泰、藤原宗弘、星野倉去、堀口健雄、堀輝三、本多正樹、前川行幸、正置富太郎、町口裕二、松浦周介、松岡庄二、松田仁松、松本正喜、真山茂樹、丸山 晃、万田芳太郎、三浦昭雄、御園生 拓、水戸盛雄、峯 一朗、宮内康子、宮地和幸、宮田昌彦、宮本征秀、村上裕重、村瀬 昇、Mostaert, A.S.、本村泰三、安井 肇、矢部和夫、山岡 容子、山岸高旺、山崎基樹、山下博和、山下裕一、山中良一、山本文市、山本鎔子、横田 明、横浜康継、吉崎 誠、吉崎総雄、吉武佐紀子、吉田賢二、吉田忠生、吉田雄一、吉永一男、吉永輝子、李 祺完、渡辺 信、渡辺 信、青木美恵、秋山満知子、阿部剛史、飯田高明、石田健一郎、石田達也、伊藤泰二、井口律子、岩佐朋美、若原信吉、上野昌子、江端弘樹、大石 健、大賀 学、岡本 忍、奥村宏征、尾崎紀昭、片山裕行、加藤惣一郎、亀崎佳子、川崎彩子、神林友広、北地直子、木村裕子、倉島彰、黄偉、齋藤智香、佐久間茂男、鳶田 智、島田典幸、清水貴裕、生野智昭、菅原顕人、鈴木たかよし、関口弘志、芹沢如比古、大門由佳、竹内亜希子、谷 昌也、玉井弥美、田村 寛、張 暁明、辻村茂男、寺田竜太、土井考爾、富樫辰也、永井祐二、長島泰子、中村恵理子、中山 剛、西垣敦子、ニン・ベタワティ・プリハチニ、野畑 英、平岡雅規、藤岡久美子、古川隆博、Ma. Rovilla J. Luhan、蒔田紀彦、牧野 愛、松村知明、松山和世、真山なぎさ、三重野恵子、三井 薫、村岡大祐、村上由利子、森田詠子、守屋真由美、山岸幸正、山下亜純、巖 興洪、巖 興洪、吉田絵里、吉村義隆、李仁輝、渡部佐知子、渡辺 哲、奈島弘明、前田修之

2. 編集委員会・評議員会

3月27日に東京水産大学資源育成棟会議室において英文誌編集委員会および和文誌編集委員会を合同で開催した。和文誌に関しては井上編集委員長より第43、44巻「藻類」の編集状況に関する報告があった。論文、短報の質と審査基準のばらつきに関して写真の出力の質などに関して論議が交わされた。英文誌に関しては、川井編集長が海外出張中のため堀口副編集長が代わって報告をおこなった。第43、44巻「Phycological Research」の編集状況、投稿状況などに関する報告が

あった。また、ブラックウェルからの還付金の使途、表紙のカラー化などに関して検討をおこなった(総会の項参照)。また、外国人の論文の要旨の和訳を作成する際には、副編集長、編集委員、審査員などに広く協力を求めていくことになった。

評議員会を引き続き同会議室で開催した。1996年度総会に提出する報告事項・審議事項などに関する審議をおこなった。内容に関しては総会の項を参照されたい。編集委員会・評議員会開催にあたっては田中次郎氏ならびに東京水産大学の学生諸君に大変お世話になった記してお礼申し上げる。

編集委員会出席者：井上 勲，堀口健雄，本村泰三，渡辺信，藤田大介，片山舒康，川口栄男，前川行幸，宮村新一，奥田一雄，田中次郎，堀 輝三，石川依久子，真山茂樹，大野正夫，渡辺 信，(オブザーバー：吉田忠生，小亀一弘)

評議員会出席者：吉田忠生，堀口健雄，小亀一弘，井上 勲，渡辺信，岡崎恵視，田中次郎，渡辺 信，熊野 茂，奥田一雄

3. 1996年度総会

1996年3月27日の講演終了後、同会場にて総会を開催した。吉田忠生学会長の挨拶の後、堀 輝三氏(筑波大学)を議長に選出して議事に入った。

【報告事項】

●庶務関係

(1) 会員状況(1995年12月31日現在)：名誉会員2名，普通会員559名，学生会員48名，団体会員54名，賛助会員11名，外国会員85名，国内購読19件。(2) 1995年度文部省科学研究費刊行助成金「研究公開促進費」交付額は1,150,000円であった。(3) 第19回大会を3月28日～29日高知城ホールにて開催した。(4) 評議員会を3月27日に総会を3月28日に高知城ホールにて開催した。(5) 10月27日に秋季シンポジウム「海苔の魅力と将来」をKKRホテル東京にて開催した。(6) 自然史学会連合ならびに植物分類学関連学会連絡会へ正式参加した。(7) 榎本幸人氏(神戸大学)のご協力のもと、中西出版に保管されていた「藻類」バックナンバーを神戸大学内海城機能教育研究センターへ移送した。

●会計関係

(1) 1995年12月31日現在の会費納入率は、普通会員92%，学生会員140%，団体会員76%，外国会員117%であった。納入率が100%を越えているのは滞納分を納入していただいたため。(2) その他の事項に関しては審議事項参照のこと。(3) 1995年度分として企画

委員会より30万円，藻類絵はがきの会より25万円，事務局より5万円，有賀祐勝氏(秋季シンポジウムプログラム売上)より1,200円の寄付をそれぞれいただいた。

●編集関係

(1) 1995年度に発行した和文誌「藻類」第43巻1～3号は、総頁数262頁，掲載論文数4，短報4，解説・総説3，研究技術紹介1，記事13，その他雑録であった。(2) 1995年度に発行した英文誌「Phycological Research」第43巻1～4号は、総頁数260頁で、掲載論文数30編であった。投稿数は横這いであり、会員各位の積極的な投稿を期待したい旨の発言があった。

【審議事項】

●庶務関係

(1) 1996年度事業計画：1) 第20回春季大会・総会(東邦大学)・評議会(東京水産大学)の開催，2) 和文誌「藻類」44巻1～3号の発行，3) 英文誌「Phycological Research」44巻1～4号の発行，4) 秋季シンポジウムの開催(九州大学)世話人 川口栄男氏(九大)，5) 会長・評議員選挙，6) 新編集長(英文誌)・新編集委員長(和文誌)の選出，7) 滋賀県琵琶湖賞授賞式参加(熊野評議員)。(2) 自然史学会連合から加盟各学協会が連合の運営資金として各2万円を負担してもらいたい旨の提案があった。藻類学会としてはこの案に賛成することとしたが、実際に支払うのは秋の自然史学会連合の総会でこの提案が了承されたからのことになる。(3) ブラックウェルからの還付金の使途について、1) 一般会計に組み込む，2) 英文誌の編集関係の事項に使用する，の2点が了承された。なお、今年度分の使途としては、Phycological Researchの表紙を全号カラー化するための補助金として用いることが了承された。(4) 会長・評議員選挙は8月頃をめどにおこなうことが承認された。(5) 学会大会の補助金を当該年度の前年に支払う場合には仮払い金として処理することが可能であることが確認された。(6) 企画委員会の資金調達について、企画委員会の内部資金を次の企画の運転資金にまわすことを原則とするが、それでは不足する場合、学会に対して新しい企画の計画書を添えて資金の貸し出しを要請することが出来ることとし、その資金は山田基金から拠出することが了承された。(7) 日本藻類学会の学会賞に関して、評議員の議を経て提案がなされたが、この件は慎重に進めた方がよいとの意見が大勢を占めたため、今後「藻類」誌上やアンケートを通して会員各位からの意見を集約しつつ学会賞の制定に向けて努力していくことになった。(8) 次期大会の開催地については、会場や寄付・補助金の調達の関係から2年後まで決めておいた方がよいとの提案があり、了承された。また、来年度の開催

地は広島、再来年の開催地は下田（静岡）とすることとし、それぞれ中野武登氏および横浜康継氏にお世話をお願いすることになった。

●会計関係

(1) 1995年度一般会計決算報告および同監査報告は表-

1の通り承認された。

(2) 1995年度山田幸男博士記念事業特別会計の決算報告および同監査報告は表-2の通り承認された。

(3) 1996年度一般会計および山田幸男博士記念事業特別会計の予算は表-3の通り承認された。

表-1 1995年度一般会計決算（1995・1・1～1995・12・31）

収入の部（円）		支出の部（円）	
会費	5,254,423	和文誌印刷・発送費	2,160,821
普通会員	3,612,000	印刷代	1,657,476
学生会員	335,000	別刷代	282,420
外国会員	595,423	発送費	220,925
団体会員	492,000	英文誌印刷・発送費	4,508,200
賛助会員	220,000	編集費	296,654
販売	349,000	編集補助費	150,000
定期購読	274,500	通信連絡費	36,300
バックナンバー	74,500	事務用品費	110,354
別刷代	405,550	庶務費	543,236
超過頁負担金	660,000	事務用品費	51,608
広告代	140,000	会議費	49,342
受取利息	12,783	通信・印刷費	166,648
プログラム代	0	諸雑費	275,638
文部省刊行助成金	1,150,000	幹事旅費補助	34,000
	0	事務補助	144,800
英文誌還付金	6,180	事務引継費	32,328
雑収入	601,200	バックナンバー移転費	63,450
寄付金		第19回大会補助費	120,000
		秋季シンポジウム補助費	50,000
小計	8,579,136	小計	7,953,489
前年度繰越金	6,221,592	次年度繰越金	6,847,239
合計	14,800,728	合計	14,800,728

一般会計貸借対照表（1995・1・1～1995・12・31）

貸方（円）		借方（円）	
普通預金（第一勧業、京都）	2,634,987	未払金	641,216
普通預金（第一勧業、新宿）	566,018	前受会費	2,290,000
郵便振替貯金（京都）	2,031,666	仮受け金	168,000
郵便振替貯金（札幌）	458,409	次期繰越金	6,847,239
郵便振替貯金（新宿）	2,965,120	前期繰越金	6,221,592
現金（事務局）	39,336	当期剰余金	625,647
現金（つくば）	9,024		
受け取り小切手	96,055		
アメリカンエキスプレス	21,000		
仮払金	120,000		
未収金	1,004,840		
合計	9,946,455	合計	9,946,455

表-2 1995年度山田幸男博士記念事業特別基金会計決算(1995・1・1～1995・12・31)

収入の部(円)		支出の部(円)	
山田追悼号売上金	0		
昆布類売上金	0		
日米セミナー売上金	0		
受け取り利息	24,514		
小計	24,514	小計	0
前年度繰越金	2,497,868	次期繰越金	2,522,382
合計	2,522,382	合計	2,522,382

貸借対照表(1995・1・1～1995・12・31)

貸方(円)		借方(円)	
定期預金	1,900,000	前期繰越金	2,497,868
普通預金	622,382		
当期余剰金	24,514	次期繰越金	2,522,382
合計	2,522,382	合計	2,522,382

日本藻類学会1995年度決算書に対し記名捺印する。

1996年3月19日

会長 吉田忠生 印
 会計幹事 小亀一弘 印

決算書が適正であることを認める。

1996年3月19日

会計監査 田澤伸雄 印
 会計監査 工藤利彦 印

(録事続き)

4. 寄付について

1995年度も以下の方々(団体)から藻類学会に対してご寄付をいただきました。学会誌のさらなる充実のために使わせていただきたいと思います。ここに記して感謝申し上げますとともに、今後とも会員の皆様のご支援をお願い申し上げます。

企画委員会(スライドシリーズ売り上げ)30万円、藻類絵はがきの会25万円、事務局(海藻目録フロッ

ピー売り上げ)5万円、秋季シンポジウム要旨売り上げ(有賀祐勝氏)1200円。

5. 学会賞について

1996年度総会の報告でも触れていますが、学会賞の創設に関しては今後、会員各位の意見を集約しながら慎重に進めていくことが総会で決定されました。学会賞のあり方に関するご意見、具体的なお提案などありましたら藻類学会事務局までお知らせ下さい。

表-3 1996年度一般会計予算案 (1996・1・1～1996・12・31)

収入の部 (円)		支出の部 (円)	
会費	4,977,900	和文誌印刷・発送費	1,970,000
普通会員	3,521,700	印刷代	1,500,000
学生会員	216,000	別刷代	250,000
外国会員	459,000	発送費	220,000
団体会員	583,200	英文誌印刷・発送費	4,443,000
賛助会員	198,000	普通会員	2,934,750
販売	340,000	学生会員	252,000
定期購読	270,000	外国会員	573,750
バックナンバー	70,000	団体会員	567,000
別刷代	250,000	賛助会員	115,500
超過頁負担金	100,000	編集費	450,000
広告代	120,000	編集補助費	150,000
受取利息	10,000	通信連絡費	200,000
文部省刊行助成金	1,150,000	事務用品費	100,000
英文誌還付金	50,000	庶務費	440,000
雑収入	5,000	事務用品費	50,000
寄付金	300,000	会議費	40,000
		通信・印刷費	250,000
		諸雑費	100,000
		幹事旅費補助	40,000
		事務補助	150,000
		第20回大会補助費	120,000
		秋季シンポジウム補助費	50,000
小計	7,302,900	小計	7,663,000
前年度繰越金	6,847,239	予備費	6,487,139
合計	14,150,139	合計	14,150,139

1996年度山田幸男博士記念事業特別基金会計予算案 (1996・1・1～1996・12・31)

収入の部 (円)		支出の部 (円)	
山田追悼号売上金	7,000		
昆布類売上金	1,000		
日米セミナー売上金	4,000		
受け取り利息	15,000		
小計	27,000	小計	0
前年度繰越金	2,522,382	予備費	2,549,382
合計	2,549,382	合計	2,549,382

訃 報

本会会員 大貝政治氏は去る 1996 年 5 月 21 日逝去されました。謹んで哀悼の意を表します。日本藻類学会

 日本藻類学会和文誌投稿案内

I. 編集の方針と投稿資格 本誌には藻学に関する未発表の和文論文、短報、速報のほか、総説、大会講演要旨、藻類に関する企画および投稿記事（採集地案内・分布資料・新刊紹介・シンポジウム紹介、学会事業案内など）を掲載します。論文および短報は和文誌編集委員会（以下編集委員会）が依頼する審査員による審査を経たのちに編集委員長によって掲載の可否が決定されます。速報およびその他の投稿原稿の掲載の可否は編集委員長と編集委員会で判断します。なお、編集委員会が依頼した場合を除いて、投稿は会員に限ります。共著の場合、著者の少なくとも一人は会員であることが必要です。

II. 制限頁 論文は刷り上がり10頁、総説16頁、短報4頁以内を無料とします。頁の超過は制限しませんが、超過分については超過頁代が必要です。その他の報文、記事については、原則として2頁以内を無料としますが、編集委員会の判断で6頁を上限として超過を認めることがあります。速報は2頁以内とします。速報は超過頁と同じ扱いになりますので有料です。2,000字で刷り上がり1頁となる見当です。そのほか、折り込み頁、色刷りなどの費用は著者負担となります。

III. 原稿執筆・投稿要領 原著論文および短報は下記の様式に従って執筆し、オリジナルの原稿と図表各1組とそれぞれのコピー2組（写真を含む図版はこれを写真複写したもの。電子複写は不可）を編集委員会に提出してください。その他の報文については特に様式の制限はありませんが、最新の号を参照し、必要に応じて編集委員会に問い合わせてください。また、原稿の種類を問わず、次の規則に従ってください。1) テキストファイル形式で保存できるワードプロセッサを用いて作成し、A4用紙に1行40字、25行で印刷する。2) 当用漢字、新かなづかいを使用する。3) 句読点は「,」と「。」を用い、「,」や「.」の使用は避ける。4) 学名と和名の使用：新種記載や学名の使用は最新の国際植物命名規約に従い、和名にはカタカナを使用する。5) 本文中ではじめて使用する学名には命名者名をつける。また、属と小名には下線を引き、イタリック指定をする。6) 単位系と省略表記：SI単位を基本とします。原稿中で使用できる主な単位と省略形は次のとおりです（時間：hr, min, sec, 長さ：m, cm, μm , nm, 重量：g, mg, 容積：l, ml, 温度： $^{\circ}\text{C}$, 波長：nm, 光強度：lux, $\mu\text{E} \cdot \text{m}^2\text{s}^{-1}$, Wm, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2\text{s}^{-1}$ など）。そのほか、執筆にあたっては以下の投稿原稿の構成およびワープロ入力の注意の項を参照してください。

投稿原稿の構成 原著論文は、1) 標題、2) 英文要約、3) 本文、4) 引用文献、5) 表と図およびその説明（英文）の順にまとめてください。短報は本文の構成が異なる点を除いて、原著論文に準じます。

1. 標題と要約 欄外見出し（和文25文字以内）、標題、著者名、所属、住所、著者名（和文）、英文標題、英文要約（200語以内）、英文キーワード（5-10語、アルファベット順、著者名（英文）、宛先（英文）の順に記入してください。

2. 本文 論文は原則として緒言、材料と方法、結果、考察（または結果と考察）、謝辞で構成されます。短報ではこれらの項目を区別せず、一連の文章にすべてが含まれるように構成してください。原著論文、短報とも必要に応じて図（線画や写真）や表を用い、原稿中にそれぞれ挿入を希望する位置を指示してください。本文中での文献、表および図の引用は次の例に従ってください。

・・・が知られている。（Yamada 1949, Yamada and Yamada 1950, Yamada *et al.* 1951）。岡村（1907, p.6）は、・・・を示している。・・・の大きさには地域により明瞭な差が認められる（Table3）。

3. 引用文献 本文中で引用したすべての文献を著者名のアルファベット順に列挙してください。原著論文と単行本、叢書中の分冊等では引用の方法が異なります。下記の例にならってください。

- (単行本) 岡村金太郎 1936. 日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京.
Christensen, T. 1994. Algae. A taxonomic Survey. AiOPrint Ltd., Odense. (著者, 出版年, 標題, 出版社, 出版社の所在地の順)
- (単行本中の1章) 有賀祐勝・横浜康継 1979. 光合成・呼吸の測定. p.413-435. 西澤一俊・千原光雄 (編) 藻類研究法, 共立出版, 東京.
Drebes, G. 1977. Sexuality. p.250-283. In: D. Werner (ed.) The Biodiversity of Diatoms. Blackwell Sci. Publ., London (著者, 出版年, 引用した章の標題, 同掲載頁, 編者, 単行本標題, 出版社, 出版社の所在地の順)
- (叢書中の分冊) Krammer, K., Lange-Bertalot, H. 1986. Bacillariophyceae. 1. Teil: Naviculaceae. In: Ettl, H., Gerloff, J. and Heynig, H. (eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa. No.2/1. Gustav Fischer, Verlag, Stuttgart (著者, 出版年, 引用した章の標題, 編者, 単行本標題, 版番号, 分冊番号, 出版社, 出版社の所在地の順)
- (雑誌中の1論文) 筒井功・大野正夫 1992. 和歌山県白浜産クロメの成長・成熟と形態の季節的变化. 藻類 40: 39-46. (著者, 出版年, 論文標題, 雑誌名, 巻, 同掲載頁の順)
Yoshida, T. and Silva, P. C. 1992. On the identity of *Fucus babingtonii* Harvey. Jpn. J. Phycol. 40: 121-124. (著者, 出版年, 論文標題, 雑誌名, 巻, 同掲載頁の順)

4. 表と図. および説明 表と図は印刷版下として使用しますので原寸大で作成してください。印刷頁は2段組みで幅14cm, 1段で幅6.6cm, 縦20.4cmです。表, 図ともに説明のためのスペースを含めて印刷範囲に収まるように作成してください。写真は光沢印画紙に鮮明に焼き付け, 不要なスペースをカットしてレイアウトしてください。図や写真には倍率を示すスケールを入れ, 必要に応じてレタリング用の矢印や文字などを貼り付けてください。表の罫線は横線のみを用いるようにしてください。表, 図ともに, 脱落防止のためにカバーをつけ, その下端に著者名, 図の番号を記入してください。送付にあたっては, 厚手の紙で保護してください。

IV. ワープロ入力の注意 本誌はDTP (Desk Top Publishing) によって作成されます。掲載が決定された後, 最終原稿のファイルが保存されたフロッピーディスクを提出していただき, 編集委員会ではこれを用いて印刷版下を作成します。したがって, あらかじめ, テキストレベルでデータ互換が保障された (テキストファイル形式でファイルを保存できる) パーソナルコンピュータ上のワードプロセッサまたはワープロ専用機で原稿を作成するようにしてください。互換性が不明な場合は編集委員会までお問い合わせください。編集作業を円滑に行うために, 原稿作成にあたっては次の点に注意してください。1) 学名や英単語の区切り以外にはスペースキーを使用しない。2) 段落行頭や引用文献の字下げにはワープロのインデント機能を使用する。3) 改行 (リターンキー) の使用は段落の終わりだけに限定し, 1行ごとの改行の挿入はしない (DTP編集では, 改行コードの有無で段落を判断します)。4) 数字とアルファベットはすべて半角で, カタカナは全角で入力する。5) ギリシャ文字や独仏, 北欧文字を他の文字で代用しているときは, 出力原稿中に赤鉛筆でその旨明記する (例: üをu, μをu, éをe, βをB, ØをOで代用など)。6) 数学記号などの特殊記号をワープロの外字で使用しているときは出力原稿中にその旨明記する。

V. 校正と別刷 校正は初校のみとします。DTPの最終割り付けが済み次第, レーザープリンター (300dpi程度の解像度) で出力したものを著者に送ります。ためし刷りですので写真等は最終印刷のイメージより劣ります。校正はレイアウトと提出したファイルからデータ変換が正しく行われているかを確認するとともに, 図や写真の最終チェックは編集委員会におまかせください。校正は受領後3日以内に編集委員会へ返送してください。別刷は原著論文, 短報, 総説に限り50部を学会で負担しますが, それ以外は有料です。校正送付時に同封される別刷申込書に所定の事項を記入して返送してください。

藻類のライフストーリーをオリジナルの線図に解説をつけ見開きで示す!

藻類の生活史集成 全3巻 堀 輝三編 (送料各巻450円)

- 第1巻 緑色藻類 (185種) B5判・450頁・定価8,240円
- 第2巻 褐藻・紅藻類 (171種) B5判・424頁・定価8,240円
- 第3巻 単細胞・鞭毛藻類 (146種) B5判・372頁・定価7,210円

藻類の研究者115名が自らの研究成果と資料をもとに執筆に当り、現時点で明らかになっている藻(502種)の生活史・生活環を線図で集大成した初めての本。

本書の構成は、図を左頁に対面する頁に和英の解説文をつけて、2ページを1単位として組み立ててある。執筆者によるオリジナルの線図は、藻類のライフサイクルを一見して理解させそれに簡明な解説を付す。さらに教育的配慮から多くの種について分布図を、そして各巻ごとに同義語を、各巻の巻末に学名総索引・和名索引を収録して読者が使いやすいよう工夫した。藻類を専門とする研究者や中学・高校の生物の先生、水に関連する研究所や企業の方々を初め藻類に興味をもつ人々にとって、長い間出版が望まれていた本である。 [呈内容案付]

お蔭様で第16巻(100種)刊行、1600種となりました。
藻類の種の分類と同定を写真で解説。座右の手引書にお使い下さい。

淡水藻類写真集 第16巻 山岸高旺・秋山 優編

B5判・100シート 定価7,210円
2穴・並製箱入り(千各380円)
既刊 1・2巻 定価4,120円/3~10巻 定価5,150円/11巻~ 定価7,210円(17巻 96年9月刊)

近刊のご案内 陸上植物の起源 リンダ.E. グラーハム著/堀輝三・渡邊信訳

原題“Origin of Land Plants” 96年4月予定

日本淡水藻図鑑

廣瀬弘幸・山岸高旺編 日本ではじめて創られた本格的な図鑑。淡水藻類の研究者や水に関係する方々にとっては貴重な文献である。定価39,140円

日本の赤潮生物 写真と解説

福代康夫・高野秀昭・千原光雄・松岡敦充編 日本近海と淡水域に出現する赤潮生物を収録し、写真、文献等から分類・同定した。定価13,390円

藻類学総説

廣瀬 弘幸著 定価10,300円

藻類の生態

秋山・有賀・坂本・横浜編 定価13,184円

水の環境科学

鈴木 静夫著 定価2,472円

数理分類学

スネース&ソーカル/西田・佐藤訳 定価15,450円

植物細胞遺伝工学

西山 市三著 定価5,665円

台湾産浮遊性藻類(英文)

山岸 高旺著 定価12,360円

水辺の科学

—湖・川・湿原から環境を考える—
鈴木 静夫著 定価2,369円

ナマコとウニ

—民謡と酒のさかなの話—
大島 廣著 定価1,339円

内田老鶴園

〒112 東京都文京区大塚 3-34-3
電話(03)3945-6781 FAX(03)3945-6782

呈図書目録
(価格は税込)

海洋環境・藻場造成関係者必携の書!!

図鑑 海藻の生態と藻礁

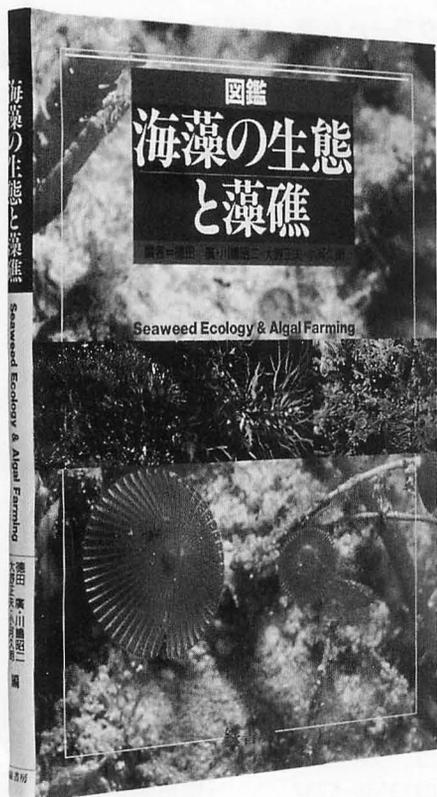
編者 = 徳田 廣・川嶋昭二・大野正夫・小河久朗

本書は、天然の海で海藻がどのような姿で生えているのかをつぶさに見てとることの出来る海藻生態図鑑であると同時に、人為的に投入した藻礁に如何にして海藻を生やすか、を紹介した世界に例のない図鑑でもある。

生態編では、緑藻42種、褐藻72種、紅藻80種、海草6種の総計200種をオールカラーで紹介。藻礁編では、藻礁、すなわち藻場造成用人工礁の構造や沈設位置を図示し、海中での藻礁上の海藻の生育状態、あるいは動物の蛸集状態を経時的に撮影した82点に及ぶカラー写真で示した。

藻場造成にかかわる方々はもちろんのこと、海洋環境の保全に意欲と関心をお持ちの一般の方々にも、本書は幅広く受け入れられるであろう。

■B5判 上製 総ページ 198p
カラーページ 179p
定価 14800円(税込/送サービス)



英語版も完成!
— A Photographic Guide —
**Seaweeds
of Japan**

定価15,000円(税込/送サービス)

日本藻類学会入会申込書

(コピーしてお使い下さい)

19 年度より入会 19 年 月 日 申込み

氏名 _____ 19__年__月__日生

★Name _____
(Family name) (Given name and initials)

所属機関名 _____

★Institution _____

住所 〒 _____

★Institutional Address _____

電話 _____ Fax _____ e-mail _____

自宅住所 〒 _____

★Address _____

電話 _____ Fax _____ e-mail _____

★の項目は英語またはローマ字で必ずご記入ください。英文誌の送付に必要です。

以下の欄にチェックして下さい

会員の種類: 普通会員 7,000円 学生会員 5,000円 (学生会員の場合、指導教官の署名が必要です)

指導教官の署名: _____

会費納入方法: 同封 郵便振替 (できるだけ郵便振替をご利用下さい)

会誌の送り先 所属機関 (勤務先) 自宅

入会申込書送付先: 〒 305 茨城県つくば市天久保 4-1-1 国立科学博物館植物研究部
北山太樹 TEL 0298-53-8975, FAX 0298-53-8401

会費払込先: 郵便振替 口座番号 00180-5-68429 加入者名: 日本藻類学会

学会事務局
使用欄

受付

名簿

発送リスト

入金確認

学会録事

賛助会員

北海道栽培漁業振興公社（060 札幌市中央区北3条西7丁目 北海道第二水産ビル4階）
 阿寒観光汽船 株式会社（085-04 北海道阿寒郡阿寒町字阿寒湖畔）
 株式会社 シロク商会（260 千葉市春日 1-12-9-103）
 全国海苔貝類漁業協同組合連合会（108 東京都港区高輪 2-16-5）
 有限会社 浜野顕微鏡（113 東京都文京区本郷 5-25-18）
 株式会社 ヤクルト本社研究所（189 東京都国立市谷保 1769）
 田崎真珠 株式会社 田崎海洋生物研究所（779-23 徳島県海部郡日和佐町外ノ牟井）
 神協産業 株式会社（742-15 山口県熊毛群田布施町波野 962-1）
 理研食品 株式会社（985 宮城県多賀城市宮内2丁目5番60号）
 株式会社 白寿生科学研究所（351 朝霞市栄町 3-3-7）
 三洋テクノマリン株式会社（103 東京都中央区日本橋堀留町 1丁目 3-17）

44 巻 1 号 訂正表

	誤り	正
14 ページ, 右カラム, 7 行目	Benett and Bogorad 1975	Benett and Bogorad 1973
18 ページ, 付録 2	Chl の計算結果の単位 mg/ml	μg/ml
29 ページ	第。部	第 I 部
	第「部	第 II 部
	第」部	第 III 部
	第、部	第 IV 部
	第・部	第 V 部
41 ページ (大会プログラム表紙)	第 20 会大会	第 20 回大会

編集後記

上の訂正表のように1号ではとうとう華々しい文字化けを出してしまった。外字の使用が文字化けを起こすことは何度もお伝えし、協力をお願いしていたが、いまだ寄せられる原稿のほとんどには依然として外字がふんだんに使われている。印刷のために送られてきたファイルはまず文字化けの可能性をチェックすることにしており、十分注意しているつもりだが見落としてしまった。特に上のような例はモニター上では正しく表示されるので、なおさらしまつが悪い。表紙の色についても、もう少し”しぶい”赤にするつもりだった。しかし本印刷が迫っていたために小さな色見本で決めてしまい、予想より派手な色合いに仕上がった（今年度はこの色で通すことにする）。いろいろ不備があった。お詫び申し上げる。弁解になるが、このところなんとも忙しくて編集がおろそかになりがちである。しかし私の担当も本号を含めてあと2号、もう少しの間辛抱しておつきあいをお願いしたい。

先の船橋大会のシンポジウムの講演内容の特集として掲載した。都合で、本号には三人の方の分だけを取りあげたが、次号で残りの2編を掲載する予定である。秋季シンポジウムも含めて、学会の主催や共催で行った講演はできるだけ和文誌でとりあげ、大会や講演会に参加できなかった会員が読めるようにすればよいと思う。和文誌の役割のひとつであろう。検討課題がまたひとつふえた。

和文誌編集委員会 井上 勲

学 会 出 版 物

下記の出版物をご希望の方に頒布いたしますので、学会事務局までお申し込み下さい。(価格は送料を含む)

1. 「藻類」バックナンバー 価格、会員各号 1,750 円、非会員 3,000 円、30 巻号(創立 30 周年記念増大号、1-30 巻索引付き)のみ会員 5,000 円、非会員 7,000 円、欠号 1-2 巻、4 巻 1, 3 号、5 巻 1, 2 号、6-9 巻全号。
2. 「藻類」索引 1-10 巻、価格 会員 1,500 円、非会員 2,000 円、11-20 巻、会員 2,000 円、非会員 3,000 円、創立 30 周年記念「藻類」索引、1-30 巻、会員 3,000 円、非会員 4,000 円。
3. 山田幸男先生追悼号 藻類 25 巻増補。1977. A5 版、xxviii+418 頁。山田先生の遺影、経歴・業績一覧・追悼文及び内外の藻類学者より寄稿された論文 50 編(英文 26、和文 24)を掲載、価格 7,000 円。
4. 日米科学セミナー記録 Contributions to the systematics of the benthic marine algae of the North Pacific. I. A. Abbott・黒木宗尚共編。1972. B5 版。xiv+280 頁、6 図版。昭和 46 年 8 月に札幌で行われた北太平洋産海藻に関する日米科学セミナーの記録で、20 編の研究報告(英文)を掲載。価格 4,000 円。
5. 北海道周辺のコンブ類と最近の増養殖学的研究 1977. B5 版、65 頁。昭和 49 年 9 月に札幌で行われた日本藻類学会主催「コンブに関する講演会」の記録。4 論文と討論の要旨。価格 1,000 円。

1996 年 7 月 5 日印刷

1996 年 7 月 10 日発行

© 1996 Japanese Society of Phycology

日 本 藻 類 学 会

禁 転 載
不 許 複 製

Printed by Alles Ltd.

編集兼発行者 井 上 勲

〒 305 つくば市天王台 1-1-1

筑波大学生物科学系

Tel. 0298-53-6655

Fax. 0298-53-6614

email. iinouye@sakura.cc.tsukuba.ac.jp

印刷所

(有) ア レ ス

〒 305 つくば市竹園 2-11-16

Tel. 0298-53-8188 (代)

Fax. 0298-53-8177

発行所

日 本 藻 類 学 会

〒 060 札幌市北区北 10 条西 8 丁目

北海道大学理学研究科生物科学専攻

系統進化学講座

Tel. 011-706-2745

Fax. 011-746-1512

藻類

The Japanese Journal of Phycology (Sôruï)

第44巻 第2号 1996年7月10日

目次

日本藻類学会秋季シンポジウム案内

第21回日本藻類学会大会(広島)案内

口 絵 川嶋昭二:藻類アート

Fucus distichus L. subsp. *evanescens* (C. Ag.) Powell ヒバマタ

総説・解説

三室 守:藻類の光合成系で機能するタンパク質の系統性と進化 75

第20回日本藻類学会大会シンポジウム「海の中の森林生態学」特集(1)

倉島 彰・横浜康継・有賀祐勝:褐藻アラメ・カジメの生理特性 87

前川行幸・栗藤和治:三重県尾鷲湾におけるアラメ群落の生育環境と消長 95

谷口和也:海中林造成の基礎と実践 103

研究技術紹介 藻類の光合成研究法シリーズ-2

和田野 晃:光合成における炭酸ガス固定と酸素発生量の相関
および酸素電極測定法 109

吉崎 誠:日本藻類学会第20回大会(船橋・東邦大学)をふりかえって 115

鳩貝太郎:日本藻類学会第20回大会海藻採集会参加記 117

松山和世:第2回藻類学春の学校参加記(1996年3月30日~4月2日) 119

書評・新刊/新刊書・近刊書

内田英伸:まるいはマリモ(阿寒マリモ自然研究会) 121

大野正夫・Jacqueline Rebello:Manual de Metodos Ficologicos (Alveal et al. eds.) 121

館脇正和:海藻おしば カラフルな色彩の謎(横浜康継・野田三千代著) 122

小亀一弘:Taxonomy of Economic Seaweeds.
With reference to some Pacific species. Vol. V. (Abott, I. A. ed.) 122

堀口健雄:Algae: an introduction to phycology (Van den Hoek, C. et al.) 123

学会・シンポジウム情報 125

英文誌 Phycological Research 44巻1号掲載論文和文要旨 127

学会録事 129

投稿案内 137