

原 慶明*: 葉緑体微細構造の研究と紅藻植物の 系統分類への寄与 I

Yoshiaki HARA*: Studies on the chloroplast ultrastructure and their contributions to the taxonomy and phylogeny of the Rhodophyta I.

藻類の葉緑体微細構造に関する初期の研究は主に細胞学及び形態学的観点から取り組まれたものであった。しかし研究の結果が蓄積されるにつれ、葉緑体微細構造が藻類の系統や進化を探る形質として重要視されるようになったため、最近では、分類学的立場からこうした研究を行なう人も多くなってきた^{10-12), 21-25), 39), 43)}。葉緑体微細構造が分類形質として評価される主な理由は、1) 植物群がもつ光合成器官の微細構造、とくにチラコイドが構成するラメラ系には単純→複雑の進化的傾向がみられ、その複雑さの度合は高次の分類群の体制にみられる進化の度合によく対応すると思われること、2) 微細構造を基準として類型化された葉緑体や他の細胞器官の存在様式あるいは分布様式は植物群の類縁関係を解析する際に有効な手掛りとなりうと思われること、および3) これらの微細構造上の特性は外部形態上のそれと同じように、分類群の識別形質として利用できること、のおよそ3点に要約できるように思われる。

著者は今まで主として分類学的観点から紅藻植物の葉緑体微細構造を調査して来たものであるので、ここではこの分野の研究がどのように進められて来たか、そしてその成果が紅藻植物の分類学及び系統学にどのように貢献してきたかなどについて解説してみたい。

A 紅藻植物の葉緑体微細構造についての研究のあらまし

紅藻植物の葉緑体微細構造に関する草分け的な研究は単細胞性紅藻のチノリモ *Porphyridium cruentum* を用いて BRODY & VATTER³⁾ により行なわれた。彼らによれば、チノリモは星状葉緑体を1個もち、その中央部に埋没した状態のピレノイドを含み、このピレノイド基質には葉緑体部からわずかなチラコイドが走入するという。また彼らは光合成補助色素であるフィコピリンはクロロフィルとともにチラコイドに存在していると推察している。

単に葉緑体の電頭像を見たという点に絞れば、この BRODY & VATTER 以前にもいくつか報告がある。たとえば、MYERS, REPREY & PRESTON⁸⁾ はX線回折と電頭を

* 筑波大学生物科学系 (300-31 茨城県新治郡桜村大字妻木字天久保)。

Institute of Biological Sciences, The University of Tsukuba, Ibaraki, 300-31 Japan.

Bull. Jap. Soc. Phycol., 23: 28-38, March 1975.

用いてカザシグサ属の1種 *Griffithsia flosculosa* の細胞壁構造を研究したが、その論文の中に葉緑体の電顕像の写真を発表している。

その後、MITRAKOS³⁵⁾ は原始紅藻綱および真正紅藻綱に属する6種類、ミルノベニ属の1種 (*Rhodochorton floridulum*)、タマノイト (*Trailliella intricata*)、オゴノリ属の1種 (*Gracilaria sp.*)、ユカリ属の1種 (*Plocamium coccineum*)、シキンノリ (*Gigartina teedii*) およびイトグサ属の1種 (*Polysiphonia nigrescens*) の葉緑体微細構造を観察し、紅藻植物の葉緑体に含まれるチラコイドはすべて単一で、グラナ構造や2枚以上のチラコイドからなるバンド状のラメラの形成は見られないことを明らかにした。

UEDA⁴²⁾ および GIBBS^{17), 18)} は紅藻植物を含む藻類の数門について、それぞれの分類群から2~3種類を材料にとりあげ葉緑体微細構造を研究し、それらの結果にもとづいて、藻類の各門の比較考察を行なった。それらの考察によると、藻類の各門には特徴的な葉緑体構造がみられ、とくにラメラを構成するチラコイドの数やピレノイドの構造はそれぞれの植物群の類縁関係を解析する際の手掛りになり得ることが示唆された。また、これらの著者等は紅藻植物の葉緑体は MITRAKOS の報告と同様に、単一チラコイドラメラを有するものであり、その構造は他の植物は門の葉緑体と較べてより単純であり、したがってより原始的と考えるべきであることを強調した。

Bouck⁷⁾ はフシツナギ属の一種 *Lomentaria baileyana* の栄養細胞の微細構造を研究し、この細胞内にプロプラスチド様の葉緑体が存在すること、成熟した葉緑体は単純なくびれ (*constriction*) による分裂で増殖することなどを明らかにした。以前には、紅藻植物の葉緑体の増殖は成熟した葉緑体の分裂によるのみと考えられていたが、プロプ

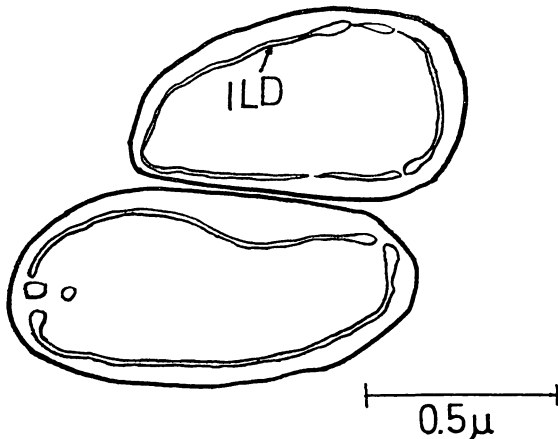


Fig. 1. フシツナギ属の1種 (*Lomentaria baileyana*) の生長点付近の細胞にみられるプロプラスチド。ILD: inner limiting disc. (Bouck (1962) の電顕写真より転写)

ラスチドの存在を明らかにしたこの報告により、紅藻植物の葉緑体には高等植物の葉緑体と同じように *de novo* な形成もある可能性が示された。このプロプラスチドのラメラ系は極めて単純で、葉緑体限界膜と、それに同心円状に配列する inner limiting disc (または outermost thylakoid と呼ばれる) のみで構成される (Fig. 1)。この inner limiting disc は後に ALLSOPP¹⁾ が原核生物 (Prokaryote) から真核生物 (Eucaryote) への進化過程を考える上で重要な構造として注目しているものである。フシツナギの1種を用いたこの BOUCK の研究は紅藻植物の葉緑体微細構造について基礎的知識を確立したものとして評価される。

NICHOLS, RIDGWAY & BOLD⁸⁾ は淡水産紅藻オオイシソウの1種 *Compsopogon coeruleus* において、さきの BOUCK の結果と同じように、葉緑体の増殖にはプロプラスチドから形成される方法と成熟葉緑体の分裂による方法の2通りあることを電顕観察から明らかにした。

GANTT & CONTI および彼らの共同研究者¹⁸⁻¹⁶⁾ は単細胞性のチノリモ属の3種 *Porphyridium cruentum*, *P. aerugineum* および *P. species* を用いて、フィコビルンに関する一連の微細構造学的研究を行なった。以下に結論を要約する。1) チノリモ属3種の葉緑体では、チラコイドの表面に直径がおよそ 350nm の小粒が一定の間隔で付着している。2) これらの小粒はフィコビルン色素の集積した場であると推察される。事実、彼等はこれらの小粒から生化学的にフィコビルン色素を検出することに成功した。3) この小粒は、生体内では、グルタルアルデヒドとオスミウム酸の2重固定の場合のみに出現する。このことは紅藻植物の葉緑体だけでなく、藍藻植物の細胞質内に分散するチラコイド上の小粒についても同様である。4) 小粒をフィコビリソーム (phycobilisome) と名づける。5) フィコビリソームは4つのサブユニットから出来ており、量的にフィコエリトリンが多いチノリモ *P. cruentum* (細胞は赤色を呈する) では

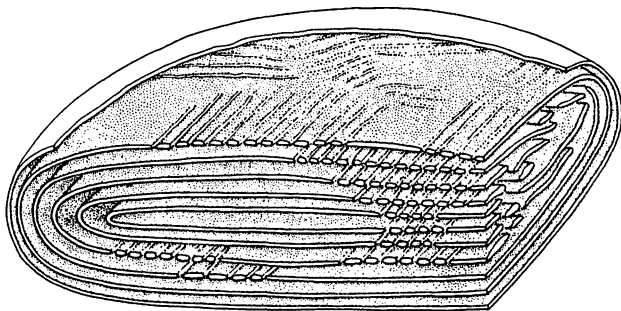


Fig. 2. カワモズク (*Batrachospermum moniliforme*) の完熟した葉緑体の立体図。管状のチラコイドがみられる。(BROWN & WEIER (1968⁴⁾) より

そのサブユニットがテトラポット状に、フィコシアニンの多い *P. aeruginum* (細胞は藍色を呈する) では平盤状に配列する。

一方、LICHTLÈ et GIRAUD⁸¹⁾ は淡水産紅藻アオカワモズク *Batrachospermum virgatum* の葉緑体中出现するフィコビリソームは小粒状を呈さないで、細い棒状になって、たがいに平行に並びチラコイド外表に付着しているという報告を発表している。

BROWN & WEIER⁴⁾ はカワモズク *Batrachospermum moniliforme* で、葉緑体の充分成熟したもので極めて特徴的なチラコイドが出現することを観察した。(Fig. 2) 栄養体の生長点付近の若い体細胞の葉緑体はチラコイドの発達が貧弱でプロプラスチドの状態にあるが、生長点から遠ざかるにつれ、葉緑体は大きさを増し、チラコイドの発達も顕著になってくる。完熟した葉緑体では充分に発達したチラコイドが葉緑体マトリックス(ストロマ) 全域を占有しているが、それらの一部のチラコイドが横断面で管状になってあらわれる。これらの管状のチラコイドの機能については未知であるが、構造的には Fig. 2 に示されているように、チラコイドの一部に断裂が生じた結果出来たものと考えられる。また彼らは、今後多くの紅藻植物の葉緑体が研究されるならば、この管状のチラコイドに何らかの分類学的意味が与えられるかもしれないと述べている。

前述の LICHTLÈ et GIRAUD により観察されたアオカワモズク (*B. virgatum*) の葉緑体でも同様な管状チラコイドがみとめられているが、LEE⁸⁰⁾ の報告した近縁種の *Sirodotia tenuissima* (ユタカカワモズク属の1種) の葉緑体では発見されていない。さらに BROWN & WEIER⁵⁾ によって観察されたカワモズクの果孢子発芽体であるシャントランシア期糸状体の葉緑体では管状のチラコイドの存在は確認できなかった。

BISALPUTRA & BISALPUTRA²⁾ および YOKOMURA⁴⁵⁾ はそれぞれソゾ属の1種 *Laurencia spectabilis* とアサクサノリ *Porphyra tenera* を材料に使用し、紅藻植物の葉緑体 DNA 部を調査した。両植物とも、葉緑体 DNA の繊維構造の部位は、褐藻植物の葉緑体でごく普通にみられるゲノフォア (genophore) のように葉緑体限界膜のすぐ内側に環状に集結した形成はとらないで、チラコイド間のストロマに分散しているという。

GIRAUD⁴⁹⁾ は単細胞性紅藻の *Rhodorus marinus* が構造的に極めて特徴的なピレノイドをもつことを報告している。このピレノイドは、細胞の周縁部に片寄って位置する葉緑体の腹部から細胞の中央に向かって突出しており、その突出部は葉緑体限界膜とつながった2重膜によって直接被われ、さらにその外側を紅藻デンプンの殻が取り囲んでいる。均一なピレノイド基質には、わずかであるがチラコイドが入りこんでいる。

EVANS¹²⁾ は、英国、Essex の Southend-on-Sea の海岸の砂から分離培養された単細胞性紅藻の微細構造を観察し、それまでに電顕的に調べられた単細胞紅藻のいずれのものとも類似しない細胞内構造であることに気づいた。そこでこの藻を基準種として新属 *Rhodella* を設立し、基準種に *R. maculata* の名を与えた。記載にあたって、属の特徴

として採用した形質は次のようである。1) 葉緑体は星状で細胞内に1個あり、星状部はよく発達した裂片 (lobe) をもつ。2) 星状葉緑体の中央にあるピレノイドにはチラコイドが全く入りこまない。3) ピレノイドの外周は紅藻デンプン殻に被われる。4) ピレノイドの一部に舌状の陥入部があり、陥入部には核の一部が突起状に侵入する。なお, holotype にこれの電顕観察から得た図を指定している (Fig. 3)。これは紅藻植物で初めての例と思われる。

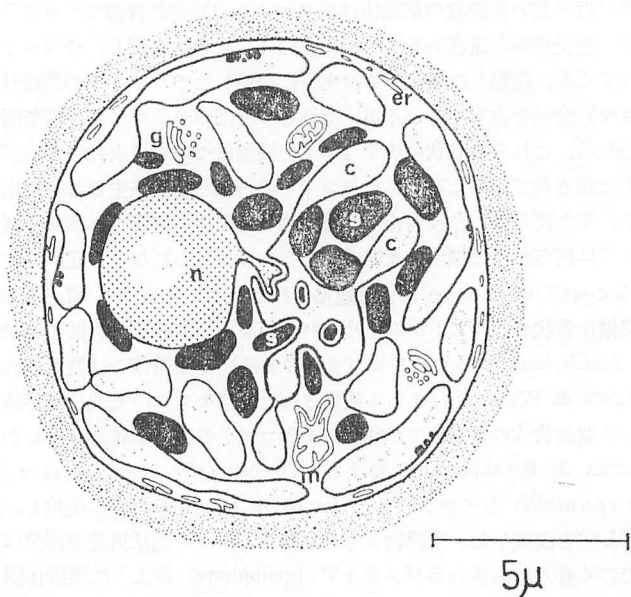


Fig. 3. *Rhodella maculata* の細胞の断面図 (EVANS (1970¹²) より) P: ピレノイド, S: 紅藻デンプン殻, C: 葉緑体, n: 核, er: 小胞体, m: ミトコンドリア, g: ゴルジ体。

WEHRMEYER⁴³⁾ はチノリモ属の1種 *Porphyridium violaceum* の葉緑体微細構造を研究し、ピレノイドの構造が *Porphyridium* 属の基本種であるチノリモ *P. cruentum* のそれよりむしろ EVANS が記載した *Rhodella maculata* のそれとよく似ている点を重視し、この紅藻をチノリモ属 *Porphyridium* からロデラ属 *Rhodella* に移すことを提唱した。

MCBRIDE & COLE^{32), 33), 34)} は原始紅藻綱, ウシケノリ目に所属する *Smithora naiadum* の単孢子の形成, 放出, 発芽にともなっておこる細胞内構造の変化を追究したが, その際, 放出直後の単孢子および体細胞の葉緑体の数ヶ所に, 高等植物や緑藻植

物でみられるグラナ構造に似たチラコイドの積み重なりを観察した。詳しくは次項で紹介する。

COLE³⁹⁾ はアマノリ属 *Porphyra* 数種のコンコセリス期糸状体の葉緑体を詳査し、生長時期が異なる場合、あるいは存在部位の異なる場合、たとえば糸状体の栄養細胞と殻胞子のう分枝の細胞との間で、同一藻体においても葉緑体にわずかではあるが差異のあることを発見した。殻胞子のう分枝の細胞の葉緑体は星状でピレノイドに入りこむチラコイドは不規則であるのに対して、糸状体栄養細胞の葉緑体は板状で、ピレノイドに入りこむチラコイドは直線的にピレノイド基質を貫通している。

COLE 等の研究以後、生殖細胞の形成過程における細胞内の微細構造を調べる人が多く出てきた。CHAMBERLAIN & EVANS³⁹⁾, KUGRENS & WEST²⁸⁾ および SCOTT & DIXON⁴⁰⁾ は真正紅藻綱の数種の四分胞子について、KUGRENS & WEST²⁷⁾ と SCOTT & DIXON⁴¹⁾ は精細胞について、さらに WETHERBEE & WYNNE⁴²⁾ は果胞子について、それらの形成過程における細胞内構造の変化を研究した。その結果、これらの生殖細胞に含まれる葉緑体は概して未発達のプロプラスチドであること、それらは成熟につれて、大きさを増し、ラメラ系も発達し、体細胞の葉緑体に似てくることなどを明らかにした。しかし興味あることに精細胞の葉緑体は放出されるまでプロプラスチドのままである。

最近、KUGRENS & WEST^{26), 29)} は寄生性紅藻 *Choreocolax polysiphonae* と *Levringiella gardneri* の細胞内の微細構造について詳細な研究を行なっているが、彼らによると上記二種の藻体の栄養細胞と生殖細胞はともに著しく退化したと思われる小さな葉緑体を有し、ラメラ系の発達は極めて貧弱であるとされている。

HARA & CHIHARA⁴⁰⁾ は分類学的観点から 100 種余の紅藻植物の葉緑体を逐一調べた。葉緑体の形状、チラコイド構造、ピレノイドの有無、ならびにピレノイドの構造等を基準として紅藻植物の葉緑体を 8 つのタイプに分け、これらの葉緑体微細構造を分類形質にとりあげ、この植物群内における各分類群の類縁関係の解析を試みた。詳細は次報で紹介する。

以上、紅藻植物の微細構造の研究をほぼ年代を追って概説してきた。研究の対象は年代とともに、1) 使いやすく、簡単に入手できるなかまを、2) 分類上問題のあるなかまを、3) 各分類群の代表的なかまを、4) 培養条件などを加味して、生活史の各相を、研究するといった順序で変わってきたということが出来る。

B 葉緑体微細構造からみた紅藻植物の分類上の位置

前章で紹介した研究者達により調べられた紅藻植物の種類数は 160 種以上にのぼるが、それらの葉緑体は、すべてが基本的には同じで、2重の葉緑体限界膜に囲まれた葉緑体マトリックス中に互にほぼ平行にならんだ単一チラコイドラメラ系から構成されている。紅藻植物の葉緑体は、群により、星状、板状あるいは円盤状などの外形をもち、

またピレノイドをもつもの、もたないものなどのちがいがあがるが、そのようなことに関係なく、上述のように、ラメラ系は一様に同じである。ただし、僅か三例であるが次にあげるように多少変型と思われるラメラ系の存在も報告されている。McBRIDE & COLE⁸⁴⁾によると、*Smithora naiadum* の栄養細胞や放出直後の単胞子の葉緑体にはグラナ構造に似たチラコイドの積み重なりが出現することがよくある。その存在は葉緑体内のごく一部に限られるもので、残りの大部分は単一チラコイドラメラの状態である。彼女らはこのグラナ様のチラコイドの積み重なりを、葉緑体の代謝異常に関連した現象で、細胞内に蓄積された紅藻デンプン粒の物理的な圧力によってひきおこされたものだと推察している。事実、その形状から判断して、正常な状態のグラナ構造というよりむしろ高等植物に抗性物質を投与した際に高い頻度であられる巨大グラナ（またはマグノグラナともいわれる）によく似ている。また BROWN & WEIER⁴⁾ と LICHTLÈ et GIRAUD⁸¹⁾ はカワモズク属 *Batrachospermum* の2種で特殊な管状のチラコイドを見ている。その構造は上記の場合に似て単一チラコイドラメラと混在して出現するだけでなく、それらは単一チラコイドとつながっている。ここに挙げた例はラメラ系に関してみれば、やや例外的な構造ということになるが、紅藻植物の典型的な葉緑体の微細構造の変形とみなして差支えないであろう。

すでに良く知られているように、渦鞭藻植物、褐藻植物、黄藻植物およびユーグレナ植物の葉緑体はチラコイドが3重に重なって1つのラメラを形成するいわゆる3重チラコイドラメラ系で構成されている。さらに緑藻植物や高等植物の葉緑体は多重チラコイドのラメラ系あるいはグラナ構造をもっている。またフィコビリ色素をもつことで渦鞭藻植物とは別の分類群と考えられるようになったクリプト藻植物(褐色鞭毛藻綱)の葉緑体は2重チラコイドラメラ系からなる。このタイプのラメラ系をもつ葉緑体はクリプト藻植物以外では全く知られていない。(なお、クリプト藻植物ではフィコピリソームは観察されない。フィコビリ色素はチラコイドの中に分布していることが証明されている)* 一方、藍藻植物は限界膜に囲まれた葉緑体をもたないが、紅藻植物の葉緑体と同じように単一チラコイドが細胞周縁部の有色質 (chromoplasm) の部分に多数散在する。ラメラ系に関する限りでは紅藻植物と藍藻植物は類似している。

以上に述べた葉緑体内部構造(ラメラ系)の特徴に基準をおいて考察すると、紅藻植物は進化の上では、葉緑体をもたないが単一チラコイドラメラ系の藍藻植物と、2重チラコイドラメラ系をもつクリプト藻植物や3重チラコイドラメラ系をもつ植物群の中間の発達段階にある植物とみることができる。

原稿を読んで下さった筑波大学生物科学系、千原光雄教授に感謝申しあげる。

* GANTT, E., EDWARDS, M. R. and PROVASOLI, L. (1971): Chloroplast structure of the Cryptophyceae. Evidence for phycobiliproteins within intrathylakoidal spaces. *J. Cell Biol.* 48: 280-290.

Summary

The chloroplast ultrastructure of the algae have been regarded as important criteria for elucidating their evolutionary status or phylogenetic relationship. In view of this situation, studies published so far on the chloroplast ultrastructure of the Rhodophyta are reviewed in this article. More than 160 species of red algae have been examined by the use of electron microscope and all of them, without exceptions, are recognized to have chloroplasts enclosed by two layered envelopes and provided with a number of lamellae running along their entire length. The lamella is composed of a single thylakoid, each being nearly parallel in arrangement.

Taking the characters of lamella system found in other algal groups into considerations, it can be said that the evolutionary situation of the Rhodophyta lies between the Cyanophyta with the single thylakoid lamella system in the chromoplasm and the Cryptophyta possessing chloroplasts with two thylakoid lamella system or certain other algae with three thylakoid lamella system.

References

- 1) ALLSOPP, A. (1969). Phylogenetic relationships of the procaryota and the origin of the eucaryotic cell. *New Phytol.* **68**: 591-612.
- 2) BISALPUTRA, T. and BISALPUTRA, A. A. (1967). The occurrences of DNA fibrils in chloroplasts of *Laurencia spectabilis*. *J. Ultrastructure Res.* **17**: 14-22.
- 3) BRODY, M. and VATTER, A. E. (1959). Observation on cellular structures of *Porphyridium cruentum*. *J. Biochem. Biophys. Cytol.* **5**: 289-292.
- 4) BROWN, D. L. and WEIER, T. E. (1968). Chloroplast development and ultrastructure in freshwater red alga *Batrachospermum moniliforme*. *J. Phycol.* **4**: 199-206.
- 5) _____ and _____. (1970). Ultrastructure of the freshwater alga *Batrachospermum*. I. Thin-section and freeze-etch analysis of juvenile and photosynthetic filament vegetative cells. *Phycologia* **9**: 217-235.
- 6) BROWN, R. M. and McLEAN, R. J. (1969). New taxonomic criteria in classification of *Chlorococcum* species. II. Pyrenoid fine structure. *J. Phycol.* **4**: 114-123.
- 7) BOUCK, G. B. (1961). Chromatophore development, pit and other fine structure in red alga, *Lomentaria baileyana* (HARV.) Farlow. *J. Cell Biol.* **12**: 553-569.

- 8) CHAMBERLAIN, A. H. L. and EVANS, L. V. (1973). Aspects of spore production in the red alga *Ceramium*. *Protoplasma* **76**: 139-159.
- 9) COLE, K. (1972). Some electron microscopic observations on the cultured Conchocelis phase of *Porphyra* species. *Contributions to the Systematics of Benthic Marine Algae of the North Pacific*. pp. 157-166.
- 10) EVANS, L. V. (1966). Distribution of pyrenoids among some brown algae. *J. Cell. Sci.* **1**: 449-454.
- 11) EVANS, L. V. (1968). Chloroplast morphology and fine structure in british fucoids. *New Phytol.* **67**: 173-178.
- 12) _____. (1970). Electron microscopical observations on a new red algal unicell *Rhodella maculata* gen. nov., sp. nov. *Br. Phycol. J.* **5**: 1-13.
- 13) GANTT, E. and CONTI, S. F. (1965). Ultrastructure of *Porphyridium cruentum*. *J. Cell. Biol.* **26**: 365-381.
- 14) _____ and _____. (1966). Granules associated with the chloroplast lamellae of *Porphyridium cruentum*. *J. Cell Biol.* **29**: 423-434.
- 15) _____, EDWARDS, N. R. and CONTI, S. F. (1968). Ultrastructure of *Porphyridium aeruginum* a blue green colored Rhodophytan. *J. Phycol.* **4**: 65-71.
- 16) _____ and _____. (1969). Ultrastructure of blue-green algae. *J. Bacteriology* **97**: 1486-1493.
- 17) GIBBS, S. A. (1962). The ultrastructure of pyrenoids of algae, exclusive of the green algae. *J. Ultrastructure Res.* **7**: 247-261.
- 18) _____. (1962). The ultrastructure of the chloroplasts of algae. *J. Ultrastructure Res.* **7**: 418-435.
- 19) GIRAUD, G. (1958). Sur la uitesse de croissance d'une Rhodophyceae monocellulaire marine, le *Rhodosorus marinus* Geitler. *C. R. Acad. Sci.* **246**: 3501-3504.
- 20) HARA, Y. and CHIHARA, M. (1974). Comparative studies on the chloroplast ultrastructure in the Rhodophyta with special reference to their taxonomic significance. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku Sec. B.* **15**: 209-235.
- 21) HIBBERD, D. L. and LEEDALE, G. F. (1972). Observations on the cytology and ultrastructure of the new algal class, Eustigmatophyceae. *Ann. Bot.* **36**: 49-71.
- 22) HORI, T. (1971). Survey of pyrenoid distribution in brown algae. *Bot. Mag., Tokyo* **84**: 231-242.
- 23) _____. (1972). Further survey of the pyrenoid distribution in Japanese brown algae. *Ibid.* **85**: 125-134.

- 24) HORI, T. (1972). Ultrastructure of the pyrenoid of *Monostroma* (Chlorophyceae) and related genera. *Contributions to the Systematics of Benthic Marine Algae of the North Pacific*. pp. 17-32.
- 25) _____ and UEDA, R. (1967). Electron microscope studies on the fine structure of plastids in siphonous green algae with special reference to their phylogenetic relationships. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku Sec. B.* **12**: 225-244.
- 26) KUGRENS, P. and WEST, J. A. (1972). Synaptonemal complexes in red algae. *J. Phycol.* **8**: 187-191.
- 27) _____ and _____. (1972). Ultrastructure of spermatial development in the parasitic red algae *Levringiella gardnerii* and *Erythrocytis saccata*. *J. Phycol.* **8**: 331-343.
- 28) _____ and _____. (1972). Ultrastructure of tetrasporogenesis in the parasitic red alga *Levringiella gardnerii* (SETCHELL) KYLIN. *J. Phycol.* **8**: 370-383.
- 29) _____ and _____. (1973). The ultrastructure of an alloparasitic alga *Choreocolax polysiphoniae*. *Phycologia* **12**: 175-186.
- 30) LEE, R. E. (1971). Systematic viral material in the cells of the freshwater red alga *Sirodotia tenuissima* (HOLEN) SKUJA. *J. Cell Sci.* **8**: 623-631.
- 31) LICHTLÈ, C. et GIRAUD, G. (1970). Aspects ultrastructuraux particuliers au plaste du *Batrachospermum virgatum* (SIRDY)-Rhodophyceae-Nemalionale. *J. Phycol.* **6**: 284-289.
- 32) McBRIDE, D. L. and Cole, K. (1969). Ultrastructural characteristics of the vegetative cells of *Smithora naiadum* (Rhodophyta). *Phycologia* **8**: 177-186.
- 33) _____ and _____. (1971). Electron microscopic observations on the differentiation and release of monospores in the marine red alga, *Smithora naiadum*. *Phycologia* **10**: 49-61.
- 34) _____ and _____. (1972). Ultrastructural observations on germinating monospores in *Smithora naiadum* (Rhodophyceae, Bangiophycidae). *Phycologia* **11**: 181-191.
- 35) MITRAKOS, K. (1960). Feinbau und Teilung bei Plastiden einiger Florideen-Arte. *Protoplasma* **52**: 611-617.
- 36) MYERS, A., PRESTON, R. D. and RIPLEY, G. W. (1956). Fine structure in the red alga. II. X-ray and electron microscopic investigation of *Griffithsia flosculosa*. *Proc. Roy. Soc. B.* **144**: 450-459.

- 37) NEUSHUL, N. (1971). Uniformity of thylakoid structure in a red, a brown and two blue-green algae. *J. Ultrastructure Res.* **37**: 532-543.
- 38) NICHOLS, H. W., RIDGWAY, J. and BOLD, H. G. (1966). A preliminary ultrastructural study of the freshwater red alga, *Compsopogon*. *Ann. Missouri Bot. Gard.* **53**: 17-27.
- 39) PARKE, M. and Manton, I. (1965). Preliminary observation on the fine structure of *Prasinocladus marinus*. *J. mar. biol. Ass. U. K.* **44**: 209-217.
- 40) SCOTT, J. L. and DIXON, P. S. (1973). Ultrastructure of tetrasporogenesis in the marine red alga *Ptilota hypnoides*. *J. Phycol.* **9**: 29-46.
- 41) _____ and _____, (1973). Ultrastructure of spermatium liberation in the marine red alga *Ptilota densa*. *J. Phycol.* **9**: 85-91.
- 42) UEDA, K. (1961). Structure of plant cells with special reference to lower plants. VI. Structure of chloroplasts in algae. *Cytologia* **26**: 344-358.
- 43) WEHRMEYERS, W. (1971). Elektronmikroskopische Untersuchung zur Feinstruktur von *Porphyridium violaceum* KORNMANN mit Bemerkungen über seine taxonomische Stellung. *Arch. Mikrobiol.* **75**: 121-139.
- 44) WETHERBEE, R. and WYNNE, M. (1973). The fine structure of the nucleus and nuclear associations of developing carposporangia in *Polysiphonia novae-angliae* (Rhodophyta). *J. Phycol.* **9**: 402-407.
- 45) YOKOMURA, E. (1967). An electron microscopic study of DNA-like fibrils in chloroplasts. *Cytologia* **32**: 361-377.

□ P. S. DIXON: **Biology of the Rhodophyta**. i-xiii+285 pp. University Reviews in Botany, Oliver & Boyd, Edinburgh, Great Britain. 1973. (価格邦貨にして約円)

藻類の体制、生殖及び分類などの全般について詳しく解説した本の一つに名著といわれる F. E. FRITSCH の *The structure and reproduction of algae*, I (1935), II (1948) がある。しかし紅藻類を扱った II は 1948 年の出版であるので、出版後既に 25 年以上の歳月を経た。今回 DIXON 教授が著わした標記の本はその後に得られた紅藻類全般についての知見を中心に解説している。とくに著者自身が得意とする生殖、生活史及び紅藻類の terminology については詳しい見解が披瀝されている。挿画の作成と配置に工夫が盛られていればさらに新鮮味が出たであろう。この点は惜まれる。

(千原光雄)