

## 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 Ⅱ

Yoshiaki HARA\*: Studies on the chloroplast ultrastructures and their contributions to the taxonomy and phylogeny of the Rhodophyta II.

### C 葉緑体微細構造からみた紅藻植物群内の類縁関係

この総説のⅠで紹介した諸研究結果から考察すると、葉緑体をはじめとする細胞器官の微細構造およびそれらの存在様式と分布様式は紅藻植物門内部の分類群の類縁関係をよく反映するもののように思われる。ここでは最近、原・千原<sup>20)</sup>が紅藻植物119種の葉緑体微細構造を研究し、得られた知見に基づき紅藻植物の分類についていくつかの問題を考察した要旨を中心に、紅藻植物の葉緑体微細構造の研究成果とその紅藻植物の分類学への寄与について紹介する。

#### (1) 紅藻植物に見られる葉緑体のいろいろ。

原・千原<sup>20)</sup>は次に掲げた9つの形質に注目して紅藻植物の微細構造の調査を進め、葉緑体およびそれに付随する細胞器官の類型化を行なった結果、紅藻植物の葉緑体を7型に分類することができた。1) ピレノイドの有無, 2) outermost thylakoidの有無, 3) 管状チラコイドの有無, 4) 葉緑体の形, 5) 1細胞中の葉緑体の数, 6) 細胞内の葉緑体の位置, 7) ピレノイドを被う紅藻デンプン殻の有無, 8) ピレノイド基質を取りまくチラコイドの有無, 9) チラコイドのピレノイド基質への入りこみ様式。なお、類型化にあたっては、原・千原<sup>20)</sup>ら自身の研究成果に加えて、既知の紅藻植物の微細構造上の知見も参考にされた。7型の葉緑体の名称とそれぞれの特徴は下記のような。

1. ウミゾウメン型 (*Nemalion*-type) 葉緑体。細胞中には星形の葉緑体が1個あり、中央部に埋没された状態のピレノイドをもつ。ピレノイドの周囲には幾層かのチラコイドが取り囲み、その一部はピレノイド基質内に浸入する。ピレノイドは紅藻デンプンの殻に被われることはない (Fig. 1)。

2. 変形ウミゾウメン型 (Modified *Nemalion*-type) 葉緑体。1個の板状ないし筒状

\* 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: 67-78, June, 1975.

の葉緑体が細胞周縁部に位置する。ピレノイドはやや突出した状態で存在し、それを取りまくチラコイドのいくつかは基質内に直線的に貫通する。葉緑体の形およびピレノイドとチラコイドの位置関係を除けば、この型はウミゾウメン型葉緑体と基本的には同じである (Fig. 2)。

3. ベニモズク型 (*Helminthocladia*-type) 葉緑体。細胞内には裂片部 (lobe) が比較的良く発達した1個の星状葉緑体がある。ピレノイドの構造はウミゾウメン型のそれと同様である。デンプン殻は裂片部を除く葉緑体の表面を被う (Fig. 3)。

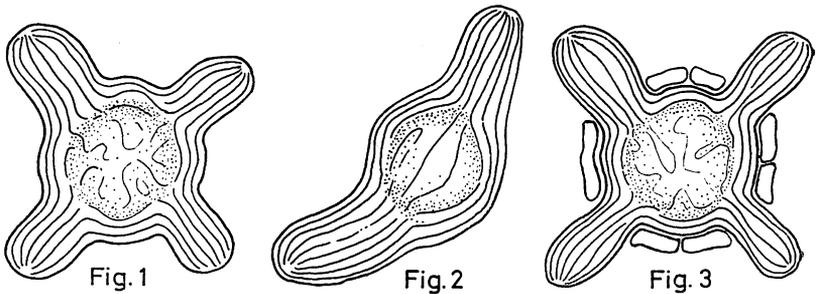


Fig. 1. ウミゾウメン型 (*Nemalion*-type) 葉緑体。

Fig. 2. 変形ウミゾウメン型 (Modified *Nemalion*-type) 葉緑体。

Fig. 3. ベニモズク型 (*Helminthocladia*-type) 葉緑体。

4. コナハダ型 (*Liagora*-type) 葉緑体。ベニモズク型と同じように、葉緑体は裂片部が極端に発達した星状で、裂片部の先端は原形質膜の内側に沿って接するように伸びる。ピレノイドは葉緑体の中央に位置し、葉緑体限界膜によって直接被われ、裂片部のチラコイドの一部により基質は貫通される。葉緑体の数は1細胞内に1個である (Fig. 4)。

5. ロデラ型 (*Rhodella*-type) 葉緑体。この型の葉緑体は EVANS<sup>12)</sup> によって *Rhodella maculata* で最初に観察され、後に WEHRMEYER<sup>43)</sup> は *Porphyridium violaceum* で見ているものである。コナハダ型葉緑体の特徴とほぼ一致するが、ピレノイド基質に入りこむチラコイドを全く欠くことで区別できる。ピレノイドに陥入部があり、その部分に舌状の核の突起部の一端が入りこむこともある (Fig. 5)。

6. イトグサ型 (*Polysiphonia*-type) 葉緑体。1細胞中に多数の葉緑体が存在し、またピレノイドを欠く点で、前述の5型と著しく異なる。この型の葉緑体はレンズ状、盤状、板状等、分類群により異なる形状を示す。基本的には、これらの葉緑体は細胞周縁部に位置する。また、葉緑体限界膜のすぐ内側に沿って、葉緑体内内容物全体を取り囲むように発達する outermost thylakoid と呼ばれるラメラ配列が例外なく認められる。紅藻植物の中で最も多くの分類群に出現する型の葉緑体である (Fig. 6)。

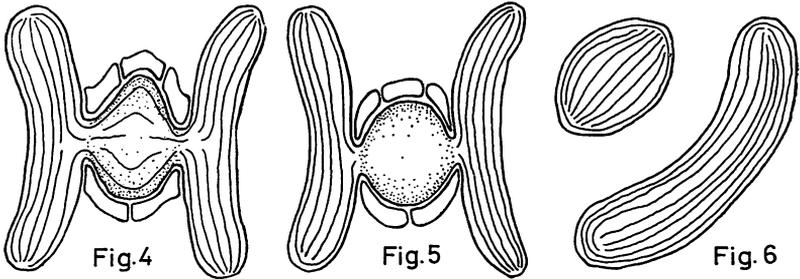


Fig. 4. コナハダ型 (*Liagora*-type) 葉緑体.  
 Fig. 5. ロデラ型 (*Rhodella*-type) 葉緑体.  
 Fig. 6. イトグサ型 (*Polysiphonia*-type) 葉緑体.

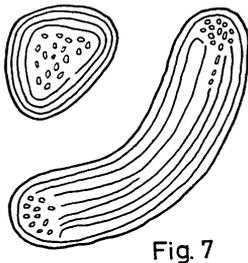


Fig. 7. カワモズク型 (*Batrachospermum*-type) 葉緑体.

7. カワモズク型 (*Batrachospermum*-type) 葉緑体。

特異的な管状チラコイドの出現する点を除けば、構造上の特徴はイトグサ型葉緑体と一致する。それ故、イトグサ型葉緑体の変形と考えられるが、カワモズク属のメンバーに限ってこの特異的なチラコイドが出現するので、カワモズク型葉緑体として区別するのが現時点では妥当と考えられる (Fig. 7)。

(2) ピレノイドの分布とその分類学的意義。

上記の7型の葉緑体それぞれどのような分類群で見られたかを示したものが Table 1 である。この表からピレノイドは原始紅藻網の各目のメンバーと真正紅藻網の

中で最も原始的と考えられているウミゾウメン目のメンバーに限って存在することがわかる。例外：カクレイト目のコナハダモドキ *Rhodopeltis liagoroides*。この事実は褐藻植物において EVANS<sup>(10), (11)</sup> が述べた「ピレノイドの存在は生殖または形態の面でより下等と考えられる形質をもつ藻に限られる」とする見解が紅藻植物の場合にもあてはまることを示すとも考察できる。

(3) 葉緑体微細構造からみた原始紅藻網。

現在までに原始紅藻網に属する3目27種の葉緑体の微細構造が明らかにされている (Table 2)。その結果いくつかの興味ある分類学的知見が得られた。まず第一は、単細胞性紅藻のチノリモ目 (Porphyridiales) で、調査された種類数がそれほど多くないにもかかわらず、既に4つの型の葉緑体が見い出されたことである。チノリモ目はその体制が単細胞性であるという属性に基づいて設立された分類群であるが、その外部形態的特徴が光学顕微鏡のレベルではとらえにくく、しかも有性生殖が未知であることからい

Table 1. 紅藻植物における葉緑体の型の分布

葉緑体の型 目 (Order)	ウミゾウメン型葉緑体 <i>Nemalion</i> type	変形ウミゾウメン型葉緑体 Modified <i>Nemalion</i> type	ベニモズク型葉緑体 <i>Helmintho- cladia</i> type	コナハダ型葉緑体 <i>Liagora</i> type	ロデラ型葉緑体 <i>Rhodella</i> type	イトグサ型葉緑体 <i>Polysiphonia</i> type	カワモズク型葉緑体 <i>Batrachospermum</i> type
チノリモ目 Porphyridiales 8*	○			○	○	○	
ウシケノリ目 Bangiales 19*	○	○					
オオイシソウ目 Compsopogonales 2*						○	
ウミゾウメン目 Nemaliales 36*	○	○	○	○		○	○
テングサ目 Gelidiales 5*						○	
カクレイト目 Cryptonemiales 21*				○		○	
スギノリ目 Gigartinales 17*						○	
ダルス目 Rhodymeniales 13*						○	
イギス目 Ceramiales 44*						○	

\* を付した数字は調査された種類数を示す。

まだに満足すべき分類系が確立されていない。上記の4型の葉緑体の発見は、この目が系統的に異質な群を含むらしいことを示唆するもののように解釈される。

Table 2. 原始紅藻網の各メンバーに見られる葉緑体の型

Species	Type of Chloroplasts	References
Porphyridiales (チノリモ目)		
<i>Porphyridium cruentum</i> チノリモ	N	3), 13), 14)
<i>P. aeruginum</i>	N	15)
<i>P. purpureum</i>	N	51)
<i>Rhodella maculata</i>	R	12)
<i>R. violacea</i>	R	43)
<i>Rhodorus marinus</i>	L	19)
<i>Cyanidium caldarium</i> イデユコゴメ	P	62), 66), 67)
Bangiales (ウシケノリ目)		
<i>Erythrotrichia carnea</i> ホシノイト	N	60)
<i>E. boryana</i>	N	60)
<i>E. pulvinata</i>	N	60)
<i>E. species</i>	N	20)
<i>Bangia fusco-purpurea</i> ウシケノリ	N	20), 63), 68)
<i>Porphyra tenera</i> アサクサノリ	N	20), 42)
<i>P. suborviculata</i> マルバアマノリ	N	20)
<i>P. yezoensis</i> スサビノリ	N	20)
<i>P. onoi</i> オオノノリ	N	20)
<i>P. crispata</i> ツクシアマノリ	N	20)
<i>P. dentata</i> オニアマノリ	N	20)
<i>P. occidentalis</i> キイロタサ	N	20)
<i>P. papenfussii</i>	N	49)
<i>P. perforata</i> アナアマノリ	m-N*	47)
<i>P. leucosticta</i>	m-N*	59)
<i>P. lanceolata</i>	m-N*	48)
<i>P. smithii</i>	m-N*	48)
<i>Smithora naiadum</i>	N	32), 33)
Compsopogonales (オオイシソウ目)		
<i>Compsopogon oishii</i> オオイシソウ	P	20)
<i>C. coeruleus</i>	P	38)

\* コンコセリス期糸状体のみの観察による。

紅藻植物の目の階級の分類は有性生殖の様式を第一義的にとりあげて行なわれている。したがって、有性生殖の知られていない種類の分類上の位置については諸学者の意見は必ずしも一致していない。オオイシソウ属は体制と無性生殖器官の形成様式の類似から原始紅藻網に所属させられる場合がふつうである。しかし葉緑体のもつ特徴はこの属がより高等とされる真正紅藻網の多くの分類群と類似することを示している。FAN<sup>51)</sup>による原形質連絡糸の存在の発見、及び HIROSE et al.<sup>56), 57)</sup>により得られた色素タンパクの吸収曲線についての知見等を併せ考えると、上記の研究結果は興味がある。

以上紹介したいくつかの例からもわかるように、有性生殖器官の未知な分類群の位置の決定には、葉緑体の微細構造上の特性が極めて有効な手がかりを提供することが期待できる。

#### (4) 葉緑体微細構造からみたウミゾウメン目。

ウミゾウメン目に属する34種類の葉緑体の微細構造を調査した結果、この目には紅藻植物に存在するほとんどすべての型の葉緑体が出現することが判った (Table 3)。比較的原始的と考えられているアクロキティウム科やウミゾウメン属のメンバーは原始紅藻網のアマリノ属などに広く見られるウミゾウメン型、あるいは変形ウミゾウメン型葉緑体を有し、逆に比較的高等なグループとみなされているカギノリ科やガラガラ科 (ガラガラ属は除く) のメンバーには、真正紅藻網のテングサ目からイギス目に至る紅藻一般に見られる、イトグサ型葉緑体が存在する。さらにベニモズク科やガラガラ属のメンバーでは他の目では極めて稀れにしか出現しないベニモズク型やコナハダ型葉緑体が見つかっている。これらの事実はウミゾウメン目が系統的に異質なグループを含むとする見解と、ウミゾウメン目が原始紅藻網と真正紅藻網の橋渡的存在であるとする見解とをともに支持する証左と考えてよいであろう。

淡水産藻類のシマチスジノリとオキチモズクはオオイシソウ属のメンバーと同様、有性生殖が知られておらず、主として体制が噴水型のそれであるという根拠からウミゾウメン目に置かれている。しかし、葉緑体はイトグサ型のそれであり、より高等な分類群との類縁が推察できる。

#### (5) 葉緑体微細構造からみた真正紅藻網テングサ目→イギス目。

真正紅藻網のテングサ目からイギス目にいたる5つの目に所属する種類で葉緑体の型が調べられた数は合計100にのぼるが、そのうちただ1種を例外として、すべてがイトグサ型葉緑体をもつことが判った<sup>2), 7), 8), 20), 28-29), 35), 36), 42), 44), 46), 50), 52), 53), 61), 64)</sup>。この事実はこれらの各目が全体として分類上よくまとまった群であるとする従来の見解を支持するものと理解できる。

ただ一つの例外であるコナハダモドキ (*Rhopeltis liagoroides*) の葉緑体はコナハダ型である。このコナハダ型葉緑体はウミゾウメン目のコナハダ属に所属する5種とその近縁種であるオオヌルハダやアケボノモズク属の2種の計9種に限られている。興味

Table 3. ウミゾウメン目のメンバーに見られる葉緑体の型

Species	Type of Chloroplasts	References
Acrochaetiaceae (アクロキティウム科)		
<i>Acrochaetium ryukyense</i>	m-N	20)
<i>A. species</i>	m-N	20)
<i>Kylinia species</i>	m-N	17)
<i>Rhodochorton floridulum</i>	N	35)
Batrachospermaceae (カワモズク科)		
<i>Batrachospermum moniliforme</i> カワモズク	B	4), 20), 42)
<i>B. virgatum</i> アオカワモズク	B	20), 31)
<i>Sirodotia tenuissima</i> ユタカカワモズク	P	30)
Helminthocladiaceae (ベニモズク科)		
<i>Nemalion vermiculare</i> ウミゾウメン	N	20)
<i>N. pulvinatum</i> カモガシラノリ	N	20)
<i>N. multifidum</i> ツクモノリ	N	17)
<i>Helminthocladia australis</i> ベニモズク	H	20)
<i>H. macrocephala</i> シマベニモズク	H	20)
<i>Trichogloea requienii</i> アケボノモズク	L	20)
<i>T. subnuda</i>	H	20)
<i>Trichogloeopsis mucosissima</i> スルハダ	L	20)
<i>Liagora valida</i> イシハダ	L	20)
<i>L. farinosa</i> ケコナハダ	L	20)
<i>L. boergesenia</i> スジコナハダ	L	20)
<i>L. ceranoides</i> コナハダ	L	20)
<i>L. hawaiiiana</i>	L	20)
Thoreaceae		
<i>Thorea gaudichaudii</i> シマチスジノリ	P	20)
<i>Nemalionopsis tortuosa</i> オキチモズク	P	20)
Chaetangiaceae (ガラガラ科)		
<i>Galaxaura fastigiata</i> ガラガラ	H	20)
<i>G. falcata</i> ヒラガラガラ	H	20)
<i>G. veprecula</i> ウ斯巴ガラガラ	H	20)
<i>G. subfruiticulosa</i> モサガラガラ	H	20)
<i>Scinaia japonica</i> フサノリ	P	20)
<i>S. cottonii</i> ヒラフサノリ	P	20)
<i>S. moniliformis</i> ジュズフサノリ	P	20)
<i>Pseudogloiophloea okamurai</i> ニセフサノリ	P	20)
<i>P. confusa</i>	P	65)
Bonnemaisoniaceae (カギノリ科)		
<i>Delisea fimbriata</i> タマイタダキ	P	20)
<i>Bonnemaisonia hamifera</i> カギノリ	P	20)
( <i>Trailliella intricata</i> ) タマノイト	P	35)
<i>Asparagopsis taxiiformis</i> カギケノリ	P	20)

あることに、コナハダモドキはこれらの植物群の体制や胞子発芽の様式の上でも類似性を示す事実が知られている。これらの類似性がどのような分類学上の意味をもつかについてはいまだ不明であり、今後の各方面からの研究が待たれる。

#### D 葉緑体微細構造の特性からみた単細胞性紅藻の分類

微細構造上の特性を光学顕微鏡レベルの形態上の特性と同じように、種・属あるいはさらに高次の分類階級、たとえば綱における識別形質として利用することは単細胞性の藻類、例えばブラシノ藻 (Prasinophyceae)、ハプト藻 (Haptophyceae) および Eustigmatophyceae 等で最近手掛けられ、多くの成果を得ている。紅藻植物におけるこの分野の研究は、さきに紹介したように、EVANS<sup>42)</sup> が単細胞性紅藻 *Rhodella maculata* を新属新種とした際に、葉緑体、核などの微細構造上の特徴を最も重要な分類上の基準形質として取りあげたものが最初である。しかし、それ以後発表された論文は意外と少なく、僅かに EVANS<sup>42)</sup> の意見に従って、*Porphyridium violaceum* を *Rhodella* に移行させた WEHRMEYER<sup>43)</sup> の研究を見るのみである。この分野の研究はようやく緒についたばかりといえるかもしれない。

本総説の目的は、葉緑体微細構造の研究成果の紅藻植物の分類への寄与についてであるが、ここにとりあげた分野の研究は僅かに2例で、あまりに情報が乏しい。そこで、ここでは今までに得られた研究成果に基づき、単細胞性の紅藻植物の分類のあり方の一例を考えてみたい。

単細胞性の紅藻類は有性生殖が見つからないために、体制が単細胞性であるという属性に基づいて一つの分類群にまとめられている。たとえば KYLIN<sup>50)</sup> によると、それらはすべてウシケノリ亜綱の、チノリモ目の、チノリモ科 (Bangiophycidae, Porphyridiales, Porphyridaceae) に所属させられる。さらに KYLIN<sup>50)</sup> はチノリモ科の内部を分類するに当って、葉緑体の形状、ピレノイドの有無、細胞の形、コロニーの外部形態の諸形質

Table 4. チノリモ科 Porphyridiaceae の属の検索

- I. 葉緑体は1個で星状、中央にピレノイドをもつ。
    - a. free-living もしくは不定形の寒天質塊。柄はない。……… *Porphyridium* (4)
    - b. 不規則な裂縁の塊状コロニーを形成する。……… *Vanhöffenia* (1)
    - c. 細胞は寒天質に包まれ、寒天質外被は鮮明な層を示す。… *Chroothece* (1)
    - d. 細胞は柄をもち、寒天質には包まれない。  
 デスマット様形状を示す。……… *Pterovanelle* (1)
  - II. 葉緑体は多数で、細胞周縁部に位置し、ピレノイドをもたない。 *Rhodospira* (1)
  - III. 葉緑体は1個で裂片部をもった長円状、ピレノイドをもつ。… *Rhodosorus* (1)
- ( ) の数字は記載された種類数。

を識別形質にとりあげ、この科を6属9種に分類した (Table 4)。KYLIN<sup>58)</sup> が提示したこの分類体系は下記の3例を除き、その後ほとんど修正されることなく現在に至っている。すなわち、1) 従来藍藻植物に属するものとされていたイデユコゴメ *Cyanidium caldarium* がこの分類群に移されたこと (HIROSE<sup>55)</sup>, MERCER *et al.*<sup>62)</sup>, SECKBACH and IKAN<sup>67)</sup>), 2) 新属 *Rhodella* が新たに EVANS<sup>12)</sup> により設立され、この属に新種

Table 5. 単細胞性紅藻の分類形質と葉緑体の型

種類	分類形質と葉緑体の型	細胞の形	無性生殖の方法	有性生殖	1細胞中の葉緑体の数	ピレノイドの有無	葉緑体の形状	葉緑体の型
<i>Porphyridium cruentum</i>		球状	分裂	—	1	+	星状	ウミゾウメン型
<i>P. aerugineum</i>		"	"	—	1	+	"	"
<i>P. sordidum</i>		"	"	—	1	+	"	?
<i>P. marinum</i>		"	"	—	1	+	"	?
<i>P. purpureum</i>		"	"	—	1	+	"	"
<i>Vanhöffenia antarctica</i>		球状 半月状	"	—	1	+	"	?
<i>Chroothece richteriana</i>		長円状	"	—	1	+	"	?
<i>Pterovanella mobilis</i>		デスマिटツド状	"	—	1	+	"	?
<i>Rhodosorus marinus</i>		球状	"	—	1	+	裂片部の発達した星状	コナハダ型
<i>Rhodella maculata</i>		"	"	—	1	+	"	ロデラ型
<i>R. violacea</i>		"	"	—	1	+	"	"
<i>Rhodospira sordida</i>		"	分裂 内生孢子	—	多	—	盤状	イトグサ型
<i>Cyanidium caldarium</i>		"	内生孢子	—	1	—	布状, ソーセージ状	"

*Rhodella maculata*, 移行種 *Rhodella violacea* が所属させられたこと, および3) チノリモ属に新種 *Porphyridium purpureum* が加えられたことである。従ってチノリモ科には現在8属13種が所属していることになる。

これら8属13種について, 細胞の形, 生殖方法, 1細胞中の葉緑体の数, ピレノイドの有無, 葉緑体の形状等, 従来用いられていた分類形質に, 新たに, 微細構造上の特性を加えて整理すると Table 5 のようになる。

この Table 5 からピレノイドの分布様式と無性生殖の方法に対応関係があることに気づく。ピレノイドをもつ *Porphyridium*, *Vanhöffenia*, *Chroothoece*, *Pterovanella*, *Rhodella* および *Rhodosorus* の6属の無性生殖は分裂 (fission) による方法であるのに対し, ピレノイドをもたない *Rhodospira* と *Cyanidium* の2属はともに内生孢子を形成する無性生殖を行なう。

次に気づく点は各属毎にそれぞれ特有の葉緑体の型が存在することである。すなわち, *Porphyridium* の3種はともにウミゾウメン型葉緑体 (BRODY and VATTER<sup>83</sup>, GANTT *et al.*<sup>133, 143, 153</sup>, DREW<sup>483</sup>), *Rhodosorus* はコナハダ型 (GIRAUD<sup>193</sup>), *Rhodella* はロデラ型である。*Rhodospira* については未だ微細構造が調査されていないが, 1細胞中に複数個存在ししかもピレノイドを欠く葉緑体は, 筆者らの調査によると, 原則としてイトグサ型葉緑体であることから, 光学顕微鏡レベルの観察から判断して, イトグサ型の葉緑体であろうと思われる。イデユコゴメ属 *Cyanidium* の葉緑体は基本的にはイトグサ型のそれであるが, 下記に述べるような特殊な性質をそなえている点で, 上述のいずれの属とも異なっている。すなわち, ROSEN and SIEGESMUND<sup>663</sup>, MERCER *et al.*<sup>623</sup>, SECKBACH and IKAN<sup>673</sup> によるとイデユコゴメ *Cyanidium caldarium* の葉緑体は1細胞中に1個だけであり, さらに葉緑体はただ1枚の限界膜でつつまれている。

Table 6. 単細胞性紅藻の属の検索

- I. 葉緑体はピレノイドをもつ。
- a. 葉緑体は1細胞に1個で星状, ピレノイドの外周を紅藻デンブレン殻が囲まない (ウミゾウメン型) ..... *Porphyridium*
  - b. 葉緑体は1細胞に1個で裂片部が発達した星状, ピレノイドの外周を紅藻デンブレン殻が囲む
    - α. ピレノイド基質にチラコイドが直線的に入りこむ (コナハダ型) ..... *Rhodosorus*
    - β. ピレノイド基質にチラコイドが入りこまない (ロデラ型) ..... *Rhodella*
- II. 葉緑体はピレノイドをもたない。
- a. 葉緑体は1細胞に多数 (イトグサ型) ..... *Rhodospira*
  - b. 葉緑体は1細胞に1個 (イトグサ型) ..... *Cyanidium*

そこで以上の研究成果に基づいてチノリモ科の属の検索表の作成を試みる Table 6 のようになる。ただし葉緑体の型が未だ不明な *Vanhöffenia*, *Chroothoece*, *Pterovanelle* の3属は対象外とした。

前章でも紹介したように、これら単細胞性紅藻に存在する葉緑体の型のほとんどのものは多細胞性紅藻においても出現するもので、しかも、それぞれの型は多細胞性紅藻の特定の分類群にのみ存在するものである。同一型の葉緑体微細構造をもつこれらの単細胞性と多細胞性の分類群が系統的に同じなかまであるとするのがより自然な考え方であるか否かの論議はここでは行なわない。しかし、いずれにしても葉緑体微細構造の研究が紅藻植物の分類系の確立に大きく寄与することはたしかと考えられる。

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および貴重な助言を下さった神戸大学理学部生物学教室広瀬弘幸教授に感謝申しあげる。

#### References\*

- 46) BERKALOFF, C. (1962). Quelques donnees sur les ultrastructures de *Furcellaria fastigiata* (HUNDS.) LAMOUR. (Gigartinales, Rhodophycees). C. R. Acad. Sci. Paris **254**: 3235-3237.
- 47) BOURNE, V. L., CONWAY, Y. E. and COLE, K. (1970). On the ultrastructure of pit connections in the conchocelis phase of the red alga *Porphyra perforata*. Phycologia **9**: 79-81.
- 48) COLE, K. (1972). Some electronmicroscopic observations on the cultured conchocelis phase of *Porphyra* species. Contrib. System. Benth. Marine Algae North Pacific. pp. 243-251.
- 49) CONWAY, E. and COLE, K. (1973). Observations on an unusual form of reproduction in *Porphyra* (Rhodophyceae, Bangiales). Phycologia **12**: 213-225.
- 50) COTTLER, M. H. (1971). Plasmalemmal extensions in *Chondrus crispus* (L.) STACKH. J. Ultrastructure Res. **37**: 31-36.
- 51) FAN, K. C. (1960). On pit-connections in Bangiophycidae. Nova Hedwigia **1**: 305-307.
- 52) FELDMANN, G. (1970). Sur l'ultrastructure des corps crisants des *Chondria* (Rhodophycees). C. R. Acad. Sci. Paris **270**: 945-946.
- 53) \_\_\_\_\_. (1971). Sur la cytologie du *Wrangelia penicillata*. C. Ag. (Rhodophycees, Ceramiales). C. R. Acad. Sci. Paris **273**: 63-66.
- 54) FREDRICK, J. F. (1971). Polyglucan-synthesizing isozyme pattern in the Cyanophyceae. Phytochem. **10**: 395-398.
- 55) HIROSE, H. (1958). Rearrangement of the systematic position of a thermal

- alga *Cyanidium caldarium*. Bot. Mag. Tokyo 71: 347-352.
- 56) HIROSE, H. and KUMANO, S. (1966). Spectroscopic studies on phycoerythrins from Rhodophycean algae with special reference to their phylogenetic relations. Bot. Mag. Tokyo 79: 105-113.
- 57) \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ and MADONO, K. (1969). Spectroscopic studies on phycoerythrins from Cyanophycean and Rhodophycean algae with special reference to their phylogenetic relations. Bot. Mag. Tokyo 82: 197-207.
- 58) KYLIN, H. (1956). Die Gattungen der Rhodophyceen. Lund. Gleerup. 673 pp.
- 59) LEE, R. E. and FULTZ, S. A. (1970). Ultrastructure of the conchocelis stage of the marine red alga *Porphyra leucosticta*. J. Phycol. 6: 22-23.
- 60) MCBRIDE, D. L. and COLE, K. (1972). Fine structural studies on several pacific coast representatives of Erythropeltidaceae (Rhodophyceae). 7th. Inter. Seaweed Symp. Tokyo Univ. Press pp. 159-164.
- 61) McDONALD, K. (1972). The ultrastructure of mitosis in the marine red alga *Membranoptera platyphyla*. J. Phycol. 8: 156-166.
- 62) MERCER, F. V., BOGORAD, L. and MULLENS, R. (1962). Studies with *Cyanidium caldarium*. I. The fine structure and systematic position of the organism. J. Cell Biol. 13: 393-403.
- 63) MILTON, R., SOMMERFELD, M. R. and LEEPER, G. F. (1970). Pit-connections in *Bangia fusco-purpurea*. Arch. Mikrobiol. 73: 55-60.
- 64) PEYRIÉRE, M. (1963). Les plastes et l'amidon florideen chez quelques Rhodophycees. C. R. Acad. Sci. Paris 257: 730-732.
- 65) RAMUS, J. (1969). Pit-connection formation in the red alga *Pseudogloiophloea*. J. Phycol. 5: 57-63.
- 66) ROSEN, W. G. and SIEGESMUND, F. A. (1961). Some observations on the fine structure of a thermophilic, acidophilic alga. J. Biophys. Biochem. Cytol. 9: 910-914.
- 67) SECKBACH, J. and IKAN, R. (1972). Sterols and chloroplast structure of *Cyanidium caldarium*. Plant Physiol. 49: 457-459.
- 68) SOMMERFELD, M. R. and NICHOLS, H. W. (1970). Developmental and cytological studies of *Bangia fusco-purpurea* in culture. Amer. J. Bot. 57: 640-648.

\* 1)~45) は本総説 I (藻類 23 (1): 28~38) に掲載。