

# The Japanese Journal of PHYCOLOGY

## CONTENTS

<b>Anicia Q. Hurtado-Ponce and Isamu Umezaki:</b> Life history of <i>Erythrocladia sub-integra</i> ROSENVIGE (Bangiales, Rhodophyceae) in culture .....	283
<b>Hiroshi Yabu:</b> Meiosis in three species of <i>Laurencia</i> (Ceramiales, Rhodophyta) .....	288
<b>Hiromu Kobayasi, Hideaki Kobayashi and Masahiko Idei:</b> Fine structure and taxonomy of the small and tiny <i>Stephanodiscus</i> (Bacillariophyceae) species in Japan. 3. Co-occurrence of <i>Stephanodiscus minutulus</i> (KÜTZ.) ROUND and <i>S. parvus</i> STOERM. & HÄK. ....	293
<b>Kazuo Okuda and Shun Mizuta:</b> Analysis of cellulose microfibril arrangement patterns in the cell wall of new spherical cells regenerated from <i>Boodlea coacta</i> (Chlorophyceae) .....	301
<b>Nobuyasu Katayama, Yuko Tokunaga and Yasutsugu Yokohama:</b> Effect of growth temperature on photosynthesis-temperature relationship of a tide pool alga <i>Cladophora rudolphiana</i> (Chlorophyceae) .....	312
<b>Kazumasa Imao and Hiroshi Fushimi:</b> Ecology of the eelgrass ( <i>Zostera marina</i> L.), especially environmental factors determining the occurrence of annual eelgrass in Lake Hamana-ko .....	(in Japanese) 320
◆ ◆ ◆	
Note	
<b>Ryozo Seto:</b> Typification of <i>Caloglossa ogasawaraensis</i> OKAMURA (Ceramiales, Rhodophyta) .....	317
◆ ◆ ◆	
Review	
<b>Megumi Okazaki and Kurazo Furuya:</b> Mechanisms in algal calcification ..(in Japanese)	328
◆ ◆ ◆	
Information of international symposium and congress .....	(in Japanese) 300, 327
Book reviews .....	(in Japanese) 311, 319
◆ ◆ ◆	
Announcement .....	(in Japanese) 345
Regulations of the society .....	(in Japanese) 347
Contents of Volume 33	

## 日本藻類学会

日本藻類学会は昭和27年に設立され、藻学に関心をもち、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「藻類」を年4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。

入会、退会、会費の納入および住所変更等についての通信は 113 東京都文京区弥生 2-4-16「学会センタービル内」日本学会事務センター宛に、原稿の送付は 184 東京都小金井市貫井北町 4-1-1 東京学芸大学生物学教室内、日本藻類学会編集委員会宛に、また、庶務一般およびバックナンバー等については、305 茨城県新治郡桜村天王台 1-1-1 筑波大学生物科学系内、日本藻類学会宛にされたい。

### The Japanese Society of Phycology

The Japanese Society of Phycology, founded in 1952, is open to all who are interested in any aspect of phycology. Either individuals or organizations may become members of the Society. The Japanese Journal of Phycology (SÔRUI) is published quarterly and distributed to members free of charge. The annual dues (1985) for overseas members are 8,500 Yen (send the remittance to the **Business Center for Academic Societies Japan, 4-16, Yayoi 2-chome, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan**).

Manuscript for publication should be submitted directly to the Editor-in-chief, **Prof. H. Kobayasi, Department of Biology, Tokyo Gakugei University, Nukuikita-machi 4-1-1, Koganei-shi, Tokyo, 184 Japan**. Claims for missing issues should be sent to the **Japanese Society of Phycology, c/o Institute of Biological Sciences, University of Tsukuba, Sakura-mura, Ibaraki-ken, 305 Japan**.

#### 昭和60, 61年度役員

会 長：千原 光雄 (筑波大学)  
庶務幹事：原 慶明 (筑波大学)  
" 井上 勲 (筑波大学)  
会計幹事：加藤 季夫 (筑波大学)  
評 議 員：

有賀 祐勝 (東京水産大学)  
榎本 幸人 (神戸大学)  
堀 輝三 (筑波大学)  
市村 輝宜 (東京大学)  
巖佐 耕三 (大阪大学)  
岩崎 英雄 (三重大学)  
喜田和四郎 (三重大学)  
小林 弘 (東京学芸大学)  
右田 清治 (長崎大学)  
野沢 治治 (鹿児島大学)  
大野 正夫 (高知大学)  
谷口 和也 (東北海区水産研究所)  
月館 潤一 (南西海区水産研究所)  
山田 家正 (小樽商科大学)  
山岸 高旺 (日本大学)  
吉田 忠生 (北海道大学)

#### 編集委員会：

委員 長：小林 弘 (東京学芸大学)  
幹 事：岡崎 恵視 (東京学芸大学)  
実行委員：有賀 祐勝 (東京水産大学)  
" 堀 輝三 (筑波大学)  
" 市村 輝宜 (東京大学)  
委 員：秋山 優 (島根大学)  
" 巖佐 耕三 (大阪大学)  
" 岩崎 英雄 (三重大学)  
" 右田 清治 (長崎大学)  
" 三浦 昭雄 (東京水産大学)  
" 宮地 重遠 (東京大学)  
" 西澤 一俊 (日本大学)  
" 籾 熙 (北海道大学)  
" 吉田 忠生 (北海道大学)

#### Officers for 1985-1986

**President:** Mitsuo CHIHARA (University of Tsukuba)  
**Secretary:** Yoshiaki HARA (University of Tsukuba)  
Isao INOUE (University of Tsukuba)  
**Treasurer:** Sueo KATO (University of Tsukuba)

#### Members of Executive Council:

Yusho ARUGA (Tokyo University of Fisheries)  
Sachito ENOMOTO (Kobe University)  
Terumitsu HORI (University of Tsukuba)  
Terunobu ICHIMURA (University of Tokyo)  
Kozo IWASA (Osaka University)  
Hideo IWASAKI (Mie University)  
Washiro KIDA (Mie University)  
Hiromu KOBAYASI (Tokyo Gakugei University)  
Seiji MIGITA (Nagasaki University)  
Koji NOZAWA (Kagoshima University)  
Masao OHNO (Kochi University)  
Kazuya TANIGUCHI (Tohoku Reg. Fish. Res. Laboratory)  
Jun-ichi TSUKIDATE (Nansei Reg. Fish. Res. Laboratory)  
Iemasa YAMADA (Otaru Univ. of Commerce)  
Takaaki YAMAGISHI (Nihon University)  
Tadao YOSHIDA (Hokkaido University)

#### Editorial Board:

Hiromu KOBAYASI (Tokyo Gakugei Univ.), Editor-in-chief  
Megumi OKAZAKI (Tokyo Gakugei Univ.), Secretary  
Yusho ARUGA (Tokyo Univ. of Fisheries), Associate editor  
Terumitsu HORI (University of Tsukuba), Associate editor  
Terunobu ICHIMURA (University of Tokyo), Associate editor  
Masaru AKIYAMA (Shimane University)  
Kozo IWASA (Osaka University)  
Hideo IWASAKI (Mie University)  
Seiji MIGITA (Nagasaki University)  
Akio MIURA (Tokyo Univ. of Fisheries)  
Shigetoh MIYACHI (University of Tokyo)  
Kazutosi NISIZAWA (Nihon University)  
Hiroshi YABU (Hokkaido University)  
Tadao YOSHIDA (Hokkaido University)

## ー日本藻類学会ワークショップ開催についてー

日本藻類学会会則には、学会の目的として、藻学の進歩普及を図り、併せて会員相互の連絡並に親睦を図ること(第2条)、そのために藻類に関する研究会、講習会、採集会等の開催(第3条2項)を行うことがうたわれています。しかし、現在、大会、講演会、シンポジウムおよび懇親会以外にはこのような活動は行われておらず、所属機関の異なる会員が連れだって野外に出たり、実験・観察を行う機会は殆どないと申せます。現在日本の藻学の分野には多くの若い研究者が育ちつつあり、このような人達の間から、大会以外に、異なる機関に所属し、異なる研究分野をもつ会員が一堂に会し、野外や実験室で採集や観察を行う機会もてないものかという声が続々とあります。近年、藻類研究の技術は飛躍的に進歩し、また対象とする藻群や研究分野も細分され多岐にわたっています。このような状況を考えますとき、特に講習会・採集会の実施は、藻類研究の情報や技術の交換に加えて、会員の親睦を

深めることになり、今後の藻学の発展のために誠に有意義なことと思います。

このような観点から、事務局では、来春の第10回大会を機に日本藻類学会主催のワークショップ開催を企画しました。ワークショップには、研究会・講習会・採集会あるいはそれらを複合した形などが考えられます。たとえば海藻の採集と分類同定法、珪藻の試料処理と分類同定法、藻類の分離・培養法、藻類の電子顕微鏡試料作製・観察法、蛍光顕微鏡の藻類研究への応用・観察法、教材としての藻類の利用法などがあると思います。今回は下記のように、筑波地区に点在する大小の湖沼における淡水藻の採集と実験室における観察と分類・同定のためのワークショップを企画いたしました。今後は会員諸氏の希望を募り、それに沿ったテーマでワークショップを実施したらと考えます。学会事務局あて、ご意見、ご希望をお寄せ下さい。

## ー日本藻類学会ワークショップのお知らせー

下記の要領によりワークショップを開催します。参加者を募集します。

- ①テーマ 淡水藻類の採集・分類同定法
- ②期日 昭和61年3月31日(月)午後4時(第10回大会終了後)～4月2日(水)正午
- ③講師 秋山優(島根大)、高橋永治(神戸大)、山岸高旺(日本大)、渡辺真之(科博)
- ④日程と内容(予定)  
3月31日(月)、大会終了後集合、淡水藻の分類の概要の講義と採集時の注意、4月1日(火)、9時～12時、筑波地区の湖沼での淡水糸状藻と植物プランクトンの採集、実地指導、13時～17時、室内観察・分類同定の講義、4月2日(水)、室内観察のつづきと同定法・培養法の実地指導、12時解散。
- ⑤会場 筑波大学(詳細は大会会期中に掲示します)

- ⑥参加費 3,000円。採集交通費、資料作製費、消耗品費その他にあてます。
- ⑦宿泊 p.346を参考にして各自予約して下さい。
- ⑧定員・参加資格など  
定員は30名。参加者の年齢・研究歴等は問いませんが、藻類の研究を志す学部、大学院の方々の参加を歓迎します。
- ⑨申し込み 電話で参加予約したうえで、参加費を現金書留で下記へお送り下さい。  
〒305 茨城県新治郡桜村天王台1の1の1  
筑波大学生物科学系  
原慶明または井上勲  
TEL. 0298-53-4533
- ⑩申込み・参加費納入締切り  
申込みは61年2月20日まで、参加費の納入は3月10日とします。

## 日本藻類学会第10回大会のお知らせ

昭和61年度日本藻類学会第10回大会を下記の要領で開催します。藻類に関係のあるあらゆる分野の研究についての発表を広く歓迎します。所属機関長への出張要請等の文書などご入用の方はご遠慮なく大会準備委員会まで宛先を明記してお申し込み下さい。

今回は日本藻類学会が独自に大会を開催して10年目にあたります。これを記念して例年の口頭・展示発表による一般講演に加えて、カリフォルニア大学（パークレー）の P.C. SILVA 博士による特別講演を予定しています。また大会終了後に日本藻類学会ワークショップとして淡水藻類の採集と同定の講習会を企画しています（裏面参照）。奮ってご参加下さい。

(1) 期 日 昭和61年3月30日(日)～3月31日(月)  
 (2) 会 場 筑波大学〔国鉄常盤線土浦駅下車、関東鉄道バス②番より「筑波大中央」もしくは「高エネルギー研」行で筑波大中央下車（40分、料金490円）または荒川沖駅下車、関東鉄道バス「筑波大中央」行で終点下車（30分、料金450円）、徒歩3分。〕自家用車の場合は大学中央守衛所で登録ののち所定の場所に駐車して下さい。

(3) 研究発表 発表形式は口頭発表と展示発表とします。口頭発表は1演題につき討論を含め15分を予定しています。展示発表は原則として大会期間中とし、演者はポスターの前で決められた時間に説明と質疑応答を行うことになります。

(4) 参加申込み 講演の有無にかかわらず、大会に参加を希望される方は、同封の振替用紙にてお申し込み下さい。参加費は2,000円です。懇親会（3月30日夜開催）に出席希望の方はさらに会費2,000円を添えてお送り下さい。

(5) 講演申込み 講演ご希望の方は、氏名（共同の場合は演者に◎印）、所属、題名、要旨（A4 400字詰原稿用紙使用、題名共に600字以内）を添えて大会準備委員会までお申し込み下さい。

本大会では発表形式が2通りになっています。ご希望の発表形式を、「口頭」あるいは「展示」と、要旨1枚目の原稿用紙の右上欄外に朱記して下さい。記入のない場合は大会本部で振り分けさせていただきます。

(6) 発表方法 口頭発表の場合：図・表はすべて35mmスライドに限り、スライド枠には、下図のように講演者氏名、講演番号（大会プログラムに

記されているもの）、スライド総枚数、映写順序、上辺マークを記入して下さい。同一の図、表をくり返し映写する場合は、それに見合う枚数をご用意下さい。

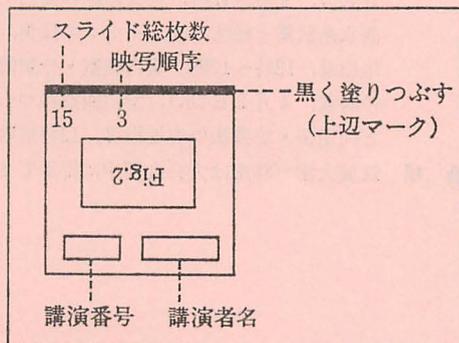
展示発表の場合：大会本部では1演題につき幅180cm、高さ90cm（市販の模造紙2枚分の大きさ）の展示板を用意します。その他の展示用具は各自で準備して下さい。ポスターの貼付にはセロハンテープまたはマグネット紙を使用して下さい（画鋲は使用できません）。デザインや展示方法は自由ですが、上記の大きさに合わせたポスターを前もって作成し、ご持参下さい。なおポスター作成にあたっては以下の点にご留意下さい。i) 表題は高さ5cm以上の大きさの文字を使用する、ii) 説明文は高さ1cm以上の文字を使用し、文章は必要最小限にとどめ、図、表、写真等との対応が明瞭になるよう配慮する、iii) 演者の氏名、所属を明記し、演者の顔写真（キャビネ判大）を貼付するのが望ましい。ポスターの貼付はできるだけ3月29日（大会前日）の午後3時から6時の間にすませるようお願いいたします。やむを得ず大会当日に貼付の場合は、30日午前9時までにはすませるようにして下さい。

(7) 宿泊案内 宿泊施設は p. 346 のリストを参照の上、各自でお申し込み下さい。

(8) 大会参加申込み・講演要旨締切り 昭和57年1月20日

(9) 申込先・要旨送り先

〒305 茨城県新治郡桜村天王台1の1の1  
 筑波大学生物科学系内 日本藻類学会第10回春季大会準備委員会。振替 宇都宮 1-33412  
 電話 0298-53-4533



## Life history of *Erythrocladia subintegra* ROSENVINGE (Bangiales, Rhodophyceae) in culture

Anicia Q. HURTADO-PONCE and Isamu UMEZAKI

*Laboratory of Fishery Resources, Division of Tropical Agriculture, Graduate  
School of Agriculture Kyoto University, Kyoto, 606 Japan*

HURTADO-PONCE, A. Q. and UMEZAKI, I. 1985. Life History of *Erythrocladia subintegra* ROSENVINGE (Bangiales, Rhodophyceae) in culture. Jap. J. Phycol. 33: 283-287.

The life history of *Erythrocladia subintegra* ROSENVINGE, used primarily as food of gastropods (such as abalones and top shells) in aquaculture farms, was studied under laboratory conditions. Reproducing by monospores, its life history was completed in 5-11 days at different temperature-daylength regimes.

Monospores produced asexually were liberated at 15°C SD and were collected on glass slides. They were grown on culture dishes containing modified PROVASOLI's enriched seawater (ESI) and incubated at different temperature-daylength conditions.

Irrespective of daylengths, onset of maturation and polystromatic formation of the disc-plantlets were faster at higher temperatures (20°-25°C) than in lower temperatures (10°-15°C) and morphological variations were also observed.

*Key Index Words:* Bangiales; *Erythrocladia subintegra*; *Erythropeltidaceae*; life history; monospore.

The family Erythropeltidaceae (Bangiales, Bangiophyceae, Rhodophyta) includes 6 genera (MURRAY *et al.*, 1972): *Erythrocladia* ROSENVINGE, *Erythropeltis* SCHMITZ, *Erythrotrichia* ARESCHOUG, *Porphyropsis* ROSENVINGE, *Smithora* HOLLENBERG, and *Membranella* HOLLENBERG and ABBOTT. Studies on this family are limited to descriptive morphology and little is known of their life histories. The genus *Erythrocladia*, consisting of 14 species (NICHOLS and LISSANT 1967) is cosmopolitan in distribution. *Erythrocladia subintegra* is widely distributed in the Atlantic, Indian and Pacific Oceans. In Japan, its presence is recorded from Hokkaido to Ryukyu (TANAKA 1952). Life history studies on *Erythrocladia* are scanty as in other members of the family. The developmental variations of monospore germlings in *Erythrocladia subintegra* using different substrates were studied by NICHOLS and LISSANT (1967) in Missouri.

*Erythrocladia subintegra* is a microscopic,

purplish red plant which is roundish or elliptical on surface view and whose cells divide dichotomously toward the marginal portion forming a monostromatic disc with continuous margin.

Abalones (*Haliotis*) or top shells (*Batillus*) are known to feed principally on algae, which they scrape off the rock by means of radula. At the Sea Organism Culture Center in Obama, Fukui, *Erythrocladia subintegra* are grown on vinyl plates as primary food of young abalones. To determine qualitatively the effect of temperature-daylength conditions on their growth, the authors studied the life history of *Erythrocladia subintegra* for aquaculture purposes.

### Materials and Methods

Algal specimens found attached to vinyl plates were collected at the Sea Organism Culture Center, Katsumi, Obama, Fukui (35°32'N and 135°43.5'E) on October 29, 1983.

Fertile microscopic plants bearing monosporangia were scraped and placed in 90 mm  $\times$  20 mm disposable plastic Petri dishes containing autoclaved seawater. Liberated monospores at 15°C Short Day (10 h light : 14 h dark) were collected on glass slides and grown in culture dishes containing modified PROVASOLI's enriched seawater medium (ESI, TATEWAKI 1966). Newly released monospores were incubated at different temperature-daylength conditions : 25°C LD, 20°C LD and SD, 15°C LD and SD and 10°C SD; where LD (Long Day) is (a) 16 h light : 8 h dark or (b) 14 h light : 10 h dark ; SD (Short Day) is 10 h light : 14 h dark.

Monospores and developing plantlets grown on glass slides were permanently stained using HEIDENHAIN's iron haematoxylin-orange G (JENSEN 1962) to observe their respective nuclei.

## Results

Monospores measuring 4.0-10.0  $\mu$ m in diameter were released from monosporangium at 15°C SD. They were spherical in shape, containing a parietal, cup-shaped chloroplast and a pyrenoid (Fig. 1).

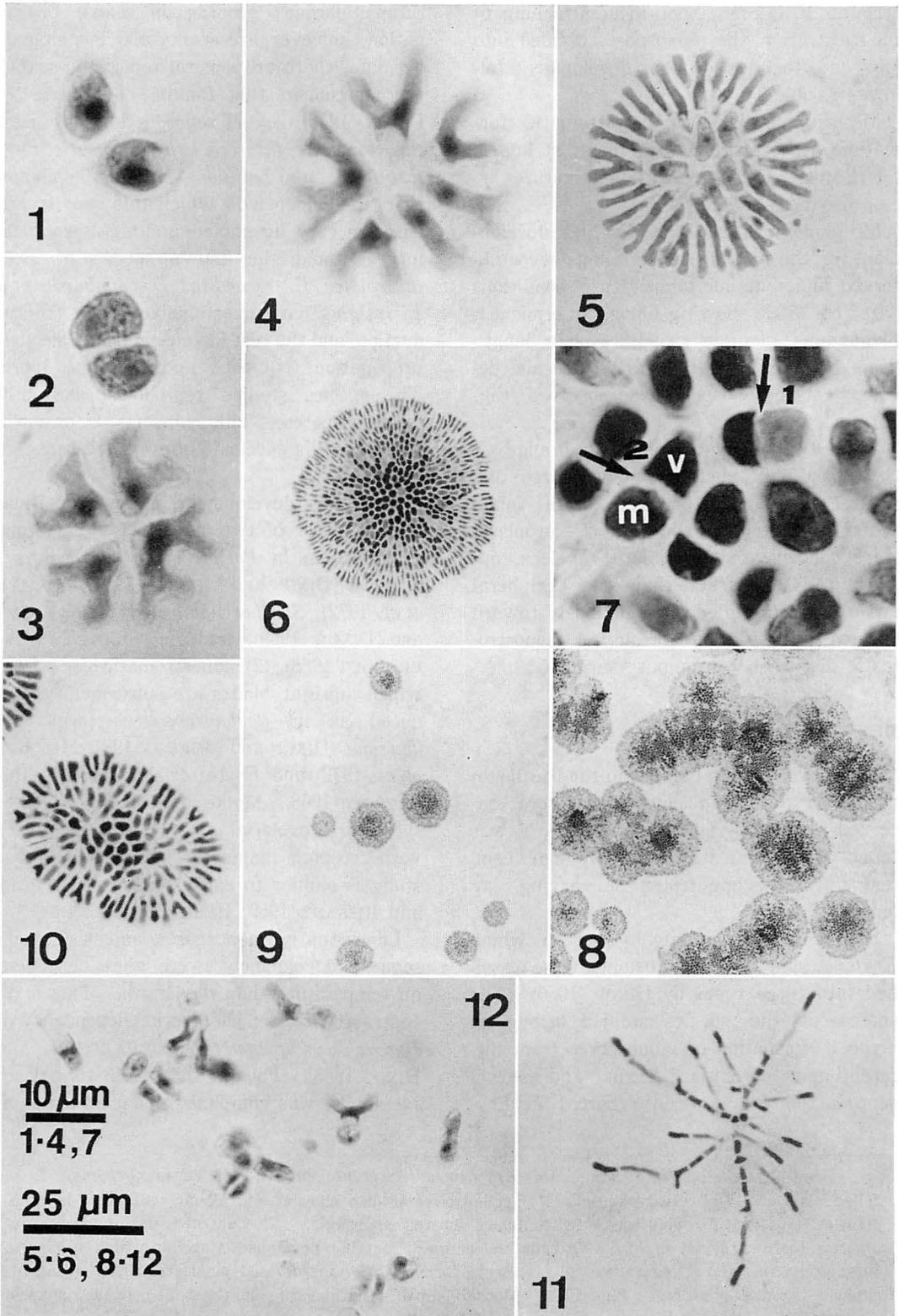
Settled monospores at 15°C SD underwent nuclear division followed by chloroplast division which resulted in the formation of 2-celled plantlets measuring 7.5  $\mu$ m in diameter after 1-2 days (Fig. 2). A nucleus was found positioned in the center of each cell. Suc-

cessive bipartitions or simultaneous cleavages occurred as a result of cytoplasmic divisions. Further divisions of the plantlet took place with peripheral lobing and subsequent dichotomous divisions of closely associated filaments, thus 4-celled plantlets, measuring 15.0-22.0  $\mu$ m in diameter were formed (Fig. 3). The plantlet became a monostromatic circular disk of adherent branching filaments, measuring 30.5  $\mu$ m in diameter after 4 days (Fig. 4). With further growth, the plantlet formed two layers (37.5-52.5  $\mu$ m in diameter) after 5 days (Fig. 5). The mature plantlets which were centrally polystromatic consisting of 6-14 layers measuring 53.0-99.0  $\mu$ m in diameter (Fig. 6). Each vegetative cell centrally located in a polystromatic disc divided into 2 unequal portions (Fig. 7, arrow 1). The larger cell remained initially vegetative (Fig. 7, v by arrow 2) until further division, while the smaller cell developed into a sporangium (Fig. 7, m by arrow 2) from which a monospore was released. Monospores were released from the sporangium on the 7th day of culture. Adjacent plants having polystromatic areas at their center anastomosed with each other, thus the typical circular disc characteristic of *Erythrocladia subintegra* was obscured (Fig. 8).

When matured plantlets bearing monosporangia were inoculated at 25°C LD, 20°C LD & SD, 15°C LD & SD and 10°C SD, monospores were released within two days in all temperature-daylength conditions ex-

Table 1. Temperature-daylength conditions and period of time (days) for the formation of 2 to 7-celled plantlets, monostromatic plantlets and polystromatic plants and for the release of monospores in *Erythrocladia subintegra*.

Temperature-daylength conditions	Formation of			Release of monospore (days)
	2 to 7 celled plantlets (days)	monostromatic plantlets (days)	polystromatic plantlets (days)	
25°C LD (b)	2	3	4	5
20°C LD (a)	2	3	5	6
20°C SD	2	4	5	6
15°C LD (b)	4	4	5	7
15°C SD	5	6	7	8
10°C SD	5	7	9	11



cept at 10°C SD. Soon after attaching to the substratum, the monospores divided into two and their subsequent development followed (Table 1).

Maturity as well as polystromatic formation of the plantlet were faster at higher temperatures than in lower temperatures irrespective of daylengths.

Morphological variations in the development of the monospore germlings were observed under higher temperature conditions (20° and 25°C) showing oblong to branched-filamentous plantlet ca. 100 µm in length (Figs 10-11). Likewise, early abnormal development of monospores was observed (Fig. 12).

Stained with iron-haematoxylin-orange G, the dark blue nuclei of monospores and young developing plantlets were found centrally located in the cell. Chloroplasts were concentrated around the nucleus, appearing to be darker than the peripheral areas. Cells divided dichotomously toward the marginal portion forming a monostromatic disc with continuous margin.

## Discussion

The developmental stages in the life history of *Erythrocladia subintegra* were observed under laboratory conditions. It was found to complete its life history under each temperature regime tested at varying day lengths.

Spores in the Bangiophyceae to which *Erythrocladia subintegra* belongs were classified into three types by DREW (1956). The spores of the species studied belong to Type 1—formation of monospores from differentiated sporangia. Sexual and asexual reproductions have been reported in Ery-

thropeltidaceae; records on sexual propagation, however, are scanty and incomplete. To date, there are several reports on sexual reproduction in this family. As cited by DIXON (1973), sexual reproduction has been reported in *Erythrocladia*, *Erythropeltis*, *Erythrotrichia*, and *Smithora*, although he claims that "the evidence on which this reports are based is very incomplete and highly conflicting". Among the known species of *Erythrocladia*, *E. recondita*, *E. vagabunda* and *E. insignis* have questionable sexual reproduction, and the rest have established asexual propagation (NICHOLS and LISSANT 1967). The species studied reproduced asexually by monospores. This supports a previous study on this species (NICHOLS and LISSANT 1967).

Monospore development in Erythropeltidaceae is either of two ways: (1) filamentous germling—as in *Porphyropsis coccinea* var. *dawsonii* (DIXON and MURRAY 1981, MURRAY et al. 1972), *Smithora naiadum* (RICHARDSON and DIXON 1969), and *Erythrotrichia* (HEERBOUT 1968); (2) monostromatic disc—from which upright blades are subsequently produced as in *Porphyropsis coccinea* var. *dawsonii* (DIXON and MURRAY 1981, MURRAY et al. 1972) and *Erythrotrichia carnea* (HEERBOUT 1968). Monospores of *Erythrocladia subintegra* developed into monostromatic discs with creeping filaments. The result of our study is similar to earlier reports (NICHOLS and LISSANT 1967, HEERBOUT 1968).

Liberation of monospores and their subsequent development were more dependent on temperature than daylength. This is in contrast with the photoperiod dependency of *Bangia fuscopurpurea* (RICHARDSON and DIXON 1968). Though the life history of *E. subintegra* was completed under all tempera-

---

Figs 1-9 Developmental stages of *Erythrocladia subintegra*. 1. Settled monospores. 2. 2-celled plantlet. 3. 4-celled plantlet. 4. 6-celled circular disc plantlet. 5. Young centrally 2-layered plantlet. 6. Mature plantlet with centrally located sporangia. 7. Central part of a mature plantlet (arrow 1: just divided two cells and arrow 2: further developed stage at which a monosporangium (m) and a vegetative cell (v) were formed. 8. Anastomosed plantlets. 9. A group of typical disc-like plantlets. Figs 10-12 Morphological variations of plantlets. 10. Oblong-shaped plantlet. 11. Branched-filamentous plantlet. 12. Abnormal one-two celled germlings.

tures tested, the onset of maturation varied. Higher temperatures, irrespective of day-lengths favored earlier development of monostromatic plantlets. Likewise, plantlets became polystromatic at the center earlier at higher temperatures than in lower ones.

Morphological variations of the plantlets were more frequently observed at higher temperatures. A previous study (NICHOLS and LISSANT 1967) showed that developmental variations in *E. subintegra* depended on (1) size of monospores, such that small monospores developed into filamentous plantlets, while large ones grew from elliptical to irregular disc-type plantlets, and (2) type of substrates. In our study, we confirmed the influence of temperature on morphological variations, but the influence of different types of substrates was not ascertained. Anastomosis was common between adjacent and maturing plantlets. This observation confirms earlier study on this species (NICHOLS and LISSANT 1967).

Early development of characteristic monostromatic circular disc and maturity of *Erythrocladia subintegra* were favored at higher temperatures (20–25°C). The typical shape of this species was retained for several days so long as the temperature was maintained at 15°C. For studies on life history and taxonomy, maintenance of cultures at lower temperatures is preferable, but for purposes of food production for gastropods such as abalones and top shells, higher temperature is more practical. The accessibility of food for gastropods in aquaculture is thus sustained.

#### Acknowledgments

The authors wish to express their sincere

thanks to Dr. T. Yasuda of the Sea Organisms Culture Center at Obama, Fukui Prefecture for providing the algal specimens. This study was partly supported by The Ministry of Education, Science and Culture, Japanese Government during the senior author's scholarship (1982–1985).

#### References

- DIXON, P.S. 1973. Biology of the Rhodophyta. T. and A. Constable Ltd, Edinburgh.
- DIXON, P.S. and MURRAY, S.N. 1981. Life histories in the Erythropeltidaceae (Rhodophyta, Bangiophyceae). Inter. Seaweed Symp. 8: 93–97.
- DREW, K.M. 1956. Reproduction in the Bangiophycidae. Bot. Rev. 22: 553–611.
- HEEREBOUT, G.R. 1968. Studies on the Erythropeltidaceae (Rhodophyceae-Bangiophycidae). Blumea 16: 139–157.
- HOLLENBERG, G.J. and ABBOTT, I.A. 1967. New species of marine algae from California. Can. J. Bot. 46: 1235–1251.
- JENSEN, W.A. 1962. Botanical histochemistry. W.H. Freeman, San Francisco and London.
- MURRAY, S.N., DIXON, P.S. and SCOTT, J.L. 1972. The life history of *Porhyropsis cocinea* var. *dawsonii* in culture. Br. phycol. J. 7: 323–333.
- NICHOLS, H.W. and LISSANT, E.K. 1967. Developmental studies of *Erythrocladia* ROSENVINCE in culture. J. Phycol. 3: 6–18.
- RICHARDSON, N. and DIXON, P.S. 1969. The Conchocelis phase of *Smithora naiadum* (ANDERS.) HOLLENB. Br. phycol. J. 4: 181–183.
- TANAKA, T. 1952. The systematic study of the Japanese Protofloridae. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ. 2: 1–92, pls. 1–23.
- TATEWAKI, M. 1966. Formation of a crustacean sporophyte with unilocular sporangia in *Scytosiphon lomentaria*. Phycologia 6: 62–66.

#### アニシア Q. フルタドーボンセ・梅崎 勇: イソハナビ *Erythrocladia subintegra* (紅藻類ウシケノリ目)の生活史の研究

アワビ・サザエ等の幼貝の飼料となっている紅藻類ウシケノリ目のイソハナビを実験室内で培養して、その生活史を研究した。本種は単胞子によって生殖し、10°–25°C 長日及び短日条件下で5–11日で生活史を完了する。また、日長に関係なく高温(20–25°C)の方が低温条件(10–15°C)よりは藻体の生長及び単胞子の形成と放出が早くなる。このように、単胞子によって短期間に増殖がくり返されるので貝類の初期飼料として有用な藻であるといえる。(606 京都市左京区北白川追分町 京都大学農学研究科熱帯農学専攻水産資源学研究室)

## Meiosis in three species of *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta)

Hiroshi YABU

*Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido, 041 Japan*

YABU, H. 1985. Meiosis in three species of *Laurencia* (Ceramiales, Rhodophyta). Jap. J. Phycol. 33: 288-292.

Meiotic divisions in the tetrasporanga of three species of *Laurencia* (*L. undulata* Yamada, *L. okamurai* Yamada and *L. pinnata* Yamada) revealed noticeable differences at meiosis I between *L. undulata* and the other two species as follows: In *L. undulata*, chromatin threads at early prophase were thicker, chromosomes at late prophase were usually squarish, a faintly stained large polar cap was visible and the chromosome complement was  $n=30$  with one large chromosome, whereas in *L. okamurai* and *L. pinnata*, chromatin threads at early prophase were thinner, chromosomes at late prophase were spherical or dumbbell-shaped, the polar cap was absent and the chromosome complement was  $n=32$  with three and one small chromosomes respectively.

*Key Index Word*: Ceramiales; chromosome; *Laurencia*; *L. okamurai*; *L. pinnata*; *L. undulata*; meiosis.

The Genus *Laurencia* is comprised of more than sixty species, most of which are distributed in temperate regions (YAMADA, 1931). To date, cytological treatises on this genus are restricted to five species; *L. hybrida* (WESTBROOK, 1955), *L. nipponica* (YABU, 1978), *L. obtusa* var. *majuscula* (YABU & KAWAMURA, 1959), *L. papillosa* (YABU & KAWAMURA, 1959; CORDEIRO-MARINO, YAMAGUISHI-TOMITA & YABU, 1974) and *L. pinnatifida* (KYLIN, 1923; GRUBB, 1925; WESTBROOK, 1928; 1935; AUSTIN, 1956; MAGNE, 1964). In this paper, the results of observations of meiosis for three species of *Laurencia* from Japan, *L. undulata*, *L. okamurai* and *L. pinnata*, are presented.

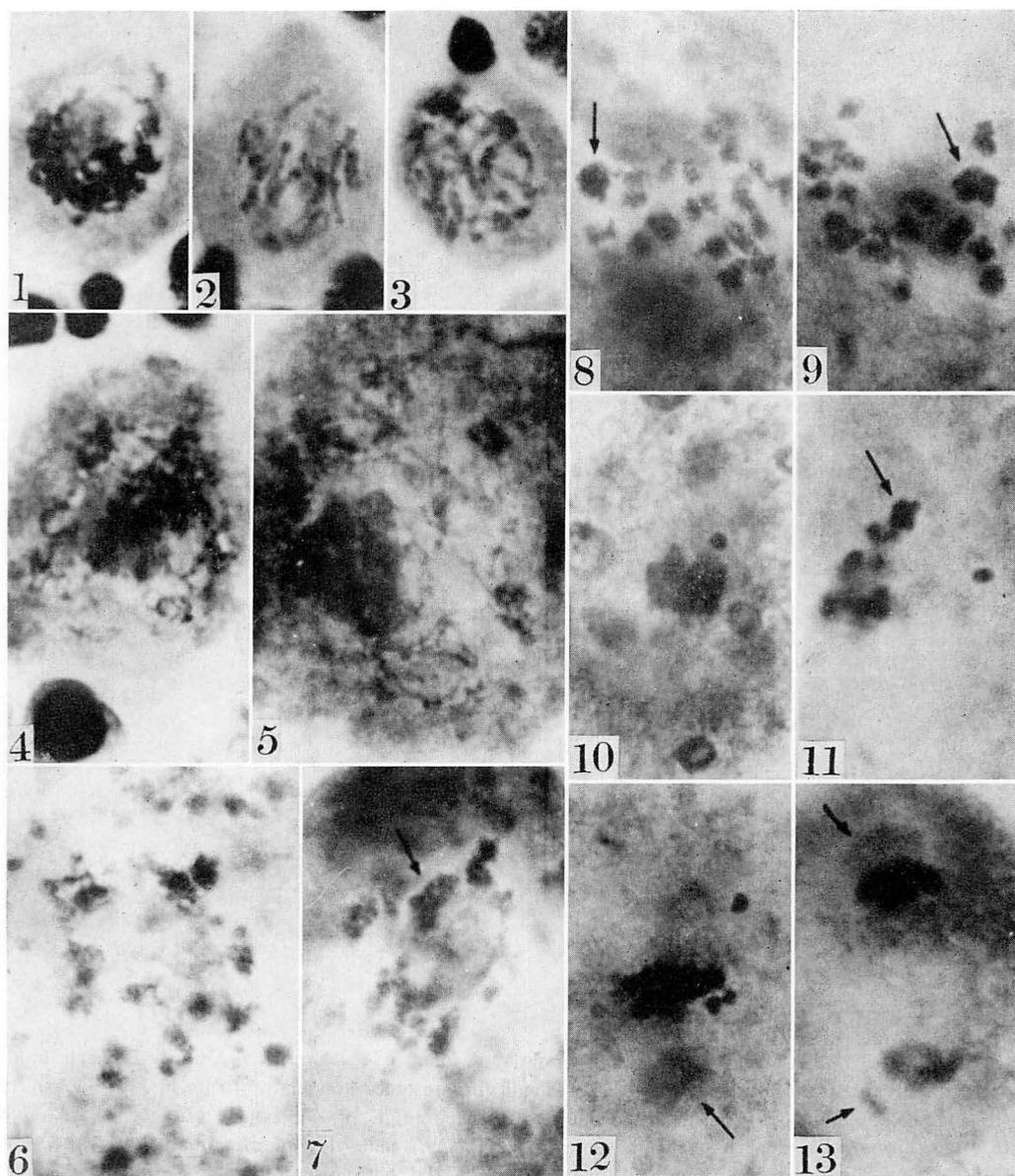
### Materials and Methods

The materials used for this study are *Laurencia undulata* collected from Okinoshima in Shimane Prefecture in July 1974 and from Makurazaki in Kagoshima Prefecture in May 1978; *L. okamurai* from Moheji near Hakodate, Hokkaido in August 1972-1975; and *L. pinnata* from Tachimachi-Misaki in Hakodate,

Hokkaido from May through July, 1970-1973. The plants were kept alive in vats with seawater until the time of fixing. Maturing portions of tetrasporophytes were fixed in ethanol acetic acid (3:1) and stained with aceto-iron-haematoxylin-chloral hydrate solution (WITTMANN, 1965).

### Results

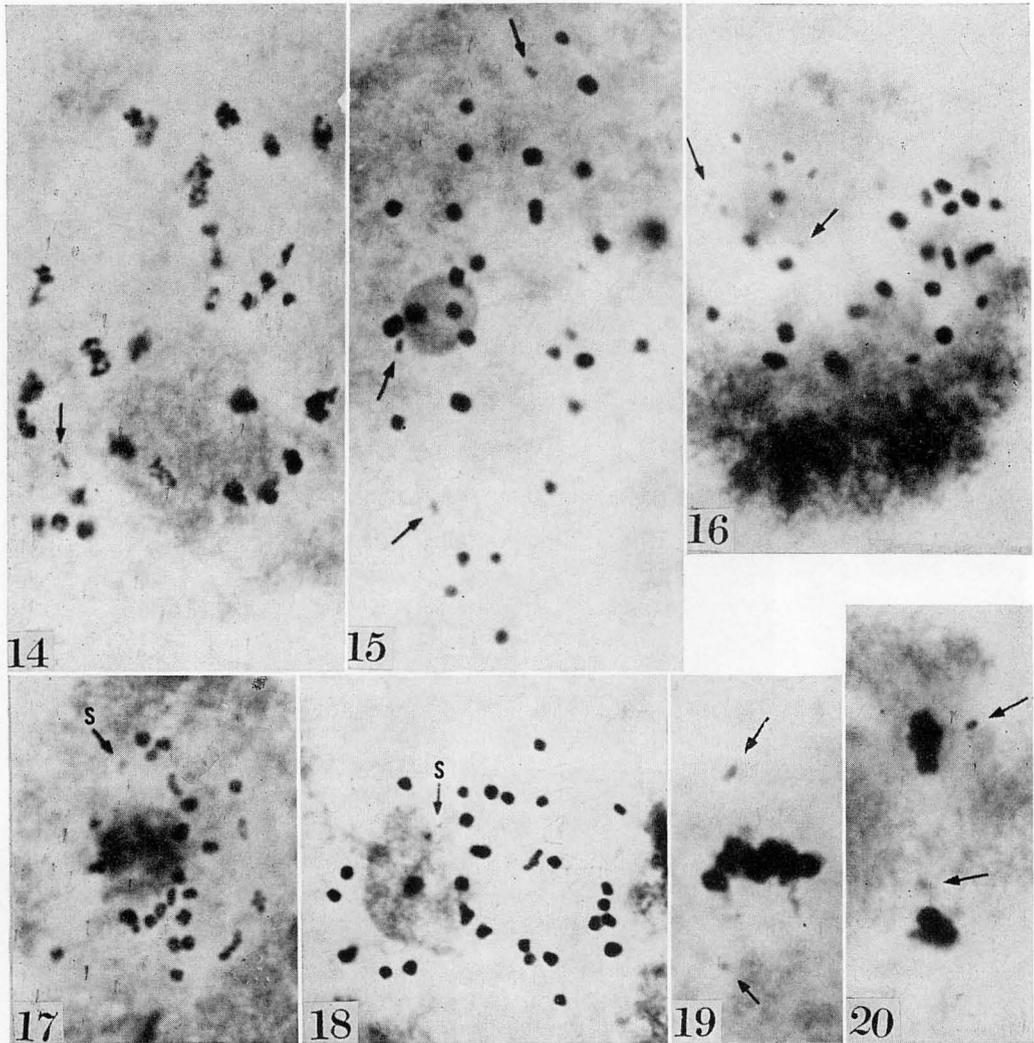
The meiotic features in the tetrasporangia of the three *Laurencia* species treated here were identical to that of *L. nipponica* (YABU, 1978). The early prophase nucleus in young tetrasporangia of all the materials has prominent chromatin threads around a faintly stained fairly large nucleus. These threads then gather at a corner of the nuclear cavity and gradually change into coiled strands which afterwards become loose and elongate, expanding within the nuclear cavity (Figs. 1-5). Passing through an obvious diffuse stage, chromosomes emerge (Figs. 6-7) and soon transform into distinct individuals. The chromatin threads at early prophase are thicker in *L. undulata* than in the other two



Figs 1-13. Various nuclear stages in the tetrasporangia of *Laurencia undulata*. Figs 1-5. Successive stages from synapsis to diplotene. Fig. 6. Early diakinesis. Fig. 7. More advanced stage with the large chromosome (arrow) which already exhibits its outline. Figs. 8 & 9. Diakinesis with the large chromosome (arrow). Figs 10-12. Diakinesis with a precocious chromosome moving toward one of the poles. The large chromosome (in Fig. 11) and the polar cap (in Fig. 12) are indicated by arrows. Fig. 13. Anaphase with a polar cap (arrow). All figures.  $\times 1,280$ .

species. On the whole, the chromosomes from late diakinesis to metaphase I were larger and angular in *L. undulata*, but in the others were smaller and dumbbell or spherical

in shape. The chromosome count from diakinesis to early metaphase I was estimated to be  $n=30$  for *L. undulata* and  $n=32$  for the others. The chromosome complement



Figs 14-16. Diakinesis in the tetrasporangia of *Laurencia okamurai*. Arrows in each figure indicate the small chromosome. The other small chromosomes are out of focus in Figs 14 and 16.

Figs 17-20. Various nuclear stages in the tetrasporangia of *Laurencia pinnata*. Figs. 17 & 18. Diakinesis with the small chromosome (s). Fig. 19. Side view of metaphase I with a precocious chromosome (arrow) moving toward each of the both poles. Fig. 20. Side view of the daughter nuclei at metaphase II with a precocious chromosome (arrow) moving toward one of the poles in each nucleus. All figures.  $\times 1,280$ .

Table 1. Normal and anomalous nuclei in 100 side views at meiosis I.

Species	Number of normal nuclei	Number of anomalous nuclei
<i>Laurencia undulata</i>	77	type A=23; type B=0
<i>L. okamurai</i>	82	type A=13; type B=5
<i>L. pinnata</i>	84	type A=10; type B=6

Type A=anomalous nucleus with a precocious chromosome moving toward one of the poles; Type B=anomalous nucleus with a precocious chromosome moving toward each of the both poles.

Table 2. Chromosome numbers previously recorded in species of *Laurencia*.

Species	Chromosome number	Investigator
<i>L. hybrida</i>	n=ca 20; 2n=ca 40	Westbrook, 1935
<i>L. nipponica</i>	n=28	Yabu, 1978
<i>L. obtusa</i> var. <i>majuscula</i>	n=20; 2n=40	Yabu & Kawamura 1959
<i>L. papillosa</i>	n=20; 2n=40	Yabu & Kawamura 1959
	n=26	Cordeiro-Marino <i>et al.</i> , 1974
<i>L. pinnatifida</i>	n=ca 20	Kylin, 1923
	n=15-16	Grubb, 1925
	n=ca 20; 2n=ca 40	Westbrook, 1928; 1935
	n=29; 2n=58	Austin, 1956
	n=29	Magne, 1964
<i>L. undulata</i>	n=30	Present study
<i>L. okamurai</i>	n=32	"
<i>L. pinnata</i>	n=32	"

contains one large chromosome in *L. undulata* (Figs. 7-9, 11), three small chromosomes in *L. okamurai* (Figs. 14-16) and one small chromosome in *L. pinnata* (Figs. 17-18). A weakly stained, large polar cap was visible in *L. undulata* (Figs. 12-13), but it was absent in the others. In all of the three species treated here, the anomalous nuclei with a precocious chromosome frequently appeared at metaphase I & II (Figs. 10-11, 19-20). There are two types of anomalous nuclei at metaphase I; type A with a precocious chromosome moving toward one pole, and type B with a precocious chromosome moving toward each of the both poles. The counts for normal and anomalous nuclei at metaphase I in each species are given in Table 1. These results demonstrate that only the type A appeared in *L. undulata*, however, type A and B both appeared in *L. okamurai* and *L. pinnata*. In *L. undulata*, anomalous nuclei at meiosis II had a precocious chromosome moving toward a pole in one or both of the daughter nuclei but in *L. okamurai* and *L. pinnata*, such a nucleus had a precocious chromosome moving toward each of the both poles in one or both of the daughter nuclei.

## Discussion

In the present study on *Laurencia undulata*,

*L. okamurai* and *L. pinnata*, tetrasporangia in meiosis I revealed noticeable differences between *L. undulata* and the other two species in the thickness of chromatin threads at early prophase, the chromosome complement and the existence of a polar cap.

SAITO (1967), who studied the Japanese species of *Laurencia*, separated the genus into two subgenera *Laurencia* and *Chondrophyca* based upon differences in the formation of tetrasporangia and the secondary pit-connection, and placed *L. okamurai* and *L. pinnata* in the former subgenus and *L. undulata* in the latter. Whether the above cytological differences relate to these two subgenera or not must be an interesting taxonomic problem, but further studies on other species of *Laurencia* are needed.

As seen in Table 2, the chromosome numbers of n=30 for *L. undulata* and n=32 for *L. okamurai* and *L. pinnata* are not in accord with the previous number recorded for several species of *Laurencia*. This is also worthy of attention for further cytological research on the genus *Laurencia*.

## Acknowledgements

I am grateful to Dr. J. MCLACHLAN of National Research Council Canada for his valuable comments. I would also like to thank Mr. M. KAJIMURA of Shimane Univer-

sity and Mr. T. NORO of Kagoshima University for their kind support in collection of the materials.

### References

- AUSTIN, A.P. 1956. Chromosome counts in the Rhodophyceae. *Nature (Lond.)* 175: 950.
- CORDEIRO-MARINO, M., YAMAGUISHI-TOMITA, N. and YABU, H. 1974. Nuclear divisions in the tetrasporangium of *Acanthophora specifera* (Vahl) Boergesen and *Laurncia papillosa* (Forsk.) Greville. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 25: 79-81.
- GRUPP, V.M. 1925. The male organs of the Florideae. *J. Linn. Soc. Bot.* 47: 177-255.
- KYLIN, H. 1923. Studien über die Entwicklungsgeschichte der Florideen. *K. svenska Vetensk Akad. Handl.*, 63(11): 1-139.
- MAGNE, F. 1964. Recherches caryologiques chez les Floridées (Rhodophycées). *Cah. Biol. mar.* 5: 461-671.
- SAITO, Y. 1967. Studies on Japanese species of *Laurencia* with special reference to their comparative morphology. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 15: 1-81.
- WESTBROOK, M.A. 1928. Contributions to the cytology of tetrasporic plants of *Rhodymenia palmata* (L.) Grev., and some other Florideae. *Ann. Bot. (Lond.)* 42: 149-172.
- WESTBROOK, M.A. 1935. Observations on nuclear structure in the Florideae. *Beih. bot. Zbl. A* 53: 564-585.
- WITTMANN, W. 1965. Aceto-iron-haematoxylin-chloral hydrate for chromosome staining. *Stain Tech.* 40: 161-164.
- YABU, H. 1978. Nuclear divisions in *Laurencia nipponica* Yamada. *Jap. J. Phycol.* 26: 35-39.
- YABU, H. and KAWAMURA, K. 1959. Cytological study of some Japanese species of Rhodome-laceae. *Mem. Fac. Fish., Hokkaido Univ.* 7: 61-71.
- YAMADA, 1931. Notes on *Laurencia*, with special reference to the Japanese species. *Univ. Calif. Pub. Bot.* 16(7): 185-310.

### 藪 照：紅藻ソゾ属3種の減数分裂

コブソゾ, ミツデソゾ, ハネソゾの四分孢子嚢内核分裂を観察し, 減数第1分裂でコブソゾと他の2種のソゾの間には注目すべき差異が認められた。コブソゾでは核分裂前期初期の染色糸は太く, 前期末期の染色体は通常角ばった形状を呈し, 極には色素に薄く染まる極帽が存在し, 染色体は  $n=30$  でそのうちの1個は他のものよりも大きい。一方, ミツデソゾとハネソゾでは核分裂前期初期の染色糸は細く, 前期末期の染色体は球形又は亜鈴形で極帽はなく, 染色体は  $n=32$  でそのうちミツデソゾの3個とハネソゾの1個は他のものよりも小さい。  
(041 北海道函館市港町3丁目1-1, 北海道大学水産学部)

**Fine structure and taxonomy of the small and tiny  
*Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species in Japan\***

**3. Co-occurrence of *Stephanodiscus minutullus* (KÜTZ.)**

**ROUND and *S. parvus* STOERM. & HÅK.**

Hiromu KOBAYASI\*\*, Hideaki KOBAYASHI\*\* and Masahiko IDEI\*\*\*

\*\* *Department of Biology, Tokyo Gakugei University,  
Koganeishi, Tokyo, 184 Japan*

\*\*\* *Institute of Biological Sciences, University of Tsukuba,  
Sakura-mura, Ibaraki, 305 Japan*

KOBAYASI, H., KOBAYASHI, H. and IDEI, M. 1985. Fine structure and taxonomy of the small and tiny *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species in Japan. 3. Co-occurrence of *Stephanodiscus minutullus* (KÜTZ.) ROUND and *S. parvus* STOERM. & HÅK. Jap. J. Phycol. 33: 293-300.

Specimens which can be identified either as *Stephanodiscus minutullus* or as *S. parvus* have been found in some fresh and brackish waters such as Hime-numa, Oo-numa, Hachirogata and Nakagawa in Japan. Comparative studies on the valve structure of these specimens using mainly a scanning electron microscope reveal the fact that *S. minutullus* and *S. parvus* are conspecific. The central elevation or depression of the valves varies continuously from flat to strongly undulate surfaces.

*Key Index Words*: *Centric diatom*; *fine structure*; *plankton*; *Stephanodiscus minutullus*; *Stephanodiscus parvus*.

Specimens which can be identified either as *Stephanodiscus minutullus* (KÜTZ.) ROUND or as *S. parvus* STOERM. & HÅK. often co-occurred in the materials collected from fresh and brackish waters in Japan. They are small and circular in valve view, being 6-10 (up to 15)  $\mu\text{m}$  in diameter. The valve faces observed vary from flat or almost flat ones to strongly concentrically undulate ones, though it is often very difficult to ascertain surface undulations in the case of smaller specimens.

The type material from the Lünneburger Heide of *Cyclotella minutula* KÜTZ. (1844) was examined by ROUND (1981) using mainly scanning electron microscope (SEM). It was transferred as an separate species to the

genus *Stephanodiscus* by ROUND, although it had been included in *S. astraea* as var. *minutula* (KÜTZ.) GRUN. in VAN HEURCH (1880-1883) and later in *S. rotula* as var. *minutula* by ROSS and SIMS (1978). This taxon is strongly characterized by the valves with conspicuous central elevation or depression as seen in ROUND's Figs. 19-23 besides other features.

On the other hand, *Stephanodiscus parvus* STOERM. & HÅK. (1984) is the youngest taxon which was newly named based on the original materials from which invalid GRUNOW's *S. hantzschii* form. *parva* was named only in his note book. This name was published later by CLEVE and MÖLLER (1877-1882, slides Nos. 265, 266, examined by GRUNOW from Ceyssal, Puy-de-Dôme. France.) As seen in Figs 5-8 of STOERMER and HÅKANSSON (1984), this taxon is character-

\* This work was partly supported by a grant from the Nissan Science Foundation.

ized by the flat or almost flat valve faces. However when we kept an eye on the features other than the undulations of the valve face, *S. minutullus* and *S. parvus* seemed to be quite identical in valve structure. It has been suggested by HÅKANSSON that "the difference between *S. parvus* and *S. minutullus* can sometimes be very difficult, because it is not always possible to see if the valve is flat or not." (pers. letter to H. KOBAYASI on 6th Feb. 1985). In order to clarify the relationship between these two taxa, comparative studies were carried out.

### Materials and Methods

Materials used were collected from the following locations 1) Bottom mud in small lake Hime-numa (pH. 7.7, wt. 15°C, salinity 0‰) in Rishiri Island, northern Hokkaido on 25th Aug. 1984, K-1950. 2) Bottom mud in brackish lake Oo-numa (pH. 8.5, wt. 17°C, salinity 9‰), northern Hokkaido on 25th Aug. 1984, K-1954. 3) Plankton in lagoon Hachiro-gata (pH. 7.5, wt. 12.8°C, salinity 56.8 mgCl/l), Akita Prefecture on 4th Oct. 1985, N-1005. 4) Plankton in the estuary of the Naka-gawa (pH. 7.0, wt. 14°C, salinity 18‰), at the Shiodome Bridge on 9th Nov. N-935.

Materials were cleaned by ultraviolet radiation which was very effective in cleaning without destroying the weakly silicified structure, or cleaned with sulfuric acid and potassium dichromate, followed by washing with distilled water. SEM and TEM observations were made using a JEOL F15 and a JEOL 100B respectively.

### Results

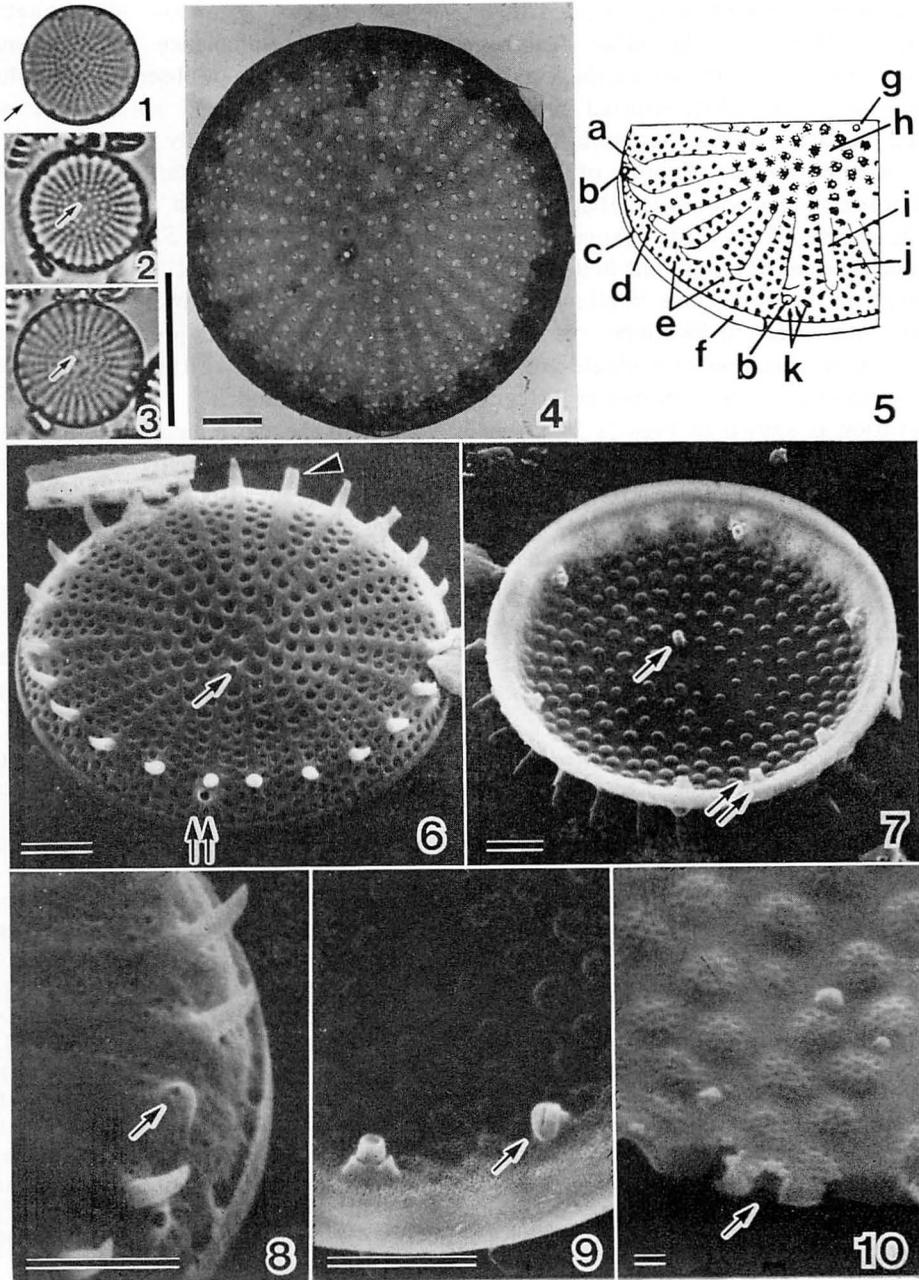
Observations of the specimens that can be identified either as *Stephanodiscus parvus* or as *S. minutullus* using a light microscope showed fully similar appearance with regard to the valve view. Valves are seen almost flat in the most abundant size, being 7-10  $\mu\text{m}$  in diameter (Figs 1-3, 11, 12) except the extremely larger ones, up to 15  $\mu\text{m}$  in dia-

meter in that the centric undulation of the valve face is always evident (Figs. 14, 15). However, as shown in Fig. 13, the undulation of the valve face is clearly noticed in small specimens in an oblique view. Facicles are a single row at the center and obscurely biseriate at the periphery of the valve and the central region appears to have randomly arranged puncta. A short spine occurs at the end of nearly every interfascicle and by downward focusing, it is possible to see that the marginal strutted process occurs as a dot every 3rd to 6th interfascicle just below the spines (Figs 1, 3, 11, 14). At the center of the valve, the rosette-like structure is inconspicuous. This structure is called rosette or rosette-like structure by LOWE and CRANG (1972), STOERMER and HÅKANSSON (1983), annulus by STOSCH von (1977), and pattern center by MANN (1984), as seen in *Stephanodiscus invisitatus* HOHN & HELL. (KOBAYASI and INOUE, 1985) and *S. hantzschii* form. *tenuis* (HUST.) HÅK. et STOERM. (1984) (KOBAYASI *et al.* 1985). The central strutted process is also less conspicuous at the same level focusing with the striae of the fascicles due to its depth.

Valves with a flat face are shown in Figs 1-10, and the diagrammatic representation of the features is shown in Fig. 5. The marginal spines occur at the end of each interfascicle and the marginal strutted processes are placed very close to the spines they subtend (Figs 5b, 6). The valve mantle is very shallow. Each stria, a row of pores, on the mantle is composed of three to four pores and only one or two pores just beneath the marginal strutted process. It reaches to the valve edge as an extension of each stria forming fascicles (Fig. 4). The pores surrounding each marginal strutted process and spine are arranged radially forming an asteroid mark (Fig. 6 double arrow). This arrangement is conspicuous in the moderately or lightly silicified valves (Fig. 6) but obscured in the heavily silicified ones (Fig. 8). The structure of valve varies markedly depending on the degree of silicification. In the lightly silicified specimens the exterior

opening of each pore is more or less broad (Figs 6, 10 arrow). In the more heavily silicified ones, it is reduced in size and tends to be partially occluded externally (Fig. 8). Each areola of both types of valves is occluded by the domed cribrum internally (Figs. 9, 10). A single strutted process with two struts is generally seen towards the

center of the valve (Figs 4, 7 arrow). A single marginal labiate process occurs on a interfascicle in the nearly opposite direction to the central strutted process, at nearly the same level with the marginal ring of spines (Figs 7 double arrow, 9 arrow). The external opening of the single marginal labiate process is tubular in moderately silicified valves (Fig.



6 arrow head) and is variously modified spine shape in heavily silicified valves (Fig. 8 arrow). They are all open in place of a marginal spine and the longitudinal slit of the process is situating obliquely to the radial axis in a different degree internally (Figs 7, 9).

Valves with an undulate face are shown in Figs 11-22. As seen in the figures, undulate valves seem to be more heavily silicified than flat ones. However, the other features such as the fascicles, interfascicles, central strutted process, marginal strutted process, marginal labiate process, striation on the mantle, and the areolar structure of the pore are completely identical with that of flat valves as shown in Figs 1-10. It appears to be a continuous series of gradations in degree of undulation of the valve face in all materials collected from different locations. In order to visualize a variation in a single population, a series of gradations in degree of central elevation is shown in Figs 23-28, from flat valve (Fig. 23) to slightly (Figs 24, 25), moderately (Figs 26, 27) and strongly undulate valves (Fig. 28). In these figures variation in silicification can also be seen from a moderately silicified valve (Fig. 23) to the most heavily silicified one (Fig. 28).

## Discussion

Small and tiny diatoms, with circular valves, of the genus *Stephanodiscus* are distributed worldwide in rivers, lakes, lagoons and reservoirs and often constitute the major component of the plankton (ROUND 1981). However, there is serious confusion in identification among these species mainly due to their co-occurrence at almost all habitats, morphological resemblance and inadequacy of the light microscope observations. Moreover, almost all of these species are strongly polymorphic as already pointed out by ROUND (1981) on *S. minutullus*, STOERMER and HÅKANSSON (1984) on *S. parvus*, KOBAYASI and INOUE (1985) on *S. invisitatus*, HÅKANSSON and STOERMER (1984) on *S. hantzschii*, KOBAYASI *et al.* (1985) on *S. hantzschii*, form. *tenuis*. In the present studies both flat and undulate valve types co-occurred in all materials examined.

Due to the above mentioned disadvantages, taxonomy of the group has strongly been left behind until observations of the type materials using mainly scanning electron microscope were carried out in detail especially with regard to some important classical species (ROUND 1981, STOERMER and HÅKANSSON 1984, HÅKANSSON and STOERMER 1984). However, there seems to still remain minor

---

Plate 1. Figs 1-10. *Stephanodiscus minutullus* (KÜTZ.) ROUND with flat or almost flat face. Hime-numa unless otherwise noted. Fig. 1. Valve view in lower focus showing marginal strutted process and the marginal labiate process (arrow) LM  $\times 2000$ . Figs 2, 3. Valve views in upper and lower focus of the same specimen showing the central strutted process appeared as black and white dots (arrows) LM  $\times 2000$  (bar =  $10 \mu\text{m}$ ). Fig. 4. Valve view of heavily silicified valve showing the interfascicular thickening and a central strutted process with two struts TEM  $\times 7000$  (bar =  $1 \mu\text{m}$ ). Fig. 5. Diagrammatic representation of the exterior valve structure. a. marginal spines b. marginal strutted processes, c. vertical slit-like marking of the flange, d. outer opening of the labiate process, e. areolar rows on the valve mantle, f. flange, g. central strutted process, h. pattern center, i. interfascicles, j. fascicles, k. asteroid arrangement of pores. Fig. 6. Outside view of valve showing central strutted process (arrow), marginal strutted process, external opening of the labiate process (arrow head) and pores forming asteroid mark (double arrow) SEM  $\times 9300$  (bar =  $1 \mu\text{m}$ ). Fig. 7. Inner view of valve showing the central strutted process with two struts (arrow), and marginal labiate process (double arrow). Oo-numa. SEM  $\times 7500$  (bar =  $1 \mu\text{m}$ ). Fig. 8. Enlargement of valve margin showing the outer opening of the labiate process (arrow) SEM  $\times 20000$  (bar =  $1 \mu\text{m}$ ). Fig. 9. Enlargement of inner valve margin showing the marginal strutted process with three struts and labiate process (arrow). SEM  $\times 20000$  (bar =  $1 \mu\text{m}$ ). Fig. 10. Inner view of broken valve showing the areola with broad exterior opening (arrow). SEM  $\times 40000$  (bar =  $0.1 \mu\text{m}$ ).

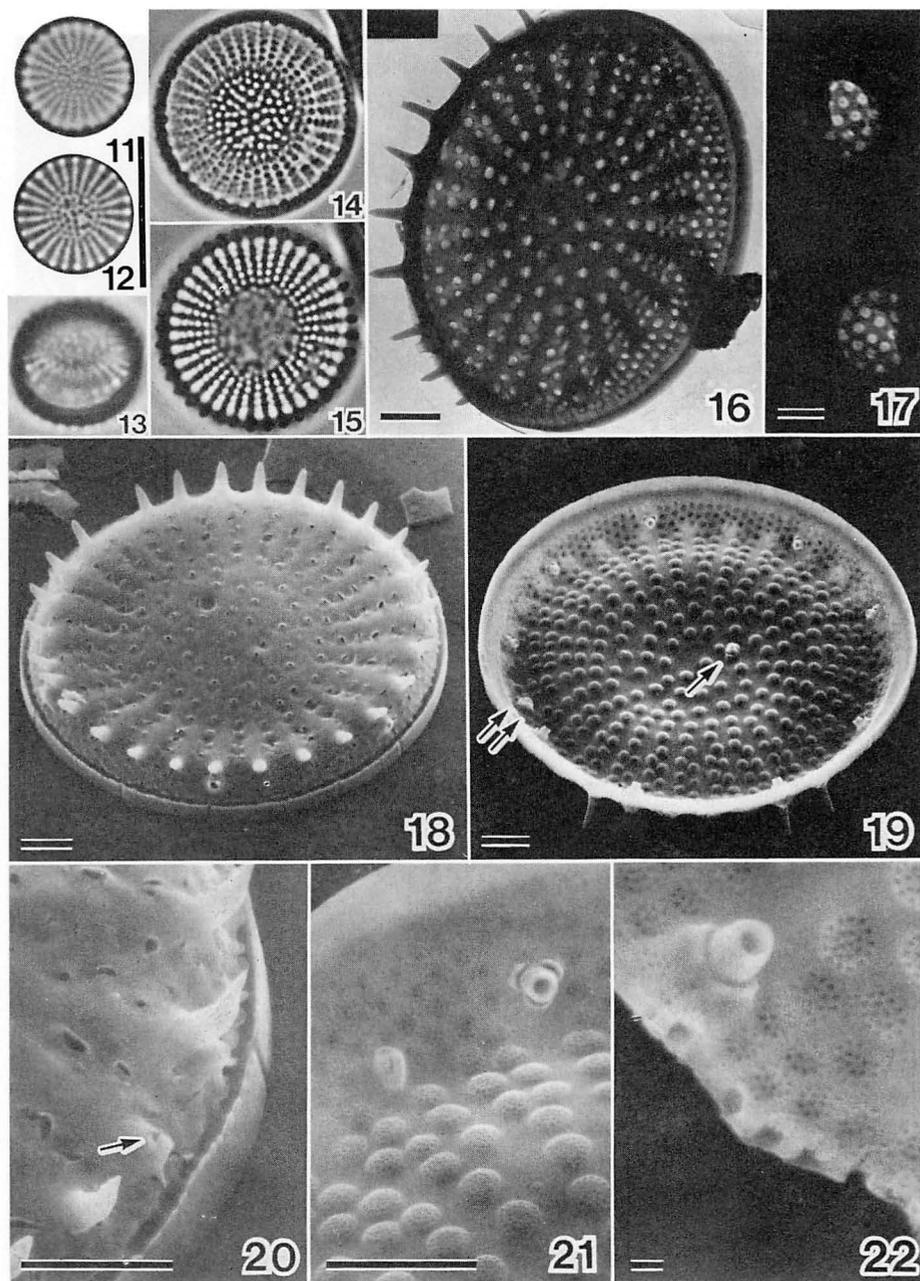


Plate 2. Figs 11-22. *Stephanodiscus minutulus* (KÜTZ.) ROUND with undulate face. Hime-numa. Figs 11, 12. Valve view. LM  $\times 2000$  (bar= $10\ \mu\text{m}$ ). Fig. 13. Oblique view of frustle. LM  $\times 2000$ . Figs 14, 15. Valve view in lower and upper focus of the same valve. LM  $\times 2000$ . Fig. 16. Oblique view of heavily silicified valve. TEM  $\times 8000$  (bar= $1\ \mu\text{m}$ ). Fig. 17. Enlargement of domed cribrum occluding areola, with perforations in a hexagonal array. TEM  $\times 60000$  (bar= $0.1\ \mu\text{m}$ ). Fig. 18. Outside view of heavily silicified and slightly undulate valve. SEM  $\times 6800$  (bar= $1\ \mu\text{m}$ ). Fig. 19. Inside view of valve showing the central strutted process with two struts (arrow) and marginal labiate process (double arrow). SEM  $\times 6300$  (bar= $1\ \mu\text{m}$ ). Fig. 20. Enlargement of valve margin showing the outer opening of the labiate process (arrow). SEM  $\times 20000$  (bar= $1\ \mu\text{m}$ ). Fig. 21. Enlargement of inner valve margin showing the marginal strutted process with three struts and the labiate process. SEM  $\times 20000$  (bar= $1\ \mu\text{m}$ ). Fig. 22. Inner view of broken valve margin showing the areolae occluded by flaps externally and the domed cribra internally. SEM  $\times 40000$  (bar= $0.1\ \mu\text{m}$ ).

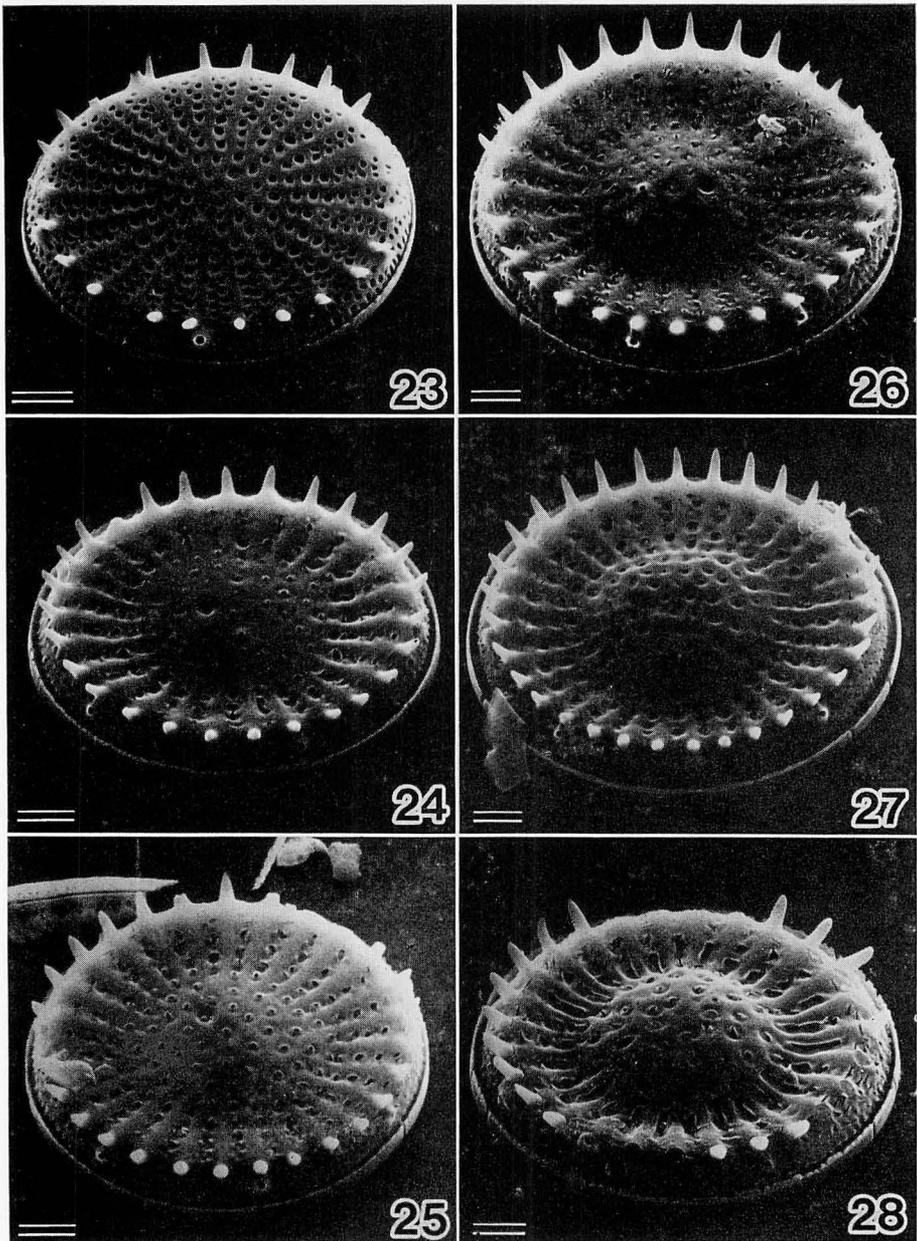


Plate 3. Figs 23-28. A series of gradations in degree of central elevations of *Stephanodiscus minutulus* (KÜTZ.) ROUND. Hime-numa bar= $1\mu\text{m}$ . Fig. 23. Flat and mediately silicified valve. SEM  $\times 7800$ . Figs. 24, 25. Slightly undulate valves. SEM  $\times 7500$ . Figs 26, 27. Moderately undulate valves. SEM  $\times 6600$  and SEM  $\times 6200$ . Fig. 28. Strongly undulate and heavily silicified valve. SEM  $\times 7000$ .

confusions. In the three light microscopical photographs of STOERMER and HÅKANSSON (1984) taken from the type materials of *S. parvus*, Fig. 1 seems to be a specimen with an undulate face and Fig. 2 also seems to be

*S. invisitatus*. Only Fig. 3 seems to be *S. parvus*. Careful observations on scanning electron microphotographs lead us to confirm the above assumptions. Valves of their Fig. 4 and 11 may be identified as *S.*

*invisitatus* mainly from the finer structure and the relatively broad mantle. Fig. 9 may be identified as *S. minutullus* from its conspicuous central elevation and Fig. 10 also can be identified as *S. hantzschii* form. *tenuis* from the lack of the central strutted process and the finely striated broad mantle. A little difference can be noticed between ROUND's (1981) description and our observations of the Japanese specimens about the number of the struts surrounding the interior tube of the marginal strutted process. ROUND stated in the legend of his Fig. 24, that "there are two open tubes on either side of the central tube of the fuloportule." However, we could not find any specimens possessing two struts. The type materials from Lüneburger Heide examined by ROUND have been strongly eroded and protrusions such as exterior and interior tubes and struts of the marginal strutted process, marginal spines and domed cribra occluding areola internally are all missing. The strutted process shown in ROUND's Fig. 24 seems to us to be surrounded by three struts, two visible and a hidden underside one, judging from the upside location of the two struts on the two corners of a triangle. The other features of the type specimens are quite identical with those of our specimens.

Thus, our specimens as well as *S. parvus* and *S. minutullus* are all considered to be conspecific with each other; then this taxon would have to taken following synonymy:

- Stephanodiscus minutullus* (KÜTZ.) ROUND.  
Arch. Protistenk. **24**: 462, f. 19-24. 1981.  
Basionym: *Cyclotella minutula* KÜTZ. Bacillarien 50. pl. 2, f. 3. 1844.  
Synonyms: *Stephanodiscus perforatus* GENKEL et KUZMIN Bot. Zhr. **63**: 1310. pl. 3, f. 1-9. 1978.  
*Stephanodiscus parvus* STOERM. & HÅK. Nova Hedwigia **39**: 505. 1984.  
*Stephanodiscus astraeva* var. *minutula* (KÜTZ.) GRUN. in V. HEURCH, Syn. Diat. Belg. pl. 95, f. 7-8. 1882.  
*Stephanodiscus rotula* var. *minutula* (KÜTZ.) ROSS & SIMS Bacillaria **1**: 152. 1978.

## Acknowledgement

We would like to thank Hannelore HÅKANSSON for her helpful suggestion and information.

## References

- CLEVE, P. T. and L. D. MÖLLER 1877-1882. Diatoms (Exsiccata). Part I-IV, slides 1-324. Uppsala.  
HÅKANSSON, H. and STOERMER, E. F. 1984. Observations on the type material of *Stephanodiscus hantzschii* GRUNOW in CLEVE & GRUNOW. Nova Hedwigia **39**: 477-495.  
KOBAYASI, H. and INOUE, H. 1985. Fine structure and taxonomy of the small and tiny *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species in Japan. 1. *Stephanodiscus invisitatus* HOHN & HELL. Jap. J. Phycol. **33**: 149-154. (in Japanese with English abstract)  
KOBAYASI, H., INOUE, H. and KOBAYASHI, H. 1985. Fine structure and taxonomy of the small and tiny *Stephanodiscus* (Bacillariophyceae) species in Japan. 2. *Stephanodiscus hantzschii* GRUN. form. *tenuis* (HUST.) HÅK. et STOERM. Jap. J. Phycol. **33**: 233-238. (in Japanese with English abstract)  
KÜTZING, F. T. 1844. Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. Fr. Eberhardt, Nordhousern.  
LOWE, R. L. and R. E. CRANG. 1972. The ultrastructure and morphological variability of the frustule of *Stephanodiscus invisitatus* HOHN & HELLERMANN, J. Phycol. **8**: 256-259.  
MANN, D. G. 1984. An ontogenetic approach to diatom systematics. 113-144. In Mann, D. G. [ed]. Proceedings of the Seventh International Diatom Symposium. Otto Koeltz, Königstein.  
ROSS, R. and SIMS, P. A. 1978. Notes on some diatoms from the Isle of Mull, and other Scottish localities. Bacillaria **1**: 151-168.  
ROUND, F. E. 1981. The diatom genus *Stephanodiscus*: An electron microscopic view of the classical species. Arch. Protistenk. **124**: 455-470.  
STOSCH, H. A. von 1977. Observations on *Belerochea* and *Streptotheca*, including descriptions of three new planktonic diatom species. Nova Hedwigia, Beih. **54**: 113-166.  
STOERMER, E. F. and HÅKANSSON, H. 1983. An investigation of the morphological structure and taxonomic relationships of *Stephanodiscus damasii* HUSTEDT. Bacillaria **6**: 245-255.  
STOERMER, E. F. and HÅKANSSON, H. 1984. *Ste-*

*phanodiscus parvus*: Validation of an enigmatic and widely misconstrued taxon. *Nova Hedwigia* 39: 497-511.

VAN HEURCK, H. 1880-1883. Synopsis des Diatomées de Belgique. Atlas. J. Ducaju & Cie, Anvers.

小林 弘\*・小林秀明\*・出井雅彦\*\*：日本産小形ステファノディスクス属（ケイソウ類）の微細構造と分類  
3. *Stephanodiscus minutulus* (KÜTZ.) ROUND と *S. parvus* STOERM. & HÅK. の同時出現

本邦の淡水または汽水の湖沼や河川には、*Stephanodiscus minutulus* とともに、また、*S. parvus* とともに同定できる小形の種類が同時に出現する。そのため、おもに SEM による比較を行ったところ、長野県涌池、利尻島姫沼、稚内大沼、八郎潟、東京都中川潮止橋から得た、どの試料のものも、殻面の凹凸以外の諸形質については全く違いがなく、殻面の凹凸も、平坦なものから、殻の中心部の盛り上がり、または落ち込みが強いものまで、切れ目なく連続して見られた。従って、この二つの分類群はまとめて一つの分類群とするのが妥当と思われる。（\*184 小金井市貫井北町 4-1-1 東京学芸大学生物学教室、\*\*305 茨城県新治郡桜村天王台 1-1-1 筑波大学生物科学系）

### 第9回 国際現生・化石珪藻シンポジウムのお知らせ

第9回国際現生・化石珪藻シンポジウム (Ninth International Symposium on Living and Fossil Diatoms) が、61年 (1986) 8月24日から29日まで、英国のブリストル大学で開催されます。

会期1週間のうち、研究発表に4日間を充て、発表は質疑応答を含めて20分、他にポスター発表も予定され、残りはエクスカージョンその他に充てられる予定。

このシンポジウムの講演申し込み、詳しい日程、宿泊等の申し込みは2ndサーキュラーに掲載される予定ですので、2ndサーキュラーの入手を希望される方は、下記へ申し込まれるとよいと思います。

宛先 Prof. F. E. Round  
Department of Botany, Woodland Road,  
Bristol, BS8 1UG, England.

## Analysis of cellulose microfibril arrangement patterns in the cell wall of new spherical cells regenerated from *Boodlea coacta* (Chlorophyceae)

Kazuo OKUDA and Shun MIZUTA

*Department of Biology, Faculty of Science, Kochi University, Kochi, 780 Japan*

OKUDA, K. and MIZUTA, S. 1985. Analysis of cellulose microfibril arrangement patterns in the cell wall of new spherical cells regenerated from *Boodlea coacta* (Chlorophyceae). Jap. J. Phycol. 33: 301-311.

The three microfibrillar orientation patterns, meridionally-oriented, counterclockwise-oriented spiral and clockwise-oriented spiral patterns were found in the spherical cell walls of *Boodlea coacta*, by analyzing the replicated microfibril arrangements of cell walls. These patterns changed successively with the formation of microfibrils from each pole toward the cell equator indicating high polar dependency. In regard to change in the orientation of the microfibrils, a specialized fibril arrangement as a fountain-like structure was occasionally observed in the polar region and other parts of the spherical cells. This structure at each pole was small and fibrils dispersed widely as a curve to form a new layer. In other parts of spherical cells, this structure occupied a larger area and new fibrils extending from it were noted to change their orientation almost unidirectionally so as to form a multifibrillar layer. Microfibril changes in *Boodlea* generally recognizable by the presence of this fountain-like structures were not related to the direction of peripheral microtubule arrays and not affected by colchicine treatment, and it was considered that this structure might possibly provide some clue as to clarification of the mechanisms of polar-dependent changes in microfibril orientation.

*Key Index Words:* *Boodlea coacta*; cell wall deposition; microfibril arrangement pattern; microfibril orientation.

As described in the previous paper (MIZUTA *et al.* 1985), spherical cells from the protoplasm of the coenocytic green alga, *Boergeresenia forbesii*, generate a cross-polylamellate cell wall beneath the initially regenerated matrix-rich layer. Microfibrils constituting the adjacent multifibrillar layers cross each other at almost right angles, as was also noted in the thallus wall (MIZUTA and WADA 1981) and show high polar dependency.

Similar types of polar-dependent microfibril arrangements in spherical or spherical-like cells have been demonstrated in *Valonia* (PRESTON and KUYPER 1951) and some other green algae (WILSON 1951, ROBINSON and PRESTON 1972). In *Valonia*, microfibrils are arranged longitudinally and transversely with the cell axis and a obliquely-arranged fibril group lies between the two adjacent microfibril layers. Cells in these algae usually

have two poles, one on each side and microfibrils regenerate from both poles toward the equator (MIZUTA *et al.* 1985).

The microfibril arrangement at the polar region may induce orientation of polylamellated microfibrils. In *Glaucocystis*, fibril arrangement throughout the entire cell is determined by fibril orientation at the fibril formation center at each pole (WILLISON and BROWN 1978). In newly-formed spherical cells from *Boergeresenia*, fountain-like fibril structures appear at each pole and microfibrils are deposited alongside these structures (MIZUTA *et al.* 1985). Microfibril orientation in polar areas may provide important information as to the regulatory mechanisms of microfibril orientation throughout an entire cell.

Preliminary experiments showed that the cell walls of newly-developed spherical cells

from the protoplasm of *Boodlea coacta* (DICKIE) MURRAY et DE TONI were composed of matrix-rich and thick fibril-rich layers. Although the microfibrils in the fibril-rich layers crossed each other, the fibrils in the polar area showed a wide variety of patterns. For an understanding of the morphological sequence of pattern changes in microfibril orientation for elucidation of the control mechanisms of the microfibrils, microfibril arrangement patterns in the spherical cell walls in *Boodlea* were examined and change in a microfibril orientation was discussed.

### Materials and Methods

**Formation and culture of new cells:** *Boodlea coacta* was cultured for about three months at 25°C under a 14 hr light and 10 hr dark regime. The culture medium was the same as that used in *Boergesenia* (MIZUTA and WADA 1981). When vegetative thalli were cut into small pieces on a stainless steel sieve (125 mesh) previously submerged in the culture medium, protoplasm flowed down through the mesh and became many spherical protoplasm bodies after about 2 hr at 25°C. The protoplasts were refiltered through sieves (125 and 170 meshes) and cells 88 to 125 µm in diameter were cultured for one to two days in a petri dish (110×25 mm) containing 100 ml of culture medium under light (4 W/m<sup>2</sup>, white fluorescent tubes of Toshiba FL 40 SD were used) or in the dark at 25°C.

**Fluorescence microscopy:** To confirm the presence of a cell wall regenerated about the protoplasts, a fluorescence microscope (BH2-RKF, Olympus, Tokyo) was used. Cells cultured for various periods of time were incubated in 0.1% Kayaphor A. Conc (Nippon Kayaku, Co. Ltd, Japan), a bistriazinyl-aminostilbene derivative, a fluorescent brightener for β-hexapyranosyl polysaccharides which is excited by 365 nm UV. After about 5 minutes incubation, the cells were placed on a glass slide and observed under a microscope.

**Electron microscopy:** Preparation of cell wall materials for replica is shown in Fig. 1.

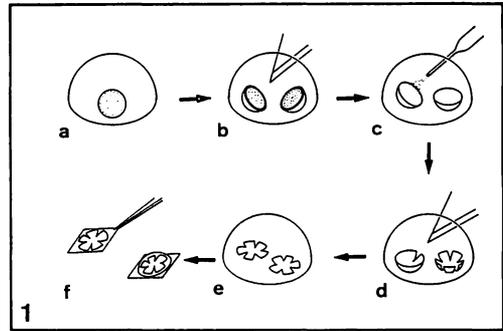


Fig. 1. Diagram of the preparation of cell wall materials for replicated specimens. The new *Boodlea* cell cultured for 1-2 days was placed in a drop of culture medium (a) and cut with a fine razor (b). After the contents were removed with a small syringe (c), both wall pieces were cut open (d, e) and mounted on acetylcellulose film (f).

First, a cell contained in a drop of culture medium was placed in a plastic petri dish and cut into two pieces with a fine razor. The contents were removed with a small syringe and both small pieces were cut open, mounted on acetylcellulose film with the inner surface of the wall facing upward. The walls were washed three times with distilled water, dried, shadowed with Pt and coated with carbon at  $2 \times 10^{-4}$  Pa. The samples thus obtained were put into 70% sulfuric acid for 3 days at 60°C, washed with distilled water and placed on Formvar-coated grids.

For freeze replication, EE-FED B2 freeze etching apparatus was used, as described previously (MIZUTA *et al.* 1985). All samples were observed with a JEM 100U electron microscope (JEOL Ltd. Tokyo).

### Results

**Cell wall development and growth of new *Boodlea* cells:** Fig. 2 shows protoplasts from the protoplasm of *Boodlea*. Cell walls regenerated about the cell surface within 3 hr of culture at 25°C. The walls gradually thickened and could be clearly seen by the fluorescence of Kayaphor A Conc excited by ultraviolet light at 365 nm (Fig. 3). After

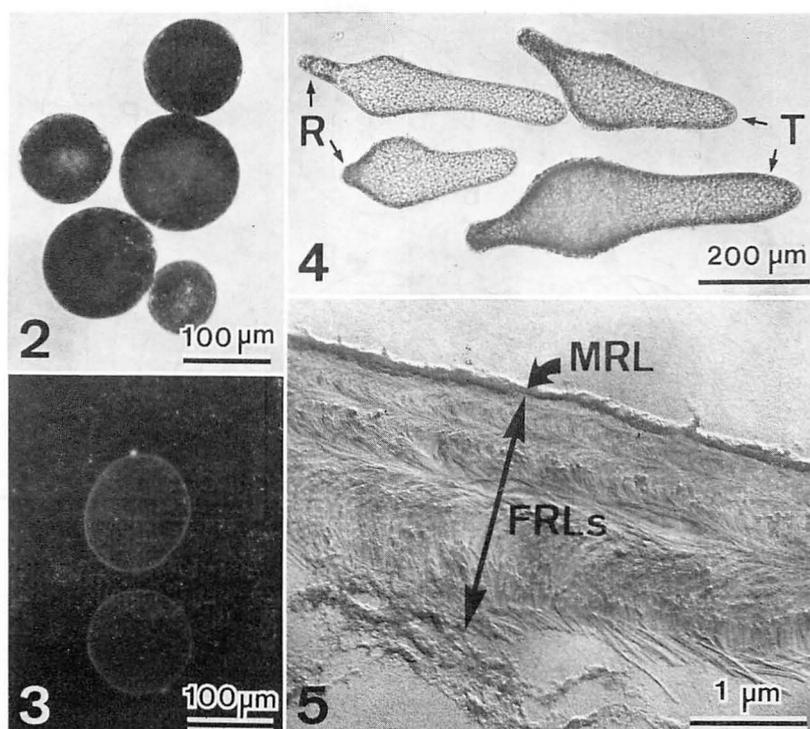


Fig. 2. Protoplasts regenerated from the protoplasm of *Boodlea*.

Fig. 3. New cells of *Boodlea* cultured for 1 day at 25°C following formation of protoplasts. After Kayaphor A. Conc (0.1%) treatment, the cells were observed under a fluorescence microscope.

Fig. 4. New cells of *Boodlea* cultured for 3 days under continuous light at 25°C. Both rhizoid (R) and thallus (T) developed on opposite side of the cell.

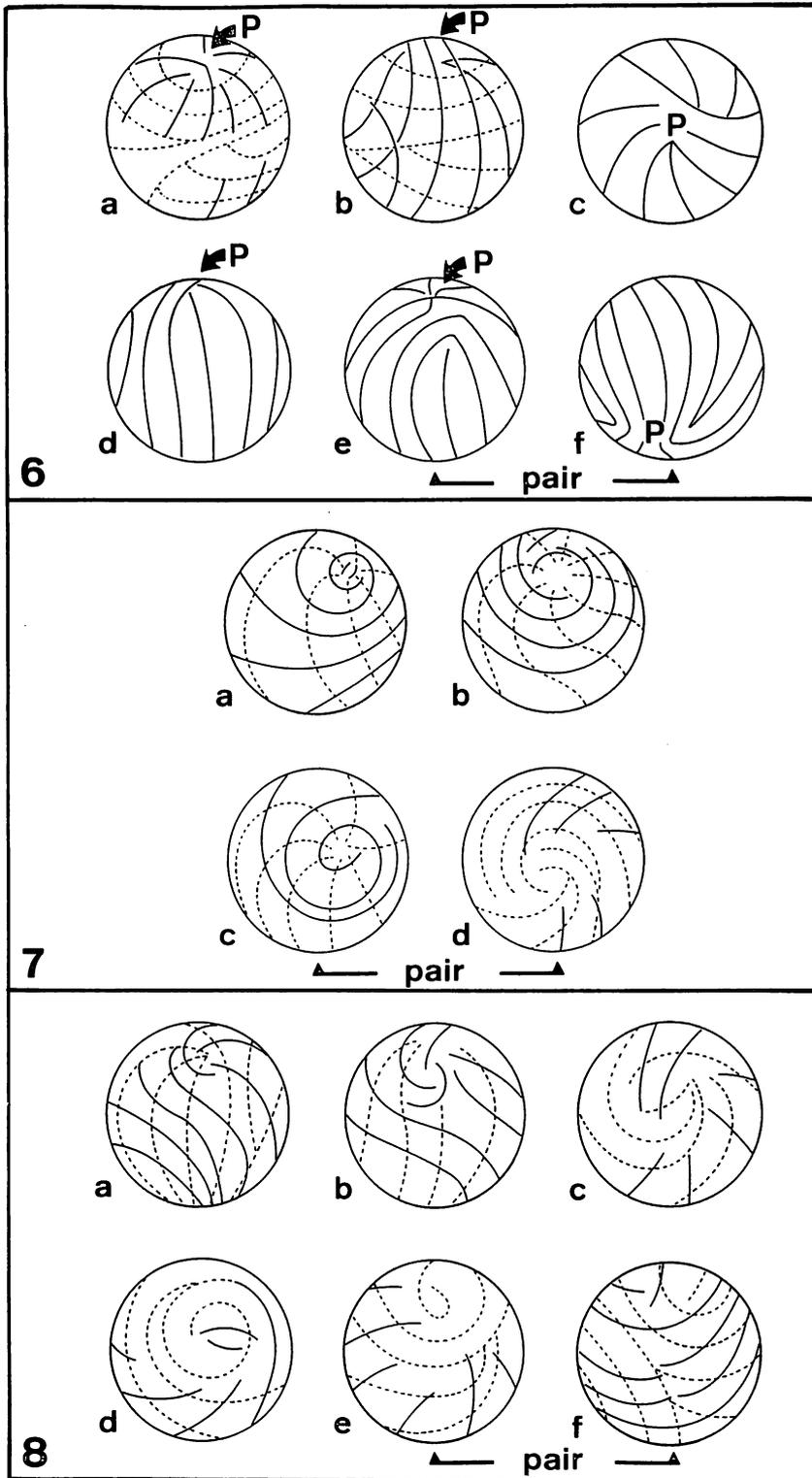
Fig. 5. Cross sectional view of a new *Boodlea* cell wall cultured for 24 hr at 25°C. MRL, matrix-rich layer consisting of randomly-oriented microfibrils and an amorphous matrix. FRLs, fibril-rich layers consisting of regularly-oriented microfibril layers. The wall was shadowed with Pt-carbon following removal of the embedded resin.

about 3 days of culture under continuous light, a thallus and rhizoid protruded from each side of the cells and grew continuously (Fig. 4). A cross sectional view of the new cell wall was similar to that of *Boergesenia* and consisted of an outer surface matrix-rich layer (MRL) and inner fibril-rich layers (FRLs) (Fig. 5). The microfibrils in the FRLs were assumed perpendicular and parallel to the cut surface of the cell, but the arrangement of microfibrils throughout the entire cell could not be clearly seen. The microfibril arrangement of a replica taken from the inner surface of the wall was then analyzed. Microfibrils constituting the uppermost and underlying layers were traced

in a whole replica and the fibril arrangement of the inside surface of a wall could thus be reproduced.

*Microfibril orientation patterns in the spherical cells:* The microfibril orientation patterns in the new round cell were generally of three types: (1) meridionally-arranged microfibrils (Fig. 6), (2) counterclockwise-oriented spiral (dotted lines in Fig. 7) and (3) clockwise-oriented spiral patterns (solid lines in Fig. 7).

In type 1, radially-arranged microfibrils from each polar region (P in Fig. 6) toward the equator densely covered the underlying helically-arranged fibril layer (a in Fig. 6). At each pole, there were several fountain-



Figs 6-8. Microfibril arrangement of new *Boodlea* cell wall replicated from the inner surface of walls. Solid lines show the major fibril orientation on the inner surface of wall layers covering older layers (dotted lines). 6. Typical patterns of microfibril orientation of meridionally-arranged microfibril layers; 7. Typical patterns of helical arrangement of striations; 8. Complex fibril arrangement showing transitional steps in layer formation.



Fig. 9. Fountain-like structures (arrows) in a polar area. Replicas taken from the inner surface of the wall were shadowed with Pt-carbon.

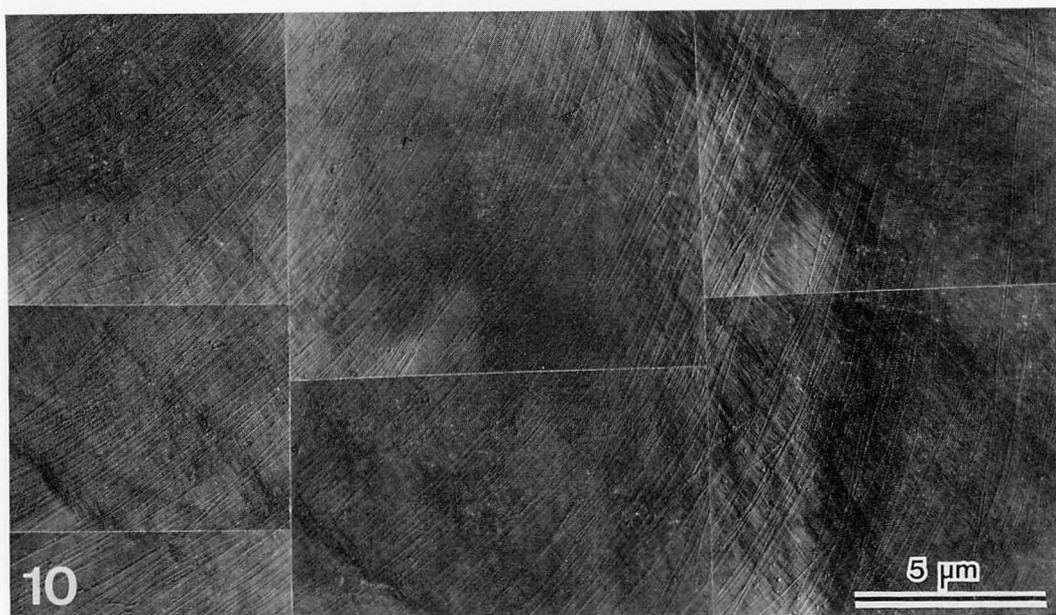


Fig. 10. A replica showing a typical microfibril layer cross pattern.

like structures (arrows in Fig. 9) quite similar to those of *Boergesenia* (MIZUTA *et al.* 1985). Microfibrils, dispersed in the fountains, changed their orientation and generated toward the equator to form a layer such as that in the case of fibril deposition in *Boergesenia* (MIZUTA *et al.* 1985). Meridionally-arranged fibrils with completed deposition were shown in **b-f** of Fig. 6. The fibrils were arranged quite orderly from pole to pole (P in Fig. 6) as indicated in the diagrams of replicas taken from paired hemispheres (**e** and **f** in Fig. 6). In cells which generated thick layers by the presumed high activity for wall deposition, meridional lines passing over and covering the poles could sometimes be seen (**c** and **e** in Fig. 6) and in this case, poles with radially-arranged microfibrils were not clearly visible.

Typical microfibril arrangement patterns of types 2 and 3 were shown in **a** and **b** of Fig. 7. The microfibrils were deposited so as to form either a counterclockwise (dotted lines) or clockwise helix (solid lines) layer extending from each polar region toward the equator. The mode of formation was always the same, the counterclockwise helix being

generated first and then the clockwise helix to give rise to a typical crossed pattern of polylamellate fibrils (Fig. 10). The slope of each helix varied, always steep for the counterclockwise helix but relatively gentle for the clockwise helix. These layers were more predominant in one polar area than the other, as shown in the fibril tracings of paired hemispheres (**c** and **d** in Fig. 7). Thus fibril formation proved to occur more at one pole than another.

There were many complex patterns consisting of helix and straight microfibrils in addition to the three mentioned above. These may possibly represent transitional steps in microfibril configurations such as the following: orientation change from a meridional to counterclockwise helix arrangement (**a** and **b** in Fig. 8), change from a clockwise helix to meridional arrangement (**c**, **e** and **f** in Fig. 8) and change from a counterclockwise to clockwise helix (**d** in Fig. 8). In these steps, fountain-like structures could be seen in both the polar and other regions. Those situated far from the polar areas were long and fibril orientation change generally occurred on the part of orderly arranged microfibrils (Fig. 11);

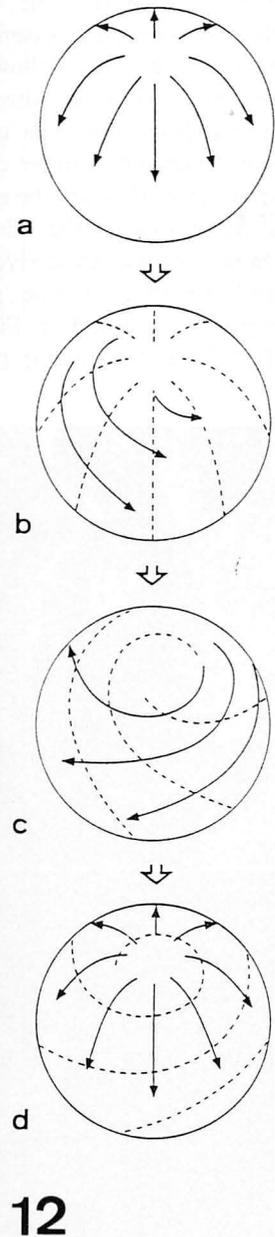
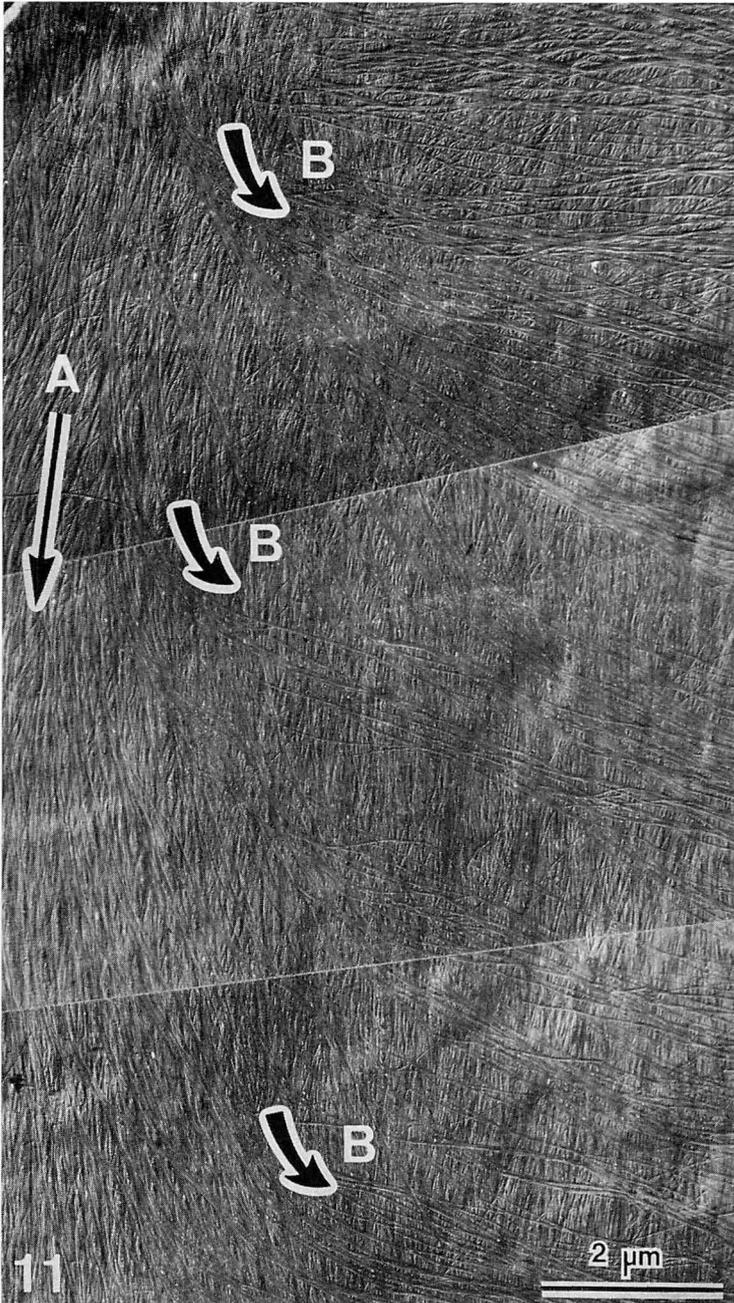


Fig. 11. Change in microfibril orientation in a multifibrillar layer with reversed fountain-like structure. Arrow A, orientation direction of microfibrils in a multifibrillar layer. Arrow B, orientation direction of a new layer with curved configuration.

Fig. 12. Diagrammatical representation of pattern change in the microfibril orientation of a new *Boodlea* cell wall. **a**, formation of meridionally-oriented fibril layer; **b**, formation of counterclockwise-oriented spiral layer; **c**, formation of clockwise-oriented spiral layer; **d**, meridionally-oriented layer formation, the same as in **a**.

new fibrils of the unidirectionally-arranged fibril layer (direction of formation shown by arrow A) changed their orientation almost uniformly, curving essentially in the same direction (arrow B). Following these changes, new fibrils were deposited along a line extending from one pole to the equator in a polar dependent manner and in rare cases, fibrils passed through the equator and covered the polar area on the other side of the cell because of the excessive amount of wall-forming activity in one polar area (paired diagram of **e** and **f** in Fig. 8).

Based on the tracing patterns of micro-

fibrils in the new *Boodlea* cell, microfibril orientation change and the process of cell wall lamellation were represented in Fig. 12. **a-d** showed the circulation route in the wall lamellation. **a** showed the meridionally-arranged multifibrillar layer; **b**, microfibrils making up the counterclockwise helix; **c** those comprising the clockwise helix and **d**, the meridionally-arranged multifibrillar layer identical to that of **a**. Although each layer was generated from two poles, the microfibrils on one polar side predominantly converged toward the other pole.

*Relationship between microfibril arrange-*

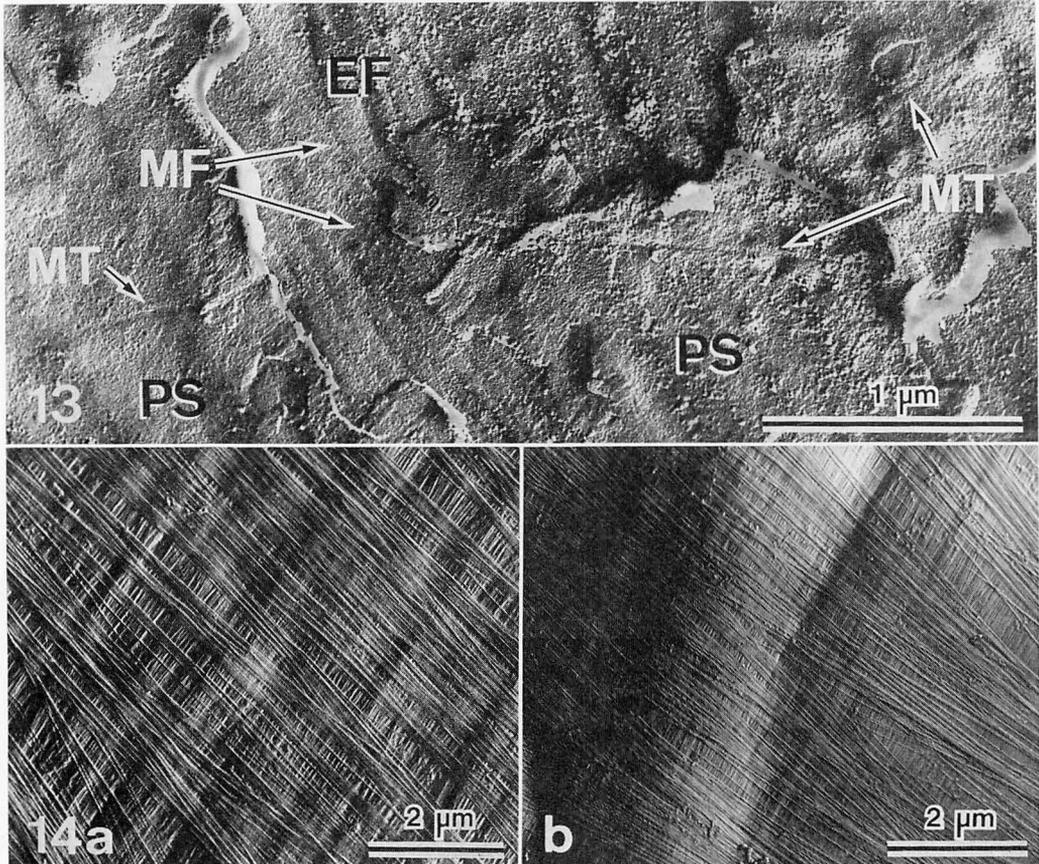


Fig. 13. Freeze-fractured plasma membrane of a new *Boodlea* cell showing both microfibril (MF) and microtubule (MT) impressions. Cells cultured for 1 day at 25°C were freeze-fractured and shadowed with Pt-carbon. EF, (outer leaflet) fracture face of the plasma membrane; PS, protoplasmic surface of the membrane.

Fig. 14. Replica of inner surface wall of a new *Boodlea* cell treated and not treated with colchicine. Cells cultured for 1 day at 25°C were recultured in the presence or absence of colchicine ( $2 \times 10^{-8}$  M) for 1 day under continuous light. **a**, colchicine treatment; **b**, control.

ment and microtubule array and effects of colchicine on microfibril arrangement: The correlation between cell wall microfibrils and peripheral microtubule arrangement was examined. In Fig. 13, microtubule impressions (MT) which were quite similar to those of *Valonia macrophysa* (ITOH and BROWN 1984) were visible on the PS face of the plasma membrane and microfibril impressions (MF) were also evident on the EF face of the membrane. In the figure, the microfibril impressions were essentially parallel to each other, but they were different from the microtubule impressions in the manner of their arrangement.

Fig. 14 showed the effects of colchicine on the microfibril arrangement of a new *Boodlea* cell wall. The lamellation of fibrils crossing each other was not effected by  $2 \times 10^{-3}$  M colchicine treatment (Fig. 14, a). The microfibrils in each layer were generated in an orderly pattern similar to that of control (Fig. 14, b); no disorderly patterns could be detected.

## Discussion

In the present experiment, the arrangement patterns of cellulose microfibrils in new *Boodlea* cell walls were clarified by careful observation and analysis of replicated microfibril arrangements. A meridionally-oriented, a counterclockwise-oriented spiral and a clockwise-oriented spiral were the three patterns found. These patterns successively changed and fibrils generated from each pole toward the equator in a highly polar dependent manner (Figs 6-8). The direction of microfibril formation may thus possibly be regulated by cell polarity. Similar patterns in the spherical-like cells of green algae have also been reported in *Boergesenia* (MIZUTA and WADA 1981, MIZUTA *et al.* 1985), *Valonia* (PRESTON and ASTBURY 1937) and *Dictyosphaeria* (WILSON 1951). In this case, though the patterns differed somewhat from each other, fibril layer generation was under the control of cell polarity.

The polarity of the new spherical cells of

*Boergesenia* has been reported to be induced by blue light irradiation, causing a rhizoid and thallus to develop (ISHIZAWA *et al.* 1979). The data of our previous work (MIZUTA *et al.* 1985) indicated the cell polarity to be quite likely induced prior to FRL generation, possibly during MRL formation, since the microfibril arrangement in FRLs was polar dependent and, therefore inducement of rhizoid and thallus protrusion by blue light may probably be due to changes in polarity. In *Boodlea* protoplasts, prior to the formation of cross-polylamellated layers (FRLs), cells developed a randomly-oriented fibril layer and amorphous matrix (Fig. 5). Thus, the cell polarity seems to develop before the appearance of FRLs as noted in the case for *Boergesenia*.

It was pointed out a considerable time ago that there existed a correlation between microfibril arrangement and the array of peripheral microtubules (NEWCOMB 1969, HEPLER and PALEVITZ 1974). However, the data of many reports contradicted such a correlation (MILLINGTON and GAWLIK 1970, MARCHANT and PICKETT-HEAPS 1972, ROBINSON *et al.* 1972). In our previous paper on *Boergesenia* (MIZUTA and WADA 1982), change in microfibril orientation was not effected by antimicrotubule agents. In *Valonia* (ITOH and BROWN 1984), no correlation has been found between microfibril and microtubule arrangement and this tendency was almost the same in *Boodlea* (Fig. 13). Morphologically, microfibril arrangement patterns appeared essentially the same in both the presence and absence of colchicine (Fig. 14). Thus polar-dependent fibril arrangement and changes in orientation may be independent of peripheral microtubules in both *Boodlea* and other siphonocladalean algae.

Changes in microfibril orientation in *Boergesenia* have been recently reported to possibly depend on membrane fluidity (MIZUTA 1985). This report assumed that microfibrils formed adjacent to TCs (cellulose synthesizing terminal complexes) were floated partly by membrane fluidity and that microfibril orientation was controlled by the vectors of

TC movement and membrane fluidity. This was based on the fact that TCs at the time of orientation change, always curved in essentially the same direction and that intramembranous particle density on the outside of the curve was always greater than that on the inside. Multifibrils in *Boergesenia* always changed gradually as a curve, as was noted for fountain-like structures (MIZUTA *et al.* 1985) and this mode of orientation change was almost similar to that of *Boodlea* (Fig. 11). The curve of the fountain-like structure may possibly arise from TCs whose orientation changes gradually in the direction of the resultant force of the TC movement and membrane fluidity vectors. For an understanding of the regulatory mechanism for changes in microfibril orientation due to membrane fluidity, controlling of changes in the direction of membrane fluidity itself must be investigated.

### Acknowledgements

The authors wish to express their sincere thanks to Professor Shozo SUDA, Kobe Women's University, and Dr. Shunji WADA, Tohoku University, for their valuable advice. This work was supported by a Grant-in-Aid for special projects at Kochi University from the Ministry of Education, Science and Culture, Japan (1983).

### References

- HEPLER, P.K. and PALEVITZ, B.A. 1974. Microtubules and microfilaments. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **25**: 309-362.
- ISHIZAWA, K., ENOMOTO, S. and WADA, S. 1979. Germination and photo-induction of polarity in the spherical cells regenerated from protoplasm fragments of *Boergesenia forbesii*. *Bot. Mag. Tokyo* **92**: 173-186.
- ITO, T. and BROWN, R.M. 1984. The assembly of cellulose microfibrils in *Valonia macrophysa* Kütz. *Planta* **160**: 372-381.
- MARCHANT, H.J. and PICKETT-HEAPS, J.D. 1972. Ultrastructure and differentiation of *Hydrodictyon reticulatum* III. Formation of the vegetative daughter net. *Aust. J. Biol. Sci.* **25**: 265-278.
- MILLINGTON, W.F. and GAWLIK, S.R. 1970. Ultrastructure and initiation of wall pattern in *Pediastrum boryanum*. *Amer. J. Bot.* **57**: 552-561.
- MIZUTA, S. 1985. Evidence for the regulation of the shift in cellulose microfibril orientation in freeze-fractured plasma membrane of *Boergesenia forbesii*. *Plant Cell Physiol.* **26**: 53-62.
- MIZUTA, S. and WADA, S. 1981. Microfibrillar structure of growing cell wall in a coenocytic green alga, *Boergesenia forbesii*. *Bot. Mag. Tokyo* **94**: 343-353.
- MIZUTA, S. and WADA, S. 1982. Effects of light and inhibitors on polylamellation and shift of microfibril orientation in *B. ergeseria* cell wall. *Plant Cell Physiol.* **23**: 257-264.
- MIZUTA, S., SAWADA, K. and OKUDA, K. 1985. Cell wall regeneration of new spherical cells developed from the protoplasm of a coenocytic green alga, *Boergesenia forbesii*. *Jap. J. Phycol.* **33**: 32-44.
- NEWCOMB, E.H. 1969. Plant microtubules. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **20**: 253-288.
- PRESTON, R.D. and ASTBURY, T.W. 1937. The structure of the wall of the green alga *Valonia ventricosa*. *Proc. Roy. Soc. B.* **122**: 76-97.
- PRESTON, R.D. and KUYPER, B. 1951. Electron microscopic investigations of the wall of green alga I. A preliminary account of wall lamellation and deposition in *Valonia ventricosa*. *J. Exp. Bot.* **2**: 247-263.
- ROBINSON, D.G. and PRESTON, R.D. 1972. Plasmalemma structure in relation to microfibril biosynthesis in *Oocystis*. *Planta* **104**: 234-246.
- ROBINSON, D.G., WHITE, R.K. and PRESTON, R.D. 1972. Fine structure of swimmers of *Cladophora* and *Chaetomorpha* III. Wall synthesis and development. *Planta* **107**: 131-144.
- WILLISON, J.H.M. and BROWN, R.M. 1978. A model for the pattern of deposition of microfibrils in the cell wall of *Glaucocystis*. *Planta* **141**: 51-58.
- WILSON, K. 1951. Observation on the structure of cell walls of *Valonia ventricosa* and *Dictyosphaeria favulosa*. *Ann. Bot.* **15**: 279-288.

奥田一雄・水田 俊：緑藻アオモグサの原形質から分化した球形細胞における  
細胞壁マイクロフィブリルの配向パターンの解析

アオモグサの原形質から分化した球形細胞の細胞壁の構造及び細胞壁マイクロフィブリルの配向パターンをレプリカ法により調べ明らかにした。細胞壁は、マガタマモと同様、壁マトリックスとランダムに配向するセルロースマイクロフィブリルより成る表層部と、その内側を構成する、マイクロフィブリルの規則正しく配向交差する主層部より成る。主層部におけるマイクロフィブリルは次の3つの配向パターン、すなわち(1)経線方向への配向、(2)左巻らせんの方向への配向、(3)右巻らせんの方向への配向、を示し、形成順序は(1)→(2)→(3)→(1)で常に一定であった。各層におけるマイクロフィブリルの形成は、両極部から赤道方向へ向う強い極性依存性を示した。形成の終了した層においては、マイクロフィブリルが扇形、或は弧状構造を描いて配向交差するのがしばしば見られた。極部におけるこの構造は、比較的小さく複数出現し、扇形に広がったマイクロフィブリルは、湾曲を伴い新層を形成していた。極部以外の構造は、比較的長く、マイクロフィブリルは大きく弧を描きながら新層を形成していた。これらのフィブリル配向の形態をもとに、アオモグサの極性依存的細胞壁マイクロフィブリルの配向変換の機構について考察した。(780 高知市曙町 2-5-1 高知大学理学部生物学科)

---

新 刊 紹 介

---

山岸高旺・秋山 優(編)：淡水藻類写真集 1, 2, 3 巻, 内田老鶴圃, 各巻100図版, 1巻4000円, 2巻4000円, 3巻5000円. 1959-60.

1977年に同じ出版社から、日本淡水藻類図鑑が出版され話題を集めたが、最近では線描きを用いる人が次第に少くなり、ほとんどの人は写真で調べごとをするようになった。写真はスケッチよりもずっと時間が少なくてすみ、いろいろのものを数多く写して比較でき、また、何よりも顕微鏡でみる実物のイメージが現れるという利点があるので、今後ますます写真化の方向へと進むものと思われる。この図集は、このような写真化時代の要求に答えるものとして出版されたもので、1図版に1分類群を取り上げ、普通5～9枚ぐらゐの写真と必要に応じてスケッチもつけるという形式が取られており、これに和文と英文の記載がつけられている。

それぞれの分野の専門家が自慢の写真を載せているので、ポイントをつかんだ写真ばかりであり、しかも、全体像、部分拡大像、生活史の各ステージと、必要なカットが揃えられているので同定には非常に役立つものである。ただ難を言えば、ルーズリーフ式で取扱いにくいこと、一つの属のものが、各巻に分散して見にくいこと、ある属のものが全部揃っていないので、比較しにくいことなどが挙げられる。しかし、ルーズリーフ式で、それぞれの図版に番号が付いているので、ばらしても、引用に不便はないし、今3巻が出ていて、やがて4巻も出るという話であるから、その時点で400分類群がそろふことになる。出版されるごとに、次々と分類順、または属名のアルファベット順に整理していけば、それぞれの時点でかなり利用できるものと思われる。この種の出版物は長い年月をかけて延々と続くため、全部揃ったら手に入れようなどと考えていると、その時点では歯抜けができてしまって臍をかむ場合が多い。私も、HELMCKE & KRIEGER の珪藻写真集のある巻が手に入らず難儀したので、必要と思われる方は集めておかれることをお勧めしたい。

(東京学芸大学生物学教室 小林 弘)

## Effect of growth temperature on photosynthesis-temperature relationships of a tide pool alga *Cladophora rudolphiana* (Chlorophyceae)\*

Nobuyasu KATAYAMA\*\*, Yuko TOKUNAGA\*\* and Yasutsugu YOKOHAMA\*\*\*

\*\* *Department of Biology, Tokyo Gakugei University,  
Koganei, Tokyo, 184 Japan*

\*\*\* *Shimoda Marine Research Center, The University of  
Tsukuba, Shimoda, Shizuoka, 415 Japan*

KATAYAMA, N., TOKUNAGA, Y. and YOKOHAMA, Y. 1985. Effect of growth temperature on photosynthesis-temperature relationships of a tide pool alga *Cladophora rudolphiana* (Chlorophyceae). Jap. J. Phycol. 33: 312-316.

Fronds of *Cladophora rudolphiana* (AGARDH) HARVEY were collected from a tide pool at the higher intertidal zone in summer where the water temperature exceeded 40°C and they were cultured at 15, 25, 30 and 35°C for two months. The growth rate was highest at 30°C. The optimum temperature for photosynthesis was 35°C in the frond grown at 35°C, while it was slightly higher than 30°C in that grown at 15°C, and was intermediate in those grown at 25 and 30°C. The maximum photosynthetic rate was observed in the frond grown at 35°C, and it was about three times higher than that observed in the frond grown at 15°C.

The heat resistance, however, apparently decreased in the frond grown at 15°C. Its photosynthetic activity was completely lost with one hour exposure at 40°C and could not be restored with incubation at 30°C, but the frond grown at 35°C retained its photosynthetic activity under the same condition. The fronds grown at 25 and 30°C lost their photosynthetic activity to some extent with one hour exposure at 40°C, but they could recover their activity with incubation at 30°C.

These results indicate that *Cladophora rudolphiana* is a species which is well adapted to high temperatures.

*Key Index Words*: *Cladophora rudolphiana*; heat resistance; photosynthesis; Pro-ductmeter; seaweed; temperature; tide pool.

Photosynthesis-temperature relationships in photosynthetic organisms are considered to be closely related to the temperature regimes of their habitats. YOKOHAMA and his colleagues confirmed this hypothesis for many seaweeds by comparing the photosynthetic characteristics of their fronds collected from different habitats or in different seasons (YOKOHAMA 1971, 1973, HATA and YOKOHAMA 1976, MIZUSAWA *et al.* 1978).

There seemed to be a general tendency for

algal species distributed in the warmer sea area or found in summer, to be more heat resistant than those distributed in the colder sea area or found in seasons other than summer. Physiological differences found among the fronds collected from natural habitats, however, cannot be considered as purely genetic, since the characteristics of an organism are variable and are affected by environmental factors. Therefore, a genetic character of a species should be determined by comparing the physiological characteristics of the same species from different environments.

\* Contribution from the Shimoda Marine Research Center, No. 456.

The present study was planned to compare the photosynthesis-temperature relationships in the fronds of a seaweed cultured at different temperatures. The species used as the material was *Cladophora rudolphiana*, which seems to be extremely heat resistant because it is abundant in tide pools at the higher intertidal zone in summer, where the water temperature often exceeds 40°C.

### Materials and Methods

The algal fronds were collected in July, 1983, from a tide pool at the higher intertidal zone in Nabeta Bay near the Shimoda Marine Research Center, the University of Tsukuba. The fronds were cultured in 90 × 100 mm culture dish containing 400 ml sterilized Jamarin artificial seawater, Jamarin Laboratory Co. Ltd., Osaka, at 30°C for three months to increase the fronds, and then at 15, 25, 30 and 35°C for two months under a light intensity of 7 klux provided with 12:12 hr L:D cycles by white fluorescent light. The seawater was replaced every seven days during culture.

Growth rate of the alga was estimated from increment in fresh weight every week. Prior to the measurement of fresh weight, the algal fronds were transferred to centrifuge tubes into which cotton wool was packed, and the residual seawater was removed by centrifugation.

The rate of algal photosynthesis and respiration were measured with a Productmeter, a differential gas-volumeter, devised by YOKOHAMA and ICHIMURA (1969) and subsequently improved by YOKOHAMA *et al.* (1985). The reaction and compensation vessels were of Warburg type and of about 40 ml capacity. About 0.3 g fresh weight of frond was placed in the reaction vessel with 10 ml of the artificial seawater. When the photosynthetic rate was measured, the frond was irradiated with light of 30 klux, regarded to be sufficiently intense to saturate the photosynthesis of the frond under ordinary conditions.

### Results

Table 1 shows the growth rates of the fronds of *Cladophora rudolphiana* at different temperatures. They were examined during the last one month in the culture period of two months. The growth rate was highest at 30°C among the temperatures examined.

After the fronds had been cultured at various temperatures for two months, photosynthesis-temperature relationships were determined in each frond. Fig. 1 shows the net photosynthesis- and respiration-temperature curves obtained from the fronds grown at 15, 25, 30 and 35°C. As can be seen in the figure, the photosynthetic property of this alga was changed slightly by the growth temperature. The optimum temperature for photosynthesis was 35°C in the frond grown at 35°C, while it was a little higher than 30°C in the frond grown at 15°C. The optimum temperatures in the fronds grown at 25 and 30°C seemed to be intermediate. The maximum photosynthetic rate increased with increase in growth temperature within the range examined (15–35°C). That rate of the frond grown at 35°C was about three times higher than that of the frond grown at 15°C.

Heat resistance was apparently different among the fronds cultured at different temperatures. The frond grown at 15°C lost not only photosynthetic activity but also respiratory activity with exposure at 40°C for several minutes, while the fronds grown at

Table 1. Growth rates of the fronds of *Cladophora rudolphiana* during culture at 15, 25, 30 and 35°C in an artificial seawater, Jamarin S, under a light intensity of 7 klux provided with 12:12 hr L:D cycles by white fluorescent light.

Growth temperature (°C)	Percent increase in fresh weight per month (%)
15	175
25	280
30	470
35	200

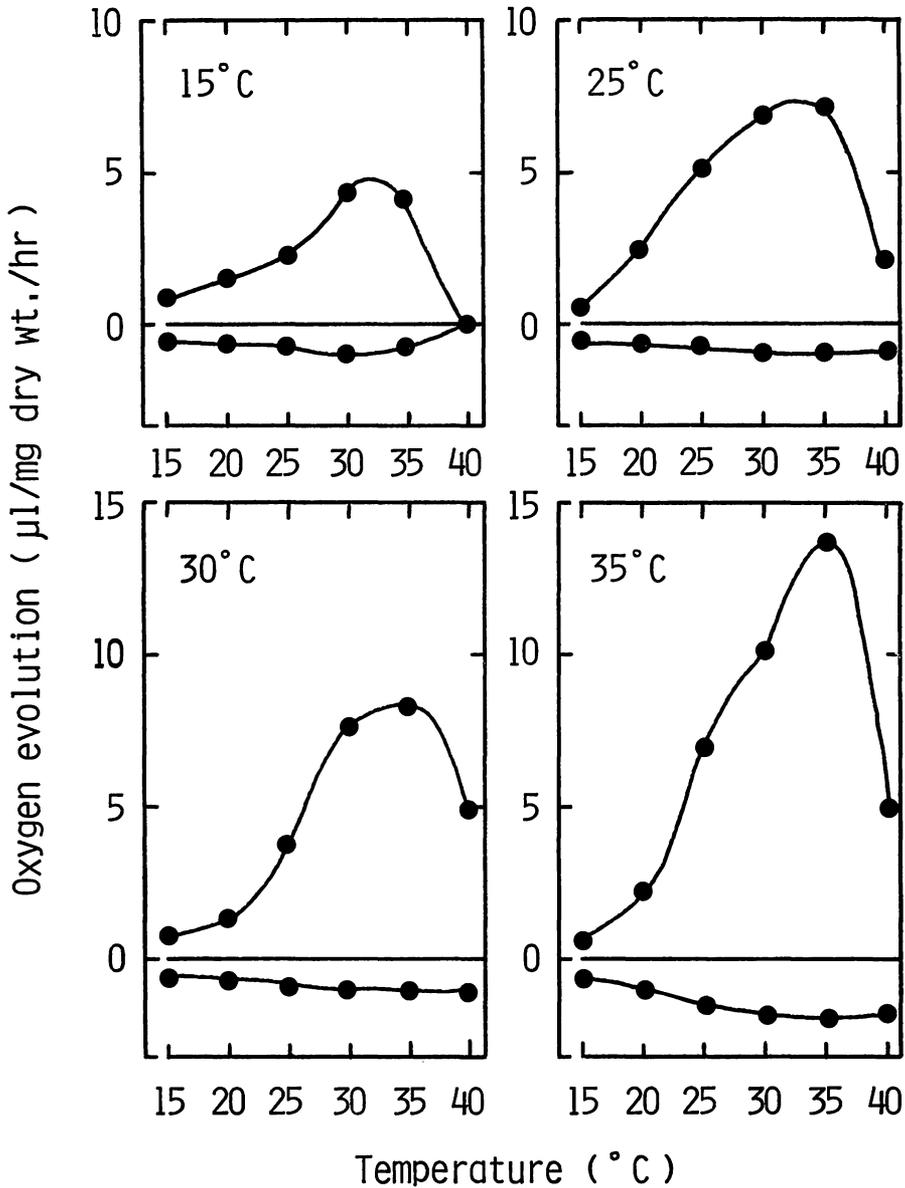


Fig. 1. Net photosynthesis- and respiration-temperature curves in the fronds cultured at 15, 25, 30 and 35°C. Light intensity was 30 klux.

25, 30 and 35°C retained both activities under the same heat exposure (Fig. 1). The photosynthetic machinery of the fronds grown at 25 and 30°C seemed, however, to be more or less injured at 40°C. Restoration of the photosynthetic activity after exposure at 40°C for one hour was examined at 30°C for each frond. As shown in Fig. 2, neither the photosynthetic nor respiratory activity

of the frond grown at 15°C was recovered, while the photosynthetic activities of the fronds grown at 25 and 30°C were completely recovered after 20 hr and 3 hr, respectively.

#### Discussion

From the result that the growth rate of

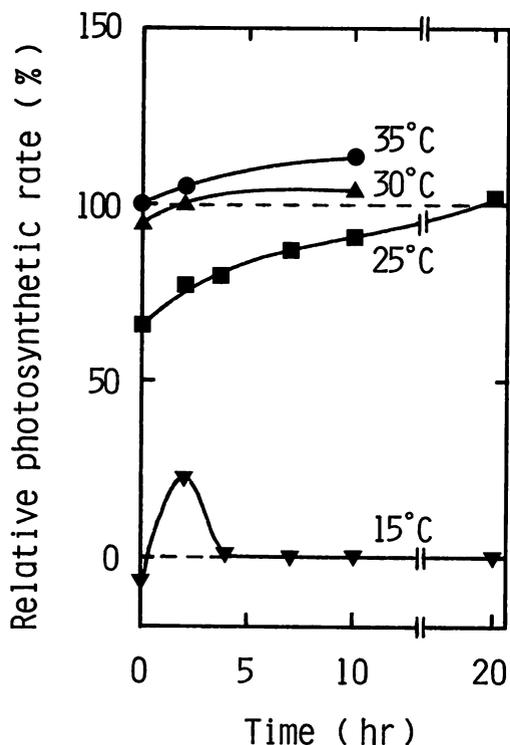


Fig. 2. Time courses of restoration of photosynthetic activity of the fronds at 30°C after they were exposed at 40°C for one hour. The temperatures in the figure are those at which each frond was cultured. 100% represents the photosynthetic rate in each frond before the heat treatment.

*Cladophora rudolphiana* was highest at 30°C among the temperatures examined, this alga can be regarded as a species which is well adapted to a high temperature. Actually this alga is abundant in summer in tide pools where the water temperature often exceeds 40°C.

It is remarkable that the optimum temperature for photosynthesis was higher than 30°C even in the frond of this alga grown at 15°C, while it was reported to be about 15°C in most of green algae collected from the other habitats in Nabeta Bay in winter where the water temperature was about 15°C (YOKOHAMA 1971, 1973). The adaptive property to a high temperature in this alga is also indicated by the result that the maximum photosynthetic rate in the frond grown

at 35°C was about three times higher than that in the frond grown at 15°C.

The variation in the optimum temperature for photosynthesis was rather small among the fronds grown at different temperatures. Even between the fronds grown at 15°C and 35°C, the difference in the optimum temperature was only a few degrees Celsius. On the contrary, the heat resistance varied remarkably among those fronds. The frond grown at 15°C completely lost not only the photosynthetic activity but also respiratory activity with exposure at 40°C for one hour. However, the photosynthetic activity of the frond grown at 35°C was not affected with the same heat exposure at all.

The shift in the optimum temperature for photosynthesis and the variation in heat resistance according to difference in growth temperature, seem to be caused by different mechanisms. The former is likely to be caused by modification of the enzymic systems in the dark reaction of photosynthesis, and the latter is likely to be closely related to the change in fatty acid composition of lipids or lipid phases of membranes (cf. SATO and MURATA 1980, MURATA *et al.* 1984).

### Acknowledgment

The authors express their deep gratitude to Prof. Y. SAKAI of the Institute of Algological Research, Faculty of Science, Hokkaido University for his kind identification of the material.

### References

- HATA, M. and YOKOHAMA, Y. 1976. Photosynthesis-temperature relationships in seaweeds and their seasonal changes in the colder region of Japan. *Bull. Jap. Soc. Phycol.* 24: 1-7.
- MIZUSAWA, M., KAGEYAMA, A. and YOKOHAMA, Y. 1978. Physiology of benthic algae in tide pools I. Photosynthesis-temperature relationships in summer. *Jap. J. Phycol.* 26: 109-114.
- MURATA, N., WADA, H. and HIRASAWA, R. 1984. Reversible and irreversible inactivation of photosynthesis in relation to the lipid phases of membranes in the blue-green algae (Cyano-

- bacteria) *Anacystis nidulans* and *Anabaena variabilis*. Plant and Cell Physiol. 25: 1027-1032.
- SATO, N. and MURATA, N. 1980. Temperature shift induced responses in lipids in the blue-green alga, *Anabaena variabilis*. Biochem. Biophys. Acta 619: 353-366.
- YOKOHAMA, Y. 1971. Photosynthesis-temperature relationships in several benthic marine algae. 286-291. In Proc. 7th Intern. Seaweed Symp.
- 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., KATAYAMA, N. and FURUYA, K. 1985. Improved type of 'Productmeter', a differential gas-volumeter, and its application to measuring photosynthesis of seaweeds. Jap. J. Phycol. 33: 336-341.

片山舒康\*・徳永裕子\*・横浜康継\*\*： タイドプールより得たタマリシオグサ（緑藻）の光合成  
温度特性に及ぼす培養温度の影響

夏季には水温が 40°C を超えることの多い潮干帯上部のタイドプールから、タマリシオグサの藻体を採集した。この藻体を 15, 25, 30, 35°C で培養したところ、30°C で培養したものが最もよく成長した。光合成の最適温度は、35°C で培養した藻体では 35°C であったが、15°C で培養したものでは 30°C よりやや高い温度、25°C と 30°C 培養のものでは、それらの中間であった。最大光合成速度は、35°C 培養の藻体では 15°C 培養のもの約 3 倍であった。これらの結果は、タマリシオグサが高温に適応した種であることを示唆している。

ところが、15°C で培養した藻体の耐熱性は著しく低下していた。15°C 培養の藻体は、40°C では光合成と呼吸のどちらの活性も示さず、40°C に一時間置いたのち 30°C にもどしても活性は回復しなかった。それに対して、25, 30, 35°C で培養した藻体は 40°C でも活性が完全には失われず、30°C にもどした時には活性の回復が認められた。（\*184 小金井市貫井北町 4-1-1, 東京学芸大学生物学教室, \*\*415 静岡県下田市 5-10-1, 筑波大学下田臨海実験センター）

## Typification of *Caloglossa ogasawaraensis* OKAMURA (Ceramiales, Rhodophyta)

Ryozo SETO

Research Institute, Kobe College, Nishinomiya, 662 Japan

*Key Index Words:* *Caloglossa ogasawaraensis*; *Delesseriaceae*; *Rhodophyta*; *typification*.

In the course of my study on the species of the genus *Caloglossa*, it was noticed that the typification of *Caloglossa ogasawaraensis* is necessary to advance the taxonomic knowledge. When OKAMURA (1897) described this species, he mentioned in his protologue that the specimen was collected from Ogasawara-jima (Bonin Islands) by Mr. R. YATABE and was preserved in the Herbarium of the Imperial University of Tokyo. I could not locate in the herbarium of University Museum, University of Tokyo (TI), the specimen clearly indicated as the type of this species. Three sheets of specimens in the *Caloglossa* cover are of later dates and I cannot take them into consideration for typification. However, there is one specimen in the *Delesseria* cover. This specimen (Figs 1, 2) was collected in March 1879 from Ogasawarasima, but has no indication of collector's name. On the label, a name of *Delesseria leprieurii* Mont. was written and also rewritten as *polychotoma* by another hand. My observation on this specimen shows that the arrangement of cells of the leafy branch (Fig. 3) is identical to the figure given by OKAMURA (1897, fig. D). The second order cell rows are consisted of 8-9 cells, each of which gave rise to 3rd order cell rows. Apical cells of these 2nd and 3rd order cell rows attained at the margin. Other features agree quite well with the description of OKAMURA. They are as follows: Leafy branches

are 3-5 mm long, 0.5-0.9 mm wide, attenuated towards both ends, not stipitate and somewhat undulate at the margin. The ramification is dichotomous, but the two arms of the leafy branches are not equal in their size. One arm is often completely suppressed, so that the ramification becomes frequently pseudodichotomous. Secondary proliferated leafy branches are exogenously formed at the node and the internode from the lateral cells of the marginal portion.

Another specimen in the OKAMURA herbarium in SAP (Faculty of Science, Hokkaido University) has some relevance here. This has the label of "Ogasawarasima, March" without the collector's name and year of collection.

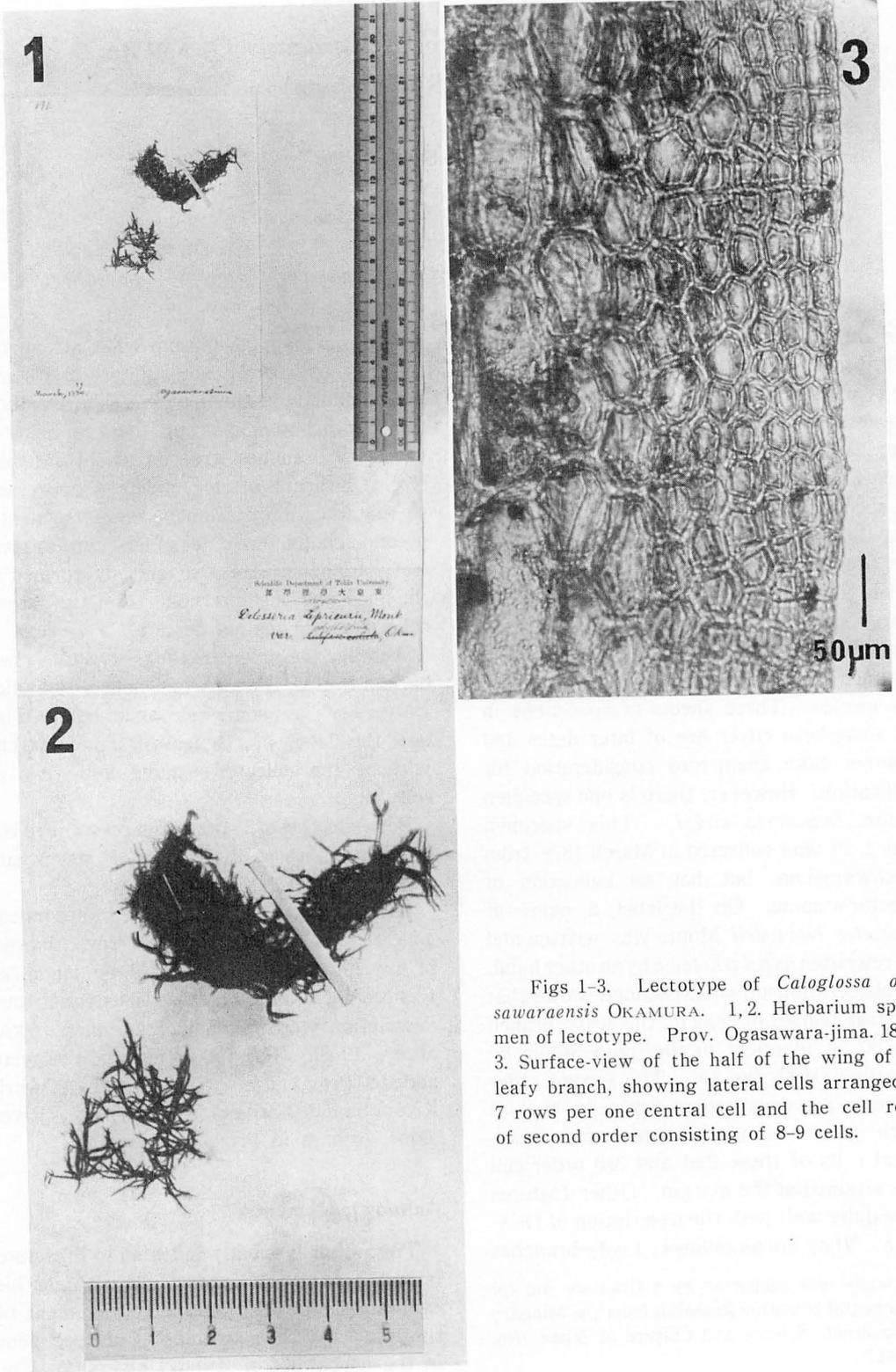
Between these 2 specimens relevant to the typification, those in TI (Fig. 1) seems suitable to be selected as the lectotype.

Later, OKAMURA distributed specimens collected at Koyahagi-gawa, Prov. Mikawa in July 1902 as no. 68 of his *Algae Japonicae Exsiccatae*, Fasc. II. Good illustration and description were given in his *Icones* (OKAMURA, 1908). The following localities were added: Prov. Tosa, Atsuta in Prov. Owari, River Sumida, River Yedo, Tokyo, River Tone, Isohara in Prov. Hitachi.

### Acknowledgements

The author is greatly indebted to Professor Isamu UMEZAKI of Kyoto University for his continuing guidance and encouragement of this study and the examination of specimens in the herbarium of Kyoto University. The

This study was supported by a Grant-in Aid for Fundamental Scientific Research from the Ministry of Education, Science and Culture of Japan (No. 59540444).



Figs 1-3. Lectotype of *Caloglossa ogasawaraensis* OKAMURA. 1, 2. Herbarium specimen of lectotype. Prov. Ogasawara-jima. 1897; 3. Surface-view of the half of the wing of the leafy branch, showing lateral cells arranged in 7 rows per one central cell and the cell rows of second order consisting of 8-9 cells.

author is also grateful to Dr. Tadao YOSHIDA of Hokkaido University for his valuable advice, critical review of this manuscript and the examination of specimens deposited in the SAP and to Dr. Hideaki OHBA of the University of Tokyo for permitting the examination of specimens deposited in the TI.

### References

- OKAMURA, K. 1897. *Caloglossa ogasawaraensis* OKAMURA. On the algae from Ogasawara-jima (Bonin Islands). Bot. Mag. Tokyo 11: 13-14.
- OKAMURA, K. 1908. Icones of Japanese Algae. 1: 183-186. Pl. 37, Figs 1-11. Published by the author, Tokyo, Japan.

### 瀬戸良三: ホソアヤギヌ *Caloglossa ogasawaraensis* OKAMURA (紅藻類, イギス目) の選定タイプ標本の表示について

小笠原島を type locality とするホソアヤギヌ *Caloglossa ogasawaraensis* は世界特に、日本を含む東アジアに広く分布する、淡水および汽水産の紅藻類である。本種の分類学的研究を進めるに当って、そのタイプ標本を求めて調査をしてきたが、タイプ標本であることを示された標本は見あたらなかった。しかし、岡村によって引用されたと考えられる最も有力な標本が、東大資料館 (TI) と北大理学部 (SAP) の「岡村コレクション」の中から見出されたので、さらに慎重に検討した結果、前者の標本が、岡村の protologue に最もよく一致するものであることが判明したので、これをホソアヤギヌ *Caloglossa ogasawaraensis* の選定タイプ標本とした。(662 西宮市岡田山 4-1 神戸女学院大学研究所)

---



---

## 新 刊 紹 介

---



---

Krypto, F. Flück-Wirth: **Special Catalogue No. 7 for Algae, Lichens, Mosses, Ferns.** 320頁, October 1985. 無料。

スイスの書店クリプトからのカタログ。約320頁の大冊で、著者のアルファベット順に、283頁にわたって藻類、地衣類、コケ類、シダ類の文献、約2000が集録されている。そのうち藻類に関するものは、Algae, Chlorophyta, Chrysophyta, Cyanophyta, Diatomeen, Phaeophyta, Rhodophyta などの項目で、巻末に索引が作られているので、これから引くことになるが相当な数に上るものと思われる。単なるカタログとしてだけでなく、藻類についての総合文献目録としても役立つものと思われるので、ここに紹介することにした。無料 (ただし, SFr. 9.00, DM. 10.00 または US-\$ 5.00 の寄附は歓迎) とのことであるから、下記へ請求されるとよい。

宛先 F. Flück-Wirth, Internationale Buchhandlung,  
CH-9053 Teufen, Switzerland.

浜名湖におけるアマモ (*Zostera marina* L.) の生態,  
特に一年生アマモの成立要因<sup>1)</sup>

今尾和正\*・伏見 浩\*\*<sup>2)</sup>

\* (株) 日本海洋生物研究所 (〒142 東京都品川区豊町 4-3-16)

\*\* 静岡県水産試験場 (〒425 静岡県焼津市小川汐入 3690)

IMAO, K. and FUSHIMI, H. 1985. Ecology of the eelgrass (*Zostera marina* L.), especially environmental factors determining the occurrence of annual eelgrass in Lake Hamana-ko. Jap. J. Phycol. 33: 320-327.

The distribution and seasonal changes of the eelgrass (*Zostera marina* L.) in Lake Hamana-ko were investigated. The normal perennial eelgrass was distributed in the southern part of the lake in which salinity was high, while the annual eelgrass was distributed in the northern part of the lake in which salinity was low. Seedlings of the annual eelgrass were found from November to January, and grew rapidly in March. Flowering occurred in April and May, and thereafter mature plants decayed. It was suggested that in Lake Hamana-ko one of the major environmental factors determining occurrence of the annual eelgrass is salinity.

*Key Index Words:* Distribution; ecology; eelgrass; seagrass; *Zostera*.

Kazumasa Imao, Marine Biological Research Institute of Japan, Co., Ltd., 4-3-16, Yutaka-cho, Shinagawa-ku, Tokyo, 142 Japan. Hiroshi Fushimi, Shizuoka Prefecture Fisheries Experiment Station, 3690, Shioiri, Kogawa, Yaizu-shi, Shizuoka, 425 Japan.

浜名湖では、従来、アマモ (*Zostera marina* L.) を「大べら」、コアマモ (*Z. japonica* ASCHERS. & GRAEBN.) を「にらもく」と呼称しており、これらのほかに「春もく」あるいは「やなぎも」と呼ばれる同じヒルムシロ科の植物が知られていた。

低かんの湖央部と入江に分布する「春もく」は3~6月によく繁茂し、7月に入ると枯死して翌春まではほとんど姿を消す(浜名湖水産学術調査団 1959)。松岡(1968)は、「春もく」はアマモの実生で、夏季における湖内環境の悪化とともに枯死するものではないかと考えた。さらに「春もく」は多年生ではないといわれていることや、「もやし」といわれるアマモの発芽

直後のものが秋に湖内を大量に浮漂していることも報告している。

浜名湖のほかに、宮城県万石浦、三重県英虞湾および鹿児島湾で一年生アマモ (annual eelgrass) の存在が報告されている(菊池 1984)。

海外では一年生アマモに関するいくつかの報告がある。KEDDY and PATRIQUIN (1978) はカナダの Nova Scotia で一年生アマモを発見し、その分布、形態および生活史について詳述し、一年生と多年生のアマモの発芽実験を行って遺伝的相違を検討した。このほか多くの研究者 (DEN HARTOG 1973, FELGER and McROY 1975, VERHOEVEN and VAN VIERSSEN 1978, BAYER 1979, DE COCK 1980, 1981a, b, c, GAGNON *et al.* 1980, McMILLAN 1983, PHILLIPS *et al.* 1983) によって一年生アマモやこれに該当すると考えられるアマモが報告され、最近になって注目されるようになった。

著者らは浜名湖における藻場生物群集の調査でアマモに関する新しい知見を得たので、ここでは同湖におけるアマモの分布と季節消長について述べ、さらに一年生アマモの成立要因について考察を行った。

- 1) 本研究の調査費用の一部は昭和54年度浜名湖漁業振興調査費(静岡県農業水産部水産課)による。
- 2) 現住所: (社)日本栽培漁業協会八重山事業場(907-04 沖縄県石垣市桴海大田 148). (Present address: Japan Sea-farming Association Yaeyama Sea-farming Center, 148, Oota, Fukai, Ishigaki-shi, Okinawa, 907-04 Japan)

## 水域の概況と調査方法

## 浜名湖の概況

浜名湖は本州中央部に位置し (34°45'N, 137°35'E)、面積 69 km<sup>2</sup>、周囲 103 km の塩水湖である。湖口は幅 200 m の今切口で遠州灘と通じている。Fig. 1 に示す通り複雑な形状の湖で、庄内湖をはじめとする数個の付属湖がある。湖口に近い湖南部と庄内湖は極めて浅く、湖北部は深くなる。浜名湖の最深部は水深 16 m で、湖奥部の付属湖の最大水深は 7 m ないし 10 m である。湖心の水深 10 m 層の塩素量は 1951~1952年に 10~13‰であったが、湖口の固定化工事のため1953年から上昇しはじめ、1964年には16~17‰になった(阿井 1968)。

## 調査方法

**アマモ:** 浜名湖全域におけるアマモの分布の概況を把握するため、1980年4月中旬と5月中旬に目視と音響測深機による調査を実施した。

1979年7月から1980年11月まで毎月1回アマモを採取した。採取地点は一年生アマモの密生域である Stn. A (水深 3.5 m), Stn. B (同 3.0 m), Stn. C (同 3.0 m) と多年生アマモの繁茂地である Stn. D (水深 1.5 m) の4点 (Fig. 1) である。採取は、スキューバ潜水

により 50 cm×50 cm の方形枠を設置し、枠内のアマモを地下茎ごと手で掘り出す方法で行った。採取したアマモは約10%のホルマリン海水で固定した後、実験室での測定に供した。すなわち、1植物体ごとに地上部の長さ(草長:ここでは地上茎に一番近いヒゲ根を出している節から最も長い葉の先端まで)を測定し、さらに、各地点ごとに全植物体を地上部の最下部から 10 cm ごとに切断し、各々の乾重量を測定した。これを層別現存量と呼ぶことにする。なお、乾重量は、植物体をあらかじめ十分風乾したのち、80°C で100分間熱風乾燥してから求めた。

**環境:** アマモの採取と併せてスミス・マッキンタイヤー型採泥器(採取面積 0.05 m<sup>2</sup>)を用いて底泥を採取し、粒度組成、強熱減量(600±25°C 恒量)および全硫化物(検知管法)を測定した。

静岡県水産試験場浜名湖分場により毎月1回行われている定点観測の結果のうち、水温と塩素量について、1973年から1983年までの値を用いて各定点における水深 2 m 層の平均値を算出した。この定点観測では浜名湖全域にわたり12の定点がある。本報告では湖南部 (Stn. 3, 4)、鷺津湾 (Stn. 12)、松見ヶ浦 (Stn. 11)、湖央部 (Stn. 5, 6)、猪鼻湖 (Stn. 10) および細江湖 (Stn. 9) の8定点 (Fig. 1) の観測値を用いた。これらのうち、Stn. 12 はアマモ採取地点の Stn. B とほぼ一致し、Stn. 4 は Stn. D の東側に位置している。

## 結果

**分布:** アマモの分布域を Fig. 2 に示した。これ以外の場所ではアマモはあっても点生程度であり、特に湖口部、庄内湖および村櫛半島西岸南部にはほとんど分布していないらしい。Stn. D 付近を含む湖南部に分布するアマモは、「大べら」すなわち多年生アマモであった。鷺津地先とそれより北に分布するアマモはいわゆる「春もく」であった。「春もく」の密生群落は鷺津、佐久米の地先にみられた。細江湖、猪鼻湖には密生群落はあまりみられなかった。「大べら」と「春もく」の両者が混在する場所はみつからなかった。

分布水深は「大べら」では約 1.5 m であったが、この水域では水深自体が 2 m を超えない。「春もく」の分布水深は低潮面下約 1~5 m で、最も繁茂するのは 2~3 m であった。

**形態:** Stn. D 付近にみられるアマモはごく普通にみられる形態である。生殖枝 (generative shoot) は少く、開花結実期の4月における栄養枝 (vegetative

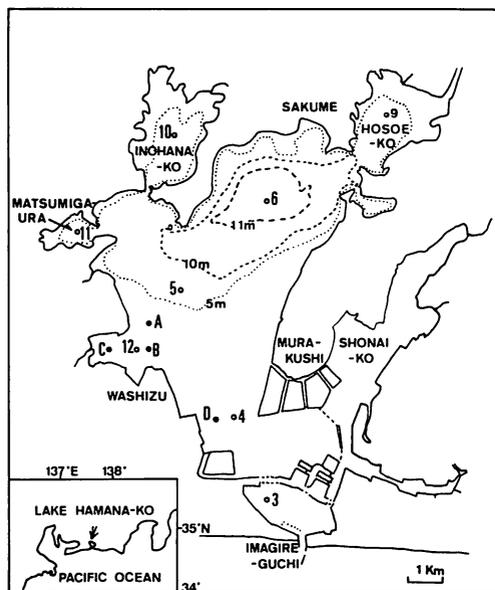


Fig. 1. Map showing locations of Lake Hamana-ko and the sampling stations. The eelgrass was studied at Stns. A-D. Water temperature and chlorinity were measured at numbered stations.



Fig. 2. Distribution of the eelgrass (shaded areas) in Lake Hamana-ko.

shoot) と生殖枝の数の比は 4.1 : 1 であった。

鷺津以北にみられる「春もく」の地下茎は短く、ほ

とんどない場合もあり、長くても 5 cm 程度であった。葉鞘は合一で、葉幅は 2~5 mm であり、葉脈は発芽直後のものでは 3 であるが後に 5 となる。花序に被鱗はなく、種子は長だ円形で縦に明らかなすじがあり、*Z. marina* L. と考えられる。「春もく」の成体には、多くの場合生殖枝しかみられなかったが、まれに Fig. 3 のような栄養枝を出している株もみられた。KEDDY and PATRIQUIN (1978) は、一年生アマモの成体は多年生アマモの生殖枝の形態と区別することはできない、と述べているが、「春もく」の場合も同じことが言える。「春もく」の成体の草長は多年生アマモより長く、最大のもは 290 cm に達した。

季節変化：各地点から採取されたアマモ地上部の現存量 (50 cm × 50 cm 当り) および平均草長の季節変化をそれぞれ Fig. 4 と Fig. 5 に、層別現存量を Fig. 6 に示す。Stn. D の「大べら」すなわち多年生アマモでは、4 月に現存量 (67.6 g (d. w.)/0.25 m<sup>2</sup>) と草長 (平均 99.5 cm) が最大となり、最小となるのは 9・10 月ごろのようである。開花・結実期は 4 月ごろである。4 月には生殖枝が形成されるため、層別現存量の形状はピラミッド状でなくなる。

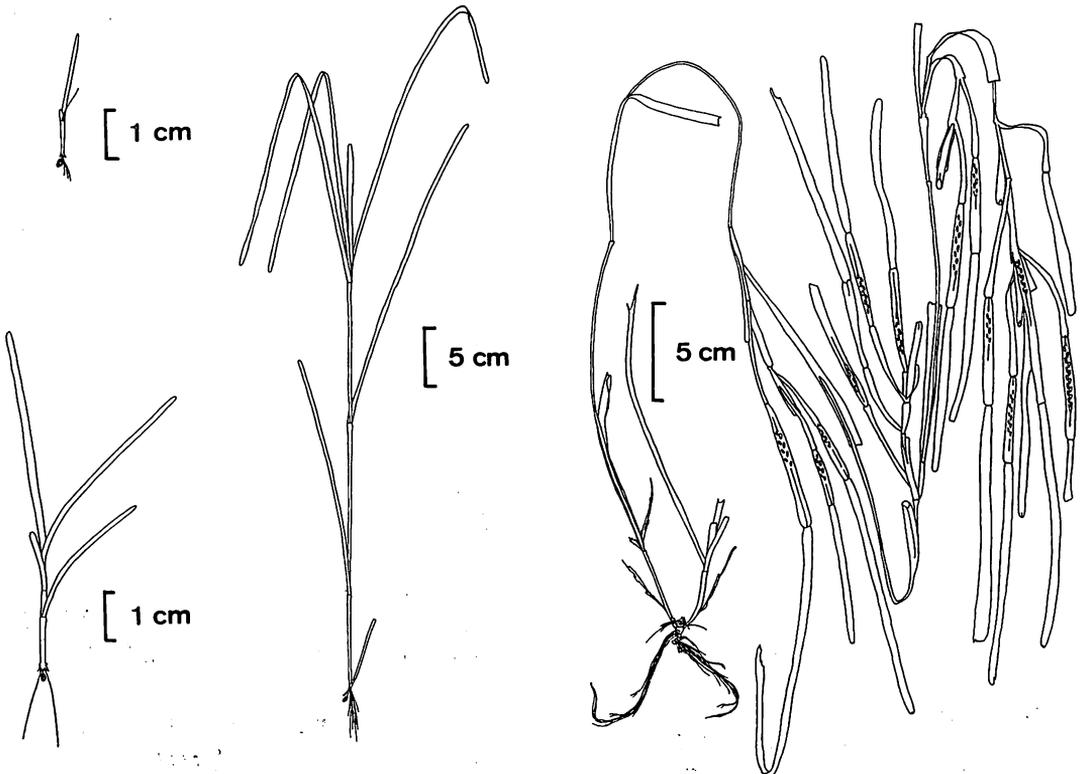


Fig. 3. Drawings of the annual eelgrass.

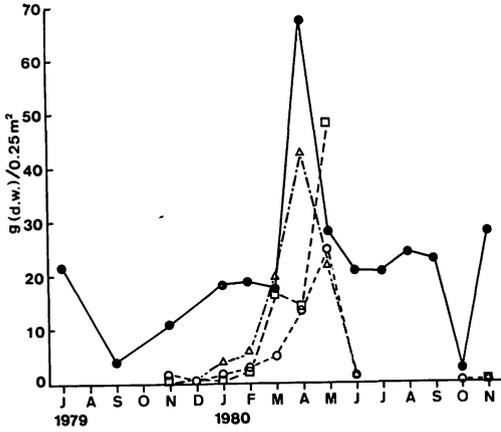


Fig. 4. Seasonal changes in the aboveground standing crop ( $g(d.w.)/0.25m^2$ ) of the eelgrass. ○, Stn. A; △, Stn. B; □, Stn. C; ●, Stn. D.

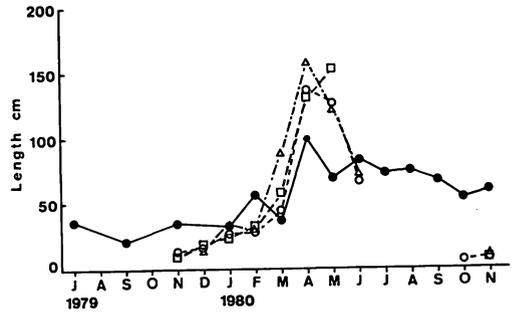


Fig. 5. Seasonal changes in mean total length of the eelgrass. ○, Stn. A; △, Stn. B; □, Stn. C; ●, Stn. D.

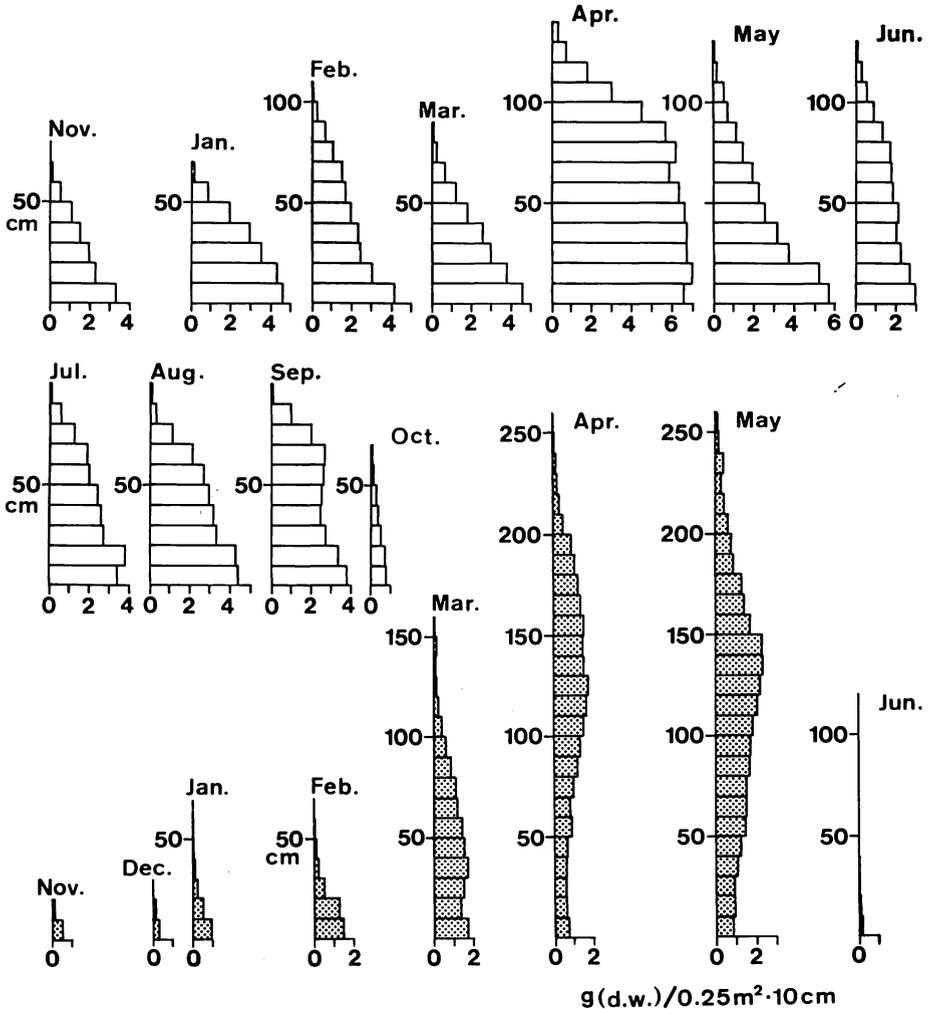


Fig. 6. Biomass diagrams of the eelgrass ( $g(d.w.)/0.25m^2 \cdot 10cm$ ). Shaded diagrams show mean values of the annual eelgrass, and open diagrams those of the perennial eelgrass at Stn. D.

Stn. A, B, C では11・12月ごろに発芽体がみられ、これは2・3月に急速に成長する。4・5月には開花・結実して、現存量、草長とも最大となり、その直後流失し、夏季(7~9月)には定着草体を見ることがない。4・5月には、開花・結実のために層別現存量は100~150 cmの層で最大となる。「春もく」は草体が越冬することがないので一年生アマモである。

環境: 静岡県水産試験場浜名湖分場による水温、塩素量の定点観測結果を検討すると、浜名湖はきわめて特徴的なくつかの水域の組合せであることがわかる。水深2 m層のT-ClダイアグラムをFig. 7に示す。これをみると、湖口から湖奥に進むに従って外海水の影響は小さくなるが、湖中央部では水温も塩素量も似た値となっている。湖奥部の細江湖や猪鼻湖を除き、湖中央部とその周縁(鷲津湾、松見ヶ浦)はひとつのまとまった水域とみなせる。

Stn. 4と湖中央部4点との間には季節を問わず塩素量に大きな差がみられた。湖中央部の塩素量は4~9月に低く、特に7, 8, 9月には14‰前後であった。細江湖(Stn. 9)や猪鼻湖(Stn. 10)の塩素量はさらに低

い。Stn. 4付近には多年生アマモが分布し、塩素量が低い湖中央部周縁や付属湖には一年生アマモが分布している。このように、低塩分の水域と一年生アマモの分布域とは極めてよく一致している。

冬季1, 2月の水温は、Stn. 4と湖中央部、付属湖との間に約5°Cの差があった。夏季には両者の間には小差が認められるだけであったが、Stn. 4の水温は7月で27.0°C、8月で26.9°Cであるのに対して、湖中央部や付属湖では7, 8月に27°Cを超えている。これは考察でふれるが注目すべき点であろう。開花・結実期の4, 5月の水温にはStn. 4と湖中央部・付属湖との間にほとんど差がなく、4月で約15°C、5月で約20°Cであった。

底質の強熱減量と全硫化物の測定結果をTable 1に示す。強熱減量の値はStn. Cで高いが、多年生アマモの繁茂地であるStn. Dでも特に低い値ではなかった。全硫化物はStn. Dで低い値であった。粒度組成は、Stn. Dでは粒径0.074 mm以下の占める割合がやや少いが、Stn. Aとそれほどかけはなれた数値ではなかった(Table 2)。

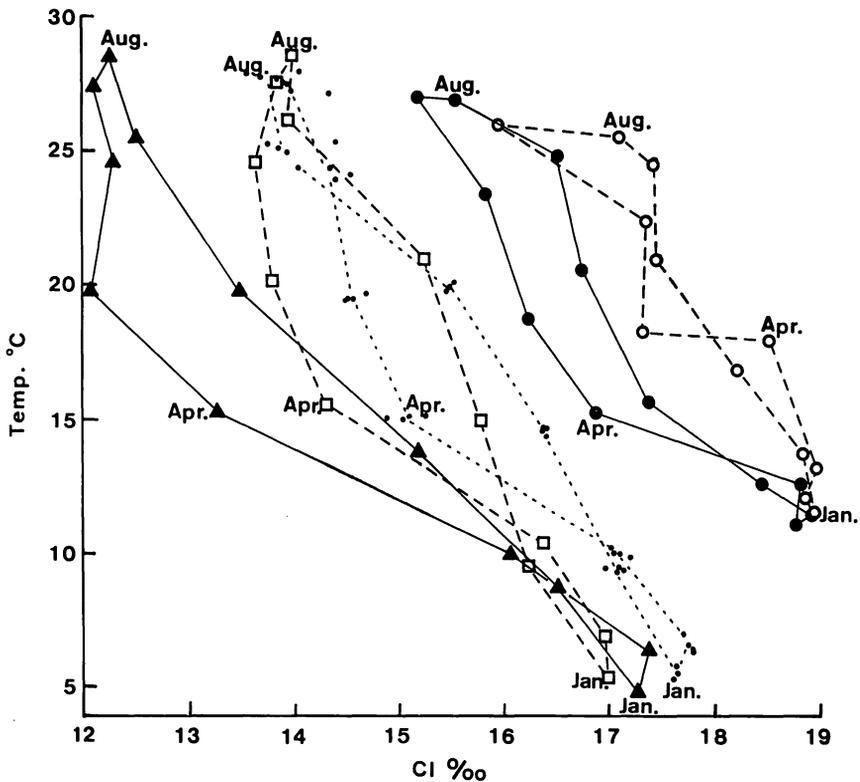


Fig. 7. T-Cl diagrams for the means from 1979 to 1983 at 2 m depth. ○, Stn. 3; ●, Stn. 4; •, Stns. 5, 6, 11, 12; □, Stn. 9; ▲, Stn. 10.

Table 1. Ignition loss (I.L.) and total sulfide (T-S) of the sediment (July 1979-July 1980).

Station	I.L. (%)	T-S (mg/g(d. w.))
A	3.84±1.74	0.38±0.28
B	5.46±2.15	0.53±0.41
C	13.99±1.75	2.10±1.53
D	3.57±1.78	0.08±0.12

Table 2. Particle size distribution (%) of the sediment (mean for July 1979-July 1980).

Station	Particle size (mm)						
	2.0	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074	<0.074
A	0.20	0.96	1.20	6.36	67.82	3.68	19.78
B	0.00	1.27	0.95	8.00	36.56	7.58	45.65
C	0.00	0.05	0.20	0.57	4.81	1.75	92.62
D	0.00	1.32	2.72	18.90	56.58	5.86	14.61

## 考 察

アマモは、その種子が発芽して開花するまでの過程に基づいて、これまでの報告から一応次の三つの型に分けることができる。

第1は、発芽後1年未満は栄養枝だけが発達して生殖枝を形成せず、2年目またはそれ以降に開花する型 (SETCHELL 1929, 川崎ら 1984) である。

第2は、発芽後1年を経ずして開花・結実し、栄養枝も出して越年する型 (MIKI 1933) である。ただし、MIKI (1933) は実生で開花して栄養枝を有する株のほかに、生殖枝だけからなる株 (5月25日採取) の写真も示している。種子は7月中旬に成熟すると記されていることから、全部の株が越年するとは考えにくい。栄養枝が残存し越年する株と、結実後全体が流失してしまう株とが混生していた可能性もあると考えられる。

第3は、発芽後1年未満で生殖枝を発達させて開花・結実し、草体は越年することなくすべて流失してしまう型 (KEDDY and PATRIQUIN 1978), すなわち一年生アマモである。

浜名湖の「春もく」は、これら三つの型のうちで、第3のものに該当する。しかし、KEDDY and PATRIQUIN (1978) は一年生アマモがまったく栄養枝を形成しないと述べている。栄養枝をまったく形成しないことは、栄養繁殖を行うことがないという点で、典型的な一年生アマモと言える。「春もく」は、生殖枝と

もにまれに栄養枝をもつことがある点で KEDDY and PATRIQUIN (1978) の報告とは少し異っている。

一年生アマモが成立するためには次のような条件が必要である。第1には、栄養繁殖を絶つ要因が存在することである。次に、この第1の条件と密接に関係するが、生殖枝を形成する割合が高くなる条件の存在である。第3に、発芽や幼芽の生育にとって好都合な条件の存在である。これらのうち第1の条件がなければ一年生アマモばかりの群落は生じない。

一年生アマモの成立要因は、これまでにもいくつか挙げられてきた。KEDDY and PATRIQUIN (1978) は、夏季の日射や冬季の氷あるいは霜が多年生アマモの成立を抑制していると述べているが、これらは浜名湖にはあてはまらない。

AIOI (1980) は、底質と多年生アマモの地下茎との関係について、泥底ほど地下茎の発達が悪いと述べている。浜名湖の一年生アマモの地下茎は極めて短い。多年生アマモが繁茂する Stn. D では、全硫化物は他の地点より少なかったが、粒度組成には他の地点とそれほど顕著な差を見出すことはできなかった。

一年生アマモは、文献にあらわれたほとんどの場合、低塩分になりやすい所 (塩沼特に潮間帯) にみられている。塩素量の年平均値が 14‰ であったオランダの例 (VERHOEVEN and VAN VIERSSEN 1978) をはじめ、塩分の値は示されていないが低かんであるかと考

えられる例 (KEDDY and PATRIQUIN 1978, GAGNON *et al.* 1980, PHILLIPS *et al.* 1983) は比較的多い。

ヨーロッパの大西洋沿岸の汽水性の内海 (brackish inland waters) のアマモは一年生植物であるという (JACOBS 1982)。また、低塩分はアマモの発芽や幼芽の生育にとって、多くの場合好都合である (新崎, 1950b, 幡手ら 1974, PHILLIPS *et al.* 1983)。

しかし、北米のアマモの分布域の南限であるカリフォルニア湾は高塩分と夏季の高水温 (27~32°C) で特徴づけられ、潮下帯に一年生アマモだけが生育する (PHILLIPS *et al.* 1983)。このカリフォルニア湾のアマモでは、発芽率は高塩分でも抑制されず (McMILLAN 1983, PHILLIPS *et al.* 1983)、むしろ高水温で抑制された (McMILLAN 1983)。分布域の高温限界付近では、水温が一年生アマモの主要な成立要因となっているのかもしれない。MIKI (1933) は日本の *Zostera* 属の地理的分布について述べているが、その中で外海の水温と *Zostera* 属の分布を図示し、夏季8月の表層水温 27°C の線がアマモの分布の南限になっているとした。しかし、8月の水温が 30°C をこえる内湾にも多年生アマモが繁茂することを新崎 (1950a) は報じている。そこでは実生の5%位が花枝を形成する (新崎 1950b)。

浜名湖では、一年生アマモの分布域と夏季の塩素量 14‰前後の低塩分域とはよく一致していた。従って、低塩分が浜名湖の一年生アマモの成立を支配する主要因と考えられる。この低塩分域の水温は、夏季に MIKI (1933) が指摘した 27°C を上回っており、水温と一年生アマモの成立との関係も無視できない。しかし、一年生アマモの出現に対する塩分や水温の作用機序は今後に残された課題である。

## 謝 辞

本研究における解析とまとめについて御指導いただき、特に一年生アマモの成立条件と海況分析にヒントを与えられた東京水産大学名誉教授片田実先生に深甚なる謝意を表す。また、現地調査や資料の収集に便宜をはかれた静岡県水産試験場浜名湖分場長(当時)阿井敏夫氏をはじめ職員各位に厚く感謝する。試料の採取、測定に協力された(株)日本海洋生物研究所の中根徹氏をはじめ職員各位に御礼申し上げる。

## 引用文献

- 阿井敏夫 1968. 塩素量の変動からみた浜名湖の性状について。水産土木 5: 37-41.
- AIOI, K. 1980. Seasonal change in the standing crop of eelgrass, *Zostera marina* L., in Odawa Bay, central Japan. Aquat. Bot. 8: 343-354.
- 新崎盛敏 1950a. アマモ, コアマモの生態 (I)。日水誌 15: 567-572.
- 新崎盛敏 1950b. アマモ, コアマモの生態 (II)。日水誌 16: 70-76.
- BAYER, R. D. 1979.\* Intertidal zonation of *Zostera marina* in the Yaquina Estuary, Oregon. Syesis 12: 147-154.
- DE COCK, A. W. A. M. 1980. Flowering, pollination and fruiting in *Zostera marina* L. Aquat. Bot. 9: 201-220.
- DE COCK, A. W. A. M. 1981a. Development of the flowering shoot of *Zostera marina* L. under controlled conditions in comparison to the development in two different natural habitats in The Netherlands. Aquat. Bot. 10: 99-113.
- DE COCK, A. W. A. M. 1981b. Influence of light and dark on flowering in *Zostera marina* L. under laboratory conditions. Aquat. Bot. 10: 115-123.
- DE COCK, A. W. A. M. 1981c. Influence of temperature and variations in temperature on flowering in *Zostera marina* L. under laboratory conditions. Aquat. Bot. 10: 125-131.
- DEN HARTOG, C. 1973. The dynamic aspect in the ecology of sea-grass communities. Thalassia Jugosl. 7: 101-112.
- FELGER, R. and McROY, C. P. 1975. Seagrasses as potential food plants. p. 62-68. In G. F. SOMERS [ed.] Seed-bearing Halophytes as Food Plants. Proc. Univ. Delaware, June 1974, Univ. Delaware, Newark, DE.
- GAGNON, P. S., VADAS, R. L., BURDICK, D. B. and MAY, B. 1980. Genetic identity of annual and perennial forms of *Zostera marina* L. Aquat. Bot. 8: 157-162.
- 幡手格一・上城義信・小川和敏・国武和人 1974. アマモの増殖に関する研究—I, 種子の採取とその発芽および生長について。栽培技研 3: 123-131.
- JACOBS, R. P. W. M. 1982. Reproductive strategies of two seagrass species (*Zostera marina* and *Z. noltii*) along west European coasts. p. 150-155. In J. J. SYMOENS, S. S. HOOPER and P. COMPÈRE [ed.] Studies on Aquatic Vascular Plants. Royal Bot. Soc. Belgium, Brussels.
- 川崎保夫・飯塚貞二・後藤 弘・寺脇利信・佐伯 功・平間賢一・菊池弘太郎 1984. 小田和湾におけるアマモの季節的消長。日本水産学会春季大会講演要旨集。

- KEDDY, C. J. and PATRIQUIN, D. G. 1978. An annual form of eelgrass in Nova Scotia. *Aquat. Bot.* 5: 163-170.
- 菊池泰二 1984. アマモの生態. p. 53-56. 文部省特定研究「海洋生物過程」成果編集委員会編, 海洋の生物過程.
- 松岡玳良 1968. 藻場の分布と棲息水族. 静岡県水産試験場浜名湖分場試験報告書 42: 153-158.
- McMILLAN, C. 1983. Seed germination for an annual form of *Zostera marina* from the Sea of Cortez, Mexico. *Aquat. Bot.* 16: 105-110.
- MIKI, S. 1933. On the sea-grasses in Japan (I), *Zostera* and *Phyllospadix*, with special reference to morphological and ecological characters. *Bot. Mag. Tokyo* 47: 842-862.
- PHILLIPS, R. C., GRANT, W. S. and McROY, C. P. 1983. Reproductive strategies of eelgrass (*Zostera marina* L.). *Aquat. Bot.* 16: 1-20.
- SETCHELL, W. A. 1929. Morphological and phenological notes on *Zostera marina* L. *Univ. Calif. Publ. Bot.* 14: 389-452.
- 浜名湖水産学術調査団 1959. 浜名湖水産学術調査報告. 静岡県.
- VERHOEVEN, J. T. A. and VAN VIERSSEN, W. 1978. Distribution and structure of communities dominated by *Ruppia*, *Zostera* and *Potamogeton* species in the inland waters of 'De Bol', Texel, The Netherlands. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 6: 417-428.

\* PHILLIPS *et al.* (1983) から再引用.

#### 第16回太平洋学術会議のお知らせ

第16回太平洋学術会議 (XVI th Pacific Science Congress) が1987年8月20~30日に大韓民国のソウル市で開催される。

会議は "New Dimensions of Science, Manpower and Resources in the Pacific" をメインテーマとし, 次のような3つのシンポジウムおよび専門別15のセッションで講演が行われる予定である。

シンポジウム:

1. Development of Science and Technology for the Pacific Countries
2. Population and Food for the Pacific Basin
3. Perspectives on the Major Resources of the Pacific Region

各セッション:

- A. Ecology, Conservation and Environmental Protection
- B. Solid Earth Sciences
- C. Geography
- D. Museum and Similar Institutions
- E. Marine Science

- F. Coral-Reefs
- G. Botany
- H. Forestry
- I. Freshwater Science
- J. Entomology
- K. Social Sciences and Humanities
- L. Economics
- M. Public Health and Medical Sciences
- N. Nutrition
- O. Science Communication and Education

この会議への参加および講演申し込み, 詳しい日程, 宿泊等に関しては2ndサーキュラーに掲載の予定なので, 2ndサーキュラー入手希望者は, 下記に申し込むこと。

Prof. Choon Ho Park  
Secretary-General  
Organizing Committee  
XVI Pacific Science Congress  
K.P.O. Box 1008  
Seoul 110, Korea

総説

藻類の石灰化機構

岡崎恵視・古谷庫造

東京学芸大学生物学教室 (〒184 小金井市貫井北町 4-1-1)

OKAZAKI, M. and FURUYA, K. 1985. Mechanisms in algal calcification. Jap. J. Phycol. 33: 328-344.

Calcium carbonate deposition in the Haptophyta, Chlorophyta, Rhodophyta, Phaeophyta and Charophyta is described from several points of view. Anatomical studies of many calcareous marine algae have shown that calcification is initiated intracellularly (coccolithophorids) or in a semi-enclosed space, i. e. in the intercellular space (*Halimeda*, Corallinaceae, *Galaxaura*, *Liagora* and *Padina*) or in a thickened cell wall (*Acetabularia*). A carbonic ion-concentrating system is coupled with photosynthetic CO<sub>2</sub> fixation. An increase in pH of the semi-enclosed medium is caused by photosynthesis, resulting in the formation of carbonic ions from bicarbonate ions. Calcifications of *Halimeda* and *Chara*, and possibly of most other algae depend on this process. A calcium-transport system is expected to occur especially in intracellular calcification such as coccolith formation (coccolithophorids), but no Mg<sup>2+</sup>-Ca<sup>2+</sup>-ATPase (Ca<sup>2+</sup>-pump) has been found in calcareous algae including coccolithophorids. Calcium-binding substances such as acid polysaccharides in the intercellular space or cell wall seem to play an important role in the polymorphism of the CaCO<sub>3</sub> deposited. A coccolith-polysaccharide of coccolithophorids and alginic acid of Corallinaceae may form calcite characteristic of these algae in spite of the presence of Mg<sup>2+</sup> in the medium. However, the aragonite-inducing property of Mg<sup>2+</sup> predominates in aragonite-depositing marine algae (*Halimeda*, *Acetabularia*, *Galaxaura*, *Liagora* and *Padina*).

*Key Index Words:* Acetabularia; algae; calcification; calcium carbonate; Chara; coccolithophorids; Corallinaceae; Galaxaura; Halimeda; Liagora; Padina.  
Megumi Okazaki and Kurazo Furuya, Department of Biology, Tokyo Gakuzei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo, 184 Japan.

藻類のなかで藻体に多量の CaCO<sub>3</sub> を沈着する藻は、総称して石灰藻 (Calcareous algae) と呼ばれている。分類学的には、藍藻、渦鞭毛藻、ハプト藻、紅藻、褐藻、緑藻、車軸藻等、種々の植物門に広く分布しており (BOROWITZKA 1977, 1982a, b, PENTECOST 1980)、互に類縁関係が乏しいことから見て、それぞれの石灰藻はそれぞれ独自に石灰化する能力を獲得したものと考えられる。これらの藻、例えば、紅藻 サンゴモ科や、緑藻 サボテングサ属等の石灰藻が形成する多量の CaCO<sub>3</sub> は、サンゴ礁形成に重要な役割をもち (GOREAU 1963)、また、世界の海洋に広い分布域をもつハプト藻の円石藻類は、中生代白亜紀の石灰岩を形成したと考えられている (BLACK 1965)。この様に石灰藻は生態

学的にも、地球化学的にも、重要な意味をもつ藻である。

これら石灰藻の石灰化機構を解明するには、少なくとも (1)石灰化部位へどのようにして、Ca<sup>2+</sup> や CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> が供給され濃縮されるか、(2)CaCO<sub>3</sub> 結晶の核となり、その生長を助ける物質が存在するか、またどの様にして結晶形 (方解石、アラレ石及びバテライトのいずれか) が緻密に規定されるのか、(3)石灰化を阻止する機構、等について明らかにしなければならない。これは単に藻の石灰化に留まらず、動物を含めた生物界の石灰化機構を解明する上で共通した問題である。これまでに蓄積された動・植物の石灰化部位の構造や微細構造の知見は、上述の諸問題を解決する上での重要な手掛かりを提供しつつある。

著者らはこの論文では、主な石灰藻の石灰化が藻体のどの様な部位で開始され進行するかについて、これまでに得られている形態学的知見を述べたい。また光合成及び Ca 輸送系が藻の石灰化とどの様に関連しているか、更に石灰化部位の有機物質の性質と石灰化との関連についても解説したい。なお、石灰藻に関する幾つかの総説が岡崎 (1979)、オーストラリアの BOROWITZKA (1977, 1982a, b)、イギリスの PENTECOST (1980) によって既にかかれていたのでそれらも参照されたい。

### 1. ハプト藻 (Figs 1-2)

石灰化開始部位: この植物門に属する円石藻 (Coccolithophorids) は、単細胞性の石灰藻である。室内で培養され、石灰化機構の研究によく用いられている種に、*Emiliania huxleyi*, *Cricosphaera* (= *Himemonas*) *carterae* がある。これらの藻は、細胞の外側にココリス (coccolith, 直径約  $1\ \mu\text{m}$ ) と呼ばれる  $\text{CaCO}_3$  と有機物から成る殻をつける。ココリスは、細胞表面に付着しているので、一見その部位で石灰化が進行したかの様に見える。しかし、実際には細胞内のゴルジ体由来の小胞 (ココリス小胞) で形成され、細胞外へ押し出される (WILBUR and WATABE 1963, OUTKA and WILLIAMS 1971, その他多数)。Fig. 1 は *C. carterae* のココリス形成過程を模式的に示したもの

である。まず小胞中で有機物質からなる殻が作られ、これにココリスゾームと呼ばれる小顆粒 (直径約  $25\ \text{nm}$ ) の付着後  $\text{CaCO}_3$  が沈着してココリスが完成される。ココリスゾームを分析用電子顕微鏡で分析した結果、多量の Ca が検出されている (VAN DER WAL *et al.* 1982)。ただ *E. huxleyi* にはこの様な小顆粒は観察されていない。*C. carterae* には、ココリスとは別に石灰化していない殻も作られるので、細胞表面には2種の殻が付着することになる。ココリスの形態は種によって異なるが、これは細胞内の特殊な小胞がココリス形態を厳密に制御しているためと思われる。細胞内で石灰化が進行する藻は他に例を見ない。Fig. 2 は、*C. roscoffensis* var. *haptanemofera* (INOUE and CHIHARA 1979) の走査型電顕像である。ココリスの表面に方解石の結晶が見られる。

光合成との関連: ココリス形成が光依存性を示すことは、*E. huxleyi* (PAASCHE 1964) や *C. carterae* (VAN DER WAL *et al.* 1982) でよく知られている。PAASCHE (1964) はこの現象を石灰化と光合成を共役させる次式で説明しようとした。 $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{OH}^- \cdots (1)$  (光合成),  $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \cdots (2)$

しかしココリス形成能を失った変異株も光合成の炭素源に  $\text{HCO}_3^-$  を使って、正常のものと同ほとんど変らぬ速度で光合成を行うことから、上記反応が石灰化に重

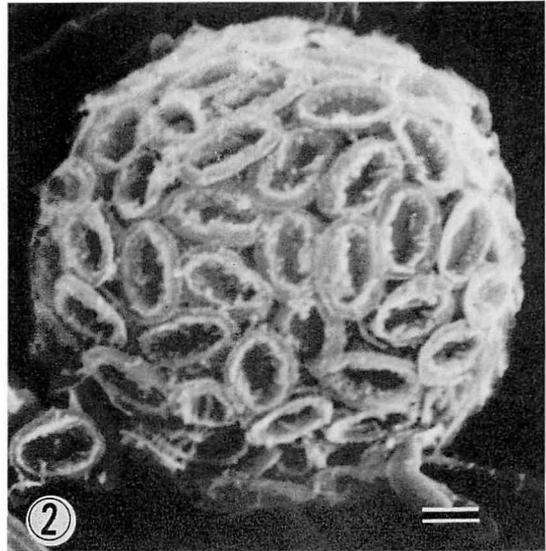
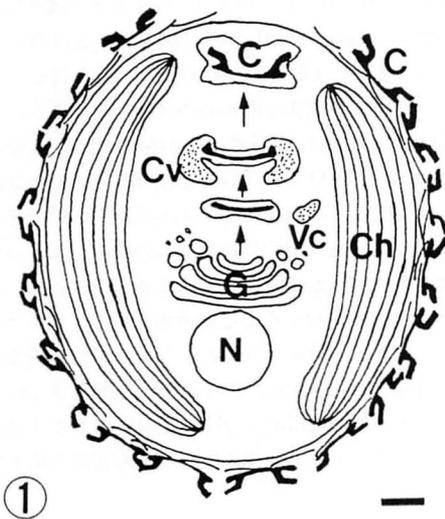


Fig. 1. Schematic diagram of coccolith formation in *Cricosphaera carterae*. Coccoliths are formed intracellularly in the vesicles originated from Golgi-body. C, coccolith; Ch, chloroplast; Cv, coccolith vesicle containing basal plate and coccolithosomes; G, Golgi-body, N, nucleus; Vc, vesicle containing coccolithosomes. Scale =  $1\ \mu\text{m}$ . Fig. 2. Scanning electron micrograph of *C. roscoffensis* var. *haptanemofera*. Scale =  $1\ \mu\text{m}$ .

要な反応であるにしても、この反応のみでは石灰化反応を説明できないことが明らかになっている (PASASCHE 1964)。

Ca 輸送系: この藻の石灰化開始部位が細胞内であることから、海水中から細胞内へ、またココリス小胞内へどのような仕組みで  $\text{Ca}^{2+}$  が輸送されるかが従来から注目されてきた。C. carterae で、照射射のみ細胞内へ  $\text{Ca}^{2+}$  が取り込まれるといった報告もある (ARIOVICH and PIENAAR 1979)。著者らは動物細胞 (例えば、赤血球細胞膜、筋小胞体膜等) に見られる  $\text{Ca}^{2+}$  活性化  $\text{Mg}^{2+}$  依存性 ATPase ( $\text{Ca}^{2+}$ -ポンプ) を C. roscoffensis var haptonemofera で探したが、その様な酵素活性を見出すことが出来なかった (OKAZAKI et al. 1984)。また、その様な酵素は植物細胞ではまだ発見されていない (HODGES 1976)。しかし、 $\text{Mg}^{2+}$ -依存性又は  $\text{Ca}^{2+}$ -依存性 ATPase の活性は認めることが出来た。酵母細胞の液胞膜には、 $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase の働きで  $\text{H}^+$  を濃縮する働きがあり ( $\text{H}^+$ -ポンプ)、この濃縮された  $\text{H}^+$  が液胞外へ流出するのに共役して  $\text{Ca}^{2+}$  が取り込まれる機構 ( $\text{H}^+/\text{Ca}^{2+}$  対向輸送系) が知られているので (OHSUMI and ANRAKU 1983)、円石藻の液胞、又はココリス小胞にはこの様な Ca 輸送系がある可能性も考えられる。

CaCO<sub>3</sub> 結晶・有機基質: ココリスを構築する CaCO<sub>3</sub> はすべて方解石である。藻体からココリスが単離され、これから  $\text{Ca}^{2+}$  を特異的に結合する酸性多糖が抽出された (DE JONG et al. 1976)。ココリスはほぼこの多糖と CaCO<sub>3</sub> 結晶から構築されており、かつ CaCO<sub>3</sub> 結晶の芯となっているらしい。この  $\text{Ca}^{2+}$  結合多糖は、ガラクトuron酸をかなり含み (約20%w/w)、それ以外に、11種の中性糖及びそのメチル化糖を含む極めて複合性の高いものである (FICHTINGER-SCHEPMAN et al. 1979)。この多糖を使って *in vitro* で CaCO<sub>3</sub> を形成する実験が試みられている (BORMAN et al. 1982)。

## 2. 緑藻

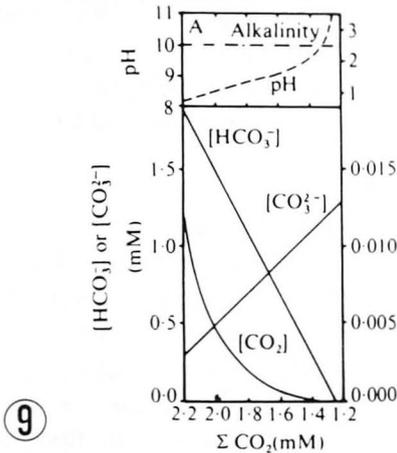
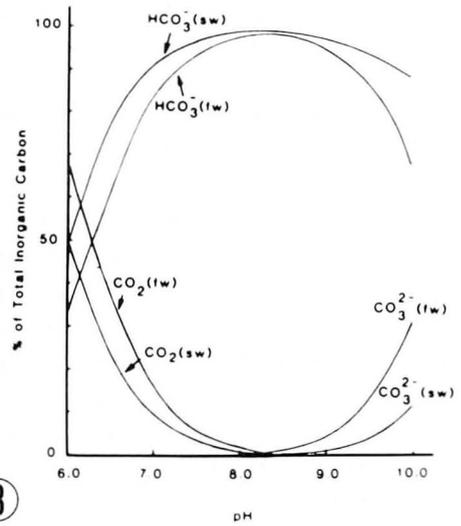
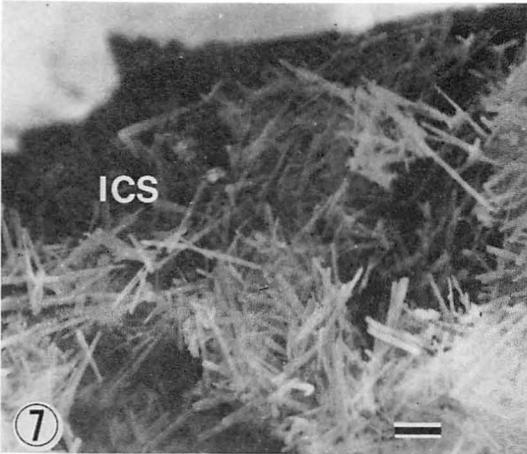
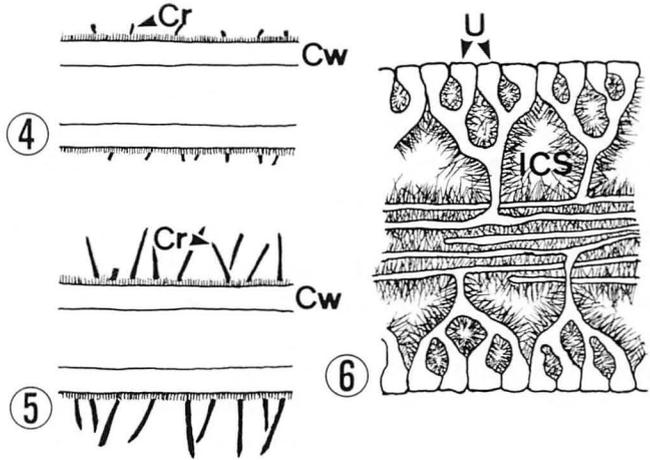
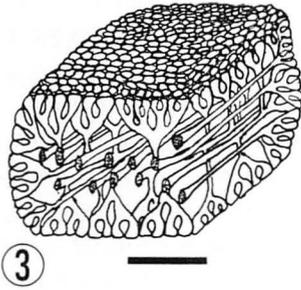
### (1) サボテングサ属 (Figs 3-9)

石灰化開始部位: 多核巨大細胞で、管状系が集まり藻体が構築されているので、細胞間隙が良く発達している (Fig. 3)。この間隙は細胞外ではあるが、藻体内部に相当し、海水とは隔離された半閉鎖空間であり、石灰化はこの特殊な空間で起こる。まず微小な結晶が管状系の細胞壁表層に層状に付着している繊維状物質の上で形成される (WILBUR et al. 1969, BOROWITZKA and LARKUM 1977) (Fig. 4)。この結晶は徐々に生長して針状結晶 (長さ約 3-5  $\mu\text{m}$ , 幅約 0.2  $\mu\text{m}$ )

となり、最終的には細胞間隙を埋め尽くす (Figs 5, 6)。細胞壁そのものは石灰化しない。上述の過程は藻体の先端 (第一節間部) の若い組織で開始され、組織の成熟に伴って進行し終了する。Fig. 7 はウチワサボテングサ (*Halimeda discoidea*) の細胞間隙に沈着した針状結晶の走査型電顕像である。石灰化が完了した部位の形態については多くの報告がある (例えば、BOROWITZKA et al. 1974, 岡崎ら 1977, BÖHM et al. 1978, BOROWITZKA 1982a)。

光合成との関連: BOROWITZKA and LARKUM (1977) は藻体先端の若い組織で、藻体表面の小嚢が互に融着して海水から隔離された細胞間隙を形成し、かつその葉緑体が成熟すると石灰化が開始されることを明らかにした。また生理学的な研究から、暗所に比べて明所では石灰化が促進されること、その促進の程度は光合成速度に比例することをつきとめた。これらの事実は、細胞間隙といった半閉鎖空間における炭酸の平衡と石灰化及び光合成が密接に関連することを示している。そこで彼等は半閉鎖空間で、光合成により CO<sub>2</sub> が固定消費された場合、炭酸平衡がどの様に变化するかを PARK (1969) の式を用いて理論的に解析し、サボテングサの石灰化機構の1つのモデルを提唱した。また実験によりそれを或る程度証明した (BOROWITZKA and LARKUM 1976b, c, BOROWITZKA 1982b)。Fig. 8 は海水及び淡水の pH と炭酸の3つの分子種 (CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) の存在比の関係を示す。図から、海水の pH (8.2) が上昇するに伴って HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> が減少し CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> が増加することが判る。光合成で CO<sub>2</sub> が半閉鎖空間から消費され続けると、3つの分子種がどの様に变化するかを推定したものが Fig. 9 である。CO<sub>2</sub> の固定 (または HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> を細胞内に取込み HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> → CO<sub>2</sub> + OH<sup>-</sup> の反応で CO<sub>2</sub> を光合成に用いて余った OH<sup>-</sup> の細胞外への排出) によって全炭酸 ( $\Sigma\text{CO}_2$ ) は減少するにもかかわらず、pH と CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> は著しく増加することが予想される。ウチワサボテングサや *Halimeda tuna* などでの細胞間隙ではまさに Fig. 9 に示された様な炭酸平衡が起きているらしい。この様な局所的な pH の上昇、つまり CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> の増加は海水と接する藻体表面では殆んど期待出来ない。

Ca 輸送系: 主な  $\text{Ca}^{2+}$  は、海水から小嚢の細胞壁へ拡散して細胞間隙に供給されると考えられている (BOROWITZKA and LARKUM 1976a)。いったん細胞内に取り込まれた  $\text{Ca}^{2+}$  が細胞間隙に排出され濃縮される可能性もあるが、この輸送系については良く判ら



Figs 3-6. Schematic diagrams of calcification processes in *Halimeda* (OKAZAKI 1979). Cr, aragonite crystal; Cw, cell wall; ICS, intercellular space; U, utricle. Fig. 3. Structure of thallus of *H. discoidea*. Scale = 100  $\mu$ m. Fig. 4. Small crystals on the pilose layer of filament wall of the subapical segment. Fig. 5. More advanced stage of crystal development. Fig. 6. Needle-shaped aragonite crystals filling the ICS. Fig. 7. Scanning electron micrograph of needle-shaped crystals in the ICS of *H. discoidea*. Scale = 1  $\mu$ m. Fig. 8. Relative proportion of CO<sub>2</sub>(+H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> with changing pH in seawater (sw) and freshwater (fw) (BOROWITZKA 1982b). Fig. 9. Calculated effects of removal of CO<sub>2</sub> from a closed seawater system. The figure shows the effect of removing 0.05 mM increments of CO<sub>2</sub> by photosynthesis (BOROWITZKA and LARKUM 1976b).

ていない。

CaCO<sub>3</sub> 結晶・有機基質：針状（長さ約 3-5 μm, 幅約 0.2 μm）を呈したアラレ石である。前述の様に石灰化開始部位には繊維状物質が存在するので、この物質が石灰化を誘導する核として作用すると思われる。しかしその化学的性質については不明である。細胞壁からはウロン酸と硫酸基を含む Ca<sup>2+</sup> 結合能をもった多糖が抽出されており、細胞壁中の Ca<sup>2+</sup> プールに一役を演じている可能性も指摘されている (BÖHM and GOREAU 1973)。中原ら (NAKAHARA and BEVELANDER 1978) はミツデサボテングサ (*Halimeda incrassata*) の針状結晶は有機物の鞘 (envelope) で覆われていることを見出した。この様な鞘は以前から軟体動物の貝殻において、真珠層のアラレ石結晶の囲りに知られており、結晶生長を助けるものと考えられている (中原 1981)。しかしサボテングサの場合は、結晶表面への有機物の単なる吸着であるとも言われている (BOROWITZKA and LARKUM 1977)。

#### (2)カサノリ属 (Figs 10-16)

石灰化開始部位：この藻も多核巨大細胞である。先端生長し、柄においては age の若い先端から age の進んだ基部に向かって細胞壁内で石灰化が進行することが判った。培養したホソエガサ (*Acetabularia calyculus*) の傘形成直前の幼藻体 (Fig. 10) の柄の石灰化過程を模式的に示したのが Figs 11-14 である (OKAZAKI and KATSUMI 1984)。柄の先端部 (Fig. 10, 矢印A) では壁は石灰化していないが、石灰化誘導物質と思われる電子密度の高い物質が壁中に分泌されることが明らかになった (Fig. 11)。この物質は age の少し進んだ部分では結晶を誘導して微小な結晶の集合体と思われるイガグリ状の構造物 (直径約 0.8 μm) を形成する (Fig. 12)。柄の中間部 (Fig. 10, 矢印B) の壁では、前述のイガグリ状構造物から顆粒状 (直径約 0.2 μm) の結晶が形成される (Fig. 13)。柄の基部 (Fig. 10, 矢印C) では、結晶は更に生長するが、あるものはしばしば互に融合して結晶塊 (最大長径約 0.5 μm) を形成する。こうして柄の基部では石灰化は完了するが、壁中に次々と分泌される前述の特殊な物質の働きによって壁の中層は大小の結晶で埋め尽くされる (Fig. 14)。しかし壁の外層には石灰化は見られない。この様な石灰化過程は自然に生育するカサノリ (*A. ryukyuensis*) の柄においても観察された (岡崎・伊佐, 未発表)。Fig. 15 は壁中の前述のイガグリ状の微結晶の集合体の、また Fig. 16 は石灰化の完了した壁の透過型電顕像である。

光合成との関連：柄の石灰化と壁の厚さの間には密接な関連があり、基部における壁の厚さが 15~22 μm 程度に達しないと、石灰化誘導物質の分泌はあっても Figs 13, 14 に見られる様な CaCO<sub>3</sub> 結晶の沈着は起きない (OKAZAKI and KATSUMI 1984)。また Figs 14, 16 が示す様に、石灰化が完了した柄でも壁外層は石灰化しないままに残る。これらの事実は肥厚した細胞壁の中、内層は一種の半閉鎖空間に相当すると考えれば説明できる。つまり光合成に伴った pH の上昇、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> の増加が起これ、これが石灰化に貢献すると思われる。しかしこれを証明した生理学的研究はまだ無い。

Ca 輸送系：海水から拡散によって細胞壁へ供給されると思われる。

CaCO<sub>3</sub> 結晶・有機基質：粒状のアラレ石 (直径 0.1~0.5 μm) である。細胞壁中へ分泌される前述の物質の化学的組成は不明であるが、未染色でも電子密度が高く、分析用電子顕微鏡で分析すると Ca が多量に検出されるので、一種の Ca<sup>2+</sup> 結合物質かも知れない (岡崎・勝見, 未発表)。カサノリの細胞壁はマンナンが主成分であるが、酸性多糖も存在するので (PUISEUX-DAO 1970)、後者と石灰化との関連に興味もたれる。

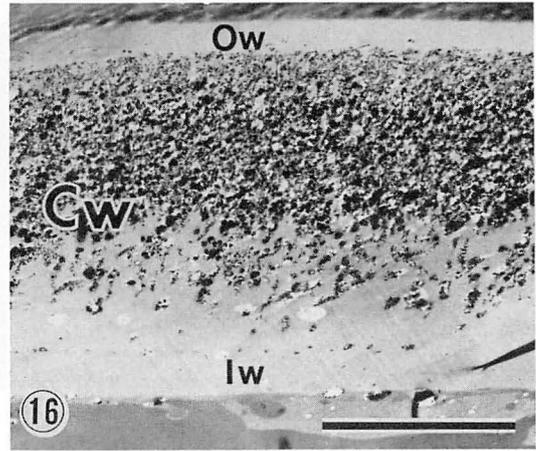
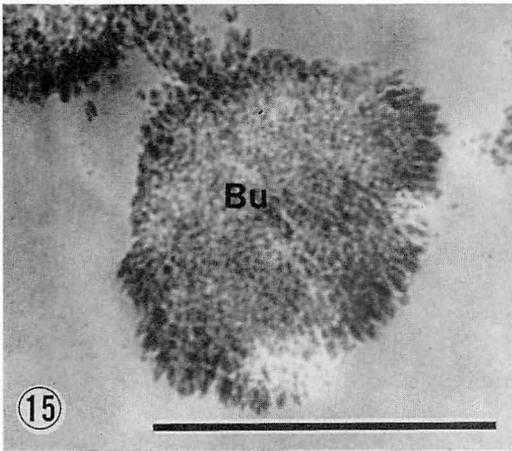
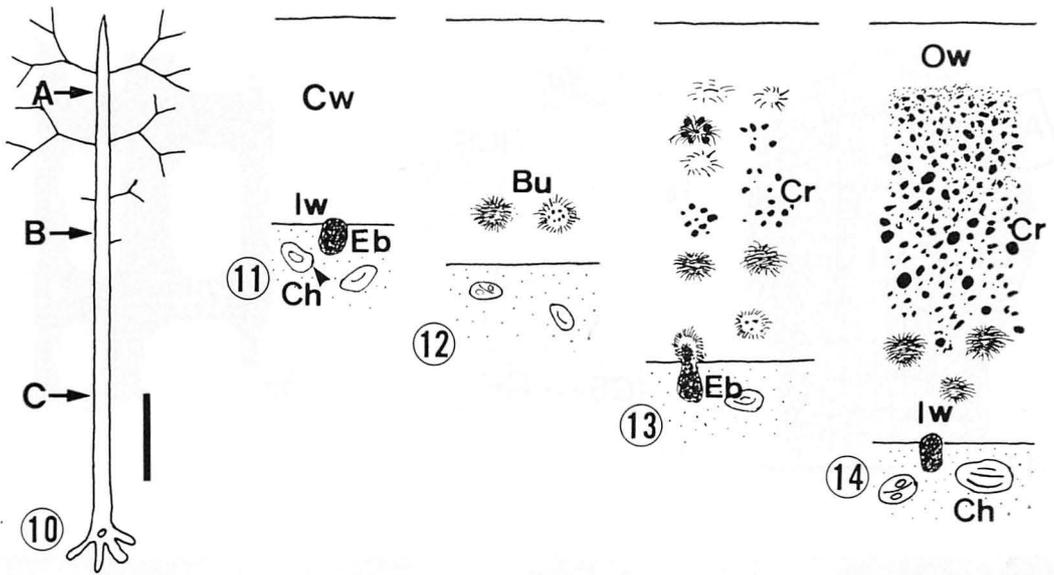
#### (3)ハゴロモ属, ウサガサネ属

この仲間は細胞間隙が主な石灰化部位であるが、小囊の肥厚した細胞壁の一部にも石灰化が見られる (BÖHM *et al.* 1978)。結晶はすべてアラレ石で細胞間隙に沈着したものは針状を、壁のものは粒状を呈する。石灰化過程を追跡した報告はまだ無いが、サボテングサ属やカサノリ属のものと同様な機構で石灰化が起こるものと思われる。

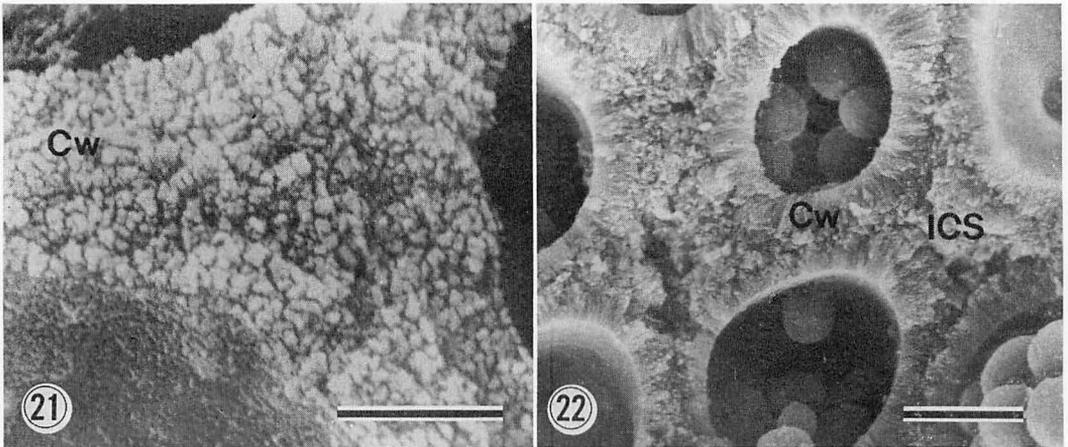
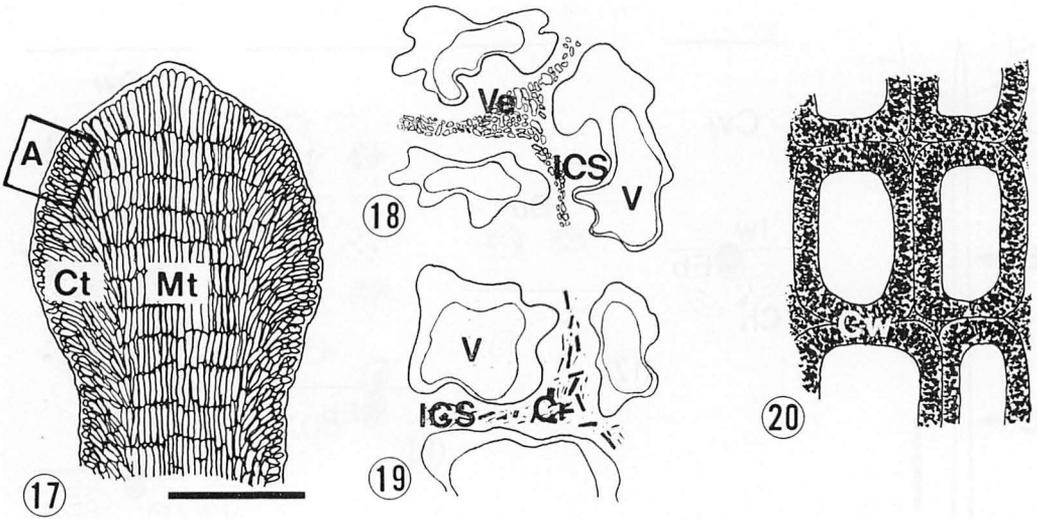
### 3. 紅藻

#### (1)サンゴモ科 (Figs 17-22)

石灰化開始部位：これらの藻は細胞壁が完全に石灰化する。細胞間隙は殆ど存在しないが、やはり石灰化が見られる。石灰化過程を有節サンゴモ亜科のオオシコロ (*Serraticardia maxima*) で追跡すると、藻体先端 (第一節間部の先端) の最も age の若い部分で石灰化が開始される (MIYATA *et al.* 1980) (Fig. 17)。分裂細胞近隣の組織の細胞間隙にまず大小の小胞が集まり (Fig. 18)、小胞が消えるに伴って微小な棒状の結晶が出現する (Fig. 19)。この結晶は細胞間隙の有機物質中で形成され、生長するものと思われる。石灰化は細胞の age と共に進行し、細胞間隙及び細胞壁は顆粒状の CaCO<sub>3</sub> 結晶で埋め尽くされる (Fig.



Figs 10-14. Schematic diagrams of calcification processes in the stalk of *Acetabularia*. Bu, bur-like calcified body; Ch, chloroplast; Cr, aragonite crystal; Cw, cell wall; Eb, electron-dense material; Iw, inner cell wall; Ow, outer cell wall. Fig. 10. Young habit of *A. calyculus*. Scale = 1 cm. Fig. 11. Secretion of electron-dense material from the cytoplasm into inner cell wall near the tip of the stalk (A in Fig. 10). Large amounts of Ca were detected in the material by X-ray microanalysis. Fig. 12. Bur-like calcified body in the cell wall near A in Fig. 10, but at more basal part of the stalk than in Fig. 11. Fig. 13. Small aragonite crystals in the cell wall at the middle part of the stalk (B in Fig. 10). A cluster of small crystals is formed from a bur-like body. Fig. 14. Mature and calcified cell wall at the basal part of the stalk (C in Fig. 10). Note an outer  $\text{CaCO}_3$ -free wall layer. Fig. 15. Transmission electron micrograph of bur-like body in the cell wall of the stalk of *A. calyculus*. Note minute crystals on the surface of the body. No staining. Scale =  $1 \mu\text{m}$ . Fig. 16. Transmission electron micrograph of the heavily calcified cell wall of the stalk of *A. calyculus*. No staining. Scale =  $10 \mu\text{m}$ .



Figs 17-20. Schematic diagrams of calcification processes in Corallinaceae (OKAZAKI 1979). Ct, cortical tissue; Cr, calcite crystal; Cw, cell wall; ICS, intercellular space; Mt, medullary tissue; V, vacuole; Ve, small vesicle. Fig. 17. Longitudinal section of a terminal segment of *Serraticardia maxima*. Scale = 1 mm. Fig. 18. Small vesicles accumulated in the ICS of the subapical cell (A in Fig. 17). Fig. 19. Rod-shaped crystals in the ICS of the subapical cell. Fig. 20. Heavily calcified ICS and cell wall. Figs 21-22. Scanning electron micrographs of calcified ICS and cell wall of *S. maxima* (Fig. 21; cortical cell) and *Lithophyllum okamura* (Fig. 22; cell in perithallium). Scale = 1  $\mu$ m (Fig. 21), 5  $\mu$ m (Fig. 22).

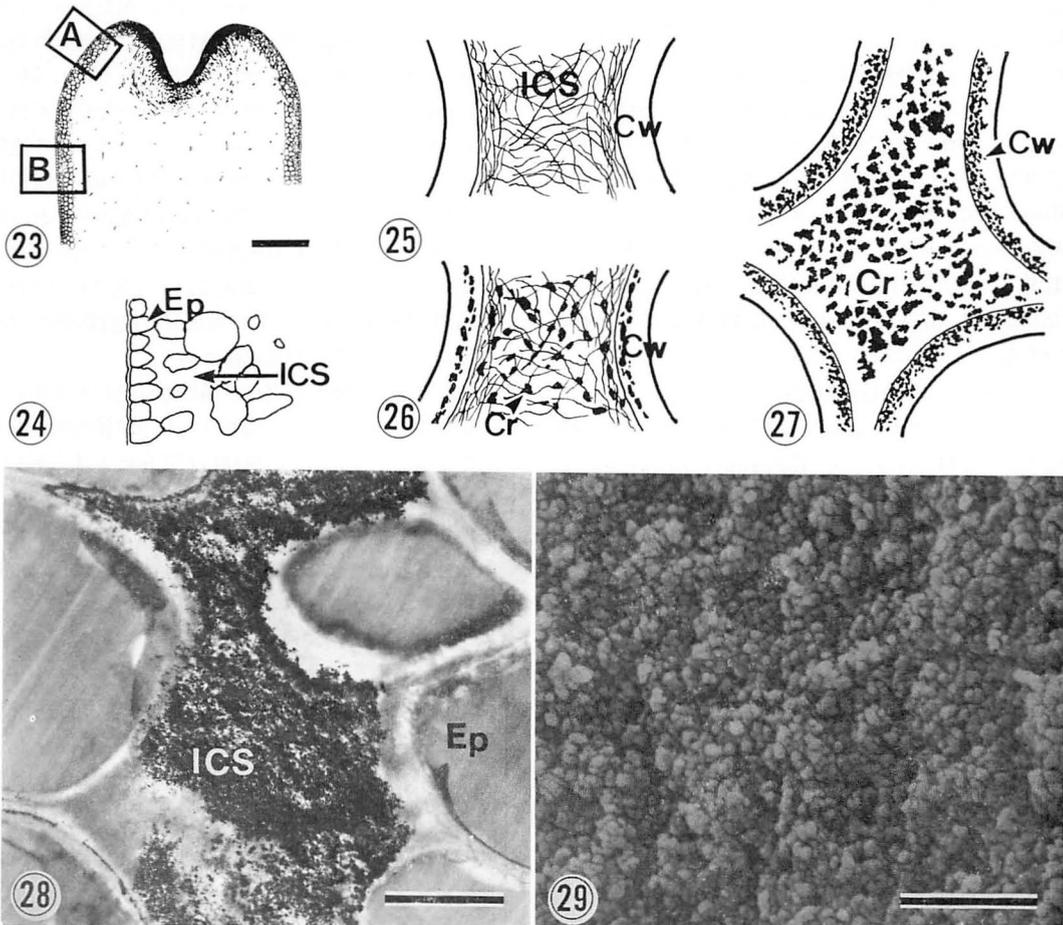
20)。結晶沈着に先立って細胞間隙に出現する小胞は、骨形成等で観察されている基質小胞 (matrix vesicle) (小沢 1975) と同じものかどうかは不明である。Fig. 21 はオオソコロの石灰化した細胞壁の走査型電顕像を示す。無節サンゴ亜科の石灰化も有節のものと同様に進行するものと考えられる。Fig. 22 は無節サンゴ亜科のヒライボ (*Lithophyllum okamura*) の走査型電顕像である。

光合成との関連：明所と暗所での石灰化速度を比較すると、明所で数倍促進されるという報告 (岡崎ら 1970) 及びその促進程度は有節サンゴ類の藻体先端から基部に向かって生理学的勾配があり、age の若い節間部程促進されるという報告 (PEARSE 1972, BOROWITZKA 1979, LA VELLE 1979), また光合成時の pH の上昇と  $\text{CO}_3^{2-}$  の増加が石灰化の促進と密接に関連していることを論じたもの (SMITH and ROTH 1979,

BOROWITZKA 1981) など多くの生理学的な研究がある。これらの藻は海水より  $\text{HCO}_3^-$  を細胞内に取り込み、 $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{OH}^-$  の反応により  $\text{CO}_2$  を光合成の基質として利用し、副産物の  $\text{OH}^-$  を一種の半閉鎖空間である細胞間隙又は細胞壁へ局所的に排出して、海水から拡散で供給される  $\text{HCO}_3^-$  を更に解離して  $\text{CO}_3^{2-}$  を形成するのではないと思われる。つまり前述のサボテングサ属の細胞間隙における石灰化機構がほぼそのままではまると思われる。

Ca 輸送系: 著者の一人岡崎 (OKAZAKI 1977) はサンゴモ科石灰藻に  $\text{Ca}^{2+}$  活性化 ATPase を見出し出しているが、その働き及び細胞内の局在性は不明である。前述の様に石灰化は細胞壁及び細胞間隙で起こるが、この部位は各種炭酸イオン ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) や  $\text{Ca}^{2+}$  が細胞壁を介して拡散によって供給される半閉鎖空間と考えることができるので、 $\text{Ca}^{2+}$  の能動輸送を必要としないかも知れない。

$\text{CaCO}_3$  結晶・有機基質: Mg を含む方解石で粒状



Figs 23-27. Schematic diagrams of calcification processes in *Galaxaura*. Cr, aragonite crystal; Cw, cell wall; Ep, epidermal cell; ICS, intercellular space. Fig. 23. Longitudinal section of a terminal segment of *G. fastigiata*. Scale = 200  $\mu\text{m}$ . Fig. 24. Detailed structure of region A in Fig. 23. Note the well-developed ICS separated from the external seawater by a layer of epidermal cells. Fig. 25. Fibrous material filling the ICS of the young cortical tissue (A in Fig. 23). Fig. 26. Aragonite crystals in the ICS and cell wall of the young cortical tissue (A in Fig. 23). Fig. 27. Heavily calcified ICS of the mature cortical tissue (B in Fig. 23). Note partially calcified cell wall. Fig. 28. Transmission electron micrograph of the mature cortical tissue (B in Fig. 23) of *G. fastigiata*. No staining. Scale = 5  $\mu\text{m}$ . Fig. 29. Scanning electron micrograph of granular aragonite crystals in the ICS of the mature cortical tissue (B in Fig. 23) of *G. fastigiata*. Scale = 0.5  $\mu\text{m}$ .

を呈する (Figs 21, 22)。細胞壁に  $\text{Ca}^{2+}$  の大きなプールが存在すること、またこれは主に壁の  $\text{Ca}^{2+}$  結合物質に基くものであることを BOROWITZKA (1979) が指摘した。著者ら (OKAZAKI *et al.* 1982) がそのような物質を探したところ、オオソコロ、ミヤベオコシ (*Lithothamnion japonica*) 等のサンゴモ科石灰藻にアルギン酸が見つかった。またこのアルギン酸が石灰化部位に局在していることも組織化学的手法によって明らかになった (岡崎ら 1984)。なおアルギン酸は褐藻の特徴的な細胞間物質として従来から良く知られていたウロン酸多糖であり、褐藻以外の藻で発見されたのはこれが最初である。この紅藻アルギン酸を使ってシリカゲル法 (NICKL and HENISCH 1969) を用いて *in vitro* で  $\text{CaCO}_3$  形成実験を試みたところ、強力なアラレ石誘導能をもつ  $\text{Mg}^{2+}$  (KITANO and HOOD 1962) 存在下でも、アルギン酸を添加すれば方解石が形成されることが判った (和田ら 1984)。この事実はサンゴモ科石灰藻の結晶が  $\text{Mg}$  を含む方解石であること (GOLDSMITH *et al.* 1955) から見て重要である。

#### (2) ガラガラ属 (Figs 23-29)

石灰化開始部位：著者ら (OKAZAKI *et al.* 1982) はガラガラ科のガラガラ (*Golaxaura fastigiata*) について調べた。その結果、この藻においても藻体先端の最も *age* の若い部位で石灰化が開始されることが判った (Figs 23, 24)。 $\text{CaCO}_3$  結晶はこの部位の良く発達した細胞間隙の有機物質の上にまず出現し (Figs. 25, 26)、細胞の成熟に伴って細胞間隙を完全に埋め尽くし、最終的には細胞壁にも石灰化が及ぶ (Figs 26, 27)。この様に石灰化が開始される細胞間隙は一層の表皮細胞で外部海水から隔離された半閉鎖空間であり、藻体表面は決して石灰化しない。Fig. 28 は石灰化が完了した細胞間隙と細胞壁の透過型電顕像を、Fig. 29 は細胞間隙の粒状結晶 (直径約  $0.05 \mu\text{m}$ ) を走査型電顕で観察したものである。

光合成との関連：この藻の石灰化と光合成との生理学的関係を論じた研究は無い。しかし石灰化開始部位が良く発達した細胞間隙であること、その近隣には成熟した葉緑体をもつ細胞が分布することから、前述の緑藻サボテンガサ属に見られる機構で石灰化が進行すると考えられる。

Ca 輸送系：細胞壁を介する拡散によるものと思われる。

$\text{CaCO}_3$  結晶・有機基質：粒状 (直径約  $0.05 \mu\text{m}$ ) のアラレ石である。最初の  $\text{CaCO}_3$  結晶は細胞間隙中の

有機物質上に出現する。この有機物質の高電子密度部分を分析用電子顕微鏡で分析すると、Ca と共に S が検出されるので (OKAZAKI *et al.* 1982)、硫酸基をもつ酸性多糖が結晶形成と生長に関与する可能性もあるが、詳細は不明である。

#### (3) コナハダ属 (Figs 30-34)

石灰化開始部位：白戸 (1984) は著者らと共にベネモツク科のケコナハダ (*Liagora farinosa*) の石灰化過程を調べた。藻体は髓部と皮層部に分化し、皮層部は同化系から成る光合成組織であり、細胞間隙が良く発達している (Fig. 30 c)。皮層部の若い細胞の周辺には、多糖類と思われる物質が分泌され (Fig. 31)、この物質が互いに接する間隙にまず微小な結晶が出現する (Fig. 32)。その後、細胞の肥大に伴って細胞間隙は針状結晶 (長さ約  $1 \mu\text{m}$ , 幅約  $0.1 \mu\text{m}$ ) で埋め尽くされる (Fig. 33)。細胞壁には石灰化は見られない。髓部近隣の細胞間隙も石灰化するが、この部位の結晶は皮層部のものに比べて繊細である (長さ約  $1 \mu\text{m}$ , 幅約  $0.05 \mu\text{m}$ )。Fig. 34 は皮層部の細胞間隙に沈着した針状結晶の走査型電顕像である。

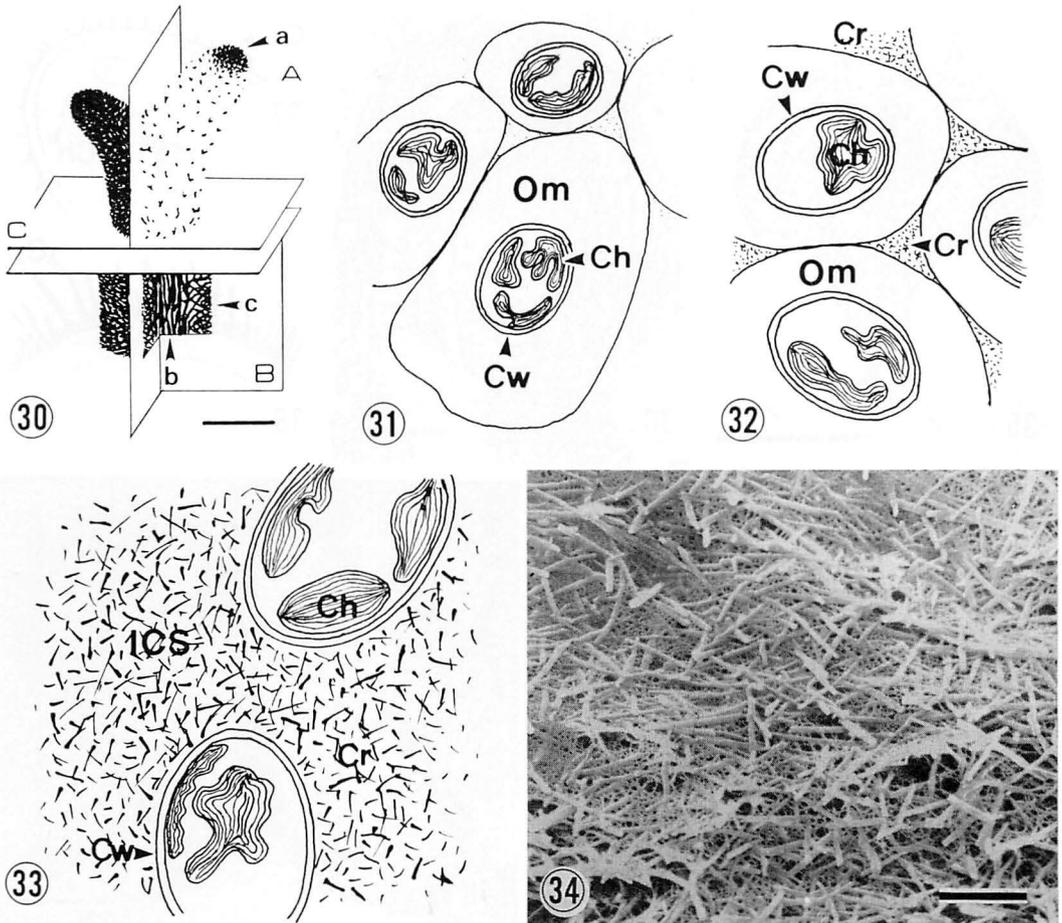
光合成との関連：石灰化が開始され進行する皮層部の細胞間隙は、海水から隔離された半閉鎖空間である。同化組織の光合成がこの空間の石灰化に大きく寄与することは間違いない。これは石灰化開始部位付近には成熟した葉緑体をもつ細胞が存在することや、光合成組織である皮層部の結晶は髓部近くのものに比べて良く生長していること等からも示唆される。

Ca 輸送系：海水より拡散によって供給されると思われる。

$\text{CaCO}_3$  結晶・有機基質：すべて針状 (皮層部：長さ約  $1 \mu\text{m}$ , 幅約  $0.1 \mu\text{m}$ ; 髓部：長さ約  $1 \mu\text{m}$ , 幅約  $0.05 \mu\text{m}$ ) のアラレ石である。紅藻で針状結晶を沈着するのはこの仲間に限られる。白戸 (1984) は、石灰化した細胞間隙に酸性多糖が分布することを明らかにし、この多糖を単離して *in vitro* での  $\text{CaCO}_3$  沈着に及ぼす影響について前述のシリカゲル法で検討した。その結果、この物質はアラレ石を誘導する能力がないことがわかった。恐らくは  $\text{Ca}^{2+}$  と共に細胞間隙に拡散してくる  $\text{Mg}^{2+}$  の働きによってアラレ石が形成されると思われる。現時点では方解石を誘導する物質はあってもアラレ石を誘導する物質が見つかっていないことは注目に値する (KITANO *et al.* 1965, 1969)。

#### 4. 褐藻 (Figs 35-40)

褐藻植物門に属する藻で石灰化が見られるものは、藻体の構造が最も単純な同型世代網に属するウミウチ

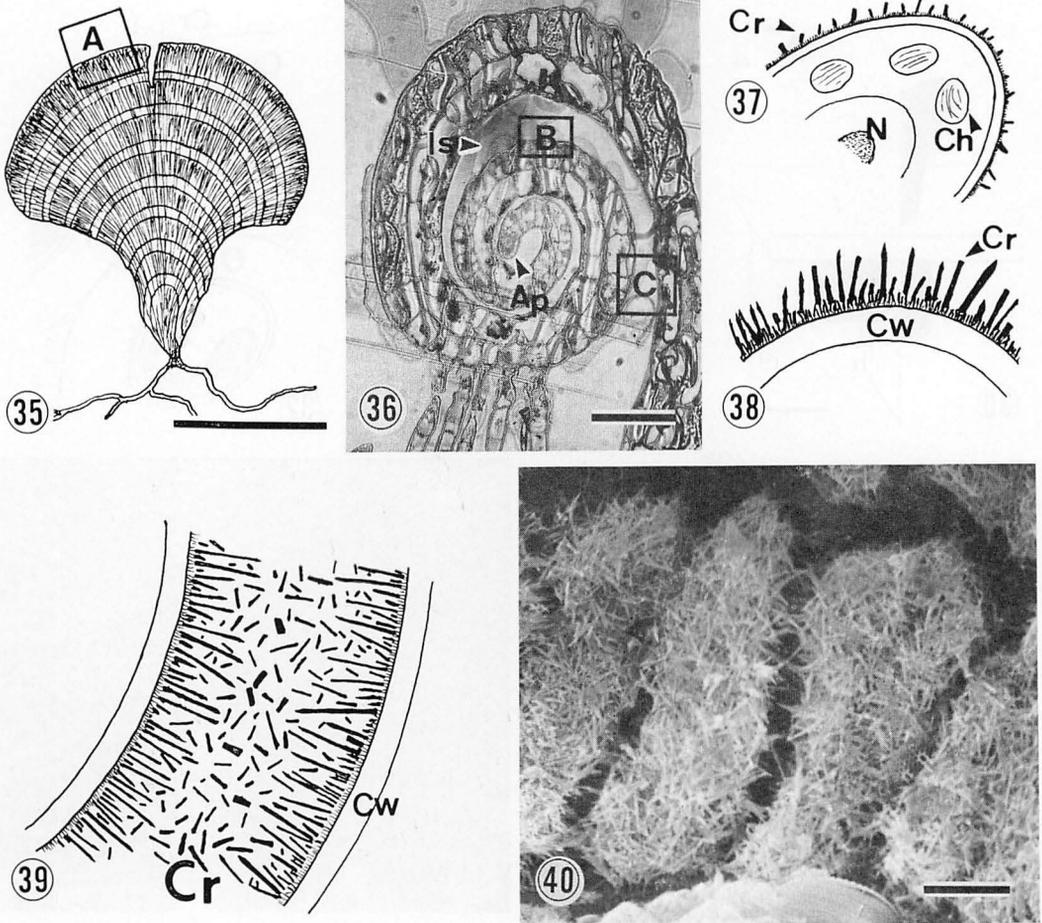


Figs 30-33. Schematic diagrams of calcification processes in *Liagora*. Ch, chloroplast; Cr, aragonite crystal; Cw, cell wall; ICS, intercellular space; Om, organic material. Fig. 30. Structure of the thallus of *L. farinosa* (SHIROTO 1984). A and C, terminal segment; B, aged segment; a, tip of terminal segment; b, medullary tissue of aged segment; c, cortical tissue of aged segment. A and B, C show a native and decalcified segment, respectively. Scale = 1 mm. Fig. 31. Organic material around the young cells of the terminal segment (A-a in Fig. 30). Fig. 32. Small crystals outside the organic material (A-a in Fig. 30). Fig. 33. Needle-shaped aragonite crystals filling the ICS of the mature cortical tissue of the terminal segment. Fig. 34. Scanning electron micrograph of needle-shaped aragonite crystals in the ICS of the mature cortical tissue of *L. farinosa*. Note the network of organic matrix around the crystals. Scale = 1  $\mu$ m.

ワ属(*Padina*)の幾つかの種に限られる(BOROWITZKA 1982b)。

石灰化開始部位: 著者の一人岡崎ら(OKAZAKI *et al.* 1985) はオキナウチワ(*Padina japonica*) についてその石灰化過程を調べた。扇状の藻体(Fig. 35)は縁辺生長するが、藻体縁辺に位置する頂端細胞の表面で石灰化が開始される。この部位は藻体縁辺が巻き込んで形成される特殊な半閉鎖空間(巻き込み空間)内に位置する(Fig. 36)。Fig. 37はその巻き込み空間で頂端細胞

の壁表面の毛状繊維上で形成された微小な顆粒結晶を示す。この結晶は細胞壁表面に対してほぼ垂直に生長して針状を呈する様になる(Figs 38, 39)。藻体の生長に伴って、細胞壁に付着した結晶は藻体表面(腹面及び背面)に現われ、外部海水へ露出した状態となる。この藻体表面の結晶は生長して良く発達した針状結晶(長さ約 2  $\mu$ m, 幅約 0.5  $\mu$ m)となる。しかし藻体の age の進んだ基部付近では、結晶が溶解し再結晶したと思われる像も観察される(宮田ら1977)。Fig. 40は藻体表



Figs 35, 37-39. Schematic diagrams of calcification processes in *Padina*. Ap, apical cell; Ch, chloroplast; Cr, aragonite crystal; Cw, cell wall; Is, inrolling space; N, nucleus. Fig. 35. Young habit of *P. japonica*. Scale = 0.5 cm. Fig. 36. Light micrograph of longitudinal section through the margin (A in Fig. 35) of a fan-shaped thallus of *P. japonica*. No staining. Scale = 100  $\mu$ m. Region B and C show the parts studied here. Fig. 37. Small crystals on the pilose layer of the cell wall of the apical cell. Fig. 38. Needle-shaped aragonite crystals on the outer surface of the young cell (B in Fig. 36). Note the crystals oriented perpendicularly to the cell surface. Fig. 39. Well-developed aragonite crystals filling the inrolling space (C in Fig. 36). Fig. 40. Scanning electron micrograph of needle-shaped crystals on the ventral (upper) surface near the margin of the thallus of *P. japonica*. Scale = 10  $\mu$ m. A cluster of the crystals corresponds to one cell located on the outer surface.

面(腹面)に沈着した針状結晶の走査型電顕像である。

光合成との関連: 巻き込み空間の石灰化が開始され進行する部位に隣接する細胞中には既に葉緑体が成熟しているので、光合成時に同空間の pH の上昇、 $\text{CO}_3^{2-}$  の増加が十分に期待される。

Ca 輸送系: 石灰化開始部位は外部海水に比較的近いことから、緩慢な拡散で  $\text{HCO}_3^-$  は勿論、 $\text{Ca}^{2+}$  も供給されると思われる。

$\text{CaCO}_3$  結晶・有機基質: 良く発達した針状のアラレ石(長さ約 2  $\mu$ m, 幅約 0.5  $\mu$ m)である。 $\text{Mg}^{2+}$  の働きによりアラレ石が形成されている可能性が強い。巻き込み空間の、特に age の若い細胞の壁表面に付着している毛状物質が  $\text{CaCO}_3$  結晶核として作用している様であるが、この物質の化学的性質は不明である。このような毛状物質は石灰化しないウミウチワ (*Padina arborescence*) の巻き込み空間中の細胞には観察され

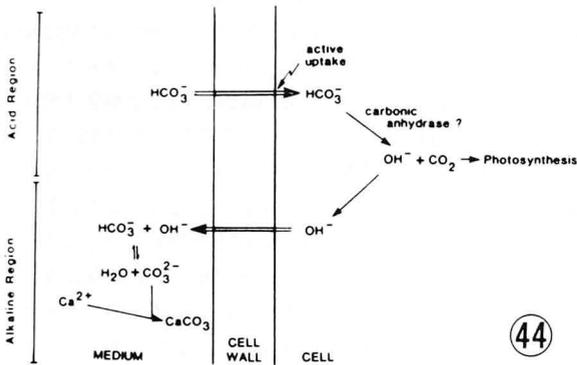
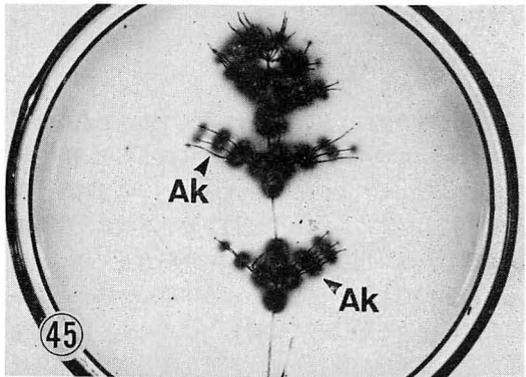
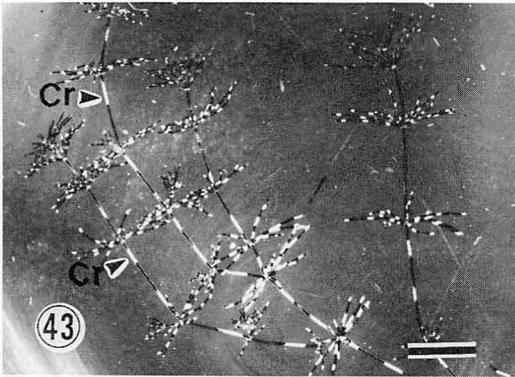
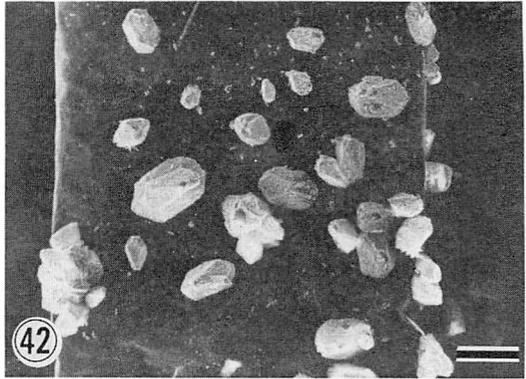
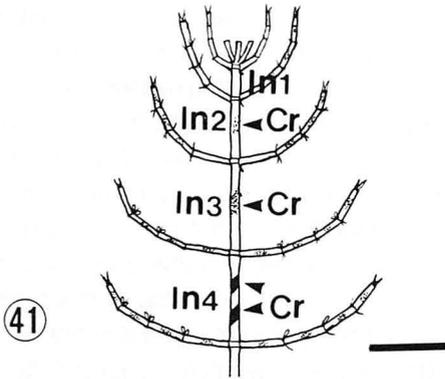


Fig. 41. Schematic diagram of calcification processes on the internodal cells of *Chara braunii*. Calcification is initiated on the second internodal cell (In2) from the tip, and the fourth internodal cell (In4) is encrusted with bands of  $\text{CaCO}_3$  deposits (Cr). Scale = 1 cm. Fig. 42. Scanning electron micrograph of calcite crystals on the fourth internodal cell (In4 in Fig. 41) of *C. braunii*. Scale = 100  $\mu\text{m}$ . Fig. 43. Photograph of calcified *C. braunii*. The photograph was taken under polarized light. Scale = 1 cm. Fig. 44. Schematic presentation of the major ion fluxes associated with photosynthesis (BOROWITZKA 1982b). Note  $\text{OH}^-$  efflux in alkaline region which causes  $\text{CaCO}_3$  deposition. Fig. 45. Alkaline bands (Ak) formation under illumination by *C. braunii* embedded in 0.5% agarose gel. The gel was prepared with an artificial culture medium containing 0.2 mM  $\text{NaHCO}_3$  and 0.1 mM phenol red (pH-indicator).

ない (OKAZAKI *et al.* 1985)。褐藻の中でもウミウチワ属の限られた種のみが石灰化すること、石灰化しないウミウチワにもオキナウチワと同様に特殊な巻き込み空間が存在すると同時に、光合成時には背腹両表面が著しくアルカリ性を呈すること、*Padina pavonica* は腹面のみしか石灰化しないこと (OKAZAKI *et al.* 1985) 等を考え合わせると、前述の毛状物質の有無とは別に、石灰化を阻害する何らかの機構を想定することが出来る。CaCO<sub>3</sub> 結晶生長の阻害物質として、ポリフェノール等が知られているが、褐藻には特にこの種のフェノール類が多いことから、この様な成分の特に少ない種のみが石灰化するとも考えられる (BOROWITZKA 1982b)。

#### 5. 車軸藻 (Figs 41-45)

唯一の淡水産石灰藻である。

石灰化開始部位: Fig. 41 は室内で培養したシャジクモ (*Chara braunii*) の節間細胞の石灰化過程を模式的に示したものである (OKAZAKI *et al.* 1985)。藻体は先端生長するが、まず最初の微小な結晶は第2節間細胞の表面に出現する。第3節間細胞上ではこれらが更に生長して方解石と思われる多角形の結晶となる。Fig. 42 は第4節間部に沈着した結晶の走査型顕像である。第4節間細胞上では石灰化は完了し、結晶はバンド状に沈着する。バンドは普通2~3個形成される。細胞壁そのものは石灰化しない。Fig. 43 は石灰化した藻体を偏光下で観察したもので、白く光っている部分がCaCO<sub>3</sub>結晶の沈着バンドに相当する。この様な石灰化はオオシャジクモ (*Chara corallina*) やフラスモ属 (*Nitella*) 及びフラスモダマシ属 (*TolyPELLA*) のものにおいても知られており (今堀 1954, SMITH 1968), 石灰化開始部位が外部メディアムに露出している点に特徴がある。またメディアム中に十分なCa<sup>2+</sup>が存在しないと石灰化は起きない点も海産石灰藻とは異なる。節間細胞とは別に、生卵器が石灰化することも知られている (BOROWITZKA 1982b)。この場合、卵胞子が受精すると卵胞子の細胞壁とそれを螺旋状に取り囲む栄養細胞の卵胞子に接する側の細胞壁が著しく肥厚し、両細胞壁を構築する有機層が複雑に変化して両壁が石灰化することが最近明らかにされた (LEITCH 1985)。その際シャジクモ属では石灰化した細胞壁の断面像がU字型をしており (U字型石灰化)、シラタマモ属 (*Lamprothamnium*) ではY字型を呈する (Y字型石灰化) ので、生卵器の化石から属の同定ができる。この様に生卵器の石灰化過程は前述の節間細胞表面でのものより複雑である。

光合成との関連: 生理学的研究からシャジクモ属やフラスモ属の節間細胞表面には、アルカリ域 (pH 9.5~10) と酸性域 (pH 5~6) が交互にバンド状に出現することが知られている (SMITH 1968, SPEAR *et al.* 1969, LUCAS and SMITH 1973)。この両バンドは光合成時のみ形成されることから、光合成時のHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>の利用と密接に関連することが明らかにされている (LUCAS 1976, 1979)。このアルカリバンド形成の仕組みとCaCO<sub>3</sub>沈着機構との関連をオオシャジクモを例にして模式的に示したのがFig. 44である (BOROWITZKA 1982b)。この図は光合成の炭素源としてHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を節間細胞の或る限られた部位から取り込みCO<sub>2</sub>を固定し、副産物として形成されるOH<sup>-</sup>を別の限られた部位から排出することを示している。そのためOH<sup>-</sup>の排出部位ではHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>が更に解離してCO<sub>3</sub><sup>2-</sup>になり、これがCa<sup>2+</sup>と反応することを示している。この図ではHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>取り込み域が酸性バンドと一致させてあるが、実際には酸性バンド形成の仕組みは良くわかっていない。著者の一人岡崎ら (OKAZAKI *et al.* 1985) はシャジクモを寒天に包埋するといった独特な方法で光合成時にアルカリバンドが形成されることを示した (Fig. 45)。寒天中にはNaHCO<sub>3</sub>及びpH指示薬フェノールレッド (変色域、pH6.4-8.2) が添加してあり、アルカリバンドは赤色域をつくり出す。Fig. 45 が示す様に赤色域は軸及び輪生枝の上に明瞭に観察される。このアルカリバンド形成能は光合成阻害剤DCMU及び炭酸脱水酵素の阻害剤Diamoxによってほぼ完全に阻害される。また*in vitro*の実験でアルカリバンド内にCaCO<sub>3</sub>結晶が形成されることを証明した。この様にこの仲間の節間細胞上での石灰化は光合成と共役していることは間違いない。光合成に共役したOH<sup>-</sup>排出現象は淡水産種子植物のカナダモ (*Elodea canadensis*) やヒルムシロ (*Potamogeton lucens*) の葉でも知られており、葉の裏側よりHCO<sub>3</sub><sup>-</sup>を吸収して表側にOH<sup>-</sup>を放出する (PRINS *et al.* 1982, LUCAS 1983)。従ってメディアム中のCa<sup>2+</sup>濃度が高い場合にはこれらの葉の表側に薄くCaCO<sub>3</sub>結晶が沈着することが観察されている (BOROWITZKA 1982b)。生卵器細胞壁の石灰化と光合成の関連については不明である。

Ca輸送系: 節間細胞の石灰化開始部位は外部メディアムに直接露出しているので輸送系は問題にならない。生卵器壁の石灰化も拡散により供給されると思われる。

CaCO<sub>3</sub>結晶・有機基質: 節間細胞上の結晶塊 (縦約

120  $\mu\text{m}$ , 横約 70  $\mu\text{m}$ ), 生卵器細胞壁中の結晶もすべて方解石である。後者の石灰化の場合には, 細胞壁中の多糖類が結晶核として作用する可能性は充分考えられるがその性質は不明である。また前者の節間細胞表面の石灰化の場合にも, 壁表面の物質の関与の可能性は否定できない。

## 結 論

以上, ハプト藻, 緑藻, 紅藻, 褐藻及び車軸藻に属する代表的な石灰藻について, 石灰化開始部位, 石灰化と光合成の関連, Ca 輸送系,  $\text{CaCO}_3$  結晶形と有機基質との関連に焦点を当てて概説し, 石灰化機構を考察した。このうち, 石灰化開始部位においてはどの海産石灰藻にも共通した特徴が見られ, 海水とは直接連絡のない半閉鎖または閉鎖空間で石灰化が開始されることは特に注目に値する。この空間は或る種の石灰藻では細胞外であるが藻体内であるといった特殊な細胞間隙であり, 或る種では肥厚した細胞壁がこれに該当する。この様な藻体の部位では, (1) $\text{Ca}^{2+}$  や  $\text{CO}_3^{2-}$  を濃縮して  $\text{CaCO}_3$  の飽和溶液をつくる, (2) $\text{CaCO}_3$  が析出し易い母液をつくる, (3)  $\text{CaCO}_3$  結晶の誘導や結晶形を決定するための有機基質の濃度を高める, 等の石灰化に必要な条件を一部満たすことが出来ると思われる。またいずれの多細胞石灰藻においても, 石灰化は藻体の最も若い部位で既に開始され, ほぼその近くで終了することについても指摘した。この事実は石灰化機構を解明するための生理・生化学的研究を行う場合には, 藻体の若い部分を実験に使う必要があることを意味する。従来の研究中にはこの配慮を欠いたものも多くあり, それらの論文の解析には注意しなければならない。次に生理学的立場から見た場合, 藻の石灰化の最も特徴的なのは石灰化機構が光合成と共役していると思われる点である。海産・淡水産を問わず, いずれの石灰藻においても, 光合成に伴う pH の上昇と  $\text{CO}_3^{2-}$  の形成が  $\text{CaCO}_3$  沈着に大きく貢献していることが判ってきた。石灰藻に限らずあらゆる藻が, 光合成時に pH の上昇と  $\text{CO}_3^{2-}$  の増加を引き起こすと思われるが, 前述の特殊な空間の存在が, 石灰化の一つの鍵を握るものと考えられる。特に海水の緩衝能は淡水に比べて大きいので, 海産石灰藻では, 半閉鎖空間なくしては  $\text{CaCO}_3$  形成に必要な充分な  $\text{CO}_3^{2-}$  の増加は期待出来ないであろう。これに関連して  $\text{CaCO}_3$  を沈着する動物の場合, どの様な仕組みで石灰化部位の  $\text{CO}_3^{2-}$  濃度が高められるか大変興味深い, サング骨格形成, 貝殻形成等ではまだよく判っていない様

である。

$\text{CaCO}_3$  形成のもう一つの生理学的側面, つまり石灰化部位への  $\text{Ca}^{2+}$  の供給の仕組みも, 石灰化開始部位の形態から推論できる。種々の石灰藻中, ハプト藻の円石藻類のみが生体膜を通しての Ca 輸送系が問題になるが, 他の石灰藻では海水からの拡散で十分に供給され得ると考えられている。しかし円石藻の場合にしても動物組織で知られている様ないわゆる「 $\text{Ca}^{2+}$ -ポンプ」は存在しない様である。

石灰化部位に存在する有機物質は  $\text{CaCO}_3$  結晶の核となり, 結晶生長を助け, 結晶形をも決定する可能性が以前から指摘されてきた。その様な物質として, 円石藻の石灰化した殻(ココリス)から単離された酸性多糖と, 紅藻サンゴモ科石灰藻の石灰化部位から単離されたアルギン酸が  $\text{Ca}^{2+}$  結合能をもつことから注目されている。しかしココリス多糖に  $\text{CaCO}_3$  結晶形成における上記の様な働きがあるか否かは明瞭ではない。これらの有機物質とは別に,  $\text{CaCO}_3$  結晶の同質多形に及ぼす無機イオン, 例えば  $\text{Mg}^{2+}$  の影響も無視できない。既に述べた様に  $\text{Mg}^{2+}$  にはアラレ石を誘導する性質があることは良く知られており, 石灰化部位へ  $\text{Mg}^{2+}$  が  $\text{Ca}^{2+}$  と共に入り込むとすれば, アラレ石が形成され易いことになる。海水中には  $\text{Mg}^{2+}$  (50 mM) は  $\text{Ca}^{2+}$  (10 mM) の5倍量存在するのでこの可能性は強い。外部海水に比較的近い半閉鎖空間で石灰化が起こる仲間, 例えばサボテングサ属, カサノリ属(以上緑藻), ガラガラ属, コナハダ属(以上紅藻), ウミウチワ属(褐藻)等の石灰藻はすべてアラレ石を沈着する。これに対して, 細胞内(ハプト藻)または石灰化開始部位は外部海水と近くても, 強力な方解石誘導多糖であるアルギン酸を石灰化部位にもつもの(紅藻サンゴモ科)には方解石が形成される。この事実は  $\text{Mg}^{2+}$  の影響を強く示唆する。また, 海水中には微量の  $\text{Sr}^{2+}$  (約 8300 ppm) が含まれており, この元素は  $\text{Ca}^{2+}$  と同じような挙動をするため  $\text{CaCO}_3$  結晶中にも混入することが知られている。アラレ石に混入し得る  $\text{Sr}^{2+}$  の推定値と, 上記緑藻石灰藻のアラレ石に含有されている  $\text{Sr}^{2+}$  を比較するとほぼ同じであることから, これらの藻では  $\text{Sr}^{2+}$  を生理的に選択していないことが明らかになった(KINSMAN 1969)。 $\text{Mg}^{2+}$  に対して生理的選択が働かないとは言えないが, これらの藻の石灰化開始部位の  $\text{CaCO}_3$  形成の母液は海水に近いとも考えられる。またアラレ石を誘導する性質のある有機物質がまだ発見されていないことも興味深い。いずれにせよ,  $\text{CaCO}_3$  結晶の形成及びその同質多形に関する *in vitro*

の物理・化学的研究が乏しいことが  $\text{CaCO}_3$  沈着機構を解明する上で大きな障害になっていることは否めない。

最後に藻における石灰化の意義とその様な性質を獲得するに至った経緯について考察したい。石灰藻を酸で処理して脱灰すると、いずれも軟弱な藻体が残る。従って、石灰化の意義として、軟らかい藻体を  $\text{CaCO}_3$  沈着によって固めて頑強なものにする支持機構を考えることが出来る。その際、細胞間隙又は壁に含有される  $\text{Ca}^{2+}$  結合能をもつウロン酸多糖、例えばペクチン様物質が細胞又は糸状の藻体を相互に接着させることである程度目的が果たせる。しかし或る種の藻は、更に藻体を頑強にするためにウロン酸多糖と、藻の基本的代謝の一つである光合成をうまく利用して石灰化能を獲得したのではなかろうか。しかしその反面、石灰化することは組織や器官の分化には大きな障害であることは容易に推論できる。他方、石灰化しない藻では前述のペクチン様物質の代りにセルロースに富んだ強固でかつ弾力性に富んだ細胞壁が形成され、組織・器官の分化も容易になったものと考えられる。また藻がフェノール物質等を形成して、細胞間隙や壁へ分泌し始めることが石灰化を阻止する原因となったと思われる。ポリフェノール類は  $\text{CaCO}_3$  結晶形成を阻害することが知られており、例えばフェノール物質の含量の多い褐藻植物では、体の構造が単純な同型世代綱に属するウミウチワ属の或る限られた種のみが石灰化能を備えているに過ぎない。藻体の体制が進んだ、異型世代綱、更に体制の分化の進んだホンダワラ等の円孢子綱には石灰化するものは見られない。或る種のフェノール類はリグニンを形成し、細胞壁をより強固でかつ弾力性をも備えたものに変えることは周知のことである。

この様に、細胞壁及び細胞間隙の成分の変遷と石灰化とは密接な関係にあるのではないかと思われ、今後に残された興味ある課題である。

稿を終るに当たり本稿を校閲いただいた東京教育大学名誉教授 西沢一俊博士及び英文を校閲いただいたオーストラリアの Murdoch 大学の BOROWITZKA 博士に厚くお礼申し上げる。また図及び原稿の作製に御協力いただいた東京学芸大学生物学教室岡崎研究室の瀬戸口浩彰、鹿嶋京子両氏にもお礼申し上げます。

#### 引用文献

- ARIOVICH, D. and PIENAAR, R. N. 1979. The role of light in the incorporation and utilization of  $\text{Ca}^{2+}$  ions by *Hymenomonas carterae* (BRAARUD et FAGERL.) BRAARUD (Prymnesiophyceae) Br. phycol. J. 14: 17-24.
- BLACK, M. 1965. Coccoliths. Endeavour 24: 131-137.
- BÖHM, L., FÜTTERER, D. and KAMINSKI, E. 1978. Algal calcification in some Codiaceae (Chlorophyta): Ultrastructure and location of skeletal deposits. J. Phycol. 14: 486-493.
- BÖHM, E. L. and GOREAU, T. F. 1973. Rates of turnover and net accretion of calcium and the role of calcium binding polysaccharides during calcification in the calcareous alga *Halimeda opuntia* (L.). Int. Revue ges. Hydrobiol. 58: 723-740.
- BORMAN, A. H., DE JONG, E. W., HUIZINGA, M., KOK, D. J., WESTEBROEK, P. and BOSCH, L. 1982. The role in  $\text{CaCO}_3$  crystallization of an acid  $\text{Ca}^{2+}$ -binding polysaccharide associated with coccoliths of *Emiliania huxleyi*. Eur. J. Biochem. 129: 179-183.
- BOROWITZKA, M. A. 1977. Algal calcification. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 15: 189-223.
- BOROWITZKA, M. A. 1979. Calcium exchange and the measurement of calcification rates in the calcareous coralline alga *Amphiroa foliacea*. Mar. Biol. 50: 339-347.
- BOROWITZKA, M. A. 1981. Photosynthesis and calcification in the articulated coralline algae *Amphiroa anceps* and *A. foliacea*. Mar. Biol. 62: 17-23.
- BOROWITZKA, M. A. 1982a. Morphological and cytological aspects of algal calcification. Int. Rev. Cytol. 74: 127-162.
- BOROWITZKA, M. A. 1982b. Mechanisms in algal calcification. p. 137-177. In F. E. ROUND and D. J. CHAPMAN [ed.] Progress in phycological research, Vol. 1. Elsevier Biomedical Press, Amsterdam.
- BOROWITZKA, M. A. and LARKUM, A. W. D. 1976a. II. The exchange of  $\text{Ca}^{2+}$  and the occurrence of age gradients in calcification and photosynthesis. J. exp. Bot. 27: 864-878.
- BOROWITZKA, M. A. and LARKUM, A. W. D. 1976b. Calcification in the green alga *Halimeda*. III. The sources of inorganic carbon for photosynthesis and calcification and a model of the mechanism of calcification. J. exp. Bot. 27: 879-893.
- BOROWITZKA, M. A. and LARKUM, A. W. D. 1976c. Calcification in the green alga *Halimeda*. IV. The action of metabolic inhibitors on photosynthesis and calcification. J. exp. Bot. 27: 894-907.
- BOROWITZKA, M. A. and LARKUM, A. W. D. 1977. Calcification in the green alga *Halimeda*. I.

- An ultrastructure study of thallus development. *J. Phycol.* 13: 6-16.
- BOROWITZKA, M. A., LARKUM, A. W. D. and NOCKOLDS, C. E. 1974. A scanning electron microscope study of the structure and organization of the calcium carbonate deposits of algae. *Phycologia* 13: 195-203.
- DE JONG, E. W., BOSCH, L. and WESTBROEK, P. 1976. Isolation and characterization of a  $\text{Ca}^{2+}$ -binding polysaccharide associated with coccoliths of *Emiliana huxleyi* (LOHMANN) KAMPTNER. *Eur. J. Biochem.* 70: 611-621.
- FICHTINGER-SCHPEMAN, A. M. J., KAMERLING, J. P., Vliegenthart, J. F. G., DE JONG, E. W., BOSCH, L. and WESTBROEK, P. 1979. Composition of a methylated, acidic polysaccharide associated with coccoliths of *Emiliana huxleyi* (LOHMANN) KAMPTNER. *Carbohydr. Res.* 69: 181-189.
- GOLDSMITH, J. R., GRAF, D. L. and JOENSUU, O. I. 1955. The occurrence of magnesium calcites in nature. *Geochim. Cosmochim. Acta* 7: 212-230.
- GOUREAU, T. F. 1963. Calcium carbonate deposition by coralline algae and corals in relation to their roles as reef-builders. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 109: 127-167.
- HODGES, T. K. 1976. ATPases associated with membranes of plant cells. p. 260-283. *In* U. LÜTTGE and M. G. PITMAN [ed.] *Encyclopedia of plant physiology*, New Series Vol. 2. Springer-Verlag, Berlin.
- 今堀宏三 1954. 日本産輪藻類総説. 金沢大学, 東京.
- INOUE, I. and CHIHARA, M. 1979. Life history and taxonomy of *Cricosphaera roscoffensis* var. *haptanemofera*, var. nov. (class Prymnesiophyceae) from the Pacific. *Bot. Mag. Tokyo* 92: 75-87.
- KINSMAN, D. J. J. 1969. Interpretation of  $\text{Sr}^{2+}$  concentrations in carbonate minerals and rocks. *J. Sed. Petr.* 39: 486-508.
- KITANO, Y. and HOOD, D. W. 1962. Calcium carbonate crystal forms formed from sea water by inorganic processes. *J. Oceanogr. Soc. Japan* 18: 141-145.
- KITANO, Y. and HOOD, D. W. 1965. The influence of organic material on the polymorphic crystallization of calcium carbonate. *Geochim. Cosmochim. Acta* 29: 29-41.
- KITANO, Y., KANAMORI, N. and TOKUYAMA, A. 1969. Effects of organic matter on solubilities and crystal form of carbonates. *Am. Zoologist* 9: 681-688.
- LA VELLE, J. M. 1979. Translocation in *Calliarthron tuberculosum* and its role in the light-enhancement of calcification. *Mar. Biol.* 55: 37-44.
- LEITCH, A. 1985. An investigation into the calcified charophyte oosporangium. p. 14. *In* the abstracts titled 'Biomineralization in lower plants and animals' of an internat. symp. at the Univ. of Birmingham, England, April 1885.
- LUCAS, W. J. 1976. Plasmalemma transport of  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{OH}^-$  in *Chara corallina*: Non-antiporter systems. *J. exp. Bot.* 27: 19-31.
- LUCAS, W. J. 1979. Alkaline band formation in *Chara corallina*. Due to  $\text{OH}^-$  efflux or  $\text{H}^+$  influx? *Plant. Physiol.* 63: 248-254.
- LUCAS, W. J. 1983. Photosynthetic assimilation of exogenous  $\text{HCO}_3^-$  by aquatic plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 34: 71-104.
- LUCAS, W. J. and SMITH, F. A. 1973. The formation of alkaline and acid regions at the surface of *Chara corallina* cells. *J. exp. Bot.* 24: 1-14.
- 宮田昌彦・岡崎恵視・古谷庫造 1977. 石灰褐藻オキナウチワの炭酸カルシウム沈着部位と結晶型について (藻類の炭酸カルシウム沈着の研究 I). *藻類* 25: 1-6.
- MIYATA, M., OKAZAKI, M. and FURUYA, K. 1980. Initial calcification site of the calcareous red alga *Serraticardia maxima* (YENDO) SILVA (Studies on the calcium carbonate deposition of algal III). p. 205-210. *In* M. OMORI and N. WATABE [ed.] *The mechanisms of biomineralization in animals and plants*. Tokai Univ. Press, Tokyo.
- 中原 皓 1981. 真珠層における有機相の形成と微細構造. p. 21-27. 軟体動物の研究. 大森昌衛教授還暦記念論文集刊行会.
- NAKAHARA, H. and BEVELANDER, G. 1978. The formation of calcium carbonate crystals in *Halimda incrassata* with special reference to the role of the organic matrix. *Jap. J. Phycol.* 26: 9-12.
- NICKL, H. J. and HENISCH, H. K. 1969. Growth of calcite crystals in gels. *Solid State Sci.* 116: 1258-1260.
- OHSUMI, Y. and ANRAKU, Y. 1983. Calcium transport driven by a proton motive force in vacuolar membrane vesicles of *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Biol. Chem.* 258: 5614-5617.
- OKAZAKI, M. 1977. Some enzymatic properties of  $\text{Ca}^{2+}$ -dependent adenosine triphosphatase from a calcareous red alga, *Serraticardia maxima* and its distribution in marine algae. *Bot. Mar.* 20: 347-354.
- 岡崎恵視 1979. 藻類の石灰化開始部位と石灰化機構について. *化石研究会会誌* 12: 31-36.
- OKAZAKI, M., FUJII, M., USUDA, Y. and FURUYA,

- K. 1984. Soluble  $\text{Ca}^{2+}$ -activated ATPase and its possible role in calcification of the coccolithophorid *Cricosphaera roscoffensis* var. *haptomemofera* (Haptophyta) (Studies on the calcium carbonate deposition of algae V). Bot. Mar. 27: 363-369.
- OKAZAKI, M., FURUYA, K., TSUKAYAMA, K. and NISIZAWA, K. 1982. Isolation and identification of alginic acid from a calcareous red alga *Serraticardia maxima*. Bot. Mar. 25: 123-131.
- OKAZAKI, M., ICHIKAWA, K. and FURUYA, K. 1982. Studies on the calcium carbonate deposition of algae-IV. Initial calcification site of calcareous red alga *Galaxaura fastigiata* DECAISNE. Bot. Mar. 25: 511-517.
- 岡崎恵視・猪川倫好・古谷庫造・西沢一俊・三輪知雄 1970. 石灰紅藻 *Serraticardia maxima* (オオンコロ) の炭酸カルシウム沈着について。植物学雑誌 83: 193-201.
- OKAZAKI, M. and KATSUMI, T. 1984. Calcification of the stalk of *Acetabularia calyculus*. Acetabularia Newslet. 1984(4): 7, 8.
- 岡崎恵視・白戸 爾・古谷庫造 1984. 石灰紅藻 オオンコロとミヤベオコンにおけるウロン酸多糖の局在性と石灰化部位との関連について (藻類の  $\text{CaCO}_3$  沈着に関する研究VI)。藻類 32: 364-372.
- 岡崎恵視・高田真美・宮田昌彦 1977. 石灰紅藻ウチワサボテングサの炭酸カルシウム沈着部位と結晶型について (藻類の炭酸カルシウム沈着の研究II)。藻類 25: 189-194.
- OKAZAKI, M., TANAKA, Y., MIYATA, M. and PENTECOST, A. 1985. Initial calcification site of a calcareous brown alga *Padina japonica* YAMADA (Studies on the calcium carbonate deposition of algae VII). Br. phycol. J. (in press).
- OKAZAKI, M., TOKITA, M. and KASHIMA, K. 1985. Calcification of *Chara* caused by  $\text{OH}^-$  efflux coupled with photosynthesis. p. 18. In the abstracts titled 'Biomineralization in lower plants and animals' of an internat. symp. at the Univ. of Birmingham, England, April 1985.
- OUTKA, D.E. and WILLIAMS, D.C. 1971. Sequential coccolith morphogenesis in *Hymenomonas carterae*. J. Protzool. 18: 285-297.
- 小沢英浩 1975. 硬組織の超微細構造と石灰化。骨代謝 8: 227-265.
- PAASCHE, E. 1964. A tracer study of the inorganic carbon uptake during coccolith formation and photosynthesis in the coccolithophorid, *Coccolithus huxleyi*. Physiol. Pl., Suppl. 3: 5-82.
- PARK, P.K. 1969. Oceanic  $\text{CO}_2$  system: An evaluation of ten methods of investigation. Limnol. Oceanogr. 14: 179-186.
- PEARSE, V.B. 1972. Radioisotopic study of calcification in the articulated coralline alga *Bossiella orbigniana*. J. Phycol. 8: 88-97.
- PENTECOST, A. 1980. Calcification in plants. Int. Rev. Cytol. 62: 1-27.
- PRINS, H.B.A., SNEL, J.F.H., HELDER, R.J. and ZANSTRA, P.E. 1980. Photosynthetic  $\text{HCO}_3^-$  utilization and  $\text{OH}^-$  excretion in aquatic angiosperms. Light-induced pH changes at the leaf surface. Plant Physiol. 66: 818-822.
- PUISEUX-DAO, S. 1970. *Acetabularia* and cell biology. Logos Press, London.
- 白戸 爾 1984. 石灰紅藻 コナハダ 属 (紅藻植物門) の石灰化機構について。東京学芸大学修士論文。
- SMITH, A.D. and ROTH, A.A. 1979. Effect of carbon dioxide concentration on calcification in the red coralline alga *Bossiella orbigniana*. Mar. Biol. 52: 217-225.
- SMITH, F.A. 1968. Rates of photosynthesis in Characean cells. II. Photosynthetic  $^{14}\text{CO}_2$  fixation and  $^{14}\text{C}$ -bicarbonate uptake by Characean cells. J. exp. Bot. 19: 207-217.
- SPEAR, D.G., BARR, J.K. and BARR, C.E. 1969. Localization of hydrogen ion and chloride ion fluxes in *Nitella*. J. gen. Physiol. 54: 397-414.
- VAN DER WAL, P., DE JONG, L., WESTBROEK, P. and DE BRUIJN, W.C. 1982. Calcification in the coccolithophorid alga *Hymenomonas carterae*. Ecological Bull. 35: 251-258.
- 和田徳雄・岡崎恵視・古谷庫造 1984. 炭酸カルシウム結晶生長に及ぼすアルギン酸の影響。日本藻類学会第8回大会講演要旨。藻類 32: 100.
- WILBUR, K.M., COLINVAUX, L.H. and WATABE, N. 1969. Electron microscope study of calcification in the alga *Halimeda* (order Siphonales). Phycologia 8: 27-35.
- WILBUR, K.M. and WATABE, N. 1963. Experimental studies on calcification in molluscs and the alga *Coccolithus huxleyi*. Ann. N.Y. Acad. Sci. 109: 82-112.

## — 学 会 録 事 —

## 日本藻類学会秋季シンポジウム

日本植物学会第50回大会（新潟大学にて開催）の関連行事として、日本藻類学会秋季シンポジウムを10月1日新潟市国家公務員共済施設「ニュー越路」で開催した。当学会の秋の集会は、例年植物学会会期中に開かれていたが、他の関連集会との重複を避け、また集会をより学術的なものにするを目的として、今回は大会前日に期日を通り越し講演会を企画実施したものである。シンポジウムの開始に先立ち、小林弘氏が学会執行部を代表してあいさつと主旨説明を行い、ひきつづき「緑藻類における配偶細胞の接合構造 (mating structure)」堀輝三氏(筑波大学・生物科学系)、「藻類は細胞学の宝庫——葉緑体の細胞遺伝を中心に——」黒岩常祥氏(国立基礎生物研究所)の二つの講演を市村輝宜氏(東京大学・応用微生物研究所)を座長として午後4時から6時過ぎまで2時間余にわたって行った。シンポジウム参加者は78名で、植物の分類・系統進化・形態・細胞・生理・生態、生化学など多岐の分野の研究者が参集して活発な論議を行い、盛会であった。

シンポジウムの後、懇親会を開いた。世話人の野田光蔵氏のあいさつ、舟橋説往氏による乾杯の音頭のあと2時間余り、なごやかな懇談が続いた。この間スピーチと会長のあいさつがあった。最後に小林弘氏の万

歳三唱によって幕を閉じた。

シンポジウムと懇親会の開催にあたって、会場の交渉、設定をはじめ、細部にわたってご配慮を頂いた野田光蔵氏、北見秀夫氏、荒木勉氏、本田幸子氏等に厚くお礼を申し上げる。

シンポジウム・懇親会参加者：秋山優、荒木勉、荒木久哉、有賀祐勝、猪川倫好、池原宏二、石川依久子、市村輝宜、出井雅彦、井上勲、植田勝己、榎本幸人、大島海一、大谷修司、岡崎恵視、岡田光正、小川茂、奥田一男、奥田武男、笠井文絵、加崎英男、笠原和男、片山舒康、加藤季夫、北見秀夫、黒岩常祥、小林艶子、小林弘、小林秀明、後藤康江、佐藤（日本ソーダ株）、鈴木健策、瀬戸良三、瀬戸口浩彰、千田幸枝、高橋京子、高橋潔、田中次郎、谷川由利子、千原光雄、坪由宏、長島秀明、中村澄夫、中村宗一、中村運、南雲保、西澤一俊、根本泰行、野口哲子、野崎久義、野田光蔵、能登谷正浩、幡野恭子、浜田仁、広重寿子、福島博、藤伊正、イングリッド・フック、船橋説往、福田育二郎、堀輝三、本田幸子、松田由紀子、三浦昭雄、水野真、御園生拓、三田高志、宮地和幸、宮地重遠、宮村新一、村上悟、安井肇、安田智子、山岸高旺、山田家正、山本虎夫、吉武佐紀子、吉田忠生、若菜勇、渡辺信。

## 新 入 会

## 住 所 変 更

## 退 会

溝口健次 (大阪府)

## 日本藻類学会第10回大会宿泊案内

下記の宿泊施設リストを参照し、各自で早めに申し込んで下さい。

- 筑波研修センター 新治郡桜村妻木 645, TEL. 0298-51-5252, シングル ¥2,800, ツイン ¥3,200 (1名), 和室 ¥2,800, [土浦より石下行または高エネルギー研究所行バスで妻木バス停車, 大学中央までバス約10分]
- ホテル・サンルート筑波 新治郡桜村花室 1145-1, TEL. 0298-52-1151, シングル ¥6,350 から, ツイン ¥12,100 から, [土浦より, 大学中央行バスで電々社宅前下車徒歩5分, 大学中央までバス約20分]
- トレモントホテル 新治郡桜村天久保 3-19-9, TEL. 0298-51-8711, シングル ¥6,500, ツイン ¥12,000 [大学中央バス停から徒歩3分]
- ホテルニューたかはし竹園店 新治郡桜村竹園 2-10-3, TEL. 0298-51-1208, シングル ¥4,800, ツイン ¥4,200 (1人), 和室 ¥3,900 (1人), [土浦, 荒川沖より大学方面行バスで竹園2丁目下車, 大学中央までバス約20分]
- 筑波第一ホテル 新治郡桜村大字吾妻1丁目 TEL. 0298-52-1112, シングル ¥7,400, ツイン ¥12,000 (2人) [土浦, 荒川沖より学園都市方面行バスで筑波センタービル下車, 大学中央までバス約20分]
- ホテル・グランド東雲 筑波郡谷田部町小野崎涌井 488-1, TEL. 0297-55-2211, シングル ¥5,500, ツイン ¥8,800 (2人), 和室 ¥5,500 から, [土浦, 荒川沖より学園都市方面行バスで筑波センタービル下車, 徒歩5分, 大学中央までバス約20分]
- 以上はバスの便の比較的良好なホテルです。自家用車で来られる方は下記のホテルもご利用になれます。
- ホテル・ニューたかはし大穂店 筑波郡大徳町花畑 3-14-7, TEL. 0298-64-2345, シングル ¥4,800, ツイン ¥4,200 (1人), 和室 ¥3,900 (1人)
- 旅館二の宮 筑波郡谷田部町二の宮 3-8-6, TEL. 0298-52-5811, 和室 ¥5,000 (2食付)
- 学園桜井ホテル 筑波郡谷田部町東新井 8-7, TEL. 0298-51-3011, シングル ¥5,000, ツイン ¥4,900 (1人)
- ホテル洞峰 筑波郡谷田部町二の宮 2-1-3, TEL. 0298-51-4135, 和室 ¥4,500 から, ツイン ¥5,000 (1人)
- つくばスカイホテル 筑波郡谷田部町小野崎 283-1, TEL. 0297-54-5111, シングル ¥5,000, ツイン ¥9,000

## 日本藻類学会・山田幸夫博士記念事業特別基金

下記の方から日本藻類学会・山田幸夫博士記念事業特別基金に御寄付をいただきました。

黒木宗尚氏

昭和60年9月20日

日本藻類学会

## 日本藻類学会々則

第1条 本会は日本藻類学会と称する。

第2条 本会は藻学の進歩普及を図り、併せて会員相互の連絡並に親睦を図ることを目的とする。

第3条 本会は前条の目的を達するために次の事業を行なう。

1. 総会の開催（年1回）
2. 藻類に関する研究会、講習会、採集会等の開催
3. 定期刊行物の発刊
4. その他前条の目的を達するために必要な事業

第4条 本会の事務所は会長が適当と認める場所におく。

第5条 本会の事業年度は1月1日に始まり、同年12月31日に終る。

第6条 会員は次の4種とする。

1. 普通会員（藻類に関心を持ち、本会の趣旨に賛同する個人で、役員会の承認するもの）。
2. 団体会員（本会の趣旨に賛同する団体で、役員会の承認するもの）。
3. 名誉会員（藻学の発達に貢献があり、本会の趣旨に賛同する個人で、役員会の推薦するもの）。
4. 賛助会員（本会の趣旨に賛同し、賛助会員会費を納入する個人又は団体で、役員会の推薦するもの）。

第7条 本会に入会するには、住所、氏名（団体名）、職業を記入した入会申込書を会長に差出すものとする。

第8条 普通会員は毎年会費7,000円（学生は5,000円）を前納するものとする。但し、名誉会員（次条に定める名誉会長を含む）は会費を要しない。外国会員の会費は8,500円とする。団体会員の会費は12,000円とする。賛助会員の会費は1口20,000円とする。

第9条 本会には次の役員を置く。

会長 1名 幹事 若干名 評議員 若干名 会計監事 2名

役員の任期は2カ年とし重任することが出来る。但し、会長と評議員は引続き3期選出されることは出来ない。役員選出の規定は別に定める（付則第1条～第4条）。本会に名誉会長を置くことが出来る。

第10条 会長は会を代表し、会務の全体を統べる。幹事は会長の意を受けて日常の会務を行う。会計監事は前年度の決算財産の状況などを監査する。

第11条 評議員は評議員会を構成し、会の要務に関し会長の諮問にあずかる。評議員会は会長が招集し、また文書をもって、これに代えることが出来る。

第12条 1. 本会は定期刊行物「藻類」を年4回刊行し、会員に無料で頒布する。

2. 「藻類」の編集・刊行のために編集委員会を置く。

3. 編集委員会の構成・運営などについては別に定める内規による。

## (付 則)

第1条 会長は国内在住の全会員の投票により、会員の互選で定める（その際評議員会は参考のため若干名の候補者を推薦することが出来る）。幹事は会長が会員中よりこれを指名委嘱する。会計監事は評議員会の協議により会員中から選り総会において承認を受ける。

第2条 評議員選出は次の二方法による。

1. 各地区別に会員中より選出される。その定員は各地区1名とし、会員数が50名を越える地区では50名までごとに1名を加える。
2. 総会において会長が会員中より若干名を推薦する。但し、その数は全評議員の1/3を越えることは出来ない。

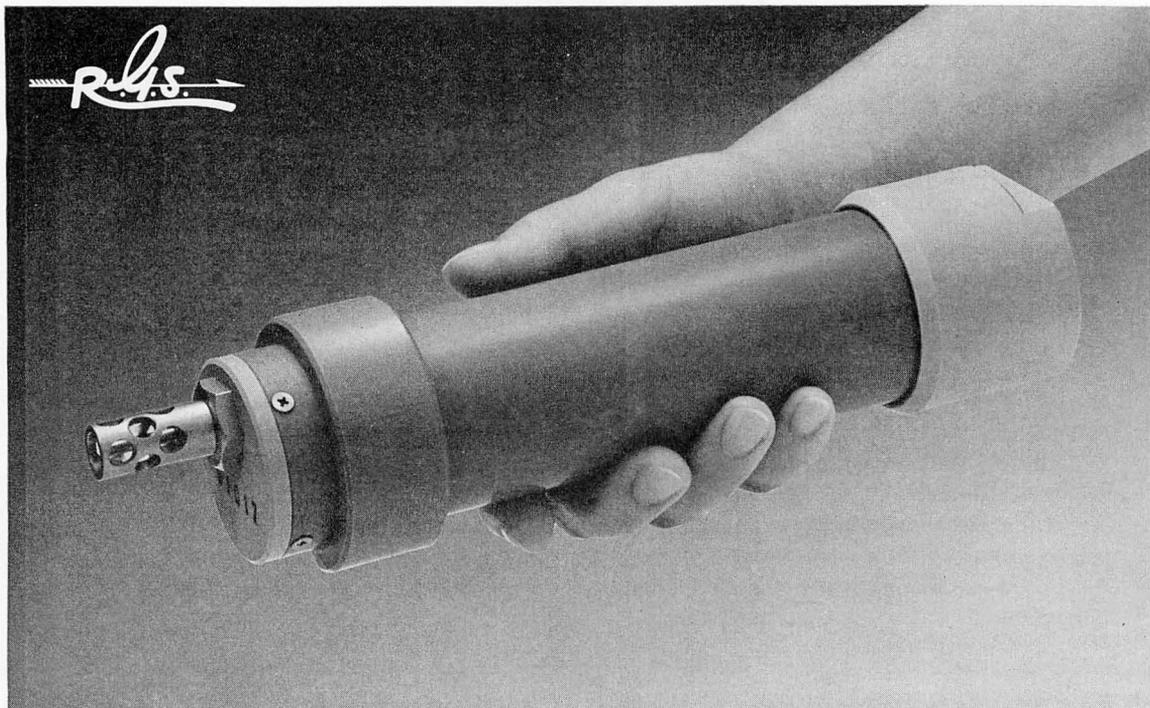
地区割は次の7地区とする。北海道地区。東北地区。関東地区（新潟、長野、山梨を含む）。中部地区（三重を含む）。近畿地区。中国・四国地区。九州地区（沖縄を含む）。

第3条 会長、幹事及び会計監事は評議員を兼任することは出来ない。

第4条 会長および地区選出の評議員に欠員を生じた場合は、前任者の残余期間次点者をもって充当する。

第5条 会員がバックナンバーを求めるときは各号1,750円とし、非会員の予約購読料は各号3,000円とする。

第6条 本会則は昭和60年1月1日より改正施行する。



**豊富な経験とテクノロジーを集結して、  
超小型・軽量化を実現しました。**

**RMT水温計**  
**(パソコン直結式)**  
Cat.No. 5221

**新製品**



測定間隔は1~127分まで、1分ごとに設定できます。本装置は、海洋、河川、湖沼、水槽やいけすなど、表層から水深500mまでの水温観測ができるデジタルメモリー式の水温計です。水溫計本体は、携帯、保管、取り付けが簡便で、連装して取り付けることにより、細かい水平、鉛直水温分布などの観測が容易に行なえます。また、他の機器に簡単に取り付けすることもできます。水溫計の測定間隔は、1~127分まで1分ごとに設定でき、設定された測定間隔ごとに水温を自動計測し、ICメモリーに記憶します。

データは、水溫計を回収後インターフェースを介して、RS-232Cコードで汎用パーソナルコンピュータと接続し、取り出します。

インターフェースは、水溫計からデータを取り出してパーソナルコンピュータへ転送するだけでなく、測定間隔のセット、メモリークリア、水溫計の動作チェック等の機能も持っています。

**水溫計**

温度測定範囲 -5~+50℃  
メモリー容量 4000データ(オプション8000データ)  
測定間隔 1~127分まで1分ごとに設定できます。  
最大使用深度 500m  
寸法  $\phi 60 \times 242$ mm(感温部も含む)

**インターフェース**

転送方式 RS-232C

**株式会社 離合社**

本社/〒113 東京都文京区本郷6-19-7 ☎03(811)1831(代) FAX03(813)9580

大阪営業所/〒530 大阪市北区同心2-15-9 ☎06(351)8019-7346

浦和工場/〒336 埼玉県浦和市原山3-14-20 ☎0488(82)3183(代) FAX0488(82)3086

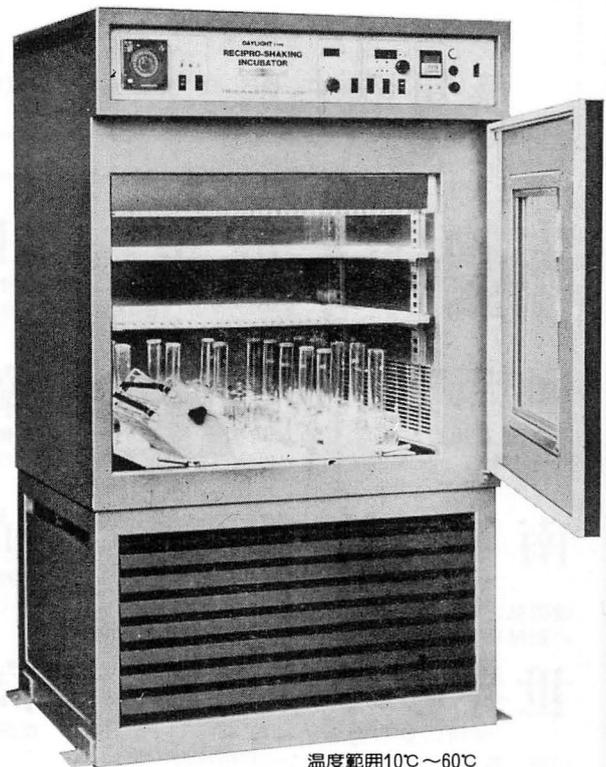
# デイライトタイプ レシプロシエーキング インキュベーター

光源として20W蛍光灯、プラントルクス等が10本取付け可能で、最大10,000ルクスの照度が得られ、スイッチにより半分の点灯も可能です。さらに、24時間タイマーと連動させて、最小15分から最大24時間まで自由な照射条件が作れます。

レシプロの振盪機構はつまみひとつで自由に速度が可変でき、回転数もデジタル表示します。振盪パネルはワンタッチで交換可能、オプションとして御要望に合せたどのようなパネルも作成いたします。

恒温機構も10℃から60℃の広帯域で使用でき、恒温振盪培養機としての使用はもちろんのこと、陽光恒温器としても使用でき、藻類の増殖試験等に最適です。長時間試験にも充分使用できるようにデジタル設定の運転用タイマーを備え、経時後自動OFF、または自動ONが可能です。さらに高温防止器などの安全装置も装備していますので無人運転等多様な運転操作が安心して行えます。

※この外にも各種振盪培養機があります。カタログ御請求ください。



温度範囲10℃～60℃

## 仕様

外 法：W900×D780×H1,520mm  
 器内有効内法：W720×D650×H 520mm  
 (ランプ無し 660mm)  
 振盪パネル：600×600mm(500ml坂口フラスコ25本掛、その他試験管、フラスコ、パネル等任意取付可)  
 振盪巾：70mm  
 振盪数：30～200R.P.M.(回転計付)  
 温度範囲：10℃～60℃  
 温度分布：±1℃ 温度精度：±0.5℃  
 安全装置：ヒーター断線、センサートラブル、異常高温を  
 警報加熱・冷却装置 自動カット機構付

理化学機器 トーマスハンディクーラー・全自動式恒温水槽(P.A.T) 低温、高温、恒温装置・乾燥器・電気炉・振盪機

## トーマス科学器械株式会社

〒124 東京都葛飾区四つ木3丁目4番23号  
 電話 03(694)7771代 ファックス 03(693)6001

新刊

## 第4巻発行 400種が揃う!

シートでみる種の同定・分類

# 淡水藻類写真集

*Photomicrographs of the Fresh-water Algae*

山岸高旺・秋山優編集

B5判・各100シート・ルーズリーフ式

第1巻・第2巻 発売中 定価4000円

第3巻・第4巻 最新刊 定価5000円 千300

■藻類の全体像の顕微鏡写真を中心に、拡大写真、線図を加え1種1頁を原則に収録、解説は和英両文で種名・文献、藻類の性状、寸法、分布、類似種との比較等を記載している。各巻100シートにまとめコード番号を付している。

# 日本淡水藻図鑑

廣瀬弘幸・山岸高旺編

B5判 定価36,000円

■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。

—近刊—

## 藻類の生態

有賀祐勝 秋山 優 編  
坂本 充 横浜康継  
A5判 約600頁

## 生物学史展望

井上清恒著 五千年にわたる生物学の流れを追い、各時代の特徴を浮彫にする。分子の世界にまで進んだ生物学の立場を考えるために好適。定価4800円

## 回想のモーリッシュ

—ある自然科学者の人間像—

渋谷 肇著 日本の植物学界に大きな足跡を残した自然科学者の生涯をたどる労作。定価1800円

## 南の動物誌

—熱帯森林に生きる—

渡辺弘之著 熱帯森林を専攻する著者が、熱帯地域の動植物の生活を写真を中心に語る。定価1300円

## 世界の珍草奇木

—植物に見る生命の神秘—

川崎 勉著 自然界の重要な仲間植物群、強い生命力と環境への適応力を感激の筆で語る。定価1300円

## 世界の珍草奇木余話

—植物と花と人生と—

川崎 勉著 仏教にちなむ名木の他、遺稿「帰化植物と帰化雑草」を加えた草木の話。定価1300円

## 内田老鶴圃

東京・千代田区九段北1-2-1 / Tel 03-265-3636

## 日本海藻誌

岡村金太郎著 海藻学の全般を精密克明な解説と実地調査で裏付けした不朽の名著。定価20000円

## 藻類学総説

廣瀬弘幸著 藻類の分類と形態を重点に置いて、克明な図により丁寧に解説する。定価7000円

## 植物組織学

猪野俊平著 植物組織学の定義・内容・発達史から研究方法を幅広く詳述した唯一の書。定価15000円

## 高地植物学

柴田 治著 植物の環境適応について長年研究した著者の成果をまとめた。定価5800円

## 山歩きアラカルト

—自然の探索ノート—

柴田 治著 山野をたのしく歩くための心得帳。とくに山の医学は知っていて便利。定価1300円

## 学 会 出 版 物

下記の出版物をご希望の方に頒布致しますので、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、非会員各号3,000円、30巻4号(創立30周年記念増大号、1-30巻索引付)のみ会員5,000円、非会員7,000円、欠号：1巻1-2号、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. A 5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. B 5版, xiv+280頁, 6図版。昭和46年8月に札幌で開催さ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. B 5版, 65頁。昭和49年9月に札幌で行な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。

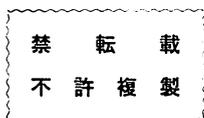
### Publications of the Society

Inquiries concerning copies of the following publications should be sent to the Japanese Society of Phycology, c/o Institute of Biological Sciences, University of Tsukuba, Sakura-mura, Ibaraki-ken, 305 Japan.

1. Back numbers of the Japanese Journal of Phycology (Vols. 1-28, Bulletin of Japanese Society of Phycology). Price, 2,000 Yen per issue for member, or 3,500 Yen per issue for non member, price of Vol. 30, No. 4 (30th Anniversary Issue), with cumulative index (Vol. 1-30), 6,000 Yen for member, or 7,500 Yen for non member. Lack: Vol. 1, Nos. 1-2; Vol. 4, Nos. 1, 3; Vol. 5, Nos. 1-2; Vol. 6-Vol. 9, Nos. 1-3 (incl. postage, surface mail).
2. Index of the Bulletin of Japanese Society of Phycology. Vol. 1 (1953)-Vol. 10 (1962) Price 2,000 Yen for member, 2,500 Yen for non member, Vol. 11 (1963)-Vol. 20 (1972), Price 3,000 Yen for member, 4,000 Yen for non member. Vol. 1 (1953)-Vol. 30 (1982). Price 4,000 Yen for member, 5,000 Yen for non member (incl. postage, surface mail).
3. A Memorial Issue Honouring the late Professor Yukio YAMADA (Supplement to Volume 25, the Bulletin of Japanese Society of Phycology). 1977. xxviii+418 pages. This issue includes 50 articles (26 in English, 24 in Japanese with English summary) on phycology, with photographs and list of publications of the late Professor Yukio YAMADA. ¥ 8,500 (incl. postage, surface mail).
4. Contributions to the Systematics of the Benthic Marine Algae of the North Pacific. Edited by I. A. ABBOTT and M. KUROGI. 1972. xiv+280 pages, 6 plates. Twenty papers followed by discussions are included, which were presented in the U.S.-Japan Seminar on the North Pacific benthic marine algae, held in Sapporo, Japan, August 13-16, 1971. ¥ 5,000 (incl. postage, surface mail).
5. Recent Studies on the Cultivation of *Laminaria* in Hokkaido (in Japanese). 1977. 65 pages. Four papers followed by discussions are included, which were presented in a symposium on *Laminaria*, sponsored by the Society, held in Sapporo, September 1974. ¥ 1,200 (incl. postage, surface mail).

昭和60年12月5日 印刷  
昭和60年12月10日 発行

©1985 Japanese Society of Phycology



編集兼発行者

小 林 弘

〒184 東京都小金井市貫井北町 4-1-1  
東京学芸大学生物学教室内  
Tel. 0243-25-2111 ext. 2665

印 刷 所

学術図書印刷株式会社

〒176 東京都練馬区豊玉北 2-13

発 行 所

日 本 藻 類 学 会

〒305 茨城県新治郡桜村天王台 1-1-1  
筑波大学生物科学系内  
Tel. 0298-53-4533

Printed by GAKUJUTSU TOSHO Printing Co.

本誌の出版費の一部は文部省科学研究費補助金(研究成果刊行費)による。

# 藻 類

## 目 次

アニシア Q. フルタドーボンセ・梅崎 勇: イソハナビ <i>Erythrocladia subintegra</i> (紅藻類ウツケノリ目) の生活史の研究.....(英文)	283
藪 熙: 紅藻ソゾ属 3 種の減数分裂.....(英文)	288
小林 弘・小林秀明・出井雅彦: 日本産小形ステファノディスクス属 (ケイソウ類) の微細構造と分類 3. <i>Stephanodiscus minutulus</i> (KÜTZ.) ROUND と <i>S. parvus</i> STOERM. & HÅK. の同時出現.....(英文)	293
奥田一雄・水田 俊: 緑藻アオモグサの原形質から分化した球形細胞における細胞壁ミクロフィブリルの配向パターンの解析.....(英文)	301
片山舒康・徳永裕子・横浜康継: タイドプールより得たタマリシオグサ (緑藻) の光合成特性に及ぼす培養温度の影響.....(英文)	312
今尾和正・伏見 浩: 浜名湖におけるアマモ ( <i>Zostera marina</i> L.) の生態, 特に一年生アマモの成立要因.....	320
◆ ◆ ◆	
ノート	
瀬戸良三: ホソアヤギス <i>Caloglossa ogasawaraensis</i> OKAMURA (紅藻類, イギス目) の選定タイプ標本の表示について.....(英文)	317
◆ ◆ ◆	
総 説	
岡崎恵視・古谷庫造: 藻類の石灰化機構.....	328
◆ ◆ ◆	
国際シンポジウムと会議の案内.....	300, 327
新刊紹介.....	311, 319
◆ ◆ ◆	
学会録事.....	345
会 則.....	347
第33巻総目次	