

Protoperidinium conicum (GRAN) BALECH
(Dinophyceae) のシストと游泳体

小林 聡*・松岡数充**

* 長崎大学水産学部 (852 長崎市文教町 1-14)

** 長崎大学教養部 (852 長崎市文教町 1-14)

KOBAYASHI, S. and MATSUOKA, K. 1984. Cyst and theca forms of *Protoperidinium conicum* (GRAN) BALECH (Dinophyceae). Jap. J. Phycol. 32: 251-256.

Some living dinoflagellate cysts collected from surface sediments in Omura Bay, West Kyushu, were incubated to clarify the cyst-theca relationship. One of them is identified as *Multispinula quanta* BRADFORD ex HARLAND & REID and the thecate forms germinated from the cyst are recognized as *Protoperidinium conicum* (GRAN) BALECH on the basis of the morphological characteristics of thecate cells.

In *M. quanta*, we recognized two morphotypes, type A and type B. The former has a strongly convex epicyst with a small and distinctive apical boss, and shows a broad bean shape in polar view with a shallow ventral sulcus. While, the latter type is heptagonal in equatorial view with an apical boss in like manner to type A, and was very rare in surface sediments of Omura Bay. The thecate forms germinated from these cysts of both types are closely similar to each other. These thecate forms germinated from type A cyst might be identified as the Pacific form in sense ABÉ.

The thecate forms differ from the similar species, *Protoperidinium leonis* (PAVILLARD) BALECH, in the following points.

- 1) The cingulum does not have any displacement.
- 2) The sulcus reaches the center of the hypotheca.
- 3) The outline between two antapical horns indicates a deep V-shape.
- 4) The suture between the apical 1' and 4' plates, and the precingular 6" and 7" plates is mostly linear, and not zigzag.

Key index words: dinoflagellate cyst; *Multispinula quanta*; *Protoperidinium conicum*; incubation.

Satoru Kobayashi, Faculty of Fisheries, Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-cho, Nagasaki, 852 Japan; Kazumi Matsuoka, Department of Geology, Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University, 1-14, Bunkyo-cho, Nagasaki, 852 Japan

渦鞭毛藻の生活環を明らかにする上で、シスト (cyst) の存在は無視することができない。近年、一部の種の生活環が培養実験により明らかにされてきている (例えば Von STOSCH 1973, PFIESTER 1975 1976 1977, 福代 1982b)。これらによると、主に水底の表層堆積物中に発見されるシストは、有性生殖後に形成されたものであり、比較的厚い細胞壁を有し、休

眠状態にあって発芽能力を備えていると言える。なお本論にいうシストは resting cyst を示し, temporary cyst や pellicle cyst とは区別している。

これまでシストに関する研究は、海底堆積物中に発見されるシストの形態の記載や、それに基づく分類を中心に発展して来た。そしてその形態に基づき、游泳体とは別の独自の体系下で記載と分類が行なわれるようになってきている (REID 1974 1977, BRADFORD 1975 1977, HARLAND 1977)。しかし、最近ではその両体系を統一しようとする試みもある (HARLAND 1982)。一方、シストを培養することにより、それに対応する

* 現住所: 333 川口市芝鶴ヶ丸 6906-10 (株) 東京久栄環境技術部
(Present address: Tokyo Kyuei Co., Ltd. 6906-10 Tsurugamaru, Shiba, Kawaguchi-shi, 333 Japan)

游泳体を確認する研究は WALL や DALE をはじめとする研究者によって行なわれて来た (WALL and DALE 1966 1968a, b 1971, WALL, GUILLARD and DALE 1967, WALL, GUILLARD, DALE, SWIFT and WATABE 1970, 福代・橋高・平野 1977, 福代 1982a, MATSUOKA, KOBAYASHI and IIZUKA 1982)。これらの研究によって現在まで約30種のシストと游泳体との関係が確認されたと同時に、シストと游泳体の形態が著しく異っていることも明らかになった。それ故に従来古生物学的観点で行なわれて来たシストの形態に関する研究と游泳体の形態、生態に関する研究とを結びつけるものとしてシストを培養し、泳ぎ出した個体からシストと游泳体との対応を確認することはプランクトンとしての游泳体を理解するためにも極めて重要である。

筆者らは長崎県大村湾の表層堆積物中に存在するシストを分離し、これらの培養を試みた。その結果現在までに21種についてシストと游泳体との対応関係を見つかることができた。今回、*Protoperidinium* 属の *Conica* グループに含まれる *Protoperidinium conicum* (GRAN) BALECH において二形態のシストを確認したので、それぞれのシストと游泳体の形態について報告する。なお、小論ではシストの分類体系に基づく学名に * 印を付して示す。

材料と方法

1. シストの分離

1980年10月、1981年3月及び6月に大村湾内の5地点で、投入式の小型コアサンプラーを用いて底泥を柱状に採集した。そして、実験室に持ち帰った柱状試料の表層から2cmまでの泥を直ちに分取して、超音波照射・篩分画法 (福代 1980) に従ってシストを抽出・分離し、精製試料を得た。精製試料は培養に着手するまで約4°Cの冷蔵庫に保存した。

2. シストの培養と観察

精製試料中からシストを顕微鏡下でキャピラリーピペットを用いて1個体ずつ抽出した。そのシストを2~3回ろ過海水で洗浄した後、SW II 培養液 (IWASAKI 1961) が1ml 入ったヌク製24穴マルチディッシュに移した。シスト接種後は20~24°C、4000 lux で明12時間、暗12時間の条件で培養を行ない、発芽の有無を1日1回観察した。シストから発芽した游泳体の観察には発芽後2ないし3日経過した個体を用いた。観察した主な点は外形、鋸板配列様式、表面の模様等であった。観察には必要に応じてトリバンプルーによる染

色や、ノマルスキー式微分干渉顕微鏡を用いて行なった。

結果と考察

発芽に要した日数は、個体によって差はあるが、いずれも一週間以内であった。以下にシストの形態及び発芽個体の形態を述べる。

Protoperidinium conicum (GRAN) BALECH 1974
[**Multispinula quanta* BRADFORD 1977 ex HARLAND et REID 1980]

1) シスト (Figs. 1, 2, 9-11, 14, 15)

Peridinium sp. (Cyst-form 6) WALL 1965, p. 308, text-figs. 17, 23.

Cyst of *Peridinium conicum* (GRAN) OSTENFELD et SCHMIDT, WALL and DALE 1968a, pp. 273-274, pl. 2, figs. 4-5.

**Multispinula quanta* BRADFORD 1975, pp. 3067-3070, figs. 5-7; REID 1977, pp. 448-449, pl. 3, figs. 30-33; HARLAND 1977, p. 106, pl. 3, fig. 14, pl. 4, figs. 18-19; HARLAND and REID in HARLAND et al. 1980, p. 223.

Protoperidinium (*Protoperidinium*) *conicum* (GRAN) BALECH; HARLAND 1982, pp. 384-385, text-fig. 19, pl. 39, figs. 1-3, pl. 42, figs. 1, 10.

本種のシストは二形態確認された。それぞれを Type A, Type B とする。

Type A: シストは淡茶褐色で、両極方向から押しつぶされた円盤状を呈し、上面観は逆心臓形から楕円形をしている。細胞壁は一層よりなる。シスト表面には針状の先端をもつ棘が偽縫合線 (parasuture) の一部に沿って分布している。シスト前部 (epicyst) の先端には数本の棘が分布して前角を示し、シスト後部 (hypocyst) では2ヶ所に棘が密集して分布し、2本の後角を反映している。游泳体の縦溝に相当する部分は陥入しており、横溝に相当する位置には棘が二列に配列している。発芽孔 (archeopyle) はシスト前部の背側にあり、丸味を帯びた六角形で、第2前挿間板 (2a) に対応している。培養に供したシストのほとんどは、発芽前に赤色の油球を3~5個有していた。

大きさ; 左右径: 54~64 μm , 背腹径: 43~50 μm , 長さ: 36~40 μm , 棘の長さ: 7~12 μm 。

Type B: このシストは Type A ほど両極方向に押しつぶされていない。側方より観察すると七角形をしている。腹面観での外形は Type A のような頂部の

へこみがない。上面観ではほぼ楕円形をしている。その他の形態は Type A と同様であった。

大きさ; 左右径: 48~50 μm , 背腹径: 39~41 μm , 長さ: 52 μm , 棘の長さ: 9~12 μm 。

大村湾底泥中には二種類のシストが存在する。WALL and DALE (1968a) の報告したシストはその左右径が 28~52 μm で、図示されたシスト (plate 2, figs. 4-5) の外形から判断すると Type B のシストであろう。REID (1977) 及び HARLAND (1977) が報告したシストは上面観からのみ観察がなされており、腹面観の外形を知ることができない。しかし、それらの左右径の長さから判断すると Type B のシストであろうと思われる。Type B のシストは大村湾では多産せず、観察したシストの大部分は両極方向から押しつぶされた形態を持つ Type A のシストであった。

WALL and DALE (1968a) は *P. conicum* のシストに類似したシストとして、*Peridinium nudum* MEUNIER (= *Protoperidinium nudum* (MEUNIER) BALECH) のシストを報告している。*P. nudum* のシストは *P. conicum* よりも小型で(彼らの記載に具体的な大きさは示されていない)、発芽孔の形が三角形に近い台形であるという特徴を有する。これに対して *P. conicum* のシストの発芽孔は丸味を帯びた六角形である。大村湾の試料中には *P. nudum* のシストは含まれていなかった。

2) 游泳体 (Figs. 3~8, 12, 13)

Peridinium divergens var. *conica* GRAN 1900, pp. 47-48.

Peridinium conicum (GRAN) OSTENFELD et SCHMIDT, PAULSEN 1908, p. 58, fig. 74, LEBOUR 1925, p. 111, pl. XIX, figs. 1a-d, ABÉ 1927 p. 406, figs. 24-25, WOOD 1954, p. 250, figs. 146a-b, TAYLOR 1976, pp. 139-140, pl. 33, figs. 361-362, ABÉ 1981, pp. 371-374, figs. 55 (375-381).

Protoperidinium conicum (GRAN) BALECH 1974, p. 58.

Type A のシスト14個体, Type B のシスト3個体をそれぞれ培養したところ, 前者で9個体, 後者で1個体のシストが発芽した。Type B のシストから発芽した游泳体は1個体であったので, 細部まで十分に観察できなかった。しかし, Type A から発芽した游泳体との間に種を同定する上での後述するような形態的な差は認められなかった。これらの游泳体の上殻は低い円錐状で, 下殻は上殻より高い円錐状である。腹面

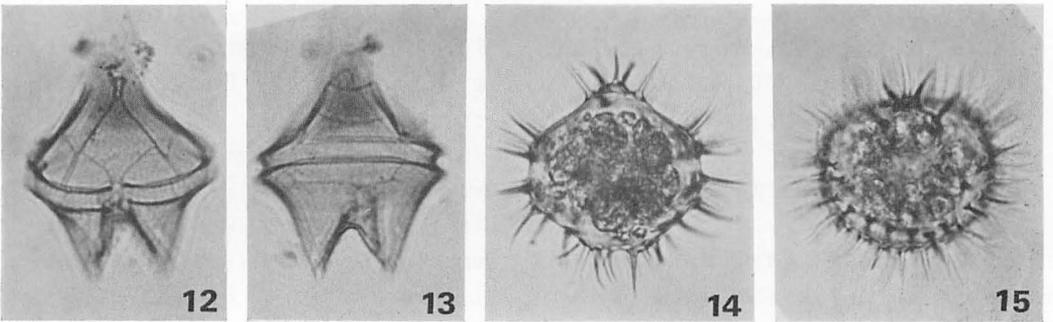
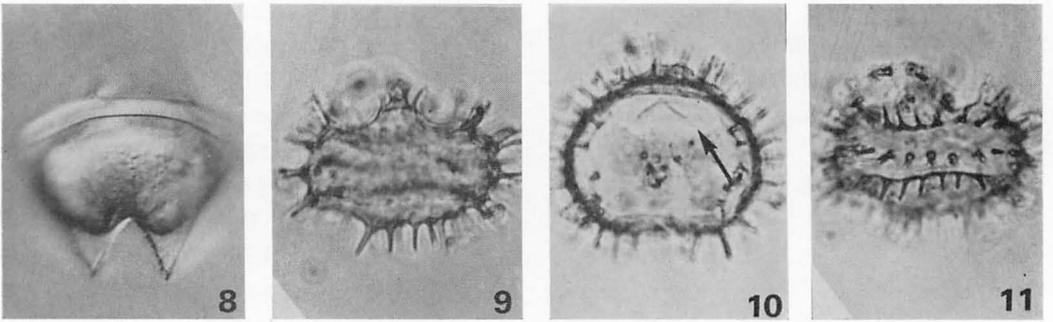
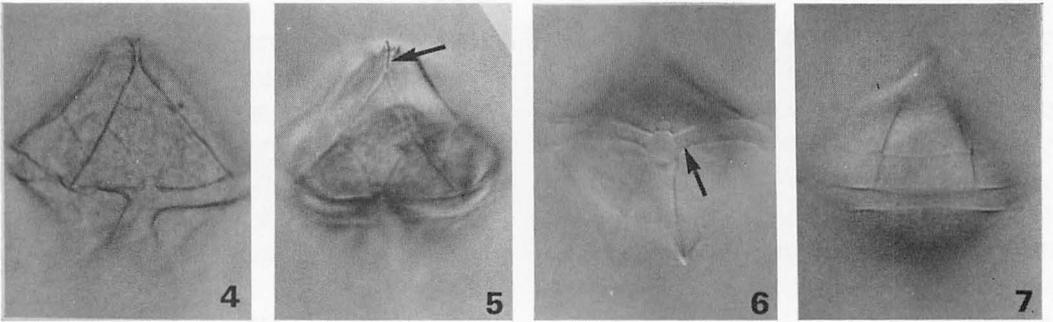
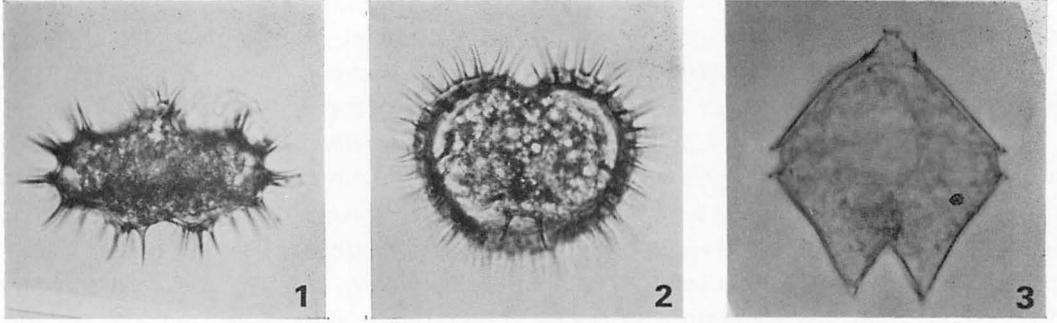
観では細胞の外形が菱形をなす。下殻には2本の後角が顕著であるが, その先端の後棘はほとんど発達していない。2本の後角の間は深いV字形を示す。背腹方向にわずかに扁平で, 横溝はほぼ体の中央部より始まり, 腹域での両端の段差はほとんど認められない。縦溝は体中央から後方に向けてやや広くなりかつ深く陥入し, 下殻の中央に達する。鎧板の表面には網目状の模様がある。鎧板配列は $P_0, P_x, 4', 3a, 7'', 3c, 5''', Op, 2''''$ である。頂孔 (P_0) はほぼ円形で, 前頂孔板 (P_x) は細長い長方形である。第1頂板 ($1'$) は菱形であるが, 縦溝との接合部ではやや広くなる。第1, 7前帯板 ($1'', 7''$) は三角形で, 他の前帯板より高くなることもある。後述するように個体間で $1', 4', 6'', 7''$ 鎧板の接合様式に相違がある。第2前挿間板 ($2a$) は極めて台形に近い六角形で, 基本的にシストの発芽孔の形と一致しているが, 第2前挿間板の方がより台形に近い点など細部で異なっている。後帯板はすべてほぼ同じ高さを示す。2枚の底板は後帯板よりも高く, ほぼ左右対称である。

大きさ; 細胞長: 64-102 μm , 幅: 53-72 μm 。

本種に最も類似する種は *Protoperidinium leonis* (PAVILLARD) BALECH であるが, 以下に記す形態的特徴からそれと区別可能である。本種の横溝の段差はほとんどないが, *P. leonis* では横溝の幅程度ずれる。本種の2本の後角の間は深いV字型を示し, 縦溝は下殻のほぼ中央部にまで達するが, *P. leonis* では後角の間がアーチ型であり, 縦溝は下殻中央まで達しない。さらに, 第1頂板と第4頂板間の縫合線と第6前帯板と第7前帯板の縫合線が本種ではほぼ直線状であるのに対して, *P. leonis* では顕著なジグザグ状を示す。

次に種内での変異について考察を加えるが, Type B より得た游泳体の観察例は少ないので, ここでは対象とし得なかった。以下 Type A より得た游泳体について論ずる。

ABÉ (1981) は *Peridinium conicum* (GRAN) = *Protoperidinium conicum* (GRAN) BALECH の形態的な差に注目して, 二つの型 (Pacific form と Atlantic form) を識別し, 日本近海に出現する本種のほとんどは Pacific form であろうと報告している。今回, 左右径が大きく, 両極方向に押しつぶされた形態を持つ Type A シストから得た游泳体はいずれも細胞幅が広く, また前帯板も高く, これらは ABÉ (1981) の示す Pacific form に属する個体であろうと思われた。しかし, 頂板の $1', 4'$ 及び前帯板の $6'', 7''$ の鎧板の位置関係が互いに若干異なる標本 (KOP-27, figs. 4, 5 と



1-15: 20 μm

KOP-8, fig. 12) も認められた。すなわち, KOP-8 では 1' と 7" 間の縫合線が 4' と 6" 間の縫合線と連絡しているのに対し, KOP-27 では両縫合線は互いに連絡せず, 1' と 7" 間の縫合線が 4' と接する位置は KOP-8 の個体よりも上部にある。これまでに記載された *P. conicum* の大部分は KOP-27 のような縫合線の特徴を持つが, KOP-8 のように双方間の縫合線が連絡するような形態を持つ例は, ABÉ (1927, fig. 24) が図示している。縫合線の位置関係が異なる例は, *Protoperidinium latissimum* (KOFOID) BALECH にも知られている (TAYLOR 1976)。また, 福代他 (1977) は *Protoperidinium minutum* (KOFOID) BALECH において WALL and DALE (1968a) のシストとは異なった形態のシストから游泳体を発芽させ, その形態を検討した結果, 游泳体も WALL and DALE (1968a) のそれと異なっていると, *P. minutum* には“大型系”と“小型系”の二系統が含まれている可能性を指摘している。これらの例は游泳体を現在よりもさらに細かい形態上の差異で識別し得る可能性を示唆するが, その一方で生理活性の違いや環境要因の変化による個体変異の可能性もある。また, 特にシストからの発芽及び培養によって得られた游泳体については人工環境下における生長過程の差異も考慮すべきであろう。今回観察した *P. conicum* における頂板 1', 4' と前帯板 6", 7" の位置関係の違いは今のところ個体変異の範囲に入るものと推察する。

謝 辞

本研究を行なうにあたって御指導と御配慮をいた

いた長崎大学水産学部飯塚昭二教授に厚くお礼申し上げます。また, シストの分離, 培養方法について御指導いただき, 本稿をまとめるにあたっては種々の御助言を賜り, 草稿を校閲していただいた東京大学農学部福代康夫博士に厚くお礼申し上げます。さらに試料の採集において御協力いただいた長崎大学水産学部実習船“朝霧”の琴浦幸一船長, ならびに海洋学教室大学院生 (当時) 荒木一敏, 中田憲一, 福田靖諸氏にお礼申し上げます。

引用文献

- ABÉ, T. H. 1927. Report of the biological survey of Mutsu Bay. 3. Notes on the protozoan fauna of Mutsu Bay. I. Peridinales. Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., Ser. 4, 2: 383-438.
- ABÉ, T. H. 1981. Studies on the family Peridiniidae. An unfinished monograph of the armoured dinoflagellata. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., Special Publ., Ser. 6: 1-412.
- BALECH, E. 1974. El genero "*Protoperidinium*" BERGH, 1881 ("*Peridinium*" EHRENBURG, 1831, partim). Rev. Mus. argent. Cienc. nat. Bernardino Rivadavia Inst. nac. Invest. Cienc. nat., 4: 1-79.
- BRADFORD, M. R. 1975. New dinoflagellate cyst genera from the recent sediments of the Persian Gulf. Can. J. Bot., 53: 3064-3074.
- BRADFORD, M. R. 1977. New species attributable to the dinoflagellate cyst genus *Lejeunia* GERLACH, 1961 emend. LENTIN and WILLIAMS. Grana, 16: 45-59.
- 福代康夫 1980. 渦鞭毛藻シスト—試料の採集・処理・観察方法。安達六郎・入江春彦「赤潮マニュアル I」, 40-46, 水産庁。

Figs. 1-15. *Protoperidinium conicum* (GRAN) BALECH. 1-8. Specimen KOP-27. 1. Lateral view of cyst (type A) before germination filled with starch grains and oil globules; 2. Oblique apical view of cyst before germination; 3. Oblique cross section of germinated theca, showing pentagonal outline and deeply V-shaped outline between two antapical horns; 4. Oblique ventral view of germinated theca, showing triangular 1" and 7" plates; 5. Oblique ventral view of germinated theca, showing X platelet (arrow), 1', 1" and 7" plates; 6. Frontal part of cingulum of germinated theca, showing transitional platelet t (arrow); 7. Dorsal view of epitheca of germinated theca, showing 2a and 4" plates and 2c platelet; 8. Oblique dorsal view of hypotheca of germinated theca, showing conspicuous two antapical horns; 9-13. Specimen KOP-8. 9. Lateral view of cyst (type A) after germination, showing concave epicyst and conspicuous apical boss; 10. Apical view of epicyst (type A) of after germination, showing large intercalary archeopyle reflecting 2a paraplate (arrow); 11. Lateral view of cyst (type A) after germination, showing paracingulum indicated by parallel row of spinous processes; 12. Ventral view of germinated theca, showing X platelet and 1', 1" and 7" plates; 13. Dorsal view of germinated theca, showing 2a, 4" and 3'" plates; 14. Specimen collected from surface sediment. Lateral view of cyst (type B) before germination, showing heptagonal outline and an apical boss; 15. Specimen collected from surface sediment. Oblique apical view of cyst (type B) before germination, showing distinctive apical boss.

- 福代康夫 1982a. 無殻渦鞭毛藻のシストに関する研究。海洋環境特性と赤潮発生, 文部省特別研究・環境科学報告書 205-214.
- 福代康夫 1982b. 日本沿岸における Protogonyaulax の分類と生態に関する研究。東京大学大学院学位論文 (手記), 1-220.
- 福代康夫・橋高二郎・平野礼二郎 1977. 海産渦鞭毛藻シストに関する研究—I. *Proto-peridinium minutum* (KOFOID) LOEBLICH. 日本プランクトン学会報, 24: 11-18.
- GRAN, H. H. 1900. Hydrographic-biological studies of the North Atlantic Ocean and the coast of Nordland. Rept. Norwegian Fish. Mer. Invest., 1: 1-92.
- HARLAND, R. 1977. Recent and late Quaternary (Flandrian and Devensian) dinoflagellate cysts from marine continental shelf sediments around the British Isles. *Palaeontographica*, Abt. B, 164: 87-126.
- HARLAND, R. 1982. A review of Recent and Quaternary organic-walled dinoflagellate cysts of the genus *Proto-peridinium*. *Palaeontology*, 25: 369-397.
- HARLAND, R., REID, P. C., DOBELL, P. and NORRIS, G. 1980. Recent and sub-Recent dinoflagellate cysts from the Beaufort Sea, Canadian Arctic. *Grana*, 19: 211-225.
- IWASAKI, H. 1961. The life-cycle of *Porphyra tenera* in vitro. *Biol. Bull.*, 121: 173-187.
- LEBOUR, M. V. 1925. The dinoflagellates of Northern Seas. *Mar. biol. Ass. U. K.*, Plymouth, 1-250.
- MATSUOKA, K., KOBAYASHI, S. and IIZUKA, S. 1982. Cysts of *Proto-peridinium divaricatum* (MEUNIER) PARKE et DODGE 1976 from surface sediment of Omura Bay, West Japan. *Rev. Palaeobotan. Palynol.*, 38: 109-118.
- PAULSEN, O. 1908. Peridinales. In K. BRANDT, and C. APSTEIN, [ed.], *Nordisches Plankton*. Botanischer Teil 18: 1-124.
- PFIESTER, L. A. 1975. Sexual reproduction of *Peridinium cinctum* f. *ovoplanum* (Dinophyceae). *J. Phycol.* 11: 259-265.
- PFIESTER, L. A. 1976. Sexual reproduction of *Peridinium willei* (Dinophyceae). *J. Phycol.* 12: 234-238.
- PFIESTER, L. A. 1977. Sexual reproduction of *Peridinium gatunense* (Dinophyceae). *J. Phycol.* 13: 92-95.
- REID, P. C. 1974. Gonyaulacacean dinoflagellate cysts from the British Isles. *Nova Hedwigia* 25: 579-637.
- REID, P. C. 1977. Peridiniacean and Glenodiniacean dinoflagellate cysts from the British Isles. *Nova Hedwigia* 29: 429-463.
- Von STOSCH, H. A. 1973. Observations on vegetative reproduction and sexual life cycles of two freshwater dinoflagellates, *Gymnodinium pseudopalustre* SCHILLER and *Woloszynskia apiculata* sp. nov. *Br. Phycol. J.* 8: 105-134.
- TAYLOR, F. J. R. 1976. Dinoflagellates from the International Indian Ocean expedition. A report on material collected by the R. V. "Anton Bruun" 1963-1964. *Bibliotheca Bot.* 132: 1-226.
- WALL, D. 1965. Modern hystrichospheres and dinoflagellate cysts from the Woods Hole region. *Grana Palynol.* 6: 297-314.
- WALL, D. and DALE, B. 1966. "Living fossils" in western Atlantic plankton. *Nature* 211: 1025-1026.
- WALL, D. and DALE, B. 1968a. Modern dinoflagellate cysts and evolution of the Peridinales. *Micropaleontology* 14: 265-304.
- WALL, D. and DALE, B. 1968b. Quaternary calcareous dinoflagellates (Calciodinellidae) and their natural affinities. *J. Paleont.* 42: 1395-1408.
- WALL, D. and DALE, B. 1971. A reconsideration of living and fossil *Pyrophacus* STEIN 1883 (Dinophyceae). *J. Phycol.* 7: 221-235.
- WALL, D., GUILLARD, R. R. L. and DALE, B. 1967. Marine dinoflagellate cultures from resting spores. *Phycologia* 6: 83-86.
- WALL, D., GUILLARD, R. R. L., DALE, B., SWIFT, E. and WATABE, N. 1970. Calcitic resting cyst in *Peridinium trochoideum* (STEIN) LEMMERMANN, an autotrophic marine dinoflagellate. *Phycologia* 9: 151-156.
- WOOD, E. J. F. 1954. Dinoflagellate of the Australian region. *Austr. J. Mar. Freshwat. Res.* 5: 171-351.