

## 横浜港 St.1 底質柱状試料中の渦鞭毛藻シスト群集

松岡 數充\*

### Dinoflagellate cyst assemblage in core samples of Yokohama Port St.1

Kazumi MATSUOKA\*

#### ABSTRACT

Dinoflagellate cyst assemblages in core sediments collected from Yokohama Port were analyzed for clarifying paleoenvironmental change within this port. The assemblage consisted of more than 37cyst species of gymnodinioid, gonyaulacoid, tuberculodinioid, protopteridinioid, diplopsalid and calciodinellid dinoflagellates, most of which have never been recorded in previous plankton research. Only such 5 species of *Protopteridinium* and *Scrippsiella* as *Protopteridinium leonis* (Pavillard), *P.pentagonum* (Gran), *P.conicum* (Gran), *P.oblongum* (Aurivillius) and probably *S.trocoidea* (Stein) were also found in plankton. Both plankton and cyst records will be required to know dinoflagellate community in a certain area.

A remarkable floral change in dinoflagellate cysts occurred at -40 to 41cm horizon. This change was indicated by decrease in cyst density and predominance of heterotrophic species, which probably reflect the progress of eutrophication in the port. As the sediment age of 74cm depth from the surface was estimated to be around 1950 on the basis of sedimentation rate calculated by  $^{210}\text{Pb}$ , this floral change might be concordant with the beginning of the high economic growth at 1970's in Japan.

At -10 to 11cm horizon, *Gyrodinium instriatum* cyst occupied more than 54% in relative frequency. This dominance is probably introduced by reproduction of *G. instriatum* which is one of red-tidecausative dinoflagellates in Japan.

#### I はじめに

渦鞭毛藻の一部の種は生活史のなかで有性生殖を行って休眠性接合子（シスト）を形成する。シストの細胞壁は遊泳体の細胞壁とは異なり、バイオポリマーの一種スポロレニンで形成されている。このバイオポリマーは物理・化学的にも生物学的にも抵抗性があるため、運動性接合子の運動能力が無くなった後も海底に沈降して堆積物に取り込まれ、その後も数年間は生存することが可能である。また発芽後に抜け殻となったシストは堆積物に取り込まれても条件さえよければ1億年以上も保存されることがある。したがって遊泳細胞の出現記録が無い場合にも、シストの存在からその遊泳細胞の存在を知ることができ、論理的にはそれをもとに過去の渦鞭毛藻群集の変化を知る事が可能であるといえる。

渦鞭毛藻は時に異常増殖を行い海水を変色させて赤潮を形成する植物性プランクトンの一員である。赤潮

\*長崎大学教養部地学教室 〒852 長崎市文教町1-14

は近年の人間活動の増大に伴い水質環境が悪化—例えば過栄養化—し、各地の沿岸域で継続的にかつ多数発生するようになってきている。しかし赤潮そのものは人間活動が顕著になる以前から発生していた自然現象であることにも留意しておかねばならない。今回の横浜港で採取された柱状試料には人間活動が顕著—特に1970年代の経済高度成長期—になる以前の記録が保存されていることから、人間活動が水質環境に与えた影響を解明する手がかりが残されている。本論では渦鞭毛藻シスト群集の変化を明らかにすることからこの問題に取り組む。

## II 試料採取地点および採取方法

分析に供した試料は1989年9月30日に横浜市環境科学研究所が依頼したダイバーによって横浜港最奥部の大岡川河口から約400 m 沖合いの水深約8 mの海底から、長さ2 m、直径10 cmのアクリルパイプを堆積物に突き刺す方法で採取された(Fig. 1)。試料採取地点は大岡川の河口部に位置していることから、河川からの堆積物粒子の負荷が大きく、後述するように堆積速度は速いと推定される。また調査地点周辺の埠頭は1877年から1928年にかけて整備されたが、現在までに浚渫が行われた記録はなく<sup>1)</sup>、堆積物は大きな攪乱を受けていないと考えられる。

採取された試料の長さは145 cmで、年代測定と重金属およびセシウム-137の分析には表層から10 cmごとに切り出された試料が準備された<sup>2)</sup>。渦鞭毛藻シスト分析には145 cmまでの10 cmごとの試料を用いた。

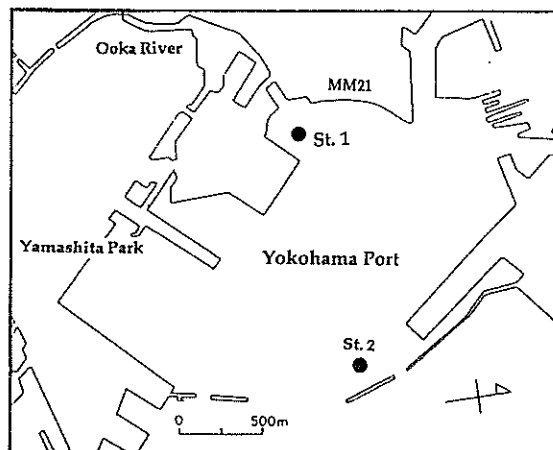


Fig. 1 Sampling location of St.1 in Yokohama Port.

## III 試料の年代

堆積物の年代は、鉛-210法を用いて得られた平均年間堆積量を基に算出された。得られた平均年間堆積量は $0.83 \text{ g/cm}^2/\text{year}$ で、この数値に基づく堆積物の年代は海底面からの深度が11 cmでは1985年、23 cmでは1980年、45 cmでは1970年、74 cmでは1950年頃と推定されている<sup>3)</sup>。45 cmから74 cmまでの堆積速度を基に堆積物の深さと年代の関係を示す内挿式を求めると、

$$D(\text{depth}) = -aT + b \text{ で、 } a = -1.45, b = 2811.5$$

をえる。この式より試料最下部の堆積年代を外挿して求めると1840年ごろとなり、74 cm以深では経済高度成長開始期(1950年ごろ)以前の記録を残していると考えられることができる。

## IV 試料の分析方法

渦鞭毛藻シストの濃縮には10 cmの間隔で1 cm毎に分取された試料を処理した。分析は以下の方法<sup>2)</sup>で行った。100 mlのテフロン製ビーカーに堆積物2 mlを取り、約10%濃度の塩酸を加えて石灰質粒子を溶解して除去した。純水で中和するまで洗浄したのち、約35%濃度のフッ化水素酸で珪藻殻や砂粒などの珪酸質粒子を取り除いた。有機質からなる粒子(パリノモルフやパリノデブリス)を主構成要素とする残滓に純水を加えて2 ml容量にして精製試料を作製した。そこから0.1 mlを取り分け、同定したシストが200個体になるまで顕微鏡下で観察した。200個体を同定できない場合は、精製試料0.1 ml中に含まれる全個体数を相対産出頻度算定の際の基数とした。観察倍率は通常明視野で、必要に応じて微分干渉や位相差像を併用しながら225倍から450倍で行った。

## V 観察結果

全試料から産出した渦鞭毛藻シストはギムノディニューム類 (Gymnodinioid) 5種, ゴニオラックス類 (Gonyaulacoid) 9種以上, チュバクロディニューム類 (Tuberculodinioid) 1種, プロトペリディニューム類 (Protoperidinioid) 17種以上, ディプロプサリス類 (Diplopsalid) 4種, カルキオディネラ類 (Calciodinellid) 1種以上で, 合計37種が産した。それ以外のパリノモルフとして所属不明のアクリターク類 (Acritarchs) 7種以上, その他の海産パリノモルフ類として有孔虫類の内膜や有鐘類のロリカ, 淡水産パリノモルフ類として緑藻類のクンショウモ1種が認められた。これら以外に当然の事ながら高等植物の花粉や胞子も多数産した。花粉・胞子に関しては別稿で論じられるので本論では触れない。なおこれまでの研究経緯から渦鞭毛藻シストには化石種としての独自の生物名がつけられている。本論ではそれを用いるが, プランクトン状態の栄養細胞に付された生物名(\*)も以下のリストに合わせて示す。またこれまでに横浜市によって実施された横浜の川と海の生物調査で記録<sup>3),4),5)</sup>された種をボールド体で示した。

全試料を通して確認したパリノモルフは以下の種類であった。なお種名の後には図版の顕微鏡写真番号を示す。

### 渦鞭毛藻類

#### ギムノディニューム類 (Gymnodinioid)

*Polykrikos* cf. *kofoidii* Chatton\*

*Polykrikos schwartzii* Bütschli\*

*Pheopolykrikos hartmannii* (Zimmermann) Matsuoka et Fukuyo\* (Pl.4, figs. 1,2)

*Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee\* (Pl.4, fig. 3)

*Cochlodinium* sp. indet. (type F)\* (Pl.4, fig. 4)

#### ゴニオラックス類 (Gonyaulacoid)

*Spiniferites* cf. *bentori* (Rossignol) Wall et Dale

= cf. *Gonyaulax degitalis* (Pouchet) Kofoid\*

*Spiniferites bulloideus* (Deflandre et Cookson) Sarjeant (Pl.1, figs. 3,4)

= *Gonyaulax scrippsae* Kofoid\*

*Spiniferites* cf. *delicatus* Reid (Pl.1, fig. 1)

= *Gonyaulax* sp.\*

*Spiniferites elongatus* Reid

= *Gonyaulax spinifera* complex\*

*Spiniferites hyperacanthus* (Deflandre et Cookson) Sarjeant (Pl.1, fig. 2)

= *Gonyaulax spinifera* complex\*

*Spiniferites mirabiris* (Rossignol) Sarjeant

= *Gonyaulax spinifera* complex\*

*Spiniferites ramosus* (Ehrenberg) Mantell

= *Gonyaulax spinifera* complex\*

*Protoceratium reticulatum* (Claparède et Lachmann) Bütschli (Pl.1, figs. 7,8)

*Lingulodinium machaerophorum* (Deflandre et Cookson) Wall (Pl.1, figs. 5,6)

= *Lingulodinium polyedra* (Stein) Dodge\*

チュバクロテイニューム類 (Tuberculodinioid)

*Tuberculodinium vancampoae* (Rossignol) Wall (Pl.3, fig. 1)  
= *Pyrophacus stenii* (Schiller) Wall et Dale\*

プロトペリテイニューム類 (Protopteridinioid)

*Brigantedinium cariacense* (Wall) Reid  
= *Protopteridinium avellana* (Meunier) Balech\*  
*Brigantedinium majusculum* Reid  
= *Protopteridinium* sp.\*  
*Brigantedinium simplex* (Wall) Reid  
= *Protopteridinium conicoides* (Paulsen) Balech\*  
*Brigantedinium* spp. (Pl.2, fig. 6; Pl.3, fig. 4)  
*Lejeunecysta concreta* (Reid) Matsuoka (Pl.2, fig. 2)  
= *Protopteridinium leonis* (Pavillard) Balech\*  
*Selenopemphix nephroides* Benedek  
= *Protopteridinium subinerme* (Paulsen) Balech\*  
*Selenopemphix quanta* (Bradford) Matsuoka (Pl.2, fig. 5)  
= *Protopteridinium conicum* (Gran) Balech\*  
*Stelladinium abei* Matsuoka  
*Stelladinium reidii* Reid  
= *Protopteridinium compressum* (Abe) Balech\*  
*Trinovantedinium capitatum* Reid  
= *Protopteridinium pentagonum* (Gran) Balech\*  
*Trinovantedinium pallidifurvum* Matsuoka  
*Votadinium carvum* Reid (Pl.2, figs.3,4)  
= *Protopteridinium oblongum* (Aurivillius) Balech\*  
*Votadinium spinosum* Reid  
= *Protopteridinium claudicans* (Paulsen) Balech\*  
*Xandarodinium variabile* Bujak  
= *Protopteridinium divaricatum* (Meunier) Parke et Dodge\*  
*Protopteridinium americanum* (Gran et Braarud) Balech\*  
*Protopteridinium lattisimum* (Kofoid) Balech\*  
*Protopteridinium* spp.

ディプロプサリス類 (Diplopsallid)

*Dubridinium caperatum* Reid  
= *Zygabikodinium lenticulatum* (Paulsen) Loeblich et Loeblich\*  
*Diplopsalis lenticula* Berg\* (Pl.3, fig. 2)  
*Diplopelta* cf. *parvum* Abe\* (Pl.4, fig. 6)

カルキオディネラ類 (Calciodineloid)

*Scrippsiella* spp. \*(probably including *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III) (Pl.3, figs. 5,6)  
N.B.: *Gonyaulax spinifera* complex とは *G. spinifera* の種区分に問題が残されているために形態的に類似した種を包括した用法である。

アクリターク類 (Acritarchs)

*Baltisphaeridium* spp. (Pl.4, fig. 5)

*Cymatiosphaera* sp.

*Domasiella* ? spp.

*Hallodinium major* Bujak

*Michystridium globosa* Takahashi

*Michystridium* sp.

*Pterospermella* sp.

その他の海産パリーノモルフ類 (Other marine palynomorphs)

microforaminiferal linings (Pl.4, figs. 7,8)

tintinid lorica

淡水産パリーノモルフ類 (Freshwater palynomorphs)

*Pediastrum simplex* (Meyen) Lemmermann

渦鞭毛藻シストの含有量が最少の試料は 0~1 cm の表層部で、1220 cysts/ml (1335 cysts/gr) を示し、最多の試料は -10~11 cm で 8866 cysts/ml (12666 cysts/gr)、全層準を通しての平均は約 6250 cysts/ml (8393 cysts/gr) であった。

単位容積 (1 ml) あたりの個体数は -45~46 cm 層準を境として、その下位では 5500~8700 cysts/ml の範囲で変動するのに対して、上位では -10~11 cm 層準をのぞいて 2000~1200 cysts であった。シストの種数は単位容積 (1 ml) あたり表層部と -45~46 cm 層準でやや減少するが、その他では大きな変化は認められず、およそ 30 種前後であった (Fig. 2)。

本論では渦鞭毛藻を植物命名規約に従って取り扱ってはいるが、これは渦鞭毛藻がすべて光合成を営む独立栄養摂取を行うことを意味しているのではない。栄養摂取法にしたがって区分すると、ギムノディニューム類のうち *Polykrikos* 属は従属栄養であるが、その他は独立栄養である。ゴニオラックス類とチュバクロディニューム類、カルキオディネラ類はすべてが独立栄養摂取法を、それに対してプロトペリディニューム類とディプロプサリス類はすべてが従属栄養摂取法である。この区分に従って全層準を通して独立栄養種と従属栄養種のシストの産出相対頻度を求めると、独立栄養種のシストが 50% を上回る層準は -45~46 cm 以下にあり、それより上位では従属栄養種のシストが優占した。ただし -35~36 cm 層準と -10~11 cm 層準では独立栄養種のシストが 50% を上回った (Fig. 3)。

-10~11 cm 層準では *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee のシストが全シストの 54% を占めた。これは *G. instriatum* シストがその他の層準では最高で 5% しか記録していないことと比較すると、特異な出現状況である。ところでこの種のシストには 2 つの異なった形態が知られている。一つは卵型 (タイプ I) で、装飾物を欠く。時に表面に粘着物質をつけ、砂粒などで覆われることがある<sup>6),7)</sup>。他の一つ (タイプ II) はギムノディニューム型で、縦溝と横溝を持ち、時に表面には縦方法に延びた皺が見られることがある<sup>8)</sup>。い

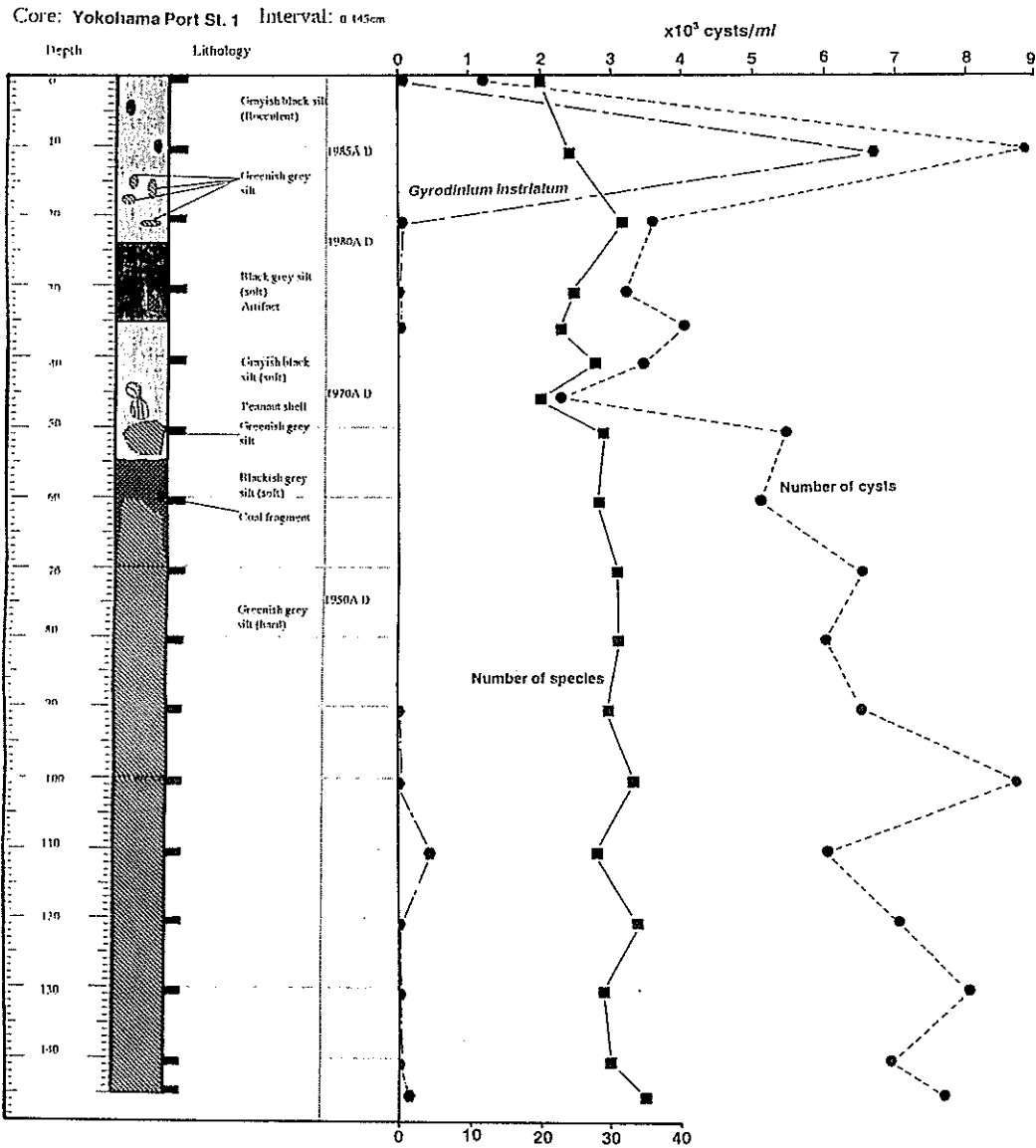


Fig. 2 Dinoflagellate cysts distribution including cyst density, number of species, and number of *Gyrodinium instriatum* cyst in the unit volume (1ml) of the core sediment of Yokohama Port St.1. The ages in the fourth column from the left side is given by sedimentation rate calculated from <sup>210</sup>Pb measurement.

ずれの型のシストも発芽実験の結果 *G. instriatum* と同定される遊泳細胞を生産することが確認されている。その発芽孔は細胞の前端に形成され、円形を示す。横浜港の底質から産出した *G. instriatum* のシストは偽横溝や偽縦溝が顕著であることから、タイプIIである。

## VI 考察

### VI-1 プランクトンとシスト

これまでに横浜の川と海の生物調査の際に記録された渦鞭毛藻類<sup>3),4),5)</sup>は *Prorocentrum* 属, *Dinophysis* 属, *Gonyaulax verior*, *Heterocapsa triquetra*, *Protoperidinium* 属, *Ceratium* 属, *Oxyphysis oxytoxioides*, *Katodinium* 属, *Gymnodinium mikimotoi* (= *G. nagasakiense*), *Gymnodinium sanguineum*, *Gyrodinium dominans*, *Gyrodinium* sp., *Noctiluca scintillans* などである。今回の堆積物中の渦鞭毛藻シスト群集には *Gonyaulax* 属のシストである *Spiniferites* 属や *Lingulodinium* 属さらにギムノディニューム類の *Polykrikos* 属や *Pheopolykrikos* 属, *Cochlodinium* 属のシストが含まれており、プランクトン群集の種組成と大きく異なっている。当然のことながらプランクトンの栄養細胞も堆積物中のシストもこの海域に生息していたこと

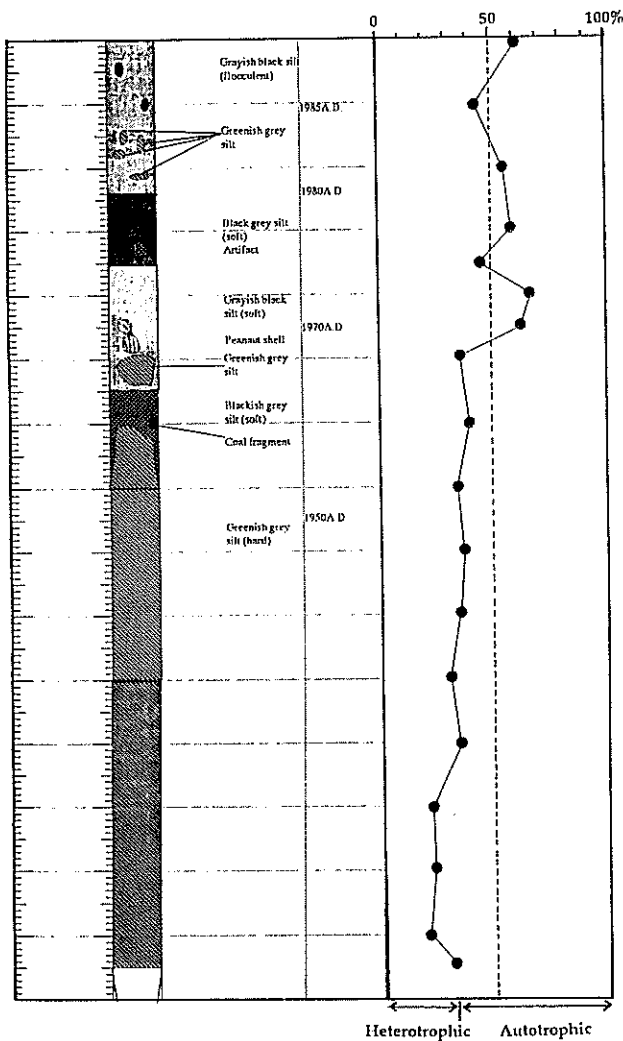


Fig. 3 Ratio of heterotrophic dinoflagellate cysts consisting of protoperidinioid, diplopsalid and *Polykrikos* cysts vs. autotrophic dinoflagellate cysts of gonyaulacoid, tuberculodinioid, calciodinellid and some gymnodinioid cysts.

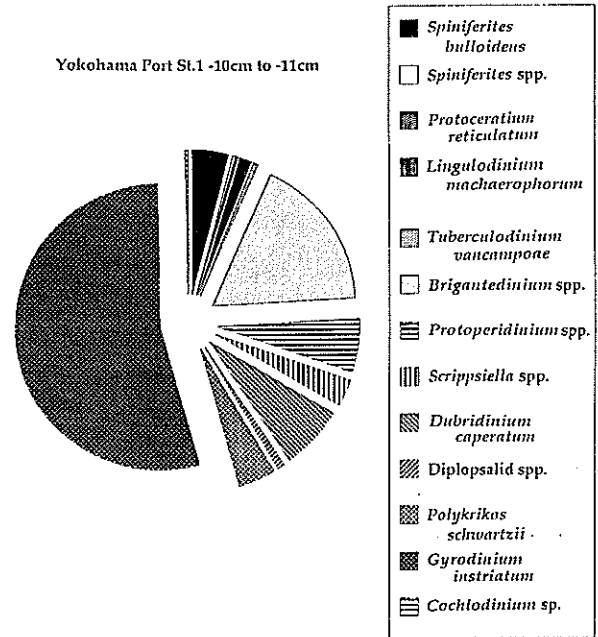


Fig. 4 Relative frequency of dinoflagellate cysts recovered from Yokohama Port St.1 sample of -10cm to -11cm depth.

は間違いないので、この差異は現存生物の出現状況を把握する調査方法に起因する。ある海域に出現する渦鞭毛藻群集をプランクトン調査から明らかにするには、調査回数をこれまでのような年間に数回では不足である。プランクトン群集はその回数よりもはるかにめまぐるしく変化するためである。また鎧板を持たないギムノディニューム類は動きが止まるとその直後に形態を著しく変化させ、さらに細胞が破壊されることから細胞を固定して同定することが極めて困難である。このことから固定したプランクトン試料中のギムノディニューム類の種構成を完全に把握することはできない。いっぽう渦鞭毛藻シストにも多くの問題点がある。すなわち渦鞭毛藻のすべての種がシストを形成するのではない。例えばこの海域で普遍的に産する *Prorocentrum* 属、*Dinophysis* 属などでは堆積物中に保存されるようなシストは知られていない。また多くの *Alexandrium* 属のようにシストの形態が単純であるために堆積物から取り出されたとしても栄養細胞の種を特定することが不可能な場合もある。さらにいかなる栄養細胞がいかなるシストを形成するのかなどの基礎資料も十分に整ってはいない。以上の状況では、ある海域の渦鞭毛藻群集を把握するためには海水中のプランクトンだけでなく堆積物中のシストも合わせて調査し、それらを補完的に用いることが必要である。

## VI-2 横浜港 St.1 表層堆積物の渦鞭毛藻シスト群集の特徴

堆積物表層 0~1 cm に含まれていた渦鞭毛藻シストの個体数の 1220 cysts/ml (1335 cysts/gr), 種数の 20

は東京湾の表層堆積物 0~2 cm での個体数の平均値である 3692 cysts/ml<sup>9)</sup>と比べると、個体数においてほぼ 1/3 である。この違いは両者の種数がほとんど変わらない(ほぼ 20 種)ことおよび以前の東京湾の試料<sup>9)</sup>がほぼ湾央であったことから判断すると、横浜港 St.1 では陸源物質がより多く運び込まれる河口域であることに起因すると考えられる。

### VI-3 横浜港 St.1 柱状試料中の渦鞭毛藻シスト群集からみた環境変遷

単位容積 (1 ml) あたりのシスト個体数の変化は-45~46 cm 層準に認められる。その下位では個体数が 5500~8700 cysts/ml の範囲にあり、上位の 2~5 倍である。とくに表層部でのシスト含有量が著しく少ない。これは含有個体数を表すのに容積 (1 ml) を単位にしているので含水率や圧密効果が反映されていないことによる。しかしこれらの数値を堆積物重量に換算してもやはり-45~46 cm 層準を境に、その上位と下位では大きな差がある。しかしシストの種数は表層部を除いてはさほど大きく変化していない。以上の事実から-45~46 cm 層準付近を境にして沿岸域の環境に何らかの変化があったことが指摘される。大岡川流域では 1974 年ごろまでに経済の高度成長に伴って都市化が進行し、山林などが造成され宅地や工業用地に転換したことが統計資料から読みとることができる<sup>11)</sup>。この過程で大岡川から横浜港に搬入される堆積物粒子が増加したことは十分に予想されることである。-45~46 cm 層準より上位で単位堆積物あたりのシスト個体数が減少する事実は、大岡川流域の宅地開発に伴い森林植生が減少し、その結果丘陵地などで侵食作用が促進され、堆積物粒子数が増大することによる現象であると推察される。この試料中の珪藻群集についての予察<sup>10)</sup>によると、-50 cm 層準より淡水性珪藻が出現しはじめ、-45 cm 層準で最大出現数を記録している。このことも-45~46 cm 層準付近より大岡川の流入が増大したことを意味している。

さらに-45~46 cm 層準での渦鞭毛藻シスト群集の変化は沿岸での水質変化も記録している可能性が考えられる。シスト群集の生態的な性質からみるとやはり-45~46 cm 層準を境にして、これより下位では独立栄養種のシストが 50% を上回るのに対して、これより上位では-35~36 cm 層準と-10~11 cm 層準を除いて従属栄養種とくにプロトペリディニューム類のシストが優占している (Fig. 3)。従属栄養種のうちプロトペリディニューム類の被捕食者は珪藻などであることがこれまでの観察によって明らかにされている<sup>11)</sup>。このような生態学的特性から、プロトペリディニューム類やディプロプサリス類が優占する渦鞭毛藻シスト群集は、珪藻類や他の小型植物プランクトンが多く増殖する栄養塩に富んだ環境を反映していると考えられている<sup>12),13)</sup>。前述の珪藻群集に関する予察的な結果<sup>10)</sup>によると、富栄養化の指標生物となりうる *Skeletonema costatum* は-75 cm 層準以上で出現し、それ以降では-45 cm 層準で一旦やや減少するものの、-20 cm 層準で最大出現数を記録して現在に至っている。またこれとは別に行われた本試料中の珪藻分析<sup>11)</sup>では-60 cm~-70 cm 層準より *S. costatum* が増加を開始し、-50 cm~-40 cm と-30 cm~-40 cm 層準で最大出現数を示している。いずれの結果も *S. costatum* 出現時期と渦鞭毛藻シスト群集での従属栄養種の優占開始時期とにずれがあるものの、従属栄養種の優占時期に *S. costatum* も優勢であることは一致しており、渦鞭毛藻シスト群集組成の変化が珪藻を中心としたプランクトン相の変化に呼応していることが明らかである。

### VI-4 *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee が形成した赤潮

-10~11 cm 層準では *G. instriatum* のシストが渦鞭毛藻シスト群集の 54% を占めた (Fig. 4)。*G. instriatum* のシストは *Spiniferites bulloideus* や *Protoceratium reticulatum* のように汎世界的に分布する種ではないことから、栄養細胞の通常の出現状況ではこのような頻度でシストが形成されるとは考えにくい。さらに *G. instriatum* シストがその他の層準では最高で 5% しか記録していないことを合わせて考察すると、-10~11 cm 層準 (1980 年前後) で *G. instriatum* 栄養細胞が横浜港内において異常増殖し、赤潮を形成した可能性が考えられる。なお本種は日本沿岸域での赤潮原因種の 1 種として知られている<sup>14)</sup>。



## 謝 辞

この研究を進めるに当たり分析用試料や文献を提供していただいた横浜市環境科学研究所、および解析にあたり議論をしていただいた「横浜市域の古環境研究会」のメンバー、とりわけ松島義章氏に深く感謝する。

## キーワード

渦鞭毛藻, シスト, 古環境, 横浜港, 東京湾, 赤潮, 富栄養化

## 文 献

- 1) 横浜市環境科学研究所：横浜港の水質・底質汚濁に関する調査報告書. 133 pp. (1992).
- 2) Matsuoka, K., Fukuyo, Y., and Anderson, D.M.: Method of modern dinoflagellate cyst studies. In: Okaichi, T., Anderson, D.M. and Nemoto, T.(eds), Red Tides: Biology, Environmental Science, and Toxicology, 461-479, Elsevier, New York(1989).
- 3) 鳥海三郎：横浜市沿岸域のプランクトン相；4-1 プランクトン相, 横浜の川と海の生物(第4報), 横浜市公害対策局公害資料 No.126, 273-290 (1986).
- 4) 鳥海三郎：横浜市沿岸域のプランクトン相；5-1 プランクトン相, 横浜の川と海の生物(第5報), 横浜市環境保全局環境保全資料 No.140, 341-352 (1989).
- 5) 本多大輔・河地正伸・井上 勲：横浜市沿岸域の海産微細藻類, 横浜の川と海の生物(第6報), 横浜市環境保全局環境保全資料 No.161, 411-427 (1992).
- 6) 福代康夫：無殻鞭毛藻のシストに関する研究. 文部省「環境科学」特別研究, 環境科学研究報告書, B 148-R 14-8, 205-214 (1982).
- 7) Matsuoka, K.: Archeopyle structure in modern gymnodinialean dinoflagellate cysts. Review of Palaeobotany and Palynology, 44, 217-231(1985).
- 8) Kojima, N. and Kobayashi, S.: Motile cell-like cyst of *Gymnodinium instriatum* Freudenthal et Lee (Dinophyceae). Review of Palaeobotany and Palynology, 74: 339-247(1992).
- 9) Matsuoka, K.: Species diversity of modern dinoflagellate cysts in surface sediments around the Japanese Islands. In: Head, M.J. and Wrenn, J.H.(eds.) Neogene and Quaternary Dinoflagellate cysts and Acritarchs, 33-53, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, U.S.A. (1992).
- 10) 佐藤祐司：横浜港 St.1 柱状底泥試料中の珪藻遺骸群集の推移. 横浜市域の古環境研究会 (編) 横浜港底質柱状試料中の生物遺骸調査報告書. 17-21 (1993).
- 11) Gains, G. and Taylor, F.J.R.: Extracellular digestion in marine dinoflagellates. Journal of Plankton Research, 6: 1057-1061 (1984).
- 12) Bujak, J.P.: Cenozoic dinoflagellate cysts and acritarchs from the Bering Sea and northern North Pacific. Micropaleontology, 30: 180-212 (1984).
- 13) Matsuoka, K.: Organic-walled dinoflagellate cysts from surface sediments of Akkeshi Bay and Lake Saroma, North Japan. Bulletin of the Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University, Natural Science, 28: 35-123 (1987).
- 14) 鳥海三郎： *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee. 福代康夫・高野秀明・千原光雄・松岡数充 (編) 日本の赤潮生物, 62-63, 内田老鶴圃 (1990).

Plate 1 Cysts of gonyaulacoid dinoflagellates

Fig. 1 *Spiniferites* cf. *delicatus* Reid, a; Oblique lateral view, arrow showing precingular archeopyle, b; Optical cross section of lateral view, arrow showing hollow process with petaroid distal part at antapical area, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 J30/4\*.

Fig. 2 *Spiniferites heperacanthus* (Deflandre et Cookson) Sarjeant, relatively shorter processes, a; Optical cross section of lateral view, b; Ventral surface showing wide sulcus, Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 R31/3.

Fig. 3 *Spiniferites bulloideus* (Deflandre et Cookson) Sarjeant, a; Oblique antapical surface, b; Oblique apical surface, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 P24/2.

Fig. 4 *Spiniferites bulloideus* (Deflandre et Cookson) Sarjeant, a; Oblique lateral surface, showing 3" paraplate, b; Optical cross section of oblique lateral view, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 G32/1.

Fig. 5 *Lingulodinium machaerophorum* (Deflandre et Cookson) Wall, relatively shorter processes in fewer number and attached large operculum, a;b;c; different focus levels on lateral view, Specimen; Yokohama St. 1 110-111-2 E30/1.

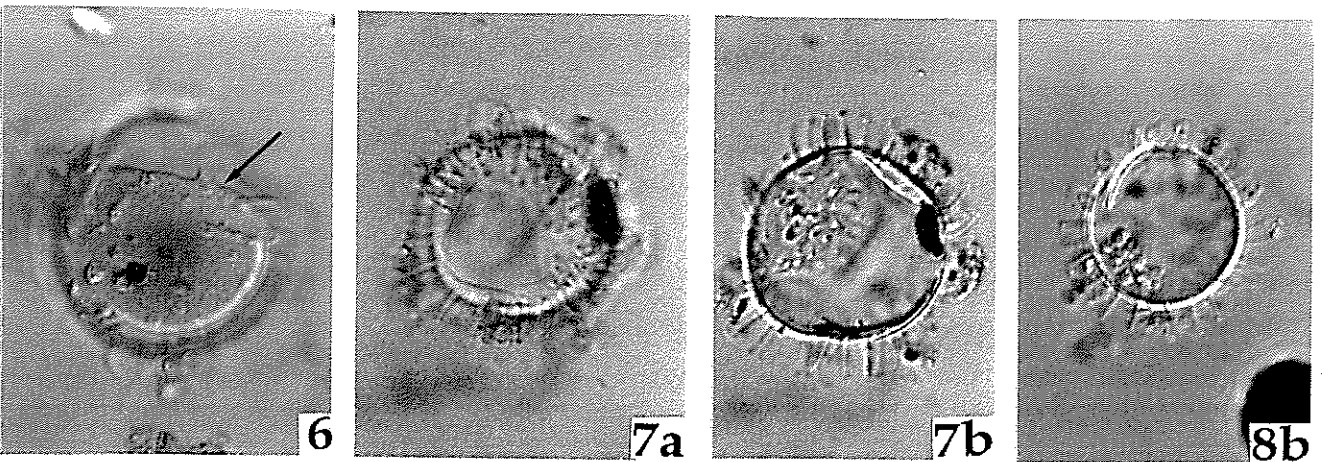
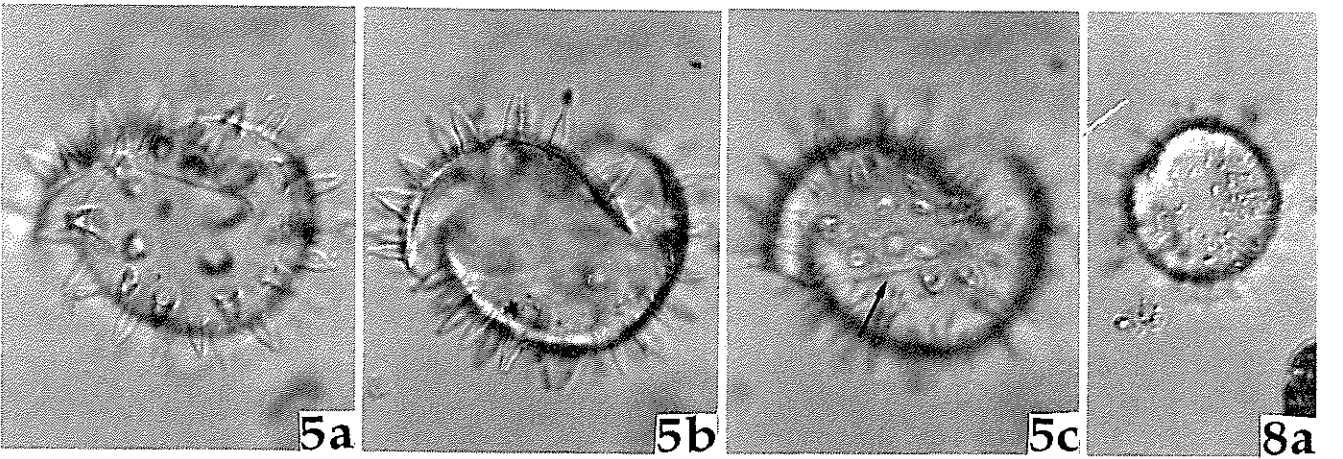
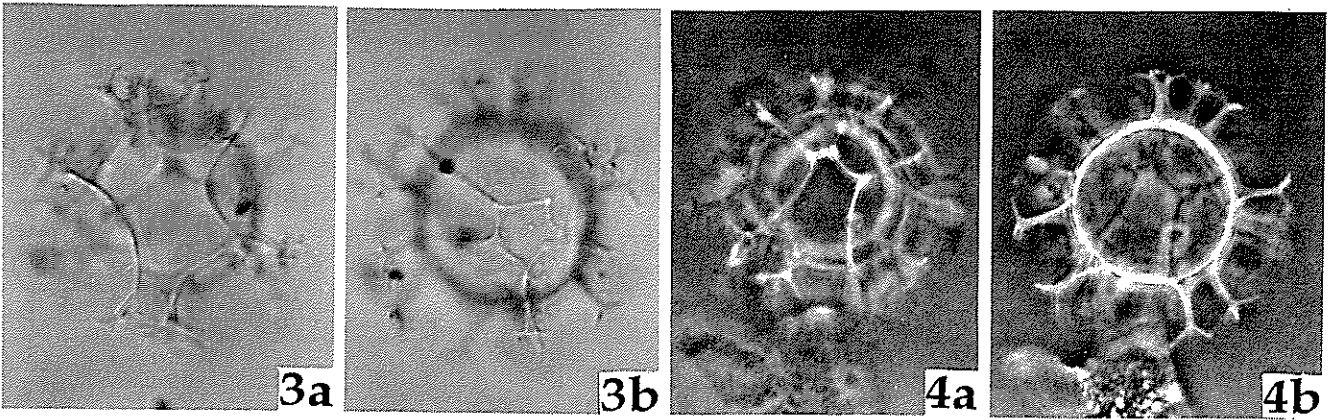
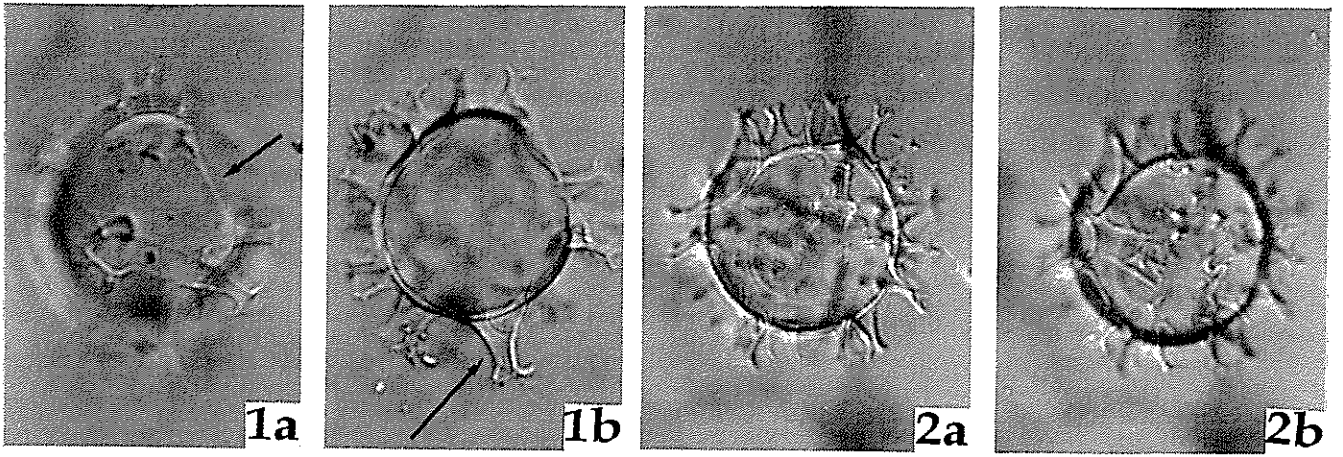
Fig. 6 *Lingulodinium machaerophorum* (Deflandre et Cookson) Wall, oblique dorsal view, showing combination archeopyle and archeopyle suture running along the paracingulum, short processes ; Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 V24/2.

Fig. 7 Cyst of *Protoceratium reticulatum* (Claparède et Lachmann) Bütschli, a; Oblique dorsal view, showing trapezoidal precingular archeopyle, b; Ventral surface, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 R32/1.

Fig. 8 Cyst of *Protoceratium reticulatum* (Claparède et Lachmann) Bütschli, a; Ventral surface, b; Optical cross section of dorso-ventral view; Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 E22/4.

Scale bar: 20 $\mu$ m, \*: Alphabetical number in the England Finder indicates the location of the specimen on the slide.

# Plate 1



— 20μm —

Plate 2 Cysts of proto-peridinioid dinoflagellates

Fig. 1 Cyst of *Proto-peridinium* sp. indet., a; b; c different focus levels on lateral view, arrows showing antapical horns distally thickened, and (anterior) intercalary archeopyle with attached operculum, Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 S28/2.

Fig. 2 *Lejeunecysta concreta* (Reid) Matsuoka, a; Oblique ventral view showing paracingulum formed by depression of autophragm, and parasulcus, b; Optical cross section of lateral view, arrow showing antapical horn distally thickened, c; Oblique dorsal view showing (anterior) intercalary archeopyle, Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 M33/3.

Fig. 3 *Votadinium carvum* Reid, a; Optical cross section of lateral view showing indentation of parasulcus, b; Probably dorsal surface showing archeopyle suture, Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 S40/4.

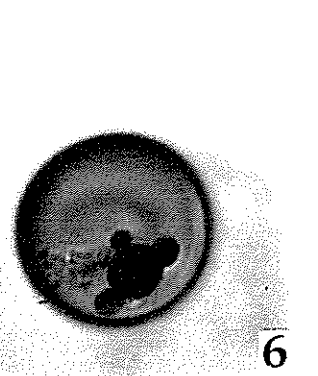
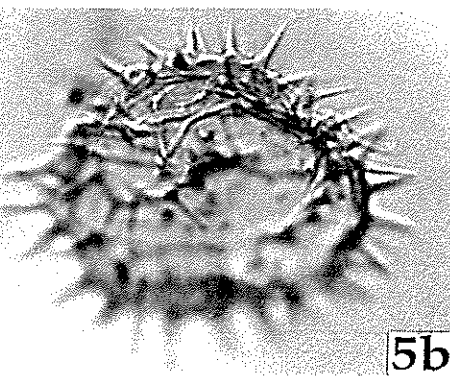
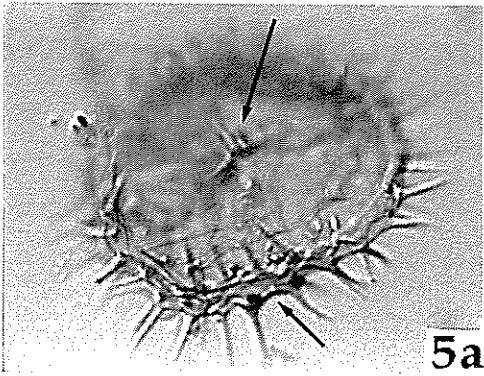
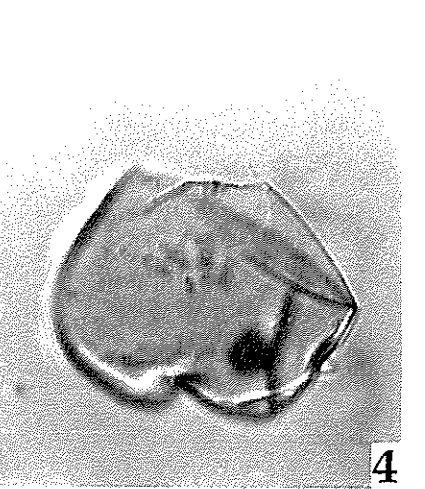
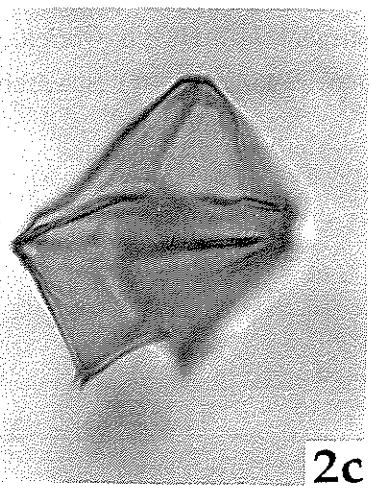
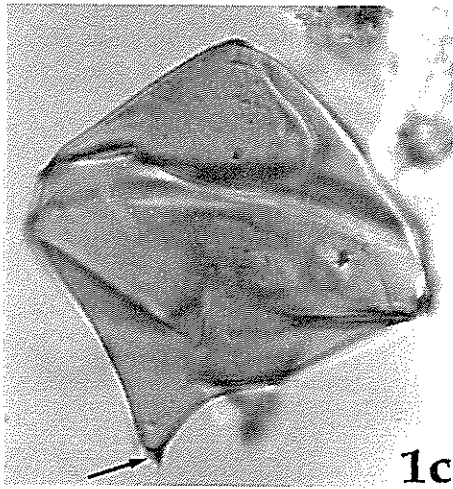
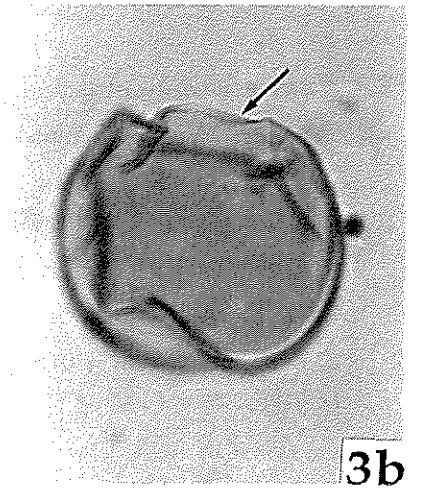
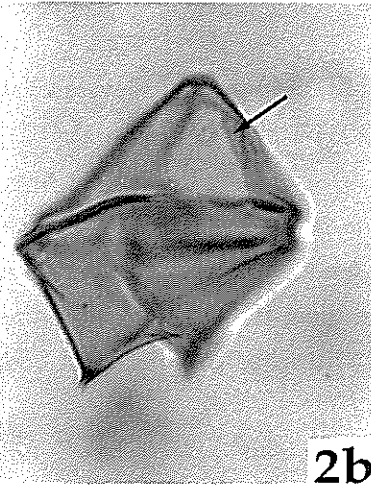
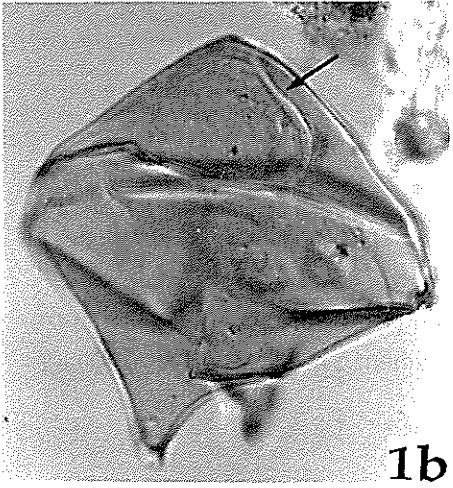
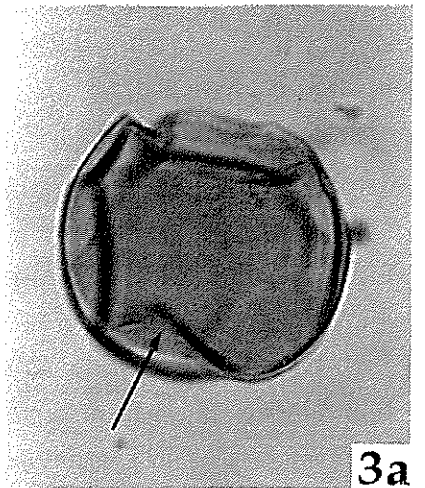
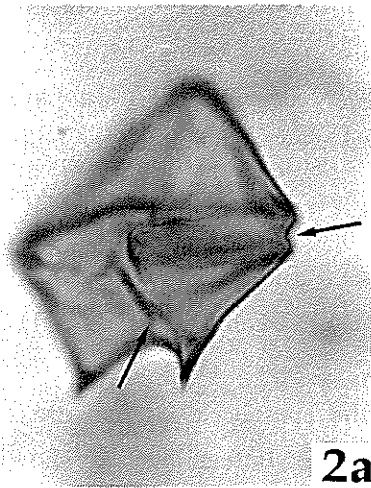
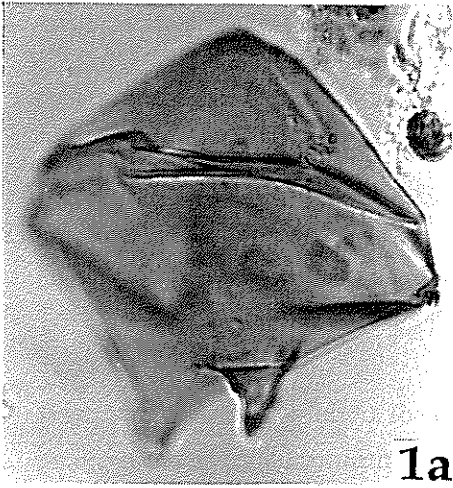
Fig. 4 *Votadinium carvum* Reid, Dorsal surface showing indentation of parasulcus and archeopyle suture, Specimen; Yokohama St.1 110-111-3 G38/1.

Fig. 5 *Selenopemphix quanta* (Bradford) Matsuoka, a; Oblique apical view showing a cluster of spines at the apical horn, and paracingular parallel rows of spines, b; Oblique apical view showing paracingular parallel rows of spines, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 N35/2.

Fig. 6 *Brigantedinium* sp. indet., Orientation unknown, containing pyrites grains in the body, Specimen; Yokohama St.1 110-111-3 E40/4.

Scale bar: 20 $\mu$ m

Plate 2



20µm

Plate 3 Cysts of proteroperidinioid, diplopsalid and calciodinellid dinoflagellates

Fig. 1 *Tuberculodinium vancampoae* (Rossignol) Wall, a; Optical cross section of lateral view, arrow showing ectophragm, b; Lateral view showing larger bulbous processes, Specimen; Yokohama St. 1 110-111-2 O40/1.

Fig. 2 Cyst of *Diplopsalis lenticula* Berg, a;b; Different focus levels on lateral view, showing large theopylitic archeopyle, Specimen; Yokohama St.1 110-111-3 H31/1.

Fig. 3 Probably cyst of diplopsalid species, a; Optical cross section of oblique lateral view, cysts composed of brown autophragm, b; Lateral surface showing theopylitic archeopyle with zigzag archeopyle suture (arrow), Specimen; Yokohama St.1 110-111-3 H39/2.

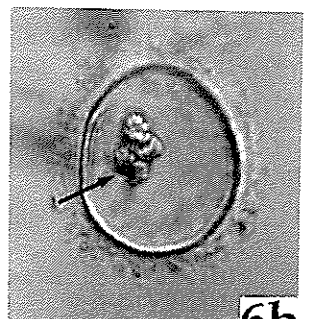
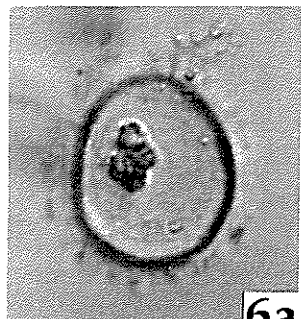
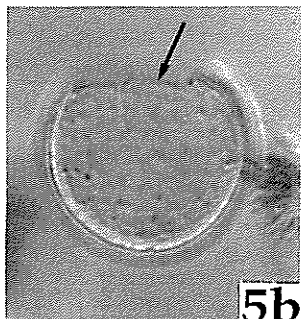
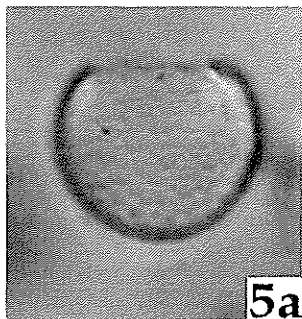
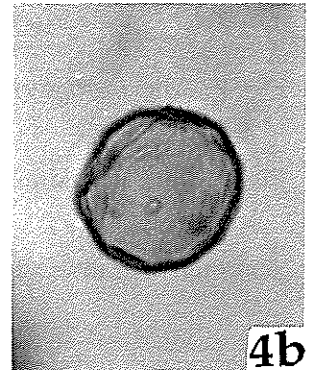
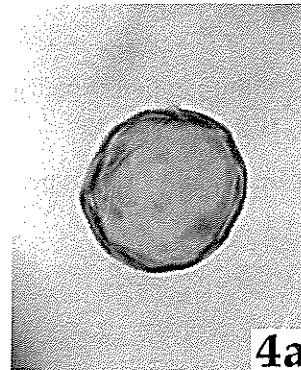
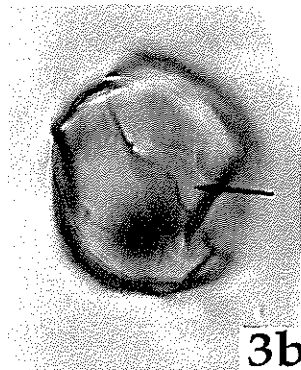
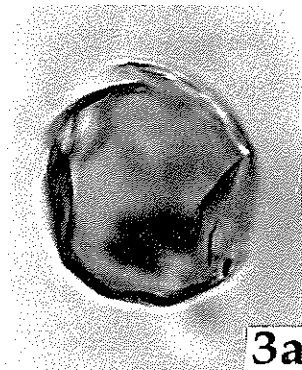
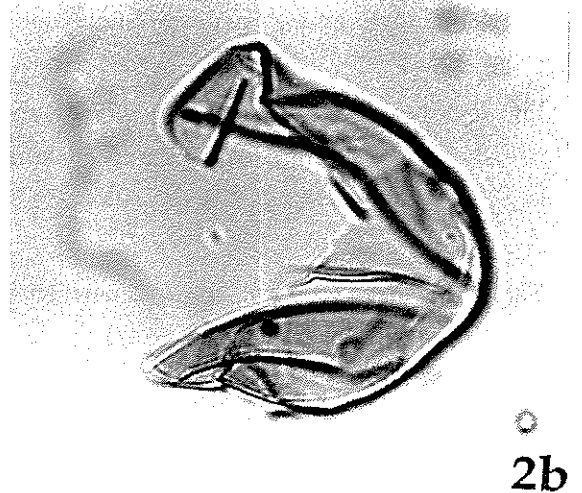
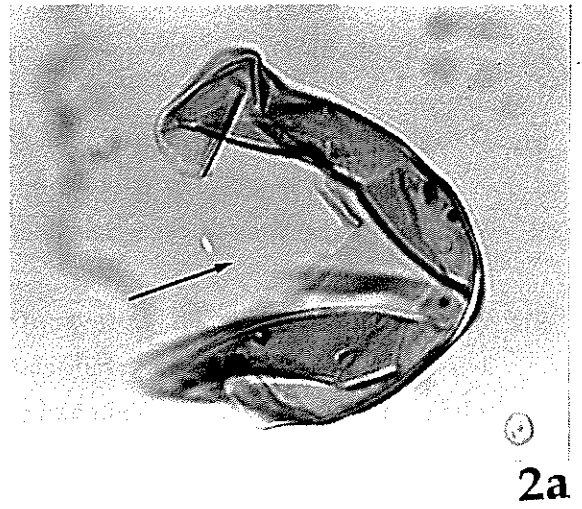
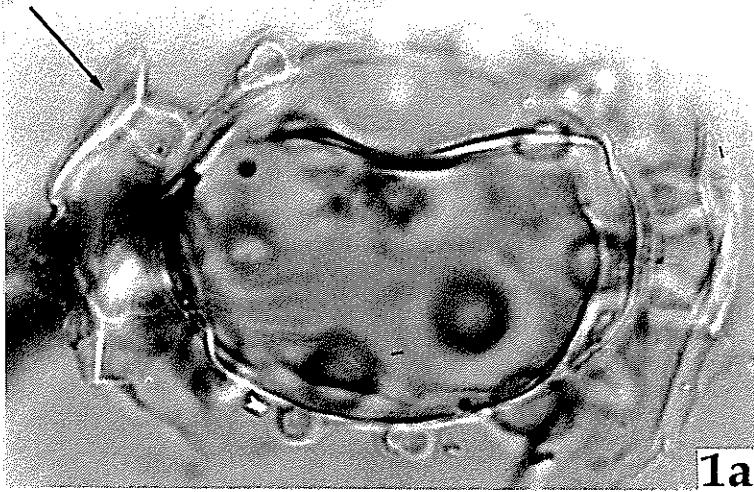
Fig. 4 *Brigantedinium* sp. indet., a;b; Different focus levels, cysts composed of pale brown autophragm, Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 U33/4.

Fig. 5 Probably cyst of *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III, a; Lateral view showing reticulate surface on organic cyst wall (endophragm?) after removing calcareous ornaments with HCl, b; Optical cross section of lateral view showing damaged theopylitic archeopyle (the operculum of *S. trochoidea* cysts is originally attached from the cyst body), Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 D40/2.

Fig. 6 Probably cyst of *Scrippsiella trochoidea* (Stein) Loeblich III, a; Lateral view showing reticulate organic wall surface after treatment with HCl, b; Optical cross section of lateral view, showing shrinking protoplasm (?) in the cyst body (arrow), Specimen; Yokohama St. 1 110-111-2 O24/2.

Scale bar: 20 $\mu$ m

Plate 3



20μm

Plate 4 Cysts of gymnodinioid and diplopsalid dinoflagellates, acritarchs, and microforaminiferal linings.

Fig. 1 Cyst of *Pheopolykrikos hartmannii* (Zimmermann) Matsuoka et Fukuyo, a; Optical cross section, orientation unknown, arrow showing characteristic striations on the basal part of acuminate processes, b; Surface of cyst, Specimen; Yokohama St.1 110-111-3 U36/3.

Fig. 2 Cyst of *Pheopolykrikos hartmannii* (Zimmermann) Matsuoka et Fukuyo, a, b; Different focus levels, arrow on b showing characteristic striations on the basal part of acuminate processes, Surface of cyst, Specimen; Yokohama St.1 110-111-1 M43/4.

Fig. 3 Cyst of *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee, Oblique lateral view showing large tremic arpheopyle and parasulcus, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 U32/2.

Fig. 4 Cyst of *Cochlodinium* sp. indet. (type F), a; b; Different focus levels, cyst body slightly deformed, showing fin-like processes and chasmic archeopyle (arrow), Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 O44/2.

Fig. 5 *Baltisphaeridium* sp. a, Brownish vesicle covered with many aculate processes, Specimen ; Yokohama St.1 110-111-2 S36/1.

Fig. 6 Cyst of *Diplopelta* cf. *parva* (Abe) Matsuoka, a; Optical cross section, orientation unknown, b; Surface of dark brown cyst covered with many acuminate processes, Specimen; Yokohama St.1 110-111-3 R44/1.

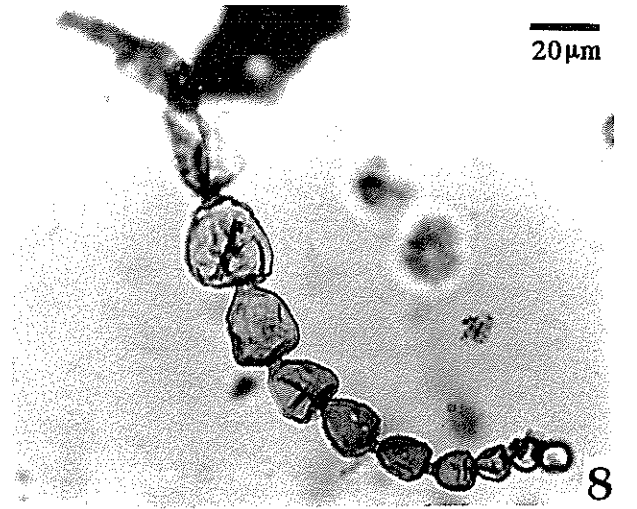
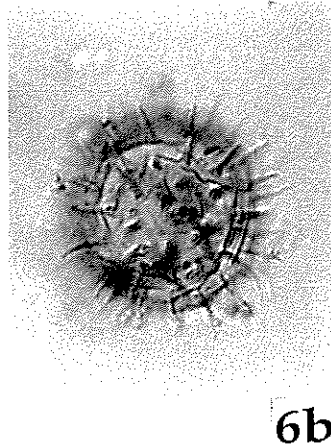
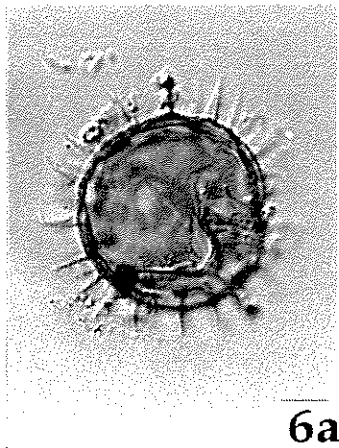
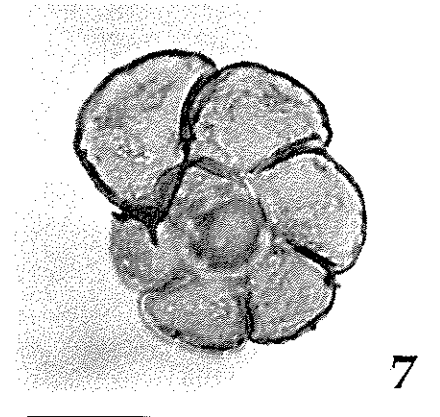
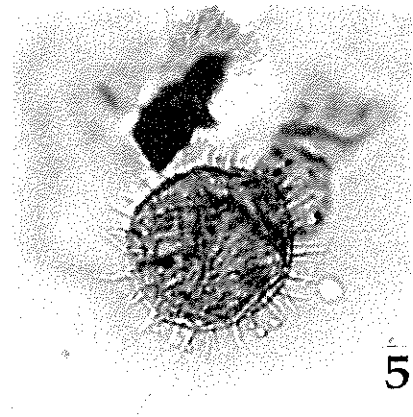
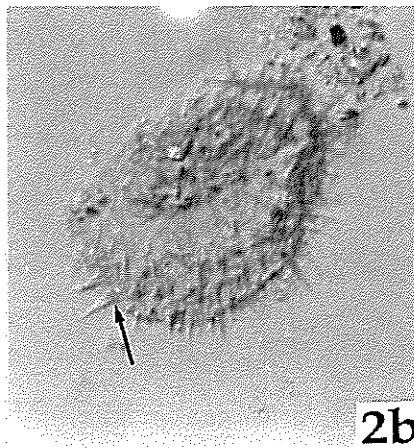
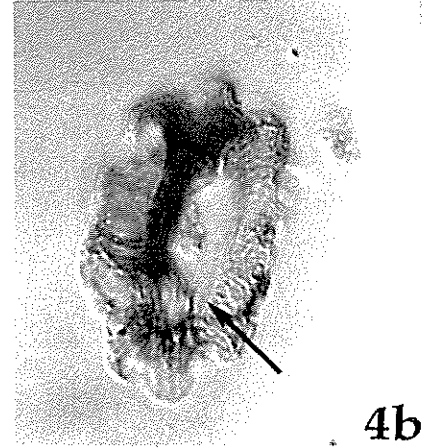
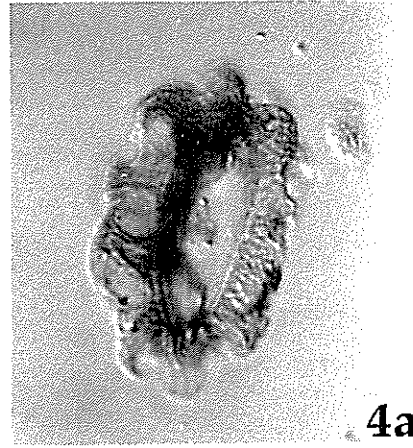
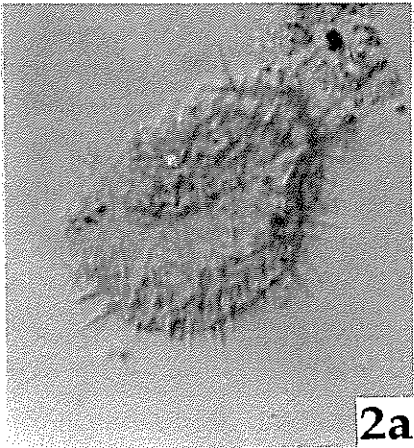
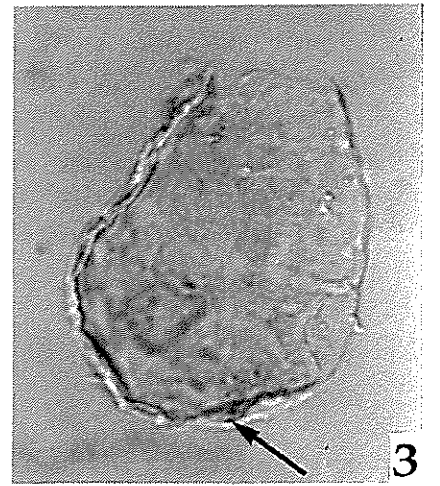
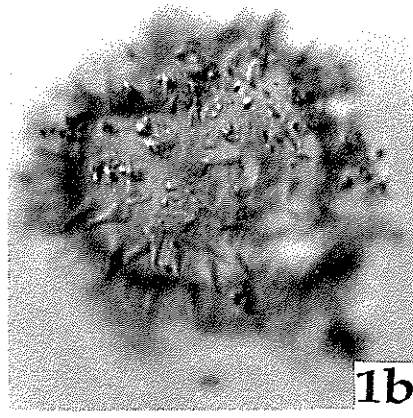
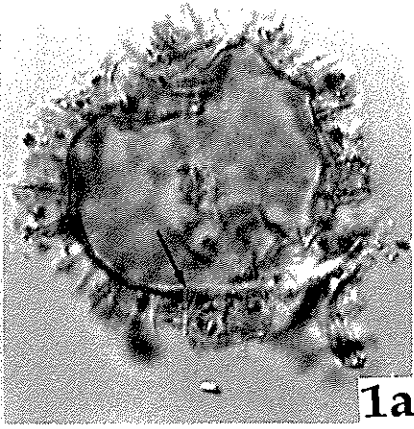
Fig. 7 Microforaminiferal lining; coiled type, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 U32/3.

Fig. 8 Microforaminiferal lining; uniserial type, Specimen; Yokohama St.1 110-111-2 T35/1.

Scale bar: 20 $\mu$ m



Plate 4



20µm