

中海の渦鞭毛藻 (予報)

小島夏彦¹・三浦常廣²・中村幹雄²

A Preliminary study of the dinoflagellates of Lake Nakaumi, west Japan.

Natsuhiko Kojima¹, Tsunehiro Miura² and Mikio Nakamura²

Summary: Thirty seven dinoflagellate species are described from the sample water collected from August 1998 to July 2000 at Lake Nakaumi, brackish lake, west Japan. The assemblage consists of three main groups, *Prorocentrum minimum*, *Heterocapsa rotundata* and “small *Gymnodinium* complex”. These dinoflagellates are present in the lake all the year around. They are adapted themselves to intense environmental changes of brackish water lake.

Key words: brackish water, dinoflagellate, *Gymnodinium*, Lake Nakaumi, unarmored species

はじめに

島根, 鳥取県境の汽水湖, 中海は西暦 1600 年以降急速に閉鎖環境が進行し, 現在の湖の原型ができあがったと考えられている (徳岡ら, 1989). このような汽水湖は海と陸の双方の影響を受け, その環境は短期間に極めて大きく変動する. したがってそのような環境に生息する生物はその環境変動に適応できる生理的性質や生態的な戦略を持つものが多い. プランクトンの世界, 特に植物プランクトンの仲間では多くの水域で珪藻が大きな役割を果たしており汽水湖も例外ではない. 中海でも *Skeletonema costatum*

が大量発生したり, 小型の中心目珪藻が優占種になっていることが報告されている (大谷, 1998). 一方, 水域における一次生産者として珪藻とともに重要な位置占める分類群に渦鞭毛藻がある. 渦鞭毛藻は赤潮・貝毒の原因生物として知られていることから, 直接それらの害を引き起こす種については多様な研究が進んでいるが渦鞭毛藻という分類群全体を対象にした研究はあまり多くない. 中海でもこの状況はあてはまり未だに中海の渦鞭毛藻群集の全体像

はわかっていない. 本研究は 1998 年 8 月から 2000 年 7 月までの間に行われた定期調査の中で採取された無固定試料の中で認められた渦鞭毛藻を明らかにし, その群集の性質について検討したものである. ただし, 今回は薬品による固定に極めて弱い無殻渦鞭毛藻のことを考慮し, 採水試料をそのまま観察した結果であるうえ濃縮試料ではない. そのため, 固定試薬を用いた濃縮試料による検鏡結果と比べた場合, 本研究のリストからもれている種が少なからず存在することが推測される. また, 生試料での同定作業のため高倍率での観察ができないために種名まで明らかにならない個体が多数存在することになった. したがって本研究は中海の渦鞭毛藻群集の大枠を明らかにすることを第一の目的とし, 詳細な群集リストと記載については次稿に譲ることとする.

試料採取測点と環境

採取測点は島根県内水面水産試験場の中海観測測点 St.5, 6, 7, 10 (現在は St 8 に変更) (図 1) である. 水深は St.5 で 4 m, St.6 で 6 m, St.7 で 6 m,

¹ 大阪工業大学生物学研究室 Laboratory of Biology, Osaka Institute of Technology, Osaka, 535-8585, Japan

² 島根県内水面水産試験場 Shimane Prefectural Fisheries Experimental Station, Hirata, 691-0076, Japan

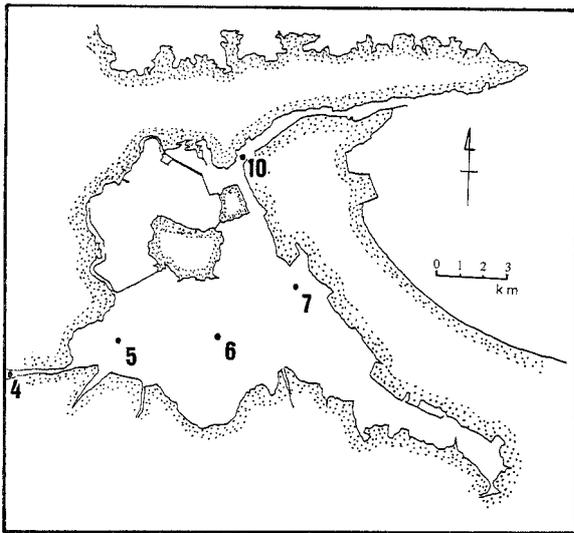


図1 中海のサンプル採取地点図
Fig. 1 Location map of sampling site

St.10 で 8 m である。水温については季節的な規則的な変化が認められるが、塩分濃度については極めて変動的でこれは降水により大橋川をはじめとする諸河川から流れ込む淡水による影響を強く受けるためである。最高水温は 29.2℃ (1998 年 8 月, St.6 表層), 最低水温は 4.1℃ (2000 年 2 月, St.7 水深 3 m), 最高塩分濃度は 34.4‰ (1999 年 1 月, St.10 底層), 最低塩分濃度は 3.5‰ (1999 年 7 月, St.5 表層) となっており, 夏期には明瞭な塩分躍層が発達する場合がある。ここでは湖中央部 (St.6) における 1999 年度の水溫, 塩分濃度変化を各層順に示したも

のを例示する (図 2)。

試料採取方法と検鏡法

採水はバンドン採水器を用いて表層水と底層水を採取し, それぞれ無固定のままの試水とグルタルアルデヒドで固定した試水の 2 種類のサンプルを用意し本研究では無固定水の方を用いた。採取した試料 24 時間以内に検鏡しプランクトンの同定をおこなった。試料 0.2 ml を金枠付き界線入計数板上に滴下し, 倒立顕微鏡でそこに含まれるすべてのプランクトンの同定を行い, これを 3 回繰り返して平均をとった。

中海の渦鞭毛藻記載

ここでは調査期間中に無固定サンプル中で観察された渦鞭毛藻類の簡略な記載を行う。分類体系は Fensome *et al.* (1993) をもとにして千原 (1999) が一部改変したものをを用いる。また写真図版の中には同一サンプルのグルタルアルデヒド固定試料から撮影したものも含まれているとともに, 写真, スケッチとも記録できなかったものも多くあることを付記しておく。なお, 表 1, 2 に月別の渦鞭毛藻産出状況を示す

記載
 渦鞭毛植物門 DINOPHYTA

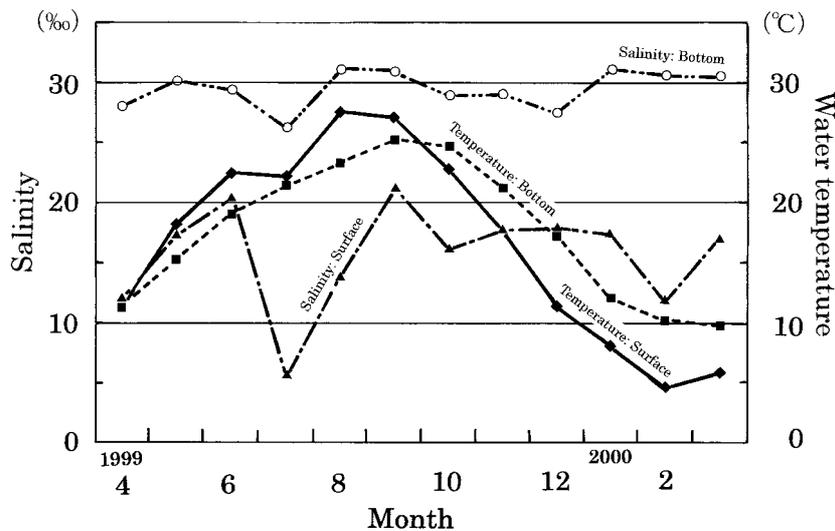


図2 中海の水溫, 塩分濃度の年変化 (1999 年度の例)
Fig. 2 Seasonal changes (April 1999~March 2000) of water temperature and salinity in Lake Nakaumi (St.6)

表1 中海における月別渦鞭毛藻産出状況①
Table 1 Monthly change of dinoflagellate assemblage in Lake Nakaumi①

SPECIES	YEAR AND MONTH											
	1998 Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	1999 Jan.,	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.
<i>Prorocentrum micans</i>												
<i>Prorocentrum minimum</i>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Dinophysis acuminata</i>												●
<i>D. sp.1</i>							●					
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>				●	●	●	●					
<i>Gymnodinium catenatum</i>				●								
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>				●								
small <i>Gymnodinium</i> complex	●	●	●	●	●		●	●	●		●	●
<i>Gym. sp.1</i>						●	●					●
<i>Gym. sp.2</i>												
<i>Gym. sp.3</i>									●			
<i>Gym. sp.4</i>										●		
<i>Gym. sp.5</i>									●			
<i>Gym. sp.6</i>												
<i>Gym. sp.7</i>				●			●				●	
<i>Amphidinium</i> spp.												
<i>Gyrodinium dominance</i>			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Gyr. Impudicum</i>		●	●									
<i>Gyr. instriatum</i>		●		●								
<i>Gyr. Spirale</i>												●
<i>Gyr. pepo?</i>			●									
<i>Gyr. britannia?</i>												
<i>Gyr. sp.1</i>											●	
<i>Katodinium glaucum</i>				●								
<i>Polykrikos schwartzii</i>			●									
<i>Nematodinium armatum</i>					●	●				●		
<i>Noctiluca scintillans</i>								●		●		
<i>Ceratium furca</i>												
<i>Gonyaulax spinifera</i>							●					
<i>G. venior</i>		●										
<i>Alexandrium</i> sp.	●								●			
<i>Heterocapsa rotundata</i>	●		●	●		●	●	●	●		●	●
<i>Protopendinium bipes</i>	●			●			●				●	●
<i>Proto. leonis</i>			●									
<i>Proto. pellucidum</i>		●			●	●	●				●	
<i>Proto. pentagonum</i>												
<i>Proto. pyriforme</i>				●								
<i>Proto. spp.</i>		●				●	●					
<i>Scripsiella trochoidea</i>												
<i>S. spinifera</i>												

渦鞭毛藻綱 *Dynophyceae* Pascher 1914
 プロロセントルム目 *Prorocentrales* Lemmermann
 1910
 プロロセントルム科 *Prorocentraceae* Stein 1883
 プロロセントルム属 *Prorocentrum* Ehrenberg 1834

Prorocentrum micans Ehrenberg 1834 (図版 I, 3)
 記載: 平坦な 2 枚の殻を合わせた皿状構造からなる。形は楕円形で大きさは体長 30~40 μm, 体幅約 20 μm。細胞前端部には凹部があり, そこから 2 本の鞭毛がでる。後端部は尖る。細胞前端部には頂刺

表2 中海における月別渦鞭毛藻産出状況②
 Table 2 Monthly change of dinoflagellate assemblage in Lake Nakaumi②

YEAR AND MONTH SPECIES	YEAR AND MONTH											
	1999 Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	2000 Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.
<i>Prorocentrum micans</i>					●							
<i>Prorocentrum minimum</i>	●	●	●	●	●	●	●					
<i>Dinophysis acuminata</i>						●						
<i>D. sp.1</i>												
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>			●	●		●						
<i>Gymnodinium catenatum</i>											●	
<i>Gymnodinium mikimotoi</i>												
small <i>Gymnodinium</i> complex	●	●		●	●	●		●	●	●	●	●
<i>Gym. sp.1</i>	●				●	●		●	●	●		
<i>Gym. sp.2</i>					●	●						
<i>Gym. sp.3</i>					●			●	●			
<i>Gym. sp.4</i>					●			●				
<i>Gym. sp.5</i>		●			●	●				●		
<i>Gym. sp.6</i>					●					●		
<i>Gym. sp.7</i>				●								
<i>Amphidinium</i> spp.					●							
<i>Gyrodinium dominance</i>	●	●	●	●						●	●	●
<i>Gyr. Impudicum</i>			●	●								●
<i>Gyr. instriatum</i>												
<i>Gyr. Spirale</i>										●		●
<i>Gyr. pepo?</i>												
<i>Gyr. britannia?</i>												●
<i>Gyr. sp.1</i>				●								
<i>Katodinium glaucum</i>				●	●	●		●			●	●
<i>Polykrikos schwartzii</i>											●	●
<i>Nematodinium armatum</i>				●	●						●	●
<i>Noctiluca scintillans</i>							●	●		●		
<i>Ceratium furca</i>												
<i>Gonyaulax spinifera</i>												
<i>G. verior</i>												
<i>Alexadrium</i> sp.					●							
<i>Heterocapsa rotundata</i>			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<i>Protopendinium bipes</i>	●	●		●								
<i>Proto. leonis</i>												
<i>Proto. pellucidum</i>			●	●	●					●		
<i>Proto. pentagonum</i>												
<i>Proto. pyriforme</i>												
<i>Proto. spp.</i>					●						●	●
<i>Scrippsiella trochoidea</i>		●			●			●				●
<i>S. spinifera</i>		●										

がある。細胞表面は光学顕微鏡下では網目状に見えるが、走査型電子顕微鏡ではこれらの構造が細かなディンプル状構造であることがわかる。

出現特徴: 中海で観察される *Prorocentrum* 属では次

項の *Proro. minimum* が圧倒的に多いが、本種はこの *Proro. minimum* のブルームの中に認められることが多く、単独で観察される例は少ない。

Prorocentrum minimum (Pavillard) Schiller 1933 (図版 I, 1, 2)

記載: 平坦な 2 枚の殻を合わせた皿状構造からなる。体長, 体幅は 15~25 μm で, 外形は三角形, ハート形, 五角形, ある細胞は円形に近いものもあり変異が大きい。細胞の前部に僅かな凹みがあり, そこから 2 本の鞭毛が出ている。細胞は黄褐色を呈す。

注記: *Prorocentrum* の中では小型のため, 他の *Prorocentrum* と比較するときには識別しやすい。しかし, *P. minimum* と呼ばれているものの中では形態変異の幅が大きいので遺伝的バックグラウンドの比較が必要とされている (堀口 1990)。光学顕微鏡観察 (微分干渉像) では表面に小さな粒状構造が認められるが, これらの構造は走査型電子顕微鏡観察では短い棘状構造の集まりであることがわかる。ゆっくり回転しながら泳ぐ。

出現特徴: 本種は近年中海で頻繁に赤潮を起こしている。中海東部水域で赤潮をおこしやすく, 特に米子湾で高濃度パッチ状赤潮が観察される。1 年を通じて中海で観察されるが, 秋から春にかけて高濃度になる (濃茶褐色)。

ディノフィシス目 Dinophysiales Kofoid 1926

ディノフィシス科 Dinophysiaceae Stein 1883

ディノフィシス属 *Dinophysis* Ehrenberg 1839

Dinophysis acuminata Claparade et Lachmann 1859 (図版 I, 4)

記載: 細胞は体長約 40 μm , 体幅 25~30 μm 。体側方向から観察すると卵形であるが, 正面から見ると左右に偏圧されている。横溝は細胞上部に偏り, 上殻が極めて小さく下殻の占める部分大きい。横溝に沿って前方環状翼片と後方環状翼片が発達している。前方環状翼片は杯状に上を向いている。縦溝に沿っても左右に翼状構造が発達しているが左縁翼片は右縁翼片より長く, その表面には 3 本の肋が認められる。光学顕微鏡では細胞表面に網目状構造が観察される。

注記: 本種は *D. fortii* に似るが, 体側方向から観察すると前種が左右対称に近い卵形を示すのに対し, 後種は細胞前方部の縁が直線状になっている。下痢性貝毒種。

中海での産出状況: 調査期間中は夏と冬に一度ずつ観察されたが, 観察されるときは比較的まとまった個体数で出現する。

D. sp.1 (図版 I, 5)

記載: 体長 30~40 μm の細長い卵形細胞。左右に扁平。細胞前面に翼片が発達する。表面に網目状構造が観察される。細胞前面に発達する翼片が細胞下部まで伸長している。背腹方向からの細胞形態等是不明。

注記: 本種は *D. acuminata* に似るが細胞が縦に細長い点で異なる。*Dinophysis* 属であることは確認できたが, 背腹方向から観察できなかつたため種まで認識できなかった。

オキシフィシス科 Oxyphysiaceae Sournia 1984

オキシフィシス属 *Oxyphysis* Kofoid 1926

Oxyphysis oxytoxoides Kofoid 1926 (図版 II, 8)

記載: 本種の外形は紡錘形をなし, 上殻頂部から 2/3 付近に横溝がある。体長は 40~55 μm , 体幅は 20~25 μm (体側観)。上下の横溝翼片はそれほど発達しない。細胞前部の横溝から縦溝につながる部分には縦溝を縁取るようにやや翼状部が発達するが, 他の *Dinophysys* 類に比べると小さい。普通は上殻, 下殻部ともその先端は尖るが, 間帯形成が顕著になると左右幅が広がり, 下殻部の背腹観が台形状になることから全体の形状に大きな差異が生じることになる。

注記: 本種は *Oxytoxum* 属の各細胞に形態が似るが, 前者が左右に大きく構造が二分された構造をもつことと, 本体を形成する鎧版の数が上殻, 下殻とも 2 枚ずつしかないことから区別は容易である。また間帯の発達の程度により形態上の個体差が大きくなる。

出現特徴: 10 月~2 月の間に出現する。

ギムノディニウム目 Gymnodiniales Apstein 1909

ギムノディニウム科 Gymnodiniaceae (Bergh)

Lankester 1885

ギムノディニウム属 *Gymnodinium* Stein 1878

Gymnodinium catenatum Graham 1943

記載: 縦長で背腹方向にやや偏圧された細胞。上錘は下錘よりやや短く, 上錘頂端はやや平坦。横溝は細胞中央部よりやや上方に位置し, 腹部で横溝幅の 2~3 倍の段差を示す。縦溝は上錘の頂部直下から始まり, 下錘下部にまで達する。

注記: 本種は *Gyrodinium instriatum* に似るが, 前者の横溝が細胞中央に近い場所にあること, さらに横溝の段差が後者ほどないことなどから区別される。また本種は連鎖細胞を作ることが多く, しかも連鎖すると細胞形態が変わることが知られている。特に

連鎖状態では *Gyrodinium impudicum* に似るが、後者の中間細胞が樽状になることや両端の細胞が円錐状であること、さらに *Gymnodinium* 属と *Gyrodinium* 属の基本的な違いである横溝の段差の程度から区別される。

Gymnodinium cf. *mikimotoi* Miyake et Kominami ex Oda 1935

記載: 本種は背腹方向からみると円形に近く見えるが、体側方向からみると顕著に扁平である。細胞表面に鎧板は認められない。背腹観は上錘が扁平なドーム状をしており、下錘部は縦溝が下端部まで伸長しているために底部には明瞭な凹部が認められる。縦溝は僅かに上錘に進入している。体長約 30 μm 、体幅約 30 μm 。

注記: 本種は *Gyrodinium aureolum* に似ておりその識別はやさしくない。ここでは横溝の始端部がわずかに上錘部に進入しているため *G. mikimotoi* に近いものとしたが、上錘溝がはっきり観察されなかったり、下錘部右部と左部の相違も明瞭でなかった。故に、*Gyr. aureolum* あるいは *Gym. mikimotoi* に近い形態の別種である可能性は捨てきれない。

Gym. spp. (small *Gymnodinium* complex) (図版 I, 13, 14, 15)

注記: 10 μm 程度の小型の *Gymnodinium* が複数種含まれる。下記 *Gymnodinium* 属中の小型種を一部含んでいる可能性あり。詳細は不明。

Gym. sp.1

記載: 体長 15 μm ほどの小型細胞。上錘部は縦長のドーム状。下錘部は左部が右部より長く背腹観では非対称になる。

注記: 下錘部の形態が特徴的なため見分けがつく。しかし、小型のため光学顕微鏡では詳しい特徴は押さえきれない。停止細胞による高倍率観察と SEM による観察が必要である。本種と同様の理由から *Gym. sp. 3, 4, 5, 6, 7* についても SEM による観察が必要である。

Gym. sp.2

記載: 体長 40 μm ほどの中型細胞。縦長の紡錘形をなす。上錘部はドーム状で、下錘部は縦長の円錐状。下錘部が長く、横溝は細胞の上方に片寄っており、腹部ではほとんど段差は認められない。縦溝は横溝から下方へ伸び、先細るように見える細胞全体に縦

方向に線状の模様がある。

Gym. sp.3

記載: 体長 15 μm 程度の小型細胞。上錘部はドーム状で、下錘部は右部と左部で大きさに差がある。左部、右部とも球状であるが左部の方が大きい。

注記: 小型のため詳細不明。

Gym. sp.4

記載: 体長 10 μm ないしはそれ以下の非常に小さな細胞。上錘部はドーム状で、下錘部は球状構造物が横に並列状態にならんでいるような形状をなす。下錘部の2つの球状構造は右部の方がやや大きい。横溝がよく発達しており幅が広い。縦溝は横溝から下方へ伸長し下部末端へ達する。

注記: 小型のため詳細不明。

Gym. sp.5

記載: 体長 15 μm ほどの小型細胞。典型的な *Gymnodinium* 型細胞の形態を示す。上錘、下錘ともドーム状を示し、縦と横の長さの比は等しいかやや縦長。横溝は広く発達している。縦溝は横溝から下方へ伸び、下部まで達し、その部分が下錘部では凹部として認められる。

注記: 小型のため詳細不明。

Gym. sp.6

記載: 体長 10 μm ないしはそれ以下の非常に小さな細胞。上錘部は縦長の円錐形、下錘部はドーム状をなす。横溝は細胞中央部よりやや下方に位置する。縦溝は不明。

注記: 小型のため詳細不明。

Gym. sp.7

記載: 体長 15 μm ほどの小型細胞。非常に縦長の細い細胞で、上錘部、下錘部とも棒状。上錘部が下錘部より大きく、横溝は細胞中央部よりやや下方に位置する。

注記: 小型のため詳細不明。

アンフィディニウム属 *Amphidinium* Claparede et Lachmann 1859

Amphidinium spp.

記載: 横溝が上部に片寄る。上下方向に長い。体長 20~25 μm 。

注記: 典型的な *Amphidinium* の形態をなすが細かな

特徴は不明.

ギロディニウム属 *Gyrodinium* Kofoid et Swezy 1921

Gyrodinium dominance Hulburt 1957 (図版 I, 6, 9)

記載: 細胞外形は紡錘形をしており, 表面には縦方向に条線がはしっている. 無殻種である. 上錘の頂部はドーム状であるが, 下錘の先端部は上錘部より尖ることが多い. 横溝は腹部で段差を生じ, その差は細胞の長さの 1/3 程度である. 縦溝は上錘頂部下あたりから始まり下錘部端部まで達するが, 横溝の段差箇所を生じるハンクに沿って通るために屈曲する. 体長 20~40 μm , 体幅 10~20 μm . サイズは変異に富む.

注記: 中海では *Prorocentrum minimum* と共産する場合が多かった.

出現特徴: 中海全域で認められる.

Gyr. impudicum Fraga et Bravo 1995 (図版 III, 3, 4)

記載: 細胞は無殻の連鎖細胞, 特に 4 連鎖細胞の状態が多い. 末端細胞と間に挟まれた細胞では形態に大きな違いがある. 末端細胞は背腹観が三角形をなすが, その他の細胞は横幅の広い長方形をなす. 横溝は腹部で段差を生じ, その差は細胞長の約 1/4 である. 縦溝は上下とも端部まで達し, 特に上錘の頂部では反時計回りにその先端部が巻いている. 体長 20~25 μm , 体幅約 20 μm .

注記: 本種は 4 連鎖細胞で出現することが最も多いが, その他には単体, 2 連鎖, 8 連鎖, 16 連鎖のものが認められる. 本種はシストも形成し, 中海底質中からも検出されている (Kobayashi *et al.*, 2001). 培養するとゼラチン状物質を大量に分泌する.

出現特徴: 9~11 月を中心に出現するが, 7 月にも一度観察されている.

Gyr. instriatum Freundenthal et Lee 1963 (図版 III, 6)

記載: 濃い茶色の中型細胞で背腹方向にやや偏圧されている. 上錘は台形をしていて頂部は平らである. 下錘も台形であるが縦溝の延長部が底部にまで達しているため, 底部には凹部が認められる. 腹部における横溝のズレは細胞長の 2/1 から 1/3. 縦溝は上錘に深く入り込み頂部直下に達しており, 下錘には底部を回り込み一部僅かに背面に達している. 大型の核が上錘中央部に認められる. 形態は変異が大きい. 体長 30~40 μm , 体幅: 約 25 μm .

注記: 中海底質では米子湾のように本種のシストが塊状になって集中産出する場所が認められている

(Kojima *et al.* 1994). その割には調査期間中の遊泳体の観察個体数は多くない. 本邦では本種の赤潮も知られていることを考えると, 条件が揃えば中海でもブルームを起こしてもおかしくない.

出現特徴: *Gyr. impudicum* と同様に 9~11 月と 7 月に観察されている.

Gyr. spirale (Bergh) Kofoid et Swezy 1921

記載: 紡錘形をした大型の細胞である. 顕微鏡下では無色で縦方向に条線が何本も認められる. 細胞長が幅の 2 倍以上あるため全体が細長い. 側方, 背腹方向とも偏圧はなく, 細胞の横断面はほぼ円形である. 背腹観は非対称で, 上錘頂部がやや右に傾いた形になっている. 頂部は尖る. 下錘部も右部がやや長い. 横溝の腹部での段差は顕著で, 細胞長の約 1/2 で, 腹部でオーバーハンクしている. 体長約 60 μm , 体幅約 25 μm .

注記: 今回の調査では *Gyr. dominance* が多産する場合に共産する場合が多かった.

Gyr. cf. pepo (Shutt) Kofoid et Swezy 1921

記載: 紡錘形をした大型の細胞である. 無色で縦方向に条線が何本も認められる. 背腹観は非対称で, 上錘部は右部に傾ぎ, 下錘部は逆に左部へ傾ぐような形になり逆 S 字状になる. 上錘部, 下錘部とも末端部は尖る. 横断面はほぼ円形である. 横溝は段差を持ち, 細胞長の 1/3 ほどになる. 縦溝は上錘部の途中からはじまり, 下錘部の下方まで続いている. 体長 60 μm , 体幅 35 μm .

注記: 本種は *Gyr. pepo* の元記載と比較すると外形こそ似ているが, 細胞長が短く, 上錘部末端部が尖っているという点で異なっている.

Gyr. cf. britannia Kofoid et Swezy 1921

記載: 紡錘形をした縦長の大型細胞である. 無色で縦方向に条線が何本も認められる. 上錘は下錘より小さい. 上錘末端部は尖るが, 下錘末端部は丸い. 横溝は細胞中央よりやや上にあり, 腹部における段差は細胞長の 1/3 程度である. 細胞横断面はほぼ円形. 体長 60~70 μm , 体幅 25 μm .

注記: 本種は *Gyr. britannia* に似るが, 元記載と比較すると細胞長が約半分ほどしかなくサイズの差が大きい. その他の特徴もはっきり後者に断定するものがない.

出現特徴: 1999 年 6 月に 1 度観察.

Gyro. sp.1

記載: 体長 30~35 μm , 体幅約 15 μm 程度の中型細胞。上錘部はやや縦長の円錐状。下錘部は右部が発達し、背腹観からは左右非対称になる。横溝は水平面からはかなり傾斜しつつ細胞周囲を回るが、腹部での段差は体長の 1/4~1/5 程度。縦溝は上錘頂部下から始まり、下錘末端部まで伸びる。下錘部左部に眼点様ないしは貯蔵物のようなものが見える。

注記: 横溝の段差があまり著しくなく、*Gymnodinium* に属する細胞の可能性もある。

カトディニウム属 *Katodinium* Fott 1957*Katodinium glaucum* (Lebour) Loeblich III 1965

記載: 紡錘形をした中型細胞で、細胞横断面はほぼ円形。横溝が下錘部へ極端に偏った部分に位置する。上錘の上部はやや捩れているものが多い。横溝の段差は横溝幅の 1/3 程度で、縦溝は短い下錘部末端部まで伸びている。細胞自体は無色で、核は細胞のやや下部にある。体長 40~50 μm , 体幅約 15~20 μm 。

ポリクリコス科 Polykrikaceae Kofoid et Swezy 1921

ポリクリコス属 *Polykrikos* Butschli 1873*Polykrikos schwartzii* Butschli 1873

ウォルノビア科 Warnowiaceae Lindemann 1928

ネマトディニウム属 *Nematodinium* Kofoid et Swezy 1921*Nematodinium armatum* (Dogiel) Kofoid et Swezy 1921

記載: 楕円形をした中型細胞。上錘部はドーム状、下錘部は先が細くなる。横溝は 1 回転以上して段差は体長の 0.5 倍程度ある。縦溝は上錘から左回りに降りて、1 周と少し回っている。下錘部にはレンズ眼が明瞭に観察される。体長 50~70 μm , 体幅 25~30 μm 。

ノクチルカ目 Noctilucales Haeckel 1894

ノクチルカ科 Noctilucaceae Saville-Kent 1881

ノクチルカ属 *Noctiluca* Suriray in Lamarck 1816*Noctiluca scintillans* (Macartney) Ehrenberg 1934

記載: 背腹面から見ると円形の大型細胞。巨大な袋状構造を持ち、その中央部が凹んでいる部分が縦溝にあたる。縦溝の端から長くはっきりした触手が伸びている。触手の付け根付近の縦溝には横溝の痕跡と言われている歯状突起や短い鞭毛がみられる(縦鞭毛)。細胞表面には網状の構造が見られ、細胞全体はうすいピンク色を呈す。

注記: 他の渦鞭毛藻類と比較してサイズ、形態とも大きく異なるため同定はしやすい。

出現特徴: 本種は赤潮形成種の代表的なものである。しばしば沿岸域表層でトマトジュースのような色のブルームを引き起こすが、中海では塩分躍層下部、すなわち塩分濃度が高い部分で増殖しているのがしばしば観察される。

ゴニオラクス目 Gonyaulacales Taylor 1980

ケラチウム科 Ceratiaceae Willey et Hickson 1909

ケラチウム属 *Ceratium* Schrank 1793*Ceratium furca* (Ehrenberg) Claparede et Lachmann 1859 (図版 III, 1, 2)

記載: 細胞は前後に細長く、体長約 180 μm , 体幅 30 μm (中央部) で明瞭な 1 本の前角と 2 本の後角からなる。上殻は下殻よりもやや長く頂部に向かって細くなっている。下殻の 2 本の後角は左側の方が太くかつ約 2 倍の長さを持つ。縦溝は明瞭で、幅が広く深い。

注記: 本種は *C. kofoidii*, *C. boehmii*, *C. belone* に似るが、前記 2 種は背腹方向に偏圧を受けている点で異なり、*C. belone* は細胞全体の太さで本種と区別される。また、ケラチウム属の中には形態変異が著しいものも知られており (*C. fusus*, *C. tripos*)、同一種の形態が極めて大きく変わることが知られている (Hasle and Nordli, 1951; Nielsen, 1956)。その要因については塩分濃度や水温などが関係しているとも言われており、中海のような環境変動の激しい汽水湖ではこの点で注意する必要がある。

ゴニオラクス科 Gonyaulacaceae Lindemann 1928

ゴニオラクス属 *Gonyaulax* Diesing 1866*Gonyaulax spinifera* (Claparede et Lachmann) Diesing 1866

記載: 球ないしは亜球形の細胞。下殻の末端部には 2 本の棘が見られることが多いが、欠く場合もある。上殻先端部には頂角がある。横溝はほぼ細胞中央部を走っているが、腹部で横溝幅の 2 倍程度の段差があり、両端部がオーバーハングしている。横溝は下殻部にのみあり、下部へいくほど横溝が広がる。体長 30 μm , 体幅 25 μm 。

G. verior Sornia 1984

記載: 細胞はやや前後に長く、背腹方向に偏圧されている。背腹方向から見ると、上殻は二等辺三角形に近く、等辺は真っ直ぐかやや内側に湾曲してい

る。下殻後端部には2本の顕著な後角が発達している。鎧版の表面は網目状構造を示す。横溝は細胞のほぼ中央部を走り、縦溝は腹部横溝より後端部へむけて幅広く伸長している。縦溝は下部へいくほど幅広くなる。

注記: 本種は *Alexandrium* 属のそれと類似したシストを形成するが、中海では今のところ観察されていない。しかし、底泥を用いた発芽実験で本種の遊永体が認められたことからシストの存在もほぼ間違いない。

アレキサンドリウム属 *Alexandrium* Halim 1960

Alexandrium sp.

記載: 細胞は球形に近く、上殻はドーム状、下殻は台形状をなす。体長、体幅はほぼ等しく、体のほぼ中央部に明瞭な横溝が見られる。体長、体幅 30~35 μm 。

注記: *Alexandrium* 属は頂孔板と頂板との関係や腹孔の位置など極めて微小な部分の観察が必要で、本種の場合はその部分の観察ができなかったため種まで明らかにできなかった。

ペリディニウム目 Peridinales Haeckel 1894

ヘテロカプサ科 Heterocapsaceae Fensome et.al 1993

ヘテロカプサ属 *Heterocapsa* Stein 1883

Heterocapsa rotundata (Lohmann) Hansen 1995

記載: マッシュルーム状の形態をした極めて小さな細胞。上殻が極めてよく発達し、下殻の2, 3倍ある(下殻部は極めて小さく光学顕微鏡下では幅の広い横溝の部分と区別がつかない)。サイズの変異幅が極めて大きく、体長 6~16 μm 、体幅 4~10 μm 。

注記: 特徴的な外形から超小型ながら認識はしやすい。しかし、サイズの幅が大きいことからこれらをすべて同じ範疇に入れてよいかは、その生活環が明らかにならないとはっきりしたことは言えない。

ペリディニウム科 Peridiniaceae Ehrenberg 1831

プロトペリディニウム属 *Protoperidinium* Bergh 1881

Protoperidinium bipes (Paulsen) Balech 1974

記載: 背腹方向に偏圧された小型の細胞。背腹方向からみると上殻は三角形をなし、下殻は背の低い台形をなす。下殻部後端から顕著な2本の棘が発達している。横溝は幅が広く腹部での段差はほとんどない。縦溝は短い。体長 15~22 μm 、体幅 15~20 μm 。

Proto. leonis (Pavillard) Balech 1974 (図版II, 4)

記載: 背腹方向に偏圧された中型細胞。背腹方向からみると体長と体幅はほぼ等しく、左右はほぼ対称。上殻は三角形、下殻は2つのよく発達した後角からなるがそれらは形の整った2つの三角形をなす。後角先端部は尖る。横溝は腹部で溝幅の1/2程度ずれる。縦溝はやや深い。体長 50~60 μm 、体幅 50~60 μm 。

注記: 本種は元記載が十分でないため同定が混乱しているとされている。特に類似種の *P. obtusum* は外形や鎧版の一部模様の違いで区別されている場合があるが、同一種であるとする見解もある。

Proto. pellucidum Berch 1881 (図版II, 1)

記載: 球形の中型細胞。上下方向にやや偏圧されている。頂角は顕著で、下殻部末端には2本の後棘がある。棘には翼片をともなう。横溝は細胞中央部ないしはこころもち下部に位置する。腹部における段差は溝幅の1/2程度。縦溝は幅が広く横溝から下部にかけて伸長している。縦溝部分の翼片がやや発達している。

注記: 本種は近縁の *P. mite*, *P. pyriforme*, *P. steinii*, *P. latispinum* に似るが、後棘の位置、大きさなどで区別できるものもある。しかし、光学顕微鏡下では最も根本的な違いである鎧版配列を遊泳している個体で確認することは難しく、採水直後の生体細胞の確認では同定を誤る可能性がある。

Proto. pentagonum (Gran) Balech 1974

記載: 背腹方向から見ると五角形の細胞。上殻は二等辺三角形、下殻は二つの後角があるが、角の間が平坦さみのため全体として台形に近い。横溝は細胞中央部をほぼ水平に走っているが、腹部付近で左からの横溝が横溝幅の2倍程度段差を生じさせる。縦溝は腹部の横溝左端部から生じ、下殻部下部にまで達する。体長 70 μm 、体幅 80 μm 。

注記: 本種は *Proto. latissimum* と似るが、頂板1'と周辺鎧版との関係から区別がつく。ただし、光学顕微鏡で、しかも生体細胞で確認するのは難しい。

Proto. pyriforme (Paulsen) Balech 1974 (図版II, 2)

記載: 球形の中型細胞。背腹方向にやや偏圧されている。体長が体幅よりやや大きい。下殻末端部には2本の後棘がほぼ平行に存在する。後棘には翼片が認められる。2本の後棘の間は近接している。横溝は細胞中央部を走り、腹部における段差はあまり見

られない。縦溝の幅は2本後棘の幅にほぼ等しい。体長約40 μm 、体幅約40 μm 。

注記: 本種は *P. pellucidum*, *P. mite*, *P. seinii*, *P. latispinum* に似るが、外部形態、後棘の特徴分類できることもあるが、鎧板の確認が必要な場合は光学顕微鏡では難しい状況もある。

Proto. subinerve (Paulsen) Loeblich III 1970 (図版 II, 9)

記載: 体長、体幅はほぼ等しい。背腹方向から見て、上殻は二等辺三角形、下殻はほぼ台形状をなす。頂角、後角とも短い。縦溝は深く、後角に向かって開いている。横溝の段差はほとんど見られない。体長約60 μm 、体幅60 μm 。

注記: 本種は *Proto. obtusum*, *Proto. leonis* に似るが、前者は縦溝が斜めに傾き、後角先端部に短い棘があることで区別され、後者は細胞自体が背腹方向にかなり扁圧をうけているとともに、後角先端部に短い棘があることでこれも区別できる。

Proto. spp.

記載: 球状ないしは上下方向に偏圧されている。横溝はほぼ中央に位置する。

注記: *Protopteridinium* 属であることはわかるが、遊泳速度が速いことと死後すぐに分解してしまったため種までの同定ができなかった。

スクリプシエラ属 *Scripsiella* Balech 1959 ex Loeblich III 1965

Scripsiella trochoidea (Stein) Loeblich III 1976 (図版 II, 5)

記載: 洋なし型の小型細胞。黄色がかった褐色を呈す。上殻は丸みのある円錐形で頂部に顕著な突起がある。下殻は半球形をなす。横溝は浅く、腹部で溝幅と同程度かその1/2程度ずれる。縦溝は横溝から下殻末端部の手前までの間に存在する。体長18~30 μm 、体幅約20 μm 。

注記: 本種は石灰質のシストをつくる。シストは表面に特徴的な突起をもち、底泥中でも比較のみつけやすい。本種の近縁種は分類学的に混乱しており、近縁種が共産する場合は同定に注意が必要である。

Scripsiella spinifera Honsell et Cabrini 1991 (図版 II, 6)

記載: 背腹観が五角形状の中型細胞。上殻部は正三角形に近く、下殻部はほぼ台形状である。背腹面か

ら見ると上殻部の方が下殻部のほうより長い。後端部に短い2本の棘状構造が認められる。体長30~38 μm 、体幅25~30 μm 。

結果と考察

全体で37種が確認された。今までの中海におけるプランクトン群集の調査では渦鞭毛藻は極めて限られた種群しか同定されてこなかった。その意味では今回のリストは初めて中海の渦鞭毛藻群集の全体像をまだ不完全ながらも提示できたことになる。

群集全体の種組成を見た場合に気がつくことは無殻渦鞭毛藻が極めて多いことである。特に *Gymnodinium* 属、*Gyrodinium* 属に含まれる種が多い。*Gymnodinium* 属の種には正確に同定できていないものも多い。また小型の *Gymnodinium* に属すると思われる一群も存在し、これを small *Gymnodinium* complex とした。このグループには複数種が含まれているものと考えられる。これらに次いで多いグループが *Protopteridinium* 属である。

構成種の特徴は上記のとおりであるが、数量的な面を見ると全く違った様相を示す。すなわち、1年を通じて優占する種としては *Prorocentrum minimum*, *Heterocapsa rotundata*, が多く、small *Gymnodinium* complex がこれに次いでいる。これら3つのグループの多くは (*Gymnodinium* の中で不明のものがある) 1年を通じて中海水域に存在し、環境変動にうまく適応しながら増減を繰り返している。また共通の特徴としてすべて小型種ということもあげられる。

1950年代くらいまでは渦鞭毛藻として報告されているのは *Ceratium* 属 (種までの同定はなし) が主体だった (石井 1931, 倉茂喜多 1933 など)。これが変化しだしたのが記録の上からは千田 (1959) が報告している *Exuviaella apora* の大発生である。*E. apora* は現在ではおそらく *Prorocentrum minimum* のことと推定されるので、中海の現在型群集の主体をなす種がこの時期に出現しだしたと考えられる。その後はっきりとこの傾向が見られ始めたのが伊達 (1975) により報告された *Prorocentrum minimum* の1974年における大発生である。この年から現在まで、基本的なプランクトン組成は変わっていないと考えられる。

このような群集の形成にはどのような環境要因が大きく関わっているのかについては、環境変動が激しく複雑な汽水域ではその要因を明瞭にあぶり出す

のは難しいが、近藤 (1990), Kondo *et al.* (1990) では塩分濃度がプランクトンの分布の決定要因として報告されている。

渦鞭毛藻は水産学的には赤潮や貝毒の原因生物として重要視されてきた。そのために赤潮、貝毒原因種の研究はそれ以外の種に比べ進んでいると言っている。今回の調査でも関係種が出現している。まずは *Gymnodinium mikimotoi* であるが 1998 年の 11 月に 1 度だけ 1 個体のみ観察した。その前後とも観察はなくブルームをおこした形跡はない。本種は西日本を中心に漁業被害を起こしてきた種で日本海の北限は舞鶴湾なので (山口 2000), 中海で観察されてもおかしくはない。*Gymnodinium catenatum* は貝毒原因種として知られているが (福代 2000), 本種も 2000 年 6 月に 1 度だけ観察されたのみである。*Dinophysis acuminata* は 1999 年 7 月と 2000 年 1 月に観察されている。本種も貝毒原因種であるが、東北地方のものは有毒で東京湾のものは無毒というような例があり (Lee *et al.* 1989), 場所により毒化するものしないものがあるようだ。また *Alexandrium* 属と思われる種も観察されたが種まで同定できなかったため有毒種であるかどうかは不明である。さらに渦鞭毛藻ではないが同じく赤潮原因藻であるラフィド藻類の *Heterosigma akashiwo* も検出されており、この種は底質の発芽実験からも見つかっている (小島, 未発表)。本種は単離して中海の滅菌濾過海水に接種したところ急速に増殖したところから中海でも条件が揃えばブルームを引き起こす可能性もある。以上中海の渦鞭毛藻群集は今までの報告からは考えられないくらい多様であることが明らかになった。またその中には赤潮・貝毒原因種も少ないながらも含まれている。水域の漁業振興を考える上で今後、渦鞭毛藻を含んだ植物プランクトンの定期的なモニターが重要になってくるのではなかろうか。

Kobayashi, S., Kojima, N., Itakura, S., Imai, I. and Matsuoka, K. 2001. Cyst morphology of a chain-forming unarmored dinoflagellate *Gyrodinium impudicum* Fraga et Bravo. *Phycological Research*, 49: 61-65.

Kojima, N., Seto, K., Takayasu, K. and Nakamura, M. 1994. Dinoflagellate cysts assemblage found in the surface sediments of Lake Nakaumi, western Japan. *Laguna*, 1: 45-51.

近藤邦男 1990. 中海における植物プランクトンの

謝 辞

中海調査では島根県内水面水産試験場の大北晋也氏、常盤 保氏にご協力いただいた。また本研究の一部は文部省科学研究補助金 (課題番号 10640454) を用いて行われた。記して関係者各位に感謝の意を表する。

引用文献

千田哲資 1959. プランクトン. 中海干拓基本調査報告書. 鳥取県水産試験場 pp.105-137.

千原光雄 1999. 藻類の多様性と分類体系. 藻類の多様性と系統. 裳華房, 東京 346 pp.

伊達善夫 1975. 富栄養化に関する実験的研究と将来予測. 中海・宍道湖の水質保全に関する調査報告書. (第 1 報) 島根県. pp.1-30.

Fensome, R.A., Taylor, F.J.R., Norris, G., Sarjeant, W.A. S., Wharton, D.I. and Williams, G.L. 1993. *A classification of living and fossil dinoflagellates*. American Museum of Natural History, Salem 351 p.

福代康夫 2000. 有毒プランクトンによる漁業被害の現状と研究の問題点. 有害・有毒赤潮の発生と予知・防除. 日本水産資源保護協会, 東京 260 p.

堀口健雄 1990. *Prorocentrum minimum*. 日本の赤潮生物. 内田老閣圃, 東京 407 pp.

Hasle, G. R. and Nordli, E. 1951. Form variation in *Ceratium fusus* and *tripos* populations in cultures and from the sea. *Mat. Naturv. Klasse*, 4: 1-25.

石井省一郎 1931. 中海赤潮についての調査. 海洋時報 3: 195-198.

倉茂英次郎, 喜多村一男 1933. 中海における硅藻と赤潮 (昭和 8 年夏期中海海洋調査報告第 II 部). 気象集誌 12: 287-300.

出現を支配する環境要因. 国際生態学シンポジウム'90. 汽水域・その豊かな生態系を求めて. 報告集. pp.19-28.

Kondo, K., Seike, Y. and Date, Y. 1990. Relationship between phytoplankton occurrence and salinity or water temperature in brackish lake Nakanoumi, 1979-1986. *Jpn. J. Limnol.* 51: 173-184.

Lee, J-S., Igarashi, T., Fraga, S., Dahl, E., Hovgaard, P. and Yasumoto, Y. 1989. Determination of diarrhetic shellfish toxin in various dinoflagellate species. *J.*

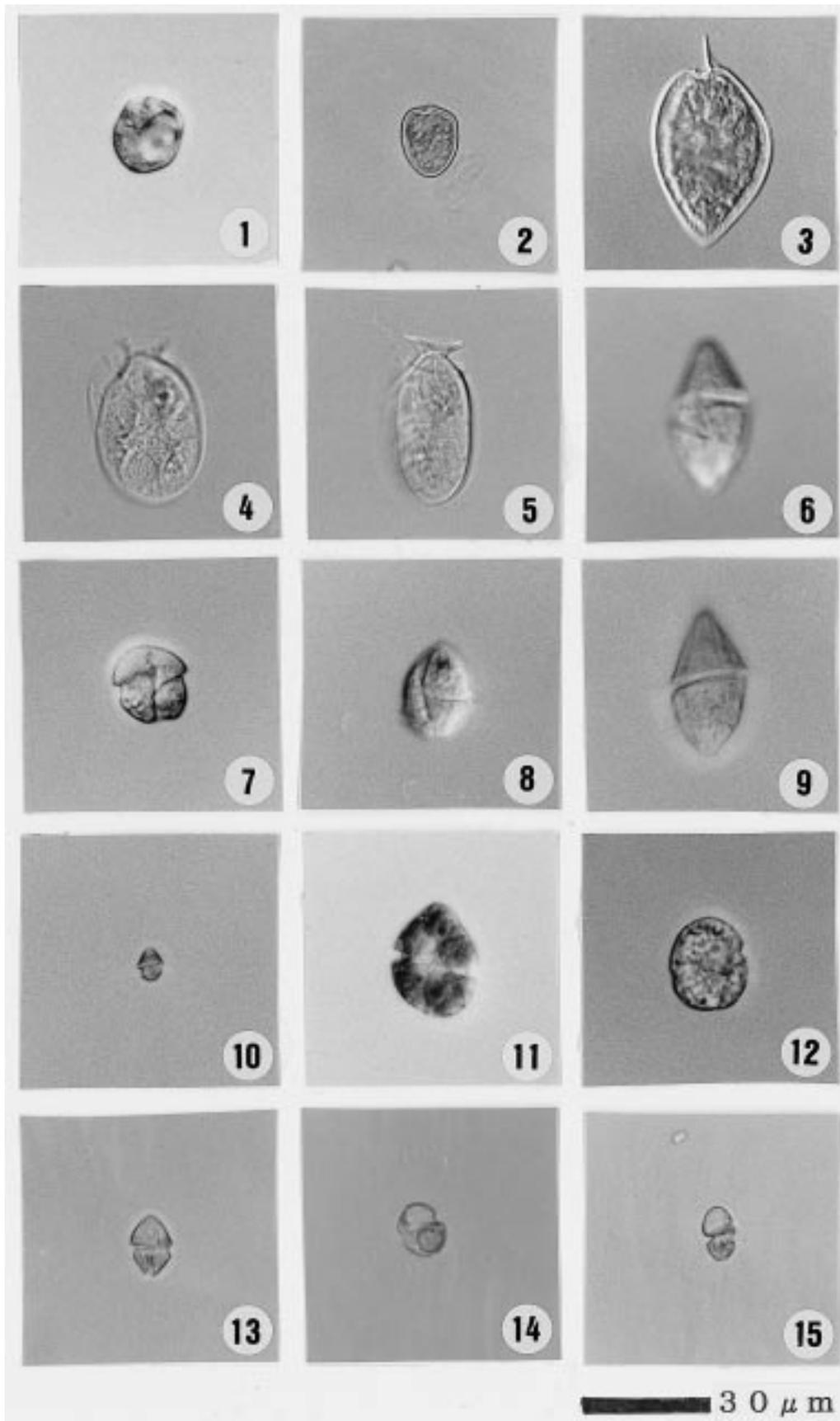


Plate I

1. *Prorocentrum minimum* 2. *Prorocentrum minimum* 3. *Prorocentrum micans* 4. *Dinophysis acuminata* 5. *Dinophysis* sp.
 6, 9. *Gyrodinium dominance* 7. *Gyrodinium* sp. 8. *Gyrodinium* sp. 10. *Heterocapsa rotundata* 11. *Gymnodinium* sp.
 12. *Gymnodinium* sp. 13. *Gymnodinium* sp. (small *Gymnodinium* complex)
 14. *Gymnodinium* sp. (small *Gymnodinium* complex) 15. *Gymnodinium* sp. (small *Gymnodinium* complex)

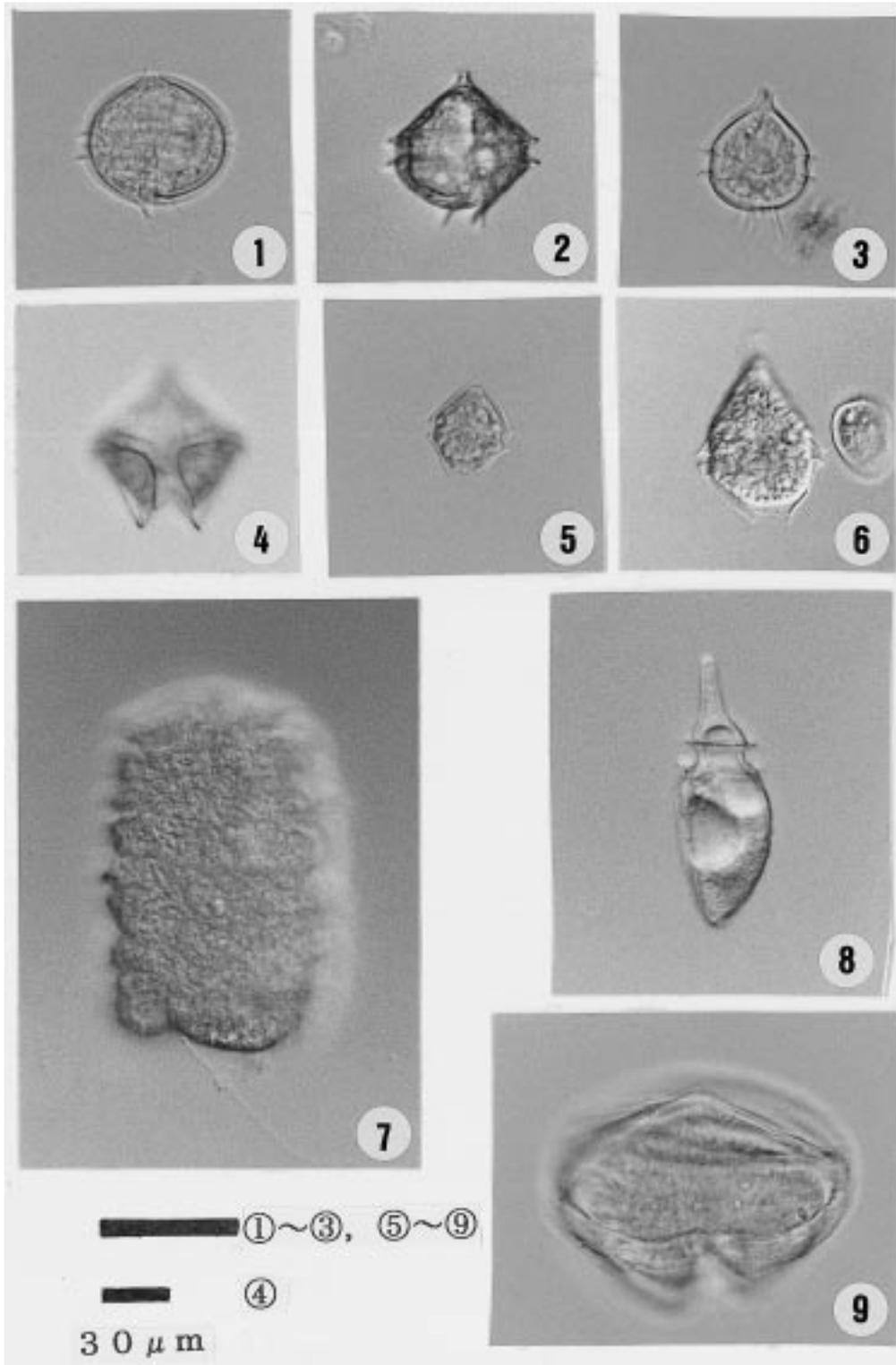


Plate II

1. *Protoperidinium pellucidum* 2. *Protoperidinium pyriforme* 3. *Protoperidinium* sp. 4. *Protoperidium leonis*
 5. *Scrippsiella trochoidea* 6. *Scrippsiella spinifera* 7. *Polykrikos schwartzii* 8. *Oxyphysis oxitoxoides*
 9. *Protoperidinium subinerme*

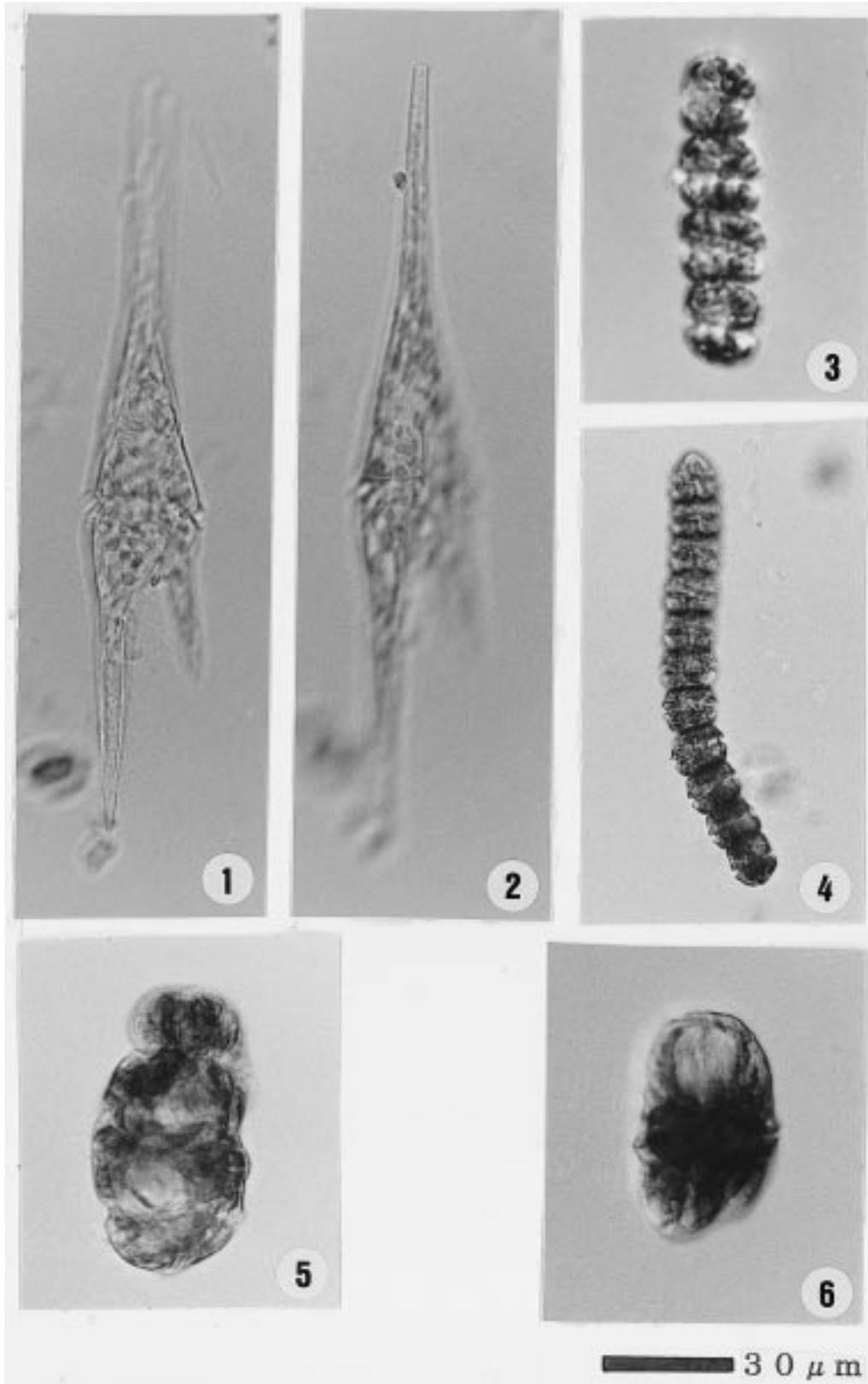


Plate III

1, 2. *Ceratium furca* 3, 4. *Gyrodinium impudicum* 5. *Warnovia?* sp. 6. *Gyrodinium instriatum*

- Appl. Phycol*, 1: 147-152.
- Nielsen, J. 1956. Temporary variations in certain marine Ceratia. *Oikos*, 7: 256-272.
- 大谷修司 1998. 汽水湖における微小珪藻類の分類学的研究. 文部省科学研究補助金研究成果報告書 (課題番号 08640889). 67 pp.
- 徳岡隆夫・大西郁夫・高安克己・三梨 昂 1990. 中海・宍道湖の地史と環境変化. 地質学論集, 36: 15-34.
- 山口峰生 2000. 有害赤潮渦鞭毛藻 *Gymnodinium mikimotoi* の生理・生態学的特性と赤潮発生機構及び発生予察の現状. 有害・有毒赤潮の発生と予知・防除. 日本水産資源保護協会, 東京, pp.101-136