

浦の内湾における植物プランクトンの分布構造と 短期変動について

宗景志浩*・岩崎 望**・秋沢歌織***
長谷川 浩****・大原 聡*****

1. はじめに

1970 年以降、浦の内湾では養殖による水質悪化が急速に進み、1980 年代になると *Gymnodinium* 属や *Prorocentrum* 属などの鞭毛藻赤潮が頻発して漁業被害が出るようになった。1980 年代後半にラフィド藻 (*Heterosigma* 属, *Chattonella* 属) が発生するようになると被害はさらに増すようになった(宗景ら, 1992)。その後, 1995 年頃から養殖用生餌の不漁のため人工餌料が使われるようになり, 大規模な赤潮は治まって水質も改善されたかに見えた。しかし, 1997 年には 5 月頃から再び鞭毛藻類やラフィド藻類による赤潮が発生し, 湾中央部に集中する養殖魚にもかなりの被害が出た。

これまでの観測結果によると, 赤潮プランクトンの発生と増殖のパターンには一定の特長が見られるようである。これらの点が明らかにされれば赤潮の予知にもつながり, 被害を抑えることもできる。そこで本研究では, プランクトン種, 個体数, 水中光量子及び栄養塩類の分布と季節変化を中心に調べ, 湾内におけるプランクトンの発芽, 増殖, 移動及び死滅の過程とその特長を明らかにしようとした。

2. 観測方法

1997 年 4 月から 12 月まで, 図-1 に示す浦の内湾の湾

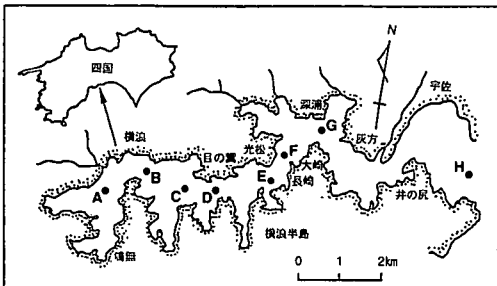


図-1 浦の内湾の地形と観測点

内 7 点, 湾外 1 点で, ① CTD 観測 (DO, 塩分, 透視度, クロロフィル *a*, 光量子), ② MER 観測 (水中分光放射照度, 空中光量子), ③ 栄養塩分析 (溶存態無機窒素: DIP, 溶存態無機窒素: DIN, 溶存態ケイ素 $\text{SiO}_2\text{-Si}$) 及び, ④ プランクトン種の分類・計数を行った。特に 6 月下旬から 7 月下旬にかけて集中的に観測し, プランクトン種と光及び水質環境の変動の特徴と相互の関連性について解析した。

3. 観測結果

3.1 差し込みに伴う栄養塩の変動

溶存態無機栄養塩 (DIP, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$) や溶存態金属 (Fe, Mn) は貧酸素化に伴って底層から溶出する。DIP は海水とともに酸化環境下に運ばれて金属に吸着されたり, 植物プランクトンに吸収される。 $\text{NO}_3\text{-N}$ や $\text{SiO}_2\text{-Si}$ は河川水にも多量に含まれるため, 降雨期にはさらに複雑な変化を示す。

図-2 には DIP を例に栄養塩の季節変動を示した。差し込みは 6 月 23 日~30 日, 7 月 4 日~8 日及び 22 日~28 日の大潮期に発生した (宗景ら, 1998)。表層及び 4~5 m 層の DIP は, 差し込みの後ではいずれも増加した。この傾向は湾奥部でより顕著であった。しかし, DIP の増加直後, 例えば, 4~5 m 層では 7 月 4 日~8 日, 7 月 18 日~25 日には急減した。その原因として, 前期には湾奥から湾中央にかけて *Chattonella* sp. が, 後期には多種珪藻類プランクトンが増殖し, これらに吸収されたこと

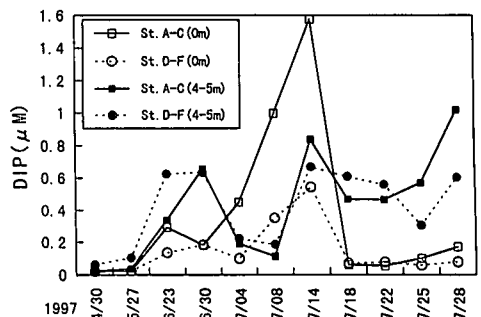


図-2 栄養塩 (DIP) の季節変化

* 正 会 員 農 博 高知大学助教授 農学部生産環境工学科
.. 農 博 高知大学助教授 海洋生物研究センター
... 高知大学大学院農学研究科
**** 理 博 京都大学助手 京都大学化学研究所
***** 学生会員 高知大学大学院理学研究科

が挙げられる。湾奥部で7月14日表層部での急増は *Gyrodinium dominans* や *Chattonella* sp.などの鞭毛藻類やラフィド藻類が死滅・分解したことによると考えられる。

3.2 クロロフィル *a* の縦断分布

図-3には4月17日、5月27日、6月30日及び7月8日におけるクロロフィル *a* の湾内縦断分布を示す。クロロフィル濃度は例年春季4月頃から上昇し始めるが、高濃度域は湾奥部海底直上を中心に湾央側に舌状に広がっている。しかし、5月27日や7月8日に見られるように、濃度の中心は湾奥から湾央に向かって徐々に移動しながら浮上し、時には大規模な赤潮を形成する。そして高濃度域が次々に湾奥底層から中層付近に発生する。

クロロフィル *a* 濃度は、鞭毛藻類やラフィド藻類が優占する場合は $60\sim140\ \mu\text{g/l}$ にも及ぶが、珪藻類ではせいぜい $30\sim40\ \mu\text{g/l}$ であった。

3.3 植物プランクトン分布とその変動

a) 渦鞭毛藻類及びラフィド藻類プランクトン

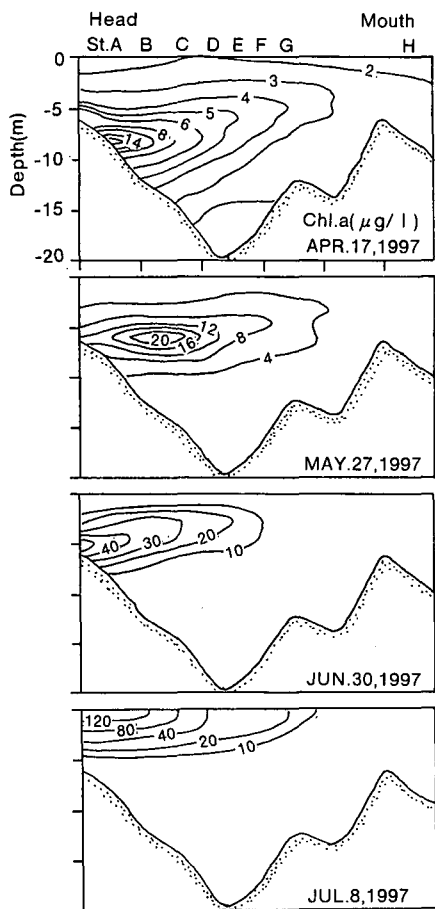


図-3 クロロフィル *a* 縦断分布

湾奥部 (St. A), 湾央部 (St. D) 及び湾口側 (St. F) における鞭毛藻類とラフィド藻類プランクトンの細胞密度の変動 (6月下旬～7月下旬) を図-4に示した。図中には主な優占種を略号で記入した。水深の浅い湾奥部海底直上には、6月下旬に細胞密度 $100\sim200\ \text{cells/ml}$ のやや高濃度域が見られる。この中には、*Gymnodinium mikimotoi*, *Chattonella* sp., *Dictyocha fibula* var. *stapedia*, *Distephanus speculum*, *Prorocentrum triestinum* など、これ以後表層～中層及び湾央付近でも増殖する多くの種

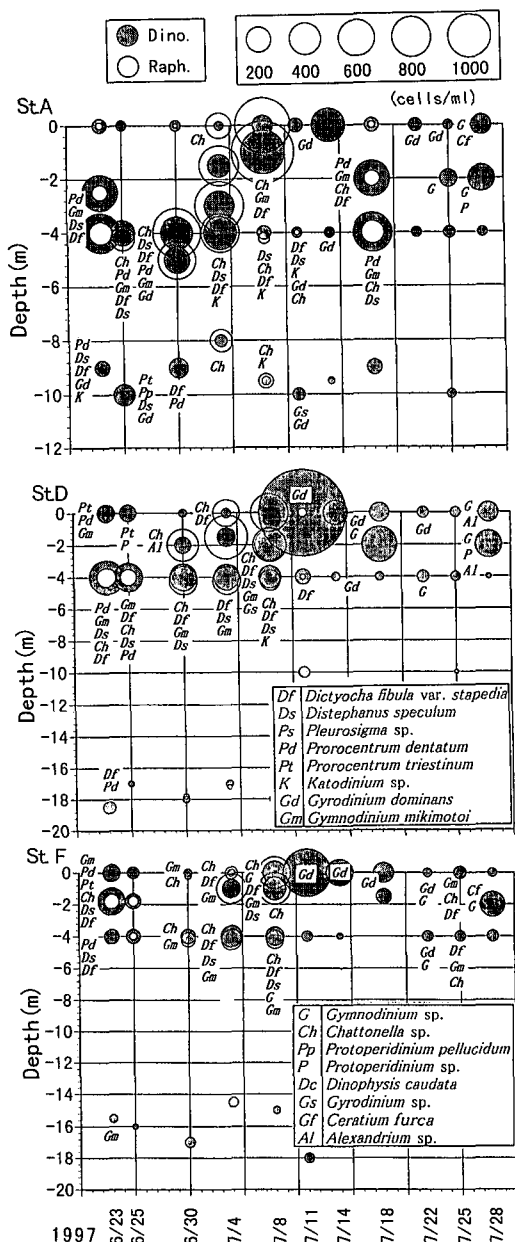


図-4 鞭毛藻類、ラフィド藻類の変動

類が見つかった。一方、水深の深い St. D や St. F では種類、細胞数とも少なかった。

St. A では、水深 4 m 付近に分布する *Chattonella* sp., *Gymnodinium mikimotoi*, *Dictyocha fibula* var. *stapedia* を優占種とする濃密度層は、6 月 30 日頃から浮上し始め、*Chattonella* sp. は 7 月 4 日には水深 3 m 層で 1500 cells/ml, 7 月 8 日には水深 1 m 層で最高 (3100 cells/ml) となり、表層部で赤潮を形成した。濃密度域は湾奥部表層にも広がり、7 月 4 日には (湾奥部での) 最高濃度 (1040 cells/ml) を記録した。しかし、7 月 8 日～14 日には *Gyrodinium dominans* が優占的に増殖し、*Chattonella* sp. は急減した。その後、鞭毛藻類やラフィド藻類に代わって珪藻類が優占種となった。

差し込みに伴う底層水の巻き上げは、湾奥部の中層から上層に栄養塩や底泥物質を輸送し、湾奥部でのプランクトンの増殖を促進させる。さらに、鞭毛藻類やラフィド藻類は湾奥底層から浮上し、徐々に湾中央部へ移動しながら優占種も交替していく。これらの浮上と移動は差し込みの移流に乗って促進される。

b) 珪藻類プランクトン

図-5 には St. A, D, F のそれぞれ表層 (0 m), 4 m 及び海底直上 1 m における珪藻類プランクトンの細胞密度の変動 (6 月下旬～7 月下旬) を示した。湾奥部 (St. A) では、6 月 25 日～7 月 4 日及び 7 月 18 日～25 日の 2 回にわたって集中的に増殖した。図中の矢印で示すように、いずれの場合も増殖の始まりとピークは底層から生じ、上層にいくにつれて遅れている。

湾奥底層部では、6 月 23 日～25 日に *Pennales* (羽状目珪藻), *Rhizosolenia* spp., *Thalassiosira* spp., *Guinardia flagilissimus*, *Chaetoceros* spp., *Chaetoceros affine*,

Skeletonema costatum, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira rotula* など多様な種類が見られ、これらのうち 6 月 30 日～7 月 4 日頃には、表層部で *Guinardia flagilissimus*, *Chaetoceros* spp., *Rhizosolenia* spp., *Chaetoceros affine* が増殖した。しかし、細胞密度は *Guinardia flagilissimus*, *Rhizosolenia* spp. が 300～500 cells/ml 程度で、鞭毛藻やラフィド藻に比べると少ない。

一方、湾中央部 (St. D) や湾口側 (St. F) でも 6 月末と 7 月 15 日頃の 2 回にわたって集中的に増殖した。矢印で示すように増殖の始まりとピークは表層から生じ、4 m 層や底層ではやや遅れる傾向が見られた。

6 月 23 日から 25 日には表層部には *Guinardia flagilissimus*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros curvisetum*, *Chaetoceros* spp., *Chaetoceros compressum*, *Nitzschia pungens* などが見られた。6 月 30 日～7 月 4 日には水深 4 m や底層でも、細胞密度は減少するものの同一種のプランクトンが多く見つかった。

7 月 14 日には *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros distans* aff., *Chaetoceros curvisetum*, *Chaetoceros compressum*, *Chaetoceros* spp. などが表層部で優占的に見られ、やや遅れ 18 日から 25 日にかけて、4 m 層や底層でも見つかった。

湾奥底層部で増殖し始めた珪藻類も、6 月下旬の差し込みに伴う巻き上げに乗って上層に輸送されながら増殖が促進されたと考えられる。

3.4 水中光量子の季節変化と発芽条件

図-6 には、St. A (湾奥部) の海底直上における水中光量子と透明度の季節変動を示した。4 月～6 月中旬及び 7 月 20 日以後、透明度は 3 m 程度と比較的高く、光量子は植物プランクトン (珪藻類) の発芽に必要な 48×10^{17}

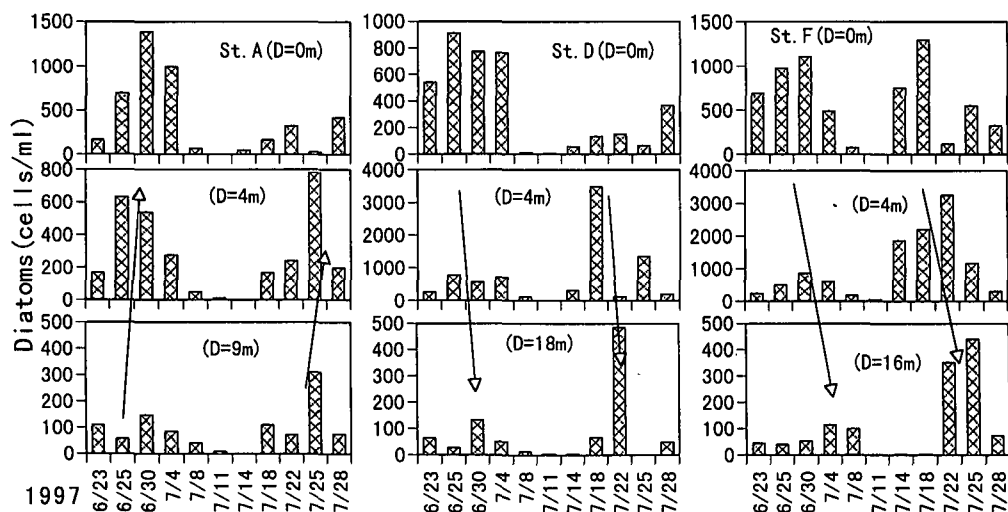


図-5 珪藻類プランクトンの変動 (St. A, D, F)

$\text{quanta/m}^2/\text{s}(=8\mu\text{E/m}^2/\text{s})$ (今井, 1995: 小泉, 1997) を越え, 水温も5月になると 20°C を越えている。

高杉ら (1998) は, 風によって海底近傍が擾乱を受けて泥中のプランクトンシスト (鞭毛藻類) が海水中に再懸濁することを指摘し, 鈴木ら (1998) は泥表面を攪拌することによって海水中に放出されたシスト (*Scrippsiella* spp.) が発芽することを実験的に調べている。

浦の内湾の湾奥斜面上では差し込みによる巻き上げや内部波による擾乱が生じていることから, 底泥表面からのシストの再懸濁は可能である。差し込みなどによって湾奥部に集められた植物プランクトンの休眠期胞子やシストは, 底泥中から光量子エネルギーや栄養塩の豊富な海水中に放出され, 容易に発芽すると考えられる。

3.5 水中光量子の分布特性

水中光量子は侵入する光量子量 (天候) や表面のプランクトン密度 (赤潮) などにも影響されるが, 極端に透明度が低下する場合を除き, 4月から12月の St. A における空中光量子と水中光量子との関係を図-7 に示した。

これによると, 例えば天候が悪化して快晴時の空中光量子が $1/2$ に減少すれば, 任意水深の水中光量子は $1/4 \sim 1/8$ 程度に減少することを意味している。すなわち, 水中光量子の増減は, 天候による空中光量子の増減率の $2 \sim 3$ 乗で効いてくる。また, 表層部にプランクトンや懸濁物が集まって光エネルギーが遮られる場合も下層の水中光量子は激減する。下層に生息する鞭毛藻やラフィド藻プランクトンは光を求めてさらに表層に集まるが, 栄養塩の枯渇, 強光阻害, 捕食などによって死滅・減少する。

3.6 植物プランクトン種の交替と移動

図-8 には, 6月下旬から約一ヶ月間の植物プランクトン優占種の分布域とその変動を示した。これらは各観測点で単位面積当たりの水中に含まれる細胞数で示した。

6月30日～7月8日には湾奥部でラフィド藻類 (*Chattonella* sp.) が, 7月8日には湾奥から湾中央にかけて鞭毛藻類 (*Gyrodinium dominans*) が優勢であった。しかし7月18日になると, 湾中央から湾口側にかけて珪藻類の *Chaetoceros distance*, *Chaetoceros compressum*, *Chaetoceros curvisetum*, *Skeletonema costatum* などが, 7月22日頃には *Chaetoceros affine* が優占種となった。特にラフィド藻類や鞭毛藻類プランクトンは湾奥から湾中央にかけて分布の中心があったが, これらは7月14日にはほとんど消滅し, 湾中央から湾口側にかけて珪藻類の増殖が活発化した。これらも日とともに湾口側に中心が移っている。

このような優占種の交替は栄養塩濃度や捕食などに起

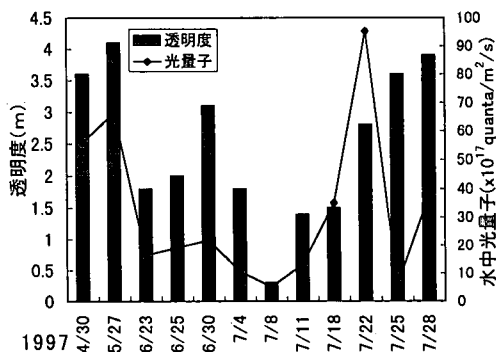


図-6 透明度及び海底直上の光量子量 (St. A)

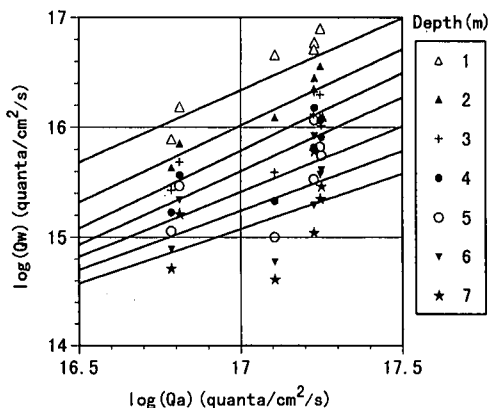


図-7 空中光量子と水中光量子の関係 (St. A)

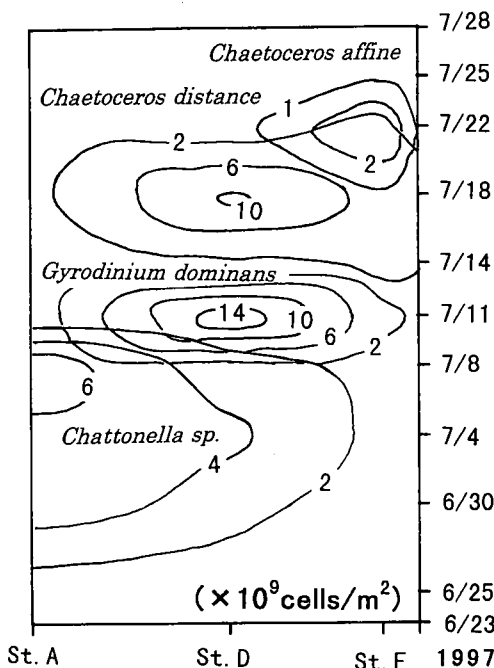


図-8 プランクトン分布域の移動と優占種の交替

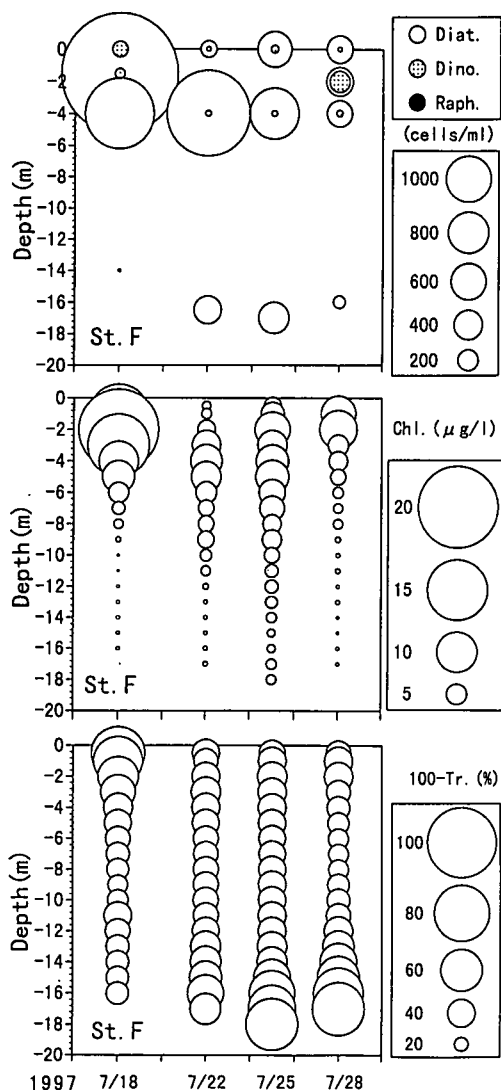


図-9 滞留域 (St. F) での植物プランクトンの沈降

因すると思われる。1997年度の観測では、鞭毛藻類やラフィド藻類の優占した時期には Mn 濃度が高く、これらが衰退し珪藻類が優占するようになる7月中旬以降、激減したと関連があるかもしれない。

3.7 植物プランクトンの衰退と沈降

湾口側底層 (St. F) では、珪藻類の細胞密度は上層のそれより若干遅れて増加することを図-5で指摘した。この原因について検討を加えた。図-9には7月18日から28日にかけて、St. Fにおける珪藻類の細胞数、クロロフィル濃度及び濁度(を意味する100-透視度(%))の鉛直分布を示したものである。

珪藻類は、表層で7月18日に最大となり徐々に衰退した。底層ではこれに遅れ25日に最大となったが、クロロフィル濃度はプランクトン密度に必ずしも比例していな

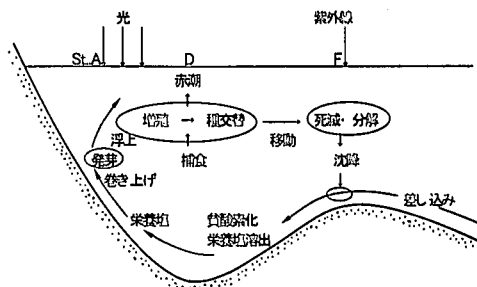


図-10 植物プランクトンの発芽, 増殖, 沈降域

い。一方、25日～28日の底層での濁度(100-透視度(%))はプランクトン密度の最大であった18日の表層付近のそれと同程度であった。従って、表層で珪藻類が増殖した後、St. Fの底層ではクロロフィル活性の低下したプランクトンが大量に沈降したと思われる。St. F付近は ADCP 調査 (宗景ら, 1995) からも海水の滞留域となっており、プランクトンがこの付近の表層部に集まった後、沈降していくものと考えられる。

4. ま と め

以上の結果をまとめ、図-10の模式図で示した。

湾奥底層では、4月頃から水温が上昇し始めると、差し込みや内部波による擾乱によって底泥から多種の植物プランクトンの休眠期細胞やシストが海水中に放出される。これらは光エネルギーによる刺激や栄養塩類の供給により発芽・増殖する。その後、差し込みに乗って湾中央層に移動しながら優占種が交替し、時には赤潮を形成する。湾口側の滞留域まで来る頃には捕食されたり死滅・分解して沈降するものと考えられる。

参 考 文 献

- 今井一郎 (1995): 珪藻類を用いたシャットネラ赤潮の生態学的防除の可能性, 月刊海洋, Vol. 27, No. 10, pp. 603-612.
- 小泉善嗣 (1997): 急潮-植物プランクトンの増殖の視点から, 海洋と生物 110 (Vol. 19, No. 3), pp. 205-208.
- 鈴木 考・谷口 旭 (1998): 渦鞭毛藻 *Scrippsiella* spp. シストの発芽に与える海底泥の物理的・生物学的攪拌の影響, 1998年度日本海洋学会春季大会講演要旨, pp. 228.
- 高杉由夫・安田秀一 (1988): 広島湾における底泥中のプランクトンシスト分布に及ぼす風の影響, 1998年度日本海洋学会春季大会講演要旨, pp. 229.
- 宗景志浩・村田 宏・森山貴光・土居 聡 (1992): 湾外水の差し込みが浦の内湾の渦鞭毛藻赤潮の発生に及ぼす影響, 海岸工学論文集, 第39巻, pp. 986-990.
- 宗景志浩・田村圭一・中川倫寿 (1995): ADCP観測による浦の内湾の差し込みの流れ構造と浮遊物質分布, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1091-1095.
- 宗景志浩・大原 聡・長谷川 浩・岩崎 望・福家英典・秋沢歌織 (1998): 浦の内湾の成層期における栄養塩の生産・消費と循環について, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 1066-1070.