

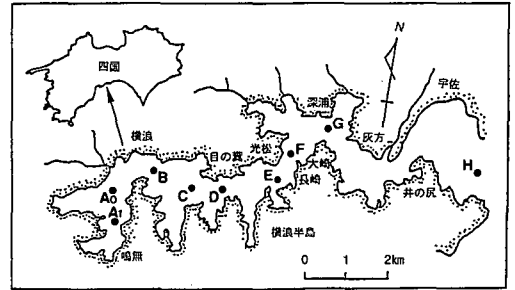
浦ノ内湾における渦鞭毛藻プランクトンの発芽特性と 出現状況について

宗景志浩*・小林千秋**・岩崎 望***

1. はじめに

浦ノ内湾は土佐湾のほぼ中央に位置する閉鎖性内湾である。流入河川が小さく潮流も微弱で、海水交換も良くない。そのため、夏季には貧酸素化や赤潮が頻発して湾中央部の養魚に被害が出る。しかし、成層期には密度流(差し込み)や内部潮汐が発達するため、湾中央から湾口側底層で生産された栄養塩、硫化物などの微量物質(宗景ら, 1997)やプランクトンシスト(宗景ら, 1998)は次第に湾奥斜面に輸送されると考えられる。

一方、4月頃から湾奥海底斜面直上に植物プランクトンに起因するクロロフィルaの高濃度域が出現し、湾口側に舌状に広がる(図一)。鞭毛藻類やラフィド藻類のプランクトンは不適な環境を乗り切るために休眠シストを形成し、短期間浮遊しながら海底に沈降・堆積する。



図一 浦ノ内湾観測点

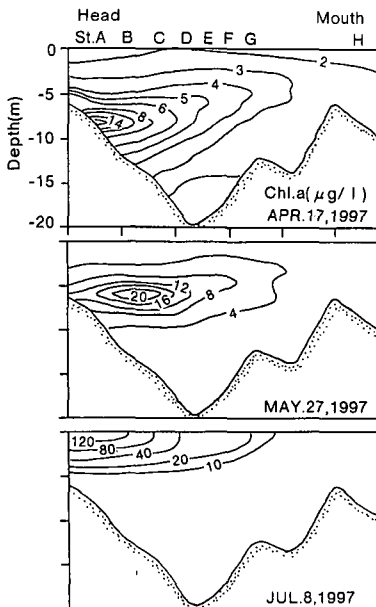
一定期間休眠した後、温度の上昇や下降などの外部刺激を受けて発芽する(日本水産資源保護協会, 1998)が、発芽開始時における環境要因の適不適がその後の大増殖の鍵を握っているという(今井, 1992)。例えば、浦ノ内湾では差し込みがあれば栄養塩や発芽プランクトンはさらに浮上し、中層から上層の好適環境下で大増殖して、直後に赤潮を形成することもある。しかし、鞭毛藻類やラフィド藻類の赤潮も、ある時期を境に激減し、速やかに珪藻類へと種の交代が生じる(宗景ら, 1998)。これらプランクトンの詳細な増殖過程が解明できれば赤潮の予知にも繋がる。

そこで本研究では、底泥を用いた培養実験から浦ノ内湾における渦鞭毛藻プランクトンの発芽域と発芽条件を調べ、あわせて1998年を含め過去数年間における出現と種交代の状況を実験結果と海洋環境に基づいて考察した。

2. 方法

2.1 観測と採泥

図一に示す St. A1~St. H において、1998年5月から12月にかけてCTDを用いた水質観測を行った。観測項目は、水温、塩分、溶存酸素(DO)、クロロフィルa量などである。また、観測時に St. A1~St. F の底泥を採取し、発芽実験に用いた。他に、高知県水産試験場による浦ノ内湾(湾口部)定置水温資料及び赤潮調査資料を用いた。



図一 クロロフィルa縦断分布

* 正会員 農博 高知大学助教授 農学部生産環境工学工学科
** 建設省近畿地方建設局琵琶湖工事事務所
*** 農博 高知大学助教授 海洋生物教育研究センター

2.2 プランクトン発芽実験

a) 実験方法

岡市 (1997), 鈴木ら (1998), 吉松 (1997) を参考に以下のような発芽実験を行った。

- i) 採泥後, 冷暗所に静置する。
- ii) その後, 上澄み海水を取り除いて泥を攪拌する。
- iii) この泥をポリプロピレン容器 (PP 容器, 30 cc) に泥の深さが 1 cm になるように詰め, その上に濾過滅菌海水 10 cc を静かに加える。

iv) 水温と光量子量をほぼ一定にした水槽で 12 日間培養する。

v) 培養開始後, 一日おきに PP 容器の泥上の海水をすべて採取し, その後新しい濾過滅菌海水を静かに加えて培養を繰り返す。一部の実験では, PP 容器の海水を採取する前に DO 濃度を測定した。

vi) 倒立顕微鏡下で渦鞭毛藻類を中心に全試水中の出現数を計数する。これをシストの発芽数とした。ここではシストを「遊泳していないすべての細胞」として一時休眠性シストも含めた。

b) 実験条件

以下の条件で実験を行った。

i) 攪拌の有無; 海底の物理的な擾乱の影響による発芽数の違いをみるために, 海水を入れた直後にガラス棒で静かに攪拌する場合 (攪拌区) と, 攪拌しない場合 (無攪拌区) に分ける。

ii) 水温; 水温による発芽状況の違いをみるために, 渦鞭毛藻類がよく出現する 4 月~7 月までの, 湾奥部増殖域の最低・最高水温である 18°C 区と 28°C 区の 2 種類の水槽に分ける。

iii) 光量子; 直射日光を避けるためにアルミ фольドで覆い, 水温 18°C 区では 2000~2700 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{day}$, 28°C 区では 3100~3800 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{day}$ 程度に保った。

3. 渦鞭毛藻プランクトンの発芽特性

発芽実験中の出現プランクトンは, *Gymnodinium* 属, *Alexandrium* 属, *Protoperidinium* 属, *Scrippsiella* 属などで, 全期間にわたって同種のものが多かった。体長は 10~35 μm と小型であったが, 10 月下旬以降の採泥試料では, 新たに 40~80 μm の比較的大きな渦鞭毛藻類 (*Protoperidinium* 属) も僅かながら出現した。

攪拌区と無攪拌区に分け, 採泥点別, 水温別にプランクトン発芽数について分散分析を行った。その結果, 全実験の約 80% で有意差がみられた。以下にこれらの実験条件が発芽にどう影響するかについて述べる。

3.1 攪拌の影響

8 月 12 日の採泥試料を用いた水温 18°C での実験結果を図-3 に示した。無攪拌区では, 発芽数は 4~10 日目にかけて増加し, その後減少して 12 日目にはほとんど確認できなかった。これは泥表面のシストが 12 日目までにほとんど発芽し終わったためである。一方, 攪拌区では, 発芽数は減少するが実験期間中継続してほぼ同じ個体数が発芽した。これは攪拌することによって泥中のシストが表面に現れて発芽するためである。これらの発芽状況は, 岡市 (1997), 鈴木・谷口 (1998), 吉松 (1997) の実験結果に類似した。

3.2 採泥点の影響

実験ごとに主成分分析を行って採泥点の発芽順位を決めた。8 月 24 日~12 月 14 日の採泥試料を用いた実験結果から, 採泥点ごとに総発芽数を求めて図-4 に示した。これによると, 水温, 季節及び攪拌の有無に関係なく湾奥側の方が湾口側よりも多く発芽した。これは, 湾奥側の底泥中に多くのシストが存在するため, 前年度にシストになったものが冬を越す間に, 差し込みや内部波によって湾奥斜面上に運ばれ集積した結果と思われる。な

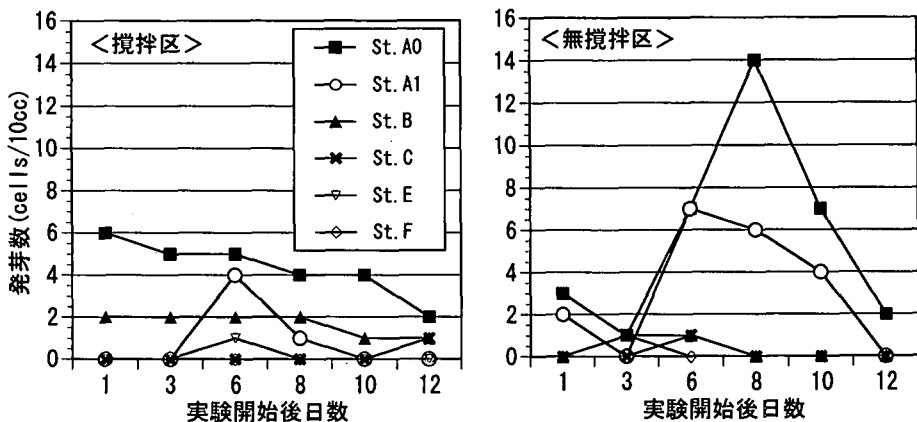


図-3 発芽数の日変化 (8月12日採泥, 水温18°C)

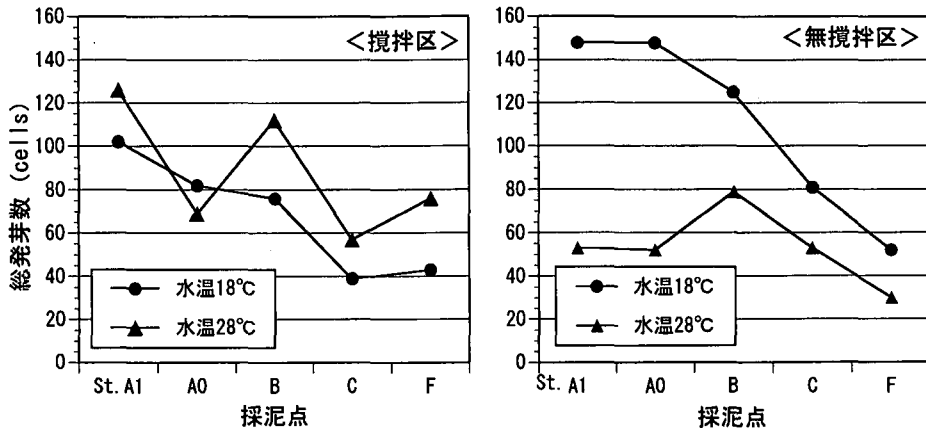


図-4 採泥点別総発芽数

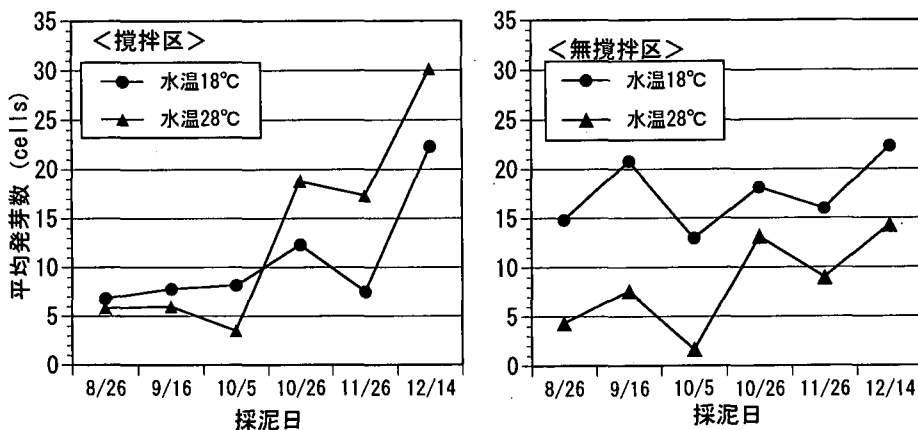


図-5 平均発芽数の季節変化

お現場では、湾奥部は冬期の水温がやや低いものの、水深が浅いため海底まで光が到達し易いこと、貧酸素化が比較的遅く始まることなど発芽に適した条件を備えているといえる。

3.3 水温の影響

図-4の無攪拌区では、18°C区でよく発芽したが、(至適水温を越えた) 28°C区では発芽しにくかった。一方、攪拌区では(夏季の採泥試料の) 18°C区で発芽が著しく抑制された。泥の攪拌は、現場環境でいえば内部波(Roberts, 1975) や台風などによって海底が洗われる状態を意味する。飯塚ら(1985)は、*Cyminodinium* 属を除く鞭毛藻類には硫化物に耐性がないことを指摘している。攪拌によりこれらの発芽抑制物質が溶出したり、DO濃度が低下して発芽が抑制されたものと考えられる。しかし、28°C区では18°C区を上回る発芽があった。これには、10月下旬以降 St. B や St. F で著しく発芽したことが効いている(次項参照)。

3.4 季節の影響

採泥日ごとに、St. A1~Fでの総発芽数から平均発芽数を求め図-5に示した。無攪拌区では、18°C区が28°C区を上回り季節を通して一定の発芽数を、28°C区では10月下旬からやや増加の傾向を示した。

一方、攪拌区では、10月上旬までは18°C区で発芽数が著しく減少した(前記3.3項)が、その後は18°C区、28°C区共に増加した。特にプランクトン増殖域(St. B)や滞留域(St. F)の28°C区で著しく増加して18°C区を発芽数を上回った。これは、冬になって発芽抑制物質が減少したうに、実験室で急激な水温上昇などによる外部刺激が加わったためであろう。

プランクトンはシストから発芽するまでの間に一定温度と時間(積算温度)を要する。シストが冬の低水温下で休眠が解除され、積算温度を獲得して(18~20°C)で発芽する種類もいるが、シストになった夏~秋の水温下で成熟して低温環境を経験しないまま短期間で発芽する

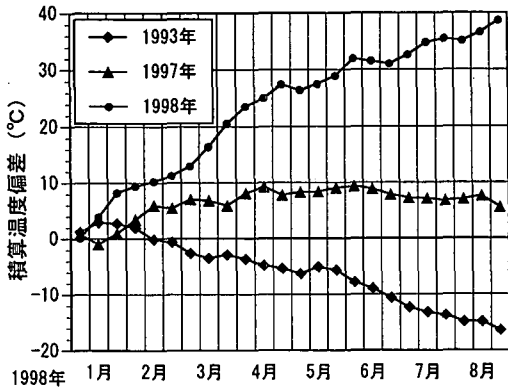


図-6 積算温度偏差 (高知市)

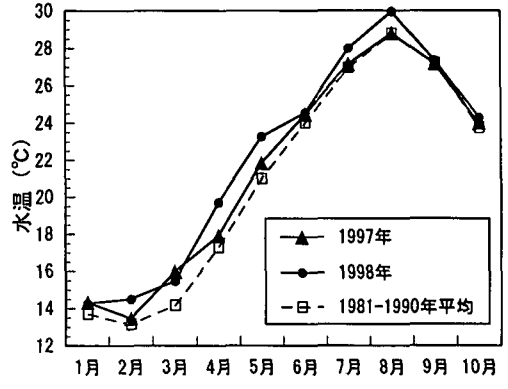


図-7 浦ノ内湾湾口部水温季節変化

ものもいる (岡市, 1997; 内田, 1994) ことから, 28°C 区の著しい発芽は, 後者に属する種類と思われる。

4. 海況とプランクトン出現状況

4.1 積算気温偏差

1993年, 1997年, 1998年の高知市における月別積算気温偏差を図-6に示した。これによると1997年はほぼ平年並みであったのに対し, 1993年は涼夏で, 1998年は例年にない高温な年であった。

4.2 水温・栄養塩の季節変化

浦ノ内湾湾口部の水温月別平均値を図-7に示した。1981~1990年の平均水温を平年値とすると, 1997年は平年並みであるのに対し, 1998年は水温差の大きい時で2.4°Cも高く, 平年よりもかなり高い。

1997年と1998年のSt. A 0 (水深5m以浅)における溶存態窒素 (DIN) の季節変動を図-8に示した。6月~7月のプランクトン増殖期の濃度をみると, 1998年は1997年に比較して著しく低い。これは, まとまった降雨のあった5月~8月, 集中豪雨後の10月上旬~12月まで強い差し込みが発達したことから貧酸素化と底泥からの溶出が進まなかったためと考えられる。

4.3 プランクトン出現状況

図-9には1997年の湾中部での6月下旬からほぼ一ヶ月の, 1m²あたりの水柱におけるプランクトン出現数を示した。渦鞭毛藻類と *Chattonella* sp. が6月下旬から7月8日まで赤潮を形成した。しかし, 11日には *Gyrodinium dominans* が優先種となり, *Chattonella* sp. を捕食してしまった (秋沢ら, 1999)。その後, *Gyrodinium dominans* が急減して珪藻類が増殖し, 渦鞭毛藻類から珪藻類へと明らかな種の交代が生じた。

一方, 1998年は珪藻類プランクトンが4月17日から1000 cells/mlを超えて出現し, 6月17日には減少するが, 再び増加して10月21日には約6000 cells/mlとなった。優占種は主に *Chaetoceros* sp. や *Rhizosolenia* sp. 鎖型

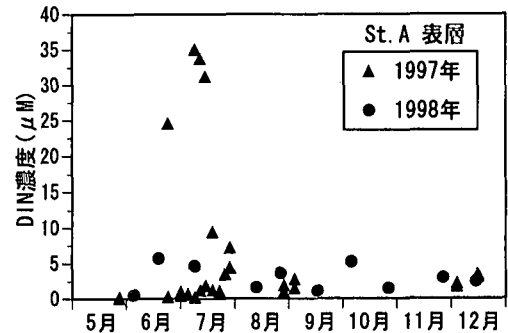


図-8 栄養塩季節変化 (湾奥部)

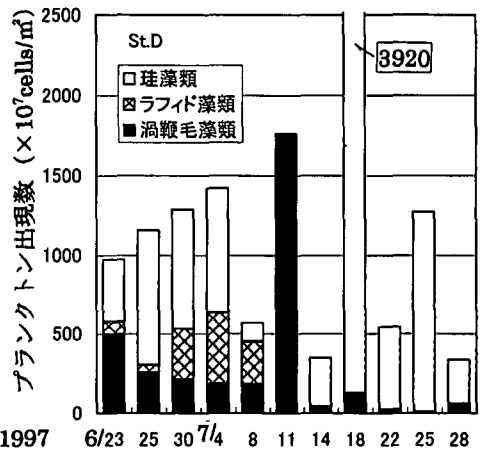


図-9 プランクトン出現数 (1997; 湾中部)

であった。図-10には同年表層の渦鞭毛藻類プランクトンの出現状況と水温の季節変動を示した。渦鞭毛藻類では, 6月17日に *Prorocentrum sigmoides*, *Gyrodinium* sp. などが150 cells/ml程度出現しただけだった。しかし, これらも水深5m以浅の平均水温が26°Cを越えると急速に消失した。

1998年の6月~7月のプランクトン出現状況を1997

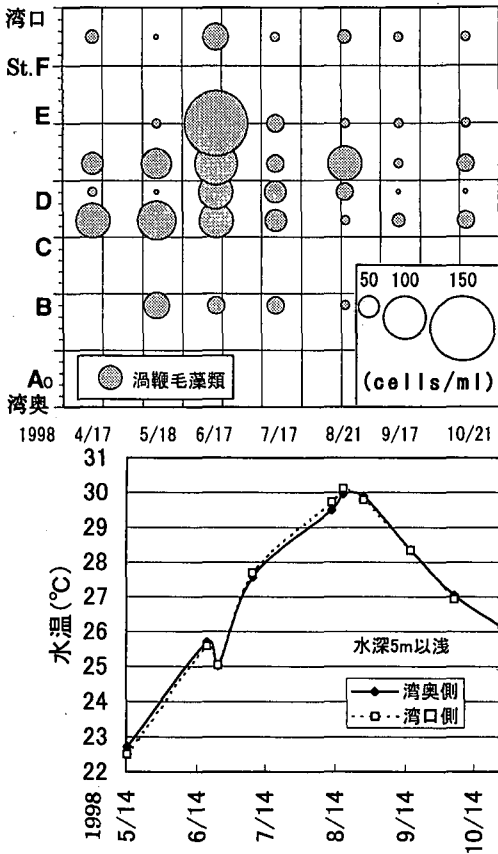


図-10 プランクトン出現状況 (1998) と水温季節変化

年の同時期と比較すると、渦鞭毛藻類の出現数のピークが1ヶ月近く早く、ピーク時の出現数は1/50以下であった。そして、赤潮も形成されなかった。これには、栄養塩不足に加えて著しい水温上昇による発芽抑制も効いていると考えられる。

1993年や1997年でも海況と出現状況(宗景ら, 1994, 1998)とを比較すると、湾奥の水深2~7m付近の増殖域の水温が26°Cを超えると渦鞭毛藻類が急減し、珪藻類が優占種となった。

5. 結 論

浦ノ内湾における底泥を用いたプランクトンの発芽実験と最近の出現状況の解析を行い、以下の結果を得た。

i) 渦鞭毛藻プランクトンは水温、季節、攪拌の有無に関係なく湾奥側でよく発芽したことから、湾奥側にシストが集積すると考えられる。

ii) 夏季、無攪拌区では、18°C区でよく発芽したものの28°C区では逆に発芽しにくかった。これは、至適水温を超える水温上昇によって発芽が抑制されたもので、

iii) 攪拌区では、18°C区で発芽が著しく減少したこと

から、攪拌によって泥中から発芽抑制物質が溶出したと考えられる。

iv) 秋から冬にかけて、プランクトン増殖域 (St. B) や滞留域 (St. F) では、28°C攪拌区で18°C区を上回る著しい発芽数を示した。これは本年度新たにシストになったものが十分冷却されないうちに、(実験によって)発芽に必要な温度刺激が加えられたことによる。

v) 1998年の浦ノ内湾は例年に比べて平均気温、平均水温が共に高かった。また差し込みが頻発したため貧酸素化があまり発達せず、底泥からの栄養塩の溶出も著しく減少した。

vi) 1993年、1997年及び1998年のいずれも湾奥の増殖域の水温が26°Cを超えると渦鞭毛藻類が消失した。1998年は水温の上昇が早く、渦鞭毛藻類の出現ピークも1997年に比べ1ヶ月近く早かった。しかし、出現数はきわめて少なかった。これは、栄養塩不足に加え、著しい水温上昇による発芽抑制が効いたと考えられる。

以上の結果、湾奥斜面上はシストの集積場となっており、早い時期から発芽する。浦ノ内湾の赤潮を予知するためには、湾奥底層のプランクトン、水温及び栄養塩を4月頃から監視していく必要がある。

参 考 文 献

秋沢歌織・岩崎 望・上田拓史・宗景志浩・長谷川 浩・大原 聡 (1999): 夏期の高知県浦ノ内湾におけるプランクトンの変動, 1999年度日本海洋学会春期大会講演要旨, pp. 199.
 飯塚昭二・中島敏光 (1975): 赤潮鞭毛藻の硫化物に対する反応, 日本プランクトン学会誌, No. 22, pp. 27-32.
 今井一郎 (1992): 瀬戸内海のシャットネラ赤潮におけるシストの生態的役割, 月刊海洋, 24, pp. 33-42.
 内田卓志 (1994): 室蘭産渦鞭毛藻 *Scrippsiella trochoidea* のシスト形成・発芽に及ぼす温度の影響, 南西水研報, No. 27, pp. 243-249.
 岡市友利編(1997): 赤潮の科学—第二版—, 恒星社厚生園, 337 p.
 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・生物的影響, 1998年度日本海洋学会春期大会講演要旨, p. 228.
 日本水産資源保護協会 (1998): 有毒・有害種のプランクトンの観察手法と分類 (有毒・有害プランクトンの同定研修会テキスト), 68 p.
 宗景志浩・中川倫寿・福田 稔 (1994): 鞭毛藻プランクトンの鉛直移動と亜表層部の貧酸素化機構について, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1116-1120.
 宗景志浩・長谷川 浩・福家英葉・大原 聡 (1997): 差込に伴う底層還元物質の巻き上げと水質悪化について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 1056-1060.
 宗景志浩・岩崎 望・秋沢歌織・長谷川 浩・大原 聡 (1998): 浦ノ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, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 1136-1140.
 吉松定昭 (1992): 瀬戸内海における赤潮生物特に渦鞭毛藻 *Alexandrium* 属2種, ラフィド藻類3種の生活史に関する研究, 香川県赤潮研究所報告, No. 4, 90 p.
 Roberts, Jo. (1975): Internal Gravity Waves in the Ocean, Marcel Dekker, Inc., 274 p.