

有明海福岡県地先底泥中における珪藻休眠期細胞の分布と消長

尾田 成幸
(有明海研究所)

Distribution and Seasonal Changes of Diatom Resting Stage Cells in Sediments
in the area of Fukuoka Prefecture of the Ariake Sea

Shigeyuki ODA
(Ariakekai Laboratory)

養殖ノリの色落ちの原因となる珪藻プランクトンには、栄養塩類の低下など栄養細胞の増殖に不適な環境下において休眠細胞や休眠胞子(以下まとめて表現する場合には休眠期細胞とする)を形成する種が存在する¹⁾。これらの代表的な種は *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira* spp.および *Chaetoceros* spp.等で、冬季に長期間大規模に発生する大型種 *Rhizosolenia imbricata* や *Eucampia zodiacus* に比べて発生期間が短く規模も小さい場合が多い^{2~14)}。

しかし、発生がノリ育苗期や冷凍網入庫、出庫期といったその年のノリ養殖を左右する時期と重なることから、これらの時期におけるノリ色落ち被害防止対策という意義において生態的な動向を把握することが必要である。

ところが、これまで有明海福岡県地先における珪藻休眠期細胞に関する知見は無い。そこで、'01~'02年にかけて珪藻休眠期細胞の水平分布と季節変動を調査した。その結果、珪藻休眠期細胞の分布特性と赤潮消長との関係について若干の知見を得たので報告する。

方 法

1. 水平分布調査

'01年2月8~14日にかけて図1に示す13地点(図中"●")で1回実施した。珪藻休眠期細胞の出現密度は終点希釈(MPN)法¹⁵⁾により求めた。なお、直接検鏡によって計数した細胞数とMPN法で求めた細胞数とはいずれも同オーダーであったため、本研究の目的上、MPN法による細胞数の評価は適当であると判断した。試料はエクマンバージ型採泥器(15×15cm)で底泥表面3cmを採取し研究所に持ち帰り良く混合した後、10℃の暗所で10日間程度保存したものをを用いた。

また、底質と休眠期細胞の分布密度との関係を把握するため、底泥のMdφ、強熱減量、揮発性硫化物(AVS)およびCODも同時に分析した。分析はいずれの項目も水質汚濁調査指針¹⁶⁾の方法に従い、底質と休眠期細胞の分布密度との関係は、相関係数を求めた後にt検定で評価した。

2. 季節変動調査

'01年4月~'02年3月にかけて計13回行った。調査地点は地理的な特徴を考慮し、図1に示す(図中"○")ノリ漁場内の干出域と非干出域にそれぞれ1地点ずつとノリ漁場外の沖合に1地点の合計3地点設けた。休眠期細胞の出現密度は水平分布調査と同様にMPN法¹⁵⁾によって求めた。

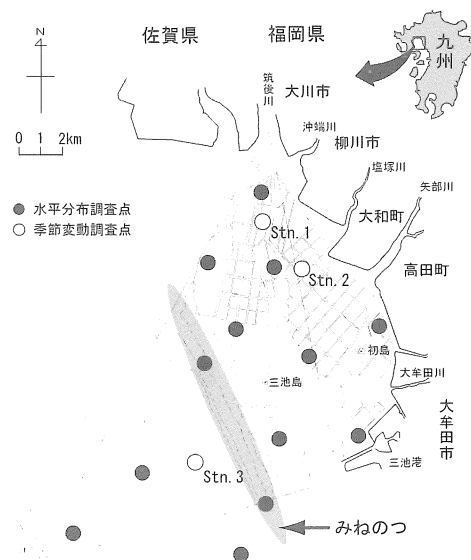


図1 調査地点

3. '00年1～4月における*E. zodiacus*の消長

有明海福岡県地先における'00年1～4月までの大型珪藻*E. zodiacus*の消長を調べた。資料はノリ漁場内の19定点で行ったプランクトン沈殿量の測定結果を用いた。なお、プランクトン沈殿量は満潮時に北原式表面プランクトンネットで表層から1.5mを鉛直引きして採取したものを5%濃度になるようにホルマリンで固定して24時間静置した後の沈殿物量とした。

結 果

1. 水平分布調査

調査結果を図2に示す。

本調査で出現が確認された珪藻休眠期細胞は、主に*S. costatum*、*T. spp.*および*C. spp.*であった。一方、冬季に大規模な発生が見られる*R. imbricata*や*E.*

*zodiacus*の出現は認められなかった。

出現密度をみると *S. c.*は $1.7 \times 10^3 \sim 5.4 \times 10^5$ MPN/g·wet sediment, *T. spp.*は $4.6 \times 10^3 \sim 3.3 \times 10^5$ MPN/g·wet sediment, *C. spp.*は $2.1 \times 10^3 \sim 4.9 \times 10^5$ MPN/g·wet sediment の範囲で出現した。最も高密度で出現したのは *S. c.*であった。いずれの種も分布パターンに顕著な特徴は認められなかったが、共通して”みねのつ”と呼ばれる洲の上やその周辺に低密度で出現する傾向が認められた。

底質分析結果および休眠期細胞出現密度との相関関係を表1に示す。Mdφは1.74～4.00, 強熱減量は2.51～8.20%, AVSは0.00～0.67mg/g·dry mud, CODは1.54～19.27mg/g·dry mud の範囲であった。また、休眠期細胞の出現密度と底質との相関関係を5%の有意水準でt検定を行った結果、有意な正の相関関係が認められたのはMdφ値と合計出現密度との関係のみであった。

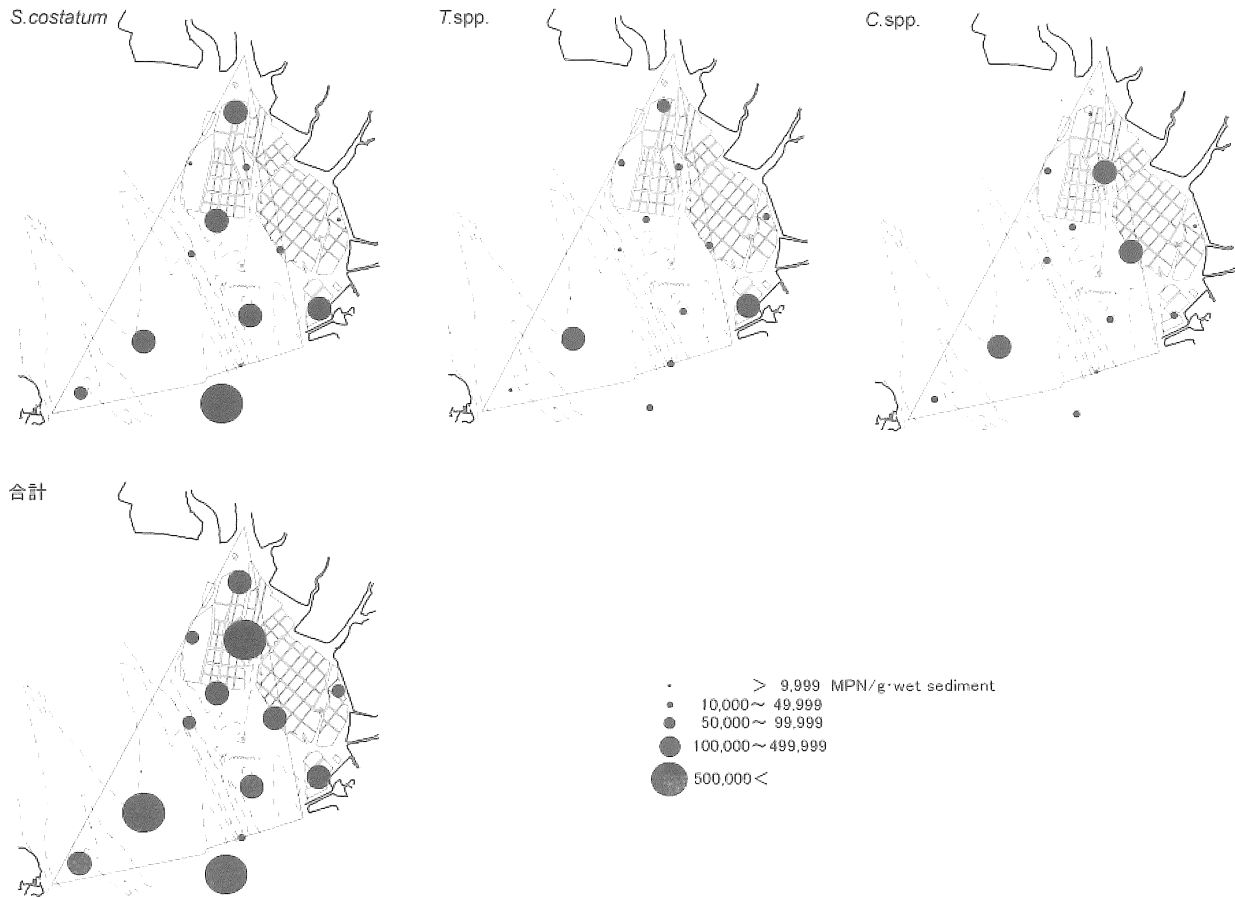


図2 水平分布調査結果

表 1 水平分布調査における底質分析結果および休眠期細胞出現密度との相関関係数のt検定結果

	Md ϕ	強熱減量 (%)	AVS (mg/g·dry mud)	COD (mg/g·dry mud)	
底質分析結果	最大値	4.00	8.20	0.67	
	最小値	1.74	2.51	0.00	
	平均値	3.01	4.92	0.14	
相関係数	<i>S. c.</i>	0.324	0.317	0.293	0.427
	<i>C. spp.</i>	0.408	0.467	0.367	-0.175
	<i>T. spp.</i>	0.398	0.170	0.250	0.249
	合計	0.559※	0.510	0.467	0.255

※ t 検定により 5% の有意水準で有意と認められる。

2. 季節変動調査

調査結果を図3に示す。

本調査で出現が確認された珪藻休眠期細胞は主に *S. costatum*, *T. spp.*, *C. spp.*, *Asterionella kariana*, *A. glacialis* であった。本調査においても *R. imbricata* や *E. zodiacus* の出現は認められなかった。

出現密度をみると、*S. c.*については $2.2 \times 10^4 \sim 7.0 \times 10^5$ MPN/g·wet sediment の範囲で出現が認められ、出現した種類の中で最も高密度で出現した。また、5~10月にかけて高密度で出現し、Stn.1, 2で変動幅が大きく変動傾向も類似し、Stn.3で変動幅が小さい傾向にあった。*T. spp.*は $4.5 \times 10^3 \sim 5.4 \times 10^5$ MPN/g·wet sediment の範囲で出現が認められ、出現した種類の中で二番目に高密度で出現した。また、5~8月にかけて高密度で出現し、以後は3月まで減少傾向を示し、Stn.2で最も高めに推移した。変動幅はいずれの定点も小さかった。*C. spp.*は $0 \sim 2.4 \times 10^5$ MPN/g·wet sediment の範囲で出現が認められ、全点において5~7月まで低密度、以後3月まで高密度で出現した。Stn.3で最も高密度で推移し、11月以降の変動幅が小さかった。*A. kariana* は $0 \sim 2.7 \times 10^3$ MPN/g·wet sediment の範囲で出現が認められ、出現した種類の中で最も低密度で出現した。出現したのは5月と2月のみであった。*A. glacialis* は $0 \sim 1.7 \times 10^4$ MPN/g·wet sediment の範囲で出現が認められ、全定点とも11~3月に出現し、その期間中においてはStn.1で最も低密度で出現し、Stn.2では常に認められた。また、合計細胞数は $5.6 \times 10^4 \sim 7.8 \times 10^5$ MPN/g·wet sediment の範囲で認められ、5~11月に高密度、以後はやや減少し横ばいで推移した。最も高密度で出現したのはStn.2で、次いでStn.3, Stn.1の順であった。

本調査期間中に有明海福岡県地先で発生した珪藻赤潮を表2に示す。8月27日~9月6日にかけて *C. curvisetum* と *Gymnodinium sanguineum* の混合赤潮、11月16日~12月4日にかけて *C. sociale*, *C. debile* および *A. glacialis*, 2月10日~3月21日にかけて *A. g.*, *E. zodiacus* および *C. spp.* の合計3件の赤潮が発生した。さらに、水平分布調査で休眠期細胞合計出現密度との関係に

有意な相関が認められたMd ϕ 値を分析し、相関数t検定を行った(表3, 4)。Md ϕ 値は Stn.1では2.67~4.00, Stn.2では全て4.00, Stn.3では1.60~3.05の範囲であった。また、t検定の結果 *C. spp.*と5%の有意水準で有意な負の相関が認められた。

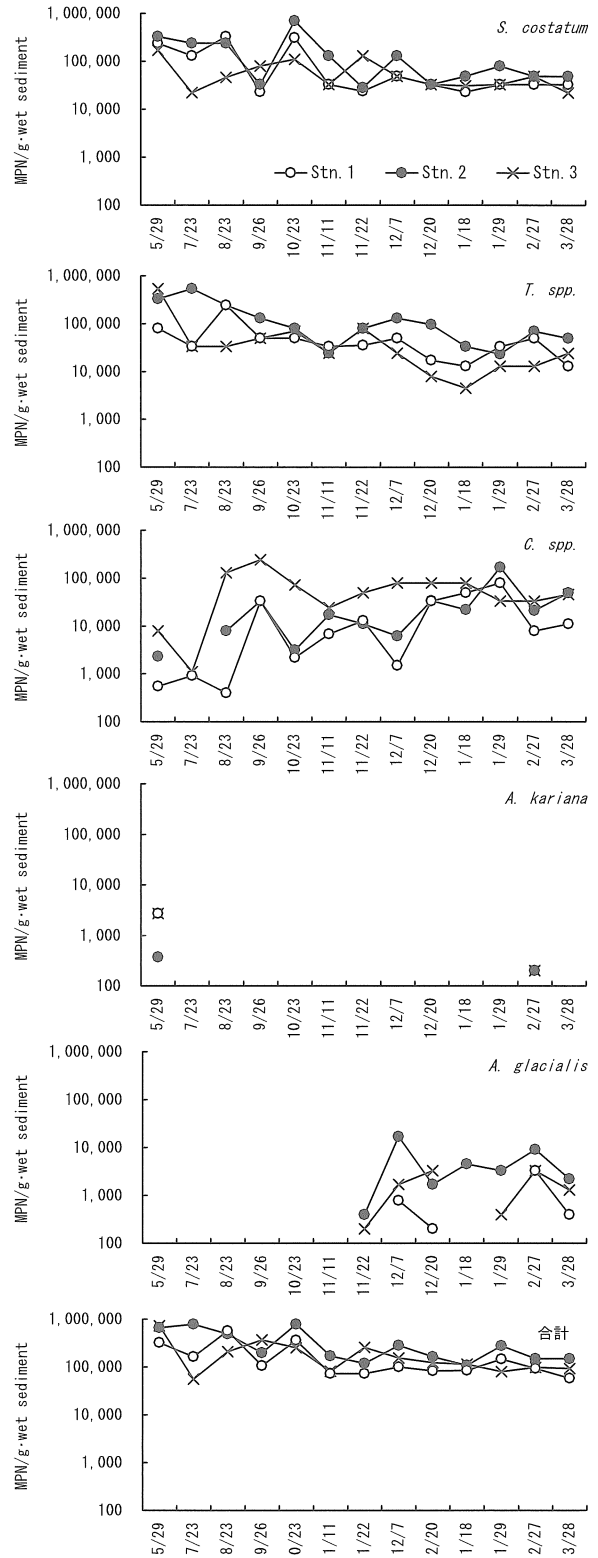


図3 季節変動調査結果

3. '00年1～4月における*E. zodiacus*の消長

'00度1～4月における*E. zodiacus*の消長パターンを図4に示す。*E. z.*は大型種であることから北原式表面プランクトンネットを用いて採集した試料から、その消長傾向を把握できる。これをみると、*E. z.*は沖合から増殖を開始し、その後は栄養塩の少ない沖合から減少する。しかし、ノリ漁場内では完全に消滅せず、特に、栄養塩濃度の高い河口域に近いほど多くなる傾向にある。同様の傾向は'02年にも認められている。

表2 '01年4月～'02年3月までの珪藻赤潮発生状況

発生期間	構成種	細胞数
8月27日～9月6日	<i>C. curvisetum</i>	13,700 cells/ml (8/27)
	<i>Gymnodinium sanguineum</i>	600 cells/ml (9/3)
11月16日～12月4日	<i>C. debile</i>	1,600 cells/ml (11/16)
	<i>C. sociale</i>	2,500 cells/ml (11/16)
	<i>A. glacialis</i>	2,000 cells/ml (12/3)
2月10日～3月21日	<i>A. glacialis</i>	1,480 cells/ml (2)
	<i>Eucampia zodiacus</i>	1,110 cells/ml (2)
	<i>C. spp.</i>	640 cells/ml (2/12)

表3 季節変動調査, Md ϕ 値分析結果

	Stn. 1	Stn. 2	Stn. 3	
Md ϕ	最大値	4.00	4.00	3.05
	最小値	2.67	4.00	1.60
	平均値	3.88	4.00	2.13

表4 Md ϕ 値と休眠期細胞出現密度との相関関係

	<i>S. c.</i>	<i>T. spp.</i>	<i>C. spp.</i>	<i>A. k.</i>	<i>A. g.</i>	合計
相関係数	0.230	0.306	-0.433※	-0.032	0.167	0.210

※ t 検定により5%の有意水準で有意と認められる。

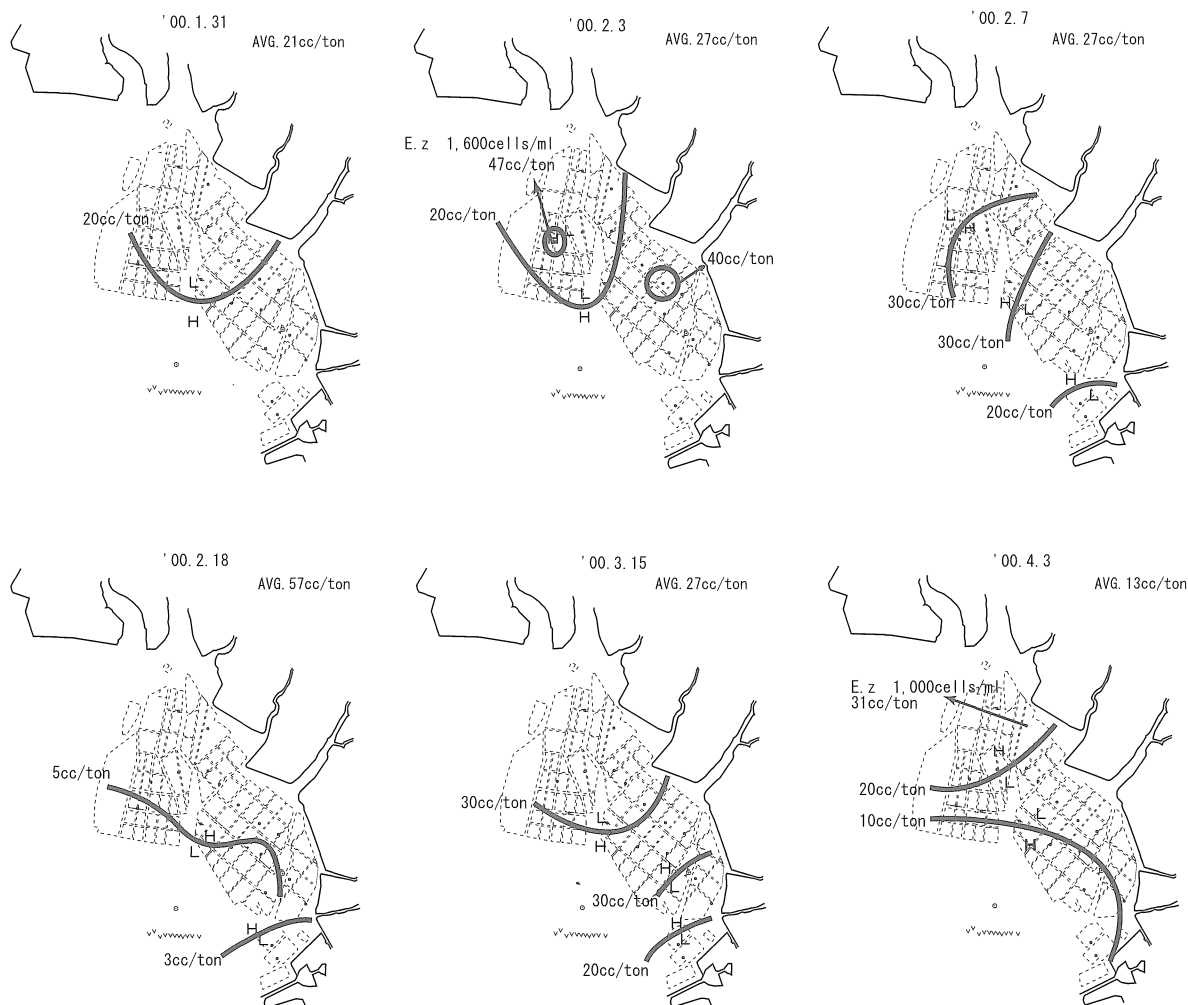


図4 '00年1～4月における*E. zodiacus*の消長

考 察

有明海福岡県地先底泥中における珪藻休眠期細胞の分布状況を'01～'02年にかけて調査した。その結果、休眠期細胞は季節的な変動は認められるものの、比較的高密度(10⁵ MPN/g・wet sediment)で存在していることがわかった。国内における底泥中の珪藻休眠期細胞の出現密度の測定は、これまでに瀬戸内海の各灘においてMPN法を用いて密に実施されている¹¹⁷⁾。それらの結果と今回の調査結果とを比較すると、出現密度については両者ともほぼ同じオーダーであった。種類別の出現密度をみると季節変動は認められるものの、大阪湾、播磨灘、広島湾においては *S. costatum* が最も多く、次いで *C. spp.*、*T. spp.*となり、今回の調査結果と類似した。これらの湾は沿岸域が都市部に囲まれており、底泥の浮泥化が進行した海域である。また、周防灘や伊予灘の浅海域では *S. c.* 休眠細胞は少なく、*T. spp.* や *C. spp.* の休眠細胞が多い傾向にあった。今回行った季節変動調査においては底泥のMdφ値と *C. spp.* のとの間に有意な負の相関関係が認められた。また、Mdφ値が最も低かった定点は沖合域の Stn.3であった。当海域における *S. c.* 赤潮発生海域(栄養細胞の高密度増殖海域)は沿岸域から沖合域まで広い範囲に渡るのに対し、*C. spp.* 赤潮については沖合域の場合が多い。さらに、今回の調査により”みねのつ”と呼ばれる洲の上や周辺で休眠期細胞は低密度であった。長井¹⁸⁾は、播磨灘で養殖ノリの色落ち被害を起したことがある大型珪藻 *Coscinodiscus wailesii* 休眠細胞の底泥中における生残率が底質に影響を受けていると指摘し、板倉¹⁹⁾は種類によって形態的な特徴が異なることから休眠期細胞の比重と水平分布パターンが関係しているのではないかと指摘しているが、当海域におけるこれらの知見を得るにはさらに検討する必要がある。このように *S. c.* や *C. spp.* の例から考えると、Mdφ値と休眠期細胞の出現密度との間には必ずしも直接的に関連性があるとは言い難いと考えられる。

次に、底泥中における珪藻休眠期細胞の消長とこれらの種による赤潮発生状況との関係を検討した。'01年4月～'02年3月にかけて発生した赤潮の構成種は、*C. sociale*、*C. curvisetum*、*C. spp.* と *A. glacialis* であった。*C. s.*、*C. c.*、*C. spp.* については赤潮発生との関係が明確に認められなかった。これは *Chaetoceros* 属は種類が多く発芽試験において確認される種の同定が困難であったことが原因として考えられる。*A. g.* 休眠細胞については赤潮発生後に初めて確認されている。過去('85年4月1日～'02年12月31日)の休眠期細胞形成種が構成種となった赤潮発生状況を表5及び図5に整理した。過去の赤潮発生件数が多い順は *S. costatum*、*C. spp.*、*T. spp.*、*A. glacialis*、*A.*

spp. の順で、件数はそれぞれ22、14、9、5、1件であった。主な発生時期は *S. costatum* が4～10月、*C. spp.* が7～3月、*T. spp.* が6～8月、*A. spp.* が8～3月で、今回調査して分かった休眠期細胞が高密度で出現した時期と類似する傾向が認められた。また、1件あたりの平均日数をみると、*C. spp.* が18日、次いで *A. spp.* が11日、*S. c.* が8日、*T. spp.* が6日であった。このように赤潮発生時期がノリ時期と重なることや発生期間が長めであることから、ノリの色落ちに対する危険性については *C. spp.* と *A. spp.* が高いといえる。

表5 有明海福岡県地先における休眠期細胞形成種の赤潮発生状況('85年4月1日～'02年12月31日)

	<i>S. c.</i>	<i>T. spp.</i>	<i>C. spp.</i>	<i>A. g.</i>	<i>A. sp.</i>
発生件数合計	22	9	14	4	1
内被害件数 (%)	1 (4.5)	1 (11.1)	6 (42.9)	3 (75.0)	0 (0.0)
発生日数合計	167	58	246	52	1
1件平均	7.6	6.4	17.6	13.0	1.0

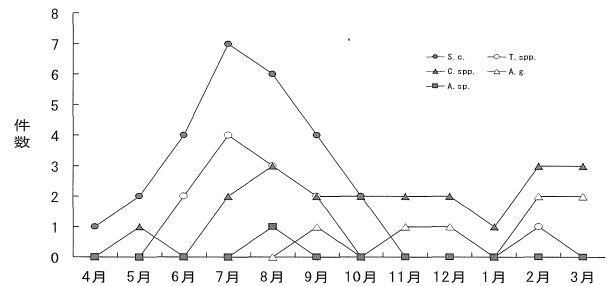


図5 有明海福岡県地先における'85年4月1日～'02年12月31日までの休眠期細胞形成種の赤潮発生件数の推移

以上のことを総合して考えると、福岡県有明海地先における珪藻休眠期細胞の水平分布パターンと季節変動は、むしろ赤潮を発生(栄養細胞の増殖)させる構成種別の生態的な特性による要因、および潮流や海底地形といった物理的な要因に強く影響を受けて形成されているものと推察される。

ノリ色落ちに関する珪藻赤潮対策は、赤潮発生と終息の予察とそれに伴う漁業者の養殖管理、および人為的な対策が考えられる。人為的な対策のひとつとして、底泥中の休眠期細胞高密度分布域を特定してその海域に覆砂を実施することで休眠期細胞の発芽を抑制する手法が挙げられる。珪藻赤潮は有明海全域に発生することが多いため長期的な効果を見込んだ場合にはその効果は小さいと考えられる。しかし、覆砂を行った直後など、中短期的には効果が得られるのではないかと考えられる。また、*A. glacialis* などの過去の赤潮発生件数が少ない種については、一度赤潮構成種となれば底泥中に休眠期細胞が多量に供給されるため、条件が整えばその後も再び赤潮構成種として出現する可能性が高くなることを示唆された。このようなことから、これらの生

態的な特性を持った種に関しては数ヶ月といった中期的な赤潮発生予測がある程度可能になるのではないと思われる。

最後に、冬季に長期間大規模に赤潮を形成し養殖ノリにとって最も大きな色落ち被害を引き起こす大型種*R.imbricata*と*E. zodiacus*について考察してみた。今回行った二つの調査では、両種の休眠期細胞の出現は認められなかった。また、*R. i.*については'00年12月6日～'01年3月25日にかけて有明海全域で赤潮構成種として出現し¹⁴⁾、甚大なノリの色落ち被害を引き起こしている¹⁹⁾。'01年の水平分布調査はこの赤潮の発生期間中に実施しているが、*R. i.*休眠期細胞ほどの定点においても確認されなかった。さらに、有明海と同様のノリの大生産地である瀬戸内海においても*R. i.*や*E. z.*の休眠期細胞は確認されていない。佐々木や板倉は*R. i.*が室内試験において比較的栄養で良好に増殖することを指摘している。また、白石²⁰⁾、林²¹⁾および西川²²⁾らの行った室内試験によると*E. z.*の増殖速度は非常に速いことがうかがえる。このように、冬季に大規模に長期間発生する大型珪藻*R.i.*や*E.z.*は休眠期細胞形成種とは異なる生態的特性を持つといえよう。

今後、ノリ養殖の現場指導において、今回の調査で得られた知見を反映していきたい。

要 約

- '01～'02年にかけて、有明海福岡県地先における珪藻休眠期細胞の水平分布と季節変動を調査した。
- 水平分布調査では*S.costatum*, *C.spp.*, *T.spp.*, 季節変動調査では*S.c.*, *C.spp.*, *T.spp.*, *A. glacialis*, *A. kariata*の出現が認められたが、いずれの調査においても*R.imbricata*と*E.zodiacus*の出現は認められなかった。
- 水平分布密度はいずれの種も”みねのつ”と呼ばれる洲の上もしくはその周辺で少ない傾向にあった。
- 水平分布調査においてMd ϕ 値と休眠期細胞合計出現密度との間に有意な正の相関関係が認められた。
- 季節変動調査においてMd ϕ 値と*C. spp.*休眠期細胞出現密度との間に有意な負の相関関係が認められた。
- 赤潮発生と休眠期細胞出現状況とを比較した。
- 休眠期細胞の高密度出現時期と赤潮発生時期は類似する傾向にあった。
- 休眠期細胞の水平分布パターンと季節変動は、赤潮を発生(栄養細胞の増殖)させる種別の生態的な要因、および潮流や海底地形といった物理的な要因に強く影響を受けて形成されるものと推察された。
- A. glacialis*などの赤潮発生件数が少ない種でも、一度赤潮構成種となった後には休眠期細胞の増加によって、その後再び赤潮構成種として出現する可能性があること

が示唆された。

- 冬季に大規模に長期間発生する大型珪藻*R.i.*や*E.z.*は休眠期細胞形成種とは異なる生態的特性を持つことがわかった。

文 献

- 板倉茂:沿岸性浮遊珪藻類の休眠期細胞に関する生理生態学研究. 瀬戸内水研報, No.2, 67-130(2000).
- 本田清一郎, 大津航:赤潮の発生状況について(I).福岡有明水試研報, 昭和60年度, 131-134(1987).
- 本田清一郎, 大津航:赤潮の発生状況について(II).福岡有明水試研報, 昭和61年度, 121-124(1988).
- 本田清一郎, 大津航:赤潮発生状況(III).福岡有明水試研報, 昭和62年度, 133-135(1989).
- 山本千裕, 切田正憲:赤潮防止対策事業-Ⅱ.福岡有明水試研報, 平成3年度, 有3(1992).
- 山本千裕, 切田正憲, 本田一三:赤潮貝毒監視事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成4年度, 287-289(1993).
- 山本千裕, 本田一三, 白石日出人:赤潮貝毒監視事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成5年度, 257-258(1994).
- 白石日出人, 本田一三, 尾田成幸:赤潮貝毒監視事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成6年度, 275-276(1995).
- 白石日出人, 尾田成幸, 相島昇:貝毒成分・有害プランクトン等モニタリング事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成7年度, 255-257(1996).
- 林宗徳, 尾田成幸, 相島昇:貝毒成分・有害プランクトン等モニタリング事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成8年度, 229-230(1998).
- 尾田成幸, 恵崎摂, 山本千裕:貝毒成分・有害プランクトン等モニタリング事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成9年度, 244-245(1999).
- 尾田成幸, 小谷正幸, 藤井直幹, 淵上哲:貝毒成分・有害プランクトン等モニタリング事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成10年度, 225-226(2000).
- 尾田成幸, 小谷正幸, 藤井直幹, 淵上哲:貝毒成分・有害プランクトン等モニタリング事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成11年度, 233-241(2001).
- 尾田成幸, 福永剛, 小谷正幸, 淵上哲:貝毒成分・有害プランクトン等モニタリング事業.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成12年度, 195-207(2002).
- 日本水産資源保護協会:有害・有毒種のシストの観察手法と分類. 日本水産資源保護協会, 64-67.

- 16) 日本水産資源保護協会:新編水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣, 東京都, 1980, pp. 240-257.
- 17) 今井一郎・板倉茂・伊藤克彦:播磨灘および広島湾の海底泥中における珪藻類の休眠細胞の分布. 沿岸海洋研究ノート, 第28巻, 第1号, 75-84(1999).
- 18) 長井敏:大型の珪藻類 *Coscinodiscus wailesii* の播磨灘から採取された海底土中における休眠細胞の形成と生存. 兵庫水試研究報告, 35号, 1-8(1999).
- 19) 福永剛, 小谷正幸, 尾田成幸, 瀧上哲, 半田亮司:ノリ養殖の高度化に関する調査.福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成12年度, 165-170(2002).
- 20) 白石日出人, 尾田成幸, 林宗徳:赤潮対策技術開発試験.福岡県水産海洋技術センター事業報告,平成7年度, 265-269(1996).
- 21) 林宗徳, 尾田成幸, 相島昇:赤潮対策技術開発試験.福岡県水産海洋技術センター事業報告,平成8年度,236-239(1998).
- 22) 西川哲也:ノリ色落ち原因藻 *Eucampia zodiacus* の増殖に及ぼす水温, 塩分および光強度の影響. 日本水産学会誌, 68(3), 356-361(2002).