

伊勢湾および三河湾の海底泥表層における *Alexandrium* 属シストの 現存量と分布

石川 輝^{1†}, 服部真由子¹, 宮間秀樹¹, 今井一郎²

Abundance and distribution of *Alexandrium* spp. resting cysts in the surface sediments of Ise Bay and Mikawa Bay, central part of Japan

Akira ISHIKAWA^{1†}, Mayuko HATTORI¹, Hideki MIYAMA¹ and Ichiro IMAI²

Abundance and distribution of resting cysts of toxic dinoflagellates, *Alexandrium* spp. (*A. tamarense* and/or *A. catenella*), were investigated in the surface sediments of Ise Bay and Mikawa Bay in June 2002, using primuline-staining direct count method. The cysts were abundant at innermost part and west of central part of Ise Bay, and eastern part of Mikawa Bay. The cyst density varied from 22 to 2,254 cysts cm⁻³ wet sediment (mean=365 cysts cm⁻³) and from 31 to 7,311 cysts cm⁻³ wet sediment (mean=1,831 cysts cm⁻³) in Ise Bay and Mikawa Bay, respectively, showing an increasing trend of cyst abundance from 1980's when previous monitorings were conducted. It is also evident that, among bays reported so far in Japan, Ise Bay and Mikawa Bay are the ones having, respectively, the high and the highest cyst abundances. The cyst density in both bays tended to increase drastically where mud content exceeds ca. 70%, although this is not always the case. This may indicate that the selective mechanisms of sediment particles by physical factors, such as hydrographic and sedimentation processes, act on cysts strongly but the magnitude of cyst formation in the water column above the sediment also affects the cyst abundance simultaneously.

Key words: *Alexandrium*, cysts, abundance, distribution, Ise Bay, Mikawa Bay

はじめに

渦鞭毛藻の中には生活史の一時期に休眠して、不適な環境を海底で休眠する細胞（シスト）を形成する種が知られている（例えば Dale, 1983）。形成されたシストは、一定期間の休眠後、環境が好適になると発芽して再び栄養細胞に戻る。これまでの研究により、シストが栄養細胞増殖の種として重要な役割を果たしていることが明らかになっている（例えば Dale, 1983; Ishikawa and Taniguchi, 1996）。ところで、麻痺生貝毒 (paralytic shellfish poisoning: PSP) を生産し、しばしば二枚貝類を毒化させることで知られている *Alexandrium catenella* および *A. tamarense* もシストを形成する渦鞭毛藻である。従って、このような有毒種の個体群動態を解明し、さらには貝毒発生を予知するためには、栄養細胞の

みならず、シストについてもその生理生態や分布に関する研究を行うことが必要である。

有毒プランクトンによる二枚貝の毒化は、世界的に広域化している (Anderson, 1997; Hallegraeff, 1993; 左子, 1995) この広域化は本邦においても同様であり、*A. catenella* や *A. tamarense* による麻痺性貝毒の被害は 1978 年~1982 年には主に北海道や東北地方のみで発生していたが、1993 年~1997 年には四国や瀬戸内海、九州沿岸域にまで拡大した (Imai *et al.*, 2006)。東海地方も例外ではなく 1980 年代末以降、伊勢湾や三河湾において *A. tamarense* が原因プランクトンと考えられる貝類の毒化が生じている。特に三河湾においては、時に二枚貝類の毒量が規制値を超えて出荷規制に至るケースが見受けられる (愛知県, 1992; 尊田ほか, 2001)。その中でも 2001 年 2 月に採取されたアサリから検出された毒量が規制値の 4 MU g⁻¹ を大幅に超えた 56.70 MU g⁻¹ であったこと (尊田ほか, 2001) は大いに懸念すべき事実である。これら伊勢湾や三河湾では、アサリが極めて重要な水産資源であるだけに、貝毒の発生は水産業を営む上で深刻な問題となっていることは言うまでもない。

A. catenella や *A. tamarense* のような有毒プランクトンに

2007年4月2日受付, 2007年5月25日受理

¹ 三重大学大学院生物資源学研究所

Graduate School of Bioresources, Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan

² 京都大学大学院農学研究所

Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

[†] ishikawa@bio.mie-u.ac.jp

よる毒化の広域化の原因としては, 例えば, 沿岸海域での富栄養化や環境変化, あるいは貝類の移植に伴う移入および船舶のバラスト水へのシスト混入に伴う移入などが挙げられている (Hallegraeff, 1993). いずれにしても海底泥中にシストの集積場が形成されていると, 栄養細胞の継続的な発生源となってしまう可能性が高い. このことから, 当該海域におけるこれら有毒種のシストの現存量と分布を把握することは, 貝類毒化の潜在的可能性や危険性をあらかじめ認識する上で極めて重要なこととなる. このような観点から, これまで瀬戸内海をはじめとする全国各地の沿岸・内湾海域において精力的に *Alexandrium* 属シストの分布調査がなされてきている (例えば小谷ほか, 1998; Shimada and Miyazono, 2005; 水産庁, 1987, 1988; 山口ほか, 1995; Yamaguchi *et al.*, 1996, 2002). 同様に, 伊勢湾および三河湾においても 1990 年以前にいくつかの調査がなされた (阿知波・岩崎, 1990; 福代, 1981; 水産庁, 1986). ただし, 両湾ではそれ以降, 同属シストの現存量や分布についての新たな知見はない. また, シストの計数手法も旧来の方法であり, 計数值自体の正確さにやや難点が残る. さらに, 底泥中のシスト現存量は栄養細胞個体群の動態ととも

に大きく変化すると考えられる. 従って, 両湾における近年のシスト現存量を調べることは, 現在の貝毒発生の危険度合いを評価する上で重要となるだけでなく, 過去からのシスト存在量の変化傾向を把握することにつながり, 将来の動向を予測する上で有益と考えられる. 本研究では 2002 年に両湾において調査を行い, 本属シストの現存量と分布を詳細に調べたので報告する.

材料と方法

海底泥試料の採集

伊勢湾ならびに三河湾における採泥調査は, 三重大学練習船「勢水丸」によって, 2002 年 6 月 23 日に実施した. 伊勢湾と三河湾での採泥地点数は, それぞれ湾口から湾奥にかけての 23 点と 9 点である (Fig. 1, Table 1). 各測点において, 重錘型柱状採泥器 (コアチューブ内径 3.4 cm) を用いて海底泥コアサンプルを 3 本採取した. なお, 採泥に際しては, 堆積物の攪拌を防ぐため, 本採泥器下部採泥管の先端にはキャッチャーを装着しなかった. 得られた各サンプルの上部 3 cm を切り取り, 1 個のプラスチック製容器にまとめて収容し, 分析まで 4°C の暗所で保存した. なお,

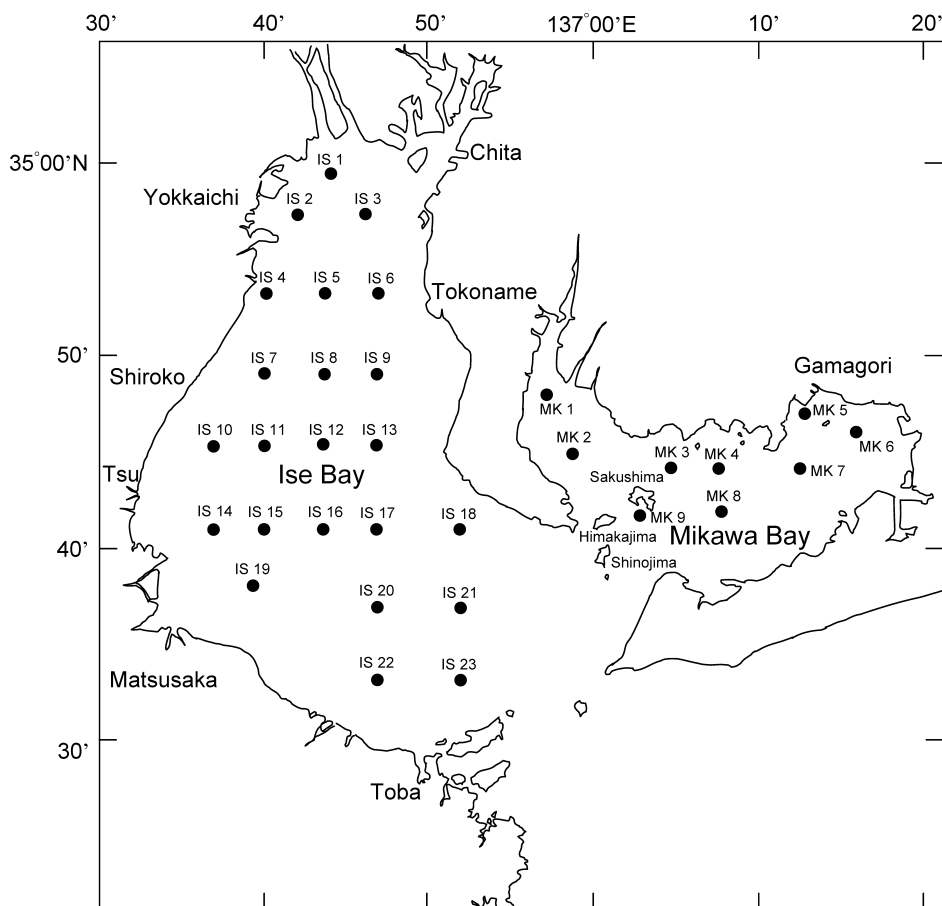


Figure 1. Location of sampling stations in Ise Bay and Mikawa Bay. Sediment sampling was conducted in June, 2002.

Table 1. Position, depth and abundance of *Alexandrium* spp. resting cysts at sampling stations in Ise Bay and Mikawa Bay.

Station	Position		Depth (m)	Cyst abundance (cysts cm ⁻³ wet sediment) Mean±SD
IS 1	34°58.2'N	136°43.9'E	21	343±49
IS 2	34°57.1'N	136°42.0'E	20	2,254±282
IS 3	34°56.9'N	136°45.9'E	21	757±59
IS 4	34°53.0'N	136°40.0'E	15	190±38
IS 5	34°53.0'N	136°43.6'E	31	465±52
IS 6	34°53.0'N	136°47.0'E	22	125±27
IS 7	34°49.0'N	136°40.0'E	21	1,569±170
IS 8	34°48.9'N	136°43.5'E	33	559±80
IS 9	34°49.0'N	136°47.1'E	24	58±58
IS 10	34°45.1'N	136°36.6'E	23	455±116
IS 11	34°45.1'N	136°40.1'E	28	163±46
IS 12	34°45.0'N	136°43.5'E	35	139±25
IS 13	34°45.0'N	136°47.1'E	32	66±14
IS 14	34°41.0'N	136°36.5'E	25	350±53
IS 15	34°41.0'N	136°39.9'E	32	158±12
IS 16	34°40.9'N	136°43.5'E	36	83±13
IS 17	34°41.0'N	136°46.8'E	35	71±15
IS 18	34°41.0'N	136°52.1'E	21	22±19
IS 19	34°38.0'N	136°40.0'E	24	58±14
IS 20	34°37.0'N	136°46.9'E	26	133±47
IS 21	34°36.9'N	136°51.8'E	36	144±45
IS 22	34°33.0'N	136°47.0'E	20	133±16
IS 23	34°33.0'N	136°52.1'E	17	93±23
MK 1	34°48.0'N	136°57.1'E	13	31±36
MK 2	34°44.7'N	136°58.8'E	15	59±13
MK 3	34°44.0'N	137°05.0'E	13	365±100
MK 4	34°44.0'N	137°07.8'E	13	2,295±95
MK 5	34°47.3'N	137°12.5'E	8	7,311±651
MK 6	34°46.0'N	137°16.1'E	9	1,079±332
MK 7	34°44.0'N	137°12.4'E	12	3,104±739
MK 8	34°42.0'N	137°08.0'E	18	1,922±347
MK 9	34°42.0'N	137°03.0'E	19	311±80

底質が粗い測点においてはスミスマッキンタイヤー型採泥器を用いて海底堆積物を採集した。この堆積物を採集後、採泥器のバケツ部分 (26 cm×23 cm) にポリカーボネイト製のチューブ (直径3.5 cm) を差し込み3本の堆積物コアサンプルを採取した。その後のサンプル処理過程と保存方法は上述したものと同様である。

シストの観察と計数

海底泥の処理からシストの観察と計数までの手順は蛍光染料 Primuline を用いた直接計数法 (Primuline—staining Direct Count Method) に従った (Yamaguchi *et al.* 1995)。まず、十分攪拌した海底泥試料から、2.5 g の湿泥を分取し、適当量

の蒸留水を加え超音波処理を行った後、目合い200 μm および20 μm のナイロンメッシュの篩を用いて20–200 μm の粒子画分を得た。次いでこの画分に、グルタルアルデヒド溶液添加による固定やメタノール溶液中での浸漬といった一連の処理を施した。この試料を蛍光染料 Primuline で染色し、最終的に蒸留水で5 ml に定容した。これにより0.5 g (湿泥) ml⁻¹ の濃度の泥懸濁液を得た。この泥懸濁液から0.1 ml (つまり泥湿重量にして0.05 g) を分取し、罫線入りスライドガラス上に載せ、倒立型落射蛍光顕微鏡 (NIKON ECLIPSE TE300) により青色励起光下 (420–490 nm 励起フィルター, DM505 ダイクロイックミラー, BA520 吸収フィルター) でその中のシストを探索・計数した。この操作を各測点の泥懸濁液について3回行い平均値を求めた。なお, Kamiyama (1996) に示された方法に従い, 各測点の海底泥の比重をあらかじめ測定し, 得られたシスト計数値を最終的に湿泥1 cm³ 当たり (cysts cm⁻³ wet sediment; 以下 cysts cm⁻³ と表記する) に換算した。

ところで, *A. catenella* および *A. tamarense* のシストはともにその形態は長楕円形であり, 両種を外形から区別することはできない (Fukuyo, 1985)。そのため, 本研究で計数の対象とした長楕円形のシストは *Alexandrium* 属シストとして扱う。

結果

Fig. 2 ならびに Table 1 に伊勢湾および三河湾における *Alexandrium* 属シストの分布と密度を示す。伊勢湾において *Alexandrium* 属シストは, 湾口から湾奥にかけて, ほぼ湾全域に分布していたが, 湾口部では少なく, 湾中央から湾奥部にかけて高い密度で分布する傾向が見られた。湾中央部でもその西側でシストは多かった。シストが特に多かったのは IS2 と IS7 で, それぞれ 2,254 cysts cm⁻³ (最高密度) と 1,569 cysts cm⁻³ であり, 最も少なかったのは IS18 の 22 cysts cm⁻³ であった。伊勢湾におけるシスト密度の平均値 ± 標準偏差は 365 ± 533 cysts cm⁻³ (n=23) であった。

三河湾においても *Alexandrium* 属シストは湾全域に分布していた。ただし, 同じ三河湾内でも湾口部に位置する島々 (佐久島および日間賀島, 篠島) より北西側にあたる知多湾海域 (以下, 三河湾北西部とする) では分布密度は低く, MK1 および MK 2 でそれぞれ 31 cysts cm⁻³ と 59 cysts cm⁻³ であった。この MK1 での値は三河湾内での最小値となった。一方, それらの島々より東側にあたる渥美湾海域 (以下, 三河湾東部とする) にはシストは高密度で分布しており, 特に MK4–8 で多かった (1,079–7,311 cysts cm⁻³)。最高密度 (7,311 cysts cm⁻³) は MK 5 (蒲郡地先) で記録された。三河湾北西部と東部のシスト密度はそれぞれ 45 cysts cm⁻³ (n=2) と 2,341 ± 2,418 cysts cm⁻³ (n=7) であった。また, 三河湾全体におけるシスト密度は 1,831 ± 2,326 cysts cm⁻³ (n=9) であり, これは伊勢湾のそれよりも5倍高い値で

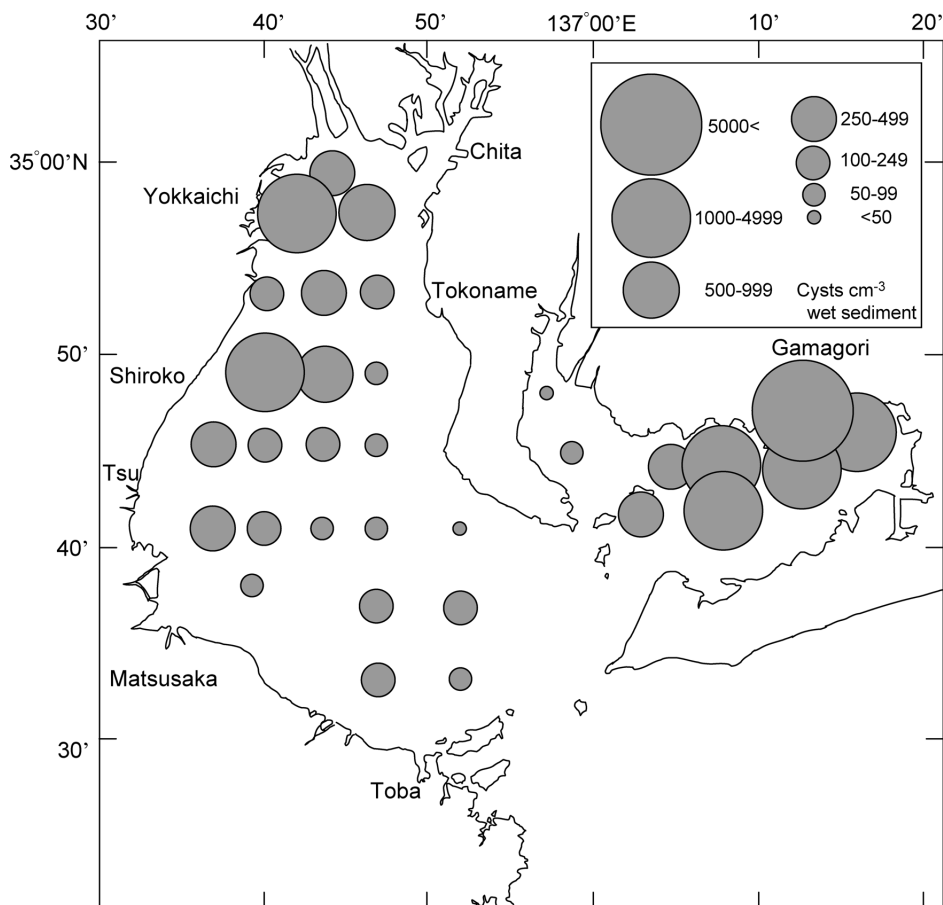


Figure 2. Distribution and abundance of *Alexandrium* spp. resting cysts in Ise Bay and Mikawa Bay.

あった。

考 察

シストの現存量と分布

伊勢湾において初めて *Alexandrium* 属シストの分布調査が行われたのは1980年である(福代, 1981)。その時の調査点は湾内東部(知多半島西側)の一定点のみであるが、この調査では同属シストは検出されていなかった。その後、阿知波・岩崎(1990)は、1982年の6月と11月に同湾の湾奥部から湾口部にかけての広範囲にわたって採泥を行った(それぞれ $n=13$ と 10)。その結果、やはり湾の東部では同属シストは見いだされなかったものの、湾奥部に近い湾中央部の一点と湾の西部に当たる三重県沿岸部に沿った4点でシストが分布していることを明らかにした。ただし、それらシストが検出された地点の密度は概ね $50\text{--}150$ cysts cm^{-3} の範囲に留まった。一方、本研究により、この阿知波・岩崎(1990)から20年後にあたる2002年にはシストは湾の西部だけでなく中央部や東部にも広く分布していることが判明した。なお、1982年当時、湾内におけるシスト

最高密度は湾西部の鈴鹿市白子地先(本研究のIS10付近)で記録されており、その値は 211 cysts cm^{-3} であった(阿知波・岩崎, 1990)。しかし、2002年に四日市地先(IS2)で見られた最大密度($2,254$ cysts cm^{-3})は1982年当時の最大値(211 cysts cm^{-3})の10倍以上にもなることは特筆すべき事実である。

三河湾において初めて *Alexandrium* 属シストの調査がなされたのも1980年である(福代, 1981)。その際の最大シスト密度は同湾東部の湾奥部(本研究のMK6付近)で見られ、 211 cysts cm^{-3} であった。その他の地点では $0\text{--}88$ cysts cm^{-3} ($n=3$) の範囲にあったという。阿知波・岩崎(1990)による1982年の2回にわたる調査($n=8$ と 6)でもシストは、やはり湾東部で多い傾向を示したものの、現存量は福代(1981)と比べて大きく変化せず、 $0\text{--}100$ cysts cm^{-3} 前後であったことが報告されている。なお、この時の最大値も湾東部での 211 cysts cm^{-3} であった。その後、三河湾全体で密な採泥を行った1985年の水産庁(1986)による調査($n=50$)では、シストの現存量は大きく増加し、 $4,691$ cysts cm^{-3} という値が湾東部の蒲郡三谷町地先(本研究のMK5

の北東部沿岸付近)で記録された。湾東部ではこの他にも1,000 cysts cm⁻³を超えるような高密度の地点もいくつか見られ、湾東部での密度は638±862 cysts cm⁻³(n=35)に達している(佐久島, 日間賀島および篠島より東側で計算)。また、湾北西部では湾東部に比べて全体に少ないものの(0-144 cysts cm⁻³), 1,500 cysts cm⁻³を超える地点も佐久島の北側で見られた。しかし、本研究では、この水産庁(1986)の最高値(4,691 cysts cm⁻³)を大きくしのぐ7,311 cysts cm⁻³というシストの密度が湾東部において検出され、また湾東部全体の密度(2,341±2,418 cysts cm⁻³)も、1985年当時に比べ増加したことが示された。

Yamaguchi *et al.* (1995)は、旧来の泥処理ならびにシスト計数方法で得た値は、Primulineを用いた直接計数法で得た値のわずか30%に過ぎなかったことを報告している。過去に両湾で行われた研究のシスト密度は旧来の方法で得られたものであり、従って、実際の密度より過小評価されている可能性は大いにある。しかし、やはり1987年から1993年にかけてシスト数が大幅に増えた広島湾(山口ほか, 1995)と同様に、両湾における過去からのシストの増加度合いは計数法の違いによる誤差のレベルを超えるものであり、両湾の海底泥中においてこの約20年の間にシストの現存量は明らかに増加したと解釈される。この増加傾向を考慮すると、シストは将来さらに増加することが予想される。従って、今後も伊勢湾と三河湾において栄養細胞増殖の種となるシスト現存量を監視していくことが貝毒発生の危険性の大きさを把握する上で必要である。

ところで、本邦沿岸においてこれまで*Alexandrium*属シスト現存量調査は様々な沿岸・内湾域で行われている(例えば 水産庁, 1987, 1988; 山口ほか, 1995; Yamaguchi *et al.*, 1996, 2002; 小谷ほか, 1998; Shimada and Miyazono, 2005)。その結果、近年、シストは広島湾や徳山湾で特に高い密度で分布していることが明らかとなっており、それぞれの湾内では最大4,454 cysts cm⁻³と8,137 cysts cm⁻³という値が報告されている(Yamaguchi *et al.*, 2002)。従って、本研究で記録された7,311 cysts cm⁻³という三河湾での最大値は、これまでのところ本邦で記録された最大密度となる徳山湾の値にほぼ匹敵することになる。さらに、特筆すべきは、三河湾全体の平均シスト密度(1,831 cysts cm⁻³, n=9)は、広島湾(647 cysts cm⁻³, n=20)や徳山湾(1,304 cysts cm⁻³, n=8)のそれら(Yamaguchi *et al.*, 2002)をしのぐことである。つまり、本邦沿岸海域において、三河湾は現在のところ“*Alexandrium*属シストが最も多く分布している湾”ということになる。もっとも、三河湾内でも湾北西部ではそれほどシストが多かったわけではないので、厳密に言えば湾東部が極めて高密度(平均2,341 cysts cm⁻³; n=7)でシストが存在している海域ということになる。なお、最大シスト密度が2,254 cysts cm⁻³を示した伊勢湾も、現在は他の海域と比べて決してシストが少ない海域とは言えない。

これまでの長年にわたる愛知県や三重県のプランクトンモニタリング調査では、両湾では主としてまだ水温の低い3月から5月の時期に*Alexandrium*属の栄養細胞が出現することが報告されており、種が同定される場合には*A. tamarense*として判定されている。この時期の両湾での水温は概ね8~18°Cの範囲にある。なお、2002年5月から一年間にわたり、三重県津市の岩田川河口域において行われた週一回の高頻度プランクトン調査では、2003年2月下旬の水温約8°Cの時期に*A. tamarense*が確認されている(石川未発表)。長楕円形のシストを産する*A. tamarense*は、一般に、低水温の時期に出現する。例えば、広島湾では、水温が12.6~16.6°Cの時期に本種は高密度で出現する(Itakura *et al.*, 2002)。一方、同じく長楕円形のシストを産する*A. catenella*は高水温の時期に出現することが知られており、例えば、和歌山県の田辺湾では、水温が16.0~22.0°Cで高密度の出現が確認されている(竹内, 1994)。また、三重県の英虞湾でも17.7~23.5°Cで*A. catenella*の大きな個体群が出現する(石川未発表)。このことから、伊勢湾と三河湾に分布する*Alexandrium*属シスト群集を構成する種は、低温環境で出現する*A. tamarense*である可能性が高いと考えられる。将来の貝毒の発生を予知する上でも構成種の詳細な内訳を把握しておくことは重要であるため、今後、発芽実験や遺伝学的な手法を用いて種の同定を行う必要があ

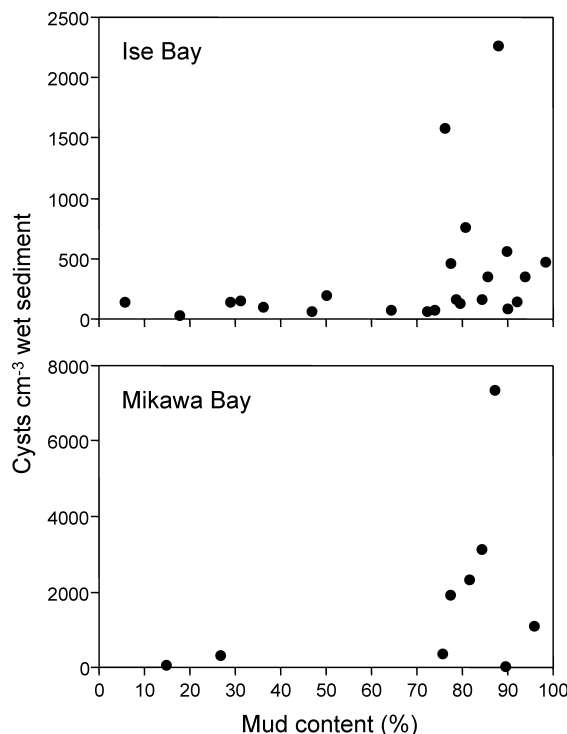


Figure 3. Relationship between abundance of *Alexandrium* spp. resting cysts and mud contents of sediments in Ise Bay and Mikawa Bay.

る。

シスト現存量と泥分率との関係

渦鞭毛藻のシストは微小であるため、水柱中で形成されてから海底までの沈降過程で、さらには堆積してからも水理学的な影響を強く受ける (Tyler *et al.*, 1982; White and Lewis, 1982)。従って、シストの分布は泥粒子の分布と一致する場合のあることが報告されている (Anderson and Keafer, 1985; Dale, 1976; Lewis, 1988; White and Lewis, 1982)。そこで、伊勢湾ならびに三河湾における各海底泥試料を目合い 63 μm の篩を用いて分画し、泥分率 (分析試料全粒子中に占める 63 μm 以下の泥粒子の割合) と *Alexandrium* 属のシスト密度との関係を解析した (Fig. 3)。その結果、両湾では、泥分率が高い地点で確かにシスト密度が高くなる傾向があることがわかった。その傾向の中で興味深いのは、伊勢湾ではシスト数が泥分率約 70% まではほぼ一定であるが、70% を超えると急激に増加する地点が見られたことである。今回の三河湾における調査では泥分率 30–70% の試料がなかったのではっきりしたことはわからないが、それでも泥分率 70% を超えると急に増加する場合のあること、ならびに 30% 以下の 2 点におけるシスト数が極めて少量であることから、同湾でも伊勢湾と同様の分布傾向を呈している可能性が高い。一方、Wall *et al.* (1977) は、他の海域 (ミドルアトランティックバイトならびに南アフリカ南西域) において、渦鞭毛藻シスト数は泥微細粒子の割合が 50–60% までは増加するが、それ以上では一定になることを示している。このことは伊勢湾と三河湾における *Alexandrium* 属シストと泥分率の関係とは全く逆である。すなわち、両湾においては水流によるシストのふるい分け作用が極めて強いことが推察され、従って、シストは微細粒子の多い場所へ極端に集積されるものと考えられる。しかしながら、本研究では泥分率が高いからといって必ずしも *Alexandrium* 属のシスト密度が高い値を示すというわけではなかったことも事実である。同様の結果が広島湾 (山口ほか, 1995) の *Alexandrium* 属シストにおいても報告されている。ところで、Lewis (1988) は、他の渦鞭毛藻を例に、水柱中で栄養細胞が特に多い場所では、底泥粒子が粗くともシストの密度が高くなる場合を示している。このことは、シストの分布に影響を及ぼす要因として、水理学的な影響だけでなく、水柱中での栄養細胞の有性生殖によるシスト供給機構も同様に重要であることを示唆している (Lewis, 1988; 山口ほか, 1995)。すなわち、伊勢湾および三河湾で見られた泥分率が高くともシスト数が少ないという地点 (とその周辺) においては海底へのシスト供給量が少ないのかもしれない。この海底へのシスト供給機構を明らかにするためには、セディメントトラップを用いた調査が有効となるであろう。

本研究により、伊勢湾ならびに三河湾において 1980 年代から近年にかけて増加した *Alexandrium* 属シストの種群

集としての大きさとその分布が明らかになった。今後、それぞれの湾において *Alexandrium* 属栄養細胞の個体群動態の調査・研究を行っていく上で、これらの結果がその基盤となるものと期待される。

謝 辞

伊勢湾および三河湾の試料採集の際には、三重大学大学院生物資源学研究所附属練習船「勢水丸」の船長をはじめ乗組員の皆様にご支援を頂きました。記して感謝の意を表します。

引用文献

- 阿知波英明・岩崎英雄 (1990) 伊勢湾および三河湾の表層堆積物中における *Protogonyaulax* 属のシストの分布. 日本プランクトン学会報, **36**, 140–142.
- 愛知県 (1992) 平成 3 年度赤潮貝毒監視事業報告書 (毒化モニタリング). 70 pp.
- Anderson, D. M. (1997) Turning back the harmful red tide. *Nature*, **388**, 513–514.
- Anderson, D. M. and B. A. Keafer (1985) Dinoflagellate cyst dynamics in coastal and estuarine waters. In: *Toxic Dinoflagellates*, eds. D. M. Anderson, A. W. White and D. G. Baden, Elsevier, New York, 219–224.
- Dale, B. (1976) Cyst formation, sedimentation, and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from Trondheimsfjord, Norway. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **22**, 39–60.
- Dale, B. (1983) Dinoflagellate resting cysts: “benthic plankton”. In: *Survival Strategies of the Algae*, ed. G. A. Fryxell, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 69–136.
- 福代康夫 (1981) 日本沿岸のプロトゴニオラックス属. 赤潮研究会分類班資料 No. 3, 水産庁研究部漁場保全課・北里大学水産学部, 72 pp.
- Fukuyo, Y. (1985) Morphology of *Protogonyaulax tamarensis* (Lebour) Taylor and *Protogonyaulax catenella* (Whedon and Kofoid) Taylor from Japanese coastal waters. *Bull. Mar. Sci.*, **37**, 529–537.
- Hallegraeff, G. M. (1993) A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, **32**, 79–99.
- Imai, I., M. Yamaguchi and Y. Hori (2006) Eutrophication and occurrences of harmful algal blooms in the Seto Inland Sea, Japan. *Plankton Benthos Res.*, **1**, 71–84.
- Ishikawa, A. and A. Taniguchi (1996) Contribution of benthic cysts to the population dynamics of *Scrippsiella* spp. (Dinophyceae) in Onagawa Bay, northeast Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **140**, 169–178.
- Itakura, S., M. Yamaguchi, M. Yoshida and Y. Fukuyo (2002) The seasonal occurrence of *Alexandrium tamarensis* (Dinophyceae) vegetative cells in Hiroshima Bay, Japan. *Fish. Sci.*, **68**, 77–86.
- Kamiyama, T. (1996) Determination of the abundance of viable tintinnid cysts in marine sediments in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea of Japan, using a modified MPN method. *J. Plankton Res.*, **18**, 1253–1259.
- 小谷祐一・小山晃弘・山口峰生・今井一郎 (1998) 四国西部および九州沿岸海域における有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* と *A. tamarensis* のシストの分布. 水産海洋研究, **62**, 104–111.
- Lewis, J. (1988) Cyst and sediments: *Gonyaulax polyedra* (*Lingulodinium machaerophorum*) in Loch Creran. *J. Mar. Boil. Ass. U.K.*, **68**, 701–714.
- 左子芳彦 (1995) 有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium* の生活環と広域化. 月刊海洋, **27**, 628–635.
- Shimada, H. and A. Miyazono (2005) Horizontal distribution of toxic

- Alexandrium* spp. (Dinophyceae) resting cysts around Hokkaido, Japan. *Plankton Biol. Ecol.*, **52**, 76–84.
- 尊田佳子・鶴寄直文・渡辺利長・岩瀬重元・石川雅章・島田昌樹 (2001) (3) 貝類毒化状況監視. 愛知県水産試験場業務報告, 平成12年度 (愛知水試研究業績C-113), 124.
- 水産庁 (1986) 昭和60年度内湾海域シスト調査報告書 三河湾. 93 pp.
- 水産庁 (1987) 昭和61年度内湾海域シスト調査報告書. 82 pp.
- 水産庁 (1988) 昭和62年度内湾海域シスト調査報告書. 92 pp.
- 竹内照文 (1994): 和歌山県田辺湾における赤潮渦鞭毛藻 *Alexandrium catenella* の生態に関する研究. 和歌山水試特別研報, **2**, 1–88.
- Tyler, M. A., D. W. Coats and D. M. Anderson (1982) Encystment in a dynamic environment: deposition of dinoflagellate cysts by a frontal convergence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **7**, 163–178.
- Wall, D., B. Dale, G. P. Lohmann and W. K. Smith (1977) The environmental and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. *Mar. Microplanktonol.*, **2**, 121–200.
- White, A. W. and C. M. Lewis (1982) Resting cysts of the toxic, red tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* in Bay of Fundy sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **39**, 1185–1194.
- 山口峰生・板倉 茂・今井一郎 (1995) 広島湾海底泥における有毒渦鞭毛藻 *Alexandrium tamarense* および *Alexandrium catenella* シストの現存量と水平・鉛直分布. *日本誌*, **61**, 700–706.
- Yamaguchi, M., S. Itakura, I. Imai and Y. Ishida (1995) A rapid and precise technique for enumeration of resting cysts of *Alexandrium* spp. (Dinophyceae) in natural sediments. *Phycologia*, **34**, 207–214.
- Yamaguchi, M., S. Itakura, K. Nagasaki and I. Imai (1996) Distribution and abundance of resting cysts of the toxic dinoflagellates *Alexandrium tamarense* and *A. catenella* in sediments of the eastern Seto Inland Sea, Japan. In: *Harmful and Toxic Algal Blooms*, eds. T. Yasumoto, Y. Oshima and Y. Fukuyo, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris, 177–180.
- Yamaguchi, M., S. Itakura, K. Nagasaki and Y. Kotani (2002) Distribution and abundance of resting cysts of the toxic *Alexandrium* spp. (Dinophyceae) in sediments of the western Seto Inland Sea, Japan. *Fish. Sci.*, **68**, 1012–1019.