

# 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. tamarense* のシストの分布

小谷祐一\*<sup>1</sup>・小山晃弘\*<sup>2</sup>・山口峰生\*<sup>1</sup>・今井一郎\*<sup>2</sup>

## Distribution of Resting Cysts of the Toxic Dinoflagellates *Alexandrium catenella* and/or *A. tamarense* in the Coastal Areas of Western Shikoku and Kyushu, Japan

Yuichi KOTANI\*<sup>1</sup>, Akihiro KOYAMA\*<sup>2</sup>, Mineo YAMAGUCHI\*<sup>1</sup>, and Ichiro IMAI\*<sup>2</sup>

### Abstract

In recent years, paralytic shellfish poisoning (PSP) has frequently occurred in the coastal areas of western Shikoku and Kyushu, Japan. The distribution and abundance of resting cysts of the toxic dinoflagellates *Alexandrium catenella* and/or *A. tamarense* were investigated to determine the presence of these species in the above areas. Sediment samples in the top 3 cm were collected from 80 stations in the coastal areas of western Shikoku and Kyushu during the autumn of 1996. The cysts were counted using a primuline-staining direct count method.

The cysts of *A. catenella* and/or *A. tamarense* were found to distribute widely in the study areas except for Sukumo Bay, Kagoshima Bay, Shibushi Bay and Tachibana Bay. The maximum cyst density (113 cysts · cm<sup>-3</sup>, wet sediment) was observed in Iwamatsu Bay, Ehime Prefecture, where blooms of *A. catenella* occurred in May 1995. However, the studied areas were lower in cyst densities than the Seto Inland Sea. Cysts of *A. catenella* and *A. tamarense* play an important role in seeding fresh outbreaks of PSP. Thus careful and continuous monitoring over the studied areas is essential for preventing and/or minimizing PSP events.

### 1. はじめに

海産渦鞭毛藻 *Alexandrium* 属には約30種が知られ、それらのうち9種が麻痺性貝毒を生産するといわれている (STEIDINGER, 1993). このような有毒プランクトンの発生とそれに伴う二枚貝の毒化および人間の健康や漁業への被害は、世界中で多発・広域化の傾向にある (HALLEGRAEFF, 1993; 左子, 1995; ANDERSON, 1997). とりわけ, *Alexandrium catenella* と *A. tamarense* の2種はサキシトキシン (STX) やゴニオ

トキシン (GTX) 等を含む強力な神経毒を生産し、その分布域も広い。日本においてもこれら2種は麻痺性貝毒の主要な原因種である。近年、従来は北海道や東北地方が中心であったこれら2種を原因種とする二枚貝の毒化が、瀬戸内海、四国あるいは九州沿岸海域でも発生している。1992年4～5月には、これまで麻痺性貝毒の発生がみられなかった広島湾でも *A. tamarense* によるカキやアサリの毒化が起こり、それらの生産や流通に深刻な影響が及んだ (山口ほか, 1995). また、近年、四国西岸の愛媛県や九州沿岸の各県においても、同様に麻痺性貝毒の発生が報じられている (宮本ほか, 1995; 堤・岩野, 1996; 小泉ほか, 1997).

渦鞭毛藻の一部は生活史のある時期にシスト (耐久性細胞) を形成することが知られており, *A. catenella* および *A. tamarense* もシストを形成する。シスト自

1998年1月12日受付 1998年3月20日受理

\*<sup>1</sup> 南海海区水産研究所

Nansei National Fisheries Research Institute, Ohnocho, Saeki-gun, Hiroshima 739-0452, Japan

\*<sup>2</sup> 京都大学大学院農学研究科

Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8224, Japan

身が遊泳細胞の約10倍もの麻痺性貝毒を含有することから、海水中に遊泳細胞が存在しない時期に発生する貝毒の原因のひとつとして、二枚貝によるシストの直接的摂食が示唆されている (DALE *et al.*, 1978). また、シストは環境の悪化に対して強い抵抗力を持つだけでなく、一定期間休眠した後に環境条件の好適化に伴って発芽するので、種の分布域の拡大、不適な環境下での生き残り、あるいは同一海域での発生の供給源として重要な役割を果たすと考えられている (ANDERSON and WALL, 1978). それゆえ、海底泥中のシストの有無あるいは分布密度を調査することにより、当該海域における有毒・有害渦鞭毛藻の出現の履歴や、未だ貝類の毒化が起っていない海域における将来の潜在的な貝毒発生の可能性等を知ることができる。また、貝毒の発生機構の解明や海域における毒化モニタリング調査を行う上で、現場海域におけるシストの現存量と分布を明らかにすることは極めて重要な課題である。

四国西部と九州沿岸海域では、1982年にその一部の海域で調査が行われた (福代, 1982) が、それ以降、*A. catenella* と *A. tamarense* のシストの分布に関する情報がほとんどなかった。そこで、本報においては、これらの海域における海底泥中の *A. catenella* と *A. tamarense* のシストの分布密度を調べたので、その結果について報告する。

## 2. 材料および方法

### 2.1 海底泥試料の採集

1996年10月29日～11月12日に、南西海区水産研究所調査船「しらふじ丸」によって本調査を実施した。調査海域と各湾における調査定点を Fig. 1 に示す。各定点において、内径 4 cm の KK 式柱状採泥器 (木俣ほか, 1960) を用いて海底泥試料を 3 本採取し、各コアの表面から 3 cm 深までの泥を分取して不透明なプラスチック容器に入れ、低温恒温庫中に 10°C で暗所保存した。鹿児島県志布志湾の Sts. 34, 35 においては、海底が砂質で粒子が粗く KK 式柱状採泥器による採泥は難行し、両地点ではそれぞれ 1 本のみの採取であった。

### 2.2 シストの染色、および観察と計数

近年、YAMAGUCHI *et al.* (1995) により、海底泥中の *A. catenella* と *A. tamarense* のシストを直接計数する新しい方法 (Primuline-staining Direct Count

Method) が考案され、シスト計数の精度と簡便性が著しく向上した。本法で蛍光染色した *A. catenella* と *A. tamarense* のシストは B 励起 (青色励起) 下で黄緑色の鮮やかな蛍光を発すること、さらにこれらのシストが長楕円形の特徴的な形状であることから、これらを容易に識別・計数することができる (YAMAGUCHI *et al.*, 1995, 1996). また、海底泥中の他の大部分の粒子はほとんど蛍光を発しないので、観察・計数が極めて容易であった。なお、形態の特徴に基づいてこれら 2 種のシストを区別することは不可能であるとされている (福代ほか, 1982).

今回、YAMAGUCHI *et al.* (1995) および山口ほか (1995) にしたがって、シストの蛍光染色および観察・計数を行った。なお、シストの観察・計数には倒立型落射蛍光顕微鏡 (OLYMPUS-IX70) を用い、励起光は B 励起とした。フィルターの組み合わせは、励起光に 400～440nm バンドパスフィルター、DM 455 ダイクロミックミラーおよび BA 515 バリアフィルターを用いた。熱対流による粒子の攪乱を防止するため、染色した泥懸濁液 0.1ml を 1ml の蒸留水を満たした枠付き罫線計数スライドグラスに入れた。これを×100の倍率で検鏡し、全視野のシストを観察・計数した。各定点の泥懸濁液について、この操作を 3 回ずつ行った。

各海底泥試料について、湿泥 1 cm<sup>3</sup> 当たりのシスト密度を算出するため、海底泥の比重を KAMIYAMA (1996) の方法にしたがって求めた。また、目合い 63 μm の篩を使用して各海底泥試料を分画し、泥分率を求めた。

## 3. 結果および考察

### 3.1 四国西部および九州東部海域

四国西部および九州東部海域における *A. catenella* と *A. tamarense* のシストの分布を Fig. 2 に示した。豊後水道を挟んだ東西の両沿岸海域に *A. catenella* と *A. tamarense* のシストは広く分布しており、四国西部の宇和海、宇和島湾および岩松湾、そして大分県沿岸の臼杵湾、津久見湾、佐伯湾および宮崎県北部の北浦湾でシストの存在が確認された。最も高密度であったのは愛媛県中部沿岸の岩松湾の St. 20 で、113 cysts・cm<sup>-3</sup> であった。

宮崎県北浦湾では 1982 年に調査が行われており、この時は 7 定点中 4 定点において 11～42 cysts・cm<sup>-3</sup> で *A. catenella* および *A. tamarense* のシストが検出さ

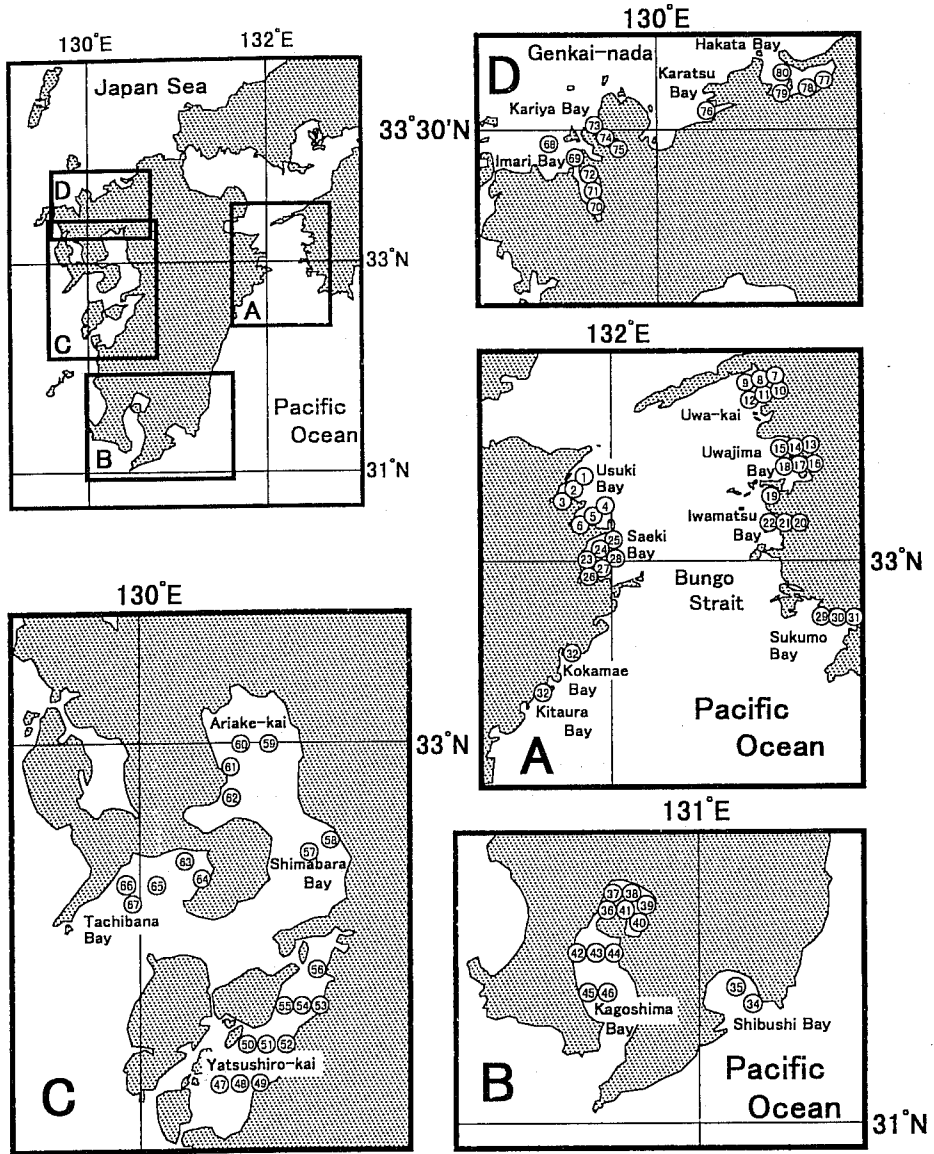


Fig. 1. Location of the sampling stations in coastal areas of western Shikoku and Kyushu. Encircled numerals denote sampling stations.

れている (福代, 1982). 今回の調査では1定点でのみ, *A. catenella* および *A. tamarense* のシストが検出された ( $6 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-2}$ ) が, その密度は1982年の調査に比べてやや減少している. 現在, この海域では貝類の養殖は行われていないものの, アサリの採捕が行われている (宮崎県水産試験場, 私信) ので, さらに詳しいシスト分布調査が必要であると思われる.

近年では, 愛媛県岩松湾で1995年5月にアサリから  $23.7 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$  (軟体部, 以下同様) の麻痺性貝毒が検

出されている (Table 1). この時,  $31,000 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  の赤潮状態で *A. catenella* が出現していたことから, 麻痺性貝毒によるアサリの毒化は高密度での遊泳細胞の出現によることは明らかである. また, この湾では比較的高密度でシストが分布しており, このことは高密度での遊泳細胞の出現と対応している. しかし, 大分県の小蒲江湾では, 1995年5~9月に *A. catenella* の遊泳細胞が最高  $170 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$  で出現し, ヒオウギガイから  $8.8 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$  の麻痺性貝毒が検出されたにもか

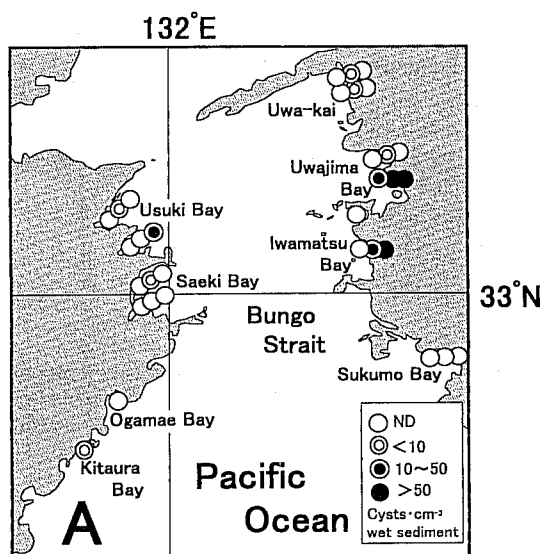


Fig. 2. Distribution and abundance of the cysts of *Alexandrium catenella* and/or *A. tamarense* in coastal waters of western Shikoku and eastern Kyushu.

かわらず、今回の調査では *A. catenella* および *A. tamarense* のシストは検出されなかった (Fig. 1 の St. 32)。1982年に行われた調査では、小蒲江湾に近接する猪串湾周辺海域における9定点中の1定点において  $11 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  が検出されている (福代, 1982) ことから、貝毒モニタリング定点を設計する上で、小蒲江湾周辺海域でのより詳しいシスト分布調査が必要であると思われる。さらに、大分県の臼杵湾、津久見湾および佐伯湾の12定点中3定点で *A.*

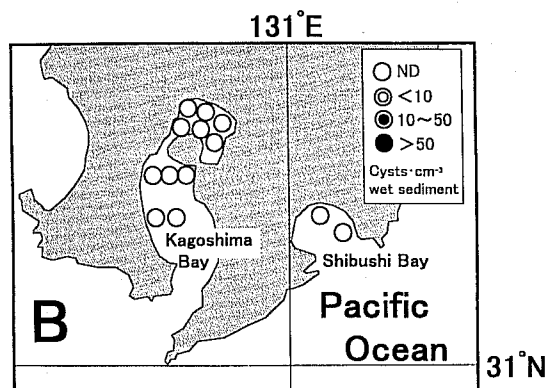


Fig. 3. Distribution and abundance of the cysts of *Alexandrium catenella* and/or *A. tamarense* in Kagoshima Bay and Shibushi Bay, southern Kyushu.

*catenella* と *A. tamarense* のシストが  $5 \sim 10 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  で確認されていることから、これらの海域では今後も引き続き貝毒モニタリング調査が必要であると思われる。

### 3.2 鹿児島湾および志布志湾

鹿児島湾の12定点と志布志湾の2定点では、*A. catenella* および *A. tamarense* のシストは検出されなかった (Fig. 3)。

この付近の海域では、鹿児島県の山川湾においてのみ、*A. catenella* の遊泳細胞の出現および麻痺性貝毒の発生が報告されている (Table 1)。しかし、山川湾は鹿児島湾の入り口、薩摩半島の南東端に位置する狭い湾であるために、今回は採泥調査の定点が設定で

Table 1. Recent occurrences of paralytic shellfish poisoning in bivalves and the toxic dinoflagellates *Alexandrium catenella* and *A. tamarense* in the coastal seas of each prefecture of Kyushu and western Shikoku \*: by fresh meet \*\*: ND; Not detected

Prefecture	Locality	Date	Causative organism	Maximum cell density	Bivalve toxicity *	Bivalve name	Reference
Ehime	Iwamatsu Bay	May 1995	<i>A. catenella</i>	$31,000 \cdot \text{ml}^{-1}$	$23.7 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Naked clam	KOIZUMI <i>et al.</i> (1997)
Oita	Ogamae Bay	May-Sep. 1995	<i>A. catenella</i>	$170 \cdot \text{l}^{-1}$	$8.8 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Noble scallop	TSUTSUMI and IWANO (1996)
Kagoshima	Yamakawa Bay	June 1995	<i>A. catenella</i>	$12 \cdot \text{ml}^{-1}$	$< 2.0 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Naked clam	UENO <i>et al.</i> (1996)
		Mar. 1996	<i>A. catenella</i>	$5 \cdot \text{ml}^{-1}$	$3.9 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Naked clam	
Kumamoto	Miyankawauchi (Yatsushiro-kai)	Apr. 1995	<i>A. catenella</i>	$410 \cdot \text{l}^{-1}$	$7.2 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Noble scallop	MIYAMOTO <i>et al.</i> (1996)
		Feb. 1996	<i>A. tamarense</i>	$6.3 \cdot \text{l}^{-1}$			
		Apr. 1995	<i>A. catenella</i>	$6.3 \cdot \text{l}^{-1}$	$< 2.0 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Blue mussel	
Fukuoka	Ariake-kai	1994	**ND	**ND	$< 2.0 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Naked clam	SHIRAISHI <i>et al.</i> (1995)
Saga	Ariake-kai	1994	**ND	**ND	$< 2.0 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Naked clam	NOGUCHI and NODA (1995)
		Apr. 1994	<i>A. catenella</i>	$216 \cdot \text{l}^{-1}$	$< 2.0 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Noble scallop	
		May 1994	<i>A. tamarense</i>	$1,730 \cdot \text{l}^{-1}$	$< 2.0 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$	Noble scallop	

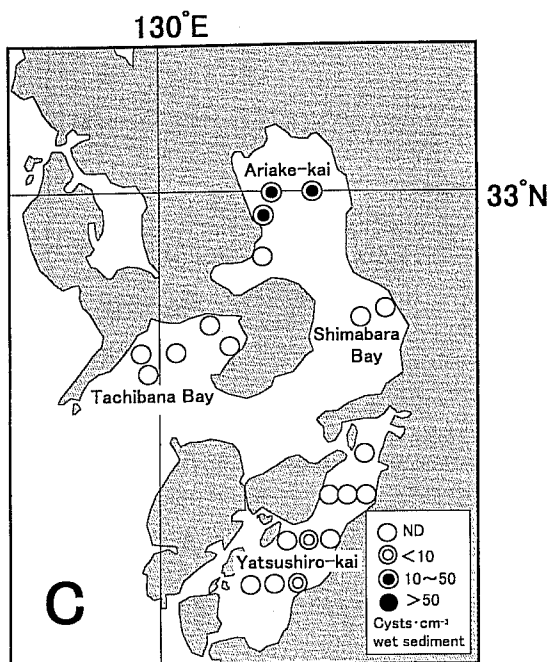


Fig. 4. Distribution and abundance of the cysts of *Alexandrium catenella* and/or *A. tamarense* in Ariake-kai, Yatsushiro-kai and Tachibana Bay, western Kyushu.

きなかった。なお、山川湾では、*A. catenella* が1995年6月に  $12 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  で、1996年3月に  $15 \text{ cells} \cdot \text{ml}^{-1}$  で出現し、後者にはアサリが  $3.9 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$  で毒化している (Table 1)。これらのことから、今後、鹿児島湾内にも本種の分布が拡大する可能性を否定できない。

### 3.3 有明海、八代海および橘湾

Fig. 4に、これらの海域における *A. catenella* と *A. tamarense* のシスト分布を示した。検出されたシスト密度の最高値は、有明海では St. 60 の  $21 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、八代海では St. 51 の  $5 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  であった。橘湾ではシストは検出されなかった。

八代海では、熊本県宮野河内において、1994年に初めてアサリやヒオウギガイで麻痺性貝毒が検出された (宮本ほか, 1995) が、この時の原因種は未確認であった。翌1995年の4月には *A. catenella* の出現が確認され、ヒオウギガイで  $7.2 \text{ MU} \cdot \text{g}^{-1}$  の麻痺性貝毒が検出された。さらに、1996年2月には *A. tamarense* が  $6.3 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$  で発生した (Table 1)。

有明海では、熊本県沿岸において1995年10月に、*A.*

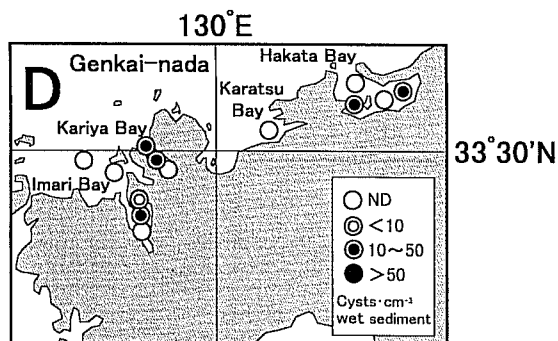


Fig. 5. Distribution and abundance of the cysts of *Alexandrium catenella* and/or *A. tamarense* in Imari Bay, Kariya Bay, and Hakata Bay, northern Kyushu.

*catenella* が  $6.7 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$  で出現している (Table 1)。

しかし、福岡県沿岸では1994年には *A. catenella* の出現が確認されておらず、麻痺性貝毒も発生していない。しかしながら、今回の調査では有明海の6調査地点のうち北部の3点 (Sts. 59, 60, 61) でシストが確認され、St. 59で  $19 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、St. 60で  $21 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、St. 61で  $15 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  であった。有明海は我が国有数のアサリ漁場であるので、今後も貝毒モニタリング調査を継続していく必要がある。

### 3.4 九州北部海域

九州北部海域における *A. catenella* と *A. tamarense* のシストの分布を Fig. 5に示した。伊万里湾、仮屋湾、博多湾では13地点中の6地点でシストの存在が確認された。それぞれの湾におけるシスト密度の最高値は、伊万里湾では St. 71 の  $13 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、仮屋湾では St. 74 の  $13 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、博多湾では St. 79 の  $43 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  であった。唐津湾では数点の採泥調査地点を設定していたが、海底が砂質であったため、1地点のみでしか採泥できなかった。

1982年には伊万里湾、仮屋湾、唐津湾および福岡県大島でシスト分布調査が実施されており、この時、伊万里湾では27地点中5地点で  $11 \sim 21 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  が、仮屋湾では7地点中6地点で  $11 \sim 116 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  が、唐津湾では17地点中東部の3地点で  $5 \sim 32 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  が、大島では6地点中1地点で  $16 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  が検出された (福代, 1982)。今回の伊万里湾および仮屋湾における調査結果をこれと比較すると、*A. catenella* と *A. tamarense* のシストの分布密度は伊万里湾ではほぼ同様、仮屋湾ではやや減少している。ま

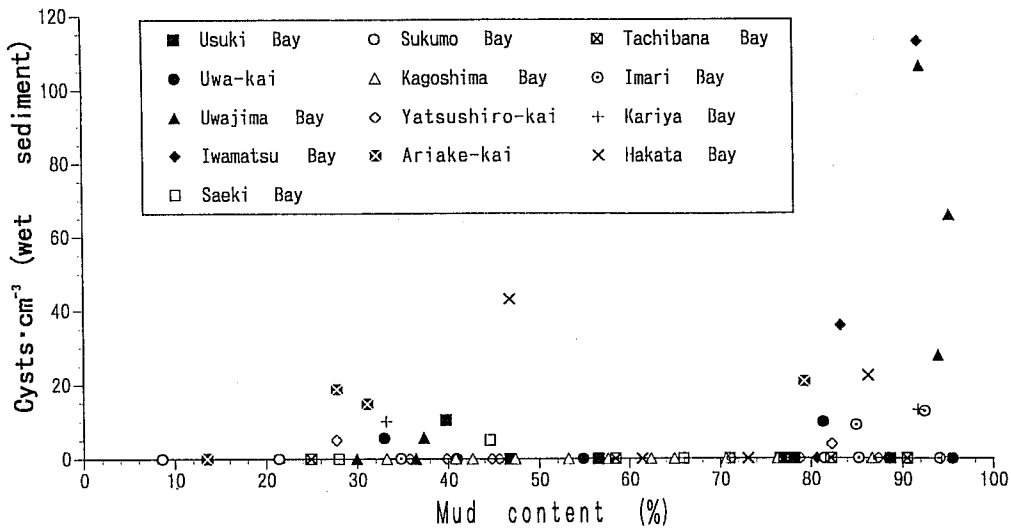


Fig. 6. Relationship between the abundance of cysts of *Alexandrium catenella* and *A. tamarens* and the mud contents of sediments collected at the 80 stations in the western Shikoku and Kyushu.

た、近年では、佐賀県波戸地先において1994年5月に *A. tamarens* の遊泳細胞が  $1,730 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$  で出現している (Table 1). これらのことから、*A. catenella* もしくは *A. tamarens* は九州北部海域に1980年代当初から広範に分布し、かつ定着していると考えられる。

### 3.5 調査海域全域のシスト分布に関する考察

今回の調査は、各々の湾におけるシストの分布状況を詳しく調べるといよりも、近年西日本海域に出現するようになった *A. catenella* および *A. tamarens* のシストの主要な内湾域における存在を確認することによって、それらの分布域がどこまで拡大しているのかを広域的に調査するという内容であった。同様の観点からのシストの広域分布調査は北米東部沿岸域においても実施され、*Alexandrium* 属のシストがこの海域に広く分布していることが確認されている (ANDERSON *et al.*, 1982; THAYER *et al.*, 1983). 今回の調査では、*A. catenella* と *A. tamarens* のシストは、瀬戸内海東部海域 (YAMAGUCHI *et al.*, 1996) や広島湾 (山口ほか, 1995) に比べて低い密度ながらも、四国西部および九州中北部の沿岸海域に広く分布していることが明らかになった。有毒プランクトン分布の広域化の要因として、移植された貝類等とともにまたは船舶バラスト水に混入して、有毒プランクトンのシストが運ばれることが示唆されている (HALLEGRAEFF, 1993; HALLEGRAEFF and BLOCH, 1991). 今回の調査

でシストの分布が確認された海域では、近年、ヒオウギガイ、アコヤガイおよびアサリなどの貝類の増養殖が盛んに行われるようになり、それらの種苗は他の海域から移入されるとともに相互の交換も行われている。今後、魚介類の移植や種苗の移入はますます盛んになると考えられ、有毒プランクトン分布拡大とそれに伴う貝類の毒化現象の広域化が懸念される。

広島湾で1982年に行われた調査では、*A. catenella* と *A. tamarens* のシストは全く検出されなかった (福代, 1982). その後、広島湾では、*A. catenella* と *A. tamarens* のシストの平均分布密度は1987年の  $8.6 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  から1993年には  $278 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  に増加し、この6年間で約30倍以上に増大したことが報告されている (山口ほか, 1995). これらのことは、条件が揃えば、*A. catenella* や *A. tamarens* は比較的容易にその海域に定着するとともに、そのポピュレーションは短期間で増大する可能性があることを示唆している。したがって、四国西部および九州沿岸海域において、今後も貝毒モニタリング調査を強化・継続するとともに、広域的なシスト分布調査を定期的に行う必要があると考えられる。

主要な各湾における調査定点毎のシスト密度と泥分率との関係を Fig. 6 に示した。シストが比較的高密度で分布した定点では、泥分率が高くなる傾向があった。このことは、カナダのセントローレンス川河口域における調査結果 (TURGEON *et al.*, 1990), あるいは

広島湾や東部瀬戸内海での調査結果(山口ほか, 1995; YAMAGUCHI *et al.*, 1996)とも一致している。このような傾向は, *A. catenella* と *A. tamarensis* のシストの分布だけでなく, 有害赤潮ラフィド藻 (*Chattonella antiqua*, *C. marina* および *Heterosigma akashiwo*) のシストの分布においても報告されている(今井・伊藤, 1985; IMAI and ITAKURA, 1991)。また, 本調査海域においてシストが高密度で分布した宇和島湾, 岩松湾, 有明海および仮屋湾などは, 他の湾に比べて湾口部が狭くかつ奥深く入り組んだ内湾性の高い地形的特徴を示した。このような湾は一般に海水交換が悪いので, 泥分率も高かつシストも滞留しやすいと考えられる。さらに, シストは運動性がないため, 他の微細粒子の堆積過程と同様に流れの影響を強く受けることから, 環流域等に局所的なシストの高密度域が存在する可能性も推察されている(WHITE and LEWIS, 1982; TYLER *et al.*, 1982)。したがって, 今後, 各湾におけるより詳細なシスト分布調査を実施する上において, その海域の海洋特性を十分に考慮して調査定点を設計・配置することが重要である。

#### 4. 要約

1996年10月29日～11月12日に, 四国西部と九州沿岸海域における海底泥中の *A. catenella* と *A. tamarensis* のシストの分布調査を行った。

その結果, 四国西部及び九州東部海域では, 愛媛県の宇和海沿岸, 宇和島湾及び岩松湾と大分県の臼杵湾, 津久見湾, 佐伯湾及び宮崎県の北浦でシストの分布が確認された。その分布密度の最高値は岩松湾奥部の  $113 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  であった。また, 八代海と有明海でもシストの分布が確認され, その分布密度の最高値は有明海の  $21 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  であった。さらに九州北部海域では, 伊万里湾, 仮屋湾及び博多湾でシストの分布が確認され, その分布密度の最高値は博多湾の  $43 \text{ cysts} \cdot \text{cm}^{-3}$  であった。

宿毛湾, 鹿児島湾, 志布志湾および橘湾ではシストは全く確認できなかったが, 四国西部および九州中北部の沿岸海域に, *A. catenella* と *A. tamarensis* のシストが分布していることが判明した。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり, 調査の設計に際して有益なご助言と資料の提供をいただいた各県水産試験場等の担当者各位と, 調査にご協力いただいた南西海区水産

研究所調査船「しらふじ丸」の乗組員各位に, 心から御礼を申し上げます。また, 本研究に対する有益なご助言と激励をいただいた京都大学大学院農学研究科応用生物科学専攻の中原紘之教授と, 本報告をご校閲いただくとともに有益なご意見とご指摘をいただいた南西海区水産研究所赤潮環境部長の前田昌調博士に感謝いたします。なお, 本研究は水産庁貝毒対策事業における担当課題「海産有毒プランクトンの生理生態」の一部として実施された。

#### 引用文献

- ANDERSON, D.M. (1997) Turning back the harmful red tide. *Nature*, **388**, 513-514.
- ANDERSON, D.M., D.M. KULIS, J.A. ORPHANOS and A.R. CEURVELS (1982) Distribution of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis* in the southern New England region. *Est. Cstl. Shelf Sci.*, **14**, 447-458.
- ANDERSON, D.M. and D. WALL (1978) Potential importance of benthic cysts of *Gonyaulax tamarensis* and *G. excavata* in initiating toxic dinoflagellate blooms. *J. Phycol.*, **14**, 224-234.
- DALE, B., C.M. YENTSCH and J.W. HURST (1978) Toxicity in resting cysts of the red-tide dinoflagellate *Gonyaulax excavata* from deeper water coastal sediments. *Science*, **201**, 1223-1225.
- 福代康夫 (1982) 貝毒原因鞭毛藻のシストの分布に関する研究。昭和57年度赤潮技術対策試験報告書, 北里大学水産学部, 1-6.
- 福代康夫・渡辺 信・渡辺正孝 (1982) 赤潮鞭毛藻類のシスト形成と発芽-II。 *Protogonyaulax tamarensis* と *P. catenella* におけるシストの発芽の季節性。国立公害研究所研報, No. 30, 43-52.
- HALLEGRAEFF, G.M. (1993) A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, **32**, 79-99.
- HALLEGRAEFF, G.M. and C.J. BLOCH (1991) Transport of toxic dinoflagellate cysts via ships' ballast water. *Mar. Pol. Bull.*, **22**, 27-30.
- 今井一郎・伊藤克彦 (1985) 1984年4月, 播磨灘における海底泥中の *Chattonella* 耐久細胞の分布。南西水研研報, No. 19, 43-52.
- IMAI, I. and S. ITAKURA (1991) Densities of dormant cells of the red tide flagellate *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae) in bottom sediments of northern Hiroshima Bay, Japan. *Bull. Jpn. Soc. Microb. Ecol.*, **6**, 1-7.
- 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.
- 木俣正夫・河合 章・石田祐三郎 (1960) 海底泥土の採集法。

四国西部・九州沿岸域の *Alexandrium* シストの分布

- 日水誌, 26, 1227-1230.
- 小泉喜嗣・西川 智・薬師寺房憲・土居達夫 (1997) 赤潮調査指導事業-赤潮発生調査-. 愛媛県水産試験場事業報告, 平成7年度, 33-43.
- 宮本政秀・吉田雄一・鳥羽瀬憲久 (1995) 重要貝類毒化対策事業 (貝毒モニタリング事業). 熊本県水産研究センター事業報告書, 平成6年度, 163-166.
- 宮本政秀・吉田雄一・小山長久 (1996) 貝毒成分モニタリング事業. 熊本県水産研究センター事業報告書, 平成7年度, 170-174.
- 野口敏春・野田進治 (1995) 毒化モニタリング調査. 赤潮貝毒監視事業報告書 (佐賀県有明水産振興センター), 平成6年度, 1-8.
- 小野原隆幸・久野勝利 (1995) 貝毒調査事業. 赤潮貝毒監視事業報告書 (佐賀県玄海水産振興センター), 平成6年度, 1-9.
- 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.
- 白石日出人・本田一三・尾田成幸 (1995) 赤潮貝毒監視調査事業 (2) 貝毒調査事業. 福岡県水産海洋技術センター事業報告, 平成6年度, 277-281.
- STEIDINGER, K.A. (1993) Some Taxonomic and Biologic aspects of Toxic Dinoflagellates. In *Algal Toxins Seafood and Drinking Water*. ed. J. R. FALCONER, Academic Press, New York, 1-28.
- THAYER, P.E., J.W. HURST, C.M. LEWIS, R. SELVIN and C.M. YENTSCH (1983) Distribution of resting cysts of *Gonyaulax tamarens* var. *excavata* and shellfish toxicity. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 40, 1308-1314.
- 堤憲太郎・岩野英樹 (1996) 重要貝類毒化対策事業 (貝毒モニタリング). 大分県水産試験場事業報告, 平成7年度, 226-241.
- TURGEON, J., A.D. CEMBELLA, J.-C. THERRIAULT and P. BELAND (1990) Spatial distribution of resting cysts of *Alexandrium* spp. in sediments of the lower St. Lawrence Estuary and the Gaspé Coast (eastern Canada). In *Toxic Marine Phytoplankton*, eds. GRANELL, E., B. SUNDSTROM, L. ELDER and D.M. ANDERSON, Elsevier, New York, 238-243.
- 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.
- 上野貴治・折田和三・瀬戸口満 (1996) 山川湾アサリ貝毒調査事業. 鹿児島県水産試験場事業報告書, 平成7年度, 47.
- 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 tamarens* および *Alexandrium catenella* シストの現存量と水平・鉛直分布. 日水誌, 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 tamarens* and *A. catenella* in sediments of the eastern Seto Inland Sea, Japan. In *Harmful and Toxic Algal Blooms*, eds. YASUMOTO, T., Y. OSHIMA and Y. FUKUYO, IOC - UNESCO, Paris, 177-180.