対馬暖流域の表層堆積物中における 渦鞭毛藻シストの分布¹⁾

松 岡 数 充²⁾

Distribution of the Dinoflagellate Cyst in Surface Sediments of the Tsushima Warm Current¹⁾

Kazumi MATSUOKA²⁾

In order to elucidate the distribution of modern dinoflagellate cysts around the Japanese Islands, several surface sediments were analyzed in palynological procedure. The samples were collected from Nagasaki Bay, Omura Bay, Senzaki Bay, Lake Hiuga, Lake Kamo, off Honjo, and off Oga in the coastal areas of the East China Sea and the Sea of Japan, and also strongly influenced by the Tsushima Warm Current which is a branch of the Kuroshio Current.

The species of the dinoflagellate cysts identified are listed in Table 2. They consist mainly of the Gymnodinioid, Gonyaulacoid, Tuberculodinioid and Peridinioid Lineages.

The characteristics of the modern dinoflagellate cyst assemblages along the near-shore areas of the East China Sea and the Sea of Japan are as follows.

1) The relative frequency of the genus *Spiniferites* belonging to the Gonyaulacoid Lineage decreases with going up north of the Tsushima Current. On the contrary, that of the genus *Brigantedinium* assignable to the Peridinioid Lineage increases with it (Text-fig. 3).

2) The species mainly constituting the genus *Spiniferites* are *Spiniferites bentori* (ROSSIGNOL), *Spin. bulloideus* (DEFLANDRE & COOKSON), *Spin. aff. delicatus* REID, and *Spin. mirabilis* (ROSSIGNOL).

3) *Tuberculodinium vancampoe* (ROSSIGNOL) of the Tuberculodinioid Lineage and cyst of *Polykrikos hartmannii* ZIMMERMANN of the Gymnodinioid Lineage are dominant in the samples of the southern area of the Tsushima Current region. *Operculodinium centrocarpum* (DEFLANDRE & COOKSON) assignable to the Gonyaulacoid Lineage is relatively abundant in the northern area.

For clarifying the species diversity of the modern dinoflagellate cysts, the FISHER's species diversity (α) is calculated on each area of the Tsushima Current region, and several areas of the western coastal parts influenced by the warm Gulf Stream in the north Atlantic Ocean (Table 3). The higher values of α (6.0—5.5) are distributed in such southern areas of the Tsushima Current region as Nagasaki Bay, Omura Bay and Senzaki Bay. The species diversity in this region possibly indicates the positive interrelation with the surface water temperature of both winter (February) and summer (August). This is due to the Tsushima Current going up north. The similar relation between the water temperature and the species diversity is also observed in the coastal area of the Gulf Stream in the northern Atlantic.

According to these data, the distribution of the modern dinoflagellate cysts in surface sediments is generally controlled by the surface water temperature.

1) 1984 年 6 月 13 日受付.

1984 年日本海洋学会・日本プランクトン春季大会 (1984 年 4 月 5 日, 東京) にて一部発表.

2) 長崎大学教養部地学教室 Department of Geology, Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University.

I. はじめに

渦鞭毛藻は植物性プランクトンとしてハプト藻（コッコリス類）や黄色鞭毛藻（珪藻類）とともに海洋・淡水域において、第一次生産者として食物連鎖上重要な位置を占めている。しかし渦鞭毛藻は、海成堆積物中にしばしば認められるにもかかわらず、我が国では余り知られていない上に、それを用いた生層序学的あるいは古環境論的研究は極めて少ない状態にある（例えば MATSUOKA, 1976a, 1983）。

筆者はこのような応用微古生物学的研究の基礎的な資料を得るために、日本近海の表層堆積物中に存在する渦鞭毛藻シストについて調査を進めている。この種の研究はこれまで HARADA (1974, MS.) や MATSUOKA (1976b) によって行われているが、いずれも群集組成については属レベルでの議論や種の記載にとどまっており、日本近海での渦鞭毛藻シストの分布を把握するに到っていない。

筆者は、上述の研究を進めるなかで、渦鞭毛藻シストの大局的な分布と海流との関連に興味ある現象を見いだした。小論では対馬暖流の影響を受ける内湾の表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの分布とその多様性について述べる。

II. 表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの種について

堆積物中に存在する渦鞭毛藻は、いわゆる浮游状態にある細胞が化石化したものではない。生活環を明らかにする目的で行われた研究 (STOSCH 1973 ; DALE 1977) によると、ある種の渦鞭毛藻は、配偶子接合の後、一旦游泳能力のある運動性接合子 (planozygote) になり、数日を経てその能力を失い、休眠性接合子 (hypnozygote) を形成する。この状態の接合子を休眠性囊子 (resting cyst or spore ; 略して cyst) と呼んでいる。この時期の細胞が堆積物中に取り込まれ、やがて化石化する (EVITT and DAVIDSON 1964)。大部分のシストの細胞壁は、コッコリスや珪藻のような石灰質あるいは珪酸質ではなく、花粉やシダ植物の胞子と同様の有機物³⁾ から構成されている。

渦鞭毛藻シストは、これまで主に古生物学者によって、形態に基づき、分類・記載が行われてきた結果、游泳体とは異なった体系下で分類されている (REID, 1974,

図1 渦鞭毛藻シストの頻度表を得るに到る過程とそれに影響を与える要素

Text-fig. 1. The left shows the procedure from surface plankton community to listed dinoflagellate cyst assemblage and the right shows factors affecting each dinoflagellate cyst assemblage.

1977 ; BRADFORD, 1975, 1977 ; HARLAND, 1977)。本報告では、渦鞭毛藻シストの形態種にもとづいた分類を用いるが、游泳体との対応関係がついた種のカテゴリ（例えば目や科）については、游泳体に適用されている分類体系に準じた (WILLIAMS, 1978 ; MATSUOKA, 1983)。

図1に示すように、現生渦鞭毛藻シストの群集組成は、基本的に表層水域に存在する游泳体がシストを形成するか否かに依存しており、また堆積物中より得られたシスト群集は堆積過程や室内での抽出操作の影響、さらに同定の過程を経ている。

III. 試料採取と分析方法

分析に供した試料は、対馬暖流の影響を受ける内湾海域—長崎湾・大村湾（長崎県）、仙崎湾（山口県）、日向湖（福岡県）、加茂湖（佐渡・新潟県）—と秋田県本荘沖及び同男鹿沖で採取された（表1，図2）。本荘沖を除

3) いくつかの種、例えば *Scrippsiella trochoidea* などは細胞壁の一部が石灰質である。しかし他の部分は有機質であり、酸処理の後も残っている。

表 1 試料採取位置・深度を示す。表層水温は日本海洋資料センター編 (1975) による海洋環境図から読み取る。

Table 1 Physical data of sampling areas. "Location" indicates the approximate center of the area and "Depth" shows the sampling depth. Temperature of surface water is estimated from the illustration of marine environment by Nihon Kaiyo Shiryo Centre (ed., 1975).

	Location	Depth	Water Temperature		sediment type
			winter	summer	
Nagasaki Bay (NG)	129°50' E 32°45' N	-60~-15m	15.25°C	24.75°C	silty-to-fine sand to black sapropel
Omura Bay (OM)	129°50' E 33°00' N	-20~-15m	13.00°C	24.00°C	black sapropel
Senzaki Bay (SZ)	131°10' E 34°25' N	ca. -10m	13.75°C	24.00°C	sandy silt to black sapropel
Lake Hiruga (HR)	135°55' E 35°37' N	-30~-35m	10.75°C	23.50°C	black sapropel
Lake Kamo (SD)	138°25' E 38°05' N	ca. -5m	10.25°C	21.25°C	black sapropel
Off Honjo (HZ)	139°55' E 39°25' N	-80m~-20m	9.25°C	21.75°C	silty sand to sandy silt
Off Oga (OG)	139°50' E 39°50' N	-7~-4m	9.00°C	22.00°C	sandy silt

く各海域の数地点から、径 1.1 cm のアクリルチューブを装備したグラビティーコアラを用いて表層堆積物が採取された。本荘沖の試料はスミスマッキンタイヤー採泥器で採取された。柱状試料の表層 2 cm (本荘沖の試料では柱状試料と同量) を取り出し、ステンレス製フルイの開口径 120 μ m と 20 μ m の間に残った粒子を集めた後、混酸 ($\text{HCl} \cdot \text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の等量混合液) で石灰質粒子を、またフッ化水素酸で珪酸質粒子を除去した。以上の過程を経た精製試料を定量した後、約 0.1 ml をスライドグラス上に取り、カバーグラスをかけ、40×10 の倍率で渦鞭毛藻シスト約 200 個体を同定した。残った精製試料の一部はグリセリンゼリーで封入し、長期保存用プレパラートとするとともに、さらにその残余にはグリセリンを加えて保管している。

この研究に用いた柱状試料の上部 2 cm 中には、細胞質で満たされたシスト (living cyst) も多数含まれている。これらのシストは、その種の生活環を明らかにする目的で行われる発芽・培養実験にも供されるものである。したがってこの試料は、極めて最近に、少なくとも現在の高気圧下で堆積したものと判断される。

また各海域の表層部の水温は、夏季と冬季の表面水温

と水深 50 m の水温の値を、海洋資料センター編 (1975) による海洋環境図から内挿法によって読みとり、それらを平均した数値を用いた。

IV. 分析結果

1) 渦鞭毛藻シスト

対馬暖流域の表層堆積物中には、未記載のシストを含め 21 属 41 種のシストが確認された⁴⁾。各々の海域での種構成、同定した個体数及び相対頻度を表 2 に示す。種名は既述の如く、シストの形態に基づく分類体系 (WILLIAMS, 1978; MATSUOKA, 1983) に従ったが、シストと游泳体の対応が明確な種でかつそのシストが命名されていないものについては、游泳体に適用されている種名を用いた (例えば *Polykrikos schwartzii* や *Scrippsiella trochoidea*)。また渦鞭毛藻のシストである可能性があるが、所属させるべき高次分類群が不明な種類は系統不明として一括した。

高次分類群別にみるとゴニオラックス系統 (Gonyaulacoid Lineage) では 5 属 17 種、テュバクロディニウム系統 (Tuberculodinioid Lineage) では 1 属 1 種、ペリディニウム系統 (Peridinioid Lineage) では 14 属

4) 同定した大多数の種についての記載は、MATSUOKA (1985) にある。

図2 調査海域及び日本列島周辺の海流図(西村, 1981による)NG: 長崎湾, OM: 大村湾, SZ: 仙崎湾, HR: 日向湖, SD: 加茂湖, HZ: 本荘沖, OG: 男鹿沖

Text-fig. 2 Investigated areas and the major current system around the Japanese Island. NG: Nagasaki Bay, OM: Omura Bay, SZ: Senzaki Bay, HR: Lake Hiruga, SD: Lake Kamo, HZ: Off Honjo, OG: Off Oga. The current system is based on NISHIMURA (1981).

17 種, ギムノディニウム系統 (Gymnodinioid Lineage) では 1 属 3 種, 系統不明として 2 属 2 種が確認された。なおペリディニウム系統の球形シストである *Brigantedinium* 属には *Brig. cariacensis* と *Brig. simplex* が識別された。この両者は archeopyle (発芽孔) の形態によって区別されるのであるが, 標本の方が不適当であったり変形していた場合には両者の識別が困難である。したがって両者を一括した個体数を算出した。*Spiniferites* 属における *Spin. bulloideus* と *Spin. ramosus* の識別については, これまで混乱がある (HARLAND, 1977)。ここでは WALL and DALE (1968, 1970) の見解に従った。また *Polykrikos* 属における *Poly. kofoidii* と *Poly. schwartzii* のシストについても分類学的に見解の相違がある (福代, 1982; HARLAND, 1981) が, 今回は基本的に網目構造の Periphragm (外壁) を有するシストを *Poly. schwartzii* とした。

また対馬暖流域の渦鞭毛藻シストの分布特性を明らか

にする目的で, 研究の進んでいる北大西洋沿岸の資料を比較のために用いた (WALL, DALE, LOHMANN and SMITH, 1977; HARLAND 1981, 1982)。

2) 対馬暖流の性質

対馬暖流は, 南西諸島奄美大島の北西方で黒潮から分派した後, 主に五島列島西方を北上し, 対馬海峡から日本海に流入する。しかしその量は黒潮にくらべると極めて少なく (沖山, 1974), そのために日本海に入ってから不安定で, その海流像については, これまでに三分枝型や蛇行型が堆定されている (川合, 1974)。しかし, いずれの型にしる, 対馬海峡から流入した対馬暖流が, 日本海沿岸或はその沖合を北上し, 一部は津軽海峡を経て太平洋へ, 一部はさらに北海道西方を北上し, 宗谷海峡を経てオホーツク海に達する状況は, 熱帯性漂着物の漂流経路などからも明らかである (例えば NAKANISHI, 1981)。また対馬暖流は季節的に消長する傾向があり, 7~11 月に最大輸送量に, 2~4 月に最小輸送量となる。

表2 渦鞭毛藻シストの産出頻度表 高次分類区分 (Lineage) は MATSUOKA (1983) による。 *Brigantedinium* の2種は、保存状態が不良もしくは観察方向が不適当であると識別不可能になるので、ここでは一括した。属数のうち()内は、固結した先更新世堆積物から知られていない、いわゆる化石化しないと考えられる属数を示す。それらは主に Gymnodinioid Lineage と Peridinioid Lineage に属する。

Table 2 List of dinoflagellate cysts obtained from the investigated areas. The classification system in higher rank is followed by MATSUOKA (1983). Two species of *Brigantedinium* are able to be differentiated on each other, when the specimens are good in both of preservation and orientation. The number within parenthesis in Number of genera represents the unfossilizable cyst genera which have been unknown in pre-Pleistocene consolidated sediments. These are mainly assignable to the Gymnodinioid and Peridinioid Lineages.

taxa	locality		NG		OM		SZ		HR		SD		HZ		OG	
		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)		(%)
GONYAULACOID LINEAGE																
Spiniferites bentori	10	0.7	20	1.6	16	2.5	19	2.2	1	0.2						
Spiniferites bulloideus	714	47.3	155	12.5	220	33.8	2	0.1	36	8.3	10	2.4	5	0.7		
Spiniferites aff. delicatus	1	0.07	49	3.9	47	7.2	39	4.6	21	4.8	4	1.0	7	1.0		
Spiniferites elongatus	1	0.07	30	2.4			1	0.1					1	0.1		
Spiniferites mirabilis	239	11.8	147	11.8	21	3.2	67	7.9	7	1.6	19	4.6	13	1.8		
Spiniferites cf. ramosus			3	0.2	1	0.2	1	0.1	1	0.2	1	0.2				
Spiniferites cf. rubinus	2	0.1														
Spiniferites aff. asperulus	39	2.6	4	0.3	13	2.0	6	0.7			3	0.7	1	0.1		
Spiniferites sp. A			11	0.9												
Spiniferites spp. indet	102	6.8	60	4.8	30	4.6	20	2.4	4	0.9	1	0.2	2	0.3		
Lingulodinium machaerophorum	54	3.4	24	1.9	3	0.5	4	0.5			1	0.2	7	1.0		
Impagidinium sp. A	1	0.07	3	0.2			4	0.5			4	1.0				
Operculodinium centrocarpum	112	7.4	151	12.2	12	1.8	302	35.7	3	0.7	44	10.7	172	23.7		
Operculodinium israelianum	2	0.1	6	0.5	1	0.2	3	0.4								
Operculodinium sp. A					2	0.3			5	1.1	2	0.3	92	12.7		
Operculodinium sp. B	46	3.0					9	1.0								
Operculodinium sp. C	24	1.6														
Protogonyaulax catenella	3	0.2	11	0.9	3	0.5										
TUBERCULODINIROID LINEAGE																
Tuberculodinium vancampoeae	11	0.7	130	10.5	3	0.5	148	17.5								
PERIDINIROID LINEAGE																
Brigantedinium cariacensis	34	2.3	33	2.7	73	11.2	81	9.6	55	12.7	226	54.6	223	30.7		
Brigantedinium simplex																
?Brigantedinium sp. A									5	1.2			15	2.1		
Multispinula quanta	4	0.3	10	0.8	38	5.8	13	1.5	17	3.9	1	0.2	1	0.1		
?Multispinula minuta	24	1.6	41	3.3	27	4.2	66	7.8	78	18.0	46	10.6	105	14.4		
Omanodinium alticinctum	6	0.4	6	0.5	1	0.2	1	0.1	1	0.2	3	0.7	1	0.1		
Quinquecuspis concretum	2	0.1	3	0.2	2	0.3	3	0.4	4	0.9	1	0.2	2	0.3		
Stelladinium reidii	1	0.07	2	0.1	1	0.2							3	0.4		
Trinovantedinium capitatum	22	1.5	7	0.6	4	0.6	2	0.2			1	0.2				
Trinovantedinium sp. A			1	0.08												
Votadinium calvum	7	0.5	4	0.3	6	0.9	7	0.8			11	2.7	12	1.7		
Votadinium spinosum	2	0.1	1	0.08	1	0.2	1	0.1	22	5.1						
Xandarodinium xanthium			81	6.5			1	0.1								
Protoperidinium ponticum											1	0.2	7	1.0		
Scrippsiella trochoidea	1	0.07	4	0.3												
Dubridinium caperatum			11	0.9	1	0.2	1	0.1			1	0.2	2	0.3		
Dinocyst A	25	1.7	23	1.0	5	0.8	18	2.1	5	1.2	14	3.4	4	0.6		
GYMNODINIROID LINEAGE																
Polykrikos hartmannii	12	0.8	55	4.4	113	17.4										
Polykrikos kofoidii			6	0.5	2	0.3	5	0.6	77	17.7	8	1.9	10	1.4		
Polykrikos schwartzii	2	0.1	150	12.1	4	0.6	33	3.9	95	21.9	5	1.2	16	2.2		
LINEAGE indet.																
Dinocyst B	5	0.3									3	0.7	4	1.0	31	4.3
Dinocyst C	5	0.3														
Number of specimens	1572		1242		650		916		440		451		727			
Number of species	31		32		27		27		19		22		23			
Number of genera	19(13)		20(13)		16(11)		17(10)		12(9)		16(11)		16(11)			
Fisher's diversity index α	5.5		6.0		5.7		5.2		4.1		4.8		4.5

図3 属及び系統(Lineage)レベルでの渦鞭毛藻シストの相対頻度 1: ゴニオラックス系統, 2: *Spiniferites* 属, 3: テュバクロディニウム系統, 4: ギムノディニウム系統, 5: ペリディニウム系統, 6: *Brigantedinium* 属, 7: 系統不明

Text-fig. 3 Relative frequency of dinoflagellate cysts on Lineage, partly generic, level.
1: Gonyaulacoid Lineage, 2: genus *Spiniferites*, 3: Tuberculodinioid Lineage, 4: Gymnodinioid Lineage, 5: Peridinioid Lineage, 6: genus *Brigantedinium*, 7: Lineage indet.

それに伴って流域の表層海水温は8月に最高値を, 2月に最低値を示す(沖山, 1974)。この状況は8月において南方海域と北方海域の温度差が最小となるのに対して, 2月ではそれが最大となることからもうかがうことができる。

V. 考 察

1) 対馬暖流域での渦鞭毛藻シストの分布傾向

図3は各海域における高次分類群, 一部は属レベルでの相対頻度を示している。海域は南から北の順に並べてある。この図をみるとゴニオラックス系統のうち *Spiniferites* 属は北上するにつれて徐々に減少するのに対して, ペリディニウム系統のうち *Brigantedinium* 属は北上につれて増加する傾向を示す。このような傾向は当然ここにあげた属を構成する種の出現傾向を反映しているわけで, 例えば *Spin. bulloideus* は長崎湾・大村湾・仙崎湾などの南方域に多く, *Spin. bentori* は日向湖を境にして急激に減少し, 加茂湖以北では極めて稀になる。

Tuberculodinium 属は一種を含むのみで, *Tuber. vancompoae* は日向湖を境にして, より北方では極めて稀になる。本種は大村湾や日向湖のような強内湾域で多産するが, 長崎湾や仙崎湾などでは少ない。

同じように強内湾域で多産する傾向がギムノディニウム系統の *Polykrikos schwartzii* にも認められる。*Poly. hartmannii* は南方の内湾域に多産する傾向がある。

2) 対馬暖流域での渦鞭毛藻シストの種の多様性

ある生物群集中で, 同一生活形を有するグループの種数と個体数の間にみられる規則性については, これまで様々な議論がなされ, 定量化されてきた(例えば伊藤, 1979)。その中で, 種数と個体数の間に, 対比級数則が成立する状況下では, 総種数を S , 総個体数を N とするとその関係は,

$$S = \alpha \log \left(1 + \frac{N}{\alpha} \right)$$

で示される (FISHER, CORBERT and WILLIAMS, 1943)。

この α は S と N によって決まる指数で, FISHER

図4 FISHER の多様性指数 (α) と表層水温との相関図 A: 冬季, B: 夏季

Text-fig. 4. Relation between FISHER's species diversity (α) and surface water temperature. a: winter (February), b: summer (August), r : correlation coefficient.

の多様性指数と呼ばれる。一般に α 値が大きくなれば多様性が高いと判断される。但しここにいう多様性は、いわゆる群集のもつ種の豊かさを意味している。

表2に示した個体数と種数の値を用いて、各海域における渦鞭毛藻シスト群集の α 値を求めた。

対馬暖流域における α 値の最高は大村湾の 6.0 で、最低は加茂湖の 4.1 である。図4は、各海域の夏季および冬季の表層水温と α 値の関係を示している。 α 値と冬季の表層水温とは相関係数: $r=0.766$, α 値と夏季の表層水温とは $r=0.901$ となり、それぞれ 5% 水準で有意であると判断される。このことから渦鞭毛藻シストの種多様性は水温と正の相関を示すといえる。換言すると渦鞭毛藻シストの種の多様性は対馬暖流の北上に伴って低下する。シスト形成がよく知られる大型で有殻の渦鞭毛藻は暖海域に普遍的で、シスト形成の不明な無殻類は冷海域に多いといわれる(例えば小久保, 1967; TAPPAN, 1980)。この一般的傾向に基づくと対馬暖流の北上に伴う種の多様性の低下は、水温の低下による暖海

性の游泳体の種類が減少することを反映しているともいえる。

3) 対馬暖流域と北大西洋域におけるシストの種多様性の比較

北大西洋沿岸では WILLIAMS, D. B. (1971) 以来、表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの分布が研究されてきた。それらのうち、 α 値を算出するのに用いた報告は WALL *et al.* (1977) と HARLAND (1981, 1982) である。WALL *et al.* (1977) は北大西洋沿岸域を中心に一部南大西洋、地中海、南太平洋、ペルー沖の試料を扱っているが、本論は対馬暖流との比較において彼らの南方海域の試料を中心に検討した。彼らの各試料では約 100 個体のシストが同定されているので、ほぼ同一海域と考えられる試料より得られたシストの個体数、種類数を合算した。その際に単一試料における α 値も検討したが、合算して得た値から大きくずれることはなかった。また、HARLAND (1982) の資料も南バレンツ海で得られた8地点の資料を合算して用いた。それらの α 値を表3に示し

表3 北大西洋のメキシコ湾流沿いにおける渦鞭毛藻シストの FISCHER の多様性指数 (α).

Table 3 The FISHER's species diversity in the coastal area of the Gulf Stream in the north Atlantic. Each value of α is calculated by the writer on the basis of original data given by HARLAND (1981, 1982), and WALL, DALE, LOHMANN and SMITH (abr.; WALL *et al.*, 1977). The number within parenthesis means possibly maximum value of α . Its reason is as follows. WALL *et al.* (1977) treated several species with brownish and spherical cysts as one taxonomic unit as "grouped *Peridinium* species". This unit consists of *Peridinium conicoides*, *P. punctulatum*, *P. denticulatum*, *P. avellana*, *P. excentricum*, *Diplopsalis lenticula*, *Diplopsalis minor* and *Diplopsalopsis orbicularis*. Some of these species are probably distinguished by HARLAND (1981, 1982) and the writer. Therefore, the value of α is calculated on the basis of data of WALL *et al.* (1977), possibly maximum number of species as above mentioned members of "grouped *Peridinium* species" is added. In this case, the value of α may be actually smaller, because the dinoflagellate cyst assemblage probably includes not all but part of "grouped *Peridinium* species".

Area	N	S	α
South Barents Sea (Harland, 1981)	2222	15	2.35
Firth of Forth in England (Harland, 1982)	2730	21	3.1
Gulf of Maine (Wall <i>et al.</i> , 1977)	544	10 (17)	1.75 (3.4)
Coast of Massachusetts (Wall <i>et al.</i> , 1977)	696	14 (21)	2.5 (4.2)
Coast of New Jersey (Wall <i>et al.</i> , 1977)	554	15 (22)	2.85 (4.6)
Coast of Carolina to Georgia (Wall <i>et al.</i> , 1977)	744	15 (22)	2.75 (4.3)
Coast of Puertorico (Wall <i>et al.</i> , 1977)	470	14 (21)	2.8 (4.8)

N: number of specimens

S: number of species

α : Fisher's diversity index

た.

HARLAND (1981, 1982) はシストの分類体系に基づいて、種構成を明らかにしているが、WALL *et al.* (1977) は一部の種に対して游泳体の分類名を使っている。さらに、筆者や HARLAND (1981) が *Brigantedinium simplex* や *Brig. cariacensis*, *Dubridinium caperatum* とした種を、WALL *et al.* (1977) は "grouped *Peridinium* species" として一括し、それには *Peridinium conicoides* (*Protoperidinium conicoides* とシノニム、属名については

以下同様)、*P. punctulatum*, *P. denticulatum*, *P. avellana*, *P. excentricum* を、時には *Diplopsalis lenticula*, *Diplopeltopsis minor* (= *Zygabikodinium lenticulatum*), *Diplopsalopsis orbicularis* を含む、としている。また北大西洋域では游泳体が確認されている *Polykrikos schwartzii* のシストは彼らのリストに入っていない。そこでこれらの点を考慮し、最大限の種数⁵⁾、つまり彼らの確認した種数に7を加えた数字を種数 (S) として α 値を求めると、ほぼ 3.4 から 5 の範囲に入る。したがって、対馬

5) "grouped *Peridinium* species" に含まれるとされたシストの種数をいう。

図5 FISHER の多様性指数 (α) の減少と暖流の北上 A: 対馬暖流域, B: メキシコ湾流域

Text-fig. 5 Decrease of species diversity (α) with the warm currents going up north. A: Tsushima Current in the East China Sea and Sea of Japan, B: Gulf Stream in the north Atlantic.

暖流南方域の長崎湾・大村湾・仙崎湾は、北大西洋の南部海域（プエルトリコ沿岸やフロリダ半島からハッテラス岬にかけての海域）に較べて、渦鞭毛藻シストの種多様性が高い海域であると判断される。

WALL *et al.* (1977) の資料の一部は北米東岸に沿い、メキシコ湾流が北上する流域より得られている。この流域の α 値は、プエルトリコ付近で最大値 4.8 (2.8)⁶⁾ を示し、北に向って小さくなり、メキシコ湾流が沿岸を離れるコッド岬北方のメイン湾で最小値 3.4 (1.75)⁶⁾ となる。さらに大西洋を横断してイギリス周辺から南バレンツ海にかけても α 値は一層小さくなる傾向がある。北大西洋においてメキシコ湾流の北上につれて渦鞭毛藻シストの種多様性が減じて行く状況は、対馬暖流の場合と同様である (図5)。

VI. おわりに

小論で扱った種の多様性は、いわゆる種の豊かさ (richness) である。この場合 α 値は群集中に含まれる

総個体数に対する種の数で決定される。したがって種構成の均等性については述べていない。このような性質は、より地域的な要素、例えば地形に帰因する内湾度や底流の強さなどに支配されていると予想され、今後の重要な検討課題である。

それにも増して重要なのはやはり「種」の認定の問題である。小論では、渦鞭毛藻シストの種をシストの形態に基づいた観点で同定してきた。しかし表 2 の種リストでも記されているように、未同定の「種」が少なくない。また一方で、現在游泳体において一種とされる細胞が、形態的に異なった複数のシストと対応させられている例 (*Gonyaulax spinifera* complex など; WALL and DALE, 1968) や逆に形態上区別できないシストが少なくとも 2 種の游泳体と対応している例 (*Protogonyaulax catenella*, *Protog. tamaris* など; 福代, 1980) も知られている。したがって、ここで論じた種多様性は、あくまでもシストの「種」に基づいており、当然游泳体のそれと異なっていると考えられる。

6) () 内の数値は、“grouped *Peridinium* species” を一種とみなして計算した時の α 値を示す。

VII. 摘 要

対馬暖流域における表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの概略的な分布状況及び種多様性を調査した。また既存の資料を用いて他海域の種多様性も調べた。その結果は以下のようである。

1) 属レベルでの群集組成の変化では、*Spiniferites* 属は対馬海流の北上とともに相対頻度を減じ、*Brigantidium* 属は逆に増加する傾向がある。前者では主に *Spin. bentori*, *Spin. bulloideus* の消長が寄与している。

2) 種多様性の示標として FISHER の α 値を求めた。 α 値は 6.0 (大村湾) から 4.1 (加茂湖) で、北大西洋海域のそれ [3.4 (1.75) から 4.8 (2.8)] よりも大きく、とくに対馬暖流域の南方で種多様性が高い。

3) α 値は夏季 (8 月) 及び冬季 (2 月) の表層海水温度分布と強い相関を示す。つまり対馬暖流の北上に伴う温度低下と α 値の低下とは正の相関がある。同様の傾向はメキシコ湾流の影響を受ける北米東岸でも認められる。

4) 以上の事から、表層堆積物中の渦鞭毛藻シストの種多様性は、表層海水温と関連しており、それはつまるところ渦鞭毛藻の游泳体の分布を反映したものである。

VIII. 謝 辞

使用した底質試料のうち、男鹿沖・本荘沖・加茂湖のものは、東京大学福代康夫博士より、仙崎湾のものは、山口県内海水産試験場池田武彦技師より分与された。長崎湾及び大村湾での試料採取には、長崎大学飯塚昭二教授及び同大学院生 (当時) 小林稔氏の助力を得た。また長崎大学伊藤秀三教授は種の多様性に関して種々の示唆を与えられた。増田裕里子さんには資料の整理に助力いただいた。以上の方々に深く感謝の意を表する。

引 用 文 献

- BRADFORD, M. (1975) New dinoflagellate cyst genera from the recent sediments of the Persian Gulf. *Can. Jour. Bot.*, **53**, p. 3064-3074.
- BRADFORD, M. (1977) New species attributable to the dinoflagellate cyst genus *Lejeunia* GERLACH, 1961 emend. LENTIN and WILLIAMS, 1975. *Grana*, **16**, p. 45-59.
- DALE, B. (1977) New observation on *Peridinium faeroense* Paulsen (1905), and classification of small orthoperidinioid dinoflagellates. *Br. Phycol. J.*, **12**, p. 241-253.
- EVITT, W. R. and DAVIDSON, S. E. (1964) Dinoflagellate studies I. Dinoflagellate cyst and thecate. *Stanford Univ. Publ. Geol. Sci.*, **10**, p. 1-12.
- FISHER, R. A., CORBERT, A. S. and WILLIAMS, C. B. (1943) The relation between the number of species and the number of individuals in a random sample of an animal population. *Jour. Anim. Ecol.*, **12**, p. 42-58.
- 福代康夫 (1980) 有毒プランクトン。赤潮研究会編集委員会編「赤潮に関する近年の知見と研究の問題点」, p. 46-53, 日本水産資源保護協会。
- 福代康夫 (1982) 無殻渦鞭毛藻シストに関する研究。海洋環境特性と赤潮発生研究班編「海洋環境特性と赤潮発生に関する基礎研究」, p. 205-214, 文部省科学研究費・環境科学研究報告書 B148-R14-8.
- HARADA, K. (1974) Distribution of fossil microplankton in surface sediments on the continental margin of the Pacific off Japan. 京都大学修士論文 (手記), 25pp.
- HALAND, R. (1977) Recent and late Quaternary (Flandrian and Devensian) dinoflagellate cysts from marine continental shelf sediments around the British Isles. *Palaeontographica*, Abt. B, **164**, p. 87-125.
- HARLAND, R. (1981) Cysts of the colonial dinoflagellate *Polykrikos schwartzii* Bütschli 1873, (Gymnodiniales), from Recent sediments, Firth of Forth, Scotland. *Palynology*, **5**, p. 65-79.
- HALAND, R. (1982) Recent dinoflagellate cyst assemblage from the southern Barents Sea. *Palynology*, **6**, p. 9-18.
- 伊藤秀三 (1979) 植生学における多様性概念一展望と課題一。生物科学, **31**, p. 200-206.
- 海洋資料センター編 (1975) 海洋環境図, 外洋編一北西太平洋, 日本水路協会。
- 川合英夫 (1974) 日本海における海流像の変遷: 日本水産学会編「対馬暖流一海洋構造と漁業」, p. 7-26, 恒星社厚生閣, 東京。
- MATSUOKA, K. (1976a) Paleoenvironmental study of the Saho and the Saidaiji Formations from a view point of Palynology. *Bull. Mizunami Fossil Mus.* No. 3, p. 99-117.
- MATSUOKA, K. (1976b) Recent thecate and fossilized dinoflagellates of Hachinohe Coast, Northeastern Japan. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **22**, p. 351-369.
- 松岡敦充 (1980) 渦鞭毛藻シスト—その分類学上の意義について—, 月刊地球, **2**, p. 319-326, 海洋出版, 東京。
- MATSUOKA, K. (1983) Late Cenozoic dinoflagellates and acritarchs in the Niigata district, Central Japan. *Palaeontographica*, Abt. B, **187**, p. 89-154.
- MATSUOKA, K. (1985) Organic-walled dinoflagellate cysts from surface sediments of Nagasaki Bay and Senzaki Bay, West Japan. *Bull. Fac. Liberal Arts, Nagasaki Univ., Nat. Sci.*, **25** (2), p. 21-115.
- NAKANISHI, H. (1981) Notes on tropical drift fruits

- on the coast in Japan. *Jour. Phytogeography, Taxonomy*, **29**, p. 67-69.
- 西村三郎 (1981) 地球の海と生命—海洋生物地理学序説, vii+284 pp., 海鳴社, 東京
- 沖山宗雄 (1974) 日本海々域の生物学的特性—生物相の特徴—: 日本水産学会編「対馬暖流—海洋構造と漁業」, p. 42~55, 恒星社厚生閣, 東京.
- REID, P. C. (1974) Gonyaulacacean dinoflagellate cysts from the British Isles. *Nova Hedwigia*, **25**, p. 579-637.
- REID, P. C. (1977) Peridiniacean and Glenodiniacean dinoflagellate cysts from the British Isles. *Nova Hedwigia*, **29**, p. 429-455.
- STOSCH, H. A., VON (1973) Observations on vegetative reproduction and sexual life cycles of freshwater dinoflagellates, *Gymnodinium pseudopalustre* SCHILLER and *Wolozynskia apiculata* sp. nov. *Br. Phycol. J.*, **8**, p. 265-304.
- TAPPAN, H. (1980) *The paleobiology of plant protists*. xxi+1028 pp., W. H. Freeman & Company, San Francisco.
- WALL, D. (1971) Biological problems concerning fossilizable dinoflagellates. *Geosci. Man.* **3**, p. 1-15.
- WALL D. and DALE, B. (1968) Modern dinoflagellate cysts and evolution of the Peridinales. *Micro-paleontology*, **14**, p. 265-304.
- WALL, D. and DALE, B. (1970) Living hystrichosphaerid dinoflagellate spores from Bermuda and Puerto Rico. *Micro-paleontology*, **16**, p. 47-58.
- WALL, D., DALE, B., LOHMANN, G. P. and SMITH, W. K. (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. *Marine Micro-paleontol.* **2**, p. 121-200.
- WILLIAMS, D. B. (1971) The distribution of marine dinoflagellates in relation to physical and chemical conditions. : FUNNEL, B. N. and RIEDEL, W. R. (ed.) 'Micro-paleontology of the Oceans', p. 91-95, Cambridge Univ. Press, London.
- WILLIAMS, G. L. (1978) Dinocysts. Their classification, biostratigraphy and paleoecology. : RAMSAY, A. T. S. (ed.) 'Oceanic Micro-paleontology', **2**, p. 1231-1325, Academic Press, London.

Explanation of Plate (図版の説明)

Figs. 1—3 Cysts of Gonyaulacoid Lineage

- 1 *Spiniferites elongatus* REID; 2 *Spiniferites mirabilis* (ROSSIGNOL) SARJEANT; 3 *Lingulodinium machaerophorum* (DEFLANDRE & COOKSON) WALL

Figs. 4—5 Cysts of Gymnodinioid Lineage

- 4 *Polykrikos schwartzii* BÜTSCHLI; 5 *Polykrikos hartmannii* ZIMMERMANN

Fig. 6 Cyst of Tuberculodinioid Lineage

- 6 *Tuberculodinium vancampoe* (ROSSIGNOL) WALL

Figs. 7—12 Cysts of Peridinioid Lineage

- 7 *Scrippsiella trochoidea* (STEIN) LOEBLICH, III; 8 *Multispinula quanta* BRADFORD; 9 *Xandorodinium xanthium* REID; 10 *Votadinium calvum* REID; 11 *Proto-peridinium lattisimum* (KOFOID) BALECH; 12 *Brigantedinium* sp. indet.

Specimens of figs. 1—2 and 6—12 obtained from Omura Bay. Specimens of figs. 3—5 obtained from Nagasaki Bay. Scale bar; 20 μ m.