

洞海湾における
水質環境とプランクトンの性状—II*
微小プランクトンの分布

鶴田 新生・山田 真知子**

Hydrological and Biological Observations in Dokai Bay,
Northern Kyushu—II.
Occurrence of Nanno- and Microplankton

By

Arao TSURUTA and Machiko YAMADA

Quantitative measurements were made on the nanno- and microplankton in Dokai Bay, Northern Kyushu, from April 1974 to March 1979. The relationships between plankton occurrence and water characteristics were also examined. The results indicated the following :

- 1) Water temperature, transparency, chlorinity, inorganic total-N, $\text{PO}_4\text{-P}$, and COD were $7.4\sim 30.3^\circ\text{C}$, $0.5\sim 4.5\text{ m}$, $4.7\sim 19.0\text{ ‰}$, $15\sim 916\mu\text{g-at/l}$, $0.6\sim 18.7\mu\text{g-at/l}$, and $0.6\sim 15.8\text{ ppm}$, respectively. Seasonal changes of water characteristics were not observed with the exception of water temperature and transparency. Water in the bay contained relatively large quantities of nutrients, metals (maximum of Cu was $28\mu\text{g/l}$ and of Fe was $580\mu\text{g/l}$), and other chemicals suggesting that man-made pollution was evident. It is also appeared that eutrophication was sufficient to support the occurrence of red tide organisms throughout the season.
- 2) Two hundred and five species of nanno- and microplankton were identified in the samples. The number of phytoplankton species increased during periods of low temperature in winter and decreased during periods of high temperature in summer. The number of phytoplankton cells, on the other hand, increased from May to October. Seasonal growth pattern of the phytoplankton showed a summer maximum and a winter minimum.

* 水産大学校研究業績 第851号, 1979年9月25日受理。

Contribution from Shimonoseki University of Fisheries, No. 851. Received Sept. 25, 1979.

** 北九州市環境衛生研究所。

The Kitakyushu Municipal Institute of Environmental Health Sciences, Kitakyushu.

本報告の内容の一部は昭和49年度日本水産学会秋季大会(於京都), 昭和50年度日本水産学会春季大会(於東京) および昭和50年度日本水産学会秋季大会(於長崎)で口述発表した。

- 3) Of ten species of red tide organisms observed in the samples, three (the marine diatom, *Skeletonema costatum*, the brackish diatom, *Cyclotella striata* var. *subsalina*, and an unidentified brackish blue-green algae) bloomed every year on a large scale. These blooms occurred in the middle and inner parts of the bay in May but dissipated rapidly as water temperatures fell below 20°C.
- 4) In this bay, the main factors influencing the growth and distribution of marine phytoplankton were the highly polluted water and chlorinity. *Skeletonema costatum* appeared to be the only species that adapted to conditions existing in the bay, as evidenced by their occurrence throughout the year in all the areas examined.

1. ま え が き

洞海湾の水質環境とネットプランクトンの分布について調査した結果¹⁾、本湾の水質環境は過栄養域にランクされ、湾奥部では腐水に近いほど汚濁された汽水域が形成されており、有機汚濁と関係ある諸項目の測定値は極めて高かった。そしてこれら汚濁度は湾口部に近づくに従い沖合水の影響で漸次軽減した。プランクトンについては検出されたものは主として沿岸・内湾性種であり、湾奥部水域では淡水・汽水産種のものも優勢に出現した。優位を占めたプランクトン群集は珪藻類および橈脚類で、なかでも *Skeletonema costatum* は周年にわたって多量に出現した。また夏期には湾奥部水域に出現した淡水・汽水産種の群集が、冬期には湾口部水域に出現した海産種の群集がそれぞれ湾内全域にわたって広く分布する傾向が認められた。

本報では、引き続き採水法によって採集した微小生物群集、通称ナノプランクトンおよびマイクロプランクトンについて定量的研究を行ない、微小プランクトンの分布や赤潮発生の状況、さらには水質環境とプランクトンとの関係について検討したのでその結果をここに報告する。

本文を草するにあたり、種の同定にご指導をいただいた東海区水産研究所高野秀昭博士、近畿大学根来健一郎博士、前国立公衆衛生院橋爪健一郎氏、奈良女子大学渡辺仁治博士ならびに広島修道大学羽田良禾博士に衷心より感謝の意を表する。また、多大なご支援を賜った北九州市環境衛生研究所長園田真人博士、前所長の産業医科大学教授秋山高博士、宮崎昭夫主査および本研究のため採水作業や水質分析等に多大の協力をいただいた同研究所職員の武富真氏、前職員の原口清史氏そして北九州市公害対策局水質騒音課の職員の諸氏に深く感謝する。

2. 研 究 方 法

プランクトンの採集ならびに水質調査は、1974年4月から'79年3月までの5年間にわたり、毎月または隔月1回計40回実施した。本報告は、これら調査資料のうち満潮時の表層について調査した延べ181地点のデータを整理したものである。調査地点は、前報¹⁾と同様であるが、湾中央部の St. 4 と湾奥部水域の St. 5 の間に新たに St. 5' を設定した (第1図)。プランクトンは、採水器を用い1 l を採水し、その海水に直ちに中性ホルマリンあるいはルゴール固定液²⁾を注入して固定した。そして24時間以上静置してプランクトンを沈澱させ上澄を捨て濃縮したものを試料とした。一方、固定液によって体が破壊される無殻の鞭毛虫類および微小藻類などのためには、採水した生海水を直ちに検鏡した。赤潮現象の判定は、本湾では海水の着色が必ずしもプランクトンのみによるものではなく工場排水などに起因する場合もあるので、安達³⁾の方法、すなわち「赤潮の規定」を参照して、一定量の海水中に検出された赤潮生物の大きさと個体数で判定を行なった。また、水質の調査項目および分析・測定方法は前報¹⁾と同様であった。

3. 結果および考察

3.1 水質環境

本湾は包囲海岸型の内湾で、湾奥部には都市生活排水の流入する河川が開口し、また周辺に立地する大小約1,000の各種工場群の排水によって、汚濁と関係ある諸調査項目の測定値¹⁾は極めて高かった。

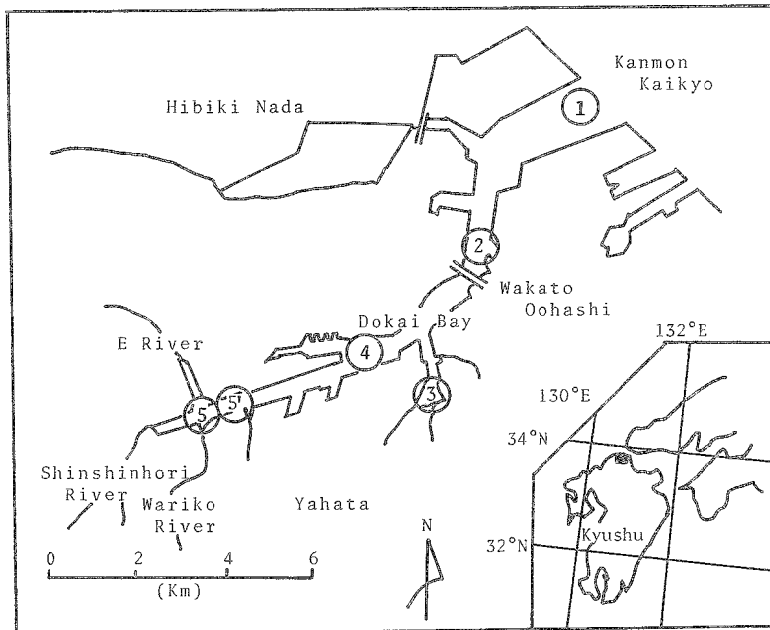


Fig. 1. Sampling stations in Dokai Bay.

主な水質調査項目の測定値の季節変化を、湾口部 (St. 1)、湾中央部 (St. 4) および湾奥部 (St. 5) についてそれぞれ第2図 a～b に示した。水温は最低温度 7.4°C から最高温度 30.3°C の間を変化し、透明度は 0.5 から 4.5 m が測定され水温が低下する冬期にやや高くなった。しかし塩素量 (4.7～19.0‰)、pH (7.4～8.4)、無機窒素化合物 (15～916 $\mu\text{g-at/l}$)、リン酸態リン (0.6～18.7 $\mu\text{g-at/l}$) および COD (0.6～15.8 ppm) などの測定値には明瞭な季節変化のパターンは認められなかった。通常、温帯沿岸域の栄養塩類量は植物プランクトンの増殖や海水の循環などによって季節的な増減を示すのであるが、本湾では栄養塩類にこのような季節変化が認められずしかも常時海水に高濃度のものが含有されていた。このことから、本湾では都市・工場排水などの人為汚染が極めて強いことが考えられる。

他方、湾海水中の金属や諸化学物質の溶存量¹⁾は、シアン、アルキル水銀、総水銀、有機リン、カドミウム、六価クロムおよび総クロムなどの分析測定値は検出限度以下であった。しかし、鉛、ヒ素、銅、鉄そしてフェノールなどは最高値がそれぞれ 80 $\mu\text{g/l}$ 、12 $\mu\text{g/l}$ 、28 $\mu\text{g/l}$ 、580 $\mu\text{g/l}$ そして 7 $\mu\text{g/l}$ が測定された。重金属の溶存量がプランクトンに及ぼす影響についての実験結果^{5,6)}によると、銅では、1 $\mu\text{g/l}$ の濃度において *Chlorella pyrenoidosa* の光合成を阻害し、また 10 $\mu\text{g/l}$ の濃度で *Exuviella mariaeleavouriae*、*Skeletonema costatum* および *Thalassiosira pseudonana* の光合成を阻害した。しかし *Phaeodactylum tricoratum* に対し

ては $10 \mu\text{g/l}$ の濃度でむしろ増殖を促進した。鉛では、 $1\sim 10 \mu\text{g/l}$ の濃度において *Coscinodiscus granii* や *Ditylum brightwellii* などの増殖を促進し、 $100 \mu\text{g/l}$ 以上になると増殖を阻害した。岩崎⁷⁾によれば、*Eutreptiella* および *Exuviella* の増殖には鉄が必要で、培養液にキレート化された鉄を $100\sim 1,000 \mu\text{g/l}$ の濃度に添加すれば、無添加のものより $3\sim 10$ 倍に増殖した。本湾の海水中に溶存している銅、鉛および鉄の最高濃度は、前記実験値のそれぞれ5倍以上を越えていた。

以上のように、本湾の海水は栄養塩類や金属その他植物プランクトンの増殖促進物質を過剰なほど溶存して、赤潮発生の環境的基盤を周年具備すると共に、一方では銅のように植物プランクトンの多くのものの増殖に阻害を与えていることも考えられる。

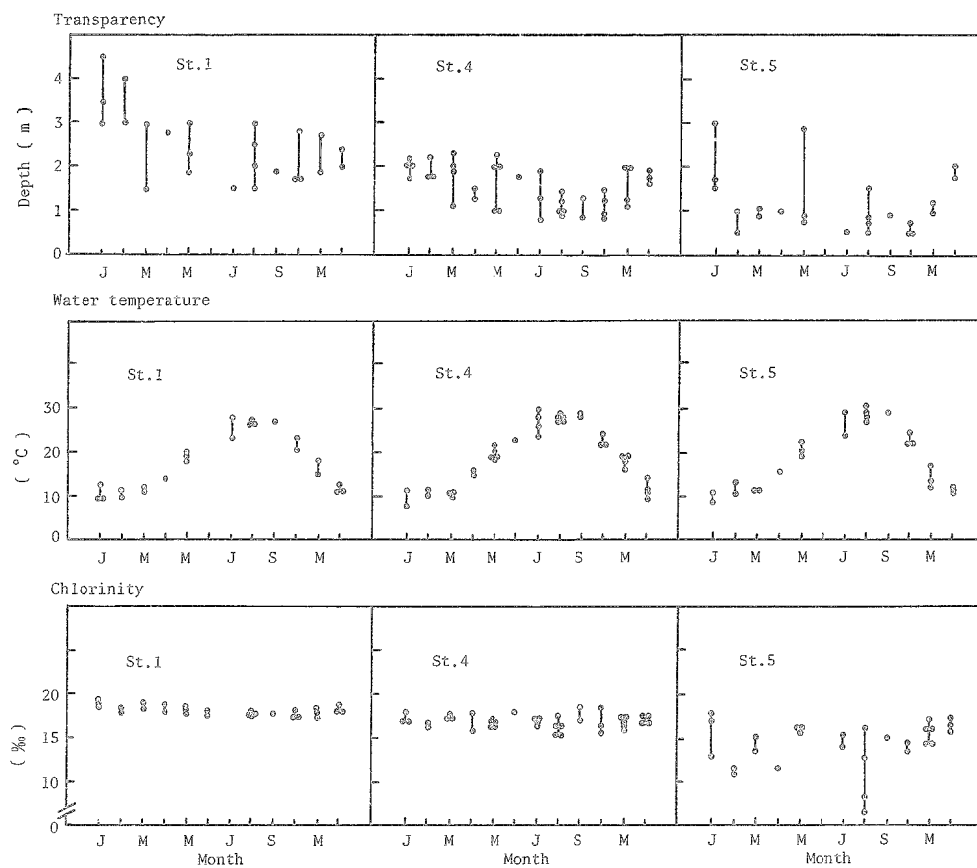


Fig. 2a. Seasonal changes of physical and chemical characteristics of the water at three areas, the outer (St.1), the middle (St.4) and the inner (St.5) parts of the bay, from April 1974 to March 1979.

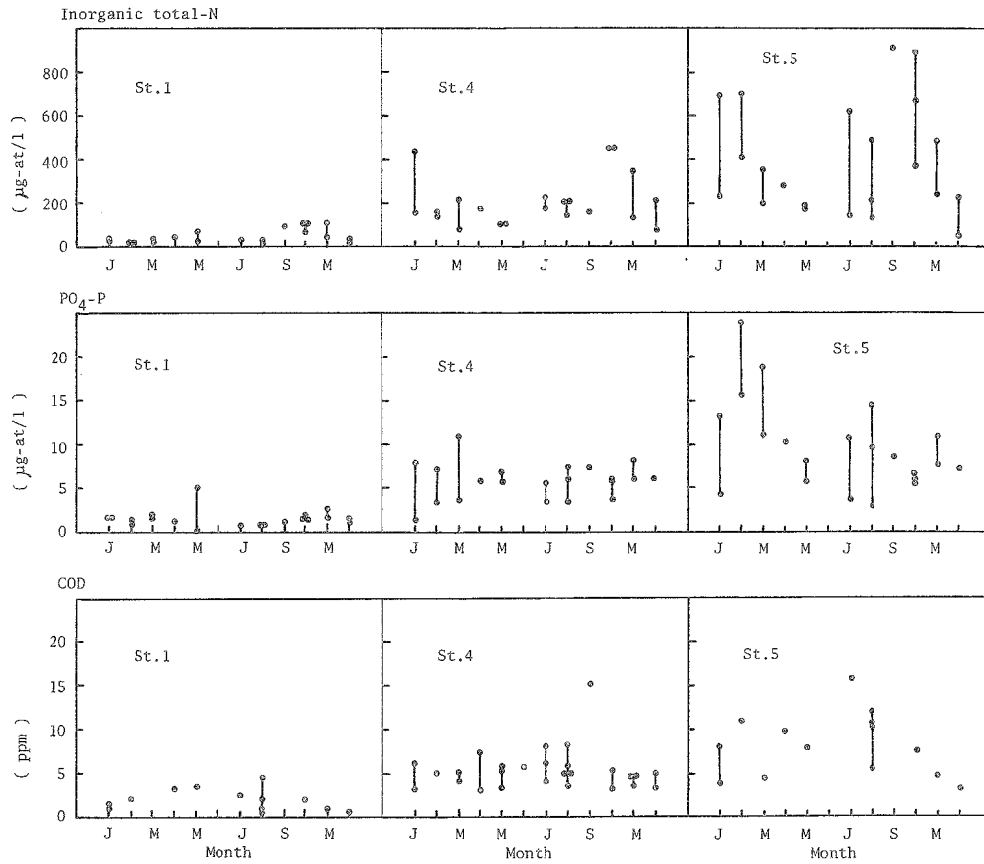


Fig. 2b. Seasonal changes of chemical characteristics of the water at three areas, the outer (St.1), the middle (St. 4) and the inner (St. 5) parts of the bay, from April 1974 to March 1979.

3.2 プランクトンの組成

採水法で定量採集された本湾のプランクトンの多くのものは、ナノプランクトンと珪藻類や鞭毛虫類などで占められるマイクロプランクトンであった。これらプランクトンの出現状況を採集地点別および月別に整理して第1表に示した。検出されたプランクトンは、海産種のみでなく、湾奥部水域では多量の淡水・汽水産種も出現した。そして、海産種の殆んどものは沿岸・内湾性種とされた種類であった。

1975年4月から'76年3月の間に、各採集地点に出現したプランクトンの種組成の類似の度合いを、親和係数⁸⁾を用いて第2表に示した。湾口部 St.1と湾奥部 St.5の親和係数は35.6%と小さく、両水域に出現したプランクトンの種組成はかなり異っていることを示唆した。

Table 1. Occurrence of nanno- and microplankton from April 1974 to March 1979

Species	Appearance frequency												Maximum occurrence (cells/ml)
	Station						Month						
	1	2	3	4	5'	5	JF	MA	MJ	JA	SO	ND	
Marine plankton													
<i>Skeletonema costatum</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	2.1×10 ⁵
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	+	+	+	+	+	+	++			+	+	++	1.4
<i>Leptocylindrus danicus</i>	+++	++	++	+	+	+	++	++	++	+	++	+++	2.5×10
<i>Guinardia flaccida</i>	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.2
<i>Thalassiosira</i> sp.	+	+	+	+	+	+				+			6.8×10 ³
<i>Thalassiosira</i> spp.*1	++	+	+	+	-	+	+++	++	+	+	++	+	6.0×10
<i>Coscinodiscus</i> spp.*2	+++	+++	++	++	++	++	+++	+++	++	++	++	+++	0.9
<i>Rhizosolenia alata</i> forma <i>indica</i>	+	+	+	+	-		+	+	+	+	+	+	0.1
<i>R. fragilissima</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	+	++	+	3.5
<i>R. imbricata</i>	++	+	+	+	+		+++	++	+		+	++	0.6
<i>R. setigera</i>	+++	++	+	+	+	+	++	+++	++	+	++	++	2.0
<i>R. stolterfothii</i>	++	++	+	+	+		++	+	+	+	+	++	2.0
<i>R.</i> sp.	++	+	+	+	+	+	++	+	+		+	+	3.0
<i>Chaetoceros</i> sp.	+	+	+	+	+	+			++	++			7.6×10 ³
<i>Chaetoceros</i> spp.*3	+++	+++	++	++	+	+	+++	++	++	++	+	++	1.5×10 ²
<i>Biddulphia sinensis</i>	++	+	+	+	+	+	++			+	+	++	0.6
<i>Ditylum brightwellii</i>	+	+					+				+	+	0.01
<i>Eucampia zoodiacus</i>	++	++	+	+	+	+	+++	++	+	+	+	++	3.8
<i>Asterionella japonica</i>	++	+	-	+	+	+	++						3.1×10
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	++	+	-	+		+	++			+	+	+	2.1
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	++	++	+	+	+	+	++			+	+	++	3.2
<i>Nitzschia seriata</i>	+++	+++	++	+++	+	+	+++	++	++	++	++	++	9.3
<i>Dictyocha fibula</i>	++	++		+			+	+		+	+	-	0.4
Cryptomonadidae	++	+++	+++	+++	+	++	++	+++	++	+	+++	++	5.8×10 ³
<i>Exuviella</i> sp.	-	+	+	+			+		++	+	+		2.0
<i>Prorocentrum micans</i>	++	+	+	+			+	+	+	+	++	++	1.5×10
<i>P. triestinum</i>	++	+	+						++	+		+	5.0
<i>Olisthodiscus</i> sp.	+	++	++	++	++	+			++	+	++	++	1.6×10 ⁴
<i>Dinophysis ovum</i>	++	+	+	+	+			+	++		+	+	1.5
<i>Gymnodinium nelsoni</i>	+	+									+	+	1.7
<i>G.</i> sp.	+	+	+	+	+	+					++	+	1.6×10 ³
<i>Oxytoxum diploconus</i>	+	+	+	+	+	+			++	+			1.0
<i>Noctiluca scintillans</i>	++	+	+						+	+		+	0.5
<i>Peridinium nipponicum</i>	++	++	+	+	+				+	++	+	+	0.2
<i>P. orbiculare</i> var. <i>temari</i>	+	+	+	+	+		++		++	++	+		2.9×10
<i>Ceratium furca</i>	+++	+	+	+				+	+	+	+	+	9.0
<i>Ceratium fusus</i>	+++	+					+	+	+	+	+	+	0.8
<i>Eutreptiella</i> spp.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+	+++	+++	1.6×10 ³
<i>Euglena</i> spp.	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	++	++	9.7×10 ²

Table 1. (cont'd)

Species	Appearance frequency												Maximum occurrence (cells/ml)	
	Station						Month							
	1	2	3	4	5'	5	JF	MA	MJ	JA	SO	ND		
<i>Chlamydomonas</i> spp.	+++	+++	+++	+++	+++	+++		+++	++	+++	+++	++		3.4×10^4
<i>Asteromonas</i> sp.	+	++	+	++	+	+			++	+		++		2.2×10^3
Unidentified flagellata		+	+	+			++							8.4×10
<i>Mesodinium rubrum</i>	+	+	+	+					+		+	+		2.2×10
<i>Tialina fusus</i>	+	+	+				+	+	+					1.3
<i>Cyclidium</i> sp.	++	++	+	++	++	++	+		+	++	++	++		2.0×10^2
<i>Strobilidium</i> spp.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	7.7×10
<i>Tintinopsis beroidea</i>	+++	+++	++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	++		3.6
<i>T. kofoidi</i>	+++	+++	++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	0.5
<i>Codonellopsis nipponica</i>	+	+	+	+	+	+		+	++	+				2.0
<i>Helicostomella</i> spp.	++	+	+	+	+		+	+	+	+	+			0.16
Unidentified ciliata	+	+	+	+	+	+	++				+	+++		4.1
Fresh- and brackish-water plankton														
<i>Melesira granulata</i>	+	+	++	+	++	++	++	++	+	+	+	+		2.1×10
<i>Cyclotella striata</i>	++	++	++	+++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	++		8.5×10^3
<i>C. striata</i> var. <i>subsalina</i>	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	3.9×10^5
Fresh- and brackish-water diatom	+	+	+	+	+	++	++	++	+	+	+	+		4.4×10
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i>		+	+	+	+	++	+	+	+	+	+			1.7
<i>Closterium aciculare</i> var. <i>subpronum</i>	+	+	+	+	+	++	+	++	+	+	+	+		0.5
<i>Scenedesmus</i> spp.	+	+	+	+	++	+++	++	+++	++	+	+	+		4.4×10
Blue-green algae	+	+	++	+	+	+				+++	++			8.0×10^5
<i>Oscillatoria</i> spp.	+	+	++	+	++	+++	+	++	++	+++	+++	+		6.8
<i>Zoothamnium</i> sp.		+	+	+	+	++	++	++				+		4.0
<i>Euplotes</i> spp.		+	+	+	+	++	+	+	+	++	+	+		4.4

Appearance frequency: +, 0—25%; ++, 25—50%; +++, 50—75%; +++, 75—100%.

*1 *Thalassiosira* spp. include *T. rotula* and *T. nordenskioldii*.

*2 *Coscinodiscus* spp. include *C. asteromphalus*, *C. gigas*, *C. granii*, *C. radiatus* and *C. walesii*.

*3 *Chaetocers* spp. include *C. affinis*, *C. compressus*, *C. curvisetus*, *C. decipiens*, *C. didymus* and *C. lorenzianus*.

Table 2. Mean phytoplankton coefficient of closeness between two stations in Dokai Bay from April 1975 to March 1976

Station	Station				
	1	2	3	4	5'
2	60.2				
3	47.7	62.6			
4	48.0	64.9	60.4		
5'	44.8	53.4	57.7	69.6	
5	35.6	43.3	48.1	50.1	59.4

$$\text{Coefficient of closeness} = \frac{C}{\sqrt{S_1 \times S_2}} \times 100$$

Where S, number of phytoplankton species in a given station ; C, number of common phytoplankton species between two different stations.

3.2.1 種類数と細胞数

本湾に出現した微小プランクトンで同定できたものは、珪藻類102種、緑藻類17種、藍藻類13種、鞭毛虫類40種そして繊毛虫類33種の計205種であった。植物プランクトンの種類数と細胞数の湾内3地点 (St. 1, 4, 5) にお

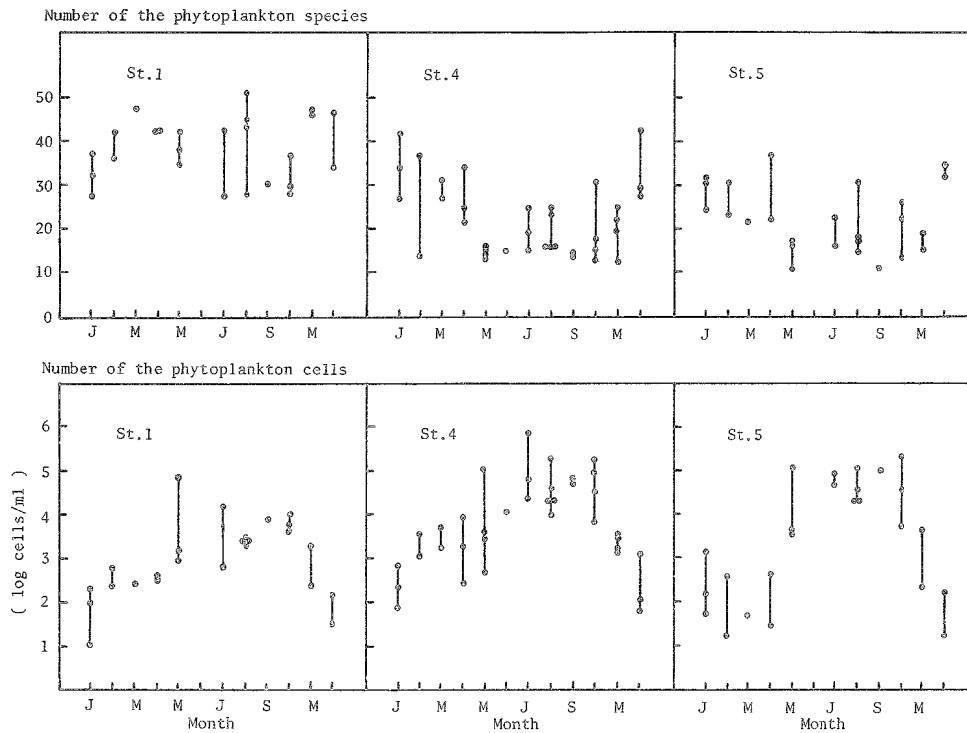


Fig. 3. Seasonal changes of number of phytoplankton species and number of phytoplankton cells at three areas, the outer (St. 1), the middle (St. 4) and the inner (St. 5) parts of the bay, from April 1974 to March 1979.

ける季節変化を第3図に、各採集地点間における種類数と細胞数の相違を第4図に示した。1地点1回の採集で検出された植物プランクトンの種類数は11~51種であり、湾口部の地点が中央部以奥の地点よりやや多い傾向が認められた。しかし、冬期の低水温期には海産種が湾奥部まで出現して、種類数は湾内各地点でほぼ同数となった。また、湾奥部水域に河川水の流入量が極めて多く淡水産種が増加した月などでは、湾奥部の方が中央部地点より種類数が豊富となることもあった。種類数の季節的変化については、湾口部 St.1では増減に明瞭な変化は認められなかった。湾中央部 St.4では低水温の冬期に多種類が出現し、高水温の夏期に減少する傾向が認められた。湾奥部 St.5では St.4の傾向に類似したが、それほど明瞭ではなかった。

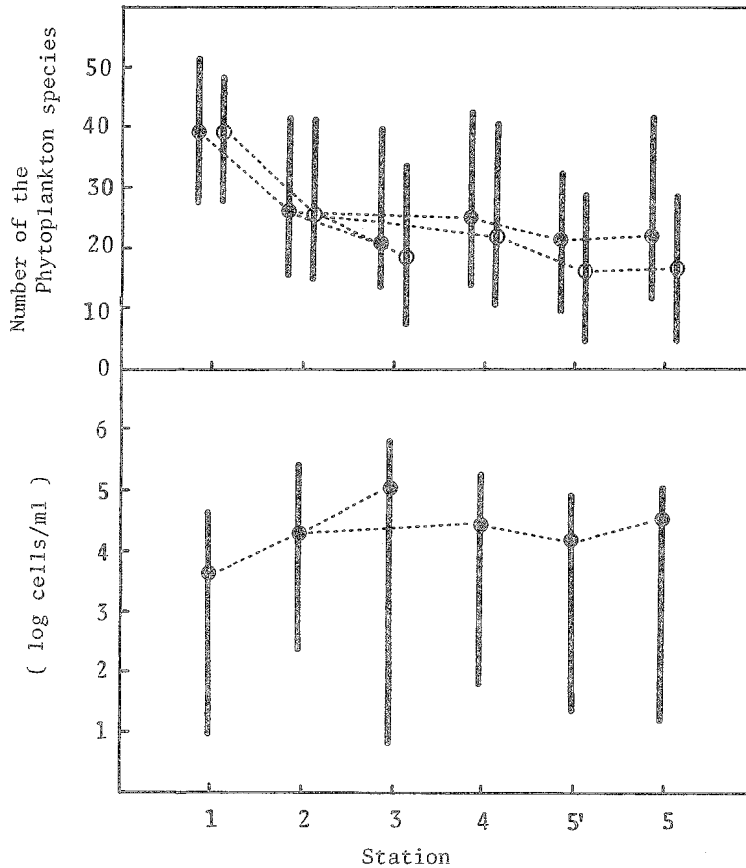


Fig. 4. Numbers of phytoplankton species and phytoplankton cells in each station from April 1974 to March 1979.
 — Range; solid circle, marine, brackish- and fresh-water phytoplankton; open circle, marine and brackish-water phytoplankton.

出現した植物プランクトンの総細胞数の年平均値は各採集地点で異なり $(4.9\sim 120) \times 10^3$ 細胞/ml であった。これらの数値は他の内湾⁹⁾で計数された細胞数と比較するとかなり高い分布密度であった。細胞数の多かった地点は、調査時毎に異なり一定しなかった。そして、栄養塩類の多い地点に特に細胞数が多くなるとい

う傾向は認められなかった。季節的に細胞数の多かったのは、春期5月から秋期10月に至る期間であった。とくに湾中央部 St. 4 における細胞数は種類数とは逆の季節変化を示し、種類数の少ない夏期に細胞数は極大となった。このように本湾での植物プランクトンの増殖パターンは夏期を中心とする一山型といえよう。

植物プランクトンの細胞数を増減させる要因として、栄養塩や水温および日射量などの季節変化の他に、動物プランクトンによる捕食作用も考えられる。湾奥部水域では、毎年1月から5月にわたって橈脚類の *Eurytemora thompsoni* が極めて多量に出現した。本種は口器を観察した結果、上顎の咀嚼部および第2下顎の形態から植物プランクトンを食するものと推定した。湾奥部水域の植物プランクトンは、この *Eurytemora* が優勢に出現する晩冬から春にわたって他水域と比較して極端に減少した。したがって、湾奥部水域ではこの *Eurytemora* など動物種の捕食が植物プランクトンの細胞数の減少に関与していたとも考えられる。また、冬期には珪質鞭毛虫類の *Ebria tripartita* が *Skeletonema costatum* に付着したのが観察された。そして、この付着によって *Skeletonema* の細胞内容物が消失さらには細胞の崩壊が認められた。このような *Ebria tripartita* の植物プランクトンへの付着は、Naragansett 湾¹⁰⁾や隅田川河口付近¹¹⁾などでも観察されている。しかし、*Ebria tripartita* の付着の有無にかかわらず毎年冬期には植物プランクトンの細胞数は減少していたことから、この *Ebria tripartita* の付着による影響度は低いものと考えられる。

3.2.2 赤潮生物

本湾において微小プランクトンが異状に増殖し細胞数が高密度になった場合は、海水は茶褐色または紫褐色に着色し、いわゆる赤潮現象を呈した。赤潮は5月以降水温が20°Cに上昇すると湾中央部から奥部水域にわたって発生し、秋期水温が20°C以下になると急速に消滅した。

本湾での赤潮発生状況を第5図に示した。約5年間にわたる調査の中で、赤潮を形成した種類は約10種に及んだ。これらのうち4年以上にわたって毎年赤潮を形成したものは、珪藻類の *Skeletonema costatum*, *Cyclotella striata* var. *subsalina* および未同定の藍藻類の一種とわずか3種に限定された。しかも、各調査地点で認められた赤潮現象の約78%はこれら3種によるものであった。とくに、*Skeletonema* 赤潮は発生回数の約43%を占めた。本種は7月から10月にわたって、湾中央から奥部水域で赤潮を形成することが多かった。汽水産の *Cyclotella striata* var. *subsalina* は5月と8月に八幡泊地 (St. 3) や湾中央および奥部水域などでそれぞれ赤潮を形成した。また、藍藻類の一種は毎年8月になると必ず八幡泊地 (St. 3) で異状増殖し、赤潮を形成した。この藍藻の細胞は2.5~7.5 μ と小さく、'75年8月11日の干潮時の赤潮では細胞数が約19×10⁵ 細胞/mlにも達する高密度となった。この高密度は、飯塚¹²⁾が調査した内湾域に増殖する珪藻類に比較するときわめて高い値であり、アメリカ沿岸の汽水域に発生する¹³⁾緑藻類の *Nannochloris* 赤潮や藍藻類の *Sticococcus* 赤潮などに匹敵したオーダーである。これらの他に赤潮を形成した種類では鞭毛虫類が多く、暗色鞭毛虫類の一種、*Olisthodiscus* 属、*Eutreptiella* 属、*Euglena* 属、*Chlamydomonas* 属そして *Asteromonas* 属などのそれぞれ各1~2種類の生物群であった。これらの生物群は単種で赤潮を形成することもあったが、*Skeletonema*, *Cyclotella* そして藍藻類の一種などの赤潮に多量混在することが多かった。また、赤潮には微小繊毛虫類の *Cyclidium* 属、*Strobilidium* 属および *Tintinnopsis* 属などが多量混在することもあった。

飯塚¹⁴⁾は、*Skeletonema costatum* および *Olisthodiscus* の両種は産業・都市排水によって汚濁された西日本の各内湾では定常的に発生する赤潮種であり、また、これら2種以外の生物によって赤潮が発生した場合には、その赤潮生物の特性によって赤潮発生水域の環境的性格を特徴づけることができると報告した。本湾においても *Skeletonema* および *Olisthodiscus* による赤潮が発生し、産業・都市排水によって汚濁されていることが認められた。また、*Cyclotella striata* var. *subsalina* および藍藻類の一種による赤潮発生については、日本の他の内湾では現在まで報告されていない。したがって、この二種の赤潮発生は本湾の水質環境を反映する特徴の一つとして取上げられてよいと思う。

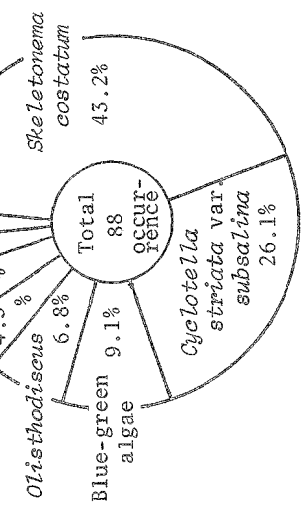
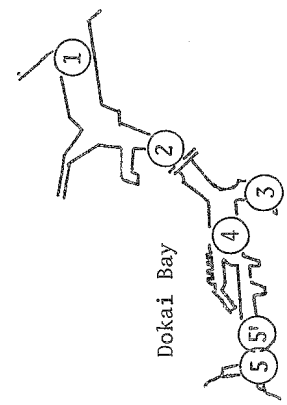
なお、珪藻類の *Rhizosolenia* 属、*Eucampia zoodiacus*, 鞭毛虫類の *Noctiluca scintillans*, *Dictyocha fibula*, *Prorocentrum micans*, *Dinophysis caudata*, *Dinophysis ovum*, *Gymnodinium nelsoni*, *Ceratium furca*,

St.1

Year	Month											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'75	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'76	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'77	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'78	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'79	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

St.2

Year	Month											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'75	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'76	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'77	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'78	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'79	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*



St.3

Year	Month											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'95	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'76	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'77	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'78	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'79	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

St.4

Year	Month											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'75	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'76	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'77	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'78	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'79	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

St.5

Year	Month											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1974	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'75	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'76	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'77	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'78	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
'79	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Fig. 5. Occurrence of the red tide organisms in Dokai Bay from April 1974 to March 1979.

- , *Skeletonema costatum* ; ○, *Cyclotella striata* var. *subsalina* ;
- ▲, Blue-green algae ; □, Criptomonadidae ;
- ◆, *Olisthodiscus* sp. ; ■, *Eutreptiella* spp. and *Euglena* spp. ;
- ▽, *Chlamydomonas* sp. ; △, *Asteromonas* sp.
- *, Not occurred.

Ceratium fusus および織毛虫類の *Mesodinium rubrum* などは、かつて日本の沿岸・内湾海域で赤潮を形成した¹¹⁾¹⁵⁾¹⁶⁾ことがあるが、これらの種類は本湾では湾口部水域を中心に少量出現したに過ぎなかった。

3.2.3 塩素量とプランクトンの分布特性

本湾では、沿岸・内湾性の多くの海産プランクトンが分布した。しかし、これらプランクトンのうち植物性種の分布状況は季節によって異なり、高水温の夏期には湾口部水域に多量出現したが、湾中央部から急激に減少して湾奥部水域には全く分布しなかった。そして、冬期低水温期には逆に湾内全域にわたって広く分布するという独特の分布特性を示した。このような植物プランクトンの分布特性には、湾内海水の塩素量が影響を与えている可能性が最も強いと思考して、次のような検討を行なった。

調査期間中の湾内各地点の塩素量の平均値は、湾口部 St. 1 から湾奥部地点 St. 5 の 6 地点でそれぞれ約 18, 17, 16, 16, 15 そして 14‰ であった。湾奥部の St. 5 の塩素量は、降雨量の多かった月には流入河川水の影響を受けて 4.7‰ まで減少したことがあった。また、湾奥部地点では塩素量の日変化の較差も平均 1.44‰、最大 4.47‰ と大きかった。一方、湾中央部の St. 4 では、周年 15‰ 以下に低下したことはなく、とくに異常濁水に襲われた '78 年の塩素量の平均値は 17.7‰ に増加していた。また、塩素量の日変化の較差は平均 0.33‰、最大 1.35‰ と小さかった。したがって、湾中央部水域は塩素量のみから診断すると、平均 16‰ の変動の少ない比較的安定した水域といえよう。

本湾の湾口部を中心に分布した海産プランクトン *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros lorenzianus*, *Nitzschia seriata*, *Ceratium furca* として *Ceratium fusus* 8 種について、これまで培養実験¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾によって得られた生育可能な塩素量の下限値を第 3 表に示した。下限値は 1.7~11.0‰ であり、この値を参考にすると、これら 8 種のプランクトンは湾奥部では生育が不可能となる種もあるが、少なくとも湾中央部水域では全種のものが生育が可能と思われる。しかし、オダム²⁰⁾によれば、自然界での環境要因に対する耐性範囲は室内培養実験での実験値より狭いと言われている。そこで、海洋におけるプランクトンの塩素量に対する適応状況を知るため、本州南岸海域に出現した珪藻類²¹⁾のうち、洞海湾にも出現した沿岸・内湾性の珪藻類 *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros affinis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Eucampia zoodiacus*, *Thalassionema nitzschioides* として *Nitzschia seriata* の 8 種について塩素量および水温に対する出現頻度を調べ第 4 表に示した。洞海湾では *Skeletonema* を除き 7 種のは塩素量が 18 から 15‰ に減少するにつれて出現

Table 3. Tolerable low values of salinity and chlorinity of neritic and littoral marine plankton

Species	Tolerable low value of salinity (‰)	Tolerable low value of chlorinity (‰)	Reference
<i>Skeletonema costatum</i>	3	1.7	} TAKANO, 1963
<i>Leptocylindrus danicus</i>	6	3.3	
<i>Skeletonema costatum</i>	4	2.2	} GUILLARD, 1963
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	16	8.9	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	9	5.0	
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	16	8.9	
<i>Nitzschia seriata</i>	20	11.0	
<i>Ceratium furca</i>	15	8.3	} BRAARUD, 1961
<i>Ceratium fusus</i>	15	8.3	

The values of salinity were converted into chlorinity by use of equation, Chlorinity = Salinity/1.80655.

頻度が漸次減少した。これに対し本州南岸域では、これら8種の珪藻類は逆に塩素量が18‰より15‰へ減少した水域の方が出現頻度が増加していた。したがって、通常の沿岸域では降雨その他陸水の流入などで塩素量が15‰程度まで減少しても、陸地起源の栄養塩などの補給と相まって、沿岸・内湾性のプランクトンの生育はむしろ良くなる傾向が認められる。また水温変化については、高温になるにしたがい出現頻度が減少する傾向の種類が多く認められるが、その程度は洞海湾の方が本州南岸よりも強い。

Table 4. Appearance frequency (%) of diatom for each division of chlorinity and water temperature in polluted (D, Dokai bay, 1974-1979) and unpolluted region (H, Osaka Bay, Kii Channel and the sea south of Honshu, 1953-1956). The data of unpolluted region are referred from UENO, 1958

Species		Chlorinity (‰)				Water temperature (°C)					Total
		15---16	17---18	18---19	19	5---10	10---15	15---20	20---25	25---30	
<i>Skeletonema costatum</i>	{ H	100	100	89	66	100	96	96	77	70	84
	{ D	95	93	95	100	100	97	97	93	100	97
<i>Leptocylindrus danicus</i>	{ H	89	85	74	74	88	69	75	60	69	72
	{ D	29	31	57	58	40	81	52	30	20	45
<i>Rhizosolenia setigera</i>	{ H	56	72	45	52	69	63	45	52	63	57
	{ D	24	29	52	74	80	78	48	23	20	46
<i>Chaetoceros affinis</i>	{ H	72	62	73	54	94	41	62	71	66	65
	{ D	10	6	25	34	7	49	7	10	10	19
<i>C. curvisetus</i>	{ H	67	69	69	43	44	76	69	57	56	61
	{ D	14	20	43	50	60	73	17	3	23	34
<i>Eucampia zoodiacus</i>	{ H	50	43	48	15	100	88	61	20	5	40
	{ D	14	18	41	53	60	81	21	13	3	33
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	{ H	44	64	81	54	88	73	70	79	61	71
	{ D	5	14	41	24	60	24	17	17	15	23
<i>Nitzschia seriata</i>	{ H	82	75	68	52	90	76	63	58	69	68
	{ D	24	31	59	53	60	68	62	3	33	44
Number of samples	{ H	18	58	208	119	32	49	104	86	132	403
	{ D	21	49	44	37	15	36	28	28	40	151

さらに'78年夏期8月の調査では、湾口部水域やこれにつづく響灘では *Skeletonema* の他に *Chaetoceros affinis*, *C. compressus*, *C. curvisetus*, *Thalassiothrix flauenfeldii* および *Nitzschia seriata* などの海産珪藻類が優勢に出現していた。この時期はたまたま湧水期で、湾中央部の St. 4 では塩素量は例年になく17.7%に増加していた。それでも *Skeletonema* を除き他の海産珪藻類は湾中央部以奥の水域では殆んど検出されなかった。

以上のように、*Skeletonema* 一種のみは洞海湾の水質に良く適応して増殖し湾奥部水域まで、しかも周年にわたって分布した。しかし、他の海産珪藻類は夏期の高水温期には湾中央部以奥水域の水質に適応できず分布しなかったものと思われる。したがって、本湾では植物プランクトンの増殖や分布を支配する水質要因として、塩素量の影響も皆無ではないが、むしろ水温や富栄養化した海水、さらには多量に溶存した銅、鉄などの重金属および諸化学物質そして赤潮生物の代謝物質の作用^{22,23)}などが考えられる。これらの要因が複合的に作用し相助現象となり、とくに高水温期には植物プランクトンの生育や分布に強く影響を与えているものと推論する。

4. 要 約

1974年4月から'79年3月に至る間、洞海湾において、採水法により定量採集した微小プランクトンの分布と水質環境との関係について、次のような知見を得た。

水質環境は水温7.4~30.3°C, 透明度0.5~4.5m, 塩素量4.7~19.0‰, 無機窒素化合物 15~916 $\mu\text{g-at/l}$, リン酸態リン 0.6~18.7 $\mu\text{g-at/l}$ および COD 0.6~15.8 ppm であった。これらのうち水温と透明度を除いた他の項目では明瞭な季節変化は認められなかった。そして高濃度の栄養塩類や銅 (最高値 28 $\mu\text{g/l}$), 鉄 (最高値 580 $\mu\text{g/l}$) などの重金属およびその他の諸化学物質を溶存した湾水は, 人為的な汚濁の強さを示唆し, 赤潮発生に可能な基盤を具備した水質環境といえるだろう。

微小プランクトンは205種類が同定でき, 種類数は低水温の冬期に多く, 高水温の夏期に減少した。細胞数は, 種類数とは逆に春期5月から秋期10月に多量となり, 本湾での植物プランクトンの増殖パターンは夏期に中心を置く一山型となった。

赤潮を形成したプランクトンは約10種に及んだ。これらのうち海産種の *Skeletonema costatum*, 汽水産種の *Cyclotella striata* var. *subsalina* および汽水産種の藍藻類一種の3種は, 毎年赤潮を形成しその規模も大きかった。

赤潮は毎年5月から, 主として湾中央部から湾奥部水域にわたって発生し, 秋期水温が20°C 以下になると急速に消滅した。

本湾では, 海産植物プランクトンの生育分布を支配する主要因として水温や塩素量の他に, 過度に汚濁された水質なども考えられた。しかし, *Skeletonema costatum* のみは湾水に適応し周年湾内全域にわたって多量に分布した。

文 献

- 1) 鶴田新生・山田真知子, 1978: 洞海湾における水質環境とプランクトンの性状—I, ネットプランクトンの分布。本報告, 27(1), 101~111.
- 2) 安達六郎, 1978: 赤潮生物のための固定液。日本水産学会春季大会講演要旨集, 237.
- 3) 安達六郎, 1973: 赤潮の規定。日本海洋学会秋季大会講演要旨集, 210.
- 4) 北九州市公害対策局, 1975・'76・'77: 北九州市の公害, 9, 148~149・10, 142~143・11, 144~146.
- 5) NIELSEN, E.S.・L.K.NIELSEN・S.W.ANDERSEN, 1969: The effect of deleterious concentration of Copper on the photosynthesis of *Chlorella pyrenoidosa*. *Physiol. Plant.*, 22, 1121~1133.
- 6) ANSONY, G.D., 1978: Pollution studies with marine plankton, part II, Heavy metals. *Adv. Mar. Biol.*, 15, 488~495.
- 7) 岩崎英雄, 1971: 赤潮鞭毛藻に関する研究—VI, 1970年, 備後灘に出現した *Eutreptiella* sp. と *Exuviella* sp. について。日本海洋学会誌, 27(4), 152~157.
- 8) OTSUKA, Y., 1936: The faunal character of the Japanese Pleistocene marine Mollusca, as evidens of climate having become colder during the Pleistocene in Japan. *Biogeograph. Soc. Japan*, 6, 165~170.
- 9) SMAYDA, T.J., 1957: Phytoplankton studies in lower Narragansett Bay. *Limnol. Oceanogr.*, 2, 342~259.
- 10) SMAYDA, T.J., 1973: The growth of *Skeletonema costatum* during winter spring bloom in Narragansett Bay, Rhode Island. *Norw. J. Bot.*, 20 (213), 219~247.
- 11) 高野秀昭・鳥海三郎, 1979: 赤潮生物シート。赤潮研究会分類班, 1~30, 水産庁。
- 12) 飯塚昭二, 1963: 植物プランクトン最高出現細胞数に関するアンケートのとりまとめ。日本プランクトン学会連絡会報, 9, 5~9.
- 13) RAYTHER, J.H., 1954: The ecology of phytoplankton bloom in Morish Bay and Great South Bay, Long Island, New York. *Biol. Bull.*, 106, 198~209.

- 14) 飯塚昭二, 1973: 赤潮の生物相。水産土木, 19 (1), 19~29.
- 15) 安達六郎, 1972: 赤潮生物の分類学的研究。三重大学水産学部紀要, 9 (1), 9~145.
- 16) 羽田良禾, 1972: 広島県沿岸水域の赤潮プランクトン(鞭毛虫類について)。28頁, 広島県水産試験場(プリント版)。
- 17) TAKANO, H., 1963: Diatom culture in artificial sea water-I, Experiments on five pelagic species. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 37, 17~25.
- 18) GUILLARD, D. L., 1963: Organic sources of nitrogen for marine centric diatom. In symposium on *Marine Microbiology*, Ed. C. H. Oppenheimer, C. C. Thomas, 93~104, Springfield, Illinois.
- 19) BRAARUD, T., 1961: Cultivation of marine organisms as a means of understanding environmental influences on populations. In *Oceanography*, Ed. M. Sears, 271~298, American Association for the Advancement of Science, Washington D. C.
- 20) オダム, E. P. 1975: 生態学の基礎。144, 培風館, 東京。
- 21) 上野福三, 1958: 本州南岸付近の珪藻量と海況との関係, 主として重要種の水温および塩素量に対する一般的特性について。海と空, 34 (4), 92~112.
- 22) HERBERT, C. Jr. & G. C. McLEOD, 1961: The physiological ecology of a marine diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *J. Mar. Res.* 19 (2), 70~88.
- 23) 岩崎英雄, 1978: 海洋環境における植物・動物プランクトンの生理学的生物過程の研究。文部省特定研究(1), 海洋環境保全の基礎的研究, 海洋環境における生物過程の基礎的研究(課題番号210521), 20~23.