
Tome 11

Mai

1973

Numéro 2

う み

La mer

昭和 48 年 5 月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise
d'océanographie
Tokyo, Japon

日 仏 海 洋 学 会

編 集 委 員 会

委員長 今村 豊 (東京水産大学)
委員 星野通平 (東海大学) 井上 実 (東京水産大学) 川原田 裕 (気象庁) 森田良美 (東京水産大学) 永田 正 (東京水産大学) 西村 実 (東海大学) 大柴五八郎 (昭和薬科大学) 杉浦吉雄 (気象研究所) 高木和徳 (東京水産大学) 高野健三 (理化学研究所) 富永政英 (台湾大学) 宇野 寛 (東京水産大学) 渡辺精一

投 稿 規 程

1. 報文の投稿者は原則として本会会員に限る。
2. 原稿は簡潔にわかりやすく書き、図表を含めて印刷ページで12ページ以内を原則とする。原稿は、東京都千代田区神田駿河台2-3 日仏会館内 日仏海洋学会編集委員会宛に送ること。
3. 編集委員会は、事情により原稿の字句の加除訂正を行なうことがある。
4. 論文(欧文, 和文とも)には必ず約200語の英文(または仏文)のAbstract (Résumé)をつけること。欧文論文には英文(または仏文)のAbstract (Résumé)のほかにも必ず約500字の和文の要旨をつけること。
5. 図および表は必要なもののみに限る。図はそのまま版下になるように縮尺を考慮して鮮明に黒インクで書き、論文の図および表には必ず英文(または仏文)の説明をつけること。
6. 初校は原則として著者が行なう。
7. 報文には1編につき50部の別刷を無料で著者に進呈する。これ以上の部数に対しては、実費(送料を含む)を徴収する。

Rédacteur en chef Yutaka IMAMURA (Tokyo University of Fisheries)
Comité de rédaction Michihei HOSHINO (Tokai University) Makoto INOUE (Tokyo University of Fisheries) Yutaka KAWARADA (Meteorological Agency) Yoshimi MORITA (Tokyo University of Fisheries) Tadashi NAGATA (Tokyo University of Fisheries) Minoru NISHIMURA (Tokai University) Gohachiro OSHIBA (Showa College of Pharmaceutical Sciences) Yoshio SUGIURA (Meteorological Research Institute) Kazunori TAKAGI (Tokyo University of Fisheries) Kenzo TAKANO (Institute of Physical and Chemical Research) Masahide TOMINAGA (Taiwan University) Yutaka UNO (Tokyo University of Fisheries) Seiichi WATANABE

RECOMMANDATIONS A L'USAGE DES AUTEURS

1. Les auteurs doivent être, en principe, des Membres de la Société franco-japonaise d'océanographie. Néanmoins, les notes des savants étrangers à la Société seront acceptées, si elles sont présentées par un Membre.
2. Les notes ne peuvent dépasser douze pages. Les manuscrits, dactylographiés sur papier fort, doivent être envoyés au Comité de rédaction de la Société franco-japonaise d'océanographie, c/o Maison franco-japonaise, 2-3 Kanda, Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo.
3. Le Comité de rédaction se réserve le droit d'apporter, le cas échéant, des modifications mineuses aux manuscrits ainsi que de demander aux auteurs de les corriger.
4. Des résumés en langue japonaise ou langue française sont obligatoires.
5. Les figures au trait seront tracées à l'encre de Chine noire sur papier blanc ou sur calque. Les légendes des figures et des tableaux sont indispensables.
6. Les premières épreuves seront corrigées, en principe, par les auteurs.
7. Un tirage à part des articles en cinquante exemplaires est offert gratuitement aux auteurs. Ceux qui en désirent un plus grand nombre peuvent les faire établir à leurs frais.

海洋水中での炭酸暗固定とその生態的意義*

高橋正征**† 市村俊英**

Dark Fixation of CO₂ and its Ecological Meaning in the Ocean

Masayuki TAKAHASHI and Shun-ei ICHIMURA

Abstract: The ecological importance of dark CO₂ fixation was discussed on two points; (1) an actual activity of dark CO₂ fixation and (2) an indicator for heterotrophic activity. Actual dark CO₂ fixation was measured in oceanic waters near Japan. Values measured at 25°C were on the average 0.45 mg C/m³/day in surface waters (0 to 50 m) and 0.32 mg C/m³/day in deep waters (50 to 1,500 m). By adjusting the average value for deep samples with the *in situ* temperature and pressure, for example at 1,000 m, a value of 0.04 mg C/m³/day was obtained for the *in situ* dark fixation of CO₂. A value of 120 mg C/m²/day was given as an estimate for the total dark fixation of CO₂ in a water column in the study area. The profiles of dark CO₂ fixation were very close to glucose uptake's. These results suggested that the dark fixation could give some idea on the heterotrophic activity of microorganisms as well.

1. はしがき

海洋では、CO₂は光合成および非光合成両代謝系を通して固定される。このうち、光合成によるCO₂固定は、海洋の表層内で行なわれ、従来、基礎生産として注目されてきた。これに対し、暗固定は、光合成に比べCO₂のとりこみ方がかなり複雑なこと、固定活性が光合成の数%であることなどの理由から、ごく最近まで余り顧みられなかった。ところが近年、湖沼や内湾、あるいは熱帯海洋の湧昇水域等でしばしば高いCO₂暗固定が測定され (SEKI, 1968; TAKAHASHI, YAMAGUCHI and ICHIMURA, 1970; SOROKIN, 1970), その重要性が注目されるようになってきた。

CO₂の暗固定は、すべての微生物にみられる

が、なかでも化学合成バクテリアは、CO₂の暗固定への依存度がほぼ100%に近い。その他の従属栄養バクテリアでは、生長に必要な有機物の5%前後をCO₂の暗固定に負っているとされている。(ROMANENKO, 1963, 1964)。また外洋水中ではCO₂の暗固定は、化学合成ではなく従属栄養過程を通じて行なわれていることが、SOROKIN (1971)によって示唆された。従って、CO₂の暗固定は、従属栄養活性を知る手がかりとなる可能性がある。

一方、CO₂の暗固定は一般に二次的有機物生産とみなされているが、栄養段階からみると、一次生産物に近い性質をもっていると考えられる (SOROKIN and PAVELJEVA, 1972)。このような観点からCO₂の暗固定は、その栄養価値の上から最も最近かなり重要視されるようになった。

この研究では、殆んど報告のない温帯海洋水中でのCO₂の暗固定と、それがどの程度従属栄養過程を反映しているかを溶存有機物の吸収との比較から検討した。

* 1973年3月31日受理

** 東京教育大学植物学教室 Department of Botany, Tokyo Kyoiku University, Otsuka, Tokyo

† Present address: Institute of Oceanography, The University of British Columbia, Vancouver 8, B.C. Canada

2. 実験方法

実験は、凌風丸による尾鷲沖黒潮横断観測 (67-70) と三陸沖観測 (70-07) の際に行なった。滅菌耐圧びんをつけた採水器で無菌的に採水したが、後者の観測時には、あらかじめエタノールで十分内外を洗ったプラスチック製の 5 l Van Dorn 採水器を用いた。試水は採水後直ちにアルミホイルで覆った 100 ml の滅菌ガラスびんに分注し、これに $10 \mu\text{Ci/ml}$ の $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 液 1 ml を添加し、2~3 回振とう後、常時海水が循環している恒温水槽中で 6 時間培養した。培養終了と同時に、中性ホルマリンで試料を固定した。ついで HA Millipore フィルターで固定試料を濾過し、稀塩酸と海水で各 2 回ずつ洗った後、バイアルに保存した。

放射活性は、液体シンチレーション計数機で測定した。実験では、各試料ごとに培養開始時にホルマリンで固定した試料を作ってコントロールとし、培養した試料の放射活性からコントロールの放射活性を差し引き CO_2 の暗固定を求めた。

3. 結果

観測を行なった 2 水域のうち、東経 136 度 30 分に沿った 3 測点は、黒潮主流の横断線上に位置していた。5 m 以浅の表水層は、3 測点ともほぼ等温で、それ以深 200 m 間に温度差 10°C 以上の水温躍層が認められた。一方、東経 144 度から 146 度沿った測点は、南の方からそれぞれ黒潮 (北緯 34 度 57 分)、黒潮、親潮混合 (北緯 39 度 2 分) 及び親潮 (北緯 41 度 0 分) に隣接した水域である。とくに北緯 41 度 0 分では、暖水塊が寒流の上に重畳しているのが特徴的であった。後者の 3 測点では、ともに表水層は 0~20 m と極めて薄く、水温躍層も北緯 41 度 0 分での温度差 15°C を除けば、ほぼ 5°C 程度であった。

Table 1 は、各測点で測定された CO_2 の日暗固定量である。その値は、 $0.04\text{--}1.21 \text{ mg C/m}^3/\text{day}$ で、かなりの変化を示した。50 m 以浅では暗固定量の変動幅がかなり大きく、平均値は $0.45 \text{ mg C/m}^3/\text{day}$ であった。50 m 以深では、比較的変動幅は小さく、平均は $0.32 \text{ mg C/m}^3/\text{day}$ と低い。

Table 1. Dark fixation of CO_2 ($\text{mg C/m}^3/\text{day}$) in ocean waters.

Location	136°30'E 21°30'N	136°30'E 33°05'N	136°30'E 32°30'N	144°00'E 34°57'N	144°02'E 39°02'N	145°47'E 41°00'N
Experimental temperature ($^\circ\text{C}$)	27	26	26	25	22	21
Date	Oct. 21/67	Oct. 30/67	Oct. 15/67	Jul. 18/70	Jul. 19/70	Jul. 25/70
Depth (m)						
0	0.59	—	0.33	0.88	0.90	0.43
10	—	0.21	0.39	0.51	0.75	0.43
20	—	0.07	0.25	—	—	—
30	0.26	0.20	0.52	0.45	0.60	0.69
40	0.34	—	—	—	—	—
50	—	—	0.36	0.48	0.41	0.22
75	0.12	—	0.35	0.52	0.28	0.22
100	—	0.27	—	0.41	0.28	0.16
125	—	—	—	0.39	0.29	0.22
150	0.04	—	0.12	0.20	0.27	0.23
200	—	0.30	—	—	—	—
300	—	—	—	0.28	0.40	0.25
500	—	—	—	0.22	1.21	0.27
700	—	—	—	0.37	0.40	0.38
1000	—	—	—	0.36	0.53	0.36
1500	—	—	—	0.19	0.18	0.38

— Data were not available.

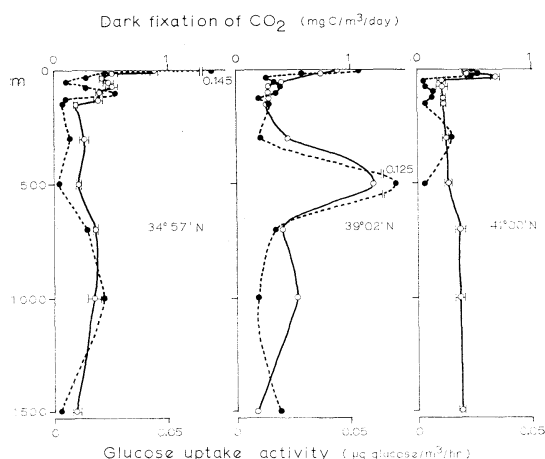


Fig. 1. Vertical profiles of dark CO₂ fixation (solid) and glucose uptake activity (dotted) at three different stations along 144°E or 146°E. Curves of glucose uptake activity were adopted from TAKAHASHI and ICHIMURA (1971).

東経 144 度から 146 度の 3 測点の結果を考察すれば Table 1 (右半分) および Fig. 1 (実線) に示すように、ごく表層近くで 0.7-0.9 mg C/m³/day という高い CO₂ 暗固定が測定され、それ以深では急激に減少し、50 m では 0.2-0.5 mg C/m³/day になる。これ以深では、いったん低下した暗固定が再び増加する。

とくに北緯 39 度 2 分の水深 500 m で、1.21 mg C/m³/day という高い値が得られたのは注目に値する。

グルコース吸収は一応微生物の従属栄養活性の相対的な大きさを示すものとし、CO₂ の暗固定の垂直変化と比較すると、必ずしも完全な一致は見られなかったが、かなりよく似た傾向を示した。この結果から、CO₂ の暗固定が従属栄養活性の指標にある程度使えるという説に、若干の支持が得られる。

Table 1 の資料から、海洋の現場水中での CO₂ 暗固定量、さらに従属栄養活性を推測する場合、実験が常圧、表層水温条件下で実施されたということが問題になる。この両因子については、深度が深くなると圧力は高くなり、水温は低くなるということが知られている。これらの変化はともに、微生物活性を低下させる働きのあることも周知の事実

である。今、CO₂ の暗固定をふつうの化学反応と同様 Q₁₀=2 と考えると、水温 25°C での速度は 15°C、5°C でそれぞれ 1/2、1/4 に低下する。一方、水圧については、ほぼ 100 気圧加わることに、微生物活性は 1/2 程度に低下することが知られている。仮に水深 1,000 m の試水について、25°C、常圧下で 0.3 mg C/m³/day の CO₂ の暗固定が測定されたとすれば、現場 (100 気圧、約 5°C) での活性は $0.3 \times 1/4 \times 1/2 = 0.04$ (mg C/m³/day) が推定される。Table 1 の資料をもとに、水柱を 4,000 m と仮定し、その全水柱内の CO₂ の暗固定を、水温、水圧を補正して求めると、120 mg C/m²/day になる。

4. 考察

温帯の外洋水中の CO₂ の暗固定として、表層水中で 0.1-0.5 mg C/m³/day、深層水中では 0.01-0.1 mg C/m³/day の値が推定された。これは、湖沼 (TAKAHASHI *et al.*, 1970) や内湾 (SEKI, 1968) の 0.05-100 mg C/m³/day と比べると、その最低値に近い。温度補正のみ行なって得た深層での CO₂ の暗固定、0.05 mg C/m³/day は、SEKI and ZOBELL (1967) の日本海溝の底層に近い 1,000 m からの試水中の暗固定 0.22-0.32 mg C/m³/day より若干小さい。

湖沼や内湾では、還元物質が大量に水中に供給された結果、化学合成バクテリアが増殖し、CO₂ の暗固定が著しく高くなる例がみられるが、外洋では還元物質の大量生成は起らないので、化学合成バクテリアによる著しい暗固定は見られない。

単位容量の海水での CO₂ 暗固定速度は、外洋水では湖沼や内湾に比べてはるかに小さいが、海洋の平均水深は 3,800 m と極めて深いので、全水柱を考えると CO₂ の暗固定は相当大きな値になる。SOROKIN (1971) は、熱帯太平洋の 3,000 m までの各深度からの試水を常圧、現場水温で 1~3 日間暗所で培養し、1,300 mg C/m²/day を測定した。これは、前に述べた方法で圧力補正しても数百 mg C/m²/day になる。今回の研究で得た値は、ほぼ 120 mg C/m²/day 程度である。

外洋水中の CO₂ 暗固定は SOROKIN (1971) の指

摘するように大部分従属栄養微生物によるものと、さらにその生長に必要な有機物の5%がCO₂の暗固定に負っている (ROMANENKO, 1963, 1964) とすれば、今回の実験で得た暗固定 120 mg C/m²/day の20倍、すなわち 2,400 mg C/m²/day の有機物量が、従属栄養微生物の生体をつくるために必要になる。SOROKIN (1971) の熱帯太平洋での測定値をもとにすれば、必要有機物量はさらに著しく高いものになる。海洋水中では、有機栄養微生物ばかりでなく、動物プランクトンをはじめ、各種の動物も光合成による有機物に依存するので、仮に同一有機物が別の生物によって再度利用されることを考慮しても、必要有機物量はかなり大きなものになる。ここでは二、三の変換係数を用いているが、それらは必ずしも十分に究明されているとは限らないので、この問題に関してはさらに詳細な研究が必要である。

文 献

- ROMANENKO, V. I. (1963): Potential activity of aquatic microflora for heterotrophic assimilation of carbon dioxide and for chemosynthesis. *Mikrobiologiya* (Translated into English from Russian), **32**, 569-574.
- ROMANENKO, V. I. (1964): Heterotrophic assimilation of CO₂ by bacterial flora of water. *Mikrobiologiya*, **33**, 679-683 (Russian).
- SEKI, H. and C. E. ZOBELL (1967): Microbial assimilation of carbon dioxide in the Japan Trench. *J. Oceanog. Soc. Japan*, **23**, 182-188.
- SEKI, H. (1968): Relation between production and mineralization of organic matter in Aburatsubo Inlet, Japan. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **25**, 625-637.
- SOROKIN, Yu. I. (1970): Quantitative evaluation of the role of bacterioplankton in circulation of organic matter in tropical ocean waters. *Dokl. Akad. Nauk SSSR* (Translated into English from Russian), **193**, 454-456.
- SOROKIN, Yu. I. (1971): On the role of bacteria in the productivity of tropical oceanic waters. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, **56**, 1-48.
- SOROKIN, Yu. I. and E. B. PAVELJEVA (1972): On the quantitative characteristics of the pelagic ecosystem of Lake Dalnee (Kamchatka). *In Biological Oceanography of the Northern Pacific Ocean.* (ed.) A. Y. TAKENOUTI *et al.* Idemitsu Shoten, Tokyo, pp. 621-626.
- STRICKLAND, J. D. H. (1971): Microbial activity in aquatic environments. *In Symposia of the society for general microbiology*, Number XXI. Microbes and Biological Productivity, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 231-253.
- TAKAHASHI, M., Y. YAMAGUCHI and S. ICHIMURA (1970): Dark fixation of CO₂ in the lake with special reference to organic matter production. *Bot. Mag., Tokyo*, **83**, 397-410.
- TAKAHASHI, M. and S. ICHIMURA (1971): Glucose uptake in ocean profiles with special reference to temperature. *Mar. Biol.*, **11**, 206-213.

Carbonate and Clay Minerals in the Sediments of Nago Bay, Okinawa Prefecture, Japan*

Saburo AOKI**

Abstract: Seven sediment samples taken from Nago Bay of Okinawa Prefecture facing the East China Sea have shown the presence of aragonite, low-Mg calcite, and high-Mg calcite as carbonate minerals and illite, kaolinite, Al-vermiculite and chlorite as clay minerals.

The contents of aragonite, low-Mg calcite, and high-Mg calcite are related to both the water depth and the distance from the land. Low-Mg calcite content increases with increasing of the water depth and the distance from the land, while aragonite and MgCO₃ content in high-Mg calcite exhibit opposite trend. These facts appear to suggest the diagenetic change of aragonite and/or high-Mg calcite to low-Mg calcite in marine environments.

Relatively high concentrations of illite, kaolinite and the presence of Al-vermiculite in the sediment samples agree with the clay mineral assemblage of the reddish weathering products and the brown clay embedded in the Kunigami gravel bed distributed in the hinterland. Kaolinite tends to decrease seaward, while other clay minerals tend to show opposite trend.

1. Introduction

Okinawa Island is one of the most suitable areas for the study of carbonate mineral in Japan. Study of carbonate mineral of Okinawa Island has been advanced progressively in recent years.

However, no available data have been reported from sediments of the surrounding sea of Okinawa Island.

M/V Seiyō-Marū of Tokyo University of Fisheries surveyed Nago Bay of Okinawa Prefecture facing the East China Sea during the period of August 30 to September 3, 1972 and collected eleven sediment samples using the SK type dredge.

Generally speaking, a small bay such as Nago Bay that has not sedimentologically complicating factors may give us an excellent opportunity for mineralogical study, with special reference to the distribution of minerals.

The purpose of this short paper is to present an analytical result of the sediment samples

by means of X-ray diffraction.

2. Material and methods

Of the eleven sediment samples, only seven were utilized for present study. Index map showing the area studied and sampling stations are shown in Figs. 1 and 2, and data for them are given in Table 1.

Raw materials were dispersed in distilled water, and the under 2 micron size fraction was collected by the sedimentation techniques. The fraction finer than 2 micron was used in this study.

The determinations of carbonate mineral composition and of MgCO₃ content in high-Mg calcite were performed by X-ray diffraction method (CHAVE, 1952; DAVIES and HOOPER,

Table 1. Data for sampling stations.

Station No.	N. Latitude	E. Longitude	Depth (m)	Sediments
St. 10	26°38.2'	127°47.6'	210	sandy mud
St. 11	26°34.1'	127°40.1'	410	mud
St. 13	26°33.9'	127°40.0'	360	sandy mud
St. 15	26°33.2'	127°52.5'	260	sandy mud
St. 16	26°33.8'	127°56.1'	72	sandy mud
St. 17	26°33.8'	127°57.8'	54	sandy mud
St. 19	26°28.2'	127°47.2'	225	sandy mud

* Received April 10, 1973

** Geological and Mineralogical Institute, Faculty of Science, Tokyo Kyoiku University, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112 Japan

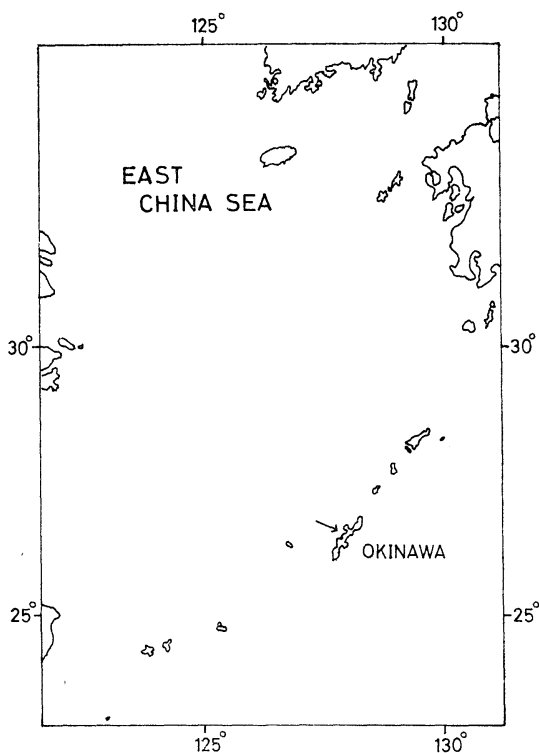


Fig. 1. Index map showing the area studied.

1963). Clay mineral composition was estimated by measuring the intensities of X-ray diffraction due to each clay mineral (SUDO *et al.*, 1961; OINUMA, 1968). The amount of clay mineral or carbonate mineral is expressed as percentage for the total composition, respectively.

3. Results and discussions

The results obtained have shown the presence of the following minerals: aragonite, low-Mg calcite, and high-Mg calcite as carbonate mineral and illite, kaolinite, Al-vermiculite and chlorite as clay mineral.

Identification of minerals

Representative X-ray diffractograms are shown in Figs. 3 and 4. In the X-ray diffractograms, the presence of illite is shown by 10.2 Å (8.6°2θ) peak, which remains at the same position after treatments with ethylene glycol and hydrochloric acid. The presence of kaolinite is shown by 7.2 Å (12.2°2θ) peak after treatment with hydrochloric acid. The presence of Al-vermiculite is suggested by a peak at 14 Å (6.2°2θ)

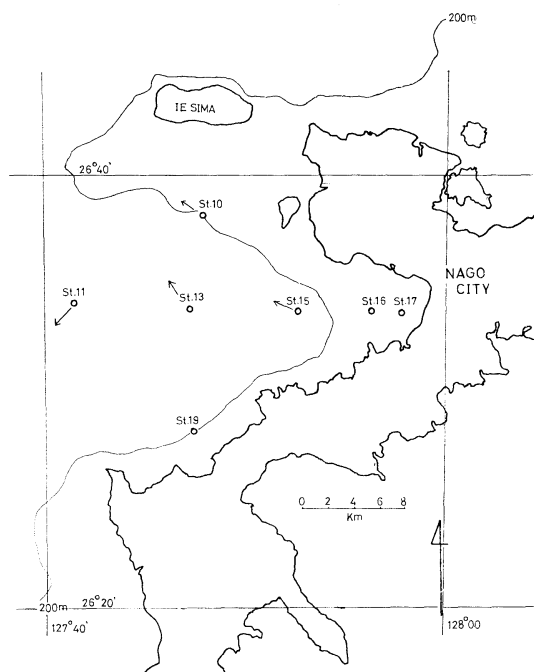


Fig. 2. Sampling stations and the direction of surface current observed on September 3, 1972.

after treatments with sodium citrate, calcium chloride, and ethylene glycol (TAMURA, 1958). The presence of chlorite is suggested by 14 Å (6.2°2θ) peak which appears after heating at 600°C.

The presence of aragonite, low-Mg calcite and high-Mg calcite is confirmed by 3.40 Å (26.2°2θ), 3.03 Å (29.4°2θ) and 3.00 Å (29.7°2θ) peaks, respectively (CHAVE, 1952 and 1954). These peaks disappeared after treatment with hydrochloric acid.

Mineral composition of each station

A. Carbonate mineral

Most sedimentary carbonates are derived from the skeletoned parts of calcareous marine organisms, and these skeletons are composed of low-Mg calcite, aragonite and high-Mg calcite (CHAVE, 1952; LOWENSTAM, 1954).

The carbonate minerals in the sediments of Nago Bay are represented by the presence of low-Mg calcite, high-Mg calcite and aragonite. The contents of aragonite, low-Mg calcite and high-Mg calcite are related to both the water depth and the distance from the land (Fig. 5). Carbonate mineral composition of each station

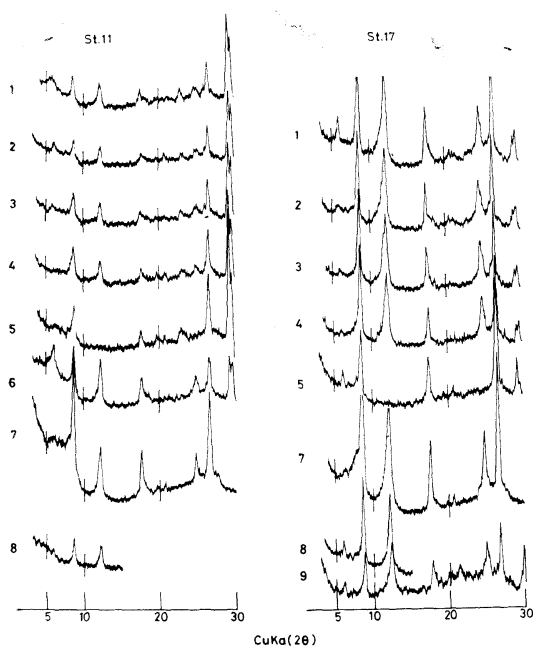


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of samples Sts. 11 and 17. 1. untreated. 2. heated at 150°C. 3. heated at 300°C. 4. heated at 450°C. 5. heated at 600°C. 6. treated with ammonium nitrate. 7. treated with hydrochloric acid. 8. treated with ethylene glycol. 9. treated with sodium citrate, calcium chloride and ethylene glycol.

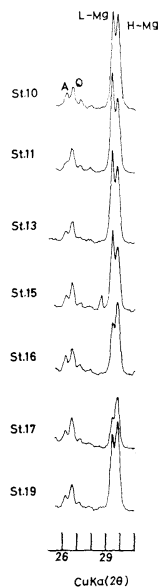


Fig. 4. X-ray diffraction patterns in the region of 26° to 31° 2θ of each sample.

A: aragonite Q: quartz L-Mg: low-Mg calcite H-Mg: high-Mg calcite

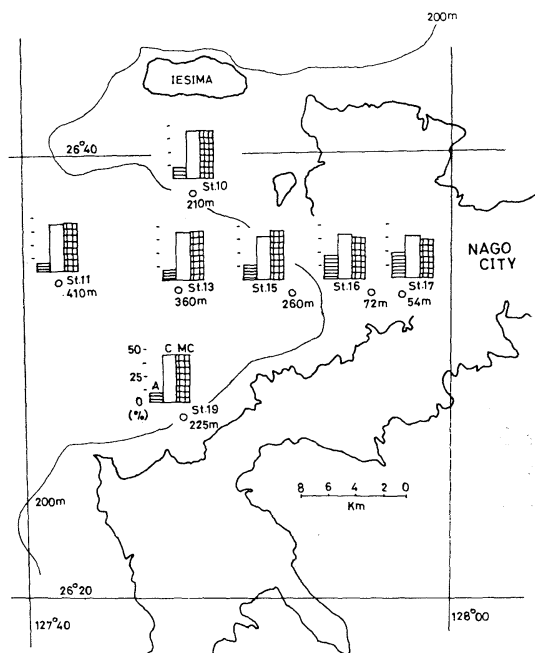


Fig. 5. Distribution diagram of carbonate minerals (<2 μ).

A: aragonite C: low-Mg calcite
MC: high-Mg calcite

Table 2. Percentage of carbonate mineral composition and MgCO₃ content in high-Mg calcite (<2 μ).

	Aragonite	Low-Mg calcite	High-Mg calcite	MgCO ₃
St. 10	12	44	44	13
St. 11	8.4	45	46.6	12
St. 13	9.9	44.5	45.6	11
St. 15	13.3	41.4	45.3	13
St. 16	18.7	42.7	38.6	14
St. 17	23.1	41.8	35.1	14
St. 19	10.7	44.8	44.5	13

Table 3. Peak area ratio of each carbonate mineral (<2 μ).

St. No.	L/A	H/A	A/L	A/H	H/L	L/H
St. 10	8.8	10.2	0.11	0.10	1.2	0.87
St. 11	12.3	13.6	0.08	0.07	1.1	0.90
St. 13	10.5	12.3	0.10	0.08	1.2	0.85
St. 15	6.6	7.9	0.15	0.13	1.2	0.84
St. 16	3.8	6.5	0.26	0.15	1.7	0.59
St. 17	3.2	5.6	0.31	0.18	1.8	0.57
St. 19	9.5	12.3	0.11	0.08	1.3	0.76

L: low-Mg calcite H: high-Mg calcite
A: aragonite

is given in Table 2. Low-Mg and high-Mg calcite contents tend to increase with increasing of the water depth and the distance from the land, while aragonite and $MgCO_3$ content in high-Mg calcite exhibit opposite trend. The ratio of low-Mg calcite content relative to high-Mg calcite tends to increase seaward. The peak area ratio of each carbonate mineral is given in Table 3. What do these results mean? Are they explained by a diagenetic change of aragonite and/or high-Mg calcite to low-Mg calcite in marine environments? Magnesium carbonate in skeletal calcites is present as a solid solution between calcite and dolomite or magnesite and magnesian calcite and aragonite are unstable, relative to calcite, at low temperature and pressure (CHAVE *et al.*, 1962; KITANO and KANAMORI, 1966).

It is expected that the low-Mg calcite content increases relative to aragonite and high-Mg calcite by diagenetic changes (STEHLI and HOWER, 1961; CHAVE *et al.*, 1962) and also that the fineset fractions would be most affected in this respect (PILKEY and NOBLE, 1966). The

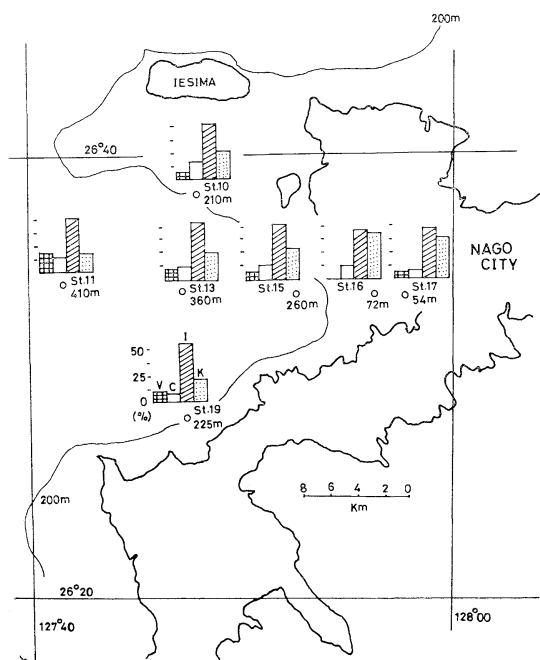


Fig. 6. Distribution diagram of clay minerals (<2 μ). V: aluminous vermiculite C: chlorite I: illite K: kaolinite

Table 4. Percentage of clay minerals (<2 μ).

St. No.	Al-V	C	I	K
St. 10	6	15	52	27
St. 11	18	13	53	16
St. 13	9	11	56	24
St. 15	6	12	53	29
St. 16	—	12	47	41
St. 17	6	8	47	39
St. 19	12	10	57	21

Al-V: aluminous vermiculite C: chlorite
I: illite K: kaolinite

results obtained from the present study appear to suggest such a diagenetic process.

B. Clay minerals

Clay mineral composition of each sediment varies from station to station. Illite is the most dominant constituent, kaolinite is subordinately abundant constituent, and Al-vermiculite and chlorite are small amount of the clay mineral assemblage. Data for the clay mineral composition are given in Table 4. Kaolinite tends to decrease with increasing of the water depth and the distance from the land, while other clay minerals seem to exhibit opposite trend (Fig. 6). These distribution patterns of clay minerals may reflect the dispersing characteristics of each clay mineral in waters.

According to NEGISHI (personal communication), illite, kaolinite, and Al-vermiculite are the most common clay minerals in the reddish weathering products and the brown clay embedded in the Kunigami gravel bed distributed in the environs of Nago city. This agrees with the clay mineral composition in the sediments of Nago Bay.

Acknowledgements

The writer wishes to express his cordial thanks to Professor T. SUDO, Tokyo Kyoiku University for his continuing guidance. Thanks are also due to the following persons: the captain K. INOUE and the crew of Seiyo-Maru of Tokyo University of Fisheries for their sampling work of the sediment samples at sea, and Dr. K. MATSUIKE, Tokyo University of Fisheries for his encouragements and Professor K. OINUMA, Toyo University and Dr. NEGISHI, Sumitomo Consultant Co. for their helpful comments.

References

- CHAVE, K. E. (1952): A solid solution between calcite and dolomite. *J. Geol.*, **60**, 190-192.
- CHAVE, K. E. (1954): Aspects of biogeochemistry of magnesium. 1, Calcareous marine organisms, *J. Geol.*, **62**, 266-283.
- CHAVE, K. E., K. S. DEFFEYES, P. K. WEYL, R. M. GARRELS and M. E. THOMSON (1962): Observations on the solubility of skeletal carbonates in aqueous solutions. *Science*, **137**, 33-34.
- DAVIES, T. and P. HOOPER (1963): The determination of the calcite: aragonite ratio in mollusc shells by X-ray diffraction. *Mineral Mag.*, **33**, 608-612.
- KITANO, Y. and N. KANAMORI (1966): Synthesis of magnesian calcite at low temperature and pressure. *Geochemical J.*, **1**, 1-10.
- LOWENSTAM, H. A. (1954): Factors affecting the aragonite: calcite ratios in carbonate secreting marine organisms. *J. Geol.*, **62**, 284-322.
- OINUMA, K. (1968): Method of quantitative estimation of clay minerals in the sediments by X-ray diffraction analysis. *J. Toyo Univ., General Education (Nat. Sci.)*, No. 10, 1-15.
- PILKEY, H. O. and D. NOBLE (1966): Carbonate and clay mineralogy of the Persian Gulf. *Deep-Sea Res.*, **13**, 1-16.
- STEHLI, F. G. and J. HOWER (1961): Mineralogy and early diagenesis of carbonate sediments. *J. Sed. Petrol.*, **31**, 355-364.
- SUDO, T., K. OINUMA and K. KOBAYASHI (1961): Mineralogical problems concerning rapid clay minerals analysis of sedimentary rocks. *Acta Universitatis Carolinae-Geol. Supplementum 1*, 189-219.
- TAMURA, T. (1958): Identification of vermiculite, chlorites and montmorillonite in clays. *Nature*, **164**, 577.

沖繩県名護湾堆積物中の炭酸塩鉱物と粘土鉱物

青 木 三 郎

要旨: 東シナ海に面した沖繩県名護湾から採取された7箇の堆積物中には、炭酸塩鉱物としてアラゴナイト、low-Mg カルサイト、high-Mg カルサイトが、粘土鉱物としてイライト、カオリナイト、アルミニウムパーミキュライト、クロライトが含まれている。low-Mg カルサイトの量は水深および陸地からの距離の増大と共にふえるが、アラゴナイトおよびhigh-Mg カルサイト中のMgCO₃量は逆の傾向にある。これらの事実は海洋環境におけるアラゴナイトあるいはhigh-Mg カルサイトからlow-Mg カルサイトへの続成変化を暗示しているようである。

堆積物中にイライトおよびカオリナイトが相対的に多いことおよびアルミニウムパーミキュライトが存在していることは、後背地の赤色風化物および国頭礫層中の褐色土の粘土鉱物組成と一致している。カオリナイトは沖方向へ減少しているが、他の粘土鉱物は逆の傾向を示している。

東京湾の珪藻プランクトン群集の遷移*

丸 茂 隆 三** 村 野 正 昭***

Succession of Plankton Diatoms in Tokyo Bay

Ryuzo MARUMO and Masaaki MURANO

Abstract: The succession of plankton diatoms in Tokyo Bay was studied, on the basis of the investigations carried out in 1947 (FUJIYA, 1952), 1966-68 (SUGAWARA *et al.*, 1967; SUGAWARA and SATO, 1968, 1969) and 1972-73 (the present authors).

1. The species number was smaller in the bay than in Uraga Channel as to diatoms as well as blue-green algae, dinoflagellates, copepods, cladocerans and chaetognaths. Recently, any of oceanic species of these taxonomic groups has never been found in the inner part of the bay.
2. The number of diatom species in the inner part of the bay was 35 in 1947, 28 in 1966-68 and 23 in 1972-73. Oceanic diatoms amounted to 12 species in 1947, but they disappeared in the latter two periods.
3. Dominant diatoms in the bay were *Chaetoceros affinis*, *C. decipiens*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata* and *Thalassionema nitzschioides* in 1947, and *Chaetoceros debilis*, *C. socialis*, genus *Coscinodiscus* (*C. gigas* etc.), genus *Thalassiosira* (*T. decipiens*, *T. mala* etc.), *Eucampia zoodiacus*, *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum* and *Nitzschia seriata* in 1966-68 and 1972-73. The diatom community in 1927 was somewhat different from that in 1947, but oceanic diatoms were distributed in both of these years.
4. Judging from the frequent occurrence of diatom red tides since the 1950's, it is considered that the diatom standing crop has remarkably increased in the bay in recent years.
5. *Skeletonema costatum* has been the exceedingly important species as red tide organisms as well as in the standing crop in usual distribution in the bay from 1947 on.
6. Judging from the succession of the standing crop and species number of diatoms, the water of Tokyo Bay was eutrophic in 1947 and extremely eutrophic in recent years. Moreover, it may possibly become even polysaprobic, if the eutrophication and the pollution will be accelerated from now on.

1. 緒 言

東京湾の富栄養化は近年は著しく進行し(田村, 1970; 猿橋, 三宅, 1973), 最近では夏季にはほとんど常時赤潮が出現している(菅原, 佐藤, 1966)。これとともに, 生物群集の構造と動態や漁業生物の質と量にも変化が生じてきた(北森, 1970; 田

村, 1970)。

東京湾の赤潮については, 1907年の最初の発見(岡村, 1907; 朝倉, 1907)以来, 1966年までに131例が報告された(菅原, 佐藤, 1966)。近年はその回数は著しく増加し, 例えば, 湾中央の奈良輪先では1968年5~10月156回の観測のうち, 濃厚赤潮が12%, 赤潮が14%, やや赤潮が10%をしめていた(菅原, 佐藤, 1969)。その初期(1907~39)には, 主として渦鞭毛藻によるものであった。珪藻赤潮は1951年にはじめて出現して以来,

* 1973年4月20日受理

** 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo

*** 東京水産大学 Tokyo University of Fisheries

1966年までに38例が報告された(菅原, 佐藤, 1966)(1940~49年は戦時下のためと考えられるが, 赤潮の報告はない)。このような珪藻赤潮のひんぱんな出現は, 東京湾の植物プランクトン群集構造に変化が生じてきたことを意味するものである。

東京湾では, 赤潮以外の平常時における珪藻の出現種や分布に関する調査は意外に少なく, 倉茂(1932), KURASHIGE(1932), 藤谷(1952), YAMAZI(1955), 松平(1964), 菅原ら(1967), 菅原, 佐藤(1968, 1969)などの報告があげられる。

本研究は, 上記の文献中の珪藻査定資料, ならびに著者らが1972~73年に調査した結果に基づいて, 東京湾の珪藻群集の遷移を考察したものである。生物は環境の歴史を反映して生存しており, また環境の平均的な状態を指標すると考えられるので(津田, 1964), 珪藻群集の遷移から, 富栄養化や水質汚濁の変遷を推定することが可能である。

富栄養化について吉田陽一博士に御教示いただいた。また, 試料採集について千葉県内湾水産試験場の方々に, 動物プランクトンの査定について大森信博士(橈脚類), 永沢祥子氏(毛顎類)に御協力をいただいた。ここで, 厚く御礼を申しあげる。

この研究は昭和46年, 47年度文部省科学研究費「内湾生物に及ぼす汚濁の影響に関する基礎研究」の補助をうけて実施したものである。

2. 資料と方法

東京湾では, 湾奥ほど外洋水が入りにくく, 内湾の性質が純粋に保たれているので, 本研究では湾奥部の珪藻資料を用い, また比較のために, 黒潮水が十分達する浦賀水道の資料を併用した。珪藻プランクトン出現種とその種類数を, 1947, 1966~68, 1972~73の各年について, つぎのように整理した。

1) 1947年

藤谷(1952)は1947年1年間にわたり, 湾内と浦賀水道で, 北原定量ネットによりプランクトン

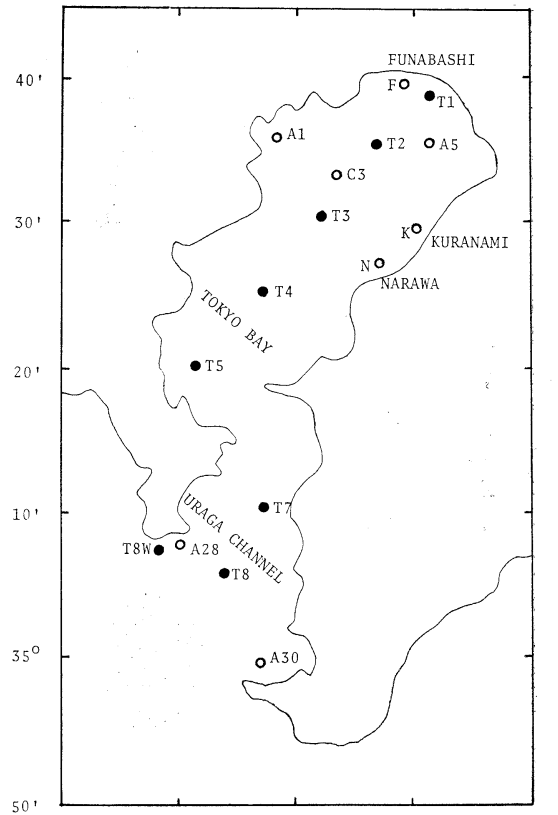


Fig. 1. Sampling stations.

を採集し, 珪藻種を査定した。このうち, 湾奥(St. A1, A5)と浦賀水道(St. A28, A30)(Fig. 1)の資料を用いた。

2) 1966~68年

千葉県内湾水産試験場が赤潮委託観測として, 1966~68年の5~9月に採水法によりプランクトン採集し, 査定した(菅原ら, 1967; 菅原, 佐藤, 1968, 1969)。このうち, 湾奥にある船橋(St. F), 蔵波(St. K), 奈良輪(St. N)(Fig. 1)の珪藻資料を用いた。

3) 1972~73年

湾奥 St. T2(淡青丸, 白鳳丸, 1972年5月~1973年2月)の表面水6本, St. C3(千葉内湾水試, 1972年5~9月)の表面水5本, 計11本について, 著者らが査定と計数を行なった。

また, 湾奥と浦賀水道とを比較するために, 1971年8月(KT-71-12), 1971年11~12月(KT

-71-19), 1972年6月(KT-72-7)の淡青丸による航海において, St. T2とT8(KT-71-12ではSt. T8Wを含む)で, Norpac ネット(XX13)で採集を行ない, 珪藻を査定した。

さらに, KT-71-12では, 珪藻のほか, 藍藻, 渦鞭毛藻, 橈脚類, 枝角類, 毛顎類についても, 東京湾と浦賀水道とを比較した。

珪藻プランクトン資料を整理する際, つぎの諸点に留意した。

(1) 東京湾のような浅い内湾では, 附着性あるいは, 底棲性の珪藻が臨時プランクトンとして, 試料中に混入することが多い。本研究では純粹の浮遊性種に限定する意味で, このような懸念のある *Acnantes*, *Cocconeis*, *Diploneis*, *Grammatophora*, *Licmophora* の各属に属する種類は除外した。

(2) 珪藻各種を可能な限り, 外洋性(oceanic)と沿岸性(neritic)の何れかとした。文献に沿岸性, 内湾性, neritic, littoral, coastalと記載されているものはすべて沿岸性に入れた。この区分は主として, 丸茂ら(1966)に基づいて行ない, GRAN(1905), HUSTEDT(1927-30, 1931-59), CUPP(1943), HENDEY(1964)をも参照した。

(3) 東京湾の重要な珪藻種の中には, 同定がむずかしいものが少なくない。例えば, *Coscinodiscus*, *Concinosira*, *Thalassiosira*の小型のものや, とくに後の2属では, 鎖がこわれ, 単細胞として現われるものは, 同定が容易でない。そのため, 引用した文献の査定結果には, *Coscinodiscus* sp. 又は spp., *Thalassiosira* sp. 又は spp.などの記載もかなり多かった。*Chaetoceros debilis*と*C. curvisetus*, 及び*Rhizosolenia setigera*と*R. hebetata*の混同の懸念もあるように思われる。少なくとも最近では, *Chaetoceros debilis*と*Rhizosolenia setigera*は東京湾の主要な種類となっている。また, *Thalassiosira mala*(TAKANO, 1956, 1965)や*Chaetoceros socialis*は非常に小型であるため, 大量に出現しないと, 見落されることも考えられる。

3. 結果

1) 1947, 1966~68, 1972~73各年の湾奥の珪藻出現種の比較

湾奥で各年に出現した珪藻種をCentricae, Pennataeの順に列べ(Table 1), 種類数を算えた(Table 2)。

全種類数は1947年に35であったが, その後は減少の傾向にある。このうち, 沿岸種数は各年を通じて21~25の範囲にあり, 大差ないが, 外洋種数は1947年に12であったものが, 1966~68, 1972~73年には0になるという顕著な減少を示した。また, 1929年4月には湾奥(St. C3 近く)でのネット採集によると, 珪藻, 渦鞭毛藻あわせて, 32~35種が出現した(KURASHIGE, 1932)。

1947年に出現した外洋性の12種(Table 3, B群)のうち, *Chaetoceros atlanticus* v. *neapolitana*, *C. tetrastichon*, *Rhizosolenia acuminata*などは典型的な黒潮外洋種であり(丸茂ら, 1966), また*Chaetoceros Phaeoceros*に属する5種は亜属として外洋水を指標する。YAMAZI(1955)によると, 1948年に外洋性の*Rhizosolenia styliformis*が湾内に出現している。これらの結果は, 1947~48年当時, 東京湾水が黒潮の影響を強くうけていたことを物語る。また, YAMAZI(1955)は, 1947年には*Thalassiothrix frauenfeldii*, *Thalassionema nitzschiioides*が湾内に分布していたが, これは湾外より運ばれたものとしている。

沿岸種の中にも, 1947年には見られたが, その後は姿を消したものがある(Table 3, C群)。また*Chaetoceros Hyalochaete* 亜属は, 1947年には10種あったものが, 1966~68, 1972~73年には5種以内に減少した。

B, C群とは対称的に, 沿岸性の12種(Table 3, D群)は1947年より現在まで通して出現している。赤潮の原因となる種類はほとんどすべてこの中に含まれる。なお, 藤谷(1952)は*Rhizosolenia setigera*を報告していないが, YAMAZI(1955)は1948年に本種の出現を報じているので, 当時も存在していたと思われる。また, 本種は1929年(KURASHIGE, 1932)にも見られた。

1947年には全く見られず, 1966~68, 1972~73年になってから検出された種類もあるが, 査定上

Table 1. Occurrence of plankton diatom species in 1947, 1966-68 and 1972-73 in Tokyo Bay.

Year	1947	July-Sept. 1966-68	1972-73
Station	A1, A5	F, K, N	T2, C3
Method	net	water	water
<i>Actinoptychus undulatus</i>	N	-	+
<i>Arachnoidiscus ehrenbergii</i>		-	+
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	O	+	-
<i>B. varians</i>	N	+	-
<i>Biddulphia aurita</i>	N	+	-
<i>B. mobiliensis</i>	N	-	+
<i>B. sinensis</i>	N	+	-
<i>Ceratulina bergonii</i>	O	-	+
<i>Chaetoceros atl. v. neapolitana</i>	O	+	-
<i>C. atl. v. skeleton</i>	O	+	-
<i>C. densus</i>	O	+	-
<i>C. peruvianus</i>	O	+	-
<i>C. tetrastichon</i>	O	+	-
<i>C. affinis</i>	N	+	+
<i>C. debilis</i>	N	+	+
<i>C. decipiens</i>	O	+	-
<i>C. didymus</i>	N	+	+
<i>C. lorenzianus</i>	N	+	+
<i>C. mitra</i>	N	+	-
<i>C. pseudocrinitus</i>	N	+	-
<i>C. socialis</i>	N	+	-
<i>C. teres</i>	N	+	-
<i>Corethron criophilum</i>	O	+	-
<i>Coscinodiscus angustii</i>		-	+
<i>C. asteromphalus</i>		-	+
<i>C. gigas</i>		-	+
<i>C. granii</i>	N	-	+
<i>Coscinosira polychorda</i>	N	-	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	N	+	+
<i>Eucampia zoodiacus</i>	N	+	+
<i>Hemiaulus hauckii</i>	O	+	-
<i>Leptocylindrus danicus</i>	N	-	+
<i>Melosira borreri</i>	N	+	+
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	O	+	-
<i>R. fragilissima</i>	N	-	+
<i>R. hebetata</i> f. <i>semispina</i>	N	+	-
<i>R. setigera</i>	N	-	+
<i>R. styliformis</i>	N	+	-
<i>Skeletonema costatum</i>	N	+	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	N	+	-
<i>Streptotheca thamesis</i>	N	-	+
<i>Thalassiosira decipiens</i>	N	+	+
<i>T. hyalina</i>	N	-	+
<i>T. mala</i>	N	-	+
<i>Amphiprora alata</i>	N	-	+
<i>Amphora coffeaeiformis</i>	N	-	+
<i>Asterionella japonica</i>	N	+	+
<i>Fragilaria cylindrus</i>	N	+	-
<i>Navicula elegans</i>	N	-	-
<i>N. salinarum</i>	N	-	-
<i>Nitzschia closterium</i>	N	-	+
<i>N. longissima</i>	N	+	+
<i>N. seriata</i>	N	+	+
<i>Pleurosigma affine</i>	N	+	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	N	+	+

+: present; -: absent. O: oceanic species; N: neritic species.

の問題も考えられるので、これについて深く議論することはさける。*Thalassiosira mala* (TAKANO, 1956, 1965) は新種として発表されて以来、本種に関する赤潮の報告が7例に達する (菅原, 佐藤, 1966)。

2) 湾奥と浦賀水道の珪藻出現種の比較

湾奥と浦賀水道の出現種を、1947年1年間、1971年8月、同11-12月、1972年6月の4回の調

Table 2. Number of plankton diatom species in 1947, 1966-68 and 1972-73 in Tokyo Bay.

Year	1947	July-Sept. 1966-68	1972-73
Station	A1, A5	F, K, N	T2, C3
Method	net	water	water
Oceanic species	12	0	0
Neritic species	23	25	21
Total species	35	28	23

Table 3. Diatom species grouped by the presence and absence in Tokyo Bay.

A. Oceanic species not found in the bay in 1947 and thereafter (found in Uraga Channel)	<i>Rhizosolenia acuminata</i>
<i>Bacteriastrum comosum</i>	<i>R. styliformis</i>
<i>B. elongatum</i>	
<i>Chaetoceros coarctatus</i>	C. Neritic species found in the bay in 1947, but not in 1966-68 and 1972-73.
<i>C. rostratus</i>	<i>Bacteriastrum varians</i>
<i>C. seychellarum</i>	<i>Biddulphia aurita</i>
<i>C. messanensis</i>	<i>Chaetoceros mitra</i>
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	<i>C. pseudocrinitus</i>
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	<i>C. teres</i>
<i>Planktoniella sol</i>	<i>Rhizosolenia hebetata</i>
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	<i>Stephanopyxis palmeriana</i>
<i>R. calcar avis</i>	D. Neritic species found in the bay in 1947, 1966-68 and 1972-73.
<i>R. robusta</i>	<i>Chaetoceros affinis</i>
<i>Thalassiothrix longissima</i>	<i>C. debilis</i>
<i>T. mediterranea</i>	<i>C. didymus</i>
B. Oceanic species found in the bay in 1947, but not in 1966-68 and 1972-73.	<i>C. lorenzianus</i>
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	<i>C. socialis</i>
<i>Biddulphia sinensis</i>	<i>Ditylum brightwellii</i>
<i>Chaetoceros atlanticus</i> v. <i>neapolitana</i>	<i>Eucampia zoodiacus</i>
<i>C. atlanticus</i> v. <i>skeleton</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i>
<i>C. densus</i>	<i>Skeletonema costatum</i>
<i>C. peruvianus</i>	<i>Thalassiosira decipiens</i>
<i>C. tetrastichon</i>	<i>Asterionella japonica</i>
<i>C. decipiens</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
<i>Corethron criophilum</i>	E. Neritic species found not in 1947, but in 1966-68 and/or 1972-73.
<i>Hemiaulus hauckii</i>	<i>Thalassiosira mala</i> etc.

査結果について比較して (Table 4), 外洋水の湾奥への影響の程度を推定した。また, Table 4 に基づいて, 出現種数を算えた (Table 5)。

1947年には, 全出現種数は, 浦賀水道47と湾奥35で, 外洋種数は15と12, 沿岸種数は30と23であり, 何れも浦賀水道と湾奥で著しい差はない。また, 出現する種類も両者でかなり多く共通している。このことは, 言いかえれば, 浦賀水道の水が著しく変質されることなく, 湾奥にまで達したことを意味し, 当時東京湾が湾奥まで非常にきれいであったことを示すものである。

一方, 1971, 1972年の3回の調査結果をまとめると, 全出現種数は浦賀水道では50に達するが (この数は1947年当時と変らない), 湾奥では僅か13で, 湾口に較べ, 激減している。また, 沿岸種数は浦賀水道では28であるが, 湾奥は12と少ない。さらに外洋種数にいたっては, 浦賀水道18に

Table 4. Occurrence of plankton diatom species in Tokyo Bay and Uraga Channel.

Year	1947		Aug. 1971 (KT-71-12)		Nov.-Dec. 1971 (KT-71-19)		June 1972 (KT-72-7)	
	Tokyo B. A1, A5	Uraga C. A28, A30	Tokyo B. T2	Uraga C. T8	Tokyo B. T2	Uraga C. T8	Tokyo B. T2	Uraga C. T8
		net		water		water		water
<i>Bacteriastrum comosum</i>	O	-	-	+	-	-	-	-
<i>B. delicatulum</i>	O	+	+	-	-	-	-	-
<i>B. elongatum</i>	O	-	+	-	-	-	-	-
<i>B. varians</i>	N	+	+	-	-	-	-	+
<i>Biddulphia aurita</i>	N	+	+	-	-	-	-	-
<i>B. sinensis</i>	O	+	+	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros atl. v. neapolitana</i>	O	+	+	-	+	-	-	+
<i>C. atl. v. skeleton</i>	O	+	-	-	-	-	-	-
<i>C. coarctatus</i>	O	-	-	-	-	-	-	+
<i>C. criophilum</i>	O	-	+	-	-	-	-	-
<i>C. densus</i>	O	+	-	-	-	-	-	-
<i>C. peruvianus</i>	O	+	+	-	-	-	-	+
<i>C. rostratus</i>	O	-	-	-	-	-	-	+
<i>C. seychellarum</i>	O	-	-	-	-	-	-	+
<i>C. tetrastichon</i>	O	+	+	-	-	-	-	-
<i>C. affinis</i>	N	+	+	-	+	-	-	+
<i>C. compressus</i>	N	-	+	-	-	-	-	+
<i>C. curvisetus</i>	N	-	-	-	+	-	-	+
<i>C. debilis</i>	N	+	+	-	-	+	-	+
<i>C. decipiens</i>	O	+	+	-	+	-	-	-
<i>C. didymus</i>	N	+	+	-	-	+	+	+
<i>C. lorenzianus</i>	N	+	-	-	+	-	-	+
<i>C. messanensis</i>	O	-	+	-	+	-	-	+
<i>C. mitra</i>	N	+	+	-	-	-	-	-
<i>C. pseudocritinitis</i>	N	+	+	-	-	-	-	-
<i>C. radicans</i>	N	-	-	-	-	-	-	+
<i>C. socialis</i>	N	+	+	-	-	-	-	-
<i>C. teres</i>	N	+	+	-	-	-	-	-
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	O	-	-	-	+	-	-	+
<i>Corethron criophilum</i>	O	+	+	-	-	-	-	-
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i>		-	-	+	+	+	+	+
<i>C. excentricus</i>		-	-	-	+	-	-	-
<i>C. gigas</i>		-	-	+	+	-	+	+
<i>C. granii</i>	N	-	-	+	+	-	+	-
<i>Dactyliosolen mediterranea</i>	N	-	-	-	-	-	-	+
<i>Ditylum brightwellii</i>	N	+	+	-	+	+	+	+
<i>Eucampia groenlandica</i>	N	-	+	-	-	-	-	-
<i>E. zoodiacus</i>	N	+	+	-	-	+	+	+
<i>Hemiaulus hauckii</i>	O	+	-	-	+	-	-	+
<i>H. sinensis</i>	N	-	-	-	-	-	+	-
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	O	-	-	-	-	-	+	-
<i>Lauderia borealis</i>	N	-	-	-	-	-	+	-
<i>Leptocylindrus danicus</i>	N	-	+	-	+	-	-	+
<i>Melosira borneri</i>	N	+	+	-	-	-	-	-
<i>M. juergensii</i>	N	-	+	-	-	-	-	-

Table 4. (continued)

<i>Planktoniella sol</i>	O	-	+	-	+	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	O	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>R. alata</i>		-	+	-	+	-	-	-	+
<i>R. bergonii</i>	O	-	-	-	-	-	+	-	+
<i>R. calcar avis</i>	O	-	+	-	-	-	-	-	+
<i>R. hebetata</i> f. <i>semispina</i>	N	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>R. imbr.</i> v. <i>shrubssolei</i>	N	-	-	-	-	-	+	-	+
<i>R. robusta</i>	O	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>R. setigera</i>	N	-	+	-	-	-	+	+	+
<i>R. stolterfothii</i>	N	-	+	-	-	-	-	-	+
<i>R. styliformis</i>	O	+	+	-	+	-	-	-	+
<i>Schroederella delicatula</i>	N	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>Skeletonema costatum</i>	N	+	+	-	-	+	+	+	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i>	N	+	+	-	+	-	+	-	-
<i>Streptotheca thamesis</i>	N	-	-	-	+	-	+	-	+
<i>Thalassiosira decipiens</i>	N	+	+	-	-	+	+	-	-
<i>T. hyalina</i>	N	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Asterionella japonica</i>	N	+	+	-	-	-	-	-	+
<i>Bacillaria paradoxa</i>	N	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Fragilaria cylindrus</i>	N	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>F. oceanica</i>	N	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia closterium</i>	N	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>N. frigida</i>	N	-	+	-	-	-	-	-	-
<i>N. longissima</i>	N	+	-	-	-	-	-	-	-
<i>N. seriata</i>	N	+	+	-	+	-	-	+	+
<i>Pleurosigma affine</i>	N	+	+	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	N	+	+	-	+	-	-	-	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	N	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>T. longissima</i>	O	-	+	-	+	-	-	-	+
<i>T. mediterranea</i>	O	-	-	-	-	-	-	-	+

+: present; -: absent. O: oceanic species; N: neritic species.

Table 5. Number of plankton diatom species in Tokyo Bay and Uraga Channel.

Year	1947		Aug. 1971 (KT-71-12)		Nov.-Dec. 1971 (KT-71-19)		June 1972 (KT-72-7)		1972-73 (KT total)	
	Tokyo B. A1, A5	Uraga C. A28, A30	Tokyo B. T2	Uraga C. T8	Tokyo B. T2	Uraga C. T8	Tokyo B. T2	Uraga C. T8	Tokyo B. T2	Uraga C. T8
Method	net		water		water		water		water	
Oceanic species	12	15	0	8	0	3	0	13	0	18
Neritic species	23	30	1	11	7	12	10	23	12	28
Total species	35	47	3	24	8	17	12	39	13	50

対し、湾奥は0となる。このような近年の湾奥における沿岸種の減少、外洋種の消滅は、東京湾の内湾性が著しく強くなったことを示すものである。

Table 4 にあげた外洋種のうち、1947年当時に

おいても、浦賀水道にのみ出現して、湾奥には見出されなかった種類は14種に達する (Table 3, A群)。一般に、これらの多くは B群よりさらに外洋性が強いと考えられ、文献で知られる限り、東京湾奥部には一度も出現したことはない。

3) 各年の東京湾の珪藻卓越種の比較

湾奥における珪藻卓越種の遷移を明らかにするため、これらを文献よりひろうと、つぎの通りである。

(a) 1947年(藤谷, 1952)

つぎの6種(ネット採集)が湾奥(St. A1, A5)で卓越した。

Chaetoceros affinis

C. decipiens

Rhizosolenia hebetata

Skeletonema costatum

Nitzschia seriata

Thalassionema nitzschioides

(b) 1948年7月(YAMAZI, 1955)

つぎの4種(ネット採集)が東京湾の珪藻群集の主要構成種であった。

Chaetoceros affinis

Rhizosolenia setigera

Thalassionema nitzschioides

Thalassiothrix frauenfeldii

(c) 1962年8月~1963年8月(松平, 1964)

湾奥でこの1年間に9回得られた採水試料について、それぞれ卓越種を3位までとると、3位以内に入る種類とその全回数はつぎの通りである。

(*は著者ら註)

Chaetoceros (1)

Coscinodiscus (5)

Skeletonema (8) (*S. costatum* か)*

Thalassiosira (9) (*T. decipiens* か)*

Nitzschia (2) (*N. seriata* か)*

Thalassionema (1) (*T. nitzschioides* か)*

Cyclotella striata (1)

(d) 1966~68年5~9月(菅原ら, 1967; 菅原, 佐藤, 1968, 1969)

つぎの8種(採水試料)が湾奥(St. F, K, N)で卓越した。

Cerataulina bergonii

Chaetoceros sp.

Eucampia zoodiacus

Skeletonema costatum

Thalassiosira decipiens

Thalassiosira spp.

Navicula sp.

Nitzschia sp.

(e) 1972年5月~1973年2月(著者ら)

つぎの6種(採水試料)が湾奥(St. T2)で卓越した。

Coscinodiscus gigas

Eucampia zoodiacus

Rhizosolenia setigera

Skeletonema costatum

Thalassiosira decipiens

Nitzschia seriata

(f) 1951~1966年(菅原, 佐藤, 1966)

東京湾に出現した珪藻赤潮中、その原因となった種類と出現回数はつぎの通りである。(*著者ら註)

Chaetoceros debilis (1)

C. simplex (2)

C. spp. (5)

Coscinodiscus spp. (4) (*C. gigas* などか)*

Eucampia zoodiacus (2)

Rhizosolenia spp. (2) (*R. setigera* などか)*

Skeletonema costatum (18)

Thalassiosira mala (7)

Asterionella japonica (4)

Nitzschia seriata (2)

以上の資料に基づいて、東京湾の珪藻卓越種の変遷をたどってみる。

1947, 1948年当時は、X群(*Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata*), およびY群(*Chaetoceros affinis*, *C. decipiens*を主体とする *Chaetoceros Hyalochaete* 亜属)が卓越していた。しかし、1966~68年以降には、Y群中、*Chaetoceros affinis* は影をひそめ、*Hyalochaete* 亜属の重要性は低下した(ただし、近年は *Chaetoceros socialis* が時に大量に出現し、また *C. didymus*, *C. debilis* なども見られる)。 *Thalassionema nitzschioides* もまた減少した。これに代って、Z群(*Coscinodiscus gigas*, *C. granii*, *C. asteromphalus* 等を含む *Coscinodiscus* 属, *Ditylum brightwellii*, *Eucampia zoodiacus*,

Table 6. Occurrence of plankton species at St. T2 (Tokyo Bay) and at St. T8 (Uraga Channel) in August, 1971 on Cruise KT-71-12 (Norpac net, XX13).

	Tokyo Bay T2	Uraga Chan. T8
CYANOPHYCEAE		
<i>Trichodesmium Thiebautii</i> GOMONT	-	+
DINOPHYCEAE		
<i>Ceratium breve</i> (OSTENFELD and SCHMIDT) SCHRÖDER	-	+
<i>C. extensum</i> (GOURRET) CLEVE	-	+
<i>C. macroceros</i> (EHRENBERG) CLEVE	-	+
<i>C. molle</i> KOFOID	-	+
<i>C. pennatum</i> KOFOID	-	+
<i>C. trichoceros</i> (EHRENBERG) KOFOID	-	+
<i>C. tripos</i> (MÜLLER) NITSCH	-	+
<i>Peridinium</i> spp.	-	+
<i>Pyrocystis fusiformis</i> MURRAY	-	+
<i>P. pseudonociluca</i> MURRAY	-	+
<i>Pyrophacus horologicum</i> STEIN	-	+
BACILLARIOPHYCEAE		
<i>Bacteriastrum comosum</i> PAVILLARD	-	+
<i>Chaetoceros atl. v. neapolitana</i> (SCHRÖDER) HUSTEDT	-	+
<i>C. peruvianus</i> BRIGHTWELL	-	+
<i>C. affinis</i> LAUDER	-	+
<i>C. curvisetus</i> CLEVE	-	+
<i>C. decipiens</i> CLEVE	-	+
<i>C. lorenzianus</i> GRUNOW	-	+
<i>C. messanensis</i> CASTRACANE	-	+
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> EHRENBERG	++	++
<i>C. excentricus</i> EHRENBERG	-	+
<i>C. gigas</i> EHRENBERG	+	+
<i>C. granii</i> GOUGH	+	+
<i>C.</i> sp.	++	++
<i>Climacodium frauenfeldianum</i> GRUNOW	-	+
<i>Ditylum brightwellii</i> GRUNOW	-	+
<i>Hemiaulus hauckii</i> GRUNOW	-	+
<i>Leptocylindrus danicus</i> CLEVE	-	+
<i>Planktoniella sol</i> (WALLICH) SCHÜTT	-	+
<i>Rhizosolenia alata</i> BRIGHTWELL	-	+
<i>R. styliformis</i> BRIGHTWELL	-	+
<i>Stephanopyxis palmeriana</i> (GREVILLE) GRUNOW	-	+
<i>Streptotheca thamesis</i> SHRUBSOLE	-	+
<i>Nitzschia seriata</i> CLEVE	-	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i> GRUNOW	-	+
<i>Thalassiothrix longissima</i> CLEVE and GRUNOW	-	+
<i>T. frauenfeldianum</i> GRUNOW	-	+
COPEPODA*		
<i>Acartia clausi</i> GIESBRECHT	++	-
<i>A. danae</i> GIESBRECHT	-	++
<i>Acrocalanus gracilis</i> GIESBRECHT	-	+
<i>Calanopia minor</i> A. SCOTT	-	+
<i>C.</i> sp.		

Table 6. (continued)

<i>Calanus pacificus</i> BRODSKY	+	++
<i>Candacia catula</i> GIESBRECHT	-	+
<i>C. discaudata</i> A. SCOTT	-	+
<i>Centropages abdominalis</i> SATO	-	+
<i>C. furcatus</i> (DANA)	-	+
<i>C. yamadai</i> MORI	+	-
<i>Clausocalanus furcatus</i> (BRADY)	-	+
<i>Corycaeus agilis</i> DANA	-	+
<i>C. ovalis</i> CLAUS	-	+
<i>C. speciosus</i> DANA	-	+
<i>Eucalanus crassus</i> GIESBRECHT	-	+
<i>E. mucronatus</i> GIESBRECHT	-	+
<i>E. subcrassus</i> GIESBRECHT	-	+
<i>Euchaeta plana</i> MORI	-	+
<i>Labidocera bipinnata</i> TANAKA	+	-
<i>Microsetella norvegica</i> (BOECK)	++	++
<i>M. rosea</i> (DANA)	+	+
<i>Oithona fallax</i> FARRAN	-	+
<i>O. nana</i> GIESBRECHT	++	++
<i>O. plumifera</i> BAIRD	-	++
<i>O. similis</i> CLAUS	++	++
<i>Oncaea media</i> GIESBRECHT	+	-
<i>O. venusta</i> PHILIPPI	-	+
<i>Paracalanus aculeatus</i> GIESBRECHT	-	++
<i>P. parvus</i> GIESBRECHT	++	++
<i>Pseudodiaptomus marinus</i> SATO	-	+
<i>Rhincalanus nasutus</i> GIESBRECHT	+	-
<i>Temora stylifera</i> (DANA)	-	+
<i>Undinula vulgaris</i> (DANA)	-	+
CLADOCERA		
<i>Evadne tergestina</i> CLAUS	+	+
<i>Penilia schmackeri</i> RICHARD	-	+
CHAETOGNATHA**		
<i>Sagitta bedoti</i> BÉRANECK	-	+
<i>S. crassa</i> f. <i>naikaiensis</i> TOKIOKA	+	+
<i>S. enflata</i> GRASSI	-	++
<i>S. minima</i> GRASSI	-	+
<i>S. nagae</i> ALVARIÑO	-	++
<i>S. neglecta</i> AIDA	+	+
<i>S. pacifica</i> TOKIOKA	-	+
<i>S. regularis</i> AIDA	-	+

+: present; ++: abundant; -: absent.

*: identified by M. OMORI; **: identified by S. NAGASAWA.

Thalassiosira decipiens, *T. mala* を含む *Thalassiosira* 属) が, 1947 年以来ひきつづき卓越している X 群とともに, 珪藻群集中で重きをなしている。

特筆すべきは, *Skeletonema costatum* は 1947 年当時より現在にいたるまで常に東京湾の別格の

卓越種であり, 平時と赤潮時とを問わず, 現在量がきわめて大きいことである。

ここにあげた卓越種はほとんどすべて Table 3 D 群に属する。*Chaetoceros decipiens* だけは外洋性の B 群に含まれるが, この群の中では沿岸性よ

Table 7. Number of plankton species at Sts. T1-T8 in August, 1971 on Cruise KT-71-12 (Norpac net, XX13).

Station	T1	T2	T3	T4	T5	T7	T8
Cyanophyceae	0	0	0	0	0	1	1
Bacillariophyceae	3	4	4	5	4	17	26
Dinophyceae	0	0	0	2	1	4	12
Copepoda	*	11	*	*	*	*	27
Cladocera	1	1	1	1	2	2	2
Chaetognatha	*	2	*	*	*	*	7

*: Identification was not done.

りの種類である。

4) KH-71-12 (1971年8月18~19日)における湾奥と浦賀水道とのプランクトン各群の比較単に珪藻だけでなく、藍藻、渦鞭毛藻、橈脚類、枝角類、毛顎類においても、湾奥 (St. T2) と浦賀水道 (St. T8) (Fig. 1) の出現種 (Table 6) と種類数 (Table 7) には大きい差がある。

珪藻種数は、湾内 (St. T1~T5) では、4~5であるが、St. T7 で 17, St. T8 で 26 と浦賀水道に近い湾口ほど増加する。出現種とあわせて考えると、St. T5 以北は、内湾性が強く、外洋水の影響をほとんどうけていないと推定される。

珪藻 *Trichodesmium Thiebautii* が St. T7, T8 のみに出現することから、外洋水の影響はここでとまっていることが知られる。

渦鞭毛藻では St. T8 に *Ceratium* 7種を含む12種が出現するが、これらはいずれも外洋種である。YAMAZI (1955) によると、1948年には、*Pyrophacus horologicum* が、湾奥に多量に分布していたが、今回は出現していない。

橈脚類は St. T8 の 27種に対し、St. T2は僅か11種である。しかも、*Oithona nana* および *Microsetella norvegica* が優占的に出現し、*Acartia clausi*, *Paracalanus parvus* が僅か目立つ程度である。浦賀水道には多くの外洋種が出現しているが、これらは St. T2 には侵入していない。

毛顎類は St. T2 に内湾種 *Sagitta crassa* f. *naikaiensis* が出現する。外洋性の *S. enflata*, *S. pacifica* は湾奥に侵入していない。

4. 考察—東京湾における浮遊性珪藻群集の遷移

以上に得られた結果に基づいて、東京湾における浮遊性珪藻の遷移の過程はつぎのように推定される。

1) 1947年以前

1929年4月東京湾の卓越種は、*Biddulphia sinensis*, *Chaetoceros affinis*, *C. compressus*, *Coscinodiscus concinnus*, *Ditylum brightwellii*, *Skeletonema costatum*, *Asterionella japonica*, *Thalassiothrix frauenfeldii* であった (KURASHIGE, 1932)。A群に含まれる外洋種は出現していないが、*Chaetoceros criophilum*, *Coscinodiscus concinnus*, *Rhizosolenia castracanei* などの出現は黒潮の要素を示している。この群集は1947年ごろとも近年とも同一ではない。また、近年に較べると著しく外洋性が強い。

2) 1947年ごろ

1947年ごろはB群に属する多くの外洋種が湾内に運ばれていた。その主なものは、*Chaetoceros atlanticus* v. *neapolitana* を含む *Chaetoceros Phaeoceros* 亜属に属する種類である。しかし、これらは主に黒潮からの訪問者であり、湾内ではあまり増殖せず、卓越することはなく、東京湾の珪藻群集の中でしめる割合は小さかった。また当時はC群に属する沿岸種も存在していたが、外洋種同様主要な構成要素とはならなかった。最も卓越していた珪藻は、D群に属する沿岸種で、*Chaetoceros affinis*, *C. decipiens* を主体とする *Hyalochaete* 亜属、*Thalassionema nitzschioides*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata* などであった。

3) 1966-68年から1972-73年

近年になると、浦賀水道には以前と同様に多くの外洋種が分布しているが、湾奥ではB群の外洋種とC群の沿岸種はすでに姿を消し、日本沿岸に普遍的に分布するD群に属する沿岸種が最も繁栄している。東京湾の珪藻群集は、1年のうちでも時期により、同一ではないが、一般的にいうとつぎの通りである。1947年ごろ卓越していた *Chaetoceros affinis*, *C. decipiens*, *Thalassionema nitzschioides* は著しく後退し、代って *Coscinodis-*

cus 属, *Thalassiosira* 属, *Eucampia zoodiacus*, *Ditylum brightwellii* などが多く出現するようになった。一方, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata* は 1947 年ごろより引き続いて重要種となっている。

1966~68 年, 1972~73 年には, 1947 年ごろ査定されなかった種類も現われているが, 当時査定もれがあったり, あるいは他種として同定された可能性などもあり, ここではふれない。*Thalassiosira mala* (TAKANO, 1965) のように新しく記載された種類があるが, 1947 年ごろに生息していたか否かは明らかでない。

化学成分からも, 東京湾水が過去に較べ近年著しく変化したことが指摘されている。例えば, リン酸塩態リン (1947~48 年 0.03~0.6 mg atom/l, 1971 年 0.5~1.5 mg atom/l) の増加, 透明度の低下, 酸素飽和度の増加, pH 値の増加から富栄養化の傾向が明らかに示された (猿橋, 三宅, 1973)。同様な傾向は, アンモニア態窒素, COD の増加にも認められた (田村, 1970)。

1947 年ごろは終戦直後で, 東京湾周辺の人口はまだ少なく, 工業は壊滅状態にあって, 東京湾は汚されていない自然の状態にあり, 磯の香りをもっていた。当時は, 湾奥でも外洋種を含めて 30 種以上の珪藻が生息し, 現存量はまだ小さく, 吉田 (1973) の海水区分によると, 当時の湾水は「富栄養」にあたると考えられる。その珪藻群集は, 現在相模湾や駿河湾の沿岸部に見られるものに近いといえる。なお, 東京湾は 1929 年と 1947 年とは珪藻群集の環境としては大きい差はないように思われる。

しかし, 近年は化学成分の変化にも見られるように, 富栄養化は著しく進行し, 珪藻種数は減少し, 現存量については, 過去と量的に比較できる十分な資料はないが, 近年における珪藻赤潮のひん発から推定すれば, その量は著しく増大したと考えられる。山路 (1973) もまた 20 年前に較べ, 現在はプランクトン出現種類数が減少したことを指摘している。このような東京湾の近年の状態は吉田 (1973) の「過栄養」に当たるといえる。

今後, 東京湾の珪藻群集がどのような遷移をた

どるかを予知することは困難であるが, 不幸にして, 富栄養化や汚濁がさらに推し進められるならば, 種類数は減少し, 現存量は増加し, 異常増殖に拍車がかけられ, その極限をすぎると, 生物群集の滅絶 (吉田, 1973 の「腐水」) という最悪の事態にいたるおそれなしとしない。

5. 要約

主として, 1947 年 (藤谷, 1952), 1966~68 年 (菅原ら, 1967; 菅原, 佐藤, 1968, 1969), 1972~73 年 (著者ら) の資料に基づいて, 東京湾の珪藻プランクトン群集の遷移を解析した。

- 1) 近年はプランクトン出現種類数は, 珪藻とともに, 藍藻, 渦鞭毛藻, 橈脚類, 枝角類, 毛顎類においても, 浦賀水道で多く, 湾奥で少ない。とくに, 近年は外洋種は全く湾奥には侵入しなくなった (Tables 4, 5, 6 and 7)。
- 2) 湾奥の珪藻出現種数は 1947 年 35, 1966~68 年 28, 1972~73 年 23 と減少する。このうち, 外洋種数は, 1947 年 12 であったが, 近年は 0 である (Tables 1 and 2)。
- 3) 奥湾の卓越種は 1947 年には *Chaetoceros affinis*, *C. decipiens*, *Thalassionema nitzschioides*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata* で, 1966~68, 1972~73 年は *Chaetoceros debilis*, *C. socialis*, *Coscinodiscus* 属 (*C. gigas* など), *Thalassiosira* 属 (*T. decipiens*, *T. mala* など), *Eucampia zoodiacus*, *Ditylum brightwellii*, *Rhizosolenia setigera*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata* である。また, 1929 年と 1947 年とでは珪藻群集は同じではないが, 何れも黒潮外洋種が出現している。
- 4) 近年, 珪藻赤潮が非常にひんぱんに出現するようになったことからみて, 東京湾の珪藻現存量は著しく増大したと推定される。
- 5) *Skeletonema costatum* の現存量は東京湾で 1949 年より現在まで, 赤潮時, 平時をとわず, 他の珪藻にくらべ, ずばぬけて大きい。
- 6) 吉田 (1973) の海水区分によると, 珪藻群集からみれば, 東京湾は 1947 年ごろ「富栄養」,

近年「過栄養」であり、将来は「腐水」のおそれなしとしない。

文 献

- 朝倉慶吉 (1907): 横浜近海の赤潮について. 気象集誌, 第1集, **26**(10), 310-318.
- CUPP, E. E. (1943): Marine plankton diatoms of the west coast of North America. Bull. Scripps Inst. Ocean., **5**, pp. 237.
- 藤谷 超 (1952): 東京湾に於ける珪藻類の年変化に就て. 内海区水研報告, **2**, 27-33.
- GRAN, H. H. (1905): Diatomeen in "Nordisches Plankton". **19**, pp. 146.
- HENDEY, N. I. (1964): An introductory account of the smaller algae of British coastal waters, Part V. Bacillariophyceae, pp. 137.
- HUSTEDT, F. (1927-30): Die Kieselalgen, Teil I pp. 925.
- HUSTEDT, F. (1931-59): *ibid.*, Teil II. pp. 845.
- 北森良之介 (1970): 海洋の底棲動物と水質汚濁. 海洋科学, **2**(9-10), 27-32.
- 倉茂英次郎 (1932): 東京湾に於ける蜆の分布と水理状況との関係に就て. 気象集誌, 第2集, **9**(12), 716-724.
- KURASHIGE (1932): Plankton distribution at Tokyo Bay in the spring-time with reference to hydrography. Geophys. Mag., **6**(3), 275-285.
- 丸茂隆三, 高野秀昭, 川原田 裕 (1966): 日本海洋プランクトン図鑑. No. 1, 珪藻類その他, pp. 67.
- 松平康雄 (1964): 日本沿岸水域基礎生産総合研究結果. 日本プランクトン学会報, **11**, 24-73.
- 岡村金太郎 (1907): 木更津に現われたる赤潮について. 水産研究誌, **2**(10), 1-5.
- 猿橋勝子, 三宅泰雄 (1973): 東京湾の海洋化学的経年変化. 昭和 48 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
- 菅原兼男, 海老原天生, 佐藤正春, 青木邦昭, 宮沢公雄, 川名順之, 飯田健二 (1967): 赤潮観測委託およびハマグリ漁場調査結果とハマグリ被害について. 千葉県内湾水試報告, **9**, 49-73.
- 菅原兼男, 佐藤正春 (1966): 東京湾の赤潮. 水産海洋研究会報, **9**, 116-133.
- 菅原兼男, 佐藤正春 (1968): 赤潮観測委託結果と貝類被害について. 千葉県内湾水試調査報告, **10**, 60-78.
- 菅原兼男, 佐藤正春 (1969): 赤潮観測委託結果. 同上, **11**, 21-36.
- TAKANO, H. (1956): Harmful blooming of minute cells of *Thalassiosira decipiens* in coastal waters in Tokyo Bay. J. Oceanog. Soc. Japan, **12**(2), 63-67.
- TAKANO, H. (1965): New and rare diatoms from Japanese marine waters—I. Bull. Tokai Reg. Fish. Lab., **42**, 1-10.
- 田村静夫 (1970): 東京内湾海域の水質変動と漁業生産. 海洋科学, **2**(11), 51-59.
- 津田松苗 (1964): 汚水生物学. 北隆館, pp. 258.
- YAMAZI, I. (1955): Plankton investigation in inlet waters along the coast of Japan, XVI. The plankton of Tokyo Bay in relation to water movement. Publ. Seto Mar. Biol. Lab., **4**(2-3), 285-308.
- 山路 勇 (1973): 東京湾のプランクトン. 沿岸海洋研究ノート, **10**(2), 105-109.
- 吉田陽一 (1973): 低次生産段階における生物生産の変化. 水圏の富栄養化と水産増殖, 水産学シリーズ1, 日本水産学会, 92-103.

インド洋における DSL の生物学的研究—II.*

水平分布と垂直分布**

増田辰良*** 田中正明*** スリ・ラハユ***

Biological Studies on the Deep Scattering Layer in the Indian Ocean—II.

Horizontal and Vertical Distributions of Animal Constituents of DSL

Tatsuyoshi MASUDA, Masaaki TANAKA and Sri RAHAJU

Abstract: In this paper are given some investigations on the horizontal and vertical distributions of animal constituents of DSL occurring in the eastern Indian Ocean during the period from November 1963 to January 1964.

It can be considered that major constituents of DSL in the eastern Indian Ocean consist of 5 groups including the Copepoda, Euphausiacea, Siphonophora, Sagittoidea, and Thaliacea, and their average distribution ratios in individual number may be estimated at 50, 15, 10, 5, and 5%, respectively (Fig. 1). It seems to be quite all right to regard the main scatterers adding the Amphipoda and Pteropoda to these 5 groups as common in different waters.

The horizontal distributions of major constituents of DSL indicate a general tendency that the Copepoda appear to be correlated with the adjacent waters of Indonesia, whereas the Euphausiacea to be somewhat related to those of Australia. It is evident that of the major constituents of DSL the Copepoda, Euphausiacea, and Siphonophora preserve the stable dominancies horizontally and vertically (Figs. 2 and 3). This suggests that marine organisms provided with exoskeletons or pneumatophores are the most probable reflectors.

With the ascending movement of DSL after sunset, is recognized a general trend that the Copepoda show a decrease in distribution ratio, whereas the Euphausiacea, Siphonophora, and Thaliacea show an increase.

1. 緒言

深海音波散乱層 (DSL) が夜間上昇し、日中下降することは以前からよく知られている現象である (JOHNSON, 1948; DIETZ, 1948; BODEN, 1950; MOORE, 1950; HERSEY, JOHNSON and DAVIS, 1952; 西村, 1958; 鈴木, 1963; 柴田,

1964)。DSL は必ずしも 1 層が存在するのではなく、同時に 2 層が存在することはインド洋でも (熊凝, 鈴木, 宝谷, 1961), また北西部太平洋水域でも (鈴木, 伊藤, 1967) 観測されている。インド洋では DSL に 2 型があるとされ、一つは昼間水深 300-400 m 層にあって、日没時にもそのまま残留するか、または若干上昇して停留するが、今一つは昼間それと重なって停留し、日没時には上昇、表層において拡散し、日出時に再び集結して下降する。そして、前者は海水の温度差あるいは密度差などの物理的現象によるものであり、後者は明らかに生物起源のものであるとされている。

* 1973年4月21日受理

本研究の一部は文部省科学研究費による

** 1973年4月4日昭和48年度日本水産学会春季大会で講演発表

*** 東京水産大学水産動物学教室 Laboratory of Aquatic Zoology, Tokyo University of Fisheries, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

これに対して、北西部太平洋においては波長により1-2層のDSLが記録されるが、この原因は水温や塩分の躍層とは関係なく、密集した生物群にあると推察されている。いずれにしても、DSLが日周期垂直移動をすることは顕著な事実で、これが海洋生物の垂直移動に起因するものであり、その行動が水中照度の変化に規制されていることは、これまでの多くの業績の一致した見解であるといえよう。

しかし、この日周期垂直移動をするDSLの構成生物群が移動に伴ってどのように変化するのか、あるいは同じ海域内では構成生物相も同一なのかという問題については、従来あまり詳しい検討がなされていないようである。僅かに、DSLの深度差による構成生物についてMOORE (1950) やTUCKER (1951) が暗示を与え、鈴木、伊藤 (1967) が組成を比較しているにすぎない。そこで、著者らが第1報 (増田、スリ、田中、1972) において報告した、インド洋東部海域に出現するDSLの主要構成生物相であるCopepoda, Euphausiacea, Siphonophora, Sagittoidea, Thaliaceaの5群について、それらの水平的な組成分布ならびにDSLの上昇に伴う垂直的な組成変化を検討した。その結果、二、三の知見を得たので、ここに報告する次第である。

本文に入るに先立ち、本調査にご協力を賜った海鷹丸調査団長・東京水産大学妹尾次郎教授ならびに海鷹丸船長・故小沢敬次郎教授はじめ乗組員の各位に深厚なる謝意を表す。

2. 材料および方法

DSLの構成生物群集の採集方法は第1報 (増田、スリ、田中、1972) に示したとおりで、1963年11月21日より1964年1月22日に至る期間、日没時から上昇するDSLを音響測深機で確認し、ネット・ゾンデを使用して正確な深度を保持しつつ、270 cmの角形ネットで30分間水平曳したものである。採集地点はインド洋東部海域の29測点で (Fig. 1), 1測点あたり1-3層のDSLについて総計56回の採集を実施した。このうち、St. 8の50 m層ではネットが破損したので、採集が不可能

であった。地方時で18:36-21:05の間に観測し得たDSLの水深は15-395 mの範囲に及んでいるが、St. 28の水深395 mの1例のみは斜走曳したもので、その他の採集方法とは異なるため、本編では除外してある。したがって、ここに取り扱った材料はインド洋東部海域の28測点において54回にわたり採集したものである。

各測点における各層のDSLから得られた資料は43動物群に分類し、それぞれの個体数による編組比率を求め、第1報で判明したインド洋東部海域におけるDSLの主要構成生物5群について、それらの水平的ならびに垂直的な組成変化を検討した。

水平分布としてはSt. 1-27の全測点、ならびにSt. 1-5°を第1測線、St. 6-13を第2測線、St. 14-22を第3測線、St. 23-27を第4測線として、各測点および各測線ごとのDSL主要構成生物群の組成を比較した。また、垂直分布としては28測点において54回観測したDSLを水深150-90 m層 (6例)、80-50 m層 (24例)、および40-15 m層 (24例)の3層に分け、各層ごとの主要構成生物群の組成を比較した。

3. 結果

1) 水平分布

インド洋東部海域における28測点のDSLから採集した生物群をCopepoda, Euphausiacea, Siphonophora, Sagittoidea, Thaliaceaの主要5群とその他に分類し、それらの個体数による編組比率を各測点ごとに図示したのがFig. 1である。

これによると、インド洋東部海域におけるDSLの構成生物群の組成は第3測線の中央部に位するSt. 17, 18, 19あたりが最も平均的な型を示しているようである。すなわち、Copepodaが50%, Euphausiaceaが15%, Siphonophoraが10%, Sagittoideaが5%, Thaliaceaが5%, その他が15%という編組比率がDSLの標準的な組成であると推定される。これに対して、St. 7, 10, 25ではThaliaceaが多く、ことにSt. 10では30%に達する高率を占めているのが注目される。また、Copepodaの編組比率がインドネシア側に

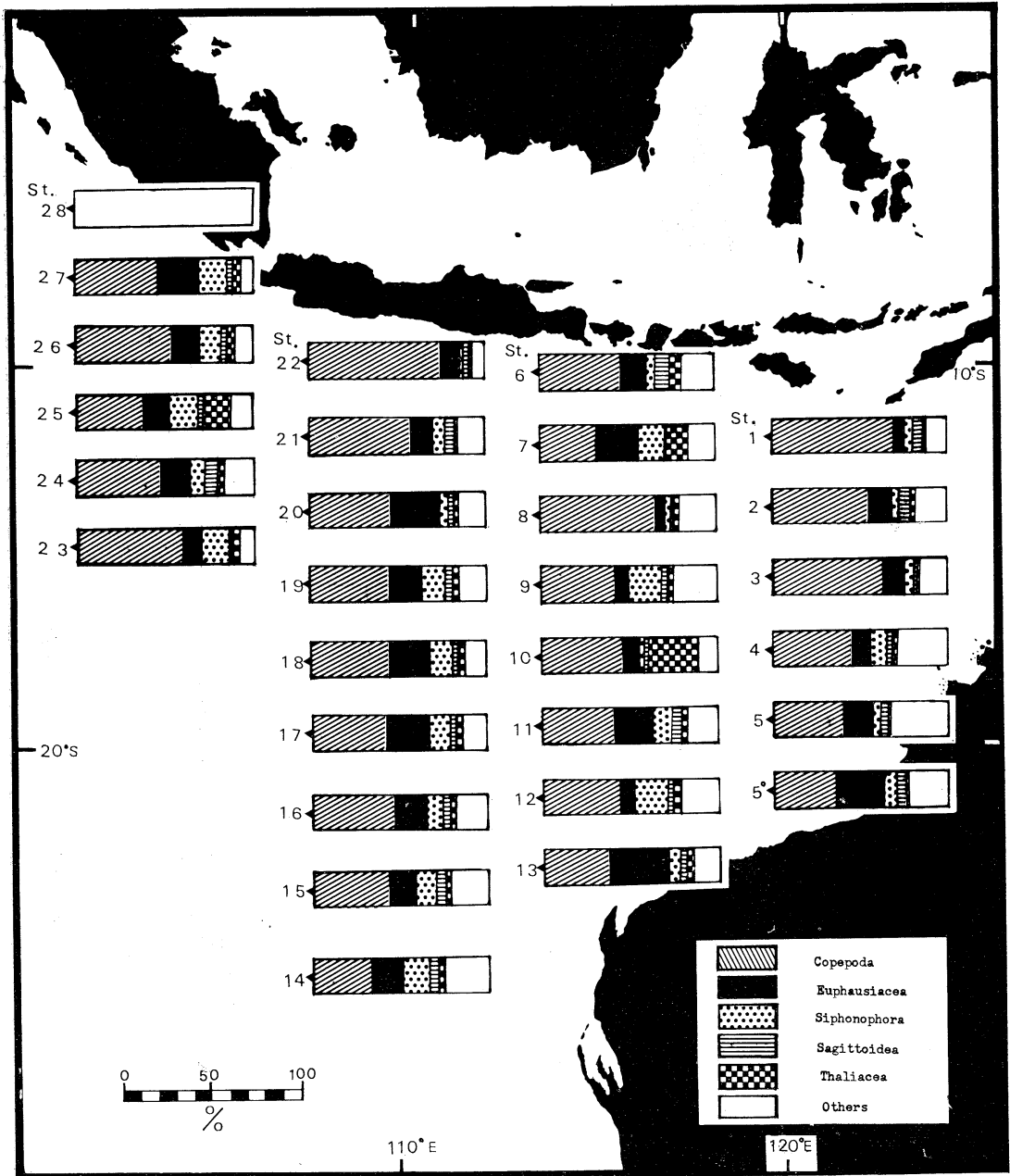


Fig. 1. A comparison of the horizontal distributions of macroplankton occurring at deep scattering layers of each station in the eastern Indian Ocean during the period from November 1963 to January 1964. The percentage indicates average distribution ratios in individual number of animal constituents of DSL. St. 28 shows nothing but its location.

高く、反対にオーストラリア側では Euphausiacea の編組比率がやや高い傾向が認められるようである。

次に、4 測線に分けて DSL の主要構成生物群の組成を比較したのが Fig. 2 である。

この図から知られるように、上位優占群の

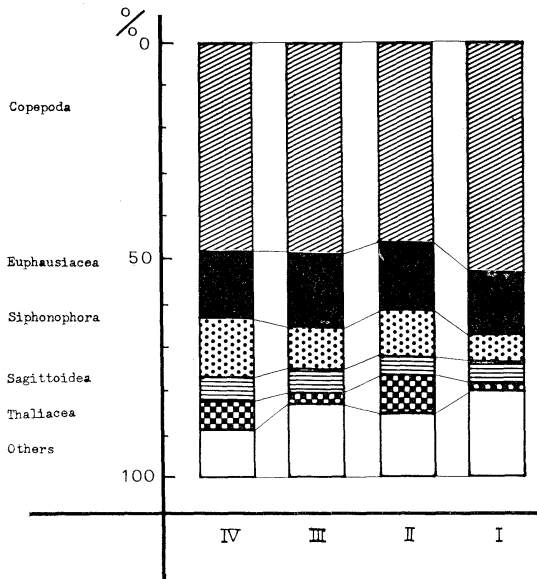


Fig. 2. A comparison of the horizontal distributions of macroplankton occurring at deep scattering layers of 4 sampling lines in the eastern Indian Ocean during the period from November 1963 to January 1964. The ordinate indicates average distribution ratios (%) in individual number of animal constituents of DSL.

Copepoda, Euphausiacea, Siphonophora 3群の優占順位には測線差が認められない。しかし、Sagittoidea と Thaliacea 2群の順位は第1・3測線と第2・4測線では逆転がみられ、ことに Thaliacea の編組比率は各測線によってかなりの差が認められる。

2) 垂直分布

インド洋東部海域で観測した DSL を水深 150-90 m, 80-50 m, および 40-15 m の3層に分けて、各層における主要構成生物群の編組比率を比較すると、Fig. 3 に示したようになる。

この図で明らかなように、主要構成生物群のうち、Copepoda と Euphausiacea の上位2群は深度による順位の変化が認められないが、Siphonophora, Sagittoidea, Thaliacea の3群の間では順位の逆転がみられる。すなわち、水深 150-90 m 層では Sagittoidea が3位で、Siphonophora が4位になり、80-50 m 層と 40-15 m 層ではい

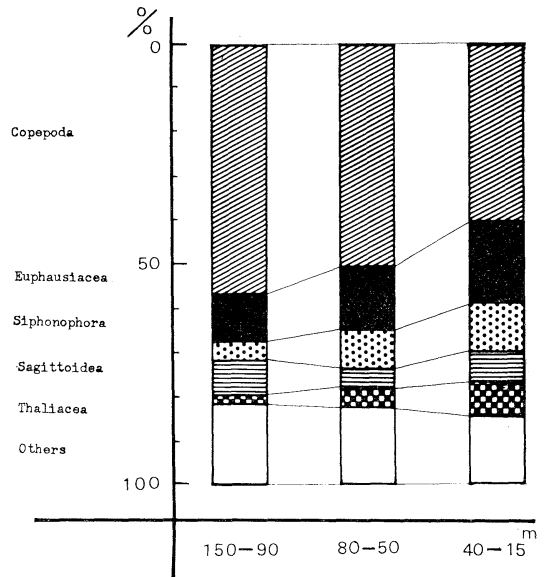


Fig. 3. A comparison of the vertical distributions of macroplankton occurring at 3 deep scattering layers of 150-90, 80-50, and 40-15 m deep in the eastern Indian Ocean during the period from November 1963 to January 1964. The ordinate indicates average distribution ratios (%) in individual number of animal constituents of DSL.

れも Thaliacea が4位を占め、Sagittoidea が5位になっている。

また、DSL の上昇に伴う各主要構成生物群の編組比率の変化については、優占順位が1位の Copepoda が順位は保ちながらも、上昇につれて 57.3, 50.7, 40.4% と低下するのに対し、Euphausiacea, Siphonophora, Thaliacea の3群は上昇とともに次第に高率を示すのが対照的である。Sagittoidea は特異で、中間層で減少するのが認められる。

既述の Thaliacea が異常な高率を示した St. 10 について、日没時に DSL を観測した水深 90 m 層とさらに上昇した 32 m 層、および対照採集した表層の3層における主要構成生物群の組成を比較して図示したのが Fig. 4 である。ちなみに DSL が 90 m 層から 32 m 層に上昇するのに、ほぼ1時間を経過している。

この図から、St. 10 の 90 m 層では Copepoda

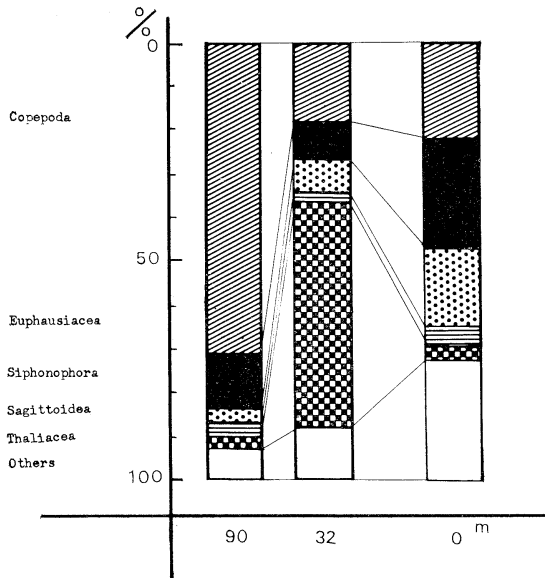


Fig. 4. A comparison of the vertical distributions of macroplankton occurring at the sea surface and deep scattering layers of 32 and 90 m deep at St. 10 in the eastern Indian Ocean on December 9, 1963. The ordinate indicates distribution ratios (%) in individual number.

の編組比率がかなり高いが、それでも先に述べたインド洋東部海域における 150-90 m 層の DSL 主要構成生物群の平均的な優占順位と全く一致する組成を示しているのに対して、32 m 層では Thaliacea が 53.9% という異常な高率で 1 位となり、その他の構成群が順次下位にずれているのが理解されるであろう。このような現象は今回の調査では稀な事例である。また、DSL の上昇に伴い Copepoda の編組比率が低下し、Siphonophora と Thaliacea のそれが高率を示すことは、インド洋東部海域における一般的な傾向に合致しているが、ただ Euphausiacea の組成が上昇につれて減少する点が特異である。なお、表層における組成も Copepoda, Sagittoidea, Thaliacea の 3 群がインド洋東部海域の表層群の平均的な値を示しているのに対し、Euphausiacea が 23.9%, Siphonophora が 22.2% で、それぞれの平均値である 9.8%, 11.2% よりもかなりな高率を示している (増田, スリ, 田中, 1972)。

4. 考察および結論

以上のように、インド洋東部海域における DSL の主要構成生物群である Copepoda, Euphausiacea, Siphonophora, Sagittoidea, Thaliacea のうち、上位優占群の Copepoda と Euphausiacea 2 群の優占順位が水平的にも垂直的にもほぼ一定しており、これに次いで Siphonophora がかなり安定した順位を保持していることは明らかである。これは日周期垂直移動をする DSL が動物に起因するものであることは疑う余地がないにしても、海洋生物のすべての種類が音響測深機からの音波を反射させるわけではなく、その選択が限られていることを意味するものであろう。BERRILL (1969) も述べているように、外骨格を有する Crustacea や浮囊をそなえた Siphonophora などの濃密群がもっともよい反射板として作用するのであろうと考えられる。このことは南カリフォルニア沖合で、潜水艇トリエステ号が DSL を通過する際に、水平に漂流している無数の Siphonophora が観察されていることから明瞭である。

鈴木, 伊藤 (1967) は北西部太平洋水域における DSL の主要構成生物相として Copepoda, Euphausiacea, Amphipoda, Hydrozoa, Pteropoda, Sagittoidea などを挙げている。このうち、Amphipoda と Pteropoda はインド洋での調査でも、両群とも 2.6% の平均編組比率を占めており、かなり主要な構成群である (増田, スリ, 田中, 1972)。したがって、北西部太平洋水域における DSL の主要構成生物相は東部インド洋水域の場合にも共通するものであり、海域を異にしても DSL の主要構成生物相には差がないことを暗示している。

DSL の深度差による構成生物については、MOORE (1950) は深層は大型の Natantia, 中層は Euphausiacea, 浅層は Copepoda が主群であることを暗示し、TUCKER (1951) は深層は Pisces, 上層は Euphausiacea であると述べている。また、鈴木, 伊藤 (1967) は同一水域で 2 層の DSL が観測された場合の浅層と深層との構成生物の組成を比較し、深層で 30% を占める Euphausiacea が浅層ではほとんどみられないことを報告してい

る。これは DSL の上昇につれて Copepoda が減少するのに対し、Euphausiacea が増加する傾向が認められた今回の結果とは鋭く対立する点である。前者は種類別湿重量の平均百分率であり、後者は個体数による平均編組比率から求めた組成であるにしても、この極端な差異を説明することはできない。むしろ、両者の海域の相違に加えて、前者は独立した2層の垂直的な比較であり、後者は上昇する単一層の時間的変化である点に原因が求められるかも知れない。あるいは、比較的大型の Euphausiacea は夜間でも表層まで上昇することはなく、幼体が表層にみられると記述していることからすると、種の生態型の差であるかも知れない。ちなみに、インド洋では既述のように、Euphausiacea は表層群中 10% 近い平均編組比率を占めている。いずれにしても、採集物が DSL の構成生物の分布密度をどの程度代表しているかは今後の問題点として残されるであろう。また、DSL の上昇に伴って主要構成生物群の組成の変化に負の相関が認められることは各群の遊泳速度の差によるのではないかと推察されるが、この点はそれぞれの最適照度や栄養段階などの問題を含めて、さらに検討を要するであろう。

5. 摘要

- 1) インド洋東部海域に出現する DSL の主要構成生物相である Copepoda, Euphausiacea, Siphonophora, Sagittoidea, Thaliacea の5群について、その水平分布と垂直分布を、出現個体数による編組比率に基づいて検討した。
- 2) インド洋東部海域における DSL の標準的な組成は Copepoda が 50%, Euphausiacea が 15%, Siphonophora が 10%, Sagittoidea が 5%, Thaliacea が 5%, その他が 15% という編組比率である。
- 3) 特異な現象として、Thaliacea の編組比率が異常な高率を示し、最優占群となることが稀にある。
- 4) これら5群に Amphipoda と Pteropoda を加えた DSL の主要構成生物相は、海域を異にしても共通するようである。

- 5) 水平分布としては、インドネシア側に Copepoda が多く、反対にオーストラリア側では Euphausiacea がやや多い傾向がある。
- 6) 水平分布を4測線に分けて比較しても、上位優占群の Copepoda, Euphausiacea, Siphonophora 3群の優占順位には変化は認められない。
- 7) 垂直分布としては観測した DSL を3層に分けて比較しても、上位優占群である Copepoda と Euphausiacea 2群の優占順位には深度による差が認められない。
- 8) Copepoda, Euphausiacea, Siphonophora が DSL の構成生物中安定した優占順位を保持しているのは外骨格や浮囊を有する海洋生物が音波反射体として最適であることを意味するものであろう。
- 9) DSL の上昇に伴い Copepoda が減少するのに対し、Euphausiacea, Siphonophora, Thaliacea の3群は反対に増加する傾向が認められる。
- 10) このような DSL の日周期垂直移動による組成の変化は DSL を構成する各群の遊泳速度の差によるものと推察されるが、この点はそれぞれの最適照度や栄養段階などの問題を含めて、さらに検討を要するであろう。

文献

- BERRILL, N. J. (1969): The life of the ocean. 232 p., McGraw-Hill Book Company, New York.
- BODEN, H. B. (1950): Plankton organisms in the deep scattering. U. S. Navy Electronics Laboratory, Rep., 180, 1-69.
- DIETZ, R. S. (1948): Deep scattering layer in the Pacific and Antarctic Oceans. J. Mar. Res., 7(3), 430-442.
- HERSEY, J. B., H. R. JOHNSON and L. C. DAVIS (1952): Recent findings about the deep scattering layer. J. Mar. Res., 11(1), 1-9.
- JOHNSON, M. W. (1948): Sound as a tool in marine ecology, from data on biological noises and the deep scattering layer. J. Mar. Res., 7(3), 443-458.
- 熊凝武晴, 鈴木 裕, 宝谷英生 (1961): インド洋における偽底像. 東水大特研報, 1(1), 93-102.
- 増田辰良, スリ・ラハユ, 田中正明 (1972): インド洋における DSL の生物学的研究-I. 構成生物相. うみ, 10(3), 113-118.
- MOORE, H. B. (1950): The relation between the

- scattering layer and the Euphausiacea. Biol. Bull., **99**, 181-212.
- 西村 実 (1958): 東支那海に於ける底魚用魚群探知機の実験. 漁船研究技報, **12**, 115-135.
- 柴田恵司 (1964): 魚群探知機に現われた記録の解析—V. 黄海下りえび漁場について (1). 長崎大水産研報, **17**, 25-43.
- 鈴木恒由 (1963): 襟裳岬近海に現れる DSL の日変化と水中照度およびプランクトン量との関係について. 日水誌, **29**(10), 1000-1004.
- 鈴木恒由, 伊藤 準 (1967): 北西部太平洋水域における DSL について—I. 垂直移動, 水中照度およびプランクトン量などについて. 日水誌, **33**(4), 325-337.
- TUCKER, G.H. (1951): Relation of fishes and other organisms to the scattering of underwater sound. J. Mar. Res., **10**(2), 215-238.

シ ン ポ ジ ウ ム

第 1 回 赤 潮 シ ン ポ ジ ウ ム

The 1st Symposium on the Red Tide

日 時: 昭和 48 年 3 月 30 日 9 30~17.00

場 所: 日仏会館 会議室

主 催: 日仏海洋学会

話 題	話 題 提 供 者
1. 赤潮シンポジウムについて……………	佐々木 忠 義 (東 水 大)
2. 赤潮生態学について……………	辻 田 時 美 (北 大・水 産)
3. 海産硅藻類の生物濃縮について……………	吉 田 多 摩 夫 (東 水 大)
4. 養殖カキ生産の推移ならびに海産生物群集の 遷移から見た広島湾の富栄養化……………	荒 川 好 満 (広 島 県 水 試)
5. 赤潮防除対策……………	中 村 充 (農林省農業土木試 験場水産土木部)
6. 瀬戸内海の富栄養化と赤潮……………	岩 崎 英 雄 (広 島 大・水 畜 産)
7. 既存の養殖場における赤潮被害対策……………	磯 舜 也 (KK 東京久栄)
8. シルシ・ポンプによる浚渫工法について……………	園 田 武 彦 (東 亜 港 湾 工 業 KK)
9. ヘドロの処理処分法について……………	清 水 博 (オ ル ガ ノ KK)
10. 廃棄汚泥処理と汚泥地区の再利用……………	斎藤二郎・西林清茂 (KK 大 林 組)

1. 赤潮シンポジウムについて

On the Red Tide Symposium

佐々木 忠 義*

私は、昨年(1972年)3月27日、リスボン(ポルトガル)の海洋生物研究所(Instituto de Biologia Maritima)を訪問した。ポルトガルは、近年、大西洋や南アフリカ沖などでの漁業生産に力を入れており、なお栽培漁業にも大きな努力を払っている、その辺の事情を視察するのが目的であった。

研究所の研究員たちから、これらの点についていろいろな知見を得ることができた。いまなお、リスボン湾内で天然のカキを漁獲している。国内の需要を充たし、海外にも輸出しているという話には、大いに驚いた。さらに、港の沖合で大量に獲れているというエビの話も聞いた。日本のクルマエビの変形とでもいえそうなそのエビの味は、クルマエビに似ていた。試験管内で、エサを与えてそのエビを栽培している過程をみて、エサの調査からはじめて、栽培に成功するまでの努力と研究成果には心より敬服した。こんご、湾外の広範な海域で栽培漁業を実施する予定であるが、日本は世界一の栽培漁業技術をもっている、こんご是非とも日本の技術指導を期待したい、とも言っていた。

郊外の丘の上からリスボン湾を見下したいとき、さすがに海は澄んでいて、うらやましいほどきれいであった。ただ一つの、臨海製鉄所の煙が時折視界をさえぎっていた。この製鉄所の存在は、汚染されていないリスボン湾とは、はなはだ調和のとれないものだった。

研究所で、赤潮(Red Tide)の話をしたところ、反射的には返事が帰ってこなかった。直感的に、赤潮後進国であることがわかった。いつまでも、赤潮後進国であってほしい、と思ったのだが、さいきんは、年に1~2回赤潮が発生することがあると聞いて急に暗い気持になった。

赤潮現象の歴史はかなり古いという。だが、最近とくに注目を浴び問題になってきたのは、漁業とくに沿岸における水産増養殖などに及ぼす影響その他を通して、われわれの生活に直接結びついてきたことによるものと思

われる。

改めてここに記すまでもなく、産業や都市の排水、重油の流出、有害物質の広範囲にわたる拡散、赤潮の頻繁な発生などに伴う海洋環境の汚染は、地球全生物にとって極めて重要な問題であり、ひいては人類の存亡にかかわる大問題である。

海洋環境だけが問題なのではない。かけがえのない、ただ一つの地球が日に日に汚染されている。生物にとって危機的形相を濃くしてきた地球を見つめ、この際思いきって清新な地球科学を建設することの意義は大きく、その理想を実現する人材の育成を求めて神戸大学に、地球科学科が設立された。また、東京農工大学には、環境科学・自然保護などを中心とする専門学科として、環境保護学科が設立された。さらに、東京水産大学には、海洋環境工学科が新設され、資源生物の生産を維持、増大するために海洋環境の汚染防除、保全に必要な学理および応用技術の研究体制を確立し、この問題に取り組む人材を育成し、この緊急課題の解決に寄与しようとしている。この3大学の新設学科は、何れも昭和48年度から発足するものである。

日仏海洋学会が、第1回赤潮シンポジウムを開催したのは、こうした諸般の環境汚染問題、それに対する取組みの具体的な動きなどを背景として、第1着手として赤潮現象をとりあげ、シンポジウムの回を重ねて、赤潮そのもの、関連する科学的な諸問題、あるいは研究分野における境界問題などについて科学技術的な討議を展開し、それらの問題の解決への足がかりでも見出したい、という強い念願からである。

幸い、日仏海洋学会には、現在のところ下記の通りの分科会が設けられている。

記

1. 水中作業艇(Underwater Vehicles Committee)
幹事: 平野 美 木
2. 水中映像(Underwater Image-Information Committee)
幹事: 早 苗 清 久
3. 栽培漁業(Aquaculture Committee)

* Tadayoshi SASAKI 東京水産大学 Tokyo University of Fisheries

- 幹事: 森 英 旭
4. 海洋腐蝕 (Marine Corrosion Committee)
幹事: 重 藤 隼 太
5. 海洋計測 (Oceanographic Instrumentation Committee)
幹事: 森 川 吉 郎
6. 海洋鉱物資源 (Mineral Resources Committee)
幹事: 田 村 純
7. 水中作業技術 (Man's Underwater Activities Committee)
幹事: 山 中 藤之助
8. 海洋動力 (Power Supplies Committee)
幹事: 山 田 沢 三
9. 沿岸環境管理 (Waste Management and Coastal Zone Committee)
幹事: 磯 舜 也
10. 海洋汚染 (Marine Pollution Committee)
幹事: 清 水 博
11. データ工学 (Data Engineering Committee)
幹事: 古 野 清 孝

12. 海洋構造物 (Marine Construction Committee)

幹事: 渋谷 勝 治

これらの分科会を通して、海洋科学技術の広範な問題を取り上げ、かつそれらに対処しつつある。昭和47年8月29日に開催した、海洋工学研究に関するシンポジウムは、分科会が発足して1年を経過した時点で、分科会の活動を中心にして開催したものである。

今回の、第1回赤潮シンポジウムは、前記のような背景に立って、海洋汚染分科会(幹事: 清水 博)が中心になって企画し、推進したものである。

このシンポジウムの内容から明らかのように、学界ならびに産業界の関連分野の各位の格調の高い話題提供があった。それぞれに対し活発な討議がなされたことは、シンポジウムの意義を一層広くかつ深くした感が強い。今後、さらに会員各位の御支援の下に、より稔り多き赤潮シンポジウムを重ねたいと強く祈念している。

2. 赤潮生態学について

On Red Water Ecology

辻 田 時 美*

1. 赤潮の生態学的視点

海洋研究の歴史からみれば、赤潮は漁民や航海者などによって永い間観察報告されてきた。

従って、赤潮は自然の海が局所的に変色する原因不明の現象として、あるいはまた広い大洋を航海している途中で色が極端に変わっている水域に遭遇することで不思議がられていた。色が変わるだけでなく、悪臭を放ったり魚が斃死する現象を伴ったりして、海の病などと言われたり(アドリア海)することもあった。

近年になってフロリダ沿岸やカリフォルニア近海、あるいはアフリカ南西近海などで大規模な赤潮が頻発することが知られ、その原因究明も活発になされるようになった。

このように、赤潮は世界の各方面で報告されるようになったが、この種の赤潮はすべて海洋環境の変化の過程で自然発生したものである。

しかし、最近日本では沿岸水域特に内湾で赤潮が頻繁に見られるようになってきたことは注目すべきことで、このために漁業に及ぼす赤潮の被害が発端となって行政的な立場から研究が始められるようになったが、このような行政対策的な赤潮研究の対象となったのは山口県の徳山湾が最初と言えよう。

以来、このような立場での赤潮研究は瀬戸内海全域に広げられるようになって、赤潮が頻発する水域には富栄養化が進んでいることが判ってきた。

しかし、この富栄養化が必ずしも直線的に常に赤潮に結びつくものではない。富栄養化によって plankton の生産力が高まり、bloomng が頻発する段階で止まっている場合もある。あるいは、発生した bloomng の持続期間が永くなったり bloomng の強さ(これは bloomng の振幅とも言い、生産が極度に高まったことを表わす)が大きくなったりする段階が繰り返される場合もある。しかし、現象的には富栄養化は湧昇も沿岸水域にみられる人為的富栄養化 man-made eutrophication も赤潮発生の重要な条件であることは明らかである。

* Tokimi TSUJITA 北海道大学水産学部 Faculty of Fisheries, Hokkaido University

外洋に大規模に発生する赤潮は、湧昇域に最も多く発生していることが報告されている。すなわち、北アメリカのカリフォルニア沖、アフリカ南西沖、印度洋西部などは大規模の赤潮で有名である。これらの海洋性赤潮 oceanic red water の plankton は *Gymnodinium* 属に入る種が大部分である。

一方、南支那海、東支那海、あるいはオーストラリアのカーペンタリア湾など大陸棚上の海域では、前記のような富栄養化水域ではないのに *Trichodesmium* の赤潮が大規模に発生する。この種の赤潮現象は富栄養化だけの条件では原因を考えることはできない。*Trichodesmium* が適応した水域における遷移 succession の過程として、その原因を解明する方法が考えられる。

また、珪藻類の赤潮では九州西海域や大村湾の *Rhizosolenia styliformis* の赤潮(辻田, 1953, '56)の場合のように、その海域の海洋学的特徴からみて特に富栄養化の過程が認められないにもかかわらず赤潮が発生したことは、前者の大陸棚上における *Trichodesmium* の赤潮の場合と同じように、栄養条件だけが赤潮発生の初期条件となっていないことを意味している。

むしろ、*Rhizosolenia* 赤潮の場合には水温低下塩分増加という無機環境条件の変動が作用したとみることができ。特に、この *Rhizosolenia* の赤潮の際にはこの西日本近海は水温低極、塩分高極期にあり、このような冬の季節に大增殖を起していること、あるいは1968年9月にアラスカの北極洋沿岸ポイント・バーロウで原生動物 ciliate の赤潮が発生したことなどを考えると、いわゆる赤潮と称している現象では、その発生原因が赤潮を形成する plankton の種類によって様々であることを示唆している。

このように、ある程度観測研究された赤潮の場合をみると、その水域の環境変化に対応して急速に適応増殖する plankton の endemic species が seeding population として生存していることが必要であることを意味している。

このようにみえてくると、海洋において種々の異なった海洋条件のところに発生する赤潮はその水域における plankton succession の過程における環境変化が赤潮の初期条件を与えるもので、必ずしも富栄養化のなかの栄養塩だけに掃せられない。

これまでに観測研究された赤潮を発生水域別に類別すると次のようになる。(辻田, 1969)

1. oceanic red water type
2. coastal red water type

3. inland sea red water type

4. embayment red water type

外洋では環境変化が沿岸に比較してゆるやかであるために、発生した赤潮は大規模で持続期間も長い。一方沿岸水域では赤潮発生の頻度は高く、赤潮を形成する plankton の種類も多い。

沿岸水域では力学的環境や水温塩分など、気象要因に基づく海況変化が大きいにもかかわらず、赤潮発生の報告が多く、また赤潮の種類が多いということは、栄養塩などの補給条件、すなわち富栄養化の条件のほかに、化学的生態学 chemical ecology の分野で問題とされている物質の作用、すなわち community における plankton の種相互間に起つている化学的相互作用、すなわち allelochemicals に関する情報を導入して解明せねばならない重要な研究課題が残されている、と言えよう。

このことは、MARGALEF (1960, '69) や WHITAKER and FEENY (1971) などが示唆しているが、辻田 (1968) は allelopathy の情報を赤潮研究に取り入れることを論じた。すなわち、赤潮を plankton community における succession の過程として解明する場合、赤潮の特徴の一つである community growth から monospecific population growth phase に向って productivity や species diversity が移行する生物現象の過程において、その要因として化学物質(例えば pheromone)の作用を取り上げて化学的生態学の観点から研究と取り組もうと言うものである。

このように論じてくると、赤潮の発生原因を探るには、栄養補給に関する輸送の条件として湧昇、移流などがあり、またこのように輸送された栄養塩が濃縮される条件として流れの収束、発散、あるいは水塊の独立性の発達などがあげられる。これらの物理条件が成立すれば、これが初期条件となって plankton community growth が急速に進行し、やがて時間の経過とともに ectocrine (C.E. LUCAS, 1949) など化学物質の相互作用が種間に高まり、その結果として succession には community growth から monospecific population growth に移行する過程が現われる。

このようにみえてくると、赤潮は succession において一つの system としてとらえ得ることが知られる。

赤潮システムにおいては栄養塩補給を促進する物理条件(力学的環境)が先行し、これに続いて化学的生態条件 allelopathy が強まって、一つの空間における pl. community に species diversity の変化が起り、これと平行して生産力の変動(上昇)が起っている。

Table 1. Red water system off south California, summarized and on Red Tide (by J.E. SYKES). U.S. Fish and Wildlife

	Winter	Late winter	Early spring	Spring	Late spring
PHYSICAL PROCESSES	----->	Upwelling occurs in late winter and early spring. Deep water from below the euphotic zone rises to replace surface waters that are displaced horizontally by westerly winds of 45-55 knots which blow for periods of about 40 hours.		→Solar radiation increases to maximal annual intensity, vertical stability develops in the water column. A shallow thermocline forms at about 10 m isobath. In this season, during the afternoon, ↗	
CHEMICAL PROCESSES	----->	Upwelling provides nutrients to the euphotic zone. The abundance of nitrates probably limits primary production in the inshore area of southern California.		----->	During the late spring and early summer, available nutrients have declined to approximately 10 percent or less of the concentrations ↗
BIOLOGICAL PROCESSES	Concentrations of phytoplankton are low during the winter, minimal during the upwelling period.		----->	Concentrations of phytoplankton are maximal in the late spring and summer. The dinoflagellates become the dominant phytoplankton. The dinoflagellates become the dominant phytoplankton. The dinoflagellates ↗	

2. 赤潮のシステム

赤潮現象は先に述べたように、これを生態学的にとらえるならば、successionにおける環境変動と plankton の増殖率 productivity の変化及び species diversity の変化を時系列的にみたもので、環境変化とこれら生物学的な plankton community のパラメーターの絡み合ったシステム、すなわち succession system とみることができる。

海洋のある場所において進行するこのような succession system では plankton community と環境の間で相互に影響されながら production と species diversity など状態 state の変化、すなわち succession system の mode と条件 condition の変化が続いており、赤潮はこの連続した生態学的過程のなかで起っている。

このような状態を模式的に示すと Fig. 1 のようになる。この図は succession において富栄養化が起り、そ

の後 blooming がみられるが、時にはこの後に赤潮が現われることを示し、このような時間経過のなかで一方では生産力が高まって赤潮の phase でそれが極大となること、一方では plankton community の species diversity は blooming になると小さくなり、更に赤潮になってこれが monospecific population になる場合にはその index はゼロに近づくことを表わしたものである。そして、この状態、すなわち低い diversity 高い基礎生産力を示すことは生態系の熟度が低下したことを意味する。

実際に幾つかの赤潮現象を追跡してみると、環境の力学的変化、例えば水域の閉鎖性が高まるなどの物理的变化が起ると、これに続いて化学物質の分布の変化、更に plankton 分布における species diversity の変化と再生産力の変化が起る。

右図 (Fig. 1) では一つの succession model として

described based on Bureau of Commercial Fisheries Symposium Service Spe. Sci. Rep. Fisheries No. 521, 1965.

Early summer	Summer	Late summer	Early fall	Fall	Late fall
<p>↗ onshore summer breezes push the surface layers of water toward the beaches and into the lee of sheltered locations.</p>	<p>→</p>	<p>Near the end of summer, the direction of the flow of the inshore current system changes.</p> <p>Slightly less saline water arrives indirectly from the north Pacific.</p> <p>This introduction of northern water continues until the cooling cycle begins in late fall.</p>	<p>→</p>		<p>In late fall, vertical mixing again appears to become more important than horizontal transport in determining the course of biological events in the inshore area.</p>
<p>↗ present at the peak of upwelling. The water column is approaching maximum, <i>i.e.</i> vertical mixing is at a minimum.</p>					
<p>↗ are restricted to water above the thermocline. During daylight in late spring and summer, these phototactic motile organisms concentrate at the surface. The surface layers of water, crowded and streaked with red dinoflagellates, are blown inshore by the afternoon winds, into the lee of headlands or artificial structures such as breakwaters and harbours where the organisms accumulates.</p>					

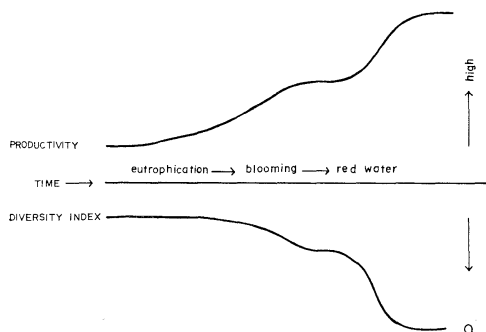


Fig. 1. An idealized view of the red water system, showing an increase in production of plankton and a decrease in species diversity index during the succession.

赤潮の説明を試みたが、実際の例として南カリフォルニアの赤潮のシステムについて、これまでの研究結果をも

とに要約すれば Table 1 のようになる。

この表では時間の経過とともに環境の物理的条件の変化によって起る化学的環境条件の移り変りと、これに随伴する生物的条件、例えば plankton の種組成とその分布密度はどのように対応した変化をするかなど、状態の変化を説明している。

この表によって、環境を物理的变化と化学的变化及び生物学的变化の過程に区分して、時日を追って出現するまでの過程をみると、赤潮が発生するまでにはかなりの長い時間を要し、このカリフォルニア沿岸の赤潮の場合をみると、夏に出現する dinoflagellates の赤潮の条件は既にそれよりほぼ半年以前の冬の終りから春の初頃の海洋気象が大きく関係していることが知られる。

そして、このような初期条件に続いて更に太陽輻射、風などの気象要素のほかには湧昇、移流(水の置換)、躍層

の発達というように、一連の海洋構造の変化が赤潮出現に至るまでにはなお必要となっていることが知られる。

この海洋構造の変化の過程では、まず栄養塩供給の作用を起し、次いでこの水域において躍層の発達という leakage に大きく作用する海洋構造の発達がみられる。

また、この期間には季節的にみられる海陸風があり、日中の向岸風は、日周活動の結果表層に浮上してきた dinoflagellates を表層の向岸流によって海岸近くまで輸送する。

このようにして沿岸域に濃縮された dinoflagellates は、この時期に 10 m 層附近に発達した躍層にみられる内波によって、細道状あるいは帯状に赤潮を形成する。

この赤潮発生の過程では環境の海洋構造の変化、それに伴う化学成分の変化に対応して生物学的な変化が続いて起り、明らかに plankton community における succession system の実体が知られる。

3. 赤潮の力学的環境

赤潮発生に関する理論のなかで非生物学的な環境条件として栄養塩類の供給があげられるが、いま一つ重要な役割をするのは物理的条件、特に水の運動に関する力学的環境条件である。

この問題に関しては既に、KIERSTEAD and SLOBODKIN (1953), SLOBODKIN (1953) の画期的な理論があり、これは辻田 (1955), CASSIE (1963), CUSHING (1962) らによって紹介され、あるいは応用された。

この理論が意味するところは、ある水体のなかで生物学的な再生産によってどんな赤潮 plankton が増殖しても、これが水の拡散や移流などによって赤潮 plankton の個体が輸送され分散してしまうならば、その場における plankton の個体密度は高まることはない、というのである。すなわち、水塊の独立性の高いことが必要な条件となっている。

いま、海のある場所における plankton の増殖率を R 、拡散や移流によって水塊から plankton が分散する割合（これを漏洩 leakage と呼ぶ）を L とすれば、

$$R > L \quad (1)$$

なる関係が成り立つことによって、赤潮発生における個体密度の増大の条件が得られる。この不等式の左辺は純然たる生物学的な項で、右辺は純然たる物理的項である。この関係式は更に次の理論式によって理解される。

いま、海のある場所における plankton の密度を P 、その地点における P の時間的変化（生産率）を $\partial P / \partial t$

で表わすと、 $\partial P / \partial t$ は光合成率 (P_h)、呼吸率 (r)、grazing、生産される植物 plankton を捕食する動物 plankton の密度などの生物学的変化率と拡散、移流、沈降速度などの物理的条件などによって合成された変化量である。

この考えを式で表わすと次の (2) 式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial t} = & P(P_h - r - wh) + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \frac{A_x}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \frac{A_z}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} - \left(V_x \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + V_z \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \right) \\ & - V_s \cdot \frac{\mu_0}{\mu_T} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2) \end{aligned}$$

ここで P_h は P の光合成率

r は呼吸率、 ρ は海水の分布密度

w は grazing constant で herbivore plankton が 1 日当り消費する植物 plankton の密度

h は動物 plankton の分布密度

A_x は X 方向の拡散系数

A_z は鉛直方向の拡散系数

V_x は X 方向の流速

V_z は鉛直方向の流速

μ_0 は 0°C における海水の粘性

μ_T は水温 $T^\circ\text{C}$ における粘性

V_s は 0°C における沈降速度

この式の右辺の第 1 項 $P(P_h - r - wh)$ は生物現象であって、純粋の生産率を表わし、第 2 項から後の第 4 項までは水平方向（ここでは Y 方向は省略した）と鉛直方向の輸送の傾度である。また、第 5 項は plankton の沈降速度と鉛直分布の傾度で決まる沈降率である。

次にこの変化の定常状態を考えて $\partial P / \partial t$ が 0 に近づけば、生物学的過程で生産される植物 plankton の分布密度の変化は物理的作用（力学的環境）によって再び元の分布状態にもどされる作用に等しくなるから、(2) 式は次のように書き換えられる。

すなわち $\partial P / \partial t = 0$ 従って、

$$\begin{aligned} & P(P_h - r - wh) \\ & = V_x \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + V_z \cdot \frac{\partial P}{\partial z} + V_s \cdot \frac{\mu_0}{\mu_T} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \\ & - \left(\frac{A_x}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{A_z}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right) \quad (3) \end{aligned}$$

しかるに、赤潮は前節でも述べたように、species diversity index がゼロに近づくとともに生産力が極端に高まる現象であり、同時に物理的環境条件も加わって

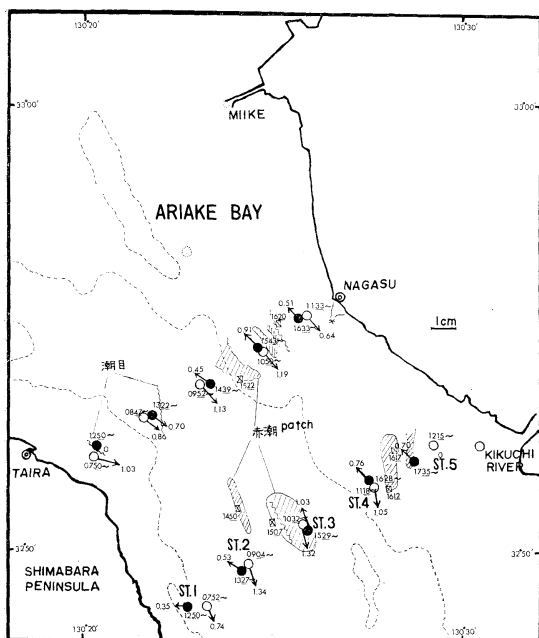


Fig. 2. Red water of *Ceratium furca* in Ariake Bay, observed in the end of August, 1962, showing distributions of dense patches of *Ceratium furca* and surface current velocity. Figures and arrows attached to patches denote current velocity in vector (1 cm equal to 1 knot).

現われる plankton の密度増加 density growth が正の方向に進む現象であるから、赤潮が進行中の水体では上の (3) 式から更に次の関係式が得られる。

$$P(P_h - r - \omega h) > V_x \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + V_z \cdot \frac{\partial P}{\partial z} + V_s \cdot \frac{\mu_0}{\mu_T} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} - \left(\frac{A_x}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{A_z}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

この式は次のようなことを意味している。すなわち、赤潮の発生は plankton の density growth をもたらす二つの要因、すなわち生物学的変化の過程と物理的変化過程との相互関係によって決まるもので、しかも plankton の分布密度に作用する生物学的変化率の方が物理的変化率より大きいことが必要なことを示している。ここに言う生物学的変化率は (1) 式における左辺の R であり、物理的変化率が L (leakage) を表わしている。

この式でも明らかなように、plankton の増殖率 R が leakage より大きい場合に赤潮発生の物理的条件は与えられるが、拡散と移流のうち沿岸水域では移流の作用が大きいと考えられるから、実際には赤潮が発生する時

の潮流観測は重要な意味をもつようになる。

辻田は 1962 年 8 月下旬有明海の三池港から島原半島沖にかけて *Ceratium furca* の赤潮を観測し、その時の流向流速を測定した。

Fig. 2 に示すように、この赤潮水塊の中には更に特別濃厚な部分、すなわち patch が散在していた。この patch の場所の流速は 1.0 ノット以上の場合が多く、同じ赤潮水塊のなかで patch が形成されていない場所よりもむしろ流速は大きかった。また、この観測の結果 *Ceratium furca* の赤潮は 0.7 ノット以上の水流でも持続されていることを示しており、赤潮の形成と力学的環境との関係の一端を知る例として意味がある。

4. 人為的富栄養化と赤潮

近年日本の南西部沿岸、特に瀬戸内海沿岸では赤潮が頻発するようになった。これらの沿岸では従来赤潮の発生には季節的な出現傾向があったが、その時代に比べると最近では赤潮の季節的発生傾向が見られなくなって、殆んど周年発生するようになった。

例えば *Skeletonema costatum* は日本の沿岸水域や内湾で最も代表的な珪藻類のなかでも常に優占種となっている種類である。

この *Skeletonema costatum* の赤潮に関する報告を 1952 年から 1970 年まで集めて、月別に出現頻度を整理してみると Fig. 3 のように、1952~1956 年頃は 7、8 月の夏期に主として発生していたのが、その後発生時期は 6 月 5 月と早くなり、更に 1964 年頃からは 4 月、3 月、2 月、1 月と発生時期が早まり、その後 12 月にも出現するようになるなど、1 年中のどの季節にも *Skeletonema*

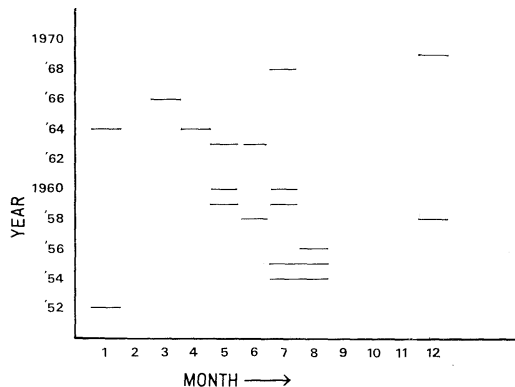


Fig. 3. Appearance of *Skeletonema costatum* red waters showing a tendency toward high frequency throughout the year in Japan in recent years.

costatum の赤潮が見られるようになってきている。

このことは *Skeletonema costatum* が以前には季節的な増殖の傾向をもっていたのが、近年になってこの赤潮発生にはその季節性が無くなってきたことを示すもので、この原因には気候や沿岸海況の変化なども考えられないことはないが、むしろこれは沿岸海域の水質の変化が主なる原因となっているようである。このような環境変化の一因として富栄養化の現象があげられる。

富栄養化に伴う plankton succession の特徴をみると、環境水が富栄養化するすることによって植物 plankton の blooming が起り易くなるが、この blooming の年間の周期的変化を追ってみると、blooming は次第にその amplitude と duration が増大してゆく。すなわち同一の海域で富栄養化が進み plankton bloom が起るようになると、その富栄養化が進行している間は、年々 blooming の強さは増大する（すなわち生産力が高まる）ばかりでなく、その blooming の起るごとにその bloom が長期間続くようになる。

日本の沿岸水域でこのような plankton succession の傾向をたどってきていることと、近年の赤潮発生の報告が従来の季節的現象であった時代に比べて殆んど周年発生するようになってきた事実については、わが国沿岸水域特に人口密度の高い地域の沿岸水でその傾向が強いことを考えると、人為的富栄養化による水質変化と関連づけることができる。

しかし、*Skeletonema costatum* を優占種とする珪藻類の blooming から赤潮に移行する succession の過程になると、も早や栄養塩類や生長促進物質の存在だけでは赤潮出現機構の解明は出来ない。すなわち、allelochemicals など新たな化学的環境変化の作用を考えざるを得ない。

5. 結 び

地球上の海に発生した赤潮は、日本も西欧諸国も期せずして赤い (red water あるいは red tide) という表現で呼ばれている通り、古来海洋の沿岸域や沖合を問わず、自然に発生した赤味を帯びた水として認められてきた。

そして、その海表面で観察された水帯の形状には、細い道とか帯状などの表現が多い。

このような赤潮も最近の研究によると、その発生過程が次第に明らかになりつつあるが、これは plankton の増殖要因の追究に重点がおかれている傾向にあり、時間の要素を取り入れたダイナミックな研究は少い。

赤潮はある日突然に起るものではなくて、必ずある時

間以前にその初期条件となる環境変化があるのであって、赤潮の研究はここから出発せねばならない。

その初期条件としては、自然発生の赤潮では気象の変化や海洋の物理的变化が先行し、汚染水域では人為的富栄養化は一つの条件をあたえている。

生態学的に連続する plankton community における succession の過程として赤潮を解析すると、赤潮は plankton の生産力が高まるとともに一方では species diversity が極端に小さくなって、場合によってはその index はゼロに近づく状態に相当する、と言うことができる。

従来の赤潮の研究ではこの生産力 (plankton の増殖要因) の面だけを重点的に解明しようとする努力がなされてきたが、赤潮のいま一つの興味ある生物学的特徴とみられる種組成の変化、特に複雑な plankton community から単純な monospecific population に組成が変わってゆく要因の解明が今後の赤潮研究の重要な課題であって、このためには化学物質 allelochemicals の作用が推定されている。

文 献

- 1) CUSHING, D.E. (1962): "Patchiness" in *Contributions to Symposium on Zooplankton Production 1962* (Ed. FRASER, J.H. and CORLETT, J.). Rapp. Cons. Explor. Mer, **153**, 152-164.
- 2) GRINDLEY, J.R. (1970): Recent plankton studies in the seas around South Africa. *The Ocean World- Joint Oceanographic Assembly Tokyo, 13-25 September 1970*. Biological Contribution. Session D 2.
- 3) HOLM-HANSEN, O., F. J. R. TAYLOR and R. J. BARSDATE (1970): A ciliated red tide at Barrow, Alaska. *Marine Biology*, **7**, 37-46.
- 4) KIERSTEAD, H. and L. B. SLOBODKIN (1953): The size of water masses containing plankton blooms. *J. Mar. Res.*, **12**, 141-147.
- 5) MARGALEF, R. (1960): "Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton" in *Perspectives in Marine Biology* (Ed. BUZZATI-TRAVERSO, A. A.), 323-349.
- 6) MARGALEF, R. (1970): Perspectives in Ecological Theory. 1-111. *Univ. Chicago Press*.
- 7) RAMAMURTHY, V.D. (1970): Studies on red water phenomenon in Portonovo waters (11 29 N- 79 49 E, S. India) caused by *Trichodesmium* (marine blue green alga). *The Ocean World- Joint Oceanographic Assembly Tokyo, 13-25 September 1970*. Contributions in Biological Oceanography.

- 8) ROUNSEFELL, G. A. and W. R. NELSON (1966): Red tide research summarized to 1964 including an annotated bibliography. Contribution No. 20, Bureau of Commercial Fisheries Biological Laboratory. United States Fish and Wildlife Service Special Scientific Report-Fisheries No. 535. 1-85.
- 9) RYTHER, J.H. (1967): Occurrence of red water off Peru. *Nature*, **214**, 1318-1319.
- 10) SYKES, J.E. (1965): Bureau of Commercial Fisheries Symposium on Red Tide. United States Fish and Wildlife Service Special Scientific Report-Fisheries No. 521, 1-11.
- 11) TSUJITA, T. (1955): Comparative studies on the red tide appeared in the waters adjacent to western Japan. *Rec. Oceanog. Works Japan*, **2**, 19-27.
- 12) WENT, F.W. (1970): "Plants and the chemical environment" in *Chemical Ecology* (Ed. SONDEHEIMER, E. and J.B. SIMEONE) pp. 71-82.
- 13) WHITTAKER, R.H. (1970): "The biochemical ecology of higher plants" in *Chemical Ecology* (Ed. SONDEHEIMER, E. and J.B. SIMEONE), 43-70.
- 14) WHITTAKER, R.H. and P.P. FEENY (1971): Allelochemics: Chemical interactions between species. *Science*, **171**, 757-770.
- 15) 辻田時美 (1955): plankton の異常繁殖特に赤潮 (若潮) の研究. 西海区水研研究報告, 第6号, 11-58.
- 16) 辻田時美 (1956): plankton の異常繁殖とその随伴現象の研究. 西海区水研研究報告, 第10号, 1-62.
- 17) 辻田時美 (1968): 赤潮海洋学について. 日本プランクトン研究連絡会報, 第15号, 1-9.

3. 海産珪藻類の生物濃縮について

Bioconcentration in Marine Diatoms

吉田多摩夫*

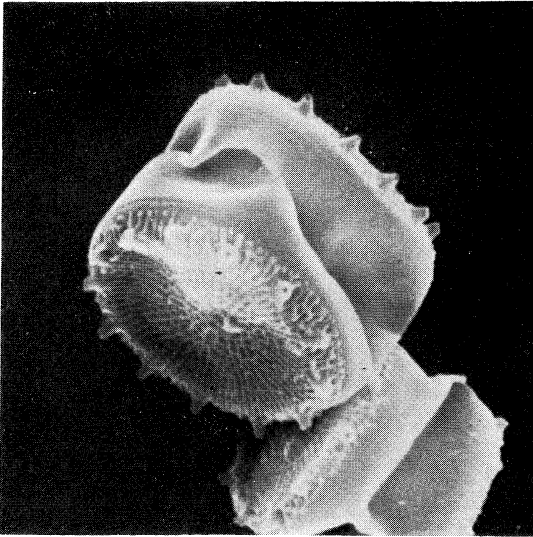
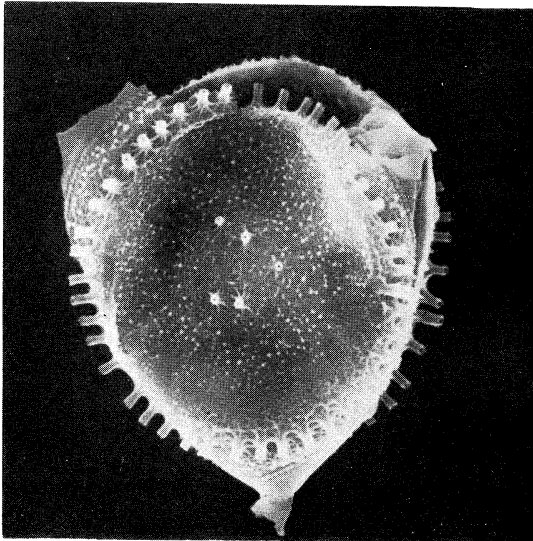
今日沿岸地域における工業開発は急速に進展し、排出される工業廃水の量は年を追って対数曲線的に増大している。また、それに伴う人口の集中、都市化によって生活廃水の量も急激に増大し、わが国の沿岸海域の汚染は重大な問題となっている。特に海水の交換の緩慢な内湾水域ではこの傾向は著しく、東京湾、伊勢湾、大阪湾、瀬戸内海、有明海などの一部では既に自浄作用の限界をはるかに越えて生物の殆んど生存し得ない、いわゆる死の海が次第にひろがりつつある事態に立ち至っている。また、排出された有機物質が分解され、窒素、リンなどの栄養塩類の海水中における濃度が増大して海域の富栄養化現象が進行し、これが原因となってプランクトンの異常増殖——赤潮の発生——が頻発している。瀬戸内海で夏期赤潮の被害を受けて養殖ハマチが数万尾も一夜に浮上した事件はわれわれの記憶に新しい。同海域においては、赤潮の発生する要因を十分に備えており、今年も夏期には同様の赤潮被害が連続して発生する危険にさらされている。

従来、赤潮の水産生物に及ぼす影響については次の様な事が考えられてきた。すなわち、(1)異常増殖したプラ

ンクトンは 1 ml 中 $10^5 \sim 10^6$ 個の細胞数の高密度で存在し、水産生物のエラに附着して窒息状態を起させること。(2)大量のプランクトンの死骸の分解によって海水中の溶存酸素が消費され無酸素状態をつくりだすこと。また、その分解産物によって底質を悪化させること、(3)ある種のプランクトンは水産物に有害な物質を産生すること、などであろう。これらは時に水産生物の大量斃死という事態をひき起している。しかし、今日看過してならないのは、赤潮生物によって行なわれるであろう有害汚染物質の生物濃縮現象である。赤潮を構成する生物群には、鞭毛藻類、双鞭藻類、珪藻類などの植物プランクトンが多い。これら数十ミクロンのオーダーの微小生物はいずれも複雑な表面構造をもっている (Fig. 1)。しかも、環境条件がととのった場合、約24時間に1回の割合で細胞分裂を行ない、バクテリアとは比較にならないまでも他の生物に比し極めて早い増殖速度をもって個体数を増加する。

植物プランクトンによる環境汚染物質の濃縮については核爆発実験による放射性生成物が生物体内に濃縮される事実が観察されて以来注目され、有機水銀化合物、塩素化炭化水素類など今日問題となっている環境汚染物質についても水界の生態系における汚染経路で植物プラン

* Tamao YOSHIDA 東京水産大学 Tokyo University of Fisheries

Fig. 1-1. *Cycrotella nana* ×10000Fig. 1-2. *Thalassiosira* sp. ×5000

クトンに先ず濃縮されることが考えられてきた。事実、生物汚染調査によって得られた分析結果から推定すると、DDT については植物プランクトン中の残留値は平均して 0.01 ppm 程度であり、海水中の正確な分析値は得られていないが、DDT の海水における溶解度 1 ppb から推測してその濃度を 0.1 ppb ないし 0.01 ppb とすると、約 100 倍から 1,000 倍の濃縮が行なわれていることが考えられる。実験的には藤田ら¹⁾が緑藻 *Synedra* を用いてメチル水銀で約一万倍の濃縮率を観察している。DDT については KEIL²⁾ が海産濃藻を用いて、¹⁴C-DDT については COX³⁾ が海産植物プランクトンを用い

て、また PCB (AROCLOL 1242) については KEIL⁵⁾ が海産硅藻を用いてそれぞれ濃縮率を測定し、いずれも 800 倍ないし 1,200 倍の値を得ている。

塩素化炭化水素類は環境中に放出された場合、殆んどが海洋の表層に存在すると考えられるので、太陽光線の透過し得る海表面より 30 m 附近の深度までに大きな個体数をもって存在する植物プランクトンについて、これらの環境滞留性汚染物質の生物濃縮率を測定して正確な知見を得ることは、海洋環境における汚染物質の潜在的蓄積量を推測することを可能にし、かつ生物汚染推移の予測を高い信頼度で行なうためには欠かせぬデータであることは明らかであろう。また、塩素化炭化水素類で過去に生産され自然環境に放出された量に関する正確な資料は得られないが、DDT で 100 万トン以上、PCB については数 10 万トンを越える莫大な量であることが推測されている。これらの化合物はいずれも極めて安定であり、長く環境中に滞留することを考えると、人間の健康を守るためには何らかの方法で早急に自然環境から系外に除去せねばならない。その有効な方法の開発は科学者に課せられた緊要の課題と言えよう。そこで、考えられるのは生物濃縮の著しい環境汚染物質については、この現象を利用して環境水中に存在する汚染物質を生物に濃縮させ、この生物を連続的に集めて系外に取り出せば環境水中の濃度を次第に低下させることが可能であろう。このためには環境中での生物個体数の多いこと、しかも増殖速度の大きなことが要求される。これらの点を満たす生物群としては微生物および植物プランクトンが考えられるが微生物の増殖条件は限られており、また大型遠心分離器などでの分離が困難である。植物プランクトンは汚染海域においては赤潮として大量に増殖し、かつ 10 ミクロン以上の大きさを持つので大型連続遠心分離器での分離が技術的に可能と考えられる。しかも、同時に植物プランクトンによって固定された N, P など栄養塩類が富栄養化水域から漸次除去される結果を伴うということは無視することはできない利点であろう。

以上のような観点に立って水圏における生態系構成生物による環境汚染物質の生物濃縮に関する知見を得ることを目的とした研究の一環として、先に魚類における PCB の生物濃縮⁵⁾の観察を行なって成果を得たが、次いで今回われわれは海産硅藻についてその濃縮率を測定した結果をここに述べよう。なを、塩素化炭化水素類は総じて分析が困難であるが、この点をアイソトープによって標識した化合物を用いることによって克服した。

¹⁴C-PCB の合成: ここに用いられた ¹⁴C-PCB の合成

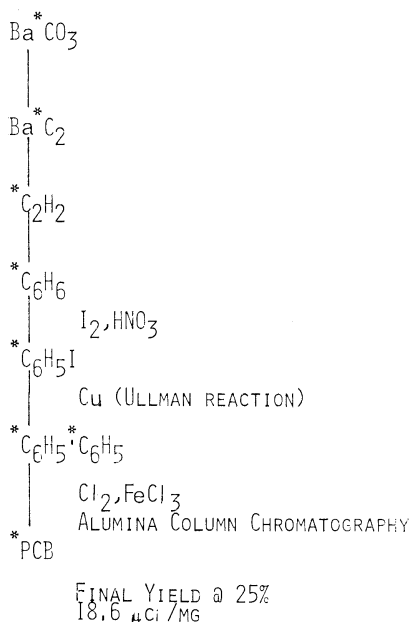


Fig. 2. Synthesis of ¹⁴C-PCBs from barium carbonate.

法は日本原子力研究所製造部保泉らによって開発され、¹⁴C 炭酸バリウムを出発物質として全合成された。合成法は Fig. 2 示す如く、炭酸バリウムよりバリウムカーバイド、エチレン、ベンゼンを経由して得られたビフェニールを塩素化して合成した、塩素化度の異なる PCB 混合物をアルミナを用いたカラムクロマトグラフィーにかけて分画し、各分画について更に ECD 検出器を付したガスクロマトグラフによって成分 PCB 組成を検し、市販 PCB とガスクロマトグラムのはぼ一致する分画をとった。純度の検討には、更に GC-MS (LKB 9000) によりクロマトグラムの各ピークについてマススペクトルの解析を行なって Cl 数 3 ないし 4 の PCB を主成分とする KC 400 に相当するものであることを確認した。比放射能は 18.9 μCi/mg であった。

硅藻類の PCB に対する耐性: 硅藻試料は岩手大学医学部より提供を受けた。実験に用いられた *Cyclotella nana*, *Thalassiosira* sp. の 2 種について、先に鎌谷らが PCB に対する耐性を検討し、KC 400 に対してはいずれの種も 10 ppb 以下の濃度では影響を受けないことが知られた。

硅藻の培養: 培養液は Table 1 に示す如く 浜過天然海水に栄養塩類、金属およびビタミン類を添加し、Tris ボツファーにより pH を 7.5~7.8 にし、120°C で 15 分

Table 1. Composition of the culture medium.

Agend sea water	IL
Enrichments	
N source (NaNO ₃)	34 mg
P source (NaHPO ₄)	40 mg
Metals	
Fe (FeCl ₃)	400 μg
Zn (ZnCl ₂)	150 μg
Cu (CuCl ₂)	30 mg
EDTA2Na	
Vitamins	
Biotin	1 μg
Thiamine	100 μg
B ₁₂	3 μg

pH 7.5-7.8 adjusted with tris buffer and sterilized at 120°C for 15 min.

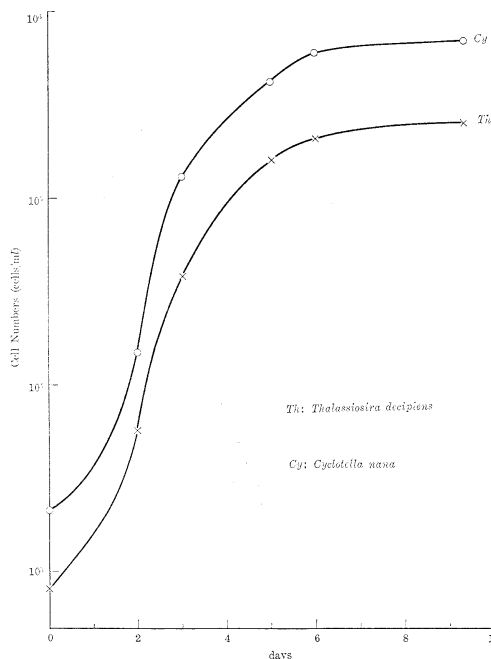


Fig. 3. Growth curve of the marine diatoms.

間滅菌して調製した。実験に先立って保存株を 500 ml の培養液に移植して予備培養を行ない、そのものを 1 l の培養液中に更に移植して実験を行なった。培養条件は温度 22±1°C, 照度 2,000~2,500 ルクス, 照射時間を 12時間/日とした。

濃縮率の測定: Fig. 3 に示す藻の増殖曲線についての増殖の初期 (Stage I), 最も旺盛な細胞分裂を行なっている時期 (Stage II), および平衡状態に達した時期 (Stage III) の 3 段階についての濃縮率を測定するため、培養開

始後3, 5, 7 日目に培養液の 100 ml を三角フラスコに移し, 6 時間暗所に保って細胞増殖の余勢を抑えて後, 0.01 μ Ci に相当する ^{14}C -PCB エタノール溶液 1 μ l を加えた。これを 20°C の恒温振とう水槽中にて, 暗所で振とうし, 30 分, 3 時間, 10 時間および 24 時間後にその 20 ml を採取して, グラスウールフィルター (Watmann GF/C) で濾過して藻体を採取した。更に, 100 ml の濾過海水で洗い, フィルターに附着したままの藻体をシンチレーションバイアルに移し, ^{14}C 放射能計測試料とした。藻体の湿重量は各段階において培養液の 200 ml を別に採取して (同様グラスウールフィルターで) 濾過して測定した。藻体の放射能はバイアル中で Soluene 340 (パッカード社) 2 ml を加え, 40°C で 3 時間振とうして可溶化し, 2~3 滴の H_2O_2 を滴下して脱色して後ジオキサンシンチレーターを加えて液体シンチレーションカウンターにより計測を行なった。濾液および藻体洗液中の放射能は Instagel (パッカード社) を用いて計測した。濃縮率は藻体の湿重量について次の式を用いて求めた。

$$\text{濃縮率} = \frac{\text{水生生物中の汚染物質の濃度}}{\text{環境水中の汚染物質の濃度}} \\ = \frac{(\text{藻体中の } ^{14}\text{C-PCB}) \text{ dpm/mg.w.w.}}{[(\text{濾液} + \text{洗液}) \text{ 中の } ^{14}\text{C-PCB}] + \text{全藻体中 } ^{14}\text{C-PCB}] \text{ dpm}/\mu\text{l}}$$

結果および考察

結果の要約を Table 2 に示す。得られた濃縮率は硅藻の種によっては余り差異は認められなかった。この点に関しては, 細胞の大きさも異なり, かつ 1 ml 中に占める個体数も異なる種の硅藻についてその理由は不明であるが, 更に多くの種については検討を試みる必要がある。濃縮率は増殖の初期にはいずれも 10 時間以上を要するのに対し, 増殖の旺盛な時期では 3 時間ではほぼ平衡値に達する。実験に供された 2 種の硅藻 *Cyclotella* および *Thalassiosira* についての濃縮率はそれぞれ 1, 200,

Table 2. Concentration factors of ^{14}C -PCB in marine diatoms at various exposure times and growth stages.

Species of diatom	Exposure time (h)	Growth stage		
		I	II	III
<i>Cyclotella nana</i>		4.36 mg	5.09 mg	15.29 mg
	0.5	196	577	571
	3	292	1109	727
	10	675	1223	828
	24	1865	1656	905
<i>Thalassiosira</i> sp.		4.43 mg	8.36 mg	13.93 mg
	3	376	622	812
	10	728	1620	902
	24	2009	1765	902

1, 600 という値が得られたが, これは KEIL らが *Cylindrotheca* について Aroclor 1242 を用いて得た値 1, 100 に比しやや高い値である。この点に関し, 現在 CI 数 5~6 を主体とする ^{14}C -PCB を用いて行なっている実験の結果を得て比較検討してみたい。藻体を培養液から濾別した後, 天然海水で洗滌を行ない, その洗液について 20 ml ごとに分画して放射能を計測したが, 洗液中の放射能は急速にバックグラウンド近くまで減少して平衡に達していた。このことは PCB の藻体への吸着が相当に強固なことを示唆するものと言えよう。

文 献

- 1) 藤田正彦ら: Chemosphere 投稿中。
- 2) KEIL, J. E. *et al.* (1969): Bull. Envir. Cont. Toxicol., 4, 169.
- 3) COX, J. L. (1970): *ibid*, 5, 218.
- 4) KEIL, J. E., *ibid*.
- 5) YOSHIDA, T. *et al.*, AMBIO in press.

4. 養殖カキ生産の推移ならびに海産生物群集の遷移から見た広島湾の富栄養化

Aspects of Eutrophication in Hiroshima Bay Viewed from Transition of Cultured Oyster Production and Succession of Marine Biotic Communities

荒川 好満*

1969-1970年、広島湾では、従来見られなかったムカシウミドリムシ *Hemientrepia antiqua*、セトウチアカシオヒゲムシ *Heterosigma inlandica* など、原始的な鞭毛虫類の赤潮が頻発し、著しい漁業被害をもたらした。これと平行して、湾沿岸部のカキ養殖場を中心に、環形動物多毛類の一種カサネカンザシ *Hydroides norvegica* が異常発生し、これによる養殖カキの被害は数10億円にも達した。このほか、ベニクダウミヒドラ類 *Tubularia* など、無鞘ヒドロ虫類の異常発生も見られ、また最近では、湾沿岸の採苗場で、フジツボ類 *Balanus* の異常な繁殖が目立ち、カキ種苗の確保にも困難を来している現状である。

ここでは、最近の広島湾カキ養殖場における付着生物を中心とした海産生物群集の遷移とカキ生産の推移、ならびに富栄養化について、その一斑を述べることにしたい。

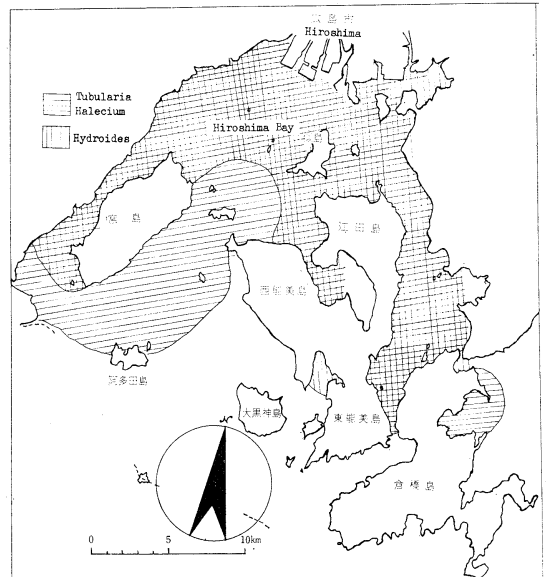
1. 付着生物を中心とした生物群集の遷移

現在のように、広島湾の富栄養化が進む(1966年)以前には、カキ養殖場における有害付着生物としては、採苗期にはある種のフジツボおよびホヤ類があり、養成(沖出し)期には、ムラサキイガイ *Mytilus edulis*、ユウレイボヤ *Ciona intestinalis* およびシロボヤ *Styela plicata* などが主な種類であった。また、赤潮の構成種としては、コスモポリタンな内湾指標種であるスケレトネマ *Skeletonema costatum* のほか、梅雨後にアカシオウズオビムシ *Peridinium quinquecorne* やアカメハダカオビムシ *Gymnodinium ostensfeldi* などが、小規模発生する程度であった。

1967年頃から、カサネカンザシが五日市地先および海田湾の一部で、またベニクダウミヒドラが阿多田島付近

で発生したが、いずれも小規模で、しかも局地的な現象にとどまったため、一般の注目を惹くには至らなかった(荒川, 1970, 1971および1971a)。赤潮の発生も、この年から目立ちはじめ(瀬戸内海漁業調整事務局, 1972)、従来見られなかったセトウチアカシオヒゲムシの赤潮が初めて出現した(羽田, 1973)。一方、これまで、この海域で普通に見られたアカシオウズオビムシの衰退が目立ち、翌1968年以降は単独で赤潮を形成しなくなった。この頃から、海域の汚濁負荷が、海産生物群集の遷移に影響する程度に高まったことがうかがわれる。

1969年秋、呉水道から大野瀬戸へ至る広島湾北部のカキ養殖場を中心に、空前の規模でカサネカンザシが異常発生し、この海域における養殖カキの作柄は、前年(1968年)の6割以下という甚大な被害をこうむった(荒



第1図 カサネカンザシ(1969, 1970年)およびヒドロゾア類(1970)の異常発生海域。

* Kohman Y. ARAKAWA 広島県水産試験場 Hiroshima Fisheries Experimental Station

第1表 1966年以降の広島湾における主な付着生物および赤潮プランクトンの消長。
(荒川, 1971, 1973; 羽田, 1973; 溝上ら, 1972 その他より合成)

種類 Species	年 Year						
	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
カサネカンザシ <i>Hydroides norvegica</i>	+	+(+)	+(+)	+++	+++	++(+)	++
ベニクダウミヒドラとホソガヤ類 <i>Tubularia & Halecium</i>	+	+(+)	+(+)	++	+++	+	+
スケルトネマ・コスタタム <i>Skeletonema costatum</i>	++	++	++	++	++	++	++
アカシオウズオビムシ <i>Peridinium quinquecorne</i>	++	+	+	-	-	+	-
セトウチアカシオヒゲムシ <i>Heterosigma inlandica</i>	-	+	+	++	+++	++	++
ムカシウミミドリムシ <i>Hemientreptia antiqua</i>	-	-	-	+++	+++	+	++

-: 出現しない, +: 出現する, ++: 目立って出現する, +++: 異常発生

川, 1971a, 1971c および 1973) (第1図)。また, この年の夏, セトウチアカシオヒゲムシとともに, ムカシウミミドリムシの赤潮が初めて湾全域に発生し, 養殖魚類に大きな被害をもたらした。

翌1970年夏には, 湾内外のカキ養殖場にベニクダウミヒドラ属, ホソガヤ属など, ヒドロ虫類が異常発生し, 同時に, その天敵とみられる後鰓腹足類の一種アカエラウミウシ (セイロンミノウミウシ) *Sakuraeolis enoshimensis* の異常繁殖も報ぜられた (荒川, 1971)。秋には, 前年に引き続いて大規模なカサネカンザシの異常発生があり (荒川, 1973), また, 夏秋にはムカシウミミドリムシとセトウチアカシオヒゲムシを優占種とする大規模な赤潮に見舞われた。

1971年は, 前年に比べて全般に平穏裡に推移し, カサネカンザシ, ヒドロゾアとも, 平年をやや上回る程度の付着は見られたが, 養殖カキに影響を与えるほどではなかった (荒川, 1973)。また, セトウチアカシオヒゲムシのほかに, アカシオウズオビムシやハダカウズオビムシ属 *Gymnodium* の赤潮が長期間にわたって多発した。ムカシウミミドリムシも散見されたが, 単独で赤潮を形成するには至らなかった (溝上ら, 1972)。なお, 県東部から中部海域へかけて, 夏から秋に, 底棲多毛類の一種チンチロフサゴカイ *Loimia medusa* に共 (寄) 棲する遊泳性十脚類のオヨギピンノ *Tritodynamia horvathi* の「赤潮」が見られた (荒川, 1973a)。本種は, これまで有明海, 東京湾では周期的に大発生をくり返した記録はあるが, 瀬戸内海ではもちろん, 広島県下でもこれが最初で, 内海における最近の富栄養化の急激な進

行を示す兆しとして, 注目に値する現象と思われる。

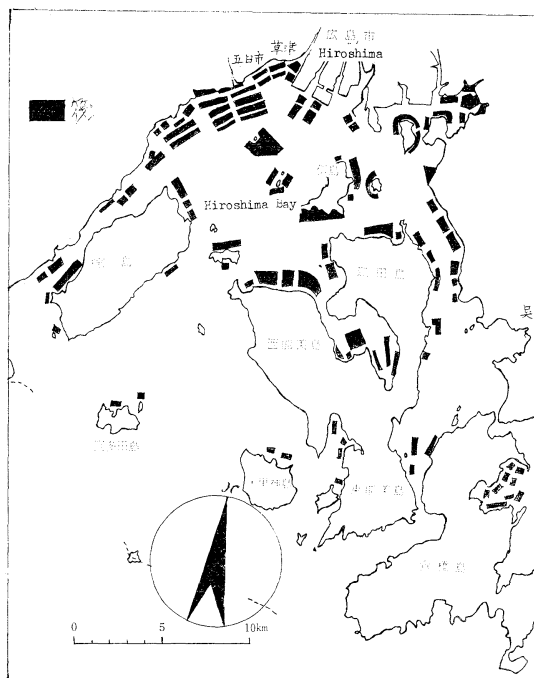
1972年は, カサネカンザシの発生は前年とほぼ同様, やや平年を上回る規模であったが, 江田島湾のカキ養殖場では例年のない異常発生が見られ, 著しい被害を受けた (荒川, 1973)。また, セトウチアカシオヒゲムシとムカシウミミドリムシの赤潮の発生が前年に比べてやや目立ったほか, 内湾指標種のハダカウズオビムシ類, ならびに, 例年出現するスケルトネマなどの赤潮も見られた。

このほか, 湾北部の養殖場における大腸菌 *Escherichia coli* 群の年変化を見ると, 広島市の主要河川の河口から3~4kmの海域では, 1963年には, 最確数 (MPN) で108であったのが, 1965年には228, さらに1968年には2,467と急騰, 1963年当時の実に23倍にも達した (広島県衛生研究所, 1969)。この数値は, 最近の沿岸水域における幾何級数的な汚染負荷の増大を如実に示すものとして興味深い。

2. 富栄養化と付着生物の異常発生

広島湾沿岸水域の海況について論ずる場合, 湾内に群がるカキ養殖筏の直接間接の影響は無視できない。1968年現在, 湾内に繫留されている筏の総数は約6,000台で, その大部分は湾北の沿岸部に集中している (第2図)。これらの筏は, 一種の「浮き防波堤 Pontoon」としての消波作用をもつばかりでなく, この下を潜りぬける潮流も垂下連との摩擦抵抗によって大幅に減衰* するなど, 沿

* 筏の外側と内側では, 1/7~1/8 に流速が低下する (荒川ら, 1971b)。



第2図 広島湾におけるカキ養殖筏の分布。
(1968年現在)

岸水塊との置換交流を阻む障壁となっている。さらにまた、カキ養殖筏1台から出される生物源堆積物 Biodeposits (Filter-feeders の糞および擬糞の堆積したもの) の量は、年間 40-50 t ちかく (乾燥重量) にも達し*、本来、潮流によって、広範囲に分散されるはずの有機懸濁物の多くは、Biodeposits として沿岸養殖場付近の海底に蓄積され、都市下水や河川水などとともに、湾北部水域の主要な栄養塩類補給源となっている (荒川ら, 1971b)。因みに、岩崎 (1972) は、貝類の排泄物の酸化中間産物によって、*Heterosigma* や *Peridinium* など赤潮プランクトンの増殖が、異常に促進されることを明らかにしている。

木村 (1973) は、湾北部の主要な栄養塩類補給源として都市下水と河川水をあげ、それぞれの最近の窒素補給量を 3.5 t/日 および、2-10 t/日 と見積っている。これらの試算結果と夏期における気象および海況の変化を対比

* 湾全体の Biodeposits 量は、6,000 (台) × 50 (t) = 300,000 t/年 となり、このうちの 0.1% が有機窒素であるから、カキの Biodeposits からの窒素補給量は 0.8 t/日 程度と推算される。なお、筏1台あたりの糞排泄量は、1 養殖年間 (9 カ月) に約 20 t と見積られている (荒川ら, 1971b)。

して、梅雨時 (6-7月) の雨量が大で、梅雨明け (7-8月) の気温が高く、しかも風の弱い気象条件の (つまり、栄養塩類の供給が大で、沿岸の富栄養水塊の拡散を妨げるような) 年に、カサネカンザシやムカシウミドリムシによる赤潮の異常発生が起りやすいとしている。これによると、1969, 1970年の異常発生との関連については肯定できるが、1967年以降、湾内の付着生物や浮遊生物群集にあらわれた異変については、充分な説明は得られない。これは養殖カキからの Biodeposits による窒素負荷量を無視したためと思われる。

広島湾中央部の海水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 (各層年平均) を調べた村上 (1973) によれば、1964年以前には $0.5 \mu\text{g-at/l}$ と、年々、ほぼ一定であったのが、筏1台当りカキ生産量が低下しはじめた1967年には $2 \mu\text{g-at/l}$ 、さらに、カサネカンザシ等の異常発生によりカキ生産に大きな被害のあった1970年頃には、 $4 \mu\text{g-at/l}$ と最近の10年間に著しい上昇を示し、湾内の生物群集の遷移、ならびにカキ生産の推移と一致した傾向を示している。

なお、1971年は、カサネカンザシの異常発生は見られず、赤潮の発生も前年にくらべて下火となり、全般に平穏裡に推移した。これは、前年夏-秋の台風によって湾北中央部の五日市、草津、江波の各地先、ならびに津久根島付近の養殖筏が大部分滅失し、沿岸の富栄養水塊の交流拡散が盛んになったためと考えられる。同様に、1972年は広島市西部開発計画による埋立てが進み、草津、五日市地先の筏が取り払われたこと、および湾北の栄養塩類補給源である海底の埋立てによる客土効果が利いて、比較的平穏な海況が保たれたものと思われる。一方、このような気象的または社会的影響の少なかった隣接の閉鎖的な江田島湾では、養魚ならびに養殖カキによってもたらされる Biodeposits の蓄積負荷が高まり、富栄養化が進み、1972年秋、湾奥部のカキ養殖場を中心に例年になくカサネカンザシの異常発生を見た。

3. カキ生産におよぼす富栄養化ならびに生物遷移の影響

広島地方は、数百年におよぶカキ養殖の歴史があり、最盛期には約 31,000 t (剥身重量) の生産をあげ、全国生産高の 78% 以上を占めるといふ実績を誇っている (1968年)。県下でも、とりわけ生産性の高いのは、広島湾を中心とする西部海域で、県全体の 70% ちかい生産をあげている (第3図, 第4図)。

広島のカキ養殖は、初期の干潟を中心とした粗放的な地蒔き養殖法にはじまり、大正・昭和にかけての杭打 (簡易垂下) 式を経て、第二次大戦後は高度に集約化され

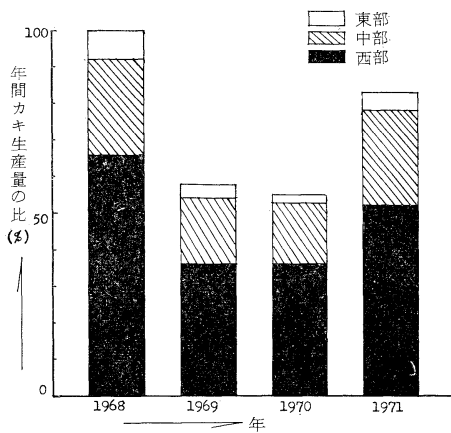
た筏垂下式養殖法が普及し、従来干潟に限られていた漁場面積が、水深 20 m 以浅の浅海域にまで拡大され、しかも立体的な利用が可能となったのは画期的な進歩であった。

このような養殖技術の進歩を反映して、カキ生産量も 1945年には 200 t 程度であったものが、1955年 7,000 t、1965年 25,000 t と飛躍的な伸びを示し、1968年には 31,000 t と空前の生産実績をあげるに至った。

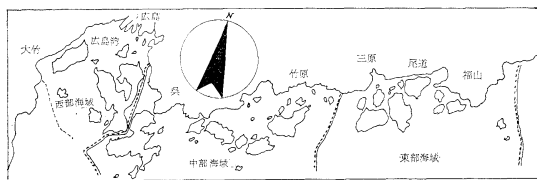
しかし、一方では漁場の生産力を無視した生産第一主義がわざわざいって、野放図な密殖による漁場の老化は年を追って著しくなり、それまで上昇傾向を辿ってきた漁

場の単位面積(筏1台、 $9 \times 18 \text{ m}^2$)当りの生産量は、1966年の 3.2 t を境いに下降の兆しを見せはじめた。これは、広島湾の付着生物および浮遊生物群集に微妙な変化があらわれはじめた時期と符節を合しており、それまで潜在的に進行していた富栄養化がこの頃(1967年)から顕在化し、養殖付着生物の一つであるカキの生産に影響をおよぼしはじめたためと見ることができよう(第2表、第5図)。その後の、筏1台当りのカキ生産量は1967年 2.9 t、1968年 2.8 t と、漸減の傾向を見せているにもかかわらず、県全体の生産は 1967年 30,180 t、1968年 30,576 t と依然上昇を続けている。これは、全体の筏台数が年々殖え続けたことによるものである。

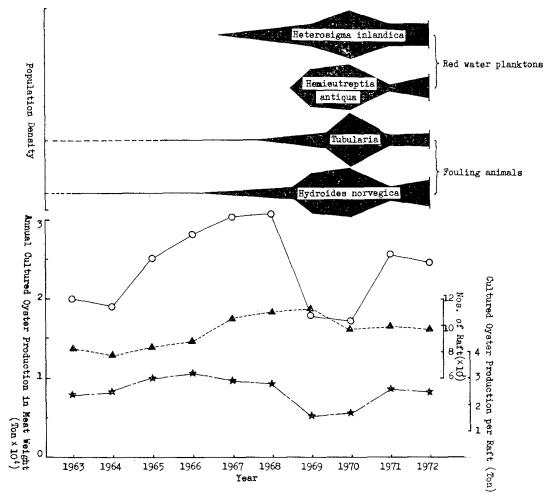
ところが、その後の養殖筏台数の増加にもかかわらず、全体の生産量が 1969、1970年には、突然過去最高を示した 1968年の 55% 弱に急落し、1971年に至ってようやくその 84% 程度に回復を見た。これは、この兩年、



第3図 広島県漁業地区別の養殖カキ生産比の推移。(1968年の県全体の生産高を100とした場合の比であらわす。1968-1971年)



第4図 広島県漁業地区配置図。



第5図 広島湾における養殖カキ生産の推移と主な付着・浮遊生物群集の遷移(1963-1972年)。
○ カキ生産量(県計), ▲ 筏台数, ★ 筏1台当り収獲量

第2表 広島県の養殖カキ生産量と養殖筏台数ならびに筏1台当り生産量(1963-1972)。

項目 \ 年	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
筏台数 ($9 \times 18 \text{ m}^2$)	8,230	7,804	8,266	8,761	10,468	10,962	11,020	9,805	9,946	(9,723)
カキ生産量 (剥身重量 t)	20,042 [19,553]	19,898 [19,449]	25,054 [24,536]	27,764	30,180	30,576	18,022	17,329	25,895	(24,454)
筏1台当りカキ 生産量 (t)	[2.4]	[2.5]	[3.0]	3.2	2.9	2.8	1.6	1.7	2.6	(2.5)

() 1973年3月末までの集計値。

[] は、筏式養殖法のみによる生産高。1966年以降、筏式以外の養殖は殆んど行なわれず、全体の 1% に満たないので、計算上無視してある。(広島県農林水産統計年報、1963-1972による)

第3表 最近10年間のカキ生産の推移ならびに生物群集の遷移から見た広島湾の富栄養化。

年	養殖カキ生産の推移*		海産生物群集の遷移			富栄養化の進行	
	年間総生産高	1筏当り生産量	付着生物	浮遊生物	その他の生物	区分	NO ₃ -N ^{**} (μg-at/l)
1963	19,553 t	2.4 t			• <i>Escherichia coli</i> (MPN): 108		
1964		この間	• <i>Mytilus, Ciona, Styela, Balanus</i> 等 優占	• <i>Skeletonema costatum, Peridinium quinquecorne, Gymnodinium ostensfeldi</i> 等の赤潮小規模発生		富栄養化	0.5
1965	この間	年々増加			• <i>E. coli</i> (MPN): 228		
1966		3.2 t (近年最高記録を示す)					
1967		この間年々減小	• <i>Hydroides norvegica</i> の付着局地的に目立ち始める(五日市)	• <i>Heterosigma inlandica</i> の赤潮初めて発生		↑ 強富栄養化(?)	2.0
1968	30,576 t (過去最高生産高を示す)		•Hydrozoa (<i>Tubularia</i> sp.) の付着局地的に目立ち始める(阿多田島)	• <i>H. inlandica</i> の赤潮発生	• <i>E. coli</i> (MPN): 2,467		
1969	18,022 t (前年比55%に減産)	1.6 t (過去最低記録)	• <i>H. norvegica</i> 異常大発生	• <i>Hemieutreptia antiqua</i> の赤潮初めて発生		↓ 過栄養化	
1970	17,239 t	1.7 t	•前年にひきつづき <i>H. norvegica</i> 異常発生 •Hydrozoa (<i>Tubularia, Halecium</i>) 異常発生	•前年にひき続き <i>H. inlandica</i> の赤潮多発 • <i>H. antiqua</i> および <i>H. inlandica</i> の赤潮頻発			4.0
1971	25,895 t (1968年比の85%に回復)	2.6 t	• <i>H. norvegica</i> およびHydrozoa の異常発生終息	• <i>H. antiqua</i> 衰退 • <i>H. inlandica</i> の赤潮依然多発	• <i>Tritodynamia horvathi</i> 東中部海域で異常発生		
1972	(24,454 t)	(2.5 t)	•江田島湾で <i>H. norvegica</i> 異常発生	• <i>H. antiqua</i> の赤潮発生やや目立つ • <i>H. inlandica</i> の赤潮発生		↑ 富栄養化(強富栄養化?)	

* 広島県総生産高
** 広島湾中央部各層年平均

広島湾とその周辺のカキ養殖場に未曾有の大発生をしたカサネカンザシによるところが大きく、カンザシの発生を見なかった東・中部海域では、前年(1968年)にくらべて30-35%の減少にとどまっている(第3図)。

なお、この兩年には、1968年まで見られなかったムカシウミドリムシが出現、1967年以降広島湾で頻繁に見られるようになったセトウチアカシオヒゲムシとともに単独で赤潮を形成し、養殖魚類に大きな被害をもたらした。これらの現象は、1969、1970兩年、広島湾内の富栄養化が極度に進行し、過栄養の域にまで達したことを物語っている。

以上述べたところを総合整理すると第3表に示すとおりで、広島湾における最近のカキ生産の推移と海産生物群集の遷移現象は、海域の富栄養化の様態を微妙に反映していることが理解できよう。

謝 辞

この報告をまとめる動機を与えられた東京水産大学宇野寛教授および佐々木忠義教授、また広島湾の赤潮生物に関する貴重な資料を提供され、且つ有益な助言を戴いた広島県水産試験場溝上昭男氏に謝意を表する。

文 献

荒川好満(1970): 渦虫類の1種イイジマヒラムシによる広島産養殖カキの被害. 貝類学雑誌, 29(2), 65-71.
 荒川好満(1971): 広島湾とその周辺のカキ養殖場に異常発生したヒドロ虫類. 採集と飼育, 33(8), 195-196.
 荒川好満(1971a): 1969年広島湾に異常発生した管棲多毛類の1種カサネカンザシによる養殖カキの被害について. 貝類学雑誌, 30(2), 75-82.

荒川好満ら(1971b): カキ養殖場における生物源堆積現象の研究(1)—養殖適正密度について. 同誌, 30(3), 113-128.

荒川好満(1973): 養殖カキ付着生物の防除に関する研究—I. 広島湾におけるカサネカンザシ付着の季節変化ならびに分布. 広水試研報, No. 4, 13-17.

荒川好満(1973a): 1971年広島県下で発生したオヨギビンノ(カクレガニ科, 甲殻類)の赤潮. 同誌, 同号, 129-131.

中国四国農政局広島統計調査事務所(1969-1972): 広島農林水産統計年報(水産編), Nos. 16-19.

中国四国農政局広島統計調査事務所(1973): 広島県漁業の動き, 1-77.

羽田良平(1973): 赤潮プランクトンの研究. 用水と廃水, 15(1), 55-61.

広島県衛生研究所(1969): 広島湾内海水の細菌学的調査成績について. 衛生研究所業務年報(昭和43年度), 261-270.

岩崎英雄(1973): 富栄養化と赤潮発生. 同誌, 15(1), 47-54.

木村知博(1973): 沿岸海域の富栄養化と水産. 同誌, 15(1), 62-67.

溝上昭男ら(1972): 昭和47年度赤潮に関する研究(コピー)資料 2. 1-15.

村上彰男(1973): 水質汚濁と富栄養化(日本水産学会編, 水圏の富栄養化と水産増養殖)水産学シリーズ 1. 恒星社厚生閣版, 37-48.

瀬戸内海水産開発協議会(1971): 瀬戸内海の赤潮一現状と対策, 1-69.

5. 赤 潮 防 除 対 策

Preventive Countermeasures of Red Tide

中 村 充*

1. はじめに

赤潮の発生は古文書の記述から明治時代の三木本真珠の伝記まで長い歴史がある。しかし、これに対する防除技術は余りにも未開発である。他方、沿岸海域の開発は急速に海域の環境破壊をもたらしつつある。

毎年発生する赤潮による漁業被害を聞くとときやり切れないきどおりを感じる。47年度における漁業被害は80億円にものぼる。しかも、漁民の「来年は養殖を行ってもよいでしょうか。来年はここは赤潮が起らないでしょうか。」といった切実な質問に対し、水産庁も学者も何も答えることのできないのが現状である。確実な答えを出すとするれば「瀬戸内海の漁場は赤潮が起るかも知れないから止めなさい」という以外に回答がない。しか

* Makoto NAKAMURA 農林省農業土木試験場水産土木部 Department of Fisheries Engineering, National Research Institute of Agricultural Engineering

し、生活を漁業に依存する漁民に対して、こんな無責任な回答はできない。恒常化した赤潮の発生は、それがいつ自分の漁場を襲うかも知れない不安の中で漁業者はどのように経営を立てたらよいだらうか。これは国および研究者の責任である。

2. 赤潮発生機構

赤潮発生の機構は完全には解明されていないが、大きく二つのタイプがあるようである。一つは、閉鎖性湾におけるもので環境的にいえば海域豊度の高い所、そこは滞流あるいは緩流海域である。そこに有機汚染負荷が多くあり、底質汚染の烈しい所に発生している。底層水の滞流している所では、底質からの栄養塩の溶出および DO 消費による無または貧酸素過栄養水層が発生する。この水層は、物理的にも生物的にも代謝機構がないので、過栄養度はますます高くなる。この水層が発達して光合成水深に到るとその界面に赤潮生物の発生があるとされており、この水層が洪水流による擾乱とか、初秋の密度成層の不安定化したときに生ずる擾乱とかにより、表層水と混合するとき赤潮生物の大発生となる。このような赤潮発生のプロセスでの諸問題はあろうであろうが、環境的に底層に貧酸素過栄養の滞流水塊の生成に関係することは確かである。

第2には、海洋性の開放型海域である。もっとも閉鎖性、開放性といっても相対的なもので閉鎖性は2次湾(Sub Bay)に対するものと考えられる。瀬戸内海を対象とすると、内海全域の過栄養化が進んで、そこでは何が赤潮発生の引きがねとなるかが問題とされている。本誌にあるように、それが塩分低下や温度であったり、鉄、マンガンなど微量汚染物質であったりする。しかし、本質的には海域の過栄養化の解消が真の赤潮対策であろう。このような観点から赤潮防除、特に予防対策について述べる。

3. エアバブルカーテンによる赤潮発生予防

エアバブルカーテンは、このような底層滞流を破壊し、曝気効果を向上させて水質底質改善を図り、赤潮の発生予防に用いられるであろう。

エアカーテンに関する研究は、1906年アメリカの P. BRESHER が空気防波堤として利用して以来長い歴史があるが、防波を目的としたものが主で大きな風量が必要とする。他方、近年エアレーションのために水槽でバブルが利用されているが、これは水底で噴出した気泡が表層に到達するまでの間での溶入を目的としている。私共

の研究の目的は、大湧昇流を発生させるもので、エアレーションも底層不飽和水を表層に導き、表面曝気によって行なうものである。

このような海域は流速も遅いので、海面の0.5~1.0mの層は空気の飽和水層で空気の溶入は起らない。このため下層が貧酸素あるいは無酸素状態であっても表層飽和水で遮断されて酸素の供給がない。エアバブルカーテンは単にバブルからの溶気ではなく、不飽和表層水への曝気の方が主体となる。

また、この湧昇流を湾の第1次交換域(外海水が一度の上げ潮で入り込める湾内の水域)に作ると湾内外水の海水交換量を高めることができる。海水交換の悪い湾では、下げ潮で湾口に流動しても次の上げ潮で湾奥に押し戻されてしまう。すなわち、海水は動いていても往復流で海水交換は2次流による混合拡散機構によるものである。これは、湧昇流を発生させると、湾への流入は表層から、流出は底層から行なわれる押し流となるので、海水交換量は変わらないが交換量は大きくなる。このようなエネルギー使用は、エアバブルを通して天然のもつ潮汐エネルギーを有効なものに変える制御用エネルギーである。

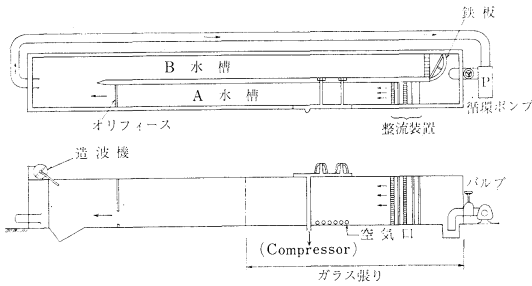
さて、このエネルギーの効率が実用に供し得るか否か問題となる。エアバブルカーテンについては現在研究中であるが、昨年は高知県水産試験場の協力を得て海底10mの所で実験を行なった。直径5cm長さ4mの塩化ビニールパイプに直径1mmの気泡噴出口を5cm間隔4列に計320個あけたもの8本を8角形に組み円筒状にバブルカーテンを作った。コンプレッサーは15kW、吐出圧力7kg/cm²、風量は大気圧換算3m³/minすなわち、1.56l/sec/mのバブル量である。このとき発生する湧昇流量は1m³/sec/m程度である。このときの必要エネルギーは設備容量で0.5kW、運転時電力で0.2kW(負荷率0.4)である。この値は大変良い効率で十分実用に供し得る値である。48年度は同じく高知県水産試験場と共同で浦の内湾内の鯛付湾で湾口130mをエアバブルカーテンで仕切り、水質、底質の改善、海水交換率、その他水理環境について調査する予定にしている。

4. エアバブルカーテンによる流況について

エアバブルカーテンについての研究結果を中間的であるがとりまとめて示す。

1) 実験装置と実験方法

本実験に使用した水槽は第1図のごとくである。流速測定にはフォトトランジスター型回転式流速計および2



第1図 実験装置。

第1表 実験条件。

Case	Q_a	Q_v	u_0	h	B_0	ϕ
0	9.3	2.75	4.6	1.0	6.0	1
1	9.3	1.13	1.9	1.0	6.0	1
2	9.3	2.25	3.8	1.0	6.0	1
3	9.3	4.51	7.5	1.0	6.0	1
4	23.1	3.52	5.9	1.0	6.0	1
5	23.1	7.04	11.7	1.0	6.0	1
6	23.1	9.00	15.0	1.0	6.0	1
7	46.3	5.07	8.5	1.0	6.0	1
8	46.3	10.00	16.7	1.0	6.0	1
9	46.3	12.10	20.2	1.0	6.0	1
10	9.3	0.0	0.0	1.0	6.0	1
11	23.1	0.0	0.0	1.0	6.0	1
12	46.3	0.0	0.0	1.0	6.0	1

次元超音波ドプラ式流速計を使用した。後者については自動平衡型ペンレコーダーに記録させ、実験は第1表の実験ケースについて行なった。ここに Q_a : 風量 ($\times 10^{-3} \text{m}^3/\text{sec}/\text{m}$), Q_v : 水路の流量 ($\times 10^{-3} \text{m}^3/\text{sec}$), v_0 : 水路の平均流速 ($\times 10^{-2} \text{m}/\text{sec}$), h : 水深(m), B_0 : 気泡発生幅 ($\times 10^{-2} \text{m}$), ϕ : 気泡口直径 (mm)。

2) 実験結果とその解析

(1) 最大表面流速の解析

エアバブルカーテンに一樣流が加わった場合の流況を第2図に示す。最大流速を生ずる位置での上層流の流速分布は実験的に、

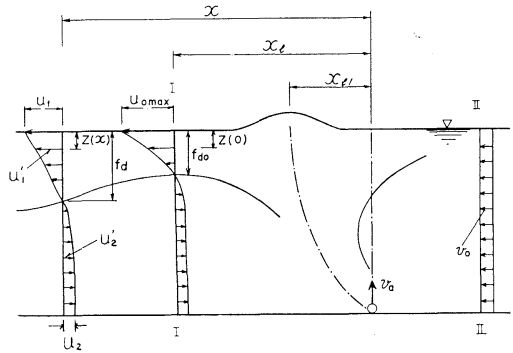
$$\frac{u_1'}{u_{0\max}} = a \left(\frac{z}{z_0} \right) + b \quad (1)$$

で示される。ここに a, b は定数, z_0 は $u_1' = u_{0\max}/2$ となる深さ

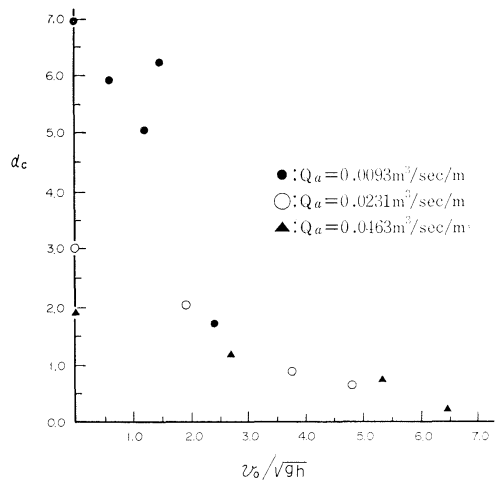
a) 連続方程式

上層流 $z=0 \sim f_{d0}$ を流下する流量は、上流からの流量 $v_0 h$ と下層逆流 $\alpha_c Q_a$ との和に等しい。よって

$$\int_0^{f_{d0}} u_1' dz = \alpha_c Q_a + v_0 h \quad (2)$$



第2図 一樣流とエアバブルカーテンによる流況模式図。



第3図 湧昇効率 α_c 。

ここに、 α_c はエアバブルカーテンによる湧昇効率に関する係数。(2)式に(1)式を代入すれば

$$\frac{u_{0\max} f_{d0}}{2} = \alpha_c Q_a + v_0 h \quad (3)$$

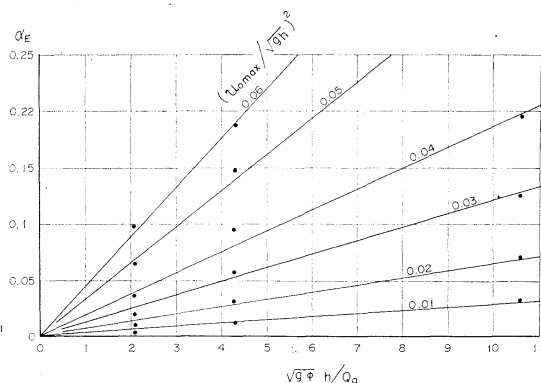
(3)式の α_c を実験によって求めたものが第3図である。この図から湧昇効率 α_c は風量の小さく水深の大きいほど良いことがわかる。また、流速 v_0 が大きくなる程効率は悪くなる。

b) 運動量方程式

第2図のように検査面 I-I を下流側表面流が最大の位置に、II-II を上流側で十分離れた所にとると、この検査面を単位時間に入出入りする運動量は、

$$\Psi = \rho_w \int_0^{f_{d0}} u_1'^2 dz - \rho_w v_0^2 h - \rho_w u_2'^2 (h - f_{d0}) \quad (4)$$

また、検査面内における外力 F は、気泡群による浮力と



第7図 エネルギー係数 (α_E) と $\sqrt{g\phi h}/Q_a, u_{0max}/\sqrt{gh}$ 。

(12)式の関係を図示すると第6図となり、この図から各媒変数の α_E に対する影響を見ると ($\sqrt{g\phi h}/Q_a$) のみが顕著に関係することがわかる。以上から横軸と媒図変数 ($\sqrt{g\phi h}/Q_a$) をかえて図示すると第7図となる。

第7図から α_E が求まれば(10)式から f_{d0} が計算される。但し、これらを求めるには u_{0max} が既知でなければならぬので、あらかじめ f_{d0} を仮定して u_{0max} を求め、これを用いて第2近似として f_{d0} を求める。この操作を繰り返して流況を定めることができる。

5. 瀬戸内海の赤潮防除対策

赤潮予防の一案としてエアバブルカーテンの利用を記述した。これは海水交換の悪い湾に過栄養水塊の発生するのを防ぐものである。もし、湾内のみならず湾外水も赤潮発生につながる過栄養水塊であれば、エアカーテンもその効果はなくなる。瀬戸内海の現状は既にそのような状態にあるといわれている。本年は3月から小豆島沖に赤潮の発生が報じられている。もはや瀬戸内海は何時でも何処でも赤潮発生の可能性をもっている。

これ程に汚染した瀬戸内海を更生させる方法は唯一つである。これは、瀬戸内海の拡散係数、あるいは海水交換率を高める以外に方法はない。黒潮は巨視的には貧栄養水塊であるから、適当な栄養水の加入はその生産性向上に役立つであろう。しかし、瀬戸内海に黒潮を導き海水交換を向上し水質を改善しても沈積物を掃流し、底質を改善維持するのは更に困難である。このような案が現在の汚染負荷を許容するものでないことは無論である。

さて、瀬戸内海の海水交換を向上させる案について現在数理モデルを用いての解析を企画中であるが、若干の案について述べてみよう。

第1案・本四架橋の一つ明石ルートにゲートをつけ

る。これは上げ潮時ゲートを閉じ、下げ潮時ゲートをあける。この操作を行なえば内海への流入は九州側から入り、流出は紀伊水道と九州側の両方から流れる。ゲートを全部つけると舟航は下げ潮にしか行なえないから1部開口し、開口部ゲート部の割合いでどのように交換量が得られるかを検討する。鳴戸側は通水断面積が小さいので、現状のままで良いと思われる。

第2案・黒潮の接岸する足摺岬沖に漁礁をかねた大導流堤を作り黒潮の派流を作る。この効果は第1案程顕著ではないが、恒流成分を1 cm/sec 発生させることができれば、瀬戸内海の水は1年余りで黒潮に流去できる。導流効果は速度エネルギー(慣性力)によるが、足摺岬の速度水頭はほぼ0.2 m である。

第3案・明石あるいは主要海峡に導流堤を作り、その配置によって流入、流出時の流量係数が異なるようにする。例えば、明石海峡で八の字形に上を大阪の方に向けて導流堤を配置すると、瀬戸内海へは流入しにくく、流出し易いことになり、ゲート開閉効果と同じ効果を引き起こせることができる。

第4案・魚礁をかねた潜堤を瀬戸内海的主要海峡、瀬戸に配置して拡散係数の向上を計る。

以上の案を具体的に数量化するための数理モデル、水理モデルの研究を行なう必要がある。

6. 水質規制について

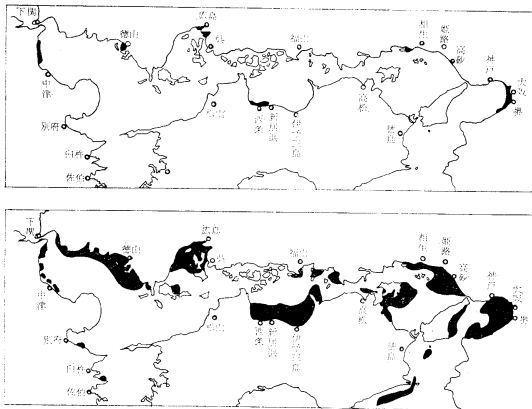
水質規程が多く社会問題、社会紛争によって、ようやく改善されたが、水質汚濁の進行はもはやこの規程でも対処できないことは周知の通りである。この規程の最大の欠点は濃度規制であって絶対量規制ではないことである。海水を汲みあげて希釈して排除するのでは規制にならない。特に湾、内海では海水の効換率と汚染度は不可分の関係にある。各海区の海水交換率を求め、これによる水質規制を早急に行なわなければならない。閉鎖型の湾では近似的に、

$$c_i = \frac{K_i}{1 - K_d} \quad (13)$$

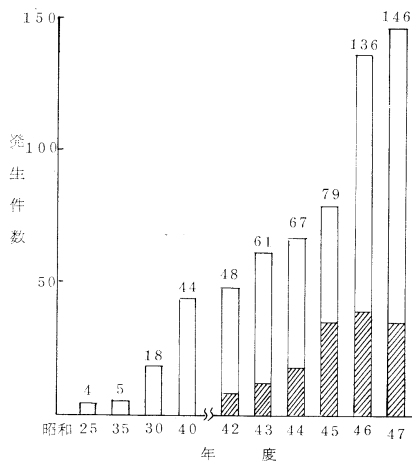
$$K_i = \frac{2c_0\alpha}{2(\alpha + \gamma) - 1} + \frac{ST}{Q} \left[\frac{1}{2(\alpha + \gamma) - 1} + \frac{1}{\alpha + 2\gamma - 1} \right] \quad (14)$$

$$K_d = \frac{2\gamma - 1}{2(\alpha + \gamma) - 1}, \quad \gamma = \frac{V}{Q} \quad (15)$$

ここに、 c_i, c_0 : 湾内外水の濃度、 S : 湾内への汚染負荷量(単位時間当り)、 Q : 1干満時の交流量、 T : 潮汐周期、 V : 平均潮位面における湾内水容積、 α : 外海水が湾内に入って既存の水と混合し合う割合、として求



第2図 瀬戸内海赤潮発生海域図¹⁾。
上: 昭和35年頃, 下: 昭和46年



第3図 年次別赤潮発生件数。(瀬戸内海)

潮の発生件数も年とともに増加し、昭和47年の発生件数は146件で、昭和35年度の実に8倍強にも達している(第3図¹⁾)。ここで注意したいのは、発生件数の増加とともに漁業被害も年々増大していることである。これは最近の赤潮が大規模化していることのほか、赤潮として出現するプランクトンの種類の変化にも大きな原因があるように思われる。

瀬戸内海に赤潮として出現するプランクトンは、従来、*Noctiluca*, *Gymnodinium*, *Ceratium* およびけい藻類の *Skeletonema*, *Coscinodiscus* などが主なものとされていた。しかし、昭和41年ころからこれらの種類に加えて、新たに *Heterosigma*, *Rhodomonas*, *Prorocentrum*, *Peridinium*, *Gonyaulax*, *Eutreptiella*, *Exuviaella* など各種のべん毛藻が赤潮を起こすようになり、赤潮を構成するプランクトン数は20種類以上にも及んでいる。そ

の傾向をみると、けい藻による赤潮は出現件数および構成種類数ともあまり変わっていないのに対し、各種のべん毛藻による赤潮発生件数の増加が目立ち、種類も多くなってきている。また、漁業被害を与えている赤潮のほとんどはこれらのべん毛藻によるものである。

このように、従来汚水性生物と考えられていたべん毛藻の出現、さらに赤潮多発地域の特性などから、人為的な原因による海域の汚染と赤潮発生との関連性について考えるのは漁業者でなくとも当然のことといえるかも知れない。それでは、瀬戸内海を中心にその汚染の状況をながめてみよう。

3. 瀬戸内海の富栄養化の実状

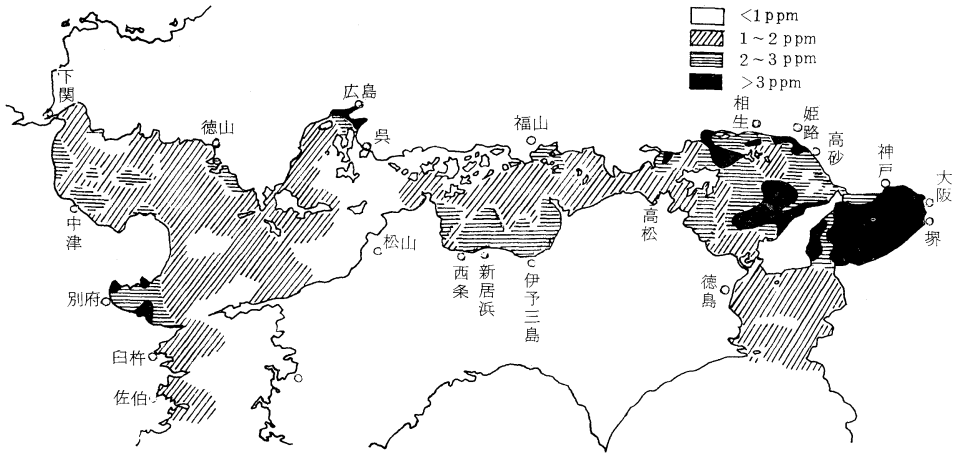
一般に、沿岸や内湾では栄養塩類は河川水などによって補給され、水産生物の生産に寄与している。現在の瀬戸内海についてみると、産業廃水、生活廃水、海洋への尿投棄など人為的要因による有機汚染負荷が圧倒的に多くなり、生態系を乱し、むしろ生物生産を阻害する方向に働いている。昭和43年度における推定流入 COD 総負荷量は 75.4 トンとされ、そのうち約 89% が産業廃水、約 10% が生活廃水、約 1% 弱が家畜廃水と試算されている²⁾。産業廃水では、大阪湾、安芸灘、燧灘への負荷量が圧倒的に多く、また、生活廃水による負荷量は大阪湾で過半を占めている²⁾。これらの有機汚染負荷の大きい海域は、いずれも赤潮の多発海域となっている。

つぎに、瀬戸内海の富栄養化が現実にとどの程度まで進行しているかについて、既往の資料で考えてみたい。ここでは富栄養化の一つの指標として COD を用いることにする。昭和47年5月に行なわれた環境庁の調査結果³⁾によると(第4図)、海水のきれいな貧栄養域 (COD < 1 ppm) は面積にしてわずか 28% で、吉田の基準⁴⁾による富栄養域 (COD 1~3 ppm) は 59% にも達し、過半を占めている。さらに、COD 3 ppm 以上の過栄養域は 13% にもおよんでいる。この結果をみても、瀬戸内海の富栄養化が急速に進行していることがわかる。この COD 分布と赤潮多発海域を比較対照してみると非常によく符合しており、海域の富有機栄養度と赤潮の発生は、かなり密接な関係があることが察知できる。

以上は、現象面からみた相関であるが、つぎに赤潮を構成するべん毛藻の生理的性質から、その大繁殖に必要な条件について考えてみたい。

4. 赤潮べん毛藻の生理特性と赤潮の発生要因

1) 赤潮べん毛藻の生理的特性



第4図 瀬戸内海におけるCOD水平分布図。(表層, 昭和47年5月)

赤潮べん毛藻の繁殖と水温との関係についての実験は行われていないが、その好適水温は、赤潮発生時の水温から $21\sim 26^{\circ}\text{C}$ と推定される。これらのべん毛藻はそのほとんどが広塩性であり、繁殖に最適の塩分濃度は海水より低い種類が多い。水素イオン濃度については、海水より高い pH を好む種類と、低い pH を好む種類とがみられる。

これらのべん毛藻は窒素源として、硝酸態、アンモニウム態の両窒素、および尿素を利用することができる。なかでも硝酸態の窒素はすべてのべん毛藻により、広範囲の濃度において利用される。しかし、二、三の種類はむしろ低濃度 ($\text{N} < 0.3 \text{ mg/l}$) のアンモニウム態窒素や尿素で比較的良好に繁殖する。赤潮べん毛藻の多くは、無機態と有機態のリン酸をともに利用することができ、リン酸を過剰に摂取して貯蔵する能力をもっている。

研究された10種類のべん毛藻はすべて海水中にビタミン B_{12} がないと生育できない。このなかの3種類、すなわち、*Rhodomonas ovalis*, *Polykrikos schwartzi*, *Eutreptiella* sp. (I) は B_{12} のほかさらにチアミンとピオチンを要求している。天然で生成されるビタミン B_{12} 類似物に対する反応をみると、*Ochromonas* 型、*Euglena* 型、*Escherichia* 型の三つの型がみられるが、すべての B_{12} 類似物を利用できる *Escherichia* 型のものが比較的多い。

これらのべん毛藻は繁殖の生理特性から、大体つぎの三つの型に類型分類できる。

I 型 海水中にビタミン B_{12} 、チアミン、ピオチンなどが存在し、前述の窒素やリン化合物がかなりの量存在するか、補給されると繁殖する生物群で、*Heterosigma*

*akashii*o, *Rhodomonas ovalis* がこれに属する。わが国の沿岸、内湾で赤潮が発生するような水域では、量的な変動はあるにしても、窒素やリンが限定要因となることは少ないので、この群の生物の繁殖には、とくにビタミン類の補給が大きな意義をもつと考えられる。

II 型 鉄、マンガンなどの微量金属に敏感な種類で、とくに可溶態で供給されると大繁殖する生物群である。1970年8月、瀬戸内海の備後灘一帯に大発生して大きな水産被害を与えた *Eutreptiella* sp. (I) (黄褐色、この種または近縁種は1972年にも播磨灘一帯に大発生して大きな被害を与えている)、*Exuviaella* sp. などがこの型に属する。鉄、マンガンが可溶態のキレート化合物 (Fe-EDTA , Mn-EDTA) の形で海水に添加されると、数日間で無添加の海水 (外洋海水 + $\text{N} + \text{P} + \text{B}_{12}$) の $10\sim 15$ 倍量も増殖する。

III 型 特殊な有機物が存在すると大増殖する生物群である。この型には核酸の構成成分であるプリンやピリミジンによく反応する種類と、酵母の消化分解物、カゼインの胨液分解物、グルタミン酸塩などで、その繁殖が著しく促進される種類とがある。いままでに研究されている種類でも、*Heterosigma inlandica*, *Peridinium hangoei*, *Gymnodinium nelsoni*, *Polykrikos schwartzi*, *Exuviaella* sp. など過半数のもがこの型に属している。これらのべん毛藻は、瀬戸内海の広島県沿岸、山口県徳山湾、および三重県の五ヶ所湾で赤潮として出現したものである。

2) 海水中の有機物

このように、赤潮生物の栄養要求からみても、べん毛藻は窒素やリンなどの無機の栄養塩だけでは繁殖できな

第1表 赤潮鞭毛藻の生理的特徴。

環境ならびに栄養素	I			II			III		
	<i>Heterosigma akashiwo</i>	<i>Rhodomonas ovalis</i>	<i>Eutreptiella</i> sp.	<i>Exuviaella</i> sp.	<i>Heterosigma inlandica</i>	<i>Peridinium hangoei</i>	<i>Polykrikos schwartzi</i>	<i>Gymnodinium nelsoni</i> **	
塩分濃度 (C1%)	16.5 (12.5-18.3)	13.1 (3.0<)	10.2 (8.0-17.0)	14.0-18.5 (10.6<)	6.6 (3.8<)	13.1 (8.0-18.0)	9.2 (7.6-14.0)	11.0 (5.0-18.5)	
最適好適範囲*	7.5 (6.9-8.5)	8.5 (7.8-9.0)	7.5 (6.5-8.5)	9.0 (7.7<)	8.5 (7.6<)	8.0 (7.5-8.4)	8.5 (7.7-8.8)	8.5 (7.4-8.8)	
pH									
窒素源	NaNO ₂ <100 mg/l	NH ₄ Cl 5-10 mg/l	NH ₄ Cl 0.3 mg/l	NH ₄ Cl 0.3 mg/l	NaNO ₃ 50-100 mg/l	有機態窒素	NH ₄ Cl 0.3 mg/l	NaNO ₃ (有機態窒素)	
磷酸源	グリセロ磷酸塩 20 mg/l	KH ₂ PO ₄ 0.5-1 mg/l	KH ₂ PO ₄ 0.3 mg/l	KH ₂ PO ₄ 0.3 mg/l	KH ₂ PO ₄ 10 mg/l		KH ₂ PO ₄ 30 μg/l	KH ₂ PO ₄ 1-3 mg/l	
ビタミン	+	+	+	+	+	+	+	+	
要求	10 mμg/l	20 mμg/l	10 mμg/l	10 mμg/l	10 mμg/l	10 mμg/l	+	20 mμg/l	
【好適濃度】	-	+	+	(?)	-	-	+	-	
【チアミン】	-	+	+	(?)	-	-	+	-	
【ピオチン】	-	+	+	(?)	-	-	+	-	
【B ₁₂ 類似物への反応特性】	Ochromonas	Ochromonas	Escherichia	Englena	Ochromonas	Escherichia	Escherichia	Escherichia	
生長促進物質	{ NH ₄ -N PO ₄ -P B ₁₂	・鉄、マンガン	・マンガン、鉄、 ・ブリン、 ・ポリミジン	・マンガン、鉄、 ・ブリン、 ・ポリミジン ・植物ホルモン	・ブリン、 ・ポリミジン	・酵母の自己消化物 ・カゼインの液体分解物 ・グルタミン酸塩	・酵母の自己消化物 ・酵母抽出物 ・動物組織の消化分解物 ・カゼイン分解物	・酵母抽出物 ・動物組織の消化分解物 ・グアデオニン ・リボ核酸 ・土壌抽出液	

* 最高増殖量の 1/2 の増殖を示す範囲

** 酵母抽出物がないと増殖しない

いことは明らかである。赤潮の発生に関して、一部には海水中の無機態の窒素やリンの量をもって、その主要な、ほとんど絶対的な要因とする考えもあるようであるが、これだけでは赤潮の発生原因は説明できないと思われる。たしかに、無機の栄養塩は光合成の原材料物質として大量の赤潮生物を産し、かつ維持するのに必要な量が存在しなければならないことは当然であるが、窒素やリンがかなりの量存在しても赤潮が発生するとは限らず、その相関もそれほど高いものではない。したがって、赤潮の発生については他に原因を求めなければならないし、海水中の有機物は大きな比重を占めていると考えなければならない。

現場の海水における増殖因子や、その起源などについてはまだ不明の点も多いが、上記の実験結果を裏づけるような知見も二、三得られている。すなわち、三重県五ヶ所湾で赤潮を起こしたうずべん毛藻 *P. hangoei*, *H. inlandica* は、アコヤ貝糞の酸化分解中間生成物によって繁殖が促進される⁶⁾ことが知られている。また、内湾海底泥の酸性冷水抽出物もべん毛藻の増殖促進作用をもつといわれている⁸⁾。伊勢湾での調査結果によると、海泥抽出物の増殖促進作用には季節変化がみられ、赤潮発生期にとくに促進作用が大きい⁶⁾といわれる。一方、亜硫酸パルプ廃液の稀釈液によっても、ある種のべん毛藻の増殖が促進される⁷⁾ことが報告されている。

3) 内湾赤潮の発生機構について

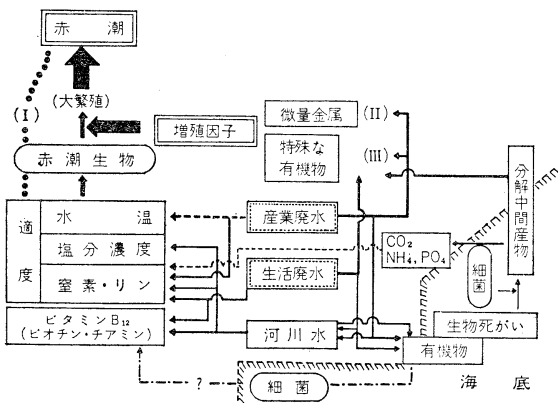
以上の知見に基づいて、赤潮発生に至る環境要因の相互関係を模式的に示したのが第5図である。これによると、水温、塩分濃度、pHなどの環境条件が好適となり、栄養塩類も充足され、ビタミンB₁₂や種類によって必要とされるチアミン(B₁)、ピオチンなどが存在するか、補給

されると赤潮生物は増殖を始める。しかし、これだけで赤潮を形成するまでに増殖できるのは、1、2の種類だけで、全体的にみると例外的に少数である。赤潮を形成するまで増殖するには、さらに増殖を促進するような生長促進物質を必要とする種類が多い。そのような物質は、ある種類にとっては鉄、マンガンなどの微量金属であり、また他の種類に対しては、核酸系の有機物、たとえばプリン、ピリミジンや、その他動物性蛋白質の分解中間生成物であったが、赤潮べん毛藻の大半が後者の特定有機物を要求している。事実、これらのべん毛藻は、有機汚染度の高い沿岸や内湾に赤潮として出現している。微量金属を生長促進物質とする前者の場合でも、その金属は異常に高濃度の場合に効果的であり、そのためには金属を可溶態に保つキレーターの存在が前提となるから、やはり有機物の存在は不可欠ということになるであろう。多くのべん毛藻の生育に不可欠の因子であるビタミン類については、二、三の内湾で測定されているが、その補給源や分布、消長など不明の点が多い。一般に、ビタミンB₁₂は赤潮の発生に必須の要素で、その消長はきわめて大きな意義をもっている。

すでに明らかなように、赤潮を起こすべん毛藻のほとんどが不完全な独立栄養の生物で、その生活や繁殖に有機物を必要とし、有機物によって増殖が促進される種類が多い。また、現象的にも、有機栄養度の高い水域に赤潮が多発する傾向が認められている。したがって、近年、わが国の沿岸、内湾に多発する赤潮は、海域によって有機物の補給源、その他について特異性はあるにしても、究極的には、海域の富栄養化に原因していると考えることができる。

5. おわりに

以上、おもに瀬戸内海を中心に、海域の富栄養化を促進している要因と富栄養化の現状について略述し、富栄養化と赤潮発生との関係について考察した。赤潮はいまのところ漁業被害という形でしか、われわれの生活に直接かかわり合はないようであるが、赤潮の多発は、われわれの自然環境である海域の富栄養化、換言すれば汚染進行の具現にほかならない。したがって、赤潮の発生をその名が示すように、海域汚染の赤信号として受けとめ、単に赤潮防止対策としてだけでなく、自然環境の回復とその保全という立場で認識し、関係企業や行政部門はもとより、われわれ一人一人がその対策について充分考えなければならない事柄と思われる。



第5図 赤潮発生の模式図。

文 献

- 1) 瀬戸内海水産開発協議会 (1971): 瀬戸内海の赤潮. 1~69.
- 2) 中国地方経済連合会瀬戸内海利用開発会議 (1972): 瀬戸内海の汚染負荷解析. 1~91.
- 3) 環境庁水質保全局 (1972): 瀬戸内海汚濁総合調査. 第1回調査結果.
- 4) 吉田陽一 (1973): 水圏の富栄養化と水産増養殖. (日本水産学会編), 92~103. 恒星社厚生閣, 東京.
- 5) 岩崎英雄 (1972): 内湾赤潮の発生機構. (花岡 資編), 77~98, 日本水産資源保護協会, 東京.
- 6) 上野福三 (1972): 同上, 5~34.
- 7) 岡市友利 (1972): 同上, 58~76.
- 8) 本成凡夫・花岡 資 (1972): 博多湾における赤潮発生機構に関する研究 九大農学芸誌, 26, 191~196.

7. 既存の養殖場における赤潮被害対策

A Control of Red Tide in Now Nursery

磯 舜 也*

赤潮は海水中でプランクトンや細菌類が異常繁殖し, そのために水の色が変わる現象で, 昔から知られている。従来は湾奥のごく一部に小規模に短期間発生した程度で, 被害も小さかったため, あまり問題にされなかったが, 近年その規模が広域化するとともにその影響も悪化して, 養殖業界に大被害を及ぼすに至って, とくに問題にされ始めた。

1. 赤潮の栄養

とくに, 漁業被害の大きい瀬戸内海について赤潮の構成プランクトンを調べた研究によれば¹⁾, 珪藻類赤潮の出現件数や出現種類がほぼ一定なのに対し, 鞭毛藻類赤潮は件数, 種類ともに著しく増加している。漁業被害ももっぱら鞭毛藻類によって起り, しかも新たに加わった鞭毛藻類は被害を起す率が高くなっている。赤潮鞭毛藻類の増殖は, 窒素, リンのほかに微量金属, キレート剤, ビタミン等が必要なことがわかっている。

ビタミン B₁₂ は鞭毛藻類には不可欠な栄養であるが, 必要量は 0.01 μg/l と僅か²⁾, しかも海洋菌類の代謝物であるから, 海中にかなり豊富に存在している。このほかチアミンも海水中に赤潮発生に必要な程度存在することが確かめられている。とくに, 底泥中には各種ビタミンや微量金属が多量に含まれている。これ等微量栄養素は, 降雨のため陸から土壌滲出液が多量に供給されたり, 浚渫等で海底泥がまき上げられた場合には, とくに濃度が高くなるものと思われる³⁾。

2. 異常繁殖の類型

岩崎 (1972) は鞭毛藻の生理的特性に基づいて異常繁殖機構の類型を示している。

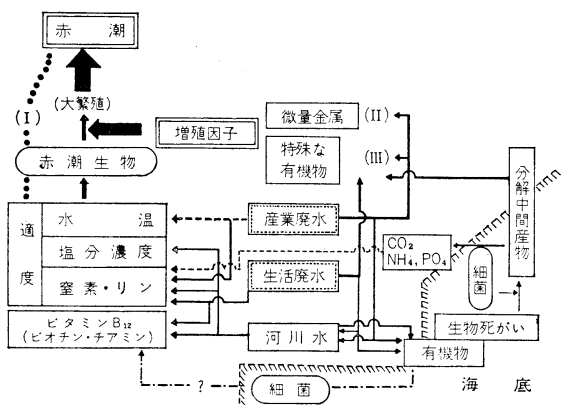
I 型 環境水中にビタミン類が存在し, 水温 20°C 以上の時は塩分濃度が低下するだけで繁殖し, 窒素, リン, ビタミン B₁₂ などの栄養物質が加わるとさらに高密度に繁殖する。いわば単純物とも称すべきものである。この型の赤潮は海水温度が 20~26°C の時期に降雨による陸水の大量流入で局部的に塩分濃度がうすめられ, さらに窒素, リン, ビタミン B₁₂ などの栄養物質が補給されるような場合, または上記の栄養物質を含む都市下水や, し尿処理物などが一時的に多量に流入する場合などに発生する可能性がきわめて強いといえる。

II 型 鉄やマンガンなどの微量金属に敏感な生物群で, 海水中にこれらの金属がかなり高濃度で溶存するか, または可溶態で供給されるような場合に大繁殖する。たとえば, 台風による海水の擾乱で, 海底に多量に蓄積している鉄化合物の浮上によることも考えられる。

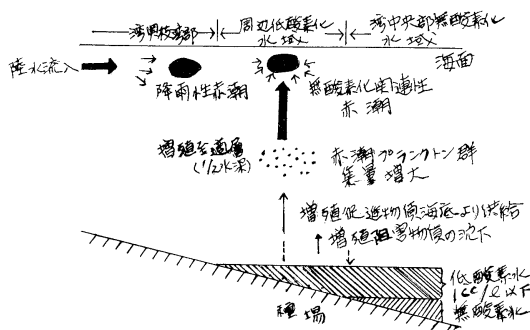
III 型 海水中に存在する特殊な有機物によって増殖が促進され, 濃密に繁殖する生物群である。これらの不完全な独立栄養 (従属栄養に近い) 生物である鞭毛藻は, 工場廃水や都市廃水などによる有機物の汚染度の高い水域や真珠母貝, カキなどの養殖および養魚などが集約的に行なわれている内湾などに発生しやすいといえる。

岩崎は以上の類型を第1図の模式図に整理している。また, 飯塚, 入江 (1972) は大村湾での赤潮発生機構を

* Shunya ISO 株式会社東京久栄 Tokyo Kyuei Co., Ltd.



第1図 赤潮発生の模式図。(岩崎, 1972)



第2図 大村湾産 Cymnodinium 65 年型種赤潮発生機構を示す模式図。(飯塚, 入江, 1972)

第2図のような模式図で示している。そして、大村湾での Gymnodinium 赤潮の発生を海底水無酸素化との関連性で説明している。

3. 赤潮の継続日数

瀬戸内海の赤潮について発生継続日数をみると¹⁾、赤潮が発生してから5日以内に消滅したものは昭和42年には発生件数の47%を占めていたが、昭和45年には47%に低下している。一方、継続期間が11日~30日に及ぶものは3%から8%に増大しており、年間発生延日数も急上昇している(第1表、第2表)。

大阪湾の赤潮発生状況についての連日調査によれば、発生継続日数は7~8日間で、表層の塩素量が急激に低下した時(16.5%→14%)に異常繁殖している(第3図)。

4. 養殖場における赤潮被害の防除対策

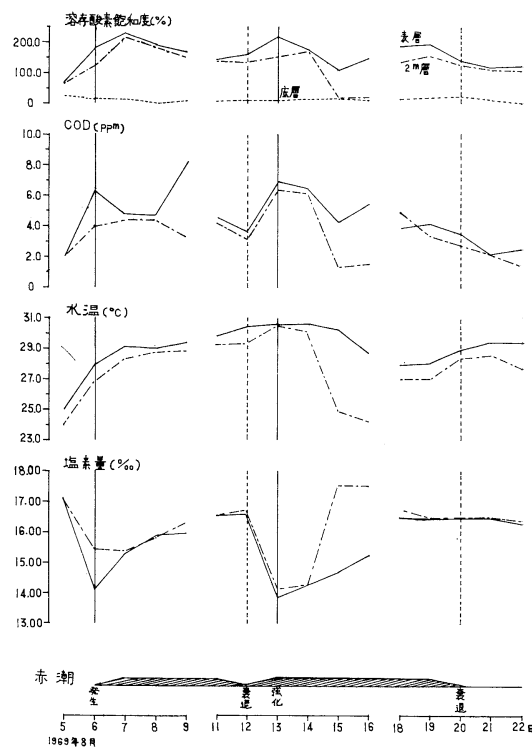
赤潮発生機構については前述のように環境学, 生物学, 生物化学等の側面からの研究で次第に解明されつつある

第1表 年次別発生継続日数別赤潮発生件数¹⁾。

年次	5日以内		6~10日		11~30日		31日以上		件数計
	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	
42年	31	65	6	13	9	19	2	3	48
43年	42	69	7	12	9	15	3	4	61
44年	40	60	7	10	13	20	7	10	67
45年	37	47	11	14	25	31	6	8	79
計	150	59	31	12	56	22	18	7	255

第2表 年次別赤潮発生延日数。

年次	発生件数	発生延日数	1件当りの平均延日数
42年	48件	475日	10日
43年	61件	647日	11日
44年	67件	1210日	18日
45年	79件	1601日	20日



第3図 大阪湾岸和田沖における赤潮発生状況と水質。(大阪府水産試験場のデータによる)

が、被害に対する対策方法はほとんど開発されていない。

今日のように赤潮の発生が広域化, 長期化している状況では、個々の養殖場で赤潮の被害を防止することは、

なかなか困難である。根本的には産業排水、生活排水等の処理に重点を置き、窒素、リンの負荷量が海域に流入するのを食い止め、重金属、キレート剤、ビタミン等の補給経路を断つようにして繁殖の背景要因を除去することが必要である。しかし、このような根本的な対策が短時日で行なわれることがあまり期待できない現状では、養殖場自体が何らかの対策をたてるが必要になってくる。

被害の防除に際しては

①養殖場周辺水域で赤潮を発生させないようにすること、

②周辺からの赤潮の侵入を防除することが当面の目的となる。

①については赤潮の発生条件を絶ってやる必要がある。もっとも簡単な方法は水を停滞させないことであろう。

②については物理的に遮断する方法が簡便であろう。

対策案を挙げる。

- (1) カーテン遮断法
- (2) ポンプ、パイプライン法
- (3) エアーバブルカーテン法
- (4) 海水交換促進土木工法
- (5) 水中ポンプ法
- (6) 小規模エアーバブル法
- (7) 海底耕耘法
- (8) 生物利用法

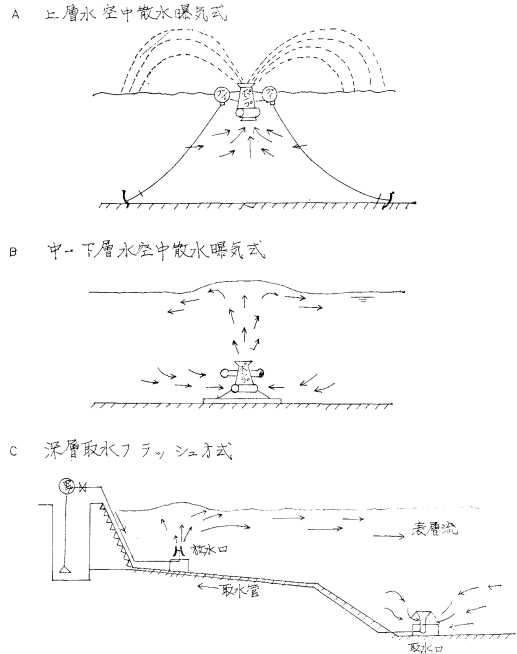
このうち (1), (3) は主として外部からの赤潮の侵入を食い止めるためのものであり, (2), (4)~(8)は赤潮の発生防止を考えたものであるが, 両方の目的に使用できるものもある。

(1)のカーテン遮断法はオイルフェンスを応用したもので, 地形, 潮流等によっては有効である。

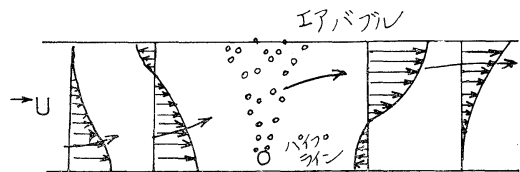
赤潮の発生防止については, 水の混合をよくして水温, 塩分濃度などによる成層化をなくし, 下層まで良く通気するようにすることをめざしている。

水中ポンプ法では, 上層水中散水曝気式, 中-下層水中散水曝気式等により, 上下対流混合と酸素溶入を考慮している。また, 沖合の高鹹, 高酸素の深層水を取水して養殖場でフラッシュさせる方法がポンプ, パイプライン法で, 上層水平噴射式と底層垂直噴射式がある (第4図)。

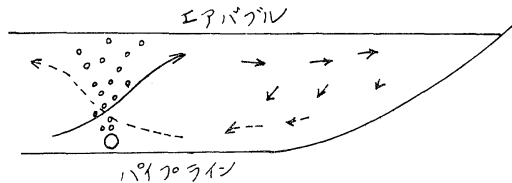
エアーバブルカーテン法は, 表層流の制御によって赤潮の侵入を防除するほかに, ①上昇流の発生によって表層水と下層水の混合拡散をはかり, 水産水質を改良保全



第4図 水中ポンプ法 (A・B) ポンプ, パイプライン法 (C)。



第5-1図 一定流速 u がある場合のエアバブルカーテン付近の流れの状況。(中村, 1972)



第5-2図 エアーバブルカーテンによる湾奥水域の海水混合, 海水交換率の増大を示す模式図。(中村, 1972)

する。②空気の溶入による溶存酸素量の増大などの利点があり⁴⁾, 赤潮発生防除の目的でも使用できる。

この方法は長方形の港湾, 内湾などでは, 第5図の模式図に示すように, 混合, 交換の増大を期待できる。

このほか, 導流堤, 作渚, 湾口改良, 水道開削などの土木工法も海水交換促進土木工法として同じ効果をねら

ったものである。

養殖場では餌料カスや飼育生物からの排泄物等の分解、蓄積でとくに底質の悪化をきたしやすい。底質が還元状態になると、生物に直接被害を与える硫化水素の発生とともに多量のリンが水中に溶出してくる。このような状態を防除し、海底に過度の栄養物質が蓄積しないように考慮されたのが海底耕耘法である。

さらに、生物学的防除と抑制も提案されている。富栄養化による栄養をもとにして海藻（ヒロメ、アラメ、ワカメなど）を養殖し、海藻の生産と海の浄化をねらったものや、あるいは赤潮の原因種に対する天敵生物を利用することも考えられている。

小規模エアープル法は養殖筏、小割の内部や周辺に限って使用し、水中の流れを起すことと酸素補給に役立つ。

5. おわりに

ここ数年、赤潮は大規模になり、水域によっては周年発生している。その構成種も従来の珪藻類、鞭毛藻類に加えて陸水汚水性の *Euglena* や *Botryococcus* 等が出現しており、これ等の新しい種類による赤潮の被害は著しい。

水産養殖業は主として沿岸や内湾で行なわれており、近年では有機工場排水や都市排水の流入が多く、赤潮が頻発する水域になっている。現状の水域で養殖を継続してゆくためには、前述のような自衛手段を考えねばならないが、このような対策は一時的のものであり、完全に被害を防除することにはならない。

要は排水規制を十分行なうとともに処理を高率化し、海域の浄化をはかることである。

また、養殖業者も放養密度について一考する必要がある。過密な養殖場では、比較的低密度の養殖場に比べて餌料カスや排泄物が多いため、水質、底質の悪化をきたしやすい。過密な養殖場の中には、水質、底質の極端な悪化により、酸素不足と硫化水素の発生を招き、赤潮以前の段階で全滅してしまった例もある。このことを考えれば、放養密度を下げることも水質を保全し、赤潮を防除するための一つの自衛手段といえるだろう。

文 献

- 1) 瀬戸内海の赤潮 (1971): 瀬戸内海水産開発協議会.
- 2) 岩崎, 佐々田 (1965): 赤潮鞭毛藻の研究 II. 広島大学水畜産学部紀要, **6**, 101.
- 3) 西村 肇 (1960): 瀬戸内海の汚染 IV. 科学, **43** (1), 岩波書店.
- 4) 中村 充 (1971): エアカーテンによる上昇流の発生に関する研究. 第 18 回海岸工学講演会論文集, 土木学会.
- 5) 内湾赤潮の発生機構, 水産研究叢書, **23**, (1973), 日本水産資源保護協会.
- 6) 水産土木, **9**(1), 赤潮特集号. (1973).
- 7) 水圏の富栄養化と水産増養殖 (1972): 昭和47年度日本水産学会シンポジウム.
- 8) 外海養殖施設の諸問題. 昭和47年度日本水産学会土木研究会. (1973)
- 9) 岩崎英雄 (1973): 富栄養化と赤潮発生. 用水と廃水, **15**(1).
- 10) 木村知博 (1973): 沿岸海域の富栄養化と水産. 用水と廃水, **15**(1).

8. シルシ・ポンプによる浚渫工法について

On the Dredging System by the Use of S.I.R.S.I. Pneuma Pump

園 田 武 彦*

驚異的な日本経済高度成長の副産物として、誠に厄介な種々の公害が発生している。その中でも取除きが困難であり、かつ二次汚染の恐れを多分に含むのがヘドロ公害である。

したがって、二次汚染を及ぼさず、取除き後の処理が容易な状態でのヘドロの浚渫方法の開発は、関係各界の渴望であり、解決せねばならぬ急務である。

東亜港湾工業株式会社では、かねてより海を汚さない浚渫埋立工事を施工すべく、真剣に取り組んで来たが、この度、さらに一歩進んで、水底に堆積したシルトをかくはんすることなく、自然状態に近い姿で揚土することができ、し

* Takehiko SONODA 東亜港湾工業株式会社下関支店 Shimonoeki Branch, Toa Harbour Works Co.

かも非常に高い含泥率で浚渫することができる浚渫船(以下ヘドロ浚渫船と称す)を開発した。

そのヘドロ浚渫船の構造, 特色, 性能等の大略について紹介する。

1. シルシ社, ニューマ・ポンプ(通称シルシ・ポンプ)

このポンプは, イタリア・シルシ社とイタリア政府公共事業者の協同開発により完成されたものでポンプボディ3基, エアーコンプレッサー, 空気配分器よりなっている。

その作動原理は, 大気圧と水圧の差によってシルトをポンプ内に流入させ, 流入したシルトを高圧空気で上昇させるものである。したがって, その行程においてシルトをかくはんすることがなく, 自然状態に近い姿で浚渫することができる。

この作動を, 順序を追って述べる。

- (1) ポンプボディを水底に降下させ, 空気配分器を通してボディ内を大気圧にする。
- (2) すると, 水面よりのヘッド圧によって, シルトがボディ底部の注入バルブを押し上げて, ポンプ内に流入する。
- このときの流入速度は, 水深 1 m で約 5 m/sec, 水深 10 m で約 15 m/sec と言われている。
- (3) 所定の時間を経過すると, 空気配分器が作動して, コンプレッサーよりボディ内に圧縮空気が送り込まれる。
- (4) シルトは, ボディ内の吐出バルブを押し上げ, かつ注入バルブを閉じて, 送泥パイプを経て排出される。
- (5) 空気配分器のサイクル動作は, ボディ別に一定間隔で反復繰り返えされ, 3基のボディが連続して排出するので, 送泥管内の脈動はほとんどない。

ポンプボディの流入口の付属装置は, 浚渫の対象目的条件等に適應するいろいろな装置が用意されているが, 通常使われているのは, ビッグショベル, スリーショベル, スリーレグの3種類である。

型式と能力は次の通りである。

型 式		
型 式	容 量 (清水)	水平送泥距離, 1,000 m, 全揚程 25 m に要する空気量「含泥」
150/30	150 m ³ /時	30 m ³ /分
300/60	300 m ³ /時	60 m ³ /分
450/80	450 m ³ /時	80 m ³ /分
600/100	600 m ³ /時	100 m ³ /分

上記以外の大容量のものも目下開発中である。

2. ヘドロ浚渫船の構造

この浚渫船は, 従来トローリング方式にて使用されていた, シルシ社, ニューマ・ポンプを, スイング方式にて使用し, トローリング方式の筋堀りによる堀跡仕上りの不良, 機械が引返すときのロス浚渫深度の不安定, 浚渫船の移動性低能率等の欠点を改善することができた。

また, 浚渫シルトの処理については, 従来ポンプ船同様に, パイプで埋立地へ排送することも, 土運船に積んで運搬することもできる。

その構造は, ニューマ・ポンプをポンプ船のラダー先端に取付け, コンプレッサーを船内に装備し空気配分器を在来のカッターモーターの位置に据付け, 浚渫作業には従来のラダーホイスト, スイングおよびスパットウインチ, スパットを利用している。

そして, トローリング方式にて浚渫するときはポンプボディの流入口が片方向のみであったものをスイング方式で浚渫するために流入口を左右両方向に取付け, エアー作動の切替バルブによってスイング方向の流入口を開き, 反対側の流入口を閉じるように工夫されている。

流入口のショベルは, ビッグショベルタイプを採用している。(浚渫仕上げ精度はビッグショベルが良く, 含泥率の程度はスリーショベルの方が優れているが, 浚渫船の本姿として, ビックショベルを使うことにした。)

また, ショベルの底辺が何時も水平を保つ装置が施されている。

そして, ショベルの切替バルブおよび水平保持装置の作動は, 運転室で行なえるようにしてある。(特許出願番号昭47-111783)

その主要仕様は次の通りである。

ポンプ	ニューマ・ポンプ 300/60 型 (別に大型ポンプを準備中)
船 体	長 35.00 m × 巾 9.76 m × 深 2.43 m 吃水 1.60 m 排水屯数 500 t
機 械	空気圧縮機作動機調 ディーゼル 600 ps ウインチ用発電機作動機調 ディーゼル 150 ps 補助発電機作動機調 ディーゼル 60 ps 設備馬力合計 810 ps 空気圧縮機 64 m ³ /min 7.5 kg/cm ² 発 電 機 ウインチ用 125 KVA " 補助用 55 KVA
送泥管	長 6.0 m × 径 210 mm
フローター	長 4.5 m × 径 850 mm
自航揚錨船	鋼 D-50 ps
雑 役 船	鋼 D-30 ps

3. ヘドロ浚渫船の長所

- (1) 河底海底に堆積したヘドロをかくはんすることなく、自然状態に近い姿で浚渫することができる。(二次汚染の防止ができる)
- (2) 非常に高い含泥率で揚土することができる。(揚土されたヘドロの処理が容易である)(埋立地の沈澱水面が狭くて済む)
- (3) スイング方式にて前進し、広範囲な浚渫区域を余すところなく、高能率で浚渫できる。

4. ヘドロ浚渫船の短所

- (1) 砂および硬粘土の浚渫には不向きである。
多翼カッターまたは高圧ジェット装置を取付ければ浚渫可能である。
- (2) 塵芥の多い水域の浚渫は好ましくない。
- (3) 水面よりのヘッド圧を利用する機械であるから、水深1mより浅いところの浚渫は不可能である。

5. ヘドロ浚渫船の性能

(1) 浚渫深度 ニューマ・ポンプとしての性能は、1mより50m程度まで浚渫可能であるが、ポンプ船に取付けた場合は、ポンプ船の構造上の制約を受けるので、水面下2m~15mである。

(2) 浚渫能力 標準揚土量 85 m³/H (シルト土厚1mとして)

シルト土厚, 含泥率, 空気圧力, 流速, 揚土量の関係は次表の通りである。

ヘドロ土厚, 含泥率, 空気圧力, 流速, 揚土量の関係,

ヘドロ土厚 m	含泥率 %	空気圧力 kg/cm ²	流速 m/sec	揚土量 m ³ /H
0	0		3.3 (清水)	360
0.5	20	1.5~2	3	60
1	50		2	85
2	80	6~7	1	110
平均	50			85

(3) 最大排送距離 1,200 m

(4) 含泥率 最高 88.5%

ビッグショベルを使ってテストした結果によると、含泥率は、シルトの土厚によって異なる。

(5) 水底に沈積した塵芥

ショベル前面のグレート(間隔0.1m)を通過した塵芥は全然障害にならない。

また、送泥管径の1/2までの粒塊は支障なく排送され

る。

(6) 砂に対する浚渫

高圧ジェット併用により浚渫できる。

(7) 粘土に対する浚渫

ある程度の粘土は浚渫できる。

6. 浚渫水域の浚渫中の透明度

浚渫作業中、ショベルの至近距離の位置において、各深度の海水を採集し、透視度計を用いて透明度を測定した結果は、次表の通りである。

運転状態	採取位置	透視度
運転休止中	いずれの位置に於ても	50 cm 以上
運転中	海底面	7 cm
"	海底面上0.3 m	38 cm
"	" 0.6 m	43 cm
"	" 1.0 m	48 cm
"	" 2.0 m 以上	50 cm 以上

7. 沈降促進剤の使用について

浚渫したシルトを土運船に積み込んで運搬する場合、沈降促進剤として、パンフロックの類を添加することは、土捨時の泥土拡散および流失防止の効果はあるが、ニューマ・ポンプによるような含泥率の高いものには、容積がふくれ、運搬効果が悪く適当でない。

しかし、埋立地内に揚土または排送後、シルトを早く沈澱させて、上澄み水を埋立地外に排出する必要があるときは、沈降促進剤を加えると有効である。

シルト含泥率(容積比)20%, 50%, 80%の溶液に、パンフロックと消石灰乳液を加えた室内実験を行なった結果、自然沈澱14日目の沈澱が、6~24時間後には得られた。

さらに面白い現象は、含泥率の低いものに対しては、パンフロックの方が有効であり、含泥率の高いものには、消石灰乳液の方が有効との結果が出たことである。

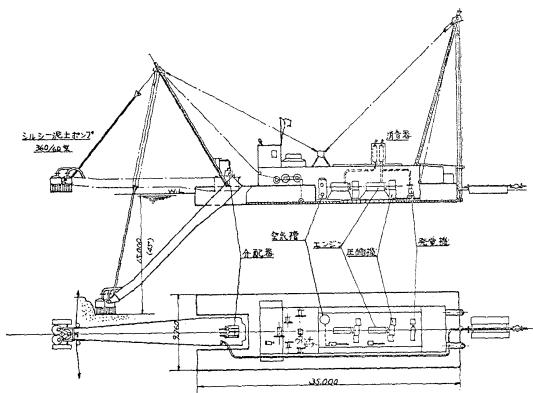
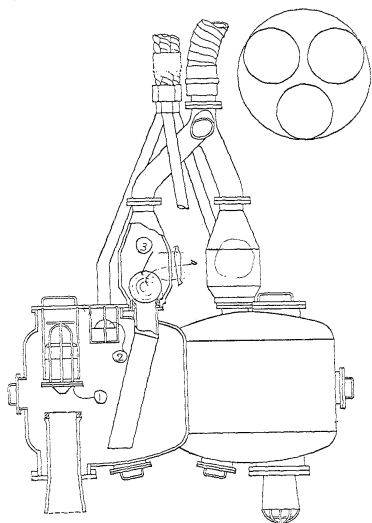
8. むすび

以上のテスト結果より、このヘドロ浚渫船は、濁りを出さない浚渫の、最も優れた工法であると、確信している。

文 献

ニューマ・ポンプによる浚渫実験報告. 作業船 No. 82 (日本作業船協会).

大阪港のヘドロ浚渫について, 港湾 Vol. 49 (日本港湾協会).



9. ヘドロの処理処分法について

Sea Mud Treatment and Disposal

清水 博*

1. ヘドロの除去の必要性

わが国における赤潮の発生は、初めは大阪湾北部一帯などの限られた沿岸海域に、且つ限られた季節にだけ起っていた。しかし、現在は瀬戸内海のごとくほぼ全域に亘り、且つ季節に余り関係が無く赤潮が発生し、1件当りの発生日数も長期化してきている。そのため、養殖ハマチやクルマエビなどの大量死滅など、水産業の受ける直接被害は年々増加し、現在は年間100億円に近いものと推定される。

赤潮発生の原因は、工場廃水、下水、し尿、畜産排水および肥料などの流入による、海域の富栄養化が主なものと考えられるから、その根本的対策はこれら排水の高度処理やし尿の海洋投棄の禁止であるが、既に蓄積している底泥質（ヘドロ）を除去して旧に復することも同時に必要である。

赤潮海域のヘドロの抽出液が赤潮プランクトンを増殖することが知られており、また多量の有機物やプランクトンの死がいなどを含むヘドロは、底層水の酸素を消費して無酸素層を生ずることによって水産被害を与え、ま

た工場廃水に伴って流入蓄積したヘドロには重金属やその他の毒物を含むものも存在することが考えられる。現在瀬戸内海には約1億 m^3 のヘドロが蓄積していると考えられているが、瀬戸内海の環境を回復保全し、莫大な水産被害を無くするためには、まずこの蓄積した有害なヘドロを浚渫して除去する大掃除から始めなければならない。

しかしながら、このヘドロの除去に当っては、その処理工程で海水を汚染したり、ヘドロを広範囲に拡散させてはならないし、また膨大な量のヘドロの処理を経済的に行かない、その最終処分を環境を害することなく有効に行なうことなどが必要であって、それらのヘドロの処理処分方式が確立していなければ、海域のヘドロの除去は実行不可能である。

2. ヘドロの処理処分方式

ヘドロは次の3工程により処理処分する。

- 1) ヘドロの浚渫
 - 2) 浚渫泥の処理
 - 3) 浚渫泥の最終処分
- 1) ヘドロの浚渫方式

* Hiroshi SHIMIZU オルガノ株式会社 Japan Organo Co., Ltd.

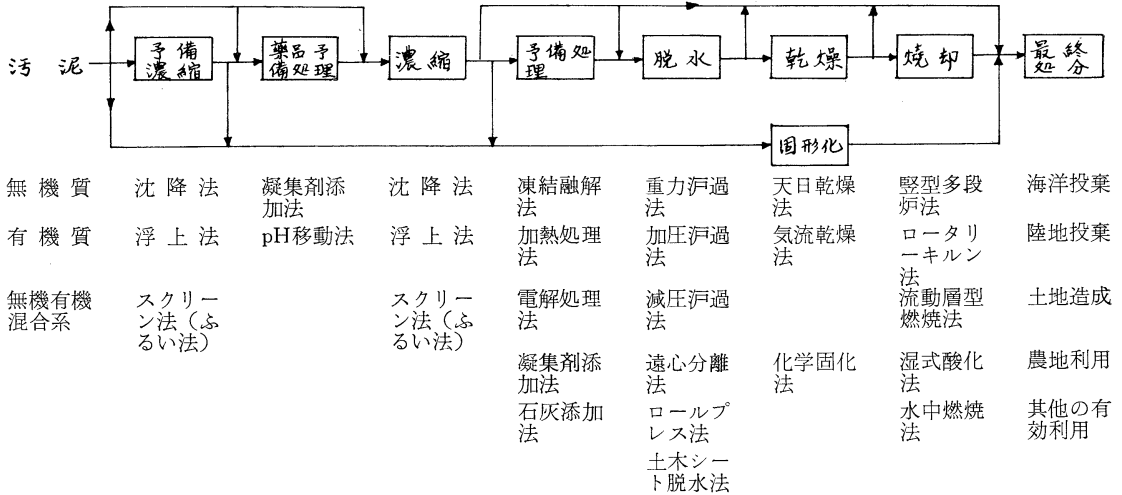
浚渫に際しては、ヘドロをかかはんすることなどにより海域を汚染しないことが最も肝要であり、また浚渫後のヘドロの処理処分を容易にするため、できるだけ濃厚な状態でヘドロが浚渫できる方式が望ましい。

以上の条件を満たす浚渫方式としては、ヘドロを吸引

して揚土する浚渫方式が最も適しており、揚土中のヘドロ含有率は、ヘドロの種類やヘドロ層の厚さによっても異なるが、大体 15~50% となる。

2) 浚渫泥の処理処分方式

汚泥の一般的な処理処分方式を次に示す。



3. ヘドロの性状

赤潮海域のヘドロは有機物を多く含み、腐敗度の高いことが推定されるので、その浚渫泥は正常海域の底泥質と違って、軽質でコロイド性物質を多く含む微細粒子状のものが多いと考えられる。

したがって、赤潮海域の浚渫泥の処理処分は、正常海域の浚渫泥の場合と異なり、種々の困難が伴うことが予想される。

4. 浚渫泥の濃縮

沈降濃縮法(シクナー)、スクリーン法(回転スクリーン)及びその組合せ法が適当と考えられ、一般に汚泥の固形物は 5~10% に濃縮される。濃縮により浚渫泥のその後の処理処分が容易となる。

浚渫泥を濃縮するという事は、一方において廃棄水を生ずることになり、その廃棄水は再び海域に放流して戻すわけであるから、その放流によって海域汚濁などの2次公害を起さないよう、廃棄水の濁度はできるだけ小さくする必要がある。

濃縮に当り、浚渫泥に高分子凝集剤を添加して(一般に固形物に対して 0.1~0.5% 添加する)、微粒子を粗大にする予備処理を行なうと、濃縮が迅速且つ容易になるばかりか、濃縮により生ずる廃棄水の濁度を小にすることができるなどの利点がある。但し経済性を考慮し

て、用いる高分子凝集剤の種類と添加量について十分検討することが必要であろう。

5. 浚渫泥の脱水

遠心分離機、加圧滲過機、ロールプレスなどによる機械脱水を行なうと、一般に汚泥の固形物を 20~40% 程度にすることができる。

一般にこれらの機械脱水機の処理容量は、被処理液の液量によって支配されることが多いから、浚渫泥はあらかじめ濃縮して脱水する方が脱水機が小型のもので済む利点がある。なお、脱水前に濃縮汚泥について凍結融解法や加熱処理法又は石灰添加などの予備処理を行なうと、一般に汚泥の微細な粒子が急速に粗大化して脱水性が著しく向上するため、脱水機を更に小型にすることができるばかりか、固形物 40~60% 程度のポロポロの脱水ケーキとすることもできる。

しかし、海域ヘドロの浚渫泥は極めて大量であるから、上記の機械脱水では設備費や運転コストなどの点で規模により実用し難い場合がある。尨大な量の浚渫泥を処理処分する場合は、浚渫泥の最終処分のあり方をまず考慮して、その最終処分に対して最も適した脱水方式を用いることが必要であるが、その方式の有力なものとして土木シート脱水法がある。

土木シート脱水法は、浚渫泥の最終処分として行なう

土地造成と共に行なう脱水工法である。浚渫泥又は濃縮浚渫泥を最終処分地域に3m程度まで流入させ、その上に透水性のビニロンシートなどを敷設し、その上に砂を0.5~1mまき出して更にその上に透水性シートを敷設してサンドマットを形成させる。次いで、再び浚渫泥を流入させて同様な方法で更にサンドマットを形成させ、以下同様にしてサンドマットを積み重ね、最後に透水性シートの上に盛土をして重力をかける。この工法により、浚渫泥中の水分は浚渫泥の自重と盛土の重力によってサンドマット中に移行し、水平に排水されて脱水されると共に土地造成が行なわれる。

土木シート脱水法は、浚渫泥の脱水と土地造成が一挙に行なえる土木的方法であって、尨大な量の海域へドロの浚渫泥を取り扱う脱水法としては、極めて実用的で有望な方法である。

6. 浚渫泥の乾燥、焼却

浚渫泥の最終処分の工程上必要ある場合にだけ行なう。

一般に、粘土質やコロイド状物質を多く含む汚泥の乾燥は極めて困難であるから、赤潮海域の浚渫泥の乾燥は無理であろう。

焼却を行なう場合は、有害な排ガスの防除に十分注意が必要である。

7. 浚渫泥の固形化

浚渫泥又は濃縮浚渫泥に固形化剤を加えて直接的に急速に脱水固形化する方法で、脱水・乾燥の施設や手間が全く省略出来る簡単な方法であるばかりか、浚渫泥中に含まれる可能性のある重金属その他の有害物質の溶出拡散を効果的に抑制する大きな利点もあり、浚渫泥の処理処分法として極めて有望な方法である。固形化剤としては、無害で安価な無機質のものが選択して用いられる。

米国においては、2年位前からこの方法が種々の汚泥の固形化に実用されており、五大湖や東海岸近辺を中心として既に大量の汚泥がこの方法で固形化されているといわれている。

固形化は、上述の土木シート脱水法の場合と同様に、浚渫泥の最終処分の観点から行なう方法であるが、土木シート脱水法より優れている点は、浚渫泥に固形化剤を混合して僅か3~7日放置するだけで完全に固形化し、そのまま強固な地盤が形成され、或は固形化層を掘り取ってトラック輸送により土地造成地に投入することができ、重金属その他の有害物質の溶出・拡散が抑制される

などである。

固形化法を実施するには、浚渫泥を処分地域に一定量貯留したのちポンプで攪拌しつつこれに固形化剤を添加して混合放置するか、又は浚渫泥の輸送パイプライン中に固形化剤を添加しつつ処分地域に流入させて貯留放置するだけでよい。固形化剤の添加量は液によって支配的に決まるから、浚渫泥は出来るだけ濃厚な方が固形化剤の節約になり、浚渫泥はあらかじめ濃縮しておく方が望ましい。固形化剤の添加割合は、泥質によっても異なり、また所望の硬さ、有害物質の所望抑制度、並びに所望固形化時間などによっても異なると考えられるので、標準的な浚渫泥サンプルについて実験的にあらかじめ定めておく必要がある。

8. 浚渫泥の最終処分

海洋投棄は投棄海域を汚染し、また底質を悪化させるなどの2次公害が生ずるので避けるべきであり、これらの2次公害が殆ど起らない海域に投棄するには運賃が高くついて実施が困難であると考えられる。

赤潮海域のへドロの浚渫泥は極めて大量であり、且つ運賃の点から沿岸で処分する必要があるから、沿岸地域における宅地造成、道路造成、工場敷地造成などの土地造成に用いることが最も有望と考えられる。

浚渫泥の最終処分に当っては、有害物質の溶出や臭気の発生などの2次公害の発生がないように留意することが必要であり、土地造成に用いる場合には、造成地の地耐力に十分留意することが必要である。

9. 結語

以上、赤潮海域のへドロの処理処分法について述べたが、赤潮海域のへドロの除去は赤潮対策の第1着手にすぎないものである。赤潮に対する根本的な対策としては、その海域に流入する工場廃水、下水、畜産廃水および肥料など、海域の富栄養化を起す下廃水を高度処理すること、並びにし尿についてはその海域に投棄することを禁止して下水道を整備することなどが重要であることを忘れてはならない。

そのためには、産業廃水や廃棄物の排出、投棄の規制を厳しくして高度処理を促進し、また市と市、県と県を連結する広域下水道を整備して高度処理を行なうことが早急に必要であると考えられる。

赤潮海域のへドロ除去の処理処分システムを早急に確立し、また新たに海域に流入する下廃水の高度処理システムを確立して、1日も早く赤潮対策が実行に移されることを願う次第である。

10. 廃棄汚泥処理と汚泥地区の再利用

Treatments of Waste Disposal Muds of Utilizations Methods of its Reclaimed Area

斎藤二郎* 西林清茂*

1. まえがき

日本経済の急速な発展とともに、各種工場から副産物として廃出される“産業廃棄物”には固結物から廃液にいたるまでの種々のものがあり、その中には人畜から魚類、植物などに有害なものが含まれて公害問題に発展していることは衆知のとおりである。

数年前の田子の浦港の排液によるヘドロ問題、水俣・新潟の有機水銀、富山の cadmium 問題ごく最近の PCB 汚染問題など未だ記憶に新しいものである。

これら産業廃棄物の公害問題に対して、建設業にたずさわるわれわれも無関心であるわけではなく“産業廃棄物”の処理に微力を尽くしている。われわれが取り組んでいる“産業廃棄物”は主として微細粒子から成る高含水で軟弱な“ヘドロ”あるいは“発生汚泥”と称されるものであって、合成化学、金属、鉱山、化学肥料、パルプ、繊維、製鉄、自動車などあらゆる種類の近代産業から、副産物として発生し、種々の“公害発生源”となるものである。また、性質は異なるが、上下水道施設における“沈澱汚泥”、一般家庭から産する“ゴミ”も同様の問題を含む廃棄物といえる。

10 数年、あるいは 5、6 年前までは、これら“産業廃棄物”の大部分は海、河川、山間部の谷間などへ投棄処分し、自然放置されてきたが、日本経済の急速な発展に伴って、廃棄物の量も膨大なものとなり、種々の弊害が発生してきた。海洋、河川への投棄は水産物資源破壊や農産物汚染、陸上部への投棄は地下水汚染、悪臭発生、危険、自然環境破壊などの公害発生源として大きな社会問題となっている。

ここでは、このような公害発生源となっている産業廃棄物“ヘドロ”の土木的処理方法の一端を紹介したい。

2. 産業廃棄物“ヘドロ”の土木的処理方法の基本的考え方

“産業廃棄物”の処理方法についても廃棄物の種類に

応じた各分野の研究がなされており、“廃液”の処理方法については種々の処理プラントが開発され実用されているが、廃液を浄化した後に残る汚泥、いわゆる“ヘドロ”の処理方法としてはフィルタープレス法のように強制加圧方式あるいは高温による焼結脱水方式程度しか見当らない。

しかし、現時点ではこれらの方法も技術的問題、コスト高などの諸問題を抱え、決定的なヘドロ処理方式とはいえ、小規模のヘドロ処理に使用されているにすぎない。したがって、1日数10トン、数100トンに達する膨大なヘドロ処理には経済性の面から適せず、このような場合には、山間の谷間、窪地、あるいは掘削孔に投棄し放置しているのが現状である。このほか、ヘドロから合板、ブロック、軽量骨材などの建設材料として再利用しようとする積極的試みも行なわれているが、同様の理由で研究室の域を出ていない。

そこで筆者らは、このような膨大な量となって廃出されるヘドロを公害、自然環境破壊を発生させることなく処理し、処理した跡地を各種構造物の敷地、公園、グラウンドとして有効利用する方法を開発してきた。

その処理方法の基本的考え方は廃出されるヘドロの大部分が土質工学的に見て微細土粒子からなるシルト・粘土等のような粘性土と見なし得ることに着目し、粘性土の改良に使用している載荷圧密促進の原理に基づく地盤改良工法を実施することによって、ヘドロ内に含まれる間隙水を短時日に圧密脱水し、ヘドロの含水比低下を計って強度大な良質地盤とする方法である。

すなわち、通常、谷間、窪地にヘドロを投棄する場合には投棄した後、そのまま放置しておくか、表面の乾燥（これだけでも半年～1年は必要）を待って良質土をかぶせておくだけであり、このままでは内部のヘドロは5年～10年経過しても軟弱なままである。したがって、表面の状態だけで判断して宅地等に適用した場合には沈下、強度不足によって構造物に重大な影響を及ぼすことになる。又、ヘドロ状のものをそのまま放置することは附近住民に対して非常に危険なことであり、又悪臭、地下水汚染などの公害問題となる。上述したヘドロ処理方

* Jiro SAITO and Kiyoshige NISHIBAYASHI 株式会社大林組技術研究所 Ohbayashi-gumi Engineering Research Laboratory, Ltd.

法は数万、数百万にのぼる大量のヘドロを地盤改良することによって、各種公害を防止し、しかも跡地を有効土地利用しようとするものである。なお、この方法で処理できるヘドロはその組成によっても変化するため一概に定義できないが、含水率で 80~85% が限度と考えている。

3. ヘドロの土木的処理方法

有害物質を含むヘドロを谷間等に投棄処分する方法を二つの例を挙げて紹介する。

その一つはヘドロを短期間に大量に処分する必要がある場合で、所定量のヘドロを投棄完了した後、地盤改良を実施する方法であり、他の例は、ヘドロを長期間にわたって大量処分する場合で、ヘドロを投棄処分しながら地盤改良を同時に進行させる方法である。

3-1. ヘドロ投棄終了後、地盤改良を実施する場合

第1図はこの方法を模式的に示したものである。

(1) ヘドロ内間隙水の現地盤地下浸透防止対策……工事の第一段階はヘドロ捨土予定地域内現地盤の止水作業である。産業廃棄物ヘドロ内には種々の有害物質が含まれているので、ヘドロ内間隙水中にももちろん有害物質を

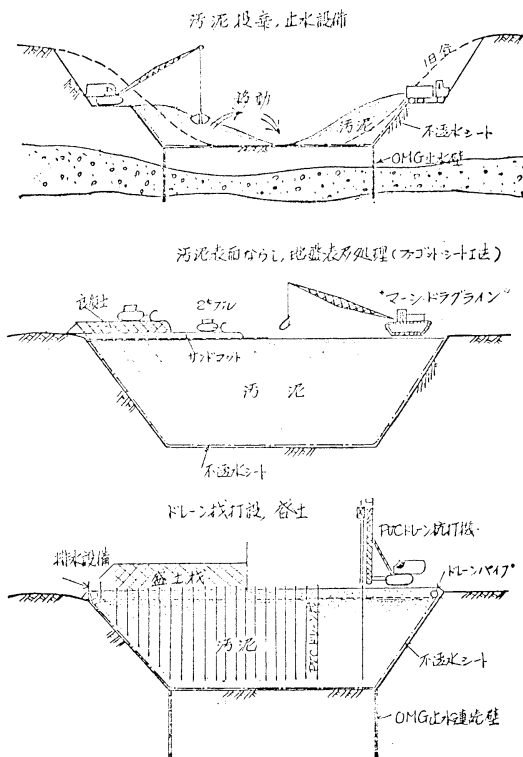
含む場合が多い。これらの有害物質を含む間隙水が現地盤内に浸透し、地下水に混入して流れると種々の問題を引起すことになるのでヘドロ内の間隙水が現地盤内に浸透することを防止する必要がある。この間隙水地下浸透防止方法としては現地盤の地層構成およびそれらの土性によって異なってくる。

(イ) 現地盤が強度大な粘性土地盤の場合

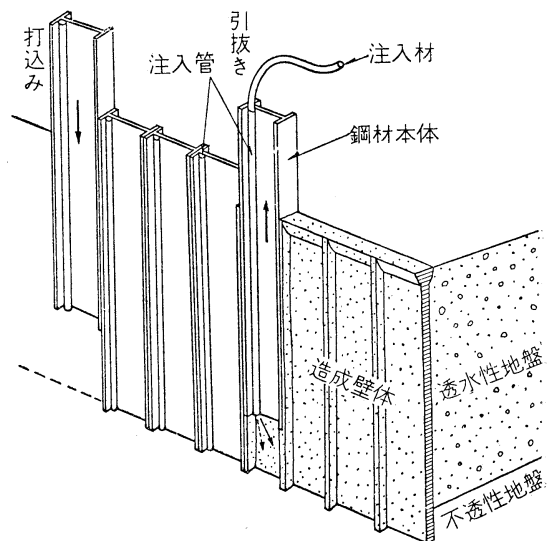
粘性土地盤であれば透水係数は $K=10^{-6} \sim 10^{-7} \text{cm/sec}$ と小さく、不透水性と見なしうる場合が多いので、特別の止水対策は必要ない。粘性土地盤の透水性が大きかったり（例えば腐植土）、層厚が薄い場合には簡易アスファルト舗装、コンクリート舗装を行なえば良い。

(ロ) 表層が透水性地盤で、粘性土層が透水層下に存在する場合

この場合は表層透水性地盤に浸透した間隙水は水平方向に流れて捨土区域外に流出するので、地域内現地盤表面にアスファルト舗装、コンクリート舗装を行なう。又、現地盤表面を上記の舗装や不透水シート（ナイロン・ビニロンターポリン）、合成ゴムシートで処理した上、捨土区域周辺に連続止水壁を施工すれば完全に止水対策が行なえる。なお、この連続止水壁だけでも十分である。連続止水壁造成工法としては OWS・ソレタンシュ工法、OMG 工法がある。OWS・ソレタンシュ工法は無騒音、無振動の地中連続壁体造成工法でそれ自体土留壁として利用できるもので、もちろん止水効果も万全である。OMG 工法は現在、止水のみを目的とした地中連続止水壁造成工法で OWS・ソレタンシュ工法によって造成さ



第1図 産業廃棄物の土木処理法模式図。

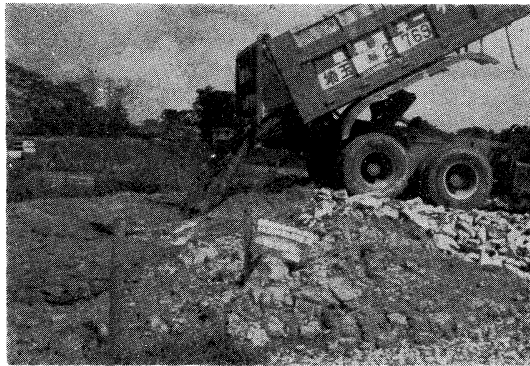


第2図 OMG 工法施工概略図。

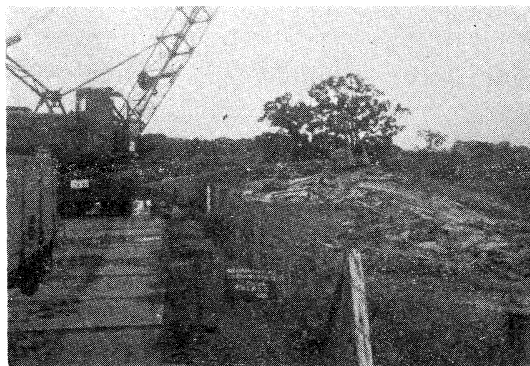
れる壁体厚が約 40 cm 以上であるのに対して、OMG 壁体は 4～5 cm のうすい壁厚である。この工法の施工概略図を第 2 図に示す。まず、地盤中に 6～10 本の連続装置加工の特殊鋼材を不透水層に達するまで打ち込み、ついで、この特殊鋼材を引抜くが、引抜き最中、地盤中に形成される空隙に鋼材に具備されている注入パイプからグラウトを注入する。引き抜いた鋼材は再び地盤中に打込み転用してゆく。このように、地盤中に形成された空隙にグラウトを注入するので、確実に連続止水壁体が造成される。この工法に使用するグラウトは通常モルタルであるが、止水連続壁体に土圧等の外力が作用すると考えられる場合には高分子材料から成る弾力性に富んだグラウト（加水反応型高分子グラウト）を注入する。

ハ) 現地盤が軟弱な場合

現地盤表面が湿地帯、水田等のような軟弱地盤であり、この軟弱層が厚い場合にはヘドロ投棄によって現地盤の塑性流動を発生したり、ヘドロと混合するので、ファゴット、シート工法（後述）によって地盤表層処理した後、地盤改良する。軟弱層が薄い場合には地盤表層処理だけで良い。軟弱層の透水性が大でヘドロ間隙水の地下浸透



第 3 図 ダンプトラックによるヘドロ投棄。



第 4 図 クラムバケットによる“ヘドロ”均し作業。

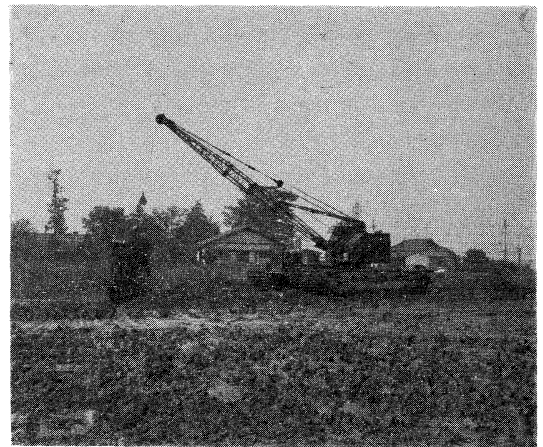
が懸念される場合には、合成繊維、合成樹脂から成る不透水性シートなどのフレキシブルシートを敷設する。

(2) ヘドロの投棄方法……工場等から廃出されるヘドロを捨土地域まで運搬するには通常、荷台を水密処理したダンプトラックによるが（第 3 図）、距離が短かく、大量のヘドロを長期間にわたって運搬する場合にはベルトコンベヤー方式が考えられる。いずれの運搬機械を使っても捨土地域にヘドロを投棄する場合には 1 箇所山積させてもヘドロの流動性によって広がってゆくものよりは山状になるので、投棄箇所を変化させたり、浅橋や突出し道路を設けて出来るだけ万遍に投棄する方が良い。又、山積した箇所はクラムバケット、ドラグラインによって均等に敷き均らす。（第 4 図）

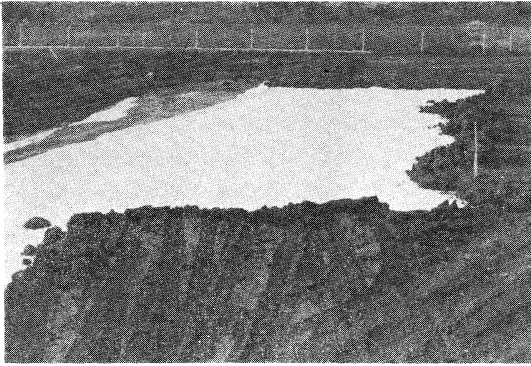
面積が大で重機のブーム不足のときには水陸両用タイプの重機（例えば“マーシ”）をヘドロ上に乗り入れて施工する。この水陸両用タイプの自走式重機は接地圧 $0.08 \sim 0.1 \text{ kg/cm}^2$ 程度であるので、超軟弱なヘドロ上でも十分稼働できる。（第 5 図）

(3) ヘドロ表面地盤表層処理

ヘドロ投棄が予定量に達し、谷間あるいは窪地を埋立ててしまえば、ヘドロ表面の凹凸を前述の水陸両用タイプの重機でならした後、地盤改良用施工機械を搬入走行できる状態にヘドロ表面を地盤表層処理しなければならぬ。地盤表層処理方法としてはファゴット・シート工法を適用する（第 6 図）。このファゴット・シート工法はヘドロ表面に合成繊維シートを敷設し、その上に層厚 1.00～1.80 m の良質土をまき出して施工機械のトラフカビリティを確保する工法である。ファゴット・シート自体は引張り強さ $90 \sim 130 \text{ kg/3 cm}$ 巾程度、面積 1,500



第 5 図 水陸両用重機（ドラグライン）による“ヘドロ”均し作業。



第6図 ファゴット・シート工法による地盤表層処理。

~2,000 m² の単一シートである。処理面積大の場合は現場ジョイントして処理できるものである。シート上への良質土まき出し施工は、自重 2~3t の軽量小型ブルドーザーを使用してまき出す。良質土まき出しの方法は一層 50 cm 以下にして3層程度にまき出す。このように層を分けるのはファゴット・シートに集中荷重をかけないようにするためである。ヘドロが超軟弱で上記の小型ブルドーザーでも稼動不可能な場合にはジェットコンベヤー (20 m 程度まで砂を投出できる。) やクラムバケットで最初の層目を施工できる。

第一層の良質土に砂を使用すれば地盤改良時のサンドマットに転用できる。

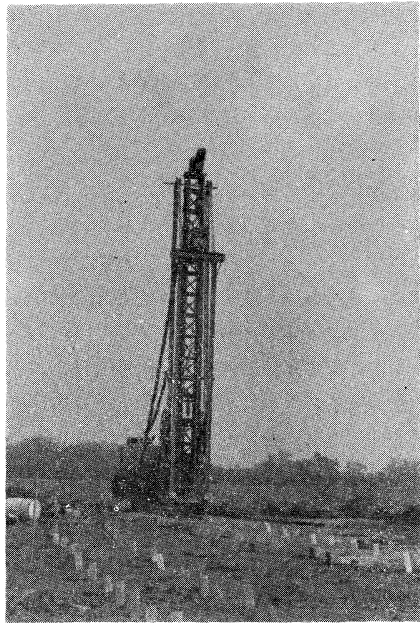
このファゴット・シート工法は、従来、このような軟弱地盤表層処理に使用されていたソダ・竹棒工法のような鋼性材料を使って上載盛土荷重を分散させる方式とは原理を異にし、フレキシブルシートの引張力によって上載荷重を支えるものである (ハンモックの原理に似ている)。

(4) 載荷圧密促進工法によるヘドロ地盤改良

地盤表層処理工事が完了したならば、ヘドロ地盤強度を増加させるために地盤改良工法を適用する。

地盤改良工法としてはサンドパイル工法、ペーパードレーン工法、ファブリドレーン工法などの載荷圧密脱水工法やケミコパイル工法、コンポーザー工法などの強制地盤改良など種々の工法がある。

当社の開発した PVC ドレーン工法は (第7図) は通常のペーパードレーン工法と同一原理のものであるが、使用するドレーン材はパルプ製のペーパーとは異なり、耐菌、耐酸、耐アルカリ性が大きくしかも透水性、曲げ応力に優れた特長を有する多孔質高分子材料である。このドレーン材打設方式も従来の方法とは異なるもので打設能力も大である。



第7図 PVC ドレーン工法によるドレーン形成。

耐酸、耐アルカリ性のドレーン材であるので、種々の酸、アルカリ物質を含む産業廃棄物のヘドロ処理には最適である。しかも、曲げ応力に十分追随できるので高圧縮性をもつヘドロには適しており、又、透水性が大であるので、ドレーン効果も優れており、高含水のヘドロ脱水に適する。

これらの点から PCV ドレーン工法は産業廃棄物のヘドロ処理には経済性、効果の点で最適といえる。

(5) 載荷圧密、間隙水の排水

ドレーン材の形成が完了すれば、載荷重としての盛土を行なう。この載荷盛土は跡地利用目的に応じて荷重の大きさを定める。宅地程度の土地利用であれば 5~6 t 程度の載荷重で良い。

圧密現象によって脱水された間隙水はサンドマットに集水され区域外に排水される。この場合、脱水された間隙水は有害物質を含む場合が多いので、捨土区域周辺のサンドマット位置には盲暗渠を布設し、周辺および中央の数ヶ所にはスリット付きの井戸を設けておき、サンドマットおよび盲暗渠に集水した間隙水を井戸に導いてポンプ排水処理する。

以上のように、ヘドロの処分を行なうが、この方法は短期間に大量のヘドロを処理する場合や、処分地区の面積が狭く、ヘドロが短期間に満杯になる場合に適するほか、既処分ヘドロの処理にも適している。

3-2. ヘドロ投棄処分と並行して地盤改良を行なう場合

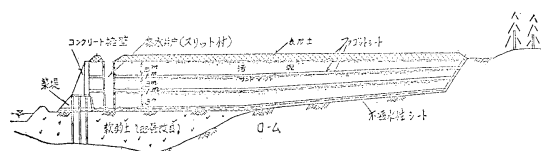
長期間にわたってヘドロを投棄する場合や、ヘドロ層厚を大にできる条件下では水平ドレーン層による圧密脱水方法が適用できる。

この方法はヘドロ投棄処分中にヘドロ層内に水平ドレーン層を形成し、ヘドロ投棄中においてもヘドロ自重による圧密脱水を行なって、ヘドロ地盤強度増加をはかる方法である。前述した(3-1)の方法は垂直ドレーンを形成して間隙水を水平方向に脱水する方法であるが、この方法はドレーン層が水平であるので、間隙水は上下方向に脱水される。

第8図はこの処理方法を模式的に示したものである。現地盤の浸透防止対策方法は(3-1)の方法と同様の考えで処理すれば良い。ヘドロを投棄し始め、ヘドロ層厚が2.5~3.0m程度になったならば、ヘドロの表面を前述の方法で敷き均らした後、ファゴット・シートを敷設して層厚50~100cmの良質砂をまき出し、再びファゴット・シートで覆ってサンドマットを形成する。ついで、再び層厚3m程度になるまでヘドロ投棄を行なった後、同様の方法でサンドマットを形成し、この方法を繰り返して、ヘドロ層内に水平ドレーンをサンドイッチ状に何層も形成する。このように水平ドレーン層を形成してゆけば、ヘドロ内の間隙水は上層のヘドロ自重によって水平ドレーン層内に圧密脱水され、ヘドロ地盤強度は増加する。脱水された間隙水は水平ドレーン層を通してあらかじめ設置されているスリット付きの排水井戸に集水されて自然排水あるいはポンプ排水される。

ヘドロ投棄が所定の高さに達したならば、表層部分のヘドロの強度を増加させるために載荷盛土を行なって地盤改良する。

この処理方法の利点はヘドロ投棄作業と並行しながら圧密改良を行なうので、ヘドロ地盤の下層部分ほど圧密改良され強度増加するとともに沈下もする。したがって、全ヘドロ投棄終了後、地盤改良する(3-1)の方法にくらべて、下層のヘドロが強度増加してゆくためにヘドロの処理がしやすく、又、下層のヘドロが圧密沈下するので、沈下分だけヘドロ投棄処分量を大にできるなどの長所を有する。しかし、水平ドレーン層形成時、一時的にヘドロ投棄を中止する必要があること、水平ドレー



第8図 水平ドレーン層による処理法。

ン層上へのヘドロの投棄を水平ドレーン層を破壊させないように慎重に行なう必要があるなどの欠点ももつ。

4. 実施例

われわれが現在まで実施してきた実際工事は4~5件であるが、現時点でも数例の計画検討を実施している。ここでは実施例のうち2例について紹介する。

4-1. 東京都朝霞浄水場発生汚泥処理

上記浄水場は東京都の上水道の約1/3を供給する大浄水場である。この浄水場は利根川から河川水を導水し、浄水化しており、沈澱池には河川水とともに運ばれた多量の微細土粒子が沈澱堆積する。浄水場ではこの沈澱汚泥(発生土と呼称している。)を酸処理(硫酸)およびアルカリ処理(石灰)した後、真空ろ過機によって脱水して含水比250%程度にした状態で日産約200tを廃出している。現在までは附近の谷間に投棄処分していたが、投棄した後、そのままの状態に放置するが多かったため、今後、完全な処理を行なうために(3-1)で述べた載荷圧密脱水による地盤改良を行なった。

発生土は造岩鉱物として石英、長石、アロフェンを主体に浄水過程で添加剤と反応して生成した炭酸カルシウム、硫酸アルミニウム、エット・リンゲン、アルミン酸

第1表 “ヘドロ”の土質工学的特性。

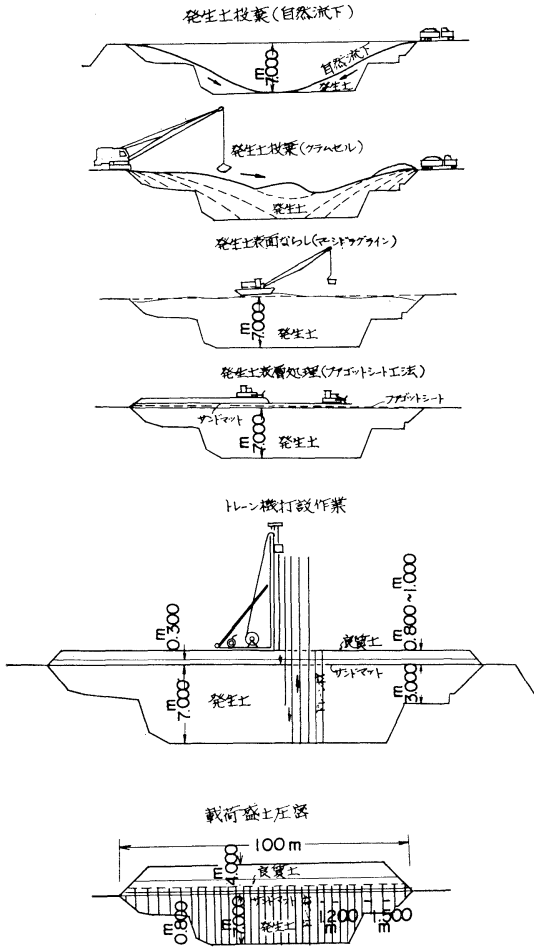
試験項目		東京都朝霞浄水場発生汚泥	某化学工場カーバイトボーキサイト泥	
物理特性	比重 $G_s(g/cm^3)$	2.98	2.20~3.08	
	単位体積重量 $\gamma(g/cm^3)$	1.20	1.16~1.43	
	含水比 $w(\%)$	258	70~410	
	粒度分布	砂分(%)	1	1~19
		シルト分(%)	56	59~95
		粘土分(%)	43	4~26
三角座標分類		シルト質粘土	シルト質ローム シルト質粘土	
力学特性	圧縮指数 C_c	1.98	0.7~5.5	
	圧密係数 C_α	5×10	$0.17 \sim 8 \times 10$	
	強度増加係数 C_c/P	0.35	0.37	

備考

圧縮指数…単位荷重に対する土の圧縮量を係数で表したもの

圧密係数…荷重に対する土の圧密沈下終了に要する時間の係数

強度増加係数…荷重によって増加する土の強度割合

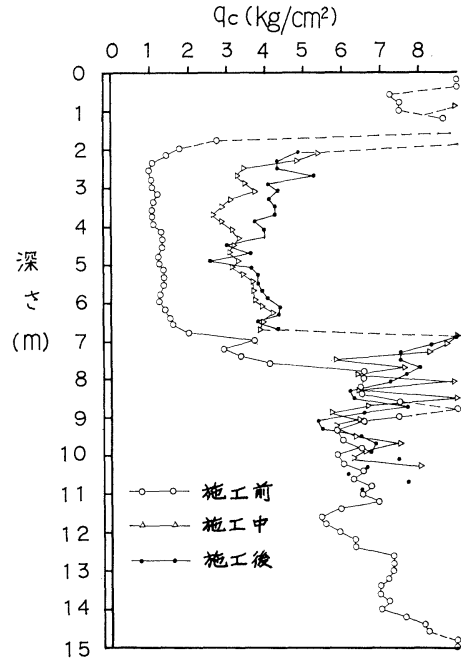


第9図 東京都朝霞浄水場発生処理。

カルシウム水和物，石灰などを含むが，土質工学的性質は第1表に示すように，シルト・粘土分が98%を占める粘性土（シルト質粘土）である。含水は $\omega \div 260\%$ と高含水で，間隙比は $C_0 \div 5.6$ と大きく，圧密特性のうち圧縮指数は $C_0 = 1.98$ と高圧縮性である。ただし，圧密係数は $C_0 = 5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ と圧密しやすい特性もっている。発生土の強度は完全に液状を示しているので不明であるが，投棄処分後1年経過時にサウンディング調査した結果では，コーン指数 $q_c \div 1 \text{ kg/cm}^2$ 程度であった。

第9図に示すような面積 $5,700 \text{ m}^2$ ，深さ $3 \sim 7 \text{ m}$ の掘削窪地（周囲は土堰堤で囲われている。）に約 3 万 m^3 の発生土を約1年間で投棄処分した。

地盤改良の施工法は発生土投棄終了後，クラムバケット，マーシー・ドラグラインによって表面を敷きならし



第10図 東京都朝霞浄水場発生土の地盤強度変化。

た。その後，ファゴット・シート工法でサンドマット(0.30 m)および良質土まき出しを行った。サンドマットは厚層が薄いのでファゴット・シートで上下を覆いサンドイッチにした。

地盤改良工法としてはPVCドレーン工法を適用し，ドレーンピッチ $d = 1.20 \text{ m}$ ，深さ $3 \sim 7 \text{ m}$ で載荷圧密放置期間約2ヶ月とした。ヘドロ地盤の改良目標は木造2階程度を対象としたが，載荷重は盛土（単位体重積量 $\gamma_s = 1.60 \text{ t/m}^3$ ） 4 m であった。

第10図に地盤改良状態を調査するために施工前，中，後に行なったオランダ式二重貫コーンペネトロメーターによるコーン指数を示す。施工前 $q_c = 1 \text{ kg/cm}^2$ 以下であったものが，施工後は約 $q_c = 3 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ と大きく増加し，改良効果の著しいことがわかる。

4-2. 某化学工場廃棄汚泥処理

産業廃棄物ヘドロのうち，一般にカーバイト泥(白泥)，ボーキサイト泥(赤泥)が最も多く廃出し，処分法も困難である。

某化学工場においても副産物として白泥・赤泥が大量に廃出するため，隣接する埋立地に長年の間投棄処分してきた。この白泥・赤泥は埋立処分後，長年月経過しているにもかかわらず，強度はほとんど0に近く完全な液状を呈したままであったが，掘削はおろか運搬さえ技術



第11図 白泥地盤のファゴット・シート工法。

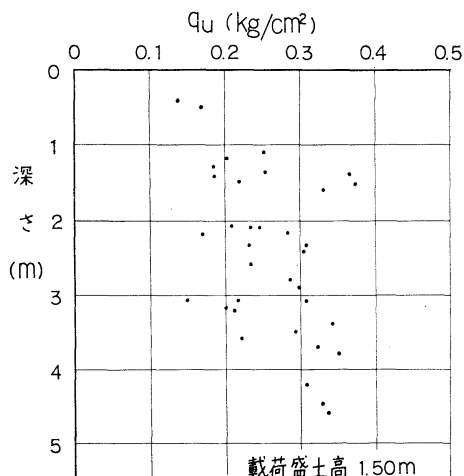
的に困難で、たとえ可能であっても莫大な費用をつぎ込む必要があり、現実的に不可能な状態であった。そこで(3-1)に述べた処理法を適用し、白泥・赤泥の地盤強度増加を計り、跡地を工場増設の敷地として利用し、一石二鳥の効果を挙げた。

カーバイト泥(白泥)は石灰からカーバイトをつくる過程($\text{CaO} + 3\text{C} \rightarrow \text{CaC}_2 + \text{CO}$)で石灰中に含まれる不純物やカーバイトカスから成り、強アルカリを示す。又、ボーキサイトは水酸化アルミニウムの集合体名であり、通常、カッテツ鉱、石英、長石類のほか、ハロイサイト、カオリナイト、ノントロン石などの粘土鉱物も含まれているので、アルミニウムを生成した残りカスに水が加わると粘土のような泥状を呈し赤泥と通称される。

これら白泥・赤泥でも土質工学的に見ると、シルト質ローム、シルト質粘土の部類に入り、物理特性は第1表に示すように比重 $G_s = 2.80 \sim 3.08$ で、含水比は $w = 70 \sim 410\%$ と高含水であり、単位体積重量も $\gamma_t = 1.20 \sim 1.40 \text{ t/m}^3$ とやや小さい。

又、圧密特性のうち圧縮指数 C_c は赤泥が $C_c = 4 \sim 5.5$ 、白泥が $C_c = 0.6 \sim 1.0$ と赤泥の圧縮性が大である。載荷圧密促進工法の適用性に関する圧密係数は $C_\alpha = 2 \times 10^{-3} \sim 8 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sec}$ と比較的大きな値を示し、地盤改良に適していることがわかる。

工事は層厚 6~7 m に分布する白泥・赤泥処分地区の約 3万 m^2 を対象としたもので、まず、ファゴット・シート工法によって表層処理した後、サンドドレーン工法、ペーパードレーン工法で地盤改良した。(第11図)



第12図 白泥・赤泥の地盤改良後の強度。

地盤表層処理に使用したファゴット・シート工法の効果を確認するために行なった掘削試験の結果では、シート下 1.50~2.00 m までは垂直ドレーン形成前にもかかわらざるにかなりの強度増加を示しており、もはやシートの必要性はないほどであった。

盛土高 1.50 m による地盤改良後の一軸圧縮強度分布を第12図に示す。当初、一軸圧縮強度 $q_u = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ 以下であったものが、改良後、 $q_u = 0.15 \sim 0.35 \text{ kg/cm}^2$ と増加している。載荷量を増加させれば、これ以上の強度増加をもたらすであろう。

5. あとがき

産業廃棄物の“ヘドロ”を焼結あるいはフィルタープレスのような強制加圧によって処理し、投棄後なんらの問題も生じないようにしたり、二次製品化できれば理想的といえるが、先に述べたように現時点では技術的、経済的問題のために小規模処理に限られている。

ここに述べた土質工学的処理法は大規模なヘドロ処理に適しており、土地取得の目的とも合致して非常に経済的処理方法であると考えている。

この処理法は、大都市近辺に集積されている“ゴミ”処理にも適用した実績を持ち、現在では、(3-2)の水平ドレーン層による本格的な産業廃棄物ヘドロの処理を実案問題として計画中である。

学 会 記 事

1. 昭和48年3月15日, 東京水産大学において編集委員会が開かれ, 第11巻第1号の編集が行なわれた。
2. 昭和48年3月30日, 日仏会館会議室において, 本学会主催の第1回「赤潮シンポジウム」が開催された。
3. 昭和48年5月15日, 東京水産大学において編集委員会が開かれ, 第11巻第2号の編集が行なわれた。
4. 下記の諸氏が入会された。

正会員

氏 名	所 属	紹介者
吉田多摩夫	東京水産大学助教授	佐々木忠義
谷口 旭	北海道大学水産学部	川村 輝良
荒川 好満	広島県水産試験場	宇野 寛
三好 宇史	太陽工業株式会社	小長谷史郎
青木 三郎	東京教育大学理学部	佐々木忠義
田中真穂子	杉並区阿佐ヶ谷北2-8-1相沢方	〃
中田喜三郎	工業技術院公害資源研究所	岡崎 守良

5. 退 会

正会員: 西 潔

6. 死 亡

評議員新野 弘氏は, 昭和48年3月29日逝去された。謹んで御冥福を祈る。

名誉会員速水頌一郎氏は, 昭和48年4月18日逝去された。謹んで御冥福を祈る。

7. 会員の住所, 所属の変更。

氏 名	新住所又は新所属
下村 敏正	岩手県気仙郡三陸町越喜来 北里大学水産学部
大柴五八郎	東京都文京区千石 3-19-19
渡辺 精一	東京都文京区本郷 6-20-5
井上 敏彦	東京都練馬区上石神井 1-464
小池 隆	三重県津市江戸橋 2-158 三重大学水産学部
土田 武雄	東京都千代田区大手町 1-3-4 気象庁海洋気象部海洋課
新田 忠雄	東京都中央区勝どき 5-5-1 東海区水産研究所
平野 敏行	東京都中野区南台 1-15-1 東京大学海洋研究所
菱田 耕造	千葉県柏市旭町 7-4 気象大学校
水沼 栄三	宮崎市船塚町 320
富田 広	東京都新宿区上落合 1-29-11

三生マンション 601

伊東 教晶 清水市緑ヶ丘 2-54 松栄荘

川原征一郎 熊本県本渡市本渡町広瀬 751-1

青少年海の家内

渡辺貫太郎 清水市折戸 1,000 東海大学海洋学部

8. 交換及び寄贈図書。

- 1) 国立科学博物館研究報告, 16(1), 1973.
- 2) 東海大学海洋学部十年史.
- 3) 日本航海学会論文集, 48号, 昭47.
- 4) 海洋産業研究資料, 4(2~5), 1973.
- 5) 海洋博ニュース, No. 5~7, 1973.
- 6) 研究実用化報告, 22(2, 3). (電通研)
- 7) 水産養殖, 2(1), 1972. (台湾省水産試験場東港分所)
- 8) 鯨研通信, 258~260号, 1973.
- 9) 海洋機器開発, 5(3, 4), 1973.
- 10) 港湾技術研究所報告, 11(4), 1972.
- 11) 港湾技研資料, No. 147~152, 1972.
- 12) 航海, 39号, 昭48.
- 13) 神戸海洋気象台彙報, No. 189, 1973.
- 14) 日本海区水産研究所研究報告, 24号, 昭48.
- 15) 東京大学海洋研究所業績集, 10, 1973.
- 16) 鯉に関する餌料試験結果, 資料 No. 57, 1973. (淡水区水研)
- 17) 早稲田大学理工学部紀要, 36号, 1972.
- 18) CSK Newsletter, No. 40, 1972.
- 19) JODC ニュース, No. 6, 昭 48.
- 20) Preliminary Report of the Hakuho Maru Cruise KH-70-2, 1971, KH-70-4, 1972, KH-71-2, 1972, KH-71-3, 1973.
- 21) Bulletin de l'Association de Géographes Français, N° 399, 1972.
- 22) Science et Pêche, N° 219, 220, 1972, N° 221, 222, 1973.
- 23) Résultats des Campagnes à la Mer, N° 4, 1972 (CNEXO).
- 24) Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine, N° 12, 1972.
- 25) Ocean Age, 5(4, 5), 1973.
- 26) Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes, Tome XXXVI Fasc 4, 1972.
- 27) Notas e Estudos do Instituto de Biologia Marítima, N° 40, 41, 1972.

日仏海洋学会役員

顧問 ユベール・ブロッシェ ジャン・デルサルト
ジャック・ロベール アレクシス・ドランデー
ール

名誉会長 ベルナール・フランク

会長 佐々木忠義

常任幹事 永田 正, 大柴五八郎

幹事 阿部友三郎, 石野 誠, 井上 実, 今村 豊
岩下光男, 宇野 寛, 川原田 裕, 神田献二
菊地真一, 鬼頭正隆, 草下孝也, 斎藤泰一,
佐々木幸康, 杉浦吉雄, 高木和徳, 高野健三
辻田時美, 富永政英, 奈須敬二, 西村 実,
根本敬久, 半沢正男, 松生 治, 松尾邦之助,
丸茂隆三, 森田良美, 山中鷹之助 (50音順)

監事 久保田 穰, 岩崎秀人

評議員 赤松英雄, 秋山 勉, 阿部宗明, 阿部友三郎,
新崎盛敏, 有賀祐勝, 石野 誠, 市村俊英,
井上直一, 井上 実, 今村 豊, 入江春彦,
岩崎秀人, 岩下光男, 岩田憲幸, 上野福三,
宇田道隆, 宇野 寛, 大内正夫, 大柴五八郎,
大村秀雄, 岡部史郎, 梶浦欣二郎, 金谷太郎,
川合英夫, 川上太左英, 川口守一, 川村輝良,
川村文三郎, 川原田 裕, 神田献二, 菊地真一,

鬼頭正隆, 木村喜之助, 草下孝也, 楠 宏,
国司秀明, 久保田 穰, 黒木敏郎, 小林 博,
小牧勇蔵, 近藤 仁, 西条八束, 斎藤泰一,
斎藤行正, 坂本市太郎, 佐々木忠義, 佐々木幸
康, 猿橋勝子, 椎野秀雄, 柴田恵司, 下村敏正,
庄司大太郎, 末広恭雄, 杉浦吉雄, 多賀信夫,
高木和徳, 高野健三, 高橋淳雄, 田畑忠司,
田村 保, 千葉卓夫, 土屋靖彦, 辻田時美,
寺本俊彦, 富永政英, 鳥居鉄也, 中井甚二郎,
中野猿人, 永田 正, 永田 豊, 奈須敬二,
奈須紀幸, 西村 実, 新田忠雄, 根本敬久,
野村 正, 花岡 資, 半沢正男, 半谷高久,
菱田耕造, 日比谷 京, 松山義夫, 平野敏行,
深沢文雄, 福島久雄, 淵 秀隆, 星野通平,
増沢談太郎, 松井 魁, 松生 治, 松尾邦之助,
松崎卓一, 松平康男, 丸茂隆三, 溝口哲夫,
三宅泰雄, 宮崎千博, 宮崎正衛, 元田 茂,
森田良美, 森安茂雄, 安井 正, 矢部 博,
山路 勇, 山中鷹之助, 山中 一, 依田啓二,
渡辺貫太郎, 渡辺精一 (50音順)
マルセル・ジユクラリウス, ジャン・アング
ティル, ロジェ・ペリカ

賛 助 会 員

旭化成工業株式会社
井 出 利 明
株式会社内田老鶴園新社 内田悟
梅 林 弘 直
小樽船用電機株式会社
株式会社オルガノ
株式会社オーシャンエージ
海上電機株式会社
社団法人海洋開発産業技術協会
株式会社海洋開発センター
協同低温工業株式会社
協和商工株式会社
栗山ゴム株式会社
小松川化工機株式会社
小 山 康 三
三信船舶電具株式会社
三洋水路測量株式会社
シュナイダー財団極東駐在事務所
昭和電装株式会社
大洋電機株式会社
株式会社高瀬鉄工所
株式会社鶴見精機工作所
帝国酸素株式会社
東京工材株式会社
株式会社東京久栄

東京都千代田区有楽町 1-12-1
釧路市白金町 11
東京都千代田区九段北 1-4
東京都千代田区大手町 2-2-1 新大手町ビル7階 極東貿易株式会社
小樽市色内町 1-20
東京都文京区本郷 5-5-16
東京都豊島区南池袋 1-18-21
東京都千代田区神田錦町 1-19
東京都港区六本木 4-1-13
東京都港区赤坂 1-9-1
東京都千代田区神田佐久間町 1-21 山伝ビル
東京都新宿区下落合 1-513 第二正明ビル
大阪市東淀川区西中島町 1-195
東京都江戸川区小松川 1-2645
東京都文京区本駒込 6-15-10 英和印刷社
東京都千代田区内神田 1-15
東京都港区新橋 5-23-7 三栄ビル
東京都港区芝琴平町 38 日本ガス協会ビル
高松市福岡町 467
東京都千代田区神田錦町 3-16
東京都江戸川区松江 1-11-15
横浜市鶴見区鶴見町 1506
神戸市兵庫区高松町 22-1
東京都中央区築地 4-2 築三ビル
東京都中央区八重洲 3-3 八重洲口会館

- 東京急行電鉄株式会社
 東京製綱繊維ロープ株式会社
 東京レブ株式会社
 株式会社東邦電探
 東洋海洋開発株式会社
 中川防蝕工業株式会社
 株式会社ナック
 日本アクアラング株式会社
 日本海事広報協会海の世界編集部
 日本海洋産業株式会社
 日本テトラポッド株式会社
 日本テレスコム株式会社
 社団法人日本能率協会
 日本無線株式会社
 船舶用電球株式会社
 有限会社ハラダ電機製作所
 ヒエン電工株式会社
 深田多満男
 藤田 峯 潔雄
 フランス物産株式会社
 古野電気株式会社
 丸文株式会社
 三井海洋開発株式会社
 三菱重工業株式会社
 株式会社吉田製作所
 吉野計器製作所
 株式会社社離合社
 株式会社渡部計器製作所
- 東京都渋谷区桜丘町 26-20
 東京都中央区日本橋室町 2-8 古河ビル
 東京都豊島区池袋 2-1120 ローズマンション 302 号
 東京都杉並区上高井戸 5-327
 東京都中央区宝町 3-4
 東京都千代田区神田鍛冶町 2-1 東京建物ビル
 東京都中央区銀座 1-5-6
 東京都豊島区北大塚 1-16-6 大塚ビル
 東京都港区琴平町 35 船舶振興ビル
 東京都千代田区神田美土代町 1
 東京都港区新橋 2-1-13 新橋富士ビル9階
 東京都港区六本木 4-11-10 六本木富士ビル
 東京都港区芝公園25号地
 東京都港区芝桜川町 25 第五森ビル
 東京都目黒区下目黒 1-6-21
 東京都豊島区池袋 8-3292
 堺市松屋町 1-3
 東京都港区芝虎ノ門8 虎ノ門実業会館 深田サルベージ株式会社
 東京都中央区銀座西 7-6 株式会社ビデオプロモーション
 東京都江東区南砂 1-3-25 株式会社 中村鉄工所
 東京都千代田区神田小川町 3-20-2 増淵ビル
 東京都中央区八重洲 4-5 藤和ビル
 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-1-1
 東京都千代田区霞ヶ関 3-2-5 霞ヶ関ビル3002号室
 東京都千代田区丸の内 2-5-1
 東京都台東区上野 3-13-9
 東京都北区西ヶ原 1-14
 東京都千代田区神田鍛冶町 1-2 丸石ビル
 東京都文京区向丘 1-7-17

Murayama

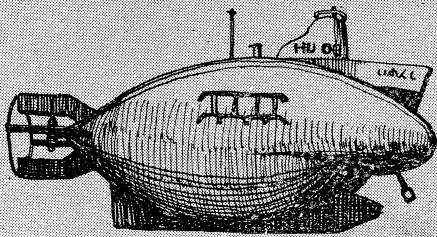
水中濁度計
水中照度計
電導度計



株式 村山電機製作所

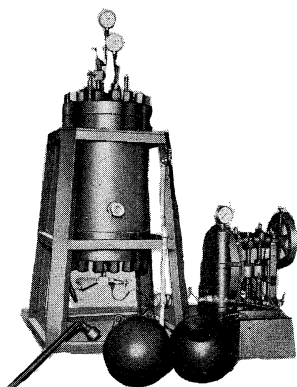
本社 東京都目黒区五本木 2-13-1
出張所 名古屋・大阪・北九州

海底資源の開発に活躍—潜水調査船“しんかい”

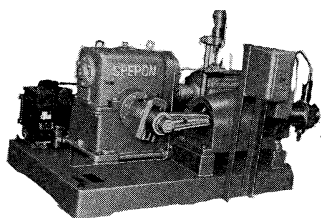


陸・海・空 世界に伸びる 本 社 神戸市生田区中町通 2-16-1
日生川崎ビル 3~7 階
東京支社 東京都港区芝浜松町 3-5
世界貿易センタービル

ヨシダの海洋試験機

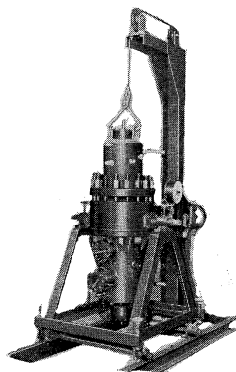


(高圧テスト容器)



(高圧ポンプ)

水圧試験装置
 高圧水圧ポンプ
 透水試験装置
 流水実験装置
 恒温水槽
 回流水槽
 衝撃、抗張力、摩耗試験機



(透水試験装置)

☆ その他各種試験機装置設計製作



株式
 会社

吉田製作所

東京都台東区上野3丁目13番9号 電話 (832) 4351~5

7IL は無限の可能性に挑戦する

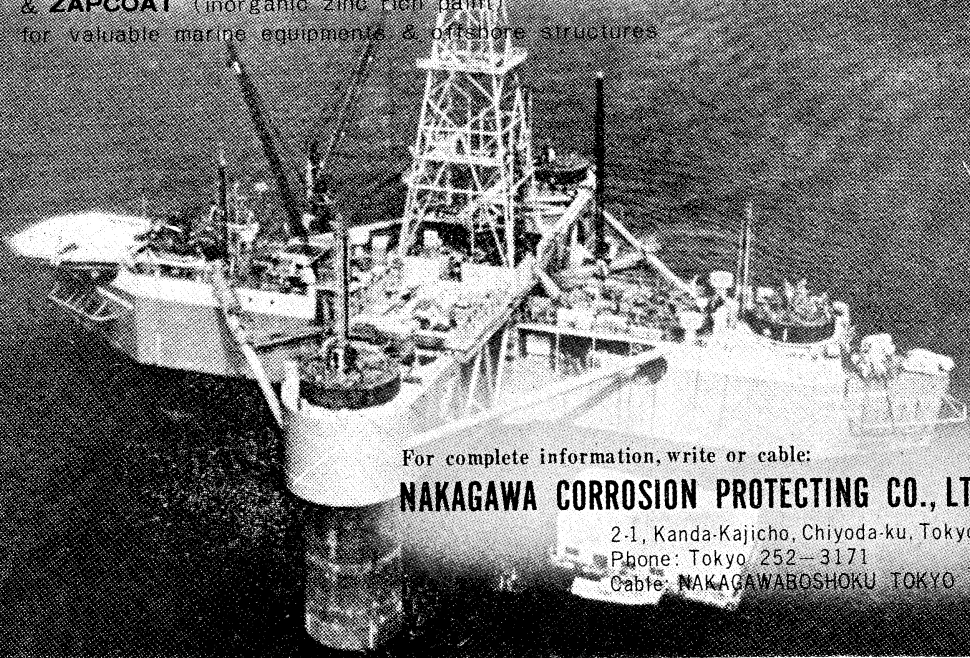
- ◆ 漁撈電子機器
- ◆ 航海計器
- ◆ 海洋開発機器
- ◆ 航空機用電子機器
- ◆ 各種制御機器
- ◆ コンピュータ端末機器
- ◆ 各種情報システム



本社 / 西宮市芦原町9-52 ☎0798 (65) 2111 (大代) 支社 / 東京都中央区八重洲4-5 藤和ビル ☎03 (272) 8491 (代) ほかに37ヶ所

SAVE YOUR MONEY

thru **NAKAGAWA's** Cathodic Protection
& **ZAPCOAT** (inorganic zinc rich paint)
for valuable marine equipments & offshore structures



For complete information, write or cable:

NAKAGAWA CORROSION PROTECTING CO., LTD.

2-1, Kanda-Kajicho, Chiyoda-ku, Tokyo

Phone: Tokyo 252-3171

Cable: NAKAGAWABOSHOKU TOKYO

水路測量と土質調査

Hydrographic Survey and Marine Geological Survey

SANYO Hydrographic Survey Co., LTD.

業務 深浅測量, 底質土質調査, 国土保全測量調査, 海洋資源開発測量調査

防災工事測量調査, マイルポストの測量, 航海保安に必要な調査, 海底ケーブル沈設測量調査, 潮汐, 潮流, 海流, 波浪の観測

一般海洋観測調査, その他一般海事関係の観測調査および関係業務の技術, 科学的研究

特色 高性能の精密計測機の整備拡充

元海上保安庁職員をもつて組織する優秀なる我国唯一の技術陣

総代理店(連絡先)は全国的組織網を持つ三井物産 K. K の本, 支店出張所

三洋水路測量株式会社

東京都港区新橋5丁目23番7号

電話 (432) 2971~4

Exploiting the Ocean by...

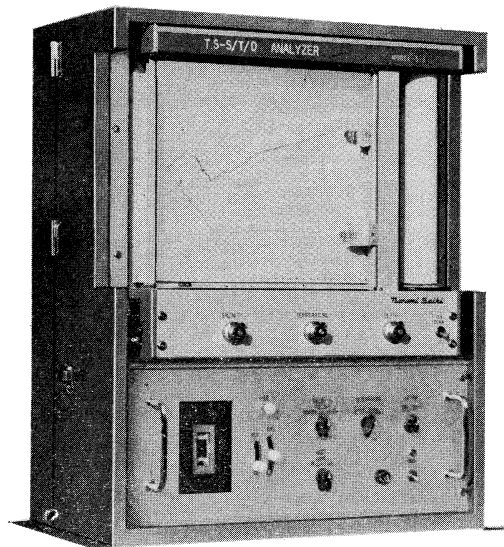
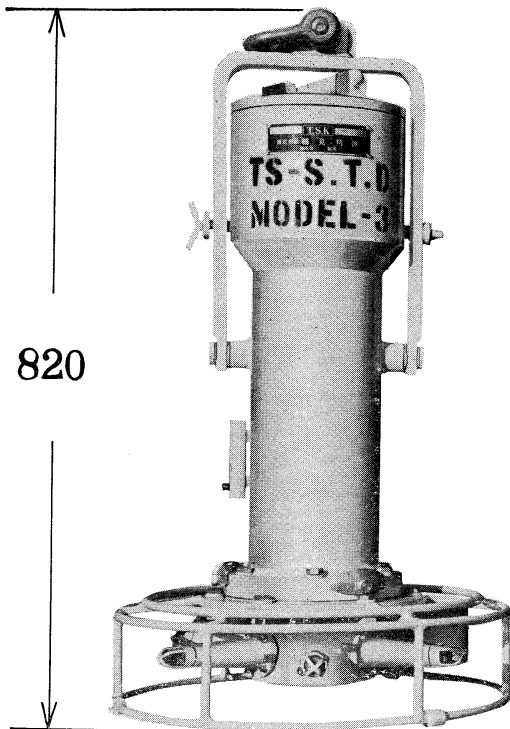
T.S.K. OCEANOGRAPHIC INSTRUMENTS

REPRESENTATIVE GROUPS OF INSTRUMENTS AND SYSTEMS

新製品!

T.S.-磁気テープ記録式 S.T.D. システム Model 3-1

本器は各方面で御使用いただいております T.S.-S.T.D. M3 の電気回路部を I.C 化したもので、従来の大きさの約 2/3 になっています。従って取扱い容易、小型ウインチによる投入、揚収が可能な利点がありますので小型観測船による御使用にも適しております。



	測定範囲	精 度
塩 分	31~36 ‰S	±0.04‰S
水 温	-2~35°C	±0.1°C
深 度	0~1000 m	±5 m

	水中センサー	船上アナライザー
寸 法	450 (最大)×820 l	530×250×660
重 量	30 kg (空中)	43 kg

THE TSURUMI SEIKI CO., LTD.

1506 Tsurumi-cho Tsurumi-ku, Yokohama, 230 Japan

CABLE ADDRESS
TSURUMISEIKI Yokohama

TELEPHONE
Yokohama 521-5252~5

TSK. USA.
3446 Kurtz St.,
San Diego, Calif. 92110, U.S.A

IWAMIYA INSTRUMENTATION LABORATORY

メルタック

熱溶融型接着剤ですから、溶剤や水を含まないの乾燥の必要がなく、瞬間的に接着します。

ポリエチレン、アルミ箔等にも良く接着します。

ポリロック

含浸、注型、充填用として使用される接着性と作業性の良好なシーリング材です。

ポリワックス

ワックスを主成分とし、各種ポリマーをブレンドした防湿、密封用のシーリングワックスです。

東京工材株式会社

東京都中央区築地 4-7-1 TEL (542) 3361 (代)

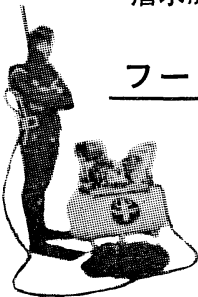
アクアラング

aqua-lung



◎ カタログ 進呈 ◎
潜水服採寸表

フーカ―潜水具



- 最新式アクアラング器具一式
- フーカ―潜水具
沿岸工事、水中調査、養魚、養殖、漁業、救難作業等の水中作業に画期的な高能率を示す潜水器具
- ナイロンジャージ付スポンジゴム潜水服
軽くて強く……保温性がよく……着心地快適
- アクアラング事業部併設
水中作業のご依頼に応じますのでご照会下さい
- アクアラング講習会常設
東京にアクアラング訓練用プールを設置

仏国・スピロテックニク社 日本総代理店
米国・U.S. ダイバーズ社

日本アクアラング株式会社

九州営業所 福岡市鳥飼1の5の33
電話 福岡 (74) 8907
名古屋営業所 名古屋市中川区東出町3の1
電話 名古屋(331) 5016

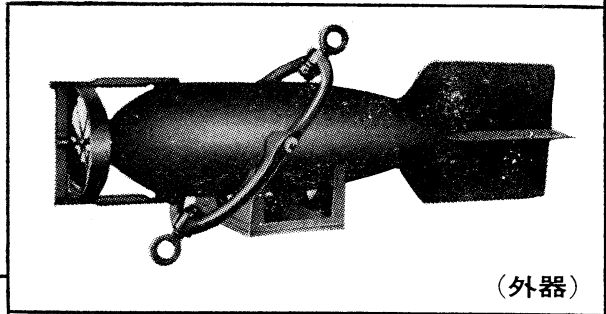
東京支社 東京都豊島区北大塚1丁目16の6
(国電大塚駅前大塚ビル一階)
電話 東京 (918)6526 (代表)

本社 神戸市兵庫区高松町22の1
神戸営業所 (帝國酸素株式会社内)
電話 神戸 (67) 5501(大代表)

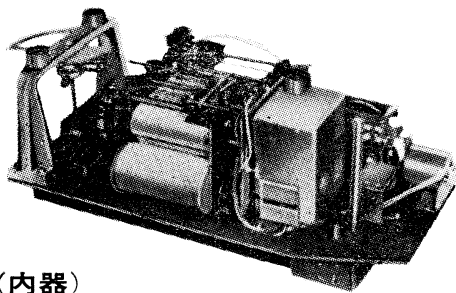
長期捲自記流速計

(NC-II)

本流速計は海中に設置し、内蔵した記録器に流速流向を同時に記録するプロペラ型の流速計で約20日間の記録を取る事が出来ます。但し流速は20分毎に3分間の平均流速を又流向は20分毎に一回、共に棒グラフ状に記録しますから読取が非常に簡単なのが特徴となっております。



(外器)



(内器)

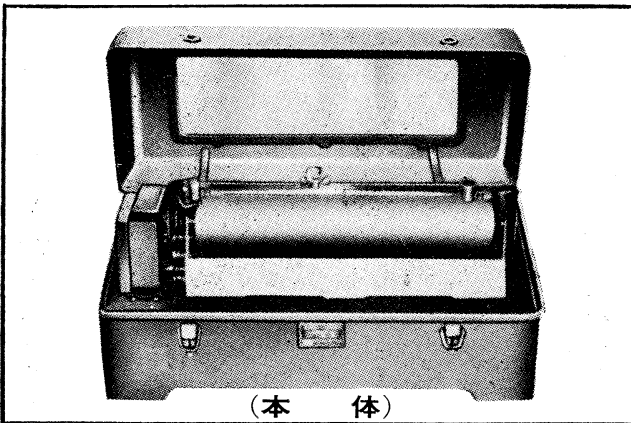
プロペラはA, B, C三枚一組になって居り

- | | |
|--------------------|-------------------|
| A (弱流用).....1m/sec | } 迄で一枚毎に検定してあります。 |
| B (中流用).....2m/sec | |
| C (強流用).....3m/sec | |

弱流ペラーに依る最低速度は約4cm/secです。

フース型長期捲自記検潮器

(LFT-III)



(本体)

営業品目

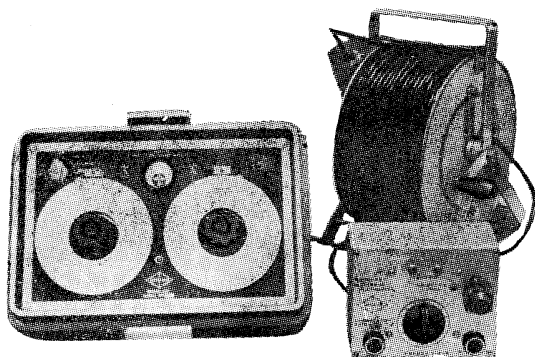
- 階段抵抗式波高計
- ケーブル式波高計
- フース型検潮器
- 小野式自記流速計
- 自記水位計
- 港施型土圧計
- 理研式水中カメラ
- その他海洋観測諸計器

協和商工株式会社

東京都豊島区目白4丁目24番地1号
TEL (952) 1376代表 〒171

AUTO-LAB PORTABLE S-T BRIDGE

Model 602



オート・ラブ誘導起電式精密塩分計に引続いて、開発された温度と塩分の現場測定用の可搬型海洋測器です。温度、塩分ともダイヤルで直読出来、簡便で堅牢しかも高精度なソリッドステートのユニット結合構造の最新鋭計器です。

温度：0~35°C 1/2 確度 ±0.1°C

塩分：Scale 1. 0~32‰S 確度 ±0.1‰S
Scale 2. 32~42‰S 確度 ±0.03‰S

電源：電池 9V, 200時間使用可能

追加附属品

ステンレス製ケーブルリール
半自動式電極プラチナイザー

製造品目

転倒温度計 各種
電気式水温計 各種
採水器・海洋観測機器
気象用・理化学用温度計
サーモレンジャー
ミグスター 温度調節器

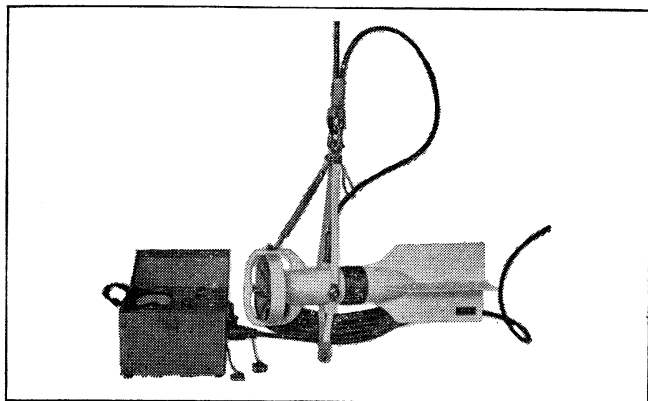
日本およびアジア総代理店



株式会社 渡部計器製作所

東京都文京区向丘1の7の17
TEL (811) 0044 (代表) ☎ 113

(カタログ御希望の方は誌名御記入の上御請求下さい)



Direct-Reading Current &
Direction Meter

Model

CM-2

Catalogues are to be sent immediately upon receipt of your order products

Products

KM-2: Direct Reading Knot-Meter for Trawl-Boats to Control Adequate Speed

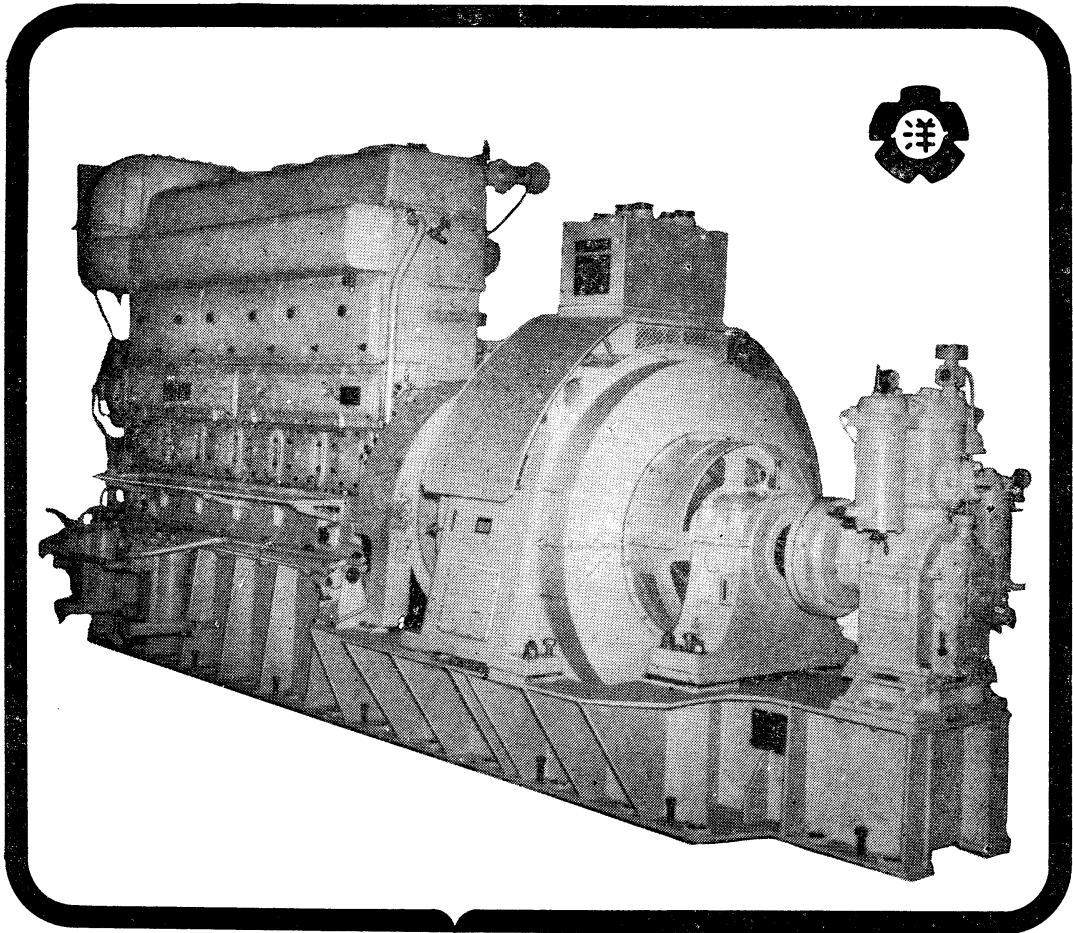
ET-5: Electric Meter of Water Temperature

ECT-5: Electric Conduction and Temperature Meter for Chlorine

TOHO DENTAN CO., LTD.

Office: 1-8-9, Miyamae, Suginami-Ku, Tokyo. Tel. Tokyo (03) 334-3451 ~ 3

ながい経験と最新の技術を誇る！
大洋の船舶用電気機器



主要生産品目
 自励・他励交流発電機
 直流発電機
 各種電動機及制御装置
 船舶自動化装置
 配電盤

大洋電機株式会社

取締役社長 山田沢三

本社 東京都千代田区神田錦町3の16
 電話 東京 (293) 3061~8
 岐阜工場 岐阜県羽島郡笠松町如月町18
 電話 笠松 4111~5
 伊勢崎工場 群馬県伊勢崎市八斗島町726
 電話 伊勢崎 1815・1816・1835・816
 下関出張所 下関市竹崎町3-9-9
 電話 下関 (22) 2820・3704
 北海道出張所 札幌市北二条東二丁目 浜建ビル
 電話 札幌 (25) 6347(23)8061・8261

昭和 48 年 5 月 25 日 印刷
昭和 48 年 5 月 28 日 発行

う み 第 11 卷
第 2 号

定価 ¥ 400

編集者 今 村 豊
発行者 佐 々 木 忠 義
発行所 日 仏 海 洋 学 会

財団法人 日仏会館内
東京都千代田区神田駿河台2-3
郵便番号: 101
電話 (291) 1141
振替番号: 東京 96503

印刷者 小 山 康 三
印刷所 英 和 印 刷 社

東京都文京区本駒込6-15-10
郵便番号: 113
電話 (941) 6500

第 11 卷 第 2 号

目 次

原 著

海洋水中での炭酸暗固定とその生態的意義 …… …………… 高橋正征・市村俊英	61
沖縄県名護湾堆積物中の炭酸塩鉱物と粘土鉱物 (英文) …… 青木三郎	65
東京湾の珪藻プランクトン群集の遷移 …… …………… 丸茂隆三・村野正昭	70
インド洋におけるDSLの生物学的研究—II. 水 平分布と垂直分布 …… 増田辰良・田中正明・ スリ・ラハユ	83

シンポジウム

第 1 回赤潮シンポジウム

1. 赤潮シンポジウムについて…………… 佐々木忠義	91
----------------------------	----

2. 赤潮生態学について…………… 辻田時美	92
3. 海産珪藻類の生物濃縮について…吉田多摩夫	99
4. 養殖カキ生産の推移ならびに海産生物群集の 遷移から見た広島湾の富栄養化…… 荒川好満	103
5. 赤潮防除対策…………… 中村 充	108
6. 瀬戸内海の富栄養化と赤潮…………… 岩崎英雄	113
7. 既存の養殖場における赤潮被害対策…………… …………… 磯 舜也	118
8. シルシ・ポンプによる浚渫工法について… …………… 園田武彦	121
9. ヘドロの処理処分法について…………… 清水 博	124
10. 廃棄污泥処理と污泥地区の再利用…………… …………… 斎藤二郎・西林清茂	127
学会記事 ……	134

Tome 11 N° 2

SOMMAIRE

Notes originales

Dark Fixation of CO ₂ and its Ecological Mean- ing in the Ocean (in Japanese)…………… …………… Masayuki TAKAHASHI and Shun-ei ICHIMURA	61
Carbonate and Clay Minerals in the Sedi- ments of Nago Bay, Okinawa Prefecture, Japan …… Saburo AOKI	65
Succession of Plankton Diatoms in Tokyo Bay (in Japanese) …… Ryuzo MARUMO and Masaaki MURANO	70
Biological Studies on the Deep Scattering Layer in the Indian Ocean—II. Horizontal and Vertical Distribution of Animal Con- stituents of DSL (in Japanese)…………… … Tatsuyoshi MASUDA, Masaaki TANAKA and Sri RAHAJU	83

Symposium

The 1st Symposium on the Red Tide	
1. On the Red Tide Symposium…………… …………… Tadayoshi SASAKI	91
2. On Red Water Ecology…Tokimi TSUJITA	92

3. Bioconcentration in Marine Diatoms …… …………… Tamao YOSHIDA	99
4. Aspects of Eutrophication in Hiroshima Bay Viewed from Transition of Cultured Oyster Production and Succession of Marine Biotic Communities …… …………… Kohman Y. ARAKAWA	103
5. Preventive Countermeasures of Red Tide … …………… Makoto NAKAMURA	108
6. Organic Marine Pollution and Red Tide in the Seto Inland Sea…Hideo IWASAKI	113
7. A Control of Red Tide in Now Nursery …………… Shunya ISO	118
8. On the Dredging System by the Use of S.I.R.S.I. Pneuma Pump…………… …………… Takehiko SONODA	121
9. Sea Mud Treatment and Disposal…………… …………… Hiroshi SHIMIZU	124
10. Treatments of Waste Disposal Muds of Utilizations Methods of its Reclaimed Area …… Jiro SAITO and Kiyoshige NISHIBAYASHI	127
Procès-Vervaux……………	134