

# La mer

う み

昭和 61 年 8 月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise  
d'océanographie  
Tokyo, Japon

# SOCIÉTÉ FRANCO-JAPONAISE D'Océanographie

## Comité de Rédaction

(de l'exercice des années de 1961 et 1962)

*Directeur de publication:* K. TAKAGI

*Rédacteur en chef:* H. SEKI

*Comité de lecture:* S. AOKI, Y. ARUGA, M. HANAZAWA, M. HORIKOSHI, A. KAMATANI, M. MURANO, M. OGURA, S. OKABE, H. SUDO

*Rédacteurs étrangers:* H.J. CECCALDI (France), E.D. GOLDBERG (Etats-Unis), T. ICHIYE (Etats-Unis), T.R. PARSONS (Canada)

*Secrétaire du Comité:* Y. ARUGA, Y. YAMAGUCHI

### Note pour la présentation des manuscrits

**La mer**, organe de la Société franco-japonaise d'Océanographie, publie des articles et notes originaux, des articles de synthèse, des analyses d'ouvrages et des informations intéressant les membres de la société. Les sujets traités doivent avoir un rapport direct avec l'océanographie générale, ainsi qu'avec les sciences halieutiques.

Les manuscrits doivent être présentés avec un double, et dactylographié, en **double interligne**, et au recto exclusivement, sur du papier blanc de format A4 (21×29.7 cm). Les tableaux et les légendes des figures seront regroupés respectivement sur des feuilles séparées à la fin du manuscrit.

Le manuscrit devra être présenté sous la forme suivante:

1° Il sera écrit en japonais, français ou anglais. Dans le cadre des articles originaux, il comprendra toujours le résumé en anglais ou français de **200 mots** environ. Pour les textes en langues européennes, il faudra joindre en plus le résumé en japonais de **500 lettres** environ. Si le manuscrit est envoyé par un non-japanophone, le comité sera responsable de la rédaction de ce résumé.

2° La présentation des articles devra être la même que dans les numéros récents; le nom de l'auteur précédé du prénom **en entier**, en minuscules; les symboles et abréviations standards autorisés par le comité; les citations bibliographiques seront faites selon le mode de publication: article dans une revue, partie d'un livre, livre entier, etc.

3° Les figures ou dessins originaux devront être parfaitement nettes en vue de la réduction nécessaire. La réduction sera faite dans le format 14.5×20.0 cm.

La première épreuve seule sera envoyée à l'auteur pour la correction.

Les membres de la Société peuvent publier 7 pages imprimées sans frais d'impression dans la mesure à leur manuscrit qui ne demande pas de frais d'impression excessifs (pour des photos couleurs, par exemple). Dans les autres cas, y compris la présentation d'un non-membre, tous les frais seront à la charge de l'auteur.

Cinquante tirés-à-part peuvent être fournis par article aux auteurs à titre gratuit. On peut en fournir aussi un plus grand nombre sur demande, par 50 exemplaires.

Les manuscrits devront être adressés directement au directeur de publication de la Société: K. TAKAGI, Laboratoire de Biologie des Pêches, Université des Pêches de Tokyo, 5-7 Konan 4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japon; ou bien au rédacteur étranger le plus proche: H. J. CECCALDI, EPHE, Station marine d'Endoume, rue Batterie-des-Lions, 13007 Marseille, France; E. D. GOLDBERG, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California 92093, Etats-Unis; T. ICHIYE, Department of Oceanography, Texas A & M University, College Station, Texas 77843, Etats-Unis; ou T. R. PARSONS, Department of Oceanography, University of British Columbia, Vancouver, B. C. V6T 1W5, Canada.

## Food consumption and growth of artificially produced Japanese red porgy young *Pagrus major*\*

Joannes S. APOSTOLOPOULOS\*\* and Naonori ISHIWATA\*\*\*

**Abstract:** Artificially produced young of the Japanese red porgy *Pagrus major* are reared in laboratory and the interrelationships between food consumption and growth are examined. The maintenance ration and food conversion efficiency are also obtained.

### 1. Introduction

The interrelationship between food consumption and growth is one of the fundamentally important problems in ecology as well as in the fish culture development. To realize such importance, the interrelationships are examined on artificially produced young of the Japanese red porgy *Pagrus major* (T. & S.), and the maintenance ration and food conversion efficiency are also obtained.

After WARREN and DAVIS (1967) the utilization and losses of the energy in the food consumed by an animal are represented by the following equation:

$$Q_c - Q_w = Q_g + Q_s + Q_d + Q_a,$$

where the energy values are given as;

- $Q_c$ , for food consumed;
- $Q_w$ , for faeces and nitrogenous excretion;
- $Q_g$ , for materials laid down as growth;
- $Q_s$ , for standard metabolism;
- $Q_d$ , for specific dynamic action;
- $Q_a$ , for activity.

For the purposes of the present experiment, the three energies,  $Q_s$ ,  $Q_d$  and  $Q_a$  are considered together as the energy used in the total metabolism, and  $Q_g$  is the part of the ingested energy  $Q_c$  used for increasing the body weight; the remaining  $Q_w$  is included in both total metabolism and  $Q_g$ .

### 2. Material and method

The young fish used for the present experiment were artificially produced 6-months-old red porgy of 9.0-12.5 cm length. They were obtained from a floating net cage at the Fisheries Experimental Station of Fukui Prefecture and transported to the Kominato Marine Biological Laboratory of Tokyo University of Fisheries, Chiba Prefecture.

On arrival, the fish were placed in an indoor concrete tank (190 cm long, 90 cm wide and 50 cm deep) with running water and fed to satiation on pieces of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) meat once a day.

After 12-days acclimatization 56 fish of approximately the same size were selected and deprived of food for 2 days. After this treatment their body weight was measured and they were divided into four groups A, B, C and D of 14 fish each. They were placed in four indoor concrete tanks of equal size and shape (85 cm long, 90 cm wide and 50 cm deep) with running water and kept for 30 days from 3 November to 2 December 1975. They were fed with pieces of jack mackerel meat. The food was given a little at a time to avoid leftovers. The Group A fish were fed to satiation once a day at about 11:00 a.m. The Groups B and C fish were fed with the food of 2/3 and 1/3 respectively of the satiation ration of the Group A fish, while the Group D fish were left to starve. After 30 days of feeding the fish were deprived of food again for 2 days and their final body weight was measured.

Using the results of the experiment, the relation between daily rate of feeding (food consumption/day/body weight) and daily rate of

\* Received November 27, 1985

\*\* Tokyo University of Fisheries; Present Address: Institute of Oceanographic and Fishing Research, Agios Kosmas Kllinikon, Athens, Greece

\*\*\* Tokyo University of Fisheries, Konan 4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

Table 1. Initial total body weight ( $W_0$ ), initial number of fish ( $N_0$ ), final total body weight ( $W_t$ ), final number of fish ( $N_t$ ), food consumption ( $F$ ), daily rate of feeding ( $f$ ), daily rate of growth ( $g$ ), and gross efficiency ( $g/f$ ) for young red porgy fed on jack mackerel meat for 30 days from 3 November to 2 December 1975 at water temperatures ranging from 17.0 to 21.5°C (mean 19.8°C) and water flow of about 15 liters/min.

Group*	$W_0$ (g)	$N_0$	$W_0/N_0$ (g)	$W_t$ (g)	$N_t$	$W_t/N_t$ (g)	$F$ (g)	$f^{**}$	$g^{***}$	$g/f$
A	395.8	14	28.3	491.3 (72.8)	12 (2)	40.9 (36.4)	728.0	0.0506	0.0177	0.2312
B	397.6	14	28.4	507.1	14	36.2	484.4	0.0357	0.0081	0.2269
C	403.7	14	28.8	405.8 (31.3)	13 (1)	31.2 (31.3)	241.6	0.0192	0.0026	0.1354
D	399.3	14	28.5	359.6	14	25.7	0	0	-0.0035	—

\* Group A, satiation ration for one feeding a day; Group B, 2/3 satiation ration; Group C, 1/3 satiation ration; Group D, starvation.  $^{**}f = F / [(t/2)(W_0 + W_t)]$ ;  $^{***}g = (W_t - W_0) / [(t/2)(W_0 + W_t)]$ ; figures in parentheses, dead fish applying to equations:  $f' = F / [(t/2)(W_0 + W_t + W')]$  and  $g' = (W_t + W' - W_0) / [(t/2)(W_0 + W_t + W')]$ , where  $W'$  is body weight of dead fish.

growth (increase in weight/day/body weight) was examined. At the same time the maintenance ration and food conversion efficiency were calculated.

### 3. Results

The results of the experiment are shown in Table 1. The water temperature during the experiment ranged from 17.0 to 21.5°C with a mean value of 19.8°C, while the water flow was about 15 liters/min.

Based on such data the relation between daily rates of feeding ( $f$ ) and growth ( $g$ ) is shown in Fig. 1, which assumes that an equation of the first degree ( $g = Af - B$ ) would provide an adequate fit to the data. The fitted equation is calculated by the method of least squares as:

$$g = 0.3045f - 0.0033. \quad (1)$$

The data also show that, below the satiation ration for one feeding a day, an increase in daily rate of feeding produces an increase in daily rate of growth. From equation (1)  $f = 0.0108$ , if  $g = 0$ . Therefore, to maintain 1 g of body weight per day 10.8 mg of jack mackerel meat are required, or an amount of food intake is equal to 1.08% of the body weight. Furthermore, in the case of starvation ( $f = 0$ ),  $g = -0.0033$ , which means that 3.3 mg per gram of body weight per day are lost. This is equal to 0.33% of the body weight.

From the equation (1) we can also obtain

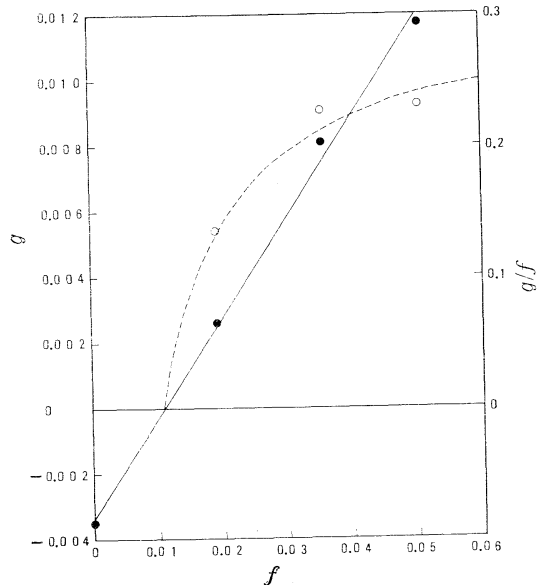


Fig. 1. Relationships between daily rate of feeding ( $f$ ), daily rate of growth ( $g$ , solid circle), and gross efficiency ( $g/f$ , open circle).  $g = 0.3045f - 0.0033$ .

$$g/f = 0.3045 - 0.0033(1/f), \quad (2)$$

where  $g/f$  is the gross efficiency. From the equation (2) it is clear that, as the daily rate of feeding ( $f$ ) increases, the gross efficiency ( $E_g = g/f$ ) does not increase proportionately, but may approach asymptotically the maximum value of 0.3045 (Fig. 1). The experimental values of the gross efficiency at any change of the daily rate



of feeding are calculated as follows: when  $f=0.0192$ ,  $g/f=0.1354$ , when  $f=0.0357$ ,  $g/f=0.2269$  and when  $f=0.0506$ ,  $g/f=0.2312$ . As noted above, the maintenance ration per gram of body weight per day ( $m$ ) was found to be equal to 0.0108 g. So, the net efficiency [ $E_n=g/(f-m)$ ] can be calculated and its values are found to be 0.3095 when  $f=0.0192$ , 0.3253 when  $f=0.0357$  and 0.2940 when  $f=0.0506$ . As it can be seen, the net efficiency is almost constant at every value of the daily rate of feeding.

#### 4. Discussion

From the experimental data the relation between daily rate of feeding ( $f$ ) and daily rate of growth ( $g$ ) can be expressed as:

$$g = Af - B. \quad (3)$$

From equation (3) when  $g=0$ , the value of  $f$  is

Table 2. Values of  $f$  and  $(1/t) \log (W_t/W_0)$ .

Group	$f$	$(1/t) \log (W_t/W_0)$
A	0.0506	0.0051
B	0.0357	0.0035
C	0.0192	0.0012
D	0	-0.0015

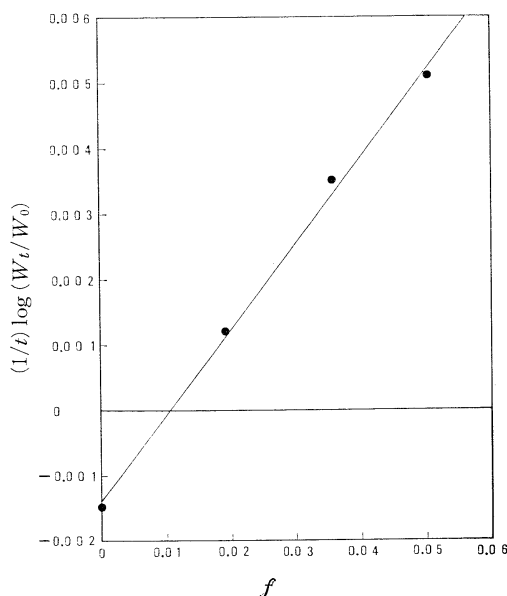


Fig. 2. Relationship between  $f$  and  $(1/t) \log (W_t/W_0)$ .  $(1/t) \log (W_t/W_0) = 0.1317 f - 0.0014$ .

the amount of food intake required to maintain 1 g of body weight per day.

According to TAUCHI (1953), if  $a(g)$  is the amount of food intake required to maintain 1 g of body weight per day,  $b(g)$  the amount of food intake required to increase the body weight 1 g,  $f(g)$  the amount of food intake per gram of body weight per day,  $W(g)$  the total body weight of the fish being reared and  $t$  (day) the rearing period, then

$$aW + b dW/dt = fW, \quad (4)$$

and this can be expressed as

$$(1/t) \log (W_t/W_0) = [(\log e)/b]f - (a/b) \log e, \quad (5)$$

where  $W_0$  is the initial total body weight and  $W_t$  is the final total body weight.

Using the results of the experiment given in Table 1, the values of  $f$  and  $(1/t) \log (W_t/W_0)$  can be calculated (Table 2) and in the relation obtained (Fig. 2) there exists a linear regression [ $(1/t) \log (W_t/W_0) = Pf - Q$ ] from which the constants  $P$  and  $Q$ , calculated by the method of least squares, are found to be 0.1317 and 0.0014 respectively. From equation (5),  $P = (\log e)/b$  and  $Q = (a/b) \log e$ . So, the values of  $a$  and  $b$  can be calculated and they are found to be 0.0106 and 3.30 respectively. That is, 10.6 mg of jack mackerel meat are required to maintain 1 g of body weight per day, while 3.30 g of the same food are needed to increase the body weight 1 g. As it can be seen here, the maintenance ration per gram of body weight per day calculated from both equations (3) and (4) has almost the same value.

Using the same method and food (jack mackerel meat), ISHIWATA (1969) pointed out on *Trachurus japonicus* and *Fugu vermicularis porphyreus*, that the daily rate of growth was proportional to the daily rate of feeding, and that the values of  $a$  and  $b$  were 13.6 mg and 2.57 g respectively for *Trachurus japonicus*, and 18.8 mg and 1.85 g respectively for *Fugu vermicularis porphyreus* at mean water temperature of about 23°C. The present authors get the values of 10.6 mg and 3.30 g respectively. Among the different species, the given results are similar together while the value of  $a$  is

lower in this case. It may be due to 3°C-lower water temperature.

### 5. Summary

A laboratory study of the relation between food consumption and growth was carried out for 30 days from 3 November to 2 December 1975 on the artificially produced young of the Japanese red porgy fed on jack mackerel meat. It was found that:

1. Below the satiation ration for one feeding a day, in the relation between daily rate of feeding ( $f$ ) and daily rate of growth ( $g$ ) there exists a linear regression which is expressed as  $g=0.3045f-0.0033$ .

2. The amount of food intake required to maintain 1g of body weight per day ( $m$ ) is 10.8 mg or an amount of food intake is equal to 1.08 % of the body weight.

3. The gross efficiency ( $g/f$ ) does not increase proportionately with an increase in the daily rate of feeding, but has the tendency to approach the maximum value of 0.3045, even if the net efficiency [ $g/(f-m)$ ] is almost constant.

4. From the equation  $aW+bdW/dt=fW$

the amount of food intake required to maintain 1g of body weight per day ( $a$ ) and to increase the body weight 1g ( $b$ ) are found to be 10.6 mg and 3.30 g respectively.

### Acknowledgements

The present authors wish to express their sincere gratitude to Professor Yutaka UNO at the Tokyo University of Fisheries for his kind guidance during the study, and to the members of the Fisheries Experimental Station of Fukui Prefecture for their kind assistance in making available the young fish for the present experiment.

### References

- ISHIWATA, N. (1969): Ecological studies on the feeding of fishes—IX. Maintenance requirement. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., **35**, 1049-1054.
- TAUCHI, M. (1953): Mathematical basis for aquaculture. Aquacul. Sci. Ser., **3**, 3-6.
- WARREN, C.E. and G.E. DAVIS (1967): Laboratory studies on the feeding, bioenergetics, and growth of fish. p. 175-214. In S.D. GERKING (ed.), The biological basis of fresh water fish production. Blackwell, Oxford and Edinburgh.

## 人工生産によるマダイ若年魚の摂餌量と成長

Joannes S. APOSTOLOPOULOS・石渡直典

要旨: 人工生産したマダイ若年魚にマアジ肉の切片を与え、水温 20°C 前後で飼育し、摂餌量と増重量との関係を調べ、さらに、維持摂餌量および餌料の転換効率を求めた。日間摂餌率 ( $f$ ) と日間増重率 ( $g$ ) との関係は、1 日 1 回の飽食量以下の投餌では、一次式 ( $g=0.3045f-0.0033$ ) で示される。この式から  $g=0$  のときの  $f$  の

値、すなわち、体重 1g を 1 日維持するのに必要な摂餌量 ( $m$ ) は 10.8 mg となる。また、総効率 ( $g/f$ ) は日間摂餌率の増加とともに一定の極限值 (0.3045) に近づくように漸増するが、純効率 [ $g/(f-m)$ ] は日間摂餌率の値いかんにかかわらず、ほぼ一定になる。

## The bacterial adhesion to copepods in coastal waters in different parts of the world\*

Sachiko NAGASAWA\*\*

**Abstract:** The incidence of copepods (*Acartia* spp.) with bacteria (ICWB) was examined for samples obtained from 7 different coastal areas; Kuberg in northern Norway, Conception Bay in Canada, Woods Hole and San Francisco Bay in the United States, Vera Cruz in Mexico, the Caribbean Sea and Melanesia. Values of ICWB varied with areas and months and they were generally less than 10 % as previously reported in other coastal areas. However, an extremely high value, 83.8 %, was obtained from Woods Hole copepods. Slime was observed on copepods from Woods Hole, San Francisco Bay and Vera Cruz, suggesting the presence of bacteria capable of producing polysaccharides outside the cell wall.

### 1. Introduction

SEM examinations of copepods collected from aquatic environments in Bangladesh (COLWELL *et al.*, 1980), three Nebraska lakes (HOLLAND and HERGENRADER, 1981) and Tokyo Bay waters (NAGASAWA *et al.*, 1985) visually revealed bacterial attachment to copepods. NAGASAWA and NEMOTO (1986) reported that bacterial colonization of copepods is a widespread phenomenon in marine coastal areas. They examined copepods from Tokyo Bay (Japan), Po estuary (Italy), Miramare (Italy), Bay of Naples (Italy) and Helgoland (Germany). Furthermore, NAGASAWA and NEMOTO (in press) demonstrated the incidence of copepods associated with bacteria in Tokyo, Sagami, Suruga and Otsuchi Bays in Japan as well as the yearly change in the incidence of such copepods in Tokyo Bay. The present study provides further information on the incidence of copepod-bacteria associations taking place in coastal waters in different parts of the world.

### 2. Materials and methods

Plankton samples obtained from 7 different localities (Fig. 1) were used in this study to determine whether bacterial colonization of copepods is a global phenomenon in marine coastal areas. The seven areas include 1) Kuberg in

northern Norway (DAVIS, 1977), 2) Conception Bay in Canada (DAVIS, 1982), 3) Woods Hole and 4) San Francisco Bay in the United States, 5) Vera Cruz in Mexico, 6) the Caribbean Sea and 7) Melanesia. Samples obtained from 4), 5), 6) and 7) belong to the Smithsonian Oceanographic Sorting Center; samples from the Caribbean Sea were obtained during the Caribe I cruise of the R/V Alpha Helix while samples from Melanesia were collected during the Moro Expedition by the R/V Alpha Helix. Samples used in this study were composed of 10 from 1), 3 from 2), 1 from 3), 5 from 4), 2 from 5), 5 from 6) and 5 from 7) (Fig. 2, Table 1).

Adults of *Acartia* spp. were removed from the preserved plankton samples; specimens obtained from 1) and 2) were *A. longiremis* according to DAVIS (1977, 1982), whereas those from 3) were *A. tonsa* (Onbé, personal communication). Species of *Acartia* obtained from other areas (4, 5, 6 and 7) were not identified. These adult copepods were examined in a JSM-35 scanning electron microscope following the preparation procedure described by NAGASAWA *et al.* (1985). The number of specimens examined per sample varied with the seven areas (Fig. 2, Table 1). Incidence of copepods with bacteria (ICWB) is defined as the percentage of number of copepods infested to number of those examined for each sample. Although some copepods had large numbers of bacteria and other had a small number of bacteria, only the percentages of

\* Received, April 3, 1986

\*\* Ocean Research Institute, University of Tokyo  
Minamidai 1-15-1, Nakano-ku, Tokyo, 164 Japan



Fig. 1. Map showing 7 areas (●) where samples examined in this study were obtained and another areas (▲) previously investigated by NAGASAWA and NEMOTO (1986, in press). 1, Kuberg; 2, Conception Bay; 3, Woods Hole; 4, San Francisco Bay; 5, Vera Cruz; 6, Caribbean Sea; 7, Melanesia.

copepods with and without bacteria will be discussed here. The term “slime”, as described by ROTH (1977), is used in the present study: a network of carbohydrate fibers not distinctly associated with any one bacterium, but apparently serving a community function in holding an aquatic slime layer to a surface.

### 3. Results

Attachment of bacteria to copepods was usually selective. Bacteria were found more frequently on the ventro-lateral side of the copepod than on the dorsal side, except animals obtained from Woods Hole. Body parts where bacterial attachment occurred were not always identical for animals from different areas. Generally a small number of bacteria were attached to individual copepods from Kuberg, Conception Bay, Vera Cruz and the Caribbean Sea. In contrast, large numbers of bacteria were attached to individuals obtained from Woods Hole and San Francisco Bay. Melanesia samples included specimens with

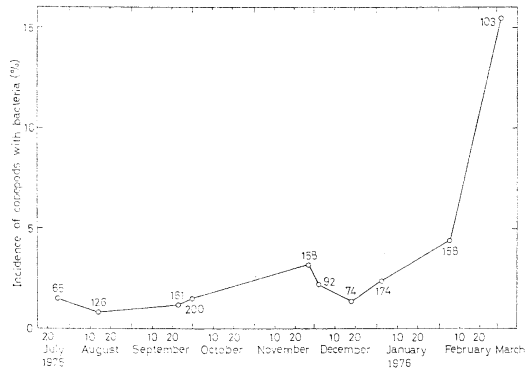


Fig. 2. Change in the incidence of copepods with bacteria in Kuberg during the period from July 25, 1975 through March 2, 1976. Figures show the number of copepods examined.

small to large numbers of bacteria. Most bacteria attached to copepods were rods; they were short, long, thick, slender or indented rods (Fig. 3). Along with these rods, beaded bacteria were observed (Fig. 3i).

Table 1. Data on sampling records of copepod collections and incidence of copepods with bacteria. Figures in parentheses indicate numbers of copepods examined. For data on Kuberg copepods see Fig. 2.

Area	Station	Date	Incidence of copepods with bacteria (%)	Remarks	
Conception Bay	B	Feb. 1, 1978	0( 59)	<i>Acartia longiremis</i>	
	B	Mar. 24, 1978	0( 75)		
	C	Mar. 24, 1978	1.0(203)		
Woods Hole	1	Sept. 1, 1984	83.9(117)	<i>Acartia tonsa</i>	
San Francisco Bay	19	Sept. 16, 1980	4.2(189)	<i>Acartia</i> sp. 15.0°C, 28.8‰ S	
	24	Dec. 16, 1980	0(160)		11.6 29.3
	30	Dec. 16, 1980	0(156)		11.2 29.2
	32	Dec. 16, 1980	0(261)		10.9 28.7
	168	Nov. 12, 1980	0(123)		16.1 28.8
Vera Cruz	M3. 1	Nov. 19, 1981	11.3(124)	<i>Acartia</i> sp. 28°C, 12‰ S	
	M9. 1	Sept. 18, 1982	2.7(226)		32 13
Caribbean Sea	PN-51-60	June 29, 1977	0(127)	<i>Acartia</i> sp. Sasaki Islands, Panama Glover's Reef, Belize Glover's Reef, Belize Turneffe Islands, Belize Southern Lagoon, Belize	
	PN-51-260	July 15, 1977	6.2(113)		
	PN-52-260	July 15, 1977	5.0(119)		
	PN-55-260	July 15, 1977	3.8(160)		
	PN-65-260	July 17, 1977	0(162)		
Melanesia	68-PN-80	June 21, 1979	0(144)	<i>Acartia</i> sp. Muschu Bay, Papua New Guinea Wewak Harbor, Papua New Guinea Korrida Bay, Indonesia Ambon Harbor, Indonesia Dodinga Bay, Indonesia	
	73-PN-80	June 22, 1979	1.5(134)		
	89-PN-80	June 30, 1979	2.0(147)		
	129-PN-80	July 7, 1979	2.4( 84)		
	145-PN-80	July 14, 1979	1.1( 87)		

### 1) Kuberg

Bacteria were found near the base of antennules, antennae and legs, around the labrum, in the depressed parts of the lateral side and on the back. Large colonies of bacteria were rare while attachment of a small number of bacteria was common (Fig. 3a). Each of 10 samples included some copepods (*A. longiremis*) with bacteria. Incidence of copepods with bacteria (ICWB) ranged from 0.8 to 15.5% during the period from July 25, 1975 through March 2, 1976 (Fig. 2). Incidence was not significantly different in 9 samples from July through February, but the difference in ICWB was significant between these 9 and a sample taken in March.

Temperature and salinity records were available at depths of 0 and 50 m for August, September, January, February and March. The temperature ranged from 1.9 to 8.6°C at the surface and from 2.7 to 7.5°C at 50 m. Variation of salinity was small; 31.2 to 33.0‰ at the surface and

32.5 to 33.4‰ at 50 m.

### 2) Conception Bay

Bacterial attachment was rare. Bacteria were observed near the base of antennules and on the ventral side. Most often a small number of bacteria were found (Fig. 3b), although colonies occurred occasionally (Fig. 3c). Among three samples examined, only one contained copepods (*A. longiremis*) with bacteria. The value of ICWB was small, 1.0%.

Temperatures at Stn. B ranged from -1 to 0°C from surface down in February, while it was uniform at -1°C in March. Salinities were between 31 and 32‰. The average bacterial concentration ranged from 10<sup>4</sup> to 10<sup>5</sup> per ml (acridine orange counts) in Conception Bay waters (D. Deibel, personal communication).

### 3) Woods Hole

The heavy colonization of bacteria (large numbers of dense colonies) was observed on the ventral side as well as on the dorso-lateral side. Slime was very noticeable (Fig. 3d). Large

numbers of bacteria were also found in the joints of segments (Fig. 3e), near the base of antennules, antennae and legs, around the labrum and on the setae of legs. Bacteria often covered most of the whole body. Frequent occurrence of such bacterial adhesion was peculiar to copepod (*A. tonsa*) from Woods Hole. ICWB was extremely high, 83.8%. No temperature and salinity records were available.

#### 4) San Francisco Bay

Bacteria were found near the base of antennules, antennae, and swimming legs, in the joints of segments and on the legs. Slime was sometimes found together with bacteria (Fig. 3f). Colonies of bacteria were often observed (Fig. 3g), while copepods with a small number of bacteria were rare (Fig. 3f). Only one sample among five included copepods with bacteria. Values of ICWB ranged from 0 to 4.2%. Data on temperatures and salinities are listed in Table 1.

#### 5) Vera Cruz

Bacterial adhesion was observed near the base of antennules and antennae, around the labrum and on the setae of legs. In most cases a small number of bacteria were attached to copepods (Fig. 3h); large numbers of bacteria were rare (Fig. 3i). A small amount of slime was observed (Fig. 3h). Both samples included copepods with bacteria. ICWB ranged from 2.7 to 11.3%. Temperature and salinity records are listed in Table 1.

#### 6) Caribbean Sea

Bacterial adhesion was observed only near the base of antennules, antennae and mandible. Only a small number of bacteria were colonized (Fig. 3j). Among 5 samples examined, three included copepods with bacteria. Incidence of bacterial adhesion to copepods ranged from 0 to 6.2%. Data on temperatures and salinities are not available.

#### 7) Melanesia

Bacteria were found near the base of antennules, antennae, and legs, around the labrum and in the joints of segments. The number of bacteria found ranged from small to large numbers (Figs. 3k and l). Among 5 samples, four included copepods with bacteria. ICWB ranged from 0 to 2.4%. Temperature and salinity records are not available.

## 4. Discussion

Values of ICWB varied with areas and months; generally they were less than 10% as in Bay of Naples, Po estuary and Miramare (NAGASAWA and NEMOTO, 1986), Tokyo Bay, Sagami Bay and Otsuchi Bay (NAGASAWA and NEMOTO, in press). Surprisingly, an extremely high value was obtained from Woods Hole copepods, 83.8%, which is more than twice the ICWB obtained from Helgoland and from Suruga Bay. Data reported here on ICWB (Table 1, Fig. 2) as well as values reported from elsewhere (NAGASAWA and NEMOTO, 1986, in press) indicate a wide distribution of copepods with associated bacteria.

NAGASAWA and NEMOTO (1986, in press) suggest that ICWB may depend on the number and species of bacteria occurring in the sea rather than on hydrographic elements such as temperature, salinity and chemical oxygen demand. Data available on bacterial numbers in the areas shown in Fig. 1 are very few. In addition, methods used to count bacteria are not identical; bacterial numbers are based either on plate counts (viable bacterial counts) or acridine orange counts. Near Helgoland bacterial numbers by plate counts were  $10^1$  to  $10^3$  per ml in the water (HICKEL and GUNKEL, 1968). Bacterial counts by acridine orange ranged from  $10^4$  to  $10^5$  per ml in Conception Bay waters. However, bacterial concentration may be lower than these values if it is estimated by plate counts. Compared with values of ICWB between Helgoland and Conception Bay, they were much higher in the former than in the latter. Viable bacterial counts gradually decreased ( $10^4$ - $10^5$ ,  $10^3$ - $10^4$ ,  $10^2$ - $10^3$  per ml) from the inner part to the outer part of Tokyo Bay (NAGASAWA and NEMOTO, in press). Despite such change of bacterial numbers, values of ICWB (4.5, 7.7, 3.7%) were not significantly different. Although Suruga Bay waters had the lowest concentration of bacteria,  $10^1$  per ml among waters examined by NAGASAWA and NEMOTO (in press), Suruga Bay copepods had the highest value of ICWB, 39%. This suggests that there is no obvious correlation between bacterial counts and values of ICWB. The present study includes insufficient data on environmental factors and bacterial concentrations, but this drawback may be negli-

The bacterial adhesion to copepods in coastal waters in different parts of the world

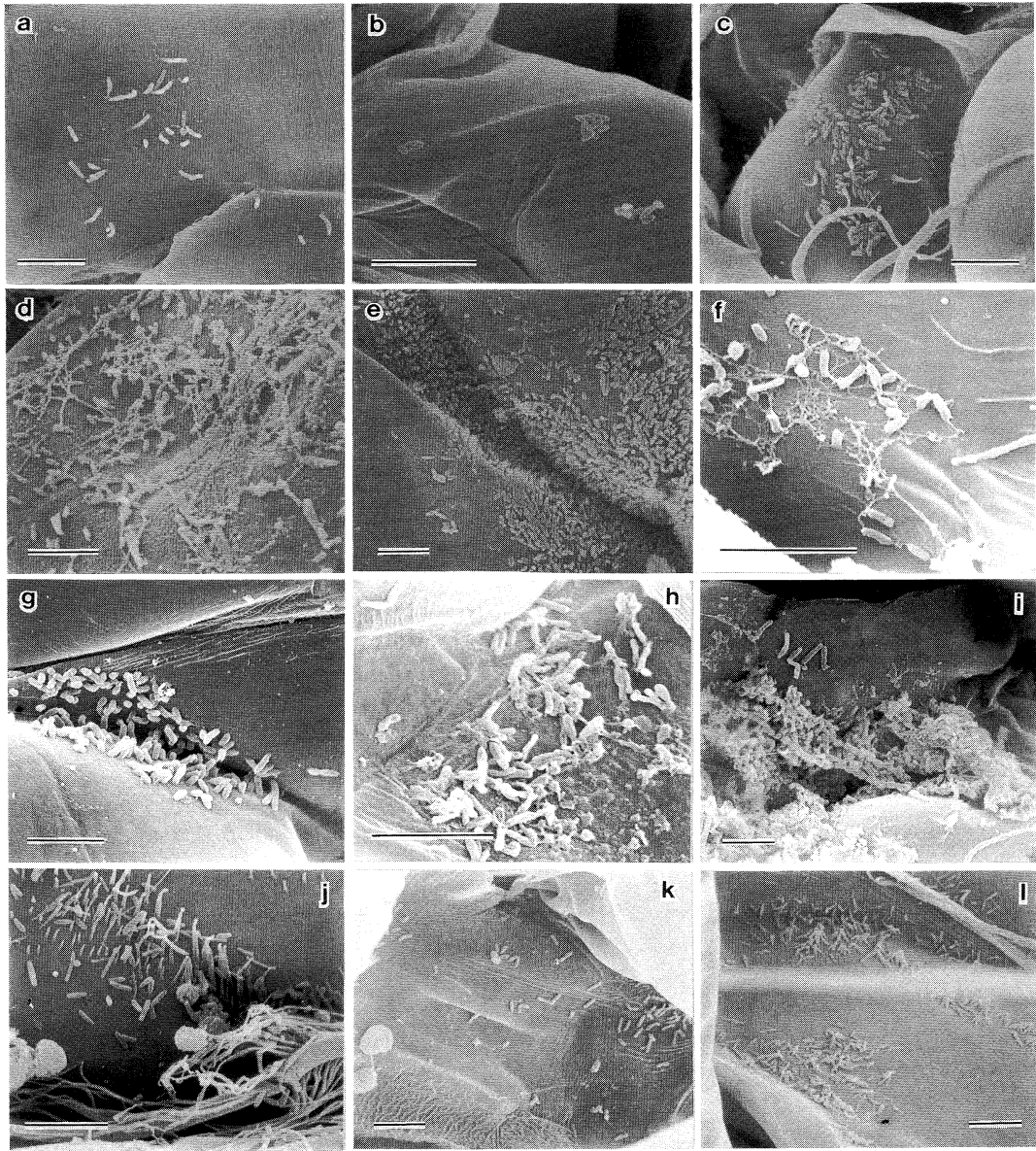


Fig. 3. Scanning electron micrographs of bacterial attachment to copepods obtained from Kuberg (a), Conception Bay (b and c), Woods Hole (d and e), San Francisco Bay (f and g), Vera Cruz (h and i), Caribbean Sea (j) and Melanesia (k and l). Scale bars indicate  $5\ \mu\text{m}$ . a, Short and long rods are scattered around the labrum of *Acartia longiremis*. b, A small number of short rods are attached near the antennule of *A. longiremis*. c, A colony of short rods is present near the labrum of *A. longiremis*. d, Short rods are present together with large amounts of slime. e, A high concentration of short rods is observed in the joints of segments. f, Short rods, a long one and slime are present near the antenna. g, A large number of short rods are attached to the joints of segments. h, Indented rods are colonized near the base of antennule along with a small amount of slime. i, Short rods are densely colonized, whereas long rods and beaded bacteria are also attached. j, Bacteria are scattered on the ventral side. k, A small number of bacteria are attached near the labrum. l, A few colonies of bacteria are observed at the base of antennule.

gible. The tendency for bacteria to become attached to copepods may depend on the physiological activity and developmental stages of host animals rather than on bacterial numbers in the water.

In many cases adhesion of bacteria is due to the presence of extracellular polymers, which may comprise polysaccharide and/or protein (FLETCHER, 1980). In general, attachment by extracellular polymeric adhesives involves three stages: reversible adhesion, irreversible adhesion and microcolony formation. After an initial stage of reversible adhesion, firm attachment or irreversible adhesion (FLETCHER, 1980) occurs and is usually followed by a third stage. During this stage attached cells multiply and are joined by additional attaching cells. This then leads to the formation of microcolonies. Bacteria colonized on copepods in this study correspond to an advanced third stage of attachment. Difference in the number of bacteria or their colonies may depend on hours or days elapsed after start of bacterial attachment to the copepod.

Many procaryotes synthesize organic polymers which are deposited outside the cell wall, as a loose, more or less amorphous layer called a capsule, or slime layer. Slime was observed on copepods from Woods Hole, San Francisco Bay and Vera Cruz (Fig. 3); in particular Woods Hole samples had slime which densely covered some parts of the copepod surface. Such marked occurrence of slime is due to bacteria capable of producing polysaccharides outside the cell wall, suggesting that such unique bacteria are present in Woods Hole, San Francisco Bay and Vera Cruz. These exopolymers often form much more widely dispersed accumulation, in part detached from the cells that produce them as observed in Fig. 3 and samples from Shinhama-ko (NAGASAWA, unpublished data). This slime layer is clearly not essential to cellular function; many bacteria do not produce it (STANIER *et al.*, 1976). The colonization of bacteria producing organic polymers as extracellular slime is rather uncommon and is unlike bacterial colonization previously reported by NAGASAWA *et al.* (1985), and NAGASAWA and NEMOTO (1986, in press).

#### Acknowledgements

I express my sincere thanks to Prof. T. NE-

MOTO, Ocean Research Institute, University of Tokyo, for his interest in this study. I thank Dr. C.C. DAVIS, Memorial University of Newfoundland, and Dr. F.D. FERRARI, Smithsonian Institution, for kindly providing me with the samples of copepods obtained from Kuberg, Conception Bay, San Francisco Bay, Vera Cruz, Caribbean Sea and Melanesia and for their careful reviews of the manuscript. I also wish to thank Dr. J. CHENEY, Woods Hole Oceanographic Institution, who helped me with collecting samples there. My special thanks are due to Dr. D. DEIBEL, Memorial University of Newfoundland, who offered laboratory space at Marine Sciences Research Laboratory while I was there to remove specimens of copepod from the samples possessed by Dr. C.C. DAVIS. I would like to express my sincere gratitude for efforts Drs. C. C. DAVIS and F.D. FERRARI made to obtain data on temperature and salinity; data from San Francisco Bay and Vera Cruz were provided by the courtesy of Drs. J. ORSI and B.S. CLEMENTINA, respectively.

#### References

- COLWELL, R.R., J. KAPER, R. SEIDLER, M.J. VOLL, L.A. MCNICOL, S. GARGAS, H. LOCKMAN, D. MANEVAL, E. REMMERS, S.W. JOSEPH, H. BRADFORD, N. ROBERTS, I. HUQ and A. HUQ (1980): Isolation of 01 and non-01 *Vibrio cholerae* from estuaries and brackish water environments. p. 44-56. *In Proc. 15th U.S.-Japan Coop. Medical Sci. Program Joint Conf. on Cholera*, Bethesda, MD: US Dept. of Health, Educ. and Welfare.
- DAVIS, C. C. (1977): Overwintering strategies of common planktic copepods in some North Norway fjords and sounds. *Astarte* **9**, 37-42.
- DAVIS, C.C. (1982): A preliminary quantitative study of the zooplankton from Conception Bay, Insular Newfoundland, Canada. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, **67**, 713-747.
- FLETCHER, M. (1980): Adherence of marine microorganisms to smooth surfaces. p. 345-374. *In* E.H. BEACHY (ed.): *Receptors and recognition*, Vol. 6, Bacterial adherence. Chapman and Hill, London and New York.
- HICKEL, W. and W. GUNKEL (1968): Untersuchungen über die Häufigkeit der Bakterien in der obersten Sedimentschicht der Deutschen Bucht in Beziehung zu den Substrateigenschaften. *Helgoländer wiss. Meeresunters.*, **18**, 213-231.



- HOLLAND, R.S. and G.L. HERGENRADER (1981): Bacterial epibionts of diaptomid copepods. *Trans. Am. Microsc. Soc.*, **100**, 56-65.
- NAGASAWA, S. and T. NEMOTO (1986): The wide-spread occurrence of copepod-bacterial associations in coastal waters. p. 379-384. *In* *Syllogeus* 58, Proc. 2nd Internat. Conf. on Copepoda, Ottawa, Canada, 13-17 Aug. 1984, Ottawa, Nat. Museum of Canada.
- NAGASAWA, S. and T. NEMOTO (in press): Incidence of copepods associated with bacteria in Japanese coastal waters. *Proc. 4th French-Japanese Colloq. on Interdiscipl. Res.*
- NAGASAWA, S., U. SIMIDU and T. NEMOTO (1985): Scanning electron microscopy investigation of bacterial colonization of the marine copepod *Acartia clausi*. *Mar. Biol.*, **87**, 61-66.
- ROTH, I.L. (1977): Physical structure of surface carbohydrates. p. 5-26. *In* I. SUTHERLAND (ed.): *Surface carbohydrates of the prokaryotic cell*. Academic Press, London.
- STANIER, R.Y., E.A. ADELBERG and J.L. INGRAHAM (1976): *The microbial world*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 871 pp.

## 世界各地の沿岸におけるかいあし類への細菌付着

永 沢 祥 子

要旨: 細菌が付着する *Acartia* 属かいあし類の出現率 (ICWB) を7つの沿岸海域, すなわちノルウェー北部のクーベルク, カナダのコンセプション湾, 米国のウッズホールとサンフランシスコ湾, メキシコのヴェラクルツ, カリブ海およびメラネシアから得た試料について調べた。ICWB の値は海域と月により変化した。その値は以前他の沿岸海域で報告されたように一般に10%より小さかった。しかし, きわめて高い値83.8%がウッズホールのかいあし類から得られた。ウッズホール, サンフランシスコ湾, ヴェラクルツのかいあし類には細菌とともに粘質物が観察された。これは細胞壁の外部にポリサッカライドを産生する細菌が存在することを示唆する。

## アカウニ 4 腕幼生の摂餌生態学的実験\*

石渡直典\*\*, 天神 愷\*\*\*

### Feeding experiment of the four-armed echinoplutei of *Pseudocentrotus depressus*\*

Naonori ISHIWATA\*\* and Akira TENJIN\*\*\*

**Abstract:** The four-armed echinoplutei of *Pseudocentrotus depressus* fed with *Platymonas* sp. are examined with special reference to the change of the number of food in the digestive tract with time after feeding. The number of food in the digestive tract increases rapidly at the beginning and reaches a maximum after 15 minutes, and then it decreases gradually and levels off to a constant after 30 minutes.

ウニ類幼生の飼育は、発生、変態経過を追究するための手段として、古くから行われ、多くの知見(久米, 1929; JOHNSON, 1930; ONODA, 1931, 1936, 1938; HARVEY, 1949; FUKUSHI, 1960a, b; HINEGARDNER, 1969 など)が報告されているが、これらの報告は幼生の飼育そのものについては深く触れていない。近年、ウニ類の放流用種苗を生産する目的で、幼生の飼育が試みられ、多くの成果(山辺, 1962; 川村, 1973; 角田・中村, 1974a, b; 角田, 1978; 谷・伊東, 1979; 渡辺・小形, 1980 など)が得られているけれども、摂餌生態についての知見は、きわめて少ない。本研究ではアカウニ(*Pseudocentrotus depressus* (A. AGASSIZ)) 4 腕幼生を実験材料として、投餌後の経過時間に伴う消化管内の餌料数の変化について調べたので、その結果の概要を報告する。

#### 1. 供試材料

1966年11月上旬、東京水産大学小湊実験場地先で、親ウニ(殻径40~60 mm)を採集し、同大学生態学研究室

\* 1986年3月24日受理 Received March 24, 1986

\*\* 東京水産大学, 〒108 東京都港区港南 4-5-7  
Tokyo University of Fisheries, Konan 4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

\*\*\* 東京水産大学, 現所属: 福島県水産種苗研究所,  
〒979-13 福島県双葉郡大熊  
Tokyo University of Fisheries; Present Address:  
Fukushima Prefecture Fish Farming Experimental  
Station, Okuma, Futaba-gun, Fukushima, 979-13  
Japan

で、人工受精を行った。0.5 M KCl 溶液注入法によって採卵し、卵を十分洗滌し、沈降の速やかなものを受精に用いた。受精後、卵を数回洗滌し、1 l の戸過海水を入れた2本の三角フラスコ(容量1 l)に1,000 個体程度収容し、無投餌で、20°C 前後に調節した恒温室で、軽く通気して止水飼育し、各実験に供した。

#### 2. 実験 1

この実験では受精後の経過日数に伴う消化管内の餌料数(細胞数)の変化について調べた。

**実験方法** 受精後 2, 3, 4, 5 および 6 日目に、100 ml の戸過海水( $\sigma_{15}=25.5$ )を入れた三角フラスコ(容量100 ml)に50個体の幼生を収容し、20°C 前後(19.9~21.4°C; 平均 20.0°C)に調節した恒温室で実験した。収容後、2時間静置してから、フラスコに  $3 \times 10^5$  cells/ml の濃度で *Platymonas* sp. を投与し、餌料が均一に分布するように2.5分ごとに手振で静かに攪拌し、60分後にホルマリンを注入して、幼生を急速に固定した。各30個体の標本を抽出し、顕微鏡下で、各個体につき、体長を測定した後、消化管内の餌料数を計った。体長は、便宜上、後口腕の先端から体の基底までの見掛け上の長さを基準とした。

**結果** 受精後の経過日数に伴う消化管内の1幼生当たり平均餌料数の変化は Fig. 1 に示すようになる。1幼生当たり平均餌料数は受精後2日目(初期プルテウス, 平均体長 230  $\mu\text{m}$ )には0であるが、3日目(平均体長 315  $\mu\text{m}$ )には27に増加し、更に4日目(平均体長 375

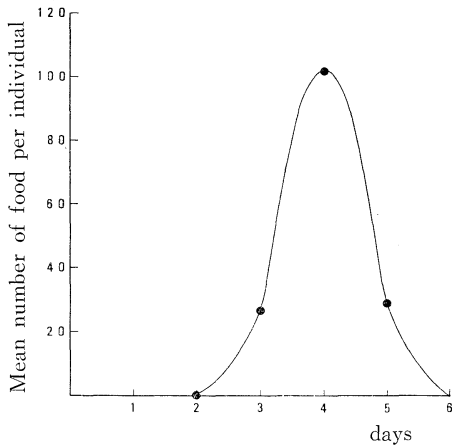


Fig. 1. Temporal change of the number of *Platymonas* sp. in the digestive tract of the four-armed echinoplutei of *Pseudocentrotus depressus*. Time (days) is measured just after fertilization.

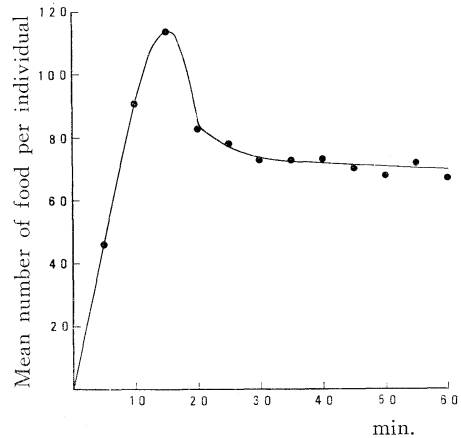


Fig. 2. Temporal change of the number of *Platymonas* sp. in the digestive tract of the 4-days-old four-armed echinoplutei of *Pseudocentrotus depressus*. Time (minute) is measured after feeding.

$\mu\text{m}$ )には最大の102に達した後、5日目(平均体長425 $\mu\text{m}$ )には29に減少した。6日目には一部の幼生が衰弱して、器底に沈下し、斃死個体が見られたので、実験を打ち切った。

### 3. 実験 2

実験1によって受精後4日目に消化管内の餌料数が最大に達することがわかった。そこで、受精後4日目の幼生を使って、投餌後の経過時間に伴う消化管内の餌料数の変化について調べた。

**実験方法** 100 ml の戸過海水 ( $\sigma_{15}=25.9$ ) を入れた12本の三角フラスコ(容量100 ml)に各50個体の幼生(受精後4日目)を収容し、20°C前後(平均20.8°C)に調節した恒温室で実験した。収容後、2時間静置してから、各フラスコに $3 \times 10^5$  cells/mlの濃度で *Platymonas* sp. を同時に投与し、2.5分ごとに手振で静かに攪拌し、5分ごとに1本ずつフラスコを取り出し、ホルマリンを注入して、幼生を急速に固定した。各30個体の標本を抽出し、顕微鏡下で、各個体につき、体長を測定した後、消化管内の餌料数を計った。

**結果** 投餌後の経過時間に伴う消化管内の1幼生(平均体長370 $\mu\text{m}$ )当たり平均餌料数の変化は Fig. 2に示すようになる。1幼生当たり平均餌料数は最初7.6/min.の速度で急激に増加し、15分後には最大の114に達するが、以後、多少減少して、30分後からはほぼ一定(平均71)になった。実験中消化管内の餌料は原形のままで、

消化中のものは全く観察されなかった。

### 4. 考 察

アカウニ4腕幼生の消化管内の餌料数は、高濃度の餌料のもとでは、投餌後、最初急激に増加し、15分後には最大に達するが、以後、多少減少して、30分後からはほぼ一定になる。このことは、当初急速に摂餌するが、消化管内に餌料が充満すると、未消化のままの排泄と既にウニ類幼生で知られている餌料の吐き出しが始まり、その後、摂餌と排泄、吐き出しとが均衡することを意味しているものと思われる。STRATHMANN (1971) は7種のウニ類幼生の摂餌について調べ、高濃度の餌料で飼育すると、幼生は繊毛の逆転や食道筋の収縮によって口腔や食道から餌料を吐き出すことを観察している。アカウニ幼生ではこのような知見はないが、この種もこのような摂餌調節機能を具えているものと思われる。幼生の摂餌生態を更に詳しく解明するためには、種々の餌料濃度に対応して、消化管内の餌料数の時間的変化を求めると共に、ここで問題にした摂餌調節機能とその機構を明らかにすることが不可欠の課題と見られる。これらのことは後日の主要問題である。

### 文 献

- FUKUSHI, T. (1960a): The external features of the development of the sea urchin, *Glyptocidaris crenularis* A. AGASSIZ. Bull. Mar. Biol. Stn. Asamushi, Tohoku Univ., 10(1), 57-63.

- FUKUSHI, T. (1960b): The formation of the echinus rudiment and the development of the larval form in the sea urchin, *Temnopleurus hardwickii*. Bull. Mar. Biol. Stn. Asamushi, Tohoku Univ., **10**(1), 65-72.
- HARVEY, E.B. (1949): The growth and metamorphosis of the *Arbacia punctulata* pluteus, and late development of the white halves of centrifuged eggs. Biol. Bull., **97**, 287-299.
- HINEGARDNER, R.T. (1969): Growth and development of the laboratory cultured sea urchin. Biol. Bull., **137**, 465-475.
- JOHNSON, M.W. (1930): Notes on the larval development of *Strongylocentrotus franciscanus*. Pub. Puget Sound Biol. Stn., **7**, 401-411.
- 角田信孝, 中村達夫 (1974a): ウニ類の種苗生産に関する研究—I. ムラサキウニ浮遊幼生の飼育餌料の検討. 水産増殖, **22**(2), 49-55.
- 角田信孝, 中村達夫 (1974b): ウニ類の種苗生産に関する研究—II. アカウニ浮遊幼生の飼育餌料の検討. 水産増殖, **22**(2), 56-60.
- 角田信孝 (1978): ウニ類の種苗生産に関する研究—III. 浮遊幼生の大量飼育について. 水産増殖, **25**(4), 121-127.
- 川村一広 (1973): エゾバフンウニの漁業生物学的研究. 北水試報告, (16), 1-54.
- 久米又三 (1929): 三崎産海胆類の発生について, 動雑, **41**(484), 100-105.
- ONODA, K. (1931): Notes on the development of *Heliocidaris crassispina* with special reference to the structure of the larval body. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. B, **7**(3), 103-134.
- ONODA, K. (1936): Notes on the development of some Japanese echinoids with special reference to the structure of the larval body. Jap. J. Zool., **6**(4), 637-654.
- ONODA, K. (1938): Notes on the development of some Japanese echinoids, with special reference to the structure of the larval body, Report II. Jap. J. Zool., **8**(1), 1-13.
- STRATHMANN, R.R. (1971): The feeding behavior of planktotrophic echinoderm larvae: mechanisms, regulation, and rates of suspension feeding. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. **6**, 109-160.
- 谷 雄策, 伊東義信 (1979): アカウニ幼生の付着および変態におよぼす付着珪藻の影響について. 水産増殖, **27**(3), 148-150.
- 渡辺憲一, 小形 孝 (1980): エゾバフンウニの種苗生産技術開発に関する研究—I. 浮遊期幼生飼育時における換水方法. 水産増殖, **28**(3), 122-127.
- 山辺 晃 (1962): アカウニ幼生の飼育について. 水産増殖, **10**(4), 213-219.

## Relationship between the grid size and the coefficient of subgrid-scale diffusion in a finite difference advection-diffusion equation\*

Keiko YOKOYAMA\*\* and Kenzo TAKANO\*\*

A false oscillation with a wave length of two times the grid size arises from a finite difference advection-diffusion equation if the grid size is greater than a critical value determined by the coefficient of subgrid-scale diffusion.

For simplicity, a one-dimensional, steady state advection-diffusion equation is dealt with;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} = -B \frac{\partial^4 T}{\partial x^4}, \quad (1)$$

where  $u$  is the  $x$ -component of the velocity assumed to be positive,  $T$  is a state variable, say, temperature, and  $B$  is the coefficient of subgrid-scale diffusion. Both  $u$  and  $B$  are assumed to be constant.

Instead of the biharmonic form  $-B\partial^4 T/\partial x^4$ , the diffusion term is conventionally written in harmonic form as  $A\partial^2 T/\partial x^2$ .

The relationship between  $A$  and  $B$  is determined as follows (SEMTNER and MINTZ, 1977).

When centered differencing is used, both terms are approximated by

$$-B \frac{\partial^4 T}{\partial x^4} = -B \times \frac{T_{n+2} - 4T_{n+1} + 6T_n - 4T_{n-1} + T_{n-2}}{(\Delta x)^4}, \quad (2)$$

$$A \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = A \frac{T_{n+1} - 2T_n + T_{n-1}}{(\Delta x)^2}, \quad (3)$$

where  $\Delta x$  is the grid size,  $T_{n\pm 2}$ ,  $T_{n\pm 1}$  and  $T_n$  are the temperatures at the  $(n\pm 2)$ ,  $(n\pm 1)$  and  $n$ th grid points. With  $T = qe^{ikx}$  ( $i = \sqrt{-1}$ ), the right-hand side of (2) becomes

$$-q \frac{16B}{(\Delta x)^4} \left( \sin \frac{k\Delta x}{2} \right)^4, \quad (4)$$

and that of (3) becomes

$$-q \frac{4A}{(\Delta x)^2} \left( \sin \frac{k\Delta x}{2} \right)^2. \quad (5)$$

The shortest wave length resolvable by a grid size of  $\Delta x$  is  $2\Delta x$ , so that  $\sin(k\Delta x/2) = 1$ . If the magnitude of (4) is made equal to that of (5) at this shortest wave length, then it follows that

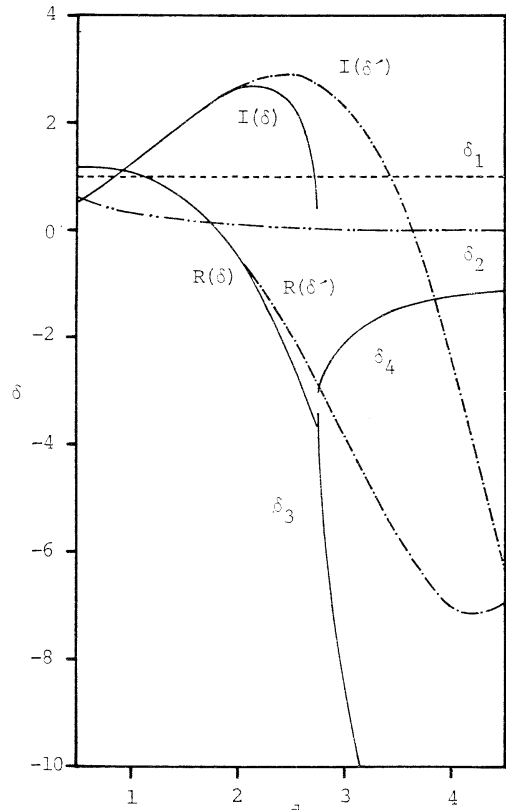


Fig. 1. Amplification factors  $\delta_m$  obtained from the finite difference equation and amplification factors  $\delta'_m$  obtained from the differential equation. Real and imaginary parts  $R(\delta)$  and  $I(\delta)$  are shown if  $\delta_m$  are complex numbers.

\* Received March 28, 1986

\*\* School of Environmental Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki-ken, 305 Japan

$$B = (\Delta x)^2 A / 4. \quad (6)$$

When the amplification factor is denoted by  $\delta$ , the centered differencing of Eq. (1) leads to

$$\begin{aligned} \delta^4 + (0.5d - 4)\delta^3 + 6\delta^2 \\ - (0.5d + 4)\delta + 1 = 0, \end{aligned} \quad (7)$$

where

$$d = (u/B)^{1/3} \Delta x. \quad (8)$$

Figure 1 shows the four roots  $\delta_m$  ( $m=1, \dots, 4$ ) as functions of  $d$ . The real and imaginary parts are shown for  $\delta_3$  and  $\delta_4$  if these are complex numbers.

On the other hand, substitution of  $T \propto e^{\sigma x}$  into (1) leads to

$$u \sigma = -B \sigma^4,$$

which gives

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= 0, \\ \sigma_2 &= -(u/B)^{1/3}, \\ \sigma_{3,4} &= (u/B)^{1/3} \frac{1 \pm \sqrt{3}i}{2}. \end{aligned}$$

The amplification factors  $\delta_m'$  to be compared with  $\delta_m$  are given by  $\exp(\Delta x \cdot \sigma_m)$  ( $m=1, \dots, 4$ ), which are also shown in Fig. 1. The real and imaginary parts are shown for  $\delta_3'$  and  $\delta_4'$ . Obviously  $\delta_1$  is identical with  $\delta_1'$  ( $\delta_1 = \delta_1' = 1$ ) irrespective of  $d$ . No significant difference is found between  $\delta_2$  and  $\delta_2'$  in the practical range of  $d$ . As is readily seen however,  $\delta_3$  and  $\delta_4$  are qualitatively different from  $\delta_3'$  and  $\delta_4'$  for  $d < 2.748$ , although they agree well with  $\delta_3'$  and  $\delta_4'$  for  $d < 2.0$ . Both  $\delta_3$  and  $\delta_4$  are real, negative

numbers for  $d > 2.748$ , which gives rise to a false oscillation with a wave length of  $2\Delta x$ .

The condition necessary for getting a solution of Eq. (1) turns out to be

$$d < 2.748, \quad (9)$$

or with (6) and (8),

$$0.193 u \Delta x < A. \quad (10)$$

When the diffusion term is formulated by  $A \partial^2 T / \partial x^2$ , the condition (TAKANO, 1974) corresponding to (10) is

$$0.5 u \Delta x < A. \quad (11)$$

Therefore, compared with harmonic diffusion, biharmonic diffusion allows a smaller  $A$  for a given  $\Delta x$ , or a larger  $\Delta x$  for a given  $A$ . This is an advantage of  $-B \partial^4 T / \partial x^4$  over  $A \partial^2 T / \partial x^2$ . As already pointed out (SEMTNER and MINTZ, 1977), the primary advantage is that the biharmonic formulation is highly scale selective because of a factor of  $(\sin k \Delta x / 2)^4$  in (4) in place of a factor of  $(\sin k \Delta x / 2)^2$  in (5); the ratio of  $-B \partial^4 T / \partial x^4$  to  $A \partial^2 T / \partial x^2$  is 0.095 for a wave length of  $10\Delta x$  and 0.024 for a wave length of  $20\Delta x$ . Biharmonic formulation brings about very weak diffusion for wave lengths larger than  $2\Delta x$ .

#### References

- SEMTNER, A.J. and Y. MINTZ (1977): Numerical simulation of the Gulf Stream and mid-ocean eddies. *J. Phys. Oceanogr.*, **7**, 208-230.  
TAKANO, K. (1974): Finite differencing of the advection term. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **30**, 207-208. (in Japanese)

## 移流・拡散差分方程式での格子間隔とうず拡散係数の関係

横山 恵子・高野 健三

要旨: 移流・拡散差分方程式で重調和関数形の拡散項を用いた場合, 正しい近似解を得るための拡散係数の大きさ-格子間隔の関係を調べた。これまでしばしば使われてきた調和関数形に比べて, 重調和関数形には, 拡散が弱いにもかかわらず, 大きな格子間隔を使えるという利点がある。長波長の変化に対しては, この利点はますます大きくなる。

## Theoretical analysis of the *in situ* fluorescence of chlorophyll *a* on the underwater spectral irradiance\*

Motoaki KISHINO\*\*, Shigehiko SUGIHARA\*\* and Noboru OKAMI\*\*

**Abstract:** A radiative transfer equation, including the effect of chlorophyll *a* fluorescence, is derived from a single fluorescence model combined with a two-flow model. The equation is used for investigating the effect of fluorescence upon the upward irradiance in the vicinity of 685 nm where the irradiance peak has been frequently observed. The computational results reveal that the peaks develop at 685 nm and 710 nm at low and high chlorophyll concentrations, respectively. The peak at about 685 nm is due to the fluorescence of phytoplankton, while the peak at about 710 nm is due to spectral properties of absorption and scattering of phytoplankton. Further, the fluorescence peak height in relation to chlorophyll concentration and the effects of both detritus and dissolved organic matter on fluorescence peak height are discussed on the basis of the computational results.

### 1. Introduction

A strong peak at about 685 nm in the upward irradiance or radiance spectrum in natural waters was observed by NEVILLE and GOWER (1977), GOWER (1980), GOWER and BORSTAD (1981) and KISHINO *et al.* (1984a). They observed a good correlation between the peak height and the chlorophyll *a* concentration in each area. This suggests that the chlorophyll fluorescence is responsible for the peak at 685 nm in the upward spectrum. In addition to these experimental results, GORDON (1979) and KATTAWAR and VASTANO (1982) explored this strong peak theoretically and concluded that the peak was attributed to fluorescence of chlorophyll *a* excited by incident light. However, *in situ* fluorescence is influenced by not only chlorophyll concentration but also by the spectral distribution of the incident light, the turbidity of sea water, the phytoplankton species and the physiological state of phytoplankton (STRICKLAND and PARSONS, 1972; KIEFER, 1973a, 1973b; PRÉZELIN and LEY, 1980; KISHINO *et al.*, 1984b). As a result, the effect of fluorescence on the upward spectral irradiance is rather complicated in the vicinity of 685 nm and the relationship between the peak height and chlorophyll concentration seems to vary with the season and geographical location.

In order to explore the effect of fluorescence on spectral behavior of irradiance, a single fluorescence model is combined with a two-flow optical model in the present study. By using the developed equation, the variation in downward and upward spectral irradiance in the vicinity of 685 nm are calculated for various concentrations of chlorophyll *a*, detritus and dissolved organic matter.

### 2. Radiative transfer equation including the effect of the chlorophyll *a* fluorescence

According to KISHINO *et al.* (1984a), downward irradiance  $E_d(z, \lambda)$  and upward irradiance  $E_u(z, \lambda)$  can be written in the form of a sum of elastic scattering and fluorescence contributions as follows:

$$E_d(z, \lambda) = E_d(0, \lambda)e^{-K(\lambda)z} + E_{fd}(z, \lambda), \quad (1)$$

$$E_u(z, \lambda) = E_u(0, \lambda)e^{-K(\lambda)z} + E_{fu}(z, \lambda), \quad (2)$$

where  $E_{fd}$  and  $E_{fu}$  are downward and upward fluorescence, respectively, given by:

$$E_{fd}(z, \lambda_f) = \int_{360}^{600} F_d'(z, \lambda_e, \lambda_f) d\lambda_e, \quad (3)$$

$$E_{fu}(z, \lambda_f) = \int_{360}^{600} F_u'(z, \lambda_e, \lambda_f) d\lambda_e, \quad (4)$$

with

\* Received March 15, 1986

\*\* The Institute of Physical and Chemical Research, Wako-shi, Saitama, 351-01 Japan

$$F_d'(z, \lambda_e, \lambda_f) = 2\pi\beta(\lambda_f) \frac{\lambda_e}{\lambda_f} E_d(z, \lambda_e) a_{ph}(\lambda_e) C \\ \times \int_0^{\pi/2} \frac{1 - \exp[-\{\alpha(\lambda_f) - K(\lambda_e) \cos \theta\} z]}{\alpha(\lambda_f) - K(\lambda_e) \cos \theta} \\ \times \cos \theta \sin \theta d\theta, \quad (5)$$

$$F_u'(z, \lambda_e, \lambda_f) = 2\pi\beta(\lambda_f) \frac{\lambda_e}{\lambda_f} E_d(z, \lambda_e) a_{ph}(\lambda_e) C \\ \times \frac{1}{K(\lambda_e)^2} \left[ K(\lambda_e) + \alpha(\lambda_f) \log \frac{\alpha(\lambda_f)}{K(\lambda_e) + \alpha(\lambda_f)} \right], \quad (6)$$

where  $K$  is the attenuation coefficient for irradiance, expressed by PREISENDORFER (1961) as

$$K(\lambda) = D_a \{a(\lambda) [a(\lambda) + 2b_b(\lambda)]\}^{1/2}, \quad (7)$$

and  $R_\infty$  is the irradiance reflectance at the infinite depth, given by MOREL and PRIEUR (1977) as

$$R_\infty(\lambda) = 0.33 \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda)}. \quad (8)$$

The parameters  $D_a$ ,  $a$ ,  $b_b$  and  $\alpha$  are the distribution function, the absorption coefficient, the backscattering coefficient, and the beam attenuation coefficient, respectively,  $a_{ph}$  is the absorption coefficient of phytoplankton per unit chlorophyll *a* concentration,  $C$  is the chlorophyll *a* concentration and  $\beta$  is the volume fluorescence function. If a Gaussian distribution is assumed for the emission peak of chlorophyll at 685 nm,  $\beta$  can be defined by

$$\beta(\lambda_f) = \beta(685) \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda_f - \lambda_0}{\sigma} \right)^2 \right] \\ = \frac{\phi}{4\sigma\pi^{3/2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\lambda_f - \lambda_0}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (9)$$

where  $\phi$  is the quantum yield of fluorescence,  $\sigma^2$  is the variance of Gaussian distribution and  $\lambda_0$  is 685 nm. It should be noted that the definition of the volume fluorescence function differs from GORDON's model (1979),  $\beta_G$ , as follows:

$$\beta_G(\lambda_f) = \frac{\lambda_e}{2^{1/2}\lambda_f} a_{ph}(\lambda_e) \beta(\lambda_f), \quad (10)$$

where  $\beta_G$  is dependent on  $\lambda_e$  and  $a_{ph}(\lambda_e)$ , while  $\beta$  in the present study is independent of  $\lambda_e$  and

$a_{ph}(\lambda_e)$ . The theoretical calculations can be simplified by the assumption that  $\beta$  is independent of  $\lambda_e$ .

OKAMI *et al.* (1982a, 1982b) express  $b_b(\lambda)$  and  $a(\lambda)$  as the sum of the coefficients for each of the components, respectively. In the present study, it is assumed that the ratio of backscattering in the total scattering coefficient for phytoplankton and detritus is 0.02 (MOREL and PRIEUR, 1977). Denoting the absorption and scattering coefficients for detritus as  $a_d$  and  $b_d$ , respectively, and the scattering coefficient for phytoplankton as  $b_{ph}$ , we have following relations:

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{ph}(\lambda)C + 0.2b_d \frac{650}{\lambda} \\ + A_y \exp[-0.0167(\lambda - 380)], \quad (11)$$

$$b_b(\lambda) = \frac{1}{2}b_w(\lambda) + 0.02[b_{ph}C + b_d], \quad (12)$$

where  $a_w$  and  $b_w$  are the absorption and the scattering coefficients for optically pure water, respectively, and  $A_y$  is the absorption coefficient of dissolved organic matter at 380 nm. From (11) and (12),  $\alpha(\lambda)$  is expressed as

$$\alpha(\lambda) = a_w(\lambda) + b_w(\lambda) + c_{ph}(\lambda)C \\ + \left[ 0.2 \frac{650}{\lambda} + 1.0 \right] b_d \\ + A_y \exp[-0.0167(\lambda - 380)], \quad (13)$$

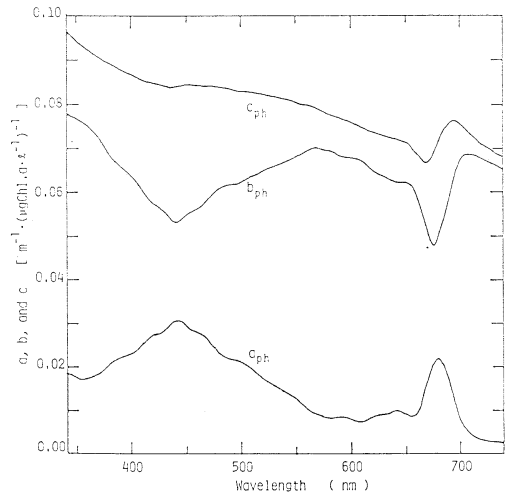


Fig. 1. Optical properties of *Chaetoceros socialis*.



where  $c_{ph}$  is the attenuation coefficient of phytoplankton per unit chlorophyll  $a$  concentration.

In the calculation, values of  $a_{ph}$ ,  $b_{ph}$  and  $c_{ph}$  of *Chaetoceros socialis* given in Fig. 1 are used. The values of  $a_w$  and  $b_w$  are taken from SMITH and BAKER (1981), and  $D_d$  and  $\sigma$  are assumed to be 1.2 and 10.6 nm, respectively, (KISHINO *et al.*, 1984a). Downward irradiance at the surface  $E_d(0, \lambda)$  is assumed to be  $100 \mu W \cdot cm^{-2} \cdot nm^{-1}$  for the entire spectral range.

**3. Results and discussion**

**3.1. Chlorophyll  $a$  concentration and fluorescence intensity**

In order to investigate the variation in upward spectral irradiance,  $C$  is changed on the assumption of  $b_d = A_v = 0$  in (11), (12) and (13).

The calculated upward spectral irradiance at depth 0 m is shown in Fig. 2 at various concentrations of  $C$ . In this calculation, the value of  $\beta(685)$  is assumed to be  $0.0001 \text{ nm}^{-1} \cdot \text{str}^{-1}$ . This value is equal to 0.024 of quantum yield of fluorescence, which corresponds to the mean value in the surface layer in coastal areas (KISHINO *et al.*, 1984b). In the figure, dashed line corresponds to the upward irradiance in the absence

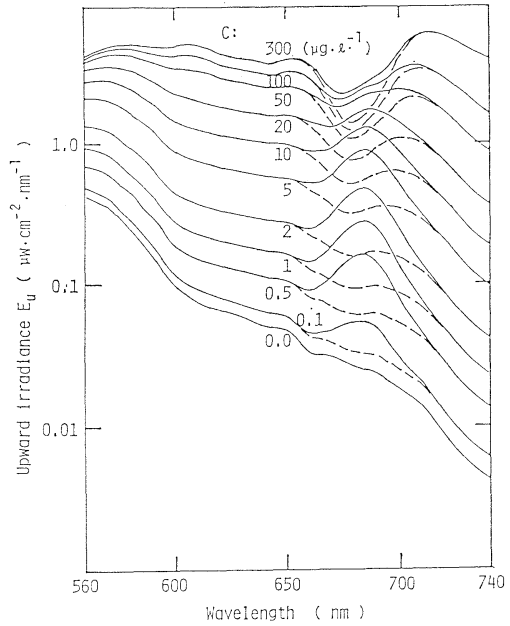


Fig. 2. Spectral distribution of upward irradiance at depth of 0 m as a function of chlorophyll  $a$  concentration for  $\beta = 0.0001 \text{ nm}^{-1} \cdot \text{str}^{-1}$ . Dashed line shows  $E_d$  in the absence of fluorescence ( $\beta = 0.0 \text{ nm}^{-1} \cdot \text{str}^{-1}$ ).

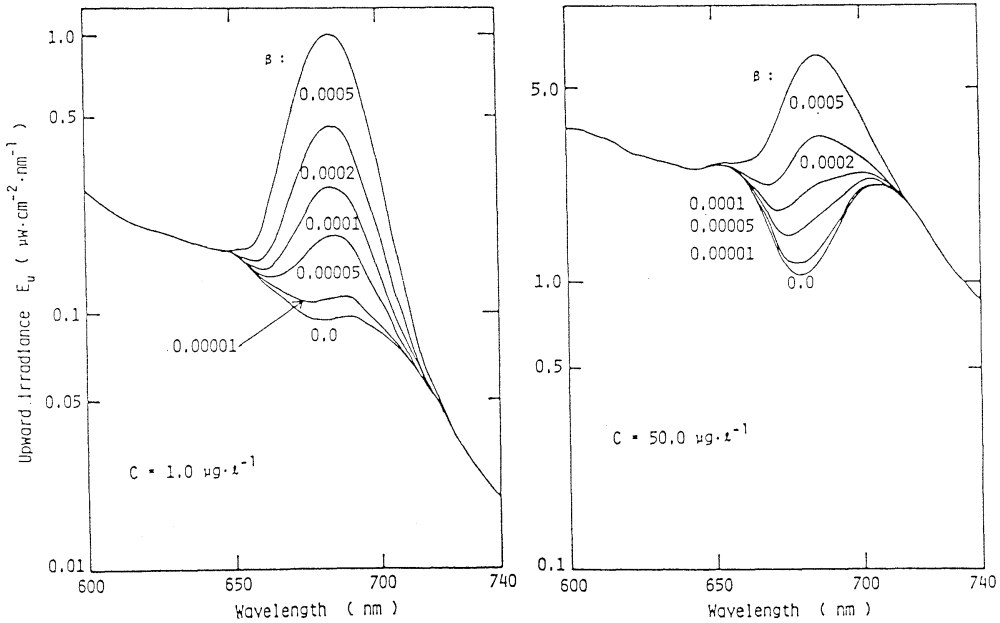


Fig. 3. Spectral distribution of upward irradiance at depth of 0 m as a function of volume fluorescence function for  $C = 1.0 \mu g \cdot L^{-1}$  in the left-hand panel and  $50.0 \mu g \cdot L^{-1}$  in the right-hand panel.

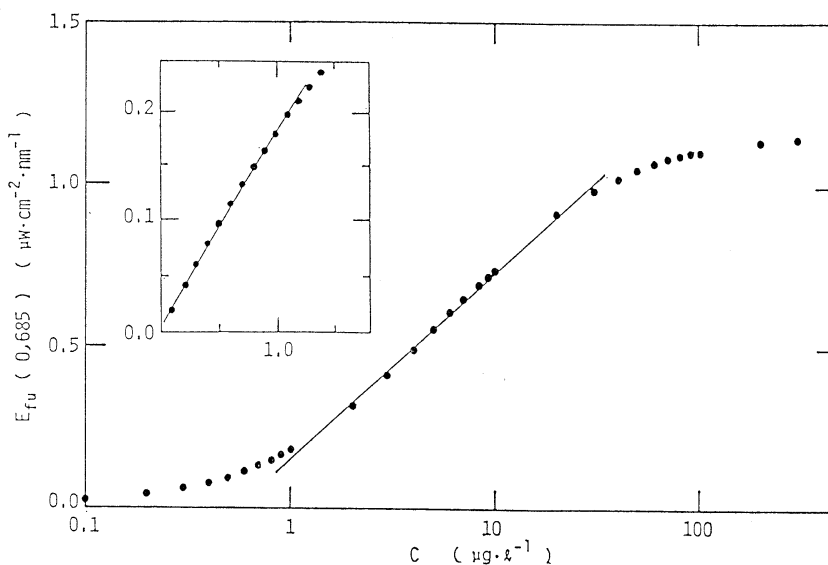


Fig. 4. Correlation between chlorophyll *a* concentration and upward fluorescence intensity  $E_{fu}$  at depth of 0 m for  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ .

of fluorescence ( $\beta=0.0 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ ).

A clear peak near 685 nm is recognized in the upward irradiance for  $C$  below the  $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . With the increase of  $C$ , however, the peak becomes unclear because of the effect of the strong absorption around 680 nm by phytoplankton itself. This results in a shift of the wavelength of maximum irradiance from 685 nm to about 710 nm. In addition to the absorption effect, the peak around 710 nm is enhanced by the effect of the spectral properties of the scattering coefficient of phytoplankton, which has a maximum at 710 nm as shown in Fig. 1. If fluorescence by phytoplankton is absent, the peak would appear at lower chlorophyll concentrations, as shown in Fig. 2. Thus, the fluorescence gives an inhibitory effect on the peak around 710 nm.

The fluorescence intensity is proportional not only to  $C$  but also to  $\beta$  as is clear from Eqn. (5) and (6). The variation of upward irradiance near 685 nm with various  $\beta$  at 0 m depth is shown in Fig. 3. When  $C$  is  $50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  the maximum in upward irradiance at 685 nm is recognized only for  $\beta$  larger than  $0.0002 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ . On the other hand, when  $C$  is  $1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , the peak at 685 nm is recognized in all cases except  $\beta$  smaller than  $0.00001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ . As

is evident from Figs. 2 and 3, the peak at about 685 nm is due to fluorescence of chlorophyll *a* and the peak at about 710 nm is due to spectral properties of absorption and scattering of phytoplankton.

The relationship between  $E_{fu}(0,685)$  and  $C$  at 0 m depth for  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  is shown in Fig. 4. Below  $1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  of  $C$ , the fluorescence intensity increases linearly with the increase in  $C$  as is seen in the inset. However, in the ranges from 1 to  $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  of  $C$ , the relationship between them is not linear but the logarithm of  $C$  is proportional to the  $E_{fu}$ . Above  $20 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  of  $C$ , the increasing rate in  $E_{fu}$  decreases gradually with increasing  $C$  and the  $E_{fu}$  tends to approach to the constant value of about 1.2. This pattern of dependence of  $E_{fu}$  on  $C$  agrees well with observational results of PLATT and HERMAN (1983) and KISHINO *et al.* (1984b). The saturation in  $E_{fu}$  for very high concentration suggests that the remote sensing of  $C$  from the fluorescence peak height is rather difficult for very high  $C$ .

The vertical distributions of fluorescence intensity of  $E_{fd}(z, 685)$  and  $E_{fu}(z, 685)$  for  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  and  $C=1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , which are assumed constant with depth, are shown in Fig. 5. The intensity of upward fluorescence decreases ex-

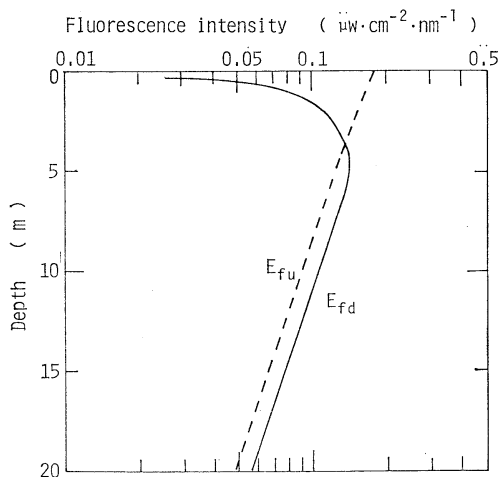


Fig. 5. Vertical distribution of downward and upward fluorescence intensity,  $E_{fd}$  and  $E_{fu}$ , respectively, for  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  and  $C=1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ .

ponentially with depth. On the other hand, the intensity of downward fluorescence increases rapidly with increasing depth and attains a maximum at the depth of 5 m. Below 5 m, it decreases exponentially with depth. The  $E_{fd}$  ( $z, 685$ ) below depth of 4 m becomes larger than  $E_{fu}$  ( $z, 685$ ). It is interesting to note that the vertical distribution of the fluorescence is analogous to that of radiance generated by elastic scattering (SUGIHARA, 1977). The attenuation of  $E_{fd}$  in deeper layer and  $E_{fu}$  is nearly equal to that of downward irradiance at the wavelength of maximum transmittance.

The computed spectra  $E_d(z, \lambda)$  and  $E_u(z, \lambda)$ , for the case of  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  and  $C=1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , are shown in Fig. 6; the irradiance reflectance, defined by  $R_d(z, \lambda)=E_u(z, \lambda)/E_d(z, \lambda)$ , is shown in Fig. 7, for the same  $\beta$  and  $C$  assumptions. Because of the strong absorption of pure water at wavelength greater than 685 nm,  $E_d$  decreases rapidly with increasing depth. At small depths, the rapid decrease in  $E_d$  around 685 nm results in a gradual increase in fluorescence intensity relative to  $E_d$  and the shoulder appears near 685 nm. It gradually develops with increasing depth and the peak appears below 15 m.

On the other hand, the sharp peak in upward irradiance is recognized at every depth although

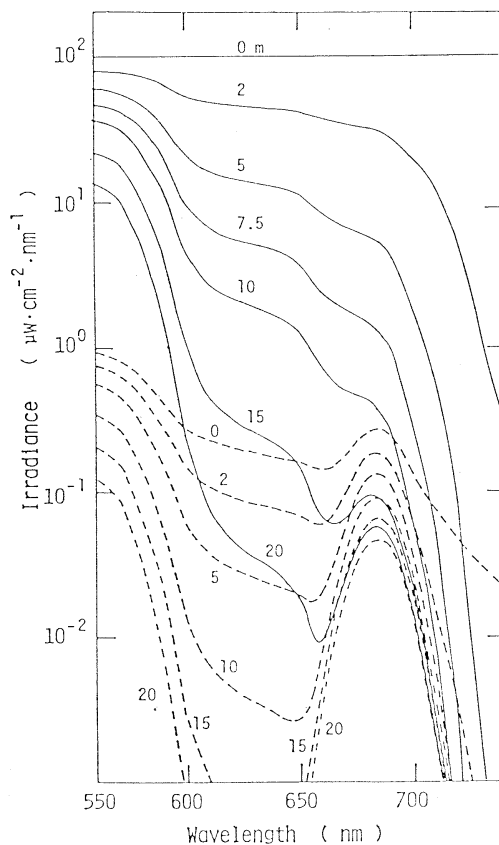
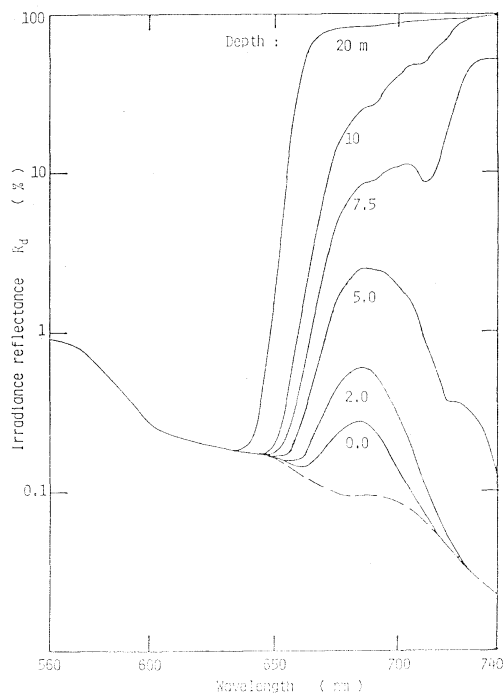


Fig. 6. Spectral distribution of  $E_d$  (solid line) and  $E_u$  (dashed line) at various depths for  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  and  $C=1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ .

the peak becomes sharper at the larger depths. As shown in Fig. 7, the peak in  $R_d(z, \lambda)$  appears at all depths and  $R_d(z, \lambda)$  above 650 nm increases rapidly with increasing depth. Further, with increasing depth, the peak wavelength shifts from 685 nm at 0 m and 2 m toward the longer wavelength. At 20 m, the value of  $R_d$  above 670 nm exceeds 80%. Since the absorption of pure water itself is very strong and elastic scattering is negligible at wavelength longer than 650 nm, only fluorescent light is prevailing. This results in the large  $R_d$  in this spectral region under the assumption of isotropic fluorescence emission.

3.2. The influence of detritus and dissolved organic matter on the fluorescence appearing around 685 nm in upward irradiance

The upward irradiance at the surface was calculated as a function of  $b_d$  when  $C$  is 1.0 and



50.0  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  in order to investigate the influence of  $b_a$  on the spectral fluorescent light around 685 nm. The result is shown in Fig. 8. In this calculation,  $A_y$  is assumed to be zero. For  $C=1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$   $E_d$  increases almost linearly with  $b_a$ . The fluorescence spectrum, however, becomes smaller and broader with increasing  $b_a$ . In the case of  $C=50.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , on the other hand, the variation of  $E_u$  with  $b_a$  is rather small; the fluorescence effect is manifested in the upward irradiance as a peak around 700 nm for all values of  $b_a$ . It is interesting to note that  $E_u$  increases and decreases with increasing  $b_a$  above and below 615 nm.

The variation of the fluorescence intensity as a function of  $b_a$  and  $C$  is shown in Table 1. The influence of  $b_a$  is very strong for low chlorophyll concentration, while it is weak for

←Fig. 7. Irradiance reflectance  $R_d$  at various depths for  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  and  $C=1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ . Dashed line shows  $E_u$  in the absence of fluorescence ( $\beta=0.0 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ ).

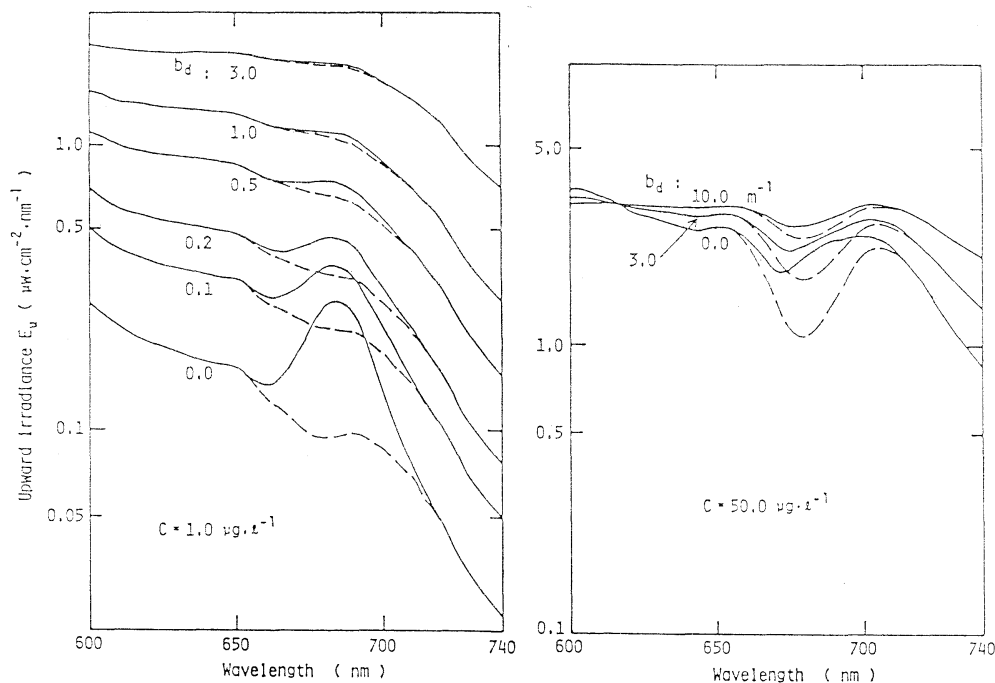


Fig. 8. Spectral distribution of upward irradiance at depth of 0 m as a function of  $b_a$  for  $\beta=0.0001 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  and  $C=1.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  in the left-hand panel and  $50.0 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  in the right-hand panel. Dashed line shows  $E_u$  in the absence of fluorescence ( $\beta=0.0 \text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ ).

Table 1. The fluorescence intensity,  $E_{fu}(0,685)$  ( $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ ) as a function of  $C$  and  $b_d$  for  $\beta=0.0001\text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ .

$C$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	$b_d$ ( $\text{m}^{-1}$ )			
	0.0	1.0	3.0	10.0
1	0.179	0.0529	0.0219	0.0072
10	0.752	0.376	0.188	0.0682
20	0.915	0.568	0.323	0.129
50	1.053	0.822	0.571	0.277

Table 2. The fluorescence intensity,  $E_{fu}(0,865)$  ( $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$ ) as a function  $C$  and  $A_y$  for  $\beta=0.0001\text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$ .

$C$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ )	$A_y$ ( $\text{m}^{-1}$ )			
	0.0	0.1	0.5	1.0
1	0.179	0.170	0.146	0.127
10	0.752	0.735	0.681	0.631
20	0.915	0.902	0.856	0.815
50	1.053	1.046	1.015	0.993

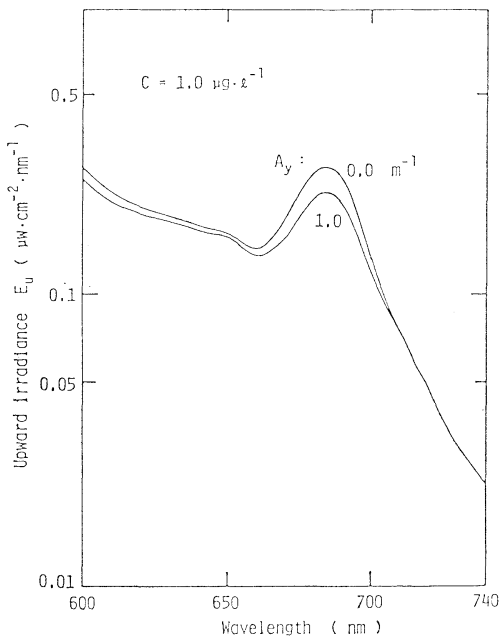


Fig. 9. Spectral distribution of upward irradiance at depth of 0 m as a function of  $A_y$  for  $\beta=0.0001\text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  and  $C=1.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ .

high chlorophyll concentration. This is due to the fact that the contribution of  $b_d$  to total absorption coefficient is large at low chlorophyll concentrations and is small at high chlorophyll concentrations.

Since the spectral absorption coefficient of dissolved organic matter,  $a_y$ , decreases exponentially with wavelength, the influence of  $a_y$  on fluorescence intensity is very small. The variation of  $E_u$  with  $A_y$  in the longer wavelength region is computed when  $C$  is  $1.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  and is depicted in Fig. 9. The variation of the fluorescence intensity as a function of  $A_y$  and  $C$  is shown in Table 2. As shown in Fig. 9 and Table 2, when  $C$  is  $1.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , the fluorescence peak in the case of  $A_y=1.0\text{ m}^{-1}$  decreases down to 30% of that in the case of  $A_y=0.0\text{ m}^{-1}$ . As  $C$  increases, the influence of  $a_y$  decreases more. For example, when  $C$  is  $50\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , the fluorescence intensity in the case of  $A_y=1.0\text{ m}^{-1}$  decreases down to only 10% of that in the case of  $A_y=0.0\text{ m}^{-1}$ .

#### 4. Summary

1. The peak at about 685 nm in the upward irradiance is due to the fluorescence of phytoplankton, whereas the peak at about 710 nm is due to spectral properties of absorption and scattering of phytoplankton.
2. A peak appears at about 685 nm when the chlorophyll  $a$  concentration,  $C$ , is lower than  $20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  at the volume fluorescence function,  $\beta$ , of  $0.0001\text{ nm}^{-1}$ , and when  $\beta$  is larger than  $0.0002\text{ nm}^{-1}\cdot\text{str}^{-1}$  at the  $C$  of  $50.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ .
3. The fluorescence intensity is directly proportional to  $C$  at low concentrations and is proportional to  $\log(C)$  at middle concentrations. It approaches a constant value at high concentrations.
4. The intensity of upward fluorescence decreases exponentially with depth. However, the intensity of downward fluorescence increases rapidly with depth to a maximum value at a depth of 5 m and then decreases exponentially with depth.
5. Below depth of 20 m, the value of irradiance reflectance above 670 nm exceeds 80%.
6. The fluorescence intensity decreases with increasing detritus.
7. The influence of dissolved organic matter on the fluorescence intensity is weak.

#### Acknowledgements

The authors are much indebted to Dr. M. TAKAHASHI, University of Tokyo, and Dr. J.

R. MILLER, York University, for valuable advice and suggestion and for careful reading of the original manuscript. We are also grateful for the kind encouragement and advice given by Dr. S. UNOKI.

This study was supported in part by the Science and Technology Agency of Japan.

### References

- GORDON, H.R. (1979): Diffuse reflectance of the ocean: the theory of its augmentation by chlorophyll *a* fluorescence at 685 nm. *Appl. Opt.*, **18**, 1161-1166.
- GOWER, J.F.R. (1980): Observations of *in situ* fluorescence of chlorophyll-*a* in Saanich Inlet. *Boundary-Layer Meteorol.*, **18**, 235-245.
- GOWER, J.F.R. and G. BORSTAD (1981): Use of the *in vivo* fluorescence line at 685 nm for remote sensing surveys of surface chlorophyll *a*. p. 329-338. *In* J.F.R. GOWER (ed.), *Oceanography from Space*. Plenum Press, New York.
- KATTAWAR, G.W. and J.C. VASTANO (1982): Exact 1-D solution to the problem of chlorophyll fluorescence from the ocean. *Appl. Opt.*, **21**, 2489-2492.
- KIEFER, D.A. (1973a): Fluorescence properties of natural phytoplankton populations. *Mar. Biol.*, **22**, 263-269.
- KIEFER, D.A. (1973b): Chlorophyll *a* fluorescence in marine centric diatoms: responses of chloroplasts to light and nutrient stress. *Mar. Biol.*, **23**, 39-46.
- KISHINO, M., S. SUGIHARA and N. OKAMI (1984a): Influence of fluorescence of chlorophyll *a* on underwater upward irradiance spectrum. *La mer*, **22**, 224-232.
- KISHINO, M., S. SUGIHARA and N. OKAMI (1984b): Estimation of quantum yield of chlorophyll *a* fluorescence from the upward irradiance spectrum in the sea. *La mer*, **22**, 233-240.
- MOREL, A. and L. PRIEUR (1977): Analysis of variations in ocean color. *Limnol. Oceanogr.*, **22**, 709-722.
- NEVILLE, R.A. and J.F.R. GOWER (1977): Passive remote sensing of phytoplankton via chlorophyll *a* fluorescence. *J. Geophys. Res.*, **82**, 3487-3493.
- OKAMI, N., M. KISHINO, S. SUGIHARA and S. UNOKI (1982a): Analysis of ocean color spectra (I). Calculation of irradiance reflectance. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**, 208-214.
- OKAMI, N., M. KISHINO, S. SUGIHARA, N. TAKEMATSU and S. UNOKI (1982b): Analysis of ocean color spectra (III). Measurements of optical properties of sea water. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**, 362-372.
- PLATT, T. and A. HERMEN (1983): Remote sensing of phytoplankton in the sea: surface-layer chlorophyll as an estimate of water-column chlorophyll and primary production. *Int. J. Remote Sensing*, **4**, 343-351.
- PREISENDORFER, R.W. (1961): Application of radiative transfer theory to light measurements in the sea. *Union Géod. Géophys. Inst., Monogr.*, **10**, 11-30.
- PRÉZELIN, B.B. and A.C. LEY (1980): Photosynthesis and chlorophyll *a* fluorescence rhythms of marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, **55**, 295-307.
- SMITH, R.C. and K.S. BAKER (1981): Optical properties of the clearest natural water (200-800nm). *Appl. Opt.*, **20**, 177-184.
- STRICKLAND, J.D.H. (1968): Continuous measurement of *in vivo* chlorophyll: a precautionary note. *Deep-Sea Res.*, **15**, 225-227.
- SUGIHARA, S. (1977): Influence of scattered light on underwater light field. *Sci. Papers Inst. Phys. Chem. Res.*, **71**, 1-12.

## 水中分光放射照度におけるクロロフィル *a* の蛍光に関する理論的考察

岸野元彰・杉原滋彦・岡見 登

**要旨:** 一次蛍光モデルと二光束モデルを組み合わせて、クロロフィル *a* の蛍光の効果を含む放射輸送の理論式を導いた。この理論式を用いて実測の分光放射照度の 685nm 付近に見いだされる極大特性について調べた。数値計算の結果、クロロフィル *a* 濃度が低い時は 685nm に極大が現われ、高くなるにつれて極大は 710 nm に移動する。685nm の極大は植物プランクトンの蛍光により、710 nm の極大は植物プランクトンの吸収と散乱の分光特性によ

り生じた事が分った。また、蛍光の強度は、クロロフィル *a* が低濃度では濃度に比例し、中濃度では濃度の対数に比例し、高濃度では一定値に近づく事が分った。更に、デトリタスや溶存有機物の効果について検討した。その結果、デトリタスが増加すると蛍光強度は減少すること、溶存有機物はクロロフィルの蛍光にはあまり影響しないことがわかった。

## 海洋混合層水温計測用ブイシステムの設計\*

小寺山 亘\*\*・水野信二郎\*\*・光易 恒\*\*

### Preliminary design of deep-sea surface buoy system for ocean mixed layer experiment\*

Wataru KOTERAYAMA\*\*, Shinjiro MIZUNO\*\* and  
Hisashi MITSUYASU\*\*

**Abstract:** A long term measurement of the water temperature in the upper mixed layer of the ocean is essential for the investigation of the underwater weather, atmospheric weather and the interaction between them. The surface buoy system is not so reliable as the submerged buoy system, because it is sometimes damaged in collision with ships. Observations by using research vessels can not be long term ones. The water temperature just under the sea surface is difficult to measure with the submerged buoy system. The surface buoy system should be a unique tool despite technical difficulties. In this paper a preliminary design of a buoy system for measuring the water temperature in the upper mixed layer of the ocean is attempted. All possible efforts are exerted to make the buoy system light-weighted and easy to handle on board a vessel. Three types of system are investigated and finally a system, which is the simplest one, is adopted because of its toughness in the collision with ships. Numerical simulations of the motion and tension of the buoy system in stages of deployment and operation are carried out by using Lumped Mass Method. The performance of the buoy system under the working condition and its safety under the survival condition are confirmed.

#### 1. 緒 言

海洋におけるデータ収集のためには種々の測器が開発され実用に供されている。比較的短期間の計測のためには観測船から測器を下すことで十分であるが数週間～1年以上の期間を通じてデータを収集する必要がある場合には係留ブイシステムに拠らざるを得ない。海面近くの計測が重要でない場合には海中ブイシステムが有効であり、信頼性も高い (KAWATAKE *et al.*, 1986)。

浮力の大部分を海面に置く海面ブイシステムは波浪、風による自然からの外力が大きい上に、船舶、漁撈等からの人為的なトラブルに遭遇しやすいのでやむを得ない場合以外には使用しない方が良くとされているが、混合層内の水温分布の測定を数週間～一年間にわたって行う

ためには、他に方法がないとも思われる。本報告では混合層内の水温計測用海面ブイシステムの設計法について述べる。

#### 2. ブイシステムの形態

ブイシステムの形態としては Fig. 1 に示すような3つの形態が考えられる。(a) は直立方式 (b) は中間ブイ方式 (c) は傾斜方式とも言うべきもので、大部分の海面ブイシステムはこの3種に分類される。図の状態はそれぞれの係留方式の理想的な状態であり、外力が小さい場合に実現されるものである。強い外力を受けてシステムが流されれば (a) 及び (b) も (c) に近い形となってしまう。外力による傾斜モーメントに釣合う復原モーメントがブイの浮力と横流れ量の乗算で発生する以上いかなる係留法も多かれ少なかれ横流れして (c) の形態に近くなることは避けがたい。

3種の係留方式にはそれぞれ長所と短所が有り、用途及び環境条件によって使い分けることになる。(a) の方

\* 1986年3月28日受理 Received March 28, 1986

\*\* 九州大学応用力学研究所, 〒816 福岡県春日市春日公園 6-1

Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Kasugakoen 6-1, Kasuga-shi, Fukuoka-ken, 816 Japan



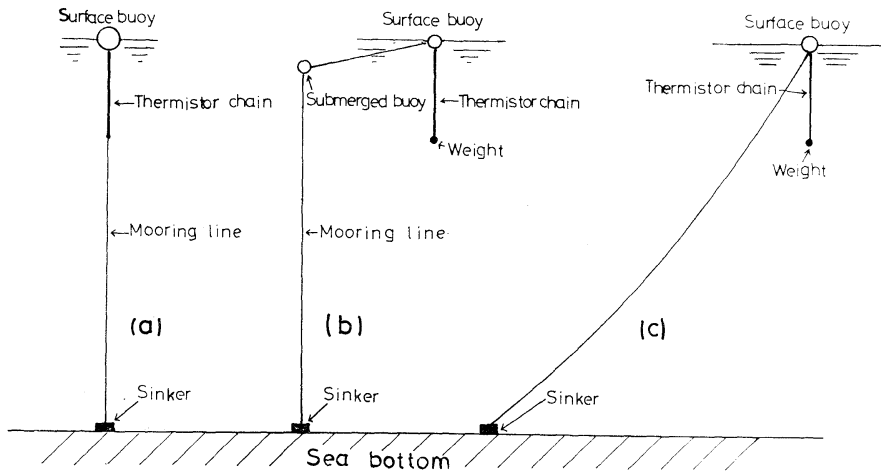


Fig. 1. Surface buoy systems.

式は最も横流れ量が小さく、計測対象の位置に関する誤差が小さい反面、海面ブイを海面に維持するためには最も大きな排水量を必要とする。(b)の方式は海面ブイに加わる波力を中間ブイの水平方向の運動で吸収できるために中間ブイ以下の係留線の変動張力を小さくできる。また中間ブイの排水量を十分に大きくすれば海面ブイの排水量を小さくできる等の力学的には優れた利点をもっている。しかしながら(b)の方式は中間ブイと海面ブイの間の係留線をできるだけ水平に張らなければこの特長を生かせないので船舶、漁撈の影響を受けやすい。また(b)及び(c)の方式では海面ブイ直下の係留線の傾斜が大きいため、測器の鉛直方向の位置保持性能を高めるためには水温計測用測器を図のように係留線とは別のラインに装着せざるを得ない。

このラインの傾斜を(a)の方式と同程度に小さくするためにはライン最下端に取り付けるウェイトの重量やラインの振り子運動と入射波の同調現象について慎重に検討する必要がある。さらにこのラインと係留線のからみつきを防止する工夫をしなければならないが、(c)の方式では極めて困難である。また(b)の方式では海面ブイと中間ブイの間の係留線を固いものにして、中間ブイと海面ブイが近よらないようにする方法があるが、この固い係留線の陸上での取り扱いが極めて困難であろう。

以上のように、それぞれの方式には長所、短所があるが、(b)の方式は船舶、漁撈に対する対策が困難であり、(c)の方式ではからみつきを防止することが困難である等の欠点をもっている。(a)の方式は大きな外力を受けた場合は海面ブイが沈んでもよとの条件を与えれば海面ブイの排水量が過大になることを防げるので本論

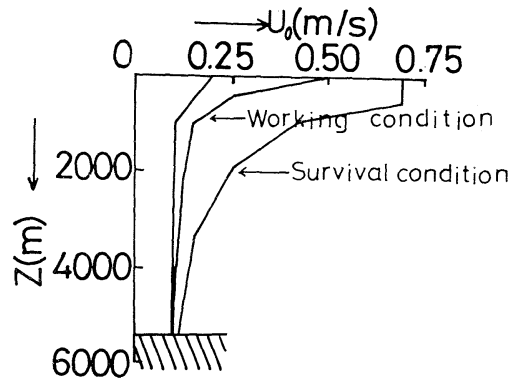


Fig. 2. Current profiles for design.

文ではこの方式について力学的な検討を行う。

### 3. 設計条件

システムの設計のために以下のような条件を与える。

#### 3.1. 基本条件

(i) ブイシステムは大学の観測船で設置できること、従って海面ブイ及びシンカーの重量はできるだけ小さく、取扱いが簡便であること。

(ii) 設置海域は、四国沖水深5,000 m級で、黒潮中を避けること。

(iii) 材料の安全率は3.0以上とすること。

#### 3.2. 環境条件

(i) 深海域での海流流速の鉛直分布については資料が少ないが、その中で比較的信頼性が高く、今回の設置海域の状態に近いと思われるウッズホール海洋研究所が海面ブイの設計に使用している速度分布 (Fig. 2,

CLAY, 1983) を採用する。図で最も速い流速分布を Survival condition に、中程度のものを Working condition とする。

(ii) 風速及び波高

- Survival condition: 風速 50 m/s, 波高 30 m  
波周期 20 sec
- Working condition: 風速 15 m/s, 波高 6 m  
波周期 9 sec

ここで、Survival condition とは、ブイシステムは破壊されることはないが、本来の機能の全部または一部を

時的に失わざるを得ない状態であり、本システムの場合は海面ブイが海面下に没する状態を指す。また Working condition は、正常の機能を保ち得る最悪の状態である。本システムの場合、海上に露出する海面ブイの風圧面積は極めて小さく事実上風による直接の力学的な影響はないが、風による表面吹送流の影響は大きい。

吹送流の大きさは EKMAN (1905) の考えに従って求めた。またその計算に使用する海面の抵抗係数は光易等の実験値 (MITSUYASU and KUSABA, 1985) を使用した。ブイシステムの運動には風方向の成分だけを使用

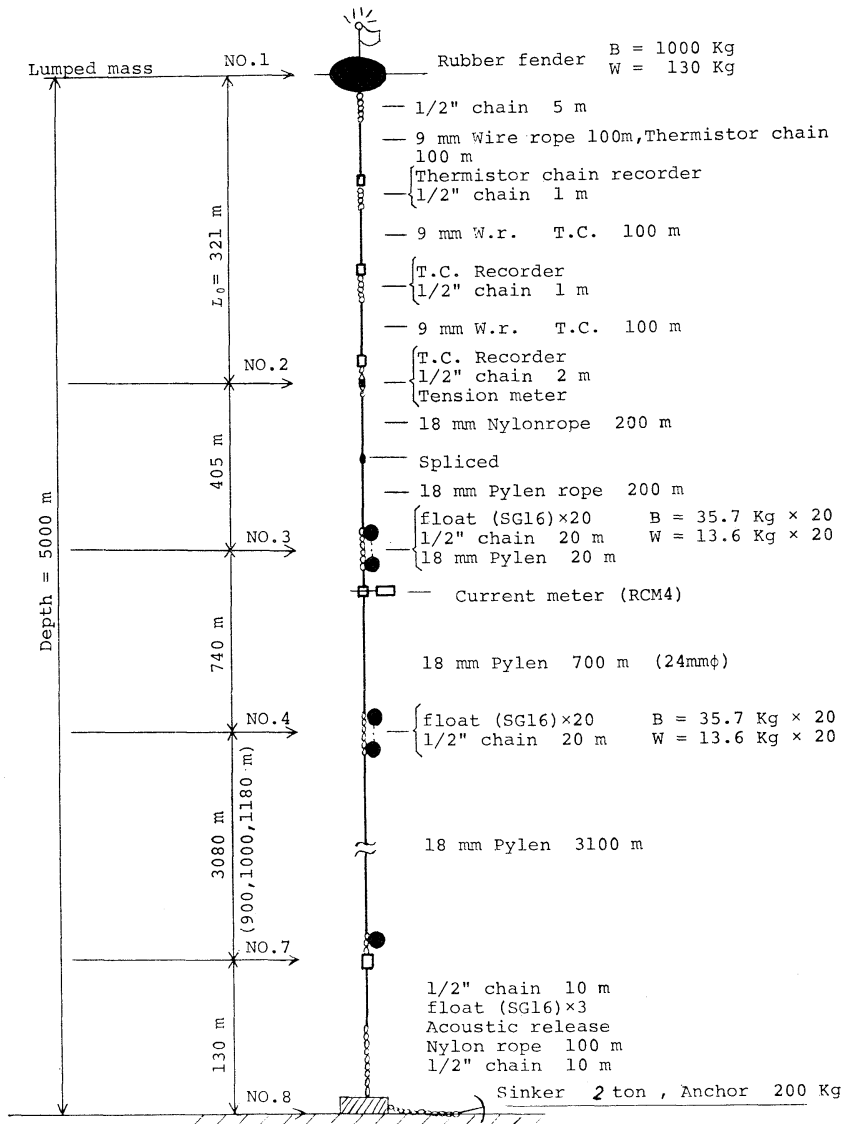


Fig. 3. A design of surface buoy system.

し、直角方向成分は影響が小さいので無視した。

#### 4. ブイシステムの概略

Fig. 3. に本研究で試設計した海面ブイシステムの概略図を示す。海面ブイとしてゴム製のフェンダーを選んだ理由は、

- 船舶等の衝突に極めて強いこと。
- 長さ 300 m のサーミスターチェーンを装着するためには、浮力は最低 1 ton 程度必要である。その程度の金属製ブイは重量も大きく、揚取時に困難が予想されるが、ゴム製の場合には容易であること。
- 今回の設計では Survival condition 時には海面下に没するが、剛体ブイの場合には完全な耐圧構造にする必要があり、ますます重量が大きくなる。ゴム製の場合には自重とサーミスターチェーンの重量に見合う浮力を確保することだけを考えておけば、変形してもよいこと。

等が挙げられる。

また、海面ブイ直下の係留線にはワイヤーロープを使用している。これはサーミスターチェーンを並行して装着するために、伸びるロープは使用できないこと、鎖は重すぎる、ケブラーは耐摩耗性が低いこと等の理由による。ケブラーは、ワイヤーロープに比べて軽量であることが利点であり、今後も検討を続けたい。

ワイヤーロープの下 200 m のナイロンロープと 200 m のパイレンロープはその下のフロート群とサーミスターチェーンが無負荷時(流れも、波もない状態)に接触することを防ぐためと、海面ブイの波浪による運動のフロート群への伝達を減衰させるためのものである。本システムは、5,000 m の水深に対して係留線の初期長さは 4,696 m であり、無負荷時に浮力で伸びてもフロート群とサーミスターチェーンが接触することは考えられないが、合成樹脂ロープはクリープする性質があるので、更に検討が必要である。

第 1 のフロート群の下に流速計が装着されているが、海面ブイの運動は 400 m の合成樹脂ロープ及びフロート群に吸収されるので、この位置がよいと思われる。これより下には 700 m のパイレンロープ、20 コのフロート群、3,100 m のパイレンロープに続き 3 コのフロート、切離装置があり、さらに 100 m のロープと 20 m のチェーンを介してシンカーにつながっている。

使用する材料についてはワイヤーロープは必ず非自転性のものを使用すること、さらに合成樹脂ロープについては非自転性で弾性係数がはっきりしていて、クリープ

することが少ないものを使用する。

その他疲労強度、腐蝕についても注意が必要である。

#### 5. ブイシステムの性能と強度の数値計算による検討

前節で概略設計したブイシステムが所期の性能と十分な強度を持っていることを確認する必要がある。確認の方法は実験によるか、数値計算によるかの 2 通りが考えられる。実験で確認しようとするれば模型と実機の相似性を保つ必要があるが、これは極めて困難である。実験用の波浪水槽の水深は数 m 程度であり水深 5,000 m の海域で使用する海面ブイの模型を作る場合の縮尺比は 1/1,000 にしなければならない。ロープ類の直径は 0.02 mm で海面ブイの浮力は 0.001 g のものを作らなければならない。これでは実験は不可能である。数値計算で確認する場合にはその精度が問題になる。Appendix に示した計算法はその精度を模型実験と実機実験(小寺山等, 1980)で確認しているので本論でも、この計算法によって計算する。以下投入時、係留時の 2 段階(海面ブイシステムの場合は回収時には問題はないので省略する)において数値シミュレーションを行う。各部の強度に関して設計に反映する量は各段階を通して最大の量である。

##### 5.1. 投入時

投入時には、波、風は殆んどなく、環境条件としては潮流のみを考えればよい。潮流分布として Fig. 2 の中で最大流速の場合を想定する。

Fig. 4 はシンカーが落下して行く途中の係留線の形状図である。この段階で留意すべきことは係留線が錯綜して互いからみつく可能性がないかどうかを検討するこ

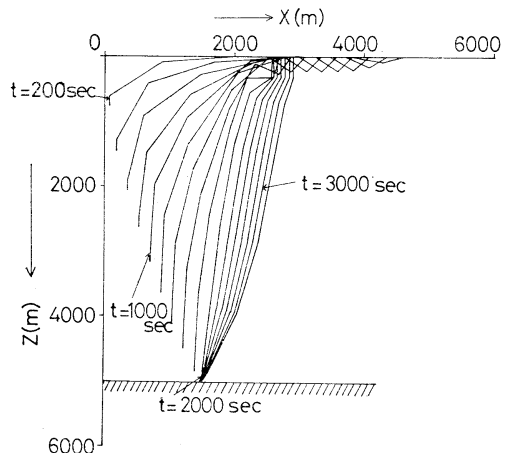


Fig. 4. Profiles of mooring line during deployment.

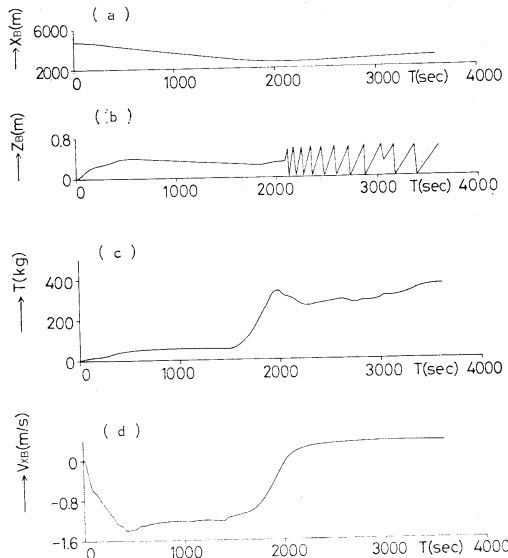


Fig. 5. Motions and tension of surface buoy during deployment. (a) Horizontal displacement of surface buoy. (b) Vertical displacement of surface buoy. (c) Dynamic tension at surface buoy. (d) Horizontal velocity of surface buoy.

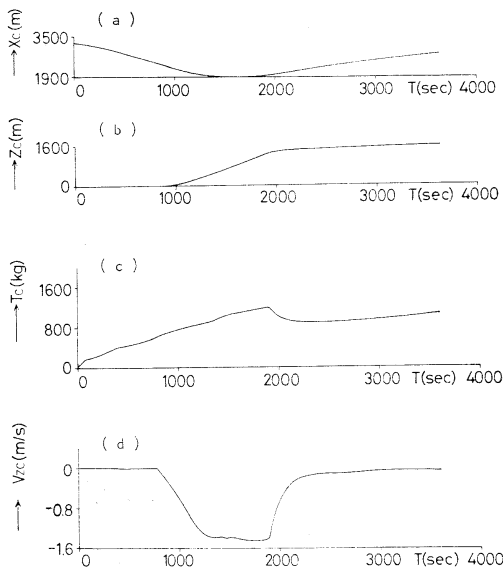


Fig. 6. Motions and tension of current meter during deployment. (a) Horizontal displacement of current meter. (b) Vertical displacement of current meter. (c) Dynamic tension at current meter. (d) Vertical velocity of current meter.

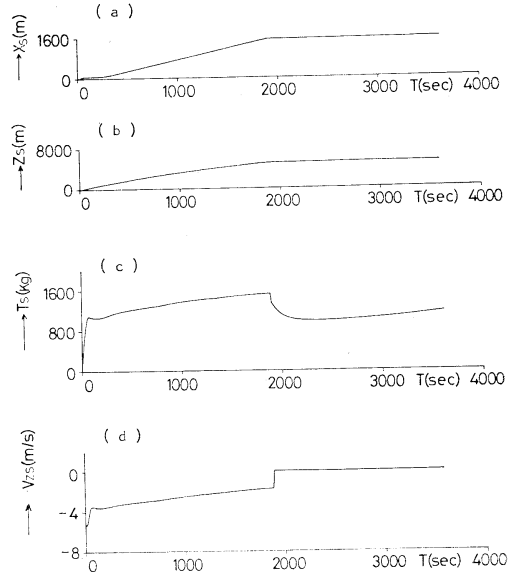


Fig. 7. Motions and tension of sinker during deployment. (a) Horizontal displacement of sinker. (b) Vertical displacement of sinker. (c) Dynamic tension at sinker. (d) Vertical velocity of sinker.

とであるが、Fig. 4はこのシステムにはその心配がないことを示している。またシンカー着底まで約 2,000 秒 (正確には Fig. 7 から 1,940 秒) の時間がかかることがわかる。

Fig. 5は海面ブイの運動と海面ブイ直下のワイヤーロープの張力変動を示している。海面ブイはシンカー投入時の状態から約 2,100 m 上流側に引き寄せられた後、下流に向かって流れ始める (a図)。また投入時には海面ブイのZ方向の運動は 0.6 m 程度で、水没する可能性はないことが b 図からわかる。海面ブイの水平方向の移動速度は最大 1.3 m/s 程度 (d 図) で対水速度は 2 m/s にも達するので、海面ブイシステムに測器を取りつける場合はこの速度から生ずる抗力に十分耐えるものでなければならない。

Fig. 6は流速計部分の運動と張力変動の図である。(c) 図からこの辺りでは投入時に約 1.2 ton の張力が加わることがわかる。また (d) 図から流速計のZ方向の最大速度は約 1.4 m/s であり、流速計のロータ及び方向指示用プレートがこれに耐えるかどうか検討する必要がある。もし、これに耐えられないようであれば、シンカーにパラシュートを装着して落下速度を下げるか、流速計を改造する必要がある。

Fig. 7 はシンカー部分の運動と張力変動の図である。(c) 図から最大張力は約 1.5 ton であることがわかる。またシンカーの落下速度の最大値は (d) 図から約 5.5 m/s でシンカー投入直後に現われることがわかる。

係留システムの形状によっては、次に述べる係留時ではなく投入時に最大の荷重が加わる場合があるから、この段階でも強度的な事を検討する必要がある。各部の相対流速によって生ずる抗力に対して測器等が耐えられるかどうかは使用する測器に関する詳しい情報が必要であるので本論では触れない。ワイヤに加わる最大張力は約 360 kg であり、使用したワイヤーの破断荷重が 7 ton で

あるので十分な強度を有していることがわかる。またパイレンロープに加わる最大張力はシンカー部で約 1.5 ton である。使用した 18 mm のパイレンロープの破断荷重は 5.2 ton であるので安全率は約 3.5 である。安全係数は 3.0 程度を考えているので、投入時に加わる荷重に対しては十分な強度を持っていると考えてよい。

5.2. 係留時

係留時には 3 節で述べたように 2 つの状態について検討しなければならない。その 1 つは Working condition 下でのシステムの性能であり、もう一つは Survival condition 下におけるシステムの安全である。この場合のシステムの性能とは水温計がその所定の鉛直方向の位置をいかに精度よく維持するかである。

5.2.1. Working condition

Fig. 8 は Working condition 時の潮流及び風による吹送流の合成流速の鉛直分布である。Fig. 9 はこのよう

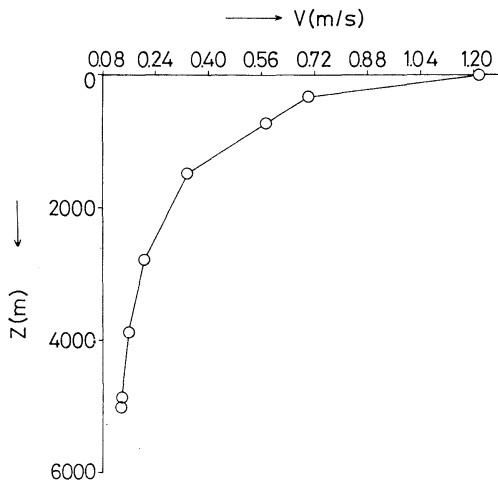


Fig. 8. Current velocity in working condition.

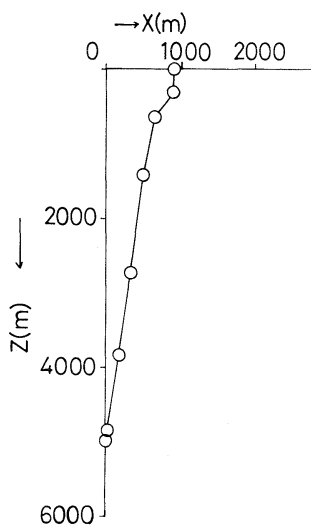


Fig. 9. Static profile of buoy system in working condition.

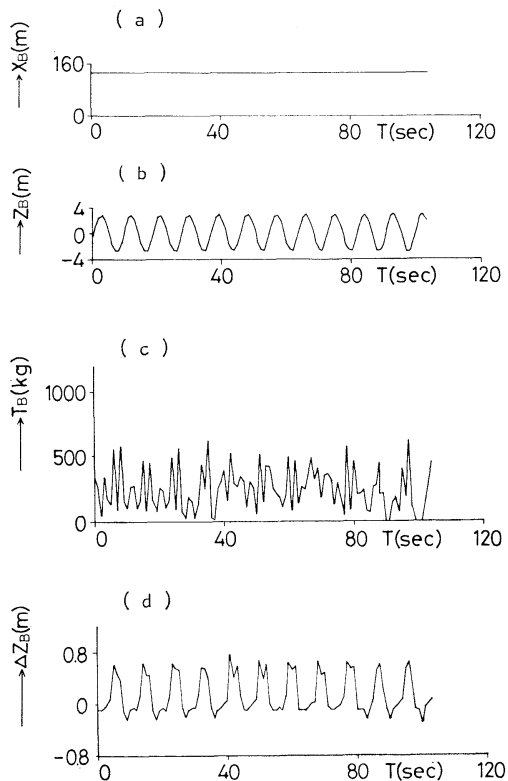


Fig. 10. Motions and tension of surface buoy in working condition. (a) Horizontal displacement of surface buoy. (b) Vertical displacement of surface buoy. (c) Dynamic tension at surface buoy. (d) Submerged depth of surface buoy.

な流れの中でのシステムの静的形状図である。形状図の1番上の○印は海面ブイ。2番目はサーミスターチェーンの下端部, 一番下はシンカーをそれぞれ表現している。Fig. 9から海面ブイは海面上にある事がわかる。またサーミスターチェーンの下端部は流れがない状態よりも0.7mだけ上方に変位したことが計算からわかる。

Fig. 10はFig. 9の流速分布の上にさらに波高6mの波を受けた時の海面ブイの運動及びワイヤーの張力変動を示している。(a)図は海面ブイの水平方向の運動,(b)図は鉛直方向の運動,(d)図は水面下を正とした海面ブイと水面との相対変位 $\Delta Z_B$ を示している。波と流れの相互干渉によって生ずる粘性漂流力によって海面ブイはFig. 9の状態からさらに水平方向に140m程度流される。ブイの半径は約0.6mであり, 水面との最大相対変位は0.8mであるので海面ブイは水面上で見えかく

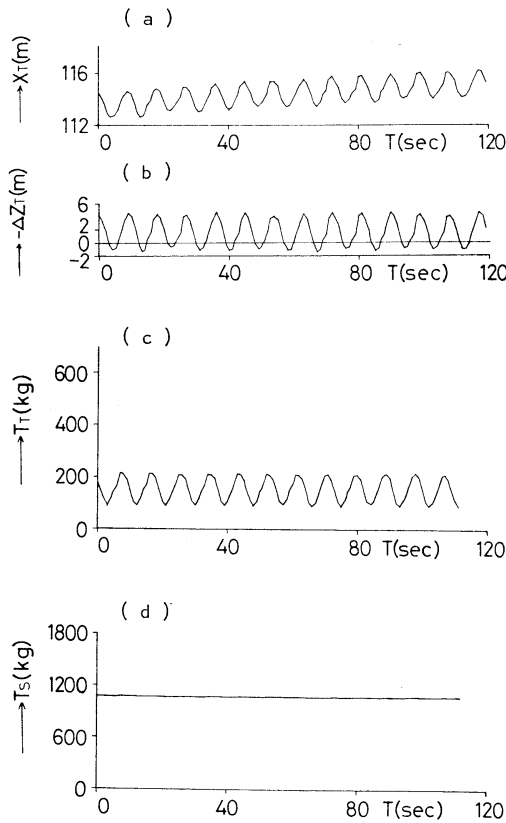


Fig. 11. Motions and tension of thermistor chain in working condition. (a) Horizontal displacement of thermistor chain. (b) Vertical displacement of thermistor chain. (c) Dynamic tension of thermistor chain. (d) Dynamic tension at sinker.

れている状態である。(c)図はワイヤーの張力変動である。システムの軸方向の固有振動が現われている。

Fig. 11はサーミスターチェーン下端部の運動と張力変動である。(a)図から水平方向には海面ブイと同様に113m程度流れている。(b)図はFig. 9の状態からのサーミスターチェーンの鉛直方向への上昇 $\Delta Z_T$ を示す。振幅5.5mの変動成分と1.2mの定常上昇が認められる。変動成分は水温計の応答速度が記録形式を適当に操作することで測定精度への影響をなくすることができる。定常変位はFig. 9の状態での0.7mと合せて1.9mの上昇変位があることになる。この量を小さくするには海面ブイとワイヤーの間に弾性体を挿入する等の対策が必要となる。 (c)図はサーミスターチェーン直下のナイロンロープの張力である。最高200kgの張力を示している。また(d)図はシンカー部での張力であるが, 波浪の影響は殆んど認められない。強度上の検討は次のSurvival conditionの場合に行う。

5.2.2. Survival condition

Survival conditionでは性能よりもシステムの安全についての検討を主に行う。

Fig. 12はSurvival condition時の吹送流と海流の合成流速の鉛直分布である。Fig. 13はこの流れの中でのシステムの静的形状図である。図ではよく見えないが, 海面ブイは8m水面下に没している。

Fig. 14はFig. 13の状態の上にさらに波高30mの波が入射した時の海面ブイの運動とワイヤー張力である。(a)図からわかるように, 海面ブイはもはや水平方向への波による漂流はほとんど行わず, Fig. 13の状

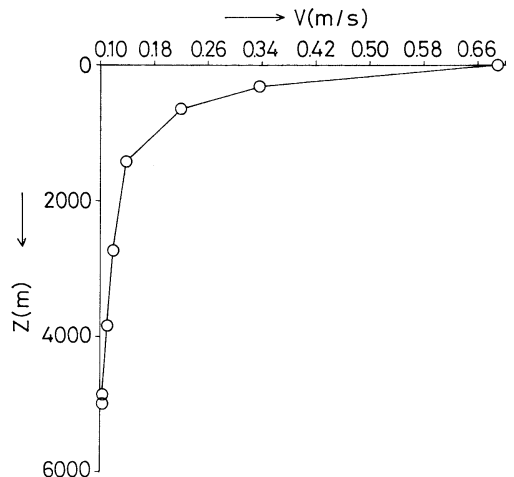


Fig. 12. Current velocity in survival condition.

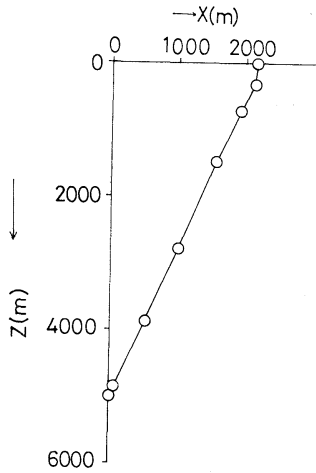


Fig. 13. Static profiles of buoy system in survival condition.

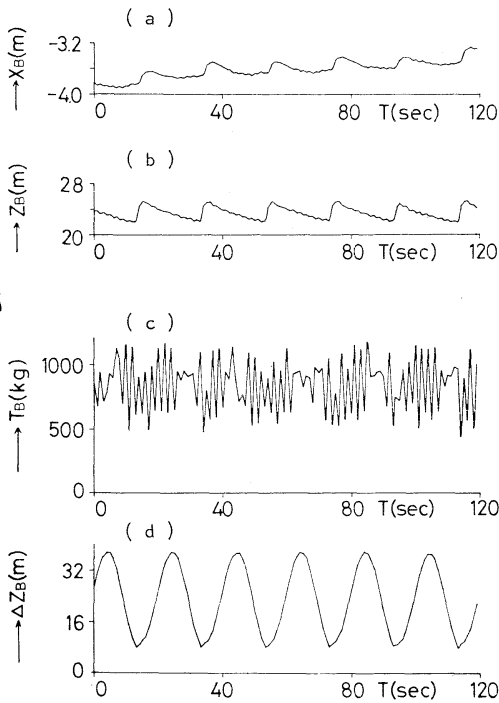


Fig. 14. Motions and tension of surface buoy in survival condition. (a) Horizontal displacement of surface buoy. (b) Vertical displacement of surface buoy. (c) Dynamic tension at surface buoy. (d) Submerged depth of surface buoy.

態とほぼ同じ位置にある。鉛直方向には平均位置が水面下 24 m の位置にあり、振幅 3 m の運動を行っている。

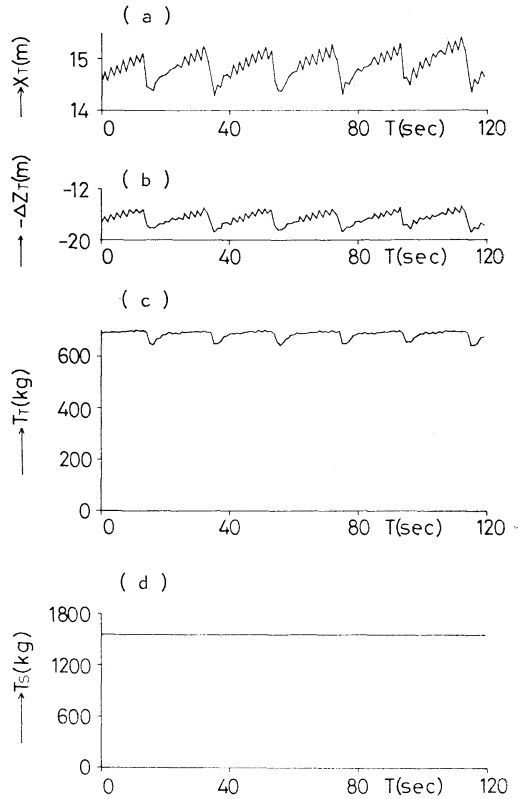


Fig. 15. Motions and tension of thermistor chain in survival condition. (a) Horizontal displacement of thermistor chain. (b) Vertical displacement of thermistor chain. (c) Dynamic tension at thermistor chain. (d) Dynamic tension at sinker.

また (d) 図から波面との相対変位は最高 38 m、最低でも 8 m 波面の下に海面ブイが没している事を示している。したがって海面ブイは与圧を行うことにより 5 気圧までは少なくとも耐圧能力を有する必要がある。(c) 図はワイヤーの張力変動である。軸方向の固有周期で振動しているが最高 1.2 ton 程度の張力が加わっている。使用したワイヤーの破断強度は約 7 ton であるので安全率は約 6 であり、十分の強度がある。

Fig. 15 はサーミスターチェーン最下端の運動と張力及びシンカー部の張力である。(a) 図を見ると Fig. 13 の状態からさらに 14.5 m 流れているが、波周波数の運動は振幅が 0.8 m 程度で極めて小さい。鉛直方向には外力のない状態よりも 20 m 程度沈下し、さらに振幅 3.6 m の運動を行っている。サーミスターチェーンの所での平均張力は 700 kg 程度で変動振幅はそれほど大きくない。

この部分のナイロンロープは 8.4 ton、パイレンロープは 5.2 ton の破断強度を有している。安全率は 7 以上で十分である。(d) 図はシンカー部での張力である。波の影響は殆んどなく一定である。張力は 1.6 ton であって、パイレンロープの破断強度が約 5.2 ton であるから安全率は約 3.3 であり、設計の目標値に達している。

6. ま と め

海洋混合層水温計測用ブイシステムの概略設計について述べた。今後詳細な設計を行うためには、さらに多くのデータを収集する必要がある。すなわち環境条件として

1. 現地の詳しい流速分布
  2. 設置海域のより正確な水深とその計測誤差範囲。
- 性能面からは
3. 水温計の鉛直水平方向の運動許容範囲
  4. 圧力センサーで水深を推定する場合の精度。
- 強度面からは、
5. ワイヤー、シャックル等の腐蝕疲労
  6. 合成樹脂ロープの疲労強度
  7. 高圧、低温下での合成樹脂ロープの性質
  8. 測器の部分的な強度。

その他、さまざまなデータを基礎研究を通して得る必要があると考えられる。

終りに本研究の遂行に当り、終始有益な助言と討論を寄せて戴いた OMLET グループの方々に深く感謝いたします。また数値計算と図面の整理に協力していただいた応用力学研究所中村昌彦助手に感謝します。

本研究の一部は昭和60年度文部省科学研究費によることを付記し、関係者の方々に礼を申し上げます。

文 献

CLAY, P.R. (1983): The LOTUS disc mooring. Woods Hole Oceanogr. Inst. Contr. No. 5354, 1-6.

EKMAN, V. W. (1905): On the influence of the earth's rotation on ocean currents. Ark. f. math. Astr. Och. Fysik.

KAWATAKE, K., T. SUHARA, K. TAKAHASHI, M. OHKUSU, W. KOTERAYAMA and Y. TAKAO (1986): A subsurface buoy system for measuring the Kuroshio. Proc. 5th OMAE, Tokyo, Japan, 374-381.

小寺山 亘, 長浜智基, 石井秀夫 (1980): 海洋計測用ブイシステムの運動の数値計算法について. 九州大学応用力学研究所所報, 53, 19-36.

MITSUYASU, H. and T. KUSABA (1985): Drag coefficient over water surface under the action of strong current. Natural Disaster Science, 6, 43-50.

THRESHER, R.W. and J.H. NATH (1975): Anchorlast deployment simulation by lumped masses. J. Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, 101, Paper 11709.

友田好文, 高野健三 (1983): 「海洋」地球科学講座 4. 共立出版, 125-130.

Appendix 数値計算法

数値計算法としては有限要素法, ランプドマス法が考えられる。しかしながら, ブイシステムを構成する係留線の変形量は極めて大きく複雑であるために, 変位のモードを固定して考える有限要素法は適用が困難であり, ブイシステムの形状がランプドマス法の概念になじみやすいので, 計算はすべてランプドマス法によった。計算の詳細は, ブイシステムの形状, 対象となる運動の形態によって異なるが基礎的な考え方は共通しているので, まずそれを説明する。

A.1. 数値計算の基礎式

THRESHER ら (1975) はランプドマス法により, 海面ブイを係留するためのアンカーをアンカーラスト方式で投入する際の係留線の形状, 張力を計算した。本論でも計算法の基本的な考え方は同様であるが, 計算の対象の種類が多いのでより汎用的に拡張した。

Fig. 3 に示すようなブイシステムに加わる外力は地面からの反力と流体力(浮力, 抗力, 付加質量力), 重力で

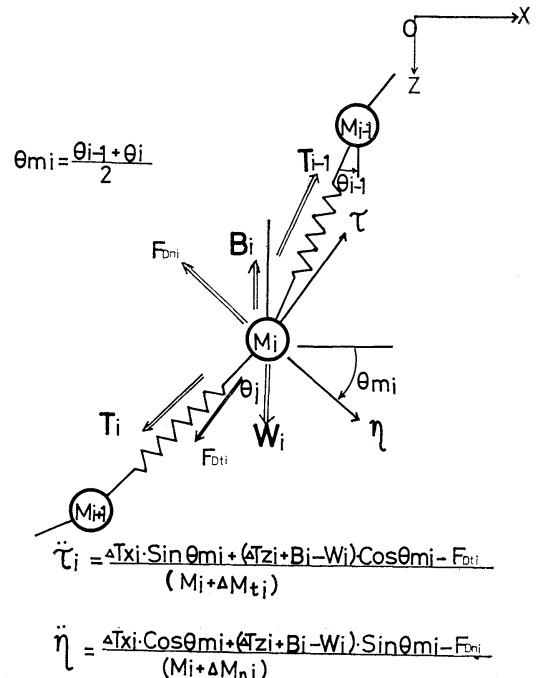


Fig. A-1. Concept of lumped mass method.



ある。それらを Fig. A-1 に示すようにブイシステムの何点かに集中的に加わると仮定して各点の運動を求める。ただし各計算点間は係留線によって結ばれているので各点に対する外力としては係留線の張力も加わる事となる。同時に係留線に加わる流体力、重力は計算点に加わると考える。各部の質量はすべて計算点に集中しているとするので、計算点としてはできるだけフロート、流速計、シンカーのようにもともと大きな質量をもつ部分を選ぶと実際のブイシステムと計算のモデルが近くなる。計算点に加わる流体力はそれを構成する種々の物体に加わる流体力の和として求められる。一般に物体の抗力係数、付加質量係数は流れに対する角度によって変化するので Fig. A-1 に示すように係留線の接線方向と法線方向に分けて考えると便利である。 $i$  番目の計算点に加わる接線方向の抗力  $F_{Dti}$  と法線方向の抗力  $F_{Dni}$  は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} F_{Dti} &= \frac{1}{2} \rho |v_{ti}| v_{ti} A_{ti} C_{Dti}, \\ F_{Dni} &= \frac{1}{2} \rho |v_{ni}| v_{ni} A_{ni} C_{Dni}. \end{aligned} \right\} \quad (A-1)$$

ただし  $\rho$ : 流体密度,  $v_{ti}$ : 計算点における流体に対するブイシステムの相対速度の接線方向成分,  $v_{ni}$ : 計算点における流体に対する相対速度の法線方向成分。

$A_{ti} C_{Dti}$  は以下のようにして求める。 $i$  番目の計算点がたとえば係留線、フロート、流向流速計からなるとすれば、

$$A_{ti} C_{Dti} = A_{tL} C_{DtL} + A_f C_{Df} + A_{tm} C_{Dtm} \dots (A-1)$$

ただし、 $A_{tL}$ ,  $A_f$ ,  $A_{tm}$  はそれぞれ係留線、フロート、流向流速計の接線方向投影面積,  $C_{DtL}$ ,  $C_{Df}$ ,  $C_{Dtm}$  は抵抗係数である。 $A_{ni} C_{Dni}$  も同様にして求める。

Fig. A-1 に示すように  $i$  番目の係留線の傾斜角を  $\theta_i$  とすれば計算点での係留線に対する接線の傾斜角  $\theta_{mi}$  は近似的に次式で求められる。

$$\theta_{mi} = (\theta_{i-1} + \theta_i) / 2. \quad (A-2)$$

ただし  $i=1$  の場合は以下のように定める。

$$\theta_{m1} = \theta_1 \quad (A-3)$$

空間に固定した座標軸を  $X-Z$  とし海流は  $X$  方向に  $u_0(z)$  の流速で流れているとすれば

$$\left. \begin{aligned} v_{ti} &= \dot{\tau}_i - u_{0i} \sin \theta_{mi}, \\ v_{ni} &= \dot{\eta}_i - u_{0i} \cos \theta_{mi}. \end{aligned} \right\} \quad (A-4)$$

ただし、 $\dot{\tau}_i$ ,  $\dot{\eta}_i$ :  $i$  番目の計算点の接線、法線方向速度,  $u_{0i} = u_0(Z_i)$ .

フロートのように流れに対する角度によって抵抗係数が変化しないものは (A-2) 式中においても接線方向と法線方向で同じ係数を用いる。付加質量力も抗力と同様に考えて各要素の付加質量を加えさせて

$$\left. \begin{aligned} F_{Mti} &= \rho \ddot{\tau}_i V_i C_{Mti} = \Delta M_{ti} \ddot{\tau}_i, \\ F_{Mni} &= \rho \ddot{\eta}_i V_i C_{Mni} = \Delta M_{ni} \ddot{\eta}_i. \end{aligned} \right\} \quad (A-5)$$

ただし  $F_{Mti}$ ,  $F_{Mni}$ : 計算点  $i$  に加わる接線、法線方向の付加質量力,  $\ddot{\tau}_i$ ,  $\ddot{\eta}_i$ : 計算点  $i$  の加速度の接線、法線方向成分,  $V_i$ : 排水体積,  $C_{Mt}$ ,  $C_{Mn}$ : 付加質量係数,  $\Delta M_{ti}$ ,  $\Delta M_{ni}$ : 付加質量。

また張力  $T_i$  は計算点間の係留線の伸びを  $\Delta l_i$  とすれば次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} T_i &= E_i S_i \frac{\Delta l_i}{l_i}, \quad (T_i \geq 0), \\ \Delta l_i &= \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2} - l_i. \end{aligned} \right\} \quad (A-6)$$

ただし  $E_i$ : 係留線の弾性定数,  $S_i$ : 係留線の断面積,  $l_i$ : 係留線の無負荷時の長さである。また  $\Delta l_i$  が負の場合には  $T_i = 0$  とする。

係留線の張力によって計算点  $i$  に加わる水平方向、鉛直方向の力  $\Delta T_{xi}$ ,  $\Delta T_{zi}$  は結局次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_{xi} &= T_{xi-1} - T_{xi} = T_{i-1} \sin \theta_{i-1} - T_i \sin \theta_i, \\ \Delta T_{zi} &= T_{zi-1} - T_{zi} = T_{i-1} \cos \theta_{i-1} - T_i \cos \theta_i. \end{aligned} \right\} \quad (A-7)$$

$i=1$  の場合は

$$\left. \begin{aligned} \Delta T_{x1} &= T_{x1} = -T_1 \sin \theta_1, \\ \Delta T_{z1} &= T_{z1} = -T_1 \cos \theta_1. \end{aligned} \right\} \quad (A-7)'$$

(A-1)~(A-7) 式を使って計算点  $i$  の運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} (M_i + \Delta M_{ti}) \ddot{\tau}_i &= \Delta T_{xi} \sin \theta_{mi} \\ &+ (\Delta T_{zi} + B_i - W_i) \cos \theta_{mi} - F_{Dti}, \\ (M_i + \Delta M_{ni}) \ddot{\eta}_i &= \Delta T_{xi} \cos \theta_{mi} \\ &- (\Delta T_{zi} + B_i - W_i) \sin \theta_{mi} - F_{Dni}. \end{aligned} \right\} \quad (A-8)$$

ただし  $W_i$ ;  $B_i$ : 計算点  $i$  の重量, 浮力,  $M_i = \frac{W_i}{g}$ .

以上のようにして  $\tau_i$ ,  $\eta_i$  が求まれば  $\ddot{X}_i$ ,  $\ddot{Y}_i$  は次式で求められる。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{X}_i &= \ddot{\tau}_i \sin \theta_{mi} + \ddot{\eta}_i \cos \theta_{mi}, \\ \ddot{Z}_i &= -\ddot{\tau}_i \cos \theta_{mi} + \ddot{\eta}_i \sin \theta_{mi}. \end{aligned} \right\} \quad (A-9)$$

$\ddot{X}_i(t)$ ,  $\ddot{Z}_i(t)$  を与えて  $\ddot{X}_i(t+\Delta t)$ ,  $\ddot{Z}_i(t+\Delta t)$  を求める数値積分法は数多くあるが、ここでは予測子・修正法を用いた。予測子としては修正オイラーの公式、修正子として台形公式を用い、誤差の評価を行いながら積分を進め、誤差が制限値を越した場合は時刻  $\Delta t$  を  $\Delta t/2$  にして計算を進めた、また時刻  $\Delta t$  を変更する場合と、 $t=0$

における積分はルンゲ・クッタ・ギル法によった。

A.2. 投入の計算

A.2.1. 初期値

計算の初期値は船上のシンカー位置を  $X-Z$  座標系の原点とし、流速分布  $u_0(Z)$  と船速  $\dot{X}_s$  を与えれば、計算点に加わる水平方向の力  $F_H$ 、鉛直方向の力  $F_V$  は平衡状態であり、次式で表わされる。ただし今回の計算では鉛直方向の流速は 0 としている。またこの状態では係留線は概ね水面に浮かんでいる。

$$F_H = \Delta T_{xi} + \frac{1}{2} \rho A'_i C_{Di} |u_{0i} - \dot{X}_s| (u_{0i} - \dot{X}_s) = 0,$$

$$F_V = \Delta T_{zi} + B'_i - W_i = 0.$$

$\dot{X}_i$  は船速、 $u_{0i}$  は流速である。また  $B'_i$  は計算点の浮力であるが、水面に浮んでいる場合は次の関係が成り立つ。

$$B'_i = W_i - \Delta T_{zi}. \tag{A-11}$$

$B'_i < B_i$  の場合は有効投影面積  $A'_i$  は次式で求める。

$$A'_i = A_i \times \frac{B'_i}{B_i}. \tag{A-12}$$

また  $B'_i$ 、 $A'_i$  の上限値は  $B_i$ 、 $A_i$  である。(10) 式を使って  $i=1$  から次々に  $T_i$  を求めて、次に  $\theta_i$  を定め、以下くり返し計算で計算点の位置 ( $X_i$ 、 $Z_i$ ) と張力 ( $T_{xi}$ 、 $T_{zi}$ )、傾斜角  $\theta_i$  を求める。その場合に  $\theta_i$  の初期値として  $u_{0i} - \dot{X}_s > 0$  の場合は  $\pi/2$ 、 $u_{0i} - \dot{X}_s < 0$  の場合は  $-\pi/2$  を与える。

A.2.2. シンカー落下中

シンカー落下中は次々とフロート、流速計等を引き込んで行くから、各計算点の浮力と有効抵抗面積は変化する。また水面上にある時のフロート等に加わる造波抵抗もかなり大きいと思われるが、今回の計算では無視した。計算に使用する抵抗係数、付加質量係数等は各種便覧によって求め、複雑な形状のものは類似したものから推定した。

A.2.3. シンカー着底とそれ以後

計算点の数を  $N$  個とすれば、シンカーは  $N$  番目の計算点である。計算の過程で  $Z_n =$  水深となった瞬間から、 $Z_n$ 、 $X_n$  は固定し、 $\dot{X}_n$ 、 $\dot{Z}_n$ 、 $\ddot{X}_n$ 、 $\ddot{Z}_n$  は 0 とする。その他の計算点はそのまま計算を続行する。

A.3. 係留中のブイシステム

海面ブイシステムの場合は潮流変動の他に風、波による外力が加わる。海面ブイは風による力は受けにくい形をしているので風による吹送流の影響と波力を受けるとして計算を行う。その場合海面ブイに加わる外力は粘性

抗力、付加質量力、圧力勾配による力及び造波減衰力であるが、ブイに比較して波長が十分に長い場合は造波減衰力は他の力に比べて小さい。風と波の影響を受ける流場はシンカーの真上の水面上に原点をとって表わせば次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} u_x &= u_0(Z) + \frac{\omega H}{2} e^{-KZ} \operatorname{sni}(KX - \omega t) \\ &+ \frac{\tau_w}{\rho \sqrt{Gf}} e^{-Z/D} \cos\left(\frac{Z}{D} + \frac{\pi}{4}\right), \\ u_z &= \frac{\omega H}{2} e^{-KZ} \cos(KX - \omega t). \end{aligned} \right\} \tag{A-13}$$

ただし、 $u_0(Z)$  は海流による流れであり、Fig. 2 で求められる。 $\omega$ ; 波の円振動数、 $H$ ; 波高、 $K = \omega^2/g$ 、 $X-Z$ ; 水面上に原点を置き、 $Z$  軸を下向にとった座標軸、 $u_x$ ; 水平方向の流速、 $u_z$ ; 鉛直方向流速  $G$ ; 鉛直渦拡散係数、 $\tau_w$ : 風の応力、 $f$ ; コリオリのパラメーター、 $D$ ; 摩擦深度  $G$ 、 $\tau_w$ 、 $f$ 、 $D$  等の求め方は友田、高野 (1983) の方法によった。

$$\left. \begin{aligned} \dot{u}_y &= -\frac{\omega^2 H}{2} e^{-KZ} \cos(KX - \omega t), \\ \dot{u}_z &= \frac{\omega^2 H}{2} e^{-KZ} \sin(KX - \omega t). \end{aligned} \right\} \tag{A-14}$$

粘性抗力は  $u_x$ 、 $u_z$  を  $\tau$ 、 $\eta$  方向の流速  $u_t$ 、 $u_n$  に変換し、 $\dot{\tau}$ 、 $\dot{\eta}$ 、 $u_t$ 、 $u_n$  から  $v_t$ 、 $v_n$  を求めて (A-1) 式に代入し、計算する。その粘性抗力  $F_{Dti}$ 、 $F_{Dni}$  を (A-8) 式に代入して求めた  $\ddot{\tau}_i$ 、 $\ddot{\eta}_i$  を (A-9) 式を使って  $\ddot{X}'_i$ 、 $\ddot{Z}'_i$  に変換した後に、波粒子の運動による付加質量力と圧力勾配による力の影響を次のように取り入れる。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{X}_i &= \ddot{X}'_i + \frac{C_{Mx} \rho V_i \dot{u}_x}{(M + \Delta M_{Xi})}, \\ \ddot{Z}_i &= \ddot{Z}'_i + \frac{C_{Mz} \rho V_i \dot{u}_z}{(M + \Delta M_{Zi})}, \end{aligned} \right\} \tag{A-15}$$

ただし、 $\Delta M_{Xi}$ 、 $\Delta M_{Zi}$ :  $X$ 、 $Z$  方向の運動による付加質量、 $C_{Mx}$ 、 $C_{Mz}$ : 質量力係数

(A-15) 式は全部の計算点に適用されるが、波及び吹送流の影響を強く受けるのは海面ブイと海面付近のフロートだけである。また係留線の傾斜が大きくない場合、 $\Delta M_{Xi}$ 、 $\Delta M_{Zi}$  は  $\Delta M_{ti}$ 、 $\Delta M_{ni}$  でそれぞれ近似できる。

A.4. ブイシステムの揚収

揚収の計算は係留中の運動計算プログラムにおいて、シンカーの直上の係留線の張力を 0 とすればよい。さらに水面上に浮かび上った部分の浮力及び有効抵抗面積は投入の計算で述べた方法で計算する。海面ブイシステムの場合には海面ブイが海面上にあるので揚収の計算はそれほど重要ではない。

## Grid size and the biharmonic form for subgrid-scale diffusion in a finite difference vorticity equation in the ocean\*

Satoshi MURATA\*\* and Kenzo TAKANO\*\*

The finite difference vorticity equation in the ocean can not be solved unless the grid size is smaller than a critical value depending on the coefficient of subgrid-scale diffusion. A previous paper (TAKANO, 1975) deals with the case where the conventional harmonic form is used for the subgrid-scale diffusion. Recently much more scale-selective biharmonic form is sometimes used instead of the harmonic form.

In this context, the present note is concerned with the relationship between the grid size and the coefficient of subgrid-scale diffusion in biharmonic form.

A linear, one-dimensional vorticity equation on a  $\beta$ -plane is given by

$$B \frac{\partial^6 \phi}{\partial x^6} + \beta \frac{\partial \phi}{\partial x} + \text{curl } \tau = 0, \quad (1)$$

where the  $x$ -axis is directed eastward,  $\phi$  is the mass transport stream function,  $\tau$  is the wind stress and  $B$  is the coefficient of subgrid-scale diffusion in biharmonic form.

External forcing,  $\text{curl } \tau$ , is of no importance for the purpose of the present study, so that it is ignored. The centered finite difference analog of (1) is

$$\phi_{n+3} - 6\phi_{n+2} + (15 + d^2/2)\phi_{n+1} - 20\phi_n + (15 - d^2/2)\phi_{n-1} - 6\phi_{n-2} + \phi_{n-3} = 0, \quad (2)$$

where  $d = l\Delta x$ ,  $\Delta x$  is the grid size,  $l = (B/\beta)^{-1/5}$ , and subscripts  $(n \pm 3)$ ,  $(n \pm 2)$ ,  $(n \pm 1)$  and  $n$  refer to  $(n \pm 3)$ ,  $(n \pm 2)$ ,  $(n \pm 1)$  and  $n$ th grid points.

If the amplification factor  $\delta$  is introduced, then  $\phi_{n+1} = \delta\phi_n$ . Eq. (2) becomes

$$\delta^6 - 6\delta^5 + (15 + d^2/2)\delta^4 - 20\delta^3 + (15 - d^2/2)\delta^2 - 6\delta + 1 = 0. \quad (3)$$

The amplification factors  $\delta_m$  ( $m=1, \dots, 6$ ) derived from the differential vorticity equation ( $B\delta^6\phi/\partial x^6 + \beta\delta\phi/\partial x = 0$ ) are given by  $\exp(\sigma_m d)$ , where  $\sigma_m$  are the roots of

$$\sigma^6 + \sigma = 0,$$

$$\begin{aligned} \text{i.e., } \sigma_1 &= 0, \\ \sigma_2 &= -1, \\ \sigma_{3,4} &= p \pm iq, \\ \sigma_{5,6} &= r \pm is, \end{aligned} \quad (4)$$

where  $p = \cos(3\pi/5)$ ,  $q = \sin(3\pi/5)$ ,  $r = \cos(\pi/5)$  and  $s = \sin(\pi/5)$ .

The amplification factors  $\delta_m$  and  $\delta_m'$  are shown for  $d$  in Figs. 1 and 2. The real and imaginary parts of them are shown if they are complex numbers.

One of the amplification factors  $\delta_1$  obtained from (3) is 1, which is identical with  $\delta_1'$  ( $= \exp(\sigma_1 d)$ ). Both are not figured. There is no significant difference between  $\delta_2$  and  $\delta_2'$ . The imaginary part of  $\delta_5$  and  $\delta_6$  is very close to that of  $\delta_5'$  and  $\delta_6'$ , though the real part  $R(\delta_{5,6})$  is fairly larger than  $R(\delta_{5,6}')$  for  $d > 2.0$ .

The amplification factors  $\delta_3$  and  $\delta_4$  are close to each other for  $d < 1.5$ , and not so far from each other for  $1.5 < d < 2.57$ . However,  $\delta_{3,4}$  turn out to be real, negative numbers for  $d \geq 2.57$ , while  $\delta_3'$  and  $\delta_4'$  are complex numbers, irrespective of  $d$ . The negative amplification factors give rise to false computational oscillation with a wave length of  $2d$ .

Therefore, the condition required of  $d$  is

$$d \leq 2.57 \quad (\Delta x_B \leq 2.57 (B/\beta)^{1/5}). \quad (5)$$

When the subgrid-scale diffusion is written as

\* Received April 10, 1986

\*\* Institute of Biological Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki-ken, 305 Japan

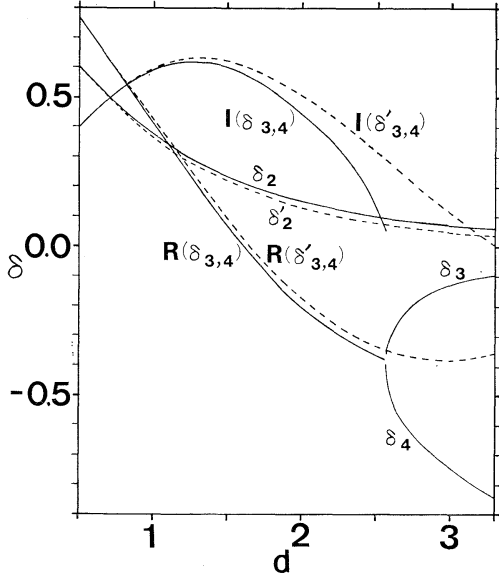


Fig. 1. Amplification factors  $\delta_m$  and  $\delta_m'$  ( $m=2, 3, 4$ ) for  $d$ . The real and imaginary parts  $R$ ,  $R'$ ,  $I$  and  $I'$  are depicted if  $\delta_m$  and  $\delta_m'$  ( $m=3, 4$ ) are complex numbers.

$A\partial^4\phi/\partial x^4$  instead of  $-B\partial^6\phi/\partial x^6$ , the required condition is

$$\Delta x_A \leq 2.75 (A/\beta)^{1/3}, \quad (6)$$

as shown in the paper cited above (TAKANO, 1975). Subscripts  $A$  and  $B$  refer to harmonic and biharmonic form.

One way of determining  $B$  from  $A$  is shown by SEMTNER and MINTZ (1977). If damping brought about by  $-B\partial^6\phi/\partial x^6$  is made equal to that brought about by  $A\partial^4\phi/\partial x^4$  at a wave length of  $2\Delta x$ , the shortest wavelength resolvable by the grid size  $\Delta x$ , then it follows that

$$B = A(\Delta x)^2/4, \quad (7)$$

which gives, by use of (5),

$$\Delta x_B < 3.04 (A/\beta)^{1/3}. \quad (8)$$

Comparison of (8) with (6) shows that for a given  $A$  (or  $B$ ) the grid size can be larger by about 10% with biharmonic form than with harmonic form.

Next, the inequality (5) or (8) is rewritten in terms of the width of the western boundary current  $W_B$ .

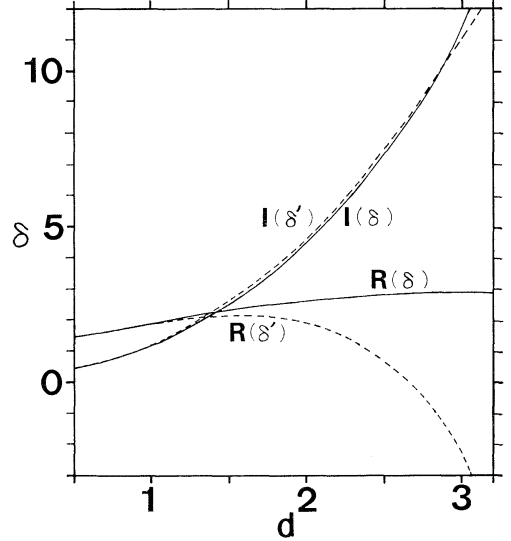


Fig. 2. Same as Fig. 1 except for  $m$  ( $m=5, 6$ ).

If the width of the ocean  $L$  is much larger than  $l^{-1}$ , then the solution of Eq. (1) is given by

$$\begin{aligned} \phi = & -\frac{\text{curl } \tau}{\beta} [x-L + Le^{-lx}/(2p+2)] \\ & - (2p+1)Le^{plx} \cos(qLx + 2\pi/5) / \{2(p+1)p\} \\ & - e^{rL(x-L)} \{2r \cos\{sl(x-L)\} / l - (2r^2-1) \\ & \times \sin\{sl(x-L)\} / sl\}, \end{aligned} \quad (9)$$

with the boundary conditions

$$\phi = \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \text{ for } x=0 \text{ and } L.$$

The width of the western boundary current approximately calculated from the fourth term in the parentheses in (9) is  $W_B \doteq 4.29/l$ . If the 3rd term is taken into account, the width is more accurately given by

$$W_B \doteq 4.34/l, \quad (10)$$

which leads to

$$\Delta x_B < 0.592 W_B. \quad (11)$$

In the case of harmonic form, the width of the western boundary current  $W_A$  is approximately

$$W_A \doteq 2\pi/\sqrt{3} \cdot (A/\beta)^{1/3}, \quad (12)$$

which leads to

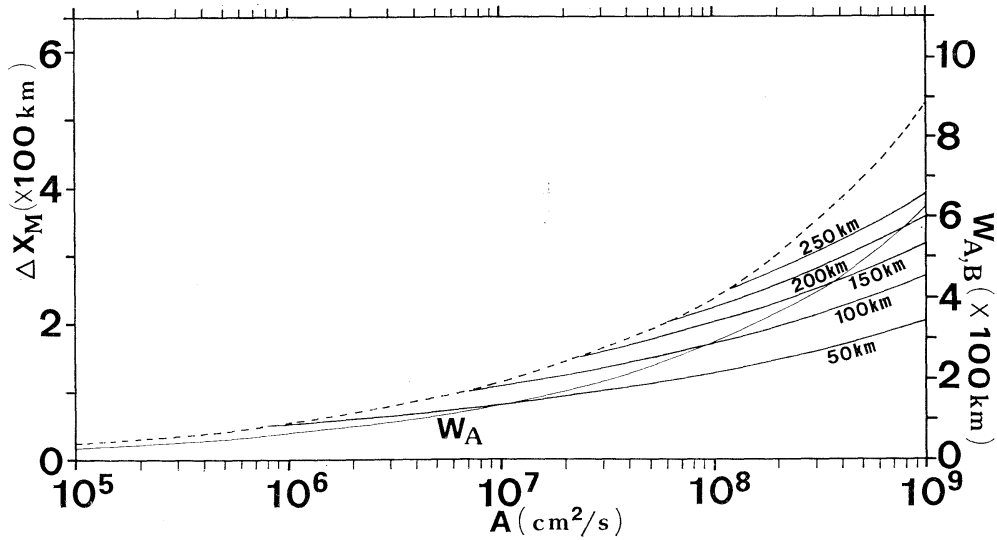


Fig. 3. Maximum grid size  $\Delta x_M$  and the width of the western boundary current  $W_B$  against the coefficient of diffusion  $A$  for  $\Delta x = 50, 100, 150, 200, 250$  km. The maximum grid size for a specified  $A$  is shown by a broken line. The width of the western boundary current  $W_A$  in the case of harmonic form is also shown by a thin line.

$$\Delta x_A < 0.76 W_A. \quad (13)$$

Figure 3 shows the maximum grid size  $\Delta x_M$  ( $=2.57(B/\beta)^{1/5}$ ) as a function of  $A$  and  $\Delta x$  for  $\beta = 2 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ .

The coefficient of diffusion should be chosen in such a way that a specified grid size is less than  $\Delta x_M$ . The broken line shows  $\Delta x_M (=3.04(A/\beta)^{1/3})$ , the maximum grid size for a specified  $A$ . The scale for the width of the western boundary current ( $=\Delta x_M/0.592$ ) is also given at the right margin.

For comparison, the width of the boundary current  $W_A$  is also shown by using Eq. (12).

Although the biharmonic form complicates the formulation of the boundary conditions, it is not only much more scale-selective than the conventional harmonic form but also allows a larger grid size for a specified coefficient of diffusion.

### References

- SEMTNER, A.J. and Y. MINTZ (1977): Numerical simulation of the Gulf Stream and mid-ocean eddies. *J. Phys. Oceanogr.*, **7**, 208-230.
- TAKANO, K. (1975): Relationship between the grid size and the coefficient of lateral eddy viscosity in the finite difference computation of linear vorticity equation in the ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **31**, 105-108.

## 海の差分渦度方程式での格子間隔と重調和型うず粘性係数

村田 聡・高野 健三

要旨: 海の渦度方程式を差分化して解く場合, 格子間隔をうず粘性係数に依存したある値より小さくしないと解が得られない。規模選択性の強い重調和型のうず粘性を扱う。重調和型を使うと調和型粘性の場合に比べて格子間隔をやや広くとることができる。

## 千葉県小湊地先における標識メガイの成長\*

小池 康之\*\*, 石渡 直典\*\*\*

### Growth of tagged abalone *Haliotis sieboldii* in Kominato, Chiba Prefecture\*

Yasuyuki KOIKE\*\* and Naonori ISHIWATA\*\*\*

**Abstract:** The tagging experiments of the abalone *Haliotis sieboldii* REEVE have been conducted from September 1965 to January 1967 at a site in the marine preserves of the Kominato Marine Biological Laboratory, Tokyo University of Fisheries, Chiba Prefecture. Sixty four abalones were tagged and released at the site, of which 10 were recaptured at the same site in a year after release. Using the data of time intervals from release to recapture and the shell length at the times of release and recapture, it is tried to estimate the parameters  $k$  and  $l_{\infty}$  of VON BERTALANFFY's growth equation;

$$l_t = l_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)}),$$

where  $t$  denotes a given time and  $l_t$  shell length at the time. The following three methods provide us estimates of the parameters in application of WALFORD (1946), GULLAND and HOLT (1959) and FABENS (1965).

#### 1. 緒 言

アワビ類の成長は殻長頻度分布の解析, 年齢形質 (輪紋) の判読, 標識放流, 飼育実験などによって求められている。本研究では千葉県小湊地先においてメガイ (*Haliotis sieboldii* REEVE) を標識放流し, 放流から再捕までの期間 (以後放流期間という) 中の殻長の成長量を求め, 殻長成長について調べたので, その概要を報告する。

#### 2. 調査方法

**調査 1** 千葉県安房郡天津小湊町内浦, 東京水産大学小湊実験場地先の禁漁区内のアワビ類の生息場所である面積 1,123 m<sup>2</sup> の 1 海区 (Fig. 1) を調査場所に選定した。1965年 8 月, スキューバ潜水によって海区内の環境調査を行った。海区内に点在する大型の岩に, 番号を刻

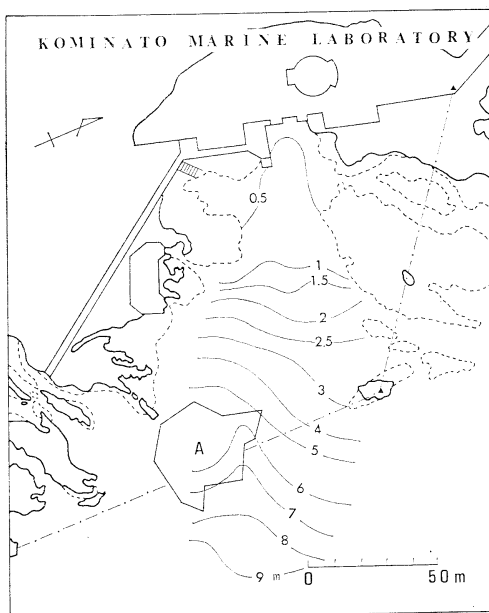


Fig. 1. Experimental area in the marine preserves of the Kominato Marine Biological Laboratory, Tokyo University of Fisheries, Chiba Prefecture. Polygon (A), study site; solid lines, tide line at mean high water; broken lines, tide line at mean low water; chain lines, limit of preserves.

\* 1986年 5月12日受理 Received May 12, 1986

\*\* 東京水産大学坂田実験実習場, 〒294-03 千葉県館山市坂田

Banda Marine Laboratory, Tokyo University of Fisheries, Banda, Tateyama-shi, Chiba Prefecture, 294-03 Japan

\*\*\* 東京水産大学, 〒108 東京都港区港南 4-5-7

Tokyo University of Fisheries, Konan 4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

Table 1. Records of the tagging experiments of *H. sieboldii*. See text for further detail.

Release		Recapture		Elapsed days	Growth (cm)	Growth/year (cm)
Date	Shell length (cm)	Date	Shell length (cm)			
Sept. 2, 1965	7.90	Oct. 18, 1966	9.38	412	1.48	1.31
Sept. 2, 1965	8.31	Oct. 18, 1966	10.38	412	2.07	1.83
Sept. 2, 1965	9.00	Oct. 26, 1966	10.86	420	1.86	1.62
Sept. 2, 1965	13.10	Oct. 18, 1966	13.86	412	0.76	0.67
Sept. 2, 1965	15.60	Oct. 18, 1966	16.06	412	0.46	0.41
Sept. 3, 1965	9.99	Oct. 18, 1966	12.35	411	2.36	2.10
Sept. 3, 1965	10.30	Oct. 18, 1966	11.60	411	1.30	1.15
Sept. 3, 1965	11.30	Dec. 28, 1966	13.32	482	2.02	1.53
Sept. 4, 1965	9.90	Oct. 18, 1966	11.60	410	1.70	1.51
Sept. 4, 1965	13.20	Jan. 21, 1967	14.17	505	0.97	0.70

印した真鍮棒(直径 1 cm, 長さ 20 cm)を 82 本打って、調査場所を明確に区画した。海底地形を詳細に調べると共に、各岩面に優占する海藻植生および大型底生動物群集を記録した。

**調査 2** 1965年 9月 2日から 4日にわたり、同海区内およびその周辺の磯から 64 個体(殻長 6.0~16.0 cm)のメガイを採捕した。直ちに番号を打ったステンレス製クリップ式の標識票を第 2 呼水孔に取り付けて個体を識別すると共に、殻長を測定し、海区内のほぼ中央部の岩面に 1 個体ずつ付着させながら放流した。成長の季節的変化を考慮して、放流後約 1 年目に海区内に生息する標識貝を再捕し、殻長を測定して、成長について調べた。

### 3. 調査結果

調査海区の環境は次のように要約される。水深は湾奥から沖合にかけて 5.0~7.5 m, 底質は湾奥から転石、礫、砂と変化した。直径 1.5 m 以上の岩が 179 個点在し、これらの岩面積は約 285 m<sup>2</sup> であった。海藻植生は湾奥からホンダワラ類、アラメ・カジメの混生、カジメへと移行した。また、大型底生動物群集中バテイラが優占し、サザエ、ウラウズガイ、アカウニ、クモヒトデ、サラサエビなどが多数出現した。海底地形、海藻植生の詳細については既往の知見(宇野ら, 1972)の他特記すべきことはない。

標識放流試験の結果は Table 1 に示すとおりである。海区内に放流した 64 個体のうち、放流後 410 日から 505 日までの期間中に海区内で 10 個体を再捕した。この記録を用いて、BERTALANFFY の成長式を適用して、パラメーターの推定を試みた。

今、年齢  $t$  における殻長を  $l_t$  とすると、BERTALANFFY の成長式は、

$$l_t = l_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

で表わされる。ただし、 $k$ ,  $l_\infty$ ,  $t_0$  は定数である。成長式のパラメーター  $k$ ,  $l_\infty$  を推定するために、(A) WALFORD の定差図法 (WALFORD, 1946), (B) GULLAND and HOLT の方法 (GULLAND and HOLT, 1959), (C) FABENS の方法 (FABENS, 1965) の 3 つの推定方法を用いた。しかし、いずれの方法を用いるにしても、年齢に関する情報がなければ、 $t_0$  を推定することはできない。WALFORD の方法では放流期間中の成長量を按分比例によって放流期間が 365 日に相当する成長量に換算し、それを用いて  $k$ ,  $l_\infty$  を推定した。横軸に  $l_t$ , 縦軸に  $l_{t+1}$  を目盛ると、Fig. 2 に示すようになる。最小二乗法で各点に直線を適合すると、

$$l_{t+1} = 3.25 + 0.819 l_t$$

である。したがって、 $k$ ,  $l_\infty$  はそれぞれ 0.199, 17.97 cm となる。GULLAND and HOLT の方法では横軸に放流時殻長と再捕時殻長の相加平均値 ( $x$ ), 縦軸に 1 日当たり成長量 ( $y$ ) を目盛ると、Fig. 3 を得る。これに直線を適合すると、

$$y = 0.00943 - 0.00051 x$$

となり、 $k$ ,  $l_\infty$  はそれぞれ 0.186, 18.51 cm である。FABENS の方法を適用するに当たっては、Fortarm IV (Tosbac 3400) によるプログラムを作成して、電子計算機を用いて求めた。その結果、 $k$ ,  $l_\infty$  はそれぞれ 0.203, 18.00 cm となる。上記の 3 方法で求めた  $k$ ,  $l_\infty$  をパラメーターとする曲線の形状は Fig. 4 (A, B, C) に示したとおりである。各成長式から各年齢に対する殻長を求めると、Table 2 に示すようによく一致する。

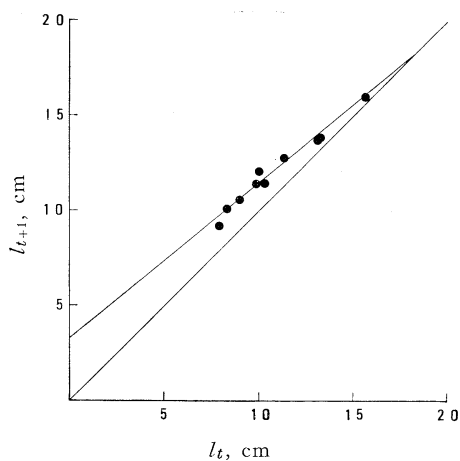


Fig. 2. WALFORD plot of growth of *H. sieboldii*.  
 $l_{t+1} = 3.25 + 0.819 l_t$ .

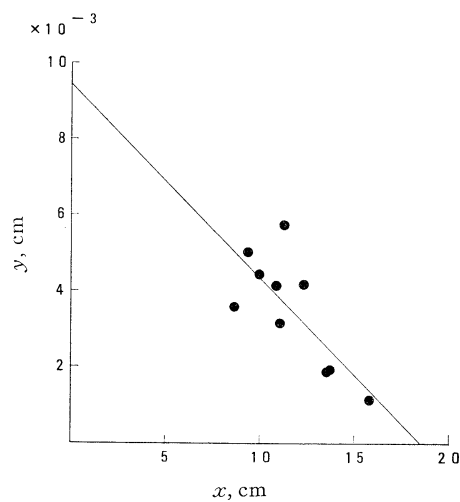


Fig. 3. Relation between arithmetic mean of shell length at times of release and recapture ( $x$ ) and growth in shell length per day ( $y$ ).  
 $y = 0.00943 - 0.00051 x$ .

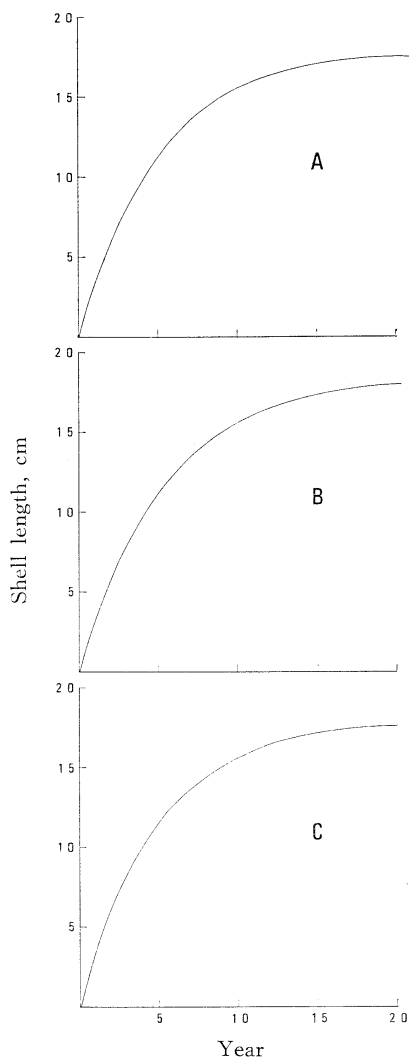


Fig. 4. Growth curves of *H. sieboldii* estimated by the three methods: WALFORD's graphic method (A), GULLAND and HOLT's method (B), and FABENS' method (C).

Table 2. Shell length estimated from BERTALANFFY's growth equation by the application of the methods of WALFORD (A), GULLAND and HOLT (B) and FABENS (C).

Method	Shell length (cm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3.24	5.90	8.08	9.86	11.32	12.53	13.51	14.31	14.97	15.51
B	3.14	5.75	7.91	9.71	11.21	12.45	13.48	14.33	15.04	15.63
C	3.31	6.01	8.21	10.01	11.48	12.68	13.65	14.45	15.10	15.64



#### 4. 考 察

本地先における本種の成長は上述のとおりであり、放流期間中の海区内における環境の総体を象徴的に表わしていると考えられる。メガイの成長については、高山(1940)は三重県志摩郡国崎地先(伊勢湾口)と志摩郡片田地先(伊勢湾外海部)において焼殻法によって調べている。この結果は、国崎地先におけるメガイは片田地先におけるものより成長が良好であり、それは両地先におけるアラメ、カジメの繁殖状態、ひいては海況と密接な関係があろうという。高山の資料を用いて、WALFORDの定差図法によって $k$ ,  $l_{\infty}$ を推定すると、国崎地先においてはそれぞれ0.192, 18.14 cm, 片田地先においては0.245, 16.67 cmとなる。国崎地先と小湊地先における $k$ ,  $l_{\infty}$ の推定値は、研究方法が異なるにもかかわらず、よく近似している。また、野中ら(1969)はメガイの人工種苗と天然種苗を静岡県南伊豆の吉佐美と田牛地先に標識放流し、その後の成長を追跡調査している。この結果によると、殻長は孵化後1年で2.5 cm, 2年で6.2~6.6 cm, 3年で10.6~10.8 cm, 4年で12.1~12.4 cm, 5年で13.3~13.8 cmに達するという。この結果は本調査結果より成長はるかに良好であるが、それは水温その他の環境要因の差異によるものと考えられる。

標識による成長阻害があるかどうかは、飼育実験によって求めた標識貝と非標識貝の成長曲線を比較せねばならないが、本調査では殻長6.0 cm以上の個体を標識しているため、標識の影響は無視し得るほど僅少であると考えられる。

#### 文 献

- FABENS, A.J. (1965): Properties and fitting of the VON BERTALANFFY growth curve. *Growth*, **29**(3), 265-289.
- GULLAND J.A. and S.J. HOLT (1959): Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer*, **25**(1), 47-49.
- 野中 忠, 中川征章, 佐々木正, 松浦勝己 (1969): 静岡県沿岸の磯根資源に関する研究-V. 南伊豆におけるアワビの成長. *静岡水試研報*, (2), 41-48.
- 高山活夫 (1940): 三重県産鮑の成長度について (1). *水産研究誌*, **35**(4), 99~100.
- 宇野 寛, 小池康之, 門間春博 (1972): アワビ類の増殖に関する生態学的研究-I. 放流メガイの分布と移動. *うみ*, **10**(2), 43~49.
- WALFORD, L.A. (1946): A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull., Woods Hole*, **90**(2), 141-147.

日仏海洋学会賞受賞記念講演

沿岸海洋過程の研究\*

柳 哲 雄\*\*

Physical oceanography on coastal processes\*

Tetsuo YANAGI\*\*

この度は思いがけなく日仏海洋学会賞を頂くことになり、大変光栄に思っております。私の夢は小学校1年生の時から海洋学者になることでしたので、こうして好きな海洋学をやって生活できることを非常な幸運であり幸福と思っていますが、今日のこの賞を励みにし、今後さらに世のため人のためになるような研究をしていけるよう頑張りたいと思っております。

私にとって研究とは現場でデータを取っている時、計算機と苦闘している時、論文を書いている時の緊張感そのもので、一旦論文が書きあがってしまうともう見る気もないという所が本音です。すなわち、研究することで昨日までの自分が今日はどう変わるのだろうかということが楽しみなわけです。そんなわけですから本日も自分が過去何をしてきたかではなく、明日から自分は何をしようとしているかをお話させて頂き、皆さんの御批判を頂ければと思います。

私が1974年愛媛大学海洋工学教室の助手になりましてからここ10年余りやってきましたことは沿岸海洋過程に関する物理学ですが、私は今後は沿岸海洋において物理学、化学、生物学を単独に行うことにあまり意味はなくなると思っています。といいますのは、それぞれ個別の分野の研究が進んできたということもありますが、沿岸海洋（ここでは水深200m以浅の浅海域と考えます）という場そのものが、人間活動と非常に密接に関わり合っていて、現在はその場で現実の社会からの要請に応えらるる学問が要求されているということだと思っております。

れるなわち沿岸海洋の社会的な環境問題、管理・制御問題においてとりあげられる学問的な問題は常に沿岸海洋において物質（エネルギーも含め）はどのようにふるまっているかということです。とすれば今後の沿岸海洋学とは「沿岸海域における物質の挙動を物理・化学・生物学的に定量的に記述する学問」ということとなります。

主として種々の人間活動の結果、沿岸海洋に新たに持ちこまれる諸物質は物理的な移流・拡散によって拡がり、化学的・生物学的な変質を受けて、あるものは海底に沈降し、あるものは海底から再溶解し、やがて外洋へと拡がっていきます。しかるに沿岸海洋という場は浅く、淡水供給の影響が大きいので、物理的にはエネルギーの空間・時間勾配が大きく、化学的には物質濃度の空間・時間勾配が大きく、生物学的には種・個体密度の空間・時間勾配が大きいという非常に複雑な場を形成しています。外洋と異なり空間的・時間的一様性の保証されていない場で物質の挙動を正確に把握するためには、まずLagrange的な視点が必要です。すなわち移動する水塊と共に移動しつつ物質や生物の変質を観測しなければ、正しい答は得られないということです。さらに、このような変質の大きい場において物理・化学・生物が単独で出せる答には非常に限界があるということもあるわけです。そのような沿岸海洋の複雑さが関与した象徴的な現象として、赤潮と貧酸素水塊の発生の問題をあげることができるでしょう。

この2つの問題はいずれも沿岸海洋に投入された窒素やリンなど栄養物質の移流・拡散（海水交換）という物理的問題を背景に、栄養物質の溶存・懸濁・沈降・溶出・分解といった化学的問題と関わり、最終的には特定生物種の異常増殖、海洋生物の大量死という生物的問題を引き起こしますが、物理学・化学・生物学が単独にこの間

\* 1986年5月30日 日仏会館（東京）で講演  
Conférence à la remise du Prix de la Société  
franco-japonaise d'océanographie

\*\* 愛媛大学工学部海洋工学教室 Department of Ocean  
Engineering, Ehime University

題の解明にあたりとしても、十分な結果を得ることが不可能なことは言うまでもありません。私達の研究室では昨年まで文部省科学研究費による環境科学特別研究に参加し、他の海洋化学者、生物学者と協力して瀬戸内海播磨灘の *Chattonella* 赤潮の発生機構、燧灘の貧酸素水塊の発生維持機構の解明を目指した学際的研究を行ってきました。これらの研究はそれぞれかなりの成果をあげることができましたが、どちらも最終的な答を得るには至っていません。その大きな理由のひとつに私達が学際的研究を行っている数年間、私達は一度も赤潮発生や貧酸素水塊による魚貝類大量死の現場を直接観測できなかつたということがあげられます。現場観測を行っておられる方には良くおわかりだと思いますが、赤潮発生などの時間的不連続現象（生物密度変化の時間勾配が大きい）を直接観測するという事は、よほどの幸運にめぐまれないと不可能なことなのです。私達は毎年約1年前からそのような不連続現象が起ると予想される時期と場所を選び、各人の予定を整調し、その1週間程度の時期に持っている人力と資金のすべてをつぎこみ観測を続けましたが、結局赤潮前、赤潮中、赤潮後の海況の微細変化といった発生機構の鍵をにぎっているであろう物理・化学・生物データを得ることはできませんでした。それらの時期以外で漁民からの赤潮発生の通報により現場にかけつけた時には、すでに事の起った後の状況しか観測できなかつたわけです。発生維持機構の解明のある程度進んだ貧酸素水塊の方はまだしも、赤潮の場合、その発生機構の鍵をにぎるこの時間的不連続点近傍の学際的データを得るといことは将来にわたってもそう簡単に可能になることではないように私には思えます。もちろん、そのための努力は続けなければなりません、私には赤潮発生という時間的不連続点近傍の物理・化学・生物過程の相互関連の中に、先述した沿岸海洋における諸問題の複雑さが集約されているように思えるのです。しかし、それを直接観測することは現段階では非常に困難なので、ここでは視点を変えて、とりあえず空間的不連続点における物理・化学・生物過程の相互関連を研究しながら、先述した新しい「沿岸海洋学」を育てていったらどうだろうかと思っているわけです。

実際の現場で時間構造と空間構造が等価であるということは、生物過程を含んだ沿岸海洋過程にはもちろんあてはまらないことでしょうが、沿岸海洋過程の複雑さを正しく理解していくという意味で、とりあえず空間的不連続点近傍の学際的研究を行うということは非常に意味があることだと思うのです。

沿岸海洋における空間的不連続構造とは、言うまでもなく沿岸フロント域のことです、沿岸フロント域は故宇田道隆博士の“siome”の研究以来、水産業にとってその重要性が認識されているのみならず、フロント域近傍では急激な物質濃度の空間勾配、生物娯集が起ることは良く知られています。しかし、この沿岸フロント域の場合もその発生時期・場所が一定ではないという一般的な認識があって、大規模な観測計画が立てにくく、フロント域近傍の学際的研究というものも今まで行われたことはなかつたと思います。一方、近年の沿岸海洋物理学の進展により、沿岸フロント域は Fig. 1 に示すようにその発生時期も場所も特定できるようになり、それぞれのフロントの発生維持機構もほぼ明らかになったと言える状況になってきました。

まず一番海岸寄りでは河川水と沿岸水の境界をなす河口フロント（Estuarine front）は一年を通じて存在しますが、河川流量と潮時によりその強さ・場所を変えます

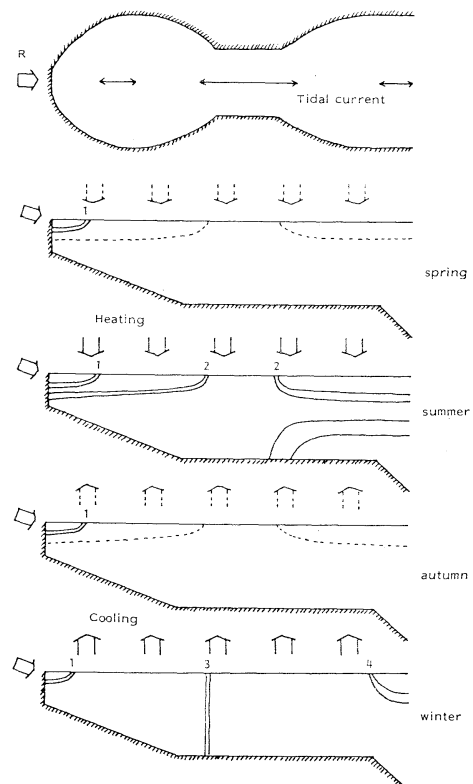


Fig. 1. Schematic representation of seasonal variations of coastal fronts. R, river discharge; 1, estuarine front; 2, tidal front; 3, thermo-haline front; 4, shelf/slope front.

(柳, 1985)。春から夏にかけ海面が熱せられると, 潮流による鉛直混合の大小により成層した領域と鉛直混合した領域の境界をなす潮汐フロント (Tidal front) が海峡近傍に発生します (柳・大庭, 1985)。秋になって海面冷却が始まると潮汐フロントは消滅し, 冬にかけて沿岸海洋全域で鉛直混合が盛んになりますが, この時低塩・低温の沿岸水と高塩・高温の陸棚水との境界に密度差を持たない熱塩フロント (Thermohaline front) が発生し (Yanagi, 1980), 鉛直混合した陸棚水と熱容量が大きいため成層の残る斜面水との境界にも陸棚フロント (shelf/shoal front) が発生します (柳ら, 1986)。春になって海面が暖められ始めると, この熱塩フロント, 陸棚フロントも消滅していくわけです。これらのフロントは潮流による移動や力学的な不安定による蛇行などで多少その位置を変化させますが, 季節的にはほぼ決った強さ (水温・塩分・密度の空間勾配の大きさ) でほぼ同一の場所に存在することがわかっています (YANAGI and KOIKE, 1986) ので, 大規模な観測計画を立案することが可能なわけです。

幸い本年度の環境科学特別研究で私が研究代表者となった「沿岸フロント域の物質分散過程と生物過程」という研究計画に研究補助金が交付されることが決りましたので, 単年度ではありますが, 東京大学海洋研究所, 広島大学生物生産学部, 香川大学農学部, 愛媛大学農学部の化学者・生物学者と共同して, 東京湾, 瀬戸内海西部の沿岸フロント域近傍の共同観測を行って学際的なデータをそろえたいと考えています。物理的にみた大まかな

流れの構造はすでに把握していますが, 新たに得られるであろうフロント域近傍の化学・生物データの分布を説明するためにどのような高度の物理情報が必要とされるかが私にとっては非常に楽しみであるわけです。この学際的研究の成果はいずれ機会を見て皆様に御報告し, 御批判を仰ぎたいと考えています。そのようなわけで, この沿岸フロント域の研究をひとつの軸として私は新しい沿岸海洋学を進めていこうと現在考えているわけです。

最後に私に海洋学への興味を起こさせてくれた, 笠戸湾のほとりで余生を送る両親, 研究室を根城に主に政治活動に励んでいた学部・大学院時代を暖かく見守って頂いた國司秀明教授, 研究者への途を拓いて頂いた故樋口明生教授, いつも有意義な討論をして頂いている同じ研究室の武岡英隆博士をはじめ, 多くの方々のお陰で今日の私が在ることを感謝しつつ, この講演を終らせて頂きたいと思えます。御静聴ありがとうございました。

#### 参 考 文 献

- YANAGI, T. (1980): A coastal front in the Sea of Iyo. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **35**, 253-260.
- 柳 哲雄 (1985): 肱川の河口フロント (I) — フロントの潮時変化一. *愛媛大学工学部紀要*, **10**, 253-261.
- 柳 哲雄・大庭哲哉 (1985): 豊後水道の Tidal Front. *沿岸海洋研究ノート*, **23**, 19-25.
- 柳 哲雄・額田恭史・清水浩輔・江田憲彰 (1986): 豊後水道の陸棚フロント (I) — その構造と移動一. *愛媛大学工学部紀要*, **11**, (印刷中).
- YANAGI, T. and T. KOIKE (1986): Seasonal variation of thermohaline front and tidal front. *Continental Shelf Research*, (in press).

## 資 料

### フランス海洋情報(1)

#### Informations océanographiques de France No. 1

##### 1. 造船業: 選択の時 (Chantiers navale: l'heure de choix)

フランス造船業の主力は、地中海側のラ・ゴータとラ・セイヌ、イギリス海峡と大西洋側のダンケルク、サン・ナゼールとナントの五カ所に集中しているが、ここでは、世界の造船業の厳しい状況の下で、閉鎖の危機に直面している。政府の公表するところによれば、政府の造船救済助成金は、1983年以来、総額1,250億フランにもなった。すべての判断資料からみて、最近の予算削減の下では、雇用者数が減り続けている現在もなお、この状況は当分変わらない。当面の問題は、フランス政府が、造船業から全面的に手を引くか、英国でサッチャー首相が、国営造船会社(British Shipbuilders)の二つの造船所を閉鎖し、3,500人の労働者を解雇したように、一部の切り捨てに止めるか、どちらの道を選ぶようとしているかを探ることであろう。

##### 2. 防火型新造船 (un nouveau bateau anti-incendie)

フランス第三位のレジャー船製造会社 Gilbert Marine は、最近防火型ボート“GMF50”を売り出した。この船は、長さ8m、幅3m、吃水1m、重さ4.7tで、推進器はディーゼル・エンジン Saab を搭載している。船体は積層ポリエステルで、火災に耐える。去る6月6日の試験結果によると、船外で最高1,200°Cまで上がったのに対して、このボートの船内では最高40°Cに止まった。販売価格は40~50万フランと見積られている。国際海事機構規格 SOLAS に適合しており、石油輸送船や沖合備蓄基地に備え付けられることになる。

##### 3. 赤潮プランクトン監視計画 (Le programme de surveillance IFREMER contre le dinophysis)

1983年以来、夏になると、水温の上昇に伴って、毒性プランクトン *Dinophysis* が発生し、貝類を媒介にヒトの胃腸障害事故を起こしている。1984年以来、フランス海洋開発研究所 IFREMER は、全国沿岸で24時間体制の監視計画を発足させた。監視機構は、沿岸11カ所の試験所と22カ所の検査官詰所からなる。10月から翌年5月までは、月1回、6月から9月までは月2回、24区域で採水する。赤潮が発生した場合は、採水検査だけでなく、

貝類、とくにイガイ類の胃内容物検査をも、当該水域で頻繁に実施することになっている。全資料は、IFREMER のナント研究センターに集められる。不安な場合は、センターが直ちに地区海事事務所に通報し、ここでは、貝類販売の一時規制など、公衆衛生に必要な処置をとる。

1983年の調査によれば、4,000例の胃-腸炎が記録され、1,700人の漁業者や卸売業者が販売中止の規制を受けた。1985年になると、この毒性プランクトンの犠牲者は10人以下となり、経営を規制された業者数は290に過ぎなかった。要するに、赤潮発生条件の解明はまだ不十分のままとはいえ、この監視計画はよい成果を挙げたといえよう。

##### 4. ヒスタミン対策と規制 (Mesure et réglementation de l'histamine)

最近オスローで開かれた国際会議で、ヒスタミン問題が取り上げられた。ヒスタミンは、魚肉の自然生成物であるヒスチジンの緩分解作用による毒性生産物である。その会議は、FAO と世界保健機構との合作組織、CODex-alimentarius の魚類海産物技術委員会であって、フランス代表団長は、IFREMER コンカルノー・センター所長の GUY PICLET 氏である。魚肉のヒスタミン濃度について、近く国際規制が実施の運びとなった。

##### 5. 南ブルターニュ生産者団体 PROMA (PROMA, une organisation de producteurs en Bretagne sud)

フランスでは、もともと漁業者の集まりである生産者団体が、市場を維持し、競売での市場価格低下には必要に応じて買い支えるなどを、主な目的として設置されている。しかし、その活動は、直接漁業者に向けた支援に止まらない。最近では、アカザエビ、エイ、タラ(morlu)、カニやイワシの漁業振興にも力を注いでいる。イワシ漁業の場合、PROMA は、例えば1986年初に、大西洋イワシ漁船団の再起に力を貸している。南ブルターニュのラ・チュルバル港の中層二枚曳き (paire de pélagique) 3組が、1986年6月に実施したガスコーニュ湾 (ビスケー湾) の新漁場開発を助成し、この事業が出すことになった赤字は、1975年に設立された市場調整編成財団\* と共に、PROMA が補填することになっている。

現在、PROMA は、南ブルターニュ地方のコンカルノー港からサン・ナゼール港までの 500 隻の漁船を会員として、全国の生産者団体の中では、最右翼を占めている。

6. マグロ漁業: 1986 年漁期, 好調な滑り出し (Pêche au thon: la saison 1986 commence bien)

ビンナガ漁業は、今年 6 月ガスコーニュ湾南部とアゾレス海域でかなりの豊漁であった。これらの海区での、延縄漁を主体とするフランス漁船団を編成しているのは、40 数隻である。1986 年漁期で特記すべきことは、IFREMER 所属のペラジア号などが初めて実施した刺網操業試験である。刺網はスペインと、アゾレス諸島を含む、ポルトガルの 200 海里水域内では禁止されているので、国際水域（公海）でしか操業できない。

7. アサリ養殖延びる (Développement de la culture de la palourde)

アサリ *Ruditapes decussatus* の養殖は、1985 年で 400 t に達したが、フランスではかなり成功して、種苗 (10~15 mm の稚貝) の供給が需要に追いつかないほどであることが分かっている。今のところ、海峡沿いのバルフルールにある種苗育成場 SATMAR は、1985 年現在 4,000 万個の稚貝 (全国生産量の 80%) を生産して、フランスの主要生産者とみられている。

8. フランス採藻業の展望 (Quel développement pour les algues en France?)

1984 年フランスは、紅藻からカラゲナン型ゲル状物質 2,300 t を、褐藻からアルギン酸塩 1,700 t を生産して、業界では世界第 2 位を占めていた。

1971 年、日本産の褐藻ワカメ *Undaria pinatifida* が、初めて地中海のセッ港近くのトー湖 étang de Thau に現われた。これは、恐らく日本から輸入しているカキ種苗に混じって移入されることになったものである。それからは、急速に地中海沿岸に拡がって、大西洋での養殖が考えられるようになった。その試みは、海峡側のランス河口で、ブルターニュ半島先端のウェサン島で、さ

らに南ブルターニュのグロワ島で始まった。ワカメの伸びは 3 m に達し、親縄 1 m 当たり 17 kg の生産を挙げた。1986 年には、地域を限って、ウェサン試験区での試みが続けられよう。ワカメ養殖で見られたこの成果によって、フランス大西洋岸での他の褐藻類、例えば、*Laminaria digitata* や *Alaria esculenta* の大規模養殖の可能性も夢ではなくなった。

1982 年、海峡沿いのブルーピアン (コート・デュ・ノール県) に、藻類学応用研究試験センターが設立された。このセンターは、研究と産業開発との橋渡しを目標としている。1986 年初め、この機関は官民合同経済団体 Société d'Economie Mixte (SEM) の一つ、海藻研究・価格安定センター\*\*に衣替えした。地域集団としてのコート・デュ・ノール県とブルーピアン市の外に、そこに参加しているのは、IFREMER, ゲマール社, ナチュール・アルグ社, アルモール・アルグ社, ゴバルグ社, テマック社, ブルターニュ地域開発会社, クレディ・アグリコル社とクレディ・マリチム・ミュチュエル社である。IFREMER はその科学技術委員会を主宰することになっている。懸案の主要研究課題は、次のとおりである。1° “青潮” 現象 marée verte (緑藻の一種アオサ *Ulva* が増殖して浜へ打ち上がる現象) の質・量的継続試験。2° エネルギー生産 (メタンガス化)。3° 動物飼養 (卵黄の着色, 微量元素の供給)。4° 海藻貯蔵諸技術。5° 工業用海藻の養殖 (フィココロイドの製造)。

[後記] このシリーズでは、パリ仏日海洋学会発行のフランス海洋情報 (同学会出版活動, 本号別項, 参照) の翻訳 (抄訳を含む) を掲載する。今回は同情報創刊号 (Frans' Inf'Ocean, No. 0, 1986 年 7 月 15 日付) の全項目を載せた。 (F. シマール, 文責 高木和徳)

\* Fonds d'Intervention et d'Organisation des Marchés des produits des pêches marines et des cultures marines (FIOM)

\*\* Centre d'Etude et de Valorisation des Algues

## パリ仏日海洋学会の出版活動

Activité d'édition de la Société franco-japonaise  
d'Océanographie de Paris

パリ仏日海洋学会は、創立以来、仏日学術交流の実を挙げるために、その活動の一端として2種類のニュース・レターを発行してきた。一つは日本の海洋情報を紹介する“Flansh Japon”（不定期刊）で、現在1～10号まで発行されている。二つ目はフランスの海洋情報を紹介する“Fras'-Inf'Ocean”（不定期刊）で、本年8月現在、0号と1号が発行済みである。こちらは次号から“Flash-France”と改題される予定である。その内容は、「フランス海洋情報」として、今後 La mer 誌に逐次翻訳掲載される予定で、その第1回は、本号に見られるとおりである。

一方、まだ十分進んでいるとはいえない仏日学術交流を、より緊密なものとするために、仏日海洋学会はフランスの CDST\* (CNRS 傘下組織) と協力して、本年9月から日本の科学文献目録(海洋学部門) “Cellule Japon: Revue des Sommaires sur l'Océanographie japonaise” (隔月刊の予定) を創刊した。その0号は、本年9月に発行された。

さらに現在計画中の2誌がある。それはどちらもニュース・レターで、一つはフランス向けの日本情報誌“Jap'Inf'Ocean”，後の一つは、日本向けのフランス情報誌“Frans'Inf'Ocean”である。どちらも隔月刊で、主に水産関連事項を扱うことになろう。そこではなるべ

く詳しい、密度の高い情報を盛り込みたいと思っている。両誌とも関係者に有料で配布される。(年間講読料は後日決まる)

これらの出版活動によって、海洋学分野での密接な仏日関係が、より強化されることを期待している。

なお、パリ仏日海洋学会は、現在会員数130名許りで、の規模はまだ小さく、とくに日本人の入会そによる勢力の拡大を期待している。会費は100フラン/年であるが、仏日両海洋学会の申し合わせにより、日仏海洋学会員の場合は、半額(50フラン)になる。日本人会員は、Flash-France の配布を受け、さらに Flash Japon も請求により配布される。

会費の送金先は

振込銀行: Banque Indo-Suez, Tokyo Branch  
(Tél: 03-585-0221)

口座名義: Société franco-japonaise d'Océanographie  
口座番号: N° 14361-100-26

パリ仏日海洋学会への連絡先は

Société franco-japonaise d'Océanographie  
Institut océanographique  
195, rue Saint Jacques  
15005 Paris, France

(F. シマール, 文責 高木和徳)

\* Centre de Documentation scientifique et technique

## 書 評

### 河口域動態の現状：サンフランシスコ湾

Temporal Dynamics of an Estuary: San Francisco Bay. By J. E. Cloern and F. H. Nichols (eds.) 1985. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. v+237 p.

本書の出版の意図は、サンフランシスコ湾河口域における環境科学的な特性と過程の現状解析にある。本書の題名に、現状と麗々しくもわざわざ書き出しているのは、河口域における諸々の環境科学的な特性と過程を、潮汐周期のように極めて短い期間から地質学的年代のように著しく長期に亘る動態として解析する必要性を踏まえたうえで、潮汐周期、日変化から週変化、月変化、年変化といった短い期間規模で現状を捕らえようとしているからである。そして、湾内における水の循環と混合、堆積物組成とその輸送、溶存態物質の特性と分布、懸濁態物質の組成と現存量、生物量と生物種、およびそれらの生産様式、大気・水柱・堆積物間の物質移動、微量金属や汚染物質の生物利用などの動態を具体的に捉えようとしている。このため、本書は次の14章に分かれていて、それぞれを数名の著者が分担執筆している。

1. サンフランシスコ湾の環境
2. サンフランシスコ湾における水の循環と混合の時間的規模
3. 北サンフランシスコ湾河口域における溶存態無機栄養塩の年間変動
4. サンフランシスコ湾におけるガス交換
5. サンフランシスコ湾における底質物質移動
6. サンフランシスコ湾の潮間帯堆積表層における粒度、有機物と鉄の濃度の変動
7. 南サンフランシスコ湾における二枚貝 *Macoma balthica* の含有する銀・銅・亜鉛の変動
8. サンフランシスコ湾の底性生物変化における時間的規模
9. サンフランシスコ湾における底性大型海藻群集の

分布と変動

10. サンフランシスコ湾のケーススタディとしての河口域植物プランクトン動態
11. サンフランシスコ湾の物動プランクトンの季節的動態
12. サンフランシスコ湾における蝦 *Crangon franciscorum* の分布と現存量の季節的周年的変動
13. サンフランシスコ湾における1980年から1982年までの魚類の分布と現存量
14. 河口域変動の時間的規模とその機構

これらの章の題目で分かるように、サンフランシスコ湾の環境科学総合研究として必要な項目は殆ど全て網羅している。各章には初頭に要旨がついていて、本文を読むうえで大きな助けになっている。図は同一の女性専門家によって描かれているので、通して読む際には大層見易い。さらに、科学研究プロジェクトの報告書が本として出版されるケースが多いが、本書の場合は編者が各章に比較的強く干渉しているらしく、最初から最期まで突っ掛かることなく容易に読み下すことができる。そして、最後の章で、淡水流入、潮汐、風、湾水と沿岸水の交換に時間的規模を絡めた上での編者なりの結果の要約をしているが明快である。海洋環境問題を取り扱ううえで、汚染が陸域と海域の両方から集中してくる河口域のうちでも、世界的に注目を浴びているサンフランシスコ湾の事例としてだけでなく、共通の問題に直面している多くの地域での参考とする価値のある本と考えられる。特に、東京湾や瀬戸内海などの問題多い場所を抱えている日本の海洋科学者には、是非、一読をお勧めしたい。

(関 文威)



## 水中生態系における有機物

Organic materials in aquatic ecosystems. By Humitake Seki. 1982. CRC Press, Inc., Boca Raton. vi+201 p. \$64.00 (in U.S.A.), \$75.00 (foreign).

A more comprehensive title for this exciting book could be "The properties and transformation of organic materials in aquatic systems with emphasis on microbial reaction rates under *in situ* conditions." It consists of sound geomicrobiology, biological oceanography, and marine chemistry. It is mainly about dissolved, colloidal, and particulate organic materials, both living and dead, in seawater but it presents much information on organic matter and biomass in lakes. Of the 203 references, complete with titles, only 3 were published prior to 1930. Twenty were published between 1931 and 1955, 92 from 1956 to 1969, and 103 from 1970 to 1981.

The first chapter, "Organisms in aquatic ecosystems," discusses 1) Evolution of life in the hydrosphere, 2) Energy flows in the biosphere, 3) Grazing food chains, 4) Detritus food chains, and 5) Energy flow in communities. Chapter 2 treats the qualitative and quantitative effects of temperature, salinity, pH, redox potentials, surface tension, hydrostatic pressure, organic nutrients, and other environmental conditions on microbial functions in aquatic environments. Chapter 3 deals with 1) The dynamics of the microbial decomposition of particulate organic matter, 2) Dynamics of the microbial assimilation of organic solutes, 3) The cycles of carbon, nitrogen, phosphorus, and 4) Turnover rates of organic materials.

Although exceptionally well printed, a few errors appear. One of the most conspicuous is a boldface D instead of IV on p. 118. One error is attributable to Piccard, who erroneously identified a holothurian on the floor of the Mariana Trench as being a flat fish (p. 52). On p. 37, extremely halophilic organisms are said to be exclusively microorganisms, whereas the brine shrimp, *Artemia salina*, and the larvae of certain flies are common inhabitants of brines that

are supersaturated with salts. Also questionable is the statement on p. 39 that the salinity in extreme cases may be as high as 100%. If the environment is 100% salt, it is not aquatic. The solubility of NaCl in hot water is only 35.7%; only 42.73% for Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. There are some questionable statements about the buffering action of certain cations and anions on p. 40. In line 33 on p. 40, "unable" should be "able." An alga was reported (p. 40) to grow on media having an initial pH of 13.0; further observations have shown that the absorption of CO<sub>2</sub> from the atmosphere rapidly lowered the pH by two or three units.

In an effort to be concise, Dr. Seki has often made general statements that need some modification. He states with some justification that temperature is the most important environmental condition that influences microbial reaction rates. Anomalously, in many paragraphs, figures, and tables dealing with reaction rates, the temperature is not stated. Many authors are guilty of this.

Personally, I prefer to have the figures and tables printed near the place where they are discussed in the text. In this book, the figures and tables are printed at the end of each chapter. The references are printed all together near the end of the book.

Despite these shortcomings, Dr. Seki has prepared a highly commendable reference book that will be useful for aquatic microbiologists, geomicrobiologists, marine biologists, marine chemists, oceanographers, ecologists, and others. The book is most provocative in the sense of being exciting and stimulating. It raises many questions while providing considerable new information along with a succinct review of recent literature on the subject.

(Claude E. ZoBell)

## 学 会 記 事

1. 昭和61年5月28日 東京水産大学海洋環境工学科会議室において昭和61年度評議員会が開かれた。議事は次のとおり。なお、詳細は総会記事(別項)参照。

- 1) 会務(庶務, 編集)および会計報告
- 2) 学会賞受賞候補者選考経過報告
- 3) 昭和60年度収支決算案審議および監査報告
- 4) 昭和61~62年度役員選出案審議
- 5) 昭和61年度事業計画案審議
- 6) 昭和61年度収支予算案審議
- 7) 昭和62年度学会賞受賞候補者推薦委員選出案審議
- 8) その他

2. 昭和61年5月30日 昭和61年度学術研究発表会が日仏会館会議室において開かれた。発表課題は次のとおり。

1. 黒潮大蛇行流路に関する数値実験  
……………関根義彦(防衛大地学)
2. 四国沖の海底地形「土佐脊」上の海洋構造  
……………関根義彦・松田 靖(防衛大地学)
3. 親潮の東北海区での異常な南下について  
……………関根義彦(防衛大地学)
4. 中規模うずが物質のひろがり及ぼす影響  
……………横山恵子・高野健三(筑波大環境)
5. 分析電顕による海底粘土鉱物の研究  
……………青木三郎(東洋大自然科学)・  
……………神山宣彦(産医総研)
6. Batfish による海面下の塩分, 水温, 蛍光の分布測定……………堀口文男・中田喜三郎(公害資源研)
7. 港湾底質の重金属汚染, 有機物汚染とその検証法  
……………吉村広三・柴 多喜男・小泉敏章(海保  
……………試研センター)・石井 操(水路部)
8. 水中の濁りと魚の視力との関係(3) 海中濁り濃度と魚の編糸に対する反応距離  
……………中村善彦・松生 治(東水大)
9. イセエビ礁の生物学的有効空間……………富川なす美・  
……………渡辺精一・高木和徳(東水大)
10. 江戸末期と現代の新潟地方における稚アカウミガメと海獣の漂着記録……………本間義治(新潟大理)・  
……………青柳彰(寺泊水族博物館)・伊藤年成(新潟水族館)
11. 坊主やむしについて……………永沢祥子(東大海洋研)

3. 昭和61年5月30日 日仏会館会議室において第27回総会が開かれた。議事の概要は次のとおり。

1) 昭和60年度会務報告

a. 庶務

会員数(昭和61年4月現在): 総計 373名(内訳 名誉会員 2, 正会員 349, 賛助会員 22)

活動状況: 幹事会4回, 評議員会1回, 総会1回, 学会賞授賞(永沢祥子氏), 学術研究発表会1回, シンポジウム1回, 講演会1回, 海洋・水産用語集(仮称)編集委員会4回, La mer(うみ)4冊刊行

役員選挙: 評議員(61.2.27 開票), 会長(61.4.2 開票)

文部省刊行助成費申請: 不採択(61.5.4 付)

b. 編集

編集委員会4回, La mer 23巻2, 3, 4号発行, 24巻2号編集

2) 学会賞受賞候補者推薦委員会報告

詳細は授賞式記事(別項)参照。

3) 昭和60年度収支決算案が提議され, 原案通り承認された(表1)。

(表1) 昭和60年度収支決算

収入		支出	
項 目	決算額(円)	項 目	決算額(円)
前年度繰越金	19,379	学会誌等印刷費	1,690,000
正会員会費	1,895,000	送料・通信費	335,000
賛助会員会費	290,000	編 集 費	6,000
学会誌売上金	244,147	事 務 費	615,910
広 告 料	279,400	交 通 費	147,670
著者負担印刷費	368,110	会 議 費	25,845
雑 収 入	51,660	学会賞経費	74,000
		学会賞メダル代	250,000
		次年度繰越金	3,271
計	3,147,696	計	3,147,696

4) 昭和61・62年度役員選出案が提議され, 原案通り承認された。別表参照。

5) 昭和61年度事業計画案(下記)が提議され, 原案通り承認された。評議員会1回, 総会1回, 学術研究発表会1回, シンポジウムおよび講演会の開催, 学会誌の発行(4冊), 海洋・水産用語集(仮称)の編集。

6) 昭和61年度収支予算案が提議され, 原案通り承認された。(表2)

(表 2) 昭和61年度収支予算

収入		支出	
項 目	予算額(円)	項 目	予算額(円)
前年度繰越金	3,271	学会誌等印刷費	4,243,850
正会員会費	2,094,000	送料・通信費	300,000
賛助会員費	700,000	編 集 費	30,000
学会誌売上金	320,000	事 務 費	650,000
広 告 料	380,000	交 通 費	150,000
著者負担印刷費	400,000	会 議 費	50,000
雑 収 入	30,000	学 会 賞 経 費	75,000
会費未徴収分	1,572,000	予 備 費	421
計	5,499,2171	計	5,499,271

7) 昭和62年度学会賞受賞候補者推薦委員の選出案(下記)が提議され、原案通り、15名が承認された。阿部友三郎, 有賀祐勝, 石野 誠, 井上 実, 岡見登, 鎌谷明善, 高野健三, 竹松 伸, 中村重久, 根本敬久, 松生 治, 村野正昭, 森田良美, 永沢祥子, 柳 哲雄

4. 総会終了後、引続き学会賞授与式が行なわれた。

昭和61年度学会賞受賞者: 柳 哲雄氏(愛媛大学工学部)

受賞課題: 沿岸海洋過程に関する研究

**推薦理由:** 沿岸海域は外洋域に比較して地形が複雑で淡水流入・風の変動・海面熱収支の季節変動などの影響をとくに強く受けるため、そこでの流動は非常に複雑であり、従来の物理的観点からの研究では、比較的規則正しく流れる潮流の特性とそれによる物質の拡がり(拡散)が学問的に扱われているに過ぎなかった。柳哲雄博士は、まず現場の潮流記録の解析と水理模型実験の解析結果をもとにして、単純な往復流である潮流に対して水平地形の効果が非線型的に作用して平均流を生成することを初めて明らかにした。そのような平均流に潮汐残差流(tidal residual flow)という名称を与えた。さらに、種々の条件下の潮汐残差流の生成・維持機構に関する研究を進め、水平地形・鉛直地形・地球回転・粘性・成層など様々な要因による潮汐残差流の生成・維持機構を分類整理した。

その後、柳博士は現場海域の多数の長期潮流記録を解析して、1日周期以下の主として潮流に起因する短周期変動を除去した従来恒流と味ばれていたところの平均流成分は、主として潮汐残差流・風による吹送流密度偏差に起因する密度流から成っていることを明らかにし、これらをまとめて一般的には残差流(residual

flow)と味ぶべきであると提唱している。そして、水理模型内の物質の拡がりの解析と現場の塩分分布・底質分布・底質中の重金属濃度分布などの観測や解析結果を道じ、沿岸海域の長期的で広範囲にわたる物質の拡がり(拡散)は従来考えられていたような潮流による拡散現象としてではなく、残差流による分散(dispersion)現象として扱えた方がより適切であることを明らかにした。さらに、このような知見をもとに、漂流ハガキや海上の流出油の拡がりを再現し、予測数値モデルを新たに開発した。

一方、柳博士は、短時間・小範囲の物質の拡がりにも着目し、従来の瞬間点源染料拡散実験や浮子拡散実験によって得られていた拡散係数はシア一流の効果が分離できておらず、いわば、みかけの拡散係数(apparent diffusivity)を与えていることを示した。このような実験結果からシア一流の効果を除いてその場の真の乱流拡散係数を推定する新たな手法も提案した。

さらに、主成分分析の手法を用いて、瀬戸内海や豊後水道の長期間にわたる多くの水温・塩分観測データを整理・解析し、3年および5年周期といった大気や太平洋の変動と関連した沿岸海域の長周期海況変動が存在することを明らかにした。また、応答関数の手法を用いて沿岸からの淡水流入量変動に対する陸棚海域の淡水存在量変動のアドミッタンスを求める新たな手法も提案している。

このような沿岸海域の潮流、潮汐残差流、吹送流、密度流、拡散・分散、海況変動などの様々な物理過程に関する柳博士の一連の研究は、La mer, 日本海洋学会誌、その他に多数の論文として発表され、国の内外を問わず高い評価を受け、他の研究者によって頻々と引用されている。

以上の研究成果は海洋学の進歩に貢献するところが顕著であり、ここに本委員会は、柳哲雄博士を日仏海洋学会賞の受賞候補者として推薦する。

5. 学会賞授与式後、懇親会が別席で開かれ、盛会裡に終わった。

6. 昭和61年7月4日 東京水産大学海洋環境工学科会議室において、昭和61年度第1回編集委員会が開かれた。議事は次の通り。

- 1) 新任委員の紹介
- 2) 既往編集経過報告
- 3) La mer Tome 24 No. 3 の編集大綱
- 4) 編集委員会運営方針
- 5) その他

7. 新入会員

(正会員)

氏 名	所 属	紹介者
柴木 英之	〒300 茨城県土浦市東中貫町2-7 株式会社エコ技術研究所	柳 哲雄
磯田 豊	〒101 東京都千代田区神田錦町 2-9-2 日本気象協会東京本部 海洋調査課	柳 哲雄
内田 宏	〒141 東京都品川区北品川6-7-35 ソニー(株)	宇野 寛

(賛助会員)

阿部 嘉方	〒176 東京都練馬区春日町2-15-6
株式会社西日本流体技 研	〒858 長崎県佐世保市棚方町283
株式会社東京久栄技術 センター	〒333 埼玉県川口市柴鶴ケ丸6906-10
株式会社川合海苔店	〒143 東京都大田区大森本町2-31-8
全日本爬虫類皮 革産業連合会	〒123 東京都足立区梅田4-3-18
株式会社旭潜研	〒114 東京都北区栄町9-2
株式会社渡辺機関工業	〒441-34 愛知県渥美郡田原町神戸大 坪 230

8. 坪住所変更

森山 剛一	〒180 東京都武蔵野市吉祥寺南町4-21 -11
川原田 裕	〒305 茨城県筑波郡谷田部町長峰1-1 気象研究所

9. 退会

上原 進

10. 交換・寄贈図書

- 1) 海洋産業研究資料, 17(3, 4)
- 2) 海産研ニュース, 12
- 3) 農業土木試験場, 場報, 46
- 4) 農業土木試験場報告, 25
- 5) 最近の研究成果選集, 農土試
- 6) 船と港のはくぶつかん, 31
- 7) 日本学術会議月報, 27(3, 4, 5, 6, 7)
- 8) 千葉県水産試験場研究報告, 44
- 9) Bull. Natl. Sci. Mus., A: Zool., 11(4), 12(1)
10. 電気通信研究所, 研究実用化報告, 35(6, 7)
11. 広島県水産試験場研究報告, 16
12. 二枚貝養殖漁場における適正収容力に関する研究  
昭和59~60年度. 広島水試
13. 横須賀市博物館資料集, 10

14. 横須賀市博物館研究報告, 33
15. 東北区水産研究所研究報告, 48
16. 広島日仏協会報, 93
17. 鯨研通信, 363
18. 航海, 88
19. Bull. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, 21
20. 結んでみよう, 横須賀海洋科学博物館
- 21) 大村英雄 第二鯨学事始
22. なつしま, 83
23. DOC ニュース, 32
24. 東海大学紀要, 22
25. 東海大学海洋学部業績集, 15

日仏海洋学会役員・評議員

(昭和61~62年度)

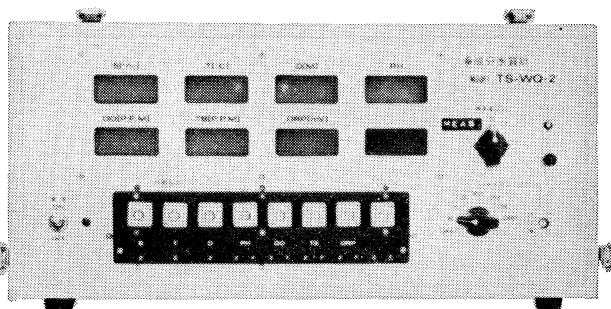
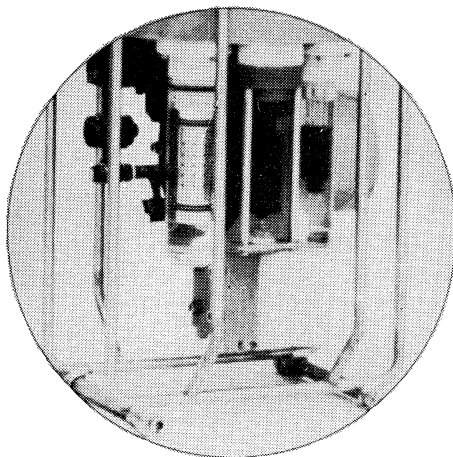
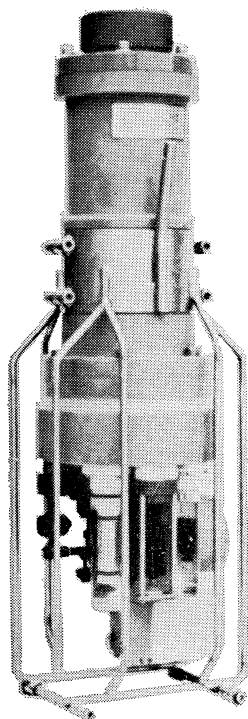
顧問	ユベール・ブロシエ ジャン・デルサルト ジャック・ロベール アレクシス・ドランデ ール ベルナル・フランク ミシェル・ル サージュ ロベール・ゲルムール ジャック・ マゴー レオン・ヴァンデルメルシュ
名誉会長	オーギュスタン・ベルク
会長	宇野 寛
副会長	高野健三, 内田 宏
幹事	(庶務) 須藤英雄, 有元貴文; (会計) 松生 洽, 高橋 正; (渉外) 高木和徳, 佐伯和昭; (研究) 関 文威, 小池勲夫; (編集) 有賀 祐勝, 山口征矢
監事	久保田 穰, 辻田時美
評議員	青木三郎, 青山恒雄, 阿部友三郎, 有賀祐勝, 石野 誠, 磯 舜也, 市村俊英, 井上 実, 岩井 保, 内田 宏, 宇野 寛, 岡市友利, 岡部史郎, 岡見 登, 小倉通男, 加藤重一, 梶浦欣二郎, 鎌谷明善, 川合英夫, 川原田 裕, 久保田 穰, 黒木敏郎, 西条八束, 佐伯 和昭, 坂本市太郎, 坂本 亘, 末常泰男, 須藤英雄, 関 文威, 平 啓介, 高木和徳, 高野健三, 高橋 正, 多紀保彦, 谷口 旭, 辻田時美, 寺本俊彦, 鳥羽良明, 冨永政英, 永田 豊, 奈須敬二, 奈須紀幸, 西沢 敏, 根本敬久, 野村 正, 畑 幸彦, 半沢正男, 日比谷 京, 平野敏行, 増沢譲太郎, 松生 洽, 丸茂隆三, 三浦昭雄, 村野正昭, 森田良 美 (55名, 会長推薦評議員を含む)

# 多成分水質計 MODEL TS-WQ-2R

## 水質調査に新時代を画す！

弊社の水質計測に関する長年の経験とお客様の現場経験に基づく御指導によって設計いたしました。

現場において、合計8項目の水質を同時に、迅速に、容易に、しかも高精度で測定することができます。観測者は、リアルタイムで調査海域の状況を把握しつつ観測計画（測線間隔、測点間距離、測定深度及び深度間隔など）を適切に変更実施することが可能になりました。



項目 要目	水 温	塩 分	深 度	水素イオン濃度 (PH)	溶 存 量 (DO)	濁 度	酸 化 還元電位 (ORP)	(ブランク)
測定方式	白金抵抗体	電磁誘導	ストレッチゲージ	複合ガラス電極	隔膜電極	透過光散乱光比較式	白金電極	—
測定範囲	0~32℃	10~35‰	0~50m	4 ~ 12	0 ~ 20 ppm	0~20ppm オプション (0~100ppm) (0~500ppm)	-500 ~ +500mV	—
精 度	±0.1℃	±0.05‰	±0.3%FS	±0.05	±0.5ppm	±5%FS	±1%FS	—

# T.S.K

## 株式会社 鶴見精機

横浜市鶴見区鶴見中央2丁目2番20号  
 電話 (045) 521-5252(代) FAX 045-521-1717  
 テレックス 3823750 TSK JPN J

# 食卓の 豊かさを求めて



(ニューカレドニア・エビ養殖池)

フランスとの共同事業として、現在ニューカレドニアにて、エビの養殖事業に参加しています



株式  
会社

**東急フーズミート事業部**

〒140 東京都品川区東品川 4-10-21 電話 東京 03 (471) 6401 番(代)

# アーンデラー表層域流速計 Model P-RCM

## 表層域(波浪域)測流の決定版!!

永年の豊富な知識と実績により浅海域の計測は新時代を迎えました。

Recording Current Meter

RCM sereise

Model. RCM-5  
(深海用)

Model. RCM-4S (浅海用)

Model. P-RCM (表層用)

Model. P-RCMは、アーンデラー流向流速計の安定した信頼性を、そのまま維持しながら、弊社におきまして独自に改良を加えられたものです。本機は、正逆の両方向の流速を別々に計測、及び磁気テープに記録する事により表層域における真の流速値を確実にとらえる事が出来ます。

輸入販売代理店: 株式会社 **ユニオンエンジニアリング**  
本社 神戸市中央区海岸通3丁目1-1 KCCビル4F  
Tel. (078) 332-3381 代 Fax. (078) 332-5119 〒650  
支店 東京都中央区銀座7丁目18銀座スカイハイツ602号  
Tel. (03) 543-5399 Fax. (03) 545-5510 〒104



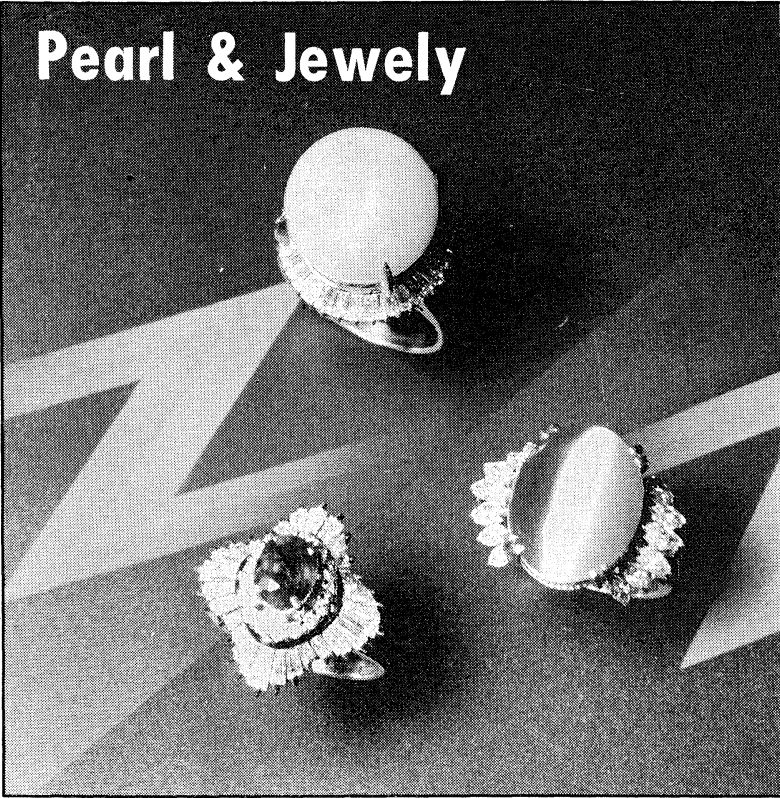
製造元: **AANDERAA INSTRUMENTS**



DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND, SEA AND AIR  
ADDRESS: 5051 BERXGEN, NORWAY

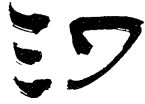
そのほか、弊社取扱製品(アーンデラー製品全般、及び他の海洋関連機器)に関する詳細資料を請求下されば御送付させていただきます。

# Pearl & Jewelry



輝く人の宝石の専門店

宝石の名門



東京・銀座

東京都中央区銀座6-7-2

電話572-5011(代表)

**JEWELER miwa**

No.7-2, 6-CHOME, GINZA,  
TOKYO Phone(03)572-5011

## 営業案内

- 科学魚探SIMRAD
- 理研式GEK
- 曳航式水温計

D. B. T.  
C / S T D  
水中照度計  
水中濁度計  
溶存酸素測定器  
サリノメーター

水中テレビジョン  
自記流向流速計  
比重計, 水色計, 標準海水  
アクアラング  
プランクトンネット類  
採水器類

採泥器類  
電気流速計  
船用機器模型及標本類  
標識票類

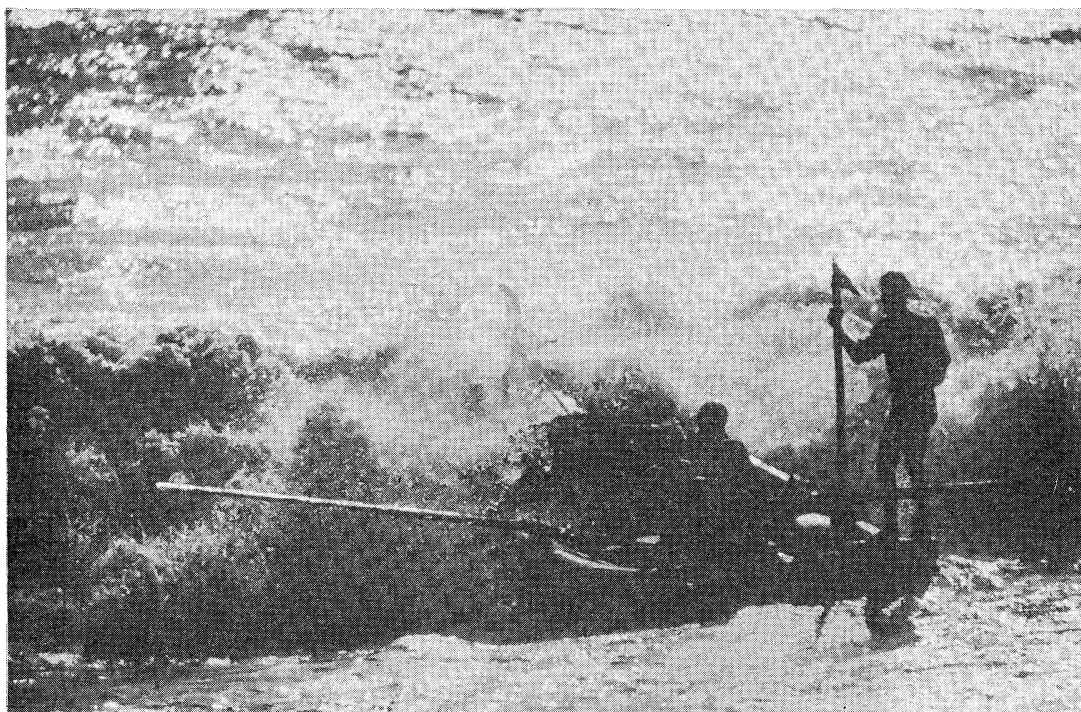
株式会社 **本 地 郷**

東京都中央区勝どき3丁目3番5号 かちどきビル内 〒104 TEL 533-7771(代)  
TELEFAX 533-4094

代表取締役 宮本 悟 取締役 大塚 昌治



# 好奇心



身近なもの、夢のあるもの、美しいもの、未来。自然、動物、魚、鳥、そして人々の笑顔。ほんのちょっとした好奇心が、なにげない情景を感動のドラマに変える。新しい興味が新しい世界を造る。今日から明日、そして未来へ————  
好奇心いっぱい。



**読売広告社**

支社：中央・新橋・渋谷・新宿・池袋・上野・蒲田・立川・横浜・北海道・仙台・名古屋・大阪・広島・小倉・福岡

本社：東京都中央区銀座1-8-14 TEL567-8111代

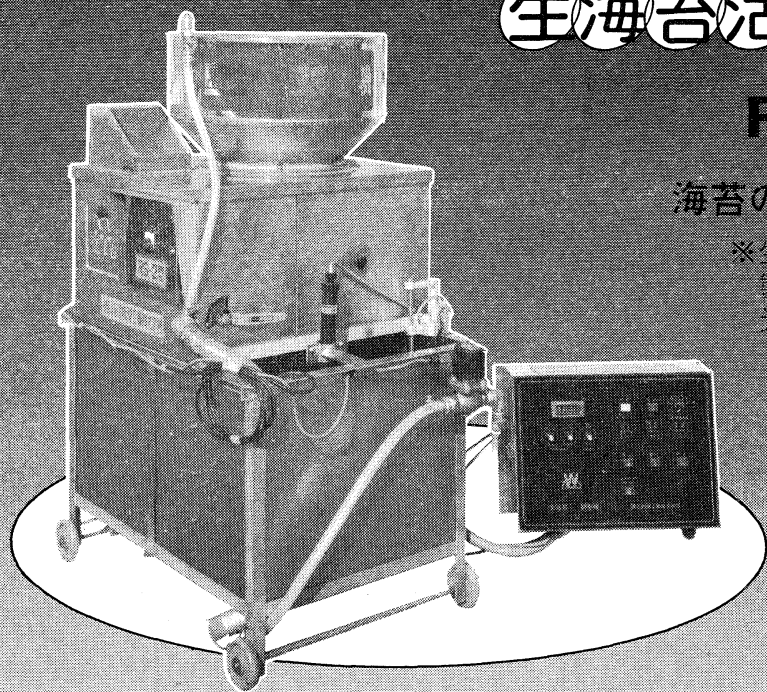
応援します。  
 良い海苔づくり—

生海苔活性調整機

RS-2型

海苔の等級が数段あがる

※生海苔を活性化し、海苔  
 製品の表面をなめらかに  
 光沢よく仕上げます。



	RS-1型	RS-2型
高さ	770mm	1,400mm
幅	980mm	960mm
深さ	820mm	780mm
重量	65kg	186kg
	40W 1台	40W 2台
モーター	100W 1台	80W 1台
		100W 1台
		150W 1台



渡辺機関工業株式会社

愛知県渥美郡田原町神戸大坪230  
 電話 05312 (2) 1121 (代表)

海苔の養殖から販売までの専門会社

まごころプラスワン



TAKAOKAYA



株式会社

高岡屋

東京都台東区上野6丁目7番22号

Takaokaya Company Limited.

7-22, Ueno 6-chome, Taito-ku, Tokyo, 110 JAPAN

## 賛 助 会 員

- |                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| 旭化成工業株式会社              | 東京都千代田区有楽町 1-1-2 三井ビル          |
| 株式会社旭潜研                | 東京都北区栄町 9-2                    |
| 阿部嘉方                   | 東京都練馬区春日町 2-15-6               |
| 株式会社内田老鶴園新社 内田悟        | 東京都千代田区九段北 1-2-1 蜂谷ビル          |
| 有限会社英和出版印刷社            | 東京都文京区本駒込 6-15-10              |
| 株式会社オセアノート             | 東京都世田谷区北沢 1-19-4-202           |
| 小樽船用電機株式会社             | 小樽市色内町 3-4-3                   |
| 海上電機株式会社               | 東京都西多摩郡羽村町栄町 3-1-5             |
| 株式会社川合海苔店              | 東京都大田区大森本町 2-31-8              |
| 三信船舶電具株式会社             | 東京都千代田区神田 1-16-8               |
| シュナイダー財団極東駐在事務所        | 東京都港区南青山 2-2-8 DFビル            |
| 昭和電装株式会社               | 高松市寺井町 1079                    |
| 新日本気象海洋株式会社            | 東京都世田谷区玉川 3-14-5               |
| 全日本爬虫類皮革産業連合会          | 東京都足立区梅田 4-3-18                |
| 高岡屋                    | 東京都台東区上野 6-7-22                |
| 株式会社鶴見精機               | 横浜市鶴見区鶴見中央 2-2-20              |
| 株式会社東京久栄               | 東京都中央区日本橋 3-1-15 久栄ビル          |
| 株式会社東京久栄技術センター         | 埼玉県川口市柴鶴ケ丸 6906-10             |
| 東京製綱繊維ロープ株式会社          | 東京都中央区日本橋本町 1-7-1              |
| 株式会社東急フーズミート           | 東京都品川区東品川 4-10-21              |
| 中川防蝕工業株式会社             | 東京都千代田区神田鍛冶町 2-2-2 東京建物ビル      |
| 株式会社中村鐵工所              | 東京都江東区亀戸 1-43-1                |
| 株式会社西日本流体技研            | 長崎県佐世保市棚方町 283                 |
| 日本アクアリング株式会社           | 神奈川県厚木市温水 2229-4               |
| (財)日本気象協会研究所           | 東京都千代田区麴町 4-5 海事センタービル内        |
| 日本テトラポッド株式会社           | 東京都新宿区西新宿 2-7-1 新宿第一生命ビル17F    |
| 深田サルベージ株式会社            | 東京都千代田区神田錦町 1-9-1 天理教ビル8階      |
| 古野電気株式会社               | 東京都中央区八重洲 2-3-13 藤和ビル          |
| 丸文株式会社                 | 東京都中央区日本橋大伝馬町 2-1-1            |
| 北斗理研株式会社               | 東京都東村山市多摩湖町 1-25-2             |
| 三井海洋開発株式会社             | 東京都千代田区一ツ橋 2-3-1 小学館ビル         |
| 宮本悟                    | 東京都中央区かきどき 3-3-5 かちどきビル (株本地郷) |
| 株式会社ユニオン・エンジニアリング 佐野博持 | 神戸市中央区海岸通 3-1-1 KCCビル4F        |
| 吉野計器製作所                | 東京都豊島区駒込 7-13-14               |
| 株式会社読売広告社              | 東京都中央区銀座 1-8-14                |
| 株式会社離合社                | 東京都千代田区鍛冶町 1-10-4              |
| 株式会社渡辺機関工業             | 愛知県渥美郡田原町神戸大坪 230              |
| 株式会社渡部計器製作所            | 東京都文京区向丘 1-7-17                |

## 日 仏 海 洋 学 会 編 集 委 員 会 (1986-1987)

委員 長: 高木和徳  
副委員 長: 関 文 威  
委 員: 青木三郎, 有賀祐勝, 半沢正男, 堀越増興, 鎌谷明善, 村野正昭, 小倉通男, 岡部史郎, 須藤英雄  
海外委員: H. J. CECCALDI (フランス), E. D. GOLDBERG (アメリカ), T. ICHIYE (アメリカ), T. R. PARSONS (カナダ)  
幹 事: 有賀祐勝, 山口征矢

### 技 稿 の 手 引

1. 「ろみ」(日仏海洋学会機関誌; 欧文誌名 *La mer*) は, 日仏海洋学正会員およびそれに準ずる非会員からの投稿(依頼稿を含む)を, 委員会の審査により掲載する。
2. 原稿は海洋学および水産学両分野の原著論文, 原著短報, 総説, 書評, 資料などとする。すべての投稿は, 本文, 原図とも正副2通とする。副本は複写でよい。本文原稿用紙はすべてA4判とし, 400字詰原稿用紙(和文)に, または厚手白紙にダブル・スペース(和文ワープロでは相当間隔)で記入する。表原稿および図説明原稿はそれぞれ本文原稿とは別紙とする。
3. 用語は日, 仏, 英3カ国語の何れかとする。ただし, 表および図説明の用語は仏文または英文に限る。原著論文(前項)には約200語の英文または仏文の要旨を, 別紙として必ず添える。なお, 欧文論文には, 上記要旨の外に, 約500字の和文要旨をも添える。ただし, 日本語圏外からの投稿の和文要旨については編集委員会の責任とする。
4. 投稿原稿の体裁形式は最近号掲載記事のそれに従う。著者名は略記しない。記号略号の表記は委員会の基準に従う。引用文献の提示形式は, 雑誌論文, 単行本分載論文(単行本の一部引用を含む), 単行本などの別による基準に従う。
5. 原図は版下用として鮮明で, 縮尺(版幅または1/2版幅)に耐えられるものとする。
6. 初校に限り著者の校正を受ける。
7. 正会員に対しては7印刷ページまでの掲載を無料とする。ただし, この範囲内であっても色彩印刷を含む場合などには, 別に所定の費用を著者負担とすることがある。正会員の投稿で上記限度を超える分および非会員投稿の印刷実費はすべて著者負担とする。
8. すべての投稿記事について, 一篇あたり別刷50部を無料(送料共)で請求できる。50部を超える分は請求により, 50部単位で作製される。別刷請求用紙は初校と同時に配布される。
9. 原稿の送り先は下記の通り

〒108 東京都港区港南4-5-7 東京水産大学資源増殖学科気付

日仏海洋学会編集委員会 委員長 高木和徳

---

昭和 61 年 8 月 25 日 印刷  
昭和 61 年 8 月 28 日 発行

5 6

第 24 卷  
第 3 号

定 価 ￥ 1,600

編 集 者 高 木 和 徳

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: 03(291)1141

振替番号: 東京 5-96503

印 刷 者 佐 藤 一 二

印 刷 所 有限会社英和出版印刷社

東京都文京区本駒込 6-15-10

郵便番号: 113

電話: 03(941)6500

---

Tome 24 N° 3

SOMMAIRE

Notes originales

Food consumption and growth of artificially produced Japanese red porgy young <i>Pagrus major</i> .....	Joannes S. APOSTOLOPOULOS and Naonori ISHIWATA	113
The bacterial adhesion to copepods in coastal waters in different parts of the world .....	Sachiko NAGASAWA	117
Feeding experiment of the four-armed echinoplutei of <i>Pseudocentrotus depressus</i> (in Japanese) .....	Naonori ISHIWATA and Akira TENJIN	125
Relationships between the grid size and the coefficient of subgrid-scale diffusion in a finite difference advection-diffusion equation .....	Keiko YOKOYAMA and Kenzo TAKANO	128
Theoretical analysis of the <i>in situ</i> fluorescence of chlorophyll <i>a</i> on the underwater spectral irradiance .....	Motoaki KISHINO, Shigehiko SUGIHARA and Noboru OKAMI	130
Preliminary design of deep-sea surface buoy system for ocean mixed layer experiment (in Japanese) .....	Wataru KOTERAYAMA, Shinjiro MIZUNO and Hisashi MITSUYASU	139
Grid size and the biharmonic form for subgrid-scale diffusion in a finite difference vorticity equation in the ocean .....	Satoshi MURATA and Kenzo TAKANO	150
Growth of tagged abalone <i>Haliotis sieboldii</i> in Kominato, Chiba Prefecture (in Japanese) .....	Yasuyuki KOIKE and Naonori ISHIWATA	153

Conférence

Physical oceanography on coastal processes (in Japanese) .....	Tetsuo YANAGI	157
--	---------------	-----

Miscellanées

Informations océanographiques de France No. 1 .....		160
Activité d'édition de la Société franco-japonaise d'Océanographie de Paris .....		162

Analyses d'ouvrages

.....		163
-------	--	-----

Procès-verbaux

.....		165
-------	--	-----

第 24 卷 第 3 号

目 次

原 著

人工生産によるマダイ若年魚の摂餌量と成長 (英文) .....	Joannes S. APOSTOLOPOULOS, 石渡直典	113
世界各地の沿岸におけるかいあし類への細菌付着 (英文) .....	永沢祥子	117
アカウニ 4 腕幼生の摂餌生態学的実験 (和文) .....	石渡直典, 天神 僚	125
移流・拡散差分方程式での格子間隔とうず拡散係数の関係 (英文) .....	横山恵子, 高野健三	128
水中分光放射照度におけるクロロフィル <i>a</i> の蛍光に関する理論的考察 (英文) .....	岸野元彰, 杉原滋彦, 岡見 登	130
海洋混合層水温計測用ブイシステムの設計 (和文) .....	小寺山 亘, 水野信二郎, 光易 恒	139
海の差分温度方程式での格子間隔と重調和型うず粘性係数 (英文) .....	村田 聡, 高野健三	150
千葉県小湊地先における標識メガイの成長 (和文) .....	小池康之, 石渡直典	153

記念講演

沿岸海洋過程の研究 .....	柳 哲雄	157
-----------------	------	-----

資 料

フランス海洋情報 (1) .....		160
パリ仏日海洋学会の出版活動 .....		162

書 評

.....		163
-------	--	-----

学会記事

.....		165
-------	--	-----