
Tome 24

Novembre 1986

Numéro 4

La mer

う み

昭和 61 年 11 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. HANZAWA, 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. 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* environs. Pour les textes en langues européennes, il faudra joindre en plus le résumé en japonais de *500 lettres* environs. Si le manuscrit est envoyé par un non-japonophone, 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.

The short-period cold water mass accompanied by large meander of the Kuroshio south of Japan*

Haruo ISHII** and Yoshihiko SEKINE***

Abstract: A cold water mass accompanied by the large meander of the Kuroshio with short lifetime less than one year was observed to the south of Japan. The difference in hydrography between the short-period meander observed in 1969-1970 and long-period meanders observed in 1975-1980 and 1981-1984 is considered. It is shown that there are no apparent differences in the current path pattern of the Kuroshio during the formation process of the large meander between the short-period meander and the long-period meanders. The time variation in temperature at depths of 1,000 m and 1,500 m near the center of the cold water mass with the short-period meander has a tendency to increase in the western side of the Izu Ridge. In the final period of the short-period meander, the center of the cold water mass shifts to the eastern side of the Izu Ridge. Observed current path does not show amplification in the eastern side of the Izu Ridge, which is neither observed in the final period of the long-period meanders. The temperature variation of the cold water mass accompanied with long-period meander is found to repeat its increase and decrease in the western side of the Izu Ridge. However, the decrease in the temperature is not detected in the cold water mass accompanied by the short-period meander. It is suggested that the lifetime of the large meander of the Kuroshio and of the cold water mass is related to the occurrence of temperature decrease of the cold water mass in the western side of the Izu Ridge south of Japan.

1. Introduction

It is well known that a large-scale meander of the Kuroshio appears south of Japan and stays for a long period (e.g., SHOJI, 1972; NISHIDA, 1982). This phenomenon, which is called large meander, is peculiar to the Kuroshio and a similar one has not been observed in other western boundary currents. Since 1950, the large meander of the Kuroshio has been observed six times (see Table 1). We should notice here that the two cases of the large meander, which were formed in 1951 and in 1969, ended with a short lifetime less than one year, whereas the other cases continued more than two years. The difference in lifetime length between both the cases is considered in the present paper.

SEKINE *et al.* (1985) analyzed the time variation of the cold water mass accompanied with the

large meander of the Kuroshio formed in 1975. They showed that the temperature at a depth shallower than 1,000 m near the center of the cold water mass takes several repetition of cooling and warming, in which the cooling has a tendency to occur in late spring to summer and the warming in the other seasons. During the cooling periods, the expansion of the low temperature area, which is estimated from a horizontal temperature distribution at a depth of 200 m, is commonly observed, while the shrinking of the low temperature area is observed in warming periods. It is also suggested by SEKINE *et al.* (1985) that the cold water mass of the Kuroshio decays in comparatively short time, three years at most, if the cooling period of temperature does not exist. The occurrence of the cooling of the cold water mass is supposed to be related to the longer lifetime of the cold water mass and the large meander of the Kuroshio.

In the present study, the time variation of the short-period meander and its cold water mass is analyzed from the above viewpoint. Because

* Received March 10, 1986

** Hydrographic Department, Maritime Safety Agency of Japan, Chuo-ku, Tokyo, 104 Japan

*** Institute of Geosciences and Astronomy, The National Defense Academy, Yokosuka, 239 Japan

very little hydrographic data of the short-period meander formed in 1950 is available, the main analysis of the short-period meander is made for that formed in 1969. In what follows, the difference in current path during the formation

period of large meander between the short-period meander and the long-period meanders is examined in the next section. In the section three, the time variation in the temperature of the cold water mass of short-period meander is examined and the result is compared with those of long-period meanders formed in 1975 and in 1981. Summary and discussion are made in section four.

2. Time variation in current path during the formation period of the short-period large meander of the Kuroshio

Figure 1 displays the four cases of the time variation of the Kuroshio path during the formation process of the large meander path from no meander path. The case of Fig. 1(b) observed in 1969 is a short-period meander and the other three cases observed in 1959, 1975 and 1981 are long-period meanders (see Table 1). It is found that the variation in current path of the Kuroshio during the transition process is almost common to all the cases; a small meander is generated to the southeast of Kyushu, and it moves eastward. Relatively sudden amplification of the small meander occurs near 137–138°E, which is a final process of the formation of the large meander path of the Kuroshio. It is found from Fig. 1 that there are no apparent differences in the current path pattern in the formation process and in the accomplished large meander path between the short-period meander and the long-period meanders. Although the detailed comparison is difficult due to the lack of the observational data, it is inferred that the lifetime of a cold water mass depends on the process after the accomplishment of the for-

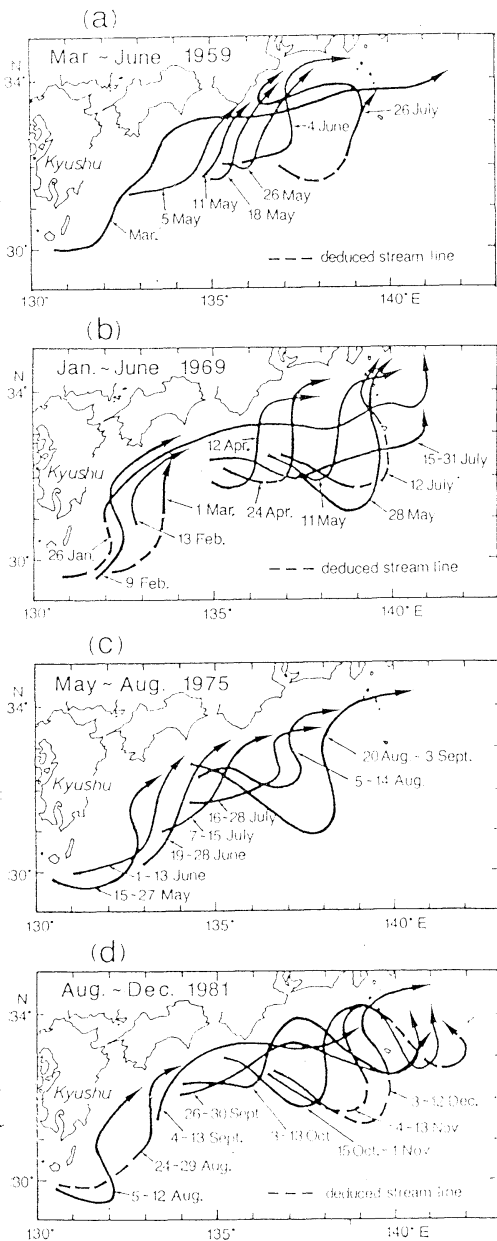


Fig. 1. Change in the path of the Kuroshio during the transition periods from no meander path (a) after YOSHIDA (1961), (b) after SHOJI (1972), (c) after KOSUGI (1978) and (d) based on data of the Hydrographic Department.

Table 1. Lifetime of the cold water mass of the Kuroshio.

Case no.	Periods of presence of the cold water mass	Lifetime (in years)
I	Aug. 1951-Apr. 1952 ^a	0.8
II	Sept. 1953-Dec. 1955 ^a	2.3
III	July 1959-Dec. 1962 ^{a,b}	3.5
IV	May 1969-May 1970 ^b	1.0
V	Aug. 1975-Aug. 1980 ^b	5.0
VI	Nov. 1981-Aug. 1984 ^b	2.9

^a After OKADA and NISHIMOTO (1978).

^b Based on data from Hydrographic Department of the Maritime Safety Agency of Japan.

mation of the Kuroshio large meander south of Japan.

3. Time variation in temperature of the cold water mass accompanied by short-period meander

The temperature variation in the deep layer near the center of the cold water mass formed in 1969 is shown in Fig. 2. The temperature is estimated as the average of the lowest three temperature data near the center of the cold water mass (for the locations of the lowest three temperature data, see Fig. 3). It is shown that the temperature has a tendency to increase during the total lifetime. The tendency of temperature variation shown in Fig. 2 almost

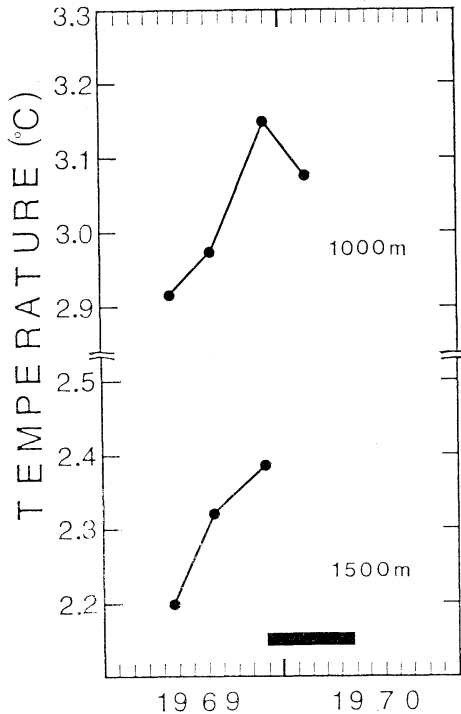


Fig. 2. Time variation of temperature at depths of 1,000 m and 1,500 m in the cold water mass of the Kuroshio. The temperature is defined as the average of the lowest three data near the center of the cold water mass of which locations are shown by larger symbols of station points in Fig. 3. Data sources are Maritime Safety Agency and Japan Meteorological Agency. The black band at the bottom shows the period when the center of the cold water mass exists in the eastern side of the Izu Ridge.

coincides with those of the Gulf Stream cyclonic rings; the warming of the cold dome is found throughout the lifetime (e.g., CHENEY and RICHARDSON, 1976).

Horizontal distribution of the temperature displayed in Fig. 3 shows that the horizontal scale of the cold water mass diminishes by the lapse of time and the center of the cold water mass shifts to the eastern side of the Izu Ridge. The cold water mass attenuates rapidly in the eastern side of the Izu Ridge and the large meander of the Kuroshio disappears in a short time. The phenomenon that the center of the cold water mass and large meander of the Kuroshio shift to the eastern side of the Izu Ridge in its last stage is common to all the large meanders (e.g. NISHIDA, 1982). Small temperature decrease at a depth of 1,000 m is detected in Fig. 2, after the cold water mass of the Kuroshio shifted to the eastern side of the Izu Ridge. However, the cold water mass may not be intensified in the eastern side of the Izu Ridge.

The temperature variation in the deep layer for the cases of long-period meanders formed in 1975 and in 1981 is shown in Fig. 4(a) and (b), respectively. The temperature tends to increase gradually by the lapse of time, but there exist some cooling periods. The cooling has a tendency to occur in late spring to summer. We should notice here that the decrease in temperature of the cold water mass in the Shikoku Basin (western side of the Izu Ridge) has not been observed in the lifetime of short-period meander formed in 1969 as shown in Fig. 2.

Horizontal distributions of temperature during the cooling periods shown in Fig. 4 are displayed in Fig. 5 and Fig. 6. It is clear that the decrease in temperature of the cold water mass and the expansion of the horizontal scale of the cold water mass of the long-period meander occur in the western side of the Izu Ridge, which is not found in the case of short-period meander shown in Figs. 2 and 3. Because the cooling of a deep layer is caused by the ascent of the isotherms, such a cooling is considered to be a spin-up of the cold water mass (for the detailed description of the cooling period of Fig. 4(a), see SEKINE *et al.*, 1985). From this, no occurrence of the cooling in the western side of

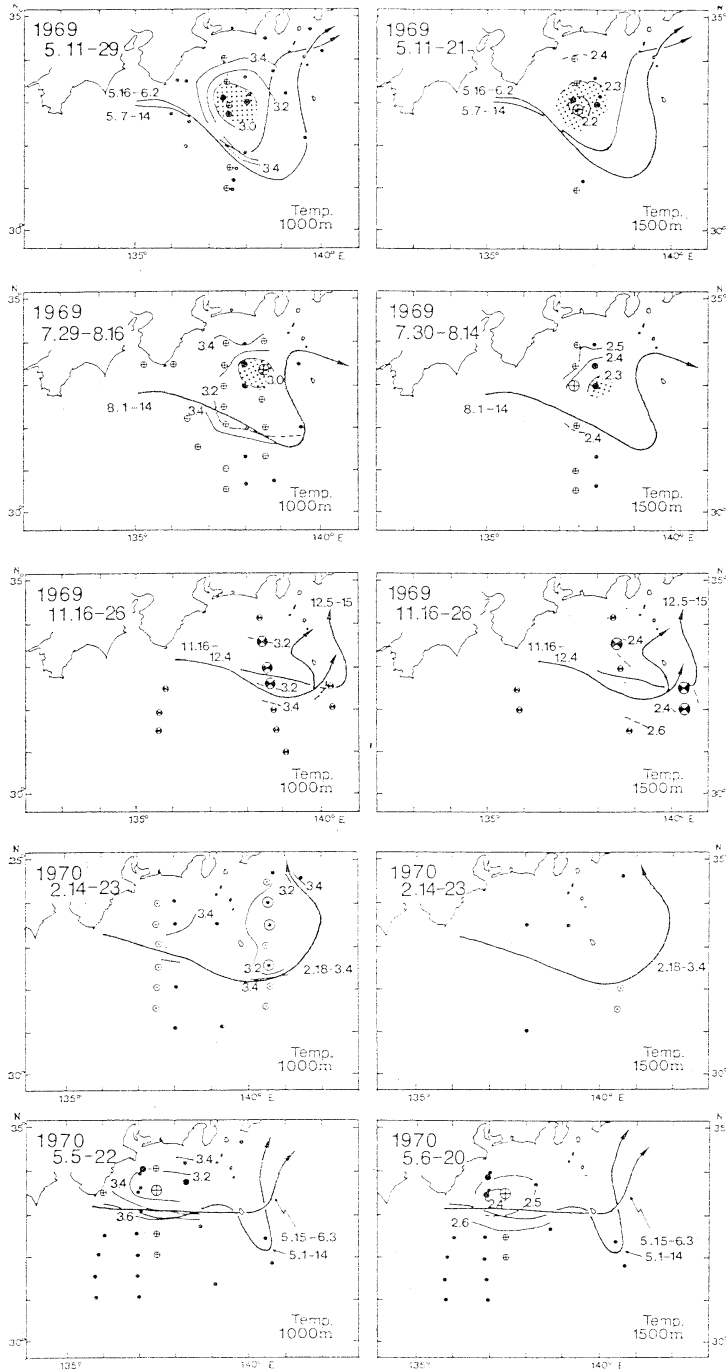


Fig. 3. Horizontal distribution of temperature (°C) at depths of 1,000 m and 1,500 m during the short period meander formed in 1969. Also shown are surface current axes of the Kuroshio (thick lines with arrows) based on the Quick Bulletin of Ocean Conditions published twice a month by Hydrographic Department of Maritime Safety Agency of Japan. Symbols show the observational stations of temperature of Takuyo (⊙) and Kaiyo (⊕) of Hydrographic Department, and Shunpu Maru (⊕) and Ryofu Maru (⊙) of Japan Meteorological Agency. The larger three symbols show stations of the lowest three temperatures, of which averages are displayed in Fig. 2.

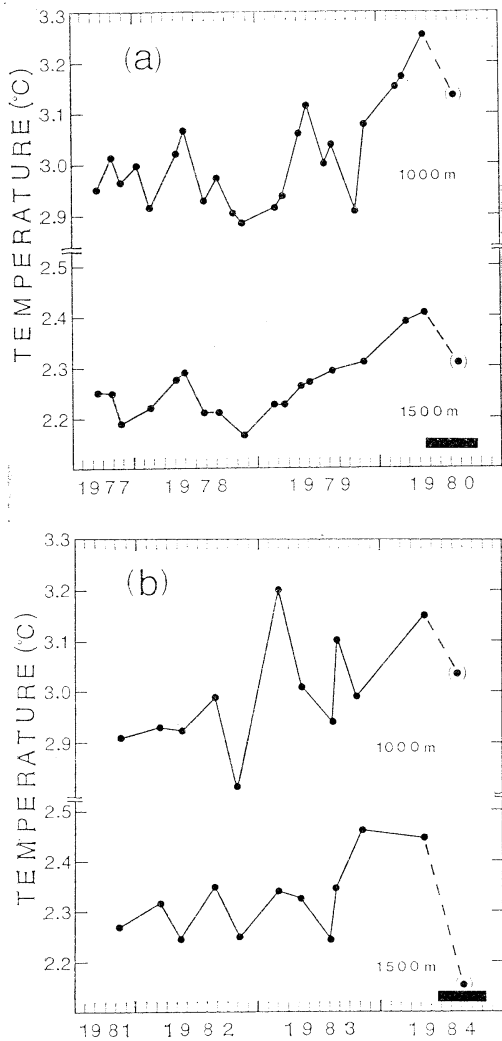


Fig. 4. Time variation of temperature at depths of 1,000 m and 1,500 m in the cold water mass of the Kuroshio accompanied by the long-period large meanders formed in 1975 (a) and in 1981 (b). The temperature is defined as the average of the lowest three data near the center of the cold water mass. Data are provided by Maritime Safety Agency of Japan, Japan Meteorological Agency, Japan Oceanographic Data Center and Fisheries Agency. The black band at the bottom shows the period when the center of the cold water mass exists in the eastern side of the Izu Ridge.

the Izu Ridge indicates no occurrence of the spin-up of the cold water mass accompanied with the short-period meander. In contrast to this,

long-period meanders formed in 1975 and in 1981 have spin-up periods of the cold water mass. It is thus pointed out that the occurrence of a spin-up of the cold water mass is associated with the longer lifetime of the large meander of the Kuroshio.

Next we see a critical condition of the shift of the cold water mass to the eastern side of the Izu Ridge, which is commonly observed for the decay period of the cold water mass and large meander of the Kuroshio. The periods when the cold water mass is in the eastern side of the Izu Ridge are displayed by the black bands in Figs. 2 and 4. It is demonstrated from Figs. 2 and 4 that the shift of the cold water mass occurs when the temperature at a depth of 1,500 m near the center of the cold water mass exceeds about 2.4°C. The existence of the critical value of temperature is considered as follows. On the basis of the gradient flow balance on the deep layer circulation of the cold water mass, the larger horizontal gradient of the temperature at a deep level indicates the existence of larger current velocity down to that level, and vice versa. Because the averaged depth of the Izu Ridge is shallower than 1,000 m, the cold water mass is supposed to have a contact with the bottom topography of the Izu Ridge. It is well-known from the theory of the geophysical fluid dynamics (e.g., PEDLOSKY, 1979) that the current in the deep layer has a tendency to flow along the isopleth of the depth. Therefore, the cold water mass with the larger current velocity in the deep layer is not able to go over the Izu Ridge to its eastern side, unless the current velocity in lower layer is weakened. It is thus suggested that the critical velocity which allows the cold water mass to shift to the eastern side of the Izu Ridge is represented by the temperature of about 2.4°C at a depth of 1,500 m, in which averaged temperature at a depth of 1,500 m south of Japan is about 2.6–2.9°C (e.g. TAFT, 1978). However, this critical condition on the shift of the cold water mass should be examined quantitatively by use of simulating model.

4. Summary and discussion

The time variation of the short-period cold water mass accompanied by large meander of

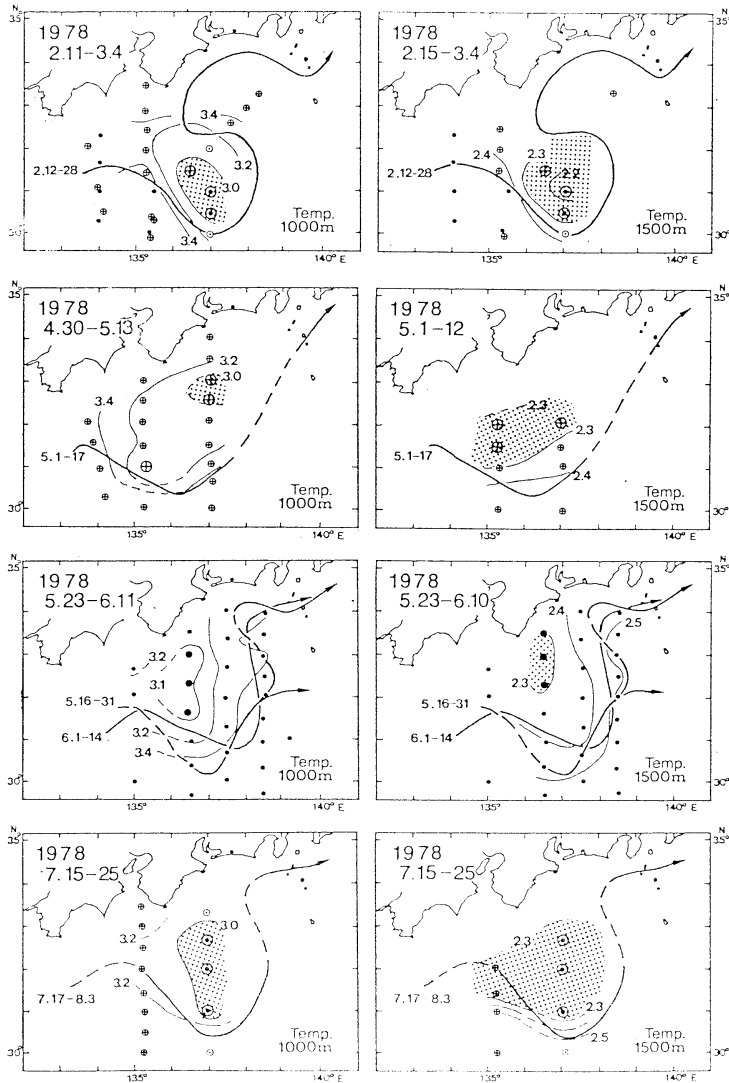


Fig. 5. Horizontal distribution of the temperature during the low temperature period of the cold water mass of the Kuroshio accompanied by the long-period meander formed in 1975. Data sources are the same as in Fig. 4. The symbols of the stations are the same as in Fig. 3.

the Kuroshio formed in 1969 has been studied and the results are compared with those accompanied by the long-period meanders formed in 1975 and 1981. Main conclusions of the present study are summarized as follows:

(1) There exists no apparent difference in current path variations during the formation process of the large meander of the Kuroshio between the short-period meander and the long-period meanders. The lifetimes of the cold water

mass and large meander of the Kuroshio are supposed to be due to the process after the accomplishment of the large meander path formation.

(2) The deep layer temperature at depths of 1,000 m and 1,500 m near the center of the cold water mass accompanied by the short-period meander shows no cooling period in the western side of the Izu Ridge. In contrast to this, the cold water mass with the long-period meanders

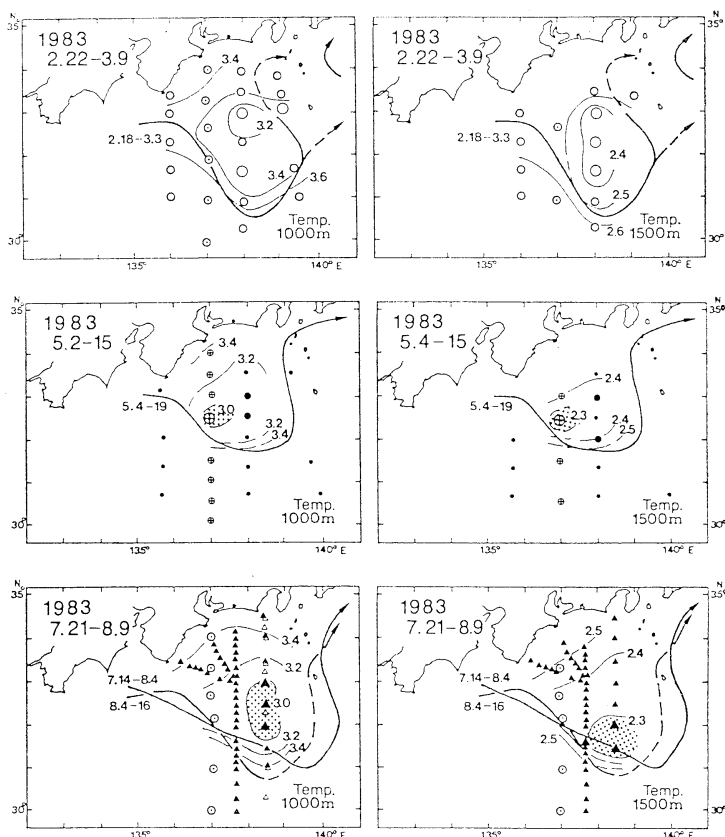


Fig. 6. Horizontal distribution of temperature during the low temperature period of the cold water mass of the Kuroshio accompanied by the long-period meander formed in 1981. Data sources are the same as in Fig. 4. The symbols are the same as in Fig. 3, but for Shoyo (○) of Hydrographic Department, Soyo Maru (▲) and Syunyo Maru (△) of Fishery Agency.

has commonly cooling periods of temperature in the western side of the Izu Ridge. It is suggested that the occurrence of the cooling of the cold water mass has some relationship to its longer lifetime.

(3) Prior to the decay period the large cold water mass and the large meander of the Kuroshio, they shift to the eastern side of the Izu Ridge. It is found that the cold water mass and large meander have a tendency to shift to the eastern side of the Izu Ridge when the temperature at a depth of 1,500 m near the center of the cold water mass exceeds 2.4°C . Because the increase of the lower layer temperature of the cold water mass means the decrease in velocity in the deep layer, this represents a critical

condition on the shift of the cold water mass and large meander of the Kuroshio to an eastern side of the Izu Ridge.

Finally, we refer to the occurrence of the spin-up process of the cold water mass of the Kuroshio, which is only observed in the long-period meanders. SEKINE *et al.* (1985) showed that the cooling of the cold water mass formed in 1975 has a tendency to occur in late spring to summer. The similar tendency is found in the temperature variation of the cold water mass formed in 1981 (see, Fig. 4(b)). Therefore, a relationship between the occurrence of the cooling of the cold water mass and the seasonal variation of the Kuroshio flow is suggested. When the cooling of the cold water mass does

not occur in this season, there is a possibility that the large meander of the Kuroshio and the cold water mass decay in near future. The dynamics of the cooling of the cold water mass and its relationship to the seasonal variation of the Kuroshio should be investigated in the next stage of this study.

Acknowledgments

The authors would like to express their thanks to Professor Y. TOBA of Tohoku University for his helpful discussions throughout this study. Our thanks are extended to Dr. H. NISHIDA and Dr. M. FUKASAWA for their critical reading of the manuscript with valuable comments.

References

- CHENEY, R. E. and P. L. RICHARDSON (1976): Observed decay of a cyclonic Gulf Stream ring. *Deep-Sea Res.*, **23**, 143-155.
- FISHERIES AGENCY (1983): The Results of Fisheries Oceanographical Observation. January-December, 1980.
- HYDROGRAPHIC DEPARTMENT, MARITIME SAFETY AGENCY OF JAPAN (1969, 1970, 1978, 1981, 1983): The Quick Bulletin of Ocean Conditions. Nos. 10, 11, 16, 23, 24 (1969), No. 5 (1970), Nos. 5, 10-12, 15 (1978), Nos. 16-24 (1981), Nos. 5, 10, 15, 16 (1983).
- JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY (1971-1972, 1979-1985): The Results of Marine Meteorological and Oceanographical Observations. Nos. 45-47, 61-76.
- JAPAN OCEANOGRAPHIC DATA CENTER (1985): Data Report of KER, No. 7.
- KOSUGI, A. (1978): The generation process of the Kuroshio large meander and the cold water mass formed in 1975. *In: The Kuroshio Meander and Cold Water Mass. Rep. of Grant-in-Aid for Cooperative Res.*, 10-20. (in Japanese)
- MARITIME SAFETY AGENCY OF JAPAN (1973-1974, 1980-1986): Data Report of Hydrographic Observation, Series of Oceanography, Nos. 10-11, 17-23.
- NISHIDA, H. (1982): Description of the Kuroshio meander in 1975-1980—Large meander of the Kuroshio in 1975-1980 (I). *Rep. Hydrogr. Res.*, **17**, 181-207.
- OKADA, M. and K. NISHIMOTO (1978): Mean sea level along the south coast of Japan and large meanders of the Kuroshio from 1894 through 1924. *Umi to Sora*, **54**, 91-97. (in Japanese with English abstract).
- PEDLOSKY, J. (1979): *Geophysical Fluid Dynamics*. Springer-Verlag, Berlin and New York. 662 pp.
- SEKINE, Y., H. ISHII and Y. TOBA (1985): Spin-up and spin-down of the large cold water mass of the Kuroshio south of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 207-212.
- SHOJI, D. (1972): Time variation of the Kuroshio south of Japan. p. 217-234. *In: H. STOMMEL and K. YOSHIDA (ed.), Kuroshio—Its Physical Aspects*. Univ. of Washington Press.
- TAFT, B.A. (1978): Structure of the Kuroshio south of Japan. *J. Mar. Res.*, **36**, 77-117.
- YOSHIDA, S. (1961): On the variation of the Kuroshio and cold water mass off Enshu Nada. *Hydrogr. Bull.*, **67**, 54-57 (in Japanese with English abstract).

日本南岸の黒潮大蛇行に伴う短期間大冷水塊

石井 春雄, 関根 義彦

要旨: 日本南岸の黒潮大蛇行に伴う大冷水塊には, 形成されてから1年以内で消滅する短期間のものが観測される。1969年から1970年に存在した短期間の蛇行に伴う大冷水塊と, 1975年から1980年および1981年から1984年に存在した長期間の蛇行に伴う大冷水塊との違いを調べた。直進流路から大蛇行への移行過程での流路の変動には, 両者の間に大きな違いがないことが示された。短期間の蛇行に伴う大冷水塊の1,000 m深と1,500 m深の水温は伊豆海嶺の西側にある時には上昇の傾向を示すのに対して, 長期間存在する大蛇行の大冷水塊のそれは伊豆海嶺の西側で上昇したり下降したりする。短期間, 長期間の大蛇行ともにその消滅期には冷水塊の中心が伊豆海嶺の東側に移行し, それ以後は双方とも蛇行振幅の増幅は見られない。黒潮大蛇行および大冷水塊の寿命は伊豆海嶺の西側で大冷水塊の水温が低下する現象と関連があることが示唆された。

High incidence of copepod-bacteria associations in Tokyo Bay waters and Woods Hole waters*

Sachiko NAGASAWA**

Abstract: SEM examination revealed that calanoid copepods *Acartia* spp. from Tokyo Bay waters and Woods Hole waters have a high incidence of bacterial colonization on their body. In some samples from Tokyo Bay one hundred percent of adult copepods were colonized by bacteria. Many of these bacteria produced slime. More than 80 % of copepods from Woods Hole were covered with bacteria and some of these copepods had slime. Small pores and slots which are scars of bacteria either vertically or horizontally attached to copepods were observed adjacent to dense colonies of bacteria. Bacteria were sometimes present in the internal part of body, suggesting that bacterial invasion occurred inside the body. These findings suggest that copepod-bacteria associations which are global phenomena cannot be commensalism but parasitism.

1. Introduction

Bacterial epibionts of copepods have been examined in coastal waters (SOCHARD *et al.*, 1979; COLWELL *et al.*, 1980; HUQ *et al.*, 1983; NAGASAWA *et al.*, 1985a; NAGASAWA and NEMOTO, 1986, in press; NAGASAWA, 1986) as well as lakes (HOLLAND and HERGENRADER, 1981) using scanning electron microscopy. One measure of this association, incidence of copepods with bacteria (ICWB), has been obtained from samples in coastal waters in different parts of the world (NAGASAWA, 1986; NAGASAWA and NEMOTO, in press). Values of ICWB ranged from 0 to 84 %. So far Woods Hole samples had the highest incidence, 84 %, but in general ICWB was less than 10 % (NAGASAWA, 1986). Seventy-five percent of the adult calanoid copepods *Diaptomus* spp. were colonized as compared to only 10.5 % of the copepodites at three lakes in Nebraska (HOLLAND and HERGENRADER, 1981). Bacteria capable of producing polysaccharides occurred on calanoid copepods *Acartia* spp. from Woods Hole, San Francisco Bay and Vera Cruz (NAGASAWA, 1986).

The present study provides information on variation of ICWB at two stations in Shinhamako (Tokyo Bay) where at times all adult copepods

Acartia spp. are colonized by bacteria as well as with attached bacteria including production of polysaccharides. Discussion is focused on the ecological aspects of the frequent occurrence of copepods with bacteria, and of the mutual relation between copepods and bacteria.

2. Materials and methods

Tokyo Bay and Woods Hole samples were used in this study; the former includes *Acartia omorii* and *A. plumosa* obtained from Shinhamako, a saline lake which is connected to Tokyo Bay (see NAGASAWA, 1984) and the latter includes *A. tonsa* from Woods Hole. Copepods known as *A. clausi* in Japanese coastal and inlet waters consist of two species, *A. omorii* and *A. hudsonica* (UEDA, 1986). He also mentions that samples from almost all areas are composed of *A. omorii*. Waters of Shinhamako cover an area of 300,000 square meters and hereafter are referred to as Tokyo Bay waters, since water from Tokyo Bay flows into and out of this lake through a sluice gate. The Tokyo Bay samples are composed of 25 collections taken from January 6 through November 4, 1976 at two stations separated by about 1,000 m. The Woods Hole sample consists of only one sample collected on September 1, 1984. Each sample was preserved in 5 % neutralized formalin seawater solution immediately after collection. The

* Received March 17, 1986

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

seasonal cycle of *Acartia* was described by FUROTA (1979) for Shinhamako where *A. omorii* was dominant from November through June and was replaced in dominance during summer by *A. plumosa*. Three samples taken in June and November include both species of copepods. The other 22 samples were composed of either *A. omorii* (11 samples) or *A. plumosa* (11 samples).

In most cases 100-200 *Acartia* adults were removed from preserved plankton samples, and examined in a JSM-35 scanning electron microscope following the preparation procedure de-

scribed by NAGASAWA *et al.* (1985a). After critical-point drying some specimens collected on August 15, 1976 were cut transversely or exoskeletons of copepods were cut open so that internal tissue could be seen easily. These also were then coated with gold and examined in an SEM.

The density of bacteria is defined as number of bacteria per unit surface area: when several to several tens bacteria are dispersed, the density is low; when more than 100 to several hundreds bacteria are colonized, the density is high. The

Table 1. Data on copepod collections used in the present study, incidence of copepods with bacteria (O and P in parentheses represent *A. omorii* and *A. plumosa*, respectively) and characteristics of bacteria attached to copepods. ND indicates no data.

Station	Date (1976)	No. of copepods examined	Incidence of copepods with bacteria (%)	Characteristics of bacteria			
				1) Attachment	2) Density	3) Shape	4) Slime
Tokyo (Shinhamako) Bay							
1	Jan. 6	126	0 (O)	ND	ND	ND	ND
2	Jan. 6	127	0 (O)	ND	ND	ND	ND
1	Jan. 21	216	0.5 (O)	Head only	High	Slender rods	Absent
2	Jan. 21	113	0 (O)	ND	ND	ND	ND
1	Feb. 10	215	100.0 (O)	Everywhere	Low	Short or indented rods	Absent
2	Feb. 27	59	0 (O)	ND	ND	ND	ND
1	Mar. 31	113	100.0 (O)	Everywhere	Low, rarely high	Short or long rods, spiral	Present
2	Mar. 31	103	2.9 (O)	Selective	Low	Short or long rods	Absent
1	Apr. 16	158	92.4 (O)	Everywhere	Low, rarely high	Short or long rods, spiral	Present
2	Apr. 16	139	3.6 (O)	Selective	Low, rarely high	Short or long rods	Absent
1	May 7	127	100.0 (O)	Everywhere	High	Short or indented rods, spiral	Present
1	June 19	52	3.8 (O,P)	Selective	Low	Short or long rods	Absent
2	June 19	23	0 (O,P)	ND	ND	ND	ND
2	July 9	66	0 (P)	ND	ND	ND	ND
1	July 27	86	0 (P)	ND	ND	ND	ND
2	July 27	150	0 (P)	ND	ND	ND	ND
1	Aug. 15	130	43.1 (P)	Selective, dorsal	Low, on the back high	Short or long rods	Present
2	Aug. 15	208	54.3 (P)	Selective, dorsal	Low, rarely high	Short or long rods	Absent
1	Sept. 5	137	12.4 (P)	Selective	Low	Short or long rods	Present
2	Sept. 5	142	25.4 (P)	Selective	Low, rarely high	Short or long rods	Absent
1	Sept. 30	174	100.0 (P)	Everywhere	High	Short, long or indented rods	Present
2	Sept. 30	66	16.7 (P)	Selective	Low	Short or long rods	Absent
1	Oct. 17	190	100.0 (P)	Selective	Low	Short or long rods	Absent
2	Oct. 17	158	16.5 (P)	Selective	Low, rarely high	Short, long or indented rods	Absent
2	Nov. 4	125	47.2 (O,P)	Selective	Low, sometimes high	Short or long rods, beaded	Absent
Woods Hole 1	Sept. 1, 1984	117	83.8	Selective, dorsal	High, rarely low	Short or long rods	Present

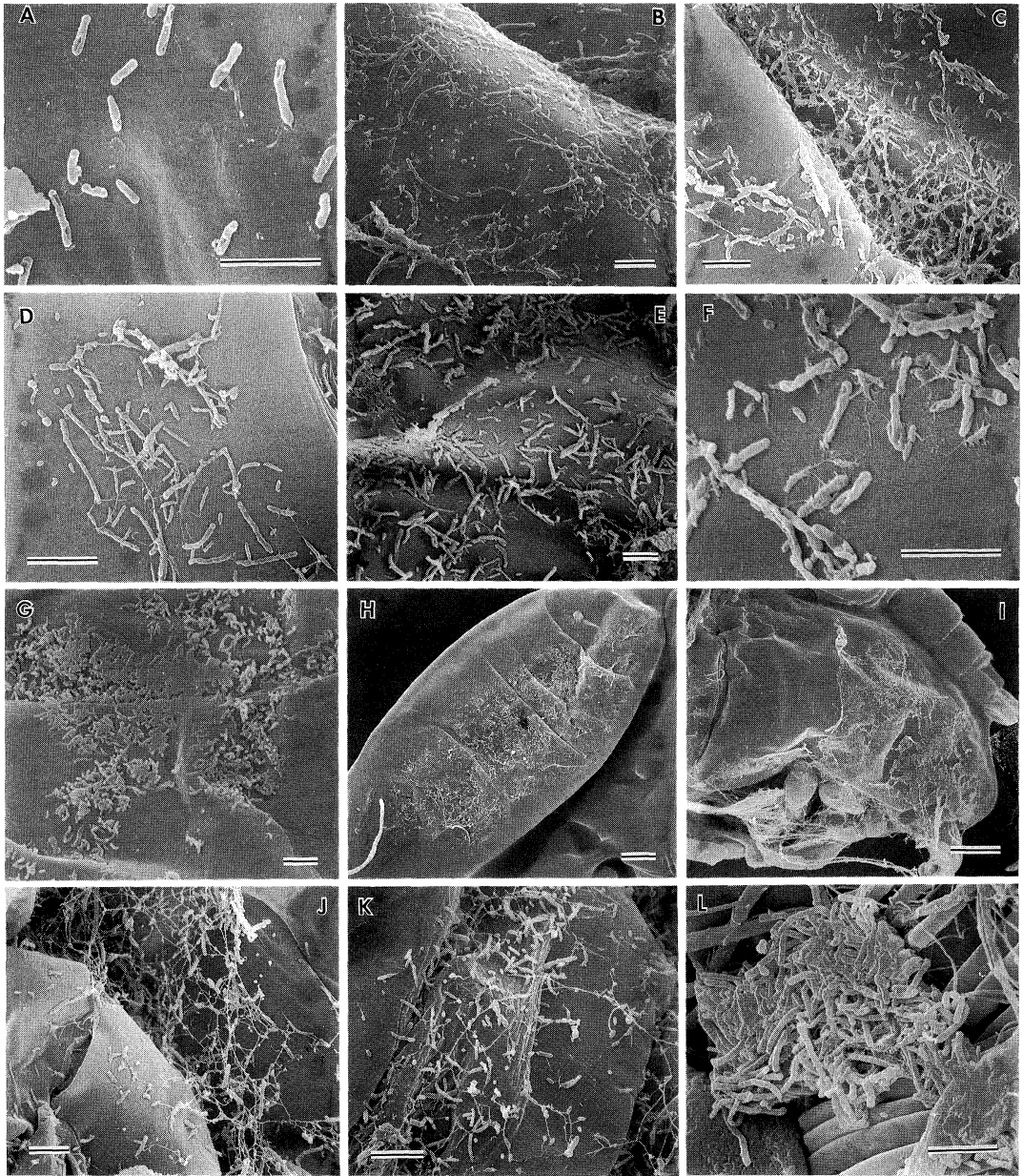


Fig. 1. Scanning electron micrographs of bacteria attached to copepods obtained from Tokyo Bay waters. Specimens were collected on February 10, 1976 (A), March 31, 1976 (B and C), April 16, 1976 (D), May 7, 1976 (E and F), August 15, 1976 (G) and September 30, 1976 (H-L). Twelve different specimens were used in the following 12 pictures. Scale bars indicate 5 (A-G and J-L) and 50 μm (H and I). (A) A small number of long or short rods with slime are found on the head of copepod. No slime was found on other February specimens. (B) Long or short rods colonize the body surface together with slime. (C) A quantity of slime is present on the tail segment together with bacteria. (D) A small number of long or short rods with slime are found on the ventral side. (E) Most of bacteria which cover the dorsal side are indented, producing a slime layer. (F) Indented bacteria which slightly produce slime are present on the dorsal side. (G) Heavy colonization of bacteria occurs on the dorsal side. Slime covers part of colony. (H) A copepod showing heavy colonization of bacteria on most of the back. (I) Lateral view of head which is covered with bacteria and slime, looking filmy. (J) Slime is more marked than bacteria on the ventral side. (K) Bacteria and slime are striking on the ventral side. (L) A colony of bacteria is on the maxilla. A slime layer covers bacteria in small quantities.

definition of ICWB is the percentage of number of copepods with bacteria to number of those examined for each sample (NAGASAWA, 1986; NAGASAWA and NEMOTO, in press). Water temperature and salinity were measured for Tokyo Bay waters at a depth of 5 m.

3. Results

1) Characteristics of bacteria attached to copepods

Some features of bacteria attached to copepods are found in Table 1. In most cases attachment of bacteria to copepods was selective as reported by NAGASAWA *et al.* (1985a), NAGASAWA (1986), and NAGASAWA and NEMOTO (1986, in press). Bacteria were found more frequently on the ventro-lateral side than on the dorsal side. These examples are referred to as "selective" in Table 1. However, in some copepods bacteria were found everywhere on the ventral, lateral and dorsal sides of copepods; they are referred

to as "everywhere" (Table 1). Attachment of bacteria to the back of copepods (Fig. 1G, H; Fig. 2D, E, F) occurred intensively only on samples obtained on August 15 and September 30, 1976 in Tokyo Bay and September 1, 1984 in Woods Hole.

The density of bacteria in Tokyo Bay was usually low, which suggests that bacteria were just beginning to attach. Woods Hole specimens usually had a large number of bacteria. Although accurate estimates of bacterial density on copepods were not obtained, counts based on the photographs indicate an order of at most 10^4 – 10^5 cells per copepod. Small pores were observed close to the dense colonies of bacteria for the first time (Fig. 2E, F), but on uninfested copepods there were no pores.

Most bacteria were rods of various shapes—short, long, indented (Fig. 1A, E, F) or slender. Occasionally spiral bacteria were found in Tokyo

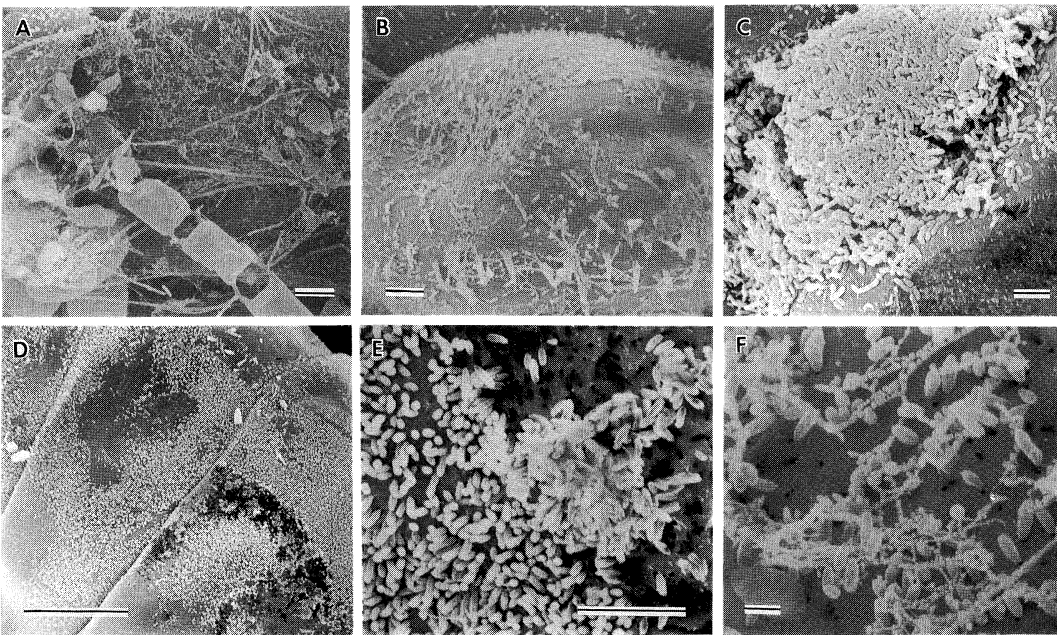


Fig. 2. Scanning electron micrographs of bacteria attached to copepods obtained from Woods Hole waters on September 1, 1984. Five different specimens were used in the following 6 pictures. Scale bars indicate 1 (F), 5 (A-C and E) and 50 μ m (D). (A) Bacteria producing exopolymers are attached to the lateral side of copepod. Attachment of diatoms may be due to sticky exopolymers. (B) Organic polymers cover the labrum in large quantities. (C) Heavy colonization of bacteria occurs near the joints of segments. Organic polymers slightly cover a colony of bacteria. (D) Bacteria are present on the whole area of back. (E) Higher magnification of part of (D). Small pores are observed adjacent to bacteria. (F) Bacteria and slime are present on the dorsal side. Like the picture (E) small pores are found.

Bay samples. Beaded bacteria were observed rarely in Tokyo Bay samples, and were also seen in copepods from Vera Cruz (NAGASAWA, 1986).

Two types of bacterial attachment were observed on copepods: bacteria attached along the entire length of the cell and those attached to the exoskeleton at one end perpendicular to the skeletal surface. I refer to the former as horizontal and the latter as polar attachment. The

horizontal attachment usually was more frequently than polar attachment. In the Tokyo Bay samples horizontal attachment was common as shown in Fig. 1, whereas in Woods Hole polar attachment occurred more frequently than in Tokyo Bay. The polar attachment was observed dorsally on prosome segments of copepods (Fig. 2). Copepods from other areas than Tokyo Bay and Woods Hole so far investigated were some-

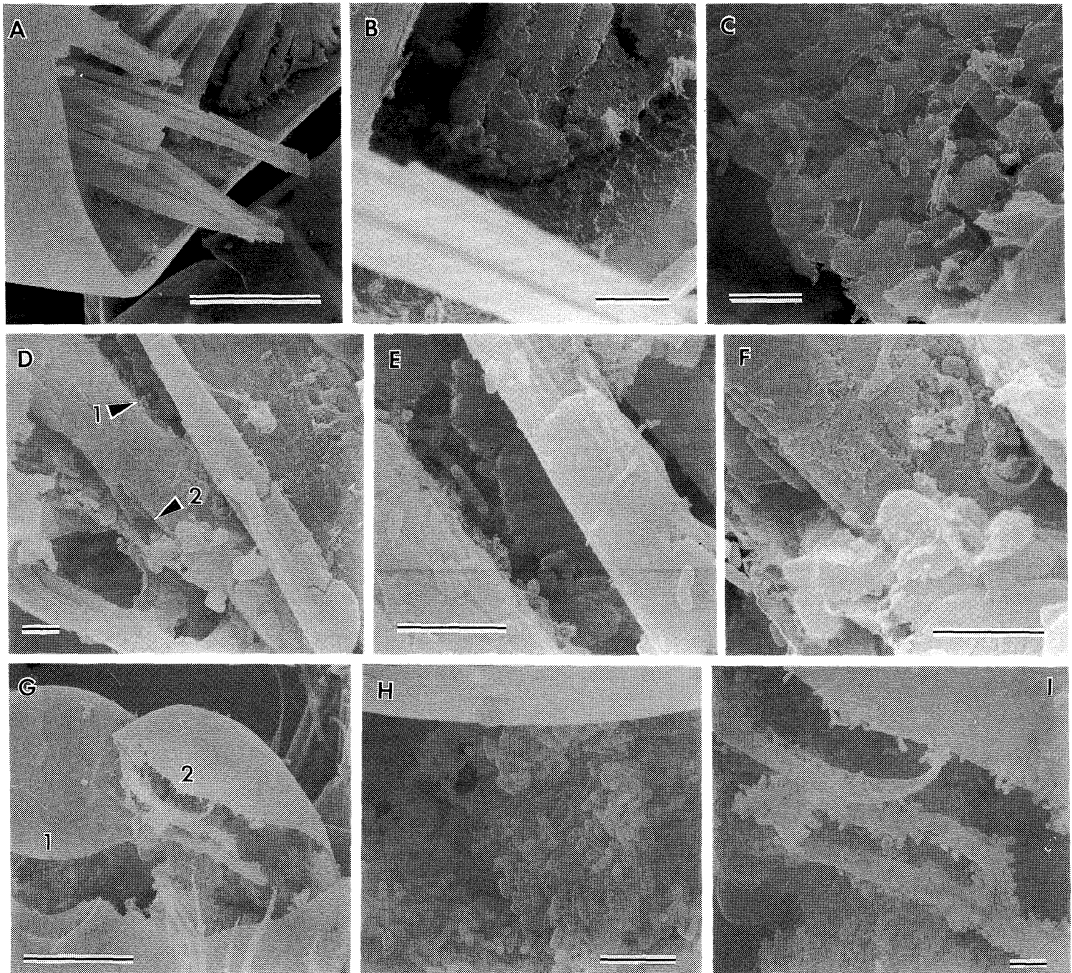


Fig. 3. Scanning electron micrographs of bacteria attached to inside the body of copepods obtained from Tokyo Bay waters on August 15, 1976. Four different specimens were used in the following 9 pictures. Scale bars indicate 5 (B-F and H-I) and 50 μm (A and G). (A) A cross section of copepod. (B) Enlargement of part in (A). A small number of bacteria are present. (C) Bacteria are dispersed in the inside of body where exoskeleton came off. (D) An internal part which came out after cutting open exoskeleton. Arrows with figures indicate the presence of bacteria. (E) Enlargement of the part marked "1" in (D). (F) Higher magnification of the part marked "2" in (D). (G) Exoskeleton cut roughly open and the inner part of copepod. (H) Enlarged view of the part marked "1" in (G). A large number of bacteria are colonized inside the copepod. (I) Higher magnification of the part marked "2" in (G). Bacteria densely colonize the inside of body.

times covered with bacteria which are attached polarly to the skeletal surface, but horizontal attachment usually predominated as was the case in three lakes reported by HOLLAND and HERGENRADER (1981). There is no information about mechanisms or causes of these different attachments.

Bacteria which produce exopolysaccharides (SUTHERLAND, 1977) occurred in some samples (Table 1); bacteria capable of producing slime were present on copepods obtained only from Stn. 1. Slime was found on the dorsal (Fig. 1B, C, E, F, G, H; Fig. 2D, E, F), ventral (Fig. 1D, J, L; Fig. 2B) and lateral (Fig. 1I; Fig. 2A) surfaces and appeared as filaments, interconnected fibers, or film.

2) Bacterial colonization of the inside of copepods

Evidence of the bacterial attachment to the inside of copepods is shown in Fig. 3. These bacteria appeared as a huge mass of cells (Fig. 3G, H, I). Specimens whose inside was attacked by bacteria also were colonized by bacteria on the body surface, although the number of bacteria attached externally to these specimens was not numerous. The incidence of copepods with interior bacteria was not determined due to observations on several specimens of copepods. NAGASAWA (1985) and NAGASAWA *et al.* (1985b) reported bacterial colonization of chaetognaths inside the body, among thin lateral bands of the body-wall musculature. As a result of such

bacterial infection, the chaetognaths' shape changed and they looked abnormal. In contrast, copepods did not appear morphologically abnormal. Nevertheless, the marked growth of bacteria inside the body of copepod may be disadvantageous to swimming.

3) Incidence of copepods with bacteria

In January, June and July very few copepods with bacteria occurred in Tokyo Bay samples (Table 1), but in other months extremely high values of ICWB (92-100%) were obtained at Stn. 1; copepods at Stn. 2 showed lower values of ICWB. In August the ICWB at both stations was similar, whereas in September (September 5) it was 2 times higher at Stn. 2 than at Stn. 1. Values of ICWB were also higher (17-54%) at Stn. 2 between August and November than at that station in other months. At Stn. 1 both species (*A. omorii* and *A. plumosa*) having bacteria ranged from 0 to 100%, whereas at Stn. 2 ICWB of *A. omorii* ranged from 0 to 3.6% and that of *A. plumosa* from 0 to 54.3% (Table 1). Such difference in ICWB may depend on the locality rather than species, since TAKAHASHI and FURUTA (1977) stated that chlorophyll *a* was higher at Stn. 1 than at Stn. 2 as well as dissolved oxygen.

Water temperatures and salinities at Stn. 1 were similar to those at Stn. 2 (Fig. 4). Most specimens of *A. omorii* with attached bacteria inhabited water with temperatures ranging from

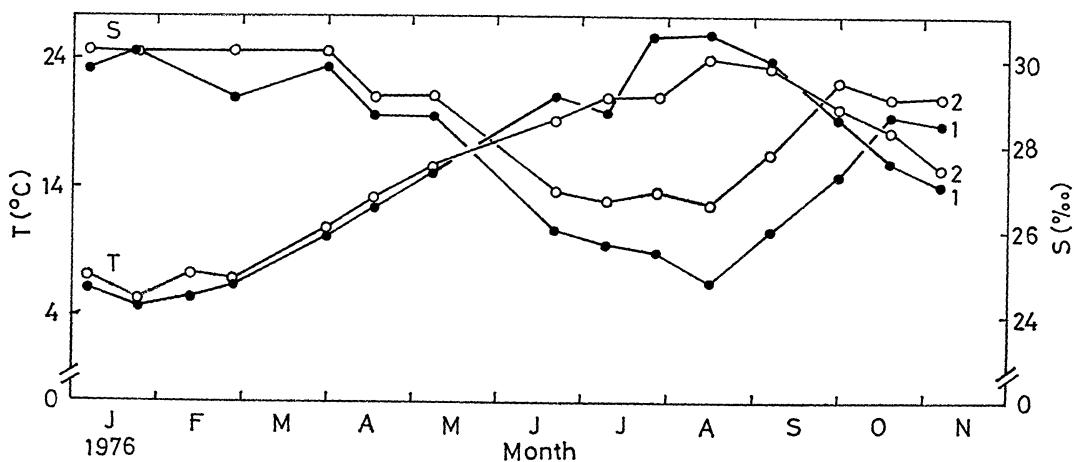


Fig. 4. Water temperature (T) and salinity (S) from January 6 through November 4, 1976 at a depth of 5 m. Salinity records were not available on February 10. Solid circle for Stn. 1 and open circle for Stn. 2.

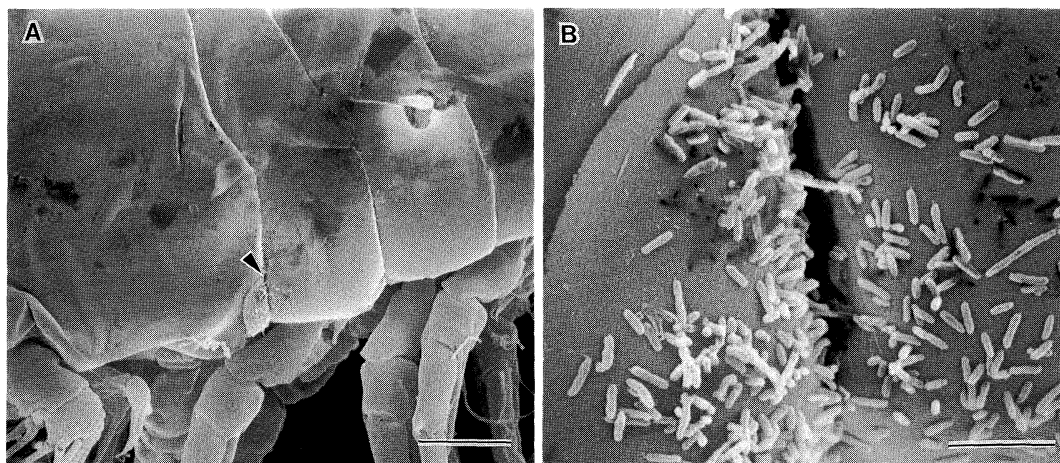


Fig. 5. Scanning electron micrographs of copepods collected at Stn. 7 in Tokyo Bay (see NAGASAWA and NEMOTO, in press) on June 10, 1984. Scale bars indicate 5 (B) and 50 μm (A). (A) Dark spots are present together with large numbers of tiny spots which are mass of either pores or slots on the lateral side of copepod. An arrow indicates the location of attachment of bacteria. (B) Enlargement of the part indicated by an arrow in (A). Two types of bacterial attachment, horizontal and polar attachments, are observed. Small pores and slots are found.

5.5 to 15.3°C and salinities from 28.7 to 30.2‰ S: most specimens of *A. plumosa* with bacteria were found at 16.0 to 26.1°C and from 24.8 to 29.5‰ S, respectively (Table 1, Fig. 4). UYE (1982) reported that ecological longevities of adult *A. clausi* s.l. vary from 9.8 to 1.4 days at temperatures ranging from 5.9 to 21.9°C. The ecological longevities of Tokyo Bay copepods may be similar to those estimate: the adults of each sample probably belong to different cohorts.

Woods Hole copepods had a high value of ICWB (83.8%). The hydroids in Woods Hole harbor are reported to be particularly healthy and free from bacterial growths and debris in the early spring months, but in mid-summer contaminating organisms affect hydroids adversely (GRAVE, 1933). Woods Hole copepods may have a similar seasonal history of infection with bacteria.

4. Discussion

The presence of pores (Figs. 2 & 5) and slots (Fig. 5) on the skeleton adjacent to dense colonies of bacteria may represent sites of previous bacterial attachment. Sizes of these scars indicate either polar or horizontal attachment. Large numbers of scars, looking like dark spots, present

a rough appearance. These scars suggest that bacterial attachment may damage copepod exoskeleton and may indicate that the relationship is not commensalism but parasitism. Another evidence supporting this hypothesis is bacterial invasion of the inner part of copepod (Fig. 3).

In Tokyo Bay waters during several months all adult copepods examined were colonized by bacteria. Similar results have been reported for adults of *Diaptomus nevadensis* in Goose Lake, Nebraska and those of *D. siciloides* in Branched Oak Lake, Nebraska (HOLLAND and HERGENRADER, 1981). High incidences of copepods with bacteria do not seem to be correlated with locality or season. This has serious implications for experimental studies of copepods. During experimental studies of physiological parameters of copepods (e.g. oxygen consumption) animals should be examined to determine the extent of bacterial attachment. The weight specific respiration rate or the Q_{O_2} of *Acartia clausi* s.l. and bacteria is 2-5 (IKEDA, 1974) and 1,000-3,000 $\mu\text{l O}_2/\text{mg dry weight/h}$ (GALE, 1951), respectively. Adults of *A. clausi* are 1 mm in length and bacteria attached to this copepod are 1 μm long. Weight of bacteria is obtained from a length-weight relationship and corresponds to 10^{-9} of

that of *Acartia*. In this study the highest density of bacteria is estimated as 10^4 - 10^5 per copepod. Therefore, the Q_{O_2} of bacteria with this density is calculated as 10^{-2} - 10^{-1} μl O_2 /mg dry weight/h which accounts for 1-10 % of the Q_{O_2} of copepod. The degree of infestation ($>10^5$ cells per copepod) may affect differences in respiratory rate for the same species which previously was interpreted as the result of different generations (GAULD and RAYMONT, 1953), size differences (MARSHALL and ORR, 1958), regional (CONOVER, 1959) and seasonal (MARSHALL and ORR, 1958; CONOVER, 1959; BERNER, 1962) variations. Antibiotics are sometimes added to prevent bacterial growth in water during experiments (see IKEDA, 1970). However, the effect of these antibiotics on bacteria previously established on the exoskeleton has not been determined. Substances which specifically suppress bacterial respiration may be more useful for future physiological studies.

Acknowledgements

I express my sincere thanks to Prof. T. NEMOTO, Ocean Research Institute, University of Tokyo, for his interest in this study. I gratefully acknowledge Dr. T. FURUTA, Faculty of Science, Toho University, for providing plankton samples and hydrographic data obtained from Shinhamako. I would like to thank Dr. J. CHENEY, Woods Hole Oceanographic Institution, for assisting me in sampling at Woods Hole. I also wish to thank Dr. C. C. DAVIS, Memorial University of Newfoundland, and Dr. F. D. FERRARI, Smithsonian Institution, for their careful reviews of the manuscript.

References

- BERNER, Å. (1962): Feeding and respiration in the copepod *Temora longicornis* (MÜLLER). J. mar. biol. Ass. U. K., **42**, 625-640.
- 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. Proc. 15th U. S.-Japan Coop. Med. Sci. Program Joint Conf. Cholera, Bethesda, MD: US Dept. Health, Educ. and Welfare, p. 44-56.
- CONOVER, R.J. (1959): Regional and seasonal variation in the respiratory rate of marine copepods. Limnol. Oceanogr., **4**, 259-268.
- FURUTA, T. (1979): Occurrence of zooplankton and its seasonal change in Shinhamako after the Chidori sluice gate was opened. Report of Biological Investigations in Sanctuary for Natatorial Birds in Shinhamako, Chiba Prefecture (Shinhamako Kenkyukai, Chiba), **4**, 24-31.
- GALE, E. F. (1951): The Chemical Activities of Bacteria. Univ. Tutorial Press Ltd., England. 191 pp.
- GAULD, D.T. and J. E. G. RAYMONT (1953): The respiration of some planktonic copepods. II. The effect of temperature. J. mar. biol. Ass. U. K., **31**, 447-460.
- GRAVE, B.H. (1933): Rate of growth, age at sexual maturity, and duration of life of certain sessile organisms at Woods Hole, Massachusetts. Biol. Bull. Mar. Biol. Lab., Woods Hole, **65**, 375-386.
- HOLLAND, R. S. and G. L. HERGENRADER (1981): Bacterial epibionts of diaptomid copepods. Trans. Am. Microsc. Soc., **100**, 56-65.
- HUQ, A., E. SMALL, P.A. WEST, M.I. HUQ, R. RAHMAN and R.R. COLWELL (1983): Ecological relationships between *Vibrio cholerae* and planktonic crustacean copepods. Appl. environ. Microbiol., **45**, 275-283.
- IKEDA, T. (1970): Relationship between respiration rate and body size in marine plankton animals as a function of the temperature of habitat. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., **21**, 91-112.
- IKEDA, T. (1974): Nutritional ecology of marine zooplankton. Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ., **22**, 1-97.
- MARSHALL, S.M. and A.P. ORR (1958): On the biology of *Calanus finmarchicus*. X. Seasonal changes in oxygen consumption. J. mar. biol. Ass. U.K., **37**, 459-472.
- NAGASAWA, S. (1984): Laboratory feeding and egg production in the chaetognath *Sagitta crassa* TOKIOKA. J. exp. mar. Biol. Ecol., **76**, 51-65.
- NAGASAWA, S. (1985): Ecological significance of deformed chaetognaths associated with bacteria. Bull. mar. Sci., **37**, 707-715.
- NAGASAWA, S. (1986): The bacterial adhesion to copepods in coastal waters in different parts of the world. La mer, **24**, 117-124.
- NAGASAWA, S. and T. NEMOTO (1986): The widespread occurrence of copepod-bacterial associations in coastal waters. Syllogeus 58, Proc. 2nd Internat. Conf. Copepoda, Ottawa, Canada, 13-17 August 1984, Nat. Mus. Canada, p. 379-384.
- NAGASAWA, S. and T. NEMOTO (in press): Incidence of copepods associated with bacteria in Japanese

- coastal waters. Proc. 4th French-Japan. Colloq. Interdiscipl. Res.
- NAGASAWA, S., U. SIMIDU and T. NEMOTO (1985a): Scanning electron microscopy investigation of bacterial colonization of the marine copepod *Acartia clausi*. Mar. Biol., **87**, 61-66.
- NAGASAWA, S., U. SIMIDU and T. NEMOTO (1985b): Ecological aspects of deformed chaetognaths and visual observations of their periphytes. Mar. Biol., **87**, 67-75.
- SOCHARD, M.R., D.F. WILSON, B. AUSTIN and R. R. COLWELL (1979): Bacteria associated with the surface and gut of marine copepods. Appl. environ. Microbiol., **37**, 750-759.
- SUTHERLAND, I.W. (1977): Bacterial exopolysaccharides — their nature and production. p. 27-96. In I. SUTHERLAND (ed.): Surface Carbohydrates of the Prokaryotic Cell. Academic Press, London.
- TAKAHASHI, T. and T. FUROTA (1977): Water quality and plankton in Shinhamako. Report of Biological Investigations in Sanctuary for Natorial Birds in Shinhama, Chiba Prefecture (Shinhama Kenkyukai, Chiba), **2**, 132-141.
- UEDA, H. (1986): Taxonomic reexamination and geographic distribution of copepods known as *Acartia clausi* in Japanese coastal and inlet waters. J. oceanogr. Soc. Japan, **42**, 134-138.
- UYE, S. (1982): Population dynamics and production of *Acartia clausi* GIESBRECHT (Copepoda: Calanoida) in inlet waters. J. exp. mar. Biol. Ecol., **57**, 55-83.

東京湾およびウッズホールにおける細菌付着の かいあし類の高い出現率

永 沢 祥 子

要旨: 走査電子顕微鏡による調査から、東京湾とウッズホールのカラヌス目かいあし類 *Acartia* spp. には細菌の付着が頻繁に起こっていることがわかった。東京湾のある試料では成体の 100% に細菌が付着していた。これらの細菌の多くは粘質物を産生していた。ウッズホールからのかいあし類の 80% 以上は細菌におおわれ、そのうちのいくつかには粘質物が存在した。かいあし類に垂直あるいは水平に付着した細菌の跡を示す小孔や細長い穴が細菌の濃密なコロニーの近くに観察された。細菌はかいあし類の体内にも存在することがあった。これは細菌の侵襲が体内に起こっていることを示すものである。これらのことから、地球的規模の現象であるかいあし類への細菌付着は片利共生ではなく寄生であろう。

能代沖の海洋音速場と1983年日本海中部地震津波*

中 村 重 久**

A note on ocean sound fields off Noshiro and the 1983 Japan Sea Tsunami*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: Vertical profiles of sound speed off Noshiro and around the epicenter of the 1983 Japan Sea Earthquake are presented. The oceanographic structure near the epicenter shows that a sound channel was formed only in August and disappeared in March 1983. Vertical profiles of sound speed in shelf and coastal waters are also presented referring to the observed data obtained in May, June and July. Assuming a simplified sound speed field off Noshiro, a theoretical model is constructed to study an oceanographic mechanism that they had never heard or been aware of any sound like a boom of a gun at the 1983 Japan Sea Tsunami as a precursor which is possible on the south coast of Japan Islands facing the Pacific.

1. 緒 言

日本南岸の黒潮流域付近における海岸音速場については、すでに中村(1986a)がまとめている。これは、南海道沖の巨大津波の前駆異常音をモデル化して検討する基礎となった(中村, 1986b)。

ところで、日本では主として測深を目的とした音波の利用に焦点がおかれ、海面から下向きに発射された音波の伝わり方に関心が高かったようである(たとえば、KUKAHARA, 1939; 松山・高野, 1975; 友田ら, 1985)。これに対して、SOFARに関連した研究(たとえば、MUNK, 1974; OUTI, 1954; 1956)では最小音速層の特性に関心が寄せられていた。これは、のちに、トモグラフィの研究につながることになる(たとえば、OCEAN TOMOGRAPHY GROUP, 1982)。このようにみえてくると、中村(1986b)の例は、海底地震を音源としたという点で、従来の例とは異った視点に立脚したものである。

ここでは、日本海沿岸でもとくに能代沖の海域音速場を実用的音速計算式(CLAY and MEDWIN, 1977; 中村, 1986a)によってもとめ、その特徴をとらえようと試みた。この海域では、1983年5月に日本海中部地震が発生

し、津波の被害がみられたが、その津波の来襲までに異常音が沖合で聞こえたという報告はない。この点についても、能代沖の海洋音速場の特性を考慮に入れて検討する。

2. 能代沖の音速場

対象海域は Fig. 1 に示すように、日本海沿岸能代沖である。この海域では、舞鶴海洋気象台が毎年2-3回観測しているが、その観測点のうちのひとつ(Fig. 1の点H-4)をえらび、そこでの水温・塩分の鉛直分布から音速の鉛直分布をもとめた。この点H-4(40°30'N, 137°40'E)の1983年3月1日と8月6日の例では、Fig. 2のようになる。これをみると、日本南岸の例(たとえば、中村, 1986a)と同様な傾向として、能代沖においても3月頃水温が最も低く、8月頃に水温は最高となると考えられる。しかし、このような年周変動がはっきりととらえられるのは、能代沖では表層約100mにかぎられている。図をみると、表層300m位までの塩分は3月が高く、8月は低い。谷岡(1962)は、このような年周変化を、対馬海峡から流入する表層水の年周変化の北上に大きく関係していると報告している。ただし、定量的な因果関係はいまだなおはっきりしていないようである。海面下500m以深では、図示したかぎりにおいては、水温も塩分も、3月期と8月期との差はほとんどない。これに対応した音速をもとめてみると、海面付近ではとくに水温の影響を強くうけて、海面から約100m

* 1985年5月30日受理 Received May 30, 1986

** 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所,
〒649-22 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田畑崎
Shirahama Oceanographic Observatory, Disaster
Prevention Research Institute, Kyoto University,
Katada-Hatasaki, Wakayama, 649-22 Japan

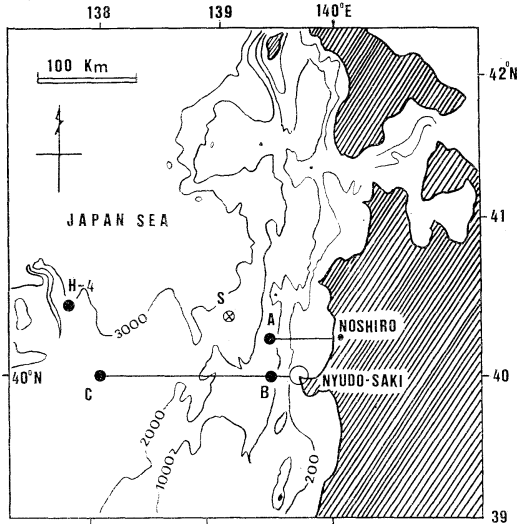


Fig. 1. Bathymetry of the study area. Station H-4 shows one of the oceanographic stations of Maizuru Marine Observatory. Stations A ($40^{\circ}13'N$, $139^{\circ}27.5'E$), B ($40^{\circ}N$, $139^{\circ}35'E$) and C ($40^{\circ}N$, $137^{\circ}57'E$) are the stations of the Akita Prefecture Fisheries Center. Two survey lines stretched westward from Noshiro and from Nyudosaki are for the oceanographic sections by the Akita Fisheries Center. Station S is the epicenter of the 1983 Japan Sea Earthquake. Depth contours are shown for 200, 1,000, 2,000 and 3,000 m. The land areas and the islands are hatched.

深まで単調に音速は減少しているが、500 m 深よりも深くなると、音速は水圧の影響を強くうけるようになり、その効果も顕著となるために、音速は深さとともに増大していく傾向があらわれる。全般的にみれば、最小音速は8月には海面下約100 mにみられることがわかるが、3月には表面水温の効果が強くあらわれて、表面から約300 mまでの音速の鉛直分布はほぼ一様とみなしてもよさそうである。これに対して、日本南岸では音速の最小層は数百メートルの深さにあり、音速の鉛直分布に年周変動があっても、それ以上に黒潮変動の影響が大きいことを認めざるを得ない。年周変動には海面を通しての 대기や太陽からの放射や海面から大気への長波長帯放射の効果は無視できないが、この効果は緯度にも関係している。これについては、別の機会に詳細にわたる検討が必要であると考えている。いずれにしても、海洋音速場について、能代沖では年周変動が顕著であるのと対照的に、日本南岸では黒潮の変動や冷水塊の消長による変動が目立っている(中村, 1986a)。

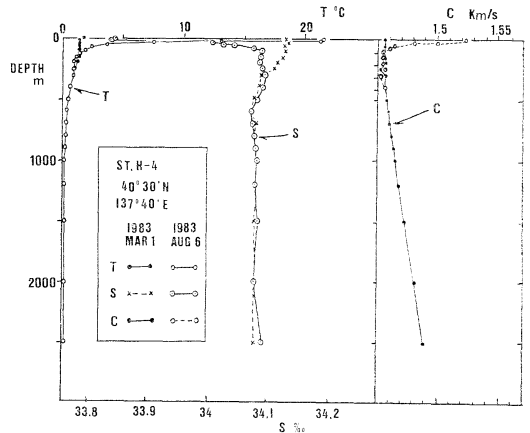


Fig. 2. Vertical distributions of water temperature, salinity and sound speed at Station H-4 in March and August 1983. The differences of water temperature, salinity and sound speed in March and August 1983 are hardly significant for the deeper part more than about 500 m in the diagram.

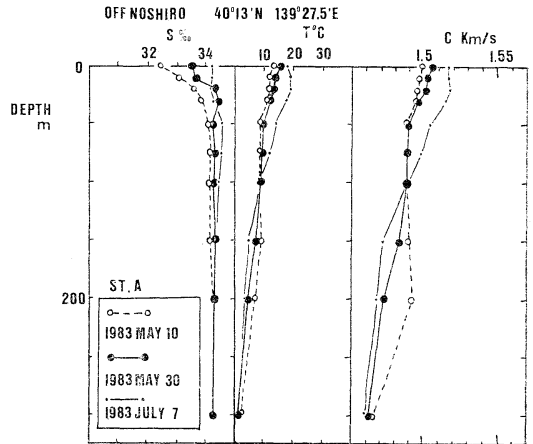


Fig. 3. Vertical distributions of water temperature, salinity and sound speed at Station A on 10 and 30 May and on 7 July 1983.

能代沖の点Aにおける水温・塩分の鉛直分布は秋田県水産振興センターによって得られ、Fig. 3 のようになっている。1983年5月の日本海中部地震津波前後の時期には、点H-4の表層約300 mでの3月から8月への変化の途中の状態に相当する記録が得られているものと判断される。1983年5月30日における能代沖 $40^{\circ}13'N$ 測線における水温・塩分・音速の鉛直分布は Fig. 4 のようになっている。ほぼ日本海中部地震津波当時の状況に近いものと考えられる。

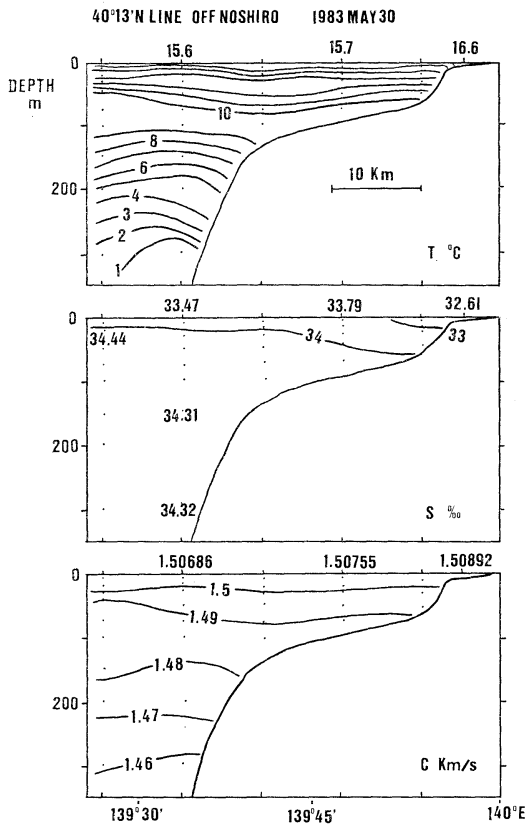


Fig. 4. Vertical sections of water temperature, salinity and sound speed along 40°13'N line off Noshiro.

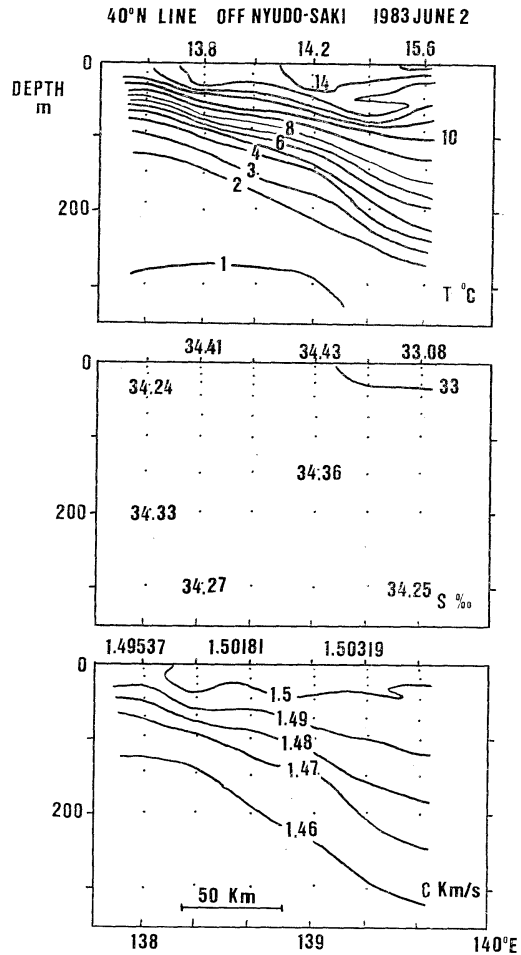


Fig. 6. Vertical sections of water temperature, salinity and sound speed along 40°N line off Nyudodaki.

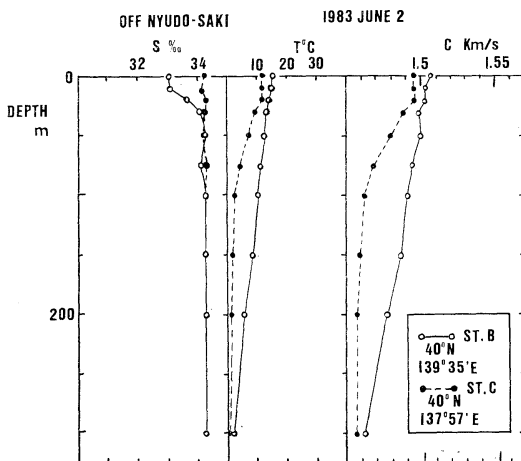


Fig. 5. Vertical distributions of water temperature, salinity and sound speed at Stations B and C.

また、別に、入道崎西方で最も海岸線に近いB点と沖合のC点とで観測された水温・塩分を1983年6月2日の表層300mについてみればFig. 5のようになっている。すなわち、水温はどの深さでも沖合より岸の近くの方が高く、沖合の塩分と表層で300mは一樣とみられるが、岸の近くでは海面下約30mまでの塩分が低い。このFig. 5の例でも、音速の鉛直分布は水温の影響を強く受けて、沖合の方が岸の近くよりも全般に1-2%だけ音速が小さい。

また、入道崎沖40°00'N線における水温・塩分・音速の鉛直分布をFig. 6に示した。

3. 海底地震の震央を音源としたときの音波の2次元的伝ば

すでにみたように、沿岸の一部を除けば、海域は水平方向に成層しているとみてもよいであろう。ここで、成層海の一鉛直面内の音の伝わり方を単純化したモデルによって検討する。簡単のために、音速 $c(z)$ は深さのみの関数とする。成層した海洋で音の伝わる経路は Snell の法則にしたがうとし、第 i 層で音波 (音速 c_i) の経路が鉛直線に対して w_i の入射角で隣接の第 j 層 (音速 c_j) に入って経路は w_j の角に屈折したとすると、

$$\frac{\sin w_i}{c_i} = \frac{\sin w_j}{c_j} \quad (1)$$

成層状態が連続的であり、層厚が無限小とみなされるときには、最初の深さで z_i の入射角が w_i あり、ある深さ z での入射角が w であったとすると、

$$\frac{\sin w}{c(z)} = \frac{\sin w_i}{c(z_i)} = a \quad (1')$$

このとき、音の経路 ds に対する深さ dz 、および ds を伝わるに要する時間 dt は、つぎのようになる。

$$ds = dz / \cos w, \quad (2)$$

$$dt = ds / c(z). \quad (3)$$

また、 ds に対する水平距離を dR とすれば、

$$dR = \tan w \, dz. \quad (4)$$

これらを用いて、音源 (z_i, R_i) から受信点 (z_f, R_f) まで音が伝わる水平距離は、

$$R_f - R_i = \int_{z_i}^{z_f} \frac{a \cdot c(z) dz}{[1 - a^2 \cdot c^2(z)]^{1/2}}, \quad (5)$$

また、音が伝わるに要する時間は、

$$t_f - t_i = \int_{z_i}^{z_f} \frac{dz}{c(z) \cdot [1 - a^2 \cdot c^2(z)]^{1/2}} \quad (6)$$

とくに、音速が深さ z に対して線型的に変化し、

$$c(z) = c(z_i) + b(z - z_i) \quad (7)$$

と書けるときは、(6) および (7) の積分は簡単に解析的にもとまる (たとえば、CLAY and MEDWIN, 1977)。すなわち、

$$R_f - R_i = \frac{1}{a \cdot b} (\cos w_i - \cos w_f), \quad (8)$$

$$t_f - t_i = \frac{1}{b} \log_e \left[\frac{V_f}{V_i} \cdot \frac{(1 + \cos w_i)}{(1 + \cos w_f)} \right]. \quad (9)$$

ただし、

$$V_k = z_k - z_i + c(z_i)/b; \quad k=i \text{ および } k=f, \quad (10)$$

$$w_k^2 = 1 - a^2 b^2 V_k^2; \quad k=i \text{ および } k=f. \quad (11)$$

ここに、音の経路の曲率半径は

$$r = 1/(a \cdot b). \quad (12)$$

ただし、ここでは音の伝ばにともなう減衰は考えない。

いま、ここで、海底地震の震央を音源としたならば、音波はどのような経路をとるかを考えるにあたって、Fig. 7 の左側のように海底 (z_i) での音速 c_1 、最小音速層 (深さ z_2) の音速 c_2 、海面 (z_s) での音速 c_s が与えられていて、音速は、 $z_1 z_2$ 間および $z_2 z_s$ 間でそれぞれ線型的に変化するものとする。このような仮定を設けた場合、音速の鉛直分布は深さ z_2 において不連続な変化をすることになるが、このようなモデル化によって、ここで考えようとしている問題の本質を見失うことにはならな

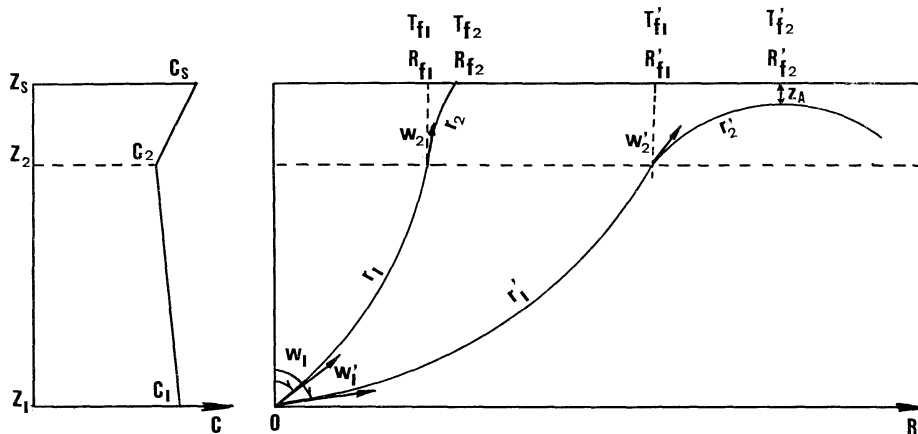


Fig. 7. Definition sketch of a model of acoustic rays in the sea radiated from a source at the sea bed. Vertical distribution of a sound speed is assumed as shown at the left side.

い。もし、実在の海洋音速鉛直分布を考えたとしても、ただ少しばかりの補正をするにとどまるにすぎないであろう。

ここで、上の(8)および(9)を用いれば、Fig. 7の右側のように、音源から方位角 ω_1 で出た音は曲率半径 r_1 で最小音速層に到達し、そこを方位 ω_2 角で通過した音波は、経過時間 T_{f1} 以後、水平距離 R_{f1} 以遠では曲率半径 r_2 ですすみ海面に到達する。海面に到達した時間は T_{f2} 、音源からの水平距離は R_{f2} である。角 ω_1 が ω_1' の場合には、音の径路は深さ z_2 を通過後、曲率半径 r_2' で海面に接近するが、その後は下向きに径路をとり、海面を通ることはない。

いま、海面 z_0 から海底 z_1 までの深さを 2,500 m とし、1983年日本海中部地震の震央(Fig. 1の点S)の深さに近い値とする。1983年8月の点 H-4 のデータに対応した条件下で、震央(海底)を音源とする音波の伝ばを考える。ここでは、鉛直断面内の音波の伝ばを考えることになって、これは換言すれば、次元的にみれば震央から出た円筒状の音波の伝わり方を考えていることに相当する。

1983年日本海中部地震の本震に伴う断層の破壊速度は 3 km/s 程度であるといわれている(たとえば、乗富, 1984) ので、この破壊速度に比べて海洋中の音速は約 2

分の1程度であることを考慮すれば、上に考えたような震央からの円筒状の音波の伝わり方も、物理的にみてもはずれではないと考えられる。

とくに、1983年8月の点 H-4 のデータが能代沖付近の日本海海域の音速場を与えるものと考え、最小音速層が海面下 100 m にあるとすると、Fig. 7の角 ω_1 を 71° から 90° まで 1° ごとに音波の径路をもとめると Fig. 8の上の図のようになる。この場合、海面付近に caustics が形成されているかどうかをはっきりさせるために、海面 z_0 から最小音速層 z_2 までの間を、便宜的に拡大すると Fig. 8の下の図のようになって、確かに caustics が形成されていることはわかるが、音波の径路が caustics で密に集っているわけではないこともわかる。この図の場合、音波の caustics への到達時刻は、概略、音波の径路が最も海面に近づいた時とみてよいであろう。

音源で $0-90^\circ$ で出た音波の径路が屈折すると、その径路が集中することがある。この集中の程度は音の強さの目安と考えることができる。音源から 1° きざみで出た音波の径路を考えると、音源では 90本の径路が集中していることになる。Fig. 8の場合では、音の径路が屈折して海面近くに caustics を形成するが、この caustics の形成に関与する音の径路は、音源で ω_1 が $71-90^\circ$ の角で出たものである。しかも、図をみてもわかるように、

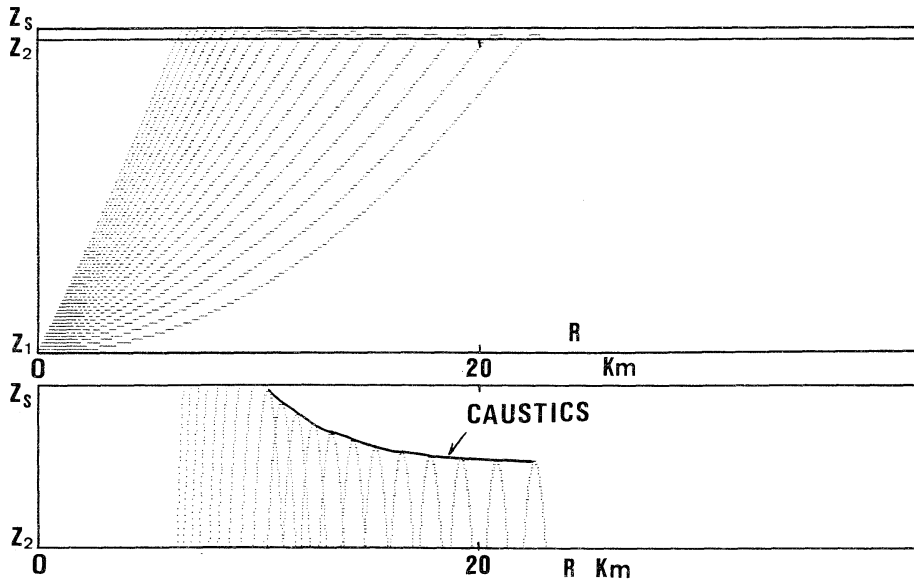


Fig. 8. Computed acoustic rays in the sea for vertical distribution of the sound speed in August 1983 ($C_s=1,520$ m/s at $Z_s=0$ m, $C_2=1,455$ m/s at $Z_2=100$ m and $C_1=1,490$ m/s at $Z_1=2,500$ m). The acoustic rays in the upper part from the sea surface to the layer of 100 m deep are shown in a vertically stretched diagram as shown at the bottom in order to clarify whether any caustics is formed or not.

caustics での音の径路の密集度は高いとはいえない。とくに caustics の部分部分をみると、この場合、音源から出た径路のうち1本がその部分を構成し、 ω_1 が $71-90^\circ$ の角のもの10本はひろい範囲で水平方向にひろがっている。caustics はこのような径路の包絡線である。つまり、部分的には、音源から 1° きざみで出た音の径路のうち1本だけがとらえられているにすぎない。換言すれば、音源で 90 本の径路であったもののうち1本だけが caustics の部分でとらえられているというわけである。このようなことから、caustics のある点での音の強さは音の径路の密集度によって定まるものと考えれば、caustics での音の強さは音源のおよそ $1/90$ 程度しか期待できないと考えても差支えないであろう。

つぎに、1983年3月に対応した条件では、サーモクラインの下限が明瞭ではなく、全般的にみて、表面から海底へと音速が単調に増加する場合に相当する。Fig. 2 に示したような点 H-4 の例を単純化したモデルについて数値計算した結果、 ω_1 が 70° から 90° まで 1° ごとにとった音の径路に対して Fig. 9 のような屈折をすることがわかった。表面から 100 m までの音の径路をもう少しはっきりとらえるために、その部分を拡大した図も Fig. 9 の下に示したが、この場合には caustics の形成はみられず、音源から海面へと径路をとっていることがは

っきりしている。ここで表面から深さ 100 m までを拡大したことには、物理的にとくに意味はない。単に表面付近の音の径路をはっきりとらえるための便宜的作図にすぎない。

このようにみえてくると、Figs. 8 および 9 の結果から考えても、1983年5月の日本海中部地震の頃の能代沖の水温・塩分・音速の鉛直分布は3月と8月との中間の状態と考えられ、もし5月のデータが与えられたとしても、そのデータによる音の径路の計算結果は Fig. 8 と Fig. 9 との中間的なものとなることが考えられる。このようなことから、1983年5月の日本海中部地震の時に、津波が海岸に到達するまでに音が海中から聞こえたとしても、周囲の雑音や騒音と判別でき難い状態であったと思われる。また、地震後10分経過しないうちに津波が海岸に到達している事実を考えあわせたとしても、仮に沖合での異常音（大砲のような音）が聞こえてもそれを気にかけるほどの時間的・心理的余裕はなかったとみるのが妥当なかもしれない。

ところで、ちなみに、日本南岸の黒潮流域の例（中村、1986a）、をみるまでもなく、日本南岸のサーモクラインの下限は、総観的にみて、700-1,000 m である。ここでは、水深 3,000 m の場合で、サーモクラインの下限、すなわち、音速最小層の深さが 1,000 m の場合について、

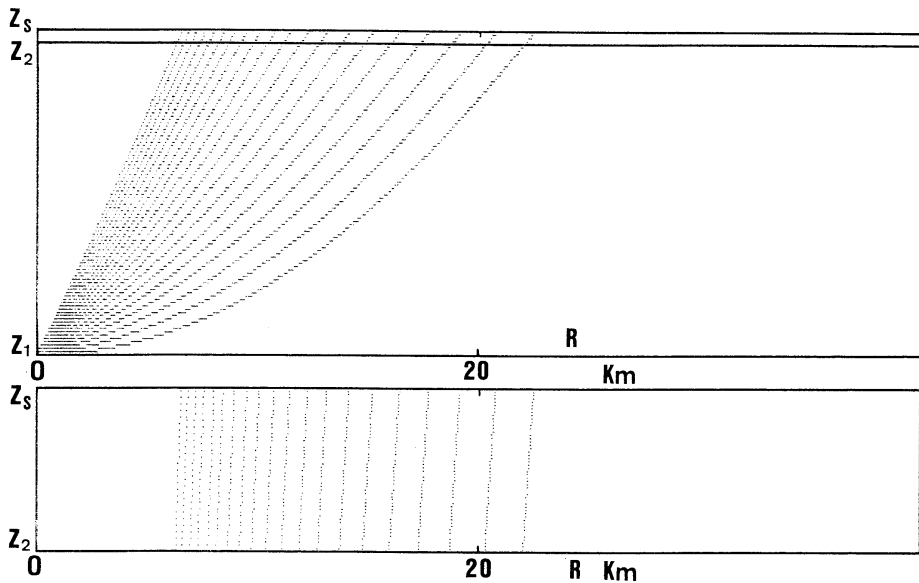


Fig. 9. Computed acoustic rays in the sea for vertical distribution of the sound speed in March 1983 ($C_s=1,460$ m/s at $Z_s=0$ m, $C_2=1,455$ m/s at $Z_2=100$ m and $C_1=1,490$ m/s at $Z_1=2,500$ m). The acoustic rays in the upper part from the sea surface to the layer of 100 m deep are shown in a vertically stretched diagram as shown at the bottom in order to clarify whether any caustics is formed or not.

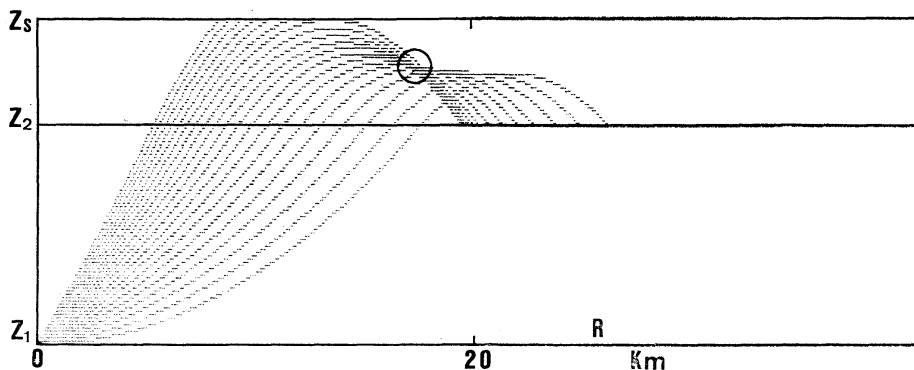


Fig. 10. Computed acoustic rays concentrated around a caustics in the sea modelled for a case in the area of Kuroshio off the south coast of the Japan Islands ($C_s=1,560$ m/s at $Z_s=0$ m, $C_2=1,480$ m/s at $Z_2=1,000$ m and $C_1=1,520$ m/s at $Z_1=3,000$ m). The circle shows where the most concentrated part of the acoustic rays on the caustics which is formed as an envelope of the acoustic rays radiated from the source at the sea bed. The degree of this concentration suggests how is relative intensity of local sound.

海底の音源から出た音の径路を Figs. 8 および 9 と同じ要領で計算してもとめた。その結果は Fig. 10 に示すとおりであり、この図からもわかるように、音波の径路の包絡線としての caustics のなかでも、とくに音の径路の密集度の高い場所があらわれる(図中円内中心付近)。この図中円内中心部に入る音の径路は、音源で $0-90^\circ$ の方向に出たものうちとくに ω_1 が 78° から 87° の範囲のものである。音の径路を音源から 1° きざみで数値計算によってもとめ、音源で 90 本であった音の径路が屈折して caustics の一部に 10 本が集ってきていることは、それに応じた音の強さを示すものとみてよいであろう。もちろん、ここでは、Fig. 7 に示したような平面内での音の伝ばを考えることにしているから、Fig. 10 の図中円内中心部での音の強さは 10/90 程度となることができであろう。

このように、Figs. 8 および 9 の日本海の例と Fig. 10 の日本南岸の例とは、相異点が目につく。

大内 (1954) は、遠く of 海底地震にともなって海洋中を音波と同じ速さで伝わる短い周期の圧縮波 (T-phase) が地震計に記録された例として TOLSTOY and EWING (1950) の研究を紹介しているが、彼らは海中音波の径路の屈折については何も論じてはいない。本文ではこのような地震計に記録されるような波については考えなかった。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、大内正夫博士・舞鶴海洋気象台海洋課・秋田県水産試験振興センター (川本範治技師) には貴重な資料の利用に御配慮いただいた。なお、音波の径路の数値モデル計算には片山富晴君の助力を得た。

文 献

CLAY, C.S. and M. MEDWIN (1977): *Acoustical oceanography: principles and applications*. Wiley-

Intersci. Publ., N.Y. 544 pp.

KUWAHARA, A. (1939): Velocity of sound in sea water and calculation of the velocity for use in sonic sounding. *Hydrogr. Rev.*, **17**, 391-501.

松山佐和・高野健三 (1975): 音の鉛直伝ば。La mer, **13**, 179-182.

MUNK, W.H. (1974): Sound channel in an exponentially stratified ocean with application to SOFAR. *J. Acoust. Soc. Am.*, **55**, 220-226.

中村重久 (1986a): 日本南岸の黒潮流域付近における海洋音速場について。La mer, **24**, 42-47.

中村重久 (1986b): 巨大津波の前駆異常音について。La mer, **24**, 48-52.

乗富一雄 (1984): 1983年日本海中部地震による災害の総合的調査研究。自然災害特別研究突発災害研究成果, 自然災害科学総合研究班, 386 pp. (とくに p, 19-23.)

OCEAN TOMOGRAPHY GROUP (1982): A demonstration of ocean acoustic tomography. *Nature*, **299**, 121-125.

大内正夫 (1954): 日本海の SOFAR 構造とその音響効果並びに音速による水塊分析について。京大工学部学報 B, (5), 1-13.

OUTI, M. (1956): On the sound channel and sound transmission in the Okhotsk Sea. *Bull. Kyoto Gakugei Univ.*, Ser. B, (9), 14-20.

谷岡克巳 (1962): 日本海 of 海況 (1) 一塩素量の年変化について一。海と空, **28**, 90-100.

TOLSTOY, I. and M. EWING (1950): The T-phase of shallow focus earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **40**, 25-51.

友田好文・鈴木弘道・土屋淳編 (1985): 地球観測ハンドブック。東京大学出版会。830 pp. (とくに第 2 章のうち p. 156-190)

隆起する二つの島の間に来るトンボロ — 海浜循環流の及ぼす効果* —

羽 島 正 紘**

Formation of a tombolo between the upheaving two conical islands*

Masahiro HASHIMA**

Abstract: This paper is concerned with the formation of a tombolo between the upheaving two circular islands. One of the islands is large and the other is small. The formation of tombolos behind a circular island is a common geographical phenomenon. On the upwave side of the island, sand is transported toward the island lee by longshore currents. If the island is small, a single tombolo is formed at the center of the shadow. However, for the larger island, two sand spits appear on the sides of the shadow axis. These phenomena are used to explain the presence of a single tombolo that is observed at the volcanic island Iwo-Jima. The longshore circulations caused by waves breaking along the beach around a circular island are calculated numerically.

1. はじめに

小笠原硫黄島は Fig. 1 に示すように、北東に長さ 8.5 km, 最大幅 4.5 km の摺鉢山をかなめとする扇形の平坦な台地の火山島であり、摺鉢山と元山台地の間が千鳥ヶ原砂層で連結されている。島は誕生以来隆起を続け、現在も大きい所で約 30 cm/年 の隆起量がある。元山はカルデラ内の中央火口丘、摺鉢山はカルデラ外に出来た側火山のひとつと考えられている(加藤・池田, 1983)。元山は海底で堆積した火砕物で構成され、摺鉢山は下部が海底堆積物で、上半部は陸上噴火物が堆積したものである。局所的なドーム状隆起によって元山地区は海面上に姿を現わし、その過程で摺鉢山と砂州によってつながったものとされている(一色, 1976)。千鳥ヶ原地狭の堆積物については古くから摺鉢山の爆発による降下堆積物説、漂砂によるトンボロ説(辻村, 1911)とがある。近年貝塚ら(1983)は元山と摺鉢山がつながった主要原因を千鳥ヶ原地狭部の隆起と全般的な島の隆起

によるものとしている。

著者らは先に(羽島・溝口, 1982)島が隆起するときの浅海域の海底砂の移動について論じたが、本論文では摺鉢山と元山の二つの島が独立に存在し、元山が隆起するとき、波による海浜循環流によってトンボロが形成されるかどうかを論ずる。海浜循環流は基礎方程式を数値的に解くことによって求める。

円錐形島周りの海浜循環流については MEI and ANGELIDES (1977) が島の半径と入射波の波長の関係において論じており、宇多(1982)は現象を単純化して理論解を求めている。ここでは海浜循環流を求める方法として MEI and ANGELIDES (1977) の用いた基礎方程式を使用し、隆起しつつある島を円錐形島とみなし、三つの時期で代表させ、それぞれの大きさの島の周りの循環流を求める。ただし、三つの時期についてはいずれも定常であるとし、隆起は考慮しない。

2. 島の大きさと波の条件

海浜循環流を求めるために先ず島の大きさを決定する。1934年旧海軍測量の 1/30,000 の地図(Fig. 1)を用い、これより 100 m 等高線, 50 m 等高線, 0 m 等高線がそれぞれ水深 0 m を与える様な円形島を考える。

* 1986年6月9日受理 Received June 9, 1986

** 防衛医科大学校物理学教室,
〒359 埼玉県所沢市並木 3-2
Department of Physics, National Defence Medical
College, Namiki 3-2, Tokorozawa, 359 Japan

Fig. 1 によると 100 m 等高線は円形状を示していないが、標高 100 m 地点を抽出すると $r=1,350$ m の円周 (I) 上にほぼ分布し、島が隆起するある過程ではほぼ円形をなしていたと仮定しても良さそうである。0 m 等高線を円で表わしたときの半径は 2,350 m であり、(III), 島の東および西面でややずれるものの馬の背岩を考慮するとほぼ円周上にあることがわかる。50 m 等高線についてはやや不明確であるが、半径 1,900 m の円 (II) で代表させる。

島の平均勾配は場所および水深によってかなり異った値を示すが、平均的にみて等高線が +100 m ~ 0 m の間で約 1/9, 0 m ~ -30 m の間で 1/20 ~ 1/35, +100 m ~ -200 m の間で約 1/17 の程度である。ここで、-30 m 以上の水深域を深海域とすると、Fig. 1 より -30 m 等水深は半径 3,100 m の円にほぼ一致する(III')。したがって、0 m 等高線の島を考えると、その海底勾配は 1/25 となる。そこで 1/25 を海底勾配とし、汀線を示す半径を b , -30 m 水深を示す半径を a として、三つの島を次の大ききで代表させる。

Case I ; $a=2,100$ m, $b=1,350$ m

Case II ; $a=2,650$ m, $b=1,900$ m

Case III ; $a=3,100$ m, $b=2,350$ m

したがって Fig. 1 における実線の円 (I-I') は Case I, 点線の円 (II-II') は Case II, 一点鎖線の円 (III-III') は Case III のそれぞれの島の大ききを示している。なお、半径 a 以上の水深 h_0 は -30 m で一定とする。

硫黄島における波の方向は季節によっても異なるが、年間を通じて風波、うねり共に北東方向からのものが卓越し、夏は台風の影響もあって南東の方向が多い。周期は風波の場合 4~5 秒, うねりは 7~10 秒であり、波高は 1.5 m 以下が多い。また台風時は波高 2~4 m, 周期 7~9 秒であり、波高 6 m 以上, 周期 11 秒以上のものもかなりある。

そこで入射波の条件としてここでは周期 $T=8$ s, 深海波の振幅 $A_0=0.5$ m の規則波が、北東方向より島に向かって入射するものとする。なお、この入射波の方向は元山地区の中心と摺鉢山を結ぶ方向と全く合致している。

3. 基礎方程式

循環流を求める基礎方程式として MEI and ANGELIDES (1977) の用いた式をそのまま使用する。流れの場は定常であるとし、非線形項および水平拡散項を考慮しないとき、碎波帯の沖側での基礎方程式は、Fig. 2 で示す極座標系で表わすと

$$0 \cong \frac{\partial}{\partial r} (h\bar{U}_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (h\bar{U}_\theta) + \frac{h}{r} \bar{U}_r \quad (1)$$

$$0 \cong -\rho gh \frac{\partial \bar{\eta}_c}{\partial r} - C_f \rho \bar{U}_0 \bar{U}_r \quad (2)$$

$$0 \cong -\rho gh \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{\eta}_c}{\partial \theta} - C_f \rho \bar{U}_0 \bar{U}_\theta \quad (3)$$

で与えられる。ここに $\bar{U}_r, \bar{U}_\theta$ は、 r, θ 方向の速度成分、 $\bar{\eta}_c$ は循環流による水面変動量、 \bar{U}_0 は波による水粒子の水底での軌道速度、 C_f は底面まきつ係数、 h は水

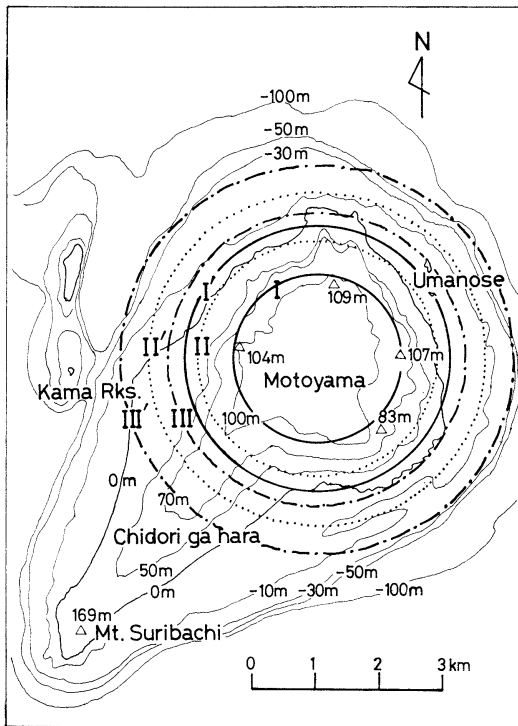


Fig. 1. Contours map of Iwo-Jima and bathymetry around the island. Solid circle (I-I'), typical island for case I; dotted circle (II-II'), for case II; chain circle (III-III'), for case III.

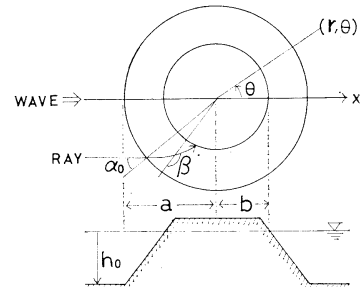


Fig. 2. Definition sketch and coordinate system.

深, ρ は流体密度である。なお添字 $-$ は時間平均を意味する。

砕波帯内では

$$\left\{ \begin{aligned} 0 &\cong \frac{\partial}{\partial r} [(\bar{\eta}+h)\bar{U}_r] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} [(\bar{\eta}+h)\bar{U}_\theta] \\ &\quad + \frac{\bar{U}_r}{r}(\bar{\eta}+h) \end{aligned} \right. \quad (4)$$

$$0 \cong -\rho g(\bar{\eta}+h) \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial r} - \frac{\partial S_{rr}}{\partial r} - C_f \rho \bar{U}_0 \bar{U}_r \quad (5)$$

$$0 \cong -\rho g(\bar{\eta}+h) \frac{1}{r} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial \theta} - \frac{\partial S_{r\theta}}{\partial r} - C_f \rho \bar{U}_0 \bar{U}_\theta \quad (6)$$

で与えられる。なお上式は砕波帯幅は島の半径に比して小さいと仮定して導いており、砕波帯内での波の振幅 A は平均水深に比例するものとして

$$A = \gamma(\bar{\eta}+h), \quad \bar{U}_0 = \frac{A}{\bar{\eta}+h} \sqrt{g(\bar{\eta}+h)} \quad (7)$$

で与える。ここに γ は比例定数, $\bar{\eta}$ は時間平均化された水面変動量である。浅水域に波が動径 r と β をなす角で入射するときの radiation stress の成分 S_{rr} および $S_{r\theta}$ は次式で与えられる。

$$S_{rr} = \frac{1}{4} \rho g A^2 (3 - 2 \sin^2 \beta) \quad (8)$$

$$S_{r\theta} = \frac{1}{4} \rho g A^2 \sin 2\beta \quad (9)$$

いま流れ函数 ψ を

$$\bar{U}_r = -\frac{1}{\bar{\eta}+h} \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial \theta}, \quad \bar{U}_\theta = \frac{1}{\bar{\eta}+h} \frac{\partial \psi}{\partial r} \quad (10)$$

で定義し (砕波帯の外では $\bar{\eta}+h \cong h$ とする), 運動方程式 (2), (3) 及び (5), (6) のそれぞれの両辺の curl をとると次の poisson 方程式が得られる。

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial \theta^2} = \begin{cases} f_{sh} \\ f_{su} \end{cases} \quad (11)$$

ここに f の添字 sh は砕波帯外を, su は砕波帯内を意味し, それぞれ

$$f_{sh} = -\frac{2gh}{C_f \bar{U}_0} \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} \frac{\partial \bar{\eta}_0}{\partial \theta} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} f_{su} = & -\frac{3}{2} \frac{g^{1/2} d^{1/2}}{C_f \bar{\gamma}} \frac{1}{r} \frac{dh}{dr} \frac{\partial d}{\partial \theta} \\ & + \frac{d^{1/2}}{\rho C_f \bar{\gamma} g^{1/2}} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial^2 S_{rr}}{\partial r \partial \theta} - \frac{\partial^2 S_{r\theta}}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial S_{r\theta}}{\partial r} \right] \\ & + \frac{1}{2} \frac{1}{\rho C_f \bar{\gamma} g^{1/2} d^{1/2}} \\ & \times \left[\frac{1}{r} \frac{\partial d}{\partial \theta} \frac{\partial S_{rr}}{\partial r} - \frac{\partial d}{\partial r} \frac{\partial S_{r\theta}}{\partial \theta} \right] \end{aligned} \quad (13)$$

で与えられる。ここで $d = \bar{\eta}+h$ である。

各水深において radiation stress 項を与えるためには波高分布と波向変化を求める必要がある。入射波の波向線を求めるためにフェルマーの原理を用いると, 波向線方程式は次の式で与えられる (ARTHUR, 1946)。

$$\frac{d\theta}{dr} = \frac{-K}{r \sqrt{k^2 r^2 - K^2}} \quad (14)$$

ここで K は波数 k_0 の波が $r=a$ において動径 r と α_0 の角で x 軸と平行に入射するときの定数で $K = k_0 a \sin \alpha_0$ である。波数 k は角振動数を ω とするとき $\omega = gk \tanh kh$ で与えられる。(14)式より波向線が求まったならば, 入射波の振幅 A_0 , 群速度 C_0 , $r=a$ での波向線間隔を $d\sigma_0$ とするとき, 波の振幅 A の分布として

$$\frac{A}{A_0} = \left[\frac{C_0}{C} \frac{d\sigma_0}{d\sigma} \right]^{1/2} \quad (15)$$

を用いる。砕波点は砕波水深を h_b , 砕波の振幅を A_b とするとき $A_b/h_b = \gamma$ より求める。ここで $\gamma = 0.4$ とした。

4. 境界条件と数値計算

(12)式における \bar{U}_0 として, 砕波点近傍における水粒子の水底での軌道速度をとると

$$\bar{U}_0 = \left(\frac{gkA}{\omega \cosh kh} \right)_b \quad (16)$$

で与えられ, 計算の結果 Case I, Case II, Case III 共に $\bar{U}_0 = 1.75$ m/s となる。また $C_f = 0.01$ とした。

数値計算は (11) 式を差分化して SOR 法によって ψ を求める。境界条件は $\theta = 0, 2\pi$, $r = a$ 及び波の打ち上げ水深 0 の平均汀線上で $\psi = 0$ とする。初めに静水深により ψ を求め, この ψ を用いて r 方向の運動方程式を積分し, $\bar{\eta}_0$, $\bar{\eta}+h$ を求める。この手続きをくり返し ψ を求める。収束基準としては ψ , $\bar{\eta}_0$, $\bar{\eta}+h$ 共に 10^{-5} とした。

なお, 砕波帯幅は島の半径に比して小さいので, 分解能をあげるために r 座標を次式により変換して計算した。

$$r' = b + 3,600 \left[1 - \exp\left(\frac{b-r}{180}\right) \right] \quad (17)$$

5. 計算結果と検討

波の屈折: Case I ~ III のそれぞれの場合について計算した代表的な屈折線についての屈折図が, Fig. 3~5 に示してある。現地海岸との対比上, 計算座標とは π だけずらし, 島の片側半分のみについて画かれている。なお図中に示した点線は Fig. 3 では 100 m 等高線を, Fig. 4 では 50 m 等高線を, Fig. 5 では 0 m 等高線を

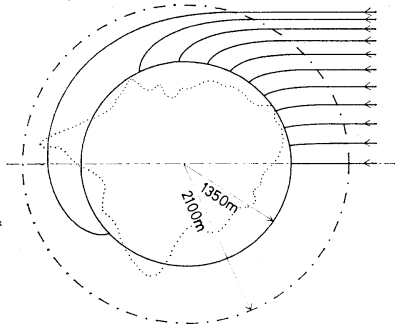


Fig. 3. Wave rays for case I.
Dotted line; 100m contour.

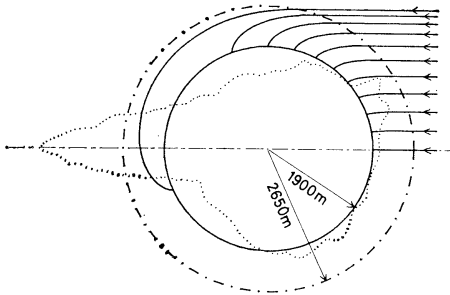


Fig. 4. Wave rays for case II.
Dotted line; 50 m contour.

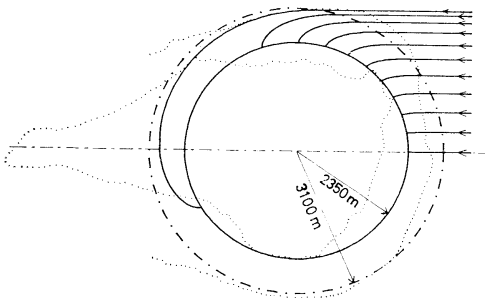


Fig. 5. Wave rays for case III.
Dotted line; 0 m contour.

示している。 α_0 の最大入射角は Case I の場合は約 72.26° , Case II で約 77.84° , Case III で約 81.03° であり, α_0 がこの値以上になると波は島の汀線に達することなく発散する。いずれの case 共に波は島の背後にまでまわり込んでいる。島の背後のこの領域では島の両側の波の屈折により波の交叉域となるが, ここでは島の片側半分のみで考えて波高分布を求めた。

流れ函数の分布: 計算された流れ函数の分布が Case I ~ III について, それぞれ Fig. 6~8 に示されている。

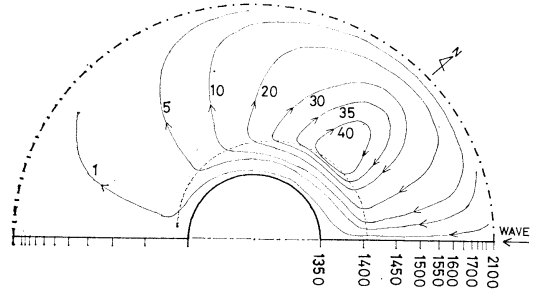


Fig. 6. Streamline contours for case I. Values of stream function ψ are in m^3/s . The radial coordinate is distorted according to eq. 17; the actual distance is labeled on the island axis in m. Dotted line; breaking line.

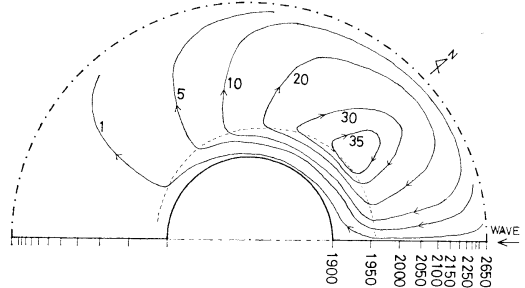


Fig. 7. Streamline contours for case II.
See caption of Fig. 6.

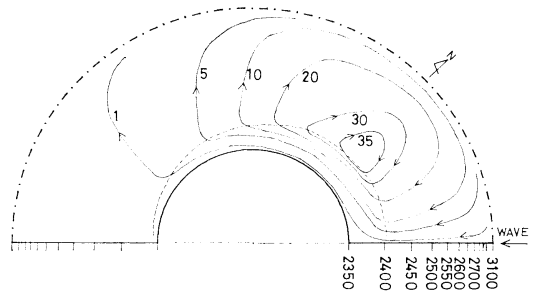


Fig. 8. Streamline contours for case III.
See caption of Fig. 6.

いずれの場合も島の片側半分について計算し, 屈折図と同様に座標軸を π だけずらして画かれている。

図において r 座標は (17) 式によって変換されており, 数値は実際の値を示す。また破線は砕波線を示している。


ψ の最大を示す位置は Case I, II, III 共にほぼ一致しており, 島の北側である。Case I の場合は他に比して強い流れが生じている。 $\psi=1$ を示す下流側の位置は

Case III, II, I の順に島の背後に近づいており、特に Case I の場合は著しい。この Case I では島の両側に生じた循環流は島の背後で流れ去り、上流側から輸送されて来た砂は、この背後の位置に沈積し、1個のトンボロが形成されることを強く示唆している。Case III の場合 ϕ が 1 となる下流側の位置は他の二者に比べて北寄りとなっており、この位置が正しく砂の沈積を示すものではないが、Case I に比して上流側に砂が沈積することになる。このとき島の背後 2ヶ所に砂州の発達することが予想される。

したがって硫黄島においては、元山地区が海面上に姿を現わしたのち、現在までの隆起の過程で、北東からの波によって島の北及び東面の砂が移動し、島の背後即ち摺鉢山の方に沈積し、トンボロが形成され、その後の隆起現象も加わって完全に陸化したものといえる。この結果 Fig. 1 にみられるように、100, 70, 50 m の各々の等高線が正しく摺鉢山の方に伸びた事になる。

Case III において、下流側の $\phi=1$ の位置は現地海岸では現在砂州が発生し釜岩と完全に連結している。この砂州の位置と、元山の中心と摺鉢山を結ぶ中心線に対してほぼ対称な位置には、やはり広大な砂浜が発達している。

Case III の島の大きさと現在の汀線とはほぼ一致しているので、現在島の 2ヶ所に砂州の発達する循環流があるといえる。なお、すでに述べた様に硫黄島は大きい所で約 30 cm/年 の隆起量があるにもかかわらず、上記 2ヶ所の海岸線を除いては、隆起量に匹敵するほどの汀線変動が認められないのは、波浪による侵食作用の結果である(羽島・溝口, 1982)。

なお、Case II, III の場合、島の背後に堆積する砂による島の形状変化は考慮していない。また、ここでは入射波の方向を北東のみに限定しているが、硫黄島においては北東風が卓越するものの、夏季及び台風時は南方向成分を持つ波も多く、台風時には波高 10 m にも達することがある。したがって、この方向成分を持つ波による循環流に起因する島の形状変化も考慮しなければならないが、この方向成分を持つ波は元山から摺鉢山に伸びる砂州を破壊する要因を持つことになる。現在、島の西海岸と釜岩を結ぶトンボロは、 台風時の南成分を持つ波

高の大きい波によって途中で切れる時がある。しかし、ある期間ののちにはまた釜岩と完全に連結することが観測されている。これと同様に元山と摺鉢山をつなぐ砂州も何回か切れては又連結し、隆起も加わって現在の地形を形成したものといえる。

6. おわりに

硫黄島の元山地区と摺鉢山が連結した原因を、元山地区の隆起の過程で島の周りの海底砂が波による海浜循環流により移動したとして、循環流を求めた結果、元山から摺鉢山に向うトンボロが形成されることがわかった。

また、島が隆起してある程度の大きさになると、島の背後の 2ヶ所に砂州を発生させる様な循環流の存在が明らかになった。

砂州の成長についてさらに定量的に明らかにするためには、隆起の過程における島の形状変化、砂の移動量、不規則波の入射等の考慮が必要である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御討議いただいた防衛大学校応用物理教室小木正道先生に感謝の意を表します。

文 献

- ARTHUR, R.S. (1946): Refraction of water waves by islands and shoals with circular bottom contours. *Trans. Am. Geophys. Union*, **27**, 168-177.
- 羽島正紘・溝口 裕 (1982): 隆起する海岸におけるトンボロの成長. *La mer*, **20**, 231-236.
- 一色直記 (1976): 火山列島硫黄島の地質と岩石. 国立防災科学技術センター研究速報, (23), 5-16.
- 加藤 茂・池田 勉 (1984): 硫黄島周辺の海底地形. 海上保安庁水路部研究報告, (19), 59-73.
- 貝塚爽平・宮内崇裕・長岡信治 (1983): 硫黄島の海成段丘・活断層と変動史. 小笠原研究 (東京都立大学), (9), 13-45.
- MEI, C.C. and ANGELIDES (1977): Longshore circulation around a conical island. *Coastal Eng.*, **1**, 31-42.
- 辻村太郎 (1911): 火山島嶼の蝕磨輪廻. *地学雑誌*, (24), 106-121.
- 宇多高明 (1982): 円弧状および大規模カスプを有する海岸における海浜流循環. *土木学会論文報告集*, (326), 63-72.

水中音の減衰*

中村重久**

A note on sound attenuation in sea water*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: Sound attenuation due to sound absorption in sea water is discussed. A remarkable concern is contributions of magnesium sulphate $MgSO_4$ and of boric acid $B(OH)_3$ to the attenuation rates due to the relaxation processes even for a sound as a plane wave in sea water after the diagram introduced by CLAY and MEDWIN (1977). Attenuation rate of sound propagating as a spherical wave is also considered as a function of radial distance from a source as well as that for case of a plane wave in order to clarify difference of a sound generated by a nuclear bomb under the sea like a point source and a sound as a big tsunami precursor of boom out of a fairly large source area. The previous studies for an acoustic tsunami precursor by NAKAMURA (1986a, b, c) can be understood as some special cases of cylindrical propagation of sound from the epicenter of an earthquake at the sea bed.

1. 緒言

水中を音波が伝わる時、距離とともに音圧は小さくなっていく。これを一般に水中音波の減衰として検討されている。最近、中村(1986a, b, c)は、津波前駆異常音との関連で海底を音源とする場合を論じている。水中音波の減衰は、このような場合にも当然考えられ、それがどのようなパターンを示すかについて可能な限り明らかにする必要がある。本文では、まず、平面波としての海中の音波の減衰特性の要点を総括し、つぎに、淡水中の音波と海水中の音波との減衰特性について、これまでの研究で明らかになったところをとりまとめる。また、海中での核爆発や爆薬などのように小スケールの音源に対する至近距離の音波の減衰と、海底地震のように大スケールの音源に対する音波の減衰との間の現象論的(感覚的)相違を理論的根拠に立脚して明らかにする。さらに、歴史の記述に明記されている巨大地震時の津波前駆異常音(中村, 1986b)の物理的根拠についても説明を加える。

2. 平面波としてみた海中音波の減衰

水中音波は伝播距離とともに音圧は小さくなっていく。このような海中の音波については、たとえば、CLAY and MEDWIN (1977)の著書に記されているところをまっまでもなく、減衰することが知られている。

一般に、音波が平面波として均質な媒質中を伝わる時、音圧の伝播距離に対する減少は、エネルギー損失(あるいは吸収)によるものと考えられ、

$$\frac{dP}{dx} = -(\alpha_e) \cdot P \quad (1)$$

と書ける。ここでは音波の散乱については考えないことにする。ここに、 α_e は定数である。上の(1)を x について積分し、 $x=0$ における音圧を P_i とし、 x における音圧を P とすると、

$$P = P_i \exp(-\alpha_e \cdot x) \quad (2)$$

ここに、 α_e は、 e を底とする指数の一部であり、音圧減衰係数である。実用的には、平面波の減衰を表す式(2)を変形して、次式のようにデシベル(dB)単位の表示法をとることが多い(注: 海洋学で用いるデシベル dbの記号と混同しないよう注意が必要である)。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{dB loss} &= 20 \log_{10} \frac{P_i}{P} = (\alpha_e) \cdot x \cdot (20 \log_{10} e) \\ &= 8.686 (\alpha_e) \cdot x. \end{aligned} \quad (3)$$

* 1986年6月16日受理 Received June 16, 1986

** 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所,
〒649-22 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田畑崎
Shirahama Oceanographic Observatory, DPRI,
Kyoto University, Katada-Hatasaki, Shirahama,
Wakayama, 649-22 Japan

実際には、10を指数の底として表わした音圧減衰係数 α を用いて、(3) のかわりに、実用式

$$\text{dB loss} = \alpha \cdot x \quad (4)$$

を用いる。

3. 海中音波の減衰の周波数特性

前節に示した減衰係数 α の値は、音の周波数 f (ヘルツ単位) によって異なる。淡水表層の水温が 14°C であるとき、海水の動粘性を考慮にいれた場合は、CLAY and MEDWIN (1977) によれば、Fig. 1 の直線 F のようになる。

ところで、これまでの研究成果によれば、海水中では、淡水中の α に加えて硫酸マグネシウム MgSO_4 の成分による効果 (Fig. 1 の破線 M) およびホウ酸 $\text{B}(\text{OH})_3$ の

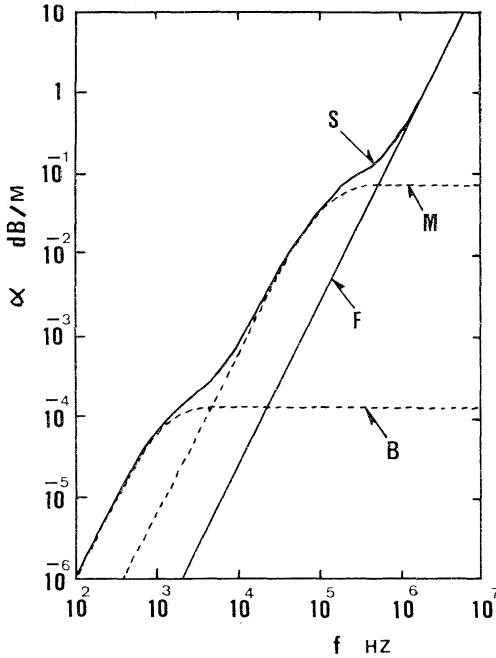


Fig. 1. Attenuation rate α (dB/m) due to absorption in fresh- and sea-waters as functions of frequency f (Hz) at the sea level for 14°C . B (dashed line), contribution of boric acid $\text{B}(\text{OH})_3$ due to relaxation process in sea water; F (straight line), fresh water; M (dashed line), contribution of magnesium sulphate MgSO_4 due to relaxation process in sea water; S (curve of full line), sea water of salinity 35‰ under the water temperature of 14°C at the sea level as a resultant of the contributions due to the relaxation process of MgSO_4 and $\text{B}(\text{OH})_3$. (after CLAY and MEDWIN, 1977).

成分による効果 (Fig. 1 の破線 B) もあわせて考慮にいなければならない。

MgSO_4 分子による音波の減衰は、第2次世界大戦中に、20 KHz を中心とした米国の軍用 SONAR の使用中に明らかになった。その減衰は淡水中よりも海水中で約25倍も大きい (詳細については、CLAY and MEDWIN, 1977 のうち、とくに p. 419-421)。当時、海中音波のこのように異常に大きな減衰率は塩化ナトリウムによるものと解釈されていた。LENARD *et al.* (1949) は、各種塩の水溶液を満した球型の器を用いて、その球体中の液の運動の周波数特性を調べ、とくに、海水中の MgSO_4 が音波の減衰率を異常に大きなものとする原因となっていることをつきとめた。その後、多くの実験的研究が重ねられ、現在までに、 MgSO_4 の効果による減衰率の変化を、水温・塩分・圧力・周波数の関数として与える実用公式も導びかれている。

ところで、問題はなお残っていた。1960年代までに、海水中で 10 KHz 以下の音波の減衰は、 MgSO_4 分子の効果を考慮にいれたとして予測されるよりも 10 倍も減衰率が大きいことがわかってきた (THORP, 1965; SKRETTING and LEROY, 1971)。このような事実を説明できる海水の成分はホウ酸であることが指摘された (YEAGER *et al.*, 1973; FISHER and LEVISON, 1973; SIMMONS, 1975)。しかしながら、 $\text{B}(\text{OH})_3$ の濃度と同様の音波減衰作用は、同じ周波数帯で炭酸塩の存在によってもあらわれることもわかってきている (詳細は、CLAY and MEDWIN, 1977 の p. 422-423)。それでも、このように、海水中の塩のうちでも微量にしか含まれていない成分が、なぜ海中音波の減衰に顕著な効果を示すのか、その機構は現在のところなお明らかにされていない。

上述のような事柄を考慮にいれると、海水中の音圧減衰係数 α は、海水表層で塩分 35‰・温度 14°C の場合、Fig. 1 の曲線 S のようになる。なお、ホウ酸の効果に加えて海水中のその他の塩、とくに炭酸塩の成分が減衰係数の値を大きくすることに寄与しているようである (MELLEN and BROWNING, 1975; CLAY and MEDWIN, 1977)。ちなみに、SIMMONS (1975) や YEAGER *et al.* (1973) の室内実験の結果や MELLEN and BROWNING (1975) の海洋のデータによれば、水温 $0-35^\circ\text{C}$ に対して、減衰効果の顕著にあらわれる周波数 f_{rb} は大体 $0.9-2.1$ KHz の範囲で単調に増加する傾向があり、 f_{rb} の対数は水温と線型関係にあるとみてよい。ただし、海洋データのうちでも、地中海および太平洋の例は、上述

の線型関係からかけはなれている。CLAY and MEDWIN (1977) は、これは、海水中の炭酸塩や $B(OH)_3$ の濃度が他の海域と異なっているからであろうと推測している。

4. 球面波としてみた海中音波

海洋は、地球表面の約7割をとりまく水の層である。したがって、広い範囲にわたる海中音波を検討する場合、すでにみたように平面波として考えても十分であるかもしれない。ただし、海中核爆発や爆薬などの水中爆発などのように音源が点源に近いと考えられ、しかも、その至近距離の音波の問題を検討する必要が生じた場合には、音波は球面波として考えなくてはならないであろう。

便宜上、座標の中心から外向きに径方向の距離 R をとる。初期条件・境界条件として、音源に対して $R=R_0$ で $P=P_0$ とすると、球面波に対する解は (2) のかわりに

$$P = P_0 \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \exp[-(\alpha_e) \cdot (R - R_0)] \quad (5)$$

と得られる。

海底地震のようにかなり広い範囲が音源とみなせる場合には、初期の R_0 の値がかなり大きい ($R_0 \gg 1$) ことになり、 R が R_0 に比較して少しだけ大きい場合 (R/R_0) は 1 に近い値となる。すなわち、近似的に (2) によって考えても差支えないことになる。

一様な音速場を球面波として音波が伝わる時、音波の伝わる時の減衰 TL (transmission loss) として $20 \log_{10}(P_0/P)$ の負号をとったものを用いることにすると、(5) より、

$$TL = 20 \log_{10} \left(\frac{R}{R_0} \right) + \alpha(R - R_0). \quad (6)$$

したがって、 $R \gg R_0$ ならば $(R - R_0) \approx R$ と考えてよい。また、 $(R/R_0) \sim 1$ ならば (6) の右辺第1項はゼロに近い値となる。

このようにみえてくると、海底地震のように音源のひろがり大きいと考えられる場合と、海中爆発のように点源が音源である場合には、音波の減衰特性に差異があらわれることになる。しかし、これは音波の伝播が物理的にみて異なった機構であるという意味ではない。

5. 考 察

以上の結果にもとづき、簡単な応用例によって、具体的な考察をしたい。

いま、海水中で $f=100$ Hz の音波を考えると、Fig. 1 より海面付近の水温 14°C に対して $\alpha \approx 10^{-6}$ dB/m であ

る。したがって、 $R_0=1$ m, $R=2$ m ならば、球面波としての音波の減衰は (6) 式右辺第1項より 6 dB 程度であるが、第2項の吸収による減衰は Fig. 1 の曲線 S より 10^{-6} dB ということになる。

さらに、 $R=10$ Km のとき ($R_0=1$ m), 吸収による減衰は $(10^{-6} \text{ dB/m}) \cdot (10^4 \text{ m}) = 10^{-2}$ dB の程度である。このとき、(6) 式右辺第1項の球面波としての減衰は 80 dB となる。ただし、平面波の場合には、その減衰は 0 dB となる。これが海洋中では音波があまり減衰することなくかなり遠く (数百キロメートルあるいは数千キロメートル) まで伝わりうるという根拠と考えてもよいであろう。

また、Fig. 1 をみると、淡水の場合 (F) も、海水の場合 (S) も、音波の周波数が高いほど減衰が顕著なことがわかる。したがって、たとえば音波が平面波として伝わる場合を考えたとしても、音源からの距離が遠くなると、高周波側の音ほど強く減衰し、あまり減衰しない低周波側の音によって音質が定まることになる。

この音質については、大内正夫博士から関心が寄せられ、有益なコメントをいただいた。中村 (1986b) は巨大津波の前駆異常音が大地震後あらわれる物理的機構を、海水の水温・塩分・圧力で定まる海中音速場にあらわれる sound channel の効果として説明できるという仮説をたてた。たしかに、南海道沖地震の後、沖合でドンドンと大砲のような音が聞こえてから津波が海岸を襲ったという記録は、史料にも多く明記されている (たとえば、中村, 1986b)。この種の音は、もともと衝撃的な音であったものと考えられる。このように衝撃的な音は周波数スペクトルでは相当に広い範囲にわたる周波数成分をもっている。そして、そのような音が伝播とともに減衰し、とくに高周波帯の音が強く減衰した結果が、たとえば数十ヘルツから数百ヘルツまでの低周波帯にピークをもつ音となり、感覚的にはドンドンと大砲のような音としてとらえられることになったものと推察される。

さきに簡単に述べたことであるが (中村, 1986c), 海底地震の震央を中心とした円筒状に伝わる音波を考えれば、巨大地震後の津波前駆異常音の海洋物理的機構は妥当なものと考えても差支えないであろう。

謝 辞

本文の完成には、大内正夫博士、南井良一郎教授、六田京子氏の御好意ある御配慮をいただき、さらに、査読者の貴重なコメントにより本文の内容をより充実することができた。

文 献

- CLAY, C.S. and H. MEDWIN (1977): Acoustic oceanography. Wiley-Intersci. Publ., N.Y. 544 pp.
- FISHER, F.H. and S.A. LEVINSON (1973): Dependence of the low frequency (1 KHz) relaxation in sea water on bottom concentration. J. Acoust. Soc. Am., **54**, 291.
- LEONARD, R.W., P.C. COMBS and L.R. SKIDMORE (1949): Attenuation of sound in sea water. J. Acoust. Soc. Am., **21**, 63.
- MELLEN, R.H. and D.G. BROWNING (1975): Low frequency attenuation in the Pacific Ocean. J. Acoust. Soc. Am., **57**, Suppl. 1, s65.
- 中村重久 (1986a): 日本南岸の黒潮流域付近における海洋音速場について。La mer, **24**, 42-47.
- 中村重久 (1986b): 巨大津波の前駆異常音について。La mer, **24**, 48-52.
- 中村重久 (1986c): 能代沖の海洋音速場と1983日本海中部地震津波。La mer, **24**, 186-192.
- SIMONS, V.P. (1975): Investigation of the 1 KHz sound absorption in the sea water. Ph. D. thesis, Univ. Calif., San Diego.
- SKRETTING, A. and C.C. LEROY (1971): Sound attenuation between 2,000 Hz and 10 KHz. J. Acoust. Soc. Am., **49**, 276-282.
- THORP, W.H. (1965): Deep-ocean sound attenuation in the sub- and low-kilocycle-per-sec region. J. Acoust. Soc. Am., **38**, 648-654.
- YEAGER, E., F.H. FISHER, J. MICELI and R. BRESSEL (1973): Origin of the low-frequency sound absorption in seawater. J. Acoust. Soc. Am., **53**: 1705-1707.

A numerical simulation of suspended sediments flocculation in the estuary*

Tetsuo YANAGI**, Kumiko AZETSU***, Katsuhisa HONDA***
and Ryo TATSUKAWA***

Abstract: A steady state numerical model has been developed in order to investigate the behavior of suspended sediments in a partially mixed estuary. The model includes the flocculation process of suspended sediments, that is, suspended sediments change their radius and density in the model. The turbidity maximum of suspended sediments in the middle layer at the central part of the estuary is formed only in the case where the model includes the flocculation process. The age and residence time of each suspended sediment are also discussed.

1. Introduction

It has been well known that suspended sediments play important roles in the material transport process from the land to the sea. Suspended sediments in the river water usually change their electric property and flocculate to settle in the estuary when they come in contact with saline water. Furthermore they often form the turbidity maximum above the halocline in the estuary. The flocculation and the turbidity maximum of suspended sediments were observed in detail at the St. Lawrence Estuary by KRANCK (1979). FESTA and HANSEN (1978) showed by use of a steady state numerical model that the estuarine dynamics is primarily responsible for the occurrence of the turbidity maximum in partially mixed estuaries. That is, the turbidity maximum is formed at the place where the settling velocity of suspended sediment balances the upward velocity of estuarine circulation. However, their model does not include the flocculation process. As suspended sediments change their settling velocities by the flocculation, it will be interesting to investigate the relation between the formation of turbidity maximum and the flocculation process.

In this paper, we shall show at first the distribution of suspended sediments and their for-

mations of turbidity maxima in the Yoshino River estuary, Japan. Moreover we shall investigate the detailed behavior of suspended sediment in a partially mixed estuary with a Euler-Lagrangian numerical model which includes the flocculation process of suspended sediments.

2. Field observations

The field observation was carried out at the Yoshino River estuary on 27 May 1980 (Fig. 1). Station 1 in Fig. 1 is situated upstream of the tidal weir and is occupied with only freshwater and Stn. 9 is situated in the sea. The salinity was observed continuously from surface to bottom by a conductivity meter. Water sampling was carried out every 50 cm from surface to bottom with a magnet pump. The concentration of suspended sediments was determined after ship-board filtration through 0.45 μ m Millipore filter. Then the size distribution was measured by an Elzone particle counter (Model 190XY, Particle Data Inc.). The results of the observation are shown in Fig. 2. The distribution of salinity is near the weakly mixed state. Turbidity maxima are seen at three regions; one is near the river head, another in the intermediate layer at the central part and the other in the bottom layer at the river mouth. Moreover, large size particles are accumulated in the turbidity maximum regions.

Another observation shows that the tidal changes of such distributions are small because the maximum tidal range is only 1.0 m at the

* Received March 28, 1986

** Department of Ocean Engineering, Ehime University, Bunkyo 3, Matsuyama, 790 Japan

*** Department of Environment Conservation, Ehime University, Tarumi 3-5-7, Matsuyama, 790 Japan

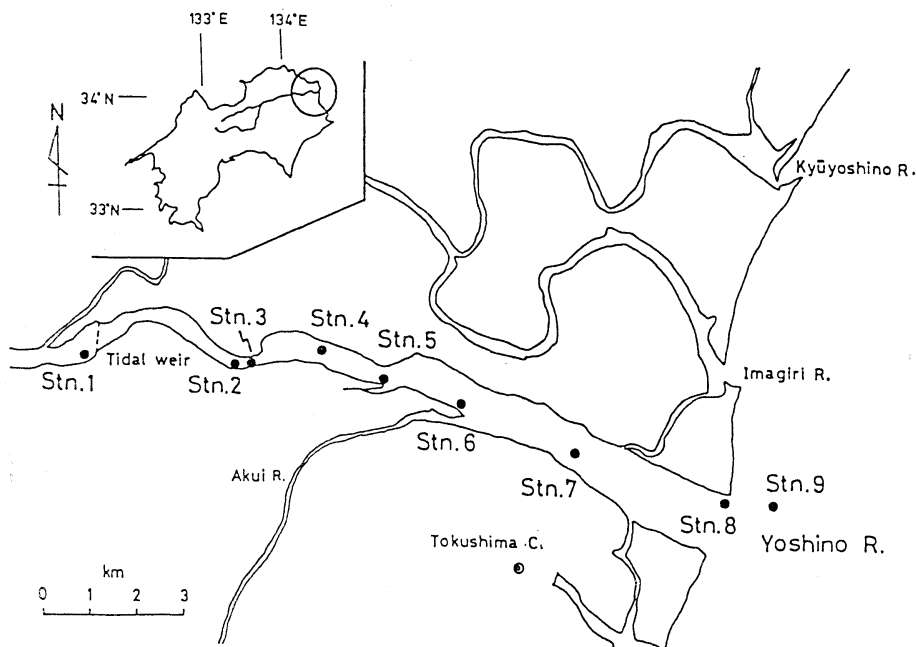


Fig. 1. Map of the Yoshino River estuary.

river mouth (HONDA *et al.*, 1985). Therefore, such distributions of salinity and suspended sediments can be considered as in quasi-steady state.

We try to reproduce two turbidity maxima near the river head and at the central part of the estuary in a numerical model because they should play important roles in the material transport from the land to the sea. The turbidity maximum at the river mouth is considered to be formed by the sea-born suspended sediments.

3. Numerical model experiment

Here we try to develop a numerical model to investigate the behavior of suspended sediments in the estuary. The present study is concerned with not only the Lagrangian behaviors of suspended sediments but also the Eulerian concentration distributions, so that the method of Euler-Lagrangian numerical model (YANAGI and OKAMOTO, 1984) is used. Such approach is suitable for studying the flocculation, deflocculation and absorption processes of pollutants in the estuary. Here the partially mixed state estuary is dealt with in order to study the flocculation process, because it is the intermediate

state between the strongly mixed and weakly mixed states.

3.1. Salinity and velocity distributions

A steady state, two-dimensional, laterally homogeneous estuary is set up. The co-ordinate system is Cartesian in x and z , where z is positive downward from the water surface and x increases from the river head toward the sea. A linear equation of state is assumed,

$$\rho = \rho_f(1 + \delta S), \quad (1)$$

where ρ is the density of water, ρ_f the density of freshwater, δ the coefficient of salt contraction and S the salinity. The horizontal momentum balance, continuity of flow and concentration of salinity with use of the Boussinesq approximation are given by

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \\ + A_h \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

$$P = g \int_0^z \rho dz, \quad (4)$$

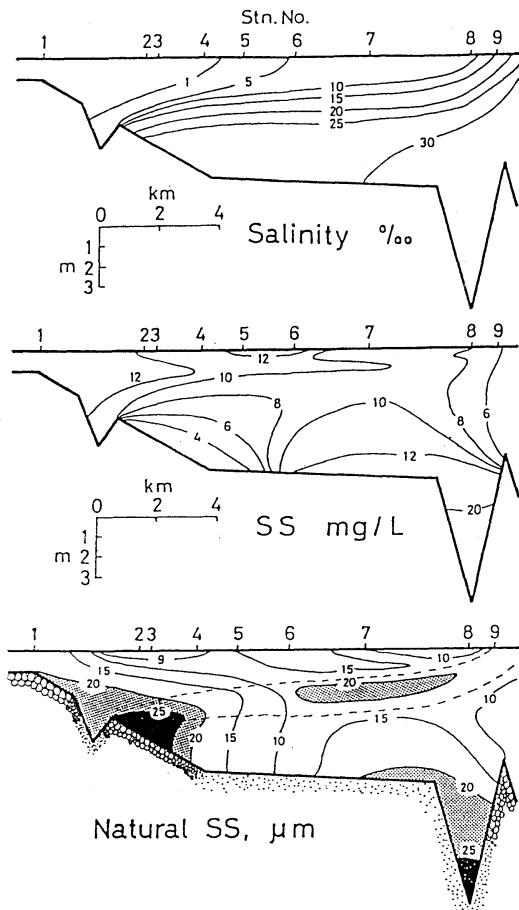


Fig. 2. The longitudinal vertical distributions of salinity (top), mass of suspended sediments (middle) and mode of grain diameter of suspended sediments (bottom) in the Yoshino River estuary on May 27, 1980.

$$\bar{\rho} = \frac{1}{H} \int_0^H \rho dz, \quad (5)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + w \frac{\partial S}{\partial z} = K_h \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + K_v \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}. \quad (6)$$

Here u and w are the horizontal and vertical components of velocity, respectively, $\bar{\rho}$ the vertically average density, P the hydrostatically reduced pressure, H the depth, A_h , A_v and K_h , K_v the horizontal and vertical exchange coefficients of momentum and salt, respectively, and g the gravitational acceleration. Tidal fluctuations have been averaged out, while the tides are considered to be the primary source of

Table 1. Parameters used in the numerical model.

ρ_f : 1.0	g : 980 cm sec ⁻²
δ : $7.75 \times 10^{-4} \text{‰}^{-1}$	μ : 0.0115 cm ² sec ⁻¹
A_h : 10^4 cm ² sec ⁻¹	U_f : 50 cm sec ⁻¹
A_v : 5 cm ² sec ⁻¹	S_B : 30 ‰
K_h : 10^4 cm ² sec ⁻¹	H_{\max} : 6 m
K_v : 1 cm ² sec ⁻¹	L : 12 km
D_h : 10^3 cm ² sec ⁻¹	α : 0.01 ‰ ⁻¹ sec ⁻¹
D_v : 0.1 cm ² sec ⁻¹	

energy for turbulent mixing. The exchange coefficients are, therefore, a measure of the strength of tidal mixing. For simplicity, these coefficients are chosen to be constant as tabulated in Table 1. The magnitude of each coefficient is within commonly used one. It is confirmed that the principal results of the numerical experiments are not sensible to small changes in their magnitudes.

The boundary conditions to be satisfied at the river head, which is occupied with only the freshwater, are zero salinity and the constant river flow U_f . At the bottom boundary, the no-slip condition and zero vertical flux of salt are specified. At the top boundary, the slip condition and zero vertical flux of salt are specified. These are expressed by

$$S=0, u=U_f \text{ at } x=0 \text{ and } z=0, \quad (7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial z}=0, \frac{\partial u}{\partial z}=0 \text{ at } z=0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial S}{\partial z}=0, u=0 \text{ at } z=H. \quad (9)$$

The remaining boundary conditions to be specified are those at the mouth of the estuary. The salinity at the bottom of the seaward boundary is fixed to be S_B and horizontal diffusive fluxes of salt and momentum are required to be constant, but unspecified after FESTA and HANSEN (1976). These are expressed by

$$S=S_B \text{ at } x=L \text{ and } z=H, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x^2}=0, \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=0 \text{ at } x=L. \quad (11)$$

Here L is the length of the estuary and is 12 km in this case. The maximum depth H_{\max} is 6 m. Equations (2) and (6) are approximated by finite difference with a time step of 10 seconds

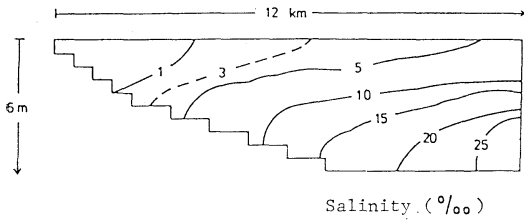
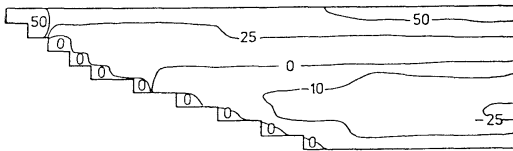
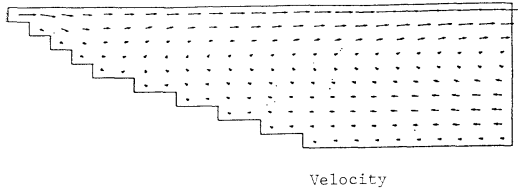
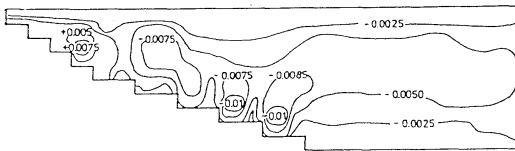


Fig. 3. Calculated salinity distribution in the numerical model.



Horizontal Velocity Field (cm/s)



Vertical Velocity Field (cm/s)

Fig. 4. Calculated velocity distributions in the numerical model.

and a grid size of $\Delta x=500$ m and $\Delta z=60$ cm and are solved by the primitive method with boundary conditions (7) to (11). The initial conditions are set up in such a way that the salinity, horizontal and vertical velocities are zero throughout the area. We considered that the steady state was achieved when the time change rate become less than 1% in magnitude of other terms in Eq. (2). The partially mixed state is reproduced as shown in Fig. 3 and the gravitational circulation pattern is reproduced as shown

in Fig. 4.

3.2. Suspended sediments behavior

Some assumptions are needed to study such complex phenomenon as suspended sediments flocculation in the estuary. It is assumed that 1) suspended sediments are composed of many elementary particles with their own radius and density, 2) the principle of superposition for the movement of each particle due to the gravitational circulation, their own settling velocity and the turbulence is valid, and 3) resuspension of settled suspended sediments from the bottom is not considered. The movement of a labeled particle is traced. Imagine that a labeled particle exists at a point (x^n, z^n) at time n . Position of the labeled particle (x^{n+1}, z^{n+1}) at time $n+1, \Delta t$ time after, is traced by the following formula,

$$x^{n+1} = x^n + u(x^n, z^n) \cdot \Delta t + R_x, \quad (12)$$

$$z^{n+1} = z^n + [w(x^n, z^n) + w_s(\rho^n, r^n)] \cdot \Delta t + R_z, \quad (13)$$

where R_x and R_z are the movements due to the turbulence in x and z direction, respectively. The original Lagrangian expression for tracing the particle has more terms than Eqs. (12) and (13), but the spatial gradient terms of velocity are neglected because the velocity field is steady and the time step used for calculation is too short to “feel” critically the spatial gradients of velocity. Horizontal velocity $u(x^n, z^n)$ and vertical velocity $w(x^n, z^n)$ are interpolated from Eulerian velocities at four grid points surrounding the particle.

The dispersion coefficients D_h and D_v for suspended sediments are defined by the time derivative of the variance of positions of suspended sediments as follows,

$$D_h = \frac{1}{2} \frac{dx^2}{dt}, \quad D_v = \frac{1}{2} \frac{dz^2}{dt}. \quad (14)$$

Therefore, the movements of suspended sediments due to the turbulence are given by the following equations,

$$R_x = \gamma_x \times \sqrt{2 \times \Delta t \times D_h}, \quad (15)$$

$$R_z = \gamma_z \times \sqrt{2 \times \Delta t \times D_v}. \quad (16)$$

Here γ_x and γ_z denote the random numbers

whose mean values are zero and whose variances are 1.0. ρ^n and r^n are the density and radius of the particle, respectively. $w_s(\rho^n, r^n)$ denotes the settling velocity of the particle itself given by Stokes' law,

$$w_s(\rho^n, r^n) = \frac{2}{9} g \frac{\rho^n - \rho}{\mu} r^{n2}, \quad (17)$$

where ρ and μ are the density and viscosity, respectively, of the surrounding water. The flocculation process is formulated by KRANCK (1973) as follows,

$$r^n(t, s) = r_\infty - (r_\infty - r_0)e^{-\alpha st}, \quad (18)$$

where r_0 denotes the grain radius of original particle and r_∞ that of flocculated particle related by

$$r_\infty = 2.80 \times r_0^{0.772}, \quad (19)$$

and α is a numerical constant determined to complete the flocculation process in half an hour with a salinity of 3‰ after an experiment by KRANCK (1973). When the elementary particles aggregate

to the flocculated particles, its density decreases due to water contained in the flocculate. The change of particle density by the flocculation is given, in analogy of radius increasing, by

$$\rho^n(t, s) = \rho_\infty + (\rho_0 - \rho_\infty)e^{-\alpha st}, \quad (20)$$

where ρ_0 denotes the density of the original particle and ρ_∞ that of flocculated particle related by

$$\rho_\infty = \frac{\frac{4}{3}\pi r_0^2 \rho_0^3 + \frac{4}{3}\pi(r_\infty^3 - r_0^3)\rho}{\frac{4}{3}\pi r_\infty^3} = (\rho_0 - 1) \left(\frac{r_0}{r_\infty} \right)^3 + 1, \quad (21)$$

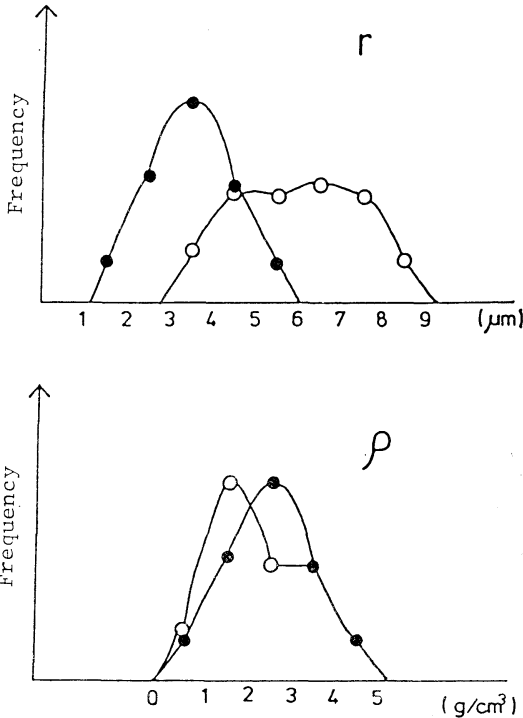


Fig. 5. Grain radius (r) and density (ρ) distributions of particles injected at the river head (solid circle) and those flown out of the estuary or settled down to the bottom (open circle) in Case III.

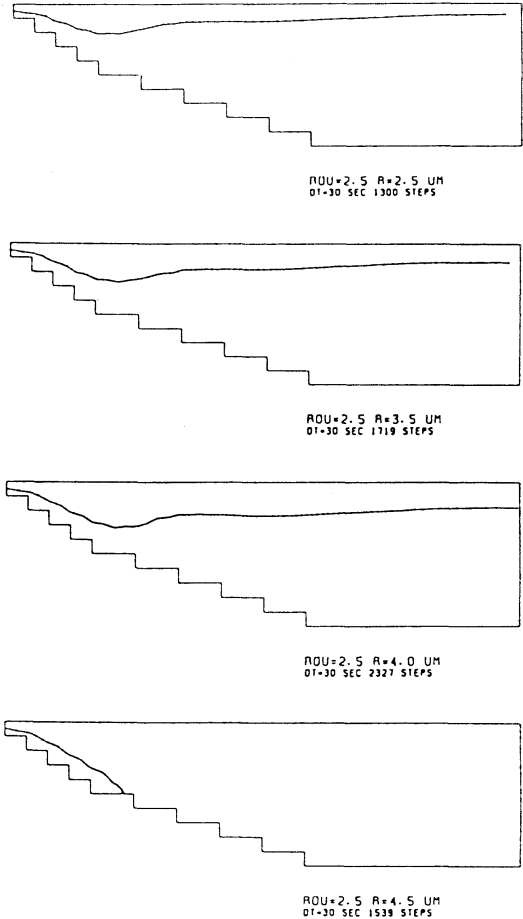


Fig. 6. Loci of particles with a constant density of 2.5 g cm^{-3} and variable grain radius of 2.5 to 4.5 μm (top to bottom) without the flocculation process.

where ρ is 1.0.

The original grain radius and density distributions of injected particles at the river head are shown in Fig. 5. The modes of grain radius and density of the original particles are $3.5 \mu\text{m}$ and 2.5g cm^{-3} , respectively. The time step Δt for tracing each particle is 30 seconds, which is chosen from the viewpoint that it will take more than twenty time steps at least for a particle to pass through one mesh.

3.3. Results

Some examples of particle movement with fixed density, variable grain radius and without the flocculation process and turbulence are shown in Fig. 6. Small particles flow out of the estuary in 10-14 hours, because their settling velocities are smaller than the water upwelling velocity in the estuary. On the other hand, large particles settle down near the river head in 12 hours, because its settling velocity is larger than the water upwelling velocity there. If the flocculation process is introduced in the model,

a particle with a moderate grain radius, flowing out of the estuary without the flocculation process, can settle down to the bottom in 22 hours as shown in Fig. 7.

Fifty particles are successively injected at each time step from the river head. The grain radii and densities are determined by random selection from the normal distributions (Fig. 5) and the steady state distribution is obtained.

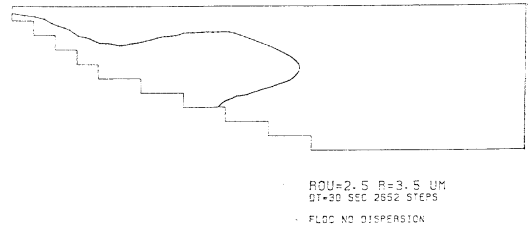


Fig. 7. Locus of a particle with an original grain radius of $3.5 \mu\text{m}$ and a constant density of 2.5g cm^{-3} with the flocculation process of grain radius increasing only.

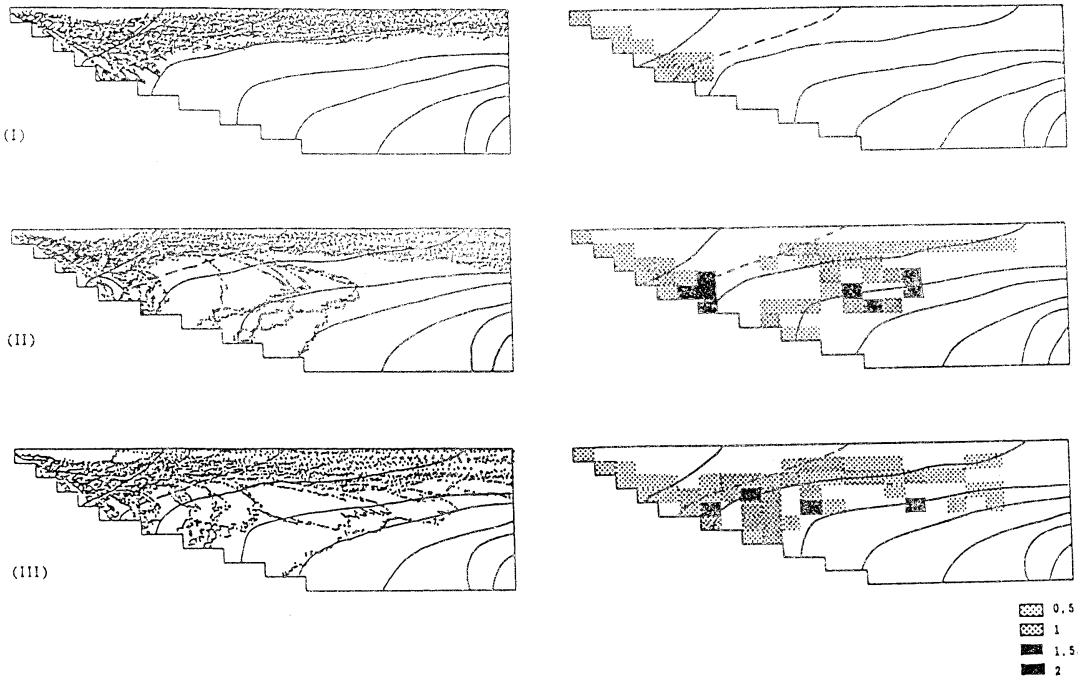
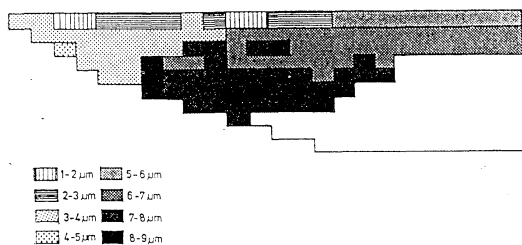


Fig. 8. Distributions of particle position (left) and normalized mass concentration (right) of suspended sediments in the case of no flocculation (Case I), the case of grain radius increasing only (Case II) and the case of grain radius increasing plus density decreasing (Case III).

The upper panel in Fig. 8 shows the distributions of particle position (left) and mass of suspended sediments (right), which is calculated by using particle's density and grain radius and is normalized to that at the river head mesh, in the case of no flocculation process (Case I). There is one turbidity maximum in the lower layer near the river head but no turbidity maximum in the intermediate layer at the central part of the estuary in Case I. The turbidity maximum in Case I is formed due to the balance of settling velocity of suspended sediments and the upward velocity of estuarine circulation which was already shown by FESTA and HANSEN (1987). When the flocculation process of grain radius increasing only is introduced in the model (Case II), the turbidity maxima are formed in the lower layer near the river head and in the intermediate layer at the central part of the estuary as shown in the middle panel of Fig. 8. Moreover, when the flocculation process of grain radius increasing and density decreasing are introduced in the model (Case III), the position of turbidity maximum at the central part of the estuary slightly shifts to the downstream of the estuary as shown in the lower panel of Fig. 8. The grain radius distribution of suspended sediments in Case III is shown in Fig. 9. Largest particles are seen in the lower layer near the river head and particles larger than ca. $14 \mu\text{m}$ in diameter are seen in the intermediate layer at the central part of the estuary. Comparing with Figs. 2, 8 and 9, the numerical experiment well reproduces qualitatively the results of field observation except the turbidity maximum in the lower layer near the river mouth. The turbidity maximum in the lower layer near the



Distribution of Grain Size

Fig. 9. Distribution of grain radius of suspended sediments in Case III.

river mouth is formed by the sea-born suspended sediments which are not included in the model.

4. Discussions

The turbidity maxima of suspended sediments in a partially mixed estuary are successively reproduced by use of an Euler-Lagrangian numerical model, which enables us to trace each particle and to investigate the time change of some properties of each particle. If chemical problems such as heavy metal behavior in the estuary are concerned with, this Euler-Lagrangian model will be more useful. In such cases the age and residence time of each particle will be important parameters (TAKEOKA, 1984). The distribution of age of particle (the elapse time from the injection) at the river head is shown in the upper panel of Fig. 10. The distribution of residence time of particle (the expected time in which the particle flows out of the estuary or settle down to the bottom) is shown in the lower panel of Fig. 10. They are in Case III. The particles in the intermediate layer at the central part of the estuary have long age and long residence time. The complex chemical or biological processes, which will take long time, may be carried out over the particles which have long age or long residence time. Such chemical and biological problems will be investi-

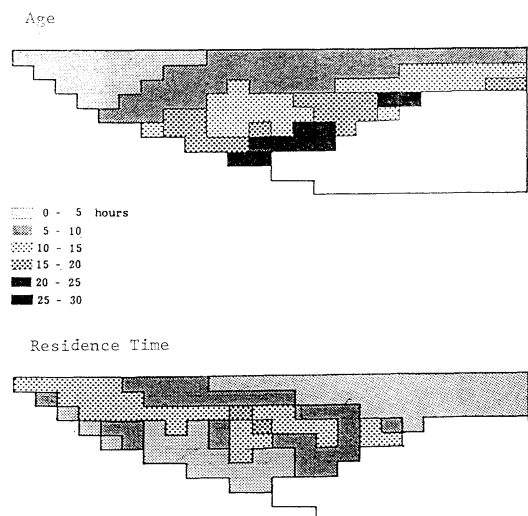


Fig. 10. Distributions of age of particles (top) and residence time of particles (bottom) in Case III.

gated by use of the present Euler-Lagrangian model in the near future.

Acknowledgements

The authors express their sincere thanks to Dr. H. TAKEOKA of Ehime University for his helpful discussions. The numerical experiments were carried out on a FACOM M-180 II AD of the Data Processing Center of Ehime University. A part of this study was supported by a scientific research fund Nos. 58030054 and 59035045 defrayed from the Ministry of Education, Science and Culture, Japan.

References

- FESTA, J.F. and D.V. HANSEN (1976): A two dimensional model of estuarine circulation: the effects of altering depth and river discharge. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, **4**, 309-323.
- FESTA, J.F. and D.V. HANSEN (1978): Turbidity maxima in partially mixed estuaries: a two-dimensional numerical model. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, **7**, 347-359.
- HONDA, K., N. HAMADA and R. TATSUKAWA (1985): Distribution and behavior of heavy metals in the fresh and sea water boundary of the Yoshino River estuary. *Bull. Coast. Oceanogr.*, **23**, 26-34 (in Japanese).
- KRANCK, K. (1973): Flocculation of suspended sediment in the Sea. *Nature*, **246**, 348-350.
- KRANCK, K. (1979): Dynamics and distribution of suspended particulate matter in the St. Lawrence estuary. *Le Naturaliste Canadien*, **106**, 163-173.
- TAKEOKA, H. (1984): Fundamental concepts of exchange and transport time scales in a coastal sea. *Continental Shelf Sea Res.*, **3**, 311-326.
- YANAGI, T. and Y. OKAMOTO (1984): A numerical simulation of oil spreading on the sea surface. *La mer*, **22**, 137-146.

河口域における懸濁粒子のフロキュレーションの数値実験

柳 哲雄・疇津久美子・本田克久・立川 涼

要旨: 緩混合の河口域における懸濁粒子の挙動を調べるための数値モデルを開発した。数値モデル内で懸濁粒子はフロキュレーションを起す。すなわち懸濁粒子の直径と密度は時間的に変化する。観測された河口域の中央部中層における濁度極大は、数値モデル内にフロキュレーション過程を取り入れた時のみ再現された。個々の懸濁粒子の年令と滞留時間に関する議論も行った。

資 料

フランス海洋情報(2)

Informations océanographiques de France N°. 2

1. 海洋庁の1987年度予算 (Budget 1987 du Secrétariat d'Etat chargée de La Mer)

フランス海洋庁の予算は1987年度から前年比でやや(3.5%)増額され、56億フランとなる。

2. 宇宙海洋学センターの創設 (Création d'un centre d'océanographie spatiale)

IFREMER (フランス海洋開発研究所), CNES (フランス宇宙研究センター) および国立測候所の三者が統合されて、海洋学情報処理のためのセンターが、プレストに創設されることになった。このセンターはIFREMERのプレストセンター(元のCOB)と同じ構内に建設され、人工衛星ERS 1から情報をえる計画である。この衛星は1989年に軌道に乗せることになっている。新しいセンターはセルサットCERSAT (ERS情報処理記録センター)と呼ばれ、その総予算は7千万フランとなる。この予算のうち、2.8-3.0千万フランをIFREMERが分担する。ERS 1は重さ1,800kgの衛星で、三日ごとに風、海況、(10cmの精度で)波浪の情報を集め、磁場と大気圧の予測などを行う。魚群位置や商船観光船の追尾などもその業務に含まれよう。

3. 1986年末にも海難浮標の装備を義務付け (Balises de détresse obligatoires fin 1986)

1986年末からは海難事故位置決定のために、第1-2級漁船に、衛星を利用した保安システムCASPAR-SAR-SATの装備が義務付けられる。この無線浮標には、難船時自動投下装置が装備される。

4. VHF方式のテレコピー (Télécopie par VHF)

プレストの小さなエレクトロニクス企業に過ぎないLa SEN (Service Electronique de Navigation) がVHF方式のテレコピー [ファックス類似機器] を開発発売した。この装置は、船上と陸上との間で、とくに図表などの情報を送信できる。これはテレックス通信にない特徴である。遠距離図形送信は、人工衛星の利用ですでに具体化しているが、その場合よりはるかに経費が節約される。オランダの漁船2隻が既にこの新装置を装備している。

5. コメックス、ドリスを合併 (Doris repris par la Comex)

コメックス・セルヴィス会社 (Société Comex Services) は、ドリス社 (C.G. Doris) の海洋部門と海中作業部門を、1986年6月16日付けで引き継ぐ。ドリス・グループではエンジニアリング部門も (Sofresid, G. T. M., Entrepouse それに Dumez からなる) フランス企業連合に引き継がれる。コメックス・セルヴィス会社が引き継ぐのは、次の三つの事業である。

1. とくに西アフリカと地中海での採油関連海中工事
2. 土木関連海中工事。これは新たに設立されたコメックス系列会社 Sogetram-Sotraplex に委される。
3. 海洋作業、沖合採油業向け立地作業ないし土木作業は、別の系列会社 Doris Survey に委される。

これらの3部門は1985年で総額1.7億フランを売上げ、その雇用者総数は200人余りに上っている。

6. ニューカレドニア海域漁業で日仏合意 (Accord franco-japonais sur la pêche en Nouvelle-Calédonie)

ニューカレドニアの200海里区域内での漁業について日仏両国間に新たな協定が結ばれた。昨年まで日本の入漁漁船数枠は、3隻の一本釣船を含む36隻であったが、この協定によって、34隻になった。また漁獲制当量は、去年の2,650トンに対して、2,645トンとなった。日本の支払うべき入漁料は、同じく821,500フランから、15%増の943,000フランとなった。

7. フランス魚市場の刷新 (Du renouveau dans les criées françaises)

1983年5月に設立された競売人協会が最近シンポジウムを計画した。主題は「魚市場の役割、その経済的、法規的、技術的および財政的機能」である。このシンポジウムで受取人 parties-prenantes は今のところ異論なく漁業者から荷受入への一次流通機構を刷新することに合意したように見える。そこで提議されたのは、販売の情報化、コールドチェーンの強化などの計画である。

フランス漁港で検討されるべき課題のうち、最優先で

採択され、将来の規範になろうとしているのは、サン・ゲノール漁港の場合である。この漁港は、1985年に水揚高では11,977t、扱い高では16億4百万フランで、フランス第7位を占めた。ここに先駆的実験場として、面積600m²の情報化された冷凍設備付き魚市場が建設される。その完成は1986年10月の見込みである。

この建物では水揚げから仕分けまでの取引、自動計量、冷蔵、掲示方式の入札などが行なわれる。荷卸しは水揚げ埠頭に設けられる水圧式ウインチにより、仕分けは魚種別に区分されるベルトコンベアによる。仕分けられた魚は船別、大きさ別に箱詰めされて、デジタル自動計量機に運ばれる。そこでは、計量された荷口の仕様がいつでも分かるような形で、すべてのデータ(重量、魚種、品質、産地、漁船)が蓄積される。これらの荷口は、2°Cの冷蔵庫に回される。敷地面積1,070m²、容積4,800tのこの冷蔵庫には、40kg入り容器4,000個を取容できる。入札場では旧式の競りでも掲示方式の入札でも最大60の立会いが可能である。入札すれば、問屋の希望通りの期日、場所で荷受けされる。

8. EC 圏漁獲量やや減少 (Légère baisse de la pêche dans la CEE)

EC 漁獲統計最新版によると、EC 圏漁獲量は減少傾向にある。EC 圏主要漁場の一つである北東大西洋でフランスの漁獲量は、1982年642,400t、1983年538,000tに続き、1984年は514,000tである。この漁場で操業船数最大のデンマークも、この年に漁獲の減少(1,825,000t)をみた。それに対して北西大西洋では、米加両国船が多数出漁しているが、フランスの漁獲量はいくらか増し、1983年の21,800tに対し、1984年は35,600tである。地中海での漁獲も漸減している。この漁場では、1984年で一位のイタリア(412,400t)が二位のスペインを凌いでいるが、1983年に52,400tであったフランスは44,600t余りに過ぎない。

対外取引についてみると、フランスの輸出は増大傾向を示し、1983年の36億300万エキュ(1écuはほぼ1米ドルに相当;以下eと略す)に対し、1984年は3億8,530万eである。その内、EC 諸国向け輸出は、1983年の1億9,800万eに対し、1984年は2億2,460万eであった。ところが同時にフランスの輸入も増え、1983年に12億eであったものが、1984年には12億6,400eとなって、海産物貿易赤字を増やした。赤字の原因は、主に生鮮ないし冷凍冷蔵魚類の、また一部には貝類甲殻類の輸入増である。フランスはまた魚粉輸入も盛んで、1983年の2,780万eに対し、1984年は3,030万eであった。

9. 外国輸入商社向け新刊: “フランスの海産物”

(“Poissons et fruits de mer de France”: un nouveau livre destiné aux importateurs étrangers)

FIOM(海産物市場調整編成財団)*は、SOPEXA(食糧農産物販売促進協会)**の協力で、フランス全漁港での総水揚量の90%を占める重用魚種のガイドブックを出版した。魚種当たり2ページを割り当て、仏文をはじめ、独、英、西、希、蘭、伊各語で説明されている。魚種ごとに写真図版、平均および最大体長が示され、フランス地図上で水揚地、年間水揚量、盛漁期(月)が表わされている。料理法も付いていて親切である。

10. EC の対造船業戦略 (Stratégie de la CEE vis-à-vis des chantiers navals)

今秋[1986年秋]、EC 諸国閣僚会議で造船業に対する助成金額が決定される模様である。しかし、造船業に対するECの方針は既に決まっている。助成金は専ら自由競争に耐える力のある造船業者に向けられる。つまり、メタン輸送船、豪華客船、フェリー、石油掘削台への補給船などの建造技術を獲得すべく最新技術に訴えて、先端企業の中で生き残ろうとする努力を集中して戦線復帰しよとする者だけが対象となる。従って、フランスでいえば、ダンケルク造船所への助成金は打ち切れようし、サン・ナゼール、デュビジョン両造船所は引き続き助成金の交付を受けられよう。地中海のラ・セイヌ、ラ・シオタ両造船所は生産の一部について助成を受けることになろう。

11. 造船技術と新素材 (Technologie navale et nouveaux matériaux)

IFREMERの記録収集出版局***は、プレストを中心に展開された造船技術での合成素材(matériaux composites)に関するシンポジウム議事録(190ページ)を最近出版した。この記録は次の五つの主題からなる。(i)合成素材の合理的選択、(ii)構造計測、(iii)合成素材の使用と造船所の機械化、(iv)検査と規制、(v)材料の品質。この記録はIFREMER***から入手できる。

12. モン・サンミシェル湾の観光は「シレーヌ・ド・ラ・ペ」号で (Visite de la baie du Mont Saint-Michel avec la “Sirène de la baie”)

1986年初夏から[半人半魚神セイレンのように]半分船で半分トラックともいえる乗物で、一日4回、1回2時間で、モン・サンミシェル湾を遊覧し、この湾にあるイガイ養殖場を見学できるようになった。イガイはブッシュo bouchot といって、砂底に立てた木杭に縄を巻き付けたものに、幼生を着生させて養殖している。乗客は船

内で磯料理 (fruits de mer) を味わったり、ブッシュヨを使ったイガイ養殖を解説するビデオを見たりして楽しむ。この乗物の特徴は砂上を車輪で走り回ったり、水上を航走したりできることで、また長さ26.5m, 幅5.7m, 吃水85cm, ボルボ230馬力2基搭載を仕様とする。カキ養殖の平底船に想を得たものという。

13. ウインド・サーフィングで40ノット (A 40 noeuds sur une planche à voile!)

フランス人 Pascal Maka は、ウインド・サーフィング・ボードで、38.86ノット (71.96 km/h) を出し、あらゆる分野を通じて、水上速度の最高記録を樹立した。この記録はカナリー諸島 (スペイン) のフェルテ・ヴェントゥラ島ソタ・ヴェントにあるスピード競技場で達成されたものである。

〔後記〕 前回に続きパリ仏日海洋学会発行のフランス海洋情報 (Frans' Inf' Ocean) の翻訳を掲載している。今回は 同情報 N° 1 (1986年8月18日付) の全項目を掲げた。

(F. シマール, 文責 宇野 寛, 補訂 高木和徳)

* [前報注を訂正] Fonds d'Intervention et d'Organisation des Marchés des produits de la pêche maritime et des cultures marines; 11, bd de Sébastopol, 75001 Paris; Tél: 42.33.51.60.

** Société pour l'Expansion des ventes des produits agricoles et alimentaires.

*** IFREMER, Service de la Documentation et des Publications, Centre de Brest, B. P. 337, 29272 Brest Cedex; Tél: 98.22.40.13; Téléx: 940627F.

書 評

陸水生態系における生物の重金属汚染監視

Biomonitoring of heavy metals in freshwater ecosystems. By A. M. Nikanorov, A. V. Zhulidov and A. D. Pokarzhevskij 1985. Leningrad Gidrometeoizdat, Leningrad. V+144 p. (in Russian)

本書はソ連の陸水生態系における生物の重金属汚染の調査研究に関して、その調査の研究方法及び汚染の実態を述べたものである。本書の特に注目したい点は、著者等が International Association of Geochemistry and Cosmochemistry の役員であるために、ソ連の科学研究によく見られたようなソ連独自の研究方式に基づいた研究でないから、西側諸国の研究者にも内容が理解され易いものと考えられる。事実、引用文献の約半分はソ連以外の研究者によるものである。内容は次の五章に分かれている。

前 書 序 文

1. 水圏生態系中試料の重金属分析のための調整方法及び分析方法
 - 1.1. 重金属分析のための生物、堆積物および水試料の調整
 - 1.2. 分析試料灰化の必要性和水棲生物の重金属分析方法
 - 1.3. 試料中の重金属スペクトル
 - 1.4. 原子吸光法による測定
 - 1.5. 核物理学的方法による測定

2. 重金属の生物学的役割
3. バックグラウンドと軽度汚染試料の分析
 - 3.1. ソ連のヨーロッパ地域における水棲生物の重金属汚染と生物濃縮係数
 - 3.2. 陸水生態系のバックグラウンドと軽度汚染試料の鉛と水銀の測定
 - 3.3. Mn, Zn, Cu, Co, Mo の河川への初期汚染
 - 3.4. 水圏での重金属拡散における生物の寄与
4. 汚染歴にかかわる堆積物中の重金属試料調整方法
5. 生態系における重金属の汚染歴
 - 5.1. 汚染歴監視のための対象試料
 - 5.2. 汚染歴監視における間違発生の可能性

結 語 引用文献

本書は、このようにソ連における陸水生態系の重金属汚染を取り扱っているものである。しかし、海洋重金属汚染源の重要なものは陸水の海洋への流入であることを顧みれば、海洋汚染の研究者にとっても本書は重要な参考文献にならう。殊に、軽度重金属汚染に関する過去のデータは昔の重金属分析方法の精度の点から参考にならないものが多いので、ソ連における重金属汚染の軽度なバイカル湖のような陸水域のデータはベースラインスタディーの上からも学問上重要な参考資料を与えるものであろう。(関 文威)

鯨一代 聞書 砲手 泉井守一

柴 達彦 著 (昭和 61 年 7 月 7 日): 青英舎, 453 頁, 3,000 円

本書は、捕鯨の世界的な前面禁止を目前にしている現在、「捕鯨の神様」と呼ばれている元捕鯨船砲手の泉井守一氏の長い捕鯨体験を主軸にして、日本商業捕鯨の盛衰を情熱高く述べたものである。明治三十七年に生まれた泉井氏が捕鯨界に入った頃は、日本の商業捕鯨は既にノルウェー式銃殺捕鯨方式になっていた。しかし、本書は慶長十一年(1606年)に太地の和田忠兵衛が突取法を用いて日本捕鯨を始めて以来の詳細が、特に泉井氏の生まれ育った土佐における捕鯨から始まり、現在に至るまで事細かく記述してある。この記述方式が、読者に Herman

Melville の Moby Dick を多少思い出させるであろうが、ドキュメンタリー方式を採っている本書の方がより科学的な興味を沸き立たせるようである。この点において、水産海洋学に関与している研究者には大いに参考になるであろう。著者の柴達彦氏自身が南氷洋捕鯨事業に携わっているために、鯨関係の正確な知識が豊富であるばかりでなく、ユニークかつ国際的な学歴背景を有しているために、我々が以前垣間見た水産大国時代の日本に存在した船乗りのロマンが本書全体に漂っていて楽しい。(関 文威)

学 会 記 事

1. 昭和61年10月22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2回編集委員会が開かれた。議事は次の通り。

- 1) La mer Tome 24 No 3 の編集
- 2) 表紙内容、とくに投稿規定の改訂
- 3) 海外委員の再任委嘱および補充
- 4) La mer の日仏共同編集計画
- 5) その他

2. 昭和61年11月18日 日仏会館会議室において日仏会館・日仏海洋学会共催の講演会が開かれた。

演題: フランス地中海における漁業と養殖について
演者: アンリ・ファルジオ (フランス海洋開発研究所 セット実験所)

講演内容は近く本誌に掲載される予定。

なおファルジオ氏は当学会推薦で日仏会館招待研究者として、昭和61年11月16日から同月30日まで来日、東京、神奈川、新潟、大阪、和歌山、愛媛各都府県下で、行政、試験研究、実業各分野に亘り視察、多くの成果を得て帰国した。関係機関で折衝された各位に深謝する。

3. 新入会員

(正会員)

氏名	所 属	紹介者
金沢 延幸	〒158 東京都世田谷区玉川3-14-5 新日本気象海洋株式会社	佐藤 義夫

(賛助会員)

北斗理研株式会社	〒189 東京都東村山市多摩湖町1-25-2	
----------	------------------------	--

4. 住所変更

(正会員)

鳥居 鉄也	〒112 東京都文京区小石川5-24-21-1003	
中尾 徹	〒144 東京都大田区蒲田5-38-3 朝日ビル7F 千代田ディムス・アンド・ムーア(株)	
村田 聡	〒305 茨城県新治郡桜村天王台 筑波大学生物科学系	
矢野 和成	〒105 東京都千代田区紀尾井町3-27 剛堂会館ビル 海洋水産資源開発センター	

(賛助会員)

銚離 合 社	〒113 東京都文京区本郷6-19-7	
--------	---------------------	--

5. 退 会

印出忠行 木瀬 秀 近藤正人 松本 勝 南 四郎

6. 受贈図書

電気通信研究所 研究実用化報告 35 (8-12)

湖沼実習施設論文集 (滋賀大教育学部) 24

JODC ニュース 33

海洋調査報告一覧 (日本海洋データセンター)

沿岸海域海洋データカタログ (瀬戸内海東部)

同 上 (瀬戸内海西部)

日本学術会議月報 27 (8-10)

日本学術会議だより 3

広島日仏協会報 94

海洋産業研究資料 17 (5-7)

土木試験場 場報 47

土木試験場報告 技報論文要約集 13

日本プランクトン学会報 33 (1)

海洋科学技術センター年報

なつしま 84, 85

日本航海学会論文集 75

航海 89

鯨研通信 364

RESTEC 17

東海大学海洋研究所年報 7

同 上 研究報告 7

Bull. Natl. Sci. Mus., A: Zool., 12 (2, 3)

Bull. Ocean Res. Inst., Univ. Tokyo, 22

韓国海洋学会誌 21 (1-3)

科学通報 31 (9-20)

山東海洋学院学報 16 (1-2)

Allan Hancock Foundation Publications 4

Ann. hydrogr. 13

Bull. Inst. geol. bassin Aquitaine 39

Equinoxe 5

Collected reprints, Israel Oceanogr. Limnol. Res., 1983 supplement

Principales especies de interes pesquero (Minist. Indust. Pesq.)

Lista de nombres científicos y comunes de peces marinos cubanos (Centro investigaciones pesqueras)

日仏海洋学会役員・評議員

(昭和 61~62 年度)

顧問 ユベール・プロシエ 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, 富永政英,
 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

投稿者へのお知らせ

日仏海洋学会は、日本科学技術情報センターの要請（昭和61年11月付文書61科情第214号）により、当学会誌 *La mer* が昭和62年1月以降発行分から同センターのデータベース（DB）に資料番号 Y 372 AA として登録され、同誌に掲載された原著論文、短報、総説、資料、雑報の英文抄録が、センター所定の採択基準により入力されることを、上記センターに対して承認しました。このDBは近い将来 JICST Online Information System (JOIS) などを通じて、国の内外に流通されます。

このDB（許諾抄録）は英文抄録を単位とし、当分の間仏文抄録は対象外となります。許諾抄録は、2,000字以内の場合は掲載文通りに「author abst.」の、また2,000字を超える場合は同センターによる簡約化を経て「abridged author abst.」の表示を添えて、入出力されます。なお、例外的に入力に同意できない場合は、（おそらく発行日から数えて）30日前の当学会長（許諾者）文書によるセンター宛通告によって、許諾内容の一部変更ができることになっていますので、該当する場合は、投稿の際ご指定下さい。また許諾抄録の使用料は学会収入に計上されます。

La mer (Bulletin de la
Société franco-japonaise
d'océanographie)

Tome 24 (1986)

Sommaire

Numéro 1

Article spécial

- Marine chemistry or chemical oceanography
.....Egbert K. DUURSMA 1~2

Notes originales

- Frequency response of fresh water content
in shelf waters.....Tetsuo YANAGI and
Tetsuya OHBA 3~10
- Distribution of fragile particles in the sea
determined by measurements by the
Coulter Counter.....Masahiro KAJIHARA 11~20
- Deep water property variations below about
4000m in the Shikoku Basin.....Hideo SUDO 21~32
- Early developmental stages of some marine
fishes from India 1. *Nematalosa nasus*,
Sardinella clupeioides, *S. fimbriata*, *S.*
sirm and *S. albella*.....Pathrose BENSAN 33~41

Miscellanées

- A note on sound speed field around the
Kuroshio south of Japan (in Japanese).....
.....Shigehisa NAKAMURA 42~47
- On an acoustic precursor of the big tsunami
(in Japanese)..... Shigehisa NAKAMURA 48~52

- Procès-verbaux 53~56

Numéro 2

Note originale

- Comment on Boussinesq's long wave equa-
tionMotoyasu MIYATA 59~62

Colloque

- Biological activities and biogeochemical
cycles in marine sediments*
Introduction (in Japanese).....Isao KOIKE 63
- Effects of benthos on coastal sediments
(in Japanese)Eiji MATSUMOTO 64~68
- A model of the effects of an infaunal
xenophyophore on ²¹⁰Pb distribution in
deep-sea sedimentDavid D.
SWINBANKS and Yoshihisa SHIRAYAMA 69~74
- Oxygen profile in deep-sea calcareous sedi-
ment calculated on the basis of measured
respiration rates of deep-sea meiobenthos
and its relevance to manganese di-

うみ(日仏海洋学会誌)

第24巻(1986年)

総目次

第1号

特別寄稿

- 海洋化学か, 化学海洋学か(英文)
.....Egbert K. DUURSMA 1~2

原著

- 陸棚水中の淡水の周波数応答特性(英文) ...
.....柳 哲雄, 大庭哲哉 3~10
- コールターカウンターの測定から求めた壊れ
易い粒子の分布(英文)梶原昌弘 11~20
- 四国海盆約4000m以深の深層水の特性の変動
(英文)須藤英雄 21~32
- インド産魚類の初期発生段階 1. *Nematalosa
nasus*, *Sardinella clupeioides*, *S. fimbriata*,
S. sirm and *S. albella*(英文)
..... Pathrose BENSAN 33~41

資料

- 日本南岸の黒潮流域付近における海洋音速場
について中村重久 42~47
- 巨大津波の前駆異常音について中村重久 48~52
- 学会記事 53~56

第2号

原著

- ブーシネスクの長波方程式について(英文)
.....宮田元靖 59~62

シンポジウム

- 「堆積物における物質循環と生物活動」
まえがき小池勲夫 63
- 沿岸堆積物に対する底生生物効果松本英二 64~68
- 内在性ゼノファイオフォアが深海堆積物中の
鉛 210 の分布に及ぼす影響に関するモデル
(英文).....David D. SWINBANKS, 白山義久 69~74
- 深海産メイオベントスの呼吸量の測定結果に
基づいて計算された深海石灰質堆積物中の
酸素分布とそのマンガン統成との関係(英

agenesisYoshihisa SHIRAYAMA and David D. SWINBANKS 75~80

Several phenomena in the benthic boundary layer of the Seto Inland Sea (in Japanese).....Kichiichiro KAWANA, Akira HOSHIKA and Terumi TANIMOTO 81~88

Geochemical studies of the degradation processes of organic matter in the sediments from coastal area (in Japanese).....Katsuji MATSUNAGA 89~96

Microbial interactions in marine sediments (in Japanese)Tsuneo SHIBA 97~103

Chemical composition and mineralization of organic nitrogen in marine sediment (in Japanese)Isao KOIKE 104~110

Procès-verbaux 111~112

文)白山義久, David D. SWINBANKS 75~80

堆積物境界面をめぐる諸問題—瀬戸内海—
.....川名吉一郎, 星加 章, 谷本照己 81~88

内湾堆積物中における有機物の分解に関する地球化学的研究.....松永捷司 89~96

海底堆積物中での有機物分解過程における微生物間の相互作用, 特に硫酸還元細菌を中心として芝 恒男 97~103

海底堆積物における有機窒素化合物の形態とその分解過程.....小池勲夫 104~110

学会記事..... 111~112

Numéro 3

第 3 号

Notes originales

Food consumption and growth of artificially produced Japanese red porgy young *Pagrus major*Joannes S. APOSTOLOPOULOS and Naonori ISHIWATA 113~116

The bacterial adhesion to copepods in coastal waters in different parts of the world..... Sachiko NAGASAWA 117~124

Feeding experiment of the four-armed echinoplutei of *Pseudocentrotus depressus* (in Japanese).....Naonori ISHIWATA and Akira TENJIN 125~127

Relationships between the grid size and the coefficient of subgrid-scale diffusion in a finite difference advection-diffusion equation.....Keiko YOKOYAMA and Kenzo TAKANO 128~129

Theoretical analysis of the *in situ* fluorescence of chlorophyll *a* on the underwater spectral irradianceMotoaki KISHINO, Shigehiko SUGIHARA and Noboru OKAMI 130~138

Preliminary design of deep-sea surface buoy system for ocean mixed layer experiment (in Japanese)Wataru KOTERAYAMA, Shinjiro MIZUNO and Hisashi MITSUYASU 139~149

Grid size and the biharmonic form for subgrid-scale diffusion in a finite difference vorticity equation in the ocean... Satoshi MURATA and Kenzo TAKANO 150~152

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

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 113~116

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 117~124

アカウニ 4 腕幼生の摂餌生態学的実験..... 石渡直典, 天神 僚 125~127

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 128~129

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 (英文)岸野元彰, 杉原滋彦, 岡見 登 130~138

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 139~149

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 (英文)村田 聡, 高野健三 150~152

千葉県小湊地先における標識メガイの成長...

Japanese)	Yasuyuki KOIKE and Naonori ISHIWATA	153~156
Conférence		
Physical oceanography on coastal processes (in Japanese)	Tetsuo YANAGI	157~159
Miscellanées		
Informations océanographiques de France N° 1		160~161
Activité d'édition de la Société franco-japonaise d'Océanographie de Paris		162
Analyses d'ouvrages		163~164
Procès-verbaux		165~167

Numéro 4

Notes originales

The short-period cold water mass accompanied by large meander of the Kuroshio south of Japan	Haruo ISHII and Yoshihiko SEKINE	169~176
High incidence of copepod-bacteria associations in Tokyo Bay waters and Woods Hole waters	Sachiko NAGASAWA	177~185
A note on ocean sound fields off Noshiro and the 1983 Japan Sea Tsunami (in Japanese)	Shigehisa NAKAMURA	186~192
Formation of a tombolo between the upheaving two conical islands (in Japanese)	Masahiro HASHIMA	193~197
A note on sound attenuation in sea water (in Japanese)	Shigehisa NAKAMURA	198~201
A numerical simulation of suspended sediments flocculation in the estuary	Tetsuo YANAGI, Kumiko AZETSU, Katsuhisa HONDA and Ryo TATSUKAWA	202~209
Miscellanées		
Informations océanographiques de France N° 2		210~212
Analyses d'ouvrages		213
Procès-verbaux		214~215
Sommaire du Tome 24		216

.....	小池康之, 石渡直典	153~156
記念講演		
沿岸海洋過程の研究	柳 哲雄	157~159
資料		
フランス海洋情報 (1)		160~161
パリ仏日海洋学会の出版活動		162
書評		163~164
学会記事		165~167

第 4 号

原 著

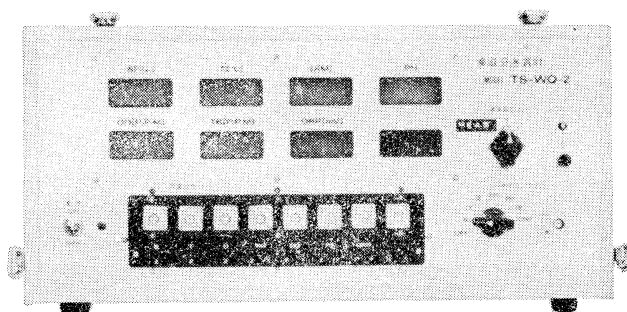
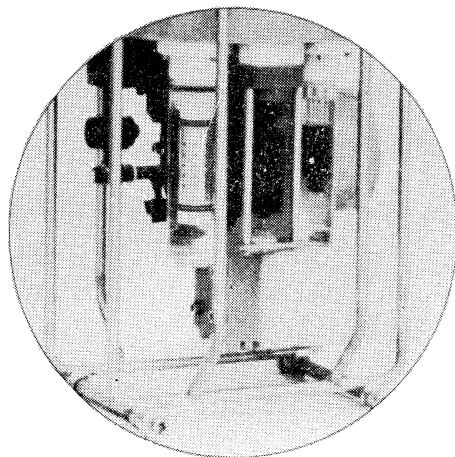
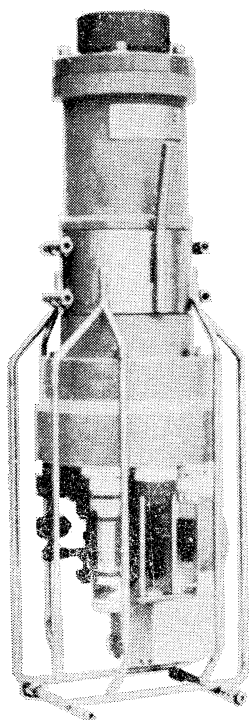
日本南岸の黒潮大蛇行に伴う短期大冷水塊 (英文)	石井春雄, 関根義彦	169~176
東京湾およびウッズホールにおける細菌付着のかいあし類の高い出現率 (英文)	永沢祥子	177~185
能代沖の海洋音速場と1983年日本海中部地震津波	中村重久	186~192
隆起する二つの島の間に出来るトンボロ—海浜循環流の及ぼす効果—	羽島正紘	193~197
水中音の減衰	中村重久	198~201
河口域における懸濁粒子のプロキュレーションの数値実験	柳 哲雄, 疇津 久美子, 本田克久, 立川 涼	202~209
資料		
フランス海洋情報 (2)		210~212
書評		213
学会記事		214~215
総目次 (第24巻)		216

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	水	温	塩	分	深	度	水素イオン濃度 (PH)	溶	存	濁	度	酸	化	濃元電位 (ORP)	(ブランク)	
測定方式	白金	金	電磁誘導	ストレン	複合ガラス	ゲージ	電	極	隔膜電極	透	光	散	乱	光	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	(0~100mm)	(0~50mm)	-500	~	+500mV	—	—	
精	±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

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 series

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



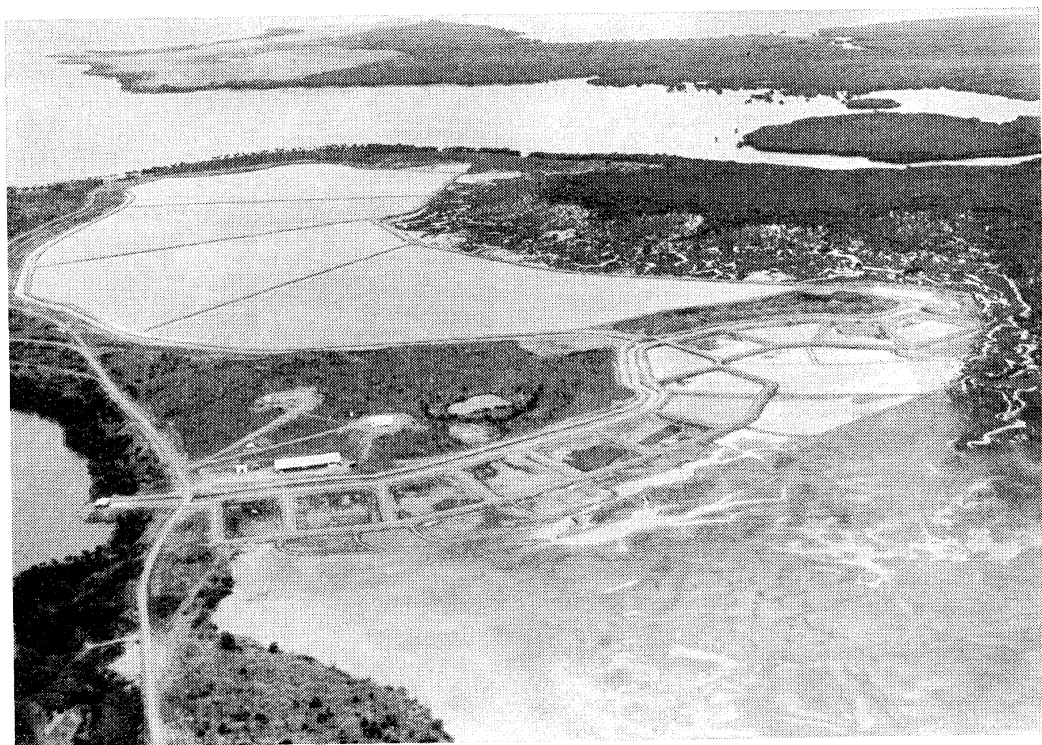
製造元: **AANDERAA INSTRUMENTS**



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

そのほか、弊社取扱い製品(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。

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

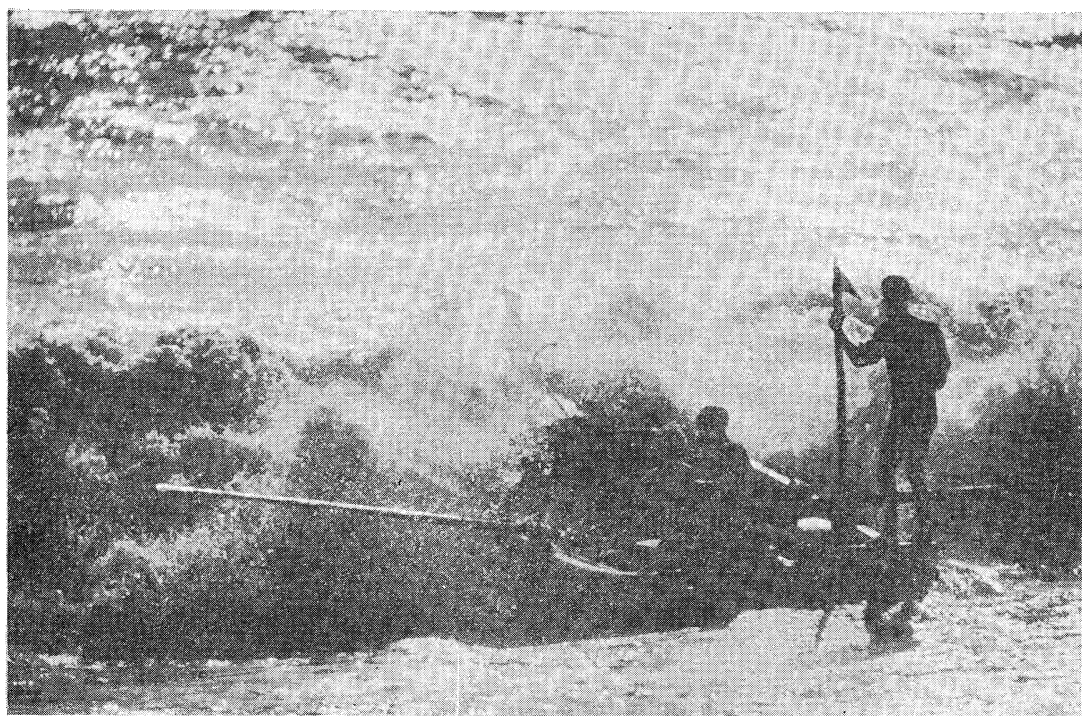


株式会社

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)

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)

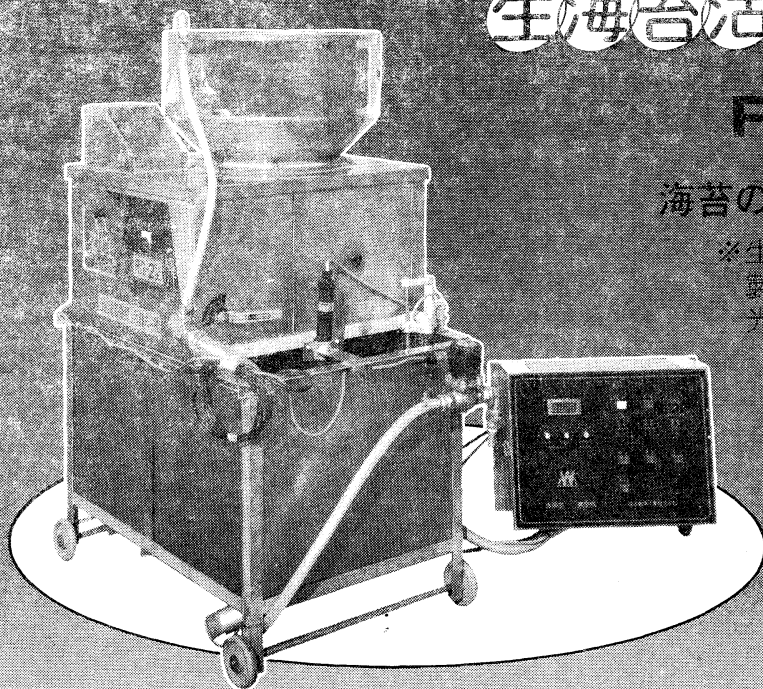
麻痺します。
 目の海苔づくり

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	770mm	1,400mm
幅	950mm	950mm
深	550mm	700mm
重	85kg	100kg
モーター	40W 1台 100W 1台	40W 2台 50W 1台 100W 1台 150W 1台



渡辺機開工業株式会社

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

幸福のり

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

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 徳

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. 「うみ」(日仏海洋学会機関誌; 欧文誌名 *La mer*) は, 日仏海洋学会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か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, 1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 東京水産大学資源育成学科気付

日仏海洋学会編集委員会 委員長 高木和徳

昭和61年11月25日印刷
昭和61年11月28日発行

う み 第24巻
第4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° 4

SOMMAIRE

Notes originales

The short-period cold water mass accompanied by large meander of the Kuroshio south of Japan.....Haruo ISHII and Yoshihiko SEKINE	169
High incidence of copepod-bacteria associations in Tokyo Bay waters and Woods Hole waters.....Sachiko NAGASAWA	177
A note on ocean sound fields off Noshiro and the 1983 Japan Sea Tsunami (in Japanese).....Shigehisa NAKAMURA	186
Formation of a tombolo between the upheaving two conical islands (in Japanese).....Masahiro HASHIMA	193
A note on sound attenuation in sea water (in Japanese).....Shigehisa NAKAMURA	198
A numerical simulation of suspended sediments flocculation in the estuary.....Tetsuo YANAGI, Kumiko AZETSU, Katsuhisa HONDA and Ryo TATSUKAWA	202
Miscellanées Informations océanographiques de France N° 2 (en japonais).....	210
Analyses d'ouvrages	213
Procès-verbaux	214
Sommaire du Tome 24	216

第 24 卷 第 4 号

目 次

原 著

日本南岸の黒潮大蛇行に伴う短期間大冷水塊 (英文).....石井春雄, 関根義彦	169
東京湾およびウッズホールにおける細菌付着のかいあし類の高い出現率 (英文).....永沢祥子	177
能代沖の海洋音速場と1983年日本海中部地震津波.....中村重久	186
隆起する二つの島の間に来るトンボロー海浜循環流の及ぼす効果.....羽島正紘	193
水中音の減衰.....中村重久	198
河口域における懸濁粒子のプロキュレーションの数値実験 (英文)柳 哲雄, 曙津久美子, 本田克久, 立川 涼	202
資 料 フランス海洋情報 (2).....	210
書 評	213
学会記事	214
総目次 (第24巻)	216