

---

Tome 26

*Août*

1988

Numéro 3

---

**La mer**

**う み**

昭和 63 年 8 月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise  
d'océanographie  
Tokyo, Japon

# SOCIÉTÉ FRANCO-JAPONAISE D'Océanographie

## Comité de Rédaction

(de l'exercice des années de 1988 et 1989)

*Directeur et rédacteur:* Y. ARUGA

*Comité de lecture:* S. AOKI, M. HANZAWA, M. HORIKOSHI, A. KAMATANI, M. MAEDA, M. MURANO, M. OGURA, S. OKABE, H. SUDO, T. YANAGI

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

*Services de rédaction et d'édition:* S. WATANABE, 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 dactylographiés, 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: Y. ARUGA, Université des Pêches de Tokyo, Konan 4-5-7, 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.

## Stocking effects on asymmetrical population growth under delayed regulation\*

Seiichi WATANABE\*\*

**Abstract:** The constant rate stocking effects are considered on the population with delayed asymmetrical growth. The stocking increases the equilibrium level of the population. If the asymmetrical parameter is large, the stocking produces instability of the equilibrium. Contrarily, if it is small, the stocking produces stability. The constant rate harvesting has contrary effects to that of the stocking. The proportional harvesting has a stabilizing effect on the system. The stocking is an effective way for controlling natural populations.

### 1. Introduction

The asymmetrical population growth is known to occur in the case that the density dependence is not linear to the population density. Recent evidence reveals that it is an important factor to describe the population dynamics (PELLA and TOMLINSON, 1969; GILPIN and AYALA 1973; FLETCHER, 1978; THOMAS *et al.*, 1980; MUELLER and AYALA, 1981). Such a growth is formulated as,

$$\frac{dP(t)}{dt} = r \left[ 1 - \left\{ \frac{P(t)}{K} \right\}^\theta \right] P(t), \quad (1)$$

where  $r$ ,  $K$  and  $\theta$  denote intrinsic growth rate, saturation level, and the parameter of asymmetry, respectively. The  $P(t)$  denotes the population size at time  $t$ . Still more, the growth of a given population is often regulated by the past population size (NICHOLSON, 1954; MORAN, 1959; MAYNARD SMITH, 1968). The dynamics of the population with time lag regulation is studied for fishing effects (WALTER, 1973), and stability of the equilibrium (JONES, 1962a, b; KAPLAN and YORKE, 1975; HADELAR, 1976; STECH, 1978). The simple delayed logistic model proposed by HUTCHINSON (1948) is,

$$\frac{dP(t)}{dt} = r \left\{ 1 - \frac{P(t-\tau)}{K} \right\} P(t), \quad (2)$$

where  $\tau$  is time lag and  $P(t-\tau)$  is the population

size at time  $t-\tau$ . This equation is analyzed by MAY (1973, 1976) and MAYNARD SMITH (1974).

Another factor for which more theoretical studies are needed is that of population dynamics with stocking. In actual cases of sea farming, it has been common to stock natural population with juveniles reared from eggs. This paper introduces an analysis made of the asymmetrical population growth under delayed regulation with special reference to the case in which the stocking takes place.

### 2. Model and its analysis

The asymmetrical logistic population growth under delayed regulation together with harvesting and stocking treatments is described as,

$$\frac{dP(t)}{dt} = r \left[ 1 - \left\{ \frac{P(t-\tau)}{K} \right\}^\theta \right] P(t) + R - f, \quad (3)$$

where  $R$  is the stocking rate and  $f$  the harvesting function. Assuming the harvesting rate to be constant ( $f=H=\text{constant}$ ), when  $dP/dt=0$ , the equilibrium level  $P^*$  is the value which satisfies the following equation;

$$P^{*\theta+1} - K^\theta P^* - \frac{K^\theta}{r} (R-H) = 0. \quad (4)$$

When neither harvesting nor stocking occur or  $R-H=0$ , the equilibrium level is  $K$ . If  $f=hP(t)$ , where  $h=\text{constant}$ , the equilibrium level  $P^*$  is the value which satisfies the following equation;

$$P^{*\theta+1} - \left( 1 - \frac{h}{r} \right) K^\theta P^* - \frac{K^\theta}{r} R = 0. \quad (5)$$

\* Received April 21, 1988

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

*Stability of the equilibrium*

The local stability of the equilibrium is determined by the neighborhood stability analysis. Denoting a small perturbation from the equilibrium by  $x$ , the population density is represented by as  $P(t)=P^*+x(t)$ . Differentiating both sides by  $t$ , we get  $dP(t)/dt=dx(t)/dt$ . Substituting this into equation (2), we get

$$\frac{dx(t)}{dt} = r \left[ 1 - \left\{ \frac{P^* + x(t-\tau)}{K} \right\}^\theta \right] \times \{P^* + x(t)\} + R - f. \quad (6)$$

Taylor expanding the  $\{ \}^\theta$  term, and neglecting 2nd and higher order terms of  $x$ , we get the following equation for  $f=H=\text{constant}$ :

$$\frac{dx(t)}{dt} = r \left[ \left\{ 1 - \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta \right\} x(t) - \theta \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta x(t-\tau) \right]. \quad (7)$$

When  $R-H=0$  or  $R=H=0$  (in these cases,  $P^*=K$ ),

$$\frac{dx(t)}{dt} = -r\theta x(t-\tau). \quad (8)$$

If time is measured in units of  $\tau$ , then

$$\frac{dx(t)}{dt} = -r\tau \left[ \left\{ \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta - 1 \right\} x(t) + \theta \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta x(t-1) \right]. \quad (9)$$

Putting  $a=r\tau\{(P^*/K)^\theta-1\}$  and  $b=r\theta\tau(P^*/K)^\theta$ , the equation becomes

$$\frac{dx(t)}{dt} = -ax(t) - bx(t-1). \quad (10)$$

When  $R-H=0$ ,  $a=0$  and  $b=r\theta\tau$ . The equilibrium is stable if

$$r\theta\tau < \pi/2, \quad (11)$$

and unstable if

$$r\theta\tau > \pi/2. \quad (12)$$

When  $f=hP(t)$ , the local stability is determined by

$$\frac{dx(t)}{dt} = -r \left[ \left\{ \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta + \frac{h}{r} - 1 \right\} x(t) + \theta \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta x(t-\tau) \right]. \quad (13)$$

Measuring time by  $\tau$ , we get

$$\frac{dx(t)}{dt} = -r\tau \left[ \left\{ \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta + \frac{h}{r} - 1 \right\} x(t) + \theta \left( \frac{P^*}{K} \right)^\theta x(t-1) \right]. \quad (14)$$

Putting  $a=r\tau\{(P^*/K)^\theta+h/r-1\}$  and  $b=r\theta\tau(P^*/K)^\theta$ , this equation is expressed in the same manner as equation (10). When  $R=0$ , the equilibrium is stable if

$$1 - \frac{\pi}{2\theta\tau} < \frac{h}{r} < 1. \quad (15)$$

and unstable if

$$\frac{h}{r} < 1 - \frac{\pi}{2\theta\tau} \text{ or } h > r. \quad (16)$$

When  $r-h < 0$ , the population becomes extinct.

**3. Stocking effects**

*The case of  $f=H=\text{constant}$*

Assuming  $r\tau=\text{constant}$ , the stocking effects are given as follows. If  $R$  increases, the parameters  $a$  and  $b$  increase as

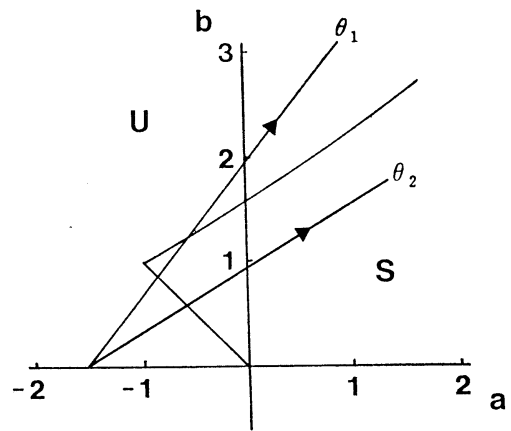


Fig. 1. Stocking effects on the system described by equation (3) (see text) under the condition of constant-rate harvesting ( $f=H$ ). Increase of stocking carries the point rightward along the  $b=\theta(r\tau+a)$  line. Arrow shows the direction to which the initial point moves by stocking. The constant-rate harvesting carries the point to the contrary direction to that in the stocking. Stability domains are calculated by MAYNARD SMITH (1974).  $S$ , stable region.  $U$ , unstable region. See text for symbols  $a$ ,  $b$ ,  $\theta_1$  and  $\theta_2$ .

$$b = \theta(r\tau + a), \quad b > 0. \quad (17)$$

The gradient of the straight line (17) depends on the parameter  $\theta$ , as indicated in Fig. 1. If  $\theta_1 > \theta_2 > 0$ , the gradient  $\theta_1$  is steeper than that of  $\theta_2$ . If  $\theta$  is large, the stocking affects strongly the stability of the equilibrium, and produces instability. Contrarily, if  $\theta$  is small, the stocking ensures the equilibrium to be stable (Fig. 1). The harvesting has a contrary effect to that of stocking.

The case of  $f = hP(t)$

In this case, the relation between  $a$  and  $b$  is,

$$b = \theta\{(r-h)\tau + a\}, \quad b > 0. \quad (18)$$

If  $(r-h)\tau = \text{constant}$ , the stocking effects on the stability of the equilibrium are similar to the above-mentioned case ( $f = H = \text{constant}$ ). The harvesting decreases the height of the line (18). It means that the sufficient harvesting produces stability (here assumed  $r > h$ ) (Fig. 2).

When  $\theta \neq 1$ , the asymmetrical population growth occurs. It provides the various effects on the system. In the practical operation of controlling natural populations, these effects must

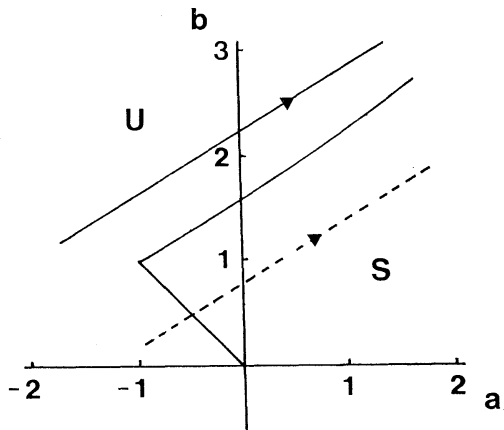


Fig. 2. Stocking effects on the system described by equation (3) (see text) under the condition of proportional harvesting ( $f = hP$ ). Increase of stocking carries the point rightward along the  $b = \theta\{(r-h)\tau + a\}$  line. Arrow shows the direction to which the initial point moves by stocking. Dotted line shows the harvesting effect on the system. Harvesting downs the line parallel to the initial one.  $\theta$  changes the gradient of the line. Cf. Fig. 1 for symbols.

be taken into consideration. In some cases, the stocking produces serious effects on the population dynamics (WATANABE, 1983, 1986, 1987, 1988). In the present study, it is clarified that the stocking plays a very important role in the time-delayed asymmetrical population growth. It seems to be reasonable that the stocking is effective for controlling natural populations.

### References

- FLETCHER, R.I. (1978): On the restructuring of the Pella-Tomlinson system. *Fish. Bull.*, **76**, 515-521.
- GILPIN, M.E. and F.J. AYALA (1973): Global models of growth and competition. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **70**, 3590-3593.
- HADELER, K.P. (1976): On the stability of the stationary state of a population growth equation with time lag. *J. Math. Biol.*, **3**, 197-201.
- HUTCHINSON, G.E. (1948): Circular causal systems in ecology. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **50**, 221-246.
- JONES, G.S. (1962a): On the nonlinear differential difference equation  $f'(x) = \alpha f(x-1) [1+f(x)]$ . *J. Math. Anal. Appl.*, **4**, 440-469.
- JONES, G.S. (1962b): The existence of periodic solutions of  $f'(x) = \alpha f(x-1) [1+f(x)]$ . *J. Math. Anal. Appl.*, **5**, 435-450.
- KAPLAN, J. L. and J.A. YORKE (1975): On the nonlinear differential delay equation  $x'(t) = -f(x(t), x(t-1))$ . *Differential Equations*, **23**, 293-314.
- MAY, R.M. (1973): Time delay versus stability in population models with two and three trophic levels. *Ecology*, **54**, 315-325.
- MAY, R.M. (1976): Models for single species population. p. 4-25. *In* R.M. MAY (ed.), *Theoretical Ecology: Principles and Application*. Saunders, Philadelphia.
- MAYNARD SMITH, J. (1968): *Mathematical Ideas in Biology*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 152 pp.
- MAYNARD SMITH, J. (1974): *Models in Ecology*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 146 pp.
- MORAN, P.A.P. (1959): Some remarks on animal population dynamics. *Biometrics*, **6**, 250-258.
- MUELLER, L.D. and F.J. AYALA (1981): Dynamics of single-species population growth: stability or chaos?. *Ecology*, **62**, 1148-1154.
- NICHOLSON, A.J. (1954): An outline of the dynamics of animal populations. *Aust. J. Zool.*, **2**, 9-65.
- PELLA, J.J. and P.K. TOMLINSON (1969): A generalized stock production model. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, **13**, 419-496.

- STECH, H.W. (1978): The effect of lags on the stability of the equilibrium state of a population growth equation. *J. Math. Biol.*, **5**, 115-120.
- THOMAS, W.R., M.J. POMELANTZ and M.E. GILPIN (1980): Chaos, asymmetric growth and group selection for dynamical stability. *Ecology*, **61**, 1312-1320.
- WALTER, G.G. (1973): Delay-differential equation models for fisheries. *J. Fish. Res. Board Can.*, **30**, 939-945.
- WATANABE, S. (1983): Population growth models within a constant restocking operation. *J. Tokyo Univ. Fish.*, **70**, 59-69.
- WATANABE, S. (1986): Effects of restocking on a two-species competition system when one species has a minimum density for population growth. *Res. Popul. Ecol.*, **28**, 117-133.
- WATANABE, S. (1987): Restocking effects on the single species population obeying difference equation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 363-366.
- WATANABE, S. (1988): Stocking effects on a fish population growth with time lag regulation. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 183-186.

## 時間遅れのある非対称生長を示す個体群に対する放流の影響

渡 邊 精 一

要旨: 個体群が時間遅れのある非対称生長を示すとき, 一定率の放流が個体群に与える影響を考察した。個体群生長の非対称性を示すパラメタの値が大きいとき, 放流によって個体群の平衡点は不安定化する。逆に, そのパラメタが小さいときには放流は平衡点の安定化をもたらす。一定率の漁獲は放流とは逆の影響を個体群に与える。個体数に比例して漁獲する場合は, 漁獲により個体群の平衡点は安定化する傾向にある。したがって, 放流は資源を管理する有効な一手段であるといえる。

## Coastal and bottom topographic effects on the path dynamics of the western boundary current with special reference to the Kuroshio south of Japan\*

Yoshihiko SEKINE\*\*

**Abstract:** The Kuroshio region south of Japan is characterized by a small coastline inclination from west-east direction and narrow continental slope in comparison with other western boundary currents. The Kuroshio shows bimodal path characteristics between large meander and no meander path, but the large meander path is not observed in other western boundary currents. A barotropic numerical model is used to study the coastal and bottom topographic effects on the path dynamics of the Kuroshio in the present study. It is shown by a flat model that a western boundary current along a zonal northern coast has a tendency to generate a large meander path. Conversely a western boundary current along a coast with larger coastline inclination from W-E direction apt to flow along the northern boundary, in which if both a small horizontal eddy viscosity and a large in- and outflow transport are imposed, an instability of the coastal flow is carried out and a separation of the current path is formed. It is also demonstrated that if the topographic effect of the continental slope is included in a model, it suppresses the formation of the meander path by the topographic guiding effect along the geostrophic contour. These results indicate that the formation of the large meander path is strongly connected with the instability of the frictional boundary layer current along the coast. If the instability occurs and the relative vorticity advected offshore region by the mean flow is balanced with the Rossby wave motion, a meander path is formed. These results indicate that zonal coastal boundary and steep narrow continental slope found in south to Japan have a larger possibility to form a large meander path than those of other western boundary currents.

### 1. Introduction

The Kuroshio is a western boundary current in the North Pacific. It has been widely accepted that the Kuroshio takes one of the two relatively stable paths south of Japan, which is known as bimodal path characteristics. One stable path is rather straight and it is referred to as no large meander path. Another path exhibits a large meander south of Japan and it is referred to as large meander path (e.g. STOMMEL and YOSHIDA, 1972; NISHIDA, 1982; ISHII *et al.*, 1983). Recently, KAWABE (1985) showed by the analysis of the sea level data at the Izu Islands that the Kuroshio takes a large meander

path about 40% of the total time period and the no meander path is furthermore divided into two types referred to as nearshore and offshore non-large-meander paths. It should be noted here that the large meander path is peculiar to the Kuroshio south of Japan and similar phenomenon is not observed in the other western boundary currents.

Fig. 1 (a) shows the topographic features south of Japan. If we compare this topography with those of other two representative western boundary regions shown in (b), it is noted that the Kuroshio region south of Japan has some characteristic features of the coastal and bottom topographies. (1) The existence of the Izu Ridge is peculiar and its topography rises up from a flat basin to block the Kuroshio flowing over it. (2) A coastline inclination from west-east direction is relatively small in south of Japan, in particular from Shikoku to the Boso

\* Received April 21, 1988

\*\* Institute of Geosciences, National Defense Academy, Yokosuka, 239 Japan  
Present address: Institute of Oceanography, Faculty of Bioresources, Mie University, Kamihama-cho 1515, Tsu, Mie, 514 Japan

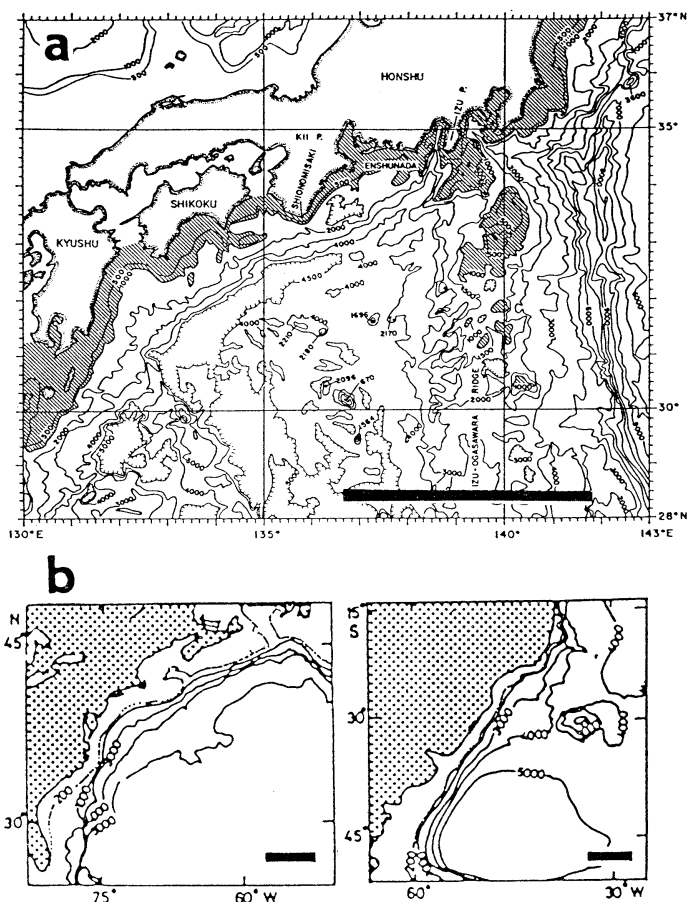


Fig. 1. Bathymetric chart of the three western boundary regions (a) south of Japan (after TAFT, 1972), (b) east of the North America (left) and east of the South America (right). The solid bands in right bottom show the distance of 500 km in each panel.

Peninsula. In contrast to this, the coastline inclinations of other western boundary currents are relatively large (see Fig. 1b). (3) The width of the continental slope is relatively small in south of Japan. Namely, the averaged width of the continental slope south of Japan is about one third of that of the Florida Current region. Considering that the appearance of the large meander path is peculiar to the Kuroshio, there is a possibility that the large meander path is caused by the characteristic coastal and bottom topographies south of Japan mentioned above.

So far, many authors have investigated the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. As for the topographic effect of the Izu Ridge denoted in the item (1), because the relatively

deeper region over the Izu Ridge exists between the two islands, the Hachijo-jima and the Miyake-jima, the Kuroshio has a tendency to pass this region, which has been referred to as the gate effect of the Izu Ridge (cf. WHITE and MCCREARY, 1976). The gate effect was studied by some authors (e.g. MASUDA, 1982; CHAO and MCCREARY, 1982; CHAO, 1984; YASUDA *et al.*, 1985). However, recent sea level analysis by OTSUKA (1985) suggested that the axis of the Kuroshio is not confined to the gate region over the Izu Ridge.

As for the topographic effect of the continental slope denoted in the item (3), many authors have studied by use of various models (e.g. ROBINSON and TAFT, 1972; ENDOH, 1973,



1979; SEKINE, 1979, 1980; SEKINE and TOBA, 1980; MIURA and SUGINOHARA, 1982) and commonly pointed out that if the lower layer motion touching the bottom slope exists, the topographic guiding effect on the current to flow along an isopleth of the depth is prominent. Recent direct current measurements have clarified the prominent velocity in the lower layer (e.g. FUKASAWA and TERAMOTO, 1986) and it suggests that the topographic effect may not be neglected in the path dynamics of the Kuroshio. Recent numerical model with the realistic continental slope and the Izu Ridge (SEKINE, 1989a, b) demonstrates an important role of the topographic effect of the Izu Ridge and the continental slope south of Japan. In particular, SEKINE (1989b) pointed out that the formation of the large meander path is confined to a narrow parameter range over the continental slope, but a large meander path dominates if a flat bottom basin is assumed.

Recently, CHAO (1984), SEKINE (1984) and YOON and YASUDA (1987) made numerical experiments with an inclined coastal boundary from W-E direction denoted in the item (2). It has been commonly demonstrated that the occurrence of the large meander path is carried out in larger volume transport in comparison with the case of the zonal coastal boundary. However, the parameter dependence of the model ocean has not fully been performed in the models of CHAO (1984). More detailed study on the coastline inclination was made by YOON and YASUDA

(1987). But their model has some shortcomings; a topographic effect of the continental slope and the model dependence on the intensity of eddy viscosity has not been considered. Furthermore, because their model covers only the Shikoku Basin and the eastward outflow is made at the gate region of the Izu Ridge, the current path not through the gate region represented by the offshore non-large-meander path (cf. KAWABE, 1985) is omitted in the discussion.

In the present study, the topographic effect of the coastline inclination and continental slope is examined by use of a simplified numerical model. Emphasis is placed on the association with the topographic effect of the continental slope, the dependence of the intensity of eddy viscosity and the volume transport of the in- and outflow. It will be shown that the condition on the appearance of the large meander path is very complicated and the clear observational verification of model parameters is needed to draw a firm conclusion on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan.

## 2. The model

In order to see the specified roles of the coastline inclination, the continental slope and other physical parameters, eleven runs with different model and/or the model parameters are performed (see Table 1). Barotropic model is assumed for all the cases. Schematic view of the model ocean is shown in Fig. 2.

In the first phase, a flat bottom with a depth

Table 1. The parameters, coastal and bottom topographies, and boundary in- and outflow transport for the experiments discussed in this study.

Run no.	Coastal topography (Tilt of the coast from the E-W direction in degree)	Continental slope, $\Delta h$ (m)	Total transport of inflow (Sv)	Horizontal dissipation, $A_h$ ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ )
1	0°	0	40	$5 \times 10^6$
2	10°	0	40	$5 \times 10^6$
3	20°	0	40	$5 \times 10^6$
4	30°	0	40	$5 \times 10^6$
5	0°	100	40	$5 \times 10^6$
6	0°	200	40	$5 \times 10^6$
7	0°	500	40	$5 \times 10^6$
8	30°	0	100	$5 \times 10^6$
9	30°	0	150	$5 \times 10^6$
10	30°	0	100	$10^6$
11	30°	0	100	$5 \times 10^5$

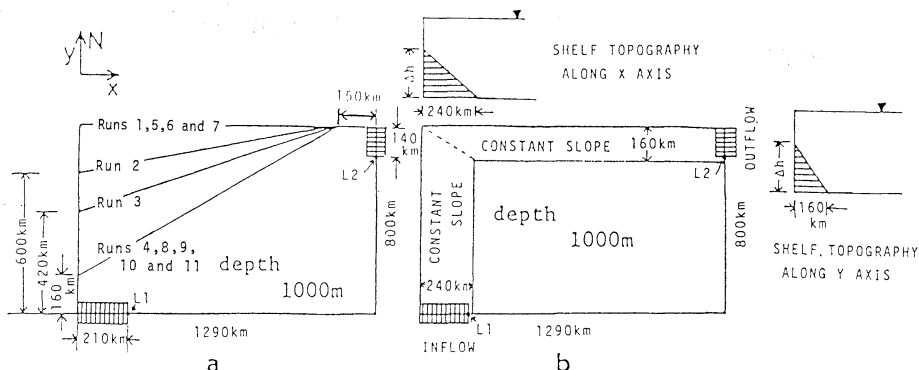


Fig. 2. (a) Schematic view of the flat bottom model with four different northern coastal boundaries. (b) Schematic view of the model with the constant continental slope. Two sections of the bottom topography are also shown in top and right.  $\Delta h$  is changed in three runs (see Table 1).

of 1,000m is assumed and only the northern coastal inclination is changed among Runs 1-4 (see Table 1). The straight line drawn from the Tokara Strait to the Boso Peninsula has an angle of about 30 degrees from W-E direction (see Fig. 1) and this angle is similar to those of the model employed in Runs 4 and 8-11. If the coastline between the west of Shikoku and the Boso Peninsula is considered, the coastline inclination decreases to about 20 degrees, which is similar to that of Run 2. In the second phase, the specified topographic effect of the continental slope is examined. In these models, the rectangular basin is assumed and only the gradient of constant slope is changed among Runs 5-7 (see Fig. 2(b)). Here, since the bottom effect of the continental slope is studied, the effect of the Izu Ridge is excluded. The effect of the Izu Ridge will be studied in the succeeding paper (SEKINE, MS) with reference to the multiple steady state of the current path. On the basis of the results of previous two phases, the condition on the appearance of the large meander path in a large coastline inclination is checked in the third phase; a specified large nonlinear effect by large in- and outflow is given in Runs 8 and 9 and a smaller eddy viscosity is given in Runs 10 and 11.

In all runs, the system is driven by an inflow and outflow through the boundary. The inflow is given at the western part of the southern boundary corresponding to the southeast off Kyushu. In order to include the offshore non-

Table 2. List of symbols.

$x$	eastward component of Cartesian coordinate
$y$	northward component of Cartesian coordinate
$u$	$x$ -directed (eastward) component of velocity
$v$	$y$ -directed (northward) component of velocity
$z$	relative vorticity
$\phi$	volume transport function (stream function)
$h$	depth of the ocean
$f$	Coriolis parameter ( $f=f_0+\beta y$ , $f_0=7\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ )
$\beta$	factor in Coriolis parameter ( $=2\times 10^{-13}\text{ s}^{-1}\text{ cm}^{-1}$ )
$A_h$	coefficient of horizontal eddy viscosity
$\nabla^2$	horizontal Laplacian operator ( $=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}$ )

large-meander path, the outflow is carried out at the eastern boundary corresponding to southeastern region off the Boso Peninsula. Basic equations are vertically integrated vorticity equations under the hydrostatic balance and the beta plane approximation:

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{\partial uz}{\partial x} - \frac{\partial vz}{\partial y} - \beta v - f\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + A_h \nabla^2 z, \quad (1)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{Div.}$ 
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{Fr}$

$$z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{h} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{h} \frac{\partial \phi}{\partial y} \right), \quad (2)$$

where all the symbols are listed in Table 2. A slip boundary condition is imposed at the southern

and eastern boundaries and a viscous boundary condition is assumed at the western and northern boundaries. The equations (1) and (2) are solved numerically with the grid resolution of 30 km (east-west) and 20 km (south-north) for Runs 1-9 and the resolution of 15 km (east-west) and 10 km (south-north) for Runs 10 and 11 with the smaller horizontal eddy viscosity. A leap frog scheme is basically used in the finite form of the local time change and an Euler backward scheme (MATSUNO, 1966) at every 20 time step is employed to suppress the growth of computational modes. The space difference form of (1) is the same as in BRYAN (1963) and the Poisson equation (2) is solved by the successive over relaxation method.

Stationary in- and outflow are assumed at the boundary and a sinusoidal form of the horizontal velocity distribution is employed. Boundary conditions at the inflow southern boundary ( $y=0$  km) are

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \phi_0 - \phi_0 \cos\left(\frac{\pi}{L_1}x\right) \text{ for } 0 \leq x \leq L_1, \\ \phi &= 2\phi_0 \quad \text{for } L_1 < x \leq 1290 \text{ km,} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

where  $\phi_0$  is a half of the total transport of the in- and outflow, and  $L_1 (=210 \text{ km})$  is the width of the inflow (see Fig. 2). The similar boundary condition is imposed at the eastern outflow boundary ( $x=1,290 \text{ km}$ ),

$$\left. \begin{aligned} \phi &= 2\phi_0 \quad \text{for } 0 \leq y \leq 660 \text{ km,} \\ \phi &= \phi_0 + \phi_0 \cos\left[\frac{\pi}{L_2}(y-660)\right] \\ &\quad \text{for } 660 \text{ km} < y \leq 800 \text{ km,} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

where  $L_2 (=140 \text{ km})$  is the width of the outflow. In all runs, the volume transport function at an initial stage is set to be parallel to the western and northern boundaries and it will be also shown together with the results of time integrated numerical solutions.

### 3. Results

#### 3.1. *The effect of the coastline inclination from W-E direction on the western boundary current (Runs 1 to 4)*

The results of Runs 1 to 4 with different northern boundary are shown in Fig. 3. The time variation of Run 1 depicts that a small current separation from the northern boundary is formed gradually by the lapse of time and a

cyclonic circulation appears in its coastal side. The large meander flow pattern of Run 1 with a cyclonic eddy shown by the negative transport function between two anticyclonic circulation is almost similar to the observed large meander of the Kuroshio south of Japan.

The results of Run 2 show that an initial straight path forms meander patterns more slowly, but some different meander patterns are perceived in comparison with those of Run 1. The separation of the current path from the northern boundary is carried out in the downstream region and the current path flows zonally for a long distance from the western boundary. So, the generated coupled anticyclonic and cyclonic circulations have longer zonal diameter. If the meander patterns in Runs 1 and 2 are assumed to be stationary Rossby waves, their wavelengths are evaluated,  $2\pi\sqrt{U/\beta}$  for Run 1 and  $2\pi\sqrt{U \cos(10^\circ)/\beta}$  for Run 2. It is thus suggested that the stationary Rossby wave has shorter wavelength in Run 2 by a factor of  $\sqrt{\cos(10^\circ)}$ . However, this contradicts with the present results showing that the wavelength of Run 2 is longer than that of Run 1. This contradiction is caused by the neglect of the effect of northern boundary, and if the boundary effect is considered, the Rossby wave can not behave as in an open area. It is pointed out that the stationary Rossby wave theory (e.g. WHITE and MCCREARY, 1976) is applicable only in the open ocean and to include the effect of coastal boundary is needed in the dynamics of the large meander path. The total flow pattern of Run 2 resembles the observed offshore non-large meander path classified by KAWABE (1985).

The results of Runs 3 and 4 show that the initial current path furthermore shifts westward and a narrow coastal current along the northern boundary is formed. Although some small eddies are formed in south of the main current path, they give no major influences on the time evolution of the current path. These results demonstrate that formation of the large meander path is strongly suppressed in Runs 3 and 4. It should be also noted that northward flows along a western boundary in Runs 1 and 2 are stable and they continue to flow along the boundary. In summary, a western boundary current along a larger coastline inclination from W-E direc-

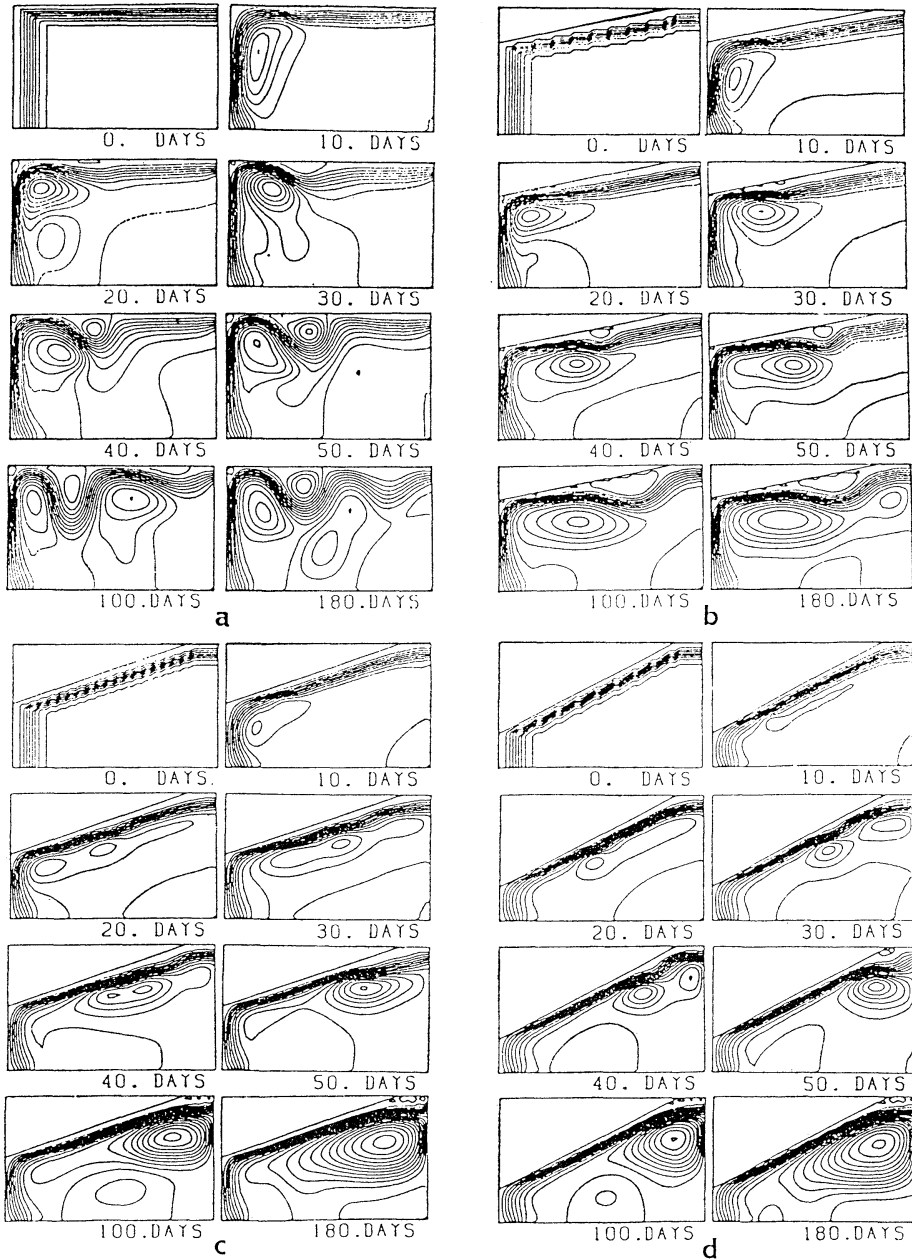


Fig. 3. Results of numerical experiments shown by the sequential pattern of total volume transport function. (a) Run 1, (b) Run 2, (c) Run 3 and (d) Run 4. Contour interval of the two neighbouring volume transport function is 5 Sv and the region with the negative transport function is stippled.

tion has a stronger tendency to flow along the coastal boundary in comparison with those along zonal coastal boundary.

To see the difference in the coastal boundary

effect, Fig. 4 compares the time variation of the term balance in the vorticity equation (1) between Runs 1 and 4. One point, referred to as *i* point, is in the coastal side of the main current

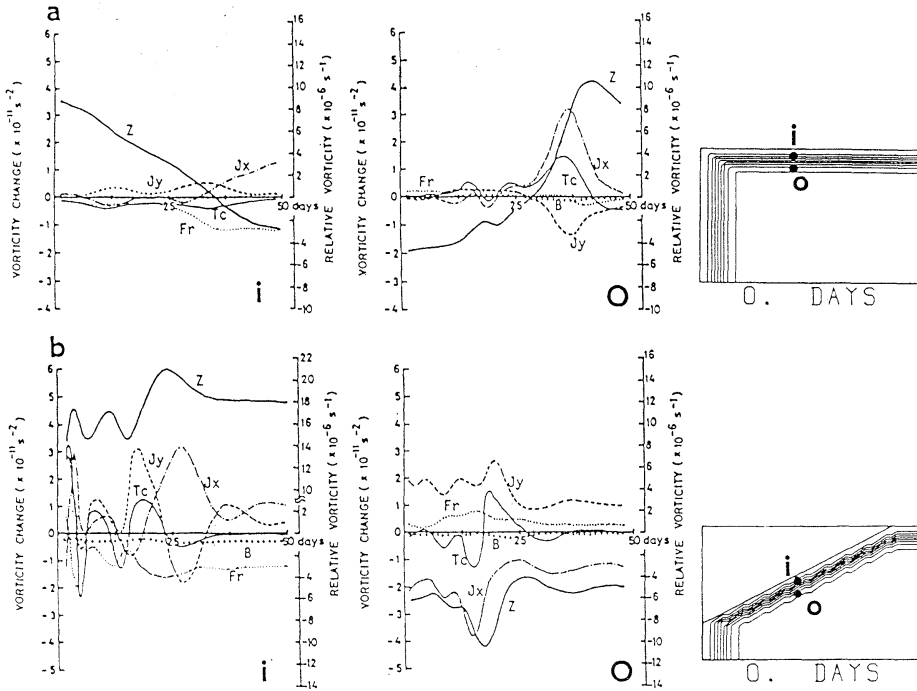


Fig. 4. Time change in the relative vorticity and five terms in the vorticity equation (1) at the two points. The distance of the two points from the northern boundary is 20 km for *i* point and 120 km for *o* point. The zonal position of the two points, which are shown in the right of figures, is middle of the oblique coastal boundary ( $x=540$  km from the western boundary). (a) Run 1, and (b) Run 4. *Z*, *Jx*, *Jy*, *Fr*, *B* and *Tc* show the relative vorticity, eastward and northward vorticity advection, horizontal eddy viscosity, planetary beta and total vorticity change (local change) terms in (1), respectively.

axis, where positive vorticity is given in the initial condition, while the other *o* point is in the offshore side of the main current axis with the negative vorticity in the initial stage (for the position of these two points, see right map in Fig. 4). At the *i* point of Run 1, three terms show poor compensation and no stable vorticity balance is achieved; the total vorticity change  $\partial z/\partial t$  is always negative and the relative vorticity changes from positive to negative at about 30th day. In contrast to this, the vorticity change at *i* point of Run 4 shows oscillating feature between the positive and negative values and it becomes stationary (nearly zero) after about 30th day: the stationary vorticity balance is made among two positive nonlinear terms and the negative friction and planetary beta terms.

At the *o* point of Run 1, the prominent positive nonlinear term  $-\partial uz/\partial x$  contributes to make the relative vorticity positive. However, at the

*o* point of Run 4, the time variation in the relative vorticity is rather small due to the balance of the four terms in (1). An apparent local time change of Run 4 is detected in 15–20 days, when the passage of an anticyclonic eddy in the offshore side of the main current axis is perceived (see Fig. 3). After the 30th day, stable vorticity balance is established among the positive friction and one of the nonlinear term  $-\partial vz/\partial y$  and the two other negative terms. The planetary beta term is secondary. The stationary flow pattern of Run 4 is due to this stable vorticity balance.

Another possible cause of the difference in the results between Runs 1 and 4 is originated in the deformation of the current path at the western north corner of the model ocean. In Run 1 larger positive vorticity (cyclonic circulation) is given in the mean flow at the western north corner, while the corresponding vorticity

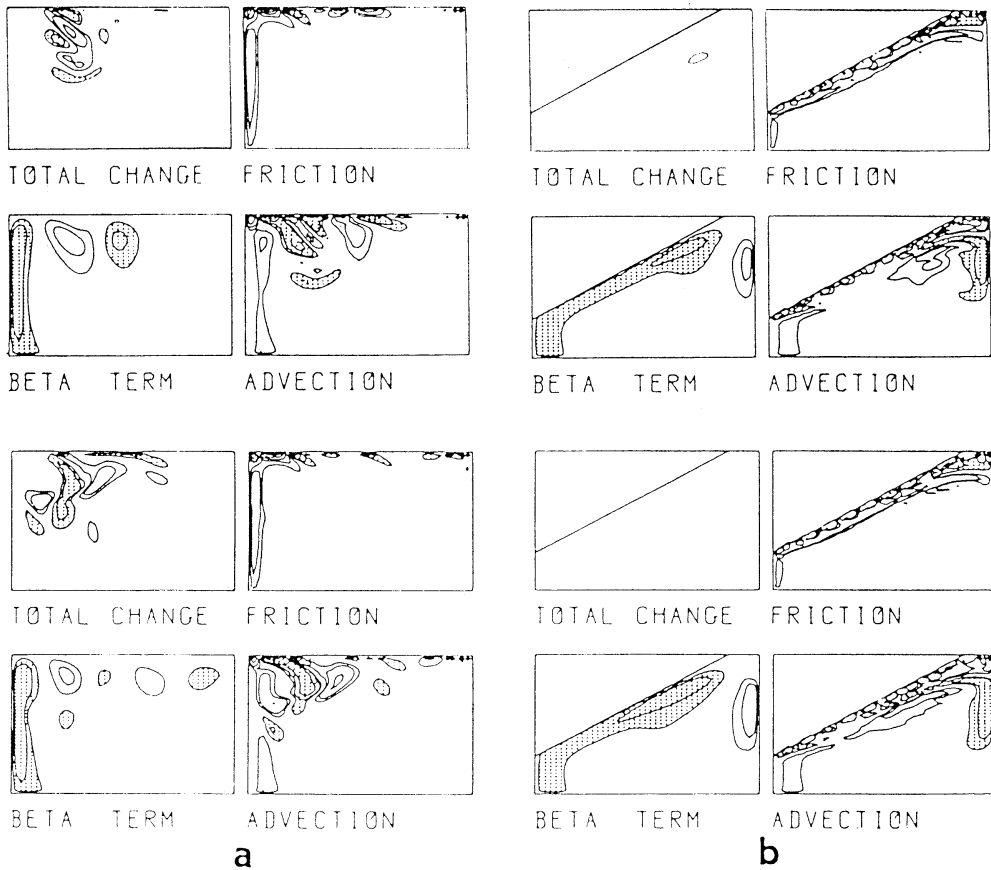


Fig. 5. Spatial vorticity balance at the 50th day (upper four panels) and at the 100th day (lower four panels). (a) Run 1 and (b) Run 4. Contour interval is  $5 \times 10^{-12} \text{s}^{-2}$  and the regions with negative vorticity change are stippled.

change in Run 4 is relatively small due to the smaller deflection of the mean flow.

Fig. 5 compares spatial distribution of the term balance in (1) between Runs 1 and 4 at the 50th and 100th day. Fig. 5 shows that the friction term is important near the coastal boundary and the planetary beta term is dominant along the western boundary, while the nonlinear term is noticeable along the main current axis. In both runs, the northward flow along western boundary has a vorticity balance between the planetary beta term and the friction term in the coastal side of the main current axis, but it changes to balance between the beta term and advection term in its offshore side; the frictional boundary current (MUNK, 1950) is suggested for the former case and the inertial boundary current (e.g.

MUNK *et al.*, 1950) for the latter case (for the relationship between the frictional and inertial western boundary currents, see VERONIS, 1966). It is suggested from Figs. 4 and 5 that the advection term is dominant in the offshore region in Run 1 and it yields remarkable total vorticity change ( $\partial z / \partial t$ ) there. This means that the initial coastal flow in Run 1 is unstable. In contrast to this, the time change ( $\partial z / \partial t$ ) is very small in Run 4 because of the vorticity balance among advection, friction and beta terms, and it means that the initial current path along the boundary is stable.

### 3.2. The topographic effect of the continental slope (Runs 5-7)

The results of Runs 5-7 with the continental slope are shown in Fig. 6. Because of the longer

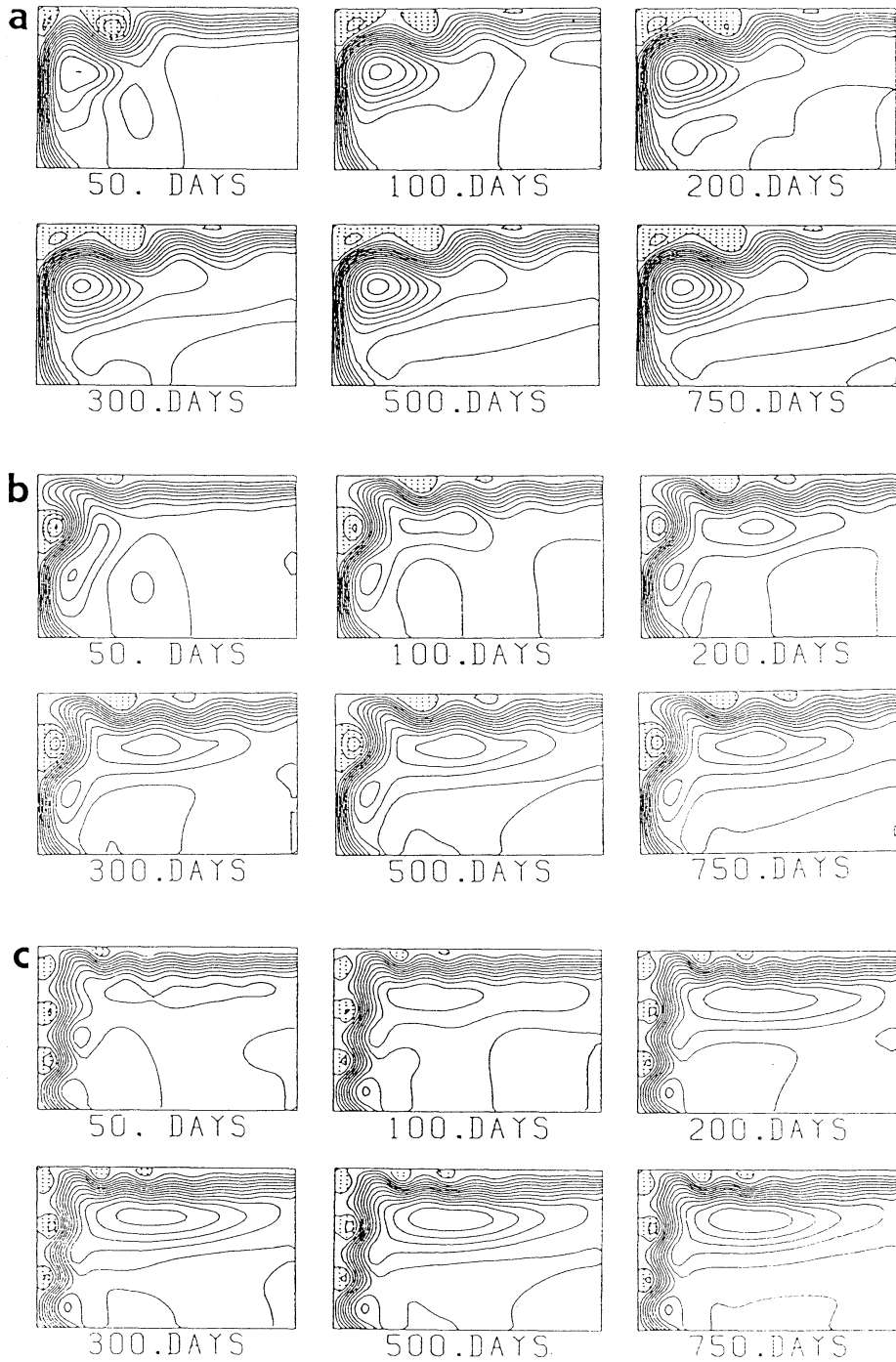


Fig. 6. The same as in Fig. 3, but for (a) Run 5, (b) Run 6 and (c) Run 7.

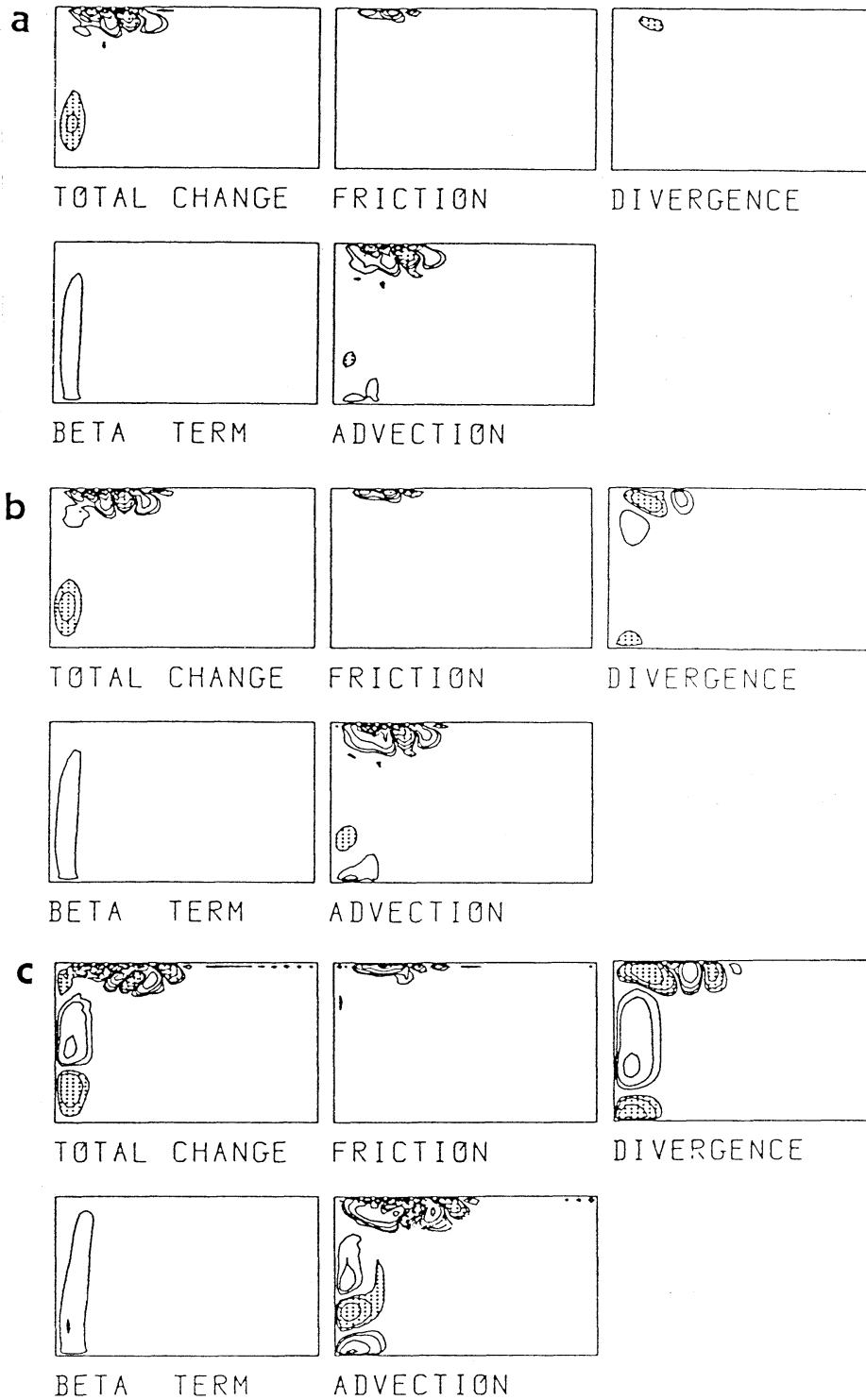


Fig. 7. Spatial vorticity balance at the 5th day. (a) Run 5, (b) Run 6 and (c) Run 7. Contour interval is the same as in Fig. 5.



time response of the topographic Rossby wave, the numerical integration is carried out upto 750th day. A meander of the current path is perceived in Run 5, but the amplitude of the meander is smaller than that of Run 1. Because the topographic effect of the continental slope is more prominent in Runs 6 and 7, the main current path has a tendency to flow over the continental slope. The amplitude of meander decreases from Run 5 to Run 7, and it is clear that the existence of a steeper continental slope suppresses the development of the meander path more remarkably. The different flow pattern of Runs 6 and

7 from that of Run 5 is a generation of eddies along the western boundary. These eddies act as a southward topographic Rossby wave in the northward mean flow.

The vorticity balance of these three runs at the 5th day is shown in Fig. 7. In Run 5, the time change  $\partial z/\partial t$  is mainly due to advection term, while the topographic divergence term is relatively small. However, as the gradient of the continental slope is increased, the divergence term becomes important in the vorticity balance. In particular, the total time change in Run 7 is mainly due to the divergence term and it forces

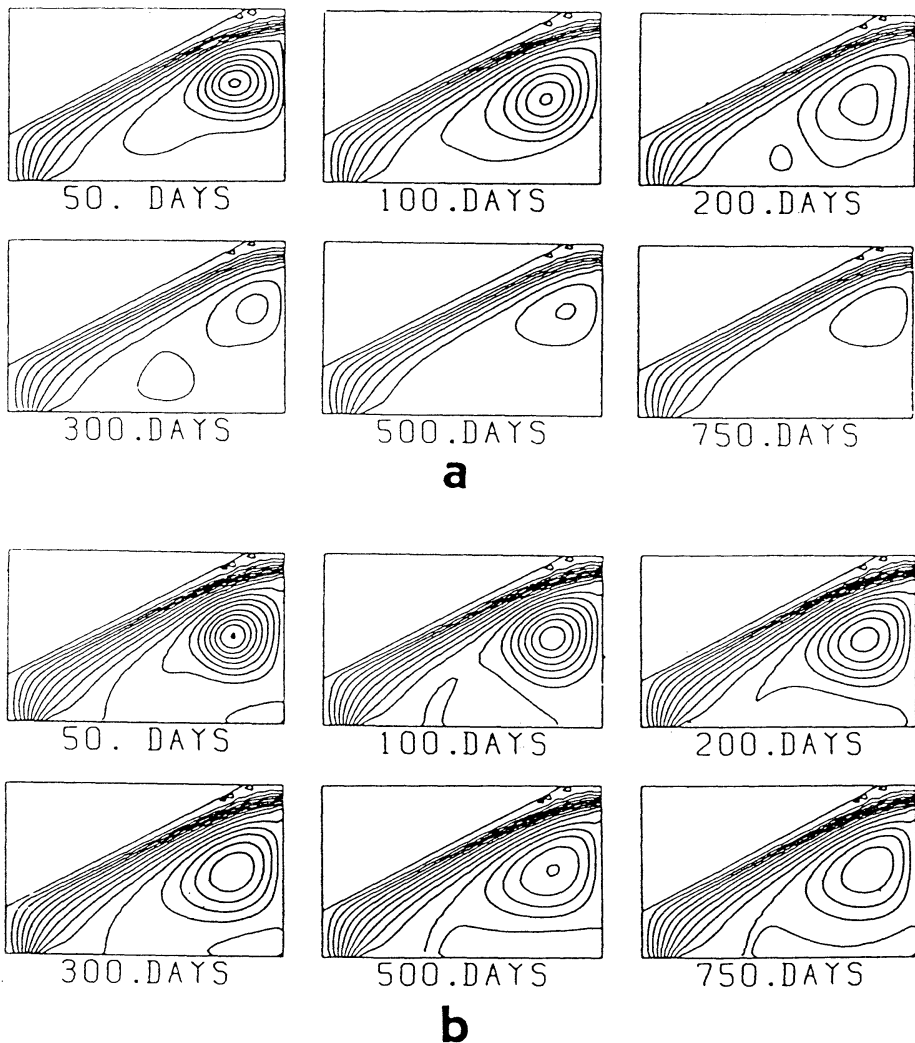


Fig. 8. Results of numerical experiment. (a) Run 8, and (b) Run 9. Contour interval of the volume transport function is 15 Sv.

the current path to flow along the geostrophic contour ( $f/h$ ), which is well approximated by the isopleth of the depth ( $h$ ). In comparison with the results of the flat bottom model shown in Fig. 3, these models show that even in a model with zonal northern boundary, the formation of the large meander path is suppressed, if the topographic effect is remarkable. It is thus suggested that the appearance of the large meander path in the Kuroshio flow is associated with the fact that topographic effect of the continental slope is confined to the narrow continental slope south of Japan (see Fig. 1).

3.3. *The effect of large in- and outflow volume transport (Runs 8 and 9)*

In order to see the condition on the appearance of the large meander path in the model with large coastline inclination, the large in- and outflow volume transports of 100 Sv and 150 Sv are given in Runs 8 and 9, respectively (Table 1). The results of these two runs are displayed in Fig. 8. It is shown that initial current paths of both runs along the northern boundary are maintained stationary and the total flow pattern shows no prominent difference from those of Run 4.

Vorticity balances of Run 9 along  $x=540$  km at two times are shown in Fig. 9. Vorticity balance is made by the two dominant nonlinear

terms  $-\partial zu/\partial x$  and  $-\partial zv/\partial y$ . But the two terms compensate each other and the total nonlinear effect on the time change  $\partial z/\partial t$  is small. Beta term and friction term are secondary. Therefore, total time change of the relative vorticity  $\partial z/\partial t$  is very small and it results in no apparent change of the initial current path along the northern boundary. Provided that the observed maximum volume transport of the Kuroshio is less than 150 Sv, the increase in the volume transport yields no large meander path in the large coastline inclination of  $30^\circ$ .

3.4. *Effect of small horizontal dissipation (Runs 10 and 11)*

The condition on the appearance of large meander path in the large coastline inclination is furthermore checked by the model with a small coefficient of the horizontal eddy viscosity. The results of Runs 10 and 11 are displayed in Fig. 10. The width of the western boundary current in Run 10 is smaller than Run 8 with the same in- and outflow. This is due to the decrease in the horizontal eddy viscosity. In Run 10, although weak current separations are noticed, the total flow pattern indicates the predominance of the no meander path along the coast.

Results of Run 11 show that the flow patterns at 50th day are almost similar to those with the larger horizontal dissipation, but some

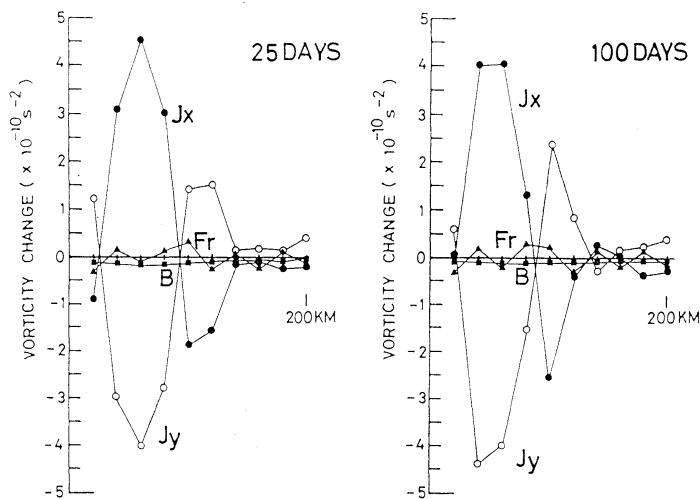


Fig. 9. Vorticity balance of Run 6 along the meridional line passing  $o$  and  $i$  points shown in Fig. 4 ( $x=540$  km from the western boundary). Zonal axis shows the distance from the northern boundary.

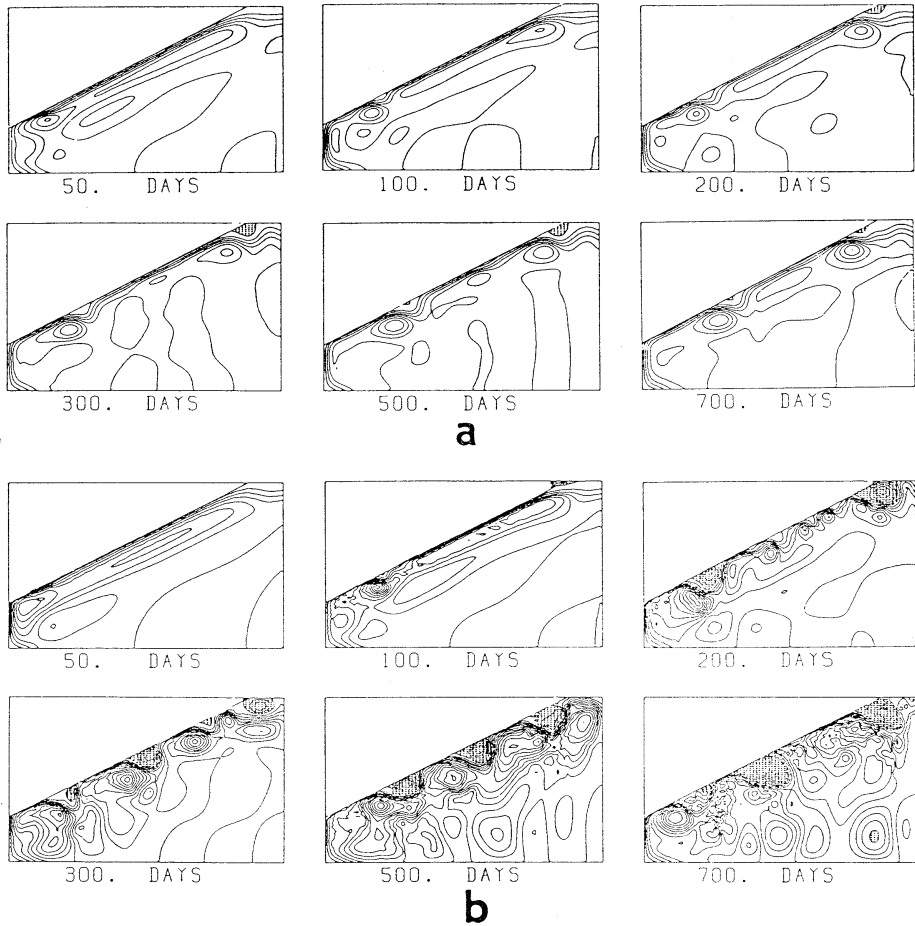


Fig. 10. The same as in Fig. 8, but for (a) Run 10 and (b) Run 11. Contour interval of the volume transport function is 25 Sv.

unstable eddies appear at about 200th day. The clear difference of the flow pattern of Run 11 from that of Run 10 is the development of cyclonic and anticyclonic circulations along the coast. By the development of these eddies, the meander of the current path is formed by the lapse of time. The meander path is not stationary and its wavelength becomes larger gradually. In order to see the difference in the results of Run 11 from those of Runs 8 and 9, the vorticity balance of Run 11 is shown in Fig. 11. The two dominant nonlinear terms  $-\partial uz/\partial x$  and  $-\partial vz/\partial y$  almost balance at the 100th day, but the two nonlinear terms show poor compensation afterward. The initial current path along the boundary is unstable in Run 11 and it gives rise to another current path pattern. In comparison

with the vorticity balance found in Runs 8 and 9, the results of Run 11 suggest that small horizontal dissipation gives favorable condition for the occurrence of instability of the initial coastal flow along the northern boundary. From the above numerical experiments, it results that the appearance of a meander path along the larger coastline inclination is possible, if both a small horizontal dissipation and large in- and out-flow are employed. It is also pointed out that the formation of the meander path is necessarily associated with the instability of the western boundary current along the coastal boundary.

#### 4. Summary and discussion

The Kuroshio region south of Japan has some characteristic topographies in comparison with the

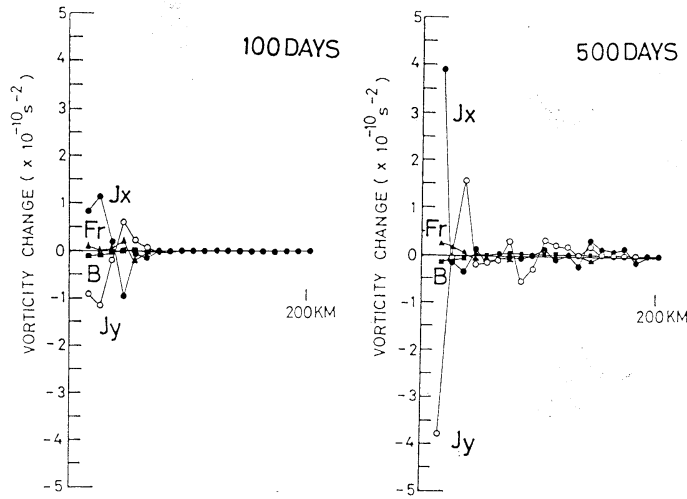


Fig. 11. The same as in Fig. 9, but for 100th day and 500th day of Run 11.

other western boundary region; a relatively small coastline inclination, narrow continental slope and the Izu Ridge. On the basis of the observational evidence that the large meander path is peculiar to the Kuroshio, the effects of coastline inclination from W-E direction and the continental slope on the western boundary current have been studied in the present study. The main results are summarized as follows:

(1) A western boundary current along a smaller coastline inclination from W-E direction is unstable and it has a tendency to take a meander path. This is due to larger eastward advection of the relative vorticity by the mean flow, which becomes large as the coastline inclination becomes small.

(2) The formation of the large meander path is suppressed by the topographic effect of the continental slope. If the topographic effect of the continental slope is predominant, no large meander path is formed along a zonal northern boundary and a current apt to flow along an isopleth of the depth. The narrow continental slope south of Japan and resulted small topographic effect of the slope in comparison with the other western boundary are supposed to be associated with the appearance of the large meander path.

(3) From the results of Runs 1 and 2, it has been pointed out that if the coastline inclination is included, the stationary Rossby wave theory

(e.g., WHITE and MCCREARY, 1976) is not suitable and the wavelength of the stationary Rossby wave is greatly influenced by the effect of northern boundary. A western boundary current is strongly deformed at the western north corner of the basin and the vorticity exchange with the boundary is important in this process.

(4) In the case with a large coastline inclination from W-E direction, large meander path is not formed even if a very large in- and out-flow volume transport is given (Runs 8 and 9). However, if the small coefficient of eddy viscosity is imposed (Run 11), a current path separation from the northern boundary is carried out. It is inferred from these models that the instability of the coastal current path is more sensitive to the eddy viscosity than to the non-linear effect.

It has been suggested by Fig. 3 that there exists a critical coastline inclination from W-E direction between those of Run 2 and Run 3 that divides approach or separation of a western boundary current from a coastal boundary. Because the coastline inclinations of Runs 2 and 3 represent the actual tilts of the coasts from Shikoku to Boso Peninsula and the total from south of Kyushu to Boso Peninsula, respectively, the results of Fig. 3 agree with the observational evidence that the large meander of the Kuroshio is observed in the former area, where the incli-

nation of the coast is relatively small. Although generation of a small meander is frequently observed off Kyushu, they are caused by the abrupt increase in the current velocity of the Kuroshio (SEKINE and TOBA, 1981a, b). If a stationary current velocity is assumed, the Kuroshio path off Kyushu has a tendency to flow along a coastal boundary (SEKINE and TOBA, 1980).

Next, we refer to the future problems of the coastal and bottom topographic effects on the path dynamics of the Kuroshio. In the present study, the latitude of the outflow has been fixed, but there is a possibility that the path character along a constant coastline inclination is changed if the outflow latitude is changed. The numerical experiments by YOON and YASUDA (1987) showed that in a model with 23 degrees coastal inclination ( $A_b = 8 \times 10^9 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ), a large meander path is formed if the volume transport is greater than 40 Sv. However, the present model showed that meander path is not formed in the Runs 3, 4, 8 and 9. This discrepancy is due to the difference in latitudinal distance of the inflow and outflow; the latitudinal distance of the present model is 710 km, whereas that of YOON and YASUDA (1987) model is 350 km. If the latitudinal distance is small, the effect of coastline inclination on the current path is decreased. Therefore, the latitude of the outflow is supposed to be an important factor of the path dynamics and this problem will be examined in succeeding paper (SEKINE, MS). Furthermore, the present study has shown that even if the outflow latitude is fixed, the path character is changed by the intensity of topographic effect of the continental slope and eddy viscosity. As for these problems, observational parameterization has not been well carried out. It is strongly needed to do observational parameterization for drawing a firm conclusion on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan.

#### Acknowledgments

I would like to thank Professors Y. TOBA of Tohoku University, K. TAKANO of Tsukuba University and N. SUGINOHARA of University of Tokyo, and Drs. J.H. YOON and M. FUKASAWA of University of Tokyo for their helpful discussion and comments. The numerical calcu-

lations were carried out on a HITAC M-200H in the Computer Center of National Defense Academy.

#### References

- BRYAN, K. (1963): A numerical investigation of a nonlinear model of a wind-driven ocean. *J. Atmos. Sci.*, **20**, 594-606.
- CHAO, S-Y. and J.P. MCCREARY (1982): A numerical study of the Kuroshio south of Japan. *J. Phys. Oceanogr.*, **12**, 680-693.
- CHAO, S-Y. (1984): Bimodality of the Kuroshio. *J. Phys. Oceanogr.*, **14**, 92-103.
- ENDOH, M. (1973): Western boundary current crossing a ridge—barotropic model and equivalent barotropic models—. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **29**, 140-147.
- ENDOH, M. (1978): Effects of a marine ridge to western boundary current in a three-dimensional source-sink flow model. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **34**, 303-306.
- FUKASAWA, M. and T. TERAMOTO (1986): Characteristics of deep currents off Cape Shiono-misaki before and after formation of the large meander of the Kuroshio in 1981. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**, 53-68.
- ISHII, H., Y. SEKINE and Y. TOBA (1983): Hydrographic structure of the Kuroshio large meander-cold water mass region down to the deeper layers of the ocean. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **39**, 240-250.
- KAWABE, M. (1985): Sea level variations at the Izu Islands and the typical stable paths of the Kuroshio. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 306-326.
- MASUDA, A. (1982): An interpretation of the bimodal character of the stable Kuroshio path. *Deep-Sea Res.*, **29**, 471-484.
- MATSUNO, T. (1966): Numerical integration of the primitive equations by a simulated backward difference method. *J. Meteor. Soc. Japan*, **44**, 76-84.
- MIURA, H. and N. SUGINOHARA (1980): Effects of bottom topography and density stratification on the formation of western boundary currents. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **35**, 215-223.
- MUNK, W.H. (1950): On the wind-driven ocean circulation. *J. Meteorol.*, **7**, 79-93.
- MUNK, W.H., G.W. GROVES and G.F. CARRIER (1950): Note on the dynamics of the Gulf Stream. *J. Mar. Res.*, **9**, 218-238.
- 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.
- OTSUKA, K. (1985): Characteristics of the Kuro-

- shio in the vicinity of the Izu Ridge. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 441-451.
- ROBINSON, A.R. and B. TAFT (1972): A numerical experiment for the path of the Kuroshio. *J. Mar. Res.*, **30**, 65-101.
- SEKINE, Y. (1979): A numerical experiment for bottom effect of the Izu Ridge on path of the Kuroshio I. Barotropic stationary model. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, **26**, 67-80.
- SEKINE, Y. (1980): A numerical experiment for bottom effect of the Izu Ridge on path dynamics of the Kuroshio II. On the formation of stationary path with an increase in volume transport. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, **27**, 19-25.
- SEKINE, Y. and Y. TOBA (1980): A numerical study on path of the Kuroshio with reference to generation of small meanders southeast of Kyushu. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, **27**, 39-55.
- SEKINE, Y. and Y. TOBA (1981a): Velocity variation of the Kuroshio during the formation of the small meander south of Kyushu. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 87-93.
- SEKINE, Y. and Y. TOBA (1981b): A numerical study on the generation of the small meander of the Kuroshio off southern Kyushu. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 234-242.
- SEKINE, Y. (1984): Coastal and bottom topographic effect on the path of the Kuroshio. *Mar. Sci.*, **17**, 283-292 (in Japanese).
- SEKINE, Y. (1989a): Formation process of the large meander of the Kuroshio south of Japan. (submitted to Deep-Sea Res.)
- SEKINE, Y. (1989b): A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio with reference to the formation of the large meander path south of Japan. (submitted to Deep-Sea Res.)
- STOMMEL, H. and K. YOSHIDA (1972): Kuroshio -Its physical aspects. Univ. of Tokyo Press, Tokyo. 517 pp.
- TAFT, B.A. (1972): Characteristics of the flow of the Kuroshio south of Japan. p. 165-214. *In: H. STOMMEL and K. YOSHIDA (ed.), Kuroshio -Its physical aspects.* Univ. of Tokyo Press, Tokyo.
- VERONIS, G. (1966): Wind-driven ocean circulation: Part II. Numerical solutions of the non-linear problem. *Deep-Sea Res.*, **13**, 31-55.
- WHITE, W.B. and J.P. MCCREARY (1976): The Kuroshio meander and its relationship to the large-scale ocean circulation. *Deep-Sea Res.*, **23**, 33-47.
- YASUDA, I., J.H. YOON and N. SUGINOHARA (1985): Dynamics of the Kuroshio large meander -barotropic model-. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 259-273.
- YOON, J.H. and I. YASUDA (1987): Dynamics of the Kuroshio large meander. Two-layer model. *J. Phys. Oceanogr.*, **17**, 66-81.

## 日本南岸の黒潮に注目した西岸境界流の流路に及ぼす 陸岸・海底地形効果

関 根 義 彦

要旨: 日本南岸の黒潮流域は他の西岸境界流流域と比較して, 東西方向からの陸岸線の傾きが小さく, 陸棚斜面の幅が狭いという特徴がある。黒潮流路は大蛇行流路と非大蛇行流路との間に二様性を示すが, ほかの西岸境界流には大蛇行流路が観測されない。そこで, 陸岸・海底地形が黒潮流路に及ぼす影響を順圧数値モデルを用いて調べた。平坦なモデルでは陸岸が東西方向に近くなるにつれて, 西岸境界流が蛇行しやすく, 反対に南北に走る岸では西岸境界流が接岸する傾向が強いことが示された。とくに後者では, 大きな流量と小さな粘性係数が与えられれば接岸流路の不安定が生じ, 流れは離岸する。大陸棚の海底地形を考慮したモデルでは, 流れが等深衡値 ( $f/h$ ,  $f$  はコリオリのパラメータ,  $h$  は水深) に沿う性質により, 大蛇行の形成は押さえられる。これらより, 大蛇行流路の形成は岸に沿う粘性境界流が不安定になることに関連することが示唆される。もし不安定が生じ, 一般流によって東に移流された相対渦度が西向きロスビー波とバランスすれば, 大蛇行流路が形成される。これらの結果は東西方向に近い陸岸地形と狭い大陸棚斜面を持つ日本南岸では蛇行が発生しやすいことを示す。

## マダコのアワビ殻穿孔\*

小島 博\*\*

### Hole-drilling predation by *Octopus vulgaris* on abalone\*

Hiroshi KOJIMA\*\*

**Abstract:** An *Octopus vulgaris* of 296 g in wet weight preyed upon 36 abalones of 26-98 mm in shell diameter during June 23 to July 31 in a laboratory tank of 412 liters. Five abalone shells were drilled by the octopus among those killed by the octopus. Four boreholes among five were characteristically oval in shape and very tiny in size ranging from 2.2 to 2.4 mm×1.0 to 2.0 mm at the top and from 0.3 to 0.7 mm×0.15 to 0.5 mm at the bottom. A single borehole located at the position of a hole created by *Cliona* sp. was measured 5.6×4.2 mm at the top and 3.1×2.4 mm at the bottom. Many narrow vertical grooves created by octopus were recognized on the wall observed by SEM. The injection of the excretion from the posterior salivary gland of the octopus into abalone foot caused a constriction of epipodia and tentacles. Hole-boring will be conducted for injecting of the paralyzing venom into the victim to weaken when the octopus fails to detach a prey by force with arms.

#### 1. 緒言

タコ類は行動、食性、生活場所の異なる多様な貝類を主として捕食する (WODINSKY, 1969; 浜田, 1974; NIXON, 1979a)。アワビ類はタコの被食者となるが、その被害は小さいと考えられている (COX, 1962; SHEPHERD, 1973) もの、マダコの大発生年にアワビ類の漁獲量が激減した記録もある (徳島県水試, 1940)。

タコ類は摂餌の際に様式化された一連の行動をとるが、貝殻穿孔はその一連の行動の一段階であり、省かれることもある (WODINSKY, 1969)。穿孔の認められた被食者としてアワビ類 (PILSON and TAYLOR, 1961)、タカノハソデガイ *Strombus raninus* (ARNOLD and ARNOLD, 1969)、ツロツブリ *Murex trunculus* (NIXON, 1979a)、ムラサキガイ *Mytilus edulis* (NIXON, 1979a)、アコヤガイ *Pinctada fucata martensii* (藤田, 1915) などが報告されている。しかし、日本産マダコのアワビ類捕食については、無穿孔の捕食観察例 (浜田, 1974) のみが報告されている。

著者は、マダコとアワビ類を同一水槽に収容したとこ

ろ、被食者の貝殻に捕食者によるとみられる数例の穿孔を認めた。両者の関係を明らかにするために、それらの穿孔の性状を詳しく観察し、併せてマダコの後唾腺分泌液の麻痺性効果を調べたので、その結果を報告する。

本論に入るに先だち、本稿につき懇篤なご校閲ならびに有益なご助言を戴いた東京水産大学奥谷喬司教授および、アワビ殻のエックス線結晶解析およびその硬度決定の労をとって戴いた京都大学玉田攻助教授に深謝の意を表する。

#### 2. 材料および方法

捕食実験には、1977年6月21日に徳島県海部郡由岐町阿部地先で採集した体重(湿重量)296gのマダコ *Octopus vulgaris* 1個体を供した。このマダコを412lのコンクリート製水槽に収容し、2日後からアワビ類を適宜与えて、7月31日まで観察した。実験に試供したアワビ類はトコブシ *Haliotis diversicolor aquatilis*、クロアワビ *H. discus discus*、マダカアワビ *H. gigantea*、メガイアワビ *H. sieboldii* の4種で、殻長は26~98mm、総数36個体であった。また、水槽内に被食者および捕食者の隠れ場所として40×20×15cmの孔2つをもつ建築用ブロック2個を置いた。

マダコに捕食されたアワビ類の貝殻を翌朝回収し、実体顕微鏡で穿孔の有無を調べた。さらに、穿孔を実体顕

\* 1988年6月15日受理 Received June 15, 1988

\*\* 徳島県水産試験場, 〒779-23 徳島県海部郡日和佐町 Tokushima Prefectural Fisheries Experimental Station, Hiwasa, Kaifu-gun, Tokushima, 779-23 Japan

Table 1. Number of abalones (*Haliotis*) killed by a 296 g octopus by size class in a laboratory tank. Numbers in parentheses represent the emptied shells drilled by octopus.

Shell length (mm)	<i>H. diversicolor aquatilis</i>	<i>H. discus discus</i>	<i>H. sieboldii</i>	<i>H. gigantea</i>	Total
25-29	2				2
30-34	2				2
35-39	2				2
40-44	4				4
45-49	7(2)				7(2)
50-54	2				2
55-59	5				5
60-64	3	1			4
65-69	2(2)				2(2)
70-74	2				2
75-79		1			1
80-84					0
85-89					0
90-94			1	1	2
95-99		1(1)			1(1)
Total	31(4)	3(1)	1	1	36(5)

微鏡および走査型電子顕微鏡により観察した。

一方、マダコの後唾腺抽出液を体重 10~52 g のトコブシ (殻長 45~73 mm) に注入してその麻痺性効果を調べた。後唾腺は1977年7月14日に採集した体重 630 g のマダコから抽出されたもので、抽出液の製法は PILSON and TAYLOR (1961) に準じて次のとおりとした。すなわち、後唾腺 1.43 g に海水 13 ml を加え、冷やしながらホモジナイズした後、+2°C~-5°C で 7,000 r.p.m. の遠心分離上澄液を実験に供した。後唾腺抽出液を 0.01 ml/g ないし 0.025 ml/g をトコブシの頭部あるいは足部へ注入し、実験動物の反応を観察した。

マダコの貝殻穿孔方法を推察する目的で、鉄工用電動ドリルによるクロアワビ殻の穿孔表面を走査型電子顕微鏡で観察し、マダコの穿孔表面と比較した。人工穿孔表面は無処理のものおよび pH 5.4 の塩酸処理したものを観察に供した。また、エックス線結晶解析によって、歯舌およびクロアワビ貝殻の硬度決定を試みた。

### 3. 結 果

#### 穿孔の形態と穿孔位置

捕食されたアワビ類 36 個体のうち 5 例に穿孔を認められた。穿孔された最小のものは殻長 47 mm のトコブシであったが、今回の実験では被食者の殻長と穿孔の間に明瞭な関係は認められなかった (Table 1)。

昼間、一定の隠れ場にいるマダコは、アワビと同様、夜間活発に行動する。マダコは腕の先端で移動する貝を

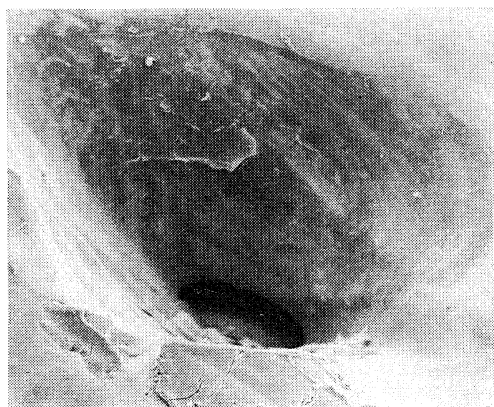


Fig. 1. Hole drilled by an octopus into an abalone shell. (Magnified×30)

確認する行動や、隠れ場から離れて貝を覆う行動を示した。吸盤でアワビを容易に剥離できれば、隠れ場近くに運び、摂食した。腕による物理的剥離が困難な場合、捕捉を中止するか穿孔後剥離するかいずれかの行動を示した。

穿孔の形態は、一般に楕円型すり鉢状である (Fig. 1)。穿孔の大きさは、No. 3 を除くと、外側は長径が 1.4~2.4 mm、短径が 1.0~2.0 mm、内側は長径が 0.3~0.7 mm、短径が 0.15~0.5 mm である (Table 2)。No. 3 の穿孔位置には穿孔性海綿 *Cliona* sp. が既に穿孔していたが、そのためマダコの穿孔径が大きくなったと推察される。



Table 2. Size of a hole drilled by octopus into an abalone shell.

Specimen No.	Species	Shell length (mm)	Top size	Bottom size
			Major diameter × minor diameter	Major diameter × minor diameter
3	<i>H. diversicolor aquatilis</i>	67.1	5.6 × 4.2 mm	3.1 × 2.4 mm
8	<i>H. diversicolor aquatilis</i>	67.8	2.4 × 2.0	0.7 × 0.5
9	<i>H. diversicolor aquatilis</i>	46.8	1.4 × 1.0	0.3 × 0.15
16	<i>H. diversicolor aquatilis</i>	49.2	1.5 × 1.2	0.3 × 0.22
20	<i>H. discus discus</i>	97.5	2.2 × 1.5	0.5 × 0.25

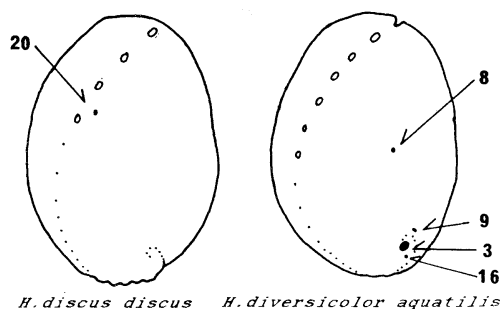


Fig. 2. Location of the hole drilled by an octopus on the shell of abalones. Numerals represent the specimen numbers of prey.

穿孔の位置は3個体 (No. 3, 9 および 16) が殻頂付近, 2個体 (No. 8 および 20) が殻軸筋部にあった (Fig. 2)。

クロアワビの貝殻は殻皮が殆ど残らず, エックス線結晶解析により外層 (殻質層) が方解石で硬度は 3, 内層 (真珠層) があられ石で硬度は 3.5~4 であった。マダコの歯舌についてもエックス線解析を試みたが, 非晶質のため硬度を決定できなかった。

マダコによる穿孔表面の走査型電子顕微鏡像には垂直方向に多数の丸みのある低い起伏が観察された (Fig. 3, A)。比較のため鉄工用ドリルによる人工的な穿孔を作ってみると, その表面には同心円状に多数の起伏が形成され, その拡大像には結晶の劈開が見られた。さらにこの人工的穿孔表面を pH 5.4 の塩酸に浸漬すると起伏は丸みを帯びた (Fig. 3, B)。

#### 後唾腺抽出液の効果

後唾腺抽出液 0.025 ml/g を足に注射されたトコブシ 2 個体を逆位状態で水槽へ戻した。通常, 逆位となった貝は足をのばして, その後端を基質に附着させ, 短時間で起き上がるのであるが, 注射された 1 個体は足を交互左右に伸ばす動作を繰り返したが, 基質にまで達せず, やがて静止した。こうした動作は 3 時間以上続き, 上足は波打ち, 足の周囲は収縮したままであった。この貝を水

槽壁に附着させてみたが, 脱落してやがて死亡した。他の 1 個体は起き上がり, 水槽壁で静止したが, その上足は波形状のまま, 頭部触角および上足触角は収縮し, さらに上足触角の屈曲も観察された。7 時間後には水槽壁を移動したが, 上足触角の長さは不揃いで, その先端が曲がったままのものも見られた。

抽出液 0.01 ml/g を足へ注射した貝は, 数分後に起き上がり, 水槽壁へ移動した。この貝の上足は波形状で, 上足触角は収縮した。7 時間後の動作はほぼ正常に戻ったが, 一部の上足触角は収縮したままであった。同量の抽出液を頭部に注射した実験貝は起き上がるのにほぼ 1 時間を要した。2 時間後の動作はほぼ正常であったが, 上足は波形状であった。

足あるいは頭部に 0.025 ml/g の海水を注射した場合, 貝は 3 分以内に起き上がり, 動作は正常であった。また, 触角, 上足の変化は観察されなかった。

#### 4. 考 察

タコ類の貝類摂餌行動は, 一般に, 被食者の知覚, 選択, 穿孔, 後唾腺分泌液の注入, 剝離, 摂取の過程に分けられる (WODINSKY, 1969)。しかし, 容易に剝離出来れば, 穿孔, 分泌の過程は省かれる (WODINSKY, 1969)。今回の実験結果は, マダコがアワビ類を摂餌する場合, 穿孔することもあればしないこともあることを示した。貝殻穿孔を否定した浜田 (1974) の実験結果は, 被食者が小さなため, 穿孔, 後唾腺分泌液の注入の過程を経ずに剝離, 摂取されたと推察される。

捕食を目的とするアキキガイ科の巻貝は比較的大きく穿孔するが (木下, 1931; 田中, 1949; CARRIKER and ZANDT, 1972; 阿部, 1980), これは貝が吻をその穴から挿入するためである (CARRIKER and ZANDT, 1972)。それに対してマダコの貝殻穿孔は, 後唾腺分泌液を注入して被食者を麻痺させ, 捕食を容易とすることを目的としているので極めて小さい。

NIXON (1979a, b, 1980), NIXON *et al.* (1980) は

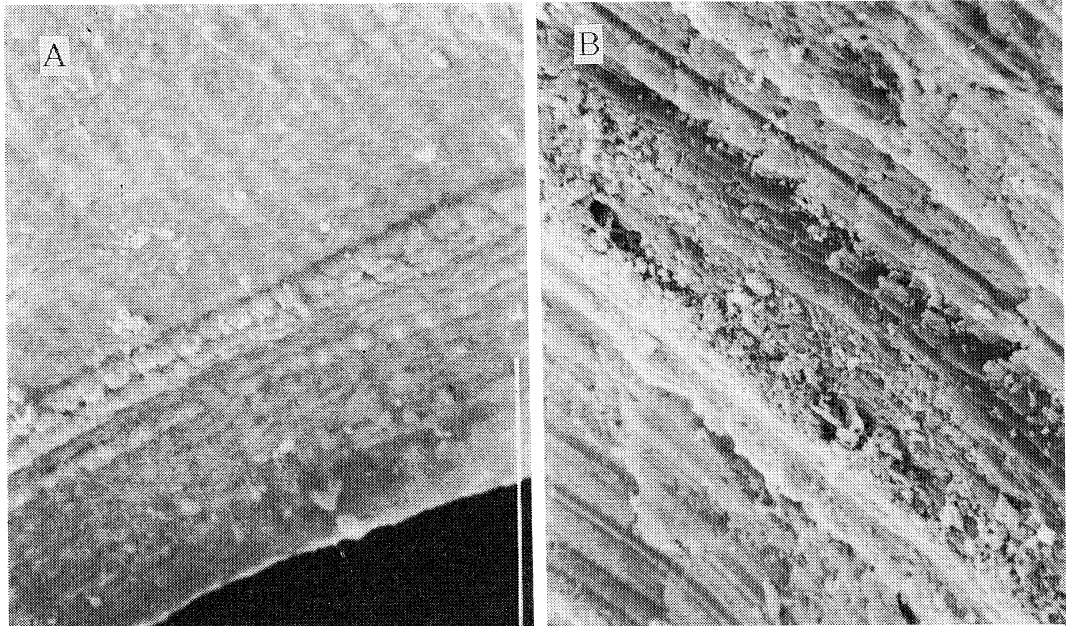


Fig. 3. The inner wall of the octopus borehole (A) and the inner wall of a hole drilled with an electric drill (B), which was dissolved by hydrochloric acid of pH 5.4. (Magnified  $\times 700$ )

一連の実験、形態観察によって唾腺導管の開口部の周囲を覆う高さ  $15 \mu\text{m}$  の微細な歯が貝殻穿孔に直接関与していることをつきとめたが、本報告においては前述のようにマダコの歯は非晶質のため硬さを決定出来なかった。NIXON *et al.* (1980) はマダコの歯がモースの硬さ 2.5~6.0 の範囲にあると推定している。アワビ殻の真珠層の硬さが 3.5~4 であるので、物理的作用で十分穿孔できるかどうか、まだ明らかでない。日本産アワビ類の穿孔表面にはタカノハソデガイ *Strombus ranius* (ARNOLD and ARNOLD, 1969) やツロツブリ *Murex trunculus* (NIXON *et al.*, 1980) の殻上に残された溝ほど明瞭ではないが、垂直方向に丸みのある多数の起伏が認められた。しかし、ムラサキイガイ *Mytilus edulis* の場合には溝が認められないことが知られている (NIXON *et al.*, 1980)。それはムラサキイガイの貝殻の中間層(殻質層)が方解石稜柱の正常に並んだ層で、内層(真珠層)があられ石の微小板(tablets)の重なった構造であるのに対し、ツロツブリの貝殻は多数のあられ石の薄板(lamels)を1枚ずつラス様薄板(lath)が包み、かつ隣あったラス様薄板(lath)が包み、かつ隣あつたラス様薄板が逆方向に並ぶ構造をしている(NIXON *et al.*, 1980)という相違による。すなわち、ツロツブリに見られる溝は、歯舌による“rasp marks”(ARNOLD and ARNOLD,

1969; WODINSKY, 1969)ではなく、貝殻の構造によることが確められている(NIXON *et al.*, 1980)。マダコの体内で最強の酸はpH 5.4~5.6である(森下他, 1979)。無処理の人工的穿孔面と塩酸で処理した人工的穿孔面を比べると後者のほうがいっそうマダコによる穿孔面に類似した。このことは、マダコが物理的方法のみならず化学的方法も併用して貝殻に穿孔することを示唆するものと判断される。マダコの貝殻穿孔速度は、ソデガイ類 *Strombus* の殻では 1.25 mm/時間(ARNOLD and ARNOLD, 1969)、またアワビ類の穿孔から剥離まで3時間を要した観察例(PILSON and TAYLOR, 1961)が報告されている。マダコのアワビ殻穿孔の形態や大きさは、イガイ類 *Mytilus* への穿孔(NIXON *et al.*, 1980)とは異なるが、*Strombus* (ARNOLD and ARNOLD, 1969)、*Murex* (NIXON, 1979a)、アコヤガイ(藤田, 1915)における穿孔、また、*Octopus bimaculatus* によるクジャクアワビ *Haliotis flugens* 殻への穿孔(PILSON and TAYLOR, 1961)に類似している。

マダコの後唾腺抽出液の体内注入実験ではトコブシの足の筋収縮、上足の波形状変形を引き起こし、長時間にわたる上足触角の収縮や屈曲を伴った。こうした変化は海水を体内に注入しても、あるいはマダコの後唾腺抽出液をトコブシの呼水孔から外套腔内へ注いでも生じな

った。後唾腺は tyramine を主成分とする他に数種類の有毒アミン類を含んでいる (GHIRETTI, 1960; HARTMAN *et al.*, 1960)。アワビ類に対してこれらの毒は化学的刺戟として足に筋収縮を生じさせ(浜田, 1965), 剥離を容易とすることが本実験で明らかになった。

以上述べた様に, マダコはアワビ類を被食者として知覚すると, まず強力な腕の力で剥離を試みるが, 物理的剥離が困難であれば, 穿孔し, 後唾腺分泌液の体内注入によってアワビ類を麻痺させて剥離する。こうしたマダコのアワビ類に対する摂餌がアワビ資源に及ぼす影響を明らかにすることは今後の課題である。

#### 文 献

- 阿部直哉 (1980): 肉食性腹足類数種の餌生物と食い方 (予報). ベントス研連誌, **19/20**, 39-47.
- ARNOLD, J.M. and K.O. ARNOLD (1969): Some aspects of hole-boring predation by *Octopus vulgaris*. *Am. Zool.*, **9**, 991-996.
- CARRIKER, M.R. and D.V. ZANDT (1972): Predatory behavior of a shell-boring muricid gastropods. p.157-244. *In*: H.E. WINN and B.L. OLLA (ed.), *Behavior of Marine Animals. Current Perspectives in Research*, Vol. 1. Plenum Press, New York.
- COX, K.W. (1962): California abalones, Family Haliotidae. *Calif. Dept. Fish and Game, Fish Bull.*, **118**, 1-133.
- 藤田輔世 (1915): マダコの真珠介穿孔に就いて. *動雑*, **28**, 250-257.
- GHIRETTI, F. (1960): Toxicity of octopus saliva against crustacea. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **90**, 726-741.
- 浜田サツ子 (1965): アワビの事故を防ごう. *養殖*, **2** (5), 43-45.
- 浜田サツ子 (1974): マダコ *Octopus vulgaris* CUVIER の貝類捕食習性. *Venus*, **33**, 138-143.
- HARTMAN, W.J., W.G. CLARK, S.D. CYR, A.L. JORDAN and R.A. LEIBHOLD (1960): Pharmacologically active amines and biogenesis in the octopus. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **90**, 637-666.
- 木下虎一郎 (1931): 牡蠣の害敵としての骨貝類 (予報). *Venus*, **2**, 190-198.
- 森下達雄・上野隆二・高橋 喬 (1979): マダコ後唾腺蛋白分解酵素の消化への関与に関する研究—Ⅱ 後唾腺蛋白消化酵素と消化管内液汁蛋白消化酵素との同一性の検討. *日水誌*, **45**, 181-186.
- NIXON, M. (1979a): Hole-boring in shells by *Octopus vulgaris* CUVIER in the Mediterranean. *Malacologia*, **18**, 431-443.
- NIXON, M. (1979b): Has *Octopus* a second radula?. *J. Zool., Lond.*, **187**, 291-296.
- NIXON, M. (1980): The salivary papilla of *Octopus* as an accessory radula for drilling shells. *J. Zool., Lond.*, **190**, 53-57.
- NIXON, M., E. MACONNACHIE and P.G.T. HOWELL (1980): The effects on shells drilling by *Octopus*. *J. Zool., Lond.*, **191**, 75-88.
- PILSON, M.E. and P.B. TAYLOR (1961): Hole drilling by octopus. *Science*, **134**, 1366-1368.
- SHEPHERD, S.A. (1973): Studies on Southern Australian abalone (Genus *Haliotis*) I. Ecology of five sympatric species. *Aust. J. mar. Freshwat. Res.*, **24**, 217-257.
- 田中弥太郎 (1949): イボニシのマガキ稚貝に対する加害機構について. *日水誌*, **15**, 447-457.
- 徳島県水試 (1940): 鮑増殖事業. 昭和13年度徳島県水試事報, 45-52.
- WODINSKY, J. (1969): Penetration of the shell and feeding on gastropods by *Octopus*. *Am. Zool.*, **9**, 997-1010.

## 巨大津波の空中前駆音のモデル\*

中 村 重 久\*\*

### A modelling for atmospheric precursor of a big tsunami\*

Shigehisa NAKAMURA\*\*

**Abstract:** A possible model is proposed for an atmospheric precursor of a big tsunami which appeared after the occurrence of big offshore earthquake as found in the Japanese historical descriptions, documents and records. The author's interest is to show that stratifications in the sea and in the atmosphere cause to form an acoustic caustic in each media if a source is assumed to be located on a fault line including the epicenter of an earthquake on the sea floor. Sound on the sea surface just above the epicenter is the strongest to propagate through the atmosphere to form an acoustic caustic in the sky. A sound from the caustic can be taken as if it were a cannon boom or a thunder-roll for those who are on the earth in a range of several tens kilometers from the source. Sound can be directly detected by people in the ground-surface layer of 10 m thick above the sea surface within a range of about 80 km from the source.

#### 1. 緒 言

これまでに、著者は日本の太平洋沿岸における巨大津波の歴史的資料をさぐり、大地震後、津波来襲までの間に、沖合あるいは空中で大砲のような爆音がしたという記述を多数例見出した（たとえば、中村、1986a）。この記述の物理的妥当性を明らかにするために、そのような例のみられた海域の海水の水温・塩分・圧力を考慮にいられて、海洋物理学的な立場から仮説をおき、検討を重ねてきた（たとえば、中村、1986a, 1986b; NAKAMURA, 1988）。ところで、最近の資料によれば、日本の歴史的記述にある津波前駆音に類似の記録は、1977年にインドネシアにおいても報告されている（Pusat Meteorologi dan Geofisika, 1977）。これに対しても中村（1988）は、上記の仮説（たとえば、中村、1986a）を適用して説明できそうだと考えている。

ところで、上に述べた仮説は海中の音波の問題に限られていて、海中の音源から沿岸や船上の人々になぜ聞こ

えるのかを説明していない。

これまでの検討例では、海底地震がリヒタースケールで  $M=6.6$  以上の巨大地震である場合に津波が発生し、その津波が沿岸域に災害をもたらすとされていたようである。その点で、地震発生後、津波来襲までにとらえられた異常音を、自然における津波短期警報とみることができる。地震発生や津波来襲の予測が十分でない段階では、たとえ地震発生後であっても、短期的に、津波が来るか否かを判断することができれば、これは津波災害防止軽減の立場からも非常に有効である。この見地から、上記の仮説については、さらに検討をすすめて、その実用性を明らかにしなくてはならない。

ここでは、海底の震央から出た異常音（正確には、海底の震央を含む地震断層から出た異常音）が、海面を経て、大気中を伝わり、沿岸や船上の人々にどのような音としてとらえられるかをさぐるために、巨大津波が過去にみられた日本南海道沖の水温・塩分の鉛直分布をよりどころとした。その特徴をとらえるため、モデル化した簡単な水温・塩分の鉛直分布が与えられた場合に、震央から出た音はどのように海中を伝わるか、さらに、海面に達した音が、海面から大気中へどのように伝わるかを検討してみたい。このために、海面上の大気中の音速の鉛直分布も簡単なモデル化したものを利用する。

\* 1988年1月13日受理 Received January 13, 1988

\*\* 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, Katada-Hatasaki, Shirahama, Wakayama, 649-22 Japan

このような検討によって、海底地震発生後、巨大津波が来襲する前に、空中で大砲のような音あるいは雷のような音がする可能性の高いことを明らかにする。

2. 音速の鉛直分布のモデル化

ここでは、海中の音波の伝わり方は、すでに中村（たとえば、中村 1986a; NAKAMURA, 1988）が考えたようなものを考える。その理論的基礎は、たとえば CLAY and MEDWIN (1977) に記されているものと同じであり、また、海面を通過した後の空中における音波の伝わり方についても、基本的には海中音波に対して用いたものと同じ線型の音波伝播の式を利用できるものとする。

2.1. 海中音速場

ここでは、典型的な例によって検討することとし、日本南海道沖の水温・塩分・圧力を考えにいたした水中音速鉛直分布を対象とすることとし、これを単純化したモデルにおきかえて利用する。すなわち、海底地震の震央から地震時に出た音波の条件として、中村 (1986a, 1986c), や NAKAMURA (1988) を参考にして、つぎのようなものを考える。すなわち、

- 海面直下  $z=0$  m で音速は  $C=1,560$  m/s,
- 音速極小層  $z=1,000$  m で  $C=1,480$  m/s,
- 海底  $z=3,000$  m で  $C=1,520$  m/s.

また、簡単のため、水平方向には、水中音速分布は一樣なものとし、水深は一定であるものとする。海面から音速極小層まで音速は線型に変化するものとし、また、音速極小層から海底までの音速も線型に変化するものとする。このため、形式的に、音速極小層で音速は不連続な変化をすることになるが、ここではとくに重要な問題としては考えない。特徴をとらえることに重点をおくこととする。

2.2. 大気中音速場

大気中の音速は、主として温度によって定まる（たとえば、東京天文台編の理科年表）。ところで、地球上の大気の鉛直分布は、たとえば KATO (1980) が図示しているように複雑である。その特徴に着目して、地球上の大気温度の鉛直分布を Fig. 1 に示した。本文で検討の対象とするのは、Fig. 1 に示された大気温度鉛直分布のうち、地表から 200 km までの範囲（図中破線で示した曲線）である。図中の点 X および点 Y における温度を参考にして、本文においては、

- 地表上  $z=0$  km で温度は  $T=275^\circ\text{K}$ ;
- 地表上  $z=80$  km で温度は  $T=180^\circ\text{K}$  (点 Y)
- 地表上  $z=200$  km で温度は  $T=800^\circ\text{K}$  (点 X);

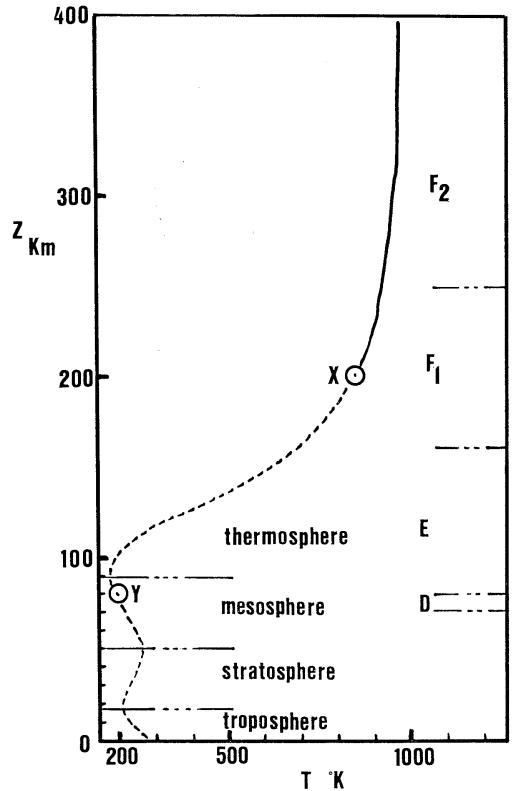


Fig. 1. Vertical temperature distribution of the earth's atmosphere. Meteorological layers are classified as troposphere, stratosphere, mesosphere and thermosphere. Aeronomical layers are classified as D, E, F<sub>1</sub> and F<sub>2</sub> layers.

とする。気体中の音速は気体の絶対温度の平方根に比例する（たとえば、東京天文台編の理科年表）ことを考慮に入れて、大気中の音速の推定をすることができる。たとえば、地表上  $z=0$  km における温度  $T_0$  が与えられれば、地表上高度  $z_i$  km については、音速は

$$C(z_i) = \alpha \sqrt{T_i}; \quad \alpha: \text{比例定数}$$

であり、この  $\alpha$  は地表の音速  $C_0$  と地表の温度  $T_0$  とから定まる値

$$\alpha = C_0 / \sqrt{T_0}$$

である。

このようなことから、大気中の音速場の特徴を示す簡単な例として、つぎのようなものを考えることができるであろう。すなわち、

- 地表上  $z=0$  km で音速は  $C=330$  m/s;
- 地表上  $z=80$  km で音速は  $C=275$  m/s (点 Y);
- 地表上  $z=200$  km で音速は  $C=562.5$  m/s (点 X).

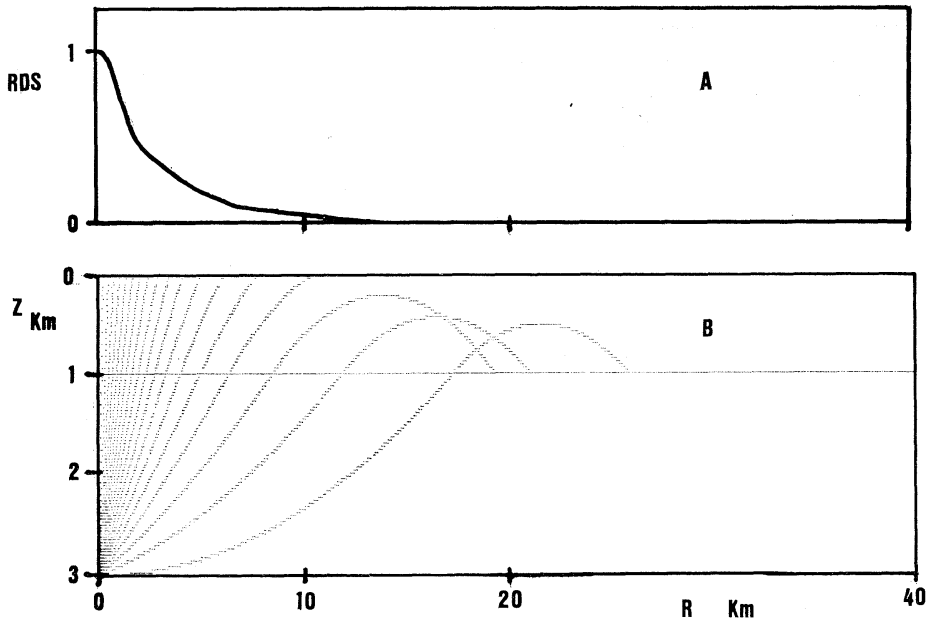


Fig. 2. Acoustic rays in the sea radiated out of a source on the sea floor. (a) Sound speed is 1,560 m/s on the sea surface ( $z=0$  km). (b) Sound speed is 1,480 m/s at the level of sound channel which is assumed to be located at 1 km below the sea surface. (c) Sound speed is 1,520 m/s on the sea floor ( $z=3$  km). (A) Relative acoustic ray density (RDS) as a function of horizontal distance  $R$  (in km) from the source. (B) Acoustic rays' pattern in the sea which gives RDS distribution with a variable  $R$  as shown in (A) for the sea surface. Rays in (B) are in five-degree angle step from the vertical ( $0^\circ$ ) to the horizontal ( $90^\circ$ ).

そして、音速は、地表と点  $X$  との間では線型的に変化するものとし、また、点  $X$  と点  $Y$  との間でも音速は線型的に変化するものとする。

### 3. 海中での音波

さきに 2.1 に示した海中音速鉛直分布モデルに対して、震央を含む地震断層に沿った音源を想定すると、たとえば中村 (1986c) や NAKAMURA (1988) のようにして海中音波の音源からの伝わり方は Fig. 2 のようになる。ここで、説明の都合上、音源からの音線の数値計算にあたって、音線が鉛直線に対して角  $0^\circ$  で鉛直上方に向かうものから、角  $90^\circ$  で水平方向に向かうものまでを対象とし、その 2 つの角の間を  $5^\circ$  きざみとし、角の変化に対する音線の変化を Fig. 2 の下段 (Fig. 2B) に示した。

本文では、海面に達し、海面を通過し、さらに、大気中を伝わる音に焦点をおいて検討したい。したがって、海面下に形成されるような caustics については、これ以上立ち入って議論をしない (cf. 中村, 1986c; NAKA-

MURA, 1988)。

さて、Fig. 2B に示された計算結果にもとづいて、海面  $z=0$  における音線の相対的密度 (RDS) がわかる。すなわち、音線の海面における幅は、海面での RDS に逆比例するものとすれば、音源からの水平距離  $R$  に対する音の強さを知る目安を得ることができる。このような考え方で海面における音の強さの目安として RDS の  $R$  に対する分布をもとめ図示したのが Fig. 2 上段 (Fig. 2A) である。ここで、中村 (1986c) の Fig. 10 を参考にすると、音源を角  $78^\circ$  以上で出た音線は  $R=13$  km 以遠で海面下の caustics を形成する問題につながるが、大気中を伝わる音波には直接つながらない。したがって、本文の Fig. 2A の RDS は  $X$  が 0 からおよそ 13 km までの範囲で考えれば十分である。

この Fig. 2A の RDS の  $R$  に対する分布をみると、震央 (音源) の直上の RDS が最も大きい値を示し、 $R$  が大きいと RDS の値は小さくなるのがわかる。これは、音源の直上が最も海底からの音の集中度が高いことを示している。

4. 海面を通して大気中へ向かう音波

ここで、海中から海面を通して大気中へ伝わる音波は物理的にどのようなものかを検討しておく必要がある。便宜上、Fig. 3 のような模式図を利用し、海面付近の音の伝わり方の説明に利用する。ここで、図中  $P-P'$  を海面とし、海面をはさんで、下方に海水(媒質 I)があり、上方に空気(媒質 II)があるものとし、それぞれの媒質はそれぞれ均質一様なものとする。媒質の密度  $\rho$  および媒質中を伝わる音速  $C$  について、それぞれにサフィクス(下付記号) 1 および 2 を付けてそれぞれの媒質の特性を区別する。そして、ひとつの音線  $R_I$  が海中下方から海面の点 0 に入射し、透過したものは音線  $R_T$  の経路をたどり、反射したものは音線  $R_R$  の経路をたどるものとする。鉛直線に対して  $R_T$  のなす角は屈折角として与えられ、反射角は鉛直線と  $R_R$  との間の角で定まって、その角度は入射角に等しい。

このとき、海面での音線  $R_I, R_R, R_T$  のエネルギー  $E$  に対して

$$E_I = E_T + E_R \quad (1)$$

である。ここでは、音のエネルギーの逸散などは考えないことにする。さらに、海面での音のエネルギーのフラックスについて考えるとき、すべての周波数  $f$  を考えにいと、

$$\int C_1 E_I df = \int C_1 E_R df + \int C_2 E_T df. \quad (2)$$

いま、ここで、便宜上、海中から海面に到達した音波は、そのまま大気中へ通りぬけるものとする。これは、ここで  $E_R$  を考えないことにするのと同じである。すなわち、

$$\int C_1 E_I df = \int C_2 E_T df. \quad (3)$$

線型の問題を考えるかぎり、ある周波数  $f$  について着目するとき、(3) は、さらに簡単に、着目した周波数  $f$  に対して

$$C_1 E_I = C_2 E_T. \quad (4)$$

一方、音波の海中でのエネルギーが空気中におきかわったとすれば、どの程度であろうか。音波のエネルギーが音波の振幅  $A$  の平方に比例するとして、

$$E_I = E_T; \rho_1 A_1^2 = \rho_2 A^2 \quad (5)$$

あるいは、(5) より

$$\frac{A_T}{A_I} = \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)^{1/2} = \left( \frac{1.03}{0.00129} \right)^{1/2} \approx 28.3. \quad (6)$$

すなわち、振幅は空中で海中の約28倍となる。

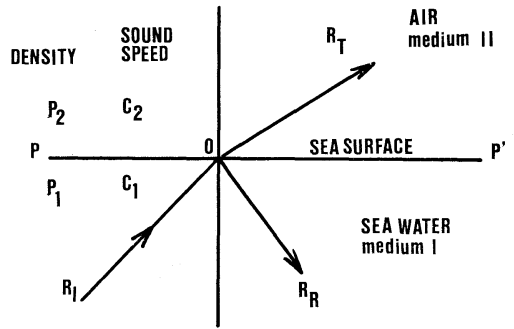


Fig. 3. Acoustic transmission and reflection at a plane sea surface. Assume that the media I and II respectively for sea water and air are separated by a line  $P-P'$  as a sea surface. Density and sound speed are denoted as  $\rho$  and  $C$ , respectively. Suffices 1 and 2 are to notify the properties of the media I and II, respectively. Incident ray is notified as  $R_I$ , transmitted ray as  $R_T$ , and reflected ray as  $R_R$ .

このとき、海中音波のエネルギー・フラックスは、海面を通過して、そのまま空中音波のエネルギー・フラックスとなるとみてよいであろうか。ここで (5) をもとにして、

$$\frac{C_2 E_T}{C_1 E_I} = \frac{C_2}{C_1} \cdot \frac{\rho_1 A_1^2}{\rho_2 A^2} = \frac{330}{1500} \times \frac{1.03}{0.00129} \times \left( \frac{1}{28.3} \right)^2 = 0.22 \quad (7)$$

ということになる。ただし、

$$C_1 = 1500 \text{ m/s}, C_2 = 330 \text{ m/s}$$

とした。したがって、海面から空中へ伝えられる音波のエネルギー・フラックスは海中の音波のエネルギー・フラックスの約0.22倍である。これは、 $E_R$  を考えないことにして (4) を正しいとする立場からは説明できない。上に得た (7) の結果からみて、海中音波のエネルギー・フラックスの約78%は海面で反射され  $E_R$  となると解釈するのが物理的に妥当のようである。

ここで、海底地表の震央を音源として、音のエネルギーが  $10^{10}$  erg であったとすれば、その22%を与えたとして、音源から海面を通して大気中に伝えられる音波のエネルギーは単位時間あたり  $22 \times 10^8$  erg である。一般に、海底地震の放出するエネルギーは  $10^{20}$ - $10^{23}$  erg と考えられるので、これに比較すれば、音源の音波のエネルギーでさえも、地震の放出するエネルギーの  $10^{-11}$ - $10^{-14}$  倍の程度である。

以上に検討した以外に、現在のところ、海底地震時に

放出される地震エネルギー全体からみて、その何パーセントが音波のエネルギーにおきかわるかはっきりしていない。ちなみに、海中音などの船上計測や海洋トモグラフィの例では、毎秒単位面積を伝わる方向のエネルギーは  $10^7$  erg 程度である(中村, 1987)。この場合、音の強さを watt 単位で換算した。

なお、少し条件は異なるが、無限に広い媒質内を伝播する平面波における音圧と粒子速度との比、すなわち、音響インピーダンスを考える。この音響インピーダンスは密度  $\rho$  と音速  $C$  との積に等しい(たとえば、東京天文台編の理科年表)。平面で相接する2つの媒質の境界面に垂直に入射する波の反射波  $R$  および透過率は次式で与えられる。すなわち、

$$R = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2), \quad T = 1 - R. \quad (8)$$

ここで、境界面を海面とし、 $I_1$  および  $I_2$  は海水および空気に対する音響インピーダンスとする。ここで、便宜上次のような値をとる。

海水 (30‰, 20°C) について、

$$I_1 = 1.54 \times 10^{-5} \text{ dyne} \cdot \text{s} / \text{cm}^3,$$

$$\rho_1 = 1.021 \text{ g} / \text{cm}^3,$$

$$C_1 = 1513 \text{ m} / \text{s}.$$

空気 (0°C, 1 気圧) について、

$$I_2 = 42.86 \text{ dyne} \cdot \text{s} / \text{cm}^3,$$

$$\rho_2 = 1.2929 \text{ g} / \text{l},$$

$$C_2 = 331.45 \text{ m} / \text{s}.$$

ここで、 $I_1 \ll I_2$  ということになり、(8) は近似的に

$$R = 0.999985, \quad T = 0.000015.$$

したがって、海面付近の音波に関するかぎりほとんど完全反射に近く、光に対する鏡面のようなものと考えられる。この場合、海中の音波のエネルギー  $10^{10}$  erg が海面を通過して、大気中に伝わった音波のエネルギーは  $1.5 \times 10^5$  erg 程度である。

参考までに、次のことを書き加えておきたい (NAKAMURA 1988)。耳が痛くなる限界の音の強さ (120 phon) を音圧レベル 120 dB (デシベル) とよみかえることにする (cf. 東京天文台編の理科年表)。このとき、音圧レベルと音圧  $P$  との関係は

$$120 \text{ (dB)} = 20 \log_{10} (P/P_0)$$

であり、ここに、

$$P_0 = 0.0002 \mu\text{b} \text{ (マイクロバル)}.$$

ただし、 $1 \mu\text{b} = 1 \text{ dyne} / \text{cm}^2$  である。したがって、音圧  $P$  の値は、

$$P = 0.0002 \times 10^6 \text{ (dyne} / \text{cm}^2).$$

ここで、エネルギーの量は仕事をもってはかることから、上の  $P$  の力が作用して作用点が単位距離 1 cm 動いたときの仕事は  $200 \text{ dyne} \cdot \text{cm} = 200 \text{ erg}$  である。このようにみえてみると、計算上、この 200 erg は、さきに海底の音波から海面を通過して大気中に伝えられる単位時間あたりの音波のエネルギー  $22 \times 10^8 \text{ erg}$  に比較して、はるかに小さい。このような音波は人の聴覚にどのような感じを与えるのであろうか。ただ、この場合、海中音波の透過や反射について、問題を線型として考えることができるという前提に立脚して検討したことに注意しておく必要がある。

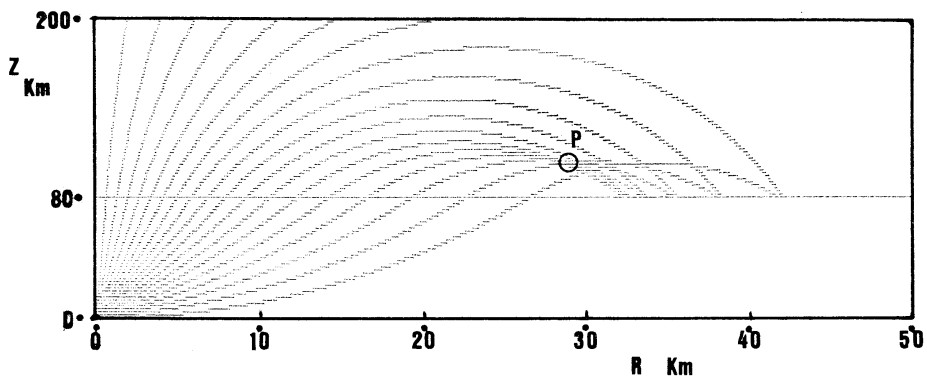


Fig. 4. Acoustic rays in the earth's atmosphere radiated out of a source on the sea surface which is assumed to be located just above a fault line including an epicenter of an earthquake. Sound speed is 330 m/s on the earth's surface ( $z=0$  km). It is 270 m/s at the height of 80 km above the earth's surface. It is 562.6 m/s at the height of 200 km above the earth's surface. Circle (P) indicates the place where acoustic rays concentrated well to form an acoustic caustic in the atmosphere.



## 5. 大気中の異常音

ここで、海面から大気中へ出た音の伝わり方について考えなくてはならない。前節と関連づけ、海底の音源から海面を通して大気中へ伝わる音を検討すべきであるが、ここでは、海面の1点から大気中に音がどのように伝わるかという問題として、以下において検討する。さきにみた Fig. 2A からみて、震央の直上の海面に達した音が、その後、大気中でどのように伝わるかを考えるとしてもよい。

このような大気中の音波の伝わり方は、大気の物理的特性に左右される。そのひとつは、さきに Fig. 1 にみた大気中の温度の鉛直分布を考慮すべき問題である。また、別に、鉛直混合のよく発達している接地気層内を伝わる音波の問題である。

### 5.1. 上層大気中の異常音

まず、さきに Fig. 1 に示したように大気中の温度の鉛直分布をもとにして、大気中の音波の伝わり方を検討する。すでに 2.2 で述べたように地表上 200 km までの範囲について考える。震央の直上  $z=0$  km の海面を地表上とした場合の計算結果は Fig. 4 に示す。この計算にあたって、海面の波源において、角  $0^\circ$  (鉛直上方) から角  $90^\circ$  (水平方向) までの範囲で、 $5^\circ$ ごとに音線のパターンをもとめた。

この Fig. 4 をみると、海面上約 100 km、海面の波源から水平距離約 30 km の位置に音線の集中がみられ、ひとつの caustic の形成と認められる。この caustic は、空間的にみると Fig. 4 の中の小円中心付近に集中している。

この caustic 形成に寄与している音線は、Fig. 4 を見ればわかるように、音源から角  $60^\circ$ – $85^\circ$  で放射されたものである。この caustic の状態は、ほとんど焦点 (focus) に対応するものとみなすことのできる程度の集中度を示しており、そこで音波の位相が一致すれば、そこでの音の強さは、海面の音源での音の強さに比較して  $(85-60)/90=25/90 \div 0.28$  倍程度ということになる。

実際には、音源から caustic までの間での音波のエネルギー逸散や吸収などによる音の強さの減衰がみられるものと考えられるので、上に得られた 0.28 倍という倍率より小さい値を考えるのが現実的にみて妥当であろう。

計算結果からみると、Fig. 4 で、海面の音源から caustic まで音波が伝わるに要する時間は約 15 分とみられる。この caustic では、よく知られているように、衝撃音が形成されることになる。この衝撃音は、約 5 分で地表に到達する。そして、地上にあって、人々は、これを

空中における何かの爆発音あるいは遠雷として感知することになるものと考えられる。

すでに、中村 (1986b) が海中音の減衰について述べたところを考えると、空中の衝撃音にもいろいろの周波数の成分があるとみられ、その音が周囲に伝わるとともに高周波成分の減衰は顕著となり、感知される音は主として低周波帯を主成分とするものとなるにちがいない。これは、遠距離の位置で衝撃音をとらえた場合、その音質を、大砲の音あるいは遠雷と表現される場合があっても不思議ではない。したがって、日本列島太平洋沿岸の歴史津波のなかには (中村, 1986a), 上述のようにしてとらえられた現象が、地震後で津波来襲前に沖合あるいは空中で大砲の音または雷のような音が聞こえたこととつじつまがあう。

### 5.2. 接地気層内を伝わる異常音

地表から約 10 m 程度までの大気層は、鉛直混合がよく行なわれ、均質で一様とみなすことができるとされており、気象力学的には“接地気層” (たとえば、小倉, 1980) として取扱われている。

この場合、地球の半径を 6,400 km とみなせば、沿岸の海面上 10 m の高さにいる観測者は、地球表面の曲率を考えにいたとしても、およそ  $8 \times 10^4$  m (=80 km) 以下の水平距離の範囲では、震央直上海面からまっすぐ接地気層内を伝わってきた音をとらえることができる。音源での音が衝撃波的なものであれば、観測者はその音が大砲のような音あるいは遠雷として聞くこともあるであろう。

## 6. 結 言

本文では、単純化した音速鉛直分布を海中および大気中について考え、震央 (震央を含む断層) を音源とした場合、音源からの音は海面上では震央直上が最も強いことを示した。さらに、震央直上の海面から大気中へ伝わるまでに、海面を通過する音波について物理的検討を加えた。震央直上の海面から大気中へ伝わる例として、地表上約 100 km の上空に音源を形成する可能性を示し、また、震央から約 80 km 以内の観測者が地表上 10 m 以下の接地気層内にいる場合も震央直上の海面からの音を直接とらえることも指摘した。

## 文 献

- CLAY, C.S. and H. MEDWIN (1977): *Acoustic Oceanography*. Wiley-Intersci. Pub., N.Y. 544 pp.  
 KATO, S. (1980): *Dynamics of the Upper Atmosphere*. Center for Academic Pub., Japan, Tokyo.

233 pp.

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

中村重久 (1986b): 能代沖の海洋音速場と1983年日本  
海中部地震津波. La mer, **24**, 166-192.

中村重久 (1986c): 海中音の減衰について. La mer,  
**24**, 198-201.

中村重久 (1987): 古典的海洋観測からみた海洋トモグ  
ラフィについて. La mer, **25**, 8-89.

NAKAMURA, S. (1988): Possible subsurface source  
of an acoustic tsunami precursor. J. Oceanogr.  
Soc. Japan, **43**, 228-236.

中村重久 (1988): 1977スンバワ地震時の津波前駆音の  
音源推定モデル. 東南アジア研究, **26**(3), 74-85.

小倉義光 (1980): 気象力学入門. 東大出版会. 278 pp.

Pusat Meteorologi dan Geofisica (1977): Laporan  
gempa bumi Sumbawa tanggal 19 Agustus 1977.  
Departemen Perhubungan, Jakarta. 19 pp.

## 資 料

### フランス海洋情報 (7)

#### Informations océanographiques de France N° 7

##### I. 一般 Informations generales

###### 1. フランスの南極観測 (La recherche océanographique française en Antarctique)

フランスの、南極での海洋学研究を支えているのは、TAAF (仏領南極行政府) で、常設基地 (Adélie, Kerguelen, Crozet, Amsterdam) および、補給船でもあり調査船でもある "Marion Dufresne" 号上の研究者チームに、生活、技術、財政にわたる援助を行っている。行政内での直接の担当部門はパリの調査部 (mission de recherche) で、これは、文部省学術局 (ministère de la recherche), CNRS, IFREMER, ORSTOM など、本国の大きな機関の代表者で構成された審議会に補佐されている。その仕事は海洋学の全領域に及んでいるが、生物分野の研究について言えば、海洋資源の性質と量の把握に重点が置かれている。例えば、Kerguelen 島で行われていたサケの順化研究は、養殖場の開設へと発展をとげた。海洋物理・気象の分野においても、水圏のダイナミズム (ソマリー諸島におけるモンスーンと竜巻の研究)、CO<sub>2</sub> の循環等に関わる多くの研究が進行中である。

照会先 Territoire des TAAF,  
Mission Recherche  
34, rue des Renaudes,  
75017-Paris

###### 2. 沿岸湖岸保護局の役割 (Rôle du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres)

同局は、この程、北フィニステール (ブルターニュ北部) の砂丘 110 ha を取得した。沿岸域の保護を役目とする保護局は、発足以来12年間で、230の景観 (3万 ha) と、フランスの沿岸の全長 5,500 km のうち 380 km を取得したことになる。1987年の総予算額は、7,600万フランで、うち 1,500万フランは景観の復元事業に当てられる。財源は主に政府の予算からだか、地方自治体および篤志家の寄付金で賄われている。保護局が購入した土地は、建築も転売も禁止されており、そのままの形状で次代へ引き継がれる。

###### 3. ヨーロッパ沿岸研究センター (Un Centre Européen de Recherche et de Formation Océanique, Cerfo)

マルセーユに近いフォス湾 (Fos) は、海と産業のあらゆる面での安全性の向上を発足理念とするこの施設を、1988年中に受け入れる。ここでは、そのための方法と材料についての研究、安全性基準に照らした許認可テスト、ハイテク化するこの分野の技術者養成のための常時の資格検定が行われよう。陸上の施設としては、1,000 m<sup>2</sup> の室内実験水槽、汚染状態を再現するための隔離水槽および講義実習棟がある。さし当って約1億フランの投資がなされよう。

###### 4. エロス 2,000: 海洋汚染の測定と防除のためのプログラム (Eros 2,000: un programme d'évaluation et de lutte contre la pollution des mers)

今世紀末を目標とした、European River Ocean System なる研究課題に名称が由来するこの計画が、1987年7月18日、モナコで公式にスタートした。EC 12カ国のおよそ32の海洋研究機関が、EC の委員会の支援を受けて参加し、毎年約1,400万フランの予算が当てられるはずである。第1回目はオランダの海洋観測船 Tyro 号の地中海調査で、オランダ、デンマーク、モナコ、フランスの諸研究所の科学者が乗り組む。調査が主眼とするのは、ロヌ川によるリヨン湾 (Golfe du Lyon) への排出物の量とその影響の測定を、とくにクロロフィルの形成について行う。全体に、Eros 計画は、河川からの有機物・無機物の流入による汚染の測定とともに、その過程における大気的作用をも、雨水と水面に接する空気の影響を通じて明らかにしようという研究である。

###### 5. "陸水" 計画 (Programme "Eaux continentales")

湖沼生態系の富栄養化に果すリンの役割を測定する研究計画が、現在 CNRS 内の "陸水と富栄養" グループの手で準備されつつある。湖沼の植物の繁殖と、流入するリンの循環との相関モデルの予測力を向上させ、両者の因果関係に結論を出すことを目的とする研究である。

## II. 農水産物関係 Agro-alimentaire

### 6. Jean-Gui 社ドゥアルヌネ市国際博覧会で一等賞 (Jean-Gui: Premier prix au Salon international de Douarnenez)

フィニステール県のドゥアルヌネ市で1987年6月に開催された第3回海産物博覧会においての“idées fraîches” (“漸新アイデア”コンクール)で、アンチョビの缶詰製造で知られる同社に、調理食品第1位が与えられた。消費者の嗜好の変化に対応しようと、アンチョビ缶詰の味のマイルド化に取り組んできた同社が出品した新製品は、北欧風の味つけの“Marinous”で、従来のものと違って、最初にアンチョビを塩漬けにするかわりに、強いピネガソース(香料入り)に漬けて、次に多様な調味料で味を整え、オリーブ油で包んである。

照会先: Jean-Gui

B.P. 91 Le Luc 83340

Telex: JEANGUI 970,026F

### 7. カニの真空煮沸—ベスキブロン社 (Peskiberon cuit le crabe sous vide)

美味なイチョウガニ (cancer pagrus) は、一旦水揚げされると、脆いこと、運搬が難しいことが問題点であるが、ベスキブロン社は、このカニの真空熱処理法についての特許を申請した。この若い会社(1986年5月創立)は、この技術を他の甲殻類にも応用すること意図している。

照会先: Peskiberon,

51, rue de Lille,

56170 Quiberon

### 8. コンブからのアイソトニック飲料が誕生 (La boisson isotonique aux algues est née)

1987年9月半ばに、この新製品が、“Isotonic de Britt”(100万本)、“Sea Tonic”(約50万本)の名で、市場にお目見えする。Carantec市(北ブルターニュ)のGUI-CHOU社は、とくにPleubian藻類学センターと協力して、ヨーロッパに多生しているコンブの一種 *Laminaria digitata* について試験を重ねて来たが、等張性飲料の厳しい規格をクリアーするコンブジュースの抽出に成功した。このジュースは、海水に溶かして、厳選された17の香料で味を整えてある。オランダで缶詰されるが、この小さな会社(従業員10人)は、この出荷により数カ月で前年の総売上高(65万フラン)の3倍を期待している。

### 9. 衛星軌道上での藻類培養(Développement des algues en orbite)

MATRA社との合意に沿って、中国は、海藻細胞についての微生物学的実験装置を乗せた観測衛星を、1987年8月5日に打ち上げた。これらの実験が目的とするのは、宇宙飛行士達の自給自足が可能な宇宙船用に、“タンパク質製造工場”への手掛りとなることである。実験のひとつは、ふたつのタイプの単細胞藻類を使って、無重力状態での生育の様子を調べる。一方はCO<sub>2</sub>の生産を受けもち、他方(藍藻)は、発生するCO<sub>2</sub>の除去にあたる。後者は、宇宙船内の空気の浄化のみならず、生育速度の速さ(24時間で2倍)とタンパク質の高含有度(乾燥重量の70%)によって、飛行士たちの食料となりうるものである。第2段階実験もすでに予定されており、300kgの実験装置が打ち上げられる。

### 10. 夏季にも“やせた”カキを (Huitres maigres en été)

フランス人は、一般に、“太った”，つまり脂肪分の多いカキを敬遠するので、カキの消費は冬が主である。このことは、生産者の側からすると、“r”のない月(4カ月)の出荷は殆んどゼロということである。これを改善しようと、かつて孵化場で親の性成熟に使われていた温度ショック法を適用して、“やせた”カキにしようと考えている養殖家がある。カキを、過酸化水素を加えた22~26°Cの海水に約3時間沈めたあと、数日ストックしておいてから出荷する。

### 11. 西ヨーロッパ水産物技術者協会 (L'Association des Technologistes Ouest-Européens des Produits de la Pêche)

1970年に発足したこの学会は、WEFTA (West European Fish Technologists Association) の略名で呼ばれているが、その主な目的は、各参加国の研究成果を分かち合うことにある。現在、会員は、ベルギー、デンマーク、フィンランド、フランス、西ドイツ、アイルランド、イタリア、ノルウェー、ポルトガル、スペイン、スエーデン、オランダ、イギリス、フェロー諸島、それにFAOからも加わっている。毎年、テーマを選んで、総会が開催されており、1986年フィンランドでの会のテーマをあげると、

- 冷凍食品 (一般食品, すり身)
- 生鮮保蔵 (船上での取扱い等)
- 食品変換 (オートメ化, 分離)
- 組織 (カマボコと魚肉)

などである。

平行して共同研究も様々行われており、特に品質評価の分析法に関係するものが多いが、これはECあるいは

CODEZ (薬局方) の規準統一化に役立てられよう。研究をいくつかあげると、次のようなものがある。

- ・組織 (感官と器具による方法)
- ・全揮発性塩基窒素
- ・油脂の定量
- ・骨の探知
- ・冷凍調理食品の魚の正味重量
- ・混合ヒレ肉中の髓の濃度
- ・冷凍度
- ・添加水分の濃度
- ・全窒素
- ・ホルムアルデヒドの濃度

このうちのいくつかは、AOAC のジャーナルに掲載されるはずである。尚、この研究グループの長は、オランダ代表がとめている。

照会先 IFREMER  
Département Utilisation et Valorisation  
des Produits de la Mer  
Rue de l'Île d'Yeu  
B.P. 1049 44037 Nantes Cedex

### III. 漁業と養殖 Pêches et aquaculture

#### 12. IFREMER 軟体動物病理学遺伝学研究所が発足 (Inauguration d'un nouveau laboratoire IFREMER de pathologie et génétique des mollusques)

H. GRIZEL 氏を所長とするこの研究所が、1987年5月正式に発足した。軟体動物の病理と遺伝学的な研究に携わるが、具体的には、H. GRIZEL 氏によると「免疫病理学的研究を通じて、軟体動物の病気の予防と、適正な診断方法を提示する一方で、病気に対して抵抗力の強い株や新種を発見開発する」ことである。カキについては、*Crassostrea gigas*, *C. angulata*, *C. angazi*, *C. virginica*, *Ostrea edulis* が対象となる。事実、フランスのカキ業界は、ここ20年、重大な困難を経験している。

1966~1973年: ポルトガル・カキ *Crassostrea angulata* は、天然のものも養殖のものも、鯉の病気とそれに続くウイルス性の病気によって全滅。しかし、同種の日本カキが、これらの病気に抵抗力があり、フランスの海によく適応したので、これを補った。

1969~現在: *Marteilia* と、ついで *Bonamia* の出現。今も猛威を振っているこの二つの病気は、ヨーロッパガキ (*Ostrea edulis*) の大幅な減産をひき起した (60年代には2万tだったが、現在は、1,000t)。1974年以後の損害額は、ブルターニュだけでも250億フランと見積ら

れる。

#### 13. カキの寄生虫の検診に“エリザ”法 (Dépistage des parasites de l'huitre: le teste "Elisa")

H. GRIZEL 氏の引きいる IFREMER の研究班と SANOFI 社の共同研究のお蔭で、ヨーロッパガキへの *Marteilia* と *Bonamia* の寄生度の迅速な診断法が開発され、1987年末にはテスト装置がセットで発売になろう。

照会先 IFREMER, Ronces-les-Bains  
Rue des Erables  
Ronces-les-Bains

#### 14. 汚染のバイオ探知体: マス (Un biodétecteur de pollution: la truite)

INRA (国立農業研究所) が、Saint-Pée-sur-Nivelle (ピレネー・アトランティック県)で行っていた試験を踏まえて、汚染物質へのマスの感受性を利用した汚染化学物質の探知装置が開発、商品化される。マスは、汚染物質を探知するのみならず、個別的には無害な複数の汚染物質の集積に対しても反応する。従来の装置では、この探知は不可能であった。“Truïtotest”と命名されたこの装置は、直径50cmの筒型をしており、中にマスの未成魚 (体長8~14cm)を泳がせる。泳いでいるマスは、流れに向かって水表面にとどまっているが、汚染があれば疲労し、死んでしまう。沈んだ魚体が排水口を塞ぐと警報器が作動する。

照会先 Herrman MORITZ  
Chassant 28480-Thiron-Gardais

#### 15. 西太平洋熱帯域でのイセエビ類とクモガニ類の飼育 (Elevage de langoustes et d'araignées de mer dans l'Atlantique ouest tropical)

二つの別個の研究が、マルチニックでのイセエビ、グアドループでのクモガニ2種類の養殖の可能性を証明した。イセエビ *Panilirus argus* は、海藻をふんだんに入れた罫で捕獲した後期幼生を、やはり海藻を入れてある水槽で飼育する (密度80~90/m<sup>2</sup>)。成長は、魚や貝の新鮮な肉によると最も速い。飼育開始時に平均で頭胸甲長6.5mm、体重170mgのものが、1カ月半でそれぞれ11mm、1.5gになる。次に、イセエビは籠に移され、魚と、そこで繁殖する付着生物によって成長を続ける。捕獲後7カ月半で、このイセエビは、頭胸甲長42.1mm、体重70.7g (平均) になった。グアドループでのクモガニ *Mithrax shinosissimus* の飼育試験は、増殖の管理、孵化場での幼生の育成、海での生育、圃場での海藻生産について行われており、その結果、約500日で、オスでは殻幅17cm (重さにして約2.5kg)のものを生産可能

である。

**16. ギアナにおけるブラウン・シュリンプの加入量**  
(Recrutement de la crevette *Penaeus subtilis* en Guyane)

補充資源量の決定に関する国家的プログラム (PNDR—フランス海洋情報 N° 6 参照) の枠内で、クルマエビ科のこのエビのギアナにおける加入量についての ORSTOM, IFREMER 共同の研究が開始された。事実、仏領ギアナ経済にとってエビ漁は第一の柱であり (年産 4,000 t, 約 3 億フラン)、この漁の許容量を正しく把握し、起りうる資源変動の予測能力を得ることは肝腎なことである。この種の生物サイクルおよびサイクルの段階別に、自然要因が及ぼす影響について研究が行われることになる。

照会先 F. LHOMME

Centre ORSTOM

B.P. 165

97323 Cayenne Cedex

Guyane

**17. アンティフェール岬でサケ牧場 (Cap d'Antifer: une ferme aquacole de saumons)**

ルアーブルのアンティフェール地区は、その巨大な人工防波堤をもってして、石油タンカーの基地として当初構想されたのだが、利用の不足から、養殖場に転換しつつある。このほど、ノルウェーから運ばれた 47,000 匹 (各 120 g) のサケの稚魚を 6 基の浮きいけす (15 m × 15 m × 9 m (深さ)) に放流することで、プロジェクトの第一を具体化した。係留システムと自在な移動装置によって、いけすは、ここの 8 m の潮位差に耐えうる。1988 年の生産目標は、120~150 t である。放任食餌システムが、浪費防止とサケの行動監視装置を持つコンピュータの管理下で、近々、実施されるはずである。この始動をうけて、1989 年予算 (3,000 万フラン) は、稚魚池 1 基、蓄養施設、食品変換ユニットを予定している。この事業の指揮に当たっているノルウェーの F. BANK 社は、1989 年末には、1,000 t の生産を見込んでいる。

**18. ケロマン港は還暦 (Kéroman, le port de pêche de Lorient, a 60 ans)**

ロリアン (Lorient) にある 1927 年に開港したこの漁港は 60 才になった。今では、生産高においてフランスでは第 1, ヨーロッパでも 3 番目の港である。1986 年の生産は 69,444 t に上り、主にタラ科の魚が水揚げされている。漁船団は、大型トロール船 22 隻、同中型 (33 m) 28 隻、沿岸自営船 150 隻からなり、1,500 人が従事してい

る。1 億 2,500 万フランをかけての 3 年計画 (1988~90) によって、港の施設の近代化と競争力の向上がなされつつある。

**IV. 海洋技術 Technologies océaniques**

**19. 遭難信号ブイ SARSAT-COSPAS の塔載義務を全ての船に課す? (La balise de détresse SARSAT-COSPAS va-t-elle devenir obligatoire pour tous les navires?)**

IESM 社は、この程ロリアン港沖の大西洋上で、SARSAT-COSPAS の有効性のテストを成功裏に終了した。この SARSAT-COSPAS システムはすでに 1979 年に出現したもので、フランスとカナダが製作した装備を乗せているソビエトとアメリカの衛星 (各 2 体) にコールを送る。ロリアン市の IESM 社によって考案製作された 406 MHz のシステムには 2 タイプあって、“救命”タイプと呼ばれる Kannad 406/A の方は特に 12 m 以下の漁船用であり、同 406/B の方は、それ以上の漁船または商船向けである。ブイは、それぞれが船のコールサインに合せてコード化されている。1 時以内に、1 km 以下の誤差で、どの船が危険か、難破船はどこに位置しているかを知ることが可能である。フランスでは、1986 年以後建造の 500 t 以上の商船に、この装備が義務づけられており、それ以前の同大の船も 1991 年までには装備を完了しなければならないことになっているが、漁船については海洋庁 (Secrétariat d'Etat à la Mer) と海洋漁業中央協議会 (Comité Central des pêches maritimes) の間で折衝が行われている。

照会先 S. E. R. P. E.

Zone industrielle Hirgoat

56 Guidel

**20. 海水から飲料水をつくる (Faire de l'eau potable en mer)**

“Seagold” と命名されて、海水から 10 分間で 1 リットルの真水を作ることのできる手動式のポンプが、Val 社によって開発された。このポンプは、浸透圧の原理と逆に機能し、超高性能のフィルター部分が、塩分 98.5%、砒素 97.5%、ウラニウム 98% 以上を除去する。化学汚染物質とバクテリアについても同様である。1 時間働かせると、60 l の海水から高純度の真水 10 l が得られるというわけである。このポンプは 70 kg/cm<sup>2</sup> の圧力を発揮できるが、重量はわずか 6 kg、縦 76 cm、横 10 cm、高さ 15 cm とコンパクト、吸入丈は 3 m ある。扱いやすさからして、理想的な救命装備のひとつである。

照会先 VAL, M. de Bona  
41, rue Ybry  
92522 Neuilly sur Seine Cedex  
Telex: ISO-BUR 630842 VAL

**21. 衛星探査計画 '88 (Programme "Téledétection spatiale 1988")**

IFREMER, ORSTOM, INRA (国立農学研究所)も参加し、他の主要な国立の研究機関及び政府共同のこのプログラムの1988年予算は、約550万フラン、期間は約2年を予定している。プログラムの目標は、陸、大洋、環境科学、人間科学の分野において、衛星探査がもたらすデータを解析し処理する能力のある研究所の基礎的かつ具体的な研究を強化することにある。次の2部門に分れ、それぞれ特別の専門委員会によって運営される。

- 1) 宇宙海洋学と宇宙地球力学
- 2) 資源の動態学的研究: 陸地環境の潜在力と利用

1)の海洋学の分野では、大洋のダイナミクスと外洋エコシステムのしくみの理解を深めることが主な目標で、採択されたテーマは、海洋の特性・構造・運動の研究、また、これらが、気象、地球化学的サイクル、物質の循環、生物生産に及ぼす影響の研究である。大洋—大気界面の研究に含まれるのは、特に、界面における放射収支の波長別測定、顕在・潜在熱乱流の推定、大気の構造とそれに関連する海面の張力である。地球力学の分野での研究題目としては、重力/ジオイド、海底構造、海洋岩石圏のひずみ、活動性地殻の構造、地殻物理、地理的危険地域の作図である。2)のうちで海洋環境資源研究にあっては、沿岸のダイナミクス(浸食作用、沖積、堆積、植物群系(formation)の特質、バイオトープ地図の作成、生物・鉱物資源調査などがテーマとなっている。

**22. 海中映像の処理 (Traitement d'images sous-marines)**

GRENAT Logiciel社は、IFREMERの"PRISME"(水中映像解析調査)計画の一環として、「フィッシュ」(海洋計測器搭載器の通称)操作ソフトを作成した。このソフトは、ブラウン管画面に次のようなディスプレイが可能である。

・「フィッシュ」操作線上の障害物の存在を予見するのに役立つ、この器具の前後約100mまでの海底地形を図形表示できる。

・装置について、ケーブル負荷張力、撮影能力、水温、水密性、放出ケーブル長などのパラメータをブラウン管上で上下に図形表示できる。

また、GRENAT社は、石油・天然ガス層の遠隔探査

装置用ソフトを、これもIFREMERの映像処理システム"IMAG"に設置している。1984年ブレストに設立された同社は、ラニオンのGRENAT Informatique(1979年設立)の系列会社である。

照会先 GRENAT Logiciel  
9, avenue Baron Lacrosse  
29-Gouesnou (Brest)

**23. ダイバーのための補助呼吸システム (Un système à respiration assistée pour les plongeurs)**

LAMA社は、LBS(Look-out Breathing System)と呼ばれる一連の潜水具の開発研究を進めている。この半閉鎖式でエレクトロニクスによって調節される装置は、水深450mまでのダイバーの船外活動向けに作られたものであるが、水面から50mまでの潜水(港湾工事など)にも十分役立つ。器種によって10~15kgの重量差があるが、すべて0.2lの純粋酸素の小ビンひとつで水深に関係なく20分間の活動が可能である。高酸素症の危険も皆無である。器種としては、LBS 01(空気室を備えたLook-outタイプの潜水艇用)、LBS 02(同用であるが、酸素分圧利用による)、LBS 03(工事用、閉鎖回路式)があり、水深500mまで使用可能な呼吸時の補助器具としてLARAが開発されている。

**V. 学会その他 Colloques, livres...**

**24. ORIA '87: "人工知能と海" (ORIA 87: "Artificial Intelligence and Sea")**

"人工知能と海"をテーマとしたシンポジウムがマルセーユで開催された(1987年6月18~19日)。海に関係するすべての分野(石油、造船、港、漁業、養殖、レジャー)において、人工知能とエキスパートシステムが今日果している役割を明らかにすべく、18の発表が、フランス、イギリス、ノルウェー、アメリカの研究者によってなされた。講演集の入手についての問合せは下記宛に。

IIRIAM, Institut international de Robotique et d'intelligence artificielle de Marseille  
2, rue Henri-Barbusse  
13241 Marseille Cedex I

**25. 海洋開発のための第5回日仏合同委員会 (V<sup>e</sup> Réunion du Comité Mixte franco-japonais pour le Développement des Océans-24-25 juin 1987)**

この合同委員会は、いくつかの分野を選んで、すでになされたあるいは進行中の日仏の交流と協力について総括を行うとともに、将来の共同の軸を定めることを役割としている。取り上げられたテーマは次の通りである。

- 1 海と淡水の生物の病理学
- 2 両国共通種の水産養殖
- 3 軟体動物の培養
- 4 赤 潮
- 5 漁業工学
- 6 データ交換
- 7 KAIKO 計画 (KAIKO II)
- 8 深海の地質学と鉱物資源
- 9 太平洋海嶺計画

これらに加えて、情報交換の対象とされた5つのテーマは、外洋の構造、測定工学、外洋のエネルギー、深海潜水、沿岸改良、である。

この会合の席で、北フィジー海盆の海溝の共同探査に関する大計画について、IFREMERと日本の科学技術庁 (AST) の間で合意が成立した。この企画は“STAR-MER”と命名されて、JAMSTEC (日本の海洋科学技術センター) の双胴調査船“KAIKO”を使っての第1回調査が、1987年11月に行われる予定である。1989年の初めには、“Nautile”号とその支援船“Nadir”号が現地に着え、選定ずみの場所で20回以上の潜水(-4000 m以下)を行うはずである。この調査に、フランス側からは、IFREMER, INRA, INSU (CNRS内), ORSTOMと大学の代表が加わる。団長は、L. LAUBIER氏 (IFREMER, 66, avenue d'Iéna' 75116 PARIS)。日本

側の代表団は、M. CHIJIYA氏 (科技庁) を団長とし、Y. SHIMAZAKI氏 (通産省), H. HOTTA氏 (科技庁), H. KANNO氏 (水産庁), T. ISHINO氏 (文部省) が加わる。詳細についての問合せは下記まで。

L. LAUBIER

(IFREMER, 66, av. d'Iéna, 75116 Paris)

または Y. HENOQUE

(SFJO, Institut Océanographique

195, rue St. Jacques, 75005 Paris)

26. “French Technology Survey” 誌の創刊 (Un nouveau journal promotionnel; French Technology Survey)

この月刊誌は、フランスの諸企業の潜在力を外国産業界に紹介することを目的とするもので、英語で執筆されている。また、供給者と需用者の間の便宜を計るための読者サービスが付されている。

照会先 ADITECH/FTS

96, Boulevard Auguste Blanqui

75013 Paris

(文責 嶋野敏夫)

[後記] フランス速報 Flash-France N°s 10-12 (1987年6月30日付, 7月30日付および8月31日付) から主要項目を翻訳 (一部抄訳を含む) した。



日仏海洋学会賞受賞記念講演

## 海底堆積物中の粘土鉱物組成及び 鉱物化学的性質に関する研究\*

青 木 三 郎\*\*

### Les compositions et les propriétés chimiques des minéraux argileux dans les sédiments marins\*

Saburo AOKI\*\*

このたびは思いがけなく誉ある学会賞をいただく光栄に浴し身にあまることと受けとめております。

私の海底堆積物中の粘土鉱物の研究は、1969年東京教育大学の須藤俊男教授の大学院生として許可された時からスタートしました。須藤教授は“研究室の先輩に東洋大学の生沼さんがおられ、海底堆積物中の粘土鉱物組成の研究を世界に先がけて実施されたが、生沼さんを超える研究をしてもらいたい”と激励してくれました。そして最初に与えられた研究課題は、日本周辺海底堆積物中の粘土鉱物の分布図を作成することでした。1968、1969年には米、ソの研究グループが地球的規模の分布図を作成し、これからはじめようとしていた時だけにショックをうけました。しかしいっぽう彼等の分布図には、日本周辺から東アジアにかけての縁辺海がブランクになっていましたので研究の励みにもなりました。この分布図の作成には、堆積物試料の入手の困難もあり、東シナ海からはじめて日本海<sup>1)</sup>、南シナ海、ホークック海<sup>2)</sup>のデータを論文としてまとめるには1978年までの歳月を要しました。さらに新しいデータを加えて東アジア大陸縁辺海の分布図が論文として公表できたのは1988年です<sup>3)</sup>。

大学院時代に手掛った仕事には分布図の作成の他に、深海堆積物中の Fe スメクタイトの鉱物化学的研究があります。海底堆積物中には一般に数種類の粘土鉱物が混在しており、単独種で占められることは非常にまれであり

ます。幸い私は南北太平洋深海柱状堆積物にそれを発見することができました。1974、1978年にはその成果を Deep-Sea Res. に発表しましたが<sup>2,4)</sup>、Bischoff が紅海堆積物から発見したノントロナイトと共にこの種の研究論文によく引用されるようになりました。

1980年代に入りますと堆積物中のミクロンオーダーの微細鉱物の研究に、エネルギー分散型X線発生装置(EDX)が使用されるようになり、それまで不可能とされていたそれらの同定や定量が可能になりました。筆者らもわが国ではじめて堆積物中の微細鉱物の研究に分析電顕(ATEM)を使用し成果をあげております<sup>6,7)</sup>。例えば、日本海青森県沖深海底で発見された黄かっ色物質の鉱物学的研究で Fe-P 系鉱物を発見し、その成因について論じました。現在、DSDP、ODP のボーリング試料を研究対象にしていますが、それらの結果が海底堆積鉱物学の発展にいささかでも寄与できればと思っています。

海底堆積物中の微細鉱物の研究に着手して20年近くになりますが、これも今なお現役で活躍されておられます須藤先生の変わらぬご指導によるものと深く感謝しております。また研究をすすめるうえで大変多くの先生方、先輩、友人の激励・援助がありました。この場をお借りして御礼を申し上げます。

#### 文 献

- 1) The distribution of clay minerals in the recent sediments of the Japan Sea. Deep-Sea Res., **21**, 299-310 (1974). (with OINUMA, K. and SUDO, T.)
- 2) An iron-rich montmorillonite in a sediment core from the northeastern Pacific. *ibid.*, **21**, 865-875 (1978). (with KOHYAMA, N. and SUDO, T.)
- 3) The distribution of clay minerals in recent sedi-

\* 1988年6月5日日仏会館(東京)で講演  
Conférence à la remise du Prix de la Société  
franco-japonaise d'océanographie

\*\* 東洋大学自然科学研究室  
Natural Science Laboratory, Toyo University

- ments of the Okhotsk Sea. *Deep-Sea Res.*, **25**, 659-667 (1978). (with OINUMA, K.)
- 4) Mineralogical and chemical properties of smectites in a sediment core from the southeastern Pacific. *ibid.*, **26**, 893-902 (1979). (with KOHYAMA, N. and SUDO, T.)
  - 5) The distribution of clay minerals in surface sediments of the Okhotsk Sea to the South China Sea along the Asiatic Continent. *Clay Sci.*, **7**(2), 73-82 (1988). (with K. OINUMA).
  - 6) 青森県沖海底で発見された黄褐色物質の鉱物学的検討。地質学雑誌, **92**, 243-245 (1986) (神山宣彦・田中武男・堀田宏と共著)
  - 7) 海底堆積物中の粘土鉱物—分析電顕による研究その1—。粘土科学, **28**(2), 1-10 (1988) (神山宣彦と共著)

## 学 会 記 事

1. 昭和63年6月8日東京水産大学において、昭和63年度第1回幹事会が開かれた。主要な議事は下記のとおり。

- 1) 昭和63, 64年度会長選挙開票結果について
- 2) 昭和63年度科学研究費補助金「研究成果公開促進費」の審査結果について (不採択)
- 3) 日本学術会議第14期会員の推薦について  
 6月1日の推薦人会議で、第6部水産学からは、平野禮次郎、丸茂隆三(本学会選定候補者)両氏が推薦された。
- 4) 第2回日仏海洋シンポジウムの準備状況(日程、経費等)について

2. 昭和63年6月8日東京水産大学において、昭和63年度評議員会が開かれた。主要な議事は下記のとおり。

- 1) 昭和62年度事業報告(庶務, 編集その他)
- 2) 昭和63, 64年度評議員, 会長選挙開票結果
- 3) 昭和63, 64年度役員(副会長, 幹事, 監事)の選出
- 4) 昭和63年度学会賞受賞候補者選考経過報告
- 5) 昭和62年度収支決算案審議
- 6) 昭和63年度事業計画案審議
- 7) 昭和63年度収支予算案審議
- 8) 昭和64年度学会賞受賞候補者推薦委員会委員選出
- 9) 日本学術会議第14期会員
- 10) 第2回日仏海洋シンポジウム

3. 昭和63年6月13日日仏会館会議室において昭和63年度日仏海洋学会学術研究発表会が開かれた。発表題目と発表者は次のとおり。

1. 昭和基地定着水域で観察された植物プランクトンのブルームについて  
 ……佐藤雄雄(東水大)・高橋永治(神戸大理)
2. 大西洋ジョージスバンク海域における夏季の繊毛虫プランクトン現存量  
 ……D.K. Stoecker(ウズホール海洋研)・谷口 旭(東北大農)・A.E. Michaels(ウズホール海洋研)
3. 神路ダムにおける淡水赤潮発生とその形成相  
 ……安達六郎(三重大生物資源)
4. スジエビ属2種の繁殖生態  
 ……伊藤 円・渡辺精一・高木和徳(東水大)
5. イボイワオウギガニの繁殖生態

……富川なす美・渡辺精一・高木和徳(東水大)

6. ヤドカリの一種イソコバサミ *Clibanarius virescens* の成熟と産卵  
 ……村田憲要・渡辺精一・奥谷喬司(東水大)
  7. ケモスタットを用いた細菌成長速度の測定(3)  
 ……長沼 毅・関 文威(筑波大生物)
  8. 等深二層流体の界面に発生する孤立波の可能性について  
 ……冨永政英
  9. 東京湾海水の光学特性  
 ……岸野元彰・杉原滋彦(理化学研)
  10. 水中の濁りと魚の視力との関係(4) 濁り濃度と餌に対する反応距離  
 ……中村善彦・松生 治(東水大)
4. 昭和63年6月13日日仏会館会議室において第29回総会が開かれた。議事の概要は次のとおり。

1) 昭和62年度事業報告

a) 庶務  
 会員移動状況

	62年4月	入 会	退 会	63年4月
名誉会員	2	—	—	2
正 会 員	347	10	31	326
賛助会員	32	0	5	27

活動状況

評議員会	1回
総 会	1回
学術研究発表会	1回
講 演 会	1回
学会賞授与	谷口 旭(東北大学農学部)
幹 事 会	4回
昭和63, 64年度評議員選挙	
日本学術会議第14期会員推薦	
第2回日仏海洋シンポジウム	
準 備 会	2回
実行委員会	5回

b) 編 集

La mer 4号刊行

- 2) 昭和63, 64年度役員, 評議員選出結果報告(末尾参照)
- 3) 昭和63年度学会賞受賞候補者選考経過報告(詳細は6.参照)

## 4) 昭和62年度収支決算及び監査報告

## 昭和62年度収支決算

収 入		(円)
前年度繰越金	535,465	
正会員会費	1,775,930	
賛助会員会費	379,830	
学会誌売上金	342,350	
広告料	370,000	
著者負担印刷費	323,600	
雑収入	42,138	
計	3,769,313	
支 出		(円)
学会誌印刷費	2,073,750	
送料・通信費	328,840	
事務費	788,204	
交通費	26,673	
会議費	34,530	
学会賞経費	69,710	
雑費	34,910	
次年度繰越金	412,696	
計	3,769,313	

## 5) 昭和63年度事業計画案審議

下記原案通り承認された。

評議員会1回, 総会1回, 学術研究発表会1回,  
幹事会4回の開催  
第2回日仏海洋シンポジウムの開催  
シンポジウム及び講演会の開催  
学会誌の発行(4号)  
学会賞受賞候補者推薦  
その他

## 6) 昭和63年度収支予算案審議

原案通り承認された。

## 昭和63年度収支予算

収 入		(円)
前年度繰越金	412,696	
正会員会費	1,800,000	
賛助会員会費	420,000	
学会誌売上金	250,000	
広告料	340,000	
著者負担印刷費	350,000	
雑収入	30,000	
合 計	3,602,696	

## 支 出 (円)

学会誌印刷費	2,450,000
送料・通信費	300,000
事務費	650,000
交通費	50,000
会議費	30,000
学会賞経費	75,000
予備費	47,696
合 計	3,602,696

## 7) 昭和64年度学会賞受賞候補者推薦委員会委員選出結果報告

青木三郎, 阿部友三郎, 有賀祐勝, 石野 誠, 井上 實, 鎌谷明善, 高野健三, 竹松 伸, 谷口 旭, 永沢祥子, 中村重久, 根本敬久, 松生 治, 村野正昭, 柳 哲雄

## 8) 第2回日仏海洋シンポジウムについて

引き続き、青木三郎会員への学会賞授与と受賞記念講演が行われた。また懇親会が別席で開かれ、盛会裡に終了した。

5. 日仏海洋シンポジウム第7回(5月20日), 第8回(7月1日) 実行委員会が東京水産大学において開かれた。

## 6. 昭和63年度日仏海洋学会賞

受賞者: 青木三郎(東洋大学)

受賞課題: 海底堆積物中の粘土鉱物組成及び鉱物化学的性質に関する研究

**推薦理由:** 青木三郎博士は、東京教育大学大学院生時(1969—1974年)より今日まで海底堆積物中の粘土鉱物の研究を一貫して続けられ、この間に国内外の雑誌に発表された論文は30以上に及んでいる。青木博士の研究業績は以下の3つの内容に分類される。

## 1. 海底堆積物中の粘土鉱物組成の研究

海底表層堆積物中に含まれる主要な粘土鉱物の組成をX線回折法にて求め、現生の海底に沈殿する粘土鉱物の分布に影響する諸因子を明らかにした(日本海, オホーツク海, 駿河湾, 相模湾の研究例)。また、柱状堆積物試料に含まれる粘土鉱物組成の研究から、中生代白亜紀以降の地質環境変動を考察した(大西洋フロリダ沖, メキシコ湾, 中央太平洋海盆の研究例)。

## 2. Fe スメクタイトの鉱物化学的性質に関する研究

海底堆積物中には一般に数種類の粘土鉱物が混在している。青木博士は南北太平洋深海底から採集された

ほぼ100% ちかいスメクタイトから構成された2本のピストンコアサンプルを分析し、その鉱物化学的性質を明らかにした。北太平洋のスメクタイトはFe質であり、南太平洋のスメクタイトはFe質と一部Al質のバイデライトが含まれていた。これらの論文は、BISCHOFF (1972) が紅海熱水性堆積物中で発見したノントロナイトの論文とともに、熱水系スメクタイトの指示者としてよく引用されている。

### 3. 分析電顕 (AEM) による研究

青木博士は数年前より、わが国でははじめて海底堆積物中の微細鉱物の研究にAEMを使用し、着々と成果を挙げている。日本海青森沖海底で発見され、マスコミでも話題になった特殊物質の鉱物学的研究をAEMで行ない、Fe-P系鉱物であることを明らかにし、熱水成因説を暗示した。以後、AEMによる研究を精力的に続けられている。

以上の如く、青木博士の研究は一貫して海底堆積物中の粘土鉱物の研究に置かれ、海底堆積鉱物学への貢献は極めて大きいものと判断され、同博士の研究に対して、日仏海洋学会賞の授与は適切と考えられる。

### 7. 受贈図書

日本学術会議月報 29(6~8)  
 海洋産業研究資料 19(3, 4)  
 鯨研通信 (373)  
 東海大学海洋学部紀要 (26)  
 航海 (96)  
 なつしま (95)  
 研究実用化報告 37(6, 7)  
 広島日仏協会報 (101, 102)  
 農業土木試験場場報 (52)  
 農業土木試験場報告 (27)  
 養殖研ニュース (15)  
 養殖研究所研究報告 (13)  
 JODC ニュース (36)  
 Bull. Nat. Sci. Museum 14 (2)  
 漁業資源評価・漁海況予報会議研究報告 63年3月  
 横須賀市博物館研究報告 (35)  
 横須賀市博物館資料集 (12)  
 神奈川県立博物館研究報告 (17)  
 高知大学海洋生物教育センター研究報告 (9)  
 スミスリフト及び鳥島リフト海底地質図  
 海洋調査報告一覧 1987, 1988

東海大学海洋研究所年報 (9)  
 東海大学海洋研究所研究報告 (9)  
 千葉県水産試験場研究報告 (46)  
 科学通報 33(10~12)  
 海洋与湖沼 18(5, 6), 19(1, 2)  
 韓国海洋学会誌 23(2)  
 Aquatic Living Resources 1(1)  
 American Museum Novitates (2865, 2876, 2906, 2907)

### 日仏海洋学会役員・評議員

(昭和63~64年度)

顧問	ユベール・プロシェ ジャン・デルサルト ジャック・ロベール アレクシス・ドランデー 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	高木和徳
幹事	(庶務) 須藤英雄, 有元貴文; (会計) 松生治, 高橋 正; (渉外) 有賀祐勝, 佐伯和昭; (研究) 関 文威, 小池勲夫; (編集) 山口征矢, 渡辺精一
監事	久保田 稷, 辻田時美
評議員	青山恒雄, 阿部友三郎, 有賀祐勝, 石井丈夫, 石野 誠, 磯 舜也, 井上 実, 岩井 保, 岩宮 浩, 宇野 寛, 大塚一志, 岡市友利, 岡部史郎, 小倉通男, 梶浦欣二郎, 鎌谷明善, 川合英夫, 国司秀明, 黒木敏郎, 西条八束, 佐伯和昭, 坂本市太郎, 坂本 亘, 佐藤孫七, 杉森康宏, 須藤英雄, 関 文威, 平 啓介, 高木和徳, 隆島史夫, 高橋 正, 高橋正征, 多紀保彦, 谷口 旭, 辻田時美, 寺本俊彦, 鳥羽良明, 冨永政英, 中村重久, 永田 豊, 奈須敬二, 奈須紀幸, 根本敬久, 野村 正, 畑 幸彦, 平野敏行, 松生 治, 松山優治, 丸茂隆三, 三浦昭雄, 宮本 悟, 村野正昭, 森田良美, 柳 哲雄
	(54名, 会長推薦評議員を含む)
編集委員長	有賀祐勝

## 第5回国際無脊椎動物生殖学会議開催のお知らせ

1989年7月23日より28日にわたり第5回国際無脊椎動物生殖学会議(5th International Congress of Invertebrate Reproduction)が名古屋市において開催されます。この会議には無脊椎動物の生殖に関する基礎ならびに応用生物学的研究に携わる第一線の研究者が、約40カ国より参加される予定です。下記のような特別講演の他、シンポジウム、一般講演、ポスター発表、フィルム供覧、展示などが予定されております。無性生殖、配偶子形成、受精と発生、環境適応、生殖戦略、人工増殖と防除、などをはじめ、無脊椎動物の生殖に関する諸問題につき研究中あるいは関心をお持ちの方多数の参加を希望いたします。参加申し込みならびに講演要旨提出の締切は1989年3月末日です。興味がおありの方には、最終サーキュラーならびに参加申し込み用紙等一式をお送り致しますので、組織委員会事務局までご連絡願います。

### 特別講演

"Regulation of Gene Expression and Function of the Egg Chorions in Insects" by Prof. F.C. Kafatos (Harvard Univ.)

"Present and Future of Shrimp and Lobster Culture" by Prof. J. Kittaka (Kitasato Univ.)

連絡先: 〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1

東京工業大学理学部生命理学科内

第5回国際無脊椎動物生殖学会議組織委員会事務局 Tel 03-726-1111 ext. 2570

Fax 03-729-0335

## 海底地形名の命名と使用について

国際水路協会会長から海底地形名の使用、採用に関する資料が編集委員長宛に送られてきたので紹介する。従来から専門雑誌に使用されている海底地形名には混乱が見られ、特に既に発見され、名前がつけられている海底地形名の二重の採用は顕著な例である。1987年の3月と5月に IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) と IHO (International Hydrographic Organization) の会議が開催され、海底地形名を使用または新たに命名する場合には、IOC-IHO の出版物である海底地形名の標準化に関する案内書を参考にし、海底地形名辞典でよく検討し、同一地形の複数名の採用はしないことをつよく勧告した。

なお、“海底地形名の標準化”のコピーは無料で下記から求めることができる。

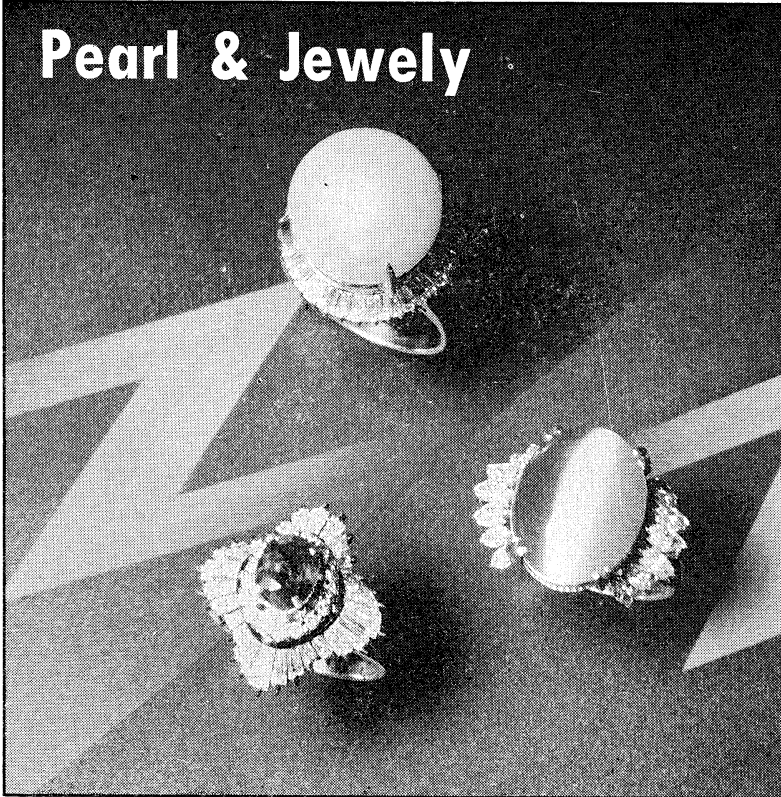
International Hydrographic Bureau,  
B. P. 445, MC 98011 Monaco Cedex

(青木 三郎)

## 賛 助 会 員

旭化成工業株式会社	東京都千代田区有楽町 1-1-2 三井ビル
株式会社 旭 潜 研	東京都北区栄町 9-2
阿 部 嘉 方	東京都練馬区春日町 2-15-6
株式会社内田老鶴園新社 内田 悟	東京都文京区大塚 3-34-3
有限会社 英和出版印刷社	東京都文京区本駒込 6-15-10
株式会社 オセアノート	東京都世田谷区北沢 1-19-4-202
小樽舶用電機株式会社	小樽市色内町 3-4-3
海上電機株式会社	東京都西多摩郡羽村町栄町 3-1-5
株式会社 川合海苔店	東京都大田区大森本町 2-31-8
三信船舶電具株式会社	東京都千代田区神田 1-16-8
シュナイダー財団極東駐在事務所	東京都港区南青山 2-2-8 DFビル
昭和電装株式会社	高松市寺井町 1079
新日本気象海洋株式会社	東京都世田谷区玉川 3-14-5
全日本爬虫類皮革産業連合会	東京都足立区梅田 4-3-18
高 岡 屋	東京都台東区上野 6-7-22
株式会社 鶴見精機	横浜市鶴見区鶴見中央 2-2-20
株式会社 東京久栄	東京都中央区日本橋 3-1-15 久栄ビル
株式会社東京久栄技術センター	埼玉県川口市柴鶴ケ丸 6906-10
東京製網繊維ロープ株式会社	東京都中央区日本橋本町 1-7-1
株式会社 東急フーズミート	東京都品川区東品川 4-10-21
中川防蝕工業株式会社	東京都千代田区神田鍛冶町 2-2-2 東京建物ビル
株式会社 西日本流体技研	長崎県佐世保市棚方町 283
日本アクアラング株式会社	神奈川県厚木市温水 2229-4
(財)日本気象協会研究所	東京都千代田区麴町 4-5 海事センタービル内
日立造船株式会社	広島県因島市土生町2274-1
因島工場バイオ事業部	
北斗理研株式会社	東京都東村山市多摩湖町 1-25-2
丸 文 株 式 会 社	東京都中央区日本橋大伝馬町 8-1
三井海洋開発株式会社	東京都千代田区一ツ橋 2-3-1 小学館ビル
宮 本 悟	東京都中央区かきどき 3-3-5 かちどきビル (橋本地郷)
吉野計器製作所	東京都豊島区駒込 7-13-14
株式会社 読売広告社	東京都中央区銀座 1-8-14
株式会社 離合社	東京都文京区本郷 6-19-7
渡辺機開工業株式会社	愛知県渥美郡田原町神戸大坪 230
株式会社 渡部計器製作所	東京都文京区向丘 1-7-17

# Pearl & Jewelry



輝  
へん  
の  
な  
ま  
み  
わ  
。。

宝石の名門



東京・銀座

東京都中央区銀座6-7-2  
電話572-5011(代表)

**JEWELER miwa**

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

## 営業案内

- 科学魚探SIMRAD
- 理研式GEK
- 曳航式水温計

D. B. T.	水中テレビジョン	採泥器類
C / S T D	自記流向流速計	電気流速計
水中照度計	比重計, 水色計, 標準海水	船用機器模型及標本類
水中濁度計	ア ク ア ラ ン グ	標 識 票 類
溶存酸素測定器	プランクトンネット類	
サリノメーター	採 水 器 類	

株式会社 <sup>ホン</sup>本 <sup>チ</sup>地 <sup>ゴウ</sup>郷

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

代表取締役 宮本 悟 取締役 大塚昌治



応援します。  
 良い海苔づくり—

生海苔活性調整機

RS-2型

海苔の等級が数段あがる

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



	RS-1型	RS-2型
高 径	770mm	1,400mm
幅	990mm	950mm
概 重	880kg	780kg
電 力	85kg	180kg
モ ー タ	40W 1台	40W 2台
セ ー ト 代	100W 1台	80W 1台
		100W 1台
		150W 1台



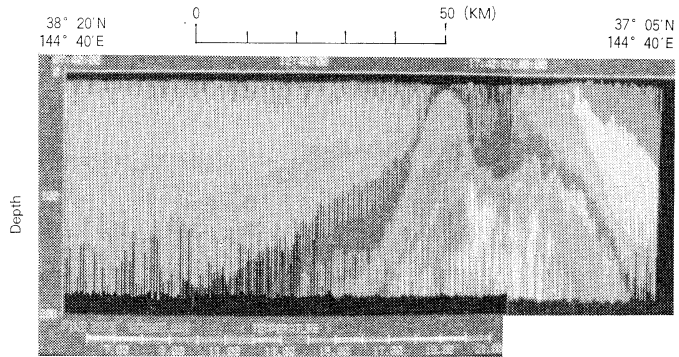
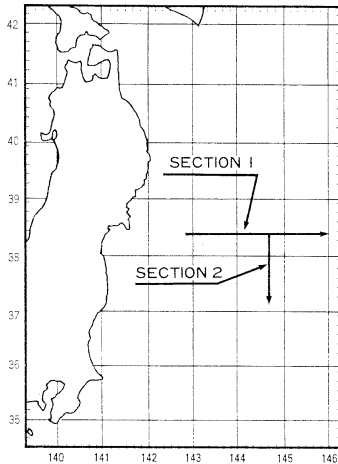
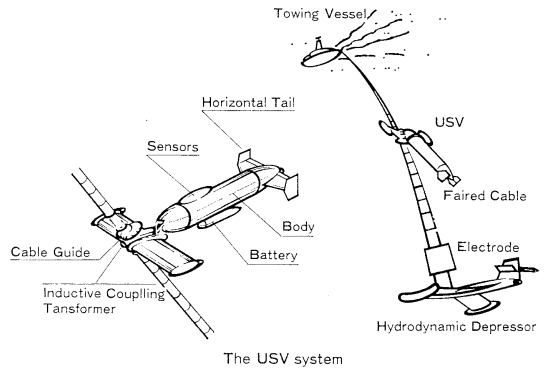
渡辺機開工業株式会社

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

# スライド式高速曳航体 JAMSTEC TSK方式

## Underwater Sliding Vehicle System (USV)

- 本システムは海洋科学技術センター殿の御指導によって開発されました。
- USVは小型かつ軽量で極めて優れた水中運動性能を有しております。
- 電磁誘導伝送方式を使うことにより船上からのUSVの昇降運動制御及びリアルタイム信号モニターリングを行うことができます。
- 取得データはFD及びハードディスクに記録し2次電算機処理に供します。

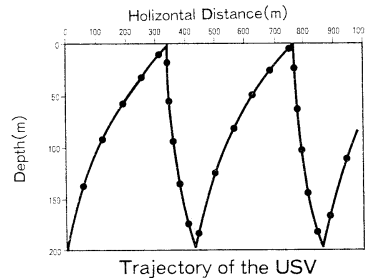


T.S.スライド式高速曳航体によって得られた三陸沖の水温鉛直分布のカラー画像。

(海洋科学技術センター殿から資料を御提供頂きました。)

### SPECIFICATIONS

Towing Speed	:0~8knots	
Operation Depth	:Max.400m	
Tow Cable	:8mm hydrodynamically faired stainless steel wire rope with polyurethane coating	
Sensor	Range	Accuracy
Conductivity	20~70ms	±0.05ms
Temperature	-2~35C	±0.05C
Depth	0~400dbar	0.5%FS
Data Transport	:Inductive Coupling Data Communication System	
Sampling Rate	:5times per second	
Sensor Battery Life	:50hours	



T.S.K

本 社 〒230 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央2-2-20  
TEL.(045) 521-5252 FAX.(045) 521-1717

白河工場 〒969-03 福島県西白河郡大信村大字中新城字弥平田  
TEL.(0248) 46-3131 FAX.(0248) 46-2288

株式会社 鶴見精機

TSK AMERICA INC.

828 MILLS PL.N.E. NORTH BEND, WA. 98045, U.S.A.  
TEL.206-888-3404 TLX.230754235 TSKA SEA UD

# 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)

海苔の養殖から販売までの専門会社

まごころプラスワン



TAKAOKAYA



株式会社

高岡屋

東京都台東区上野6丁目7番22号

Takaokaya Company Limited.

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

## 日 仏 海 洋 学 会 編 集 委 員 会 (1988-1989)

委員 長: 有賀祐勝

委 員: 青木三郎, 半沢正男, 堀越増興, 鎌谷明善, 前田昌調, 村野正昭, 小倉通男, 岡部史郎, 須藤英雄, 柳 哲雄

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: 渡辺精一, 山口征矢

### 投 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カ国語の何れかとする。ただし, 表および図説明の用語は仏文または英文に限る。原著論文(前項)には約200語の英文または仏文の要旨を, 別紙として必ず添える。なお, 欧文論文には, 上記要旨の外に, 約500字の和文要旨をも添える。ただし, 日本語圏外からの投稿の和文要旨については編集委員会の責任とする。
4. 投稿原稿の体裁形式は最近号掲載記事のそれに従う。著者名は略記しない。記号略号の表記は委員会の基準に従う。引用文献の提示形式は, 雑誌論文, 単行本分載論文(単行本の一部引用を含む), 単行本などの別による基準に従う。
5. 原図は版下用として鮮明で, 縮尺(版幅または1/2版幅)に耐えられるものとする。
6. 初校に限り著者の校正を受ける。
7. 正会員に対しては7印刷ページまでの掲載を無料とする。ただし, この範囲内であっても色彩印刷を含む場合などには, 別に所定の費用を著者負担とすることがある。正会員の投稿で上記限度を超える分および非会員投稿の印刷実費はすべて著者負担とする。
8. すべての投稿記事について, 1篇あたり別刷50部を無料で請求できる。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 有賀祐勝 気付

日仏海洋学会編集委員会

昭和63年8月25日 印刷  
昭和63年8月28日 発行

う み 第26巻  
第3号

定価 円1,600

編 集 者 有 賀 祐 勝

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 26 N° 3

SOMMAIRE

Notes originales

- Stocking effects on asymmetrical population growth under delayed regulation...Seiichi WATANABE 95
- Coastal and bottom topographic effects on the path dynamics of the western boundary current with special reference to the Kuroshio south of Japan .....Yoshihiko SEKINE 99
- Hole-drilling predation by *Octopus vulgaris* on abalone (in Japanese).....Hiroshi KOJIMA 115
- A modelling for atmospheric precursor of a big tsunami (in Japanese).....Shigehisa NAKAMURA 120

Miscellanées

- Informations océanographiques de France N° 7 (en japonais)..... 127
- Conférence à la remise du Prix de la Société franco-japonaise d'océanographie (en japonais).....Saburo AOKI 133

- Procès-verbaux ..... 135

第 26 卷 第 3 号

目 次

原 著

- 時間遅れのある非対称生長を示す個体群に対する放流の影響 (英文) .....渡 邊 精 一 95
- 日本南岸の黒潮に注目した西岸境界流の流路に及ぼす陸岸・海底地形効果 (英文) .....関 根 義 彦 99
- マダコのアワビ殻穿孔.....小 島 博 115
- 巨大津波の空中前駆音のモデル.....中 村 重 久 120

資 料

- フランス海洋情報 (7)..... 127
- 日仏海洋学会賞受賞記念講演.....青 木 三 郎 133

- 学会記事..... 135