

La mer

うみ

1995 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 1994 et 1995)

Directeur et rédacteur: Y. YAMAGUCHI

Comité de lecture: S. AOKI, M. HANZAWA, M. HORIKOSHI, M. MATSUYAMA, M. MAEDA, M. OCHIAI, T. YANAGI, S. WATANABE

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: M. OCHIAI, H. SATOH

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. YAMAGUCHI, 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.

A numerical study on the formation of circulations in the Yellow Sea during summer*

Satoru TAKAHASHI** and Tetsuo YANAGI**

Abstract: In the Yellow Sea during summer, YANAGI and TAKAHASHI (1993) suggested that an anti-clockwise circulation was developed in the upper layer and a clockwise one in the lower layer. Generation mechanisms of these circulations are investigated using numerical model with two kinds of simplified model basin. Consequently, it is revealed that these circulations are mainly induced by the topographic heat accumulation effect. On the other hand, vertical temperature distribution is affected by the horizontal difference of vertical mixing induced by tidal current.

1. Introduction

The Yellow Sea is a shelf sea that is surrounded by the west coast of the Korean Peninsula and the east coast of China and is connected to the East China Sea through the southern open boundary. It is well known that the stratification is developed by the sea surface heating and the Yellow Sea Bottom Cold Water is formed at the deepest part of the Yellow Sea in summer (FUKASE, 1975; TAWARA and YAMAGATA, 1991; etc.).

Recently, YANAGI and TAKAHASHI (1993) revealed the seasonal variation in circulation patterns in the Yellow Sea using diagnostic numerical model. In their summer results, an anti-clockwise circulation was developed at the upper layer and a clockwise one at the lower layer in the central part of the Yellow Sea. They showed that these circulations were accompanied with the Yellow Sea Bottom Cold Water (YSBCW). CHOI and LIE (1992) showed the result of drifter buoys tracking during July to October, 1986. The tracks of surface buoys denoted an anti-clockwise circulation at the surface layer in the central part of the Yellow Sea. Furthermore, SU and WENG (1994) investigated the surface circulations in the Yellow Sea and the East China Sea using water mass analysis and suggested an anti-clockwise

circulation at the central part of the Yellow Sea in summer. From these results the existence of an anti-clockwise (a clockwise) circulation at the upper (lower) layer in the central part of the Yellow Sea is suggested. However, the generation mechanisms of these circulations are still unknown. In the present study, we aim to reveal the generation mechanisms of an anti clockwise (at the upper layer) and a clockwise (at the lower layer) circulations in the Yellow Sea during summer.

Seasonal variation of temperature and salinity distributions along the vertical cross section in the central part of the Yellow Sea was investigated by TAWARA and YAMAGATA (1991).

The observation stations and the vertical distributions of temperature in August and April are shown in Fig. 1 (TAWARA and YAMAGATA, 1991). In August, stratification is developed and the highest water temperature is found at the surface layer of the central part and YSBCW was found at the bottom layer in the deepest part.

CHOI (1984) showed the horizontal distribution of M_2 tidal current amplitude in the Yellow Sea and the East China Sea using numerical model. In the Yellow Sea, the strength of the tidal current at the deep central part is weaker than that at the surrounding shallow part, i. e., it is expected that the vertical mixing effect induced by tidal current at the deep central part is weaker than that at the surrounding shallow

*Received December 7, 1994

**Department of Civil and Ocean Engineering,
Ehime University, Matsuyama, 790 Japan

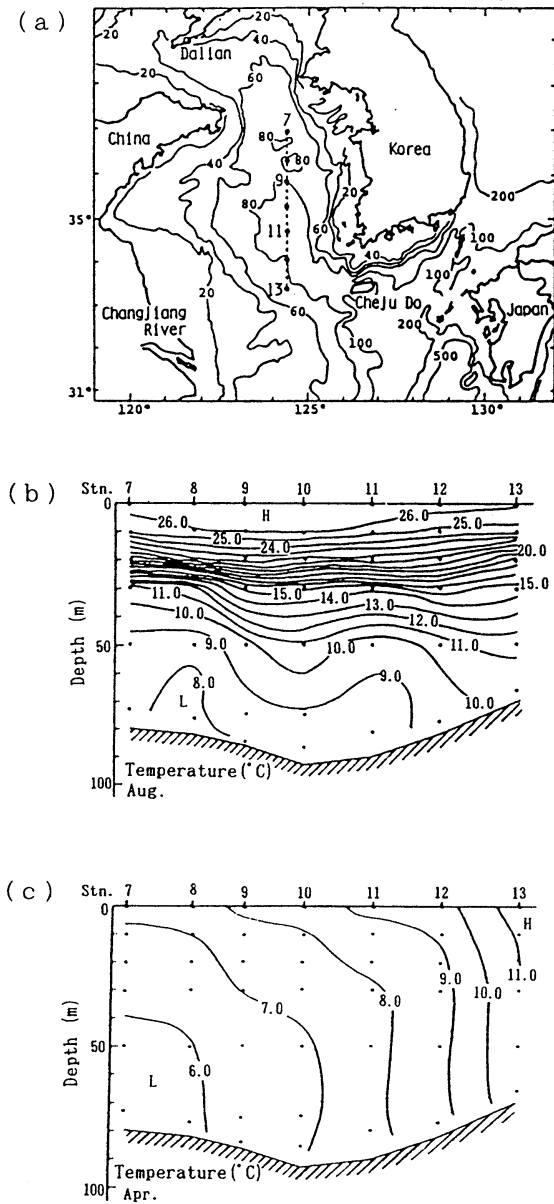


Fig. 1. Map of the observation stations (a) and vertical distributions of temperature in August (b) and in April (c) obtained by averaging data during 1977 to 1986, after TAWARA and YAMAGATA (1991).

part. This effect may have some influence on the water temperature distribution in the Yellow Sea.

From these results, we can consider that the

effects of the bottom topography and the vertical mixing induced by the tidal current may contribute to the formation of the circulations and YSBCW in the Yellow Sea during summer. So, we carried out the numerical model experiments in which these effects are included.

2. Numerical model

2.1. Model basin and basic equation

Table 1 shows the heat fluxes through the sea surface (ISHII and KONDO, 1987) and those between the Yellow Sea and the East China Sea (ISHII and KONDO, 1993) during the heating season. Except March and August, vertical heat fluxes through the sea surface are larger about 3 times than the horizontal ones. So, as a first approximation, horizontal heat flux between the Yellow Sea and the East China Sea is ignored in this model, and in order to reveal the effect of the tidal mixing and the effect of the bottom topography to the generation of an anti clockwise and a clockwise circulations in the Yellow Sea during summer, two kinds of model basins which have a round shape are applied here. The bottom topography of the Yellow Sea (a) and the model regions (No. 1: (b), No. 2: (c)) are shown in Fig. 2. The No. 1 model basin has a constant depth (80 m) and No. 2 has a slope running along the coastal line in the model basin which represents the shelf slope in the Yellow Sea. This slope has a simple exponen-

Table 1. Heat fluxes through the sea surface and between the Yellow Sea and the East China Sea during heating period. After ISHII and KONDO (1987 and 1993).

	heat flux (I) (w)	heat flux (II) (w)
Mar.	1.2×10^{13}	-0.2×10^{13}
Apr.	5.7×10^{13}	1.5×10^{13}
May.	6.6×10^{13}	1.4×10^{13}
Jun.	7.3×10^{13}	1.1×10^{13}
Jul.	7.0×10^{13}	2.3×10^{13}
Aug.	5.2×10^{13}	3.6×10^{13}

heat flux (I): vertical heat flux through the sea surface

heat flux (II): horizontal heat flux between the Yellow Sea and the East China sea

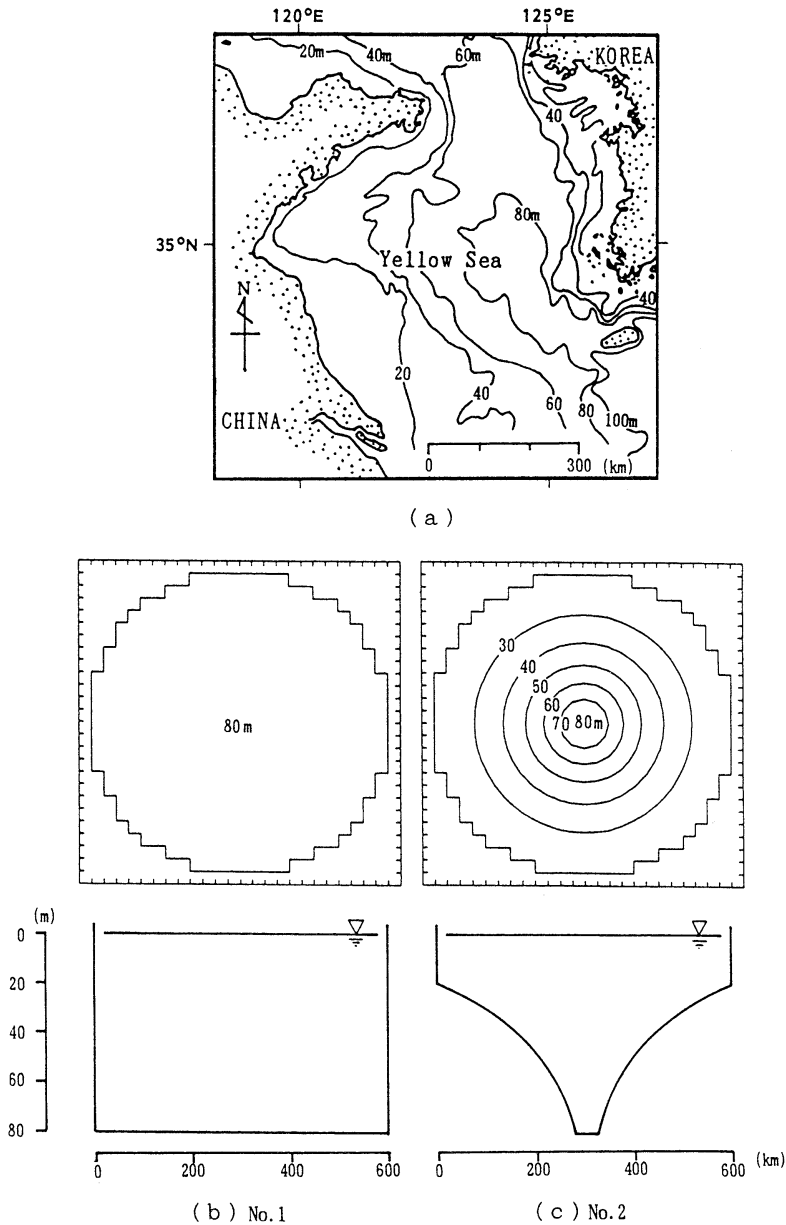


Fig. 2. Bottom topography of the Yellow Sea (a) and two model basins (b) (c).

tial form of $h = h_0 \exp(ax')$, where $h_0 = 20$ m, $a = 5.04 \times 10^{-6} (\text{m}^{-1})$ and x' , is offshore distance from the coast in meter. The maximum depth of the No. 2 model basin is 80m. The horizontal grid size is $25\text{km} \times 25\text{km}$ and the water column is vertically divided into four levels (level 1: 0–10m, level 2: 10–20m, level 3: 20–40m, level 4: 40 m–bottom).

Under the hydrostatic pressure, the Boussinesq and f-plane approximations, numerical model consists of the equations of motion, continuity and advection-diffusion of temperature. Using conventional notation, these equations on the Cartesian coordinate are as follows:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + (u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}) - fv \\ = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial u}{\partial y}) \\ + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial u}{\partial z}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + (u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z}) + fu \\ = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial v}{\partial y}) \\ + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial v}{\partial z}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \rho g \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + (u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z}) \\ = K_h (\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}) + K_v \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (5)$$

where u , v , and w are the velocity components of x , y and z directions, respectively, f ($8.34 \times 10^{-5} \text{ sec}^{-1}$) the Coriolis parameter at 35°N , t the time, P the pressure, ρ the water density, ρ_0 the reference density, g (980 cm/sec^2) the gravitational acceleration, A_h and K_h the horizontal eddy viscosity and diffusivity, respectively, A_v and K_v the vertical eddy viscosity and diffusivity, respectively, and T the water temperature. The density is calculated from T and salinity with use of the usual nonlinear state equation (WADACHI, 1987). However, only the effect of heat on density is considered, here. So, from TAWARA and YAMAGATA (1991), averaged salinity in heating season (33.0 psu) is applied.

The boundary condition for momentum is slip condition at all lateral walls. The bottom stress is given as follows,

$$A_v \frac{\partial u}{\partial z} = C_b u (u^2 + v^2)^{1/2} \quad (6)$$

The sea surface is assumed to be a free-surface, and the sea surface heat flux is given as follows,

$$K_v \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{Q_s}{C\rho} \quad (7)$$

Here, C_b (0.0026) is the bottom drag coefficient, Q_s the heat flux through the sea surface and C ($0.932 \text{ cal/}^\circ\text{C/g}$) the specific heat of water. Using observation value of ISHII and KONDO (1987), Q_s is assumed as,

$$Q_s = 350 \sin(2\pi t/T_y). \quad (\text{cal/cm}^2/\text{day}) \quad (8)$$

Here, T_y is one year.

2.2. Procedure of the experiments

The circulations in the Yellow Sea during summer is expected to be induced by the sea surface heating during spring and summer because the wind in these seasons is very weak (YANAGI and TAKAHASHI, 1993). So, only Q_s is applied as a external force. We expect that the bottom topography of the Yellow Sea may affect the circulations. Thus, in order to investigate the effect of the bottom topography, two kinds of model basins (No. 1 and No. 2, see Fig. 2) are applied. Furthermore, we expect that the horizontal difference of vertical mixing due to the tidal current may affect the circulations. In order to investigate such effects, three kinds of vertical eddy diffusivities are applied. Here, in order to restrain the occurrence of the internal waves at the interface between upper and lower levels of the model basin, the vertical eddy viscosity which is some larger than the vertical eddy diffusivity is applied. Three kinds of vertical eddy diffusivities, corresponding vertical eddy viscosity and horizontal eddy diffusivity and viscosity are shown in the following.

1. The vertical eddy diffusivity is constant.

The vertical eddy viscosity and diffusivity are given as

$$A_v = 30 \text{ (cm}^2/\text{sec)}, \quad (9)$$

$$K_v = 5 \text{ (cm}^2/\text{sec)}, \quad (10)$$

and horizontal eddy viscosity and diffusivity are also constant as

$$A_h = K_h = 10^6 \text{ (cm}^2/\text{sec)}, \quad (11)$$

2. The vertical eddy diffusivity varies with exponential form.

From the tidal current amplitude chart of CHOI (1984), the vertical eddy viscosity and diffusivity are given as

$$A_v = 10 \exp(3.66 \times 10^{-8} x^*), \text{ \{maximum : 20\}} \\ \text{(cm}^2/\text{sec)} \quad (12)$$

$$K_v = \exp(7.68 \times 10^{-8} x^*), \text{ \{maximum : 10\}} \\ \text{(cm}^2/\text{sec)} \quad (13)$$

and horizontal eddy viscosity and diffusivity are given as

$$A_h = K_h = 10^5 \exp(7.68 \times 10^{-8} x^*),$$

{maximum : 10^6 } (cm²/sec) (14)

where x^* is the distance from the center point of the model basin in cm.

3. The vertical eddy diffusivity depends on the Richardson number (JAMES, 1977; TAKEOKA *et al.*, 1991).

The vertical eddy viscosity is given as

$$A_v = K_v + 10, \text{ (cm}^2/\text{sec)} \quad (15)$$

and according to TAKEOKA *et al.* (1991), the vertical eddy diffusivity are written as

$$K_v = \frac{K_0}{(1 + \sigma Ri)^p} + K_b, \quad (16)$$

where, $K_0 + K_b$ ($K_0 = 50.0$, $K_b = 0.1$ cm²/sec) is the diffusivity in well-mixed state, σ (25.0) and p (0.7) the constants which were determined by TAKEOKA *et al.* (1991) and Ri the Richardson number. K_b is the background diffusivity which is added to prevent K_v becoming too small for large Ri . The Richardson number is given by

$$Ri = g\alpha \frac{\partial T / \partial z}{V} \quad (17)$$

Here, α (0.0002°C⁻¹) is the thermal expansion coefficient and V the square of vertical shear of the horizontal velocity. Under the approximation of the logarithmic law for the vertical distributions of the tidal current and wind-

induced current, V is written as

$$V = \frac{1}{2} \left\{ \frac{u^*}{k(H - |z|)} \right\}^2 + \left(\frac{W^*}{kz} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2. \quad (18)$$

The first term on the right-hand side is the contribution of the shear of the tidal current, the second term that of the wind-induced current and the third term that of the density-driven current. u^* and W^* the friction velocities of the tidal current and the wind-induced current, respectively, and K (0.41) the Karmans constant. The friction velocities are given as

$$u^* = C_b^{1/2} u_a, \quad (19)$$

$$W^* = (\rho_a / \rho)^{1/2} C_a^{1/2} W, \quad (20)$$

where ρ_a (0.0012 kg/m³) is the air density, C_a (0.0013) the drag coefficient at the sea surface, W (2.0 m/sec) the wind speed, and u_a is the tidal current amplitude, that is given from CHOI (1984) as

$$u_a = 120 - 20 \exp\{0.477 \times 10^{-8} (L/2 - x^*)\}$$

(cm/sec). (21)

Here L (600km) is the diameter of model basin. In this case, horizontal eddy viscosity and

Table 2. Cases of the experiments.

Case	Depth	Kh, Ah	Kz, Az
1	No. 1	exp	exp
2	No. 2	const	const
3	No. 2	exp	exp
4	No. 2	exp	Ri

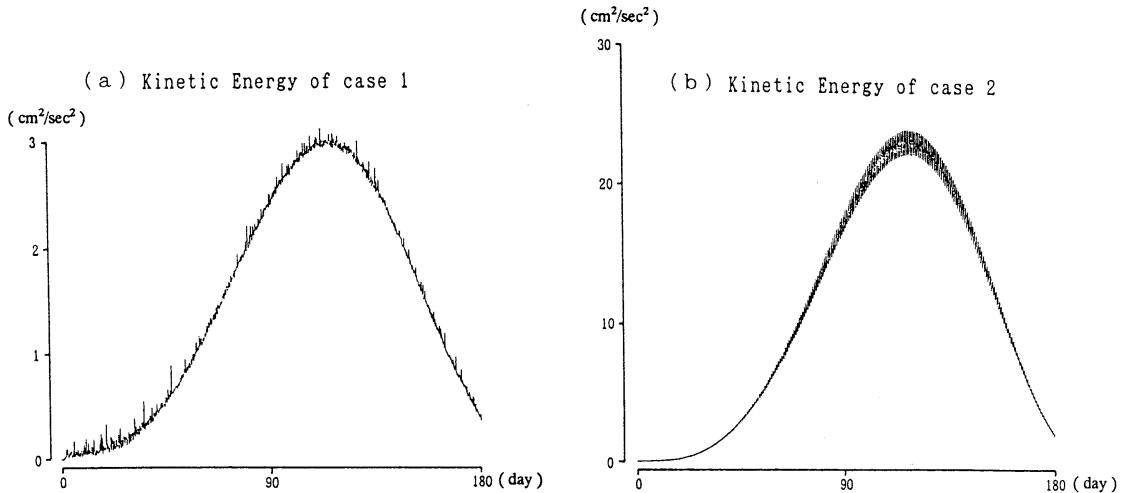


Fig. 3. Time series of the Kinetic energy in Case 1 (a) and Case 2 (b).

Case 1
120 days

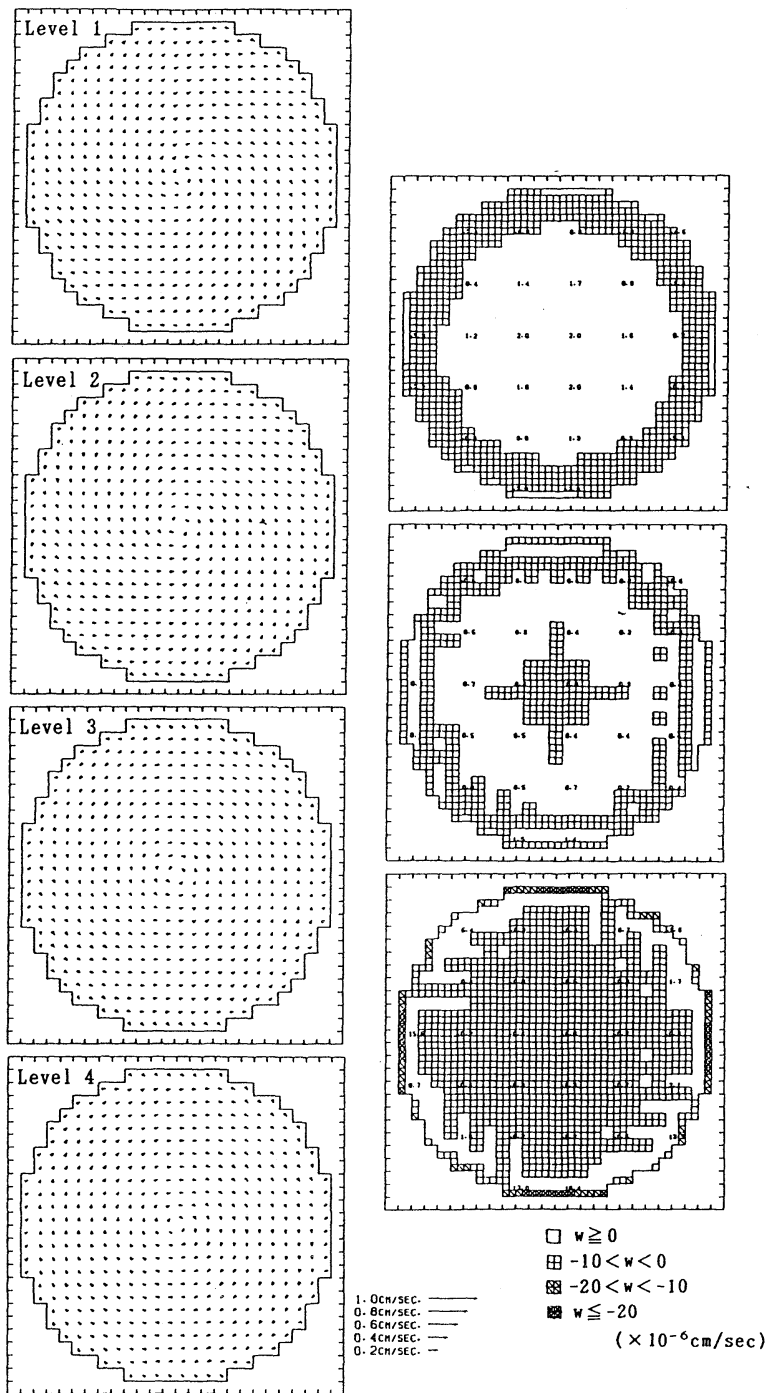


Fig. 4. Horizontal current vectors (left) and vertical current distribution (right) on 120 days of Case 1. Shadow areas show the downwelling.

diffusivity are given as Eq. (14).

2.3. Calculation results

The calculations of all cases are begun from the state of uniform water temperature (5°C), since that is the lowest water temperature in the Yellow Sea in April (TAWARA and YAMAGATA, 1992. see Fig. 1 (c)). Cases of the numerical experiments are shown in Table 2. Figure 3 shows the temporal variations in kinetic energy of Cases 1 and 2 which is defined as

$$KE = \sum_i (u_i^2 + v_i^2 + w_i^2), \quad (22)$$

where u_i , v_i , and w_i are u , v and w at a grid point i , respectively. The kinetic energies of both cases reach to the maximum on about 120 days. So, in this paper, the calculated results on 120 days are shown. Here, the smaller fluctuations of the kinetic energies of both cases have a period of about 20 hours. Since the inertia period is 20.9 hours at 35° N, these fluctuations should be accompanied with the inertia motion.

Case 1 is the experiment to investigate the effect of horizontal variation in the vertical mixing due to the tidal current. Figure 4 shows the horizontal (left) and vertical (right) current distributions of Case 1. Clockwise circulations

exist in the upper (Level 1) and the lower layers (Level 4), and an anti-clockwise ones in the middle layers (Levels 2 and 3). Downwelling exists near the lateral wall of the upper layer and at the central part of the lower layer, and upwelling at the central part of the upper layer and near the lateral wall of the lower layer, i.e., the horizontal divergence occurs at the central part of the upper and lower layers and the horizontal convergence at the central part of the middle layer. However, horizontal circulation patterns of Case 1 do not coincide with those of YANAGI and TAKAHASHI (1993). Vertical distribution of water temperature of Case 1 is shown in Fig. 5. This distribution qualitatively reproduce that of Fig. 1 (b), i.e., the highest water temperature exists at the central part of the subsurface and the lowest one at the central part above the sea bottom.

Case 2 is the experiment to investigate the effect of the bottom topography and this experiment is basically the same experiment as OONISHI (1975). Figure 6 shows the horizontal and vertical current distributions of Case 2. An anti-clockwise circulation exists at the upper layers (Levels 1 and 2) and a clockwise one at the lower layers (Levels 3 and 4). Downwelling exists from the surface to the bottom in the

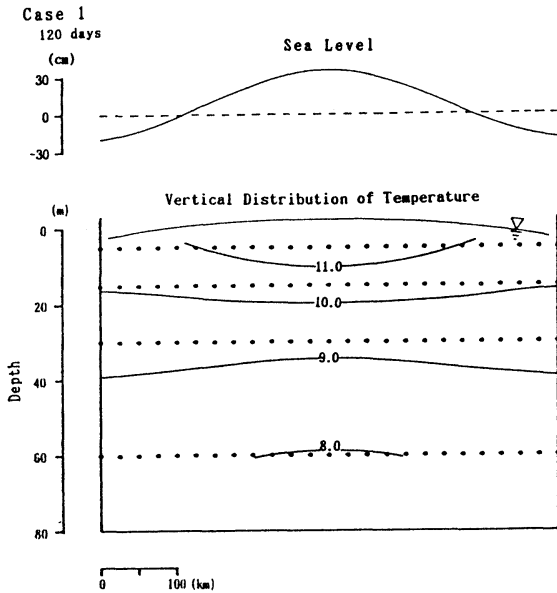


Fig. 5. Vertical distribution of water temperature on 120 days of Case 1.

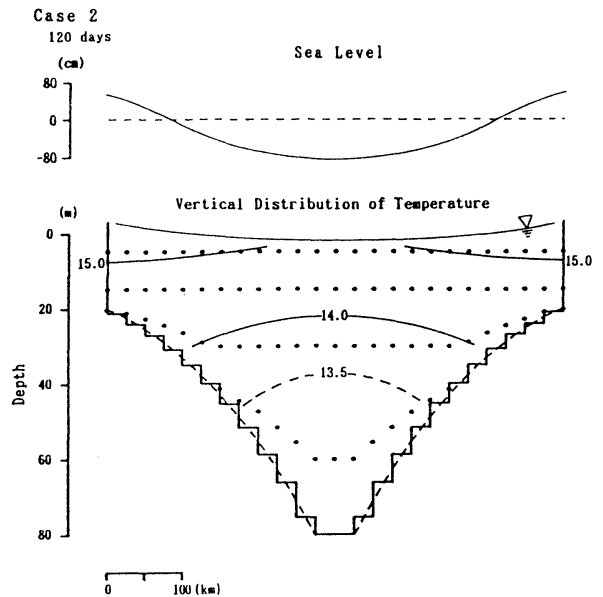


Fig. 7. Vertical distribution of water temperature on 120 days of Case 2.

Case 2
120 days

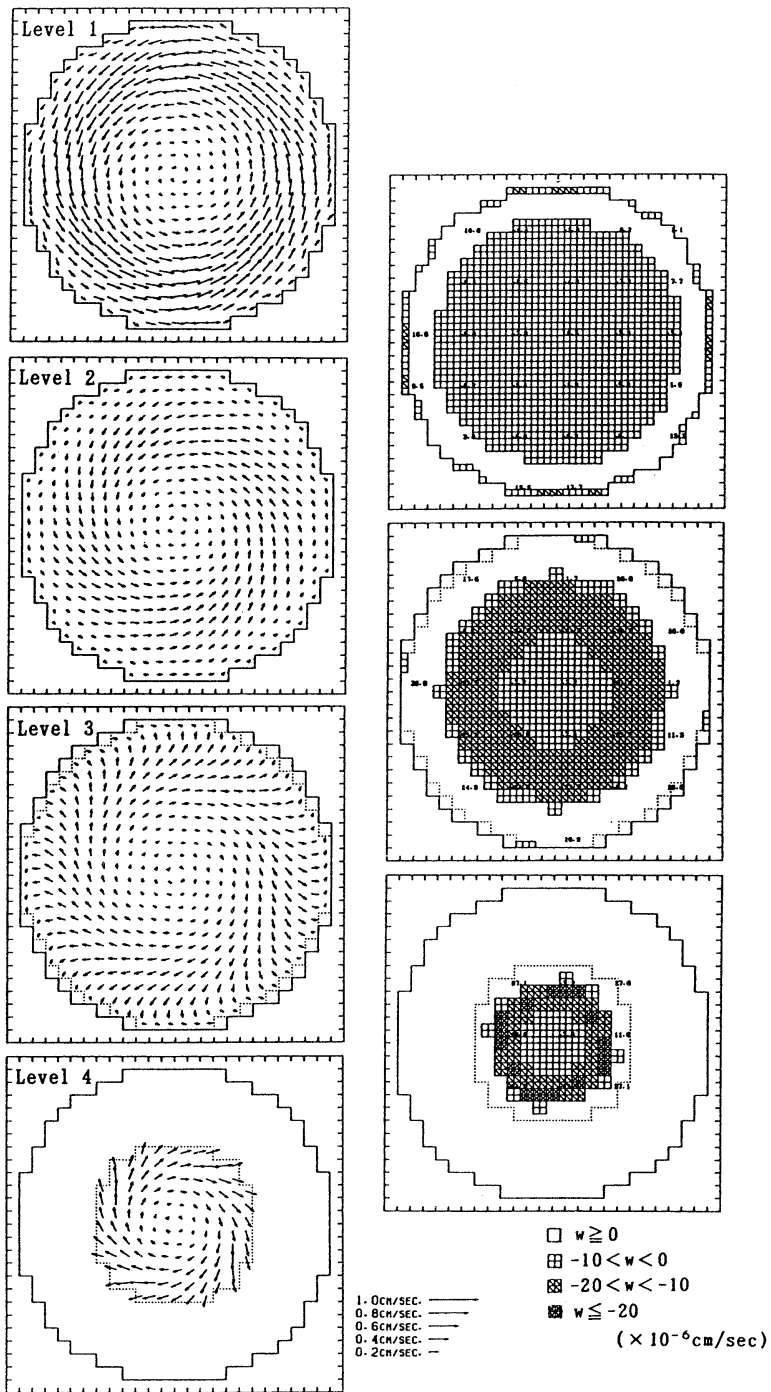


Fig. 6. Horizontal current vectors (left) and vertical current distribution (right) on 120 days of Case 2. Shadow areas show the downwelling.

Case 3
120 days

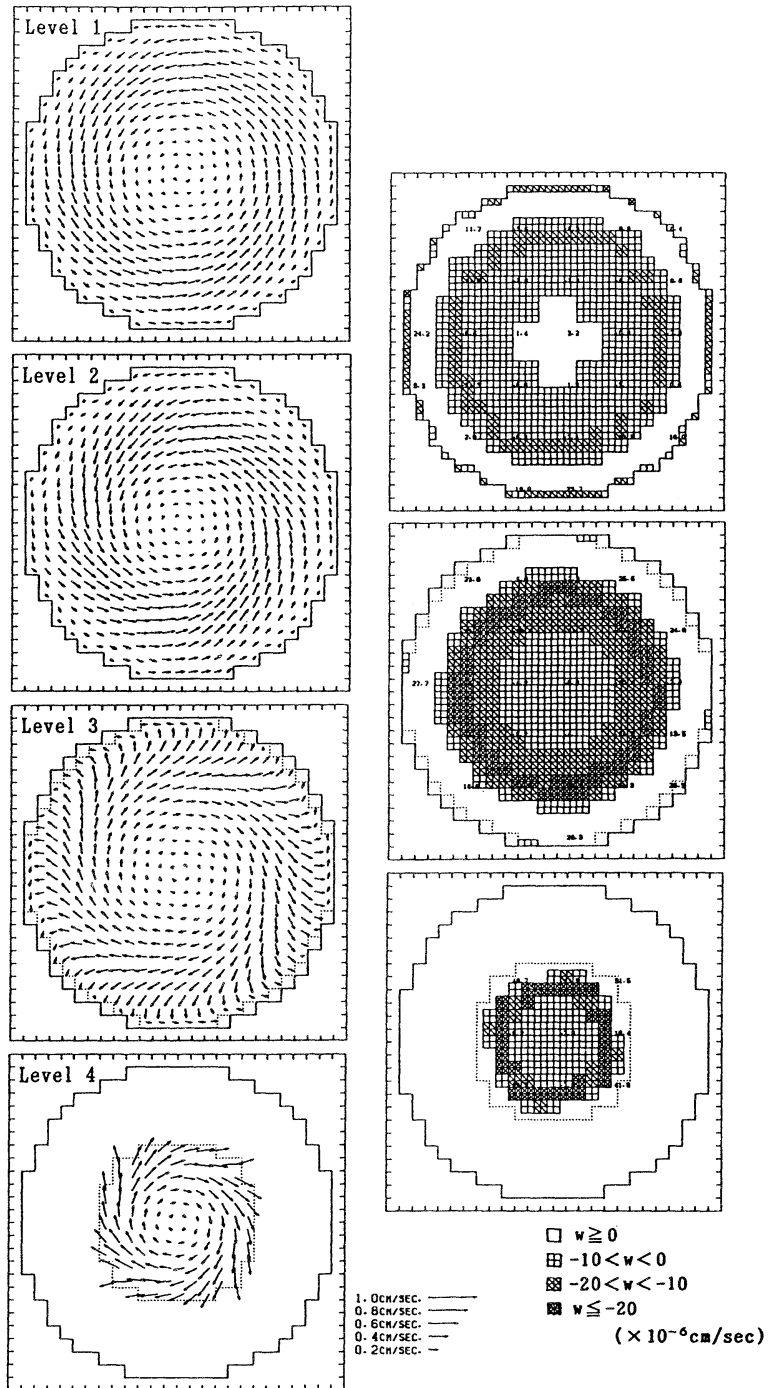


Fig. 8. Horizontal current vectors (left) and vertical current distribution (right) on 120 days of Case 3. Shadow areas show the downwelling.

central part of the basin and upwelling from the surface to the bottom along the lateral wall of the basin, i.e., the horizontal convergence occurs at the central part of the upper layer and the horizontal divergence at the central part of the lower layer. Such horizontal circulation patterns are coincident with those of YANAGI and TAKAHASHI (1993). OONISHI (1975) revealed that such circulations were induced by the topographic heat accumulation effect. Vertical distribution of water temperature of Case 2 is shown in Fig. 7. Water temperature distribution at the upper layer dose not reproduce that of Fig. 1 (b), because the highest water temperature is seen st the sub-surface layer along the side wall. However, the water temperature distribution at the lower layer reproduces that of Fig. 1 (b), because the lowest water temperature exists just above the bottom of the deepest part.

From results of Cases 1 and 2, we can expect that both effects (tidal mixing and bottom topography) contribute to the water temperature distribution and the generation of circulations in the Yellow Sea during summer. Thus, in Case 3, an experiment which takes into account both effects is carried out. Figure 8 shows the horizontal and vertical current distributions of

Case 3. Horizontal circulation patterns are coincident with those of Case 2, but the intensity of an anti-clockwise circulation at the upper layer is weaker than that of Case 2. This is resulted from that a weak clockwise circulation at upper layer of Case 1 is superimposed on a strong anti-clockwise one at the upper layer of Case 2. In the upper layer, upwellings exist near the lateral wall and at the central part, and downwelling between upwellings with doughnut-like distribution. In the lower layer, upwelling exists near the lateral wall and downwelling at the central part. This is resulted from that the verical circulations of Case 1 is superimposed on that of Case 2. Figure 9 shows the vertical distribution of water temperature of Case 3. The highest water temperature is seen at the surface layer of the central part and the lowest one just above the bottom of the deepest part. Such distribution pattern reproduces that of Fig. 1 (b), although the developed thermocline is not reproduced. Various kinds of the vertical eddy diffusivities and viscosities which have exponential forms are applied. However, the thermocline is not developed in these experiments.

In Case 4, the vertical eddy viscosity which depends on the Richardson number (Eq. (16))

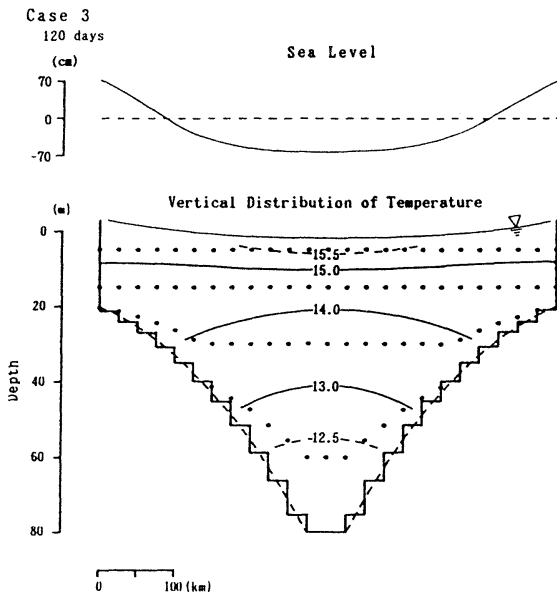


Fig. 9. Vertical distribution of water temperature on 120 days of Case 3.

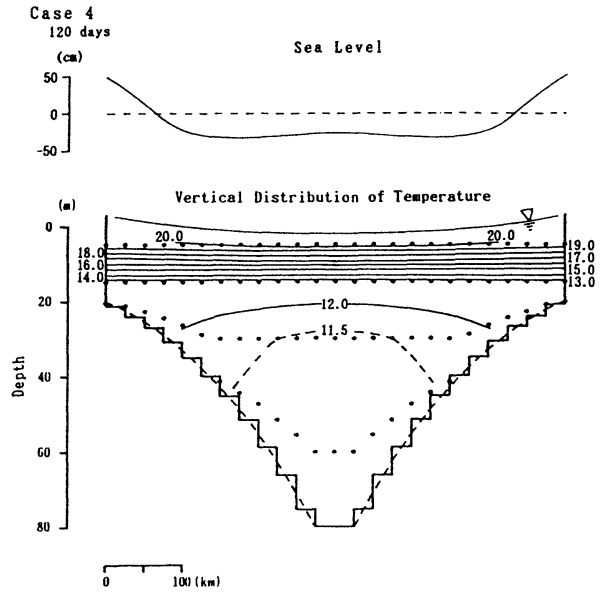


Fig. 10. Vertical distribution of water temperature on 120 days of Case 4.

(a) Case 1

(b) Case 2

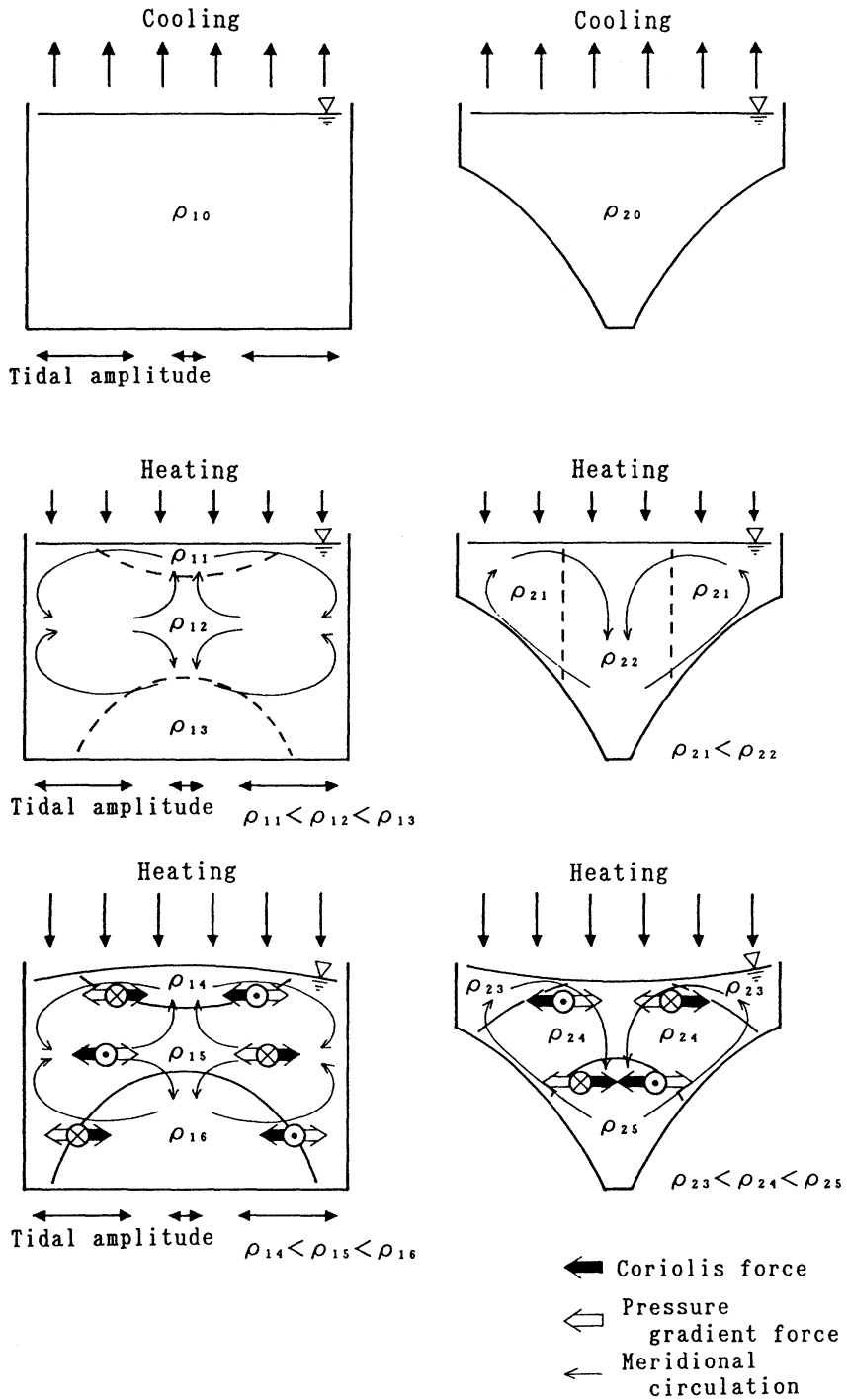


Fig. 11. Schematic figure of the generation mechanisms of the circulations in Case 1 (a) and Case 2 (b).

is applied, i.e., an experiment of Case 4 is carried out in order to reproduce the developed thermocline. Horizontal circulation patterns of Case 4 are coincident with those of Case 2, although the intensity of surface anti-clockwise circulation is weak. The vertical water temperature distribution of Case 4 is shown in Fig. 10. The thermocline develops at the sub-surface layer and the low temperature water mass is formed at the bottom of the deepest part of the basin with dome-like shape. Such water temperature distribution well reproduces that of Fig. 1 (b).

3. Discussion and summary

The circulations in the Yellow Sea during summer are mainly induced by the sea surface heating and are affected by the vertical mixing of the tidal current and the bottom topography. The schematic generation mechanisms of the circulations of Cases 1 and 2 are shown in Fig. 11. In Case 1, the homogeneous water which is formed by the sea surface cooling in winter begins to stratify due to the sea surface heating in spring. However, due to the horizontal difference of the tidal vertical mixing effect, the intensity of the stratification in the central part of the basin becomes stronger than that of surrounding part. Thus, the lightest (highest temperature) and the heaviest (lowest temperature) waters are formed at the upper and lower layers in the central part of the basin. Such density distribution drives the horizontal divergences at the upper and lower layers and the horizontal convergence at the middle layer. Accompanied by such horizontal divergences and convergence, the water column in the central part is shrunk at the upper and lower layers and is stretched at the middle layer, i.e., in the central part of the basin, the water column at the upper and lower layers obtain the negative relative vorticity and that at the middle layer obtain the positive relative vorticity due to the conservation law of potential vorticity in the rotational fluid. Consequently, the clockwise circulations are developed at the upper and lower layers and an anti-clockwise one at the middle layer. Here, the largest vertical velocity of the Case 1 has an order of 10^{-5} cm/sec. So, the vertical maximum movement of

the water particles are only several meters per 180 days, i.e., the water particles obtain the positive (negative) relative vorticity at every time during heating season. Hence, the horizontal circulations of Case 1 are maintained during heating season with the structure of the quasi geostrophic current and the sea level of the central region rises due to the geostrophic adjustment.

In Case 2, the initial condition is the same as that of Case 1. At the beginning of the surface heating, the lighter (higher temperature) water is distributed on the shallow area and the heavier (lower temperature) water in the central deeper part due to the topographic heat accumulation effect. Such density distribution drives the horizontal convergence in the upper layer and the horizontal divergence in the lower layer. Accompanied by such horizontal convergence and divergence, the water column in the central part is stretched in the upper layer and is shrunk in the lower layer, i.e., in the central part of the basin, the water column at the upper layer obtains the positive relative vorticity and that at the lower layer obtains the negative relative vorticity. Consequently, an anti-clockwise circulation is developed at the upper layer and a clockwise one at the lower layer. Here, the largest vertical velocity of the Case 2 has an order of 10^{-5} cm/sec. So, the vertical maximum movement of the water particles are only several meters per 180 days, i.e., the water particles obtain the positive (negative) relative vorticity at every time during heating season. Hence, the horizontal circulations of Case 2 are maintained during heating season with the structure of the quasi geostrophic current and the sea level of the central region falls due to the geostrophic adjustment.

From the water temperature distribution in Fig. 1 (b) and the summer circulations pattern of YANAGI and TAKAHASHI (1993), it is concluded that the generation mechanisms of the circulation in the Yellow Sea during summer correspond to those of both Cases 1 and 2 (i.e. Case 3), although the mechanism of Case 1 weakens the intensity of an anti-clockwise circulation at the upper layer. Furthermore, the thermocline which is not reproduced in the experiment of Case 3 is well reproduced in the

experiment of Case 4 using the vertical eddy diffusivity which depends on the Richardson number, i.e., it is revealed that not only the horizontal distribution of the vertical eddy diffusivity but also the vertical one plays an important role in the formation of the water temperature distribution in the Yellow Sea during summer.

The generation mechanisms of the circulations in the Yellow Sea during summer is revealed using a numerical model with simplified model basin. In this study, the horizontal heat flux between the Yellow Sea and the East China Sea is ignored. However, TAKEOKA *et al.* (1991) revealed the importance of the horizontal heat process in the formation of the density stratification in Hiuchi-Nada of the Seto Inland Sea, Japan. So, we have considered the horizontal heat flux effect to the formation of the density stratification and the circulations of the Yellow Sea during summer in future.

Acknowledgements

The authors wish to express their sincere thanks to Dr. H. TAKEOKA and Mr. H. AKIYAMA of Ehime University and Dr. Y. ISODA of Hokkaido University for their helpful discussions. The numerical experiments were carried out on a FACOM M-770 of the Computer Center of Ehime University.

References

- CHOI, B. H. (1984): A three-dimensional model of the East China Sea. p. 209-224. *In* Ocean Hydrodynamics of Japan and East China Seas, T. ICHIYE (ed.) Elsevier, Amsterdam.
- CHOI, B. H. and H. J. LIE (1992): Physical oceanography program of the East China Sea and the East Sea (Japan Sea) dynamics in Korea. Proceeding of PORSEC-92, 1-28.
- FUKASE, S. (1975): Bottom water on the continental shelf in the East China Sea. *Umi to Sora (Sea and Sky)*, **51**, 13-15. (in Japanese)
- ISHII, T. and J. KONDO (1987): Seasonal variation of the heat balance of the East China Sea. *Tenki (Weather)*, **34** (8), 517-526. (in Japanese)
- ISHII, T. and J. KONDO (1993): Seasonal variation of the heat balance of the East China Sea and its vicinity — Ocean heat transport and Ocean storage of heat —. *Tenki (Weather)*, **40** (5), 309-324. (in Japanese)
- JAMES, I. D. (1977): A model of the annual cycle temperature in the frontal region of the Celtic Sea. *Estuarine, Coastal Marine Sci.*, **5**, 339-353.
- OONISHI, Y. (1975): Development of the current induced by the topographic heat accumulation (1) — The case of the axisymmetric basin —. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **31**, 243-254.
- SU, Y. S. and X. C. WENG (1994): Water masses in China Seas. p. 3-16. *In*: Oceanography of China Seas. 1, ZHOU, D. *et al.*, (eds.), Netherlands.
- TAKEOKA, T., Y. OHNO and N. INAHATA (1991): Roles of horizontal processes in the formation of density stratification in Hiuchi-Nada. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **47**, 33-44.
- TAWARA, S. and T. YAMAGATA (1991): Seasonal formation of bottom water in the Yellow Sea and its interannual variability. *Umi to Sora (Sea and Sky)*, **66**, 273-282. (in Japanese)
- WADACHI, K. (ed.) (1987): *Encyclopedia of Oceanography*. Tokyodo-Press, Tokyo, 589 pp.
- YANAGI, T. and S. TAKAHASHI (1993): Seasonal variation of circulations in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Oceanogr.*, **49**, 491-501.

夏季の黄海の循環流の生成機構に関する数値研究

高橋 暁 ・ 柳 哲雄

要旨：柳，高橋（1993）は夏季黄海では表層で反時計回り，底層で時計回りの循環流が発生することを明らかにした。この循環流の生成機構を明らかにするために単純な地形の数値実験を行った。その結果，この循環流は主に地形性貯熱効果により生成すること，水温鉛直分布には潮流による鉛直拡散の水平的違いが影響していることがわかった。

Nutrition, growth rate and sensibility to grazing for the dinoflagellates *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* and *D. norvegica*.^{*1}

Edna GRANÉLI^{*2}, D. M. ANDERSON^{*3}, Per CARLSSON^{*2}, G. FINENKO^{*4},

S. Y. MAESTRINI^{*5}, Maria A. de M. SAMPAYO^{*6} and T. J. SMAYDA^{*7}

Abstract: Growth rates for three *Dinophysis* species were estimated by incubating whole plankton communities with high levels of ¹⁴C bicarbonate, followed by transfer of single cells to scintillation vials. Based on ¹⁴C uptake during light: dark incubations, growth rates (doublings/day) were 0.52–0.73 for *D. acuminata*, 0.25–0.38 for *D. norvegica* and 0.36–0.45 for *D. acuta*. *D. acuminata*, *D. norvegica*, and *D. acuta* may be mixotrophic, since they incorporated ¹⁴C during dark periods. Dark uptake of carbon was not always observed, however, suggesting that this nutritional strategy may be sporadic and not continuous through time. *D. acuminata* showed better growth in the dark than in light when aspartic acid was added, providing yet another indication of a mixotrophic mode of nutrition. Grazing regulation of *D. acuminata* in concentrated whole phytoplankton communities to which copepods were added, was also investigated. *Centropages typicus* and *Isias clavipes* ingested *D. acuminata* cells in significant amounts (3 and 10% respectively, of total ingested carbon), but only after their preferred food (other phytoplankton species and nauplii) decreased in abundance in the experimental bottles. Maximum ingestion of *D. acuminata* cells occurred after 72 h (40–50% and 30% of total ingested carbon for *C. typicus* and *I. clavipes*., respectively). *Acartia clausii* was the only copepod which immediately started to ingest *D. acuminata* cells at levels above 30% of the total ingested carbon. However, *A. clausii* appeared unhealthy after 24 h in the experimental bottles; while *C. typicus* and *I. clavipes*., started dying only after 48 h of incubation. This suggests that copepods might be poisoned when *D. acuminata* constitutes a large percentage of their food in relation to other phytoplankton species.

1. Introduction

The dinoflagellate genus *Dinophysis* Ehrenberg includes several species which cause DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning). DSP is widespread in Europe, North and South America,

Australia and Japan (YASUMOTO *et al.*, 1980; KROGH *et al.*, 1985; HALLEGRAEFF and LUCAS, 1988; SAMPAYO *et al.*, 1990; EDLER and HAGELTORN, 1990; SEDMAK and FANUKO, 1991; BONI *et al.*, 1993; LEMBEYE *et al.*, 1993, etc).

Within the genus *Dinophysis* there are both photosynthetic and non-photosynthetic species (LUCAS and VESK, 1990; HALLEGRAEFF and LUCAS, 1988). Because of the economic importance of *Dinophysis* much effort has been devoted to its autecology and bloom formation (ALVITO *et al.*, 1990; EDLER and HAGELTORN, 1990; LASSUS *et al.*, 1993; MARCAILLOU-LE BAUT and MASSELIN, 1990; MOITA and SAMPAYO, 1993; DELMAS *et al.*, 1992, etc.). However, our knowledge of *Dinophysis* is still scanty due to the difficulties of maintaining this genus in laboratory cultures (SAMPAYO, 1993).

* Received March 9, 1995

^{*2} Marine Ecology Dept., Univ. of Lund, Ecology Building, 223 62 Lund, Sweden

^{*3} Biol. Dept., Woods Hole Oceanogr. Inst., Woods Hole, MA 02543, U.S.A.

^{*4} Institute of Biology of South Seas, Sevastopol 333 000, Ukraine

^{*5} CREMA - L'Houmeau (CNRS - IFREMER), B. P. 5, 17137 L'Houmeau, France

^{*6} INIP. Av Brasilia 1600, Lisbon, Portugal

^{*7} Graduate School of Oceanography, Univ. Rhode Island, Kingston, R. I. 02881-1197, U.S.A.

2. Material and methods

This paper summarizes results of experiments using single-cell ^{14}C techniques to determine *D. acuminata*, *D. norvegica* and *D. acuta* growth rates as well as the potential of these species for mixotrophic growth. These data, as well as the dynamics of copepod grazing on these species, were obtained through experimental investigations of natural plankton communities from the Skagerrak and Atlantic waters outside Southern France. This paper is a summary only; details of these various studies will be published elsewhere and are referred to in the text.

3. Results and discussion

Recent research on *Dinophysis* spp. autoecology

Growth rates

Most attempts to estimate the growth rates of *Dinophysis* species have been done by cell counting (SAMPAYO, 1993; DELMAS *et al.*, 1992), and recently by the method of cell cycle analysis (CHANG and CARPENTER, 1991). Both methods gave daily growth rates of 0.61 and 0.58 divisions $\cdot\text{d}^{-1}$ for *D. acuminata* and *D. acuta*, respectively (SAMPAYO, 1993) and 0.78 and 0.97 divisions $\cdot\text{d}^{-1}$ for *D. acuminata* (CHANG and

CARPENTER, 1991).

Based on RIVKIN and SELIGER's (1981) single-cell ^{14}C technique, with modifications of the post-incubation washing procedure, individual cells of *D. acuminata*, *D. norvegica* and *D. acuta* were isolated at various time periods (up to 42 h) after the addition of high levels of ^{14}C bicarbonate ($1 \mu\text{Ci}\cdot\text{ml}^{-1}$) to the whole plankton communities. During the 42 h incubation period phytoplankton were subjected to sequences of light and dark (Fig. 1). All three species incorporated ^{14}C during the light periods, with maximum uptake rates of $41 \text{ pg C}\cdot\text{cell}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ for *D. acuminata* and *D. norvegica* and $68 \text{ pg C}\cdot\text{cell}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ for *D. acuta*.

Based on ^{14}C uptake and using the same method as BERLAND *et al.* (1994) estimated growth rates (as doublings/day) were 0.52–0.73 for *D. acuminata*, 0.25–0.38 for *D. norvegica* and 0.36–0.45 for *D. acuta*. We are aware that algae release and / or exudate organic carbon (SAKSHAUG, 1993) might give a bias on our growth rates estimations. Hitherto, however, no measurement of carbon release has been obtained by *Dinophysis* spp. However, the growth rates for *D. acuminata* and *D. acuta* are in the same order of magnitude as obtained by some other authors based in the same method as us (BERLAND *et al.*, 1994) or by counting cells *in*

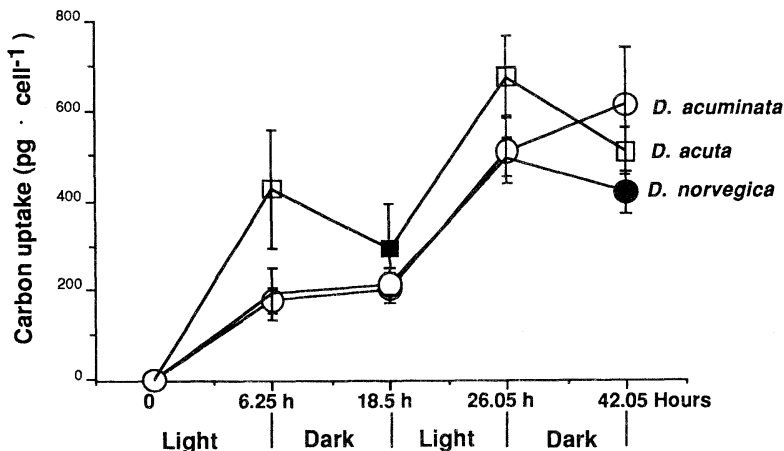


Fig. 1. Accumulated carbon incorporation for three *Dinophysis* species based on ^{14}C -uptake of individually isolated cells. To samples (4L) containing fractionated (20–70 μm size) and concentrated natural phytoplankton communities was added radioactively labelled ^{14}C bicarbonate ($1 \mu\text{Ci}\cdot\text{ml}^{-1}$). After incubation in light ($100 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) and darkness single cells of *Dinophysis* spp. were isolated and placed in scintillation vials ($14\text{--}48 \text{ cells}\cdot\text{vial}^{-1}$). Values are mean \pm 1xsd, $n = 3\text{--}10$ (replicate vials).

situ SAMPAYO (1993) or DNA replication (CHANG and CARPENTER, 1991). There are no estimations of growth rate for *D. norvegica* in the literature.

Mixotrophy and phagotrophy

D. acuminata and *D. norvegica* assimilated radioactively labelled carbon during the dark period, unlike *D. acuta* (Fig. 1). *D. norvegica*, however, did not incorporate ^{14}C during the second dark period. This might be explained by the bad conditions of the cells at the end of the 42 h incubation as observed in the microscope during the single cells isolation. *Dinophysis* species have not been possible to keep in laboratory cultures, and even natural populations generally do not survive more than a few cell divisions *in vitro*. Dark uptake of ^{14}C found for *D. acuminata* and *D. norvegica* suggests that these species might be capable of mixotrophic nutrition. They may have utilised dissolved, radioactively labelled organic carbon released as exudates by other algae, or have fed on radioactively labelled algae/bacteria through phagocytosis.

An experiment was performed in which 10 μM aspartic acid was added to 1 L polythene bottles containing phytoplankton concentrated from Skagerrak coastal surface water on a 20 μm mesh size nylon net after passing through a 70 μm mesh size net (BERLAND *et al.*, 1994). Bottles were exposed either to 12:12 h L:D light ($100 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) or complete darkness. *D. acuminata* grew well without light, but positive growth was not observed when cells were exposed to light in the presence of aspartic acid (Fig. 2). The fact that *D. acuminata* did not grow in the presence of aspartic acid (A.A.) in the light might be explained by the fact that there were not enough inorganic nutrients available to the algae to perform photosynthesis and that heterotrophy is stimulated by dark conditions. Another possibility would be that A.A. has an inhibitory effect upon the growth of this algae in light (we did not find in the literature any similar case, however). For cell division to occur there must be a sufficient supply of carbon, nitrogen, phosphorus, etc. During the dark phase, it was likely that heterotrophy provided carbon, nitrogen and

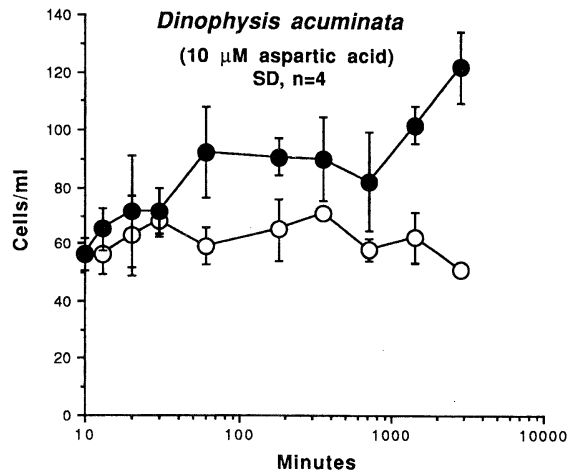


Fig. 2. Growth of *Dinophysis acuminata* in darkness or light ($100 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) in the presence of aspartic acid ($10 \mu\text{M}$).

phosphorus. When light was turned on, photosynthesis resumed and maybe inhibited the heterotrophy pathway. PINTNER and PROVASOLI (1968) have found heterotrophy in *Chrysochromulina strobilus* and *C. brevifilum*. However, these two species could use organic carbon only at low light levels ($5 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). This seems to have been the case for *D. acuminata* in our experiment. In the dark it grew effectively if aspartic acid was added to the medium, but when exposed to light it was able to maintain the population only at the initial cell concentrations (Fig. 2). As our experiments lacks proper controls, i.e. bottles where *Dinophysis*-cells were growing with inorganic nutrients additions in light and dark but no aspartic acid. Another interpretation might be that something else went wrong in the light experiment, and that growth on AA in the dark was an indirect effect, AA serving as a carbon source for bacteria, etc. that were eventually ingested by *Dinophysis*.

Phagotrophy has been demonstrated in the photosynthetic freshwater algae *Dinobryon cylindricum* and *Uroglena americana*. (BIRD and KALFF, 1986, 1987). MANTON and PARKE (1962) suggested, based on taxonomic features, that *Chrysochromulina polylepis* could ingest bacteria. This has been confirmed, not only for *Chrysochromulina* species but also for other flagellates (JONES *et al.*, 1993; NYGAARD and

HESSEN, 1990; NYGAARD and TOBIESEN, 1993). Phagotrophy in the genus *Dinophysis* has until now only been shown for the non-photosynthetic *D. rotundata* (HANSEN, 1991). According to HANSEN (1991) autotrophic *Dinophysis* species are grazed by the ciliate *Tiarina fusus*. However, *D. rotundata* could prey on *T. fusus* via a feeding tube originating from the flagellar pore. HALLEGRAEFF and LUCAS (1988), using transmission electron microscopy, examined three photosynthetic species of *Dinophysis*. Since they did not find food vacuoles, they concluded that these species are strictly autotrophic. However, recently JACOBSON and ANDERSEN (1994) using electron microscopy could identify food vacuoles in *D. acuminata* and *D. norvegica*. However, it was impossible for them to identify with certainty what kind of particles they were, although there was a strong resemblance of these particles to parts of ciliates similar to the ones found in the heterotrophic *Oxyphysis oxytoxoides*. In a sample from Parchal, Arade estuary (Portugal) preserved with Lugol *D. acuminata* was found with a circular particle resembling the centric diatom (*Thalassiosira subtilis* type) inside. The alga was photographed in three different positions to confirm that the particle was really inside the cell (Fig. 3). The mechanism by which this particle got inside *D. acuminata* is not yet known. FRITZ and NASS (1992) have found in the coastal waters of Nova Scotia, Canada the endoparasitic dinoflagellate *Amoebophrya ceratii* inside *D. norvegica*. However this parasite bears no similarity to the particle found by us inside *D. acuminata* in the coastal waters of Portugal, but also found on several occasions during experiments performed by us during the autumn of 1994 in the coastal waters west of Sweden in the Skagerrak.

Grazing on *dinophysis*

Grazers have the potential capacity to control toxic phytoplankton and thus prevent the formation of a bloom. WATRAS *et al.*, (1985) studied the effect of grazing on the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in two Cape Cod (U.S.A.) embayments. In years when *A. tamarense* did not bloom, the grazing rate

exceeded the algal division rates. The main grazers of *A. tamarense* were polychaete larvae (*Polydora ligni*) and the ciliate *Favella* sp. HANSEN (1989), studying the effect of *A. tamarense* on *Favella ehrenbergii*, found that although the algae can be ingested by the ciliate, exudates from the algae act on the cell membranes of the ciliate, causing swelling and, eventually cell lysis.

We have investigated grazing by three copepods (*Centropages typicus*, *Isias clavipes*, and *Acartia clausii*) on the toxic *Dinophysis acuminata*, in comparison to other phytoplankton species and nauplii. The plankton that passed a 75 μ m mesh size nylon net was concentrated on a 25 μ m mesh size nylon net. *D. acuminata*, *Leptocylindrus danicus* together with nauplia made up to 70% of the plankton biomass initially. All three copepods ingested *D. acuminata* cells. *Acartia clausii* ingestion of *D. acuminata* was high, nearly 40% of the total ingested phytoplankton and nauplii cell carbon during the first 24 h of the grazing experiment (Fig. 4). However, after 24 h the *Acartia clausii* individuals were in bad condition and evidently dying. They were thus replaced by new individuals, and the experiment continued. The problem continued, however, such that this procedure had to be repeated every 24 hours. This suggests that when *D. acuminata* represent a high percentage of the ingested food *Acartia clausii* die. Individuals of *Acartia clausii* fed a diatom mixture were healthy, with

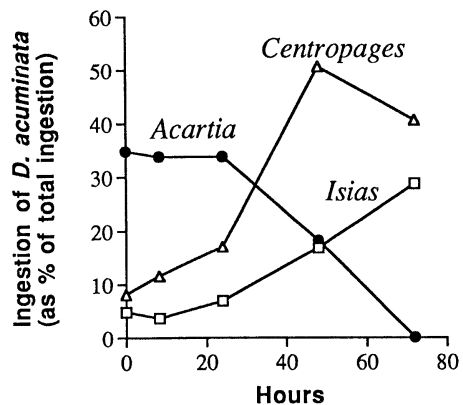


Fig. 4. *Dinophysis acuminata* ingested by the copepods *Acartia clausii*, *Isias clavipes*, and *Centropages typicus* (as carbon) as a percentage of total ingestion (phytoplankton and nauplii).

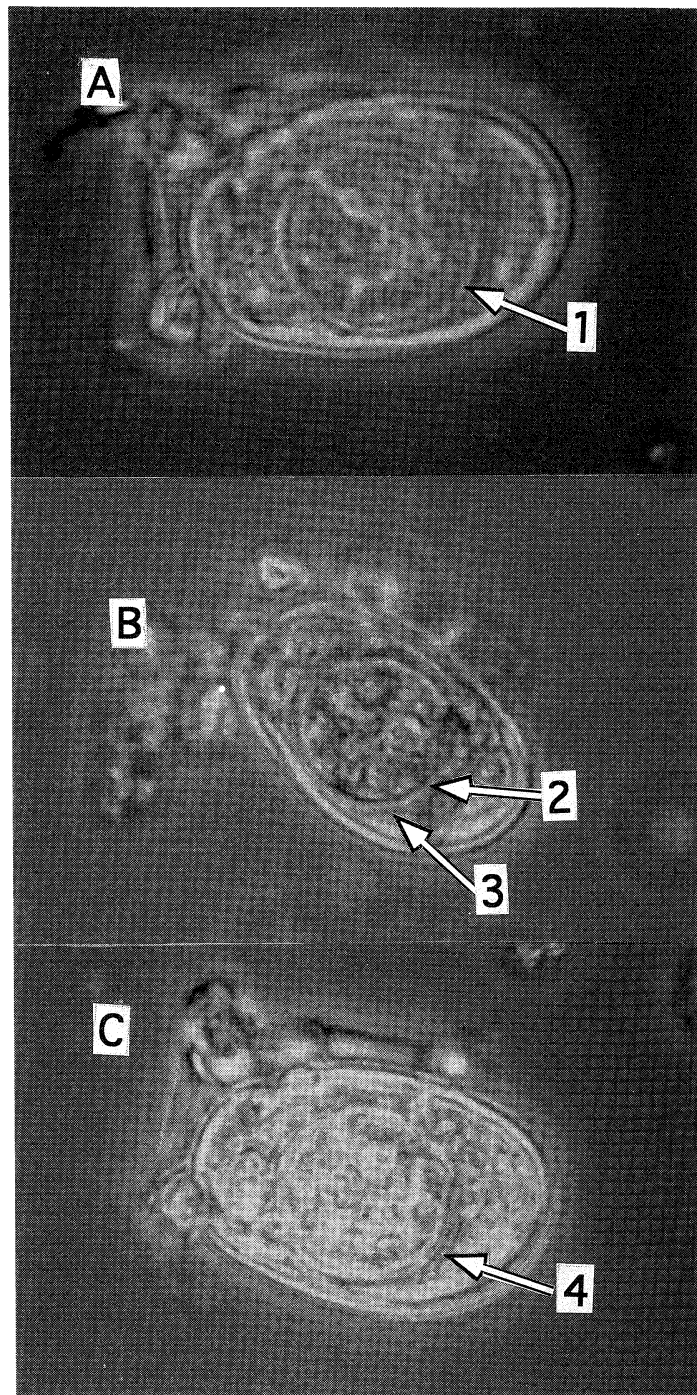


Fig. 3. *Dinophysis acuminata* with *Thalassiosira* sp. inside.

A: Right valve of *D. acuminata* and top valve view of *Thalassiosira* sp. (1). B: More or less antapical view of *D. acuminata* showing *Thalassiosira* sp. valve mantle (2) and the girdle (3). C: *D. acuminata* - right valve where the valvar mantle of *Thalassiosira* sp. is visible (4).

the females producing eggs. This indicates that the cause of death of *Acartia clausii* was not the confinement in bottles, but rather a toxic effect from *D. acuminata*. The other two tested copepods, *C. typicus* and *Isias clavipes*, appeared unhealthy after 48 h of incubation with a concentrated phytoplankton community containing *D. acuminata*. Thus copepods might be negatively affected, probably through a toxin, when *D. acuminata* constitutes a significant proportion of their potential food resources. This suggests that growth of *Dinophysis acuminata*, and possibly other *Dinophysis* species as well, may occur with relatively low losses due to grazing.

4. Conclusions

D. acuminata, *D. norvegica* and *D. acuta* are photosynthetic dinoflagellates which seem to be able of both auxotrophy and phagotrophy. This mixotrophic mode of nutrition might enable these algae to obtain essential substances to growth not possible to obtain otherwise from most of the used media by the scientific community to growth marine phytoplankton in general.

When *D. acuminata* constitutes a significant proportion of the food ingested by copepods, the grazer is poisoned and even dead may occur. This suggests that growth of *Dinophysis acuminata*, and possibly other *Dinophysis* species as well, may occur with relatively low losses due to grazing.

Acknowledgements

These studies were financially supported by the The Swedish Board for Agricultural and Forestry Research, The Swedish Environmental Protection Agency and The Swedish Natural Sciences Research Council, (contract holder Edna Granéli). Our thanks go to Christer NYLANDER for helping us with all the statistical and mathematical calculations.

References

- ALVITO, P., I. SOUSA, S. FRANCA and M. A. de SAMPAYO (1990): Diarrhetic shellfish toxins in bivalve molluscs along the coast of Portugal. *In: Toxic Marine Phytoplankton*. 554 p. by GRANÉLI E., B. SUNDSTRÖM, E. EDLER and D. M. ANDERSON (eds.), Elsevier Publish., New York, 443-449.
- BERMAN, T., CHAVA, B. KAPLAN and D. WYNNE (1991): Dissolved organic substrates as phosphorus and nitrogen sources for axenic batch cultures of freshwater green algae. *Phycologia* **30**, 339-345.
- BERLAND, B. R., S. Y. MAESTRINI, C. BECHEMIN and C. LEGRAND (1994): Photosynthetic capacity of the toxic dinoflagellates *Dinophysis* cf. *acuminata* and *Dinophysis acuta*. *La mer*, **32**, 107-117.
- BIRD, D. F. and J. KALFF (1986): Bacterial grazing by planktonic algae. *Science*, **231**, 493-495.
- BIRD, D. F. and J. KALFF (1987): Algal phagotrophy: regulating factors and importance relative to photosynthesis in *Dinobryon* (Chrysophyceae). *Limnol. Oceanogr.*, **32**, 277-284.
- BONI, L., A. MILANDRI, R. POLETTI and M. POMPEI (1993): DSP cases along the coast of Emilia-Romagna (Northwestern Adriatic Sea). *In: Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, 952 p., T. J. S MAYDA and Y. SHIMIZU (eds), Elsevier Publish., Amsterdam, 475-481.
- CHANG, J. and E. J. CARPENTER (1991): Species-specific phytoplankton growth rates via diel DNA synthesis cycles. V. Application to natural populations in Long Island Sound. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **78**, 115-122.
- DELMAS, D., A. HERBLAND and S. Y. MAESTRINI (1992): Environmental conditions which lead to increase in cell density of the toxic dinoflagellates *Dinophysis* spp. in nutrient-rich and nutrient-poor waters of the French Atlantic coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **89**, 53-61.
- EDLER, L. and M. HAGELTORN (1990): Identification of the causative organism of a DSP-outbreak on the Swedish west coast. *In: Toxic Marine Phytoplankton*. 554 p. GRANÉLI E., B. SUNDSTRÖM, E. EDLER and D. M. ANDERSON (eds.), Elsevier Publish., New York, 345-349.
- FRITZ, L. and M. NASS (1992): Development of the endoparasitic dinoflagellate *Amoebophrya ceratii* within host dinoflagellate species. *J. Phycol.*, **28**, 312-320.
- HALLEGRAEFF, G. M. and I. A. N. LUCAS (1988): The marine dinoflagellate genus *Dinophysis* (Dinophyceae): photosynthetic, neritic and non-photosynthetic, oceanic species. *Phycologia*, **27**, 25-42.
- HANSEN, P. J. (1989): The red tide dinoflagellate *Alexandrium tamarense*: effects on behaviour and growth of a tintinnid ciliate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **53**, 105-116.
- HANSEN, P. J. (1991): *Dinophysis* - a planktonic dinoflagellate genus which can act both as prey and a predator of a ciliate. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **69**, 201-204.

- JACOBSON, D. M. and R. A. ANDERSEN (1994): The discovery of mixotrophy in photosynthetic species of *Dinophysis* (Dinophyceae): light and electron microscopical observations of food vacuoles in *Dinophysis acuminata*, *D. norvegica* and two heterotrophic dinophysoid dinoflagellates. *Phycologia*, **33**, 97–110.
- JONES, H. L. J., B. S. C. LEADBEATER and J. C. GREEN (1993): Mixotrophy in marine species of *Chrysochromulina* (Prymnesiophyceae): ingestion and digestion of a small green flagellate. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **73**, 283–296.
- KROGH, P., J. EDLER, E. GRANÉLI and U. NYMAN (1985): Outbreak of Diarrhetic Shellfish Poisoning on the west coast of Sweden. 561 p. *In*: "Toxic Dinoflagellates", D. M. ANDERSON, A. WHITE and D. BADEN, (eds.), Elsevier Publish., New York, 501–503.
- LASSUS, P., F. PRONIEWSKI, P. MAGGI, P. TRUQUET and M. BARDOUIL (1993): Wind-induced toxic blooms of *Dinophysis acuminata* in the Antifer area (France). *In*: Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, 952 p., SMAYDA, T. J. and Y. SHIMIZU (eds) Elsevier Publish., Amsterdam, 519–523.
- LEMBEYE, G., T. YASUMOTO, J. ZHAO and R. FERNANDEZ (1993): DSP outbreak in Chilean fiords. *In*: Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, 952 p., SMAYDA, T. J. and Y. SHIMIZU (eds), Elsevier Publish., Amsterdam, 525–529.
- LUCAS, I. A. N. and M. VESK (1990): The fine structure of two photosynthetic species of *Dinophysis* (Dinophysiales, Dinophyceae). *J. Phycol.*, **26**, 345–357.
- MANTON, I., and M. PARKE (1962): Preliminary observations on scales and their mode of origin in *Chrysochromulina polytepis* sp. nov. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **42**, 565–578.
- MARCAILLOU-LE BAUT, C. and P. MASSELIN (1990): Recent data on Diarrhetic Shellfish Poisoning in France. 554 p. *In*: Toxic Marine Phytoplankton., GRANÉLI, E., B. SUNDRÖM, E. EDLER, and D. M. ANDERSON, (eds.) 1990, Elsevier Publish., New York; 487–492.
- MOITA, M. T. and M. A. de M. SAMPAYO (1993): Are there cysts in the genus *Dinophysis*? *In*: Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, 952 p., SMAYDA, T. J. and Y. SHIMIZU (eds) Elsevier Publish., Amsterdam, 153–157.
- NYGAARD, K. and D. O. HESSEN (1990): Use of ¹⁴C-protein-labelled bacteria for estimating clearance rates by heterotrophic and mixotrophic flagellates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **68**, 7–14.
- NYGAARD, K., and A. TOBIESEN (1993): Bacterivory in algae: A survival strategy during nutrient limitation. *Limnol. Oceanogr.*, **38**, 273–279.
- PINTNER, I. J. and L. PROVASOLI (1968): Heterotrophy in subdued light of 3 *Chrysochromulina* species. *Bull. Misaki Mar. Biol. Inst., Kyoto Univ., Proceedings of the U.S.-Japan seminar on Marine Microbiology*, **12**, 25–31.
- RIVKIN, R. B. and H. H. SELIGER (1981): Liquid scintillation counting for ¹⁴C uptake of single algal cells isolated from natural populations. *Limnol. Oceanogr.*, **26**, 780–181.
- SAKSHAUG, E. (1993): The relationship between phytoplankton growth rate and production with emphasis on respiration and excretion. *In*: Measurements of primary production from the molecular to the global scale, 287p., LI, W. K. W. and S. Y. MAESTRINI (eds.), ICES Publish, Copenhagen; ICES mar. Sci. Symp., 197, 63–68.
- SAMPAYO, M. A. de M., P. ALVITO, S. FRANCA and I. SOUSA (1990): *Dinophysis* spp. toxicity and relation to accompanying species. *In*: Toxic Marine Phytoplankton. 554 p. GRANÉLI, E., B. SUNDRÖM, E. EDLER and D. M. ANDERSON (eds.), Elsevier Publish., New York, 215–220.
- SAMPAYO, M. A. de M. (1993): Trying to cultivate *Dinophysis* spp. *In*: Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, 952 p., SMAYDA, T. J. and Y. SHIMIZU (eds), Elsevier Publish., Amsterdam, 153–157.
- SEDMAK, B. and N. FANUKO (1991): Occurrence of *Dinophysis* spp. and toxic shellfish in the Northern Adriatic. *J. Applied. Phycol.*, **3**, 289–294.
- WATRAS, C. J., V. C. GARCON, R. J. OLSON, S. W. C HISHOLM and D. M. ANDERSON (1985): The effect of zooplankton grazing on estuarine blooms of the toxic dinoflagellate *Gonyaulax tamarensis*. *J. Plankton Res.*, **7**, 891–908.
- YASUMOTO, T., Y. OSHIMA, W. SUGAWARA, Y. FUKUYO, H. OGURI, T. IGARASHI and N. FUJITA (1980): Identification of *Dinophysis fortii* as the causative organism of Diarrhetic Shellfish Poisoning. *Bull. Japanese Soc. Scient. Fish.*, **46**, 1405–1406.

Résumé. Pour pallier l'absence de toute culture des espèces du genre *Dinophysis*, des populations naturelles ont été incubées en présence de bicarbonate marqué au ¹⁴C, puis des cellules de *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* et *D. norvegica* ont été isolées une à une avec une micropipette et la radioactivité de 5 à 20 cellules identiques mesurée au moyen d'un spectromètre à scintillation liquide. Le taux de croissance a été calculé en rapportant le taux d'assimilation du carbone pendant un cycle lumière-obscure de 24 heures à la teneur moyenne en carbone de l'espèce, elle-même calculée à partir du volume

cellulaire. Les taux de croissance obtenus ont été de 0,52-0,73 division par jour ($\text{div} \cdot \text{j}^{-1}$) pour *D. acuminata*, 0,36-0,45 $\text{div} \cdot \text{j}^{-1}$ pour *D. acuta* et 0,25-0,38 $\text{div} \cdot \text{j}^{-1}$ pour *D. norvegica*. Pour *D. acuta* et *D. norvegica* l'incorporation de carbone marqué ayant été active pendant la phase obscure dans plusieurs échantillons et la croissance de *D. norvegica* ayant été plus active à l'obscurité qu'à la lumière quand de l'acide aspartique a été ajouté au milieu, il est conclu qu'un mode de nutrition mixotrophe est très probable pour ces espèces; l'hétérotrophie-phagotrophie n'étant pas permanente, cependant. La pression du broutage sur *D. acuminata* a été étudiée sur des communautés phytoplanktoniques enrichies en *Dinophysis*. *Centropages typicus* et *Isias clavipes* ont ingéré ce dinoflagellé en quantité notable: 3% et 10% du carbone total ingéré, respectivement, après

toutefois que l'abondance de leur nourriture préférée (diatomées, nauplii) aîť significativement diminué. Le nombre le plus important de cellules de *D. acuminata* capturées a été observée après 72 heures d'incubation, représentant alors 62% du carbone ingéré pour *C. typicus* et 24% pour *I. clavipes*. *Acartia clausii* a été le seul copépode ayant immédiatement ingéré *D. acuminata*, jusqu'à des quantités représentant plus de 30% de carbone total ingéré; 24 heures après, cependant, cette activité a cessé et les individus ont paru être malades. Pour *C. typicus* et *I. clavipes*, il y a eu simplement une baisse d'activité après 48 heures d'incubation. Ces résultats suggèrent un empoisonnement des copépodes par les toxines de *D. acuminata*, pouvant conduire à une forte baisse d'activité quand ce dinoflagellé représente une fraction significative de leur nourriture.

渦鞭毛藻 *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, および *D. norvegica* の栄養, 増殖速度と捕食感受性

Enda GRANELL, D. M. ANDERSON, Per CARSSON, G. FINENKO, S. Y. MAESTRINI,
Maria A. de M. SAMPAYO and T. J. SMAYDA

要旨: 高濃度の ^{14}C 条件下で植物プランクトンに光合成を行わせた後, 渦鞭毛藻類 *Dinophysis* の 3 種について, 細胞を単離測定することによりそれらの増殖速度を求めた。明期および暗期における細胞内への ^{14}C の取り込みから求めた, *D. acuminata*, *D. norvegica* および *D. acuta* の増殖速度 (1 日当たりの分裂速度) は, それぞれ 0.52-0.73, 0.26-0.38 および 0.36-0.45 であった。暗期にも ^{14}C の取り込みが認められたことから, これらの藻類は混合栄養を行っていることが示唆された。しかし混合栄養は恒常的なものではなく, 散発的に行っているものと考えられた。暗期に *D. acuminata* にアスパラギン酸を添加すると明期に比べ増殖速度が増加することからも, この藻類が混合栄養を行っていることが示唆された。濃縮した植物プランクトン群へかいあし類を移入した場合に, その捕食を *D. acuminata* がどのように制御するかについても検討した。*Centropages typicus* および *Isias clavipes* は, 総摂取炭素量中のそれぞれ 3% および 10% を *D. acuminata* を捕食することで得たが, それは彼らがより好む他種の植物プランクトンや動物プランクトンの幼生が減少した後に摂取された。*D. acuminata* の摂取は実験開始から 72 時間後に最大となった (*C. typicus* および *I. clavipes* が *D. acuminata* の捕食により摂取した炭素量は, それぞれの総摂取炭素量の 40-50% および 30% であった)。*Acartia clausii* のみは, 実験開始後直ちに *D. acuminata* を捕食したが, 捕食量は総摂取炭素量の 30% 以下であった。実験容器中の *A. clausii* は 24 時間後には健康状態が悪化したように見受けられ, 一方 *C. typicus* および *I. clavipes* は, 実験開始からわずか 48 時間後には死亡する個体が認められた。以上の結果は, *D. acuminata* が優占する植物プランクトン群は, かいあし類の餌としては有害である事を示唆している。

Toxicity of Nogos-100EC to the Indian major carp *Cirrhina mrigala* fry*

Md. Golam Mahbub ALAM**

Abstract: Static bioassays were conducted for 168-h LC₅₀ tests under laboratory conditions to determine the median lethal concentration (LC₅₀) of nogos to the Indian major carp, *Cirrhina mrigala* fry for different exposure times. Groups of fry (mean weight 1.89g, SD ± 0.173) were exposed to seven concentrations of nogos. The 72-, 96-, 120-, 144- and 168-h LC_{50,s} for exposure to nogos were 2.679 (95% CL 2.550-2.815), 2.527 (95% CL 2.304-2.770), 2.400 (95% CL 2.205-2.613) 2.364 (95% CL 2.145-2.604), and 2.282 (95% CL 2.071-2.514) mg l⁻¹, respectively. In the present investigation, there were no significant (p > 0.05) differences between the median lethal concentrations for different exposure times.

1. Introduction

Aquaculture, as a major component of agriculture in Bangladesh, is practiced either as a primary or secondary source of income. Growing demands for rice for an ever increasing population has led to the modernization of agriculture. Irrigation and use of fertilizers and pesticides are essential for the present agriculture. When there is a crop, there must be weeds, pests and diseases, so the pesticides occupy a good position in protecting the crop as well as in increasing yields significantly. Environmental contamination with pesticides is a problem of world wide importance. The indiscriminate use of pesticides for agricultural purposes has created many problems in environmental pollution. The pollution hazards for aquatic life are increasing significantly with the widespread use of pesticides in agriculture. In Bangladesh, organophosphorus pesticides are commonly used by the farmers in crop fields to control insects and pests. These chemicals end up in water bodies after being washed away with rain water, or flood water and are likely to have harmful effects on fish food organisms, fish eggs, larvae, fry and other aquatic life. Pesticides at high concentrations

are known to reduce the survival, growth and reproduction of fish (MCKIM *et al.*, 1975). More than 250 pesticides are presently available in the market. Their recommended doses and toxic effects on fish are not clearly known. Therefore, the indiscriminate use of these pesticides in our crop field may pose a serious threat to our potential aquatic resources. Nogos is one of the organophosphorus pesticides commonly used against a wide variety of insect and pests in the crop fields.

The present work was carried out to evaluate the toxicity of nogos to determine the LC₅₀ values of the Indian major carp fry, *Cirrhina mrigala* (Hamilton), at different concentrations and exposure periods.

2. Material and methods

Fry (mean weight 1.89 gm SD ± 0.173) of the Indian major carp, *Cirrhina mrigala* (Hamilton) were collected from the Fisheries Research Institute, Riverine Station, Chandpur nursery Bangladesh. The fry were acclimatized for 15-20 days at 27 ± 2°C in a 3000 l cement tanks before the test and fed with an artificial diet containing rice bran, wheat bran, mustard oil cake and fish meal. Before starting of the experiment, animals were kept in a 500 l fibre glass tanks for 48 hr without feeding.

Preparation of the test solution: Commercial grade (Ciba Geigy, Bangladesh Ltd) nogos-100 EC (Dichlorovos 2, 2-Dichlorovinyl dimethyl

* Received March 28, 1995

** Institute of Biological Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

Table 1. The percentage mortality of major carp (*Cirrhina mrigala*) fry after 168-h exposure to different concentration of nogos.

Solution No.	Concentration (mg l ⁻¹)	Mortality (%)
Control	0.00	0.00
1	1.50	6.00
2	1.75	18.00
3	2.00	30.00
4	2.25	60.00
5	2.50	66.00
6	2.75	83.00
7	3.00	100.00

posphate) was used as a test chemical for the present study. The above pesticide was obtained from a local market. The dose of nogos was determined on the basis of "active ingredient". The chemical was measured by a micropipette and diluted with distilled water in a glass jar to obtain the desired dose concentration. The test chemical was directly poured into water of the test aquarium.

Experimental system: Static bioassays were conducted following the method recommended by Committee on Method for Toxicity Tests with Aquatic Organisms (1975). Tests were conducted in 24 independent glass aquaria arranged in three rows on a platform. Fish to water ratio was maintained at less than 1.0 gm fish per 1.5 l water (APHA, 1980). Each aquarium (30×60×28.5 cm) contained 30 l of water. Stone aerators connected to a compressors were used to maintain an adequate DO level in test aquaria.

Experimental procedure: Seven concentrations of nogos and one control were bioassayed (Table 1) with three replicates. Control was maintained in the same way. A batch of 10 fry were released to each of the aquaria. They were assigned among the test aquaria randomly and were not fed during the test period. Each bioassay was conducted for 168-h to obtain the lethal threshold concentration. Records of mortality were made at logarithmic time intervals (HASAN and MACINTOSH, 1986a; 1986b). All tests were done under laboratory conditions at the prevailing room temperature and humidity. Measurement and analyses of the physico-chemical characteristics of the water in the test and control aquaria were

Table 2. Physico-chemical characteristics of the test solution during the period of bioassay.

Properties	Mean	Range
Temperature (°C)	28°C	27°C–30°C
Dissolved oxygen	5.2 ppm	4.8–6.9 ppm
pH	7.3	7.2–8.0
Carbon dioxide	12.0 ppm	11.0–15.0 ppm
Total alkalinity	68.0 ppm	65.0–79.0 ppm
Total hardness	59.0 ppm	57.0–120.0 ppm

carried out according to the methods of APHA (1980).

Analysis of experimental data: The median lethal concentration (LC₅₀) values and their 95% confidence limits for different exposure times were calculated by using the trimmed Spearman-Kärber method (HAMILTON *et al.*, 1977) by using a computer programme developed in GW-basic 3.20. Tests for significant differences were carried out between (LC₅₀) values using APHA (1980).

3. Results

The cumulative percentage mortality of *Cirrhina mrigala* fry at different concentration of nogos after 168-h exposure are presented in Table 1. Very few mortalities were observed at concentrations of 1.50 and 1.75 mg l⁻¹ nogos. Out of these two concentrations, 30% mortalities were occurred at 2.00 mg l⁻¹. The control group of fishes showed normal behaviour and remained alive during the experimental period. 60% or more mortalities were recorded at the concentrations above 2.25 mg l⁻¹ nogos.

The water quality characteristics of the test solution during the bioassay period are shown in Table 2. It was observed that there was almost no change in the dissolved oxygen concentration and no significant increase in carbon-dioxide content of water.

The median lethal concentrations of nogos and their 95% confidence limits for various exposure times presented in Table 3. The test of significance between median lethal concentrations of different exposure times showed no significant difference ($p > 0.05$). Fry which were found alive in different lethal concentrations, were transferred to fresh water after 168-h of exposure and were supplied with food. It

Table 3. Median lethal concentrations (mg l^{-1}) and their 95% confidence limits of Nogos for various exposure times.

Exposure time (h)	LC ₅₀ (tp-20) mg l^{-1}	95% CL
72	2.679	2.550-2.815
96	2.527	2.304-2.770
120	2.400	2.205-2.613
144	2.364	2.145-2.604
168	2.282	2.071-2.514

* tp- Trim percent

was observed that the fry did not regain their normal appetite and showed signs of insecticidal poisoning.

4. Discussion

Several biological anomalies were found in the test organisms due to pesticidal action. The abnormal behaviour of the experimental fry exposed to nogos included erratic swimming, increased operculum activity, jumping out of the test media, violent spasm, jerking, convulsions and loss of equilibrium. These types of behaviour were pronounced in fry exposed to 2.50, 2.75, and 3.00 mg l^{-1} of nogos. Initially the fry were found to be excited showing erratic movement, but as time increased, their activities were reduced and they lay on the bottom of the aquaria with spasmodic opercular movement. Finally the treated fry exhibited symptoms of increased ventilation, convulsion and a loss of equilibrium. Most of the fry were found to be covered with a thick layer of mucus around their bodies while a few in 3.00 mg l^{-1} concentration showed the symptoms of forming vesicles on the integument. Excess mucus secretion by the treated fishes may be an adaptive effort to prevent entry of pesticides through skin and gill.

The behavioural changes associated with nogos treatment are in conformity with the observations of VERMA *et al.*, (1977). Basudin (diazinon) was reported to give 80% mortality of *Heteropneustes fossilis* at the 10.0 mg l^{-1} concentration (KHAN and AHMED, 1966). ANNESS (1976) reported that diazinon was the most toxic among the organophosphates tested against *Channa punctata*. BEGUM (1975), AHMED (1975) and KHAN (1980) also reported similar results. Nevertheless the present study

indicates that nogos at concentrations of 2.50, 2.75 and 3.00 mg l^{-1} was highly toxic to *C. mrigala* fry after 96-h exposure period. LC₅₀ values for 12-, 24- and 48- exposure times could not be conducted within the logarithmic range of concentration. In the present investigation, the acute toxicity of nogos ceased, and the lethal threshold concentration was reached within 168-h of exposure. There were no significant differences between the median lethal concentrations for different exposure times. Similar results showing lethal threshold concentration of unionized ammonia within 168-h of exposure have been reported for common carp fry by HASAN and MACINTOSH (1986).

Further research is needed for detailed study on the harmful effect of this pesticides on other aquatic biota and fish species. Research on histopathological changes in fish tissue and blood parameters should also be conducted to assess the nature of toxic effects on fish.

References

- AHMED, M. S. (1975): Effects of three organophosphorus insecticides on fish *Anabas testudineus*, M. Sc. Thesis, Department of Zoology, University of Dhaka, Bangladesh, 1-50 pp.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION AND WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (1980): Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition. American Public Health Association, Washington, D.C., 1134pp.
- ANNES, M. A (1976): Intestinal pathology of freshwater teleosts, *Channa punctatus* (Bloch) exposed to sublethal and chronic levels of three organophosphorus insecticides. Acta. Physiol. Lat. Am. **26**, 63-67.
- BEGUM, R. (1975): Effects of three organophosphorus insecticides to shingi fish *Heteropneustes fossilis* (Bloch). M. Sc Thesis. Department of Zoology, Dhaka University. 1-47 pp.
- COMMITTEE ON METHODS FOR TOXICITY TESTS WITH AQUATIC ORGANISMS (1975): Methods for Acute Toxicity Tests with Fish, Macro invertebrates, and Amphibians. Ecol. Res. Ser., EPA-660/3-75 009, U. S. Environmental Protection Agency, Corvallis, Ore.
- HAMILTON, M. A., R. C. RUSSO, and R. V. THURSTON (1977): Trimmed Spearman Karber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. Environ. Sci. Technol. **11**, 714-719.

- HASAN, M. R. and D. J. MACINTOSH (1986a): Acute toxicity of ammonia to common carp fry. *Aquaculture*, **54**, 97-107.
- HASAN, M. R. and D. J. MACINTOSH (1986b): Effect of chloride concentration on the toxicity of nitrite to common carp, *Cyprinus carpio* L., fry. *Aqua. Fish Manage.*, **17**, 19-30.
- KHAN, D. U. and K. A. AHMED. (1966): Toxicity of various insecticides to fishes. Abstracts. First Agricultural Symposium.
- KHAN, A. M. (1980): Some histopathological effects of organophosphorus insecticides. Diazinon, Carbicron and Dimecron on the gonads of freshwater catfish. *Heteropneustes fossilis* (Bloch). M. Sc. Thesis. University of Dhaka. 1-66pp.
- KCKIM, J. M., D. A. BENOIT, K. E. BIESINGER, W. A. B RUNOS and B. E. SIEFERT (1975): Journal of water pollution control Federation **47**, 1711-1768.
- VERMA, S. R., S. K. BANSAL and R. C. DALELA (1977): Quantitative estimation of biocide residues in a few tissues of *Labeo rohita* and *Heteropneustes fossilis*. *Indian J. Environ. Health*, **19**, 189-198.

インド鯉稚魚への殺虫剤 Nogos-100EC の毒性

Md. Golam Mahbub ALAM

要旨：インド鯉 (*Cirrhina mrigala*) 稚魚への殺虫剤Nogos-100ECの毒性実験を実験室環境で行なった。実験に用いたインド鯉稚魚の大きさは 1.89 ± 0.17 であり、7段階の殺虫剤濃度の効果を調査した。殺虫剤Nogos-100ECの示したインド鯉稚魚への致死濃度 (LC_{50}) は、実験時間の72, 96, 120, 144および168時間に対し、それぞれ2.679 (統計的95%信頼限界：2.550-2.815), 2.527 (統計的95%信頼限界：2.304-2.770), 2.400 (統計的95%信頼限界：2.205-2.613), 2.364 (統計的95%信頼限界：2.145-2.604), 2.282 (統計的95%信頼限界：2.071-2.514)であった。したがって、本実験におけるインド鯉稚魚への致死濃度 (LC_{50}) は、統計的には ($p > 0.05$) 時間依存性が認められない。

Variations in oxygen, nutrient and carbonate fluxes of the Kuroshio Current*

C. T. A. CHEN**, C. T. LIU*** and S. C. PAI***

Abstract: Measured concentrations of dissolved oxygen (DO), phosphate (PO_4), nitrate (NO_3), silicate (SiO_2), total alkalinity (TA) and calculated total CO_2 (TCO_2) in a section (WOCE PR 20 line) off southeast Taiwan across the Kuroshio current have been combined with the geostrophic velocity to estimate the net northward transports of oxygen, nutrients and carbonates. During the four cruises of R/V Ocean Researcher 1: CHIPS-1 (May 1985); OR 257 (Oct. 1990); OR 287 (June 1991) and OR 316 (May 1992) the net northward volume transports across the 121–130° E cross-section at 21° 45' N were 20, 19, 50 and 39 Sv, respectively, above 1000 m. The Kuroshio could be clearly identified in May 1985 and June 1991 when the northward transports were 38 and 53 Sv, respectively, between 121 and 123° E. The segment between 123 and 130° E actually transported respectively, 18 and 3 Sv, southward. In Oct. 1990 and May 1992 the northward transports were more diffusive. The nutrient fluxes indicate a "nutrient stream" below the high velocity core of the Kuroshio current. For oxygen and carbonates, the distributions of flux have similar structures as the velocity field. For each cruise, the net along-stream transports of oxygen, phosphate, nitrate, silicate, alkalinity and total CO_2 between 121 and 130° E were as follows: May, 1985, 3971 (DO), 12 (PO_4), 194 (NO_3), 725 (SiO_2), 62156 (TA) and 63571 (TCO_2) kmol/s; Oct. 1990, 8585 (DO), 12 (PO_4), 196 (NO_3), 382 (SiO_2), 45258 (TA) and 41822 (TCO_2) kmol/s; June 1991, 8487 (DO), 11 (PO_4), 164 (NO_3), 317 (SiO_2), 82002 (TA) and 71399 (TCO_2) kmol/s; and May, 1992, 6549 (DO), 21 (PO_4), 299 (NO_3), 474 (SiO_2), 89818 (TA) and 77531 (TCO_2) kmol/s. Northward fluxes were concentrated between 121 and 123° E and southward fluxes were more diffusive.

1. Introduction

The Kuroshio (Black Stream), as the western boundary current in the North Pacific Ocean, plays an important role in the meridional transports of mass, momentum, heat and fresh water. It is generally considered to be originated from the area southeast of Taiwan and east of the Bashi Strait as a continuation of the North Equatorial Current. The Kuroshio is characterized by its high speed, narrow width and great depth. It brings a large quantity of warm equatorial seawater while traveling northward along the east coast of Taiwan (NITANI, 1972; PAI, *et al.*, 1987). Because of its characteristic high temperature and salinity, it

has important impacts both on the local climate and the marine biological resources. Our interest is to quantitatively estimate the material fluxes carried by the Kuroshio.

Although there are numerous studies on Kuroshio volume transport (e.g. SVERDRUP *et al.*, 1942; WYRTKI, 1961; NITANI, 1972; BINGHAM and TALLEY, 1991; CHEN *et al.*, 1992; ICHIKAWA and BEARDSLEY, 1993), in fact none of these dealt with fluxes of chemical species. The first quantitative estimates of nutrient fluxes for the Pacific was as recent as 1983 (WUNSCH *et al.*). In the Atlantic, the first calculation of nutrient fluxes seems to be that of BREWER and DYRSSEN (1987). They multiplied the average property values by the net meridional transport in each depth class to find the net flux across 24° N. BREWER *et al.* (1989), CSANADY (1990) and RINTOUL and WUNSCH (1991) further extended the flux calculation in the North Atlantic

* Received May 17, 1995

** Institute of Marine Geology, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan, R.O.C.

*** Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, R.O.C.

Ocean to include nutrients, oxygen and CO₂.

In the North Pacific, ROEMMICH (1989) studied the mass and nutrient fluxes in the southern California coastal waters and ROBBINS *et al.* (1994) covered the entire 24°N cross-section. We are not aware of similar work in the source region of Kuroshio except for our preliminary work based on data collected southeast of Taiwan in May, 1985 (CHEN *et al.*, 1994).

In this note, we shall compare our 1985 data with additional data collected in 1990, 1991 and 1992. The fluxes, and the gross and net transports of dissolved oxygen, phosphate, nitrate, silicate, alkalinity and total CO₂ are presented.

2. Sources of data

The hydrographic data used in this note are cited from the data reports of CHIPS-1 (May 1985, LIU *et al.*, 1986, 1987); OR 257 (Oct. 1990, CHEN *et al.*, 1993a); OR 287 (Jun. 1991, LIU *et al.*, 1991; CHEN *et al.*, 1993b), and OR 316 (May 1992, PAI *et al.*, 1992; CHEN *et al.*, 1993c). As is shown in Fig. 1, there were 29 CTD stations between 121 and 130°E, but in general only 21 stations were chosen for chemical analysis. The ana-

lytical procedures in determining the dissolved oxygen, phosphate, nitrate, silicate, and total alkalinity were described in PAI *et al.* (1987) and CHEN *et al.* (1993a). Total CO₂ was calculated based on pH and TA data (CHEN, 1984).

3. Results and discussion

Currents

We calculated geostrophic velocity based on a level of no motion at 1000 dB (Fig. 2a-d). The calculation based on a level of no motion at 2000 dB resulted in a similar pattern above 1000 dB and little or no motion (<5cm/s) below 1000 dB (Fig. 2e). These results agree with that obtained by NITANI (1972) and show various northward and southward bands. There were two rather strong northward current bands west of 123°E and weaker but much wider southward bands in May, 1985 (Fig. 2a). The total northward transport above 1000 m was 65 Sv and the total southward transport was 45 Sv, yielding a net northward flow of 20 Sv (Table 1).

It should be pointed out that the net northward transport was as much as 38 Sv between

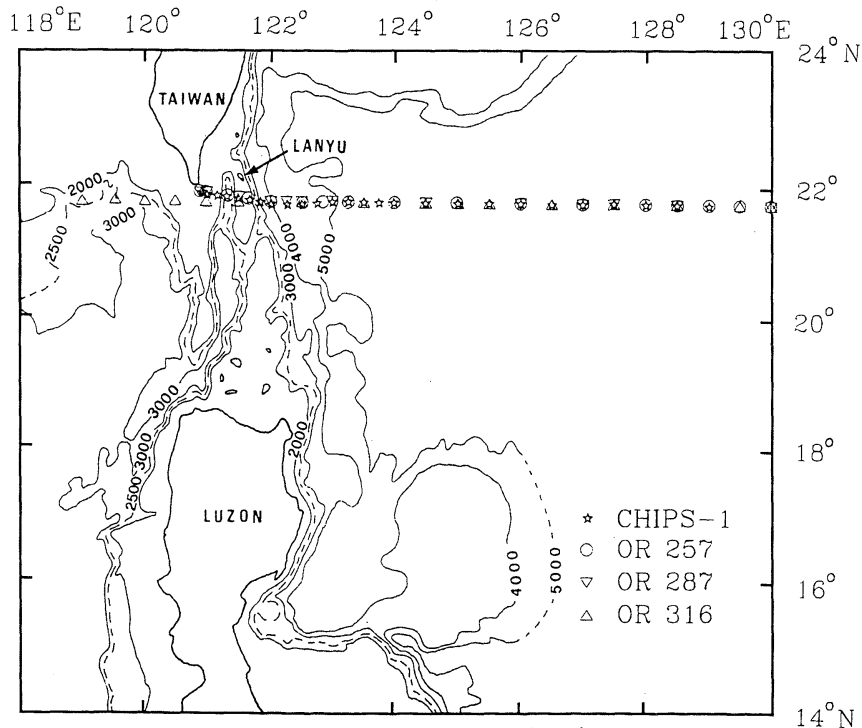


Fig. 1. Study area and station locations.

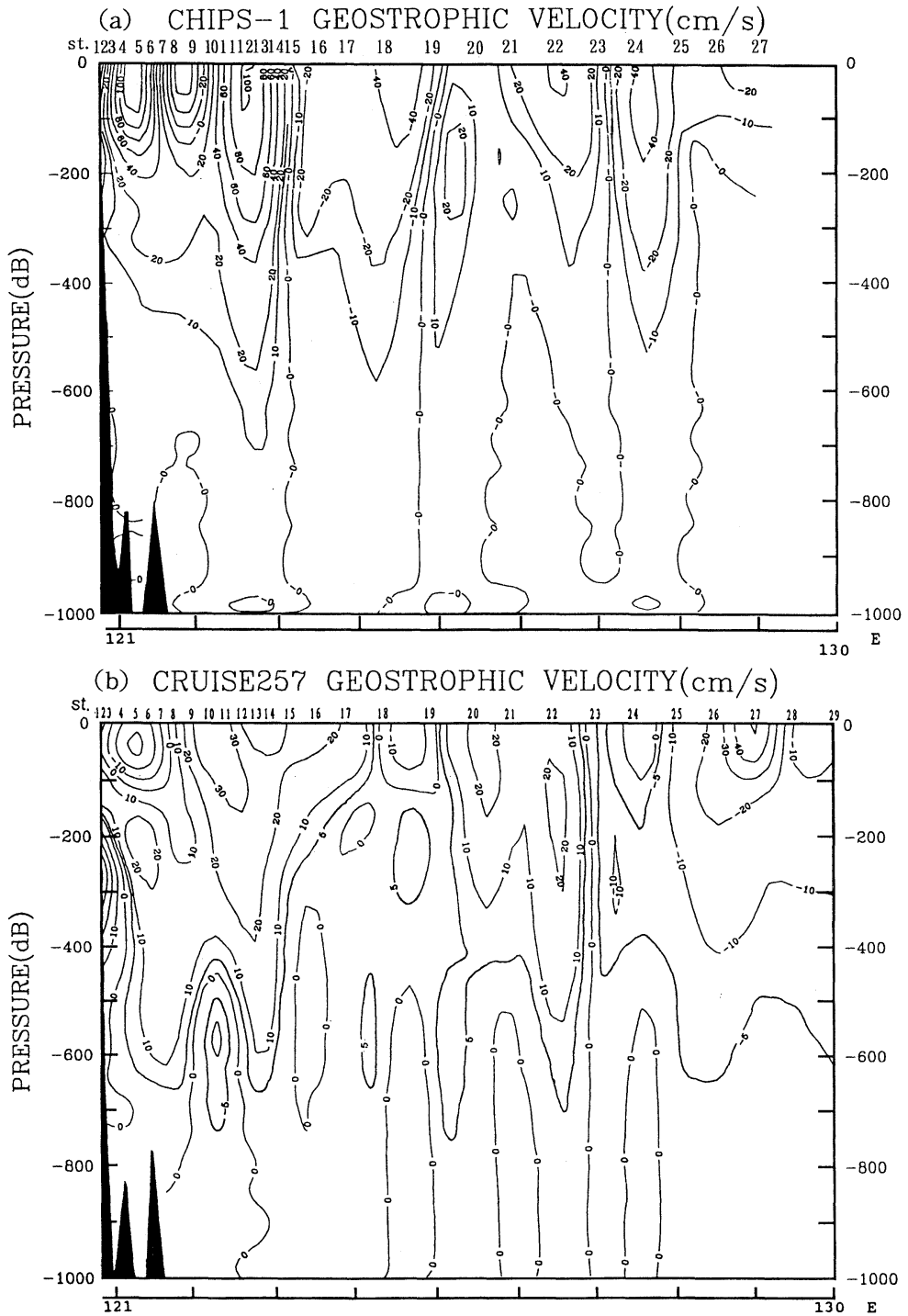


Fig. 2. Geostrophic velocity at the section near $21^{\circ}45' N$ for (a) CHIPS 1, (b) OR 257, (c) OR 287 and (d) OR 316 cruises based on a level of no motion at 1000 dB; and for (e) OR 316 based on a level of no motion at 2000 dB. Contours are in centimeter per second and the positive sign indicates northward flow.

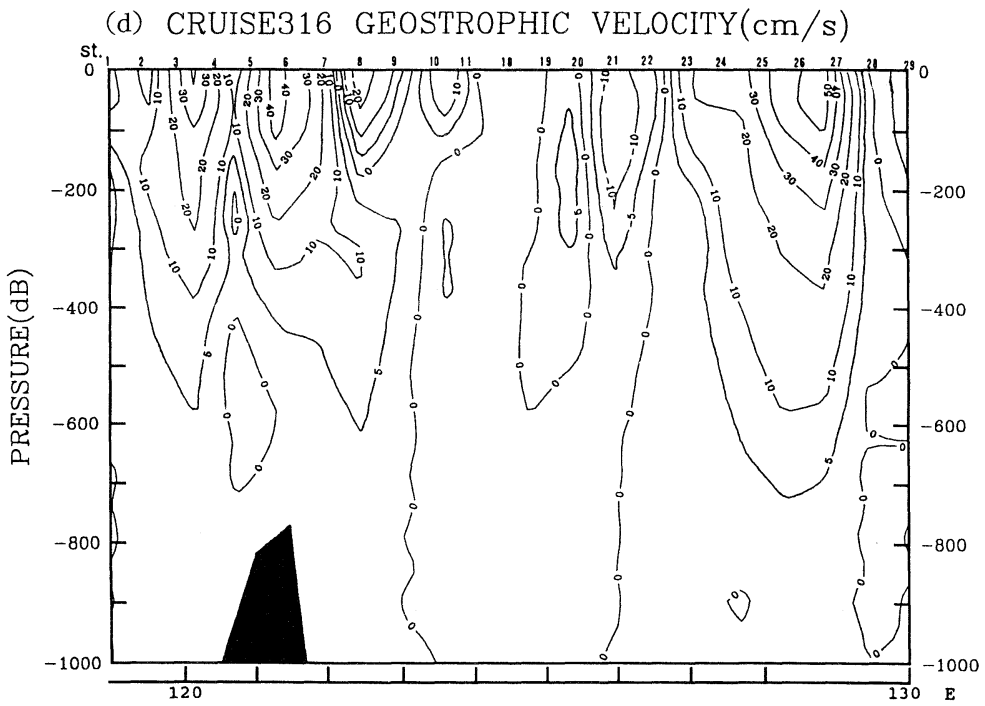
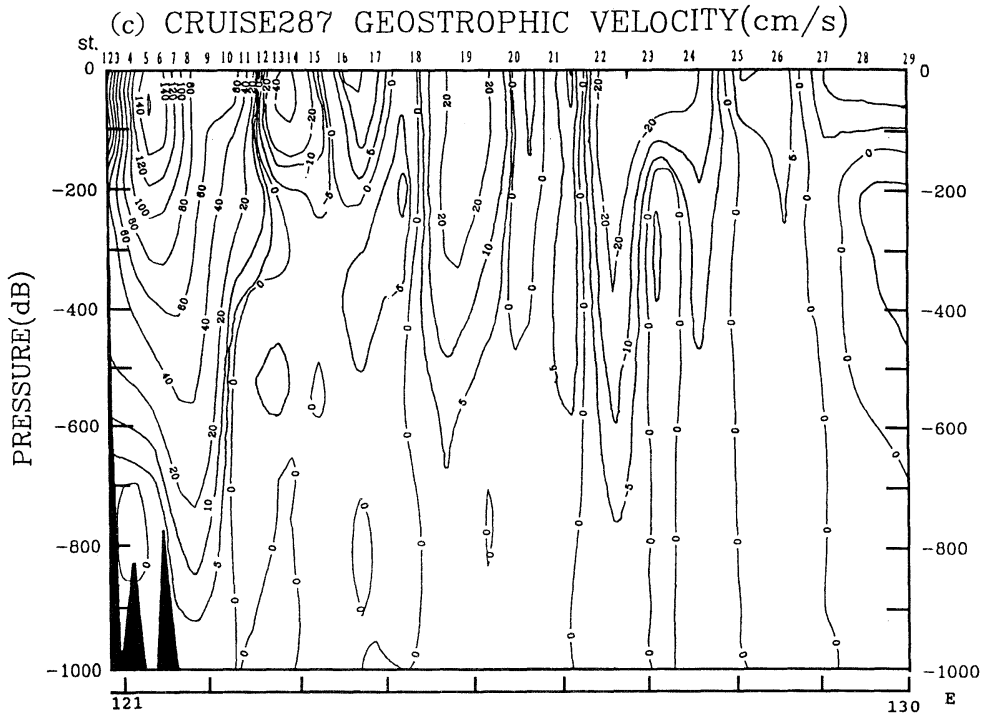


Fig. 2. (Continued)

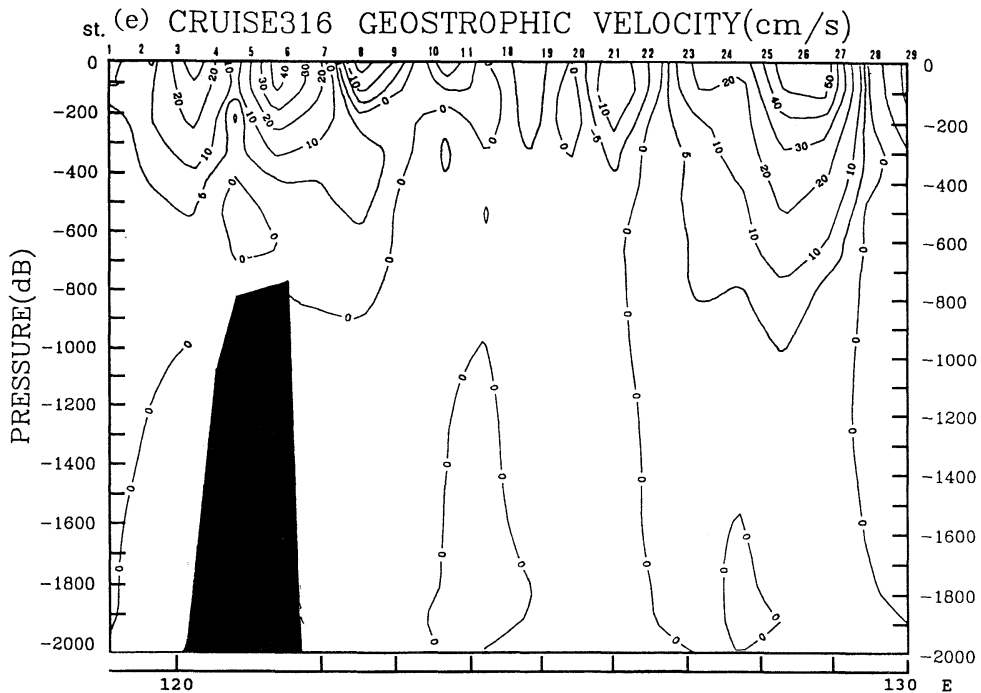


Fig. 2. (Continued)

121 and 123° E (Table 1), which reflects the strong influence of the Kuroshio. The net flow was southward (18 Sv) between 123 and 130° E. Again we discuss only the flow above 1000 m and do not consider the deep southward flow beneath the Kuroshio (CHEN, 1992; NAKANO *et al.*, 1994).

The currents in Oct. 1990 were relatively weak and variable with no dominating bands. The Kuroshio could not be easily identified (Fig. 2b). The northward flow was 49 Sv and the southward flow was 30 Sv, resulting in a net northward flow of 19 Sv. The net northward transport was 15 Sv between 121 and 123° E. The currents between 123 and 130° E contributed 4 Sv to the northward transport (Table 1).

The Kuroshio was rather strong in June, 1991 with a dominating northward flowing current band between 121 and 123° E (Fig. 2c). The northward flow totaled 78 Sv. The net northward flow was as much as 50 Sv after subtracting the southward flow of 28 Sv. Most of the northward transport occurred between 121 and

Table 1. Volume transports (Sv) at 21° 45' N west of 130° E during CHIPS-1, OR 257, 287 and 316 cruises

	CHIPS-1* May 1985	OR 257 Oct. 1990	OR 287 June 1991	OR 316 May 1992
121-130° E				
Northward	65	49	78	50
Southward	-45	-30	-28	-11
Net	20	19	50	39
121-123° E				
Northward	40	18	56	14
Southward	-2	-3	-3	-2
Net	38	15	53	12

* 121-129° E

123° E (53 Sv, Table 1).

The Kuroshio was again weak in May, 1992 after the weak El Nino, but the total northward flow was still as much as 50 Sv. The southward flow was weak, totaling 11 Sv. The net northward flow was 39 Sv between 121 and 130° E and only 12 Sv between 121 and 123° E. This suggests that the northward flow was wide and not concentrated by the Kuroshio.

The fluxes of oxygen, nutrients and carbonates were calculated by multiplying geostrophic velocity by concentration. Integrating these data gives the total fluxes.

Oxygen

The highest dissolved oxygen was always found near the surface layer, with concentration near or slightly above saturation. The minimum was as low as 60 μ mol/kg near 1000 m. A typical cross-section (OR 316, May, 1992) is given in Fig. 3a. The contours shoaled westward indicating upwelling. The strong vertical mixing in the South China Sea also tends to lower the oxygen concentration of waters above 1000 m. Because the South China Sea water has a strong influence near the Bashi Channel above 1000 m, the oxygen content was lowered accordingly (CHEN and HUANG, 1995).

As is shown in Fig. 4a, the typical fluxes of dissolved oxygen (OR 316, May 1992) ranged from -58 to 108 mmol/m²/s (positive sign indicates northward flow), with maxima near St. 5 and 26. Since the flux was dominated by oxygen concentration and current velocity, and both decreased with depth, the flux structure of dissolved oxygen was similar to the velocity structure. The gross flux of oxygen at this section was 7.96×10^6 mol/s northward and 1.42×10^6 mol/s southward, yielding a net flux 6.55×10^6 mol/s down-stream, for this section between 121 and 130° E. The segment between 121 and 123° E contributes 36% to the oxygen flux. In May 1985 and June 1991 the segment between 121 and 123° E contributed 54 and 80% of the northward oxygen flux. Only 30% of the Oct. 1990 flux was between 121 and 123° E. There were large annual variations in oxygen

Table 2. Transports of Dissolved oxygen, Nutrients and Carbonates at 21° 45' N Between 121 and 130° E

	DO 10 ⁶ mol/s	PO ₄ kmol/s	NO ₃ kmol/s	SiO ₂ kmol/s	TA 10 ⁶ mol/s	TCO ₂ 10 ⁶ mol/s
May 1985*						
Northward	11.542	24	392	1156	122.18	116.42
Southward	-7.571	-12	-198	-431	-60.02	-52.85
Net	3.971	12	194	725	62.16	63.57
Oct. 1990						
Northward	9.533	24	351	672	85.35	77.49
Southward	-0.948	-12	-155	-290	-40.09	-35.67
Net	8.585	12	196	382	45.26	41.82
June 1991						
Northward	11.368	24	329	667	114.79	100.88
Southward	-2.881	-13	-165	-350	-32.78	-29.48
Net	8.487	11	164	317	82.00	71.40
May 1992						
Northward	7.964	24	335	549	103.40	90.57
Southward	-1.415	-3	-36	-75	-13.58	-13.04
Net	6.549	21	299	474	89.82	77.53

* 121-129° E

Table 3. Net Northward Transports of Dissolved Oxygen, Nutrients and Carbonates at 21° 45' N between 121 and 123° E

	DO (10 ⁶ mol/s)	PO ₄ (kmol/s)	NO ₃ (kmol/s)	SiO ₂ (kmol/s)	TA (10 ⁶ mol/s)	TCO ₂ (10 ⁶ mol/s)
May 1985	7.305	15	232	730	84.49	79.21
Oct. 1990	2.609	11	162	310	41.70	37.04
June 1991	6.757	13	179	365	65.91	58.87
May 1992	2.378	8	121	180	31.67	29.41

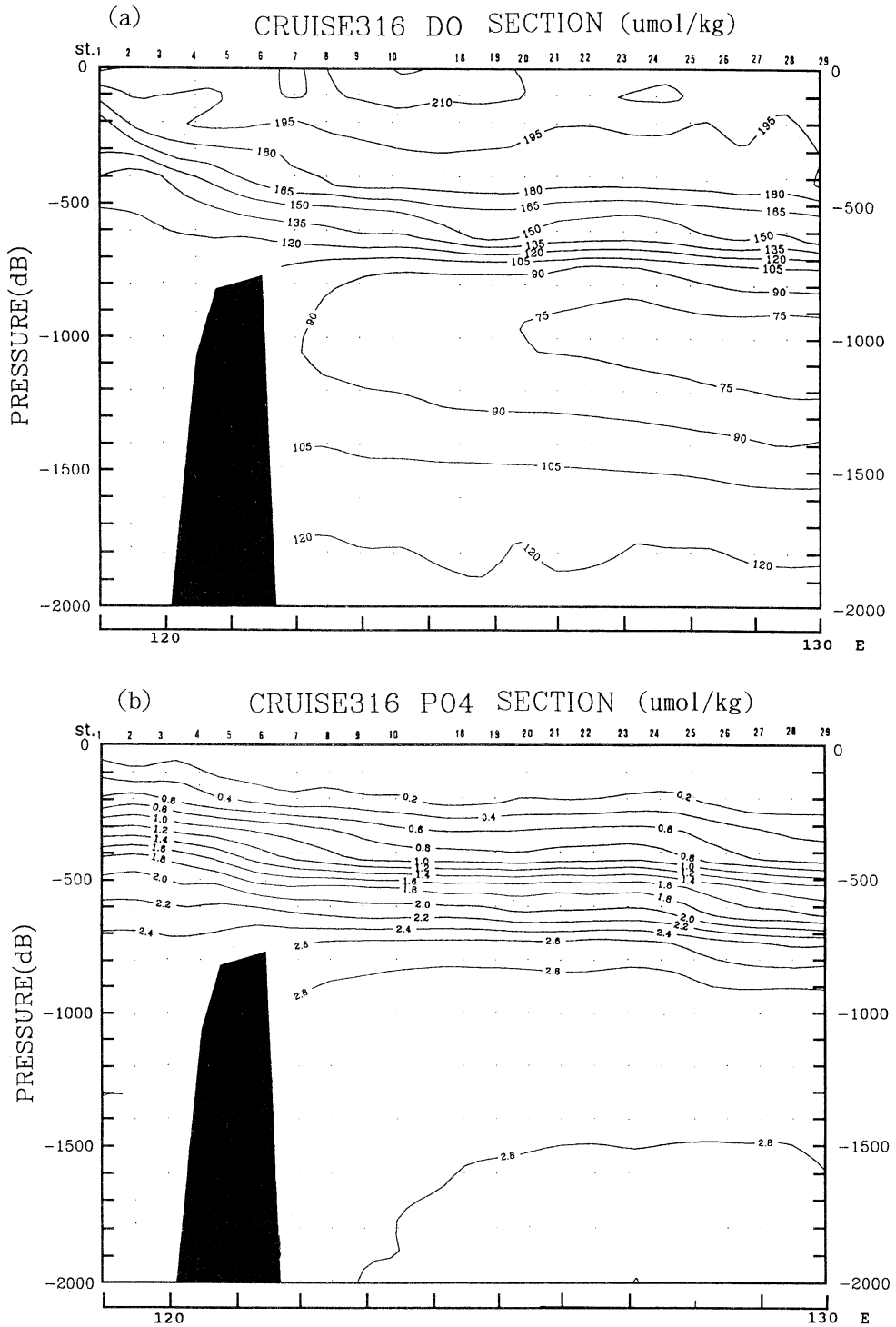


Fig. 3. Cross-section of (a) dissolved oxygen; (b) phosphate; (c) nitrate; (d) silicate; (e) alkalinity and (f) total CO₂ near 21°45' N for OR 316 cruise.

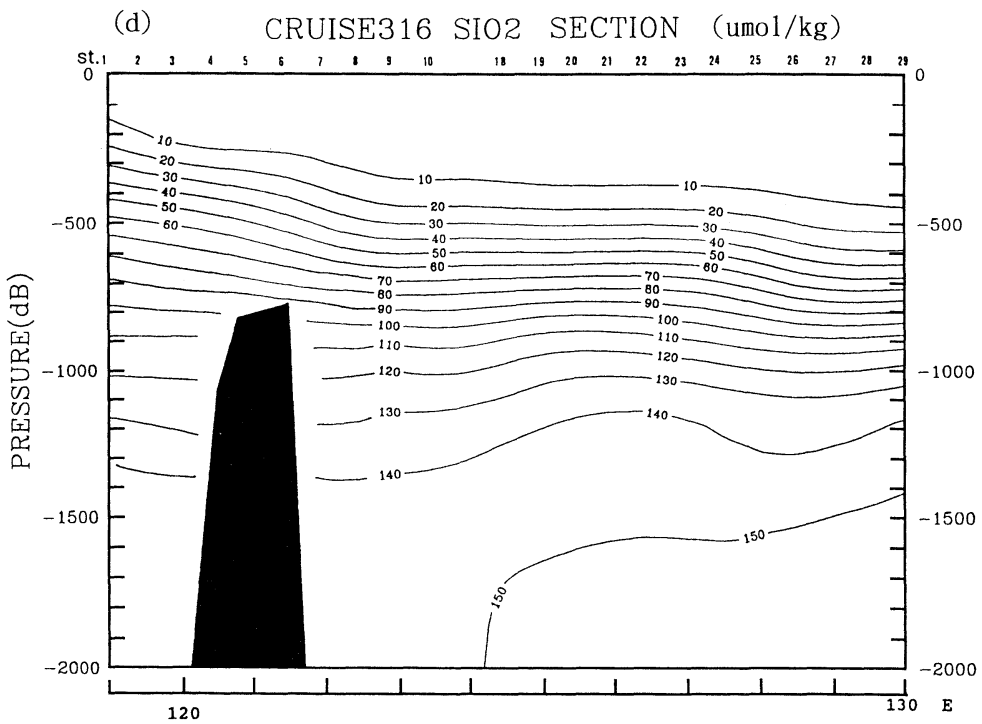
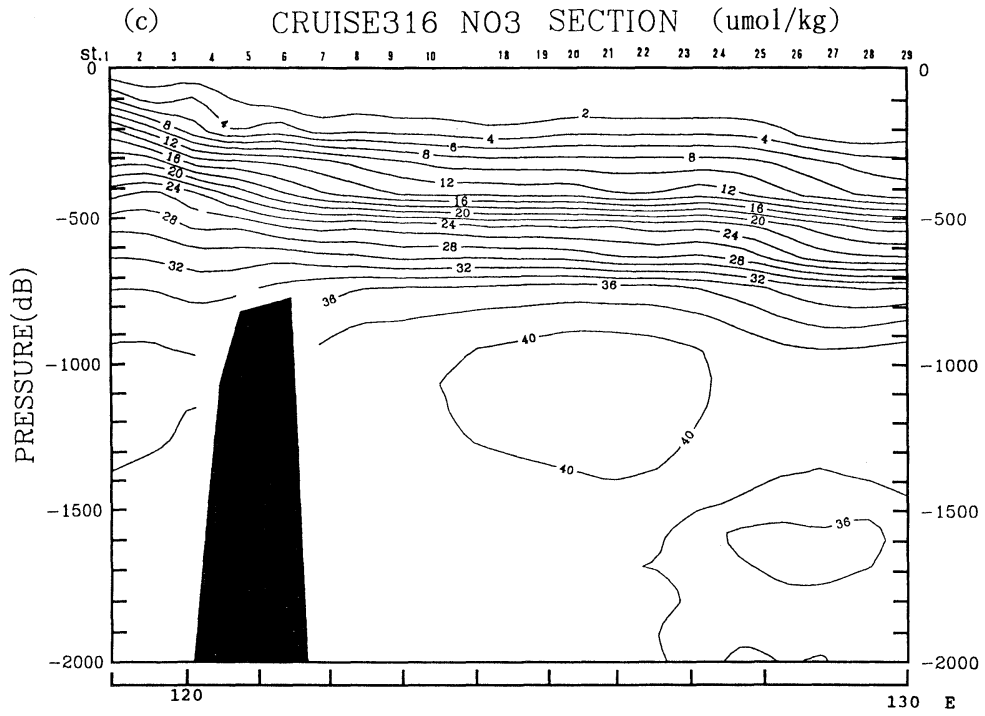


Fig. 3. (Continued)

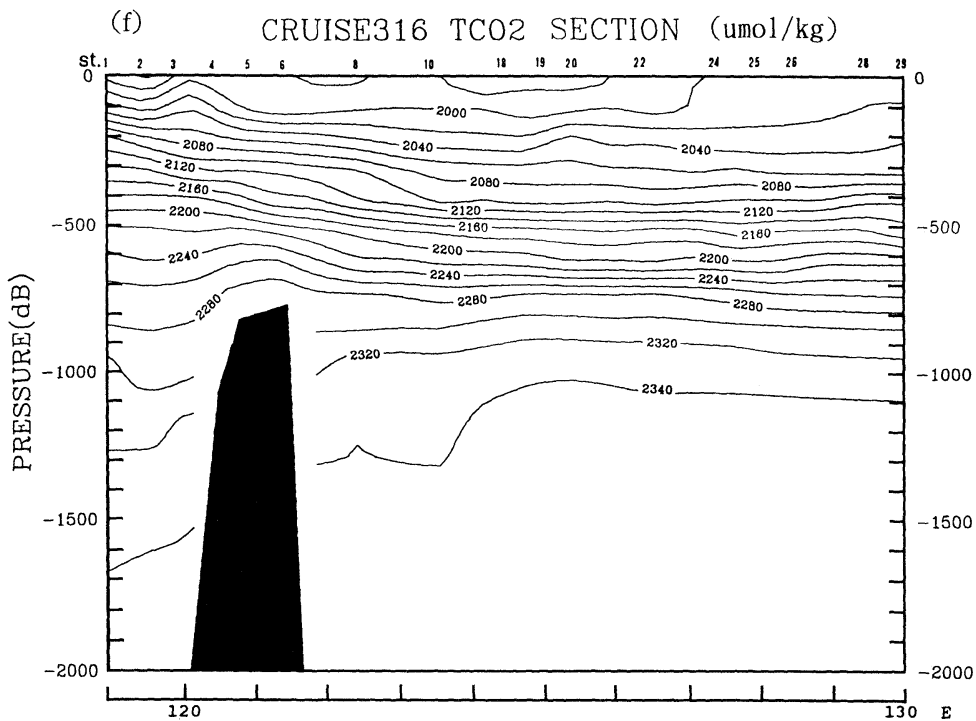
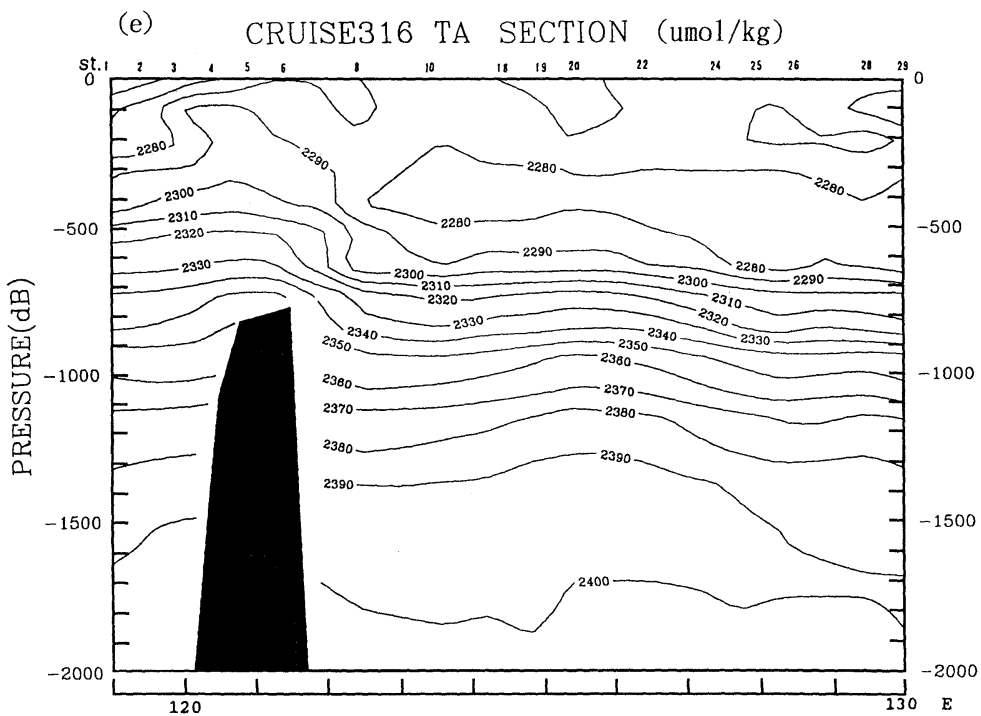


Fig. 3. (Continued)

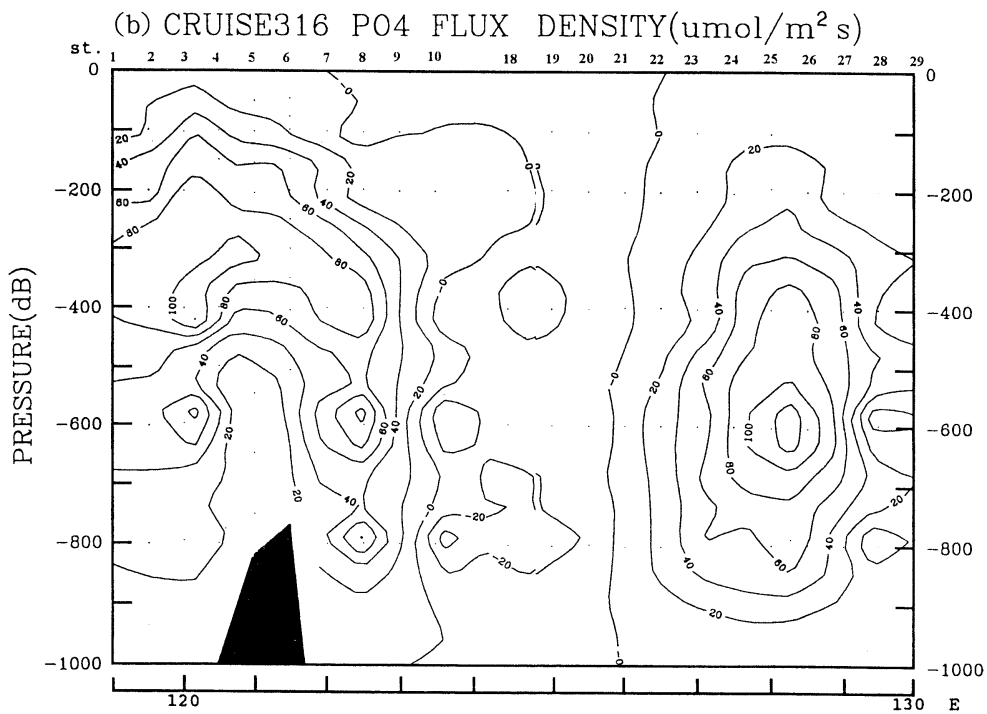
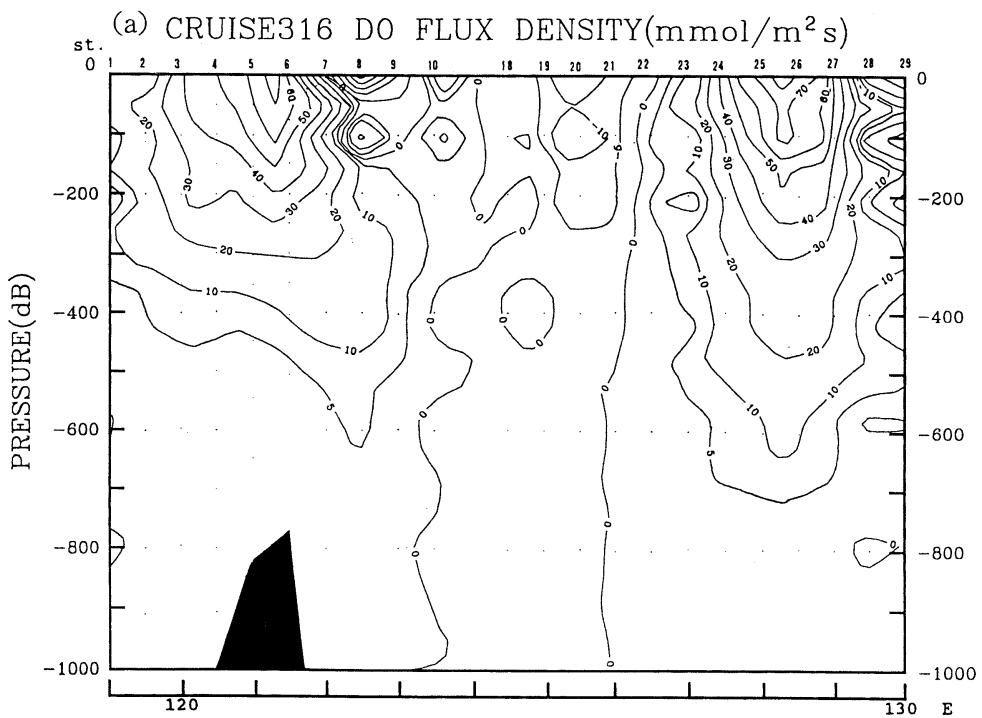


Fig. 4. Flux density cross-section of (a) dissolved oxygen; (b) phosphate; (c) nitrate; (d) silicate; (e) alkalinity and (f) total CO_2 near $21^\circ 45' \text{N}$ for OR 316 cruise.

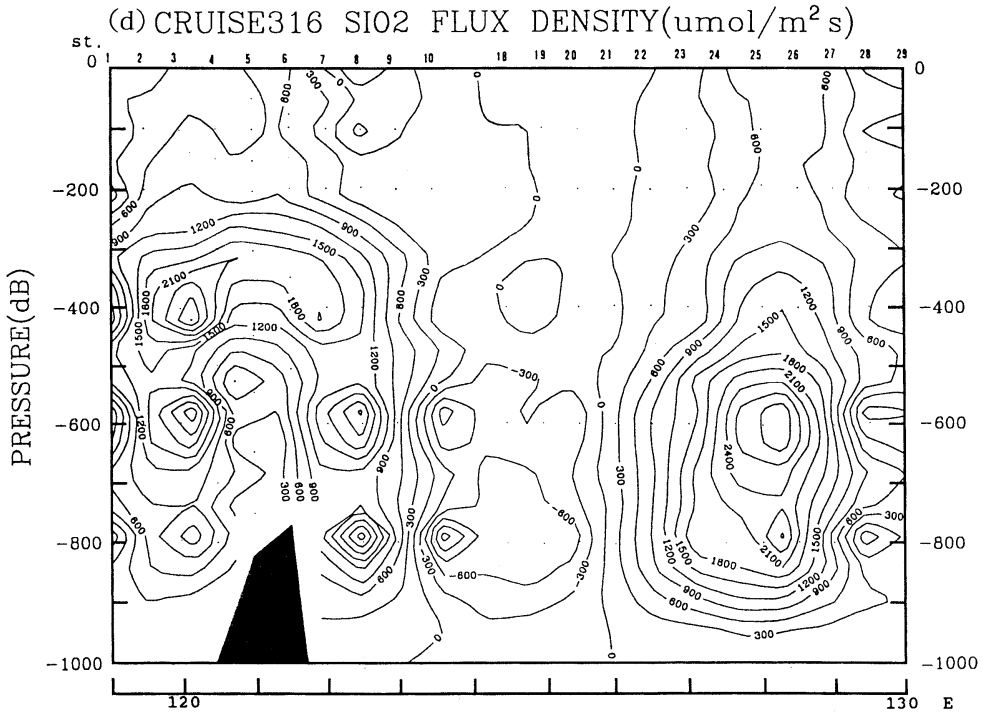
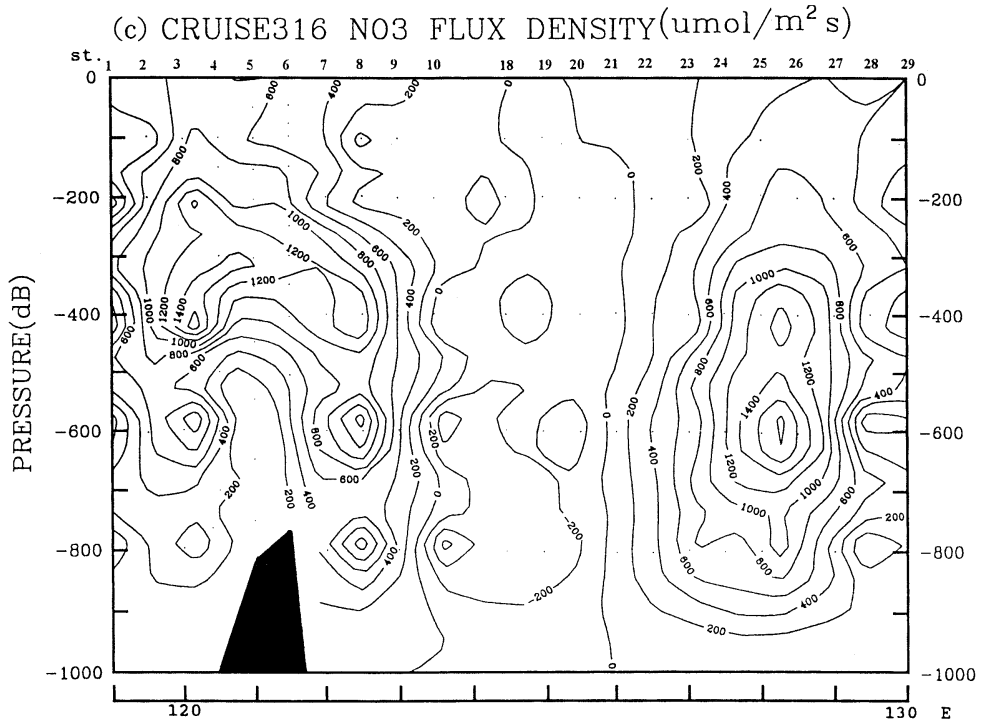


Fig. 4. (Continued)

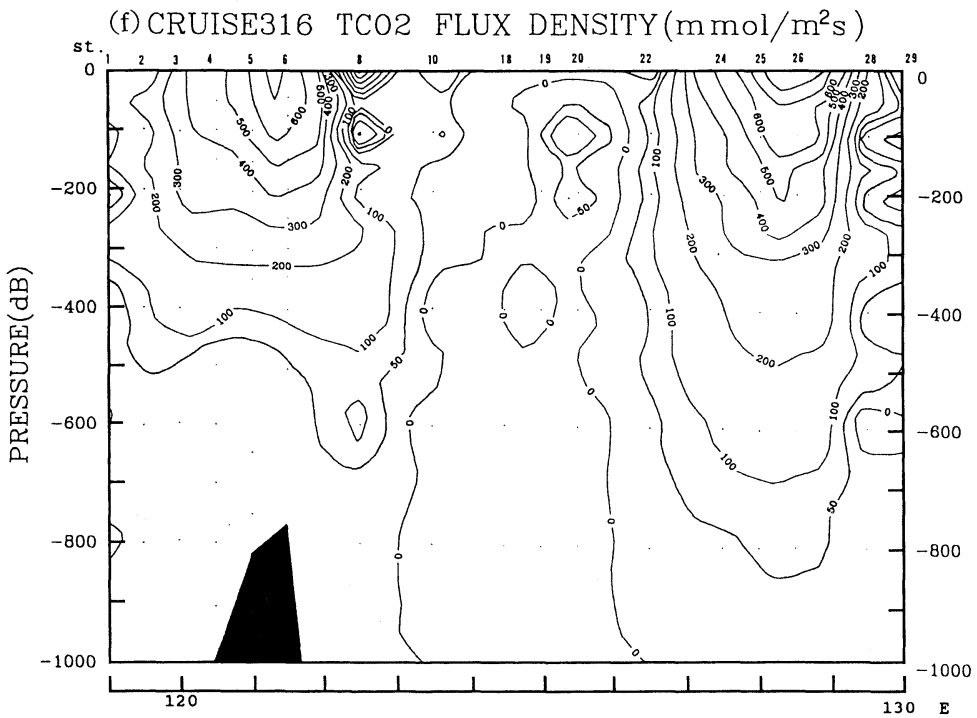
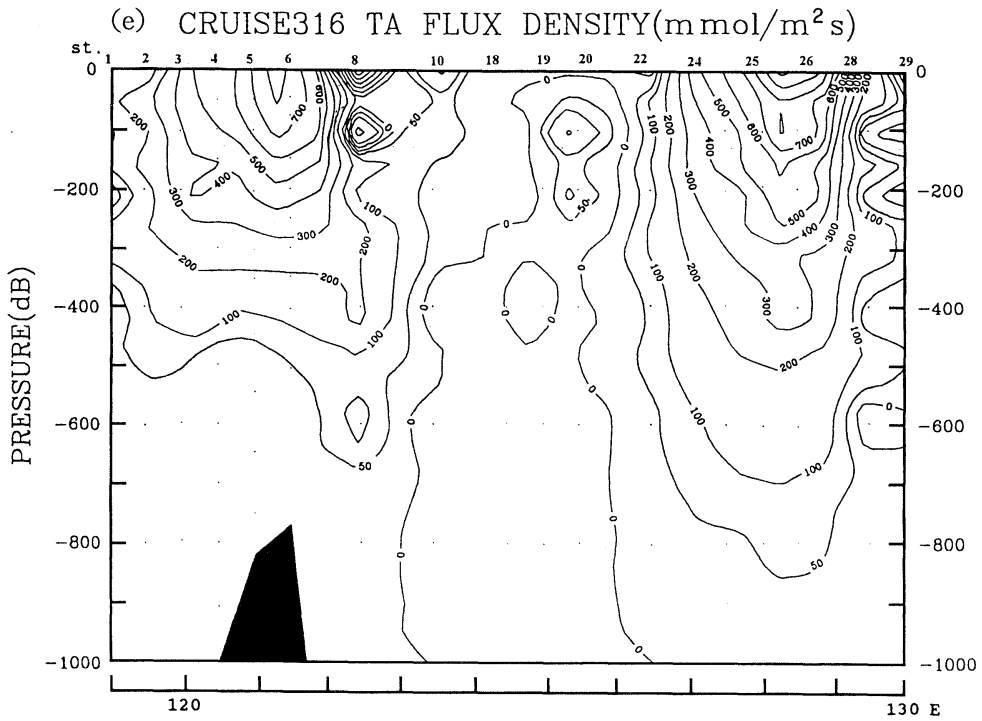


Fig. 4. (Continued)

fluxes, ranging from 3.97×10^6 mol/s for May 1985 to around 8.5×10^6 mol/s for Oct. 1990 and June 1991 (Table 2).

The annual variations were most apparent between 121 and 123°E (Table 3). The Oct. 1990 and May, 1992 transports were low (2.61 and 2.38×10^6 mol/s, respectively) whereas the May 1985 and June 1991 transports were much higher (7.31 and 6.76×10^6 mol/s, respectively). By way of comparison, BREWER *et al.* (1989) reported an oxygen transport of 4.89×10^6 mol/s above 850 m in the Florida current between Florida and the Bahamas (Nov. 1988).

Phosphate

The phosphate concentration increased with depth, ranging from almost zero near the surface to a maximum of about $3.0 \mu\text{mol/kg}$ near 1200 m (Fig. 3b).

The typical distribution of the phosphate flux based on OR 316 data in May 1992 is shown in Fig. 4b. The values ranged from -61 to $176 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ with a maximum near St. 3, 8 and 26. Since the phosphate concentration increased with depth but the current velocity decreased with depth, the maximum phosphate flux was located at 600 m. The Gulf Stream shows a similar pattern (CSANADY, 1990). The total flow of phosphate across this section was 24 kmol/s northward and 3 kmol/s southward, yielding a net northward flow of about 21 kmol/s (Table 2) of which 38% was between 121 and 123°E.

There were large annual variations (Tables 2, 3) ranging from 11 to 21 kmol/s between 121 to 130°E and 8 to 15 kmol/s between 121 and 123°E. The segment between 121 and 123°E contributed 15 and 13 kmol/s , respectively, of northward phosphate flow in May 1985 and June 1991 when the Kuroshio was strong. These values were higher than the net northward flow between 121 and 130°E, implying that phosphate was transported southward between 123 and 130°E during these two cruises.

In Oct. 1990 when the Kuroshio was weak, the northward phosphate transport was still concentrated between 121 and 123°E (11 kmol/s) vs. only 1 kmol/s between 123 and 130°E. In May 1992 the northward phosphate flow spreaded out more evenly with 8 kmol/s

between 121 and 123°E and 13 kmol/s between 123 and 130°E.

Nitrate

The vertical distribution of nitrate for OR 316 (May 1992) is similar to that of phosphate (Fig. 3c). The concentration varied from near zero at surface to above $42 \mu\text{mol/kg}$ at the maximum near 1200 m. The flux ranged from -844 to $2572 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ (Fig. 4c), and also had the same pattern as that of phosphate with a mid-depth maximum. The cores at St. 3, 8, 26 were also apparent. The total northward and southward transports were 335 and 36 kmol/s , respectively (Table 2). The net northward transport between 121 and 130°E was 299 kmol/s which was 14 times the phosphate transport. Large annual variations were found (Table 2) with net northward transports ranging from a low of 164 kmol/s in June 1991, to about 195 kmol/s in May 1985 and Oct. 1990, to a high of 299 kmol/s in May 1992.

When the Kuroshio was strong in May 1985 and June 1991 the section transported 232 and 179 kmol/s , respectively, of nitrate northward between 121 and 123°E (Table 3). Between 123 and 130°E the net transports were 38 and 15 kmol/s , respectively, southward.

In Oct. 1990 the segment between 121 and 123°E transported 83% of the nitrate northward. In May 1992 the percentage was 40%. In both years the segment between 123 and 130°E also transported nitrate northward.

Silicate

The silicate concentration ranged from near zero at surface to above $150 \mu\text{mol/kg}$ near 2000 m (OR 316, Fig. 3d).

The flux of silicate ranging from -2 to $4.3 \text{ mmol/m}^2/\text{s}$ is shown in Fig. 4d (OR 316). It shows a silicate stream core at between 400 and 800 m. The negative values between St. 10–21 reflected the southward transport of currents. The total silicate transport was 549 kmol/s northward and 75 kmol/s southward (May 1992). The net northward flow of silicate between 121 and 130°E was 474 kmol/s (Table 2), some 22 times the net phosphate transport and 1.6 times the nitrate transport. Large annual variations were found (Table 2), ranging from

317 kmol/s in June 1991, to 382 kmol/s in Oct. 1990, to 474 kmol/s in May 1992 to a high of 725 kmol/s in May 1985.

Similar to what happened for phosphate and nitrate, the northward silicate flux occurred mostly between 121 and 123° E (Table 3). In May 1985 and June 1991 when the Kuroshio was strong, this segment contributed, respectively, 730 and 365 kmol/s northward. The segment between 123 and 130° E contributed 5 and 48 kmol/s, respectively, southward. Even when the Kuroshio was less concentrated in Oct. 1990 and May 1992, the segment between 121 and 123° E transported 81 and 38%, respectively, of silicate northward.

Alkalinity

The alkalinity ranged from about 2000 μ mol/kg near surface to above 2400 μ mol/kg near 2000 m (OR 316, Fig. 3e). The calculated alkalinity flux (Fig. 4e) had band structures similar to the geostrophic velocity because the spatial distribution of alkalinity was relatively homogeneous (Fig. 2d). The down-stream maximum flux of alkalinity at this latitude in May 1992 was 1203 mmol/m²/s near St. 26. The southward maximum flux was 100 mmol/m²/s at St. 20. The alkalinity (Table 2) transported by the Kuroshio was 103.4×10^6 mol/s northward. The southward transport was 13.6×10^6 mol/s, thus the net alkalinity transport was 89.8×10^6 mol/s, northward between 121 and 130° E.

There were large annual variations (Table 2) ranging from a low of 45.3×10^6 mol/s in Oct. 1990, to 62.2×10^6 mol/s in May 1985, to 82.0×10^6 mol/s in June 1991, to a high of 89.9×10^6 mol/s in May 1992. These values are comparable with the Florida current transport of 71.7×10^6 mol/s in Nov. 1988 (BREWER *et al.*, 1989).

In May 1985 the section transported 84.5×10^6 mol/s of alkalinity northward between 121 and 123° E. By way of comparison, the segment between 123 and 130° E transported 22.3×10^6 mol/s of alkalinity southward. In other years the segment between 121 and 123° E transported northward most of alkalinity, 92% in Oct. 1990, 80% in June 1991 and 35% in May 1992, respectively.

Total CO₂

The distribution of total CO₂ was similar to that of alkalinity, with concentrations ranging from 1.9 mmol/kg near surface to 2.4 mmol/kg near 2000 m (OR 316, Fig 3f).

Total CO₂ flux (Fig. 4f), similar to that of alkalinity, also showed the band structure. In May 1992 the northward maximum flux of about 1039 mmol/m²/s was located near St. 26, and southward maximum of 100 mmol/m²/s was located at St. 20. The transports were 90.6×10^6 mol/s northward and 13×10^6 mol/s southward. These values yielded a net northward flow of 77.5×10^6 mol/s between 121 and 130° E. Large annual variations were also found (Table 2) with a pattern similar to that of TA. The lowest value was 41.8×10^6 mol/s in Oct. 1990. BREWER *et al.* (1989) reported a transport of 63.9×10^6 mol/s by the Florida current in Nov. 1988.

In May 1985 the transport was 63.6×10^6 mol/s, in June 1991 it was 71.4×10^6 mol/s, and in May 1992 it was 77.5×10^6 mol/s, all northward. Also similar to the pattern for TA, the TCO₂ transport was 79.2×10^6 mol/s northward between 121 and 123° E but was 15.6×10^6 mol/s southward between 123 and 130° E. In other years the 121–123° E segment transported 89%, 82% and 38%, respectively, of the northward TCO₂ flow.

4. Conclusion

1. The Kuroshio could clearly be identified in May 1985 and June 1991 when the northward volume transports above 1000 m were 38 and 53 Sv, respectively, between 121 and 123° E along 21° 45' N. Whereas between 123 and 130° E the transports were southward, 18 Sv in May 1985 and 3 Sv in June 1991. In Oct. 1990 the Kuroshio was weak yet the total northward flux of 19 Sv between 121 and 130° E was still mostly concentrated between 121 and 123° E (15 Sv). After the El Nino, the northward volume transport was large (39 Sv) in May 1992 but widely spreaded between 121 and 130° E. The Kuroshio transport between 121 and 123° E was relatively low at 12 Sv.
2. The fluxes of phosphate, nitrate and silicate by the Kuroshio at 21° 45' N showed along-

stream cores between 400 and 600 m, below the high-velocity core (between the surface and 200 m) of the Kuroshio current.

3. The distributions of fluxes for dissolved oxygen, alkalinity and total CO₂ were similar to the velocity structure, indicating that they were dominated by the velocity field.
4. The net northward transports for dissolved oxygen, phosphate, nitrate, silicate, alkalinity and total CO₂ were 4.0–8.6 × 10⁶ mol/s, 11–21 kmol/s, 164–299 kmol/s, 317–725 kmol/s, 45.3–89.8 × 10⁶ mol/s and 41.8–77.5 × 10⁶ mol/s, respectively. These were mostly concentrated between 121 and 123° E except after the 1992 El Niño. The fluxes were frequently southward between 123 and 130° E.

Acknowledgements

The National Science Council supported the research (NSC 83-0209-M-110-002K, NSC 83-0209-M-002a-030Y). C.H. WANG, M.H. HUANG and the captains and crew of R/V Ocean Researcher 1 provided assistance. An anonymous reviewer provided valuable comments.

References

- BINGHAM, F.M. and L.D. TALLEY (1991): Estimates of Kuroshio transport using an inverse technique, *Deep-Sea Research*, **38**, S21–S44.
- BREWER, P.G., and D. DYRSSEN (1987): Ocean chemical fluxes across 25°N in the Atlantic Ocean, Discussion paper prepared for the International JGOFS meeting, Paris, 17–20 Feb. 1987, 25pp.
- BREWER, P.G., C. GOYET, and D. DYRSSEN (1989): Carbon dioxide transport by ocean currents at 25°N latitude in the Atlantic Ocean, *Science*, **246**, 477–479.
- CHEN, C.S., R.C. BEARDSLEY and R. LIMBURNER (1992): The structure of the Kuroshio southwest of Kyushu: velocity, transport and potential vorticity fields, *Deep-Sea Research*, **39**, 2, 245–268.
- CHEN, C.T.A. (1984): Carbonate chemistry of the Weddell Sea, Department of Energy Technical Report, DOE/EV/10611-4, 118pp.
- CHEN, C.T.A. (1992): Deep water circulation in the south Philippine Basin, *Bulletin of Marine Science and Technology*, **10**, 26–35. (in Chinese).
- CHEN, C.T.A., M.H. HUANG, S.L. WANG, G.S. KUO, L.L. CHENG and B.G. WANG (1993a): Preliminary report of Ocean Researcher 1 cruises 257 and 262: October - November, 1990 in the Philippine Sea, *Inst. Mar. Geol. Tech. Rep. 13*, Nat. Sun Yat-Sen Univ. 132pp (in Chinese).
- CHEN, C.T.A., M.H. HUANG, S.L. WANG, G.S. KUO and C.H. WANG (1993b): Preliminary carbonate data report of Ocean Researcher 1 cruises 266 and 287. *Inst. Mar. Geol., Tech. Rep. 14*, Nat. Sun Yat-Sen Univ. 65pp (in Chinese).
- CHEN, C.T.A., M.H. HUANG, S.L. WANG and L.F. CHANG (1993c): Preliminary data report of Ocean Researcher 1 cruise 316: carbonate and suspended particulate matter, *Inst. Mar. Geol., Tech. Rep. 15*, Nat. Sun Yat-Sen Univ. 52pp (in Chinese).
- CHEN, C.T.A., C.T. LIU and S.C. PAI (1994): Transport of oxygen, nutrients and carbonates by the Kuroshio current, *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **12**, 3, 220–227.
- CHEN, C.T.A. and M.H. HUANG (1995): Carbonate chemistry and the anthropogenic CO₂ in the South China Sea, *Acta Oceanologica Sinica*, in press.
- CSANADY, G.T. (1990): Physical basis of coastal productivity, *EOS*, **71** (36), 1060–1065.
- ICHIKAWA, H. and R.C. BEARDSLEY (1993): Temporal and spatial variability of volume transport of the Kuroshio in the East China sea, *Deep-Sea Research*, **40**, 3, 583–605.
- LIU, C.T., S.G. LIAU, S.C. PAI and K.K. LIU (1986): Water masses in the Western Philippine Sea—physical aspects, *Acta Oceanographica Taiwanica*, **17**, 1–17.
- LIU, C.T., S.C. PAI, S.G. LIAU and K. K. LIU (1987): Data report of CHIPS-1, Institute of Oceanography, National Taiwan University, 118pp.
- LIU, C.T., S.C. PAI, T.S. CHIU, C.C. YANG, S.P. CHENG, K.L. JENG, H.Y. CHEN, S.L. WANG, T.Y. KUO, I.G. SELIRIO and B.M. SELIRIO Jr. (1991): *Mar. Chem. Data Bank Rep., OR 287 Leg 1*, 456pp (in Chinese).
- NAKANO, T., I. KANEKO and Y. TAKATSUKI (1994): The Kuroshio structure and transport estimated by the inverse method, *Journal of physical Oceanography*, **24**, 3, 609–918.
- NITANI, H. (1972): Beginning of the Kuroshio, *In Kuroshio*, H. STOMMOL and K. YOSHIDA (eds.), University of Washington Press, Seattle, 129–163.
- PAI, S.C., C.J. LIU, L.S. WEN, R.L. LAI, T.S. FANG, K.T. JIANN and C.C. YANG (1987): Primary investigation of the Western Philippine Sea water—chemical data from the CHIPS-1 expedition, *Yearly Journal of the National Taiwan College of Marine Science and Technology*, **21**, 49–68.
- PAI, S.C., K.L. JENG, K.M. YANG, C.C. YANG, S.P. CHENG, Y.H. CHEN, S.W. CHUAG, S.L. WANG, M.H. HUANG, Y.C. LEE and C.H. CHEN, (1992): Preliminary data report of Ocean Researcher 1 cruise 316, 88pp (in Chinese).
- RINTOUL, S.R. and C. WUNSCH (1991): Mass, heat, oxygen and nutrient fluxes and budgets in the North Atlantic Ocean, *Deep-Sea Research*, **38**, Suppl. 1,

- S355-S377.
- ROBBINS, P.E. and H.L. BRYDEN (1994): Direct observations of advective nutrient and oxygen fluxes at 24°N in the Pacific Ocean, *Deep-Sea Research*, **41**, 143-168.
- ROEMMICH, D. (1989): Mean transport of mass, heat, salt and nutrients in the southern California coastal waters: implications for primary productivity and nutrient cycling. *Deep-Sea Research*, **36**, 1359-1378.
- SVERDRUP, H.U., M.W. JOHNSON and R.H. FLEMING (1942): *The oceans, their physics, chemistry and general biology*. Prentice-Hall, New York, 1087pp.
- WUNSCH, C., D. HU and B. GRANT (1983): Mass, heat and nutrient fluxes in the South Pacific Ocean, *Journal of Physical Oceanography* **13**, 725-753.
- WYRTKI, K. (1961): *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*. Scientific results of marine investigations of the South China Sea and Gulf of Thailand, 1959-1961. *Naga Report*, **2**: 195pp.

黒潮における酸素, 栄養塩および炭酸塩のフラックス

C.T.A. CHEN, C.T. LIU and S.C. PAI

要旨: 酸素, 栄養塩類および炭酸塩の真の輸送量を求めるために, 台湾東南沖の黒潮を横断する観測線 (WOCE PR20) において, 地衡流と合わせ溶存酸素 (DO), リン酸 (PO_4), 硝酸 (NO_3), 珪酸 (SiO_2), 全アルカリ度 (TA), および全炭酸 (TCO_2) を測定した。調査船オーシャンリサーチャーによる4航海 (CHIPS-1, 1985年5月; OR 257, 1990年10月; OR 287, 1991年6月; OR 316, 1992年5月) の間に 21°45'N, 121°-130°E 間における 1000m 以浅の北向きの真の体積輸送は, それぞれ 20, 19, 50 および 39Sv であった。121°-123°E 間の北向きの輸送が 38 および 53Sv であった1985年5月と1991年6月には明らかに黒潮が識別された。123°E と 130°E の間には 18 および 3Sv の輸送量を持つ明らかな南向きの分流が認められた。1990年5月および1992年5月には, 北向きの輸送は拡散的であった。黒潮の高速流心部以深では, 栄養塩類のフラックスは“栄養塩類の河”の様態を示した。酸素および炭酸塩のフラックス分布は, 速度場と同様の構造であった。4回の航海時における 121°-130°E 間の流れに沿った DO, PO_4 , NO_3 , SiO_2 , TA および TCO_2 の真の輸送量は以下の通りであった。1985年5月は, 3971(DO), 12(PO_4), 194(NO_3), 725(SiO_2), 62156(TA) および 63571(TCO_2) kmol/s; 1990年10月は 8585(DO), 12(PO_4), 196(NO_3), 382(SiO_2), 45285(TA) および 41822(TCO_2) kmol/s; 1991年6月は 8487(DO), 11(PO_4), 164(NO_3), 317(SiO_2), 822002(TA) および 71399(TCO_2) kmol/s; 1992年5月は 6549(DO), 21(PO_4), 299(NO_3), 474(SiO_2), 89818(TA) および 77531(TCO_2) kmol/s。北向きのフラックスは 121°E および 123°E 間で濃縮され, 一方南向きのフラックスはより拡散的であった。

海苔の吸引式摘採機の切断機構に関する研究*

矢田貞美**・陳 家康**・戸田勝善**

A study on cutting mechanism of the suction type *Nori* harvester*

Sadami YADA**, Jiakang CHEN** and Masayoshi TODA**

Abstract: Theoretical analyses were carried out of cutting mechanism, locus of rotary knife edge, efficiency of pump for harvesting, and cutting torque of *Porphyra* thallus with the rotary cutter attached to the suction type *Nori* harvester. 1) The cutting force by concave or convex knife was small, but layered *Porphyra* thalli between both cutting knives slide. When the grasp angle was small, it was possible to prevent sliding of *Porphyra* thalli. 2) When the forward velocity of the rotary cutter was large, no cutting area became wide. However, when the velocity decreased, cutting area increased twice to thrice. 3) The cutting efficiency of a harvester with plural knives was higher than that with a single knife. 4) The cutting torque was 0.5 kgf·cm per ten sheets of *Porphyra* thalli. 5) The revolution velocity of the rotary cutter increased with the flow quantity of pump in the range up to approximately 3,500 rpm.

1. はじめに

海苔生産の機械化、特に収穫後における加工工程の機械化は原藻中の挟雑物の除去、乾海苔中の混入雑物の識別などの一部の作業を除いて、近年、大幅に進展した。加工工程の前段の収穫作業には、刈取式摘採機と並んで吸引式摘採機（以後、摘採機と称する）は、1962年頃から生産開始され既に30年にわたって用いられており、近年では全自動のロール式摘採機を積載した摘採船が開発導入されている。全自動の摘採船方式は大規模養殖に、半自動の摘採機は小規模養殖に利用されている。

摘採機は収穫用作業船に積載し、ポンプ吸水による水流エネルギーから切断動力を得る方式で、不安定な小型船上における人力操作を必要とするうえ、作業能率が低い。摘採機はこれまで試行錯誤的に改良されてきたが（特許、1964）、理論的な解析や実証研究に関する報告は見当たらない。

そこで、摘採性能の向上を目的として、切断刃の刃先の理論的な回転軌跡から見た摘採精度、原藻の切断トルク、並びに切断刃の駆動源となる吸水ポンプの特性等に

ついて検討した。

2. 実験装置と方法

1) 供試摘採機の構成及び作動機構

Fig. 1 (a) に供試摘採機の構成を示す。摘採機（Y社製ノリライト型）は、エンジン（M社製GM181P型、6PS）、ポンプ（Y社製YP7型、最大揚水量800 l/min、最大全揚程21m、口径50mm）、円形カッタ（以後、カッタと称する、Y社製YN7B型、刈幅180mm）、吸引ホース（口径50mm、全長2,500mm）及び吸引パイプ（直管、口径50mm）から構成されている。フレームに設置されたポンプはVベルト伝動方式のエンジンで駆動される。カッタは、切断用動力源となるポンプの吸込側に連結されている吸引パイプ先端の吸引口に付設されている。実際の摘採作業時には、パイプ先端のカッタの吸引口が海苔網の上面に接した状態で、人手によって左右に往復・前進させながら、原藻を海水と共に吸引・切断し、収穫作業船の甲板上のコンテナ内に排出・収納する。

Fig. 2 に示すように、カッタは回転刃、受刃、羽根車、回転軸及び回転子（回転刃の回転状態の良否を示す標識）から構成される。その機構を構造面からみると、ポンプの吸引水が、カッタ内の羽根車と同軸固定された回転子を回転させて、原藻を切断する。

なお、逆円錐状の回転刃及び受刃を内蔵するカッタの先端フレームが海苔網に接した場合でも、展張された海

*1995年4月26日受理 Received April 26, 1995

**東京水産大学漁業工学講座
〒108 東京都港区港南4-5-7

Laboratory of Fishing Technology and Engineering, Tokoy Univ. of Fish., Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

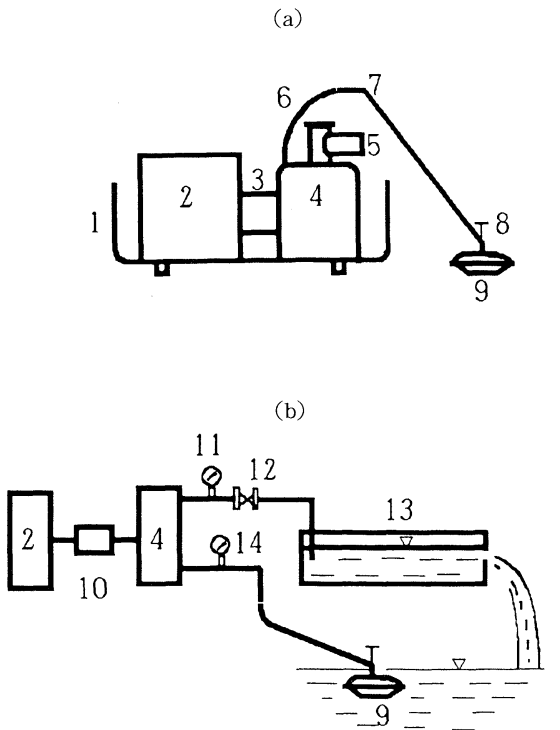


Fig. 1. Construction of the suction type *Nori* harvester (a) and measuring method of pump efficiency (b). 1 : frame, 2 : engine, 3 : V belt, 4 : suction pump, 5 : drain port, 6 : suction hose, 7 : suction pipe, 8 : revolution indicator, 9 : rotary cutter, 10 : torque transfer, 11 : vacuum gauge, 12 : adjusting valve of flow quantity, 13 : trilateral sluice, 14 : pressure gauge.

苔網は回転刃に接しないので、吸引・切断される危険はほとんどない。

2) 実験方法

(1) ポンプ性能の測定法

切断刃の駆動源であるポンプの性能試験法を Fig. 1 (b) に示す。エンジンとポンプの間にトルク変換器 (K社製 TP-10KMAB, 容量 10kgf・m) を設置し、吐出側には流量調整バルブ及びブルドン管式圧力計 (容量 2 kgf/cm²) を、また吸引パイプにはブルドン管式真空計 (容量 60cmHg) を付設した。カッタの外側上部の回転子に反射マークを貼付し、回転刃の回転数をハンドタコメータで計測した。バルブで吸水量を制御し、ポンプ及び回転刃の回転数、吸込圧力及び吐出圧力を計測した。吸水量は直角三角堰法 (規格協会編, 1989) により測定した。

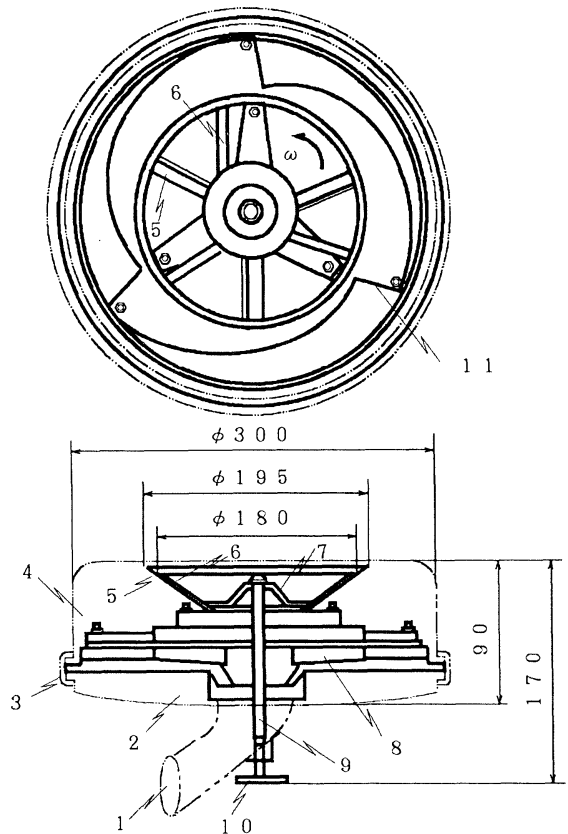


Fig. 2. Construction of the rotary cutter. 1 : drain port, 2 : upper cover, 3 : sealing ring, 4 : lower cover, 5 : fixed knife, 6 : rotary knife, 7 : disk board, 8 : impeller, 9 : rotary shaft, 10 : revolution indicator, 11 : inlet port into impeller.

(2) 原藻の切断トルクの測定法

Table 1 に供試原藻の平均の厚さを示す。原藻 (長さ 15-30cm) は厚さが約 0.05mm と薄いから、単枚当たりの微小な切断トルクの計測は困難なので、形枠内 (5 × 1.5 × 0.5cm) に養殖海苔 (スサビノリ) の原藻を 10枚から 50枚まで 10枚毎に重ねて整形した (以後、積層原藻と称する)。整形手順は以下のとおりである。原藻が展開するようにタンク内の海水中に 1 枚ずつ入れ、形枠で所要枚数を重ねた。整形時における原藻の滑りを防止す

Table 1. Thickness (mm) of fresh *porphyra* thalli.

No. of layered thalli	10	20	30	40	50
Thickness of layered thalli	0.50	1.04	1.55	1.95	2.46
Average thickness of a thallus	0.050	0.052	0.052	0.049	0.049

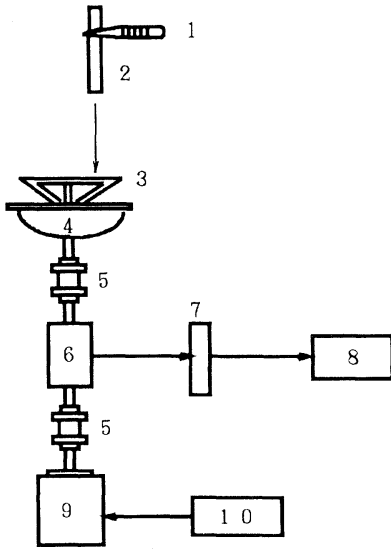


Fig. 3. Measuring method of *Porphyra* thalli shearing torque. 1: forceps, 2: layered *Porphyra* thalli, 3: rotary knife a fixed knife, 4: impeller, 5: torque transfer, 7: strain meter, 8: recorder, 9: motor, 10: inverter.

るため、2枚の木製形枠で原藻を挟持し、形枠外原藻を切除した。

原藻の切断トルク測定法を Fig. 3 に示す。カッターの駆動力はポンプの吸水量に左右されるので、実用状態では原藻の所要切断トルクそのものは測定できない。そこで、以下の方法で行った。トルク変換器 (K社製 TP-20 KCD, 容量 20 kgf・cm) を介してカッターの回転軸とモータ (400W) 軸を連結し、インバータにより回転を制御した。鉛直方向上向きに設置したカッターの吸引口に、ピンセットで挟持した積層原藻を懸垂して切断した。回転刃の回転数を 250rpm から 650rpm の範囲で 100rpm 間隔に設定したときの切断トルクを測定し、レコーダに記録した。

3. 結果及び考察

1) 切断機構の理論解析

(1) 原藻切断に及ぼす挟角の影響

Fig. 4 に切断時における回転刃と受刃による原藻への作用力を示す。ここで、回転刃から原藻に作用する力を N_1 、原藻が受刃から受ける抗力を N_2 、回転刃から受ける摩擦力を F_1 、受刃から受ける摩擦力を F_2 、原藻と回転刃及び受刃間の静摩擦係数をそれぞれ μ_1 、 μ_2 、回転刃と受刃の挟角を α ($^\circ$) とすると、両刃と原藻の間に滑

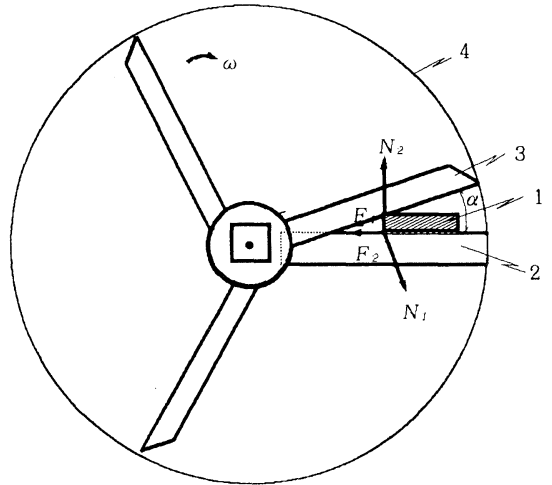


Fig. 4. Acting force balance in cutting (in the case of forward speed 0). N_1 : acting force on thallus represented by concave knife, N_2 : reaction force represented by fixed knife, F_1 : friction force of rotary knife, F_2 : friction force of fixed knife, ω : angular velocity of rotary knife, α : angle between rotary knife and fixed knife, 1: *Porphyra* thallus, 2: fixed knife, 3: rotary knife, 4: locus of rotary knife edge M.

りが生じない場合には、次の関係が成立する。

回転刃と受刃が原藻に作用する垂直方向の力のつりあいは (1) 式で示される。

$$N_2 - N_1 \cos \alpha - F_1 \sin \alpha = 0 \quad (1)$$

回転刃と受刃が原藻に作用する水平方向の力のつりあいは (2) 式で示される。

$$N_1 \sin \alpha - F_2 - F_1 \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

回転刃から受ける最大静止摩擦力は (3) 式で示される。

$$F_1 = \mu_1 N_1 \quad (3)$$

受刃から受ける最大静止摩擦力は (4) 式で示される。

$$F_2 = \mu_2 N_2 \quad (4)$$

(1), (2), (3) 及び (4) 式より、両刃と挟角 α が原藻の摩擦力におよぼす関係は (5) 式で示される。

$$\tan \alpha = \frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \mu_2} \quad (5)$$

$\tan \alpha$ が $\frac{\mu_1 + \mu_2}{1 - \mu_1 \mu_2}$ より大きいと、切断時に両刃間から

原藻の滑りによる逃げ（以後、滑逃と称する）が生じる。海水中の新鮮な原藻は摩擦係数が極めて小さく、滑逃現象が生じ易い。滑逃が生じた場合には、回転刃の刃先に原藻が集中するので、切断荷重が増大すると共に、スムーズな切断が行われずに原藻は引き千切られる。聞き取り調査によると、引き千切りの発生は、仕上げ乾海苔の色ツヤが低下する‘クモリ’，‘チヂミ’などの原因と考えられており、商品の不良化につながる。このため、滑逃を防止するためには、ある程度挟角は小さくする必要があるのである。

しかし、挟角を零にすると、水平方向の分力は零となるから原藻の滑逃は生じないが、刃渡りに相当する有効切断長が増大すると共に、所要切断荷重は増大する。このため、回転刃は切断時に大きな衝撃を受け、回転刃の回転が不安定化し、スムーズな切断が不可能となる。

従って、小切断荷重で、かつスムーズに原藻を切断するためには、適当な挟角を設ける必要が認められる。

(2) 原藻の切断荷重

原藻の切断抵抗、即ちせん断応力を τ (kgf/mm²)、原藻の厚さを δ (mm)、原藻の有効切断長を L (mm)、挟角を α (°) とすると、挟角が零の場合における最大切断荷重 P_k (kgf) は (6) 式で示される。

$$P_k = \delta L \tau \tag{6}$$

更に、原藻の物理的特性によって決まる補正係数を m とすると、定常切断荷重 P_w は (7) 式で示される (鈴木, 1961)。

$$P_w = \frac{m\delta}{L \tan \alpha} P_k \tag{7}$$

(6) 式及び (7) 式から定常切断荷重 P_w は (8) 式で示される。

$$P_w = \frac{m\delta^2 \tau}{\tan \alpha} \tag{8}$$

(8) 式は挟角 α が増大すると、切断荷重が減少することを示している。回転刃と受刃が平行な、即ち切断時に挟角が零の一对刃（以後、平行直線刃と称する）の場合は、両刃の刃渡り全長が原藻に働き、有効切断長が長くなるため、所要切断力は増大する。切断時に挟角を有する一对刃（以後、挟角直線刃と称する）の場合は、両刃の交叉点の切断位置は、切断の進展に伴って刃元より刃先へと移動する。また、両刃と原藻の有効切断長は短くなるので、切断力及び切断衝撃は小さいものと推定される。

Fig. 5 に各種の回転刃と直線形受刃の原藻への作用力との関係を示す。切断作用角（挟角直線刃における挟角）は回転刃の形状及び切断過程により変動する。(1) 式、(2) 式及び (8) 式は、切断作用角が原藻の滑逃及び切断荷重の大小に影響を及ぼすことを示しており、刃の形状は切断特性を決定する重要な要素であることがわかる。例えば、原藻の滑逃を防止するため刃形としては、凹形円弧刃が最適と考えられる。

(3) 回転刃の駆動力

回転刃は、ポンプの吸水による羽根車の回転により駆動される。ポンプの軸動力を P (W)、羽根車の動力を P_k (W)、摩擦と吸引パイプやホースの断面積、並びにこれらの内壁の精粗による損失動力を P_s (W) とすると、水動力 P_k (W) は (9) 式で示される。

$$P_k = P - P_s - P_s \tag{9}$$

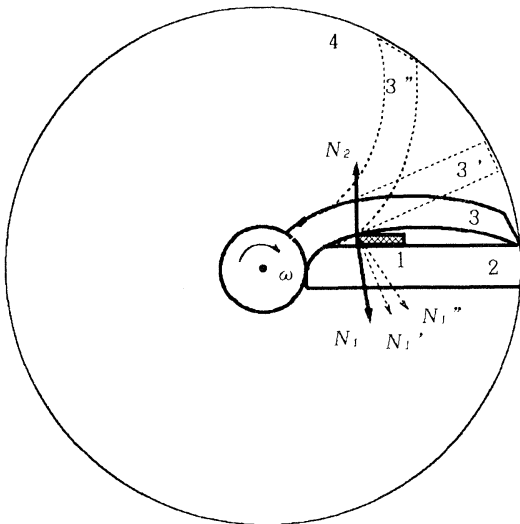


Fig. 5. Comparison of acting force by curve knife and straight knife. N_1 : acting force on *Porphyra* thallus represented by concave knife, N_1' : acting force on *Porphyra* thallus represented by straight knife, N_1'' : acting force on *Porphyra* thallus represented by convex knife, N_2 : reaction force represented by fixed knife, ω : angular velocity of rotary knife, 1: *Porphyra* thallus, 2: fixed knife, 3: concave knife, 3': straight knife, 3'': convex knife, 4: locus of rotary knife edge M.

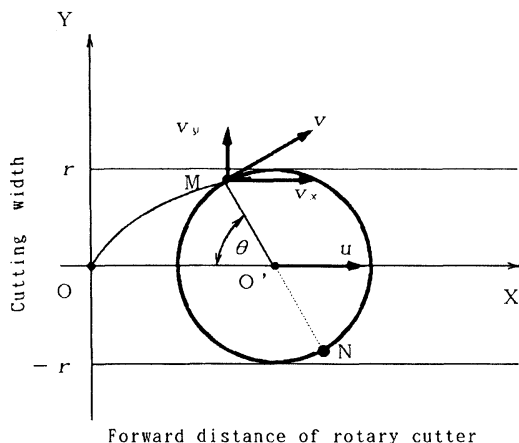


Fig. 6. Velocity vector of rotary knife edge M. O : initial position of the first rotary knife edge M, O' : position of rotary center in the case, M : position of the first rotary center in the case of rotary angle θ , N : position of the second rotary knife edge at phase difference of 180° , θ : rotary angle, u : forward speed of rotary cutter, v : peripheral velocity of the first rotary knife edge, v_x : horizontal component of peripheral velocity of the first rotary knife edge M, v_y : vertical component of peripheral velocity of the first rotary knife edge M.

羽根車への水の流入速度を v_1 (m/s), 流出速度を v_2 (m/s), 羽根車の外周速度を u_1 (m/s), 羽根車の内周速度を u_2 (m/s), 流入角を α_1 ($^\circ$), 流出角を α_2 ($^\circ$), 水の密度を ρ , 流量を Q (m^3/s), 損失水頭を H (m) とすると, (9) 式は (10) 式で示される (日本機械学会, 1986).

$$P_k = P - \rho Q (u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2 + gH) \quad (10)$$

但し, $\rho Q (u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2)$ は羽根車の動力 P_k を, また $\rho g Q H$ は摩擦などの損失動力を示している。

P_k は $\rho Q (u_1 v_1 \cos \alpha_1 - u_2 v_2 \cos \alpha_2)$ と等しいので, 羽根車の動力 P_k はポンプの流量 Q や羽根車の流出角 α_2 の増大により大きくなる。即ち, P_k が大きいと, 回転刃の回転動力が大きくなるため, 原藻の切断は容易になる。原藻の切断には安定吸水による駆動力の生起が必要不可欠であることがわかる。

2) 回転刃の刃先の軌跡と切断領域

(1) 回転刃の刃先の理論軌跡

Fig. 6 に回転刃の速度ベクトルを示す。回転刃の角速

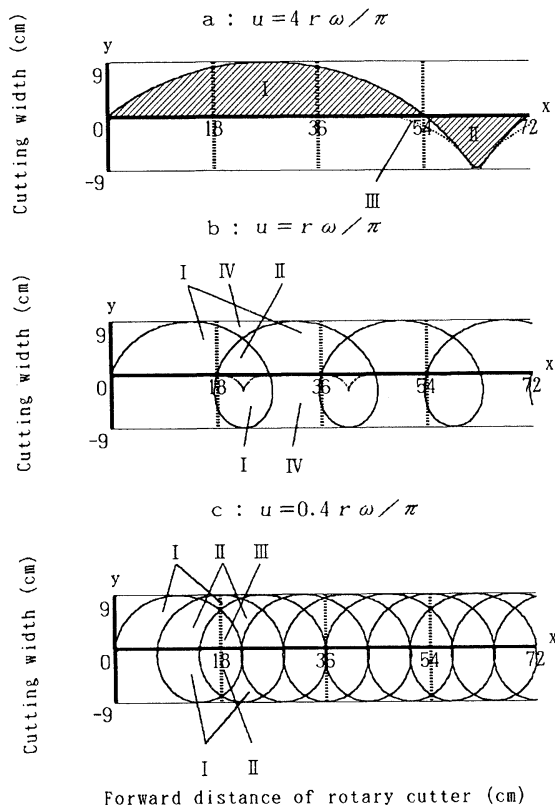


Fig. 7. Locus of rotary knife edge M (1 knife).

- I : area of cutting *Porphyra* thallus once,
- II : area of cutting *Porphyra* thallus twice,
- III : area of cutting *Porphyra* thallus thrice,
- IV : area of no cutting.

度を一定とすると, カッタが直線等速で前進する場合には, 回転刃の刈幅は $2r$ で切断する (r : 回転刃の半径)。回転刃の中心 O' を通る直線を X 軸とし, 回転刃の刃先 M が X 軸に接した時の位置を原点 O とすると, X 軸に対する回転刃の刃先の速度成分 v_x 及び Y 軸に対する回転刃の刃先の速度成分 v_y は, それぞれ (11) 及び (12) 式で示される。

$$v_x = u + v \sin \theta \quad (11)$$

$$v_y = u \cos \theta \quad (12)$$

但し, 回転刃の中心 O' の前進速度を u , 刃先 M の周速度を v , 刃先 M の回転角を θ とする。

ところで, 角速度を ω , 回転時間を t , 刃先 M の回転半径を r とすると, 回転角 θ は ωt , 刃先 M の周速度 v は $r\omega$ となり, (11) 及び (12) 式から X 軸に対する刃先 M の速度成分 v_x 及び Y 軸に対する刃先の速度成分 v_y

は (13) 及び (14) 式で示される。

$$v_x = u + r\omega \sin(\omega t) \tag{13}$$

$$v_y = r\omega \cos(\omega t) \tag{14}$$

(13) 及び (14) 式を整理すると、回転刃の刃先 M の速度 V は (15) 式で示される。

$$V = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2} \tag{15}$$

$$= \sqrt{u^2 + 2ru\omega \sin(\omega t) + r^2\omega^2}$$

さらに、(13) 及び (14) 式より、刃先 M の回転軌跡、すなわち X 軸に対する座標位置 x 及び Y 軸に対する座標位置 y は、それぞれ (16) 及び (17) 式で示される。

$$x = \int v_x dt = ut - r \cos(\omega t) + c_x \tag{16}$$

$$y = \int v_y dt = r \sin(\omega t) + c_y \tag{17}$$

但し、 c_x 及び c_y は積分定数である。

また、回転時間 t が零の時、座標 (x, y) は $(0, 0)$ となるので (16) 及び (17) 式より、刃先 M の回転軌跡の座標位置はそれぞれ (18) 及び (19) のサイクロイドの曲線式で示される。

$$x = r + ut - r \cos(\omega t) \tag{18}$$

$$y = r \sin(\omega t) \tag{19}$$

(2) 切断領域の解析

単数刃の切断領域：回転刃の刃先 M の軌跡曲線と X 軸に囲まれた切断領域から、刃先 M の軌跡は曲線により切断可能な領域を類推することができる。回転刃の回転数 n を 600rpm、角速度 ω を 20π rad/s、回転刃の半径 r を 90mm、回転刃の前進速度 u を $4r\omega/\pi$, $r\omega/\pi$, 及び $0.4r\omega/\pi$ とした場合の刃先の軌跡曲線を Fig. 7 に示す。

Fig. 7 a に示すように、回転刃の前進速度 u が $4r\omega/\pi$ の場合、刃先 M の軌跡曲線、直線刃の通過境界線及び X 軸に囲まれた領域で原藻が切断される。刃先 M の軌跡曲線は $-r \leq y \leq r$ の領域においてサイクロイド曲線を呈する。また、図中破線によって示される通過境界線は (20) 及び (21) 式で示される。

$$x' = u(\sin(\omega t - \pi) \cos(\omega t - \pi) + t) \tag{20}$$

$$y' = -u \sin^2(\omega t - \pi) \tag{21}$$

回転刃 1 回転当たりの通過領域は 3 分され、X 軸より上側領域 (領域 I) の面積を S_1 、X 軸の下側領域で X 軸

と刃先軌跡で囲まれる領域 (領域 II) の面積を S_2 、残りの閉領域 (領域 III) の面積を S_3 とすると、回転刃 1 回転当たりの総切断面積 S は (22) 式で示される。

$$S = S_1 + S_2 + 2S_3 \tag{22}$$

S_1 , S_2 及び S_3 は、それぞれ (23), (24) 及び (25) 式で示される。

$$S_1 = \int_0^x y(\theta) \dot{x}(\theta) d\theta \tag{23}$$

$$S_2 = \left| \int_x^{2x} y(\theta) \dot{x}(\theta) d\theta \right| \tag{24}$$

$$S_3 = \int_{-\pi}^{\alpha} (y'(t) \dot{x}'(t) - y(t) \dot{x}'(t)) dt \tag{25}$$

$$\text{但し、} \alpha = \frac{1}{\omega} \left\{ \pi + \sin^{-1} \left(\frac{\pi}{4\omega} \right) \right\}_0$$

単数刃の切断領域の重複：Fig. 7 b に示すように、回転刃の前進速度 u が $r\omega/\pi$ の場合、切断ピッチが小さいと、軌跡曲線と X 軸に囲まれる領域に重複が生じる。1 回転当たりの軌跡曲線は 3 分割され、1 回転目の軌跡曲線と X 軸の囲む領域 I では、回転刃は原藻を 1 度切断する (以後、1 度切りと称する)。1 回転目の軌跡曲線及び 2 回転目の軌跡曲線と X 軸に囲まれる重複領域 II では、回転刃は原藻を 2 度切断し (以後、2 度切りと称する)、軌跡曲線に囲まれない領域 IV は、回転刃が通過しないので原藻は切断されない。

Fig. 7 c に示すように、前進速度 u が $0.4r\omega/\pi$ の場合、 u の減速に伴って切断領域はさらに重複し、2 度切りの領域 II が増加すると共に、1, 2 及び 3 回転目の軌跡曲線と X 軸に囲まれる重複領域 III が生じて、原藻を 3 度切断する (以後、3 度切りと称する)。2 度切り及び 3 度切りの領域が増加すると、 $-r \leq y \leq r$ における切断

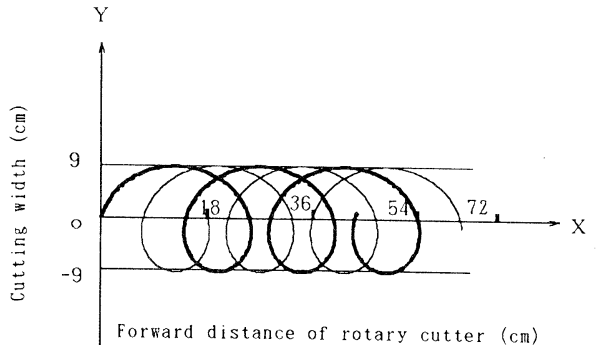


Fig. 8. Loci of rotary knife edge M and N (2 knives). $u = 0.8r\omega/\pi$. Thick line : knife edge M, thin line : knife edge N.

領域の割合が増加して無切断領域は減少する。しかし、無切断領域が減少すると、2度切り及び3度切りが生ずることになる。

回転角 θ は ωt であり、(18)、(19)、(23)及び(24)の各式を整理すると、 S_1 及び S_2 は、それぞれ(26)及び(27)式で示される。

$$S_1 = \frac{2ur}{\omega} + \frac{1}{2}\pi r^2 \quad (26)$$

$$S_2 = \left| -\frac{2ur}{\omega} + \frac{1}{2}\pi r^2 \right| \quad (27)$$

なお、 S_2 は前進速度に対して増加するが、他の領域と比べて微小なので、簡略化のために回転刃の1回転当たりの総切断面積 S を(28)及び(29)式で示す。

$$u < \frac{1}{4}\pi r\omega \text{ の場合, } S = \pi r^2 \quad (28)$$

$$u \geq \frac{1}{4}\pi r\omega \text{ の場合, } S = \frac{4ur}{\omega} \quad (29)$$

回転刃の前進速度が $u < \frac{1}{4}\pi r\omega$ の場合、(28)式に示すように、回転刃の半径 r は一定なので、回転刃1回転当たりの総切断面積 S はほぼ一定である。

一方、 $u \geq \frac{1}{4}\pi r\omega$ の場合、(29)式に示すように、回転刃1回転の総切断面積 S は u 、 ω 及び r の各要因の関数であるが、ポンプの吸水量に起因する角速度 ω と回転刃の回転半径 r は一定なので、 S は u の増加に伴って増加することになる。しかし、軌跡曲線とX軸に囲まれる切断領域は細長くなり軌跡曲線で囲まれない無切断領域も増加する。

また、(26)及び(27)式で示したように、 S_1 は S_2 より広い。即ち、 $-r \leq y \leq r$ において、X軸より上側の

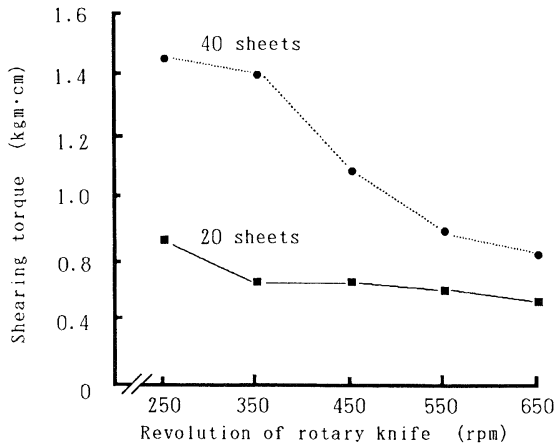


Fig. 9. Relation between the number of layered *Porphyra* thallus and the shearing torque.

切断領域は下側より広い。従って、X軸より上側の原藻は切断されても、下側は切断されない場合が生じる。そこで、切断ピッチを小さくし、X軸の上下両側の切断領域を均等にする必要がある。

2枚刃の切断領域: Fig. 8に位相差 180° の2枚刃が海苔網の上面に沿って定速で前進する刃先M及びNの回転軌跡曲線を示す。

前進速度 u が $0.8r\omega/\pi$ の場合には、 $-r \leq y \leq r$ における刈幅領域のはほぼ全域を囲むことができる。2度切り及び3度切りの面積はX軸より上側では広いが、同下側では殆んどが1度切りである。また、2枚刃の場合、同じ刈幅領域において、軌跡曲線が囲む面積 S は u が $0.4r\omega/\pi$ の単数刃の場合と同等である。切断能率は単数刃より2枚刃の方が高いものと推定される。

3) 原藻の切断枚数と切断トルクの関係

原藻の枚数と切断トルクの関係を示す。切断トルクは切断枚数に正比例し、10枚当たり $0.5 \text{ kgf}\cdot\text{cm}$ 程度であったが、回転刃の回転が高いとやや小さかった。切断枚数が多いと、見掛けの切断能率は向上するが、大きな切断トルクが必要となり、回転刃の回転の不安定な要因となる。また、切断衝撃が大きくなるので両刃の損耗に起因する切れ味の低下が懸念され、回転刃の取替え及び研磨を要することになり、結果的に作業能率が低下することになる。

回転刃と受刃の隙間から吸引される原藻は、両刃の間隙が広いと瞬間的に多量に吸引されるので所要切断トルクが増大する。この多量な原藻の吸引防止のためには、回転刃と受刃の複数化、両刃の間隙の狭小化、あるいは回転刃の回転数の増大などが考えられる。

4) 回転刃の回転数と切断トルクの関係

回転刃の回転数と切断トルクの関係を示す。40枚切断の場合、回転刃が350 rpm以上に増大すると、切断トルクは著しく減少したが、20枚切断ではほぼ一定であった。瞬間的な多量な原藻の切断に対応するには、回転刃を550から650 rpmで定常回転させる必要がある。

ところで、回転刃の回転数が増大すると、切断回数も増加するので原藻は挟雑物とともに細断されるから、有効な方法の無い挟雑物の手選別除去が困難となる。ちなみに、18枚刃では約15mmに切断される。原藻中の海苔以外の海藻、木の葉、ヒモ類及びビニールなどの粗大な

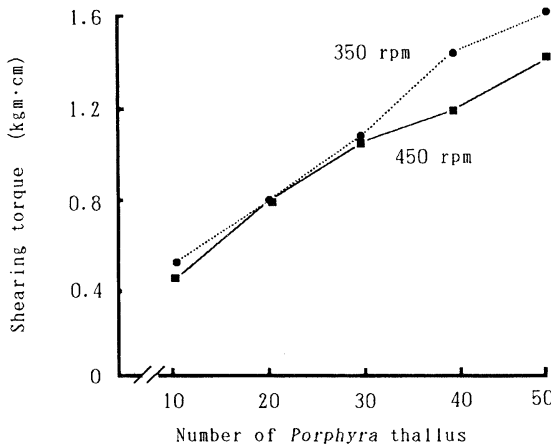


Fig. 10. Relation between the revolution of rotary knife and the shearing torque.

挟雑物は手選別しやすいので、細断を回避する必要がある。

5) ポンプの流量が切断刃の回転に及ぼす影響

ポンプの流量と回転刃の回転数との関係を Fig. 11 に示す。ポンプの性能は摘採機の切断性能に大きな影響を及ぼすが、回転刃の回転数は、ポンプの吸水量に正比例した。即ち、回転刃の回転数は、ポンプの回転が約 3,500 rpm 以下では増大したが、3,500 rpm 以上では流量が増大しないため増加しなかった。従って、ポンプは 3,500~3,700 rpm の回転が好適と考えられる。

吸水量が多いと、吸水により原藻に一定の張力が働くので、切断時に原藻の滑逃現象は生じ難いものと推察される。

4. 要約

海苔原藻の吸引式摘採機の切断機構及び回転刃の刃先の回転軌跡について理論的に解析し、更にポンプの性能及び原藻の切断トルクについて検討した。結果の概要は次のとおりである。

- 1) 回転刃が挟角直線形及び円弧形の場合には、所要切断力と切断衝撃は少ないが、切断時に原藻の滑逃が発生しやすい。挟角を小さくすると、滑逃防止が可能になるものと推察される。
- 2) 回転刃の刃先の回転軌跡はサイクロイド曲線なので、回転刃の前進速度が速いと無切断領域が広くなり、逆

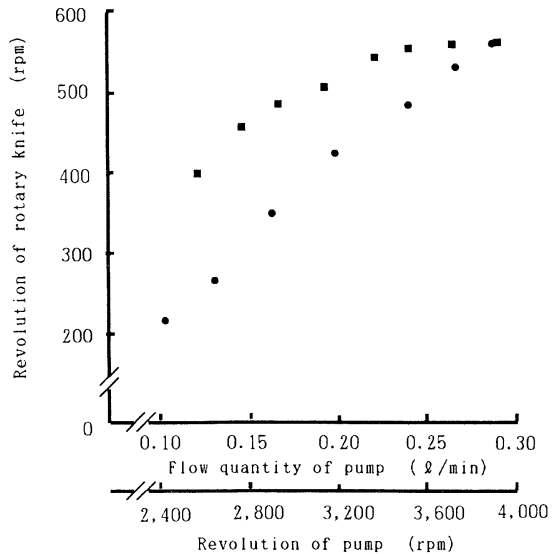


Fig. 11. Relation between the revolution of rotary knife with the flow quantity of pump (●) and the revolution of pump (■).

に遅いと2度切り及び3度切りが増大する。

3) 切断能率は単数刃より複数刃の方が高い。

4) 切断トルクは原藻10枚当たり 0.5 kgf·cm 程度で、原藻の切断枚数に比例して増加したが、回転刃の回転数が多いとやや減少した。40枚切断の場合、回転数が350 rpm 以上では切断トルクが緩やかに減少した。しかし、20枚切断では回転数に関係なくほぼ一定であった。

5) 回転刃の回転数はポンプの吸水量に比例するが、ポンプ回転数が約 3,500 rpm 以上ではほぼ一定になった。

謝辞

本論文を取り纏めるに当たり、有益なご助言とご鞭撻を賜った東京水産大学教授有賀祐勝博士に心より感謝の意を表す。

文献

- 規格協会編 (1989) : JIS ポンプ, pp.133-165.
 日本機械学会編 (1986) : 機械工学便覧 流体機械, pp.49-50.
 鈴木 弘 (1961) : 塑性加工, pp.144-149, 裳華房。
 特許 (1964) : 第420983号

壁効果の著しい噴流キャビテーション における壊食の速度依存性*

望月敬美**・横田源弘***・伊藤幸雄****

Velocity dependence on cavitation erosion around bounded jet*

Hiromi MOCHIZUKI**, Motohiro YOKOTA*** and Yukio ITO****

Abstract: In order to clear velocity dependence of cavitation erosion around bounded jet flows, the highly eroded area A , the maximum erosion depth E_{max} and the emitted noise were measured in the velocity range of $V=44-109$ m/s at a cavitation number $\sigma=0.25$, by means of pure aluminum plates and a hydrophone. As V is increased, the eroded area A and the maximum erosion depth E_{max} are increased with n -the power of V i.e. $A \propto V^{n1}$ and $E_{max} \propto V^{n2}$, and the exponent $n1$ and $n2$ are about 4 and 2 respectively. The adjoining walls is due to the ununiformity of the erosion pattern. On the other hand, the sound pressure level SPL of noise has two peaks with respect to σ and the higher peak takes at $\sigma=0.25$, corresponding to hard erosion state.

1. 緒言

流体の流れ場で発生するキャビテーションは、管路、弁および流体機械のおもな損傷原因となる。例えば、ディーゼル機関用燃料噴射系および比較的小形の油圧機器では流体が高速であるため、非常に激しいキャビテーション・エロージョン（以下、単に壊食という）の発生が予想され、故障の原因となる。そのため、このような壊食の予測・軽減法の確立が緊要であると言われている（日本機械学会, 1982; 渡辺ら, 1989）。

従来、壊食の研究は発生原因の違いにより2種類に大別できる。即ち、噴流キャビテーションが固体壁に衝突

して生ずる場合と、固体壁へ接近して発生する場合である。前者では、衝突距離による影響（BERGER, 1982）、噴口の長さとの比による影響（LICHTAROWICZ and KAY, 1983）および作動油と水との違いによる影響（清水・山口, 1989）など、種々な面から調べられている。一方、後者では燃料ポンプより燃料噴射弁に連結している高圧管内における壊食の発生位置が推定可能なこと、また、管内壁の壊食量は噴射特性のうち圧力とは相関するが流速の影響は無いことが明らかにされている（渡辺ら, 1989）。しかし、渡辺らが行った実験では流れが非定常流であるため、定常流の場合の壊食機構とは大いに異なると考えられる。また、この分野の研究は数少ない。

本報では、定常流の噴流キャビテーションが固体壁に接近し、壁効果が著しい流れ場における壁面壊食の速度依存性およびキャビテーション・ノイズによる発達過程の予測について検討する。

2. 実験装置および方法

Fig. 1 に実験装置を示す。タンク①の水道水は、高圧ポンプ④で加圧され、高圧ホースにより測定部⑧に導かれる。測定部の入口圧力 P_1 (⑩) はリリーフ弁⑤により、また、出口圧力 P_2 (⑪) はリリーフ弁⑫とポペット弁⑬により変えられる。入口側水温 T_1 (⑨) はヒータ⑭および三方コック⑮で一定に保たれる。キャビテー

*1995年5月1日受理 Received June 1, 1995

**東京水産大学練習船海鷹丸Ⅲ, 〒108東京都港区港南4-5-7

T/V Umitaka-maru Ⅲ, Tokyo University of Fisheries, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

***水産大学校機関学科, 〒759-65下関市永田本町2-7-1 Department of Marine Engineering, National Fisheries University, 2-7-1 Nagatahonmachi, Shimonoseki, 759-65 Japan

****八戸工業大学エネルギー工学科, 〒031八戸市大字妙88-1

Department of Energy Engineering, Hachinohe Institute of Technology,

88-1 Ooaza-myō, Hachinohe, 031 Japan

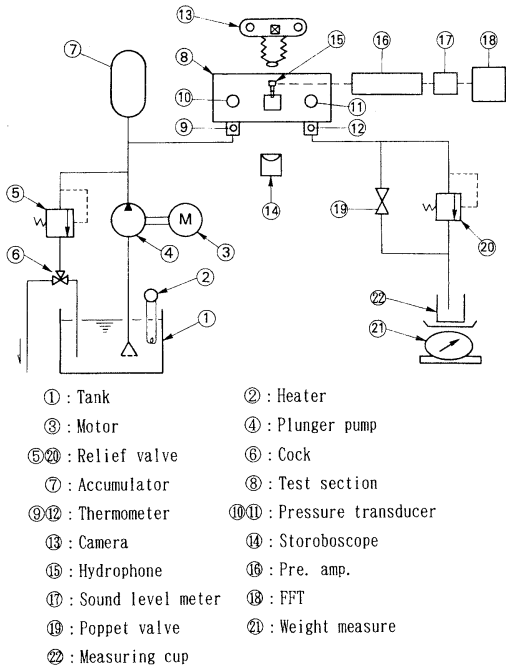


Fig. 1. Experimental apparatus.

シオン係数 $\sigma \cong P_2 / (P_1 - P_2)$ は P_1 を固定し, P_2 を変えることにより変化させた。

キャビテーション・ノイズは, 水を満たした容器内に置かれた水中マイクロホン¹⁵ (沖電気製ハイドホン ST-1001) により測定し, 水中音圧計¹⁷ (沖電気製 SW-1007) で音圧に変換した。音圧のスペクトルは FFT アナライザ¹⁸ (小野測器製 CF-360) で解析した。

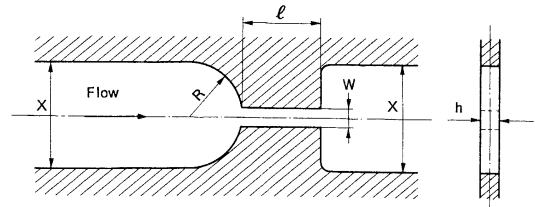
キャビテーションの様相は, せん光時間 $1 \mu s$ のキセノンランプ¹⁴ を用いて瞬間撮影¹³ した写真で観察した。

Fig. 2 は, ステンレス製供試ノズル (のど部流路幅 $W = 0.47 \text{ mm}$, 流路高さ $h = 0.39 \text{ mm}$, 流路長さ $l = 1.60 \text{ mm}$) と測定部の概略を示す。のど部入口開始箇所は流れのはく離箇所が固定するように鋭角を持つ凹面形をしており, あらさの影響を少なくするために, 内壁面は十分平滑 (あらさ $0.8 \mu \text{ m Ra}$) に仕上げられている。流れの観察を可能にする透明アクリル樹脂板⁶ および試験片 (写真観察時には取り外す) のアルミニウム板⁵ (材質 A1050, 表面あらさ $R_{\text{max}} = 1.4 \mu \text{ m}$) は, 高圧に十分耐え, かつ微小な変形が生じないように両側壁に高張力ステンレス鋼板⁷ をはさんでボルト¹⁰ 止めた。

キャビテーション係数 σ および流量係数 C_d は次のように定義した。

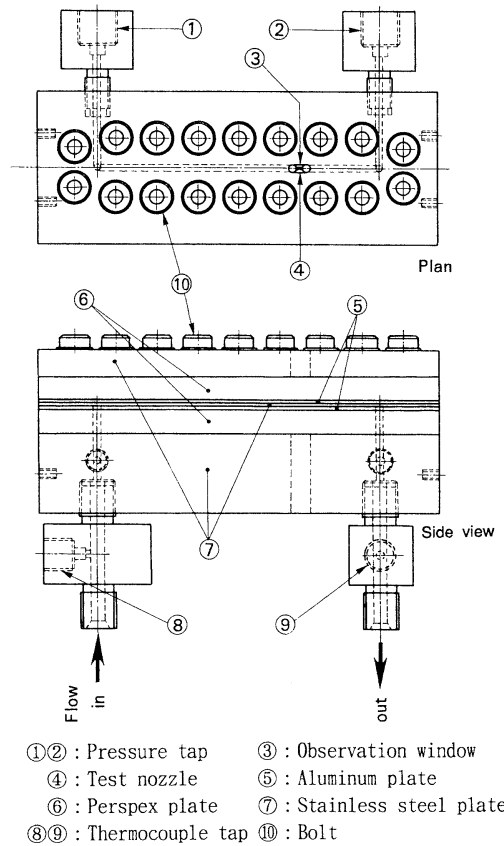
$$\sigma = (P_2 - P_v) / \Delta P \cong P_2 / \Delta P$$

$$C_d = M / S \sqrt{2\rho_1 \Delta P}$$



W : Nozzle width (0.47mm) h : Nozzle height (0.39mm)
 l : Nozzle length (1.60mm) R : Radius of nozzle inlet (0.96mm)
 X : Channel width (2.06mm)

(a) Test nozzle



①② : Pressure tap ③ : Observation window
 ④ : Test nozzle ⑤ : Aluminum plate
 ⑥ : Perspex plate ⑦ : Stainless steel plate
 ⑧⑨ : Thermocouple tap ⑩ : Bolt

(b) Test section

Fig. 2. Test nozzle and test section.

ここで, $\Delta P = P_1 - P_2$, $S = Wh$ および M はそれぞれ静圧差, 流路面積および質量流量, W, h はそれぞれのど部の幅, 奥行きである。また, P_v, ρ_1 はそれぞれ水の飽和蒸気圧, 密度である。添字 1, 2 はのど部の入口, 出口側を表す。実験条件は, $P_1 = 3.0 \sim 14.8 \text{ MPa}$, $\sigma = 0.009 \sim 3.02$, のど部平均流速 $V = 44 \sim 109 \text{ m/s}$, $T_1 = 290 \sim 293 \text{ K}$ である。

3. 実験結果および考察

3.1 壊食の様相

Fig. 3は、静圧 $P_1=14.8\text{MPa}$ 、実験時間 $t=120$ 分後のキャビテーションの発達段階における壊食された面積 A 、最大壊食深さ E_{max} およびノイズの音圧レベル SPL の σ との関係を示す。ここで、壊食の程度を表すものとして壊食面積を導入したのは、壊食質量が著しく少ない(2時間の壊食で1mg以下)ためである。参考のために、流量係数 C_d の変化も示す。はく離泡形キャビテーションの発達段階(横田・伊藤, 1992)をサブキャビテーション(以下 Sub.C と示す)領域 (I), Sub.C 領域 (II), 遷移領域 (III) およびスーパーキャビテーション (SC) 領域 (IV) で、また、この消滅キャビテーション

係数を σ_d 、臨界キャビテーション係数を σ_{cr} で表す。これより、 A および E_{max} は特定の σ でピークを示し、この領域は σ が低下して C_d が σ と関係なくほぼ一定となる $\sigma \leq 0.2$ の上限付近であることがわかる。ノイズの音圧レベル SPL は大略2つのピークを示す。第1ピーク(図中ⓐ点)はSub.C領域IIと遷移領域IIIの境界で現れ、はく離泡形キャビテーションの発生領域が大幅に変動する状態であり、また、第2ピーク(ⓐ~ⓕ付近)はSC領域IVで現れ、十分発達した噴流キャビテーション状態に対応している。すなわち、壊食が激しくなる状態は SPL 値が大きい第2ピーク付近に相当し、壊食とノイズとの関係を明示している。なお、遷移領域IIIとSC領域IVの境界 ($\sigma = \sigma_{cr}$) 付近で SPL は極小となる。

Fig. 4は、Fig. 3中の特徴的な点ⓐ~ⓕにおけるキャ

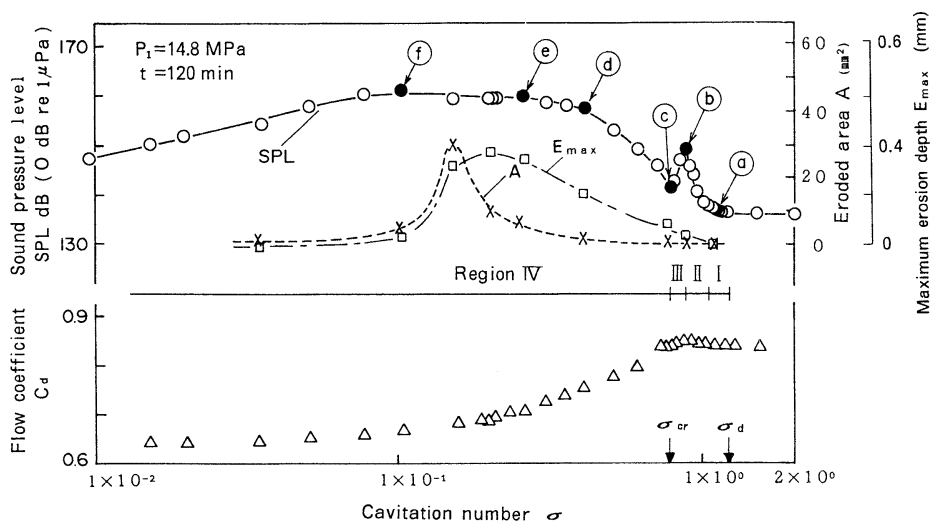


Fig. 3 Relationships between cavitation number σ and cavitation noise SPL , eroded area A , maximum erosion depth E_{max} and flow coefficient C_d . I: Sub.C-region. II: Sub.C-region. III: Transient-region. IV: SC-region.

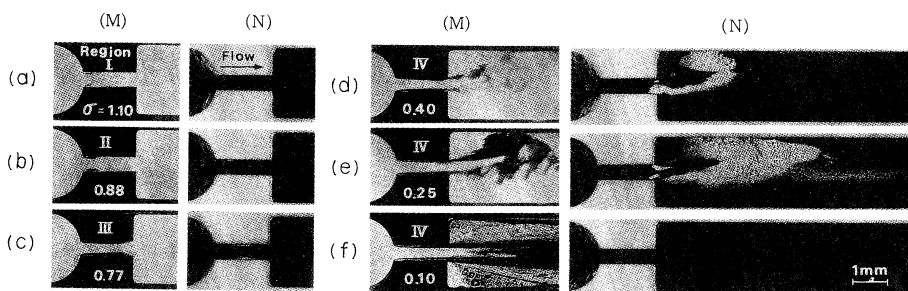


Fig. 4. Cavitation aspects(M) and erosion patterns (N) for Sub. C-region I ($\sigma = 1.10$), Sub. C-region II ($\sigma = 0.88$), Transient-region III ($\sigma = 0.77$) and SC-region IV ($\sigma = 0.40, 0.25$ and 0.10) in the case of $t = 120\text{min}$.

ピテーションの様相 (M) および120分後の壊食の様相 (N) をそれぞれ (a) ~ (f) に示す。これより、噴流の偏向の影響が壊食にそのまま現れており、噴流が衝突する壁面付近は特に著しい質量欠損がある。すなわち、噴流のごく近傍に壁があると、壁付近の壊食は著しく偏った形で増大する。なお、写真 (e) の壊食の様相をみると、遠心ポンプで機械の寿命を左右する激しい壊食 (祖山ら, 1990) と同じように、噴流方向に直角に整列した凹凸認められ、激しい壊食の存在を示している。図中 Sub.C 領域 I (a)・II (b) においては、のど部内ではく離泡形キャピテーションは発生しているが、壊食はほとんどみられない。しかし、遷移領域 III (c) になると、キャピテーションの発生領域が (1.3~3) W の範囲で大きく変動するため、壊食を認める。したがって、のど部内の壊食に限定すると、ノイズの第1ピーク付近においても壊食はピークを示す。次に、疑似 SC 領域 IV (d)・(e) においては、SC 空洞の後端より間欠的に放出される塊状気泡の崩壊によって壊食の発生が一層促進される。なお、SC 空洞内部には壊食は認められないが、空洞後端の再付着領域には認められる。十分発達した SC 領域 IV (f) においては、ノズル出口端より約65W 付近に僅かに壊食が認められ、噴流の再付着領域と考えられる。

なお、 $\sigma = 0.15$ の場合には、実験時間の経過に伴ってノイズは急激に増大し、その時、噴流後端付近から上流側へ壊食の発達する過程が認められた。この原因は、経時的に再付着領域で壊食が生じ、それによりキャピテーションの発生・発達に有効な気泡核の発生が助長され、この核が死水領域内を上流へ回流し、上流側でのキャピテーションの発生が促進させられるためと考えられる。

3.2 壊食の速度依存性

壊食の速度依存性を調べるため、Fig. 5 には、 $t=60$ 分後の壊食領域とのど部平均流速 V による壊食の様相の変動を示す。これより、 σ が一定であっても、流速が異なると壊食面積、壊食深さ、形状などは大幅に異なる。すなわち、壊食量の速度依存性が認められる。

Fig. 6 は、壊食面積 A 、最大壊食深さ E_{max} および音圧レベル SPL と V の関係を示す。これより、 A および E_{max} は V とともに大幅に増大している。ここで壊食面積 A および最大壊食深さ E_{max} の速度依存式 $A \propto V^{n1}$ および $E_{max} \propto V^{n2}$ を導入し $n1, n2$ の値を求めると、 $A \propto V^4$ および $E_{max} \propto V^2$ の関係がある。ここで、最大壊食深さが平均壊食深さ (=壊食容積/壊食面積) に比例

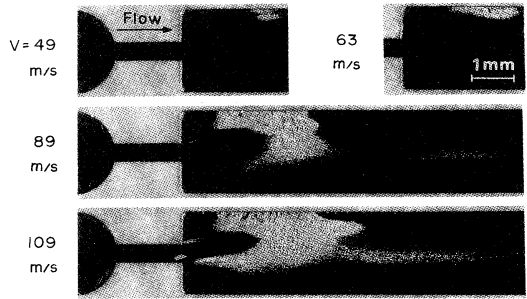


Fig. 5. Progression of erosion with velocity V in case of $\sigma = 0.25$ and $t = 60$ min.

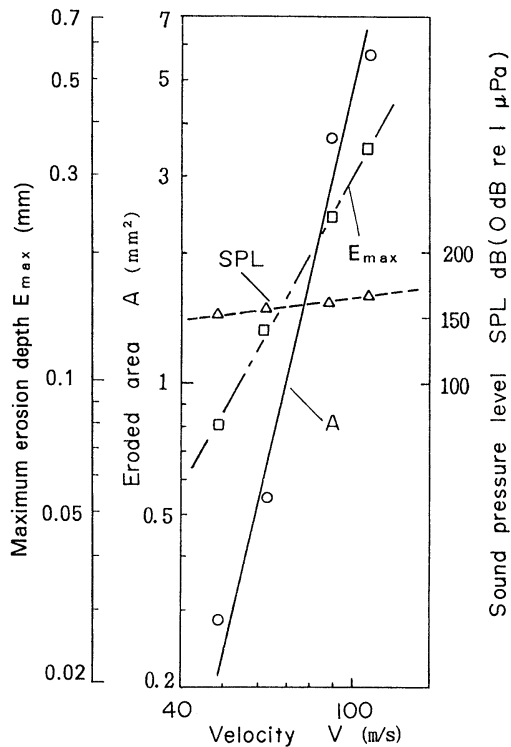


Fig. 6. Correlations of maximum erosion depth E_{max} eroded area A and cavitation noise SPL with velocity V in case of $\sigma = 0.25, t = 60$ min.

すると、壊食質量 G は $G \propto V^6$ となるから、よく知られている壊食質量 G の速度依存式 $G \propto V^m$ ($m = 3 \sim 7$) の範囲にある。次に、ノイズをみると速度依存性は顕著でなく、壊食のノイズによるモニタ法は未だ不明である。ここで、 $t=60$ 分後とした理由は、 A および E_{max} が $t=60$ 分までは急激に拡大し、その後、 A および E_{max} の経時変化が少なくなるためである (Fig. 7 および Fig. 8 参照)。なお、Fig. 8 を見ると、種々の σ に対して A およ

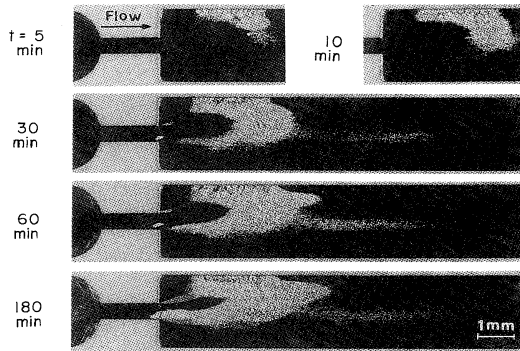


Fig. 7. Progression of erosion with time in case of $\sigma = 0.25$, $V = 109$ m/s and $P_1 = 14.8$ MPa.

び E_{max} は類似の傾向を示していることが分かる。

4. 結 言

壁効果の大きい流れ場に着目し、噴流キャビテーションまわりの壊食の速度依存性をキャビテーションの様相、ノイズとの関連において調べた。結果を要約すると次のようになる。

- (1) 壊食面積 A および最大壊食深さ E_{max} には $A \propto V^{n1}$ および $E_{max} \propto V^{n2}$ の関係があり明らかな速度 V 依存性が認められる。本実験においては $n1 = 4$, $n2 = 2$ 。
- (2) 噴流のごく近傍に壁があると、壁付近の壊食は著しく偏った形で増大する。
- (3) ノイズの音圧レベル SPL は大略 2 つのピークがあり、壊食が激しくなる状態は SPL 値が大きい第 2 ピーク付近に相当する。

文 献

BERGER, J. (1982): Untersuchung der Auswirkung von Kavitation beim Einsatz von HFA-Flussigkeiten, *Olhydraulik und Pneumatik*, 26 (6), pp. 441-451.
 KLEINBREUER, W. (1980): Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung von Kavitationserosion in Hydraulischen Systemen, *Olhydraulik und Pneumatik*, 24(6), pp. 455-460.

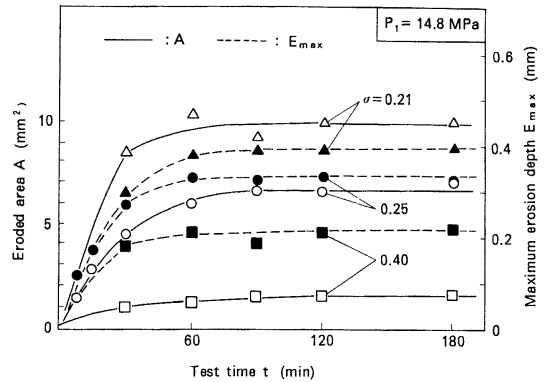


Fig. 8. Variation of eroded area A and maximum erosion depth E_{max} with test time t .

LICHTAROWICZ, A. and P. KAY (1983): Erosion Testing with Cavitating Jets, *Proc. 6th Int. Conf. on Erosion by Solid and Liquid Impact*, Cambridge, pp. 15-1 to 15-4.

日本機械学会 (1982): 第106回講習会キャビテーションの基礎と実際, 日本機械学会編, 東京, pp. 93-100.
 清水誠二・山口惇 (1988): キャビテーションを伴う噴流の衝突による壊食, 油圧と空気圧, 19(1), pp. 68-75.

祖山均・伊藤幸雄・市岡文彦・浦西和夫・加藤洋治・大場利三郎 (1990): 遠心ポンプにおける激しいキャビテーション壊食の発達過程, *ターボ機械*, 18(1), pp. 691-698.

渡辺久志・山田正俊・今井健二・石井美也・佐々木忍 (1989): ディーゼル機関燃料噴射系におけるキャビテーションの研究, *日本機械学会論文集 (B編)*, 55 (512), pp. 1-6.

横田源弘・伊藤幸雄 (1992): 細絞りを通る高速噴流中のキャビテーション特性, *ウォータージェット*, 9(1), pp. 3-13.

日仏海洋学会賞受賞記念講演

黒潮大蛇行および黒潮域を中心とした海洋過程に
関する一連の研究*

関根 義彦**

A series of study on large meander of the Kuroshio and oceanic processes
around the Kuroshio region*

Yoshihiko SEKINE**

この度は思いがけなく名誉ある日仏海洋学会賞をいただくことになり、大変光栄に思っております。これを励みとして、海洋学のさらなる発展のために、今後より一層の努力をしたいと考えております。これからも皆様のご支援ご鞭撻を賜りますようよろしくお願いいたします。

私が海洋学の研究を本格的に始めたのは1976年であり、日本南岸に黒潮大蛇行が1970年以来久しぶりに形成され、潮位の変化や大冷水塊の発生などの、多くの面から黒潮大蛇行が注目された時でした。さらに、1976年には、WHITE and McCREARY (1976) により、黒潮大蛇行を九州の陸岸地形を発生源とする定常惑星ロスビー波と考える説が提示されました。この説は、海流の蛇行の波長は流れの大きさの1/2乗に比例し、大きい流速の場合に直進流路、小さい流速の場合に大蛇行流路が生じるというものです。この指摘は、無流面の設定に問題を残しますが、従来の地衡流推算による黒潮流速の変動特性と合うことから、直進流路と大蛇行流路の選択に関する黒潮流路の本質が理解されたように思われました。

定常惑星ロスビー波論の背景には、ROBINSON and TAFT (1972) の流路方程式による黒潮流路の考察があり、黒潮に伴う流れが陸棚斜面を感じると、斜面の等深線に沿う傾向が強く直進流路となり、陸棚斜面の影響が小さい場合には、惑星ベータ効果が卓越して大蛇行流路になることが示されました。よって、一般的に流速が大きい場合には流れも深く、陸棚斜面の海底地形を感じて直進流路となり、流速が小さいと流れが浅く、陸棚斜面

の地形効果が小さく大蛇行となることが推測されます。この問題に興味を持った私は、日本南岸の海底地形を簡単に模式化した数値モデルで流路の特性を調べてみました。私のモデルは、準地衡流近似を仮定しない2層プリミティブモデルであり、結果として流れが上層に集中し、海底地形を感じない場合でも流路は陸棚斜面の等深線に沿う傾向が強く、簡単に流路の離岸が生じないことがわかりました (SEKINE and TOBA, 1980)。つまり、上層の流れが離岸すると、内部境界面と海底地形勾配の間に相対渦度が生じ、結果的に海底地形効果が生じるためです。

WHITE and McCREARY (1976) のモデルでは、北側に東西方向に走る陸岸地形を仮定しておりましたが、日本南岸の海岸線の東西方向からの傾きをモデル化すると、流れの岸に沿う傾向が強くなり、そのため相対的に流速が大きい時に大蛇行流路、小さい時に直進流路となる結果が二三のモデルで共通して得られました (YOON and YASUDA, 1987; SEKINE, 1989; AKITOMO, *et al.*, 1991など)。この結果は、WHITE and McCREARY (1976) の結果と正反対であり、黒潮のモデル化の際に重要な要因を無視すると、異なる結果が得られることが判明しました。また、日本南岸の海底地形効果を現実に近い形でモデル化すると、陸棚斜面の地形効果で流れの岸に沿う傾向がさらに強まり、大蛇行流路の形成には岸に沿う特性を振り切って離岸する、大きな流速 (慣性効果) が必要であり、黒潮の流れが大きい時大蛇行流路、小さい時に直進流路となる結果が得られました (SEKINE, 1990)。しかし、非線形効果による多重平衡問題などを含む黒潮流路選択の流量依存性については、直接測流による明確な実証がなされておらず、はっきりした問題の決着は今後の観測

*1995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

結果の蓄積を待たねばなりません。

別の面で私が注目したのは、黒潮の直進流路から大蛇行流路への移行が、共通して九州南東沖に発生した小蛇行が東進し、紀伊半島の南で蛇行が急に増幅されて生じることであり、反対に大蛇行流路から直進流路への移行は、大蛇行部分が伊豆海嶺の東側に移動した後、急速に蛇行の振幅が減少して消滅することです。この大蛇行流路の形成と消滅の過程は過去の数回の全観測でほぼ共通し、『何故共通したパターンで行われるのか?』という点に黒潮流路の変動特性の一つの鍵があるように思えます。

そこで、まず大蛇行流路の形成過程を調べました。特に九州沖は、海岸線が南北でまた陸棚斜面もあるため、流れの岸に沿う傾向が強いという数値モデルの結果から、九州沖小蛇行のような現象は定常状態ではありえず、小蛇行形成は流れによる慣性効果ではないかという視点から、流速の変化をG E Kデータを用いて解析しました。その結果、1965年～1977年間のG E K流速では、九州南東沖の小蛇行発生期に、トカラ海峡より流出する黒潮流速の急激な増加があることがわかりました (SEKINE and TOBA, 1981a)。この結果を簡単に模式化した数値モデル実験により、流速増加による慣性効果で通常九州東岸に沿って北上する黒潮が、そのまま東に流れて離岸し、流れがより水深の大きい沖側に移動することで、ポテンシャル渦度の保存から水柱のストレッチングが生じ、低気圧渦(種ヶ島冷水)を伴う小蛇行が生じることが示されました (SEKINE and TOBA, 1981b)。

九州沖の小蛇行は、冬から春にかけてほぼ毎年発生しますが、その大半は消滅し、大蛇行に発展するのはわずかです。そこで大蛇行流路に発展するものと、消滅するものの流路の時間変化の違いを調べたところ、大蛇行に発展するものは、紀伊半島沖の平坦な海域まで東進しますが、消滅する小蛇行は、九州沖の陸棚斜面上に停滞することがわかりました。九州東岸の陸棚斜面上では、流れが地形効果で安定化されるのに対し、紀伊半島南の平坦な海域では、陸棚斜面の安定化効果が働かず流れが不安定になる可能性が示されました (関根, 1992)。

大蛇行流路から直進流路への移行は、前にも述べたように、大蛇行が伊豆海嶺の東側に移動し、大蛇行が消滅して起こります。大冷水塊の深層に流れがあると、伊豆海嶺の海底地形の影響で伊豆海嶺を越えて東側に移動することはできません。1977年11月の黒潮大冷水塊の等密度線の観測値では、深層にも水平勾配(圧力傾度)があり、流れの存在が示され (ISHII *et al.*, 1983)、大蛇行の

伊豆海嶺東への移行には、伊豆海嶺の地形効果が顕著である可能性が示されました。これに関連して、大冷水塊内部の水溫構造の時間変化を調べ、大冷水塊は晩春から夏にかけて冷水域が水平方向に広がる強化過程、秋から次の春にかけて冷水域が小さくなる減衰過程を季節変動として繰り返すことが示されました (SEKINE *et al.*, 1985)。さらに、晩春から夏にかけて強化過程が生じない場合、大冷水塊は下層の流れが小さくなり、伊豆海嶺の東側に移動して消滅することが示されました。

伊豆海嶺の東側でのみ黒潮大蛇行が消滅する、という理由も黒潮流路の力学では重要です。これについて、大冷水塊に相当する低気圧渦の時間変化を、伊豆海嶺の東側と西側において比較しました。その結果、海嶺の西に置かれた低気圧渦は、東に置かれたものよりも短期間で消滅することがわかりました (SEKINE, 1989)。つまり、大冷水塊程度の空間スケールと流速を持つ低気圧渦では、惑星 β 効果が卓越して西に進み、海嶺の西側に置かれた渦は西進しても西に空間があり、低気圧渦に大きな変化は生じないのに対し、東側に置かれた渦は、西進すると海嶺の浅い方向に乗り上げて、低気圧渦が顕著に減衰することが示されました。さらに、大蛇行のような一般流を伴う低気圧渦では、海嶺の西側では一般流が南東に曲げられ、東側では北東方向に曲げられて南北に近い流れとなり、結果的に海嶺の東側で低気圧渦が速く消滅することが明らかになりました (SEKINE, 1993)。

黒潮の観測では、三重大学の練習船『勢水丸』を用いて、伊豆海嶺上や四国の室戸岬沖の海底地形『土佐礫』、第二紀南海山や駒橋第二海山の直上およびその周辺でCTDによる水溫塩分やADCPによる流速の観測を行い、黒潮に及ぼす海底地形効果などを調べております。とりわけ『土佐礫』の周辺では、海山上の速度分布や水溫塩分構造が、観測ごとに大きく異なる場合があることや、顕著な水溫の微細構造が存在することを観測しております (SEKINE *et al.*, 1994)。

最後になりましたが、大学院までの長期間海洋研究を自由に行う機会を与えてくれた両親、海洋物理の論文作成などをはじめとして、多くの面でご指導をいただいた鳥羽良明教授、研究開始の基本的な所でいろいろとお世話になった杉本隆成教授に深く感謝します。また、研究を進める上で、大変多くの皆様に激励や適切な助言をいただきました。特に東北大学理学部の海洋物理学講座の先輩、同輩、後輩の方々には、公私にわたりいろいろとお世話になりました。この場をお借りして御礼を申し上げます。御静聴どうもありがとうございます。

文 献

- AKITOMO, K., T. AWAJI and N. IMASATO (1991): Kuroshio path variation south of Japan. I Barotropic inflow-outflow model. *J. Geophys. Res.*, **96**, 2549-2560.
- ISHII, H., Y. SEKINE and Y. TOBA (1983): Hydrostatic 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.
- ROBINSON, A. R. and B. TAFT (1972): A numerical experiment for the path of the Kuroshio. *J. Mar. Res.*, **30**, 65-101.
- SEKINE, Y. and Y. TOBA (1980): A numerical study on path of the Kuroshio with reference to generation of the 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 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 path of the Kuroshio off southern Kyushu. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 234-242.
- SEKINE, Y., H. ISHII and Y. TOBA (1985): Spin-up and spin-down processes of the large cold water mass of the Kuroshio south of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 207-212.
- SEKINE, Y. (1988): Coastal and bottom topographic effects on the path dynamics of the western boundary current with special reference to the Kuroshio south of Japan. *La mer*, **26**, 99-114.
- SEKINE, Y. (1989): Topographic effect of a marine ridge on the spin-down of a cyclonic eddy. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **45**, 190-203.
- SEKINE, Y. (1990): A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio with reference to the formation of the large meander path south of Japan. *Deep-Sea Res.*, **37**, 359-380.
- 関根義彦, (1992): 日本南岸の黒潮大蛇行の発生の兆候について. *水産海洋研究*, **56**, 13-22.
- SEKINE, Y. (1993): Topographic effect of a marine ridge on the spin-down of a cyclonic eddy with mean flow. *J. Oceanogr.*, **49**, 593-606.
- SEKINE, Y., H. OHWAKI and M. NAKAGAWA (1994): Observation of oceanic structure around Tosa-Bae southeast of Shikoku. *J. Oceanogr.*, **50**, 543-558.
- 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.
- YOON J. H. and I. YASUDA (1987): Dynamics of the Kuroshio large meander. Two-layer model. *J. Phys. Oceanogr.*, **17**, 66-81.
- SEKINE, Y., and M. ZHANG (1995a): A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 1. Coastal topographic effect. *La mer*, **33**, 63-75.
- SEKINE, Y., and M. ZHANG (1995b): A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 2. Bottom topographic effect. *La mer*, **33**, 77-87.

学 会 記 事

1. 1995年5月19日(金)東京水産大学において平成7年度評議員会が開かれた。主要な議事は下記の通り。

- 1) 平成6年度事業報告
- 2) 平成7年度日仏海洋学会賞受賞候補者選考経過報告
- 3) 平成6年度収支決算報告および監査報告
- 4) 平成7年度事業計画案審議
原案どおり承認した。
- 5) 平成7年度予算案審議
原案どおり承認した。
- 6) 平成7年度学会賞受賞候補者推薦委員会委員選出
下記の通り選出した。
青木三郎, 今脇資郎, 落合正宏, 鎌谷明善,
岸野元彰, 小池勲夫, 関根義彦, 竹松伸,
谷口旭, 中村重久, 松生治, 村野正昭,
門谷茂, 柳哲雄, 山口征矢

2. 1995年6月5日(月)日仏会館会議室において平成7年度日仏海洋学会学術研究発表会が開催された。発表題目と発表者は下記の通り。

午前(10:00~12:00)

座長 森永 勤(東水大)

1. 北極海(カラ海, バレンツ海)の海洋特性
—海洋汚染に関連して—
……………和田 明(日大・生産工)
2. 東京湾内湾から浦賀水道にかけての従属栄養細菌, 従属栄養性微小鞭毛虫, 繊毛虫の出現密度傾斜……………○野村英明・石戸義人・石丸 隆・村野正昭(東水大)
3. 浮遊性少毛類プランクトン *Strombidium conicum* シスト群集の発芽パターンの季節変化
……………金 英玉・○谷口 旭(東北大・農)
座長 谷口 旭(東北大・農)
4. 東京湾における栄養塩のボックスモデルに関する研究
…○魚 京善・石丸 隆・村野正昭(東水大)
5. 裏磐梯・小野川湖における溶存炭水化物の変動
……………○落合正宏・相川千織・布川俊幸・(都立大・理)・佐藤泰哲(山形大・理)
6. L'invasion de l'algue tropicale *Caulerpa*

taxifolida en Mediterranee

……………○T. KOMATSU (ORI, Univ. Tokyo)・
A. MEINESZ・J. VAUGELAS・J-M. CORRALORDA・
G. CAYE・M. FEBVRE・R. LEMEE・H. MOLENAAR
(Univ. Nice-Sophia Antipolis)

午後(13:00~14:00)

座長 村野正昭(東水大)

7. 二枚貝の環境生理学的研究……………○三木久弘
伊藤 希・関 文威(筑波大・生物)
8. クロアワビの明暗弁別閾値
……………○森川由隆・森永 勤(東水大)
座長 小池康之(東水大)
9. 自動イカ釣機の誘引式釣針による脱落防止方法
……………○郭 海波・矢田貞美(東水大)
10. ホタテ稚貝の左殻上向き制御方法に関する研究
……………○林 艾光・矢田貞美(東水大)
11. タラソセラピー(海洋療法)の最近の動向と海洋医学的知見…………野村 正(日本海洋療法研究会)
特別講演(14:40~15:20)
フランスにおける海洋研究機関
—IFREMERを訪ねて—
……………八木宏樹(北海道中央水試)

3. 1995年6月5日(月)日仏会館会議室において第36回(平成7年度)総会が開催された。議事の概要は下記の通り。

議長 有賀会長

- 1) 平成6年度事業報告
- a) 庶務

会員移動状況

	6年4月	入会	退会	逝去	資格変更	7年4月
名誉会員	3	—	—	2	—	1
正会員	300	9	11	1	+1	298
学会会員	3	2	0	—	-1	4
賛助会員	19	0	1	—	—	18

活動状況

評議員会	1回(5/29)
幹事会	2回(11/21, 2/28)
総会	1回(5/30 日仏会館)

学術研究発表会 1回 (5/30 日仏会館)
 学会誌の発行 32巻2号～33巻1号
 学会賞授与 門谷茂 (香川大学) (5/30日仏会館)
 講演会の開催・協賛 理化学研究所第17回科学講演会
 (協賛)
 フランクフルト・ブックフェア
 '94「学協会誌」展示会への学
 会誌の出版

b) 編集

La mer 32/2, 32/3, 32/4 (第7回JECSSワークショッ
 プ・プロシーディングス), 33/1 (合計290頁)
 平成6年度文部省科学研究費補助金「研究成果公
 開促進費」の補助を得て刊行

c) 平成7年度日仏海洋学会賞受賞者選考経過報告

2) 平成6年度収支決算報告および監査報告

収入

前年度 繰越金	297,015
正会員会費	1,530,000
学生会員会費	18,000
賛助会員会費	180,000
学会誌 売上金	343,110
広告料	90,000
著者負担印刷費	651,676
雑収入	163,566
寄付金収入	0
文部省刊行助成金	1,170,000
計	4,443,367

支出

学会誌等印刷費	3,100,000
送料・通信費	229,875
事務費	693,164
交通費	22,480
会議費	9,956
学会賞経費	72,621
雑費	30,126
次年度 繰越金	285,145
計	4,443,367

3) 平成7年度事業計画案審議

評議員会1回, 総会1回, 学術研究発表会1回, 幹
 事回4回
 シンポジウムおよび講演会の開催および後援
 学会誌の発行(4号)

平成7年度学会賞授賞および平成8年度学会賞受賞
 候補者推薦

平成8・9年度評議員および会長選挙実施
 第7回日仏学術シンポジウムの開催

その他

4) 平成7年度収支予算案審議

平成7年度収支予算

収入

前年度 繰越金	285,145
正会員会費	1,800,000
学生会員会費	40,000
賛助会員会費	200,000
学会誌売上金	450,000
広告料	200,000
著者負担印刷費	700,000
雑収入	250,000
寄付金収入	1
計	3,925,146

支出

学会誌等印刷費	2,450,000
送料・通信費	250,000
事務費	700,000
交通費	20,000
会議費	50,000
学会賞経費	75,000
雑費	350,000
次年度 繰越金	30,146
計	3,925,146

5) その他

4. 平成7年度日仏海洋学会賞

受賞者: 関根義彦 (三重大学)

受賞課題: 黒潮大蛇行および黒潮域を中心とした海洋
 過程に関する一連の研究

推薦理由: 日本南岸の黒潮流路には、直進(非大蛇行)
 流路と大蛇行流路の二つの比較的安定な流路が存在す
 る。従来から黒潮については多くの観測や研究がある
 が、関根義彦博士は黒潮の直進流路と大蛇行流路の変
 換過程に注目して、その力学を観測データの解析や数
 値モデル実験などから研究してきた。

大蛇行流路から直進流路への移行は、九州南東沖に
 発生した小蛇行が東進し、紀伊半島の南で蛇行が急に

増幅されて生じる。関根博士は1965~1977年のGEKによる流速データの解析を行い、九州南東沖の小蛇行発生期に吐喝喇海峡から流出する黒潮流速の急激な増加があることを明らかにした。また、流速増加による慣性効果で、通常九州東岸に沿って北上する黒潮がそのまま東に流れて離岸し、流れがより水深の大きい沖側に移動することで水柱のストレッチング効果が生じ、低気圧渦（種子島冷水）を伴う小蛇行が生じることを数値モデル実験により示した。九州沖の小蛇行の大半は消滅するが、紀伊半島沖の平坦な海域まで東進すると蛇行が増幅され、大蛇行流路が形成される。モデル解析や数値モデル実験により、九州東岸の陸棚斜面上の流れは地形効果で安定化されるのに対し、紀伊半島南の平坦な海域では陸棚斜面の安定効果が働かず、流れが不安定になる可能性が高いことが示された。

黒潮大蛇行から直進流路への変換は、共通して大蛇行が伊豆海嶺の東側に移動し、大冷水塊が消滅して生じる。関根博士は、観測された等密度線の鉛直分布に基づき、大冷水塊の深層にも流れが存在することを示し、大蛇行の伊豆海嶺東への移行にはその地形効果が顕著である可能性を示した。この結果に基づいて、大冷水塊内部の水温構造の時間変化を調べ、大冷水塊は晩春から夏にかけて冷水域が広がる強化過程、秋から次の春かけて冷水域が小さくなる減衰過程を季節的に繰り返すことを明らかにした。さらに、晩春から夏にかけて強化過程が生じない場合、大冷水塊は伊豆海嶺の東側に移動して消滅することが示された。これらの結果は、黒潮大蛇行の消滅の予知についての重要な視点を与えるものと評価される。

関根博士は引き続き、伊豆海嶺の東側のみ大冷水塊および黒潮大蛇行が消滅する理由についても、数値モデル実験により検討した。その結果、海嶺の東に置かれた低気圧渦は、西に置かれた低気圧渦よりも短時間で消滅することが明らかだった。つまり、大冷水塊程度の空間スケールと流速を持つ低気圧渦では、惑星 β 効果が卓越して西に進み、海嶺の西側に置かれた渦は西進しても西に空間があるために低気圧構造に大きな変化が生じないのに対し、東側に置かれた渦は西進すると海嶺の浅い方向に乗り上げて低気圧構造が著しく減衰することが示された。観測データと数値モデル実験に基づく関根博士の研究結果は、従来から研究が少ない黒潮流路の変換過程について重要な知見を提供したものと評価される。

一方、関根博士は黒潮に及ぼす日本南岸の陸岸地形

および海底地形の効果を数値モデルで調べている。その中で特に、大冷水塊の強化過程や減衰過程では、四国沖の暖水渦の東西運動および伊豆海嶺の地形効果が重要であること、黒潮流路の日本南岸からの離岸には紀伊半島の地形効果よりも室戸岬のそれがより重要な役割を果たしていることなどの興味ある結果を示している。これらの結果については、今後の観測結果等を含めて検討の余地を残すが、黒潮観測やモデル化に対して有益な視点を与えるものと考えられる。

また、これら黒潮流路の力学的研究に加え、関根博士は四国沖の土佐渚や第二紀南海山などの直上およびその周辺でCTDによる水温・塩分・密度分布やADCPによる流速の観測を行い、黒潮に及ぼす海底地形効果を調べている。これらの観測結果から、海山上の流速分布や水温・塩分構造が観測ごとに大きく異なる場合があることや顕著な水温の微細構造の存在などを見いだしている。

以上のように、関根義彦博士は極めて活発に研究を展開しており、その結果は多くの論文として内外の学術雑誌に発表され、高い評価を得ている。本委員会は、関根義彦博士の研究を高く評価し、本学会賞を受賞するにふさわしい候補者としてここに推薦する。

学会受賞候補者推薦委員会
委員長 山 口 征 矢

主 要 論 文

1. A numerical study on path of the Kuroshio with reference to generation of the small meanders southeast of Kyushu. *Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. 5, Geophys.*, **27**, 39-55 (1980). (with Toba, Y.)
2. Velocity variation of the Kuroshio during formation of the small meander south of Kyushu. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 87-93 (1981). (with Toba, Y.)
3. A numerical study on the generation of the small meander path of the Kuroshio off southern Kyushu. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **37**, 234-232 (1981). (with Toba, Y.)
4. Hydrostatic 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 (1983). (with Ishii, H. and Toba, Y.)
5. Spin-up and spin-down processes of the large cold water mass of the Kuroshio south of Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 207-212 (1985). (with Ishii, H. and Toba, Y.)
6. The short-period cold water mass accompanied by large meander of the Kuroshio south of Japan.

- La mer, **24**, 169-176 (1986). (with Ishii, H.)
7. Wind-driven circulation in the Japan Sea and its influence on the branching of the Tsushima Current. Prog. Oceanogr., **17**, 297-312 (1986).
 8. 1985年11月の四国沖の海底地形『土佐碧』上およびその周辺の海洋構造. うみ, **25**, 137-146 (1987). (松田 靖と共著)
 9. Anomalous southward intrusion of the Oyashio east of Japan. 1. Influence of seasonal and inter-annual variation in wind stress over the North Pacific. J. Geophys. Res., **93**, 2247-2255 (1988).
 10. A numerical experiment on the anomalous southward intrusion of the Oyashio east of Japan. 1. Barotropic model. J. Oceanogr. Soc. Japan, **44**, 60-67 (1988).
 11. Coastal and bottom topographic effects on the path dynamics of the western boundary current with special reference to the Kuroshio south of Japan. La mer, **26**, 99-114 (1988).
 12. Topographic effect of a marine ridge on the spin-down of a cyclonic eddy. J. Oceanogr. Soc. Japan, **45**, 190-203 (1989).
 13. 日本南岸の黒潮大蛇行の消滅兆候について. 水産海洋研究, **53**, 346-371 (1989).
 14. A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio with reference to the formation of the large meander path south of Japan. Deep-Sea Res., **37**, 359-380 (1990).
 15. 紀伊半島東部域への暖水の接近について. 沿岸海洋研究ノート, **28**, 174-182 (1991). (伊藤 徹・藤田弘一と共著)
 16. Observation on the volume transport of the Kuroshio south of Japan. Bull. Fac. Biores. Mie Univ., No. 6, 57-82 (1991). (with Sato, Y., Takamori, H. and Sakamoto, I.)
 17. Observation of the salinity minimum layer in the Shikoku Basin south of Japan. Bull. Fac. Biores. Mie Univ., No. 6, 57-82 (1991). (with Sato, Y. and Sakamoto, I.)
 18. Oceanic structure in the vicinity of a seamount, Daini Kinan Kaizan, south of Japan. La mer, **30**, 17-25 (1992). (with Hayashi, T.)
 19. 日本南岸の黒潮大蛇行の発生の兆候について. 水産海洋研究, **56**, 13-22 (1992).
 20. 北太平洋の黒潮及び亜寒帯循環の異常南下. 海の研究, **1**, 153-165 (1992).
 21. Topographic effect of a marine ridge on the spin-down of a cyclonic eddy with mean flow. J. Oceanogr., **49**, 593-606 (1993).
 22. 日本南岸の黒潮流路の力学について. 海の研究, **2**, 261-275 (1993).
 23. Seasonal variation in volume transport of the Kuroshio south of Japan. J. Phys. Oceanogr. **24**, 261-272 (1994). (with Kutuwada, K.)
 24. Thermal structure in the Kuroshio extension

measured with a towed thermistor chain. J. Oceanogr., **50**, 391-401 (1994). (with Yamada, F., Toba, Y. and LaFond, C. E.)

25. Observation of oceanic structure around Tosa-bae south of Shikoku. J. Oceanogr., **50**, 543-558 (1994). (with Ohwaki, H. and Nakagawa, M.)
26. A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 1. Coastal topographic effect. La mer, **33**, 63-75 (1995). (with Zhang, N.)
27. A numerical experiment on the path dynamics of the Kuroshio south of Japan. Part 2. Bottom topographic effect. La mer, **33**, 77-87 (1995). (with Zhang, N.)

5. 新入会員 (学生会員)

氏名	所属・住所	紹介者
----	-------	-----

鈴木利一	〒981 仙台市青葉区堤通雨宮町1-1	谷口 旭 東北大学農学部生物海洋学講座
------	---------------------	------------------------

6. 所属先・住所等変更

木谷浩三	〒850 長崎市国分町49	西海区水産研究所
小林 貴	〒225 横浜市青葉区鉄町1614	桐蔭学園横浜大学工学部

7. 受贈図書

日本学術会議月報 36(5)
 なつしま 136
 海洋産業研究資料 26(5,6,7)
 勇魚 12
 神奈川県立博物館研究報告 24
 千葉県水産試験場研究報告 52
 日本海区水産研究所研究報告 45
 Bulletin of the Ocean Research Institute, University of Tokyo 30
 Journal of the Korean Society of Oceanography 29 (3, 4), 30 (1, 2)
 Chinese Science Bulletin 40 (10)
 Israel Oceanographic & Limnological Research 17
 Annales de L'institute Oceanographique 70

日仏海洋学会役員・評議員 (1994~1995年度)

顧問: ユーベル・プロジェ ジャン・デルサル
 ジャック・トーベル アレクシス・ドラ
 デール ベルナル・フランク ミシェル・
 ルサージュ ローベル・ゲルムール ジャ
 ック・マゴー レオン・ヴァンデルメル
 シュオーギュスタン・ベルク ユーベル・セ
 カルディ

名誉会長: オリビエ・アンサー

会 長：有賀祐勝
 副 会 長：高木和徳 岡市友利
 幹 事：(庶務) 須藤英雄 有元貴文
 (会計) 森永 勤 岸野元彰
 (編集) 佐藤博雄 落合正宏
 (研究) 関 文威 小池勲夫
 (渉外) 佐伯和昭 降島史夫

監 事：久保田穰 辻田時美

編集委員長：山口征矢

評 議 員：

有元貴文	有賀祐勝	石丸 隆	今脇資郎
宇野 寛	大塚一志	岡市友利	奥田邦明
落合正宏	梶浦欣二郎	金成誠一	鎌谷明善
岸野元彰	国司秀明	久保田穰	黒田一紀
小池勲夫	佐伯和昭	坂本 亘	佐藤博雄
杉森康宏	須藤英雄	関 文威	関根義彦
平 啓介	高木和徳	降島史夫	高野健三
高橋正征	谷口 旭	辻田時美	寺崎 誠
寺本俊彦	鳥羽良明	中田英昭	永田 豊
中村重久	奈須敬二	西沢 敏	畑 幸彦
半沢正男	堀越増興	前田明夫	松生 洽
松村皐月	松山優治	丸茂隆三	村野正昭
森田良美	森永 勤	柳 哲雄	山口征矢
和田 明	渡邊精一		

日本学術会議だより №.37

戦略研究と高度研究体制の構築を

平成7年5月 日本学術会議広報委員会

今回の日本学術会議だよりでは、4月に開催された第121回日本学術会議総会の概要と総会第二日に行われた会長基調報告の内容に自由討議の議論を踏まえて修文した「我が国の学術体制を巡って」の一部を紹介します。

日本学術会議第121回総会報告

日本学術会議第121回総会は、平成7年4月19日から3日間にわたって開催されました。

総会初日の午前中は、①「阪神・淡路大震災調査特別委員会の設置」、②「国際農業工学会（Commission Internationale de Genie Rural : CIGR）への加入」の2件が提案され、いずれも賛成多数で可決されました。

阪神・淡路大震災調査特別委員会は、平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災が、日本学術会議として緊急に対応すべき課題であるとの結論に達したため、3月27日の第843回運営審議会において新たな臨時（特別）委員会として設置され、総会で承認することとしたものです。審議事項は、阪神・淡路大震災が提起した問題点について、地震学、災害工学等自然科学分野のみならず、人文・社会科学分野を含め総合的に検討することとしています。

また、国際農業工学会への加入は、従来、日本学術会議が日本の科学者の代表機関として、国際学術連合ICSUを始めとする46の国際学術団体に分担金を支払って加入していますが、今回の新規加入の承認によ

り、その数が47となり、国際農業工学会に対応する国内委員会は、農業土木学研究連絡委員会となります。

総会2日目は、伊藤正男日本学術会議会長から、「日本学術会議の課題～高度研究体制を目指して～」と題した基調報告が行われ、会長が提起したさまざまな課題について、会員間の自由討議が繰り広げられました。

この報告は、昨年の第120回総会において第16期活動計画を定めてから既に半年を経過しており、この間の多彩な活動を通じて伊藤会長が考えてきた問題、特に、我が国の学術体制の問題を中心に適宜取捨選択したいいくつかの課題について、伊藤会長自身の見解を述べ、人文・社会科学分野から自然科学分野わたる幅広い会員各位の意見を聞き、会員に共通の基本認識を深めることを目的として行われたものです。

なお、伊藤会長が、基調報告の内容に、自由討議の議論を踏まえて修文した「我が国の学術体制を巡って」は、序文の他7項目から構成されていますが、そのうち2項目について紹介します。

我が国の学術体制を巡って（抄）

—戦略研究と高度研究体制—

日本学術会議会長 伊藤 正男

〈「戦略研究」とその意義〉

大学では知的興味に基づく基礎研究を、企業では実用上の重要性を持つ応用研究を、という古典的な役割分担はもはや成り立たなくなっている。最近英米両国で基礎研究と応用研究の間に設けられた「戦略研究」のカテゴリーは、工学、農学、医歯薬学系の研究室では意識しないまま基礎研究として行われてきたものを多く含み、また企業において「目的基礎研究」と呼ばれるカテゴリーとほぼ対応している。研究者の知的興味と実用価値とは一般的にいって相反するが、そのいずれかに限定せず、両方の要素を両立させるカテゴリーである。研究費を受ける側にとっても、出す側にとっても受容し易い論理を提供し、科学政策上甚だ有効

な整理概念である。（中略）

我が国においては、応用研究に優れる一方、基礎研究は一般に貧弱であり、我が国の応用研究はむしろ国外の基礎研究を基盤とすることが少なくなかった。この点は英国とはちょうど事情が逆であるが、解離した基礎研究と応用研究の間を埋める必要があるのは同様である。この解離の社会的背景にはやはり我が国独自のものがある。我が国の大学においては、研究の自由の主張と産学協同の弊害に対する危惧が強かった一方、企業の方では、我が国の大学の基礎研究にあまり大きな利用価値を見い出さなかったといっている言い過ぎであろうか。率直に言って、今日でも多くの企業家は、大学等で行われる基礎研究に利用価値を認めるのでは

なくて、基礎研究に対する精神的な共感ないし慈善（チャリティ）の気持ちから、人材供給のパイプをつなぐ目的のため、あるいは基礎研究只乗りの非難をかわすために、これを支援する必要があると考えておられるように見受けられるといえれば誤解であろうか。企業等から大学への奨学寄付金が平成4年度501億円に及んだのはまことに喜ばしいことであるが、受託研究費が53億円に止まっているのは、依然として企業にそのような潜在意識のあることを示唆するように思えてならない。「戦略研究」の概念は、大学等でこれまで基礎研究として一括されてきたカテゴリーの中で、近い将来に応用される可能性を持つものに特別な照明を当て、その企業との近縁性を意識させる効果がある。また、会社等で使われる基礎研究費は、年間6千50億円にのぼるが、これは実際には大部分が「戦略研究」に向けられていると推測され、ここに大学等の研究者との協力の大きな素地が十分にあることが示唆される。（中略）

「脳の科学と心の問題」特別委員会が4月18日の連合部会で中間報告された問題を例にとると、脳がいかに働いて心を生み出すのかの謎を解くことは、基礎科学の最終問題といってよほど根源的な人間の知的興味の的である。140億といわれる膨大な数の神経細胞の働きがいかにして一つの意識というまとまった働きに統合されるのかは、それ自体極めて深遠な基礎科学の問題である。しかし、脳の研究はその物質的なメカニズムの解明により、脳神経系の病気を根絶し、脳の老化を防ぐといった医療上の大きな「戦略性」を孕んでいる。また、将来脳の情報処理の仕組みが解明されれば、ニューロコンピュータのような新たな原理を持つ情報機械を生み出す工学上の「戦略性」も極めて大きい。さらに、心のレベルについても、育児や教育の参考になり、産業心理学を助け、災害時の特異な心理状態への適切な対処を示唆するなど、人文・社会科学の広い分野での「戦略性」がある。米国の研究者がいち早く議会議場に働きかけ、1990年に始まる脳の10年Decade of the Brainが決議され、ブッシュ大統領が行政機関に対して脳の研究への支援を要請したのも、これらの戦略性に着目してのことに他ならない。

このように、「戦略性」に注目して強力な研究支援を行うことは、基礎科学としての脳研究にとっても、助けになりこそすれ妨げになるとは思われない。一般的にも「戦略研究」への支援からその基盤である純粋基礎研究への波及効果が期待できるが、ただ、必ずしもそれが望めない分野も少なくない点は注意を要する。研究者の中には、「戦略研究」を重視すると純粋基礎研究が圧迫され、置き去りにされる恐れがあるとして警戒する向きも少なくない。基礎科学の源は人間本来の知的興味にあり、応用とは無縁のところから始まることは確かな事実である。このような知的興味に基づく基礎研究を重視し、支援することが知的な文化的社会にとって有意義であることはもちろんである。あるいは、レーザーの発見のように純粋基礎研究の成果が長い時間の間に周辺技術の進歩により大きな戦略価値を持つようになった事例は数多くあり、基礎研究に潜在

する戦略性を予見することの困難さも指摘される。最近漸く基礎研究への理解を深めてきた我が国の社会に「戦略研究」の概念を持ち込んで、逆効果を招くことは私の本意ではない。私が強調したいのは、我が国においては本来基礎研究が弱体であったのに加えて、「戦略研究」もまた明確に意識されず、大学と企業の間が空白のままに置かれてきたことである。この空白を埋めるために、基本的なコンセプトにまで遡って大学と企業の間を再構築することの必要性である。

〈我が国に「高度研究体制」を〉

歴史的な変化の時に当たり、学術の格段の推進が待望される今日、世界と我が国の学術体制にまつわる多くの問題を指摘した。我々は、多くの現実的な制約の下、先行きの不透明さに悩みながらも、次の世紀に向けての見通しを明らかにしようと努力しているが、ここにおいて、特に研究者の立場からの発想を基に「高度研究体制」とも呼ぶべき我が国の将来の学術体制を構想することが重要と考える。

この体制を実施するためには、まずともかく大きな研究資金が必要である。ゆっくりながら堅実に改善を図っていく我が国得意のグレードアップ方式では、この競争的な世界の中で生き残ることは難しい。すでにすっかり体制を整え直し、急速に進みだした世界の進度に遅れないようにするだけでも容易ではない。激しい先取権争いから脱落すれば、すぐ遠く置き去りにされてしまう。これまでのように、他国が多大の犠牲を払って開拓した路を安全に辿っていくことはもはやできない。誰にとっても始めてのフロンティアで、世界と互角に公正に競争していかなければならない。これまでのように、最小の投資で最大の効果を挙げることは望むべくもない。最大の効果は最大の投資をするものには保証されない。（中略）

このような「高度研究体制」は、前期において日本学術会議が提案した国際貢献のための新システムの構想を包含し、昨年9月我々が採択した第16期活動計画の精神を凝縮して現するものである。恐らくは我が国の研究者の多くが抱えている強い願望の表現であるが、ただの願望ではなく、このようなものがなければ、我々研究者の未来はありえないという厳しく強い要請を含んだものである。研究者本来の自由で創造的な学問的興味を追求しながら、国や社会の強力な要請に応え、深刻な地球規模問題の解決に尽力することを可能にするためには、なくてはならない体制である。

戦後50年間、嘗々として築いてきた我が国の学術の現状が、このような要請にどのようになら近づき、あるいはどのようにまだ遠いのか、今こそ冷静に分析すべき時である。日本学術会議の審議の中から、この「高度研究体制」のあるべき姿をより具体的に現せば、それは今日我が国の学術体制の現状を映し出し、それがいかに高度とはいいたい状態にあり、むしろ至る所に危機的な状況が伏していることを示すだろう。そして今後、我々が努力を結集すべき明確な目標を与えてくれるであろう。

（全文は、日本学術会議月報平成7年5月号参照）

賛 助 会 員

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 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	東京都北区中里 2-7-7
株 式 会 社 カ イ ジ ョ ウ	東京都西多摩郡羽村町栄町 3-1-5
働 海 洋 生 物 環 境 研 究 所	東京都千代田区内神田 1-18-12 北原ビル内
株 式 会 社 川 合 海 苔 店	東京都大田区大森本町 2-31-8
株式会社 自然・情報環境研究所	横浜市栄区桂町 1-1, 3-401
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
株式会社 高 岡 屋	東京都台東区上野 6-7-22
株 式 会 社 東 京 久 栄 技 術 セ ン タ ー	埼玉県川口市芝鶴ヶ丸 6906-10
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
働 三 菱 総 合 研 究 所 (社会情報システム部)	東京都千代田区大手町 2-3-6
働 本 地 郷	東京都千代田区神田須田町 2-2-4 須田町藤和ビル7F
株式会社 読売広告社	東京都中央区銀座 1-8-14
渡 辺 機 関 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

odix tokyo *c'est un bureau rédactionnel indépendant*

Tous les musiciens s'instruisent dans l'art de jouer de leur instrument.

器楽を演奏するにはその技術を習得しなければなりません

Tous les automobilistes s'instruisent dans l'art de conduire leur voiture.

自動車を運転するにはその技術を習得しなければなりません

Alors pourquoi peu d'étudiants désirent-ils s'instruire

dans l'art de leur communication scientifique?

研究者だけが論文作成技術を修得しないで済ませていいはずがありません

Dans le cadre de l'art de la communication scientifique,

l'odix tokyo vous offre un appui pleine de services sur la demande.

オウディクス トウキョウはよりよい学術論文をまとめたあなたを

あなたの満足ゆくまで応援します

Pour de plus amples détails, adressez-vous à:

当事務所のサービスについてのご照会は下記へ

odix tokyo

office de diffusion internationale et
de communication scientifiques de Tokyo

YVT 1511, 4-4 Mita 1, Meguro-ku

Tokyo 153

オウディクス トウキョウ

学術情報国際流通事務所

東京都目黒区三田1-4-4

恵比寿ビュータワー1511 〒153

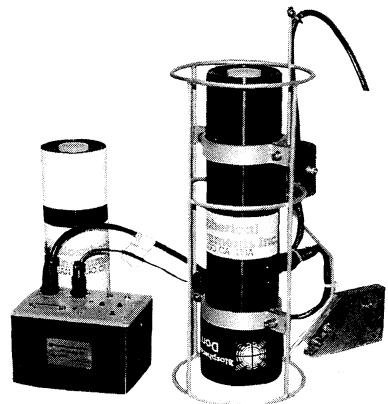
Tél/Fax: (03) 54.21.08.77

Biospherical Instruments

(Biospherical社は、水中放射計の専門メーカーです。)

PRR-600型

水中器	下向き照度	6波長(1波長追加可)
	上向き輝度	6波長(1波長追加可)
	深 度	100m標準 200m可
	温 度	
	ケーブル	100m強化
	デッキユニット	バッテリータイプ
		RS-232C出力
	ソフト	付属(IBM/DOS)



CI

CHELSEA
INSTRUMENTS
LIMITED



**Biospherical
Instruments
Inc.**

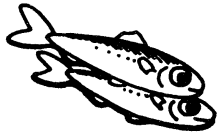
日本総代理店

ケー・エンジニアリング株式会社

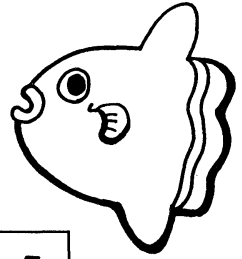
〒111 東京都台東区浅草橋5-10-12

TEL 03-5820-8170

FAX 03-5820-8172



海洋生物資源を大切に利用する企業でありたい
—— 青魚(イワシ・サバ・サンマ)から宝を深し出す ——



母なる海・海には愛を!

La mer la mère, l'amour pour la mer!



SHIDA

信田缶詰株式会社

〒288 千葉県銚子市三軒町2-1 TEL 0479(22)7555 FAX 0479(22)3538

● 製造品・水産缶詰・各種レトルトパウチ・ビン詰・抽出スープ・他

日仏海洋学会入会申込書

(正会員・学生会員)

	年度より入会	年 月 日 申込
氏 名		
ローマ字		年 月 日 生
住 所 〒		
勤務先 機関名		
電 話		
自 宅 住 所 〒		
電 話		
紹介会員氏名		
送付金額	円	送金方法
会誌の送り先 (希望する方に○をつける)	勤務先	自 宅

(以下は学会事務局用)

受付	名簿 原簿	会費 原簿	あて名 カード	学会 記事
----	----------	----------	------------	----------

入会申込書送付先： 〒150 東京都渋谷区恵比寿3-9-25

(財)日仏会館内

日 仏 海 洋 学 会

郵便振替番号： 00150-7-96503

日 仏 海 洋 学 会 編 集 委 員 会 (1994-1995)

委員 長: 山口征矢

委 員: 青木三郎, 半沢正男, 堀越増興, 前田 勝, 落合正宏, 松山優治, 柳 哲雄, 渡辺精一

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: 落合正宏, 佐藤博雄

投 稿 の 手 引

1. 「ろみ」(日仏海洋学会機関誌; 欧文誌名 *La mer*) は, 日仏海洋学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(10,000円/頁)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 山口征矢 気付
日仏海洋学会編集委員会

1995 年 8 月 25 日 印刷 5 冊 第 33 巻
1995 年 8 月 23 日 発行 第 3 号

定 価 等 1,600

編 集 者 山 口 征 矢
発 行 所 日 仏 海 洋 学 会
財団法人 日仏会館内
東京都 渋谷区 恵比寿 3-9-25
郵 便 番 号 : 1 5 0
電 話 : 03 (5421) 7 6 4 1
振 替 番 号 : 00150-7-96503
印 刷 者 佐 藤 一 二
印 刷 所 旬 英 和 出 版 印 刷 社
東京都 北区 中里 2-7-7
郵 便 番 号 : 1 1 4
電 話 : 03 (5394) 4 8 5 6

SOMMAIRE

Notes originales

- A numerical study on the formation of circulations in the Yellow Sea during summer
Satoru TAKAHASHI and Tetuo YANAGI 135
- Nutrition, growth rate and sensibility to grazing for the dinoflagellates
Dinophysis acuminata, *D. acuta* and *D. norvegica*Enda GRANÉLI, D. M. ANDERSON,
 Per CARLSSON, G. FINENKO, S. Y. MAESTRINI,
 Maria A. de M. SAMPAYO and T. L. SMAYDA 149
- Toxicity of Nogos-100EC to the Indian major carp *Cirrhina mrigala* fry
Md. G. M. ALAM 157
- Variations in oxygen, nutrient and carbonate fluxes of the Kuroshio Current
C. T. A. CHEN, C. T. LIU and S. C. PAI 161
- A study on cutting mechanism of the suction type *Nori* harvester
 (in Japanese)Sadami YADA, Jiakang CHEN and Masayoshi TODA 177
- Velocity dependence on cavitation erosion around bounded jet (in Japanese)
Hiromi MOCHIZUKI, Motohiro YOKOTA and Yukio ITO 185

Conférence commémorative

- A series of study on large meander of the Kuroshio and oceanic processes around the
 Kuroshio region (in Japanese)Yoshihiko SEKINE 191

- Procès-verbaux 195

第 33 卷 第 3 号

目 次

原著論文

- 夏季の黄海の循環流の生成機構に関する数値研究 (英文)高橋 暁・柳 哲雄 135
- 渦鞭毛藻 *Dinophysis acuminata*, *D. acuta* および *D. norvegica* の栄養, 成長速度と
 捕食感受性 (英文)Enda GRANÉLI, D. M. ANDERSON,
 Per CARLSSON, G. FINENKO, S. Y. MAESTRINI,
 Maria A. de M. SAMPAYO and T. L. SMAYDA 149
- インド鯉稚魚への殺虫剤 Negos-100EC の毒性 (英文)Md. G. M. ALAM 157
- 黒潮における酸素, 栄養塩および炭酸塩のフラックスC. T. A. CHEN, C. T. LIU and S. C. PAI 161
- 海苔の吸引式摘採機の切断機構に関する研究矢田貞美・陳 家康・戸田勝善 177
- 壁効果の著しい噴流キャビテーションにおける壊食の速度依存性望月敬美・横田源弘・伊藤幸雄 185
- 日仏海洋学会賞受賞記念講演
- 黒潮大蛇行および黒潮域を中心とした海洋過程に関する一連の研究関根義彦 191
- 学会記事 195