

La mer

うみ

1998年9月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise
d'océanographie
Tokyo, Japon

SOCIÉTÉ FRANÇO-JAPONAISE D'OcéANOGRAPHIE

Comité de Rédaction

(de l'exercice des années de 1996 et 1997)

Directeur et rédacteur: Y. YAMAGUCHI

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

Rédacteurs étrangers: H. J. CECCALDI (France), E. D. GOLDBERG (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 environ. Pour les textes en langues européennes, il faudra joindre en plus le résumé en japonais de 500 *letters* environ. 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; ou T. R. PARSONS, Institute of Ocean Sciences, P.O.Box 6000, 9860W, Saanich Rd., Sidney, B. C., V8L 4B2, Canada.

Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Gulf of Thailand

Tetsuo YANAGI* and Toshiyuki TAKAO**

Abstract: Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Gulf of Thailand is investigated by diagnostic numerical calculation using the observed water temperature, salinity and wind data during NAGA cruises from October 1959 to August 1960. The wind-driven current dominated and the circulations were nearly barotropic in the Gulf of Thailand throughout the year. The clockwise circulation developed at the central part of the Gulf of Thailand both in the northeast and southwest monsoons.

1. Introduction

The Gulf of Thailand is situated in the southwestern part of the South China Sea and its averaged depth is about 40m (Fig. 1). The NAGA cruises were carried out to investigate the seasonal variation of water temperature and salinity distributions in the whole area of the Gulf of Thailand from October 1959 to August 1960 (Fig. 2, WYRTKI, 1961). The observed results were analysed in detail and the characteristics of seasonal variations in water temperature, salinity and density fields have been revealed (ROBINSON, 1961; WYRTKI, 1961). However the seasonal variation of three-dimensional structure of water circulation in the Gulf of Thailand has not been elucidated yet.

POHLMAN (1987) conducted a three-dimensional numerical experiment in the whole area of the South China Sea including the Gulf of Thailand with the horizontal mesh size of 50 × 50 km and vertical 12 layers. He showed that the monsoon gave the largest effect to the seasonal variation of circulation in the Gulf of Thailand and a barotropic counterclockwise circulation developed in the Gulf of Thailand during boreal winter and a clockwise one during boreal summer by the monsoon. AZMY *et al.* (1991) calculated the horizontal two-dimen-

sional wind-driven current in the Gulf of Thailand with fine mesh size of 20 km × 20 km under the uniform sea surface wind and concluded that a counterclockwise circulation dominated at the head of the Gulf and a clockwise one at the central part of the Gulf during boreal winter and a large clockwise one during the boreal summer.

In this paper, we conduct a diagnostic three-dimensional numerical calculation using the observed water temperature, salinity and wind data during the NAGA cruises from October 1959 to August 1960 in order to elucidate the seasonal variation of three-dimensional water circulation in the Gulf of Thailand.

2. Observed data

The observation stations of NAGA cruises cover the whole area of the Gulf of Thailand are shown in Fig. 2. The water temperature, salinity and sea surface wind are objectively interpolated on mesh points with the size of 10 km using the exponential function of Eq.(1) with the effective length of $L = 100$ km.

$$T(x, y) = \frac{\sum_i \exp\left\{-\left(\frac{r_i}{L}\right)^2 T_i\right\}}{\sum_i \exp\left\{-\left(\frac{r_i}{L}\right)^2\right\}} \quad (1)$$

where $T(x, y)$ denotes the interpolated value at the point (x, y) , i the observation station, r_i the length between the interpolated point (x, y) and the observation station i and T_i the

* Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Kasuga 816, Japan

** Civil and Environmental Engineering, Ehime University, Matsuyama 790, Japan

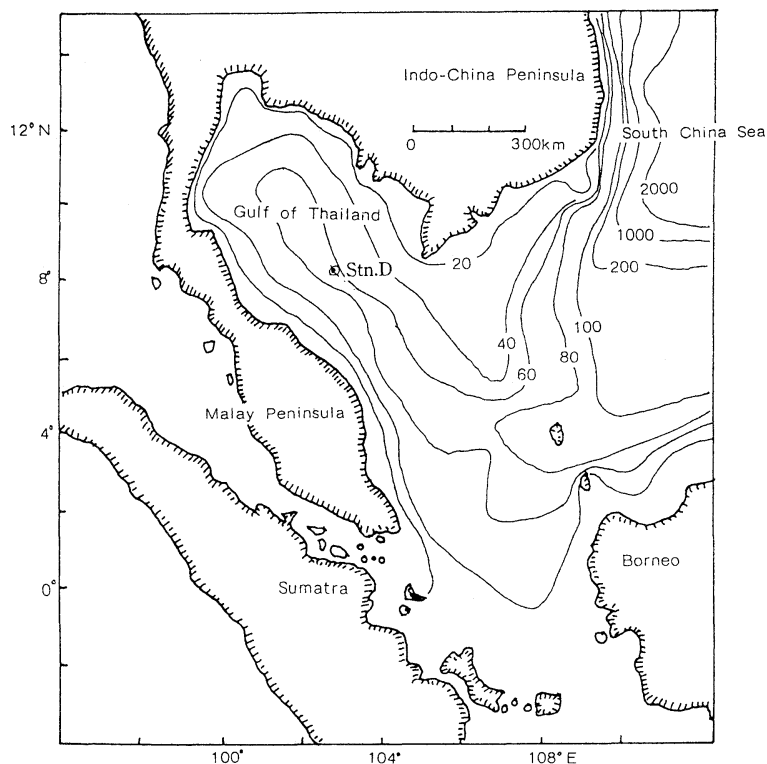


Fig. 1. The Gulf of Thailand. Numbers show the depth in meter and Stn. D is the deepest point in the Gulf (water depth is 83m).

observed value at station i .

The seasonal variation of interpolated horizontal distributions of water temperature, salinity and density (σ_t), which is calculated using the conventional nonlinear state equation, 5 m below the sea surface is shown in Fig. 3. Surface water temperature is the highest during March to April 1960 because the solar radiation is the strongest in this season. Horizontal gradient of water temperature is very small except at the mouth of the Gulf during March to April 1960. Low salinity water mass spreads along the northeastern coast of the Gulf of Thailand in October 1959 and during June to August 1960. On the other hand, a remarkable salinity front develops at the mouth of the Gulf during December 1959 to January 1960 and during March to April 1960. The density field is similar to the salinity one and this means that the density distribution is mainly governed by the salinity distribution in the Gulf of Thailand. This fact suggests the the

Gulf of Thailand has the characteristics of estuary.

The seasonal variation in vertical distributions of water temperature, salinity and density at the deepest position (Stn. D in Fig. 1) in the Gulf of Thailand is shown in Fig. 4. The stratification develops during March to August 1960, in the southwest monsoon season, and the water column is vertically well mixed during October 1959 to January 1960, in the northeast monsoon season.

The seasonal variation of the interpolated sea surface wind observed by researching vessels during the NAGA cruises is shown in Fig. 5. The northeast monsoon prevailed during October 1959 to January 1960 but the southwest monsoon during March to August 1960.

3. Diagnostic numerical calculation

The horizontal mesh size of numerical model is $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ and the water column is vertically divided into ten layers with the sigma-

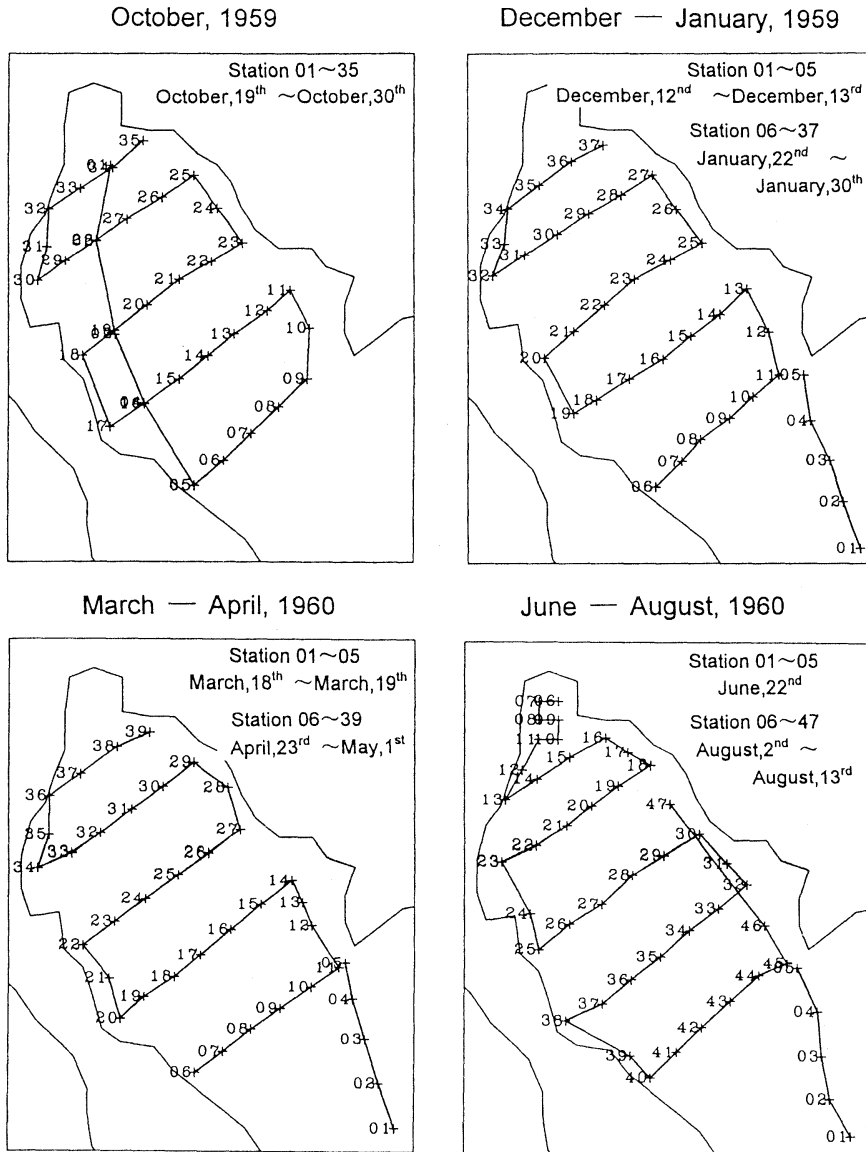


Fig. 2. Observation stations during the NAGA cruises.

coordinate. Using conventional notation, the governing equations under the cartesian coordinate are as follows

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} - fV \\ & = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial U}{\partial y}) \\ & + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial U}{\partial z}) + T_x \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} + fU \\ & = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (A_h \frac{\partial V}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (A_h \frac{\partial V}{\partial y}) \\ & + \frac{\partial}{\partial z} (A_v \frac{\partial V}{\partial z}) + T_y \end{aligned} \quad (3)$$

$$P = \rho_0 g \eta + \rho_0 \int_0^z B dz \quad (4)$$

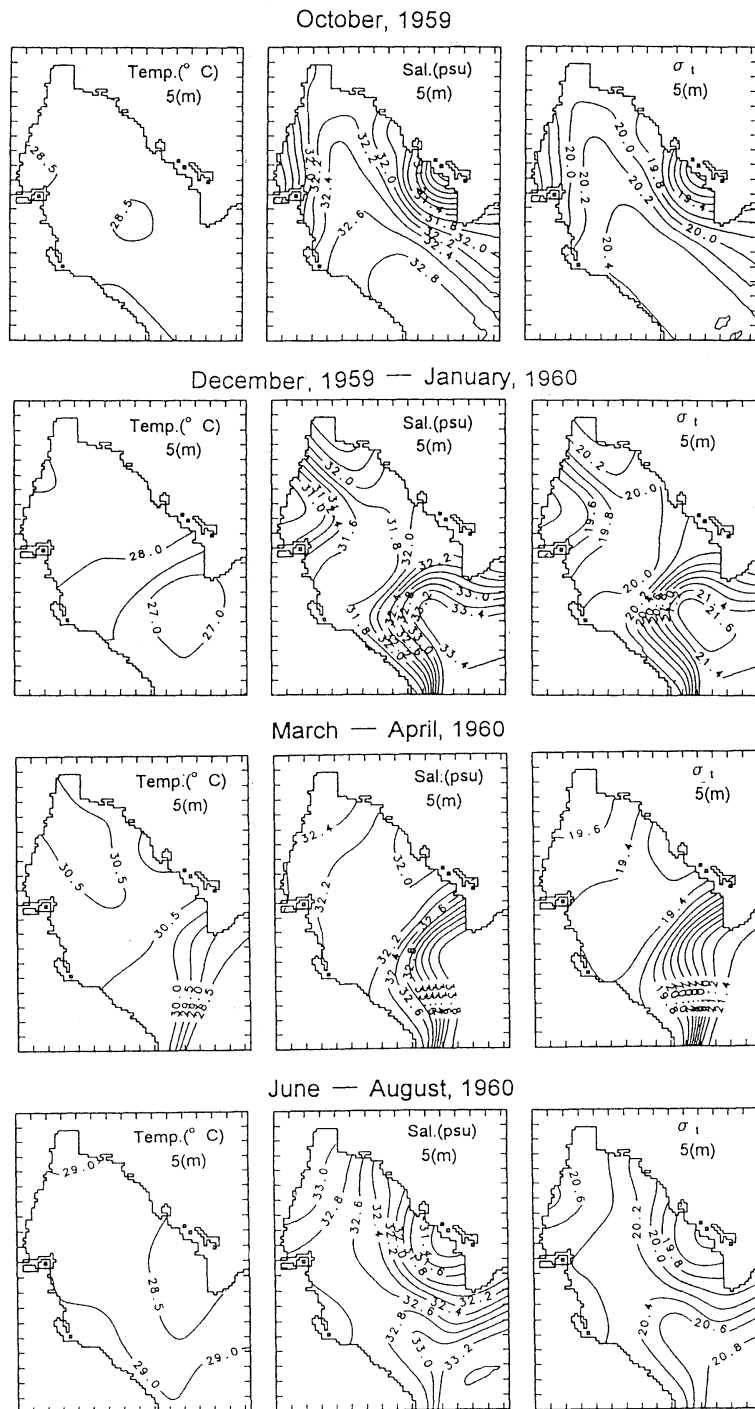


Fig. 3. Seasonal variation in horizontal distributions of interpolated water temperature, salinity and density 5 m below the sea surface in the Gulf of Thailand.

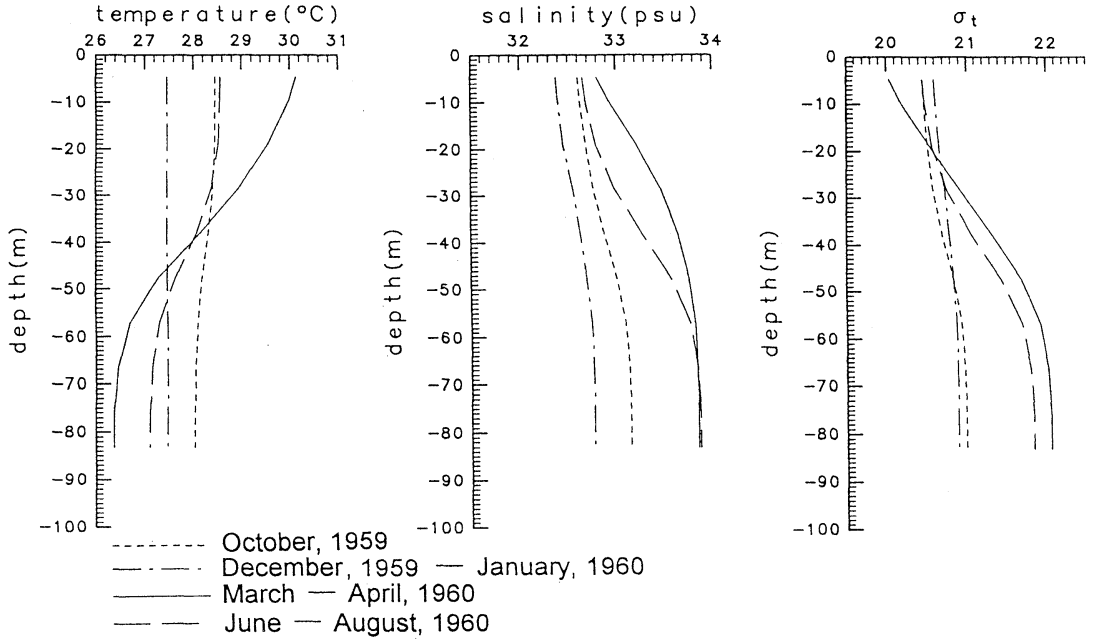


Fig. 4. Seasonal variation in vertical distributions of interpolated water temperature, salinity and density at the deepest position (Stn. D shown in Fig. 1) of the Gulf of Thailand.

$$B = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} \quad (5)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} + W \frac{\partial T}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial T}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \gamma (T^* - T)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} + U \frac{\partial S}{\partial x} + V \frac{\partial S}{\partial y} + W \frac{\partial S}{\partial z} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_h \frac{\partial S}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \gamma (S^* - S)$$

Here U , V and W are x (eastward), y (northward) and z (upward) components of residual flow, respectively, f is the Coriolis parameter, t

is time, p is pressure, ρ is water density, ρ_0 is the reference density, g is the gravitational acceleration ($=980\text{cm}^2\text{ s}^{-1}$), A_h ($=5 \times 10^6\text{cm}^2\text{ s}^{-1}$) and K_h ($=5 \times 10^6\text{cm}^2\text{ s}^{-1}$) are horizontal eddy viscosity and diffusivity, respectively. A_v ($=10\text{cm}^2\text{ s}^{-1}$) and K_v ($=10\text{cm}^2\text{ s}^{-1}$) is the vertical eddy viscosity and diffusivity, respectively. T_x and T_y denote x and y components of the tidal stress. T is water temperature and S is salinity. The density is calculated from T and S with use of the conventional nonlinear state equation.

The last terms in Eqs. (7) and (8) are called γ terms which are introduced by SARMIENT and BRYAN (1982) to prevent calculated values T and S from deviating greatly from observed values T^* and S^* . In other words, if there is an observed density that significantly deviates from a local advective-diffusive balance, the density is smoothed by the model to satisfy the balance to some extent. The degree of modification is represented by γ . For small γ , the model is near to be independent of the data and approaches prognostic models. For large γ , the model is restricted by the data and approaches purely diagnostic model (FUJIO and IMASATO,

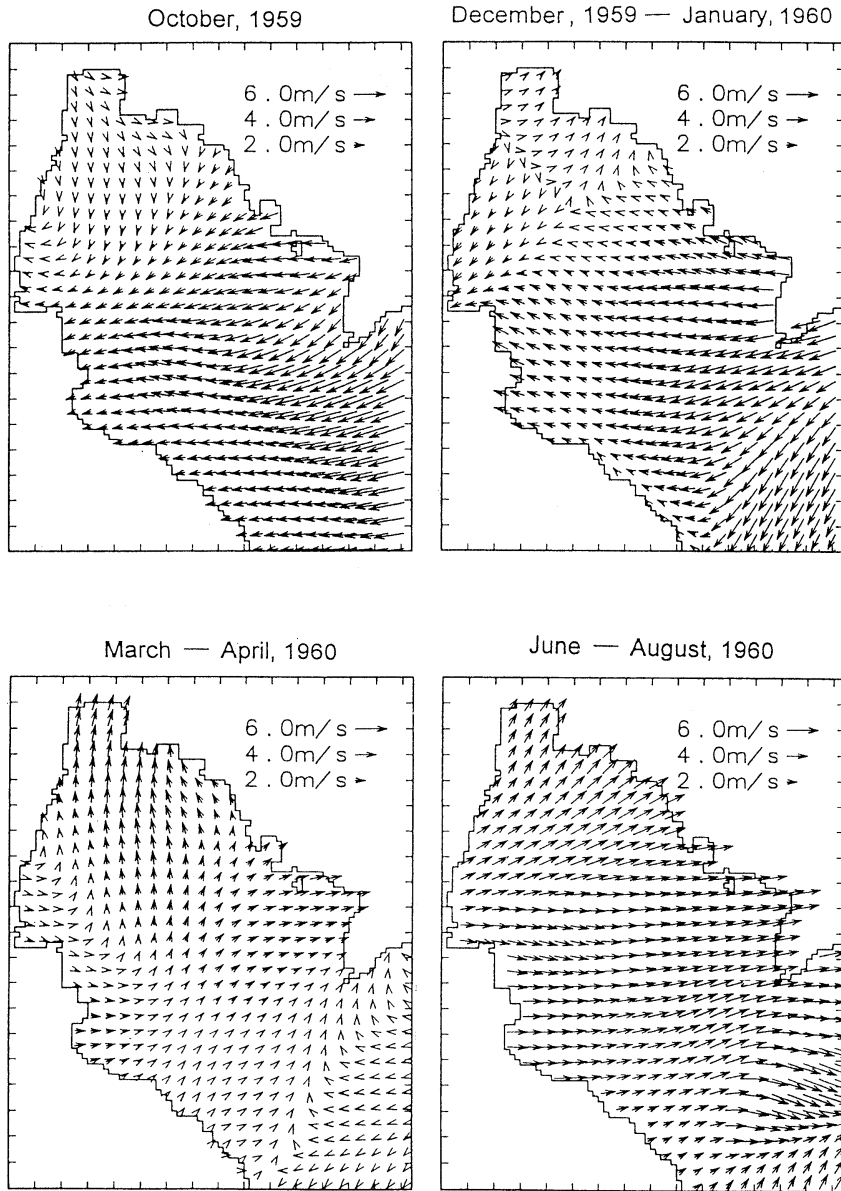


Fig. 5. Seasonal variation in interpolated sea surface wind observed by researching vessels during the NAGA cruises in the Gulf of Thailand.

1991). We prefer a larger γ because we intend to diagnose velocity field from hydrographic data, not to predict it. As long as we use a larger γ , the density deviates little from the observed values. Hence the derived velocity is almost independent of eddy diffusivity as discussed later. In this case, we use $\gamma = 1/12$ hours. The change of γ affected little to the

calculated results in this numerical experiments.

T_z and T_x express the effect of the tidal stress to the residual flow field (averaged circulation over the tidal cycle) and is calculated using the following equations,

Tide-induced residual current

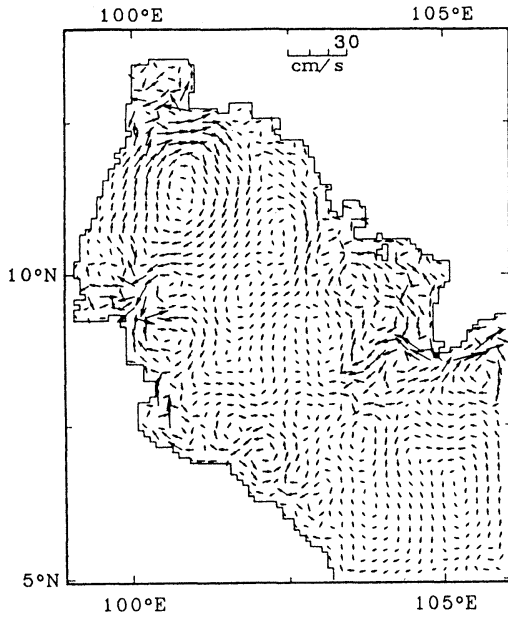


Fig. 6. Tide-induced residual current generated by 4 major tidal constituents (M_2 , S_2 , K_2 and O_1) in the Gulf of Thailand.

$$T_x = \left\{ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right\}$$

$$T_y = \left\{ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right\} \quad (9)$$

Here u and v denote the tidal current components in x and y direction, respectively and $\{ \}$ the average during one-tidal cycle. Tidal currents of 4 major constituents (M_2 , S_2 , K_1 and O_1) are already calculated in the Gulf of Thailand (YANAGI and TAKAO, 1998) and the tide-induced residual current generated only by the tidal stress of 4 major constituents is shown in Fig. 6. A clockwise residual circulation with the speed of about 5 cm s^{-1} is induced near the head of the Gulf of Thailand and many eddies are generated in the whole area of the Gulf.

The boundary condition for momentum is no-slip condition at the lateral wall. The bottom stress (τ_x^b , τ_y^b) is given as follows,

$$\rho_0 \left(A_v \frac{\partial U}{\partial z}, A_v \frac{\partial V}{\partial z} \right) = (\tau_x^b, \tau_y^b) \quad (10)$$

$$(\tau_x^b, \tau_y^b) = \rho_0 \gamma_b^2 (U \sqrt{U^2 + V^2}, V \sqrt{U^2 + V^2}) \quad (11)$$

where $\gamma_b^2 (=0.0026)$ is the bottom drag coefficient.

The sea surface is assumed to be free-surface, and the sea surface drag force (τ_x^s , τ_y^s) is given by

$$\rho_0 \left(A_v \frac{\partial U}{\partial z}, A_v \frac{\partial V}{\partial z} \right) = (\tau_x^s, \tau_y^s) \quad (12)$$

$$(\tau_x^s, \tau_y^s) = \rho_a C_a (W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2}, W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2}) \quad (13)$$

where $\rho_a (=0.0012 \text{ g cm}^{-3})$ is the air density, $C_a (=0.0013)$ the sea surface drag coefficient and W_x and W_y the wind velocity in x and y directions, respectively.

The boundary condition for water temperature and salinity is a no-flux condition at the lateral wall, at the bottom, and at the sea surface. We cannot give the appropriate inflow and outflow conditions across the mouth of the Gulf of Thailand because we have no observed data on the water exchange between the Gulf of Thailand and the South China Sea. Therefore the radiation condition is adopted for the sea surface gradient and velocity along the open boundary of this model.

The leap-frog scheme with use of Dufort-Frankel method is adopted for the temporal acceleration term, viscosity term and diffusive term and the Euler-Backward scheme is inserted every ten time steps (the time step is 120 seconds). The central difference scheme is adopted for the advection term and the semi-implicit scheme is used for the calculation of water elevation (BACKHAUS, 1983).

We conducted several other numerical experiments by changing the magnitude of horizontal and vertical viscosity and diffusivity but the calculated results did not change except the small change of the speed of residual flow.

4. Results

The calculated results on the seasonal variation in circulations at the three depths are shown in Fig. 7. A clockwise circulation and a counterclockwise one developed from the surface to the bottom at the central part and at the mouth of the Gulf of Thailand, respectively, in October 1959. Such circulation pattern did not

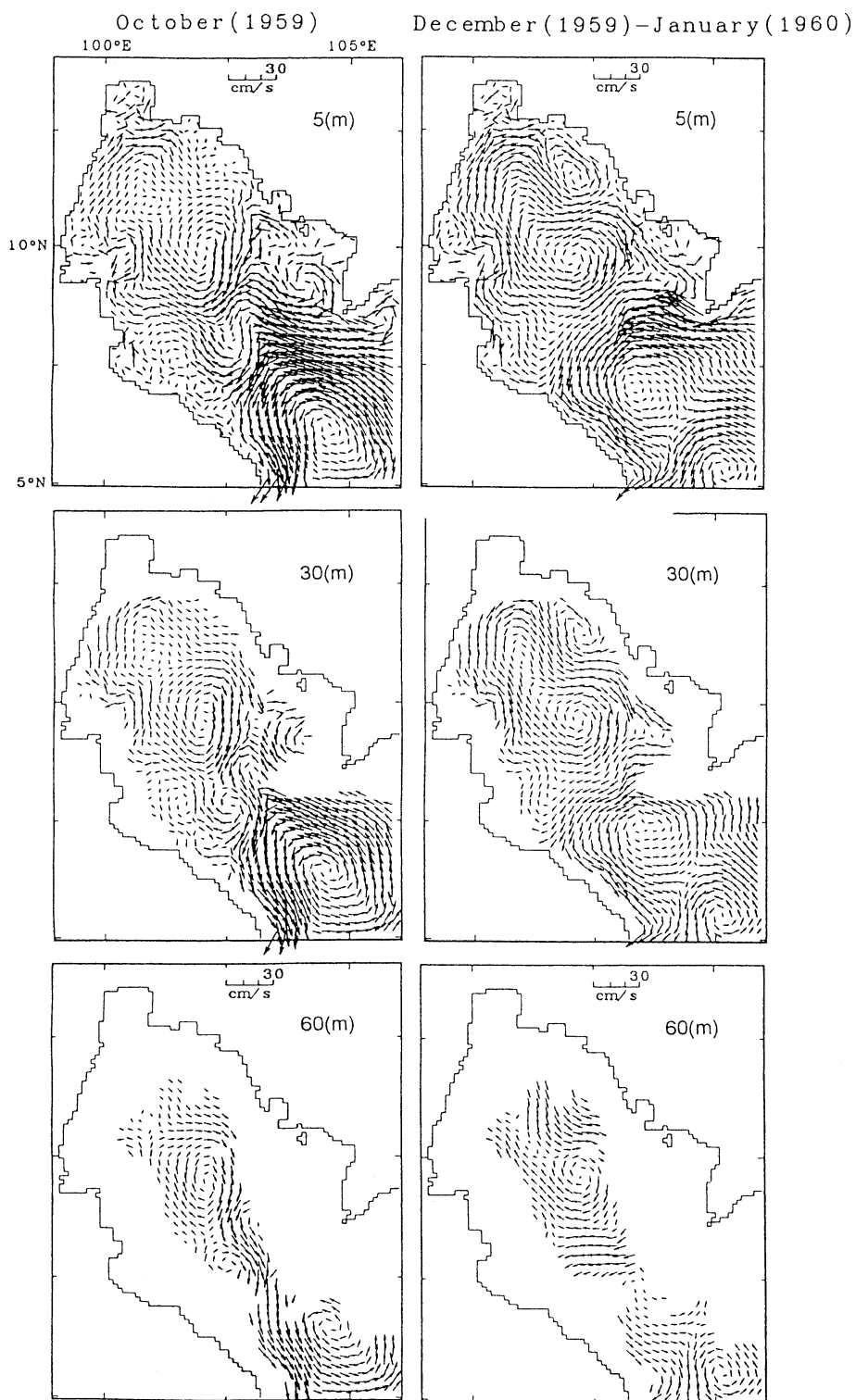


Fig. 7. Seasonal variation of circulations 5 m, 30 m and 60 m below the sea surface in the Gulf of Thailand.

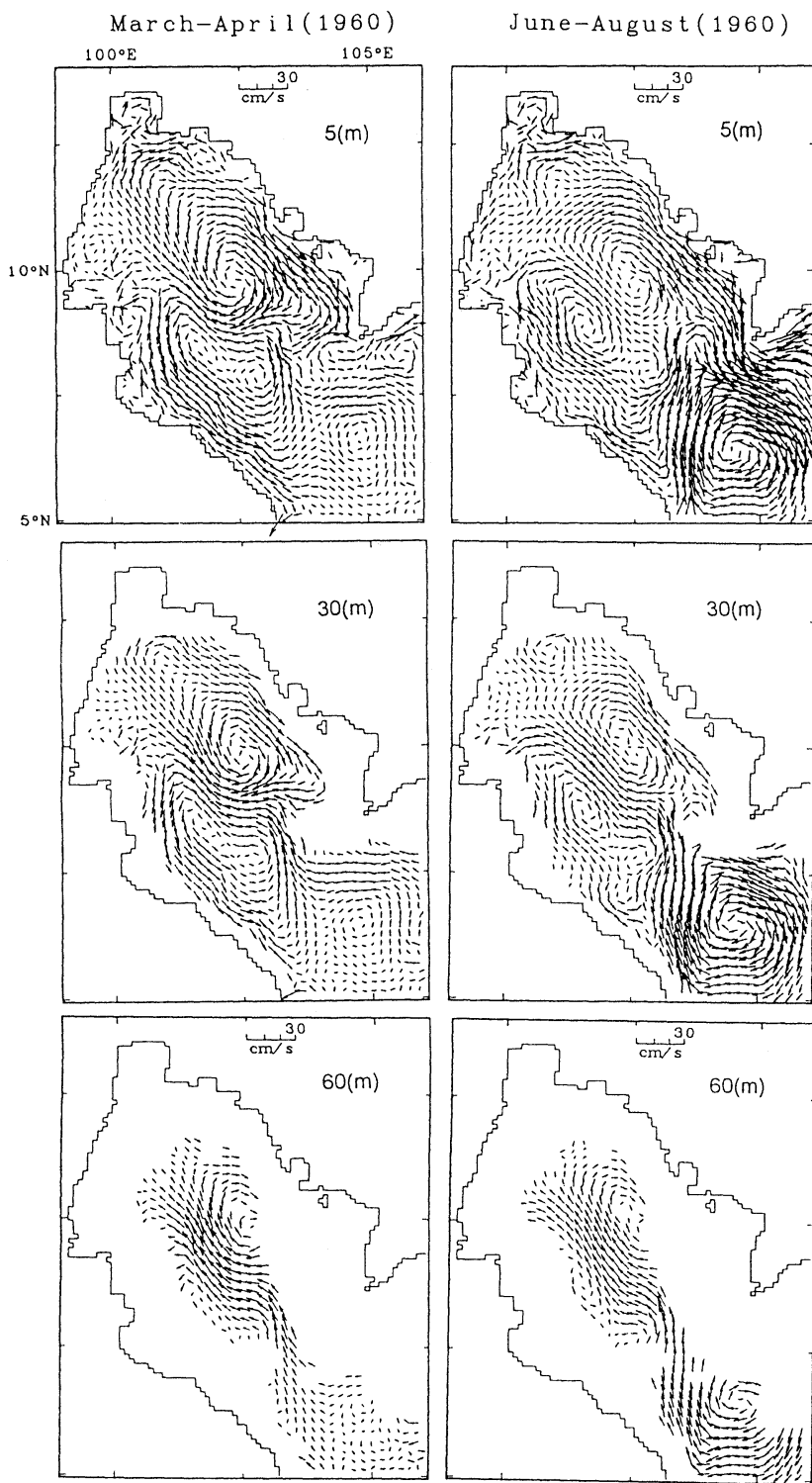


Fig. 7(continued)

change except the weaker current speed during December 1959 to January 1960. A clockwise circulation and a counterclockwise one developed from the surface to the bottom in the northern and southern parts of the Gulf, respectively, during March to April 1960. Such circulation pattern did not change except the addition of a strong clockwise circulation at the mouth of the Gulf during June to August 1960.

The observed data of residual flow (averaged flow over tidal period) in the Gulf of Thailand are very limited. The comparison of observed residual flows at 7 stations in March 1961 (ROBINSON, 1974) and calculated ones at the corresponding stations during March to April 1960 are shown in Fig. 8. In current measurements during March 1961, the Roberts Current Meters was lowered on the hour, starting just below the sea surface and continuing at various intervals to the bottom at each station. A complete lowering was made in an approximately twenty minutes. The observed values were considered average for that hours and the averaged value during 26 to 29 hours were calculated to obtain the residual flow at each station (ROBINSON, 1974). In Fig. 8, the thin full lines show the observed residual flows at various depths of each station and the thick full line the averaged sea surface wind during the current measurement. The broken lines in Fig. 8 show the calculated ones at the corresponding stations in our calculation.

The observed residual flows in March 1961 shows principally the barotropic structure except Stas. 2 and 6 and such a characteristic of observed residual flows is well reproduced by our numerical experiment as shown in Fig. 8. The dominance of barotropic structure of residual flows even in the most stratified season of March, as shown in Fig. 4, suggests that the residual flows in the Gulf of Thailand show the barotropic characteristic throughout the year as shown in Fig. 7.

Roughly speaking, the calculated residual flows and observed ones coincide at Sta. 1 except a discrepancy of the current direction in the deep part. The calculated residual flows at Sta. 2 coincide with observed ones except a discrepancy of current direction in the surface

layer. The calculated direction of residual flow at Sta. 3 coincide with the observed one though its speed is much smaller than that of observed one. The calculated speed of residual flow at Sta. 4 is much smaller than the observed one, perhaps due to the weaker wind speed during March to April 1961 than that in March 1960. The calculated residual flows at Stas. 5, 6 and 7 do not coincide with the observed ones, perhaps due to the different wind direction and speed in both periods.

5. Discussion

The circulation pattern in October 1959 and that during December 1959 to January 1960 are very similar as shown in Fig. 7 though the horizontal density distributions in both periods are different as shown in Fig. 3. On the other hand, the sea surface wind patterns in both periods are very similar as shown in Fig. 5, that is, the northeast monsoon prevails. These facts suggest that the main component of residual flow in the Gulf of Thailand during the northeast monsoon is the wind-driven current.

The residual flow patterns during March to April 1960 and during June to August 1960 are also similar except those at the mouth of the Gulf as shown in Fig. 7. The southwest monsoon prevailed in the Gulf during both periods but the sea surface wind patterns were different only at the mouth of the Gulf as shown in Fig. 5. These facts also suggest that the main component of residual flow in the Gulf of Thailand during the southwest monsoon is the wind-driven current.

Using a baroclinic three-dimensional prognostic model, POHLMAN (1987) showed that the dominance of barotropic circulations in the Gulf of Thailand during both northeast and southwest monsoons. However, a counterclockwise circulation developed during the northwest monsoon and clockwise one during the southwest monsoon from his calculated results.

It is very interesting to note that the similar clockwise circulations are induced at the central part of the Gulf under the opposite sea surface wind patterns during the northeast and southwest monsoons as shown in Figs. 5 and 7 by our calculation results. One of the reasons of discrepancy between our results and those by

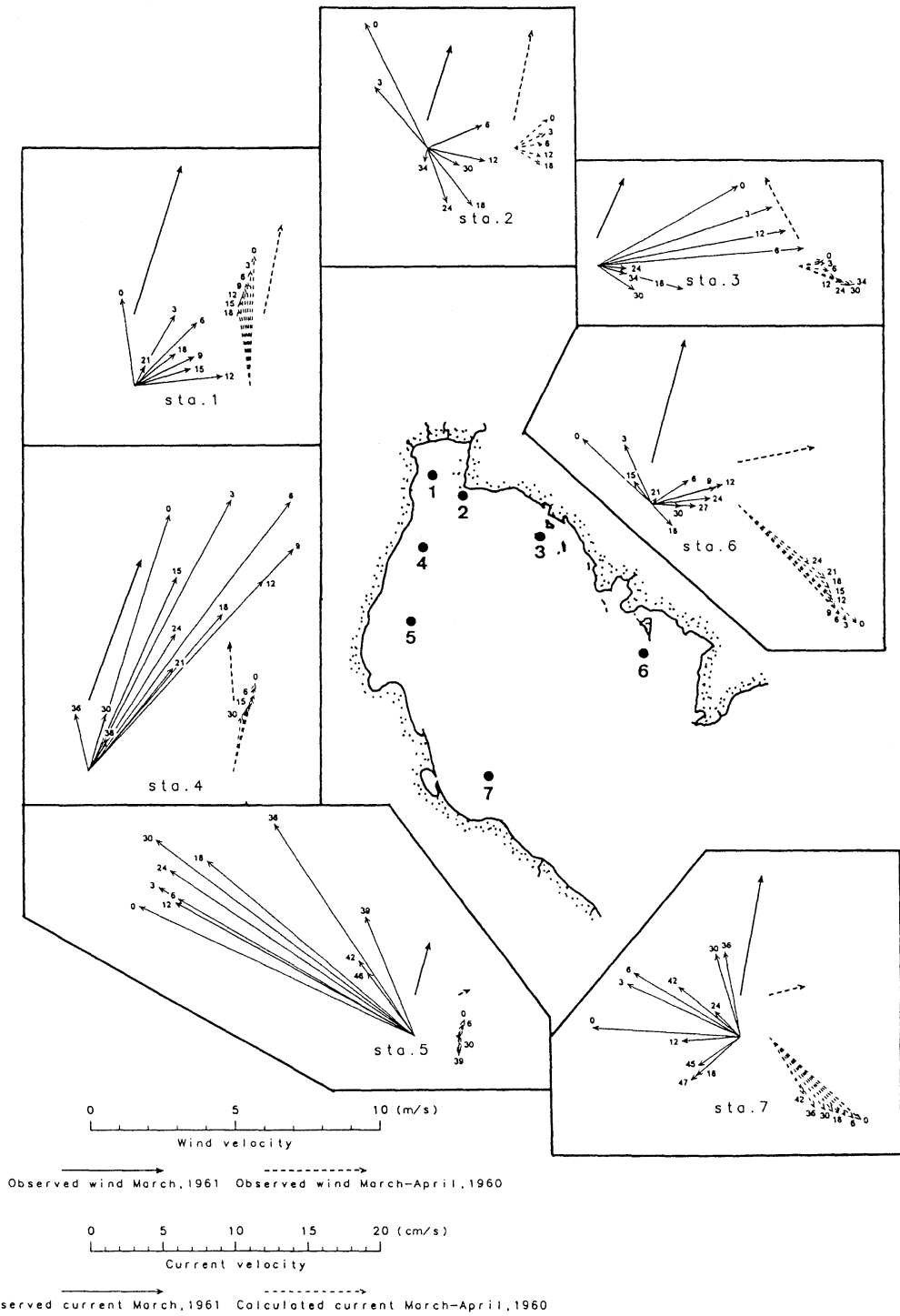


Fig. 8. Comparison of observed wind and residual flow in March 1961 and the calculated ones in March-April 1960 in the Gulf of Thailand. Numbers show the observation depth in meters.

December (1959)–January (1960)

June–August (1960)

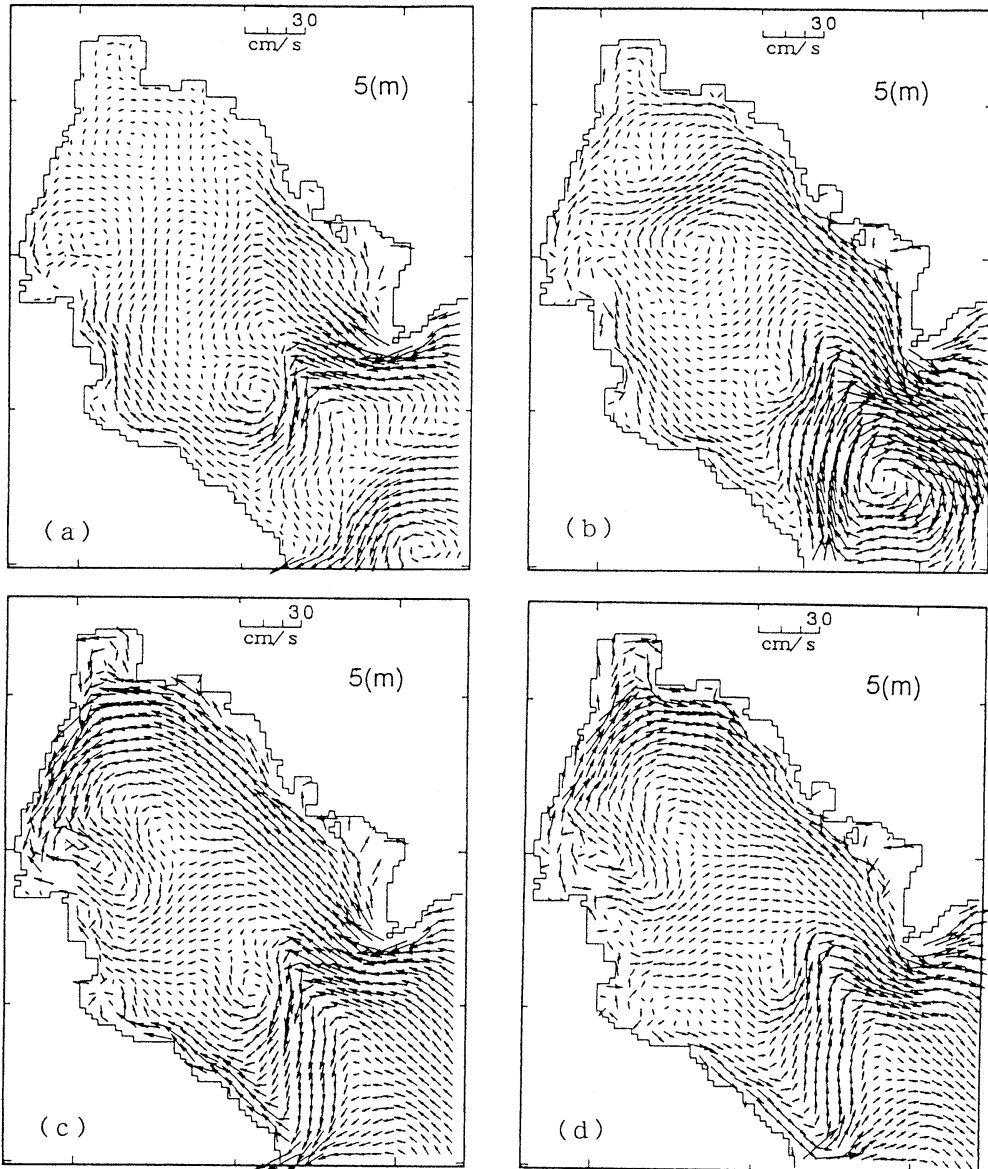


Fig. 9. Residual flow in the uniform density field under the observed sea surface wind during December 1959 to January 1960 (a), during June to August 1960 (b), that under the averaged uniform sea surface wind during December 1959 to January 1960 (c) and during June to August 1960 (d).

POHLMAN (1987) may be the difference of the mesh size of the used numerical model, that is, the horizontal mesh size of our numerical model is $10\text{km} \times 10\text{km}$ though that of POHLMAN (1987) is about $50\text{km} \times 50\text{km}$. Another reason of the discrepancy between both calculated

results may be the difference of the sea surface wind patterns in both models. The horizontal gradient of sea surface wind vectors is rather large in our model as shown in Fig. 5 because they are snap shot results during the field observations though the horizontal gradient of

sea surface wind vectors in POHLMAN (1987) is very small because he used the climatological mean of sea surface wind compiled by HELLERMAN (1968).

We conduct other numerical experiments on the residual flow in the uniform density field using the same governing equations from Eqs. (2) to (13) including the tidal stress. The calculated wind-driven and tide-induced residual current 5 m below the sea surface under the observed sea surface wind shown in Fig. 5 during December 1959 to January 1960 are shown in Fig. 9 (a) and those during June to August in Fig. 9 (b). Both results are similar to the calculated ones including the observed density field shown in Fig. 7 except the weaker current speed. This fact suggests that the basic patterns of residual flow in the Gulf of Thailand is determined by the monsoon and the tidal stress. The density field strengthens the current speed of residual flow.

Lastly we conduct numerical experiments on the residual flow in the uniform density field using the same governing equations from Eqs. (2) to (13) including the tidal stress under the uniform sea surface wind, which is obtained by averaging the observed sea surface wind over the Gulf of Thailand; the east-northeast wind with the speed of 5.5 m s^{-1} during December 1959 to January 1960 and the west-southwest wind with the speed of 5.1 m s^{-1} during June to August 1960. The results are shown in Fig. 9 (c) and (d). The result shown in Fig. 9 (d) during June to August 1960 is similar to that under the observed sea surface wind field shown in Fig. 9 (b). However the residual flow under the uniform sea surface wind during December 1959 to January 1960 shown in Fig. 9 (c) is drastically changed from that under the observed sea surface wind shown in Fig. 9 (a), that is, the counterclockwise circulation develops at the central part of the Gulf in Fig. 9 (c) instead of the clockwise circulation in Fig. 9 (a). This fact suggests that the wind stress curl is very important to the residual flow field in the Gulf of Thailand, that is, the clockwise circulation at the central part of the Gulf during the northeast monsoon is generated by the negative vorticity of the sea surface wind at this time.

The results of this study suggest that the sea surface wind curl plays a very important role in the determination of residual flow pattern in the Gulf of Thailand. Therefore we have to elucidate the detailed horizontal distribution of sea surface wind over the Gulf of Thailand for the study of water circulation in the Gulf.

Acknowledgements

The authors express their sincere thanks to Prof. C. GARRET of the University of Victoria, Canada who kindly supplies the data file of NAGA cruises and Dr. A. Isobe of Kyushu University for his fruitful discussion. This study was partly supported by the research fund from the Ministry of Education, Science and Culture, Japan.

References

- AZMY, A. R., Y. ISODA and T. YANAGI (1991): Sea level variation due to wind around West Malaysia. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Ehime University*, 12-2, 143-156.
- BACKHAUS, J. O. (1983): A semi-implicit scheme for the shallow water equation for application to shelf water sea modeling. *Continental Shelf Res.*, **2**, 243-254.
- FUJIO, S. and N. IMASATO (1991): Diagnostic calculation for circulation and water mass movement in the deep Pacific. *J. Geophys. Res.*, **96**, 759-774.
- HELLERMAN, S. (1968): An update estimate of the wind stress on the world ocean. *Monthly Weather Review*, **96**.
- POHLMAN, T. (1987): A three-dimensional circulation model of the South China Sea. In "Three-dimensional models of marine and estuarine dynamics", ed. by NIHOUL, J. J. and B. M. JAMART, Elsevier, New York, 245-268.
- ROBINSON, M. K. (1961): The physical oceanography of the Gulf of Thailand, Naga Expedition. *Naga Report Volume 3, Part 1*, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, 5-110.
- SARMIENTO, J. J. and K. BRYAN (1982): A ocean transport model for the North Atlantic. *J. Geophys. Res.*, **87**, 394-408.
- WYRTKI, K. (1961): Physical oceanography of the Southeast Asian waters. *NAGA Report Volume 2*, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, 1-195.
- YANAGI, T. and T. TAKANO (1998): A numerical simulation of tides and tidal currents in the South China Sea. *Acta Oceanographic Taiwanica* (in press)

Received April 8, 1998

Accepted May 10, 1998

Cephalopods eaten by pelagic fishes in the tropical East Pacific, with special reference to the feeding habitat of pelagic fish

Kotaro TSUCHIYA*, Hiroaki OKAMOTO** and Yuji UOZUMI**

Abstract: Cephalopods removed from stomachs of pelagic fish in tropical East Pacific were examined. From 131 stomachs of 14 pelagic fish species, more than 40 cephalopod species of 20 families were identified. 30% of prey cephalopods were occupied by the onychoteuthids consisting by at least 3 species followed by the Ommastrephidae (14%), and the Bolitaenidae (7.0%). Predominant prey species for *Xiphias gladius* was epipelagic octopus, *Tremoctopus violaceus*, which shared 17% in number. There were some differences between prey species composition between two species of tunas, *Thunnus obesus* and *T. albacares*. *T. obesus* fed on more deeply distributed, mesopelagic species than *T. albacares*. A coincidence in time and depth was detected between predatory fish and prey cephalopods. Small onychoteuthid species, *Onykia rancureli* was most abundant in number among prey cephalopods (21%). It shared 29% of prey cephalopods for *Thunnus obesus*. From frequency of occurrences in fish stomach contents, *O. rancureli* seems to live in epipelagic or upper mesopelagic waters, abundant around the bottom of mixing layer, and thus plays an important role among food of *T. obesus* and *T. albacares*. From the species composition of eaten cephalopods, the major large pelagic fish discrete feeding depth with minor overlaps, such as, surface layer for bill- and swordfish, around bottom of mixing layer for tunas, and midwater for midwater scombrids. Only *Alepisaurus ferox* seems to be a vertical wanderer.

1. Introduction

The tuna and billfish are well known as the major predators of cephalopods (e.g., DRAGOVICH, 1970; MATTHEWS *et al.*, 1977; PINKAS, 1971; TOLL and HESS, 1981). Also, many species of pelagic fish, such as *Alepisaurus ferox*, consume pelagic cephalopod stock (e.g., MOTEKI *et al.*, 1993). However, the detailed taxonomic analyses of prey cephalopods have been rather scarce (RANCUREL, 1970; OKUTANI and TSUKADA, 1988; TOLL and HESS, 1981). The information from the pelagic fish stomach contents is very useful, especially in the tropical waters, of which pelagic cephalopod fauna has seldom been studied (DUNNING *et al.*, 1993; SMALE, 1996).

National Research Institute of Far Seas Fisheries has promoted the survey on the pelagic fish resources in the tropical East Pacific. Dur-

ing the survey, they investigated the stomach contents of pelagic fish caught by longline. The present study aims to discuss the feeding habitat of pelagic fish based on exact identification of cephalopods in fish stomach contents, and to clarify niches of prey cephalopods in oceanic food web.

2. Materials and Methods

Materials examined in the present study were collected during the fisheries surveys on the potential resources of tuna and billfish undertaken by the National Research Institute of Far Seas Fisheries (NRIFS). The surveys were carried out in the tropical East Pacific in June and July 1994, and June and July 1995 on board the fishing boat FR/V *Kaihatsu-Maru*, chartered by Japan Marine Resource Research Center (JAMARC), and R/V *Shoyo-Maru*, Fisheries Agency of Japan, respectively. The fish were all collected with the longline from 56 stations (Fig. 1).

The total number of fish examined were 131 of 14 species of 8 families (Table 1). More than

*Laboratory of Invertebrate Zoology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan

**National Research Institute of Far Seas Fisheries, Ordo, Shimizu, Shizuoka 424-8633, Japan

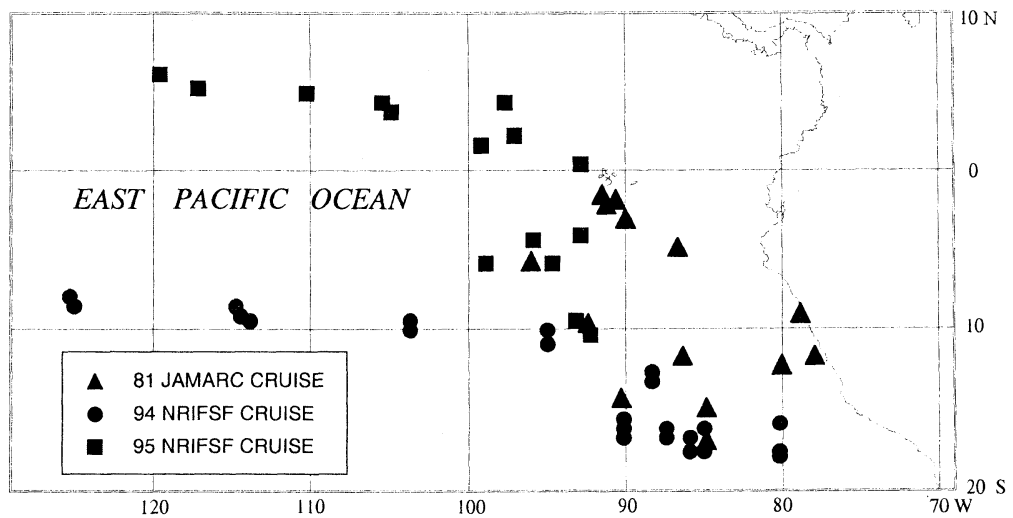


Figure 1. Sampling stations.

Table 1. Number of stomachs by fish species examined in the present study

Survey month	81 Dec.-Apr.	94 Jun.-Jul.	95 Jun.-Jul.	Total	SL (cm)
Family Alopiidae					
<i>Alopias pelagicus</i>			2	2	
Family Carcharhinidae					
<i>Prionace glauca</i>			6	6	
<i>Carcharinus falciformis</i>			1	1	
Family Odontaspidae					
<i>Pseudocarcharias kamoharai</i>		1		1	
Family Alepisauridae					
<i>Alepisaurus ferox</i>			2	2	
Family Lampridae					
<i>Lamprius regius</i>		1		1	
Family Istiophoridae					
<i>Tetrapturus audax</i>		1	7	8	
<i>T. angustirostris</i>		1		1	
<i>Istiophorus platypterus</i>				1	
Family Xiphiidae	1				
<i>Xiphias gladius</i>		18	5	23	63-166
Family Scombridae					
<i>Thunnus albacares</i>	3	21	3	27	94-157
<i>T. obesus</i>	13	39	4	56	70-161
<i>T. alalunga</i>		1		1	
<i>Acanthocybium solandri</i>		1		1	
Total (8 fam. 14 spp.)	17	84	30	131	

60% in total number was occupied by two species of tunas. The majority of tunas and shordfish were almost similar in body size.

The stomachs were removed and frozen, or

fixed by 50% formalin-sea water solution on board. The frozen samples were thawed in the university laboratory, and fixed in 10% formalin.

Table 2. Cephalopods identified from the fish stomach contents

Family Heteroteuthidae	<i>Eucleoteuthis luminosa</i>
<i>Heteroteuthis</i> sp.	<i>Hyaloteuthis pelagicus</i> *
Family Ctenopterygiidae	? <i>Dosidicus gigas</i> *
<i>Ctenopteryx sicula</i> *	Family Pholidoteuthidae
Family Histioteuthidae	<i>Pholidoteuthis boschmai</i> *
<i>Histioteuthis</i> spp.	Family Lepidoteuthidae
Family Lycoteuthidae	<i>Lepidoteuthis grimaldi</i>
<i>Lampadioteuthis megalea</i>	Family Architeuthidae
Family Enoploteuthidae	<i>Architeuthis</i> sp.
<i>Enoploteuthis ?leptura</i>	Family Thysanoteuthidae
<i>Enoploteuthis reticulate</i>	<i>Thysanoteuthis rhombus</i> *
<i>Enoploteuthis</i> (s.s.) sp.	Family Chiroteuthidae
ENOPLOTEUTHIDAE sp.	<i>Chiroteuthis</i> spp.* (part)
Family Pyroteuthidae	<i>Grimalditeuthis bonplandii</i> *
<i>Pyroteuthis</i> sp.	CHIROTEUTHIDAE sp. indet
PYROTEUTHIDAE sp.	Family Cranchiidae
Family Ancistrocheiridae	<i>Cranchia scabra</i> *
<i>Ancistrocheirus lesueuri</i> *	<i>Liocranchia reinhardti</i> *
Family Onychoteuthidae	<i>Leachia</i> sp.*
<i>Onychoteuthis</i> sp.*	<i>Helicocranchia</i> sp.*
<i>Onykia rancureli</i>	? <i>Taonius</i> sp.
<i>Moroteuthis robsoni</i> *	Family Argonautidae
<i>Moroteuthis</i> sp.	<i>Argonauta?</i> <i>argo</i>
Family Octopoteuthidae	<i>Argonauta hians</i> *
<i>Octopoteuthis</i> sp.*	Family Tremoctopodidae
<i>Taningia danae</i>	<i>Tremoctopus violaceus</i> *
Family Ommastrephidae	Family Bolitaenidae
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i> *	<i>Japetella diaphana</i> *
<i>Sthenoteuthis</i> sp.	Family Allopodidae
<i>Ornithoteuthis volatilis</i>	<i>Haliphron atlanticus</i>

* Asterisk suggests the common species with NESIS (1973) and ALEXEYEV (1994).

3. Results

Cephalopods from fish stomachs were identified more than 40 species of 20 families (Table 2).

Predator which used most divergent prey species was *T. obesus* feeding on more than 35 species of cephalopods. This number of prey species occupies about 90% in number of total prey cephalopods. In contrast to this, *T. albacares* fed on 16 cephalopod species which attains 40% in prey cephalopods. *Xiphias gladius* fed only on 10 cephalopod species (25%) (Table 3).

Most abundant family of prey cephalopods was the Onychoteuthidae which occupies 30% consisting at least of 3 species, followed by the Ommastrephidae (14%, six species), the Bolitaenidae (7%, a single species, *Japetella*

diaphana), the Argonautidae and the Cranchiidae (5% each).

Cephalopod species that were not common for two tuna species were 25, such as *Onykia* spp. (10%) which was peculiar to *T. obesus*. In contrast, three pelagic octopods, *Argonauta hians*, *Tremoctopus violaceus* and *Japetella diaphana* were not found from stomachs of *T. obesus*. Among bill- and swordfish species, there was no specific prey species unlike in case of two tuna species.

Among the species occurred, *Onykia rancureli* was dominant one occupying 21% in number of all.

From stomachs of *T. albacares* and *T. obesus*, *O. rancureli* was most frequent (12% and 29%, respectively) (Table 4). Among bill- and swordfishes, mainly *Xiphias gladius*, *O. rancureli* was

Table 3. Number and occupancy of prey species in stomachs of main predator fishes

	<i>T. albacares</i>		<i>T. obesus</i>		<i>X. gladius</i>		Others		Total	
	no.	%	no.	%	no.	%	no.	%	no.	%
<i>Heteroteuthis</i> sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Chtenopteryx sicula</i>	1	1.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	2	0.4
<i>Lampadioteuthis megaleia</i>	1	1.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Enoploteuthis ? leptura</i>	0	0.0	4	1.5	0	0.0	0	0.0	4	0.9
<i>Enoploteuthis reticulata</i>	3	3.0	2	0.7	0	0.0	1	1.7	6	1.3
<i>Enoploteuthis</i> (s.s.) sp.	0	0.0	2	0.7	0	0.0	0	0.0	2	0.4
ENOPLOTEUTHIDAE sp.	2	2.0	3	1.1	0	0.0	0	0.0	5	1.1
<i>Pyroteuthis</i> sp.	1	1.0	6	2.2	0	0.0	0	0.0	7	1.5
PYROTEUTHIDAE sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Onychoteuthis</i> sp.	0	0.0	12	4.4	0	0.0	2	3.4	14	3.1
<i>Ancistrocheirus lesueuri</i>	0	0.0	1	0.4	0	0.0	1	1.7	2	0.4
<i>Moroteuthis robsoni</i>	0	0.0	2	0.7	0	0.0	0	0.0	2	0.4
<i>Moroteuthis</i> sp.	0	0.0	24	8.9	0	0.0	0	0.0	24	5.2
<i>Onykia rancureli</i>	12	12.0	79	29.3	2	6.7	2	3.4	95	20.7
ONYCHOTEUTHIDAE sp.	0	0.0	3	1.1	1	3.3	0	0.0	4	0.9
<i>Octopoteuthis</i> sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Taningia danae</i>	1	1.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Histioteuthis</i> spp.	0	0.0	3	1.1	0	0.0	0	0.0	3	0.7
<i>Chiroteuthis</i> sp.	0	0.0	2	0.7	0	0.0	2	3.4	4	0.9
<i>Grimalditeuthis bonplandi</i>	0	0.0	2	0.7	0	0.0	0	0.0	2	0.4
<i>Lepidoteuthis grimaldi</i>	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	1.7	1	0.2
CHIROTEUTHIDAE sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	4	6.8	5	1.1
<i>Architeuthis</i> sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Pholidoteuthis boschmai</i>	4	4.0	7	2.6	1	3.3	0	0.0	12	2.6
<i>Eucleoteuthis luminosa</i>	0	0.0	0	0.0	1	3.3	0	0.0	1	0.2
? <i>Dosidicus gigas</i>	1	1.0	9	3.3	0	0.0	0	0.0	10	2.2
<i>Sthenoteuthis oualaniensis</i>	10	10.0	28	10.4	1	3.3	1	1.7	40	8.7
<i>Sthenoteuthis</i> sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Ornithoteuthis volatilis</i>	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Hyaloteuthis pelagicus</i>	3	3.0	0	0.0	2	6.7	8	13.6	13	2.8
OMMASTREPHIDAE spp.	16	16.0	5	1.9	3	10.0	1	1.7	25	5.4
<i>Thysanoteuthis rhombus</i>	3	3.0	7	2.6	3	10.0	1	1.7	14	3.1
<i>Cranchia scabra</i>	0	0.0	4	1.5	1	3.3	1	1.7	6	1.3
<i>Liocranchia reinhardti</i>	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Leachia</i> sp.	2	2.0	3	1.1	0	0.0	1	1.7	6	1.3
<i>Helicocranchia</i> sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
<i>Taonius</i> sp.	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
CRANCHIIDAE spp.	2	2.0	3	1.1	0	0.0	1	1.7	6	1.3
<i>Argonauta hians</i>	6	6.0	2	0.7	0	0.0	0	0.0	8	1.7
<i>Argonauta</i> sp.	2	2.0	3	1.1	2	6.7	6	10.2	13	2.8
<i>Tremoctopus violaceus</i>	7	7.0	3	1.1	8	26.7	3	5.1	21	4.6
<i>Japetella</i> sp.	9	9.0	19	7.0	2	6.7	2	3.4	32	7.0
<i>Haliphron atlanticus</i>	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
Pelagic octopus	0	0.0	0	0.0	0	0.0	10	16.9	10	2.2
Unidentified oegopsids	0	0.0	1	0.4	0	0.0	0	0.0	1	0.2
Unidentified squids	12	12.0	12	4.4	3	10.0	6	10.2	33	7.2
Unidentified	2	2.0	7	2.6	0	0.0	5	8.5	14	3.1
Total	100	100	270	100	30	100.0	59	100.0	459	100.0

Table 4. Ranking of occupancy in total cephalopod population in major fish stomachs

Species	<i>T. obesus</i> (56)	<i>T. albacares</i> (27)	Bill- & Swordfish (33)	<i>A. ferox</i> * (45)
1	<i>O. rancureli</i> (29.3%)	<i>O. rancureli</i> (12.0%)	<i>T. violaceus</i> (16.7%)	<i>J. diaphana</i> (23.8%)
2	<i>S. oualaniensis</i> (10.6%)	<i>S. oualaniensis</i> (9.3%)	<i>H. pelagicus</i> (11.7%)	<i>O. rancureli</i> (19.0%)
3	<i>Moroteuthis</i> sp. (9.1%)	<i>J. diaphana</i> (8.4%)		<i>A. boettgeri</i> (16.7%)

*Collected from north off Hawaiian Islands, Dec. 25, 1979 (TSUCHIYA, pers. obs.).

scarce (5% in total bill-and swordfish).

Most abundant cephalopod eaten by bill- and swordfish is *Tremoctopus violaceus* (16.7%), followed by *Hyaloteuthis pelagicus* (11.7%), but there was no pronouncedly dominant species among prey cephalopods. Such a high utilization by bill- and swordfish of *H. pelagicus* (11.7% versus 3% in *T. albacares*) and *T. violaceus* (16.7% versus 7% in *T. albacares*) was quite characteristic in contrast to tunas that seldom fed on these cephalopods. The occurrence of large-sized *Thysanoteuthis rhombus* from the billfish stomach was also characteristic, though not so frequent.

4. Discussion

The pelagic fish are considered to be good samplers for pelagic cephalopods (CLARKE, 1996; VOSS, 1973; DUNNING *et al.*, 1993). Adult tunas are generally considered to be opportunistic feeders with low prey selectivity (SMALE, 1996). *X. gladius* predation also suggests that it exhibits opportunistic nature (SCOTT and TIBBO, 1968; TOLL and HESS, 1981). The result of the present study suggests that the stomach contents of pelagic fish are reflected directly to the pelagic cephalopod fauna of the tropical East Pacific.

Almost of all species occurred in the pelagic fish diet are epipelagic and upper mesopelagic species, and none of lower mesopelagic species, such as cycloteuthids or *Mastigoteuthis* species (ROPER and YOUNG, 1975) were eaten.

From the tropical East Pacific, 42 species of cephalopods have been reported by NESIS (1973) and ALEXEYEV (1994). 19 species in the listed species in the present study are common to those in NESIS (1973) and ALEXEYEV (1994). They are all epipelagic or upper mesopelagic

species (ROPER and YOUNG, 1975). The major families of prey cephalopod are consisted of strong swimming squids (e.g., Onychoteuthidae, Ommastrephidae). This fact suggests that the swimming speeds of predators exceed that of prey, and a low possibility of negative food selection occurs by avoidance of prey. Sporadically occurred species are considered to live in mesopelagic life in adult stage (e.g., *Taningia danae*, *Lepidoteuthis grimaldii*). But, those found in the present material are all in early juvenile stages which inhabit epipelagic zone (ROPER and YOUNG, 1975; LU and CLARKE, 1975; ROPER and VECCHIONE, 1993). The possibly abundant species in the survey area, viz. *Abraliopsis* spp., never occurred in the present stomachs.

The main fishing depth of *T. obesus* is 100–250m which coincides with the depth of thermocline or just below it (SUDA *et al.*, 1969; HANAMOTO, 1975, 1987). While, HANAMOTO (1987) and BOGGS (1992) estimated that *T. obesus* inhabits the depth of 200–400m, the lower boundary of which almost agrees with 10°C-isotherm. Tracking study suggests that *T. albacares* spends most of the time in the layer shallower than the habitat of *T. obesus*, at about 30–80 m on the bottom of the mixing layer (HOLLAND *et al.*, 1990). Tunas are foraging and feeding both in day and night, but seemingly mainly in daytime (SHAFFER *et al.*, 1963; KUME and MORITA, 1966). *X. gladius* is fished at 50–60 m deep during night (GUERRA *et al.*, 1993). Tracking study elucidated that *X. gladius* spends almost all the time at the layer shallower than 50m, which agrees with 20–25 °C-isotherm during night, while descends to 600 m during daytime (CAREY and ROBINSON, 1981; CAREY, 1990). The main fishing depth

seems to be almost coincident with foraging and feeding depths of these fish. Thus, the vertical distributions of pelagic fish well indicate those of prey cephalopod species.

Among pelagic fish under the study, there are some differences in stomach contents composition. Pelagic octopod species of which *Tremoctopus violaceus* is most abundant, are confined to bill-and swordfish. This octopod is a cosmopolitan in the tropical to warm temperate waters of the world (THOMAS, 1977). On diel vertical migration, *T. violaceus* is probably limited to upper 100 m and does not descend below thermocline (THOMAS, 1977). BEARSLEY (1978) has indicated that *X. gladius* migrates towards the surface at night to feed and returns to deeper waters in daytime. The fact of occurrence of *T. violaceus* in stomach of *X. gladius* supports his view.

In the stomach of *X. gladius* in the Florida Straits, *Illex* species were predominant, and the majority of prey cephalopods were shared by five ommastrephid species (TOLL and HESS, 1981). GUERRA *et al.* (1993) also reported the dominant occupancy of ommastrephids in the diet of *X. gladius* in the Northeast Atlantic. In the present material, ommastrephids are not so much abundant nor predominant. Predominant occurrence of ommastrephids seems to relate the massive schooling behavior of squids. Occurrences of *Thysanoteuthis rhombus* and *Argonauta species* are also characteristic to *X. gladius* diet (TOLL and HESS, 1981).

All epipelagic or near-surface cephalopods mostly inhabit in the water shallower than 100m at night (ROPER and YOUNG, 1975 ; NESIS, 1977; LU and ROPER, 1979). *T. rhombus* shared 7.0% of prey cephalopods for *X. gladius*, while only 2.6% for tunas. *T. rhombus* stays at upper mixing layer during daytime, while shifts to surface water during night (ROPER and YOUNG, 1975; NESIS, 1977, 1992). This vertical migration causes the possible availability to feeding depth of both bill-and swordfish. Occurrence of *T. violaceus* was not recognized by TOLL and HESS (1981), and no *T. rhombus* was reported by GUERRA *et al.* (1993).

Between two species of tunas, *T. obesus* exhibits higher diversity of prey. Characteristic prey items of *T. obesus* are mainly lower

epipelagic or upper mesopelagic species, such as *Ancistrocheirus lesueurii*, *Chiroteuthis* spp. and *Grimalditeuthis bonplandi* (ROPER and YOUNG, 1975; NESIS, 1977; LU and ROPER, 1979). Juvenile *G. bonplandi* is distributed in 200–900m deep without distinct vertical migration (LU and CLARKE, 1975). In contrast to this, the prey items of *T. albacares* do not include such deep dwelling species. This difference well agrees with the difference of foraging and feeding depth between two species of tunas as mentioned above, suggesting that *T. obesus* has broader feeding depth than *T. albacares*.

The species most frequently occurred was *Onychia rancureli* which shared 20.7% in all cephalopods. *O. rancureli* is a small-sized species. The male reaches in spent stage at about 15 cm, and the maximum female is 13 cm in dorsal mantle length (TSUCHIYA, pers. obs.). This species is widely distributed in the warm waters of the Indo-Pacific. Distribution pattern almost agrees with the isotherm of 25°C surface temperature in winter (TSUCHIYA and OKUTANI, MS).

Although such an abundant and frequent occurrence of *O. rancureli* from fish stomach, the vertical distribution of this species has never been studied. This species is very scarce in tow net samples, and almost all of the materials hitherto known (RANCUREL, 1970; OKUTANI, 1981; OKUTANI and TSUKADA, 1988) were collected from stomachs of lancetfish or tunas. Table 5 shows the frequency of *O. rancureli*-fed fish versus total fish, and occupancy of *O. rancureli* versus the total prey cephalopod in number. In the present study, about a half of *T. obesus* fed on *O. rancureli*. In OKUTANI and TSUKADA (1988), the frequency of this squid in tuna stomach from the study area exceeds 70% (Table 6). For the occupancy of prey cephalopods, *T. obesus* also shows the high value. In the material treated by OKUTANI and TSUKADA, *O. rancurele* occupied 40% of prey cephalopods. dominant occurrence (26%) of *O. rancureli* from 18 stomachs of tuna was also observed in sample of the 1981 cruise.

The frequency and occupancy of *O. rancureli* in *T. albacares* stomachs were not so high. In RANCUREL'S (1976) material, *O. rancureli* occupied only 5% of the total prey cephalopod from

Table 5. Frequency in number of stomachs and occupancy of *Onykia rancureli* to the total prey cephalopods

	Frequency * ¹		Occupancy * ²	
Tunas	39.3%	[33/84]	24.3%	[92/379]
<i>T. albacares</i>	22.2%	[6/27]	12.0%	[12/100]
<i>T. obesus</i>	46.4%	[26/56]	29.3%	[79/270]
Bill- & Swordfish	9.1%	[3/33]	5.0%	[3/60]
<i>T. audax</i>	12.5%	[1/8]	6.7%	[1/27]
<i>X. gladius</i>	8.7%	[2/23]	3.7%	[2/30]

*1 Numerals in brackets mean no. of *O. rancureli*-eating fish/total no. of fish.

*2 Numerals in brackets mean no. of *O. rancureli* eaten by fish/total no. of eaten squids.

Table 6. Frequency in number of stomachs and occupancy of *Onykia rancureli* to total prey cephalopods

	Frequency * ¹		Occupancy * ²	
Tunas * ³	72.2%	[13/18]	40.0%	[38/95]
<i>T. albacares</i> * ⁴	19.3%	[40/207]	4.6%	[54/1158]
<i>G. melampus</i> * ⁵	0%	[0/16]	0%	[0/62]
<i>A. ferox</i> * ⁶	24.4%	[11/45]	19%	[16/84]
<i>A. ferox</i> * ⁷	24.0%	[37/154]	13.8%	[46/33]

*1 Numerals in brackets mean no. of *O. rancureli*-eating fish/total no. of fish.

*2 Numerals brackets mean no. of *O. rancureli* eaten by fish/total no. of eaten squids.

*3 East Pacific, Oct. 8-Mar. 7, 1980 (OKUTANI and TSUKADA, 1988).

*4 SW off New Guinea (RANCUREL, 1976).

*5 Collected from 20°-40°S, 80°-120°W (TSUCHIYA and SAWADAISHI, 1997).

*6 Collected from N off Hawaiian Islands, Dec. 25, 1979 (TSUCHIYA, pers. obs.).

*7 Tropical Indo-West Pacific and Central Pacific (OKUTANI and TSUKADA, 1988).

207 stomach samples of *T. albacares* in the Southwest Pacific. This value is similar to the results of the present study.

MOTEKI *et al.* (1993) studied the stomach contents of *Alepisaurus ferox* in the Hawaiian waters and central equatorial Pacific. In 42 stomachs, the most abundant species was *Japetella diaphana* (31% in frequency), but *O. rancureli* occupied only 7.14% among 22 cephalopod taxa. *J. diaphana* was also dominant (36%) in the sample from Southwest Pacific, while *O. rancureli* was only 1% (MOTEKI *et al.*, 1993). RANCUREL (1970) also reported 4% of occurrence of *O. rancureli* (as *Onychia* sp.) in the stomach of *A. ferox* in the equatorial Pacific. *Gasterochisma melampus* is also a large predator distributed in the study area. TSUCHIYA and SAWADAISHI (1997) examined 15 stomachs of *Gasterochisma melampus* from the Southeast Pacific, but no occurrence of *O. rancureli* was

recognized. These low values seem to suggest the main feeding depth of these pelagic fish is separated from the habitat depth of *O. rancureli*.

The vertical distributions of predator fishes are shown in Table 7 on the basis of fishing data. These pelagic fish feed on different prey species according to their swimming depth at feeding time. KORNILOVA (1980) also concluded that sympatric two species of tunas, *T. albacares* and *T. obesus* overlap in prey items, the considerable differences of feeding depth are recognized between them. From the results of RANCUREL (1970) and MOTEKI *et al.* (1993), the lancetfish feeds the cephalopods over wide bathymetrical range, and seems to be a vertical wanderer. In the epipelagic water of the tropical East Pacific, *Tremoctopus violaceus*, *Thysanoteuthis rhombus* and small ommastrephids are key prey cephalopods for large

Table 7. Vertical distributions of predator fish with the characteristic prey cephalopods

Predator fish	Main fishing depth	Depth(m)	Characteristic prey cephalopods	<i>O. rancureli</i>
Bill- & Swordfish	shallower	(50-150)	<i>T. violaceus</i> , <i>H. pelagicus</i>	+
<i>T. albacares</i>	↓	(50-180)	<i>S. oualaniensis</i>	++
<i>T. obesus</i>	↓	(100-230)	<i>S. oualaniensis</i>	+++
<i>A. ferox</i>	↓	(100-300)	<i>J. diaphana</i>	++
<i>G. melampus</i> *	deeper	(150-300)	<i>G. bonplandi</i> , <i>E. luminosa</i>	-

*From 25°-40°S(TSUCHIYA and SAWADAISHI, 1997).

predator (e.g., *X. gladius*). Food of *T. albacares* shows the dominant occurrence of ommastrephids, and also loliginids, especially in coastal and shelf waters (DRAGOVICH, 1970; SMALE, 1986). Epipelagic scombrid fish *Allotunus fallai* in Southeast Pacific also takes ommastrephids as a dominant food (YATSU, 1995). In the upper mesopelagic water, *O. rancureli* is one of key species as the prey for pelagic fishes. In the mesopelagic water, the gelatinous cephalopods such as *Japetella diaphana*, *Grimalditoothis bonplandi* and *Chiroteuthis* species, are the important food items for large predator fishes. These mesopelagic cephalopods are usually not so abundant in tow-net samples (e.g., YOUNG, 1972; OKUTAI, 1974).

From the view point of cephalopod ecology, the large pelagic fish that feed in nighttime, possibly discrete the feeding layer into three, namely, near surface water, bottom of mixed layer and mesopelagic water. The prey species also discrete their habitat into the above-mentioned vertical strata. The fish that take abundant epipelagic species, could feed on any prey species regardless their swimming ability. Their diet includes both muscular strong swimmers (e.g., ommastrephids) and drifter (e.g., argonautids). In contrast to them, the midwater fish that take mainly gelatinous cephalopods (e.g., chiroteuthids, cranchiids) and weak muscular midwater species (e.g., brachioteuthids) having no relation to natural abundance (CLARKE *et al.*, 1979). *O. rancureli* is muscular, nonbuoyant species. Its short and globose mantle, broad and round fins adapt to directional control rather than high speed swimming (CLARKE, 1988). As the boundary of vertical distribution of two tuna species almost coincides with bottom of mixed layer (KORNILOVA, 1980; HOLLAND *et al.*, 1990), *O.*

rancureli that is eaten commonly and dominantly by these two tuna species, is proved to inhabit that depth with large biomass. The bottom of mixed layer is a boundary of vertical distribution and diel vertical migration of ichthyoplankton. High abundance of ichthyoplankton is shown in both upper and lower peripheries of this layer at night (LOEB, 1986). This layer seems to be an important foraging area for two species of tunas.

Acknowledgments

We send our thanks to the captains and crew of R/V Shoyo-Maru and FR/V Kaihatsu-Maru, for sampling effort. For the examination of stomach sample, Dr. Masato MOTEKI and Ms. Hisako ISHIZAWA, Tokyo University of Fisheries, helpfully supported the first author (KT). We appreciate to Prof. Takashi OKUTANI, Nihon University, and Prof. Susumu SEGAWA, Tokyo University of Fisheries, for encouragement and critical review of the manuscript. We thank Drs. Kiyoshi FUJITA and Hiroshi KOHNO who gave us the useful information on the ichthyology and special courtesy to use the large collection of stomach sample of lancetfish.

References

- ALEXEYEV, D.O. (1994) : New data on the distribution and biology of squids from the southern Pacific. *Ruthenica*, 4(2), 151-166.
- BEARSLEY, G.J. (1978) : Report of the swordfish workshop held at the Miami Laboratory, Southeastern Fisheries Center, Miami, FLA, June 7-9, 1977. Coll. Vol. Sci. Pap. ICCAT, Madrid, 7(1), 149-158. [fide Guerra *et al.* (1993)]
- BOGGS, C.H. (1992) : Depth, capture time, and hooked longevity of lingline-caught pelagic fish : timing bites of fish with chips. *Fish. Bull.*, 90, 642-658.
- CAREY, F.G. (1990) : Further acoustic telemetry observations of swordfish. *In*: "Planning the Future

- of Billfishes, Research and Management in the 90's and Beyond" R.H. STROUD (Ed.) National Coalition for Marine Conservation, Inc., Georgia. pp.103-122.
- CAREY, F.G. and B.H. ROBINSON (1981) : Daily patterns in the activities of swordfish, *Xiphias gladius*, observed by acoustic telemetry. Fish. Bull., **79**(2), 277-292.
- CLARKE, M.R. (1966) : A review of the systematics and ecology of oceanic squids. Adv. Mar. Biol., **6**, 91-300.
- CLARKE, M.R. (1988) : Evolution of buoyancy and locomotion in Recent cephalopods. In : "Paleontology and Neontology of Cephalopoda" M.R. CLARKE and E.R. TRUEMAN (Eds.), The Mollusca, Vol. 12, Academic Press, San Diego, pp.203-213.
- DRAGOVICH, A. (1970) : The food of skipjack and yellowfin tunas in the Atlantic Ocean. Fish. Bull., **68**(3), 445-460.
- DUNNING, M.C., M.R. CLARKE and C.C. LU (1993) : Cephalopods in the diet of oceanic sharks caught off eastern Australia. In : "Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology" T. OKUTANI, R.T. O'DOR and T. KUBODERA (eds.) Tokai University Press, Tokyo. pp.119-131.
- GUERRA, A., F. SIMON and A.F. GONZALEZ (1993) : Cephalopods in the diet of the swordfish, *Xiphias gladius*, from the northeastern Atlantic Ocean. In : "Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology", T. OKUTANI, R.T. O'DOR and T. KUBODERA (eds.) Tokai University Press, Tokyo. pp.159-164.
- HANAMOTO, E. (1975) : Thermocline and dissolved oxygen content in relation to tuna longline fishing grounds in the eastern tropical Pacific Ocean. La mer, **13**(2), 58-71.
- HANAMOTO, E. (1987) : Effect of oceanographic environment on bigeye tuna distribution. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanog., **51**(3), 203-213.
- HOLLAND, K.N., R.W. BRILL and R.K.C. CHANG (1990) : Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregating devices. Fish. Bull., **88**, 493-507.
- KORNILOVA, G.N. (1980) : Feeding of yellowfin tuna, *Thunnus albacares* and bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the equatorial zone of the Indian Ocean. J. Ichthyol., **20**(6), 111-119.
- KUME, S. and Y. MORITA (1966) : On bigeye tuna, *Thunnus obesus*, caught by "nighttime longline" in the North Pacific Ocean. Ecological studies on bigeye tuna-III. Rep. Nankai Reg. Fish. Res. Lab., **24**, 21-30.
- LOEB, V.J. (1986) : Importance of vertical distribution studies in biogeographic understanding : eastern tropical Pacific vs. North Pacific central gyre ichthyoplankton assemblages. In : "Pelagic Biogeography", A.C. PIERROT-BULTS, S.v.D. SPOEL, B.J. ZAHURANEC and R.K. JOHNSON (eds.) Unesco Tech. pap. Mar. Sci., (49), 177-181.
- LU, C.C. and M.R. CLARKE (1975) : Vertical distribution of cephalopods at 11°N, 22°W in the North Atlantic. J. mar. Biol. Ass., U.K., **55**, 369-389.
- LU, C.C. and C.F.E. ROPER (1979) : Cephalopods from deepwater dumpsite 106 (western Atlantic): vertical distribution and seasonal abundance. Smiths. Cont. Zool., (288) : 1-36
- MATTHEWS, FD., D.M. DAMKAER, L.W. KNAPP, and B.B. COLLETTE (1977) : Food of the western North Atlantic tunas (*Thunnus*) and lancetfishes (*Alepisaurus*). NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF 706, 19p.
- MOTEKI, M., H. KOHNO and K. FUJITA (1993) : Stomach contents of longnose lancetfish, *Alepisaurus ferox*, in Hawaiian and Central Pacific waters. J. Tokyo Univ. Fish., **80**(1), 121-137.
- NESIS, K.N. (1973) : Cephalopods of the eastern equatorial and southeastern Pacific. Trudy Inst. Okeanol. Acad. Sci. USSR, **94**, 188-244 (in Russian with English summary).
- NESIS, K.N. (1977) : Vertical distribution of pelagic cephalopods. Zhu obshchebiol., **38**(4), 547-557. (in Russian with English abstract)
- NESIS, K.N. (1992) : The diamondback squid, *Thysanoteuthis rhombus* Troschel, 1857 : a "living fossil"? Ruthenica, **2**(2), 91-103.
- OKUTANI, T. (1974) : Epipelagic decapod cephalopods collected by micronekton tows during EASTROPAC Expedition, 1967-1968. (Systematic part). Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., (80), 29-118.
- OKUTANI, T. (1981) : Two new species of the squid genus *Onychia* from the tropical Indian Ocean (Cephalopoda, Onychoteuthidae). Bull. Natl. Sci. Mus., Tokyo, (A), **9**, 105-112. 1pl.
- OKUTANI, T. and S. TSUKADA (1988) : Squids eaten by lancetfish and tunas in the tropical Indo-Pacific Ocean. J. Tokyo Univ. Fish., **75**(1), 1-44, 7pls.
- PINKAS, L. (1971) : Bluefin tuna food habits. Calif. Dept. Fish Game, Fish. Bull., **152**, 47-63.
- RANCUREL, P. (1970) : Les contenus stomacaux d' *Alepisaurus ferox* dans le Sud-Ouest Pacifique (Céphalopodes). Cahiers O.R.S.T.O.M., Ser. Oceanog., **8**(4), 3-87.
- RANCUREL, P. (1976) : Note sur les Céphalopodes des contenus stomacaux de *Thunnus albacares* (Bonnaterre) dans le Sud - Ouest Pacifique. Cahiers O.R.S.T.O.M., Ser. Oceanog., **14**(1), 71-80.
- ROPER, C.F.E. and M. VECCHIONE (1993) : A geographic and taxonomic review of *Taningia danae* Joubin, 1931 (Cephalopoda : Octopoteuthidae), with new records and observations of biolumines-

- cence. *In*: "Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology", T. OKUTANI, R.T. O'DOR and T. KUBODERA (eds.) Tokai University Press, Tokyo, pp.441-456.
- ROPER, C.F.E. and R.E. YOUNG (1975) : Vertical distribution of pelagic cephalopods. *Smiths. Cont. Zool.*, (209), 1-51.
- SHAFFER, M., G. BROADHEAD and C. ORANGE (1963) : Synopsis on the biology of yellowfin tuna *Thunnus (Neothunnus) albacares* (Bonnaterre, 1778 (Pacific Ocean)). *FAO Fish. Rep.*, 8(2), 538-561.
- SCOTT, W.B. and S.N. TIBBO (1968) : Food and feeding habits of swordfish, *Xiphias gladius*, in the western north Atlantic. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 25, 903-919.
- SMALE, M.J. (1986) : The feeding habits of six pelagic and predatory teleosts in eastern Cape coastal waters (South Africa). *J. Zool. Lond.*, B, 1, 357-409.
- SMALE, M.J. (1996) : Cephalopods as prey. IV. Fishes. *In*: "The role of cephalopods in the world's oceans", M.R. CLARKE (ed.) *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B, 351, 1067-1081.
- SUDA, A., S. KUME and Y. SHIOHAMA (1969) : An indicative note on a role of permanent thermocline as a factor controlling the longline fishing ground for bigeye tuna. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 1, 99-114. (in Japanese)
- THOMAS, R.F. (1977) : Systematics, distribution, and biology of cephalopods of the genus *Tremoctopus* (Octopoda : Tremoctopodidae). *Bull. Mar. Sci.*, 27(3), 353-392.
- TOLL, R.B. and S.C. HESS (1981) : Cephalopods in the diet of the swordfish, *Xiphias gladius*, from the Florida Straits. *Fish. Bull.*, 79(4), 765-774.
- TSUCHIYA K. and J. SAWADAISHI (1977) : Cephalopods eaten by the butterfly kingfish *Gasteroschisma melampus* in the eastern South Pacific Ocean. *Venus*, 56(1), 49-59.
- YATSU, A. (1995) : Zoogeography of the epipelagic fishes in the South Pacific Ocean and the Pacific sector of the Subantarctic, with special reference to the ecological role of slender tuna, *Allotunus fallai*. *Bull. Natn. Res. Inst. Far Seas Fish.*, 32, 1-145.
- YOUNG, R.E. (1972) : The systematics and areal distribution of pelagic cephalopods from the seas off southern California. *Smiths. Cont. Zool.*, (97), 1-159.

Received May 1, 1998
Accepted August 20, 1998

疑似永久機関の作動シミュレーション

亀谷 茂樹*・矢田 貞美**

Study on the working simulation of suspected perpetual engine

Shigeki KAMETANI** and Sadami YADA**

Abstract: As for a perpetual engine which continues working to the outside without decreasing the energy, the existence is denied by various laws of thermodynamics. However, this can be converted into dynamic energy by using the thermal heat energy etc. which exists in the physical world. In this paper, the authors paid attention to the operation principle of a so-called drinking duck and analyzed a basic theory concerning operation. Moreover, the dynamic characteristic by changing in an environmental condition were simulated and the application to the aeration equipment related to the fishery was examined.

1. はじめに

常温域近傍の低レベル熱エネルギーを、実用的な機械エネルギーへ変換することは極めて困難である(平井, 1988)。これは、低レベル熱エネルギーが保有するエクセルギー量が少ないためであり(例えば, 斎藤ら, 1995), エネルギーの濃縮が困難であるとも換言できる。しかし, 江戸時代にその原型が存在したといわれる伝統的玩具の「水飲み鳥」(大田, 1980)は, 一定の条件下で自らが微小な温度差を作り出し, 内部作動流体の蒸気圧差を巧みに機械的エネルギーに変換して運動を継続する。このように, 何らかの方法によりエネルギーの循環サイクルを利用し, かつこのサイクルが持続するならば, この系は擬似的に永久運動を継続する(小山, 1994)。永久機関は熱力学の第二法則によりその存在が否定されているが, たとえ微小なエネルギーレベルであっても, 外部環境からの連続的なエネルギー供給が可能ならば, あたかも永

久機関のような作動が可能であることから, 本報ではこのような機関を疑似永久機関(小山, 1984; 小野, 1992)(以降, 機関と略称する)と呼ぶこととする。

筆者らは, この「水飲み鳥」の原理に着目し, この作動原理について解析・検討した。次に, 周囲環境条件の相違による同機関の作動特性についてシミュレーションし, その結果から異なる環境条件下における理論取得動力量について試算した。さらに, これを動力源とする生物飼育用のエアレーション装置を想定して, その最大仕事量や省エネルギー性について試算し, 実際の水産関連機器への適応性について考察した。

なお, このような微小温度差を機械的エネルギーに変換する機関としては, 例えば作動流体による直接タービン駆動発電システムや塩類溶液等の濃度差生成による吸収発熱を利用したタービン駆動法等(大田, 1980)があり, 実験室レベルでのモデル化等が行われているが, 本機関のような直接的に機械仕事を可能とするモデルに関する研究例は, 見当たらない。

2. 疑似永久機関の作動機構

2.1 機関の概要

本機関の構成および主要な寸法を Fig. 1(a)に示す。本機関は, 冷却器に相当する頭部Aと加熱器に相当する胸部Bおよび両部間の連絡管から構成され, その胸部端は胸部管内壁近傍で開放されている。機関各部の寸法は, その取得可能な動力, 慣性モーメント, 流体の移動速度

* 運輸省海技大学校

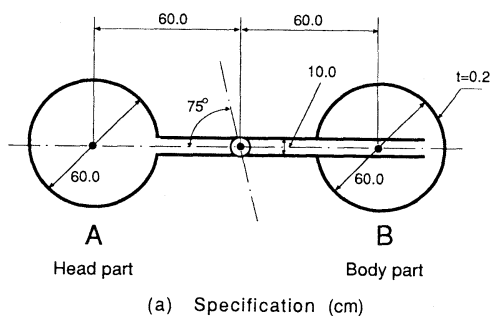
〒659-0026 芦屋市西蔵町12-24

Department of Engineering, Marine Technical College, Ministry of Transport, 12-24, Nishikura-cho, Ashiya-shi, Hyogo 659-0026 Japan

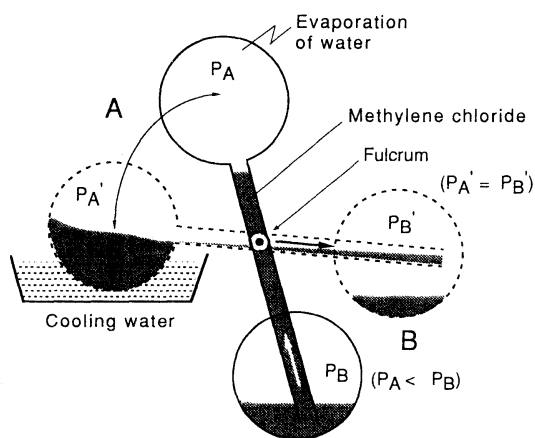
** 東京水産大学海洋生産学科

〒108-8477 東京都水産大学海洋生産学科

Department of Marine Science and Technology, Tokyo University Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108-0075 Japan



(a) Specification (cm)



(b) Operation principle

Fig. 1. Specification (a) and operation principle (b) of apparatus.

および管壁の厚さを考慮して決定した。また、その材質は機関重量の軽減および熱抵抗値、熱伝導率等の物性値上の検討から、Table 1 に示すアルミニウムとした。なお、連絡管中央の支点部は、管外部に固定されたボールベアリング仕様とした。

本機関内部の作動流体に要求される理化学的性状には、環境温度以上の沸点、高値の密度、環境温度付近での飽和蒸気圧変動幅の高値、比熱容量の低値、動粘性の低値等がある。本報では、本機関で取得される熱量や駆動力の検討から、作動流体として Table 2 に示す性状をもつ塩化メチレン (CH_2Cl_2) を選択し (BUDAVAN, 1996; HODGMAN and WEAST, 1960), またその総液量を 0.11m^3 とした。Fig. 2 に、塩化メチレンの温度に対する飽和蒸気圧を示す。なお、作動流体としてエタノール等のアルコール類についても検討を行ったが、特に標準外気温近傍での蒸気圧変動幅が小さいため (例えば、エタノール

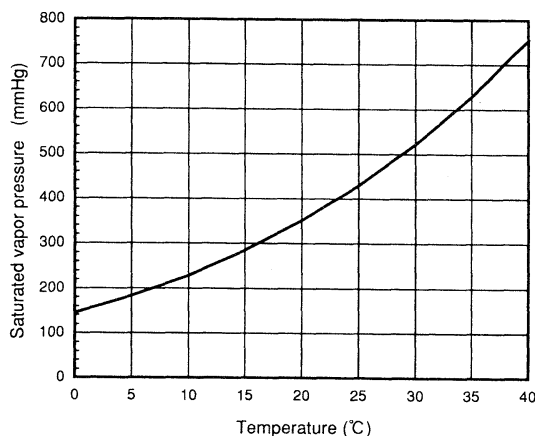


Fig. 2. Saturated vapor pressure of methylene chloride.

P : saturated vapor pressure of methylene chloride.

t : temperature of methylene chloride. $\log P = 7.409 - (1.325/(t + 252.6))$

Table 1. Physical properties of aluminium (at 295.15K)

Density	2710kg/m^3
Specific heat capacity	$0.896\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Thermal conductivity	$204\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Table 2. Properties of methylene chloride.

Specific gravity	1.3255^{20}_4
Formula weight	84.93
Melting point	176.35K
Boiling point	313.1K
Specific heat capacity	$1.205\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Heat of vaporization	31.2kJ/mol

ルで基準温度 30°C の場合、 35°C : 24.4mmHg 、 25°C : 19.4mmHg), 機関寸法が大きくなる場合には不適當であるとの結論を得た。

2.2 作動原理

Fig. 1 (b) に想定する本機関の作動過程を示す。頭部を吸水性に富む材質 (本報では、フェルト材を想定した) で被覆すると、前過程において吸水された水分が蒸発する際の潜熱奪取により、頭部の内圧力は降下する。これに対して、胴部の内部温度は周囲環境温度に近いため、その温度差に相当する飽和蒸気圧差により作動流体は頭部に移動し、流体質量により下方に降下する。本機関が水平近傍に達すれば、頭部および胴両部は直結され、圧力が平衡すると同時に、重力により作動流体は胴部に移動する。すなわち、環境温度域における頭部での熱放出

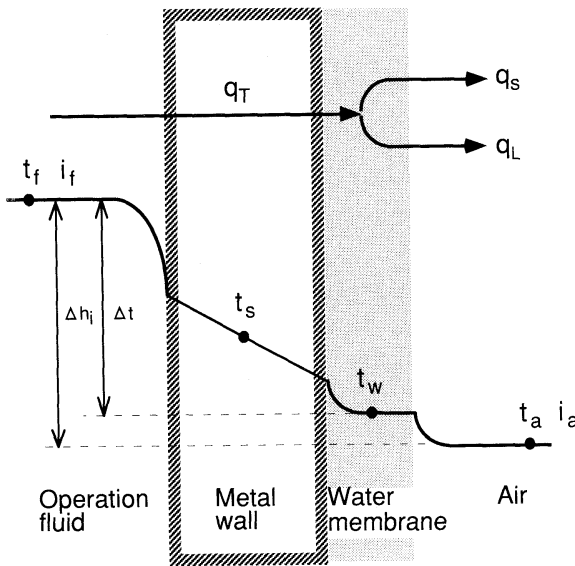


Fig. 3. Heat transfer mechanism of apparatus (head part). t_a : dry-bulb temperature of air, t_f : temperature of operation fluid, t_s : temperature of metal wall, t_w : temperature of cooling water, i_a : enthalpy of air, i_f : enthalpy of working fluid, q_L : latent heat transfer volume, q_s : sensible heat volume, q_T : total heat transfer volume, Δh_i : enthalpy difference between operation fluid and air, Δt : temperature difference between operation liquid and cooling water.

および胴部での熱取得というエネルギーの循環サイクルを利用し、これを機械仕事に変換してその作動を繰り返す。したがって、本機関の取得する動力量は、蒸気圧差を形成するための周囲環境（湿り空気）の絶対湿度や温度に大きく影響されることが容易に推測される。

なお、頭部を被覆する吸水性材質については、その起毛による伝熱面積の拡大が考えられるが、本報では起毛程度が低いフェルト材の仕様を想定したことから、解析を容易にするためこの影響の検討は割愛した。

2.3 伝熱機構

(1) 頭部における伝熱機構

本機関の頭部においては、空気と作動流体が頭部管壁および頭部冷却水により形成される冷却水膜を介して間接的に接触するため、その伝熱機構の解析は容易でない。本試算では、作動流体から周囲空気までの熱流路に、蒸発冷却器等の解析（藤田・手塚, 1979）に使用される総合的な係数を用いる手法を導入し、三物質（作動流体、冷却水膜、湿り空気）の状態値を差分法によって求めた、

この手法では、吸水した水分が蒸発し、熱伝達と物質移動とが同時に生じる場合、その推進力としての温度差と湿度差の合成力としてエンタルピ差を用いる。このエンタルピ差による推進力を用いる方法は、後述の物質移動係数と比熱の比が1となるルイスの関係（LEWIS, 1922）が成立するという假定上、熱収支の近似などを含むものであるが、水・空気系のしかも蒸気濃度がさほど高くない場合には、この計算方法が合理的である（手塚・藤田, 1983）。

本機関頭部における伝熱モデルは、Fig.3に示すように、熱伝達の駆動推進力は、作動流体から伝熱面上の気・液界面までの過程と気・液界面から湿り空気にいる前後の2つの過程により形成される。ここで、前者の過程では温度差のみにより推進され、その熱流路には次の各種の熱抵抗が存在する。

1) 作動流体の頭部管内壁への伝熱抵抗 r_1 :

$$r_1 = A_o / h_i A_i$$

2) 頭部管壁の伝熱抵抗 r_p :

$$r_p = \delta_p A_o / \lambda_p A_p$$

3) 冷却水膜の伝熱面への熱抵抗 r_w :

$$r_w = 1 / h_w$$

4) 冷却水の伝熱抵抗 r'_w :

$$r'_w = \delta_w / \lambda_w$$

ここに、

- A_i : 頭部内壁の伝熱表面積 {m²}
- A_o : 頭部外壁の伝熱表面積 {m²}
- h_i : 作動流体の管内壁への熱伝達係数 {kJ/m²・s・K}
- h_o : 作動流体と冷却水膜との熱伝達係数 {kJ/m²・s・K}
- h_w : 液膜の伝熱表面への熱伝達係数 {kJ/m²・s・K}
- δ_p : 管壁の厚さ {m}
- δ_w : 冷却水膜の厚さ {m}
- λ_p : 管壁の熱伝導率 {kJ/m・h・K}
- λ_w : 水の熱伝導率 {kJ/m・h・K}

である。

なお、頭部を被覆する吸水性材質の熱抵抗については、次項5)に示す管外壁と冷却水膜間における伝熱面の汚れ熱抵抗として扱った。

5) 伝熱面の汚れ熱抵抗 r_a :

$$r_a = 1 / u_a$$

ここで、 u_a : 伝熱面の汚れ係数 {kJ/m²・s・K}

また、厳密には、管内流体および頭部冷却水の汚濁に起因する伝熱面の熱抵抗も考慮する必要があるが、解析を容易にするため本試算過程では省略した。

気・液界面の状態値は、その測定が困難であるため、便宜上、界面の温度として冷却水膜温度を t_w とすると、作動流体から気・液界面への熱伝達は、次式で表される。

$$dq_i = c_i G_i dt_i = h_o (t_i - t_w) dA \quad (1)$$

ここで、

A : 気・液の接触面積	{m ² }
q _t : 作動流体から気・液界面への伝達熱量	{kJ}
c _f : 作動流体の定容比熱	{kJ/kg(DA)}
G _f : 作動流体の質量	{kg}
h _o : 作動流体の冷却水膜との伝熱係数	{kJ/m ² ・s・K}
t _f : 作動流体温度	{°C}
t _w : 冷却水膜温度	{°C}

である。

また、この過程における伝熱係数と熱流路の各熱抵抗との間には、次式が成立する。

$$1/h_o = r_1 + r_p + r_w + r_d \quad (2)$$

次に後者の気・液界面から湿り空気への伝熱過程では、熱量は熱伝達の他に物質移動によっても伝達され、蒸発冷却過程での全伝達熱量 dq'_t は次式で表される。

$$dq'_t = dq_s + dq_L = h_c(t_w - t_a)dA + rK_{ox}(x_w - x_a)dA \quad (3)$$

ここで、

A : 気・液の接触面積	{m ² }
h _c : 湿り空気熱伝達係数	{kJ/m ² ・s・K}
k _{ox} : 絶対湿度基準の物質移動係数	{-}
q _L : 潜熱伝達量	{kJ}
q _s : 顕熱伝達量	{kJ}
q' _t : 気・液界面から湿り空気への全伝達熱量	{kJ}
r : 0°Cでの水の蒸発潜熱	{kJ/kg}
t _a : 湿り空気乾球温度	{°C}
t _w : 冷却水膜温度	{°C}
x _a : 湿り空気絶対湿度	{(kg/kg(DA))}
x _w : 冷却水温度に相当する飽和空気絶対湿度	{(kg/kg(DA))}

上式において、水・空気間における熱伝達と物質移動の両係数間に物質移動係数と比熱の比が1となるルイスの関係 (Lewis, 1922) が成立すると仮定すると、

$$h_c/c_H k_{ox} = 1 \quad (4)$$

とされる。

ここに、c_H は、湿り空気湿度比であり、次式で与えられる。

$$c_H = c_{pa} + c_{pw} x_a \quad (5)$$

ここで、

c _H : 湿り空気湿度比	{kJ/(kg(DA)・K)}
c _{pa} : 乾き空気定圧比熱	{kJ/(kg・K)}
c _{pw} : 水蒸気定圧比熱	{kJ/(kg・K)}
x _a : 湿り空気絶対湿度	{(kg/kg(DA))}

である。

また、(4)式と湿り空気諸関係式より、(6)式が成立する。

$$i_w = c_H t_w + r x_w \quad (6)$$

$$i_a = c_H t_a + r x_a$$

ここで、

i _a : 湿り空気比エンタルピ	{kJ/kg(DA)}
i _w : 冷却水温度に相当する湿り飽和空気比エンタルピ	{kJ/kg(DA)}
r : 0°Cでの水の蒸発潜熱	{kJ/kg}
t _a : 湿り空気乾球温度	{°C}
t _w : 冷却水膜温度	{°C}
x _a : 湿り空気絶対湿度	{(kg/kg(DA))}
x _w : 冷却水温度に相当する飽和空気絶対湿度	{(kg/kg(DA))}

である。

さらに、(4)式および(6)式の関係を用いれば、(3)式は、次式のようになる。

$$dq'_t = G_a di_a = k_{ox}(i_w - i_a)dA \quad (7)$$

すなわち、本機関の頭部における熱伝達は、(1)および(7)式により推進される。また、(7)式でも明らかのように頭部における伝熱量は、伝熱面に対する空気流量に大きく依存する。そこで、本試算では、機関への空気の平均風速を1.5m/sとした。なお、試算に用いる主な湿り空気の状態値は、(8)~(14)式に示す湿り空気関連諸式 (内田秀雄, 1977) から算出した。

$$x_s = 0.622 \times p_{ws} / (P - p_{ws}) \quad (8)$$

$$p_w = P \times x / (0.622 + x) \quad (9)$$

$$\phi = p_w / p_{ws} \times 100 \quad (10)$$

$$\phi = x / x_s \times 100 \quad (11)$$

$$v = (R_a + x R_w) T / P \quad (12)$$

$$c_p = c_{pa} + x c_{pw} \quad (13)$$

$$i = 1.005T + x(1.846T + 2501) \quad (14)$$

但し、

i : 湿り空気比エンタルピ	{kJ/kg(DA)}
c _o : 湿り空気定圧比熱	{kJ/(kg(DA)・K)}
c _{pa} : 乾き空気定圧比熱	{kJ/(kg・K)}
c _{pw} : 水蒸気定圧比熱	{kJ/(kg・K)}
P : 空気全圧力	{kPa}
p _w : 水蒸気分圧	{kPa}
p _{ws} : 飽和空気水蒸気分圧	{kPa}
R _a : 乾き空気気体定数	{kJ/kg・K}
R _w : 水蒸気気体定数	{kJ/kg・K}
T : 絶対温度	{K}
x : 湿り空気絶対湿度	{(kg/kg(DA))}

- x_a : 飽和空気の絶対湿度 { (kg/kg(DA)) }
- ϕ : 相対湿度 { (%) }
- ψ : 比較湿度 { (%) }

である。

(2) 胴部および連絡管における伝熱機構

胴部壁における伝熱機構では、頭部のように管壁と接触する冷却水膜が存在しないため、周囲環境から胴部壁面への熱取得のみを考慮すればよい。ここで、初動時の作動流体温度は、近似的には周囲温度と同温として取り扱っても差し支えないものと考えられる。しかし、水平線と連絡管との機関角度が水平近傍に達して頭・胴両部が直結される際には、頭部において冷却された作動流体の混合による胴部の温度降下を考慮する必要がある。そこで、本試算では、両部の作動流体温度の平衡式から胴部作動流体の温度降下を求め、周囲空気からの熱伝達による温度上昇に要する時間的遅れを考慮した。この試算時には、空気の平均熱流速を一定とする球形な胴部の、いわゆる「球回り」の強制対流熱伝達率 α_b を用いた胴部の取得熱量 q_b を次式により求めた (一色・北山, 1981)。

$$q_b = \alpha_b (t_p - t_r) A \quad (15)$$

$$\alpha_b = Nu \lambda / d \quad (16)$$

$$Nu = 2 + 0.52 Re^{1/3} Pr^{1/3} \quad (17)$$

ここで、

- A : 胴部の表面積 { m^2 }
- d : 胴部の壁厚さ { m }
- Nu : ヌセルト数 { - }
- q_b : 胴部の取得熱量 { $\{kJ\}$ }
- t_r : 作動流体温度 { $\{^\circ C\}$ }
- t_p : 管外壁面温度 { $\{^\circ C\}$ }
- α_b : 対流熱伝達率 { $\{kJ/m^2 \cdot h \cdot K\}$ }
- λ : 熱伝導率 { $\{kJ/m \cdot h \cdot K\}$ }

である。

ここで、代表長さは胴部直径 d であり、また、レイノルズ数 Re およびプラントル数 Pr は、空気調和衛生工学便覧 (1981) より、それぞれ 5.84×10^4 および 0.71 とした。

なお、頭・胴部を連絡する連絡管についても熱取得の詳細な熱収支を解く必要があるが、解析を容易にするため、本試算過程では一定とした。

2.4 飽和蒸気圧差による作動流体の動特性

Fig. 4 は、作動流体である塩化メチレンの飽和温度差に対する液柱高さの一例 (基準温度 $25^\circ C$) を示したもので、頭部と胴部の圧力差が大きいほど液柱高さは増加する。したがって、この液柱高さは、周囲環境の温・湿度

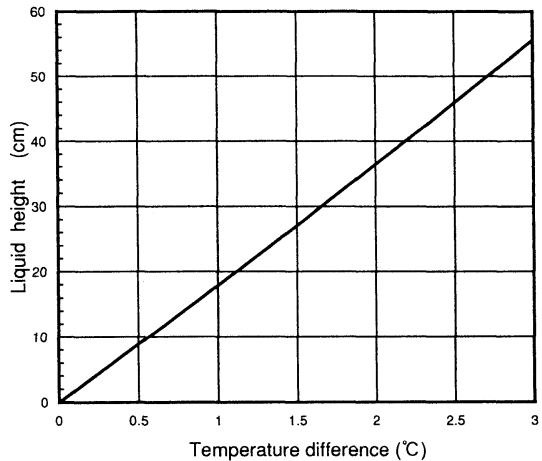


Fig. 4. Liquid height as temperature difference for methylene chloride.

に依存する。

2.5 取得動力の試算法

作動流体の移動による機関の取得動力の試算には、周囲環境条件における作動流体の移動速度および移動流体質量の計算が必要である。流体の移動速度は、管内面が滑らかな状態で、かつ流体の粘性抵抗が温度変化によっても一定と仮定し、水平線と連絡管とのなす角度、すなわち機関角度を考慮して頭・胴部の差圧により計算した。この時の機関角度の変動量は、支点を中心とする両側の質量差より回転モーメントを求め、算出した。したがって、本機関の取得動力は、単位時間当たりの胴部の移動量に作動流体密度を乗じて算出した。なお、支点部における摩擦抵抗は、新機械工学便覧第1編 (1995) により標準的なベアリング摩擦係数 ($\mu = 0.15$) を用いた。

3. シミュレーション結果による取得動力

上述のように、本機関は周囲環境温度やその湿度に左右される。Fig. 5 に周囲環境温度を $10^\circ C \sim 35^\circ C$ 、相対湿度を 10% および 50% とした場合の理論取得動力を示す。その動力は、相対湿度 10% 、外気温 $35^\circ C$ で $70W$ 程度が得られる。しかし、実際の環境条件下では、このような周囲環境の出現・維持は困難であり、また、実機に採用する場合は、リンク機構における摩擦損失等も考慮しなければならず、除湿等の環境条件を確保する必要がある。

また、Fig. 6 に、相対湿度が 10% 時に、機関各部を相似的に大型化した場合の理論取得動力を示す。本機関の取得動力は、熱交換器部の相似比 r につれて増大するが、連絡管長さの長尺化に伴う作動流体の移動時間の増加および軸受荷重の増大等により、作動流体の容量比に対す

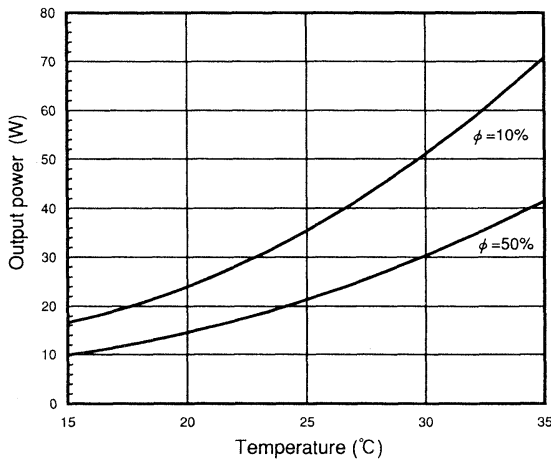


Fig. 5. Theoretical output power as temperature difference and relative humidity for apparatus. ϕ : relative humidity.

る出力割合は減少する。

4. エアレーション装置への適応例

本機関の実機への適応例として、水産関連機器であるエアレーション装置への応用について検討した。本機関の最大の特徴は、初動時を除き、周囲環境が保有する熱エネルギー以外を必要としないために、離島や沖合いあるいは山間僻地等の動力エネルギーの確保が困難な場所においても作動することである。また、外気温が高い夏場に効率的な運転が可能である。したがって、例えば養殖関連のエアレーション装置に用いれば、養殖密度の向上や藻類発生の抑制にともなう水質改善等が期待できる。

一般にエアレーション装置は、小型の観賞魚用途等では電磁作動のダイヤフラム式が主であり、また、大型の水産飼育機器等では通常、攪拌機または空気圧縮機が用いられる。本機関を実用化する場合には、圧縮機での体積効率、圧縮自体の機械効率等を考慮した所要動力の他に、機関の各支点部や作動用リンク機構等における摩擦損失等の各種損失分に相当する動力が必要であり、大型水産機器への転用は難しい。したがって、本試算では、市販されている小型機器を参考に本機関直結のダイヤフラム式エアレーション装置を想定してその作動能力を試算した。ここで、圧縮機の運転に必要な動力量については、市販されている機器のカタログ値を基に、吐出空気量に応じた所要動力の平均値 ($180 \text{ l/W} \cdot \text{分}$) から求めた。

また、前項3でも述べたように、本機関の効果的な運転には適正な周囲環境が必要である。そこで、本機関の最大仕事量を得る手法として、地熱や太陽光熱あるいは

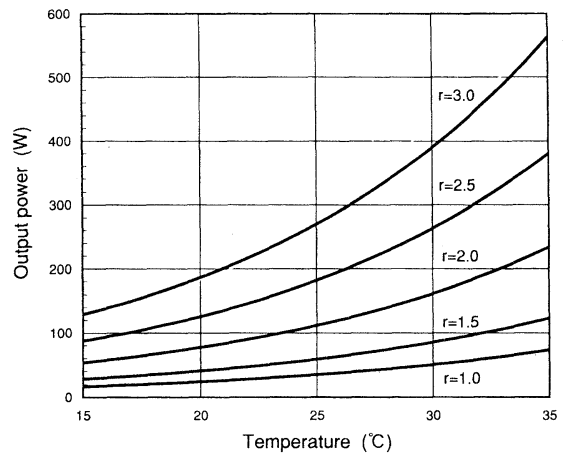


Fig. 6. Theoretical output power as simirity ratio for apparatus. r : simirity ratio.

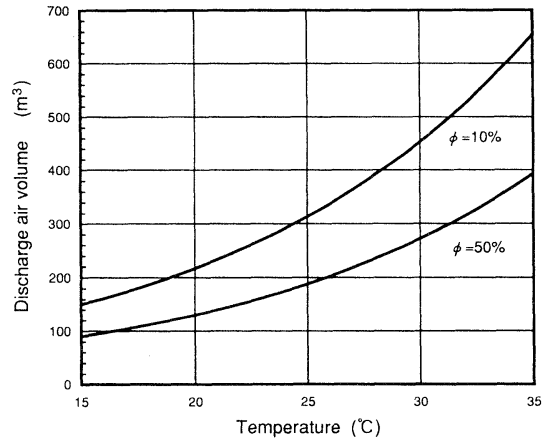


Fig. 7. Discharge air volume as temperature and relative humidity difference for apparatus. ϕ : relative humidity.

冷・温熱の両者を供給可能な未利用熱源（下田ら、1996）の採用による高温・低湿の理想的な作動環境を想定した。ここで、未利用熱源とは、廃熱として再利用されることがなく放出される低レベル熱エネルギーであり、具体的には、発電所の冷却温排水・下水処理水（温熱）、冷倉庫廃熱（冷熱）等である。前項3における各周囲条件下から求めた想定エアレーション装置の排出空気量を Fig. 7 に示す。エアレーション機関の最大排出空気量は、外気温 35°C 、相対湿度 10% の場合、最大で $640 \text{ m}^3/\text{h}$ 程度である。今、周囲環境が年間を通じて一定で、かつ同機関が最大効率で運転できると仮定すると、年間約 610 kW の一次エネルギーが削減される。これは、二次エネルギー換算では 215 kW となる。また、機関を大

型化した場合の計算例として相似比を3倍とした場合は、年間一次エネルギー削減量は4.5MW（二次同1.5MW）となり、省エネルギーの観点からは有意な数値と考えられる。

5. まとめ

「水飲み鳥」の作動原理を用いた疑似永久機関の作動特性を解析し、シミュレーションを行い、その作動特性の試算から水産関連機器であるエアレーション機関への適用性について考察した。得られた知見は、以下のとおりである。

- 1) 本機関の出力試算結果によると、相応の動力取得が可能であると考えられる。
- 2) 何らかの温熱源供給による適正周囲環境が確保できる場合、本機関の実用的動力の取得がより容易となる。
- 3) エアレーション装置への適応性については、他動力源と比較して小容量なものでも相当に大型の機関を必要とするが、その出力レベルは十分に対応可能なものである。また、熱エネルギー以外の動力供給が不必要なことから、僻地における養殖用装置として利用価値が高い。

以上の結果から、設置スペース等の機器の大型化に制約がなく、かつ高温熱源として地熱、太陽光熱および発電所温廃熱等を効果的に活用しうる作動環境を整えることにより、実用化可能なことが判明した。また、水産関連機器のみならず、例えば下水処理場における活性汚泥のエアレーション等、他の分野においてもその活用が考えられる。地球環境の保全の観点からも一次エネルギー消費量の削減が提言されている昨今において、本機関を含めたエネルギー転換の技術発展の一助となれば幸いである。

文献

- BUDAVARI, S. (1996) : The Merck Index, 12th Ed. MERCK & CO., Inc., pp. 1035.
- 平井慶彦 (1988) : エネルギー変換技術, 東海大学出版会, pp. 26-28.
- HODGMAN, C.D. and R.C.WEAST (1960) : Handbook of Chemistry and Physics, 41st Ed, Chemical Rubber Publishing CO., pp. 2282.
- 藤田稔彦, 手塚俊一 (1979) : 蒸発冷却器の熱伝達・物質伝達特性に関する研究(1), 空気調和・衛生工学会論文集 vol. 9, pp. 9-18.
- 小山慶太 (1994) : 永久機関で語る現代物理学, 筑摩書房, pp. 120-123.
- 空気調和衛生工学便覧 第11版, 基礎編 (1986) : 空気調和・衛生工学会編, pp. 155.
- 一色尚次, 北山直方 (1981) : 伝熱工学, pp. 88-91, 森北出版.
- LEWIS, W.K. (1922) : Trans. ASME, No. 44, pp. 453-.
- 太田時男 (1980) : 新・エネルギー論, NHKブックス, pp. 117-119.
- 小野 周 (1992) : エネルギーで語る現代物理学, 講談社, pp. 125.
- 齊藤孝基, 飛原英治, 畔津昭彦 (1995) : エネルギー変換, 東京大学出版会, pp. 8-21.
- 下田吉之, 水野稔, 亀谷茂樹, 百瀬敏成 (1996) : 都市未利用エネルギーの活用評価手法に関する研究 第1報大阪市における各熱源の利用可能量と熱需要に関する調査と分析, 空気調和・衛生工学会論文集, No. 61, pp. 65-75.
- 新機械工学便覧第1編 (1995) : 新機械工学便覧編集委員会編, pp. 7-1~7-14, 理工学社.
- 手塚俊一, 藤田稔彦 (1983) : 蒸発冷却器の性能, 冷凍, 47-538, pp. 695-700.
- 内田秀雄 (1977) : 湿り空気と冷却塔, 改訂第4版, pp. 125-136, 裳華房.

1996年10月29日 受付

1998年4月8日 受理

学 会 記 事

1. 1998年3月9日(月) 東京水産大学において会長選挙の開票が行われ、平成11・12年度会長として有賀祐勝氏が選出された。
2. 1998年3月31日(火) 東京水産大学において、平成9年度第2回幹事会が開かれた。主な議事は下記のとおり。
 - 1) 平成10・11年度評議員選挙開票結果について
 - 2) 平成10・11年度会長選挙開票結果について
 - 3) 平成10・11年度副会長、幹事、監事の選出について
 - 4) 平成9年度事業報告
 - 5) 平成10年度収支決算報告および監査報告
 - 6) 平成10年度事業計画(案)審議
 - 7) 平成10年度予算(案)審議
 - 8) その他
3. 1998年5月23日(土) 東京水産大学において平成10年度評議員会が開かれた。主な議事は下記のとおり。
 - 1) 平成10・11年度評議員選挙開票結果について
 - 2) 平成10・11年度会長選挙開票結果について
 - 3) 平成10・11年度副会長、幹事、監事の選出について
 - 4) 平成9年度事業報告
 - 5) 平成10年度学会賞受賞候補者選考経過報告
 - 6) 平成9年度収支決算報告および監査報告
 - 7) 平成10年度事業計画(案)審議
 - 8) 平成10年度予算(案)審議
 - 9) 平成11年度学会賞受賞候補者推薦委員会委員選出
 - 10) その他
4. 1998年5月31日(日) 日仏会館会議室において平成10年度学術研究発表会が開かれた。発表題目と発表者は次のとおり。
 1. イセエビの摂餌行動に与える水温の影響
 ……○森川由隆(三重大・生資)・荒川久幸(東水大)・小池 隆(三重大・生資)
 2. ムラサキイガいの繊毛運動に対する温度、塩分の影響
 ……○三木久弘(東水大)・関 文威(筑波大・生物)・山口征矢(東水大)
 3. 芳香族炭化水素の海産植物プランクトンに及ぼす影響
 ……○奥村 裕・小山次郎(中央水研)・高梨千尋・佐藤博雄(東水大)
 4. 海鷹丸第70次航海時の本邦南方海域における微小植物プランクトンの分布
 ……○堀本奈穂・佐藤 力・工藤善隆・峰 雄二・野田 明・濱田浩明・鈴木文枝・山口征矢(東水大)
 5. 落とし網の箱網における目合と網容積との関係
 ……○石戸谷博範(神奈川県水総研)・岩田静夫(海洋情報研セ)・渡部 勲(防災科研セ)・松山優治(東水大)
 6. 光学的手法による海面油膜の厚さの測定
 ……○荒川久幸・正地雅実・森永 勤(東水大)
 7. 夏季日本周辺海域における上方向輝度の分光分布と懸濁粒子による光吸収計数
 ……○大濱妙子(東水大)・平譯 亨(極致研)・佐藤博雄(東水大)
 8. ROPME海域(ペルシャ湾)における海中放射照度分布
 ……○荒川久幸・森永 勤(東水大)
 9. 粒度と組成からみたペルシャ湾堆積物中のNiとVの分配
 ……○前田 勝・柴田冬樹・鎌谷明善(東水大)
 10. 日本海における流動特性の検討
 ……○高橋義也・和田 明(日大・生産工)
 11. 宗谷暖流の季節変動、年々変動
 ……○松山優治(東水大)・青田昌秋(北大流水研)・小笠原 勇(国際航業)・松山佐和(法政大)
 12. 海洋データに現れやすいエラー(現場用品質管理ソフトウェアの開発のために)
 ……○鈴木 亨(海洋情報研セ)・竹内淳一(和歌山研水試)・吉村智一(パスコ)・永田 豊(海洋情報研セ)
5. 1998年5月31日(日) 日仏会館会議室において第39回総会が開かれた。議事の概要は次のとおり。
 - 1) 平成10・11年度評議員選挙結果報告(末尾参照)
 - 2) 平成10・11年度会長選挙結果報告(末尾参照)
 - 3) 平成9年度事業報告
 - a) 庶務
 会員移動状況

	平成9年4月	入会	退会	逝去	資格変更	平成10年3月
名誉会員	1	-	-	-	-	1
正会員	290	8	9	1	+1	289
学生会員	4	-	-	-	-1	3
賛助会員	18	4	-	-	-	22

活動状況

評議員会	1回
幹事会	2回
総会	1回
学術研究発表会	1回
講演会の開催	1回
学会誌の発行	
学会賞授与	松山優治(東京水産大)

b) 編集

La mar 4号刊行

- 5) 平成10年度学会賞受賞候補者選考経過報告(詳細は6.参照)
6) 平成9年度収支決算報告及び監査報告

収入の部		平成9年度予算
前年度繰越金	119,501	(119,501)
正会員会費	1,110,000(延べ182名)	(1,800,000)
学生会員会費	12,000(3名)	(20,000)
賛助会員会費	250,000(25口17社)	(200,000)
学会誌売上金	256,100	(450,000)
広告料	110,000	(100,000)
著者負担印刷費	1,132,722	(800,000)
雑収入	206,876	(200,000)
寄付金収入	14,148	(1)
合計	3,211,347円	(3,689,502)円

支出の部		平成9年度予算
学会誌印刷費	1,950,000	(2,450,000)
送料・通信費	277,248	(250,000)
事務費	715,594	(700,000)
交通費	26,220	(20,000)
会議費	9,997	(15,000)
学会賞経費	73,968	(75,000)
雑費	44,589	(20,000)
予備費	0	(159,502)
小計	3,097,616	
次年度繰越金	113,731	
合計	3,211,347円	(3,689,502)円

7) 平成10年度事業計画案審議

下記原案通り承認された

評議員会1回, 総会1回, 学術研究発表会1回, 幹事会4回の開催

シンポジウム及び講演会の開催, 後援

学会誌「La mar」の刊行(4号)

平成10年度学会賞授与及び平成11年度受賞候補者の推薦

その他

8) 平成10年度予算案審議

原案通り承認された。

平成10年度予算

収入の部		日仏海洋学会 (備考)
前年度繰越金	113,731	
正会員会費	1,800,000	6,000円×300人
学生会員会費	12,000	4,000円×3人
賛助会員会費	250,000	10,000円×25口
学会誌売上金	300,000	
広告料	100,000	
著者負担印刷費	800,000	
雑収入	200,000	印税, 利子等
寄付金収入	1	
合計	3,575,732円	

支出の部		(備考)
学会誌印刷費	2,450,000	60万円×4号分
送料・通信費	250,000	
事務費	700,000	人件費(事務用品等含む)
交通費	20,000	
会議費	15,000	幹事会, 評議員等
学会賞経費	75,000	
雑費	40,000	総会会場費, 郵便等手数料等
予備費	25,732	
合計	3,575,732円	

9) 平成11年度学会賞受賞候補者推薦委員会委員選出結果報告

青木三郎, 今脇資郎, 落合正宏, 岸野元彰, 小池隆, 小池勲夫, 関根義彦, 竹松伸, 谷口旭, 中村重久, 前川行幸, 松山優治, 門谷茂, 柳哲雄, 山口征矢

10) その他

a) 日仏諸学会総会シンポジウムの進捗状況が報告された。

b) 日本学術会議水産学研究連絡委員会より依頼された「講演会等の開催経費」および「世界水産学会議会費」の負担について審議された。

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

6. 平成10年度日仏海洋学会賞

受賞者: 前川行幸(三重大学生物資源学部)

受賞課題: アラメ・カジメを中心とした大型藻類の生理生態学的研究

推薦理由:

褐藻コンブ科に属するアラメ及びカジメは本邦暖海域に広く分布する大型の多年生海藻であり、水深2~25mの岩礁域に海中林を形成する。アラメ及びカジメは沿岸域の主要な一次生産者であり、直接的には沿岸動物の餌料として、間接的には沿岸魚族の産卵場及び幼稚魚の成育場として、生態学的に重要な役割を果たしている。近年、沿岸漁業の重要性に対する関心が高まり、海中林の保護と造成に関する研究や技術開発が各地で盛んに試みられている、しかし、海中林の造成・管理技術の基礎となる群落の構造やその季節的・経年的変動に関する個体群レベルでの研究は1980年代前半には未だ十分には行われていなかった。そのような中で、前川行幸博士は三重県志摩半島沿岸のアラメ及びカジメ群落を対象として、海中林の構造やその更新過程及び更新を抑制する要因について生理生態学的研究に1980年代初めから着手し、維持、発達といった動的な側面に注目する時、まず更新と呼ばれる群落の世代交代現象を解明しなければならないとの考えに基づいて出発している。群落の更新過程を具体的に明らかにするためには、対象となる群落を長期にわたって観察し続け、群落の動態を明らかにする必要がある。前川博士は、永久コドラートと個体識別法を用いて6年間にわたる調査の結果、群落の更新パターンは典型的なギャップ更新であり、更新周期はカジメ群落では3年、アラメ群落ではカジメ群落より長く4~5年であることを見出し、群落の更新を抑制する最大の要因は大型個体の枯死・流失によるギャップの形成とそれに伴う群落内光環境の変化であることを、生産構造及び個体群組成の経年変化から明らかにすることができた。また、アラメとカジメの更新周期の違いは寿命の違いによるものであることを、年齢群組成の季節的・経年的変化及び生命表解析から明らかにすることができた。さらに、コホート解析を行うことにより、群落の更新に伴う死亡要因についても推定することができた。

アラメ群落及びカジメ群落では、物質生産の大部分は林冠を構成する大型個体によってまかなわれている。しかし、幼体の発生や生長は群落内の光環境に大きく依存している。そこで、前川行幸博士は幼体の生育する光環境を詳しく実測し、アラメの幼体は水面の値に対する相対光強度が1%以上の場所に分布し、カジメの幼体は同様の相対光強度が0.5%以上の場所に分布していることを確かめた。一方、光合成による物質生産を基礎にした幼体の日補償点を求めるためのモデル式を作成し、光合成、呼吸、生育水深、生育現場の相対光強度、南中時の最大光強度、日長等のパラメータを入れて計算した結果、日補償相対光強度はアラメでは1.1%、カジメでは0.6%となって実測値とほぼ一致し、本モデルの有効性を確かめることができた。すなわち、カジメ幼体はアラメ幼体

に比べ弱光に適応しており、カジメがアラメに比べより深所に生育する理由を、光合成を基礎にした物質生産の面から確かめることができた。

海中林の造成・管理技術の面から見た場合、前川行幸博士によって得られた群落の構造や更新過程及び幼体の日補償点の推定に関するこのような知見は、種苗の大量培養、海中林造成のための適地選定、群落密度の管理等への基礎資料を提供するものと考えられ、極めて重要な貢献である。

前川行幸博士は、初期の養殖ヒトエグサの光合成と生産に関する研究、上記のような大型海藻の生理生態学的研究に加えて、最近では海藻に含まれる紫外線吸収物質等についてもその研究領域を広げ、その研究業績は国内のみならず広く国際的にも評価されており、今後も更に活発に活動されることが期待されている。本委員会は、このような前川行幸博士の研究を高く評価し、本学会賞を授与するにふさわしい候補者としてここに推薦するものである。

学会賞受賞候補者推薦委員会
委員長 関根義彦

主要論文

1. 養殖ヒロハノヒトエグサの生長と光合成活性の変化
La mer 12 : 197-213(1974).
2. Measurements of photosynthesis and productivity of the cultivated *Monostroma* population.
La mer 18 : 116-124(1980).
3. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究-I. 志摩半島御座岬周辺における群落の分布と構造. 三重大学水産学部附属水産実験所研究報告 1 : 41-54 (1982). (喜田と共著)
4. Photosynthesis and productivity of the cultivated *Monostroma latissimum* population. La mer 21 : 164-172(1983). (with Y. Aruga)
5. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究-II. 熊野灘沿岸各地における群落の分布と構造. 三重大学水産学部研究報告 10 : 57-69 (1983). (喜田と共著)
6. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究-III. アラメ藻体における相対生長の季節変化. 三重大学水産学部研究報告 11 : 189-198 (1984). (喜田と共著)
7. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究-IV. カジメにおける藻体における相対生長の季節変化. 三重大学水産学部研究報告 11 : 199-206 (1984). (喜田と共著)
8. アラメ・カジメ群落に関する生態学的研究-V. 茎長組成および年齢群季節変化. 三重大学水産学部研究報告 12 : 119-129 (1985). (喜田と共著)
9. アラメ・カジメ群落の生態構造に関する研究. 藻類

- 35 : 34-40 (1987). (喜田と共著)
10. Critical light conditions for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis. *Hydrobiologia* **151/152** : 447-455 (1987). (with Y. Yokohama and Y. Aruga)
11. Comparative studies on critical light conditions for young *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava*. *Jpn. J. Phycol.* **36** : 166-174(1988). (with W. Kida, Y. Yokohama and Y. Aruga)
12. A demographic study of the sublittoral brown alga *Ecklonia cava*. Kjellman in coastal water of Shima Peninsula, Japan. *Jpn. J. Phycol.* **36** : 321-327(1988). (with W. Kida and Y. Aruga)
13. Regeneration process of *Ecklonia* marine forest in the coastal area of Shima Peninsula, central Japan. *J. Phycol.* **37** : 194-200(1989). (with W. Kida)
14. Photosynthetic characteristics of several species of Rhodophyceae from different depths in the coastal area of Shima Peninsula, central Japan. *Jpn. J. Phycol.* **37** : 213-220(1989). (with N. Murase and W. Kida)
15. Ecological studies of *Eisenia bicyclis* (Kjellman) Setchell and *Ecklonia cava* Kjellman. *Bull. Fac. Bioresour., Mie Univ.* **4** : 73-145(1990)
16. Distributional pattern of *Ecklonia cava* (Phaeophyta) marine forest in the coast of Shima Peninsula, central Japan. *J. Phycol.* **39** : 173-178(1991). (with W. Kida)
17. Preferential disappearance of chlorophyll preceding digestion of malederived chloroplast DNA in young zygotes of *Monostroma latissimum* by a DAPI epifluorescence microscopy and electron microscopy. *Cytologia* **58** : 331-336 (1993). (with T. Kuroiwa and H. Uchida)
18. The influence of ultraviolet radiation on the photosynthetic activity of several red algae from different depths. *Jpn. J. Phycol.* **41** : 207-214(1993). (with M. Kunieda and W. Kida)
19. Difference of the amount of UV-absorbing substance between shallow and deep water red algae. *Jpn. J. Phycol.* **41** : 351-354(1993). (with M. Kunieda and W. Kida)
20. Underwater brightness in nighttime and behaviors of Japanese spiny lobster. *La mer* **33** : 37-46(1995). (with T. Koike and Y. Morikawa)
21. 潮間帯に生育する海藻の高温耐性と垂直分布の関係. *水産増殖* **43** : 429-435 (1995). (杉山と共著)
22. 三重県尾鷲湾におけるアラメ群落の生育環境と消長. *藻類* **44** : 95-102 (1996). (栗藤と共著)

7. 新入会員 (正会員)

氏名	所属・住所	紹介者
内田 裕	九州大学応用力学研究所 〒816-8580 春日市春日公園6-1	今脇資郎
石戸谷博範	神奈川県水産総合研究所 相模湾試験場 〒250-0021 小田原市早川1-2-1	松山優治
岩田 静夫	(財)日本水路協会海洋情報センター 〒104-0061 中央区銀座7-15-4 三島ビル5F	松山優治
土屋光太郎	東京水産大学資源育成学科 港区港南4-5-7 〒108-8477	山口征矢
Voravit Cheevaporn	Department of Aquatic Science, Burapha University Bangsaen, Chonburi, 20131 Thailand	山口征矢

8. 会員資格・所属・住所等変更

(正会員・受付順)

寺本 俊彦	自然環境リサーチ 〒721-0973 福山市南蔵王町3-4-42
平譚 亨	国立極地研究所南極圏環境モニタリングセンター 〒173-8515 板橋区加賀1-9-10
花木 栄二	神奈川県水産総合研究所内水面試験場 〒229-1135 相模原市大島3657
小島 博	徳島県水産試験場 〒779-2304 海部郡日佐和町奥河内
平野 敏行	学校法人トキワ松学園 〒152-0003 目黒区碑文谷4-17-16
前田 昌調	水産庁中央水産研究所生物機能部 〒236-8648 横浜市金沢区福浦2-12-4
金成 誠一	〒061-1148 北海道北広島市山手町7-4-14
小長 俊二	〒300-2436 筑波郡谷和原村絹の台6-3-10

(賛助会員)

日本海洋 (名称変更: 旧本地郷)

9. 退会(受付順)

日比谷京, 坂本市太郎, 佐藤 猛, 小池孝知, 井上善洋, 高橋淳雄

10. 受贈図書(受付順)

なつしま 152, 153, 154
 農業工学研究所ニュース 12, 13
 養殖研ニュース 37, 38
 養殖研究所研究報告 27
 NTT R&D 47(4, 6, 7, 8)
 神戸気象台彙報 217
 東海大学紀要(海洋学部) 45
 東海大学紀要(一般教養) 23
 東海大学海洋学部業績集 27
 東北区水産研究所研究報告 60
 Memoirs of the National Science Museum 30
 Bulletin of the National Science Museum 24(1, 2)
 日本における平均水温 37
 海況情報としての ADC データの有効利用のために 38
 Bulletin of Marine Science and Fisheries
 農業工学研究所報告 37
 日本海区水産研究所研究報告 48
 神奈川県立博物館研究報告 27
 勇魚 18
 RESTEC 41
 広島日仏協会報 141
 水産工学研究所研究報告 19
 水産工学研究所技報 20
 水産工学研究所集録 7
 農業工学関係研究成果情報
 第5回アジア学術会議報告書
 東海大学海洋研究所研究報告 19
 東海大学海洋研究所年報 19
 豊後水道南方海底地質図
 金華山沖海底地質図
 Journal of the Korean Society of Oceanography 32
 (2, 3, 4), 33(1)
 青島海洋大学学报 27(3, 4), 28(1, 2)
 海洋与湖沼 28(5, 6)
 Meereswissenschaftliche Berichte 25~29

日仏海洋学会役員・評議員

顧問 問: ユベール・プロシエ ジャン・デルサルト
 ジャック・ロベール アレクシス・ドラン
 デール ベルナル・フランク ミシェル・
 ルナル ミシェル・ルサージュ ロベール
 ・ゲルムール ジャック・マゴー レオン
 ・ヴァンデルメルシュ オーギュスタン・
 ベルク ユベール・セカルディ オリビエ・
 アンサール
 名誉会長: ピエール・カブラン
 会長: 有賀祐勝
 副会長: 高木和徳 岡市友利
 幹事: (庶務) 森永 勤 前田 勝
 (会計) 松山優治 岸野元彰
 (編集) 落合正宏 佐藤博雄
 (研究) 関 文威 小池勲夫
 (渉外) 佐伯和昭 隆島史夫
 監事: 久保田穰 須藤英雄
 編集委員長: 矢口征矢
 評議員:
 青木三郎 有元貴文 有賀祐勝 石丸 隆
 磯田 豊 糸淵長敬 今脇資郎 宇野 寛
 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 黒田一紀
 小池勲夫 佐伯和昭 坂本 巨 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 隆島史夫 高野健三
 高橋正征 谷口 旭 寺本俊彦 鳥羽良明
 中田喜三郎 中田英昭 長島秀樹 永田 豊
 平野敏行 福田雅明 前田明夫 前田昌調
 前田 勝 松生 洽 松山優治 丸茂隆三
 村野正昭 森永 勤 門谷 茂 柳 哲雄
 山口征矢 山崎秀勝 和田 明 渡邊精一
 (52名会長推薦評議員を含む)

お 知 ら せ

L'ANNÉE DE LA FRANCE AU JAPON
日本におけるフランス年

日仏諸学会総合シンポジウム

日本にとってフランスとは

Que représente la France pour le Japon ?

会 期 : 1998年12月18日 (金) ・ 19日 (土) ・ 20日 (日)

会 場 : 日仏会館ホール ・ 入場無料

主 催 : 日仏会館

日仏哲学会、日仏歴史学会、日本フランス語フランス文学会、日仏演劇協会、日仏音楽協会、日仏政治学会、日仏美術学会、日仏図書館情報学会、日仏女性研究学会、日仏教育学会、日仏地理学会、日仏経営学会、日仏医学会、日仏薬学会、日仏農学会、日仏工業技術会、日仏生物学会、日仏海洋学会、日仏理工科会、日仏獣医学会、日仏法学会

第 1 日 12月18日 (金曜日)

- 10:00 開会挨拶 : 駐日フランス大使
: 日仏会館理事長
- 11:00 基調講演 : 中村 雄二郎 (日仏哲学会会長)

日仏対蹠文化論

12:00 昼休み

シンポジウム

テーマ: 現代日本におけるフランス文化像

Image de la culture française vue par le Japon d'aujourd'hui

第 1 セッション 司会: 竹内信夫+小林茂

13:30 - 14:00 : 小林道夫 (日仏哲学会)

日本におけるフランス哲学研究—過去, 現在, 未来—

—デカルト研究を中心に—

14:00 - 14:30 : 福井憲彦 (日仏歴史学会)

戦後日本の歴史研究からみたフランス像

14:30 - 14:45 討議

14:45 - 15:15 : 野崎敏 (日本フランス語フランス文学会)

日本における現代フランス文学

15:15 - 15:45 : 渡辺守章 (日仏演劇協会)

大いなる欠落—日本におけるフランス演劇の受容

15:45 - 16:00 討議とまとめ

16:00 - 16:30 コーヒーブレイク

第 2 セッション 司会: 三善 晃

16:30 - 17:45 : 藤井一興+野平一郎 (日仏音楽協会)

現代の音楽芸術における, フランスと日本の相互干渉

[音楽演奏を含む]

18:00 - 懇親パーティー

第2日 12月19日(土曜日)

シンポジウム

テーマ：日仏社会の比較と反省

Sociétés française et japonaise : comparaison et réflexion

第1セッション 司会：田辺 裕+渡辺啓貴+坂本 満

10:20 - 11:00 : François SIMARD (モナコ海洋研究所)

海, 魚, 漁業—日仏比較の試み (日本語)

11:00 - 11:30 : 野中尚人 (日仏政治学会)

地方分権と政治—行政関係

11:30 - 12:00 : 西野嘉章 (日仏美術学会)

マルロー, シャステル, ラング—フランス文化財戦略の三十年

12:00 昼休み

第2セッション 司会：安積暁美+中島公子

14:00 - 14:30 : 鈴木良雄 (日仏図書館情報学会)

変容する図書館

14:30 - 15:00 : 林 瑞枝 (日仏女性研究学会)

5月革命後のフランスの家族像の変貌

15:00 - 15:30 コーヒーブレイク

第3セッション 司会：服部英二+小堀 巖+佐藤 清

15:30 - 16:00 : 石堂常世 (日仏教育学会)

今日のフランスの教育的挑戦と日本の教育

16:00 - 16:30 : 田辺 裕 (日仏地理学会)

フランスでは日本をどう教えるか—中等地理教育の現状比較

16:30 - 17:00 : 日高定昭 (日仏経営学会)

フランスにおける経営高等教育—大学とグランゼコール

第3日 12月20日(日曜日)

シンポジウム

テーマ：フランス科学と日本

Sciences françaises et le Japon

10:00 閉会の辞 : 中村廣明

特別講演 司会：飯山敏道

10:05 - 11:00 : Xavier LE PICHON (コレージュ・ド・フランス教授)

科学はどこまで人間についての観方を変えたか (通訳付)

第1セッション 司会：土屋雅春+辰野高司

11:00 - 11:30 : 大村敏郎 (日仏医学会)

医学, 最も長い日仏交流の歴史を持つもの

11:30 - 12:00 : 辰野美紀 (日仏薬学会)

臨床薬学の誕生—近代薬学概念の形成史

12:00 昼休み

第2セッション 司会：船久保熙康+有賀祐勝+飯山敏道

13:30 - 14:00 : 本多健一 (日仏工業技術会)

写真科学—日仏のかけはし

14:00 - 14:30 : 八木宏樹 (日仏海洋学会)

フランスと日本における水産増養殖の比較

14:30 - 15:00 : 関口 煜 (日仏理工科会)

高分子化学の現状と今後の日仏協力

15:00 - 15:30 コーヒーブレイク

第3セッション 司会：水野丈夫+長谷川篤彦

15:30 - 16:00 : 藤原公策 (日仏生物学会, 日仏農学会, 日仏獣医学会)

生物学における日仏の絆

16:00 - 16:30 : 原田 宏 (日仏農学会)

植物バイオテクノロジーのいしづえーゴートレ教授を偲ぶ

16:30 閉会の辞 : 小林善彦 (日仏会館)

閉会后 ワイン・パーティー

お 知 ら せ

平成11年度京都大学防災研究所共同研究の公募

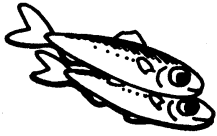
標記について、下記の通り公募しております。詳しくは、当研究所ホームページ（URLは <http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/default.j.html>）を参照されるか、又は当研究所へ問い合わせ願います。

記

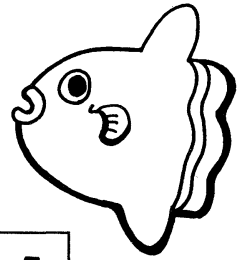
1. 公募事項（共同研究公募要領参照）
 - (1) 一般共同研究の募集
 - (2) 特定共同研究への参加者の募集
 - (3) 研究集会の募集
2. 申請資格： 国公立大学及び国公立研究機関の教官・研究者又はこれに準じる者
3. 申請方法： 所定様式による申請書の提出。ただし、一般共同研究及び研究集会については、研究代表者から申請書を提出してください。
4. 研究期間： 一般共同研究は、平成11年4月から平成12年2月まで
特別共同研究は、平成11年4月から平成13年3月まで
研究集会は、平成11年4月から平成12年2月まで
5. 申請期限： 平成10年12月11日（金）
6. 問い合わせ先：
〒611-0011 宇治市五ヶ庄
京都大学防災研究所総務課研究助成掛
TEL：0774-38-4010

賛 助 会 員

阿 部 嘉 方	東京都練馬区春日町2-15-6
アレック電子株式会社	兵庫県神戸市西区井吹台東町7-2-3
株式会社 イーエムエス	兵庫県神戸市中央区多聞通3-2-9
株式会社 内田老鶴圃 内 田 悟	東京都文京区大塚3-34-3
有限会社 英和出版印刷社	東京都文京区千駄木4-20-6
株式会社 カイジョウ	東京都西多摩郡羽村町栄町3-1-5
(財)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	東京都太田区大森本町2-31-8
ケー・エンジニアリング株式会社	東京都台東区浅草橋5-14-10
三洋測器株式会社	東京都渋谷区恵比寿南1-2-8
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
テラ株式会社	東京都世田谷区代田3-41-8 代田ウエスト5F
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
(株)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
日本海洋株式会社	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
渡辺機開工業株式会社	愛知県渥美郡田原町神戸大坪230
株式会社 渡部計器製作所	東京都文京区向丘1-7-17



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

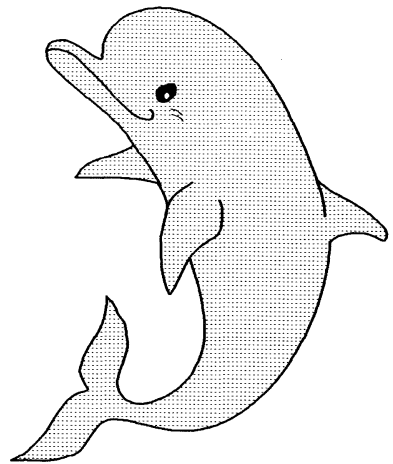
〒288 千葉県銚子市三軒町2-1 TEL 0479(22)7555 FAX 0479(22)3538

● 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

街をきれいにしてイルカ?

事業内容

- 産業廃棄物、一般廃棄物の収集運搬処理
- 各種槽、道路、側溝の清掃
- 上下水道、排水処理施設運転管理
- 下水道管内TVカメラ調査
- 総合ビル管理
- その他上記に付随する一切の業務



 **株式会社 春海丸工営**

本社 〒312 茨城県ひたちなか市長砂872-4 ☎029-285-0786 FAX285-7519
 銚子支社 〒288 千葉県銚子市長塚町6-4490-1 ☎0479-22-4733 FAX22-4746
 水戸支社 〒310 茨城県水戸市中央 2-2-6 ☎029-226-9639 FAX226-9855

Chelsea Instruments

(Chelsea社は、曳航式CTD計の専門メーカーです。)

Aquashuttle/Aquapack

曳航器・アクアシャトル

最適航速 8-20ノット

アーマードケーブルでリアルタイム測定可

CTD ロガー・アクアパック

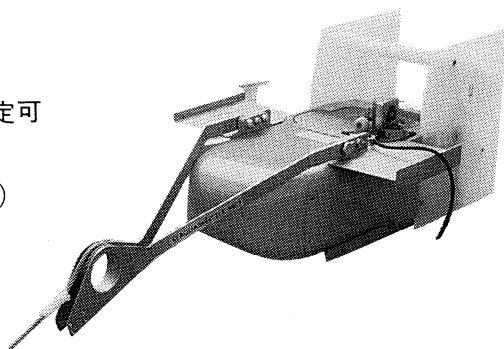
電導度 1~55mS/cm (0.01mS/cm)

温度 -2~32°C (0.005°C)

深度 0~200m

蛍光光度 0.01 μ g~100 μ g/l

メモリー 50,000データ (標準)



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5-14-10

TEL 03-5820-8170

FAX 03-5820-8172

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					
ローマ時		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	会費	あて名	学会
	原簿	原簿	カード	記事

入会申込書送付先：〒150-0013 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 (1998-1999)

委員長：山口征矢

委員：青木三郎，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. R. PARSONS (カナダ)

幹 事：落合正宏，佐藤博雄

投 稿 の 手 引

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

1998年9月25日印刷
1998年9月28日発行

う み

第36巻
第2号

定 価 ￥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：150-0013
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 (有)英和出版印刷社
東京都文京区千駄木4-20-6
郵便番号：113-0022
電 話：03 (5685) 0 6 2 1

Tome 36 N° 2

SOMMAIRE

Notes originales

Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Gulf of Thailand
.....Tetuo YANAGI and Toshiyuki TAKAO 43

Cephalopods eaten by pelagic fishes in the tropical East Pacific,
with special refrence to the feeding habitat of pelagic fish
.....Kotaro TSUCHIYA, Hiroaki OKAMOTO and Yuji UOZUMI 57

Study on the working simulation of suspended perpetual engine
(in Japanese)Shigeki KAMETANI and Sadami YADA 67

Procès-verbaux 75

第 36 卷 第 2 号

目 次

原著論文

タイランド湾における三次元循環流の季節変動 (英文)
.....柳 哲雄・高尾敏幸 43

熱帯東太平洋の浮魚類胃内容から得られた頭足類, 及び
浮魚類の摂餌生態 (英文)
.....土屋光太郎・岡本浩明・魚住雄二 57

疑似永久機関の作動シミュレーション 龜谷茂樹・矢田貞美 67

学会記事 75