

# La mer

う み

1999年11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 1998 et 1999)

*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 in water quality at the northern coast of Karawang-West Java, Indonesia

Suhendar I SACHOEMAR\* and Tetsuo YANAGI\*\*

**Abstract :** Observation of seasonal variation in water quality at the northern coast of Karawang-West Java was conducted during the wet and dry seasons. The observation was focused on the monitoring of physical, chemical and biological characteristics through the season. Water quality was found to be mainly associated with seasonal change of precipitation and wind-driven current. An indication of water quality degradation toward to the eutrophication is obviously visible in the wet season by indicating high concentration of chlorophyll-*a* ( $>4.0 \mu\text{g}/\ell$ ) at the area adjacent the coastal line. High precipitation in the wet season has affected on the excessive discharge of the organic waste with high level of DIN and  $\text{PO}_4$ , and it caused the enrichment of the coastal water. The residual agriculture and aquaculture organic waste were suspected to be main source of water quality deterioration in the observation area.

**Key words :** *seasonal variation, water quality, northern coast of Karawang.*

### 1. Introduction

The northern coast of Karawang, West Java is situated at 60 km of east Jakarta in the northern part of West Java (Fig.1). The land area mostly comprised of the rice field. Due to the potentiality, since 1985 land area along the shoreline has been gradually converted into shrimp pond with an intensification system. On the early stage, this system had provided a great contribution on shrimp production for the region with the average production rate of 4 ton/ha. However, after one decade, the production dramatically decreased less than 1.5 ton/ha. Rapid development of shrimp culture within this region and uncontrolled utilization of foodstuff as well as agriculture medicines and chemicals supplied an appreciable pollution and caused the degradation of water quality in the coastal water. This water quality

deterioration ultimately generated a various diseases (PHILLIPS *et al*, 1993) threatening a shrimp live since the early stage of the cultivation to the pre-harvest stage.

To overcome such environmental deterioration in this region and to preserve the area for sustainable development, an integrated coastal management by introducing an innovative advanced science and technology is necessary to be established. The occurrences of water quality degradation due to the expansion of an intensive shrimp culture in the several areas have been reported (PILLAY, 1992; FLAHERTY and KARJANAKESORN, 1995; CHUA, 1993; GOWEN and ROSENTHAL, 1993), but for the northern coast of Karawang it is still very limited. Since the performance of shrimp culture yield is considered to be a problem within this region, a systematic understanding of water quality status in different seasons is important to be clarified in order to provide a better and proper management of shrimp culture in the future. As a part of this object, our paper describes a seasonal variation of water quality based on a physical, chemical and biological characte-

\* Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyusyu University, Kasuga 816-8580, Japan

\*\* Research Institute for Applied Mechanics(RIAM), Kyusyu University, Kasuga 816-8580, Japan

ristics in the wet and dry seasons as a basic information to improve shrimp culture management within the northern coast of Karawang.

**2. Observation**

Observations to obtain a series of water quality data in the wet and dry seasons were conducted by using a small boat. The surface water sampling using a plastic bucket and direct measurement of some physical parameters (water temperature, transparency and salinity) in the wet season were carried out at 07 am–03 pm (flood tide) on 5 April and 07 am–03 pm (ebb tide) on 8 April 1993. Tidal range on 5 April was 70 cm and that on 8 April 80 cm.

While in the dry season, the similar activities were also conducted at 07 am–03 pm (ebb tide) on 5 August and 07 am–03 pm (flood tide) on 9 August 1993. Tidal range on 5 August was 60 cm and that on 9 August 80 cm. The study area is located at the Northern Coast of Karawang-West Java with the geographical position 6° 03' 00"–6° 11' 00" south and 107° 22' 00"–107° 22' 30" east. The sampling stations consist of 13 stations in the coastal water and 9 stations at the river and shrimp pond in the land area (Fig. 1).

Water temperature was directly measured in the field by thermometer, salinity by salinometer and transparency by Secchi disk. Chemi-

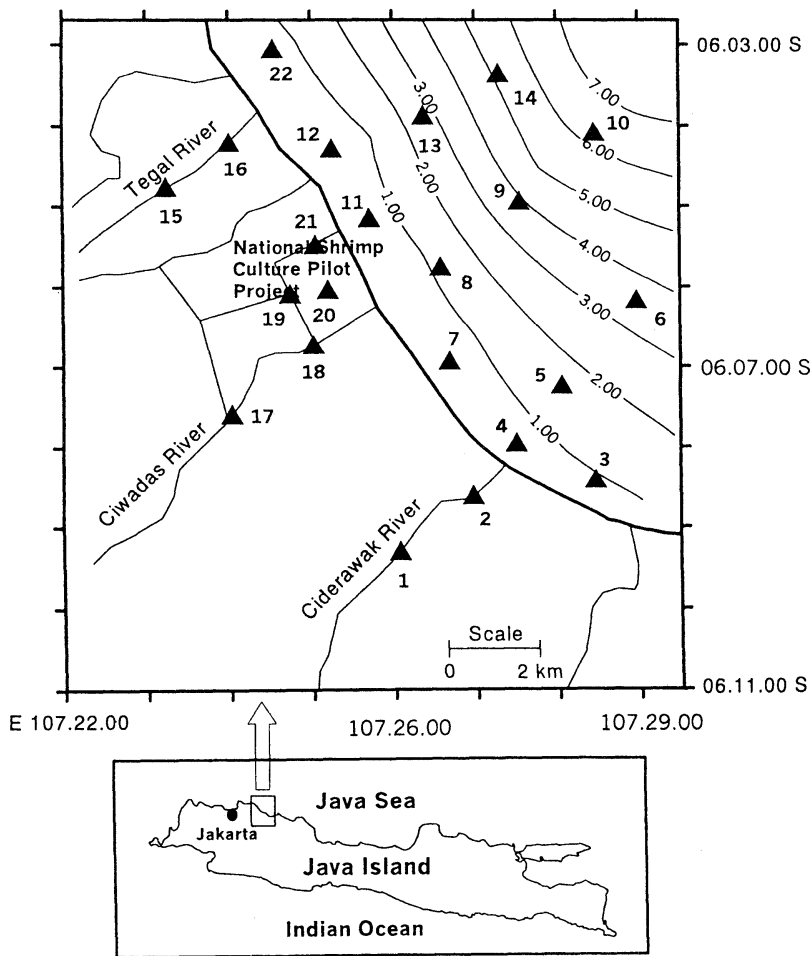


Fig. 1. Observation area, sampling stations and depth contour (in meters) of the northern coast of Karawang-West Java.

cal and biological parameters were measured in the laboratory. Total suspended solid (TSS) was measured by gravimetric method, dissolve oxygen (DO) by winkler method, dissolve inorganic nitrogen (DIN) composed of nitrate, nitrite and ammonium were measured by spectrophotometric method as well as phosphate ( $\text{PO}_4$ ) and chlorophyll-*a* (PARSONS *at al*, 1984). The averaged date derived from flood and ebb tide measurements of each season were then analyzed to obtain an information of seasonal variation of water quality. The simple cluster analysis was also employed to clarify the effect of seasonal change of weather on the water quality (MAGURRAN, 1988).

### 3. Results

#### 3.1. Physical parameters

As shown in Fig. 2, the surface water temperature in the wet season, which is averaged from flood and ebb tide observation, is relatively higher than that in the dry season.

The surface water temperature in the wet season and that in the dry season are within a range of 30.5 to 32°C and 29.5 to 31°C, respectively. Water temperature in the northwestern part is higher than that in other parts in the wet season, while water temperature in the northeastern part is higher than that in other parts in the dry season. In the contrary, salinity in the wet season is lower than that in the dry season. Salinity in the wet season is within a range of 13.00 to 23.00 psu and that in the dry season is within a range of 23.00 to 27.00 psu. Surface water density governed by temperature and salinity in the wet season is also lower than that in the dry season with the value within a range of 3.0 to 13.0. While that in the dry season is within a range of 11.0 to 15.0.

Water transparency in the wet season is lower than that in the dry season as shown in Fig. 3. Water transparency in the wet season is within a range of 10 to 60 cm for coastal water and 5 to 34 cm for land area. In the dry season, water transparency is within a range of 20 to 110cm for coastal water and 9 to 68 cm for land area. On the other hand, total suspended solid (TSS) concentration in the wet season is higher than that in the dry season. TSS concentration of coastal water and land area in the wet

season is within a range of 2.60 to 3.40 g/l and 1.72 to 2.96 g/l, respectively. In the dry season, TSS concentration is within a range of 0.40 to 2.40 g/l for coastal water and 0.50 to 1.43 g/l for land area.

#### 3.2. Chemical parameters

As shown in Fig. 3, dissolved oxygen (DO) concentration indicated the characteristic pattern in both seasons, e.g. it is high at the front of shrimp pond. In the wet season, DO concentration is relatively higher than that in the dry season. DO concentration is within a range of 5.70 to 6.30 mg/l for coastal water and 3.82 to 7.85 mg/l for land area in the wet season. In the dry season, DO concentration is within a range of 5.60 to 6.20 mg/l and 3.42 to 8.04 mg/l for coastal water and land area, respectively.

Dissolved inorganic nitrogen (DIN) derived from nitrate plus nitrite and ammonium, and phosphate ( $\text{PO}_4$ ) distributions are shown in Fig. 4. DIN concentration of coastal water is within a range of 0.80 to 0.95 mg/l in the wet season and 0.75 to 0.95 mg/l in the dry season. DIN concentration of land area in the wet season is within a range of 1.33 to 2.07 mg/l and 0.75 to 1.40 mg/l in the dry season. Higher concentration of DIN in the wet season is distributed more widely than that in the dry season with the highest concentration to be appeared in the area along the coastal line.  $\text{PO}_4$  concentration of coastal water is within a range of 0.36 to 0.41 mg/l in the wet season and 0.35 to 0.40 mg/l in the dry season. While in land area,  $\text{PO}_4$  concentration is within a range of 0.41 to 0.59 mg/l in the wet season and 0.38 to 0.51 mg/l in the dry season.

#### 3.3. Biological parameters

Chlorophyll-*a* as one of the marine algal's pigments is important in order to understand the marine algal's status in relation to the environment condition in the certain area. Seasonal variation of this pigment will also provide an information of the water quality status. As shown in Fig. 4, chlorophyll-*a* distributions are drastically different in seasons. In the wet season, chlorophyll-*a* concentration is within a range of 3.50 to 6.00  $\mu\text{g/l}$  for coastal water and

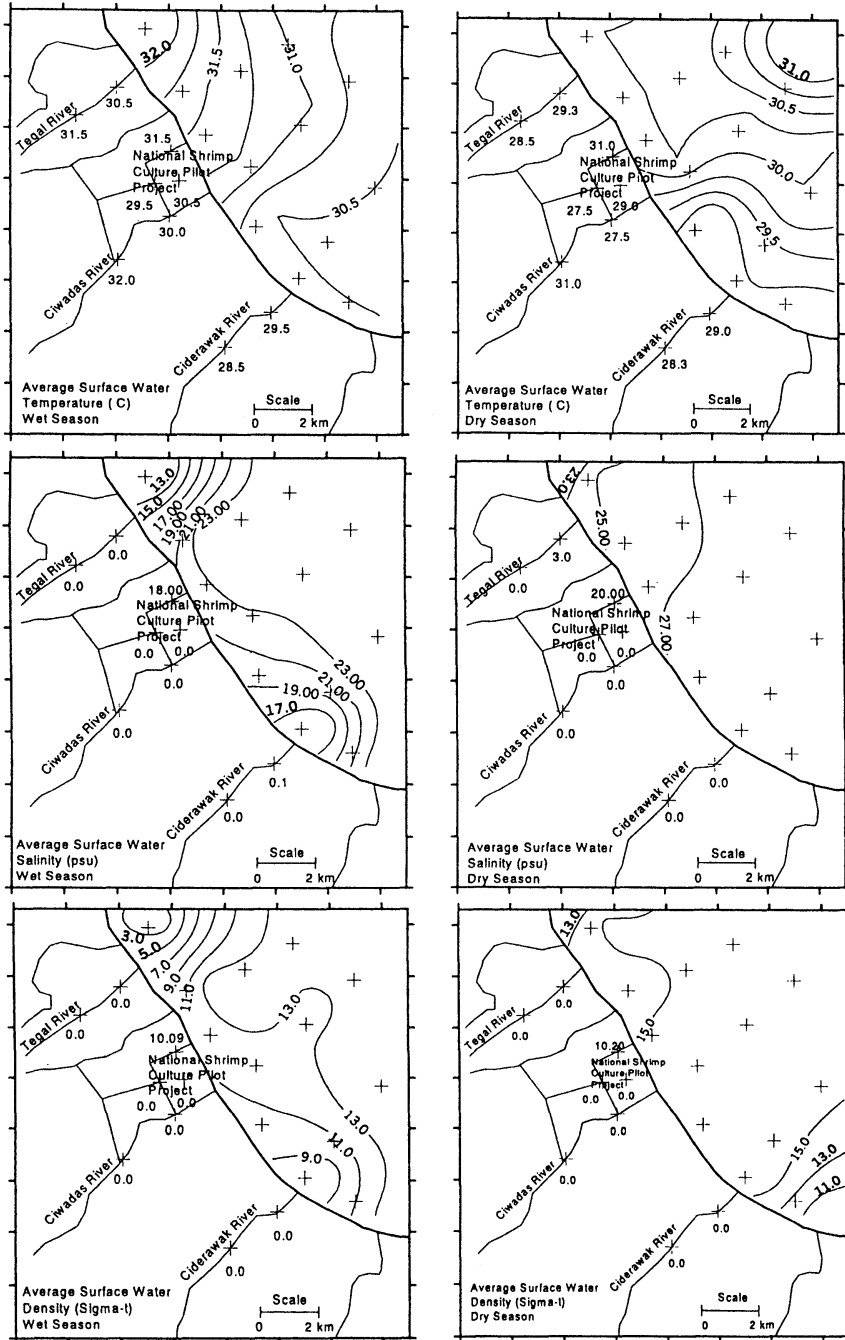


Fig. 2. Surface water temperature (°C), salinity (psu) and density (sigma-t) in the wet (April 1993) and dry (August 1993) seasons.

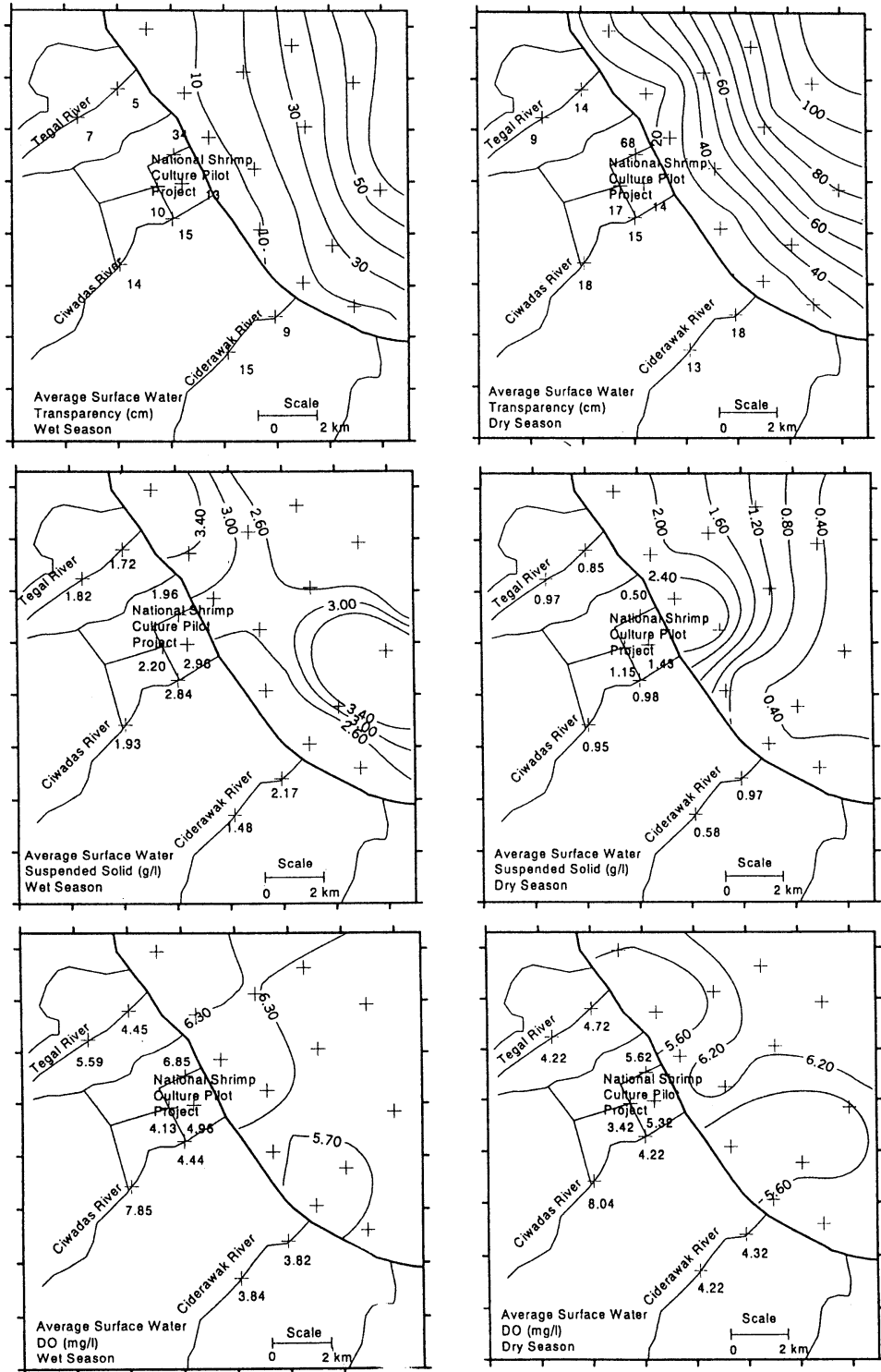


Fig. 3. Surface water transparency (cm), total suspended solid (g/l) and dissolved oxygen (mg/l) in the wet (April 1993) and dry (August 1993) seasons.

0.60 to 2.90  $\mu\text{g}/\ell$  for land area. However, in the dry season, chlorophyll-*a* concentration is extremely low within a range of 0.30 to 0.55  $\mu\text{g}/\ell$  for coastal water and 0.10 to 0.90  $\mu\text{g}/\ell$  for land area. A high discharge in the wet season has increased the DIN and  $\text{PO}_4$  load into the river body and generated an algal bloom. It is obviously visible in the vicinity area of the Ciderawak, Ciwadas and Tegal rivers where chlorophyll-*a* concentrations are higher than those in other areas.

#### 4. Discussion

The northern coast of Karawang as a coastal zone area is one of common areas in the world, where the environmental conditions are affected by the terrestrial and marine environmental conditions. As a tropical area where the seasonal change between the wet and dry seasons strongly influences the environmental situation, terrestrial and marine conditions are also responsible on the environmental status. Their influences indicated the different situation of the water quality between those seasons. In the wet season, surface water temperature was relatively higher than that in the dry season. It may be due to stronger solar radiation and higher air temperature in the wet season. Though there is no data of solar radiation and air temperature in 1993, we have an average data of 1931–1960 for Jakarta area obtained from Indonesian Meteorological Agency as shown in Fig. 5. We suppose that the solar radiation and air temperature in April 1993 was stronger than that in August 1993 and this is the primary reason why the sea surface water temperature in April 1993 was a little higher than that in August 1993. The similar situation was also reported by SETIAPERMANA *et al* (1992) where the sea surface water temperature in the wet season is relatively higher than that in the dry season. Nevertheless, more detailed investigation to confirm such situation has to be continued by measuring supported parameters such as heat flux.

Surface water salinity in the wet season (April 1993) as well as its density is relatively lower than that in the dry season (August 1993). As shown in Fig. 2, the salinity and density level in the area near the mouth of

Ciderawak, Tegal and Ciwadas rivers are lower than those in other areas of the coastal water. The influence of river discharge caused the dilution of salinity and density level. This situation occurred due to the high precipitation level in the wet season as shown in Fig. 5.

The effect of seasonal variation of precipitation on the water turbidity and transparency was clearly visible in Fig. 3. The total suspended solid (TSS) concentrations in both coastal water and land area in the wet season are higher than those in the dry season. It is occurred due to a presence of high discharge in the wet season. Higher concentration is found at the area along the shoreline as well as the mouth of rivers and front of the National Shrimp Culture Pilot Project. Near the mouth of Tegal's river TSS concentration reaches 3.40  $\text{g}/\ell$ . In the dry season, the effect of land water on TSS concentration was also obviously visible at the front area of the National Shrimp Culture Pilot Project which is reach 2.40  $\text{g}/\ell$ . In this case, the alteration of the turbidity level was particularly due to the obstruction of wind-driven current which carried the particulate matter by seawater drainage in front of the National Shrimp Culture Pilot Project. This facility was constructed to intake clear seawater from the area up to 1.5 km in the coastal water. The wind-driven current in this area flows southeastward in the wet season and northwestward in the dry season as shown in Fig. 5.

In addition, a high load of TSS due to high discharge in the wet season affected on water transparency and dissolve oxygen (DO) concentration. As shown in Fig. 3, water transparency is lower in the wet season than that in the dry season. The increasing of turbidity level has caused the reduction of water transparency, but it seems to undisturbed the photosynthetic activity. This situation was obviously visible on DO concentration, that is, DO concentration in the wet season is higher than that in the dry season. The increasing of total suspended solid (TSS) in the wet season followed by increasing dissolved inorganic nitrogen (DIN) and  $\text{PO}_4$  concentration has caused the enrichment of coastal water and it generated an algal's bloom. As shown in Fig. 4, chlorophyll-*a* concentration extremely increased in



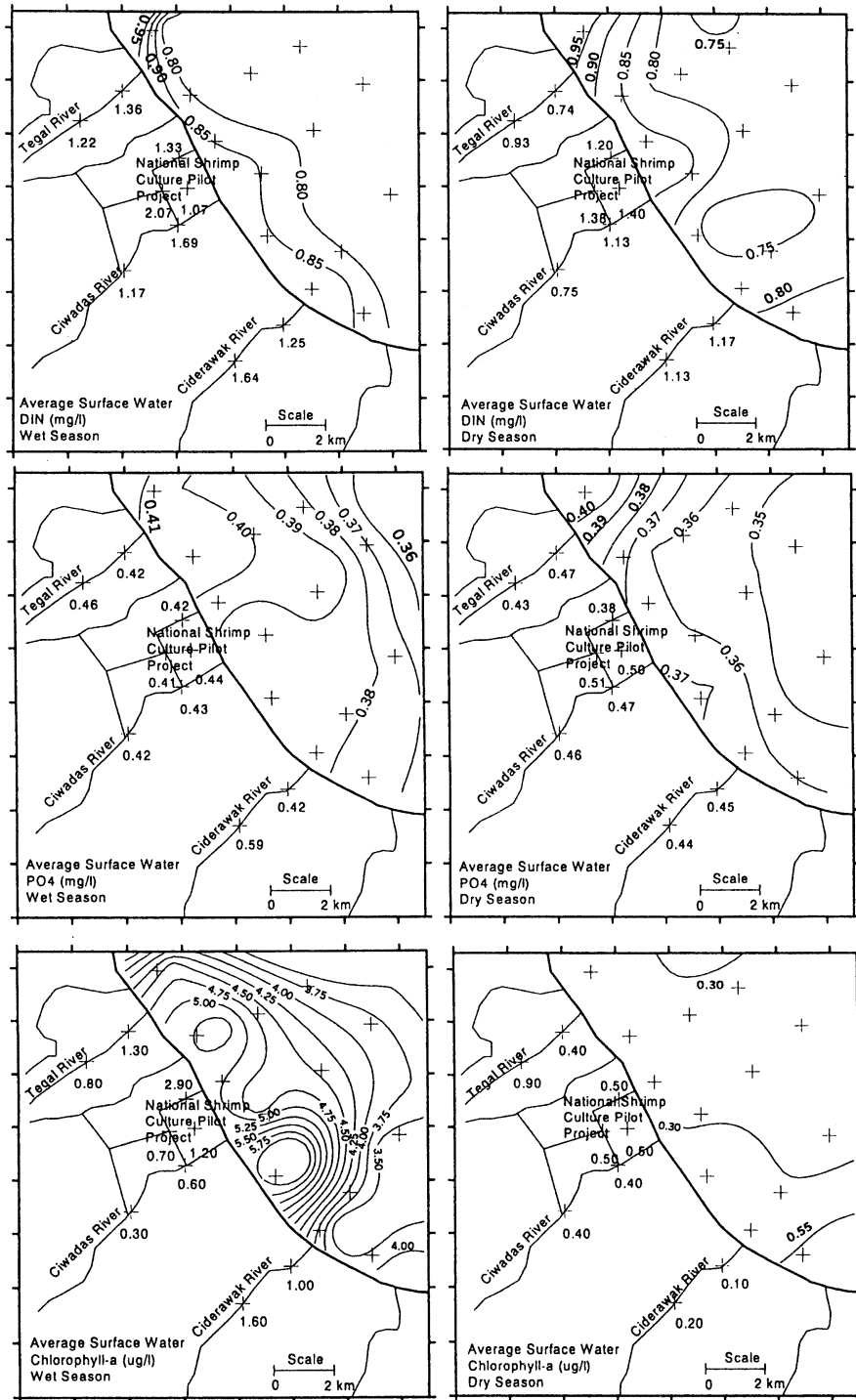


Fig. 4. Surface water DIN (mg/l), PO<sub>4</sub> (mg/l) and chlorophyll-a (µg/l) in the wet (April 1993) and dry (August 1993) seasons.

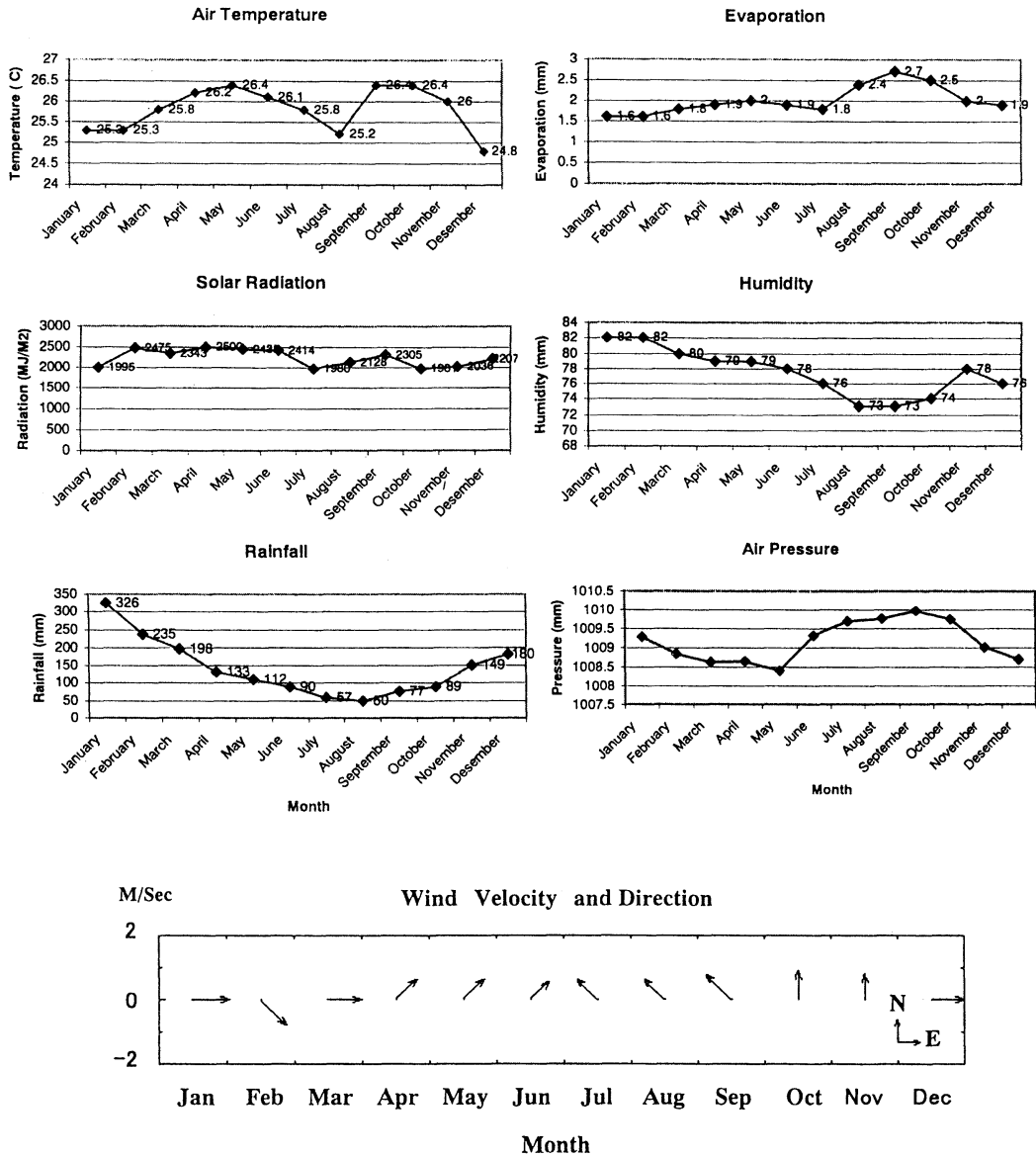


Fig. 5. Profile of meteorological condition (Air Temperature, Solar Radiation, Evaporation, Humidity, Rainfall, Air Pressure, Wind Direction and Wind Velocity) for Jakarta area derived from the data in 1931-1960 (Data Source: Indonesian Meteorological Agency).

the wet season. For the coastal water, the alteration even reached more than 10 times compared to the dry season, but slightly for the land area. In this situation, the photosynthetic activity was excessively strengthened and the DO concentration in the surface water became high. These results have indicated that there is

a strong correlation among the river discharge, TSS, PO<sub>4</sub>, DIN and chlorophyll-*a* concentrations with seasonal variation and the effluents of residual organic waste from the rice field and shrimp pond are suspected to be main sources of water quality deterioration.

Meanwhile, to ascertain a seasonal change of

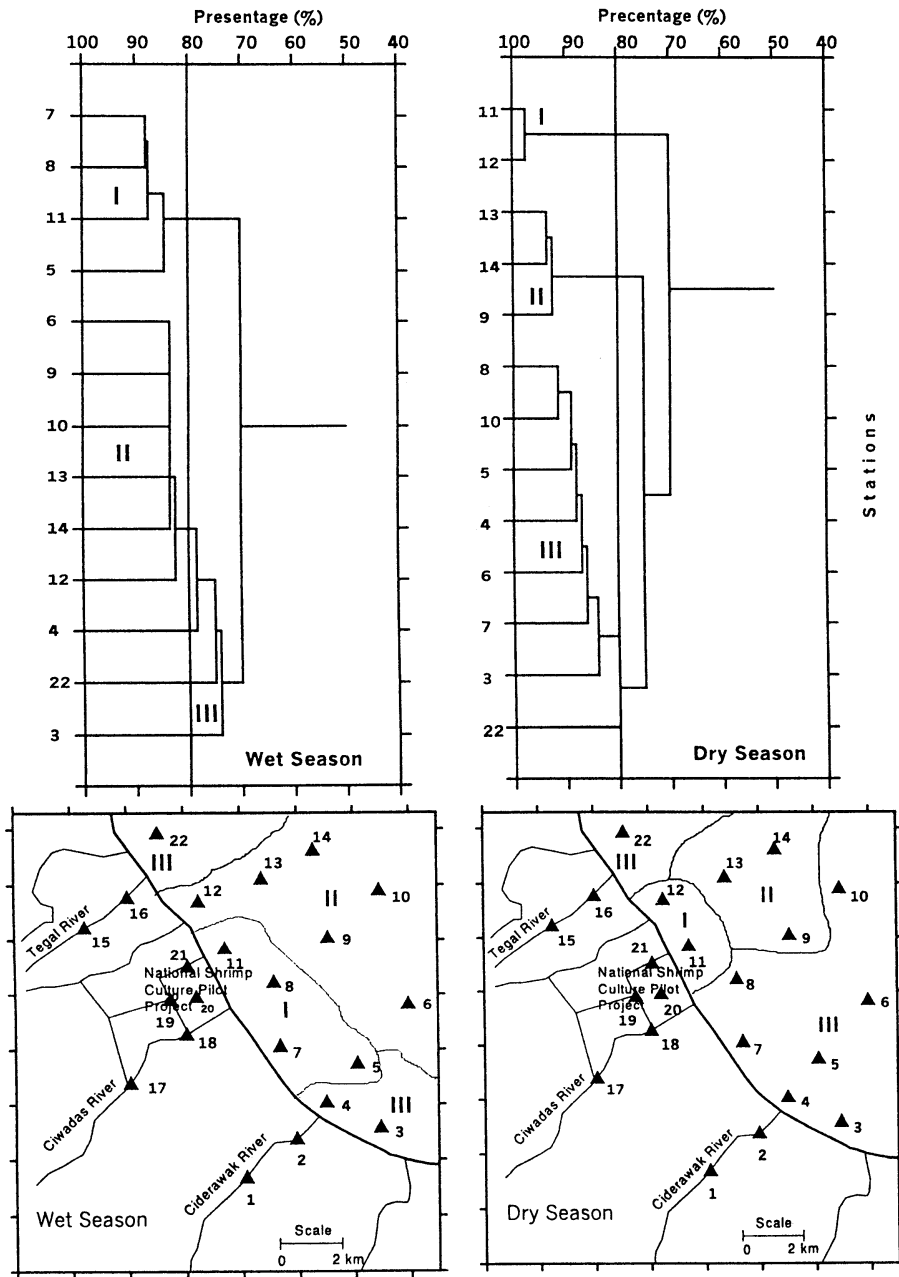


Fig. 6. Cluster diagram (above) and plot (below) of the sampling stations similarities in the wet (left, April 1993) and dry (right, August 1993) seasons based on physical, chemical and biological characteristics.

the water quality in the observation area, a simple cluster analysis was employed based on physical, chemical and biological characteristics. The result is shown in Fig. 6. The coastal water within this region can be grouped into three according to the index similarity at level 80%. There is a strong effect of the seasonal variation on the coastal water environment. In the wet season, the great effects of freshwater discharge are seen at the mouth of Ciderawak, Ciwadas and Tegal rivers as well as the flows of shrimp pond effluent. Those magnitudes are varied to the location. The combined effect of both Ciwadas discharge and shrimp pond are shown in Group I, which reaches 3 km away from the shoreline. Its influence extends to the eastern part covering four stations (Stations 5, 7, 8 and 11). The eastward movement of Group I occurred due to the wind-driven current affected by the Northwest Monsoon in the wet season as shown in Fig. 5. Meanwhile, Group II covering the six remaining stations are the intermediate water mass mixed of both the terrestrial and marine environment.

The inverse situation was clearly presented in the dry season where the rivers outflow was not visible, except the outflow of shrimp pond (Stations 11 and 12). The absence of rivers outflow is due to the low precipitation in the dry season. In this season the effect of marine environment is more dominant. The westward wind-driven current due to the Southwest Monsoon was obviously visible by extending of Group III covering 8 stations. On the other hand, the coverage of Group I was also moved to westward in the dry season. Because the activity of shrimp cultivation does not depend on the season, the effect of the organic waste effluent from the shrimp pond to the coastal water was clearly visible from the movement of Group I.

## 5. Conclusion

Water quality in the northern coast of Karawang is strongly affected by seasonal variations of precipitation and wind-driven current.

1. High precipitation and river discharge in the wet season caused salinity and density levels lower than those in the dry season. They also caused TSS, DO, DIN, PO<sub>4</sub> and chlorophyll-*a*

concentration higher, and the opposite for water transparency.

2. The occurrence of the excessive enrichment at the coastal water due to the high load of residual agriculture and aquaculture organic waste, which is indicated by an algal's bloom in the wet season, caused the water quality toward deterioration. A limitation of the utilization of the organic matter, fish food and chemicals as well as aquaculture management is recommended to recover the water quality and the coastal environment for sustainable development.
3. The cluster analysis shows the effect of shrimp pond by the eastward spreading of Group I in the wet season due to the Northwest Monsoon wind-driven current.

Because of the high potentiality of the observation area for the advanced agriculture and aquaculture in the future, long term investigation covering physical, chemical and biological parameters is necessary to be established. Detailed information regarding material transport and its mechanism within the season will be valuable to advice a better management and utilization of this coastal area.

## Acknowledgements

The authors wish to express thanks to Dr. S.M. VARLAMOV of RIAM-Kyushu University for his contribution in providing a base map data of Java Island.

## References

- CHUA, Thia-Eng. (1993) : Environmental Management of Coastal Aquaculture Development, p.199-212. *In* PULLIN, R.S.V., H. ROSENTHAL and J.L. MACLEAN (eds.) Environment and Aquaculture in Developing Countries. ICLARM Conf. Proc. 31, 359p.
- GOWEN, R. J. and H. ROSENTHAL. (1993) : The Environmental Consequence of Intensive Coastal Aquaculture in Developing Countries: What Lessons Can Be Learnt, pp. 102-115. *In* PULLIN R.S.V., H. ROSENTHAL and J. L. MACLEAN (eds.) Environment and Aquaculture in Developing Countries. ICLARM Conf. Proc. 31, 359p.
- FLAHERTY, M. and C. KARNJANAKESORN (1995) : Marine Shrimp Aquaculture and Natural Resources Degradation in Thailand. *In* : Environmental Management Vol.19, No.1, 27-37.
- MAGURRAN, A. E. (1988) : Ecological Diversity and Its

- Measurement. Princeton University Press. 179pp.
- PARSONS, T. R., Y. MAITA and C. M. LALLI (1984) : A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon press, 179 pp.
- PHILLIPS, M. J., C. Kwe LIN and M.C.M. BEVERIDGE. (1993) : Shrimp Culture and the Environment : Lesson from the World's Most Rapidly Expanding Warmwater Aquaculture Sector, p.171 - 197. *In* : PULLIN, R.S.V., H. ROSENTHAL and J. L. MACLEAN (eds). Environment and Aquaculture in Developing Countries. ICLARM Conf. Proc. 31, 359P.
- PILLAY, T.V.R. (1992) : Aquaculture and the Environment. Fishing News Books, Oxford, England, 189pp.
- SETIAPERMANA, D., SANTOSO and S. H. RIYONO. (1992) : Chlorophyll Content in Relation to physical Structure in East Indian Ocean. *Osenologi Indonesia*. 25 : 13-29.

*Received May 28, 1999*

*Accepted July 30, 1999*

## Freshwater discharge of Bangpakong River flowing into the inner Gulf of Thailand

Thanomsak BOONPHAKDEE\*, Pichan SAWANGWONG\* and Tateki FUJIWARA\*\*

**Abstract :** Bangpakong River debouches into the northeastern corner of the inner Gulf of Thailand. Monthly discharge of this river at its mouth was estimated during the water years of 1993-1996. The discharge is highly seasonal with the highest peak of  $1152 \text{ m}^3\text{sec}^{-1}$  and lowest peak of  $8 \text{ m}^3\text{sec}^{-1}$  appearing in September and February, respectively. The averaged annual discharge is  $267 \text{ m}^3\text{sec}^{-1}$ . The Bangpakong catchment basin consists of mountain and plain areas. The ratio of discharge to precipitation yield is 0.30 in the mountain area and only 0.09 in the plain area.

**Key words :** *river discharge, Bangpakong River, Bangpakong Estuary, precipitation, troical rivers, Thailand*

### 1. Introduction

Estuaries are one of the most productive and sensitive systems. They form an essential link between marine and river ecosystems (SMITH *et al.*, 1997). Their importance has been recognized in terms of carbon fixation, fisheries habitat, nutrient assimilation, sediment stabilization and so on. This might be due to the fact that estuaries are dynamic systems which sustain extreme changes (BABAN, 1997).

However, almost every estuarine study has been focused on the estuaries in mid latitudes. There are large rivers in tropical latitudes between southeast Asia and Australia that supply large amount of freshwater to the ocean. Flow of those rivers exhibit remarkably seasonal variations as a result of monsoon cycle. These variations influence on the continental region around Malaysia, Indonesia and Gulf of Thailand (SIMPSON, 1997). Consequently, nutrients transported into estuarine and coastal waters exert occasional and transient impacts on

phytoplankton productivity.

The freshwater discharge from the Bangpakong River delivers dissolved nutrients into the inner Gulf of Thailand and occasionally causes phytoplankton blooms (BOONPHAKDEE *et al.*, 1997). We have been conducting a long-term monitoring program for this estuary since 1995 in order to understand chemical, physical and biological characteristics of this estuary as well as to detect trend in water quality variation. Although we have measured concentration of nutrient to estimate nutrient load from the river but river discharge data are unavailable. At the river mouth there is no hydrographic station which continuously records river discharge data.

In this paper, we estimate fresh water discharge of Bangpakong River at its mouth from continuously collected discharge data in the upstream watersheds and study the relationship between the discharge and precipitation.

### 2. Description of the study area and analysis method

Bangpakong River (Lat. 13 degree N, Long. 100.5 degree E) is one of four main rivers draining into the inner Gulf of Thailand (Fig. 1). This river gathers water from Nakhon Nayok

\* Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20131, Thailand

\*\* Fisheries and Environmental Oceanography, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

River and Prachinburi River and debouches into the northeastern corner of the Gulf. The length, mean depth and area of catchment basin of this river are about 240 km, 4 m (SOJISUPORN and JIRASILERT, 1991) and 19,786 km<sup>2</sup> (this study). River discharges are measured at various stations in the catchment basin by Royal Thai Irrigation Department. Details of each station are listed in Table 1. The discharges of Bangpakong River and its tributaries are highly seasonal due to the influence of monsoon.

Bangpakong catchment basin is divided into mountain and plain areas (Royal Thai Survey, 1966). The mountain area occupies the northern part of the catchment basin and includes some parts of Kao Yai and Tub Lan National Parks, which are well-reserved forest in average altitude of 600m. KGT14, KGT15A, KGT27, NY1B and NY3 watersheds cover whole mountain area and have a total area of 1,663km<sup>2</sup>. A

sum of discharges from the mountain area is denoted by  $Q_0$ .

The rest of the catchment basin, the plain area, has an area of 18,123 km<sup>2</sup> and mean altitude of 80 m. This area adjoins the watershed of Chao Praya River to the west. There are many canals around the divide line for irrigation purposes, therefore, decision of the divide line accompanies some ambiguities. Vast majority of the plain area is used as agricultural area (Land Development Department, 1996). The river receives many kinds of anthropogenic loadings, such as domestic and agricultural wastes from municipal communities and farms (BOONPHAKDEE *et al.*, 1997). KGT10, KGT12, KGT18 and KGT19 watersheds are included in the plain area and cover upstream and mid-stream parts. We denote a sum of discharges from these watersheds and sum of areas as  $Q_1$  and  $S_1$  (5,549 km<sup>2</sup>), respectively. In downstream and plain area, there is a land

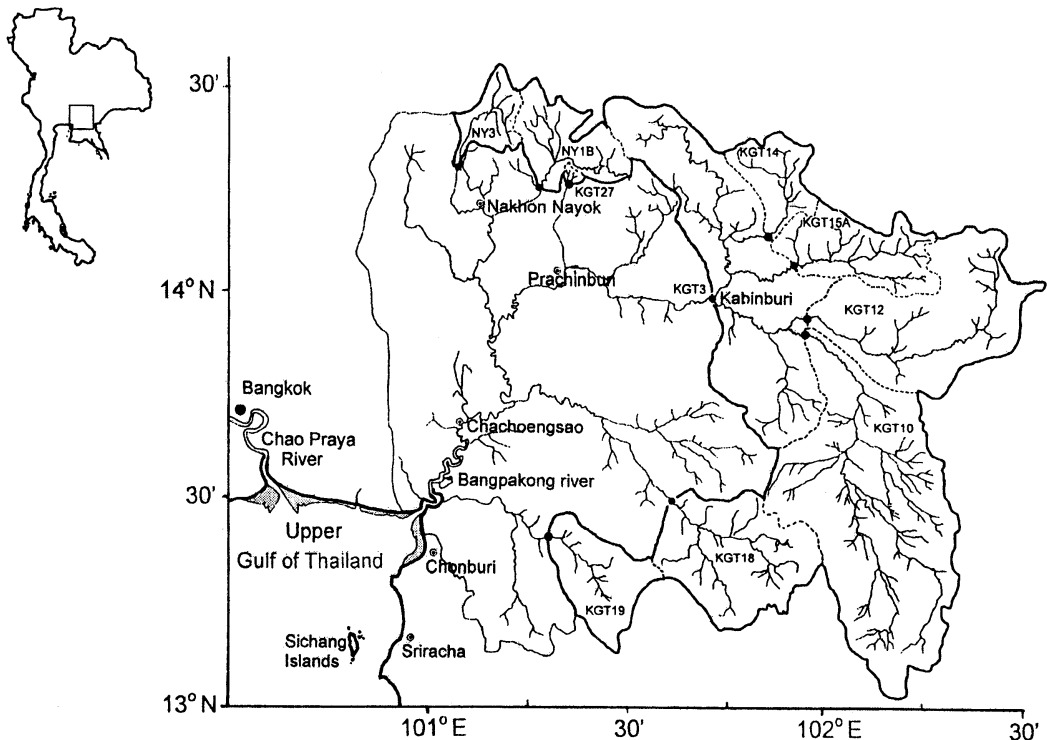


Fig. 1. Map of watershed areas of Bangpakong catchment basin. The area surrounded by thick line indicates an area where discharge data are available. Details of each watershed are listed in Table 1.

where discharge data is unavailable. We, therefore, estimated discharge from this non-data area ( $Q_2$ ) from  $Q_1$  by using equation

$$Q_2 = S_2 Q_1 / S_1 \quad (1)$$

where  $S_2$  (10,031 km<sup>2</sup>) is an area of the non-data area. We assumed  $Q_2/S_2$  as equal to  $Q_1/S_1$ .

Then, the discharge of Bangpakong River at the mouth ( $Q_3$ ) is obtained as a sum of measured discharges and estimated  $Q_2$ . Most measured discharge values used in this study are monthly data from the water years from 1993 to 1996, though the data of KGT18 and KGT19 watersheds are long-term data of the water years 1965–1996. All discharge data in this study are supported by Royal Thai Irrigation Department.

In this paper we used water year instead of the calendar year. In general, water year begins and ends in a relatively dry season. It is used for hydrological statistics. The water year of Thailand which is used in this paper begins on April 1 and ends on March 31 of the following calendar year. For example, the water year 1993 is the period covering from April 1, 1993 to March 31, 1994.

### 3. Results and discussion

Distribution of long-term mean annual precipitation in and around the Bangpakong catchment basin is presented in Fig. 2. The annual precipitation in this basin varies from 1200mm/year in the southwestern part and

northeastern corner to 1600mm/year in the northern mountain area. However, the difference in precipitation values between the mountain and plain areas is rather small which averaged annual precipitation in the mountain and plain area are 1600 and 1400mm/year, respectively. Figure 3 shows monthly variation of the precipitation in Bangpakong catchment basin. About 90% of the annual rainfall occurs between May and October with highest peak in September, and the rest of the rain falls between November and April with the lowest value in December and January.

To indicate the relationship between precipitation and river discharge in the mountain area, we present in Fig. 4 the monthly precipitation at Ban Tap Lan and corresponding discharge from KGT14 watershed. Precipitation increases from April to September and rapidly decreases in October. Following this variation, the river discharge begins to increase in May, and attains its peak value in September before rapidly decreases in October. The ratio of the annual amount of discharge to annual precipitation yield which is a product of the precipitation and the area of watershed is 0.30.

Monthly precipitation and discharge in the plain area obtained by long-term average values for KGT18 and KGT19 is shown in Fig. 5. Though precipitation and discharge attain their peak values in September, river discharge delays significantly to the precipitation, especially at the beginning and the end of rainy

Table 1. Area and classification in each watershed of Bangpakong catchment basin.

Station name	Watershed area	Area (km <sup>2</sup> )	Classification
Krabinburi	KGT3	7,502	Plain/mountain
Ban Wang Khian	*KGT10	2,523	Plain
Ban Kaeng	*KGT12	1,540	Plain
Ban Thung Faek	*KGT14	366	Mountain
Ban Kaeng Din So	*KGT15A	530	Mountain
Ban Tha Kloi	KGT18	951	Plain
Ban Mai	KGT19	535	Plain
Ban Klong Yang	KGT27	45	Mountain
Ban Kao Nam Buat	NY1B	519	Mountain
Ban Pa Kha	NY3	203	Mountain

\*are sub-area of KGT3 watershed



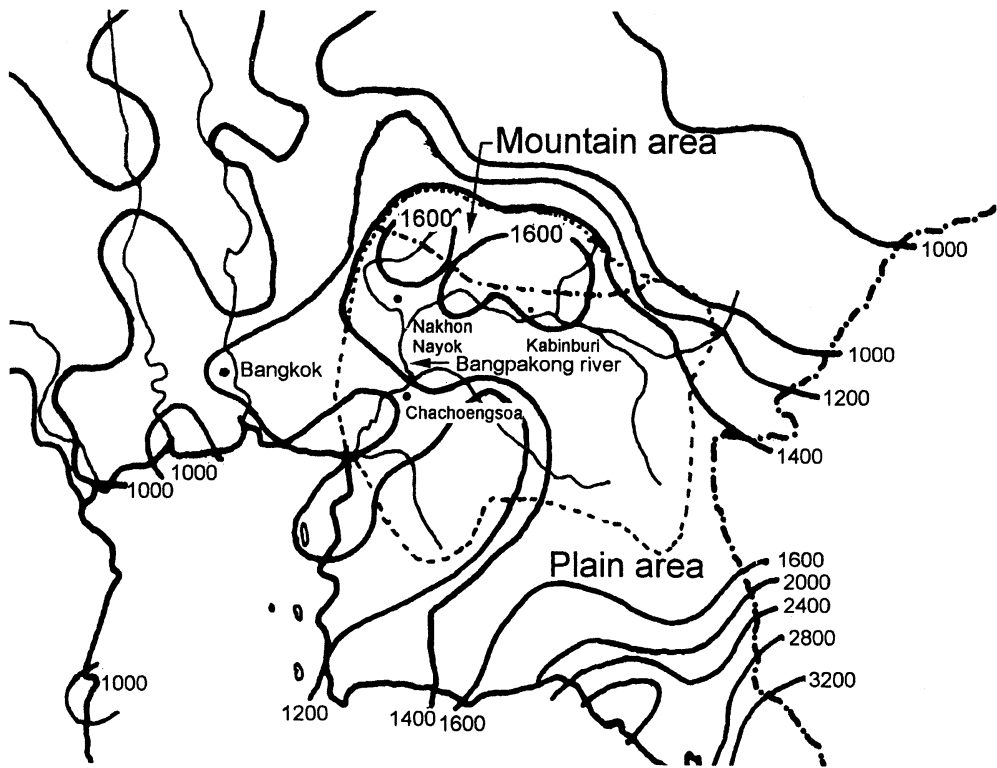


Fig. 2. Annual precipitation in Bangpakong catchment basin averaged over the water years 1952-1996.

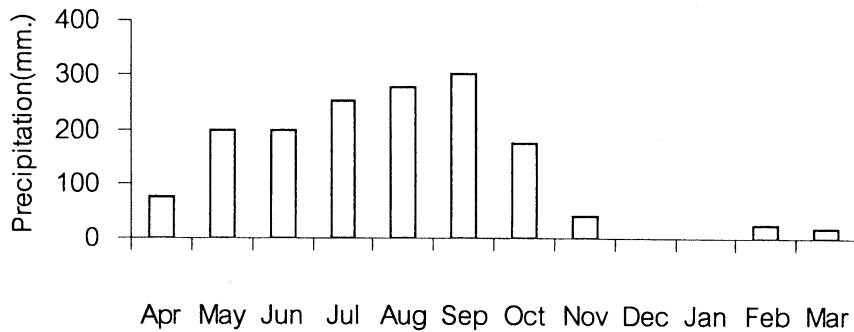


Fig. 3. Monthly precipitation averaged over Bangpakong catchment basin during the water years 1952-1996.

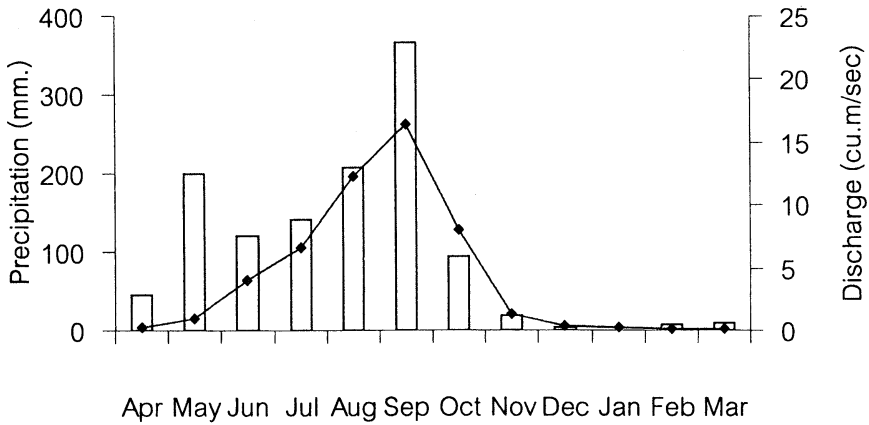


Fig. 4. Monthly precipitation and water discharge of the mountain area averaged over the water years 1993–1996. Vertical bars are precipitation measured at Ban Tap Lan and a solid line is discharge from KGT14 watershed.

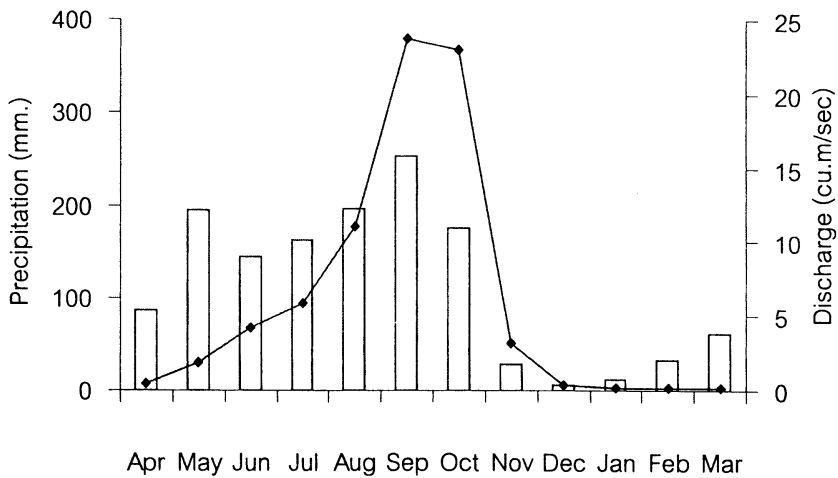


Fig. 5. Monthly precipitation and water discharge of the plain area averaged over the water years 1965–1996. Vertical bars are averaged value of precipitation measured at Klong Si Yat and Klong Luang, and a solid line is averaged discharges of KGT18 and KGT19 watersheds.

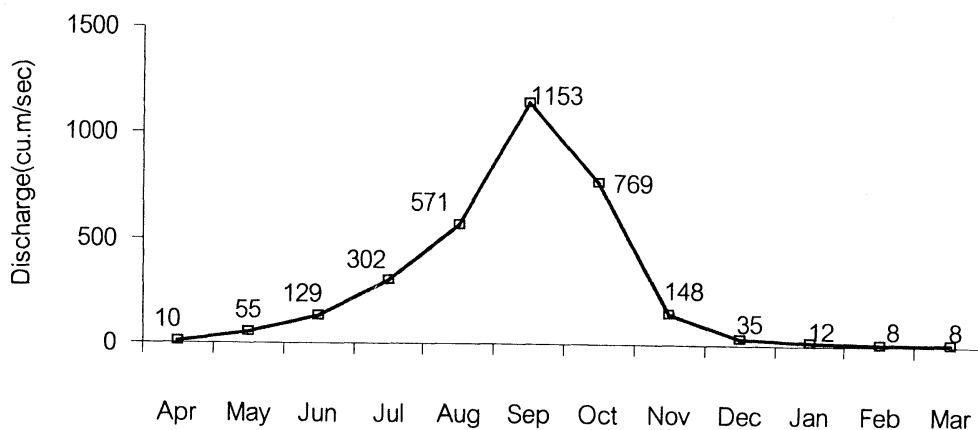


Fig. 6. Monthly discharge of Bangpakong River at the river mouth averaged over the water years 1993-1996.

season. In the plain area, the ratio of annual amount of river discharge to precipitation yield is 0.09. This ratio is far less than that of mountain area. This indicates that the mountain area is more efficient to convert rainfall to runoff than the plain area. In the plain area most part of the precipitation evaporates from the soil and returns again to the air.

Monthly mean discharge of Bangpakong River ( $Q_s$ ) is exhibited in Fig. 6. The discharge has a great seasonal variation indicating large discharge during rainy season and small discharge in dry season. The highest and lowest values appear in September and March, respectively. Volume of river water, which is an integrated volume of discharge over the rainy or dry seasons, is presented in Table 2. These volumes are obviously different between rainy and dry seasons. The ratio of river discharge to precipitation yield is 0.22 for whole catchment basin of Bangpakong River.

Highly seasonal variation of Bangpakong River discharge is one of the typical features of tropical rivers (SIMPSON, 1997) as well as Choa Praya River (KANCHANALAK, 1998) and Mekong River (STANSFIELD and GARRETT, 1997). Though this variability is induced by seasonal rainfalls, discharge delays from precipitation in both plain and mountain areas, especially in the beginning of rainy season. The river discharge does not immediately follow up the increasing

Table 2. Comparison of discharges and volumes of water at Bangpakong River mouth between rainy and dry seasons.

Season	Water discharge ( $m^3/sec$ )	Volume of water ( $m^3$ )
Rainy (May-October)	496	$78.7 \times 10^8$
Dry (November-April)	37	$5.8 \times 10^8$
Annual mean	352	

of precipitation.

#### Acknowledgement

The authors thank Royal Thai Irrigation Department for supplying all discharge data in this paper and also thank Ms. Patchara PETVIROJCHAI of Hydrometeorology Division, Meteorological Department at Bangkok who kindly supplied rainfall data. The authors wish to thank Ms. Kesinee KIJIKOMHAENG of Burapha University for valuable help in accomplishing this research.

#### References

- BABAN, S. M. J. (1997) : Environmental monitoring of estuaries ; estimating and mapping various environmental indicators in Breydon water estuary, UK., using Landsat TM imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44**, 589-598.
- BOONPHAKDEE, T., P. SAWANGWONG and T. FUJIWARA (1997) : Nutrient distribution in and around the

- Bangpakong Estuary. Proceedings of Marine conservation and resource rehabilitation. The 8th JSPS seminar on marine science : Chiangrai, Thailand, 8 pp.
- KANCHANALAK, B. (1998) : The Effects of El Nino on the Chao Phaya River and Its Tributaries, Thailand. Proceeding of Asian Regional Meeting on El Nino Related crisis. Bangkok, Thailand.
- Land Development Department (1996) : Practical plan of land resources development, Chachoengsao Province. (in Thai).
- Royal Thai Survey (1966) : An area maps of Indochina and Thailand. L509 series no ND 47-8, ND 48-12, ND48-5 and ND-48-9, Bangkok, Thailand.
- SIMPSON, J. H. (1997) : Physical processes in the ROFI regime. *Journal of Marine Systems*, **12**, 3-15.
- SMITH, S. V., J. L. LARGIER and J. T. HOLLIBAUGH (1997) : Seasonally hypersaline estuaries in Mediterranean-climate regions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **45**, 789-798.
- SOJISUPORN, P. and S. JIRASILERT (1991) : Prefeasibility Study of Port Development and Navigational Channel in the Bangpakong River. A report to the Harbor Department, Bangkok, Thailand. (in Thai)
- STANSFIELD, K. and C. GARRETT (1997) : Implications of the salt and heat budgets of the Gulf of Thailand. *Journal of Marine Research*, **55**, 935-963.

*Received August 10, 1999*  
*Accepted October 25, 1999*

## Cell cycle and growth rate of a natural diatom population in a mesocosm

Ken FURUYA <sup>\*1), 2)</sup> and Kazuhiko MATSUMOTO <sup>\*3)</sup>

**Abstract** : Diel variations in nuclear DNA concentrations were examined in a mesocosm to study the cell cycle and growth phase of a natural population of a pennate diatom *Nitzschia rectilongae*. Microfluorometry was applied to quantify DAPI-stained DNA molecules. Durations and abundance of cell cycle phases were estimated based on the DNA histograms. S phased cells were consistently present in a considerable amount, and both S and G<sub>2</sub>+M phase cells comprised a major portion of the population both during the day and night. In contrast, G<sub>1</sub> phase cells were less abundant. These observations indicate that cells were directed towards replication shortly after mitosis and that cell division was initiated rather frequently. S and G<sub>2</sub>+M phases showed a rhythmic temporal fluctuation. Phase duration of S and G<sub>2</sub>+M phases and growth rates were estimated by two different approaches, an application of the model developed for dinoflagellates and the cell cohort analysis. Discrepancy in the results obtained by these two approaches may be ascribed to the characteristic lack of a clear synchrony of cell division in diatoms.

**Key words** : diatom, cell cycle, growth rate, mesocosm, microfluorometry

### Introduction

Natural phytoplankton populations are frequently observed to divide at a particular time of the day to vary rhythmically in accordance with the physiological activity over the 24-hour period (SWIFT and DURBIN, 1972; SMAYDA, 1975; WEILER and CHISHOLM, 1976). The regular light/dark alternation induces varying degrees of synchronization of cell division among species. Although the synchrony or phasing of cell division is common in all major phytoplankton taxa, timing of division during the light/dark cycles varies among different taxa (CHISHOLM, 1981a). In many species so far in-

vestigated, division tends to occur during the dark period. In contrast, diatoms do not exhibit a rigid relationship between timing of division and the light/dark cycle, although division can be synchronized by the light/dark cycle (CHISHOLM, 1981b). Hereafter, we use terms "synchronous" and "phased" after CHISHOLM (1981a).

The synchronized cell division allows evaluation of growth rates of individual species in situ (MCDUFF and CHISHOLM, 1982; CARPENTER and CHANG, 1988). Using water samples collected at an appropriate time interval, growth rates can be calculated from the temporal changes in maximum frequency of cell division or nuclear DNA content. These approaches provide species-specific growth rates without the problems associated with enclosing natural populations (VENRICK *et al.*, 1977). In the latter approach, temporal variations in the nuclear DNA content are monitored to determine duration of cell cycle phases in a phytoplankton population (CARPENTER and CHANG, 1988). The cell division cycle for eukaryotic cells is

\* Faculty of Bioresources, Mié University  
Kamihama, Tsu Mie Japan 514-0032

1) Corresponding author

2) Present address : Department of Aquatic Bioscience, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo  
Yayoi, Bunkyo, Tokyo, 113-8657 Japan

3) Present address : Japan Marine Science and Technology Center  
Natsushima, Yokosuka, 273-0061 Japan

generalized as four discrete sequential intervals, viz., G<sub>1</sub>, S, G<sub>2</sub> and M periods between mitosis (M) and the nuclear DNA synthesis (S) referred to as gaps. G<sub>1</sub> occurs just after the cell division, and G<sub>2</sub> just after DNA replication. Duration of these phases is used in the growth rate estimation. However, this method has been applied only to the dinoflagellates in culture (CHANG and CARPENTER, 1988; ANTIA *et al.*, 1990; YAMAGUCHI, 1992), and has not yet applied for other algal groups or natural phytoplankton populations.

This communication presents the cell cycle and growth rate of a natural diatom population deduced from diel changes in nuclear DNA. A same population was followed during a mesocosm experiment that was conducted in a haline lagoon, Oh-ike (34° 17.5' N, 136° 39.2' E) in Miè Prefecture, Japan. The lagoon is 960 m × 900 m in size and 12 m in maximum depth, and connected to Gokasho Bay with which one fifth of water in Oh-ike is exchanged daily by tides (WASHIO and YAMAGUCHI, personal communication). The mesocosm was cylindrical, 6 m in diameter and 9 m in depth, and made of flexible polyester sheet with PVC coating. The lowest part was buried into bottom sediment to minimize water exchange between the inside and outside of the mesocosm.

### Materials and methods

Water samples from inside the mesocosm were collected from 1-m depth at an interval of 2 hours on July 8 and 9, 1993 using a van Dorn sampler, and immediately fixed with neutralized formalin (2% v/v). Phytoplankton were concentrated by sedimentation, and enumerated under an inverted microscope fitted with a phase contrast device. Samples collected at noon were stored frozen at -20°C for later analysis of nitrate, nitrite and phosphate (ANONYMOUS, 1987). Chlorophyll *a* was extracted in 90% acetone from particles collected on Whatman GF/F filters and determined fluorometrically (YENTSCH and MENZEL, 1963). Solar radiation at the surface was recorded using a pyranometer (2770, AANDERAA).

Among the dominant species, *Nitzschia rectilonga* was selected due to its relatively large cell size. After sedimentation, the cells

were washed with methanol to remove algal pigments (YENTSCH, *et al.*, 1983), and rinsed with distilled water. Cells were then resuspended in a Tris buffer containing 20-mM Tris (hydroxymethyl) aminomethane (Sigma), 20-mM 2-mercaptoethylamine hydrochloride (Sigma), 100 mM NaCl (Wako) and 10 mM EDTA 2Na (Wako). pH of the buffer was adjusted to 8.2 (HAMADA and FUJITA, 1983). Nuclear DNA of *N. rectilonga* was stained with 0.5 µg ml<sup>-1</sup> of 4', 6'-diamidino-2-phenylindole (DAPI, Sigma) for 24 hours (MATSUMOTO *et al.*, 1993). Fluorescence intensity of DAPI-stained nuclei was measured using a microfluorometry system composed of an epifluorescence microscope (VFD-TR, Nikon), a high-sensitivity SIT TV camera (CTC-2600, Ikegami), a TV-monitor (PM-123T, Ikegami) and an image analyzer (DVS-3000, Hamamatsu Photonics). Both original images from the TV camera and digitized ones from the image analyzer were recorded by a video recorder (HV-M110, Aiwa) for later re-examination. Excitation light was generated by a mercury lamp (USH-200, Ushio) and passed through an IF 365 filter. The emitted fluorescence was split by a dichroic mirror at 400 nm and passed through barrier filters (a LP 420 and an IF 480 filter). For each sample about 200 cells of *N. rectilonga* were selected randomly and fluorescence was measured to produce the DNA histogram. Fluorescence intensity was standardized using chicken blood cell (CRBC, Sigma, lot No. 40H 4202). CRBC contains uniform amount of DNA at G<sub>1</sub> phase. After rinsing with distilled water the CRBC was stained following procedure same as that for algal cells, and stored in the dark at 5°C until use. The fluorescence intensity of algal nuclei was normalized to 100 for G<sub>1</sub> cells and 200 for G<sub>2</sub> and M cells (Fig. 1). Since cells at G<sub>2</sub> and M phases could not be separated based on the fluorescence intensity, both phases were combined and are hereafter referred as G<sub>2</sub>+M phase. Staining procedure and microfluorometric measurements are detailed in MATSUMOTO *et al.* (1993).

The DNA histogram was analyzed to obtain quantitative estimates of G<sub>1</sub>, S and G<sub>2</sub>+M phase fractions using a PC-based program (TANAKA and TSUTSUMI, 1988). As exemplified

in Fig. 1, three cell cohorts were extracted by the program at S phase and two cohorts at the G<sub>1</sub> and G<sub>2</sub>+M phases. Significance of the cell cohort analysis was examined by  $\chi^2$  test, and fitting was repeated to attain maximum  $\chi^2$  value.

Population growth rate,  $\mu$  (h<sup>-1</sup>), of *N. rectilonga* was estimated using the duration and cell cycle phase fractions following CARPENTER and CHANG (1988) :

$$\mu = \frac{1}{(T_s + T_{G_2+M})n} \sum_{j=1}^n \ln[1 + f_s(t_j) + f_{G_2+M}(t_j)] \quad (1)$$

where  $T_s$  and  $T_{G_2+M}$  are the duration (h) of S and (G<sub>2</sub>+M) phases respectively,  $n$  is number of samples,  $f_s$  and  $f_{G_2+M}$  are fractions of S and G<sub>2</sub>+M cells of the population, respectively, and  $t_j$  is time when sample  $j$  was collected. Daily growth rates were calculated also from in situ phytoplankton abundance:

$$\mu = \ln N_2 - \ln N_1 \quad (2)$$

where  $N_1$  and  $N_2$  are phytoplankton cell number at an interval of 24 hours.

## Results and Discussion

Temperature and salinity remained constant during the observation, ranging from 22.5 to

22.6 °C and 27.2 to 28.0 respectively. Concentration of nutrient salts and chlorophyll *a* indicated a mesotrophic condition inside the mesocosm (Table 1). Therefore, supply of nutrients did not seem to limit phytoplankton growth. Daily solar radiation was steadily decreasing prior to and during the observation, and the weather was consistently cloudy (Fig. 2). Mean daily radiation that was much lower than the normal value was 139 W m<sup>-2</sup> and 112 W m<sup>-2</sup> respectively on July 8 and July 9.

Phytoplankton population in the mesocosm was dominated by the diatoms *Chaetoceros distans*, *Cylindrotheca closterium*, *Nitzschia rectilonga* and *Chaetoceros compressum* in the order of abundance. Among them, *N. rectilonga* was used for cell cycle analysis because of its large size and detectability of DAPI fluorescence. The numerical abundance of this species was more or less constant and fluctuated between 33 and 48 cell ml<sup>-1</sup> (Fig. 3).

Synchrony of DNA synthesis was not clearly seen in the time course of DNA histogram (Fig. 4). S phased cells of the *N. rectilonga* population consistently existed in significant numbers (Fig. 4). Two or three cell cohorts were always extracted significantly at S phase ( $\chi^2$ -test,

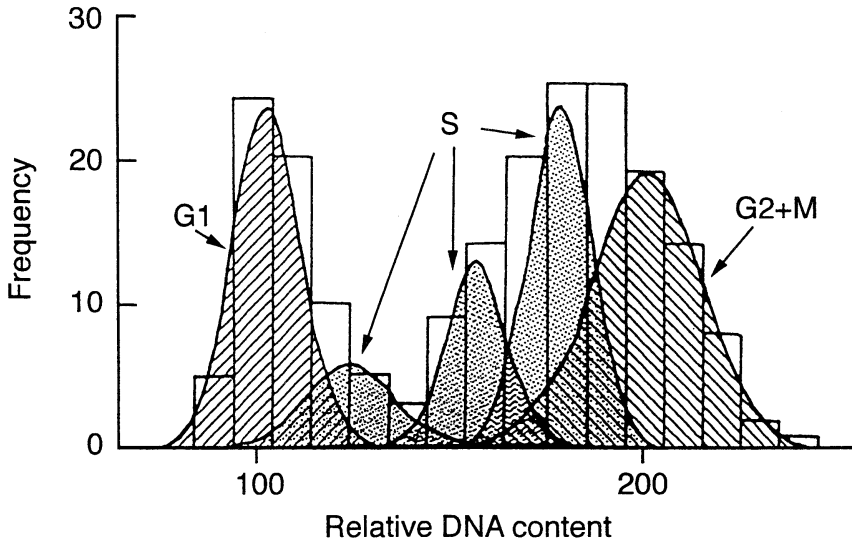


Fig. 1. Fluorescence histogram of *N. rectilonga* representing histogram of relative nuclear DNA content. Cell cohorts obtained by the statistical method are plotted by normal lines.

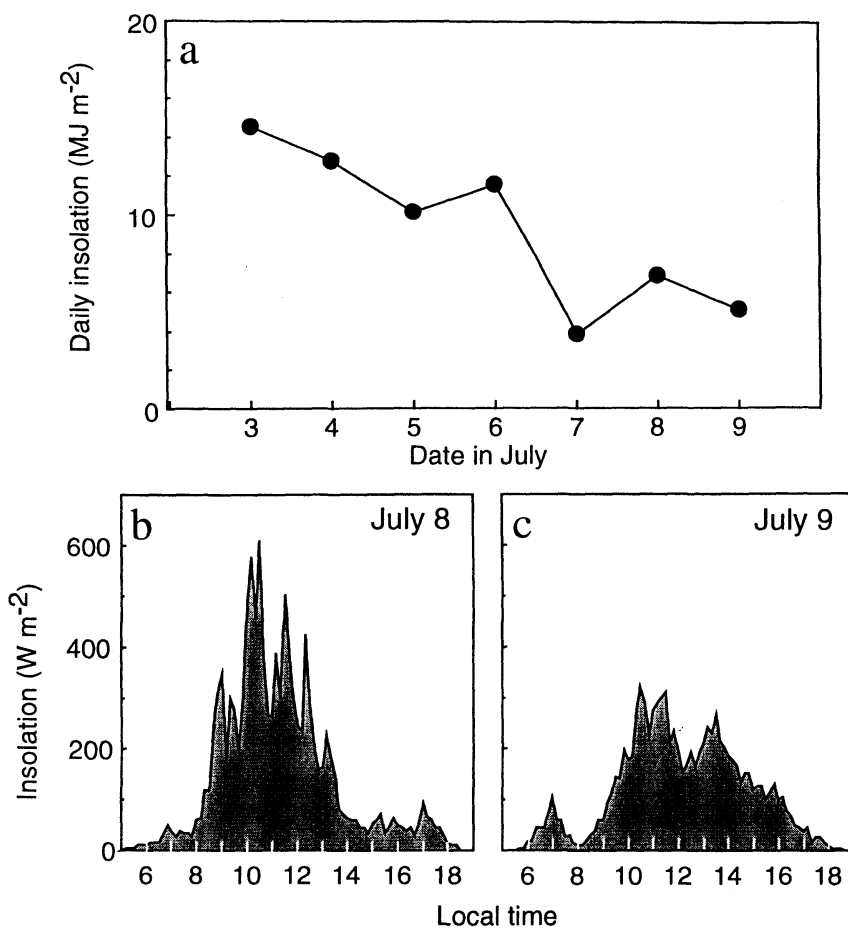


Fig. 2. Temporal changes in solar radiation during the period of observation (a) between July 2 and 9, (b) July 8 and (c) July 9.

Table 1. Nutrient and chlorophyll *a* concentration observed at the surface of the mesocosm.

Date	Nitrate ( $\mu\text{M}$ )	Nitrite ( $\mu\text{M}$ )	Ammonia ( $\mu\text{M}$ )	Phosphate ( $\mu\text{M}$ )	Chlorophyll <i>a</i> ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
July 8	2.1	0.2	3.4	0.5	2.6
July 9	3.1	0.5	7.9	0.3	3.4



$p < 0.05$ ). Cell cohorts represented by normal curves were superimposed on the DNA histograms (Fig. 4). Mode of fluorescence intensity of extracted  $G_1$  cell cohort was  $100.7 \pm 1.91$ , and that of  $G_2+M$  was  $200.1 \pm 2.10$ . Mean fluorescence ratio of  $G_2+M$  cell cohorts to  $G_1$  cell cohorts was  $2.0 \pm 0.03$ . Coefficient of variation (CV) of the area under  $G_1$  normal curves ranges from 4.9 to 10.8% of the estimated area, and the CV of  $G_2+M$  areas ranged from 4.6 to 8.6%. Based on the cell cohort analysis, temporal changes in cell cycle phase fractions were obtained. Three peaks of  $G_2+M$  phase cells were observed at 10:00 hr on July 8, 02:00 hr and 14:00 hr on July 9 (Fig. 5). S phase cells also showed three peaks at 20:00 hr on July 8, 06:00 hr and 20:00 hr on July 9.  $G_1$  phase cells were substantially low throughout the sampling, and fluctuated less intensively than other phases.

The constant occurrence of S and  $G_2+M$  phase cells, and minor abundance of  $G_1$  phase cells indicate that cells did not stay long at  $G_1$  phase and were directed toward replication shortly after the mitosis. In other words, cell division was initiated rather frequently. This

agrees with the general feature of diatom that replication of cells is not fixed at a certain period of the day as observed in other algal taxa (CHISHOLM, 1981a). Although synchrony was not obvious from the DNA histograms abundance of S and  $G_2+M$  phase fractions exhibited some rhythms suggesting the cell cycle to be weakly synchronized, or at least phased.

Peaks of S phase cells appeared to shift to those of  $G_2+M$  phase cells (Fig. 5). The peak of S phase at 20:00 hr on July 8 seemingly moved to that of  $G_2+M$  phase at 02:00 hr on July 9. Another peak of S phase at 06:00 hr on July 9 likely shifted to that of  $G_2+M$  phase at 14:00 hr on the same day. Time interval of these possible transits of the population from S phase to  $G_2+M$  phase was 6 to 8 hours. CARPENTER and CHANG (1988) proposed a model which provides duration time of S and  $G_2+M$  phase. The model assumes clock-based regulation of cell cycle. Although this assumption itself is hardly applicable to diatoms (CHISHOLM, 1981b), the observed rhythms in the phase duration of *N. rectilonga* allows the model to be used to data shown in Fig. 5. Adopting the peaks at 6:00 on July 9 and 14:00 on July 9 for time of

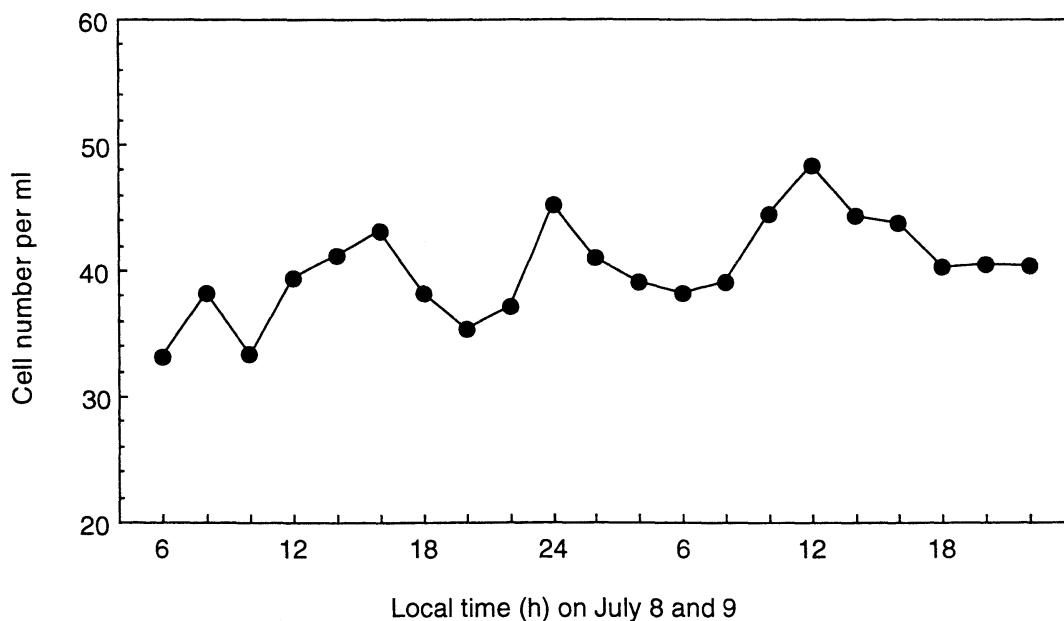


Fig. 3. Variations in the numerical abundance of *N. rectilonga* at 1-m depth inside the mesocosm.

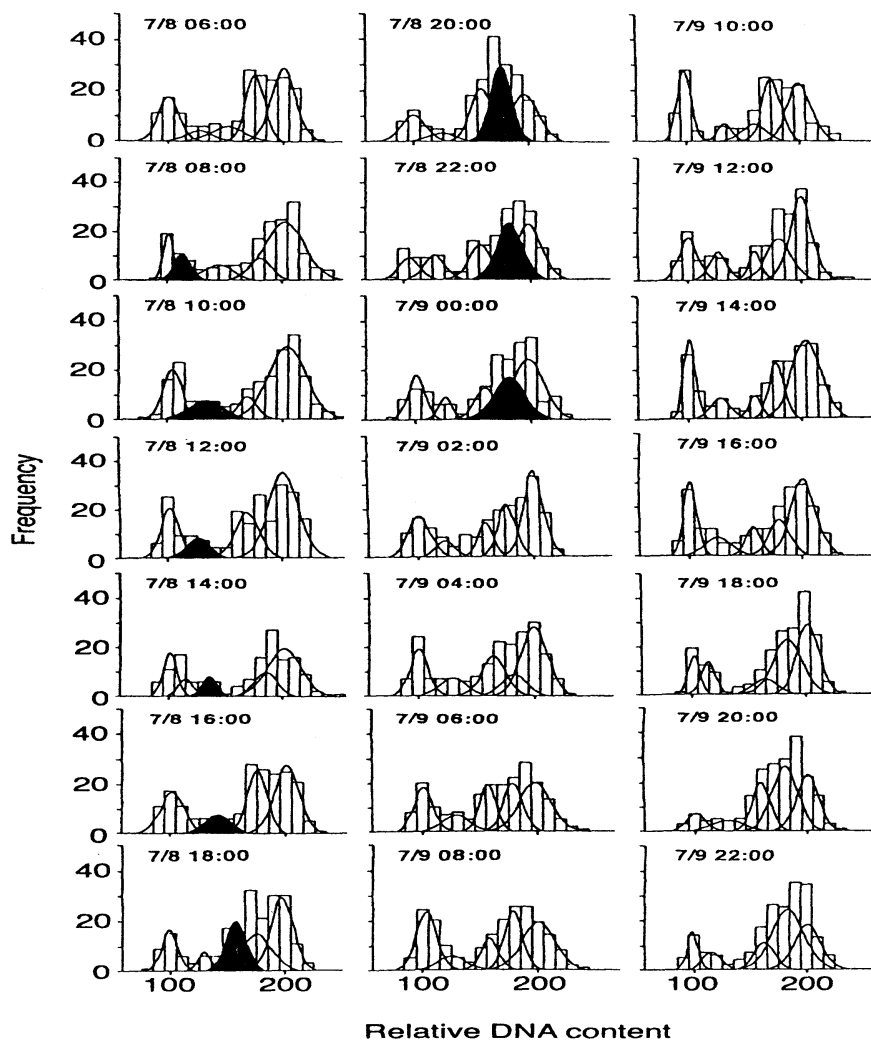


Fig. 4. Time courses of DNA histogram of *N. rectilonga*. Cell cohorts obtained by statistical analysis are superimposed. Shaded areas depict time course of a cohort at S phase.

maximum occurrence of S and  $G_2+M$  phases respectively, the duration of S and  $G_2+M$  phases was estimated to be 7.2 and 8.8 hours respectively. Applying these estimates to equation (1), daily population growth rate  $\mu$  was calculated to be 0.91. By using a different set of peaks of S and  $G_2+M$  phases e.g., peak of S phase at 20:00 on July 8 and that of  $G_2+M$  at 02:00 on July 9, we obtained the daily population growth rate as 1.21. A striking contrast was observed between these growth rates and in situ numerical abundance of *N. rectilonga*.

Net population growth within the mesocosm was small, and the low instantaneous specific growth rates calculated by equation (2) ranged between  $<0$  and  $0.20$  ( $d^{-1}$ ). The difference in growth rates based on the two methods was probably attributable to loss processes, such as grazing and sinking.

Phase duration can be also examined by tracing the extracted cell cohorts (Fig. 4). Modes of these cohorts are plotted in Fig. 6. Possible sequence of S phase cohorts are shown by lines, assuming that they do not split or combine

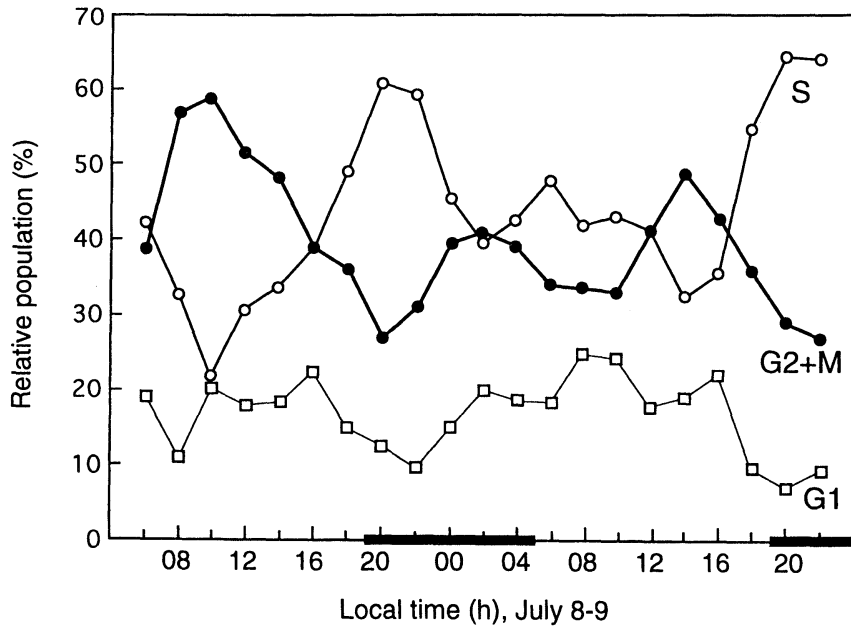


Fig. 5. Temporal variations in the cell cycle fractions of *N. rectilonga*. Dark bars on the X axis indicate night time.

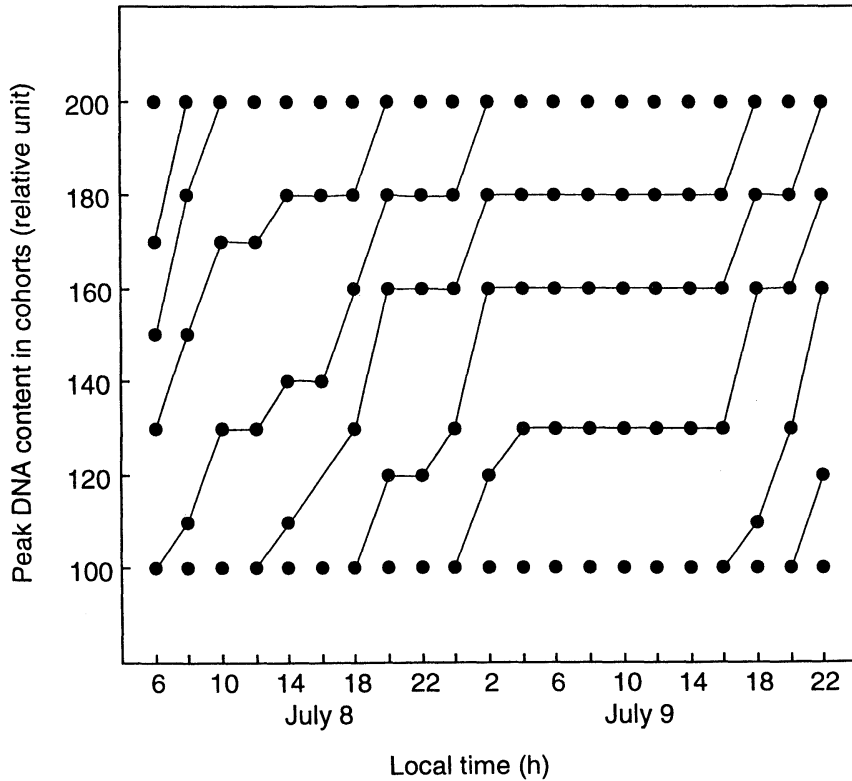


Fig. 6. Temporal distributions of extracted cohorts as shown by closed circles. Possible time courses of each cohort are connected. For details see text.

during DNA synthesis following G<sub>1</sub> phase and until reaching G<sub>2</sub>+M phase. Three cell cohorts were generated on both the days. Additionally, three cohorts were in progress at the beginning of the observation. Duration of S phase starting at 06:00 hr on July 8 was 14 hours. After this the duration of two subsequent cohorts became much longer; 30 and 28 hours. Since the connection of the cohorts lacked in rigorous criteria, it should be regarded as arbitrary and there could be another sets of connection. However, in all the sets attempted, a common feature noticed was the lower synthesis of DNA synthesis on July 9 compared to that on July 8. This could be ascribed, in part, to the lower light intensity on July 9. Solar radiation on July 7, 8 and 9 was much lower than normal value, and phytoplankton growth was light-limited during the daytime on both days as revealed by the P-E experiments (HARADA, unpublished). *In vitro* oxygen evolution was lower on July 9 than July 8 (HARADA, unpublished), confirming the lowered phytoplankton productivity.

Duration of S phase was estimated to be 3–4 times longer in Fig. 6 than that obtained from Fig. 4. There is no adequate explanation for the discrepancy. Nevertheless the disagreement seemed to be originated from the difference in mode of division cycle between diatoms and other algal groups. Diatoms exhibit only a weak relationship between timing of division and the light/dark cycle, and they have several "preferred" division times in a day (CHISHOLM, 1981b). On the other hand cell division is synchronized and the timing of division is phase restricted in clock-controlled groups such as dinoflagellates (CHISHOLM, 1981a). In the present study S phase was regularly observed and several cell cohorts were extracted at the S phase. These features made it difficult to apply the model originally developed for dinoflagellates, and uncertainties remained in estimation of phase duration and growth rates. The rhythm observed in phase fractions should be considered as forced oscillations rather than entrained by the light/dark cycle (CHISHOLM, 1981a).

In conclusion, the natural population of a diatom *N. rectilonga* did not show a clear synchrony in cell division. This caused difficulty

in estimating population growth rate from the cell cycle analysis. Since it does not require bottle incubation and is not influenced by grazing, advection and other loss processes, the cell cycle analysis is of great potential for growth rate of natural populations. Better understandings of diatom cell division and consequent improvements of model analysis are needed.

### Acknowledgements

We sincerely thank M. YAMAGUCHI and Y. WASHIO for their cooperation during the field observation, and for providing data on nutrients, chlorophyll *a* and solar radiation. Kind suggestions of Y. MATSUMIYA on the cohort analysis and comments of N. RAMAIAH on the manuscript were helpful.

### References

- ANONYMOUS (1986) : JIS-K 0102. Testing Method for Industrial Wastewater. The Ministry of International Trade and Industry, Japan. (in Japanese).
- ANTIA, A. E., E. J. CARPENTER and J. CHANG (1990) : Species-specific phytoplankton growth rates via diel DNA synthesis cycles. III. Accuracy of growth rate measurement in the dinoflagellates *Prorocentrum minimum*. Mar. Ecol. Prog. Ser., **63**, 273–279.
- CARPENTER, E. J. and J. CHANG (1988) : Species-specific phytoplankton growth rates via diel DNA synthesis cycles. I. Concept of the method. Mar. Ecol. Prog. Ser., **43**, 105–111.
- CHANG, J. and E. J. CARPENTER (1988) : Species-specific phytoplankton growth rates via diel DNA synthesis cycles. II. DNA quantification and model verification in the dinoflagellate *Heterocapsa triquetra*. Mar. Ecol. Prog. Ser., **44**, 287–296.
- CHISHOLM, S. W. (1981) : The phasing and distribution of cell division cycles in marine diatoms. In Primary productivity in the sea. P. G. FALKOWSKI (ed.) Plenum, New York, p.281–300.
- CHISHOLM, S. W. (1981) : Temporal patterns of cell division of unicellular algae. Can. Bull. Fish. Aquat. Sci., **210**, 150–181.
- MATSUMOTO, K., K. FURUYA and T. ODATE (1993) : Improved staining method of DAPI for evaluating DNA content in phytoplankton nucleus. Bull. Fac. Bioresources, Mie Univ., **11**, 145–153. (in Japanese).
- MCDUFF, R. E. and S. W. CHISHOLM (1982) : The calculation of in situ growth rates of phytoplankton populations from fractions of cells undergoing

- mitosis : a clarification. *Limnol. Oceanogr.*, **27**, 783-788.
- SMAYDA, T. J. (1975) : Phased cell division in natural populations of the marine diatom *Ditylum brightwellii* and the potential significance of diel phytoplankton in the sea. *Deep-Sea Res.*, **22**, 151-165.
- SWIFT, E. and E. G. DURBIN (1972) : The phased division and cytological characteristics of *Pyrocystis* spp. can be used to estimate doubling times of their populations in the sea. *Deep-Sea Res.*, **19**, 189-198.
- TSUSUMI, H. and M. TANAKA (1988) : Generation analysis on body length histogram. *In* PC-based programs for population dynamics. Tokai Fisheries Laboratory, Tokyo, p.189-207. (in Japanese).
- VENRICK, E. L., J. R. BEERS and J. F. HEINBOKEL (1977) : Possible consequences of containing microplankton for physiological rate measurements. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **26**, 55-76.
- WEILER, C. W. and S. W. CHISHOLM (1976) : Phased cell division in natural populations of marine dinoflagellates from shipboard cultures. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **25**, 239-247.
- YAMAGUCHI, M. (1992) : DNA synthesis and cell cycle in the noxious red-tide dinoflagellate *Gymnodinium nagasakiense*. *Mar. Biol.*, **112**, 191-198.
- YENTSCH, C. M., F. C. MAGUE, P. K. HORAN and K. MUIRHEAD (1983) : Flow cytometric DNA determinations on individual cells of the dinoflagellates *Gonyaulax tamerensis* var. *excavata*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **67**, 175-183.
- YENTSCH, C. S. and D. W. MENZEL (1963) : A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.* **10**, 221-231.

Received September 17, 1999

Accepted November 7, 1999

## 稚魚ネットで採集された東京湾湾奥部の仔稚魚

甲原 道子\*・河野 博\*\*†

### Fish larvae and juveniles collected by larva-net in the inner Tokyo Bay

Michiko KOUHARA\* and Hiroshi KOHNO\*\*†

**Abstract :** Seasonal occurrence and abundance of larval and juvenile fishes collected by larva-net towed surface-layer (from May 1993 to December 1994) and middle-layer (from October 1993 to December 1994) from the inner Tokyo Bay were examined. Fishes collected numbered 8,559 individuals in total (8,411 by the surface-layer tow vs. 148 by the middle-layer tow), representing 12 (11 vs. 8) orders, 30 (26 vs. 18) families and 52 (43 vs. 29) species, plus 7 (3 vs. 4) unidentified specimens. The most abundant taxon was *Sardinella zunasi* (3,929 individuals, accounting for 45.9% of the total), followed by *Engraulis japonicus* (3,602 individuals, 42.1%). Species represented by  $\leq 5$  specimens numbered 30, including 17 species by one specimen. More species and specimens were collected during summer-season months in the surface-layer samplings. However, in the middle-layer samplings, more species and specimens were collected in February and August. The cluster analysis, based on the similarity of the species' composition between months, and the similarity index between consecutive months indicated that there were two main clusters, from May to October and from January to March, with a more or less drastic change of fish assemblages in April and November/December. The former cluster was mainly composed of clupeiforms, beloniforms, syngnathiforms, *Hypoatherina valenciennei* and perciforms, whereas the latter being composed mainly of scorpaeniforms and pleuronectiforms.

**Key words :** larvae, juveniles, Tokyo Bay, fish assemblage

#### 1. はじめに

東京湾の魚類相については、湾口部から湾奥部にいたる岩礁域や干潟域からなる沿岸あるいは浅海沿岸域、湾中央部などのさまざまな場所で、漁業調査や漁獲物調査、あるいは手網や釣りによる採集、さらには目視観察などの方法によって、調査が行われてきた(林・伊藤, 1974; 岩田ら, 1979; 竹内, 1979; 風呂田, 1985; 東京都環境保全局, 1999; 工藤・林, 1996; 那須ら, 1996; 工藤, 1997; 時村・清水, 1998)。これらの研究によって、さまざまな魚種の仔稚魚から成魚までの出現時期や出現場所、季節ごとの出現量などの情報が蓄積されてきた。しかし、仔稚魚については、これまでの研究のほとんどは

干潟域での地曳き網による調査に限られ、稚魚ネットによる採集は竹内(1979)が湾奥の塩水湖である新浜湖で行った小型卵稚仔採集ネットを用いた調査しかないのが現状である。東京湾における魚類の生活史を考える上で、浅海沿岸域や湾中央部の仔稚魚相は不可欠な情報である。そこで、本研究では、東京湾の湾奥部の浅海沿岸域で稚魚ネットによる魚類の採集を行い、出現魚種、個体数および大きさの季節的变化を明らかにした。さらに、この結果に基づいて、東京湾の湾奥部が仔稚魚によってどのように利用されているのかを考察した。

#### 2. 材料と方法

本研究の調査海域は、北緯35度35分以上、東経139度50分~55分の東京湾内湾の中でも最も奥まった水域である。採集には口径1.3 m、長さ4.3 mの大きさで、胴部はモジ網、筒部の目が0.33 mmの稚魚ネットを用いた。この稚魚ネットを、東京水産大学の練習艇「ひよどり」(19トン)により船速約2ノットで、1回の採集あたり

\* 東京水産大学魚類学研究室  
〒108-8477 東京都港区港南4-5-7  
Laboratory of Ichthyology, Tokyo University of Fisheries, 4-5-7 Konan, Minato-ku, Tokyo 108 8477, Japan

† Corresponding author

15分間曳網した。曳網方法は表層曳きと中層曳きで、とくに定点を設けず、上記の調査海域を毎月1日、1日あたり表層曳きで3~12回、中層曳きで3~6回の曳網を行った。したがって、本研究の解析では、表層と中層という区別は行わぬが、場所の区別はとくに行わなかった。水温と塩分については、1日1回、表層のみを測定した。表層曳きは舷側で行い、稚魚網の上端が水面からややできるようにして行った。調査期間は1993年5月から1994年12月まで、7月を除く毎月の18か月で、合計101回の曳網を行った。一方、中層曳きは船尾からワイヤーを繰り出すことで行ったが、網を入れる時と回収する時には網は斜め曳きとなるため、厳密に中層の仔稚魚だけが採集されたわけではない。採集地点の水深は10~15 mで、中層曳きの深度は5~10 mであった。調査期間は1993年10月~1994年12月までで、1994年の7月と11月を除く13か月に合計56回の曳網を行った。採集された仔稚魚は採集直後に5%海水ホルマリンで固定し、選別、同定、計測の後、75%エチルアルコールで保存した。同定は主に沖山(1988)に従ったが、分類段階の配列は中坊(1993a)に従った。発育段階は、渡部・服部(1971)にしたがい、卵黄を持っている仔魚を前期仔魚、卵黄を吸収した仔魚を後期仔魚、鱗が定数に達した個体を稚魚とした。表層曳きと中層曳き別に、調査した月と月の間あるいは連続する月間の魚種組成の比較を行うために、JACCARD(1901:小林(1995)から引用)の群集係数を求めた。これに基づく月間のクラスター分析には、群平均法を用いた。なお、本研究で使用した標本は東京水産大学水産資料館の仔稚魚コレクション(MTUF-P(L))に登録、保管されている。

### 3. 結果

#### 3.1 水温と塩分の経月変化

調査水域の表層水温は春から夏にかけて上昇し、秋から冬にかけて下降した(Fig. 1)。調査期間中の最高水

温は1993年8月の26.8°C、次いで1994年8月の25.9°Cであった。最低水温は1994年2月の8.7°C、次いで同3月の9.1°Cであった。水温は2月に底を打った後上昇し、8月にピークを迎え、その後9月から12月あるいは1月にかけて下降した。表層塩分の方は逆に、冬に高く夏には低かった。調査期間中の最高塩分は1994年1月と2月の34 psu、次いで1994年3月と11月、12月の32 psuであった。また最低塩分は1994年9月の18 psu、次いで1993年6月の19 psuであった。

#### 3.2 出現魚種の概要

表層曳きで採集された魚類は11目26科43種以上で、個体数は8,411個体であった(Table 1)。一方、中層曳きでは8目18科29種以上、148個体が採集された。全体では12目30科52種以上、8,559個体になる。これらのうち、表層でだけ採集されたのはマイワシ*Sardinops melanostictus*やクルマサヨリ*Hyporhamphus intermedius*、トウゴロウイワシ*Hypoatherina valenciennei*などの23種、逆に中層でだけ採集されたのはマコガレイ*Pleuronectes yokohamae*やネズッポ属*Repomucenus* sp.1などの9種であった。なお、これら以外に、表層曳きで3個体が、また中層曳きで4個体が同定不可能であった。

種類数が最も多い目はズスキ目Perciformesの22種で、全体の種数の42.3%を占めた。次いで、カサゴ目Scorpaeniformesの11種(21.2%)、ニシン目Clupeiformesの5種(ニシン目spp.をふくむ)(9.6%)であった。個体数では、最も多く採集されたのはサッパ*Sardinella zunasi*の3,929個体、次いでカタクチイワシ*Engraulis japonicus*の3,602個体で、ニシン目の5種だけで7,886個体、全体の92.1%を占めた。さらにアイナメ*Hexagrammos otakii*(154個体, 1.8%)、クルマサヨリ(147個体, 1.7%)、イダテンギンボ*Omobranchus punctatus*(99個体, 1.2%)などが多く採集された。逆に、採集個体数が1個体だったのはアユ

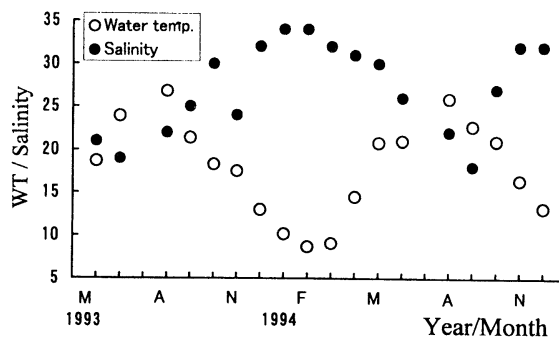


Fig. 1. Monthly changes of water temperature (WT, °C: open circles) and salinity (psu: solid circles) from May 1993 to December 1994 at the survey area in the inner Tokyo Bay.

Table 1. Fishes collected by larva net from the inner Tokyo Bay, shown by surface (from May 1993 to December 1994) and middle-layer (from October 1993 to December 1994) tows

Taxa	Surface tow				Middle-layer tow									
	Number	Size range (SL, mm)	Seasons				Number	Size range (SL, mm)	Seasons					
			Sp	Su	Au	Wi			Sp	Su	Au	Wi		
Anguilliformes														
Congridae														
Congridae sp.	1	—	○	—	—	—	2	92.6*1	○	—	—	—		
Clupeiformes														
Clupeiformes spp.	9	—	—	○	—	—	1	—	—	○	—	—		
Clupeidae														
<i>Sardinops melanostictus</i>	77	4.0-11.7	○	◎	○	—	0		—	—	—	—		
<i>Sardinella zunasi</i>	3890	4.1-77.2	○	◎	—	—	39	6.0-91.3	—	◎	○	—		
<i>Konosirus punctatus</i>	264	3.0-17.6	○	◎	—	○	4	2.8-10.9	○	◎	○	—		
Engraulididae														
<i>Engraulis japonicus</i>	3587	3.7-76.0	○	◎	○	—	15	2.5-19.0	○	◎	○	—		
Cypriniformes														
Cyprinidae														
Cyprinidae sp.	1	13.0	—	○	—	—	0		—	—	—	—		
Salmoniformes														
Plecoglossidae														
<i>Plecoglossus altivelis</i>	1	89.2	—	○	—	—	0		—	—	—	—		
Aulopiformes														
Paralepididae														
<i>Notolepis rissoni</i>	0		—	—	—	—	2	13.4-16.0	○	—	—	—		
Atheriniformes														
Atherinidae														
<i>Hypoatherina valencienni</i>	47	10.6-50.0	—	○	◎	—	0		—	—	—	—		
Beloniformes														
Hemiramphidae														
<i>Hyporhamphus intermedius</i>	147	9.9-43.9	○	◎	—	—	0		—	—	—	—		
Exocoetidae														
<i>Prognichthys brevipinnis</i>	1	27.6	—	○	—	—	0		—	—	—	—		
Syngnathiformes														
Syngnathidae														
<i>Urocampus nanus</i>	0		—	—	—	—	1	32.8	—	—	—	○		
<i>Syngnathus schlegeli</i>	19	10.0-102.1	—	◎	○	○	3	31.4-47.3	—	○	—	—		
<i>Hippocampus japonicus</i>	10	13.0-30.2	—	◎	○	—	1	13.3	—	○	—	—		
Scorpaeniformes														
Scorpaenidae														
<i>Sebastes marmoratus</i>	1	11.4	○	—	—	—	0		—	—	—	—		
<i>Sebastes thompsoni</i>	2	4.5-17.5	○	—	—	○	0		—	—	—	—		
<i>Sebastes inermis</i>	10	5.6-6.3	—	—	—	○	15	4.4-12.3	○	—	—	◎		
<i>Sebastes schlegeli</i>	2	7.6-8.0	○	—	—	—	1	9.8	○	—	—	—		
<i>Sebastes vulpes</i>	0		—	—	—	—	1	5.2	○	—	—	—		
<i>Sebastes hubbsi</i>	8	8.4-13.0	—	—	○	◎	0		—	—	—	—		
<i>Sebastes pachycephalus</i>	2	8.4-9.3	○	—	—	—	10	6.0-9.0	○	—	—	◎		
<i>pachycephalus</i>														
Scorpaenidae sp.	1	8.1	—	○	—	—	0		—	—	—	—		
Platycephalidae														
<i>Platycephalus</i> sp. ( <i>indicus</i> )*2	16	5.9-10.6	—	◎	○	—	1	4.9	—	○	—	—		
Hexagrammidae														
<i>Hexagrammos otakii</i>	153	6.3-29.7	○	—	—	◎	1	7.5	—	—	—	○		
Liparididae														
<i>Liparis tanakai</i>	0		—	—	—	—	1	7.0	—	—	—	○		

(to be continued)



Table 1. (continued)

Taxa	Surface tow				Middle-layer tow							
	Number	Size range (SL, mm)	Seasons				Number	Size range (SL, mm)	Seasons			
			Sp	Su	Au	Wi			Sp	Su	Au	Wi
Perciformes												
Percichthyidae												
<i>Lateolabrax japonicus</i>	2	7.7-7.9	○	—	—	—	2	4.2-6.5	—	—	—	○
Terapontidae												
<i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>	3	4.5-6.5	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
Sillaginidae												
<i>Sillago japonica</i>	17	6.0-14.5	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
Carangidae												
<i>Scomberoides lysan</i>	1	48.8	—	—	○	—	0	—	—	—	—	
<i>Trachurus japonicus</i>	2	15.3-16.8	○	—	○	—	5	6.3-32.6	⊙	○	—	—
Coryphaenidae												
<i>Coryphaena hippurus</i>	1	34.9	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
Leiognathidae												
<i>Leiognathus</i> sp.	1	4.5	—	—	○	—	0	—	—	—	—	
Gerreidae												
<i>Gerres oyena</i>	1	10.0	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
Sciaenidae												
<i>Argyrosomus argentatus</i>	1	22.8	—	○	—	—	4	5.5-8.1	—	○	—	—
Mullidae												
<i>Upeneus bensasi</i>	4	20.3-31.8	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
Mullidae sp.	1	8.3	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
Sticidae												
<i>Dictyosoma rubrimaculatum</i>	9	8.0-14.8	○	—	—	⊙	0	—	—	—	—	
Blennidae												
<i>Parablennius yatabei</i>	16	3.2-13.8	—	⊙	○	—	0	—	—	—	—	
<i>Omobranchus punctatus</i>	81	4.3-18.2	—	—	○	—	18	4.5-14.0	—	○	—	—
<i>Omobranchus elegans</i>	2	12.4-14.5	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
<i>Omobranchus</i> spp.	12	5.2-14.1	—	⊙	○	—	0	—	—	—	—	
Callionymidae												
<i>Repomucenus</i> sp.1	0	—	—	—	—	—	4	3.0-3.9	—	—	○	—
<i>Repomucenus</i> sp.2	1	4.1	—	—	○	—	1	3.3	—	○	—	—
Gobiidae												
<i>Chaenogobius macrognathus</i>	2	13.7-22.6	—	○	—	—	0	—	—	—	—	
<i>Acanthogobius flavimanus</i>	1	4.9	○	—	—	—	1	3.7	—	—	—	○
Gobiidae sp.	1	—	○	○	—	—	2	4.5-7.7	○	—	—	—
Centrolophidae												
Centrolophidae sp.	0	—	—	—	—	—	1	19.2	○	—	—	—
Pleuronectiformes												
Pleuronectidae												
<i>Kareius bicoloratus</i>	0	—	—	—	—	—	1	5.9	—	—	—	○
<i>Pleuronectes yokohamae</i>	0	—	—	—	—	—	7	5.2-10.9	○	—	—	⊙
Pleuronectidae sp.	0	—	—	—	—	—	1	7.1	—	—	—	—
Tetraodontiformes												
Monacanthidae												
<i>Rudarius ercodes</i>	3	3.8-12.4	—	⊙	—	○	3	3.8-5.3	—	⊙	○	—
	3	3.0	○	○	○	—	4	—	⊙	—	○	○

\*1: Total length (mm). \*2: see NAKABO (1993b).

Seasons of occurrence: Sp, spring; Su, summer; Au, autumn; Wi, winter; ⊙, peak season;

○, present; —, absent.

*Plecoglossus altivelis* やサガトビウオ *Prognichthys brevipinnis*, オクヨウジ *Urocampus nanus*, イケカツオ *Scomberoides lysan* などの17種で、個体数が5個体以下の魚種は30種を数えた (Table 1)。

### 3.3 種類数と個体数の経月変化

表層曳きによって採集された仔稚魚の種類数は夏季に大きなピークが出現し、最多種数は1993年6月と8月の15種で、次いで1994年8月の13種であった (Fig. 2)。冬季には種数は激減し、1993年11月から1994年2月までの4か月の種数は各々2, 0, 3, 3種、また1994年9月から12月には3, 3, 1, 3種であった。一方、中層曳きでは、最多種数は1994年2月の10種で、次いで1994年8月の8種であった (Fig. 3)。仔稚魚がまったく採集されなかったのは1993年の11月と12月および1994年12月の3か月で、1993年10月と1994年9月、10月には1種だけが採集された。

表層曳きによる採集個体数も夏季に多かった (Fig. 2)。最も多く採集されたのは1993年8月の3,480個体 (1曳網あたり348.0個体) で、次いで1994年8月の3,391 (678.2) 個体であった。前者はカタクチイワシ (採集個体数は2,865個体、割合では82.3%) とサッパ (529個体、15.2%) が全体の97.5% を占め、後者ではサッパだけが全体の96.7% (3,278個体) を占めた。冬季には採集個体数も少なく、1993年と1994年の10月から12月の

6か月間の採集個体数は0~9個体 (1曳網あたり0~1.8個体) であった。ただし、1994年の2月には131個体 (1曳網あたり26.2個体) が採集され、小さなピークが認められたが、これはほとんどがアイナメ (123個体、93.9%) であった。

中層曳きでは、1994年8月の79個体 (1曳網あたり19.8個体) が最も多かった (Fig. 3)。このうち、サッパ (38個体) とカタクチイワシ (12個体)、イダテンギンポ (18個体) の3種が全体の86.1% を占めた。次いで1994年2月 (28個体、1曳網あたり5.6個体) と3月 (11個体、3.7個体) の個体数が多かったが、各々10種と5種が1~11個体出現し、優占する種類はとくになかった。秋から冬にかけての採集個体数は少なく、1993年の11月と12月および1994年の12月には全く採集されなかった。さらに、1993年10月と1994年1月には採集個体は1個体と4個体 (1曳網あたり0.3個体と0.8個体)、また1994年9月と10月には2個体と4個体 (0.5個体と1.0個体) であった。

出現魚種の季節的変化 ここでは、主に水温の変化に基づいて、3~5月を春期、6月と8月を夏期、9~11月を秋期、12~2月を冬期に分け、各魚種の出現状況を明らかにした (Table 1)。

春期だけに出現した魚種は、表層曳きではアナゴ科 *Congridae* sp. やスズキ *Lateolabrax japonicus*, マハゼ *Acanthogobius flavimanus* などの6種で、中層曳きで

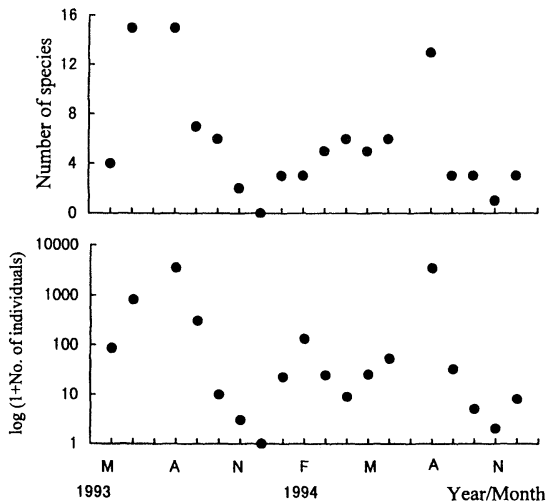


Fig. 2. Monthly changes in number of species (top) and individuals (bottom: logarithmically plotted) of fishes collected by larva-net towed surface-layer from the inner Tokyo Bay from May 1993 to December 1994.

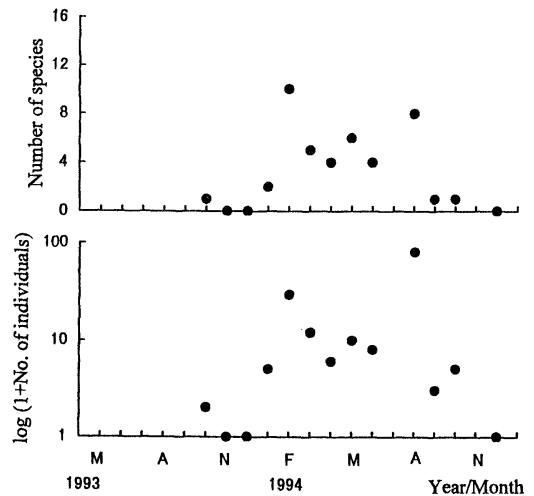


Fig. 3. Monthly changes in number of species (top) and individuals (bottom: logarithmically plotted) of fishes collected by larva-net towed middle-layer from the inner Tokyo Bay from October 1993 to December 1994.

もヒカリエソ *Notolepis rissoni* やイボダイ科 *Centrolophidae* sp., クロソイ *Sebastes schlegeli* などの6種であった。出現のピークが春期の魚種は、表層曳きではなかったが、中層曳きでは春期と夏期に出現したマアジ *Trachurus japonicus* でみられた。

表層曳きでは、ハゼ科 *Gobiidae* sp. が春期と夏期に、マアジが春期と秋期に、さらにウスメバル *Sebastes thompsoni* が春期と冬期に、1個体ずつ出現した。また、中層曳きのコノシロ *Konosirus punctatus* は、春期と夏期に2個体ずつ出現した。

夏期にだけ出現した魚種数は、表層曳きでは最多の14種（アユやサガトビウオ、シロギス *Sillago japonica* など）で、また中層曳きでも7種（ヨウジウオ *Syngnathus schlegeli* やサンゴタツ *Hippocampus japonicus*, シログチ *Argyrosomus argentatus* など）であった。さらに表層曳きでは、夏期に出現のピークがあった魚種が12種みられ、その出現のパターンには以下の5つが認められた：春期と夏期（マイワシ、サッパ、クルマサヨリの3種）、夏期と秋期（サンゴタツ、イソギンボ *Parablennius yatabei*, イダテンギンボ、ナベカ属 *Omobranchus* sp., マゴチ *Platycephalus* sp. (*indicus*) の5種）、春期と夏期と秋期（コノシロとカタクチイワシの2種）、夏期と秋期と冬期（ヨウジウオ1種）、夏期と冬期（アミメハギ *Rudarius ercodes* 1種）。一方、中層曳きでは、サッパとアミメハギの2種が夏期を中心にして秋期にも出現し、カタクチイワシが夏期を中心にして春期と秋期に出現した。

イケカツオとヒイラギ属 *Leiognathus* sp., ネズッポ属 sp.2 の3種（表層曳き）とネズッポ属 sp.1 の1種（中層曳き）は秋期にだけ出現した。表層曳きのトウゴロウイワシは夏期と秋期に出現したが、ピークは秋期であった。

表層曳きで冬期にだけ出現したのはメバル *Sebastes inermis* の1種だけであったが、中層曳きではオクヨウジやアイナメ、イシガレイ *Kareius bicoloratus* などの7種が出現した。表層曳きで出現のピークが冬期にあるものには2つの出現パターンがみられた：冬期と春期（ベニツケギンボ *Dictyosoma rubrimaculatum* とアイナメの2種）、冬期と秋期（ヨロイメバル *Sebastes hubbsi* 1種）。中層曳きでは、メバルとムラソイ *Sebastes pachycephalus pachycephalus* が冬期を中心にして春期にも出現した。

### 3.4 出現魚種の発育段階

本研究で採集された仔稚魚の発育段階は、前期仔魚から稚魚までであった。ただし、魚種によって出現個体の発育段階が異なっていた。まず、前期仔魚だけが得られたのは、マハゼ、クサウオ *Liparis tanakai*, イシガレイの3種であった。ニシン目 spp. とコノシロ、スズキ、ベニツケギンボの4種では、前期仔魚と後期仔魚が採集

された。後期仔魚だけが得られた魚種は最も多く、マイワシやヒイラギ属 sp. など、計20種を数えた。後期仔魚と稚魚が得られたのはサッパ、クルマサヨリ、トウゴロウイワシ、シロギス、マアジ、シログチ、イソギンボ、ナベカ *Omobranchus elegans*, イダテンギンボ、ウスメバル、ムラソイ、ヨロイメバルの11種であった。アユ、サガトビウオ、オクヨウジ、ヨウジウオ、サンゴタツ、イケカツオ、シイラ *Coryphaena hippurus*, クロサギ *Gerres oyena*, ヒメジ *Upeneus bensasi*, ヒメジ科 *Mullidae* sp., イボダイ科 sp. の11種では稚魚だけが採集された。前期仔魚から稚魚までが得られたのはカタクチイワシとメバル、アイナメの3種であった。

表層曳きと中層曳きとの比較では、ほとんどの魚種で発育段階に明瞭な差異は認められなかった。しかし、以下の魚種では、個体数は少ないものの、発育段階に差が認められた：スズキ（表層では後期仔魚のみ、中層では前期仔魚と後期仔魚）、マアジ（表層では稚魚のみ、中層では後期仔魚と稚魚）、シログチ（表層では稚魚のみ、中層では後期仔魚）、メバル（表層では後期仔魚のみ、中層では前期仔魚と後期仔魚、稚魚）、アイナメ（表層では前期仔魚と後期仔魚、稚魚、中層では後期仔魚のみ）。

### 3.5 出現魚種の大きさの経月変化

出現魚種のうち、10個体以上採集された魚種について、その大きさ（体長）の経月変化を調べた。該当する魚種は、表層曳きでは15種、中層曳きでは5種であった。

これらの魚種のうち、表層曳きの11種と中層曳きの3種では経月にともなう明瞭な成長は認められなかった。例えば、表層曳きで最も多く採集されたサッパは1993年の5月と6月、8月に出現したが、その大きさはむしろ5月に採集されたものの方が6月に採集されたものよりも大きかった（5月—体長49.4~67.0 mm, 47個体；6月—体長4.5~11.5 mm と 61.5 mm, 36個体；8月—体長4.7~77.2 mm, 529個体）。また、最も長期間（11か月）にわたって出現したカタクチイワシでは、各月の平均体長は13.6~19.4 mm で、ほとんど横ばいの状態であった（ただし1993年10月には24.5 mm と 27.9 mm の2個体が採集された）。

しかし一方、以下の表層4種と中層2種では、個体数が少なかったり出現期間が短いために明瞭ではないが、経月にともなう成長がみられた（カッコ内には出現の年月と体長の範囲、平均体長、個体数を示す）：表層曳きマイワシ（1994年6月, 4.0~5.5 mm, 4.9 mm, 3；同8月, 6.9~8.5 mm, 7.8 mm, 6）、表層曳きトウゴロウイワシ（1993年8月, 11.6~16.3 mm, 14.8 mm, 6；同9月, 12.5~27.8 mm, 19.2 mm, 5）、表層曳きイダテンギンボ（1993年6月, 3.2~11.3 mm, 7.2 mm, 21；同8月, 4.3~14.7 mm, 7.3 mm, 41；同9月, 15.5と17.4 mm, 16.5 mm, 2）、表層曳きアイナメ（1994年1月, 6.3~11.2 mm, 7.7

mm, 12; 同2月, 6.5~29.7 mm, 10.1 mm, 123; 同3月, 10.9~18.4 mm, 14.4 mm, 18), 中層曳きメバル (1994年1月, 4.4~5.7 mm, 4.9 mm, 3; 同2月, 5.5~12.3 mm, 7.1 mm, 11; 同3月, 10.1 mm, 1個体), 中層曳きムラソイ (1994年2月, 6.0~7.5 mm, 6.6 mm, 6; 同3月, 6.0~9.0 mm, 7.3 mm, 4)。

### 3.6 月間の種組成の比較

月間の種組成の類似度に基づくクラスター分析の結果と、連続する月間の類似度を、表層曳きと中層曳きに分けて Fig. 4 と 5 に示す。

表層曳きでは、大きく3つのグループに分けられた (Fig. 4)。まず、季節からみれば春から秋にかけての、5月~10あるいは11月 (1993年) からなるグループである。このグループは、1993年と1994年の同じ月がクラスターを作りながら、全体としては類似度 0.162 でまとまっていた。二番目のグループは1994年の11月と12月からなり (類似度は 0.500), さらに第一のグループと類似度 0.048 でクラスターを形成する。最後のグループは、1994年の1月~4月からなるグループであるが、1月と2月の類似度が 0.667, これらと3月の類似度が 0.225, さらにこれらと4月とが類似度 0.083 でグループを形成する。さらにこのグループは、第一、二グループと類似度 0.013 でクラスターを形成する。

表層曳きでの連続する月間の類似度では、最大値が1994年1月-2月の 0.667 で、最小値は1993年11月-12月, 同12月-1994年1月および1994年10月-11月の 0 であった (Fig. 4)。1993年5月から10月までのグループでは、類似度が 0.111 から 0.286 と低いものの、類似度は横ばいであった。また、1994年でも、5月から10月までは、類似度が 0.231 から 0.500 で安定していた。1994年1月から4月までは、類似度が 0.667 から 0.125 で安定していた。1994年4月と5月の間では、類似度は 0.111 であるが、その前後 (3月-4月が 0.125, 5月-6月が 0.250) の値から、小さなギャップとなった。

中層曳きでは、1993年11月と12月および1994年10月と12月には1個体も採集されなかったため、他の月との類似度は 0 であった。これら以外の月は大きく二つのグループに分けられた (Fig. 5)。まず、1993年10月と1994年4月~9月までのグループで、全体としては類似度 0.023 でまとまっていた。もう一つのグループは1994年1月~3月のグループで、全体としては類似度 0.184 でまとまっていた。連続する月間では、1994年1月から3月まで (類似度は 0.200 と 0.250) と同4月-5月 (0.286) 以外の月間の類似度は 0 であった (Fig. 5)。

### 4. 論議

本研究で採集された52種のうち、工藤 (1997) によって整理された東京湾産魚類に含まれていないのは、ヒカリエソとクルマサヨリ、サガトビウオ、ウスメバルの4

種である。しかし、クルマサヨリについては、河野ら (1994) が多摩川の河口に近い城南島で2個体 (全長 48.0 mm と 80.4 mm) 採集している。サガトビウオは工藤・中村 (1999) によって体長 18.1 mm の個体が横浜市野島海岸から報告されている。さらに、ウスメバルについても、大きさの記載はないが、1992年に1個体が東京湾の湾奥部で採集されている (東京都水産試験場, 1994)。したがって、本研究で新たに東京湾からの出現が確認されたのは、ヒカリエソだけであった。

表層曳きと中層曳きで採集された魚種を比較すると、曳網回数は異なるものの、表層曳きだけで採集されたのが23種であるのに対し、中層曳きだけでは9種が採集された。表層曳きと中層曳きの両方で採集された魚種については、10種が表層曳きで、また6種が中層曳きでより

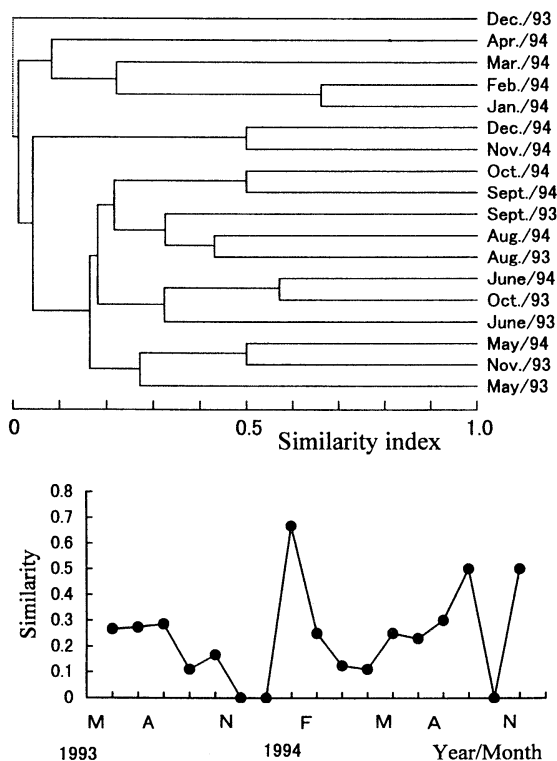


Fig. 4. Top : dendrogram of sampling months based on the similarity index for fishes collected by larva-net towed surface-layer from the inner Tokyo Bay from May 1993 to December 1994.

Bottom : similarity index between consecutive months based on the similarity index for fishes collected by larva-net towed surface-layer from the inner Tokyo Bay from May 1993 to December 1994.

多くの個体が採集され、同数は4種であった。さらに個体数でも、表層曳きの方が多かった(1曳網あたりの個体数を表層と中層で比較すると、83.3対2.7になる)。これらのことから、東京湾湾奥部に出現する仔稚魚は表層性のもが多いことが示唆された。ただし、本研究の調査海域の水深は最も深い所で15m前後であること、および本研究で行った中層曳きでは網入れと回収の際に表層の魚種が採集されている可能性のあること、を付記しておく。なお、中層曳きで採集される魚類は、カサゴ目やカレイ目Pleuronectiformesによって代表される。

垂直分布の様式は魚種によっていろいろなパターンを示し、さらに、中層から深層にかけては多くの卵や仔稚魚が分布することが知られている(沖山, 1965; 南・玉木, 1980; 堀木, 1981; 山本ら, 1997)。しかし本研究では、仔稚魚の出現は種類数でも個体数でも表層の方が圧倒的に多かった。これは、水深が浅い(5~15m)という東京湾湾奥部の物理的な特性だけではなく、池島・

清水(1997)などが指摘しているような湾奥部に形成される底層水の貧酸素水塊あるいは無酸素水塊の影響があるのかもしれない。

本研究で得られた52種の仔稚魚のうち、10個体以上採集された魚種は16種で、ふた月以上にわたって出現したのは25種、二つ以上の发育段階が出現したのは33種であった。

これらの条件をすべて満たしているのは、サッパ、コノシロ、カタクチイワシ、クルマサヨリ、トウゴロウイワシ、イソギンポ、イダテンギンポ、メバル、ムラソイ、アイナメの10種で、これらが東京湾湾奥部の仔稚魚相を形成する主要魚種であると考えられた。これらの主要魚種は、「生活史のある段階で長期間利用する」(那須ら, 1996)という意味で、東京湾の湾奥部を“生育の場”として利用していると考えられる。さらに主要魚種は、同水域で成長がみられた5種(トウゴロウイワシ、イダテンギンポ、アイナメ、メバル、ムラソイ)と成長がみられないその他の5種に分けられる。これは、後者では、ある程度の期間にわたり複数の发育段階の個体が出現することから、複数の発生群からなっているために見かけ上の成長がみられないことに起因するものと考えられる(森, 1995)。

主要魚種ではないと判断された魚種も、出現した发育段階に基づいて、いくつかのグループに分けることができた。

- 1) 前期仔魚だけが出現したグループ
  - ① 個体数は少ないが、2か月以上にわたって出現した(マハゼ)
  - ② 個体数は少なく、また1か月だけ出現した(イシガレイ、クサウオ)
- 2) 後期仔魚だけが出現したグループ
  - ① 個体数も多く、2か月以上にわたって出現した(マイワシ、マゴチ、ナベカ属sp.)
  - ② 個体数は少ないが、2か月以上にわたって出現した(ネズボ属sp. 2, ハゼ科 sp., マコガレイ、アミメハギ)
  - ③ 個体数は少なく、また1か月だけ出現した(ヒイラギ属sp. など14種)
- 3) 稚魚だけが出現するグループ
  - ① 個体数も多く、2か月以上にわたって出現した(ヨウジウオとサンゴタツ)
  - ② 個体数は少なく、また1か月だけ出現した(アユやサガトビウオ、オクヨウジなど9種)
- 4) 前期仔魚と後期仔魚が出現したグループ
  - ① 個体数は少ないが、2か月以上にわたって出現した(ベニツケギンポ)
- 5) 後期仔魚と稚魚が出現したグループ
  - ① 個体数は多いが、1か月だけ出現した(シロギス)
  - ② 個体数は少ないが、2か月以上にわたって出現

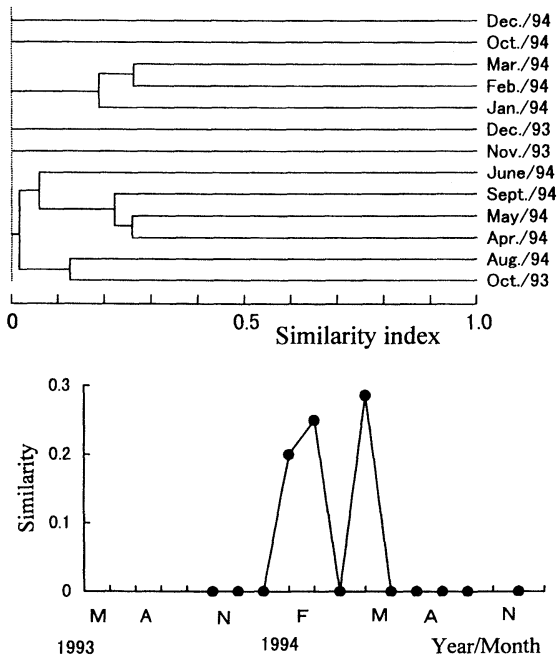


Fig. 5. Top : dendrogram of sampling months based on the similarity index for fishes collected by larva-net towed middle-layer from the inner Tokyo Bay from October 1993 to December 1994.

Bottom : similarity index between consecutive months based on the similarity index for fishes collected by larva-net towed middle-layer from the inner Tokyo Bay from October 1993 to December 1994.

した(マアジ, ウスメバル, ヨロイメバル, ナベカ)

次に, 本研究で得られた仔稚魚の季節的变化については, クラスタ分析および連続する月間の類似度から, 表層曳きも中層曳きも, 採集された魚類は春~秋と冬の2つのグループに分けられることが判明した。そこで, 4月と12月を重複させた春~秋期(4月から12月)と冬期(12月から4月)に分け, 採集された魚種の出現期を調べた。その結果, 春~秋期の表層曳きでは, ニシン目, ダツ目 Beloniformes, ヨウジウオ目 Syngnathiformes 魚類のすべてとトウゴロウイワシ, さらにズキとマハゼ, ベニツケギンポを除くすべてのズキ目とヨロイメバル, カサゴ, フサカサゴ科 Scorpaenidae sp., マゴチのカサゴ目魚類が出現した。春~秋期中層曳きでもほぼ同様の結果であった。一方, 冬期の表層曳きでは, 上記4種を除くカサゴ目6種が採集された。冬期中層曳きでは, これらに加え, ヒカリエソ, サガトビウオ, およびカレイ目3種が採集された。これらのことから, 東京湾の湾奥部では, 4月と11/12月を境にして, 仔稚魚相の交代が起こっていると結論された。

出現する仔稚魚の種数や個体数が, 春から夏にかけて増加し, 秋から冬にかけては減少するという傾向は, 多くの海域でいろいろな採集方法で報告されている(森, 1995; 岡部, 1996; 那須ら, 1996)。また, 稚魚ネットで山口県の油谷湾の魚類相を調査した森(1995)は, 冬季にはメバルやカサゴの仲間あるいはヒラメやカレイ類が多く出現することを報告している。これらの現象は, 温帯域の内湾あるいは沿岸における仔稚魚相の季節変化の特徴を示しているものと考えられる。

これまで, ある水域に出現する魚類については, その生息場所の利用形態によって様々な分類が行われてきた(岩田ら, 1979; 森, 1995)。しかし本研究では, 稚魚ネットという限られた方法に加え, 調査水域が東京湾湾奥部の浅海沿岸域という特性から, 生息場に着目して出現魚種を分類するということはできなかった。むしろ本研究は, 各魚種の生活史の中で, この特異な場がどのような役割りを果たしているのか, という疑問に答えるための基礎的情報を提供するものと考えられる。その疑問に答えるためには, 今後, 魚類相と各魚種という観点から, 1) 東京湾全域における沖合い水域の仔稚魚相の研究, および2) 各魚種に着目した生活史の研究, などが必要となるであろう。

## 謝辞

本研究をすすめるにあたり, 適切な指導と助言をいただいた東京水産大学魚類学研究室名誉教授の多紀保彦博士, 同教授の藤田清博士に厚くお礼申し上げます。また, 本研究のための仔稚魚採集に協力していただいた同研究室の茂木正人, 加藤充宏, 渡川浩一の各氏をはじめとする学生諸氏に感謝する。なお, 標本の登録と管理は, と

くに現在同研究室大学院生の加納光樹, 荒山和則, 今井仁の諸氏にお願いした。

## 文献

- 風呂田利夫(1985): 第9章 東京湾・生物. 日本全国沿岸海洋誌(日本海洋学会沿岸海洋研究部会編), 東海大学出版会, 東京, pp. 373-387.
- 林公義・伊藤孝(1974): 館山湾南部(沖ノ島, 鷹ノ島, 西岬, 州崎)にみられる魚類について. 横須賀市博物館雑報, 19, 18-30.
- 堀木信男(1981): 紀伊水道における魚卵・稚仔魚の分布について. 水産増殖, 29(2), 117-124.
- 池島耕・清水誠(1997): 東京湾におけるハタタテメリの分布とその季節変化. 魚類学雑誌, 44(1), 43-49.
- 岩田明久・酒井敬一・細谷誠一(1979): 横浜市沿岸域における環境変化と魚類相. 公害資料(82), 横浜市公害対策局, 246 pp.
- 小林四郎(1995): 生物群集の多変量解析. 蒼樹書房, 194 pp.
- 河野博, 渡川浩一, 多紀保彦(1994): 多摩川下流域の魚類相-I. 河口域. 水生生物調査結果報告書, 東京都大田区環境部環境保全課, pp. 19-45.
- 工藤孝浩(1997): 第1部 海域の生物 第4章 魚類. 東京湾の自然誌(沼田眞, 風呂田利夫編), 築地書館, pp. 115-142.
- 工藤孝浩・中村良成(1999): 横浜, 川崎および中の瀬海域から初記録の魚類-III. 神奈川自然誌資料, (20), 45-54.
- 工藤貴彦・林公義(1996): 横浜市沿岸域の魚類調査(1994年度)-魚類相及び漁獲状況の変化-. 環境保全資料(183), 横浜の川と海の生物, 第7報・海域編, 横浜市環境保全局, 17-68.
- 南卓志・玉木哲也(1980): 山陰沿岸における稚仔魚の沖合および岸寄り分布. 魚類学雑誌, 27, 156-164.
- 森慶一郎(1995): 山口県油谷湾における魚類の生態学的研究. 中央水産研究所研究報告, (7), 277-388.
- 中坊徹次(編)(1993a): 日本産魚類検索. 東海大学出版会, 1474 pp.
- 中坊徹次(1993b): コチ科. 日本産魚類検索(中坊徹次編), 東海大学出版会, pp. 535-539.
- 那須賢二, 甲原道子, 渡川浩一, 河野博(1996): 東京湾湾奥部京浜島の干潟に出現する魚類. 東京水産大学研究報告, 82(2), 125-133.
- 岡部久(1996): 房総半島小湊の岩礁域における灯火採集によって得られた仔稚魚. 魚類学雑誌, 43, 79-88.
- 沖山宗雄(1965): 佐渡海峡に出現する魚卵・稚仔に関する予察的研究. 日本海区水産研究所研究報告, (15), 13-37.
- 沖山宗雄(編)(1988): 日本産稚魚図鑑. 東海大学出版会, 1154 pp.
- 竹内博治(1979): 新浜湖における卵・稚仔期の魚類調査. 千葉県・新浜研究会, pp. 55-74.

- 時村宗春・清水 誠（1998）：東京湾内湾部の底魚群集の変遷と環境変化。総特集－底魚群集の構造と機能－，月刊海洋，pp. 347-359.
- 東京都環境保全局水質保全部（1999）：第3部 海域編 III 魚類。平成9年度水生生物調査結果報告書，pp. 210-226.
- 東京都水産試験場（1994）：I 試験・調査 A-3. 内湾（温水魚研究部）1. マハゼ調査。平成4年度事業報告，pp. 13-17
- 山本圭吾・辻野耕實・中嶋昌紀（1997）：14. 魚類卵稚仔調査。平成7年度大阪府立水産試験場事業報告，121, 133 pp.
- 渡辺泰輔・服部茂昌（1971）：魚類の發育段階の形態区分とそれらの生態的特徴。さかな，7, 54-59.

1999年7月10日 受付

1999年10月29日 受理

日仏海洋学会賞受賞記念講演

北西太平洋及び日本海の深層循環に関する研究\*

須藤 英雄\*\*

Studies on deep circulation of the northwestern Pacific Ocean  
and the Japan Sea\*

Hideo SUDO\*\*

このたびは日仏海洋学会賞をいただき、まことに光栄に存じます。

私はこれまでたいした仕事をしてきたわけではありませぬし、特に太平洋の深層循環などに関しては、WOCEの解析がすすめば、私のこれまでの仕事などは、ほんとうにとるにたりないものになると思われまふ。それに私は仕事が遅く、未完成や未発表のままになっているものもいくつかあります。そこで、本日は、観測資料をながめたり、いじったりすると、どのようなことがわかるかということについて、二三紹介させていただきたいと思ひます。

主な話題は、

β-スパイラルと流速絶対値の推定

北西太平洋の深層水の性質や特徴

日本海固有水の特徴と生成域

の3つです。

β-スパイラルと流速絶対値の推定

水温や塩分を測るだけで海流の計算ができる—この地衡流というものの存在は、私にとっては驚きでした。深層水に関するデータは少ないが、現象の機構はかんたんなはずなので、何とかして絶対値を求める方法があるのではないか、たまたま1957-1958年のIGY(国際地球観測年)の大西洋のアトラスとデータ(FUGLISTER, 1960)をみてとりくんでみたわけです。STOMMEL(1956)が $(\beta/f)v$ ( $f$ はコリオリパラメータ;  $x, y, z$ の各座標軸を東, 北, 鉛直上方にとり、それぞれの流速成分を $u, v,$

$w$ であらわす。このとき、 $\beta = \partial f / \partial y$ )を用いる無流面決定法を発表したのは画期的なことでもありました。

実はこの流速絶対値決定法、今日でのインバース法の元祖は、日高先生(HIDAKA, 1940a, b)のようでありまふ(WUNSCH, 1996)。海面から海底に達する4つの観測点をつなぐと、三角形のプリズム(三角柱)が4つできますが、独立なのは3つ、断面は6つになります。海水のボリューム(体積)と塩分の保存の式を用いると、6つの関係式が得られ、6断面についての流速を決めることができます。先生はこれを北大西洋のメテオール号のデータに適用して、流速を求め、しかも連続の式を用いて $w$ まで計算しておられます。しかし、当時DEFANTがこれを無視したということで、学界ではとりあげられることもなく、先生自身もその後言及されることがなかったようです。それが40年近くたってから、STOMMEL, WUNSCHらによってみごとに陽の目をみることになったわけです。

私(SUDO, 1965)のはこの日高先生の方法とストンメルの方法とをとり入れたもので、水温と塩分の保存の式(拡散方程式)で拡散項は移流項に比べて省略できることを示し、 $w$ は

$$\frac{\beta}{f}v = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (1)$$

を $z$ について積分して消去します。そして、いろいろな深さにおける水温と塩分の保存式から、最小二乗法的にある深さ( $D$ )の流速 $u, v$ の絶対値を決めようというものです(Fig. 1)。

深さが異なると流れがどのように変化するか、これがベータスパイラルといわれているもので、地衡流の向きが深さとともに時計まわりに変化することで、向きとしてはエクマンスパイラルと同じです。かんたんな例として、中緯度での亜熱帯高気圧下で、躍層を境界とする2層モデルを考えます。エクマン層は沈降域であり、躍層の下(下層)は、式(1)の関係より、 $v < 0$ となり、地衡流は南向きです。下層の厚さを $h$ とし、海面から下層

\* 1999年6月12日 日仏会館(東京)で講演  
Conférence à la remise du Prix de la Société  
franco-japonaise d'océanographie

\*\* 立正大学地球環境科学部環境システム学科  
〒360-0194 埼玉県熊谷市万吉1700

Department of Environmental Systems, Faculty  
of Geo-Environmental Science, Risscho University,  
1700 Magechi, Kumagaya-shi, Saitama 360-0194



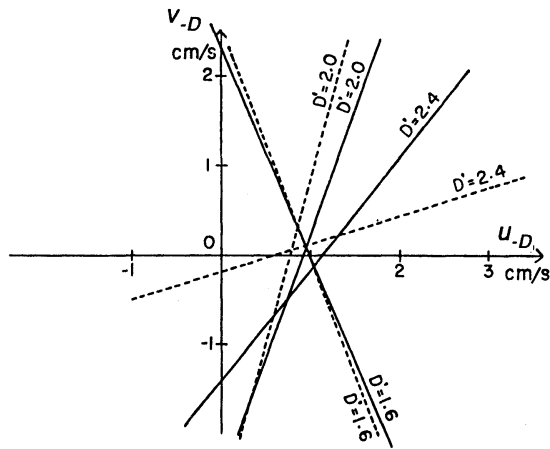


Fig. 1. An example of lines showing the relation between zonal and meridional components of the absolute velocity. A depth  $D$  for which the absolute velocity is determined is chosen to be 2000 m. The position is about  $36^{\circ}40' N, 11^{\circ}00' W$  off the coast of Portugal. Full and broken lines denote the relation obtained through potential temperature and salinity at depth  $D'$  (km), respectively. The most probable velocity ( $u_{-D}, v_{-D}$ ) is the intersection,  $(0.95 \text{ cm s}^{-1}, 0.10 \text{ cm s}^{-1})$  (SUDO, 1965).

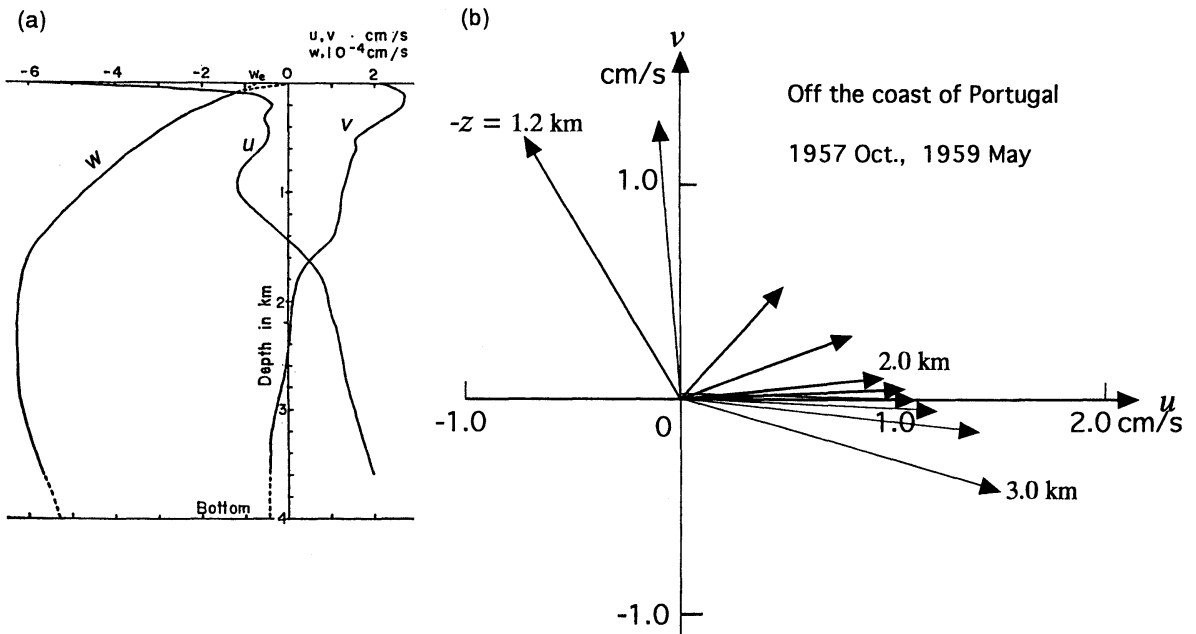


Fig. 2. Vertical distribution of geostrophic components  $u, v$ , and vertical component  $w$ (a) (SUDO, 1965) and horizontal velocity vectors at some depths (b) for the position mentioned in Fig. 1.

の底までの深さを一定とします。ポテンシャル渦度  $f/h$  が保存されるので、南へ向かって  $h$  が減少し、そのぶん上層の厚さが増加し、境界面の傾きから、上層には東向きの流速成分が現われます。温度風の関係式により、

南北方向に温度こう配があればベータスパイラルが現われます (PEDLOSKY, 1998)。

さて、私はベータスパイラルなるものの存在には気がつかずにこの論文を書いたのですが、今年になってあら

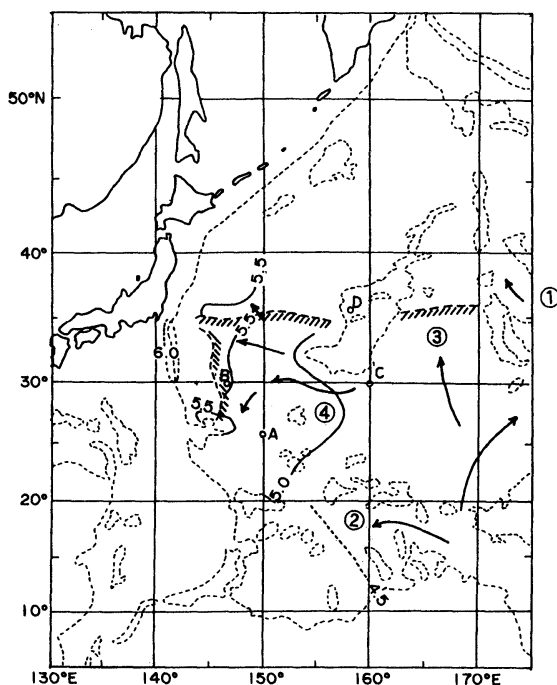


Fig. 3. Spreading areas of the Pacific Bottom Water and its upper boundary depths (km). It is probable that the water usually reaches to the shaded sides of heavy broken lines and occasionally spreads to the north or to the west of the lines. Light dashed lines represent isobaths of 5 km (須藤, 1982).

ためて図 (Fig. 1) をみましたら、それらしきものが現われているようなので驚かされた。流速ベクトルを描いてみるときれいで出ています (Fig. 2b)。

実は、以前からこのような構想をもっていたストンメルは、この私の論文をみてベータスパイラルの存在に確信をもつに至ったのではないかと考えられます。(STOMMEL and SCHOTT, 1977; SCHOTT and STOMMEL, 1978)。10年間以上もデータを集めて検証したのでしょう。ストンメルの記念論文集のSCHOTTの解説によれば、1976年キールでこの問題がとりあげられたとき、皆初めは信じなかったということです (SCHOTT, 1995)。

#### 北西太平洋の深層水の性質や特徴

私は1972年に水産庁の東海区水産研究所に移りました。日本の原子力発電が本格化するのに伴い、その放射性固体廃棄物の処分が大きな課題となりました。当時は深層の直接測流はまだ始まったばかりなので、深層循環を調べるには、各層観測による以外にはないと、水産庁の開洋丸を利用して、水温、塩分、溶在酸素に関しては最大の精度を確保できるような観測を実施しました。また、北西太平洋の深層水に関する観測資料をすべて集めて解析することにしました。この仕事はなかなか完結せず、1981年に東京水産大学に移ってから続けました (須藤,

1982)。

太平洋の深層水は非常に均質であるとされてきましたが、ところどころにやや目につく変化がみられ、やや異なる水塊が重なっているためと考えられます。たとえば、北西太平洋の底層水は5000 m以深にみられ、ポテンシャル水温  $1.04^{\circ}\text{C}$  以下、溶在酸素がおよそ  $3.80 \text{ ml l}^{-1}$  以上と定義できます。この底層水の流動は、北西太平洋では次のように4つに分かれると考えました。①ミッドウェー島北西の水路から北東太平洋海盆へはいる、天皇海山列 (北西太平洋海嶺) の東側を北上する。残りは、一部は西進し (②) マリアナ海嶺の南の裂け目 ( $11^{\circ}\text{N}$ ,  $141^{\circ}\text{E}$  付近) からフィリピン海へはいる。ここで低温・高酸素の特製は失われるが、マリアナ海嶺ぞいほぼ  $140^{\circ}\text{E}$  線に沿って北上、四国海盆へはいる。そして、四国海盆を経て、あるいは直接にフィリピン海盆へも流入する。残りの底層水はさらに北上し、シャッキー海膨 (北西太平洋海膨) の両側に分かれる (③④) が、 $25\text{--}35^{\circ}\text{N}$  付近では、 $160^{\circ}\text{E}$  付近から西へ向かう流動 (④) が最も重要で、ほぼ  $36^{\circ}\text{N}$  以南、 $146^{\circ}\text{E}$  以東の海底をおおっている。時にはさらに西方あるいは北方へ達し、伊豆・小笠原海溝内の水を散発的に更新する (Fig. 3)。

海底近くまでの深層水の鉛直断面図をつくってみると、海底近くで水温・塩分等の等値線が海底の起伏に沿って

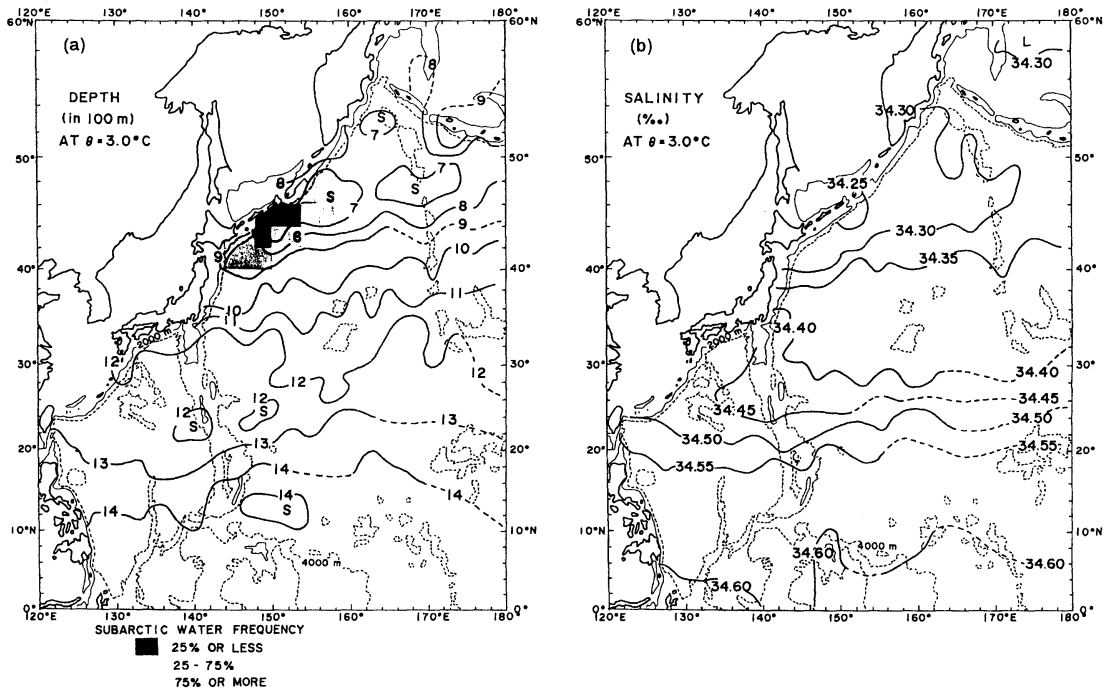


Fig. 4. Depth (a) and salinity (b) on a surface of potential temperature 3.0°C.

上がり下がりしていることが多いようです。伊豆・小笠原海溝を含む北西太平洋海盆南西部では、鉛直断面における等密度線のうねりが4,000 m以深で海底まで深さとともに増大する傾向が、等温線（等ポテンシャル温度線）のうねりよりも著しくなっています。すなわち、一般に等温度面と等塩分面とは平行していません。特に海底近くでは、海底からの熱の供給による昇温が等温度線（面）の構造に影響している可能性があります（SUDO, 1983）。

中層（およそ1000-4000 m）の流れはかつては最も知識が乏しいものでした。地衡流はほぼ等密度線に沿って流れていると考えられるので、等密度面の深さの分布や等密度面におけるいろいろな量の分布図を作ってみれば、地衡流の定性的な分布が推定できそうです。しかし、塩分のデータが質・量ともに劣るので等ポテンシャル温度面上の分布図をつくってみたほうがよいようです。これは WORTHINGTON and WRIGHT (1970) が大西洋で試みて立派なアトラスになっています。北西太平洋について、ポテンシャル水温 3.0°C, 2.0°C, 1.3°C それぞれの深さ、塩分、溶在酸素の分布図をつくってみました。①1000 m くらいの深さなのにもかかわらず、45°N以南の天皇家山列を越える等深度線が南へう回するなど、海底地形の影響が現われています（Fig. 4a）。②北西太平洋海盆内では、10-20°Nおよび30-40°Nでは、等温度面と等塩

分面とは平行していますが、他は平行せずに交わっています。塩分の値が北へ向かって低くなっているのは、等塩分面の傾斜は等温度面の傾斜より小さい、すなわち等密度面の傾斜は両者の中間ということになります（Fig. 4b）。③伊豆・小笠原海嶺付近から西では、等塩分面、等酸素面とも海嶺斜面に平行に西へ傾斜し、海嶺を越えると（東側では）塩分も酸素もかなり減少しています。

#### 日本海固有水の特徴と生成域

私が日本海の研究をするようになったのは、直接には1972年から東海区水研で原子力発電所の温排水問題もあつかうようになったためです。しかし、その直前市榮先生のもとでカリブ海やメキシコ湾の水塊や循環の研究をてがけ、かなり大きな付属海や縁辺海の循環に興味をもつようになったことが大きく影響しています。

宇田先生が初めて指摘された日本海固有水が、ポテンシャル水温 0.1°C の深さ（約 800-1000 m）で鉛直に不連続となる構造がみられ、特に溶在酸素が  $1 \text{ ml l}^{-1}$  以上も減少することがあるのは驚きでした（SUDO, 1986）。水塊構造を探るのには、まず水温、塩分、酸素の鉛直分布図を描いてみることであり、という教訓を示した好例だと思います。この不連続の上部側は  $\sigma_\theta$ （ポテンシャル密度）が  $27.32-27.34 \text{ kg m}^{-3}$  のモード水を形成してい

るらしいことがわかりましたので、 $\sigma_\theta = 27.32$  面、27.34 面の深さや酸素の分布を調べてその生成域を探ってみました。溶在酸素の分布からみると、北海道の北東方斜面、43-45°Nのシベリア沖、40-42°Nの134-135°E以西の3海域が可能性のある海域となりましたが、等密度面の深さやJODC編水路協会刊行の海洋環境図をも参照した海面水温や塩分分布などから、132-134°Eの41°N以北が最も可能性が高いと推定しました。決定的だったのは、1971年3月の拓洋の観測で、133°Eの41°N以北で $\sigma_\theta = 27.33-27.35$ の固有水上部が1600 mの深さに達し、その上層約400 mが溶在酸素が $7.0 \text{ ml l}^{-1}$ 以上の均質な水となっている観測点のあることでした。最近(1997年1月)日本海固有水の生成機構を探るための熱フラックスの解析(風速ベクトルと海面水温の衛星観測)が実施され、私のこの結果が俎上にのせられたのは思いがけないことでもありました(Fig. 5)(KAWAMURA and WU, 1998)。

私が海洋学を本格的に学びはじめてから40年以上たちました。この間ほんとうに多くのかたがたのご指導、お力添えをいただきました。東京大学、テキサス・エアーランドエム大学、東海区水産研究所在学中から引き続きご指導を賜りました日高孝次先生、宇田道隆先生、吉田耕造先生、梶浦欣二郎先生、高野健三先生、永田豊先生、市榮 馨先生、敦賀花人先生には心からお礼申し上げます。東京水産大学へまいりましてからひとかたならぬ励ましと助言をいただいた齋藤泰一先生、松山優治先生、共同研究者としてお世話になった千手智晴博士には厚くお礼申し上げます。寺本俊彦先生、松川康夫博士をはじめ関係の研究室内外の皆様や学会関係その他のかたがたのお力添えに深く感謝いたします。また陰で協力してくれた妻泰子に感謝します。

最後に、私が、日本の代表的な海洋学者であった日高、宇田両先生のお仕事にも直接関わりのある成果をこの席でご紹介できましたことをたいへんありがたく、そして幸せに存じております。数年後には両先生の生誕百周年を迎えることとなりますが、そのときはシンポジウムのようなささやかな記念行事を開催して、両先生に感謝し、偉業をたたえたいと考えておりますのでよろしく願いたします。

本日はどうもありがとうございました。

#### 文 献

- FUGLISTER, F. C. (1960): Atlantic Ocean Atlas of Temperature and Salinity Profiles and Data from the International Geophysical Year, 1957 - 1958. Woods Hole Oceanographic Institution Atlas Series I : 209 pp.
- HIDAKA, K. (1940a): Absolute evaluation of ocean currents in dynamical calculations. Proc. Imp. Acad. Tokyo, 16, 391-393.

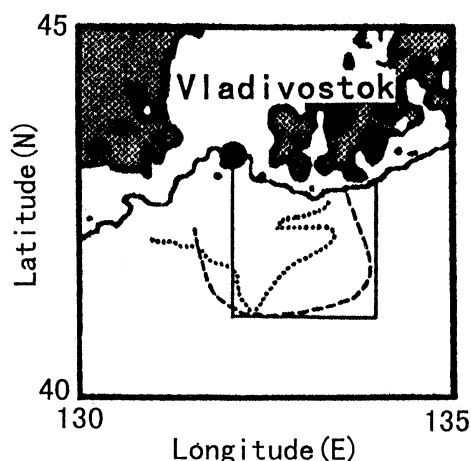


Fig. 5. The Japan Sea Proper Water formation area (north of 41°N and 132°-134°E, solid line) proposed by SUDO (1986), the heat flux center off Vladivostok extracted from the distribution chart of monthly mean turbulent heat flux for January 1997 (dashed line), and the coldest sea surface temperature area off Vladivostok obtained from multichannel sea surface temperature images (dotted line) (KAWAMURA and WU, 1998).

- HIDAKA, K. (1940b): Practical evaluation of ocean currents. Proc. Imp. Acad. Tokyo, 16, 394-397.
- KAWAMURA, H. and P. WU (1998): Formation mechanism of Japan Sea Proper Water in the flux center off Vladivostok. J. Geophys. Res., 103, 21, 611-21, 622.
- PEDLOSKY, J. (1998): Ocean Circulation Theory. Springer-Verlag, Berlin, 453 pp.
- SCHOTT, F. (1995): Henry Stommel's contributions to beta spiral, water mass properties and climate. In: Collected Works of Henry M. STOMMEL, vol. II, ed. by HOGG, N. G. and R. X. HUANG, Amer. Meteorol. Soc., Boston, II-719-II-723.
- SCHOTT, F. and H. STOMMEL (1978): Beta spirals and absolute velocities in different oceans. Deep-Sea Res., 25, 961-1010.
- STOMMEL, H. (1956): On the determination of the depth of no meridional motion. Deep-Sea Res., 3, 273-278.
- STOMMEL, H. and F. SCHOTT (1977): The beta spiral and the determination of the absolute velocity field from hydrographic station data. Deep-Sea Res., 24, 325-329.
- SUDO, H. (1965): An analysis on the deep current of the ocean; with its application to the circulation of the Atlantic Ocean. Jap. J. of Geophysics, 4, 1-70.

- 須藤英雄 (1982): 放射性固体廃棄物の海洋処分に伴う海産生物等に関する調査報告書, 昭和52~55年度, 海洋環境, 水産庁東海区水産研究所, 174pp. (with English abstract).
- SUDO, H. (1983): Deep water isopleth distributions in the western North Pacific. *La mer*, **21**, 61-74.
- SUDO, H. (1986): A note on the Japan Sea Proper Water. *Prog. Oceanogr.*, **17**, 313-336.
- WORTHINGTON, L. V. and W. R. WRIGHT (1970): North Atlantic Ocean Atlas of Potential Temperature and Salinity in the Deep Water Including Temperature, Salinity, and Oxygen Profiles from the Erika Dan Cruise of 1962. Woods Hole Oceanographic Institution Atlas Series **2**: 24 pp. and 58 plates.
- WUNSCH, C. (1996): The Ocean Circulation Inverse Problem. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 442 pp.

資料

平成11年度 日仏海洋学会学術研究発表会 講演要旨

平成11年6月12日(土) 日仏会館会議室

(1) 東京湾口における有孔虫フラックスの変動……○野村英明・雨宮由佳(東水大)・才野敏郎(名大・大水研)・柳 哲雄(九大・応力研)・乗木新一郎(北大)・石丸 隆(東水大)

東京湾湾口における有孔虫フラックスの変動を調べるために、1995年5月から1996年12月まで、陸棚斜面の水深800-880mの海底上100mにセディメントトラップを設置した。用いたトラップは時間分割式で、1週間に1本の標本がとれる。有孔虫フラックスは $0-9.24 \times 10^6$  (平均 $2.36 \times 10^6$ )  $m^{-2} week^{-1}$  の範囲で変動した。季節的には有孔虫フラックスは秋季から冬季(10-2月)に $3.54 \times 10^6 m^{-2} week^{-1}$  で、春季から夏季(3-9月)の $1.47 \times 10^6 week^{-1}$  に比べ多かった。年平均で、有孔虫フラックスに占める底生性有孔虫フラックスの割合は60%、浮遊性有孔虫フラックスは30%、浮遊性か底生性に分類できなかった有孔虫フラックスが10%であった。東京湾湾口における有孔虫フラックスの中で、底生性有孔虫フラックスは高い割合を占めていた。秋季から冬季の底生性有孔虫フラックスは平均 $2.25 \times 10^6 m^{-2} week^{-1}$  となり、春季から夏季の平均 $0.75 \times 10^6 m^{-2} week^{-1}$  に比べ、3倍高かった。

堆積物の上や中に生息する底生性有孔虫が、水中に設置したセディメントトラップで捕集されたことは、底生性有孔虫が海底からまい上げられて水中に懸濁したことを意味している。有孔虫の沈降速度は速いから、トラップ設置水深で深からまい上げられた底生性有孔虫がトラップに捕集されるとは考えられない。秋季から冬季の底生性有孔虫フラックスの増加は、陸棚海底上の堆積物中の有孔虫が懸濁した後、陸棚斜面に沿って沈降する過程がこの時期に高い頻度で起こっていることを示している。また、有孔虫フラックスの増減はなだらかな山を描かない。フラックスは週毎に変動し、特にフラックスの多い秋季に著しい。おそらく懸濁自体は強く働く時とそうでない時があり、週の内でも数日あるいはそれより短い間隔で間欠的に起こっている。

(2) 伊勢湾の植物プランクトン群集……○松村 剛・石丸 隆(東水大)

伊勢湾は日本で最も富栄養化した内湾の一つである。湾の生態系を考える上で植物プランクトン群集について知ることは重要であるが、伊勢湾全域を対象とした研究は見当たらない。本研究は、伊勢湾の広い範囲で調査を行い、植物プランクトン群集の特徴を明らかにすることを目的として行った。観測は1996年4月、7月、11月および1997年1月に、湾内から湾外にかけての8測点で行った。各測点で表面水を採水し、植物プランクトンの検鏡に用いた。また、群集の分布を調べるため、各測点の種毎の細胞密度についてクラスター解析を行った。4月は、湾内には円石藻の *Gephyrocapsa oceanica* と珪藻の *Pseudonitzschia* sp. cf. *pungens* の多い群集、湾口付近には *G. oceanica* の優占する群集、湾外には *Chaetoceros debilis* と *P. sp. cf. pungens* の多い珪藻群集が分布した。7月には渦鞭毛藻が優占した。湾内から湾口沖合にかけては2つの群集が分布したが、両群集とも *Ceratium* や *Prorocentrum minimum* が多く、よく似た群集であった。さらに沖合には総細胞密度が低い2つの群集が分布した。11月には多くの種が少量ずつ出現した。湾内から湾口にかけての大部分は珪質鞭毛藻の *Distephanus speculum*, *Ceratium fusus* などの渦鞭毛藻、*C. debilis* を主体とする群集、湾外には円石藻の *Emiliania huxleyi* の多い群集と *P. minimum* の優占する群集が分布した。1月には珪藻が優占した。湾内から湾口にかけては *Detonula pumila* が優先する群集、湾外には *D. pumila*, *Chaetoceros socialis*, *G. oceanica* が多い群集と *P. minimum*, *Chaetoceros compressum* が多い群集が分布した。いずれの季節においても湾内の植物プランクトン群集は、湾口付近までほぼ一つであり、これは湾内の塩分の変動が小さく、環境の変化が乏しいためと考えられる。また、冬季から春季にかけて珪藻類が、夏季から秋季にかけて渦鞭毛藻類が優占し、分類群が大きく季節変動すること、円石藻類が多く出現することが伊勢湾の特徴であると考えられる。

## (3) アラビア海で採取されたドリルコアサンプルの鉱物・地球化学的研究(予報)……青木三郎(東洋大)

サンプルと分析の方法: OPD117で採取されたドリルコアサンプルを使用。

サンプルを粉末にし、2ミクロン以下の粒子を沈殿法により回収し分析試料とした。鉱物の定性・定量はX線解析法(XRD)、粘土粒子の化学分析は蛍光X線分析法(FXR)により、また粘土鉱物の化学組成分析には透過型分析電子顕微鏡(ATEM)を使用した。

結果: XRDにより次の粘土鉱物が同定された。illite, chlorite, smectite, palygorskite, kaoliniteの5種類である。palygorskite以外は一般の海底堆積物中に普遍的に分布するが、palygorskiteはアラビア海堆積物の鉱物組成を特徴づけている。この鉱物は、乾燥した砂漠地帯からの産出が報告されており、アラビア半島から運搬されてくることが考えられる。数本のコアサンプルの分析結果では、palygorskiteはコアの上下で含有率の差異が認められたり、含まれていなかったりし、この鉱物の含有率が過去の周辺陸域の環境変動と連動していることを暗示しているようである。ATEMにより、smectite, chlorite, の化学組成が判明した。smectiteはFe-Al beidelliteが最も多く存在し、saponiteも比較的多く含まれている。特にsaponiteの存在は、アラビア半島やアラビア海堆積物下位のオフィオライトの存在との関連が注目される。chloriteは海底堆積物中に普遍的に分布しているFe-Mgタイプである。FXR分析の結果を碎屑性鉱物の量的変動や生物生産活動との関連で検討するためSi/Al, Fe/Al, K/Al, P/Al, Ca/Sr比で示した。結果は各コアの上下で比較して見ると傾向があるものとならないものが認められた。

## (4) 小型船舶の器械雑音と水力雑音に関する研究……渡部 武・荒川久幸・森永 勤(東水大)

海中に放射される人工雑音には、船舶の航走による雑音や海中工事に伴う雑音等が存在する。近年沿岸域においては、小型船やプレジャーボートの数が増加しているため、これらを原因とする背景雑音が著しく大きくなっていると考えられる。

本研究は、小型船舶からの放射雑音を、機関から発する音(機械雑音)と航走中のプロペラ等から発する雑音(水力雑音)の2つに大別し、各雑音がエンジン回転数の違いによりどのように変化するかを現場観測で調べた。

観測は、1998年10月26日、千葉県洲崎の沖約3kmの海域で行った。水深は250~400m、底質は砂であった。観測には音源船として(1.8t, 35馬力)及び採音船(0.2t)を使用した。採音にはハイドロフォン(沖電気社製; ST-8004)、前置増幅器(沖電気社製; ST-80B)及びDATテープレコーダー(SONY社製; PC204A)を用いた。海中雑音の収録は、採音船の舷側よりハイドロフォンを水深5mに垂下して行った。アイドリング雑音の場合は、音源船と採音船の距離を10mに保ち、エンジン回転数を1000, 2200, 3500rpmの3段階について行った。航走時の雑音の場合は、エンジン回転数を上記と同様3段階とし、音源船が採音船の正横距離10mの最接近点を通過するように行った。収録したデータはFFTアナライザー(小野測器社製; CF-5210)を用い周波数帯域10kHzのスペクトル解析を行った。各周波数スペクトルは10回平均より求めた。ここで、機械雑音はアイドリング雑音から背景雑音を引いた雑音、水力雑音は航走時の雑音からアイドリング雑音を引いた雑音と定義する。結果は以下のものであった。

- 1) 機械雑音は周波数約900Hzにピークがある。また、周波数1.7kHz以上で音圧レベルは、2200rpmまでは差がほとんど見られないが、3500rpmでは5~10dB高くなる。
- 2) 水力雑音の1000rpmにおける音圧レベルは、周波数約1.5kHz以下で110dBであり、高周波域では緩やかに下降する。この事を2200, 3500rpmと比較したとき、前者では10~20dB、後者では15~35dBそれぞれ高くなる。
- 3) 水力雑音と機械雑音を比較すると、1000rpmでは前者が後者より15~20dB高くなる。2200, 3500rpmでは同様に20~30dB高くなる。

## (5) 潜堤による二枚貝生息場の安定化に関する研究……○鷲見浩一・和田 明(日大・生産工)

沿岸域の開発と環境保全の調和を図る方策の一つとして、生物資源の増殖につながる海岸構造物の築造が求められ、潜堤の波浪減衰機能を利用して二枚貝の生息環境を好適化する技術の開発が望まれている。この技術に求められる機能は、貝の浮遊幼生の着底促進、着底後の貝の育成できる静穏な海域と砂泥域の確保である。没水型の海岸構造物である潜堤は、天端上で碎波を発生させ堤体背後域の波浪を静穏化するため、波動運動に伴う海底付近の軌道流速を低減し、貝の転動や露出の抑止を期待できる。また、海浜流の制御が可能であるため、流れによる浮遊幼生の拡散防止や底質への着底促進が期待でき、貝の生息に適した海底を安定させることが可能となれば好都合である。

そこで、本研究では貝の良好な生息場の創出には、生息環境を支配する主要な要素である波浪・海浜流の適度な制御を行う必要があると考え、潜堤による波浪場と海浜流場の制御効果を水理実験と数値計算により検討した。

はじめに、水理実験により、海岸に複数の潜堤を設置する際に堤体間距離（以下に開口幅と記す）と堤長の長さの変化が、流況パターンにどのように影響するか考察を加えた。

その結果、潜堤周辺で発生する海浜流は、堤長と開口幅の長さの変化に依存し、堤長に対し開口幅が長くなると、背後域に循環流が発生しやすくなる。また、堤長と開口幅の比から①安定した循環流の生じる領域、②不安定な循環流の生じる領域、③岸沖方向の流れが生じる領域の流況区分を行った。この流況区分を用い海浜流に定常的な循環流を形成させ、その内部の水塊に浮遊幼生を捕捉させることで、幼生の逸散を抑止することが期待できる。

つぎに、二枚貝の生息場促進をねらって、砂浜海岸に5基の潜堤が築造された北海道の浜中湾について数値計算を実施し、潜堤群による波浪場と海浜流場の制御効果について検討した。

その結果、潜堤を設置した場合の背後域の波浪は、潜堤設置前と比較して3割程度減衰し潜堤の波浪制御効果が現れ、貝の生息場を好適化するものと思われる。また、潜堤設置による海浜流の流況は、背後域において流れの遮蔽する領域が現れ、流速が弱められていた。この効果により、浮遊幼生の生息環境外への流出防止へ寄与できると思われる。なお、波高と海浜流の計算値は観測地とほぼ一致していた。

#### (6) 海面の上方向波長別輝度分布と Oil slick の厚さとの関係……正地雅実・荒川久幸・森永 勤（東水大）

海面上の光学的物理量により油膜の厚さを見積もることを目的として、第一に屋外水槽の海面上の波長別上方向輝度と Oil slick の厚さの関係から、油膜の厚さの算出式を求め、第二に現場海域の漏出油膜の上方向輝度を測定し、両者により油膜の厚さを推定した。

上方向輝度の測定には水中分光放射計 PRR-600 (Biospherical Instruments 社製) を使用した。測定波長は、412, 443, 490, 510, 555, 665nm の6波長である。水槽実験に関しては、1997年10月に屋上で、太陽高度の高い時に行った。円筒水槽に水道水を満たし、水面中央部から50cm 離して PRR-600 を設置した。C 重油はマイクロピペット (1/1000ml) で種々の量を滴下し、水面に均一に広がるようにした。油膜の厚さは、0.0005~1.0mm の17段階である。現場の観測は、1997年、1998年9月の2回、日本海の本ホトカ号沈没海域付近において、海鷹丸に乗船して行った。PRR-600 を浮環に固定して海面油膜上に浮かべ、上方向輝度を波長別に測定した。

結果は以下のように要約される。

- (1) 海面上の上方向輝度は油膜の無い時に比べ、極薄い油膜 (0.0005~0.0019mm) では著しく増大した。それ以降 0.075mm までは低下し、更に1.0mm までは再びゆるやかに増加する。油膜の厚さに対する輝度の波長変化は、各波長で同様の傾向を示すが、短波長側ほど顕著である。
- (2) 油膜の厚さと色度点の主波長との間には、一定の関係が見られなかった。
- (3) 油膜の厚さと波長別の輝度との関係は、0.0027~0.075mm では負、0.075~1.0mm では正の傾きを示した。それらの相関係数の値は、前者では波長443, 490, 510nm で0.87~0.89、後者では全ての波長において0.88以上であった。
- (4) 油膜の厚さの算出式は、次の通りである。

$$y = -0.0712 \ln x - 0.166 \quad (0.0027 < x < 0.075)$$

$$y = 0.169 \ln x + 0.382 \quad (0.075 < x < 1.0)$$

ここで、 $x$ : 油膜の厚さ (mm),  $y$ :  $(Lu_{510} - Lu^*_{510}) / Lu^*_{510}$

$Lu$ : 油膜の輝度 (相対値),  $Lu^*$ : 海面の輝度 (相対値)

- (5) ナホトカ号による漏出油膜の厚さは、1997年で0.014mm、1998年で0.018mm であると推定される。

#### (7) Juan de Strait における内部潮汐……○北出裕二郎（東水大）・Richard Dewey (Victoria大)

カナダ西部の Juan de Fuca Strait では、海峡全域で外部潮汐流が強く、大潮時には1.5m/s を超える。密度場から見積もられる内部潮汐波の伝播速度は1.0m/s 程度で、大潮時には内部フルード数は1 を超える。本研究では、海峡中央の北側で1997年夏季に測定された水温記録を解析し、海峡内における内部潮汐波の特性について調べた。

係留観測は水深128mの地点で実施され、115m深から10m毎に約25m深までの水温が10秒間隔で測定された。水温記録に3時間の移動平均を施した等温線深度の時間変化には、一日および半日の潮汐周期変動が顕著に認められ、等温線の深度変化は大きいときには6時間で30mに達していた。3時間より長い周期の変動では、成層条件から考えて、静水圧近似が非常に良い近似として成り立つ。即ち、3時間の移動平均を施した変動は全て内部波の長波の成分であ



ると考えて良く、内部波の鉛直モード形はほぼ同じと考えて良い。そこで、記録から水粒子の鉛直変位を計算し、内部波鉛直モードの時間変化を求めた。モード分解の結果、第一モードが最も大きく、そのポテンシャルエネルギー密度は $4.1\text{J}/\text{m}^3$ で全ポテンシャルエネルギーの約70パーセントを占めていた。

Juan de Fuca Strait で観測された内部潮汐波の発生域および伝播過程を調べるため、水深と幅が一定の水路に bump があるモデル海を考えた。海峡の幅は20kmであり、成層条件から鉛直第一モードの波のカットオフ周期は10.9時間と見積もられる。従って、海峡内では半日より長い周期の内部潮汐波は内部ケルビン波として伝播する。このことを考慮すると水路モデル内での基本方程式系は、移流項のある鉛直二次元の方程式系に単純化でき、モード解を仮定することによって最終的に外力項のある一次元の波動方程式が導かれる。海峡モデルの解を Juan de Fuca Strait に適応した。条件として外部潮汐による潮流と実際の成層条件を与えた。モデルの結果と観測された第一モードの変動との相互相関係数は0.59と良い結果を得た。また、モデルにおける考察から観測された内部波の主な発生域は海峡の東部（ビクトリアの南西部）と推定された。

(8) 統計値を用いた海洋データの品質管理と問題点—三陸沖混合を中心に—……○小熊幸子・鈴木 亨・永田 豊 (海洋情報セ)・渡辺秀俊・山口初代 (三洋テクノマリン)・高杉 知 (岩手水産セ)・花輪公雄 (東北大)

世界データセンターA (WDC-A) では、World Ocean Database (WOD) 98の編纂にあたって、使用する水温、塩分等のデータにあらかじめ品質チェックを行っている。その重要なステップに、諸量の値が設定された範囲の中に含まれるかどうかを調べるレンジチェックがある。WOD98では、全海洋を大きく10の海域に分け、それぞれの海域に対して、深度に応じてレンジを設定している。日本近海については、赤道域を除く北太平洋全域を1つの海域として扱っており、限られた海域においてWOD98のレンジをそのまま適用するかどうかについては検討の余地がある。そこで、三陸沖の混合水域のような複雑な水塊分布を示す海域を対象として、どのようなレンジ設定を適用するべきかについて検討した。

岩手県水産技術センターが、三陸沖の $38^{\circ}40'N \sim 40^{\circ}20'N$ ,  $141^{\circ}30'E \sim 144^{\circ}E$ の海域において観測した沿岸定線のデータのうち、1971年から1995年までの25年分の水温および塩分の通年データを用いた。検討作業の前に、MIRCで開発した品質管理ソフトウェア POD-QC (1998粘土日仏海洋学会)で簡単な品質チェックは済ませた。

水温および塩分の両データとも、WOD98のレンジの内側に分布しており、値の変動幅の大きい表層でも分布範囲がWOD98のレンジより狭く、水深が深くなるほど狭い範囲に集中していた。三陸沖のように複雑な水塊分布をする海域のデータについても、このように海域を限定すると、北太平洋全域を対象としたWOD98のレンジが非常に粗く、明確なタイプミスの抽出には使えてもより高度な品質管理には適さないことが分かった。水温データは、低温側に結氷点という限界が存在するため、海域全体の水温が低いと、高温側に伸びるような正規分布から歪んだ頻度分布を示す。三陸沖の水温データでは、特に150mから350m付近にかけて低温寄りに分布が偏っている様子が見られた。IAPSOの標準層において、 $3\sigma$ 検定を収束するまでくりかえし、結果的に得られた平均値および平均値 $\pm 3\sigma$ を求めた。平均値 $\pm 3\sigma$ をレンジとした場合、フラグ付加の対象となるデータが特に300m付近で多く現れた。こうした問題を避ける手段の一つとして、平均値 $\pm 3\sigma$ ではなく、平均値 $-2\sigma \sim$ 平均値 $+4\sigma$ という変則的なレンジを適用することが考えられる。通年データについてのみならず、各月毎のデータについて品質管理を行う場合、三陸沖のように季節変化の顕著な海域に関しては、各月もしくは各季節毎のデータの頻度分布に対応したレンジ設定も検討する必要があることも分かった。

(9) 黒潮流路の変化と本州南方沿岸の水温変動の関係について……○鈴木 亨・小熊幸子・永田 豊 (海洋情報セ)・吉村智一 (パスコ)・松山優治 (東水大)

黒潮流路の変化と沿岸域の海況変動との関連について、津村 (1963) は大蛇行期に浦神から油壺・布良にかけて水位が上昇することを記し、TAFT (1972) はGEKデータの整理から沿岸側では反流が見られると述べている。KAWABE and YONENO (1987) は、大蛇行期と二つに分けた非大蛇行期において、相模湾の100m深の水温偏差の変化がそれぞれ異なることを示した。本研究では、品質管理された水産試験研究機関データを用い、黒潮流路の変化にともなって本州南方の沿岸域で水温がどのように変化するかを調べた。ここでは、和歌山、三重、愛知、静岡、神奈川、東京、千葉の各水産試験研究機関が1963年から1997年 (ただし神奈川は1993年、和歌山は1995年) にかけて毎月行った定線観測のうち、位置、観測日時、船速、重複、水温レンジ・勾配などの項目について品質管理およびフラグ付加を行い、

正常と判断された78946測点の水温データを使用した。

本州南方沿岸の観測の定点を中心とした海域における200m深の平均水温と、その時の串本と浦神との日平均水位差との関係を見てみると、潮岬沖では、日平均水位差25cm付近を境に分布の傾向が大きく異なっていた。すなわち、低水位差側では平均水温が11度付近まで分散しているのに対し、高水位差側では殆どが17度以上であった。紀伊半島の東側では、潮岬沖と同様に低水位差側で水温の分散が大きいものの、高水位差側では低温側に収束し、したがって、低水位差側の縦軸沿いと低温側の横軸沿いを二辺とする三角形の内部に分布する傾向となっていた。御前崎沖では紀伊半島東側の海域と同様の分布傾向を示すものの分散はやや大きく、低水位差側では平均水温が15度を越える場合もあった。相模湾および駿河湾の内部でも紀伊半島東側の海域とよく似た分布傾向となっていた。

例えば KAWABE (1980) が指摘したように、大蛇行期に低水位差で安定していれば、その時の水温は低水位差側に分布すると考えてよい。したがって、相模湾、駿河湾を含む本州南方沿岸では大蛇行期に水温が上昇する傾向にあると言える。

また、三宅島と八丈島の水位値の分布から、両者ともに高水位の時、またはともに低水位の時とに分けることができた。この分類を使うと、串本-浦神の水位差が50cm以上の非大蛇行期で、三宅島と八丈島がともに高水位の時、沿岸200m深の平均水温は低温側に分布する傾向にあった。

#### (10) 夏季の宗谷暖流の構造……○松山優治・小川知行(東水大)・青田昌秋(北大)・小池義夫(東水大)

夏季の宗谷暖流の流速・水温・塩分場の断面構造を調べるため、1998年8月より神鷹丸により ADCP, CTD, XBT 観測を行った。枝幸から紋別の沖合海域、沿岸から5~60km付近で繰り返し横断観測を実施した。ADCPは5断面、CTD, XBTは各1断面の詳細な分布図が得られた。しかし、観測された ADCP 断面のうち、3断面(船速8ノット)では良好なデータが得られたが、2断面(船速12ノット)では残念ながらノイズが多いため、流速の空間分布や流量の見積りなど詳細な解析には用いなかった。

CTD 観測, XBT 観測からは次のことが分かった。沿岸側に高温高塩分の宗谷暖流水、沖側に低温低塩分のオホーツク海水が存在することが示された。宗谷暖流内の沿岸側では鉛直的に成層は弱く、等密度線はほぼ水平に並び順圧構造を示すが、暖流中央部からわずかに沖合に等密度線が斜めに傾く構造が見られ、傾圧構造が確認された。具体的には沖合の表層に存在する顕著な密度躍層が沿岸に向かって深くなり、等密度線の傾斜域では表層の南東流が下層に向かって弱くなることを示している。沖合の表層に見られる顕著な密度躍層下に複雑な水温・塩分構造、温度逆転・塩分逆転が多々見え、0℃以下あるいはそれに匹敵する中冷水が沖合から沿岸に差し込んでいる様子が伺えた。高温高塩分の沿岸水と低温低塩分の中冷水が楔状に入り組んでいるが、密度としては鉛直方向に殆ど一様になって、密度変化の小さい状況が作り出されている。

ADCP 観測からは次の結果が得られた。(1) 南東に向かう鮮明な宗谷暖流が確認され、最大値は0.7~0.8m/sを示し、表層から海底まで流れていた。(2) 最強部から沖合に向かって、急激な水平流速の減少、つまり、強い水平シアが見られた。(3) 沿岸側では密度場から推定されたように順圧的な流速構造を示した。(4) 暖流中央部から少し沖側で、等密度線の傾きから期待された傾圧流が ADCP 観測でも確認できた。

観測域は浅海であったことから、ADCPは海底の基準(Bottom Tracking)に流速推定が可能なので、流速場がかなり精度良く得られた。そこで、このデータから流量を見積もった。その結果、沖合5~30kmの範囲で、1.3~1.4SV(スベルドラップ)、そのうち順圧成分が0.8~0.9SV、傾き成分が0.3~0.4SVであった。この量は過去の観測から1SV程度と言われていたのに比べてわずかに大きい、順圧成分だけであれば、今までの見積りとほぼ一致する。

#### (11) 日本海上層水の水塊区分……須藤英雄(立正大)

日本海固有水については、その構造、成因、流動などについての知識はかなり増大したが、上層水については、いまだに不明確な点が少ない。その理由は、主水温躍層の深さがせいぜい200mでこの間に外洋では1000mぐらいの深さまでに相当するいろいろな水塊が鉛直に重なりあっているからで、外洋なみの採水間隔ではきわめて不十分であり、これが水塊構造のきめてとなる溶在酸素の資料の解釈を困難にしている。最近固有水の直上に見られる中層水についての特性を明らかにした SENJU (1999) の解析結果は注目されるし、また PM 線だけであるが安藤・花輪(1995)は2つのタイプの亜表層水の存在を指摘した。本研究は、1969年秋の気象庁一斉観測および1993年の舞鶴海洋気象台の観測資料に基づいて、水温1℃をこえるすべての上層水について、どれかに含まれるよう、やや不完全な部

分もあるがほぼ一義的な区分を試みたものである。

結果は、次の6区分となる。①日本海中層水 (JIW)  $T \leq 4^{\circ}\text{C}$ ,  $34.00 \leq S \leq 34.10$ ,  $S$  が極小値を有し、この極小値に対する溶在酸素が  $275 \mu\text{mol/l}$  以上 ( $275 \mu\text{mol/l}$  はほぼ  $6.16\text{ml/l}$  に相当)、②日本海北部上層水 (JNUW)  $T \leq 10^{\circ}\text{C}$ ,  $34.00 \leq S \leq 34.10$ , 溶在酸素  $275 \mu\text{mol/l}$  以上で①を除いたもの、③日本海中間水 (JMW)  $T \leq 10^{\circ}\text{C}$ , ①②④⑤⑥のいずれにもあてはまらない、④日本海中央水 (JCW)  $T \leq 15^{\circ}\text{C}$ , 塩分最大値が  $34.10$  を超える、溶在酸素の最大値が  $275 \mu\text{mol/l}$  以上、⑤対馬暖流水 (TWCW)  $T > 4^{\circ}\text{C}$ ,  $S > 34.10$ , ⑥日本海低塩分表層水 (JLSW)  $S < 34.10$  ( $T > 10^{\circ}\text{C}$ ),  $S < 34.00$  ( $T \leq 10^{\circ}\text{C}$ )。①②③が代表的な中層水塊であり、それぞれ Senju (1999) のグループ C, A, B にほぼ対応する。また、 $4^{\circ}\text{C} < T < 15^{\circ}\text{C}$ ,  $S > 34.10$  の部分は④⑤いずれにも含まれるので、両者が存在する場合はその区分が不明確である。

## (12) SSM/I によるエルニーニョ現象の把握……○長谷川一幸・和田 明・高野憲治 (日大生産工)

エルニーニョが発生した年は日本では暖冬・冷夏になりやすく世界的にみても東南アジア地域では干ばつ、南米ペルー地域では多雨の傾向になりやすい。また、エルニーニョ現象はその時間スケールが数カ月以上にもおよぶために、この現象の把握とメカニズムの解明は重要事項である。そこで、本研究では SSM/I (人工衛星に搭載されているマイクロ波放射計) によって観測される風データからエルニーニョ発生時、ラニーニャ発生時に太平洋上の風の分布がどの様に変化が生じるのかを検討した。

エルニーニョ現象は一般に南東貿易風が弱まることにより引き起こると考えられている。そこで、この南東貿易風が収束する ITCZ (熱帯収束帯) の位置に注目すると、通常時 (冬季) には  $170^{\circ}\text{W}$  付近で風が収束する。ところが、エルニーニョ発生時には南東貿易風が弱まるために ITCZ は東に約  $10$  度の  $160^{\circ}\text{W}$  付近にまで拡大する。一方南東貿易風の勢力が拡大するラニーニャ発生時 (秋期) には ITCZ の位置は通常  $170^{\circ}\text{E}$  付近であるのに対して西に約  $10$  度の  $160^{\circ}\text{E}$  付近にまで減少することが確認された。

また、エルニーニョ発生時 (冬季) と通常時 (冬季) の差を細かく比較すると一般に言われていた ITCZ の位置の変化だけではなくオーストラリア東岸域、高緯度地域にも大きな風速の変化が確認された。次にラニーニャ発生時 (秋期) と通常時 (秋期) との差を比較する。するとラニーニャ時にもエルニーニョ時と同様に ITCZ 海域、オーストラリア東岸、高緯度海域で風の差が確認された。また、これらの風の差と気象庁が作成した水温のアノマリーとの対応は非常に良好であることも同時に確認された。

以上の結果から、データの均一性や観測範囲の広さを考慮すれば、SSM/I による衛星観測は、ブイ・船舶等による観測と比較しても十分有効であることが証明された。また、エルニーニョ発生時には一般に言われている南東貿易風の減衰だけではなく、オーストラリア東岸域や高緯度地域にも風の変化が確認された。これは、赤道付近での海上風の減衰が何らかの形でこれらの地域に影響を与える Teleconnection (遠隔相関) によるものかも知れない。

資 料

日仏海洋学会誌 うみ (La mer) 第37巻第3号掲載欧文論文要旨

スヘンダル・ザヘマル\*, 柳 哲雄\*: インドネシア・西ジャワ, カラワン湾北岸における水質の季節変動

西ジャワ, カラワン北岸における乾期と雨期の水質観測を行った。観測は両季節の物理, 化学, 生物パラメータについて行われた。その結果, 水質の季節変化は主に, 雨量と吹送流に関連していることが明らかとなった。特に雨期には, 陸域からの高濃度のリン酸態リンや溶存態無機窒素が排出され, 海岸沿いにクロロフィル濃度が高くなって, 富栄養化傾向が見られた。農業や養殖業の排水がこのような富栄養化を引き起こしていると推測される。

(\*九州大学応用力学研究所 〒816-8580 春日市春日公園 6-1)

タノムサク・ブーンバクティ\*, ピッチャン・サウンウォン\*, 藤原建紀\*\*: タイ湾湾奥部へのバンパコン川からの淡水流入

バンパコン川はタイ湾奥部の北東角へ流れ出る川である。1993年から1996年にかけて, 本河川よりの月別流入量を, 河口部において見積もった。流入量は著しい季節変動を示し, 最大は9月の  $1152 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$ , 最小は2月の  $10 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$  であった。年平均流入量は  $267 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$  であった。バンパコン川の集水域は山岳地帯と平野部から成り立っている。降水量に対する流失の比率を求めると, 山岳地帯では0.31, 平野部ではわずかに0.09であった。

(\*Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi 20131, Thailand.

\*\* : 京都大学大学院農学系研究科 〒606-8502 京都市左京区吉田本町)

古谷 研\*, 松本和彦\*\*: メソコスムにおける珪藻個体群の細胞周期と増殖速度

メソコスム内における羽状目珪藻 *Navicula rhynchocephala* 個体群の核内 DNA 量の経時変化から, 細胞周期と増殖を調べた。核内 DNA を DAPI で染色し, その蛍光を顕微測光によって求めた。得られた DNA 含量のヒストグラムから, 細胞周期各期の持続時間および量を見積もった。S 期の細胞は常に相当量存在し, S 期および  $G_2+M$  期の細胞が個体群で昼夜ともに卓越した。これとは対照的に  $G_1$  期の細胞は少なかった。これらの観察から, 細胞は分裂後  $G_1$  期に長く留まらずに DNA 複製をはじめ, そのタイミングは一日に複数回存在することが示された。S 期および  $G_2+M$  期の細胞数には周期的な経時変化が認められたので, これをもとに S 期の滞在時間と増殖速度を二つの方法から見積もった。一つは, 渦鞭毛藻の細胞分裂モデルを適用したものであり, 他の一つは細胞コホートの追跡である。その結果, 方法によって結果が大きく異なった。珪藻類の細胞分裂には明瞭な同調性がないため, モデルの適用あるいはコホートの追跡に問題があったことが原因であったと考えられる。(三重大学生物資源学部 \*現所属: 東京大学大学院農学生命科学研究科水圏生物科学専攻 〒113-8657 文京区弥生1-1-1, \*\*現所属: 海洋科学技術センター 〒273-0061 横須賀市夏島町 2-15)

## 学 会 記 事

1. 1999年10月1日(金) 東京水産大学において、1999年度第1回幹事会が開かれた。主な議事は下記の通り。

1) 科学研究費補助金審査員候補者(水産学分野)2名を、評議員による選挙によって選出し、水産学研究連絡委員会へ推薦した。

2) 第18期日本学術会議会員の選出に関わる学術団体として登録申請した結果、水産学研究連絡委員会への登録が認められた。

3) 「海洋に託す21世紀」のテーマのもとに、2000年11月に神戸市で開催されるテクノ・オーシャン2000組織委員会から申請のあった名義協賛について承認した。

4) 1999年4月から9月までの学会会計につき報告された。

5) 1999年秋に開催されるJECS-PAMS Workshopのプロシーディングスを、学会誌の特集号として編集することが承認された。

6) 次期(平成12・13年度)の評議員、および会長選挙の日程を次のように決定した。

### 評議員選挙

投票用紙配布: 1999年11月末

投票締め切り: 2000年1月5日(水)

開 票: 2000年1月14日(金)

### 会長選挙

評議員へ投票依頼: 2000年2月10日(木)

投票締め切り: 2000年3月6日(月)

開 票: 2000年3月7日(火)

7) 平成12年度学会賞受賞候補者推薦委員会(第1回)を1999年11月18日(木)に東京水産大学で開催することとした。

8) 1999年10月8日(金)に代々木オリンピック総合センターで開催される科学研究費補助金の説明会に有賀会長が出席することとした。

2. 1999年11月18日(木) 東京水産大学において平成12年度学会賞受賞候補者推薦委員会(第1回)が開かれ、委員長に松山優治会員を選出し、推薦の方法および今後の日程を決定した。

3. 新入会員(正会員・学生会員\*)

氏 名	所属・住所	紹介者
Suhendar I SACHOEMER*	九州大学応用力学研究所 〒816-6580 春日市春日公園6-1	柳 哲雄
古谷 研	東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 文京区弥生 1-1-1	山口征矢
Thanomsak BOONPHAKDEE	Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University Bangsaen, Chouburi 20131, Thailand	山口征矢

4. 受贈図書(受付順)

NTT R&D 48 (7~11)

なつしま 162~166

東海大学紀要 48

農業工学研究所ニュース 15

養殖研ニュース 42

第6回アジア学術会議録

地球-水-人間

水産工学研究所報告 20

水産工学研究所技報 21

生物圏交際共同研究計画コンGRESS

Goals and Strategies for Breeding in Fisheries

Bulletin of the National Science Museum

Ounphidae (Annelide, Polychaete) from Japan,

Excluding the Genus Ounphis

農業工学研究所年報 11

広島日協会報 146

ОКЕАНОЛОГИЯ 39 (2, 3)

Meereswissenschaftliche Berichte 35

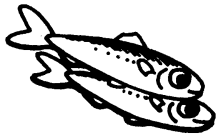
Travaux de la Station Biologique de Roscoff 37

Journal of the Korean Society of Oceanography

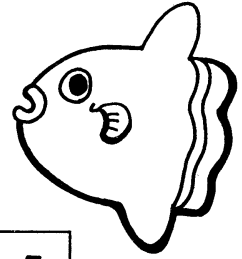
34(3)

## 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	埼玉県川口市芝鶴ケ丸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

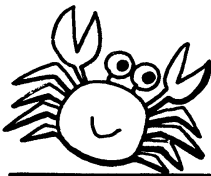


海洋生物資源を大切に利用する企業でありたい  
 ——青魚(イワシ・サバ・サンマ)から宝を深し出す——



**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**

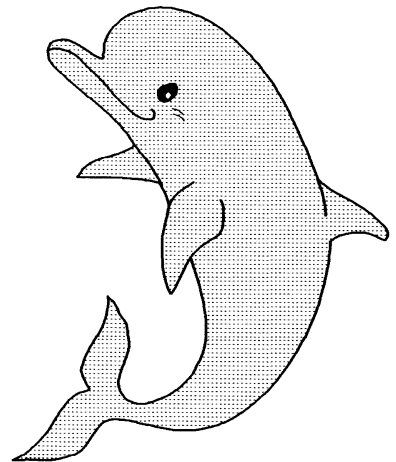
〒288 千葉県銚子市三軒町2-1 TEL 0479(22)7555 FAX 0479(22)3538

●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

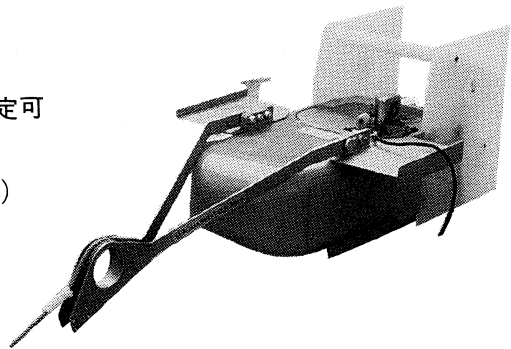
電導度 1~55mS/cm (0.01mS/cm)

温度 -2~32°C (0.005°C)

深度 0~200m

蛍光光度 0.01 $\mu$ g ~ 100 $\mu$ 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

日仏海洋学会役員・評議員 (1998-1999年度)

顧問：ユベール・プロシュ ジャン・デルサルト ジャック・ロベール アレクシス・ドランデル  
ベルナール・フランク ミシェル・ルナルル 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 ビエール・カブラン

名誉会長：ピエール・スイリ

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：山口征矢

評 議 員：青木三郎 有元貴文 有賀祐勝 石丸 隆 磯田 豊 糸刈長敬 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 亘 佐藤博雄 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  
中田英明 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  
松池 治 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 (51名会長推薦評議員を含む)

1999年11月25日印刷  
1999年11月28日発行

う み

第 37 卷  
第 3 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 37 N° 3

SOMMAIRE

Notes originales

Seasonal variation in water quality at the northern coast of  
 Karawang-West Java, Indonesia .....Suhendar I SACHOEMAR and Tetsuo YANAGI 91

Freshwater discharge of Bangpakong River flowing into the  
 inner Gulf of Thailand .....Thanomsak BOONPHAKDEE,  
 Pichan SAWANGWONG and Tateki FUJIWARA 103

Cell cycle and growth rate of a natural diatom population  
 in a mesocosm .....Ken FURUYA and Kazuhiko MATSUMOTO 111

Fish larvae and juveniles collected by larva-net in the inner Tokyo Bay  
 (in Japanese) .....Michiko KOUHARA and Hiroshi KOHNO 121

Conférence commémorative

Studies on deep circulation of the northwestern Pacific Ocean and  
 the Japan Sea(in Japanese) .....Hideo SUDO 131

Faits divers ..... 137

Procès-verbaux ..... 144

第 37 卷 第 3 号

目 次

原著論文

インドネシア・西ジャワ、カラワン湾北岸における水質の季節変動  
 (英文) .....スヘンダル ザヘマル・柳 哲雄 91

タイ湾湾奥部へのバンパコン川からの淡水流入 (英文)  
 .....タノムサク ブーンパクディ・  
 ピッチャン サワンウォン・藤原建紀 103

メソコスムにおける珪藻個体群の細胞周期と増殖速度 (英文)  
 .....古谷 研・松本和彦 111

稚魚ネットで採集された東京湾湾奥部の仔稚魚.....甲原道子・河野 博 121

日仏海洋学会賞受賞記念講演

北西太平洋及び日本海の深層循環に関する研究.....須藤英雄 131

資 料

平成11年度日仏海洋学会学術研究発表会講演要旨.....137

日仏海洋学会誌うみ (La mer) 第37巻第3号掲載欧文論文要旨 .....143

学会記事.....144