

La mer

う み

昭和 63 年 2 月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise
d'océanographie
Tokyo, Japon

SOCIÉTÉ FRANCO-JAPONAISE D'Océanographie

Comité de Rédaction

(de l'exercice des années de 1986 et 1987)

Directeur et rédacteur: K. TAKAGI *Rédacteur adjoint:* H. SEKI

Comité de lecture: S. AOKI, Y. ARUGA, M. HANZAWA, M. HORIKOSHI, A. KAMATANI,
M. MURANO, M. OGURA, S. OKABE, H. SUDO

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

Services de rédaction et d'édition: Y. YAMAGUCHI

Note pour la présentation des manuscrits

La mer, organe de la Société franco-japonaise d'océanographie, publie des articles et notes originaux, des articles de synthèse, des analyses d'ouvrages et des informations intéressant les membres de la société. Les sujets traités doivent avoir un rapport direct avec l'océanographie générale, ainsi qu'avec les sciences halieutiques.

Les manuscrits doivent être présentés avec un double, et dactylographiés, en *double interligne*, et au recto exclusivement, sur du papier blanc de format A4 (21×29,7 cm). Les tableaux et les légendes des figures seront regroupés respectivement sur des feuilles séparées à la fin du manuscrit.

Le manuscrit devra être présenté sous la forme suivante:

1° Il sera écrit en japonais, français ou anglais. Dans le cadre des articles originaux, il comprendra toujours le résumé en anglais ou français de *200 mots* environs. Pour les textes en langues européennes, il faudra joindre en plus le résumé en japonais de *500 lettres* environs. Si le manuscrit est envoyé par un non-japonophone, le comité sera responsable de la rédaction de ce résumé.

2° La présentation des articles devra être la même que dans les numéros récents; le nom de l'auteur précédé du prénom *en entier*, en minuscules; les symboles et abréviations standards autorisés par le comité; les citations bibliographiques seront faites selon le mode de publication: article dans une revue, partie d'un livre, livre entier, etc.

3° Les figures ou dessins originaux devront être parfaitement nettes en vue de la réduction nécessaire. La réduction sera faite dans le format 14,5×20,0 cm.

La première épreuve seule sera envoyée à l'auteur pour la correction.

Les membres de la Société peuvent publier 7 pages imprimées sans frais d'impression dans la mesure à leur manuscrit qui ne demande pas de frais d'impression excessifs (pour des photos couleurs, par exemple). Dans les autres cas, y compris la présentation d'un non-membre, tous les frais seront à la charge de l'auteur.

Cinquante tirés-à-part peuvent être fournis par article aux auteurs à titre gratuit. On peut en fournir aussi un plus grand nombre sur demande, par 50 exemplaires.

Les manuscrits devront être adressés directement au directeur de publication de la Société: K. TAKAGI, Laboratoire de Mariculture (Biologie des Populations), Université des Pêches de Tokyo, 5-7 Konan 4, Minatoku, Tokyo, 108 Japon; ou bien au rédacteur étranger le plus proche: H. J. CECCALDI, EPHE, Station marine d'Endoume, rue Batterie-des-Lions, 13007 Marseille, France; E. D. GOLDBERG, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California 92093, Etats-Unis; T. ICHIYE, Department of Oceanography, Texas A & M University, College Station, Texas 77843, Etats-Unis; ou T. R. PARSONS, Department of Oceanography, University of British Columbia, Vancouver, B. C. V6T 1W5, Canada.

Summer-winter comparisons of oxygen, nutrients and carbonates in the polar seas*

Chen-Tung A. CHEN**

Abstract: Until very recently, marine chemistry studies in the polar seas were mainly performed in summer. Little or no chemical data were collected in winter because of operational problems. Yet, deep and bottom waters of the world oceans were mainly formed in winter in the polar regions. The lack of winter data in such regions has prevented scientists from accurately estimating the variation of chemical properties of deep and bottom waters as they move away from their formation regions.

Winter chemical data, including oxygen, nutrients, alkalinity, total CO_2 , pH and $P\text{CO}_2$ have now been collected in the Weddell Sea, the South Indian Ocean, and the Bering Sea. The concentrations of certain chemicals, such as oxygen, were found to differ drastically from summer values. Some properties, such as alkalinity, on the other hand, do not show significant seasonal variations when compared at the same salinity and temperature.

1. Introduction

Subsurface waters are mainly formed in the high latitude oceans in the wintertime. One must therefore study the water chemistry in these regions in winter in order to understand the global biogeochemical cycle of chemicals. Owing to operational problems, however, few chemical measurements have been made in the high latitude regions in winter. For instance, we know of only seven oceanographic stations with high-precision carbonate data in the entire Indian Ocean south of 30°S . And all these stations were occupied in the austral summer (TAKAHASHI *et al.*, 1980). Not knowing the characteristic properties of the subsurface waters near their origin, and near the time of their formation, makes it difficult, if not impossible, to interpret variations in the carbonate chemistry in the Indian Ocean.

We recently had the opportunity to participate in winter cruises in the Weddell Sea, the South Indian Ocean, and in the Bering Sea. What

follows will be the comparison between our winter data and the summer data collected by us and by other investigators.

2. Study regions and measurements

a) SOMOV data: Concurrent pH and titration alkalinity (TA) were measured on the research/supply vessel, MIKHAIL SOMOV, of the Arctic-Antarctic Research Institute of Leningrad, USSR. The Weddell Polynya Expedition (WEPOLEX) started in Montevideo, Uruguay, on 9 October 1981, crossed the Polar Front, and entered the ice field at 5°E , $56^\circ30'\text{S}$. SOMOV reached its southernmost point within the ice field at $62^\circ20'\text{S}$, and left the ice edge at $57^\circ30'\text{S}$ near the Greenwich Meridian after obtaining chemical data from 20 vertical stations. After crossing the Polar Front again, the ship returned to Montevideo on 25 November. The experimental technique and data are described and listed elsewhere (CHEN, 1982a; 1983; 1984). Supporting oxygen and nutrient data are described and listed in JENNINGS *et al.*, (1984), HUBER *et al.* (1983) and GORDON *et al.* (1984).

b) MARION DUFRESNE data: Concurrent pH, TA, total CO_2 (TCO_2) and nitrate (NO_3) data were obtained in the wintertime southwestern Indian Ocean as part of the INDIVAT 1 Expedition (INDIEN VALORISATION de

* Received June 2, 1987

** On leave from the College of Oceanography, Oregon State University, Corvallis, Oregon 97331, U.S.A.

Present address: Institute of Marine Geology, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung, Taiwan, Republic of China

TRANSIT) aboard the French research/supply vessel MARION DUFRESNE. The ship departed La Reunion on 3 July 1984, reoccupied the GEOSECS station GS427, crossed the Subtropical Front at about 40°S, stopped in Crozet, reoccupied GS429 after crossing the Polar Front, then proceeded to Kerguelen and Amsterdam after crossing the Polar and Subtropical Fronts again, and returned to La Reunion on 4 August. Concurrent pH, TA and TCO₂ data were again obtained in the same general region in the austral summer of 1985 as part of the INDIGO 1/INDIVAT 3 Expedition (INDIGO stands for INDIEN GAS OCEAN) aboard the MARION DUFRESNE. The vessel departed La Reunion on 23 February and returned on 30 March after collecting chemical data from 23 stations including four GEOSECS stations (GS427-429, 454). The Subtropical Front was crossed at approximately 43°S and the Antarctic Front near 52°S.

The data description and listing are given in CHEN and POISSON (1986) and CHEN *et al.* (1986). The supporting oxygen and nutrient data are given in POISSON *et al.* (in preparation).

c) POLAR SEA data: The POLAR SEA left Dutch Harbor, Alaska, on 18 February and returned on 19 March 1983, after moving in and out of the Bering Sea ice between 58° and 61°30'N and between 171° and 179°W. Concurrent pH, TA and oxygen concentrations were measured. The data have been described and listed in CHEN (1985) and CHEN *et al.* (1985).

Approximate study areas of these expeditions are shown in Fig. 1.

3. Comparison of the oxygen data

BROECKER *et al.* (1985) reported that the "surface ocean waters are almost always found to be supersaturated with dissolved oxygen," and that the amount of supersaturation averages about 7 μ mol/kg or approximately 3%. The available data contradict this conclusion. Although BROECKER *et al.* (1985) investigated three of the largest data sets available (those of GEOSECS, NORPAX, and TTO), they did not examine the reports, including those containing winter data, published for high-latitude regions. LEVITUS (1982) summarized all data from the National Oceanographic Data Center as of 1978 and published the annual and seasonal mean oxygen saturation levels at the sea surface. The all-data annual mean indeed shows surface supersaturation except in upwelling areas of the eastern equatorial Pacific and the Southern Ocean. LEVITUS (1982), however, cautioned against a hastened conclusion, because the all-data annual mean may represent data from only one season, most likely summer. The Southern Ocean annual mean, for example, was shown to be a few percent undersaturated, but at that time sufficient winter data were not available. The recent winter data, to be discussed later, indicate an even lower degree of saturation. The then available and recent winter data also

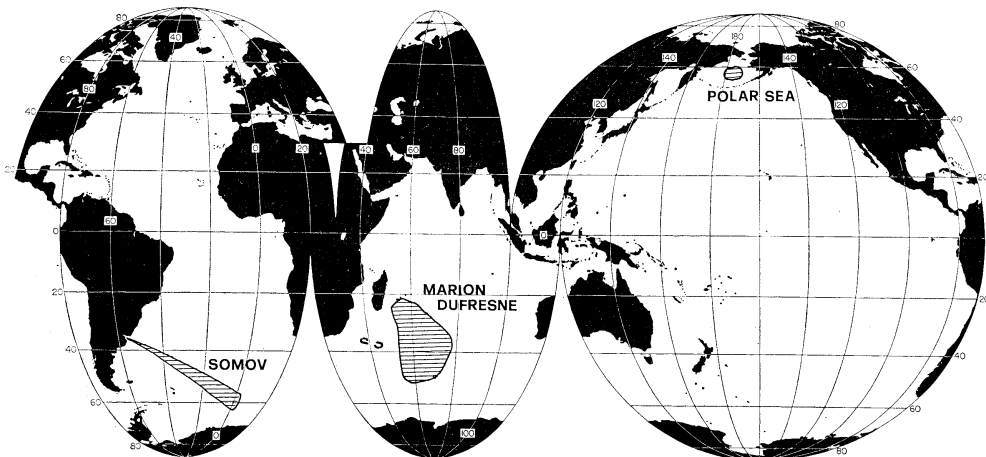


Fig. 1. Study regions of SOMOV, MARION DUFRESNE and POLAR SEA.
Map provided by A. Mantyla.

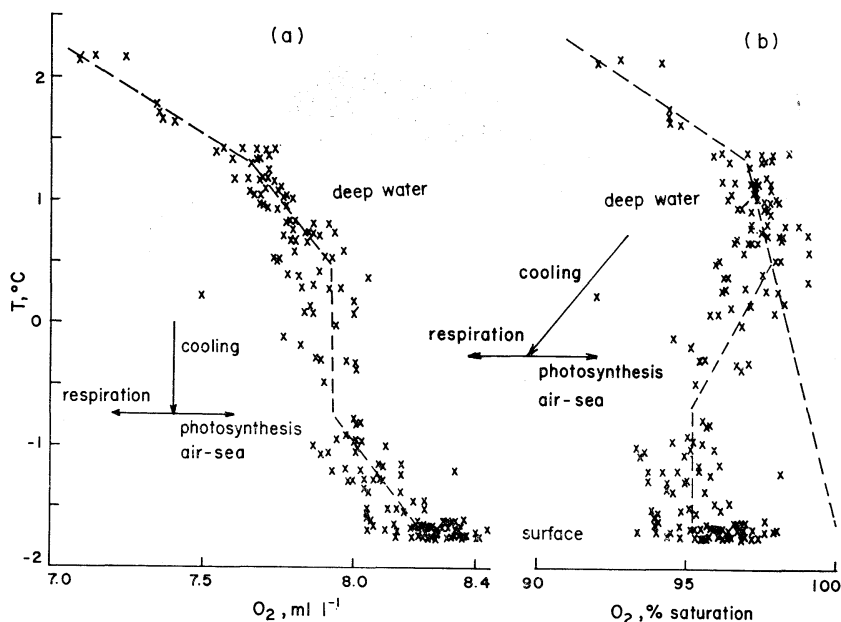


Fig. 2. Correlation between (a) temperature and oxygen, and (b) temperature and % oxygen saturation for Bering Sea shelf waters in winter (Taken from CHEN, 1985).

show undersaturation in the Bering Sea and the northern North Atlantic, but because the more abundant summer data show supersaturation, the annual all-data mean also shows supersaturation.

Clearly, not all surface ocean waters are supersaturated with oxygen, and certainly they are not always supersaturated. Analysis of oxygen saturation for the four seasonal periods is desirable, but we will only attempt to make the summer-winter comparison because of the limitation in data coverage.

As early as 1963, SMETANIN (1963) reported that wintertime northeast Pacific surface water is slightly undersaturated with oxygen.

IVANENKOV (1964) reported that nearly all of the Bering Sea in winter absorbs oxygen. He reported an average of 6% undersaturation in the western Bering Sea, a value later confirmed by REID (1973). A similar degree of oxygen undersaturation exists in the northwestern North Pacific Ocean in winter (HAKODATE MARINE OBSERVATORY, 1967; REID, 1973; 1982). The wintertime northern Gulf of Alaska surface water data and our POLAR SEA data on the eastern Bering Sea shelf also show systematic

undersaturation in winter (SIO Reference 70-5, 1970; CHEN, 1985; CHEN *et al.*, 1985). The oxygen content of the POLAR SEA winter surface layer is higher than that of the deep layer on the ice-covered shelf (Fig. 2a), but the degree of saturation (CHEN, 1981) is reversed, *i. e.* most of the deep shelf water is more highly saturated than that of the surface water (Fig. 2b). This phenomenon is not observed in summer when both the oxygen content and the degree of saturation of the surface water are higher than those of the deep shelf water (*e. g.* HATTORI, 1977; 1979).

In summer, shelf oxygen data show extreme variability, governed by biological processes (CODISPOTI *et al.*, 1986). Winter oxygen, however, seems to mix conservatively regionally as suggested by segments of linear temperature vs oxygen correlations (Fig. 2a), discussed in detail in CHEN (1985).

Waters cooler than -0.6°C are all in the homogeneous surface layer and have higher oxygen concentration at lower temperature (Fig. 2a). All waters below -0.6°C , however, remain at about 5% undersaturation (Fig. 2b), suggesting that air-sea exchange and photo-

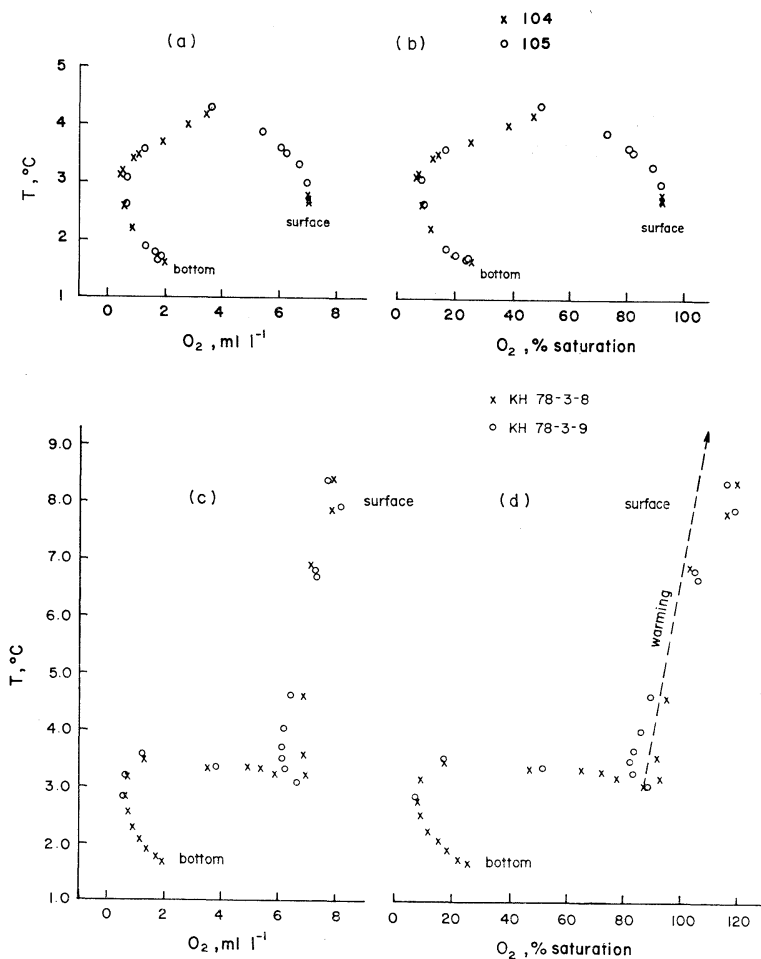


Fig. 3. Correlation between (a) temperature and oxygen, (b) temperature and % oxygen saturation of our winter Aleutian Basin data, and correlation between (c) temperature and oxygen, (d) temperature and % oxygen saturation of the summer *Hakuho Maru* data from the same location. The broken line shows the theoretical slope (Taken from CHEN, 1985).

synthesis cannot replenish oxygen fast enough to compensate for upwelling of water with lower O_2 content, respiration, and cooling effects. The result is that the surface waters actually show a lower degree of oxygen saturation than most deep waters (CHEN, 1985; CHEN *et al.*, 1985).

Deep waters for POLAR SEA stations (104 and 105) in the Aleutian Basin show a minimum in oxygen (Fig. 3a). The homogeneous, ice-free surface layer is also undersaturated with respect to oxygen by about 8% (Fig. 3b). The winter surface water oxygen concentration is

similar to the value found in the minimum temperature layer in the summer. Summer data from the same locality (stations KH78-3-8 and KH78-3-9 of the *Hakuho Maru* Cruise; HATTORI, 1979) are plotted in Fig. 3c and 3d for comparison. Seemingly, summer warming raises the temperature, but the oxygen content of the surface layer does not increase by much except in the top thirty meters, where supersaturation is obviously caused by enhanced photosynthesis. In winter, enhanced vertical mixing and rapid cooling, unmatched by slower air-sea oxygen

exchange and photosynthesis, produce undersaturation in the surface layer (IVANENKOV, 1964; REID, 1973; CHEN, 1985). BRUJEWIEZ *et al.* (1960) also found an undersaturation as much as 20% in the summer minimum-temperature layer in the Sea of Okhotsk, with the lowest degree of saturation on the continental shelf off Siberia and Sakhalin Island where intensive cooling occurs in winter.

The situation is similar in the Weddell Sea, based on the comparison of the SOMOV (CHEN, 1982a; 1984; HUBER, *et al.*, 1983; GORDON, *et al.*, 1984), GEOSECS (TAKAHASHI *et al.*, 1980) and other data in the literature (BRENNECKE, 1921; DEACON, 1940; OB, 1958; 1959; SECRETARIA DE MARINA, 1959a, b, c; IGY, 1961; some of these data need to be adjusted due to systematic analytical error). An ice-free summertime GEOSECS Atlantic station, GS89, is located at 0.0°E, 60.0°S which is very close to the ice-covered SOMOV station 33 (0°20'E, 60°S). The θ/S plot for waters below the θ_{min} layer at GS89 is essentially the same as the plot at SOMOV 33. The θ/AOU plot (Fig. 4) below the θ_{min} layer at GS89 is also similar to the plot at SOMOV 33. The SOMOV 33 data show a high AOU (apparent oxygen utilization) value of 50 $\mu\text{mol/kg}$ at the surface because the surface water is mixed with low-oxygen Weddell Deep Water, while the ice blocked the

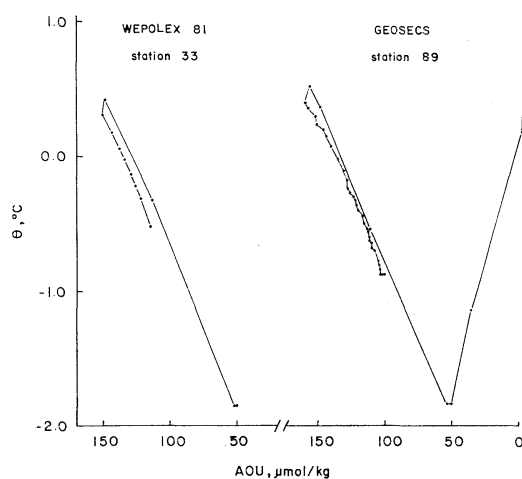


Fig. 4. θ/AOU plot for WEPOLEX station 33 and GEOSECS station 89 in the Weddell Sea. The temperature minimum layer for the GEOSECS data is at about -1.8°C .

input of atmospheric oxygen (GORDON *et al.*, 1984). This finding supports the suggestion of WEISS *et al.* (1979), EDMOND *et al.* (1979), MINAS (1980), LYAKHIN and RUSANOV (1980) and CHEN (1982b) but disagrees with the Arctic work of GOSINK *et al.* (1976) and F. HERR (private communication, 1983) who found that the annual Arctic sea ice is permeable to gases.

Our winter data in the Bering Sea also suggest some air-sea exchange, but the exchange could have happened in the numerous leads and polynyi that we encountered in the Bering Sea but not in the Weddell Sea. Furthermore, unlike the annual Arctic sea ice which has many brine channels, the Weddell Sea ice has a large content of frazil ice with few brine channels, resulting in low permeability (ACKLEY *et al.*, 1980; 1982; CLARKE and ACKLEY, 1982). The late-winter, early-spring Weddell Sea surface water is at about 86% saturation, higher than the 60% for deep waters (BRENNECKE, 1921; GORDON *et al.*, 1984). The winter SEAMUNDSSON and HUDSON data (MALMBERG, 1983; CSS HUDSON, 1984) in the northern North Atlantic Ocean also show systematic oxygen undersaturation (as low as 10% undersaturation) within or out of the ice field.

The above discussion clearly indicates that the high-latitude regions are probably undersaturated

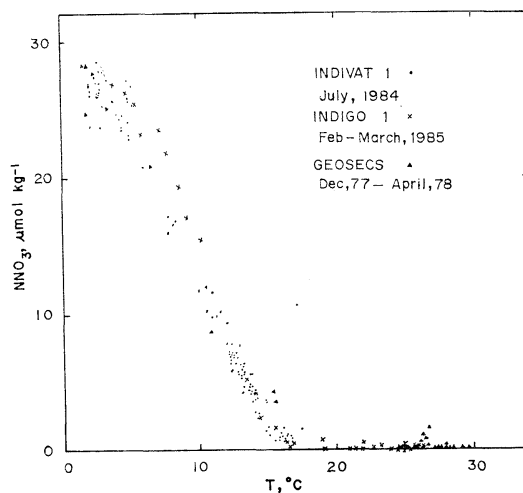


Fig. 5. Surface normalized nitrate concentrations vs temperature for the GEOSECS, INDIVAT 1 and INDIGO 1/INDIVAT 3 data in the south Indian Ocean.

with oxygen in winter, although water chemistry beneath the ice varies from place to place, and we cannot yet generalize the findings in one area to represent other regions. As further note, ANDERSON and DYRSSEN (1980) reported surface oxygen supersaturation within the summer Barents Sea ice field, which is, no doubt, due to photosynthesis.

4. Comparison of the nutrient data

Surface nutrient values frequently show significant variations between cruises even when data from the same location are compared. For instance, at GS 429 occupied in summer (Feb. 1978), the surface nitrate concentration was $20.2 \mu\text{mol/kg}$ (WEISS *et al.*, 1983). The INDIGO 1/INDIVAT 3 value was $21.2 \mu\text{mol/kg}$ (March 1985) and the INDIVAT 1 value was $24.5 \mu\text{mol/kg}$ (July 1984). For unknown reasons, however, the surface nitrate value correlates linearly with temperature when the nitrate concentrations are normalized to a constant salinity basis. The normalized nitrate ($NNO_3 = NO_3 \times 35/S$) data from the above three cruises are shown in Fig. 5. These three temperature trends show much

smaller variations. Phosphate and silicate behave in a similar way. Parts of the natural variations, such as those due to evaporation and precipitation, are removed by normalization, thus the resulting trends reflect mainly biological and mixing processes.

5. Comparison of the alkalinity and total CO_2 data

The surface alkalinity and total CO_2 values show large seasonal variations when compared in the same region, even when the effect of precipitation and evaporation is considered. The potential temperature is plotted against normalized total CO_2 (NTCO_2) for the WEPOLEX and GEOSECS data in the Weddell Sea (Fig. 6). The WEPOLEX winter data agree with the GEOSECS summer data below the temperature minimum layer, which is the remnant winter surface water (CHEN, 1984; POISSON and CHEN, 1987). The summer surface water, however, is lower by as much as $50 \mu\text{mol/kg}$ in NTCO_2 because of biological consumption. The NTA values are approximately $10 \mu\text{eq/kg}$ lower.

The surface NTA and NTCO_2 values, how-

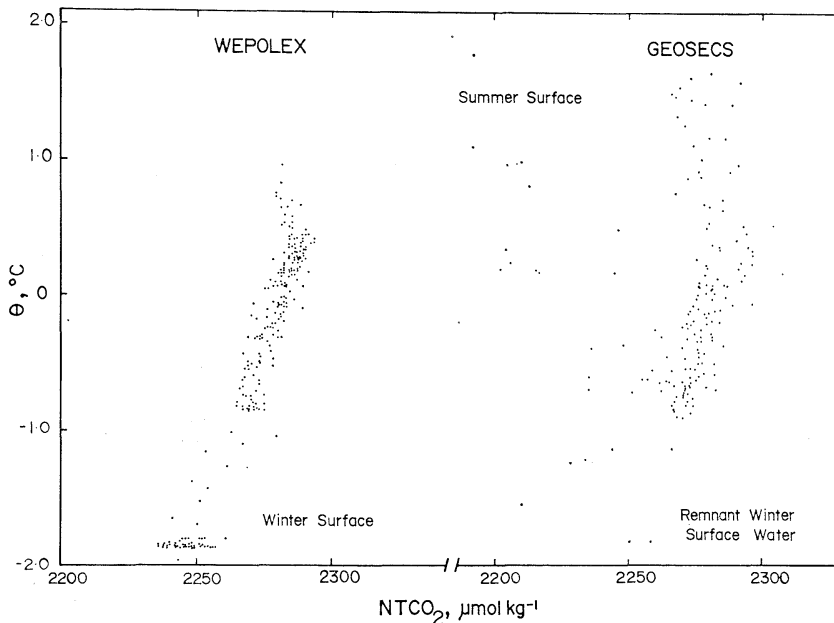


Fig. 6. Potential temperature vs normalized total CO_2 for the WEPOLEX (all data) and GEOSECS (stations 79, 82, 85, 87 and 89) expeditions in the Weddell Sea. The temperature minimum layer for the GEOSECS data is between 0 and -1.8°C where NTCO_2 approximately $2,250 \mu\text{mol kg}^{-1}$.

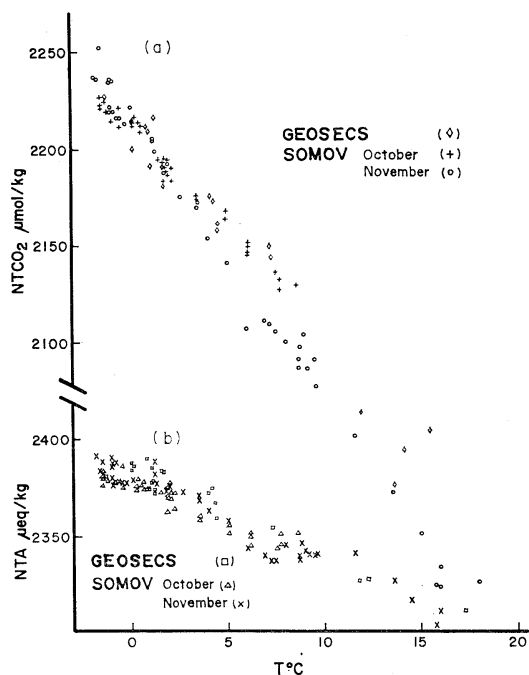


Fig. 7. Surface (a) normalized total CO_2 and (b) alkalinity vs temperature for the GEOSECS and SOMOV data in the south Atlantic Ocean.

ever, show less seasonal variation when compared at the same temperature. The normalized surface alkalinity and total CO_2 seem to decrease steadily with increasing temperature (CHEN and MILLERO, 1979; CHEN and PYTKOWICZ, 1979). The GEOSECS NTCO_2 data (Dec. 1972–Jan. 1973) in the southern South Atlantic Ocean are higher than the October SOMOV data by $6 \mu\text{mol/kg}$ and are significantly higher than the November SOMOV data above 5°C (Fig. 7a). These differences reflect a possible seasonal effect due to changes in biological productivity. The biological productivity, however, does not significantly affect alkalinity. Indeed we could not detect any seasonal variability in NTA vs temperature correlations among the GEOSECS, SOMOV October and SOMOV November data (Fig. 7b). The GEOSECS NTA data are approximately $5 \mu\text{eq/kg}$ higher than the SOMOV data, but the difference is slightly smaller than the combined experimental error.

Data in the south Indian Ocean also show strong seasonal variations in NTCO_2 when the GEOSECS data are compared with the INDI-

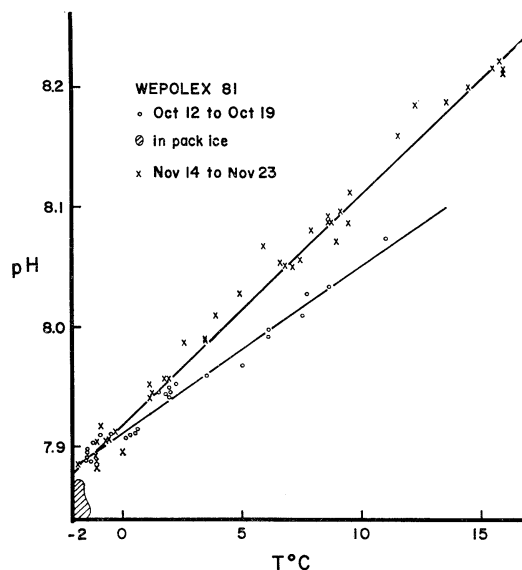


Fig. 8. Surface pH values (measured at 25°C) vs temperature of the SOMOV data (taken from CHEN, 1984) in the South Atlantic Ocean.

VAT 1 and INDIGO 1/INDIVAT 3 data. The difference in NTA is smaller, on the order of $10 \mu\text{eq/kg}$, only slightly larger than the combined analytical error.

6. Comparison of the pH and P_{CO_2} data

The surface pH values (measured at 25°C) also correlate linearly with temperature, and seasonal variations are evident from the SOMOV data (Fig. 8). MARION DUFRESNE data in the south Indian Ocean also show linear correlations with temperature but there the summer trend does not differ significantly from the winter trend below 18°C .

It is well known that pH variations in the subsurface waters follow variations in oxygen. Fig. 9 shows the pH vs temperature correlations of our POLAR SEA winter and *Hakuho Maru*'s 78-3 summer Aleutian Basin stations (HATTORI, 1979). The curves are of similar shape as the temperature vs oxygen plots (Figs. 3a, c). Our deep water values are systematically higher than the *Hakuho Maru* data by 0.05 pH units, probably owing partly to a difference in calibration. The winter surface value would agree with the summer value at the minimum temperature layer if the summer value is systematically shifted up 0.05 units. The summer surface pH value are

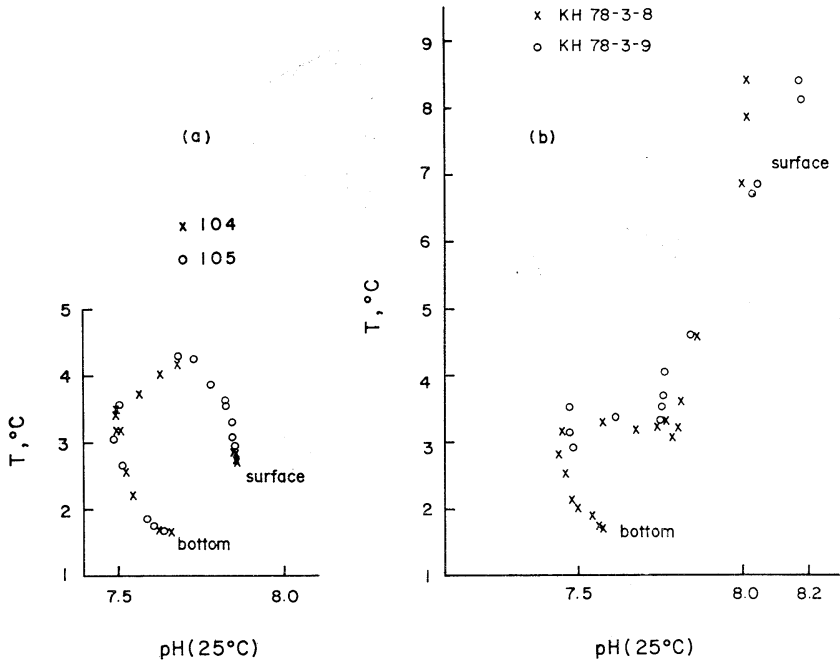


Fig. 9. Correlation between temperature and pH values (measured at 25°C) of (a) our winter Aleutian Basin data and (b) the summer *Hakuho Maru* data from the same location (Taken from CHEN, 1985).

significantly higher than the winter value, reflecting CO_2 consumption by primary productivity (CHEN, 1985).

PCO_2 values are also known to show large seasonal variations (DEACON, 1940). Strangely, our SOMOV data (CHEN, 1984) and the data of TAKAHASHI (private communication, 1982) and TAKAHASHI and CHIPMAN (1982) are similar to the GEOSECS data (TAKAHASHI *et al.*, 1980) near 60°S in the south Atlantic and are nearly in equilibrium with the atmosphere. Rapid cooling of the surface water in winter reduces PCO_2 , but upwelling and entrainment (GORDEN *et al.*, 1984) increase PCO_2 . It is fortuitous that the net result is near equilibrium with the atmosphere. These observations prompted the suggestion that the Antarctic surface waters are likely to be in equilibrium with the atmosphere throughout the year (CHEN, 1984; TAKAHASHI, private communication, 1982; TAKAHASHI and CHIPMAN, 1982). Recent observations of TAKAHASHI (private communication, 1985), however, do show large temporal variations in the Southern Ocean. Fig. 10, based on the SOMOV data,

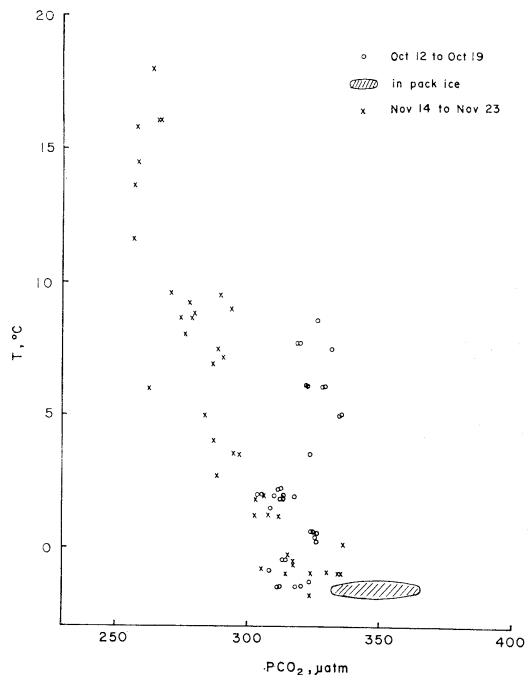


Fig. 10. Surface PCO_2 values vs seawater temperature of the SOMOV data (taken from CHEN, 1984) in the south Atlantic Ocean.

also shows large October to November changes in PCO_2 at high temperatures.

7. Conclusion

Certain chemical properties such as oxygen, pH and PCO_2 show large seasonal variations in the polar seas. Nutrients, alkalinity, and total CO_2 also vary significantly at the same location. But the variation is much reduced when compared at the same salinity and temperature. The seasonal variability in the normalized alkalinity is not much higher than the analytical error.

We believe that winter values should be used in preference to the summer values when one needs to know the initial, or preformed, concentrations of chemicals for deep and bottom waters. Without such information, calculations of production or consumption rates of chemicals are frequently subject to large error.

Acknowledgment

Funding for participation in the SOMOV, POLAR SEA and MARION DUFRESNE cruises and for data analysis was provided by the U.S. Department of Energy (81 EV 10611, A001, A002 and 19X-89608C under Martin Marietta Energy Systems, Inc., contract DE-AC 05-84 OR21440), the U.S. National Science Foundation (OCE 80-18770 and 82-15053), the French Centre National de la Recherche Scientifique and the Terres Australes et Antarctiques Françaises, and the National Science Council of the Republic of China. Final writing was supported by NSC (76-0209 M 110-03). We acknowledge assistance of A. POISSON and H. J. MINAS, and valuable comments from two anonymous reviewers.

References

- ACKLEY, S.F., A.J. GOW, K.R. BUCK and K.M. GOLDEN (1980): Sea ice studies in the Weddell Sea aboard USCGC *Polar Sea*. *Antarctic J.*, 84-86.
- ACKLEY, S.F., D.B. CLARKE and S.J. SMITH (1982): Weddell Polynya Expedition Preliminary Data Report: Physical chemical and biological properties of ice cores. Unpublished manuscript.
- ANDERSON, L. and D. DYRSSEN (1980): Constituent data for Leg 2 of the YMER 80 expedition. Univ. of Göteborg, Sweden. 21 pp.
- BRENNECKE, W. (1921): Die ozeanographischen Arbeiten der deutschen antarktischen Expedition 1911-1912. *Arch. deut. Seewarte 1*, Hamburg, 1-216.
- BROECKER, W.S., T. TAKAHASHI and T.-H. PENG (1985): Reconstruction of past atmospheric CO_2 contents from the chemistry of the contemporary ocean: An evaluation. DOE Technical Report, DOE/OR-857. 79 pp.
- BRUJEWIEZ, S.W., A.N. BOGOYAVLENSKY and V.V. MOKIEVSKAYA (1960): Hydrochemical features of the Okhotsk Sea. *Trans. Oceanol. Inst., Acad. Sci. USSR*, 42, 125-198 (in Russian).
- CHEN, C.T. (1981): Oxygen solubility in seawater. p. 41-55. *In* R. BATTINO (ed.), *Solubility Data Series V. 7, Oxygen and Ozone*. Pergamon Press.
- CHEN, C.T. (1982a): Carbonate chemistry during WEPOLLEX-81. *Antarctic J.*, 1982 Review, 102-103.
- CHEN, C.T. (1982b): On the distribution of anthropogenic CO_2 in the Atlantic and Southern Oceans. *Deep-Sea Res.*, 29, 563-580.
- CHEN, C.T. (1983): Distributions of dissolved calcium and alkalinity in the Weddell Sea in winter. *Antarctic J.*, 1983 Review, 136-137.
- CHEN, C.T. (1984): Carbonate chemistry of the Weddell Sea. DOE Technical Report, DOE/EV/10611-4. 118 pp.
- CHEN, C.T. (1985): Preliminary observations of oxygen and carbon dioxide of the wintertime Bering Sea marginal ice zone. *Cont. Shelf Res.*, 4, 465-483.
- CHEN, C.T. and F.J. MILLERO (1979): Gradual increase of oceanic CO_2 . *Nature*, 277, 205-206.
- CHEN, C.T. and R.M. PYTKOWICZ (1979): On the total CO_2 -titration alkalinity-oxygen system in the Pacific Ocean. *Nature*, 281, 362-365.
- CHEN, C.T., C.L. WEI and M.R. RODMAN (1985): Carbonate chemistry of the Bering Sea. DOE Technical Report DOE/EV/10611-5. 79 pp.
- CHEN, C.T. and A. POISSON (1986): Indian Ocean gas study. *EOS Oceanogr. Report*, Jan. 4, 1986.
- CHEN, C.T., A. POISSON and C. GOYET (1986): Preliminary data report for the INDIVAT 1 and INDIGO 1/INDIVAT 3 cruises in the Indian Ocean. DOE Technical Report, DOE/NBB-0074. 106 pp.
- CLARKE, D.B. and S.F. ACKLEY (1982): Physical, chemical and biological properties of winter sea ice during the US-USSR Weddell Polynya Expedition. *Antarctic J.*, 1982 Review, 107-109.
- CODISPOTI, L.A., G.E. FRIEDERICK and D.W. HOOD (1986): Variability in the inorganic carbon system over the SE Bering Sea shelf during spring 1980 and spring-summer 1981. *Conti.*

- Shelf Res., **5**, 133-160.
- CSS HUDSON (1984): Cruise 82-001 Data Report, V. 1, Physical and Chemical Data. SIO Reference 84-14. 305 pp.
- DEACON, G.E.R. (1940): Carbon dioxide in the Arctic and Antarctic seas. *Nature*, **145**, 250-252.
- EDMOND, J.M., S.S. JACOBS, A.L. GORDON, A.W. MANTYLA and R.F. WEISS (1979): Water column anomalies in dissolved silica over opaline pelagic sediments and the origin of the deep silica maximum. *J. Geophys. Res.*, **84**, 7809-7826.
- GORDON, A.L., C.T. CHEN and W.G. METCALF (1984): Winter mixed layer entrainment of Weddell Deep Water. *J. Geophys. Res.*, **89**, 637-640.
- GOSINK, T.A., J.G. PEARSON and J.J. KELLEY (1976): Gas movement through sea ice. *Nature* **263**, 41-42.
- HAKODATE MARINE OBSERVATORY (1967): Report of the oceanographic observations in the Tsugaru Straits, sea east of Hokkaido and Tohoku District from February to March 1967. 40 pp.
- HATTORI, A. (1977): Preliminary Report of the Hakuho Maru Cruise KH-75-4. Univ. of Tokyo. 87 pp.
- HATTORI, A. (1979): Preliminary Report of the Hakuho Maru Cruise KH-78-3. Univ. of Tokyo, 87 pp.
- HUBER, B.A., J. JENNINGS, C.T. CHEN, J. MARRA, S. RENNIE, P. MELE and A. GORDON (1983): Reports of the US-USSR Weddell Polynya Expedition, Vol. II. Hydrographical Data LDGO 83-1. 115 pp.
- IGY OCEANOGRAPHY REPORT 2 (1961): Hydrological Observations in the Southern Ocean. 386 pp.
- IVANENKOV, V.I. (1964): Hydrochemistry of the Bering Sea. Akademiya Nauk SSSR, Moscow. 137 pp. (translated by S. Pearson, U.S. Department of Commerce, 1971).
- JENNINGS, J.C., Jr., L.I. GORDON and D.M. NELSON (1984): Nutrient depletion indicates high primary productivity in the Weddell Sea. *Nature*, **308**, 51-54.
- LEVITUS, S. (1982): Climatological atlas of the world ocean. NOAA Professional Paper 13. 173 pp.
- LYAKHIN, Yu. I. and V.P. RUSANOV (1980): Oxygen and carbon dioxide exchange between the Arctic basin and the atmosphere. *Oceanol.*, **20**, 411-418.
- MALMBERG, S.A. (1983): Hydrographic investigations in the Iceland and Greenland Seas in late winter 1971—"Deep Water Project". *Jökull*, **33**, 133-140.
- MINAS, H.J. (1980): Analyse de diagrammes de facteurs hydrologiques et chimiques (temperature, salinite, oxygène, sels nutritifs): Application a l'étude du système production-regeneration dans les resurgences cotières (cotes NW africaines) et les zones à fort melange vertical (Mediterranee, Ocean Antartique). p. 21-36. *In* Production primaire et secondaire, Colloque Fraco-Sovietique, Publ. CNEXO (Actes du colloque) No. 10.
- OB, CRUISE I (1958): Hydrological, hydrochemical, geological and biological studies, Research Ship 'Ob,' 1955-1956. Hydrometeorolog. Publ. House, Leningrad, U.S.S.R.
- OB, CRUISE II (1959): Oceanographic expedition of the Research Ship 'Ob,' 1956-1957. Marine Transport, Leningrad, U.S.S.R.
- POISSON, A. and C.T.A. CHEN (1987): Why is there little anthropogenic CO₂ in the Antarctic Bottom Water? *Deep-Sea Res.*, **34**, 1255-1275.
- REID, J.L. (1973): Northwest Pacific Ocean waters in winter. *Johns Hopkins Oceanogr. Studies*, No. 5. 96 pp.
- REID, J.L. (1982): On the use of dissolved oxygen concentration as an indicator of winter convection. *NR Reviews*, 28-39.
- SECRETARIA DE MARINA, REPUBLICA ARGENTINA (1959a): Trabajos Oceanograficos Realizados en la Compañia Antartica 1955-1956. Publico H. 620. 137 pp.
- SECRETARIA DE MARINA, REPUBLICA ARGENTINA (1959b): Trabajos Oceanograficos Realizados en la Campaña Antartica 1957-1958. Publico H. 615. 53 pp.
- SECRETARIA DE MARINA, REPUBLICA ARGENTINA (1959c): Trabajos Oceanograficos Realizados en la Campaña Antartica 1958-1959. Publico H. 616. 132 pp.
- SIO REFERENCE 70-5 (1970): Physical, Chemical and Biological Data, Zetes Expedition, Leg 1, 11-24, January 1966. Scripps Inst. Oceanogr. 67 pp.
- SMETANIN, D.A. (1963): Some hydrochemical characteristics of the north-east Pacific based on observations in winter 1958/1959. *Trans. Oceanol. Inst., Acad. Sci. USSR*, **45**, 130-141. (in Russian)
- TAKAHASHI, T., W.S. BROECKER, A.E. BAINBRIDGE and R.F. WEISS (1980): Carbonate chemistry of the Atlantic, Pacific, and Indian Oceans: The results of the GEOSECS expeditions, 1972-1978. Lamont-Doherty Geological Observatory Technical Report No. 1, CV 1-80. 218 pp. (Unpublished document)
- TAKAHASHI, T. and D. CHIPMAN (1982): CO₂ partial pressure in surface waters of the Antarctic Ocean during the US-USSR Weddell

- Polynya Expedition. Antarctic J., 1982 Review 103-104.
- WEISS, R.F., H.G. OSTLUND and H. CRAIG (1979): Geochemical studies of the Weddell Sea. Deep-Sea Res., **26**, 1093-1120.
- WEISS, R.F., W.S. BROECKER, H. CRAIG and D. SPENCER (1983): GEOSECS Indian Ocean Expedition, V. 5, Hydrographic Data 1977-1978. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 48 pp.

極海中の酸素, 栄養塩, 炭酸塩の夏季と冬季の比較

陳 鎮 東

要旨: 極海における海洋化学的調査は, ごく最近まで主として夏季に行われてきた。作業の困難さもあって, 冬季の化学的データはほとんど得られていなかったが, 世界の海洋の深層底層水は極域で冬季に形成されるから, 極域における冬季のデータの欠如は深層底層水が形成された場所から移動していくにつれてその化学的特性がどのように変化するかを厳密に推定することを困難にしていた。現在では, 冬季のウェッデル海, 南インド洋, ベーリング海において酸素, 栄養塩, アルカリ度, 全炭酸, pH, PCO_2 などのデータが得られている。これらを夏季のデータと比較してみると, 酸素などではその濃度に顕著な差異があるのに対して, アルカリ度などでは同一塩分・同一水温で比較しても顕著な季節変化は認められないことがわかる。

サザエの生態学的研究

III. 初期成長と密度変化*

山崎 明人**†・石渡 直典**

Population ecology of the spiny turban shell *Batillus cornutus*

III. Early growth and change of density*

Akihito YAMAZAKI**† and Naonori ISHIWATA**

Abstract: The early growth and the change of density of the spiny turban shell *Batillus cornutus* (LIGHTFOOT) are obtained during the period from November 1981 to August 1983 from size-frequency analysis of the natural population in a subtidal zone of marine preserves on the Pacific coast of Chiba Pref., Japan. In these waters the animal reaches a mean shell height of 12 mm at 1.0 year, 33 mm at 2.0 years, and 50 mm at 3.0 years. Juvenile shells of less than 12 mm in shell height live densely inside the association of articulated coralline algae (Corallinoideae), and they will move from this habitat to the outside of the association when they attain a size of 12 to 33 mm. They will stay in this area for early growth and move gradually to the waters of more than 10 m depth before the third summer.

前報 (山崎・石渡, 1987 a, b) では殻高 10 mm 未満のサザエ稚貝が潮下帯の有節サンゴモ群落内に、殻高 10 mm 以上のサザエが群落外に多数生息していることを明らかにした。本報では調査現場の潮下帯を占める有節サンゴモ群落内外両域において、サザエを連続採集し、殻高頻度分布を求め、年級群に分解し、初期成長と密度変化を調べ、成長に伴う生息場所の変化を検討し、二三の新知見を得たので、その概要を報告する。

1. 調査方法

1981年11月から1983年8月までの期間、東京水産大学小湊実験場地先の潮下帯 (Fig. 1) の有節サンゴモ群落内外両域で、スキューバ潜水によって調査を行った。

有節サンゴモ群落内調査は上記期間中10回行った。あ

らかじめ、潮下帯に水深と底質に応じて16地点 (Fig. 1, a~p) を選定し、各地点付近の有節サンゴモ群落内に方形枠 (30×30 cm, 1981年11月の調査のみ50×50cm) を置き (Table 1)、稚貝が脱落しないように留意しながら、大形ピンセットを用いて、枠内のすべての有節サンゴモを仮根ごと岩面から剥離して採集した。採集したあとに残る砂泥やデトリタスを水中ポンプを使用して採集した。ポンプには市販のビニール製手動式石油ポンプの管を切って短くした改造専用品を使用した。このポンプの出水口につけた木綿袋の中に堆積物などが採集できる。海藻と堆積物を別々に、また、調査地点ごとにポリ袋に入れて実験室に持ち帰り、淡水で洗滌し、動物を分離仕分けし、10%ホルマリンで固定した。サザエ類については、種の同定後、実体顕微鏡測定装置を用いて、殻高を測定した。

有節サンゴモ群落外調査は上記期間中5回行った。潮下帯に4基点 (Fig. 1, w~z) を取り、そのうち3基点 (w~y) では基点から東南東へ、残りの1基点 (z) では基点から南南西へロープ (約 100m) を海底に張り、4定線 (Fig. 1, A~D) を設置した。これらの定線に沿って、基点から延長方向に向かって右側 1 m の範囲内に

* 1986年12月1日受理 Received December 1, 1986

** 東京水産大学, 〒108 東京都港区港南4-5-7
Tokyo University of Fisheries, Konan-4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

† 現所属: 千葉県水産試験場, 〒295 千葉県安房郡千倉町平磯

Present address: Chiba Prefectural Fisheries Experimental Station, Chikura, Chiba, 295 Japan

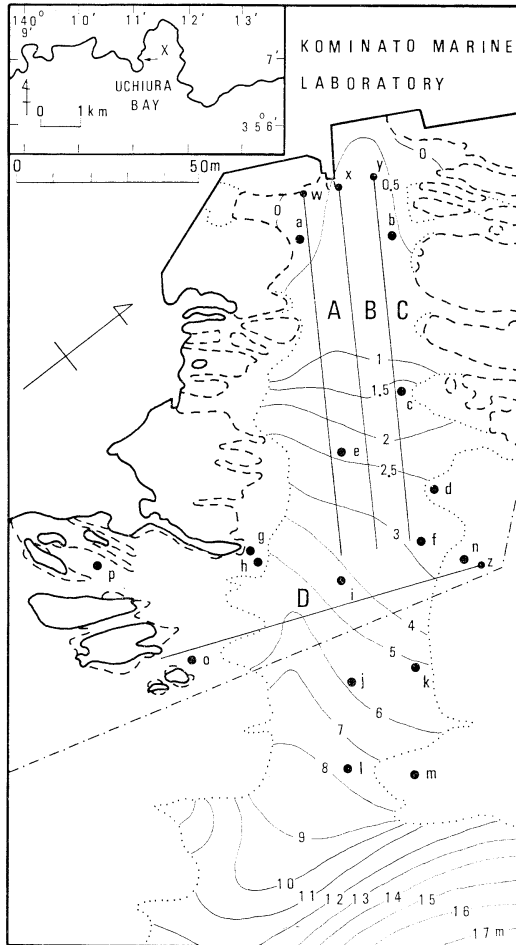


Fig. 1. Sampling stations and transects for investigation of the spiny turban shell in a subtidal zone (indicated by arrow in top map) on the coast of Uchiura Bay (cross in top map), Chiba Pref. Solid circle (a-p), station for sampling of the juvenile and young shells in the inside of the association of articulated coralline algae; solid line (A-D), transect for sampling of the young shells in the outside of the association. Solid bold line, tide line at mean high water; broken line, tide line at mean low water; dotted line, boundary between rocky bottom and boulder area; chain line, limit (part) of the preserves; solid thin line, isopleth in meter; w-z, fiducial points of transects A, B, C and D respectively.

生息するすべてのサザエを採集した。採集物を実験室に持ち帰り、ノギスを用いて殻高を測定し、採集地点付近に放流した。

有節サンゴモ群落内外両域の調査から得られた標本を調査ごとに2mm間隔の階級別に殻高頻度分布を求め、これを年級群に分解し、各年級群の動向から、初期成長と密度変化を調べた。

2. 調査結果

有節サンゴモ群落内外両域の殻高頻度分布 (Fig. 2) から見ると、群落内の形態は単峰型であり、各年級群は明瞭に分離している。群落外の形態は概して多峰型であり、各年級群を区別することができる。群落外の殻高頻度分布について、赤嶺 (1985) のプログラムによって年級群に分解した。群落内外両域について、年級別に殻高の平均値、標準偏差および組成個体数を求めた (Table 2)。1981年11月有節サンゴモ群落内に出現した平均殻高1.7mm、平均密度3.7個体/枠の群は、当年産卵した1981年級群であるが、この群は翌年の1982年8月には群落内で11.3mm、1.9個体/枠になった。その後、この群は群落外に出現し始め、翌年の1983年8月には群落内からほとんど消滅し、群落外に出現し、33.3mm、602個体/全トランセクトになった。また、1982年11月群落内に平均殻高1.7mm、平均密度6.3個体/枠で出現した1982年級群も翌年の1983年8月には群落内で12.0mm、1.6個体/枠になり、成長と密度変化において1981年級群とほぼ同様の傾向を示した。また、1982年8月群落外に平均殻高34.8mm、763個体/全トランセクトの顕著な峰が出現するが、この時期に1981年級群は13.0mmに達しているため、この峰は明らかに1980年級群である。その後、この群は密度を激減しながら成長し、翌年の1983年4月には45.4mm、158個体/全トランセクトになった。

以上の結果を取りまとめ、各年級群の動向 (Fig. 3) について見ると、各年級群は有節サンゴモ群落内外両域を通して連続して変化している。千葉県千倉では産卵盛期は8~9月 (山本・山川, 1985) であるため、平均殻高は満1年で約12mm、2年で33mm、3年で50mmになった。

次に、8月下旬を基準にとり、年齢に対して調査ごとの平均殻高を図示し、これに逐次回帰法により Bertalanffy, Logistic および Gompertz の成長式を当てはめた (Fig. 4)。実測値と各成長曲線との残差平方和は Bertalanffy 曲線では77.5、Logistic 曲線では75.2、

Table 1. Number of quadrats (see text for size) in sampling stations (a-p, Fig. 1) of juvenile shells in the inside of the association of articulated coralline algae.

Station	Date									
	22 Nov. '81	3-4 Feb. '82	11-14 Apr. '82	5-7 Jun. '82	19-20 Aug. '82	3-4 Nov. '82	25-26 Jan. '83	14-18 Apr. '83	9-11 Jun. '83	25-28 Aug. '83
a	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
b	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
c	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
d	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
e		1	2	2	2	1	1	1	2	2
f	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
g		1	2	2	2	1	1	1	2	2
h		1	2	2	2	1	1	1	2	2
i		1	2	2	2	1	1	1	2	2
j								1	1	1
k								1	1	1
l										1
m										1
n					2		1	1	1	1
o					2		1	1	1	1
p										2
Total	5	9	18	18	22	9	11	13	22	26

Gompertz 曲線では51.4となり、Gompertz 曲線が最もよく適合した。

さらに、有節サンゴモ群落内における0年貝の調査地点別密度分布 (Table 3) では、0年貝は潮下帯の群落内に広く分布しているが、その中でも湾口部 (Fig. 1, f~p) の群落内に比較的高密度で生息している傾向が認められた。

3. 考察

本地先における本種の初期成長は上述の通りであり、調査期間中の本地先の環境の総体を象徴的に表わしていると考えられる。これを既往の調査結果 (Tables 4~5) と対比すると、蓋内面の年輪による阿部 (1952) の山形県飛島地先、宇野 (1962) の青森県今別、大間越地先、新潟県稲鯨地先および山形県香頭浜地先のものとは大差がない。蓋内面の年輪による宇野 (1962) の兵庫県香住地先、須川・川村 (1982) の青森県深浦地先、貝殻表面の年輪による網尾 (1955) の山口県吉見地先、貝殻表面の成長線による宇野 (1962) の千葉県小湊地先、静岡県須崎地先および漁獲物の殻高頻度分布の解析による伏見ら (1978) の静岡県田牛地先のものとは著しい差異がある。また、本調査結果は、人工採苗サザエの飼育実験による中川ら (1967)、野中 (1968)、寺尾ら (1970)、松

岡 (1975)、西村 (1975)、遠山 (1980)、梶川 (1981)、角田ら (1983)、市川 (1983) および二島 (1984) のものとよく近似している。

本地先の潮間帯の有節サンゴモ群落内に高密度で出現した0年貝は、満1年直前に密度が急減し、2年目までに群落内からほとんど消滅する。群落内における密度の急減にやや遅れて、群落外における1年貝の密度が激増している。このことは群落内に生息していた0年貝が満1年直前から2年にかけて、群落外へ生息場所を変えたものと推測される。この生息場所の変化は成長に伴う食性の変化や食物要求の増大に関連して起こる移動であると考えられる。さらに、群落内に出現した2年貝は、満2年から3年にかけて、密度が急減している。このことは群落外に生息していた2年貝が満2年から3年にかけて、沖合・深所へ生息場所を変えたものと推測される。宇野 (1962) は同地先のサザエの生態について調べ、小型貝は浅所に生息しているが、成長するに伴い沖合・深所へ移動することを示唆している。山本・山川 (1985) によれば、千葉県千倉ではサザエの成熟は殻高50~60 mm以上である。このことから見ると、満2年から3年にかけては成熟直前期にあたり、この生息場所の変化は成熟に関連して起こる移動であると考えられる。

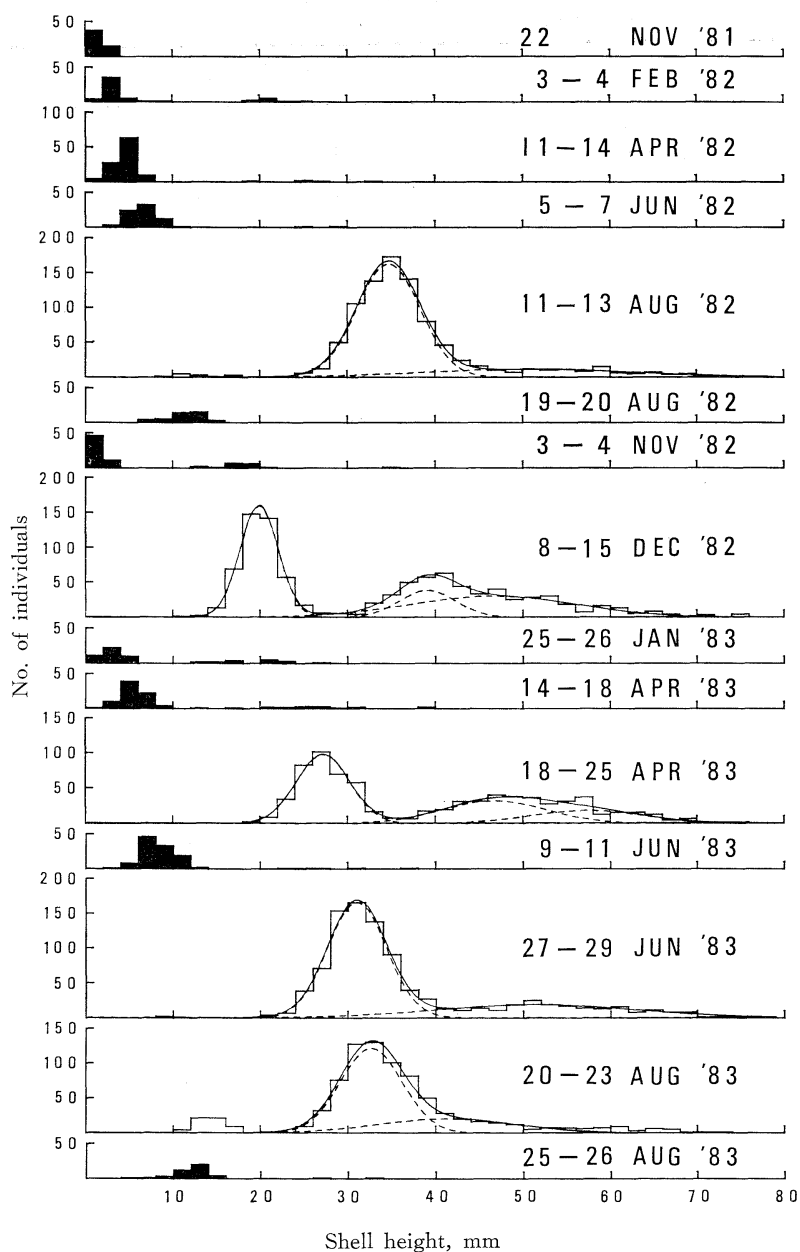


Fig. 2. Seasonal change in the shell height frequency distributions of the spiny turban shell. The histograms show the observed frequency in the inside of the association of articulated coralline algae (black parts) and the outside of the association (white parts). The broken lines are the normal curves fitted to each year group by the AKAMINE'S program and the solid lines are the sum of the normal curves.

Table 2. Results of the size-frequency analysis of the spiny turban shell in the inside and outside of the association of articulated coralline algae. Q, quadrat; T, transect. Figures in parentheses, mean number of individuals per quadrat.

Item	Date	Year class				Remarks
		1979	1980	1981	1982	
Mean shell height \pm SD, mm	Nov. '81			1.7 \pm 0.4		Q
	Feb. '82		21.2 \pm 1.9	3.2 \pm 1.2		Q
	Apr. '82		25.8 \pm 4.1	4.4 \pm 1.3		Q
	Jun. '82		26.4 \pm 2.4	6.4 \pm 1.6		Q
	Aug. '82	53.3 \pm 8.9*	34.8 \pm 3.7	13.0 \pm 2.3		T
	Aug. '82			11.3 \pm 2.0		Q
	Nov. '82			17.3 \pm 2.1	1.7 \pm 0.4	Q
	Dec. '82	47.3 \pm 10.2*	39.3 \pm 3.3	19.9 \pm 2.3		T
	Jan. '83			19.2 \pm 3.7	3.0 \pm 1.0	Q
	Apr. '83			24.3 \pm 4.6	5.4 \pm 1.6	Q
	Apr. '83	54.9 \pm 7.2*	45.4 \pm 5.1	27.3 \pm 2.9		T
	Jun. '83			28.8 \pm 5.0	8.2 \pm 1.8	Q
	Jun. '83		52.7 \pm 9.2*	31.2 \pm 3.5		T
	Aug. '83		48.5 \pm 10.1*	33.3 \pm 3.7	14.2 \pm 1.5	T
	Aug. '83			29.9 \pm 3.8	12.0 \pm 2.0	Q
Composition, number of individuals	Nov. '81			52(3.7)**		Q
	Feb. '82		9(1.0)	46(5.1)		Q
	Apr. '82		5(0.3)	103(5.7)		Q
	Jun. '82		2(0.1)	72(4.0)		Q
	Aug. '82	131*	763	13		T
	Aug. '82			41(1.9)		Q
	Nov. '82			17(1.9)	57(6.3)	Q
	Dec. '82	352*	169	443		T
	Jan. '83			17(1.6)	43(3.9)	Q
	Apr. '83			15(1.2)	76(5.9)	Q
	Apr. '83	227*	158	375		T
	Jun. '83			5(0.2)	109(5.0)	Q
	Jun. '83		227*	720		T
	Aug. '83		153*	602	55	T
	Aug. '83			2(0.1)	41(1.6)	Q

* Excluding year groups of plural. ** Reduced value.

Table 3. Mean number of individuals per quadrat (30 \times 30 cm) of 0-year-old shells in the inside of the association of articulated coralline algae. —, no investigation in concerned station.

Station	Date							
	Nov. '81*	Feb. '82	Apr. '82	Jun. '82	Nov. '82	Jan. '83	Apr. '83	Jun. '83
a	4	3	2	5	3	7	3	0.5
b	4	0	0.5	0.5	3	2	1	1
c	7	4	3	4	4	1	5	4
d	9	4	2.5	1.5	8	3	5	3
e	—	3	9.5	5	9	6	5	5
f	28	4	6.5	3.5	2	6	8	7
g	—	8	7	10	6	1	10	1
h	—	10	9.5	3	16	7	4	7
i	—	6	11	3.5	6	5	10	7
j	—	—	—	—	—	—	4	14
k	—	—	—	—	—	—	16	22
l	—	—	—	—	—	—	—	—
m	—	—	—	—	—	—	—	—
n	—	—	—	—	—	5	4	2
o	—	—	—	—	—	0	1	0
p	—	—	—	—	—	—	—	—

* Size of quadrat: 50 \times 50 cm.

Table 4. Local growth data of the spiny turban shell given by researchers.

Researcher Locality	Shell height (mm)				Age standard
	Age				
	1	2	3	4	
ABE (1952) Tobishima, Yamagata Pref.		31-42	46-50	51-60	Year mark on operculum
AMIO (1955) Yoshimi, Yamaguchi Pref.	25	45	56	75	Year mark on shell
UNO (1962) Imabetsu, Aomori Pref.	10.3	23.9	41.6	56.1	Year mark on operculum
Omagoshi, Aomori Pref.	11.6	34.0	48.6	60.1	Year mark on operculum
Kozunohama, Yamagata Pref.	13.9	35.6	—	—	Year mark on operculum
Inakujira, Nigata Pref.	14.8	29.2	45.3	60.4	Year mark on operculum
Kasumi, Hyogo Pref.	20.4	42.8	58.3	—	Year mark on operculum
Suzaki, Shizuoka Pref.	33.2	63.2	92.2	—	Daily growth line on shell
Kominato, Chiba Pref.	25.2	50.7	78.1	103.9	Daily growth line on shell
FUSHIMI <i>et al.</i> (1978) Tōji, Shizuoka Pref.	49.5	65.3	79.7	92.6	Size composition
SUGAWA & KAWAMURA (1982) Fukaura, Aomori Pref.	26.1	38.9	49.2	65.5	Year mark on operculum

Table 5. Local growth data of the juvenile spiny turban shell in rearing experiments. Shell size (mm) is given by height except the case in diameter (figure with asterisk).

Researcher Locality	Shell size						Remarks
	Age						
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	
NAKAGAWA <i>et al.</i> (1967) Shizuoka Pref.	2.9*						
	2.8*						
	3.7*						
	2.1*						
NONAKA (1968) Izu, Shizuoka Pref.		11					
TERAO <i>et al.</i> (1970) Yamaguchi Pref.		9.8*	13.7*				
MATSUOKA (1975) Kyoto Pref.		11.2					
NISHIMURA (1975) Hachijo, Tokyo		11.7		32.5		49.3	
		12.4		29.4			
		14.3					
TOYAMA (1980) Chiba Pref.	3.6	16.4	28.3	38.2			
KAJIKAWA (1981) Tottori Pref.	3	10	17	38			
		27	34				Warm up water in winter
KAKUDA <i>et al.</i> (1983) Yamaguchi Pref.		9.4					
ICHIKAWA (1983) Ehime Pref.	2.3						
NISHIMA (1984) Fukuoka Pref.	1.3	7.7					

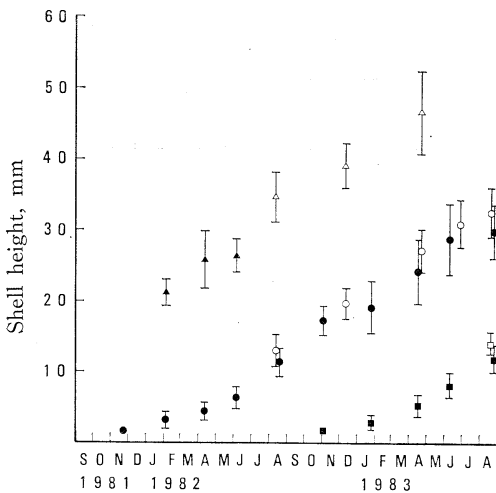


Fig. 3. Growth of successive year group of the spiny turban shell. Solid triangle, the mean shell height of 1980 year group in the inside of the association of articulated coralline algae; open triangle, the mean shell height of 1980 year group in the outside of the association. Solid circle, the mean size of 1981 year group in the inside of the association; open circle, the mean size of 1981 year group in the outside of the association. Solid square, the mean size of 1982 year group in the inside of the association; open square, the mean size of 1982 year group in the outside of the association. Vertical lines through marks are standard deviations.

文 献

- 阿部 襄 (1952): 飛鳥産サザエ, *Turbo (Batillus) cornutus* SOLANDER の成長について. 日水研創立3周年記念論文集, p. 7-14.
- 赤嶺達郎 (1985): Polymodal な度数分布を正規分布へ分解する BASIC プログラムの検討. 日水研報, (35), 129-160.
- 網尾 勝 (1955): サザエ *Turbo cornutus* SOLANDER の成長並びに棘の消長について. 農水講研報, 4, 57-68.
- 伏見 浩, 影山佳之, 松原壮六郎 (1978): サザエの漁獲管理に関する研究-I. 下田市田牛地先におけるサザエ資源の動向特に年級群の交代と生残り, 成長について. 静岡水試研報, (12), 15-34.
- 市川 衛 (1983): VIII. サザエ種苗生産. 昭57年度愛媛水試事報, p. 161-164.
- 梶川 晃 (1981): サザエの種苗生産について. 鳥取水試報, (23), 23-30.
- 角田信孝, 由良野範義, 井上 泰, 国近正雄 (1983): サザエの種苗量産技術開発研究. 昭57年度山口外海

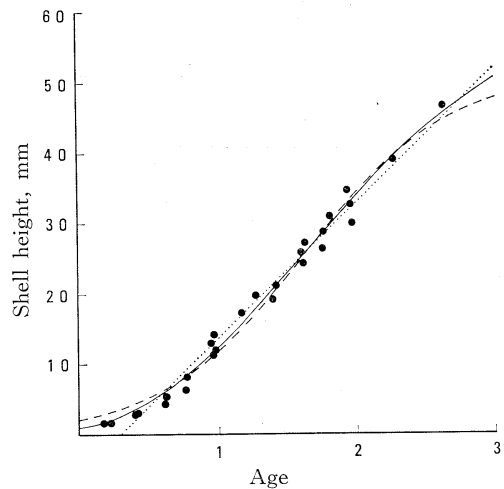


Fig. 4. Growth curves fitted to each observed mean shell height of the spiny turban shell by the method of successive regression. Dotted line, Bertalanffy curve; broken line, logistic curve; solid line, Gompertz curve.

水試事報, p. 61-68.

- 松岡祐輔 (1975): サザエの種苗生産研究-II. 昭48年度京都水試報, p. 199-201.
- 中川征章, 野中 忠, 平井 享, 佐々木 正 (1967): サザエの種苗生産 (稚貝の成長). 昭41年度静岡水試事報, p. 141-143.
- 二島賢二 (1984): サザエの種苗量産化技術開発試験-I. 昭57年度福岡水試研業報, p. 143-151.
- 西村和久 (1975): 伊豆諸島における貝類増殖に関する研究, サザエ. 東京水試出版物通刊, (259), 29-39.
- 野中 忠 (1968): サザエの種苗生産と増殖. 養殖, (5), 64-66.
- 須川人志, 川村 要 (1982): サザエ増殖試験. 青森水増事業概要, (11), 231-234.
- 寺尾百合正, 角田信孝, 中村達夫 (1979): サザエの種苗生産研究. 昭44年度山口外海水試事報, p. 24-27.
- 遠山忠次 (1980): サザエの種苗生産研究. Ocean Age, (2), 59-66.
- 宇野 寛 (1962): サザエの増殖に関する基礎研究-I 特に生態と成長の周期性とに関して. 東水大特別研報, 6 (2), 1-76.
- 山本哲生, 山川 紘 (1985): サザエ *Turbo (Batillus) cornutus* の生殖巣成熟に関する研究. 日水誌, 51, 357-364.
- 山崎明人, 石渡直典 (1987a): サザエの生態学的研究 I. 生息場所の生態的特性. うみ, 25, 124-136.
- 山崎明人, 石渡直典 (1987b): サザエの生態学的研究 II. 稚貝の生息場所. うみ, 25, 184-189.

濁った水に対する海水魚の行動*

森永 勤**・小池 隆***・大友啓一**・松生 治**

Response of a fish school to turbid water*

Tsutomu MORINAGA**, Takashi KOIKE***, Keiichi OOTOMO**
and Kanau MATSUIKE**

Abstract: Using a TV-camera and VTR system, the responses of a fish school to turbid water were examined with an indoor water tank under constant illumination. The tank is of rectangular shape, provided with openings for water supply at both ends of the tank, and drains on both sides in the center. The fish used are Japanese horse mackerel *Trachurus japonicus* and parrot fish *Oplegnathus fasciatus*, specimens having total lengths of 6 to 10 cm. The matter suspended in turbid water consisted of four different substances: sand, phytoplankton, red clay and bottom mud. A beam attenuation coefficient (C , m^{-1}) is introduced as an index of turbidity of water.

To water turbid with sand, horse mackerels show an extreme response of avoidance, thus seeking out the least turbid parts. Parrot fish, on the other hand, seem much less sensitive to turbidity, and show little or no avoiding behaviour at all. The smallest value of beam attenuation coefficient for getting an avoidance response is $5.0 m^{-1}$ (concentration of sand in water, $4.9 mg/l$), i. e. the difference between the turbidity of test water and that of the water which the fish inhabited before the experiment. This coefficient has no connection with the turbidity of water inhabited and the kind of matter suspended. It is concluded from the discrimination of horizontal slope of irradiance that the action of avoidance depends heavily on visibility.

1. 緒言

近年、沿岸域における海中の濁りは非常に増加している。海中の濁りを生じさせる物質は主に、河川あるいは埋め立てや浚渫工事の各現場から流出した無機懸濁粒子と、プランクトンの異常発生などによる有機懸濁粒子である。これらの濁りが沿岸域に生息する魚類にいろいろな悪影響を及ぼすことは容易に推察される。したがって、海中の濁りが魚類の行動にどのような影響を及ぼすかを解明することは、沿岸漁業にとって極めて重要である。

この問題に関して、クロダイ幼魚は濁水に遭遇すると、その濃度や色彩の相違によって接近・後退・進入などの行動を示す(岩田, 1978)。又、アイゴ類(礁湖性魚類)が赤土濁りに対して定座静止、あるいは遊泳回避の回避運動をすることは明らかにされている(伊野波, 1978)。しかし、これらの研究では濁り濃度が十分定量化されていない。

本研究の特徴は、実験魚として沿岸漁業の重要対象魚種のうちマアジ(回遊魚)とイシダイ(根付魚)、かつ濁りの指標として濁り濃度の定量化ができる濁度(光束消散係数, m^{-1})を選択した点にある。本論文では、濁った水に対する魚の反応の魚種による相違、濁った水に遭遇した時の魚群の行動と濁り濃度との関係、回避行動を起こす限界の濁り濃度及びその原因について検討した。

* 1987年11月25日受理 Received November 25, 1987

** 東京水産大学 〒108 東京都港区港南4-5-7
Tokyo University of Fisheries, Konan-4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

*** 三重大学生物資源学部 〒514 三重県津市江戸橋2-80 Faculty of Bioresources, Mie University, Edobashi 2-80, Tsu, Mie, 514 Japan

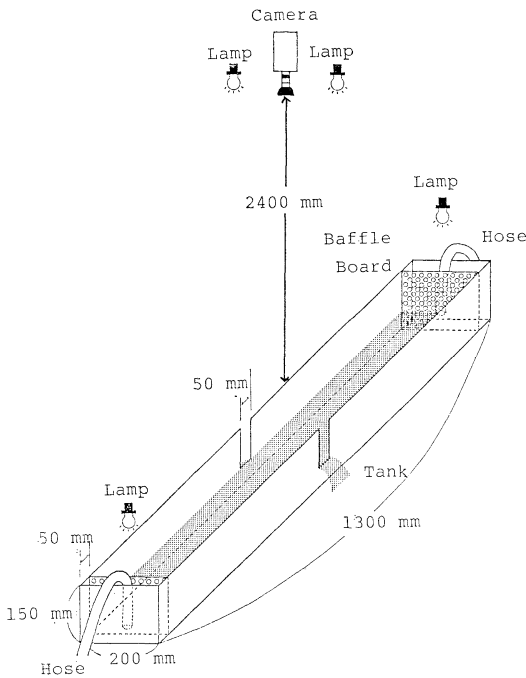


Fig. 1. Sketch of water tank and illumination.

2. 実験装置と方法

実験は Fig. 1 に示すような長さ 130 cm, 幅 20 cm, 深さ 15 cm の長方形水槽で行った。水槽両端に給水口を, 中央の左右両側壁に排水口をそれぞれ設けた (日高・立川, 1985)。水槽の上方約 2.4 m にテレビカメラ (CCTV-CAMERA HV-17TJ) と照明装置 (白熱電球 100W, 2W 各 2 個) を設置し, 周囲は暗幕で囲った。実験装置の配置は Fig. 2 のようである。2 ケの予備水槽 (容積 420 l) に貯めた海水を水槽両端より, 2 台のポンプで注水し, 中央に海水の明確な境界が出来るようにした。その時の流速は 1.2 cm/s であった。この場合, 魚の走流性や境界での行動変化は認められなかった。濁った水は, ろ過海水に土砂粒子, 植物プランクトン, 赤土及び海底土を懸濁させて作った。濁った水の濁り濃度は光束透過率計 (重心波長: 486 nm, 光路長: 1 m) を使用して, 正確にかつ連続的に測定した。光束消散係数 (C , m^{-1}) と懸濁物量 (SS, mg/l) とには下記のような直線関係があり, 相関係数 (r) は 0.99 以上で非常に高い。

土砂粒子:

$$C_t - C_w = 1.02 \cdot SS + 0.01 \quad (r = 0.996)$$

植物プランクトン:

$$C_t - C_w = 0.10 \cdot Chl.a + 0.15 \quad (r = 0.998)$$

赤土:

$$C_t - C_w = 0.91 \cdot SS + 0.04 \quad (r = 0.998)$$

海底土:

$$C_t - C_w = 0.77 \cdot SS + 0.23 \quad (r = 0.989)$$

但し C_t : 濁った水の光束消散係数

C_w : きれいな水の光束消散係数

Chl. a: クロロフィル a 量 (mg/l)

各濁り物質の粒径分布は Fig. 3 のようである。

実験は 1986 年 6 月から 11 月にかけての 95 日間, 東京水産大学坂田実験実習場で行った。実験期間中の水温は 19.1~23.2°C, 塩分は約 34‰ であった。

供試魚には回遊性のマアジ *Trachurus japonicus*, 根付性のイシダイ *Oplegnathus fasciatus* (全長 6~10 cm) を用いた。定置網で採捕した後数時間安静にさせたものを使用し, 実験毎に新しい魚と交換した。実験魚の総数は 795 尾であった。

実験手順の概要を以下に述べる。実験水槽へ両側からきれいな海水を注入し続け, 実験魚 3 尾を收容する。この時の水面直下の照度は 20 lx とする。魚が群れとして水槽を万遍なく回遊することを確認したら水中照度を 60 lx とする。この状態で安定した往復運動 (1~5 往復/分) を行うようになった時点で, ビデオ録画を開始する。20 分後, 片方の注水を濁った水に切り替え, 更に 20 分間ビデオに録画する。次に, 濁り濃度を変えて実験を繰り返す。魚群行動をビデオの録画記録から 5 秒間隔で読取った。魚の位置は魚体の吻端とした。出現率は次式で求めた。

$$\text{出現率} = \frac{\text{濁った水側へ出現する個体の数}}{\text{水槽内の個体の総数}} \times 100(\%)$$

3. 結果及び考察

3-1 濁った水に対するマアジとイシダイの反応

きれいな水にいた魚群が濁った水に遭遇した時の反応は, マアジ (回遊魚) とイシダイ (根付魚) でどのような差がみられるかを調べた。Fig. 4 は両魚種における出現率の時系列を示す。時系列は 1 分毎の移動平均値である。A 図はきれいな水と濁った水 (濁り物質は土砂) との濁度差が $0.8 m^{-1}$, B 図はその濁度差が $6.6 m^{-1}$ の場合である。濁った水注入の開始前の出現率は変動が少ないので 10 分間のみの結果を示す (以下, 同様とする)。A 図の場合, マアジの出現率は低濁度水により 80% から 30% に激減するが, イシダイのそれは 45% 前後でまったく変化しない。一方, B 図の場合, マアジの出現率は高

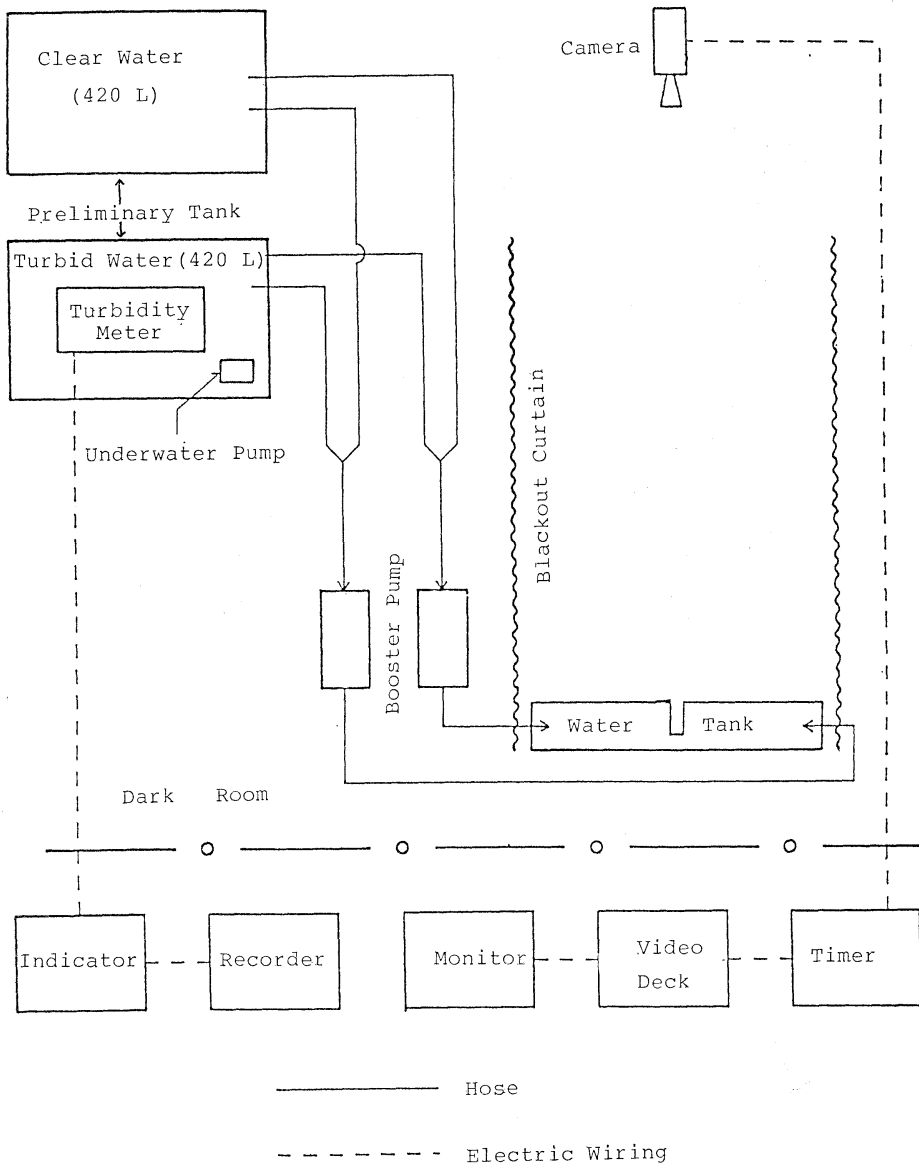


Fig. 2. Schematic diagram of equipment and arrangement.

Table 1. Values of swimming speed and differential rate at different turbidities.

Turbidity	Horse Mackerel		Parrot Fish	
	0.8 m ⁻¹	6.6 m ⁻¹	0.8 m ⁻¹	6.6 m ⁻¹
Before pouring	11.7 cm/s	10.8 cm/s	9.5 cm/s	8.1 cm/s
After pouring	15.4 cm/s	21.0 cm/s	7.1 cm/s	9.0 cm/s
Rate (%)	+31.7	+95.7	-25.7	+11.2

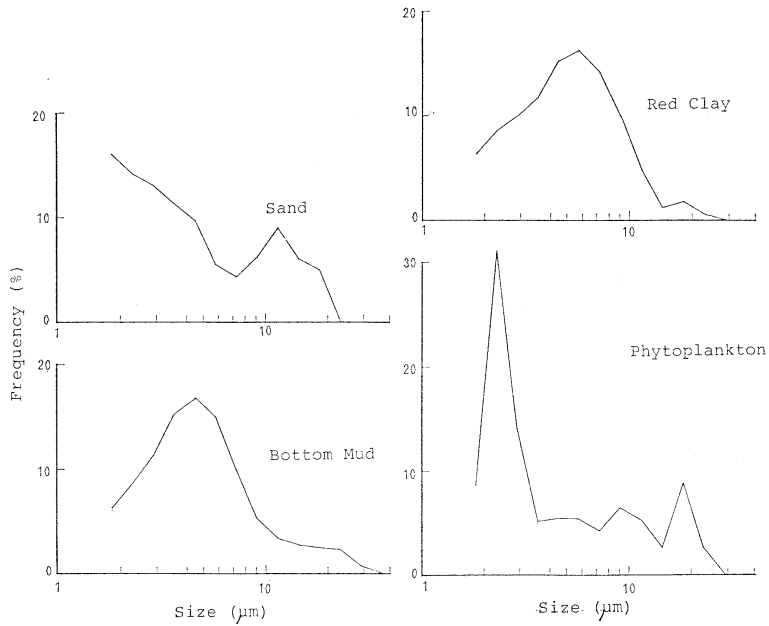


Fig. 3. Size distributions of suspended matters.

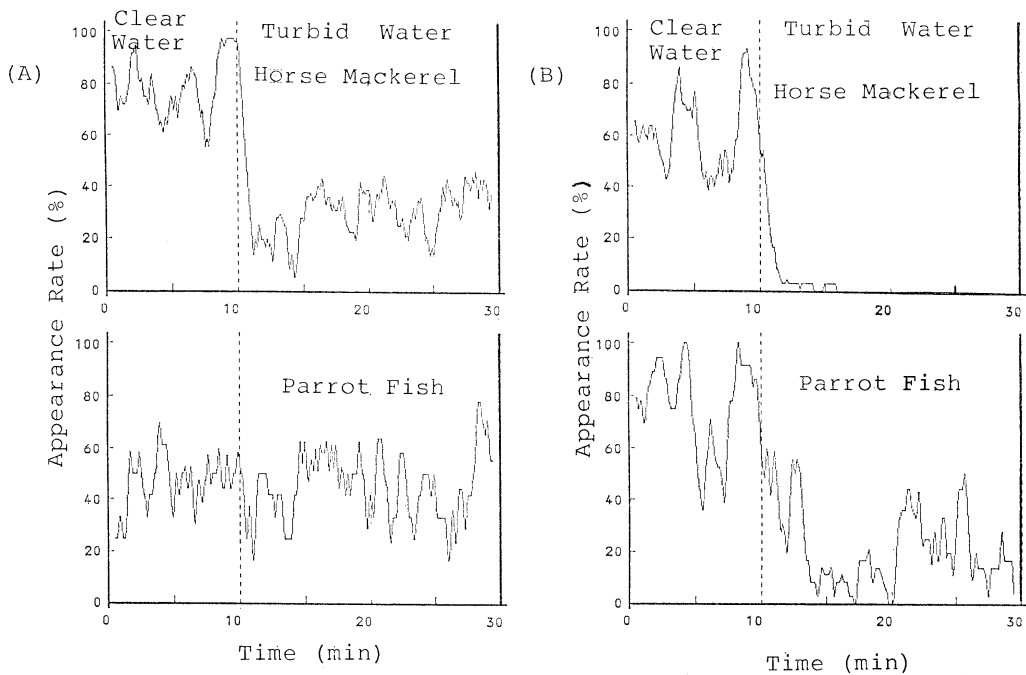


Fig. 4. Appearance rates of Japanese horse mackerel and parrot fish. A: $C_t - C_w = 0.8 \text{ m}^{-1}$, B: $C_t - C_w = 6.6 \text{ m}^{-1}$. These values are shown as differences between the turbidity of test water (C_t) and that of the water which fish inhabited before the experiment (C_w).

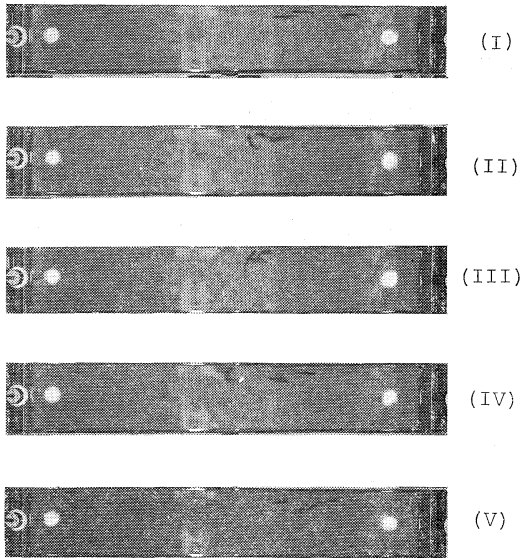


Fig. 5. Action of avoidance by Japanese horse mackerel. The part of clear water (0.3 m^{-1}) is on the right side, and the turbid water (6.9 m^{-1}) on the left side. In the fourth scene, a fish is turning around.

濁度水注入の開始後、数分で零になる。インダイのそれは注入開始後低下するが、約10分後に再び増加している。これらより、濁った水に対する忌避反応はマアジの方がより強く、インダイでは高濁度水の場合のみ、少し認められる。

Fig. 5 はマアジが濁った水に遭遇した場合の連続写真の一例である。濁った水 (光東消散係数, 6.9 m^{-1}) は水槽の左側, きれいな水 (同上, 0.3 m^{-1}) は右側である。第4番目の場合において, マアジが濁った水ときれいな水との境界付近で反転し, 濁った水域から後退するのを観察できる。忌避反応をより詳しく知るため, 魚が反転後, 濁った水域から回避する時の遊泳速度を調べた。Fig. 6 がその結果である。黒丸印がマアジ, 白三角印がインダイをそれぞれ示す。これらの値は反転後1秒間の移動距離から速度を算出し, 1分毎に平均したものである。又, (A)と(B)の図は低濁度水 (0.8 m^{-1}) と高濁度水 (6.6 m^{-1}) の場合である。両図より, マアジの遊泳速度は急激に増加するが, インダイのそれはほとんど変化しない。濁った水注入前後の平均遊泳速度の値と変化率は Table 1 のようである。

以上から, 濁った水に対する魚の反応はマアジとインダイでは相違し, 前者は著しく強い忌避反応を示すとい

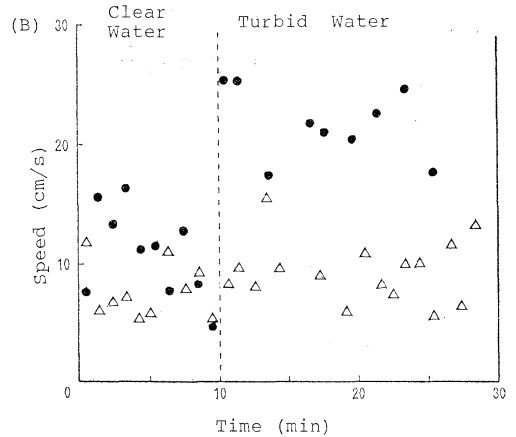
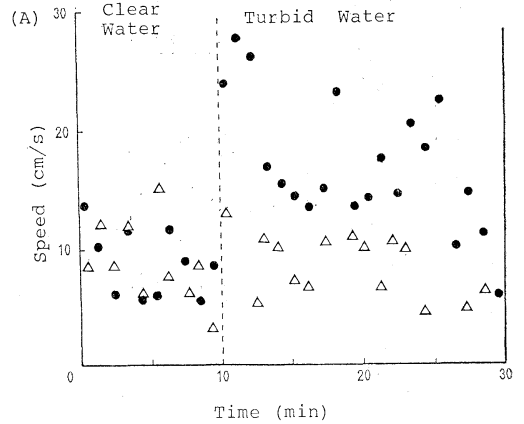


Fig. 6. Variations of swimming speed due to turbid water. Circles and triangles mean Japanese horse mackerel and parrot fish, respectively. (A) $C_t - C_w = 0.8 \text{ m}^{-1}$; (B) $C_t - C_w = 6.6 \text{ m}^{-1}$.

える。すなわち, マアジでは完全に忌避する濁った水に対しても, インダイではそれへ侵入する。また, 濁った水に遭遇した時の反転直後の遊泳速度が, マアジでは非常に大きく変化するけれども, インダイではまったく変わらない。

3-2 忌避行動を起こす限界の濁り濃度

濁った水に対し敏感に反応したマアジを用いて, 完全に忌避する限界の濁り濃度を検討した。Fig. 7 は濁り濃度別における出現率の時系列である。時系列は1分毎の移動平均値で示す。又, 濁り物質は土砂粒子で, 図中のC値はきれいな水と濁った水との濁度差を表示する。濁った水注入の開始前 (10分以前), 出現率はいずれのC値においても, 50~80%の範囲内にある。濁った水注入

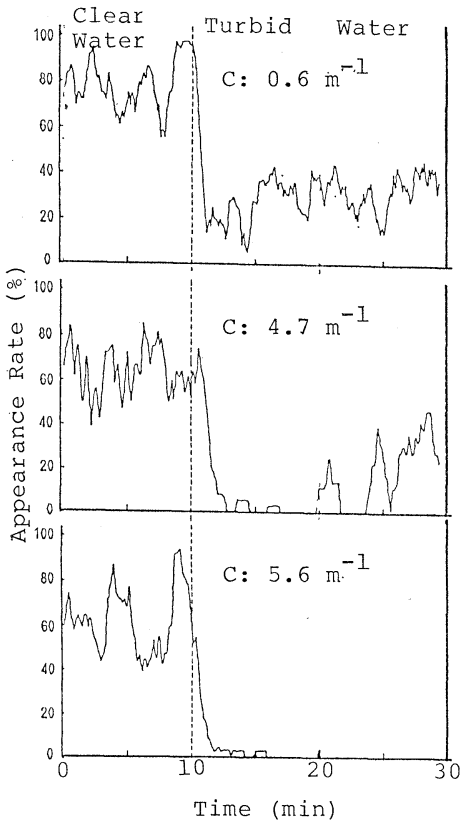


Fig. 7. Variation of appearance rates as a function of turbidity of water. The values of C are shown in the same way as in Fig. 4.

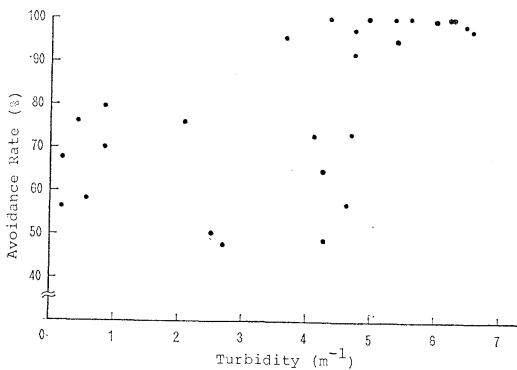


Fig. 8. Relation between avoidance rate and turbidity of water. The values of turbidity are the same as in Fig. 7.

の開始後 (10分以後), これらの出現率は C 値が大きくなる程小さくなる。特に, C 値 5.6 m^{-1} では出現率が零になり, 濁った水を完全に忌避しているといえる。そこ

で, マアジが忌避する濁り濃度の限界値をさらに詳しく知るため, 次式で求めた忌避率 (Ar) と濁度差との関係を Fig. 8 に示す。

$$Ar = \frac{K - N}{K} \times 100 (\%)$$

但し, K : きれいな水の注水時, 10分間に滞在する個体の総数

N : 濁った水の注水時, 10分間に滞在する個体の総数

ここで, 忌避率 (Ar) が100%であれば, 魚が濁った水域へ1回も侵入しなかったことを意味する。同図より, 忌避率が約100%になる濁度差はおよそ 5.0 m^{-1} であることが判る。したがって, 魚はこれ以上の濁り濃度の高い濁った水に遭遇した時, その水塊を完全に忌避することは明白である。

次に, 濁った水にいたマアジがさらに濁った水に遭遇した時の行動反応を調べた。Fig. 9 は高濁度水 (試験

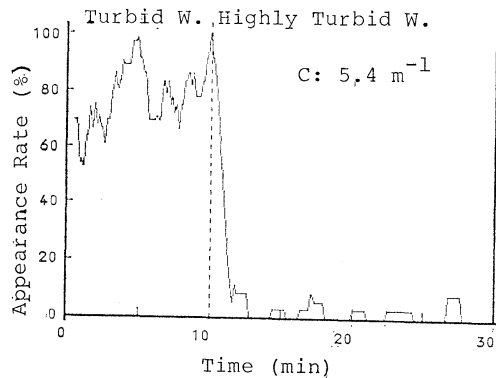
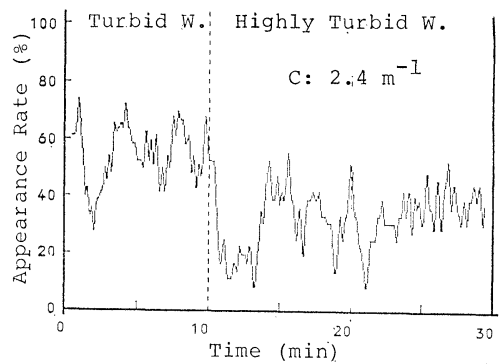


Fig. 9. Variation of appearance rates due to turbid water versus water with much higher turbidity. Upper part: 4.2 m^{-1} (turbid water). Lower part: 1.0 m^{-1} (turbid water). The values of C are shown in the same way as before.

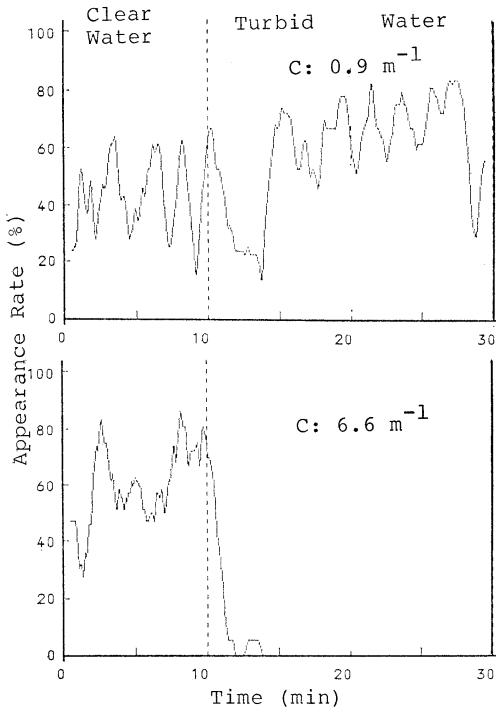


Fig. 10. Variation of appearance rates due to water turbid with phytoplankton. The values of C are the same as before.

水) 側の出現率の時系列である。上・下図は試験水注入の開始前、濁った水の濁り濃度が 4.2 m^{-1} と 1.0 m^{-1} の場合である。図中の C 値は Fig. 7 の場合と同様、濁った水と試験水との濁度差を示す。両図において、試験水注入の開始前、出現率は $50 \sim 80\%$ の範囲にある。注入開始後、これらの値は C 値 2.4 m^{-1} では 30% と低下している。また、 C 値 5.4 m^{-1} ではほとんど零に激減する。この結果は Fig. 7 の下図の場合と一致している。したがって、濁った水に遭遇した魚がその水塊を完全に忌避するのは、もといいた環境水の濁度に関係なく、濁度差が 5.0 m^{-1} 以上の高濁度水に遭遇した場合であると判断できる。

以上に述べた結果は濁り物質が土砂粒子の場合であった。これに対し濁り物質が植物プランクトン *Tetraselmis* の場合を Fig. 10 に示す。図において、濁った水注入の開始前、出現率は $50 \sim 60\%$ の範囲にある。注入開始後、これらの値は C 値 6.6 m^{-1} (5.0 m^{-1} 以上) において零になり、マアジが完全に忌避していることが判る。同様な結果は濁り物質が赤土及び海底土の場合においても得られた。しかし、植物プランクトンの濁り物質

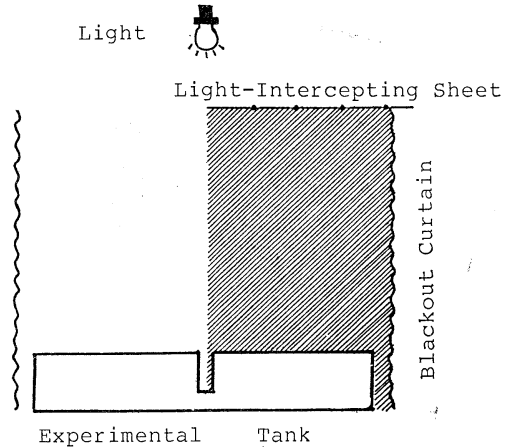


Fig. 11. Establishment of horizontal gradient of irradiance in clear water.

では他の濁り物質の場合と異なり、Fig. 10 の上図 ($C: 0.9 \text{ m}^{-1}$) のように濁った水に好んで接近・侵入する傾向がみられた。したがって、マアジが濁った水に遭遇した時完全に忌避するのは、もといいた環境水の濁度や濁り物質の種類に関係なく、もといいた環境水と濁った水との濁度差が 5.0 m^{-1} 以上の場合であるといえる。

3-3 忌避行動を起こす原因

外界の変化(刺激)に対して魚が反応行動を起こす場合、視覚・嗅覚・味覚・触覚・聴覚の各感覚が働いているものと考えられる。マアジが濁った水に対して完全な忌避行動を起こす濁り濃度は濁度差が 5.0 m^{-1} 以上の場合であり、この濁度差は濁り物質を変えても一定であることを 3-2 で明かにした。したがって、マアジが濁った水を感じ、これを回避するのは視覚の働きに依るところが大きいと考えられる。すなわち、海中の明るさの相違あるいはそれに基づく照度勾配を魚が判別していることになる。

そこで、水槽内に照度差(水平方向の照度差)をつくり、その時のマアジの行動を観察した。Fig. 11 で示すように、水槽上の空間を遮光幕で半分蔽い、明域と暗域ができるようにした。明域の照度は前項と同様、水面直下 60 lx 、暗域の照度は $45, 25, 15, 10$ 及び 3 lx とした。Fig. 12 は各照度差における低照度側の出現率の時系列である。図中の E 値は明域と暗域との照度差を示す。また、水槽内の海水の濁度は 0.3 m^{-1} である。水槽全体を明域にした場合、出現率は $50 \sim 60\%$ の範囲にある。水槽上を明域と暗域とに区分した場合、これらの値は E 値 45 lx 以上で零になる。すなわち、マアジは照

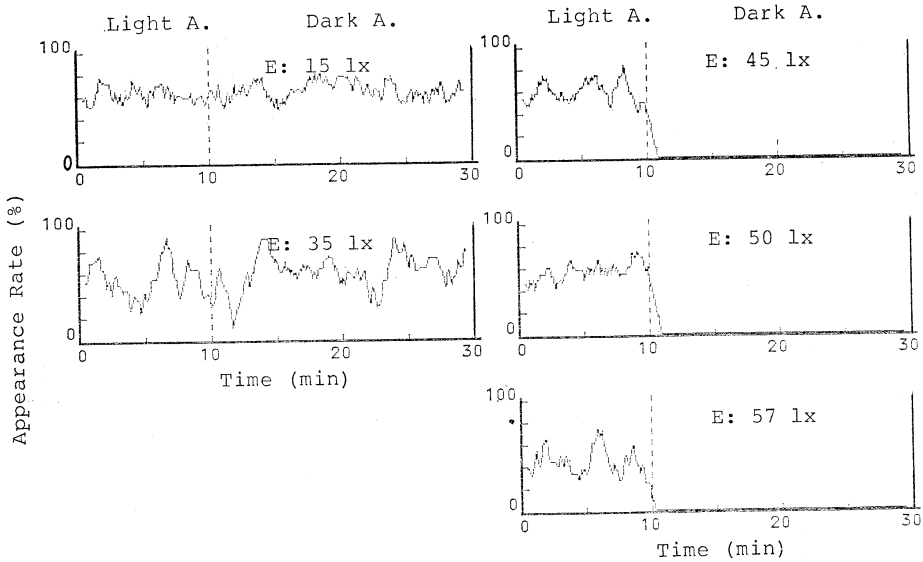


Fig. 12. Variation of appearance rates as a function of irradiance in clear water. The values of E are shown as differences between the irradiance of the illuminated water area and that of the dark water area.

度差 35 lx 以下では明暗両水域を自由に遊泳する。しかし、照度差 45 lx 以上では暗い水域へまったく侵入しない。このことから、マアジが暗い水域への侵入を回避するのは水中照度の差（あるいは水平方向の照度勾配）の判別であるといえよう。したがって、マアジが濁った水を忌避する時、上記と同じ原因であることを証明できれば、忌避行動は視覚に依存していることになる。

濁った水で生じる水中照度の差（あるいは水平方向の照度勾配）を水槽において実測することは非常に困難なので、モデルを用いた理論計算から推定した。今、きれいな水と濁った水で生じる照度勾配 (Case I) と、きれいな水中において明域と暗域で生じる照度勾配 (Case II) の2つのモデルを考える (Fig. 13)。水面直下の下方向照度 $E_d(0)$ は JERLOV (1976) によると

$$E_d(0) = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} L(0, \theta, \phi) \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (1)$$

である。ただし、 $L(0, \theta, \phi)$ は水面直下で天頂角 θ 、方位角 ϕ における輝度とする。また、水深 Z における下方向照度 $E_d(Z)$ は(1)式と同様に

$$E_d(Z) = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} L(Z, \theta, \phi) \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (2)$$

である。ただし、 $L(Z, \theta, \phi)$ は水深 Z で天頂角 θ 、方位角 ϕ における輝度とする。

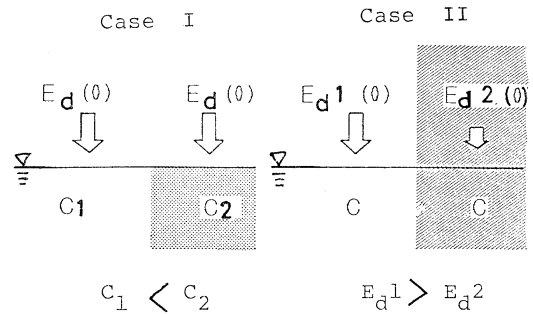


Fig. 13. Concept of a model for estimating horizontal slopes of irradiance. $E_d(0)$: Irradiance beneath water surface. C : Beam attenuation coefficient.

位角 ϕ における輝度とする。なお、 $L(0, \theta, \phi)$ と $L(Z, \theta, \phi)$ とは下記のような関係にある。

$$L(Z, \theta, \phi) = L(0, \theta, \phi) \cdot \exp[-C \cdot Z \cdot \sec \theta] \quad (3)$$

ただし、 C は光束消散係数である。ここで、Fig. 14 に示すように、境界から水平距離 X 離れた水深 Z での下方向照度 $E_d(Z)$ を $E_Z(X)$ と置換する。 $E_d(0)$ 、 C 及び Z が与えられれば、 $E_Z(X)$ は X の関数として次式で表すことができる。

Case I の場合

$$E_z(X) = E_a(0) \left\{ \int_{\theta=0}^{\pi/2} f_1(\theta) d\theta + \int_{\theta=0}^{\theta'} f_1(\theta) d\theta + \int_{\theta=\theta'}^{\pi/2} f_2(\theta) d\theta \right\} \quad (4)$$

ただし,

$$\begin{aligned} f_1(\theta) &= \exp[-C_1 \cdot Z \cdot \sec \theta] \cos \theta \cdot \sin \theta \\ f_2(\theta) &= \exp[-\operatorname{cosec} \theta \{X(C_2 - C_1) + C_1 \cdot Z \cdot \tan \theta\}] \cos \theta \cdot \sin \theta \\ \theta' &= \tan^{-1}(X/Z) \end{aligned}$$

Case II の場合

$$\begin{aligned} E_z(X) &= E_{a1}(0) \left\{ \int_{\theta=0}^{\pi/2} f(\theta) d\theta + \int_{\theta=0}^{\theta'} f(\theta) d\theta \right\} \\ &+ E_{a2}(0) \int_{\theta=\theta'}^{\pi/2} f(\theta) d\theta \end{aligned} \quad (5)$$

ただし,

$$f(\theta) = \exp[-C \cdot Z \cdot \sec \theta] \cos \theta \cdot \sin \theta$$

(4)式に $E_a(0) = 60 \text{ lx}$, $C_1 = 0.3 \text{ m}^{-1}$, 及び $C_2 = 5.8 \text{ m}^{-1}$, (5)式に $E_{a1}(0) = 60 \text{ lx}$, $E_{a2}(0) = 25 \text{ lx}$, 15 lx 及び $C = 0.3 \text{ m}^{-1}$ をそれぞれ代入した計算結果を Fig. 15 に示す。図中の点線は Case I, 実線は Case II の場合である。実線において, 上方は水面下の照度 $E_{a2}(0)$ が 25 lx (照度差: 35 lx), 下方はそれが 15 lx (照度差: 45 lx) を意味する。同図より, 点線は境界付近 (水平距離で約 5 cm の範囲) で両実線の間中に位置している。又, この時の照度勾配の値 (水平方向の) は $4\%/ \text{cm}$ である。この結果から, 魚群が濁った水を忌避する場合に, その境界域で形成されている照度勾配と, 明るい水域にいる魚群が暗い水域を忌避する時の照度勾配の限界値とは, ほぼ一致することが証明される。

実際の海洋でこれだけの著しい照度勾配がみられる場所は, 内湾の濁った水と湾外のきれいな水とのフロント付近や沿岸での工事現場等である。マアジは特に満 1 才までに沿岸域の分布が最も広がるので (田中等, 1981), 沿岸の濁りがマアジの来遊を妨げているとみるのが当然であろう。

4. 要約

(1) 濁った水に対する反応は回遊魚のマアジと根付魚のインダイでは異なる。マアジは濁った水に対し強い忌避反応を示すが, インダイはそのような反応をほとんど示さない。すなわち, 濁りに遭遇すると, マアジの場合には回避し, かつ反転後の遊泳速度が急激に上昇する。一方, インダイの場合には通常侵入し, かつその速度があまり変化しない。

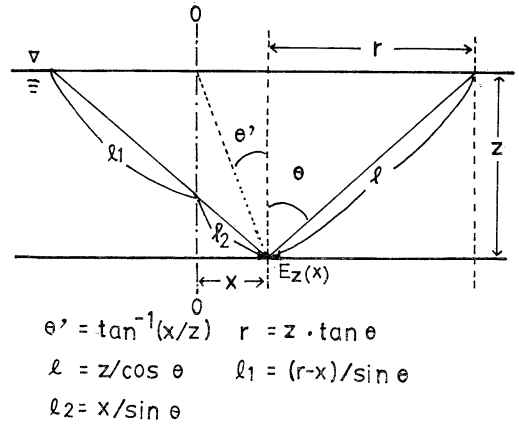


Fig. 14. Definition sketch for calculating underwater irradiance in the vicinity of boundary between light and dark area.

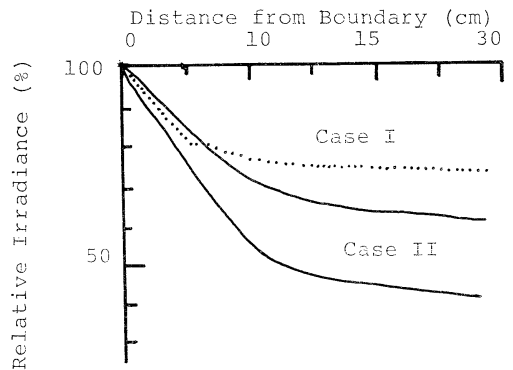


Fig. 15. Horizontal gradient of irradiance obtained by numerical calculations. In case I, the value of $C (=C_2 - C_1)$ is 5.5 m^{-1} . In case II, the upper and the lower lines indicate $E_{a2} = 25 \text{ lx}$ and $E_{a2} = 15 \text{ lx}$, respectively.

- (2) マアジが忌避行動を起こす限界の濁り濃度は, もといた環境水と濁った水との濁度差 5.0 m^{-1} (土砂量換算: 4.9 mg/l) である。このことは, もといた環境水の濁度や濁り物質の種類に関係しない。
- (3) きれいな水中において照度勾配 (水平方向の) が約 $4\%/ \text{cm}$ より急な場合, マアジは高照度域から低照度域に侵入しない。この照度勾配はきれいな水と濁った水との濁度差 5.0 m^{-1} の場合にほぼ一致する。このことから, 濁りに対するマアジの忌避行動は視覚に依存していることが示唆される。

謝 辞

本研究の実験にご助力を頂いた東京水産大学坂田実験
実習場の小池康之講師ならびに技官の方々に深甚なる謝
意を表します。

文 献

日高秀夫・立川 涼 (1985): 魚類による化学物質の忌
避試験法(1). 生態化学, 7(4) 17-25.
伊野波盛仁 (1978): 赤土濁りに対する魚類の嫌忌性実

験. 赤土の流出による漁場の汚染状況調査報告書.
沖縄県.

岩田清二 (1973): 魚類の行動におよぼす濁りの影響.
本州四国連絡架橋 漁業影響 調査報告書 4. 日本水
産資源保護協会.

JERLOV, N.G. (1976): Marine Optics. Elsevier Sci.
Publ. Co., Amsterdam.

田中昌一・川崎 健・森田 祥・土井長之 (1981): 水
産資源各論. 新水産ハンドブック. 講談社, 東京.

外房産ヤドカリ類の1種イソヨコバサミ *Clibanarius virescens* の宿貝選択*

村田 憲要**・渡邊 精一**・高木 和徳**

Home shell selection in an intertidal hermit crab, *Clibanarius virescens*, on the Pacific coast of Boso Peninsula, Chiba Prefecture*

Ken'yo MURATA**, Seichi WATANABE** and Kazunori TAKAGI**

Abstract: Home shell selection of hermit crabs is investigated on the *Clibanarius virescens* population in August and October 1984 at the mouth of Uchiura Bay, Chiba Prefecture. In this case, 22 gastropods are found there to be utilized by the hermit crab for its home shell. Of these, after size differences in the hermit crab, shells of *Batillaria cumingii*, *Turbo stenogyrus*, *Omphalius pfeifferi* and *Thais* spp. are totally recognized as major home shells in the above-mentioned area. Selection experiments in the laboratory reveal that shells of *B. cumingii*, *Pisania ferrea* and *Thais* spp. are suitable together as home shell of *C. virescens* by their aperture ratio (minimum width/maximum width; 0.60-0.74) and inclination (angle between axis of maximum aperture width and shell axis; 8-30°), and these two variables should be essential in the shell selection by the animal.

1. 序論

ヤドカリ類は、一般に巻貝類の空殻を自らの「宿貝」(一時的外殻)として利用し、必要に応じてその宿貝を取り替えることが知られている。ヤドカリ類にとって、適切な空殻を占有することは、その生活上、極めて重要とみられ、この動物の成長(MARKHAM, 1968)、生殖(CHILDRESS, 1972)、防禦(VANCE, 1972)などに明らかな影響を与える。宿貝としての貝殻は、ヤドカリ個体群の大きさをも支配するようで、生息域内での空殻数の増加は、事実上、ヤドカリ類の個体数の増加(VANCE, 1972)をもたらささえる。この類の宿貝の利用に関する研究は、この外にも欧米を中心として数多く進められた。ヤドカリ類の体重と宿貝の殻重との間には有意な相関(REESE, 1962)が認められ、さらに空殻の重量と内

部形状とは宿貝選択の最優先要因(REESE, 1963)である。GRANT (1963)とMARKHAM (1968)によれば、空殻の内容積と重量との比率に宿貝選択の基準があると考えられ、一方、HAZLETT (1970)によれば、大形個体では殻重量が、小形個体では殻容積がその場合の優先要因となる。さらに、*Pagurus bernhardus* は(MITCHELL, 1976)、空殻の重量、体積および殻口径の三者相互関連の下で、適切な大きさの宿貝を選択する。

宿貝の選択に際して現れる貝の種類や形状への嗜好性についてみると、まず貝の種類の場合、*Pagurus acadianus* は(GRANT, 1963)、*Buccinum*, *Thais*, *Littorina* 3属の巻貝の中で *Buccinum* 属のものを最も好むし、*P. hirsutiussculus* は(ORIAN and KING, 1964)、*Tegula* 属や *Calliostoma* 属のものよりも *Thais* 属のものを優先的に選ぶ。形状の場合は、*Coenobita rugosus* が(木下・岡島, 1968)、縦横比 1:2 の形に強い求殻行動を示すし、また *P. bernhardus* は(ELWOOD *et al.*, 1979)、*Gibbula* 属のもの比べると、*Littorina* 属のものを優先的に選ぶが、その選択は宿貝の重量と容積との比に依存している。

*1987年7月5日受理 Received July 5, 1987

**東京水産大学資源育成学科資源培養学講座(生物資源学) 〒108 東京都港区港南4-5-7

Laboratory of Sea Farming Biology (Population Biology), Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, Konan-4, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

著者らは、日本沿岸の暖流域で岩礁性潮間帯にごく一般的に見られるイソヨコバサミ *Clibanarius virescens* における宿貝選択について二三の新知見をえたので、その概要を報告する。

本文に入るに先立ち、本稿につき懇篤な助言と校訂の労を執られた東京水産大学教授奥谷喬司博士に深謝する。また、この研究を進めるに当たり、京都大学理学部の今福道夫博士、東京水産大学の山川紘氏には終始数々の貴重な助言を頂き、千葉県水産試験場の山崎明人氏には貝類同定について援助を受けた。これらの方々にお礼申し上げる。

2. 材料および方法

標本は千葉県内浦湾口に臨む東京水産大学小湊実験実習場* (千葉県安房郡天津小湊町) 地先の岩礁域で1984年8—10月に採集された。この潮間帯に面積ほぼ5m²の採集域を定め、干潮時にそこにいるイソヨコバサミの個体を可及的にすべて採集して標本とした。

8月14日(第1回)の採集標本は、宿貝の種の同定、雌雄性の判別、抱卵個体の選別、頭胸甲長による体形測定にあてた。10月16—17日(第2回)のものは、室内での宿貝の選択実験に供した。なお選択対象巻貝は、その貝殻を多量に実験材料とする必要から、上記採集域内に止まらず、広く上記地先から相当量を採集した。

実験水槽は、下記のすべての場合を通じて、底面40×80cm、深さ8cmの立方形不銹鋼製である。ここに、イソヨコバサミの移動を助ける目的で、底面を覆う程度に小石を敷き詰め、また常時適量の海水を注いで溢水状態とした。

選択実験の手法の要点は次の通りである。宿貝選択で予想できるこのヤドカリの発育段階上の違いを明らかにするために、まず宿貝としての貝殻について、大形、中形、小形の3型群を区別した。この場合の区別は現場での観察経験に基づく目測による。次に、採集域での巻貝の種組成に照らして、各型群ごとの選択実験でのヤドカリと貝殻との組み合わせは、次のように設定された。大形群の場合でいえば、まず3種類(未同定種群1組を含む)の選択対象巻貝を定め、それぞれを既に宿貝とするイソヨコバサミ10個体について、3組の実験を設定している。すなわち、供試ヤドカリ数はこれらの3種類の一つを宿貝とするもの各実験当たり10個体であって、これらのヤドカリ群のそれぞれに、上記3種類の巻貝について、宿貝として既に利用されているものを含めて総計

20個ずつの貝殻を選ばせた。中形群の場合は、巻貝の種類(未同定種群1組を含む)によって5組の実験、ヤドカリは20個体ずつ、貝殻は総計30個ずつであり、小形群では、巻貝の種類によって3組の実験、ヤドカリは10個体ずつ、貝殻は総計20個ずつである。総計11組の実験を通じ、実験開始後48時間放置したのち、イソヨコバサミが宿貝として利用している貝殻数によって、空殻利用状況を調べた。

宿貝選択基準に関連しては、実験に供した各種類の空殻から無作為に10個ずつ抽出した上で、それらの殻口の長径と短径との比(殻口径比)および長径軸と殻軸の作る角度(殻口傾度)を計測し、両者の相互関係を調べた。

3. 結果

3.1 天然での宿貝の利用状況

第1回の採集でえられたイソヨコバサミは、雌378個体(抱卵雌180個体を含む)、雄189個体、合計567個体(Table 1)で、性比は雌:雄=1:0.5である。標本の雌雄別頭胸甲長組成(Fig. 1)をみると、雌では2.5—3.0mm階級から11.5—12.0mm階級までの間で、4.0—5.0mmの2階級域で顕著な主峰が認められ、二次的な峰があるとすれば、それはおよそ6.5—7.0mm階級の辺りにある。雄の組成をみると、2.5—3.0mm階級から16.0—16.5mm階級の全域に亘って雌の場合のような顕著な峰は認められないが、主峰は明らかに3.5—4.0mm階級の辺りにある点で雌の場合に似ている。

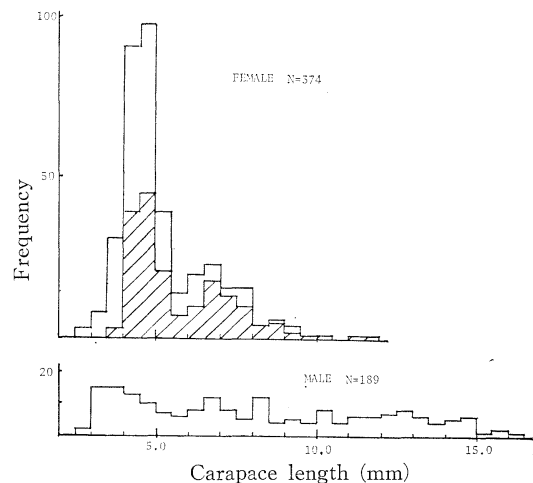


Fig. 1. Size composition in carapace length by sex of *Clibanarius virescens* at the sampling station in August 1984 (see text). Hatched bar, for oviferous females (N=180).

*現在、千葉大学理学部付属海洋生物環境解析施設

これらのイソヨコバサミに宿貝として利用されていた巻貝の種類数は22 (Table 1) である。それらの雌雄別利用状況を見ると、雌の大部分 (雌総個体数の54.0%) がホソウミニナ *Batillaria cumingii* の殻を利用しているのに対して、雄は雌の場合ほど強い傾向を示さないものの、まずコシダカサザエ *Turbo stenogyrus* (雄総個体数の24.9%) とホソウミニナ (20.6%) とを選んで利用している。利用率 (性別総個体数に対する百分率) が5%を超えている宿貝の種類は、雌の場合、上記ホソウミニナのほか、コシダカサザエ (14.6%), ヒメヨウラクガイ *Ergalatax contractus* (6.6%) およびマツムシガイ *Pyrene testudinaria tylerae* (5.3%) の合計4種類であり、雄の場合

Table 1. Gastropod shells utilized as home shell by *Clibanarius virescens*, and sexual composition of the user of them at the sampling station in August 1984 (see text).

Family	Shells Species/Japanese name	User		
		Male	Female	Sum
Trochidae				
	<i>Tristichotrochus unicum</i> (Dunker), ebisugai	—	1	1
	<i>Monodonta labio</i> (Linnaeus), ishidadamigai	1	3	4
	<i>Chlorostoma lischkei</i> (Tapparone-Canefri), kubogai	22	7	29
	<i>Omphalius pfeifferi</i> (Philippi), bateira	32	6	38
Turbinidae				
	<i>Turbo</i> (<i>Batillus</i>) <i>cornutus</i> (Lightfoot), sazae	1	6	7
	<i>T.</i> (<i>Marmarostoma</i>) <i>stenogyrus</i> Fischer, koshidakasazae	47	55	102
	<i>Astrarium haematragum</i> (Menke), urauzugai	—	1	1
	<i>Lunella coronata coreensis</i> (Récluz), sugai	3	1	4
Neritidae				
	<i>Theliostyra albicilla</i> (Linnaeus), amaobunegai	5	4	9
Potamididae				
	<i>Batillaria cumingii</i> (Crosse), hosouminina	39	204	243
Muricidae				
	<i>Thais</i> spp., reishigai-rui	21	15	36
	<i>Bedevina birileffi</i> (Lischke), kagomegai	1	—	1
	<i>Ergalatax contractus</i> (Reeve), himeyōrakugai	6	25	31
Buccinidae				
	<i>Pisania</i> (<i>Japenthria</i>) <i>ferrea</i> (Reeve), isonina	4	9	13

<i>Babylonia japonica</i> (Reeve), bai	1	—	1
<i>Pollia mollis</i> (Gould), shiwahoradamashi	3	9	12
Pyrenidae			
<i>Pyrene testudinaria tylerae</i> (Griffith et Pidgeon), matsumushigai	2	20	22
<i>Euplica versicolor</i> (Sowerby), futokorogai	—	3	3
Nassaridae			
<i>Reticunassa fratercula</i> (Dunker), kurosujimushirogai	—	3	3
<i>Alectrion sufflatus</i> (Gould), yofubai	1	—	1
Mitridae			
<i>Strigatella scutulata</i> (Gmelin), yatategai	—	1	1
Epitoniidae			
<i>Gyroscaia perplexa</i> (Pease), nejigai	—	1	1
Total		189	567

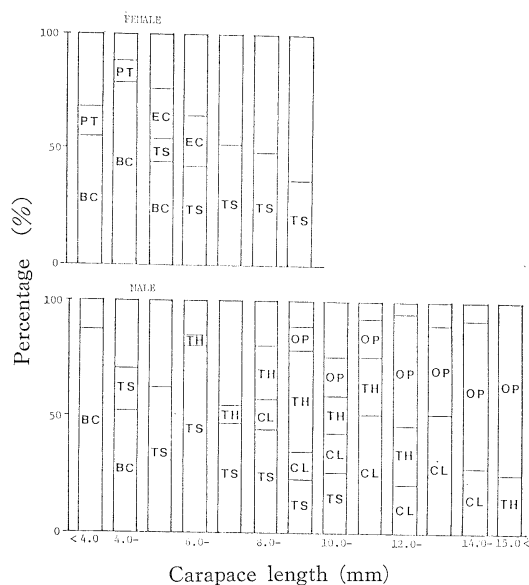


Fig. 2. Proportional composition of home shells occupied by both sexes and size classes (in carapace length) of *C. virescens* at the sampling station in August 1984 (see text). Abbreviation of home shell species: BC, *Batillaria cumingii*; CL, *Chlorostoma lischkei*; EC, *Ergalatax contractus*; OP, *Omphalius pfeifferi*; TH, *Thais* spp.; TS, *Turbo stenogyrus*. Blank bar, other gastropods than the above-mentioned species.

合は、上記2種類のほか、バテイラ *Omphalius pfeifferi* (16.9%), クボガイ *Chlorostoma lischkei* (11.6%) およびレイシガイ類 *Thais* spp. (11.1%) の合計5種類である。

これらについて頭胸甲長別の利用率 (Fig. 2) をみると、体形に応じていわば段階的に宿貝対象種の変わる傾向が認められる。すなわち、両性に共通して、小形個体ではホソウミナナの空殻の利用率が高く、その後は雌で5.0—6.0 mm 階級を、雄で4.0—5.0 mm 階級をそれぞれ超えると、替わってコンダカサザエのもの利用率が高くなっている。とくに雄で認められる二次的傾向としては、9.0—10.0 mm 階級を超えるころになると、コンダカサザエのよりもバテイラの空殻の利用率が高くなるようである。また同じく雄の場合、それほど高い利用率は認められないものの、比較的広い階級範囲 (6.0—7.0 mm 階級から 12.0—13.0 mm 階級までの7段階) でレイシガイ類の空殻の利用が認められることも、ここで特記されよう。

3.2 宿貝選択実験

a 大形群 (Table. 2) 大形個体群で選択対象となるのは、巻貝の3種類クボガイとバテイラおよびレイシガイ類である。実験 a-1 では、イソコバサミ (10個体) が48時間後にはすべて当初の宿貝から移って、レイシガイ類の空殻に入っている。当初にバテイラを宿貝としている場合 (実験 a-2) も、1個体を除き、大部分 (9個体) は新しい宿貝レイシガイ類のものへ移っている。例外の1個体では、当初のものと同種類 (バテイラ) を宿貝とする結果となっているが、この場合実験の設定条件によって、宿貝交換の可能性については不明である。実験 a-3 の場合も、すべてのもの (10個体) がレイシガイ類を宿貝とする結果になっているが、上記と同じ理由により、宿貝交換の可能性については明らかではない。

Table 2. Occupation (frequency) by large-sized hermit crabs (10 inds) of their finally selectable home shells (Selectable shell; prepared 20 each by species for) in relation to 3 species of gastropods. Exp, code of experiments; Home shell (in column), shell occupied initially by the hermit crabs as home shell.

Exp	Home shell	Selectable shell		
		CL	OP	TH
a-1	<i>Chlorostoma lischkei</i> (CL)	0	0	10
a-2	<i>Omphalius pfeifferi</i> (OP)	0	1	9
a-3	<i>Thais</i> spp. (TH)	0	0	10

この3組の実験を通じて、バテイラやクボガイの空殻を最終的な宿貝としたイソコバサミは、上記で既に明らかなように、殆どあるいは全くいない。

b 中形群 (Table 3) 選択対象種は巻貝の5種類イシダミガイ *Monodonta labio*, クボガイ, コンダカサザエ, イソニナ *Pisania ferrea* およびレイシガイ類である。5組の実験 b-1/5 を通じて、イソコバサミが最終的にはレイシガイ類あるいはイソニナの空殻を占有しているのが注目される。とくに後者の占有が著しい傾向である。30個体のイソコバサミは、1例 (実験 b-4, レイシガイ類の場合; 総個体数の40%) を除けば、どの実験でも大部分の個体 (70—85%) がこの貝殻を最終的な宿貝としている。このなかには、宿貝交換の可能性の不明な1例 (実験 b-5, イソニナの場合; 70%) が含まれている。上記の例外は、実験系列 a の場合と同じように、レイシガイ類の空殻への著しい占有性 (60%) によって起こっている。これら5組の実験を通じて、最終的には3種類イシダミガイ, クボガイおよびコンダカサザエの貝殻への移動ないしそれらの占有は全く認められない。

Table 3. Occupation (frequency) by medium-sized hermit crabs (20 inds) of their finally selectable home shells (prepared 30 each by species for) in relation to 5 species of gastropods. For the legend of columns, cf. Table 2.

Exp	Home shell	Selectable shell				
		ML	CL	TS	TH	PF
b-1	<i>Monodonta labio</i> (ML)	0	0	0	3	17
b-2	<i>Chlorostoma lischkei</i> (CL)	0	0	0	4	16
b-3	<i>Turbo stenogyrus</i> (TS)	0	0	0	6	14
b-4	<i>Thais</i> spp. (TH)	0	0	0	12	8
b-5	<i>Pisania ferrea</i> (PF)	0	0	0	6	14

Table 4. Occupation (frequency) by small-sized hermit crabs (10 inds) of their finally selectable home shells (prepared 20 each by species for) in relation to 3 species of gastropods. For the legend of columns, cf. Table 2.

Exp	Home shell	Selectable shell		
		TC	BC	PT
c-1	<i>Turbo cornutus</i> (TC)	0	10	0
c-2	<i>Batillaria cumingii</i> (BC)	0	10	0
c-3	<i>Pyrene testudinaria tylerae</i> (PT)	0	10	0

c 小形群 (Table 4) 選択対象種は巻貝の3種類サザエ (幼貝) *Turbo cornutus*, ホソウミニナおよびマツムシガイである。3組の実験 c-1/3 のすべてで、最終的

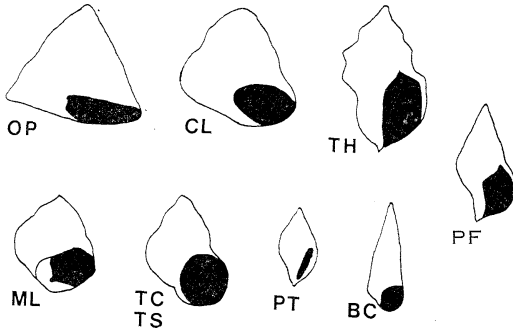


Fig. 3. Outline of the 9 species of gastropods applied to the selection experiments (Tables 2-4). Black area, aperture. Abbreviation of home shells: ML, *Monodonta labio*; PF, *Pisania ferrea*; TC, *Turbo cornutus*; for other abbreviations, cf. Fig. 2.

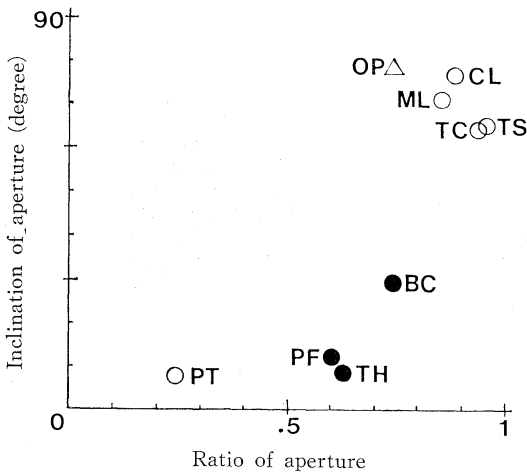


Fig. 4. Relationships between the ratio (minimum width/maximum width) and the inclination (angle between axis of maximum aperture width and shell axis) of the aperture in shells applied to the selection experiments (Tables 2-4). Closed circle, shells occupied finally by the hermit crab in a higher rate in the experiments; triangle, exceptional shells in the final occupation (in a lower rate); open circle, shells without final occupation after selection. For abbreviation of shell species, cf. Fig. 3.

にはホソウミニナの空殻を占有する傾向が明らかである。当初ホソウミニナの貝殻の場合 (実験 c-2) に宿貝交換の可能性が不明であることはいうまでもない。従って、これら3組の実験では、最終的にサザエ (幼貝) とマツムシガイとの空殻を選んだ例は皆無である。

3.3 殻口径比と殻口傾度との関係

宿貝選択実験の対象種となったのは、前節 3.3 で言及したように、殻口径比と殻口傾度の点で異なる総計9種類 (Fig. 3) である。ここで取り扱った殻口径比と殻口傾度とは何れも、少なくとも測定された体形範囲内では、巻貝の成長段階での異同は無視できるので、すべての測定値を同等に扱える。このような見地に立って、両変数の種ごとの (10個体) 平均値の分布 (Fig. 4) についてみると、殻口径比は 0.24-0.95 の範囲に、また殻口傾度は 8-79° の範囲にある。このような両変数間関係で全体として注目されるのは、選択実験 (Tables 2-4) で常に高い占有性を示した3種類 (Fig. 4, 黒丸)、ホソウミニナ、イソニナおよびレイシガイ類が座標軸間の特定域に強い集中傾向を示し、しかも同じ実験で占有性の低い種類 (とくに白丸) とは明らかに独立した分布を示していることである。この集中傾向は、殻口径比でいえば 0.60-0.74, 殻口傾度でいえば 8-30° の範囲内に現われている。

4. 論議

体形に見られる雌雄差 入手した標本でみるかぎり、上述 (Fig. 1) のように、イソヨコバサミの雄は雌よりも大形になる傾向があるようにみえる。この場合、雄個体の体長組成の範囲の雌個体の場合よりも明らかに広いのが、雄の寿命の雌より永いことを意味するものかどうかという点は、今後に残された年齢査定による詳しい調査にまたなくてはならない。

天然での宿貝の利用状況 採集域からえられたイソヨコバサミでは、全体として、ホソウミニナと、それに次ぐコンダカサザエとの利用度の最も高い結果がえられている。詳しく見ると、このヤドカリの成長段階による違い (Fig. 2) が認められ、その場合両性を通じて、初期には前者を、まもなく成長とともに、次第に後者を重点的に利用している。しかし、このことに関連して、天然水域で事実上高い利用の認められる利用対象貝が必ずしもイソヨコバサミの本来の求殻欲求を満たしているとは限らない。このことは本研究での選択実験によっても示唆されている。天然水域でのイソヨコバサミはその生息場所で入手しやすい巻貝空殻を利用しているにすぎない

と、みなすべきであろう。このヤドカリと宿貝の種的殻形との関係は、現場での貝の分布状態とは別の問題であると考えられる。

宿貝選択実験 この実験の材料は、すでに述べたように、採集定域を含めた実験場地先から入手している。従って、この地先での普遍種のなかからイソヨコバサミの空殻選択対象種を設定している。そのため、上述のように、このヤドカリの求殻欲求を満たすべき利用対象貝は実際に現場の生息場所に分布するものとは異なる可能性が十分にあるし、設定した選択対象空殻には現場での利用度の低いものも含まれている。

実験方法についてここで特記すべきことは、すでに言及しているように、この実験条件のもとでは、選択結果のほかは、同種の巻貝空殻の間での宿貝交換が、選択過程でたとえ何回あったとしても、それは無視されていることである。

このような条件で実施された宿貝選択実験で、上述のような顕著な選択傾向が認められた。すなわち、大形個体の場合（実験系列 a）についてみると一連の実験を通じて、専らレイシガイ類の空殻が宿貝として選ばれる傾向が著しい。実験 a-2 (Table 2) でのパテイラの 1 例は例外として無視できるとみられる。中形個体の場合（実験系列 b）は、大形のものの場合と同じく、レイシガイ類の空殻がかなりの頻度で選ばれているものの、それにも増してイソニナの空殻への強い選択欲求が認められている。また小形個体の場合（実験系列 c）は、専らホソウミナナの空殻への依存が認められる。

要するに、これら 11 の実験を通じて、一つの例外を除き、イソヨコバサミの場合、常にホソウミナナ、イソニナあるいはレイシガイ類の何れかの空殻が選択されている。これらの結果は、既往の知見で *Pagurus acadianus* がイソニナと外形的にも近縁の *Buccinum* 属のものの空殻を (GRANT, 1963)、また *Pagurus hirstiusculus* が *Thais* 属のものを (ORIANS and KING, 1964) それぞれ選択しているのと、選択対象貝の種類から見てかなりよく合致している。これらの知見によれば、イソヨコバサミに代表されるヤドカリ類が宿貝を選択する場合は、上述のような例外種の場合を別とすれば、まず殻口径比の小さい ($8-30^\circ$) ものを選びやすいようにみえる。

ヤドカリ類の体は宿貝内部で殻軸を中心として前後に螺旋状の運動をするが、その宿貝を背負って移動するに当たっては、殻口部の形状に対応して、体がとくにその頭胸甲部と腹部との接合部分でねじ曲げられる。殻口傾度が大きいと、それはこのねじれを大きくするように作

用し、おそらく動物にとって好適ではない。

ここで注目されるのは、この実験（とくに c-3; Table 4）では、マツムシガイが、その殻口傾度が小さい (8° ; Fig. 4) にも拘わらず、全く宿貝として選択の対象になっていないことである。これはその低い殻口径比 (0.24; Fig. 4) に問題があると推察される。殻口径比が小さくなると、殻口から殻内への頭胸甲部の出入りに抵抗が増し、反対にそれが大きくなると、頭胸甲部と殻内壁との間の空隙が広がって、どちらの場合もある限度を超えると、宿貝としての適格性に欠けるのであろう。

殻口径比も殻口傾度も、どちらも宿貝の内部形状に係わるものであって、今回の実験では、貝殻の内部形状を重量とともに宿貝選択の最優先要因とする指摘 (REESE, 1963) を支持する結果がえられたといえる。要するに、イソヨコバサミの宿貝選択には、殻口径比も殻口傾度も何れも不可欠の要因とみなされる。

5. 要約および結論

i) 千葉県内浦産イソヨコバサミの宿貝選択に関連して、天然水域での性比、性別頭胸甲長組成等を調べた。この場合、標本の性比は 1:0.5 で雌個体の、また両性を通じて、小形個体群の卓越が認められる。

ii) 調査現場で宿貝として利用されていた巻貝の種類数は総計 22 に及び、それらの空殻の選択には、おそらくこのヤドカリの成長段階の推移に伴う変化がある。すなわち、両性を通じ、小形個体でのホソウミナナ空殻の利用は、ヤドカリの大形化につれて次第にコシダカサザエ空殻の利用に移行する。なお、雄個体では、さらに引き続きパテイラ空殻の利用への移行も傾向として認めてよい。この場合、上記の移行傾向とは別に、レイシガイ類の空殻の利用も無視できない。

iii) イソヨコバサミの宿貝選択性を明らかにするために、実験室内で大形、中形、小形 3 型による体形別の選択実験を試みた。3 型を通じて、ホソウミナナ、イソニナおよびレイシガイ類の空殻の選択が顕著な傾向として認められる。

iv) この実験結果を殻口径比と殻口傾度とに係わる違いに照らしてみると、少なくともイソヨコバサミでは、宿貝選択にこれら 2 つの要因が不可欠で、その場合、前者で $0.60-0.74$ 、後者で $8-30^\circ$ の範囲がこの選択に適格といえるようである。

v) 既往の知見をも参照して、これらの結果について若干の論議を加えた。

文 献

- CHILDRESS, J.R. (1972): Behavioral ecology and fitness theory in a tropical hermit crab community. *Ecology*, **53**, 960-964.
- ELWOOD, R.W., A. MCLEAN and L. WOOD (1979): The development of shell preferences by hermit crab *Pagurus bernhardus*. *Anim. Behav.*, **27**, 940-946.
- GRANT, W.C. Jr. (1963): Notes on the ecology and behaviour of the hermit crab, *Pagurus acadianus*. *Ecology*, **44**, 767-771.
- HAZLETT, B.A. (1970): Tactile stimuli in the social behavior of *Pagurus bernhardus* (Decapoda, Paguridae). *Behaviour*, **36**, 20-48.
- 木下治雄・岡島 昭(1968): ヤドカリの求殻行動と計測能力. *動物学雑誌*, **77**, 233-272.
- MARKHAM, J.C. (1968): Notes on growth pattern and shell utilization of the hermit crab *Pagurus bernhardus*. *Ophelia*, Helsingör, **5**, 189-205.
- MITCHELL, K.A. (1976): Shell selection in the hermit crab *Pagurus bernhardus*. *Mar. Biol.*, **35**, 335-343.
- ORIAN, G.H. and C.F. KING (1964): Shell selection and invasion rate of some Pacific hermit crabs. *Pac. Sci.*, **18**, 297-306.
- REESE, E.S. (1962): Shell selection behavior of hermit crabs. *Anim. Behav.*, **10**, 347-360.
- REESE, E.S. (1963): The behavioural mechanisms underlying shell selection by hermit crabs. *Behaviour*, **21**, 78-126.
- VANCE, R.R. (1972): Competition and mechanism of coexistence in three sympatric species of intertidal hermit crab. *Ecology*, **53**, 1062-1074.

北フィジー海盆のリフト系： 日仏共同研究 KAIYO 87 の成果*

KAIYO 87 乗船研究者一同**

Rift system in the North Fiji Basin: Results of Japan-France Cooperative Research on board KAIYO 87*

KAIYO 87 Shipboard Party**

Abstract: Marine scientific survey was conducted in the North Fiji Basin during the period from 28 November 1987 to 2 January 1988 on board the R.V. KAIYO. This cruise was the first phase of the joint cooperation, designated as STARMER project, of Japan, France and the South Pacific countries together for the study of the rift system in the South Pacific backarc basins. The North Fiji Basin has opened with poles on both western and eastern side margins of the basin. This opening implies complicated evolution of the rift system in the North Fiji Basin. The rift axis and magnetic anomaly lineations are not in straight lines throughout the rift system. They are discontinuous and segmented from tens of kilometers to 150 kilometers. Some geomorphological lineations are superimposed and multi-directional. Oblique development of the rift axis to the magnetic anomaly lineations was observed in the southern rift of the triple junction in the central basin. These features suggest that the rift systems in the North Fiji Basin have been variable during its formation and the basin has been formed by spreading of sea-floor with mosaic pattern.

1. はじめに

海洋プレートを形成するリフト（拡大軸）系には、大洋中央海嶺のリフト系と背弧海盆に形成されるリフト系が知られている。背弧海盆の形成に関しては、幾つかの説があり、1) 島弧を形成する活動、つまり海洋プレートの沈み込みと関連して、その力学的あるいは熱的作用により背弧海盆が形成されるとするもの (KARIG, 1971, 1983; MCKENZIE, 1969; TOKSÓZ and BIRD, 1977; SCOTT and KROENKE, 1980; HONZA, 1983), 2) 地球深部に湧昇流があり、そのドリフトで形成されるとするもの (MIYASHIRO, 1986), 3) プレート間の運動の相互作用の結果として形成されるとするもの (DEWEY, 1980; HONZA *et al.*, 印刷中), 4) 島弧が形成される時に、その内側に大洋底の一部がとり込まれて形成される

とするもの (COOPER *et al.*, 1976; WATTS *et al.*, 1977; MATSUDA, 1979; BEN-AVRAHAM and UYEDA, 1983; HILDE and LEE, 1984) 等がある。背弧海盆の形成は、島弧の内的要因によるものと外的要因で形成されると考えるものの二通りに分けることができる。

西太平洋縁辺域には多くの島弧と背弧海盆が分布している。日本周辺にも小笠原弧・琉球弧といったところに活動的背弧海盆がみられる (HONZA and TAMAKI, 1985; YUASA and YOKOTA, 1982; KIMURA, 1985)。しかしながら、その活動は、リフティングの初期にとどまっていると考えられている。現在最も活動的な背弧海盆は南太平洋に多くみられる。その一つに今回の調査を行った北フィジー海盆があり、ここでは現在活発な拡大運動がみられるといわれている (FALVEY, 1978; MALAHOFF, *et al.*, 1982 a,b)。10 Ma (1000万年前) 頃に北東方向からのオントンジャワ海台の衝突がビチャーラ海溝で生じ、その結果、バヌアツ島弧を形成する北からの太平洋プレートの沈み込み帯が停止し、南からの北ローヤルテ

* 1988年2月1日受理 Received February 1, 1988
本報告は日仏両国間の合意により、日仏両文で同時に公表される。

** 本座栄一他詳細は付表1参照

ィー南フィジー両海盆の沈み込み帯が形成され、その内側(北側)に8Ma頃から北フィジー海盆が形成されたと考えられている(COLEMAN and PACKHAM, 1976; FALVEY, 1978; MALAHOFF *et al.*, 1982a, b; GILL *et al.*, 1984; CARNEY *et al.*, 1985)。最初、バヌアツ島弧に平行に北西—南東方向の海盆西端を極として扇形拡大が起り、続いてフィジー諸島のピチレブ島の反時計方向への回転を伴って西側も、東端を極とした扇型拡大となったと考えられている。

本研究は STARMER 1 と名づけられ、南太平洋の背弧海盆とそのリフト系の海洋地学、生物学に関する総合研究を3年ないし5年にわたり、日仏及び南太平洋諸国と共同で実施するものである。本論は海洋科学技術センター所管の「かいよう」で昭和62年11月28日—昭和63年1月2日に実施された、本プロジェクト初年度(昭和62年度)の北フィジー海盆とそのリフト系の調査成果の概要である(Figs. 1 and 2)。昭和63年度には「かいよう」による調査とフランスの「ノチール」による潜航調査が予定されている。

2. 北フィジー海盆の海底地形と地質

北フィジー海盆は北にピチャージ海溝(古海溝)、西から南にバヌアツ(ニューヘブライデス)島弧、東にフィジー諸島に囲まれた、ほぼ2,500—3,000 m 深の海盆であり、海山、海丘、小起伏が間断なくみられ、起伏に富んだ海底地形を呈している(Fig. 3)。特徴的にみられるものに1)海盆中央域を南北にのびる地形とその中央域の高まり、2)北西域の北西—南東方向の高まりと地溝状地形、3)海盆中央域からフィジー諸島北方を經由してトンガ海溝にのびる断続した凹地、4)フィジーのピチレブ島西方の南北の高まりと凹地、5)海盆北東域から西域に上記の地形に重複して発達する北東—南西方向の地形等がある。このうち1)と2)はリフト系を形成し、3)がトランスフォーム断層、4)はフィジーのピチレブ島の回転に伴った断裂帯であるか、リフト系と解され、海盆中央域の1), 2), 3)の交点がトリプルジャンクション(三重重点)を形成すると考えられている(MALAHOFF *et al.*, 1982a, AUZENDE *et al.*, 印刷中)。5)の

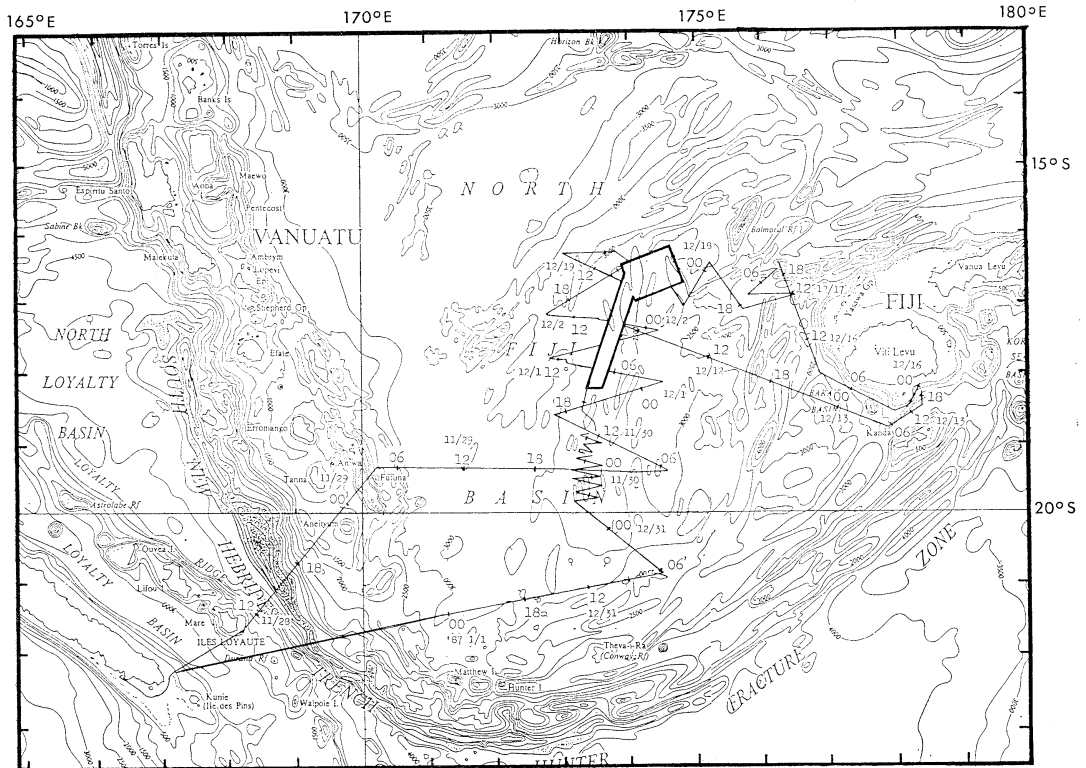


Fig. 1. Track lines and detailed surveyed boxes in the North Fiji Basin by the KAIYO 87 cruise. Bathymetry is based on the chart compiled by KROENKE *et al.* (1983).

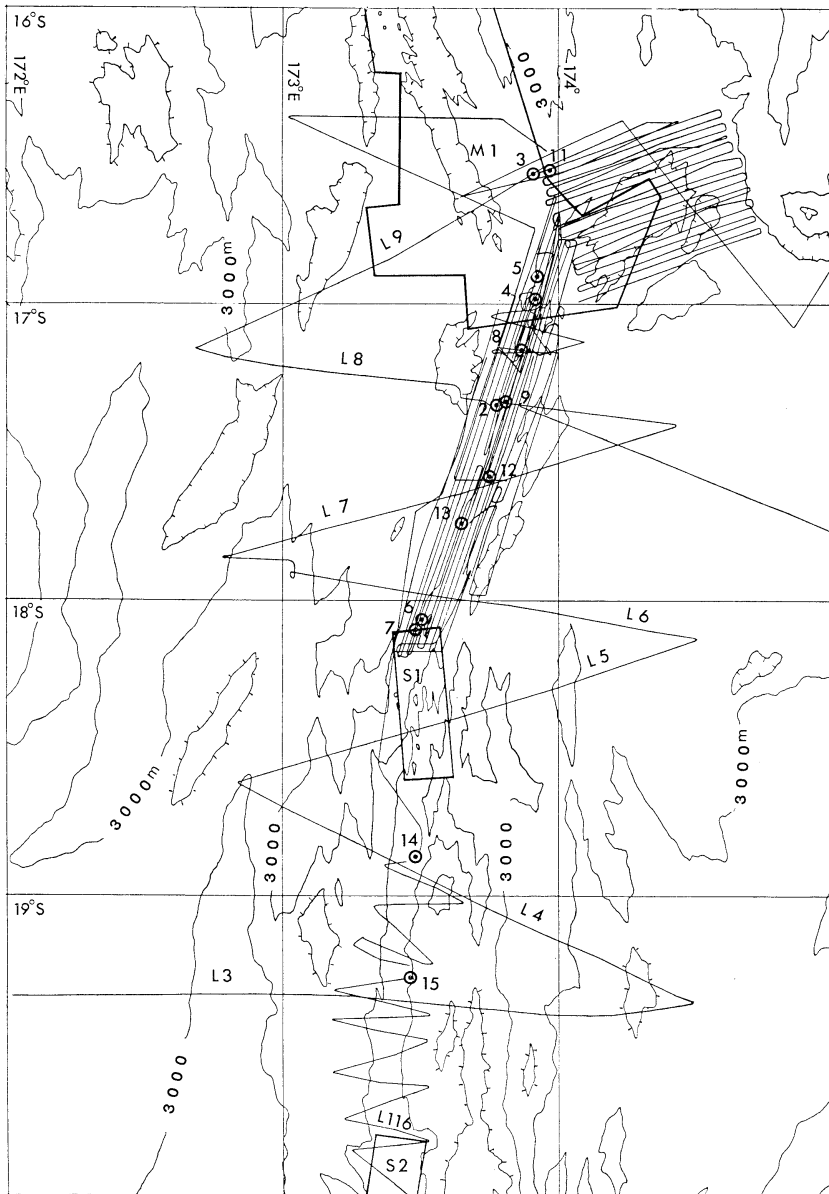


Fig. 2. Track lines and sampling sites (circles with dots) in the rift system of the North Fiji Basin by the KAIYO 87 cruise. M1 is the surveyed area with Seamarc II by HIG, and S1 and S2 are the sea-beam boxes by the SEAPSO cruise.

北東—南西方向の地形は北フィジー海盆を横断する断裂帯であるとの考えもある (CHASE, 1971)。海盆の地域毎に異った方位の地形配列がみられ、上述の主系列の地形は直線上となっているが、細かくみると雁行、並列しているところも多い。

音波探査の結果をみると、一般に海盆縁辺域を除き、

堆積層が薄い。南北の拡大軸周辺には、ほとんど堆積層がみられない (Fig. 3)。これは現在拡大活動をしているリフト周辺であり、若い海洋地殻から成っているということ、陸源堆積物の供給地から離れているためであると解される。

リフト系を中心としてドレッジにより得られた岩石の

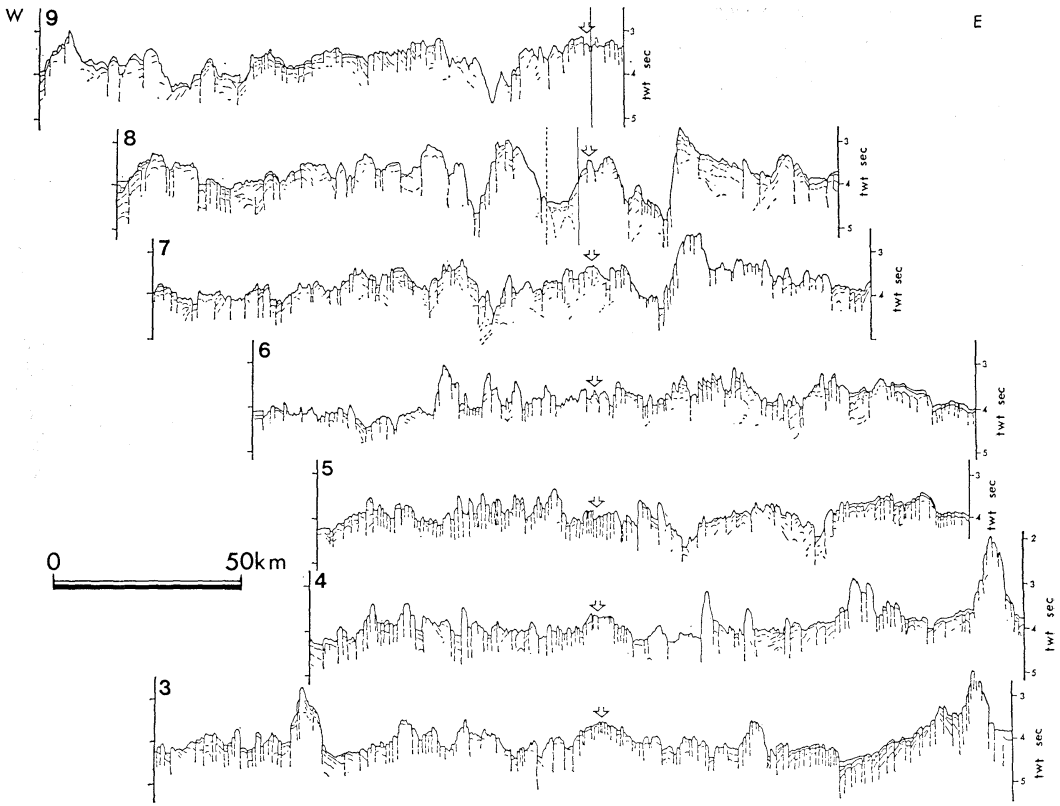


Fig. 3. Reflection seismic profiles in the North Fiji Rift. Arrow indicates rift axis. Little sediments are observed in the rift area.

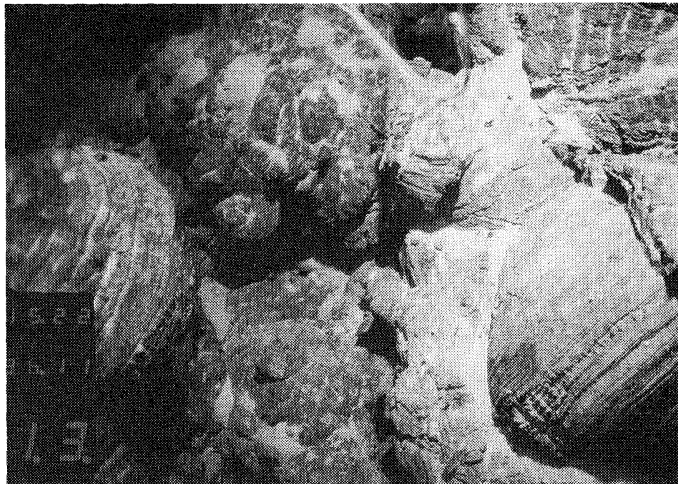


Fig. 4. Pillow basalt taken by deep-tow camera in the rift axis at Station 6.



Fig. 5. Pillow basalt sampled at Station 9 (2720 m deep). Surface of pillow is glassy.

多くは、MORBタイプの aphyric-subophyric の玄武岩から成っているが、一部 porphyritic 玄武岩も認められた (Figs. 4 and 5)。産状は表面がほとんどガラス質クラストから成る枕状溶岩と溶岩クラストであり、主な斑晶として斜長石とオリビンが識別される。

3. 北フィジー海盆中央域のリフト系の形態

リフト系周辺に堆積層が少ない為に海底地形にその構造が直接反映されている。Fig. 6 はシービームによる横断調査等にみられるリフト系とその周辺の地形の起伏の方向を表わしている。リフト軸自身も10数 km から50 km 位までの単位で区切れ、その両端は雁行ないし一部重複して存在することが読みとれる。リフト軸をはさんで両側の地形は対称的なこともわかる。起伏の配列が直線上にみられ、これらはリフトに平行に配列している。しかしながら、リフト系に沿って南北両端まで連続してみられるというのではなく、断続的になっている様子も読みとれる。また、一部に海山、海丘がみられ、リフト軸をはさんで対称的に分布すると思われるものとそうでないものがみられる。

トリプルジャンクション周辺の海底地形には南北と北西—南東のリフト系がよく表われているが、東西ないし東北東—西南西のトランスフォーム断層は判然としないところもある。この断層は約100 km ないしそれ以内で南東方向にずれ、雁行している可能性が高い。また、南域には南北方向以外に北東—南西方向の起伏もみられる。

これらの横断面をみると、リフト軸を中心として対称的地形となっていることが良くわかる (Figs. 7 and 8)。また、幅20 km 位の凹地形の中心域にリフト軸がある場合 (L-5, 6) とリフト域が、その周辺のなかで最も高いところとなり、周辺にそれより低い起伏がみられる (L-

3, 4, 116)、二通りのリフト系が存在することがわかる。また、リフト軸も凹地形となるところ (St. 4) と凸地形となるところ (St. 6) があることがわかる。リフト軸周辺の起伏はリフト軸側が急斜面で、その反対側が緩斜面となっているところが多い。これはリフト系が拡大に伴う引張力の場であり、正断層が形成されていることによるものと考えられる。

4. 地磁気異常からみたリフト系の形成時代

北フィジー海盆の地磁気異常には海底地形にみられるのと同様の傾向があることが航空地磁気異常調査から判断される (MALAHOFF *et al.*, 1982 b)。今回得られた海上地磁気異常の調査結果は、リフト系の拡大形式を詳細に検討できる材料を提供している。海盆中央域の南北性のリフト系には、リフト軸に平行で対称的な地磁気異常がみられる (Fig. 9)。これらの地磁気異常は南北に数10 km から150 km 位の単位で追跡でき、東西ないし北東ないし北東—南西方向の構造線で切られている。調査測線内と AUZENDE *et al.* (印刷中) によるものを合せると地磁気異常 2A (248—292 万年前) まで確認できる。その間の両側への拡大速度をみると、地磁気異常 J (92—97 万年前) まで 4.9—7.2 cm/年、異常 2 (167—187 万年前) で 5.8—6.9 cm/年、異常 2A で 5—5.2 cm/年であり、平均して第四紀に 5—7 cm/年の速度で拡大している。

南北性のリフト系の北部のトリプルジャンクション付近 (18°S—16°S) の地磁気異常のパターンが幾分北々東—南々西方向に向いているが、リフト軸がそれに斜交してさらに北々東—南々西方向に向いている。従って、この部分の拡大が非対称であるか、リフト軸が約100万年以降に、それ以前のリフト軸とは異った方向に、新たに形成されたかである。

5. リフト系の熱水活動

リフト系には循環熱水系が存在すると考えられ、最大で海底面下7 km に達し、一部はマントルにまで浸透している。東太平洋海膨で発見された金属分に富む高温の熱水活動は1980年代の地球科学のビッグテーマの一つになっている。マヌス海盆、ラウ海盆といった背弧海盆においても熱水活動の存在が示唆されている (BOTH *et al.*, 1986; SCHOLL *et al.*, 1985)。

北フィジー海盆のリフト系でも、数多くの地点で熱水活動が存在することが今回の調査で確認された。南北にのびるリフト軸に沿った採水点の全地点からマンガンの

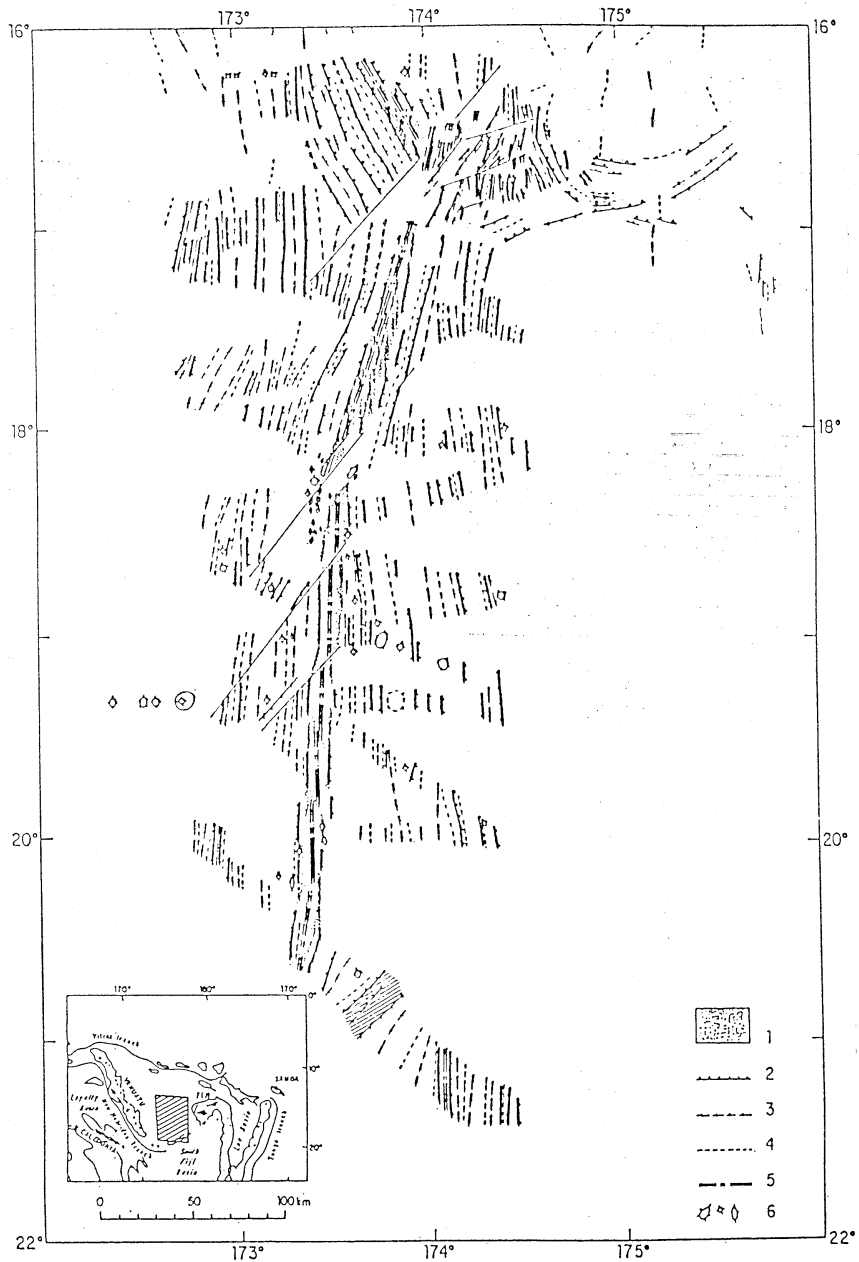


Fig. 6. North Fiji Rift and geomorphological lineations in the axial area observed in sea-beam records. 1, rift area axis with double lines. 2, scarp. 3, ridge. 4, trough axis. 5, rift axis. 6, knoll.

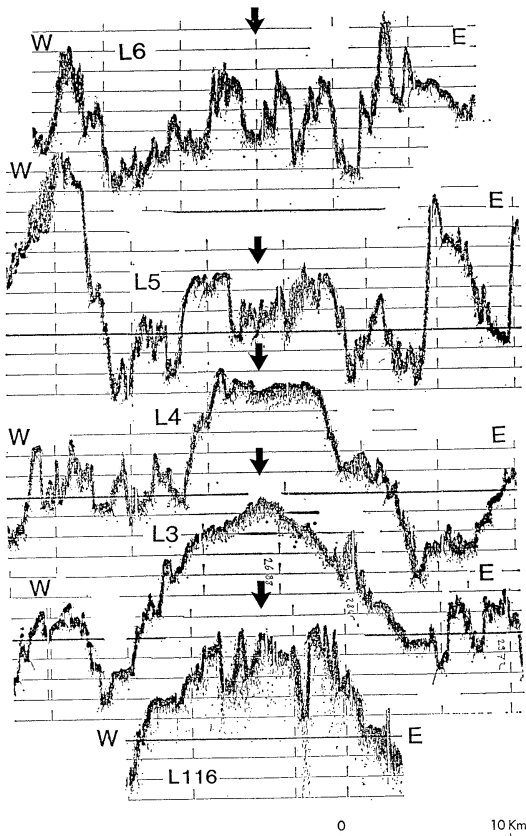


Fig. 7. Topographical profiles in the southern North Fiji Rift. Axis is indicated with arrow.

異常濃集層がみられた。調査海域の南部に位置する St. 14 では最高濃度が 30 nM に近い高濃集層があった。これは通常の採水方法による結果としてガラパゴスの活発な拡大域での調査結果に匹敵するような高い濃度である。マンガン濃度異常の大きな地点では、メタン濃度にも異常がみられた。

これらの異常濃集層のうち 2 地点で深海テレビを曳航した結果、直立および崩壊したチムニー、赤色沈澱酸化物、硫化物、熱水活動に伴う生物群集がみられた (Fig. 10)。死滅群集と生きている群集の判断は明瞭には下せないが、それらは、シンカイヒバリガイ類の二枚貝、巻貝、シンカイコシオリエビ類、短尾類 (カニ)、フジツボや笠貝、ウロコムシ類 (ゴカイ)、イソギンチャク類等から成り、フジツボ類は深海曳航体のドレッジで採取されている。

高濃度マンガンの検出された底層水中において、バクテリオプラクton 細菌相に占める化学合成細菌の割合

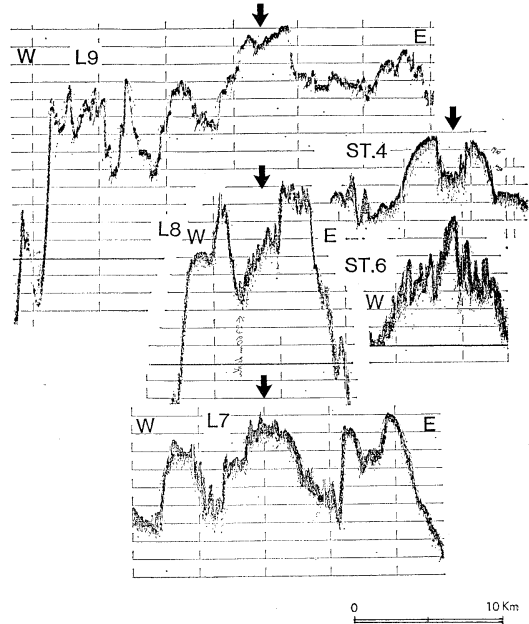


Fig. 8. Topographical profiles in the northern North Fiji Rift. Within area of a few tens of kilometers, two types of rift system are distinguished; depression with steep scarps on both sides of the axis and uplift in the axial area.

は数%から数十%にも及ぶことが明らかになった。底層水中における、このような高い独立栄養細菌組成の存在は、海底における熱水の噴出活動に伴う還元型硫黄の存在を直接的に示唆している。因に、深層水中の細菌相に占める化学合成細菌の割合は 0.1% 未満であった。これらの化学合成細菌の中で、硫化物とチオ硫酸塩とを化学合成過程に利用する 2 種類の細菌群を分離培養することができた。

現場の天然細菌群集と分離された化学合成細菌の成長速度から、リフト系海底の過剰生物群集にとって、化学合成細菌による基礎生産が従属栄養細菌による生物生産に迫る働きを有することが明らかになった。

6. 考察

北フィジー海盆の形成が一種の蝶開きの形態で起ったと考えられ、その形成過程が複雑であることはある程度考えられるが、今回得られた成果をみると、リフト系の形態も複雑であることが判明した。これは断続したリフト軸、地磁気異常パターン、トリプルジャンクション周辺の複雑な地形等にもみられる。トリプルジャンクショ

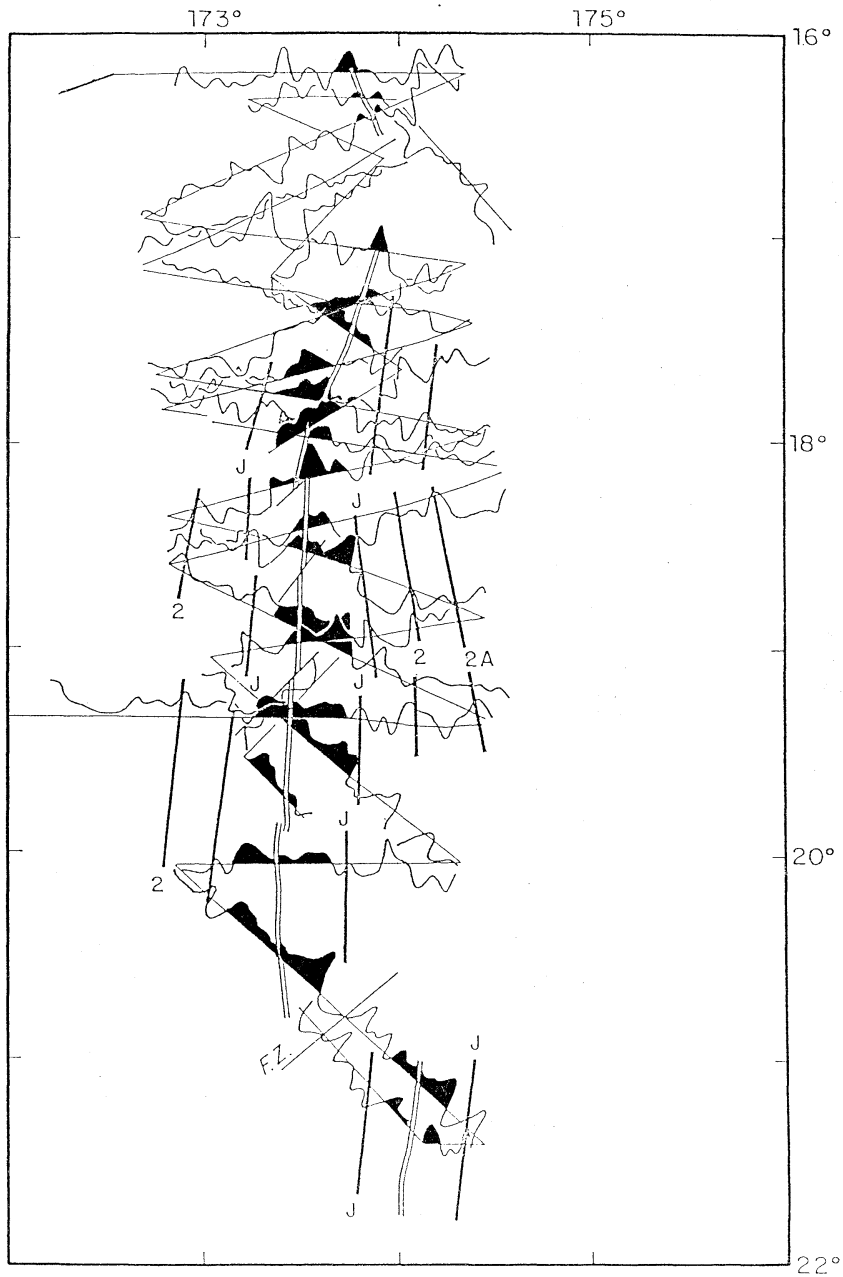


Fig. 9. Magnetic anomalies in the North Fiji Rift.



Fig. 10. Livings associated with hydrothermal vent at Station 4 (1980 m deep).

ン南域のリフト軸と地磁気異常パターンの斜交関係は、第四紀後半になって新たなリフト系が形成されている可能性もあり、リフト系の形成も変化していることを示している。事実、現在のリフト系の方向に平行な方位以外の方位の地形、地磁気異常パターンが重複していると考えられるところも多い。トリプルジャンクション北西方のリフト系の地磁気異常は、未調査部分が多いため、判断としない。ここではリフト系の形成が新しく、最新の地磁気逆転史も表われていない可能性がある。また、このリフト系に関して他の解釈もあり、西方の谷地形(Fig. 6(b), L-9左端)がリフト軸であるという意見もある(L. KROENKE 1987 私信による)。

北フィジー海盆が、もし西北西に進む太平洋プレートと北に進むインド・オーストラリアプレートの合力が境界域で歪みを起こすことから形成されるとすると、その応力場が複雑となり、リフト系の形成もある程度変化することが考えられる。このような場合に形成される背弧海盆は、複雑に変化するリフト系に従ってモザイク状に形成されていくことも考えられる。

今回の調査でリフト系に多くの熱水活動が示唆されたわけであるが、熱水活動の調査にはピンポイントで操作できる曳航体、潜水艇等の調査手段も必要とならう。

謝辞

本研究は科学技術振興調整費による日仏共同研究の成果であり、日仏両国および南太平洋諸国の各種委員会での討議と決定の上に成り立っている。関係者各位に深甚

の謝意を呈する。海中作業船「かいよう」の浜本隆史船長はじめ乗組員の皆様には調査航海を通じて常に協力いただいた。併せて深甚の謝意を呈する。

文 献

- AUZENDE, J.M., J.P. EISSEN, Y. LAFOY, P. GENTE and J.L. CHARLOU (in press): Sea floor spreading in the North Fiji Basin (SW Pacific). *Tectonophysics* **104**.
- BEN-AVRAHAM, Z. and S. UYEDA (1983): Entrapment origin of marginal seas. *In* T.W.C. HILDE and S. UYEDA (ed.), *Geodynamics of the Western Pacific*. Amer. Geophys. Uni., *Geodynamics Ser.*, 91-104.
- BOTH, R., K. CROOK, B. TAYLOR, S. BROGAN, B. CHAPPELL, E. FRANKEL, L. LIU, J. SINTON and D. TIFFIN (1986): Hydrothermal chimneys and associated fauna in the Manus back-arc basin, Papua New Guinea. *Eos*, **67**(21): 489-490.
- CARNEY, J.N., A. MACFARLANE and D.I.J. MALLICK (1985): The Vanuatu Islands: an outline of the stratigraphy, structure, and petrology. *In* A.E.M. NAIRN, F.G. STEHLI and S. UYEDA (ed.), *The Ocean Basins and Margins*. Plenum Publ. Co., N.Y., **7A**: 459-502.
- CHASE, C.G. (1971): Tectonic history of the Fiji plateau. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **82**: 3087-3110.
- COLEMAN, P.J. and G.H. PACKHAM (1976): The Melanesian borderlands and India-Pacific plates boundary. *Earth Sci. Rev.*, **12**: 197-233.
- COOPER, A.K., M.S. MARLOW and D.W. SCHOLL (1976): Mesozoic magnetic lineations in the

- Bering Sea marginal basin. *J. Geophys. Res.*, **81**: 1916-1934.
- DEWEY, J.L. (1980): Episodicity, sequence, and style at convergent plate boundaries. *In* STRANGWAY (ed.), *The Continental Crust and its Mineral Deposits*. Geol. Assoc. Canada, Sp. Paper, **20**: 553-573.
- FALVEY, D.A. (1978): Analyses of paleomagnetic data from the New Hebrides. *Bull. Aust. Soc. Explor. Geophys.*, **9**: 117-130.
- GILL, J.B., A.L. STORK, and P.M. WHELAN (1984): Volcanism accompanying back-arc basin development in the Southwest Pacific. *Tectonophysics*, **102**: 207-224.
- HILDE, T.W.C. and C.S. LEE (1984): Origin and evolution of the West Philippine Basin: A new interpretation. *Tectonophysics*, **102**: 85-104.
- HONZA, E. (1983): Evolution of arc volcanism related to marginal sea spreading and subduction at trench. *In* D. SHIMOZURU and I. YOKOYAMA (ed.), *Arc Volcanism and Tectonics*. Terra Sc. Publ. Co., Tokyo, p. 177-189.
- HONZA, E., H.L. DAVIES, J. KEENE and D.L. TIFFIN (1987): Plate boundaries and evolution of the Solomon Sea region. *Geo-Marine Let.*, **7**: 161-168.
- HONZA, E. and K. TAMAKI (1985): The Bonin Arc. *In* A.E.M. NAIRN, F.G. STEHLI and S. UYEDA (ed.), *The Ocean Basins and Margins*. Plenum Publ. Co., N.Y., **7A**: 459-502.
- HONZA, E., T. MIYAZAKI and J. LOCK (in press): Subduction erosion and accretion of the trenches in the Solomon Sea region. *Tectonophysics*, **104**.
- KARIG, D.E. (1971): Origin and development of marginal basins in the Western Pacific. *J. Geophys. Res.*, **76**: 2542-2561.
- KARIG, D.E. (1983): Temporal relationships between backarc basin formation and arc volcanism with special reference to the Philippine Sea. *In* D.E. HAYES (ed.), *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. Part 2. Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr. **27**: 318-325.
- KIMURA, M. (1985): Back-arc rifting in the Okinawa Trough. *Marine and Petroleum Geology*, **2**: 222-240.
- KROENKE, L.W., C. JOUNANNIC and P. WOODWARD (1983): Bathymetry of the Southwest Pacific, chart 1 of the geophysical atlas of the Southwest Pacific. CCOP/SOPAC.
- MALAHOFF, A., R.H. FEDEN and H.S. FLEMING (1982a): Magnetic anomalies and tectonic fabric of marginal basins north of New Zealand. *J. Geophys. Res.*, **87**: 4109-4125.
- MALAHOFF, A., S.R. HAMMOND, J.J. NAUGHTON, D.L. KEELING and RICHMOND (1982b): Geophysical evidence for post-Miocene rotation of the island of Viti Levu, Fiji, and its relationship to the tectonic development of the North Fiji Basin. *Earth Planet. Sci. Let.*, **57**: 398-414.
- MATSUDA, T. (1979): Collision of the Izu-Bonin arc with central Honshu: Cenozoic tectonics of the Fossa Magna, Japan. *In* S. UYEDA, R.W. MURPHY and K. KOBAYASHI (ed.), *Geodynamics of the Western Pacific*. Center Acad. Publ. Japan, Tokyo, p. 409-421.
- MCKENZIE, D.P. (1969): Speculations on the consequences and cause of plate motions. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **18**: 1-32.
- MIYASHIRO, A. (1986): Hot regions and the origin of marginal basins in the Western Pacific. *Tectonophysics*, **122**: 195-216.
- SCHOLL, D.W., T.L. VALLIER and G.H. PACKHAM (1985): Framework geology and resource potential of southern Tonga Platform and adjacent terranes - A synthesis. *In* D.W. SCHOLL and T.L. VALLIER (eds.), *Geology and Offshore Resources of Pacific Island Arcs-Tonga Region*. Circumpac. Council Energ. Miner. Resources, Houston, Texas, p. 457-488.
- SCOTT, R. and L.W. KROENKE (1980): Evolution of back arc spreading and arc volcanism in the Philippine Sea: Interpretation of Leg 59 DSDP results. *In* D.E. HAYES (ed.), *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. Amer. Geophys. Union, Geophys. Monogr., **23**: 283-291.
- TOKSÖZ, M.N. and P. BIRD (1977) Formation and evolution of marginal basins and continental plateaus. *In* M. TALWANI and W.C. PITMAN III (eds.), *Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-arc Basins*. Amer. Geophys. Union, p. 379-393.
- UYEDA, S. (1986): Facts, ideas and open problems on trench-arc-backarc systems. *In* F.C. WEZEL (ed.), *Origin of Arcs*, p. 435-460.
- UYEDA, S. and H. KANAMORI (1979) Backarc opening and the mode of subduction. *J. Geophys. Res.*, **84**: 1049-1061.
- WATTS, A.B., J.K. WEISSEL and R.L. LARSON (1977): Sea-floor spreading in marginal basins of the western Pacific. *Tectonophysics*, **37**: 167-181.
- YUASA, M. and S. YOKOTA (1982): Hydrothermal manganese and ferromanganese concretions from sea-floor of the Ogasawara Arc-Trench region, Northwestern Pacific. *CCOP Tech. Bull.*, **15**: 51-64.

付表 1. KAIYO 87 乗船研究者名簿

本座栄一, GSJ	Jean-Marie AUZENDE, IFREMER	Xavier BOESPFLUG, BU
Satendra DEO, MRD	Jean-Philippe EISSEN, ORSTOM	橋本 惇, JAMSTEC
Philippe HUCHON, CNRS	石橋純一郎, ORI	岩 洵 洋, HDJ
Philip JARVIS, HIG	上嶋正人, GSJ	岸本清行, GSJ
栞原保人, GSJ	Yves LAFOY, BU	松本 剛, JAMSTEC
Jean-Pierre MAZE, IFREMER	満沢巨彦, JAMSTEC	門馬大和, JAMSTEC
長沼 毅, TU	野尻幸宏, NIES	太田 秀, ORI
大塚 清, JAMSTEC	奥田義久, SOPAC	Helène ONDREAS, IFREMER
大槻 晃, NIES	Etienne RUELLAN, BU	Myriam SIBUET, IFREMER
棚橋 学, GSJ	田中武男, JAMSTEC	浦辺徹郎, GSJ

所属略語: BU, Bretagne University, France; CNRS, Centre National de la Recherche scientifique/*INSU-ENS*, France; GSJ, 地質調査所; HDJ, 海上保安庁水路部; HIG, Hawaii Institute of Geophysics, *University of Hawaii*, USA; IFREMER, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, France; JAMSTEC, 海洋科学技術センター; MRD, Mineral Resources Department, Fiji; NIES, 国立公害研究所; ORI, 東京大学海洋研究所; ORSTOM, Institut Français de Recherche scientifique pour le Développement en Coopération, France; SOPAC, Committee for Co-ordination of Joint Prospecting for Mineral Resources in South Pacific Offshore Areas (CCOP/SOPAC) *Suva*; TU, 筑波大学生物科学研究科.

資 料

北山峡の甌穴について*

中 村 重 久*

A note on pot holes in Kitayama Valley*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: Pot holes in the Kitayama Valley which is located at the upper reach of the Kumano River in the south Japan are studied. Specific features of the said pot holes are discussed along with the previously confirmed cases already reported in Japan and in other countries. A descriptive note is for a qualitative mechanics of forming processes of pot holes or giant kettles. Some previous notes suggest that a pot hole can be formed as a bowl-shaped bedrock after erosion caused by river flow and sediment transport. Pot hole also can be formed by effect of waves near coast and of glaciated erosion. Formation of pot holes in the Kitayama Valley as in the other places should be solved after an appropriate formulation with consideration of the factors related to physical and geological conditions.

1. 緒 言

海面や地表面から太陽放射熱によって蒸発した水分は、大気中で水蒸気となり、雲となり、さらに、雨となって地上に落下し、河流を経て再び海に注ぐ。その間に地上の水は、山間部の河川の源流から小川・溪谷を通過して扇状地の中程をゆるやかに流下する。このような水の運動システムの一部で、下流における砂礫の堆積の一要因となる。河川が海に臨む河口で、砂礫の運動は、河川流と海の流れや波浪などの相互作用によって決定される。

ここでは、このような水の気相、液相の循環に伴って生ずる地上の固相の変化や応答のひとつとして、溪谷の岩盤にきざまれる甌穴について、その形成機構と、わが国における甌穴の所在とについて、要点を述べたい。とくに、最近、著者が、和歌山県飛地北山村和田において確認したものについても説明し、今後の力学的検討の

手がかりをもとめる。

2. 外見的特徴

河川の上流地方には、往々河底や河岸の堅い岩面に大きな円型の深い穴があって、その中に丸石が入っているのを見ることがある。この穴は、甌穴 (pot hole) あるいは大釜 (giant kettle) とよばれるもので、中の丸石は、この穴をつくるために使用された道具の役割を果している (野満・瀬野, 1959), しかし、この中の丸石は、かならずしも1個とはかぎらない。複数個あることもある。河川の流れがゆるやかになると穴いっぱい上流からの砂礫が満されることになり、そのような状況が観察される。著者は、和歌山県内の河川をさぐり、北山村小松に甌穴の存在を確認した (1987年10月)。この存在については北山村誌の上巻 (1984) にも記載があり、その地方ではかなり古くから知られていたものと考えられる。その外見的特徴は、上述と全く同じである。

3. 形成機構

野満によれば (野満・瀬野, 1959), 甌穴は以下のようにして形成されると説明している。

* 1987年10月24日受理 Received October 24, 1987

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

河床では、最初から若干の凹凸の不規則性がみられるが、たとえそれがなかったとしても、岩質の硬軟不同や割目や節理があって、河床全面一様に侵食されるものではなく選択浸食 (selective erosion) が生じる。すなわち、ところどころ局部的に浸食作用の集中する個所を生じ、そこだけが速く削られて凹みとなる。ひとたび凹みができれば、そこに、Fig. 1 のような渦流を発生し、上流から来てこのくぼみに入った小石を捕えて逃がさず、同じ場所をぐるぐる摺りまわし、削磨作用を一層はげしくする。このようにしてその作用がすすみ、相当の深さになると、はじめて、“甕穴”とよばれる。すなわち、甕穴は、河床の過流が主役で、小石が道具になって掘りさげられたものである。

さて、このような渦流の洗掘作用は Fig. 1 によってわかるように、前方(下流側)へ掘り起すのではなく、むしろかえって後方へかきもどすのである。それでできる穴は当初は前方が後方よりゆるい勾配になっている。しかし、穴が深く掘られるとともに、前後壁ともほとんど

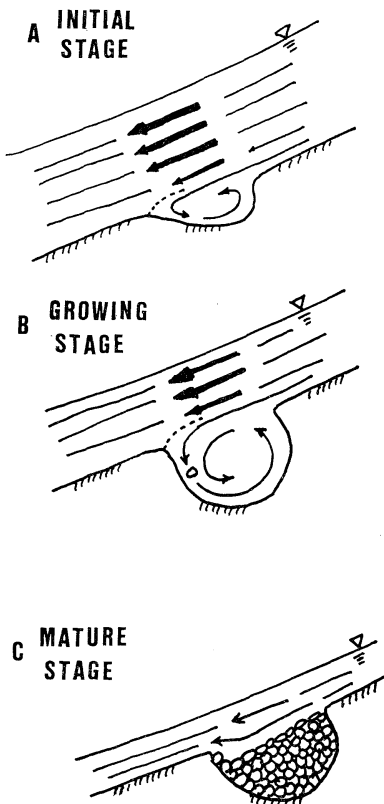


Fig. 1. Schematic patterns of a pot hole or giant kettle.

ど鉛直に近づいて、その差が目立たぬようになる。

さらに深くなって、直径に対して、深さが一定限界をこえると渦流はかえて弱くなり、とくに、穴の底は水があまり動かないようになる。ここまでになれば、もはや落ちこんだ小石も転動しなくなって、甕穴の発達は終局に達することとなる。なお、ここで注意しておくべきことは、つぎの点である。河水の浸食作用がこのようにして局所局所に集中し、かつ、時と共にその集中個所を変えて、方々に移っていくと、河床全体をまんべんなく均等に分散して作用するよりはさらに浸食の効果が大きいと考えられることである。

4. 既存の甕穴の例

野満によれば (野満・瀬野, 1959), 少なくとも 1943 年までに確認されている甕穴はつぎのとおりである。

- a. 日本国内
 - i) 木曾寝覚の床の甕穴: その形の完全なことで有名 (pot hole)。
 - ii) 日向の都城附近の関の尾: 甕穴が多数群っていることで有名。
 - iii) 揖保川の支流の鹿の坪: 坪は壺の意らしく 10 個ばかりの甕穴が連らなっている。
 - iv) 越後田代の七ツ釜: 材木岩に出来た 7 個の甕穴。
 - v) 秩父の長瀬の甕穴。
 - vi) 三河長篠の滝川の甕穴。
 - vii) 和歌山県田辺市新庄の甕穴 (直径数メートルの giant kettles)
- b. 国外
 - viii) フランスのポンデスール (Pont-de-Suert) の石灰岩地: 多数の甕穴が群生して名高い。
 - xi) スイスのルツェルン (Luzern) の氷河の下端: 氷河の融氷水が漂石を道具として河床に甕穴をつくりうる。この種の例で世界的に有名。そこには、半分できかけのものから、深く掘られたものまで、種々と発達の段階にあるものがあるし、大きさでも、最大のもの、直径 8 m、深さ 9 m におよぶものがある (gigant kettle)。

なお、新村 (たとえば, 1970) は、次のように記している。

“甕穴 (おうけつ) giant kettle: 急流の河床の岩石面に生じる鍋状の穴、河水の侵食作用によって生ずる。海波や氷河によるものもある”。

以上のことから、この現象は古くから認められているもので、なかには、海の波によるものもありうると考え

られる。ちなみに、奥田節夫（京大教授）は1983年に和歌山県の田辺湾内にある島島の西側の感潮域（潮間帯）に露出した泥岩岩盤のところどころに直径数センチメートルの穴を多数見つけ、甌穴ではないかと推察した（個人的情報）。このような穴は、カニや貝など海洋生物の好適な棲息地となっている。このようにみえてくると、甌穴と海との関係は、従来考えられていたよりもさらに密接なものともみるのが正しいようである。

5. 北山峡の甌穴

これまでに、著者が個人的情報として得たものに、和歌山県の日置川上流に典型的な甌穴があるという例があったが、1987年現在、日置川流域では確認できていない。また、地元住民の所見では、そのようなものは聞いたことがないということである。地形的条件を考えにいかれたとして、甌穴の形成過程は渓谷のような場所で、しかも、水面下における急流と岩床との間の相互作用として考えられる。この点で、水面下の岩床の変化を観察し追跡することは容易なことではない。前節の例も渇水期または減水期に確認されたものと推察される。日置川上流には、現在、殿山ダムがあり、すでに水力発電のための機能を果している。あるいは、このダム建設によって、甌穴も水底深くに位置することになったのではないかとすることも考えられる。このようなことから、北山峡の調査を考えるに至った。

北山峡の甌穴は、峡谷の河床に多数みられ、しかも、発生段階から成長した段階までのいろいろのものが確認された。典型的な例では、直径20~30 cmのものが散在し、一部、礫によって埋まっているものもあった。幅が約20~30 cmで長さ約1 mにわたる深さ5~10 cmの溝状のものもあり、これは、初期の段階のものの一例と考えられる。これは和歌山県北山村和田付近であり、周辺になお多くの甌穴の存在を予想させる。

この数百メートル上流には、大森ダムがあり、夏には観光用筏流しの目的で、所要の放流をする。著者は、この放流を停止した後、水位が低下して、北山峡のかなりの部分が水面上にあらわれた10月に、岸沿いに露出した甌穴を確認することができた。これには、北山村教育委員会の山田賢二氏の同行を得た。

この北山峡の甌穴を、前節の諸例と比較してみると、

現存の甌穴で、わが国の代表的な例であると考えられることができるであろう。

6. 考察と問題点

以上、甌穴の外見的特徴と定性的形成機構について一般的な把握を試み、さらに、具体例のひとつとして和歌山県東牟婁郡北山村小松の甌穴についても述べた。この力学的検討は、現象を数学的・流体力学的表式によってすすめることでさらに詳細が明らかになるものと思われる。野満によれば、すでに EXNER (1931) がこれに関連した記述を含む著書を出している。少し古い例では、R. JASMUND (1923), A. PENCK (1904), A. SUPAN (1921), GÜNTER (1897), W.M. DAVIS (1911), R. S. TARR (1914), E. MARTONNE (1925), E. HAUG (1927), W. ULE (1925) などの記述を野満・瀬野 (1959) は紹介している。また、別に ALEXANDER (1932) や伊藤 (1964) の研究も例としてあげることができる。ここでは、その詳細については述べない。

著者のみるところでは、これら1900~1930年の例は定性的記述であり、地形学・地質学・地球物理学の諸分野に立脚した説明であると思う。力学的解析の出発点として基礎方程式を導く努力が今後に残された課題である。力学的理論の展開は、河川や海岸の浸食機構に関連した諸問題を解明する契機を与えることになるものと期待される。あるいは、これが海浜変形とその制御の問題の解決に決定的な鍵であるかもしれない。

文 献

- ALEXANDER, H. S. (1932): Pot-hole erosion. *J. Geol.*, **40**: 305-337.
- EXNER, F.M. (1931): Zur Dynamik der Bewegungsformen auf der Erdoberfläche. *Beiträge zur Geophysik*. 1ter Supplementband, p. 374.
- 伊藤隆吉 (1964): 飛水峡における甌穴侵食の地学的研究。成蹊大学報告 2.
- 北山村誌編纂委員会編 (1984): 北山村誌一上巻。北山村役場、和歌山。701 pp. (とくに序章のうち、北山峡の誕生の節の一部, p. 37-38).
- 野満隆治著・瀬野錦蔵補訂 (1959): 新河川学。地人書館、東京。318 pp. (とくに, p. 256-257).
- 新村出編 (1970): 広辞苑, 第2版。岩波書店、東京。2448 pp.

学 会 記 事

1. 昭和62年11月20日(金)東京水産大学において、学会賞受賞候補者推薦委員会(第1回)が開かれ、委員長に松生 洽氏を選出し、推薦の方法及び日程を決めた。
2. 昭和62年12月14日(月)日仏会館会議室において、日仏関連学会連絡会が開催された(高木, 須藤幹事が出席)。主要な議事は下記のとおり。
 - 1) 学者交換事業(文部省補助金による)について
 - 2) 日仏共同事業について
 - 3) 第5回日仏学術シンポジウム(コロック)について
 - 4) 日仏会館図書室におけるデータ・ベース(書誌情報サービス)について
3. 昭和62年12月25日(金)東京水産大学において、昭和62年度第3回幹事会が開かれた。主要な議事は下記のとおり。
 - 1) 日本学術会議第14期会員の選出について
 - 2) 「テクノ・オーシャン'88国際シンポジウム」(昭和63年11月16-18日, 神戸)の協賛について
 - 3) 日仏関連学会連絡会の報告
 - 4) 日仏海洋シンポジウムについて
 - 5) 昭和63・64年度役員, 評議員の選出(選挙)について
4. 昭和62年12月25日(金)東京水産大学において、学会賞受賞候補者推薦委員会(第2回)が開かれ、評議員から推薦された候補者について検討した結果、もう一度委員会を開いてさらに審議することとした。
5. 昭和63年1月7日(木)東京水産大学において、学会賞受賞候補者推薦委員会(第3回)が開かれ、前回到引続いて審議を行った結果、受賞候補者として青木三郎会員を決定し、委員長から会長に報告された。
6. 日本学術会議第14期会員の推薦に関して、下記のとおり届け出た。

関連研究連絡委員会: 水産学研究連絡委員会
会員候補者: 丸茂隆三
推薦人: 宇野 寛(推薦人予備者: 高野健三)
7. 昭和63・64年度評議員選挙が行われ、2月18日(木)東京水産大学において開票が行われた。
8. 日仏海洋シンポジウム第2回(12月9日(水)), 第3回(1月29日(金))実行委員会が東京水産大学に

おいて開かれた。

9. 住所変更
(正会員)
辻 正 明 305 つくば市小野川16-3 公害資源研究所
奈 須 紀 幸 162 新宿区余丁町12-27 余丁町サンハイツ301
10. 退 会
中田尚宏, 鳥居鉄也, 七条由枝, 佐々木幸康
11. 受贈図書
日本学術会議月報 29 (1, 2)
海洋産業研究資料 19 (1, 2)
鯨研通信 (372)
航海 (94)
なつしま (92)
研究実用化報告 36 (12), 37 (1, 2)
JODC ニュース (35)
農業土木試験場場報 (51)
農業土木試験場報告・技術論文要約集 (14)
養殖研究所研究報告 (12)
しおさい (4)
国立科学博物館専報 (20)
Bull. Nat. Sci. Museum 13 (2~4)
科学通報 32 (23, 24), 33 (1)
海洋水産研究 (7)
韓国海洋学会誌 22 (4)
Israel Oceanogr. Limnol. Res. 10
J. Fish. China Abstract 1985, 1986

お知らせ

第2回日仏海洋シンポジウムについて

- 名 称: 第5回日仏学術シンポジウム-第2回日仏海洋シンポジウム
主 催: (財)日仏会館, 日仏海洋学会海洋シンポジウム実行委員会
日 時: 昭和63年10月3日(月)~7日(金), 13日(木)
(シンポジウムは5日(水)と6日(木))
場 所: 清水市マリニビル(シンポジウム)
テ ー マ: 1) 温排水の影響と水産における利用
2) 水産養殖における基礎的諸問題

3) 海洋におけるリモートセンシング

関連行事: 公開講演 (10月4日(火)清水, 13日(木)東京,
日仏会館) テクニカル・ツアー (10月7日
(金)静岡県内)

連絡先: 電話 03-471-1251 内線246 (東京水産大学
須藤)

理化学研究所設立30周年記念第11回科学講演会

日 時: 昭和63年10月20日(木) 13:00~16:30 (展示会
11:00~18:00)

会 場: 虎ノ門パストラル 新館1階「鳳凰の間」
(東京都港区虎ノ門4-1-1)

講 演: (1) 磁束量子パラメトロン超高度磁束計 (後藤
英一)
(2) 極限微生物 (掘越弘毅)
(3) 星空を飾る超新星の爆発—藤原定家とマジ
ェランとケプラー—(小田 稔)

主 催: 理化学研究所

後 援: 科学技術庁

協 賛: 関連学協会 (入場無料)

「浮魚資源とその環境の長期変動に関する国際シンポジウム」

(International Symposium on the Long-Term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment)

標記のシンポジウムが本学会と共催で開催されます。

日 時: 昭和64年11月14日(火)~17日(金)

会 場: 長陵会館 (仙台市)

内 容: I. 基調講演

II. シンポジウム

1. 浮魚資源の長期変動
2. 環境の長期変動
3. 浮魚資源と環境の長期変動の関係

III. ポスターセッション

参加登録料 30,000円

上記のテーマに関連する演題を募集しております。発表申込み締切りは昭和64年3月30日です。参加希望の方は下記連絡先までサーキュラーを請求下さい。

連絡先 〒980 仙台市堤通兩宮町1-1

東北大学農学部水産資源学講座内

国際シンポジウム事務局

TEL 022-272-4321 内297

FAX 022-272-1870

日仏海洋学会役員・評議員

(昭和61~62年度)

顧問 ユベール・プロシエ ジャン・デルサルト
ジャック・ロベール アレクシス・ドランデール
ベルナール・フランク ミシエル・ルサージュ
ロベール・ゲルムール ジャック・マゴー
レオン・ヴァンデルメルシュ

名誉会長 オーギュスタン・ベルク

会 長 宇野 寛

副会長 高野健三, 内田 宏

幹 事 (庶務) 須藤英雄, 有元貴文; (会計) 松生治,
高橋 正; (渉外) 高木和徳, 佐伯和昭;
(研究) 関 文威, 小池勲夫; (編集) 有賀祐勝,
山口征矢

監 事 久保田 穰, 辻田時美

評議員 青木三郎, 青山恒雄, 阿部友三郎, 有賀祐勝,
石野 誠, 磯 舜也, 市村俊英, 井上 実,
岩井 保, 内田 宏, 宇野 寛, 岡市友利,
岡部史郎, 岡見 登, 小倉通男, 加藤重一,
梶浦欣二郎, 鎌谷明善, 川合英夫, 久保田穰,
黒木敏郎, 西条八束, 佐伯和昭, 坂本市太郎,
坂本 亘, 末常泰男, 須藤英雄, 関 文威,
平 啓介, 高木和徳, 高野健三, 高橋 正,
多紀保彦, 谷口 旭, 辻田時美, 寺本俊彦,
鳥羽良明, 冨永政英, 永田 豊, 奈須敬二,
奈須紀幸, 西沢 敏, 根本敬久, 野村 正,
畑 幸彦, 半沢正男, 日比谷 京, 平野敏行,
増沢譲太郎, 松生 治, 丸茂隆三, 三浦昭雄,
村野正昭, 森田良美

賛 助 会 員

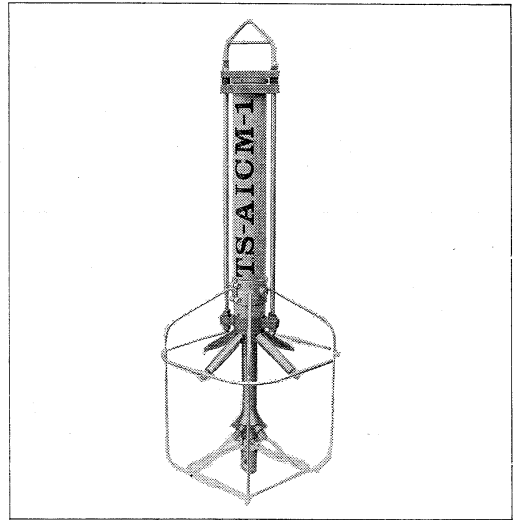
- | | |
|-----------------|--------------------------------|
| 旭化成工業株式会社 | 東京都千代田区有楽町 1-1-2 三井ビル |
| 株式会社旭潜研 | 東京都北区栄町 9-2 |
| 阿部嘉方 | 東京都練馬区春日町 2-15-6 |
| 株式会社内田老鶴園新社 内田悟 | 東京都文京区大塚 3-34-3 |
| 有限会社英和出版印刷社 | 東京都文京区本駒込 6-15-10 |
| 株式会社オセアノート | 東京都世田谷区北沢 1-19-4-202 |
| 小樽船用電機株式会社 | 小樽市色内町 3-4-3 |
| 海上電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

T.S三次元超音波流向流速計

T.S 3-DIMENSIONAL ACOUSTIC CURRENT METER AICM-1

特 徴

- 微弱流から強流まで高精度で計測可能。
- 3次元((X.Y.Z成分)流速測定。
- 内蔵ICメモリ方式
(記録の信頼性向上、容量の増大)
- 簡便なDATA処理
データ読出し用インターフェースに接続するだけで、データを直接お手持ちのパーソナルコンピュータに取り込み(RS232C)、各種の処理を行なうことができる。



装置仕様

測定性能	流向 0~360° 流速 0~300cm/sec
測定精度	流向 ±5° 流速 1cm/sec (0~40cm/sec) 指示値の2.5% (40~300cm/sec)
分解能	流向 0.1° 流速 1mm/sec
記録間隔	連続、5分、10分 (外部より任意に選定可)
記録時間	50時間、1ヶ月、2ヶ月
記録方式	ICメモリ

環境性能

耐湿度	項 目	動作時	保存時
	流 向 流 速 計	-2~35°C	-30~+45°C
	データ読出し用 インターフェース	+10~+45°C	-30~+45°C

耐湿度	項 目	動作時	保存時
	流 向 流 速 計	海 中	35~95%
	データ読出し用 インターフェース	35~85%	35~95%

耐圧力	項 目	接触流体	圧 力
	流 向 流 速 計	海 水	0~31 kgf/cm ²
	データ読出し用 インターフェース	空 気	一気圧

寸法・重量	機 器 区 分	数量	寸 法 (mm)				重量 (kg) ()は水中
			高さ	幅	奥行	最大径	
	流 向 流 速 計 (設置架台を含む)	1	980	370	13 (10)		
データ読出し用 インターフェース	1	40	150	100			

T.S.K

株式会社 鶴見精機

横浜市鶴見区鶴見中央2丁目2番20号

☎(045)521-5252(代)

FAX045-521-1717 テレックス3823750 TSK JPN J

アーンデラー表層域流速計 Model P-RCM

表層域(波浪域)測流の決定版!!

永年の豊富な知識と実績により浅海域の計測は新時代を迎えました。

Recording Current Meter

RCM sereise

Model. RCM-5
(深海用)

Model. RCM-4S (浅海用)

Model. P-RCM (表層用)

Model. P-RCMは、アーンデラー流向流速計の安定した信頼性を、そのまま維持しながら、弊社におきまして独自に改良を加えられたものです。本機は、正逆の両方向の流速を別々に計測、及び磁気テープに記録する事により表層域における真の流速値を確実にとらえる事が出来ます。

輸入販売代理店: 株式会社 **ユニオンエンジニアリング**
本社 神戸市中央区海岸通3丁目1-1 KCCビル4F
Tel. (078) 332-3381(代) Fax. (078) 332-5119 〒650
支店 東京都中央区銀座7丁目18銀座スカイハイツ602号
Tel. (03) 543-5399 Fax. (03) 545-5510 〒104



製造元: **AANDERAA INSTRUMENTS**



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

そのほか、弊社取扱製品(アーンデラー製品全般、及び他の海洋関連機器)に関する詳細資料を請求下されば御送付させていただきます。

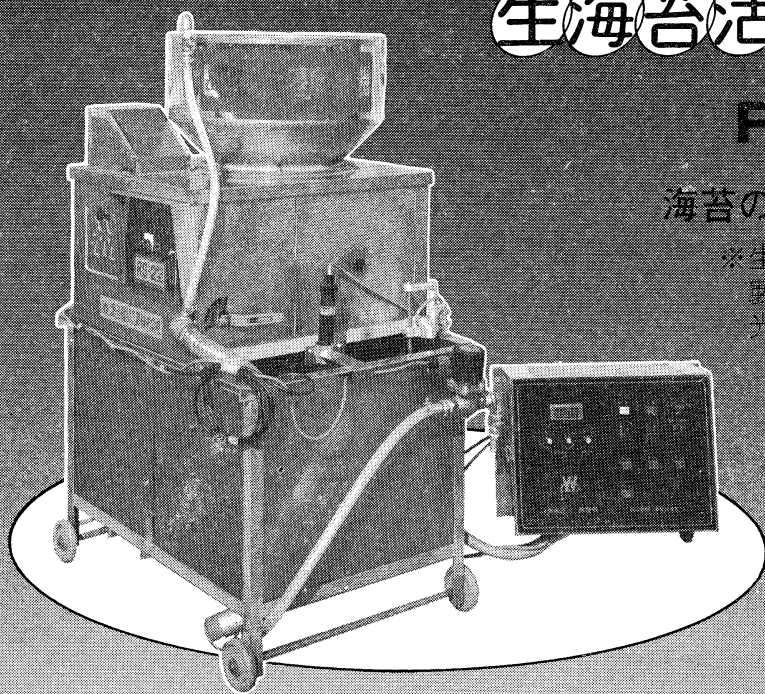
応援します。
 良い海苔づくり—

生海苔活性調整機

RS-2 型

海苔の等級が数段あがる

※生海苔を活性化し、海苔
 製品の表面をなめらかに
 光沢よく仕上げます。



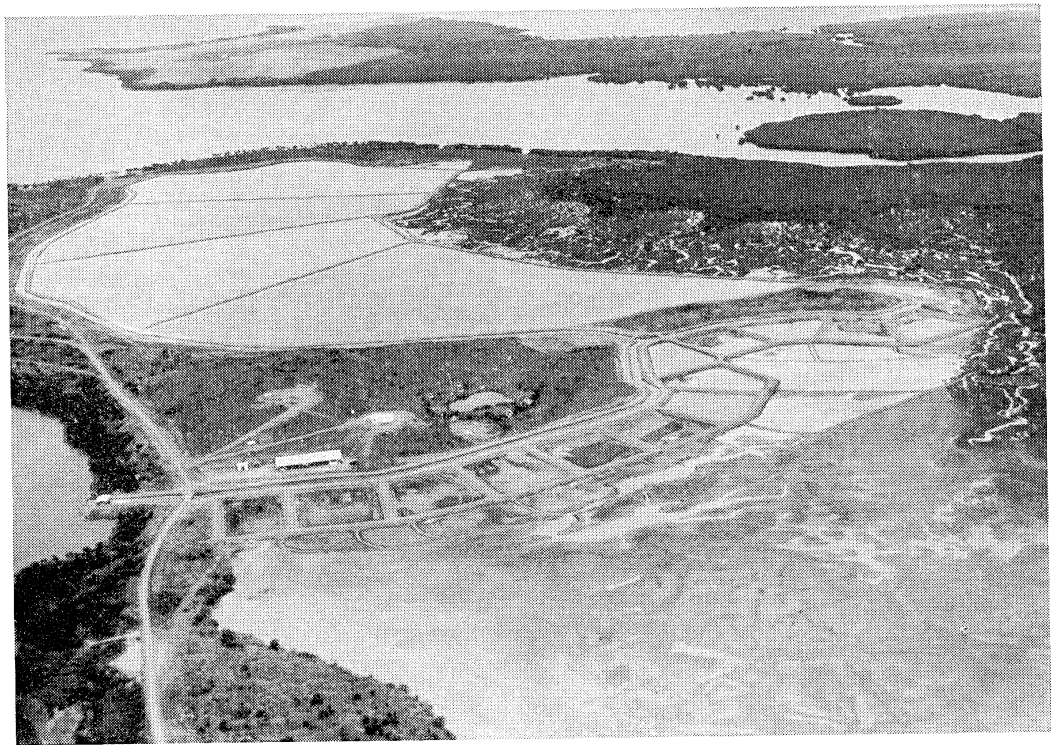
	RS-1 型	RS-2 型
高 び	770%	1,400%
幅	980%	950%
横	880%	780%
重 量	85kg	180kg
	40W 1台	40W 2台
モ ー タ ー	100W 1台	60W 1台
		100W 1台
		150W 1台



渡辺機開工業株式会社

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

食卓の 豊かさを求めて



(ニューカレドニア・エビ養殖池)

フランスとの共同事業として、現在ニューカレドニアにて、エビの養殖事業に参加しています

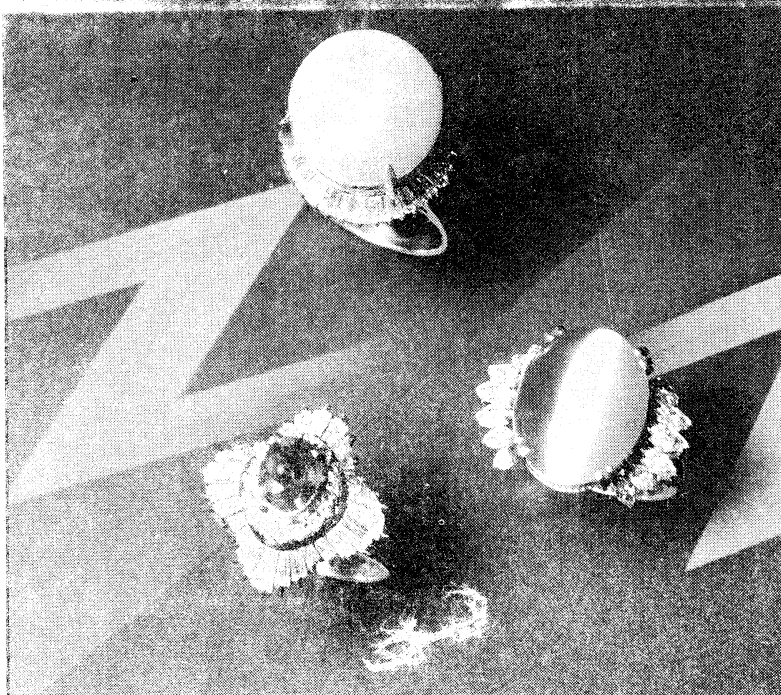


株式会社

東急フーズミート事業部

〒140 東京都品川区東品川 4-10-21 電話 東京 03 (471) 6401 番(代)

Pearl & Jewelry



輝
ON THE PEARLS

宝石の名門



東京・銀座

東京都中央区銀座6-7-2
電話572-5011(代表)

JEWELER **miwa**

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

営業案内

○科学魚探SIMRAD

○理研式GEK

○曳航式水温計

D. B. T.
C/S T D
水中照度計
水中濁度計
溶存酸素測定器
サリノメーター

水中テレビジョン
自記流向流速計
比重計, 水色計, 標準海水
アクアラング
プランクトンネット類
採水器類

採泥器類
電流速計
船用機器模型及標本類
標識票類

ホン チ ゴウ
株式会社 **本 地 郷**

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

代表取締役 宮本 悟 取締役 大塚 昌治

海苔の養殖から販売までの専門会社

まごころプラスワン

幸福のり

TAKAOKAYA



株式会社

高岡屋

東京都台東区上野6丁目7番22号

Takaokaya Company Limited.

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

日 仏 海 洋 学 会 編 集 委 員 会 (1986-1987)

委 員 長: 高木和徳

副委員長: 関 文 威

委 員: 青木三郎, 有賀祐勝, 半沢正男, 堀越増興, 鎌谷明善, 村野正昭, 小倉通男, 岡部史郎, 須藤英雄

海外委員: H. J. CECCALDI (フランス), E. D. GOLDBERG (アメリカ), T. ICHIYE (アメリカ), T. R. PARSONS (カナダ)

幹 事: 有賀祐勝, 山口征矢

投 稿 の 手 引

1. 「ろみ」(日仏海洋学会機関誌; 欧文誌名 *La mer*) は, 日仏海洋学会正会員およびそれに準ずる非会員からの投稿(依頼稿を含む)を, 委員会の審査により掲載する。
2. 原稿は海洋学および水産学両分野の原著論文, 原著短報, 総説, 書評, 資料などとする。すべての投稿は, 本文, 原図とも正副2通とする。副本は複写でよい。本文原稿用紙はすべてA4判とし, 400字詰原稿用紙(和文)に, または厚手白紙にダブル・スペース(和文ワープロでは相当間隔)で記入する。表原稿および図説明原稿は, それぞれ本文原稿とは別紙とする。
3. 用語は日, 仏, 英3カ国語の何れかとする。ただし, 表および図説明の用語は仏文または英文に限る。原著論文(前項)には約200語の英文または仏文の要旨を, 別紙として必ず添える。なお, 欧文論文には, 上記要旨の外に, 約500字の和文要旨をも添える。ただし, 日本語圏外からの投稿の和文要旨については編集委員会の責任とする。
4. 投稿原稿の体裁形式は最近号掲載記事のそれに従う。著者名は略記しない。記号略号の表記は委員会の基準に従う。引用文献の提示形式は, 雑誌論文, 単行本分載論文(単行本の一部引用を含む), 単行本などの別による基準に従う。
5. 原図は版下用として鮮明で, 縮尺(版幅または1/2版幅)に耐えられるものとする。
6. 初校に限り著者の校正を受ける。
7. 正会員に対しては7印刷ページまでの掲載を無料とする。ただし, この範囲内であっても色彩印刷を含む場合などには, 別に所定の費用を著者負担とすることがある。正会員の投稿で上記限度を超える分および非会員投稿の印刷実費はすべて著者負担とする。
8. すべての投稿記事について, 1篇あたり別刷50部を無料で請求できる。50部を超える分は請求により, 50部単位で作製される。別刷請求用紙は初校と同時に配布される。
9. 原稿の送り先は下記の通り。

〒108 東京都港区港南4-5-7 東京水産大学資源育成学科気付

日仏海洋学会編集委員会 委員長 高 木 和 徳

昭和 63 年 2 月 25 日 印刷
昭和 63 年 2 月 28 日 発行

う む

第 26 巻
第 1 号

定 価 ¥ 1,600

編 集 者 高 木 和 徳

発 行 所 日 仏 海 洋 学 会

財団法人 日仏会館内

東京都千代田区神田駿河台2-3

郵便番号: 101

電話: 03(291)1141

振替番号: 東京 5-96503

印 刷 者 佐 藤 一 二

印 刷 所 有限会社英和出版印刷社

東京都文京区本駒込 6-15-10

郵便番号: 113

電話: 03(941)6500

Tome 26 N° 1

SOMMAIRE

Notes originales

Summer-winter comparisons of oxygen, nutrients and carbonates in the polar seas	Chen-Tung A. CHEN	1
Population ecology of the spiny turban shell <i>Batillus cornutus</i> III. Early growth and changes of density (in Japanese)	Akihito YAMAZAKI and Naonori ISHIWATA	12
Response of a fish school to turbid water (in Japanese)	Tsutomu MORINAGA, Takashi KOIKE, Keiichi OOTOMO and Kanau MATSUIKE	19
Home shell selection in an intertidal hermit crab, <i>Clibanarius virescens</i> , on the Pacific coast of Boso Peninsula, Chiba Prefecture (in Japanese)	Ken'yo MURATA, Seiichi WATANABE and Kazunori TAKAGI	29
Rift system in the North Fiji Basin: Results of Japan-France Cooperative Research on board KAIYO 87 (in Japanese)	KAIYO 87 Shipboard Party	36
Faits divers		
A note on pot holes in Kitayama Valley (in Japanese)	Shigehisa NAKAMURA	47
Procès-verbaux		50

第 26 卷 第 1 号

目 次

原 著

極海中の酸素, 栄養塩, 炭酸塩の夏季と冬季の比較 (英文)	陳 鎮 東	1
サザエの生態学的研究 III. 初期成長と密度変化	山崎明人・石渡直典	12
濁った水に対する海水魚の行動	森永 勤・小池 隆・大友啓一・松生 治	19
外房産ヤドカリ類の1種イソコバサミ <i>Clibanarius virescens</i> の宿貝選択	村田憲要・渡邊精一・高木和徳	29
北フィジー海盆のリフト系: 日仏共同研究 KAIYO 87 の成果	KAIYO 87 乗船研究者一同	36

資 料

北山峡の甌穴について	中村重久	47
学会記事		50