
Tome 28

Octobre 1990

Numéros 2-3

La mer

うみ

1990年10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 1990 et 1991)

Directeur et rédacteur: M. MURANO

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

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

Services de rédaction et d'édition: S. WATANABE, Y. YAMAGUCHI

Note pour la présentation des manuscrits

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

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

Le manuscrit devra être présenté sous la forme suivante:

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

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

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

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

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

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

Les manuscrits devront être adressés directement au directeur de publication de la Société: M. MURANO, Université des Pêches de Tokyo, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japon; ou bien au rédacteur étranger le plus proche: H. J. CECCALDI, EPHE, Station marine d'Endoume, rue Batteries-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.

Reflection of electromagnetic waves at sea surface*

Takashi ICHIYE**

Abstract: Reflection of plane electromagnetic waves (EMW) at the sea surface is treated based on Maxwell's theory. It is assumed that oil or freshwater of a uniform depth covers infinitely deep sea.

For dielectric constants and conductivity of oil or freshwater, reflectivity (R) or phase lag (PL) of reflected waves decrease or increase almost linearly with thickness of the cover layer up to several centimeters. The critical thickness decreases with increasing frequency and incident angle from the vertical and is smaller for freshwater than for oil. Thus, the thickness of oil in case of oil spills or that of freshwater caused by precipitation in the Tropical Pacific Ocean before El Niño may be determined with SAR (Synthetic Aperture Radar) or SLAR (Side Looking Airborne Radar) at frequencies around 1 GHz. If the thickness is known otherwise, the precise measurements of R and PL may estimate aging of oil or mixing of freshwater with seawater, by determining conductivity and dielectric constants of oil or freshwater. EMW of 20 GHz or higher frequencies is not effective to detect the freshwater but is useful to determine dielectric constant of oil for estimation of its aging. This is because EMW are reflected at the oil film, whose thickness has a variance of a few millimeters but at the same reflection angle and because the mean R of such reflected waves depends only on the incident angle and dielectric constant of oil.

1. Introduction

It is believed that reflection and refraction of electromagnetic waves (EMW) at the sea surface are a well-known problem solved as an exercise of the classical electromagnetic theory. However, the recent development and wide application of satellite and airborne remote sensing with microwaves of the ocean surface processes suggests that more careful check of the problem may be warranted to understand information obtained with such techniques. It is found that existing literature in both oceanography and electronic engineering lacks in addressing to this fundamental problem in depth, though it abounds in details on oceanic processes and technical treatment of hardwares and signal processing. Classical study by LIEBERMANN (1962) dismissed EMW as a tool for exploring the oceanic processes except possibly with extremely low frequency waves, because of electric conductivity of the sea water which attenuates the incident EMW amplitudes to insignificance within centimeters for microwave range, though SLATER (1942) noted that

the sea water behaves between conductor and insulator for that range. Development of synthetic aperture (SAR) or side-looking airborne radar (SLAR) has stimulated microwave remote sensing of the ocean environment with a quantum leapfrog, since these devices could overcome hindrances of cloud cover inherent to the passive sensors both in IR and microwave ranges.

However, the fundamental assumption on which these techniques depend is that the sea surface reflects the incident EMW as a perfect conductor, though the surface is rugged due to gravity waves and ripples of various lengths and heights (TREBITS, 1987; ELACHI, 1988). PHILLIPS (1988) reviewed application of SAR to oceanic processes, particularly to determining ocean wave spectra and noticed many ambiguous problems in interpretation of SAR images simply as Bragg reflection of EMW at the multifaceted sea surface caused by ripples.

This paper is limited to the problem of reflection of EMW at a flat sea surface but is mainly addressed to two practical situations different from the implicit assumption of the sea surface as the perfect conductor. They are a thin layer of oil or fresh water covering

*Received August 29, 1989

**Department of Oceanography, Texas A & M University, College Station, TX 77843, U.S.A.

the infinitely deep layer of the sea water. The oil film case is applicable to oil spills that occurred as the disastrous but by no means unexpected event in Prince Williams Sound, Alaska in March 1989. The fresh water upper layer covers the Tropical Pacific Ocean over a wide area and its usual coverage and seasonal change are crucial to early detection of El Niño. This is because the event has been reported to start as the eastward propagating equatorial Kelvin waves from the western Equatorial Pacific Ocean (GILL, 1982). In the latter area an excessive precipitation causes sea level height anomalies in the form of fresh water accumulated at the sea surface (ICHIYE and MUNAYAMA, 1989). It is impossible to monitor the fresh water accumulation over the vast tropical oceanic area without satellite remote sensing. In both cases the reflection of EMW particularly in micro-wave range is a crucial problem to understand, in order to interpret imagery data available with the current technology and to improve the devices available now or to develop new ones.

2. Basic equations

The thickness of oil or fresh water is denoted h (Fig. 1) and the underlying sea water is assumed infinite in depth. The z -axis is positive downward. The plane EMW is incident with an angle θ to the vertical. The y -component (out of paper) of magnetic field is expressed by

$$H_{jy} = (a_j e^{-u_j z} + b_j e^{u_j z}) e^{-i \lambda x + i \omega t}, \quad (1)$$

where $j=0, 1$, and 2 refer to the atmosphere

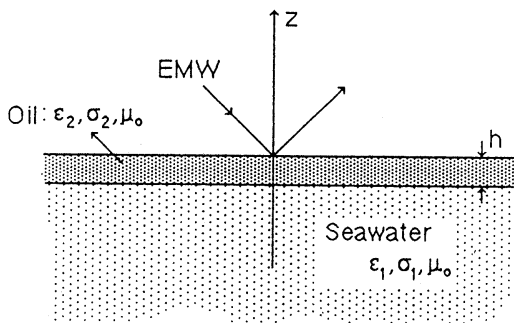


Fig. 1. Schematic figure of EMW reflected by a thin layer of oil on the sea water.

(vacuum), the upper layer and the lower layer, respectively, and λ is an arbitrary positive parameter, a_j and b_j represent amplitude of incident and reflected waves, and ω is a circular frequency of EMW. When a_0 is prescribed, b_j , u_j and λ can be determined in terms of ω , θ and electromagnetic constants of three media through Maxwell's equations and boundary conditions (STRATTON, 1941).

Hereafter the exponential term of equation (1) is dropped. The main problem of reflection of EMW at the sea surface is to discuss the reflectivity b_0/a_0 . WAIT (1962) derived this ratio for multi-layered media in terms of transmission line theory which seems to be familiar among electronic engineers. However, for three layers, the advantage of simplification on serial expressions is lost, thus here a traditional approach that is familiar with oceanographers and physicists is taken.

First, Maxwell's equation leads to

$$u_j^2 = \lambda^2 + \gamma_j^2, \quad (2)$$

$$\gamma_j^2 = i \sigma_j \mu_j \omega - \epsilon_j \mu_j \omega^2, \quad (3)$$

where σ_j , ω_j and μ_j denotes conductivity, dielectric constant and magnetic susceptibility, respectively and the real part of μ_j is always positive.

The boundary conditions are that H_{jy} and the x -component of electric field E_{jx} are continuous, whereas

$$E_{jx} = -(\sigma_j + i \omega \epsilon_j)^{-1} \partial H_{jy} / \partial z. \quad (4)$$

In terms of a_j and b_j , these conditions are expressed with

$$a_0 + b_0 = a_1 + b_1 \quad (5a)$$

$$K_0(-a_0 + b_0) = K_1(-a_1 + b_1) \text{ (at } z=0) \quad (5b)$$

$$a_1 e^{-u_1 h} + b_1 e^{u_1 h} = a_2 e^{-u_2 h} \quad (6a)$$

$$K_1(-a_1 e^{-u_1 h} + b_1 e^{u_1 h}) = K_2(-a_2 e^{-u_2 h}) \text{ (at } z=h), \quad (6b)$$

where

$$K_j = u_j (\sigma_j + i \omega \epsilon_j)^{-1}, \quad j=0, 1, 2. \quad (7)$$

In the lower layer there is no reflected wave, thus $b_2=0$.

Equations (5) and (6) form four linear equations about a_0 , a_1 , a_2 , and b_1 . Thus the four a_j and b_j can be expressed in terms of a_0 . The amplitude and phase of the reflected wave can be represented by the magnitude of

complex ratio b_0/a_0 and its phase. The result of derivation from (5) and (6) is given by

$$b_0/a_0 = M/N \quad (8a)$$

$$M = (K_0 - K_2) - (K_1 - K_0 K_2 K_1^{-1}) \tanh \alpha \quad (8b)$$

$$N = (K_0 + K_2) + (K_1 + K_0 K_2 K_1^{-1}) \tanh \alpha \quad (8c)$$

$$\alpha = u_1 h. \quad (8d)$$

The argument $u_2 h$ does not appear in (8), since at $z=h$ the r.h.s. of equation (6) lacks b_2 -term.

3. Electromagnetic properties of the sea water, fresh water and oil

In relations (8a)-(8d), parameters K_j and α can be expressed in terms of θ and electromagnetic constants. In such expressions realistic electromagnetic properties of the atmosphere, sea water, oil and fresh water are taken into account. First, the atmosphere is considered as insulator, thus $\sigma_0 \equiv 0$. Then oil, fresh water and sea water are all non-magnetic. Thus $\mu_0 = \mu_1 = \mu_2$, and $\mu_0 = \mu$. Further ϵ_0 is considered as the value in vacuum and its suffix is dropped. Then

$$\gamma_0^2 = -\mu \epsilon \omega^2 = -(\omega/c)^2, \quad (9)$$

where c is speed of light in vacuum. Equation (1) and Fig. 1 indicate that incident and reflected waves have a factor $e^{-i\lambda x}$ leading to

$$\lambda = (\omega/c) \sin \theta. \quad (10)$$

Substitution of (9) and (10) into (2) yields

$$u_0 = (\omega/c) \cos \theta. \quad (11)$$

This with (1) confirms that a_0 and b_0 are the amplitude of incident and reflected waves, respectively.

Substitution of (11) into (7) leads to

$$K_0 = (\mu/\epsilon)^{\frac{1}{2}} \cos \theta = \kappa \cos \theta, \quad (12)$$

where

$$\kappa = (\mu/\epsilon)^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

The expressions of u_1 , K_1 , and K_2 become simplified because of values of electromagnetic constants of oil, freshwater and seawater.

When s_j and δ_j are defined by

$$s_j = \epsilon_j / \epsilon \quad (j=1, 2) \quad (14a)$$

$$\delta_j = \sigma_j / \epsilon_j \quad (j=1, 2). \quad (14b)$$

u_j and K_j are expressed by

$$u_j = i(s_j \mu \epsilon)^{\frac{1}{2}} \omega (1 - s_j^{-1} \sin^2 \theta - i \omega^{-1} \delta_j)^{\frac{1}{2}}, \quad (j=1, 2), \quad (15)$$

$$K_j = \kappa (s_j)^{\frac{1}{2}} (1 - s_j^{-1} \sin^2 \theta - i \omega^{-1} \delta_j)^{\frac{1}{2}} (1 - i \delta_j)^{-1}, \quad (j=1, 2), \quad (16)$$

For the fresh water and the sea water, $s_1 \approx s_2 \approx 80$. therefore the $\sin \theta$ term in (15) and (16) can be neglected against unity. Thus (15) and (16) become

$$u_j = i(s_j \mu \epsilon)^{\frac{1}{2}} \omega (1 - i \omega^{-1} \delta_j)^{\frac{1}{2}}, \quad (j=1, 2) \quad (17)$$

$$K_j = \kappa (s_j)^{\frac{1}{2}} (1 - i \omega^{-1} \delta_j)^{-\frac{1}{2}}, \quad (j=1, 2). \quad (18)$$

Oil has dielectric constant ranging from 2.2ϵ to 4ϵ in its component hydrocarbon liquids (KAYE and LABY, 1988). The approximate expression (17) and (18) for oil are not so precise compared to exact one (15) and (16) as for the freshwater and the seawater. However, it is expected that oil spilled on the sea usually is mixed with the sea water, thus its dielectric constant may increase and here it is assumed (15) and (16) are applicable to oil too.

The δ_j -term in (15) to (18) represents effects of conductivity on EMW reflection and refraction by the medium. If this term is negligible against unity the medium is insulator, whereas if it is much larger than unity, the medium is conductor. This term depends also on the frequency of EMW, thus even if the medium is insulator for the high frequency, it may become conductor for the low frequency EMW. The value of δ_j is thus considered as a critical frequency, which divides the medium as insulator or conductor.

For instance, the sea water with $\sigma_2 = 4 \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$, δ_2 becomes 0.9GHz (Giga Hertz), with $\epsilon_2 \approx 80$ (MKS unit). Therefore for GHz wave the sea water is neither conductor nor insulator. On the other hand for oil σ_1 is 2×10^{-8} to $10^{-10} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$ at 20°C (LANDOLT and BÖRNSTEIN, 1960). Therefore δ_1 of oil is about $1.8 \times 10^2 \text{ Hz}$ and thus microwaves reflect at the oil surface as from insulator. For the fresh water the same calculation yields the critical frequency as 10^5 Hz ; thus it behaves like in-

sulator for microwaves.

The feature that the seawater is neither insulator nor conductor in microwave frequency range of GHz was recognized by SLATER (1942). However, this frequency range is widely used for both SAR and other remote sensing with satellite for oceanic processes because of requirement of high frequency range necessary for high horizontal resolution of imaging targets on the sea. Particularly for SAR and SLAR an impractically large antenna is needed to obtain resolution of orders of several tens of meters both in azimuth and range planes (ELACHI, 1988).

4. Reflectivity and phase lag of the waves reflected at the sea surface

Since the δ_2 -term is near unity in equation (18) for microwave range in K_2 , this is expressed by

$$K_2 = u + iv = \kappa(s_2)^{-\frac{1}{2}}(1 - i\omega^{-1}\delta_2)^{-\frac{1}{2}}, \quad (19)$$

where u and v and both positive and dependent on frequency.

The reflectivity (R) and phase lag (PL) of the reflected waves can be expressed by R_m and ϕ_m as

$$b_0/a_0 = R_m e^{-i\phi_m} = M_m/N_m, \quad (m=1, 2), \quad (20)$$

where m=1 and 2 represent the oil covered sea and the fresh water covered sea, respectively. With approximations that both oil and fresh water are insulator for frequency range considered (δ_1 - term neglected against unity in equations (19) and (20)) and that oil's ϵ_1 value is taken as 4ϵ (sin θ terms are neglected against unity in equations (15) and (16)), M_m and N_m become

$$M_m = (\cos\theta - pu) \cos\beta_m - q_m v \cos\theta \sin\beta_m + i\{pv \cos\beta_m + (s_m - q_m u \cos\theta) \sin\beta_m\}, \quad (m=1, 2) \quad (21)$$

$$N_m = (\cos\theta + pu) \cos\beta_m - q_m v \cos\theta \sin\beta_m + i\{pv \cos\beta_m + (s_m + q_m u \cos\theta) \sin\beta_m\}, \quad (m=1, 2). \quad (22)$$

Parameters in (21) and (22) are defined as below:

$$p = (s_2)^{-\frac{1}{2}} \approx (80)^{-\frac{1}{2}} \approx 0.1118 \quad (23a)$$

$$q_1 = (s_1/s_2)^{\frac{1}{2}} \approx 2p, \quad q_2 = 1 \quad (23b)$$

$$\beta_1 = (\omega/c)(s_1 - \sin^2\theta)^{\frac{1}{2}} h \approx (\omega/c)s_1^{\frac{1}{2}} h \approx 0.42\Gamma h \quad (23c)$$

Table 1. Part of R and PL versus β/π . Gamma (frequency in GHz), N is β/π , Mag is R and Phase is minus PL. Symbols h_r and h_p denote: where R and PL become extreme for the first time.

INDEX = 1 GAMMA = 0.8

| $\theta(^\circ) \rightarrow$ N(β/π) | 0. | | 15. | | 30. | | 45. | | 60. | |
|--|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------|-------|
| | Mag | Phase | Mag | Phase | Mag | Phase | Mag | Phase | Mag | Phase |
| 0.00 | 0.847 | 0.002 | 0.842 | 0.002 | 0.825 | 0.003 | 0.790 | 0.004 | 0.716 | 0.008 |
| 0.05 | 0.841 | -0.011 | 0.837 | -0.010 | 0.820 | -0.008 | 0.786 | -0.004 | 0.716 | 0.008 |
| 0.10 | 0.831 | -0.023 | 0.826 | -0.023 | 0.809 | -0.020 | 0.776 | -0.012 | 0.716 | 0.008 |
| 0.15 | 0.813 | -0.036 | 0.808 | -0.035 | 0.792 | -0.030 | 0.762 | -0.019 | 0.716 | 0.008 |
| 0.20 | 0.786 | -0.049 | 0.781 | -0.048 | 0.767 | -0.041 | 0.743 | -0.026 | 0.716 | 0.008 |
| 0.25 | 0.748 | -0.062 | 0.744 | -0.059 | 0.733 | -0.049 | 0.719 | -0.029 | 0.716 | 0.008 |
| 0.30 | 0.697 | -0.071 | 0.695 | -0.067 | 0.690 | -0.054 | 0.691 | -0.030 | 0.716 | 0.008 |
| 0.35 | 0.632 | h_p -0.073 | 0.633 | h_p -0.068 | 0.640 | h_p -0.052 | 0.662 | h_p -0.026 | 0.716 | 0.008 |
| 0.40 | 0.562 | h_p -0.059 | 0.569 | h_p -0.054 | 0.592 | -0.038 | 0.638 | -0.016 | 0.716 | 0.008 |
| 0.45 | 0.511 | -0.020 | 0.523 | -0.017 | 0.559 | -0.010 | 0.623 | -0.001 | 0.716 | 0.008 |
| 0.50 | h_r 0.510 | 0.035 | h_r 0.522 | 0.032 | h_r 0.559 | 0.025 | h_r 0.623 | 0.017 | 0.716 | 0.008 |
| 0.55 | 0.560 | 0.074 | 0.567 | 0.069 | 0.591 | 0.054 | 0.637 | 0.032 | 0.716 | 0.008 |
| 0.60 | 0.630 | 0.089 | 0.632 | 0.084 | 0.639 | 0.068 | 0.662 | 0.042 | 0.716 | 0.008 |
| 0.65 | 0.696 | 0.088 | 0.694 | 0.084 | 0.689 | 0.071 | 0.690 | 0.046 | 0.716 | 0.008 |
| 0.70 | 0.747 | 0.078 | 0.743 | 0.075 | 0.732 | 0.066 | 0.718 | 0.046 | 0.716 | 0.008 |
| 0.75 | 0.785 | 0.066 | 0.781 | 0.064 | 0.766 | 0.057 | 0.742 | 0.042 | 0.716 | 0.008 |
| 0.80 | 0.812 | 0.053 | 0.807 | 0.052 | 0.791 | 0.047 | 0.762 | 0.036 | 0.716 | 0.008 |
| 0.85 | 0.830 | 0.040 | 0.825 | 0.039 | 0.809 | 0.036 | 0.776 | 0.029 | 0.716 | 0.008 |
| 0.90 | 0.841 | 0.027 | 0.836 | 0.027 | 0.820 | 0.025 | 0.785 | 0.021 | 0.716 | 0.008 |
| 0.95 | 0.847 | 0.014 | 0.842 | 0.014 | 0.825 | 0.014 | 0.790 | 0.012 | 0.716 | 0.008 |
| 1.00 | 0.847 | 0.002 | 0.842 | 0.002 | 0.825 | 0.003 | 0.790 | 0.004 | 0.716 | 0.008 |

$$\beta_2 \approx (\omega/c)(s_2)^{\frac{1}{2}}h \approx 1.873\Gamma h \quad (23d)$$

$$(1-i0.8993\Gamma^{-1})^{-\frac{1}{2}} = u + iv, \quad (23e)$$

where in (23c) and (23d) Γ is the frequency of EMW in GHz and h is the thickness of oil or freshwater in cm.

Equations (20) (21) and (22) indicate that

R and PL are periodic about β_m with a period of π , whereas β_m are proportional to Γh as given by (23c) and (23d) for oil and fresh water, respectively. Therefore, when R and PL are given for the β_m from 0 to π , their values for different h can be computed by use of (23c) and (23d) at different frequencies.

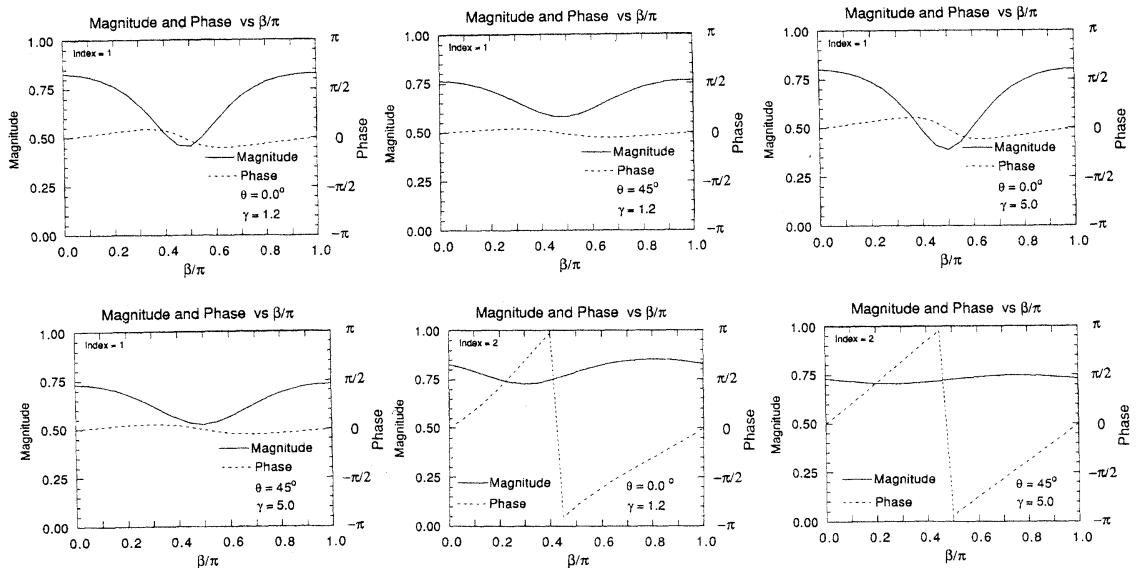


Fig. 2. Examples of R and PL versus beta for oil (A, Index 1) and fresh water (B, Index 2) at 1.2 and 4 GHz for $\theta = 0^\circ$ and 45° .

Table 2. Part of R and PL versus h (H here) in cm. See explanation of table 1. Symbols h_r and h_p indicate the thickness at which R and PL become extreme for the first time.

INDEX = 1 GAMMA = 0.8

| $\theta(^{\circ}) \rightarrow$ | 0. | | 15. | | 30. | | 45. | | 60. | |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------|-------|-------|
| H(cm) | Mag | Phase | Mag | Phase | Mag | Phase | Mag | Phase | Mag | Phase |
| 0.0 | 0.847 | 0.002 | 0.842 | 0.002 | 0.825 | 0.003 | 0.790 | 0.004 | 0.716 | 0.008 |
| 0.5 | 0.841 | -0.011 | 0.836 | -0.011 | 0.819 | -0.009 | 0.785 | -0.005 | 0.716 | 0.008 |
| 1.0 | 0.829 | -0.025 | 0.824 | -0.024 | 0.807 | -0.021 | 0.775 | -0.013 | 0.716 | 0.008 |
| 1.5 | 0.808 | -0.039 | 0.803 | -0.038 | 0.787 | -0.033 | 0.758 | -0.021 | 0.716 | 0.008 |
| 2.0 | 0.777 | -0.053 | 0.772 | -0.051 | 0.759 | -0.043 | 0.737 | -0.027 | 0.716 | 0.008 |
| 2.5 | 0.732 | -0.066 | 0.729 | -0.062 | 0.719 | -0.052 | 0.709 | -0.030 | 0.716 | 0.008 |
| 3.0 | 0.671 | -0.074 | 0.670 | -0.069 | 0.670 | -0.055 | 0.679 | -0.029 | 0.716 | 0.008 |
| 3.5 | 0.597 | h_p -0.069 | 0.601 | h_p -0.064 | 0.616 | h_p -0.047 | 0.649 | -0.022 | 0.716 | 0.008 |
| 4.0 | 0.529 | -0.040 | 0.539 | -0.036 | 0.570 | -0.024 | 0.628 | -0.008 | 0.716 | 0.008 |
| 4.5 | h_r 0.503 | 0.014 | h_r 0.516 | 0.014 | h_r 0.555 | 0.012 | h_r 0.621 | 0.010 | 0.716 | 0.008 |
| 5.0 | 0.541 | 0.065 | 0.550 | 0.060 | 0.578 | 0.047 | 0.631 | 0.028 | 0.716 | 0.008 |
| 5.5 | 0.613 | 0.088 | 0.616 | 0.082 | 0.627 | 0.066 | 0.655 | 0.040 | 0.716 | 0.008 |
| 6.0 | 0.686 | 0.089 | 0.684 | 0.084 | 0.681 | 0.071 | 0.685 | 0.046 | 0.716 | 0.008 |
| 6.5 | 0.743 | 0.079 | 0.739 | 0.076 | 0.729 | 0.066 | 0.715 | 0.046 | 0.716 | 0.008 |
| 7.0 | 0.785 | 0.066 | 0.780 | 0.064 | 0.766 | 0.057 | 0.742 | 0.042 | 0.716 | 0.008 |
| 7.5 | 0.813 | 0.052 | 0.808 | 0.051 | 0.792 | 0.046 | 0.762 | 0.036 | 0.716 | 0.008 |
| 8.0 | 0.832 | 0.038 | 0.827 | 0.038 | 0.810 | 0.035 | 0.777 | 0.028 | 0.716 | 0.008 |
| 8.5 | 0.843 | 0.025 | 0.838 | 0.024 | 0.821 | 0.023 | 0.787 | 0.019 | 0.716 | 0.008 |
| 9.0 | 0.847 | 0.011 | 0.842 | 0.011 | 0.826 | 0.011 | 0.790 | 0.010 | 0.716 | 0.008 |
| 9.5 | 0.846 | -0.002 | 0.841 | -0.002 | 0.824 | -0.001 | 0.789 | 0.001 | 0.716 | 0.008 |
| 10.0 | 0.838 | -0.016 | 0.833 | -0.015 | 0.816 | -0.013 | 0.783 | -0.007 | 0.716 | 0.008 |

Table 1 is prepared to list R and (PL/π) to 3 decimals at 0.8, 1.0, 1.2 and 5 GHz with incident angle θ from 0° to 60° by 15° step. For oil (index 1) and fresh water (index 2), a part of the printout is shown here, and the whole table is available upon request.

Figure 2 shows the curves of R and PL versus the parameter β_m denoted as β for the oil $m=1$ and the fresh water $m=2$ at the incident angle 0° and 45° . It is seen that R changes with β more strongly for oil than for water, whereas PL changes with β the other way. Also changes of R with β are less conspicuous for increasing angle. This figure suggests that to determine the thickness of the film with decrease of R is more feasible for oil than for fresh water, whereas PL change may be useful to determine the freshwater cover.

It is more practical to plot R and PL versus h in cm. Table 2 is prepared to list R and (PL/π) for $h=0$ to 10 cm at 0.1, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, and 5 GHz for oil and fresh water for index 1 and 2, respectively with incident angle ranging 0 to 60° of 15° step. A part of the table is shown with the whole available upon request. Some examples are shown in Fig. 3 as R and PL versus thickness h in cm.

Figure 3 and Table 2 indicate that R and PL

change little against change of thickness h up to 10 cm for the frequency less than 0.4 GHz or lower but at 5 GHz both change rapidly with slight change in h . Also R and PL decrease or increase, respectively as θ increases for small values of h but as h increases this does not hold. On the other hand for the water at 0.1 GHz the R and PL show the decrease with the thickness h . Also the change of R and PL with h for different angle θ is more complicated for the water than for the oil.

Further, R and PL decrease with increasing incident angle up to 60° . For oil and fresh water, R decreases and PL increases with increasing thickness up to a certain thickness. This critical thickness is denoted as h_r and h_p for R and PL , respectively. Then both h_r and h_p depend on frequency and incident angle. In practical term these depths may be considered as a limit for using R or PL of reflected waves to determine the depth of oil or fresh water covering the sea surface. Fig. 3 and Table 2 indicate that both h_r and h_p are larger for fresh water than for oil at the same frequency range and that h_r is larger than h_p for the same frequency for oil but practically the same for the fresh water. However, values of h_r and h_p are almost independent on the inci-

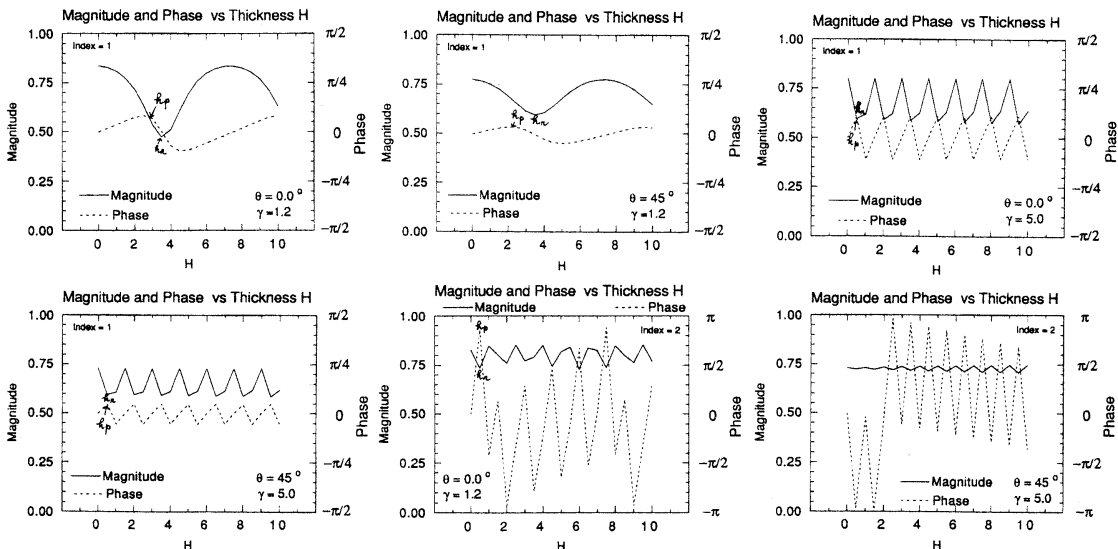


Fig. 3. Examples of R and PL versus thickness (H , in cm) for oil (A, Index 1) and fresh water (B, Index 2) at 1.2 and 5 GHz for $\theta = 0^\circ$ and 45° . " h_r " and " h_p " represent the depth at which R and PL become extreme for the first time.

dent angle. Also both are less for fresh water than for oil at the same frequency and the same incident angle.

If h is intended to measure with change of R and PL of reflected waves, oil is easier to do so than water, because the range of h which makes this possible is larger for oil than fresh water. This is in accordance with the intuitive judgment, since oil is more different in electro-magnetic properties from sea water than fresh water is, with oil being different both in conductivity and dielectric constant, whereas freshwater having the same dielectric constant as the sea water.

5. Very high and low frequencies

As discussed in Section 3, media in which EMW propagates behave as conductor or insulator according to frequencies of incident EMW. However, reflection of EMW at the sea surface covered by oil or fresh water depends on the behavior of the sea water in relation to EMW frequency, since oil and fresh water behave as insulator at microwave frequencies near or higher than 1 GHz because conductivity of these media is several orders lower than that of sea water. This can be seen from equations (21) and (22) which do not contain terms depending on δ_1 . These two equations do contain u and v that depend on δ_2 through equation (19) or (23e).

However, conductivity of oil or fresh water may reach that of sea water when mixture between the two progresses. In that case the approximations (21) and (22) are not valid

and results of Appendix I should be used.

Equation (23e) indicates that

$$u \approx 1, \quad v \approx 0 \tag{24}$$

for $\Gamma \geq 15$ within an error of 6%. Then (21) and (22) become simple and for freshwater ($m=2$), from equation (20),

$$R_2 e^{-i\phi_2} = (\cos\theta - p)(\cos\theta + p)^{-1}. \tag{25}$$

Therefore PL is zero for θ less than 83.6° and is π for θ larger than this angle. Fig. 4 shows curves of R_2 and ϕ_2 versus θ . The values of R_2 and ϕ_2 do not depend on h and indicate reflection simply at the sea water surface without the upper layer. Therefore microwaves of frequency higher than 15 GHz are not useful to monitor presence of fresh water over the sea surface.

On the other hand, for oil the approximations (24), (23a) and (23b) lead to

$$R_1 e^{-i\phi_1} = \{(\cos\theta - p) \cos\beta - i(0.5 - 2p \cos\theta) \sin\beta\} \times \\ \{(\cos\theta + p) \cos\beta + i(0.5 + 2p \cos\theta) \sin\beta\}^{-1}, \tag{26}$$

where $\beta = \beta_1$ of (23c). When (26) is averaged over β from $n\pi$ to $(n+1)\pi$, the r.h.s. of (26) becomes simply by approximation of (23a) and (23b) (See Appendix II for derivation),

$$\overline{R_1} e^{-i\overline{\phi_1}} = \{(1 + 2p) \cos\theta - p - 0.5\} \times \\ \{(1 + 2p) \cos\theta + p + 0.5\}^{-1} \tag{27a}$$

or returning to dielectric constants of oil and sea water, ϵ_1 and ϵ_2

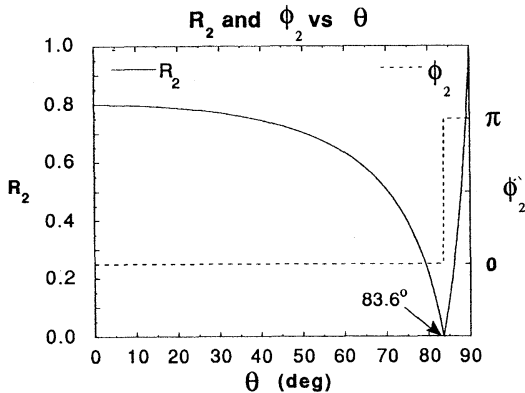


Fig. 4. R and PL versus incident angle θ for fresh water from equation (25).

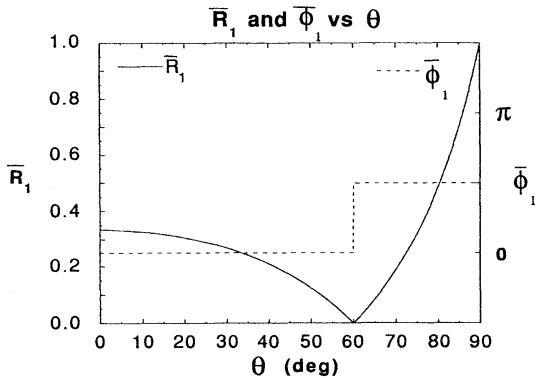


Fig. 5. R and PL averaged over beta versus incident angle θ for oil from equation (27 a) or (27b). (The dotted lines should jump to π at $\theta = 60^\circ$)

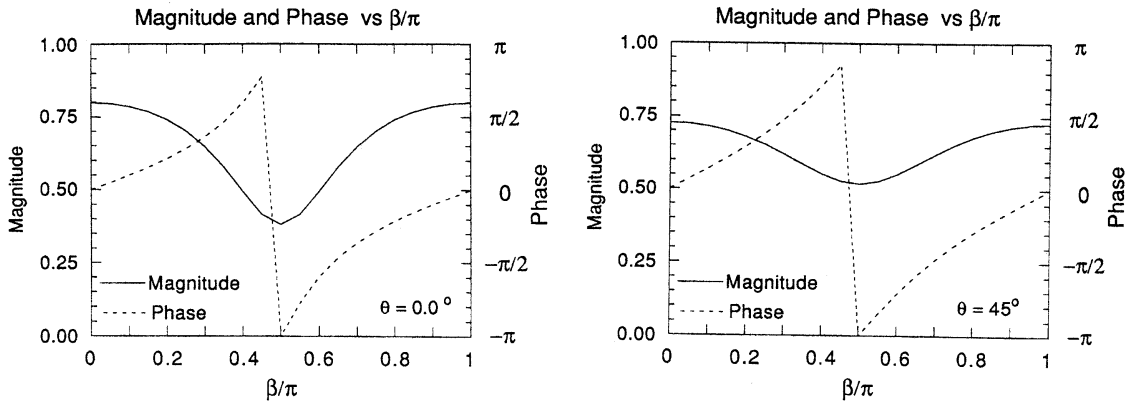


Fig. 6. R and PL versus beta for frequency range higher than 15 GHz for $\theta = 0^\circ$ and 45° . (Compare with Fig. 2)

$$\overline{R_1} e^{-i\overline{\varphi_1}} = \left[\left\{ 1 + (\varepsilon_1/\varepsilon_2)^{\frac{1}{2}} \right\} \cos\theta - \left\{ (\varepsilon/\varepsilon_1)^{\frac{1}{2}} (\varepsilon/\varepsilon_2)^{\frac{1}{2}} \right\} \right] \times \left[\left\{ 1 + (\varepsilon_1/\varepsilon_2)^{\frac{1}{2}} \right\} \cos\theta + \left\{ (\varepsilon/\varepsilon_1)^{\frac{1}{2}} + (\varepsilon/\varepsilon_2)^{\frac{1}{2}} \right\} \right]^{-1}, \quad (27b)$$

where ε is dielectric constant of vacuum.

Curves of $\overline{R_1}$ and $\overline{\varphi_1}$ versus θ are plotted in Fig. 5 based on equation (27a). Both parameters depend only on θ , since they are integrated over h . The $\overline{R_1}$ decreases with increasing θ as seen in Fig. 3 for lower frequencies but for the same value of h . On the other hand, $\overline{\varphi_1}$ is zero for $\theta \approx 60^\circ$ and then jumps to π . In terms of dielectric constant of oil, equation (27b) leads to

$$\begin{aligned} \overline{\varphi_1} &= 0 \quad \text{for } 0 \leq \theta < \text{Arctan}(\varepsilon/\varepsilon_1)^{\frac{1}{2}} \\ &= \pi \quad \text{for } \text{Arctan}(\varepsilon/\varepsilon_1)^{\frac{1}{2}} \leq \theta < \pi/2. \end{aligned} \quad (27c)$$

The averaging over π on phase β of equation (26) is justified, because at 15 GHz about 5 mm change in h can produce change by π in β from equation (23c). This is based on an assumption that in the field thickness of the oil film is not uniform but its variance may reach 5 mm.

When wave frequencies higher than 20 GHz are used, identification of oil over the sea may be possible if its dielectric constant identifies the kind of oil. This is to apply equation (27b) to measured $\overline{R_1}$ that becomes useful if the oil thickness has a variance of a few mm. For scanning a narrow field with much less thickness variances, equation (26) may be used to determine thickness by measuring R_1 . PL from equation (26) fluctuates rapidly with change of h as discussed before, thus it is

doubtful that PL may be used to determine h . Fig. 6 shows R_1 and ϕ_1 versus β .

For EMW with frequencies less than 0.1 GHz, relations (21) and (22) become simplified again, since from equation (19)

$$u \approx v \approx \kappa (s_2 \omega / \delta_2)^{\frac{1}{2}}. \quad (29)$$

Further sine and cosine functions of (21) and (22) can be approximated by

$$\sin \beta_m \approx \beta_m \quad \cos \beta_m \approx 1, \quad (30)$$

However, for oil the low frequency EMW causes very little change in R and PL with increasing h up to 10 cm. Thus possibility of determining h with EMW of 0.1 GHz or lower frequencies is practically slight.

For the fresh water, 0.1 GHz wave may be utilized to determine h with reduction in R and increase in PL with increasing h . The very low frequency approximation for (21) and (22) is simple substitution of (27) and (28) into these equations, thus it is not presented explicitly here.

However, there is a possibility that both oil and fresh water may change their electromagnetic properties, particularly their conductivity by mixing with underlying sea water as time progresses. Therefore, no more valid is the approximation $\omega^{-1} \delta_1 \ll 1$ that leads to equations (21) and (22). In order to compute in such cases, expression of b_0/a_0 without approximations of (17) and (18) but with (15) and (16) is given in Appendix I. This may be used to give corrections to Fig. 2 for determining R and PL, if, σ_1

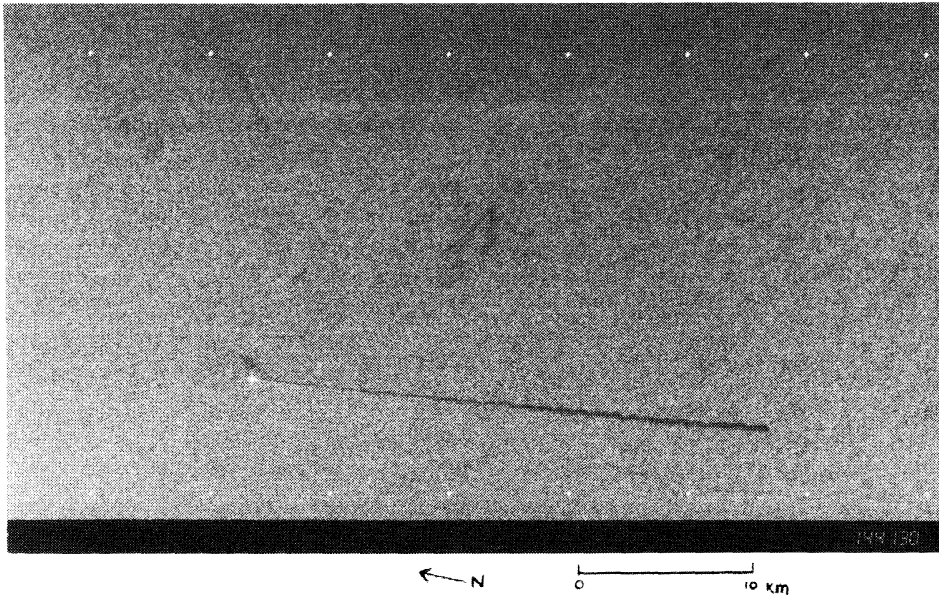


Fig. 7. Wake of a ship that was supposedly discharging oil or oil contaminated liquid. This ship was about 500 km from the coast and heading for Delaware Bay (p. 116 in Fu and Holt, 1982). (The glossy print is courtesy of Dr. Fu at JPL.)

and ϵ_1 of oil or fresh water is known by aging or mixing with the sea water. Inversely, this relation can be used to estimate of aging of oil or mixing rate of the fresh water with the sea water by measuring R and PL of reflected EMW at the sea surface.

6. Applications and concluding remarks

The R and PL of EMW reflected at the sea surface covered with oil or fresh water show significant departure from those of the uncontaminated sea surface. Some SAR images taken with SEASAT-satellite in 1978 showed the oil covered sea surface with a black patch as indicated in Fig. 7 that is duplicated from report by Fu and Holt (1982). This has been interpreted as R being diminished due to suppression of capillary waves and ripples by oil film. However, as indicated in Fig. 3, R is reduced by 15 to 18 % from the clean sea surface with presence of oil film a few mm thick for EMW of 1.4 GHz. Therefore reduction of R of plane EMW due to a thin film should be considered to account for blackness of oil covered sea.

On the other hand R and PL decrease or increase almost linearly with thickness of oil or fresh water up to its critical value of a few

centimeters depending on the frequency of incident EMW. The critical thickness is larger for water than oil and becomes smaller at higher frequencies in GHz range. Therefore, SAR or SLAR may be used to determine thickness of oil or fresh water over the sea by determining of R or PL of reflected EMW.

Since present SAR and SLAR use the frequency range that is adequate for determining R or PL of expected thickness, they can measure thickness of oil in case of a major oil spill or that of freshwater and precipitation on the Tropical Pacific Ocean to forewarn El Niño processes.

With about 100 GHz or higher frequencies, if variance of oil thickness is an order of 0.1 mm or more over a relatively wide area, the aging of spilled oil at the sea surface may be determined through change of its dielectric constant by measuring R as indicated by equation (27b). At the currently available frequency range of 1 to 20 GHz, if R and PL of reflected waves can be determined accurately, not only thickness h of oil or fresh water covering the sea surface may be measured but also its aging or mixture with the sea water could be determined. In the latter case, approximate equations (21) and (22) are no

more valid but relations presented in Appendix I should be applied.

Acknowledgement

Numerical computations and computer graphics were provided by Matthew Howard. Publication of this paper is partially supported by U. S. WOCE program (headed by W. NOWLIN, Dept. of Oceanography, Texas A & M University).

Appendix I

Substitution of (12), (15) and (16) into (8b) and (8c) lead to

$$b_0/a_0 = P/Q \quad (\text{A-1})$$

$$P = (\cos\theta - P_1) \cos\beta_m - i(P_2 - \cos\theta P_3) \sin\beta_m \quad (\text{A-2})$$

$$Q = (\cos\theta + P_1) \cos\beta_m + i(P_2 + \cos\theta P_3) \sin\beta_m \quad (\text{A-3})$$

where

$$P_1 = s_2^{-\frac{1}{2}} (1 - s_2^{-1} \sin^2\theta - \delta_2 \omega^{-1} i)^{\frac{1}{2}} (1 - i\delta_2 \omega^{-1})^{-1} \quad (\text{A-4})$$

$$P_2 = (s_{1,m})^{-\frac{1}{2}} (1 - (s_{1,m})^{-1} \sin^2\theta - s_{1,m} \omega^{-1} i)^{\frac{1}{2}} (1 - i\delta_{1,m} \omega^{-1})^{-1} \quad (\text{A-5})$$

$$P_3 = P_2/P_1 \quad (\text{A-6})$$

$$\beta_m = s_{1,m}(\omega/c) \{1 - (s_{1,m})^{-1} \sin^2\theta - \delta_{1,m} \omega^{-1} i\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{A-7})$$

In equations (A-4), (A-5) and (A-7), $m=1$ and 2 represent oil and fresh water respectively. Note m -suffix is added to s_1 and δ_1 , the upper layer parameters corresponding to s_2 and δ_2 of the sea water. Therefore, $s_{1,1}$ corresponds to s_1 in (23b) and (23c) and $s_{1,2} = s_2$. When aging of oil and mixing of fresh water with sea water progress, range of $s_{1,1}$ changes from s_1 to s_2 . Further those of δ_1 from 10^{-7} to 0.9 GHz and of $\delta_{1,2}$ from 10^{-4} to 0.9 GHz, respectively, though electromagnetic properties of oil $s_{1,1}$ and σ_1 , are less known after aging than those of rain water after mixing with sea water.

Appendix II

For high frequency, (23c) and (23d) indicate β_1 and β_2 become large for small change in h . For example, at $\Gamma = 20$, β_1 and β_2 change by one cycle (2π) for variances of h

of 1.3 cm and 0.17 cm respectively. When SAR or SLAR scans the sea surface, it covers a sufficient swath area to include variances of h of this orders of magnitude. Then the reflected wave consists of many component waves reflected at oil or fresh water of various thicknesses, variances of which make those of β_1 or β_2 2π or much larger. This is different from reflection or scattering of EMW from rough surfaces treated by a monograph of BECKMANN and SPIZZICHINO (1963), because all reflected wave components in this case are reflected with the same angle. The irregularities in h are random but continuous.

Thus R and PL of the effective reflected waves are expressed by averaging components waves with β_m over interval π as

$$R_m e^{-i\varphi m} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (M_m/N_m) d\beta_m, \quad (\text{B1})$$

where M_m and N_m are given by (21) and (22), since M_m and N_m are repeated over π to 2π .

Hereafter, suffix m is dropped. Then (B1) becomes

$$\text{Re}^{-i\varphi} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (a \cos\beta - i b \sin\beta) \times (A \cos\beta + i B \sin\beta)^{-1} d\beta \quad (\text{B2})$$

$$\text{Re}^{-i\varphi} = \{\pi(A^2 - B^2)\}^{-1} \{a \{A\beta + i B \log \times (i B \sin\beta + A \cos\beta)|_0^\pi\} - i b \{i B \beta - A \log(i B \sin\beta + A \cos\beta)|_0^\pi\}\} \quad (\text{B3})$$

$$a = \cos\theta - p, \quad b = 0.5 - 2p \cos\theta \quad (\text{B4})$$

$$A = \cos\theta + p, \quad B = 0.5 + 2p \cos\theta \quad (\text{B5})$$

and in the integrated expression the logarithm is generalized to a complex argument by use of analytic continuation from formulas listed for a real argument (MORIGUCHI *et al.*, 1957, p. 191-192). In integration from $\beta=0$ to π , the argument of log-terms in the complex plane changes from $(A, 0)$ at $\beta=0$ through $(0, iB)$ to $(-A, 0)$ at $\beta=\pi$. Therefore, the real and imaginary part of log-term is given by

$$\log(i B \sin\beta + A \cos\beta) \Big|_0^\pi = \log|-A| - \log|A| + i\pi = i\pi. \quad (\text{B6})$$

Thus (B-3) becomes simply

$$\text{Re}^{-i\varphi} = (a-b)(A+B)^{-1} = (\cos\theta - 0.5)(\cos\theta + 0.5)^{-1}. \quad (\text{B7})$$

References

- BECKMANN, P. and A. SPIZZICHINO (1963): The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces. Pergamon Press. 503pp.
- ELACHI, C. (1988): Spaceborne Radar Remote Sensing: Application and Techniques. IEEE Press. 255p.
- FU, L.-L. and B. HOLT (1982): Seasat Views Oceans and Sea Ice with Synthetic-Aperture Radar. NASA, JPL Publ. 81-150. 200pp.
- GILL, A.E. (1983): An estimation of sea-level and surface-current anomalies during the 1972 El Niño and consequent thermal effects. J. Phys. Oceanog., **13**, 586-606.
- ICHIYE, T. and K. MUNAYAMA (1989): Upper layer low salinity pools in the western Tropical Pacific Ocean, (Submitted to La mer).
- KAY, G.W. and T.H. LABY (1988): Tables of Physical and Chemical Constants. p. 109, Longman Co.
- LANDOLT and BÖRNSTEIN (1960) and (1986): Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology. New Series, part 7, p. 17, and Vol. 3 part 9, p. 237. Springer Verlag, Berlin.
- LIEBERMANN, L.N. (1962): Other electromagnetic radiation. The Sea. Vol. 1 (edited by M.N. HILL). John Wiley & Sons, N.Y. p. 469-475.
- MORIGUCHI, S., K. UDAGAWA, and N. ICHIMATSU, (1956): Mathematical Formulas I. Iwanamishoten. 318pp.
- PHILLIPS, O.M. (1987): Remote sensing of the sea surface. Ann. Rev. Fluid Mech. **20**, 89-109.
- SLATER, T. C. (1942): Microwave Transmission. Dover. 309pp.
- STRATTON, J. A. (1941): Electromagnetic Theory. McGraw-Hill, NY. 615pp.
- TREBITS, R.N. (1987): Synthetic Aperture Radar. Principles of Modern Radar (edited by T.L. Eaves and E. K. REEDY), Van Nostrand Reinhold, N.Y. p.502-537.
- WAIT, J. R. (1962): Electric Magnetic Waves in Stratified Media. Pergamon Press. 372pp.

海面での電磁波の反射

市 栄 誉

要旨 : 平面電磁波の海面での反射をマックスウェルの理論から取扱った。原油又は淡水が一樣の厚さで無限に深い海を覆っていると仮定する。原油又は淡水の電媒常数と電気伝導率では反射波の反射率は上層の厚さによって殆んど一次的に減じ、その位相のおくれは逆に増える。従って原油を流出した時に油の厚さあるいはエル・ニーニョの前に熱帯太平洋の降水による表面の水の厚さは約 1 ギガヘルツの SAR または SLAR で測定されうる。また、これらの厚さがほかの方法で知られている場合には反射率が位相差を正確に測ることにより油の古さや雨水の海水との混合など油又は水の電導度と電媒常数から推定されうる。20 ギガヘルツ以上の周波数の電磁波は淡水の存在を知るには不適當だが、油の老化を電媒常数から推定するのに使える。これは電磁波はもし原油の厚さに数ミリメートル程度の偏差があれば異なった反射率をもつが、同じ反射角で反射し、そのため平均反射率は入射角と油の電媒常数だけによるからである。

A non-dissipative internal bore*

Motoyasu MIYATA**

Abstract: An analytical solution of an internal bore is derived using a two-layer fluid model. This bore differs from the classical one in that energy dissipation does not occur as it proceeds.

1. Introduction

Internal bores in the ocean and lakes which are often accompanied by large-amplitude oscillations, have been reported by numerous authors; notably HALPERN (1971), THORPE (1971), HUNKINS and FLIEGEL (1973), WINANT (1974), IVANOV and KONYAEV (1976), and FARMER (1978), among others. These bores may be caused by tidal currents, transformation of a long internal wave, slackening of wind over narrow lakes, or intrusion of surface or bottom water from the open sea, although the mechanism of their formation is not fully understood. The similar phenomenon in the atmosphere was reported by SMITH *et al.* (1986).

Most of the theoretical models so far studied to describe the bores have been based on a KdV equation or a modified KdV equation (e. g. LEE and BERADSLEY, 1974). However, the applicability of the KdV equation is rather doubtful because the amplitude of the phenomenon is often so large that the assumption of weak non-linearity can no longer be valid.

The purpose of this note is to show that, using a simple two-layer model, a solution of a large amplitude internal bore can be derived.

2. Equations of motion and bore solution

Consider irrotational two-dimensional motion in a two-fluid system, in which a layer of lighter fluid overlies a layer of heavier fluid, resting on a horizontal impermeable

bed. For simplicity the free surface is replaced with a rigid lid, eliminating the surface wave. Both lower and upper fluids are incompressible with homogeneous densities ρ_1 and ρ_2 . The depth of the lower layer at infinity h_1 is assumed to be smaller than that of the upper layer h_2 .

Then assuming a steady state solution with a uniform flow of constant velocity c at infinity, and using the three conservation laws of mass, energy and flow force, we can obtain the following ordinary differential equation (see MIYATA, 1985).

$$\frac{M}{2} \left(\frac{d\zeta}{d\xi} \right)^2 + K = 0, \quad (1)$$

Where ζ represents the nondimensional displacement (normalized by h_1) of the interface from the undisturbed position, ξ is the horizontal coordinate defined by $h_1 \xi = x - ct$, c being the velocity of the stationary bore.

$$M = \frac{2F^2 r^2 (1+rs)}{3(r+s)}, \quad K = \frac{-\zeta^4 + D\zeta^3 + E\zeta^2}{B\zeta + 1},$$

$$B = \frac{r^2 s - 1}{r(1+rs)}, \quad D = \frac{r^2 - s + r(F^2 - 1)(1-s)}{r+s},$$

$$E = -r(F^2 - 1),$$

$$r = \frac{h_2}{h_1}, \quad s = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad F = \frac{c}{c_0}, \quad c_0 = \sqrt{\frac{gh_1(1-s)r}{1+rs}}.$$

Now consider the special case when

$$F = \frac{\sqrt{(1+r)(r+s)}}{\sqrt{r(1+\sqrt{s})}}. \quad (2)$$

Then Eq.(1) can be simplified to:

$$\frac{d\zeta}{d\xi} = \frac{\zeta(2\zeta - D)}{\sqrt{2M(B\zeta + 1)}}. \quad (3)$$

Upon integration we can obtain the solution of this equation, that is,

*Received April 13, 1990

**Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, on leave from Geophysical Institute, University of Tokyo, Yayoi 2-11-16, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

$$\xi = \frac{\sqrt{r(1+r)(1+rs)}}{\sqrt{3}(r-\sqrt{s})} \left(\ln \frac{\sqrt{B\xi+1}+1}{\sqrt{B\xi+1}-1} + m \ln \frac{m-\sqrt{B\xi+1}}{m+\sqrt{B\xi+1}} \right), \quad (4)$$

where

$$m = \sqrt{\frac{\sqrt{s}(1+r)(1+r^2\sqrt{s})}{r(1+\sqrt{s})(1+rs)}}, \quad 1 \leq \sqrt{B\xi+1} \leq m.$$

3. Discussion

The solution (4) describes a shock wave or an internal bore advancing into still water. However, this bore has no energy dissipation as opposed to the classical concept of bores where energy is always dissipated along the shock line. Such non-dissipative bores of small amplitude were discussed by KAKUTANI and YAMASAKI (1978), and FUNAKOSHI (1985). Thus the bore obtained above can be regarded as a large amplitude generalization of their results.

Since the height of the bore is determined from the equation $m = \sqrt{B\xi+1}$, the non-dimensional amplitude A is given by the following:

$$A = \frac{r-\sqrt{s}}{1+\sqrt{s}}. \quad (5)$$

It should be noted that once the environmental parameters r and s are given, the amplitude is determined. From (2) the non-dimensional velocity F , which also depends on r and s only, is always greater than 1.

Acknowledgement

This work was done while the author held a National Research Council Associateship sponsored by National Aeronautics and Space Administration. He wishes to express his sincere thanks to the colleagues in the oceanography group of Jet Propulsion Laboratory,

particularly to Dr. William PATZERT, for the help they provided during the preparation of this manuscript.

References

- FAMER, D.M. (1978): Observation of long nonlinear internal waves in a lake. *J. Phys. Oceanogr.*, **8**, 63-73.
- FUNAKOSHI, M. (1985): Long internal waves in a two-layer fluid. *J. Phys. Soc. Japan*, **54**, 2470-2476.
- HALPERN, D. (1971): Semidiurnal internal tides in Massachusetts Bay. *J. Geophys. Res.*, **76**, 6573-6584.
- HUNKINS, K. and M. FLIEGEL (1973): Internal undular surges in Seneca Lake: A natural occurrence of solitons. *J. Geophys. Res.*, **78**, 539-548.
- IVANOV, V.A., and K.V. KONYAEV (1976): Bore on a thermocline. *Izv. Akad. Sci. USSR Atmos. Oceanic Phys.* **12**, 416-423.
- KAKUTANI, T. and N. YAMASAKI (1978): Solitary waves on a two-layer fluid. *J. Phys. Soc. Japan*, **45**, 674-679.
- LEE, C.Y. and R.C. BEARDSLEY (1974): The generation of long nonlinear internal waves in a weakly stratified shear flow. *J. Geophys. Res.*, **79**, 453-462.
- MIYATA, M. (1985): An internal solitary wave of large amplitude. *La mer* **23**, 43-48.
- MIYATA, M. (1986): Comment on Boussinesq's long wave equation. *La mer* **24**, 59-62.
- SMITH, R.K., M.J. COUGHLAN and J.L. LOPEZ (1986): Southerly nocturnal wind surges and bores in northeastern Australia. *Monthly Weather Rev.*, **114**, 1501-1518.
- THORPE, S.A. (1971): Asymmetry of the internal seiche in Loch Ness. *Nature*, **231** (4301), 306-308.
- WINANT, C.D. (1974): Internal surges in coastal water. *J. Geophys. Res.*, **79**, 4523-4526.

非消散内部ボア

宮田元靖

要旨：海洋内部におけるボアの解を簡単な2層モデルを使って求めた。このボアは従来のボアと異なり進行中にエネルギーの消散を伴わない。

APPENDIX: ERRATA for the previous two papers by the author

I: "An internal solitary wave of large amplitude", La mer 23, 1985.

| Page | Misprints | Should read |
|------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| p. 44. Eq. (11) | $i^3(z-h)_\varepsilon$ | $i^3(z-h)^3$ |
| p. 46. Line 1 | $\sqrt{\frac{2}{M}} d\xi$ | $\pm \int \sqrt{\frac{2}{M}} d\xi$ |
| p. 46. Lines 1, 2, & 3 | $E + D\xi - \xi^2$ | $\xi^2 - D\xi - E$ |
| p. 48. Eq. (A1) | $= \text{Asech}...$ | $\eta = \text{Asech}...$ |
| p. 48. Eq. below (A2) | $g(\rho_2 - \rho_1)$ | $g(\rho_1 - \rho_2)$ |

II: "Comment on Boussinesq's long wave equation", La mer 24, 1986.

| Page | Misprints | Should read |
|-----------------|---|---|
| p. 60. Eq. (7) | $\frac{\partial \phi}{\partial t}$ | $\frac{\partial \phi}{\partial x}$ |
| p. 60. Eq. (12) | $\frac{1}{3} \frac{\partial \eta}{\partial t}$ | $\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial \eta}{\partial t}$ |
| p. 60. Eq. (13) | $\frac{1}{3} \frac{\partial \eta}{\partial x}$ | $\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial \eta}{\partial x}$ |
| p. 60. Eq. (18) | $\frac{\partial^2 U}{6x^2}$ | $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$ |
| p. 60. Eq. (20) | $\left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^{-1}$ | $\left(\frac{\partial \eta}{\partial x}\right)^{-1}$ |
| p. 61. Eq. (22) | $-c \frac{d}{d\xi}$ | $-c \frac{d\eta}{d\xi}$ |
| p. 61. Eq. (23) | $\varepsilon U = \frac{B}{\eta} + C$ | $\varepsilon U = \frac{B}{\eta} + c$ |
| p. 61. Eq. (28) | $B = -C$ | $B = -c$ |
| p. 61. Eq. (28) | $D = 1 + \frac{C^2}{2}$ | $D = 1 + \frac{c^2}{2}$ |
| p. 61. Eq. (28) | $E = \frac{1}{2} - C^2$ | $E = -\frac{1}{2} - c^2$ |
| p. 61. Eq. (30) | $\frac{3\varepsilon}{1+\delta}$ | $\frac{3\varepsilon}{1+\varepsilon}$ |
| p. 61. Eq. (34) | $\varepsilon U \frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial \zeta}{\partial t}$ | $\varepsilon U \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial \zeta}{\partial x}$ |

楕円形島周りの海浜流の実験*

羽 島 正 紘**

An experimental study of the nearshore circulation around an elliptical island*

Masahiro HASHIMA**

Abstract: The equations of the nearshore circulation caused by waves breaking around an elliptical island are solved for a model, and the numerical results are compared with the experimental results that are carried out on models. The theoretical distribution of the mean flow along the island shore agrees well with the experimental values. Furthermore, close agreement is obtained between the experimental results and the flow patterns of Iwo-Jima that is approximated an ellipse.

1. はじめに

海浜流を求める数値計算法は非定常計算法（たとえば、泉宮・堀川，1984）と定常計算法（たとえば，NODA，1974）に大別される。著者は前に定常計算法により，楕円形島周りの循環流を求める基礎方程式を導き，数値計算により海浜循環流を求め，現地海岸との比較検討を行った（羽島，1987）。そこでは移流項および水平拡散項は省略し，時間平均化された量を用いている。また，砕波帯内での底面摩擦速度は水深に比例するとの近似を行っているため，実際の現象と比較する目的で，模型実験を行い，数値計算の結果および現地海岸との比較検討を行う。

2. 実験装置および実験の方法

実験に用いた水槽は長さ 6.15m，幅 1.05m，深さ 0.25m のアクリル製で，模型島の長半径は，105cm，短半径は 90cm，高さ 6cm である。模型島は水槽の上流側から 3.75m の位置に設置し，下流側には消波装置を置いてある。

模型島の大きさおよび静水深は水槽の水深を変えるこ

とにより変化させているので，水深が変わると島の汀線が異なることになる。入射波（周期波）の波高はポイントゲージにより，また周期および波長は抵抗線式波高計により測定している。

流速の測定は水深が極端に浅いこともあって，熱膜流速計，水素気泡法共に困難であることから，上流側にコンデンスミルクを投入し，一定時間間隔で固定カメラにより撮影することで砕波帯内の平均流速を求めている。

実験に用いた条件を Table 1 に示す。

Table 1. Conditions in the experiments.

| | Water depth (h cm) | Wave period (T s) | Wave height (H mm) | Wave length (L cm) |
|--------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Case 1 | 4.38 | 0.49 | 3.5 | 28.4 |
| Case 2 | 4.38 | 0.64 | 3.0 | 38.5 |
| Case 3 | 4.38 | 0.64 | 3.5 | 38.5 |
| Case 4 | 5.00 | 0.43 | 3.5 | 25.0 |
| Case 5 | 5.00 | 0.54 | 3.0 | 33.6 |
| Case 6 | 5.00 | 0.75 | 4.0 | 49.4 |

3. 数値計算

楕円形島周りの海浜循環流を求める方程式は著者が前に求めた式（羽島，1987）を用いるが，ここに基礎方程式を簡単に記す。

楕円座標 ξ, η において楕円の 2 焦点間の距離を $2C$

*1989年8月17日受理 Received August 17, 1989

**防衛医科大学校物理学教室，〒359 埼玉県所沢市並木 3-2

Department of Physics, National Defense Medical College, Namiki 3-2, Tokorozawa, Saitama, 359 Japan

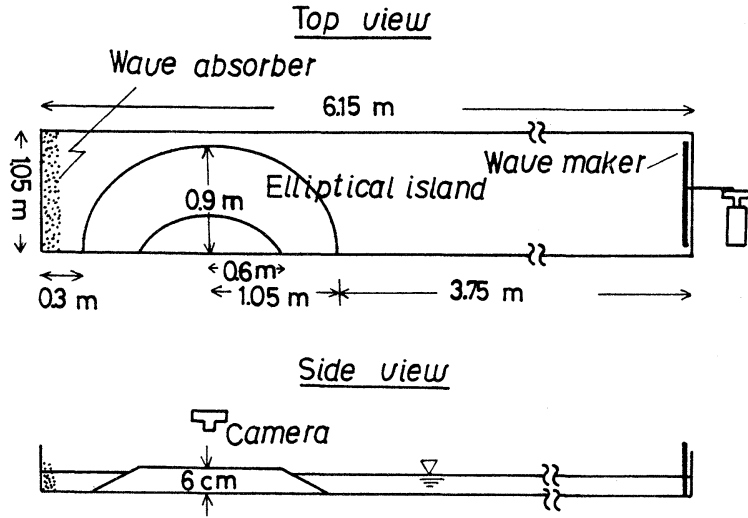


Fig. 1. Experimental instruments.

とし, J を

$$J^2 = C^2(\sinh^2 \xi \cos^2 \eta + \cosh^2 \xi \sin^2 \eta) \quad (3.1)$$

としたとき, 連続の式および運動方程式は移流項及び水平拡散項を無視すると, それぞれ次式で与えられる。

$$0 = \frac{1}{J} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (J d \bar{U}_\xi) + \frac{\partial}{\partial \eta} (J d \bar{U}_\eta) \right] \quad (3.2)$$

$$0 \approx -\rho g d \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial \xi} - T_\xi - J \rho C_f \bar{U}_0 \bar{U}_\xi \quad (3.3)$$

$$0 \approx -\rho g d \frac{\partial \bar{\zeta}}{\partial \eta} - T_\eta - J \rho C_f \bar{U}_0 \bar{U}_\eta \quad (3.4)$$

ここで, h は波のないときの水深, ζ は水面変動量で $d = \zeta + h$ である。 \bar{U}_ξ , \bar{U}_η は水深平均化された流速成分, \bar{U}_0 は水底での水粒子の軌道速度, C_f は海底での摩擦係数, ρ は流体密度である。なお添え字 $-$ は時間平均を意味する。 T_ξ , T_η は radiation stress 項であり, それぞれ次式で与えられる。

$$T_\xi = \frac{\partial S_{\xi\xi}}{\partial \xi} + \frac{\partial S_{\xi\eta}}{\partial \eta} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial J}{\partial \xi} (S_{\xi\xi} - S_{\eta\eta}) + 2 \frac{\partial J}{\partial \eta} S_{\xi\eta} \right] \quad (3.5)$$

$$T_\eta = \frac{\partial S_{\xi\eta}}{\partial \xi} + \frac{\partial S_{\eta\eta}}{\partial \eta} + \frac{1}{J} \left[\frac{\partial J}{\partial \eta} (S_{\eta\eta} - S_{\xi\xi}) + 2 \frac{\partial J}{\partial \xi} S_{\xi\eta} \right] \quad (3.6)$$

ここに S_{ij} は

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{\xi\xi} & S_{\xi\eta} \\ S_{\xi\eta} & S_{\eta\eta} \end{bmatrix} = \frac{1}{4} \rho g A^2 \begin{bmatrix} 3 - 2 \sin^2 \beta & \sin 2\beta \\ \sin 2\beta & 3 - 2 \cos^2 \beta \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

であり, A は波の振幅, β は波向角である。砕波帯より沖側の領域では radiation stress による水面変動量を $\bar{\zeta}$, 循環流による水面変動量を $\bar{\zeta}_c$ とし

$$\bar{\zeta} = \bar{\zeta}_r + \bar{\zeta}_c$$

とおくとき, $\bar{\zeta}_r$ は radiation stress とつり合っているとす (LIU and MEI, 1976)。また $\bar{\zeta}_c$ は水深に比して小さいので, $\bar{\zeta}_c + h \approx h$ とおくと, 砕波帯外での連続および運動の式は

$$0 = \frac{1}{J} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} (J h \bar{U}_\xi) + \frac{\partial}{\partial \eta} (J h \bar{U}_\eta) \right] \quad (3.9)$$

$$0 \approx -\rho g h \frac{\partial \bar{\zeta}_c}{\partial \xi} - J \rho C_f \bar{U}_0 \bar{U}_\xi \quad (3.10)$$

$$0 \approx -\rho g h \frac{\partial \bar{\zeta}_c}{\partial \eta} - J \rho C_f \bar{U}_0 \bar{U}_\eta \quad (3.11)$$

で与えられる。なお $\bar{\zeta}_r$ は radiation stress 項を積分しても得られるが, 近似的に

$$\bar{\zeta}_r = -\frac{k A^2}{2 \sin h k h} \quad (3.12)$$

によって与える。また砕波帯外での \bar{U}_0 は

$$\bar{U}_0 = \frac{g k A}{\omega \cosh k h} \quad (3.13)$$

である。ここで, 流れ函数 ϕ を

$$\bar{U}_\xi = -\frac{1}{J} \frac{1}{d} \frac{\partial \phi}{\partial \eta}, \quad \bar{U}_\eta = \frac{1}{J} \frac{1}{d} \frac{\partial \phi}{\partial \xi} \quad (3.14)$$

によって定義する (砕波帯外では $d \approx h$ とする)。このとき連続の式 (3.2), (3.9) は自動的に満足される。なお砕波帯内での波の振幅は水深に比例するものとし, 比例定数 γ とおき, $A = \gamma d$ で与えると, (3.3), (3.4) 式および (3.10), (3.11) 式より ϕ に関する Poisson 方程式が得られる。波動場はスネルの法則を楕円形島に適用した次の波向線方程式 (羽島, 1987) を用いる。

$$\frac{d\eta}{d\xi} = \frac{\pm J_0 k_0 \sin \alpha_0}{\sqrt{J^2 k^2 - J_0^2 k_0^2 \sin^2 \alpha_0}} \quad (3.15)$$

ここに、 α_0 は波が楕円の長軸に平行に入射するときの初期入射角、 k は波数、添え字0は波の入射位置 $\xi = \xi_0$ 、 $\eta = \eta_0$ に対する値を示す。得られた波向線から波向線間隔を求め、波高分布を求める。碎波位置の決定は $A/h = \gamma$ を用いている。

数値計算は Table 1 の条件を用い、 $C_f = 0.01$ 、 $\gamma = 0.4$ とし、 ϕ に関する Poisson 方程式を差分法し SOR 法により ϕ を求める。境界条件は $\xi = \xi_0$ 、 $\eta = 0$ 、 π および平均汀線上で $\phi = 0$ とする。

4. 数値計算と実験結果の比較検討

島の上流側にミルクを投入後の碎波帯内の流れの様子が、Case 4 について、Fig. 2 に示されている。波は写真の右側から入射し、(A) はミルクを投入してから 4 秒後、(B) は 10.5 秒後である。流れは碎波帯内において下流に向い、速度が減るとともに沖合にゆっくりと流れている。数値計算の結果 (Fig. 3) では、碎波帯内で汀線に沿って下流に向かう沿岸流が認められ、実験結果と良く一致している。ただし実験では岸沖方向の碎波帯内での流速分布は求められていないので、計算結果との比較は明らかではない。また、下流側において流速が

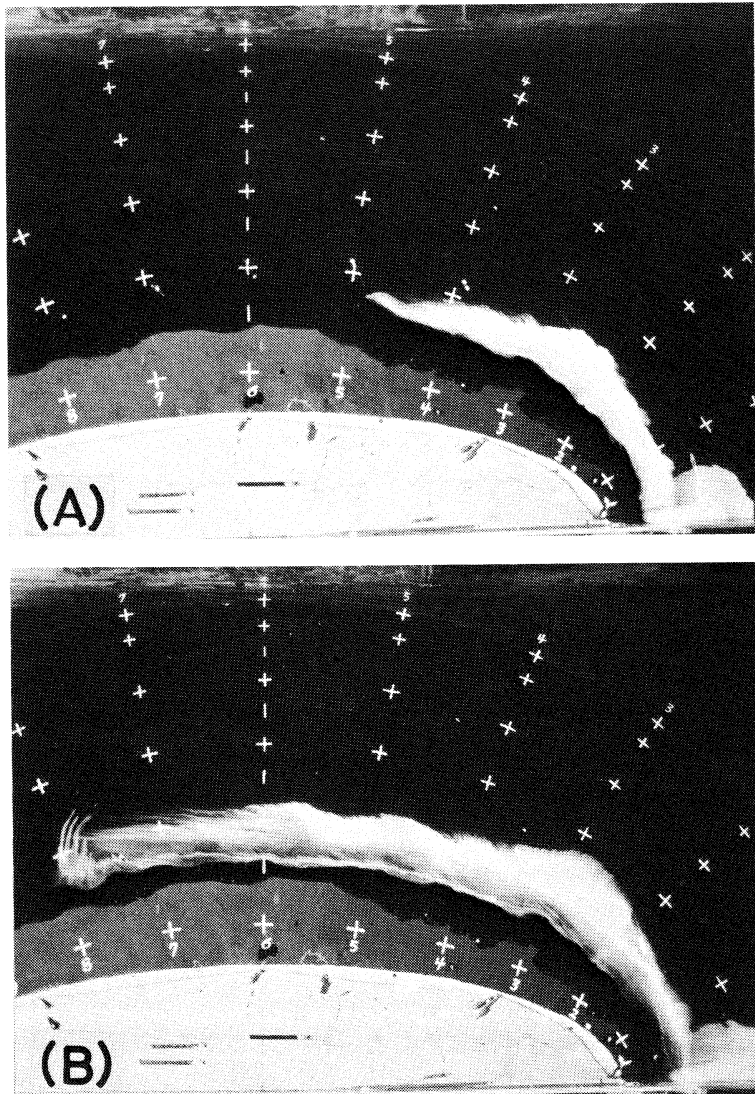


Fig. 2. Time sequence of the flow structure (Case 4). The incident wave arrives from the right.

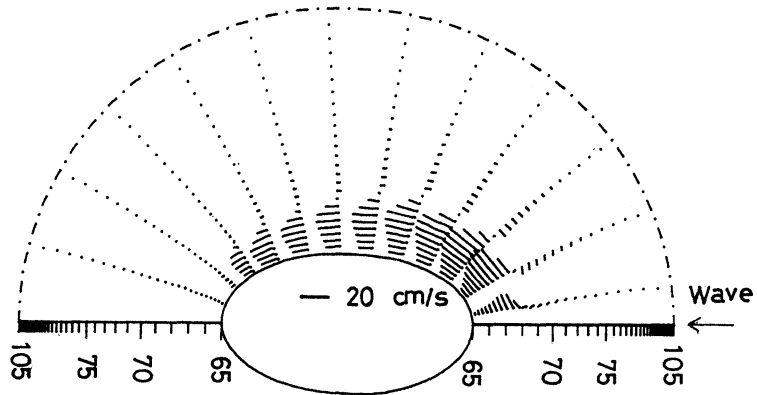


Fig. 3. Velocity vectors that are computed numerically around an elliptical island for Cass 4. Axis unit in cm.

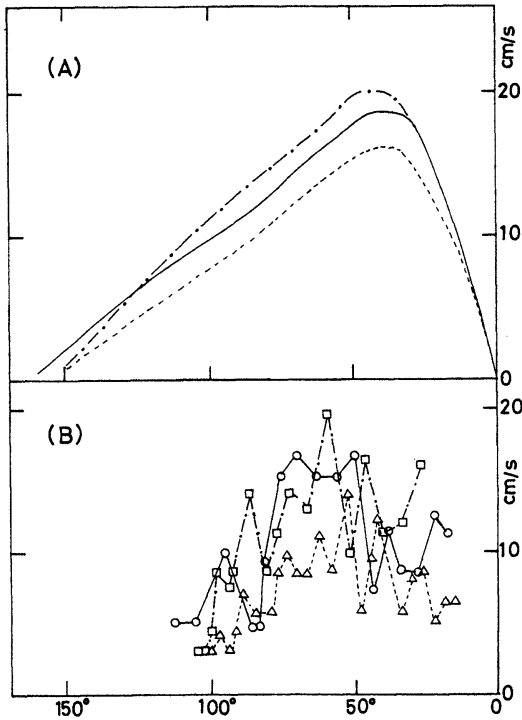


Fig. 4. Velocity distribution along the shore. (A) Theoretical; (B) experimental. Solid line, Case 1; broken line, Case 2; chain line, Case 3.

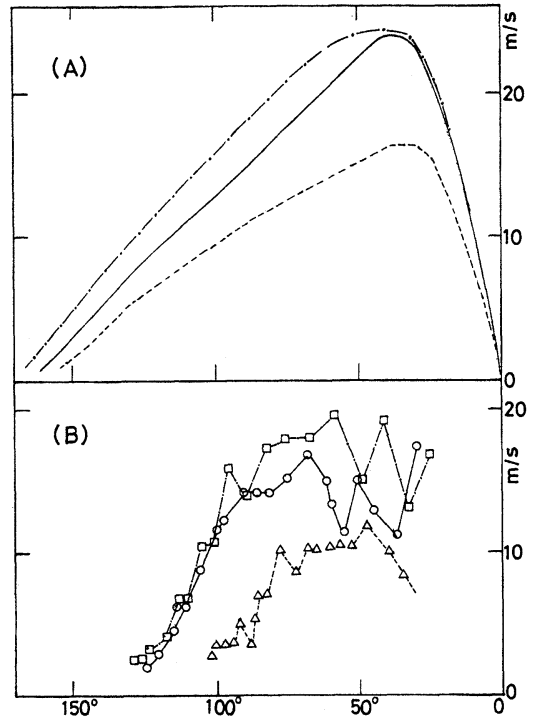


Fig. 5. Velocity distribution (A) Theoretical; (B) experimental. Solid line, Case 4; broken line, Case 5; chain line, Case 6.

ほぼゼロとなるような位置は実験と計算結果とは一致していないが、この実験においては実験装置が小さく、碎波帯の水深も mm のオーダーであり表面張力の影響および粘性抵抗も無視出来ないで、それらの影響と考えら

れる。

碎波帯での岸沖方面の平均流速の汀線方向に対する分布が Case 1-3 については Fig. 4 に、また、Case 4-6 については Fig. 5 に示されている。(A) は計算結果、

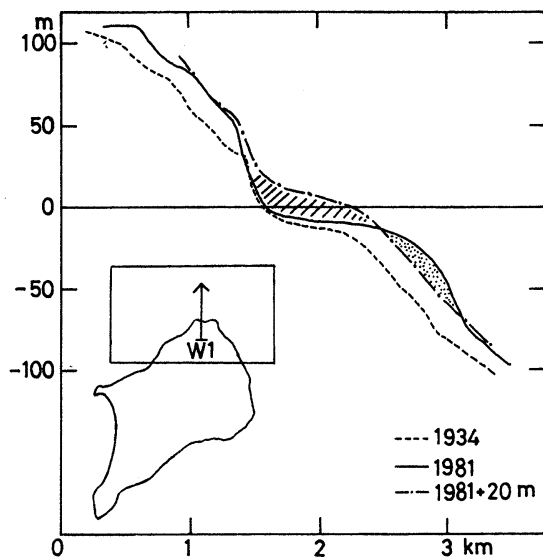


Fig. 6. Topographic change across the line W1, 1934 and 1981. Chain line, estimated uplift value of 20 m; hatched area, erosion; dotted area, accumulation.

(B) は実験結果である。いずれの場合も流速値は計算による方が大きい値を示しており、特に下流側において実験による値の方が小さく、また減衰もはなはだしい。これは碎波帯幅の差にもよるが、前に述べた表面張力および粘性の影響によるものである。また、流速が最大を示す位置は実験結果のほうがやや下流側となっているが、これは模型の長軸を水槽の壁面に接触させて設置したため、水槽壁面の影響が現れたものと考えられる。

Fig. 4において、Case 1は $T=0.49s$, $H=3.5\text{ mm}$, Case 2は $T=0.64s$, $H=3.0\text{ mm}$, Case 3は $T=0.64s$, $H=3.5\text{ mm}$ であるが、Case 1の、より周期の小さい時の方が流れは下流側にまで達している。また、同じ周期のときは当然波高の大きい方がより大きい流速値を示しており、これは Fig. 5の Case 4-6でも全く同じ傾向を示し、計算値と実験値との良好な一致が得られている。また、Fig. 4と Fig. 5とでは水深が異なっており、島の大きさが異なる。即ち、Fig. 4の Case 1-3の方が Fig. 5の Case 4-6より島は大きい。Fig. 4および Fig. 5から分かるように、島が小さい方が沿岸流は下流の方向により達しており、計算結果と実験結果は一致している。また、波向線方程式において $Jk > J_0 k_0 \sin \alpha_0$ が成立しなければならないが、これは島の大きさおよび波の初

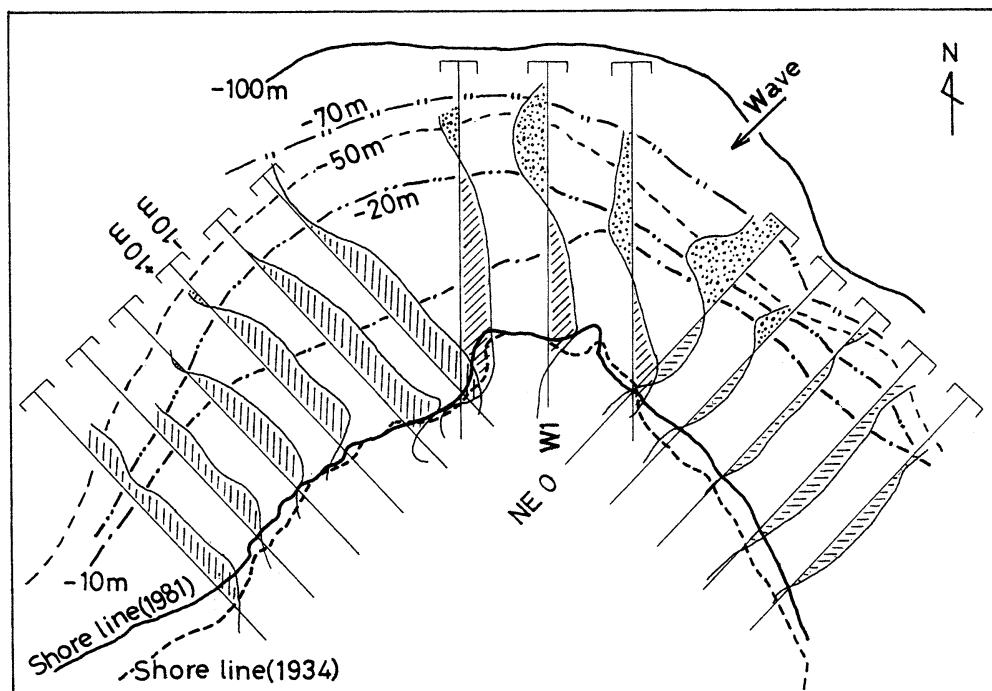


Fig. 7. Distribution of the eroded and accumulated value at the north coast region between 1934 and 1981.

期入射角に依存するので、島が小さい方が波は島の背後に周り込むことになる。

5. 現地海岸との比較検討

上記実験結果を硫黄島海岸に適用する。島は隆起現象が顕著で、大きい所で年間約 30cm 隆起する。島の北海岸の測線 W1 について 1934 年と 1979 年の標高および水深 (1981) を比較したのが Fig. 6 である。陸上部においては 30m 以上隆起しているのに対し水深 20m 以浅ではほとんど変化していないが、それ以上の水深では 20m 程度の変化がある。これは島が隆起しても水深の浅いところでは波によって侵食されることを意味する。海底での隆起量が陸上部と同じであるかどうかは不明であるが、20m の等隆起量を仮定 (一点鎖線) すると、図において斜線部が侵食され、点で示された領域に堆積したことになる。島の北海岸について、各々の測線に対し侵食量と堆積量の分布を求めた結果が Fig. 7 である。加藤・池田 (1984) は、水深変化の分布を求め同様な結果を得ている。硫黄島の年間を通じての波の卓越方向は北東である。島を楕円近似したときの楕円の長軸を図の測線 NE 0 方向とすると楕円の長軸付近に堆積領域が認められるのに対し、他の領域ではほとんどが侵食域となっている。即ち、楕円の長軸方向では侵食された土砂は沖に堆積している。このことは Fig. 2 の実験による写真の結果でも、投入した染料は一部は下流に流されるが

他は沖に拡散している。また、東南および西南方向にいくにしたがって侵食された土砂は沿岸流によって下流に流され、沖には輸送されていない。これらのことから実験結果と現地海岸とは良く一致している。

6. おわりに

楕円形島周りの波による海浜流を求める基礎方程式において、水平拡散項および移流項は省略して時間平均化された量を用い、底面摩擦速度の近似を行い、数値計算した結果、模型実験および現地海岸と良く一致することが確認され、楕円形島周りの海浜流を求める基礎方程式の妥当性が明らかになった。

文 献

- 加藤 茂, 池田 勉 (1984): 硫黄島周辺の海底地形。海上保安庁水路部研究報告, **19**, 59-73.
- 羽島正紘 (1987): 楕円形島における海浜循環流。ながれ, **6**, 351-358.
- LIU, P.L.F and C.C. MEI (1976): Water motion on a beach in the presence of a breakwater. *J. Geophys. Res.*, **81**, 3085-3094.
- NODA, E.K (1974): Wave-induced nearshore circulation. *J. Geophys. Res.*, **79**, 4097-4106.
- 泉宮尊司, 堀川清司 (1984): 沿岸砂州のある海浜における波動場および海浜流予測。第 31 回海岸工学講演会論文集, p.401-405.

Influence of internal tides on sea level variations at the Suruga Bay coast*

Masaji MATSUYAMA** and Atsushi OHWAKI**

Abstract: The influence of internal tides on the sea level elevation was studied by using the sea level and subsurface temperature records observed at Uchiura, at the head of Suruga Bay in summer 1978. The amplitudes of sea surface elevations due to the internal tides (SLA) are defined as difference between the observed and predicted sea levels. A comparison of the time series of the temporal variations of amplitude and phase for the tidal periods of SLA with those of the subsurface temperatures shows that the characteristics of SLA are similar to those of the subsurface temperature due to the internal tides. The maximum amplitude among the four major tidal constituents of SLA is estimated to be 4.0-5.3cm for the M_2 constituent and the minimum is 0.1-1.0cm for the K_1 constituent. The sea level records at four stations, Uchiura, Shimizu, Minamiizu and Omaezaki, are analyzed by the same method as well. The M_2 constituent of SLA is the largest among the four major tidal constituents at Uchiura and Shimizu, near the head of Suruga Bay during this period. The M_2 constituent is the largest at Uchiura, and the maximum value of the M_2 amplitude at Uchiura is about twice as high as that at Shimizu, about 2.5 times that at Minamiizu, and about 4 times the value at Omaezaki. The M_2 constituent of SLA at Shimizu is almost out of phase with that at Uchiura. This relation of the amplitude and phase between Uchiura and Shimizu is supported by a numerical experiment of the internal tides in Suruga Bay. The amplification of the M_2 constituent agrees with the numerical experiments and is considered to be due to resonance with the longitudinal internal seiche of Uchiura Bay. These results suggest that the SLA variations with tidal periods, especially the M_2 constituent, are mostly induced by the internal tides.

1. Introduction

Sea surface elevations are well known to be influenced by internal waves, but their amplitude due to long internal waves (i.e. the internal tides and seiches) is on the order 10 of the amplitude of thermocline displacement from a rough estimation (e.g. PROUDMAN, 1954; PHILLIPS, 1977). Therefore, these magnitudes are really a few centimeters at most and are much less than those due to the surface waves. Therefore, this influence has been neglected for the analysis of sea level variations in many cases. But, in coastal areas where large amplitude internal tides exist frequently, the influence is considered to prevent precise estimation of the surface elevation due to the surface tides.

In Suruga Bay, which is located at the central Japan island and faces the Pacific Ocean (Fig.1), it is feared that a huge earthquake will occur in the near future, so that an ob-

servaion system has been established to receive any precursory indications of an earthquake. Sea level observations are being made at some sites along the bay coast part of this effort. MATSUYAMA and TERAMOTO (1985) and MATSUYAMA (1985 a) reported that internal tides in Uchiura Bay (Fig.1) have amplitudes of thermocline vertical displacement larger than ten meters near the head of the bay at times in summer and early fall. In Uchiura Bay, the amplitudes of the surface tide for the four major constituents (M_2 , S_2 , K_1 , O_1) range from 15 to 41 cm at the coast (Table1). Therefore, the sea surface variations due to the internal tides can possibly reach 1/10 of those due to the surface tides in summer and early fall. INABA (1982) suggested the presence of internal tides at other regions in Suruga Bay from the current measurements. On the other hand, TAMURA *et al.* (1986) analyzed the sea-level records at Omaezaki during the period from 1970 to 1979 and showed that the M_2 constituent has seasonal variations with maximum value in

*Received July 3, 1990

**Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

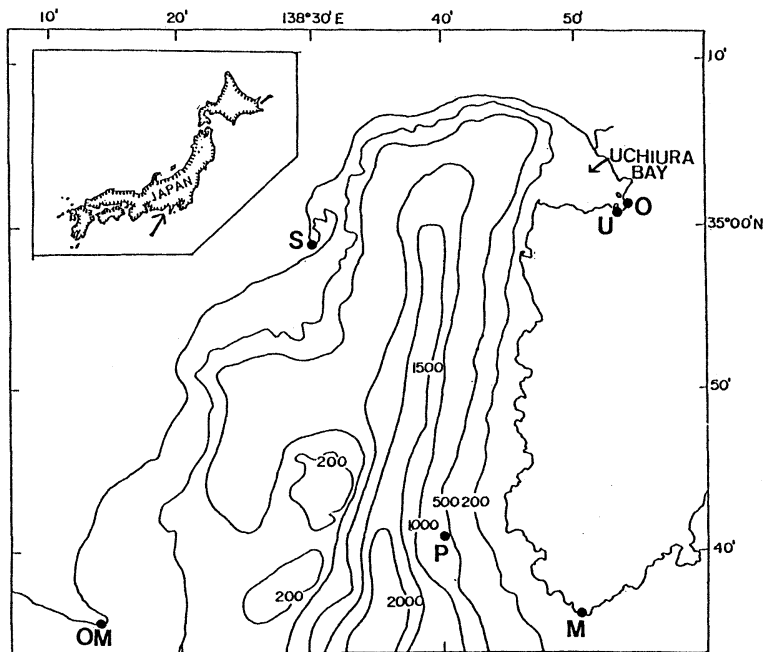


Fig. 1. Bottom topography in Suruga Bay and locations of sea level measurements (Stas. U, S, M, and OM) and of subsurface temperature measurement (Sta. O). Sta. P indicates the location of the current measurements by INABA (1982). Numerals on bottom contours are in meters.

Table 1. Harmonic constants of the four major constituents (Tide Table by Japan Oceanographic Data Center).

| | M_2 | | S_2 | | K_1 | | O_1 | |
|----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | A | P | A | P | A | P | A | P |
| Uchiura | 41.3 | 167 | 18.9 | 192 | 21.0 | 179 | 15.4 | 161 |
| Shimizu | 40.2 | 166 | 18.6 | 192 | 21.5 | 180 | 15.9 | 160 |
| Minamizu | 39.6 | 163 | 18.2 | 188 | 24.0 | 188 | 18.4 | 164 |
| Omaezaki | 41.3 | 166 | 19.0 | 192 | 23.1 | 186 | 17.8 | 164 |

A: amplitude (cm). P: phase (degree).

summer and minimum in winter. The amplitudes of the seasonal variations reach about 4 per cent of the M_2 amplitude. These variations agree with those of the internal tides, so that it is speculated to be due to the internal tides.

Investigations of the influence of internal tides on sea surface elevations are required, because surface elevations due to the internal tides are unpleasant noise in the analysis of sea level records at the coast. This study tries to show, through the analysis of the

hourly sea level data, that internal tides in Suruga Bay have an influence on sea level variations at the bay coast. First, we define the sea-level anomaly (SLA) as the difference between the predicted and observed sea levels. We describe the time and spatial variations of SLA with the semidiurnal and diurnal periods during the period from 1 July to 2 September 1978. Long-term temperature measurements for investigating the characteristics of internal tides were made in the subsurface layer at the head of Uchiura Bay from 14 July to 22 August 1978 (MATSUYAMA, 1985a). Second, the time series of SLA will be compared with those of temperature to examine whether the sea-level anomaly (SLA) can be used for the analysis of internal tides. The spatial variations of the semidiurnal constituent of SLA are also compared with results obtained from numerical experiments of internal tides in Suruga Bay (MATSUYAMA, 1985b).

2. Data and data analysis

Hourly sea level records are taken at Uchiura (Sta.U), Shimizu (Sta.S), Omaezaki (Sta.OM), and Minamiizu (Sta.M). Uchiura and Shimizu are located near the head of Suruga Bay, and Minamiizu and Omaezaki near the mouth of the bay (Fig.1). The harmonic constants, i.e. the amplitude and phase of tidal constituents, for the sea level at each station prepared by JODC (Japan Oceanographic Data Center) are calculated from the records collected for 10 years from 1971 to 1980 (Table 1). We define the hourly sea-level anomaly (SLA) by subtracting the predicted sea level (PSL) from the observed hourly sea level (RSL) in the following form :

$$\text{RSL} - \text{PSL} = \text{SLA}.$$

PSL are constructed from 39 tidal constituents. The time series of hourly SLA can be obtained at each tidal station. We will focus on the diurnal and semidiurnal constituents of the SLA variations. These variations are

expected to be mainly related to the internal tides, and variations of the atmospheric pressure and wind. These atmospheric phenomena are supposed to have an influence mainly on the sea level with the diurnal period, but it is not easy to remove them from the SLA variations because it is difficult to estimate the response time of the sea level against the various atmospheric systems. Therefore, in this study, we do not neglect the effects of wind and atmospheric pressure on the sea level variations, as a first step.

3. Variations of sea-level anomaly (SLA)

Fig. 2(a) shows the time series of SLA at Uchiura and Shimizu, located respectively at the eastern and western sides near the head of Suruga Bay, from 1 July to 2 September 1978. Semidiurnal and diurnal variations are seen with low-frequency variations at both stations. The variations of SLA with semidiurnal and diurnal periods at Uchiura are larger

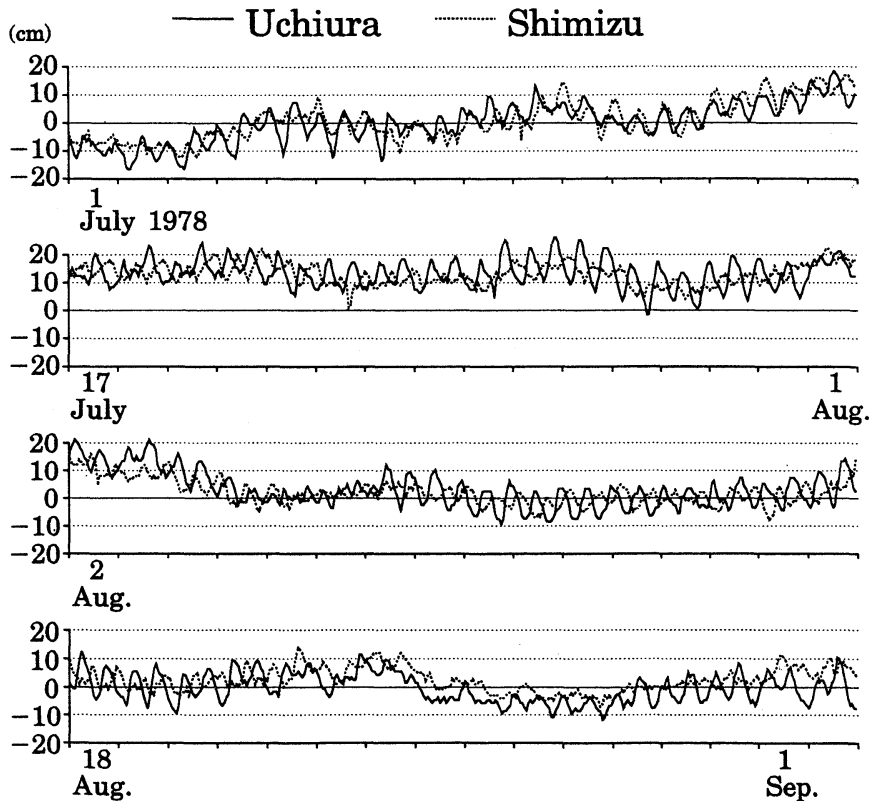


Fig. 2(a). Time series of sea level anomaly (SLA) at Uchiura (solid line) and Shimizu (broken line) from 1 July to 2 September 1978. Units are cm.

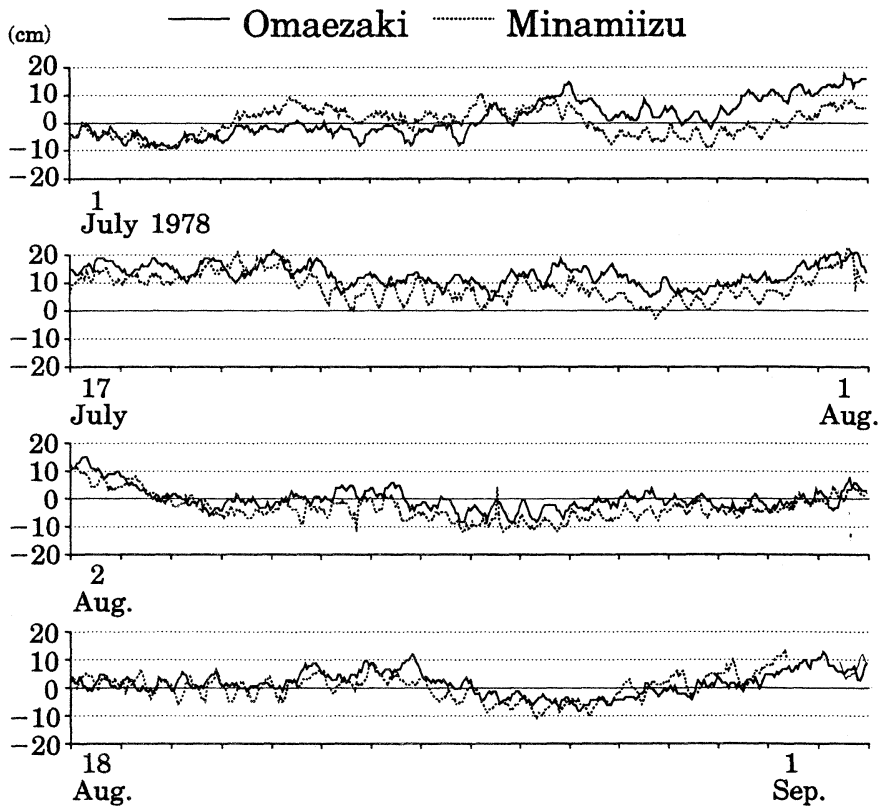


Fig. 2(b). Time series of sea level anomaly (SLA) at Omaezaki (solid line) and Minamiizu (broken line) during the period from 1 July to 2 September 1978. Units are cm.

than those at Shimizu. Marked tidal variations do not exist through about two months even at Uchiura but appear weak at times from 5 August to 7 August, and from 24 August to 26 August. The maximum value between the ridge and trough of the variations for these tidal periods amounts to 18 cm at Uchiura in the latter part of July and 12 cm at Shimizu in the middle of July. The amplitudes of the semidiurnal component at Uchiura are seen to be large compared with the diurnal component. Frequently, the phase of the tidal frequency at Uchiura is different from the phase at Shimizu. This indicates that the horizontal scale of SLA variations is not very large compared with the width (about 30 km) of Suruga Bay.

Fig. 2(b) shows the time series of SLA at Omaezaki and Minamiizu during the same period as for Fig. 2(a). These are the SLA

records at the west and east coasts at the mouth of Suruga Bay. Though semidiurnal and diurnal variations are recognized in both records, these are often weakened during the two months. The maximum value between the ridge and trough of the tidal variations is about 10 cm both at Omaezaki and Minamiizu. Fig. 2(a) and (b) shows that the tidal variations of SLA at the bay head are larger than those at the bay mouth.

The SLA variations with the tidal periods are seen to be variable throughout the two months (Fig. 2(a) and (b)). We will examine the temporal variations of SLA with these periods. So, the records are divided into several segments of 15 days each. To obtain the amplitude and phase of the four major constituents, Fourier coefficients are computed. Harmonic analysis is carried out for each 15-day record and is repeated for the

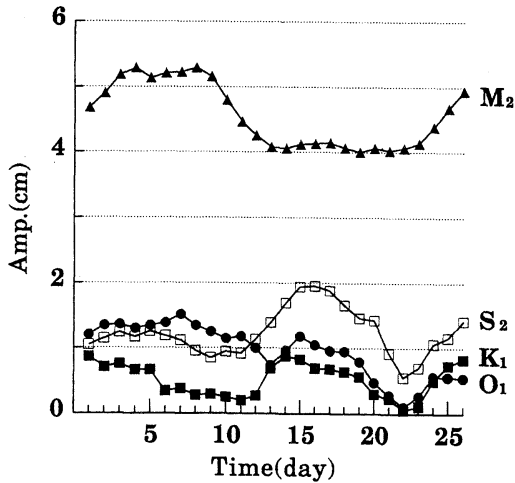


Fig. 3. Temporal amplitude variations of SLA at Uchiura calculated from a 15-day series advancing one day at a time.

subsequent 15-day series after advancing one day at a time (KIELMAN and DÜING, 1974; MATSUYAMA, 1985a).

Fig. 3 shows the temporal amplitude variations of SLA at Uchiura calculated from a 15-day series advancing one day at a time. To compare these variations with those for the temperature near the head of Uchiura Bay analyzed by the same method, the data are shown for the period from 14 July to 22 August 1978. The M_2 constituent is predominant throughout the whole observational period and its amplitude ranges from 4.0 to 5.3 cm. The S_2 constituent is placed in the second magnitude of SLA variations, but its amplitude is less than 2.2 cm. The K_1 constituent is the smallest of the four major constituents, while it has the second largest magnitude in sea level fluctuations (Table 1).

Table 2. Maximum and minimum values (cm) for the four major constituents of SLA at four stations from 14 July to 22 August, 1978.

| | M_2 | | S_2 | | K_1 | | O_1 | |
|-----------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| | Max | Min | Max | Min | Max | Min | Max | Min |
| Uchiura | 5.3 | 4.0 | 2.2 | 0.6 | 0.9 | 0.1 | 1.5 | 0.2 |
| Shimizu | 2.4 | 1.7 | 1.1 | 0.1 | 1.4 | 0.8 | 1.0 | 0.3 |
| Minamiizu | 2.1 | 1.5 | 0.9 | 0.3 | 1.4 | 0.3 | 0.8 | 0.1 |
| Omaezaki | 1.2 | 0.4 | 0.9 | 0.3 | 1.7 | 0.3 | 1.2 | 0.2 |

The maximum amplitudes of the O_1 and K_1 constituents are 1.5 cm and 0.9 cm, respectively. This indicates the predominance of semidiurnal constituents (M_2 and S_2) in SLA variations at Uchiura during July-August 1978. Table 2 shows the maximum and minimum values of temporal amplitude variations for the four major constituents of SLA at the four tidal stations during the above period, calculated by the same method as the above-mentioned harmonic analysis. The M_2 constituent has the largest amplitude in SLA among the four constituents both at Shimizu and Minamiizu as well, but at Omaezaki the maximum amplitude of the M_2 constituent is comparable to or less than that of the diurnal constituents (K_1 and O_1). Amplitudes of the M_2 constituent range from 1.7 to 2.4 cm at Shimizu, and from 1.5 to 2.1 cm at Minamiizu, which are less than the half of the amplitude at Uchiura. The K_1 constituent at Shimizu is the second largest and has maximum amplitude of 1.4 cm which is larger than that at Uchiura throughout the whole period. At Minamiizu, the K_1 constituent ranges between 0.3 and 1.4 cm and the S_2 and O_1 constituents are less than 1.0 cm.

Harmonic analyses of SLA at the four tidal

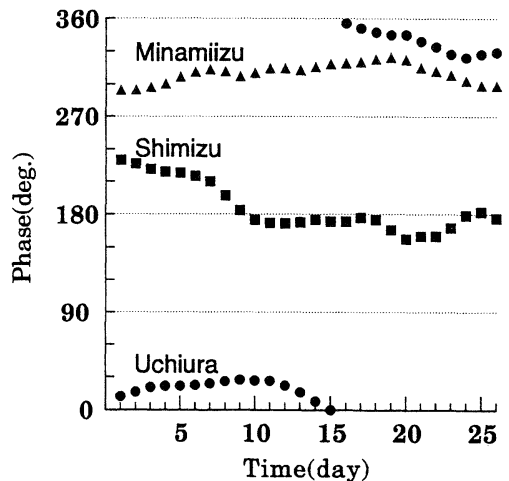


Fig. 4. Temporal variations of the phase differences between RSL (observed sea level) and SLA (sea level anomaly) for the M_2 constituent at Uchiura (●), Shimizu (■), and Minamiizu (◆) calculated from a 15-day series advancing one day at a time. The estimated values refer to RSL.

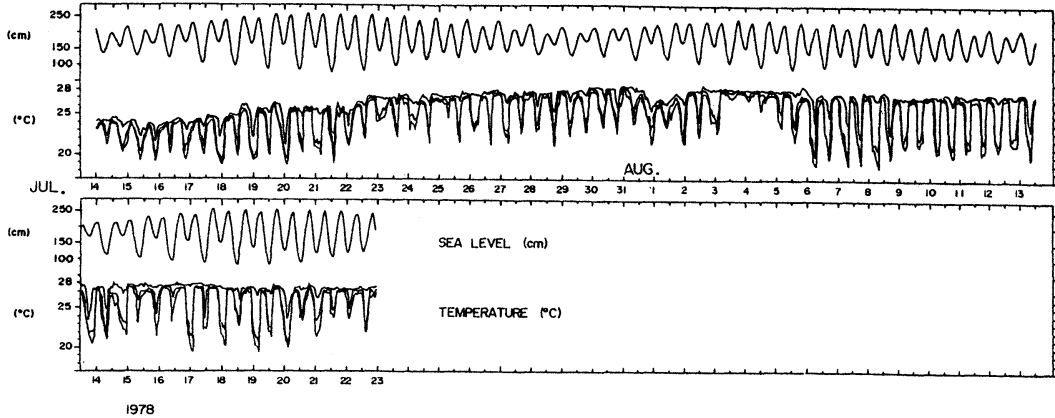


Fig. 5. Hourly sea-level records at Sta. U (upper) and hourly temperature records in the subsurface layer (4, 12, and 16m depths) at Sta. O (lower).

stations during the summer of 1978 show that the M_2 constituent is predominant at Minamiizu, Uchiura and Shimizu. So, we will focus on variations of the M_2 constituent hereafter. Fig. 4 shows the temporal variations of the phase difference between SLA and RSL for the M_2 constituent at Uchiura, Shimizu and Minamiizu. The phase of SLA lags behind that of RSL by -30° to 30° at Uchiura, by 180° to 230° at Shimizu and by 290° to 310° at Minamiizu. These phase relations show that SLA is almost in phase with the raw sea level at Uchiura and out of phase with that at Shimizu. The raw sea level among the three tidal stations are nearly in phase for all four constituents shown in Table 1, so that the phase of the M_2 constituent of SLA at Uchiura is nearly out of phase with Shimizu. On the other hand, Uchiura always lags behind Minamiizu by 30° to 90° .

4. Comparison of the sea-level anomaly (SLA) and temperature in the subsurface layer

Long-term temperature measurements were made at Sta. O (Fig. 1) and the records were obtained at depths of 4, 12, and 16 m during the period from 14 July to 22 August 1978 (MATSUYAMA, 1985a). The location of Sta. O is along the coast about 1km from the Uchiura tidal station. These temperature records were employed to obtain the temporal variations of the internal tide at Uchiura tidal station at the head of Suruga Bay. In spite of

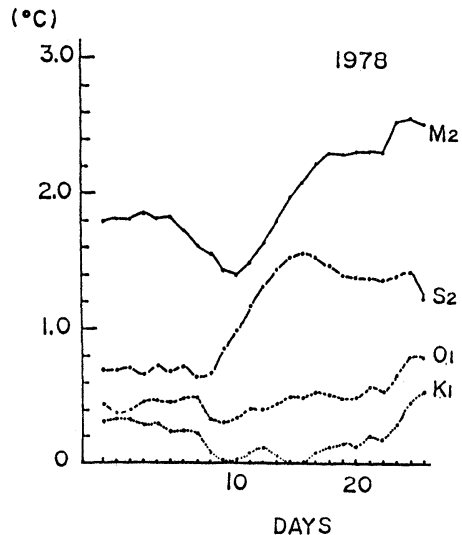


Fig. 6. Temporal amplitude variations of temperature at a depth of 16m at Sta. O calculated from a 15-day series advancing one day at a time.

only one station, comparison between the time series of SLA and those of the subsurface temperature makes it possible to confirm whether the SLA variations at Uchiura during this period are mainly due to the internal tides or not.

Fig. 5 shows the time series of temperature at Sta. O and sea level at Sta. U from 14 July to 22 August 1978 (MATSUYAMA, 1985a). Temperature oscillations with the tidal periods are significant, but are not as sinusoidal as those of the sea level. The difference be-

tween maximum and minimum in the temperature variations at a depth of 16m amounts to 6-8°C. MATSUYAMA (1985a) suggested that these temperature variations are associated with the vertical displacements of the seasonal thermocline of 35-40 m, by a rough estimation from the vertical temperature distribution.

Fig. 6 shows temporal variations of the amplitude of temperature at a depth of 16m at Sta. O calculated by the same method as Fig. 3. This figure does not represent temporal variations of the amplitude of internal waves, but may indicate those of relative amplitudes among these constituents at each segment using the same estimation as for the vertical temperature distribution. Two notable features are found: (1) The M_2 constituent is predominant throughout the whole observational period; (2) the K_1 constituent is the smallest among the four constituents, while it has the second largest magnitude in the sea level variations (Table 1).

As might be expected, the characteristics of the temporal variations of the amplitude of temperature in the subsurface layer (Fig. 6) are similar to those of SLA at Uchiura shown in Fig. 3. Naturally both records are seen to be closely related to each other. The temperature fluctuations shown in Fig. 5 have been shown to be due to the internal tides in Uchiura Bay (MATSUYAMA, 1985a), so that those of SLA may be mainly induced by the internal tides as well.

5. Comparison of SLA and the results of numerical experiments of semidiurnal internal waves

Numerical experiments using a two-layer model have been made to study the behavior of the semidiurnal internal tides in Suruga Bay (MATSUYAMA, 1985b). The results from the numerical model give spatial variations of the amplitude and phase of the internal tides. Therefore, it is interesting to make a comparison between characteristics of SLA with the semidiurnal period at the four stations in Suruga Bay and those obtained by the numerical model. The numerical model and the results are summarized as follows. The

model ocean is bounded by the coast and by an artificial boundary at the Suruga Bay mouth. The tidal fluctuations due to the internal mode were specified at the bay mouth to model the behavior of internal tides. The density difference between two layers of 3×10^{-3} and thickness of the upper layer of 50 m are used to represent the density stratification in the summer of 1978 (MATSUYAMA, 1985 b). The amplitude of interface displacements at the mouth of Suruga Bay is obtained in the following way; the tidal current amplitude, which was obtained from current measurements in the surface layer at the moored station (Sta. P in Fig. 1) near the mouth of Suruga Bay by INABA (1982), is considered to be mainly due to internal tides, because the velocity due to the surface tides is about 0.01cm/s at this site. The M_2 amplitude is 7.6cm/sec from 10 July to 31 July 1978, and is 2.0 cm/sec from 31 July to 15 August 1978 (INABA, 1982). From continuity in the surface layer, amplitudes of the interfacial displacements, Z , are estimated as

$$Z = VH/C,$$

where V is the amplitude of tidal current in the upper layer, H is the upper-layer thickness and C is the phase velocity of internal waves. With the value in Suruga Bay in the summer of 1978, i.e. $H=50$ m and $C=1.2$ m/sec, Z is taken as 200 cm with $V=5.0$ cm/sec.

Fig. 7 shows the time series of interface displacement and surface elevation due to the internal tides obtained at the monitor station at Uchiura tidal station. The surface elevation of about 4 cm occurs together with the interface displacement of about 18 m and is out of phase with it. The free surface displacement is opposite phase with the thermocline displacement (PHILLIPS, 1977; LEBLOND and MYSAK, 1978).

Fig. 8 shows the co-range and co-tidal chart calculated with amplitude of 200 cm for the M_2 constituent. The amplitude of the interface displacements of 200 cm is taken at the bay mouth as the open boundary condition. There are three amphidromic points in Suruga Bay. The innermost one is about 7 km distant from the northern coast and about

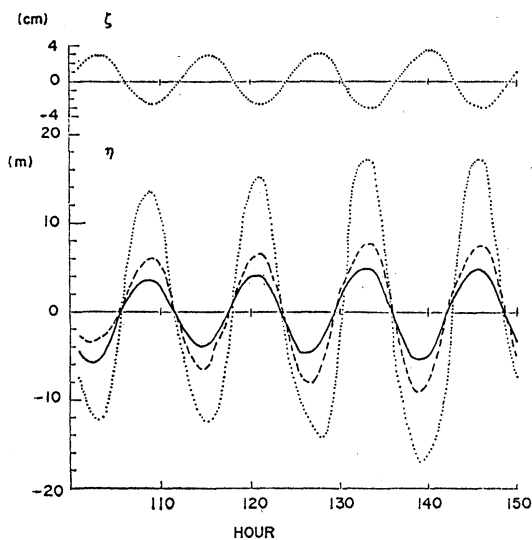


Fig. 7. Top: Time series of free surface elevation due to internal tides at Sta. U for the amplitudes of 2 m at the southern boundary obtained from the numerical experiment.

Bottom: Time series of thermocline displacement at Sta. U for various amplitudes at the southern boundary, 0.5 m (solid line), 0.8m (broken line), and 2m (dotted line) (after MATSUYAMA, 1985b).

13 km from the head of Uchiura Bay. We can see that the co-tidal lines turn cyclonically. The phases at Uchiura and Shimizu tidal stations are about 10.5 and 6.5 hours, respectively. This shows that Shimizu lags behind Uchiura by about 4 hours. The numerical experiments suggested that the internal waves with the M_2 constituent oscillate with nearly opposite phase between the eastern and western sides of the head of Suruga Bay under the density stratification in the summer of 1978 (MATSUYAMA, 1985b). This phase relation from the numerical experiment nearly agrees with that obtained from the phase difference of SLA between Uchiura and Shimizu shown in Fig. 4. The amplitude of the interface displacement under this situation is 18 m at Uchiura and 8 m at Shimizu, that is, the amplitude at Uchiura is 2.2 times as large as that at Shimizu. This ratio is consistent with the difference of SLA ampli-

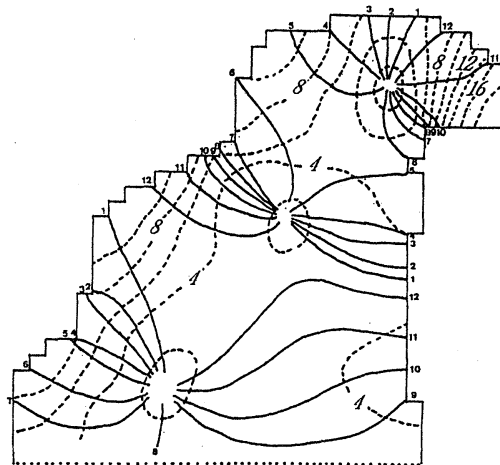


Fig. 8. Co-range (broken lines) and co-tidal (solid lines) chart of thermocline displacement for the M_2 constituent obtained from the numerical model under a stratification in summer, 1978. Units for co-range line are m and for co-tidal, hour.

tudes between Uchiura and Shimizu for the M_2 constituent. Amplification of the semi-diurnal internal tides in Uchiura Bay is considered to be due to resonance to the longitudinal internal seiche in Uchiura Bay (MATSUYAMA, 1985b). The amplification of the M_2 constituent of SLA near the head of Suruga Bay agrees with that of the numerical experiment and is due to resonance with the longitudinal internal seiche of Uchiura Bay (see Fig. 8).

6. Summary and discussion

The influence of internal waves on the sea level elevation has been studied by using sea level and temperature records in subsurface layers at Uchiura located at the eastern side of the head of Suruga Bay during the period from July to August 1978. The sea level anomaly (SLA) is defined as the difference between the observed sea level (RSL) and the predicted sea level (PSL). The characteristics of SLA with the tidal periods are similar to those of the internal tides deduced from the subsurface temperature measurements at Uchiura as follows; (1) the M_2 constituent is

predominant, (2) the K_1 constituent is the smallest among the four constituents, while it is the second largest magnitude in sea level fluctuations.

The SLA variations at Uchiura, Shimizu, Omaezaki and Minamiizu in Suruga Bay are analyzed during the above period. The amplitudes of SLA are large near the head with those at the mouth. The maximum amplitude of SLA for the M_2 constituent amounts to 5.4 cm at Uchiura, but, it is 2.4 cm at Shimizu, 2.1cm at Minamiizu, and 1.2cm at Omaezaki. The maximum amplitudes of the other major tidal constituents (S_2 , K_1 , and O_1) of SLA range from 0.8 to 2.0 cm at all four stations. For the M_2 constituent, the phase at Uchiura is nearly out of phase to that at Shimizu. Numerical experiments for the M_2 constituent (MATSUYAMA, 1985b) support the amplitude difference of SLA between Uchiura and Shimizu. The phase difference of about 180 degrees (6 hours) obtained from the SLA variations between these two stations is slightly larger than that of about 120 degrees (4 hours) from the numerical experiments. These results suggest that the SLA variations with the M_2 constituent are mostly due to the internal tides. The amplification of the M_2 constituent near the head of Suruga Bay is considered to be due to resonance with the longitudinal internal seiche of Uchiura Bay (MATSUYAMA, 1985a).

The amplitude and phase of SLA for the M_2 constituent are not always in quantitative agreement with those of the internal tides deduced from temperature measurements in the subsurface layer and of the numerical experiments. The difference is considered to be mainly due to the estimations of amplitude and phase of the internal tide from temperature measurements and the numerical model. The analysis was made by assuming a prominent lowest mode of the internal tide. It is required to consider the contribution of higher modes of internal tides (RATTRAY *et al.*, 1969). Long-term measurements of the vertical displacement were not made throughout the water column, but were made in the subsurface layer near the coast. Tempera-

ture measurements at only a few fixed depths in the subsurface layer (4, 12, and 16 m) cannot always give reliable information about the vertical movement of water by the internal wave because of the shallowness of the observation depths. The numerical experiments were carried out by using a two-layer model.

This study is a first step to estimate the influence of the internal wave on the sea level. Therefore, the study will be continued in the future to make long-term measurements of the vertical displacements with a thermistor chain from the surface to the bottom at the head of Suruga Bay and to obtain data with high accuracy.

References

- INABA, H. (1982): Current and temperature variations in Suruga Bay. Dr. Thesis, Tokai University. 121pp.
- KIELMAN, J. and W. DÜNG (1974): Tidal and sub-inertial fluctuations in the Florida Current. *J. Phys. Oceanogr.*, **4**, 227-236.
- LEBLOND, P.H. and L.A. MYSAK (1978): Waves in the Ocean. Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam. 602 pp.
- MATSUYAMA, M. (1985a): Internal tides in Uchiura Bay — Subsurface temperature observations near the bay head. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 135-144.
- MATSUYAMA, M. (1985b): Numerical experiments of internal tides in Suruga Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 145-156.
- MATSUYAMA, M. and T. Teramoto (1985): Observations of internal tides in Uchiura Bay. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 39-45.
- PHILLIPS, O. M. (1977): The Dynamics of the Upper Ocean (2nd ed). Cambridge Univ. Press, Cambridge. 336pp.
- PROUDMAN, J. (1954): Dynamical Oceanography. Methuen & Co. Ltd., London. 409pp.
- RATTRAY, M. Jr., J. G. DWORSKI and P.E. KOVALA (1969): Generation of long internal waves at the continental slope. *Deep-sea Res., Suppl.* **16**, 179-195.
- TAMURA, Y., M. OOE and M. TAKAHASHI (1986): Sea level spectrum off the Tokai coast. *Ocean Sci.* **18**(7), 442-446. (in Japanese)

駿河湾沿岸における海面変位に対する内部潮汐の影響

松山 優治・大脇 厚

要旨: 駿河湾奥部の内浦湾で1978年夏に測定した表層下の水温と沿岸潮位を用いて、内部潮汐が海面変動に及ぼす影響を調べた。内部潮汐による海面変位(SLA)を実測値の差として定義したところ、内部潮汐による水温変化とSLAの主要4分潮の特性は良く似ていた。SLAの変動の最大振幅は M_2 分潮で4.0~5.3cmに達し、最小は K_1 分潮で1.0cm以下であった。次に M_2 分潮に注目して、駿河湾の内浦、清水、南伊豆、御前崎の4点の潮位から、前述と同一期間のSLAを求め比較した。湾奥に近い内浦と清水は M_2 が卓越した。振幅を比較すると、概算で内浦が清水の2倍、南伊豆の2.5倍、御前崎の4倍で、また内浦と清水は逆位相の関係にあった。これは二層モデルによる M_2 に関する内部潮汐の数値実験結果と比較的に良く合うことが判った。

Prevention of vibration in small FRP fishing boats*

Takatomo KOIKE**

Abstract: Vibration measurements were made on the deck of five small FRP fishing boats sized 4 - 6 tons. Horizontal vibration exceeding 40 mm/s was noted in one of the boats. Assuming that this heavy vibration was ascribable to the resonance of the lateral vibration excited by the propeller shafting system, reinforcements were arranged for the bearing base located in the proximity of coupling between the propeller shaft and intermediate shaft. As the result the horizontal vibration could be reduced to 12 mm/s or less. Vibration measurements on the bottom plating immediately above the propeller in three of the five boats have shown that there was vertical vibration exceeding 170 mm/s in one of them. In view of the facts that the number of propeller blades of this boat is three and the gear ratio of the reduction gear is 3.05, the high intensity of vertical vibration was considered to be attributable to the resonance caused by the main engine excited force and the propeller excited-force, and the number of propeller blades was changed to four. As a result, the vertical vibration at a rotational speed of 2,000 rpm or more of the main engine could be reduced to 1/5 or less, with the eventual benefit of successfully preventing peeling of breast scales of skin-jack.

1. Introduction

Hull vibrations of small FRP fishing boats used for coastal fishing operations sometimes have adverse effects upon fishing equipment and tackles, fish catches, and people. However, very few reports have so far been available except those by KOIKE (1989, 1990). In KOIKE's (1989) report, measurements were taken on vertical and horizontal vibration on the deck of five small FRP fishing boats in an attempt to grasp the actual state of vibration in fishing boats falling within this category, and horizontal vibration exceeding the gravitational acceleration was observed in B-Maruru, one of the five fishing boats.

The vibration measurements taken with C-Maruru, D-Maruru and E-Maruru of the five boats in a space inside the bottom shell plating directly above the propeller have shown that a vertical vibration as much as three times the gravitational acceleration was generated in D-Maruru (KOIKE, 1990).

Consequently, reinforcements were made to the installation of the bearing base in the proximity of coupling between the propeller shaft and intermediate shaft in B-Maruru. On

the other hand, the number of propeller blades was changed from three to four in D-Maruru. As a result, horizontal vibration on deck and vertical vibration at the bottom shell plating right above the propeller could be reduced. The measured results after these modifications are reported.

2. Vibration measuring procedures for fishing boats

The principal particulars of B-Maruru and D-Maruru that were modified for the present experiments as given in Table 1.

Measuring procedures used in B-Maruru

Vertical and horizontal vibrations of the deck were measured by connecting a 50 mm/G accelerometer to a signal analyzer fitted to each frame in the longitudinal direction under sailing conditions without slamming while proceeding at the rotational speed of the main engine of 1,920 rpm.

Measuring procedures used in D-Maruru

Vibrations of the bottom shell plating immediately above the propeller were measured while the boat was proceeding at varying rotational speeds of 100 rpm interval from the minimum to the maximum rpm. The measurements at the bottom shell were taken by arranging accelerometers of a sensitivity of 10 mm/G in three axial directions, fore-aft,

*Received August 10, 1990

**Laboratory of Fishing Technology and Engineering, Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

Table 1. Principal dimension of the fishing boats.

| Ship | Mater. | Tonnage | Length Breath Depth | | | Power HP | Reduction ratio | Propeller(1st meas.) | | | Propeller(2st meas.) | | |
|-------|--------|---------|---------------------|-------|-------|----------|-----------------|----------------------|-----------|------------|----------------------|-----------|------------|
| | | | L (m) | B (m) | D (m) | | | blade | dia. (mm) | pitch (mm) | blade | dia. (mm) | pitch (mm) |
| B-Mar | FRP | 6.45 | 11.82 | 3.14 | 1.12 | 360 | 3.04 | 3 | 940 | 980 | 3 | 940 | 980 |
| D-Mar | FRP | 4.82 | 10.47 | 2.67 | 0.76 | 320 | 3.05 | 3 | 840 | 960 | 4 | 840 | 950 |

vertical and horizontal directions. The measured values were amplified 10 times and 100 times, and recorded with a cassette data recorder.

3. Analysis method

Vibrations of the deck of B-Mar, which were obtained directly using a signal analyzer, were subjected to frequency analysis from 0 to 100 Hz at 1 Hz intervals, and the power spectra were recorded on a floppy disk of a personal computer through an RS-232C interface.

Analog data of vibrations of the bottom shell plating of D-Mar were inputted into the signal analyzer, subjected to frequency analysis from 0 to 200 Hz at 1 Hz intervals, and the power spectra thus obtained were recorded on floppy disk of a personal computer as in the case of B-Mar. A 5 Hz Hi-pass filter was, however, used for the low frequency region.

The power of the component frequency obtained from the contributory factor of the high frequency component was determined in terms of acceleration (mm/s^2). In view of the fact that it is the normal practice to use acceleration in gal (cm/s^2) when dealing with the effects of vibration on human bodies, and to use speed (mm/s) when handling hull vibrations, the accelerations obtained were converted into speed. The vibration components created by the main engine-excited force and the propeller-excited force are assumed to be included in these power spectra.

If the basic frequency of vibration excited by the main engine is denoted by F_e Hz, and the rotational speed of the engine at that time is denoted by N_e rpm, the following equation holds:

$$F_e = N_e / 60 \quad (1)$$

and this was assumed as the primary vibra-

tion by the main engine.

If N_p denotes the rotational speed of the propeller when the gear ratio of the reduction gear is denoted by G_r , the basic frequency F_p of the propeller-excited vibration is expressed by the following equation,

$$F_p = B_n (N_p / 60) = B_n ((N_e / G_r) / 60) \quad (2)$$

where the number of propeller blades is denoted by B_n , and this was assumed as the primary vibration by the propeller.

4. Results

Horizontal vibration of B-Mar

If the ship length (m) is put on the x-axis, frequency of vibration (Hz) on the y-axis, and power of vibration (mm/s) on the z-axis, the power spectra in the lateral direction for B-Mar before modification are as shown in Fig. 1. There are distinct peaks at the location of the main engine and the areas fwd and aft of it. The frequency of this distinct power agrees with the primary frequency 32 Hz, which was determined by substituting the rotational speed of 1,920 rpm of the main engine in Equation (1). Furthermore, the frequencies of the distinct power spectra of the four other FRP fishing boats, which were measured concurrently, were also identified to be the primary vibration caused by the main engine.

Fig. 2 shows the primary horizontal vibrations of the five FRP fishing boats using the ship length L_{pp} as references. The figure shows the distinct power spectra of 30.0 mm/s afore the main engine, 46.8 mm/s at the location the main engine is installed, 37.5 mm/s abaft the main engine, and 18.2 mm/s at the end of the stern of B-Mar. In the other four fishing boats, the power spectra of 13.6 mm/s at the end of the stern of A-Mar and 13.3 mm/s of E-Mar represent large

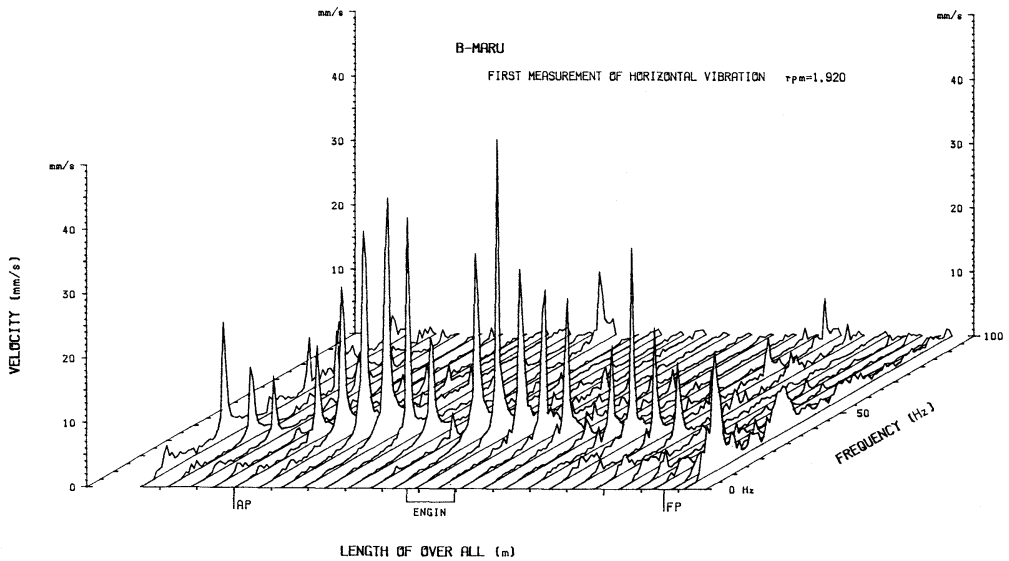


Fig. 1. Power spectrum of horizontal vibration of B-Marzu at the 1st measurements.

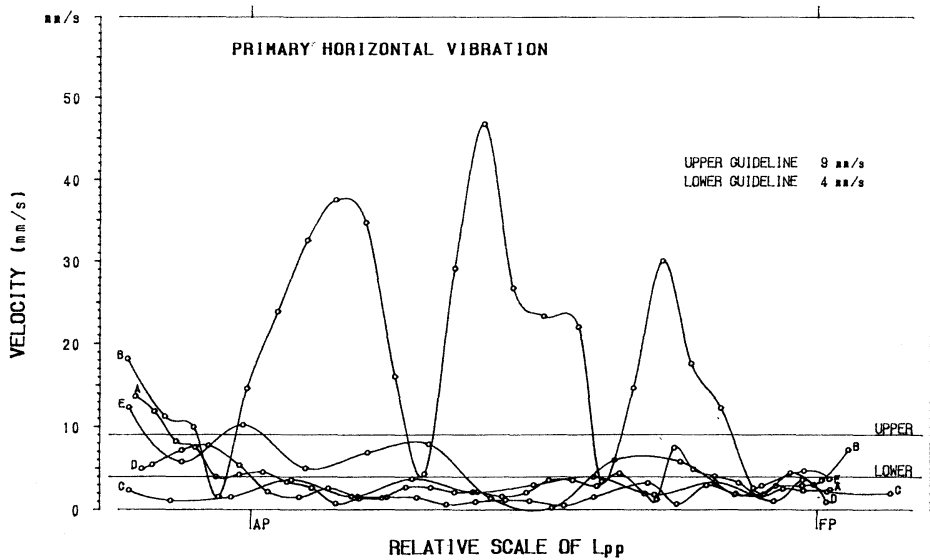


Fig. 2. Primary horizontal vibration of five fishing boats.

values of power spectra, and with the exception of 10.2 mm/s at AP of E-Marzu, all of the power spectra of vibrations measured in these four boats were 10 mm/s or less. Thus, it was found that the horizontal vibrations of B-Marzu were relatively large as compared with those of the other boats.

The horizontal lines of 4 and 9 mm/s in the Fig. 2 are the indexes corresponding to vibration in the living quarters specified in ISO 6954 (Guidelines for the overall evaluation of vibration in merchant ship) (Aoki *et al.*, 1981 a), where the values in the range of 4-9 mm/s are considered to be in the average area.

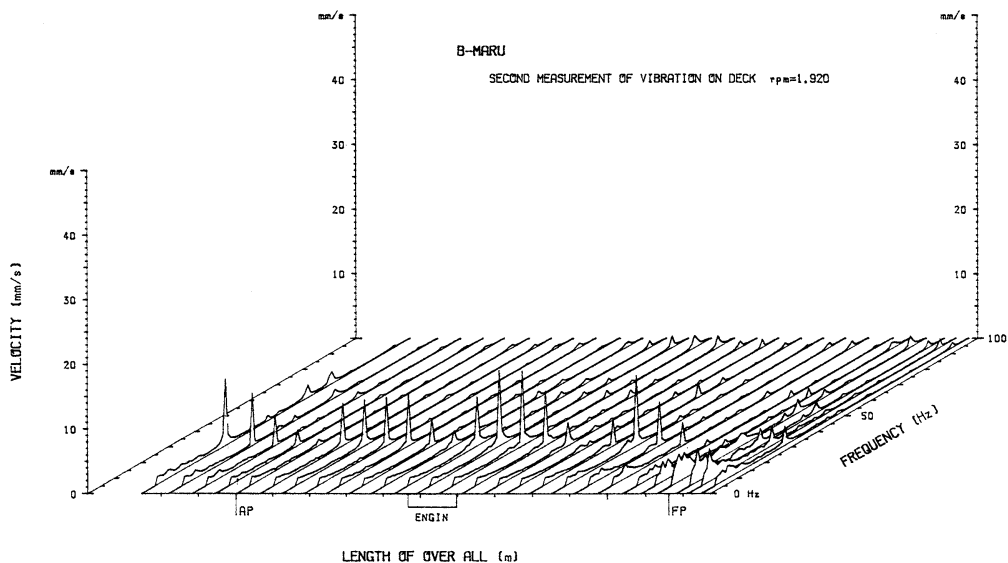


Fig. 3. Power spectrum of horizontal vibration of B-Marau at 2nd measurements.

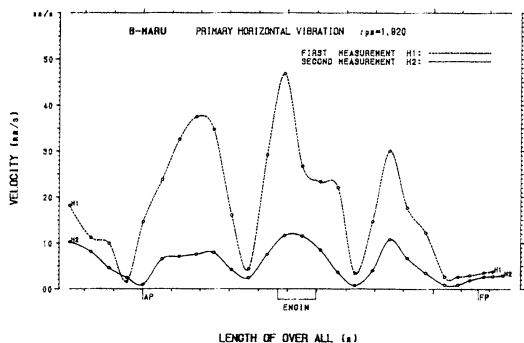


Fig. 4. Primary horizontal vibration of B-Marau. H1,1st measurements; H2, 2nd measurements.

These indexes are applied to merchant ship with a length of 100 m and over, but are not applied to small fishing boats. However, the measured power spectra of the vibration of B-Marau are shown to be far greater than these indexes.

It was assumed from the results of measurements that the cause of the horizontal vibration in B-Marau was the bending moment created by the misalignment between the propeller shaft and the intermediate shaft, and the eccentricity involved in their coupled rotation (AOKI *et al.*, 1981 b; YOSHIDA and KANEDA, 1972; YOSHIDA and NISHIDA, 1975).

Considering the above, the shell plating was partially cut, and the bearing base was reinforced in the proximity of coupling between the propeller shaft and intermediate shaft, located at the aft bulkhead of the living quarters.

The second measurements were taken after completing modification work for B-Marau. Fig. 3 shows the measured power spectra. When compared with the first measurements (Fig. 1), the figure shows a remarkable reduction of horizontal vibration. Primary horizontal vibration induced from the first and second measurements of B-Marau are shown in Fig. 4. It can be seen from the figure that the intensities of vibration were reduced from 30.0 mm/s to 10.8 mm/s in the area afore the main engine, from 46.8 mm/s to 11.6 mm/s at the installed position of the main engine, and from 37.5 mm/s to 7.9 mm/s in the area abaft the main engine.

Vibration of the bottom plating of D-Marau

If rotational speed (rpm) of the main engine is taken on the x-axis, frequency of vibration (Hz) on the y-axis, power at each rpm (mm/s) on the z-axis, the power spectra of the bottom plating of D-Marau obtained at the first attempt to take measurements (before modification) are as shown in Fig. 5.

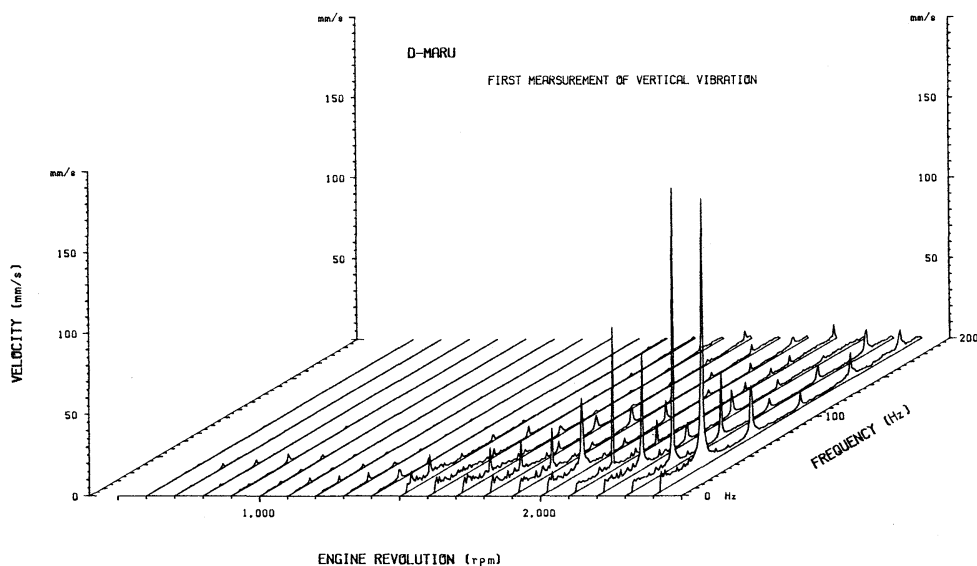


Fig. 5. Power spectrum of vertical vibration at the bottom of D-Marui at the 1st measurements.

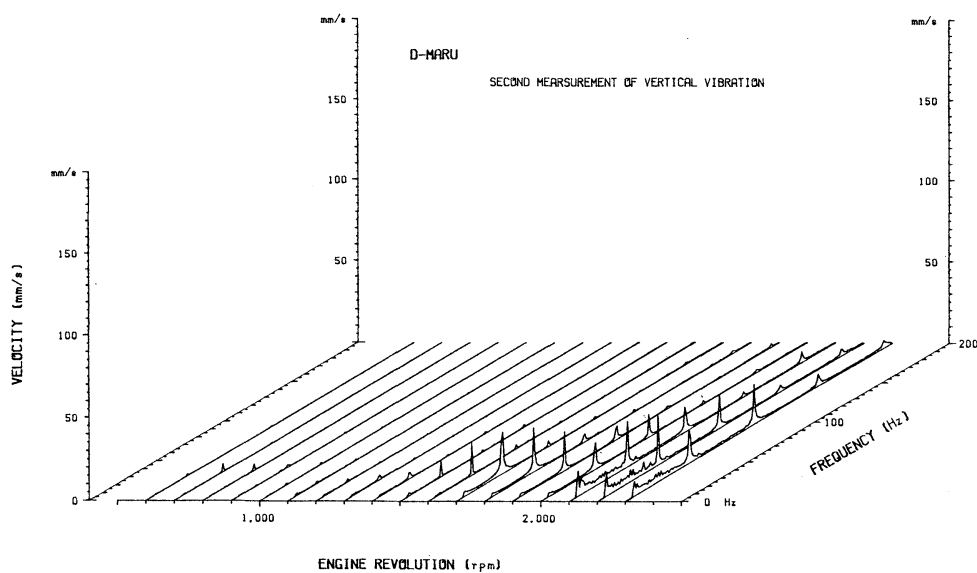


Fig. 6. Power spectrum of vertical vibration at the bottom of D-Marui at the 2nd measurements.

The figure shows the large power spectra; i.e. 173.2 mm/s at the rotational speed of the main engine of 2,300 rpm, and 44.7 mm/s even at 2,000 rpm. In the absence of any evidence to prove propeller deformation, it was assumed that vibration of D-Marui was not excited by the propeller itself (Niwa, 1972).

On the other hand, the fundamental fre-

quencies of main engine-excited vibration F_e and propeller-excited vibration F_p are determined from Equations (1) and (2) as shown below on the basis of the fact that the gear ratio of reduction gear G_r is 3.05 and the number of propeller blades is three.

$$F_e \text{ at } 2,300 \text{ rpm: } 38.3 \text{ Hz}$$

$$F_p \text{ at } 2,300 \text{ rpm: } 37.7 \text{ Hz}$$

$$F_e \text{ at } 2,000 \text{ rpm: } 33.3 \text{ Hz}$$

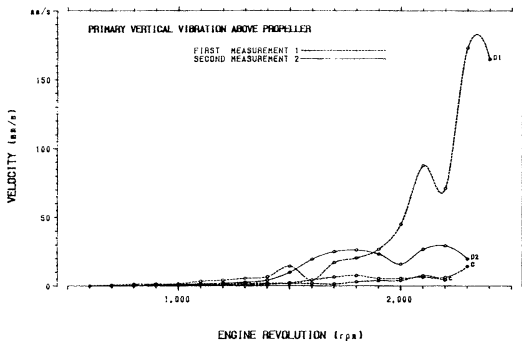


Fig. 7. Primary vertical vibrations at the bottom of three fishing boats.

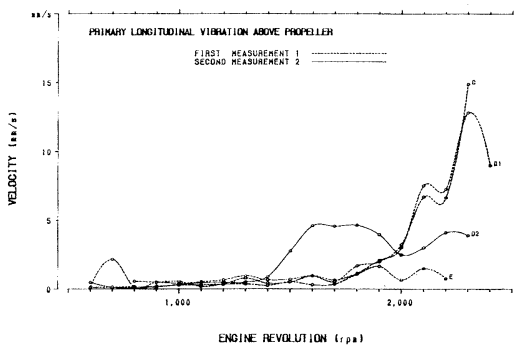


Fig. 8. Primary longitudinal vibrations at the bottom of three fishing boats.

F_p at 2,000 rpm: 32.7 Hz

The difference in fundamental frequency was extremely small at 0.6 Hz for both rotational speeds (rpm) of the main engine. It was therefore inferred from the approximate coincidence of fundamental frequencies of the main engine-excited vibration and propeller-excited vibration that resonance was caused by these vibrations. In this specific connection, the number of propeller blades was changed from three to four to change the fundamental frequencies of these vibrations. The second vibration measurements were taken after changing the number of propeller blades.

Fig. 6 shows the power spectra of the vibrations measured at the second attempt. It was verified that the peak of the power spectra was identified in the propeller-excited primary vibrations, where a considerable reduction from the first measurements was noted.

In order to compare the conditions for reducing the vibration of the bottom plating of D-Marui with those of other two fishing boats, the measured values of C-Marui and E-Marui at their first measuring attempt, are shown in Fig. 7. If we compare the results of the first measurement (D1) with the second measurement (D2) of D-Marui, large reductions are seen from 173.2 mm/s to 19.9 mm/s at 2,300 rpm, and from 87.6 to 27.0 mm/s at 2,100 rpm, but there was an increasing tendency from 20.5 mm/s to 26.3 mm/s at 1,800 rpm and from 4.3 mm/s to 19.5 mm/s at 1,600 rpm. If we consider that the largest power spectrum with C-Marui and E-Marui was 14.3 mm/s at 2,300 rpm of C-Marui, the intensity of vibration of the bottom plating in D-Marui is still large compared with those of C-Marui and E-Marui, though it could be largely reduced by changing the number of propeller blades.

Fig. 8 shows the primary vibrations in the longitudinal direction of the three fishing boats. In D-Marui, the longitudinal primary vibration has been reduced from 12.8 mm/s to 4.1 mm/s at 2,300 rpm, and from 7.5 mm/s to 3.0 mm/s at 2,100 rpm, but it has increased from 0.9 mm/s to 4.6 mm/s at 1,600 rpm, and from 1.1 mm/s to 4.6 mm/s at 1,800 rpm. However, it can be said that these power spectra are quite small when compared with the primary vertical vibration.

5. Discussion

Horizontal vibration of B-Marui

From the results of the first and the second measurements, the horizontal vibration of B-Marui before modification is considered to be reasonably attributable to the moment created by the misalignment of the propeller shaft and intermediate shaft. The statement of the fishermen that their fatigue at sea has been mitigated by the modification suggests that the reduction of vibration has contributed to reducing the fishermen's fatigue.

Bottom vibration of D-Marui

The vertical bottom vibration of D-Marui could be successfully reduced from the largest vibration of 173.2 mm/s at 2,300 rpm to 19.9 mm/s, a reduction to approximately 1/8, by changing the number of propeller blades

from three to four. It may be interpreted that the resonance of main engine-excited vibration and propeller-excited vibration was the cause of the vibration.

Vibration increased at the rotational speed of the main engine in the range between 1,600 and 1,800 rpm. The increase in the number of propeller blades is supposed to reduce variation of hydrodynamic pressure by the propeller (TANIGUCHI, 1958). However, the propeller diameter of 840 mm remains unchanged and only the propeller pitch has been changed from 860 to 850 mm, which is insignificant. It is therefore considered that the increase in thrust created by the propeller under the same rotational speed has contributed significantly to the vibration of hydrodynamic pressure acting on the bottom plating.

Furthermore, the propeller tip clearance of 16.8% of D-Marun, which is smaller than 20 to 30% in ordinary steel ships and 25% in high-speed patrol boats of the Maritime Safety Agency, can be counted as one of the reasons for the large bottom vibration caused by the propeller-excited force.

On the other hand, when the number of propeller blades was three, captured skip-jack were stored not in the aft fish hold, but in the fwd fish hold to avoid peeling of breast scales. However, the use of the aft fish hold became possible after changing the number of propeller blades to four, thus contributing to the prevention of degrading of product quality arising from peeling off scales.

6. Concluding remarks

The horizontal vibration of B-Marun was caused by the improper installation of the propeller shaft and intermediate shaft, but the

distortion of the hull of small FRP fishing boats caused by everyday grounding can often lead to similar difficulties.

The bottom vibration of D-Marun is considered to be ascribable to the resonance of the main engine-excited vibration and propeller-excited vibration.

It is necessary to design a hull form that allows ample tip clearance, so that propeller-induced pressure variation can be minimized.

Recognizing the growing age of crew members serving aboard small fishing boats, the author considers that studies on reducing hull vibration should be made to reduce fatigue among crew members at sea.

References

- AOKI, H. *et al.* (1981a): Guide to Ship Vibration. Nippon Kaiji, Tokyo. p. 202-203.
- AOKI, H. *et al.* (1981b): Guide to Ship Vibration. Nippon Kaiji, Tokyo. p. 341-318.
- KOIKE, T. (1989): Vibration of analysis of coastal FRP fishing boats. J. Tokyo Univ. Fish., **76**, 143-151.
- KOIKE, T. (1990): Vibration of bottom plate above the propeller for small FRP fishing boats. J. Tokyo Univ. Fish., **77**, 247-255.
- NIWA, S. (1972): Kousokutei kougaku. Kajisha, Tokyo. p.201-203. (in Japanese)
- TANIGUCHI, N. (1958): Propera kinbou no atsuryoku hendou. Trans. West-Jap. Soc. Naval Archit., **16**, 21-22. (in Japanese)
- YOSHIDA, M. and T. KANEDA (1972): The results of lateral and axial vibrations of the shafting and the hull vibration, and its consideration. J. Mar. Eng. Soc. Jap., **7**, 617-618.
- YOSHIDA, M. and K. NISHIDA (1975): The results between the lateral vibration of shafting and hull vibration actual ship. J. Mar. Eng. Soc. Jap., **10**, 766-767.

FRP 小型漁船の振動防止と改善

小池孝知

要旨：5隻の4～6トン級のFRP小型漁船で甲板上の振動を計測した結果、そのうちの1隻に40mm/sをこえる水平方向の振動がみられた。この原因をプロペラ軸系による横振動の共振現象と推察し、プロペラ軸及び中間軸の継手部分の受台に補強を施した結果、水平方向の振動を12mm/s以下までに減少させることができた。また、3隻についてプロペラ直上の船底における振動を測定した結果、1隻に170mm/sをこえる垂直方向の振動がみられた。この漁船のプロペラ翼数は3枚で減速機の減速比が3.05であることから主機関及びプロペラの起振力による共振現象と推察し、プロペラ翼数を4枚に取り替えた。その結果、主機関の回転が2,000rpm以上での垂直方向の大きな振動は1/5以下にまで減少させることができ、カツオの胸甲部の鱗の剥脱の防止ができた。

イカ釣りテグスの光学的特性*

中村 善彦**・宮崎 多恵子**・松生 洽**

Optical characteristics of monofilament nylon gut in squid angling fishery*

Yoshihiko NAKAMURA**, Taeko MIYAZAKI** and Kanau MATSUIKE**

Abstract: In squid angling fishery, the angling rate changes not only by jig but also by angling gut. Squids have so excellent visual sense that the difference in angling rate is considered to be caused by changes in the optical characteristics of angling gear. In this study, the reflected luminance of angling gut was measured at different diameters, and with different operating histories and qualities. Both transparent and dark nylon monofilament guts were selected as experimental material. Their histories were unused, 3 days and 7 days. The reflected luminance increased as the diameters of angling gut increased; angling gut quality also caused changes. In the case of angling guts with histories, the standard deviation and variation of the reflected luminance was a few times larger than that of unused angling gut.

1. 緒言

イカ釣り漁業における釣獲率はイカ角の色や材質ばかりでなく、テグスの太さや汚れにも影響される。このことに関して、小倉ら(1976)は太さや使用履歴の異なるテグスの釣獲率について比較検討した。この場合、イカ角は同じ条件とし、その影響が釣獲率に現れないようにした。その結果、太いテグス(50~40号)、中太テグス(30~26号)および細いテグス(25~20)の間には釣獲差が認められ、とくに太いテグスの間では顕著な差が認められた。同じく、未使用テグスと使用履歴を有するテグスの間には有意な釣獲差が認められた。また、イカ釣り漁船における聞き取り調査によると、イカ釣りテグスは以前に比べて細い、14号から35号のテグスが使用され、取り替え周期も早くなっている。

これらのことから、イカ釣り漁船では釣獲率を高めるために細目のテグスを使い、交換を早くしているものと理解された。このように、テグスの太さや使用履歴に伴って釣獲率が変化するのに、テグスにどのような物理的変

化が生じたのかについては十分に解明されていない。漁具付近における魚の行動は主に視覚にもとづくこと(Blaxter *et al.*, 1964)や、イカが脊椎動物のように優れた視覚を持っていること(原, 1968)は良く知られており、釣獲差はテグスの光学的特性に起因するものと考えられた。

そこで、本研究ではテグスの反射輝度を太さ、品質および使用履歴別に測定し、テグスの光学的特性を明らかにすることを試みた。さらに、測定結果に基づいてイカのテグスに対する識別限界について検討した。

2. 方法

2-1 実験装置

テグスの反射輝度を測定した装置の概要をFig. 1に示す。反射輝度は水中の明るさを一定に保って測定するため、テグスの測定位置すなわち輝度計の位置を固定し、テグスの測定箇所を順次移動できるように工夫した。実験に用いた水槽の仕様は、長さ300 cm、幅60 cm、深さ60 cmであり、水槽前面は観測用に透明なアクリル板とし、前面を除いた内部は黒色に塗装した。リールR₁、R₂、測長計Mおよび滑車F₁~F₆から構成される糸繰り装置を製作し、水槽に取りつけた。照明には10

*1989年12月20日受理 Received December 20, 1989.

**東京水産大学, 〒108 東京都港区港南 4-5-7
Tokyo University of Fisheries, Konan4-5-7,
Minato-ku, Tokyo, 108 Japan.

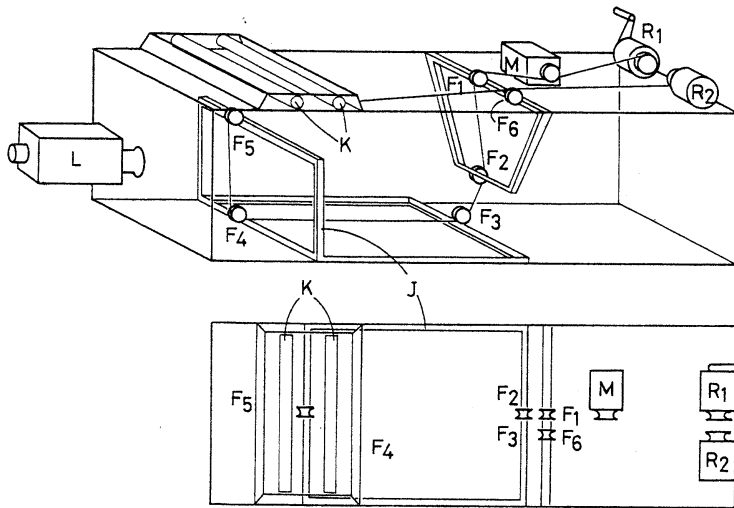


Fig. 1. Diagram illustrating the experimental tank (300×60×60 cm) and equipment used in this study.
R: Reel. M: Length. F: Guide roller. K: Light. L: Luminance meter.

Wの蛍光灯2基を用い、測定するテグスを挟むように水槽直上に取り付けた。水槽内の測定部（水面下15 cm）における下方向照度は光束消散係数が 0.1 m^{-1} において、約300 lxであった。なお、照度の測定には空中では 1M^{-3} 、海中では水中分光照度計をそれぞれ用いた。水槽の水には濾過海水（光束消散数 0.1 m^{-1} ）を用いた。

供試テグスは、ナイロン単繊維のナチュラルと呼ばれる透明テグスおよび透明テグスを染めて暗透明にしたテグスの2種類で、それぞれについて未使用のテグスおよび既に操業に用いたテグスを用いた。テグスの使用履歴はイカ釣漁船、康佑丸が3日間および7日間操業に用いたものである。テグスの太さは現在よく使用されている26, 28および30号とし、未使用で透明なテグス T_n については、太さによる違いを測定するため、10, 20, 30, 35, 40および50号とした。各テグスの号数と太さ(mm)の関係は標準的にはTable 1に示す通りである。また、テグスの種類および使用履歴は次の記号で表した。

未使用テグス 3日使用テグス 7日使用テグス

透明テグス T_n $T_s 3$ $T_s 7$
 暗透明テグス P_n $P_s 3$ $P_s 7$
 反射輝度 (cd/m^2) の測定には輝度計 (Topcon, BM-

Table 1. Monofilament conversion table.

| | | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|
| Gut number | 10 | 20 | 24 | 26 | 28 | 30 | 40 | 50 |
| Diameter(mm) | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.84 | 0.87 | 0.9 | 1.0 | 1.2 |

5, 重心波長 555 nm)を用い、水槽前面のアクリル板にレンズを接して設置した。輝度計と供試用テグスとの距離は糸繰り装置のアンクル部Jを移動することによって調整した。ここでは輝度計から供試テグスまでの距離を測定距離とした。また、輝度計の測定径は 0.2° とし、測定距離が5 cmの場合は近接レンズを用いた。

2-2 測定方法

反射輝度の測定は次の手順で行った。1)イカ釣り具からイカ角および錘を取り除き、長さが80 cmのテグスを各太さごとに6本を接合した。供試テグスの両端には誘導用のテグスを接続した。2)誘導用のテグスと供試テグスを一度リール R_2 に巻き取り、滑車Fおよび測長計Mを通してリール R_1 に誘導した。3)リール R_1 のハンドルを廻し、テグスを R_1 に巻き取ることで、供試テグスの測定箇所を上端から下端までまんべんなく移動し、順次、反射輝度を測定した。1回の巻取り量は測長計Mの4分の1回転とし、これは長さで約14 mmであった。

測定は未使用のテグスについては各太さごとに、それぞれ14 mm間隔で、20点ずつ行った。使用履歴を有するテグスについては、1本について約70点の測定を6本のテグスについて行った。なお、測定回数が未使用テグスで少ないのは反射輝度の変化が小さく、安定していたことによる。測定は空气中、清澄な海水中（光束消散係数 0.1 m^{-1} ）および濁った海水中（ 0.5 m^{-1} ）において、テグスまでの距離を5 cmおよび50 cmに変えて、テグスの種類、太さおよび使用履歴を変えて行った。

Table 2. Mean luminance (cd/m^2), standard deviation (cd/m^2) and variation of transparent nylon monofilament gut at different diameters.

| | Number (Diameter in mm) | | | | | |
|--------------------|-------------------------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | 10(0.5) | 20(0.7) | 30(0.9) | 35(0.95) | 40(1.0) | 50(1.2) |
| Mean luminance | 0.225 | 0.235 | 0.257 | 0.259 | 0.256 | 0.266 |
| Standard deviation | 0.012 | 0.012 | 0.009 | 0.009 | 0.010 | 0.015 |
| Variation | 0.053 | 0.051 | 0.035 | 0.034 | 0.039 | 0.056 |

Table 3. Mean luminance (cd/m^2), standard deviation (cd/m^2) and variation of dark nylon monofilament gut at different diameters.

| | Number | | |
|--------------------|--------|-------|-------|
| | 26 | 28 | 30 |
| Mean luminance | 0.130 | 0.132 | 0.133 |
| Standard deviation | 0.010 | 0.011 | 0.012 |
| Variation | 0.077 | 0.083 | 0.090 |

3. 結果と考察

3-1 テグスの太さと反射輝度の関係

Fig. 2 は、清澄な海水中（光束消散係数 0.1 m^{-1} ）において、テグスの太さを変えた場合の反射輝度を、未使用の透明 Tn テグスおよび暗透明 Pn テグスについて示したものである。測定距離は 5 cm である。各シンボルマークは、同じ太さのテグスについて 14 mm 間隔で 20 個所を測定し、平均したものである。縦の太い線は標準偏差を示したものである。

同図から、同じ太さのテグスにおいても反射輝度は変化し、テグスの太さが増すと反射輝度が強くなることが

判った。特に、Tn テグスの 10 号と 50 号の間では顕著な差が認められた。また、Tn テグスの反射輝度は Pn テグスの約 2 倍であり、品質によってかなり異なることが判った。テグスの太さ D (mm) と反射輝度 L (cd/m^2) の間には $L=AD+B$ の関係が成立し、Tn テグスの場合には $A=0.063$, $B=0.195$ であり、Pn テグスでは $A=0.055$, $B=0.084$ が得られた。同図からテグスの太さが 1 mm 増した時の反射輝度の増加は、両者ともほぼ同じ傾向を示した。

Tn テグスおよび Pn テグスの反射輝度の平均、標準偏差および変動係数を整理し、それぞれ Table 2 および Table 3 に示す。Tn テグスの標準偏差は、50 号でやや大きくなるが、どの太さにおいてもほぼ、 $0.01 \text{ cd}/\text{m}^2$ と変動が小さい。Pn テグスの標準偏差についても同様のことが認められた。ただし、Tn テグスと Pn テグスでは平均輝度が異なるので、変動係数を用いて比較すると、Tn テグスでは $0.03\sim 0.06$ であり、Pn テグスでは $0.08\sim 0.09$ になり、後者でやや大きい変動が認められた。

以上は水槽内の明るさが 300 lx で、かなり明るい環境における結果である。漁場において、スルメイカは

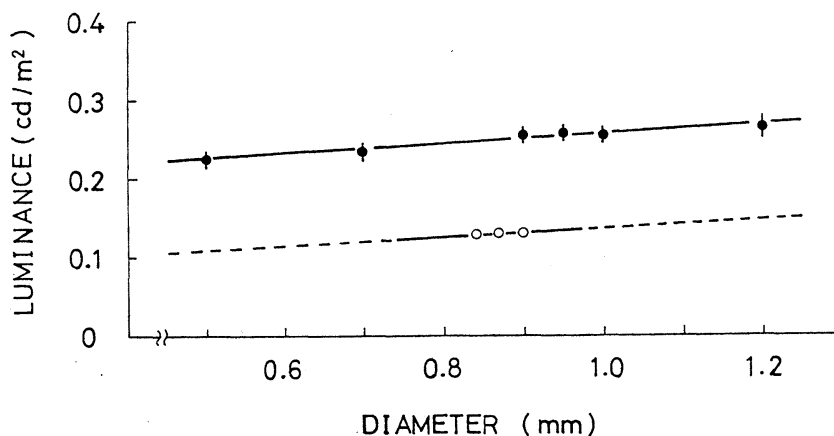


Fig. 2. Reflected luminance for different diameters of nylon monofilament gut. Symbols ● and ○ stand for transparent and dark gut, respectively.

Table 4. Calculated luminance (cd/m^2) of the transparent gut for different diameters in turbid water of 0.3 m^{-1} with underwater brightness of 0.01 lx at a distance of 1 m apart.

| Gut number | 20 | 30 | 50 |
|------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Luminance | 6.13×10^{-6} | 6.6×10^{-6} | 6.95×10^{-6} |

10^{-2} lx 程度の明るさまで感知しうるものと推察されている (柴田, 1967)。そこで、釣獲差の認められたテグスについて、低照度下における反射輝度 L (cd/m^2) を次式を用いて求めた。

$$L = L_0 \exp(-\alpha r) \quad (1)$$

ただし、 L_0 は距離 0 m における反射輝度 (cd/m^2) であり、ばらつきがあることから平均輝度に標準偏差を加えた値を用いた。 α は海中の光束消散係数 (m^{-1}) であり、 r は水平距離 (m) である。

ここで、海水中の明るさは 10^{-2} lx 、光束消散係数は柳川ら (1978) の結果からはば中間の値 0.3 m^{-1} を用いた。また、スルメイカの釣り具に対する反応距離は 1 m とした (添田, 1956; 小倉ら, 1976)。なお、水中の明るさが変化した場合、反射輝度は条件が同じであれば直線的に変化するものとした。Table 4 は未使用透明テグス 20, 30 および 50 号の反射輝度を試算したものである。同表から、テグスの反射輝度の差を 20 号と 50 号について求めると約 $10^{-6} \text{ cd}/\text{m}^2$ 、20 号と 30 号では $10^{-7} \text{ cd}/\text{m}^2$ であった。ここで、釣獲差はテグスの太さ 20 号

と 50 号の間で顕著であった (小倉ら, 1976) ことから、前者における輝度差 $10^{-6} \text{ cd}/\text{m}^2$ は識別出来るが、後者における輝度差 $10^{-7} \text{ cd}/\text{m}^2$ は前者ほど明確には識別できないものと推察された。

3-2 テグス使用履歴に伴う反射輝度の変化

Fig. 3 は使用履歴がそれぞれ 3 日および 7 日の暗透明テグス Ps 3, Ps 7 の清澄な海中における反射輝度の測定例を 26 号テグスについて示したものである。測定距離は 5 cm である。測定は供試テグスについて、イカ角や錘を結んだ部分を除いて、上から下まで全体について行った。同じ品質で同じ太さの未使用 Pn テグスの測定例も同時に示した。

同図より、反射輝度は Pn テグスで最も小さく、使用履歴が増えるに従って増すことが判った。反射輝度の最大値は Pn, Ps 3 および Ps 7 テグスでそれぞれ 0.15 , 0.46 および $0.47 \text{ cd}/\text{m}^2$ であり、Ps 3 テグスでは Pn テグスの 3 倍以上大きい。一方、最小値は Pn テグスで $0.11 \text{ cd}/\text{m}^2$ 、Ps 3 テグスでは $0.12 \text{ cd}/\text{m}^2$ でありほとんど変わらないが、Ps 7 テグスでは $0.19 \text{ cd}/\text{m}^2$ に増した。Ps 3 テグスの最大輝度は最小輝度の約 4 倍であり、同一テグスでありながら変化が大きい。Table 5 は同テグスの平均輝度、標準偏差および変動係数を使用履歴別に示したものである。標準偏差は Ps 3 テグスで最も大きく Pn テグスの約 5 倍であり、Ps 7 テグスでは約 4 倍であった。また、変動係数は Ps 3 テグスでは Pn テグスの約 4 倍、Ps 7 テグスでは約 2 倍であった。

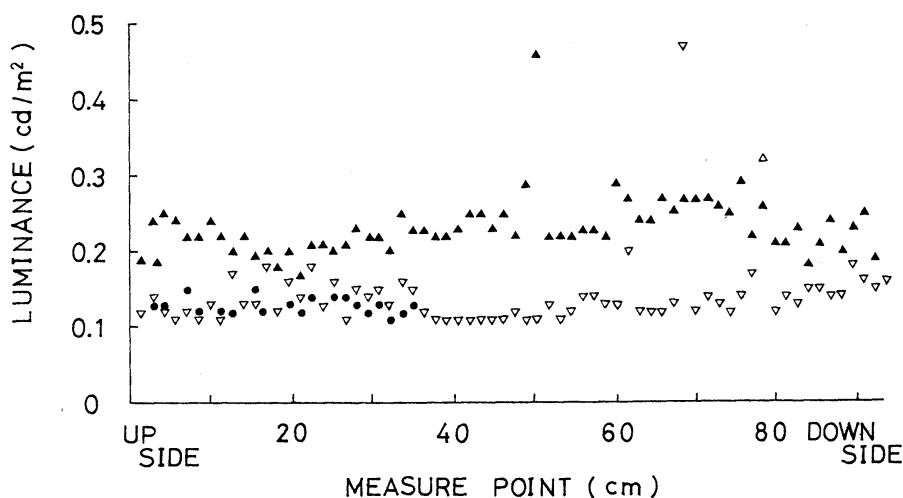


Fig. 3. Reflected luminance distribution for dark nylon monofilament gut of 0.84 mm diameter for different operating histories in fishing. Symbols ●, ▽ and ▲ stand for the operating histories of unused gut, 3 days and 7 days, respectively.

Table 5. Mean luminance (cd/m^2), standard deviation (cd/m^2) and variation for the dark gut of 0.84 mm diameter after changing history operated in fishing.

| | History | | |
|--------------------|---------|--------|--------|
| | Unused | 3 days | 7 days |
| Mean luminance | 0.130 | 0.140 | 0.233 |
| Standard deviation | 0.010 | 0.047 | 0.039 |
| Variation | 0.077 | 0.336 | 0.167 |

Table 6. Mean luminance (cd/m^2), standard deviation (cd/m^2) and variation of the dark gut for different diameters after changing the history.

| Number | | History | | |
|--------|--------------------|---------|--------|--------|
| | | Unused | 3 days | 7 days |
| 26 | Mean luminance | 0.129 | 0.148 | 0.225 |
| | Standard deviation | 0.010 | 0.048 | 0.031 |
| | Variation | 0.078 | 0.324 | 0.138 |
| 28 | Mean luminance | 0.132 | 0.143 | 0.237 |
| | Standard deviation | 0.010 | 0.023 | 0.036 |
| | Variation | 0.076 | 0.161 | 0.152 |
| 30 | Mean luminance | 0.133 | 0.179 | 0.255 |
| | Standard deviation | 0.012 | 0.101 | 0.053 |
| | Variation | 0.090 | 0.565 | 0.208 |

以上は暗透明テグス 26 号の測定結果の一部であるが、太さの異なるテグスの平均輝度、標準偏差および変動係数については使用履歴および太さ別に Table 6 に示した。平均輝度は前述と同様に、いずれの太さにおいても Pn, Ps 3 および Ps 7 テグスの順で大きくなった。Ps 3 テグスでは Pn テグスにくらべて標準偏差や変動係数が大きく、反射輝度がばらついていることが判った。また、反射輝度の最大値は Ps 3 テグス 26 号において $1.27 \text{ cd}/\text{m}^2$ が観測されており、最小値の 10 倍以上であった。

Table 7 は透明テグスの平均輝度、標準偏差および変動係数を使用履歴及び太さ別に示したものである。どの太さにおいても、3 日 Ts 3 および 7 日使用 Ts 7 テグスの平均輝度は Tn テグスの平均輝度より大きい、三者の違いは小さい。しかし、暗透明テグスの場合と同様に Ts 3 および Ts 7 テグスでは反射輝度のばらつきが大きい。さらに、26 号テグスの測定結果を例にとりて詳細に観察すると、Tn, Ts 3 および Ts 7 テグスの反射輝度の最大値はそれぞれ $0.24, 1.41$ および $0.68 \text{ cd}/\text{m}^2$ であり、二者、三者で増した。これらは最低値 $0.21, 0.17$ および $0.16 \text{ cd}/\text{m}^2$ のそれぞれ $1.1, 8.3$ および 4.3 倍に

Table 7. Mean luminance (cd/m^2), standard deviation (cd/m^2) and variation of the dark gut for different diameters after changing the history.

| Number | | History | | |
|--------|--------------------|---------|--------|--------|
| | | Unused | 3 days | 7 days |
| 26 | Mean luminance | 0.193 | 0.210 | 0.192 |
| | Standard deviation | 0.008 | 0.070 | 0.083 |
| | Variation | 0.041 | 0.333 | 0.432 |
| 28 | Mean luminance | 0.194 | 0.213 | 0.204 |
| | Standard deviation | 0.005 | 0.188 | 0.176 |
| | Variation | 0.026 | 0.188 | 0.176 |
| 30 | Mean luminance | 0.194 | 0.222 | 0.223 |
| | Standard deviation | 0.008 | 0.052 | 0.095 |
| | Variation | 0.041 | 0.234 | 0.426 |

なった。また、同テグスの標準偏差は、使用履歴に伴って、それぞれ未使用テグスの 7 倍、8 倍に増した。おなじく、変動係数は使用履歴に伴って 8 倍、10 倍に増した。これらの傾向は 28 号および 30 号テグスの場合においても認められた。

以上から、使用履歴を有するテグスでは未使用テグスと比較して反射輝度の標準偏差が数倍大きいことが判った。使用履歴を有するテグスの大きな反射輝度はイカ角などによる傷から生じたものである。一方、最低値はイカの墨の付着など汚れによるものであり、これらが原因となって反射輝度のばらつきが大きくなったものと考えられる。

使用履歴を有するテグスの反射輝度のばらつきはイカ釣り機による上下運動を伴うと、一定の水平方向からは時間的に変化して見える。このような反射輝度の短時間の変化をちらつき的一种と考え、輝度比や明暗周期について検討した。ここでは平均輝度 L_m のテグスから標準偏差 σ の輝度が上乘せされ反射するものと考え、 σ/L_m を輝度比とした。

輝度比は Table 6 および 7 に試算した変動係数に等しく、Pn, Ps 3 および Ps 7 テグスでそれぞれ $0.08 \sim 0.09, 0.16 \sim 0.57$ および $0.14 \sim 0.21$ であった。また、Tn, Ts 3 および Ts 7 テグスでは、それぞれ $0.03 \sim 0.04, 0.19 \sim 0.33$ および $0.18 \sim 0.43$ であり、いずれも二者および三者で一者の 2 倍以上に増大した。特に透明テグスではその違いが顕著であった。これらは魚の明暗弁別閾値 0.02 (ANTHONY, 1981) より大きく、イカの場合でも弁別出来るものと考えられた。以上から、未使用テグスと使用履歴を有するテグスの釣獲差については、輝度

比が2倍以上大きいことに、イカが嫌忌性を示したものと考えられる。断続光の嫌忌性効果については60倍以上の照度比で発現すること(マアジ; 小池, 1989)も報告されており、さらに検討する必要がある。

ちらつきの周期については、1本のテグスの反射輝度をプロットし、峰から峰までの間隔を求め、イカ釣機の巻き揚げ速度を50 m/minとして試算した。未使用テグスと使用履歴を有するテグスでは、それぞれ5~6回/secおよび0.9~1.4回/secが卓越しており、後者は前者に比べて周期が小さい傾向が認められた。断続光の周期については、1.36~0.62回/secで嫌忌効果が強いこと(小池, 1989)が報告されており、使用履歴を有するテグスの周期はこの範囲に該当していることから、嫌忌効果が考えられる。

このようなテグスの反射輝度の微量の変化に対して、釣獲差が現れることについてはさらに研究を進め、明らかにする必要があると考える。

4. 要約

1) テグスの反射輝度は太さによって異なり、細いテグスでは小さく、太くなると増大した。とくに、10号テグスと50号テグスの間ではその差が顕著にあらわれた。

2) 使用履歴を有するテグスの大きな特徴は反射輝度の標準偏差や変動係数が未使用テグスに比較して数倍大きいことである。使用履歴を持つテグスにはイカの墨による汚れ、イカ角による深い傷および擦れによる傷が種々の形態で認められた。傷口からは強い光が生じており、汚れた部分からは弱い光が観察された。その結果、平均輝度は未使用テグスのものと変わらないが、反射輝度のばらつきは増大した。

3) 使用済みテグスのちらつきの輝度比は未使用テグスに比べて2倍以上であった。また、周期は未使用テグスで5~6回/sec、使用済みのテグスで0.9~1.4回/

secであった。

謝 辞

本研究を行なう当たり、供試テグスの収集にご協力頂いた香住町の駒居秀則氏、康佑丸乗組員の皆様、計測に協力頂いた浅羽昇氏および山崎直敏氏に感謝の意を表す。

文 献

- ANTHONY, P. D. (1981): Visual contrast thresholds in cod *Gadus morhua*. L.J. Fish Biol., 19, 87~103.
- BLAXTER, J. H. S., B. B. PARRISH and W. DICKSON (1964): The importance of vision in the reaction of fish to driftnets and trawls. In Modern Fishing Gear of the World 2. London. p. 529~536.
- 原 富之 (1968): 頭足類の網膜の感光性色素. 動物学雑誌, 77 (4), 99~108.
- 小池 隆 (1989): 断続光に対するマアジの行動反応に関する研究. 三重大学生物資源学部紀要, (2), 23~53.
- 小倉通男 (1975): イカ釣り漁業における釣り具の有効利用と漁獲効果. イカ・タコ資源の開発とその利用. 水産庁.
- 小倉通男・磯打 勉・有元貴文・名角辰郎・玉木哲也 (1976): イカ釣り漁業の研究—IV 水中観察によるスルメイカの行動とイカ角の動き. 昭和51年度日本水産学会秋期大会講演要旨集, p. 111.
- 柴田恵司 (1967): 魚探機に現れた記録の解析. 対島周辺イカ漁業調査, 魚探による水産資源研究協議会報告 III. 日本水産資源保護協会, p. 28~33.
- 添田潤助 (1956): スルメイカの生態並びに繁殖に関する研究. 北海道水産研究所報告, 14, 1~23.
- 柳川三郎・柏 俊行・井上 清 (1978): 大和堆漁場の形成機構に関する研究 I. 海洋構造. うみ, 16, 23~35.

網糸の間隔を変えた場合の魚の行動*

中村善彦**・栗田嘉宥**

Fish reaction to vertical twine barriers with different distance between twines*

Yoshihiko NAKAMURA** and Yoshihiro KURITA**

Abstract: To examine the effectiveness of the vertical twine barrier the number of fish (Japanese parrotfish) swimming through the twine barriers with different distance between twines in 20 minutes was counted. The vertical twine barrier with twines 10 cm apart was completely effective and fish avoided it. The distance of 30 cm between twines was equally effective. At the distance of 60 cm between twines fish started to pass through the vertical twine barrier. The vertical twine barrier was almost completely ineffective with twines 120 cm apart and fish swam straight through it. Subsequently, concerning the decrease of effectiveness, the ratio of twine diameter (d) to mesh size (l) and apparent contrast between the vertical twine barrier and the surrounding background were discussed for different twine diameters with changing mesh sizes. The vertical twine barrier with the ratio more than 0.01 was effective for fish. The apparent contrast was changed with the distance between adjacent twines. Fish was kept in control by the vertical twine barrier at the apparent contrast showing violent variation.

1. 緒言

垣網は魚群の通り抜けを阻止し、遊泳方向を変えて身網に向かわせる機能が求められる。このことについて、井上ら(1987)は垣網の設置前後の魚群の行動から、その阻止・誘導効果が大いことを示した。しかし、垣網の魚群に対する制御機能については、網糸の材料、太さおよび目合などによって異なることが報告されている。鈴木(1971)はマサバを対象に、阻止効果のある網糸の間隔は、縦糸の場合、ワラ縄(太さ9mm)、マニラトワイン(2.8mm)およびナイロン糸(0.9mm)でそれぞれ75、63および58cmであることを報告した。また、網糸の太さ d や目合 l の制御機能については個々の定量化された結果は得られていないが、両者の比“ d/l ”で検討されている。FRIDMAN(1968)は垣網の“ d/l ”を0.02~0.03にすることを提案し、余座ら(1976)は

日本周辺海域の垣網では0.01から0.02の間にあることを報告した。この他にも垣網の近くにおける魚の行動を現象的に捉えた研究は多くなされてるが、解析したものは非常に少ない。

本研究では魚の対網行動を視覚面から解析することを目的とした。前報(中村・松生, 1989)では大型円形水路を自由に遊泳する魚(イシダイ)の垂直に等間隔で張り合わせた網糸群に対する行動を、網糸の太さを変えて観察し、網糸群の制御機能が網糸の太さ、海水の濁りおよび遊泳速度に関係することを報告した。本報ではイシダイの網糸群に対する行動を、網糸の間隔を変えて観察し、網糸群の制御機能について検討した。さらに、網糸の間隔を広げると、魚が網糸の間を通過し始めた原因について、網糸のアパレントコントラストを網糸の間隔を変えて計測し、“ d/l ”との関係を検討した。

*1990年4月20日受理 Received April 20, 1990

**東京水産大学, 〒108 東京都港区港南4-5-7

Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

2. 実験装置および方法

2-1. 網糸の間隔を変えたときの魚の行動
実験装置

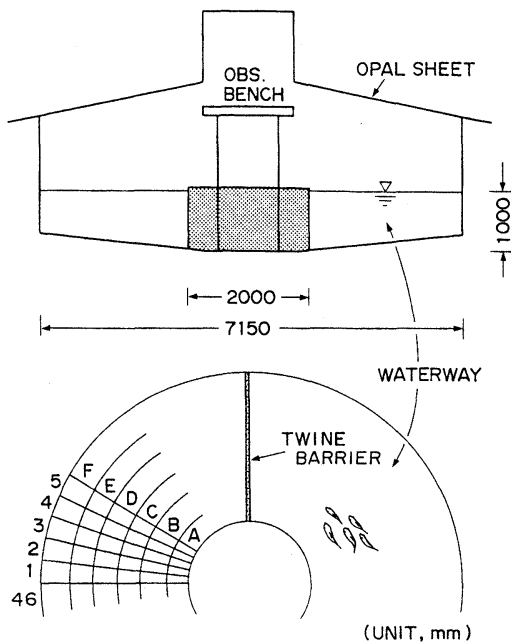


Fig. 1. Diagram of the experimental tank.

実験水槽には、東京水産大学坂田実験実習場の屋外に設置してある大型円形水槽の中心部を黒色の網で囲い、水路幅が2.6mのドーナツ形水路を作って用いた (Fig. 1)。水槽底には5本の同心円と46本の放射線を描き、水槽の上部を乳白色のビニールシートで覆った。水路にはこれと直交して網糸群を等間隔に垂下した。網糸にはポリエチレン製の三子撚り (オレンジ色) を用い、網糸の太さは7.8, 2.8および1.1 mmの3種類とした。網糸の間隔は10, 30, 60および120 cmとし、この場合の網糸の本数はそれぞれ25, 9, 5および3本であった。水槽水には光束消散係数が 0.3 m^{-1} の原海水を用いた。実験魚には、館山湾の定置網で採捕した全長が16~23 cmのイシダイ *Oplegnathus fasciatus* を用いた。

実験方法

実験は1985年10月から11月にかけて、午前8時30分から午後2時および午後6時30分から9時30分の間に行った。定置網で採捕したイシダイは、薄暗くした飼育水槽に1日から3日間収容した後、夕刻に実験魚5尾を選別し、実験水路に移し、約半日間放置した。イシダイが水路内を群れをなして、自由に遊泳することを確認したのち、魚群の遊泳軌跡を測定した。

次に、網糸群を原海水を満たした水路に設置して、網糸の間隔と魚群の行動の関係調べた。なお、水路内の網糸群の位置は、実験ごとに随時移動させた。1回の実験の測定時間は20分間とし、網糸の太さおよび間隔

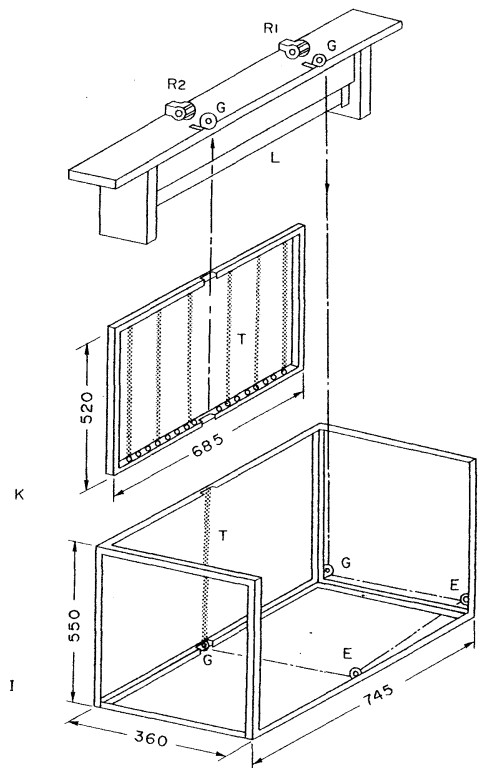


Fig. 2. Diagram of the experimental equipment. The equipments were fitted to the test tank (450×900×450 mm).

I, iron frame; K, cartridge; L, light; G, guide roller; E, eye ring; R, reel; T, twine.

を変えて繰り返し実施した。実験回数は延べ60回、海水および魚は毎日新しいものと交換し、使用したイシダイの総尾数は80尾であった。

測定は先頭の魚の反応行動と反応位置を目視観測し、その水路底の番地をテープレコーダに収録した。夜間の実験では5尾のイシダイのうち1尾の背びれに赤色ダイオード1個を取りつけ、群れの目印にした。実験開始前と終了後には、光束消散係数および水中照度を測定した。全実験中の水路内底部の中央部で測定した明るさは昼間では4000 lx以上であり、水温は20~22°Cであった。

2-2. 網糸の間隔を変えた場合のアパレントコントラスト

実験装置

網糸の反射輝度を背景輝度が一定のところ測定するため、鉄棒I、リールR1, R2, ガイドローラG, アイリングEおよび鉄製のカートリッジKから構成される

測定装置を作製し、実験水槽内に取り付けた。装置の各部分の概要を Fig. 2 に示す。実験水槽は高さ 45 cm、幅 90 cm および奥行き 45 cm であり、内側を黒色布で覆った。鉄棒 I は高さ 550 mm、幅 745 mm および奥行き 360 mm であり、測定用網糸を装着するためのものである。カートリッジ K は高さ 520 mm および幅 685 mm であり、網糸の間隔および方向を縦横に変えるためのもので、I の後部に取りはずしが出来るように装着した。いずれも黒色に塗装した。水槽前部の中央には幅 3 cm の反射輝度測定用の窓を設け、輝度計 BM-5 (TOPCON) を視角 0.1° で設置した。輝度計から測定用網糸までの距離は 41 cm であった。

水槽水には水道水を濾過器に通し、光束消散係数が 0.1m^{-1} の濾過水を用い、水深 40 cm まで注入した。

照明装置には 20W の白色蛍光灯 1 本をカートリッジ K の上方にオパールガラスを介して設置した。

供試用の網糸には、魚の行動観察と同じ材質で太さが 1.1, 2.8 および 7.8 mm および同色でテトロン製の 2.6 および 3.8 mm を用いた。網糸の間隔は 3, 6, 9, 12 および 15 cm とし、このときの網糸の本数はそれぞれ 19, 9, 7, 5 および 3 本であった。

実験方法

実験は暗室において実験水槽以外の明りを消し、周囲の光による反射の影響を排除して次の順序で行った。1) カートリッジ K に測定用と同じ太さの網糸を等間隔に張り合わせ、I に装着した。2) 測定用網糸を R1 から滑車 G、およびアイリング E を介して R2 へ通した。3)

R1 を巻くことによって測定用網糸の測定箇所を 14mm ずつ順次 10 回移動し、その左側、中央および右側について反射輝度を測定した。同時に背景反射輝度を測定した。以上について供試網糸の太さおよび間隔を変えて測定した。網糸間隔はカートリッジ K のみを取り出し変更することで水槽水の汚れを少なくした。測定は午前と午後の 2 回行い、水槽水はその都度交換した。供試網糸は水に馴染ませるため実験の 30 分前から濾過水に漬けた後用いた。

供試糸のアパレントコントラスト $C(r)$ は次式を用いて算出した。

$$C(r) = \frac{Bb(r) - Bt(r)}{Bb(r)} \quad (1)$$

ただし、 $Bb(r)$ $Bt(r)$ は、それぞれ距離 r における背景輝度および供試網糸の反射輝度を示す。

3. 結果と考察

3-1. 網糸の間隔を変えたときの魚群制御効果

原海水を満たした水路に魚群 (イシダイ) を移すと魚群は水路内をほぼ万遍なく遊泳した。水路上に定めた放射線を魚群が通過する回数は平均 28 回であった。

Fig. 3 は、光束消散係数 0.3m^{-1} の原海水を満たした水路内に太さ 2.8 mm の網糸を垂直に 10 cm 間隔 (網糸数 25 本) で設置したときの魚群の遊泳軌跡を示したものである。同図中シンボルマーク ▲ は種々の動作のうち反転した場合で、網糸群に最も接近した位置である。この位置の網糸群までの距離を反転距離と呼ぶことにし

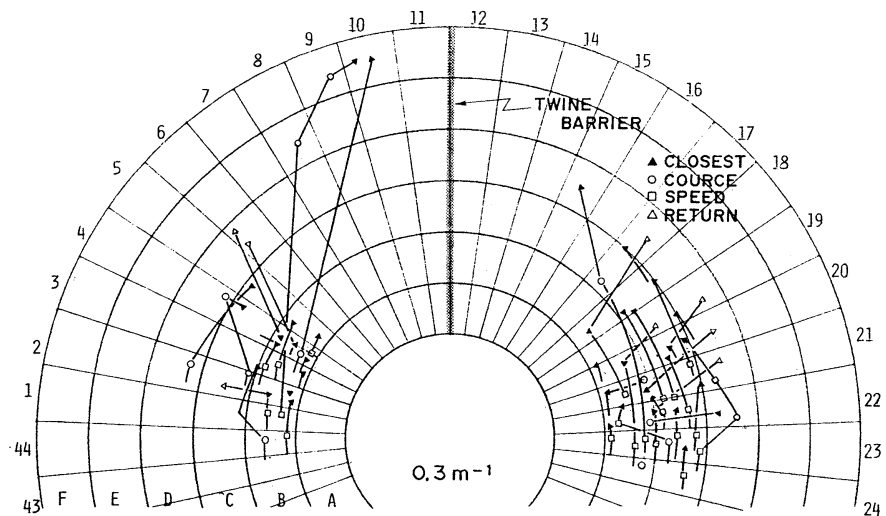


Fig. 3. Fish path to the vertical twine barrier of 2.8 mm diameter with twines 10 cm apart in general seawater with an attenuation coefficient of 0.3m^{-1} in daylight.

た。また、○および□はそれぞれ遊泳方向および遊泳速度を変えた位置であり、■は網糸の間を通過した位置を示す。魚群は網糸群に接近するとその手前で反転し、さらに反対側から再度接近して反転する動作を繰り返し、網糸群を通り抜けることはなかった。このように網糸群設置の前後では魚群の行動が明白に異なった。

網糸の間隔を 30 cm (網糸数 9 本) に広げると魚群の行動は反転距離に変化が認められた。Fig. 4 は網糸間隔を 10, 30, 60 および 120 cm に変えた場合の各間隔における 5 回の実験の平均反転距離をそれぞれ示したものである。網糸間隔を広げると反転距離は減少する傾向

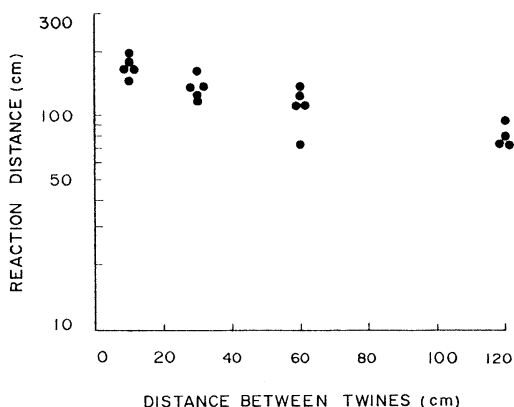


Fig. 4. Mean reaction distance to the vertical twine barrier of 2.8 mm diameter with different distance between twines in daylight

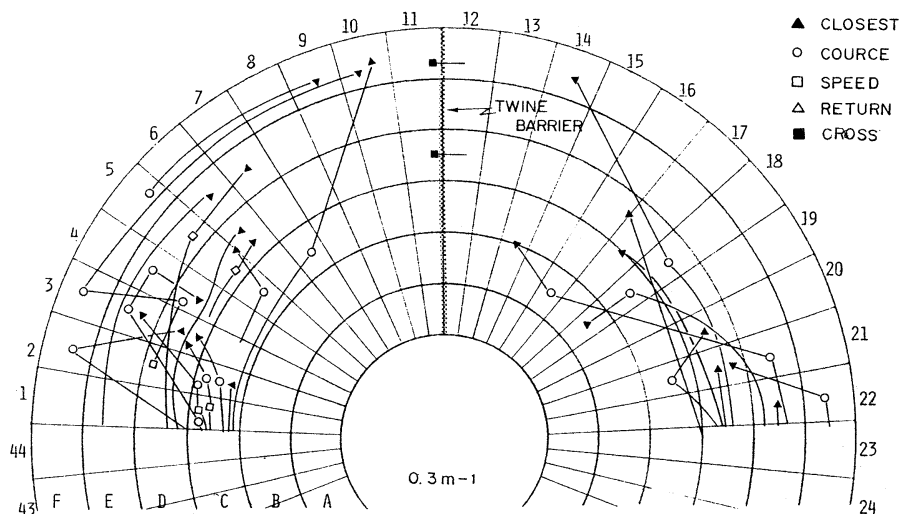


Fig. 5. Fish path to the vertical twine barrier of 2.8 mm diameter with twines 60 cm apart in general seawater in daylight.

Table 1. Ratio of crossing vertical twine barriers of 2.8 mm diameter with different distance between twines in daylight.

| Distance between twines (cm) | 10 | 30 | 60 | 120 |
|------------------------------|----|----|-----|-----|
| Number of approaches | 36 | 38 | 38 | 35 |
| Number of crossings | 0 | 0 | 4 | 15 |
| Ratio of crossing* | 0 | 0 | 0.1 | 0.3 |

* Crossings/ (approaches+crossings)

が認められた。この場合、魚は糸群の手前で一旦停止した後、再び接近する行動が多く認められた。

さらに、網糸の間隔を 60 cm (網糸数 5 本) に広げると魚は網糸の間を通過するようになった。Fig. 5 は網糸の間隔を 60 cm にした場合の魚群の遊泳軌跡の一例を 2.8 mm 糸について示したものである。Fig. 3 の場合と異なり魚が網糸の間を通過することが判った。また、Table 1 は原海水中において、網糸間隔を変えた場合の魚の接近回数、通過回数および通過率を 2.8 mm 糸について示したものである。何れも昼間における 5 回の観察結果を一実験当たり平均したものである。ここで通過率は、通過回数を接近回数と通過回数の和で除して求めた。網糸間隔が 10 cm では網糸群に 36 回接近、30 cm では 38 回接近していずれも通過回数は皆無であった。網糸間隔が 60 cm では一実験当たり 4 回の通過が認められた。この場合、魚は網糸群の手前で遊泳速度を落とし、躊躇する動作が認められた。しかし、通過するときには遊泳速度を増していた。さらに、網糸の間隔を 120 cm (糸数 3 本) に広げると、接近回数の半分に近い 15 回の通過が認められた。これは 60 cm の場合に比較し

て倍以上大きかった。しかも、測定開始後すぐに通過が始まり、網糸群に対して躊躇する様子は認められなかった。これらのことから、網糸の魚群に対する阻止効果は間隔によって異なり、その限界は網糸間隔が 30 cm と 60 cm の間にあることが判った。

Table 2. Ratio of crossing vertical twine barriers with different diameters and different distance between twines in daylight.

| Diameter (mm) | Distance between twines (cm) | | | |
|---------------|------------------------------|----|-----|-----|
| | 10 | 30 | 60 | 120 |
| 1.1 | 0 | 0 | 0 | 0.4 |
| 2.8 | 0 | 0 | 0.1 | 0.3 |
| 7.8 | 0 | 0 | 0.1 | 0.2 |

Table 2 は網糸の太さを 1.1 および 7.8 mm に変えた場合の網糸群通過率を示したものである。網糸間隔が 10 cm および 30 cm では魚群の網糸群通過は認められなかったが、60 cm で通過が始まり、120 cm では通過が増すという同じ減少が認められた。120 cm 間隔では、通過率は細かい網糸で大きく、太い網糸では減少し、太さの影響が認められた。

Table 3. Ratio of crossing vertical twine barriers with different diameters and different distance between twines in darkness.

| diameter (mm) | Distance between twines (cm) | | |
|---------------|------------------------------|-----|-----|
| | 10 | 30 | 60 |
| 1.1 | 0 | 0.1 | 0.7 |
| 2.8 | 0 | 0 | 0.3 |
| 7.8 | 0 | 0 | 0 |

Table 3 は夜間に実施した観測結果を示したものである。この場合、水中照度は 0.02~0.04 lx であり、インダイは明順応と暗順応の境目にあったもの（川村・下和田, 1983）と考えられた。網糸間隔が 10 cm では、魚群は夜間においても通過しないことが確認された。しかし、30 cm 間隔では 1.1 mm 糸で通過が始まり、60 cm 間隔では網糸の太さによる通過率の違いが顕著であった。

これらを総合すると、網糸間隔が 10 cm ではどの網糸においても魚群に対する阻止効果があった。30 cm 間隔では 2.8 および 7.8 mm 糸で有効であった。網糸間隔が 60 cm より広くなると制御機能は低下し、通過率は細い網糸で増加する傾向が認められた。

3-2. 網糸の太さおよび目合と魚群制御機能

魚群に対する網の制御機能は、網糸の太さ d と目合 l の比 ' d/l ' で評価される。例えば、FRIDMAN (1969) は垣網の ' d/l ' について 0.02~0.03 を提唱した。また、余座ら (1976) は日本周辺海域では、ほぼ 0.01 から 0.02 の間にあることを報告した。ここで、本実験で用いた網糸群について ' d/l ' を試算した。網糸の間隔と目合の関係は 網糸間隔 = 目合 $\times \sin 45^\circ$ (鈴木 1971) で表されており、この関係を用いて網糸間隔を目合に換算すると、網糸間隔 10, 30 および 60 cm はそれぞれ目合 14, 42 および 85 cm に相当する。これより、太さが 2.8 mm の網糸の ' d/l ' は、それぞれ 0.020, 0.007 および 0.003 となった。太さが 2.8 mm の網糸の場合では、10 cm 間隔が FRIDMAN (1969) および余座ら (1976) の結果に合っている。すなわち、網糸間隔が 10 cm では従来からの考え方に適合しており、本実験においても実際に魚群に対する阻止効果があった。一方、網糸間隔が 60 cm では ' d/l ' が 0.003 で魚群の通過が生じており、' d/l ' が小さくなると阻止効果が減少することが判った。同様に、太さが 7.8 mm の網糸の ' d/l ' を網糸間隔 10, 30 および 60 cm について試算すると、それぞれ 0.056, 0.018 および 0.009 であり、0.018 以上で阻止効果が認められた。また、1.1 mm 糸では、それぞれ 0.008, 0.003 および 0.001 になり 0.003 以上で阻止効果があった。これらに、夜間における結果 (Table 3 参照) を加味して総合的に検討すると、阻止効果の限界は ' d/l ' がほぼ 0.007 ~0.009 と考えられた。

3-3. 網糸の間隔を変えた時のアパレントコントラスト

' d/l ' と魚群行動の関係については、前述のように現象として示されているが、その根拠については解析されていない。水中に網糸群などのターゲットを置いた時、これに対する魚群の行動は主に視覚によることが報告されている (BLAXTER *et al.*, 1964)。そこで ' d/l ' についてアパレントコントラストの面から検討した。Fig. 6 は太さが 2.8 mm の垂直に張った網糸の間隔を変えた場合の 1 本の網糸のアパレントコントラストを示したものである。アパレントコントラストは (1) 式を用いて算出した。横軸には測定距離を 41 cm として、1 ラジアン当りの網糸の本数を対数で示した。網糸間隔が 3, 6, 9, 12 および 15 cm の場合における網糸の本数は、それぞれ約 14.9, 7.5, 5.0, 3.7 および 3.0 本になった。た

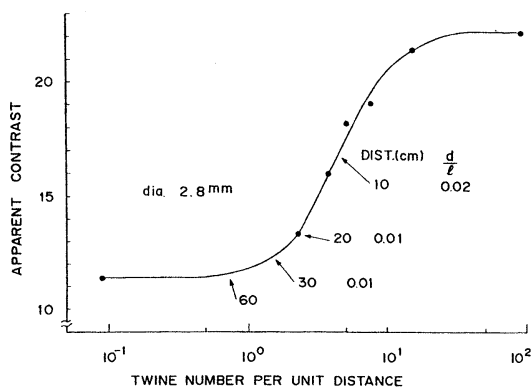


Fig. 6. Apparent contrast for different twine numbers of 2.8 mm diameter per unit distance.

だし、網糸が1本の場合、間隔は無量大であるが、他の網糸の光学的影響を受けない間隔として同図上では500 cmとした。また、間隔が0 cmは隣接した網糸同士が接触して布のようになっている場合である。シンボルマーク●は、網糸について14 mm毎に測定した反射輝度から求めたアパレントコントラスト10個の平均値である。同図より、アパレントコントラストは網糸間隔が広がると孤立した1本の網糸の値に近づき、狭くなると布地状の値に近づいた。両者の中間には変化の大きな部分が存在した。これらより、網糸の材質、色および太さなどの特性が同じでも、網糸群の場合は隣接する網糸の影響を受けてアパレントコントラストは変化するものと考えられた。

同図上 ' d/l ' が0.010および0.020は、それぞれ図の中央のアパレントコントラストの変化の激しい部分であった。' d/l ' が0.030は、その右寄りの網糸間隔5 cm(目合9 cm)に該当した。一方、魚群の通過が認められた ' d/l ' 0.003は左端の変化の緩やかな部分に該当した。

また Fig. 7 は太さが7.8 mmの網糸の間隔を変えた場合のアパレントコントラストを示したものである。' d/l ' が0.056および0.018の場合、アパレントコントラストの変化は大きく、網糸の間を通過する魚は皆無で、阻止効果が認められた。一方、' d/l ' が0.009の場合、アパレントコントラストの変化が小さく、通過が認められた。

これらから、アパレントコントラストの変化の大きい

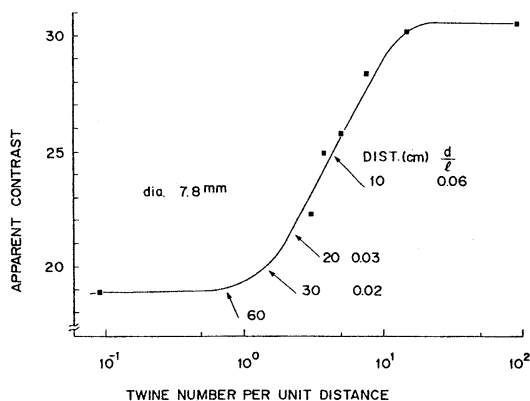


Fig. 7. Apparent contrast for different twine numbers of 7.8 mm diameter per unit distance.

部分では魚群制御効果が大きく、アパレントコントラストの変化の大きい垣網が経験的に使われていたものと考えられる。この原因については、アパレントコントラストの急な変化がチラツキ現象を呈し、魚の嫌忌性に結びついたことなどが推察されるが、さらに検討する必要がある。

文 献

- BLAXTER, J. H. S., B. B. PARRISH and W. DICKSON (1964): The importance of vision in the reaction of fish to driftnets and trawls. *Modern Fishing Gear of the World 2*, London, p. 529~536.
- FRIDMAN, A.L. (1969): Theory and design of commercial fishing gear (Translated from Russian by R. Kondor). *Israel Prog. Sci. Trans.*, Jerusalem, p. 320~381.
- 井上喜洋・長洞幸夫・渡部俊広・石田 亨 (1987): 定置網の張り建てによる魚群行動の変化。日水誌, **53**, 695~698.
- 川村軍蔵・下和田 隆 (1983): インダイの帯模様弁別能。日水誌, **49**, 55~60.
- 中村善彦・松生 治 (1989): 水中の濁りと魚の視力との関係(4) 濁った水中における魚の糸群に対する行動。うみ, **27**: 185~192.
- 鈴木 誠 (1971): 定置網に対する魚類の行動と漁具の機能に関する基礎研究。J. Tokyo Univ. Fish., **57**, 95~171.
- 余座和征・宮本秀明・酒井久則 (1976): 網糸の大きさと網目の大きさ。日水誌, **42**, 739~742.

ベンガル湾におけるまぐろ延縄漁具の枝縄の水中視認距離*

森永 勤**・小池 隆***・松生 治**

Underwater visibility of a branch line of longline gear to tuna in the Bay of Bengal*

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

Abstract: With regard to the materials used for the branch line of tuna longline gear, it is generally known that a nylon leader makes the catch efficiency much higher than a wire one. Such a phenomenon occurs regardless of the scale of tuna longline fishery and the operation position. It is considered that the rise in catch efficiency is due mainly to the difference in visibility (measured in meters) of the two kinds of branch lines. In order to confirm such a consideration, a series of investigations was carried on. First, the underwater optical environment of the Bay of Bengal was analyzed. Next, the optical and physical qualities of the two kinds of branch lines used were measured in a water-tank experiment. Based on these measurement, visibility (in meters) of the branch line to tuna at the limit of discrimination was estimated. As a result, it is known that the sea water of the operation area in the Bay of Bengal is very clear, and it corresponds "oceanic water type I" of the Jerlov's water-mass optical classification; and the turbidity of the water (beam attenuation coefficient) is low, showing $0.11-0.22 \text{ m}^{-1}$ (486nm). A nylon leader (#150, monofilament) is 2.0mm in diameter, and a wire leader (#28, 3×3) is 1.7mm. Under the reasonable conditions of clear water (beam attenuation coefficient, 0.14 m^{-1}) and high illumination level (illuminance in water, 2,000 lx), the inherent contrast of a nylon leader is 1.1 and that of a wire leader is 6.3. Supposing that the visual acuity of tuna is 0.9, a nylon leader is visible at 1.1m and a wire leader at 3.6m under the said conditions. This indicates that the visibility of a branch line for tuna changes with the material used, and is much less for nylon than for wire.

1. 緒 言

近年、沿岸の小型まぐろ延縄漁業では、省力化のために種々の方策が図られている。そのうち、漁具資材にはモノフィラメント製ナイロンテグスが利用されている。この試みは当初の目的を達成するばかりでなく、まぐろ釣獲率の向上にも役立つといわれている。

このようなまぐろ延縄の釣獲率の上昇は、遠洋の大型まぐろ延縄漁業が実施されているインド洋ベンガル湾においても確認されている(春日, 1990)。すなわち、

1988年の釣獲率はナイロンテグスが2.01%、従来の資材が0.34%であり、前者が著しく大きい。しかし、釣獲率の向上の主因は依然として不明のままである。

そこで、著者らは釣獲率上昇の主因を、まぐろの枝縄の視認距離の差異によるものと推測した。先ず、ベンガル湾の操業現場における光環境を把握し、次に実際に使用した2種類の枝縄を用い、水槽実験で光学的物理量を計測した。これらの結果と既往の知見から、枝縄の水中視認距離を算出した。

従来、この分野の研究に関し DUNTLEY (1963) は物体のコントラストの低下を海中光学理論から求め、人間の目のコントラストスレッシュールドを用い視程を算出した。TSUDA and INOUE (1973) は漁網の糸の視認距離を実験水槽での直接観察から求め、水産現場へ応用した。一方、VINYARD and O'BRIEN (1976) は実験魚に

*1990年5月24日受理 Received May 24, 1990

**東京水産大学, 〒108 東京都港区港南 4-5-7

Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

***三重大学生物資源学部, 〒514 三重県津市上浜町 1515
Faculty of Bioresources, Mie University, Kamihamacho 1515, Tsu, Mie, 514 Japan

bluegill を用い、濁りが増すと餌に対する反応距離が減少することを報告した。また、中村 (1989) は、小さい物体に対する魚の視認距離は物体の見かけのコントラストが同一であっても、濁り濃度によって相違することを明かにした。しかし、延縄漁具の枝縄資材の種類による釣獲率向上の効果を、漁具の視認の観点から論議した研究は数少ない。

2. 現場観測及び水槽実験

ベンガル湾における光環境の観測は 1987 年 2 月に東京水産大学研究練習船神鷹丸で実施した。観測点を Fig. 1 に示す。本論文における海中の光環境は操業海域の南北ほぼ中央に位置する。Stn.4 ($86^{\circ}36.6'E, 11^{\circ}33.7'N$) の測定結果で代表させ、春日 (1990) の報告におけるまぐろ延縄操業海域は Fig. 1 と同一漁場であった。

観測項目は水中照度及び濁度である。水中照度の観測は分光放射照度計 (石川産業 (株) 製, SR-8 型) を用い、443, 481, 513, 553, 599, 633, 682 及び 709 nm の 8 波長について分光照度を計測した。また、濁度の観測は現場用光束透過率計 (Martek 社製 XMS 型,

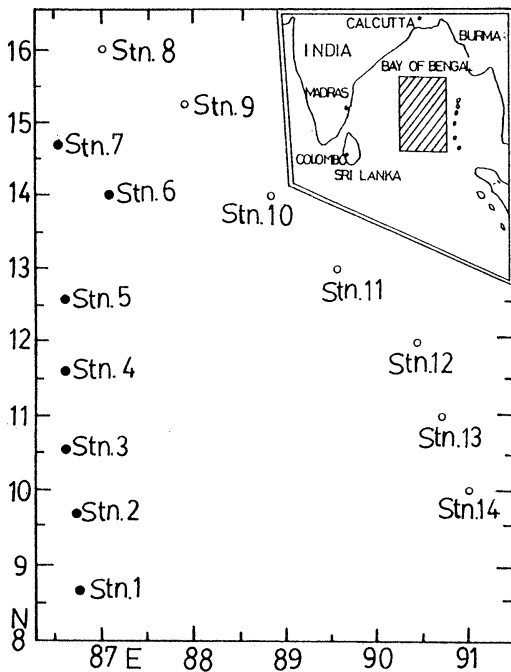


Fig. 1. Operation and optical observation stations in the Bay of Bengal. Solid circles for the operation and optical observation stations, and open circles for the optical observation stations.

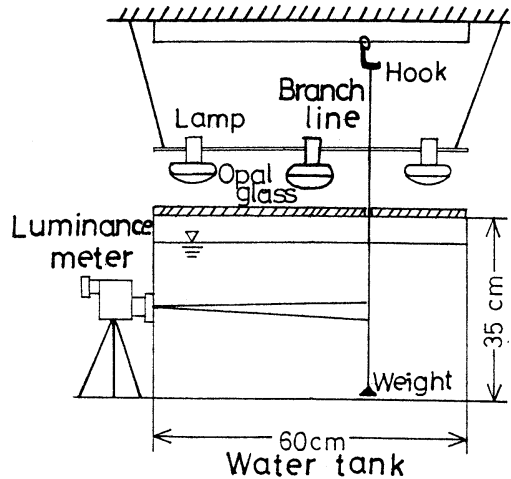


Fig. 2. Equipment and arrangement of the experiment.

光路長 1m, 重心波長 486nm) を用い、表層から約 100m 深まで連続的に光束透過率を求めた。濁度は海水の光束消散係数 (m^{-1}) で表示した。

水槽実験における枝縄の光学的物理量の計測は次の通りである。Fig. 2 は実験装置の模式図である。実験水槽は長さ 60cm × 幅 30cm × 高さ 35cm のものを用い、その内壁を黒色に塗装し、暗室に設置した。水槽の端の外側に輝度計 (TOPCON 製 BM-3 型) を据え付けた。試水は水道水をろ過したものを用い、その光束消散係数は $0.14m^{-1}$ (486nm) であった。また、水槽は昼光ランプ (東芝レフレクタランプ 500W) で水面上からオパールガラスを介して照明し、水中の明るさを均一にした。水槽底面における照度は約 2,000 lx とした。

光学的物理量の計測に用いた枝縄はクレモナロープ

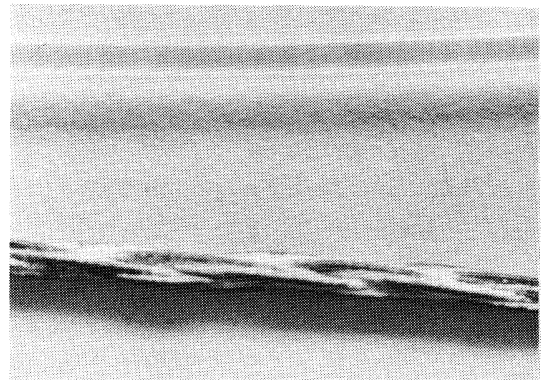


Photo. 1. Samples of branch line. Upper: nylon leader (#150, monofilament). Lower: wire leader (#28, 3 × 3).

(55本×3×3, φ6 mm), セキヤマ (#28, 3×3) 及びカナヤマ (#28, 3×3) で構成される従来の資材と、ナイロンテグス (#150, モノフィラメント製) のみで構成される新資材とした (春日, 1990)。ここで, 従来の資材における計測箇所は餌 (釣鉤) に最も近い点を考慮して, カナヤマ (釣元ワイヤ) とした (Photo. 1 参照)。釣元ワイヤ及びナイロンテグスの太さ (直径) は, それぞれ 1.7 mm 及び 2.0 mm であった。

計測方法は枝縄を鉛直にし, たるみを取り除くため錘りを取りつけて水槽内の中央部に吊り下げた。反射輝度は輝度計から枝縄資材までの距離を変え, 枝縄からの反射輝度及び背景 (枝縄を取り去った状態) からの反射輝度をそれぞれ測定した。なお, 測定距離は 20, 30, 40 及び 50 cm とした。

3. 結果及び考察

3-1. ベンガル湾の操業現場の光環境

Fig. 3 は Stn. 4 における波長 443, 481, 553, 599 及び 633 nm の相対照度分布を示す。この図から, 相対照度の深さによる減衰割合は短波長から長波長へいくに従い, 増大した。すなわち, 水深 30 m における相対照度は青色光 (481 nm) が 31.9%, 緑色光 (533 nm) が 22.3% 及び赤色光 (599 nm) が 4.03% であった。また, Table 1 は同じ観測点における照度の消散係数を示す。例えば, 青色光 (481 nm) の値は 0.038 m^{-1} で, 芳賀・松生 (1981) が北部北太平洋で観測した値 0.10 m^{-1} (484 nm) に比べて約 $1/3$ と小さい値であった。更に, この表を基に JERLOV (1964) に従って光学的水型分類をすると, この海水は "oceanic water type 1" に該当し, 非常に清澄であるといえる。

Fig. 4 は Stn. 4 における海水の光束消散係数 (486

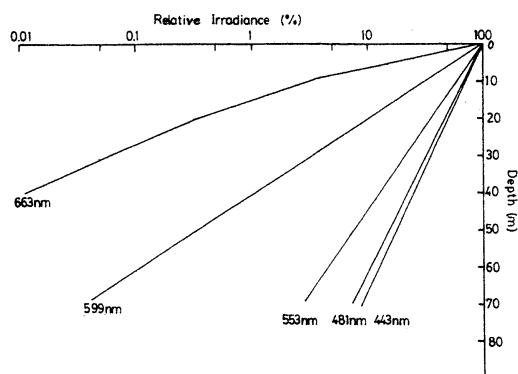


Fig. 3. Depth distributions of spectral relative irradiance at Stn. 4.

Table 1. The diffuse attenuation coefficient for irradiance of seawater in the upper layer at Stn. 4.

| Wavelength (nm) | 443 | 481 | 553 | 599 | 663 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Diffuse attenuation coefficient (m^{-1}) | 0.036 | 0.038 | 0.050 | 0.107 | 0.247 |

nm) の鉛直分布を示す。数値が小さくなる程海水は清澄になることを意味する。表層から水深 80 m まででは光束消散係数は $0.13 \sim 0.16 \text{ m}^{-1}$ の範囲にあり, その値は小さくかつ鉛直変化も少なかった。それ以深では, 深さと共に減少し, 水深 100 m で 0.10 m^{-1} になった。従って, 海水中に懸濁粒子が非常に少ないといえる。また, 当海域の光束消散係数は黒潮海域の $0.11 \sim 0.12 \text{ m}^{-1}$ (486 nm) (MATSUIKE and MORINAGA, 1977) に近似していた。また, 光環境の観測と同時に釣獲試験を実施した。当海域におけるまぐろの分布水深は 38 m から 69 m の範囲であると推測される (森永ら, 1987)。この水深範囲における水中照度の相対値を Table 2 に示す。青色光 (481 nm) の照度ではまぐろの分布の上限 (38 m) が 24%, 下限 (69 m 深) が 7.6% であった。また, まぐろの分布水深における海水の光束消散係数は $0.11 \sim 0.22 \text{ m}^{-1}$ (486 nm) である。

3-2. 枝縄漁具の光学的物理量の変化

水中における物体の固有のコントラスト及び見かけの

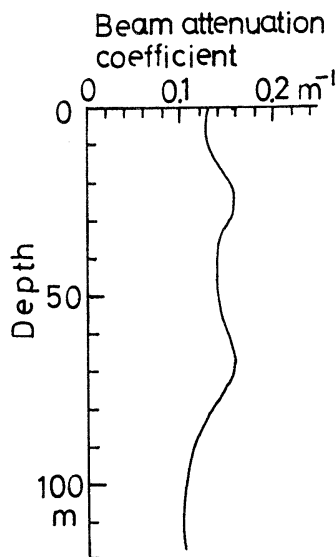


Fig. 4. Vertical distribution of turbidity of water (beam attenuation coefficient, m^{-1}) at Stn. 4.

Table 2. The spectral relative irradiance at the upper and the lower depth of swimming layer of tuna in the Bay of Bengal.

| Wave length (nm) | Swimming layer | |
|------------------|----------------|-------------|
| | Upper (38m) | Lower (69m) |
| 481 | 24 % | 7.6 % |
| 533 | 14 | 2.9 |
| 599 | 1.3 | 0.042 |

コントラストは次式のように表示される。

$$C(o) = \frac{Bt(o) - Bb(o)}{Bb(o)} \dots\dots\dots(1)$$

$$C(r) = \frac{Bt(r) - Bb(r)}{Bb(r)} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、C(o)は物体の位置での固有のコントラスト、C(r)は物体からの距離 r での見かけのコントラスト、Bt(o)と Bb(o)は物体の位置での物体及び背景からの反射輝度、及び Bt(r)と Bb(r)は物体からの距離 r での物体及び背景からの反射輝度である。見かけのコントラストと固有のコントラストとの関係は次式のようなのである。(DUNTLEY, 1963)。

$$C(r) = C(o) \cdot \text{EXP} [-r(\alpha - K \cdot \cos \theta)] \frac{Bb(o)}{Bb(r)} \dots(3)$$

ここで、 α は光束消散係数、Kは照度の消散係数及び θ は入射角である。

本研究では水平方向からの視認を考えているので ($\theta = 90^\circ$)、(3)式は次式のように示される。

$$C(r) = C(o) \cdot \text{EXP}(-\alpha \cdot r) \frac{Bb(o)}{Bb(r)} \dots\dots\dots(4)$$

枝縄の見かけのコントラストと枝縄からの距離との関係についての測定結果を Fig. 5 に示す。図中の上部が釣元ワイヤ、下部がナイロンテグスである。これらの値は5回の測定の平均値で示されている。同図から、見かけのコントラストは釣元ワイヤがナイロンテグスより約6倍大きい値であることが判った。また、枝縄からの距離の増加に伴う見かけのコントラストの低下が釣元ワイヤ及びナイロンテグスともほとんどないことも明らかになった。この現象は森永ら (1985) の結果と一致する。ここで、背景からの反射輝度は物体の位置でも距離 r 離

れた位置でも変わらないこと、すなわち、(4)式の右辺の $Bb(o)/Bb(r)$ を1と仮定し、見かけのコントラストと距離との関係を最小自乗法で直線と表示した。更に、これらの直線を距離零 (すなわち、物体の位置) に外挿して、固有のコントラストを推定した。その結果、釣元ワイヤが6.3、ナイロンテグスが1.1になった。

3-3. まぐろの枝縄の水中視認距離

水中で魚が物体を視認し得るか否かは物体の大きさ、物体のコントラスト及び海中の明るさの3要素で決まる (中村, 1989)。

まず、視認し得る物体の大きさは見た位置での視角 (見込角) で限定され、次式の関係がある。

$$D = 2 \cdot r \tan \frac{\phi}{2} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、Dは物体の大きさ、rは物体からの距離、及び ϕ は視角 (物体の見込角) である。ここで、視角 ϕ の逆数を分単位表示したものが視力と定義されている。まぐろの視力は skipjack tuna の場合 0.18 である (NAKAMURA, 1968)。また、物体の形が本研究の枝縄のように非常に細長い時、通常の視力に代り、線視力が適用される。線視力は視力の数倍から十数倍になると報告されているから (SCHWASSMANN, 1974)、まぐろの線視力を0.90 (視力の5倍) と仮定した。

次に、物体を視認し得る限界のコントラストはコントラストスレッシュールドで表示され、ここでは0.05 (HESTER, 1968) とした。

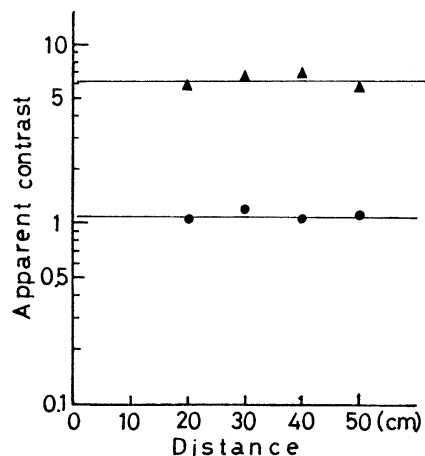


Fig. 5. Apparent contrast versus distance between branch line and luminance meter. Upper: wire leader. Lower: nylon leader.

更に、水中の明るさが170 lx以上あれば魚の視力やコントラストスレッシュールドへの影響はない (NAKAMURA, 1968)。本実験はこの点を考慮して十分明るい条件下 (2,000 lx) で実施した。

Fig. 6 は視認限界における枝縄の見かけのコントラストと視角 (見込角) との関係を示す。図中の▲印が釣元ワイヤ、●印がナイロンテグスである。これらの値は前記の(4)式と(5)式から算出した。また、図中のA、Bの点線は両資材の固有のコントラストを示す。

図より、釣元ワイヤでは視角が小さくなると (距離が大きくなる)、見かけのコントラストは点線Aから次第に小さくなり、低下していくことが判る。このことはナイロンテグスにおいても同様な傾向があった。しかし、枝縄そのものの大きさが非常に小さい (細い) ので、物体に隣接する背景や光路中に存在する粒子による散乱光の影響が顕著に現われると考えられる (森永ら, 1985)。そこで、中村 (1989) の方法により、清澄な水中における視認限界範囲を線視力0.90として求め、Fig. 6に直線Xで示した。すなわち、直線Xより右上方側では視認可能であり、左下方側では視認不可能である。従って、両資材の曲線と直線Xとの交点a及びbが釣元ワイ

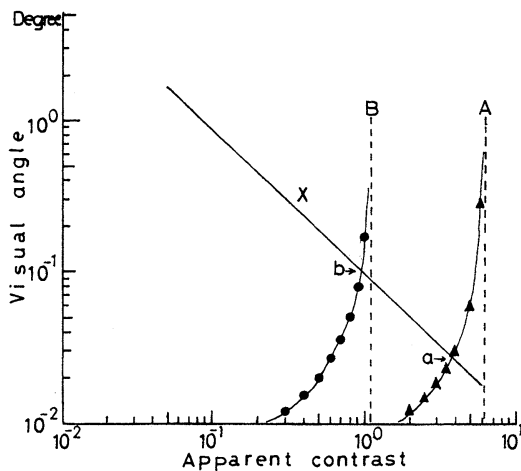


Fig. 6. Apparent contrast versus visual angle with regard to a wire leader and a nylon leader. Symbols ▲ and ● denote a wire leader and a nylon leader, respectively. Dotted lines A and B indicate inherent contrast of 6.3 and 1.1, respectively. The line X shows the relationship between visual angle at the limit of discrimination and apparent contrast. Points a and b stand for the positions crossed with the line X.

イヤ及びナイロンテグスの視認限界の視角及び見かけのコントラストである。同図より、交点aとbにおける各視角と各見かけのコントラストを求めた。視認限界距離は釣元ワイヤで3.6 m、ナイロンテグスで1.1 mとなる。

枝縄の視認距離はナイロンテグスの方が釣元ワイヤの約1/3で短い。すなわち、餌に向かって突進してきたまぐろは、釣元ワイヤの場合、枝縄の手前3.6 mの距離で、ナイロンテグスの場合、枝縄の直前1.1 mの距離でそれぞれ視認することになる。すなわち、枝縄の視認距離が資材の種類で変り、短くなる。このことが釣獲率の上昇に寄与しているものと考えられる。

なお、枝縄に吊り下げた餌の視認距離を試算した (まぐろの視力は0.18とした)。試験操業で使用した餌料はサバ (体長約25cm) で、釣鉤には背掛けの状態であった。また、サバの固有のコントラストを枝縄と同じ測定方法で求めると、その値は16.0であった。これらにより、サバを視認できる限界距離は27.3 mである。

以上の結果は水中が十分明るい2,000 lxの場合である。しかし、水中の明るさは水深、天候及び時刻によって変化する。今、まぐろの遊泳水深を69mと仮定して、明るさがまぐろの視認に影を及ぼす170 lx (NAKAMURA, 1968) になる水面の照度を求めた。Table 2の緑色光 (533 nm) の深さによる減衰比を用いて海面照度を逆算すると約5,862 lx ($170 \text{ lx} \times 100/2.9$) になった。冬季ベンガル湾の晴天日では、海面照度が正午頃約10万 lxに達することから、釣獲率の向上が期待できる操業時刻は朝から夕方までの昼間といえる。

また、まぐろが分布する水深の海水の濁り、すなわち光束消散係数は0.11~0.22 m^{-1} であることは前述した。海水の濁りが光束消散係数0.22 m^{-1} に増大した場合、視認距離は釣元ワイヤで3.2 m、ナイロンテグスで0.91 mと変化する。これは、視認距離が前述の場合に比し、0.2~0.4 mに減少する。このことは本研究の結論にはほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

4. 結 語

まぐろ延縄漁具の枝縄にモノフィラメント製ナイロンテグスの資材を使用すると、釣獲率は従来の資材 (釣元ワイヤ) に比較して向上することが知られている。この現象はまぐろ延縄漁業の規模や操業海域にかかわらず発生している。

著者らはこの現象の主因をまぐろによる枝縄の視認限界距離の差異によるものと考え、(1)操業現場における光環境の把握、(2)現場の光環境と近似の条件下にお

る枝縄の光学的物理量の計測、及び(3)まぐろの枝縄視認距離の算出から検討した。結果は以下のように要約される。

(1)ベンガル湾の操業海域の海水は JERLOV (1964) の光学的水型分類の“oceanic water type I”に該当し、非常に清澄といえる。また、海水の光束消散係数は $0.11 \sim 0.22 \text{ m}^{-1}$ (486 nm) で、懸濁粒子が少ない。

(2)現場で使用されたナイロンテグス (#150, モノフィラメント製) と釣元ワイヤ (#28, 3×3) の太さ(直径)はそれぞれ 2.0 mm, 1.7 mm である。また、清澄な水中(光束消散係数, 0.14 m^{-1}) で十分な明るさ(水中照度, 2,000 lx) の条件下における枝縄の固有のコントラストは、ナイロンテグスで 1.1, 釣元ワイヤで 6.3 である。

(3)まぐろの線視力を 0.90 (視力の 5 倍) と仮定し、上記の結果を適用した時の視認限界距離はナイロンテグスで 1.1m, 釣元ワイヤで 3.6 m である。このことはまぐろの枝縄の視認距離が資材の種類で変わり、小さくなることを示唆し、釣獲率の向上に寄与するものと判断される。

謝 辞

ベンガル湾における光環境の観測に御協力を戴いた東京水産大学研究練習船神鷹丸船長井上 清教授(当時)、士官及び乗組員の皆様に感謝の意を表す。また、試験操業に用いた枝縄資材を御提供いただいた神鷹丸一等航海士春日 功助教授に衷心より御礼申し上げる。この研究の一部は科学研究費補助金(まぐろの視程に関する研究, 課題番号 02454078) で実施された。

文 献

- DUNTLEY, S. Q. (1963): Underwater visibility, M.N. Hill(ed.), The Sea. John Wiley & Sons, New York. p. 452-455.
- EMERY, W. J. and J. MEINKE (1986): Global water-masses; Summary and review. *Oceanol. Acta*, **9**: 383-391.
- 芳賀正隆・松生 治 (1986): 夏季ベーリング海における光環境と植物プランクトン光合成の量子収率. *La mer*, **19**: 115-124.
- HESTER, F. J. (1968): Visual contrast thresholds of the goldfish *Carassius auratus*. *Vision Res.*, **8**: 1315-1335.
- JERLOV, N.G.(1964): Optical classification of ocean water. *Physical aspects of light in the sea*. Univ. Hawaii Press, Honolulu, p. 45-49.
- 春日 功 (1990): テグス(モノフィラメント)製鮪延縄漁具による試験操業について. *水産技術と経営*, **200**: 55-62.
- MATSUIKE, K. and T. MORINAGA (1977): Beam attenuation and particle-size distribution in the Kuroshio area. *La mer*, **15**: 82-93.
- 森永 勤・井上 清・春日 功・今関昭博・武田誠一・荒川久幸(1987): ベンガル湾におけるマグロ・カジキ類の分布と海洋構造. 昭和 62 年度日本水産学会秋季大会講演要旨集.
- 森永 勤・松生 治・小野昭喜(1985): 濁った水中における写真撮影範囲と色の移動. *J. Tokyo Univ. Fish.*, **72**: 71-83.
- NAKAMURA, E. L. (1968): Visual acuity of two tuna, *Katsuwonus pelamis* and *Euthynnus affinis*. *Copeia*, 41-49.
- 中村善彦(1989): 水中の濁りが魚の視力に与える影響に関する基礎的研究. *J. Tokyo Univ. Fish.*, **76**: 83-122.
- SCHWASSMANN, H. O. (1974): Refractive state, accommodation, and resolving power of the fish eye. M. A. Ail(ed.), *Vision in fishes*. Plenum Press, New York, p. 279-288.
- TSUDA, R. and N. INOUE(1973): Study on the underwater visibility of net twines by human eye - II Underwater visibility of dyed and transparent twines. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **39**: 243-252.
- VINYARD, G.L. and W.J. O'BRIEN(1976): Effects of light and turbidity on the reactive distance of bluegill *Lepomis macrochirus*. *J. Fish. Res. Board Can.*, **33**: 2845-2849.

巨視的浮遊性大型粒子 (NUTA): 採取装置の開発と 懸濁粒子・沈降粒子との関係*

三島康史**・門谷 茂**・岡市友利**

Large amorphous particles (NUTA): The development of the sampling system and comparison with suspended and sinking particles*

Yasufumi MISHIMA**, Shigeru MONTANI** and Tomotoshi OKAICHI**

Abstract: Suspended and sinking particles were collected at northern part of Harima-Nada, the Seto Inland Sea, during two weeks in June 1985. In addition, we attempted to collect large amorphous particles (NUTA). The relationships of these particles were investigated by comparing organic matter contents in individual particles. The daily sinking total mass fluxes were comparable to about 10 % of the suspended particles standing stock in the surface through 10 m depth water column in each day. The daily organic carbon, organic nitrogen and Chl. *a*+pheophytin fluxes were comparable to 9.0%, 5.8% and 16.4% in suspended particle standing stock in the surface through 10 m depth water column, respectively. The high percentage of Chl. *a*+pheophytin, low percentage of nitrogen and low value of Ch. *a*/pheophytin ratio suggested that the sinking particle contained many zooplankton derived from materials such as fecal pellet. The vertical profiles of organic matter contents in NUTA and suspended particles in the water column were different from each other. Comparing with amino acids composition, NUTA were more similar to the sinking particles and also to aged phytoplankton debris. It is considered that NUTA are formed through the decomposition process of phytoplankton to detritus and also related to scavenging process of marine particles.

1. 緒言

海水中に存在する粒子の中には沈降速度が非常に小さいため海水の動きとほとんど同調している懸濁粒子と呼ばれるもの他に、相対的に大きな沈降速度を持っているものもあり、これらはセディメントトラップ (sediment trap) により採取され、沈降粒子と呼ばれている。沈降粒子は動物プランクトンの糞粒などを含む大型の粒子で、海洋における物質の除去や、底棲生物への食物の供給などに重要な役割をはたしていることが指摘されている (SMAYDA, 1969; HONJO, 1978 など)。

しかしながら沿岸海域では、春季および秋季のブルミング (blooming) の後や赤潮が発生した後、長さ数

cm にもおよぶ細長い巨大粒子が頻繁に観察され、この粒子はマリンスノー (marine snow), アグリゲート (aggregate) あるいは「ぬた」・「よごれ」などと様々な名前で呼ばれている (辻田, 1952 など)。これらの粒子が漁網に絡まったり、セディメントトラップ係留系のロープなどに付着することは、多くの人々によって観察されている (辻田, 1982)。

良く知られているように、マリンスノーは北海道大学水産学部の潜水調査艇「くろしお号」での観察により命名された大型の懸濁粒子の総称である (SUZUKI and KATO, 1953)。マリンスノーの物理的特徴は、粒子としてはもろく、空隙率も高い (KAJIHARA, 1971)。そのため採水器などで採取しようとしても採水時の衝撃等で容易に壊れてしまい、その原形をとどめたままでは採取することが非常に困難であり、その研究は最近までほとんど進んでいなかった。しかしながらスキューバダイビング

*1990年7月30日受理 Received July 30, 1990

**香川大学農学部 〒761-07 香川県木田郡三木町池戸
2393

Faculty of Agriculture, Kagawa University, Ikenobe
2393, Miki-cho, Kagawa, 761-07 Japan

グ等により直接、マリンスノーやアグリゲートを採取することや潜水艇などで直接観察することなどが試みられ、次第に海洋学的な関心を集めてきた。

マリンスノーの粒子密度は沿岸海域では1L当り数個から数10個であり (TRENT *et al.*, 1978; ALLDREDGE, 1979; SHANKS and TRENT, 1980), 有機態炭素・窒素, タンパク質, 脂質等の有機物含有量が非常に多く (TRENT *et al.*, 1978; ALLDREDGE, 1979; ALLDREDGE and Cox, 1982), マリンスノー粒子の空隙中に存在する栄養塩濃度は周辺に存在する海水に比べて数10~100倍高いと報告されている (SHANKS and TRENT, 1979)。基礎生産量の数10%に相当する量の栄養塩がマリンスノー粒子の空隙に存在している海域があることや (KNAUER *et al.*, 1982), マリンスノーはバクテリア等の微生物の繁殖の場でもあることなどが報告されている (ALLDREDGE and YOUNGBLUTH, 1985; ALLDREDGE *et al.*, 1986)。しかしながら, これらの粒子の化学的性質やその存在量は海域や季節によって変動が大きく, いまだに採取の困難さも解決されていないことなどから, 海洋環境におけるマリンスノーなどの浮遊性大型粒子の分布や生成過程等についての研究は立ち遅れている。

そこで著者は, 沿岸海域におけるこれらの浮遊性大型粒子 (漁師などによりこの粒子は, 粘液質で網などに絡まることなどから「ぬた」と呼ばれており, 本報告では以後“NUTA”と称する) の存在に着目し, NUTAがロープなどに付着するという現象を利用して, これまでに考えられていなかったその採取器具 (NUTAトラップ) の開発と現場海域での採取を試みた。そしてこの粒子が別に定義されている懸濁粒子や沈降粒子と質的などの様に異なっているのか, またこの粒子が海洋生態

系でどのような役割をはたすのか, 更にこれら各々の粒子間の相互関係も明らかにすることを目的とした。

2. 試料の採取

Fig. 1に示した播磨灘北部海域の定点 (St. 64, 水深17m)において1985年7月15日~27日の約2週間にわたり, 連日海洋観測と各試料の採取を行った。

海中懸濁粒子は6L型バンドン採水器を用いて0, 2, 5, 10, B-2 m(海底上2 m) 層で採取した。海中沈降粒子はセディメントトラップ (MONTANI *et al.*, 1988) を海底上5mの深度に設置して1昼夜ごとに合計15回にわたって採取した。またNUTAは浮遊性大型粒子採取装置 (NUTA Trap) を0, 2, 5, 10, B-2 m深に一昼夜垂下し採取した。使用したNUTA Trap M-1はロープにプラスチック製のホルダーを取り付け, それに予め450°Cで3時間強熱処理した2cm×10cmのWhatman GF/Cフィルターを巻きつけたものである (Fig. 2)。採取したNUTA試料はフィルターごと凍結し, 分析試料とした。各試料の分析項目は有機態炭素・窒素, Chl. *a*, アミノ酸等である。

3. 分析方法

3-1. 海中懸濁粒子量および沈降粒子束

海水1Lを, 予め再蒸留水で洗浄し450°Cで2時間強熱処理して重量を測定したWhatman GF/Cフィルターで吸引濾過し, フィルター上に残った粒子を濾紙ごと凍結(-20°C)した。これを実験室に持ち帰り凍結乾燥後, 精秤してその重量の差分を懸濁粒子量とした。

セディメントトラップにより採取された沈降粒子はトラップを船上に回収してからしばらく静置した後, 上澄

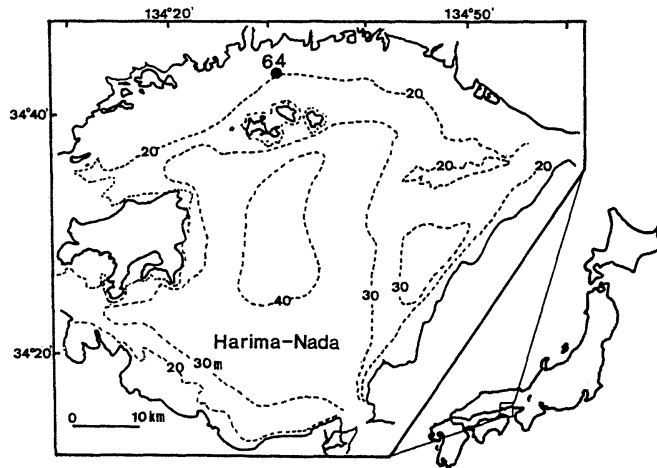


Fig. 1. Location map of sampling station in Harima-Nada, the Seto Inland Sea, Japan.

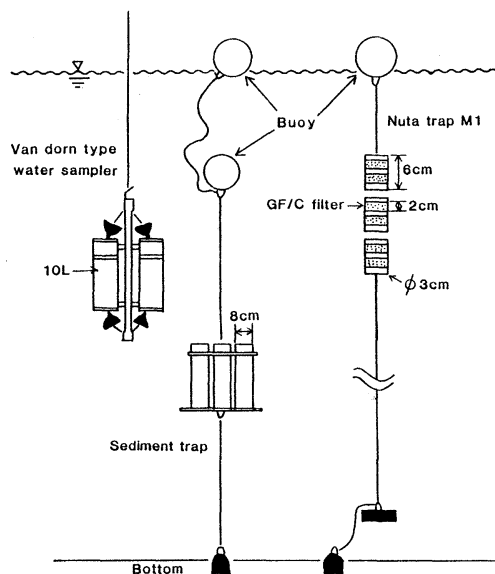


Fig. 2. Illustration of Van Dorn type water sampler, sediment trap and NUTA trap system.

みを除去し、重量既知の Whatman GF/C フィルターを用いてフィルター上に集め、懸濁粒子量と同様の方法で、沈降粒子重量を求め、垂下した時間とトラップの底面積から沈降粒子束を算出した。

3-2. 有機態炭素・窒素

懸濁粒子と沈降粒子については 3-1 のように処理したものを、NUTA の試料は GF/C フィルターごと凍結乾燥した試料を、柳本社製 MT-2 型 CHN コーダーを用いて有機態炭素・窒素を同時定量した。

3-3. クロロフィル a およびフェオフィチン

懸濁粒子では海水 1L を Whatman GF/C フィルターを用いて吸引濾過し、直ちに濾紙ごと 10ml 容のネジ口試験管に移し、90%アセトン 10ml を加え、10 時間冷暗所で抽出した。この試料を遠心分離後、吸光法 (PARSONS *et al.*, 1984) で測定した。

沈降粒子はトラップ 1 本の 1/3 量を Whatman GF/C フィルターを用いて吸引濾過し、懸濁粒子と同様の方法で測定した。

3-4. アミノ酸

懸濁粒子・沈降粒子および NUTA の試料を凍結乾燥後、試料をネジ口瓶にとり 6N HCl を 10ml 加え窒素ガスを 5 分間通気した後、110°C で 22 時間加水分解した。これを Whatman GF/C フィルターを用いて濾別し、濾液を 45°C 以下で減圧乾固し、適当量の 0.01N HCl で

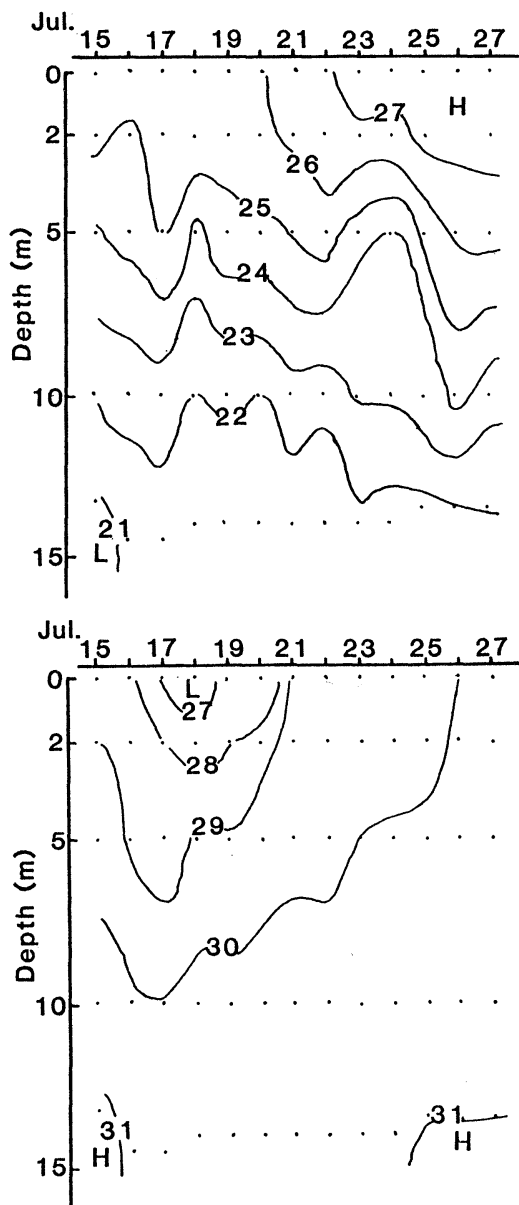


Fig. 3. Vertical distributions of water temperature (upper) and salinity (bottom).

溶解させ、日立 KLA-5 型アミノ酸分析計および日立 835 型アミノ酸分析計を用いて定性・定量を行った (門谷・岡市, 1984)。

4. 結果および考察

観測定点を設けた播磨灘北部海域では、7 月 15 日から 7 月 27 日にかけて表層で水温 25~28°C, 塩分 26.3

Table 1. Comparison of particulate matter, organic carbon, organic nitrogen and Chl. *a*+pheophytin settling fluxes and Chl. *a*/pheophytin ratio with their standing stocks.

| | TPM* | Org.C | Org.N | Chl. <i>a</i> +pheophytin | Chl. <i>a</i> /pheophytin |
|---|-----------|------------|-------------|---------------------------|---------------------------|
| 0-10m standing stock (A) (g/m ²) | 68.3±20.7 | 6.60±1.24 | 1.13±0.19 | 0.0689±0.0207 | 6.2±5.0 |
| Setting flux (B) (g/m ² /day) | 8.62±2.17 | 0.593±0.14 | 0.066±0.017 | 0.0113±0.0038 | 1.2±0.2 |
| B/A (%) | 10.5 | 9.0 | 5.8 | 16.4 | |

* : Total particulate matter.

~30.2であり、5m から10m にかけて水温躍層・密度躍層が見られ、成層構造をしていた (Fig. 3)。

この観測期間中に得られた沈降粒子束および有機態炭素・窒素、Chl. *a*+Pheophytin の沈降流束の平均値と、表層から10m 深 (セディメントトラップ設置深度) までの水柱中の懸濁粒子、有機態炭素・窒素、Chl. *a*+Pheophytin の現存量の平均値との比較と、それぞれの粒子の Chl. *a*/pheophytin 比を Table 1 に示す。調査期間内の沈降粒子束の平均値は、8.62±2.17g/m²/day であった。一方、懸濁粒子の現存量 (0~10m) は 68.3±20.7g/m² であり、10 m 深における1日当りの沈降粒子束は表層から10 m 深までの現存量の10.5%に相当している。しかしながら、懸濁粒子の多い日に必ずしも沈降粒子束が大きいという明瞭な関係は見られなかった (Fig. 4)。

有機態炭素・窒素および Chl. *a*+Pheophytin の平均沈降流束は、それぞれ 0.593 ±0.142g/m²/day, 0.066 ±0.017g/m²/day, 11.3 ±3.8mg/m²/day であり、そ

れぞれの表層から10 m 深までの現存量は 6.60±1.24 g/m², 1.13±0.19g/m², 68.9±20.7mg/m² であった。そして各成分の平均沈降流束に対する現存量の割合は有機態炭素 9.0%, 有機態窒素 5.8%, Chl. *a*+Pheophytin 16.5% であった。有機態窒素の沈降流束は懸濁粒子中の有機態窒素現存量の 5.8 % であり、全沈降粒子束や有機態炭素の沈降流束のそれぞれの現存量に対する比率と比べると小さい値であった。また、Chl. *a*+Pheophytin の沈降流束の現存量に対する比率は、これらの値に比べると大きな値となっていた。

また、Chl. *a*/Pheophytin 比を比べてみると、懸濁粒子では 6.2±5.0 であったが、沈降粒子中のその比は 1.2±0.2 であった。このように懸濁粒子は沈降粒子に比べて非常に大きな値となっており、沈降粒子中には懸濁粒子に比べて新鮮な植物プランクトンをあまり含んでいないことを示している。加えて、懸濁粒子ではこの比の日変動は、変動係数にして 80% にもおよんだにもかかわらず、沈降粒子の変動係数はわずかに 13% であった。このように沈降粒子中の Chl. *a*/Pheophytin 比は懸濁粒子中のその比にほとんど影響されておらず、この点からみても懸濁粒子と沈降粒子は同質のものではなく、生成過程が異なっていることが分かる。

沈降粒子の主成分が動物プランクトンの糞粒 (fecal pellet) であるという報告が多くあるが、本研究で得られた沈降粒子についても同様だとすると、これらの現象は説明可能である。つまり、有機態窒素の沈降流束の現存量に対する割合が他と比べて小さいのは、動物プランクトンが植物プランクトンを含む懸濁粒子を摂食し、有機態窒素を選択的に体内で消化・吸収したためと考えることができる。また、Chl. *a*+Pheophytin の沈降流束の現存量に対する割合が他と比べて大きいのは、動物プランクトンが懸濁粒子中でも特に植物プランクトンを選択的に摂食したためと考えられる。加えて、沈降粒子中

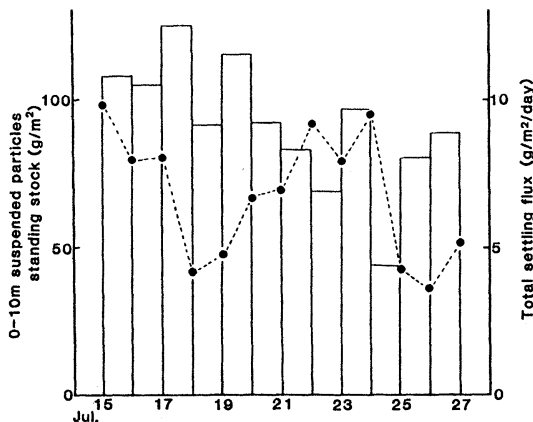


Fig. 4. Changes of total mass fluxes and suspended particles standing stock in the surface through 10 m depth water column.

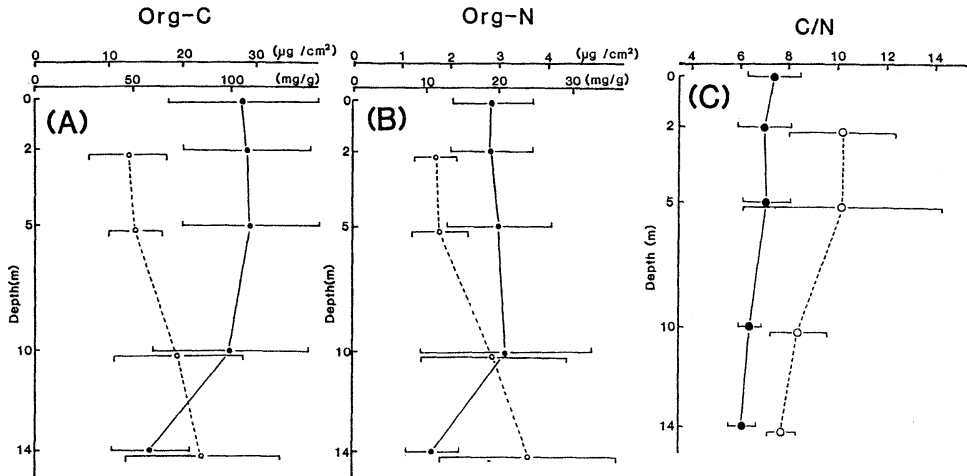


Fig. 5. Vertical distribution of organic carbon (A), organic nitrogen (B) and C/N ratio (C) in suspended particles (●) and NUTA (○).

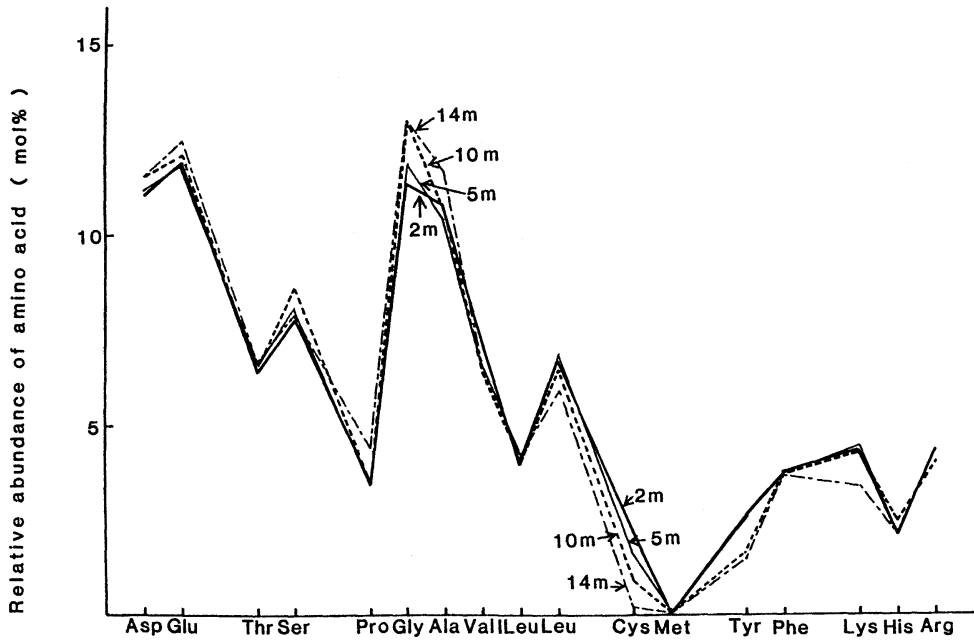


Fig. 6. Comparison of relative abundance of individual amino acid in NUTA.

の $\text{Chl. } a/\text{Pheophytin}$ 比が懸濁粒子中でのこの比より小さく、また一定した値になっていることは、植物プランクトンが動物プランクトンの摂食および排泄により分解・消化されることにより、この $\text{Chl. } a/\text{pheophytin}$ 比が 1.2 前後の値となるのではないかと推定できる。実際セディメントトラップ中には糞粒と思われる粒子が多数捕集されており、この事実もこの考え方を支持している。

次に、この 15 回の観測で得られた NUTA と懸濁粒子の有機態炭素・窒素濃度およびその C/N 比の鉛直分布を Fig. 5 に示す。両者とも同一深度について観測期間内に得られた全試料の平均値とその標準偏差を示している。懸濁粒子中の有機態炭素・窒素濃度は、10m 深まではほぼ一定（それぞれ $100\text{mgC}/\text{g}$ 、 $20\text{mgN}/\text{g}$ 程度）であったが、14m 深ではそのほぼ半分程度の値であった。一方 NUTA では、有機態炭素・窒素濃度は深度が増す

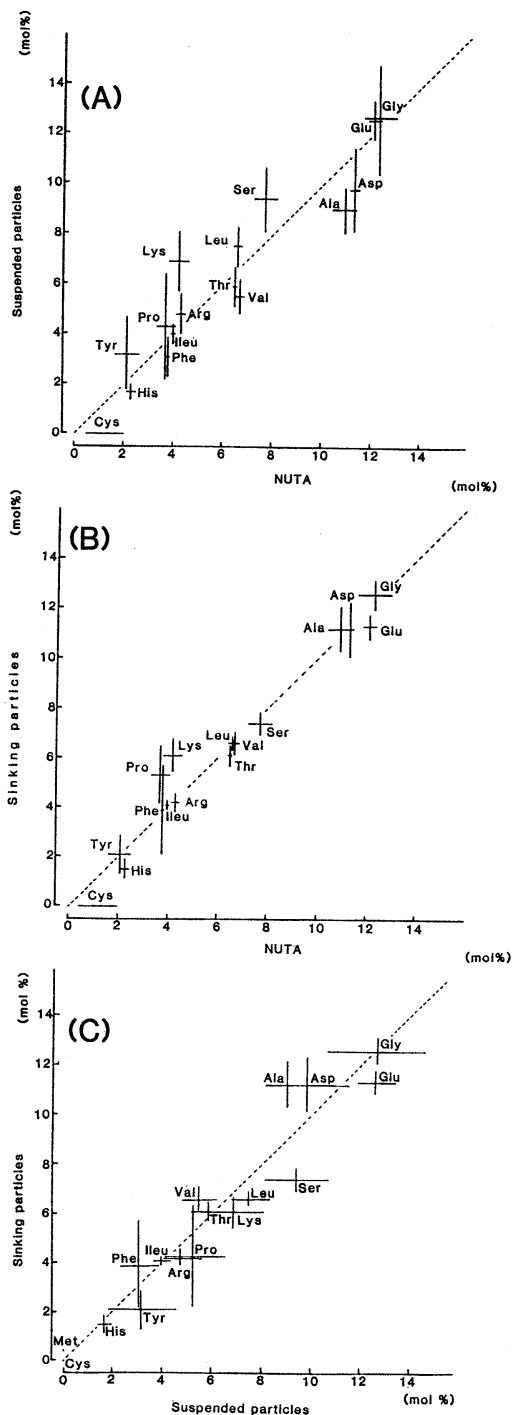


Fig. 7. Correlations of amino acid composition in suspended particles and in NUTA (A), in sinking particles and in NUTA (B), and in suspended particles and in sinking particles (C).

にしたがってそれぞれ漸増していた。C/N比はこの両者とも水深が増すに連れて漸減していったが、いずれの深度でも NUTAの方がかなり高く、平均値でそれぞれ 6.7(懸濁粒子) および 9.1(NUTA)であった。このことから NUTAは懸濁粒子に比べて相対的に窒素含有量が少ない、微生物的な分解が進み窒素化合物が選択的に離脱した、生成してからの経過時間の長い粒子ではないかと考えられる。ALLDREDGE(1979)はカリフォルニア湾およびサンタバーバラ海峡の水深 10m でスキューバダイビングにより採取されたマリンスノー(長径 3 mm 以上の粒子)の C/N 比は、平均でそれぞれ 11.3 および 9.7 であり、同時に採取された全懸濁粒子の C/N 比の平均値それぞれ 7.7 および 6.1 よりも高い値になっていると報告している。我々が NUTA Trap により採取した NUTA と懸濁粒子の C/N 比も同様の傾向をしており、NUTA Trap により、マリンスノー状の大型粒子を採取しているものと考えられる。

また NUTA のアミノ酸組成を深度別に比較したものを Fig. 6 に示す。ここで特徴的なことは各深度のアミノ酸組成にはあまり大きな相違が無いことである。しかしながら、含硫アミノ酸の Cysteine の含有比が深度とともに減少しており、また Lysine や Histidine も深層では減少していた。逆に中性アミノ酸の Alanine や Glycine が深度が増すにつれて増加しており、深度の増加と共に相対的に必須アミノ酸が減少している。各層で採取された NUTA の起源に大きな差はなく、水深が増すにつれて生成してからの経過時間が長い、古い粒子が存在しているのであろうと考えられる。

次に 3 種の粒子中(懸濁粒子・沈降粒子・NUTA)のアミノ酸組成の比較を行い、それぞれを Fig. 7A, B, C に示す。この図は 2 種類の粒子中に含まれている個々のアミノ酸のモルパーセントの平均値(十字の交点)をプロットし、それぞれの粒子中のアミノ酸モルパーセントの標準偏差を棒の長さで示している。ここで 3 種の粒子間のアミノ酸組成の類似度(アミノ酸組成比の相関係数)を見てみると、懸濁粒子と沈降粒子の間で $r=0.961$ 、懸濁粒子と NUTA で $r=0.952$ 、また沈降粒子と NUTA については $r=0.979$ の値が得られたことから、NUTA の化学的性質は懸濁粒子よりも沈降粒子に多少似ていることが推測された。また、この観測期間中の現場海域で植物プランクトン群集の優占種であった珪藻の *Skeletonema costatum* とラフィド藻の *Chattonella antiqua* を純粋培養したものを、実験室内で枯死させて、それぞれのアミノ酸組成と今回得られた NUTA の

アミノ酸組成の平均値を比較してみると類似度でそれぞれ $r=0.972$, $r=0.967$ となり, これらも似ていることが分かった。

以上の事から NUTA は一般的に定義されている懸濁粒子とは異なった性格を持つ粒子であることが明らかとなり, 採水時の衝撃等で容易に壊れてしまうため, 今までの採水法では採取されにくい粒子ではないかと考えられる。また, アミノ酸組成からみると NUTA は懸濁粒子よりもむしろ沈降粒子に類似していることが明らかとなった。そして NUTA のアミノ酸組成が枯死させた植物プランクトンのアミノ酸組成とも類似していた事などから, NUTA が沿岸海域における植物プランクトンのデトライタス化と, 沈降に何等かのかたちで関与している可能性が示唆された。

マリンスノーの起源については海中で生起する泡が関与しているという報告 (JOHNSON and COOKE, 1980), バクテリアによる作用とする報告 (PAERL, 1973; 1974), 動物プランクトンが関与しているとするもの (ALLDREDGE, 1976; POMEROY and DEIBEL, 1980) や陸から運ばれている粒子によるものとする報告 (SHOLKOVITZ, 1976) などがあるが, NUTA についてはその起源物質は主に植物プランクトンであり, これらがなんらかの過程を経て生成したのと考えるのが妥当であろう。

謝 辞

最後に試料採取に協力いただいた香川大学農学部海水利用学研究室の大学院生・学生諸君, ならびに兵庫県室津漁業協同組合の関係者の皆様方に記して感謝する。

文 献

- ALLDREDGE, A.L. (1976): Discarded appendicularian house as suburces of food, surface habitates, and particulate organic matter in planktonic environment. *Limnol. Oceanogr.*, **21**, 14-23.
- ALLDREDGE, A.L. (1979): The chemical composition of macroscopic aggregates in two neritic seas. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 855-866.
- ALLDREDGE, A.L., J. J. COLE and D.A. CARON (1986): Production of heterotrophic bacteria inhabiting macroscopic organic aggregate (marine snow) from surface water. *Limnol. Oceanogr.*, **31**, 68-78.
- ALLDREDGE, A.L. and J.L. COX (1982): Primary productivity and chemical composition of marine snow in surface waters of the southern California Bight. *J. Mar. Res.*, **40**, 517-527.
- ALLDREDGE, A.L. and M. J. YOUNGBLUTH (1985): The significance of macroscopic aggregates (marine snow) as sites for heterotrophic bacterial production in the mesopelagic zone of the south tropical Atlantic. *Deep-Sea Res.*, **32**, 1445-1456.
- HONJO, S. (1978): Sedimentation of materials in the Sargasso Sea at 5367 m deep station. *J. Mar. Res.*, **36**, 469-492.
- JOHNSON, B. D. and R.C. COOKE (1980): Organic aggregate formation resulting from distribution of bubbles in sea water. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 653-661.
- KAJIHARA, M. (1971): Settling velocity and porosity of large suspended particles. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **27**, 158-162.
- KNAUER, G. A., D. HEBEL and F. CIPRIANO (1982): Marine snow: major site of primary production in coastal waters. *Nature*, **300**, 630-361.
- 門谷 茂・岡市友利(1984): 播磨灘における沈降・堆積過程での粒子態アミノ酸の変化. *地球化学*, **18**, 45-53.
- MONTANI, S., K. TADA and T. OKAICHI (1988): Purine and pyrimidine bases in marine particles in the Seto Inland Sea, Japan. *Mar. Chem.*, **25**, 359-371.
- 西村雅吉 (編) 角皆静男・乗木新一郎 (著) (1983): 海洋化学. 産業図書.
- PAERL, H. W. (1973): Detritus in Lake Tahoe: Structural modification by attached microflora. *Science*, **180**, 496-498.
- PAERL, H.W. (1974): Bacterial uptake of dissolved organic matter in relation to detrital aggregation in marine and fresh water system. *Limnol. Oceanogr.*, **21**, 966-972.
- PARSONS, T.R., Y. MAITA and C.M. LILLI (1984): A Manual of Chemical and Biological Methods for Sea Water Analysis. Pergamon Press, New York, pp.173
- POMEROY, E. R. and D. DEIBEL (1980): Aggregation of organic matter by pelagic tunicates. *Limnol. Oceanogr.*, **25**, 643-652.
- SHANKS, A.L. and J.D. TRENT (1979): Marine snow: Microscale nutrient patches. *Limnol. Oceanogr.*, **24**, 850-854.
- SHANKS, A.L. and J.D. TRENT (1980): Marine snow: sinking rates and potential role in vertical flux. *Deep-sea Res.*, **27**, 137-143.

- SHOLKOVITZ, E.R. (1976): Flocculation of dissolved organic matter inorganic matter during the mixing river and sea water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**, 831-845.
- SMAYDA, T.J. (1969): Some measurements of the sinking rate of fecal pellets. *Limnol. Oceanogr.*, **14**, 621-625.
- SUZUKI, S. and K. KATO (1953): Studies on suspended materials marine snow in the sea: part 1. Source of marine snow. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **4**, 131-137.
- TRENT, J.D., A.L. SHANKS and M.W. SILVER (1978): *In situ* and laboratory measurements on macroscopic aggregates in Monterey Bay, California. *Limnol. Oceanogr.*, **23**, 626-635.
- 辻田時美(1952): 日本近海に発生する有機懸濁物に関する研究. *日本海洋学会誌*, **8**, 113-126.
- 辻田時美(1982): デトリタスー海洋水の新しい有機物像. *海洋科学*, **14**, 466-471.

水中灯下に蝟集した魚群の行動の魚群探知機および 水中テレビカメラによる観察*

長谷川英一**・小林 裕**

Observation on the fish behaviour around the underwater lamps by fish sounder and underwater TV camera*

Eiichi HASEGAWA** and Hiroshi KOBAYASHI**

Abstract: Changes of fish behaviour around the underwater lamps were observed by using a fish sounder and an underwater video camera. Both the amount of fish in the beam angle of fish sounder and the amount of fish in the visual field of an underwater video camera changed in synchronizing with turning on and off the lamps. Isoillumination line of 1.0 lx had a tendency to become a boundary of fish distribution around the underwater lamps. It seemed that the minimum stimulus which influenced fish reaction to the changes in illumination was very low. The number of fish concentrated around the underwater lamps was estimated to be 0.47m^{-3} .

1. 緒 言

集魚灯が作る光環境に対する魚群の反応行動の発現過程としては、集魚灯光の発見、接近、滞留そして離散が考えられる。川村(1979a)は海況が穏やかで船の対水速度ゼロと考えられ、かつ船体動揺がほとんど無かったときの魚群探知機記録例を引用して、集魚灯に集まったゴマサバ群の動きを推察している。しかし、集魚灯の点滅や船の動揺などによる水中照度分布の変化にともなう集魚群の行動を観察することも、実際の操業時における魚群行動を推察する上に役立つと思われる。

本研究では、集魚灯を点滅させることにより人為的に水中照度分布を変化させ、それにとりなう集魚群の短周期的な離合集散を、魚群探知機および水中テレビカメラを使用し観察した。また、水中テレビカメラの被写空間内への出現個体数から蝟集魚群の密度を推定した。

2. 実験方法

1988年4月16日と21日の夜間(以下4月16日を4/16、4月21日を4/21と略記する)、Fig. 1に示す伊

豆諸島海域の大室出し付近の200m等深線上にて、三重大学練習船勢水丸(359トン)の右舷舷側から水深5mにメタルハライドランプM2000 BW-G、55mに高圧ナトリウムランプNH2000W、また、水深10mに水中テレビカメラを垂下した。以下、メタルハライドランプをA灯、高圧ナトリウムランプをB灯と呼ぶ。両水中灯と水中テレビカメラとの水平距離はおおよそ2~3mである。

魚群探知機の送受波器はボートデッキ後方のトロールウインチ制御室の下方船底に取り付けられており、周波数28KHz、指向角27度で記録された。ただし、4/21の20時43分から21時12分(以下20時43分を2043、21時12分を2112のように略記する)までの間と2153頃は周波数200KHzで記録した。また、2個の300Wハロゲンランプをもつ水中テレビカメラは船上のビデオ録画装置と接続した。魚群探知機の送受波器と水中灯との水平距離はおおよそ15mである。実験の概要をFig. 2に示す。

両水中灯を任意の時間間隔で点滅し、蝟集したマサバ *Scomber japonicus* およびゴマサバ *Scomber australasicus* 群の行動を上記の魚群探知機と水中テレビカメラで記録した。川村(1976)はマサバとゴマサバの網膜の組織学的形態の差にもとづく両種の行動の差を考慮する

*1990年5月9日受理 Received May 9, 1990

**三重大学生物資源学部、〒514 三重県津市上浜町 1515
Faculty of Bioresources, Mie University, Kamihamacho, Tsu, Mie, 514 Japan

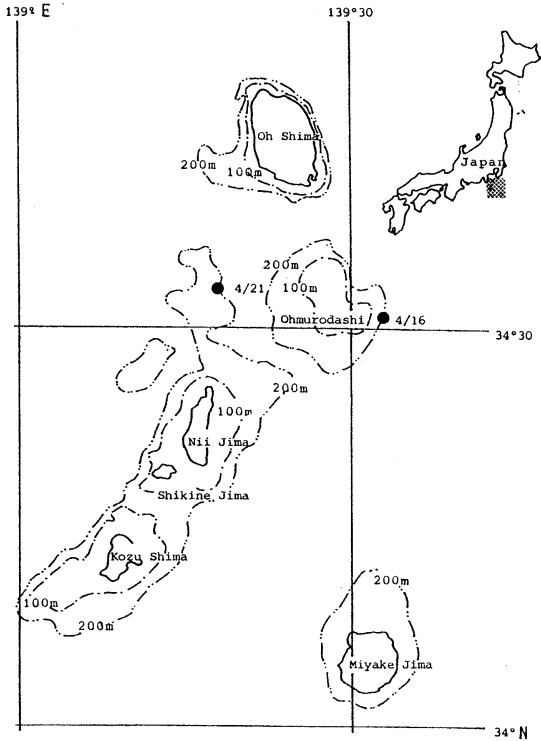


Fig. 1. Experimental area.

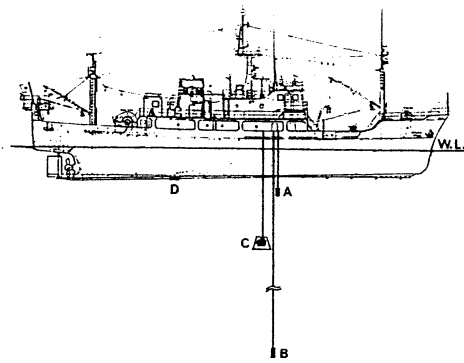


Fig. 2. Schematic diagram of experiment.
 A: Upper underwater lamp. B: Lower underwater lamp. C: Underwater TV camera.
 D: Transducer of fish echo sounder.

この必要性を説いているが、両種の行動の差に関しては推測の域を出ないので、本実験では両種を分けずに扱った。

この魚群探知機記録紙にあらわれる魚群の分布水深や魚群量を客観的に数量化するために、魚群探知機記録映像をビデオカメラで撮り、その魚群画像の明度の差をビデオデジタイザーシステム（朋栄 FVW-300,

FVW-300BE）により二値化処理した。二値化処理した映像は白と黒の映像に明瞭に区分され、そのいずれかの領域の面積をコンピューターディスプレイ上のドット数としてあらわすことができる。井上・有元（1985）は魚探記録紙上の映像を実際の魚群の断面積に比例しているものとして扱い、魚群量指数を定義しているが、本実験ではこのドット数を1分間あたりに換算して魚群量とみなし、その相対的な変化を比較した。なお、蝟集した魚種の確認は釣獲により行った。

3. 結果および考察

(1) 水中灯の点滅にともなう魚群量変化

両水中灯の点滅にともなう魚群探知機記録の変化を Fig. 3 (4/16) と Fig. 4 (4/21) に示す。A 灯、すなわちメタルハライドランプの点灯で実験が開始される。魚探記録の最深部は 4/16 が 200m、4/21 が 300m である。

記録紙中、丸で囲んだ箇所を拡大したものを下方に示

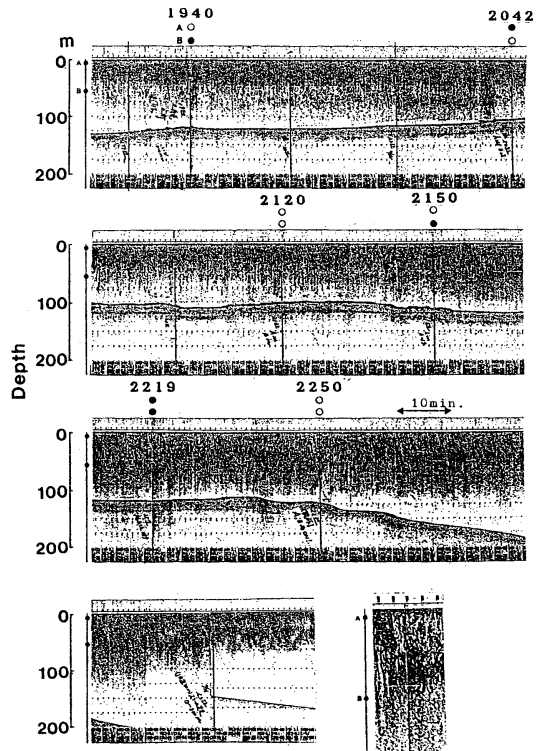


Fig. 3. Changes of fish echoes in response to changes in underwater light intensity, Apr. 16. A: Upper underwater lamp. B: Lower underwater lamp. ○: Turn on the lamp. ●: Turn off the lamp.

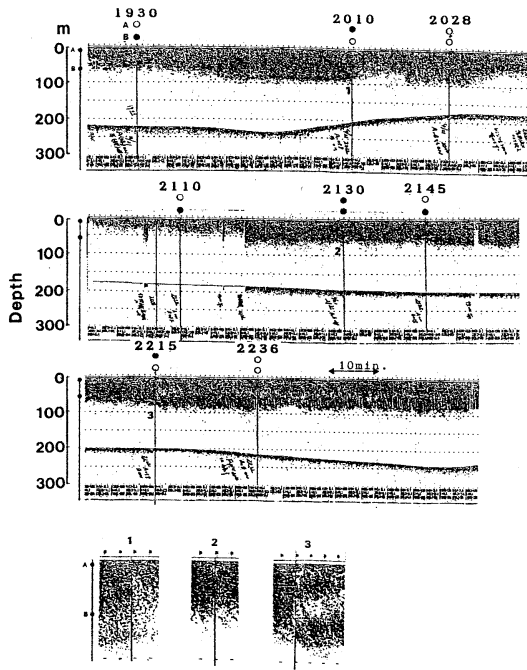


Fig. 4. Changes of fish echoes in response to changes in underwater light intensity, Apr. 21. Symbols are same as in Fig. 3.

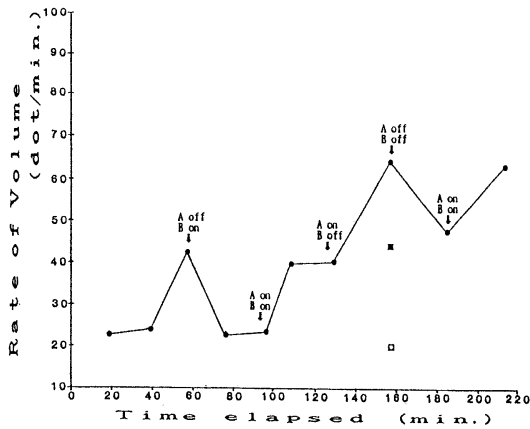


Fig. 5. Changes in the quantity of digitized fish echoes, Apr. 16. ●: Total quantity. ■: Quantity of upper fish echoes. □: Quantity of lower fish echoes.

したが、いずれも A 灯の消灯にともなう変化であり、A 灯を設置した水深 5m 付近より下方の魚探映像に大きな変化がみられ、魚影が消失した。また、4/16 2150 の両灯点灯から B 灯を消灯したとき、および 4/21 2215 の A 灯点灯、B 灯消灯から A 灯消灯、B 灯点灯にした

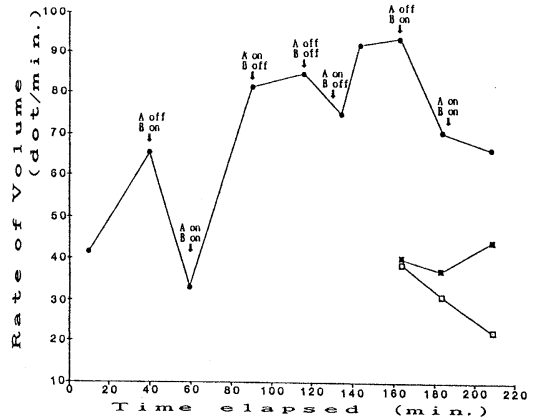


Fig. 6. Changes in the quantity of digitized fish echoes, Apr. 21. Symbols are same as in Fig. 5.

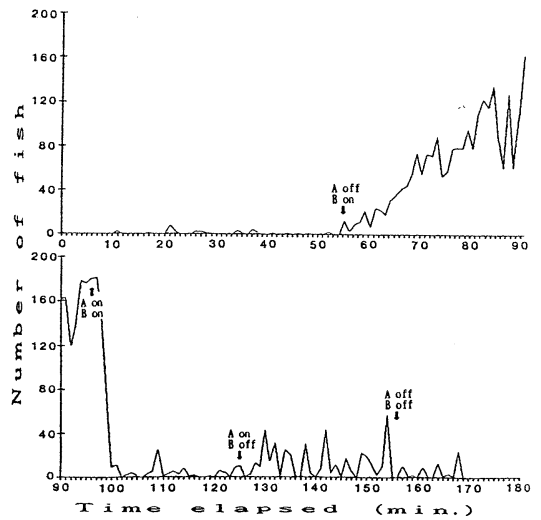


Fig. 7. Changes in the number of fish appeared in the underwater video camera's visual field, Apr. 16.

ときに蛸集魚群が上層と下層に分離する現象が観察された。

二値化処理した映像から求めた単位時間当たりの魚影面積、すなわち、送受波器指向角内の魚群量の水中灯点滅にともなう変動を Fig. 5 (4/16) と Fig. 6 (4/21) に示す。特に A 灯の点灯による増加、消灯による減少傾向が顕著にみられる。

また、両日ともに水中灯点灯後少なくとも 160 分までの間は、水中灯の点滅にともなう魚群量の増減にかか

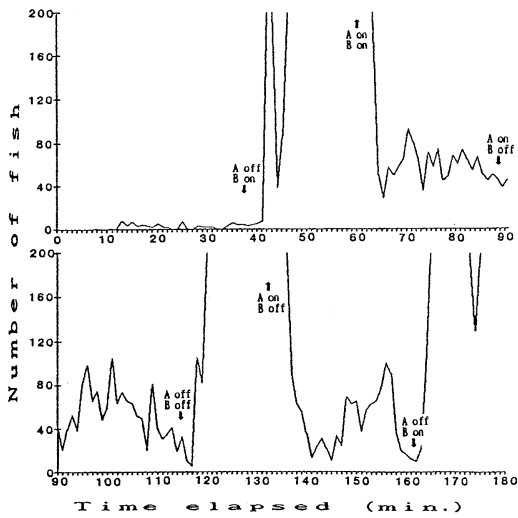


Fig. 8. Changes in the number of fish appeared in the underwater video camera's visual field, Apr. 21.

わらず、蛸集魚群量は時間経過にもなって次第に増加している。これは集魚灯下のスルメイカの行動を魚群探知機で観察し、時間の経過にしたがい船底下の集魚量が多くなるとした名角（1972）の報告と同様の結果になった。

A 灯よりさらに 5m 下方の水深 10m に設置した水中

テレビカメラの視野内に出現した個体数の変化を Fig. 7 (4/16) と Fig. 8 (4/21) に示す。出現個体数を 1 分毎に計数した結果であるが、Fig. 5, 6 とは対照的に A 灯の点灯によって出現個体が減少し、消灯により増加しているのがわかる。A 灯の消灯にともない水中テレビカメラのハロゲンランプに魚群が誘引されたものと考えられる。このときの蛸集魚群の水中テレビカメラ視野内への出現は周期的であり、出現個体数の増大はその周期の短縮と出現魚群数の増加によってもたらされ、逐次集魚灯下に集魚する魚群はその照射された周辺域に滞留し、かつ群れでその回りを移動遊泳していることが想像される。また、水中灯の点滅と水中テレビカメラの視野内の出現個体数の変動が同調していることから、水中灯がつくる照度の変化が蛸集魚群の量および分布に大きく影響していることが推察できる。

(2) 照度分布の変化と魚群分布

水中灯の点滅にともなう照度分布の変化と魚群の分布との関係を調べた。Fig. 9 (4/16) と Fig. 10 (4/21) に結果を示す。図中の等照度曲線は長谷川・小林（1989）の方法により求めたものであり、魚群分布の濃淡は魚探映像を前述の方法により二値化し、模式化したものである。福田（1988）は集魚灯が海中につくる光の場を分光放射照度であらわす必要性を説いているが、本研究ではメタルハライドランプと高圧ナトリウムラン

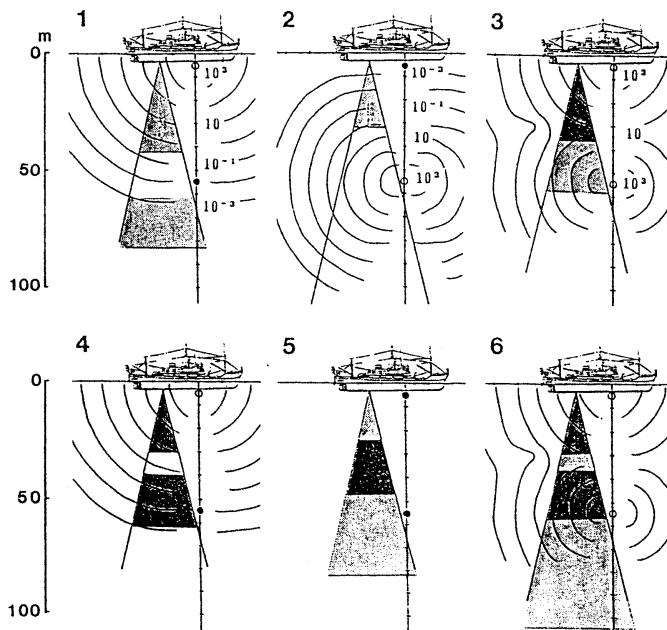


Fig. 9. Underwater isoillumination line and the superimposed fish echoes, showing the changes in vertical distribution of fish in response to changes in underwater light intensity, (1~6) Apr. 16.

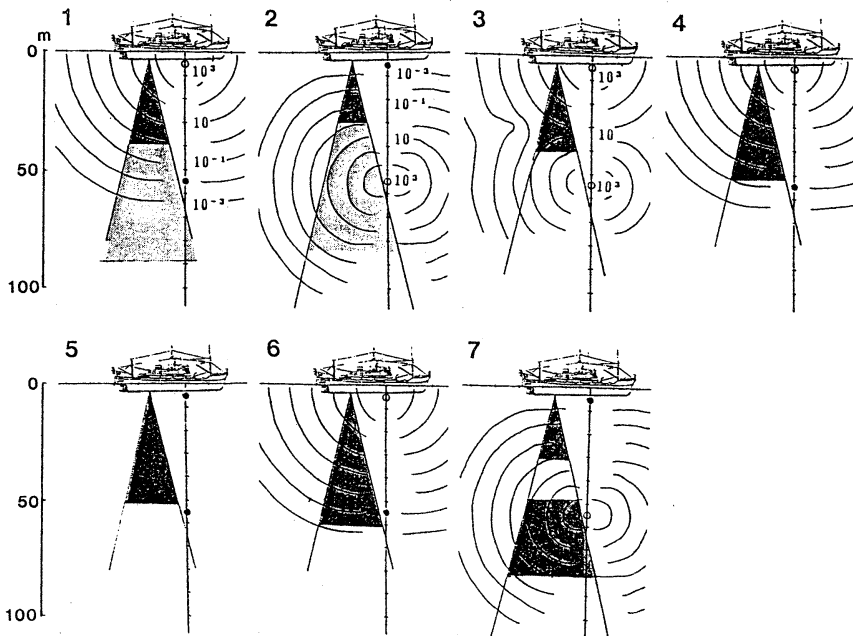


Fig. 10. Underwater isoillumination line and the superimposed fish echoes, showing the changes in vertical distribution of fish in response to changes in underwater light intensity, (1~7) Apr. 21.

アの分光分布の違いは扱わず、配光特性の違いのみを考慮して照度を算出した。

4/16では、A灯を点灯すると $1 \sim 10^3 1x$ 未満の等照度曲線内とB灯付近の $10^{-3} 1x$ 等照度曲線の下方に分かれて分布し (Fig. 9-1), A灯を消灯して、B灯を点灯すると $1 1x$ 等照度曲線より上層部のみ魚群の分布がみられた (Fig. 9-2)。両灯を点灯すると両灯の設置水深間で分布が下方に延長した。しかし、A灯がつくる $1 1x$ 等照度曲線より上方が主な分布域である (Fig. 9-3)。B灯を消灯すると両灯の中間付近の層の魚群が消失、 $10 1x$ 等照度曲線より上方と $1 1x$ 等照度曲線より下方の2層に魚群が分かれた (Fig. 9-4)。両灯を消灯すると両灯の設置水深の中間付近に分布が移動し (Fig. 9-5), 両灯を点灯すると再び上下2層に魚群が分かれた (Fig. 9-6)。4/21では、A灯を点灯すると $1 1x$ 等照度曲線の上方に主な分布がみられ (Fig. 10-1), A灯を消灯して、B灯を点灯すると若干分布水深を浅くし、 $1 1x$ 等照度曲線の上方表層部に分布した (Fig. 10-2)。両灯を点灯すると両灯によってつくられる等照度曲線の谷間にあたる $1 1x$ 等照度曲線付近より上方に分布を延長した (Fig. 10-3)。B灯を消灯するとさらに分布は延長し、B灯が設置された水深付近の $10^{-2} 1x$ 等照度曲線までの間に分布した (Fig. 10-4)。両灯を消灯させてもその分布は変動せず (Fig. 10-5), A灯を点灯すると $10^{-3} 1x$ 等照度曲線

まで分布を伸ばした (Fig. 10-6)。最後にA灯を消灯して、B灯を点灯するとその分布は $1 1x$ 等照度曲線より上方と $10^2 1x$ 等照度曲線より下方に分かれた (Fig. 10-7)。

黒木・中馬 (1955) は2台の魚群探知機を用い、灯に集まるカタクチイワシ群の立体的構造を調べ、魚群が過大の照度範囲には寄らないことを示した。また、今村 (1972) は、魚は光源の光束の中心帯を避けてその周辺の水域に滞留している時間が長いと述べている。すなわち、これらのことは集魚灯がつくる等照度曲線と魚群の分布とが相似形になることを意味し、ある照度値の等照度曲線が魚群の分布を決定する基となることを示唆するものといえよう。今回の結果では、 $1 1x$ 等照度曲線が魚群分布の境界域になる傾向が比較的多くみられたが、等照度曲線と魚群の分布との間には明確な関係は見出せない。ただし、両日ともに集魚群が上層と下層に分離したときの照度変化に着目すると、相対的に低い等照度曲線域に位置していた魚群が消失したための魚群の分布変動となっている。

順応光と刺激光との関係を両者の対数で表したものを t. v. r. (threshold-versus-radiance) 曲線といい STILES (1939) によって示されたが、その曲線は順応光の強さが増大すると感度の低下を来すことを示している。すなわち、相対的に低い照度域に順応していた個体は高

い照度域に順応していた個体よりも光に対する感度は高く、水中照度分布の変化に鋭敏に反応したと考えられる。しかし、両灯の点滅条件の変化が同じであっても、必ずしもそのつど同じ反応行動があらわれるとは限らない。

この原因として、水中灯の点滅刺激が連続しているために(30分ないし60分間隔)、ある照度分布が形成されたとしてもその状態での魚群の適性な分布状態に至るまえに新たな刺激が与えられたこと、また、川村(1979b)によるとサバは30分で明あるいは暗順応を完了するが、網膜組織での反応と行動とにタイムラグがあれば以前の刺激の影響が残存することも考えられる。今村(1968)が述べたように、魚の灯付の現象は連続的なある時間を単位に取り扱うことが望ましく、照度が変化する場合には特にその単位をどの程度におくかによって結果が異なることが予想される。

(3)水中灯下における魚の受光量

集魚灯下の魚がある地点で感知しうる光を考える際に

は一方からの光ばかりではなく、水面での反射光やあるいは複数光源の場合にはあらゆる方向からの光を感受するわけであり、魚を中心として全周方向からの光の量を平均したものが必要となる。そこで今田(1983)の考え方にしたが、魚が感受する光量を照度としてとらえ平均受光量を定義した。長谷川・小林(1989)と同様の方法により両灯と魚の位置とを含む平面内で魚が全周方向へ1度刻みで頭方を向け、そのつど感受する光量(照度)を計算し、本実験において送受波器指向角内に位置する魚が感受する照度の頻度分布を両灯の点滅の各条件で求めた。両灯を点灯したときの10mから80m深までの10m毎の受光量の頻度分布をFig. 11に、A灯のみを点灯したときの頻度分布をFig. 12に、B灯のみを点灯したときの頻度分布をFig. 13に示す。

いずれの場所においても魚の受光量の頻度分布は低照度域で最大の頻度を示し、例えばA灯点灯時の10m層など魚が照度値の高い等照度曲線域に位置するときにお

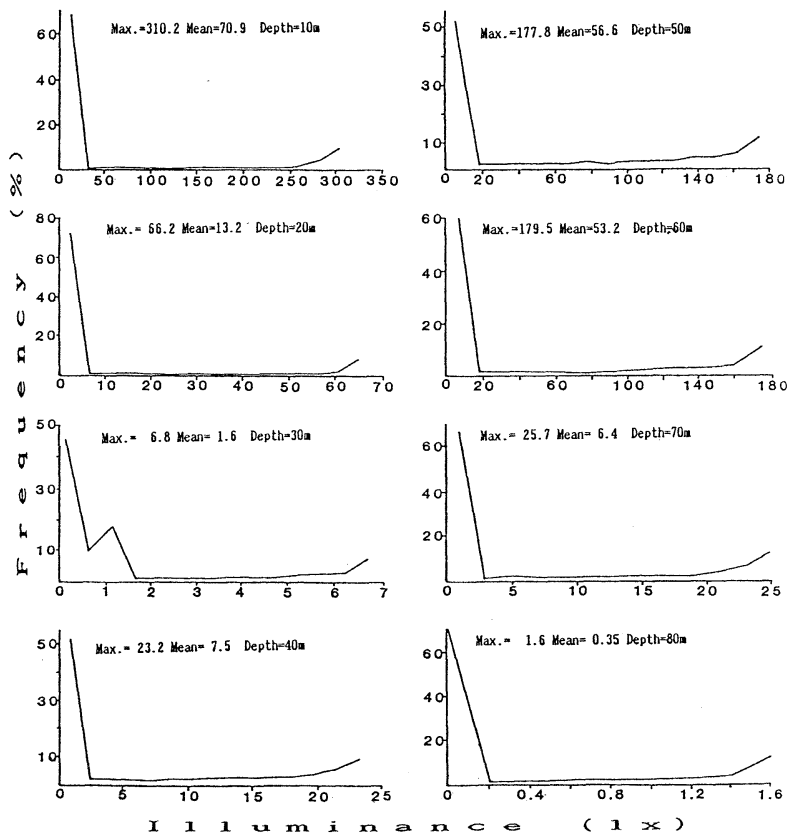


Fig. 11. Frequency distribution of the light intensity that fish receive in the beam angle of fish sounder in the case of both underwater lamps turn on. Max: Maximum value of the light intensity (lx) fish receive. Mean: Mean value of the light intensity (lx) fish receive.

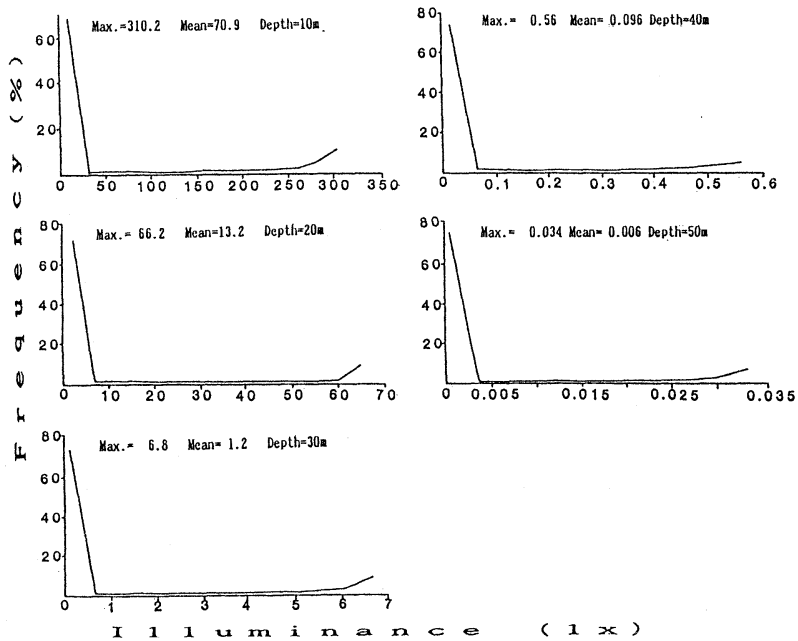


Fig. 12. Frequency distribution of the light intensity that fish receive in the beam angle of fish sounder in the case of upper underwater lamp turns on and lower underwater lamp turns off. Max: Maximum value of the light intensity (lx) fish receive. Mean: Mean value of the light intensity (lx) fish receive.

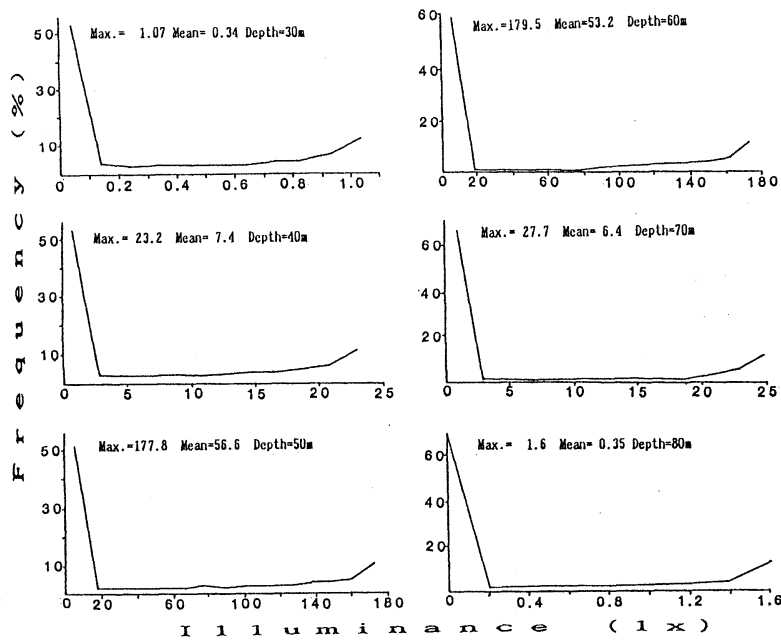


Fig. 13. Frequency distribution of the light intensity that fish receive in the beam angle of fish sounder in the case of upper underwater lamp turns off and lower underwater lamp turns on. Max: Maximum value of the light intensity (lx) fish receive. Mean: Mean value of the light intensity (lx) fish receive.

いても、60%以上の確率で10 lx相当の光量しか感受していない。このことから水中照度および水中照度分布の変化にともなう魚群分布の変動に影響する最小刺激値(minimum stimulus)はかなり小さいことが想像される。また、前述したように魚群の分布が等照度曲線に相似するようなことがあったとしても、その分布を決定している照度値はその位置での等照度曲線の照度値よりはかなり低く、平均受光量が関与しているのではないかと考える。

(4)水中灯に蝟集した魚群の密度

本実験において蝟集したサバ群の密度を、A灯を消灯したときに水中テレビカメラのハロゲンランプに誘引されて出現した個体数から推定した。水中テレビカメラの被写空間容積Vについては岡本ら(1979)の式があるが、使用した水中テレビカメラの水平、垂直視野が異なるため、水平、垂直視野を平均化し、被写空間を円錐体とみなした

$$V = \pi L^3 (\sin(\alpha/2) + \sin(\beta/2))^2 / 12$$

(L: 視程距離, α : 水平視野, β : 垂直視野)

の式で近似することにした。視程距離についてはモニター上の被写寸法の実物長Yとカメラから被写体までの距離Xとの関係の水槽実験で求め($Y = 1.04e^{-0.009X}$ 決定係数=0.946)、実験海域でモニター上に写し出された魚のうち、個体識別ができる最小の個体と同時に釣獲されたサバ群の平均体長30.1cmの比から見積った。

A灯を消灯したときから5秒おきに水中テレビカメラの再生画像を静止させ、出現個体数を数えた。その結果、平均出現個体数は8.1尾、標準偏差3.9尾となった。 $\alpha = 51.2^\circ$, $\beta = 34.0^\circ$, $L = 5.0m$ を上式に代入して求められた被写空間容積は17.16m³となり、蝟集魚群の密度は0.47尾/m³と見積られた。魚種は異なるが黒木・中馬(1955)が八田網の集魚灯に集まったカタクチイワシ群の密度を魚群探知機の記録と漁獲尾数とで見積もったときの前半夜での値とほぼ等しい結果となった。

4. 要 約

水中灯下に蝟集した魚群の行動を魚群探知機および水中テレビカメラで観察し、以下の結果が得られた。

- (1)水中灯の点滅と魚探機の魚群映像および水中テレビ視野内出現個体数の変動とはよく同調していた。
- (2)1 lx等照度曲線が魚群分布の境界域になる傾向が多く観察された。
- (3)魚が感受する受光量の頻度分布は低照度で高く、水

中照度あるいは水中照度分布の変化にともなう魚群分布の変動に影響する最小刺激値はかなり低いことが想像された。

(4)水中灯下に蝟集したサバ群の密度は0.47尾/m³と見積もられた。

謝 辞

本稿をまとめるに当たり御助言を頂いた東京水産大学名誉教授井上実博士並びに教授有元貴文博士に御礼申し上げるとともに、本研究の遂行に当たり御協力頂いた岩崎電気株式会社、三重大学生物資源学部練習船勢水丸乗組員一同ならびに卒研究生の佐藤圭一氏に感謝する。

文 献

- 長谷川英一, 小林 裕 (1989): 水中灯下における魚類の好適照度選択遊泳軌跡の推定. 日水誌, **55**, 1707-1714.
- 今田 克 (1983): 水中平均照度計の開発. 日水誌, **49**, 1-5.
- 今村 豊 (1968): 漁業における火光の集魚効果とその操法の研究 (I). La mer, **6**, 17-43.
- 今村 豊 (1972): 昭和47年度日本水産学会春季大会シンポジウム 火光利用の漁業について. 日水誌, **38**, 877-880.
- 稲田博史 (1988): いか釣り操業船下の水中分光放射照度について. 東水大研報, **75**, 487-498.
- 井上喜洋・有元貴文 (1985): 相模湾定置網漁場における魚群性状. 日水誌, **51**, 1798-1794.
- 川村軍蔵 (1976): マサバの網膜の組織学的研究. 鹿児島大学水産学部紀要, **25**, 143-149.
- 川村軍蔵 (1979a): ゴマサバの視覚とその釣り漁法への応用に関する基礎的研究-VII 集魚灯下の魚群運動の魚探機による観察. 日水誌, **45**, 1355-1358.
- 川村軍蔵 (1979b): ゴマサバの視覚とその釣り漁法への応用に関する基礎的研究-III網膜運動反応. 日水誌, **45**, 553-555.
- 黒木敏郎・中馬三千雄 (1955): 灯に集まる魚群の立体的記録例について. 鹿児島大学水産学部紀要, **6**, 77-81.
- 名角辰郎 (1972): 昭和47年日本水産学会春季大会シンポジウム 火光利用の漁業. 日水誌, **38**, 886-889.
- 岡本峰雄・黒木敏郎・村井 徹 (1979): 人工魚礁近傍の魚群生態に関する基礎的研究-I 魚群量の予備調査. 日水誌, **49**, 1085-1090.
- STILES, W. S. (1939): The directional sensitivity of the retina and the spectral sensitivities of the rods and cones. Proc. Roy. Soc. Lond., **127B**, 64-105.

The Caprellidea (Crustacea: Amphipoda) inhabiting the green alga *Cladophora wrightiana*: The influence of wave exposure on the species composition*

Ichiro TAKEUCHI**, Hiroshi YAMAKAWA*** and Masamu FUJIWARA****

Abstract: The influence of wave exposure on caprellid fauna inhabiting the green alga *Cladophora wrightiana* was investigated. Algal samples were collected at four stations in a small inlet located on the Pacific coast of Boso Peninsula, Japan. The sampling stations were separated into two groups, i.e. the exposed site and the sheltered sites, according to the degree of wave exposure measured by the plaster ball method. Dominant species were *Caprella danilevskii* and *C. polyacantha* in the exposed site and *C. okadai* in the sheltered sites. Distributional difference of these caprellid species may be attributed to the differences in robustness of the body somites and appendages.

1. Introduction

Caprellid amphipods are one of the dominant epifaunal crustaceans inhabiting macroalgae in the *Sargassum* zone called "Garamo-ba" on the rocky coasts of southern Japan. Distribution of epifaunal caprellid (and/or gammarid) amphipods is affected by the following environmental factors: wave exposure (DOMMASNES, 1968; FENWICK, 1976; HIRAYAMA and KIKUCHI, 1980; TARARAM and WAKABARA, 1981; WAKABARA *et al.*, 1983; TAKEUCHI *et al.*, 1987), turbidity (MOORE, 1973, 1978), quantity of epiphytes (KITA and HARADA, 1962; NAGLE, 1968; NORTON and BENSON, 1983), and presence, size and features of substrata (CAINE, 1978; EDGAR, 1983a, b; GUNNILL, 1982; STONER, 1980, 1983; TAKEUCHI *et al.*, 1987). Rocky coasts facing the open sea provide suitable fields for studying the influence of wave exposure on epifaunal crustaceans, because the degree of wave exposure varies widely due to the complicated topog-

raphy even within a small stretch. Recently TAKEUCHI *et al.* (1987) reported the caprellid fauna collected from the exposed and sheltered sites located within the small inlet "Heito" on the Pacific coast of Boso Peninsula. Although the species of algae in both areas in their study were different from one the other, no specific connection of caprellid to the algal species was recognized. They inferred that the wave exposure is one of the most dominant factors affecting the occurrence of caprellids.

The green alga *Cladophora wrightiana* HARVEY, as well as *Sargassum macrocarpum* C. AGARDH, grow mostly as in a bush-like manner on the medium size rocks around the center of the inlet Heito (KONNO, 1985). This area corresponds to the sheltered site in TAKEUCHI *et al.* (1987). In the inlet "Jizogi" next to Heito, *Cl. wrightiana* is distributed not only on the rocks and stones around the center but also the rock base near the entrance of the inlet where waves break. The occurrence in the entrance of Heito might be a rare case for this species.

Thus, in order to elucidate the influence of wave exposure on the caprellid fauna, we focus on the species composition of the Caprellidea on *Cl. wrightiana*, which was collected from the several localities within the small inlet Jizogi.

*Received June 24, 1988

**Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo, Yayoi 1-1-1, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

Present address: Otsuchi Marine Research Center, Ocean Research Institute, The University of Tokyo, Akahama, Otsuchi, Iwate, 028-11 Japan

***Tokyo University of Fisheries, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

****Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science, Odashukuno, Miyazu, Kyoto, 626 Japan

2. Study area, materials and methods

This study was carried out in a small inlet called "Jizogi" located in the sanctuary of the Kominato Marine Laboratory, Faculty of Science, Chiba University (formerly Kominato Marine Biological Laboratory, Tokyo University of Fisheries). Jizogi is surrounded by rock bases, and rocks and stones are scattered on the bottom. Four sampling stations were set up in the sublittoral zone of the inlet (Table 1, Fig. 1). St. A is situated near the rock base at the entrance of the inlet where waves break upon. Sts. B, C and D are located on the rock or stones in the deepest point of the entrance, middle and inner part of the inlet, respectively. According to the measurements of wave exposure by the plaster ball method (Table 1), St. A was regarded as exposed site and Sts. B, C and D as sheltered sites.

Table 1. Depth, substratum and degree of wave exposure at four stations in the inlet "Jizogi". The degree of wave exposure was referred to our unpublished data. The measurements were conducted twice in February 1986 by the plaster ball method (MUUS, 1968; HAYASHI and YAMAKAWA, unpubl.). Plaster balls with diameter of 2.7 cm were weighed initially in the dry condition. Two bricks with styrol on the upper surface were set at each station, and six plaster balls were attached to the styrol surface. After three hours of exposure *in situ*, the plaster balls were weighed again in the completely dry condition. The percentage of weight loss was regarded as the degree of wave exposure. The degree of wave exposure at St. A was significantly higher than those of Sts. B, C and D ($P < 0.01$; *t*-test) during both measurements.

| St. | Depth (m) | Substratum | Degree of wave exposure (% ± S.D.) | |
|-----|-----------|----------------------|------------------------------------|----------------|
| | | | Calm Weather | Stormy Weather |
| A | 1.0 | Rock base | 14.3 ± 4.16 | 21.4 ± 8.35* |
| B | 8.5 | Rock with drift sand | 5.3 ± 0.34 | 12.5 ± 0.24 |
| C | 6.0 | Rock and stone | 5.2 ± 0.82 | 10.7 ± 1.36 |
| D | 3.5 | Stone | 4.7 ± 0.08 | 10.6 ± 0.37 |

* Two plaster balls were flown off due to the stormy weather.

Sampling was conducted three times during late spring to early summer, *i.e.* 15–18 May, 11–16 June, and 8–12 July, 1978. Algal samples were cut off near the substrata and gently deposited in vinyl bags *in situ*. In the laboratory, they were shaken in freshwater and detached animals were collected through a sieve with mesh size of 0.3 mm. Caprellids were carefully removed from these animals, and preserved in 10 % neutralized formalin. These caprellids were identified to species level under the binocular microscope. Algae were weighed after placing them on paper for two hours.

The similarity of caprellid species composition among sampling stations was presented as the $C\pi$ index (KIMOTO, 1967; OMORI and IKEDA, 1984). The similarity matrix of caprellid fauna was converted into a dendrogram following Mountford's clustering method (OMORI and IKEDA, 1984).

3. Results

Nine species from two genera of the Caprellidea were collected from *Cladophora wrightiana* (Table 2). Eight of these species belong to the genus *Caprella*.

The classification of stations by the similarity index correlated well with that by the degree of wave exposure. Figure 2 shows dendrograms of the similarity index on the sampling stations and the species composition of the Caprellidea. It indicates that the caprellid fauna could be separated into the same two groups every time: the exposed site (St. A) and the sheltered sites (Sts. B, C and D); the similarity index is higher than 0.80. The density of caprellids in the exposed site is generally higher than that in the sheltered sites.

In the exposed site, *Caprella danilevskii* CZERNIAVSKI and *C. polyacantha* UTINOMI dominated and constituted more than 80 % of the total individuals (Table 2, Fig. 2). *C. verrucosa* BOECK was the third dominant species, being less than 20%.

In the sheltered sites, *C. okadai* ARIMOTO was consistently dominant and contributed more than 50% of the total caprellid fauna (Table 2, Fig. 2). *C. danilevskii* (2–26%) and

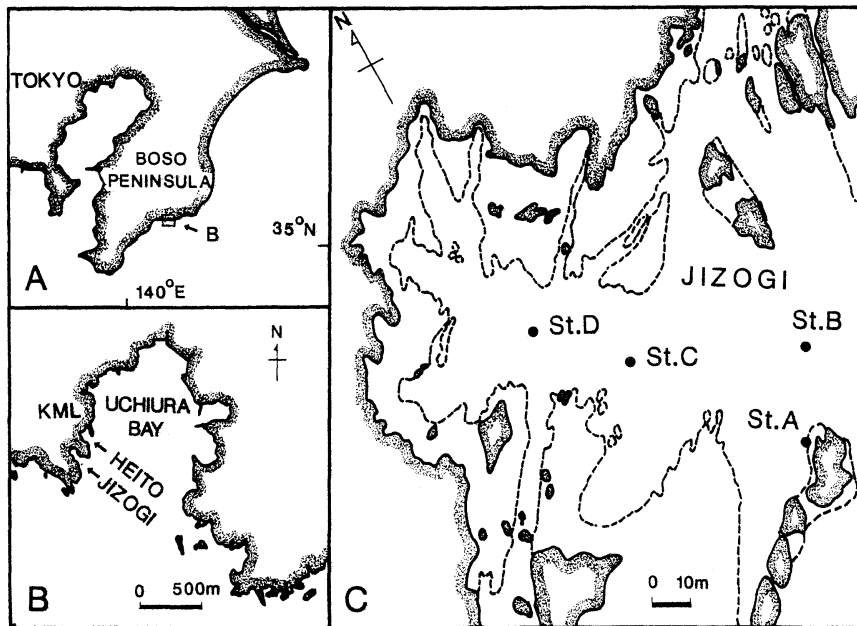


Fig. 1. Study area and stations. A. Boso Peninsula. B. Uchiura Bay. KML; Kominato Marine Laboratory, Faculty of Science, Chiba University (formerly Kominato Marine Biological Laboratory, Tokyo University of Fisheries). C. Sampling stations in Jizogi. Broken lines indicate the highest low water at the neap tide.

Table 2. Species compositions of the Caprellidea inhabiting *Cladophora wrightiana* HARVEY. The number in parentheses indicates the percentage to the total number of individuals.

| Species | May* | | | June | | | | July | | | |
|----------------------------|----------|----------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | St.A | St.C | St.D | St.A | St.B | St.C | St.D | St.A | St.B | St.C | St.D |
| <i>Caprella okadai</i> | | 79(89.8) | 91(100) | 3(1.3) | 10(52.6) | 309(98.1) | 124(96.1) | 2(0.3) | 175(73.5) | 212(96.4) | 158(89.3) |
| <i>C. danilevskii</i> | 43(50.0) | 2(2.3) | | 96(39.8) | 5(26.3) | 1(0.3) | | 321(48.3) | 14(5.9) | 4(1.8) | 2(1.1) |
| <i>C. subinermis</i> | | 2(2.3) | | | | | | | 2(0.8) | | |
| <i>C. kominatoensis</i> | | 4(4.5) | | | 3(15.8) | | | 22(3.3) | 37(15.6) | 1(0.5) | 2(1.1) |
| <i>C. penantis</i> | 4(4.7) | 1(1.1) | | 2(0.8) | 1(5.3) | | | | 9(3.8) | 1(0.5) | |
| <i>C. verrucosa</i> | 7(8.1) | | | | | | | 93(14.0) | | | |
| <i>C. polyacantha</i> | 29(33.7) | | | 139(57.7) | | | | 226(34.0) | 1(0.4) | | |
| <i>C. simia</i> | | | | | | 4(1.3) | 5(3.9) | | | 2(0.9) | 15(8.5) |
| <i>Paracaprella crassa</i> | 3(3.5) | | | | | | | | | | |
| unidentified | | | | 1(0.4) | | 1(0.3) | | | | | |
| Total | 86(100) | 88(100) | 91(100) | 241(100) | 19(100) | 315(100) | 129(100) | 664(100) | 238(100) | 220(100) | 177(100) |
| ind./alga (g) | 0.56 | 0.10 | 0.36 | 0.36 | 0.04 | 0.44 | 0.17 | 1.09 | 0.26 | 0.23 | 0.21 |

*Algae of St. B could not be collected because of stormy weather.

C. kominatoensis TAKEUCHI (0–16%) were the next dominant species at Sts. B and C, while *C. simia* MAYER was the second dominant species at St. D, but contributing less than 10%.

4. Discussion

Of the chemical and physical factors, wave

exposure could be considered to be the most important factor which influences the occurrence of epifaunal amphipods in a small stretch of rocky coast. KOMATSU *et al.* (1982) demonstrated that difference of temperature in a 150 m stretch of rocky coast was less than 2° C, which was smaller than that of

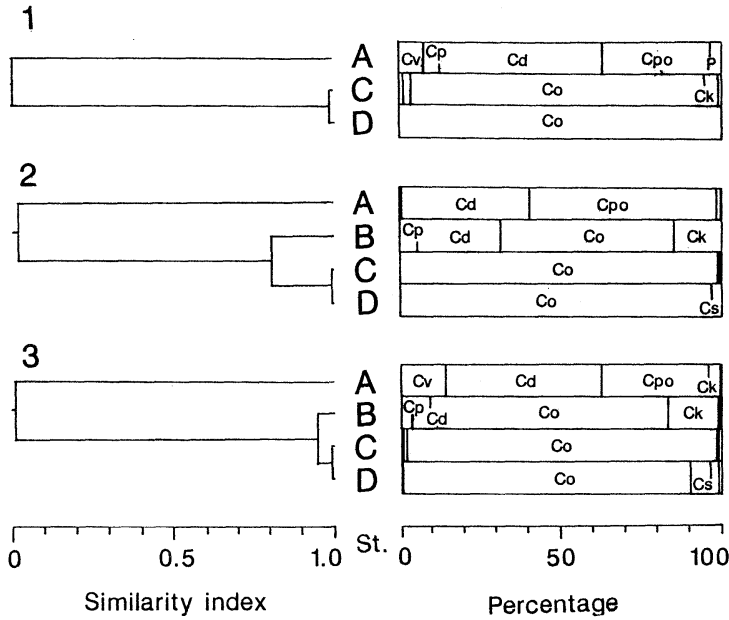


Fig. 2. Dendrograms of sampling stations by the similarity index and the species compositions of the Caprellidea at each station. The similarity is presented by Kimoto's C_T index. 1. May 1978. 2. June 1978. 3. July 1978. Abbreviations of the species of the Caprellidea are as follows: Cd, *Caprella danilevskii*; Ck, *C. kominatoensis*; Co, *C. okadai*; Cp, *C. penantis*; Cpo, *C. polyacantha*; Cs, *C. simia*; Cv, *C. verrucosa*; P, *Paracaprella crassa*. Occurrences less than 3.0% are omitted in the right part.

daily fluctuation (KOMATSU, 1985). HAYASHI (1989) reported that the salinity of the surface waters at middle part of "Heito" was limited between 33.0 and 35.0‰ throughout

the year. Hence, one may assume that in a small stretch of rocky coast the quality of seawater does not vary much spatially. Topography, however, changes drastically, which

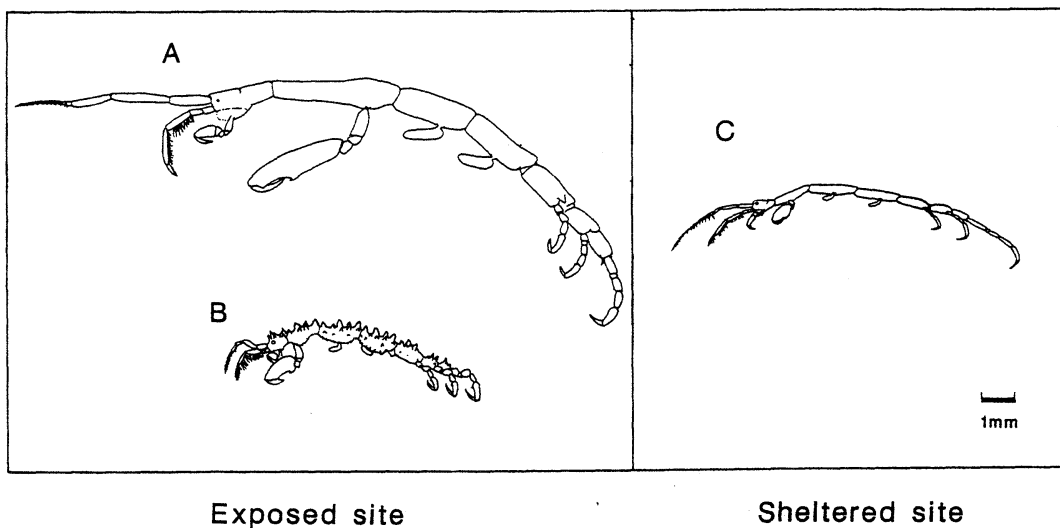


Fig. 3. Caprellid amphipods inhabiting the green alga *Cladophora wrightiana* HARVEY. A, *Caprella danilevskii*; B, *C. polyacantha*; C, *C. okadai*. All species were drawn from a typical male.

in turns determines the degree of wave exposure, as shown by the present study and TAKEUCHI *et al.* (1987).

The Caprellidea associated with the green alga *Cladophora wrightiana* was clearly different in species composition between the exposed and the sheltered sites (Table 2, Fig. 2). Among the caprellid amphipods inhabiting this alga, *Caprella danilevskii* and *C. polyacantha* have much more robust body somites and appendages than *C. okadai* (Fig. 3). As already discussed by many researchers (DOMMASNES, 1968; FENWICK, 1976; HIRAYAMA and KIKUCHI, 1980; WAKABARA *et al.*, 1983; TAKEUCHI *et al.*, 1987) robust appendages seem to be suitable for grasping substrata in the exposed sites where waves splash strongly.

The present study revealed that the habitat of *C. polyacantha* was *Cl. wrightiana* of the exposed site among the *Sargassum* zone off Amatsu Kominato. In the exposed sites of the closed inlet "Heito", this caprellid was not recorded from any algae, whereas *C. danilevskii* has been found to inhabit *Sargassum yamadae* YOSHIDA and T. KONNO and *S. hemiphyllum* (TURNER) C. AGARDH (TAKEUCHI *et al.*, 1987). Moreover, *C. polyacantha* was not recorded from *Cl. wrightiana* of the sheltered sites of "Heito" (TAKEUCHI, 1985; TAKEUCHI *et al.*, 1987).

The association of *C. polyacantha* to *Cl. wrightiana* might be partially explained by the morphological adaptation of this caprellid to the filamentous thalli of the alga. EDGAR (1983a,b) demonstrated a strong positive relationship between the size of epifaunal amphipods and the width of thalli. Thalli of *Cl. wrightiana* are like grass with width of 1-2 mm, while the above two *Sargassum* species have thalli which range from 5 to 10 mm in maximum width. Body length of *C. danilevskii* reaches 11 mm in mature male and 8 mm in mature female (TAKEUCHI and HIRANO, 1988), while *C. polyacantha* is a relatively small caprellid with body length of 6 mm in mature male (Fig. 3). Thus, *C. polyacantha* tends to inhabit selectively on algae, such as *Cl. wrightiana*, with filamentous thalli in the exposed area.

This study, together with DOMMASNES (1968), FENWICK (1976), HIRAYAMA and KIKUCHI (1980), and TAKEUCHI *et al.* (1987), ensures the influence of wave exposure on the occurrence of epifaunal amphipods on seaweeds.

Among those studies, only a few studies have represented quantitatively the degree of wave exposure. This study, as well as TAKEUCHI *et al.* (1987), bases the degree of wave exposure on the results obtained by the plaster ball method (MUUS, 1968; HAYASHI and YAMAKAWA, unpubl.). HIRAYAMA and KIKUCHI (1980) referred to the maximum height of waves from the unpublished report of Miyagi Prefecture. In this study, the weight loss of plaster balls at the exposed site was 2.82 times as much in the calm weather and 1.90 times in the stormy weather as that at sheltered sites (Table 1). In TAKEUCHI *et al.* (1987), the increase of the degree of wave exposure in the exposed sites from the sheltered sites were 58% in the calm weather and 61 % in the stormy weather. Muus (1968) showed that the weight loss of plaster balls per current velocity increased as the velocity increased. Thus, if wave exposure could be converted into the current velocity equivalent to steady flow, it might be estimated that at least 1.6 times difference of the current velocity influences the occurrence of caprellid amphipods.

On the other hand, TARARAM and WAKABARA (1981) reported that the wave exposure did not affect the species composition of epifaunal gammarid amphipods, and WAKABARA *et al.* (1983) mentioned that common species of epifaunal amphipods were present in both the exposed and the sheltered shores. In these reports, however, quantitative data of the wave exposure are lacking. Thus it is inferred that in their sites the degree of wave exposure might not be so much different as to cause sufficient difference of epifaunal communities between the exposed and the sheltered shores.

Further detailed studies are needed to elucidate the critical degree of wave exposure which influences the occurrence of each species of caprellid and gammarid amphipods.

Acknowledgments

We are grateful to Drs. K. MORINO and A. C. ANIL for careful reading and helpful comment on the manuscript, and two anonymous reviewers for improving the manuscript. We also express our thanks to the following persons: Dr. Y. NAITO for providing research facilities, Dr. I. HAYASHI for measurement of wave exposure by the plaster ball method, and Prof. R. HIRANO for useful advice and encouragement throughout the study.

References

- CAINE, E.D. (1978): Habitat adaptations of North American caprellid Amphipoda (Crustacea). *Biol. Bull.*, **155**, 288-296.
- DOMMASNES, A. (1968): Variations in the meiofauna of *Corallina officinalis* L. with wave exposure. *Sarsia*, **34**, 117-124.
- EDGAR, G. J. (1983a): The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities. I. Spatial organization on a local scale. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **70**, 129-157.
- EDGAR, G. J. (1983b): The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities. III. Patterns of species diversity. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **70**, 181-203.
- FENWICK, G.D. (1976): The effect of wave exposure on the amphipod fauna of the alga *Caulerpa brownii*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **25**, 1-18.
- GUNNILL, F.C. (1982): Effects of plant size and distribution on the numbers of invertebrate species and individuals inhabiting the brown alga *Pelvetia fastigiata*. *Mar. Biol.*, **69**, 263-280.
- HAYASHI, I. (1989): Long-term records on the surface water temperature and salinity at the Kominato Marine Laboratory. *Ann. Rep. Inst. Mar. Ecosystem, Chiba Univ.*, (9), 40-51. (In Japanese with English title)
- HIRAYAMA, A. and T. KIKUCHI (1980): Caprellid fauna associated with subtidal algal beds along the coast of the Oshika Peninsula, Tohoku District. *Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab.*, **5**, 171-188.
- KIMOTO, S. (1967): Some quantitative analysis on the chrysomelid fauna of the Ryukyu Archipelago. *Esakia*, **6**, 27-54.
- KITA, T. and E. HARADA (1962): Studies on the epiphytic communities. I. Abundance and distribution of microalgae and small animals on the *Zostera* blades. *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **10**, 245-257.
- KOMATSU, T. (1985): Temporal fluctuations of water temperature in a *Sargassum* forest. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **41**, 235-243.
- KOMATSU, T., H. ARIYAMA, H. NAKAMURA and W. SAKAMOTO (1982): Spatial and temporal distributions of water temperature in a *Sargassum* forest. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**, 63-72.
- KONNO, T. (1985): Garamo-ba · kajime-ba no shokusei-kozo [Community structure of the *Sargassum* and *Ecklonia* zones]. *Kaiyo-kagaku* [Mar. Sci.], **17**, 57-65. (In Japanese)
- MOORE, P.G. (1973): The kelp fauna of Northeast Britain. II. Multivariate classification: Turbidity as an ecological factor. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **13**, 127-163.
- MOORE, P.G. (1978): Turbidity and kelp holdfast Amphipoda. I. Wales and S.W. England. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **32**, 53-96.
- MUUS, B.T. (1968): A field method for measuring "exposure" by means of plaster balls. A preliminary account. *Sarsia*, **34**, 61-68.
- NAGLE, J.S. (1968): Distribution of the epibiota of macroepibenthic plants. *Contr. Mar. Sci., Unvi. Texas*, **13**, 105-144.
- NORTON, T.A. and M.R. BENSON (1983): Ecological interactions between the brown seaweed *Sargassum muticum* and its associated fauna. *Mar. Biol.*, **75**, 169-177.
- OMORI, M. and T. IKEDA (1984): *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. Wiley-Interscience, New York. vii+332 pp.
- STONER, A. W. (1980): Perception and choice of substratum by epifaunal amphipods associated with seagrasses. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **3**, 105-111.
- STONER, A. W. (1983): Distributional ecology of amphipods and tanaidaceans associated with three seagrass species. *J. Crust. Biol.*, **3**, 505-518.
- TAKEUCHI I. (1985): Warekararui no seibutsugaku-teki kenkyu [Biological studies on the Caprellidea. Unpublished master thesis of Faculty of Agriculture, The University of Tokyo. 125 pp. (in Japanese)]
- TAKEUCHI, I. and R. HIRANO (1988): A preliminary report on the life-history of *Caprella danilevskii* CZERNIAVSKI (Crustacea, Amphipoda) reared in the laboratory. *Benthos Res.* [Bull. Japan. Ass.

- Benthology], (32), 37-41. (In Japanese with English summary)
- TAKEUCHI, I., R. KUWABARA, R. HIRANO and H. YAMAKAWA (1987): Species compositions of the Caprellidea (Crustacea: Amphipoda) on the *Sargassum* zone of the pacific coast of Japan. Bull. Mar. Sci., **41**, 253-267.
- TARARAM, A. S. and Y. WAKABARA (1981): The mobile fauna—especially Gammaridea—of *Sargassum cymosum*. Mar. Ecol. Prog. Ser., **5**, 157-163.
- WAKABARA, Y., A.S. TARARAM and A.M. TAKEDA (1983): Comparative study of the amphipod fauna living on *Sargassum* of two Itanhaém shores, Brazil. J. Crust. Biol., **3**, 602-607.

チャシオグサ上のワレカラ類、特に種組成に対する波浪の影響について

竹内一郎・山川 紘・藤原正夢

要旨: 房総半島の太平洋岸に位置する小湾内の4ヶ所からチャシオグサを採集し、ワレカラ類の種組成について調査研究した。調査地点の波浪の強弱を石膏玉法により測定した結果、各地点は2つのグループに分けることができた。波浪の影響の強い湾口部ではホソワレカラとイガワレカラが、波浪の影響の弱い湾奥部ではオカダワレカラが優占していた。湾口部に出現するワレカラ類の方が湾奥部の種より体節や付属肢が頑強であるため、波浪の影響により出現種が異なるものと推察された。

資 料

ストックホルムの年平均海水位と北海道知床半島の樹木の年輪*

中 村 重 久**

Annual mean sea levels at Stockholm and annual ring of a tree in Shiretoko Peninsula, Hokkaido*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: A subarctic interrelation between the annual mean sea levels at Stockholm and the annual ring growth rate of a tree of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* at Shiretoko, Hokkaido, is studied by the Fast Fourier Transform Method to get their amplitude spectra and by a simple cross-correlation analysis. It is hard to find out a systematic solution of any amplitude spectra even for the directional annual ring growth rate of the tree. One of the simplest methods leads us to find three peaks in cross-correlation between the mean sea levels and the annual ring growth rate along a specific radial line. The three peaks at time lags of 22, 66 and 88 years are discussed in relation to long-term variations of the sunspot number and the solar magnetic activities which must be actually effective to the mean sea levels and to the annual ring in the subarctic zone.

1. 緒言

ストックホルムの海水位の変動を、北海道の知床半島のミズナラの年輪および太陽黒点数と関連づけて検討し、亜極帯の問題を提起する。

ストックホルムの海水位のデータは、1774年以來現在まで得られていて、世界中で最長連続記録である(EKMAN, 1988)。とくに、初期は標尺による目視の記録であり、検潮井による記録は1889年以降のものである。この点では、検潮井による検潮記録の問題(中村, 1989a)もあるが、本文では、ストックホルムの年平均海水位に着目することとした。

近年、人工衛星を利用して、ジオイドを基準面とした海水位の計測が試みられるようになったが、現在のところ、この衛星データは短期間のものであり季節変動が判別できるかどうか問題が残っているようである(たとえば、WEBB, 1988; ANDERSON *et al.*, 1988; 柴田, 1989)。中村(1989b)によれば、人工衛星による高度計測を利用した海洋潮汐の研究もみられるようであるが、現時点では、日周潮・半日周潮に焦点がある。この点で、EKMAN(1988)の示したデータは、長期間にわたる年平均海水位の記録として貴重なものと言える。ただ、ストックホルム以外にも長期間の月平均・年平均海水位の記録はあるし、それらの1931年以來についての情報はまとめられている(たとえば、IUGG, 1987)。

また、本文で検討の対象とする北海道知床半島のミズナラはコナラ属 *Quersus* (英名 oak) の一種であり(たとえば、北村・岡本, 1959)、1987年4月に伐採されたものの一部である。一般に、熱帯では樹木に年輪を認め難い。亜熱帯の樹木の年輪に関する研究には気候学的問題に関連したものが多(たとえば、速水, 1967; MORI, 1981)。これは、太陽放射の変動は太陽黒点数に関連し、その効果は地球上赤道を中心とする熱帯域に

*1989年8月17日受理 Received August 17, 1989

**京都大学防災研究所白浜海象観測所,
〒649-22 和歌山県西牟婁郡白浜町堅田 2347-7
Shirahama Oceanographic Observatory, Disaster
Prevention Research Institute, Kyoto University,
Katada-Hatasaki, Shirahama, Wakayama, 649-22
Japan

顕著にあらわれるとすることを出発点としている。CURRIE (1981) の海水位変動の 11 年周期成分の検討はその一例と言える。地球上で、太陽放射エネルギーは熱エネルギーとして赤道域から両極域へ、大気と海水とによって輸送されるものと考えられるが、その輸送過程はそれほど単純なものではない。中緯度帯の大気や海洋の変動は非常に複雑である。それでは高緯度帯は太陽の影響をあまり受けていないと考えてよいのであろうか。地球上の亜寒帯付近は別の意味で太陽の影響が強いと考えられる。とくに亜寒帯に近い極光帯では、地球磁気圏への太陽風の作用が強くあらわれる (たとえば、LEE, 1988)。

このようにみえてくると、亜寒帯の自然現象を太陽活動と関連づけて考えることができるかどうか、大変興味ある問題となる。

このようなことから、ストックホルムの年平均海水位と北海道知床半島の樹木の年輪を平行して検討することは、全地球的問題につながるかもしれない。

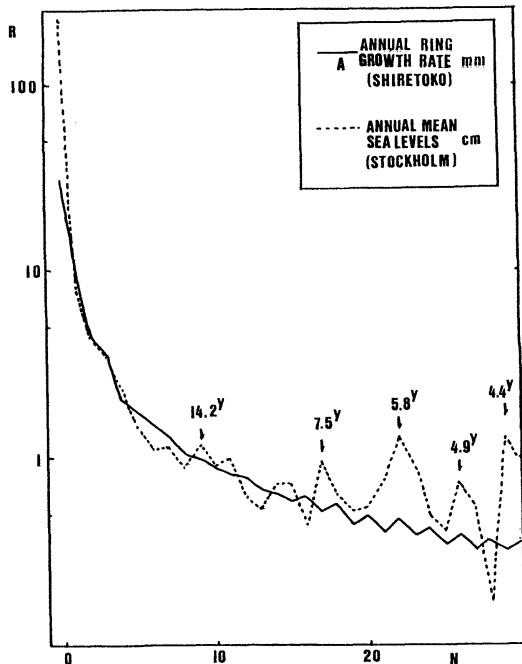


Fig. 1. Amplitude spectra of the annual mean sea levels at Stockholm (dashed line) and of the annual ring growth rate of a tree of *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* at Shiretoko, Hokkaido (solid line). Both Stockholm and Shiretoko are located in the subarctic zone, facing Baltic Sea and the northwestern Pacific, respectively.

2. スtockホルムの年平均海水位

ストックホルムは亜寒帯に位置し、世界中で最も長期間にわたる年平均海水位連続記録がある (EKMAN, 1988)。ここでは、解析の都合上、1774—1984 年のうち 1850 年以降の記録 128 年分を対象とした。

年平均海水位の時系列に、高速フーリエ解析法 (Fast Fourier Transform Method) を適用して振幅スペクトルをもとめ、周期 4.4 年より長い周期成分について Fig. 1 の破線のような結果が得られた。このスペクトルには、主なピークとして、周期 14.2 年 (N=9)、周期 7.5 年 (N=17)、周期 5.8 年 (N=22)、周期 4.9 年 (N=26)、そして、周期 4.4 年 (N=29) がある。

STURGES (1987) は、サンフランシスコと Honolulu の海水位変動について、周期 5—8 年でコヒーレントであったが、その位相は一致していなかったとしている。また、米国太平洋岸とヨーロッパ大西洋岸の間では、見かけ上、海水位変動で周期 40—50 年がコヒーレントであった。これを STURGES (1987) は 1800 年代以後の海水位の上昇によるとしているが、それに対応する変動を Fig. 1 の破線で示した結果から議論することはできない。

一方、カナダ大西洋岸の Saint John と New Brunswaick では、海水位変動成分には、周期 10.8 年 (太陽黒点数変動周期) のほかに、原因不明の 5.8—7 年の周期がある (たとえば、EL-SABH and MURTY, 1986)。本文の Fig. 1 では周期 11.6 年 (N=11) は小さなピークであり、周期 10.6 年 (N=12) はそのピークのサイド・ローブとみられる。EL-SABH and MURTY (1986) は 14.5 ケ月周期 (極潮汐周期) も認めているが、これについては別の機会に検討することにしたい。

3. 樹木の年輪

北海道斜里郡斜里町大字ウド字国宥林ホロベツ林のミズナラ *Quercus mongolica* var. *grosseserrata* (1987 年伐木) について記す。ここで用いた試料は、ミズナラのおよそ地表上 1m の高さで、周囲 1.95m の断面にあらわれた年輪である。この断面の一部を Fig. 2 に示す。

このミズナラの樹芯から、最も成長の小さい方向を、“0” とする。その反対側は最もよく成長している。この試料の断面のさしわたしは 0.620m で全体としてほぼ円型である。ここで、樹芯 “0” を中心として、測線 “R” を基準とし、10° きざみで、時計まわりに A, B, C, . . . , Q の測線をとる。また、反時計まわりに A', B', C', . . . , I' の測線をとる。これらの測

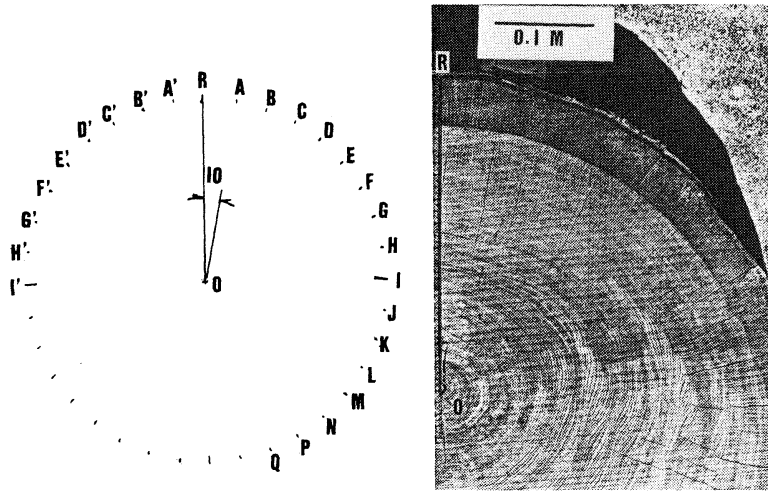


Fig. 2. A part of the annual ring of the tree (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) at Shiretoko, Hokkaido. R is the reference radial line for a minimum growth of the tree. A specific pattern of annual rings can be found in the right-hand side of the radial line R.

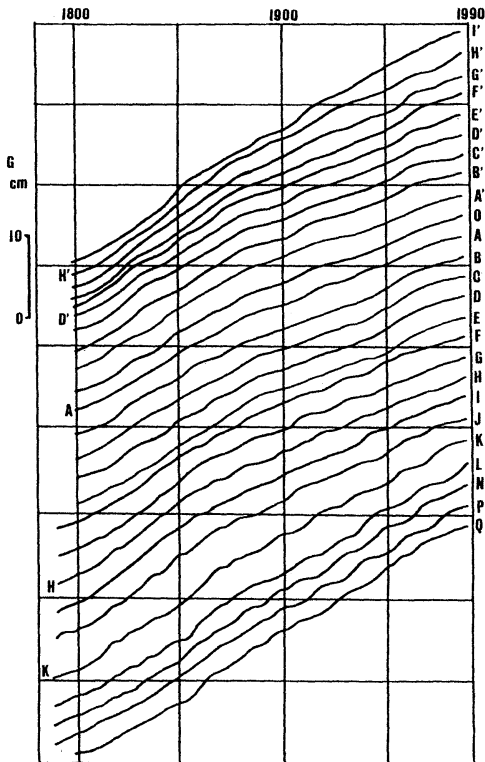


Fig. 3. Directional annual ring growth rate of the tree (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) along radial lines from Q to I' at angle intervals of ten degrees from the line R (cf. Fig. 2). The radial lines Q to I' show that the tree ring growth rate is neither uniform nor isotropic radially.

線ごとに年輪を調べると、樹木の年間成長率の方向特性がわかる。これを Fig. 3 に示す。

この試料の樹齢は推定約 200 年以上とみられるが、樹木の成長曲線を考慮にいれて、ここでは、外的条件の樹木への作用のとらえやすい部分に着目することとした (cf. 山田, 1983)。また、樹木の育成環境から、樹木の成長にともなう根張りなどにも十分留意した。この根張りは年輪からみた樹木の成長率の方向不均一性の原因となる。したがって、単純に一測線をとって年輪を調べるのは、かならずしも正しい判断にはつながらない (たとえば、京都大学農学部附属演習林竹内典之博士からの個人的情報)。

ここで、1 年毎の樹木の成長率の特性をとらえるために、高速フーリエ解析法によるスペクトル解析を行った。とくに、測線 "D" と "H" についての結果を Fig. 4 に示す。この図をみると、22 年・11 年・7 年の周期成長のところに、スペクトルの谷が位置している。別の例として、測線 "H" と "K" についての結果を Fig. 5 に示す。この図では、スペクトルのピークに、22 年・11 年・7 年の周期成分が対応しているようである。さらに、測線 "A" について求めたスペクトルは、Fig. 1 の実線のように、スペクトルのパターンは Fig. 4 や Fig. 5 の例とは異なる。

4. 相互相関

上に見たように、スペクトル解析のみによって、ストックホルムの年平均海水位と北海道知床半島のミズナ

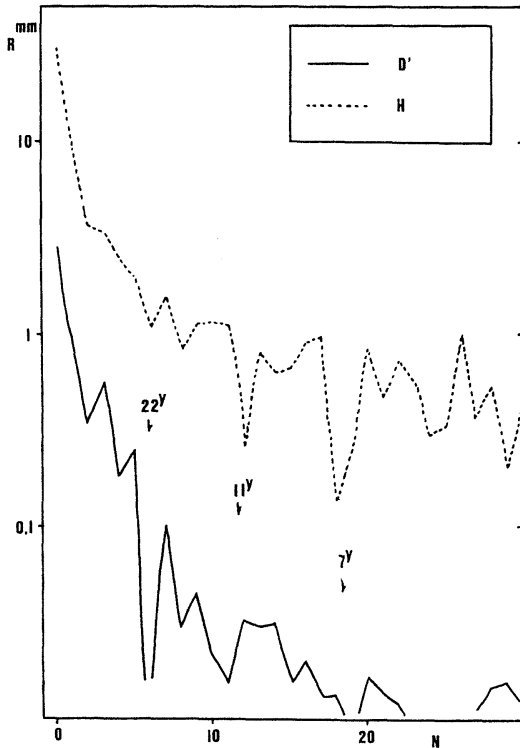


Fig. 4. Amplitude spectra of the annual ring growth rate along the radial lines D' (dashed line) and H (solid line).

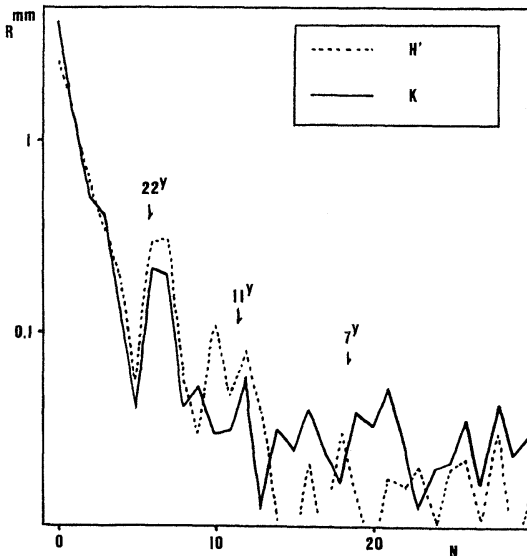


Fig. 5. Amplitude spectra of the annual ring growth rate along the radial lines H' (dashed line) and K (solid line).

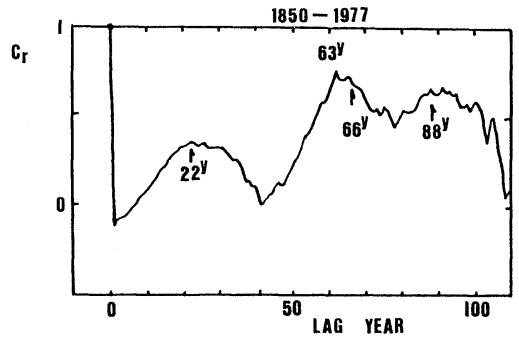


Fig. 6. Cross-correlation between the annual mean sea levels at Stockholm and the annual ring growth radial line A of the tree (*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*) at Shiretoko, Hokkaido.

ラの年輪との間にどのような関係があるかを判断することは難しい。

ここで、最も簡単な解析法を利用することにしたい。とくに、1850年から128年間を対象として、ストックホルムの年平均海水位とミズナラの測線“A”上の年成長率（年輪の幅）との相互相関係数 C_r を求めた。その結果は Fig. 6 のようになった。すなわち、ずらしが22年・66年・88年のとき C_r 値は極大となるとみてよい。しかも、このずらしは22年の整数倍である。ただし、44年のとき C_r 値は極小に近い。なぜこのような結果が得られたのであろうか。なお、今後の検討に残された問題である。

ちなみに、太陽黒点数 SSN の月平均値を1749-1989年についてみると、この期間に極小期が22回ある。このSSNの値の変動は、かならずしも正弦波的ではないが、周期的規則性があり、この期間を通じて10.9年周期でSSN月平均値は変化していると言ってよい（京都大学理学部地磁気資料解析センター家森俊彦氏からの情報）。これは、気候学的検討の対象となった11年周期に相当するものと思われる。ただし、太陽黒点の極性（HALE, 1924）や MAUNDER (1922) の butterfly-diagram のほか、たとえば、STIX (1989) の記述例をみても、太陽活動に関連した変動の周期は11年ではなくて、22年周期であるとみるべきであろう。しかも、この22年周期が Fig. 6 に関係がありそうにみえる。

ストックホルムの年平均海水位と北海道知床半島のミズナラの年輪とは、太陽黒点の変動を介して、相互に関連があるとみてよいであろうか。亜寒帯に位置するストックホルムも北海道も、亜寒帯に近い極光帯を通して、

太陽活動の変動の影響を強く受けているのかもしれない。本文の終わりにあたり、この研究に関連して多数の方々の御助言・御協力をいただき、また、御激励をいただいたことを記して、謝意を表したい。

文 献

- ANDERSON, A. J., G. MARGARERT and H.-G. SCHERNECK (1988): A satellite altimeter experiment for the European Space Agency Earth Remote-Sensing Satellite. EOS (Trans. Am. Geophys. Union), **69**, 873-881.
- CURRIE, R.G. (1981): Amplitude and phase of the 11 yr term in sea level: Europe. Geophys. J. Roy. Astron. Soc., **67**, 547-556.
- EL-SABH, M.I. and T.S. MURTY (1986): Seasonal and long-term sea level variations in the Atlantic coast of Canada. Marine Geodesy, **10**, 295-308.
- EKMAN, M. (1988): The world's longest continued series of sea level observations. Pure Appl. Geophys., **127**, 73-77.
- HALE, G. E. (1924): Sunspots as magnets and the periodic reversal of their property. Nature, **113**(2829), 105-112.
- 速水頌一郎 (1967): 西紀 1650 年—暗黒から黎明への時代. 京大防災研究所年報, (10A), 1-11.
- IUGG (1987): Proces-Verbaux No.17, IAPSO IUGG, XIX General Assembly at Vancouver, held in August 1987. 473pp.
- 北村四郎 (補)・岡本省吾 (1959): 原色日本樹木図鑑. 保育社. 306pp. (とくに p.47).
- LEE, L. C. (1988): Toward a time-dependent reconnection model. EOS (Trans. Am. Geophys. Union), **69**, 1617-1627.
- MAUNDER, E.W. (1922): The sun and sunspots. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **82**, 534-543.
- MORI, Y. (1981): Evidence of an 11-year periodicity in tree-ring series from Formosa related to the sunspot cycle. J. Climatol., **1**, 345-353.
- 中村重久 (1989 a): 検潮井による検潮記録, La mer, **27**, 164-169.
- 中村重久 (1989 b): 人工衛星による高度計測と海洋潮汐について, La mer, **27**, 200-204.
- 柴田彰 (1989): Geosat 高度計で観測された日本周辺における相対的海面水位の変動について. 海と空, **65**, 1-16.
- STIX, M. (1989): The sun. A and A Library Springer-Verlag, Berlin, 390pp.
- STURGES, W. (1987): Largescale coherence of sea level at very low frequencies. J. Phys. Oceanogr., **17**, 2084-2094.
- WEBB, D. J. (1988): Assimilating altimeter data into ocean models using forward and forward-backward schemes. Symposium on Ocean Data Assimilation and Prediction Studies, PS-6, IAPSO IUGG, Proces-Verbaux No.17, XIX General Assembly at Vancouver, August 1987. p. 240-241.
- 山田常雄編 (1983): 岩波生物学辞典 (第 3 版). 岩波書店, 東京. 349pp. (とくに p.979).

日仏海洋学会賞受賞記念講演

河口域における懸濁有機物の挙動に関する研究

落合正宏

Étude sur la comportement de la matière organique
particulaires dans l'estuaire

Masahiro OCHIAI

このたびは、栄誉ある日仏海洋学会賞を賜ることとなり、身にあまる光栄と感謝いたしております。今後、この受賞をさらなる励みとして、より良い研究を行うよう努力する決意であります。

私は、東京都立大学の半谷高久先生のもとで「天然水中における炭水化物の研究」を、主として陸水環境において行ってきました。博士論文をまとめた後、1982年より2年間フランスにおいて研究をする機会を得ました。ただ、フランスは陸水に関する研究がそれほど盛んではなく、私自身も化合物中心の研究を行っていたために、水環境での研究ということで、マルセイユのオンドーム海洋実験所へ行くことにしました。ドーマス先生の下で高速液体クロマトグラフィーにより海水中のアミノ酸の研究をいたしました。

アミノ酸は炭水化物とともに生体中の主要な成分であり、水中では微生物の栄養源として重要な化合物で、これら2つの化合物を同じ試料中で測定することにより、水中での有機物の微生物に対する栄養源としての役割について解明できるものと考えました。マルセイユでは、日本とは異なる生活環境でもあり、また、試料の環境についても十分な把握ができないこともあり、あまり研究は進展しないまま帰国いたしました。しかし、この間に学んだ、アミノ酸の測定および測定中の諸注意をいかし、多摩川での炭水化物、アミノ酸の分布と挙動について研究を開始いたしました。

多摩川では、東京の重要な河川であり、かつ、研究室からアクセスが容易なフィールドであることから、これまでも何回かの観測を行ってまいりました。従来は、多摩川の有機物分布の記述に重点を置いて研究を行ってきたのですが、有機物の主要な構成化合物である炭水化物、アミノ酸を同時に測定できる体勢が整ったことより、感潮河川での塩分の影響によるこれらの化合物の挙動を研究することを考えました。

感潮領域において、粘土鉱物などが塩分の効果により凝集沈澱することは広く研究されてきています。しかし、有機物については、供給と生産の問題があり、粘土鉱物において観測される様なきれいな測定結果を得ることができていませんでした。有機化合物の中でもアミノ酸は通常タンパク質の形で水中に存在し、しかもタンパク質は実験的に塩析を受けることが知られています。一方、炭水化物はタンパク質のような塩析効果がないため、河口域での塩分変動に対しても影響が少ないと予想されます。そこで、これらの有機化合物間の、感潮領域での挙動に差を見いだすことができないだろうかと考え、研究を進めてまいりました。

はじめ、どの様な河川状況の時に測定をすればきれいな結果を得ることができるか、かいつも見当がつかず、月に1回のペースで調布丸子取水堰より川崎フェリー埠頭まで、各橋の地点で測定を繰り返してまいりました。

タンパク質様の化合物が、塩分の影響を受ける多摩川河口域において急激な減少を示すことが、小倉(1978)により報告されてはいたものの、化合物レベルでの河口域における分布を塩分効果により説明できるだけのデータはありませんでした。さらに、河川河口域における懸濁有機物の測定において、河口域での水の停滞により

生物生産が盛んとなり、河口域における有機物の分布を明確にできる条件がありませんでした。

炭水化物を構成する単糖類のうちアラビノースは植物プランクトンには少なく、一方、高等植物には含まれており、地球化学において、陸起源有機物の指標の一つとして知られています。多摩川河口域において懸濁態炭水化物のアラビノースの分布を調べると、その絶対濃度が河口域へ下るにしたがい、減少することを見いだしました。まさに、多摩川においてアラビノースを陸起源有機物の指標として使用できる可能性を示していることになります。

私どもは、さらに、多摩川河口域における懸濁態アミノ酸の結果を色々な角度より眺め、河口域での塩分がある程度の値を越えると、急速にアミノ酸の濃度が減少することを見いだしました。

この二つの観点より多摩川において測定された懸濁態炭水化物とアミノ酸の結果を見直すと、河口に向かい塩分が緩やかに増加する観測日において、河口域方向に一定の傾向がみられることを見いだしました。しかし、河口の手前で急に懸濁態有機物が増加する地点が存在し、この増加分をいかに見積もるかに問題がかかってきました。この増加分を現場における植物プランクトン等の生物による生産に起因するものと仮定し、クロロフィルの値より懸濁態アミノ酸と懸濁態炭水化物の現場にて生産された量を計算することにしました。クロロフィルより計算される有機物量を差し引くことにより、上流部より流下してきた懸濁態有機物のうち、アミノ酸・タンパク質と炭水化物の間に塩分の影響に基づく挙動が異なるこ

とを見いだしました。

富栄養化した河川においては、生物生産のために河口域での有機物分布が複雑化するため、塩分の影響を観測することに適してはいないと考えられていました。しかし、生物がある程度存在することにより、クロロフィルを基礎として、生産量、ひいては有機物量を推定することができ、上流起源の有機物と生物生産により加わった有機物を量的に区別することが可能になりました。この結果、多摩川河口域における有機物の挙動を明らかにすることができました。

この研究はまだ、多摩川においてしか観測がなされておらず、他の多くの河口域においての観測がなされなければ、有機物の挙動を研究する上で、この研究方法が適当であると言えるかについて、まだまだ、議論の余地があり、今後より多くのフィールドにおいて観測、研究がなされることが重要であります。

最後に、水圏における地球化学のおもしろさを指導していただいた、半谷高久先生に感謝いたします。また、研究テーマとしてこのような興味深い結果ができることは予想していなかったにもかかわらず、熱心に分析、卒研に取り組んでくれた岡沢剛、荻野将信、佐々木かほる氏に心から感謝いたします。日仏海洋学会誌への投稿に当たりフランス語をみていただいたオンドーム海洋実験所のラウル博士に感謝いたします。現在、日仏会館の館長であるセカルディー先生は、私のフランス滞在当時、隣の研究室の教授であり、研究のアドバイスをしていたりした方で、このような時期にこの賞を賜り、先生にも喜んでいただき、感謝の気持ちでいっぱいです。

学 会 記 事

1. 1990年3月28日(水)東京水産大学において、平成2, 3年度会長選挙(評議員による投票)の開票が行われた。
2. 1990年4月9日(月)日仏会館において、日仏両関係者による第3回日仏海洋シンポジウムに関する打ち合わせが行われた。
3. 1990年5月2日(水)東京水産大学において平成2年度第1回幹事会が開かれた。主要な議題は下記のとおり。
 - 1) 平成2, 3年度評議員選挙結果について
 - 2) 平成2, 3年度会長選挙結果について
 - 3) 「テクノオーシャン '90 国際シンポジウム」(11.14~15神戸)の協賛を行った。
 - 4) シンポジウム「水産研究における新しい動向とその展望」(日本学術会議水産学研究連絡委員会主催 4.1)を共催した。
 - 5) 編集
1989年度は、La mer 26巻4号, 27巻1—2合併号が刊行された。第2回日仏海洋シンポジウムプロシーディングズを主体とする27巻3号(1989年9月号)は、今月中旬に刊行の予定である。
 - 6) 会計
資料に基づいて1989年度の収支決算が報告された。正会員の同年度会費未納者が32名, 長期未納者が21名いる。支出のうち, 学会誌等印刷費の予算額は5号分であり, 27巻3, 4号が刊行されたこととさらに約100万円の支出となり, 約50万円の赤字となる。
 - 7) 第3回日仏海洋シンポジウムについて
4. 1990年5月31日東京水産大学において平成2年度評議員会が開かれた。主要な議事は下記のとおり。
 - 1) 平成2, 3年度評議員選挙結果報告
 - 2) 平成2, 3年度会長選挙結果報告
 - 3) 平成2, 3年度副会長, 幹事, 監事の選出
 - 4) 平成2, 3年度評議員の追加について
選挙で評議員に選出されなかった有元貴文, 高橋正, 佐伯和昭, 渡辺精一各幹事, 久保田穰監事の5名を評議員に追加することが, 会長から提案され同意した。(以上新役員・評議員等については別記参照)
 - 5) 平成元年度事業報告
 - 6) 平成2年度学会賞受賞候補者選考経過報告
 - 7) 平成元年度収支決算報告及び監査報告
 - 8) 平成2年度事業計画案審議
 - 9) 平成2年度収支予算案審議
 - 10) 平成3年度学会賞受賞候補者推薦委員会委員選出
 - 11) 名誉会員の推薦について
 - 12) 第3回日仏海洋シンポジウムについて
5. 1990年6月1日, 日仏会館会議室において平成2年度日仏海洋学会学術研究発表会が開催された。発表題目と発表者は下記のとおり。

プログラム

午前(9:30~11:50)

 1. 沖縄トラフ熱水活動域から分離されたイオウ細菌
.....長沼 毅(海洋科技センター)
 2. 海形海山から「しんかい2000」で得られた堆積物埋
在性の深海ヒバリガイ類
Bathymodiolus sp.○堀越増興(東京久栄)・
橋本 惇(海洋科技センター)
 3. 新潟地方における大型海産動物の漂着傾向にみられる
種間差.....本間義治(新潟大理)
 4. 東京湾における透明度と植物プランクトン現存量の
変遷.....○有賀祐勝・小西 好・
フィリピーナ B. ソット(東水大)・
山口征矢(埼玉大教養)・佐藤博雄(東水大)
 5. ハイダム湖(エジプト)におけるSS, 透明度, 植物
プランクトン現存量の変遷.....○有賀祐勝(東水大)・
オルファット A.H.(ハイダム湖漁業管理セ)
 6. *Alexandrium tamarense* の生長と毒性
.....○石丸 隆(東水大)・
緒方武比古・児玉正昭(北里水産)
 7. 魚群の網糸に対する行動(2).....中村善彦(東水大)

午後(13:30~14:10)

 8. 1989年初冬の145°E水温断面の特徴—海鷹丸の観
測から—.....○松山優治・峰 雄二・
須藤英雄・吉田次郎・今関昭博(東水大)
 9. 親潮の異常南下の発生の予知について
.....関根義彦(三重大生物資源)
 6. 1990年6月1日, 日仏会館会議室において第31回
(平成2年度)総会が開催された。議事の概要は下記

のとおり。

1) 平成元年度事業報告

a) 庶務

会員移動状況

| | 元 4 年 月 | 入 会 | 退 会 | 2 年 4 月 |
|------|------------------|--------|--------|------------------|
| 名誉会員 | 2 | — | — | 2 |
| 正会員 | 319 | 4 | 12 | 311 |
| 賛助会員 | 24 | 1 | 1 | 24 |

平成2, 3年度評議員, 役員選挙及び選出

活動状況

| | |
|---------|------------|
| 評議員会 | 1回 |
| 総会 | 1回 |
| 学術研究発表会 | 1回 |
| 学会賞授与 | 山口征矢(埼玉大学) |
| 幹事会 | 2回 |
| 公開講演会 | 1回 |

「日本とヨーロッパ産うなぎの養殖」

ベルナール・グーセ水産技師, 元日仏会館
研究員

第2回日仏海洋シンポジウムプロシーディング
ズの刊行(1989年9月 La mer 27巻3号)

b) 編集

La mer を4号[26(4), 27(1-2), 27(3)]刊行
原著13編, 資料2編, 日仏海洋シンポジウム要
約, その他で合計210頁(そのうち, 日仏海洋シ
ンポジウム関係が83頁)

c) 平成2年度学会賞受賞候補者選考経過報告

2) 平成元年度収支決算報告及び監査報告

平成元年度収支決算

平成元年4月1日自

平成2年3月31日至

収入

| | 元年度予算 |
|---------|----------------------|
| 前年度繰越金 | 211,030(211,030) |
| 正会員会費 | 1,514,000(1,800,000) |
| 賛助会員会費 | 310,000(350,000) |
| 学会誌売上金 | 292,900(250,000) |
| 広告料 | 220,000(320,000) |
| 著者負担印刷費 | 386,619(350,000) |
| 雑収入 | 357,377(360,000) |

計 3,291,926(3,641,030)

支出

| | |
|---------|----------------------|
| 学会誌等印刷費 | 1,649,254(2,500,000) |
| 送料・通信費 | 240,496(300,000) |
| 事務費 | 713,081(650,000) |
| 交通費 | 26,620(50,000) |
| 会議費 | 13,550(30,000) |
| 学会賞経費 | 71,577(75,000) |
| 雑費 | 28,313(36,030) |
| 次年度繰越金 | 549,035 |

計 3,291,926(3,641,030)

3) 平成2年度事業計画案審議

評議員会1回, 総会1回, 学術研究発表会1回,
幹事会4回, シンポジウム及び講演会の開催

学会誌の発行(4回)

平成2年度学会賞受賞及び平成3年度学会賞受賞
候補者推薦

第3回日仏海洋シンポジウム参加準備

その他

4) 平成2年度収支予算案審議

平成2年度予算

収入

| | |
|---------|-----------|
| 前年度繰越金 | 549,035円 |
| 正会員会費 | 1,866,000 |
| 賛助会員会費 | 310,000 |
| 学会誌売上金 | 250,000 |
| 広告料 | 280,000 |
| 著者負担印刷費 | 350,000 |
| 雑収入 | 15,000 |

計 3,620,035

支出

| | |
|---------|-----------|
| 学会誌等印刷費 | 2,450,000 |
| 送料・通信費 | 300,000 |
| 事務費 | 700,000 |
| 交通費 | 30,000 |
| 会議費 | 30,000 |
| 学会賞経費 | 75,000 |
| 雑費 | 35,035 |

計 3,620,035

5) 名誉会員の推薦について

会長提案どおり名誉会員記の書式等についての同
意が得られた。冨永政英元会長への名賛会員記伝達
は郵送によることとした。

6) その他

- a) 会長から会員数増加への協力要請があった。
 b) 会長および高木副会長から第3回日仏海洋シンポジウム(1991年フランス)の準備状況の報告および会員への協力依頼があった。

引き続き、落合正宏会員への学会賞授賞と受賞記念講演(座長鎌谷明善会員)が行われた。また、懇談会が別室で開かれ、盛会裡に終了した。

氏 名: 落合正宏(東京都立大学)

課 題: 河口域における懸濁有機物の挙動に関する研究

推薦理由: 落合正宏博士の主とした研究分野は天然水中の有機物、特に溶存及び懸濁粒子中の炭水化物とアミノ酸の分析と挙動である。これらに関する研究を湖沼から海洋まで幅広く且つ精力的に進め、多くの成果を国内外の雑誌に報告してきた。

今回、日仏海洋学会賞の受賞候補の対象となった研究は、とりわけ河口域における懸濁有機物の挙動に関する成果である。淡水と海水が混合する海域においては急激な塩分変化がみられ、この変化は荷電物質の挙動に大きな影響を与え、溶存物質はもとより粒子状物質の凝集・沈澱現象として現れる。そのため河口域における無機物質に対するこれらに関連する観測及び室内でのモデル実験等は多数試みられてきているが、荷電有機物に関する調査・研究例は少ない。それ故、落合博士の研究成果は注目に値する。

落合博士は永年に亘り、ガスクロマトグラフィー及び高速液体クロマトグラフィーを用いて多摩川河口域において懸濁粒子中のアミノ酸並びに炭水化物の組成分析と解析をおこない、構成する有機物の違いにより粒子の凝集・沈澱といった挙動特性に大きな違いのあることを化合物レベルで明らかにしている。即ち、アミノ酸含量が高い懸濁物質は、水中の電荷イオン濃度の変化に敏感に反応するため、塩分の低い河口域の上流部ですみやかに沈澱・消失するが、炭水化物含量の高い懸濁物質は、電氣的にも安定なために凝集形成反応が生じにくく、塩分が高いより下流まで運ばれる性質の強いことを明らかにしている。さらに、炭水化物を構成する中性糖の一つであるアラビノースが陸源有機物の良い指標となることに着目し、河口域に存在する有機物を上流から供給されてくる画分と現場で生産された画分に分離し、量的関係を計算する手法を確立している。

落合博士は湖沼・河川においても溶存炭水化物やアミノ酸の微生物に対する利用の選択性、分解後の単糖組成

が平均化されるなど斬新的な研究を行っている。

これらの水圏における有機物質の挙動の研究は統一的な視点に立って追求したものであり、その成果は高く評価され、且つ海洋学の進歩に貢献するところが顕著である。よって本委員会は落合博士を日仏海洋学会賞の受賞候補者として推薦する。

学会賞受賞候補者推薦委員会

委員長 鎌 谷 明 善

主 要 論 文

- 1979: 多摩川水中の溶存有機物組成の時間変化, 水処理技術, 20: 407-409. (山崎正夫, 黒田良隆, 小椋和子と共著)
- 1979: 中沼における溶存有機物の季節変化, 陸水学雑誌 40: 185-190 (中島拓男, 半谷高久と共著)
- 1980: Determination of dissolved carbohydrates in natural water by gas-liquid chromatography. J. Chromatogr., 194: 224-227.
- 1980: Vertical distribution of monosaccharides in lake water. Hydrobiologia, 70: 165-169. (with T. HANYA)
- 1980: Chemical composition of labile fraction in DOM. Hydrobiologia, 71: 95-97. (with T. NAKAJIMA and T. HANYA)
- 1980: Changes in monosaccharide composition in the course of decomposition of dissolved carbohydrates in lake water. Arch. Hydrobiol., 90: 257-264. (with T. HANYA)
- 1981: Seasonal variations of dissolved organic constituents in Lake Nakanuma during March and November 1979. Verh. Internat. Verein. Limnol., 21: 682-687. (with T. UKIYA)
- 1983: 多摩川水中の溶存アミノ酸. 水処理技術, 24: 297-301. (浮谷 融, 大橋章雄と共著)
- 1983: Les glucides dissous en poids moleculaire elve dans l'eau du Golfe de Sagami. La mer, 21: 7-10 (with A. SUZUKI and T. HANYA)
- 1986: 多摩川下流域におけるアミノ酸態化合物. 水処理技術, 27: 297-311 (岡沢 剛と共著)
- 1987: 多摩川下流域におけるけん濁有機物の分布. 陸水学雑誌, 48: 187-194 (荻野将信, 岡沢 剛, 佐々木かほると共著)
- 1988: Distribution of neutral sugar and neutral sugar decomposing bacteria in small stream water. Arch. Hydrobiol., 113: 179-187 (with T. NAKAJIMA)

1988: Behavior of particulate carbohydrates and amino acids in estuary of the Tama River. *Marine Chemistry*, 25: 265-278. (with M. OGINO, K. SASAKI and T. OKAZAWA)

1989: Comportement des glucides et acides aminés particuliers dans l'estuaire de la Rivière Tama. *La mer*, 27: 25-33 (with M. OGINO, K. SASAKI and T. OKAZAWA)

1990: Distribution of organic matter and bacteria in river water. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, in press. (with T. NAKAJIMA)

1990: Effect of water quality on the waterscape of Tamagawa. *Jpn. J. Limnol.*, in press,

7. 1990年6月26日(金)東京水産大学において平成2年度第2回幹事会が開かれた。主要な議題は下記のとおり。

1) 6月13日(水)第6回日仏学術シンポジウムに関する日仏会館拡大学術委員会が開かれた。

2) *La mer* 27巻4号は50頁弱で近く刊行される。

3) 1990年度事業計画及び創立30周年記念事業について

4) 第3回日仏海洋シンポジウムについて

8. 1990年9月20日(木)東京水産大学において平成2年度第3回幹事会が開かれた。主要な議題は下記のとおり。

1) 冨永政英評議員の名誉会員推挙に伴い、竹松 伸氏を平成2,3年度評議員に繰り上げ選出する件は、評議員会の承認が得られた。

2) 日本学術会議法に基づく学術研究団体の登録申請については、9月11日付けで、登録された旨の通知があった。

3) フランクフルト・ブックフェアでの「学会誌」展示会(1990.10.3~8)へ*La mer* 27巻4号を出品することとした。

4) 日本学術会議から照会のあった関連研究連絡委員会の数の指定及び推薦人の数に関する意見聴取については、「地球物理学(第4部)、生態・環境生物学(第4部)、水産学(第6部)各1人以内」から、前回同様「水産学(第6部)1人以内」の指定を希望するむね回答することとした。これについては、今後、会員の構成、学会の活動内容等学会の分野別構成の量的資料を整えておくこととした。

5) 社団法人日本工学会から、学術法人法(仮称)等の制定運動についての協力依頼があった。どのよう

な形で協力をするようになるのかは明らかではないが、趣旨はたいへん結構なことなので、とりあえず賛同することとした。

6) 社団法人日本工学会と同著作権問題検討委員会から複写権の委託に関する件について、資料の送付と協力依頼があった。とりあえず、特に関心のある幹事あるいは庶務幹事がこの問題を十分研究することとした。

7) 下記3件の共催、協賛等(依頼)について承認した。

a) 理化学研究所第13回科学講演会(10.16 経団連ホール)(協賛)

b) 第3回国際海洋水産専門家会議(大陸棚海洋開発研究会)(11.2~3 北京)(協賛)

c) 日仏海洋学会議(Recruitment and Larval Biology of Marine Animals) 11.10~19 フランス側代表来日、13~14日日仏会館でシンポジウム予定でフランス側が準備をすすめているが、詳細は未定である。

8) 第3回日仏海洋シンポジウムについて

9) 創立30周年記念行事について

9. 1990年10月11日(木)東京水産大学において創立30周年記念講演会が開かれた。

「日仏水産増養殖における基礎生物学の貢献」

ビヤード博士(日仏海洋学会会長、フランス国立自然史博物館教授)

10. 寄贈図書リスト

国内

海洋観測資料カタログ(水産庁), No. 1.

広島日仏協会報, Nos. 108, 106, 110.

なつしま(海洋科学技術センター), Nos. 105, 106, 107, 108.

水産研究科試験研究報告(北海道原子力環境センター, 水産研究所), 第1号.

NTT R&D(電気通信協会), Vol. 39, Nos. 2-9.

海洋産業研究資料(海洋産業研究会), Vol. 21, Nos. 1, 2.

日本航海学会論文集(日本航海学会), 第82号.

広島大学生物生産学部紀要, 第28巻, 1, 2号.

航海(日本航海学会), 第103, 104号.

RESTEC(リモート・センシング技術センター), 24, 25号.

Bull. Nat. Sci. Mus.(国立科学博物館), Vol. 15, Nos. 3, 4; Vol. 16, Nos. 1, 2.

国立科学博物館専報, No. 22.
 日本プランクトン学会報, 第36巻第2号; 第37巻, 第1号.
 しおさい (水産工学研究所), No. 6.
 JODC ニュース (日本海洋データセンター), Nos. 40, 41.
 海産研ニュース (海洋産業研究会), No. 17.
 海上気象報告 (函館海洋気象台), 44号.
 漁業資源評価漁海況予報会議研究報告 (日本海区水研) 第18号.
 日本学術会議だより, No. 17.
 神奈川県立博物館研究報告, 19号.
 農業工学関係研究成果情報 (農林水産省農業工学研究所), 63年度.
 神戸海洋気象台彙報, 第209号.
 日本海区水産研究所研究報告, 第40号.
 日本学術会議月報, 第31巻, 第5, 7, 9号
 鯨研通信 (日本鯨類研究所), 第378, 379号.
 琵琶湖における河川水の分散と物質収支 (滋賀県琵琶湖研究所), No. 89.
 東北区水産研究所研究報告, 第52号.
 横須賀市博物館資料集 (横須賀市自然博物館), 第14号.
 横須賀市博物館研究報告, 第37号.
 東海大学紀要 (東海大学海洋学部), 第30号.
 水産工学研究所研究報告, 第11号.
 水産工学研究所技報, 第12号.
 農業工学研究所報告, 第29号.
 農業工学研究所年報, No. 1.
 海洋調査報告一覧 (日本海洋データセンター), 1990, 3月.
 鳥取沖表層堆積図 (地質調査所), 35, 36.
 海洋産業研究資料 (海洋産業研究会), Vol. 21, No. 3.
 湖沼実習施設論文集 (滋賀大学教育学部付属湖沼実習施設), No. 28.
 国内海洋調査一覧 (日本海洋データセンター), No. 22.
 農業工学研究所ニュース, No. 3.
 養殖研究所研究報告, No. 17.
 養殖研ニュース (養殖研究所), No. 19.
 Bull. Mar. Sci. Fish. Kochi Univ. (高知大学海洋生物教育研究センター), No. 11.
 千葉県水産試験場研究報告, 第48号.
 外国
 韓国海洋学会誌, 第24巻, 第4号; 第25巻, 第1, 2号,

American Museum Novitates, Nos. 2926, 2950, 2651, 2953.
 水産学報 (中国水産学会), Vol. 13, No. 4.
 科学通報 (中国科学院図書館). Vol. 35, Nos. 6-16.
 Annales de l'Institut Océanographique, Tome 65, f. 2.
 水産学技 (中国水産学会), Vol. 14, No. 1.
 青島海洋大学学報, Vol. 20, Nos. 1, 2.
 Aquatic Living Resources, Vol. 3, No. 2.
 Harvard University Library, 1988-1989.

日仏海洋学会役員・評議員

(1990~1991年度)

顧問 ユベール・プロシュ ジャン・デルサルト
 ジャック・ロベール アレクシス・ドランデ
 ル ベルナル・フランク ミシェル・ル
 サージュ ロベール・ゲルムール ジャック・
 マゴー レオン・ヴァンデルメルシュ オー
 ギュスタン・ベルク

名誉会長 ユベール・セカルディ

会長 有賀祐勝

副会長 高木和徳, 岡市友利

幹事 (庶務) 須藤英雄, 有元貴文; (会計) 松生
 治, 高橋 正; (渉外) 佐伯和昭, 隆島史夫
 (研究) 関文威, 小池勲夫; (編集) 山口
 征矢, 渡辺精一

監事 久保田 穰, 辻田時美

編集委員長 村野正昭

評議員 青山恒雄, 阿部友三郎, 有元貴文, 有賀祐勝
 石野 誠, 宇野 寛, 大塚一志, 岡市友利,
 岡部史郎, 梶浦欣二郎, 金成誠一, 鎌谷明善
 川合英夫, 国司秀明, 久保田穰, 黒木敏郎,
 小池勲夫, 小長俊二, 佐伯和昭, 坂本市太郎
 坂本 亘, 須藤英雄, 杉村行勇, 杉森康宏,
 関 文威, 平 啓介, 高木和徳, 隆島史夫,
 高野健三, 高橋 正, 高橋正征, 竹松 伸,
 谷口 旭, 辻田時美, 寺本俊彦, 鳥羽良明,
 中村重久, 永田 豊, 奈須敬二, 西沢 敏,
 根本敬久, 畑 幸彦, 平野敏行, 堀越増興,
 前田明夫, 松生 治, 松山優治, 丸茂隆三,
 三浦昭雄, 村野正昭, 森田良美, 柳 哲雄,
 山口征矢, 和田 明, 渡辺精一

[参考] 平成3年度学会賞受賞候補者推薦委員会委員
 青木三郎, 阿部友三郎, 石野 誠, 井上 實
 落合正宏, 鎌谷明善, 高野健三, 竹松 伸,
 谷口 旭, 中村重久, 根本敬久, 松生 治,
 村野正昭, 柳 哲雄, 山口征矢

日本学術会議だより №.17

「地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)の実施について(勧告)」を採択

平成2年5月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議は、去る4月18日から20日まで第109回総会を開催しました。今回の日本学術会議だよりでは、その総会で採択された勧告を中心に、同総会の議事内容等についてお知らせします。

日本学術会議第109回総会報告

日本学術会議第109回総会(第14期・第5回)は、4月18～20日の3日間開催された。

総会第1日目の午前中には、会長からの経過報告、各部委員会報告に続き、勧告、対外報告の2案件の提案がなされた。これらの案件については、同日午後の各部会での審議を経た上で、第2日目の午前中に採択された。なお、総会前日の17日の午前中には、連合部会が開催され、これらの案件の予備的な説明、質疑が行われた。また、第2日目の午後には、自由討議が、第3日目の午前中には各常置委員会が、午後には各特別委員会がそれぞれ開催された。なお、第2日目の総会に先立ち、同日表敬訪問のために訪れた1990年(第6回)日本国際賞受賞者4名の紹介がなされ、うち2名の方々から挨拶が行われた。

今回総会では、次の勧告、対外報告が採択された。

①地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)の実施について(勧告)(この勧告の詳細は、別掲参照)

このIGBPについては、以前から会長召集の検討会議や関係する部会、研究連絡委員会等で検討が続けられてきたが、この度、これらの検討結果を踏まえて、人間活動と地球環境に関する特別委員会のIGBP分科会が中心となって今回の勧告案を取りまとめたものである。

この勧告は、同日午後直ちに内閣総理大臣に提出され、関係省庁に送付された。

②人間活動と地球環境に関する特別委員会報告—人間活動と地球環境について(この対外報告の詳細は、別掲参照)

これは、人間活動と地球環境に関する特別委員会が、昭和63年10月の発足以来行ってきた審議の結果を中間報告として取りまとめたものについて、外部に発表することを承認したものである。この件に関する審議の際には、人間活動という言葉の定義、国際関係や各国の科学技術政策との関連、環境教育の位置付け等々について、活発な質疑応答があり、また、文案の修正を求める多くの意見が出される等、熱心な討議が行われた。

また、総会第2日目の午前には、南アフリカ共和国科学者の学術に係る我が国への入国手続きをめぐる従来からの問題について討議が行われ、「科学者の自由交流」の考え方に賛同し、本問題の早急かつ実質的な解決を望む多数の意見が述べられた。

なお、第2日目午後には、「学術の国際化への対応」というテーマで、活発な自由討議が行われた(この自由討議の詳細は、別掲参照)。

地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)の実施について(勧告)

(勧告本文)

国際学術連合会議(ICSU)は、1983年1月の執行委員会から、国際測地学・地球物理学連合(IUGG)より提案のあった地球圏—生物圏国際協同研究計画(International Geosphere-Biosphere Programme, 略称IGBP)について検討を始め、1986年ベルンで開かれた総会で、この計画を1990年から10年間国際協力により実施することを決定した。我が国の研究者は国際的立案の段階からこの研究計画の審議に参加してきており、この国際協力事業に我が国の研究者が参加することは、この国際協同研究計画が持つ重要性にかんがみ意義が極めて大きいと考えられる。したがって、政府はこの国際的かつ学際的事業を成功させるために、我が国におけるIGBP研究の実施に当たり、研究の推進、国際対応、研究者の養成などの体制整備並びに予算等万全の措置を講じられたい。

(説明)[要旨]

国際学術連合会議(ICSU)は、国際協同研究として、地球変化を支配する物理的・化学的・生物学的な諸過程とその相互作用を解明するため専門的知識を結集し、「地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)を実施するため、検討を行ってきた。我が国の研究者は関係する国際委員会に参画し積極的にその役割を果たしてきた。

IGBPの目的は全地球を支配する物理的・化学的・生物学的諸過程とその相互作用を究明することによって、過去から現在、未来にいたるまでの生命を生み出している地球独特の環境とその変化、さらに人間活動による変化について解明し、記述し、理解することである。

我が国における実施計画は、国際的な計画を参照しつつ、次の7研究領域を設定した。

研究領域1：大気微量成分の変動及び生物圏との交換。

研究領域2：海洋における物質循環と生物生産。

研究領域3：陸上生物群集への気候変化の影響。

研究領域4：大気圏・水圏・陸圏と生物圏の相互作用を考慮した気候解析とモデリング。

研究領域5：環境変化のモニタリング

研究領域6：古環境の変遷。

研究領域7：地球環境と人間活動の相互作用。

本研究計画は1990年から10年間行われ、日本は広義のモンスーンアジア地域、西太平洋地域、極域に特に重点をおいて研究を実施する。また、効果的に推進するため、地球システムにかかわる他の国際協同研究とも協力する。

人間活動と地球環境に関する特別委員会報告 —人間活動と地球環境について(要旨)

人間活動とそれをとりまく環境については、ギリシャ・ローマ時代以来考察されてきた。最近に至り、工業化や都市化が早い速度で展開し、その影響は局地的にとどまらず、地球規模で進行し、地球環境の急速な変化が現れてきた。特に、二酸化炭素や微量気体の温室効果に起因する地球温暖化、酸性雨、砂漠化などさまざまな環境変化が現れている。そしてその進行速度が大で、人間として対応、適応または順化しうる変化の速度の限界を越しているところにある。

地球的規模の環境変化研究の国際的プロジェクトとして「地球圏—生物圏国際協同研究計画(IGBP)」があり、少し遅れて実施される予定の「地球変化の人類次元研究計画(仮称)(HDGCP)」がある。

問題を解決するためには、人間活動と地球環境を一つの系としてとらえ、そこにおける物質循環やエネルギー変化の定量的記述に基づき、あるべき姿を検討し、新しい技術体系や政策体系を構築する。そこでは、総合的な研究体制を構築するプログラムを用意する必要がある。このような新しいしかも長期的な研究を推進するためには、研究者の養成、教育体系の検討、全学術研究体系の整備が必要である。

総会中の自由討議—学術の国際化への対応

本会議総会中の行事の一環である自由討議が、総会2日目の4月19日の午後1時から3時間にわたり開催された。今回の課題は、「学術の国際化への対応」であった。

自由討議は、大石泰彦副会長の司会のもと、はじめに話題提供として、①川田侃第2部会員から「学術の国際化への対応—政治学の場合」について、②高柳和夫第4部会員から「学術における国際対応—理学の場合」について、③松本順一郎第5部会員から「日本学術会議と国際学術協力」について、それぞれ意見の発表がなされた。

続いて、会員間で多岐多様にわたり活発な討議が行われたが、その陳述べられた意見の主なものとして列挙すると、「日本全体の国際学術交流・協力事業に占める日本学術会議の位置付け、役割」、「特に発展途上国からの研究者、留学生の受入れ問題」、「ユネスコ関係の諸活動・事業への対応の在り方」、「日本学術会議が加入している各国際学術団体への対応の個別的な現状と問題点」、「新しい国際協力事業への日本学術会議の対応の在り方」、「日本学術会議の国際対応組織の整備・強化」等であった。

経営工学研究連絡委員会報告—経営工学の 体系化に向けて(要旨)

固有技術とよく調和した管理技術の体系を明確にし、この体系の研究を進めて行くことは高度技術社会における社会組織と企業経営のあり方を検討するのに重要な意義を有する。

今までも、経営工学は日本の経済、社会及び技術の発展段階において、その役割を果たし、日本経済の発展に貢献してきた。とくに日本製品の品質と生産性と向上に果たした経営工学の役割は広く内外において高く評価されているところである。

経営工学の理論と応用の研究は、その実学的な性格もあり、企業における工学・技術を基盤とする経営管理活動に

重点がおかれていたが、経営工学の理論は広い普遍性を有しているため、今後は広く社会や国際に関する問題にも応用されなければならない。

本報告は、このような意図の下に、経営工学研究連絡委員会に参加している4学会の代表者よりなるワーキンググループの協力の下に、経営工学の役割と学問的体系を整理し、その研究と教育のあり方と今後の展開を考察したものである。

生物物理学研究連絡委員会報告—生物物理学の 新しい研究体制について(要旨)

生物科学の急速な進展の中で生物物理学は生物機能のメカニズムを物理学的に解明し、生物科学全体の基礎を形づくる学問として、多くの貢献をしてきた。今後生命現象の基本的理解をめざすのみならず、バイオテクノロジーの基盤となるべく、生物物理学の役割はますます大きい。

このような状況の下で、生物物理学の一層の発展をはかるには、以下のような新しい研究体制をつくることが望ましい。

現段階で特に集中的総合的に研究を推進すべき分野として、(A)分子機能解析 (B)生物情報解析 (C)高次情報解析の三つをとり上げる。それぞれの分野に適合した場所に研究室群(研究センター)をおき、それらが相互に連携し、一つの研究組織を作る。さらにこの組織が物理的方法を軸として新しい大型の研究設備のシステムを備える。そして将来この体制が基礎生物科学の研究体制の重要な一環となることをめざす。

日本学術会議第15期会員選出のための学術 研究団体の登録について

現在、日本学術会議会員推薦管理会では、各学術研究団体から、第15期会員選出のための日本学術会議への「登録」申請の受付を行なっています。この「登録」は、期が変わる度に行う必要があり、従って、第14期における登録学術研究団体も第15期会員選出のための登録学術研究団体となるためには、改めて第15期の「登録」が必要です。

この「登録」申請を行うためには、所定の様式による「学術研究団体登録申請書」を、平成2年6月30日(土)までに日本学術会議会員推薦管理会に到達するように提出する必要があります。

「学術研究団体登録申請書」は、所定の様式と用紙がありますので、日本学術会議会員推薦管理会に請求してください。無料で送付します。

日学双書の刊行案内

日本学術会議主催公開講演会の記録を中心に編集された次の日学双書が刊行されました。

- 日学双書 No.6 「高齢社会をどう生きるか」
- 日学双書 No.9 「“人権の歩み”から何を学ぶか」

[定価] 両書とも、1,000円(消費税込)

※問い合わせ先:(財)日本学術協力財団(〒106 東京都港区西麻布3-24-20、交通安全教育センタービル内、電話03-403-9788)

御意見・お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34

日本学術会議広報委員会 電話03(403)6291

日本学術会議だより №.18

第15期日本学術会議会員の選出手続き始まる

平成2年8月 日本学術会議広報委員会

日本学術会議では、現在、第15期会員を選出するための手続きが進められています。今回の日本学術会議だよりでは、その手続きの概要に加えて、来年度に開催される共同主催国際会議等について、お知らせいたします。

第15期日本学術会議会員の選出について

日本学術会議では、現在、第15期会員（任期：平成3年7月22日から3年間）を選出するための手続きが進められている。

先般、最初の手続きとして、6月末日を締切期限に、各学術研究団体からの登録申請の受付が行われた。今回申請のあった団体数は、942団体であった。

今後引き続き行われる手続きとその日程の概略は次のとおりである。

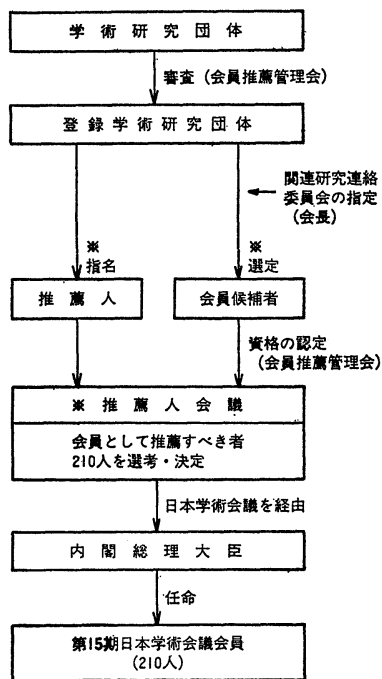
〈平成2年〉

- ・ 9月上旬……………登録審査結果の通知
- "……………関連研究連絡委員会（注）についての意見聴取
- ・ 11月30日まで……………関連研究連絡委員会の指定
- ・ 12月上旬……………会員の候補者の選定及び推薦人の指名の依頼

〈平成3年〉

- ・ 1月31日まで……………会員の候補者の届出の締切り
- ・ 2月20日まで……………推薦人（予備者を含む）の届出の締切り
- ・ 3月20日まで……………会員の候補者の資格の認定等の通知
- ・ 3月下旬……………推薦人に会議開催等の通知発送
- ・ 4月20日まで……………候補者関係異議の申出に対する決定
- ・ 5月中旬から
6月上旬まで……………推薦人会議（会員及び補欠の会員として推薦すべき者を決定）
- ・ 6月中旬……………日本学術会議を経由して内閣総理大臣へ推薦
- ・ 7月22日……………第15期日本学術会議会員の任命

〈会員選出手続きに関するフローチャート〉



※ 指定された関連研究連絡委員会により区分された学術研究領域ごとに行われる（下記の注）を参照。

（注） 関連研究連絡委員会：学術研究団体はその目的とする学術研究の領域と関連する研究連絡委員会として、届け出た研究連絡委員会。届け出た関連研究連絡委員会が複数あるときは、日本学術会議会長は、登録学術研究団体の意見を聴いて関連研究連絡委員会を指定

（限定）する。

登録学術研究団体は、この指定された関連研究連絡委員会により区分された学術研究の領域ごとに、会員の候補者及び推薦人を届け出ることになる。

平成3年(1991年)度共同主催国際会議

本会議は、昭和28年以降、学術関係国際会議を関係学術研究団体と共同主催してきたが、平成3年(1991年)度には、次の6国際会議を開催することが、6月19日の閣議で了解された。(カッコ内は、各国際会議の開催期間と開催地)

- ◆第21回国際農業経済学会議
(平成3年8月22日～29日、東京都)
共催団体：日本農業経済学会外4学会
- ◆国際医用物理・生体工学会議(第16回国際医用生体工学会議・第9回国際医学物理会議)
(平成3年7月7日～12日、京都市)
共催団体：(社)日本エム・イー学会外1学会
- ◆国際純正・応用化学連合1991国際分析科学学会議
(平成3年8月25日～31日、千葉市)
共催団体：(社)日本分析化学会
- ◆第22回国際シミュレーション&ゲーミング学会総会
(平成3年7月15日～19日、京都市)
共催団体：日本シミュレーション&ゲーミング学会
- ◆一般相対論に関する第6回マーセルグロスマン会議
(平成3年6月23日～29日、京都市)
共催団体：(社)日本物理学会
- ◆第22回国際動物行動学会議
(平成3年8月22日～29日、京都市)
共催団体：日本動物行動学会

第4部報告—科学技術庁大型放射光施設建設計画について(要旨)

(平成2年5月25日、第755回運営審議会承認)

予算規模約一千億といわれる科学技術庁大型放射光施設が実施段階に入った。このような大型施設の順調な建設、稼働後の有効利用のためには、研究者、技術者の努力はもとより、関連政府諸機関相互の理解と協力が不可欠である。我が国の放射光研究開発はこれまで大学等基礎的研究機関を中心として発展してきたのであるが、その経験と成果は今回の大型計画においても活用され、さらに発展せられるべきである。日本学術会議は、先に「大学等における学術研究の推進について—研究設備等の高度化に関する緊急提言—(平成元年第107回総会勧告)」において、大学等と各省庁研究機関の間の研究設備の相互利用、研究者の相互交流の必要性を指摘した。第4部は、今回の科学技術庁の大型放射光施設の建設及び共同利用がその重要な具体例であると判断し、物理学、結晶学、生物物理学三研究連絡委員会委員長より日本学術会議会長あての申入れにもとづいて本報告をとりまとめたものである。

化学研究連絡委員会報告—大学における研究環境、特に研究実験室のスペースについて(要旨)

(平成2年5月25日 第755回運営審議会承認)

我が国においては、基礎科学の振興が叫ばれながら、大学等の研究環境の改善は長い間取り残されたままである。日本学術会議化学研究連絡委員会の調査によると、我が国の大学における化学関係の学科の研究実験室のスペースを研究者一人当たりにした場合、欧米の大学と比べて2分の1から3分の1の広さに過ぎず、実験台や戸棚などの占める面積を勘定に入れると、実質的には3分の1から4分

の1のスペースしかない極度の狹隘さである。

各種の危険を伴う化学実験の安全性を確保するためには、大学等の研究実験のスペースを抜本的に改善することが絶対に必要であり、差し当たり現在の面積を増加する必要がある。

日本学術会議主催公開講演会開催のお知らせ

本会議では、このたび、次の2つの公開講演会を開催いたします。是非、多数の方々の御来場をお願いします。

I 公開講演会「高度技術と市民生活」

- 日 時：平成2年10月13日(土)13時30分～17時
- 会 場：兵庫県社町福祉センター大ホール
(兵庫県加東郡社町社26番地)
- 演題と講演者
 - ①「高齢化社会と高度技術」
原澤 道美(第7部会員、東京通信病院院長)
 - ②「消費生活と高度技術」
正田 彬(第2部会員、上智大学教授)
 - ③「地域振興と人間主導型高度技術」
竹内 啓(第3部会員、東京大学教授)

II 公開講演会「資源エネルギーと地球環境に関する展望」

- 日 時：平成2年10月30日(火)13時～17時
- 会 場：日本学術会議講堂
(東京都港区六本木7-22-34)
(地下鉄「千代田線」乃木坂駅下車徒歩1分)
- 演題と講演者
 - ①「人間と環境」
大島 康行(第4部会員、早稲田大学教授)
 - ②「エネルギー資源」
石井 吉徳(第5部会員、東京大学教授)
 - ③「エネルギーと経済問題」
則武 保夫(第3部会員、立正大学教授)
 - ④「エネルギーとCO₂対策」
上之園親佐(第5部会員、摂南大学教授)

★ 両講演会とも、入場無料です。

【問い合わせ先】

日本学術会議事務局庶務課「公開講演会係」
電話 03-403-6291 内線 227, 228

日学双書の刊行案内

日本学術会議の総会並びに主催公開講演会の記録を中心に編集された次の日学双書が刊行されました。

- ・日学双書 No.7 「地球環境問題」
 - ・日学双書 No.8 「人間は地球とともに生きられるか」
- 両書とも、定価1,000円(消費税込、送料210円)

【問い合わせ先】

(財)日本学術協力財団 (電話:03-403-9788)
〒106 東京都港区西麻布3-24-20,
交通安全教育センタービル内

御意見・お問い合わせ等がありましたら、下記までお寄せください。

〒106 東京都港区六本木7-22-34
日本学術会議広報委員会 電話03(403)6291

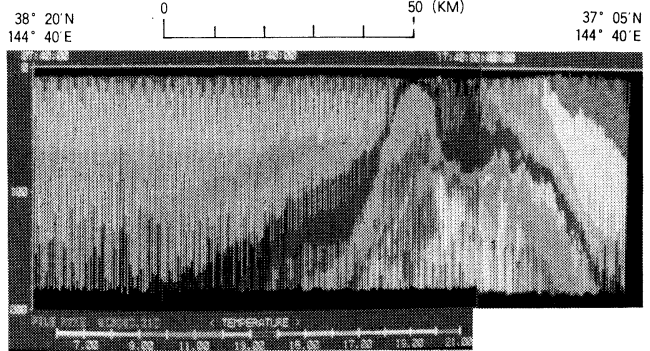
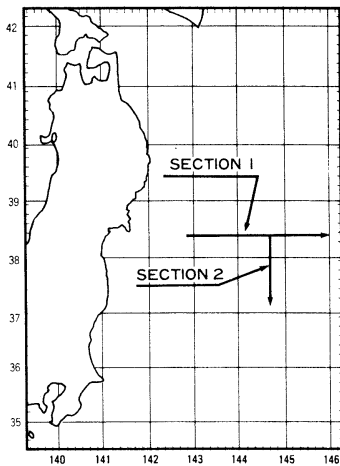
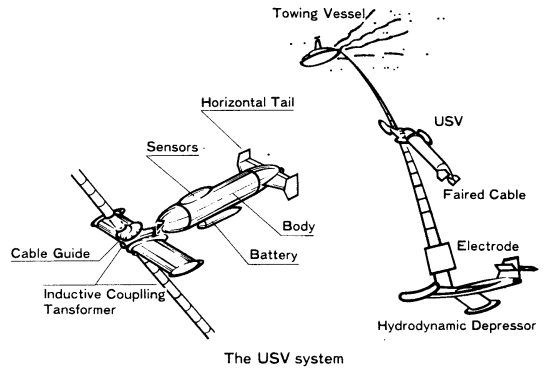
賛 助 会 員

| | |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 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 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 | 東京都豊島区駒込 1-7-10 |
| 海上電機株式会社 | 東京都西多摩郡羽村町栄町 3-1-5 |
| (株) 海洋生物環境研究所 | 東京都千代田区内神田 1-18-12 北原ビル内 |
| 株式会社 川合海苔店 | 東京都大田区大森本町 2-31-8 |
| 三信船舶電具株式会社 | 東京都千代田区神田 1-16-8 |
| 株式会社 自然・情報環境研究所 | 横浜市栄区桂町 1-1, 3-401 |
| 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 |
| 株式会社 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 東京久栄技術センター | 埼玉県川口市柴鶴ケ丸 6906-10 |
| 株式会社 東急フーズミート | 東京都品川区東品川 4-10-21 |
| 株式会社 西日本流体技研 | 長崎県佐世保市棚方町 283 |
| 日本アクアラング株式会社 | 神奈川県厚木市温水 2229-4 |
| 株式会社 日立造船技術研究所 バイオ研究センター | 大阪市此花区桜島1-3-22 |
| 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 |
| 株式会社 読売広告社 | 東京都中央区銀座 1-8-14 |
| 渡辺機開工業株式会社 | 愛知県渥美郡田原町神戸大坪 230 |
| 株式会社 渡部計器製作所 | 東京都文京区向丘 1-7-17 |

スライド式高速曳航体 JAMSTEC TSK方式

Underwater Sliding Vehicle System (USV)

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

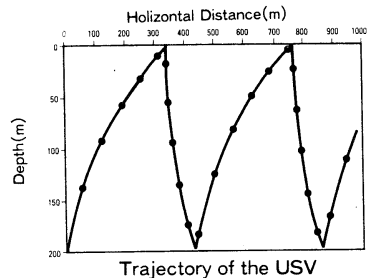


T.S.スライド式高速曳航体によって得られた三陸沖の水温鉛直分布のカラー画像。

(海洋科学技術センター殿から資料を御提供頂きました。)

SPECIFICATIONS

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



T.S.K

株式会社 鶴見精機

本社 〒230 神奈川県横浜市鶴見区鶴見中央2-2-20
 TEL.(045) 521-5252 FAX.(045) 521-1717
 白河工場 〒969-03 福島県西白河郡大信村大字中新城字弥平田
 TEL.(0248) 46-3131 FAX.(0248) 46-2288

TSK AMERICA INC.

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

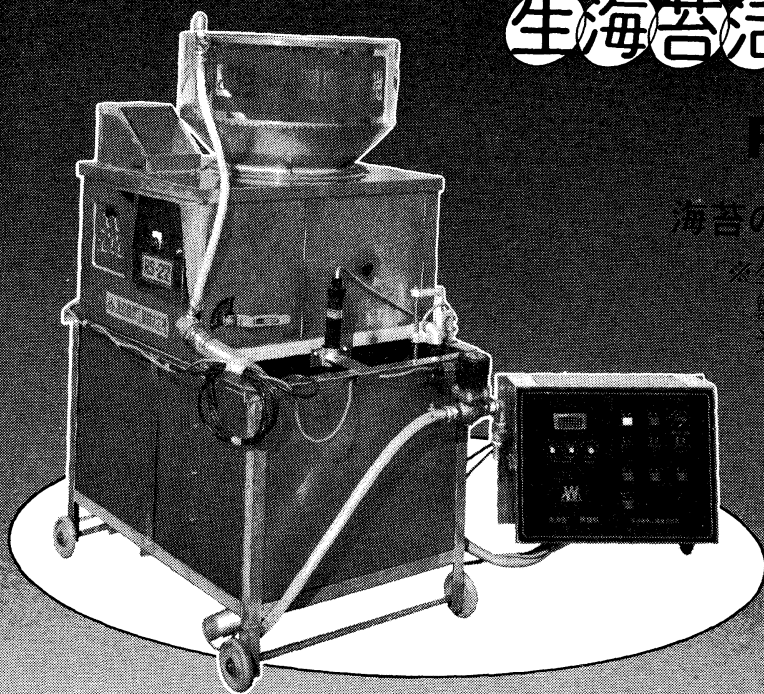
応援します。 良い海苔づくり—

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。



| | 容量 1台 | 容量 2台 |
|------|---------|---------|
| 高さ | 720mm | 720mm |
| 幅 | 950mm | 950mm |
| 奥行 | 650mm | 650mm |
| 重量 | 120kg | 120kg |
| モーター | 40W 1台 | 40W 2台 |
| | 100W 1台 | 50W 1台 |
| | | 100W 1台 |
| | | 150W 1台 |

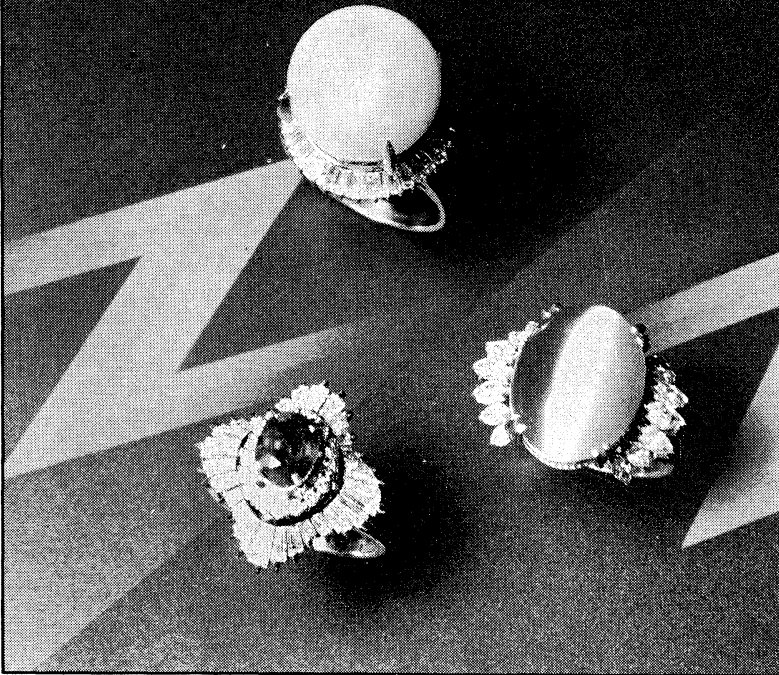


渡辺機開工業株式会社

愛知県渥美郡田原町神戸大坪230

電話 05312(2)1121(代表)

Pearl & Jewelry



輝
 へん
 の
 宝
 石
 の
 名
 門

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
 プラントネット類
 採水器類

採泥器類
 電氣流速計
 船用機器模型及標本類
 標識票類

株式会社 **本 地 郷**

東京都中央区勝どき3丁目3番5号 かしどきビル内 〒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



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

流れと生物と

新刊

—水産海洋学特論—

▶ 編者 川合 英夫

(京都大学農学部
水産物理学講座名誉教授)

▶ 執筆者 県水産試験場、水産庁研究所、
農学部水産学教室に所属する
総勢18名の水産海洋学研究者

水産生物にとって「海流」がどの
ような意味を持つのかを探った
最前線の研究成果を報告!

本書の構成

- 第1部 水産生物の環境としての海流の構造
- 第2部 再生産過程と流れの構造
- 第3部 資源培養と流れの構造
- 第4部 漁場形成と流れの構造
- 第5部 流れと生物移動の測定・解析法

- ▶ 体裁 菊版/布クロス製/420頁
- ▶ 定価 3,800円(本体 3,689円)
- ▶ お申し込みは書店または小会へ

京都大学学術出版会

KYOTO UNIVERSITY PRESS

〒606 京都市左京区吉田本町 京都大学構内
☎(075)753-7531(学内2589) (075)761-6182(直通)
振替口座 京都0-64677

日仏海洋学会30周年記念出版



水惑星地球，その表面の70%を占める海に，いま激変が起きている。赤潮，アザラシやクジラなどの海洋生物の危機，石油や重金属，化学物質，生活排水による汚染。それに対して，地球環境の重大な構成要素としての海の役割をとらえなおす研究が，ダイナミックに進められている。大気とのつながり，生態系，利用技術，海底の動きも含め，海のいまと未来を見つめる。 224頁・600円

岩波書店



東京都千代田区一ツ橋2-5-5
定価は消費税込みです。

日 仏 海 洋 学 会 入 会 申 込 書

(正 会 員)

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

(以下は学会事務局用)

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

入会申込書送付先： 〒101 東京都千代田区神田駿河台 2-3

(財)日 仏 会 館 内

日 仏 海 洋 学 会

郵便振替番号： 東京 5-96503

日 仏 海 洋 学 会 編 集 委 員 会 (1990-1991)

委員 長: 村野正昭

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

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

幹 事: 渡辺精一, 山口征矢

投 稿 の 手 引

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

〒108 東京都港区港南4-5-7 東京水産大学 村野正昭 気付

日仏海洋学会編集委員会

1990年10月25日 印刷
1990年10月28日 発行

う み 第28巻
第2-3号

定 価 3,200

編 集 者 村 野 正 昭

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(3291)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

東京都豊島区駒込1-7-10

郵便番号: 170

電話: 03(3941)6500

Tome 28 N^{OS} 2-3

SOMMAIRE

Notes originales

| | | |
|---|--|-----|
| Reflection of electromagnetic waves at sea surface | Takashi ICHIYE | 67 |
| A non-dissipative internal bore | Motoyasu MIYATA | 78 |
| An experimental study of the nearshore circulation around an elliptical island (in Japanese) | Masahiro HASHIMA | 81 |
| Influence of internal tides on sea level variations at the Suruga Bay coast | Masaji MATSUYAMA and Atsushi OHWAKI | 87 |
| Prevention of vibration in small FRP fishing boats | Takatomo KOIKE | 97 |
| Optical characteristics of monofilament nylon gut in squid angling fishery (in Japanese) | Yoshihiko NAKAMURA, Taeko MIYAZAKI and Kanau MATSUIKE | 105 |
| Fish reaction to vertical twine barriers with different distance between twines (in Japanese) | Yoshihiko NAKAMURA and Yoshihiro KURITA | 111 |
| Underwater visibility of a branch line of longline gear to tuna in the Bay of Bengal (in Japanese) | Tsutomu MORINAGA, Takashi KOIKE and Kanau MATSUIKE | 117 |
| Large amorphous particles (NUTA): The development of the sampling system and comparison with suspended and sinking particles | Yasushi MISHIMA, Shigeru MONTANI and Tomotoshi OKAICHI | 123 |
| Observation on the fish behaviour around the underwater lamps by fish sounder and underwater TV camera | Eiichi HASEGAWA and Hiroshi KOBAYASHI | 131 |
| The Caprellidea (Crustacea: Amphipoda) inhabiting the green alga <i>Cladophora wrightiana</i> : The influence of wave exposure on the species composition | Ichiro TAKEUCHI, Hiroshi YAMAKAWA and Masamu FUJIWARA | 139 |

Faits divers

| | | |
|---|--------------------|-----|
| Annual mean sea levels at Stockholm and annual ring of a tree in Shiretoko Peninsula, Hokkaido (in Japanese) | Shigehisa NAKAMURA | 146 |
| Conference a la remise du Prix de la Société franco-japonaise d'océanographie (en japonaise) | Masahiro OCHIAI | 151 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Procès-verbaux | | 153 |
|----------------------|--|-----|

第 28 卷 第 2-3 号

目 次

原 著

| | | |
|---|-----------------|-----|
| 海面での電磁波の反射(英文) | 市栄 誉 | 67 |
| 非消散内部ボア(英文) | 宮田元靖 | 78 |
| 楕円形島周りの海浜流の実験 | 羽島正紘 | 81 |
| 駿河湾沿岸における海面変位に対する内部潮汐の影響(英文) | 松山優治・大脇 厚 | 87 |
| FRP 小型漁船の振動防止と改善(英文) | 小池孝知 | 97 |
| イカ釣りテグスの光学的特性 | 中村善彦・宮崎多恵子・松生 治 | 105 |
| 網糸の間隔を変えた場合の魚の行動 | 中村善彦・栗田嘉宥 | 111 |
| ベンガル湾におけるまぐろ延縄漁具の枝縄の水中視認距離 | 森永 勤・小池 隆・松生 治 | 117 |
| NUTA (巨視的浮遊性大型粒子): 採取装置の開発と懸濁粒子・沈降粒子との関係 | 三島康史・門谷 茂・岡市友利 | 123 |
| 水中灯火に纏集した魚群の行動の魚群探知機および水中テレビカメラによる観察 | 長谷川英一・小林 裕 | 131 |
| チャシオグサ上のワレカラ類, 特に種組成に対する波浪の影響について(英文) | 竹内一郎・山川 紘・藤原正夢 | 139 |

資 料

| | | |
|------------------------------------|------|-----|
| ストックホルムの年平均海水位と北海道知床半島の樹木の年輪 | 中村重久 | 146 |
| 日仏海洋学会賞受賞記念講演 | 落合正宏 | 151 |
| 学会記事 | | 153 |