
Tome 12

Novembre

1974

Numéro 4

う み

La mer

昭和 49 年 11 月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise
d'océanographie
Tokyo, Japon

日 仏 海 洋 学 会

編 集 委 員 会

委員長 今村 豊 (東京水産大学)
委員 星野通平 (東海大学) 井上 実 (東京水産大学) 森田良美 (東京水産大学) 永田 正 (東京水産大学) 西村 実 (東海大学) 大柴五八郎 (昭和薬科大学) 杉浦吉雄 (気象研究所) 高木和徳 (東京水産大学) 高野健三 (理化学研究所) 富永政英 (鹿児島大学) 宇野寛 (東京水産大学) 渡辺精一 山路 勇 (東京水産大学)

投 稿 規 定

1. 報文の投稿者は本会会員に限る。
2. 原稿は簡潔にわかりやすく書き、図表を含めて印刷ページで12ページ以内を原則とする。原稿 (正1通, 副1通)は, (〒101)東京都千代田区神田駿河台2-3 日仏会館内 日仏海洋学会編集委員会宛に送ること。
3. 編集委員会は, 事情により原稿の字句の加除訂正を行うことがある。
4. 論文 (欧文, 和文とも)には必ず約200語の英文 (または仏文) の Abstract (Résumé) をつけること。欧文論文には英文 (又は仏文) の Abstract (Résumé) のほかに必ず約500字の和文の要旨をつけること。
5. 図及び表は必要なものみに限る。図はそのまま版下になるように縮尺を考慮して鮮明に黒インクで書き, 論文の図及び表には必ず英文 (又は仏文) の説明をつけること。
6. 初校は原則として著者が行う。
7. 報文には1編につき50部の別刷を無料で著者に進呈する。これ以上の部数に対しては, 実費 (送料を含む) を著者が負担する。

Rédacteur en chef Yutaka IMAMURA (Tokyo University of Fisheries)
Comité de rédaction Michihei HOSHINO (Tokai University) Makoto INOUE (Tokyo University of Fisheries) Yoshimi MORITA (Tokyo University of Fisheries) Tadashi NAGATA (Tokyo University of Fisheries) Minoru NISHIMURA (Tokai University) Gohachiro OSHIBA (Showa College of Pharmaceutical Sciences) Yoshio SUGIURA (Meteorological Research Institute) Kazunori TAKAGI (Tokyo University of Fisheries) Kenzo TAKANO (Institute of Physical and Chemical Research) Masahide TOMINAGA (Kagoshima University) Yutaka UNO (Tokyo University of Fisheries) Seiichi WATANABE Isamu YAMAZI (Tokyo University of Fisheries)

RECOMMANDATIONS A L'USAGE DES AUTEURS

1. Les auteurs doivent être des Membres de la Société franco-japonaise d'océanographie.
2. Les notes ne peuvent dépasser douze pages. Les manuscrits à deux exemplaires, dactylographiés sur papier fort, doivent être envoyés au Comité de rédaction de la Société franco-japonaise d'océanographie, c/o Maison franco-japonaise, 2-3 Kanda, Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo, 101 Japon.
3. Le Comité de rédaction se réserve le droit d'apporter, le cas échéant, des modifications mineuses aux manuscrits ainsi que de demander aux auteurs de les corriger.
4. Des résumés en langue japonaise ou langue française sont obligatoires.
5. Les figures au trait seront tracées à l'encre de Chine noire sur papier blanc ou sur calque. Les légendes des figures et des tableaux sont indispensables.
6. Les premières épreuves seront corrigées, en principe, par les auteurs.
7. Un tirage à part des articles en cinquante exemplaires est offert gratuitement aux auteurs. Ceux qui en désirent un plus grand nombre peuvent les faire établir à leurs frais.

Linear Theory for Internal Waves in a Multilayered Ocean*

Yoshinobu TSUJI** and Yutaka NAGATA***

Abstract: The nature of the characteristic equation and the eigenfunctions for internal waves propagating in an inviscid multilayered ocean are reviewed and their physical significance is explained. Several examples of the particle velocity profiles and of the dispersion relations are given for two and three layer systems. The classification of the solution by the mutual relations among layer densities and layer depths is tried for a simple three layer model. The properties of the evanescent or non-progressive wave modes are also discussed. The results would be useful for the investigation of short period internal waves which are always traveling on thin sheets in the oceanic microstructures.

1. Introduction

Recent detailed observations of the oceanic thermocline show that the water temperature in the thermocline does not decrease smoothly with increase of depth (WOODS, 1968a, b; COX *et al.*, 1969; OSBORN and COX, 1972; GREGG and COX, 1972, and others). Usually the oceanic thermocline consists of homogeneous layers several meters thick which are separated by thin sheets several centimeters thick, and almost all of the temperature decrease in the thermocline occurs within these thin sheets only. WOODS (1968a, b) observed that short period internal waves are always traveling on such thin sheets of large temperature gradient in the seasonal thermocline off Malta. He pointed out that these short period internal waves and their breaking might play an important role in the formation and maintenance of the oceanic microstructures.

The observations of COX *et al.* (1969) using free falling instruments off San Diego, California also show evidence of the existence of short period internal waves traveling on the thin sheets. In Fig. 1, two vertical profiles of the

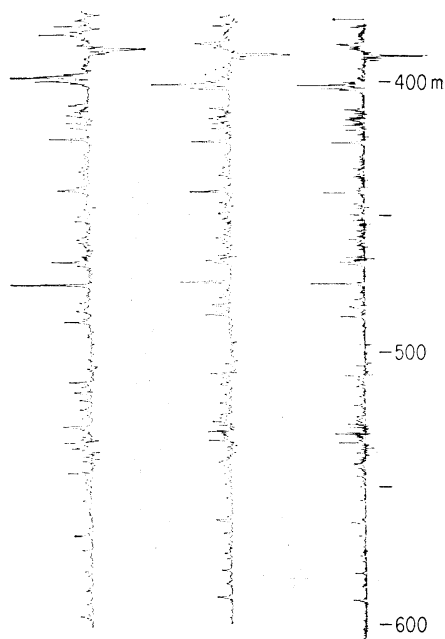


Fig. 1. Records of the vertical temperature gradient taken by free falling instruments in the sea 40 km west of San Diego, California. The left and center traces are unprocessed records taken almost simultaneously with a horizontal separation of 50 m. The right trace shows the actual temperature gradient which is obtained by processing the center trace. The scale of depth is given on the right. The horizontal arrow at the top shows the magnitude of a gradient of $3 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C/cm}$. (COX *et al.*, 1969)

* Received October 1, 1974

** Institute of Coastal Oceanology, National Research Center for Disaster Prevention, Science and Technology Agency, 9-2, Nijigahama, Hiratsuka, Kanagawa, 254 Japan

*** Geophysical Institute, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113 Japan

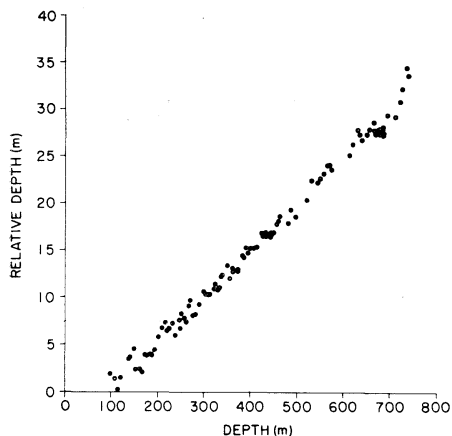


Fig. 2. The relative depth differences between the corresponding spike-like events in the two traces in Fig. 1 against the absolute depth of the events in one record.

vertical temperature gradient which were taken almost simultaneously with a horizontal separation of 50 m are shown. The records show many spike-like events which correspond to the thin sheets separating the homogeneous layers. The records are very similar to each other, and almost all of the larger spike-like events in one record can be matched to some corresponding events in the other. In order to correct for the slight difference of the falling speed between two instruments, we picked up about 100 pairs of corresponding spikes from the records, and calculated their relative depth differences. In Fig. 2 we show the relative depth differences against the absolute depth of the spikes in one record. This figure indicates that one instrument fell 5% faster than the other. The correction for the falling speed difference was made prior to the construction of Fig. 1. Besides the falling speed difference, data points in Fig. 2 exhibit some scattering. It is reasonable to consider that this scattering or the residual relative depth differences are caused mainly by the existence of short period internal waves traveling on the sheets. As the magnitude of the scattering seems to be independent of the absolute depth, we can assume that the magnitude of the internal waves is of the same order for every sheet within the observed depth range. Moreover, the 50 m separation between the two records seems to

be large compared to the wavelength of the internal waves. If we assume that each reading of the depths of pair spikes is an independent sample taken from a Gaussian distribution which has the standard deviation σ , we can show that the probability distribution of the residual depth differences is also Gaussian and that its standard deviation σ' is given by $\sigma' = \sqrt{2} \sigma$. The standard deviation of the residual depth differences in Fig. 2 is 77.2 cm, and so the standard deviation of the sheet depth change due to the internal waves is estimated to be about 55 cm. In other words, the short period internal waves having a significant height of about 155 cm were existing on the sheets in the thermocline.

As the main interests of oceanographers have been focused to the long period internal waves like internal tides or inertial oscillations, the behavior of the internal waves have been usually studied by using continuous density profile models (*e.g.* GARRETT and MUNK, 1972). However, in order to investigate the short period internal waves propagating on the sheets in the oceanic thermocline, it is more reasonable to use the step-like density profile models or the multilayered systems. As to the simplest two layer system, the dispersion relation is given by LAMB (1932), and some finite amplitude problems are treated by several investigators (KEULEGAN, 1953; LONG, 1956; BENJAMIN, 1965; HUNT, 1961, and TSUJI and NAGATA, 1973). YIH (1965) discussed internal waves propagating in a multilayered ocean and showed that the characteristic equation has $n+1$ real eigenvalues with free surface conditions and n real eigenvalues with rigid surface conditions, where n denotes the number of layers. The wave mode for each eigenvalue was shown to be associated with a certain interface. He also showed that the energy of the internal waves is equally partitioned into potential and kinetic energies.

One of the purposes of this paper is to review the nature of the characteristic equation and the eigenfunctions for internal waves propagating in an inviscid multilayered ocean (Sections 2 and 3), and to explain their physical significance. Several examples of the particle velocity

profiles and of the dispersion relations are given for two and three layer systems in Section 4. The classification of the solutions by the mutual relations among layer densities and layer depths is tried for a simple three layer model in Section 5. We also investigate evanescent or non-progressive wave modes whose eigenvalues are purely imaginary (Section 6). We intend to utilize this knowledge for the planning and construction of an internal wave maker which can produce periodic horizontal flow with the prescribed vertical profiles at the end of a wave tank. The properties of the internal waves generated by such a wave maker are discussed with the orthogonal relations among eigenfunctions in Section 7. This knowledge would be also useful for the investigation of internal waves propagating in a multilayered ocean the structure of which varies horizontally.

2. Formulation

We consider short period internal waves propagating in an ocean which consists of n homogeneous layers (Fig. 3), and neglect the influence of the rotation of the earth. We take the y -axis vertically upwards from the undisturbed level of the surface, and the x -axis horizontally in the direction of wave propagation. We denote thickness and water density of each layer by D_r and ρ_r ($r=1, 2, 3, \dots, n$ from bottom to top). We assume a solid bottom at

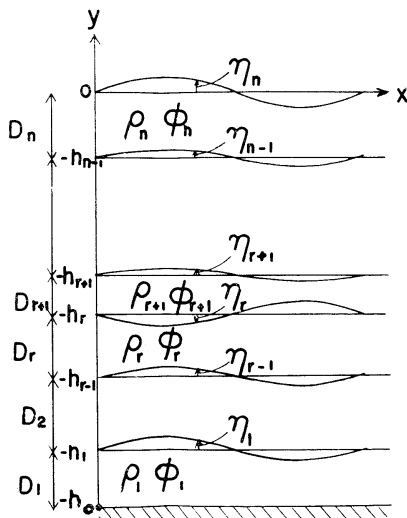


Fig. 3. Co-ordinate system.

$y = -h_0 = \text{constant}$, and denote the displacements of the interfaces by η_r measured from their undisturbed levels $y = -h_r$ ($r=1, 2, 3, \dots, n$). Here h_n represents the undisturbed level of the surface, so that $h_n=0$. As we consider only irrotational motions of an inviscid and incompressible fluid, the velocity potential ϕ_r ($r=1, 2, 3, \dots, n$) can be introduced for each layer;

$$u_r = -\frac{\partial \phi_r}{\partial x}, \quad v_r = -\frac{\partial \phi_r}{\partial y} \quad (r=1, 2, 3, \dots, n)$$

where u_r and v_r are the x - and y -components of the velocity in the r -th layer, respectively.

The condition of continuity for each layer is

$$\nabla^2 \phi_r = 0 \quad (r=1, 2, 3, \dots, n) \quad (2-1)$$

The boundary condition at the bottom is

$$v_1 = -\frac{\partial \phi_1}{\partial y} = 0 \quad \text{at } y = -h_0 \quad (2-2)$$

The kinematic boundary conditions at the interfaces are

$$\frac{\partial \eta_r}{\partial t} = -\frac{\partial \phi_r}{\partial y} = -\frac{\partial \phi_{r+1}}{\partial y} \quad \text{at } y = -h_r \quad (2-3)$$

$(r=1, 2, 3, \dots, n-1)$

and the dynamical boundary conditions at the interfaces are

$$\rho_r \left(\frac{\partial \phi_r}{\partial t} - g \eta_r \right) = \rho_{r+1} \left(\frac{\partial \phi_{r+1}}{\partial t} - g \eta_r \right) \quad \text{at } y = -h_r \quad (2-4)$$

$(r=1, 2, 3, \dots, n-1)$

where g is the acceleration of gravity. The higher order terms are neglected in the above equations.

When the surface is free the kinematic and dynamical surface boundary conditions are

$$\frac{\partial \eta_n}{\partial t} = -\frac{\partial \phi_n}{\partial y} \quad \text{at } y=0$$

and

$$\frac{\partial \phi_n}{\partial t} - g \eta_n = 0 \quad \text{at } y=0$$

respectively. By eliminating η_n from these

equations, we have

$$\frac{\partial^2 \phi_n}{\partial t^2} + g \frac{\partial \phi_n}{\partial y} = 0 \quad \text{at } y=0 \quad (2-5)$$

We assume that the velocity potential in the r -th layer has the form:

$$\phi_r = \Re \{ A_r \cosh k(h_{r-1} + y) + B_r \sinh k(h_{r-1} + y) \} e^{i(kx - \sigma t)} \quad (2-6)$$

and that the displacement of the r -th interface has the form:

$$\eta_r = \Re \{ a_r e^{i(kx - \sigma t)} \} \quad (2-7)$$

where k is the wave number, σ the angular frequency, a_r the amplitude of the displacement of the r -th interface, and A_r and B_r are constants. Then the potential (2-6) satisfies (2-1). By substituting (2-6) and (2-7) into (2-2), (2-3) and (2-4), we have

$$B_1 = 0 \quad (2-8)$$

$$i \frac{\sigma}{k} a_r = A_r \sinh kD_r + B_r \cosh kD_r = B_{r+1} \quad (2-9)$$

(for $1 \leq r \leq n-1$)

and

$$\frac{\rho_r}{\rho_{r+1}} (A_r \cosh kD_r + B_r \sinh kD_r) = A_{r+1} + \frac{ig}{\sigma} \frac{\Delta \rho}{\rho_{r+1}} a_r \quad (2-10)$$

(for $1 \leq r \leq n-1$)

where $\Delta \rho_r = \rho_r - \rho_{r+1}$ is the density difference across the r -th interface and $D_r = h_{r-1} - h_r$ is the thickness of the r -th layer. By eliminating a_r from (2-9) and (2-10), we obtain the relation between the coefficients of the velocity potentials of the r -th and $(r+1)$ -th layers:

$$\begin{pmatrix} A_{r+1} \\ B_{r+1} \end{pmatrix} = X_r \begin{pmatrix} A_r \\ B_r \end{pmatrix} \quad (2-11)$$

where

$$X_r = \begin{pmatrix} P_r & Q_r \\ R_r & S_r \end{pmatrix} \quad (2-12)$$

and

$$\left. \begin{aligned} P_r &= \frac{\rho_r}{\rho_{r+1}} \cosh kD_r - \frac{\Delta \rho_r}{\rho_{r+1}} \frac{1}{p} \sinh kD_r \\ Q_r &= \frac{\rho_r}{\rho_{r+1}} \sinh kD_r - \frac{\Delta \rho_r}{\rho_{r+1}} \frac{1}{p} \cosh kD_r \\ R_r &= \sinh kD_r \\ S_r &= \cosh kD_r \\ p &= \frac{\sigma^2}{gk} \end{aligned} \right\} \quad (2-13)$$

By using (2-2) and (2-11), we have

$$\begin{pmatrix} A_n \\ B_n \end{pmatrix} = X_{n-1} X_{n-2} \dots X_1 \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} = \prod_{r=1}^{n-1} (X_r) \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} \quad (2-14)$$

On the other hand, the coefficients A_n and B_n for the uppermost layer are related to each other from the free surface condition (2-5), so that

$$B_n = \frac{p \coth kD_n - 1}{\coth kD_n - p} A_n \quad (2-15)$$

Then the condition for existence of a non-trivial solution is

$$\det \left[\prod_{r=1}^{n-1} (X_r) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \coth kD_n - p \\ p \coth kD_n - 1 \end{pmatrix} \right] = 0$$

Or by dividing by $\prod_{r=1}^{n-1} \sinh kD_r$, we have

$$\det \left[\prod_{r=1}^{n-1} (X'_r) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \coth kD_n - p \\ p \coth kD_n - 1 \end{pmatrix} \right] = 0 \quad (2-16)$$

where

$$X'_r = \begin{pmatrix} P'_r & Q'_r \\ R'_r & S'_r \end{pmatrix} \quad (2-17)$$

and

$$\left. \begin{aligned} P'_r &= \frac{\rho_r}{\rho_{r+1}} \coth kD_r - \frac{1}{p} \frac{\Delta \rho_r}{\rho_{r+1}} \\ Q'_r &= \frac{\rho_r}{\rho_{r+1}} - \frac{1}{p} \frac{\Delta \rho_r}{\rho_{r+1}} \coth kD_r \\ R'_r &= 1 \\ S'_r &= \coth kD_r \end{aligned} \right\} \quad (2-18)$$

For a given value of the wave number k , this

characteristic equation is an n -th degree algebraic equation for $p \left(= \frac{\sigma^2}{gk} \right)$, and has n real eigenvalues (YIH, 1965). Thus we have n propagating wave modes including a surface mode. The characteristic equations for $n=1, 2$, and 3 are

$$p = \frac{\sigma^2}{gk} = \tanh kD \quad \text{for } n=1 \quad (2-19)$$

$$\begin{aligned} & p^2(\rho_1 \coth kD_1 \coth kD_2 + \rho_2) \\ & - p\rho_1(\coth kD_1 + \coth kD_2) + \Delta\rho = 0 \\ & \quad \text{for } n=2 \quad (2-20) \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} & \{\rho_1\rho_2 \coth kD_1 \coth kD_2 \coth kD_3 + \rho_2^2 \coth kD_3 \\ & + \rho_1\rho_3 \coth kD_1 + \rho_2\rho_3 \coth kD_2\}p^3 \\ & - \{\rho_1\rho_2(\coth kD_1 \coth kD_2 + \coth kD_1 \coth kD_3 \\ & + \coth kD_2 \coth kD_3) + \rho_3\Delta\rho_1 + \rho_2^2\}p^2 \\ & + \{\rho_1\Delta\rho_2 \coth kD_1 + \rho_2(\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2) \coth kD_2 \\ & + \rho_3\Delta\rho_1 \coth kD_3\}p - \Delta\rho_1\Delta\rho_2 = 0 \\ & \quad \text{for } n=3 \quad (2-21) \end{aligned}$$

When the surface is rigid, the condition at $y=0$ is given by

$$-\frac{\partial\phi_n}{\partial y} = 0 \quad (2-22)$$

instead of (2-5), and the characteristic equation becomes

$$\det \left[\prod_{r=1}^{n-1} (X_r') \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{matrix} \coth kD_n \\ -1 \end{matrix} \right] = 0 \quad (2-23)$$

This equation is an $(n-1)$ -th order algebraic equation for p , and we have $n-1$ real eigenvalues and $n-1$ propagating internal wave modes. No surface mode appears in this case. The characteristic equations for $n=2$ and 3 are

$$p = \frac{\Delta\rho}{\rho_1 \coth kD_1 + \rho_2 \coth kD_2} \quad \text{for } n=2 \quad (2-24)$$

and

$$\begin{aligned} & \{\rho_1\rho_2 \coth kD_1 \coth kD_2 + \rho_2\rho_3 \coth kD_2 \coth kD_3 \\ & + \rho_3\rho_1 \coth kD_3 \coth kD_1 + \rho_2^2\}p^2 \\ & - \{\rho_1\Delta\rho_2 \coth kD_1 + \rho_2(\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2) \coth kD_2 \\ & + \rho_3\Delta\rho_1 \coth kD_3\}p + \Delta\rho_1\Delta\rho_2 = 0 \\ & \quad \text{for } n=3 \quad (2-25) \end{aligned}$$

respectively.

In the application to the real ocean, the density difference across any interface can be assumed to be much smaller than the mean density ρ . We may replace ρ_r by ρ except in the terms where density differences is multiplied by the gravitational acceleration g in the basic equations (Boussinesq approximation). Furthermore, if our attention is paid for the internal modes only, eigenvalues p are of the order of $\Delta\rho/\rho$, and the highest terms in (2-20) and (2-21) can be neglected. Then we have

$$p = \frac{\Delta\rho}{\rho(\coth kD_1 + \coth kD_2)} \quad \text{for } n=2 \quad (2-26)$$

and

$$\begin{aligned} & (\coth kD_1 \coth kD_2 + \coth kD_1 \coth kD_3 \\ & + \coth kD_2 \coth kD_3 + 1)p^2 - \left(\frac{\Delta\rho_2}{\rho} \coth kD_1 \right. \\ & \left. + \frac{\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2}{\rho} \coth kD_2 + \frac{\Delta\rho_1}{\rho} \coth kD_3 \right)p \\ & \left. + \frac{\Delta\rho_1\Delta\rho_2}{\rho^2} = 0 \quad \text{for } n=3 \quad (2-27) \end{aligned}$$

These are the same equations as those in the case of a rigid surface under the Boussinesq approximation. When $\Delta\rho_r \ll \rho$ the internal mode waves are insensitive to the boundary condition at the free surface and the surface is hardly disturbed by the existence of the internal waves.

When the thickness of each layer is sufficiently larger than the wavelength and when the density difference across each interface is sufficiently smaller than the mean density, namely $kD_r \gg 1$ and $\frac{\Delta\rho_r}{\rho} \ll 1$ ($r=1, 2, 3, \dots, n-1$), the solutions of the characteristic equation (1-14) are given by

$$p = 1, \frac{\Delta\rho_1}{2\rho}, \frac{\Delta\rho_2}{2\rho}, \dots, \frac{\Delta\rho_{n-1}}{2\rho} \quad (2-28)$$

Here, $p=1$ represents the eigenvalue of surface wave mode. $p = \frac{\Delta\rho_r}{2\rho}$ ($r=1, 2, 3, \dots, n-1$) represents the eigenvalue of the internal wave mode which is trapped at the interface at the depth h_r . The internal wave of each mode behaves as if a corresponding interface existed alone, and can be dealt with just as in a two

layer system.

On the other hand, when the wavelength is sufficiently larger than the thickness of any layer, the characteristic equation becomes

$$\det \left[\prod_{r=1}^{n-1} (T_r) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, c^2 - gD_n \right] = 0 \quad (2-29)$$

with a free surface, and

$$\det \left[\prod_{r=1}^{n-1} (T_r) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, -D_n \right] = 0 \quad (2-30)$$

with a rigid surface, where

$$T_r = \begin{pmatrix} \rho_r c^2 - 4\rho_r g D_r, & -4\rho_r g \\ D_r c^2 \rho_{r+1}, & c^2 \rho_{r+1} \end{pmatrix} \quad (2-31)$$

and $c = \frac{\sigma}{k}$ is the phase velocity. The waves are non-dispersive because the wave number is not included in the above equations explicitly. The characteristic equations for $n=1$ and 2 are as follows:

$$c^2 = gD \quad (n=1) \quad (2-32)$$

and

$$c^4 - c^2 g(D_1 + D_2) + D_1 D_2 \frac{4\rho_1}{\rho_1} g^2 = 0 \quad (n=2) \quad (2-33)$$

for a free surface, and

$$c^2 = \frac{gD_1 D_2 4\rho_1}{\rho_1 D_2 + \rho_2 D_1} \quad (n=2) \quad (2-34)$$

for a rigid surface.

3. Energy of internal waves

The potential energy V of the waves per unit length in the multilayered ocean is given by

$$V = \frac{g}{2L} \sum_{r=1}^n 4\rho_r \int_0^L \eta_r^2 dx = \frac{g}{4} \sum_{r=1}^n 4\rho_r a_r^2 \quad (3-1)$$

where $4\rho_n \equiv \rho_n$. The kinetic energy T per unit length is

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2L} \sum_{r=1}^n \rho_r \int_{-h_{r-1} + \eta_{r-1}}^{-h_r + \eta_r} \int_0^L (u^2 + v^2) dx dy \\ &= \frac{1}{2L} \sum_{r=1}^n \rho_r \int_{-h_{r-1} + \eta_{r-1}}^{-h_r + \eta_r} \int_0^L \left\{ \left(\frac{\partial \phi_r}{\partial x} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{\partial \phi_r}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy \end{aligned} \quad (3-2)$$

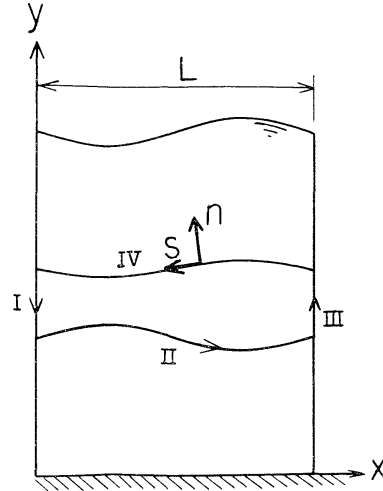


Fig. 4. Path of the integration in (3-3).

By using Green's theorem in two dimensions, we have

$$T = \frac{1}{2L} \sum_{r=1}^n \rho_r \oint \phi_r \frac{\partial \phi_r}{\partial n} ds \quad (3-3)$$

where the path of integration is taken along the lines I→II→III→IV as indicated in Fig. 4 and the suffixes n and s denote the component perpendicular to and parallel to the path. The integrations on the paths I and III cancel each other. Using the approximation $ds \doteq \pm dx$, $\frac{\partial}{\partial n} \doteq \pm \frac{\partial}{\partial y}$ on the paths II and IV, and by considering that

$$\int_0^L \left(\phi_1 \frac{\partial \phi_1}{\partial y} \right)_{y=-h_1} dx = 0$$

we obtain

$$\begin{aligned} T &= -\frac{1}{2L} \sum_{r=1}^n \int_0^L \left(\rho_{r+1} \phi_{r+1} \frac{\partial \phi_{r+1}}{\partial y} \right. \\ &\quad \left. - \rho_r \phi_r \frac{\partial \phi_r}{\partial y} \right)_{y=-h_r} dx \end{aligned} \quad (3-4)$$

where $\rho_{n+1} \equiv 0$. Then, we can express the kinetic energy T as a function of the displacements η_r ($r=1, 2, 3, \dots, n$) from (2-3), (2-4) and (3-4);

$$T = \frac{g}{2L} \sum_{r=1}^n 4\rho_r \int_0^L \eta_r^2 dx = \frac{g}{4} \sum_{r=1}^n 4\rho_r a_r^2 \quad (3-5)$$

The evaluated value of the kinetic energy is just equal to the potential energy (3-1)*. Then the total energy E of the internal waves per unit length in a multilayered ocean is given by

$$E = T + V = \frac{g}{2} \sum_{r=1}^n \Delta \rho_r a_r^2 \quad (3-6)$$

4. Examples of the orbital velocity profiles and dispersion relations

If we denote the orbital velocity of a water particle with

$$\left. \begin{aligned} u &= U(y) \sin(kx - \sigma t) \\ v &= V(y) \cos(kx - \sigma t) \end{aligned} \right\} \quad (4-1)$$

the amplitudes $U(y)$ and $V(y)$ are given from (2-6) by

$$\left. \begin{aligned} U(y) &= k \{ A_r \cosh k(h_{r-1} + y) \\ &\quad + B_r \sinh k(h_{r-1} + y) \} \\ V(y) &= k \{ A_r \sinh k(h_{r-1} + y) \\ &\quad + B_r \cosh k(h_{r-1} + y) \} \end{aligned} \right\} \quad (4-2)$$

for $-h_{r-1} \leq y \leq -h_r$ ($r=1, 2, 3, \dots, n$)

respectively. Then the water particle whose mean position is (\bar{x}, \bar{y}) moves along the elliptical orbit;

$$\frac{(x - \bar{x})^2}{U^2(\bar{y})} + \frac{(y - \bar{y})^2}{V^2(\bar{y})} = \frac{1}{k^2 c^2} \quad (4-3)$$

In order to visualize the effects of the ratio of wavelength L to layer thicknesses D_r on wave behavior, we show several examples of orbital velocity profiles for the cases $n=2$ and $n=3$ in this section.

The vertical profiles of the amplitudes of the orbital velocity components $U(y)$ and $V(y)$ in a two layer system are shown in Figs. 5 through 7 in case where $D_1 : D_2 = 6 : 4$ and $\rho_1 : \rho_2 = 1.001 : 1.000$. The mode number is given in the order of magnitude of the eigenvalue p , and so the first mode indicates the surface mode and the second mode the internal mode. For $n=2$ and

* The equal partition of the internal wave energy into potential and kinetic energy is shown by YIH (1965) for the more general case.

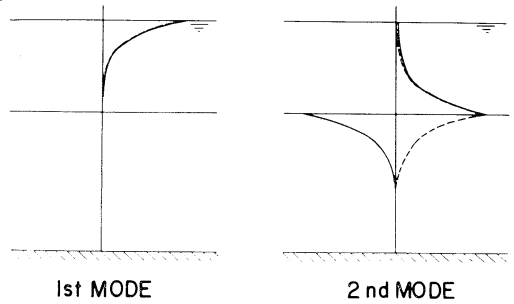


Fig. 5. The vertical profiles of the amplitudes of orbital velocity components $U(y)$ (full lines) and $V(y)$ (dashed lines) in case where $D_1 : D_2 = 6 : 4$, $\rho_1 : \rho_2 = 1.001 : 1.000$ and $L = 0.1D$ (D denotes the total depth and $D = D_1 + D_2$). The mode number is given in order of the magnitude of eigenvalue p .

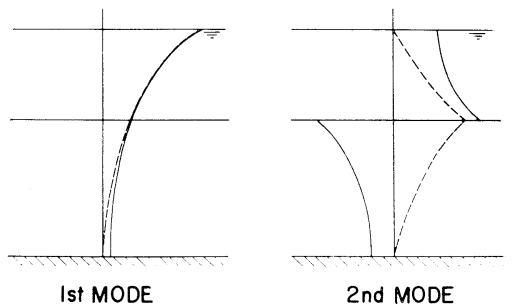


Fig. 6. The vertical profiles of the amplitudes of orbital velocity components $U(y)$ (full lines) and $V(y)$ (dashed lines) in case where $D_1 : D_2 = 6 : 4$, $\rho_1 : \rho_2 = 1.001 : 1.000$ and $L = D$.

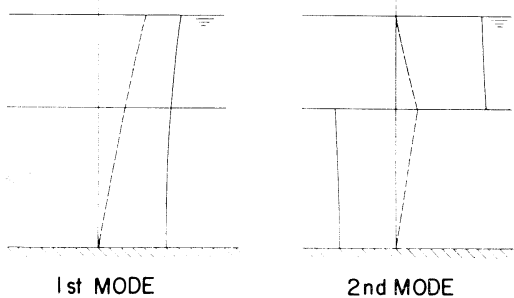


Fig. 7. The vertical profiles of the amplitudes of orbital velocity components $U(y)$ (full lines) and $V(y)$ (dashed lines) in case where $D_1 : D_2 = 6 : 4$, $\rho_1 : \rho_2 = 1.001 : 1.000$ and $L = 10D$.

$\frac{4\rho_1}{\rho_1} \ll 1$, the velocity profiles scarcely depend on $4\rho_1$. The profiles for $L=0.1D$ (D denotes the total depth and $D=D_1+D_2$) in Fig. 5 show the typical velocity patterns for $L \ll 2\pi D_i$ ($i=1, 2$). In this case, the motions of the first and second modes are confined only near the free surface and the interface, respectively. The paths of the water particles are circular for both modes. The profiles for $L=D$ in Fig. 6 and for $L=10D$ in Fig. 7 give the typical patterns for $L \doteq 2\pi D_i$ and $L \gg 2\pi D_i$ ($i=1, 2$), respectively.

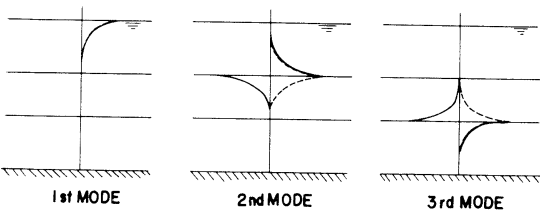


Fig. 8. The vertical profiles of the amplitudes of orbital velocity components $U(y)$ (full lines) and $V(y)$ (dashed lines) in case where $D_1 : D_2 : D_3 = 10 : 8 : 10$, $\rho_1 : \rho_2 : \rho_3 = 1.10 : 1.06 : 1.00$ and $L = \frac{10}{28}D$ ($D=D_1+D_2+D_3$).

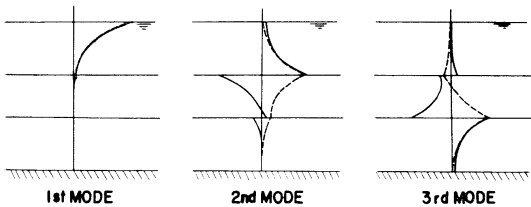


Fig. 9. The vertical profiles of the amplitudes of orbital velocity components $U(y)$ (full lines) and $V(y)$ (dashed lines) in case where $D_1 : D_2 : D_3 = 10 : 8 : 10$, $\rho_1 : \rho_2 : \rho_3 = 1.10 : 1.06 : 1.00$ and $L = \frac{20}{28}D$.

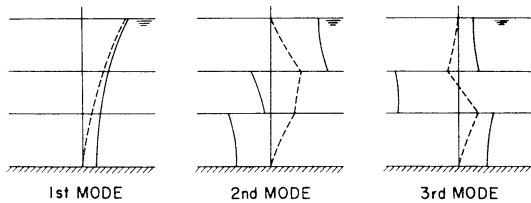


Fig. 10. The vertical profiles of the amplitudes of orbital velocity components $U(y)$ (full lines) and $V(y)$ (dashed lines) in case where $D_1 : D_2 : D_3 = 10 : 8 : 10$, $\rho_1 : \rho_2 : \rho_3 = 1.10 : 1.06 : 1.00$ and $L = \frac{100}{28}D$.

For $L \gg D_i$, the amplitudes of the horizontal velocity component of the second mode wave have almost constant values U_1 and U_2 for the first and second layers, respectively. U_1 and U_2 have the opposite sign to each other and have the relation;

$$U_1 D_1 = -U_2 D_2$$

and so the vertical velocity component is confined near the interface.

The vertical profiles of the amplitudes of orbital velocity components $U(y)$ and $V(y)$ in a three layer system are shown in case where $D_1 : D_2 : D_3 = 10 : 8 : 10$ and $\rho_1 : \rho_2 : \rho_3 = 1.10 : 1.06 : 1.00$ in Fig. 8 through Fig. 10. The mode number is again given in the order of magnitude of the eigenvalue p . The profiles for $L=(10/28)D$ ($D=D_1+D_2+D_3$) are shown in Fig. 8. When $L \ll 2\pi D_i$ ($i=1, 2, 3$), the two eigenvalues of the internal modes can be approximated to $\frac{4\rho_1}{2\rho}$ and $\frac{4\rho_2}{2\rho}$, respectively. So the internal wave of the second mode is trapped along the stronger interface (the upper interface in our case) and that of the third mode along the weaker interface (the lower interface in our case). The profiles of the velocity components for $L=(20/28)D$ and for $L=(100/28)D$ are shown in Fig. 9 and Fig. 10, respectively. For $L > 2\pi D_2$, the difference in profiles between the second and third modes appears in the relative sign of the amplitude of the horizontal velocity component in the third (top) layer to that in the first (bottom) layer; signs are the same for the second mode and opposite for the third mode just as seen in the profiles in Fig. 10. In other words, the displacements of two interfaces η_1 and η_2 vary in phase with each other for the second mode (larger eigenvalue) and out of phase for the third mode (smaller eigenvalue). For the limit $D_2 \rightarrow 0$, the internal wave of the second mode in a three layer system degenerates to that of the second (internal) mode in the two layer system. When $L \gg 2\pi D_i$ ($i=1, 2, 3$), the horizontal velocity components of both internal modes show almost constant values in each layer, respectively. An example of the dispersion relation of the waves in a three layer system is given in Fig.

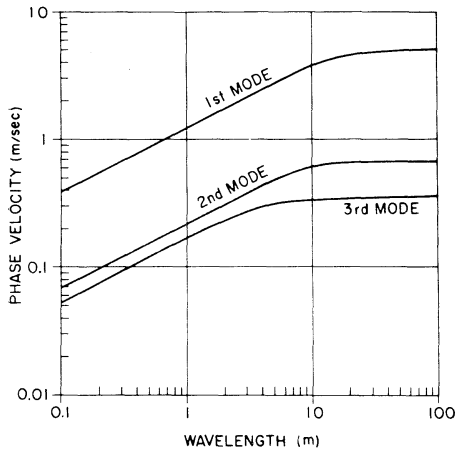


Fig. 11. Dispersion relations of the waves in a three layer system in case where D_1 , D_2 and D_3 are 1.0, 0.8 and 1.0 m, and ρ_1 , ρ_2 and ρ_3 are 1.10, 1.06 and 1.00 g/cm³, respectively.

11 in case where D_1 , D_2 , and D_3 are 1.0 m, 0.8 m, and 1.0 m, and ρ_1 , ρ_2 , and ρ_3 are 1.00 g/cm³, 0.99 g/cm³, and 0.98 g/cm³ respectively. The ratios among the thicknesses D_1 , D_2 , and D_3 , and the densities ρ_1 , ρ_2 and ρ_3 are just the same as in the previous discussions (Figs. 8 through 10). For short wavelengths the phase velocities can be approximated by

$$\sqrt{\frac{g}{k}} \quad \text{for the first mode} \quad (4-4)$$

$$\sqrt{\frac{g}{k} \frac{\Delta\rho_2}{\rho_2 + \rho_3}} \quad \text{for the second mode} \quad (4-5)$$

and

$$\sqrt{\frac{g}{k} \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1 + \rho_2}} \quad \text{for the third mode} \quad (4-6)$$

($\Delta\rho_2 > \Delta\rho_1$ in this case), respectively. For large wavelengths, the phase velocities approach the following constant values:

$$\sqrt{gD} \quad \text{for the first mode} \quad (4-7)$$

$$\begin{aligned} &\sqrt{\frac{g}{2D} \left\{ \frac{\Delta\rho_1}{\rho} D_1^* + \frac{\Delta\rho_2}{\rho} D_2^* \right.} \\ &\left. \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta\rho_1}{\rho} D_1^* + \frac{\Delta\rho_2}{\rho} D_2^* \right)^2 - \frac{4\Delta\rho_1\Delta\rho_2}{\rho^2} D_1 D_2 D_3 D} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &\quad \text{for the second and third modes,} \quad (4-8) \end{aligned}$$

respectively. We have used the Boussinesq

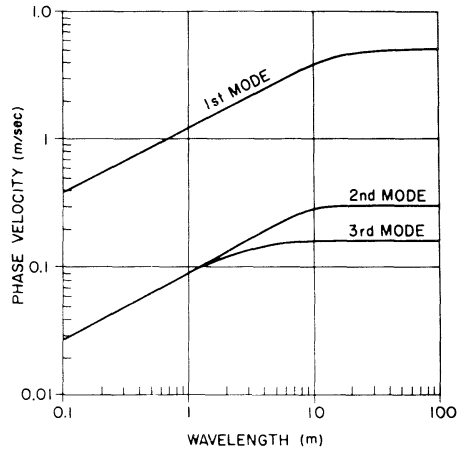


Fig. 12. Dispersion relations of the waves in a three layer system in case where D_1 , D_2 and D_3 are 1.0, 0.8 and 1.0 m, and ρ_1 , ρ_2 and ρ_3 are 1.00, 0.99 and 0.98 g/cm³, respectively. As $\Delta\rho_1 = \Delta\rho_2$ in this case, the waves of two internal modes propagate with the same phase velocity for short wavelengths.

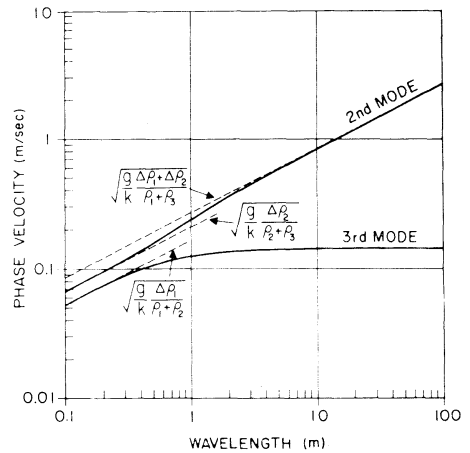


Fig. 13. Dispersion relations of the waves in a three layer system in case where D_1 and $D_3 \rightarrow \infty$ and D_2 is 0.1 m, and ρ_1 , ρ_2 and ρ_3 are 1.10, 1.06 and 1.00 g/cm³, respectively.

approximation in (4-7) and (4-8) and

$$\left. \begin{aligned} D &= D_1 + D_2 + D_3 \\ D_1^* &= D_1(D_2 + D_3) \\ D_2^* &= D_3(D_1 + D_2) \end{aligned} \right\} \quad (4-9)$$

In the case of $\Delta\rho_1 = \Delta\rho_2$, the dispersion curves for the second and third modes fall on each other for short wavelengths (see Fig. 12).

The dispersion relation in the case of D_1 and $D_3 \rightarrow \infty$ are shown in Fig. 13. The dispersion curve for the third mode shows a tendency similar to that in Fig. 9 or 10. The phase velocity of the second mode is $\sqrt{\frac{g}{k} \frac{\Delta\rho_1}{\rho_1 + \rho_2}}$ for small wavelengths and $\sqrt{\frac{g}{k} \frac{\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2}{\rho_1 + \rho_3}}$ for large wavelengths. This shows that, for $L \gg 2\pi D_2$, the internal waves ignore the existence of the intermediate layer and behave as if there is a single interface of density difference $\Delta\rho_1 + \Delta\rho_2$. More detailed discussions on a three layer system will be given in the next section for this simple case where D_1 and $D_3 \rightarrow \infty$.

5. Internal waves propagating along a single thin sheet

In this section, we try to classify the vertical profiles of the horizontal velocity component $U(y)$ in the three layer system in which the upper and lower layers have infinite thicknesses and the intermediate layer has a finite thickness D (see Fig. 14). As we have an interest in the behavior of the short period internal waves propagating along the sheets in the oceanic thermocline, we will lay emphasis on the waves of the second mode, the sign of whose amplitude of the horizontal velocity component in the upper layer is opposite to that in the lower layer. The vertical co-ordinate y is measured upward from the undisturbed lower interface in this section. We assume that the displacements η_1 and η_2 have the forms

$$\eta_1 = a_1 \sin(kx - \sigma t)$$

and

$$\eta_2 = a_2 \sin(kx - \sigma t)$$

and the velocity potentials ϕ_1 , ϕ_2 , and ϕ_3 have the forms

$$\phi_1 = C_1 e^{ky} \cos(kx - \sigma t)$$

$$\phi_2 = (A_2 \cosh ky + B_2 \sinh ky) \cos(kx - \sigma t)$$

and

$$\phi_3 = C_3 e^{k(D-y)} \cos(kx - \sigma t)$$

respectively. Then we have the following relations among the coefficients a_1 , a_2 , C_1 , A_2 , B_2 , and C_3 from the boundary conditions at the two interfaces;

$$\sigma a_1 = k C_1 = k B_2$$

$$\sigma a_2 = k(A_2 \sinh kD + B_2 \cosh kD) = -k C_3$$

$$\rho_1 \sigma C_1 - \rho_2 \sigma A_2 - (\rho_1 - \rho_2) g a_1 = 0$$

$$\rho_2 \sigma (A_2 \cosh kD + B_2 \sinh kD) - \rho_3 \sigma C_3$$

$$- (\rho_2 - \rho_3) g a_2 = 0$$

By eliminating a_1 and a_2 from these equations, we have

$$C_1 = B_2 \tag{5-1}$$

$$A_2 \sinh kD + B_2 \cosh kD = -C_3 \tag{5-2}$$

$$\rho_1 C_1 = \rho_2 A_2 + \frac{\Delta\rho_1}{p} B_2 \tag{5-3}$$

$$C_3 \left(\rho_3 - \frac{\Delta\rho_2}{p} \right) = A_2 \rho_2 \cosh kD + B_2 \rho_2 \sinh kD \tag{5-4}$$

where

$$p = \frac{\sigma^2}{gk}, \quad \Delta\rho_1 = \rho_1 - \rho_2 \quad \text{and} \quad \Delta\rho_2 = \rho_2 - \rho_3$$

These equations lead to the characteristic equation

$$\begin{aligned} & \{ \rho_2^2 + \rho_1 \rho_3 + \rho_2 (\rho_1 + \rho_3) \coth kD \} p^2 \\ & - \rho_2 (\rho_1 - \rho_3) (1 + \coth kD) p \\ & + (\rho_1 - \rho_2) (\rho_2 - \rho_3) = 0 \end{aligned} \tag{5-5}$$

However, instead of solving the characteristic equation (5-5), we will check the following

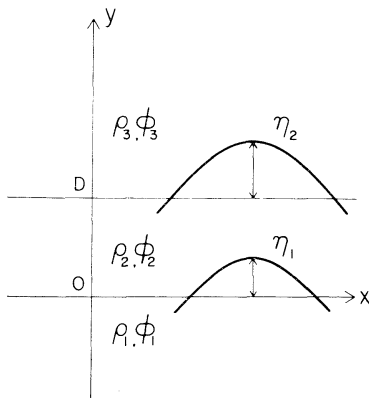


Fig. 14. Co-ordinate system in Section 5.

characteristics directly from (5-1) through (5-4);

(1) Whether the sign of the amplitude of the horizontal velocity component in the upper layer is the same as or opposite to that in the lower layer; $C_1 C_3 > 0$ or < 0 . If the signs are the same, it corresponds to the second mode, and if the signs are opposite, it corresponds to the third mode.

(2) Whether the sign of the mean gradient of the amplitude of the horizontal velocity component in the intermediate layer is the same as or opposite to that in the lower layer; $[U_2(D) - U_2(0)] C_1 > 0$ or < 0 , where $U_2(y)$ denotes the amplitude of the horizontal velocity component in the intermediate layer.

(3) Whether the amplitude of the horizontal velocity component $U_2(y)$ changes its sign within the intermediate layer or not; $U_2(0) \cdot U_2(D) > 0$ or < 0 . This corresponds to whether we have a point where $U(y) = 0$ inside of the intermediate layer or not.

(4) Whether the amplitude of the horizontal velocity component changes its sign across the lower interface or not; $U_2(0) \cdot C_1 > 0$ or < 0 .

From (5-1), (5-2), and (5-3), we can easily obtain the following equations;

$$C_1 C_3 = -\frac{B_2^2}{\rho_2} \sinh kD \left[\frac{\Delta \rho_1}{p} - \rho_1 - \rho_2 \coth kD \right]$$

$$[U_2(D) - U_2(0)] C_1 = -\frac{2kC_1^2}{\rho_2} \sinh^2 \frac{kD}{2} \times \left[\frac{\Delta \rho_1}{p} - \rho_1 - \rho_2 \coth \frac{kD}{2} \right]$$

$$U_2(0) U_2(D) = \frac{k^2 C_1^2}{\rho_2^2} \cosh kD \left(\frac{\Delta \rho_1}{p} - \rho_1 \right) \times \left(\frac{\Delta \rho_1}{p} - \rho_1 - \rho_2 \tanh kD \right)$$

and

$$U_2(0) \cdot C_1 = -\frac{kC_1^2}{\rho_2} \left(\frac{\Delta \rho_1}{p} - \rho_1 \right)$$

Then we can classify the solutions with the magnitude of $\frac{\Delta \rho_1}{p}$ from the identical relation;

$$\begin{aligned} \rho_1 < \rho_1 + \rho_2 \tanh kD < \rho_1 + \rho_2 \coth kD \\ < \rho_1 + \rho_2 \coth \left(\frac{kD}{2} \right) \end{aligned}$$

The results are shown in Table 1. Also, a similar classification can be carried out with the magnitude of $\frac{\Delta \rho_2}{p}$ by using (5-1), (5-2), and (5-4), and is shown in Table 2. For the waves of the second mode, the relations

$$\begin{aligned} [U_2(D) - U_2(0)] C_1 > 0 \\ \text{and } [U_2(D) - U_2(0)] C_3 < 0 \end{aligned}$$

always hold. This means that the vertical gradient of the amplitude of the horizontal velocity component has the same sign in every layer.

Besides the conditions for the second mode

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta \rho_1}{p} < \rho_1 + \rho_2 \coth kD \\ \frac{\Delta \rho_2}{p} < \rho_3 + \rho_2 \coth kD \end{aligned} \right\} \quad (5-6)$$

in Tables 1 and 2, we can derive two more conditions from (5-1), (5-2), (5-3), and (5-4):

Table 1. The classification of the profile of the amplitude of horizontal velocity components in terms of the magnitude of $\Delta \rho_1/p$.

$\Delta \rho_1/p =$	ρ_1	$\rho_1 + \rho_2 \tanh(kD)$	$\rho_1 + \rho_2 \coth(kD)$	$\rho_1 + \rho_2 \coth(kD/2)$	
$C_1 C_3$	-	-	-	+	+
$[U_2(D) - U_2(0)] C_1$	+	+	+	+	-
$U_2(0) \cdot U_2(D)$	+	-	+	+	+
$U_2(0) \cdot C_1$	+	-	-	-	-

Table 2. The classification of the profile of the amplitude of horizontal velocity components in terms of the magnitude of $\Delta \rho_2/p$.

$\Delta \rho_2/p =$	ρ_3	$\rho_3 + \rho_2 \tanh(kD)$	$\rho_3 + \rho_2 \coth(kD)$	$\rho_3 + \rho_2 \coth(kD/2)$	
$C_1 C_3$	-	-	-	+	+
$[U_2(D) - U_2(0)] C_3$	-	-	-	-	+
$U_2(0) \cdot U_2(D)$	+	-	+	+	+
$U_2(0) \cdot C_3$	+	-	-	-	-

$$\left. \begin{aligned} \rho_3 \Delta \rho_1 < \frac{\Delta \rho_1 \Delta \rho_2}{p} < (\rho_1 + \rho_2 \tanh kD) \Delta \rho_2 \\ \text{or} \\ (\rho_1 + \rho_2 \tanh kD) \Delta \rho_2 < \frac{\Delta \rho_1 \Delta \rho_2}{p} < \rho_3 \Delta \rho_1 \end{aligned} \right\} \quad (5-7)$$

according as

$$\rho_2 \Delta \rho_2 \tanh kD \geq 2\rho_1 \rho_3 - \rho_2(\rho_1 + \rho_3) \quad (5-8)$$

respectively. And

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 \Delta \rho_2 < \frac{\Delta \rho_1 \Delta \rho_2}{p} < (\rho_3 + \rho_2 \tanh kD) \Delta \rho_1 \\ \text{or} \\ (\rho_3 + \rho_2 \tanh kD) \Delta \rho_1 < \frac{\Delta \rho_1 \Delta \rho_2}{p} < \rho_1 \Delta \rho_2 \end{aligned} \right\} \quad (5-9)$$

according as

$$\rho_2 \Delta \rho_1 \tanh kD \geq \rho_2(\rho_1 + \rho_3) - 2\rho_1 \rho_3 \quad (5-10)$$

respectively. It should be noted that the quantity $K = 2\rho_1 \rho_3 - \rho_2(\rho_1 + \rho_3)$ plays an important role in these relations. (We can use the quantities $\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_3} - \frac{2}{\rho_2}$ or $\frac{\Delta \rho_1}{\rho_1} - \frac{\Delta \rho_2}{\rho_3}$ instead of K .)

By taking the relations (5-6), (5-7), and (5-9) into consideration, we can eliminate p and classify the horizontal velocity profile with ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , and kD . The results are shown in Table 3 and in Fig. 15. These results will be

Table 3. The classification of the profile of the amplitude of horizontal velocity components in terms of the mutual relations among ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 and kD . It should be noted that the quantity $K = 2\rho_1 \rho_3 - \rho_2(\rho_1 + \rho_2)$ plays an important role in the classification. The case labels c , $a-1$, b , ... are used again in Fig. 15.

Case		$U_2(0)U_2(0)$	$C_1U_2(0)$	$C_3U_2(0)$
a	a-1 $K > \rho_2 \Delta \rho_1 \tanh(kD) > 0$	+	+	-
	a-2 $K = \rho_2 \Delta \rho_1 \tanh(kD) > 0$	0	0	-
	a-3 $\rho_2 \Delta \rho_1 \tanh(kD) > K > 0$	-	-	-
b	$K = 0$	-	-	-
c	c-1 $-\rho_2 \Delta \rho_2 \tanh(kD) < K < 0$	-	-	-
	c-2 $K = -\rho_2 \Delta \rho_2 \tanh(kD) < 0$	0	-	0
	c-3 $K < -\rho_2 \Delta \rho_2 \tanh(kD) < 0$	+	-	+

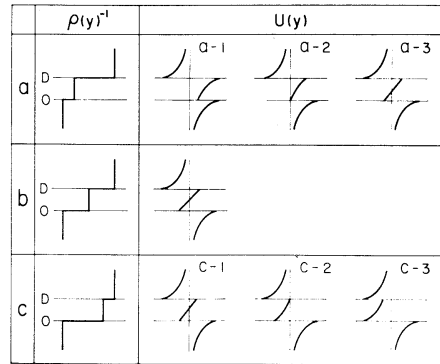


Fig. 15. Schematic vertical profiles of the horizontal velocity component. Refer to Table 3 for the case labels; a, a-1, b, and so on.

applicable for short period internal waves propagating along the sheets in the oceanic thermoclines, and be useful for discussions on the characteristics of the sheets.

6. Evanescent modes

If we take the wave number k as an unknown variable in the characteristic equation (2-16) or (2-23), we have not only n real eigenvalues which represent propagating wave modes but also a countable number of purely imaginary eigenvalues;

$$k = i|k_l| \quad (l = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$$

Since the velocity potential ϕ^l corresponding to the l -th imaginary eigenvalue has the form:

$$\phi^l \propto e^{\pm i k_l x} e^{\pm |k_l| y} e^{i \omega t}$$

these imaginary modes represent exponentially damped motion in the horizontal direction. These non-propagating modes may be called evanescent modes (COX and SANDSTROM, 1962). In Fig. 16, we show the profiles of the amplitudes of horizontal and vertical velocity components $U(y)$ and $V(y)$ of the 1st, 2nd and 3rd* evanescent modes in case where $D_1:D_2=6:4$ and $\rho_1:\rho_2=1.1:1.0$. Though we have some velocity discontinuities at the interface, the

* The mode number for the evanescent mode is given in order of the magnitude of the vertical wavelength $|2\pi/k|$.

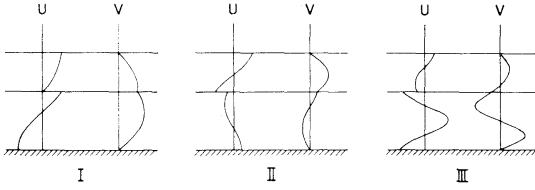


Fig. 16. The vertical profiles of the amplitude of orbital velocity components $U(y)$ and $V(y)$ of the evanescent mode in case where $D_1 : D_2 = 6 : 4$ and $\rho_1 : \rho_2 = 1.1 : 1.0$. The mode number I is given for the smallest $|k|$ in this case. Magnitudes of the wave numbers for modes II, III, . . . are roughly 2 times, 3 times, . . . of the magnitude of the smallest wave number.

main features of the velocity profiles of the evanescent modes are not so much influenced by the existence of the interface and can be roughly represented by

$$U(y) \propto \cos(2\pi ly/D)$$

$$\text{and } V(y) \propto \sin(2\pi ly/D)$$

where D denotes the total depth given by $\sum_{i=1}^n D_i$. In other words, imaginary eigenvalues of k_i are aligned on the imaginary frequency axis roughly with an interval of $2\pi/D$.

We tried to investigate the behavior of internal waves in a multilayered ocean the density structure of which changes horizontally. If the horizontal change of the density structure occurs suddenly enough, we can evaluate the reflection and transmission coefficients by considering countable numbers of the trapped waves of evanescent modes in addition to the incident, reflected and transmitted modes and by matching the boundary conditions at the position of the sudden structure-change. We tried to get approximate solutions to this problem by including only a finite number of the evanescent modes in our calculation. However, it is shown that, except for a few simple cases, a prohibitive large number of evanescent modes must be included in order to get sufficiently accurate solutions, because of the difference of the basic nature of the vertical velocity profiles between propagating modes and evanescent modes (TSUJI, 1972).

7. Orthogonal relations among the eigenfunctions and the waves generated by a wave-maker

Let k_j and ϕ^j ($j=1, 2, 3, \dots$) be real and imaginary eigenvalues of the characteristic equation (2-16) or (2-23) and the corresponding complex velocity potentials:

$$\phi^j = \phi^j(y) e^{i(k_j z - \sigma t)} \quad (7-1)$$

where

$$\phi^j = \phi_r^j = A_r^j \cosh k_j(h_{r-1} + y) + B_r^j \sinh k_j(h_{r-1} + y) \quad (7-2)$$

for

$$-h_r \geq y \geq -h_{r-1} \quad (r=1, 2, 3, \dots, n)$$

The coefficients A_r^j , B_r^j ($r=1, 2, 3, \dots, n$) are related by (2-8), (2-9), and (2-10) for each j . We define the product (ϕ^j, ϕ^l) by

$$(\phi^j, \phi^l) = \int_{-h}^0 \rho \phi^j \phi^l dy = \sum_{r=1}^n \rho_r \int_{-h_{r-1}}^{-h_r} \phi_r^j \phi_r^l dy \quad (7-3)$$

By substituting (7-2) into (7-3) and by integrating (7-3) we have for $j \neq l$

$$(\phi^j, \phi^l) = \frac{1}{k_j^2 - k_l^2} \sum_{r=1}^n [k_j \rho_r \{ (A_r^j \sinh k_j D_r + B_r^j \cosh k_j D_r)(A_r^l \cosh k_l D_r + B_r^l \sinh k_l D_r) - B_r^j A_r^l \} - k_l \rho_r \{ (A_r^j \cosh k_j D_r + B_r^j \sinh k_j D_r) \times (A_r^l \sinh k_l D_r + B_r^l \cosh k_l D_r) - A_r^j B_r^l \}] \quad (7-4)$$

From (2-9) and (2-10), we have

$$A_r \sinh k D_r + B_r \cosh k D_r = B_{r+1}$$

and

$$A_r \cosh k D_r + B_r \sinh k D_r = \frac{\rho_{r+1}}{\rho_r} A_{r+1} + \frac{g}{\sigma^2} \frac{\Delta \rho_r}{\rho_r} k B_{r+1}$$

to rewrite (7-4) as

$$\begin{aligned}
 (\phi^j, \phi^l) &= \frac{1}{k_j^2 - k_l^2} \left[\sum_{r=1}^n \{ k_j (\rho_{r+1} B_{r+1}^l A_{r+1}^j - \rho_r A_r^j B_r^l) \right. \\
 &\quad - \rho_r B_r^j A_r^l - k_l (\rho_{r+1} A_{r+1}^j B_{r+1}^l - \rho_r A_r^j B_r^l) \} \\
 &\quad + \rho_n \{ k_j (A_n^j \sinh k_j D_n + B_n^j \cosh k_j D_n) \\
 &\quad \times (A_n^l \cosh k_l D_n + B_n^l \sinh k_l D_n) \\
 &\quad - k_l (A_n^j \cosh k_j D_n + B_n^j \sinh k_j D_n) \\
 &\quad \times (A_n^l \sinh k_l D_n + B_n^l \cosh k_l D_n) \\
 &\quad \left. - k_j B_n^j A_n^l + k_l A_n^j B_n^l \right] \\
 &= \frac{\rho_n}{k_j^2 - k_l^2} \{ k_j (A_n^j \sinh k_j D_n + B_n^j \cosh k_j D_n) \\
 &\quad \times (A_n^l \cosh k_l D_n + B_n^l \sinh k_l D_n) \\
 &\quad - k_l (A_n^j \cosh k_j D_n + B_n^j \sinh k_j D_n) \\
 &\quad \times (A_n^l \sinh k_l D_n + B_n^l \cosh k_l D_n) \\
 &\quad - \frac{\rho_1}{k_j^2 - k_l^2} (k_j B_1^j A_1^l - k_l A_1^j B_1^l) \} \quad (7-5)
 \end{aligned}$$

Since $B_1=0$ from the boundary condition at the bottom, the second term in (7-5) vanishes. From the surface conditions (2-15) or (2-22) we have

$$\begin{aligned}
 &k(A_n \sinh k D_n + B_n \cosh k D_n) \\
 &= \frac{\sigma^2}{g} (A_n \cosh k D_n + B_n \sinh k D_n) \\
 &\quad \text{(for the free surface)} \\
 &= 0 \\
 &\quad \text{(for the rigid surface)}
 \end{aligned}$$

In either case, the first term in (7-5) also vanishes. Thus we have

$$(\phi^j, \phi^l) = 0 \quad \text{for } j \neq l \quad (7-6)$$

and the eigenfunctions ϕ^j ($j=1, 2, 3, \dots$) are orthogonal to one another.

By using this orthogonal relation among the eigenfunctions ϕ^j , we can calculate the velocity potential ϕ of the internal waves generated by the wavemaker. If we denote the complex velocity potential ϕ by

$$\phi = \sum_j (\alpha_j \phi^j) = \sum_j \{ \alpha_j \phi^j e^{i(k_j z - \sigma t)} \} \quad (7-7)$$

the problem is to determine the coefficients α_j ($j=1, 2, 3, \dots$) from the given periodic flow

$$u = \Re_e U_0(y) e^{-i\sigma t} \quad \text{at } x=0 \quad (7-8)$$

which is produced by the wavemaker. Then the boundary condition at $x=0$ is

$$i \sum_j (\alpha_j k_j \phi^j) = U_0(y) \quad (7-9)$$

By multiplying (7-9) by $\rho \phi^l$ and by integrating from $y=-h$ to $y=0$, we have

$$\alpha_l = \frac{\int_{-h}^0 \rho U_0(y) \phi^l dy}{i k_l (\phi^l, \phi^l)} \quad (7-10)$$

where

$$\begin{aligned}
 (\phi^l, \phi^l) &= \int_{-h}^0 \rho \phi^l \phi^l dy \\
 &= \sum_{r=1}^n \frac{\rho_r}{k_l} \left[(A_r^l)^2 \left(\frac{1}{2} \sinh k_l D_r + k_l D_r \right) \right. \\
 &\quad + A_r^l B_r^l \sinh^2 k_l D_r \\
 &\quad \left. + (B_r^l)^2 \left(\frac{1}{2} \sinh k_l D_r - k_l D_r \right) \right] \quad (7-11)
 \end{aligned}$$

For an n -layer system, only n waves (for the free surface condition) or $n-1$ waves (for the rigid surface condition) corresponding to real eigenvalues will propagate for a long distance apart from the wavemaker. However, the knowledge of the waves of evanescent modes is also essential for the planning and construction of the internal wavemaker because the motions associated with these waves may cause considerable mixing near the wavemaker.

References

BENJAMIN, T. B. (1966): Internal waves of finite amplitude and permanent form. *J. Fluid Mech.*, **25**, 241-270.

COX, C. S., Y. NAGATA, and T. R. OSBORN (1969): Oceanic fine structure and internal waves. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanog. Special Number*, 67-72.

COX, C. S. and H. SANDSTROM (1962): Coupling of internal and surface waves of variable depth. *J. Oceanog. Soc. Japan*, 20th Anniversary Volume, 499-513.

GARRETT, C. J. R. and W. H. MUNK (1972): Space-time scales of internal waves. *Geophys. Fluid Dyn.*, **2**, 225-264.

GREGG, M. C. and C. S. COX (1972): The vertical microstructure of temperature and salinity. *Deep-Sea Res.*, **19**, 355-376.

HUNT, J. N. (1961): Internal waves of finite amplitude. *La Houille Blanche*, **4**, 515-525.

- KEULEGAN, G. H. (1953): Characteristics of internal solitary waves. *J. Res. Nat. Bureau of Standards*, **51**, 133-140.
- LAMB, H. (1932): *Hydrodynamics*. 6-th ed. Cambridge Univ. Press.
- LONG, R. R. (1956): Solitary waves in one- and two fluid systems. *Tellus*, **8**, 460-471.
- OSBORN, T. R. and C. S. COX (1972): Oceanic fine structure. *Geophys. Fluid Dyn.*, **3**, 321-345.
- TSUJI, Y. (1972): Internal waves propagating in a multilayered ocean. Master Dissertation, Geophysical Course, University of Tokyo. (in Japanese)
- TSUJI, Y. and Y. NAGATA (1973): Stokes' Expansion of internal deep water waves to the fifth order. *J. Oceanog. Soc. Japan*, **29**, 61-69.
- WOODS, J. D. (1968a): Wave-induced shear instability in the summer thermocline. *J. Fluid Mech.*, **32**, 791-800.
- WOODS, J. D. (1968b): An investigation of some physical processes associated with the vertical flow of heat through the upper ocean. *Meteorological Magazine*, **97** (1148), 65-72.
- YIH, C. S. (1965): *Dynamics of Nonhomogeneous Fluids*. The Macmillan Company, New York, pp. 306.

多重成層構造をもつ海を伝わる内部波の性質

都 司 嘉 宣, 永 田 豊

要旨: 海洋の微細構造を論じる際、局所的に密度勾配の大きい薄いシートと、そこに伝わる短周期内部波の存在が重要な役割をはたすことが指摘されている。この論文の目的は、多重成層構造をもつ海を伝わる内部波を支配する方程式と固有関数の性質を調べ、その物理的な意味を明確にすることにある。特に、2ないし3層の場合について粒子速度の鉛直分布や分散関係を具体的な例によって示すと共に、各層の密度と厚さの相互関係による解の分類を試みた。また、水平方向に減衰する非進行性のモードの性質についても論じた。

ここに得られた結果は、微細構造中を伝わる短周期内部波の研究に有用なものとなろう。

Hexadecane Decomposition in the Eutrophied Bay of Shimoda at Summer Stagnation Period*

Humitake SEKI**

Abstract: During the summer stagnation period of 1974, the rate of hexadecane decomposition in Shimoda Bay was low in one order of magnitude of that in Tokyo Bay, although the density of hexadecane decomposers was almost the same. The decomposition activity was as high as 80-89 $\mu\text{g}/\text{l}/\text{hr}$ in the surface layer, and was generally lower at deeper layers or in the Kuroshio counter current outside the bay as down to 10 $\mu\text{g}/\text{l}/\text{hr}$.

1. Introduction

It has been shown that the distribution of the rate of hexadecane decomposition had approximately the same pattern as that of hexadecane-decomposing bacteria in Tokyo Bay (SEKI, 1975). Provided that the result is true in whole parts of the marine environment, the petroleum decomposition can be easily understood by only enumeration of the petroleumlytic bacteria followed by necessary conversion using data of some important environmental factors such as temperature.

The field previously investigated, Tokyo Bay, is very polluted by sewage and industrial wastes (SEKI *et al.*, 1974a, b and c; TSUJI *et al.*, 1974), where eutrophication is very high. Although a similar eutrophication was observed in Shimoda Bay (SEKI *et al.*, 1975), on the other hand, only municipal waste is discharged without the influence of industrial wastes. As the result, petroleum discharge into the bay from Shimoda City is only little. Therefore, it is worthy to compare the petroleum decomposition at the eutrophied bays of Tokyo and Shimoda being rich and poor in petroleum pollution, respectively.

In Shimoda Bay an investigation was made on the petroleumlytic bacteria and their activity during the summer stagnation period, and the results were compared with those in Tokyo Bay during the same period (SEKI, 1975).

* Received October 5, 1974

** Ocean Research Institute, University of Tokyo, Minamidai, Nakano-ku, Tokyo, 164 Japan

2. Materials and methods

Seawater samples were collected from the surface to the bottom of Shimoda Bay (Fig. 1) during the summer stagnation period in September of 1974. The stratification of water-masses was confirmed by a routine hydrographic observation with the measurements of temperature, salinity, pH, redox potential, dissolved oxygen, carbon dioxide, inorganic nitrogen, inorganic phosphorous, particulate

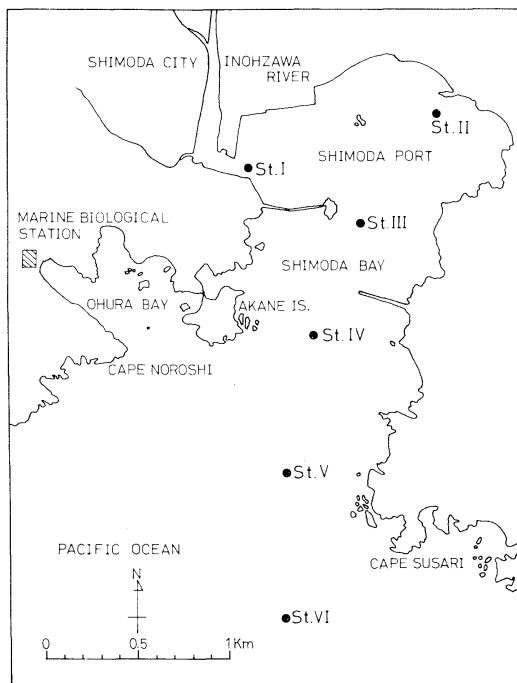


Fig. 1. Station locations in Shimoda Bay.

organic carbon and particulate organic nitrogen (STRICKLAND and PARSONS, 1968). The boundary between the surface and intermediate watermasses was found at around 2 m depth in the estuary of the Inohzawa River and at around 5 m depth in most parts of the bay. Seawater temperature in the bay was approximately 24°C.

The petroleumytic microorganisms were enumerated by the method of SEKI (1973), as a viable count using a silica gel medium. The rate of hexadecane decomposition in seawater was determined by a simulated *in situ* method of SEKI (1975). This measurement can be expressed as the rate of hexadecane decomposition determined by the addition of 0.5 μCi hexadecane-1- ^{14}C and incubation for 6 hr in the dark at *in situ* temperature. The rate of hexadecane oxidation measured by this method shows the maximum attainable rate of hexadecane decomposition *in situ*, and not *in situ* oxidation rate. The total number of bacteria was directly counted under a phase contrast microscope. The heterotrophic bacteria were enumerated by a plate count method with Medium 2216 (SEKI, 1975).

3. Results

1. Hexadecane decomposition in the sea

The distribution of hexadecane-decomposing bacteria and their activity in Shimoda Bay on September 20 of 1974 is shown in Fig. 2. Both hexadecane decomposers and their activity were high in the surface layer and generally lower at deeper layers. The highest rate of hexadecane decomposition was 89 $\mu\text{g/l/hr}$ in the surface layer where the rate was never lower than 80 $\mu\text{g/l/hr}$. Density of hexadecane decomposers at the center of the intermediate watermass in the bay was high as that in the surface layer, although their activity in the intermediate watermass was not so great as that in the surface layer. Even though patterns were not similar exactly, however, the distribution of hexadecane decomposers showed approximately the same pattern as that of the hexadecane decomposition. On the other hand, the distribution of hexadecane decomposers showed completely different pattern from that

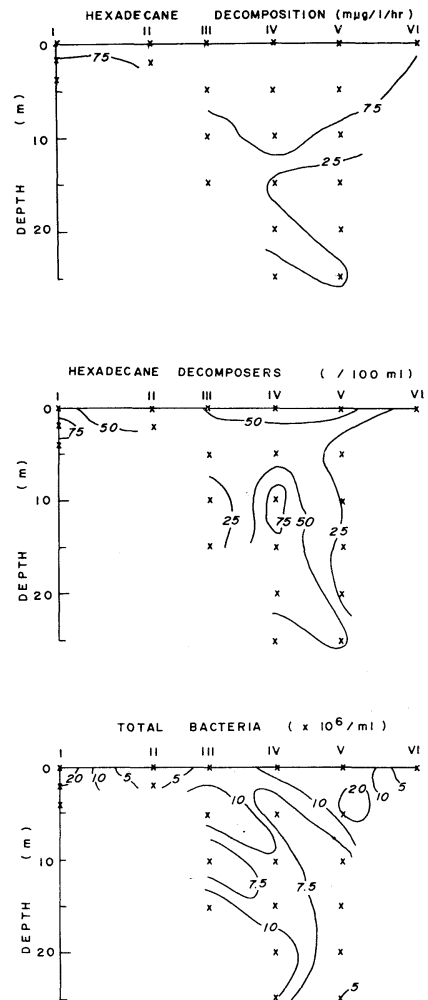


Fig. 2. Distributions of the rate of hexadecane decomposition, the population density of hexadecane-decomposing bacteria and the population density of total number of bacteria in Shimoda Bay.

of total bacteria. This suggests that only bacteria which can be enumerated by viable count using the medium (SEKI, 1973) are chiefly responsible for the rate of hexadecane decomposition.

Figure 3 shows the relationship between the rate of hexadecane decomposition and hexadecane-decomposing bacteria in seawater of Shimoda Bay and that of Tokyo Bay in July and August (SEKI, 1975). It is apparent that there was a linear relationship between the

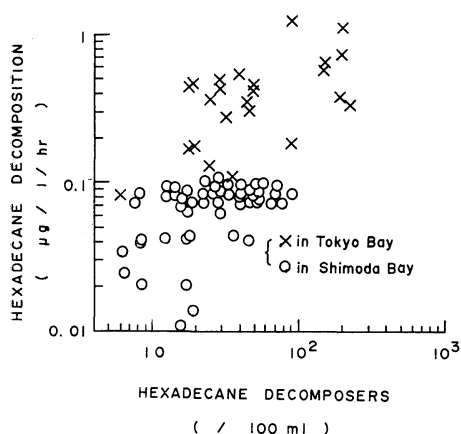


Fig. 3. Relationship between the rate of hexadecane decomposition and the population density of hexadecane-decomposing bacteria in seawater of Shimoda Bay and Tokyo Bay during the summer stagnation period of 1974.

logarithm of the rate of hexadecane decomposition versus the logarithm of density of hexadecane decomposers. This supports previous observation that the distribution of hexadecane decomposers showed approximately the same pattern as that of hexadecane decomposition. The rate of hexadecane decomposition in Shimoda Bay was low in one order magnitude of that in Tokyo Bay, probably because petroleum pollution is negligible in Shimoda Bay. Hexadecane decomposers, on the other hand, were almost the same population density in both Shimoda Bay and Tokyo Bay, which means that the activity of each hexadecane decomposer in Shimoda Bay were between 10 and 100 % of that in Tokyo Bay.

The rate of hexadecane decomposition at the surface of the Kuroshio counter current and of a branch of the Kuroshio current off Shimoda Bay on September 18 (for hydrography see SEKI *et al.*, 1975) was 41-45 $\mu\text{g}/\text{l}/\text{hr}$ and 40 $\mu\text{g}/\text{l}/\text{hr}$, respectively, whereas hexadecane decomposers were 12-45 per 100 ml of seawater of the Kuroshio counter current and 8 per 100 ml of seawater of the branch of the Kuroshio current. Both watermasses, the counter current and the branch of the Kuroshio current, had the characteristics of mesotrophic watermass (SEKI *et al.*, 1975).

These observations may suggest that the population density of petroleumlytic microorganisms in seawater is dependent on both the degree of petroleum pollution and eutrophication of a watermass, and that the rate of petroleum decomposition is almost exclusively dependent on the degree of petroleum pollution.

2. Hexadecane decomposers in petroleumlytic flora of microorganisms

As molecular configuration has been shown to be most important factor among those influence the biodegradability of hydrocarbons composing petroleum (ZOBELL, 1969), ecological significance of hexadecane decomposers and their activity in petroleum dynamics of the marine environment must be explained before hexadecane, a constituent of petroleum, is used as an indicator substrate for the study of petroleum pollution. Table 1 shows relationship between hexadecane decomposers and kerosene decomposers in seawater of Shimoda Bay during the summer stagnation period. The ratio of hexadecane decomposers and kerosene decomposers was 111 ± 39 for 46 seawater samples, which means that almost all the hydrocarbon decomposers in seawater of Shimoda Bay could utilize hexadecane as a sole energy source. Moreover, some hydrocarbons of kerosene had toxic effect against bacteria in seawater although the effect was shown to be only a little. Almost the same results (Table 2) were obtained for seawater samples collected in Tokyo Bay during the summer stagnation period of 1974 (SEKI, 1975), where the ratio was 106 ± 33 for 46 samples. Statistical analysis shows that the ratio was not influenced by the difference of degree of petroleum pollution in two eutrophied watermasses, Tokyo Bay and Shimoda Bay, as by the distributional microzonation of bacteria in each watermass (Table 3).

The density of hexadecane-decomposing bacteria was 8-89 per 100 ml in Shimoda Bay: *i. e.*, 0.00001 % of the total bacteria or 0.001 % of the heterotrophic bacteria could decompose hexadecane in the bay, as total bacteria and heterotrophic bacteria per ml of seawater were enumerated to be 10^5 to 10^7 and 10^2 to 10^4 , respectively. These percentages were the

Table 1. Relationship between densities of hexadecane-decomposers and kerosene-decomposers in seawater of Shimoda Bay on September, 1974.

Hexadecane-decomposers (/100 ml)	Kerosene-decomposers (/100 ml)	Hexadecane-decomposers / Kerosene-decomposers (%)*
47	42	112
44	42	105
31	33	94
29	51	57
26	38	68
29	24	121
45	26	173
36	18	200
12	12	100
8	7	114
52	98	53
76	78	97
68	75	91
52	68	76
48	31	155
18	19	95
17	11	155
69	81	85
38	43	88
89	86	103
73	81	90
62	94	65
19	13	146
65	44	148
13	18	72
29	32	91
17	18	94
16	18	89
72	55	131
12	12	100
34	41	83
46	49	94
38	38	153
28	24	117
58	36	161
29	37	78
19	18	106
42	31	140
13	9	144
22	11	200
8	35	23
16	12	133
14	23	61
41	25	164
41	25	164
22	16	158

* Average and standard deviation: 111 ± 39

Table 2. Relationship between densities of hexadecane-decomposers and kerosene-decomposers in seawater of Tokyo Bay during the summer stagnation period.

Hexadecane-decomposers (/100 ml)	Kerosene-decomposers (/100 ml)	Hexadecane-decomposers / Kerosene-decomposers (%)*
220	240	91
89	130	68
190	210	90
150	170	88
45	84	54
150	120	125
180	180	100
190	170	112
180	190	95
18	16	113
48	48	100
48	21	229
32	18	178
24	17	141
45	49	92
24	26	92
86	71	121
28	27	104
18	14	129
18	28	64
39	48	81
27	22	123
35	28	125
18	15	120
150	160	94
93	80	116
15	30	50
10	10	100
55	70	79
130	190	68
100	65	154
290	280	104
210	180	117
180	140	129
650	780	83
280	280	100
160	110	145
390	410	95
36	50	72
58	49	118
420	270	156
290	360	81
510	410	124
96	110	87
240	330	73
210	210	100

* Average and standard deviation: 106 ± 33

Table 3. Effect of watermass difference (Tokyo Bay and Shimoda Bay) on ratio of hexadecane-decomposers and kerosene-decomposers in seawater.

	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	Fo*
Between watermasses	663	1	663	0.51
Between samples	118001	90	1311	
Total	118664	91		

* F (1, 90; 0.05)=3.95

same as these previously observed in Tokyo Bay.

4. Discussion

The density of hexadecane-decomposing bacteria and their activity were measured during the summer stagnation period in Shimoda Bay as one of the examples in eutrophied bays without petroleum pollution.

The hexadecane-decomposing bacteria in seawater of eutrophied bays were shown to be in almost the same density of kerosene-decomposing bacteria. Moreover, at an enrichment culture for the viable count, some hydrocarbons in kerosene were shown to have a little toxic effect for the petroleumlytic bacteria in the seawater samples, which cannot be expected in the marine environment *in situ* where the concentration of hydrocarbons is very low compared to that in the medium for enumeration. Therefore, the determination of hexadecane-decomposing bacteria and their activity seems to be very desirable for the understanding of petroleum dynamics in the marine environment.

The density of hexadecane-decomposing bacteria responsible for the activity was almost the same in both Shimoda Bay and Tokyo Bay, whereas the density range in these eutrophied bays was apparently higher than that in mesotrophic watermasses, the Kuroshio counter current and a branch of the Kuroshio current. The rate of hexadecane decomposition was, on the other hand, as high as 80-89 m μ g/l/hr at the surface of whole parts of the bay. The rate can compare with the rate of 133-1,266 m μ g/l/hr during the same period at the surface of Tokyo Bay (SEKI, 1975) as one of the typical examples in the eutrophied bay with petroleum pollution. The rate can be com-

pared also with the rates of 40-45 m μ g/l/hr during the same period at the surface of the Kuroshio counter current and a branch of the Kuroshio current, that had the characteristics of mesotrophic watermass. As the rate of hexadecane decomposition seems to be almost exclusively dependent on the degree of hexadecane pollution in the marine environment, therefore, to measure the rate of petroleum decomposition is requisite to understand accurately the present pollution of petroleum and the capacity of its self-purification of the sea.

As 315 μ g hexadecane was added per liter of seawater sample when the rate of hexadecane decomposition was measured, the time requirement for complete removal of hexadecane in seawater is estimated to be within 10 days in Tokyo Bay, within approximately 100 days in Shimoda Bay and within approximately 200 days in the mesotrophic watermasses such as the Kuroshio counter current and a branch of the Kuroshio current.

Acknowledgments

This work, Contribution No. 293 from Shimoda Marine Biological Station, was partly supported as special projects "Studies on the Dynamics of Chemical Compounds in the Ocean No. 910312" and "Prevention of Petroleum Pollution in the Sea No. 830406" by the Ministry of Education of Japan. This investigation would have been impossible but for the kind help of Professor H. WATANABE and Professor S. ICHIMURA, Tokyo Kyoiku University. This paper is dedicated to Professor Gotaro YAMAMOTO, Ocean Research Institute of the University of Tokyo, for his 60 years old anniversary.

References

- SEKI, H. (1973): Silica gel medium for enumeration of petroleumlytic microorganisms in the marine environment. *Appl. Microbiol.*, **26**, 318-320.
- SEKI, H. (1975): Simulated *in situ* method measurement of hexadecane decomposition in the marine environment. (in preparation)
- SEKI, H., T. TSUJI and A. HATTORI (1974a): Effect of zooplankton grazing on the formation of the anoxic layer in Tokyo Bay. *Est. Coast. Mar. Sci.*, **2**, 145-151.
- SEKI, H., H. SHINOYAMA, M. MUTO and H. NUMANOI (1974b): Decomposition of particulate organic materials in Tokyo Bay at summer stagnation period in 1972. *La mer*, **12**, 9-15.
- SEKI, H., J. MATSUO, M. YAMASHITA and H. NUMANOI (1974c): Halophilism of microorganisms in the eutrophied bay of Tokyo at the end of summer stagnation period. *La mer*, **12**, 66-71.
- SEKI, H., Y. YAMAGUCHI and S. ICHIMURA (1975): Turnover rate of dissolved organic materials in a coastal region of Japan at summer stagnation period of 1974. *Arch. Hydrobiol.* (in press)
- STRICKLAND, J. D. H. and T. R. PARSONS (1968): A practical handbook of seawater analysis. Bulletin No. 169. Fisheries Research Board of Canada. pp. 311.
- TSUJI, T., H. SEKI and A. HATTORI (1974): Results of red tide formation in Tokyo Bay. *J. Water Pollution Control Federation*, **46**, 165-172.
- ZOBELL, C. E. (1969): Microbial modification of crude oil in the sea. *Proc. API/FWPCA Conference on Prevention and Control of Oil Spills*. American Petroleum Institute Publ. No. 404, 371-326.

夏季停滞期の下田湾におけるヘキサデカンの分解

関 文 威

要旨: 夏季停滞期の下田湾表層水中における炭化水素ヘキサデカンの分解速度は, 80~89 $\text{m}\mu\text{g}/\text{l}/\text{hr}$ であった。この速度は, 下田湾沖の黒潮反流中や黒潮分流入中の速度 40~45 $\text{m}\mu\text{g}/\text{l}/\text{hr}$ よりも高く, 東京湾中の速度 133~1,266 $\text{m}\mu\text{g}/\text{l}/\text{hr}$ よりも低い。一方, ヘキサデカン分解菌の海水中密度は, 下田湾と東京湾では大差が認められなかった。

An Areal Distribution of Microbial Biomass in Tokyo Bay at Summer Stagnation Period*

Takuji TERADA**, Humitake SEKI*** and Shun-ei ICHIMURA**

Abstract: An areal survey was made on the distribution of microbial biomass in a gyre of the inner part of Tokyo Bay at the summer stagnation period. The distributions of chlorophyll *a*, total bacteria, heterotrophic bacteria, POC and PON showed well the present status of eutrophication in the bay. Photosynthetic activity of phytoplankton also reflected highly the eutrophication of the bay.

1. Introduction

In a series of studies (SEKI, 1973; SEKI *et al.*, 1974a, b and c; TERADA, 1975; TSUJI *et al.*, 1974) has been shown general profile of the eutrophication of Tokyo Bay at present. Serious eutrophication (hypereutrophication) can be observed sporadically in the inner part of the bay. The eutrophication is especially high during the summer stagnation period, when red tide in the surface layer and micro-aerobic or anaerobic water in the bottom layer can usually observed in most parts of region. Although every ecological factors observed in the region could be found macroscopically in each range of steady-state oscillation as characterized as eutrophic (SEKI *et al.*, 1975), precise effects of the pollution on the ecosystem in the region must be various microscopically according to the degree of environmental stress caused chiefly by the mixture of different watermasses of different origins.

An areal survey on the distribution of microbial biomass was made in a gyre of the inner part of Tokyo Bay with special reference to the small-scale hydrography. The gyre is formed chiefly by the stagnant coastal water as influenced by inflows of the freshwater and oceanic water (studies reviewed in TSUJI *et al.*, 1974).

2. Materials and methods

Seawater samples were collected from the surface layer at stations (Fig. 1) in the inner part of Tokyo Bay on August 14, 1974. All the sampling were made within several hours, followed by the chemical and biological treatments in a laboratory ashore as soon as possible.

Chlorinity and temperature were measured on board by Toho Dentan ECT-5. The hydrogen ion concentration and redox potential of seawater were measured by pH meter model DM-1A (Toa Electronics Ltd.) and redox meter model RM-1 (Toa Electronics Ltd.), respectively. The concentrations of chlorophyll *a*, POC (particulate organic carbon) and PON (particulate organic nitrogen) in the seawater samples were measured by the methods in

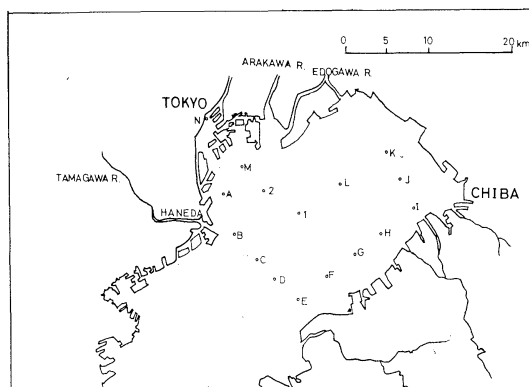


Fig. 1. Station locations in the inner part of Tokyo Bay.

* Received October 5, 1974

** Department of Botany, Tokyo Kyoiku University, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112 Japan

*** Ocean Research Institute, University of Tokyo, Minami-dai, Nakano-ku, Tokyo, 164 Japan

STRICKLAND and PARSONS (1968). Total bacteria and heterotrophic bacteria were enumerated by direct microscope count and a plate count method, viable count on Medium 2216 for both freshwater and seawater bacteria (SEKI *et al.*, 1974c), respectively. Photosynthetic activity of phytoplankton was measured by the ¹⁴C-method (ICHIMURA *et al.*, 1962).

3. Results

1. Hydrography

The stratification of watermasses on August 14 was confirmed at Stations 1 and 2 where vertical profile was studied (TERADA, 1975). The areal distributions of chlorinity and temperature of the surface layer are shown in Figs. 2 and 3. The distribution of chlorinity in the surface layer suggests strongly that the oceanic water entered through the eastern part

of the inner part of the bay and circulated counterclockwise at the observation, *i. e.*, the coastal water in the north-western regions is enriched highly by nutrients of the polluted water being discharged from urban districts, and flows southward along the west coast. Seawater temperature in the surface layer was high in the middle part of the bay, probably due to the solar radiation, and low at the western side of the bay, probably due to the direct influence of freshwater inflow. The fluctuation of hydrogen ion concentration, pH range from 8.4 to 8.9, and redox potential, Eh(mV) range of 443 to 478, in the investigated region showed no retributive profile with the hydrography. Their sporadic distribution might be caused chiefly by the patchiness of microbial activities in seawater.

2. Microbial biomass

The areal distribution of chlorophyll *a* in the surface layer was approximately the same with that of chlorinity (Fig. 4). Higher concentrations of chlorophyll *a* were observed in eutrophied local estuarine areas, especially the maximum value of 135 mg/m³ was found in the region off the River Tama-gawa, where chlorinity was low but inorganic nutrients derived from domestic sewage and municipal wastes were usually high. In these regions, photosynthetic activity of phytoplankton was also high as 238 mg C/m³/hr or 2.1 mg C/mg chlorophyll *a*/hr (Fig. 5 and Fig. 6). The variation of total bacteria was from 3.2 × 10⁶ to 1.5 × 10⁸ per ml seawater (Fig. 7), whereas

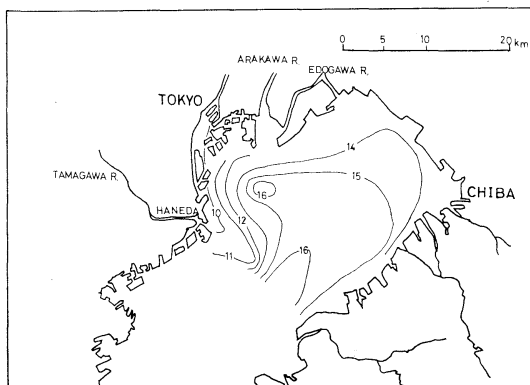


Fig. 2. Horizontal distribution of chlorinity (‰) of the surface layer.

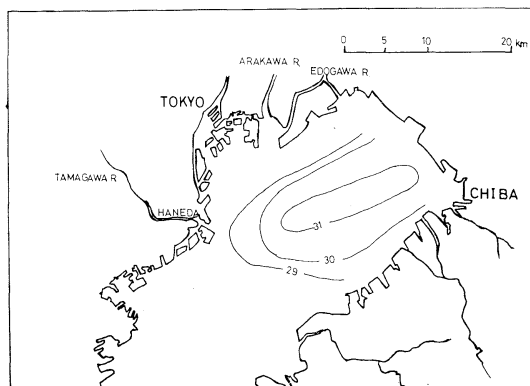


Fig. 3. Horizontal distribution of temperature (°C) at the surface layer.

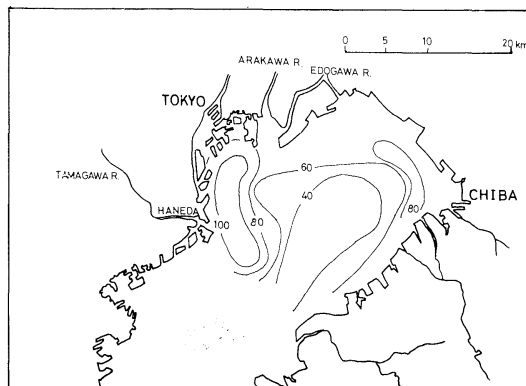


Fig. 4. Horizontal distribution of chlorophyll *a* (mg/m³) in seawater of the surface layer.

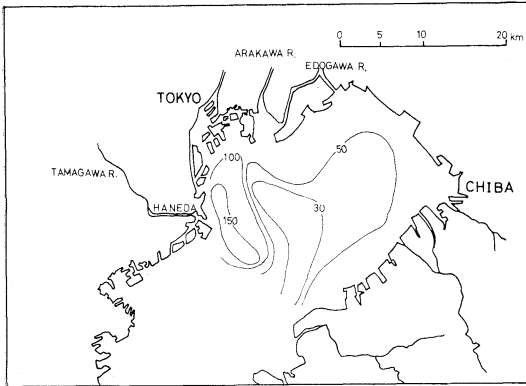


Fig. 5. Primary production (mgC/m³/hr) in the surface layer.

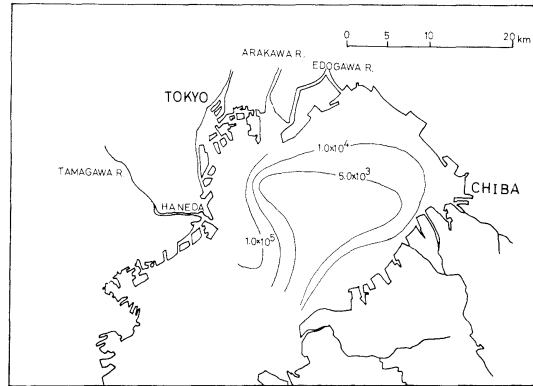


Fig. 8. Horizontal distribution of heterotrophic bacteria enumerated on the freshwater medium (/ml).

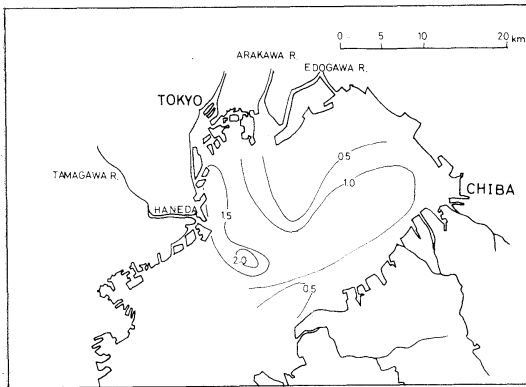


Fig. 6. Maximum attainable rate of photosynthetic assimilation of carbon dioxide (mgC/mg chlorophyll *a*/hr) by phytoplankton in the surface layer.

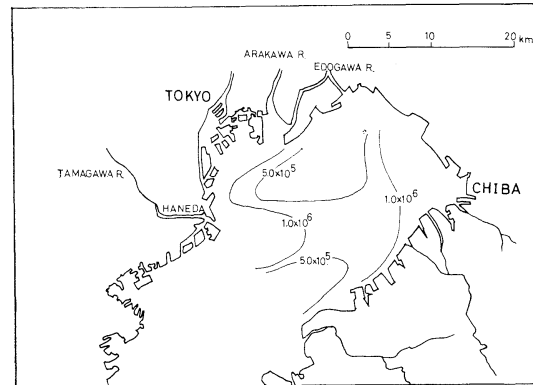


Fig. 9. Horizontal distribution of heterotrophic bacteria enumerated on the seawater medium (/ml).

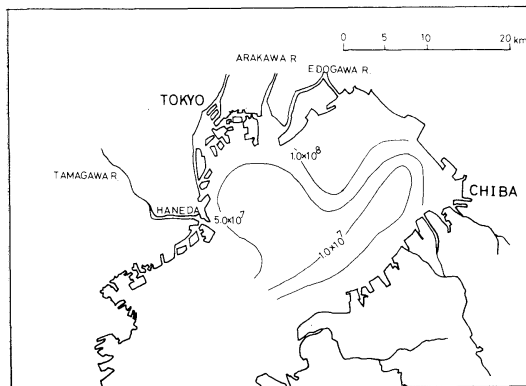


Fig. 7. Horizontal distribution of the density of total bacteria (/ml).

heterotrophic bacteria enumerated on the seawater medium were from 4.4×10^4 to 1.3×10^6 and those enumerated on freshwater medium were from 1.3×10^3 to 1.5×10^6 (Fig. 8 and Fig. 9). The density of total bacteria was higher in more polluted estuarine water and the heterotrophic freshwater bacteria were more numerous in the regions where noticeable amount of freshwater being discharged. Highest density of heterotrophic seawater bacteria was observed in the regions off the both urban districts, Tokyo and Chiba, and the minimum was usually encountered in the oceanic water regions.

The distribution of POC and PON showed very similar pattern as that of chlorophyll *a*,

whereas the similarity was not observed between the distribution of POC or PON and chlorinity. This means that the distribution of particulate organic materials including living phytoplankton is chiefly determined by the feature of spatial distribution of nutrients in the bay.

4. Discussion

The hydrography and distribution of microbial biomass and particulate materials strongly suggest that the gyre in the inner part of Tokyo Bay circulated counterclockwise at the observation. This has been also supported by the distribution of hexadecane decomposers and their activity (SEKI, 1975), *i. e.*, even only the biological survey could show approximate characteristics of the hydrography, especially on microstructure of the areal eutrophication in the inner part of the bay.

The phytoplankton and bacterial biomasses were estimated respectively on the basis of chlorophyll concentration and counted bacterial number (Table 1). Calculations were made by using conversion factors indicated in the foot note of the table. The microbial biomass, phytoplankton and bacteria, was calculated to

be 47 to 178 % of the particulate organic materials in seawater. The values higher than 100 % are probably due to the use of unsuitable conversion factor. Phytoplankton in very eutrophied waters has been shown generally to contain chlorophyll with a few times greater than that normally observed in the oligotrophic or mesotrophic waters (YAMAGUCHI and ICHIMURA, 1972). In our study, such is a case of the samples from hypereutrophic waters off urban districts, thereby the conversion factor of about 30 should be used in hypereutrophic region instead of using 60. Thus the reasonable fraction of phytoplankton biomass will be obtained. The bacterial biomass calculated here may be a minimum estimation because the bacterial biomass in aggregates is neglected in this estimation process due to the technical problems for enumeration as discussed in SEKI (1970).

In conclusion, it is emphasized the need to make a routine biological survey in order to determine the microstructure of the areal eutrophication in the marine environment.

Table 1. Fraction of microbial biomass in particulate materials in seawater of a gyre at the inner part of Tokyo Bay on August 14, 1974.

Station	Chl. $a \times 60^*$ (Phytoplankton) ($\mu\text{gC/l}$)	Total bacteria $\times 8 \times 10^{-11} **$ (Bacteria) ($\mu\text{gC/l}$)	Phytoplankton* + Bacteria** ($\mu\text{gC/l}$)	POC ($\mu\text{gC/l}$)	Phytoplankton* + Bacteria** POC (%)
A	7,344	384	7,728	4,700	164
B	8,112	400	8,512	4,770	178
C	6,942	440	7,382	6,220	119
D	2,340	280	2,620	3,330	79
E	2,088	160	2,248	3,480	65
F	2,670	104	2,774	2,900	96
G	3,870	54	3,924	4,550	86
H	2,214	160	2,374	3,730	64
I	5,466	64	5,530	6,710	82
J	3,084	26	3,110	4,410	71
K	5,004	880	5,884	4,950	119
L	2,346	1,200	3,546	3,800	93
M	8,064	520	8,584	7,540	114
N	4,452	54	4,506	5,110	88
1	2,286	160	2,446	5,240	47
2	2,586	120	2,706	5,270	51

*: PARSONS *et al.* (1969)

** : a bacterial cell = $0.2 \mu^3$ (KRISS, 1963) = $0.2 \times 10^{-6} \mu\text{g}$ (wet) = $0.2 \times 10^{-7} \mu\text{g}$ (dry) = $8 \times 10^{-9} \mu\text{g}$ carbon

Acknowledgments

This work was partly supported as special projects "Studies on the Dynamics of Chemical Compounds in the Ocean No. 910312", "Prevention of Petroleum Pollution in the Sea No. 830406" and "Environment and Human Survival No. 910327" by the Ministry of Education of Japan.

References

- ICHIMURA, S., Y. SAIJO and Y. ARUGA (1962): Photosynthetic characteristics of marine phytoplankton and their ecological meaning in the chlorophyll method. *Bot. Mag. Tokyo*, **75**, 212-220.
- KRISS, A.E. (1963): *Marine Microbiology (deep sea)*. Translated by J. M. SHEWAN and Z. KABATA. Oliver and Boyd, London. pp. 536.
- PARSONS, T.R., K. STEPHENS and R.J. LEBRASSEUR (1969): Production studies in the Strait of Georgia. Part 1. Primary production under the Fraser River Plume, February to May, 1967. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **3**, 27-38.
- SEKI, H. (1970): Microbial biomass on particulate organic matter in seawater of the euphotic zone. *Appl. Microbiol.*, **19**, 960-962.
- SEKI, H. (1973): Microbial respiration in marine environments during summer. *La mer*, **11**, 147-152.
- SEKI, H. (1975): Simulated *in situ* method for measurement of hexadecane decomposition in the marine environment. (in preparation)
- SEKI, H., T. TSUJI and A. HATTORI (1974a): Effect of zooplankton grazing on the formation of the anoxic layer in Tokyo Bay. *Est. Coast. Mar. Sci.*, **2**, 145-151.
- SEKI, H., H. SHINOYAMA, M. MUTO and H. NUMANOI (1974b): Decomposition of particulate organic materials in Tokyo Bay at summer stagnation period in 1972. *La mer*, **12**, 9-15.
- SEKI, H., J. MATSUO, M. YAMASHITA and H. NUMANOI (1974c): Halophilism of microorganisms in the eutrophied bay of Tokyo at the end of summer stagnation period. *La mer*, **12**, 66-71.
- SEKI, H., Y. YAMAGUCHI and S. ICHIMURA (1975): Turnover rate of dissolved organic materials in a coastal region of Japan at summer stagnation period of 1974. *Arch. Hydrobiol.* (in press)
- STRICKLAND, J.D.H. and T.R. PARSONS (1968): *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Ed. Canada, Bull. 167, 1-311.
- TERADA, T. (1975): Production and decomposition of organic matter in Tokyo Bay during summer of 1974. B. Sc. thesis, Tokyo Kyoiku University. (in Japanese)
- TSUJI, T., H. SEKI and A. HATTORI (1974): Results of red tide formation in Tokyo Bay. *J. Wat. Poll. Control Fed.*, **46**, 165-172.
- YAMAGUCHI, Y. and S. ICHIMURA (1972): Dynamic status of primary production in Lake Yunoko, a small eutrophic subalpine lake in central Japan. *Bot. Mag. Tokyo*, **85**, 157-176.

夏季停滞期の東京湾における微生物量の分布様式

寺田卓二, 関文威, 市村俊英

要旨: 東京湾北部環流域において微生物活動が最も顕著である夏季停滞期に、微生物現存量の分布様式に関する調査研究を行った。

クロロフィル *a*, 全細菌数, 従属栄養細菌数, 懸濁態有機炭素量, 懸濁態有機窒素量の分布様式は沿岸水と外洋水の混合様式とよく一致していた。これらの現存量は陸水流入の顕著な水域で高く, 外洋水流入域で低い値を示していた。すなわち, これらの現象は湾内の水平的な富栄養化の進行状態を反映した分布様式を示しているものと考えられる。

養殖ヒロハノヒトエグサの生長と光合成活性の変化*

前川行幸** 有賀祐勝**

Studies on the Growth and the Variation of Photosynthetic Activity of Cultivated *Monostroma latissimum*

Miyuki MAEGAWA and Yusho ARUGA

Abstract: A green alga *Monostroma latissimum* (KÜTZING) WITTRÖCK is cultivated in Japan with a method similar to that in the cultivation of *Porphyra* (red algae). Usually, the cultivation of *M. latissimum* starts in September or October and ends in April next year. The present study is concerned with the changes in photosynthesis and respiration in relation to the growth of cultivated *M. latissimum* population during the cultivation season.

Experimental cultivation nets were seeded by means of natural seeding in September 1972 and 1973, and reared in the cultivation ground in Ise Bay close to Matsusaka City. The net seeded in 1972 was left in the cultivation ground without harvest until next April. In the net seeded in 1973, the algal fronds were partly harvested on December 23.

Standing crop reached the maximum of 3.15 g (d.w.)/10 cm (net yarn) in mid-January (ca. 120 days after seeding). The harvest on December 23 amounted to 1.30 g (d.w.)/10 cm, 73 % of the standing crop at that time. After the harvest standing crop increased to 1.96 g (d.w.)/10 cm in about 50 days. With growth, the dry weight per unit frond area increased gradually from 0.70 to 1.03 mg/cm² during the earlier period of cultivation, thereafter that level being almost constantly maintained. Chlorophyll *a* content of frond on dry weight basis was high (0.65 %) in the earlier period, but decreased gradually to ca. 0.30 % in the latter period. Chlorophyll *a* per unit frond area was about 4 μg/cm² in the first half of the cultivation season and about 3 μg/cm² in the latter half.

At 15°C the light saturation of photosynthesis of single fronds usually occurred at 20-30 klux. No depression of the photosynthetic rate was observed at high light intensity of 100 klux. Light-saturated rate of photosynthesis at 15°C was high (Pn, 30-40 mg O₂/g (d.w.)/hr) in the earlier period of cultivation and decreased gradually to 12-13 mg O₂/g (d.w.)/hr in the latter period. This trend of change seems to be correlated not to the water temperature in the cultivation ground but to the aging of fronds. Light-saturated photosynthetic rate on chlorophyll basis was high (7.0-8.6 mg O₂/mg. Chl. *a*/hr) in such periods as late November-early December, the end of January-February and the end of March, when the relatively high growth rates were observed. Respiratory rate at 15°C varied in the range of 2-5 mg O₂/g (d.w.)/hr without any characteristic trend throughout the cultivation season. Photosynthesis and respiration of the population were measured and compared with those of single fronds at the end of November.

Optimum temperature for photosynthesis deduced from the photosynthesis-temperature curve changed not so much during the cultivation season, being in the range of 25-34°C. Photosynthetic rate at the optimum temperature was high (46 mg O₂/g (d.w.)/hr) in the earlier period. It decreased gradually and reached the level of 20-27 mg O₂/g (d.w.)/hr in the later

* 1974年10月11日受理

** 東京水産大学植物学教室 東京都港区港南 4-5-7
Laboratory of Phycology, Tokyo University of
Fisheries, Konan, Minatc-ku, Tokyo, 108 Japan

period of cultivation. Photosynthetic rate at 5 and 10°C showed slight lowering in the early period, but in December and later it was nearly constant. The influence of temperature on photosynthesis and respiration was examined when the fronds were kept for 8 hrs at various water temperatures of 5-35°C.

Growth rate in dry weight of the population without harvest reached the maximum of 0.046 g (d.w.)/10 cm (net yarn)/day or 6.56 g (d.w.)/m² (net area)/day ca. 83 days after seeding. Relative growth rate on dry weight basis was highest (0.304/day) in the earlier period of cultivation (35 days after seeding). Thereafter, the growth rate and the relative growth rate decreased rapidly. When the fronds were harvested or cut off by wave action, the growth rate became low but increased again to 0.050 g (d.w.)/10 cm/day in 20-30 days.

Population density was high, ca. 100 fronds/10 cm (net yarn), in the earlier period of cultivation. It gradually decreased to ca. 40 fronds/10 cm by late February when the population was left without harvest. When the fronds were harvested, a slight decrease in population density was observed immediately after the harvest, and the population density further decreased to ca. 35 fronds/10 cm by late February.

Distribution of the frond length in the population was examined. In the earlier period a large proportion of the population was occupied by the fronds of 1.1-4.0 mm in length. With growth, proportion of the fronds longer than those increased gradually. The longer the frond length, the higher the relative growth rate in length (max. 0.138/day) in the earlier period, in which the population was composed of the fronds shorter than 7 mm in average length. Thereafter, the fronds with average length of ca. 10 mm showed the highest relative growth rate in length (0.10-0.14/day). The relative growth rate in frond length became gradually lower as the fronds grew old.

1. 緒 論

緑藻ヒロハノヒトエグサ *Monostroma latissimum* (KÜTZING) WITTROCK は、紅藻のアサクサノリ (*Porphyra tenera* KJELLMAN) やスサビノリ (*P. yezoensis* UEDA) などアマノリ属の海藻と同じような方法で養殖されている重要な海藻の一つである。養殖ヒトエグサの主要な産地は徳島、愛媛、三重、大分、愛知、静岡など各県の沿岸で、9月から10月にかけて天然採苗され、翌年5月頃まで養殖される。最近の生産高は、1シーズン当たり枚数にして 1.2-1.8 億枚 (乾重量で 450-675 t) で、養殖アマノリ属の 2~3% 程度であり、近年、生産は減少する傾向があるものの、ノリ佃煮をはじめその他の風味食品の原料として需要は多い。採苗技術については、最近、喜田 (1973)¹⁾ によって人工採苗の手法が確立されたものの、まだほとんど天然採苗に依存しており、全体的な養殖技術もアマノリ属の場合に比べ、やや未発達な段階にあると言える。

ヒトエグサ属藻類の分類学、生殖法及び生活史に関する研究は多く、最近でも喜田 (1967)²⁾ や TATEWAKI (1969)³⁾ など多くの研究が発表されている。しかし、ヒトエグサ属藻類の光合成や呼

吸等に関する生理生態学的研究はほとんどなく、最近、大野、野沢 (1972)⁴⁾ が成熟現象と光合成活性について、また前田、大野 (1972)⁵⁾ が養殖及び天然群落における物質生産について報告しているにすぎず、この方面の研究は充分に行われていないのが現状である。従って、養殖ヒトエグサの生理生態学的な特性を明らかにすることは、植物学的に有意義であるばかりでなく、ヒトエグサ生産の上からも極めて重要であると考えられる。そこで著者らは、養殖ヒトエグサの生長や、その基礎となる光合成及び呼吸の特性を明らかにすることを目的として、次のような研究を行った。

2. 材料と方法

伊勢湾漁場で養殖されたヒロハノヒトエグサ *Monostroma latissimum* (KÜTZING) WITTROCK を材料として用いた。1972年は、9月23日から三重県一志郡香良州町地先 (Fig. 1) で天然採苗したノリ網を、10月3日に松阪市狛師町地先のノリ養殖場の固定柵に移し、翌年4月まで摘採せずに放置した。サンプリングは11月6日から翌年4月19日まで、ほぼ5日おきに行った。ヒロハノヒトエグサの着生している網糸を切り取り、脱水した後

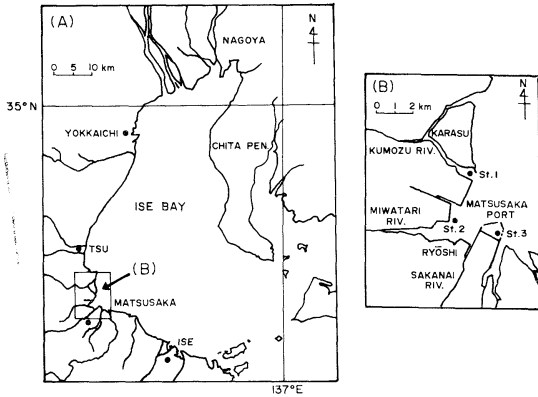


Fig. 1. Maps showing the location of the cultivation ground off Matsusaka City. The places of seeding (St. 1), cultivation (St. 2) and measurements of water temperature and specific gravity (St. 3) are indicated.

アイスボックスに入れ、低温状態で東京に運搬し、光合成、呼吸、現存量、クロロフィル等の測定に供した。また、1973年は9月25日から前記と同一地先で天然採苗し、10月9日に同じ狛師町地先の固定柵に移植したノリ網を用い、12月23日に部分的に摘採を行った。サンプリングは1週間おきに行い、前記と同じようにして東京へ運搬し、着生密度、体長及び現存量の測定に供した。光合成及び呼吸速度の測定は一部は狛師町で行い、東京へ運んだ試料についても行った。

実験室に運ばれた葉体は約60分間ろ過海水に浸漬した後、光合成及び呼吸の測定に供した。光合成測定の場合には、乾重量にして0.01~0.02gの葉体1枚を、また呼吸測定の場合には乾重量にして0.02~0.03gの葉体1枚を、ガラスファイバーフィルター(Whatman GF/C)でろ過した海水を満たした容量約100mlの酸素びんに入れ、種々の光条件(0~100klux)及び温度条件(1~40°C)のもとでインキュベートした。インキュベートの時間は光合成測定の場合には20分間、呼吸測定の場合には30分間であった。ウィンクラー法により、インキュベーション前後の溶存酸素を定量し、その差から光合成及び呼吸の速度を求め、mg O₂/g(d.w.)/hrの単位で表わした。光合成の測定には、光源として白熱電球(東芝フォトリフ

レクターランプ100V, 500Wフラッド)を用い、光源からの距離を変えたり、ガーゼのフィルターを使用することにより照度を調節した。照度は東芝5号照度計を用いて測定した。また、呼吸測定の場合には、酸素びんを黒ビニール布で覆ってインキュベートした。なお、11月6日と11月10日の測定は葉体が小さかったので、数個の葉体を用いて行った。その後のものについては、基部と縁辺部は光合成速度が低いと報告されている(大野, 野沢, 1972)⁴⁾ので、この部分を取り除いて測定を行った。

体長と着生密度の測定は5~10cmの網糸3~4本を用い、網糸に着生するすべての葉体を実体顕微鏡下(×15)ではずして葉長と個体数を測定した。

現存量は網糸からはずした葉体を電気乾燥器(約85°C)で一昼夜乾燥した後、化学天秤で秤量し、網糸10cm当たりの乾重量として求めた。

光合成及び呼吸の測定に用いた葉体は暗くしたデンキケータ内乾燥させ、乾重量、面積及びクロロフィルa量を測定した。乾重量は前記と同様に化学天秤で秤量した。葉体の面積は硫酸紙に葉体の形を写し取り、切り抜いて重さを測定し、硫酸紙の面積と重さとの比から計算して求めた。

クロロフィル量は葉体を乳鉢ですりつぶして90%アセトンで抽出し、分光光度計(島津QV-50)を用いて630, 645, 663, 750nmにおける抽出液の吸光度を測定し、SCOR-UNESCO(1966)⁶⁾の式を用いて算定した。

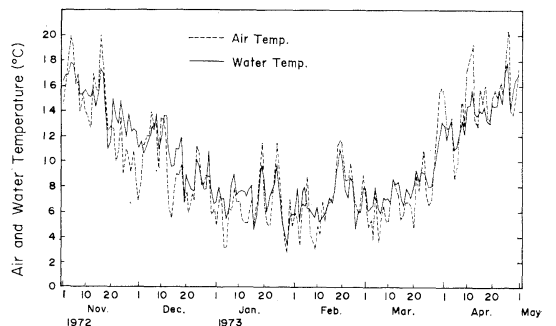


Fig. 2. Surface water temperature and air temperature measured daily at 9:00 a.m. in the Port of Matsusaka.

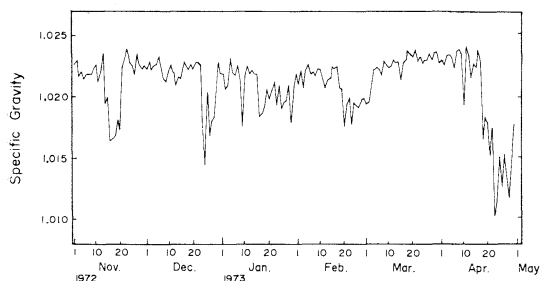


Fig. 3. Specific gravity of surface water measured daily at 9:00 a.m. in the Port of Matsusaka.

漁場の概要: 実験材料のヒロハノヒトエグサを養殖した三重県松阪市狛師町地先の漁場は三渡川と坂内川の河口域にあり、淡水の影響を強く受ける水域である (Fig. 1)。この漁場に近い松阪港における 1972 年 11 月から翌年 4 月までの午前 9 時測定 of 表面水温と気温の変化を Fig. 2 に、また表面海水の比重の変化を Fig. 3 に示した。水温は 11 月初旬には 16°C 前後であったが、徐々に低下し、2 月には 6°C 前後にまで低下し最低となった。その後上昇して、4 月下旬には再び 16°C 前後になった。また、11 月から翌年 4 月までの表面水の比重は 1.010 と 1.024 の間を変動し、平均比重は 1.021 であった。

3. 結果

1. 生長に伴う現存量の変化

実験網上のヒロハノヒトエグサの現存量 (網糸 10 cm 当たりの藻体乾重量) の変化を Fig. 4 に示した。1972 年採苗のものでは葉体は 11 月から 12 月にかけてよく生長し、12 月 20 日 (採苗後約 90 日) には現存量は 1.27 g (d.w.)/10 cm に達した。しかし、その後減少し、1 月 7 日には 0.20 g (d.w.)/10 cm になった。これは、この時期の悪天候による急激な流失のためである。1 月中旬から現存量は再び大きくなり、2 月 14 日には 1.08 g (d.w.)/10 cm となり、以後比較的安定していた。1973 年採苗のものも、初期の生長は前年のものとよく一致しており、現存量は 1 月 19 日 (採苗後約 120 日) に 3.15 g (d.w.)/10 cm となり、以後若干の減少が見られた。現存量 3.15 g (d.w.)/10 cm はノリ

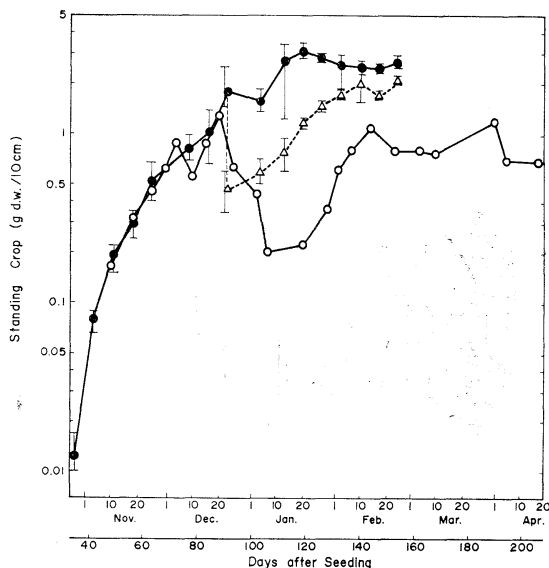


Fig. 4. Changes in the standing crop of cultivated *M. latissimum* population at St. 2.
 —○—: Nov. 1972 - Apr. 1973.
 —●—: Oct. 1973 - Feb. 1974.
 ---△---: after harvest on Dec. 23, 1973.

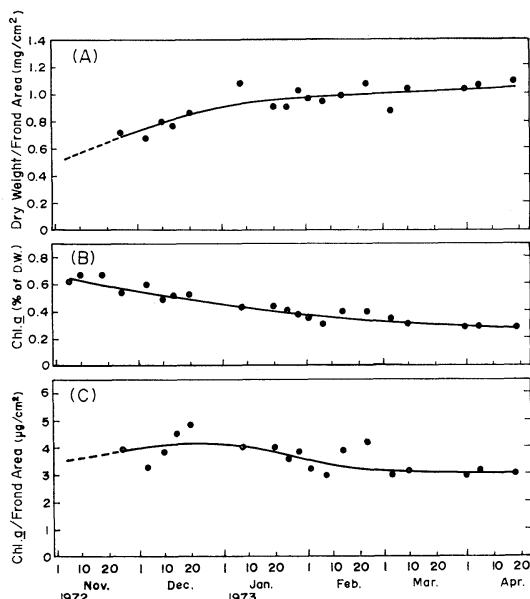


Fig. 5. Changes in dry weight per unit area (A), chlorophyll *a* content on dry weight basis (B) and chlorophyll *a* per unit area (C) of the fronds of cultivated *M. latissimum*.

養殖網 (1.2 m × 18 m) 1 枚の網糸の全長を 308 m として網面積当たりに換算すれば 449 g (d.w.)/m²

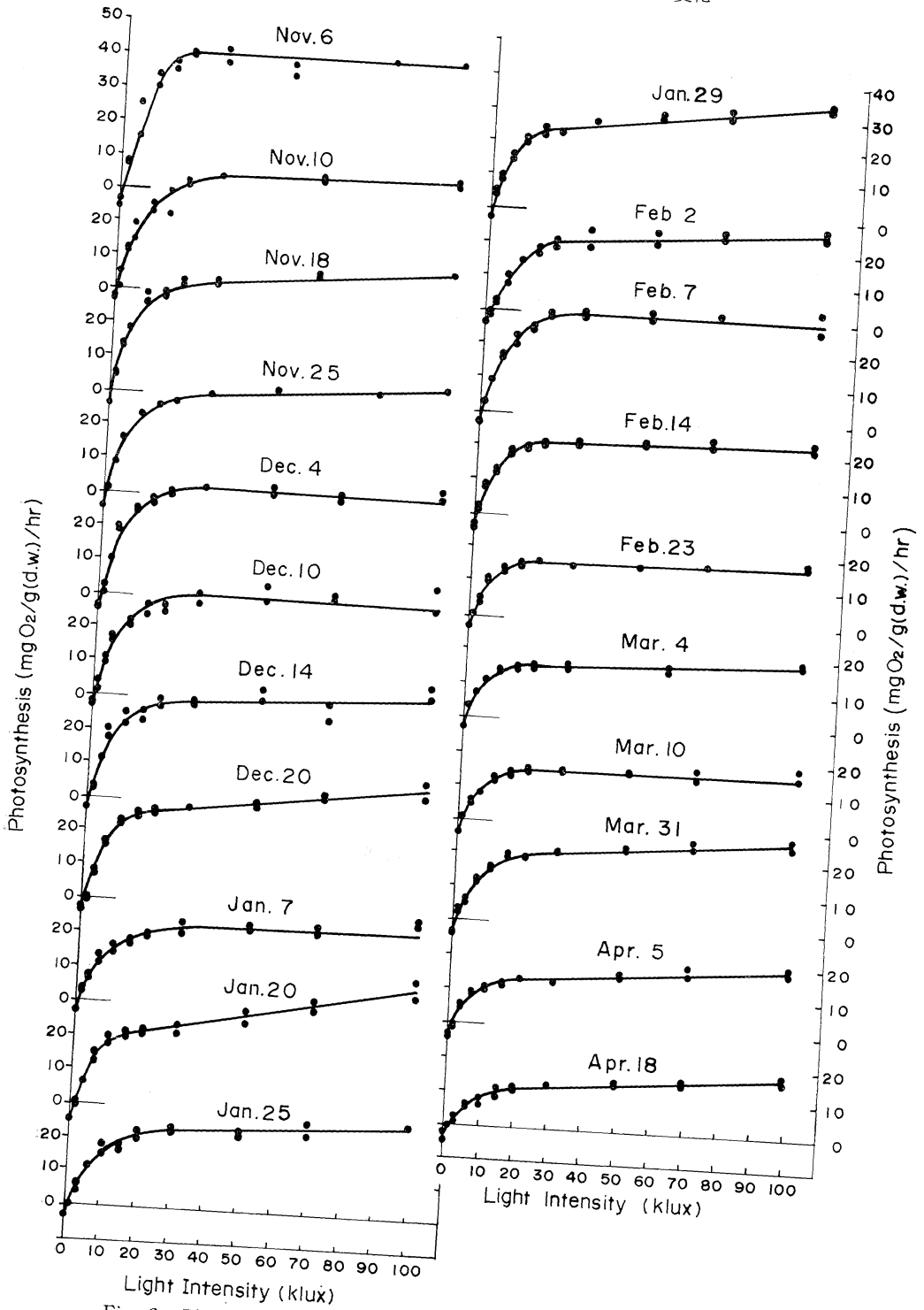


Fig. 6. Photosynthesis-light curves obtained at 15°C with single fronds of cultivated *M. latissimum*, Nov. 1972 - Apr. 1973.

となる。1973年採苗の網で12月23日に一部摘採を行ったが、摘採量は1.30 g (d.w.)/10 cmであり、現存量の約73%が収穫されたことになる。摘採後約50日で現存量は1.96 g (d.w.)/10 cmに達した。

葉体の面積当たりの乾重量は、養殖初期には0.70 mg/cm²あるいはそれ以下から漸次増加して約1.03 mg/cm²に達し、以後はほぼこのレベルを保った (Fig. 5(A))。これとは逆に、乾重量当たりのクロロフィルa含量は、養殖初期には約0.65%と高く、養殖後期に向って徐々に低下し0.3%程度になった (Fig. 5(B))。葉体面積当たりのクロロフィルa含量は、養殖初期から前半にかけて高く(約4 μg/cm²)、後期には3 μg/cm²程度ではほぼ一定する傾向が見られた (Fig. 5(C))。

2. 葉体の光合成及び呼吸の活性

1) 照度との関係

水温15°Cで、種々の照度のもとで測定された光合成速度をもとに作成した光合成-光曲線をFig. 6に示した。光合成速度は20~30 kluxで大体飽和に達するが、光飽和点が明確でなく、100 kluxまでわずかではあるが光合成速度が徐々に上昇し続ける場合があった。また、100 kluxまでの範囲内で、光合成の強光阻害は見られなかった。光飽和(または30 klux)での光合成速度(Pn)は、Fig. 7に示すように11月初旬には高い値(30~40 mg O₂/g (d.w.)/hr)を示したが、次第に低下し、1月初旬には23 mg O₂/g (d.w.)/hrになっ

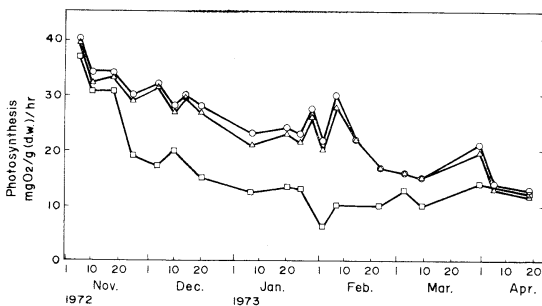


Fig. 7. Changes in the photosynthetic rates of single fronds of cultivated *M. latissimum*.

—○—: 15°C-30 klux, } from photosynthesis-light curves.
 —△—: 15°C-20 klux, }
 —□—: *in situ* temp.-20 klux, from photosynthesis-temperature curves.

た。しかし、その後光合成速度は高くなり30 mg O₂/g (d.w.)/hrまで上昇したが再び低下し、4月には12~13 mg O₂/g (d.w.)/hrになった。また、20 kluxでの光合成速度も、これと同じ傾向で変化した (Fig. 7)。これに対し、後述する光合成-温度曲線から読み取った現場水温での20 kluxにおける光合成速度は養殖初期から中期に向って急激に低下したが、中期から末期にかけては10~15 mg O₂/g (d.w.)/hrであり大きな変動は見られなかった (Fig. 7)。

光合成-光曲線作成の際に15°Cで測定した呼吸速度の養殖期間中の変化をFig. 8に示した。呼吸速度は養殖初期に若干高いようであるが、全期間を通じて特定の傾向は認められず、2~5 mg O₂/g (d.w.)/hrの間を変動した。

葉体の乾重量当たりの光合成速度は前述のように生長に伴って徐々に低下するが、葉体のクロロフィルa含量もFig. 5(B)に示したように生長に伴って漸次低下するから、クロロフィルa当りの光合成活性がどのような経過をたどっているかは興味あるところである。そこで、15°C 30 kluxに

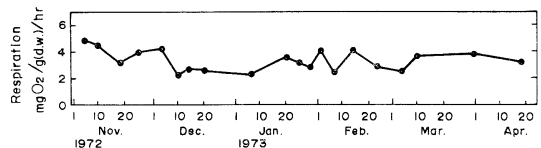


Fig. 8. Changes in the respiratory rate at 15°C of cultivated *M. latissimum* fronds deduced from the photosynthesis-light curves.

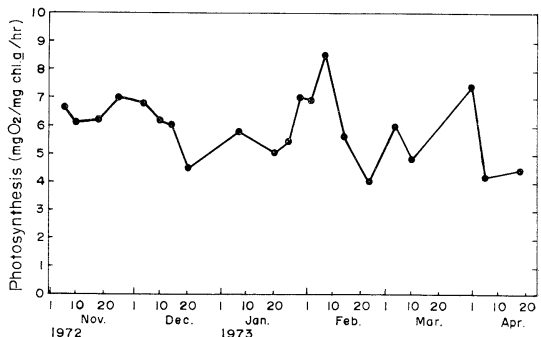


Fig. 9. Changes in the light-saturated rate of photosynthesis per chlorophyll *a* of single fronds of cultivated *M. latissimum*.

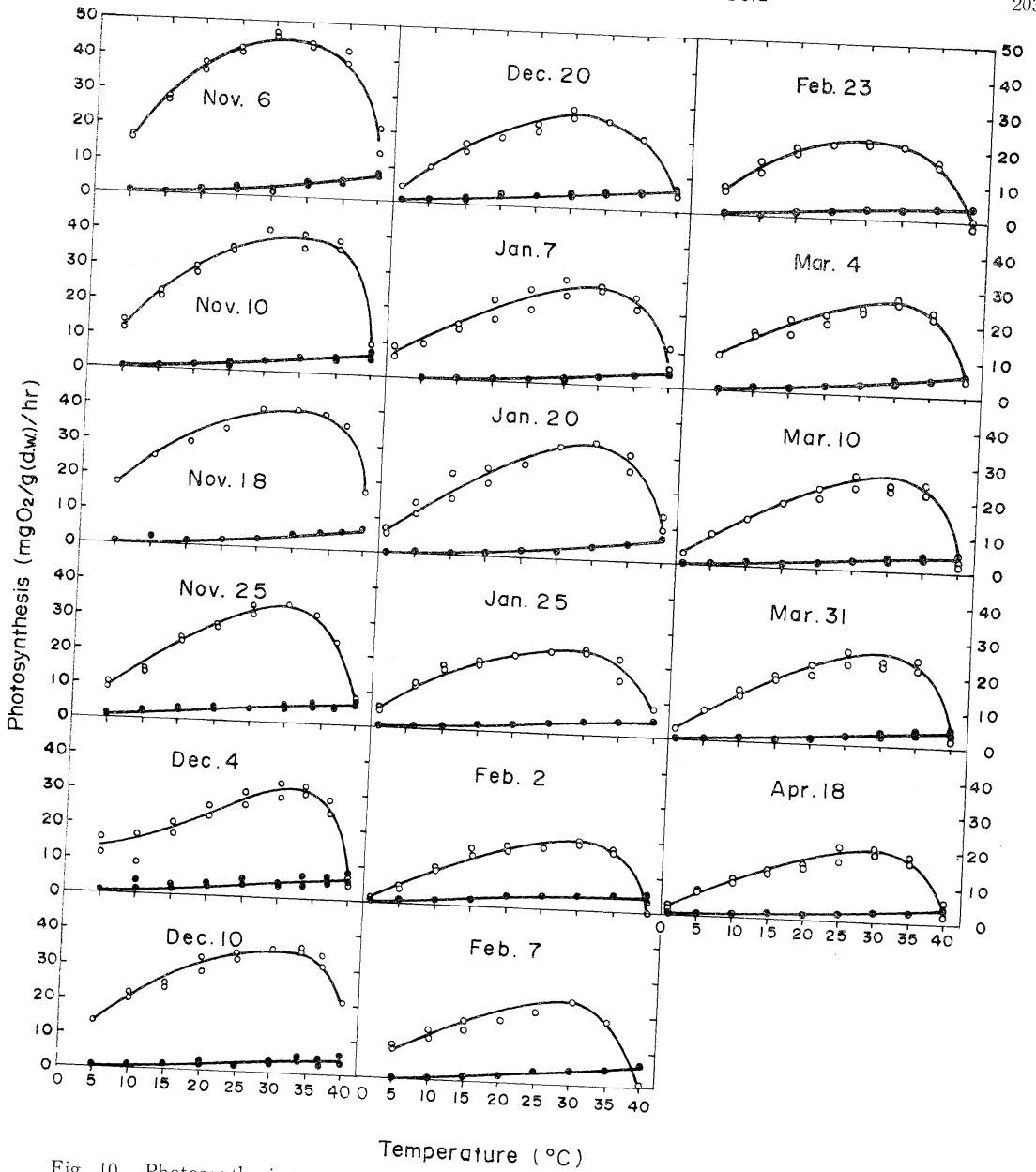


Fig. 10. Photosynthesis-temperature curves at 20 klux (—○—) and respiration-temperature curves (—●—) of single fronds of cultivated *M. latissimum*, Nov. 1972 - Apr. 1973.

おけるクロロフィル *a* 当たりの光合成速度を求め、その経過を見たのが Fig. 9. である。この図から明らかなように、クロロフィル *a* 当たりの光合成活性は特徴的な変動を示し、養殖期間中の時期にはあまり関係なく、むしろ生長速度の比較的高かった11月下旬~12月上旬、1月末~2月上旬、

及び3月末などに高い活性が認められることは非常に興味深い。2月上旬には、最高 8.6 mg O₂/mg Chl. *a*/hr の光合成速度が記録された。最低値は 4.0 mg O₂/mg Chl. *a*/hr であった。

2) 温度との関係

照度 20 klux のもとで、1~40°C の範囲の種々

の温度で測定した光合成速度及び呼吸速度をもとに、光合成-温度曲線及び呼吸-温度曲線を得た (Fig. 10)。光合成速度は水温が上昇するにつれて次第に高くなり、25~35°C で最高値を示し、更に水温が上昇すると急激に低下した。

養殖初期の光合成-温度曲線は勾配が急であるが、養殖期間が進むにつれて勾配が緩やかになった。これは高温域での光合成速度はかなり低下するのに対し、低温域 (5~10°C) での光合成速度はあまり大きく低下しないためである (Fig. 10 及び Fig. 14 参照)。

光合成-温度曲線で見られる適温は養殖期間を通じてあまり大きく変動せず、25~34°C の間で変動し、現場水温との相関は見られなかった (Fig. 11)。このような光合成の適温における光合成速度は Fig. 12 に示すように、養殖初期には 46 mg O₂/g(d.w.)/hr と高く、その後漸次低下して後期には 20~27 mg O₂/g(d.w.)/hr となり、全体的な傾向は Fig. 7 に見られる 15°C 30 klux での光合成

速度の変化と比較的よく似ていた。しかし、5°C 及び 10°C における光合成速度は初め若干の低下を示すものの、12月以後には著しい低下は認められなかった (Fig. 13)。

呼吸速度は Fig. 10 に示したように、40°C までの範囲では温度の上昇とともにほぼ直線的に高

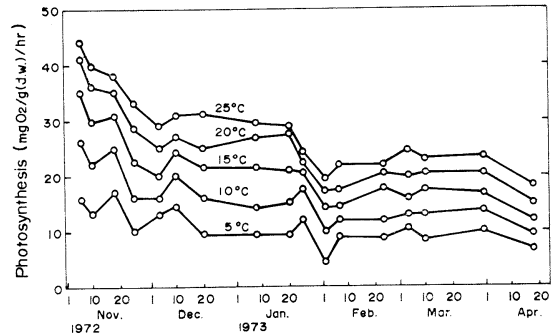


Fig. 13. Changes in the photosynthetic rates at 5, 10, 15, 20 and 25°C under 20 klux of single fronds of cultivated *M. latissimum* deduced from the photosynthesis-temperature curves.

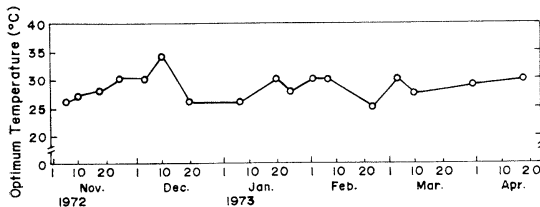


Fig. 11. Changes in the optimum temperature for photosynthesis of single fronds of *M. latissimum* deduced from the photosynthesis-temperature curves.

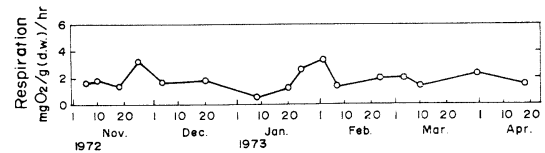


Fig. 14. Changes in the respiratory rate at 15°C of cultivated *M. latissimum* fronds deduced from the respiration-temperature curves.

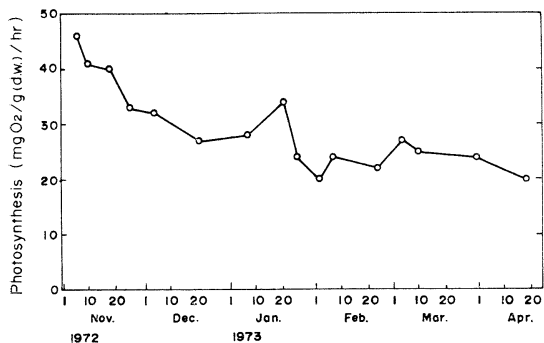


Fig. 12. Changes in the photosynthetic rate at optimum temperature of cultivated *M. latissimum* fronds deduced from the photosynthesis-temperature curves.

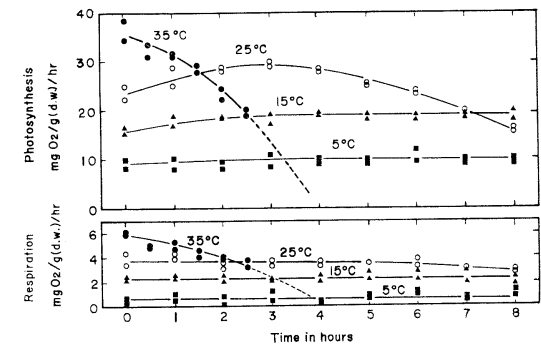


Fig. 15. Changes in the rates of photosynthesis (at 20 klux) and respiration at different temperatures of single fronds of cultivated *M. latissimum* when they were kept at respective different temperatures of 5-35°C under 20 klux for 8 hrs.

まった。15°Cでの呼吸速度の変化を Fig. 14 に示したが、前述の Fig. 8 の場合とは必ずしも一致せず、0.5~3.3 mg O₂/g (d.w.)/hr の間で不規則に変動した。

上述の光合成-温度曲線や呼吸-温度曲線は、ある水温で生育していた葉体を種々の温度に移した直後の光合成や呼吸の速度の変化を示しているわけで、それぞれの温度に長時間おかれた場合には、必ずしもこれと同じ結果になるとは限らないものと思われる。そこで、現場水温約 10°C のときに採取した葉体を 8 時間にわたって 5, 15, 25, 35°C に保った海水中におき、光合成及び呼吸の測定を試みた。その結果を Fig. 15 に示す。35°C では光合成速度も呼吸速度も初めは最も高い値を示したが、時間の経過とともに急激に低下し、4 時間後には活性が失われたものと推定される。25°C では光合成速度は初め上昇するが、3 時間後を境にして更に時間が経過すると逆に低下が始まり、8 時間後には 15°C の光合成速度より低い値を示した。25°C の呼吸速度は 5 時間後からわずかな低下を示した。15°C 及び 5°C における光合成速度は初め若干の上昇が認められるが、以後ほぼ一定の値を保っていた。また、15°C 及び 5°C の呼吸速度もほぼ一定に保たれた。従って、時間効果を考慮すると、この場合初めは高い光合成速度を示しても、35°C ではもちろん、25°C でも決して好適な温度であるとは言えない。

3. 個体群の光合成

上に述べた光合成特性はヒロハノヒトエグサの単一葉体 (single frond) について明らかになったものであった。従って、個体群としての光合成特性に関しては、更に研究する必要があると思われる。そこで、個体群としての光合成特性を知る目的で、1973 年 11 月 25 日に同一葉齢のヒロハノヒトエグサを用い、前述の方法で測定した単一葉体の光合成及び呼吸の速度と、SATOMI *et al.* (1967)⁷⁾ が *Porphyra* で用いたのと同じ約 1,000 ml の大容器に、葉体の着生する 5~7 cm の網糸を入れて測定した個体群としての光合成及び呼吸の速度とを比較した。15°C 20 klux における単一葉体の光合成速度は 31~38 mg O₂/g (d.w.)/hr であ

り、これに対して個体群の光合成速度は 13~19 mg O₂/g (d.w.)/hr であった。また、単一葉体の呼吸速度は 3.5~4.4 mg O₂/g (d.w.)/hr であり、個体群の呼吸速度は 4.0~4.2 mg O₂/g (d.w.)/hr でほぼ同じであった。個体群内では個々の葉体が大きくなれば、自己被陰 (self-shading) により光条件が均一でなくなることが、上記のような光合成速度の差異を生ずるのに大きく効いているものと考えられる。

ヒロハノヒトエグサの個体群としての光合成速度はまだ十分に研究されていないが、個体群の生産や生長を推定したり解析したりする上で極めて重要であり、種々の生育段階で今後更に詳細に測定し検討する必要がある。

4. 個体群の生長

1972 年も 1973 年もほぼ同じ時期に採苗されているので、Fig. 4 に示した両年の現存量の変化をもとにして、2 月下旬 (採苗後約 150 日) まで摘採せずに放置した場合、摘採した場合及び流失後の養殖ヒロハノヒトエグサ個体群の生長 (現存量の増加) 曲線を描き、重量生長の比較を試みた。

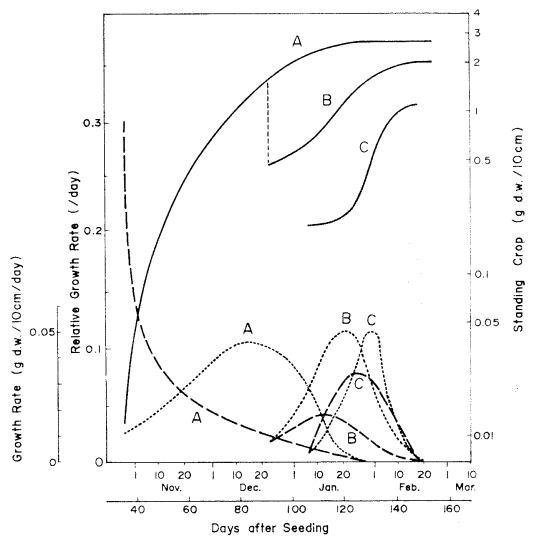


Fig. 16. Changes in standing crop (—), growth rate (-----) and relative growth rate (----) of cultivated *M. latissimum* population.

A: without harvest.

B: after harvest on Dec. 23, 1973.

C: after cut off by wave action during Dec. 1972 - Jan. 1973.

その結果を Fig. 16 に示す。生長速度 (g(d.w.)/10 cm/day) は、摘採せずに放置した場合には採苗後 83日頃が最も高く (0.046 g(d.w.)/10 cm/day, ノリ網面積当たりに換算すれば 6.56g(d.w.)/m²/day), その後は比較的急激に低下した。相対生長率 (g/g/day) は現存量の測定開始直後 (採苗後約35日) が高く (0.304), その後急激に低下した。摘採後及び流失後の生長速度は短期間 (20~30日) で摘採前の最高成長速度より高い 0.050 g(d.w.)/10 cm/day に達した。また、摘採後の生長率も、摘採せずに放置した場合の個体群の生長率より高い値を示した。

生長に伴う個体群密度の変化を Fig. 17 に示した。密度は網糸 10 cm 当たりの葉体数として表わしてある。養殖初期の 10 月から 11 月にかけては 100 個体/10 cm 前後あったものが、その後短期間のうちに減少して 70 個体/10 cm 程度になり、このレベルが 12 月中頃まで保たれたが、12 月下旬からは漸次減少して、2 月下旬には 40 個体/10 cm 前後となった。これは二次芽を出すことのできるアマノリ属の場合の 1/10 程度である。12 月 23 日の摘採によって密度は若干低くなった模様で、以後摘採されたものは摘採せずに放置したものに比べて常に低く、徐々に減少して 2 月下旬には 35 個体/10 cm 前後となった。

一方、体長組成の変化を見るために、対数目盛を等間隔に切って、葉長が 0.25~0.40, 0.41~0.63, 0.64~1.0, 1.1~1.6, 1.7~2.5, 2.6~4.0,

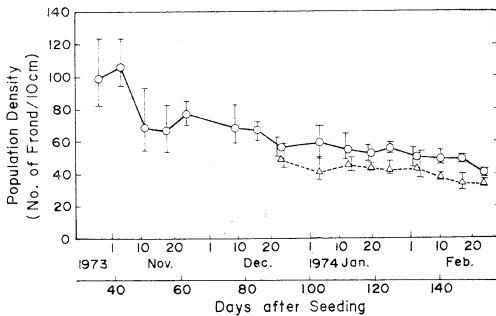


Fig. 17. Changes in the population density (number of fronds/10 cm of net yarn) of cultivated *M. latissimum*.

—○—: without harvest.
--△--: after harvest.

4.1~6.3, 6.4~10, 11~16, 17~25, 26~40, 41~63, 64~100, 101~160, 161~250 mm の範囲にはいる葉体数を数え、その分布を示したのが Fig. 18 である。10月28日には葉長 1.1~4.0 mm の個体の占める割合が非常に大きく、11月4日には 1.7~10 mm の個体が多かった。その後、葉長による個体差が大きくなり、11月中旬には 2.6~

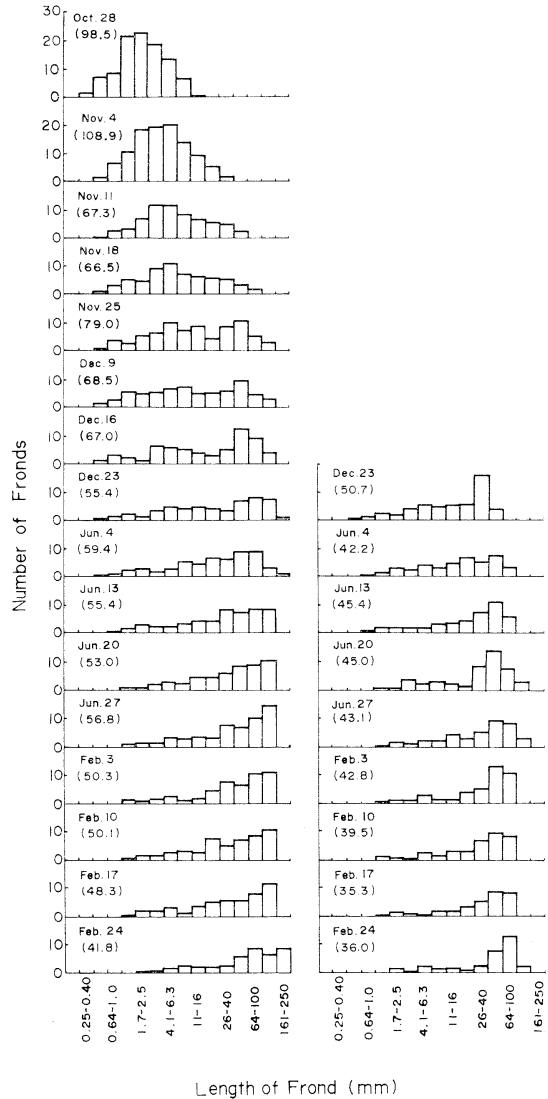


Fig. 18. Changes in the distribution of fronds to the frond length classes in cultivated *M. latissimum* population, Oct. 1973 - Feb. 1974. The figures in parentheses indicate the mean density (number of fronds/10 cm of net yarn).

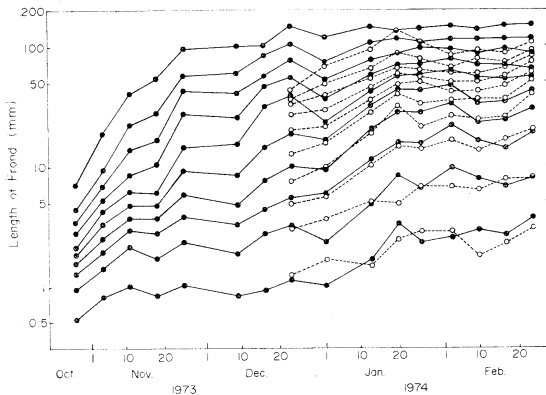


Fig. 19. Changes in the mean length of *M. latissimum* fronds when classified evenly into ten classes according to their frond length.

—●—: without harvest.
 --○--: after harvest.

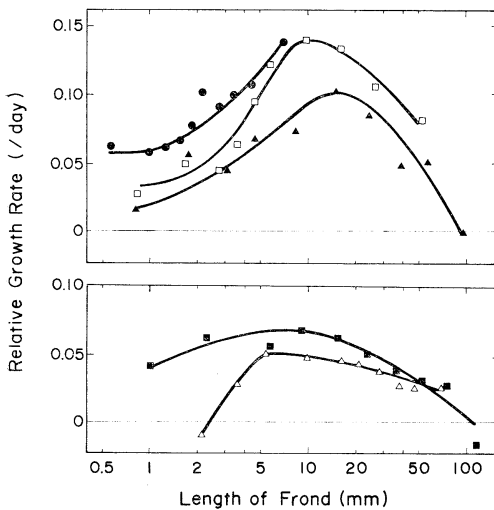


Fig. 20. Comparison of the relative growth rate in length of the fronds of *M. latissimum* at various stages of the growth, calculated from Fig. 19.

—●—: Oct. 28 - Nov. 4.
 —□—: Nov. 18-25.
 —▲—: Dec. 9-16.
 —■—: Jan. 1-13.
 —△—: Jan. 1-13 (after harvest).

6.3 mm の個体が比較的多いものの、その割合はそれほど大きくなく、むしろ生長して 100 mm までの個体がだんだん多くなっていく傾向が見られた。11月下旬から1月初めまでの期間には 160 mm あるいは 250 mm までの大形の個体が見られ、

40 mm 以上の個体が目立つが、25 mm 以下の小さな個体も相当多く存在していることが明白である。12月23日の摘採（機械摘み）によって 64 mm 以上の個体はなくなったが、普通 40 mm 前後のところを境にして摘採されているものと見られる。摘採後10日から2週間程度経過すると 100 mm に達する個体が見られ、その後も生長は続くが、101~160 mm の個体の割合は非常に少なかった。摘採後は生長に伴って葉長の短い個体の占める割合が徐々に少なくなり、葉長の長い個体が多くなっていくが、これと同じような経過は摘採せずに放置した個体群でも見られた。

Fig. 18 に示した体長組成の変化から、葉長による生長速度の違いが推測される。そこで、葉体を体長順に並べて10階級に等分し、それぞれの平均葉長を求め、生長に伴う各階級ごとの平均葉長の変化を比較した (Fig. 19)。かなりの変動はあるが、全体として見ると、各階級とも初期の生長速度は高く、生長が進むにつれて生長速度が徐々に低くなり、後期には見かけ上ほとんど生長が見られなくなる。また葉長階級別に見ると、葉長の長い個体の生長がよく、葉長の短い個体ほど生長が悪いような傾向がうかがわれる。この点を更に明確にするために、10月28日~11月4日、11月18日~25日、12月9日~16日、1月1日~13日のそれぞれの期間について、1日当たりの長さの相対生長率 (r) を次式より求めた。

$$r = (\log_e l_2 - \log_e l_1) / (t_2 - t_1)$$

l_1 : t_1 日の葉長 (mm)

l_2 : t_2 日の葉長 (mm)

その結果を Fig. 20 に示す。養殖初期の10月28日~11月4日には (10月28日の平均葉長は 7 mm までであった) 相対生長率は葉長の長いものほど大きく (最高 0.138)、11月18日~25日には平均葉長 10 mm のものが、また12月9日~16日には平均葉長 15 mm のものが最も高い相対生長率 (それぞれ 0.140 及び 0.101) を示した。1月1日~13日については、摘採しない場合と摘採した場合の相対生長率を求めた。このように、相対生長率は、養殖初期を除き、小形のものでも大形のものでも低く、中間のものが高い値を示したが、生長

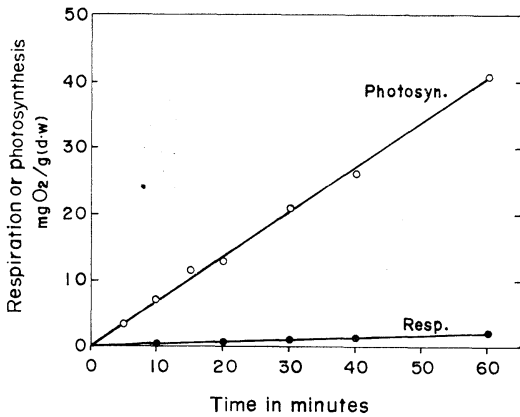


Fig. 21. Time course of photosynthesis (at 20 klux) and respiration at 15°C of single fronds of cultivated *M. latissimum*.

が進むにつれていずれの場合にも生長率が低下していくのが明白に見られる。これは、小形の葉体は個体群の中にあつて光条件等が悪く、大形の葉体は波浪等により先端部が流失しやすいために、見掛け上このようになるものと考えられる。また、Fig. 19 で明らかのように、12月23日の摘採のあと約4週間にわたって、いずれの葉長階級においても明白な葉長の伸びが認められた。

4. 考 察

一般に大形の藻類を 100 ml 前後の小形のびんに入れて、溶存酸素法を用いて光合成や呼吸の測定を行うことに関しては、天然と著しく異なる条件を生じやすく、種々の問題があると言われている。従つて、この研究ではできるだけ少量の藻体をびんに入れるように注意し、またインキュベートする時間もできる限り短くするように努力した。約 0.03 g の葉体を用いて、15°C 20 klux または暗所で光合成と呼吸を測定した時の経時変化を Fig. 21 に示した。この図から明らかのように、インキュベートする時間が1時間以内では光合成速度も呼吸速度も一定であり、前述の測定においては、0.01~0.03 g の葉体を 20~30 分間インキュベートしているので、特にこの方法で得た値が問題になることはないと考えられる。

また、光合成や呼吸の測定に用いた試料は伊勢湾の漁場からアイスボックスに入れ、20~30時間

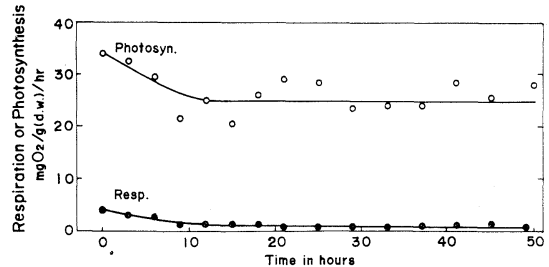


Fig. 22. Changes in the activities of photosynthesis (at 20 klux) and respiration at 15°C of cultivated *M. latissimum* fronds when they were drained and enclosed in a box under low temperature of ca. 2°C for various lengths of time to 50 hrs.

かけて東京の実験室に運ばれたものであるから、この間に光合成や呼吸の活性が著しく変化しているとすれば、測定結果の信頼度が極めて低くなることが心配される。そこで、この運搬による影響を調べるため種々の時間アイスボックスに入れておいた葉体を用いて、約50時間にわたって光合成及び呼吸速度を測定した。その結果を Fig. 22 に示す。光合成活性は初めの12時間で25%程度低下したが、その後はほとんど変化なく一定の値を保っていたものと見られる。また、呼吸は初めの12時間で75%程度のかかなり大きな低下が認められ、その後はほとんど変化なく一定であった。この結果から、前述の測定結果では光合成速度も呼吸速度も恐らく少し低めの値になっている可能性があつて若干問題が残るが、生長に伴う変化の傾向は信頼してよいものと考えられる。

この実験で用いた養殖ヒロハノヒトエグサ個体群の現存量は前述のように採苗後約120日で最高に達し、3.15 g (d.w.)/10 cm になった。養殖アマノリ属では、採苗後60~90日で最大現存量約1 g (d.w.)/10 cm 程度になる(吉田ら, 1964⁸⁾; SATOMI *et al.*, 1967⁷⁾)と報告されているが、近年はノリ養殖技術の著しい進歩の効果もあつて、1974年2月に採苗後約80日(養殖網冷蔵期間を除く)で4.05 g (d.w.)/10 cm の高い値が得られている(前川, 未発表)。これと比較すると、ヒロハノヒトエグサでは生長が相当遅いようである。前田、大野(1972)⁹⁾は高知県浦の内湾の固定柵のヒ

Table 1. Maximum standing crop of cultivated *Monostroma* populations obtained in different cultivation grounds.

Place	Date	Standing crop		Cultivation facilities	Species
		g(d.w.)/ 10 cm (net yarn)	g(d.w.)/ m ² (net area)		
Ise Bay (Mie Pref.)	Dec. 20, 1972	1.27	178	Pole system, fixed type	<i>M. latissimum</i>
	Mar. 18, 1973	0.95	133		
	Mar. 18, 1973	1.13	158		
	Jan. 19, 1974	3.15	449		
Matoya Bay (Mie Pref.)	Mar. 19, 1973	0.72	100	Pole system, fixed type	<i>M. latissimum</i>
		1.18	165		
		1.08	151		
		2.56	358		
		1.70	238		
Uranouchi Bay* (Kochi Pref.)	Feb. 24, 1971	3.87	469	Pole system, fixed type	<i>M. nitidum</i>
	Mar. 10, 1971	4.60	593	Floating system	
	Mar. 10, 1971	—	270	Natural population	

* Calculated from the data by MAEDA and OHNO (1972).

トエグサ (*Monostroma nitidum*) について2月に 3.87 g (d.w.)/10 cm, 浮き流し網で3月に 4.60 g (d.w.)/10 cm という高い値を得ている。また、伊勢湾(松阪市狛師町地先)や的矢湾の漁場では、ほぼ最大に達していると思われる時期の現存量は 1~3 g (d.w.)/10 cm 程度であった (Table 1)。網の大きさと一枚の網の網糸の長さを考慮して求めた網面積当たりの現存量は、伊勢湾漁場では 133~449 g (d.w.)/m², 的矢湾漁場では 100~358 g (d.w.)/m² であり、前田, 大野 (1972)⁵⁾ による浦の内湾の実験網での値は、固定柵で 469 g (d.w.)/m², 浮き流し網で 593 g (d.w.)/m² と高く、天然群落では 270 g (d.w.)/m² であった (Table 1)。このような現存量の違いは、漁場環境, 測定時期, 種などの差異によってもたらされるものと考えられる。また、漁場では一般に現存量が最大に達する前に摘採が行われていると考えられるので、前田, 大野 (1972)⁵⁾ や本実験の場合の実験網上で得られたような大きな現存量は見られないものと思われる。しかし、詳細についてはなお今後の研究にまたなければならぬ。

現存量は真の生長量と種々の要因の影響を受けて失われていく流失量とのバランスとして具現されるものであり (cf. ICHIMURA, 1971)⁹⁾, 藻体が生長してある程度の大きさになると、流失量はかなり多いものと推定される。例えば、片田ら (1969)¹⁰⁾ は養殖アマノリ属について1日当たりの

純生産のうち、日齢(採苗後の日数)50日で約50%, 60日で約70%, 70日では約80%の流失があると算定している (cf. SATOMI *et al.*, 1967)⁷⁾。ヒロハノヒトエグサの場合にも同様に相当大きな流失があると推定されるが、詳細については今後の研究にまたなければならぬ。

養殖ヒロハノヒトエグサの光合成や呼吸の活性は、養殖アマノリ属やその他の葉状の藻類と比較して一般に著しく異なることはない (cf. SATOMI *et al.*, 1968¹¹⁾; YOKOHAMA, 1973¹²⁾)。光合成-光曲線から読み取った 15°C 30 klux における光合成速度と環境水温との関係 (Fig. 23) を見ると、

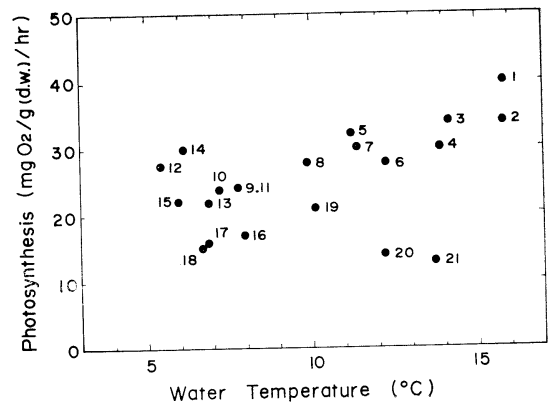


Fig. 23. Relation of the photosynthetic rate at 15°C and 20 klux of *M. latissimum* fronds to the *in situ* water temperature of the cultivation ground. 1-4: Nov., 5-8: Dec., 9-12: Jan., 13-16: Feb., 17-19: Mar., 20 and 21: Apr.

11~1月の光合成速度の低下は、この時期の環境水温の低下とよく関連しているように見える。しかし、水温が上昇する3~4月になっても光合成速度は高くなり、むしろわずかながら低下する傾向が見られる。養殖ササビノリの場合にも、養殖初期には光合成活性と環境水温との間に見掛け上の相関が認められるが、SATOMI *et al.* (1968)¹¹⁾は、光合成活性の低下は環境水温よりむしろ葉齢に関係していると報告している。また、池森 (1971)¹³⁾もウミウチワで葉齢とともに光合成活性が低下することを見ている。この研究で用いたヒロハノヒトエグサの場合にも、光合成活性の低下は葉齢が進むことによるものと思われる。

光合成-温度曲線に見られる光合成の最適水温は、環境水温が5~10°Cに下っても25~34°Cであまり変化を示さず、植物プランクトン (ARUGA, 1965)¹⁴⁾で見られたような環境水温との相関は見られなかった。YAKOHAMA (1973)¹²⁾は多くの海藻について光合成-温度曲線を求め、特に緑藻は冬季においても光合成の最適水温が25~30°Cであり、35°Cでもかなり高い光合成活性が維持されると述べており、ヒロハノヒトエグサの場合とよく似た光合成-温度曲線を報告している。HEALEY (1972)¹⁵⁾は氷の下から採集された3種の海藻 (*Cheatomorpha*, *Fucus*, *Halosaccion*)でも、光合成の最適水温は20~25°Cであることを見ている。しかしながら、これらの測定結果はある水温の所に生育していた海藻を、種々の異なる水温の海水に移した後の比較的短時間のうちに見られる光合成の反応であり、種々の温度に長時間さらされた場合には必ずしも同様の結果になるとは限らない。長時間にわたる場合の光合成の変化の一例を既に述べたが (Fig. 15), このような点に関して更に多くの実験結果を集積することが望まれる。ADEY (1970)¹⁶⁾は高緯度地方の数種のサンゴモが5~10°Cで最も高い生長速度を示すと報告しており、他の諸条件とも関連するが、生長の最適水温は光合成の最適水温よりある程度低い所にあるものと思われる。

養殖ヒロハノヒトエグサの摘採は一般に現存量が最大になる少し前に行われていると考えられる

が、この実験で行った12月23日の摘採では現存量1.77 g (d.w.)/10 cmのところから1.30 g (d.w.)/10 cmが摘採された。この摘採量は現存量の約73%に当たる。前田、大野 (1972)⁹⁾の場合には、12月27日に0.75 g (d.w.)/10 cmが摘採されている。摘採前後の着生密度を比較すると (Fig. 17), 摘採により葉体の密度は約10%低下していることがわかる。これは恐らく、機械摘みによる芽いたみが原因で流失した個体があるためと推測される。芽いたみを起こすことの少ない摘採方法が望ましいが、摘採時のヒロハノヒトエグサの着生密度は二次芽を出すことのできるアマノリ属に比べて約1/10程度と非常に低く、手摘みでは半数ぐらいの葉体が基部から採集されると養殖アマノリ属の場合に言われていること (吉田ら, 1964⁸⁾) を考慮すると、着生密度が低くしかも二次芽を出さないヒロハノヒトエグサの場合には、やはり葉体の上部のみを切り取ることでできる機械摘みが望ましいと考えられる。

摘採前後の体長組成の変化 (Fig. 18)を見ると、摘採された個体は葉長25~40 mm以上の個体であり、いま仮に25 mm以上の個体が全部摘採されたものとする、これらは網糸10 cm当たり平均27.4個体で、全個体数の47.6%に当たる。摘採の対象とならない25 mm以下の個体の割合は、喜田 (1967)²⁾が指摘しているように、体長組成の測定を行った全期間を通じていつも相当に大きかった。しかし、前田、大野 (1972)⁹⁾はヒトエグサ (*M. nitidum*) について養殖期間中の体長組成の変化を調べているが、摘採期には25 mm以下の小形群を認めていない。吉田ら (1964⁸⁾) 及び YOSHIDA (1972)¹⁷⁾は養殖アマノリ属について同じように体長組成の変化を調べているが、養殖期間を通じて小形群が相当あることを見ており、二次芽を出すアサクサノリ (*Porphyra tenera*) の体長組成には、大形群と主に二次芽による小形群とからなる双峰性が見られ、二次芽を出さないウップルイノリ (*P. pseudolinearis*) の場合には小形群はあっても双峰性が見られないとしている。この研究で用いた二次芽を出さないヒロハノヒトエグサ (*M. latissimum*) では、個体群密度が養殖

アマノリ属の場合の 1/10~1/20 と低いにもかかわらず、上記ウップルイノリの場合と同様に小形群はあっても明確な双峰性は認められなかった。このような養殖期間を通じて見られる小形群の存在は、Fig. 19 から明らかなように小形の個体の生長が極めて遅いためである。このことは Fig. 20 から明白であり、しかも小形の葉体の生長率は生育段階が進むにつれて低くなる。これは、小形の葉体は大形の葉体の陰に生育しているため、光条件や海水の流動に左右される。栄養条件などが著しく悪くなることによるものであると考えられる。このような小形群は、摘採などによって好適な条件が与えられれば、生長して大形葉体になることができるであろう。

5. 要 約

養殖ヒロハノヒトエグサ(緑藻)の生長や、その基礎となる光合成及び呼吸の特性を明らかにすることを目的としてこの研究を行った。

1. 1972年及び1973年いずれも9月に天然採苗したノリ網を用いて伊勢湾漁場(松阪市須師町地先)で養殖したヒロハノヒトエグサ *Monostroma latissimum* (KÜTZING) WITTRÖCK について、現存量、光合成、生長その他の測定を行った。1972年採苗のものは翌年4月まで摘採せずに放置し、1973年採苗のものは12月23日に一部摘採を行い、残りの部分は摘採せずに放置し、ほぼ定期的に網糸を切り取って試料を採取し、測定に供した。

2. 実験網上のヒロハノヒトエグサの現存量は初年度のもの12月下旬(採苗後約90日)には1.27 g(d.w.)/10 cmに達したが、悪天候による流失で1月初旬までに0.20 g(d.w.)/10 cmに低下した。その後かなり速く回復し、1月中旬には1.08 g(d.w.)/10 cmにまで増加した。次年度のものは1月19日(採苗後約120日)に3.15 g(d.w.)/10 cmとなり、以後若干の減少が見られた。1973年12月23日の摘採では、現存量の約73%に当たる1.30 g(d.w.)/10 cmが摘採された。摘採後約50日で現存量は1.96 g(d.w.)/10 cmに達した。

3. 葉体の面積当たりの乾重量は養殖初期には

約0.70 mg/cm²から漸次増加して約1.03 mg/cm²に達し、以後はこのレベルを保った。乾重量当たりのクロロフィルa含量は、養殖初期には0.65%と高く、その後漸次低下し、養殖後期には0.3%程度となった。葉体面積当たりのクロロフィルa含量は養殖期前半で高く(約4 µg/cm²)、後期には3 µg/cm²ではほぼ一定する傾向が見られた。

4. 15°Cの光合成-光曲線において、光合成速度は20~30 kluxで大体飽和に達したが、100 kluxまでわずかではあるが徐々に上昇し続ける場合があった。また、100 kluxまでの範囲内で強光阻害は認められなかった。15°Cにおける光飽和光合成速度は養殖初期に高く(Pn, 30~40 mg O₂/g(d.w.)/hr)、その後漸次低下して養殖末期には12~13 mg O₂/g(d.w.)/hrとなった。このような変化は現場水温の変化とは関係なく、むしろ葉齢に関係しているものと考えられる。また、クロロフィルa当たりの光飽和光合成速度は生長速度の比較的高かった11月下旬~12月上旬、1月末~2月上旬及び3月末などに高く、7.0~8.6 mg O₂/mg Chl. a/hrの高い活性が認められた。

5. 光合成-温度曲線で見られる適温は養殖期間を通じて余り大きく変化せず、25~34°Cであった。この適温における光合成速度は養殖初期に高く(46 mg O₂/g(d.w.)/hr)、その後漸次低下して後期には1/2程度(20~27 mg O₂/g(d.w.)/hr)になった。しかし、5~10°Cでの光合成速度は初め若干の低下が見られたが、12月以後は著しい低下は認められなかった。

6. 15°Cにおける呼吸速度は養殖初期に若干高いようであるが、全期間を通じて特定の傾向は認められず、2~5 mg O₂/g(d.w.)/hrの間で変動が見られた。

7. 葉体を8時間にわたって5, 15, 25, 35°Cの海水中に入れておいた時の光合成及び呼吸に対する時間効果を調べた。35°Cでは光合成速度も呼吸速度も時間の経過とともに急激に低下した。25°Cでの光合成速度は初め若干高まるものの、3時間後には低下し始めた。15°Cと5°Cでは、実験時間中ほぼ一定の活性が保たれた。

8. 葉体が網糸に着生したままの個体群として

の 15°C 20 klux における光合成速度は 11月下旬には 13~19 mg O₂/g (d.w.)/hr であり、このときの単一葉体の光合成速度は 31~38 mg O₂/g(d.w.)/hr であった。また、呼吸速度は双方ともほぼ同じ (個体群としては 4.0~4.2 mg O₂/g(d.w.)/hr, 単一葉体では 3.5~4.4 mg O₂/g (d.w.)/hr) であった。

9. 個体群の重量生長速度は摘採せずに放置した場合には採苗後83日頃が最も高く 0.046 g (d.w.)/10 cm/day, 網面積当たりでは 6.56 g (d.w.)/m²/day, 相対生長率は養殖初期に最も高く (採苗後約 35日に 0.304/day), その後は急速に低下した。摘採後及び流失後 20~30日 で、生長速度は 0.050 g (d.w.)/10 cm/day に達した。

10. 網系上の葉体密度は養殖初期には約 100 個体/10 cm と高く、その後漸次減少し、摘採せずに放置したものでは 2月下旬には 40 個体/10 cm 程度になった。摘採 (機械摘み) した場合には、若干の密度低下が見られ、その後も密度は低下して 2月下旬には 35 個体/10 cm 程度となった。

11. 個体群の葉長組成は、養殖初期には 1.1~4.0 mm のものが最も多く、その後これより長い個体の占める割合が漸次大きくなった。1月初めまでには 250 mm までの個体が見られ、40 mm 以上の個体が目立つが、25 mm 以下の小個体も相当多く存在していた。

12. 葉長の相対生長率は養殖初期 (平均葉長 7 mm まで) には長いものほど高く (最高 0.138/day), その後は平均葉長 10 mm 前後のものが最も高い値 (0.10~0.14/day) を示した。

13. 養殖アマノリ属藻類その他の海藻との比較において、養殖ヒロハノヒトエグサの現存量、生長、光合成特性、着生密度、葉長組成などについて考察を行った。

謝 辞

この研究のまとめにあたり、松阪港における気温、水温、海水の比重などに関し貴重な資料を提供して下さった松阪土木事務所大出出張所に厚く感謝致します。また、この研究の実施にあたり、実験用ノリ網の管理をはじめ種々の便宜を提供さ

れ、終始暖かい御援助を惜しまれなかった三重県松阪市獺師町の前川秀男、前川好司両氏に心からお礼申し上げます。

文 献

- 1) 喜田和四郎 (1973): ヒトエグサの人工採苗の手引き. 三重県漁業協同組合連合会. 三重県のり養殖研究会, pp. 18.
- 2) 喜田和四郎 (1967): 伊勢湾及び近傍産ヒトエグサ属の形態並びに生態に関する研究. 三重県立大学水産学部紀要, **8**, 81-164.
- 3) TATEWAKI, M. (1969): Culture studies on the life history of some species of the genus *Monostroma*. Sci. Pap. Inst. Algal. Res., Fac. Sci., Hokkaido Univ., **6**, 1-57.
- 4) 大野正夫, 野沢治治 (1972): ヒトエグサの成熟現象と光合成活性について. 藻類, **20**, 30-34.
- 5) 前田正智, 大野正夫 (1972): 緑藻ヒトエグサの養殖および天然群落における物質生産について. 宇佐臨海実験所研究報告, **19**, 1-13.
- 6) SCOR-UNESCO W.G. 17 (1966): Determination of photosynthetic pigments. UNESCO Monog Oceanog. Methodol., **1**, 9-18.
- 7) SATOMI, M., S. MATSUI and M. KATADA (1967): Net production and increment in stock of the *Porphyra* community in the culture ground. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **33**, 167-175.
- 8) 吉田忠生, 桜井保雄, 黒木宗尚 (1964): 養殖アマノリの着生密度・生長と収量について. 東北水研研究報告, **24**, 88-101.
- 9) ICHIMURA, S. (1971): Current techniques for measuring the productivity of seaweeds. La mer, **9**, 26-33.
- 10) 片田 実, 三浦昭雄, 里見雅子, 今野敏徳 (1969): 海藻群落の生産力-養殖群落. JIBP/PM 昭和43年度研究業績報告, **8**.
- 11) SATOMI, M., Y. ARUGA and K. IWAMOTO (1968): Effect of aging on the seasonal change in photosynthetic activity of *Porphyra yezoensis* grown in the culture ground. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., **34**, 17-22.
- 12) YOKOHAMA, Y. (1973): A comparative study on photosynthesis-temperature relationships and their seasonal changes in marine benthic algae.

- Int. Revue ges. Hydrobiol., **58**, 463-472.
- 13) 池森雅彦 (1971): ウミウチワとコナミウチワの発育及び生育環境の季節変化に伴う光合成能と光合成産物の変化. JIBP/PM 昭和45年度研究業績報告, 17-21.
- 14) ARUGA, Y. (1965): Ecological studies of photosynthesis and matter production of phytoplankton I. Seasonal change in photosynthesis of natural phytoplankton. Bot. Mag. (Tokyo), **78**, 267-271.
- 15) HEALEY, F. P. (1972): Photosynthesis and respiration of some Arctic seaweeds. Phycologia, **11**, 267-271.
- 16) ADEY, W. H. (1970): The effect of light and temperature on growth rates in boreal-subarctic crustose corallines. J. Phycol., **6**, 269-276.
- 17) YOSHIDA, T. (1972): Growth patterns and behavior of two species of *Porphyra* under conditions of cultivation. In: ABBOTT, I. A. & M. KUROGI (eds.), Contributions to the Systematics of Benthic Marine Algae of the North Pacific. Japan. Soc. Phycol., pp. 203-212.

資 料

第二次欧州海洋開発技術調査団報告

1974年10月1日から9日まで、フランスのボルドー市で第2回国際海洋開発会議・展示会(OCEANEXPO '74)が開催された。

日仏海洋学会と(社)日本能率協会の主催により、この会議・展示会参加並びに欧州海洋開発事情視察を目的として、下記メンバーによる視察団を派遣した。

ここに、視察団報告を記して関係各位の御参考に供する次第である。

参 加 者

団長：佐々木忠義(東京水産大学長)、森川吉郎(三井物産㈱技術部参事)、野津治郎(三井海洋開発㈱専務取締役)、五十嵐昭一(三井海洋開発㈱技術部次長)、清水 昭(三井金属鉱業㈱工務部部長補佐)、外山健三(東京水産大学食品学科助教授)、島 正之(千葉工業大学土木工学科講師)、伊藤昭六(長崎県庁企画室主幹)、水津一統(佐世保重工業㈱佐世保造船所造船設計部第3設計課係長)、鳥海宣隆(㈱古川組取締役工務部長)、中原義雄(太陽工業㈱技術課長)、筑井正義(㈱オーシャンエージ社社長)、河原辰夫(三重大学水産学部教授)、村井弘幸(㈱日本能率協会技術振興事業部プロジェクトマネジャー)、平野紘一(㈱日本能率協会技術振興事業部プロジェクトマネジャー)

目 次

I. 欧州海洋開発事情を視察して	佐々木忠義(東水大)
II. OCEANEXPO 1974 報告	
1. OCEANEXPO 1974 に参加しての感想	筑井正義(オーシャンエージ社)
2. はじめて国際会議で論文を発表して	外山健三(東水大)
3. 第2回国際海洋開発会議に参加して(付:フランスのカキについて)	河原辰夫(三重大)
4. OCEANEXPO 1974 展示会の印象	野津治郎, 五十嵐昭一(三井海洋開発)
III. CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE (CNEXO) プルターニュ海洋センター	中原義雄(太陽工業)
IV. ELF, Entreprise de Recherches et D'Activites Pétrolières	清水 昭(三井金属鉱業)
V. FONDATION POUR L'ETUDE ET LA PROTECTION DE LA MER ET DES LACS 海洋・湖沼保護研究所	森川吉郎(三井物産)
VI. IHC-HOLLAND, SMIT YARD & MINERAL TECHNOLOGISCH INSTITUT (MTI) IHC 社	鳥海宣隆(古川組), 水津一統(佐世保重工業), 伊藤昭六(長崎県庁)
VII. NATIONAL INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY イギリス国立海洋研究所	島 正之(千葉工大)

I. 欧州海洋開発事情を視察して

佐々木 忠 義
(東京水産大学)

1. まえがき

OCEANEXPO '74 は、1971年3月9日から14日までボルドー市で開催された、第1回国際海洋開発会議・

展示会(OCEANEXPO '71)に続くものである。この会議・展示会は、3年ごとにボルドー市において開催されることになっている。

視察団はこの会議・展示会に出席すると共に、ブルターニュ半島プレストにある、フランス国立海洋開発センター(CNEXO)のブルターニュ海洋研究センター(COB)を始めとしてスイス、オランダ、イギリス等の海洋開発関連機関を視察した。

2. OCEANEXPO '74

会議に提出された論文は約230編で、参加者は約1,500人。それらの論文は3会場4セッションにおいて発表された。私は10月2日、終日第4セッションの議長をつとめた。このセッションは水産に関する問題が中心であった。東京水産大学の高木和徳、外山健三郎博士は、このセッションにおいてそれぞれ優れた論文を堂々と発表された。

展示会には16か国から約300機関が出展した。展示品の種類は約422種にも及び、その内容は多岐にわたっていた。

3. COB

フランスの海洋開発関係の研究や事業のすべてを調整する中心機関として、国立海洋開発センター(CNEXO)が1967年に設立された。首相の直轄機関で各省庁の責任者で構成する委員会運営され、海洋開発に関する総合的調整を行う機関である。パリに本部がある。CNEXO自体が、海洋開発に関する総合研究所を持っていることは大きな特色である。

その総合研究所はブルターニュ地方のプレスト(Brest)に建設され、今年度中には完成の予定で、完成時には約500人の所員が所属する。恐らく世界最大の海洋研究所となるであろう。この海洋研究センター(Centre Océanologique de Bretagne)がすなわちCOBである。

COBは海洋に関する科学部門、技術及び産業開発部門、情報部門等を包含し、海洋の調査、研究、海洋開発等の広範にわたる部門を統轄している。

4. 海洋・湖沼保護研究所

海洋や湖沼の汚染防除を目標とする研究所である。パチスカーフ「トリエステ」号に搭乗し、世界最深部チャレンジャー海淵に潜入したJ.ピカールが所長である。潜水艇及び機器の設計も行っている。私は2年ほど前にもこの研究所を訪問した。団員一同を自宅に招き、ティ

ーパーティーの接待を受けた。古い付き合いではあるが、彼の変らぬ友情には心うたれるものがあった。

5. IHC

オランダ随一の水中土木、沿岸海洋土木に関する総合会社で、世界的な著名なIHC(N.V. Industriële Handels Combinatie Holland)社、及びIHCのドレッジ部門(Dredger Division)のMTI(Mineral Technological Institute)も訪問、視察した。

MTIではドレッジャー船の各部についての徹底した研究を行い、世界に冠たる成果を挙げている。例えば、ドレッシングの際の海水と底質の流れ、底質の密度、水と底質の分離、底質のカッターdriving。更には船内における騒音、振動等まで。

こうした解析を25年以上も行って、この分野の研究歴の古いことは世界一であろう。

土質の測定においても、恐らくMTIの右に出るものはなかろう。世界中の海底から4,000種以上の底質を採取しており、その性質、移動、特性等を測定し研究している。

6. NIO

イギリス国立海洋研究所(National Institute of Oceanography: NIO)も訪問、視察した。あらかじめ、知人のN.C. Flemming博士の好意によるものである。歴史の古い研究所で、ここでは、各種の先端的な海洋観測機器を研究し技術開発を進めている。海洋生物の生態研究では多くの優れた成果を挙げ、資源生物の研究も精力的に行っている。海底地質と生物との関連性についての研究はすばらしい。立派な試作工場をもっていることは特筆に値する。

7. ELF

主として、海底石油の掘削並びに海底貯油タンク等に関して広範な研究、技術開発、事業を行っている会社である。いつも、繁雑な訪問、視察を心よく受け入れてくれている。その好意に対して心より感謝の意を表すものである。

ELFは、Enterprise de Recherches et d'Activités Pétrolières(ERAP)の傘下会社である。

II. OCEANEXPO 1974 報告

1. OCEANEXPO 1974 に参加しての感想

筑 井 正 義

(オーシャンエージ社)

1. ボルドーの新しいパターン

古くからワインの町として知られるボルドーが、いま大きく変わろうとしている。数々の歴史を秘めた旧市街をそっくりそのままにして 10 km ほど離れた北郊に新しい都市づくりが急ピッチで進められているのだ。

以前この辺一帯は利用価値のない一面の湿地帯であったそうだが、ボルドー市はこの地域の開発構想をねり、実行に移した。まずその中心部に大きな人造(ル・ラック)湖をつくり、そこから掘り上げた土砂で周囲の湿地帯を埋立て、ぼう大な土地造成に成功したのである。

この開発構想には少なくとも二つのねらいがあったように思われる。その一つは国際都市づくり、もう一つは拡張余地のない旧市街の近郊展開である。とりわけ、国際都市づくりにはボルドー市長自ら大した熱の入れようだと聞いた。それには大きな根拠がある。

かつて華やかな国際会議の舞台はパリであった。しかし、今やパリはすべてが手狭になり、特に屋外展示を必要とする大規模のエキジビジョンを伴うコンファレンスを開くことが難しくなってきた。

ボルドー市長はここに着眼、よしそれならこうした国際会議をボルドーでやろうとパリの代役を買って出たわけである。

この開発計画は、人造湖(ラック湖)の周辺にまず 2,000 人を収容できる近代的設備をもつ大国際会議場を建設、同時に人造湖に沿って長さ 2 km に及ぶ大展示場を実現した。そして、その付近には国際会議に集まるビジターのためのホテル施設を完成させた。これで国際会議を開く一連の設備は整ったわけである。

もう一つのねらいであるボルドー新市街の展開も着々と進んでいる。高層アパート群があちこちに立ち並び、なお建設中のものが数えきれないほど目にうつる。

ボルドー市長の計画は十分の成果をあげつつあると聞いてよさそうである。

2. 会議場と展示会場の設備

いま世界で定期的に関開される国際規模の海洋会議のうち、特にそのスケールから 3 大会議と呼ばれているのがある。一つは毎年アメリカのヒューストンで開かれる

OTC、それに 3 年ごとに開かれるイギリスのブライトンの会議、そしてあと一つがボルドーの会議で、これも 3 年ごとに開かれることになっている。現在この三つが世界の 3 大国際海洋会議だが、やはり毎年夏にアメリカのワシントンで開かれる MTS と、もう一つ隔年我が国で開かれる国際会議も追加して世界 5 大海洋開発会議としたい。

今年のボルドーの会議に参加してつくづくそう思ったのは私一人ではないと思う。

ボルドーの国際会議場はそう大きいものではないが、大会議場のほかに二、三の小会議場もあり、同時通訳設備も完備しててまずまずのものだと感じた。今回の会議では分野別技術討論のほか十字路セッションという新形式の会議の場ももたれたが設備のうででなら支障をきたさなかった。

展示会場は聞きしにまさる膨大なもので、いささか驚かされた。人造湖に沿って延々と延びる細長い建物はその大きさにおいて恐らく世界一ではなからうか。よく思いきってこんな大きなものを建てたものである。今回の展示会ではこのスペースのようやく 4 分の 1 を使っただけで用が足りた。もっとも毎年 6 月、定期的に行われる国際見本市では全館を使用するとのことだから無用の長物視するわけにはゆかない。やはりその必要性があるのだろう。

ただ、都会の中の展示会場とちがって、屋外のスペースが広々としている。これだけ屋外にスペースがとれたのも、はじめから計画的にやったからで、この点はうらやましく思った。

参加者のための宿泊施設は会議場の至近距離に二つのホテルがある。一つはかなり大きいホテルだが、私たちの泊ったホテルは 3 階建のさほど大きいホテルではなかった。それにホテルの設備も完全とはいえなかった。フロントや食堂の従業員たちもほとんど英語が通ぜず、これには閉口した。世界の各国から集まる人たちだから全部がフランス語にたん能だとは限らない。こうしたサービス面での改善が是非必要だと感じた。

付近にはホテルらしい建物の建設が幾つか進められて

いた。現在のホテルではまだ収容能力が不足である。旧市内のホテルも活用されているようだが、できれば会場付近に宿泊できるのが望ましい。

3. 論文内容が大きく変わる

10月1日の午前10時30分、いよいよ第2回ボルドー国際海洋開発会議の幕があいた。この日は前夜来の雨が降り続き、うすら寒い朝だったが世界各国から参集した官、学会、民間産業界の人々はぞくぞくと会場に詰め掛け、会場のロビーはごったがえしていた。開会式は定刻よりやや遅れたが第一ホールはほぼ満員、ボルドー市長の熱のこもった開会のあいさつにはじまって主催者側のあいさつが延々と正午すぎまで続いた。初日の登録参加者は1千余名、盛会裡に開会式は終わった。

午後からは早速分野別セッションに分かれて討論会が開始された。

今回の会議で各国から提出された発表論文は222編にのぼり、我が国からも東京水産大学の髙木教授、外山助教、海洋科学センターの石倉理事長など数編が提出され注目をひいた。

今回の論文の内容の特長は、3年前の第1回のとくものがほとんど総論的なものであったのに対し、各論的なものが大多数を占めた。このことは3年の間に海洋開発の動向が世界的に大きく前進し、理論の段階から具体化の段階に入ってきたことを示すものとして喜ばしい現象といえる。

なお、会議は1日から6日までの6日間継続して行われ、世界各国のスペシャリストによって海洋に開連するすべての問題が広く深く討議され多大の成果を納めたことは、我々としてもこの会議に参加した意義が大いにあったものと自負している。

4. 展示会の内容も変わる

会議に提出された論文内容が大きく変わったのと同じように展示会場の出展物にも大きな変化がみられた。私は第1回の展示をみていないので的確に指摘することはできないが、見た方々の御意見でもその点を認めておられた。

展示会には我が国から沖縄海洋博協会、JAL、新日本製鉄、三井海洋開発、三井造船、横浜ゴムなどが参加した。新日本製鉄は同社が新潟県阿賀沖に設置した石油生産リグの建造から現場設置までのビデオを2台のテレビ

を使ってみせていたが、ソ連のプレジデントが熱心にみていたという。

今回の展示場を一巡して特に目についたものを拾ってみると、まず主催国だけあってフランスの出展が多く、特にフランス海軍が深海潜水船の大きな模型を出してハデなPRをやっていた。同じフランスの出展でマニピュレーターの実演が人気をよんでいた。水槽の中のマニピュレーターが道ひとつ隔てた場所からリモートコントロールで小さなボルトにナットをはめ、その締め付け作業を巧みにやっており、これからの海中作業にかなり役立つのではないかと感じた。

潜水用のウエットスーツやその作業部品など、どこの展示会にも多数出品されるが、こうしたものにも従来品に比べてかなり工夫したあとが見られた。

水産用として魚の自動皮むき機、これに連動する魚肉のすりつぶし機など日本のかまぼこ製造にはもってこいの機械で、この種のもは初めて目にふれた。

屋外展示は例によって COMEX が会場入口前に海中作業用ハビタットの実物を展示していた。私は3年前イギリスのブライトンでもこれと同じようなのを見ながら、今度のは大きさも3倍ぐらい、性能も大幅に向上しているように見受けた。

ハビタットにドッキングする水中エレベーターも備え付けてあり、目下イギリスの北海で海底油田の開発に従事しているとのことだった。

人造湖の周辺にはゴム製のパイプライン、オイルフェンス、ゴム製の油輸送袋などが展示されており、湖上にはゴム製の油回収船が浮んでいた。私はゴム製の油回収船は初めてみたが、我が国でもその開発が進められており、近く売り出されるところまできているという話を帰国後耳にし、心強く思った。

さて、最後になったが展示会に出品した国は16か国、出展機関300、展示品の数は422点に上った。

展示会場を見ての感想は、やはり冒頭にもふれたように総論的な出展から各論的なものが大部分で、要するに青写真の段階から実物の段階に前進したことがうかがわれた。ただ、それだけにハデさがなく、すこぶる合理性にとむ出展が多かったことは、会場内に一抹の淋しさというか、沈静味というか、ともかくそうしたムードが濃厚だったことは確かである。

2. はじめて国際会議で論文を発表して

外 山 健 三

(東京水産大学)

ボルドーの海洋開発会議に出席することを決めたとき、参加するからには研究発表の一つもしなければ申し訳ないと思つたことを考えたが、今にして思えば汗顔の至りである。その結果、私は自分の講演を成しとげることには精一杯で、他の研究者の講演を聞いたり、広く会議全般に眼を通すといったゆとりが十分になかったように思われる。だから、今になって参加の記録を書くことになると、困惑するばかりであるが、その最大の原因はやはり言葉が不自由なことにあると思う。もちろん、フランス語は全然できないので最初からあきらめてはいた。自信はないが、英語でなんとかしのげるだろうと期待していたが、それが甘かったことは、会場に入つてしみじみと感じさせられた。

「話すこと」の困難は最初から覚悟していた。だから、自分の発表についてはその表現に十分苦勞して準備したおかげで案じたほどのことはなかったが、原稿の作成はさておき、その朗読だけでも、分りきった単語もすべて辞書をひいてアクセントを確認し、何回も練習に励んだし、スライドの図表にもできるだけ説明文を入れて言葉の弱さを補った。そのうえ、講演原稿をプリントして会場で配布したが、これは講演要旨の提出期限に遅れたための窮余の一策である。

困惑したのは「読むこと」で、会場で配布されている講演要旨の論文は、当然のことながら大部分がフランス語で英語の報告は数えるほどしかない。予想はしていたが、まったくガッカリさせられた。

一番困ったのは「聞くこと」だった。同時通訳があると聞いて安心してしたが、その英語が大したシロモノで、聞き取りにくいことおびたしい。もちろん、ヒヤリングに慣れないこちらのせいもあるが、とぎれとぎれにしゃべったり、途中でしばらくだまっていたかと思うと、今度はたてつづけにまくしたてる。前の話と後の話の関連性がかめない。これには全く閉口した。だから、私の講演でももし質問が出たらと思い、ポケットにイヤホンを入れて講演にのぞんだが、あの通訳でははたして理解できるかどうか、それが心配でならなかった。

ところで、海洋開発の会議といえば、もっぱら海中や海底に存在する鉱物資源とか、海洋のエネルギーなどの利用が主で、漁獲物をはじめ生物資源の利用などは顧みられることが少なかったが、今回の会議では水産物の

利用加工部門が設けられ、船上処理などがテーマとして取り上げられている。そこで、水産製造学を専門とする私も参加できたわけだが、出席して感じたことは、やはり漁獲物の利用加工などは海洋開発の末梢的な問題として考えられているのではないかということである。発表論文を見ても、利用加工という極めて広い分野を、限られた極めて狭いスペースに押し込んだという感じで、全く共通性のない多種多様な問題が隣り合って発表されているという感じが強い。この点は会場で会ったカナダ環境省水産局の研究所長ラゼル博士も同じ意見であった。そのせいか、参加者もフランスの若手の研究者が多く、講演を聞いていると、専門の学会における発表の練習台にしているのではないかとさえ思われる点があった。彼等に対する質問はかなり厳しく、こまかい点で問いただしていたようだが、「その点はやりませんでした」、「そのところは分りません」などという回答がたびたび聞かれた。

最後に私の講演について説明させて頂くことにする。課題を決定するとき、他の事情もあったが、私のやっている断片的な研究結果を報告するよりも、多数の研究結果をまとめた総説を講演したほうが今回の目的にかなうように考えられたので、日本で広く行われていながら、外国ではあまり取り上げられていない事項の紹介をすることにした。それが「水産物における酸化防止剤の適用方法」で、水産加工において重要な障害となる魚油の酸化を抑制するために、合成酸化防止剤(食品添加物)を適用する方法を製品別にまとめて解説したもので、私を含めて日本の研究者の業績と、その産業上における利用実態の紹介である。おかげさまで講演は我ながら上出来? だったと思う。前記のラゼル博士からもおほめを頂いたが、会場で受けた拍手とともに、例えそれが儀礼的であったにせよ、私にとっては忘れられない思い出となった。それにしても私の講演が少しでも参加者の参考になってくれたら幸いと思っている。

以上、今回の国際会議を語るには、あまりにも主観的で、またあまりにも断片的なものとなり、まさにヨシのズイから覗いた天井の有様をお伝えするに終わったことをお詫び申し上げる。なお、今回の旅行にさいして終始行動を共にされ、いろいろと御芳情を頂いた佐々木学長と調査団の皆様にも厚く御礼申上げる次第である。

3. 第2回国際海洋開発会議に参加して（付：フランスのカキについて）

河 原 辰 夫

（三重大学）

フランス第2回国際海洋開発会議と展示会がボルドーで開催されるに当たり、第2次欧州海洋開発技術調査団が結成されることになり、その参加呼びかけに接したのは会期もせまった7月であった。しかし、フランスの海洋開発にはかねてから興味を持っていたことでもあり、早速参加を申し込んで、一行15名の団員の中に加えて頂き、種々見聞を広め得たのは誠に幸せであった。

会議は10月1日（火）より開催され、会場の Auditorium du Lac は投宿したホテル Novotel Bordeaux のすぐそばで、歩いて2、3分で到達できたが、受付における登録その他の手続が分かりにくかった。初めて外国の国際会議に出席した当方のせいばかりでもないらしく、受付の前は大変な混雑であった。

午前10時過ぎから一番大きな会場で開会式が行われ、大会名誉総裁 Prince de Pays-Bas をはじめ主催者側数人の挨拶があり、午後は15時30分より各部会に分かれて会議が始まった。A会場では各国の海洋開発に関する政策が発表され、ノルウェー、スウェーデン、フィンランドその他の順で演説が行われた。

初日の会議を終り、その夜は郊外のシャトーでボルドー市長のレセプションが行われることになり、団員一同は主催者側のバスに乗ってそこへ出かけた。ワイン醸造の作業場らしい広大な一室にテーブルが多数置いてあり、数百人ではないかと思われる大勢の出席者が、それぞれのテーブルを囲んで思い思いに着席した。まもなく主催者の挨拶があるものと思っていたが一言もなく、まことに奇妙なレセプションであった。しかし、「問答無用。まずは珍味美酒を賞味されたい」とでも言うところであろう。かえって心にくいレセプションのように思われたことであった。

私は団員2、3人と共に一つのテーブルに着席したが、国際色が誠に豊かで、ワインのグラスを重ねながらスペイン人、ポーランド人などと皆で談笑していた。その折、やや遅れて海洋科学技術センターの松田源彦博士が同じテーブルに来られ、日本の海洋開発のあり方について談論風発、心ゆくばかり御高説を拝聴できたのは望外の収穫であった。

次の日もA会場では引き続き各国の政策がひろうされ、日本からは「日本周辺沿岸の資源と空間の総合的開

発に対する要請と活動」と題して海洋科学技術センターの石倉秀次理事長が発表されるはずであったが、都合により前夜シャトーで宴会した同センター理事の松田源彦博士がそれを代読された。

日本は狭小で資源にも乏しいため、海に対する期待は大きく、従来から食糧源と通商のために海を活用していた。近時、工業の急速な発達に伴い沿岸が埋立てられ、発電所の建設は進み、汚染と自然破壊が問題となって来た。また、海底油田の開発や海洋レクリエーション基地建設も要請され、その推進と共に漁業や自然保護に対する支障が増大している。しかし、今後の開発需要はなお盛んである。このような情勢に対して、現在ではまだ関係官庁や団体が、勝手に立案施行するきらいがあり、過度の摩擦を生じている。これからは総合的な開発を行うべきで、その基礎となる科学技術の統合的な研究推進が要請されている——というような主旨であったと拝承した。

聞き終って、高木和徳東水大教授の発表されるC会場にかけつけたが、取消が多かったのか同会場の講演は既に終わっていた。

午後は東水大の外山健三助教授の講演される第Ⅳ部会（C会場）に出席した。一際高いステージに正副座長と講演者の席があり、スライドのスクリーンと演者の席が遠く、講演は座ったままで行われた。このような形式は慣れない私には誠に珍しく思われた。ステージの向って左手に壇上へ上がる小階段があるのに、座長にメモを届けるアシスタントの席が正面右手にあり、えび茶と白のツートンカラーの鮮やかなユニフォームを着た若い女性が、連絡用のイヤホンを付けて横向きに着席しており、メモを届ける度に楚々としてステージの正面を横切り、左手の階段を経て壇上中央の座長席へ往き来する様子が誠に印象的で、非能率ではあるが、恐らくは巧まれた演出ではなかったろうかと思われた。

さきに拝聴した松田博士の御演説やこの外山助教授の御講演といい、佐々木忠義東水大大学長の座長振りといい、国際舞台でいささかのそんじょくもない行事の推移を見て、誠に心強く感じられたことであった。

会議の合間に、私は展示会場を訪れてみた。大部分は海洋開発用機器の展示であったが、その会場のはずれに

カキの養殖に関するコーナーがあった。そこには、養殖場や養殖過程の詳しい写真のほか各種養殖カキ類の標本、養殖用具、養殖施設(クレール, claires)の各部名称入り模型など入念に整えられ、それぞれ詳しい説明が添えてあって、養殖カキの害敵動物の標本も豊富にそろえられていた。そこには“Huitres, Moules, Coquillages de France”と題する貝類養殖業者組合委員会編集の48ページにわたる見事なパンフレットも用意しており、フランスにおける貝類の養殖と利用の実態が、それによって要領よく理解できた。

フランスのカキ養殖はブルターニュからいわゆるビスケー湾の北中部にかけて盛んであるが、ムラサキイガイの養殖場はそれに対してやや北部に片寄り、英仏海峡のBoulogne 地区からビスケー湾中部にかけて点在しており、地中海のThau 地区、Toulon 地区、Corse(コルシカ島)地区などにも若干見られるようである。

前記のパンフレットによれば、ビスケー湾中央部のMarennes-Oléron 地区では業者4,614人、カキ養殖場5,150ha、生産量30,000トン、ムラサキイガイ132ha、2,500トンで、カキの生産量が各地区中最大であって、そのすぐ北方La Rochelle 地区では、業者4,758人、カキ1,864ha、10,600トン、ムラサキイガイ500ha、10,000トンでイガイの養殖が最大であると図示されている。ボルドーに近いアルカッション(Arcachon)地区は大西洋岸養殖場としては最も南にあり、業者1,751人で、カキのみの養殖が行われ、その面積は1,770ha、生産量は20,000トンとなっている。

ボルドー滞在中の一日、私は鉄道でアルカッション湾まで出かけてみた。湾内は水路を残し、ほとんど全面がカキの地帯養殖場(パルク, Parcs)である。アルカッションの市街地は湾の入口の南部に位置し、大きな水路に面してきれいな砂浜が続き、立派なヨットハーバーや豪華なホテルがあって、有数の保養地となっている。従って、アルカッションで下車しては養殖場は見られないが、その直前の鉄道沿線にあるGujan-Mestras, La Humeなどでは数多くの養殖業者の施設を車窓からながめることができる。

フランス人は海が好きらしく、ボルドーではガロンヌ川に面したブルース広場に、またパリではエッフェル塔近くのシャイヨー宮に立派な海事博物館(Musée de Marine)があり、パリの凱旋門近くのグラント・アルメ通りには大きな海事専門書店のあるのを見た。そこで買ったCarte Guide, Navigation Côtièreと題する和紙に似た上質の紙に多色刷りした立派なクルーヅング用海図

のNo. 255がアルカッション湾の25,000分の一海図(価格27.5Fr—1Frは約65円)で、それを見ると湾内のParcsと水路の分布が手に取るようによく分かる。

カキとムラサキイガイを除いた水産無脊椎動物の利用はフランスでは意外に少ない模様で、パリの店頭を見ても売場は小さく、種類も少なかった。比較的大きなある店でも、エビ類3種(Crevettes roses, 5.5Fr/100g; Crevettes grises, 2.4Fr/100gなど)、二枚貝類4~5種類(Clams, 2.5Fr/個; Paraires, 9Fr/ダース; ムラサキイガイ, 5Fr/リットル; ヨーロッパガキ, 18~22Fr/ダース; マガキ, 10~18Fr/ダース); 巻貝1種(Igneaux, 6Fr/箱), ウニ1種(Oursins, 3.3Fr/個), などが見られる程度であった。ロブスター(homard)やホタテガイ(pétoncle)はついに店頭では見掛けることができなかった。

フランスのカキ料理も試食しておきたく思い、一夜オペラ座裏通りのカキ料理店へ出かけて見た。五徳状の金属製の台上に砕き氷を一杯入れた大きな皿を乗せて、その上に右殻をはがしただけの生カキ12個が、美事な1個を中心にして放射状に飾り付けてあり、それにレモンが添えてある。皿の下には予備のレモンとパン2片にソース(?)が置かれて、大変豪華に見える料理であった。冷した生カキは上質のレモンの汁を加えると誠に美味で、なるほどカキが珍重されるはずだと思われた。値段は20Frで、高価ではあったが、店頭の小売値が上物はダースで20Fr前後もすることを思えば、料理で高くなっているとは言えないようである。出されたカキは日本種のマガキで、内肉をはがして食べた後の貝殻を見ると多毛類(Polydora)寄生の跡がおびただしかった。

ムラサキイガイは仏語でmoulesと言う故、調査団一行の仲間ではムール貝と称していた。このムールガイの代表的料理はMoules marinièresと言われるもののように、パーセリーとタマネギなどを用いて著しく調理されており、貝殻にその料理を詰めて貝肉を上に乗せ、やはり12個を、放射状にして皿上に飾り付けてある。用いられる貝も小さく、料理全体の量も少なく、味も私には余り頂けなかった。

もちろん、その他にも多くの料理方法があり、前記のパンフレットによれば、カキではHuitres en gratin ou à l'américaine, Bouchées aux huitres, Huitres frites, Les huitres au coin du feu, Les huitres au beurre déscargots, Les huitres farcies, Les huitres en brochettes, Les huitres au lard, またムールガイではMoules à la poulette, Soupe aux moules, Rizotto

de moules au gratin などの料理が紹介してある。

英仏海峡のホタテガイも試食してみたくて、Escalope の名の付いた料理をそれと速断したのは大失敗で、それには貝肉の一片も入ってはいなかった。そう言えば、出発直前の即席勉強でフランス料理の本を見ていた際に、

昔ホタテガイの貝殻で調理したと言ういわれの料理の名である、という意味の記事があったような気もしたが後の祭りで、ホタテガイの方は何とかの pétoncles という名になっているのではないかと思いつながら、フランス滞在中にはついにそれを確かめることができずに終わった。

4. OCEANEXPO 1974 展示会の印象

野津 治郎, 五十嵐 昭一

(三井海洋開発株式会社)

1. まえがき

1974年10月1日から6日までフランスの南西、ガロンスの河口奥深まったボルドー市において、海洋開発に関する国際会議及び展示会が開催された。今回は第2回目であって、第1回目は1971年3月に開かれた。

産業界、水産業界、学界の代表者が3年に一度一堂に会するボルドー国際会議は、討議を通して、開発・利用の異なった方法から派生する問題、開発分野の相違から生ずる対立を解決するための情報意見の交換の場とし、ひいては環境保護を基調とする合理的かつ調和のとれた海洋資源の開発を促進することを目的としている。このような大いなる思想をもった会議に対応して展示会が開かれた。以下展示会の模様を簡単に紹介する。

2. 展示会の概要

フランスの4大商港の一つであるボルドー市は、この国第2位のブドウの産地をひかえ集散されるブドウ酒はボルドー酒として名高い。ローマ時代からアキテーヌ盆地の中心として繁栄した古い都である。その郊外に人造湖に沿って展示場と会議場が設けられ、その近くに二つのホテルがあり、なお二つが建設中である。展示場は敷地約40万m²、展示場は長方形の細長い建築物で約5万m²あり、今回はその約3分の1が使用された。出展社は約280社である。

出展物は多岐にわたり、輸送、運搬、海上作業、潜水、水中作業、調査、石油掘削、汚染防止、水産加工等の諸機器から原動機、推進機、減速機、空気圧縮機、特殊溶接機材、電線、索具、特殊鋼、防錆材等である。

今回の展示の特色は昨年の石油ショック以来の急激な情勢変化に対する危機感と、加えて3年前よりも盛んになっている北海の油田開発にみられるように、エネルギー資源の自給自足という熱望が展示に対しても強いアクセントをつけているような印象を受けた。

なお、そのような資源開発プロジェクトが一企業単位ではどうにもならないほど強大なスケールをもっている

ため、グループ、コンソシアム、ジョイントベンチャーというような質的に違いますが、とにかく協同してプロジェクトに食いついている姿勢が展示にも強く表われていたようである。

欧州諸国の代表的な展示をみるとフランスは北海で活躍している各石油会社及び開発工事に参加している企業すなわち SHELL, TOTAL, BP, そして ELF 等が一区画に協同で展示をしていた。フランスは自国での唯一の海洋開発に関する展示会のためか、我々は石油資源の開発に対してここまでやっているのだということをパネルを使い詳細に訴えていた。一方、フランス国立海洋開発センター (CNEXO) はその実力を誇示するが如く、会場入口近くに研究開発中のもの又成果をパネルで説明し、特に海底の鉱物を採取するためのマジックハンドの実演をトピックにしていた。石油の次は鉱物だということかもしれない。又、フランスで特異な存在である IFP (フランス石油研究所) は CFEM (Compagnie Française d'Entreprises. ペンタゴン81の建造所) と FORAMER (掘削業者) と協同で開発している "DYPOSEMI T3" について展示していた。これは IFP が先にリーダーシップをとって設計、建造させた "PENTAGONE 81" に次ぐプロジェクトで、Dynamically Positioned Semi-submersible Platform である。とにかく北海のみならず Iceberg Zone を含めた全海洋でどんな天候でも Shut down なし (非稼働なし) という夢のようなリグである。目下、Bureau Veritas (フランス船級協会) に承認申請中といわれ、かなり詳細なパンフレットを配布していた。

土木工事に強いオランダは小さな国だけにより一層、協力意識—それも自国のみならず他国を含めて—が濃くでているようで、特に石油掘削及び生産用コンクリート構造物の実験、調査、設計、建設、据付まで各企業が各々分担し、現実に仕上げつつあることを示していた。ANDOC (ANGLO DUTCH OFFSHORE CONCRETE) は一例であるがこれはオランダの4社とイギ

リスの2社がジョイントベンチャーで北海向に開発したコンクリート構造物を建設するために作られた企業体で、目下ロッテルダム付近の埋立地で建設中である。その他土質調査、水理研究についてかなり自信をもった DELFT グループ、及び工事関係に強い GROUP ROYAL ADRIAAN VOLKER が同じ区画で展示していた。

イギリスはこのボルドーに引き続いてすぐロンドンではオリンピックで OTC に匹敵する展示会を計画しているにもかかわらず、ABOI (Association of British Oceanic Industries Limited) が中心となって展示を行い、各社のブースの表示の頭には Union Jack を張りつけ、意気盛んなものがあつた。Decca Survey Limited, The Plessey Company (調査機器メーカー), Tellurometer Limited (電波測距儀メーカー), Redifon Telecommunications Limited (通信機メーカー) がこのグループである。

前回に比べて水中作業に関する機器の展示は少なくなったがそれだけに現実的となり、人気のあつた展示としては CERTSM (Centre d'Etudes et de Recherches Techniques Sous-Marines) の水中機器であつた。3人乗りの潜水艇で 600 m 潜水可能で 1973 年 2 月に完成している "GRIFF ON", "SYSTEM PARC ERIC II" と呼ばれる深海探査用の Tetherd 方式の無人潜水作業艇等である。

前回と同様、フランス海軍が現有の潜水関係機器の展示を行うと同時に、その後のバチスカーフ "ARCHIMEDE" についての美しいパンフレットを配布していた。なお、民間企業と協同開発になる、洋上補給システムを模型で発表していたが、これは補給母船より他船に対し液体でも固体でも両船の間に張った索具を利用して補給する作業方式で、石油掘削リグにおける Heave Compensater を応用したようなもので、Sea state 6~7 で駆逐艦級なら液体は 1 時間に 3,600 バレル (約 560 kL)、固体なら 30 分間に 11 トンのものが補給可能で、ちなみに NATO で採用しているミサイルなら 2 分間に 4 発補給できるというものである。

海洋汚染防止関係では、オイルブーム (Dunlop, Gamlem, SOCIETE NANTAISE DE YOILERIE)

と CYCLONET と称する CYCLONE を利用した油回収装置 (ALSTHOM TECHNIQUES DES FLUIDES) と傾斜板を利用した分離装置 (SERES's Tilttable Plate Separator) を見るだけであつた。

水産関係では漁船の模型、漁具、漁獲物の搬送機器、魚体の一貫処理機械、魚函等の展示があり、処理機械の実演もあつたが、なまものを扱うだけに派手なことはできなかつたようである。

日本は JETRO を通じて 2 団体 5 社 (国際海洋開発会議事務局、沖縄国際海洋博協会、日本航空、新日鉄、三井海洋開発、三井造船、横浜ゴム) が出展し、3 社 (アサヒ、住友ゴム、JRC) が代理店を通じて名前を連ねていた。前回の無に近いことから考えるとかなりな進出である。

メーカーとして新日鉄は特に海洋工事海底配管、ジャケットの製作から据付までと阿賀沖プロジェクトの映画をまじえ、横浜ゴムは海洋工事に使用されるゴム製防舷材、三井海洋開発、三井造船は協同で栽培漁業から石油掘削リグまでと今まで建造したもののパネルを展示していた。

場外では COMEX がダイビングチャンパー及び再圧タンクのユニット及び観測用潜水艇の実物を、イギリスの Tellurometer が Dynamic-distancemeasuring System (電波測距儀) の Container Package を、BENNES MARREL が油圧クレーンを展示していた。

3. むすび

会場にボルドーという欧州の中心でもなく又フランスの中心でもない地方都市を選んだためもあつてか、誠に静かな展示会であつた。天候にも余り恵まれず、一般の来場も少なかつたようだ。いたずらに競わない、それで何物かを秘めているような態度の中に、長い目で見た海洋開発があるようにも思えるような展示会であつた。まえがきに記したように基本的な精神を体した展示とはまだ言えないとしても、何時かはここにおいて実を結ぶことがありそうな又結ばせなければならぬ静かな決意を促がすような展示会でもあつた。さて、新しいブドウ酒は新しい皮袋と言われている。我々はその新しい皮袋になり得るであろうか。

III. CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE (CNEXO)

ブルターニュ海洋センター

中原 義 雄

(太陽工業株式会社)

フランスでは、政府機関としての機能のほか、民間企業と協同で海洋調査を行い、且つ技術指導する国立海洋開発センター (CNEXO) が、1967年に設立された。ブルターニュ海洋センター (CENTRE OCEANOLOGIQUE DE BRETAGNE) は、この CNEXO の総合海洋センターとして、1969年に、ブルターニュ地区のブレスト (Brest) に設立された。この大規模な海洋センターは欧州海洋開発の中心となることを目標としている。面積 40 ha の敷地を擁し、現在約300名、最終的には500名に増員されるとのことである。

当センターは、科学部門、技術産業部門、情報部門の三部門を柱として構成されている。

1. 科学部門

水産動物たんばく質源の開発、生産のための、水産動物の病理学、生態学及び魚の栽培の研究が行われている。地質学、海洋地理学に至る幅広い海洋への科学的アプローチの研究が行われている。約 100 名の科学者、技術者が研究に携わっている。

2. 技術産業部門

研究部門と実験試験部門とから成る。海洋研究・調査機器、機材の開発を行うと同時に、その機器、機材の品

質、性能に関する実験及び試験を行っている。高圧下におけるシミュレーション室、50 m×12 m、深さ 20 m の実験水槽、及び 50 m×12 m、深さ 3 m の機器曳航水槽を持ち、高圧下における機器の試験及び潮流による機器への影響を調べることが可能となっている。又、 -40°C ~ 100°C での機器の試験を行うための施設を持っている。

シミュレーションによる機器、機材の試験を行うと同時に、センター周辺の実験海域において、実際に機器、機材を投入し、試験及び調査を行っている。

3. 情報部門

総合的データ・バンクであり、海洋に関するあらゆる情報を扱っている。センター内の各研究室との間に通信網が敷かれており、各研究室で必要とする情報は直ちに供給できるようになっている。

以上の三部門を軸として、ブルターニュ海洋センターは分散していた研究を1か所にまとめ、開発研究の効率を上げると共に各国研究機関、各大学の海洋研究部門と幅広く緊密な連絡を取りつつ海洋開発研究を進めている。

IV. ELF, Entreprise de Recherches et D'Activités Pétrolières

清 水 昭

(三井金属鉱業株式会社)

1. はじめに

海洋開発が叫ばれてから久しいが、開発の対称が一般に莫然としていて焦点はあくが困難のため具体的プロジェクトの開発はあまり進んでいないのが現状である。この点、海底鉱物資源の開発、特に海底石油や海底天然ガスの開発は社会の要求度も緊急度も高い極めて現実的な海洋開発プロジェクトである。既に、多くの実用化開発が進められており、厳しい海象条件の中で着実な経験と実績の蓄積を持つと共に、現場に即した問題点を的確に

はあくしつあることは極めて意義深いものと言わねばならない。

今回、調査団がこの分野でのパイオニアとしてマークし訪問したフランスの ELF AQUITAINE グループは、石油及び天然ガスの採掘開発、関連技術の開発、関連石油化学製品の製造販売を行っている巨大企業グループである。同社は、北海を中心とするヨーロッパや、中近東、アフリカ、オーストラリア等に企業拠点を持っている。

今回の調査は ELF 社で海底石油資源の開発構想を映

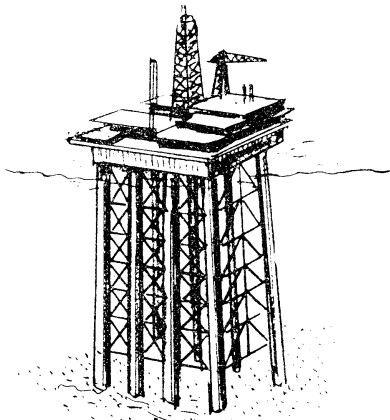
画とスライドによって説明を受けたに留ったので ELF の全貌を知るよしもないが、現在及び将来共に石油開発に伴うすべての問題点に最大限の関心を持ち、極めて積極的な開発意欲を持っていることがうかがえた。

ELF の多くの開発部門の内、海洋開発部門プロジェクトは主として海底鉱物資源（石油及び天然ガス）の採掘に伴う技術開発であって、海底地質探査、海洋生態、採掘技術、関連海洋構造物及び施設等を対象としている。その開発姿勢としては厳しい海洋の実態をベースとした現場中心の研究開発に主力をおき、併せて将来の構想開発を行う形をとっている。この開発姿勢には最も実現性の高いスタイルであり、今後の各種海洋開発プロジェクトに対して示唆するところが多いものと思われる。

2. 北海 FRIGG 油田の開発と問題点

現実に稼働している海底石油開発が極めて脚光を浴びている一方、海洋の厳しい海象条件と闘いながらの現場作業は危険と苦闘の連続であることが映画や現場担当技師の説明で明らかにされた。こうした経験から改善開発への問題点が提起され、更に新しい開発システムが展開されつつある。

ELF が現在最も力を入れている FRIGG 油田はイングランドより 360 km、ノルウェーより 190 km の北海上に位置し、1971年6月に発見された海底油田である。海水深は 100 m で大陸棚海底油田開発としては最も適当な地点とみなされている。生産は 1973 年に開始され 1977年には年間 6,000 万 m^3 の原油採掘規模となる予定である。海上作業場は、第 1 図のごとく 8 本の鋼管を支柱として、高さ 100 m に結構された重力式リグの上におかれ、鑿井用 2 面、海水及びガス分離工場用 2 面、余ガス燃焼用 1 面、居住用 1 面、計 6 面のプラットフォームで



第 1 図 FRIGG 油田の海上プラットフォーム、

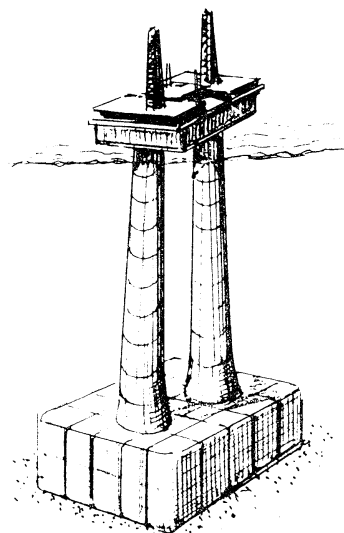
構成されている。

リグの構造設計上の海象条件として最大波高 28 m、最大風速 107~129 ノットが採用されており、用いられた鋼材量はエッフェル塔 1 基分に相当するものである。

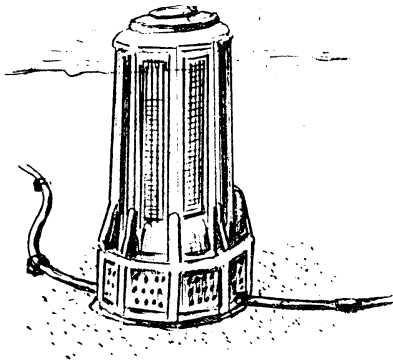
この種のリグの問題点として、現場海域で安定よく海底に設置することの難しいこと、脚柱を通してドリルすることができないこと、プラットフォームの動揺がかなりあること、風波の高いときはかなり潮をかぶり維持管理が困難であること（特に冬期厳寒期は）などがあげられている。

このような問題点を克服するため、将来の新しいリグとしては巨大鉄筋プレストレストコンクリート造重力式のものゝを推奨している。構造は第 2 図のごとく底部に巨大な鉄筋コンクリート造の潜函を設け内部を貯油場として用いると共に、潜函上には鉄筋プレストレストコンクリートパイプの支柱を設けて上部に 3,000 m^2 程度の鉄筋コンクリート造プラットフォームを置き、鑿井、工場、居住の各ユニットを配置する。鑿井は大口径コンクリート支柱パイプを通して行方。使用されるコンクリート量は 40,000~50,000 m^3 で総重量は 95,000~120,000 トンと巨大で安定性の良い構造となることが期待されている。

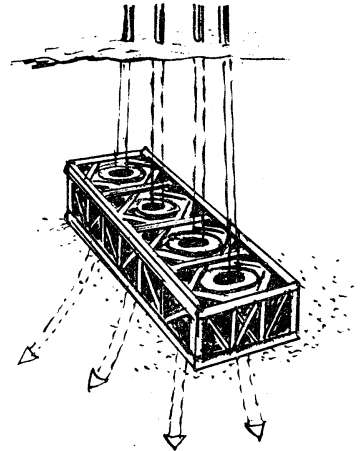
この種のコンクリートリグはノルウェーで設計開発が進められると共に着工されつつある。コンクリートリグの変形として第 3 図のごとき海洋貯油とポンピングステーションを兼ねたものも開発されている。また、余ガス燃焼塔用リグとしては第 4 図のような特殊な構造のもの



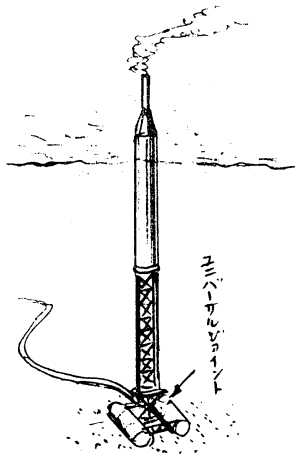
第 2 図 鉄筋プレストレストコンクリート造プラットフォーム。



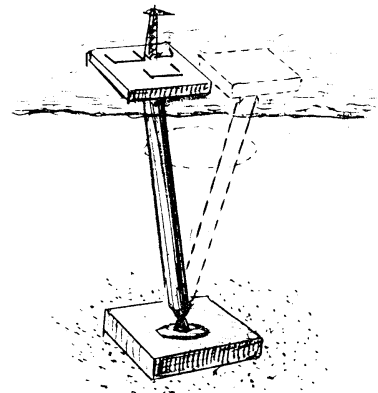
第3図 海洋貯油及び圧送ステーション。



第5図 パイロットマスコット・ユニット。



第4図 フレヤーガス燃焼用リグ。



第6図 オシレーションタイプ・プラットフォーム。

も開発されつつある。これは底部にユニバーサルジョイントを用いてリグ自体が潮流に対して吹き流し式に可動な構造となっているところが特長となっている。

鑿井地点と陸上を結ぶ海底パイプラインの敷設も大きな問題である。既往の施工実績によると一般に波浪おだやかな5月～10月の期間における敷設能力は600m/日程度であり、敷設機械能力2,500m/日に対して非常に小さく、海洋上の作業能率が計画と実際とは非常に異なることを示している。

3. 海底石油開発に伴う新しい技術開発構想

ELFは、IFP (INSTITUTE FRANÇAIS DU PETROLE) などと共同開発プログラムを担当し、1980年までに水深600mまで、1985年までに水深1,000mまでの海底油田採掘を可能とするのを目標に技術開発を進めている。この目標を達成するための多くの新プロジェクトテーマのうち、特記すべきものを二、三紹介してみると以下の通りである。

1. パイロットマスコット・ユニット

これはELFが最近最も期待している画期的なものであって、ドリル先端誘導装置とも言うべきもので、その試作1号機はアフリカのガボン油田に設置された。構造は第5図のごとく鋼管で結構された箱型枠組の中に4個のウエル式ドリル誘導装置を設置したものである。海底に設置されたこのユニットに向って、海上より降下したドリルの先端はユニットのウエル内に誘導装填されてドリル先端着底位置が確定固定されると共にウエルの指向装置の働きによって、4本のドリルを海底下に放射状に展開掘鑿することができる。ドリル先端をウエル内に自動的に誘導するためにリモートコントロールが設置されている。

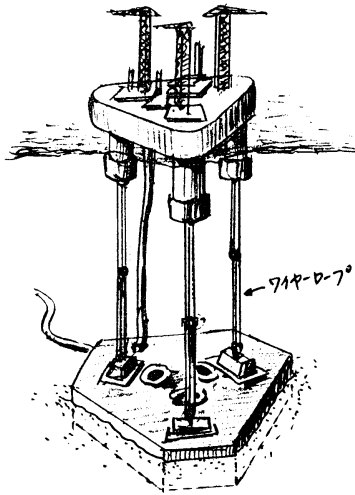
2. オシレーションタイプ・プラットフォーム

これは従来の重力式リグに代って、第6図のごとく、

海底の鉄筋コンクリート造のアンカー基礎の節点を中心としてリグ支柱が振り運動をする構造で、リグを極めて軽量簡素化できるのを特長としている。しかし、リグ底部の可動ジョイントの構造と材料の選定には高度の技術開発が要求されそうである。

3. テンションレッグタイプ・プラットフォーム

海水深 1,000 m 以上の海上でプラットフォームを設定するには従来の着底式リグで支えるのは不可能で、浮上構造形式とならざるを得ない。この場合、問題となるのは波浪、潮流に対して浮上プラットフォームをできるだけ定点に位置付けすることであって、そのためのアンカー構造が焦点となるのは当然である。この様な構想のものがテンションレッグタイプ・プラットフォームである。その構造は第7図のごとく海底に大規模のコンクリート造

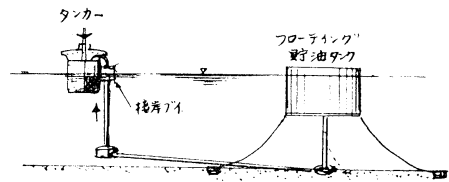


第7図 テンションレッグタイプ・プラットフォーム。

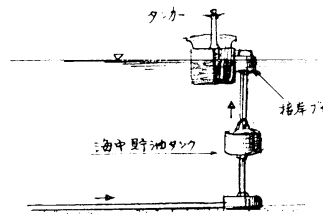
アンカー底版を設け、これにアンカーされたワイヤロープを浮体の脚部と結んで鉛直に張って定着させるものである。ドリル引き上げ時の反力は浮体の浮力によって受け、反力消去後の異状浮上反動力はワイヤロープの張力で受けさせることにしている。開発に当ってはテンションワイヤロープの張り方と緩衝方式の技術が問題となりそうである。また、浮上式プラットフォームをより安定的なものとするためには浮体構造を巨大化することも大切な点と思われる。この開発は現在石油開発17社より依頼されており、1/3の模型実験が行われている。

4. その他

海洋貯油とローディングシステムとしては第8図や第9図のような構想のものも考えており、また海底パイプラインの電蝕状況を自動的に測定する機器の開発なども行っている。



第8図 海洋貯油、ローディングシステム (その1)。



第9図 海洋貯油、ローディングシステム (その2)。

V. FONDATION POUR L'ETUDE ET LA PROTECTION DE LA MER ET DES LACS

海洋・湖沼保護研究所

森 川 吉 郎

(三井物産株式会社)

スイス、レマン湖の北岸、ローザンヌ郊外のキュリー (Cully) にある湖畔の広場の一角に、まだ新しい3階建のしょうしゃな建物がある。ここが海洋・湖沼保護研究所である。この研究所は、今回訪れた他の研究所——フランスの CNEXO のプレスト研究所、イギリスの国立海洋学研究所、あるいはオランダ IHC の MTI 等——

と異なり、ジャック・ピカール博士個人が主宰する小規模な研究所である。

小雨そぼ降る中、研究所を訪れた我々は、まずスライドとムービーの上映により、ピカール博士の今までの業績を紹介され、いかにしてこの研究所ができたかの説明を受けた。

1931年、ジャック・ピカールの父オーギュスト・ピカール教授が直径約 30 m の気球で 15,616 m の記録を作って、世界最初に成層圏へ上昇したことから始まって、水素ガスの代りにガソリンを満した海の気球ともいうべきパチスカーフを発明し、息子のジャック・ピカールが1960年それに乗って、世界最深のチャレンジャー海淵の 10,910 m の海底に到達したこと、更にその後、ジャック・ピカール自身がメゾスカーフ「オーギュスト・ピカール」号を建造し、1964年から1965年にかけてジュネーブで開催された万国博の際に、レマン湖で 100 m の深さに 1,100 回潜水し、3 万人の乗客に湖底を観光させたこと、又米国のグラマン社と共同で、メゾスカーフ「ベン・フランクリン」号を建造し、これでメキシコ湾流に乗って海中漂流実験をしたことなど詳しい説明があった。そしてこの海中漂流の際の経験が、ジャック・ピカールをしてこの海洋・湖沼保護研究所を設立し、環境問題に取り組ませることになったという。

スイス自体は山国で海洋と直接の関係はないが、数多い湖水が農業、肥料、生活廃水で次第に汚染されてかなり問題となって来ているので、この研究所に期待される

所は大きいものがある。今、彼はスイス全体の約 3,000 集落に一人宛の汚染対策の専門家を配置し、相互に連絡しながらモニターすることを始めた。又、学生、専門家、役人等を対象として、環境問題に関するセミナーを定期的にここで開催している。

長身典雅な風貌に似合わず、ジャック・ピカールはたくましい実行の人である。彼は今までに、少なくとも二度大きく変身してきた。トリエステ自由地区の経済的可能性等を論じていた学徒から、父オーギュストを助けてパチスカーフの製作、探険、又メゾスカーフの製作等海洋工学関係への変身、更に今又海洋・湖沼の環境保全、人類生存のための意識改革へのけいもう運動へと変身してきた。それは彼の比類ないパイオニア精神の現われでもある。

創立後まだ日も浅いこの研究所には、取り立てて記す程のオリジナルな研究業績はまだないが、常に根本から物事を見つめ、その方向を考えて行くという彼の人格に直接触れることができた、そのことがこの研究所を訪れた最大の成果であったと思う。

VI. IHC-HOLLAND, SMIT YARC & MINERAL TECHNOLOGISCH INSTITUT (MTI) IHC 社

鳥海宣隆, 水津一統, 伊藤昭六
(株式会社古川組) (佐世保重工業株式会社) (長崎県庁)

1. IHC-Holland の組織

IHC は次の 4 部門及び Dredger Division に所属する Mineral Technological Institute から成っている。

1. DREDGER DIVISION

Standard and custom-Built dredger, Dredger components, Measuring and control equipment, Dredging pipe, Diesel engine, Propeller shaft seal, Aluminium and polyester products, Ship repairs, Engineering

2. OFFSHORE DIVISION

Drilling platform, Drillships, Offshore structures, Pipelaying barge, Self-elevating platform for civil engineering purposes, Floating crane, Structural steel work, Special-purpose vessel, Standard winch

3. INVESTMENT DIVISION

Offshore contracting, Offshore consulting and engineering, SBM-system

4. MINING AND TRANSPORTATION

Equipment for the recovery, Concentration and separation of ores, Transshipment installations for bulk cargoes such as grain or copra, Engineering for alluvial mining, Ore treatment and bulk goods handling, Equipment for the mechanizing and automating of industrial processes

○MINERAL TECHNOLOGICAL INSTITUTE (MTI)

Research and product development of dredger division

2. IHC HOLLAND (Smit Yard)

IHC HOLLAND のスミットヤードを見学する機会を得たので見学の印象を述べたいと思う。IHC は 1943 年に六つの造船所が集って出来た会社である。歴史的に見てオランダは国土全面積の 2/5 が海面より低く砂丘や堤防で海水の侵入を防ぐために、水との戦いであった。

砂をいかに運び、どのように利用するかが問題であり堰堤を作るために、心血が注がれた。このような歴史的環境の中で IHC は浚渫機械部門を中心として発展して来た。特に海上土木技術の面では世界有数の技術を持っている。1965年に北海沖で石油、ガスが発見され、海洋工事部門に進出したが、アメリカの支配下にある海洋工事に食い込むことはなかなか難しく、アメリカの業者（ルターナ社）と組んでアメリカ国内で実際の作業に従事し技術の向上に努めたが、失敗に終り多大の赤字を出した。IHC Original design は次の四つに限定している。

1. Drilling Vessel with dynamic positioning system
2. Self-elevating platform
3. Floating crane
4. S.B.M. (Single mooring buoy)

ダイナミックポジショニングにより海洋石油掘削装置、リグ・セルフエレベーター・プラットフォーム等のライセンスを持ち大型のポンプ浚渫船は、全世界の40%をIHCで作っている。大型のドラッグサクシオン浚渫船は、全世界の70%のシェアを保有している。スミットヤードは主に、1) 大型ドレッジャー浚渫船タグポート、2) ストラッチャーバケット、ポンプ部品、カッターボールジョイント、切回弁送泥管等の部品、3) 測定機械やその他のデザインもやっている。スミットヤードに従事する労働者は約2,000人でその約10%が技術者である。

海外への主な輸出先はソ連、イラク、インド、インドネシア、中国等である。

私たちが工場を見て感心したことはドレッジャーポンプ部品の一品に至るまで材質についていろいろと研究開発し、満足のゆく品質の機械を作るという気持があるということである。

世界中の4,000種類以上の土砂のサンプルを保有し、各方面からテスト解析し土質に合った機械を作るということである。

又、オランダはもとよりヨーロッパ全体として建設工事に使用する骨材不足に悩まされている。

建設用骨材(砂利)を海中より採取するための実物大模型実験をやっていた。ポンプで海底より浚渫し、振動フルイで骨材を分離、泥水をサイクロンで濃縮し、高速回転の遠心分離機で水とシルト分と一緒に処理するという単純なプラントであるが、実に熱心に研究をし、高エネルギーのプラントの開発に努めていた。

これらのプラントが IHC の今後の目玉商品のような気がした。泥水処理については、浚渫時のヘドロ等のコ

ロジョンと魚に関係するものについてメーカーとして十分考え関心を持っていた。

鉱物資源開発についても時制待ちで研究のみ進めている。理由としては開発資金がかかって採算にのらないとのことである。

一口に言って IHC は大型実験に力を入れている。データ・技術を分析し商品化しているシステム開発とエンジニアリングをうまく組み合わせている点にある。又、MIT (Mineral Technological Institute) 研究所を持っている所に大きなメリットがあるのではないだろうか。IHC と日本との関係は Self-elevating platform = 川崎重工、Floating crane = 住友重工と技術提携している。

3. Mineral Technological Institute

MTI は Drdger Division の Laboratory であり、仕事の内容は次の通りである。

1. Measurement and calibration

- a) Measurements on centrifugal pumps バキューム、はん送圧力効率、速力トルク等
- b) Torques measurements
Diesel engine cutter driving mechanism の出力、速力に関するもの
- c) Wear measurements
Pump housing, pipeline 等の wall thickness の摩擦を Ultrasonic により計測
- d) Noise measurements
- e) Vibration measurements
- f) Measurements of radioactivity
- g) Measurements of production and of pipeline resistance Pipe line, ball joint, bend pipe 等に dredging material が通る時の抵抗測定
- h) Calibration of measuring equipment

2. Soil Investigation

soil の性質をあらゆる面から解析、試験しており、大別すると、

- a) rocky soil の compression, shear, bending, impact, wear test
- b) sand and gravel の grain size, specific gravity, pore volume, calcium content, silt, clay, peat etc. の specific weight, water content, plastic and liquid limit and viscosity 等となる。

世界各地より採集した土、砂等を上記のような各項目について解析し、その Data は砂だけで 1,000 種類、その他の土を含め 4,000 種類以上にのぼっている。

3. Dredging advisory service

dredging に関するあらゆる問題に関する consultant として他社からの研究依頼にも応じている。

4. Product development

Dredging instrument and dredger components の改善, 開発を行っている。

VII. NATIONAL INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY

イギリス国立海洋研究所

島 正 之

(千葉工業大学)

1. はじめに

1974年10月11日金曜日, うす曇り, 午後2時20分定刻より10分程遅れて, 一行15名は到着した。チャレンジャー号の船首像 (figurehead) に迎えられたことから, 私はこれから訪問しようとしている国立海洋研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF OCEANOGRAPHY, NIO) の内容に期待するものがあつた。

人間が本当の意味で, 海に挑戦しはじめたのはいつか? という問に対しはっきり年代を挙げるとすれば, それは1872年だと思ふ。

その年, ワイビル・トムソンの率いる学者グループが乗り組んだイギリス海軍の調査船チャレンジャー号が, 3年にわたる航海へと出航したのであつた。11万 km に達するチャレンジャー号の航海は, その航海だけで, それまでにあつた海に関する資料を合計したより多くの成果をもたらしたものであつた。

そこで, NIO の玄関に誇らしく飾られているチャレンジャー号の船首像を通して英国の, そしてこの研究所の歴史の一端や内容を想像することができると思ふ。

2. イギリスの海洋開発

回りを取り巻く海洋に対する関心はこの国においては, 先に触れたように伝統的なものである。

海洋の科学技術のさまざまな分野における研究・開発の実質的計画・実行は現在進行中であり, その多くは政府機関の次にあげる各省によって行われている。すなわち, 国防省, 教育科学省(自然環境研究会議を含む), 農漁食糧省, 技術省, スコットランド農漁省, 運輸省などである。

そして, これらの各省の担当する分野別は次のようである。

1. 基礎科学

- 1) 海洋物理学: 自然環境研究会議, 各大学, 技術省, 農漁食糧省, スコットランド農漁省
- 2) 海洋地質学: 自然環境研究会議, 各大学

- 3) 海洋生物学: 自然環境研究会議, 各大学
- 2) 水路学的調査: 国防省, 自然環境研究会議
- 3) 漁業: 農漁食糧省, スコットランド農漁省, 技術省
- 4) 海洋鉱物資源: 自然環境研究会議, 技術省
- 5) 海上輸送: 技術省
- 6) 沿岸保護: 自然環境研究会議, 技術省, 運輸省
- 7) 海洋汚染防止: 農漁食糧省, スコットランド農漁省, 技術省
- 8) 国防: 国防省, 技術省
などとなっている。

そして, これらで行われる調査・計画は規模及び範囲が適切で, 均衡のとれた国家計画でなければならぬことから, これらの関連作業を再検討し, 最も利益をもたらしそうな調査分野を決定し, 調整する行動の方向と手段とについての勧告を与えるためのレポートが1969年に出版されている。

3. 国立海洋研究所

国立海洋研究所, NIO はロンドンの南方約 70 km の地点, バスでおよそ 80 分かかかるサリー (Surry) という町の郊外の丘の中にある研究所である。

チャレンジャー号に引き続き, 現在も Discovery I, II 世号を有し, この本部の 230 名のほか, 4 か所を含めて, 国際的な科学者は 360 名に達するとのことで, 主に沿岸の研究を行っているようである。

NIO の研究部門は工学, 地質学及び地球物理学, 応用物理学, 生物学の 4 部門で, 以下に各部門ごとに私の印象に残ったことをメモ風に御紹介したいと思ふ。

1. 工学 (Engineering)

この部門は科学者と技術者が協同して, 試作・試験するといった workshop が中心で, この NIO に必要な工学だけを扱っているようである。

- 1) コンクリート波動水槽: 2 m × 2 m × 50 m で, 5 cm/sec の移動架台付。ワークショップで作成したもののキャリブレーションに利用。

- 2) 耐圧装置: 200 気圧までの加圧装置。
 - 3) 大型ソナー: 1.6 mφ×8 m でバラストで浮上する, など。
2. 地質学及び地球物理学 (Geology and Geophysics)
この部門は比較的地味な継続的な観測研究が中心である。
- 1) The side-scan sonar method: 超音波を利用し, 小型のものは船底に設置数 km 程度の観測, 大型のものはグローリア (Gloria) とよばれ 20 km 程度までの scanning を行う。
 - 2) Tidal current transport of sand: これは 1) を利用して, 15年間も英国沿岸の観測をしているとすることで, 大陸棚の底は Erosion (侵食)→Transport (輸送)→Deposition (沈殿) を行い, 常に移動している (Sedimentation) ことが分りつつあるそうである。
 - 3) Sediment diversity on the sea bottom: 海洋生物に強く影響する海底のロック, 砂利, 砂などのサンプリングを行っている, など。
3. 応用物理学 (Applied Physics)
ここでは, 波の観測装置, ジャイロスコープ, コンパスなどの研究が主で, 具体的には F. M. Accelerometer (for wave measuring buoys) や, Digital Compass (for U.K. Data Buoy DBI) など。そのほ

か Development of a long range side-scan sonar, Gloria などの研究が挙げられる。

4. 生物学 (Biology)

この部門では, 以前に行っていたプランクトンの研究に引き続き, 現在は水面下 200 m 以深の魚類を追跡しており, これには R. R. S. Discovery 号が使用され, 船を 2ノットで走らせて, 表面用, 中深用, 底用の 3種の網で魚を採集するとのことである。同時に 1,000 m 程度までの水温の測定も行い, 500 m 付近では 9°C であるとのことである。

4. おわりに

リサーチコンファレンスが設立, 50% 程度が政府委託の研究であり, 海洋の基礎的な研究から応用まで, 地味な研究が多いと感じた。また, 科学者と技術者が協力し合って, 立派なワークショップで試作し, 試験するという姿勢には大いに習うべき点があるように思う。

午後 4 時, チャレンジャーの船首像に, 2 時間程前にここを訪れた時得た印象とは少し異なった感概を残して, NIO のエルファント氏, ディビッド氏に別れを告げた。

終りに, この視察に際して終始適切なアドバイスを頂いた, 団長の佐々木忠義博士, また森川吉郎副団長はじめチームの皆様にご心より感謝の意を表したいと思いません。

学 会 記 事

1. 昭和49年9月12, 13の両日, 広島市日本生命ビルにおいて, 本学会主催, 環境庁・日本海洋学会・日刊工業新聞社・中国新聞社後援で, 第2回「赤潮シンポジウム」が開催された。
2. 昭和49年11月15日, 東京水産大学において, 編集委員会が開かれ, 第12巻第3号の編集が行われた。
3. 昭和49年11月29日, 東京水産大学において, 昭和49年度第1回日仏海洋学会賞受賞候補者推薦委員会が開かれた。

4. 入 会

正会員:

氏 名	所 属	紹介者
小林 正 博	㈱小桜海洋開発	渡辺 信雄
坂 本 亘	東京大学海洋研究所	松生 治
Joël Quérellou		宇野 寛

5. 退 会

賛助会員:

東洋海洋開発株式会社, 東レ株式会社開発研究所

6. 死 亡

名誉会員 住木諭介氏は昭和49年9月11日逝去された。謹んで御冥福を祈る。

正会員 松平近義氏は昭和49年11月16日逝去された。謹んで御冥福を祈る。

7. 会員の住所, 所属の変更

正会員:

氏 名	新住所又は新所属
佐々木 信 雄	武蔵野市境 4-0-8
梨 本 一 郎	八王子市栲田町 1221-2-503 狭間マンション
川 崎 寛 司	土浦市神立町 502 ㈱日立製作所機械研究所
谷 口 旭	仙台市堤通雨宮町 1-1 東北大学農学部水産学科
津 田 良 平	豊中市岡上の町 2-5-5 豊中グランドハイツ 606号
森 安 茂 雄	大阪市東区法円寺坂町 6-25 大阪合同庁舎 2号館, 大阪管区気象台
渋谷 勝 治	東京都渋谷区代々木 4-16-7

8. 交換及び寄贈図書

- 1) 日本航海学会論文集, 第51号.

- 2) 逐次刊行物目録, 昭和47年度版. (国会図書館)
- 3) 宇佐臨海実験所報告, 20(1, 2).
- 4) Ocean Age, No. 9~11, 1974.
- 5) JODC ニュース, 増刊号, 3(9).
- 6) CSK Newsletter, No. 44.
- 7) Annales Hydrographiques, N° 740.
- 8) 広島大学水畜産学部紀要, 13(1).
- 9) 鯨研通信, 276, 277号.
- 10) 国立科学博物館研究報告, 17(3).
- 11) 国立科学博物館専報, 第7号.
- 12) 海洋産業研究資料, 15(7, 8).
- 13) 研究実用化報告, 23(8~10).
- 14) なつしま, No. 7~10. (科技センター)
- 15) 港湾技研資料, No. 182~195.
- 16) 港湾技術研究所報告, 13(2, 3).
- 17) 同上, 1974~'75 要覧.
- 18) 港湾技術研究所年報, 昭和49年度版.
- 19) 神奈川県立博物館研究報告, 自然科学7号.
- 20) 神奈川県の地質 1, 付図14葉.
- 21) 航海, 44号.
- 22) 海洋博ニュース, No. 24, 25.
- 23) 海洋機器開発, 6(9, 10).
- 24) Boletin Informativo, N° 12, 13.
- 25) Bulletin de l'Institut de Géologie de Bassin d'Aquitaine, N° 15.
- 26) Science et Pêche, N° 235.
- 27) Bulletin de L'association de Géographes Français, N° 419.

日仏海洋学会役員

顧問	ユベール・ブロッシェ ジャン・デルサルト ジャック・ロベール アレクシス・ドランデール ベルナール・フランク
名誉会長	ミシェル・ルサージュ
会 長	佐々木忠義
常任幹事	永田 正, 大柴五八郎
幹 事	阿部友三郎, 有賀祐勝, 石野 誠, 井上 実 今村 豊, 岩下光男, 宇野 寛, 川原田 裕 神田献二, 菊地真一, 鬼頭正隆, 草下孝也, 斎藤泰一, 佐々木幸康, 杉浦吉雄, 高木和徳 高野健三, 辻田時美, 奈須敬二, 根本敬久, 半沢正男, 松生 治, 丸茂隆三, 森田良美, 山中鷹之助 (五十音順)

監 事 久保田 穰, 岩崎秀人
 評 議 員 赤松秀雄, 秋山 勉, 阿部宗明, 阿部友三郎
 新崎盛敏, 有賀祐勝, 石野 誠, 石渡直典,
 市村俊英, 井上直一, 井上 実, 今村 豊,
 入江春彦, 岩崎秀人, 岩下光男, 岩田憲幸,
 宇田道隆, 宇野 寛, 大内正夫, 大柴五八郎
 大村秀雄, 岡部史郎, 梶浦欣二郎, 金谷太郎
 川合英夫, 川上太左英, 川村輝良, 川原田 裕
 神田献二, 菊地真一, 鬼頭正隆, 草下孝也,
 楠 宏, 国司秀明, 久保田 穰, 黒木敏郎
 小林 博, 小牧勇蔵, 近藤 仁, 西条八束,
 斎藤泰一, 斎藤行正, 佐伯和昭, 坂本市太郎
 佐々木忠義, 佐々木幸康, 猿橋勝子, 椎野秀雄
 柴田恵司, 下村敏正, 庄司大太郎, 杉浦吉雄
 関 文威, 多賀信夫, 高木和徳, 高野健三,
 高橋淳雄, 高橋 正, 田畑忠司, 田村 保,

千葉卓夫, 辻田時美, 寺本俊彦, 富永政英,
 鳥居鉄也, 中井甚二郎, 中野猿人, 永田 正
 永田 豊, 奈須敬二, 奈須紀幸, 新田忠雄,
 根本敬久, 野村 正, 花岡 資, 半沢正男,
 半谷高久, 菱田耕造, 日比谷 京, 平野敏行
 深沢文雄, 福島久雄, 淵 秀隆, 星野通平,
 増沢譲太郎, 増田辰良, 松井 魁, 松生 洽
 松崎卓一, 松平康男, 丸茂隆三, 三浦昭雄,
 三宅泰雄, 宮崎千博, 宮崎正衛, 元田 茂,
 森川吉郎, 森田良美, 森安茂雄, 安井 正,
 柳川三郎, 矢部 博, 山路 勇, 山中鷹之助
 山中 一, 依田啓二, 渡辺貫太郎, 渡辺精一
 (五十音順)

マルセル・ジュクラリウス, ジャン・アンク
 ティル, ロジェ・ペリカ

賛 助 会 員

旭化成工業株式会社
 井 出 利 明
 株式会社内田老鶴園新社 内田悟
 梅 林 弘 直
 株式会社大林組
 小樽船用電機株式会社
 株式会社オルガノ
 株式会社オーシャン・エージ社
 海上電機株式会社
 社団法人海洋開発産業技術協会
 株式会社海洋開発センター
 協同低温工業株式会社
 協和商工株式会社
 栗山ゴム株式会社
 小松川化工機株式会社
 小山 康 三
 三信船舶電具株式会社
 三洋水路測量株式会社
 シュナイダー財団極東駐在事務所
 昭和電装株式会社
 大洋電機株式会社
 株式会社高瀬鉄工所
 株式会社鶴見精機工作所
 帝国酸素株式会社
 東亜港湾株式会社
 東京工材株式会社
 株式会社東京久栄
 東京製鋼繊維ロープ株式会社
 東京レプ株式会社
 株式会社東邦電探
 中川防蝕工業株式会社

東京都千代田区有楽町 1-1-2 三井ビル
 釧路市白金町 11
 東京都千代田区九段北 1-2-1 蜂谷ビル
 東京都千代田区大手町 2-2-1 新大手町ビル7階 極東貿易株式会社
 東京都千代田区神田司町 2-3
 小樽市色内町 3-4-3
 東京都文京区本郷 5-5-16
 東京都千代田区神田美土代町 11-2 第1東英ビル
 東京都千代田区神田錦町 1-19
 東京都港区六本木 4-1-13
 東京都港区赤坂 1-9-1
 東京都千代田区神田佐久間町 1-21 山伝ビル
 東京都豊島区目白 4-24-1
 大阪市東淀川区西中島町 1-195
 東京都千代田区神田佐久間町 2-7 第6東ビル
 東京都文京区本駒込 6-15-10 英和印刷社
 東京都千代田区神田 1-16-8
 東京都港区新橋 5-23-7 三栄ビル
 東京都港区芝罘平町 38 日本ガス協会ビル
 高松市寺井町 1079
 東京都千代田区神田錦町 3-16
 東京都江戸川区松江 1-11-15
 横浜市鶴見区鶴見町 1506
 神戸市兵庫区高松町 1-40
 東京都千代田区四番町 5
 東京都中央区築地 4-7-1 築三ビル
 東京都中央区八重洲 3-3 八重洲口会館
 東京都中央区日本橋室町 2-6 江戸ビル
 東京都豊島区池袋 2-1120 ローザマンション 302号
 東京都杉並区上高井戸宮前 1-8-9
 東京都千代田区神田鍛冶町 2-1 東京建物ビル

株 式 会 社 ナ ッ ク
 日 本 ア ク ア ラ ン グ 株 式 会 社
 日 本 海 事 広 報 協 会 海 の 世 界 編 集 部
 日 本 海 洋 産 業 株 式 会 社
 日 本 テ ト ラ ポ ッ ド 株 式 会 社
 日 本 テ レ ス コ ム 株 式 会 社
 社 団 法 人 日 本 能 率 協 会
 日 本 無 線 株 式 会 社
 有 限 会 社 ハ ラ ダ 電 機 製 作 所
 ヒ エ ン 電 工 株 式 会 社
 深 田 多 満 男
 藤 田 潔
 藤 田 峯 雄
 美 蓉 海 洋 開 発 株 式 会 社
 フ ラ ン ス 物 産 株 式 会 社
 古 野 電 気 株 式 会 社
 丸 文 株 式 会 社
 三 井 海 洋 開 発 株 式 会 社
 株 式 会 社 吉 田 製 作 所
 吉 野 計 器 製 作 所
 株 式 会 社 離 合 社
 株 式 会 社 渡 部 計 器 製 作 所

東 京 都 港 区 西 麻 布 1-2-7 第 17 興 和 ビ ル
 東 京 都 品 川 区 東 品 川 4-9-26 南 産 業 ビ ル
 東 京 都 港 区 琴 平 町 35 船 舶 振 興 ビ ル
 東 京 都 新 宿 区 西 新 宿 2-6-1 新 宿 住 友 ビ ル
 東 京 都 港 区 新 橋 2-1-13 新 橋 富 士 ビ ル 9 階
 東 京 都 港 区 六 本 木 4-11-10 六 本 木 富 士 ビ ル
 東 京 都 港 区 芝 公 園 25 号 地
 東 京 都 港 区 芝 桜 川 町 25 第 五 森 ビ ル
 東 京 都 豊 島 区 池 袋 3-35
 堺 市 松 屋 町 1-3
 東 京 都 港 区 芝 虎 ノ 門 8 虎 ノ 門 実 業 会 館 深 田 サ ル ベ ー ジ 株 式 会 社
 東 京 都 新 宿 区 四 谷 3-9 光 明 堂 ビ ル 株 式 会 社 ビ デ オ プ ロ モ ー シ ョ ン
 東 京 都 江 東 区 南 砂 1-3-25 株 式 会 社 中 村 鉄 工 所
 東 京 都 千 代 田 区 大 手 町 2-3-6 タ イ ム ラ イ フ ビ ル
 東 京 都 千 代 田 区 神 田 小 川 町 3-20-2 増 淵 ビ ル
 東 京 都 中 央 区 八 重 洲 4-5 藤 和 ビ ル
 東 京 都 中 央 区 日 本 橋 大 伝 馬 町 2-1-1
 東 京 都 千 代 田 区 霞 ヶ 関 3-2-5 霞 ヶ 関 ビ ル 3002 号 室
 東 京 都 台 東 区 上 野 3-13-9
 東 京 都 北 区 西 ヶ 原 1-14
 東 京 都 千 代 田 区 神 田 鍛 冶 町 1-2 丸 石 ビ ル
 東 京 都 文 京 区 向 丘 1-7-17

うみ(日仏海洋学会誌)

第12巻(1974年)

総目次

第1号

原著

大陸棚上における長周期波の振舞 (I)
一女川湾沖における観測結果一
益永典昭, 寺本俊彦, 前田明夫 1~8

夏季停滞期の東京湾における懸濁態有機物の
分解 (英文)関 文威, 篠山秀夫,
武藤 誠, 沼野井春雄 9~15

1973年1月の太平洋における石油分解菌分布
と水塊 (英文)関 文威, 中井俊介,
乙部弘隆 16~19

船尾方向からの水中超音波信号の伝達角限界
について.....加藤増夫 20~25

海中の放射伝播の数値計算 (英文)
岸野元彰 26~33

寄稿

サボニアスロータ流速計による流速解析
(仏文).....高野健三, 川口尚子 34~37

総説

日本における水産増殖の近況 (英文)
宇野 寛 38~55

学会記事..... 57~58

第2号

原著

ヨーロッパヒラガキの幼生に対する3種の単
細胞藻類の餌料効果 (英文)武田恵二 59~65

夏季停滞期から秋季循環期の東京湾における
微生物の好塩性に関する研究 (英文)
関 文威, 松尾潤一, 山下光司,
沼野井春雄 66~71

La mer (Bulletin de la
Société franco-japonaise
d'océanographie)

Tome 12 (1974)

Sommaire

Numéro 1

Notes originales

Behavior of Long Period Waves on the
Continental Shelf (I)—Measurements off
Onagawa Bay—in Japanese)
Noriaki MASUNAGA,
Toshihiko TERAMOTO
and Akio MAEDA 1~8

Decomposition of Particulate Organic
Materials in Tokyo Bay at Summer
Stagnation Period in 1972
Humitake SEKI, Hideo SHINOYAMA,
Makoto MUTO and Haruo NUMANOI 9~15

Petroleumlytic Bacteria in Different Water-
masses of the Pacific Ocean in January,
1973Humitake SEKI,
Toshisuke NAKAI and Hirotake OTOBE 16~19

On the Critical Transmissible Angle of
Ultrasonic Wave Signals in Underwater
(in Japanese) Masuo KATO 20~25

Numerical Calculation of Radiative Trans-
fer in the Sea Motoaki KISHINO 26~33

Miscellanées

Analyse préliminaire d'enregistrements de
courantmètres à rotor de Savonius
Kenzo TAKANO et
M^{me} Hisako KAWAGUCHI 34~37

Compte rendu

Recent Aquaculture in Japan.....Yutaka UNO 38~55

Procès-Vervaux 57~58

Numéro 2

Notes originales

The Food Effects of Three Unicellular
Algae for Larval Oyster *Ostrea edulis*
L. in the LaboratoryKeiji TAKEDA 59~65

Halophilism of Microorganisms in the
Eutrophied Bay of Tokyo at the End of
Summer Stagnation Period
Humitake SEKI, Jun-ichi MATSUO,
Mitsuji YAMASHITA
and Haruo NUMANOI 66~71

東経 150°~160° 線での赤道海流, 北赤道反流を特徴づける表面塩分 (仏文) J. R. DONGUY et C. HENIN 72~78

安定海水泡沬の生成飛散と気象要素との関係 (英文) 阿部友三郎, 福地直樹 79~85

相模湾沿岸における異常高潮位と湾の温度場及び塩分場との関係 松山優治, 寺本俊彦, 前田明夫 86~94

総 説

水塊微生物による石油の分解 (英文) S. A. CROW, S. P. MEYERS and D. G. AHEARN 95~112

学会記事 113~118

第 3 号

原 著

異形棒鋼製人工魚礁の追跡調査 飯高勇之助, 津田良平, 森永 勤, 瀬良 茂, 高野幸三, 小池 章 119~127

メバチに関する水産海洋学的研究—I 東部熱帯太平洋におけるマグロはえなわの漁獲深度 花本栄二 128~136

下北半島沖の深海扇状地 (英文) 佐藤任弘, 桜井 操 137~144

東京湾の珪藻プランクトン群集の遷移—続— 丸茂隆三, 佐野 昭, 村野正昭 145~156

魚の魚形図形に対する反応 I. キンギョによる図形の向き弁別実験 井上 実 157~164

日仏海洋学会賞受賞記念講演

大洋における光学的性質に関する研究 松生 治 165~166

佐々木忠義会長のレジオン・ドヌール勲章受賞について 宇野 寛 167

学会記事 168~170

Salinités de surface caractéristiques du courant équatorial et du contre-courant équatorial nord à 150°-160°E J. R. DONGUY et C. HENIN 72~78

Natural Stable Sea Foam and its Meteorological Significances Tomosaburo ABE and Naoki FUKUCHI 79~85

Abnormal Variations of Sea Level at the Sagami Bay Coast and their Relation to Variations in Offshore Fields of Water Temperature and Salinity (in Japanese) Masaji MATSUYAMA, Toshihiko TERAMOTO and Akio MAEDA 86~94

Compte rendu

Microbiological Aspects of Petroleum Degradation in the Aquatic Environment S. A. CROW, S. P. MEYERS and D. G. AHEARN 95~112

Procès-Vervaux 113~118

Numéro 3

Notes originales

Field Test of Iron-Made Fish Reefs (in Japanese) Yunosuke IITAKA, Ryohei TSUDA, Tsutomu MORINAGA, Shigeru SERA, Kozo TAKANO and Akira KOIKE 119~127

Fishery Oceanography of Bigeye Tuna—I Depth of Capture by Tuna Longline Gear in the Eastern Tropical Pacific Ocean (in Japanese) Eiji HANAMOTO 128~136

Deep-Sea Fans off the Shimokita Peninsula, Northeast Japan Takahiro SATO and Misao SAKURAI 137~144

Further Study on Succession of Plankton Diatoms in Tokyo Bay (in Japanese) Ryuzo MARUMO, Akira SANO and Masaaki MURANO 145~156

Response of Fish to Fish-Figures I. Learning Experiment for Goldfish on Discrimination of the Direction of Fish-Figures (in Japanese) Makoto INOUE 157~164

Conférence commémorative

Recherche sur les propriétés optiques de l'eau en plein océan (en Japonais) Kanau MATSUIKE 165~166

Nomination de Monsieur Tadayoshi SASAKI, Président de l'Université des Pêches de Tokyo, au grade de Chevalier de l'Ordre National de la Légion d'Honneur (en Japonais) Yutaka UNO 167

Procès-Vervaux 168~170

第 4 号

原 著

- 多重成層構造をもつ海を伝わる内部波の性質
(英文)……………都司嘉宣, 永田 豊 171~185
- 夏季停滞期の下田湾におけるヘキサデカンの
分解 (英文) ……………関 文威 186~191
- 夏季停滞期の東京湾における微生物量の分布
様式 (英文) ……………寺田卓二, 関 文威,
市村俊英 192~196
- 養殖ヒロハノヒトエグサの生長と光合成活性
の変化……………前川行幸, 有賀祐勝 197~213

資 料

- 第2次欧州海洋開発技術調査団報告…………… 214~230
- 学会記事…………… 231~233
- 総目次 (第12巻)

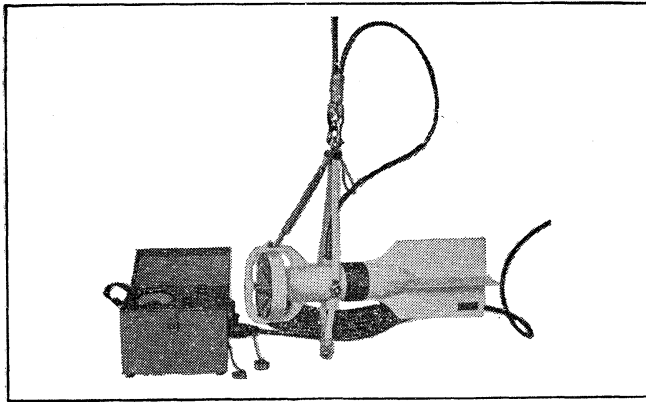
Numéro 4

Notes originales

- Linear Theory for Internal Waves in a
Multilayered Ocean…………Yoshinobu TSUJI
and Yutaka NAGATA 171~185
- Hexadecane Decomposition in the Eutro-
phic Bay of Shimoda at Summer
Stagnation Period ……Humitake SEKI 186~191
- An Areal Distribution of Microbial Biomass
in Tokyo Bay at Summer Stagnation
Period……………Takuji TERADA,
Humitake SEKI and Shun-ei ICHIMURA 192~196
- Studies on the Growth and the Variation
of Photosynthetic Activity of Cultivated
Monostroma latissimum (in Japanese) ……
……………Miyuki MAEGAWA
and Yusho ARUGA 197~213

Documentation

- Rapport de la II^e mission technologique
sur l'exploitation des océans en Europe
(en Japonais)…………… 214~230
- Procès-Verbaux …………… 231~233
- Sommaire du Tome 12



Direct-Reading Current &
Direction Meter

Model

CM-2

Catalogues are to be sent immediately upon receipt of your order products

Products

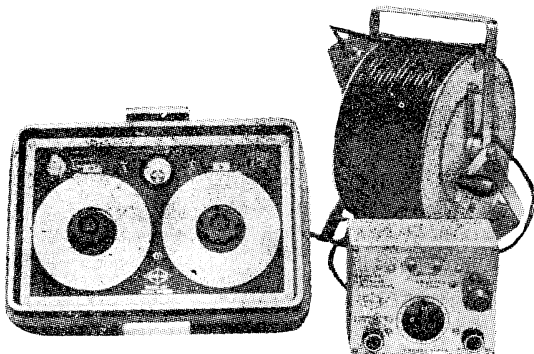
- KM-2 : Direct Reading Knot-Meter for Trawl-Boats to Control Adequate Speed
- ET-5 : Electric Meter of Water Temperature
- ECT-5 : Electric Conduction and Temperature Meter for Chlorine

TOHO DENTAN CO., LTD.

Office: 1-8-9, Miyamae, Suginami-Ku, Tokyo. Tel. Tokyo (03) 334-3451~3

AUTO-LAB PORTABLE S-T BRIDGE

Model 602



オート・ラブ誘導起電式精密塩分計に引続いて、開発された温度と塩分の現場測定用の可搬型海洋測器です。温度、塩分ともダイヤルで直読出来、簡便で堅牢しかも高精度なソリッドステートのユニット結合構造の最新鋭計器です。

- 温度 : 0~35°C 1/2 確度 ±0.1°C
- 塩分 : Scale 1. 0~32‰S 確度 ±0.1‰S
Scale 2. 32~42‰S 確度 ±0.03‰S
- 電源 : 電池 9V, 200時間使用可能

追加附属品

- ステンレス製ケーブルリール
- 半自動式電極プラチナイザー

製造品目

転倒温度計各種
電気式水温計各種
採水器・海洋観測機器
気象用・理化学用温度計
サーモレンジャー
ミグスター 温度調節器

日本およびアジア総代理店



株式会社 渡部計器製作所

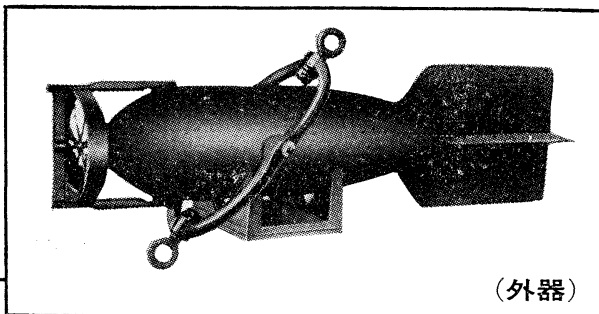
東京都文京区向丘1の7の17
TEL (811) 0044 (代表) ☎ 113

(カタログ御希望の方は誌名御記入の上御請求下さい)

長期捲自記流速計

(NC-II)

本流速計は海中に設置し、内蔵した記録器に流速流向を同時に記録するプロペラ型の流速計で約20日間の記録を取る事が出来ます。但し流速は20分毎に3分間の平均流速を又流向は20分毎に一回、共に棒グラフ状に記録しますから読取が非常に簡単なのが特徴となっております。

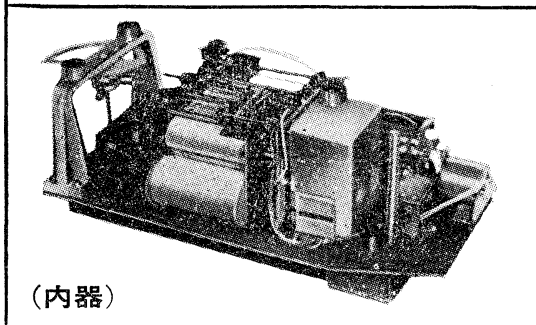


(外器)

プロペラはA, B, C三枚一組になって居り

A(弱流用).....1m/sec	} 迄一枚毎に検定してあります。
B(中流用).....2m/sec	
C(強流用).....3m/sec	

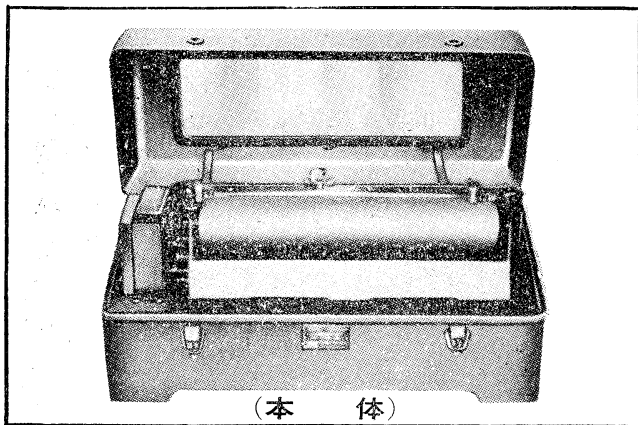
弱流ペラーに依る最低速度は約4cm/secです。



(内器)

フース型長期捲自記検潮器

(LFT-III)



(本体)

営業品目

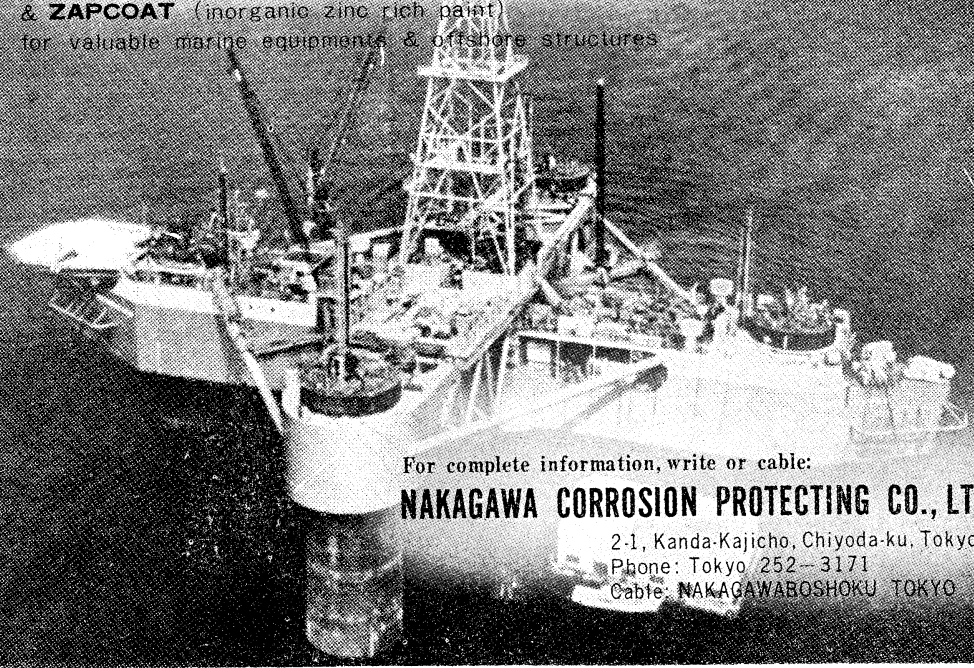
階段抵抗式波高計
 ケーブル式波高計
 フース型検潮器
 小野式自記流速計
 自記水位計
 港施型土圧計
 理研式水中カメラ
 その他海洋観測諸計器

協和商工株式会社

東京都豊島区目白4丁目24番地1号
 TEL (952) 1376代表 171

SAVE YOUR MONEY

thru **NAKAGAWA's** Cathodic Protection
& **ZAPCOAT** (inorganic zinc rich paint)
for valuable marine equipments & offshore structures



For complete information, write or cable:

NAKAGAWA CORROSION PROTECTING CO., LTD.

2-1, Kanda-Kajicho, Chiyoda-ku, Tokyo

Phone: Tokyo 252-3171

Cable: NAKAGAWABOSHOKU TOKYO

水路測量と土質調査

Hydrographic Survey and Marine Geological Survey

SANYO Hydrographic Survey Co., LTD.

業 務 深淺測量, 底質土質調査, 国土保全測量調査, 海洋資源開発測量調査

防災工事測量調査, マイルポストの測量, 航海保安に必要な調査, 海底ケーブル沈設測量調査, 潮汐, 潮流, 海流, 波浪の観測

一般海洋観測調査, その他一般海事関係の観測調査および関係業務の技術, 科学的研究

特 色 高性能の精密計測機の整備拡充

元海上保安庁職員をもつて組立する優秀なる我国唯一の技術陣

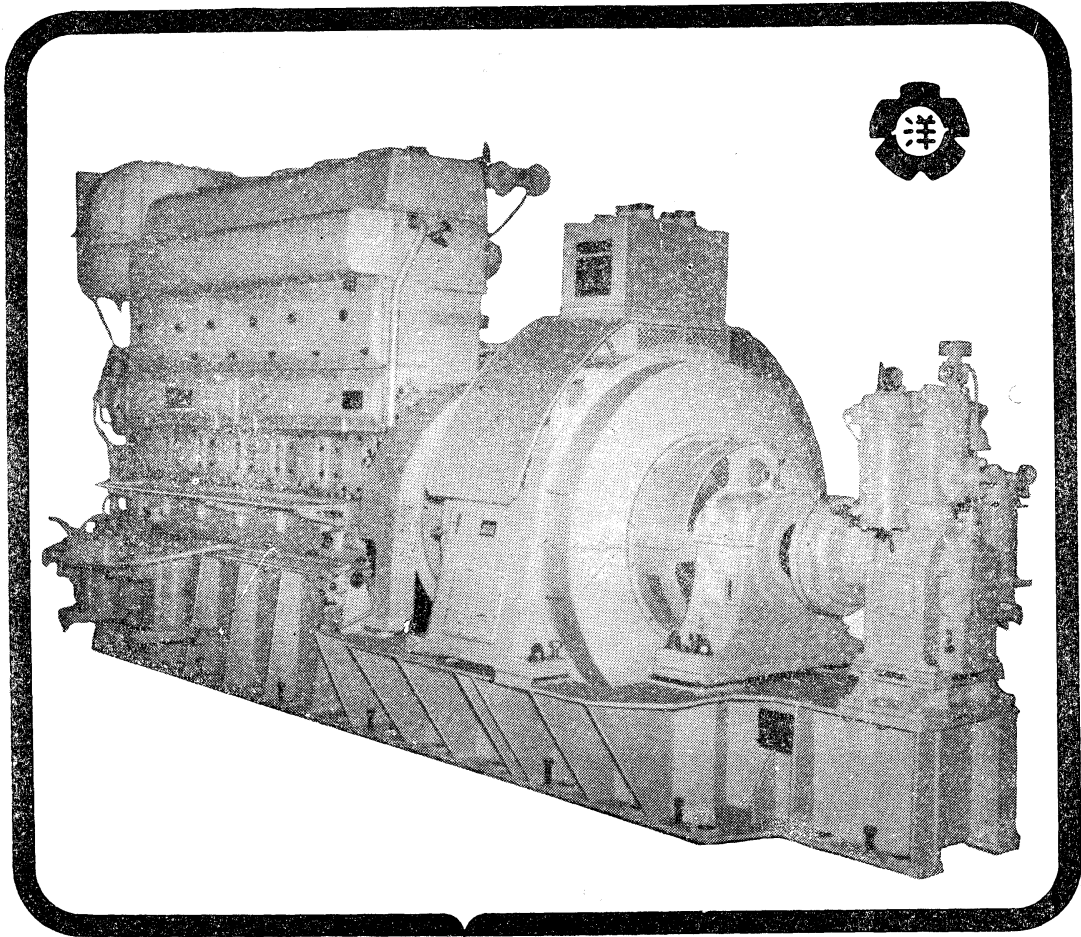
総代理店(連絡先)は全国的組織網を持つ三井物産 K. K. の本, 支店出張所

三 洋 水 路 測 量 株 式 会 社

東京都港区新橋5丁目23番7号

電 話 (432) 2971~4

ながい経験と最新の技術を誇る！
大洋の船舶用電気機器



主要生産品目
 自励・他励交流発電機
 直流発電機
 各種電動機及制御装置
 船舶自動化装置
 配電盤

大洋電機株式会社

取締役社長 山田沢三

本社 東京都千代田区神田錦町3の16
 電話 東京 (293) 3061~8
 岐阜工場 岐阜県羽島郡笠松町如月町18
 電話 笠松 4 1 1 1 ~ 5
 伊勢崎工場 群馬県伊勢崎市八斗島町726
 電話 伊勢崎 1815・1816・1835・816
 下関出張所 下関市竹崎町399
 電話 下関 (22) 2820・3704
 北海道出張所 札幌市北二条東二丁目 浜建ビル
 電話 札幌 (25) 6347(23)8061・8261

メルタック

熱溶融型接着剤ですから、溶剤や水を含まないで乾燥の必要がなく、瞬間的に接着します。

ポリエチレン、アルミ箔等にも良く接着します。

ポリロック

含浸、注型、充填用として使用される接着性と作業性の良好なシーリング材です。

ポリワックス

ワックスを主成分とし、各種ポリマーをブレンドした防湿、密封用のシーリングワックスです。

東京工材株式会社

東京都中央区築地 4-7-1 TEL (542) 3361 (代)

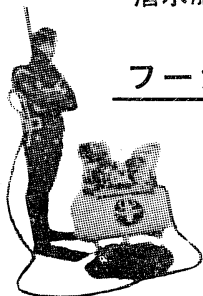
アクアラング

aqua-lung



◎ カタログ 進呈 ◎
潜水服採寸表

フーカーク潜水具



- 最新式アクアラング器具一式
- フーカーク潜水具
沿岸工事、水中調査、養魚、養殖、漁業、救難作業等の水中作業に画期的な高能率を示す潜水器具
- ナイロンジャージ付スポンジゴム潜水服
軽くて強く……保温性がよく……着心地快適
- アクアラング事業部併設
水中作業のご依頼に応じますのでご照会下さい
- アクアラング講習会常設
東京にアクアラング訓練用プールを設置

仏国・スピロテック社 日本総代理店
米国・U.S.ダイバーズ社

日本アクアラング株式会社

九州営業所 福岡市鳥飼1の5の33
電話 福岡 (74) 8907
名古屋営業所 名古屋市中川区東出町3の1
電話 名古屋(331) 5016

東京支社 東京都豊島区北大塚1丁目16の6
(国電大塚駅前大塚ビル一階)
電話 東京 (918)6526 (代表)

本社 神戸市兵庫区高松町22の1
神戸営業所 (帝國酸素株式会社内)
電話 神戸 (67) 5501(大代表)

Murayama

計 濁 度 中 水
計 照 度 中 水
計 導 度 電



株式会社 村山電機製作所

本社 東京都目黒区五本木2-13-1
出張所 名古屋・大阪・北九州

711 は無限の可能性に挑戦する

- ◆漁撈電子機器
- ◆航海計器
- ◆海洋開発機器
- ◆航空機用電子機器
- ◆各種制御機器
- ◆コンピュータ端末機器
- ◆各種情報システム



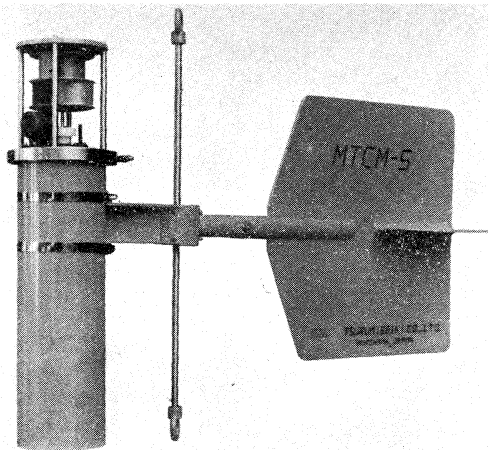
本社 / 西宮市芦原町9-52 ☎0798(65)2111(大代) 支社 / 東京都中央区八重洲4-5番和ビル ☎03(272)8491(代) ほか37ヶ所

Exploiting the Ocean by...

T.S.K. OCEANOGRAPHIC INSTRUMENTS

REPRESENTATIVE GROUPS OF INSTRUMENTS AND SYSTEMS

T.S. 磁気テープ記録式流向流速 (水温) 計 (MTCM-5A) T.S. MAGNETIC TAPE RECORDING CURRENT METER (MTCM-5A)



この装置は、海洋、河川、湖沼等に於いて流向流速水温等の環境状況を測定記録する為のものであります。測定項目としては流向流速水温の3つを標準仕様としオプションとして深度・塩分を付加する事も可能です。本器はデジタル計測方式を全面的に採用し、各データーはインクリメンタル記録方式によりカセットテープに高密度録音されます。テープには上記各データーの他測定時刻を明確にする為、水晶時計からの時間信号が同時に録音されます。

性能表

測定項目	測定範囲	精度
流 向	0~360°	±5°
流 速	0.02~3 m/sec	±0.02 m/sec
水 温	-2~40°C	±0.1°C
塩 分	0~35 ‰S	±0.5 ‰S
深 度	0~200 m	±2 m
記 録 期 間	10分毎, 測定にて2ヶ月*	
電 源	単Ⅱ型乾電池 16 箇	
寸 法	160 mmφ×620 mmL	
重 量	空中約 18 kg 水中約 7 kg	

○この他同じ大きさで記録内蔵型もあります。*その他御要求による。

THE TSURUMI SEIKI CO., LTD.

1506 Tsurumi-cho Tsurumi-ku, Yokohama, Japan 〒230

CABLE ADDRESS	TELEPHONE	TSK. USA.
TSURUMISEIKI Yokohama	045-521-5252~5	3510 Kurtz St.,
	TLX; 3823750 TSK JPN J	San Diego, Calif, 92110, U.S.A
	テレックス 3823750 TSKJPNJ	

IWAMIYA INSTRUMENTATION LABORATORY

昭和 49 年 11 月 25 日 印刷
昭和 49 年 11 月 30 日 発行

う み 第 12 卷
第 4 号

定価 700 円

編集者 今 村 豊
発行者 佐々木 忠義
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:(291) 1141
振替番号:東京96503

印刷者 小 山 康 三
印刷所 英 和 印 刷 社
東京都文京区本駒込 6-15-10
郵便番号:113
電話:(941) 6500

第 12 卷 第 4 号

目 次

原 著

- 多重成層構造をもつ海を伝わる内部波の性質 (英文)都司嘉宣, 永田 豊 171
夏季停滞期の下田湾におけるヘキサデカンの分解 (英文)関 文威 186
夏季停滞期の東京湾における微生物量の分布様式 (英文)寺田卓二, 関 文威, 市村俊英 192
養殖ヒロハノヒトエグサの生長と光合成活性の変化前川行幸, 有賀祐勝 197

資 料

- 第 2 次欧州海洋開発技術調査団報告 214

- 学会記事 231

総 目 次 (第 12 卷)

Tome 12 N° 4

SOMMAIRE

Notes originales

- Linear Theory for Internal Waves in a Multilayered Ocean...Yoshinobu TSUJI and Yutaka NAGATA 171
Hexadecane Decomposition in the Eutrophied Bay of Shimoda at Summer Stagnation
Period Humitake SEKI 186
An Areal Distribution of Microbial Biomass in Tokyo Bay at Summer Stagnation
Period Takuji TERADA, Humitake SEKI and Shun-ei ICHIMURA 192
Studies on the Growth and the Variation of Photosynthetic Activity of Cultivated
Monostroma latissimum (in Japanese)Miyuki MAEGAWA and Yusho ARUGA 197

Documentation

- Rapport de la II^e mission technologique sur l'exploitation des océans en Europe (en Japonais)..... 214

- Procès-Vervaux 231

Sommaire du Tome 12