

う み

La mer

昭和 44 年 5 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) 川原田 裕 (気象庁) 西村 実 (東海大学) 大柴五八郎 (理化学研究所) 杉浦吉雄 (気象研究所) 高木和徳 (東京水産大学) 高野健三 (東京大学) 富永政英 (埼玉大学) 宇野 寛 (東京水産大学) 渡辺精一 (理化学研究所)

## 投 稿 規 定

1. 報文の投稿者は原則として本会会員に限る。
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。原稿は、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なうことがある。
4. 論文には必ず約 500 字の和文の要約をつけること。
5. 図および表は必要なもののみに限る。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、論文の図および表には必ず英文 (または仏文) の説明をつけること。
6. 初校は原則として著者が行なう。
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) を徴収する。

Rédacteur en chef  
Comité de rédaction

Yutaka IMAMURA (Tokyo University of Fisheries)  
Michihei HOSHINO (Tokai University) Makoto INOUE (Tokyo University of Fisheries) Yutaka KAWARADA (Meteorological Agency) Minoru NISHIMURA (Tokai University) Gohachiro OSHIBA (Institute of Physical and Chemical Research) Yoshio SUGIURA (Meteorological Research Institute) Kazunori TAKAGI (Tokyo University of Fisheries) Kenzo TAKANO (University of Tokyo) Masahide TOMINAGA (Saitama University) Yutaka UNO (Tokyo University of Fisheries) Seichi WATANABE (Institute of Physical and Chemical Research)

## RECOMMANDATIONS A L'USAGE DES AUTEURS

1. Les auteurs doivent être, en principe, des Membres de la Société franco-japonaise d'océanographie. Néanmoins, les notes des savants étrangers à la Société seront acceptées, si elles sont présentées par un Membre.
2. Les notes ne peuvent dépasser douze pages. Les manuscrits, 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.
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.

## Houle interne de second ordre\*

KENZO TAKANO\*\*

**Abstract:** Non-linear effect, correct to the second order, is estimated by successive approximations for both progressive and standing internal waves in a two-layer fluid channel. Sinusoidal wave trains are specified as a first approximation. Second order terms are much greater in internal long waves than in external long waves, if their wave lengths and amplitudes of first order equal each other. It is, however, the reverse for short waves. It follows that, compared with the external waves, the internal waves retain their linear, sinusoidal shape hardly for long wave lengths but easily for short wave lengths. In case of standing waves, emphasis is placed on a second order component of pressure variation which is not decreased downward. The internal waves do not play an important role in it.

### Nature du problème

Les études précédentes de la houle interne sont, à quelques exceptions près, bornées au cadre linéaire, alors que de nombreuses études théoriques portent sur la houle externe de second ordre ou de troisième ordre. Etant donné que la houle interne intervient d'une façon importante dans la variation de la distribution des éléments océanographiques avec le temps et que des phénomènes de la houle interne ne peuvent toujours être linéaires, elle vaut la peine d'être étudiée non seulement dans le cadre linéaire mais encore dans le cadre non linéaire. La présente note est donc pour objet d'évaluer l'effet non linéaire de la houle interne par la méthode d'approximations successives et de préciser dans quelle condition la théorie linéaire est valable.

Supposons deux couches des liquides parfaits et idéaux qui s'étendent horizontalement sur le fond rigide et lisse, l'une superposée sur l'autre, sans diffusion au travers de l'interface. La densité du liquide et l'épaisseur de la couche inférieure sont  $\bar{\rho}$  et  $\bar{H}$  et celles de la couche supérieure sont  $\bar{\rho}'$  et  $\bar{H}'$  respectivement. Toutes ces quantités sont constantes. On suppose d'ailleurs que le mouvement est irrotationnel et périodique en temps et en espace. L'irrotationnalité du mouvement permet d'introduire les potentiels

des vitesses  $\bar{\phi}$  et  $\bar{\phi}'$  dans les couches inférieure et supérieure, qui définissent les vitesses par  $-\text{grad } \bar{\phi}$  et  $-\text{grad } \bar{\phi}'$ . L'axe horizontal OX est installé le long de l'interface entre les deux couches et l'axe vertical OZ est orienté vers le haut. Lorsque les liquides sont en mouvement, la cote de l'interface est désignée par  $\bar{z} = \bar{\zeta}$  et la cote de la surface par  $\bar{z} = \bar{H}' + \bar{\zeta}$  (cf. la figure 1).

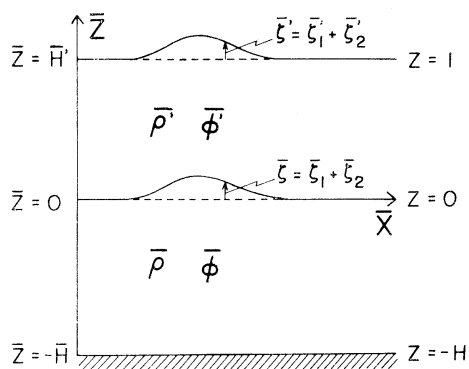


Fig. 1. Principales notations

### Equations fondamentales

Conformément à une note précédente (TAKANO et OKADA, 1966) qui figure un abaque de la relation entre la longueur d'onde et la fréquence angulaire d'une houle en forme adimensionnelle, les quantités adimensionnelles sont introduites comme suit:  $x = \bar{x}/\bar{H}'$ ,  $z = \bar{z}/\bar{H}'$ ,  $\zeta = \bar{\zeta}/\bar{H}'$ ,  $\zeta' = \bar{\zeta}'/\bar{H}'$ ,  $H = \bar{H}/\bar{H}'$ ,  $\omega = \bar{\omega}\sqrt{\bar{H}'}/g$ ,  $t = \bar{t}\sqrt{g/\bar{H}'}$ ,  $\phi = \bar{\phi}/(\bar{H}'\sqrt{g\bar{H}'})$  et  $\phi' = \bar{\phi}'/(\bar{H}'\sqrt{g\bar{H}'})$  où  $\bar{t}$  dé-

\* Manuscrit reçu le 5 mars 1969

\*\* Institut de Recherche Océanique, Université de Tokyo

signe le temps,  $g$  l'accélération de la pesanteur et  $\bar{\omega}$  la fréquence angulaire. La surface et le fond sont alors désignés par  $z=1$  et  $-H$ .

Cela posé, les équations de continuité s'écrivent:

$$\Delta\phi_1 = \Delta\phi_1' = 0, \text{ au premier ordre, } (1)$$

$$\Delta\phi_2 = \Delta\phi_2' = 0, \text{ au second ordre, } (2)$$

où  $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$  et les souscrits 1 et 2 se réfèrent aux quantités de premier et second ordres.

La solution, exacte au second ordre, est donnée par  $\phi = \phi_1 + \phi_2$ ,  $\phi' = \phi_1' + \phi_2'$ ,  $\zeta = \zeta_1 + \zeta_2$  et  $\zeta_1' = \zeta_1' + \zeta_2'$ .

Au premier ordre, les conditions à l'interface

$$\frac{\partial \zeta_2}{\partial t} + \frac{\partial \phi_2}{\partial z} = \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z^2},$$

$$\frac{\partial \zeta_2}{\partial t} + \frac{\partial \phi_2'}{\partial z} = \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial z^2},$$

$$\rho' \left( \frac{\partial \phi_2'}{\partial t} - \zeta_2 \right) - \rho \left( \frac{\partial \phi_2}{\partial t} - \zeta_2 \right) = \rho' \left[ \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial z} \right)^2 \right\} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial t \partial z} \right] - \rho \left[ \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi_1}{\partial z} \right)^2 \right\} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t \partial z} \right],$$

et

$$\frac{\partial \zeta_2'}{\partial t} + \frac{\partial \phi_2'}{\partial z} = \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \frac{\partial \zeta_1'}{\partial x} - \zeta_1' \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial z^2},$$

$$\frac{\partial \phi_2'}{\partial t} - \zeta_2' = \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial z} \right)^2 \right\} - \zeta_1' \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial t \partial z},$$

La composante verticale de la vitesse s'annule au fond. Il vient donc:

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial z} = \frac{\partial \phi_2}{\partial z} = 0, \text{ à } z = -H.$$

Le problème aboutit alors à obtenir la solution de second ordre par les relations (2), (5) et (6) à partir d'une solution de premier ordre qui satisfait aux relations (1), (3) et (4). Nous traitons d'abord la houle progressive et ensuite le clapotis.

### Houle progressive

La houle de premier ordre se propageant vers  $x$  positif est donnée par:

$$\phi_1 = A_1 \cosh k(z+H) \cos(kx - \omega t),$$

$$\phi_1' = (A_1' \cosh kz + B_1' \sinh kz) \cos(kx - \omega t),$$

$$\zeta_1 = \alpha_1 \sin(kx - \omega t),$$

$$\zeta_1' = \alpha_1' \sin(kx - \omega t),$$

où  $A_1, A_1', B_1', \alpha_1$  et  $\alpha_1'$  sont des constantes.

Comme cela étant bien connu, les relations (3) et (4) donnent:

$$\omega^4 (\rho' + \rho \coth kH \coth k) - \omega^2 \rho k$$

( $z = \zeta$ ) se traduisent en:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} + \frac{\partial \phi_1}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \zeta_1}{\partial t} + \frac{\partial \phi_1'}{\partial z} &= 0, \\ \rho' \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial t} - \zeta_1 \right) - \rho \left( \frac{\partial \phi_1}{\partial t} - \zeta_1 \right) &= 0, \end{aligned} \right\} \text{ à } z=0, (3)$$

et les conditions à la surface ( $z = H' + \zeta'$ ) se traduisent en:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \zeta_1'}{\partial t} + \frac{\partial \phi_1'}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \phi_1'}{\partial t} - \zeta_1' &= 0, \end{aligned} \right\} \text{ à } z=1. (4)$$

Au second ordre, à la place de (3) et (4), on a:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} + \frac{\partial \phi_2}{\partial z} &= \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z^2}, \\ \frac{\partial \zeta_2}{\partial t} + \frac{\partial \phi_2'}{\partial z} &= \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \frac{\partial \zeta_1}{\partial x} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial z^2}, \\ \rho' \left( \frac{\partial \phi_2'}{\partial t} - \zeta_2 \right) - \rho \left( \frac{\partial \phi_2}{\partial t} - \zeta_2 \right) &= \rho' \left[ \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial z} \right)^2 \right\} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial t \partial z} \right] - \rho \left[ \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi_1}{\partial z} \right)^2 \right\} - \zeta_1 \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial t \partial z} \right], \end{aligned} \right\} \text{ à } z=0, (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \zeta_2'}{\partial t} + \frac{\partial \phi_2'}{\partial z} &= \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \frac{\partial \zeta_1'}{\partial x} - \zeta_1' \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial z^2}, \\ \frac{\partial \phi_2'}{\partial t} - \zeta_2' &= \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \phi_1'}{\partial z} \right)^2 \right\} - \zeta_1' \frac{\partial^2 \phi_1'}{\partial t \partial z}, \end{aligned} \right\} \text{ à } z=1. (6)$$

$$\times (\coth kH + \coth k) + \Delta \rho k^2 = 0, (7)$$

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \alpha_1 \omega / (k \sinh kH), \\ A_1' &= \alpha_1 \{ \rho \omega^2 / (k \tanh kH) - \Delta \rho \} / (\rho' \omega), \\ B_1' &= \alpha_1 \omega / k, \\ \alpha_1' &= \omega (A_1' \cosh k + B_1' \sinh k), \\ \Delta \rho &= \rho - \rho'. \end{aligned} \right\} (8)$$

La relation (7) permet de déterminer deux valeurs de  $k$  pour une valeur de  $\omega$ , l'une plus grande, représentant la houle interne, et l'autre, moins grande, représentant la houle ordinaire qu'on peut appeler la houle externe ou la houle de surface.

Les relations (7) et (8) sont simplifiées pour la houle interne dans les cas suivants:

$$1^\circ \text{ Si } k \gg 1 \text{ et } kH \gg 1, \text{ on a: } \left. \begin{aligned} \omega^2 &= k \Delta \rho / (\rho + \rho'), \quad A_1' = -B_1', \\ A_1' + B_1' &= -2 \alpha_1 \rho \Delta \rho e^{-2k} / \{ \rho' (\rho + \rho') \}, \\ A_1 &= 2 \alpha_1 \omega e^{-kH} / k, \quad \alpha_1' = -\alpha_1 \Delta \rho e^{-k} / \rho'. \end{aligned} \right\} (9)$$

$$2^\circ \text{ Si } k \ll 1 \text{ et } kH \gg 1, \text{ on a: } \left. \begin{aligned} \omega^2 &= \Delta \rho k^2 (1-k) / \rho, \quad A_1 = 2 \alpha_1 \omega e^{-kH} / k, \\ A_1' &= -\alpha_1 \Delta \rho (1-k) / (\rho' \omega) \\ \alpha_1' &= -\alpha_1 \Delta \rho / \rho'. \end{aligned} \right\} (10)$$

3° Si  $k \gg 1$  et  $kH \ll 1$ , on a :

$$\left. \begin{aligned} \omega^2 &= \Delta \rho k^2 H (1 - \rho' k H / \rho + 2k^2 H^2 / 3) / \rho, \\ A_1' &= \alpha_1 \Delta \rho k H \{-\rho' (1 + 2e^{-2k}) / \rho + kH\} / (\rho' \omega), \quad A_1 = \alpha_1 \omega / (k^2 H), \\ \alpha_1' &= -2 \alpha_1 k H \Delta \rho e^{-k} / \rho. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

4° Si  $k \ll 1$  et  $kH \ll 1$ , on a :

$$\left. \begin{aligned} \omega^2 &= \Delta \rho k^2 H (1 - k^2 H / 3) / \{\rho (H + 1)\}, \\ A_1' &= -\alpha_1 \Delta \rho H / \{\rho' \omega (H + 1)\}, \quad A_1 = \alpha_1 \omega / (k^2 H), \\ \alpha_1' &= -\alpha_1 \Delta \rho H / \{\rho (H + 1)\}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Une solution de second ordre s'écrit, toujours en forme adimensionnelle :

$$\begin{aligned} \phi_2 &= A_2 \cosh 2k(z + H) \sin 2(kx - \omega t), \\ \phi_2' &= (A_2' \cosh 2kz + B_2' \sinh 2kz) \sin 2(kx - \omega t), \\ \zeta_2 &= \alpha_2 \cos 2(kx - \omega t), \\ \zeta_2' &= \alpha_2' \cos 2(kx - \omega t). \end{aligned}$$

Les constantes  $A_2$ ,  $A_2'$ ,  $B_2'$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_2'$ , déterminées par les conditions (5) et (6), s'écrivent :

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \left[ \alpha_1'^2 \left( \omega^2 - \frac{k^2}{\omega^2} \right) + \frac{k^2}{2} (B_1'^2 - A_1'^2) + \alpha_1 \left\{ \frac{A_1' k}{\omega} (k \cosh 2k - 2\omega^2 \sinh 2k) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{k \sinh 2k - 2\omega^2 \cosh 2k}{2\omega \rho'} \left( \rho' B_1' k + \frac{\rho A_1 k \cosh^2 k H}{\sinh k H} \right) \right\} \right. \\ &\quad \left. - \frac{k^2}{4} \frac{k \sinh 2k - 2\omega^2 \cosh 2k}{\omega^2 \rho'} \left\{ \rho' (A_1'^2 - B_1'^2) - \rho A_1^2 \right\} \right] \left[ -\frac{2}{k} (k \cosh 2k - 2\omega^2 \sinh 2k) \right. \\ &\quad \left. - \frac{k \sinh 2k - 2\omega^2 \cosh 2k}{\omega^2 \rho'} \left( -\Delta \rho + \frac{2\omega^2 \rho}{k} \coth 2k H \right) \right], \\ A_2 &= -(A_1 k^2 \alpha_1 \cosh k H + 2\omega \alpha_2) / (2k \sinh 2k H), \\ B_2' &= -(A_1 k^2 \alpha_1 + 2\omega \alpha_2) / (2k), \\ A_2' &= \left[ -\alpha_2 \left( -\Delta \rho + \frac{2\omega^2 \rho}{k} \coth 2k H \right) + \frac{k^2}{4} \rho' \left( A_1'^2 - B_1'^2 - \frac{k^2}{4} \rho A_1^2 \right) \right. \\ &\quad \left. - \alpha_1 \left\{ \frac{\rho' B_1'}{2} k \omega + \rho A_1 k \omega \left( \coth 2k H \cosh k H - \frac{\sinh k H}{2} \right) \right\} \right] / (2\omega \rho'), \\ \alpha_2' &= - \left\{ \frac{\alpha_1'^2 k^2}{\omega} + 2k (A_2' \sinh 2k + B_2' \cosh 2k) \right\} / (2\omega). \end{aligned}$$

La théorie linéaire n'est évidemment valable que si les termes de second ordre sont suffisamment petits par rapport aux termes de premier ordre.

Le rapport de l'amplitude de la dénivellation de second ordre à celle de premier ordre sert d'une mesure de l'importance de l'effet non linéaire. Il convient d'introduire les coefficients  $R_I$  et  $R_E$  pour exprimer ce rapport en  $\zeta_2 / \zeta_1 = \zeta_1 R_I$  ( $\zeta_2 / \zeta_1 = \zeta_1 R_I / \bar{H}'$ ) pour la houle interne et  $\zeta_2 / \zeta_1 = \zeta_1 R_E$  ( $\zeta_2 / \zeta_1 = \zeta_1 R_E / \bar{H}'$ ) pour la houle externe. Il se peut que le rapport des amplitudes des premier et second ordres à la surface  $\zeta_2' / \zeta_1'$  serve d'une meilleure mesure de l'importance des termes non linéaires que le rapport des amplitudes à l'interface dans le cas de la houle externe. Si l'on met  $\zeta_2' / \zeta_1' = \zeta_1' R_E'' = \zeta_1 R_E'$ , les coefficients  $R_E''$  et  $R_E'$  s'écrivent :

$$\begin{aligned} R_E'' &= -k \cosh k(H+1) \{3 \cosh^2 k(H+1) \\ &\quad - \sinh^2 k(H+1)\} / \{4 \sinh^3 k(H+1)\}, \\ R_E' &= R_E'' \sinh k(H+1) / \sinh kH. \end{aligned}$$

Les coefficients  $R_E$  et  $R_E'$  permettront de comparer  $\zeta_2 / \zeta_1$  avec  $\zeta_2' / \zeta_1'$ . Il vient :

$$R_E'' = \begin{cases} -k/2, & \text{pour } k(H+1) \gg 1, \quad (13) \\ -3\{1+k^2(H+1)^2/3\} / \{4k^2(H+1)^3\}, & \text{pour } k(H+1) \ll 1. \quad (14) \end{cases}$$

En ce qui concerne la houle interne, on a :

$$R_I = \begin{cases} -k \Delta \rho / (4\rho'), & \text{pour } k \gg 1, kH \gg 1, \quad (15) \\ -3\rho / (4k\rho'), & \text{pour } k \ll 1, kH \gg 1, \quad (16) \\ -3 / (4H), & \text{pour } k \gg 1, kH \ll 1, \quad (17) \\ -3(H-1) / (4k^2 H^2), & \text{pour } k \ll 1, kH \ll 1. \quad (18) \end{cases}$$

Il convient de noter qu'il faut ajouter avec soin des termes d'ordre supérieur aux relations (9) à (12) qui ne sont pas suffisamment approchées pour obtenir les relations (15) à (18).

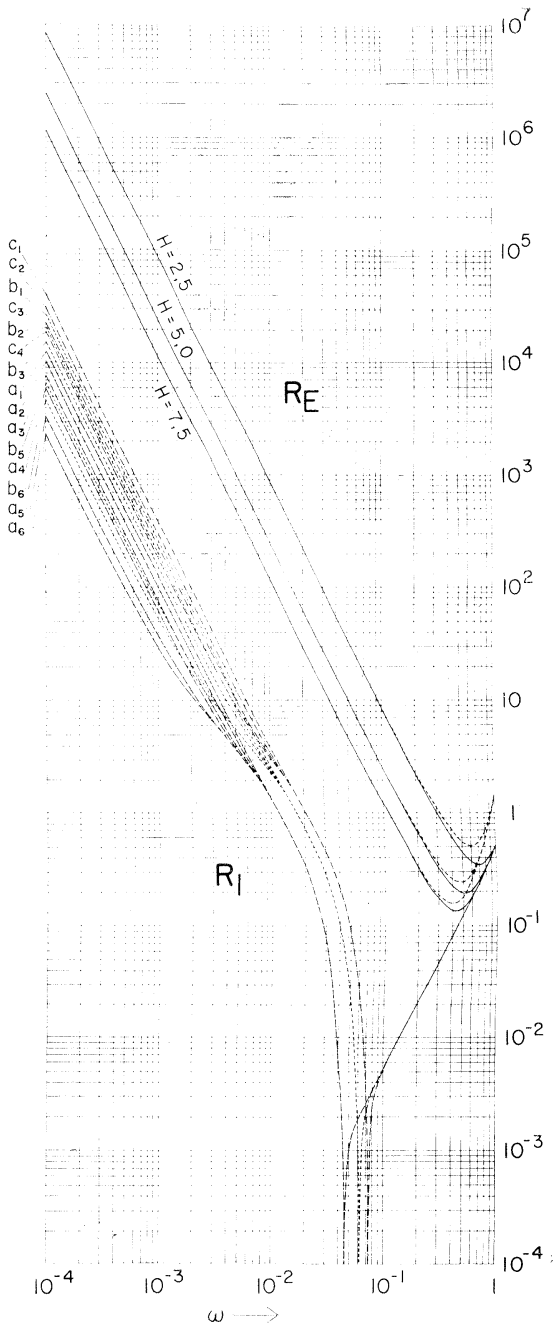


Fig. 2. Coefficients  $R_E$ ,  $R_E'$  et  $R_I$  en fonction de  $\omega$ . Le coefficient  $R_E$  est représenté par les trois courbes supérieures en trait plein et  $R_E'$  par les trois courbes en pointillés qui se dévient des courbes  $R_E$  pour  $\omega \gtrsim 10^{-1}$ . Les lettres  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  se réfèrent au tableau joint à la figure 4.

La figure 2 montre  $R_I$ ,  $R_E$  et  $R_E'$  en échelle logarithmique pour de diverses valeurs des paramètres  $H$  et  $\rho/\rho'$ . L'effet non linéaire est, comme cela étant déjà classique et prévu par (14) et (18) aussi, d'autant plus grand que la longueur d'onde est plus grande, si celle-ci dépasse une certaine limite. Dans une majeure partie de la gamme de  $\omega$ , on a  $R_E = R_E'$ , d'où  $\zeta_2/\zeta_1 = \zeta_2'/\zeta_1'$ : l'effet non linéaire intervient d'une même grandeur dans les dénivellations de la surface et de l'interface.

La houle interne linéaire est moins stable que la houle externe linéaire pour une même fréquence et une même amplitude de premier ordre. Celle-là est, toutefois, beaucoup plus longue que celle-ci pour une même fréquence, si la différence de la densité est très petite. Dans la figure 3 est montré, toujours en échelle logarithmique, le rapport  $R_I/R_E$  qui est calculé en fonction de  $k$  au lieu de  $\omega$ . Il ne dépend pas de  $\rho/\rho'$ , si  $k$  n'est pas très grand. On voit immédiatement que l'effet non linéaire est plus fort dans la houle interne que dans la houle externe, si les longueurs d'onde de premier ordre sont égales et grandes. Par exemple, on a  $R_I/R_E'' = 70$  pour  $H = 7,5$  lorsque  $k$  est petit: l'amplitude de la houle interne linéaire à l'interface doit être 1/70 de l'amplitude de la houle externe linéaire à la surface pour que l'effet non linéaire se manifeste d'une même grandeur. En effet, les relations (14) et (18) donnent  $R_I/R_E'' = (H-1)(H+1)^2/H^2$  ou  $R_I/R_E = R_I/R_E' = (H-1)(H+1)^2/H$ . Donc, l'importance de l'effet non linéaire de la houle

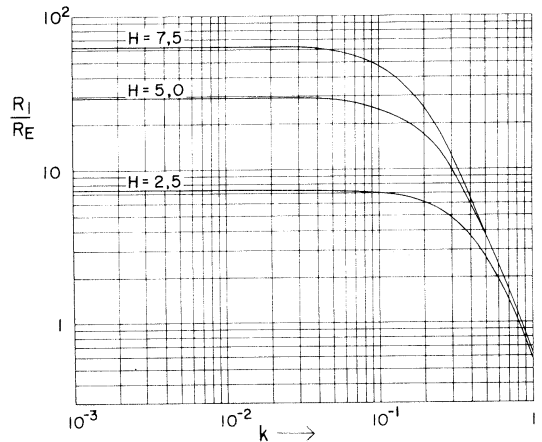


Fig. 3. Rapport  $R_I/R_E$  en fonction de  $k$ .

interne relative à la houle externe augmente avec  $H^2$ , lorsque  $H$  est grande.

Dans le cas où  $k$  est grand, les relations (13) et (15) donnent  $R_1/R_E'' = \Delta\rho/\rho'$ . Donc, la houle interne linéaire peut être beaucoup plus cambrée que la houle externe linéaire pour une même longueur d'onde. Le déferlement de la houle interne n'a pas lieu si facilement que celui de la houle externe.

Les relations (13) et (15) pour  $k(H+1) \gg 1$  peuvent s'écrire également:

$$R_E'' = -\omega^2/2, \quad (13')$$

$$R_1 = -\omega^2(\rho + \rho')/(4\rho'), \quad (15')$$

On voit que l'effet non linéaire se montre d'une même grandeur dans les houles interne et externe pour une même fréquence, si  $\rho$  ne diffère presque pas de  $\rho'$ .

$$\begin{aligned} G_2 &= \left[ \rho' \{ k\omega \alpha_1 B_1' - k^2 A_1'^2 + \omega^2 \alpha_1'^2 + (k\alpha_1'/\omega)^2 \} - \rho \left\{ k\omega \alpha_1 A_1 \sinh kH - k^2 A_1^2 \left( \cosh^2 kH - \frac{1}{2} \right) \right\} \right] / (8\omega\rho), \\ G_2' &= [ \omega^2 \alpha_1'^2 + k^2 \{ (\alpha_1'/\omega)^2 - (A_1'^2 - B_1'^2)/2 \} ] / (8\omega), \\ b_2 &= k^2 (A_1'^2 - B_1'^2) / 8 + \omega^2 \alpha_1'^2 / 4, \\ b_2' &= [ \rho' \{ k\omega \alpha_1 B_1' - k^2 (A_1'^2 + B_1'^2) / 2 \} - \rho \{ k\omega A_1 \alpha_1 \sinh kH - k^2 A_1^2 / 2 \} ] / (4\Delta\rho), \\ F_2' &= [ -\omega^2 \alpha_1'^2 + k^2 \{ (\alpha_1'/\omega)^2 - (A_1'^2 - B_1'^2) / 2 \} ] / 4, \\ F_2 &= \frac{\rho'}{\rho} F_2' - \frac{\rho'}{4\rho} \left\{ \omega k \alpha_1 B_1' + \frac{k^2}{2} (A_1'^2 + B_1'^2) \right\} + \frac{1}{4} \left\{ \omega k A_1 \alpha_1 \sinh kH + k^2 A_1^2 \left( \cosh^2 kH - \frac{1}{2} \right) \right\}. \end{aligned}$$

L'ordre de grandeur des autres termes  $A_2$ ,  $A_2'$ ,  $B_2$ ,  $\alpha_2$  et  $\alpha_2'$  par rapport aux termes de premier ordre ne sera pas tout différent de celui de la houle progressive. Nous nous réservons donc de les expliciter tout au long.

L'intérêt particulier porte sur le terme  $G_2$ , parce que  $2\omega G_2$  représente l'amplitude de la variation de la pression à fréquence angulaire  $2\omega$  qui ne s'amortit pas avec la profondeur, alors que l'amplitude de la variation de la pression au premier ordre, à fréquence angulaire  $\omega$ , s'amortit avec la profondeur. Il est remarqué que le microséisme peut prendre sa source dans cette variation de la pression au second ordre agissant sur le fond océanique.

S'il s'agit de la houle externe,  $G_2$  s'écrit:

$$G_2 = \omega \alpha_1'^2 \{ 2 \cosh 2k(H+1) - 1 \} / [16 \sinh^2 k(H+1)],$$

avec  $\alpha_1' = \alpha_1 \sinh k(H+1) / \sinh kH$ ,

d'où il vient:

$$G_2 = \begin{cases} \omega \alpha_1'^2 / 4, & \alpha_1' = \alpha_1 e^k \\ & \text{pour } k(H+1) \gg 1, \quad (19) \\ \omega \alpha_1'^2 / \{ 16 k^2 (H+1)^2 \}, & \alpha_1' = (H+1) \alpha_1 / H \\ & \text{pour } k(H+1) \ll 1. \quad (20) \end{cases}$$

### Clapotis

On suppose le clapotis de premier ordre:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= A_1 \cosh k(z+H) \cos kx \cos \omega t, \\ \phi_1' &= (A_1' \cosh kz + B_1' \sinh kz) \cos kx \cos \omega t, \\ \zeta_1 &= \alpha_1 \cos kx \sin \omega t, \\ \zeta_1' &= \alpha_1' \cos kx \sin \omega t. \end{aligned}$$

Les relations (8) et (9) restent toujours valables sauf  $A_1$ ,  $A_1'$  et  $B_1'$  qui changent leurs signes.

Une solution de second ordre s'écrit:

$$\begin{aligned} \phi_2 &= A_2 \cosh 2k(z+H) \cos 2kx \sin 2\omega t \\ &\quad + G_2 \sin 2\omega t + F_2 t, \\ \phi_2' &= (A_2' \cosh 2kz + B_2' \sinh 2kz) \\ &\quad \times \cos 2kx \sin 2\omega t + G_2' \sin 2\omega t + F_2' t, \\ \zeta_2 &= \alpha_2 \cos 2kx \cos 2\omega t + b_2 \cos 2kx, \\ \zeta_2' &= \alpha_2' \cos 2kx \cos 2\omega t + b_2' \cos 2kx. \end{aligned}$$

Les termes particuliers au clapotis sont  $G_2$ ,  $G_2'$ ,  $F_2$ ,  $F_2'$ ,  $b_2$  et  $b_2'$  qui ne sont pas variables avec tous les  $x$  et  $t$ . Ils sont donnés par:

S'il s'agit de la houle interne, on a:

$$G_2 = \begin{cases} \Delta\rho \omega \alpha_1'^2 / (4\rho) & \text{pour } k \gg 1, kH \gg 1, \quad (21) \\ \omega \alpha_1'^2 / 8 & \text{pour } k \ll 1, kH \gg 1, \quad (22) \\ \omega \alpha_1'^2 / (16 k^2 H^2) & \text{pour } kH \ll 1. \quad (23) \end{cases}$$

Il n'y a apparemment pas de différence entre (20) et (23). Cependant, le terme  $G_2$  de la houle interne est plus petit de  $\Delta\rho H / \{ \rho(1+H)^2 \}$  que celui de la houle externe pour une même fréquence et une même amplitude à l'interface  $\alpha_1$ , car  $k^2$  de la houle interne est plus grand que celui de la houle externe  $\rho(1+H)^2 / (\Delta\rho H)$ . Le rapport de (23) à (20) est  $\Delta\rho / (\rho H)$ , lorsque l'amplitude à l'interface  $\alpha_1$  de la houle interne égale l'amplitude à la surface  $\alpha_1'$  de la houle externe.

La comparaison de (19) et (21) montre que  $G_2$  de la houle interne est toujours plus petit de  $\Delta\rho/\rho$  que celui de la houle externe pour une même fréquence et une même amplitude ( $\alpha_1 = \alpha_1'$ ).

Il s'ensuit donc que la houle interne ne joue pas un rôle important dans la pulsation de la pression, constante en toute la profondeur, à

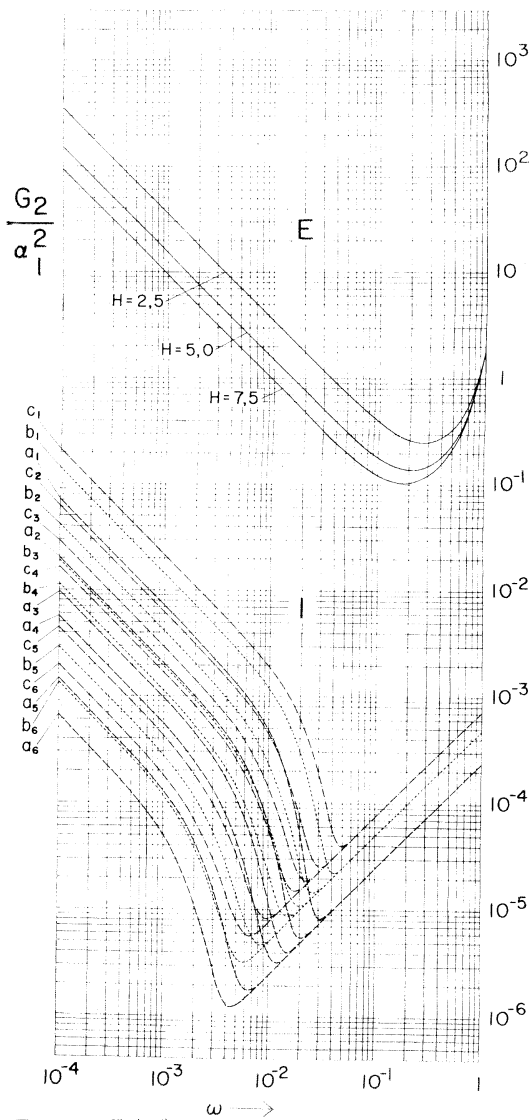


Fig. 4.  $G_2/\alpha_1^2$  en fonction de  $\omega$ . Les lettres E et I désignent respectivement les houles externe et interne. Les lettres  $a_i$ ,  $b_i$  et  $c_i$  se réfèrent au tableau ci-dessous.

$\rho/\rho'$ \ H	2,5	5,0	7,5	10	20	30
1,001	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
1,002	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$
1,003	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$	$c_5$	$c_6$

fréquence angulaire  $2\omega$ .

La figure 4 montre  $G_2/\alpha_1^2$  en fonction de  $\omega$  pour de diverses valeurs des paramètres  $H$  et  $\rho/\rho'$ .

Dans le cas où l'on donne a priori deux houles linéaires périodiques, l'une de fréquence angulaire

$\omega_1$  et du nombre d'onde  $k_1$  et l'autre de fréquence angulaire  $\omega_2$  et du nombre d'onde  $k_2$ , une interaction de second ordre a lieu entre elles et les produits  $\cos(k_1x - \omega_1t) \cos(k_2x - \omega_2t)$  et  $\sin(k_1x - \omega_1t) \sin(k_2x - \omega_2t)$  apparaissent dans le second membre de la troisième équation de (5). Étant donné qu'ils se transforment en  $\cos\{(k_1 \pm k_2)x - (\omega_1 \pm \omega_2)t\}$ , la pression de second ordre a une composante, variable avec le temps mais invariable avec la profondeur, à condition que  $k_1 \pm k_2 = 0$  et  $\omega_1 \pm \omega_2 \neq 0$ , car  $\cos\{(k_1 \pm k_2)x - (\omega_1 \pm \omega_2)t\}$  aboutissant à  $\cos(\omega_1 \pm \omega_2)t$  qui n'est plus une fonction de  $x$  et le potentiel étant une fonction harmonique par rapport à  $x$  et  $z$ , le potentiel de second ordre a un terme, périodique en  $t$  mais invariable avec  $z$ . S'il s'agit de deux houles externes ou de deux houles internes, la condition ci-dessus n'est satisfaite que par  $k_1 = k_2$  et  $\omega_1 = -\omega_2$  ou par  $k_1 = -k_2$  et  $\omega_1 = \omega_2$ . C'est justement le cas du clapotis. S'il s'agit d'une houle externe et d'une houle interne,  $k_1$  peut être égal à  $k_2$ , même si  $\omega_1$  n'est pas égale à  $-\omega_2$ . Il est donc qualitativement possible que s'établisse une variation de la pression, constante en toute la profondeur, dont la fréquence angulaire est  $\omega_1 - \omega_2$  lorsque  $k_1 = k_2$  et  $\omega_1 + \omega_2$  lorsque  $k_1 = -k_2$ .

L'interaction de second ordre entre deux houles externes peut donner lieu à une houle interne dont le mécanisme de la génération dans les océans n'est pas encore bien connu. Supposons deux houles externes qui se propagent en sens inverse. Leurs fréquences angulaires sont presque égales:  $\omega_1 \sim \omega_2$  et  $k_1 \sim -k_2$ . Au second ordre on a une houle externe de la fréquence angulaire  $\omega_1 - \omega_2$ , du nombre d'onde  $k_1 + k_2$  et de la vitesse de phase  $(\omega_1 - \omega_2)/(k_1 + k_2)$ . En comparaison de la houle externe, on peut dire que la houle interne est caractérisée par le petit fréquence angulaire, le grand nombre d'onde et la faible vitesse de phase, si la différence de densité entre les deux couches est petite, comme cela étant le cas des océans. Une houle interne se développera par la résonance si  $\omega_1 - \omega_2$  et  $k_1 + k_2$  satisfont à la relation (7). Une prochaine note traitera ce processus.

**Bibliographie**

TAKANO, Kenzo et Haruko OKADA (1966): Abaque de la relation entre la période et la longueur d'onde. La mer, 4, 14.



## 第二次の内部波

高野健三

要旨： 密度が異なる流体が上下二層に重なっている場合、境界面に生ずる進行内部波、定常内部波の非線型項の大きさを計算する。非回転で、時間、空間について正弦型の線型波を第一近似として与へ、逐次近似法で第二次まで求める。深さに対して波長が非常に長い場合に線型波は存在しないことは既によく知られてゐるが、内部波の非線型項は、同じ波長、同じ振巾の外部波と比べればずっと大きい。しかし、同じ周期の外部波と比べれば小さいことが多い。波長が短い場合には、内部波の非線型項は、同じ波長、同じ周期の外部波と比べればずっと小さいが、同じ周期の外部波と比べれば同じ大きさになる。したがって、線型内部波は、線型外部波よりも、短く、峻しくなり得るが、波長が長くなると形が崩れ易い。定常波では、第二近似で、深さと共に減衰しない周期的圧力変動が生ずるが、内部波によるこの圧力変動は非常に小さい。

## 魚類の顔面骨の研究—I.\*

### 100 魚種の尾舌骨 (Urohyal) の形状について

草 下 孝 也\*\*

## Research on Facial Membrane Bones of Fish—I.

### Regarding Feature of Urohyal on 100 Species

Takaya KUSAKA

**Abstract:** The author made a comparative observation on the facial membrane bones of *Teleostei* of 100 species living around Japan (Table 1). It was characterized that an interesting fact was discovered on urohyal. The shape of urohyal is solid; it is, on the whole, long and slender, like a wing, rectangle or hook and looking from above its shape is like a needle, rod, pen holder, slender spade mark or triangle and looking from behind it is like the letters I, T, Y, W, or  $\phi$  (Figs. 1~5)†.

It is quite clear that the urohyal has an individual feature respectively in accordance with the classification in families 4. *Salmonidae*, 7. *Cyprinidae*, 50. *Scorpaenidae* and order 11. *Pleuronectida*. Although suborder 27. *Balistina* have a urohyal; suborder 28. *Tetraodontina* and in the order 13. *Lophiida* at least the family 59. *Antennariidae* do not have it. The shapes of urohyal in the same family are sometimes remarkably different, this remarkable difference may even be seen within the same genus, for instance, in the species 6. *Oncorhynchus tshawytscha* in family 4. *Salmonidae* and species 82. *Sebastes inermis* in family 50. *Scorpaenidae*, the shape is like a flat wing and is quite different from others in each of the genera. As for the families 12. *Hemiramphidae* and 13. *Exocoetidae*, a remarkable difference was found in the shape of urohyal within the same family, that is, family 12. *Hemiramphidae*, species 24. *Hemiramphus sajori* and species 25. *Euleptorhamphus viridis* as well as between species 26. *Prognichthys agoo* and species 27. *Cypselurus poecilopterus* within the family 13. *Exocoetidae* and it was found contrarily, that these urohyals in different families of family 12. *Hemiramphidae*, species 24. *Hemiramphus sajori* and family 13. *Exocoetidae*, species 27. *Cypselurus poecilopterus* are rather similar in shape looking from above and the same can be said of family 12. *Hemiramphidae*, species 25. *Euleptorhamphus viridis* and family 13. *Exocoetidae*, species 26. *Prognichthys agoo*, in the latter, the shape looking from behind is similar, too. As for the family 34. *Sparidae*, the shape of urohyal is like a flat bat's wing in the case of species 63. *Chrysophrys major* and species 64. *Taiax tumifrons* but is like the tailwing of aeroplane in species 65. *Mylio macrocephalus* and species 66. *Rhabdosargus sarba*.

In conclusion, since all urohyals have individual shapes and features, the author recognizes that it is possible to determine the fish species only by means of examining the urohyal.

\* 1969年3月26日受理

\*\* 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute,  
University of Tokyo

† Figures show the shape of urohyals of each species  
looking from side, above and back. The four

consecutive numbers are in accordance with the  
classification, order, suborder, family and species  
with hyphen, and the next is the respective  
Japanese name. The consecutive numbers refer  
to order, suborder, family and species respectively.

## 1. 緒言

著者は魚類の顔面骨について、昭和17年来、その観察を続けている。主に日本産の硬骨魚類についてであるが、100 魚種を観察比較した。

骨格の形状は分類上の重要な要素であり<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>、顔面骨の各部分から、種属的特徴を示す点が多々見られたが、その中で特に舌部の後方にある尾舌骨が様々な形状をし、それが非常によく種類の特徴を示すことを見出した。

顔面骨の比較観察により、骨のみによる種属の検索を作り出し、胃内容物中の骨片などからの魚種の査定を可能にし、あるいは、同一種内における個々の骨の発達の変異を解析することにより、その魚群の生活履歴の判定を行なうことなどが出来れば、水産資源である魚類の研究に役立つであろうと考える。

未だ、観察魚種は僅かであるが、ひとまず 100 魚種に達したので、これらから得られた知見を記述する。

## 2. 観察方法

入手した生魚材料は冷凍保存しておき、適時取り出して、水に入れて魚体の大きさにより、5～15分間煮て、ちょうど肉質が凝固して骨片が離れやすい状態にする。湯からだした魚体、又は頭部を解剖皿にのせ、ピンセット、ハンなどを用いて骨片を取り出す。まず、顔面を覆う骨をとり、眼球、頬肉を除き、次に顎骨、鰓蓋骨、頬の懸垂部、曲骨、鰓蓋条骨の順で取りはずしてゆき、最後に舌曲骨と尾舌骨を曲骨部から取りはずし、きれいに洗ってから、観察し、写生するようにした<sup>(6)(7)(8)</sup>。

## 3. 観察魚種

調べた魚種はほとんどが日本産の硬骨魚であるので、分類及び学名については主に阿部宗明博士の分類検索を参考にした<sup>(9)(10)(11)(12)(13)</sup>。

表には観察した魚種及びその種が属する目、亜目、科のみを記し、索引しやすいように、それぞれに通し番号を付した (Table 1)<sup>(14)(15)</sup>。

## 4. 観察結果と尾舌骨の特異性

顔面骨の全体については種類により非常に明確な特徴が見られるが、全般的には従来、種の検索の要点にされている鰓蓋骨の棘や口蓋骨の歯の有無などの点が再確認され、その他いろいろ注目すべき点が認められた。しかし、その中で特に尾舌骨の形状については格別に興味のある特異性が認められた。

すなわち、尾舌骨は下顎の内側下方から、咽喉部にかけて、その中心部にある無対の骨であり、前方は舌曲骨、基鰓骨につづいて連結しているが、後方は全く他の骨とは関連がなく強大な筋肉がついている。この筋肉は胸から腹部へ連なるもので、口腔を拡げるために舌部を後方に引く役をし、口腔や鰓蓋を開閉するのに主要な機能を果たすとみられる。このような筋肉が着生するために特殊な形状をしており、単に平板でナイフの刃形、あるいは、翼状のものや底辺が左右に拡がって後方からみると逆さの T 字型をしているものが多い。この骨が魚種によって個々に特徴のある形状をしており、少なくとも科ごとの特徴は顕著であり、又、科の中でも明確に形状が区別出来る場合が多く、類似形のものでも相互に比較対照すれば種毎に区別することは容易に可能である (Figs. 1～5)。\*

## 5. 各魚種の尾舌骨の形状

1. ニシン目, 1. ニシン亜目, 1. イワシ科, 1. ウルメイワシは尾舌骨の下辺が左右に拡がり、側面からみるとなた形であるが後面図は逆さの Y 字形である。

2. ニシン科ではいずれも一枚の平板で、マイワシは前方に小さいこぶがある長刀状である。ニシンは多少厚味があるが一枚の羽根形で全体に丸味がある。サッパは前端が突出し、全体に角張っている。

3. カタクチイワシ科, カタクチイワシでは細長く、刀状である。

\* 各図は尾舌骨の側面、上面及び後面図を示し、四つの通し番号は順番に目、亜目、科及び種 (ハイフン付き) を表わす。

2. サケ垂目, 4. サケ科のものは下辺が左右に広がる逆T字形をしている。しかし, マスノスケだけは全く左右の拡がりがない一枚の板状である。サケとベニマスではサケの方がやや細長い。マスは高さが高く, 左右の拡がりの後半部に偏っている。ニジマスではやはり高さが高く, 長さが短かいので全体にづんぐりしている。

5. アユ科, アユでは左右の拡がり斜めにでて後方からみると逆Y字型で, 前方でくびれている。

6. ワカサギ科, ワカサギは側面からみると四角形の平板である。

2. コイ目, 3. コイ垂目, 7. コイ科は後面逆T字形の標準形をしているが, サケ科と較べると後方上端が突出していて, 又, 左右の拡がりの後端も突出している。ハクレン, ソウギョではやや細長く矢羽根形で, ソウギョの方が後上端の突出が著しい。ウグイでは上面図は前2者に似て細長い, 側面図は丸味を帯び前方がくびれている。コイでは左右への拡がり幅広く, 上面図が正三角形に近い形である。

キンギョでは垂直部が広く拡がり, 水平部もよく拡がり後方が截形である。オイカワでは垂直部が後方で高くなっている。上面図は細い矢羽根形である。モツゴは左右の拡がり幅広く, 側面からみると底辺がそりかえっていて瓜形をしている。

4. ナマズ垂目, 8. ゴンズイ科, ゴンズイは左右の拡がりがあり, 後面の形は逆T字形であって, 長さは短かく全体が角張っていてひしの実状である。

3. ウナギ目, 5. ウナギ垂目, 9. ウナギ科, ウナギでは上面図がハート形で全体が丸味のある粒状である。

4. ダツ目, 6. ダツ垂目, 10. ダツ科, —22. ダツでは細長く, 後端が左右に二又になっており, 前方近くに上方へ小突起がでている。

11. サンマ科, サンマはダツと同様に細長く, 前上方にくびれた小突起があり, 後方は上辺が左右に拡がり後面図がT字形である。

7. トビウオ垂目, 12. サヨリ科ではいずれも細長い, サヨリでは長刀状で一枚の平板であるの

に, トウザヨリでは後半部が左右に拡がり後方は二又になり後面図は水の字状で複雑な形をしている。

13. トビウオ科では科内での類似性がなく, トビウオでは細長くごつごつしており, 後半が左右に拡がり後面図が木の字状であるのに対し, アヤトビウオでは全くの平板で側面図は羽根形である。

5. メダカ目, 14. メダカ科, タップミノでは下辺が僅かに左右にでており, 前端近くにかなり大きな突起が上方につきでている。

6. ヨウジウオ目, 15. ヤガラ科, アオヤガラでは左右に拡がりなく細長い平板である。

7. キンメダイ目, 16. キンメダイ科, キンメダイは前部にやや厚味があるが, 薄い平板で前部から高さがあり上辺は後上方にそりあがっている。

8. スズキ目, 11. ボラ垂目, 17. トウゴロウイワシ科, トウゴロウイワシは後半の底辺がやや左右に拡がり, 垂直部は後半で尾翼状を呈し, 前方上方に後に傾いた鈎状の突起がある。

18. ボラ科, ボラでは後面逆T字形で前上方に鈎状の突起があり, 側面からみると上辺は低く前後共に同じ位の高さである。

19. カマス科, ヤマトカマスは全体に細長く左右の拡がりは二又になり, さらにその先が数本の毛状に分れ後方にのびている。

12. キノボリウオ垂目, 20. ライギョ科, ライギョはほぼ平らな一枚の羽根形で前部がやや突起状になっている。

13. サバ垂目, 21. シイラ科, シイラは後面逆T字形, 上面羽根形で, 側面は全体に高さが高い。前上方にこぶ状の突出がある。

22. サバ科ではいずれも左右の拡がりがない一枚の平板である。マサバとサワラは後端上方がとがったナイフ状で, サワラでは上辺中央と後縁に段落がある。カツオ, ソウダカツオ, マグロではいずれもへら状で相異が少ないが, クロマグロが最も丸味をもったすんなりした形をしている。カツオも似ているが, やや前方下辺に眼の形に骨が薄くなっている部分があり, ここに1個又は2個の小孔があいてある場合が多い。スマでは全体に

やや角張っていて、これにも前方下辺に薄い部分があり、この観察した個体では1個の小孔があいていた。マルソウダはスマによく似ていて前方下辺に薄い部分があり、僅か2例であるがいずれもそこに2個の小孔をもっていた。ヒラソウダは薄い部分がなく、クロマグロに似るが全体がやや角張っている。

24. タチウオ科、タチウオは左右の拡がりがなく一枚の平板で、前半は細長く後半はひろがってしゃもじの形をしている。

24. マカジキ科、マカジキは下辺がやや左右に拡がり、下辺と上辺の後端はどちらも二又になっている。下辺の前方はそりあがって全体の感じはそりの形である。クロカジキは不十分な観察であるが、全体に細長く、後方はやや左右に拡がり二又になっている。

14. アジ亜目、25. アジ科ではいずれも前端が上方に隆起している。下辺が僅かに左右に拡がっているのはマアジとムロアジで、両者の差異は下辺の拡がり後端でせばまっているのがマアジで、後端がとがって鋭角をしているのがムロアジである。イトヒキアジは下辺に多少の拡がりがあり、高さが高く後縁が内側に湾曲している。ブリとカンパチはほとんど拡がりなく平板で両者の差はブリが長さが長く、カンパチの方は長さが短い形をしている。

15. イボダイ亜目、26. イボダイ科、イボダイは左右の拡がりなく、前端に上方をむいた突起がある。メダイはやはり突起があり、側面はイボダイに似ているが、下辺が左右に拡がっている形状である。

マナガツオは下辺に僅かなひろがりが見られるが全体に平板で高さが高く、上方中程に突起があり、感じはチョウの羽根を思わせる。

27. タカベ科、タカベは拡がりなく平板で前方から高さが高く側面図は矩形に近い。下辺後端はやや後方に突出している。

16. スズキ亜目、29. テンジクダイ科、ネンブツダイはほとんど平板で高さは前方から高く矩形に近い。前端上方に突起があり、やや前方に突起があり、やや前方に傾いている。

29. ムツ科、-56. ムツは側面花びら状で後縁がきれこみ、下面からみるとペン軸形をしている。

30. キントキダイ科、-57. キントキダイは平板で高さが高くチョウの羽根形で、前端上方から前方へ細長く突起がでている。

31. ハタ科、マハタは下縁にそって厚味があるが全体には平板で側面からみると後縁に深い湾曲があり青竜刀を思わせる。

スズキでは左右への拡がり僅かであるが、下辺全体にわたり、側面は前方でややくびれた形である。

32. シマイサギ科、-60. シマイサギは左右への拡がりがあり、後面逆T字形である。側面は後端がとがった羽根形で前方に上方をむいた突起がある。

33. イサキ科、-61. イサキは下縁が僅かに左右に拡がり、側面後縁が截形で魚の尾びれ状である。コショウダイは下辺が前方から左右に拡がり、後半ではさらに拡がっている。側面は前方の高さが高く、斧の刃を思わせる。

34. タイ科、-64. マダイ、-64. キダイでは下縁に厚味があり中程に隆起線があるが、全体に平板でコウモリの羽根状で、マダイの方が高さが高く、キダイではやや低く下縁後端が後方に突出している。-65. クロダイ、-66. ヘダイは下辺が左右に拡がっている形で、クロダイは上辺が急な傾斜であり後方近くでゆるやかになり、ヘダイはほぼ全般的には直線的で2箇所わずかに屈折している。

35. メジナ科、-67. メジナは下辺が左右に拡がり、前方に大きなこぶ状の突起がある。

36. ニベ科、-68. イシモチはほとんど平板であるが、下辺と高さの中程に隆起線があり、前端は前方に突出している。

37. イシダイ科、-60. イシダイは下縁に多少の厚味があるが全体に平板で、前端上部が突出し、側面図は魚のひれを思わせる。

38. ヒメジ科、-70. ヒメジは下辺が多少左右に拡がり、側面は前端下方が前に出ている。全体に或る高さがあり上辺中程に多少凹凸がある。

39. タカノハダイ科、-71. タカノハダイは平板

であって高さが高く、前端上方に突起があり、後縁は深く切り込んでいる。

40. キス科, -72. シロキスは左右の拡がりがなく細長い平板である。前方でくびれ後方上部は少し突出している。

41. アマダイ科, -73. シロアマダイは全く平板で長さが短かく、側面図は矩形に近く上辺中央部に段落がある。

42. ハタハタ科, -74. ハタハタは全体に平板で側面図は前方から高さが高く丸味を帯びた矩形状である。前端上方がやや突出している。

17. ツバメコノシロ垂目, 43. ツバメコノシロ科, ツバメコノシロは多少左右の拡がりがあるが、高さの高い三角形をしている。

18. ギンボ垂目, 44. ニシキギンボ科, -76. フサギンボは左右に拡がりがあり上面からみるとほぼ卵形で、側面図は山形で全体の感じはあぶみ状である。

19. アシロ垂目, 45. イタチウオ科, -77. ヨロイイタチウオは前端が左右に拡がりこうがい状で、後端も又二又になる。前半中央線が高く隆起し、後面からみると「未」の字形をしている。

20. ウミタナゴ垂目, 46. ウミタナゴ科, -78. ウミタナゴは多少厚味のある平板で、側面は前方がこぶ状に隆起し、全体の感じは斧状である。

21. スズメダイ垂目, 47. スズメダイ科, -79. デバスズメは前端が小さく左右に分れているが、その他は平板で3本の隆起線があり、形はゆがんでいるがコウモリの翼形である。

22. ベラ垂目, 48. ベラ科, ササノハベラは平板であるが前縁、下縁、中央部に隆起線があり、全くコウモリの翼形である。

23. アイゴ垂目, 49. アイゴ科, -81. アイゴは前方上方に突起があり、後方は上方にとがり、下辺は左右に拡がっている。

9. カジカ目, 24. カジカ垂目, 54. カサゴ科, -82. メバルはほとんど平板で、側面は前端に突起があり、後縁とその上方は切りとられた形をしている。-83. シマソイはやや左右に拡がりがあり、側面はほぼ直角三角形で高さが高い。-84. キチジは前方と上辺が、次のカサゴに似るが、下辺後方

は全くとがっていない。-85. カサゴは側面で、前端上方が前方に突出し、又、後方上下端が後方に突出している。-86. ミノカサゴは前二者に似るが、上辺後端がほとんど突出せず、後縁がほとんど截形である。

51. アイナメ科, -87. アイナメは前端部に厚味があり後方は薄くなっている。側面からみると長さが短かく前方から高さが高い。-88. ホッケはやはり前端部に厚味があるが僅かである。前端上方に鉤形の突起があり後縁には切り込みがあり、サクラの花びら状である。

52. コチ科, -89. マゴチは左右の拡がり下辺全体にわたり、後端は二又になり突起がでている。全体に平面的で高さはほとんどなく、僅かに前半中心線が隆起している。

53. カジカ科, -90. カジカは全体に厚味がある平板で、側面図は下縁前後が欠けた四角形である。

10. タラ目, 25. タラ垂目, 54. タラ科, -91. マダラは全体に厚味がある平板で、側面は前方から後方まで同じ高さで後縁は丸くなっている。

11. カレイ目の尾舌骨は下辺が下方から前方に湾曲していて、全体に頑丈な鉤形をしている。左右の不相称はほとんどみられない。

26. カレイ垂目, 55. ヒラメ科, -92. ヒラメでは56. カレイ科のものに較べて、下辺の厚味が少なく、又、縦方向の隆起も少ない。側面図は「つ」の字型である。

56. カレイ科, -93. メイタガレイでは下辺つまり湾曲の内側が左右に厚くなり、全体がなめらかによく湾曲して全くの鉤形である。-94. マコガレイ, -95. イシガレイ, -96. マツカワではよく類似し、脊面上方の隆起が著しく左右に拡がっている。前面からみると耳がついているような形をしている。マコガレイでは湾曲が広く「つ」の字状であり、マツカワでは湾曲が狭くアの字状である。イシガレイは湾曲がやや浅く、上縁に僅かに突起があり、脊面の隆起がよく発達している。

12. フグ目, 27. モンガラカワハギ垂目, 57. カワハギ科, -97. カワハギでは縦に長い平板で、上端と前端は角張り下端はとがり、全体には「く」

の字形をしている。

28. マフグ亜目, 58. マフグ科, -98. クサフグ, -99. キタマクラでは尾舌骨は存在しない。

13. アンコウ目, 29. イザリウオ亜目, 59. イザリウオ科, -100. ハナオコゼでは尾舌骨は存在しない。

## 5. 総括

尾舌骨の形状は立体的で、全体に細長形、翼形、ナイフの刃形、矩形のもの、上面からみて針状、棍棒状、ペン軸形、細長いスぺード形、三角形のもの、後面からみて、I, T, Y, W,  $\phi$  字形などをしていて、多種多様な形状である。

尾舌骨の形を分類的にみると、科ごとの特徴を見ることができ、4. サケ科, 7. コイ科, 22. サバ科, 50. カサゴ科, 11. カレイ目ではその目、科に属する数種が全般的に共通する特質をもっている。27. モンガラカワハギ亜目, 57. カワハギ科, -97. カワハギには立派な尾舌骨があるのに。28. マフグ亜目, 58. マフグ科, -98. クサフグ, 及び -99. キタマクラには尾舌骨が存在せず、又、13. アンコウ目, 29. イザリウオ亜目, 59. イザリウオ科, -100. ハナオコゼでも尾舌骨が見られなかった。

同じ科の中で、各々の種類を区別することは多くの場合容易であり、上記のサケ、コイ、サバ、カサゴ科及びカレイ目についてもそれぞれの尾舌骨を直接、対照比較すれば見分けることは充分できる。

一方、一つの科又は同じ属であっても、著しく形が異なる場合が数多くあり、4. サケ科のほとんどがいずれも立体的で上面形が細長いスぺード形であるのに、-6. マスノスケだけは平板な翼状である。12. サヨリ科と 13. トビウオ科では、同じ科の -24. サヨリと -25. トウザヨリ、及び -26. トビウオと -27. アヤトビウオはいずれも互いに著しく形が相違し、かえって、科の異なるサヨリとアヤトビウオが平板で、上面からみても針状形で似ており、又、トウザヨリとトビウオがいずれも後面から見ると「水」の字形をしている。34. タイ科では -63. マダイと -64. キダイが平

らでコウモリ翼形であるのに対し、-65. クロダイと -66. ヘダイは飛行機の尾翼形をしている。その他、突起をもつもの、一部分が薄くなって小窓状のもの、-39. カツオ、-40. スマ、-41. マルソウダ、そりの形のもの、-44. マカジキ、-45. クロカジキ、あるいは -23. サンマのように上面が左右に拡がる後面 T 字形、-33. ヤマトカマスのように後方が多数の毛状に分岐するコメット形、-76. フサギンボのあぶみ形、-77. ヨロイタチウオの上面割ピン形など独特な形状をしていて魚種の判別が明確なものが多い。

## 6. 結語

硬骨魚類の尾舌骨は種々様々な形状で、尾舌骨だけでも魚種の査定が可能であることを確認した。

今後もさらに多くの魚種について観察を進めるが、各魚種の生態、たとえば食性、生息水域などと尾舌骨の形態との関連性、各個の魚種における生長過程による長舌骨の形態的变化、あるいは種内における形態の変異性などを問題点として充分に検討すべきである。

さらにこの観点を発展させて、漁業資源の研究上、当然明らかにされねばならない系統群の環境生態上の形態の変異性、たとえば脊椎骨数と環境水温との関連性などと同様に、尾舌骨が示すであろう形態的特徴を見出すことにより、魚群の生活履歴を解明してゆくことが出来るのではないかと考える。

本篇を発表するにあたり、東海区水産研究所技官阿部宗明博士より種々御教示を賜わり、御懇切な校閲をしていただいたことを深く感謝する。又、東京大学海洋研究所研究生、W. アンパナパネル博士と同所技官、松永幸司君より有難い助言と協力をいただいた。

## 文 献

- 1) KISHINOUE, Kenkichi (1923): Contribution to the comparative study of the so-called Scombroid Fishes. Jour. Coll. Agr. Imp. Univ. Tokyo, 8(3), 293-475.

- 2) 国枝 溥 (1947, 1949): 動眼筋室の変遷より見たる魚類, 両棲類, 爬虫類, 鳥類及び哺乳類の類縁及び分類について. 日本水産学会誌, **13**(5), 177-187; **14**(4), 189-195.
- 3) 堀田秀之 (1961): 日本産硬骨魚類の中軸骨格の比較研究. 日本魚学振興会.
- 4) 明仁親王 (1963, 1967): ハゼ科魚類の肩胛骨について. 魚類学雑誌, **11**(1, 2), 1-26; **14**(4, 5, 6), 167-182.
- 5) TOMINAGA, Yoshiaki (1968): Internal morphology, mutual relationships and systematic position of the fishes belonging to the Family *Pempheridae*. Jap. Jour. Ichthyology, **15**(2), 43-95.
- 6) 岡田弥一郎 (1925): 動物解剖集成, 第一集. 共立社.
- 7) 広島文理科大学, 広島高等師範学校, 博物学会 (1941): 日本動物解剖図説. 日本出版社.
- 8) 日本大学水産学会 (1958): 水産学会水産動物解剖図譜. 日本大学農獣医学部水産学会.
- 9) 阿部宗明 (1963): 原色魚類検索図鑑. 北隆館.
- 10) 岡田弥一郎, 松原喜代松 (1938): 日本産魚類検索. 三省堂.
- 11) 大島正満 (1940): 魚(脊椎動物大系). 三省堂.
- 12) GREGORY, W. K. (1959): Fish Skull, Eric Lundberg.
- 13) 松原喜代松 (1963): 魚類の形態と検索. 石崎書店.
- 14) 松山義夫, 安田富士郎 (1961): 日本水産魚譜. 内田老鶴圃.
- 15) OKADA, Yaichiro (1966): Fishes of Japan. Unoshoten Tokyo.



Table 1. Observed 100 species.

Order Suborder Family Genus and species	Classification of species with respective Japanese name	Habitat or place and date obtained	Total, head and urohyal lengths in mm Remarks; Habit etc.
1.	<i>Clupeida</i> Nishin-moku		
1.	<i>Clupeina</i> Nishin-amoku		
1.	<i>Steolephoridae</i> Iwashiki-ka		
-1.	<i>Etrumeus micropus</i> (Temmick & Schlegel) Urumeiwashi	Misaki, Kanagawa Nov. 1942	100, 18, 9 Pelagic
2.	<i>Clupeidae</i> Nishin-ka		
-2.	<i>Sardinops melanosticta</i> (Tem. & Sch.) Maiwashi	Tokyo Bay Nov. 1942	150, 28, 18 Pelagic
3.	<i>Clupea pallasii</i> (Cuvier & Valenciennes) Nishin	Hokkaido May 1949	350, 66, 31 Pelagic
4.	<i>Harengula zanasi</i> Blecker Sappa	Sagami Bay Nov. 1942	70, 19, 8.4 Brackish
3.	<i>Engraulidae</i> Katakuchiiwashi-ka		
5.	<i>Engraulis japonica</i> (Houttuyn) Katakuchiiwashi	Tokyo Bay Nov. 1942	90, 20, 12 Shallow sea
2.	<i>Salmonina</i> Sake-amoku		
4.	<i>Salmonidae</i> Sake-ka		
6.	<i>Oncorhynchus tshawytscha</i> (Walbaum) Masunosuke	Northern sea of Japan Aug. 1965	620, 122, 43.5 Ascending river
7.	<i>Oncorhynchus keta</i> (Walbaum) Sake	Naka River, Ibaragi Nov. 1945	580, 116, 45 Ascending river
8.	<i>Oncorhynchus nerka</i> (Walbaum) Benimasa	Northern sea of Japan Aug. 1965	600, 116, 38 Ascending river
9.	<i>Oncorhynchus masou</i> (Brevoort) Masu	Northern sea of Japan Aug. 1965	460, 94, 31 Ascending river
-10.	<i>Salmo gaudnerii irideus</i> (Gibbons) Nijimasu	Nagano naturalized Aug. 1965	240, 50, 13 Fresh water
5.	<i>Plecoglossidae</i> Ayu-ka		
11.	<i>Plecoglossus altivelis</i> Tem. & Sch. Ayu	Central Japan Aug. 1965	160, 33, 7 Fresh water & anadromous
6.	<i>Osmeridae</i> Wakasagi-ka		
-12.	<i>Hypomesus olidus</i> (Pallas) Wakasagi	Central Japan June 1949	80, 15, 2 Brackish & fresh water
2.	<i>Cyprinida</i> Koi-moku		
3.	<i>Cyprinina</i> Koi-amoku		
7.	<i>Cyprinidae</i> Koi-ka		
-13.	<i>Hypophthalmichthys moritrix</i> (Cuv. & Val.) Hakuren	Tokyo naturalized June 1967	76, 18, 7.6 Fresh water
14.	<i>Ctenopharyngodon idellus</i> (Cuv. & Val.) Sogyo	Gunma from China Dec. 1943	310, 60, 26 Fresh water
-15.	<i>Tribolodon hakonensis</i> (Günther) Ugui	Tokyo June 1949	200, 38, 15.5 Fresh water
-16.	<i>Cyprinus carpio</i> Linné Koi	Tokyo July 1942	230, 53, 25 Fresh water
-17.	<i>Carassius auratus</i> Linné Kingyo	Tokyo June 1995	133, 29, 11.6 Fresh water
18.	<i>Zacco platypus</i> (Tem. & Sch.) Oikawa	Tama River, Tokyo May 1966	121, 24.5, 7.3 Fresh water

19. <i>Pseudorasbora parva</i> (Tem. & Sch.) Motsugo	Tokyo May 1966	73, 11.5, 5.3 Fresh water
4. <i>Silurina</i> Namazu-amoku		
8. <i>Plotosidae</i> Gonzui-ka		
20. <i>Plotosus anguillarvis</i> Lacépède Gonzui	Misaki, Kanagawa Dec. 1942	105, 19, 5.5 Shallow sea
3. <i>Anguillida</i> Unagi-moku		
5. <i>Anguillina</i> Unagi-amoku		
9. <i>Anguillidae</i> Unagi-ka		
-21. <i>Anguilla japonica</i> Tem. & Sch. Unagi	Gifu Sep. 1947	570, 68, 10.5 Anadromous
4. <i>Belonida</i> Datsu-moku		
6. <i>Belonina</i> Datsu-amoku		
10. <i>Belonidae</i> Datsu-ka		
22. <i>Ablennes anastomella</i> (Cuv. & Val.) Datsu	Misaki, Kanagawa Oct. 1947	400, 133, 32 Shallow sea
11. <i>Scombresocidae</i> Sanma-ka		
-23. <i>Cololabis saira</i> (Brevoort) Sanma	Northern Japan Oct. 1942	350, 65, 45 Pelagic
7. <i>Exocoetina</i> Tobiuo-amoku		
12. <i>Hemirhamphidae</i> Sayori-ka		
-24. <i>Hemiramphus sajori</i> (Tem. & Sch.) Sayori	Misaki, Kanagawa Nov. 1942	200, 69, 21.5 Shallow sea
-25. <i>Eulopterhamphus viridis</i> (Van Hasselt) Tozayori	Niijima, Tokyo July 1965	460, 152, 28 Pelagic
13. <i>Exocoetidae</i> Tobiuo-ka		
-26. <i>Prognichthys agoo</i> (Tem. & Sch.) Tobiuo	Niijima, Tokyo July 1965	240, 41, 17 Pelagic
-27. <i>Cypselurus poecilopterus</i> (Cuv. & Val.) Ayatobiuo	Niijima, Tokyo July 1965	220, 41, 13.5 Pelagic
5. <i>Cyprinodontida</i> Medaka-moku		
8. <i>Cyprinodontina</i> Medaka-amoku		
14. <i>Cyprinodontidae</i> Medaka-ka		
-28. <i>Gambusia affinis</i> (Baird & Girard) Top minnow	Tokyo naturalied June 1949	45, 10.6, 3.2 Fresh water
6. <i>Syngnathida</i> Yojiuo-moku		
9. <i>Aulostomina</i> Herayagara-amoku		
15. <i>Fistulariidae</i> Yagara-ka		
29. <i>Fistularia villosa</i> Klunzinger Aoyagara	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	500, 122, 26.5 Shallow sea
7. <i>Berycida</i> Kinmedai-moku		
10. <i>Berycina</i> Kinmedai-amoku		
16. <i>Berycidae</i> Kinmedai-ka		
-30. <i>Beryx splendens</i> Lowe Kinmedai	Sagami Bay Jan. 1968	294, 75, 27 Deep sea
8. <i>Percida</i> Suzuki-moku		
11. <i>Mugilina</i> Bora-amoku		
17. <i>Atherinidae</i> Togoroiwashi		
-31. <i>Atherina bleekeri</i> Günther Togoroiwashi	Merako-ura, Shizuoka April 1966	119, 21, 8.2 Shallow sea
18. <i>Mugilidae</i> Bora-ka		
-32. <i>Mugil cephalus</i> Linné Bora	Adjacent sea of Tokyo June 1949	160, 31, 17.6 Coastal & Brackish

19. <i>Sphyracnidae</i> Kamasu-ka			
-33. <i>Sphyraena japonica</i> Cuvier	Adjacent sea of Tokyo	230, 74, 41	
Yamatokamasu	Aug. 1965	Shallow sea	
12. <i>Anabantina</i> Kinoboriuo-amoku			
20. <i>Channidae</i> Raigyo-ka			
-34. <i>Channa tadiana</i> (Jordan & Evermann)	Tokyo naturalized	400, 85, 39	
Raigyo	April 1949	Fresh water	
13. <i>Scombrina</i> Saba-amoku			
21. <i>Coryphaenidae</i> Shiira-ka			
-35. <i>Coryphaena hippurus</i> Linné	Amami-oshima, Kyushu	1250, 187, 87	
Shiira	July 1966	Pelagic	
22. <i>Scombridae</i> Saba-ka			
-36. <i>Pneumatophorus japonicus</i> (Houttuyn)	Misaki, Kanagawa	300, 85, 41	
Masaba	Sep. 1947	Pelagic	
37. <i>Scomberomorus niphonius</i> (Cuvier)	Central Japan	570, 103, 60	
Sawara	Dec. 1942	Pelagic	
38. <i>Thunnus thynnus orientalis</i> (Tem. & Sch.)	Amami-oshima, Kyushu	560, 145, 56.7	
Kuromaguro	July 1966	Pelagic	
-39. <i>Katsuwonus pelamis</i> (Linne)	Central Japan	620, 177, 56.5	
Katsuo	April 1966	Pelagic	
-40. <i>Euthynnus affinis yaito</i> Kishinouye	Amami-oshima, Kyushu	430, 102, 34.5	
Suma	June 1966	Pelagic	
-41. <i>Auxis tapeinosoma</i> Bleeker	Misaki, Kanagawa	262, 65, 19.5	
Marusoda	Oct. 1967	Pelagic	
-42. <i>Auxis thazard</i> (Lacépède)	Misaki, Kanagawa	343, 89, 27	
Hirasoda	Oct. 1967	Pelagic	
23. <i>Trichiuridae</i> Tachiuo-ka			
-43. <i>Trichiurus lepturus</i> Linné	Amami-oshima, Kyushu	840, 119, 43.5	
Tachiuo	June 1966	Shallow sea	
24. <i>Histiophoridae</i> Makajiki-ka			
-44. <i>Makaira mitsukurii</i> (Jordan & Snyder)	Oshima, Tokyo (Izu)	2330, 770, 184	
Makajiki	July 1965	Pelagic	
-45. <i>Makaira mazara</i> (Jordan & Snyder)	Formosa	2200, 720, 144	
Kurokajiki	April 1943	Pelagic	
14. <i>Carangina</i> Aji-amoku			
25. <i>Carangidae</i> Aji-ka			
-46. <i>Trachurus japonicus</i> (Tem. & Sch.)	Adjacent sea of Tokyo	200, 43, 16.5	
Maaji	Oct. 1942	Coastal	
-47. <i>Decapterus lajjang</i> Bleeker	Adjacent sea of Tokyo	150, 32, 14	
Muroaji	Oct. 1941	Pelagic	
-48. <i>Alectis ciliatis</i> (Bloch)	Misaki, Kanagawa	150, 38, 16	
Itohikiaji	Nov. 1947	Shallow sea	
-49. <i>Seriola quinqueradiata</i> Tem. & Sch.	Adjacent sea of Fukuoka	750, 190, 80	
Buri	Nov. 1943	Migrate along coast	
50. <i>Seriola purpurascens</i> Tem. & Sch.	Sagami Bay	196, 50, 16.2	
Kanpachi	May 1966	Migrate along coast	
15. <i>Stromateina</i> Ibodai-amoku			
26. <i>Stromateidae</i> Ibodai-ka			
-51. <i>Psenopsis anomala</i> (Tem. & Sch.)	Adjacent sea of Tokyo	100, 25, 9	
Ibodai	Oct. 1942	Coastal	
-52. <i>Mupus japonicus</i> (Döderlein)	Adjacent sea of Kyushu	510, 121, 72.5	
Medai	Aug. 1965	Coastal	
53. <i>Pampus</i> (Euphrasen)	Adjacent sea of Kyushu	300, 50, 11.2	
Medai	Aug. 1965	Coastal	

27. <i>Labracoglossidae</i> Takabe-ka				
-54. <i>Labracoglossa argentiventris</i> Takabe	Adjacent sea of Tokyo Sep. 1967	22, 41,	18.3	Coastal
16. <i>Percina</i> Suzuki-amoku				
28. <i>Apogonidae</i> Tenjikudai-ka				
-55. <i>Apogon semilineatus</i> Tem. & Sch. Nenbutsudai	Misaki, Kanagawa Aug. 1947	80, 23,	11.2	Coastal
29. <i>Scombroptidae</i> Mutsu-ka				
-56. <i>Scombrops boops</i> (Houttuyn) Mutsu	Merako-ura, Shizuoka April 1966	230, 68,	23	Shallow & deep sea
30. <i>Priacanthidae</i> Kintokidai-ka				
-57. <i>Priacanthus macracanthus</i> Cuvier Kintokidai	Misaki, Kanagawa Sep. 1948	84, 25,	8	Coastal
31. <i>Serranidae</i> Hata-ka				
-58. <i>Epinephelus septemfasciatus</i> (Thunberg) Mahata	Misaki, Kanagawa Dec. 1942	165, 52,	29	Coastal
-59. <i>Lateolabrax japonicus</i> (Cuv. & Val.) Suzuki	Misaki, Kanagawa Sep. 1948	400, 90,	32	Brackish & coastal
32. <i>Theraponidae</i> Shimaisagi-ka				
-60. <i>Therapon oxyrhynchus</i> Tem. & Sch. Shimaisagi	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	170, 45,	15	Coastal
33. <i>Haemulidae</i> Isaki-ka				
-61. <i>Parapristipoma trilineatum</i> (Thunberg) Isaki	Misaki, Kanagawa Sep. 1947	155, 38,	15	Coastal
-62. <i>Plectorhynchus cinctus</i> (Tem. & Sch.) Koshodai	Misaki, Kanagawa Sep. 1948	400, 100,	35	Coastal
34. <i>Sparidae</i> Tai-ka				
-63. <i>Chrysophrys major</i> Tem. & Sch. Madai	Adjacent sea of Tokyo Oct. 1942	330, 77,	24	Coastal
-64. <i>Tautis tumifrons</i> (Tem. & Sch.) Kidai	Adjacent sea of Tokyo Nov. 1942	200, 54,	23	Coastal
-65. <i>Mylio macrocephalus</i> (Basilewsky) Kurodai	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	140, 35,	11	Coastal
-66. <i>Rhabdosargus sarba</i> (Forsk.) Hedai	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	160, 37,	14	Coastal
-67. <i>Girella punctata</i> Gray Hedai	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	160, 37,	14	Coastal
36. <i>Sciaenidae</i> Nibe-ka				
-68. <i>Argyrosomus argentatus</i> (Houttuyn) Ishimochi	Adjacent sea of Tokyo Feb. 1952	170, 40,	15	Coastal bottom
37. <i>Oplegnathidae</i> Ishidai-ka				
-69. <i>Oplegnathus fasciatus</i> (Tem. & Sch.) Ishidai	Misaki, Kanagawa Aug. 1947	220, 53,	17	Coastal
38. <i>Mullidae</i> Himeji-ka				
-70. <i>Upeneus bensasi</i> (Tem. & Sch.) Himeji	Misaki, Kanagawa Nov. 1942	120, 29,	11	Coastal
39. <i>Aplodactylidae</i> Takanohadai				
-71. <i>Goniistius zonatus</i> (Cuv. & Val.) Takanohadai	Misaki, Kanagawa Sep. 1948	140, 35,	8	Coastal
40. <i>Sillaginidae</i> Kisu-ka				
-72. <i>Sillago japonica</i> Tem. & Sch. Shirokisu	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	200, 44,	15	Shallow sea
41. <i>Branchiostegidae</i> Amadai-ka				

-73. <i>Branchiostegus argentatus</i> (Cuv. & Val.) Shiroamadai	Kii-katsuura, Wakayama Feb. 1943	250, 56, 17 Coastal bottom
42. <i>Trichodontidae</i> Hatahata-ka		
-74. <i>Aretoscopus japonicus</i> (Steindachner) Hatahata	Aomori Nov. 1942	150, 34, 11 Coastal bottom
17. <i>Polynemina</i> Tsubamekonoshiro-amoku		
43. <i>Polynemidae</i> Tsubamekonoshiro-ka		
-75. <i>Plydactylus plebeius</i> (Broussonet) Tsubamekonoshiro	Misaki, Kanagawa Aug. 1947	150, 37, 8 Coastal
18. <i>Blenniina</i> Ginpo-amoku		
44. <i>Pholidae</i> Nishikiginpo-ka		
-76. <i>Azuma emmion</i> Jordan & Snyder Fusaginpo	Hokkaido May 1966	430, 58, 11 Coastal bottom
19. <i>Ophidiina</i> Ashiro-amoku		
45. <i>Brotulidae</i> Itachiuo-ka		
77. <i>Hoplobrotula armata</i> (Tem. & Sch.) Yoroitachiuo	Northern Japan Aug. 1965	300, 69, 16.5 Bottom
20. <i>Embiotocina</i> Umitanago-amoku		
46. <i>Embiotocidae</i> Umitanago-ka		
78. <i>Ditrema temmincki</i> Bleeker Umitanago	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	157, 33, 12 Coastal
21. <i>Pomacentrina</i> Suzumedai-amoku		
47. <i>Pomacentrina</i> Suzumedai-ka		
-79. <i>Chromis caeruleus</i> (Cuv. & Val.) Debasuzume	Amami-oshima, Kyushu March 1966	64, 14.4, 5.7 Coral reef
22. <i>Labrina</i> Bera-amoku		
48. <i>Labridae</i> Bera-ka		
-80. <i>Pseudolabrus japonicus</i> (Houttuyn) Sasanohabera	Misaki, Kanagawa Aug. 1947	100, 26, 6.5 Coastal
23. <i>Siganina</i> Aigo-amoku		
49. <i>Siganidae</i> Aigo-ka		
-81. <i>Siganus fuscescens</i> (Houttuyn) Aigo	Misaki, Kanagawa Oct. 1942	260, 58, 13 Shallow sea
9. <i>Cottida</i> Kajika-moku		
24. <i>Cottina</i> Kajika-amoku		
50. <i>Scorpaenidae</i> Kasago-ka		
-82. <i>Sebastes inermis</i> Cuvier Mebaru	Misaki, Kanagawa Dec. 1942	120, 33.5, 15 Coastal bottom
-83. <i>Sebastes trivittatus</i> Hilgendorf Shimasoi	Hokkaido May 1966	300, 95, 24 Coastal bottom
-84. <i>Sebastolobus macrochir</i> (Günther) Kichiji	Northern Japan Nov. 1945	180, 52, 18 Coastal bottom
-85. <i>Sebastiscus marmoratus</i> (Cuvier) Kasago	Misaki, Kanagawa Nov. 1942	165, 51, 18 Coastal bottom
86. <i>Pterois lunulata</i> Tem. & Sch. Minokasago	Misaki, Kanagawa Dec. 1942	180, 45, 15 Coastal
51. <i>Hexagrammidae</i> Ainame-ka		
-87. <i>Hexagrammos otakii</i> Jordan & Starks Ainame	Hashirimizu, Kanagawa May 1966	320, 72, 17.5 Coastal bottom
-88. <i>Pleurogrammus azonus</i> Jordan & Metz Hokke	Hokkaido May 1966	390, 85, 23 Coastal bottom
52. <i>Platycephalidae</i> Kochi-ka		
-89. <i>Platycephalus indicus</i> (Linné) Magochi	Misaki, Kanagawa Dec. 1942	230, 59, 31.5 Coastal bottom

53. <i>Cottidae</i> Kajika-ka				
90. <i>Cottus pollux</i> Günther	Northern Japan	240, 68,	10.5	
Kajika	Nov. 1942	River		
10. <i>Gadida</i> Tara-moku				
25. <i>Gadina</i> Tara-amoku				
54. <i>Gadidae</i> Tara-ka				
-91. <i>Gadus morrhua macrocephalus</i> Tilesius	Northern Japan	720, 168,	37	
Madara	Jan. 1946	Bottom		
11. <i>Pleuronectida</i> Karei-moku				
26. <i>Pleuronectina</i> Karei-amoku				
55. <i>Bothidae</i> Hirame-ka				
-92. <i>Paralichthys olivaceus</i> (Tem. & Sch.)	Aomori	490, 112,	32	
Hirame	May 1967	Bottom		
56. <i>Pleuronectidae</i> Karei-ka				
-93. <i>Pleuronichthys cornutus</i> (Tem. & Sch.)	Central Japan	270, 47,	15.5	
Meitagarei	Sep. 1965	Bottom		
-94. <i>Limanda yokohamae</i> (Günther)	Central Japan	340, 62,	18	
Makogarei	Sep. 1965	Bottom		
-95. <i>Kareius bicoloratus</i> (Basilewsky)	Hashirimizu, Kanagawa	258, 67,	17	
Ishigarei	May 1966	Bottom		
-96. <i>Verasper moseri</i> Jordan & Gilbert	Hokkaido	400, 92,	27	
Matsukawa	May 1965	Bottom		
12. <i>Tetraodontida</i> Fugu-moku				
27. <i>Balistina</i> Mongarakawahagi-amoku				
57. <i>Monacanthidae</i> Kawahagi-ka				
-97. <i>Stephanolepis cirrhifer</i> (Tem. & Sch.)	Merako-ura, Shizuoka	156, 43,	5	
Kawahagi	April 1966	Coastal		
28. <i>Tetraodontina</i> Mafugu-amoku				
59. <i>Tetraodontidae</i> Mafugu-ka				
-98. <i>Fugu niphobles</i> (Jordan & Snyder)	Merako-ura, Shizuoka	182, 42,	No	
Kusafugu	April 1966	Coastal		
-99. <i>Canthigaster rivulatus</i> (Tem. & Sch.)	Misaki, Kanagawa	80, 22,	No	
Kitamakura	Aug. 1966	Coastal		
13. <i>Lophiida</i> Anko-moku				
29. <i>Antennariina</i> Izariuo-amoku				
59. <i>Antennariidae</i> Izariuo-ka				
-100. <i>Pterophryne histrio</i> (Linné)	Hashirimizu, Kanagawa	118, 39,	No	
Hanaokoze	May 1966	Coastal		

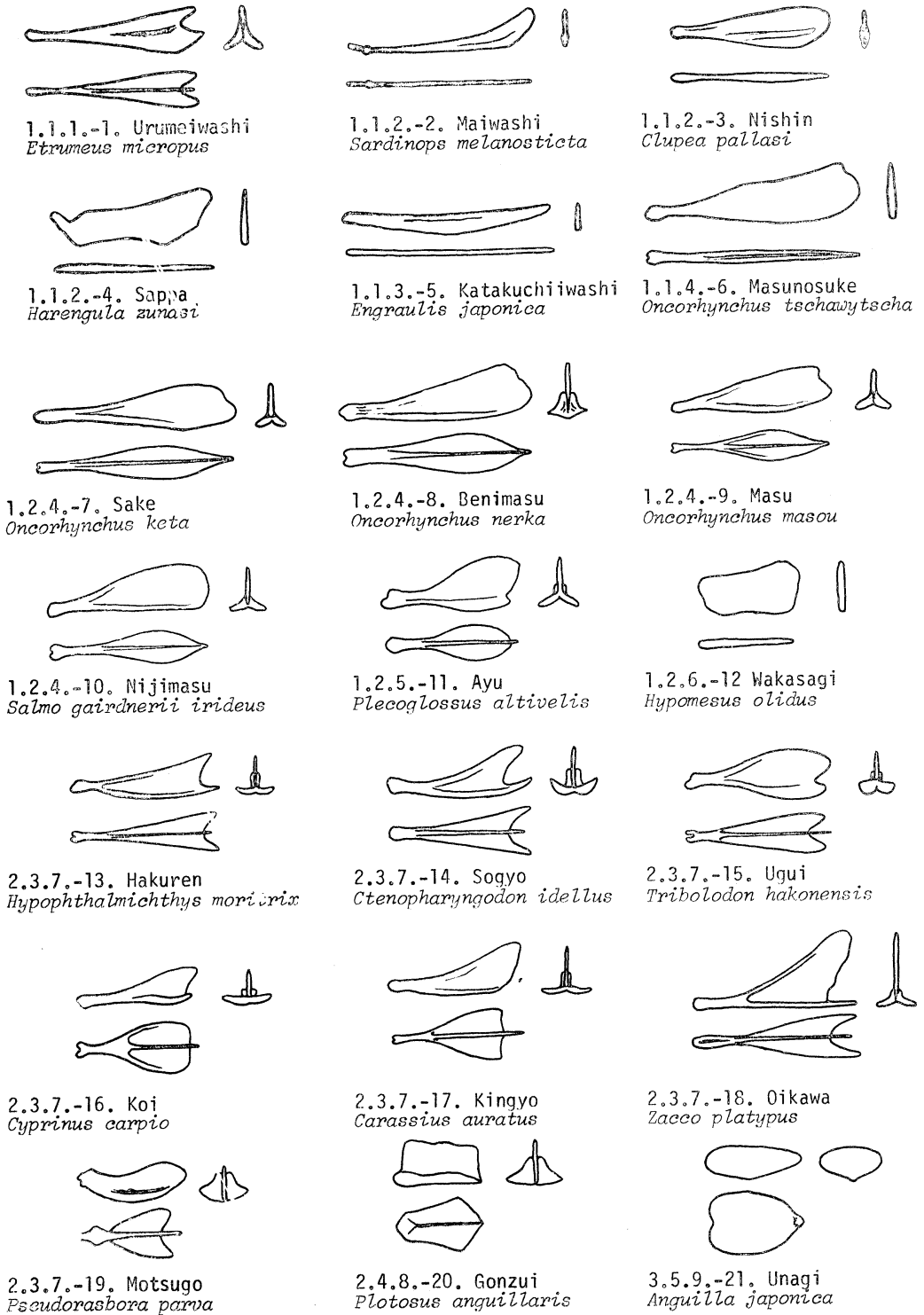


Fig. 1. 1. Clupeida Nishin-moku, 2. Cyprinida Koi-moku and 3. Anguillida Unagi-moku.

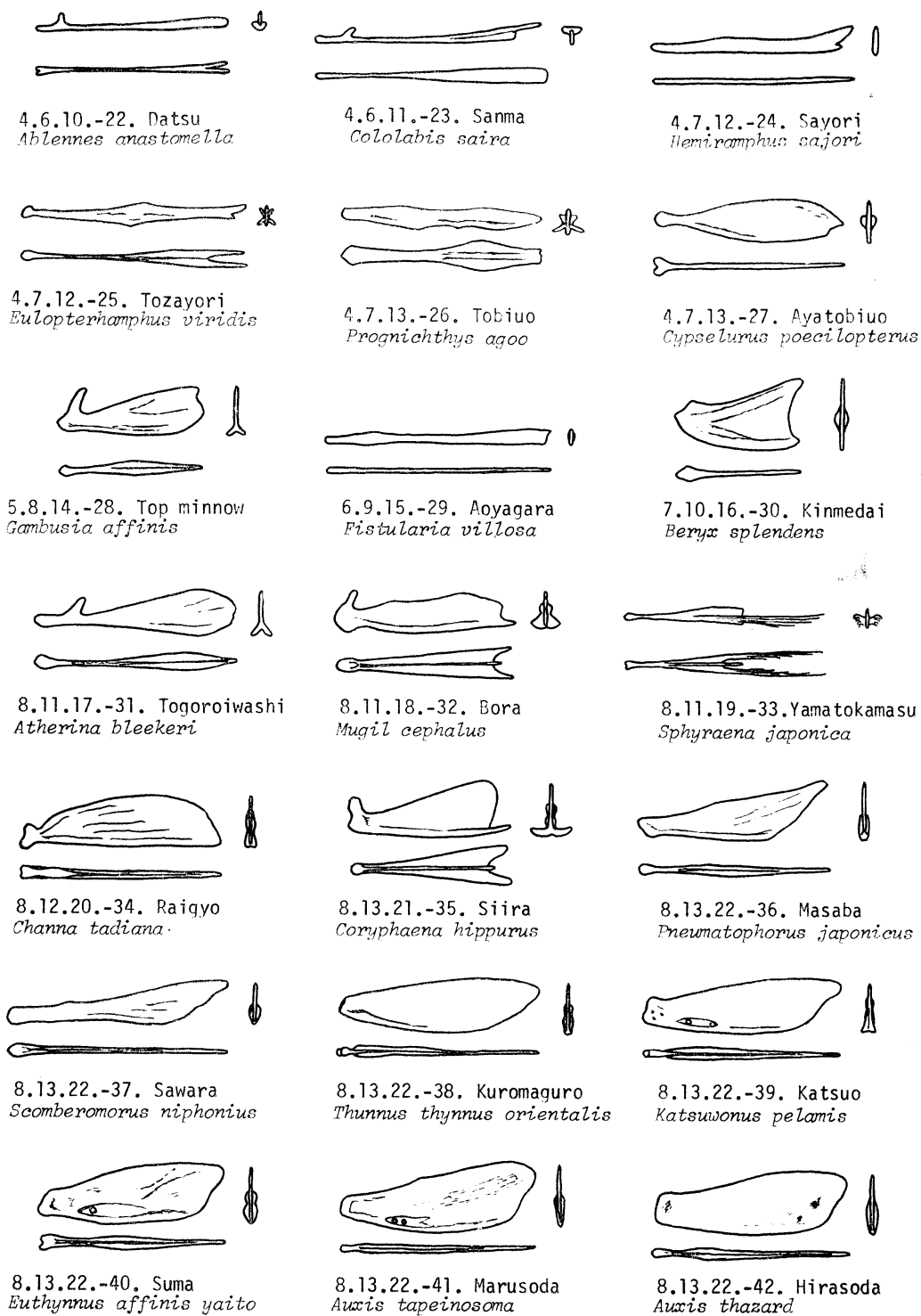


Fig. 2. 4. *Belonida* Datsu-moku, 5. *Cyprinodontida* Medaka-moku, 6. *Syngnathida* Yojiuo-moku, 7. *Berycida* Kinmedai-moku and 8. *Percida* Suzuki-moku (11. *Mugilina* Bora-amoku, 12. *Anabantina* Kinoboriuo amoku and 13. *Scombrina* Saba-amoku - 21. *Coryphaenidae* Shiira-ka and 22. *Scombridae* Saba-ka).





8.13.23.-43. Tachiuo  
*Trichiurus lepturus*



8.13.24.-44. Makajiki  
*Makaira mitsukurii*



8.13.24.-45. Kurokajiki  
*Makaira mazara*



8.14.25.-46. Maaji  
*Trachurus japonicus*



8.14.25.-47. Muroaji  
*Decapterus lajang*



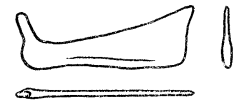
8.14.25.-48. Itohikajiki  
*Alectis ciliaris*



8.14.25.-49. Buri  
*Seriola quinqueradiata*



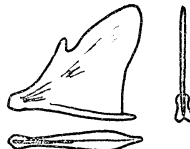
8.14.25.-50. Kanpachi  
*Seriola purpurascens*



8.15.26.-51. Ibodai  
*Psenopsis anomala*



8.15.26.-52. Medai  
*Mupus japonicus*



8.15.26.-53. Managatsuo  
*Pampus argenteus*



8.15.27.-54. Takabe  
*Labracoglossa argentiventris*



8.16.28.-55. Nenbutsudai  
*Apogon semilineatus*



8.16.29.-56. Mutsu  
*Scombrops boops*



8.16.30.-57. Kintokidai  
*Priacanthus macracanthus*



8.16.31.-58. Mahata  
*Epinephelus septemfasciatus*



8.16.31.-59. Suzuki  
*Lateolabrax japonicus*



8.16.32.-60. Shimaisagi  
*Therapon oxyrhynchus*



8.16.33.-61. Isaki  
*Parapristipoma trilineatum*



8.16.33.-62. Koshodai  
*Plectorhynchus cinctus*

Fig. 3. 8. Percida Suzuki-moku (13. *Scombrina* Saba-amoku=23. *Trichiuridae* Tachiuo-ka and 24. *Histiophoridae* Makajiki-ka, 14. *Carangina* Aji-amoku, 15. *Stromateina* Ibodai-amoku and 16. *Percina* Suzuki-amoku=28. *Apogonidae* Tenjikudai-ka 33. *Haemulidae* Isaki-ka).

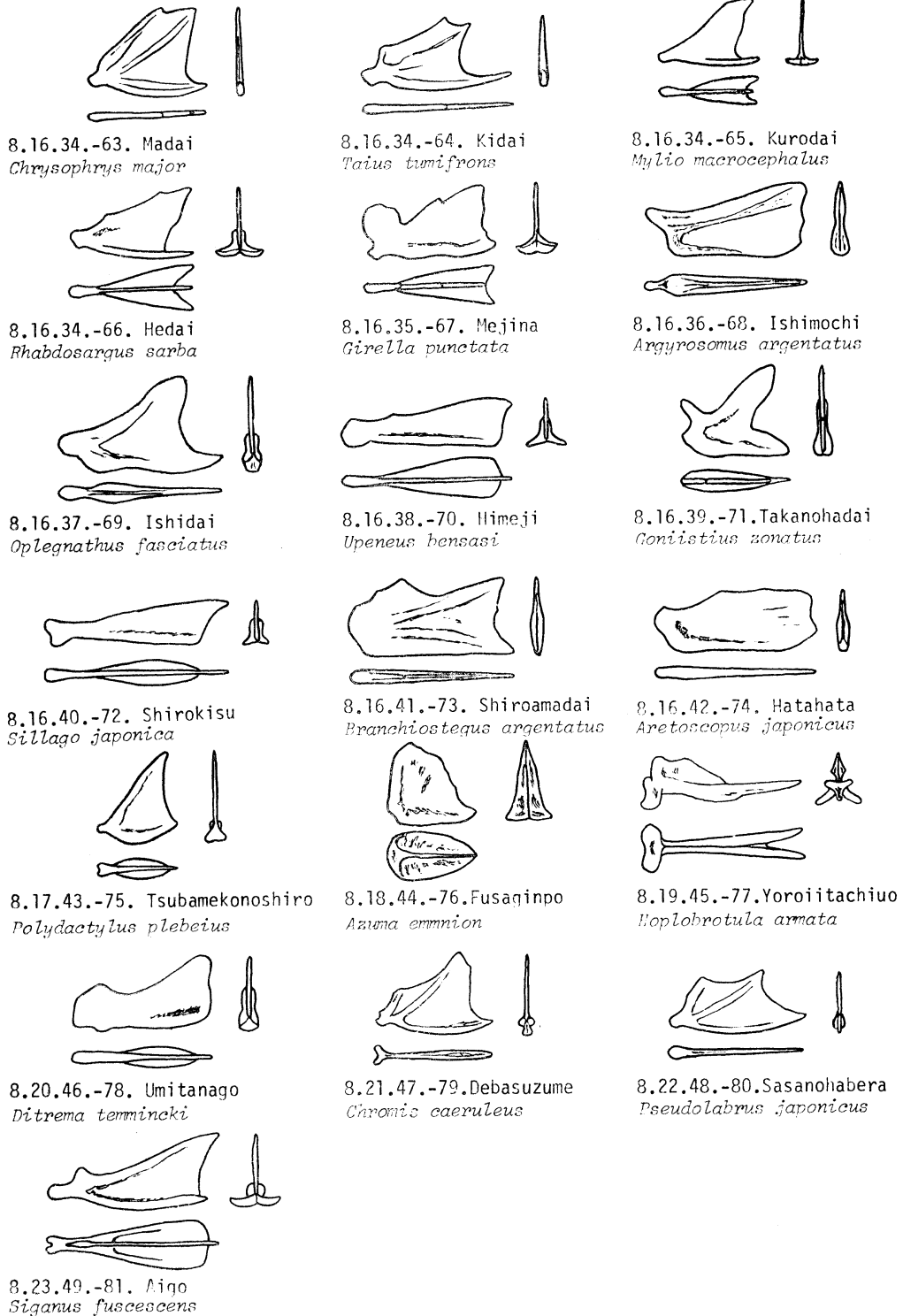


Fig. 4. 8. *Percida* Suzuki-moku (16. *Percina* Suzuki-amoku -34. *Sparidae* Tai-ka -42. *Trichodontidae* Hatahata-ka, 17. *Polynemina* Tsubamekonoshiro-amoku, 18. *Bleminiina* Ginpo-amoku, 19. *Ophidiina* Ashiro-amoku, 20. *Embiotocina* Umitanago-amoku, 21. *Pomacentrina* Suzumedai-amoku, 22. *Labrina* Bera-amoku and 23. *Siganina* Aigo-amoku).

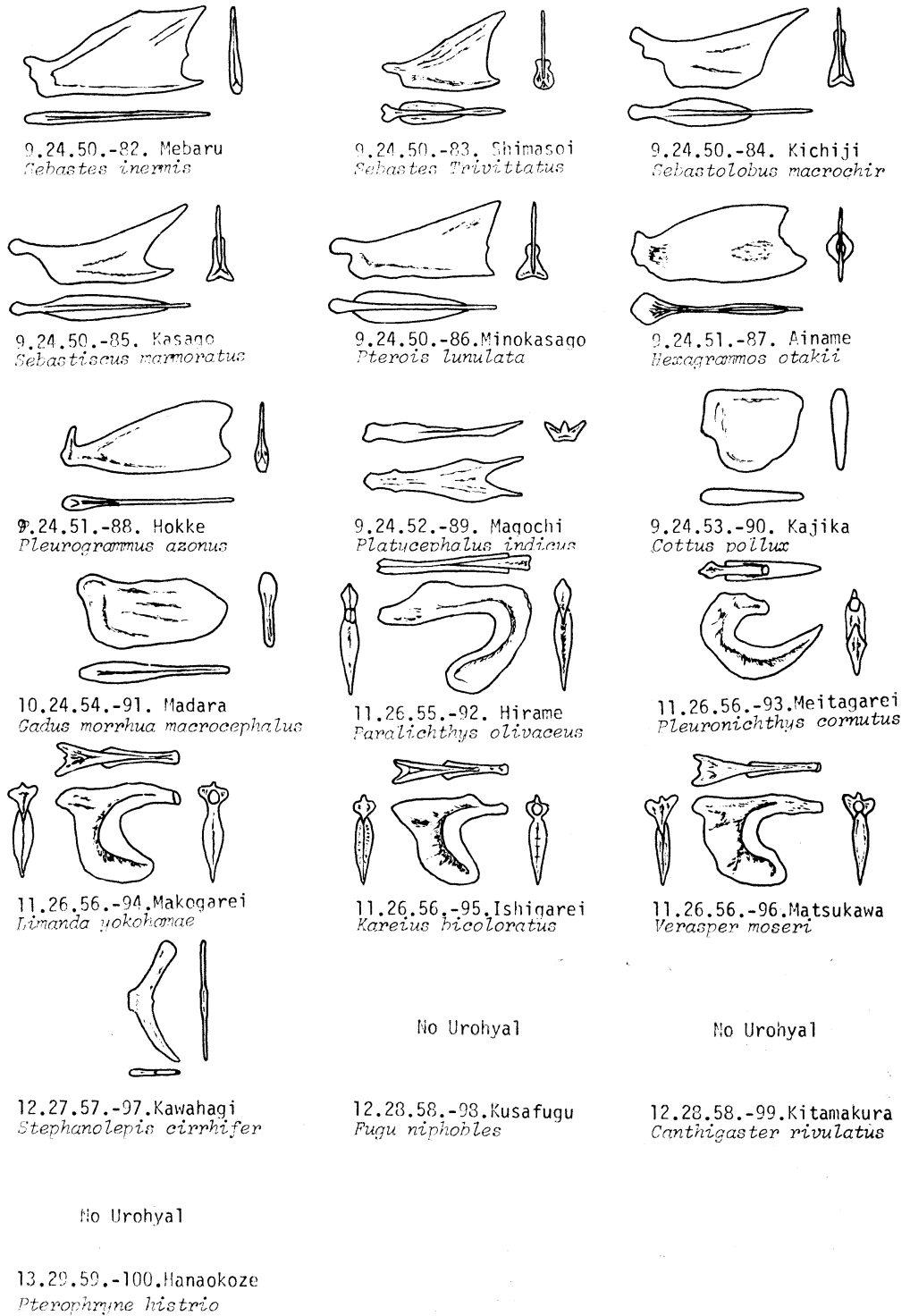


Fig. 5. 9. Cottida Kajika-moku, 10. Gadida Tara-moku, 11. Pleuronectida Karei-moku, 12. Tetraodontida Fugu-moku and 13. Lophiida Anko-moku.

## クサフグ仔魚の皮ふにみられる塩類 細胞“Chloride Cells”について\*

岩 井 保\*\*

### On the “Chloride Cell” in the Skin of Larval Puffer, *Fugu niphobles* (JORDAN and SNYDER)

Tamotsu IWAI

**Abstract:** The peculiar cells resembling the “chloride cells” in fine structure were found to occur in the skin of larvae of the puffer *Fugu niphobles*. The cytoplasm of this cell is characterized by closely packed mitochondria and agranular endoplasmic reticulum forming a short branched tubule. The outer surface of this cell is mostly covered by the thin squamous epithelial cells except for a small external free portion where the cell is exposed to the environment. Fully matured chloride cell is filled with amorphous substances with fine granules, which are released from the apical surface. Based on the fine structural features, it is conceivable that these cells of larval puffer play a part of role in osmoregulation.

硬骨魚類の鰓上皮に存在する塩類細胞(Chloride cell)は塩類の吸収・排出を行ない、魚類の浸透圧調節に大きな役割をはたしているといわれる(KEYS and WILLMER, 1932<sup>1)</sup>; 川本, 1966<sup>2)</sup>)。特に、海水適応の魚類ではこの細胞に顕著な形態的变化のおこることが電子顕微鏡によって観察され(KESSEL and BEAMS, 1962<sup>3)</sup>; PHILIPOTT and COPELAND, 1963<sup>4)</sup>; THREADGOLD and HOUSTON, 1964<sup>5)</sup>; OBERG, 1967<sup>6)</sup>)、海水中で魚類が外部環境より低張の体液を保持するためにこの細胞の働きが活発になると推察されている。しかし、腎臓とか鰓などの浸透圧調節に直接関係のある器官の発達が不十分な仔魚期における浸透圧調節機構についての研究はあまりなされていない。LASKER and THEILACKER (1962)<sup>7)</sup> および LASKER (1965)<sup>8)</sup> はマイワシ仔魚が成魚と同様に海水より低張の体液を保持することを明らかにし、この問題に関する注意を喚起した。引き続き、THREAD-

GOLD and LASKER (1967)<sup>9)</sup> および LASKER and THREADGOLD (1968)<sup>10)</sup> はマイワシ仔魚の体表をおおう薄い皮ふに着目し、その中に塩類細胞を発見し、仔魚の浸透圧調節機構解明の糸口を与えた。たまたま筆者も塩分濃度の変化によく適応するクサフグ仔魚の皮ふの表皮中の各所に塩類細胞を観察する機会を得たので、ここにその微細構造を報告し仔魚の浸透圧調節機構についても多少の考察を加えてみたい。

#### 材料および方法

研究に用いたクサフグ, *Fugu niphobles* (JORDAN and SNYDER), の仔魚は実験室の海水水槽中に自然産卵された卵より得たもので、ふ化後8日目に体長3.4~3.5mmの仔魚20尾を固定した。固定にはMILLONIG (1961)<sup>11)</sup> の処方にしたがってpH7.3に調整した2%氷冷オスミウム酸を用いた。仔魚の組織片はエポキシ樹脂に包埋し、ガラスナイフで超薄切片を作り、酢酸ウラニルおよびクエン酸鉛による二重染色を施した後、JEM-7A電子顕微鏡で観察した。

\* 1969年3月26日受理

\*\* 京都大学農学部水産学教室 Department of Fisheries, Kyoto University

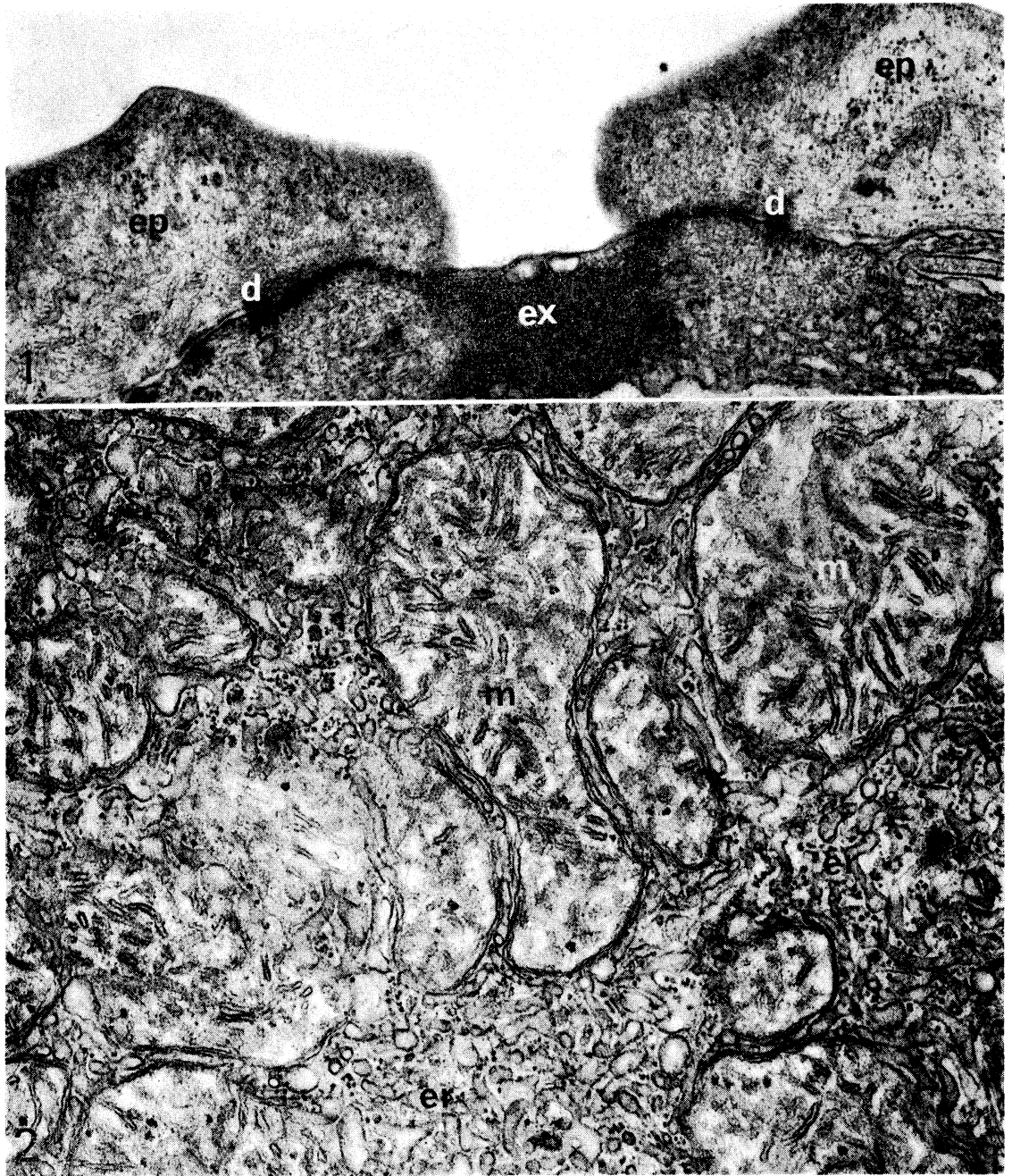


Fig. 1. Central apical portion of chloride cell. Squamous epithelial cells cover this cell peripherally except for the central exposed portion. *d*, desmosomes; *ep*, squamous epithelial cells; *ex*, exposed portion.  $\times 29,000$ .

Fig. 2. Cytoplasm of chloride cell filled with mitochondria and agranular endoplasmic reticulum forming the branched tubule. *er*, agranular endoplasmic reticulum; *m*, mitochondria.  $\times 42,000$ .

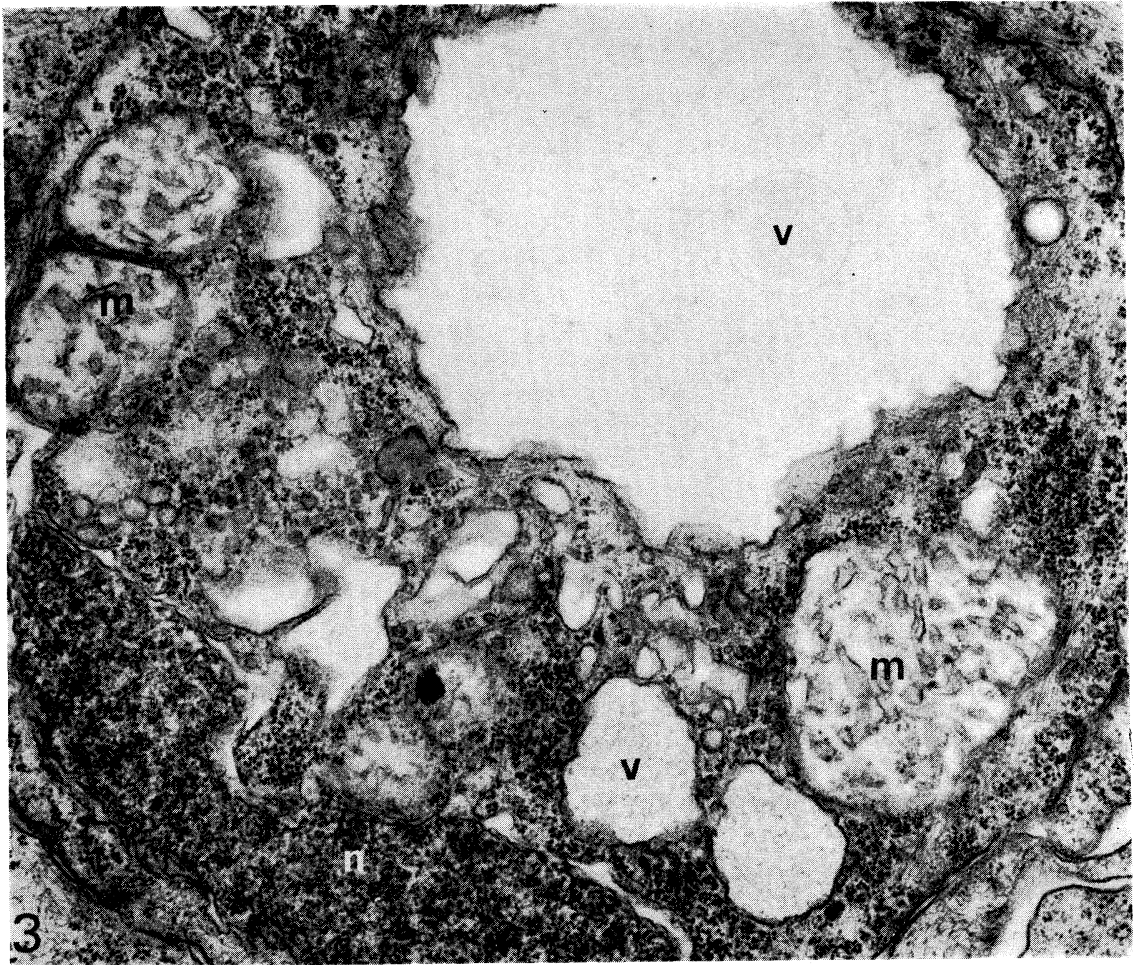


Fig. 3. Chloride cell with several vacuoles containing amorphous substances. *m*, mitochondria; *n*, nucleus; *v*, vacuoles.  $\times 40,000$ .

## 結 果

クサフグ仔魚の体をおおう皮ふは薄く、表皮の厚さはわずか  $7.1 \sim 11.5 \mu$  で、不規則に2層(部位によっては3層)にならぶ細胞によって構成されている。表皮を構成する細胞には扁平上皮細胞、粘液細胞および塩類細胞の3種がある。扁平上皮細胞はその代表的なもので表皮の大半を占めている。外層に並ぶ扁平上皮細胞はきわめて薄く、細胞質の電子密度が高く、細胞小器官に乏しいが、内層の扁平上皮細胞は複雑な形をしていて細胞質に多数の微小線維を含有する。また、後者

の細胞膜は著しく屈曲し、隣接細胞と各所において指状接合を形成する。

粘液細胞は扁平上皮細胞よりはるかに数が少ない。細胞質の上半は粘液顆粒によって満たされている場合が多い。

塩類細胞は径約  $6 \times 8 \mu$  の楕円体をしていて、体表、ひれ膜などの表皮中に散在し、数個ずつ集合して分布している場合が多い。前述の2種の細胞と比較して細胞質中にミトコンドリアおよび滑面小胞体が著しく多い点で容易に区別できる。この細胞は表皮中に深く横たわり、基部はしばしば表皮基底膜に接することもある。外側面は中央の

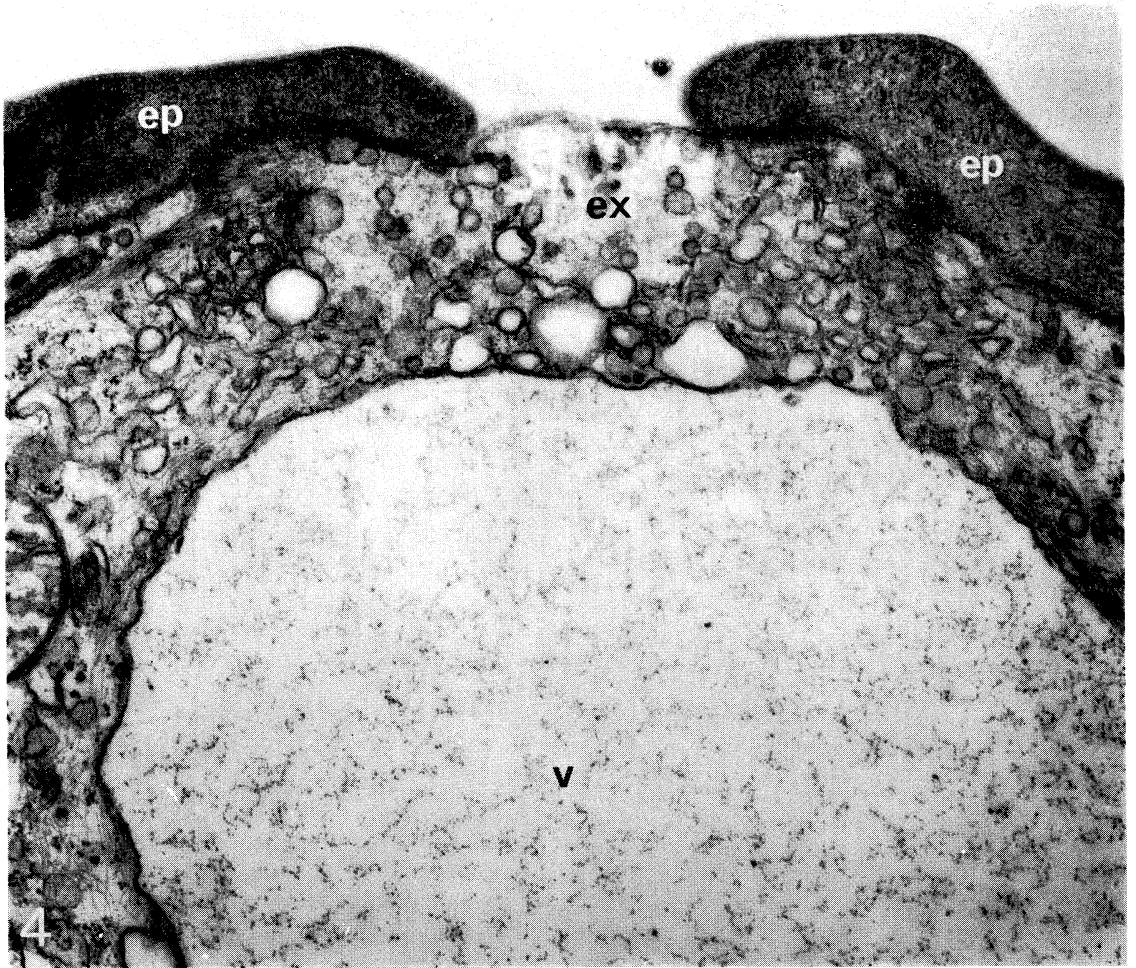


Fig. 4. Distal portion of chloride cell filled with amorphous substances. *ep*, squamous epithelial cells; *ex*, exposed portion of chloride cell; *v*, vacuole containing amorphous substances.  $\times 36,000$ .

一部分を除くと外層の扁平上皮細胞でおおわれ、デスモゾームによってたがいに強固に接着している (Fig. 1) 外側縁の中央部は直接体表に露出し、この部分の細胞質は他の部分より一段と電子密度が高く、あたかもピンの栓のような構造を示す (Fig. 1)。細胞の中央部にはミトコンドリア・滑面小胞体・液胞などが密に並び、核は側面に偏在している。

表皮中に数個の塩類細胞が密集している場合には、それらを比較観察すると、塩類細胞の成熟過程をうかがうことが可能である。すなわち、最初の段階として細胞質には多数の大型のミトコンド

リアおよび小管状の滑面小胞体が密に詰まっている (Fig. 2)。つぎにミトコンドリア・滑面小胞体群の間に少数の液胞が出現し、その中に小顆粒を含む物質が蓄積される (Fig. 3)。この液胞は次第に大きさを増し、ついに細胞の上半部を占有するようになる (Fig. 4)。この蓄積物質の像は海水適応の魚類の鰓にみられる塩類細胞の分泌物質の像とよく似ている。液胞が細胞の大半を占めるようになると、遊離縁の栓状部が消失し蓄積物質が体外へ排出される。

クサフグで観察した塩類細胞の成熟過程は TH-READGOLD and LASKER (1967)<sup>9)</sup> によって報告さ

れたマイワシ仔魚の皮ふ中の塩類細胞の成熟過程と類似して、これらの細胞で、ある種の物質が蓄積された後排出されていることはほぼ間違いないと思われる。

### 考 察

KEYS and WILLMER (1932)<sup>1)</sup> によって魚類の鰓上皮にみられる好酸性細胞が浸透圧調節に関係しているであろうという仮説が発表されて以来、多くの研究者が種々の手法を用いてこの細胞の機能についての推論を行ない、この仮説に対する賛否両論がつきつぎに報告されてきた。PARRY (1966)<sup>12)</sup> はこれらの報告を整理検討し、まだ充分に実証されていないが鰓および咽頭部の塩類細胞によって塩類が排出される可能性はあるとしている。さらに、最近の電子顕微鏡を用いた実験的な研究によれば、少なくとも海水中では塩類細胞は電解質調節に関与しているものと考えて差支えないようである (PHILIPOTT, 1965<sup>13)</sup>; PETRIK, 1968)<sup>14)</sup>。最近、このような細胞は鰓に限らず成魚の体の表皮中 (HENRICKSON and MATOLTSY, 1968)<sup>15)</sup> とか、腎臓の尿細管上皮中 (YAMAMOTO, 1966)<sup>16)</sup> にも存在することが明らかにされるにいたって、塩類細胞は魚体内の浸透圧調節に関係のある部位にかなり広く分布し、浸透圧調節機構の一端をはたしていると考えられるようになってきた。

ふ化後まだ日の浅い仔魚の器官形成は不完全であるにもかかわらず、外部環境特に塩分濃度の変化に応じて生存しうる仔魚もかなりある。ふ化後10日までのニシンの仔魚は 10.52~28.71 g/l Cl の範囲の塩分濃度の変化に適応できるといわれているし (倉田, 1959)<sup>17)</sup>、ヨーロッパ産のニシン・タラ・カレイの類の仔魚も、ある範囲内では高張または低張の海水に適応することが知られている (HOLLIDAY, 1965)<sup>18)</sup>。一般に仔魚の皮ふはきわめて薄く、飼育中に皮ふの外傷によって死亡する例も少なくない。もし、海水中の仔魚が外部環境から独立して一定の体内浸透圧を保持するとすれば、薄い皮ふは体内水分を保持するうえで大きな負担をうけることになるであろう。そのような場

合、皮ふに浸透圧調節に関与する構造の存在する可能性は当然考えられるところである。実際にマイワシ仔魚は浸透圧調節機能を有し (LASKER and THEILACKER, 1962<sup>7)</sup>; LASKER, 1965<sup>8)</sup>), 体の皮ふの表皮中に、海水の塩分濃度の変化によって細胞小器官の活動に変化の生ずる塩類細胞が存在していることも実証されている (LASKER and THREADGOLD, 1968)<sup>10)</sup>。さらに、SHELBOURNE (1957)<sup>19)</sup> はタラヤカレイ類の仔魚の皮ふ、特に卵黄嚢周辺部およびひれの縁辺部の表皮中に網目状構造と、その間に Cl を含む小胞が散在することを確認し、仔魚の浸透圧調節面での皮ふの重要性を示唆している。このようなことから、多くの海産硬骨魚類の仔魚は皮ふの表皮中に塩類細胞をそなえ、そこで塩類の一部を排出しているものと想像される。したがって、皮ふは海産仔魚の重要な浸透圧調節器官の一つとなっているといえよう。

謝辞：本研究を行なうにあたって有益な御助言をいただいた故松原喜代松博士に深謝の意を表するとともに、実験に御協力いただいた田中克氏に厚く御礼申し上げます。

### 文 献

- 1) KEYS, A. B. and E. N. WILLMER (1932): "Chloride-secreting cells" in the gills of fishes with special reference to the common eel. *J. Physiol.*, **76**, 368-378.
- 2) 川本信之 (1966): 新版魚類生理生態学. 恒星社厚生閣, 東京. 374 pp.
- 3) KESSEL, R. G. and H. W. BEAMS (1962): Electron microscope studies on the gill filaments of *Fundulus heteroclitus* from sea water and fresh water with special reference to the ultrastructural organization of the "chloride cell." *J. Ultrastr. Res.*, **6**, 77-87.
- 4) PHILIPOTT, C. W. and D. E. COPELAND (1963): Fine structure of chloride cells from three species of *Fundulus*. *J. Cell Biol.*, **18**, 389-404.
- 5) THREADGOLD, L. T. and A. H. HOUSTON (1964): An electron microscope study of the "chloride cell" of *Solmo salar* L. *Exp. Cell Res.*, **34**, 1-23.
- 6) OBERG, K. E. (1967): The reversibility of the respiratory inhibition in gills and the ultrastructural changes in chloride cells from the rotenone-poisoned marine teleost, *Gadus callaris* L. *Exp.*



- Cell Res., **45**, 590-602.
- 7) LASKER, R. and G. H. THEILACKER (1962): Oxygen consumption and osmoregulation by single Pacific sardine eggs and larvae (*Sardinops caerulea* GIRARD). J. Cons. Int. Explor. Mer., **27**, 25-33.
  - 8) LASKER, R. (1965): The physiology of Pacific sardine embryos and larvae. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., **10**, 96-101.
  - 9) THREADGOLD, L. T. and R. LASKER (1967): Mitochondriogenesis in integumentary cells of the larval sardine (*Sardinops caerulea*). J. Ultrastr. Res., **19**, 238-249.
  - 10) LASKER, R. and L. T. THREADGOLD (1968): “Chloride cells” in the skin of the larval sardine. Exp. Cell Res., **52**, 582-590.
  - 11) MILLONIG, G. (1961): Advantages of a phosphate buffer for OsO<sub>4</sub> solutions in fixation. J. Appl. Phys., **32**, 1637.
  - 12) PARRY, G. (1966): Osmotic adaptation in fishes. Biol. Rev., **41**, 392-444.
  - 13) PHILPOTT, C. W. (1965): Halide localization in the teleost chloride cell and its identification by selected area electron diffraction. Direct evidence supporting an osmoregulatory function for the sea water adapted chloride cell of *Fundulus*. Proto-plasma, **60**, 7-23.
  - 14) PETRIK, P. (1968): The demonstration of chloride ions in the “chloride cells” of the gills of eels (*Anguilla anguilla* L.) adapted to sea water. Z. Zellforsch., **92**, 422-427.
  - 15) HENRICKSON, R. C. and A. G. MATOLTSY (1968): The fine structure of teleost epidermis. III. Club cells and other cell types. J. Ultrastr. Res., **21**, 222-232.
  - 16) YAMAMOTO, T. (1966): Observations of the special cell (type of chloride cell in gill filament) of the kidney tubules in freshwater catfish (*Parasilurus asotus*). VIth Int. Congr. Electron Microscopy, **2**, 675-676.
  - 17) 倉田 博 (1959): ニシン稚魚の飼育について. 北海道水研研報, (20), 117-138.
  - 18) HOLLIDAY, F. G. T. (1965): Osmoregulation in marine teleost eggs and larvae. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., **10**, 89-95.
  - 19) SHELBOURNE, J. E. (1957): Site of chloride regulation in marine fish larvae. Nature, **180**, 920-922.

## Generation of Internal Waves by an Abrupt Change of Depth\*

Kenzo TAKANO\*\* and Noriko IIDA\*\*\*

**Résumé:** Le changement de la profondeur peut être une des causes de la génération de la houle interne. On se propose d'évaluer la hauteur de la houle interne que produit une houle externe (ou houle de surface) périodique en temps et espace a priori donnée dans un canal à deux couches de liquide pesant dont la profondeur change brusquement. Le mouvement est supposé linéaire et irrotationnel. Une méthode d'analyse, valable pour n'importe quelle longueur d'onde, est présentée. La hauteur de la houle interne est figurée en fonction de la fréquence angulaire de la houle externe incidente pour de diverses valeurs de paramètres géométriques (rapport de l'épaisseur de la couche inférieure à celle de la couche supérieure, rapport de la profondeur de la partie profonde à celle de la partie moins profonde du canal, etc.). En tant qu'il s'agit des présents exemples numériques, la houle interne atteint à peu près 50 fois plus haute que la houle externe incidente dans le cas du canal de longueur indéfinie et à peu près 360 fois plus haute que celle-ci dans le cas où le canal est barré par une paroi verticale dans sa partie moins profonde de façon à constituer un canal de longueur semi-indéfinie du type darse sur-ouverte. La hauteur considérable de la houle interne dans ce dernier cas est due à la résonance de la houle externe ou de la houle interne qui a lieu dans la partie moins profonde barrée. La houle interne devient d'autant plus haute que l'épaisseur de la couche inférieure augmente et que la cote de l'interface entre les deux couches s'approche de la cote du fond de la partie moins profonde du canal.

### Introduction

Although recent extensive hydrographic observations have indicated that internal waves, often having great amplitudes, play an important role in ocean dynamics, the mechanism of their generation is not yet well understood. The change of depth, among others, can be considered as a possible cause of it. According to an experiment by ZEILON (1934), in fact, when incoming external (surface) waves are reflected by a change of depth, a partial conversion from the external (surface) mode to the internal one takes place to produce internal waves of significant amplitudes. Since very few theoretical studies have been done on this process, the present note deals with a quantitative evaluation of the height of internal waves generated in an inviscid two-layer fluid system in a straight canal of infinite or semi-infinite length of which the depth varies

stepwise from one constant to another as is sketched in Fig. 1.

The Earth's rotation is neglected and the fluid motion is assumed to be irrotational, though it is evidently not always the case of internal waves in the oceans. Moreover, non linear effect is neglected. A sinusoidal external wave train of arbitrary wave length is prescribed as incoming waves.

The problem is to determine the whole fluid motion induced by an incoming external wave train with emphasis on internal waves in a linear, irrotational framework without long wave approximation.

### Analysis

#### Case (a)

The coordinate system and the notation of some fundamental quantities are shown in Fig. 1. The  $x'$ -axis is taken along the interface between the two layers and the  $z'$ -axis positive upward. The depth changes abruptly at  $x'=0$ . First treated is the case (a) where only the deeper portion of the canal ( $x' \leq 0$ ) is stratified

\* Received April 26, 1969

\*\* Ocean Research Institute, University of Tokyo  
Ocean Research Institute, University of Tokyo,  
Present address: Computation Center, University  
of Kyoto

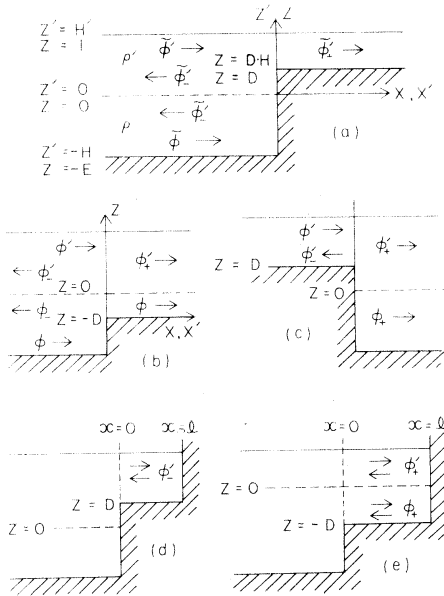


Fig. 1. Coordinate system and notation of fundamental quantities

(Fig. 1a). The fluid density is  $\rho$  in the lower layer of thickness  $H$  and  $\rho'$  in the upper layer of thickness  $H'$ . The shallower portion ( $x' \geq 0$ ) is of thickness  $(1-H'D)$ .

The above assumptions permit to introduce the velocity potentials. Those of the incoming and reflected waves are  $\Psi'$  and  $\Psi''$  respectively in the upper layer,  $\Psi$  and  $\Psi_-$  respectively in the lower layer. The transmitted external wave is denoted by  $\Psi_+$ .

As in a previous paper (TAKANO and OKADA, 1966) illustrating a nomogram of the relation between the angular frequency and the wave number, the following non-dimensional quantities are defined:  $x = x'/H'$ ,  $z = z'/H'$ ,  $t = T\sqrt{g/H'}$ ,  $W = \omega\sqrt{H'/g}$ ,  $\phi = \Psi/\Psi_0$ ,  $\phi' = \Psi'/\Psi_0$ ,  $\phi_- = \Psi_-/\Psi_0$ ,  $\phi'' = \Psi''/\Psi_0$ ,  $\phi'_+ = \Psi'_+/\Psi_0$  and  $\varepsilon = \rho/\rho'$ , where  $g$  is the acceleration of gravity,  $T$  the time,  $\omega$  the angular frequency and  $\Psi_0 = H'\sqrt{g/H'} e^{iWt}$ . The potentials  $\phi$ ,  $\phi'$ ,  $\phi_-$ ,  $\phi''$  and  $\phi'_+$  are independent of  $t$ .

If the potential of the incoming wave is given, all other potentials should be determined. The method of analysis is essentially similar to that used in previous papers (TAKANO, 1960, 1967).

Equation of continuity is satisfied provided that the potentials are harmonic functions.

Considering that the vertical component of velocity vanishes at  $z = -E$  and equals the vertical velocity of the free surface itself at  $z = 1$  and that the pressure is constant along the free surface ( $z = 1$ ), the potentials of the incoming wave are written,

$$\left. \begin{aligned} \phi' &= (a_0' \cosh k_0 z + b_0' \sinh k_0 z) e^{-ik_0 x}, \\ \phi &= \operatorname{sech} k_0 E \cosh k_0(z + E) e^{-ik_0 x}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

where  $k_0$  is given by  $W^2 = k_0 \tanh k_0$  and  $b_0' = \tanh k_0 E$ ,  $a_0 = \varepsilon - (\varepsilon - 1)k_0 b_0'/W^2$ .

In order to satisfy the boundary conditions at  $x = 0$ , it is convenient to expand the potentials  $\phi_-$ ,  $\phi''$  and  $\phi'_+$  at  $x = 0$  in infinite series by orthogonal functions. For  $x \geq 0$ , we have as usual,

$$\left. \begin{aligned} \phi'_+ &= b_0 \cosh \mu_0(z - D) e^{-i\mu_0 x} \\ &+ \sum_{j=1}^{\infty} b_j \cos \mu_j(z - D) e^{-i\mu_j x}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

where  $\mu_0$  is determined from  $W^2 = \mu_0 \tanh \mu_0(1 - D)$  and  $\mu_j$  ( $\mu_j < \mu_{j+1}$ ,  $j \geq 1$ ) are determined from  $W^2 = -\mu_j \tan \mu_j(1 - D)$ . The unknown coefficients  $b_j$  ( $j = 0, 1, \dots, \infty$ ) will be determined later from the boundary conditions at  $x = 0$ . It is readily found that functions  $\cosh \mu_0(z - D)$  and  $\cos \mu_j(z - D)$  are orthogonal each other in the interval  $1 - D \leq z \leq 1$ .

For the deeper portion ( $x \leq 0$ ), it is much more complicated to find orthogonal functions. To begin with, we assume that the orthogonal functions  $\phi_j$  themselves, to be defined at  $x = 0$ , are expanded in finite series as follows,

$$\phi_j = \left\{ \begin{aligned} \phi'_j &= \delta'_0(z) + \sum_{s=1}^j A_s^j \delta'_s(z), & \text{for } 0 \leq z \leq 1 \\ \phi_j &= \delta_0(z) + \sum_{s=1}^j A_s^j \delta_s(z), & \text{for } -E \leq z \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

with

$$\left. \begin{aligned} \delta'_j(z) &= a'_j \cosh k_j z + b'_j \sinh k_j z, \\ \delta_j(z) &= \operatorname{sech} k_j E \cosh k_j(z + E), \\ b'_j &= \tanh k_j E, \\ a'_j &= \varepsilon - (\varepsilon - 1)k_j b'_j/W^2, \\ \delta'_j(z) &= a'_j \cos k_j z - b'_j \sinh k_j z, \\ \delta_j(z) &= \cos k_j(z + E), \\ b'_j &= \sin k_j E, \\ a'_j &= \varepsilon \cos k_j E + (\varepsilon - 1)k_j b'_j/W^2. \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & \text{for } j=0 \text{ and } 1, \\ & \text{for } j=2, \\ & \quad 3, \dots, \infty \end{aligned}$$

External and internal waves are denoted by  $j = 0$  and 1 respectively, and  $k_1$  is the greater of the two real roots of the equation:

$$W^4(\varepsilon \coth kL \coth k+1) - W^2 \varepsilon k (\coth kL + \coth k) + (\varepsilon - 1)k^2 = 0, \tag{4}$$

of which the imaginary roots are  $k_j$  ( $k_j < k_{j+1}$ ,  $j \geq 2$ ).

The coefficients  $A_j^s$  ( $s=1, 2, \dots, j$ ) are determined in such a way that  $\Phi_j$  are orthogonal in the interval  $-E \leq z \leq 1$ , i.e.,

$$\int_{-E}^1 \Phi_m \Phi_n dz = \int_{-E}^0 \Psi_m \Psi_n dz + \int_0^1 \Phi'_m \Phi'_n dz = 0 \tag{5}$$

( $m \neq n$ ).

If  $D_{m,n}$  is written as

$$D_{m,n} = \int_{-E}^0 \delta_m(z) \delta_n(z) dz + \int_0^1 \delta'_m(z) \delta'_n(z) dz, \tag{6}$$

we have, for example,

$$D_{0,0} + D_{0,1} A_1^1 = 0 \quad \text{for } m=0, n=1, \tag{7}$$

$$D_{0,0} + D_{0,1} A_2^1 + D_{0,3} A_2^2 = 0 \quad \text{for } m=0, n=2, \tag{8}$$

$$D_{0,1} + D_{1,1} A_3^1 + D_{1,2} A_3^2 = 0 \quad \text{for } m=1, n=2, \tag{9}$$

and so on.

Equation (7) immediately gives  $A_1^1$ , which in turn gives  $\Phi_1$  by (3). Equations (8) and (9) give  $A_2^1$  and  $A_2^2$ , which in turn give  $\Phi_2$  by (3). In general,  $A_j^s$  ( $s=1, 2, \dots, j$ ) are determined from a set of  $j$  simultaneous linear equations which are obtained by the condition (5). In this way, all the  $\Phi_j$  are successively calculated.

Making use of these orthogonal functions, we have finally the potentials at  $x=0$ , expanded by orthogonal functions,

$$\begin{aligned} \phi'_+ &= \sum_{j=0}^{\infty} B_j \psi'_j, \\ \phi'_- &= \sum_{j=0}^{\infty} B_j \psi_j. \end{aligned} \tag{10}$$

The unknown coefficients  $B_j$  are to be determined together with  $b_j$  in (3) by the boundary conditions specified later at  $x=0$ . The relation (10) applies to the boundary  $x=0$  only. The potentials for  $x \leq 0$  are then given by

$$\begin{aligned} \phi'_+ &= (a_0' \cosh k_0 z + b_0' \sinh k_0 z) e^{-ik_0 x}, \\ \phi'_- &= B_0 (a_0' \cosh k_0 z + b_0' \sinh k_0 z) e^{ik_0 x/k_0} \tag{11} \\ &+ B_1 \{ (a_0' \cosh k_0 z + b_0' \sinh k_0 z) e^{ik_0 x/k_0} \\ &+ A_1^1 (a_1' \cosh k_1 z + b_1' \sinh k_1 z) e^{ik_1 x/k_1} \} \\ &+ \dots \\ &+ B_j \{ a_0' \cosh k_0 z + b_0' \sinh k_0 z \} e^{ik_0 x/k_0} \\ &+ A_j^1 (a_1' \cosh k_1 z + b_1' \sinh k_1 z) e^{ik_1 x/k_1} \\ &+ i \sum_{s=2}^j A_j^s (a'_s \cos k_s z - b'_s \sin k_s z) e^{k_s x/k_s} \\ &+ \dots, \end{aligned} \tag{12}$$

for  $0 \leq z \leq 1$ ,

and

$$\begin{aligned} \phi &= \text{sech } k_0 L \cosh k_0(z+L) e^{-ik_0 x}, \tag{13} \\ \phi_- &= B_0 \text{sech } k_0 E \cosh k_0(z+E) e^{ik_0 x} \\ &+ B_1 \{ \text{sech } k_0 E \cosh k_0(z+E) e^{ik_0 x/k_0} \\ &+ A_1^1 \text{sech } k_1 E \cosh k_1(z+E) e^{ik_1 x/k_1} \} \\ &+ \dots \\ &+ B_j \{ \text{sech } k_0 E \cosh k_0(z+E) e^{ik_0 x/k_0} \\ &+ A_j^1 \text{sech } k_1 E \cosh k_1(z+E) e^{ik_1 x/k_1} \\ &+ i \sum_{s=2}^j A_j^s \cos k_s(z+E) e^{k_s x/k_s} \} \\ &+ \dots, \end{aligned} \tag{14}$$

for  $-E \leq z \leq 0$ ,

where the definition of  $A_j^s$  are, for later convenience, slightly different from that in (3).

The potentials (11) and (13) represent the incoming wave. In (12) and (14) the terms involving  $e^{ik_0 x}$  represent the reflected external waves and the terms involving  $e^{ik_1 x}$  represent the reflected internal wave. Since the terms involving  $e^{k_j x}$  ( $j \geq 2$ ) are decreased exponentially with the distance from the boundary ( $x=0$ ), they are disregarded when the amplitudes of the progressive waves are finally calculated.

At the boundary  $x=0$ , the pressure and the velocity are continuous for  $D \leq z \leq 1$  and the horizontal component of velocity vanishes for  $-E \leq z \leq D$ , so that,

$$\phi'_+ + \phi'_- = \phi'_+ \quad \text{for } D \leq z \leq 1, \tag{15}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (\phi'_+ + \phi'_-) &= \begin{cases} \frac{\partial \phi'_+}{\partial x} & \text{for } D \leq z \leq 1, \\ 0 & \text{for } 0 \leq z \leq D, \end{cases} \\ \frac{\partial}{\partial x} (\phi + \phi_-) &= 0 \quad \text{for } -E \leq z \leq 0. \end{aligned} \right\} \tag{16}$$

It might be parenthetically remarked that the corner ( $x=0, z=D$ ) is a singular point, which is already discussed in detail in another paper (TAKANO, 1960).

Condition (15) gives

$$\begin{aligned} &\int_D^1 (\phi'_+ + \phi'_-) \cosh \mu_0(z-D) dz \\ &= \int_D^1 \phi'_+ \cosh \mu_0(z-D) dz \\ &= b_0 \int_D^1 \cosh^2 \mu_0(z-D) dz, \tag{17} \\ &\int_D^1 (\phi'_+ + \phi'_-) \cos \mu_n(z-D) dz \\ &= \int_D^1 \phi'_+ \cos \mu_n(z-D) dz \\ &= b_n \int_D^1 \cos^2 \mu_n(z-D) dz \\ & \quad (n=1, 2, \dots, \infty). \end{aligned} \tag{18}$$

Conditions (16) give

$$\int_0^1 \frac{\partial}{\partial x} (\phi' + \phi_-) \delta_n'(z) dz + \int_{-E}^0 \frac{\partial}{\partial x} (\phi + \phi_-) \delta_n(z) dz = \int_D^1 \frac{\partial \phi'_+}{\partial x} \delta_n'(z) dz \quad (n=0, 1, \dots, \infty). \tag{19}$$

For example, (19) becomes

$$(k_0 - B_0) \left\{ \int_0^1 \delta_0'^2 dz + \int_{-E}^0 \delta_0^2 dz \right\} = \mu_0 b_0 \int_D^1 \cosh \mu_0(z-D) \delta_0' dz - i \sum_{j=1}^{\infty} \mu_j b_j \cos \mu_j(z-D) \delta_0' dz$$

for  $n=0$ ,

and

$$\begin{aligned} & -B_1 \left\{ \int_{-E}^0 \delta_0^2 dz + \int_0^1 \delta_0'^2 dz + 2A_1 \left( \int_{-E}^0 \delta_0 \delta_1 dz + \int_0^1 \delta_0' \delta_1' dz \right) \right. \\ & \quad \left. + (A_1)^2 \left( \int_{-E}^0 \delta_1^2 dz + \int_0^1 \delta_1'^2 dz \right) \right\} \\ & = \mu_0 b_0 \left( \int_0^1 \cosh \mu_0(z-D) \delta_0' dz + A_1 \int_D^1 \cosh \mu_0(z-D) \delta_1'^2 dz \right) \\ & \quad - i \sum_{j=1}^{\infty} \mu_j b_j \left( \int_D^1 \cos \mu_j(z-D) \delta_0' dz + A_1 \int_D^1 \cos \mu_j(z-D) \delta_1' dz \right) \end{aligned}$$

for  $n=1$ .

Therefore, we have an infinite number of linear equations with respect to an infinite number of complex unknowns. The solution of these equations determines completely the fluid motion, though the existence and uniqueness of the solution of such a set of simultaneous equations would be discussed somewhere else. In practice, we retain only first  $N$  imaginary roots of (4) and ignore all the terms  $B_n$  and  $b_n$  ( $n \geq N+2$ ). Equations (17) to (19) are then approximated by a set of  $(3+2N)$  equations with complex coefficients, which are not explicitly written down here because of their great length.

So far as the progressive external and internal waves are concerned, the reflection and transmission coefficients of the external wave (ratios of the amplitudes of the reflected and transmitted

external waves) to the amplitude of the incoming wave are given by

$$R_E = \left| \frac{\sum_{j=0}^{N+1} B_j (a_0' \sinh k_0 + b_0' \cosh k_0) / S}{\sum_{j=0}^{N+1} B_j / k_0} \right|$$

$$T_E = |b_0 \mu_0 \sinh \mu_0(1-D) / S|,$$

where

$$S = k_0 (a_0' \sinh k_0 + b_0' \cosh k_0).$$

The reflection coefficient as internal wave (ratio of the amplitude of the reflected internal wave to the amplitude of the incoming wave) is given by

$$R_I = \left| \frac{\sum_{j=1}^{N+1} B_j b_j' / S}{\sum_{j=1}^{N+1} B_j b_j' / S} \right|.$$

An approximate solution can be obtained as follows.

We put the potentials as

$$\left. \begin{aligned} \phi' &= (a_0 \cosh k_0 z + b_0 \sinh k_0 z) e^{-ik_0 x}, \\ \phi_- &= B_0 (a_0 \cosh k_0 z + b_0 \sinh k_0 z) e^{ik_0 x} \\ & \quad + B_1 (a_1 \cosh k_1 z + b_1 \sinh k_1 z) e^{-ik_1 x}, \\ \phi_+ &= c_0 \cosh \mu_0 z e^{-i\mu_0 x}, \end{aligned} \right\} \text{in the upper layer} \tag{20}$$

$$\left. \begin{aligned} \phi &= \text{sech } k_0 E \cosh k_0(z+E) e^{-ik_0 x}, \\ \phi_- &= B_0 \text{sech } k_0 E \cosh k_0(z+E) e^{ik_0 x} \\ & \quad + B_1 \text{sech } k_1 E \cosh k_1(z+E) e^{ik_1 x}, \end{aligned} \right\} \text{in the lower layer} \tag{21}$$

where  $B_0$  and  $B_1$  are not those defined in (12). The boundary conditions at  $x=0$  are no longer exactly satisfied with these potentials. Similarly

to Lamb's approximation used for long waves in a canal of variable depth, they are roughly written at  $x=0$ ,

$$\phi' + \phi'_- = \phi'_+ \quad \text{for } z=1,$$

$$\int_D^1 \frac{\partial}{\partial x} (\phi' + \phi'_-) dz = \int_D^1 \frac{\partial \phi'_+}{\partial x} dz,$$

$$\int_{-E}^0 \frac{\partial}{\partial x} (\phi + \phi_-) dz + \int_0^D \frac{\partial}{\partial x} (\phi' + \phi'_-) dz = 0,$$

from which derived are a set of simultaneous equations with respect to three unknowns  $B_0$ ,  $B_1$  and  $C_0$ . This approximation, hereafter referred to as (L), holds good if both the external and internal waves are sufficiently long. Since the internal wave is much shorter than the external wave for a fixed angular frequency, its availability is much restricted compared with the case where only the external waves are propagated in a one-layer canal.

Figures 2 to 5 show the solution by  $N=8$  in terms of  $W$  for various values of the parameters  $\epsilon$ ,  $E$  and  $D$ . For reference, the curves for  $N=0$ , 1 and 7 and by (L) are figured in some cases. The results by  $N=0$  or 1 are not always good. The approximation (L) is valid for  $W \approx 0$  but becomes immediately worse with increasing  $W$ .

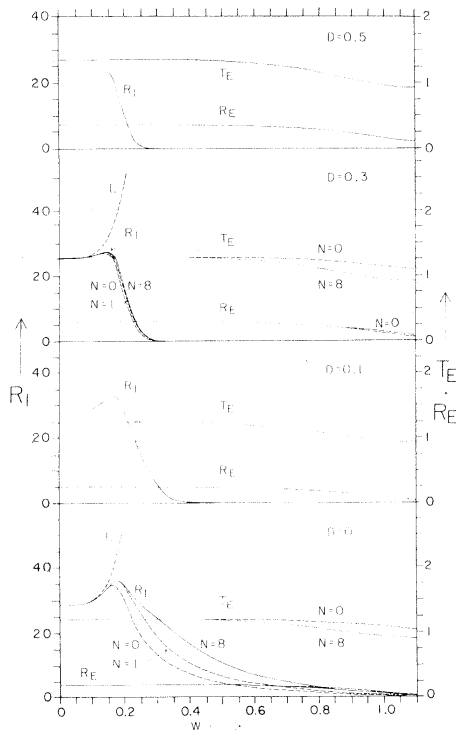


Fig. 2. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=1.3$  in case (a). The curves L are obtained by approximation (L).

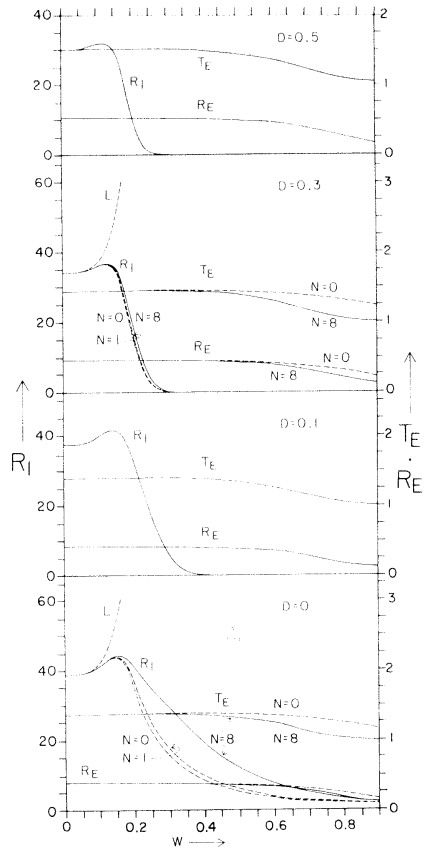


Fig. 3. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=4.1$  in case (a). The curve L is obtained by approximation (L).

It might be noted that the approximation (L) is essentially different from the approximation where all the imaginary roots of (4) are neglected in (2) to (19) (i.e.,  $N=0$ ).

The reflection coefficient as internal wave becomes maximum between  $W=0.1$  and  $0.2$ . Its greatest value is 52 and the smallest one is 24.

In a previous paper (TAKANO, 1967), hereafter referred to as (T), the reflection and transmission coefficients are calculated for sinusoidal wave trains propagated in a one-layer canal of which the depth changes stepwise as in the present case (cf. Figs. 9 and 10 in (T)). It is found\* that those reflection and transmission coefficients are nearly equal to  $R_E$  and  $T_E$ , respectively.

\* The definition of  $W$  in the present case is different from that in (T).

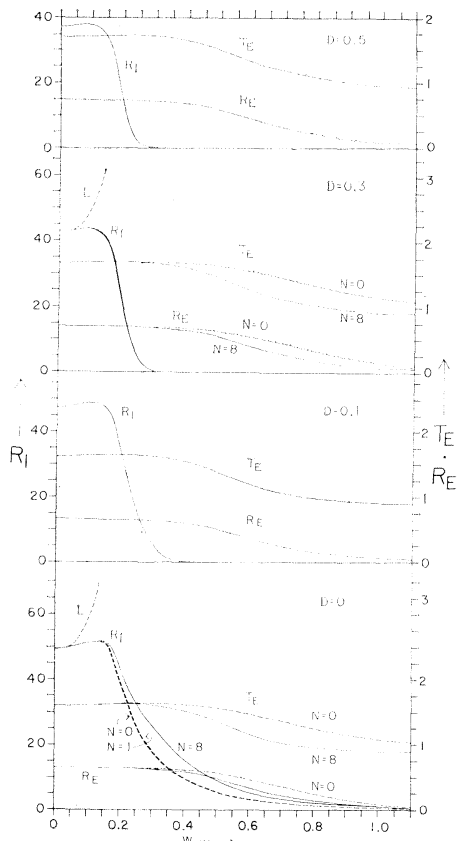


Fig. 4. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=20$  in case (a). The curves  $L$  are obtained by approximation ( $L$ ).

and

$$c_j = \epsilon \cos \mu_j D + (\epsilon - 1) \mu_j \sin \mu_j D / W^2, \quad d_j = \sin \mu_j D \quad \text{for } j \geq 2.$$

Therefore, instead of (2), the potentials in the upper and lower layers for  $x \geq 0$  are written,

$$\begin{aligned} \phi'_+ = & b_0 \gamma_0' e^{-i\mu_0 x} + b_1 (\gamma_0' e^{-i\mu_0 x} + M_1^1 \gamma_1' e^{-i\mu_1 x}) + b_2 (\gamma_0' e^{-i\mu_0 x} + M_2^1 \gamma_1' e^{-i\mu_1 x} + M_2^2 \gamma_2' e^{-\mu_2 x}) + \dots \\ & + b_j (\gamma_0' e^{-i\mu_0 x} + M_j^1 \gamma_1' e^{-i\mu_1 x} + \sum_{s=2}^j M_j^s \gamma_s' e^{-\mu_s x}) + \dots, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \phi_+ = & b_0 \gamma_0 e^{-i\mu_0 x} + b_1 (\gamma_0 e^{-i\mu_0 x} + M_1^1 \gamma_1 e^{-i\mu_1 x}) + b_2 (\gamma_0 e^{-i\mu_0 x} + M_2^1 \gamma_1 e^{-i\mu_1 x} + M_2^2 \gamma_2 e^{-\mu_2 x}) + \dots \\ & + b_j (\gamma_0 e^{-i\mu_0 x} + M_j^1 \gamma_1 e^{-i\mu_1 x} + \sum_{s=2}^j M_j^s \gamma_s e^{-\mu_s x}) + \dots \end{aligned} \quad (23)$$

Here,  $\mu_0$  and  $\mu_1$  are the wave numbers of the external and internal waves, respectively. They are determined from (4) provided that  $E$  in (4)

$$F_j = \begin{cases} f_j' = \gamma_0'(\zeta) + \sum_{s=1}^j M_j^s \gamma_s'(\zeta), & \text{for } 0 \leq \zeta \leq 1, \\ f_j = \gamma_0(\zeta) + \sum_{s=1}^j M_j^s \gamma_s(\zeta), & \text{for } -D \leq \zeta \leq 0, \end{cases}$$

are orthogonal in the interval  $-D \leq \zeta \leq 1$ , so that

$$\int_{-D}^1 F_m F_n d\zeta = \int_{-D}^0 f_m f_n d\zeta + \int_0^1 f_m' f_n' d\zeta = 0 \quad (m \neq n).$$

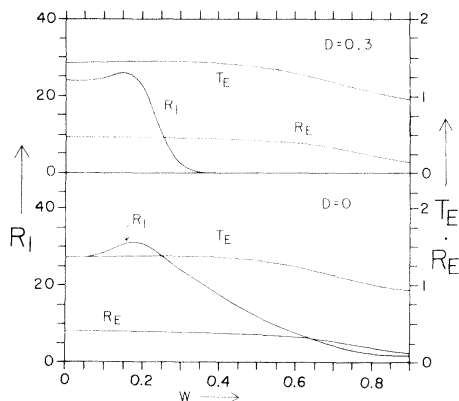


Fig. 5. Result by  $\epsilon=1.0002$  and  $E=4.1$  in case (a).

Case (b)

If the shallower portion is also stratified as in Fig. 1b, we define  $\gamma_j(\zeta)$  and  $\gamma_j'(\zeta)$  as

$$\begin{aligned} \gamma_j'(\zeta) = & c_j \cosh \mu_j \zeta + d_j \sinh \mu_j \zeta, \quad (j=0, 1) \\ \gamma_j'(\zeta) = & c_j \cos \mu_j \zeta - d_j \sin \mu_j \zeta, \quad (j \geq 2) \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{for } 0 \leq \zeta \leq 1, \\ \gamma_j(\zeta) = & \operatorname{sech} \mu_j D \cosh \mu_j (\zeta + D), \quad (j=0, 1) \\ \gamma_j(\zeta) = & \cos \mu_j (\zeta + D), \quad (j \geq 2) \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{for } -D \leq \zeta \leq 0,$$

where

$$\begin{aligned} c_j = & \epsilon - (\epsilon - 1) \mu_j \tanh \mu_j D / W^2, \\ d_j = & \tanh \mu_j D \end{aligned} \quad \text{for } j=0, 1,$$

is substituted by  $D$ . The coefficients  $M_j^s$  ( $j=1, 2, \dots, \infty; s=1, \dots, j$ ) are determined, similarly to  $A_j^s$  in (3), in such a way that the functions defined as

This condition gives, exactly as in case of  $A_j^*$ , a set of  $j$  simultaneous equations to determine  $M_j^*$  ( $s=1, \dots, j$ ).

The boundary conditions at  $x=0$  are given by

$$\begin{aligned} \phi' + \phi'_- &= \phi'_+ && \text{for } 0 \leq z \leq 1, \\ \phi + \phi_- &= \phi_+ && \text{for } -D \leq z \leq 0, \\ \frac{\partial}{\partial x} (\phi' + \phi'_-) &= \frac{\partial \phi'_+}{\partial x} && \text{for } 0 \leq z \leq 1, \\ \frac{\partial}{\partial x} (\phi + \phi_-) &= \begin{cases} \frac{\partial \phi_+}{\partial x} & \text{for } -D \leq z \leq 0, \\ 0 & \text{for } -E \leq z \leq -D. \end{cases} \end{aligned}$$

Likewise, a set of  $(4+2N)$  simultaneous equations are derived if the first  $N$  imaginary roots of (4) are retained. Thus,  $b_j$  are obtained together with  $B_j$ .

An approximate solution by (L) is obtained as follows. If all the imaginary roots of (4) are ignored, the potentials  $\phi'$ ,  $\phi'_-$ ,  $\phi$  and  $\phi_-$  are given by (20) and (21) but those for  $x \geq 0$  are given by

$$\begin{aligned} \phi'_+ &= C_0(c_0 \cosh \mu_0 z + d_0 \sinh \mu_0 z) e^{-i\mu_0 x} \\ &+ C_1(c_1 \cosh \mu_1 z + d_1 \sinh \mu_1 z) e^{-i\mu_1 x}, \\ \phi_+ &= C_0 \operatorname{sech} \mu_0 D \cosh \mu_0(z+D) e^{-i\mu_0 x} \\ &+ C_1 \operatorname{sech} \mu_1 D \cosh \mu_1(z+D) e^{-i\mu_1 x}. \end{aligned}$$

The four unknown coefficients  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $C_0$  and  $C_1$  are determined by the conditions at  $x=0$ ,

$$\begin{aligned} \phi' + \phi'_- \Big|_{x=1} &= \phi'_+ \Big|_{z=1}, \\ \phi + \phi_- \Big|_{z=0} &= \phi_+ \Big|_{z=0}, \\ \frac{\partial}{\partial x} (\phi' + \phi'_-) \Big|_{z=1} &= \frac{\partial \phi'_+}{\partial x} \Big|_{z=1}, \\ E \frac{\partial}{\partial x} (\phi + \phi_-) \Big|_{z=0} &= D \frac{\partial \phi_+}{\partial x} \Big|_{z=0}. \end{aligned}$$

Here, the vertical variations of the potentials and their derivatives with respect to  $x$  are neglected on the assumption that both external and internal waves are very long relative to the depth.

In addition to  $R_E$ ,  $T_E$  and  $R_I$ , the transmission coefficient of the internal waves is defined as the ratio of the amplitude of the transmitted internal wave at the interface ( $z=0$ ) to the amplitude of the incoming external wave at the free surface ( $z=1$ ). These coefficients are shown in Figs. 6 to 8 in case of  $N=6$  with the results by (L). The amplitude of the reflected internal wave is nearly equal to that of the transmitted internal wave and smaller than in case (a).

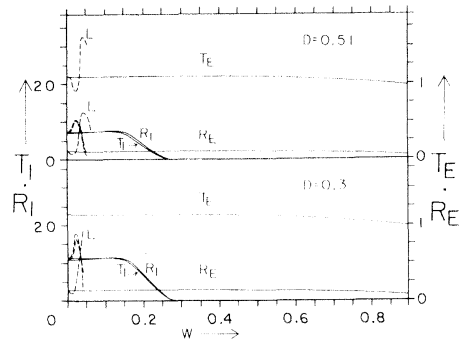


Fig. 6. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=1.3$  in case (b). The curves L are obtained by approximation (L).

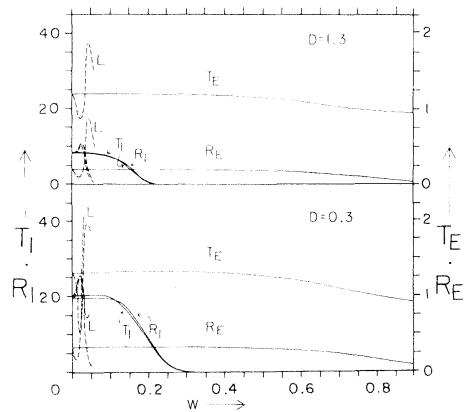


Fig. 7. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=4.1$  in case (b). The curves L are obtained by approximation (L).

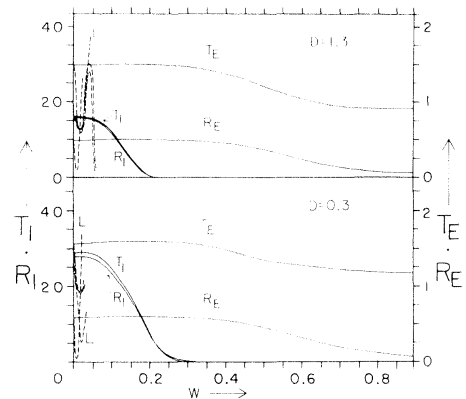


Fig. 8. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=20$  in case (b). The curves L are obtained by approximation (L).



Case (c)

An external wave train is incoming from the

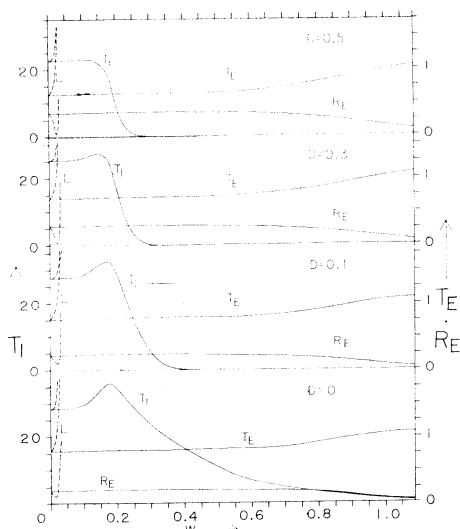


Fig. 9. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=1.3$  in case (c). The curves  $L$  are obtained by approximation (L).

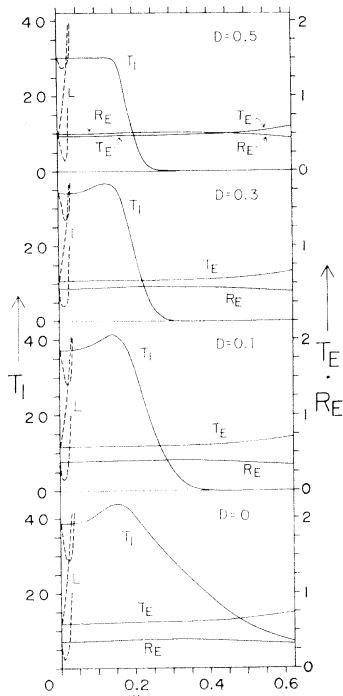


Fig. 10. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=4.1$  in case (c). The curves  $L$  are obtained by approximation (L).

shallower portion to the deeper portion as in Fig. 1c. The coefficients of simultaneous equations (17) to (19) in case (a) are so slightly modified that the solution of this case is readily found.

The potentials for (L) are given by

$$\begin{aligned} \phi'_- &= \cosh \mu_0(z-D)e^{-i\mu_0 x} \\ &\quad + A_0 \cosh \mu_0(z-D)e^{i\mu_0 x}, \\ \phi'_+ &= B_0(a_0 \cosh k_0 z + b_0 \sinh k_0 z)e^{-ik_0 x} \\ &\quad + B_1(a_1 \cosh k_1 z + b_1 \sinh k_1 z)e^{-ik_1 x}, \\ \phi_+ &= B_0 \operatorname{sech} k_0 E \cosh k_0(z+E)e^{-ik_0 x} \\ &\quad + B_1 \operatorname{sech} k_1 E \cosh k_1(z+E)e^{-ik_1 x}. \end{aligned}$$

The unknowns  $A_0$ ,  $B_0$  and  $B_1$  are determined by the conditions at  $x=0$ ,

$$\begin{aligned} \phi' \Big|_{z=1} &= \phi'_+ \Big|_{z=1}, \\ (1-D) \frac{\partial \phi'}{\partial x} \Big|_{z=1} &= -\frac{\partial \phi'_+}{\partial x} \Big|_{z=1}, \\ \frac{\partial \phi_+}{\partial x} \Big|_{z=0} &= 0, \end{aligned} \tag{24}$$

where the vertical variations of the potentials and their derivatives are always neglected.

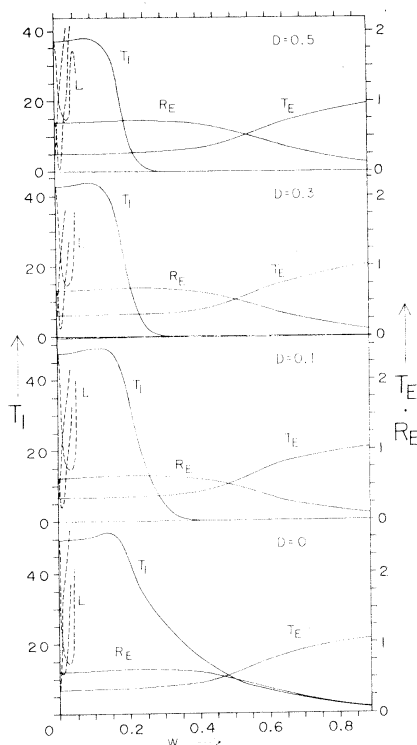


Fig. 11. Result by  $\epsilon=1.001$  and  $E=20$  in case (c). The curves  $L$  are obtained by approximation (L).

Figures 9 to 11 show the results by  $N=8$  and ( $L$ ). The internal wave generated in the deeper portion is not less significant than in case (a). The general trend of curve  $T_I$  does not much differ from that of  $R_I$  in case (a). It becomes greatest between  $W=0.1$  and  $0.2$ . The approximation ( $L$ ) becomes further wrong if the second and third conditions of (6) are replaced by other possible conditions  $\frac{\partial \phi'}{\partial x} = \frac{\partial \phi'_+}{\partial x}$  and  $E \frac{\partial \phi'_+}{\partial x} + D \times \frac{\partial \phi'_+}{\partial x} = 0$ , respectively.

It follows from the results in cases (a), (b) and (c) that the amplitude of internal wave is increased with increasing thickness of the lower layer ( $E$ ) in the deeper portion and with decreasing difference ( $D$ ) between the level of the interface in the deeper portion and the level of the bottom of the shallower portion. If the shallower portion is stratified, the amplitude is decreased with increasing thickness of the lower layer ( $D$ ) in the shallower portion. In any case, internal waves of great amplitudes can be generated in a certain range of low angular frequencies.

Case (d)

The shallower portion in case (a) is bounded by a vertical wall so as to construct a shelf of non dimensional length  $L$ . Perfect reflection is assumed at the wall.

The potential  $\phi'_+$  is given by

$$\phi'_+ = b_0 \cosh \mu_0(z-D) \{e^{-i\mu_0 x} + e^{i\mu_0(x-2l)}\} + \sum_{j=1}^N b_j \cos \mu_j(z-D) \{e^{-\mu_j x} + e^{\mu_j(x-2l)}\},$$

so that the horizontal component of velocity vanishes at the wall ( $x=l$ ).

The solution is immediately obtained with

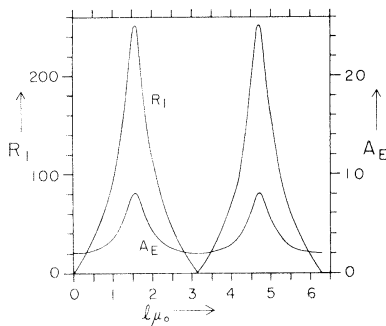


Fig. 12. Result by  $\varepsilon=1.001, E=20, D=0$  and  $W=1.6 \times 10^{-3}$  in case (d).

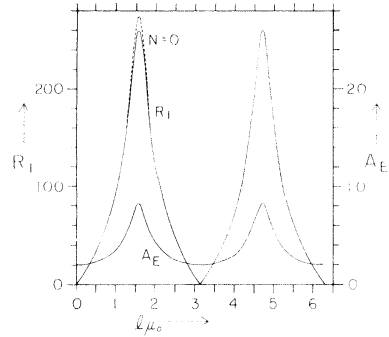


Fig. 13. Result by  $\varepsilon=1.001, E=20, D=0$  and  $W=6.4 \times 10^{-3}$  in case (d).

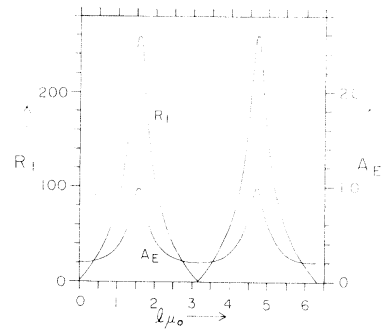


Fig. 14. Result by  $\varepsilon=1.001, E=20, D=0.3$  and  $W=6.4 \times 10^{-3}$  in case (d).

slight modification of the simultaneous equations in case (a).

The amplitude of the free surface elevation due to the external waves on the shelf is represented by the amplification factor

$$A_E = 2 \{b_0 \mu_0 \sinh \mu_0(1-D)\} / S_1$$

Figures 12 to 14 show  $R_I$  and  $A_E$  obtained by  $N=0$  and 8 against  $l\mu_0$ . As a result of the resonance occurring for  $l\mu_0 = \pi/2, 3\pi/2$ , the reflected internal waves have very great amplitudes, which attain 260 times as great as the incoming external wave.

Case (e)

The last one is the case (e) sketched in Fig. 1e, where the stratification extends over the shelf of length  $L$ . This case does not much differ from case (b). To write the potentials  $\phi'_+$  and  $\phi_+$ ,  $e^{-i\mu_j x}$  ( $i=0, 1$ ) and  $e^{-\mu_j x}$  ( $j \geq 2$ ) in (22) and (23) are substituted by  $e^{-i\mu_j x} + e^{i\mu_j(x-2l)}$  and  $e^{-\mu_j x} + e^{\mu_j(x-2l)}$  respectively so that the horizontal component of velocity vanishes at  $x=0$ .

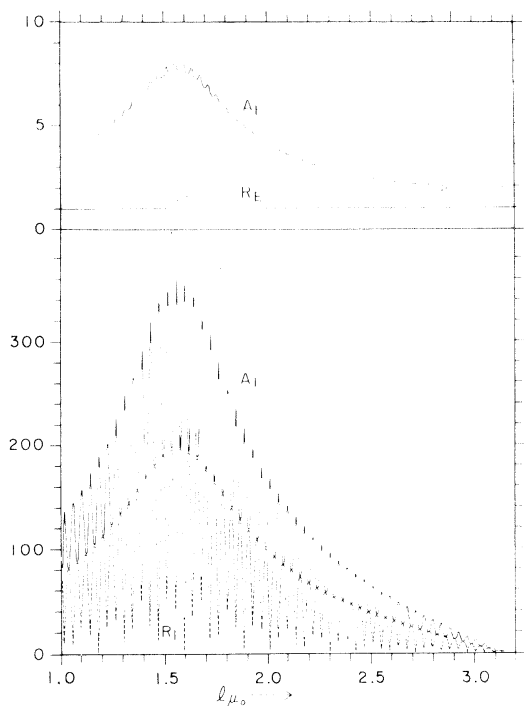


Fig. 15. Result by  $\varepsilon=1.001$ ,  $E=20$ ,  $D=0.3$  and  $W=6.4 \times 10^{-3}$  in case (e).

Resonance takes place if  $l\mu_0 \approx (2n+1)\pi/2$  ( $n=0, 1, \dots, \infty$ ) for external waves or  $l\mu_1 \approx (2n+1)\pi/2$  ( $n=0, 1, \dots, \infty$ ) for internal waves. Since  $\mu_1$  is much greater than  $\mu_0$ , internal waves have much more chances of resonance compared with external waves. An example is shown in Fig. 15 for  $\varepsilon=1.001$ ,  $E=20$ ,  $D=0.3$ ,  $W=6.4 \times 10^{-3}$  and  $N=6$ . The amplification factor  $A_I$  defined as  $A_I = \left| 2 \sum_{j=1}^{N+1} B_j b_j' / S \right|$  is figured, as in case (d), to evaluate the amplitude of the interface elevation due to the internal wave on the shelf. The maximums and minimums of  $R_I$  and  $A_I$  may be not very accurate because any complementary calculation is not worked out particularly to determine them exactly. The general features remain, however, reliable. The internal waves have great amplitudes for the greater part of this range of  $l\mu_0$ . The maximum amplitude is found when both the external and internal waves are resonant. It is 360 times as great as that of the incoming external wave. The re-

flection coefficient  $R_I$  is about half of  $A_I$  and varies with  $l\mu_0$  in opposite phase with  $A_I$ .

### Conclusion

The amplitude of the internal wave generated from an incoming external wave train by a stepwise change of depth in a canal is calculated in a two-layer fluid system for some particular cases. All the numerical results indicate that the change of depth is capable of producing internal waves of great amplitudes from external waves. If the shallower portion is bounded by a vertical wall, the internal waves are further amplified in both the deeper and shallower portions, when the external and/or internal waves are resonant. Although neither such a two-layer fluid system nor such a stepwise change of depth exist in oceans and the numerical calculation is carried out for some particular values of the parameters only, it may be concluded that a change of depth in a stratified ocean can be possibly a cause of the generation of internal waves. In another paper will be shown to what extent an arbitrary change of the depth is correctly approximated by a superposition of steps, so far as the reflection and transmission coefficients are concerned.

We are indebted to Mrs. Hirotsuke NAKAZAWA and Miss Kazuko KUROKAWA for undertaking a part of this work.

A part of the numerical calculation was done at the Computation Center of the University of Tokyo.

### References

- TAKANO, Kenzo (1960): Effet d'un obstacle parallélipédique sur la propagation de la houle. *La Houille Blanche*, (3), 247-267.
- TAKANO, Kenzo (1967): Effet d'un changement brusque de profondeur sur une houle irrotationnelle. *La mer*, 5, 100-116.
- TAKANO, Kenzo and Haruko OKADA (1966): Abaque de la relation entre la période et la longueur d'onde. *La mer*, 4, 14.
- ZEILON, Nils (1934): Experiments on boundary tides. A preliminary report. *Kungl. Vetensk. o. Vittrahetssamhälles Handl. Ser. B.*, 3 (10), 3-8.

## 深さの急激な変化によって生ずる内部波

高野 健三 飯田 記子

要 旨: 密度の違いによって層を成してゐる流体の表面を重力波が伝播する際、層の深さが変わると内部波が生ずることが期待される。最も単純な場合として、流体は上下二層にわかれ、深さは階段状になるとし、(1) 深い部分は二層、浅い部分は一層の無限に長い水路、(2) 深い部分も浅い部分も二層の無限に長い水路、(3) (1)の浅い部分に鉛直の壁を設けた半無限の長さの水路、(4) (2)の浅い部分に鉛直の壁を設けた半無限の長さの水路、を考へ、深い部分から浅い部分に向ふ外部波(又は表面波と呼んでもよい)として正弦波の連りを与へる。(1)では外部波が浅い部分から深い部分に向ふ場合も扱ふ。線型で非回転の運動を仮定するが、波長は任意である。深さが変化する部分での境界条件が厳密に満たされる解法を示す。

二層の厚さの比、流体の密度の比、浅い部分と深い部分の深さの比にいろいろな値を与へ、又、(3)と(4)では、浅い部分の奥行を変へ、内部波の波高を波長の函数として図示する。

入射外部波の波高に比べて内部波の波高は、計算例について、(1)では20数倍から50数倍、(2)では数倍から20数倍、(3)では約260倍、(4)では約360倍に達する。内部波の高さは、(1)では下層が上層に比べて厚くなる程、高くなり、二層の境界面が浅い部分の底から低下する程低くなる。(2)でも深い部分の下層が厚いと高くなるが、浅い部分の下層が厚く(二層の境界面と浅い部分の深さの差が大きく)なると低くなる。(3)と(4)では、浅い部分での共鳴の結果、非常に高い内部波が生ずるのである。

## On the Oxygen-minimum Layer in the Oceans\*

Yoshio SUGIURA\*\*

**Abstract:** The following facts have been presented: 1. There are several oxygen minimal places on the oxygen-minimum layer in the world oceans. 2. The vertical distributions of oxygen in those oxygen minimal regions are characteristic. They have the following common features: 1. The coincidence of the depth of pycnocline with the depth of the most evident decrease of oxygen. 2. The existence of the thick layer of waters with low oxygen content. 3. The existence of the oxygen minimum in the upper part of the low-oxygen layer, although the difference is not beyond 0.5 or at most 1.0 ml/l between the minimum concentration and others.

This kind of features can be seen in the Japan Sea, although the oxygen concentration is not so low as in the oxygen minimal regions mentioned above. The formation mechanism of the low-oxygen layer and the oxygen minimum has been discussed in the case of the Japan Sea. Next, concerning the oxygen minimal regions, the direction for future study has been pointed out.

### 1. Introduction

Not a few oceanographer's attention has long been drawn to the problems on the oxygen-minimum layer since early studies by WÜST in 1936 and SEIWELL in 1937 (MIYAKE, 1965; RICHARDS, 1957). At the early stage of the studies, the oxygen minimum in both Atlantic and Pacific were found so often on the isopycnal plane of sigma-t 27.2 to 27.3 that this, particular density was once thought to be intrinsically associated with the occurrence of the oxygen-minimum layer. But, afterwards the oxygen minimum was also found on the isopycnal plane of sigma-t 26.8 to 27.0 especially in the tropical regions. Therefore, the density of water at the oxygen-minimum depth may not be considered to be substantially important for understanding the formation of oxygen minimum.

In this report, the present author intends to display several facts which seem important for understanding the formation mechanism of oxygen minimum and discuss about it based on those facts.

### 2. Some characteristics of the vertical distribution of oxygen in the oxygen minimal region on the oxygen-minimum layer—the existence of the thick layer of waters with low oxygen content

The distribution of oxygen on the oxygen-minimum layer in the Pacific has been studied by several workers (WEYL, 1965; KAWAMOTO, 1957; OKYEAN, 1966). According to those studies, there are two minima. One is in the Subarctic Region off the east coast of the Kamchatka and another is in the Equatorial Pacific off the Central America.

Here, noteworthy is the similarity found in the vertical distribution of oxygen between those two oxygen minimal regions, as shown in Fig. 1. In Fig. 1, an example in the Andaman Sea of the Indian Ocean is added besides two examples in the Pacific Ocean. This kind of pattern of the vertical distribution of oxygen can also be found in the oxygen minimal region on the oxygen-minimum layer in the Atlantic Ocean located off the west coast of Africa.

The characteristics recognized in the vertical distribution of oxygen in those regions are as follows:

\* Received May 22, 1969

\*\* Meteorological Research Institute

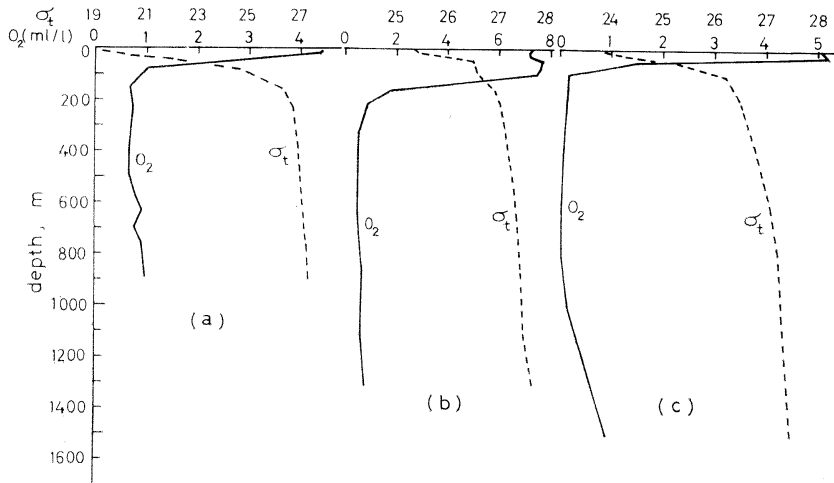


Fig. 1. Vertical distributions of oxygen and sigma-t in the oxygen minimal regions in the Pacific and the Indian Oceans. (a): Andaman Sea ( $9^{\circ}56'N$ ;  $95^{\circ}55'E$ ), (b): Subarctic Ocean off the east coast of Kamchatka ( $54^{\circ}00'N$ ;  $165^{\circ}00'E$ ), (c): Equatorial Pacific off the west coast of Mexico ( $20^{\circ}00'N$ ;  $108^{\circ}16'W$ ).

1. The coincidence of the depth of pycnocline with the depth of most evident decrease of oxygen concentration.
2. The existence of the thick layer of waters with low oxygen content whose top is located at the depth of 100 to 300 m depending on the depth of pycnocline, whose bottom reaching the depth of 1,000 m or more.
3. Within the low-oxygen layer the difference among oxygen concentrations at individual depths is not beyond several tenth  $m/l$ , but still the minimum can be recognized in the upper part of the low-oxygen layer.

The oxygen minimal regions on the oxygen-minimum layer in the whole oceans of the world are the Equatorial Atlantic off the west coast of Africa, the Arabian Sea, the Bay of Bengal and the Andaman Sea in the Indian Ocean, the Equatorial Pacific off the west coast of Central America and the Subarctic Region off the east coast of Kamchatka. Surface layers of those areas are all rich in nutrient salts. The Equatorial Pacific off the west coast of Central America and the Equatorial Atlantic off the west coast of Africa are both famous for upwelling. The surface layer in the Subarctic Region off the east coast of Kamchatka is probably the place richest in nutrient salts in the Pacific or even in the world oceans. Simultaneously, those

areas are almost all highly productive. Particularly, the Subarctic Region of the Pacific and the Equatorial Region off the west coast of Central America and the Equatorial Region off the west coast of Africa are well-known for their prominence in the primary productivity (GESSNER, 1959; KOBLENTZ-MISHKE, 1960)

From the previous description, the abundance of nutrient salts and the high productivity in the euphotic zone seem to be a prerequisite for the occurrence of the oxygen minimal region. The upper layer in the Antarctic Circumpolar Region is well-known for the abundance of nutrient salts and for high productivity, but the oxygen minimal region can not be found there. On the contrary, there we find oxygen-rich water as compared with waters originating from the lower latitude, because the Antarctic Circumpolar water is well ventilated with air through the convection under the cold weather. There is no evident pycnocline. It may, therefore, be concluded that coexistence of the nutrient-rich surface layer with the high productivity and the definite pycnocline is needed for the occurrence of the oxygen minimal region.

Oxidizable organic detritus can pass through the pycnocline due to the gravitational precipitation but the wall of the pycnocline intensively

prevents the underlying water from the supply of oxygen from the surface layer due to mixing. Consequently, the dissolved oxygen is lost without retrieval beneath the pycnocline due to oxidative decomposition of organic matter with little or no supply of oxygen. The equilibrium concentration expectable in the oxygen minimal region depends on the amount of organic detritus falling from the upper layer, the stability of the pycnocline and the saturation amount of oxygen in the water concerned. The former two determines the size of AOU.

The observed oxygen concentration in the oxygen minimal region near the Equator is so low *i.e.* below 0.1 ml/l that the denitrification takes place (BRANDHORST, 1959; THOMAS, 1966), but that in the Subarctic Region of the Pacific is not so low (ca. 0.5 ml/l). On the other hand, AOU is much higher (ca. 6 ml/l) in the Subarctic than in the equatorial region (ca. 4 ml/l).

The density of water occupying beneath the pycnocline is 27.2 to 27.3 in the Subarctic Region and 26.8 to 27.0 in the tropical regions, which means nothing except that water under the circumstance under which the supply of oxygen is hindered has higher density in the higher latitudinal region and lower density in

the lower latitudinal region. The important thing is not the density but such a circumstance.

### 3. Quasi-conservative property of oxygen

The existence of the thick, low-oxygen layer is a common features among the oxygen minimal regions mentioned previously. In other regions, it may be thought that the displacement of a part of the low-oxygen layer with oxygen-rich water deforms the characteristic pattern of the vertical distribution of oxygen. The displacement of the upper part of the low-oxygen layer with the oxygen-rich water causes the depression of oxygen-minimum depth and the increase in density of water at the oxygen-minimum depth, as shown in Fig. 2. Fig. 2 illustrates the variation of the oxygen-minimum depth caused by the gradual displacement of the upper part of the low-oxygen layer.

In the Indian Ocean, two minima were found between 5°N and 15°S along the 78°E meridian. The upper oxygen minimum appeared at the isopycnal plane of sigma-t 25.0 to 26.5 and the lower one at the isopycnal plane of sigma-t 27.0 to 27.6 (Japanese Working Group for Chemical Oceanography, 1966). The occurrence of two minima is caused by the intrusion of the oxygen-rich, Antarctic intermediate water into

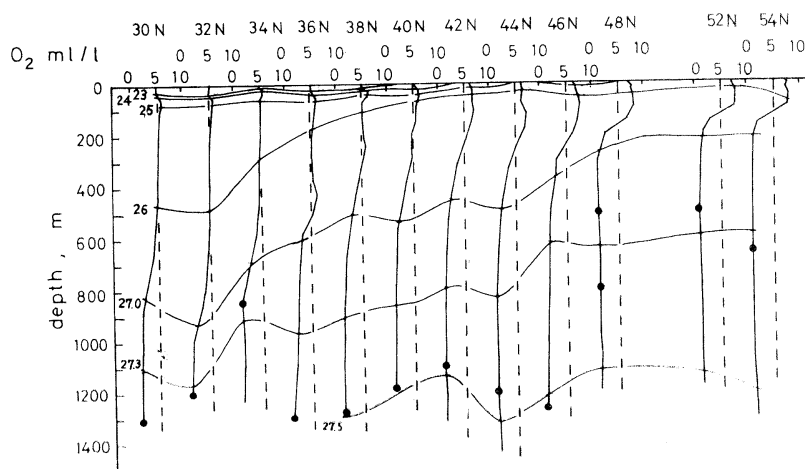


Fig. 2. Deformation of the thick, low-oxygen layer due to the displacement of its upper part with the oxygen-rich Kuroshio intermediate water off the east coast of Honshu. Twelve vertical distributions of oxygen are shown. Solid circles show the depth of the oxygen minimum. Lateral lines connecting north to south are isopycnals, aside which the sigma-t values are shown.

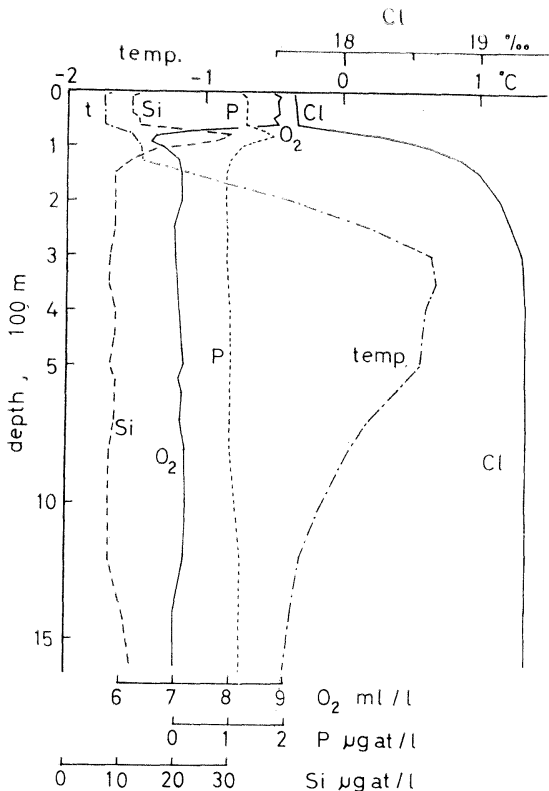


Fig. 3. Vertical distribution of oxygen, water temperature, chlorinity, phosphate and silicate in the Arctic Sea. Observed on the drift station Arlis II by Dr. H. KUSUNOKI, 1963-64.

the middle part (sigma-t ca. 26.8) of the thick, low-oxygen layer commonly found in the Arabian Sea, the Bay of Bengal and the Andaman Sea.

Fig. 3 shows the vertical distribution of oxygen along with chlorinity, temperature, phosphate and silicate in the Arctic Sea. Data were obtained by H. KUSUNOKI on the drift station Arlis II (private communication). In this case, the displacement takes place at the lower part of the low-oxygen layer with the oxygen-rich Atlantic intermediate water. These examples make people say that oxygen is a quasi-conservative element. In other words, our observation is being made on the phenomena in which the most part of oxidative decomposition of planktonic material has been finished.

**4. The thick low-oxygen layer in the Japan Sea**

Fig. 4 shows an example of the vertical distributions of oxygen and sigma-t in the Japan

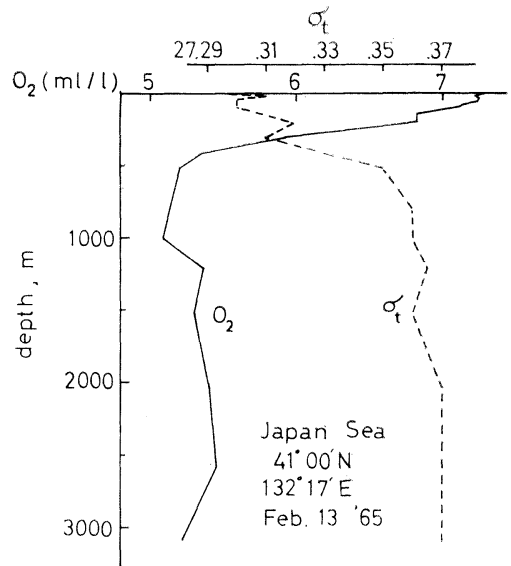


Fig. 4. Vertical distributions of oxygen and sigma-t in the Japan Sea.

Sea. The patterns of both vertical distributions are similar to those shown in Fig. 1, although the oxygen concentration in waters under the pycnocline is not so low as in the former instances. The higher concentration of oxygen in waters under the pycnocline in the Japan Sea may be ascribed to the higher solubility of oxygen under the circumstances concerned, the

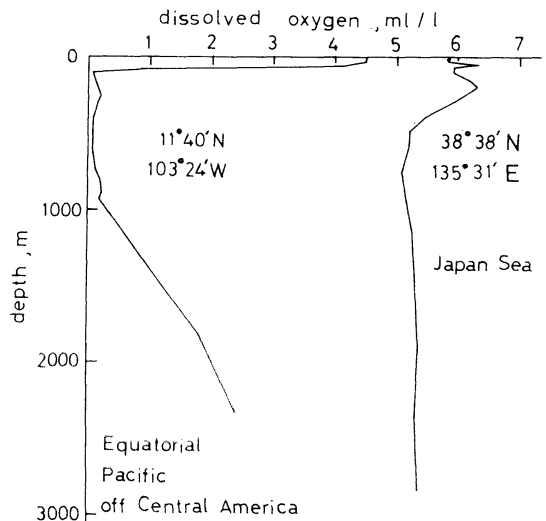


Fig. 5. Difference in the vertical distributions of oxygen between the Japan Sea and one of the oxygen minimal regions.



lower primary productivity and/or the weaker stability of the pycnocline in the Japan Sea.

The similarity of the vertical distribution of oxygen is noticeable between the Japan Sea and the oxygen minimal region. But, the careful inspection reveals that both are not entirely similar. The difference is shown in Fig. 5. In the oxygen minimal region, the low-oxygen layer terminates approximately at the depth of 1,000 m, but in the Japan Sea it extends to the depth of 3,000 m close to the bottom. This difference can be explained by the stratification consisting of several different water masses in the oxygen minimal region and the homogeneity by one water mass in the Japan Sea. In the case of the oxygen minimal region, the oxygen-rich deep water borders the low-oxygen layer, but no such a bordering layer in the Japan Sea.

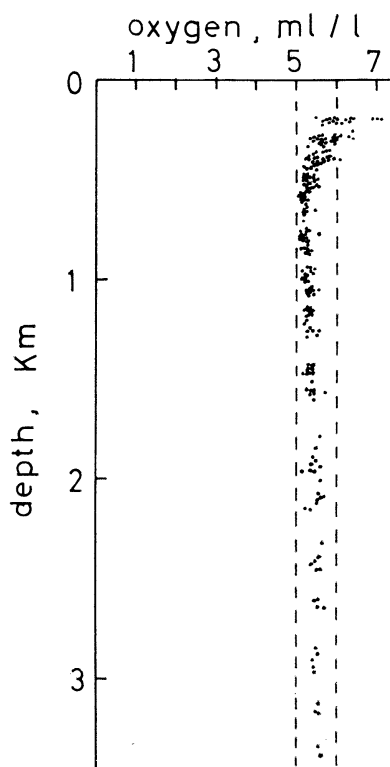


Fig. 6. Vertical distribution of oxygen below the depth of 200 m in the Japan Sea in Aug. to Sept., 1964 (Data were cited from "The results of marine meteorological and oceanographical observations" No. 36. Japan Meteorological Agency (1967), 367 pp.).

Since the sill-depth of the Japan Sea is shallower than 200 m, waters below the depth of 200 m of the Japan Sea must have once been the surface water above 200 m depth. It must have been the surface water with the highest density. This requisite determines time and place of the birth of the subsurface waters. Accordingly, the biological condition and other physico-chemical properties of the source water constituting the subsurface water of the Japan Sea are probably limited. In fact, chlorinity is nearly constant below the depth of 200 m.

It seems important for understanding the formation mechanism of oxygen minimum to treat waters in the Japan Sea under such a circumstance. Fig. 6 shows the vertical distribution of oxygen below the depth of 200 m to ascertain whether or not the oxygen minimum exists and to locate its depth if it exists. It is drawn based on data obtained from 32 stations covering the most of the central part of the Japan Sea except the region about 250 km off the continental coast. It is quite instructive to notice that the vertical distribution of oxygen has a minimum around the depth of 600 m beneath the pycnocline, although the difference between the minimum concentration and others is not beyond 0.5 ml/l.

When the dead plankton is put in sea water, the oxygen concentration of the water decreases first at greater rate and later gradually at lesser rate (MOTOHASHI and MATSUDAIRA, 1969). This trend may be thought to express the variation of oxygen consumed in each layer when the dead plankton and/or its detritus fall by gravitational force in sea water. The oxidative decomposition of dead plankton falling in the water with the same oxygen content in the beginning whose surface is prevented from the contact with air gives the vertical distribution of oxygen low in the upper and high in the lower layer.

The above-mentioned aptitude can be seen below the depth of 500 m (see Fig. 6) which approximately coincides with the lower end of the pycnocline. This result indicates the effect by the falling planktonic material. But, in this connection, the following point should be noticed. Waters staying in the intermediate layer for the

longer time lose the greater amount of oxygen by oxidation of falling planktonic material. Here, the intermediate layer means the layer including the oxygen minimum *i.e.* approximately between depths of 500 and 1,000 m and the layer below the intermediate layer will be called the deep layer hereafter. Accordingly, in order that the homogeneity of the deep water may be maintained, time spent for stay in the intermediate layer should be nearly constant among waters concerned. And, in order that the oxygen minimum may be formed at the intermediate depth, the deep water should be water which entered the deep layer after a stay for shorter time in the intermediate layer at a certain limited time and place in the Japan Sea. At the other time and place, the transitional rate of water from the intermediate layer to the deep layer should be quite slower.

In conclusion, most of the intermediate and deep waters of the Japan Sea may be formed at the time and at the place when and where the density of surface water becomes highest. The intermediate water at that time and that place does not stay for so long time as compared with the intermediate water at the other time and/or the other place in the Japan Sea. Such an assumption can explain the observed result concerning the vertical distribution of oxygen.

##### **5. The formation mechanism of the thick layer of waters with low oxygen content in the oxygen minimal region**

The similarity of the pattern of the vertical distribution of oxygen between the Japan Sea and the oxygen minimal region immediately suggests the same mechanism as mentioned concerning the Japan Sea. The effect by falling planktonic material is possibly more remarkable because the area considered is highly productive. But, this analogy seems not to be easily permissible. Because the Japan Sea, particularly the part below the depth of 200 m is a closed basin, but the oxygen minimal region does not have the boundary around it. The heterogeneity of water mass should be generally considered in the oxygen minimal region.

For understanding the observational result, the falling velocity of planktonic material and

the rate of circulation of water in the oxygen minimal region should be clarified. Planktonic material should reach the depth of 1,000 m in a sufficiently short time as compared with time required for the circulation around the oxygen minimal region or the circulation should be continued for long time enough to allow the particulate matter to reach the depth of 1,000 m. Because the region where the lower oxygen concentration is found at the depth of 1,000 m approximately coincides with the oxygen minimal region. These points mentioned above should be clarified for the complete understanding of the formation mechanism of the oxygen minimum.

##### **References**

- BRANDHORST, W. (1959): Nitrification and denitrification in the Eastern Tropical North Pacific. *Jour. Cons. perm. intl. Explor. Mer.*, **25**, 3-20.
- GESSNER, F. (1959): "Hydrobotanik II" Deutsh. Verl. d. Wissenschaften, Berlin, 701 pp.
- KAWAMOTO, T. (1957): On the distribution of the dissolved oxygen in the Pacific Ocean. Part 3. On the sigma-t-O<sub>2</sub> diagram in the South Pacific Ocean and the general summary. *Umi to Sora*, **32**, 28-32.
- KOBLENTZ-MISHKE, O. J. (1960): On the study of primary production in the sea by Soviet scientists. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, **45**, 319-326.
- MIYAKE, Y. (1965): "Elements of Geochemistry" Maruzen Co. Ltd., Tokyo. 475 pp.
- MOTOHASHI, K. and C. MATSUDAIRA (1969): Regeneration of phosphate at the oxidative decomposition of diatom. Presented at the annual meeting of the Oceanographic Society of Japan, April 1969, Tokyo.
- OKYEAN, T. (1966): "The Pacific Ocean, Chemistry of the Pacific Ocean." Nauka, Moscow, 104 pp.
- RICHARDS, F. A. (1957): Oxygen in the oceans. in "Treatise on Marine Ecology and Paleocology." Vol. I. J. W. Hedgpeth, ed. Geological Soc. Am. Memoir **67**, 1296 pp.
- THOMAS, W. H. (1966): On the denitrification in the northeastern tropical Pacific ocean. *Deep-Sea Res.*, **13**, 1109-1114.
- WEYL, P. K. (1965): On the oxygen supply of the deep Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 215-219.
- Working Group for Chemical Oceanography (1966): General report of the participation of Japan in the international Indian Ocean Expedition. V-5, Chemical Oceanography. Records of Oceanogr. Works in Japan, **8**, 72-87.

## 三大洋の酸素極小層について

杉 浦 吉 雄

要旨： 三大洋の酸素極小層における酸素の分布をみると、数ヶ所に極小域が認められる。これらの極小域における酸素の鉛直分布には共通点がある。それは、密度躍層のすぐ下から低酸素領域がはじまり、深さ1000 m くらいまでに及ぶ、厚い層をなすことである。この層の比較的上部に極小が見出される。低酸素領域における酸素の濃度は、0.5 ml/l あるいはたかだか 1.0 ml/l 以下である。日本海にも形の上では、これに似た低酸素領域がある。だが、その濃度は 5 ml/l である。条件が比較的簡単な日本海の低酸素領域形成について、はじめに考察しその形成の機構にふれた。次に、三大洋に属する極小域の低酸素領域について、その形成の機構追究に関する問題点を指摘した。

Why does the Phosphate to AOU Plot give a Straight Line?\*

Yoshio SUGIURA\*\*

It has been clarified by SUGIURA since 1964 that when waters are classified into several groups according to their water temperature and chlorinity, the phosphate to AOU plot for each group gives a straight line. Based on this fact, the phosphate concentration,  $P$ , can be formulated as follows:

$$P = P_c + (P_n/O_n)(AOU)$$

, where the ratio of  $(P_n/O_n)$  denotes the slope of the straight line.

The above equation can be derived from the following, two equations:

$$P = P_c + P_n \text{ and } O = O_s - O_n$$

, where  $O$ : oxygen concentration, ml/l

$P_c$ : conservative phosphate concentration,  $\mu\text{g at/l}$

$O_s$ : saturation amount of oxygen, ml/l

$P_n$ : non-conservative phosphate concentration, that is, the concentration of phosphate generated at the oxidative decomposition of organic matter,  $\mu\text{g at/l}$

$O_n$ : non-conservative oxygen concentration, that is, the concentration of oxygen consumed at the decomposition, ml/l

The fact that  $(P_n/O_n)$  is constant irrespective of AOU makes one feel strange if one supposes that the phosphate to AOU diagram implies the regeneration curve of phosphate which shows the relationship between the regenerated phosphate and the consumed oxygen at the decomposition of organic matter. In fact, according to the recent study by MOTOHASHI and MATSUDAIRA (1969), the relationship between the regenerated phosphate and the consumed oxygen is not a straight line but a sigmoid curve. Therefore, the phosphate to AOU diagram can not be the same as the regeneration curve.

Fig. 1 shows the regeneration curve in a schematic manner. Here, the regenerated phos-

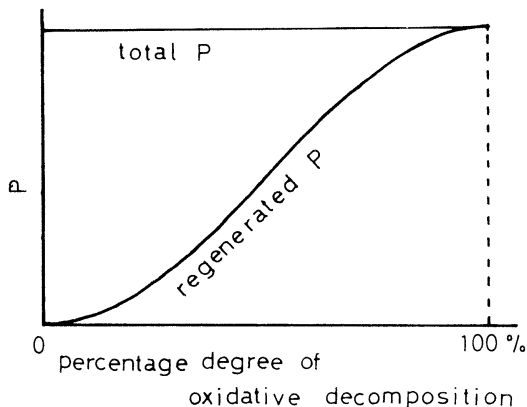


Fig. 1. Relationship between total phosphorus and regenerated phosphate for each step of oxidative decomposition.

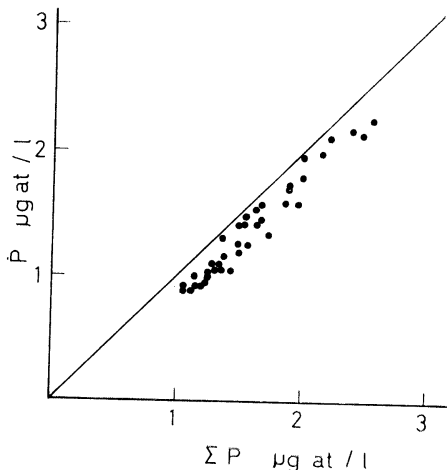


Fig. 2. Relationship between phosphate and total phosphorus concentration in waters off the east of Honshu.

phate to percentage degree of oxidative decomposition (equivalent to AOU in this case) plot gives a sigmoid curve but the total phosphorus to percentage degree of oxidative decomposition plot gives a straight line parallel to the abscissa.

Fig. 2 shows the relationship between phos-

\* Received May 9, 1969

\*\* Meteorological Research Institute

phate and total phosphorus in waters collected off the east coast of Honshu (Preliminary Data Report of CSK No. 28, 1966). According to Fig. 2, the concentration of the total phosphorus has always nearly a constant bias above the phosphate concentration, which suggests that the total phosphorus to AOU plot gives a straight line parallel to another straight line expressing the relationship between phosphate and AOU.

Comparison of Figs. 1 and 2 also suggests the idea that the relationship between phosphate and AOU does not directly imply the regeneration curve. The parallelism between the phosphate to AOU plot and the total phosphorus to AOU plot suggests that the value of AOU does indicate not the degree of decomposition but the amount of oxidizable material contained in water before the decomposition. The degree of the decomposition may not seriously differ among individual waters with different AOU values.

Fig. 3 shows the relationship among the phosphate to AOU plot, the total phosphorus to AOU plot and the regeneration curve. In Fig. 3, four groups of waters are chosen for the purpose of illustration. Here, it is assumed that the composition of organic matter contained in waters, a, b, c, and d is represented by the average composition of the marine plankton, and the amounts of organic matter contained in waters, a, b, c, and d are respectively in the ratio of 1:2:4:8.

It is self-evident that four end-points of the

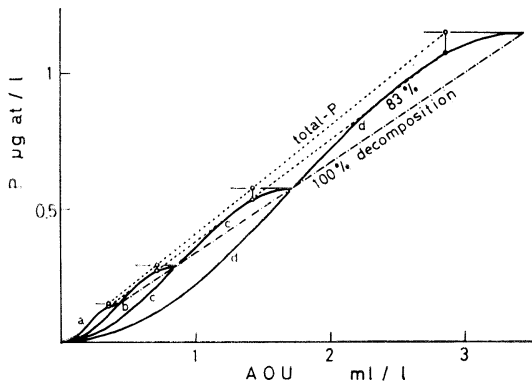


Fig. 3. Relationship among the phosphate to AOU plot (chain for 100% and lower dotted line for 80% decomposition), the total phosphorus to AOU plot (upper dotted line) and the regeneration curve (solid line).

regeneration curve equivalent to 100% decomposition give a straight line if we assume the similarity among the regeneration curves. The slope of the straight line is expressed in  $1 \mu\text{g}$  at  $\text{P}/3 \text{ ml O}_2$ . Fig. 3 also shows that four points expressing the concentration of regenerated phosphate equivalent to the  $n\%$ , say 87% (based on AOU values), decomposition give a straight line and four points which express the total phosphorus concentration corresponding respectively to the previously mentioned four points expressing the regenerated phosphate concentration also give a straight line.

Here, it is noteworthy that the straight line expressing the regenerated phosphate to AOU relationship departs more and more extensively, as the AOU value increases, from the straight line expressing the total phosphorus to AOU relationship. To make the two, straight lines parallel, as shown in Fig. 4, waters with larger AOU values must have more advanced degree of decomposition.

Even though we say that the phosphate to AOU plot gives a straight line, it is not strictly a straight line in a mathematical sense. Actually, it is not a line but a belt with some width, which may be attributable to the following reasons: unevenness in the degree of decomposition among the waters with a comparatively limited range of water temperature and chlorinity, possible deviation of the actual composition from the average composition of marine plankton, the possibility that the regeneration curves may not

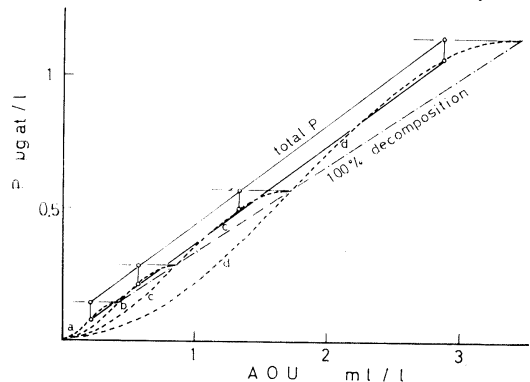


Fig. 4. The requisites for the parallelism between the total phosphorus to AOU plot and the phosphate to AOU plot. Dotted lines show the regeneration curves.

completely be similar among individual waters with different contents of organic matter and employment of AOU as an approximate amount for the oxygen consumed at the oxidative decomposition of organic matter.

### References

- Japanese Oceanographic Data Center (1966): Preliminary Data Report of CSK No. 28, KDC Ref. No. 49K017, Hydrographic Division, M.S.A., Tokyo, 17 pp.
- MOTOHASHI, K. and C. MATSUDAIRA (1969): Regeneration of phosphate at the oxidative decomposition of diatom. Presented at the annual meeting of the Oceanographical Society of Japan, April 1969, Tokyo.
- SUGIURA, Y. (1968): Oceanographie chimique an large de l'Oregon. *La mer*, **6**, 105-114.
- SUGIURA, Y. and H. YOSHIMURA (1964): Distribution and mutual relation of dissolved oxygen and phosphate in the Oyashio and the northern part of Kuroshio region. *Jour. Oceanogr. Soc. Japan*, **20**, 14-23.

# 資 料

## ヌメアの海洋研究所を訪れて\*

### Visite de l'Institut Océanographique à Nouméa

吉 村 広 三\*\*

東京大学海洋研究所の白鳳丸に乗船し、南十字星航海に参加したおり、ニューカレドニアのヌメア市（人口約4万人）に寄港したので、2月14日の午後ヌメアの海洋研究所を訪れてみた。フランスの海外科学技術調査局O.R.S.T.O.M. (Office de la recherche scientifique et technique outre-mer) のヌメア研究所はヌメア市中心街より約3 km 南に寄ったアンセ・パタ海岸に面していて、近くには水族館、南太平洋行政府、ホテルなどがあり、景勝の地であった。海洋研究所は生物（プランクトン、基礎生産力測定など）と物理（测温、測流、水質分析など）の2部門に分れていて、いくつかの研究室には約20名の研究者がいるとのこと、所長のルガン博士は温厚な感じの人であった。訪れた時は折悪しく、観測船コリオリ号（船長、ド・シャルブロン氏）はタヒチ方面に出かけていたため見学できず、そのため研究者も留守の方が多く、閑散としていた。

物理の研究室に案内された私はジャック・ムルル氏からコリオリ号によって観測された赤道潜流についての調査結果の話聞いた。それらの海洋観測はアリーズ、ボラ、シクロンなどと名付けられていて、アリーズは赤道上の東西の観測、ボラ、シクロンは 170°E 線を主にしたもので、後記の表のように、水温、塩分、溶在酸素を始めとする非常に整った測定がなされていた。

その後、着任されて間もないジャン・ルネ・ドンギイ氏に案内していただき、10日程前にヌメア市を襲った 963 ミリバールのサイクロン“Colleen”のつめ跡などを見学させていただいた。

なお、研究所で使用していた測定器、機械などのうち、電磁式海流計 (GEK) は理研製、転倒温度計、ナンゼン型採水器も日本製であった。

次に、海洋観測船コリオリ号の性能、装備 (カタログによる) の大要と、送っていただいた資料から、コリオリ号による主要な観測航海の一覧を抜き書きする。

[海洋観測船 コリオリ号 CORIOLIS]

1955 年以来ヌメアの ORSTOM 海洋研究所に配備されていた ORSTOM III 号 (コプラ採集船を改造した機

帆船) に代って、1963 年に進水、1964 年にヌメアに引き渡された観測専用船である。

船の全長、	37.6 m、	船幅、	8 m。
トン 数、	326 トン。		
行動半径、	7,000	マイル、	
機 関、	350 馬力電動機	2 台。	
推 進 機、	可変ピッチプロペラ	により 12 ノットから 1.5 ノットまで航走可能。	
レーダー、	航走用、	50 マイル (ジャイロコンパスに連結される)。	
音響測深器、	航走用 600 m、	測深用 12,000 m の 2 台。	
捲揚げウインチ、	トロール用 4,800 m (12 mm のワイヤー使用)、	1 台。	
	水理調査用 12,000 m、	8,000 m、	3,000 m (いずれも 4 mm のワイヤー使用)、
	各 1 台、	パーチサモグラフ用 1,200 m、	1 台。
実 験 室、	上部実験室及び内部実験室の 2 室。		
主要な測定器類、	パーチサモグラフ、	自記水温計、	電磁式海流計 (GEK)、
	分光光度計、	精密 pH 計、	誘電式塩分計、
	電極式塩分計、	ガイガー・ミュラー計数装置、	シンチレーション計数装置、
	自動滴定装置、	植物プランクトン連続ろ過装置など。	

[コリオリ号の主要な観測航海]

アリーズ; ガラパゴス島沖から 160°E までの赤道沿いの観測、1964~1965 年。

水温、塩分、溶在酸素、pH、リン、窒素化合物、アルカリ度、基礎生産力の測定。プランクトンの調査など。アトール及びブリアント; 仏領ポリネシア海域の観測、1964 年および 1965 年。

調査項目はアリーズとほぼ同じ。

ボラ (1 次から 4 次までである; 170°E 線を主にした赤道潜流の観測、1966 年。

調査項目はアリーズ、アトールなどとほぼ同じ。

シクロン (1 次から 6 次までである); 170°E 線における赤道潜流の観測、1966~1967 年。

調査項目は前と似ているが海流の直接測定が入っている。

\* 1969 年 4 月 3 日受理

\*\* Hirozo YOSHIMURA 気象庁海洋課 Oceanographical Section, Japan Meteorological Agency

# 日仏海洋学会賞受賞記念講演

## 漁業における火光の集魚効果とその操法の研究\*

今 村 豊\*\*

### Etude de l'effet du feu sur la pêche et de son opération

Yutaka IMAMURA

**Résumé:** Le feu intense n'aboutit pas toujours à l'augmentation de la pêche. Dans la plupart des cas, il est utile d'affaiblir graduellement le feu au cours des opérations successives de pêche, alors que l'intensité du feu la plus efficace dépend de la profondeur des poissons, de la transparence de l'eau de mer, de la condition hydrologique et des dimensions des instruments de pêche. Jusqu'à présent, on n'a profité que de la phototaxie positive. La phototaxie négative sera mise à profit à l'avenir.

火光利用漁業の歴史は古く、その操業も世界的に広く行なわれてきた。わが国において火光利用の漁業は沿岸漁業に大きな比重を占めている。すなわち、この漁業は漁獲量において、また漁業者の数においても沿岸漁業のおおむね半分を占める実情である。したがって、集魚灯を効果的に利用することは直接、昨今問題の多い沿岸漁業の振興に大きく役立つであろうと考えられる。

火光漁業の問題点は次の点である。(1) 漁の対象魚を広い範囲から多く集めること。(2) 火光に集まった魚を極力光源を中心とした狭い範囲に密集させ、しかも長時間にわたってその状態を維持させておくこと。(3) 火光に集まった魚の行動を光力の調節で自由に制御すること、それによって漁獲を容易にすること。これらの三点は漁業者が昔から願ってきた火光に対する大きな要望である。漁業者は累積された経験から次のことを学んだ。広い水域から集魚するには火光の光力を大きくすることである程度可能である。この場合、集魚の水域は光力に比例して広がる。魚の火光による集魚密度を高めるには光源の光力を絞ることである程度可能になる。この場合、あらかじめ灯火に集まっていた魚のある数は灯火から逃散する。これを漁業者は“魚落ち”と呼んでいる。

集魚灯の研究を進めるに当って、次の三分野が考えられる。すなわち、(1) 光学的に水中の明るさの研究から進む分野。(2) 生物学的に光に対する魚の生態、行動の研究から進む分野。(3) 光に対する魚の反応を漁法学的に研究する分野。火光利用の漁法ではこれら各分野の研究成果を総合して漁法学的な知見を理論的に確立するこ

とが必要である。本研究では上記の(3)を主に(1)、(2)を副として行なった。火光を用いて魚を集めるためにはあらかじめ次の点が解明されねばならない。(1) 魚が灯火に集まり、その水域内で安定するための水中の適切な明るさは?(2) 火光に対する魚の行動とその時間的な変化はどうなっているか?(3) 光源に対する集魚群の占位する形状、および光源の光力と集魚範囲との相対関係はどのようになっているか?(4) 光が魚に効果的に作用するためには、光の反射、吸収などの物理的条件を左右する灯火の使用法、海況、および透明度などをあらかじめ解明しておく必要がある。

本研究は火光の有効利用を主眼とする漁法学の基礎研究を主とし、あわせて火光に対する魚の反応行動を実験的に水槽および野外で調べ、それらの結果がどの程度漁業に則して適用できるかについて吟味した。戦後、光源の進歩、発達は著しいものがあって、自然灯、水銀灯、蛍光灯、および各種の色灯が漁業の分野に集魚灯として広く競合的に使用されるようになった。その結果光源の光力がいちずに大きくされる弊風がみられるに至った。この点から光源の光力の適正度の吟味、漁具の大きさ、漁法との適合性についても吟味した。以上、本研究の詳細は本文を参照して頂きここでは次の諸点について述べる。

1) 集魚灯の歴史は光源の変遷史とも言える。今日の火光利用漁業の規模は著しく質、量とも変わりつつある。この結果、ある漁場では灯船は飽和の状態、各種の灯船の火光の有効範囲は互に交錯し、その結果各船の火光の効果は互に相殺、妨害するようになってきている。今後のこの種の漁業では常に漁場を互に有効に利用しながら火災を効果的に、すなわち操業は光学的に、生物学的に、および漁法学的な条件に照応しながら効果的に実施するこ

\* 1969年4月5日、日仏会館にて講演 Résumé de la conférence faite le 5 Avril 1969 après la remise du Prix de la Société franco-japonaise d'océanographie.

\*\* 東京水産大学 Tokyo University of Fisheries



とが肝要である。火光利用の漁業は全国的に各種の制限、拘束を強く受けている。すなわち、火光の使用を全面的に禁止したもの、光力を制限したもの、火光の使用期間を制限したもの、灯船の数を制限したものなどがある。しかし、これらの内にはその効果の疑わしいものもたくさんある。今日の火光利用漁業は光源および光学の面、魚の火光に対する生態の面からも、また漁法の点からもこの漁業の研究成果があがるにしたがって、本漁業の各種の取締規定は合理的に改変する必要があるであろう。

2) 火光利用漁業の主な対象魚は一般に走光性の強い次の各魚種である。すなわち、サンマ、イワシ類、アジ類、サバ類、コノシロ、イカ類、トビウオ類、イカナゴ類などがその主なるものである。これらの走光性の強い魚種でも光源に対する時間的な占位度合は、光源近くの明るい水域：明暗の薄暗い水域=1:4~6ぐらいである。最近の光源の発達に伴って火光利用漁業の対象魚種はその数を増す傾向にある。たとえば九州沿海のマダイ、チダイの手釣りなどがそれである。この種の魚は光源からの火光を索餌の手段に利用しているものである。今日の集魚灯の対象魚種は大部分がまき餌を用いても集めることができるものである。したがって、必ずしもこれらの漁法は火光を利用しなくても成立するが、今日のこの種の漁業で餌料の占める経費は光力費を遙かに上回ってこれを無視出来なくなっている。すなわち、火光利用漁業は経営上からも、操業の面からも生産性のすぐれた漁業と言えるであろう。

火光漁業の対象は走光性の強い魚を第1位とし、次に本来は走光性はあまり認められないが避光性のない魚種（タイなどのように餌発見の手段として光を利用しているもの）を第2位として今日に至っている。今後、新しく考えられることは光源の光力の強大化、および各種の

色灯の発達に伴って、これらの光源に対して示す魚の避光性を漁法的手段として利用することが考えられる。これまでの火光利用漁業は火光に対する魚の+の反応(正)だけを考えていたが、-の反応(負)も漁法的手段として当然必要視されねばならないであろう。

3) 火光利用漁業では一般に船ごとに灯火の設備を固定してしまっているのが実情である。しかし、魚の深度は同じ水域、同じ時期でも各々異なっている場合が多い。海は時に清澄な場合も、濁った場合もある。漁船によっては漁具の種類を異にし、その大きさも異なるものである。さらに天候によって海況も変化するのが常である。以上の点を念頭において考えると、これらの条件に対応して光源の光力を、光源の種類並びに使用法を詳細に検討して使用することが大切となってくる。しかし、ただ今の時点では全くこれらが考慮されていない。ただ、一般に許容された光力の最高を点灯して操業するために、集魚の条件を自ら不利にしている場合が数多く認められている。

集魚灯の光力が制限された結果、漁業者は新しく色灯について関心を示すようになってきた。色灯は魚の行動を制御するに当って色灯のあるものは白熱灯に比べ遙かにすぐれていることが本研究の実験からも判明した。しかし、同じ色灯でも魚種によって効果がまちまちである点から、魚種によって波長の選択性が少しずつ異なっているとみてよい。すなわち、この点が解明されて初めて色灯の合理的な使用が可能になるであろう。

火光利用の漁業が沿岸漁業としてある以上、当然他の漁業との間にある程度の利害の相反する場合が生ずると考えられる。火光漁業が他の漁業から排除されるのもいたずらに強大な光力を用いることなども一因であろう。沿岸漁業として火光漁業が他の漁業と共存するためには光源の選択に注意することが大切であろう。

## 主要論文

- 1961: 灯火漁業の研究一I. 田辺湾の焚入網漁業について. 日本水産学会誌, 27(5), 425-429.  
 1961: 同 上 一II. サバの跳ね釣りについて. 同 上 430-436.  
 1961: 同 上 一III. 灯火利用の釣り漁業について. 同 上 437-439.  
 1961: 同 上 一IV. サンマ棒受網法について. 同 上 440-445.  
 1968: 漁業における火光の集魚効果とその操法の研究 (I). うみ, 6(1), 17-43.  
 1968: 同 上 (II). 同上 6(2), 136-147.  
 1968: 同 上 (III). 同上 6(3), 190-208.  
 1968: 同 上 (IV). 同上 6(4), 243-264.

以上ほのかに参考として、

1953~1960: Studies on the disposition of fish towards the light (1), (2), (3), (4), (5), (6). Jour. of Tokyo University of Fisheries, 39(2)-46(1-2).

## 録 事

1. 昭和 44 年 4 月 4 日、日仏会館会議室において評議員会が開かれた。

1) 会務および編集報告が行なわれた。44年度文部省科学研究費補助金(研究成果刊行費)の申請をしたと報告された。(43 年度は交付の対象にならなかった。)

2) 昭和 43 年度の収支決算および昭和 44 年度の予算案について審議された。

3) 中野委員長より学会賞受賞候補者の選考経過報告があり、今村 豊氏を推薦したと報告された。

学会賞規定により投票の結果、同氏が受賞者と決定した。

4) 学会賞規定により、44年度の学会賞候補者推薦委員 13 名を下記の通り選出した。

新崎盛敏, 市村俊英, 今村 豊, 岩田憲幸, 梶浦欣二郎, 鬼頭正隆, 草下孝也, 杉浦吉雄, 高木和徳, 高野健三, 淵 秀隆, 星野通平, 森田良美(50音順)

5) 44年度の編集委員は、現在の委員がそのまま引き継ぐことになった。

2. 昭和 44 年 4 月 5 日、日仏会館会議室において第 10回総会が開かれた。

佐々木会長の挨拶に引き続き次の報告、審議が行なわれた。

1) 昭和 43 年度の会務並びに会計報告(大柴常任幹事)が行なわれた。なお、43年度の収支決算(別表)は監事の監査を受けて承認された。

会員移動: 43年度新入会員は正会員 40 名, 賛助会員 2 社, 退会は正会員 4 名, 賛助会員 2 社, 死亡された正会員 3 名。

昭和 44 年 3 月 31 日現在の会員数は名誉会員 12 名, 正会員 371 名, 賛助会員 44 社である。

2) 今村編集委員長より学会誌第 6 巻の編集経過報告が行なわれた。

6 巻 1~4 号は総ページ数は 295, その内訳は論文 15 編(和文 6, 英文 6, 仏文 1), 寄稿 2 編, 資料 7 編, シンポジウム 1 編である。

3) 中野委員長より学会賞受賞候補者の選考経過報告が行なわれた。

4) 昭和 44 年度の予算案について審議の結果、別表の通り承認された。

### 昭和 43 年度収支決算

#### 収 入

項 目	収入額(円)	備 考
前年度繰越金	0	
会 費	318,000	正会員 318 名 66 口
賛 助 会 費	330,000	
学会誌売上	69,600	
広 告 料	435,000	
賛 助 費	170,000	
計	1,322,600	

#### 支 出

項 目	支出額(円)	備 考
学会誌等印刷費	1,175,600	第 6 巻分
送料, 通信費	77,000	
編 集 費	30,000	
事 務 費	10,000	
交 通 費	20,000	
総 会 費	10,000	
次年度繰越金	0	
計	1,322,600	

### 昭和 44 年度予算案

#### 収 入

項 目	収入額(円)	備 考
前年度繰越金	0	
会 費	320,000	正会員 400 名 80 % 70 口
賛 助 会 費	350,000	
学会誌売上	40,000	
広 告 料	500,000	
賛 助 費	160,000	
計	1,370,000	

#### 支 出

項 目	支出額(円)	備 考
学会誌等印刷費	1,210,000	第 7 巻分
送料, 通信費	75,000	
編 集 費	30,000	
事 務 費	10,000	
交 通 費	20,000	
総 会 費	15,000	
予 備 費	10,000	
計	1,370,000	

3. 総会終了後、引き続き学会賞授与式が行なわれた。  
昭和44年度日仏海洋学会賞受賞者：今村 豊氏（東京水産大学教授）

受賞課題：漁業における火光の集魚効果とその操法の研究（別項推薦理由書参照）

- 1) 佐々木会長より今村 豊博士に賞状、メダルおよび賞金が授与された。
- 2) 坂本市太郎博士の祝辞が述べられた。
- 3) 学会賞授与式終了後、今村氏の受賞記念講演が行なわれた。（講演内容は本号に掲載）
- 4) 記念講演終了後、祝賀懇親会が開かれ、多数の参加者を得て盛会であった。

4. 昭和44年5月30日、理化学研究所において編集委員会が開かれ、第7巻第2号および第3号の編集を行なった。

5. 下記の諸氏が人会された。

正会員

氏名	所属	紹介者
新井典夫	武蔵工大	佐々木忠義
平啓介	東大海洋研	高野健三
横尾敏博	東海大・湘南校舎	佐々木忠義
柴田哲治	三菱重工・名古屋自動車製作所岡崎試験場	"
佐藤任弘	水路部	星野通平
茂木昭夫	"	"
岩淵義郎	"	"
浅川日出男	東海大・海洋学部	淵秀隆
高橋正美	"	佐々木忠義
津川順司	"	"
金巻精一	東理大・物理	"

6. 村上 脩氏が退会された。

7. 会員の住所、所属の変更。

氏名	新住所又は新所属
渡辺精一	埼玉県北足立郡大和町広沢 2-1 理化学研究所大和研究所
岡見登	"
岡崎守良	"
岸野元彰	"
竹松伸	"
国司秀明	京都市左京区北白川追分町 京都大学 理学部地球物理学教室
竹内能忠	函館市港町 北海道大学水産学部

小林信雄	清水市高橋町西 443 杉山仁方
永沢一夫	東京都港区新橋 1-2-9 三井物産KK 食料総括部
井上喜洋	神奈川県三浦市三崎町城ヶ島養老子 神奈川県水産試験場
吉永勝秀	東京都千代田区神田美土代町 1 住友ビル 日本海洋産業 KK 開発部
松村皐月	東京都中央区八重州 3-3 八重州会館 KK 東京久栄
小出五郎	札幌市白石町南郷 614 第四大岡マンション 305
岩田喜三郎	神奈川県秦野市本町 2-8-11 沢方

8. 交換および寄贈刊行物。

- 1) 港湾技術報告, 8(1), 1969.
- 2) 港湾技研資料, No. 63~68, 1969.
- 3) 東海大紀要, 第3号, 1969.
- 4) 日本海区水研研究報告, 第21号, 昭44.
- 5) 研究実用化報告(日本電電公社電通研), 18(1, 3~5), 1969.
- 6) 湖沼研論文集(滋賀大), 昭43年度(2冊).
- 7) 航海, 第29号, 昭44.
- 8) 海洋開発の内容と展望(日本長期信用銀行調査部).
- 9) 理工学部紀要(早大), No. 32, 昭43.
- 10) 科学博物館研究報告, 12(2), 1969.
- 11) 淡水区水研研究報告, 18(2).
- 12) Cahiers Océanogr., XXI<sup>e</sup> Année N° 1~4, XXI<sup>e</sup> Année Suppl. N° 1, 1969.
- 13) Science et Pêche, N° 178, 1969.

#### 日仏海洋学会賞受賞候補者推薦理由書

氏名：今村 豊（東京水産大学）

題目：漁業における火光の集魚効果とその操法の研究  
推薦理由：今村氏は上記の題目で「うみ」（日仏海洋学会誌）に発表した4編のほかに、「日本水産学会誌」および「Journal of Tokyo University of Fisheries」などに関連のある一連の論文を報じ、重要魚類の火光に対する行動を実験的に解明すると共に、火光利用の諸漁業における実際の集魚効果とその操法を研究して、魚類生態学上並びに漁業上顕著な貢献をなした。

本研究は、まず火光利用漁業上の基本問題を解明するために、対象になる主たる魚種のアジ、サバ、カタクチイワシ、ムロアジ、イサキ、またコイなどを試魚にして、水槽内で実験を行ない、光度、光質の違う光源に対してとるそれぞれの魚種の群体としての反応行

動を、時間経過に従って詳しく調べて、魚種によって反応のし方、行動に相違があることを明らかにし、また水槽内の数多くの個所で照度を測定して各魚種のスウ光性と照度との関係を明確にした。更に水槽内実験だけでなく海中での野外実験も行ない、両実験で得られた結果を照応比較しながらこれらの資料が実際に漁業の面でどう適用できるかを検討した。そのために日本の諸海域で行なわれている火光利用の釣漁業また網漁業の諸データを集めると共に自身でも操業し、それらの諸結果から、(a) 使用される灯火、(b) 漁場の透明度、水深、海況と光源の明るさ、(c) 火光の使用法と漁法、(d) 火光の集魚範囲と漁具、などに関する諸問題を解明し、更に合理的な操灯法、また経済的かつ能率的に火光を使用するための条件などについても追究した。

学会賞受賞候補者推薦委員会

委員長 中野猿人

(主要論文は本号 55 ページ参照)

日仏海洋学会役員

顧問 ルネ・カピタン ユーベル・ブロッシェ  
ジャン・デルサルト ジャック・ロベール  
名誉会長 アレクシス・ドランデール  
会長 佐々木忠義  
常任幹事 大柴五八郎、永田 正  
幹事 阿部友三郎、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、富永政英、奈須敬二、西村 実、  
根本敬久、半沢正男、松尾邦之助、丸茂隆三  
森田良美、山中鷹之助 (50音順)  
監事 三宅泰雄 高山重嶺  
評議員 赤松英雄、阿部友三郎、阿部宗明、新崎盛敏、  
池松正人、石野 誠、市村俊英、井上直一、

井上 実、今井丈夫、今村 豊、入江春彦、  
岩崎秀人、岩下光男、岩田憲幸、上野福三、  
宇田道隆、内田清一郎、宇野 寛、江上不二  
夫、大内正夫、大島泰雄、大柴五八郎、大村  
秀雄、岡部史郎、小沢敬次郎、梶浦欣二郎、  
金谷太郎、川合英夫、川上太左英、川村輝良  
川村文三郎、川口守一、川原田 裕、神田献  
二、菊地真一、鬼頭正隆、木村喜之助、草下  
孝也、楠 宏、国司秀明、黒木敏郎、黒沼  
勝造、久保田 穰、小林 博、小牧勇蔵、近  
藤 仁、西条八束、斎藤泰一、斎藤行正、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、末広恭雄、杉浦吉雄、須藤英雄、高野  
健三、高橋淳雄、高山重嶺、高木和徳、田畑  
忠司、田村 保、千葉卓夫、辻田時美、土屋  
靖彦、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、永  
野泰一、奈須敬二、奈須紀幸、南日俊夫、新  
野 弘、西村 実、新田忠雄、根本敬久、野  
村 正、花岡 資、速水頌一郎、半沢正男、  
半谷高久、菱田耕造、日比谷 京、松山義夫  
平野敏行、深沢文雄、福島久雄、淵 秀隆、  
藤田亀太郎、星野通平、増沢譲太郎、松井 魁  
松江吉行、松尾邦之助、松崎卓一、松平近義  
松平康男、丸茂隆三、溝口哲夫、三宅泰雄、  
宮崎千博、宮崎正衛、元田 茂、森川光郎、  
森田良美、森安茂雄、安井 正、矢部 博、  
山路 勇、山中鷹之助、山中 一、依田啓三  
渡辺貫太郎、渡辺精一、渡辺信雄 (50音順)

モーリス・アンコントル、マルセル・ジュク  
ラリウス、イヴ・ド・ムクシー、ロジェ・ペ  
リカ、コンスタンタン・エコノム

## 1970年度フランス政府給費留学生選考試験要項

フランス政府は毎年フランス政府給費留学生を招致しているが、このたび1970年度（1970—1971大学年度）留学生として約80名の日本人学生、研究者、専門家を募集する。給費の対象は人文・社会学、自然科学、医学、工学、芸術などあらゆる分野にわたる。

### I 出願について

#### A) 出願資格

(a) 出願者の年齢は以下のとおり

第一部門（仏語、仏文学、言語学、演出）の者は30才未満（1940年1月1日以後出生の者）

第二部門（人文科学）及び第三部門（自然科学、医学、工学）の者は40歳未満（1930年1月1日以後出生の者）

音楽関係受験者は、パリ国立音楽院の年齢制限規定参照のこと。

その他の芸術部門は33歳未満の者（1937年1月1日以後出生の者）

(b) 日本人であって二重国籍を持たない者。

(c) すでに大学を卒業した者、及び1970年3月卒業見込の者。

東京日仏学院、関西日仏学館のフランス文明講座を卒業した者、又はアテネ・フランセのブルヴェを持っていてる者。旧制専門学校卒業で大学（4年制以上）の専任講師の職にある者。医学の専攻者は医師国家試験合格者であること。但、芸術を専攻する者は学歴を問わない。

(d) フランスの大学において学習するに足る十分な仏語学力を有する者。

但、第三及び第四部門の出願者に対しては、なお勉強の上出発前に語学テストを受けるならば、選考試験時においてこの条件が緩和される。

(e) 心身ともに健全な者。

#### B) 出願手続

出願者は、国公立大学、日仏会館、アテネ・フランセ、東京日仏学院、関西日仏学館又は所属する官方、会社から推せんされた者でなければならない。その他必要と思われる推せん状は何種類出してもさしつかえない。

芸術を専攻する者は、その師事する教師から推せんされた者であること。

出願書類の提出については以下のとおり。

提出先：文部省大学学術局長宛

（郵便番号 100 千代田区霞ヶ関  
3-2-2文部省大学学術局留学生課）

受付期間：1969年9月22日から

10月20日まで

なお、フランス大使館文化部留学生係あてに出願書類の仏文コピーを1部上記期間中に提出のこと（提出書類については、付属書Aを参照のこと）例年どおり、今回の給費留学生のうちからも、試験の結果発表後自費でフランスに留学することを希望する者は、フランス政府保護留学生試験を免除される。

（保護留学生は、フランス政府から財政的援助は与えられないが、フランス政府が、その研究指導を行なうこととなっている。希望者は、結果発表後フランス大使館文化部留学生係へ申込むこと。）

### II 選考試験

選考試験は二次にわたって行なわれる。

#### 1) 予備審査（付属書B参照）

この予備審査は、東京及び京都の二ヶ所で行なわれる。

出願者はこれら二ヶ所のうち、いずれかで試験を受けることが出来る。

この指定は文部省へ提出する出願書類（付属書A参照）に明記すること。

予備審査の後、東京及び京都の各日仏合同審査委員会は次に行なわれる最終審査の受験資格者を発表する。

#### 2) 最終審査（付属書B参照）

最終審査は東京で行なわれる。この審査委員会の委員は、東京及び京都で行なわれた予備審査の選考委員から選ばれる。

最終審査の後、フランス政府に対し、正式に奨学金の支給が申請される合格者の氏名が発表される。

申請中のものが出発前に給費を辞退した場合のために審査後補欠リストを作成する。1969年12月から1970年5月15日の間に給費辞退者が出れば補欠に対して給費の申請を行なうから、申請の可能性のあるものはその間語学力の向上に一層務める事が必要である。

#### 注意

出願書類中の“研究計画”が、フランスの諸官方の経済、財政部門、諸企業において行なわれると

判断される出願者に関しては、試験はフランス大使館経済部が行なう予定であり、その受験方法、日時、場所などは後刻各自に通知される。

### III 最終決定通知

日仏合同の最終審査合格者は、駐日フランス大使館を通じて、フランス政府に推せんされるが、その結

果は、フランス本国から、決定の通知があり次第、関係官庁及び本人に到達される。

### IV その他

フランスにおける滞在条件などについては、付属書Cを参照のこと。

## 1970年度フランス政府給費留学生試験出願書類 (付属書A)

### I 願 書

- (1) 受験地 (東京又は京都: 出願者は、左のいずれかの地を指定し明記すること)
- (2) 氏 名 (和文にはふりがなをつけること)
- (3) 性 別
- (4) 生年月日
- (5) 出生地
- (6) 本籍地
- (7) 郵便番号・ (和文にはふりがなをつけること)  
現住所
- (8) 現 職 (勤務先があれば書くこと)
- (9) 最終学歴 (卒業又は見込み学校、学部、学科及び年月日)
- (10) フランスで専攻を希望する分野及び予定留学期間 (たとえば古典文学、原子核物理学等)
- (11) 希望するフランスの学校又は研究所名  
(注意……留学志望地としては、少なくとも第一志望地、又は第二志望地として、パリ以外の大学区を挙げておくこと)

### II 学 歴 書

学んだ学校名、研究所名、学歴、研究経歴、職歴、取得した学位、資格及び年月日等をくわしく記載すること。

### III 留学中の研究計画書

フランス留学中の研究計画を正確に記述し、帰国後の職業、地位等についてくわしく記載すること。また1970-1971大学年度後、留学を延長する予定があるかどうかを明示すること。

### IV 最終学校の学業成績証明書

日本の学校のものは、和文オリジナル1通、和文コピー9通、及び仏文の訳文6通。

東京日仏学院、関西日仏学館、アテネフランセのものは、仏文オリジナル1通、仏文コピー5通、及び和文の訳文10通を提出のこと。

(ただし、出願者は後記の“特別注意事項”を参照

のこと。)

大学以上の学歴のあるものはその証明書類も、同様にして提出すること。

### V 推 せん 状

推せん状は出願書類IVと同様にして提出すること。

### VI 過去の業績、賞歴に関する資料

論文、研究報告、記事などを刊行物に掲載したことのある者は、提出すること。できれば、仏語で要約したものも提出すること。

芸術部門の出願者については作品の提示、又は実技などが必要である。

### VII 写 真

出願者の最近の写真2枚(4×3.5センチ)、和文、仏文の各オリジナル書類の右肩に糊でしっかりと貼りつけること。

戸籍抄本、卒業証明書、免許書類、出願書類(I~VI)の仏文コピー

すべての出願者は、文部省宛に送る出願書類とは別に、駐日フランス大使館文化館留学生係宛(郵便番号106 東京都港区南麻布4丁目11-44)に、1969年10月20日までに、以下の書類を提出すること。

a) 戸籍抄本 1通 (6ヶ月以内に交付されたもの)

b) 旧制、又は新制の高等学校、もしくは旧制の専門学校の卒業証明書(成績証明書ではない) 1通

c) 大学卒業証明書 1通 (大学院で学位を与えられたものは、その証明書も提出すること)

d) 免許証類(医師、薬剤師、建築士などの国家試験合格者は、その合格証明書又は合格証書のフォト・コピー各1通を提出すること)

e) 出願書類(I~VIまで) 仏文コピー 1通

注意: 和文書類中のすべての固有名詞にふりがなをつけること。

### 特別注意事項

- 1) 第一部門の出願者は、出願書類1～Vまでを和文10通、仏文8通、その他の第二、第三及び第四部門の者は和文10通、仏文6通。  
出願書類VIについては、各部門とも和文2通及び仏語に要約したもの2通を文部省大学学術局に提出すること。
- 2) 出願書類はすべて各頁毎に本人の氏名を明記のこと。

- と。
- 3) 用紙は、B-5判を使用のこと。
- 4) 写真(台紙なし、4×3.5センチ、無帽、上半身、6ヶ月以内に撮影されたもの)5枚。  
最終審査の合格者は、直ちにフランス大使館にこの写真を提出しなければならないから、あらかじめ用意しておくこと。

### フランス政府給費留学生選考試験(付属書B)

#### I 予備審査

予備審査は東京及び京都の2ヶ所で行なわれる。

##### 第一部門 仏語・仏文学・言語学・演出

###### 1) 筆記試験

作文(仏文学又は仏文明、言語学に関する一つの題目を選び仏語で論文を書く)	30
和文仏訳	10
仏文和訳	10
仏文書取	10

###### 2) 面接試験：審査員との会話 60

(注意：演出専攻の出願者は、文学関係は第一部門に、演出技術は第二部門に属する)

##### 第二部門 文化人類学・民族学・社会学・人口統計学 地理学・経済・法律・政治学・歴史・哲学 ・音楽理論・美学・古典文学・美術館学・ 演出・新聞・雑誌・映画等

1) 筆記試験：作文	20
仏文和訳	20

###### 2) 面接試験：審査員との会話 80

##### 第三部門 自然科学・医学・工学

面接試験	120
------	-----

##### 第四部門 a) 美術(絵画・彫刻・建築・都市計画・ 装飾美術)

##### b) 音楽

1) 面接試験：審査員との会話(用語は、日本語、仏語のうち出願者の選択による)

2) 作品提示又は実技 120

(注意：建築関係の出願者は、技師の場合は第三部門に、美術専攻の場合は第四部門に属する)

#### II 最終審査

最終審査は東京で行なわれ、その日仏合同の審査委員会は先に行なわれた東京及び京都の各予備審査委員会の委員から選ばれる。

第一部門 1) 仏語による一般教養に関する質問 30

2) 仏語テキストの仏語による説明 30  
予備審査の筆記試験における得点を加算 60

第二部門 1) 専攻分野の一般の問題についての  
仏語による口述 30

2) 仏語テキストの仏語による説明 30  
予備審査の筆記試験における得点を加算 60

第三部門 専攻分野に関する審査員との会話 60

第四部門 作品提示又は実技 60

すべての予備審査合格者に対し、上記の部門別試験の他に、フランス語の口述及び筆記試験が行なわれる。最終審査の後、フランス政府に対し、正式に奨学金の支給が申請される合格者の氏名が発表される。

### フランス政府給費留学生制度に関する一般的事項(付属書C)

#### I 給費額

給費月額は、750フラン、邦貨約48,000円(場合により500フラン邦貨約32,000円)となっている。  
給費期間は留学計画により6ヶ月から9ヶ月で、場合により更に一学年度間更新され得ることもあるが、この特典は限られている。

更新の申請は、主として選考試験の成績、留学計画及びフランスにおける第一年目の成績の結果を基準として行なわれる。

給費更新の可能性ある留学生は、出発前にその旨を知らされる。それ以外の留学生で、給費期間終了後なお留学を継続する予定の者は出発前に延長期間中

の滞在費は本人が負担する旨の誓約書をフランス大使館に提出せねばならない。

## II 旅 費

往路旅費は本来留学生の負担であるが、場合によりフランス政府が支給する。帰国旅費はすべてフランス政府が支給する。

## III 滞 在 条 件

最近パリに留学生や研修生が集中するために、学生生活の上で色々困難な問題が起きている。従って、勉学のために特別な事情のある者を除き、すべての留学生は留学志望地として、パリ以外の大学区を選ぶことが必要である。パリを第一志望地とする出願者は、第二志望地に必ずパリ以外の大学区を明記しなければならない。パリを第一志望地として申請しても受け入れられることは非常に稀であり、最終的に合格者の留学地を決定する権利は、フランス政府に存する。パリに於ける留学生の居住地は、原則として国際学生都市で、日本館は空室があれば、35才未満の給費留学生を受け入れる。女子学生も同様35才まで国際学生都市への入居を認められる。

地方での事情はパリよりもよく、生活費も安い。家具付のアパートはパリよりも多く、又、一般家庭に間借りすることも比較的容易である。

## IV 学 費

留学中の授業料はフランス政府によって支給され

る。但し図書購入費は支給されない。

## V 在仏中の居住地

フランス政府によって、奨学金支給が決定されるときに定められる留学地は、原則として変更することは認められない。

## VI 外国人留学生の受入れ機関

留学生は、フランス到着と同時に、各大学区の外国人受入れ委員会の責任の下に置かれる。それら受入れ委員会の所在地は、駐日フランス大使館文化部留学生係に問い合わせること。

## VII 語 学 研 修

留学生は、フランス語の学力が不十分であるとみなされた場合は、フランスにおいて、6週間ないし3ヶ月の語学研修を受ける事になる。この語学研修は1970年7月1日から10月31日の間に行なわれる。3ヶ月の語学研修を受けるよう招致された者は、7月23日から26日の間にパリに着くよう準備せねばならない。但し、フランスへ出発するまでに、CREDIF方式“Voix et Image de FRANCE”のほぼ第二段階程度の語学力をもつ者のみが、この研修に参加する事が出来る。

(CREDIF方式については、東京日仏学院又は関西日仏学館に問合せること。)

語学研修期間中は月額500フランが支給される。

### 1970年度フランス政府給費留学生試験要項

1969年9月初旬 9月22日(月)~ 10月20日(月)	試験予告 願書受付(文部省) 戸籍抄本、卒業証明書類、願書仏文コピー提出(フランス大使館文化部)	11月19日(水)	提示 予備審査 京都 第一、第二、第三部門：面接試験 第四部門：面接試験、実技、作品
11月4日(火)	審査委員会(日仏会館)		提示 予備審査委員会 京都 第三部門のみ
11月17日(月)	予備審査 東京 第一、第二、第三部門：面接試験 第四部門：面接試験、実技、作品	11月26日(水)	予備審査委員会 東京
		11月27日(木)	予備審査委員会 京都(第三部門を除く)
11月18日(火)	予備審査 東京、京都 第一、第二部門：筆記試験 予備審査 東京(前日の続きがある場合) 第三部門：面接試験 第四部門：面接試験、実技、作品	12月8日(月) 9日(火) 12月10日(水) 12月11日(木)	最終審査 東京 最終審査委員会(日仏会館) 合格者発表 合格者招集 身体検査



## 賛 助 会 員

井 出 利 明	釧路市白金町 11
伊 藤 精 機 株 式 会 社	東京都千代田区神田神保町 1-65 共益ビル
株式会社内田老鶴園新社 内田至	東京都千代田区九段 1-2-1
梅 林 弘 直	東京都千代田区大手町 2-4 新大手町ビル7階 極東貿易株式会社
小樽船用電機株式会社	小樽市色内町 1-20
海上電機株式会社	東京都千代田区神田錦町 1-19
皖東電子株式会社	東京都港区芝新橋 1-30 新幸ビル
協同低温工業株式会社	東京都千代田区神田佐久間町 1-21 山伝ビル
協和商工株式会社	東京都豊島区目白4丁目 24-1
小松川化工機株式会社	東京都江戸川区西小松川 1-2645
株式会社光電製作所	東京都品川区上大崎 2-10-45
小山康三	東京都文京区本駒込 5-13 英和印刷社
株式会社産研	沼津市千本郷林 1907
三信船舶電具株式会社	東京都千代田区神田 1-16-8
三洋水路測量株式会社	東京都港区新橋 5-23-7 三栄ビル
シュナイダー財団極東駐在事務所	東京都港区芝琴平町 38 日本ガス協会ビル
大和電装株式会社	高松市福岡町 467
昭洋電機株式会社	東京都千代田区神田錦町 3-16
株式会社泰和電器	東京都港区芝茸手町 7
株式会社鶴見精機工作所	横浜市鶴見区鶴見町 1506
帝国酸素株式会社	神戸市兵庫区高松町 22 1
東京海上火災保険	東京都千代田区丸ノ内 3-12
株式会社東京営業第2部	
東京工材株式会社	東京都中央区築地 4-2 築三ビル
東京レブ株式会社	東京都豊島区池袋 2-1120 ローズマンション 302 号
株式会社東邦電探	東京都杉並区上高井戸 5-327
株式会社ナック	東京都中央区銀座 1-5-6
日本アクアラング株式会社	東京都豊島区北大塚 1-16-6 大塚ビル
日本海事広報協会海の世界編集部	東京都港区琴平町 35 船舶振興ビル
有限会社日本ダイビングスポーツ	神戸市兵庫区神田町 3
日本テトラポッド株式会社	東京都港区新橋 2-1-13 新橋富士ビル9階
日本無線株式会社	東京都港区芝桜川町 25 第五森ビル
船舶用電球株式会社	東京都目黒区下目黒 1-6-21
有限会社ハラダ電機製作所	東京都豊島区池袋 8-3292
ヒューン電工株式会社	堺市松屋町 1 3
福 永 時 男	広島市観音町 9 1 福永書店
藤 田 潔	東京都中央区銀座西 7-6 株式会社ビデオプロモーション
藤 田 峯 雄	東京都江東区南砂 1-3-25 株式会社 中村鉄工所
フランス物産株式会社	東京都千代田区神田錦町 1-6 教文館内
占野電気株式会社	東京都中央区八重洲 4-5 藤和ビル
三菱重工業株式会社	東京都千代田区丸の内 2-10
株式会社吉田製作所	東京都台東区上野 3-13-9
吉野計器製作所	東京都北区西ヶ原 1-14
株式会社離合社	東京都千代田区神田鍛冶町 1-2 丸石ビル
株式会社渡部計器製作所	東京都文京区向丘 1-7-17

(50 音順)



# Murayama

計 濁 度 中 水  
計 照 度 中 水  
計 導 度 電

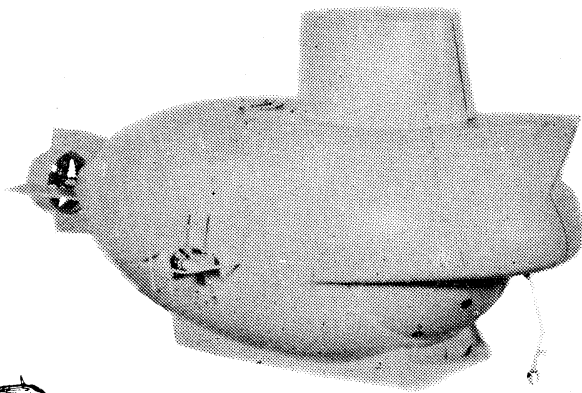


株式 村山電機製作所

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



海底資源の開発に活躍が期待される川崎重工の潜水調査船



## 川崎重工

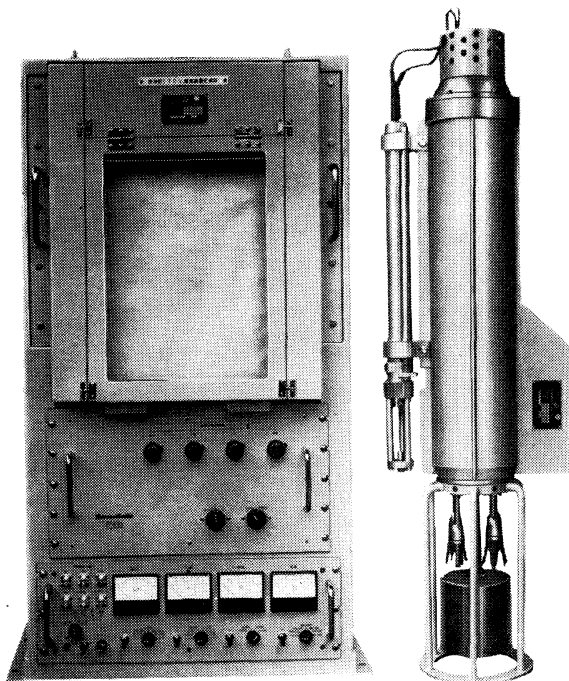
本 社 神戸市生田区中町通 2-16-1  
日生川崎ビル 3~7階  
東京支店 東京都港区新橋 1-1-1

# Exploring the Ocean

下記以外の標準製品が多種多様に用意されて居ります更に特殊目的のための設計製作に  
 当社のシステムエンジニアがお待ちして居ります ●海洋観測用捲上機 ●流向流速計  
 ●採水器 ●底質採集器 ●海洋生物採集器 ●波浪 水位計 ●塩分 水温 深度 透明度  
 張力 速度等の計測機器 ●水中制御装置 ●EXPENDABLE BATHYTHERMOGRAPH  
 ●BATHYTHERMOGRAPH

## T.S.-音速計付 S.T.D.V (塩分, 温度, 深度, 音速)

- 塩分. 測定範囲 275~40 ‰  
 感度 0.01 ‰S  
 精度 ±0.03 ‰S  
 記録最少目盛 0.01 ‰S  
 直線読取
- 水温. 測定範囲 28~100.5 F  
 感度 0.05°F  
 精度 ±0.1°F  
 記録最少目盛 0.05°F  
 直線読取
- 深度 0~1000 m  
 感度 3 m  
 精度 ±5 m  
 記録最少目盛 4 m  
 直線読取
- 音速 4600~5200 F/S  
 感度 0.2 F/S  
 記録最少目盛 0.5 F/S  
 直線読取



## 海底ケーブル掘削埋没機 (油圧機構部)

### T.S.K. 株式会社 鶴見精機工作所

横浜市 鶴見区 鶴見町 1 5 0 6  
 〒230 TEL 横浜 (045) 521-5252 (大代表)

海洋部門日本総代理店

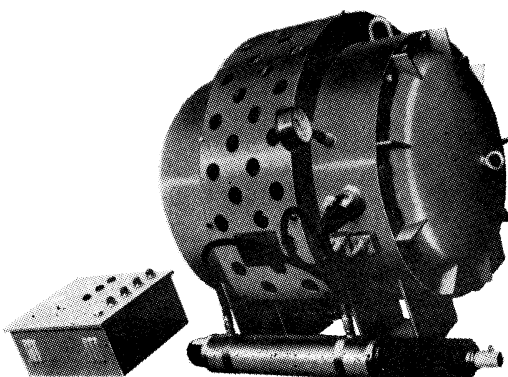
**PLESSEY**  
**Electronics**



海洋気象計測器

VECTOR CABLE COMPANY

水中コンネクター  
 ケーブル



# by T.S.K Products

## X.B.T. SYSTEM

(日本特許権専有)

### T.S-MT 流速計

### MODEL NO 3.

○マグテープ記録方式流速計

○流速測定範囲

0.05~8 ノット

○流向測定範囲

0°~360°

○傾斜測定範囲

0°~36°

○記録期間

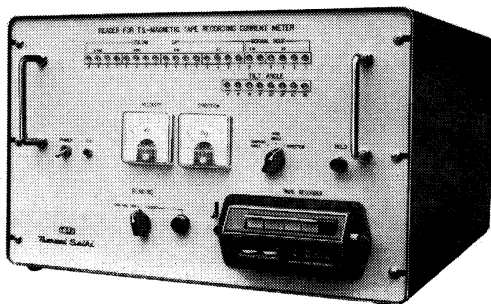
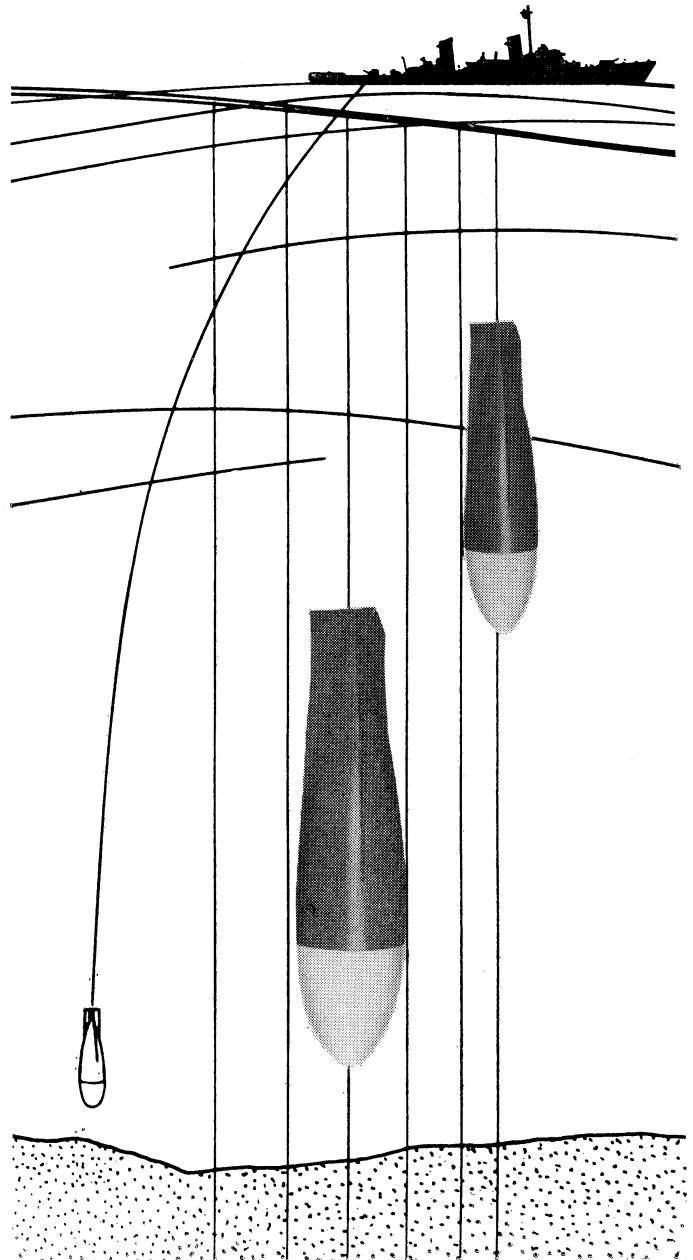
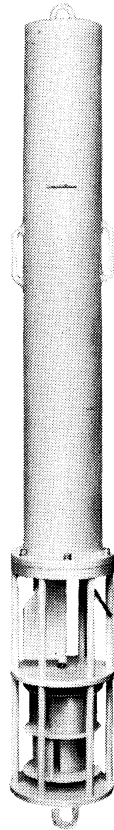
3日 30日

3ヶ月 6ヶ月

1ケ年

○オプションナル塩分水温

○連装可能



チェッカー

簡単で信頼の置ける測器  
シビカン XBT システムは海洋に於て迅速且精度  
の高い記録を保証します。  
艦船、観測船、航空機、商船に於て使用されてお  
ります。

## 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のの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

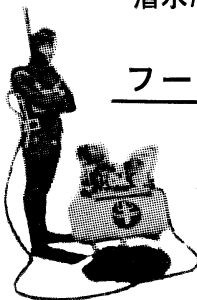
東京都中央区築地 4-7-1 TEL (542) 3361 (代)

# アクアラング

## aqua-lung



◎ カタログ 進呈 ◎  
潜水服採寸表



### フーカ-潜水具

- 最新式アクアラング器具一式
- フーカ-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

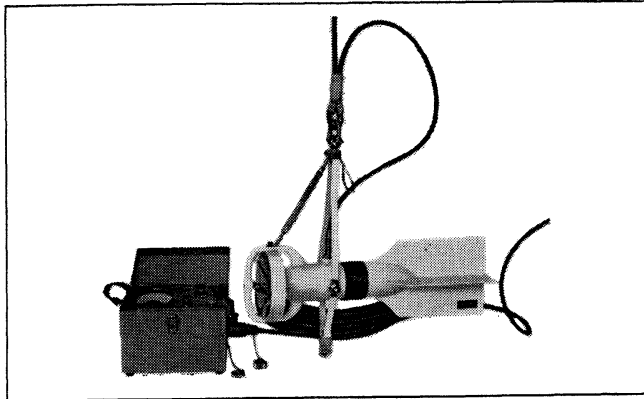
仏国・スピロテック社 日本総代理店  
米国・U.S.ダイバーズ社

### 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

東京営業所 東京都豊島区巣鴨6の1344  
(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  
(帝國酸素株式会社内)  
神戸営業所 電話 神戸 (67) 5501 (大代表)



Direct-Reading Current &  
Direction Meter

Model

# CM-2

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

Products

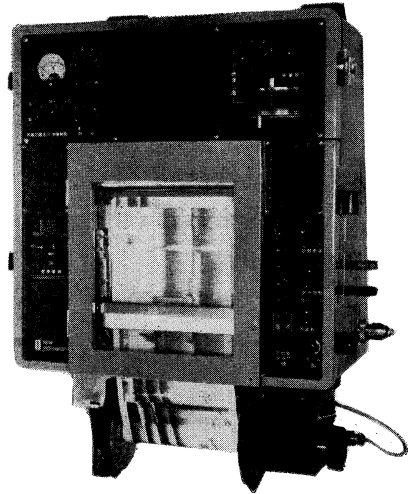
- KM-2 : Direct Reading Knot-Meter for Trawl-Boats to Control Adequate Speed
- ET-5 : Electric Meter of Water Temperature
- ECT-5 : Electric Conduction and Temperature Meter for Chlorine

## TOHO DENTAN CO., LTD.

Office: 5-15-16, Kugayama, Suginami-Ku, Tokyo. Tel. Tokyo (334) 3451 ~ 3



自動追尾方式ロラン受信機  
(日、英、仏、加 特許)



ニュービデオグラフ  
トランジスター式、二周波魚群探知機

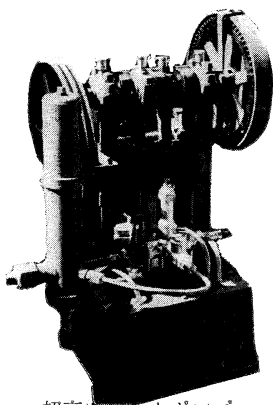


# 古野電気株式会社

西宮市芦原町 85 電(3) 1051

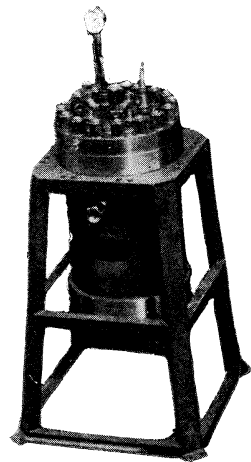
東部支社：東京都品川区五反田 1~423 Tel.(447)2311代表  
西部支社：長崎市大黒町 2~1 Tel.(2) 3261代表

## ヨシダの海洋試験機



超高压テストポンプ

水圧試験装置  
高圧水圧ポンプ  
流水実験装置  
恒温水槽  
回流水槽  
衝撃試験機  
抗張力試験機  
摩擦試験機



高圧テスト容器

☆その他各種試験機装置設計製作

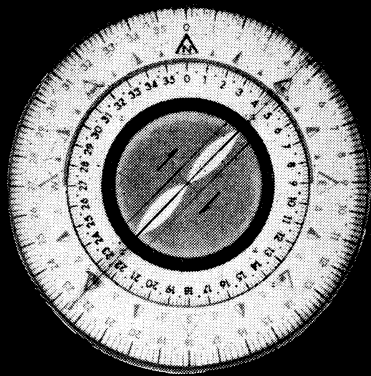


株式  
会社

# 吉田製作所

東京都台東区上野 3丁目13番9号 電話 (832) 4351~5





Bearing Indication of Radio Direction Finder

# ENSURE

## Safety

with

### Koden Radio Navigation Instruments

- Radio Direction Finder
- Loran Receiver
- Echo Sounder
- Fish Finder
- Facsimile Receiver
- Morse Teletype Converter
- Morse Code Selector

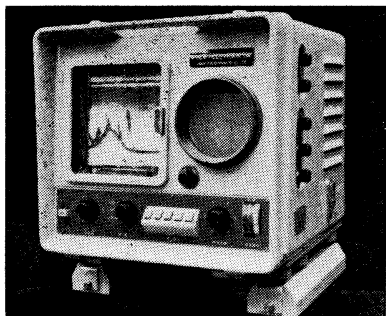


## *Koden Electronics Co., Ltd.*

10-45, Kamiosaki 2-chome, Shinagawa-ku, Tokyo, Japan

Tel: Tokyo 441-1131

Cable Address: "KOELEC TOKYO"



2周波デラックス

## サンケンの魚群探知機

- 底曳き用
- カツオ・マグロ用
- 鮭・鱒・サンマ用



## 株式会社 産 研

本社・工場	沼津市千本郷林1907	TEL(沼津)(代表) (3) 4411
研究所	産業科学研究所(全所)	
東京営業所	東京都千代田区神田鍛冶町2の2(今川橋ビル内)	TEL(東京)(代表) (256) 1871
札幌営業所	札幌市北四条西7丁目(北郷連ビル内)	TEL(札幌) (24) 3236~8
下関出張所	下関市新地町149の3	TEL(下関) (22) 0275
長崎出張所	長崎市旭町3丁目3	TEL(長崎) (2) 4631
函館連絡所	函館市鶴岡町3番地の7	TEL(函館) (3) 4730
釧路連絡所	釧路市末広町2丁目8(橋北ビル内)	TEL(釧路) (2) 6142
稚内連絡所	稚内市港町4丁目59	TEL(稚内) 3674
福岡連絡所	福岡市大手門町3丁目8-14	TEL(福岡) (75) 6960

# TEIKOKU SANSO K.K.

(Filiale de L'AIR LIQUIDE, Paris)

Ses 23 Usines, 23 Agences et Bureaux de vente, 22 filiales,  
100 distributeurs produisent et distribuent :

**Gaz Industriels :** Oxygène, Azote, Acétylène dissous, Argon,  
Néon, Hélium, Xénon, Krypton, Propane, Butane.

**Matériels et produits pour la soudure**

**Installations de séparation et de purification de gaz à basse  
température**

Son Département Développement représente au Japon les procédés  
de nombreuses sociétés. entre autres,

## L'AIR LIQUIDE

Société Chimique de la GRANDE PAROISSE

Société d'Electro-chimie, d'Electro-métallurgie et des Aciéries  
électriques d'UGINE

Compagnie de Filage des Métaux et des Joints Curty (CEFILAC)

Compagnie PECHINEY-SAINT-GOBAIN

Compagnie de Produits Chimiques et Electro-métallurgiques PECHINEY

Société KLEBER-COLOMBES

Le Méthane Liquide

Société des Très Basses Températures

Société PRAT-DANIEL

Institut Français du Pétrole

Compagnie Générale de Télégraphie Sans Fil

Compagnie des Compteurs

Société POCLAIN

Société HISPANO-SUIZA

Société NADELLA

Société GURY

Société HYDRO-MECA

Société de Forgeage de Rive de Gier

ete. etc. . . .

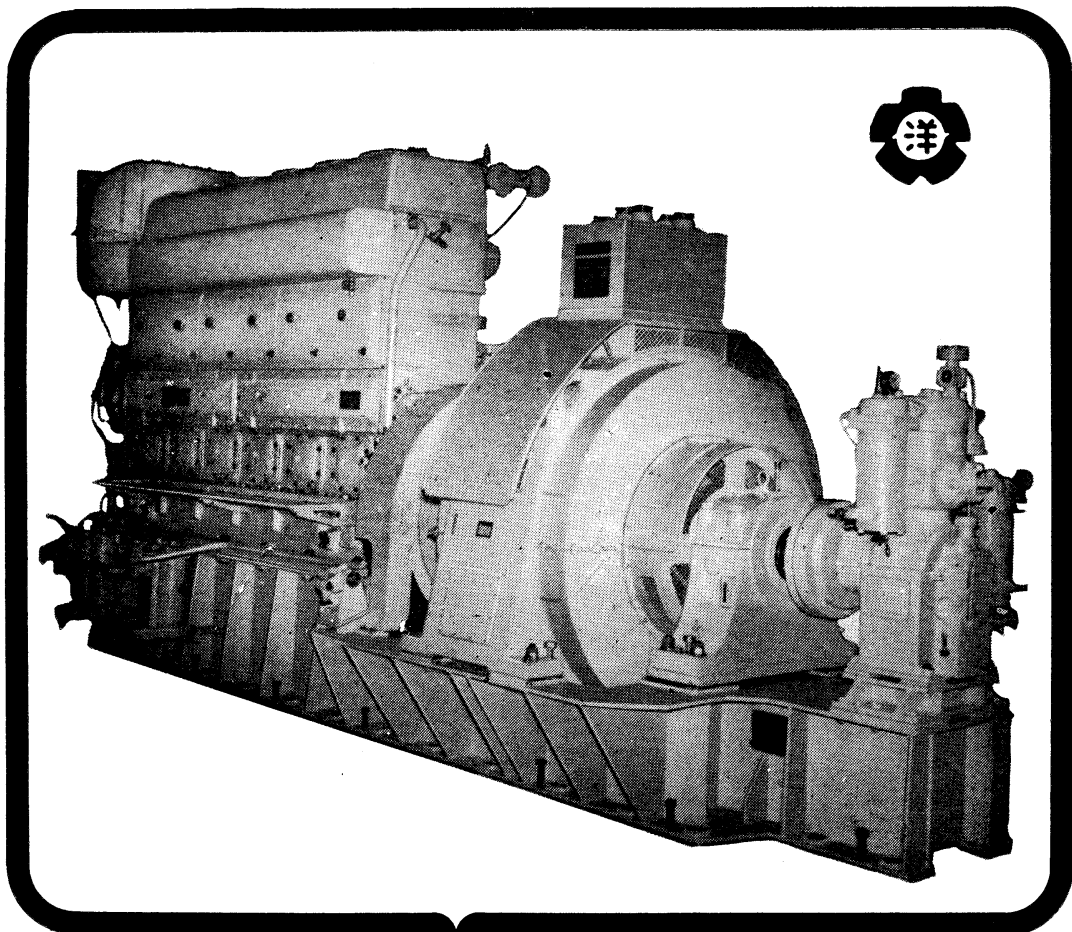
---

22/1 Takamatsu-cho, Hyogo-ku, Kobe, Japan

P. O. BOX No. 522, KOBE PORT JAPAN

(Siège Légal : Nihon Gas Kyokai Bldg. 38, Kotohira-cho. Shiba,  
Minato-ku, Tokyo, Japan)

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 4111~5  
 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



潜水器具総合メーカー

# 日本ダイビングスポーツ

本社 神戸市兵庫区神田町3番地

TEL 神戸 078 (34) 7959  
9451

## 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織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

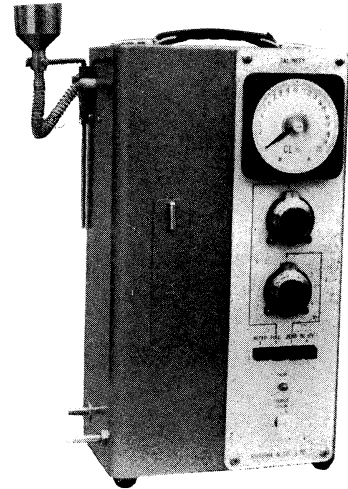
## 三洋水路測量株式会社

東京都港区新橋5丁目23番7号

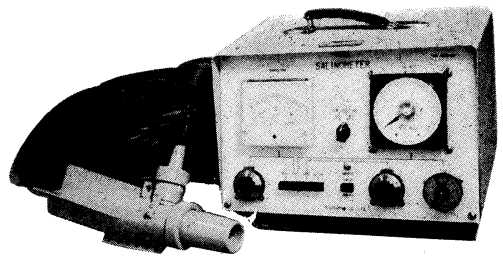
電話 (432) 2971~4

交直両用・オールトランジスタ  
**0~20‰ Cl直読リゴサリノメーター(塩分計)**

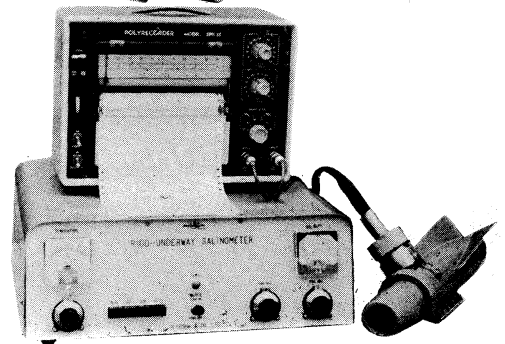
実験室 (AC100V) : 携帯用 (DC12V) 兼用  
 塩素量 0~20‰ Cl 直読  
 温度補償回路付  
 2704A RIGO-SALINOMETER



曳航式 ケーブル 50 m  
 塩素量 0~20‰ Cl 水温 -5~35°C  
 現場用 (DC12V).  
 2704B UNDERWAY-SALINOMETER



曳航式 ケーブル 50 m  
 記録計 (2 ペン) 装備  
 塩素量 0~20‰ Cl : 水温 -5~35°C  
 2704C UNDERWAY-SALINOMETER



RIGOSHA & CO., LTD.



2 KAJICHO ICHOME KANDA  
 CHIYODAKU TOKYO JAPAN

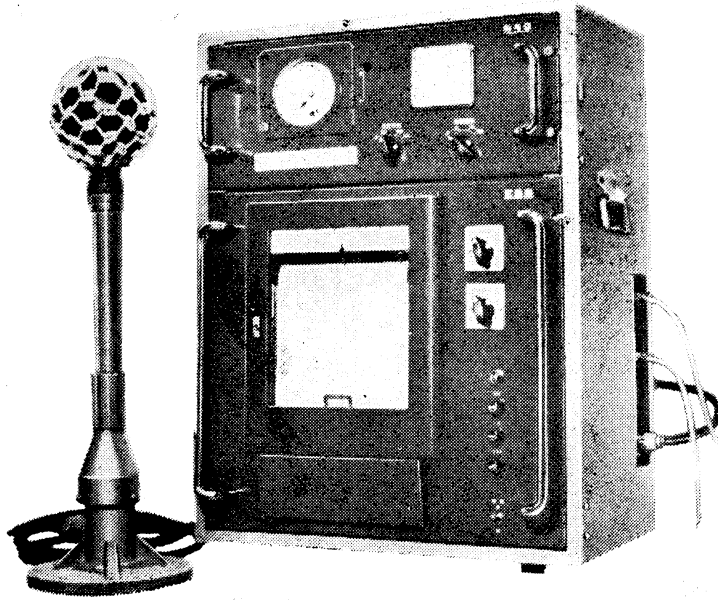
本 社  
 東京都千代田区神田鍛冶町 1-2  
 電話 東京 (03) 252-1511(代)  
 郵便番号 101

株式会社

**離 合 社**

大阪営業所  
 大阪市北区北同心町 1 丁目 15  
 電話 大阪 (06) 351-7346・8019  
 郵便番号 530

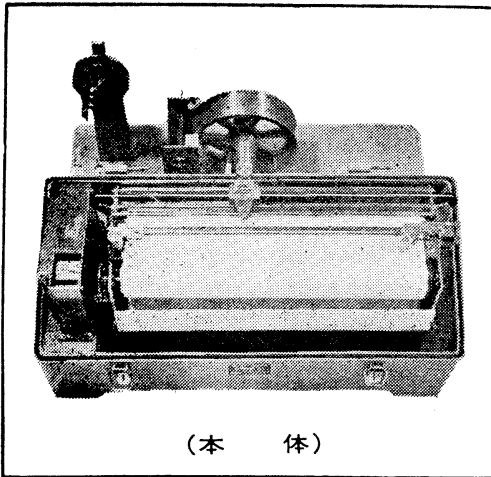
# ストレングージ型波向計 (SGWD)



(受感部)

(記録器)

# フース型長期捲自記検潮器 (LFT-III)



(本体)

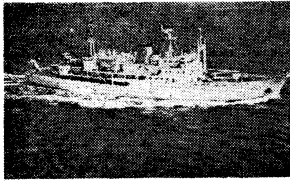
## 営業品目

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

活躍する新鋭観測船



# 12,000メートルの深海をはかる

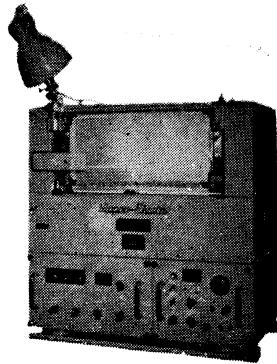
## 極深海精密音響測深機(P. D. R.)

PRECISION ECHO SOUNDER

FOR DEEP SEA RESEARCH

12,000 meters below the sea surface can be sounded with a good accuracy.

海洋観測船等に装備して12,000mまでの深海を精密に、かつ連続測深・記録する装置です。測深のほか各種の観測データの記録器としても使用できる設計です。特にソナー・ピンガー用の記録器としての使用に便利な構造を有し、連続測深ができます。



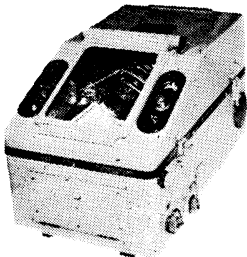
This equipment is for sounding sea bottom as deep as 12,000 meters from a marine research ship with very high accuracy. It has various ranges of scale; however, the scale range is automatically shifted from one to another with the sudden change of depth. The recorder is so designed that it can co-work with other equipments for recording various kinds of data, especially with sonar pinger.

### 特長 Feature

- ① 特殊送信方式・拡大測深レンジのため記録上の読みとりで真の深さを測定できる。
- ② 内蔵の水晶時計による制御で記録精度は抜群。
- ③ 0~1,000、0~6,000、0~12,000mのフルレンジで深度変化がひと目でわかる。
- ④ 副記録器は何台でも同期運転ができる。
- ⑤ 読みとりの容易な486mmの乾式記録紙を採用。
- ⑥ 送受信記録器はコンソール・タイプにも、また別々に設置することもできる。

- 1) The special transmitting system and the magnification of range scale enable the operator to take direct reading from the record.
- 2) The self contained crystal watch improves the accuracy of recording.
- 3) The recording device has three ranges, 0 to 1,000 meters, 0 to 6,000 meters, and 0 to 12,000 meters. Their full range scales make reading of the change of depth easy.
- 4) Multiple number of recorders can be operated in parallel.
- 5) 486 mm width dry type recording paper is adopted, which makes reading easy.
- 6) The transmitter and the receiver can be installed in consol or in separated areas as desired.

### 極浅海精密音響測深機



浅海・湖沼・河川・ダム等の精密測深に！

PRECISION ECHO SOUNDER  
FOR SHALLOW

for surveying shallow sea, harbors, lakes, dames, rivers.

実績が築いた



信頼のマーク

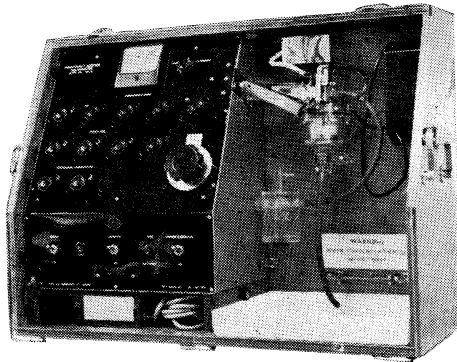
## 海上電機株式会社

東京都千代田区神田錦町1丁目19番地  
電話 03 (291) 2 6 1 1 (代表)

MARINE INSTRUMENTS CO., LTD.

1-19 KANDA NISHIKI-CHO, CHIYODA-KU, TOKYO.  
CABLE ADDRESS "MARINEINSTRU" TOKYO

# AUTO-LAB INDUCTIVE SALINOMETER



オーストラリア C.S.I.R.O. の BROWN 及び HAMON 両氏によって開発された、ポータブルで恒温槽不用の劃期的精密塩分計。

仕 様

測定範囲 : 標準品は 27.8~42‰ S  
(御注文により 0~42‰ S 可能)

感 度 : 0.0004‰ S

確 度 : ±0.003‰ S

所要水量 : 55 cc

消費電力 : 最大 25 W

寸 法 : 30×68×50 cm

重 量 : 32 kg

## 製 造 品 目

転倒温度計各種  
標準温度計各種  
水温計各種  
気象用・理化学用温度計

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) 5954, 0044 (812) 2360

# REVERSING THERMOMETER



*Protected*



*Unprotected*

Patented parallax-free back scale, opal glass  
back sheath enable precise measurements.

Write for details



**Yoshino Keiki Co.**

1-14, NISHIGAHARA KITA-KU

TOKYO JAPAN

Standard Thermometer  
Precise Thermometer  
Mercury Barometer  
Hydrometer



---

昭和44年5月15日印刷  
昭和44年5月31日発行

う み 第7巻  
第2号

定価 400

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  
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5-13  
郵便番号:113

---

# 第 7 卷 第 2 号

## 目 次

### 原 著

第二次の内部波 (仏文) .....	高野 健三	119
魚類の顔面骨の研究—I. 100 魚種の 尾舌骨 (Urohyal) の形状について .....	草下 孝也	126
クサフグ仔魚の皮ふにみられる塩類細胞 “Chloride Cell” について .....	岩井 保	144
深さの急激な変化によって生ずる内部波 (英文) .....	高野健三・飯田記子	150
三大洋の酸素極小層について (英文) .....	杉浦 吉雄	161

### 寄 稿

P-AOU 図はなぜ直線となるか? (英文) .....	杉浦 吉雄	168
------------------------------	-------	-----

### 資 料

ヌメアの海洋研究所を訪れて .....	吉村 広三	171
---------------------	-------	-----

### 日仏海洋学会賞受賞記念講演

漁業における火光の集魚効果とその操法の研究 .....	今村 豊	172
-----------------------------	------	-----

録 事 .....		174
-----------	--	-----

## Tome 7 N° 2

### SOMMAIRE

#### Notes originales

Houle interne de second ordre .....	Kenzo TAKANO	119
Research on Facial Membrane Bones of Fish—I. Regarding Feature of Urohyal on 100 Species .....	Takaya KUSAKA	126
On the “Chloride Cell” in the Skin of Larval Puffer, <i>Fugu niphobles</i> (JORDAN and SNYDER) .....	Tamotsu IWAI	144
Generation of Internal Waves by an Abrupt Change of Depth .....	Kenzo TAKANO and Noriko IIDA	150
On the Oxygen-minimum Layer in the Oceans .....	Yoshio SUGIURA	161

#### Miscellanées

Why does the Phosphate to AOU Plot give a Straight Line? ..	Yoshio SUGIURA	168
---	----------------	-----

#### Documentation

Visite de l'Institut Océanographique à Nouméa .....	Hirozo YOSHIMURA	171
---	------------------	-----

#### Conférence commémorative

Etude de l'effet du feu sur la pêche et de son opération ..	Yutaka IMAMURA	172
---	----------------	-----

Procès-Verbaux .....		174
----------------------	--	-----