

う み

La mer

昭和 54 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 富永政英 (鹿児島大学)
委員 星野通平 (東海大学) 井上 実 (東京水産大学) 森田良美 (東京水産大学) 永田 正 (東京水産大学) 西村 実 (東海大学) 杉浦吉雄 (鹿児島大学) 高木和徳 (東京水産大学) 高野健三 (理化学研究所) 宇野 寛 (東京水産大学) 山路 勇 (東京水産大学) 今村 豊 (東京水産大学) 神田献二 (東京水産大学) 半沢正男 (雌鶴海洋気象台) 増田辰良 (東京水産大学) 柳川三郎 (東京水産大学)

投 稿 規 定

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

Rédacteur en chef Masahide TOMINAGA (Kagoshima University)
Comité de rédaction Michihei HOSHINO (Tokai University) Makoto INOUE (Tokyo University of Fisheries) Yoshimi MORITA (Tokyo University of Fisheries) Tadashi NAGATA (Tokyo University of Fisheries) Minoru NISHIMURA (Tokai University) Yoshio SUGIURA (Kagoshima University) Kazunori TAKAGI (Tokyo University of Fisheries) Kenzo TAKANO (Institute of Physical and Chemical Research) Yutaka UNO (Tokyo University of Fisheries) Isamu YAMAZI (Tokyo University of Fisheries) Yutaka IMAMURA (Tokyo University of Fisheries) Kenji KANDA (Tokyo University of Fisheries) Masao HANZAWA (Maizuru Marine Observatory) Tatsuyoshi MASUDA (Tokyo University of Fisheries) Saburo YANAGAWA (Tokyo University of Fisheries)

RECOMMANDATIONS A L'USAGE DES AUTEURS

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

Moiré の方法による Capillary Wave の測定*

高山 晴光**, 阿部 友三郎**

Measurement of Capillary Wave by the Moiré Method*

Harumitsu TAKAYAMA** and Tomosaburo ABE**

Abstract: Ripple-damping effect can be considered as one of the causes of slicks. This effect is due to surface films of surfactants. The damping of waves by surfactants has been known since old times. Especially, the damping of a capillary wave is significant. For the purpose of studying the damping effect of the capillary wave, at the first step, the authors examined the properties of regular waves produced by the wave generator in the small scale wave channel. As the wave length of the capillary wave is short and its wave height small, the wave was measured by the moiré method. The method is available to measure the instantaneous horizontal-distribution of the small scale wave height. In our experiments the frequency range of the generated regular waves is 15~100 Hz and that of the wave height is 0.01~0.2 mm. It is found that the calculated damping coefficients for a clean water surface coincide with the theoretical values as shown by LAMB (1932).

1. はじめに

穏やかな天気の日、海面上などに帯状や斑紋状の模様が見られることがある。これらは、まわりのさざ波立った部分と比較して、なめらかな部分があるため見られる現象で、このなめらかな部分を Slick と呼んでいる。Slick の大きさ、形状は種々であるが、海においては、多くは帯状を呈し、時には長さ数 km に及ぶものも現われることがある。Ewing (1950)¹⁾ らによると、Slick は海産性の表面活性物質による静波作用によって生じると考えられている。また、海中の渦動による静波作用によっても生じるとする説もある。

これらの静波作用を調べるため、特に周期の短い波について室内実験を行った。本実験では規則波を起し、この波の減衰を調べたのであるが、波高が非常に小さく、周期が短いため従来の容量式波高計などでは、波高測定が極めて困難である。

そこで、モアレの原理を利用した方法²⁾により波高測定を行った。

2. 実験装置

本実験に使用した水槽は透明のエンビ製で縦 115 cm、横 16 cm であり、水深は最大 4.5 cm まで調節することが可能である。片方の端の壁面の高さが他より小さくなっており、そこから汚染された表層水を流出することにより清浄水面を作ることが出来る。Fig. 1 はこの実験装置の概略図である。水槽の両端には、反射波を防ぐためにガーゼを用いた消波装置を取り付けた。造波装置は、スピーカーの中央コーンに支持棒の一端を接着剤で付け、その他端に支持棒に直角に、すなわち水

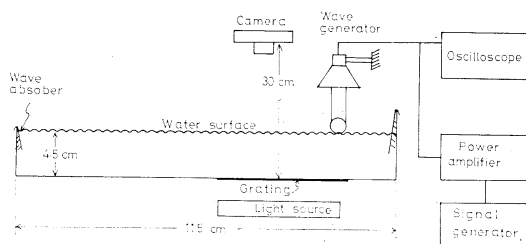


Fig. 1. Schematic diagram of the apparatus.

* 1979年1月12日受理

Received January 12, 1979

** 東京理科大学理学部, 東京都新宿区神楽坂
Department of Physics, Science University of
Tokyo, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162
Japan

面と平行になるようにベーク製の振動棒を付けた。これが丁度水面に触れるようにセットする。このスピーカーには、発振器より増幅器を通して所定の正弦波形を成した入力信号が送られ、この信号はオシロスコープにより、その波形が歪んでいるか否かなどを監視する。水槽の底面には予め 0.4 mm 間隔の格子 (商品名; スクリーン・トーン) を貼り付けておく。そのすぐ下方に光源として 20 W の蛍光灯をおき、カメラはこれより上方約 30 cm の位置にセットしてある。

モアレによる波高測定との比較のため、従来使用されている抵抗線式波高計を使用した。センサーの部分は、直径 0.2 mm の白金線を使用した。また、増幅器として、市販の動歪増幅器を使用した。

3. 実験方法

造波装置により水面上に規則波を起し、この波を測定した。造波装置の周波数、振幅の安定性は共に良好であったが、振動棒の振幅の最大は 0.4 mm 程度までであり、それ以上はスピーカーへの信号波形が歪んでしまう。本実験では、清浄水面のとき振動棒の振幅を 0.2 mm 以内で行った。これは、それ以上の振幅にすると、造波装置により起こされる波が歪んでしまうためである。この原因は明白ではないが、波高が大きくなると水槽側面の反射などで横方向の波が生じているようである。しかし、表面活性剤を加えた場合は、さらに振幅を大きくするまで波は歪まない。これは、たとえ水に大きな振幅の振動を与えても、水面波の減衰が大きく、側壁面からの反射波の影響が少ないためと思われる。

波の測定は、モアレを利用した方法で行った。モアレという言葉の語源は、フランス語で木目とか波模様という意味である。一般には、モアレは 2 種類以上の紋様を重ねるときに生じる縞模様という。モアレの現象は日常折々観察できる。たとえば、レースのカーテンが重なったときにも見られる。モアレ計測法として一般に知られている方法は、起伏のある測定面に格子像を形成させる。さらに、別の角度から格子を投影すると、その重

なりによって物体形状を示す等高線モアレが形成される。その縞模様を利用して、高さを測定する方法である。ところが、これを水面の起伏測定に応用する場合、光はその水の表面で乱反射をすることがないので、その水面上に明瞭な格子像が得られないため、この方法は、そのままでは使えない。そこで波が起きているとき、表面で起こる屈折を利用して測定を行った。本来のモアレのようにして縞模様を作るのではなく、水槽の底面に格子を貼り、これを波が存在する場合と、そうでない場合の 2 種類の状態をそれぞれ写真に撮り、得られた両方のネガフィルムを重ね合わせて、引伸し焼付し、モアレ写真を作成し、これを解析した。

4. モアレによる解析

平行な等間隔の格子を 2 枚重ねると、Fig. 2 下図に示されるような平行で等間隔のモアレができる。二つの格子の間隔を各々 P_1, P_2 とし、交差角を θ とするとき、次式 (1) が成り立つ。

$$P_1 \cos \theta = P_2 \quad (1)$$

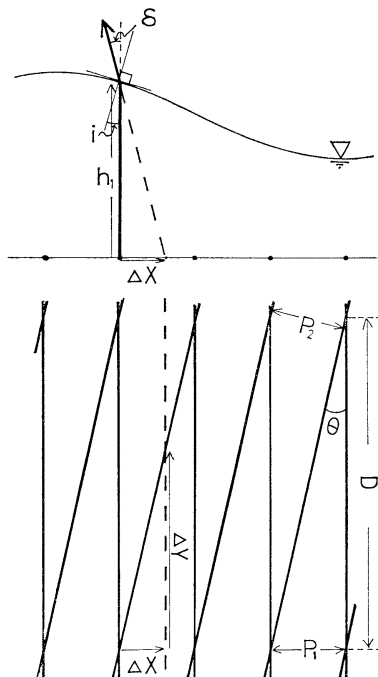


Fig. 2. Principle of the moiré method by means of observation of light deflection by water surface.

また、このとき形成されたモアレ縞の間隔を Fig. 2 下図に示すように D とすると、

$$\theta = \tan^{-1}(P_1/D) \quad (2)$$

となる。

水槽の底面にセットされている格子を真上からカメラで撮ると、波がない場合は平行で等間隔の格子として写る。次に、カメラの撮影高度を所定の高さだけ変え、さらに1枚撮り、この両方の場合のネガを(1)式の条件で重ね、引伸し焼付けると、上述のように間隔の大きい方の格子(カメラと格子の距離を近くして撮影した方)に垂直なモアレができる。Fig. 3 は、このような場合のモアレ写真である。一方、造波装置によって形成された平面波を通して、この格子を撮影すると、水面での屈折のため格子が実際の位置からずれ、間隔の広い部分と狭い部分が周期的に配列した格子として写る。これと波がないときに撮ったものを(1)式の条件で重ねて引伸し焼付けると、Fig. 4 に示されるような波模様が見られる。

Fig. 2 上図は波を横から見た図で、直角座標系

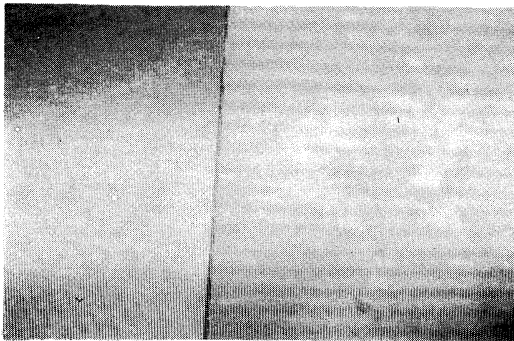


Fig. 3. Moiré in case of still water surface.

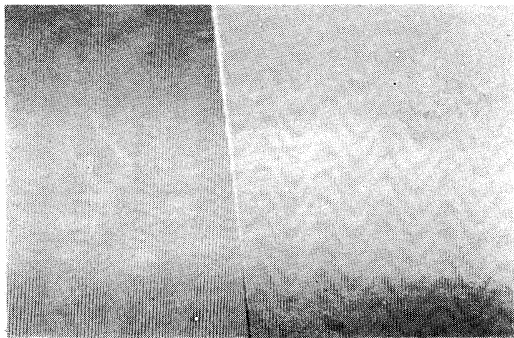


Fig. 4. Moiré in case of rippled surface.

を考え、 X 軸を波の進行方向に、 Z 軸を平均水面から鉛直上向きにとる。また、Fig. 2 下図のように XZ 平面に垂直に Y 軸をとる。Fig. 2 上図のように入射角を i とすると、屈折角は $i+\delta$ であり、空気に対する水の屈折率を n とすると、

$$n \sin i = \sin(i+\delta). \quad (3)$$

(3) 式より、

$$\tan i = \frac{\sin \delta}{n - \cos \delta}.$$

また、 $\tan i$ は水面の傾きを表わすので、

$$\tan i = \frac{d\eta}{dX} = \frac{\sin \delta}{n - \cos \delta}. \quad (4)$$

ここに、 η は水面の昇降量である。

一方、Fig. 2 に示すように水面での屈折によって生じる X 方向のずれを ΔX とすると、間隔 P_1 の格子と重ねたときの交点の Y 方向のずれ ΔY との間には、

$$\Delta Y = \Delta X \cdot \cot \theta \quad (5)$$

の関係がある。格子から水面までの距離を h_1 とすると、

$$\Delta X = h_1 \cdot \tan \delta \quad (6)$$

である。ここで、 h_1 は波の山と谷では異ってくるが、波高が格子から平均水面までの距離にくらべ十分に小さい場合には、 h_1 は格子から平均水面までの距離と考えてよい。本実験では、格子から平均水面までの距離 50 mm に対し、波高は高々 0.2 mm である。

(5) (6) 式より、

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta Y \cdot \tan \theta}{h_1} \right). \quad (7)$$

δ が非常に小さい場合は、 $\sin \delta \doteq \delta$ 、 $\cos \delta \doteq 1$ として、(4) 式は(今回の実験では δ は高々 2° 程度)

$$\frac{d\eta}{dX} = \frac{\delta}{n-1}, \quad (8)$$

(7) 式は、

$$\delta = \frac{\Delta Y \cdot \tan \theta}{h_1} \quad (9)$$

となる。さて、波を X 方向に進む正弦波とすれば、

$$\eta = a \sin 2\pi(f \cdot t - X/\lambda), \quad (10)$$

ここに、 a は振幅、 λ は波長、 f は周波数である。

(8) (9) (10) 式より、

$$\Delta Y = -(2\pi a h_1 (n-1) \cot \theta / \lambda) \times \cos 2\pi(f \cdot t - X/\lambda) \quad (11)$$

となる。すなわち、(11) 式がモアレを表わす式であり、式からわかるように、水面の波と位相が $\pi/2$ ずれた形として現われる。このモアレの振幅を Y_0 とすれば、

$$Y_0 = 2\pi a h_1 (n-1) \cot \theta / \lambda$$

となり、水面の波の波高 $2a$ は、

$$2a = \frac{Y_0 \tan \theta \cdot \lambda}{\pi h_1 (n-1)} \quad (12)$$

となる。

Y_0 はモアレ写真から直接測定できる。 λ はモアレ写真上で測定した波長を次に示される(13)式に代入し求める。これは、水面が格子よりカメラに近い場合、モアレ写真上で波長が水面の波長より長く、本実験では、この比が 0.85 であった。また、使用したカメラのシャッターが、ホーカル・プレーン・シャッターのため、位置により写る時間のずれが生じ、この補正が必要となる。写真上で波長を λ' とすると、実際の波長 λ は、

$$\lambda = \frac{0.85 \lambda'}{1 + 9.2 \times 10^{-5} \cdot \lambda' \cdot f} \quad (13)$$

となる。ここに、 f は周波数である。

θ は交差角を直接測定してもよいが、モアレの写真よりモアレ縞の間隔を測定し、(2) 式より求めた。 θ を変えることにより感度を自由に変えることができるが、 θ は(1) 式の条件に合った角でなければならないので、予め波のないときの格子の写真をカメラの撮影高度を種々変えて撮り、格子の間隔の違うネガを種々作っておき、その内から適切なものを選んで使用する。このようにして、得られた Y_0, λ, θ を(12) 式に代入し波高を求めることができる。また、本実験では $h_1 = 50$ mm, $n = 1.33$ (清浄水面のとき) である。

波高を求める(12) 式は δ が非常に小さいとした近似式であるが、近似を用いずに(7) 式より δ を計算し、(4) (10) 式より波高を計算した場合との比較のグラフが Fig. 5 である。実線が近似を使わない場合で、破線が近似を用いた場合である。波長 5 mm と 10 mm の場合について示してある。波高 0.2 mm で、この近似による誤差は、それぞれ 0.1% である。また、(12) 式は、Fig. 2 に示すように、光が鉛直に水面まで進む場合に成り立つ式であるが、カメラで撮影するときは、カメラの真下から離れるにつれて、ずれがでてくるため誤差を生じる。この鉛直からのずれた角度が 1° のとき、波長 10 cm, 波高 0.05 mm の波の誤差は 0.06%, 5° で 1% の誤差を生じ、波高 0.2 mm では、 1° で 0.1%, 5° で 3% の誤差を生じる。このため広い範囲の測定が必要となるときは、カメラの撮影高度を出来るだけ高くとる。カメラと格子の距離が約 30 cm のときは、格子間隔が 0.2 mm 以上のものであれば十分モアレを作ることができるが、約 50 cm まで離すと、本実験に使用したカメラでは 0.4 mm 以上の格子間隔がなければモアレを作ることができなかった。

Fig. 6 は周波数 25, 35, 45 Hz のそれぞれの場合について、波高を種々変えて同一地点での波高をモアレの方法により算定したものと、抵抗線式

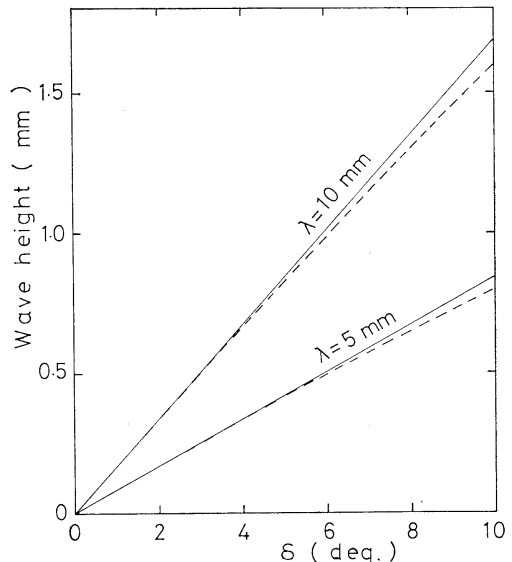


Fig. 5. Error by approximation.

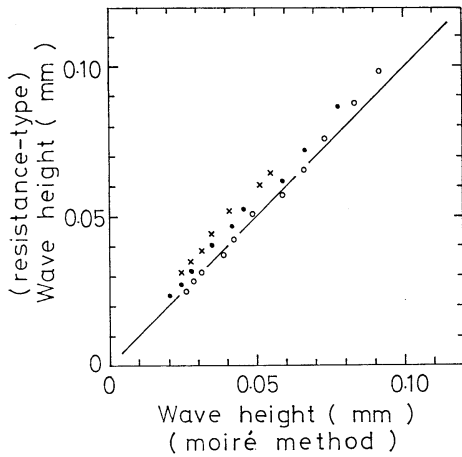


Fig. 6. Comparison between the moiré method and resistance-type wave gauge.

波高計で測定したものと の相関を示したものである。実線は参考までに、モアレの方法による波高測定値と抵抗線式波高計によるものが 1:1 である場合を示している。25 Hz では、かなり良好な一致がみられるが、35, 45 Hz と周波数が増すにつれて、抵抗線式波高計の方がかなり小さい値を示すようになる。これは、抵抗線式波高計はセンサーの白金線の部分を水に入れ測定するため、表面張力によりこの部分の水が盛り上がり、この線に付着した部分の形が水面の上昇時と下降時で変わる。周波数が高くなるにつれて、応答性が悪くなる。従って、この影響が顕著になり、波高を実際より小さめに測定してしまうことによるものと考えられる。

表面張力 γ は、波長 λ 、周波数 f より、次のケルビンの式を適用して求めた。

$$\gamma = (f^2 \cdot \lambda^2 - \lambda \cdot g / 2\pi) \rho \cdot \lambda / 2\pi$$

ここに、 g は重力加速度、 ρ は液体の密度である。清浄水面の場合、 $\gamma = 72 \text{ dyn/cm}$ (20°C) の値が得られた。また DAVIES and VOSE (1965)³⁾ によって表面活性剤を加えたときでも、この式がほぼ成り立つことが示されている。

5. 表面張力波の解析

Fig. 7 は 35 Hz におけるモアレ写真の例であ

る。撮影条件は、シャッタースピード 1/1000 秒、F16 でフィルムは SS を使用、現像はパンドールにより増感現像を行った。波源は向って左側にある。上段、中段は清浄水面のときのもので減衰が小さい。中段の方が上段より交差角 θ が小さい場合で、倍率が大きくなっている。このように波高が小さい場合には、 θ を小さくして倍率を上げると解析し易くなる。写真中央付近の波高は、上段の場合 0.037 mm、中段の場合 0.023 mm である。下段の写真は表面活性剤 (商品名; ドライウェル) を加えたときのもので、波の減衰が顕著であることがわかる。この場合には、波高がさらに小さいので、倍率をさらに上げてある。上段、中段は表面張力が同じ場合であるので波長も同じであるが、下段は表面活性剤を加えたため表面張力が低下し、波長が短くなっているのがわかる。このときの表面張力は 57 dyn/cm である。

Fig. 8 は 35 Hz の場合の清浄水面と、表面活性剤を加えたときの波の減衰の様子をモアレ写真より調べ、グラフにしたものである。測定された波高で最も波源に近い位置での波高 H_0 で、各位置での波高 H を無次元化してある。このときの減衰率は、清浄水面のときが 0.04 cm^{-1} 、表面活性剤を加えたときが 0.26 cm^{-1} である。ここで、減衰率 Δ は次式で定義されている。

$$H = H_0 e^{-\Delta x}$$

ここで、 H_0 はある点での波高で、 H はその点か

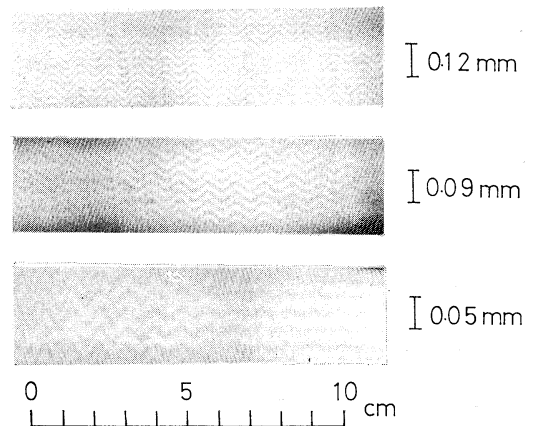


Fig. 7. Examples of moiré photograph at 35 Hz.

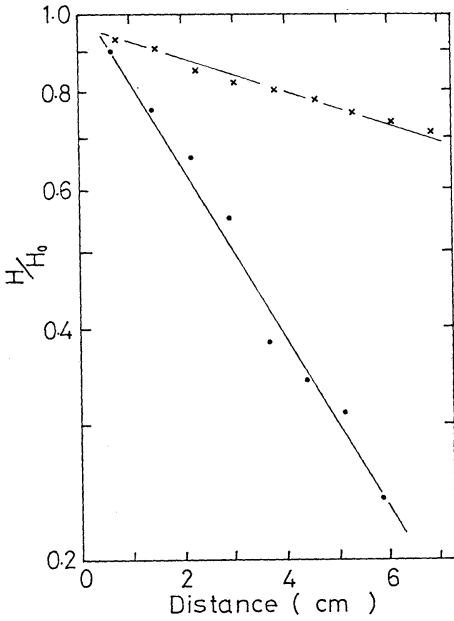


Fig. 8. Relation between the ratio (H/H_0) and the distance. The frequency of the wave is 35 Hz.

- ×: Observed results in case of clean surface water.
- : Observed results in case of water surface over which surface films of surfactants spread.

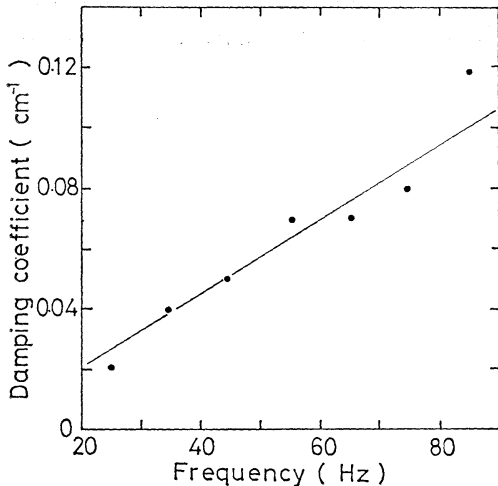


Fig. 9. Relation between the damping coefficient and the frequency.

- : Observed results in case of clean surface water.
- : Theoretical line based on the theory given by LAMB (1932).

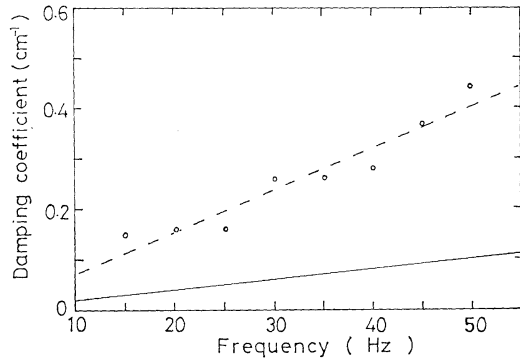


Fig. 10. Relation between the damping coefficient and the frequency.

- : Observed results in case of water surface over which surface films of surfactants spread.
- : Theoretical line in case of clean surface water.

ら x だけ離れた点での波高である。減衰率は、LAMB (1932)⁴⁾ の理論によれば、清浄水面においては、

$$\Delta = 8 \nu \pi^2 / \lambda^2 U \quad (14)$$

で示される。ただし、 U は波の群速度を表わし、位相速度を V 、波長を λ とすれば、

$$U = V - \lambda(dV/d\lambda)$$

である。ここで、 ν は液体の動粘性を表わす。

Fig. 9 は清浄水面における各周波数の波の減衰率を表わしたもので、黒点が実験値であり、実線は式(14)より求めた理論直線である。実験値と理論値のかなり良い一致がみられる。

Fig. 10 は表面活性剤を加えたときの減衰率を示したものである。実線は清浄水面のときの理論直線である。減衰の差が明確にわかる。

6. あとがき

モアレによる波の測定は、抵抗線式波高計などにみられる水の表面張力によるメニスカス効果、水質水温変化による電気伝導度の変化などの問題⁵⁾ がないため、波高の小さい波についてはかなり精度よく測定でき、しかも高い周波数の波まで測定できる利点がある。また、同一時刻における空間的水位変化がわかり、減衰率などを求めるときには非常に有効な方法である。

謝 辞

本研究にあたり東京理科大学阿部研究室助手 福地直樹氏，大学院生諸氏ならびに日本気象協会の森谷誠生氏から得た 有益な助言に対し感謝いたします。また，川鍋 宏，馬場昭夫両氏には実験など多くの援助を受けた。ここに感謝いたします。

文 献

- 1) EWING, G. C. (1950): Slicks, surface films and internal waves. *J. Mar. Res.*, **9**, 161-187.
- 2) SCOTT, J. C. (1969): Moiré fringes for liquid surface wave measurement. *Optics Technology*, p. 240-243.
- 3) DAVIES, J. T. and R. W. VOSE (1965): On the damping of capillary waves by surface film. *Proc. Royal Soc., A*, **286**, 218-234.
- 4) LAMB, H. (1932): *Hydrodynamics*. Cambridge Univ. Press., p. 622-632.
- 5) 会田良実 (1968): 造波水路における波浪実験の二, 三の問題点について. 第 15 回 海岸工学講演会講演集.

海産繊毛虫類の分離および保存培養に関する検討*

久 米 恒 雄**

Examinations of the Isolation and the Stock Culture of Marine Ciliated Protozoa*

Tsuneo KUME**

Abstract: Marine ciliated protozoa were isolated by the micropipetting method from sea water samples collected at Tokyo Bay and Aburatsubo Inlet. Examinations of the stock culture of a clone of marine ciliate *Uronema* sp. were carried out by incubating in four types of culture media. In the peptone sea water medium or in the sea water medium with suspension of a bacterium *Pseudomonas* sp., the cells of *Uronema* sp. disappeared within four weeks of culture. However, the use of a biphasic medium of peptone-agar and sea water was successful for the maintenance of the cell density of *Uronema* sp. at 10^4 /ml for more than four weeks owing to organic nutrients exuded continuously from the peptone-agar to sea water. It was inferred that favorable conditions were maintained for the growth of the ciliate near the surface of the peptone-agar.

1. 緒 言

近年、原生動物プランクトンが海洋生態系の食物連鎖において果たす役割りが重視されつつある (JOHANNES, 1965¹⁾; SEKI, 1972²⁾; HAMILTON, 1973³⁾)。しかし、このプランクトン群集に含まれる繊毛虫類に関する生態学的知見は、有鐘目を除いては極めて乏しい。特に無殻細胞の繊毛虫類は、化学的固定処理による形状変化を起こしやすいため、その分類、同定および計数が困難であった。また、種々の繊毛虫クローンの単離培養や保存法の検討が不十分であったために、それらの生育性状や正確な形態記載に関する知見も不足していた。このような理由によって、この類のプランクトン群集に関する生態学的研究が遅延していたと考えられる。本研究では、沿岸海水中から分離し

た繊毛虫類を用い、その分離株の保存法に関して若干の検討を行なった。

2. 材料と方法

試料の採取: 繊毛虫類の分離用海水試料は、東京港晴海埠頭および神奈川県油壺湾において採取した。海水試料は塩ビ製バケツを用いて採取し、直ちにプランクトン・ネット地 XX13 (メッシュ・サイズ 95 μ) を用いて汙過し、ポリエチレン容器に移した。

繊毛虫類の分離: 遠心分離操作 (1,000 r.p.m. 5分間) により濃縮した海水試料の一部を用い、PRINGSHEIM (1964)⁴⁾ の方法によって遊泳中の繊毛虫類を1細胞ずつ分離し、これらを下記の重層培地中に接種した。これらの接種培地は 20°C に保存培養された。

繊毛虫類の保存培養: 分離された *Uronema* sp. を供試繊毛虫として、下記のペプトン海水培地、細菌懸濁培地および重層培地による3通りの培養法に関して検討を行なった。これらの培地用海水には、人工海水 ASP12 (PROVASOLI, 1964)⁵⁾ を

* 1979年1月20日受理

Received January 20, 1979

** 東京大学医科学研究所生物製剤試験製造施設, 東京都港区白金台 4-6-1

Laboratory of Biological Products, Institute of Medical Science, University of Tokyo, 4-6-1, Shiroganedai, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

Table 1. Composition of the nutrient agar (1.5%) used for biphasic medium

Bacto-peptone (Difco.)	0.001%
Bacto-yeast extract (Difco.) dissolved in 80% ASP12	0.001%
pH	7.0-7.6

用いた。ペプトン海水は、2216E 液体培地 (CARLUCCI and PRAMER, 1957)⁶⁾ およびその 10 倍希釈培地を用いた。

細菌懸濁培地の調整は次の如く行なった。すなわち、保存細菌株 *Pseudomonas* sp. を 2216E 液体培地に接種し、20°C にて 24 時間振盪培養した後、菌体は遠心分離操作 (5,000 r.p.m. 5 分間, 4°C) により回収し、滅菌人工海水を用いて 3 回洗滌をくり返した後、滅菌人工海水中に分散させた。

重層培地は、約 5 ml の寒天培地 (Table 1) を中型試験管に分注、滅菌して冷却後、高層寒天上に滅菌人工海水を分注して作製した。これら重層培地は室温に数日間静置した後実験に使用した。

繊毛虫類の計数：繊毛虫培養液の一部を無菌的に採取し、遊泳細胞の有無を確認した後、Utermöhl の固定液 (GUILLARD, 1973)⁷⁾ を 1% 加え、数時間後、血球算定盤を用いて計数した。

3. 結果および考察

PRINGSHEIM⁴⁾ の確立した分離手法は、毛細管現象を利用し多くの単細胞藻類の分離に適用されてきた。また、運動性のある細胞を分離するために、この方法を改良して遊泳力を弱める BALLANTINE (1953)⁸⁾ の 1% 硫酸アルミナカリウム溶液滴加法や FAURÉ-FREMIET (1951)⁹⁾ の塩化マグネシウム溶液滴加法も報告されている。しかし、本研究では海水試料を遠心濃縮後、マイクロピペットにより容易に繊毛虫類の分離が可能であった。

4 種の保存培地を用いて細菌 *Pseudomonas* sp. を餌料とし繊毛虫 *Uronema* sp. を培養した場合、その優劣を比較した結果は Fig. 1 に示す如くであった。ペプトン添加海水と細菌懸濁海水での繊毛虫の増殖は約 2~3 週間は良好であった。しか

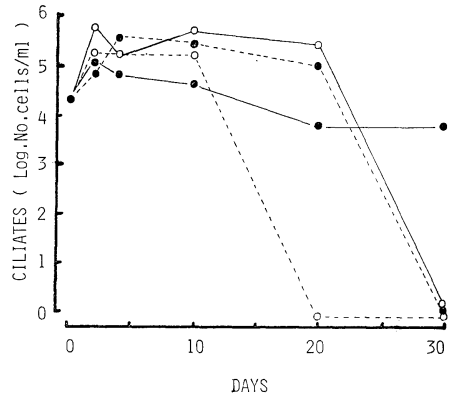


Fig. 1. Growth of a ciliate *Uronema* sp. cultured in the various types of media ---○---, Medium 2216E; —○—, Medium 2216E diluted to 1/10; ---●---, Seawater with a bacterium *Pseudomonas* sp.; —●—, Biphasic medium with a bacterium *Pseudomonas* sp.

し、これらの保存培地では、それ以後の繊毛虫細胞数が急激に減少するため、この期間内に新しい培地に植継ぎを行なう必要がある。このような欠点を補うため、本研究で採用したペプトン寒天と海水の重層培地では、Fig. 1 にみられるように、増殖細胞濃度は前記の保存培地に比べて 1/10~1/100 程度であったが、少なくとも 4 週間は繊毛虫の増殖の維持が可能であった。

この培地の海水部分と寒天培地の両相における pH 変化を B.T.B. を添加して観察したところ、海水中では保存培養期間の経過に伴ない pH が 6.0 前後に低下したが、寒天培地中では pH が 7.4~7.6 に保たれていた。この培養法では下層の寒天培地から上層の海水中へペプトン成分が少量ずつ連続的に溶出し、常に一定の栄養分が供給されるため、細菌や繊毛虫の増殖が維持されており、寒天培地の pH は調整時と同程度に保たれているため、海水と寒天培地の界面付近では微生物の増殖に好適な微視的環境が維持されているものと推察される。

謝 辞

本研究の遂行にあたり御教示を賜わった東京大学海洋研究所多賀信夫教授ならびに試料採取の協力を頂いた東京大学理学部附属三崎臨海実験所の

方々に謝意を表する。

文 献

- 1) JOHANNES, R. E. (1965): Influence of marine protozoa on nutrient regeneration. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 434-442.
- 2) SEKI, H. (1972): The role of microorganisms in the marine food chain with reference to organic aggregates. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **29** (Suppl.), 245-259.
- 3) HAMILTON, R. D. (1973): Interrelationships between bacteria and protozoa. *In*, L. H. STEVENSON and R. R. COLWELL (eds.), *Estuarine Microbial Ecology*. Univ. South Carolina Press, S. Carol. p. 491-497.
- 4) PRINGSHEIM, E. G. (1964): *Pure Culture of Algae*. Hafner Publ., New York. 118 pp.
- 5) PROVASOLI, L. (1964): Growing marine sea weeds. *In*, D. VIRVILLE and J. FELDMAN (eds.), *Proc. 4th Internat. Seaweed Symp.* Pergamon Press, New York. p. 9-17.
- 6) CARLUCCI, A. F. and D. PRAMER (1957): Factors influencing the plate method for determining abundance of bacteria in sea water. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **96**, 392-394.
- 7) GUILLARD, R. R. L. (1973): Division rate. *In*, J. R. STEIN (ed.), *Handbook of Phycological Methods*. Cambridge Univ. Press, London. p. 289-311.
- 8) BALLANTINE, D. (1953): Comparison of the different methods of estimating nanoplankton. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, **32**, 129-147.
- 9) FAURE-FREMIET, E. (1951): The marine sand dwelling ciliates of Cape Cod. *Ecol. Pull.*, **100** 59-70.

混合培養系における繊毛虫、従属栄養 細菌および珪藻の相互作用*

久 米 恒 雄**

Interactions between a Marine Ciliate, a Heterotrophic Bacterium and a Diatom in Mixed Batch Cultures*

Tsuneo KUME**

Abstract: Experiments of batch cultures were made by inoculating a marine heterotrophic bacterium *Pseudomonas* sp. or a mixture of the bacterium and a marine ciliate *Uronema* sp. into axenic cultures of a marine diatom *Skeletonema costatum* at the stationary growth phase to observe the growth dynamics of the diatom and the ciliate for 30 to 65 days. In mixed cultures of the bacterium and the diatom, the growth of the diatom was maintained stationary for two weeks, thereafter sudden degradation of the diatom cells occurred. When a mixture of the bacterium and the ciliate was inoculated to diatom cultures, the diatom density became temporarily low just after the inoculation, but it recovered and became higher than that of axenic culture within two weeks. The growth of the diatom inversely correlated with that of the ciliate. Thus, by feeding the bacteria the ciliates must have a role of promoting the mineralization of organic materials produced by the diatom and regenerating inorganic nutrients for the diatom.

1. 緒 言

海洋における栄養塩の回帰に関する一般的概念は、現場の微生物、特に従属栄養細菌群が分泌する細胞外酵素による有機物の加水分解作用の最終産物としての無機栄養塩が、再び藻類その他の微生物に利用される過程であると論じられてきた(WAKSMAN and RENN, 1936¹⁾; VON BRAND *et al.*, 1937²⁾)。しかし、RITTENBERG (1936)³⁾は、この発想の根拠が、水界における有機物の分解は殆んど細菌に依存するという点と、土壤微生物学を先験的に敷衍している点を指摘し、更に細菌のみの分解作用では水界の有機物分解過程は

十分な解釈が成立しないと述べている。一方、HARRIS (1959)⁴⁾の研究以来、動物プランクトンの排泄物中の無機成分のみならず、未分解有機物が藻類の増殖に寄与している知見も得られている(POMEROY *et al.*, 1963⁵⁾; BARLOW and BISHOP, 1965⁶⁾; JOHANNES, 1968⁷⁾)。特に、有機リンの分解強度の上では、細菌のみの作用に比べ、繊毛虫類の混合系の方がはるかに高い結果が得られている(JOHANNES, 1965⁸⁾)。

本研究では、富栄養化水域に分布する繊毛虫類、細菌および珪藻の3者の混合培養を試み、これらの増減変動を観察し相互の増殖作用を解析した結果について述べる。

* 1979年1月20日受理

Received January 20, 1979

** 東京大学医科学研究所生物製剤試験製造施設, 東京都港区白金台 4-6-1

Laboratory of Biological Products, Institute of Medical Science, University of Tokyo, 4-6-1, Shiroganedai, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

2. 材料と方法

供試生物: 供試繊毛虫 *Uronema* sp. (U36, U56) および細菌株 *Pseudomonas* sp. (P04) は前報⁹⁾と同様の保存株を用いた。供試海産珪藻 *Skeleto-*

nema costatum は、東京湾湾口部で採取した海水試料中から分離し、ピペット洗滌法¹⁰⁾によって無菌化した。Guillard の補強海水 f/5 培養液¹¹⁾を用いて継代培養した珪藻は、5日間同培養液中に前培養した。培養は 20°C, 3,000ルクス蛍光灯照光下にて行なった。

繊毛虫、細菌および珪藻の3者混合培養: 珪藻を 3l フラスコ中に7日間培養し、それが定常増殖期に達したのち、洗滌菌体および繊毛虫培養液を接種した。この混合培養を 30~65日間, 3,000ルクス照光下で行ない、無菌的に培養液の一部を採取し、前報と同様の固定および計数法を用いて繊毛虫細胞数と珪藻細胞数を計数した。

3. 結 果

1) 細菌と珪藻の2者混合培養

定常期に達した無菌珪藻培養液中に洗滌供試菌(約 $10^7/ml$)を 10 ml 接種して静置培養したところ、Fig. 1 に示す結果が得られた。細菌接種後、約 18日間は珪藻細胞が約 $10^5 \sim 10^6/ml$ の濃度に維持されたが、その後約 4週間経過後は $10^2/ml$ にまで急激に減少した。培養液の pH は珪藻の定常増殖期以後、減少開始までは 8.5前後であったが、珪藻細胞の減少後は 8.0 付近まで低下することが観察された。

2) 細菌、珪藻および繊毛虫の3者混合培養

定常増殖期に達した珪藻培養液中に 10 ml の洗滌細菌懸濁液(約 $10^7/ml$ との繊毛虫培養液(約 $10^5/ml$)を接種し、65日間静置培養したところ Fig. 2 および 3 に示す結果が得られた。

両実験とも繊毛虫はほぼ $10^2 \sim 10^4/ml$ の範囲で、珪藻はほぼ $10^4 \sim 10^6/ml$ の範囲で増減振動を繰り返す。pH は珪藻の増減とほぼ並行的に変動するのが観察された。しかも繊毛虫と珪藻との増減変動の間には、ほぼ逆の増減振動関係が観察され、更に繊毛虫の増殖は、珪藻が $10^5/ml$ 以上に増加している間、または pH が 8.5 以上に保たれている間は、顕著に抑制される傾向が認められた。

次に、定常期に達した珪藻培養液に当初は細菌のみ接種して約 3週間培養後、更に繊毛虫を接種すると、繊毛虫と珪藻の増減変動は Fig. 4 に示

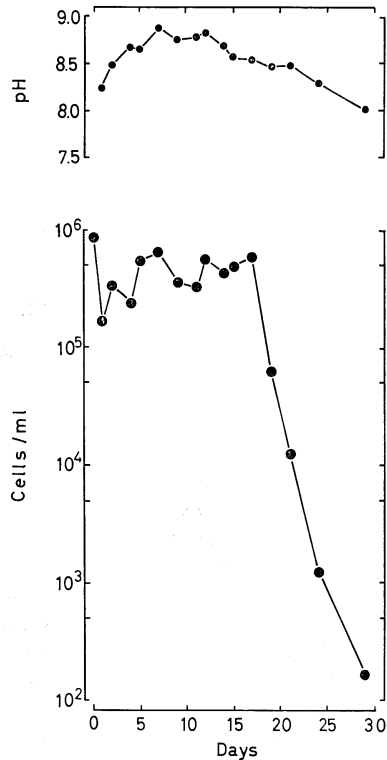


Fig. 1. Growth of a diatom *Skeletonema costatum* and pH change after the inoculation of a bacterium *Pseudomonas* sp. in the diatom culture.

す動態が観察された。この培養実験においても前記 2例の場合とほぼ同様に、繊毛虫と珪藻との増減変動の間には逆の増減振動関係がほぼ認められたが、35日以後の珪藻の増殖と pH の上昇は前記 2例の場合よりも著しいことが観察された。

4. 考 察

藻類はその活性低下後の自己分解時のみならず、対数増殖期の高活性時においても細胞外に有機代謝物を分泌することが知られている (FOGG, 1969)¹²⁾。 *S. costatum* は通常の培養状態においてさえ細胞内摂取炭素量の約 40% を細胞外に分泌する (HELLEBUST, 1965¹³⁾; IGNITIADIS and FOGG, 1973¹⁴⁾)。一方、 *S. costatum* との 2者培養系における *Pseudomonas* sp. の増殖は、珪藻の増殖初期にはその抗菌作用によってわずかに抑制されるが、珪藻の定常増殖期以後には細菌の増殖

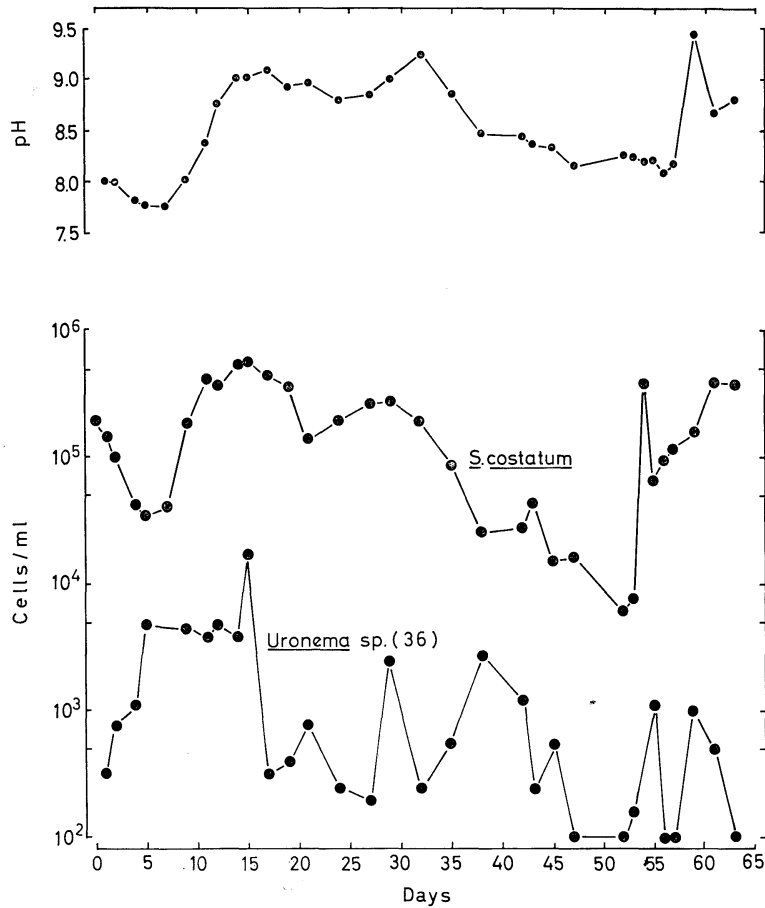


Fig. 2. Growth of a diatom *Skeletonema costatum* after the inoculations of a bacterium *Pseudomonas* sp. and a ciliate *Uronema* sp. (U36).

が抑制される傾向は明瞭には認められないことが報告されている (KOGURE, 1977¹⁵)。

現場海水中においても植物プランクトンによる細胞外代謝の観察例が報告されており (ANDERSON and ZEUSCHEL, 1970¹⁶); BERMAN and HOLM-HANSEN, 1974¹⁷)、細胞外に分泌される炭素量は、現場海水中の全溶解態有機炭素量の0.1%にすぎないが、分泌量の50%以上は20~60 μ の細胞に依存し (WIEBE and SMITH, 1977¹⁸)、それらは3 μ 以下の微生物に直接摂取されることが知られている (DERENBACH and WILLIAMS, 1974¹⁹)。

微視的には、細菌以上の大きさの粒子は固体表面作用によって、周辺の有機物の吸着や濃縮を促

進し、近傍の細菌に対する増殖効果をもたらす (ZOBELL, 1943²⁰); WIEBE and POMEROY, 1972²¹); JANNASCH, 1973²²)。更に、増殖した細菌群は繊毛虫類の捕食作用によって個体群活性が高い水準に維持されることが知られている (JOHANNES, 1965⁹); CURDS, 1973²³)。

動物プランクトンの介在する有機物分解過程においては、それらの体積の減少に比例して単位重量あたりの分解速度が高まる傾向が認められ、数十 μ の繊毛虫類では0.2~0.3時間で細胞内リン含有量と同程度のリンが体外に放出される (JOHANNES, 1964²⁴)。一方、*Zostera marina*の分解実験では、細菌のみを加えた区分に比べ、繊毛虫類や鞭毛虫類の混在した区分の方が、分解が

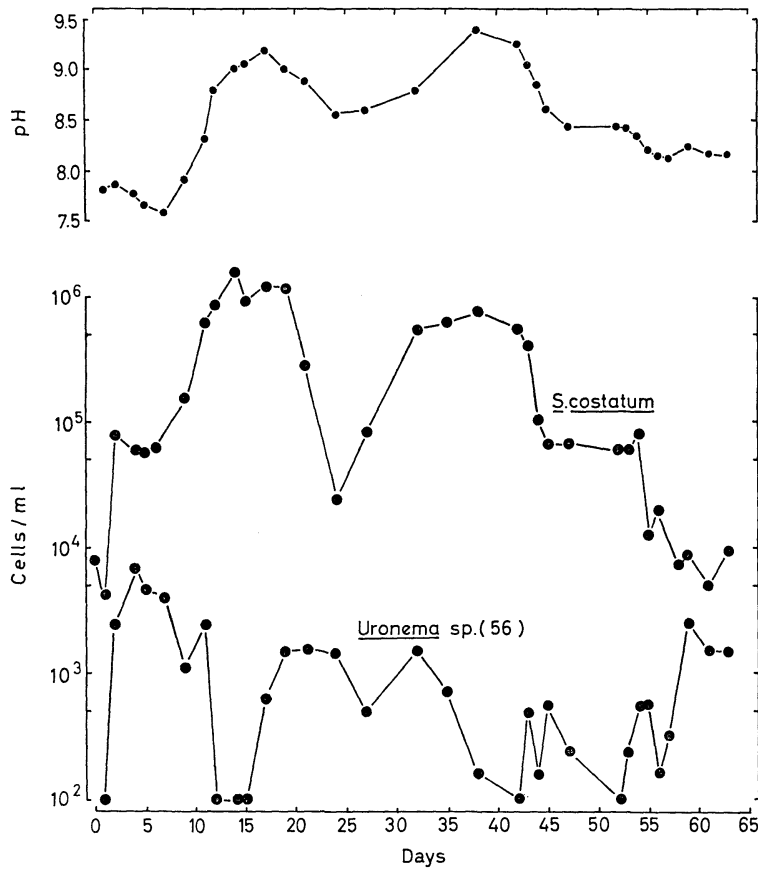


Fig. 3. Growth of a diatom *Skeletonema costatum* after the inoculations of a bacterium *Pseudomonas* sp. and a ciliate *Uronema* sp. (U56).

促進される結果が観察されている(HARRISON and MANN, 1975²⁵⁾。

本研究の実験結果から、珪藻によって生産された有機物を細菌が利用して増殖し、この菌体を捕食する繊毛虫類が有機物の無機化あるいは栄養塩類の回帰を、細菌と共働的に促進することにより、再び栄養塩類を利用する珪藻の増殖を促進するという、3者の生物間の相互作用の存在が示唆された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、実験用珪藻株を提供して下さった東京大学海洋研究所木暮一啓氏に謝意を表す。

文 献

- 1) WAKSMAN, S. A. and C. E. RENN (1936): Decomposition of organic matter by bacteria. III. Factors influencing the rate of decomposition. *Biol. Bull.*, **70**, 472-483.
- 2) VON BRAND, T. N., R. RAKESTRAW and C. E. RENN (1937): The experimental decomposition of nitrogenous organic matter in sea water. *Biol. Bull.*, **72**, 165-175.
- 3) RITTENBERG, S. C. (1963): Marine bacteriology and the problem of mineralization. In C. H. OPPENHEIMER (ed.), *Marine Microbiology*. Thomas Publ., Springfield. p. 48-60.
- 4) HARRIS, E. (1959): The nitrogen cycle in Long Island Sound. *Bull. Bingham Oceanogr.*, **17**, 31-65.
- 5) POMEROY, L. R., H. M. MATHEWS and H. S. MIN (1963): Excretion of phosphate and soluble organic phosphorus compounds by zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **8**, 50-55.
- 6) BARLOW, J. P. and J. W. BISHOP (1965): Phos-

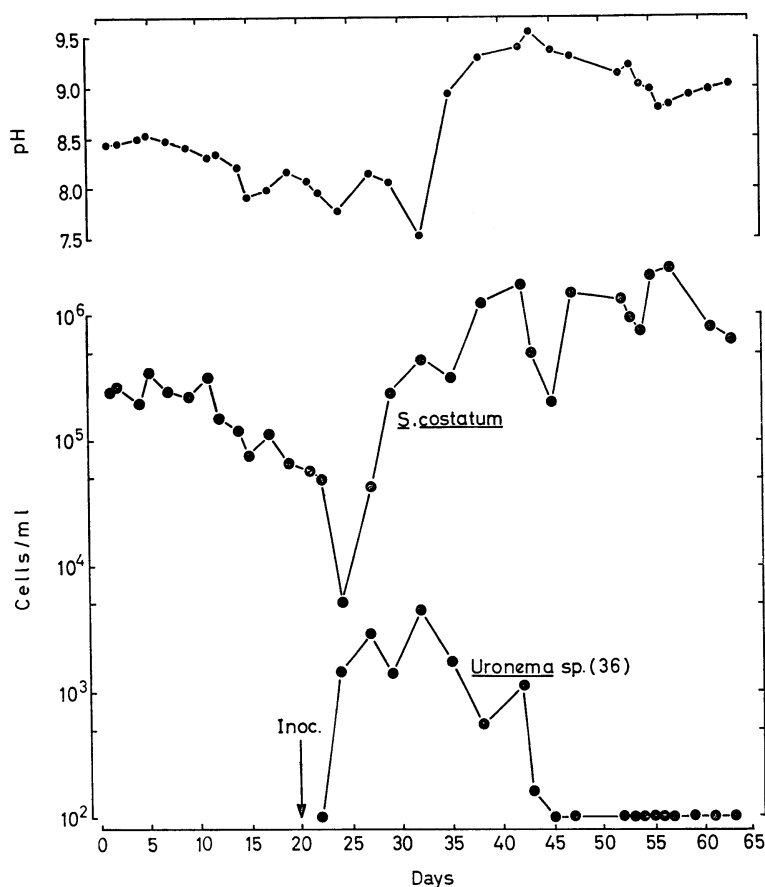


Fig. 4. Growth of a diatom *Skeletonema costatum* after the inoculation of a bacterium *Pseudomonas* sp. with the additional inoculation of a ciliate *Uronema* sp. (U36) at the 20th day of incubation.

- phate regeneration in Cayuga Lake. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, R15-24.
- 7) JOHANNES, R. E. (1968): Nutrient regeneration in lakes and oceans. *Adv. Microbiol. Sea*, **1**: 203-213.
 - 8) JOHANNES, R. E. (1965): Influence of marine protozoa on nutrient regeneration. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 434-442.
 - 9) 久米恒雄 (1979): 海産繊毛虫類の分離および保存培養に関する検討. *うみ*, **17**, 62-64.
 - 10) PRINGSHEIM, E. G. (1964): *Pure Culture of Algae*. Hafner Publ., New York. 118 pp.
 - 11) GUILLARD, R. R. L. and J. H. RYTHER (1962): Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Can. J. Microbiol.*, **8**, 229-239.
 - 12) FOGG, G. E. (1969): The physiology of an algal nuisance. *Proc. Royal Soc. Lond., Ser. B*, **173**, 175-189.
 - 13) HELLEBUST, J. A. (1965): Excretion of some organic compounds by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **10**, 192-206.
 - 14) IGNITIADES, L. and G. E. FOGG (1973): Studies on the factors affecting the release of organic matter by *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve in culture. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, **53**, 937-956.
 - 15) KOGURE, K. (1977): Studies on the interaction between unicellular algae and bacteria in Tokyo Bay. MS Thesis, Univ. of Tokyo. 87 pp.
 - 16) ANDERSON, G. C. and R. P. ZEUSCHEL (1970): Release of dissolved organic matter by marine phytoplankton in coastal and offshore areas of the northwest Pacific Ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **15**, 402-407.
 - 17) BERMAN, T. and O. HOLM-HANSEN (1974): Release of photoassimilated carbon as dissolved organic matter by marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, **28**, 305-310.

- 18) WIEBE, W. J. and D. J. SMITH (1977): Direct measurement of dissolved organic carbon released by phytoplankton and incorporation by microheterotrophs. *Mar. Biol.*, **42**, 213-223.
- 19) DERENBACH, J. B. and P. J. L. WILLIAMS (1974): Autotrophic and bacterial production: Fractionation of plankton populations by differential filtration of samples from the English Channel. *Mar. Biol.*, **25**, 263-269.
- 20) ZOBELL, C. E. (1943): The effect of solid surfaces upon bacterial activity. *J. Bacteriol.*, **46**, 39-56.
- 21) WIEBE, W. J. and L. R. POMEROY (1972): Microorganisms and their association with aggregates and detritus in the sea: A microscopic study. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **29** (Suppl.), 325-352.
- 22) JANNASCH, H. W. (1973): Bacterial content of particulate matter in offshore surface water. *Limnol. Oceanogr.*, **18**, 340-342.
- 23) CURDS, C. R. (1973): The role of protozoan in the activated-sludge process. *Amer. Zool.*, **13**, 161-169.
- 24) JOHANNES, R. E. (1964): Phosphorus excretion and body size in marine animals: Micro-zooplankton and nutrient regeneration. *Science*, **164**, 923-924.
- 25) HARRISON, P. G. and K. H. MANN (1975): Detritus formation from eelgrass (*Zostera marina* L.): The native effects of fragmentation, leaching and ecology. *Limnol. Oceanogr.*, **20**, 924-934.

連続培養系における海産繊毛虫と 従属栄養細菌の相互関係*

久 米 恒 雄**

Interrelationship of a Marine Ciliate and a Marine Heterotrophic Bacterium in Continuous Culture Systems*

Tsuneo KUME**

Abstract: Culture experiments of a marine ciliate *Uronema* sp. and a heterotrophic bacterium *Pseudomonas* sp. were made in three types of continuous culture systems to clarify the prey-predator relationships of bacteria and ciliates in the marine environments. In mixed culture systems, periodical antagonistic relations of the microbial populations were observed in the culture vessels adjusted to the dilution rate (D) of 0.95, 0.0125 and 0.0083 hr⁻¹. Amplitudes of the oscillation in the microbial growth were less at lower dilution rate in the culture systems, and the amplitude was one order of magnitude for the bacterium and within one to two orders of magnitude for the ciliate. In the separated systems, the antagonistic relations were observed six days after the inoculation of ciliates in the mixed culture vessels adjusted to the dilution rate of 0.05 and 0.0083 hr⁻¹, and the amplitude of the oscillation was within one order of magnitude. Formations of the microbial flocs were remarkable during the growth of ciliates which may induce microbial production of the mucous substances. The floc formation possibly inhibits the feeding of the ciliates on bacteria and promotes the growth of the bacteria in the flocs; i.e., this process might be responsible for the antagonistic oscillation in the growth of the bacteria and ciliates.

1. 緒 言

海産繊毛虫類の分布や増殖を律する生物的要因のうち、直接、餌となる細菌群の質的および量的変動が最も重要であるといわれる (LACKEY, 1967¹⁾)。しかし、細菌と繊毛虫類の2者のみの増減変動に関する生態学的知見は、Gauseの研究以来、主として捕食・被食関係を解析するモデル実験によって得られたものが多かった (MURDOCH and OATEN, 1975²⁾)。

従来の研究で多く採用されていた回分培養法

は、栄養基質が消費され尽くし、代謝産物の蓄積が続く経時的変動のある閉鎖系であるために、微生物相互の増減関係を解析する手法としては有効性が低い。微生物の分布する現場環境は開放系であって環境要因が時々刻々と変化する。従って、微生物相互の変動関係を観察するためには、経時的変動要因が捨象可能である連続培養法を採用することによって、相互の変動関係を現場環境に擬似化した実験において可能となることが推測される (JANNASCH and MATELES, 1973³⁾)。

本研究においては、従来の回分培養法ばかりでなく、3通りの連続培養法を採用し、現場海水から分離した細菌株を餌料として、繊毛虫クローン株を培養し、有機物濃度と栄養基質供給速度の変化に対応する両微生物の増減変動を実験的に観察した。

* 1979年1月20日受理

Received January 20, 1979

** 東京大学医科学研究所生物製剤試験製造施設, 東京都港区白金台 4-6-1

Laboratory of Biological Products, Institute of Medical Science, University of Tokyo, 4-6-1, Shiroganedai, Minato-ku, Tokyo, 108 Japan

2. 材料と方法

供試微生物: 繊毛虫保存株 *Uronema* sp. (U36) および細菌保存株 *Pseudomonas* sp. (P04) は前報⁴⁾と同様のものを用いた。

微生物の計数: 各培養容器より無菌的に採取した培養液試料は前報⁴⁾と同様の方法を用いて計数し, 細菌数については細菌計数盤を用いて行った。

培養装置: 本研究では, 通常の回分培養法, 静置式混合連続培養法 (Fig. 1), 往復振盪式混合連続培養法 (Fig. 2) および二段分離式連続培養法 (Fig. 3) の4通りの培養法を採用した。回分培養法では瀑気と攪拌子によって混合しつつ培養を行なった。静置式混合連続培養法では, 適宜な水準に排出口を設け, 定量ポンプの速度を調節することによって一定量の培地を供給し, 瀑気と攪拌子により混合しながら培地供給量と同量の培養液が内圧によって排出されるように設定した。往復振

盪式混合連続培養法では, 培養容器を往復振盪装置 (0.5回/秒) に載せ, 培地の供給と培養液の排出を定量ポンプの速度によって調節した。二段分離式連続培養法では, 上段の培養器中で細菌のみを培養し, 供給培地と同量の細菌培養液が下段の培養器内に排出され, 繊毛虫と混合培養されるよ

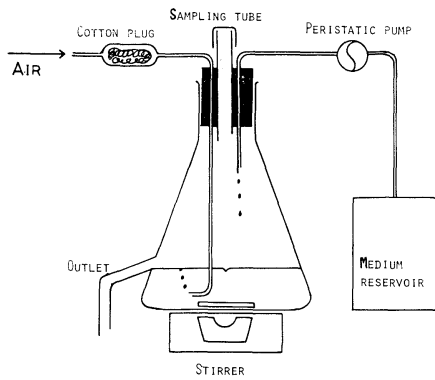


Fig. 1. Static mixed continuous culture system.

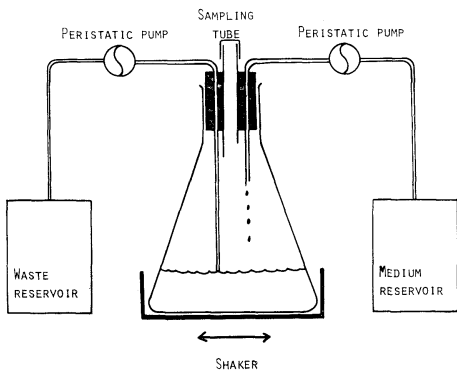


Fig. 2. Shaking mixed continuous culture system.

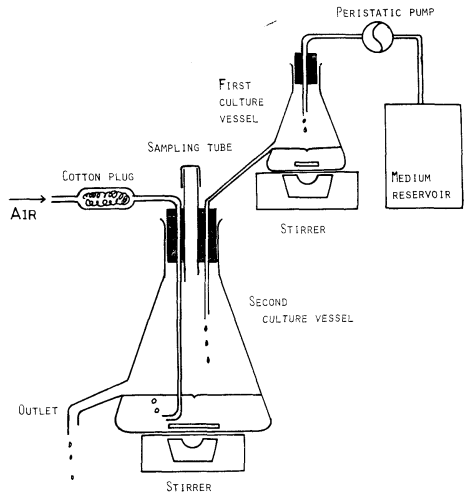


Fig. 3. Double stage continuous culture system.

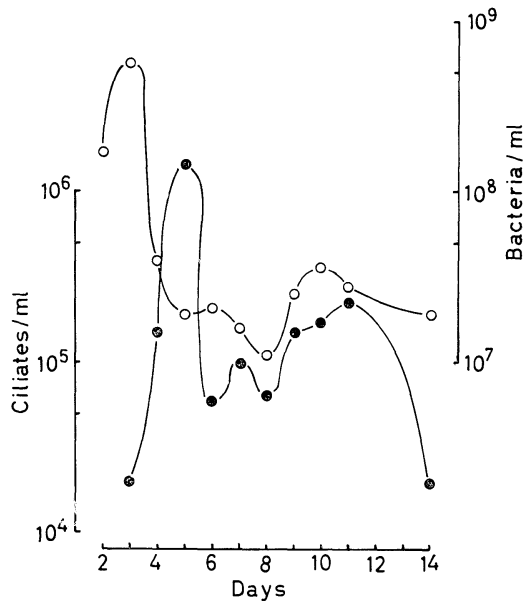


Fig. 4. Fluctuations of the growth of a ciliate *Uronema* sp. (U36) and a bacterium *Pseudomonas* sp. (P04) in the static batch culture with 0.05% peptone-seawater.

うに設定した。瀑気と攪拌は静置式と同様に行なった。

繊毛虫および細菌の培養: 回分培養法と混合連続培養法では、接種前に繊毛虫は3日間、細菌は一昼夜にわたり、それぞれ前培養を行なった。二段分離式連続培養法では、上記と同様に前培養した両微生物を下段容器に接種して一昼夜培養し、他方、前培養した細菌を上段容器中に接種したのち、それぞれをさらに一昼夜培養してから培地の供給を開始した。培養は 20°C において行ない、培養器内の希釈率は培養容量と培地供給速度の調節によって一定に保った。

3. 結果

1) 回分培養系における繊毛虫と細菌の個体群変動

0.01% ペプトン海水中では、両微生物の接種

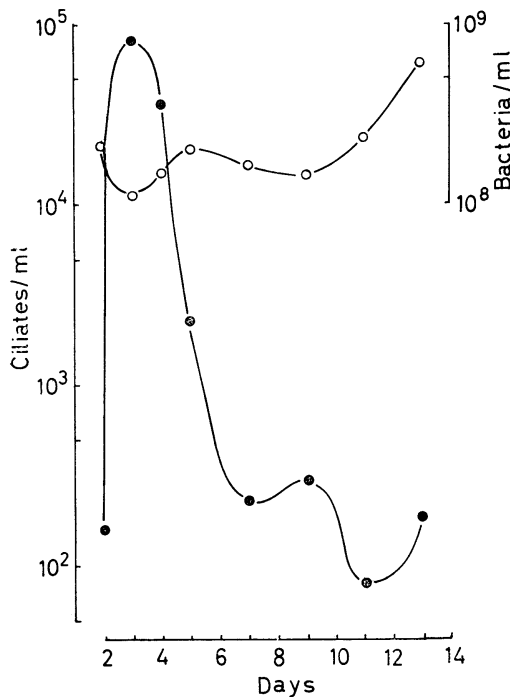


Fig. 5. Fluctuations of the growth of a ciliate *Uronema* sp. (U36) and a bacterium *Pseudomonas* sp. (P04) in the static mixed continuous culture system adjusted to the dilution rate $D=0.0125 \text{ hr}^{-1}$ and supplied with 0.01% peptone-seawater.

後、7日間は細菌と繊毛虫との間には逆の増減振動関係が認められたが、7日以後14日目までは、両者は並行な増減振動をする傾向が認められ、培養初期の 1/10 程度に個体数が減少した (Fig. 4)。

培養初期には培養液の濁度は極めて高く、培養時間の経過に伴ない濁度が徐々に低下することが肉眼的に観察された。また、顕微鏡下の観察により培養初期には数十 μ の大きさのフロックが多量に形成されたが、培養日数の経過と共に、これらのフロックが徐々に大形化し、その数が減少する傾向が認められた。

2) 混合連続培養系における繊毛虫と細菌の増減変動

静置混合連続培養系における繊毛虫と細菌の増減変動は、希釈率 $D=0.0125 \text{ (hr}^{-1})$ 、0.01% ペプトン海水中では、細菌は $10^8 \sim 10^9/\text{ml}$ 、繊毛虫は $10^2 \sim 10^5/\text{ml}$ の各濃度範囲で振動が観察された

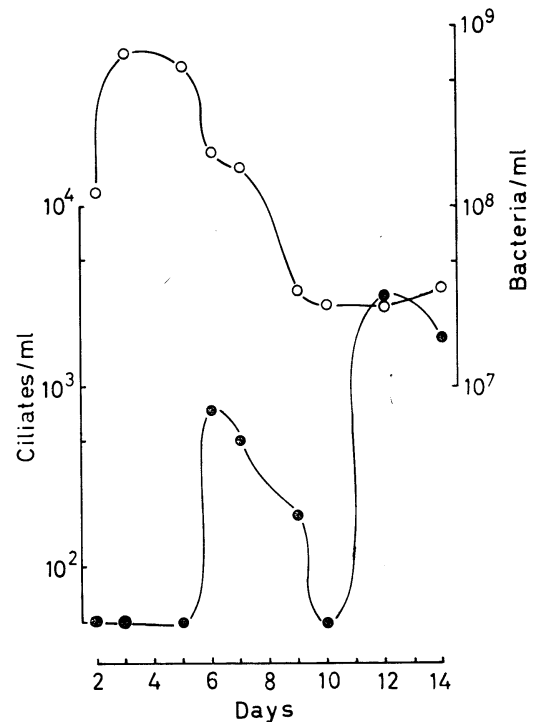


Fig. 6. Fluctuations of the growth of a ciliate *Uronema* sp. (U36) and a bacterium *Pseudomonas* sp. (P04) in the static mixed continuous culture system adjusted to the dilution rate $D=0.0083 \text{ hr}^{-1}$ and supplied with 0.01% peptone-seawater.

(Fig. 5)。希釈率 $D=0.0083$ (hr^{-1}) における 0.01% ペプトン海水中では、細菌は $10^7 \sim 10^9/\text{ml}$ 、繊毛虫は $10^1 \sim 10^3/\text{ml}$ の各濃度範囲で増減振動が観察された (Fig. 6)。さらに、希釈率 $D=0.0083$ (hr^{-1}) における 0.1% ペプトン海水中では、細菌は $10^8 \sim 10^9/\text{ml}$ 、繊毛虫は $10^3 \sim 10^5/\text{ml}$ の各濃度で増減振動が観察された (Fig. 7)。

これらの培養系では、低希釈率の場合には細菌の増減振幅が小さくなり、繊毛虫の増減振幅が大きくなる傾向が認められ、高濃度培地では両微生物の収量が高くなる傾向も認められた。

一方、往復振盪式混合連続培養系においては、静置式に比べてペプトン濃度が同程度であり、しかも高希釈率 ($D=0.05 \text{ hr}^{-1}$) であったにもかかわらず、概して両微生物の収量は高くなる傾向が

認められた。繊毛虫は約 3 日周期の増減振動をくり返ししながら増殖し、2 週間後には接種時の約 500 倍程度の細胞濃度に達した。細菌は繊毛虫と全く逆の増減変動を明瞭に示し、 $10^8 \sim 5 \times 10^9/\text{ml}$ の濃度範囲で振動するのが観察された (Fig. 8)。

3) 二段分離式連続培養系における繊毛虫と細菌の増減振動

二段分離式連続培養系の下段培養器内の希釈率を $D=0.05 \text{ hr}^{-1}$ とした場合、細菌は $10^8/\text{ml}$ 前後の濃度で振動したが、繊毛虫は $0.5 \times 10^1 \sim 0.5 \times 10^4/\text{ml}$ の濃度範囲で大きく変動するのが観察された (Fig. 9)。一方、希釈率を $D=0.0083$ (hr^{-1}) とした場合には細菌濃度は $10^6 \sim 10^7/\text{ml}$ 、繊毛虫濃度は $10^2 \sim 10^4/\text{ml}$ の各範囲で増減振動をくり返すのが観察され、前述の高希釈率の場合に比べて両

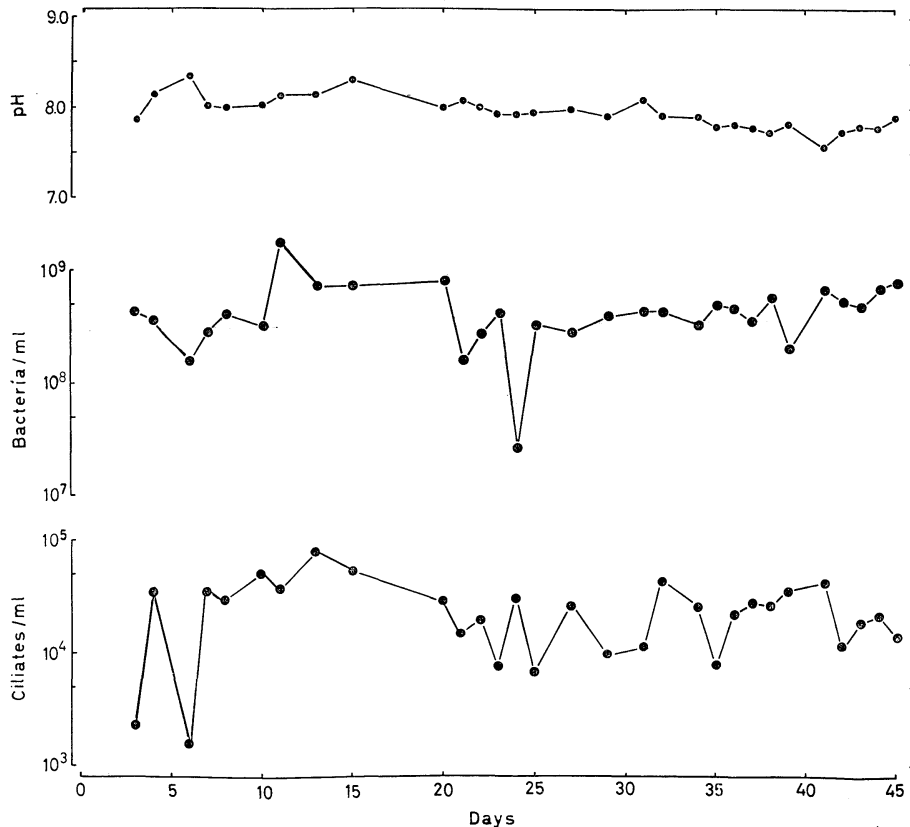


Fig. 7. Fluctuations of the growth of a ciliate *Uronema* sp. (U36) and a bacterium *Pseudomonas* sp. (P04) in the static mixed continuous culture system adjusted to the dilution rate $D=0.0083 \text{ hr}^{-1}$ and supplied with 0.1% peptone-seawater.

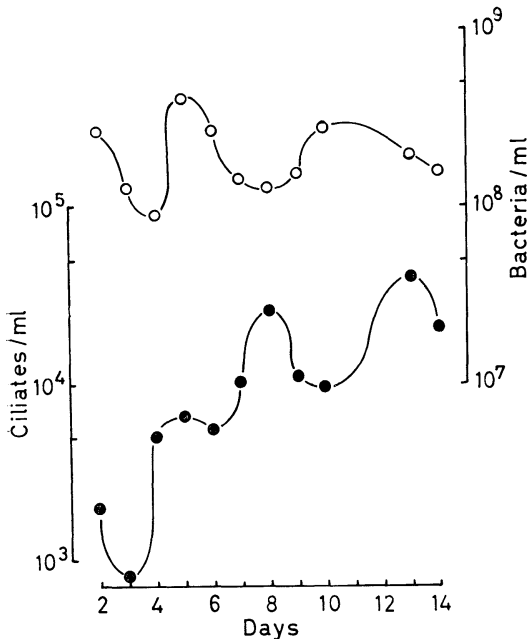


Fig. 8. Fluctuations of the growth of a ciliate *Uronema* sp. (U36) and a bacterium *Pseudomonas* sp. (P04) in the shaking mixed culture system adjusted to the dilution rate $D=0.05 \text{ hr}^{-1}$ and supplied with 0.01 % peptone-seawater.

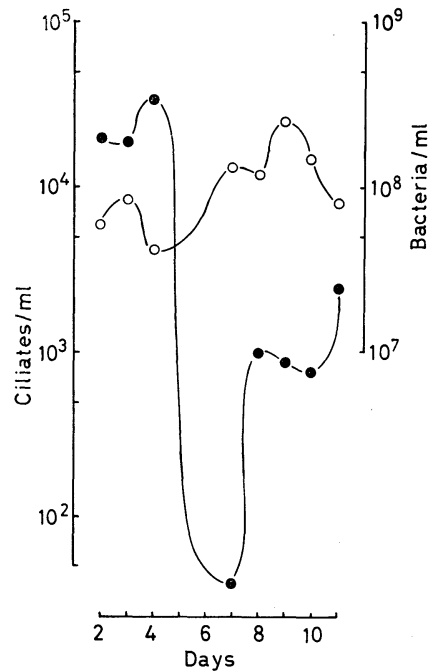


Fig. 9. Fluctuations of the growth of a ciliate *Uronema* sp. (U36) and a bacterium *Pseudomonas* sp. (P04) in the double stage continuous culture system adjusted to the dilution rate $D=0.05 \text{ hr}^{-1}$ and supplied with 0.01 % peptone-seawater.

微生物の増殖の間にやや明瞭な増減拮抗関係が認められた (Fig. 10)。

これらの連続培養系における繊毛虫と細菌の混合培養器内では、ペプトン濃度の多少にかかわらず明瞭なフロック形成が観察され、概して培養液の濁度はペプトン濃度に比例して高まるが、フロックの大きさはペプトン濃度にはほぼ逆比例する傾向が、培養液の顕微鏡下の観察によって認められた。

4. 考 察

海洋の微生物間における被食・捕食関係を解析するために採用した3通りの連続培養系による実験の結果、いずれの場合においても繊毛虫と細菌との増殖の間に増減拮抗関係が観察された。しかし、従来の方式の回分培養系においては、このような拮抗関係は明瞭に認められなかった。このことは、回分培養法においては栄養基質の消費や代

謝産物の蓄積によって、培養液の物理・化学的条件が経時的に変化し、被食・捕食関係の変動や微生物自体の代謝変動が、錯綜するためと推察される。しかし、連続培養法においては定常的に栄養基質の供給が行なわれているため、培養液中の物理・化学的変動要因が捨棄され、微生物個体群密度の定常状態を維持することが容易となり、回分培養法に比べて増殖速度も高くなる (SCHLEGEL and JANNASCH, 1967⁵⁾)。

本研究の混合連続培養系においては、基質濃度の増加に伴ない細胞収量が高まる傾向が認められたが、低希釈率の場合には細菌密度が低下し繊毛虫密度が高まる傾向が認められた。このことは低希釈率においては繊毛虫の流失がより少なく、細菌を捕食して増殖することが有利となり、同時に残存細菌濃度が低下するためと推察される。上記の現象は二段分離式連続培養系の下段培養器内に

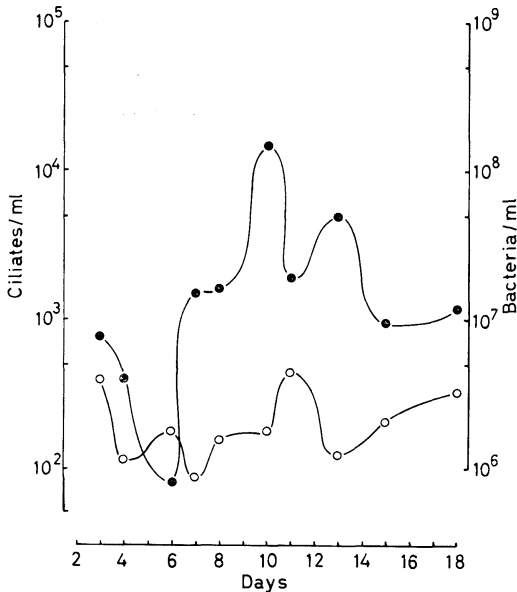


Fig. 10. Fluctuations of the growth of a ciliate *Uronema* sp. (U36) and a bacterium *Pseudomonas* sp. (P04) in the double stage continuous culture system adjusted to the dilution rate $D=0.0083 \text{ hr}^{-1}$ and supplied with 0.01 % peptone-seawater.

においても同様に観察され、しかも低希釈率では繊毛虫の増減振幅が小さくなる傾向が認められた。

HAMILTON and PRESLAN (1970)⁶⁾ は、*Serratia marino rubra* を細菌餌料として *Uronema* sp. を混合連続培養した結果、繊毛虫が増殖可能な細菌密度は $10^6/\text{ml}$ 以上であり、希釈率 $D=0.15 (\text{hr}^{-1})$ で流出が始まるが、定常状態では繊毛虫の細胞体積と細菌密度との間には、相関が認められたことを報告している。一方、CURDS and COCKBURN (1971)⁷⁾ は活性汚泥に関する一連の研究の中で二段分離式連続培養系において *Klebsiella aerogenes* を細菌餌料として *Tetrahymena pyriformis* を培養し、両者の増減変動を観察した結果、繊毛虫の捕食率は、その細胞体積および増殖速度と正の相関が認められることを報告している。しかし、ASHBY (1976)⁸⁾ は同様の培養系を用い、*Vibrio* sp. を細菌餌料として *Uronema* sp. を培養した結果、繊毛虫の捕食率と細胞体積との間には逆相関が認められたことを報告している。

連続培養系における増減拮抗関係は、繊毛虫の

捕食率や増殖率に依存するばかりでなく、被食者である細菌群の存在様式にも依存することが推察される。HARRIS and MITCHEL (1973)⁹⁾ は、細菌の凝集化またはフロック形成が細菌捕食や、バクテリオファージに対する防禦作用ばかりでなく、外毒素や乾燥に対する抵抗作用やエネルギー源の保存やイオンの摂取・拡散の促進作用をもたらすために、細菌の増殖を有効ならしめることを報告している。フロック形成物質の起源については、繊毛虫に取り込まれたブドウ糖が多糖類に合成され、細胞外代謝物として分泌されフロックの母体を形成することが知られている (CURDS, 1963¹⁰⁾。

フロック形成の原因となる細菌相互の付着作用は細胞表面の荷電状態、pH、Eh、温度等の物理的因子や粘液物質の生成、多糖類やセメント物質の分泌、成長阻害因子および溶菌作用物質等の生化学的側面のみならず (ALEXANDER, 1964¹¹⁾、細菌自体の表面構造、特にグラム陰性菌のように細胞表面を包み込むようなカプセル状構造体と共に繊維状構造や線毛形成等にも依存することが示唆される (FRIEDMAN *et al.*, 1969¹²⁾。しかもフロック形成に伴う付着過程は、物理的接触による可逆的段階から、炭水化物と結合した蛋白質様物質の関与する化学的不可逆段階を経て、微生物自体が分泌する酸性多糖類が作用する段階へ進行することが知られている (FLOODGATE, 1972¹³⁾。

本研究において観察された繊毛虫と細菌との周期的増減拮抗関係は、細菌のフロック形成が繊毛虫の捕食を弱めると共に、残存細菌の再増殖を可能にするものであると推察される。このような増減拮抗関係は BUNGAY and BUGNAY (1968)¹⁴⁾ の報告にもあるように、捕食過剰により被食者が減少し、餌の供給が停止するために捕食者自体の減少を招き、この間に被食者の再増殖が起こり、再び捕食者の餌となる程度の量に達する結果であると推察される。さらに、被食者に比べて捕食者の増減振幅が大きく、しかも同一の連続培養法では低希釈率の系や高濃度有機物の系において、捕食者の増減振幅が小さい傾向が認められた。このような増減振動現象は、連続培養槽内の個体群変動が栄養基質の滞留時間や基質濃度に依存するこ

と (TSUCHIYA *et al.*, 1972¹⁵) ばかりでなく、希釈率の増加に伴って振動回数が増加し、至適希釈率を超えると振動回数が減少すること (CURDS, 1971¹⁶) や、あるいは希釈率の増加によって栄養基質の滞留時間が微生物の世代交代時間より短くなるに伴ない、培養槽内の微生物の増殖が追いつけなくなり培養槽外へ流失すること (TEMPEST, 1970¹⁷) 等に起因することが推察される。

文 献

- 1) LACKEY, J. B. (1967): The microbiota of estuaries and their roles. *In*, G. H. LAUFF (ed.), *Estuaries*. AAAS Publ., Wash., D.C. No. 83. p. 291-302.
- 2) MURDOCH, W. W. and A. OATEN (1975): Predation and population stability. *Adv. Ecol. Res.*, **9**, 1-131.
- 3) JANNASCH, H. W. and R. I. MATELES (1974): Experimental bacterial ecology studied in continuous culture. *Adv. Microbiol. Physiol.*, **11**, 165-212.
- 4) 久米恒雄 (1979): 海産繊毛虫類の分離および保存培養に関する検討. *うみ*, **17**, 62-64.
- 5) SCHLEGEL, H. G. and H. W. JANNASCH (1967): Enrichment cultures. *Ann. Rev. Microbiol.*, **21**, 49-70.
- 6) HAMILTON, R. D. and J. E. PRESLAN (1970): Observations on the continuous cultures of a planktonic phagotrophic protozoan. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **5**, 94-104.
- 7) CURDS, C. R. and A. COCKBURN (1971): Continuous monoxenic culture of *Tetrahymena pyriformis*. *J. gen. Microbiol.*, **66**, 95-108.
- 8) ASHBY, R. E. (1976): Long term variations in a protozoan chemostat culture. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, **24**, 227-235.
- 9) HARRIS, R. H. and R. MITCHEL (1973): The role of polymers in microbial aggregation. *Ann. Rev. Microbiol.*, **27**, 27-50.
- 10) CURDS, C. R. (1963): The flocculation of suspended matter by *Paramecium caudatum*. *J. gen. Microbiol.*, **33**, 357-363.
- 11) ALEXANDER, M. (1964): Biochemical ecology of soil micro-organisms. *Ann. Rev. Microbiol.*, **18**: 217-252.
- 12) FRIEDMAN, B. A., P. R. DUGAN, R. M. PFISTER, and C. C. REMSEN (1969): Structure of exocellular polymers and their relationship to bacterial flocculation. *J. Bacteriol.*, **98**: 1328-1334.
- 13) FLOODGATE, G. D. (1972): The mechanism of bacterial attachment to detritus in aquatic systems. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **29** (Suppl.): 309-323.
- 14) BUNGAY, H. R., III. and M. L. BUNGAY (1968): Microbial interactions in continuous culture. *Adv. Appl. Microbiol.*, **10**: 269-290.
- 15) TSUCHIYA, H. M., J. F. DRAKE, J. L. JOST and A. G. FREDRICKSON (1972): Predator-prey interaction of *Dictyostelium discoideum* and *Escherichia coli* in continuous culture. *J. Bacteriol.*, **110**: 1147-1153.
- 16) CURDS, C. R. (1971): A computer-simulation study of predator-prey relationships in a single-stage continuous culture system. *Water Res.*, **5**: 793-812.
- 17) TEMPEST, D. W. (1970): The continuous cultivation of micro-organisms. I. Theory of the chemostat. *Methods in Microbiology*, **1**: 259-276.

Seiche Motions Induced by Wind in the Ushigomebori Moat*

Akio YANAI** and Tomosaburo ABE***

Abstract: This paper discusses the wind and the characteristics of seiche from observation data on seiche produced by wind blowing on a shallow water of a rectangular moat. By focussing attention on variable wind velocity, the relation between the wind and wave height of seiche, produced by power of wind corresponding to the fluctuating predominant frequency, was inferred by the conception of forced oscillation. Concerning the seiche produced by wind alone, the data obtained did not conflict with the above method of conception. The study showed that in order to produce seiche with higher mode it was necessary for the wind velocity fluctuation to have greater intensity than that producing seiche with lower mode, and that the form of seiche produced would not be characterized by only the magnitude of the wind velocity.

1. Introduction

The Ushigomebori moat, which forms a part of the Edo**** Castle's outer moat, is nearly rectangular and the depth of the shallow water can be assumed to be constant. The moat is medium in size between water tank in a laboratory and natural lakes or bays. Therefore, the geophysical phenomena occurring in the moat provide many interesting problems.

Phenomena occurring in the Ushigomebori moat have been already reported by MORITANI and ABE (1972, 1973, 1978) as the seiches produced by earthquakes and by sudden change in the shape of the moat. From the observation data of change in direction and velocity of wind and water level compiled from January to June 1971, the present treatise attempts to discuss the characteristics of the seiches which were considered to have clearly been produced by wind alone.

2. Fundamental Equation on Seiche Caused by Wind

Rectangular coordinates are taken as shown

* Received February 1, 1979

** Mejiro Gakuen Women's Junior College, 4-31-1, Nakaochiai, Shinjuku-ku, Tokyo, 161 Japan

*** Faculty of Science, Science University of Tokyo, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162 Japan

**** Edo is the ancient name of Tokyo City.

in Fig. 1. When the length of the moat is indicated by the letter l , its width by a , average depth by h , and x -component of the speed of current by u , the equation of motion can be written as:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}, \quad (1)$$

where P is pressure, ρ is density of water, and μ is coefficient of viscosity of the water. The equation of continuity, when ζ represents elevation of water due to the seiche, can be written as

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\int_{-h}^0 \frac{\partial u}{\partial x} dz. \quad (2)$$

When atmospheric pressure is represented by P_0 , $P = P_0 + g(\zeta - z)$. The surface condition is

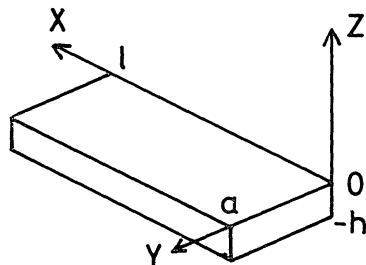


Fig. 1. Schematic diagram showing the co-ordinate axes.

given by

$$u \frac{\partial u}{\partial z} = X(x, t), \quad z=0$$

where $X(x, t)$ is the tangential stress per unit surface of water due to wind blowing in the positive x -direction (e. g., WADACHI, 1938). The bottom condition is given by

$$u \frac{\partial u}{\partial z} = 0, \quad z = -h.$$

Therefore, the equation (2) can be written as:

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial z} \{X(x, t)\} + gh \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2}. \quad (3)$$

Assuming that the term on the right-hand side of equation (3) and $\zeta(x, t)$ can be separated into time dependent function and space dependent function, the equation can be expressed as;

$$-\frac{\partial}{\partial x} \{X(x, t)\} = \sum_{s=1}^{\infty} B_s(t) \chi_s(x), \quad (4)$$

$$\zeta(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \alpha_s(t) \chi_s(x). \quad (5)$$

Using these equations and solving equation (3) on the condition that initially ($t=0$) $\alpha_s(t)=0$ and $\frac{d\alpha_s}{dt}=0$, the following equation can be derived;

$$\zeta(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\chi_s}{\rho k_s} \int_0^t B_s(t) \sin k_s(t-\eta) d\eta. \quad (6)$$

Equation (6) has the form of the equation representing the output of the oscillatory system, for a similar example, the characteristics of wind vane (YANAI, 1978).

If the wind speed fluctuates with predominant frequency ω_i , the input of the oscillatory system is expressed by

$$X(x, t) = -C_i \sqrt{\frac{2}{al}} \cos \frac{k_s}{\sigma} x \cos \omega_i t. \quad (7)$$

Assuming that this is applied on the oscillatory system, the value of the elevation of water $\zeta(x, t)$ can be expressed as;

$$\zeta(x, t) = \frac{C_i}{\rho} \sqrt{\frac{2}{al}} \cos \frac{k_s}{\sigma} x \times \left\{ \frac{1}{k_s^2 - \omega_i^2} \cdot \frac{k_s}{\sigma} (\cos \omega_i t - \cos k_s t) \right\}. \quad (8)$$

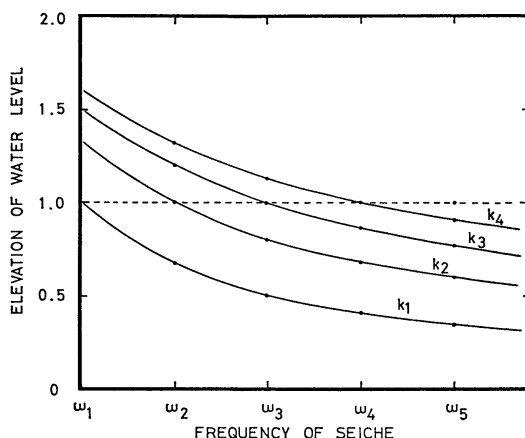


Fig. 2. The elevation of water level estimated for each frequency of the seiche motion which is induced by the purely random wind. The solid lines represent ζ with several k_s and the dotted line that when space and time parameters changed simultaneously. ω_i , eigen-frequency of the seiche; k_s , the parameter of spatially variable wind speed.

If the wind changes its energy partition to have the predominant frequency corresponding to the seiche's uni-nodal frequency ω_1 over the whole area of the moat, the moat will be subjected to a forced oscillation to produce a predominant oscillation with the frequency of ω_1 . So long as the seiche is considered to be a forced oscillation by the wind, the production of bi-nodal and tri-nodal seiches must contain corresponding forced frequencies of ω_2 and ω_3 .

Fig. 2 shows the variations of water elevation which were approximately estimated under the condition: $\cos(k_s/\sigma)=1$ in equation (8) and C_i is constant with any i in equation (7). In this figure, the elevation of uni-nodal seiche is taken as the unity and then the solid lines represent $\zeta(x, t)$ for several k_s while the dotted line represents $\zeta(x, t)$ when space and time parameter changed simultaneously. The uni-nodal oscillation period is most likely to occur while it becomes less likely as the number of node increases.

3. Study on Observation Records

The wind velocity was measured by a 3 cup anemometer with electrical counter and the wind direction by a wind vane. These instruments

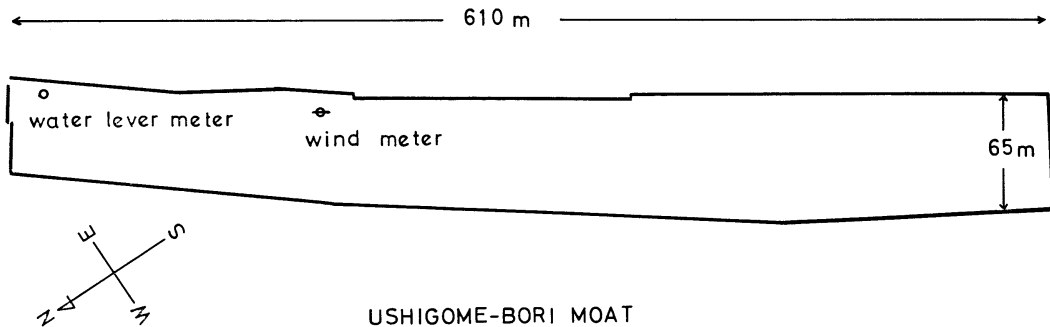


Fig. 3. Schematic form of the moat and the locations of the instruments.

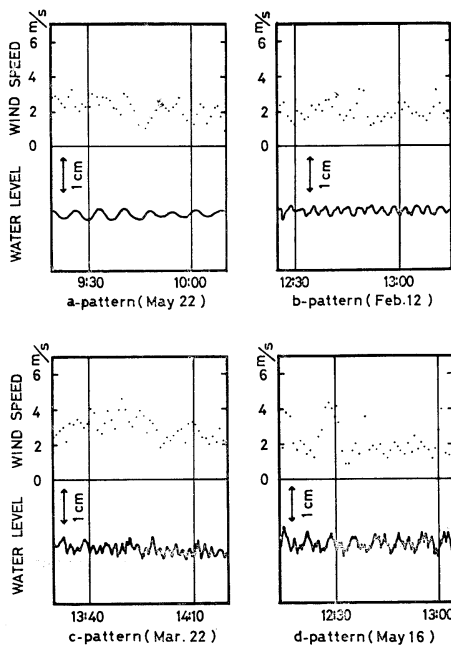


Fig. 4. Records of the water level and the wind speed.

were placed together with other meteorological instruments in a shelter located at the middle of the moat. The level of the water surface was recorded by a float type water level meter. Fig. 3 shows the location of the instrument shelter as well as the rectangular shape and size of the moat. The main factors causing the occurrence of the seiche in this moat are change in atmospheric pressure, earthquake, increase and decrease of water in the moat, and wind.

Among the records obtained from observation during 180 days, the seiche caused by a mechanism other than wind was removed, then the

object of the present discussion was limited to the cases where the direction of the wind was constant. Moreover, analyses were made from the following 4 patterns:

- (a) The seiche in which the uni-nodal was most prominent.
- (b) The seiche in which the bi-nodal was most prominent.
- (c) The seiche in which the tri-nodal was most prominent.
- (d) The seiche in which all nodals were prominent.

Fig. 4 shows the results of these 4 patterns. Since the length of the moat is 610 m and the average depth of the water about 1.0 m, the fundamental period of the uni-nodal oscillation will be computed about 6.5 min by using the Merian's formula. Accordingly, the frequencies of uni-nodal, bi-nodal and tri-nodal oscillations become $\omega_1 = 2.57 \times 10^{-3}$ Hz, $\omega_2 = 3.08 \times 10^{-3}$ Hz and $\omega_3 = 6.16 \times 10^{-3}$ Hz respectively.

The average velocities of the wind in the above-mentioned 4 cases are 1.9 m/s for a, 1.8 m/s for b, 2.4 m/s for c and 2.0 m/s for d. There are no direct relations between the occurrence of seiche and the magnitude of the average velocity of the wind but rather between the seiche and the variation of the wind, namely the change of the wind velocity with time.

4. Result of Analysis

Fig. 5 shows the spectrum analysis of the data on water levels for each cases. The letter a, b, c and d correspond to the 4 cases shown in this figure. This shows the respective predominant oscillations of the seiches at the particular time.

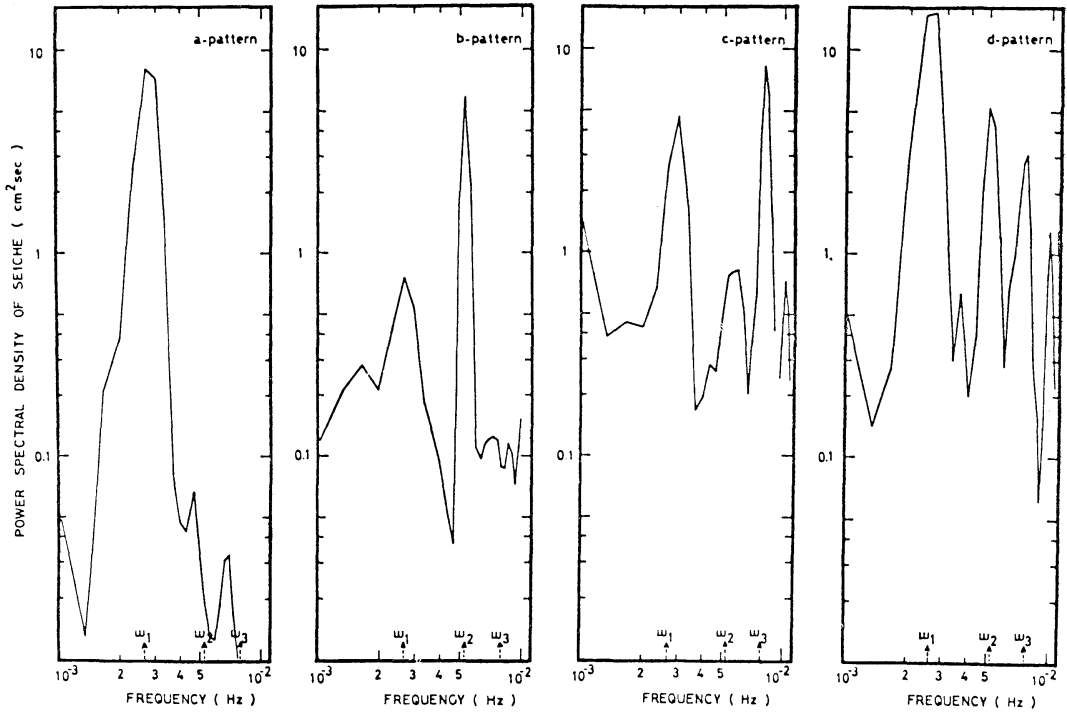


Fig. 5. The spectra of the four patterns of seiche motions.

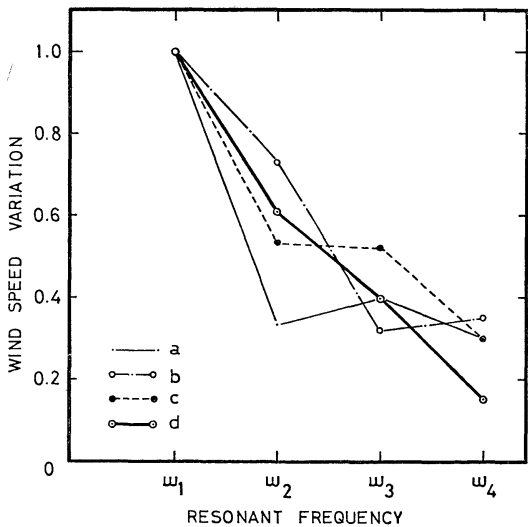


Fig. 6. The wind speed variation near the resonant frequency in each seiche motion. The values at fundamental frequency have been used as the unity.

The characteristics of intensity of wind speed fluctuation which produced seiches of 4 patterns

are shown in Fig. 6. This figure shows that the form of seiche is derived from the wind structure, e.g. in bi-nodal seiche the intensity of wind speed fluctuation is relatively high at the frequency ω_2 .

5. Conclusion

It is concluded that the seiches observed in the moat on windy days were generated by a resonant mechanism between characteristic free oscillation of the water and periodic fluctuation of the wind. In this case the wind must blow continuously for fairly long interval.

The statistical structure of the wind blowing over the surface of the moat will be ergodic, that is to say, it is more convenient to use space parameter instead of time parameter in equation (7). It is believed that qualitative conclusion can be attained on the close relation between the variation of wind velocity and the frequency of seiche.

Acknowledgement

The authors wish to express their appreciation

to Mr. N. MORITANI, Tokyo Center, Japan Weather Association, to Prof. M. TOMINAGA of Kagoshima University for many significant suggestions and to members of the Abe Laboratory in Science University of Tokyo who took part in the observation.

References

- MORITANI, N. and T. ABE (1972): A geophysical consideration of the water in the Ushigomebori moat.—On the seiche of the moat —. 2nd Internat. Ocean Develop. Conf., Tokyo, 270-281.
- MORITANI, N. and T. ABE (1973): A geophysical consideration of the water in the Ushigomebori moat. —On the seiche motion of the moat(11) —. *La mer*, **11**, 196-204.
- MORITANI, N. and T. ABE (1978): A geophysical consideration of the water in the Ushigomebori moat.—On the transversal seiche motion induced by the Nemuro-Hanto-Oki earthquake on June 17, 1973—. *La mer*, **16**, 188-197.
- TOMINAGA, M. (1976): *Ocean Waves—Basic Theory and Observation Results—*. Kyoritsu Shuppan, Tokyo. p. 489-510. (in Japanese)
- TSUBOI, C. (1978): *Oscillation Theory (Revived Version)*. Gendai Kogakusha, Tokyo. p. 224-229. (in Japanese)
- WADACHI, K. (1938): Tsunami caused by typhoon in Oasaka Bay. *Umi to Sora*, **18**, 421-438. (in Japanese)
- YANAI, A. (1978): Behavior of oscillatory system by wind. —The characteristic experimental anemovane and the application of linear Langevin equation —. *Mem. Mejiro Gakuen Women's Junior Coll.*, **15**, 39-47.

牛込濠における風による静振運動

矢内秋生, 阿部友三郎

要旨: 水深の浅い濠面上を吹く風によって生じた静振の観測データから, 風と静振の形体の特徴を調べ, それらについての討論を行った。

風の息に注目することにより, 風の卓越周波数の息に相当する power によって起された静振の波高と風との関係が, 強制振動の考え方から予想された。風のみによって生じた静振に関しては, 上記の考え方と矛盾しないデータを得た。すなわち, 高周波数の静振が起るための風速変動の強度は, 低周波の静振の場合より大であることが必要であった。また, 生じた静振の形体は, 風速の大小だけでは特徴づけられないことが示された。

鹿児島湾口鞍部における流速変動の特徴、 特に短周期変動について*

桜井 仁 人**

Characteristics of the Currents over and near the Submarine Col at the Mouth of Kagoshima Bay, Particularly Short Period Fluctuation of the Currents*

Masahito SAKURAI**

Abstract: Currents and temperature measurements were made on the submarine col in the mouth of Kagoshima Bay during the periods of August 2-3 and December 4-7, 1976. During August 2-3 the sea water temperature decreased almost linearly from the surface to the bottom. During December 4-7, a linear gradient of temperature was found in the lower layer on which lay the homogeneous upper layer of 60 m thick. In both cases of observations, the semi-diurnal tidal period predominated in the fluctuation of currents. However, during December 4-7 the resultant flow oriented to a fixed direction with the speed of some 7 cm/sec, the mean currents in the upper homogeneous layer directing off the bay. On the contrary, the mean currents of the lower thermocline layer directed to the interior of the bay. The Richardson number was considerably large; therefore the stratification was stable. Accordingly, the motion of internal waves propagating in the shallow water on the col might not give rise to vertical mixing. From the measurements of temperature in the downstream side of the col, it seems that the water was well mixed vertically as compared with those on the col. This mixing is considered to have been caused by the unstable lee waves which might be realized by slow currents on the col as observed here.

1. まえがき

鹿児島湾は近年人口増による生活用水の廃棄増加、赤潮発生による養殖魚の被害、水銀汚染魚等の問題が生じており、特に湾中央部での汚水の蓄積が心配されている。鹿児島湾は南北に 75 km、東西の最大幅が約 21 km の細長い湾である。また、Fig. 1 の海底地図によると、この湾は長さ約 20 km の湾口海底の鞍部及び桜島以南の湾中央部と西桜島水道で結ばれた桜島以北の海域に分けるこ

とができる。湾中央部では深さ 200 m を越え、湾口付近では 100 m より浅く、湾外に向かって再び 200 m 以深となっていく。従って、湾内外の海水交

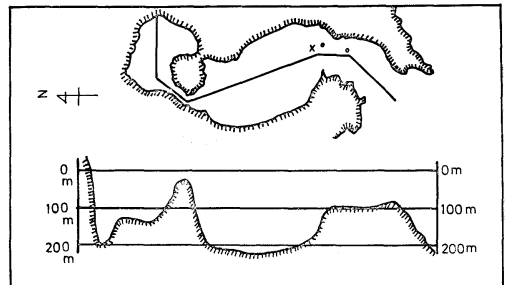


Fig. 1. Bottom topography in Kagoshima Bay. Cross indicates Sta. B observed in December, solid circle Sta. A in December, and open circle the station in August.

* 1979年2月12日受理

Received February 12, 1979

** 鹿児島大学工学部海洋土木開発工学科, 鹿児島市郡元 1-21-40

Department of Marine Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kagoshima University, 1-21-40, Koorimoto, Kagoshima, 890 Japan

換はこの鞍部によって妨げられる可能性がある。

高橋等(1974)¹⁾によれば、湾の海水交換は恒流によりおよそ110日を要する。一方、恒流とは別に局所的な変動により海水交換、海水混合が促進される可能性もあり、それには湾口鞍部が重要な役割を果しているのではないかと考えられる。例えば、湾内外への流入、流出流が鞍部を乗り越える場合に、躍層が存在しているときには内部波が生じ得る。また、外洋から内部波が伝播してモードの変換が行われる可能性もある。更に、躍層が海底付近にあるときには shear が大きくなって内部波の碎波が生じ、鞍部の海水と混合して流速を乱しつつ鞍部を乗り越えることも考えられる。もし、流れが遅ければ lee wave が発達して、湾口の両側が不安定化し混合が促進される可能性もある(富永, 1976)²⁾。このような鞍部による影響がいろいろ考えられるが、我々は手始めに鞍部上での流れの振舞がどのようなものであるかを知るために、短周期の水温、流速の連続観測を行ったので、その結果を報告する。

2. 観測方法および観測項目

鞍部上における短周期変動を知るため、成層の発達している8月に1回、混合が進行していると思われる12月に1回の観測を行った。8月の観測は鉛直3層に流速計を設置し、12月は鉛直2層(A点)と水平に約3km離れた鞍部の斜面上(B点)で1層流速観測を行った。ただしB点では水温と流向しか得られなかった(Table 1 参照)。

得られた流速と流向の資料から東西成分と南北成分に分け、その変動を比較、検討した。

Table 1. Observations in the present study.

Period of observation	Depth	Sampling interval	Remarks
Aug. 2-3, 1976	40 m	22 sec	Current velocity was not available.
	54 m	22 sec	
	67 m	26 sec	
Dec. 4-7, 1976	Sta. A		Current velocity was not available.
	45 m	22 sec	
	100 m	22 sec	
	Sta. B		
	100 m	22 sec	

3. 観測結果と考察

1) 観測点における水温鉛直構造

8月と12月の流速計設置点において行った水温、塩分観測結果を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。8月の場合、表面水温が 27.1°C、海底付近が 17.2°C で、およそ 0.13°C/m の勾配で線型に減少している。つまり鞍部上では表面から海底まで躍層であったといえる。図にはないが、鞍部をはずれた湾中央部の水深 200 m の観測では、100 m 以深では 15.5°C 程の等温層になっていた。

12月の場合、鞍部の北端 A 点での水温は表面から 60 m までは等温で、60 m から海底(120 m)に向っては線型に減少している。一方、鞍部の斜面上水深 160 m の海域 B 点では、表面から 80 m まで等温、80 m から 120 m まで減少し、120 m 以深からは海底まで等温になっている。A 点と B 点では等温層に 20 m 程度の差があって、斜面上の B 点の方が混合が深くまで達している。密度の垂直分布もほぼ水温の変化と類似しているので、水深 120 m の鞍部上では躍層の上に等質の海水が乗っていて両層の厚さはそれぞれ約 60 m であったと考えられる。

2) 8月の流速・水温短周期変動

連続成層している8月の鞍部上の流速、水温の5分毎の時間変化を Fig. 4 に示す。これによると、40 m 層(上層)、67 m 層(下層)とも湾の出入

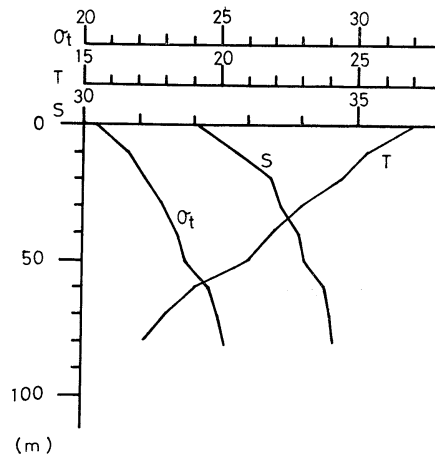


Fig. 2. Vertical profiles of temperature, salinity and density in August.

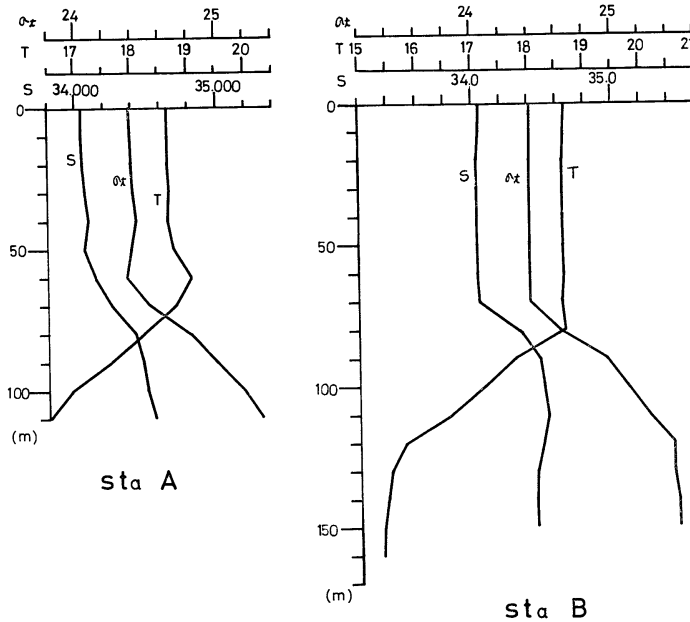


Fig. 3. Vertical profiles of temperature, salinity and density in December.

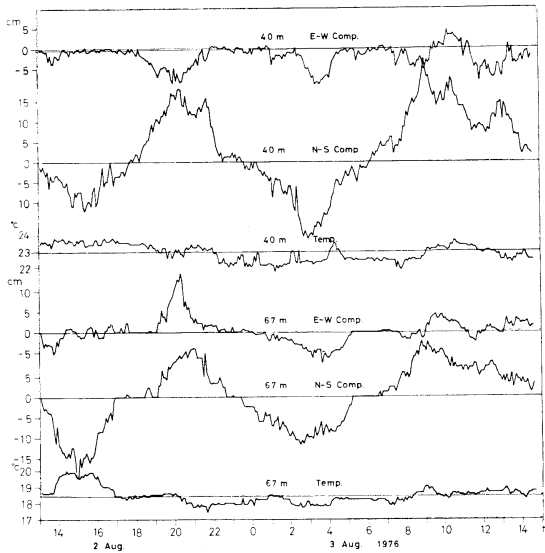


Fig. 4. Temperature and current velocity fluctuations recorded at intervals of 5 min. in 40 m and 67 m depth.

り方向にあたる南北成分が卓越しており、潮汐周期が明瞭にみられる。また、上下層の位相は一部を除き一致している。振幅は 40 m 層の方が大きく、下層の 2 倍位ある。特に 40 m 層では北向成分(流入)が南向成分(流出)より卓越している。

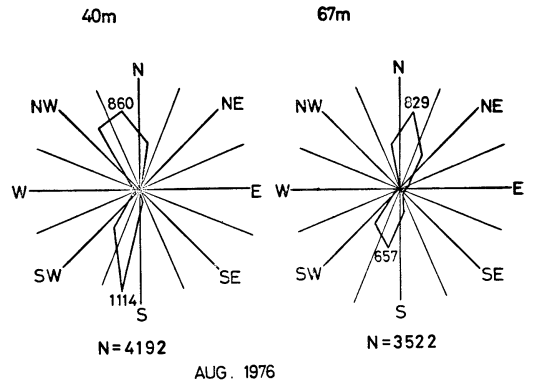


Fig. 5. Histogram of current direction in August. N indicates the number of data.

東西成分(湾の横断方向)では上下層とも変動が小さく、周期変化はみられない。特に上層はほとんどが西向き成分になっている。また、東西成分の変動で上下層が大きく違うのは、2日19時から22時までの3時間で完全な逆位相になっている。

流速ベクトルの最大は、上層で 24.7 cm/sec, 下層で 19.8 cm/sec であり、流れそのものはあまり強くはなかった。平均流では、上層が 321° 方向 3.2 cm/sec, 下層が 84° 方向 0.1 cm/sec となり、上下層とも流入方向であるが、値そのもの

は小さく、特に下層ではほとんど0に近い。

次に、流向については、22秒毎のデータすべてを16方位に区分して頻度を表わした (Fig. 5)。これによると、上下層とも流出は $180^{\circ}\sim 200^{\circ}$ の間で一致しているが、流入は上層が $340^{\circ}\sim 0^{\circ}$ 、下層が $0^{\circ}\sim 22^{\circ}$ であり、上下層で 20° 近くずれている。図の通り下層は完全な往復運動をしているが、上層は西寄りにくびれている。

水温では上層が 2°C 位の間で変化し、周期的変動らしきものがみられるが、下層ではほとんどない。顕著な変動は、8月2日14時から17時の南流時に下層では平均より 1.5°C 程高い水温上昇がみられる。上層でもやはり平均値より高いが、目立つ程ではない。これは湾中央部の暖水が湾外へ流出していったものと思われる。

3) 12月の流速・水温の短周期変動

12月の観測の場合には Fig. 6 に5分毎の時間変動を示してある。潮汐周期が卓越しているのは8月の観測と同じであるが、著しく異っているのは上層(45 m層)の東西成分はすべて西向きであり、下層(100 m層)ではすべて東向きになっている。ま

た、南北成分では上層で南向きが多く、下層で顕著な北向きを示している。変動は下層の方が振幅が大きい。

流速ベクトルの最大を示すのは、上層で 220° 方向 21 cm/sec 、下層で 19° 方向 33.4 cm/sec 、また平均流では上層が 250° 方向 6.9 cm/sec 、下層が 37° 方向 7.3 cm/sec であり、平均流の大きさは上下層で同程度である。しかし、方向は上層で流出、下層で流入となっている。

Fig. 7 にそれぞれの層の流向頻度図が描かれているが、これによると A 点上層は主に南西方向に、下層は北北東方向にピークがある。B点(100 m層)は A 点下層と同じく、ほとんどが流入方向であるが、主に2方向に分れている。つまり一方は北東～東北東に、他方は 100° 近くのずれをもった北西方向である。この北西方向への流入は A 点下層には全く存在せず、むしろ上層に存在している。このことは、A 点下層の流速が B 点到着する間に地形の影響で変形されたのか、あるいは A 点上の流入水が斜面を下りて B 点 100 m に達した可能性が考えられる。しかし、これだけの資料か

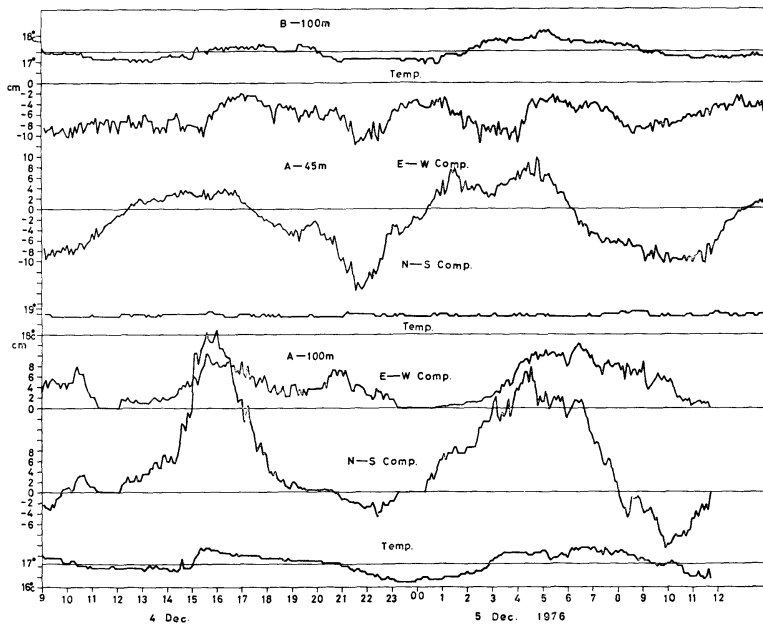


Fig. 6. Temperature and current velocity fluctuations recorded at intervals of 5 min. in 45 m and 100 m depth at Sta. A. Temperature was obtained only in 100 m at Sta. B.

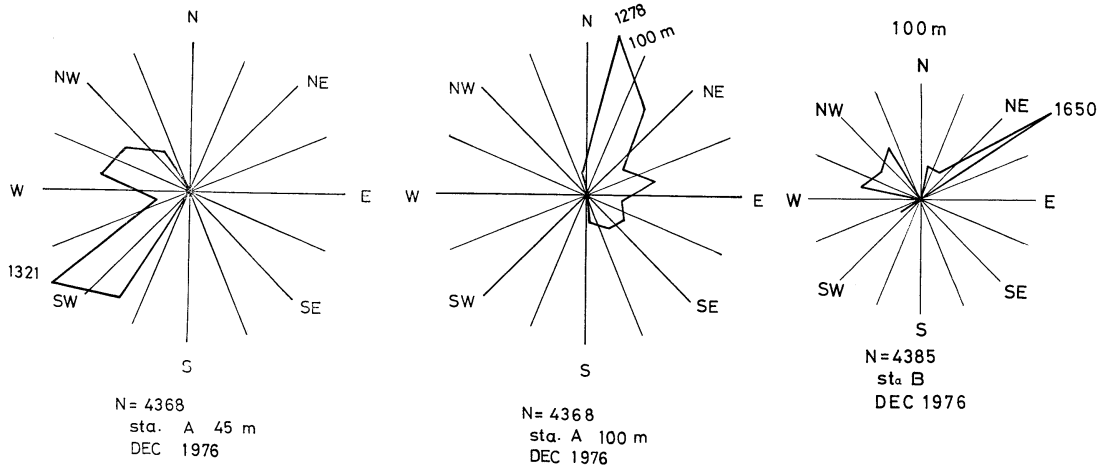


Fig. 7. Histogram of current direction in December at Stas. A and B. N indicates the number of data.

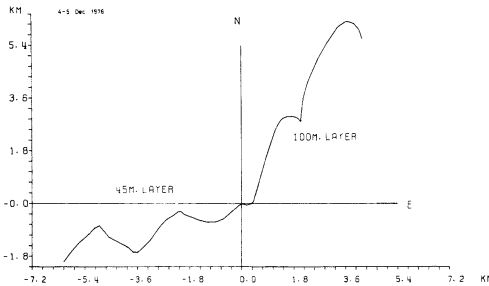


Fig. 8. Space trajectories of water in 45 m and 100 m at Sta. A in December.

らは結論ができない。A 点における流速の進行ベクトル図を描くと Fig. 8 のようになり、上層と下層とでは逆方向に進行していることがわかる。

水温では、A 点下層及び B 点で潮汐周期らしきものがみられるが、A 点上層ではほとんど変化がない。観測期間の平均は A 点下層が 16.9°C、B 点が 17.4°C であり、湾内寄りの B 点が 0.5°C 程高温であった。

4. 解析

前述したように、鞍部上では 8 月は海面から海底まで躍層、12 月は 2 層の海であったが、密度の分布から流速計設置水深の Väisälä 振動数を

$$N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (z \text{ は上向き正})$$

により計算し周期に直すと、8 月の 40 m 層において 5.2 分、54 m 層で 3.7 分、67 m 層で 5.8

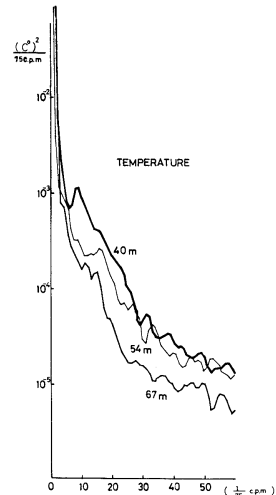


Fig. 9. Power spectra of temperature fluctuations in August.

分、そして極大は 75 m 層の 7 分であった。12 月の A 点では 45 m 層は等質層の中であったが、100 m 層は 8.5 分、B 点では 8.7 分であったので、これらの周期以上の内部波が存在することは可能である。

一方、22 秒毎のデータを B-T 法によりスペクトル解析したものを Fig. 9~Fig. 12 に示す。これによると 8 月の水温変動のパワースペクトルにレベルの違いがみられ、40 m、50 m、67 m、の順に小さくなっている。また、40 m 層では 8~9 分、54 m 層では 4.6 分、67 m 層では 6 分にピークが

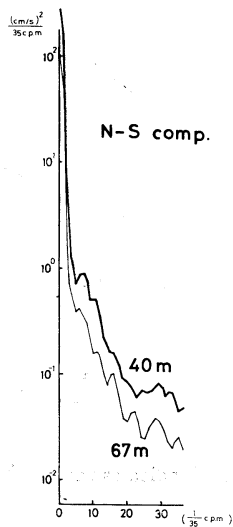


Fig. 10. Power spectra of north-south component fluctuations in August.

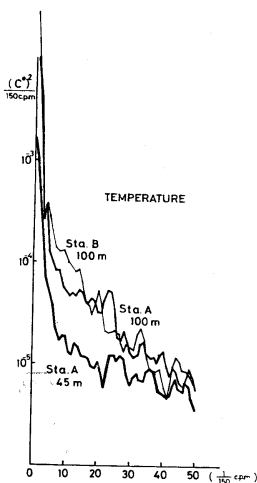


Fig. 11. Power spectra of temperature fluctuations in December.

みられ、Väisälä 周期に近い値を示している。流速スペクトルをみると 40 m 層で 5.2 分、67 m 層で 6.1 分にピークがあり、ほぼ水温のピークと一致している。

12月の水温は等温層内にある A 点上層がパワースペクトルのレベルが下層に比べてはるかに低く、変動の少なさを表わしている。A 点下層と B 点では 7 分前後と 12 分前後にピークがみられる。また、A 点下層の流速には 7 分前後と 15 分前後に

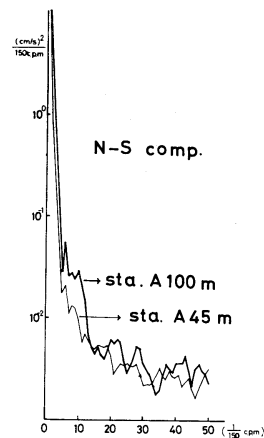


Fig. 12. Power spectra of north-south component fluctuations in December.

ピークがみられる。水温と流速の 7 分前後のピークは Väisälä 振動に非常に近い値である。

上述した 8 月と 12 月のスペクトルでピークのあった周期については、主な振動方向を知るため、それぞれの層における各要素、南北成分、東西成分、水温の相互の組合わせで関連度関数、位相差を求めた。その結果、両月ともどの組合わせについてもほとんどの場合、関連度が信頼限界以下であって振動の方向を知ることができなかった。ただ 12 月の A 点下層において、南北成分と東西成分の間に 6 分、15 分の周期とも関連度が 0.4 であった。信頼限界が 0.09 なので有意であると思われる。位相差は両周期ともほとんどなかった。これらの周期におけるエネルギー密度は南北成分が東西成分の 6 分では 2 倍、15 分では 2.5 倍であったので、その振幅は 1.5 倍程度になる。位相差はないので、以上の周期の主たる振動は北北東—南南西方向となり、これは湾の縦軸方向である。

調和解析によると半日周潮流が日周潮流より卓越していたが、その長軸の方向もこの結果と同じであった。更に平均流でも前述したように 37° 方向であったので、方向は一致していた。この湾縦軸方向の振動が何に起因するものかは断定できないが、設置層が躍層の中であったので内部波の可能性もある。

次に鉛直方向の変動のスケールを知るために、上層と下層の関連度を両月につき調べたが、どの

組み合わせも有意な値が得られず，鉛直方向の変動は小さいものであったと思われる。

5. 検 討

水温のエネルギー密度が Väisälä の周期以上に集中しているように見えるので変動が内部波によってなされるとすると，鞍部上では垂直 shear が大きくなって砕破がおこり混合される可能性がある。そのためには層の安定，不安定が問題になってくる。

鉛直方向の shear による安定性を見積るため，平均流速を使ってリチャードソン数 (Ri) を計算した。

$$Ri = N^2 / (\partial \bar{U} / \partial Z)^2$$

12月の場合，45 m 層の平均流は 6.9 cm/sec，100 m 層が 7.3 cm/sec で，方向は上下で逆である。このことにより2層の海を考え，深さは100 m - 45 m = 55 m で $\Delta \bar{U} = 14$ cm/sec とすれば，分母は 2.55×10^{-2} (sec⁻¹) となる。分子の Väisälä 振動の2乗は $1,372 \times 10^{-4}$ (sec⁻²) より

$$Ri \approx 21.1$$

となる。同様にして8月は

$$Ri \approx 337$$

となる。 $Ri \geq 1/4$ は安定であるから，shear による不安定はない。

次に鉛直方向の流れの shear が最も大きいと考えられる観測中の最高流速を示す時を選んでリチャードソン数を求めると，12月は4日16時頃で，下層で大きく 33.4 cm/sec，19° 方向，このときの上層は 8.6 cm/sec，282° 方向を示し，流れの向きは逆であった。このとき

$$Ri \approx 2.4$$

であった。8月は3日9時頃で，上層が大きく 24.7 cm/sec，350° 方向，下層は 11.1 cm/sec，10° 方向で，上下層とも流入方向を示し，

$$Ri = 19.8$$

となつて，最大流速を示す時においても shear に

よる不安定はなく，層は安定している。このためいったん起きた内部波はなかなかくずれないし，短周期の内部波があつても発達し難く，上下の混合には大きく貢献しているとは考えられない。

ところで，12月の場合，A点とB点は湾口の鞍部に対して満潮時には lee side になる。流れは弱いので lee wave が発達して down stream 側にあたる斜面のB点付近で上下の変動をおこし，不安定にすることも考えられる。この観測からだけでは実証できないが，ただ，A点とB点で等温層に 20 m 近くの差があり，斜面上のB点がより深く混合されていること (Fig. 2 および 3 参照)，あるいは，水温連続記録から満潮時を中心にして3時間の平均水温を計算するとA点下層が 17.3°C，B点が 17.7°C となり，0.4°C 程B点が高いことになることなどから，lee wave による混合が成されているのかもしれない。試みに lee wave の安定不安定を見積るため，LONG (1955)³⁾ および BAINES (1977)⁴⁾ の方法に従つて

$$K = ND / \pi U$$

$$H = \pi h / D$$

N : Väisälä 振動数

D : 鞍部をはずれた場所の水深

h : 鞍部の高さ

U : 流速

に，この観測からの値

$$N = 1.23 \times 10^{-2} \text{ (sec}^{-1}\text{)}$$

$$D = 200 \text{ m}$$

$$h = 100 \text{ m}$$

$$U = 30 \text{ cm/sec.}$$

を代入してみると，

$$K = 2.59$$

$$H = 1.57$$

となる。同様にして，8月の場合には $K = 4.75$ ， $H = 1.57$ であつて，BAINES⁴⁾ の図によれば両月とも不安定領域となる。しかし，これらのことは更に観測を重ねて理論と比較していく必要があると思われる。

6. 要 約

鹿兒島湾々口鞍部において，8月と12月に行つ

た流速連続観測を中心に短周期の変動を述べたが、両月の特徴を比較しながらまとめると以下のようになる。

(1) 鞍部上では、8月は表面から海底まで躍層の中であり、12月は60m以深から海底まで躍層になっていた。

(2) 8月、12月とも流れは遅く、最高でも30cm/sec程度であった。方向については、8月は潮汐による往復運動をしていたが、12月は上層が流出、下層が流入で逆になっていた。

(3) Väisälä 周期は5~8分位の間にあり、パワースペクトルもその辺にピークがみられた。それ以上の周期における内部波が存在したと思われるが、リチャードソン数によると安定しているので混合には貢献しているとは考えられない。

(4) 12月の場合、A点とB点で満潮は平均水温で0.4°C、鉛直方向の等温層に20mの差があり、LONGのモデルを利用すると両月とも不安定領域になり lee wave の可能性が考えられる。しかし、このことはもっと観測を重ねていかなければならないと思う。

今回は短周期の変動にしぼって報告したが、観測は8月と12月の2回のみであり、鞍部上の変動から海水交換、混合過程をすべて解析することは

できない。今後さらに観測を重ね、変動の実態を把握していく予定である。

謝 辞

本研究にあたり討論及び御指導下さった鹿児島大学工学部富永政英教授、同じく前田明夫助教授に深く感謝の意を表します。また、観測に御協力下さった鹿児島大学南星丸及び東京大学海洋研究所淡青丸の乗組員の方々に感謝致します。

文 献

- 1) 高橋淳雄, 茶田正明 (1974): 鹿児島湾における汚染進行に關与する海洋自然環境について. 鹿児島湾水域環境調査報告書. 84 pp.
- 2) 富永政英 (1976): 海洋波動 第11章 内部波. 共立出版 (東京), p. 528-569.
- 3) LONG, R. R. (1955): Some aspects of the flow of stratified fluids III. Continuous density gradients. *Tellus*, **7**, 341-356.
- 4) BAINES, P. G. (1977): Upstream influence and Long's model in stratified flows. *J. Fluid Mech.* **81**, 147-159.

バラタナゴおよびアブラハヤの群れ 構造の光学的測定とその解析*

井上 実**, 長谷川英一**, 有元貴文**

A Study on the Structure of Fish Schools in *Rhodeus ocellatus* and *Moroco steindachneri* by the Photographic Observation*

Makoto INOUE**, Eiichi HASEGAWA** and Takafumi ARIMOTO**

Abstract: In order to observe the structure of fish school in three dimensions, two cameras were set above and beside an aquarium of 2.5×1.0×0.5 m. Bitterling, *Rhodeus ocellatus*, and minnow, *Moroco steindachneri* were used in the observation. It was necessary to correct the distance of fish on photography because of the parallax of camera and the refraction of water. This correction was calculated by the original method, in which the average error was 3.0% of the body length of the aimed fish.

The results obtained are as follows: 1) The schooling concentration of bitterling became close according as the number of individuals increased, whereas the reverse was true of minnow. 2) The degree of parallel orientation of bitterling was higher than that of minnow, and it was proportional to the swimming speed in bitterling. 3) The external structure of schools in both species was similar to their body forms; bitterling is compressiform and minnow fusiform. 4) When compared at 18.6 and 27.0°C, the schooling concentration of bitterling became sparse at higher water temperature.

魚群の構造を三次元的にとらえる手法として、写真撮影を用いた例に CULLEN ら¹⁾ および SYMONS²⁾ の研究がある。CULLEN ら¹⁾ は2個のブリズムをもつステレオカメラで魚体を2方向からの像として撮影した2枚1組の写真を用いる stereo method と、水底を均一に照明しその時の魚体とその影との位置関係を求める shadow method とから魚体の水底からの高さを求めている。この際、魚体の水平方向の位置は底面を一定間隔の格子縞にして求める方法を用いている。なお、この方法は上方からの写真で魚体の垂直方向の位置付けができるので野外でも使用できる可能性があるが、影を利用するため均一の照明が不可欠であり、また余りに多数の個体から成る群れの

場合は1尾ごとの影を判断するのに困難を生ずるものと思われる。さらに、解析上屈折角を充分小さいものとして行っているため解析可能な視野は制限される。一方、SYMONS²⁾ の方法では、上方および側方から同時写真撮影し、水槽内の長さ既知の場所から補正を加えて魚相互の空間的な距離を求めている。しかし、ここでは各魚体の位置を座標として決定していない。

本研究では SYMONS²⁾ の方法にならない、水槽の上方及び側方から魚群を同時に撮影し、群の先頭魚の吻端を原点として各個体の位置を三次元座標として決定した。その結果、群れの密度、個体間距離及び群れの平行性など群れ構造の立体的な解析が容易になったので報告する。

* 1979年2月23日受理

Received February 23, 1979

** 東京水産大学, 東京都港区港南 4-5-7

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

1. 実験方法

実験に使用した水槽は 2.5×1.0×0.5 m のプラスチック水槽で、水面から 1.35 m の距離と、側

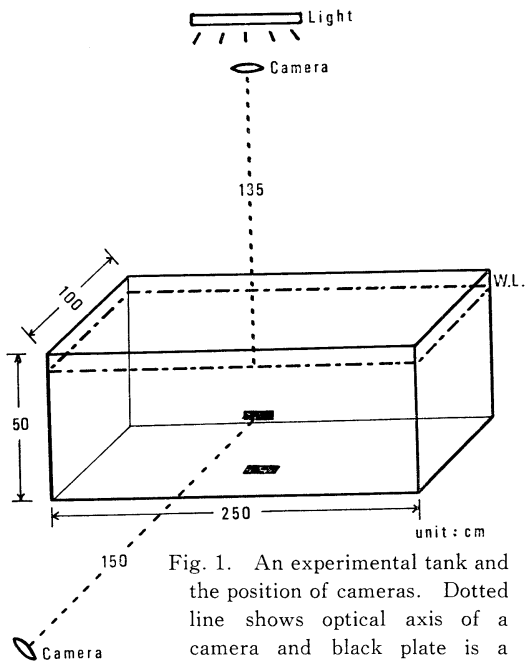


Fig. 1. An experimental tank and the position of cameras. Dotted line shows optical axis of a camera and black plate is a correcting criterion.

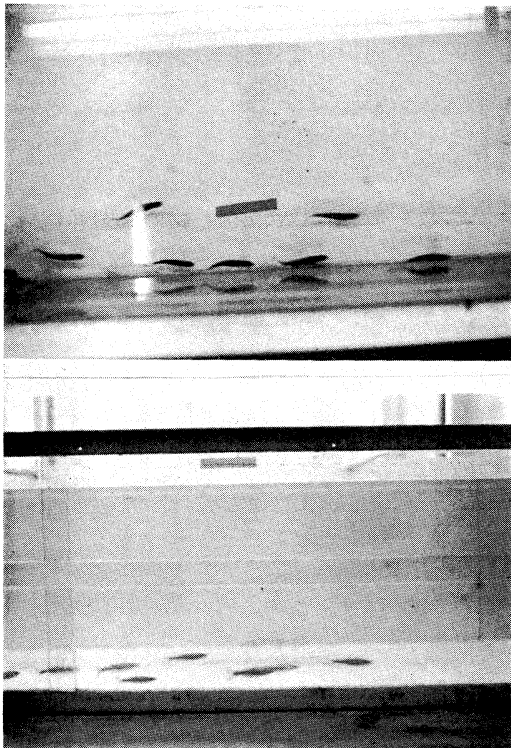


Fig. 2. Fish school of minnow (*M. steindachneri*). Above; from above. Below; from the side.

面から 1.50 m の距離にそれぞれカメラ 1 台ずつをセットした。カメラのレンズは何れも焦点距離 50 mm, f1.4 である。カメラの上方に 40 W の蛍光灯 1 本を置き照明用とした。なお、上方および側方にセットしたカメラの光軸が水槽の底面および側面と交差する近傍に、写真から実際の長さへの換算をするため、基準となる長さ既知の黒テープを貼った。実験装置を Fig. 1 に示す。

実験に供した魚種は主としてバラタナゴ *Rhodeus ocellatus* で、魚種による相違をみるためにアブラハヤ *Moroco steindachneri* を用いた。この両魚種は水槽内で随時群れを形成して遊泳する。バラタナゴは時期を変えて 2 度入手した。1978 年 4 月入手のものは実験時の平均体長 6.2 ないし 6.7 cm で、同年 10 月入手したものは実験時の平均体長は 5.2 cm であった。アブラハヤは 1977 年 4 月に入手し、その実験時の平均体長は 8.6 cm であった。何れも 60×30×45 cm の水槽で飼育しながら実験に供した。

実験当日は、午前中に給餌を済ませ、12 時に実

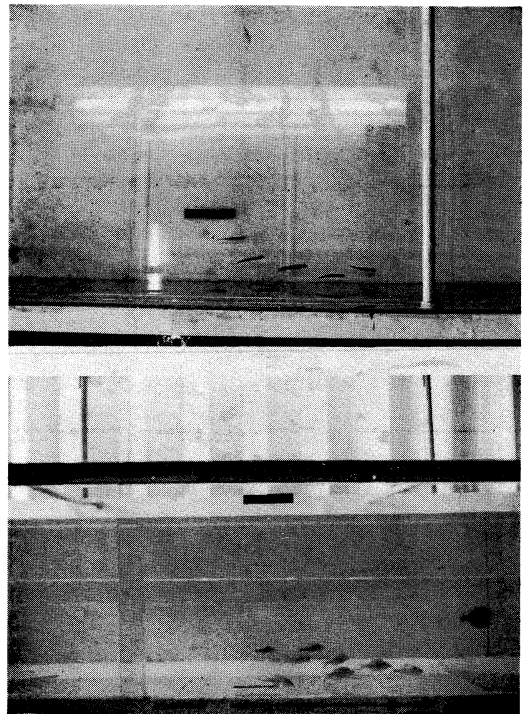


Fig. 3. Fish school of bitterling (*R. ocellatus*). Above; from above. Below; from the side.

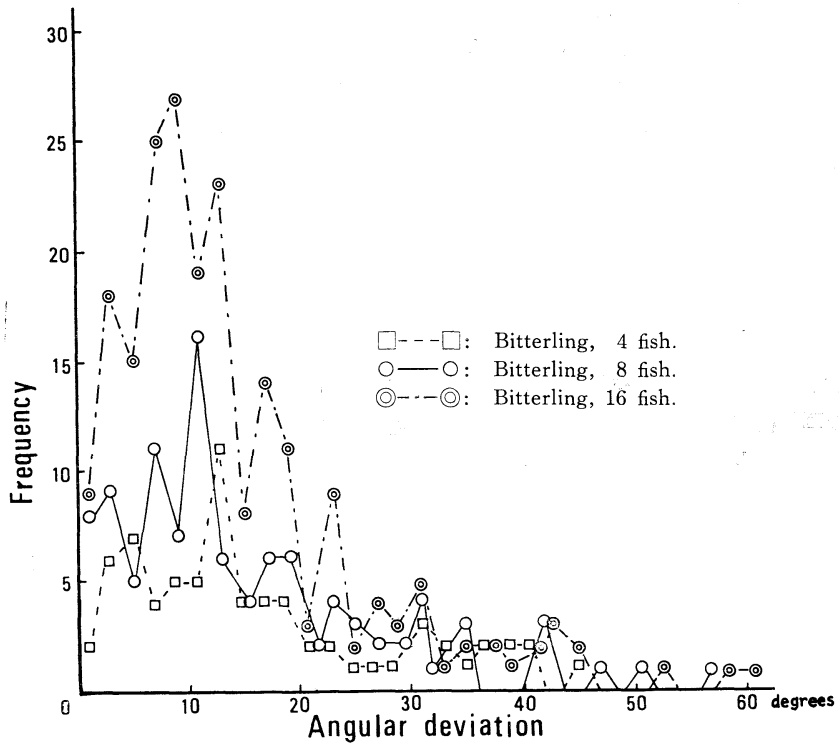


Fig. 4. Frequency distribution of the angular deviation from fish to their nearest neighbors.

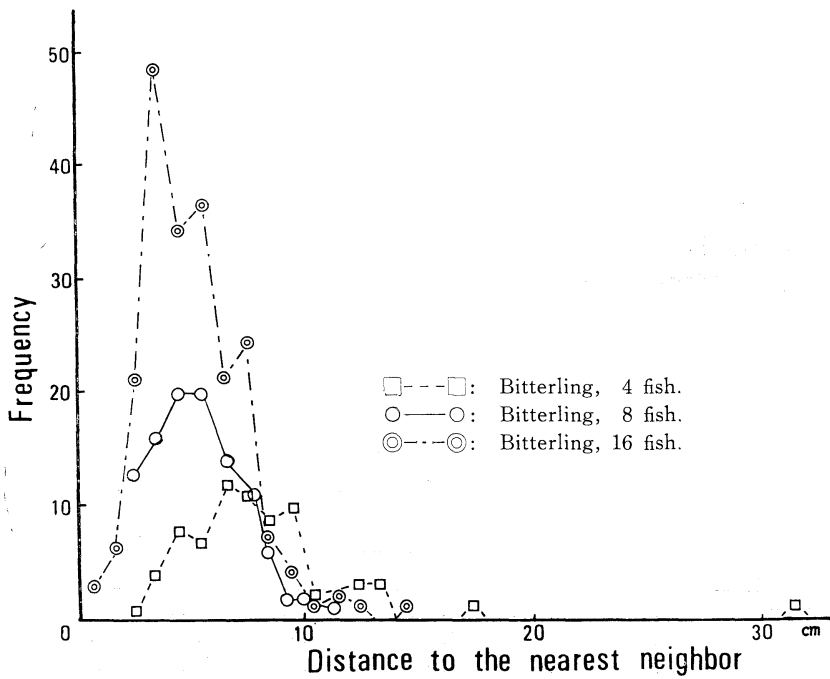


Fig. 5. Frequency distribution of the distance from fish to their nearest neighbors.

験水槽に移し約30分の順応時間をおいた後実験を開始し、カメラ視野内を魚群が通過するごとに2台のカメラのシャッターをレリーズを使用して同時に作動させた。バラタナゴとアブラハヤの群れの写真の例を Fig. 2 と Fig. 3 に示す。

なお、写真による映像の解析は水の空気に対する屈折やカメラの視差の影響を考慮して行ったが、その方法については末尾に述べる。

2. 結果及び考察

実験 I バラタナゴの群れ形成個体数と群れ構造

バラタナゴの群れ構造が群れ形成個体数によってどのように変化するかを次の実験により調べた。

飼育水槽より実験水槽へバラタナゴを 4, 8, 16 尾の群れとして移し、それぞれの場合の頭位交角、個体間距離、密度を比較した。測定に使用した上方および側方からの写真の組数と延べ個体数は、4 尾の群れが 24 組で 96 尾、8 尾の群れが 15 組で 120 尾、16 尾の群れが 14 組で 224 尾である。実験期間中の水温は 18.6 ないし 24.7°C で、供試魚の平均体長は 6.2 ないし 6.4 cm である。頭位交角とは最も接近した 2 個体がつくる角度のことで、個体間の平行性を知る目安となる。個体間距離は魚の吻端からその最も近い個体の最も近い部位で測定した SYMONS³⁾ の例があるが、個体間距離は誘引力の目安となることを考えて、魚相互の眼と眼との距離で測定した CULLEN⁴⁾ の例にならない、隣接する個体相互の吻端間の距離をもって示した。密度は群れを形成する魚 1 尾当たりが占有する容積の逆数に魚体の体積をかけた数値で表わした。以下これを密度指数と呼ぶ。頭位交角、個体間距離および密度指数についての詳細は解析方法

の項で述べる。

頭位交角および個体間距離の測定結果を Fig. 4 と Fig. 5 に示す。これらの図から個体数が増加するほど群れの平行性は高まり、各個体間の距離は縮まる傾向がうかがわれる。密度指数は 4, 8, 16 尾の順に 0.026, 0.032, 0.051 となり、個体数が増加するほど密になっている。すなわち、個体数の増加は個々の魚の誘引力の増加を促していることがわかる。群れの誘引力が強まると、その群れを形成する個々の魚の行動により強い統一性が生じ、群れ全体としての行動にも一定した方向性を生ずることになり、平行性が増加することは必然的であるように思われる。

実験 II アブラハヤとバラタナゴの群れ構造の比較

魚種による群れ構造の外観および内部構造の相違をみるために、アブラハヤを用いて実験し、実験 I のバラタナゴの結果と比較を行った。

アブラハヤの場合、8 尾を実験水槽に移し観察したところ、常時 8 尾の群れを維持し続けることは稀で、その中の数尾は時々群れを離脱するため測定に用いた群れ形成個体数は一定せず、撮影した 27 組の写真を 3 および 4 尾の群れ、5 尾の群れ、6 尾の群れ、7 および 8 尾の群れの 4 種類に分けて解析した。写真の各組数は順に 5, 7, 10 および 5 組である。実験水温は 15.2°C、供試魚の平均体長は 8.6 cm であった。

群れ形成個体数の増加に伴う密度指数と x, y, z 軸方向への群れの広がり方をまとめたのが Table 1 である。この場合、 x, y, z 軸は次のように定めた。群れは水槽の壁面に沿って遊泳することから壁面と平行な群れの進行方向を y 軸とし、壁面と

Table 1. Relation among the number of fish in a school, the density of the school and the extension of fish school in three dimensions.

Number of fish item	Bitterling (<i>R. ocellatus</i>)			Minnow (<i>M. steindachneri</i>)			
	4	8	16	3~4	5	6	7~8
Index of density	0.026	0.032	0.051	0.060	0.020	0.031	0.018
X cm	8.3	8.5	9.1	4.7	7.8	8.0	9.6
Y cm	21.6	27.8	41.9	41.1	56.2	52.3	60.5
Z cm	5.2	6.3	5.2	3.2	6.0	4.9	7.2

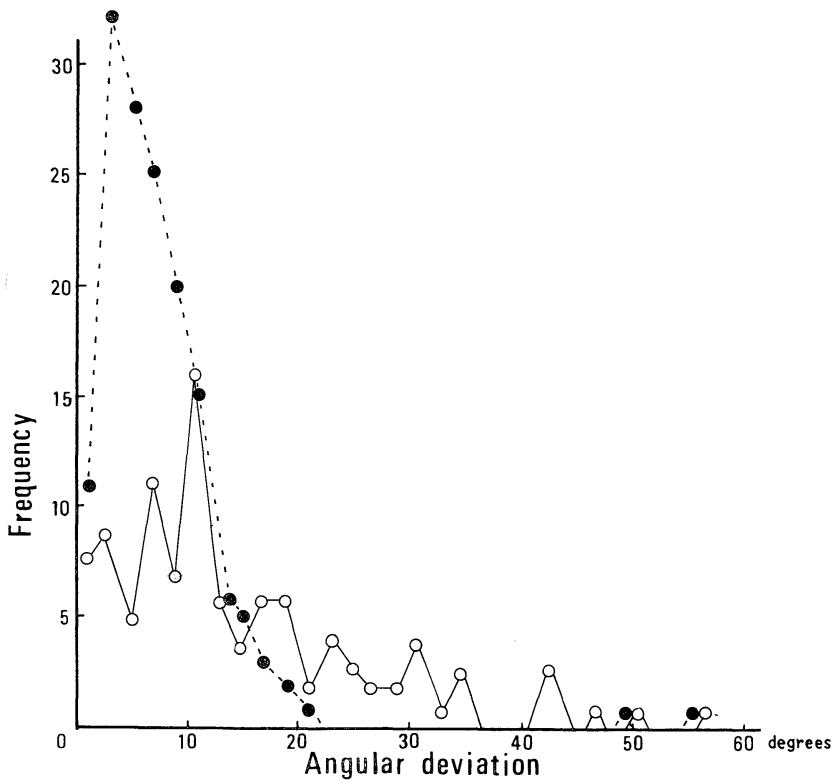


Fig. 6. Frequency distribution of the angular deviation from fish to their nearest neighbors.

○—○: Bitterling, 8 fish.
●---●: Minnow, 8 fish.

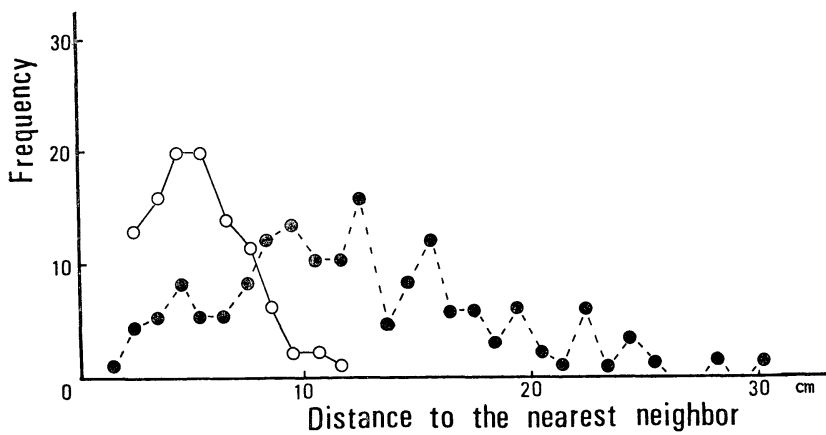
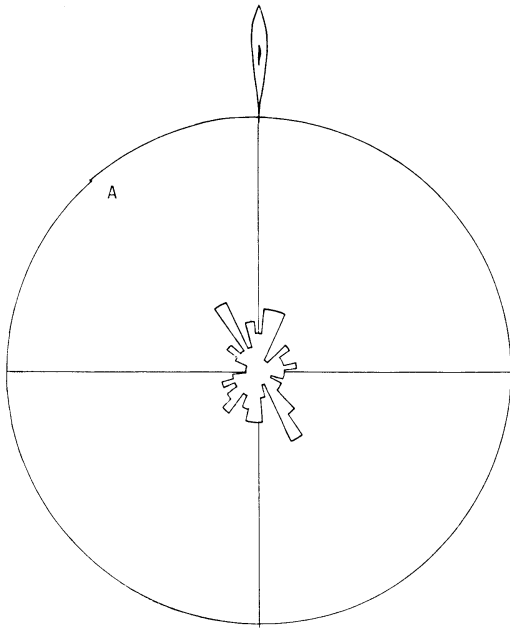
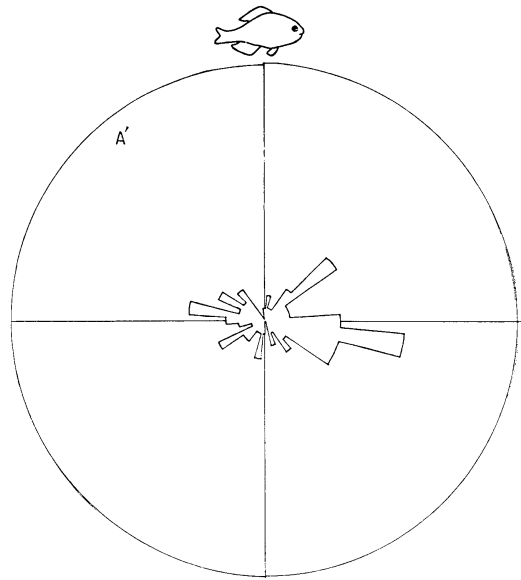


Fig. 7. Frequency distribution of the distance from fish to their nearest neighbors.

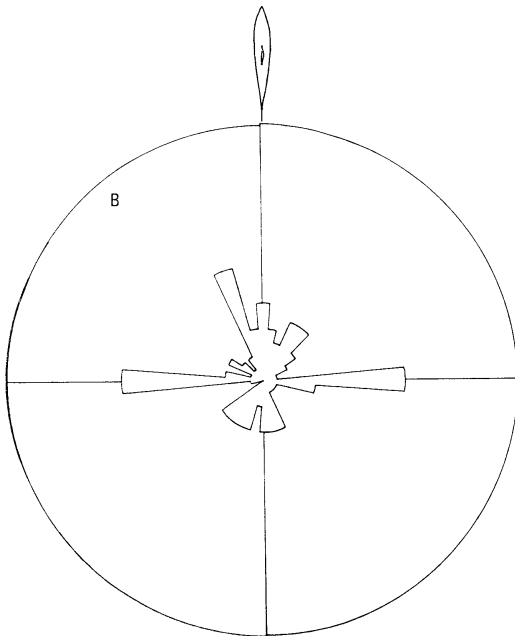
○—○: Bitterling, 8 fish.
●---●: Minnow, 8 fish.



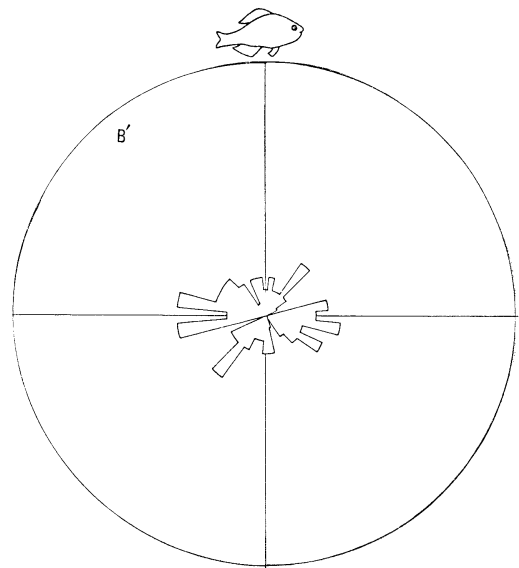
A: Horizontal plane with bitterling (4 fish).



A': Vertical plane with bitterling (4 fish).

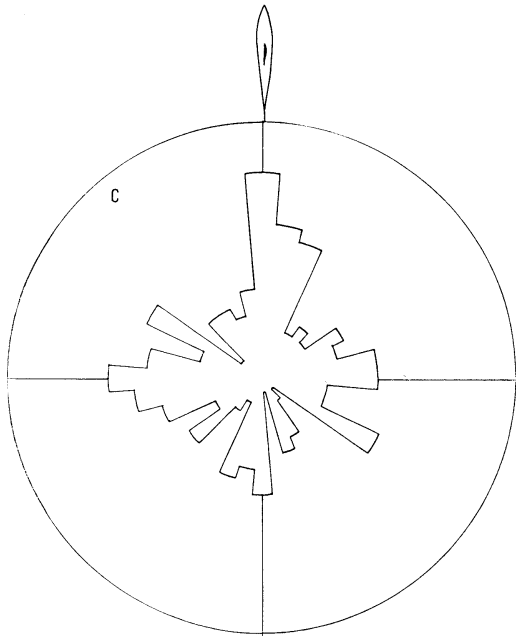


B: Horizontal plane with bitterling (8 fish).

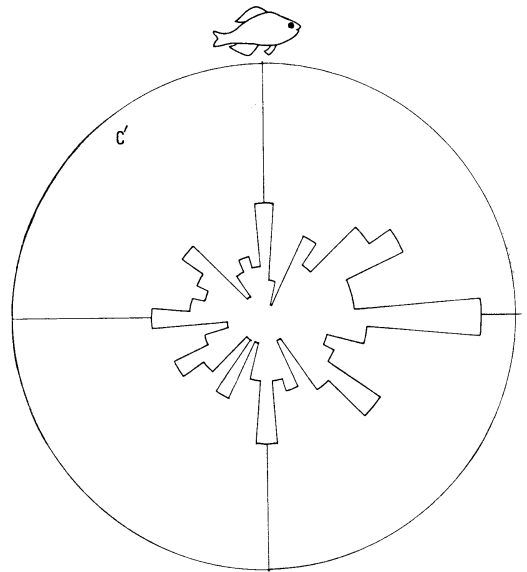


B': Vertical plane with bitterling (8 fish).

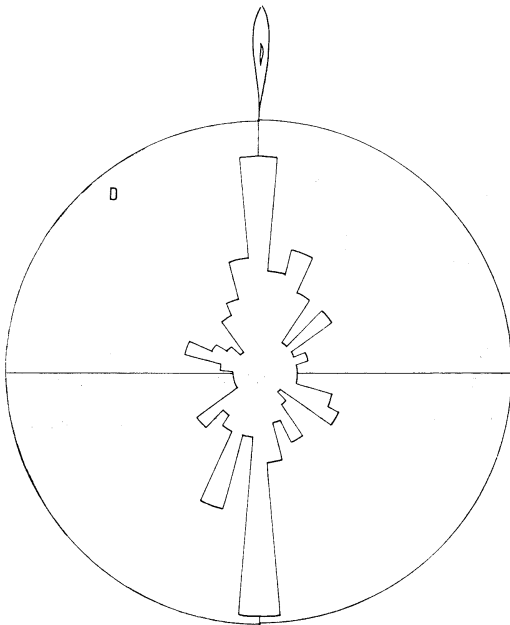
Fig. 8. Frequency distribution of the nearest neighbors, projected into the horizontal plane relative to a fish oriented in the direction shown, but with its head at the center of the



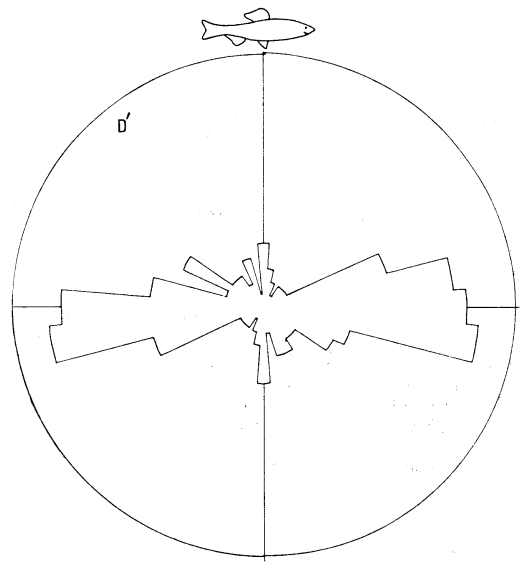
C: Horizontal plane with bitterling (16 fish).



C': Vertical plane with bitterling (16 fish).



D: Horizontal plane with minnow (8 fish).



D': Vertical plane with minnow (8 fish).

and the vertical plane of symmetry of the fish. The distribution must be imagined circle. The circle corresponds to a frequency of 20 observations.

直角な群れの左右方向を x 軸、群れの上下方向を z 軸とした。この表に見られるようにバラタナゴとは逆にアブラハヤでは群れ形成個体数が多いほど疎な群れとなった。バラタナゴでは、群れの広がり方は群れ形成個体数の増加に従って y 軸方向、すなわち、群れの進行方向への延長が顕著になるが、 x 、 z 軸方向は余り変動が見られない。Fig. 6に見られるように、頭位交角はバラタナゴで10ないし12度、アブラハヤで5ないし6度に出現頻度のピークが現われている。また、Fig. 7に見られるように、個体間距離はバラタナゴで4ないし6 cm、アブラハヤで12ないし13 cmに出現頻度のピークが現われている。すなわち、バラタナゴに比べアブラハヤの方が群れの平行性は高く、個体間距離は両魚種の平均体長(バラタナゴ=6.2 cm、アブラハヤ=8.6 cm)を考慮してもアブラハヤの方が大きいことがわかる。

ここで、両魚種の群れ形成についての問題点を2つに分けて考える。1つはアブラハヤとバラタナゴの群れ構造の相違点、他の1つは個体数の増減と群れ構造の外観上の変化である。最初の問題点、すなわち、群れ構造の相違点は両魚種の体形的特徴に関係して相違しているようである。体高と体長の比はバラタナゴでほぼ2:3、アブラハヤで1:7であり、前者は側偏形、後者は紡錘形と呼ばれるものである⁴⁾。Table 1において、 y 軸方向の群れの広がりを1とした場合、 x 軸および z 軸方向の広がりはバラタナゴ8尾の群れで0.31と0.23、アブラハヤの総計で0.14と0.10となり、相対的にみた場合、群れの外観構造はその群れを形成する魚種の体形を反映しているようである。また、両魚種ともに z 軸方向より x 軸方向、すなわち、上下方向より左右方向に幾分大きく広がる傾向をみせるのは、各個体の相互視認に基づく位置選択の結果であろう。

次の問題点は個体数と群れ構造との関係である。この点について個体相互の位置関係をさらに詳しく知るために、隣接する個体相互がどのような位置を好んで選択するかを上方および側方から調べ、まとめたのがFig. 8である。図中、魚の向きは群れの進行方向を表わし、ある魚に対してそ

れに隣接する魚が水平方向あるいは垂直方向に何度の方角に位置するかを表わすヒストグラムになっている。なお、この方法はCULLEN^らの方法を参考にした。群れ形成個体数4, 8, 16尾それぞれの水平および垂直方向の図を同時に考えると、空間的な位置関係としても考えることができる。そのように考えた場合、群れ形成個体数の増加に伴う個体間の位置関係の分布状態は球状になる傾向があるように思われる。 x, y, z 軸方向に同数ずつ分布すると考えるならば、群れの外観上バラタナゴの群れが y 軸方向に長い構造をもつことから、 x 軸および z 軸方向に魚が集中することになる。これは個体数の増加に伴う群泳乱流の増大の影響を後続魚が避けるための位置選択によるものであろう。また、バラタナゴとアブラハヤそれぞれ8尾の群れの場合に見られるように、アブラハヤは個体相互が進行方向に連なって位置することが多いのに対し、バラタナゴは対角線上ないしは左右方向に位置することが多くなっている。これはアブラハヤのような紡錘形に比較し、バラタナゴのような側偏形は遊泳乱流が大きく、そのことに起因する個々の魚の位置選択によるものであろう。

実験 III バラタナゴの群れ構造におよぼす水温の影響

環境水温の群れ構造におよぼす影響について調べるため、1978年5月2日に観察した18.6°Cでのバラタナゴ8尾の群れ構造と、同年7月6日に観察した27.0°Cでの同魚種、同尾数の群れ構造とを比較した。実験は水温の自然上昇を待って行われた。なお、27.0°Cでの測定に使用した写真は20組、測定対象となった延べ個体数は160尾であり、平均体長は6.7 cmであった。

頭位交角についてはFig. 9からわかるように、水温の高低に関わらず、測定尾数の約45%は4ないし14度の範囲に属し、頭位交角の相違はみられない。同様にFig. 10から、個体間距離についても測定尾数の約50%は4ないし7 cmの範囲に属し、相違は認められないが、個体数頻度のピークは僅かに高温で個体間距離が大きくなり、また値の分散が多く見られる。密度指数に関して

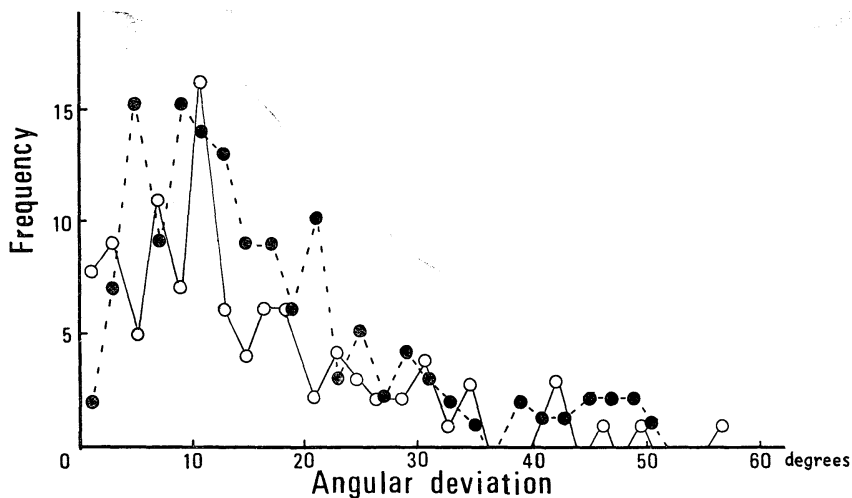


Fig. 9. Frequency distribution of the angular deviation from fish to their nearest neighbors.

- : Bitterling (8 fish) at 18.6°C.
- : Bitterling (8 fish) at 27.0°C.

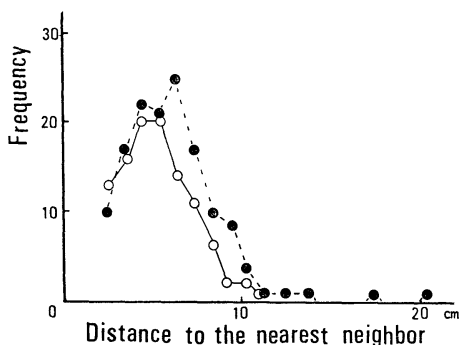


Fig. 10. Frequency distribution of the distance from fish to their nearest neighbors.

- : Bitterling (8 fish) at 18.6°C.
- : Bitterling (8 fish) at 27.0°C.

は、18.6°C の場合は 0.032, 27.0°C の場合は 0.027 と、高温で密度が疎になった。

実験に先立ち実験水槽内の水は十分に曝気を施したので、その時々水温条件で飽和酸素量 (18.6°C: 9.08 mg/l, 27.0°C: 7.86 mg/l) になっているとみなすことができ、水温の上昇によって 13% の DO 減少が認められ、バラタナゴ群の高温での分散は McFARLAND and MOSS⁵⁾ の次の説をあてはめることができる。すなわち、「魚群の構造は環境水の溶存酸素量の低下と関わりをもって変化する。すなわち、群れ内部における酸素

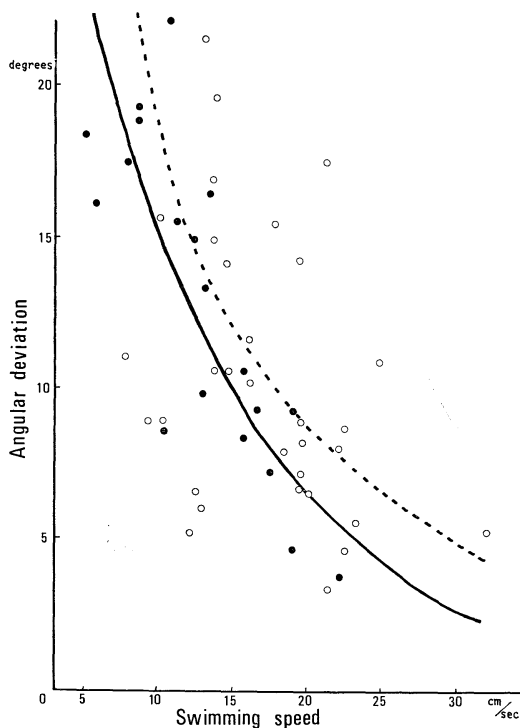


Fig. 11. Relation between the swimming speed and the angular deviation from fish to their nearest neighbors.

- : Bitterling (8 fish), average body length 6.5 cm.
- : Bitterling (8 fish), average body length 5.2 cm.

消費が群れを形成する個々の魚に影響を及ぼし、その結果生ずる個々の魚の反応行動が魚群の構造を変化させる。こうした個々の魚の反応行動は、魚群を形成する各個体と、それをとりまく群れ環境との間の安定性を維持しようとする適応行動である。」バラタナゴの棲息可能水温域は比較的広いが、本実験での個体間距離の高温での増大及びその値の分散、密度指数の高温での減少など、水温変化が群れ構造に及ぼす影響は明らかで、それは溶存酸素量に影響されたものと思われるが、詳細は今後の実験で明らかにしたい。

実験 IV バラタナゴの群泳速度と群れ構造

バラタナゴ8尾を使用し、その群泳速度と群れ構造の関係を観察した。カメラ視野内の一定間隔を先頭魚が横切るのに要する時間をストップウォッチを用いて測定し、群れの遊泳速度として算定した。また、同時に写真撮影も行った。平均体長6.5 cmの群れの測定に使用した写真は32組、測定対象となった延べ個体数は256尾、実験水温は

22.5°Cであり、平均体長5.2 cmの群れの場合はそれぞれ28組、224尾、17.9°Cであった。

Fig. 11は、平均体長6.5 cmと5.2 cmとの群れについて、その群泳速度と頭位交角を示したもので、平均体長6.5 cmの群れでは巡航速度(体長の2ないし3倍 cm/sec⁶)以下で数値の分散がかなり見られるが、両方の場合とも指数曲線的な関係で群泳速度が速いほど群れの平行性が高まる傾向をみせている。群れを維持するためには、各個体が目標とする個体への追従を余儀なくされ、速度が増加するほどその方向性も一定するからであろう。しかし、その平行性も直線的に増加しないのは何故であろうか。個体間の距離が関与しているかどうかをみるために、同じ群れについてその群泳速度と個体間距離の関係について調べたところ、群泳速度が変化してもその群れを形成する個体間の距離は4.0ないし6.5 cmで、ほぼ一定していた。すなわち、群泳速度の増減は個体間距離に何ら影響をおよぼさないことがわかる。個体間距離を一定に保持しようとする魚の行動は、とりも直さず視覚目標との関係を想起させる。井上・黒岩⁷⁾によると、「魚の追従行動は前方視、側方視に拘らず、両眼に刺激を受けている場合に最も生じやすい」という。すなわち、群れを形成する各個体は定常状態で群れ内の視覚目標とする他の個体に追従しようとするであろう。その時の個体相互の位置は、完全に平行な位置より少々鋭角的な位置を占めた方が両眼に刺激を受けやすいことを考えれば、上記の現象は納得されるであろう。

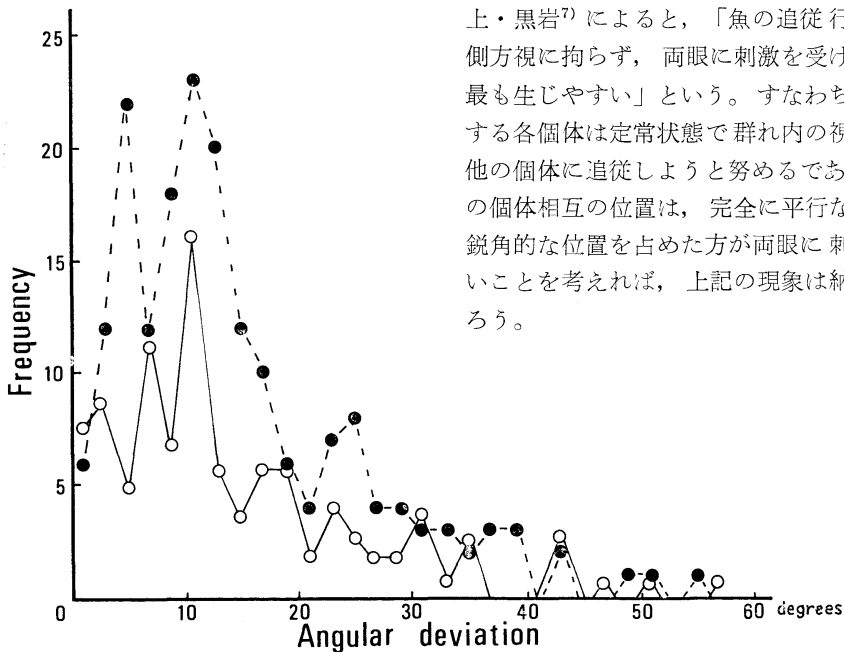


Fig. 12. Frequency distribution of the angular deviation from fish to their nearest neighbors.

○—○: Bitterling; all fish are male.

●---●: Bitterling; female:male=4:4.

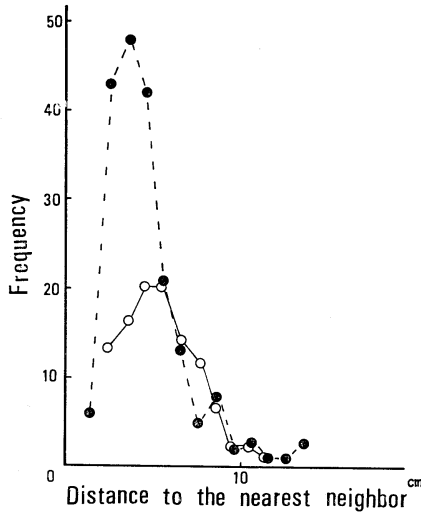


Fig. 13. Frequency distribution of the distance from fish to their nearest neighbors.

○—○: Bitterling; all fish are male.
●---●: Bitterling; female : male = 4 : 4.

実験 V バラタナゴの雌雄関係と群れ構造

前回までの実験では、雄のみから成る群れを観察したが、長田・西山⁸⁾によると、バラタナゴは繁殖期に雌雄間で特異なわばり行動が見られるという。従って、本実験では実験で使用した雄のみから成るバラタナゴ8尾の群れと、雌雄同数ずつ(♂:♀=4:4)から成る群れとの、群れ構造の比較を試みた。

Fig. 12 と Fig. 13 は頭位交角および個体間距離について比較したグラフである。頭位交角については、何れも10ないし12度に出現頻度のピークが現われ、雌雄関係による影響は認められない。個体間距離については、雄のみから成る群れでは4ないし6cm、雌雄4尾ずつの群れでは3ないし4cmにそのピークがあり、両群に差異が認められる。雄のみから成る群れの平均体長は6.2cm、雌雄4尾ずつの群れの平均体長は5.2cmであり、個体間距離に見られる両群の差を雌雄間の影響が現われたものと考えより、供試魚群の体長が群れ構造に影響をおよぼすというVAN OLST and HOUNTER⁹⁾の見解のように、供試魚の平均体長の差が個体間距離の差となって現われたと考える方が妥当であろう。

解析方法

魚群中の先頭魚の吻端を三次元空間での原点とし、魚群を形成する全ての個体の吻端および尾端の座標をを求める。

個体間の距離はピタゴラスの定理から $\{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2 + (z_n - z_{n-1})^2\}^{1/2}$ 。ただし、 n は先頭魚から数えて n 番目の魚。また、個体の吻端と尾端の座標をそれぞれ (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) とすると、この個体を有向線分とみなし方向余弦は $\left(\frac{x_1 - x_2}{r}, \frac{y_1 - y_2}{r}, \frac{z_1 - z_2}{r}\right)$ 。ただし、 r は個体の全長である。こうして求めた2個体の方向余弦を (l, m, n) , (l', m', n') とした場合、この2個体が空間的につくる角度 φ は、 $\varphi = \cos^{-1}(ll' + mm' + nn')$ 。この式から2個体間の平行性を知ることができ、これを頭位交角と呼ぶ。群れの密度を知る目安として、群れの形および魚体形を楕円体とみなし、群れの中で1尾が占める体積とその個体の体積の比を考え、これを密度指数とする。楕円体の体積は $\frac{4}{3}\pi abc$ 。ただし、 a, b, c は楕円体の中心を原点とみなした場合の x, y, z 軸それぞれとの切片であるから、 $a = \frac{x}{2}$, $b = \frac{y}{2}$, $c = \frac{z}{2}$ を代入 (x, y, z はそれぞれの方向の群れの広がりを表わす) すると、 $\frac{\pi xyz}{6}$ が群れの体積となり、群れの中で1尾当たりが占める体積は群れ形成個体数を n とすると $\frac{\pi xyz}{6n}$ となる。 $x = x_0$, $y = y_0$, $z = z_0$, $n = 1$ (x_0 : 背鰭基部における魚体幅, y_0 : 魚体長, z_0 : 背鰭基部における魚体高) とおくと、 $\frac{\pi x_0 y_0 z_0}{6}$ は1尾の魚体積となる。よって、密度指数は $\frac{n x_0 y_0 z_0}{xyz}$ で表わされる。

上方からの写真で水平方向、側方からの写真で垂直方向の距離をノギスを使用して $\frac{1}{20}$ mm 単位まで測り、カメラの光軸付近に置いた長さ既知のテープの写真上での長さから cm 単位の実際の距離に換算した。ただし、光軸から離れるほど視差および水の屈折の影響が大きくなるため、比較的広範囲に広がった群れの場合、誤差の補正が必要となる。

1. 視差 (parallax)

側方からの写真で座標の補正方法を解析してまとめると以下のようになる (Fig. 14)。

- a. 先頭魚が後続魚よりカメラに近い時:
 後続魚の写真上の位置が光軸より上(下)の場合
 写真で求めた z 座標 $+\frac{\beta r}{\alpha}\left(-\frac{\beta r}{\alpha}\right)$ 。
- b. 後続魚が先頭魚よりカメラに近い時:
 後続魚の写真上の位置が光軸より上(下)の場合
 写真で求めた z 座標 $-\frac{\beta r}{\alpha}\left(+\frac{\beta r}{\alpha}\right)$ 。
 上方からの写真で座標 y の補正方法を解析して
 まとめると以下ようになる。
- a'. 先頭魚が後続魚よりカメラに近い時:
 先頭魚の位置が後続魚より光軸に近い(遠い)時
 および後続魚が光軸を挟んで先頭魚と反対側に
 位置する場合, 写真で求めた y 座標 $+\frac{\beta' r'}{\alpha'}$
 $\left(-\frac{\beta' r'}{\alpha'}\right)$ 。

- b'. 後続魚が先頭魚よりカメラに近い時:
 先頭魚の位置が後続魚より光軸に近い(遠い)時
 および後続魚が光軸を挟んで先頭魚と反対側に
 位置する場合, 写真で求めた y 座標 $-\frac{\beta' r'}{\alpha'}$
 $\left(+\frac{\beta' r'}{\alpha'}\right)$ 。
- ただし, $\begin{cases} \alpha, \alpha': & \text{カメラから原点までの距離} \\ \beta, \beta': & \text{原点から後続魚までの距離} \\ r, r': & \text{光軸から後続魚の写真上の位置} \\ & \text{までの距離} \end{cases}$

2. 屈折 (refractive index)

屈折率 n の液体の液面下 h の深さにある物体を鉛直と θ の角をなす方向から見る時, 物体はどのような位置にあるように見えるかを Fig. 15 を参考に解いてみる。

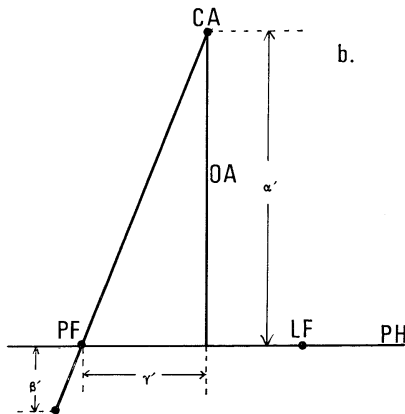
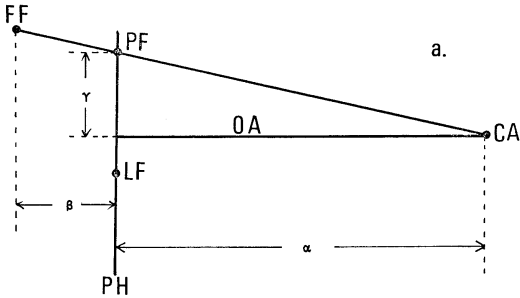


Fig. 14. Diagram of correcting Z and Y by the photo as taken from the side (a) and above (b).

- CA: Camera.
- OA: Optical axis.
- PH: Photograph.
- LF: Leading fish.
- FF: Following fish.
- PF: Position of following fish on a photo.

$$\cos \rho = \sqrt{1 - \sin^2 \rho} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{n^2}} \quad (1)$$

$$\tan \rho = \frac{S}{h} \quad \therefore S = h \frac{\sin \rho}{\cos \rho}$$

(1) より

$$S = \frac{h}{n} \sin \theta \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{n^2}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

図のように x, y 軸をとると, QP を延長した直線 PA' 上の点 (x, y) について,

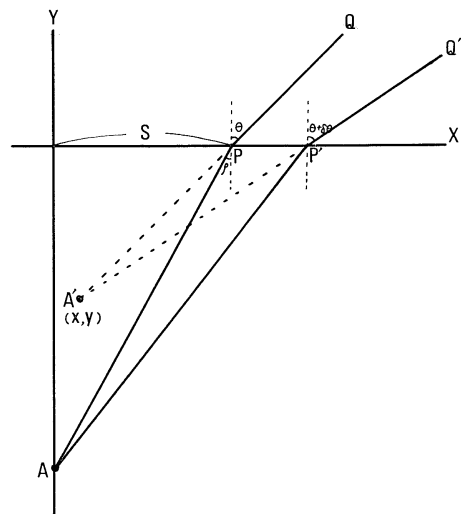


Fig. 15. Diagram for correcting the influence of refraction.

$$(S-x) \cos \theta + y \sin \theta = 0. \quad (3)$$

少しずれた光線 $Q'P'$ を延長した直線 $P'A'$ 上の点 (x, y) については、

$$(S+\delta S-x) \cos (\theta+\delta \theta)+y \sin (\theta+\delta \theta)=0.$$

すなわち、

$$(S+\delta S-x)(\cos \theta-\sin \theta \delta \theta)+y(\sin \theta+\cos \theta \delta \theta)=0. \quad (4)$$

光線は両直線の交点 A' から来るように見えるが、 A' の座標は式 (3), (4) を同時に満足する x, y で両者を連立させて解くと、

$$x=S-\frac{\delta S}{\delta \theta} \sin \theta \cos \theta, \quad y=-\frac{\delta S}{\delta \theta} \cos^2 \theta \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\delta S}{\delta \theta} &= \frac{\delta \rho}{\delta \theta} \cdot \frac{\delta S}{\delta \rho} = \frac{\cos \theta}{n \cos \rho} h \sec^2 \rho \\ &= \frac{h \cos \theta}{n \cos^3 \rho} = \frac{h \cos \theta}{n} \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{n^2}\right)^{-3/2}. \end{aligned} \quad (6)$$

(2), (6) を (5) に入れると、

$$x = \frac{h}{n} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \sin^3 \theta \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{n^2}\right)^{-3/2} \quad (7)$$

$$y = -\frac{h}{n} \cos^3 \theta \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{n^2}\right)^{-3/2} \quad (8)$$

(8) の深さで水平に(7)の距離だけ手前の位置にあるように見える¹⁰⁾。

次に入射角 θ の求め方である。カメラの光軸から個体までの距離を η 、水面からカメラまでの距離を τ とすると、

$$\tan \theta = \frac{\eta}{\tau + (-y)}, \quad \eta = \{\tau + (-y)\} \tan \theta.$$

(8) より

$$\eta = \left\{ \tau + \frac{h}{n} \cos^3 \theta \left(1 - \frac{\sin^2 \theta}{n^2}\right)^{-3/2} \right\} \tan \theta. \quad (9)$$

(9) 式中 η, h は写真から、 τ, n は実測値として求められ、結局 θ に関する方程式となり、各個体の入射角 θ が求められ、(7) 式から各個体の y 座標を補正することができる。次にある個体と y 軸とのなす角を ω とすると、 x 軸方向の補正は y 軸方向の補正值かける $\tan \omega$ で近似できる。

長さ既知の物体を様々の方向に水槽内に投入、写真撮影をし、上記の方法で補正し解析を試みたところ、平均で全長の 3.0% の誤差となった。

文 献

- 1) CULLEN, J. M., E. SHAW and H. A. BALDWIN (1965): Methods for measuring the three dimensional structure of fish schools. *Anim. Behav.*, **13**: 534-543.
- 2) SYMONS, P. E. K. (1971): Spacing and density in schooling threespine sticklebacks and mummichog. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **28**: 999-1004.
- 3) SYMONS, P. E. K. (1971): Estimating distances between fish schooling in an aquarium. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **28**: 1805-1806.
- 4) 松原喜代松, 落合 明, 岩井 保 (1965): 魚類学, 上巻. 恒星社厚生閣(東京), p. 26-27.
- 5) MCFARLAND, W. M. and S. A. MOSS (1967): Internal behavior in fish schools. *Science*, **156**: 260-262.
- 6) BAINBRIDGE, R. (1958): The speed of swimming of fish as related to size and to the frequency and amplitude of tail beat. *J. exp. Biol.*, **35**: 109-155.
- 7) 井上 実, 黒岩広次 (1975): 魚の視覚運動反応における相称刺激の効果. *日水誌*, **41**: 1919-1227.
- 8) 長田芳和, 西山孝一 (1976): パラタナゴの繁殖行動. *生理生態*, **17**: 85-90.
- 9) VAN OLST, J. C. and J. R. HUNTER (1970): Some aspects of the organization of fish schools. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **27**: 1225-1238.
- 10) 後藤憲一, 山本邦夫, 神吉 健 (1967): 詳解物理学演習, 上巻. 共立出版(東京). p. 353-354.

宇野寛教授のフランス叙勲

Nomination de M. Prof. Y. UNO au Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques

日仏海洋学会常任幹事東京水産大学教授宇野寛博士は、今年2月14日東京都港区南麻布のフランス大使官邸で教育功労勲章シュヴァリエ章 l'Ordre des Palmes Académiques au grade de Chevalier を駐日フランス大使ルイ・ドージュ閣下から贈与されました。

昨年10月14日付で園田外務大臣から砂田文部大臣を通じて、この贈与諾否の照会があり、教授の受諾の回答に於いて、当日この栄誉が与えられたものです。

昨年11月27日付駐日フランス大使の通知書によると、この叙勲の理由は、多年に亘り日本へのフランス科学普及に果された教授の努力が顕著と認められたためです。宇野教授が早くから今日まで東京水産大学訪問研究員、同研究留学生あるいは日仏会館研究員たちを多数受入れられ、フランスのとくに水産増殖研究に有為の人材を養成して、フランス水産技術の向上に寄与されてきたことも併せて高い評価を受けたことは想像に難くありません。

授章式当日は、朝までの雨も上り、まだ肌寒い東京の冬にしては素晴らしい好天に恵まれ、レジョンドヌール章帯勲者日仏海洋学会会長佐々木忠義博士をはじめ多数の招待者の祝福するなかで、純銀の月桂冠章が一際鮮やかに教授の胸を飾りました。

ドージュ大使は、教授夫妻の前で、大略次のような祝辞を送られました。まず学歴を紹介されたのち、水産増殖学への多大の功績を讃えて、今日までの教育研究活動のなかでの教授とフランスとの強い結び付きを強調されました。宇野教授の海洋科学領域での日仏交流促進が高い評価を与えられたのです。

「日仏海洋学会常任幹事として、フランスからの給費留学生や国立海洋開発センター (CNEXO) あるいは国立高等農学研究所 (INRA) からの専門家の滞日受入れに親身の労を厭われなかったばかりでなく、日本の水産増殖研究の最先端の現場を紹介されることで、日仏相互協力の発展にもっとも効果的な成果を挙げられました。

「日本の勝れた若手研究者を短期長期を問わずフランスに送られたことも教授の功績として見逃せません。フ

ランス政府給費留学生選抜試験の審査員として日本の若手科学者を選考するために駐日大使館科学部への多大の協力を惜しまれませんでした。

「宇野教授自身も研究の目的で何度か渡仏されました。その滞在日数は長いとは申せませんが、この十年間毎年のようにフランス海洋科学者の知友と旧交を温めておられます。ここで特に申し上げてよいのは、昨年2月セツト市で開かれた日仏国際シンポジウムを日本側責任者として立派に成功させたことでしょう。この時の研究課題はマグロの増殖でしたが、この主題は日仏両国にとって、どちらにも重要なことでした。

「ここに教育功労章を贈るに当り、フランス政府はこの勝れた研究者を高く評価するばかりでなく、フランスのもっとも忠実な友人の一人に深い敬意を表します。

「宇野寛教授、フランス国政府の名において、私に任された職権により、貴殿に教育功労勲章シュヴァリエ章を贈ります」

引続き教授から謝辞が次のように述べられました。

「駐日フランス大使ルイ・ドージュ閣下、私はただいま貴国から教育功労勲章シュヴァリエ章を受け、誠に光栄に存じます。本日の授章にご高配を賜りました大使閣下並びに関係各位に厚く御礼申し上げます。

「私が水産学および海洋学の分野で貴国と親交を得たのは1971年以後のことです。それから今日まで、貴国から多くの水産科学者を日本に迎えると同時に、日本からも私を含めて多くの研究者が渡仏するのに関係しましたが、これらの交流を通じて、日仏相互の水産科学技術の交流にいささか微力を尽してきたつもりであります。

「近年とくに栽培漁業の分野で貴国の水産科学者が世界的に勝れた研究成果を挙げ、あるいは研究計画を立案されるようになりましたことは、もし日仏相互協力が実を結んだものとすれば、これほど喜ばしいことはありません。

「私は本日の授章を好機として、日仏両国の研究者がさらに緊密な関係により、海洋生物資源の有効利用につ

いての先駆的な研究を進めるために、今後とも一層の努力をお約束するとともに、引続き変らぬ貴国のご支援をお願いいたします。本日は誠に有難うございました」

授章式が滞りなく済んで、大使夫妻をはじめ一同シャンペンの杯を乾し、祝意は一層盛り上りました。

なお日仏海洋学会監事久保田穰教授をはじめ友人数名の発意により、翌2月15日夕宇野教授夫妻をお招きして喜びを分かちました。参列者は東京水産大学長佐々木忠義博士及びフランス大使館科学参事官ダニエル・ジャ

コー夫妻をはじめ旧くから教授と親交あつい学界など各界の数十名に及び極めて盛会でした。

日仏海洋学会は創立以来20年を経て、いよいよ隆盛を迎えようとしています。この数年間に会員のなかから海洋物理学と水産増殖学の両分野でフランスからの叙勲者2名を生んだこととなります。このことはとりもなおさず本学会の活動が国際的に高く評価されたことであって、全会員の栄誉として誠に同慶の至りであります。

(高木和徳)

学 会 記 事

1. 昭和54年2月5日, 東京水産大学において, 編集委員会が開かれた。
2. 昭和54年3月30日, 東京水産大学において, 編集委員会が開かれた。
3. 新入会員

氏 名	所 属	紹介者
鈴木 誠	東水大・漁業生産学科	神田 献二
杉村 允三	和歌山県水産試験場	佐々木忠義

4. 会員の住所・所属の変更

氏 名	新所属, 新住所
小 竹 勇	仙台市本町3-2-23 仙台海難審判事務所
三井海洋開発㈱	千代田区一ツ橋2-3-1 (小学館ビル)
日本海洋産業㈱	千代田区神田錦町3-19 (広瀬第2ビル6階)
森 谷 誠 生	杉並区井草2-15-1 サニーハイツ102号
宮 崎 千 博	清水市折戸1,000 東海大学海洋学部
杉 浦 吉 雄	鹿児島市郡元1-21-30 鹿児島大学教養部化学教室
永 延 幹 男	中野区南台1-15-1 東大・海洋研

5. 交換及び寄贈図書

- 1) 広島日仏協会報 No. 72
- 2) 鯨研通信 第322, 323号
- 3) 理化学研究所, 科学講演会記録 第1回

- 4) 海洋時報 第12号
- 5) 研究実用化報告 28(1.2)
- 6) 瀬戸内海栽培漁業放流技術開発事業
マダイ班 総合報告書 昭和53年度
ガザミ班 " "
- 7) 保護水面管理事業調査報告書 昭和52年度
- 8) 海洋産業研究資料 10(8)
- 9) 海洋法関係図書目録 I
- 10) 第3回国際海洋シンポジウム報告書 1978年
(深海底とその資源)
- 11) 海洋汚染防止法制の比較研究 第1号
- 12) 英国産業ニュース 3, 4月号
- 13) 神戸海洋気象台彙報 No. 196, 197
- 14) 日本航海学会論文集 第60号
- 15) 淡水区水産研究所 研究報告 28(1, 2)
- 16) アユに関する文献集 I 1950~1978年
Bシリーズ No. 15
- 17) 早稲田大学理工学部紀要 第42号
- 18) 東海大学紀要 海洋学部 第12号
- 19) 東海大学海洋学部業績集 第9集
- 20) なつしま 第39号
- 21) 航 海 第59号
- 22) 国立国会図書館 逐次刊行物目録 昭和51年度
- 23) Science et Pêche N° 282~285
- 24) Bulletin d'Information N° 121, 122
- 25) Bulletin de l'Institut de Geologie
de Bassin d' Aquitaine N° 24
- 26) CSK NEWSLETTER No. 53
- 27) JODC ニュース No. 18

お 知 ら せ

海洋生物の行動, 生態, 汚染に関する国際会議案内

1980年5月5~10日, 仏国 Concarneau で, 仏海洋生物開発協会主催の第1回「海洋生物の行動, 生態, 汚染に関する国際会議」(First International Conference on the Behavior of Marine Animals, Ecology and Pollution) が開催されます。これについての御問い合わせは, 文部省学術国際局国際学術課宛に御願いたします。

日仏海洋学会役員

顧問 ユベール・ブロッシェ ジャン・デルサルト
 ジャック・ロペール アレクシス・ドランデ
 ール ベルナル・フランク

名誉会長 ミシェル・ルサージェ

会 長 佐々木忠義

副会長 黒木敏郎, 國司秀明

常任幹事 阿部友三郎, 宇野 寛, 永田 正

庶務幹事 三浦昭雄

編集幹事 有賀祐勝

幹 事 石野 誠, 井上 実, 今村 豊, 岩下光男,
 川原田 裕, 神田献二, 菊地真一, 草下孝也,
 斎藤泰一, 佐々木幸康, 杉浦吉雄, 高木和徳,
 高野健三, 辻田時美, 奈須敬二, 根本敬久,
 半沢正男, 松生 洽, 丸茂隆三, 森田良美,
 山中鷹之助 (五十音順)

監 事 久保田 穰, 岩崎秀人

評 議 員 青山恒雄, 赤松秀雄, 秋山 勉, 阿部宗明,
 阿部友三郎, 新崎盛敏, 有賀祐勝, 石野 誠,
 石渡直典, 市村俊英, 井上 実, 今村 豊,
 入江春彦, 岩崎秀人, 岩下光男, 岩田憲幸,
 宇田道隆, 宇野 寛, 大内正夫, 小倉通男,
 大村秀雄, 岡部史郎, 岡見 登, 梶浦欣二郎,
 加藤重一, 加納 敬, 川合英夫, 川上太左英,

川村輝良, 川原田 裕, 神田献二, 菊地真一,
 草下孝也, 楠 宏, 国司秀明, 久保田 穰,
 黒木敏郎, 小泉政美, 小林 博, 小牧勇蔵,
 西条八束, 斎藤泰一, 斎藤行正, 佐伯和昭,
 坂本市太郎, 佐々木忠義, 佐々木幸康,
 猿橋勝子, 柴田恵司, 下村敏正, 庄司大太郎,
 杉浦吉雄, 関 文威, 多賀信夫, 高木和徳,
 高野健三, 高橋淳雄, 高橋 正, 谷口 旭,
 田畑忠司, 田村 保, 千葉卓夫, 辻田時美,
 寺本俊彦, 鳥羽良明, 富永政英, 鳥居鉄也,
 中井甚二郎, 中野猿人, 永田 正, 永田 豊,
 奈須敬二, 奈須紀幸, 西沢 敏, 新田忠雄,
 根本敬久, 野村 正, 半沢正男, 半谷高久,
 樋口明生, 菱田耕造, 日比谷 京, 平野敏行,
 深沢文雄, 深瀬 茂, 福島久雄, 淵 秀隆,
 星野通平, 増沢穰太郎, 増田辰良, 松生 洽,
 松崎卓一, 丸茂隆三, 三浦昭雄, 三宅泰雄,
 宮崎千博, 宮崎正衛, 村野正昭, 元田 茂,
 森川吉郎, 森田良美, 森安茂雄, 安井 正,
 柳川三郎, 山路 勇, 山中鷹之助, 山中一郎,
 山中 一, 吉田多摩夫, 渡辺精一
 (五十音順)

マルセル・ジュ格拉リス, ジャン・アंकテ
 イル, ロジェ・ペリカ

賛 助 会 員

旭化成工業株式会社
 株式会社内田老鶴園新社 内田悟
 株式会社 オーシャン・エージ社
 株式会社 大林組
 小樽船舶電機株式会社
 株式会社 オルガノ
 株式会社 海洋開発センター
 社団法人 海洋産業研究会
 協同低温工業株式会社
 協和商工株式会社
 小松川化工機株式会社
 小 山 康 三
 三信船舶電具株式会社
 三洋水路測量株式会社
 シュナイダー財団極東駐在事務所
 昭和電装株式会社

東京都千代田区有楽町 1-1-2 三井ビル
 東京都千代田区九段北 1-2-1 蜂谷ビル
 東京都千代田区神田美土代町 11-2 第1東英ビル
 東京都千代田区神田司町 2-3
 小樽市色内町 3-4-3
 東京都文京区本郷 5-5-16
 東京都港区赤坂 1-9-1
 東京都港区新橋 3-1-10 丸藤ビル
 東京都千代田区神田佐久間町 1-21 山伝ビル
 東京都豊島区目白 4-24-1
 東京都江戸川区松島 1-342
 東京都文京区本駒込 6-15-10 英和印刷社
 東京都千代田区神田 1-16-8
 東京都港区新橋 5-23-7 三栄ビル
 東京都港区南青山 2-2-8 DFビル
 高松市寺井町 1079

新日本気象海洋株式会社	東京都世田谷区玉川 3-14-5
株式会社 鶴見精機	横浜市鶴見区鶴見町 1506
東亜建設工業株式会社	東京都千代田区四番町 5
株式会社 東京久栄	東京都中央区日本橋 3-1-15 久栄ビル
東京製綱繊維ロープ株式会社	東京都中央区日本橋室町 2-6 江戸ビル
株式会社 東邦電探	東京都杉並区宮前 1-8-9
中川防蝕工業株式会社	東京都千代田区神田鍛冶町 2-2-2 東京建物ビル
株式会社 ナック	東京都港区西麻布 1-2-7 第17興和ビル
日本アクアラング株式会社	神奈川県厚木市温水 2229-4
日本海洋産業株式会社	東京都新宿区西新宿 2-6-1 新宿住友ビル
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
社団法人 日本能率協会	東京都港区芝公園 3-1-22 協立ビル
日本プレスコンクリート株式会社	東京都中央区日本橋本石町 1-4
深田サルベージ株式会社	東京都千代田区神田錦町 1-9-1 天理教ビル8階
藤田 潔	東京都新宿区四谷 3-9 光明堂ビル 株式会社ビデオプロモーション
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小川町 3-20-2 増淵ビル
古野電気株式会社	東京都中央区八重洲 4-5 藤加ビル
丸文株式会社	東京都中央区日本橋大伝馬町 2-1-1
三井海洋開発株式会社	東京都千代田区霞ヶ関 3-2-5 霞ヶ関ビル3002号室
宮本 悟	東京都中央区かちどき 3-3-5 かちどきビル (株) 本地郷
吉野計器製作所	東京都北区西ヶ原 1-14
株式会社 離合社	東京都千代田区神田鍛冶町 1-10-4
株式会社 渡部計器製作所	東京都文京区向丘 1-7-17

Exploiting the Ocean by...

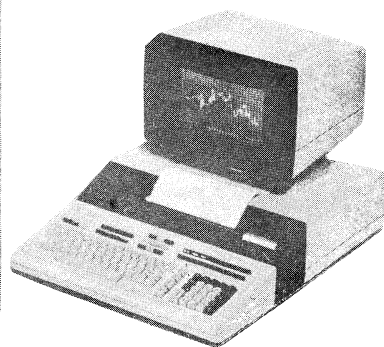
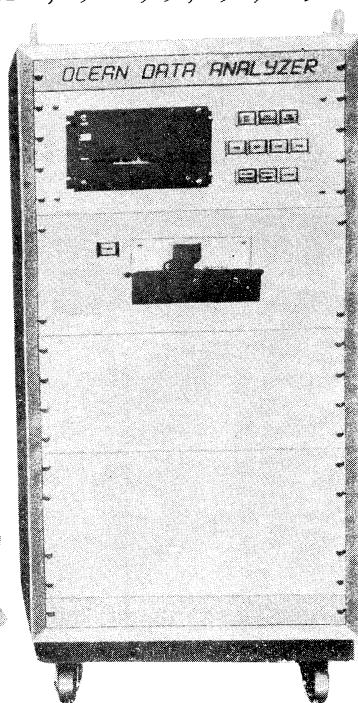
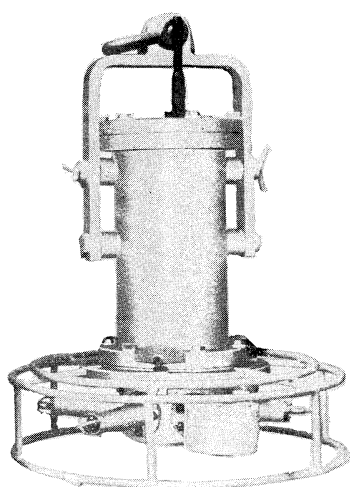
T.S.K. OCEANOGRAPHIC INSTRUMENTS

REPRESENTATIVE GROUPS OF INSTRUMENTS AND SYSTEMS

デスクトップコンピュータを組み込んだ

新しいケーブル式 STD システム

- 機能
- ◎リアルタイムに出来ること
 - ・生データの CRT によるデジタル表示
 - ・生データの CRT によるグラフィック表示
 - ・CRT の表示をプリンターによりコピーをとる
 - ・カセットテープに生データを記録する
 - ◎カセットテープの処理により出来ること
 - ・生データより δT , Dosat, 音速等の算出
 - ・生データをプロッターに出力する
 - ・算出データを CRT, プロッタ, プリンターに出力する



株式会社 鶴 見 精 機

1506 Tsurumi-cho, Tsurumi-ku, Yokohama, Japan 〒230 TEL; 045-521-5252

CABLE ADDRESS; TSURUMISEIKI Yokohama, TELEX; 3823750 TSKJPN J

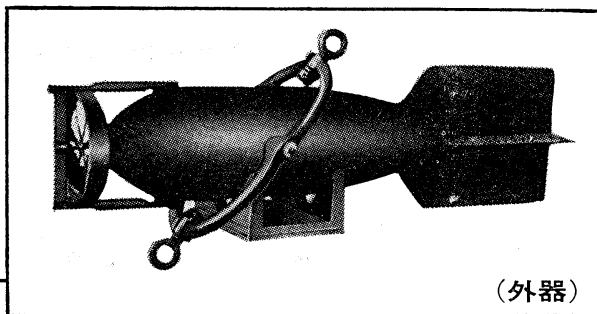
OVERSEAS FACTORY; Seoul KOREA

IWAMIYA INSTRUMENTATION LABORATORY

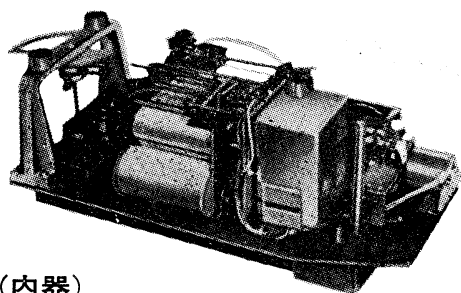
長期捲自記流速計

(NC-II)

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



(外器)



(内器)

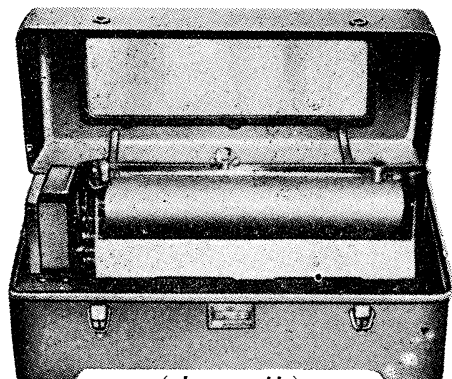
プロペラはA, B, C三枚一組になって居り

A (弱流用).....1m/sec	} 迄で一枚毎に検定 してあります。
B (中流用).....2m/sec	
C (強流用).....3m/sec	

弱流ペラーに依る最低速度は約4cm/secです。

フース型長期捲自記検潮器

(LFT-III)



(本 体)

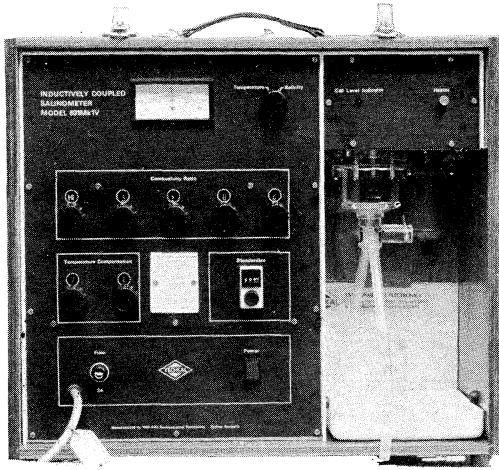
営業品目

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

協和商工株式会社

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

INDUCTIVE SALINOMETER MODEL 601 MK IV



海水の塩分測定の標準器として、既に定評のあるオート・ラブ 601 MK III の改良型で、小型・軽量・能率化した高精密塩分計です。試料水を吸上げる際に、レベル検出器により吸引ポンプと攪拌モーターとが自動的に切換えられます。温度はメーター指針により直示されます。

測定範囲	0~51 ‰ S
感 度	0.0004 ‰ S
確 度	±0.003 ‰ S
所要水量	約 55 cc
電 源	AC 100 V 50~60 Hz
消費電力	最大 25 W
寸 法	52(幅)×43.5(高)×21(奥行)cm

営 業 品 目

転倒温度計・水温計・湿度計・
採水器・採泥器・塩分計・
水中照度計・濁度計・S-T計・
海洋観測機器・水質公害監視機器



株式会社 渡部計器製作所

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

Murayama

水 中 濁 度 計
水 中 照 度 計
電 導 度 計

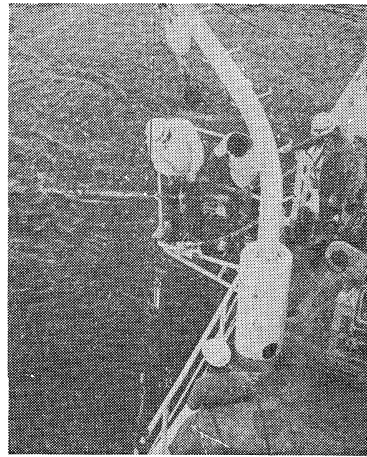


株式会社 村山電機製作所

本 社 東京都目黒区五本木 2-13-1
出 張 所 名古屋・大阪・北九州

海洋環境調査 海底地形地質調査

- 水質調査・プランクトン底棲生物調査・潮汐・海潮流・水温・拡散・波浪等の調査(解析・予報)
- 環境アセスメント・シミュレーション
- 海底地形・地質・地層・構造の調査・水深調査・海図補正測量



外洋における海洋調査



三洋水路測量株式会社

本社 東京都港区新橋5-23-7(三栄ビル) ☎03(432)2971-5
 大阪支店 大阪市都島区中野町3-6-2(谷長ビル) ☎06(353)0858-7020
 門司出張所 北九州市門司区港町3-32(大分銀行ビル) ☎093(321)8824
 仙台出張所 仙台市一番町2-8-15(太陽生命仙台ビル) ☎0222(27)9355
 札幌出張所 札幌市中央区大通東2-8-5(フレジデント札幌) ☎011(251)3747

総代理店



三井物産株式会社

7IL は無限の可能性に挑戦する

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



エレクトロニクスで創造する
7IL
 古野電気株式会社

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

最高の品質 信頼のブランド

aqua-lung®



France.



Italy.



Australia.



U.S.A.



日本アクアラング株式会社

本社・東京支社：東京都杉並区方南町2-4-7 (第2細野ビル) 〒168 TEL.(03)313-8441

本社・神戸支社：神戸市兵庫区浜中町2丁目18-6 〒652 TEL.(078)681-3201(代)

九州支社：福岡市中央区港3丁目7-5 〒810 TEL.(092)741-8907-751-0715

横浜営業所：横浜市中区野毛町3-129 〒232 TEL.(045)231-3021

名古屋営業所：名古屋市東区富士塚町3-14 〒461 TEL.(052)951-5016(代)

大阪営業所：大阪市西区九条通1丁目5-3 〒550 TEL.(06)582-5604(代)

四国出張所：高松市福岡町4丁目36-9(高松帝酸内) 〒760 TEL.(0878)51-8853

アクアラングは日本においては当社が専用使用権を有している国際的商標です。

商標登録「aqua-lung」登録番号 第494877号 商標登録「アクアラング」登録番号 第494878号

東京支社住所変更 「関東支社：〒243 神奈川県厚木市温水 2229-4 TEL 0462-47-3222」

昭和 54 年 5 月 25 日 印刷
昭和 54 年 5 月 31 日 発行

5 み

第 17 卷
第 2 号

定価 ¥ 950

編集者 富 永 政 英
発行者 佐 々 木 忠 義
発行所 日 仏 海 洋 学 会
財団法人 日仏会館内
東京都千代田区神田駿河台2-3
郵便番号:101
電話:03(291)1141
振替番号:東京96503

印刷者 小 山 康 三
印刷所 英 和 印 刷 社
東京都文京区本駒込 6-15-10
郵便番号:113
電話:03(941)6500

第 17 卷 第 2 号

目 次

原 著

Moiré の方法による Capillary Wave の測定	高山晴光, 阿部友三郎	55
海産繊毛虫類の分離および保存培養に関する検討	久米 恒雄	62
混合培養系における繊毛虫, 従属栄養細菌および珪藻の相互作用	久米 恒雄	65
連続培養系における海産繊毛虫と従属栄養細菌の相互関係	久米 恒雄	71
牛込濠における風による静振運動 (英文)	矢内秋生, 阿部友三郎	78
鹿児島湾口鞍部における流速変動の特徴, 特に短周期変動について	桜井 仁人	83
バラタナゴおよびアブラハヤの群れ構造の光学的測定とその解析	井上 実, 長谷川英一, 有元貴文	91

雑 録

宇野寛教授のフランス叙勲		104
学会記事		106

Tome 17 N° 2

SOMMAIRE

Notes originales

Measurement of Capillary Wave by the Moiré Method (in Japanese)	Harumitsu TAKAYAMA and Tomosaburo ABE	55
Examinations of the Isolation and the Stock Culture of Marine Ciliated Protozoa (in Japanese)	Tsuneo KUME	62
Interactions between a Marine Ciliate, a Heterotrophic Bacterium and a Diatom in Mixed Batch Cultures (in Japanese)	Tsuneo KUME	65
Interrelationship of a Marine Ciliate and a Marine Heterotrophic Bacterium in Continuous Culture Systems (in Japanese)	Tsuneo KUME	71
Seiche Motions Induced by Wind in the Ushigomebori Moat	Akio YANAI and Tomosaburo ABE	78
Characteristics of the Currents over and near the Submarine Col at the Mouth of Kagoshima Bay, Particularly Short Period Fluctuation of the Currents (in Japanese)	Masahito SAKURAI	83
A Study on the Structure of Fish Schools in <i>Rhodeus ocellatus</i> and <i>Moroco steindachneri</i> by the Photographic Observation (in Japanese)	Makoto INOUE, Eiichi HASEGAWA and Takafumi ARIMOTO	91

Miscellanées

Nomination de M. Prof. Y. UNO au Chevalier dans l'Ordre des Palmes Académiques		104
Procès-Verbaux		106