

La mer

うみ

昭和 59 年 2 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	高野健三 (筑波大学)		
委員	青木三郎 (東洋大学)	有賀祐勝 (東京水産大学)	半沢正男 (神戸商船大学)
	井上 実 (東京水産大学)	森田良美 (東京水産大学)	村野正昭 (東京水産大学)
	西村 実 (東海大学)	岡部史郎 (東海大学)	高木和徳 (東京水産大学)
	宇野 寛 (東京水産大学)		

投 稿 規 定

1. 日仏海洋学会誌「うみ」は、海洋学および水産学の分野での原著論文・原著短報・総説・資料・書評などを掲載する。
2. 用語は仏・日・英のいずれかとする。論文には約 200 語の仏文または英文要旨をつけること。欧文論文には欧文要旨のほかに約 500 語の和文要旨をつけること。
3. 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くこと。図・表には欧文の説明をつけること。カラー写真など特殊なものには実費を申し受けることがある。
4. 編集委員会は投稿原稿を審査する。また、原稿の字句の加除訂正を行うことがある。
5. 初校は著者が行う。
6. 著者が日仏海洋学会員である場合には、刷上り 7 ページをこえたページの印刷実費は著者の負担とする。会員でない場合には第 1 ページから著者の負担とする。
7. 1 篇について 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。
8. 原稿の送り先は、編集委員長 高野健三 (〒305 茨城県新治郡桜村 筑波大学生物科学系)

Rédacteur en chef	Kenzo TAKANO (University of Tsukuba)
Comité de rédaction	Saburo AOKI (Toyo University)
	Yusho ARUGA (Tokyo University of Fisheries)
	Masao HANZAWA (Kobe University of Mercantile Marine)
	Makoto INOUE (Tokyo University of Fisheries)
	Yoshimi MORITA (Tokyo University of Fisheries)
	Masaaki MURANO (Tokyo University of Fisheries)
	Minoru NISHIMURA (Tokai University)
	Shiro OKABE (Tokai University)
	Kazunori TAKAGI (Tokyo University of Fisheries)
	Yutaka UNO (Tokyo University of Fisheries)

RECOMMANDATIONS A L'USAGE DES AUTEURS

1. « La mer », Bulletin de la Société franco-japonaise d'océanographie, publie les articles et notes originaux dans toutes les disciplines des sciences de la mer et de la pêche.
2. Des résumés en langue française ou anglaise sont obligatoires.
3. 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.
4. Le Comité de rédaction se réserve la possibilité d'apporter quelques modifications de forme ou d'ajuster certains détails à des normes d'uniformité.
5. Les premières épreuves seront corrigées, en principe, par les auteurs.
6. Les frais d'impression des pages dépassant sept pages seront à la charge des auteurs s'ils sont des membres de la Société. Les auteurs extérieurs à la Société s'en chargeront pour tous leurs pages.
7. Un tiré-à-part en cinquante exemplaires est offert gratuitement aux auteurs. Ceux qui en désirent un plus grand nombre peuvent les faire établir à leur frais.
8. Manuscrits et correspondances devront être adressés à la Rédaction en chef, Kenzo TAKANO, Institut des Sciences Biologiques, Université de Tsukuba, Niihari-gun, Ibaraki-ken, 305 Japon.

周 参 見 の 棚 静 振 (2)*

中 村 重 久**

Shelf-seiches off Susami, South of Japan (2)*

Shigehisa NAKAMURA**

Abstract: A linear model of seiches induced on a parabolic shelf was developed in order to have a dynamical understanding of the specific oscillation with a period of 12 min observed at a tidal station at Susami on the coast facing the Pacific Ocean. At first, a free mode of oscillation normal to the coast facing a semi-infinite ocean was reduced as a solution for the model, and then, it was found that such a specific oscillation with the period of free mode could be possible if the tidal station was synoptically just neighbouring a spacial inflection point of the barometric variations perpendicular to the coast or if uniform field of wind stress covered the area around the tidal station. A resonant mode and other possible modes for the model seem to support that the oscillation with a period of 12 min at Susami can be taken as a seiche on a pertinent parabolic bottom profile of the approximated shelf. Any of the external actions, e.g. the barometric variations or the wind stresses on the sea surface could be a cause of the oscillations as the seiches induced on the shelf, and determine the amplitude of the oscillations, although the details are left yet to be clarified. No waves propagating along the coast were considered in this study.

1. 緒 言

周参見では、1年間を通じて約 12 min (5 cpH) の水位変動が顕著であり、その統計的特性については中村・芹沢(1983)がとりまとめている。この周参見の水位変動は局所的なものようであり、その北側に位置する椿や田辺湾内の水位変動とは全くその周期的特性は異なっている(海象(流れ)観測グループ, 1983)。このような観測事実からみると、周参見の 5 cpH の水位変動は、岸沿いに伝播する性質のものではなく、別の力学的機構を考える必要がありそうである。

近年、大陸棚を沿岸沿いに伝わる波についての研究成果が数多くみられ(例えば、BUCHWALD

and DE SZOEKE, 1973; WEBB, 1976; LE BLOND and MYSAK, 1978; WARREN and WUNSCH, 1981), それらの理論は観測事実を力学的に説明するところまでいたっているようであるが、とくに周参見のように陸棚が狭小な場合には、これらの研究におけると同様な考え方にたつのは妥当ではないようである。

ここで考えられるのは、この水位変動が海岸線に直角に冲向きの運動としてあらわれた seiches を含むもので、周辺の海底地形に固有の周期的変動であろう。細長い長方形湾については、古典的な静振に関する線型理論があり、海洋学の教科書的な出版物(例えば、DEFANT, 1961; PROUDMAN, 1953 など)にも記されている。この静振の周期をもとめる Merian の式は公式としてひろく知られている。静振はスイスのジュネーブ湖岸の水位変動の研究を発端としてひろく知られるようになったと言われており、その後の多くの研究により、

* 1983年5月6日受理 Received May 6, 1983

** 京都大学防災研究所附属白浜海象観測所,
和歌山県西牟婁郡白浜町堅田畑崎
Shirahama Oceanographic Observatory, DPRI,
Kyoto University, Katada-Hatasaki, Shirahama,
Wakayama, 649-23 Japan

湖のみでなく、海灣、海峡、海堆などでもあらわれることが示されている。これについて、例えば NAKAMURA (1981) は review をしている。海棚における静振は副振動ともよばれ、従来、湖の静振の理論の延長として考えられ、Merian の周期の補正を考えたり (例えば、野満, 1937), Mathieu 関数の応用として理論的に検討した例 (日高, 1935) もあるが、いずれも海岸線の付近の代表水深や海棚の長さの決定に任意性が残されている。

ALLISON and GLASSIA (1979) の西オーストラリア海岸の水位変動の研究結果につづいて、TUCK (1980) は沖合に浅瀬のある棚状海の水位変動の理論を発表し、TUCK *et al.* (1980) はこれを西オーストラリア海岸の水位変動の周期特性の力学的機構の説明に応用した。また、TUCK (1980) は浅瀬の高さのみを考え、その幅は考えなかったが、BUCHWALD and MILES (1981) は浅瀬の幅も考慮にいった理論を導いている。

このように、棚状海の水位変動について多くの研究があるにもかかわらず、そのいずれも、周参見における水位変動の特性をとらえるにあたって適切であるとは考え難い。

ここでは、周参見沖の海底地形を単純な数式によって表わせるものとし、海底断面が海岸線から沖へ向かって放物線型であるような場合、そこで可能な静振はどのようなものかについて理論的に検討する。解析にあたって、海棚は小スケール(数十キロメートル以下)で局地的なものとし、水位変動は線型的に考えることのできる現象として取扱うこととした。海底地形の条件を放物線型としたため、解としての水位変動は、一定水深の場合の解や一定の海底こう配の場合の解 (例えば、中村, 1976a; 1976b; 1979; 1981) とは若干異なったものとなる。

ここで考えた放物線型海底地形で可能な静振とその周辺の気圧分布の関連についても考察し、周参見で1年を通じて固有の周期の水位変動があらわれる要因について検討する。

2. 基礎方程式

直線状の海岸線が、半無限にひろがった海に面しているとする。海面を x - y 平面とし、海岸線に沿って y 軸、海岸線に直角沖向きに x 軸、そして、 z 軸を鉛直上向きにとる。海面は初めは静止しているものとし、擾乱による海面の変位は微小であり、 ζ であらわされるものとする。ここで考える現象として、岸沿いに伝わる波動現象ではなくて、単に岸に直角な方向の振動のみを考えることにすると、基礎式としては沖方向 (x 軸に平行な方向) のみの海水の運動に対するものを考えればよいことになる。このとき、海水に作用する外力として圧力 p_a および接線応力 τ を考えると、線型化した運動方程式および連続の方程式

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial t} &= - \int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial u}{\partial x} dz \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

を出発点としてえらぶことができる。ここに、 u は流速の x 成分、 t は時間、 g は重力加速度、 h は表面から海底までの深さである。なお、 ρ は海水の密度であり、ここでは一様である場合のみを考える。海面において p_a は大気圧の変動であるが、海中での爆発があればそれにとまなう圧力変動であり、また、海底地震などの場合の圧力変動も等価表示として考えることができる。海面での τ は風によるものであり、その風が地衝風であれば、その風速、あるいは気圧の関数として表すこともできよう。海底での τ は海底まさつによるものである。また、海中で流速の空間的こう配がみられる場合には、シアアの効果も τ として表わされることになる。

海岸線が南北にはしっていて、沖方向が東西方向の場合には、地球自転の効果を考慮にいった一般的な基礎方程式も、結局、(1) と同じもの考えることになる。また、地球自転の効果を考慮した場合でも、赤道のごく近くでは、沖方向の運動はやはり (1) と同じ式によって検討できる。

いま、流速を水深方向に積分して、上記の (1) を書きかえる。すなわち、

$$U = \int_{-h}^{\zeta} u \, dz \doteq uh \quad (2)$$

と書くことにする。これは、水深 h において u は深さによらないと考えることに相当する。したがって、この条件を満たさない現象には、以下の議論は適用できないことになる。また、簡単のために、

$$F = P_a = \frac{1}{\rho} \int_{-h}^{\zeta} p_a \, dz \quad (3)$$

と書くことにする。さらにまた、

$$\int_{-h}^{\zeta} \frac{\partial \tau}{\partial z} \, dz = \tau_s - \tau_b \quad (4)$$

と書くことにし、この場合の τ_s および τ_b をそれぞれ海面に風の作用する接線応力および流れで海底に及ぼすまさつ力とする。このとき、(1) は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= -g(\zeta + h) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial x} + (\tau_s - \tau_b) \\ \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= -\frac{\partial U}{\partial x} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで、 h が x のみの関数であり、すなわち、岸から沖へ向かって波高の包絡線や水深が一様ではないものとする、(3) から U を消去することによって

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = g(\zeta + h) \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + g \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

となる。ただし、

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \equiv \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial x} (\tau_s - \tau_b)$$

である。ここで、 $\zeta \ll h$ なる条件に留意し、静振による x 方向の水面こう配の 2 次以上の高次項は無視できるほどに微小であるとし、 $(\partial \zeta / \partial x)^2 \ll 1$ を考慮にいと、上式は次のようになる。

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} = gh \frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + g \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad (4)$$

水位の変動 ζ は角周波数 ω をもった規則的周期波と仮定し、

$$\zeta = \zeta_0 \exp(i\omega t) \quad (5)$$

と書くことにすると、(4) は x についての ζ の線型 2 階微分方程式となる。(5) を (4) に代入して得られる ζ_0 の式で、 ζ_0 をあらためて ζ と書くことにすると、そこでの ζ および h は x のみの関数であるから

$$-\omega^2 \zeta = gh \frac{d^2 \zeta}{dx^2} - \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} + g \frac{dh}{dx} \frac{d\zeta}{dx} \quad (6)$$

となる。この式では、外力の作用の効果は、 x についての G の 2 次微分として表わされている。

とくに、

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} = 0 \quad (7)$$

の場合には、 G がかならずしも 0 でなくても (6) は次のように書ける。

$$\frac{d^2 \zeta}{dx^2} + \frac{1}{h} \frac{dh}{dx} \frac{d\zeta}{dx} + \frac{\omega^2}{gh} \zeta = 0 \quad (8)$$

したがって、水深一定の場合、(8) の左辺第 2 項が 0 となって、古典的な静振に関する式と同型のものが得られる。また、海底こう配が一定で、水深が海岸線から沖へ向かっての距離に対して線型的に変化する場合には、例えば、

$$h = \alpha + \beta x \quad (9)$$

(ただし、 α および β は実定数) であり、このとき (8) は Bessel 型微分方程式となる。

いずれにしても、(8) は x に関する ζ の固有振動を解として与えることになると考えられるが、(7) の条件を (6) で満足する場合の G はかならずしも 0 である必要はない。このような場合は、物理的にはどのような現象に対応すると考えられるのであろうか。

(i) τ_s および τ_b が無視できる場合

この場合、

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \frac{\partial^2}{\partial x^2} \int_{-h}^{\zeta} \frac{1}{\rho} p_a \, dz = 0$$

であり、したがって、

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\zeta} \frac{1}{\rho} p_a \, dz = C_0$$

となる。さらに、

$$\int_{-h}^{\zeta} \frac{1}{\rho} p_a dz = C_0 x + C_1$$

である(ただし, C_0 および C_1 は積分定数)。

実在の総観的気圧配置を, 例えば地上天気図によってみたとしても, 気圧が x の1次関数と関連づけられるような場はみつからない。ただし, x 軸に沿って低気圧から高気圧へ移行する間の部分, あるいは逆に, 高気圧から低気圧へ移行する間の部分には, 気圧の空間的変曲点が存在する。この変曲点がすなわち, $(\partial^2 F / \partial x^2) = 0$ であつて $F \neq 0$ の意味するものにほかならない。その変曲点では, 運動を記述する式は形式上(8)となるけれども, (8)から導びかれる解は変曲点での条件を満している以上, 気圧に関する変曲点での水位変動の特性を記述していると考えべきであろう。また, 気圧にかぎらず, 海中あるいは海底での圧力変動の例についても同様なことを考えることができよう。

(ii) F が無視できる場合

この場合,

$$\frac{\partial^2 G}{\partial x^2} = \frac{\partial}{\partial x} (\tau_s - \tau_b) = 0$$

であり, したがって, 上式を x について積分して

$$\tau_s - \tau_b = K$$

となる(ただし, K は積分定数)。かりに, 海底まさつ τ_b が無視できるほどに小さいならば, 上式は

$$\tau_s = K$$

となって, 着目する水域では海面に風の作用する接線応力は一様であつて, x に関係しないことを意味している。すなわち, (8)から導びかれる解は, たとえ圧力変動がなくても τ_s が空間的に一様であれば, その τ_s の作用の下での水位変動の特性を記述していることになるものと解釈できる。

以上の考察にもとづけば, 自由振動と同じ様な水位変動は, たとえば, 気圧の変曲点(空間的変曲点)においてもみとめられる可能性はあるし, また別に, 水域の海上風に変動や分布がなく一様であっても, そのような水位変動が観測される可能性があることを示唆しているといえる。

いま, ここで, (8)を次のように書くことにする。

$$\left(\frac{d}{dx} + \phi \right) \left(\frac{d}{dx} + \psi \right) \zeta = 0 \quad (10)$$

これが(8)と等価であるためには

$$\left. \begin{aligned} \phi + \psi &= \frac{1}{h} \frac{dh}{dx} \\ \phi \cdot \psi &= \frac{\omega^2}{gh} \end{aligned} \right\} (11)$$

でなくてはならない。したがって, このとき複号同順として

$$\left(\frac{d}{dx} + \phi \right) \zeta = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{h} \frac{dh}{dx} \mp \sqrt{\left(\frac{1}{h} \frac{dh}{dx} \right)^2 - 4 \frac{\omega^2}{gh}} \right] \zeta \quad (12)$$

となる。ここにおいて, (8)を解くことは(10)を解くことであり, それは

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{d}{dx} + \phi \right) \Xi &= 0 \\ \left(\frac{d}{dx} + \psi \right) \zeta &= \Xi \end{aligned} \right\} (13)$$

という連立方程式を解くことと同等なことになる。

(13)の第1, 2式から

$$\left. \begin{aligned} \Xi &= \exp[-\int \phi dx] \\ \zeta &= \exp[-\int \psi dx] \cdot \left\{ \int \exp[\int (\phi - \psi) dx] dx + A \right\} \end{aligned} \right\} (14)$$

である。ここに, A は積分定数で, このとき(14)の第2式中の被積分関数 $\phi - \psi$ は(12)によって

$$\phi - \psi = \sqrt{\frac{1}{h} \left(\frac{dh}{dx} \right)^2 - \frac{4\omega^2}{gh}} \quad (15)$$

である。

3. 海底の境界条件

ここで, とくに, 海岸線から沖へとった距離 x に対して水深 h が

$$h = ax^2 \quad (16)$$

で与えられるものとする。ここに, a は正の実係数である。このとき, (16)を用いて(14)および

(15) の計算をすすめると、

$$\zeta = \exp \left[- \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{gh}} \right) \ln x \right] \cdot \left\{ \exp \left[2 \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{gh}} \cdot \ln x \right] dx + A \right\} \quad (17)$$

となる。ここに、(17) が物理的に意味のある解であるためには $x > 0$ でなくてはならない。

いま、 $Y = \exp [a_0 \ln x]$ のとき、

$$\ln Y = \ln (x^{a_0})$$

であることを利用すると、(17) は次のように書ける。

$$\zeta = x^{-[1 \pm \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{gh}}]} \cdot \left\{ x^{2 \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{gh}}} dx + A \right\} \quad (18)$$

あるいは、

$$\zeta = \frac{1}{1 + 2 \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{gh}}} x^{\gamma \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{gh}} + Ax^{-[1 \pm \sqrt{1 - \frac{\omega^2}{gh}}]}} \quad (19)$$

ただし、(19) 中の複号の正あるいは負に対応して γ は 1 あるいは 3 の値をとる。

結局、(19) は (16) で与えられるような放物線型海底地形をもつ海棚上で可能な静振の特性を与えることとなり、海岸線から沖向きの水位変動の振幅の分布を与えることになる。すなわち、(19) をみれば明らかなように、

(i) $1 - \omega^2/ga > 0$ の場合、 x の指数はすべて実数であり、単調に変化する 2 つの項の組合わせとして ζ が与えられることになる。

(ii) $1 - \omega^2/ga < 0$ の場合、 x の指数は虚数または複素数となり、 ζ は x に関してひとつの振動解のほかに $(1/x)$ という減衰項をもった振動解が加わったもので与えられるということになる。

(iii) $1 - \omega^2/ga = 0$ の場合、(19) は簡単に書けて、

$$\zeta = 1 + Ax^{-1} \quad (20)$$

となる。

ところで、(19) は一般解として与えられている。(19) の右辺第 1 項あるいは第 2 項はそれぞれ

特解であるから、与えられた条件によっては、(19) の右辺のいずれか 1 項のみによって現象が記述できる場合もあるであろう。例えば、 $A=0$ の場合の ζ を実数倍したのもひとつの特解であることは、微分方程式論でよく知られている。また、 $A \rightarrow \infty$ の場合には、(19) で A を係数としない項は相対的に微小とみなされることになる。このようなことから、放物線型の形状を決定する係数 a に対して、そこでの水位変動の周波数 ω がどのような値であるかに応じて、海岸線から沖向きの水位変動の振幅の分布にはいくつかのパターンが可能ながわかる。

4. 周参見の水位変動

すでに述べたように、本邦太平洋岸の周参見では、一年を通じて 5 cpH の水位変動がつねにみとめられ、その水位変動の振幅は気象条件に応じて変化しているものようである。気象要素のうち、海上風の統計的特性と周参見の水位変動の振幅との対応関係については中村・芹沢 (1983) が考察している。周参見沖の海底地形をみると、沖合約 10 km までの範囲では、水深は海岸線からの距離の平方にほぼ比例していると考えてよい。概略の傾向としては、 x メートル沖合での水深 h メートルは、この場合つぎのように表わされる。すなわち、

$$h = 6 \times 10^{-6} \cdot x^2 \quad (21)$$

一方、(19) より

$$1 - \frac{\omega^2}{ga} \cong 0 \quad (22)$$

となるとき ω の値は、 $a = 6 \times 10^{-6}$ 、 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ として

$$\omega \cong 7.7 \times 10^{-3} \text{ cps} \quad (23)$$

あるいは、周期 $T (= 2\pi/\omega)$ で表わせば、

$$T \cong 13.6 \text{ min} \quad (24)$$

ということになる。

(19) 式右辺第 1 項からみて、複号のうち正符号をとるとき、水位変動の振幅が最大となるのは

$$1 - \frac{\omega^2}{ga} = 0$$

のときであり、そのときの周期は、周参見の海底地形の場合は $T=13.6$ min である。周参見で検潮記録にあらわれる水位変動の周期は、年間を通じてほとんど一定でおよそ 5 cpH (12 min) であり、これは(24)で示される周期に近いものと考えてもよいであろう。このことから、周参見では、海底地形が静振のふるまいに大きな効果を及ぼしていると考えられる。しかし、ここまでの検討のみでは、振幅の大きさをきめる要因が何であるかはわからない。つぎに、これについて考察をする。

5. 振幅を決定する要因

いま、(19)で符号が正のとき ζ_1 、負のとき ζ_2 と書くことにすると、この ζ_1 と ζ_2 とはいずれも(8)の解であるから、 $\zeta \ll h$ の条件のもとでの(6)の解は一般に次のように書ける。すなわち、

$$\zeta = A_1 \zeta_1 + A_2 \zeta_2 - \zeta_1 \int \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \cdot \frac{\zeta_2}{A} dx + \zeta_2 \int \frac{\partial^2 G}{\partial x^2} \cdot \frac{\zeta_1}{A} dx \quad (25)$$

ただし、

$$A = \zeta_1 \frac{d\zeta_2}{dx} - \zeta_2 \frac{d\zeta_1}{dx} \quad (26)$$

である。ここに、 A_1 および A_2 は実定数で、境界条件を満足するように決定される。

(25)の第1および2項は自由振動モードを示し、これについてはすでに述べた。第3および4項は、外力の作用の効果 G によって生じる水位変動であり、外力の作用が大きければその振幅は大きいことは当然考えられる。この場合、外力の卓越周期が自由振動の周期に一致するか非常に近いならば、共振現象が誘起されることになり、その振幅もかなり大きなものとなりうる。しかし、 G の中の圧力変動に関連して気圧の記録をみても、周参見周辺では気圧の変動に共振条件を満すようなものは顕著ではない。これからみると、気圧の変動による現象として周参見の水位変動をとらえることは、妥当ではなさそうである。

日比谷・梶浦(1982)は、微気圧変動の伝播にともなう静振の共振として長崎港のあびきを説明しているが、そのように顕著な微気圧変動が1年を通じて頻繁にあらわれるとは考え難い。中村・芹沢(1983)の統計的解析からみても、局地的海上風の作用が顕著なものという判断をしたくなる。しかし、 G の中の τ に関連して風の資料も十分でないために、それが明確であるかどうか判断できかねる。また、他方、周参見沖の陸棚上での流れについての情報が全くない現時点において、海底まさつの効果がどの程度であるかを評価することもできない。流れそのものに12 minといった周期の変動が含まれており、それが(25)のようなことで増幅されているのであれば、周参見の水位変動の原因として、ここで考えた以外に、バロトロピックな現象や、バロクリニックな内部波の現象が関与している可能性も考えられる。

6. 結 言

以上を要約すると、周参見における5 cpHの水位変動は、その周期特性からみて、沖合の海底地形によってきまる固有振動とみられるが、ここで検討するにあたって対象にした検潮記録は海岸線上で周参見のみの1点についてにすぎない。さらに、その妥当性を明らかにするには、沖合陸棚上での潮位および流速の観測が必要と考えられる。また、ここでは考慮にいれなかった岸沿いに伝わる波の存在についても別に検討する必要がある。

謝 辞

本文をまとめるにあたり、日本気象協会の富永政英博士には有益なコメントをいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

文 献

- ALLISON, H. and A. GLASSIA (1979): Sporadic sea-level oscillations along a Western Australia coastline. *Aust. J. mar. freshw. Res.*, **30**, 723-730.
 BUCHWALD, V.T. and R.A. DE SZOEKE (1973): The response of a continental shelf to travelling pressure disturbances. *Aust. J. mar. freshw. Res.*, **24**, 143-158.
 BUCHWALD, V.T. and J.W. MILES (1981): On re-

- sonance of off-shore channels bounded by a reef. 14 p+3 Tabs+5 Figs. (Unpublished manuscript).
- DEFANT, A. (1961): *Physical Oceanography*, Vol. II. Pergamon Press, New York, 598 pp.
- 日比谷紀之・梶浦欣二郎 (1982): 長崎湾におけるあびき現象 (湾内の大規模セイシュ) の発生機構. *日本海洋学会誌*, **38**, 172-182.
- 日高孝次 (1935): 海堆静振及び棚海静振に関する研究. *海と空*, **15**, 223-229.
- 海象(流れ)観測グループ (1983): 田辺湾における流れの長期連続観測. *京大防災研年報*, No. 26B-2, 637-672.
- LE BLOND, P.H. and L.A. MYSAK (1978): *Waves in the Ocean*. Elsevier Oceanogr. Ser. 20, Amsterdam. 602 pp.
- 中村重久 (1976a): 線型解としてみたエッジ波. *うみ*, **14**, 1-6.
- 中村重久 (1976b): 外力の作用による線型エッジ波. *うみ*, **14**, 139-143.
- 中村重久 (1976): 円弧状海岸の線型波について. *うみ*, **17**, 28-32.
- 中村重久 (1981): 楕円弧海岸における長周期線型波とその安定性. *うみ*, **19**, 1-5.
- NAKAMURA, S. (1981): A note on classic theory of seiche. CSIRO Div. Land Resour. Manag. Perth, Technical Memorandum 81/7, 148 pp.
- 中村重久・芹沢重厚 (1983): 周参見の棚静振. *うみ*, **21**, 89-94.
- 野満隆治 (1937): 湖海の棚振動存立条件と Merian 週期の補正. *地球物理*, **4**, 38-46.
- PROUDMAN, J. (1953): *Dynamical Oceanography*. Methuen, London, 310 pp.
- TUCK, E.O. (1980): The effect of a submerged barrier on the natural frequencies and radiation damping of a shallow basin connected to open water. *J. Aust. Math. Soc.* **22** (Ser. B), 104-128.
- TUCK, E.O., H. ALLISON, S. R. FIELD and J. W. SMITH (1980): The effect of a submerged reef on periods of sea-level oscillations in Western Australia. *Aust. J. mar. freshw. Res.*, **31**, 719-728.
- WARREN, B.A. and C. WUNSCH (1981): *Evolution of Physical Oceanography*. MIT Press, Cambridge, 623 pp.
- WEBB, D.J. (1976): A model of continental shelf resonances. *Deep-Sea Res.*, **23**, 1-15.

Feeding Habits and Copulation of the Chaetognath *Sagitta crassa**

Sachiko NAGASAWA** and Ryuzo MARUMO***

Abstract: *Sagitta crassa* occurs abundantly, particularly in summer, in the inner part of Tokyo Bay. This paper deals with the feeding habits of this chaetognath. *Oithona aruensis* was the most dominant prey, accounting for 95.4% of the total prey. Predators often contained multiple prey. Food containing ratio (FCR) of this chaetognath reached a peak of over 60% at 2100 and 2200. In order to estimate the daily ration of *S. crassa*, laboratory observations of digestion time were combined with field observations of prey numbers. The daily ration was 7.1 prey or 5.2 μ g in dry weight. Using this value for the daily ration and the mean abundance of 2.1 *Sagitta*/l in water column above the thermocline, *Sagitta* are calculated to consume only 14.9 prey/l/day. The *Sagitta crassa* population has little impact on the prey (*O. aruensis*) population because the numbers of prey eaten accounted for only 10% of the adult copepods and 1% of the total prey available. Larger chaetognaths showed negative electivity for *O. aruensis* indicating that they tend to avoid this prey. Based on the appearance and disappearance of chaetognaths with spermatophores, the time of cross-fertilization was deduced to occur from just before 0000 until 0200. Thus, copulation occurs only at a certain period of night unlike feeding which occurs throughout the day and night with a diurnal rhythm.

1. Introduction

MURAKAMI (1957) and MARUMO and MURANO (1973) have reported the distribution and species of chaetognaths occurring in Tokyo Bay; a total of 3 genera and 16 species of chaetognaths were identified, although the number of species occurring varied with season. Among these species *S. crassa* TOKIOKA is the most dominant and usually accounts for over 90% of all chaetognaths. This species occurs abundantly in summer in the inner part of Tokyo Bay. Due to the presence of large numbers of *S. crassa* the numerical abundance of total chaetognaths is more than 20 times higher in Tokyo Bay than in Suruga and Sagami Bays (MARUMO *et al.*, 1978). This chaetognath includes two types; *S. crassa*, the large form, is the winter type and *S. crassa* f. *naikaiensis*, the

small form, is the summer type (KADO, 1954). In this paper the two types are considered as one species *S. crassa*.

This paper describes the feeding habits of *S. crassa* in Tokyo Bay and the occurrence of chaetognaths with spermatophores which offers evidence of cross-fertilization. The feeding habits of this chaetognath include food items, food containing ratio (FCR), number of prey per chaetognath (NPC), diurnal rhythm in the feeding rate, daily ration and Ivlev's electivity index for three species of copepods on which the chaetognath feeds. Data on feeding are obtained from field samples and laboratory feeding experiments. In Tokyo Bay, feeding impact of *S. crassa* on *Oithona aruensis* FRÜCHTL (NISHIDA and FERRARI, 1983) which is the dominant copepod in summer is also examined.

2. Materials and methods

Zooplankton tows were made 12 times at intervals of one hour from 1900 on 13 July, 1979 through 0600 on 14 July, 1979 at Stn. TA (Fig. 1) using a Norpac net (0.33 mm in mesh aper-

* Received August 25, 1983

** Ocean Research Institute, University of Tokyo
1-15-1 Minamidai, Nakano-ku, Tokyo 164 Japan

*** Present address: Nodai Research Institute,
Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuraga-
oka, Setagaya-ku, Tokyo, 156 Japan

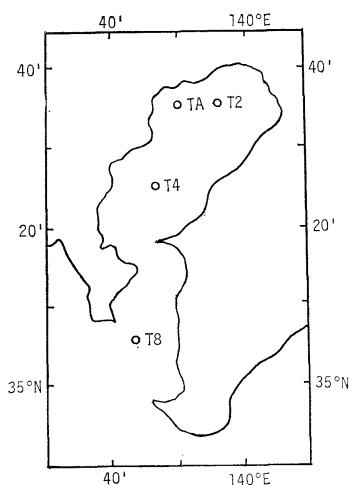


Fig. 1. Sampling stations in Tokyo Bay on July 13-14, 1979.

ture) (Series A). Water samples of 10 l were collected from depths of 0, 5, 10, 15 (14 m at Stns. TA and T2), 20 and 30 m at 4 stations in Tokyo Bay (Fig. 1) and were filtered through a 20 μ m mesh. The specimens retained on this mesh are considered to be more than 20 μ m in size (Series B). The zooplankton samples of both series A and B were preserved in 5% buffered sea water formalin on board.

In the laboratory, all chaetognaths were removed from the samples of series A and counted. Gut contents of *S. crassa* and chaetognaths with spermatophores were analyzed. Food containing ratio, the proportion of chaetognaths examined that contained food (NAGASAWA and MARUMO, 1972, 1976), and number of prey per chaetognath (NPC) (FEIGENBAUM, 1979) were examined and food items of the chaetognath were identified and counted. Analysis of chaetognaths with spermatophores was carried out for specimens taken at 0050 together with those at 2300, 0000, 0100, 0200 and 0300.

The abundance of dominant species of copepod and chaetognath was estimated from counts of the samples of series B.

In the laboratory culture of *S. crassa* isolated in 140 ml containers, we investigated the number of copepods (*Acartia clausi* GIESBRECHT) consumed by three specimens, S1, S2 and S3 (see NAGASAWA, 1984) during the day (0600-1800) and night (1800-0600). The number of

copepods offered was not always the same, ranging from 5 to 20. The relation between food concentration and food consumption was examined when *O. aruensis* was offered to *S. crassa*. Three species of copepods (*A. clausi*, *Parvocalanus crassirostris* DAHL, *O. aruensis*) of different size were offered to *S. crassa* to estimate values for Ivlev's electivity index (IVLEV, 1961). After one day of starvation five individuals of each of the three species were offered at the same time. The feeding experiments were carried out for 24 hours in the dark.

3. Results and discussion

Of the 12171 chaetognaths examined, 3979 (32.7%) contained prey. Of the 3979 chaetognaths that contained prey, 3796 (95.4%) contained *O. aruensis*, 159 (3.9%) *Pseudodiaptomus marinus* SATO and 29 (0.7%) *S. crassa*. Five specimens contained both *O. aruensis* and *P. marinus*. Since they were counted twice, the specimen number used for this calculation is five more than 3979. Of the 12171 chaetognaths, 3447 (28.3%) contained 1 prey, 494 (4.1%) contained 2 prey, 29 (0.2%) contained 3 prey, 4 (0.03%) had 4 prey and 5 (0.04%) had 5 prey. The number of prey per chaetognath (NPC) always exceeded the FCR because of the presence of multiple prey (Table 1). A similar result has been obtained for *S. enflata* (FEIGENBAUM, 1979). In contrast, *S. nagae* in Suruga Bay had almost the same values of FCR as those of NPC, since this species rarely contained multiple prey. The FCR values of *S. nagae* were lower than those of *S. crassa* (Fig. 2). Fig. 2 shows variation of FCR of *S. crassa* from 1900 through 0600. The maximum peak of FCR was found during the period from 2000 through 2300. In particular FCR values were over 60% at 2100 and 2200, whereas they decreased between 0200 and 0600.

The open and closed circles represent the number of copepods consumed by specimens S1, S2 and S3 during the day and night periods, respectively (Fig. 3). These three animals almost always consumed more copepods during the night than during the day. The average ratios of the numbers of copepods ingested during the night to those consumed during the day

Table 1. Food containing ratio (FCR) and number of prey per chaetognath (NPC) for 12 samples obtained at Stn. TA during the night.

Time	FCR*	NPC**	No. of chaetognaths examined	No. of chaetognaths containing food
1900	0.241	0.268	2427	586
2000	0.458	0.530	1842	844
2100	0.620	0.703	1067	662
2200	0.636	0.728	635	404
2300	0.462	0.514	650	300
0000	0.295	0.331	420	124
0100	0.443	0.494	573	254
0200	0.211	0.242	417	88
0300	0.213	0.263	639	136
0400	0.221	0.252	1044	231
0500	0.134	0.155	1281	172
0600	0.151	0.177	1176	178
Night mean	0.340	0.388	Total 12171	3979
Day mean***		0.204		
Overall mean		0.296		

* Food items include copepods and chaetognaths.

** Specimens containing chaetognaths were excluded.

*** This mean was estimated as 1/1.9 of night mean based on the laboratory feeding experiment (Fig. 3).

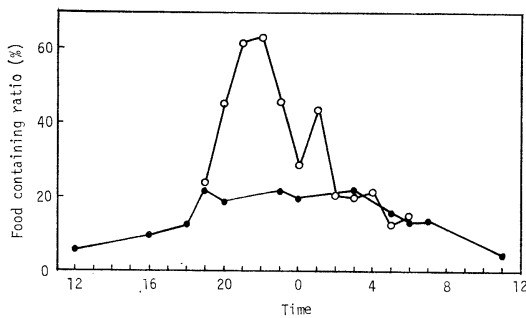


Fig. 2. Food containing ratio (%). Open circles, *Sagitta crassa*, July 13-14, 1979, Stn. TA in Tokyo Bay; closed circles, *Sagitta nageae*, May 14-15, 1969, Suruga Bay (after NAGASAWA and MARUMO, 1972).

were 1.9 for the three specimens. This suggests that for *S. crassa* the value of NPC at night is about twice that during the day. On the basis of this result the mean value of NPC during the day was estimated (Table 1). Like *S. crassa* the value of NPC for *S. nageae* at night is twice that during the day (NAGASAWA and MARUMO, 1972). As in the field samples, it was frequently observed that *S. crassa* ingested several copepods in the laboratory during a short period of time. Multiple prey are defecat-

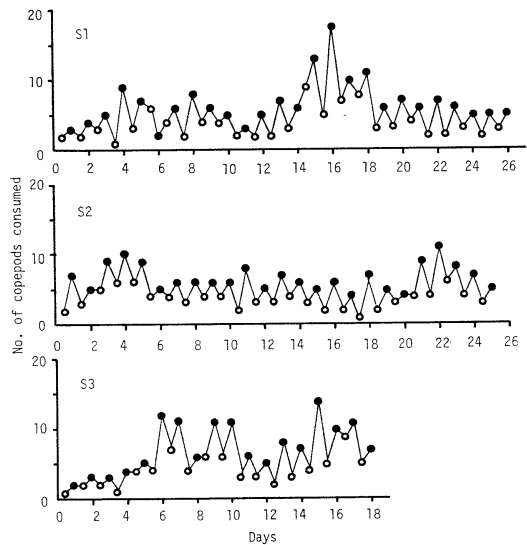


Fig. 3. Number of *Acartia clausi* consumed over successive 12 h periods by three specimens of *Sagitta crassa*, S1, S2 and S3. Open circles, day period (0600-1800); closed circles, night period (1800-0600).

ed at the same time in the shape of chain, and fecal pellets composed of several skeletons of copepods are often found. High values of FCR

and multiple prey indicate that the feeding activity of this species is very high.

According to laboratory observations, digestion time from the ingestion of prey (*O. aruensis*) until the defecation was about 1 hour. In most cases *S. crassa* excretes *A. clausi* 2 to 3 hours after ingestion (NAGASAWA, unpubl. data). *Oithona aruensis* takes less time to be digested than *A. clausi* because of its small size. FEIGENBAUM (1979) reported a mean digestion time of 3.2 hours for adult *S. enflata* and reviewed scattered data in the literature. REEVE (1980) reported food residence time in the gut of *S. hispida* with age (0.5–11.5 mm) and digestion time of this species (8–10 mm) as a function of the number of copepods ingested. Digestion times of *S. hispida* are from approximately 1 hour at 1 mm up to 2 hours at 6 mm, at larger sizes the digestion time stabilizes at about 2 hours. This apparent increase can be related to the tendency of food size to increase with increased size of *S. hispida*. Multiple prey is common in older animals and digestion time ranges from 1 to 5 hours for *S. hispida* (8–10 mm).

The daily ration (R), expressed as the number of food organisms per chaetognath per day, is given by the following equation (NAGASAWA and MARUMO, 1972; FEIGENBAUM, 1979):

$$R = \frac{NPC \times 24}{D}$$

where NPC=number of prey/chaetognath, and D=digestion time in hours. The overall NPC for *S. crassa* is 0.296 (Table 1) and D is 1 hour, making the daily ration=7.1 prey (*O. aruensis*) per chaetognath per day. In the laboratory the mean daily ration (R) of *S. crassa* ranged from 8.7 to 10.4 prey (*A. clausi*) per day or was about 60 μg in dry weight (NAGASAWA, 1984). The daily ration of *S. crassa* in Tokyo Bay in terms of prey number is not different from that of *S. crassa* in the laboratory. However, the daily ration of both in terms of dry weight differs because dry weight of *O. aruensis* is smaller than that of *A. clausi*. Since the dry weight of adult *O. aruensis* was estimated to be 0.73 μg (NAGASAWA, unpubl. data), the daily ration of *S. crassa* in Tokyo Bay on a dry weight basis, is only 5.2 μg which is less than one-tenth of the value for *S. crassa* in culture. Accord-

ing to laboratory observations, the feeding rate of *S. crassa* increased with food concentration (*O. aruensis*) and then decreased (Table 2). The daily ration observed for field samples is similar to that obtained at the food concentration of 10 prey per 100 ml. Even if *S. crassa* fed on the maximum number of *Oithona* (Table 2), mean daily ration in terms of dry weight is extremely small. This may be attributed to food size preference. Chaetognaths 5 to 7 mm in length showed negative electivity for *O. aruensis*, indicating that predators avoid *O. aruensis* (Table 3). In contrast, these chaetognaths showed positive electivity for larger copepods, *A. clausi* and *P. crassirostris*, than *O. aruensis*. REEVE (1980) has shown the relative proportion of three size fractions of *Acartia*, nauplii,

Table 2. Mean daily ration of *Sagitta crassa* when *Oithona aruensis* was offered as food. Figures in parentheses show standard deviation.

No. of copepods offered	Mean daily ration		No. of experiments
	No. of prey	Dry weight (μg)	
10	6.7(1.3)	4.9(0.9)	26
20	10.3(3.6)	7.5(2.6)	11
30	18.7(4.9)	13.7(3.6)	10
40	21.3(8.2)	15.5(6.0)	4
50	15.0(5.7)	11.0(4.2)	2

Table 3. Comparison of the values of Ivlev's (1961) electivity index for 3 different copepods and 9 individuals of *Sagitta crassa*.

Predator no.	Food items**		
	<i>Acartia clausi</i>	<i>Parvocalanus crassirostris</i>	<i>Oithona aruensis</i>
1	0.09	0.09	-0.25
2	0.13	0.13	-0.40
3	0.00	0.20	-0.33
4	0.20	0.20	-1.00
5	0.29	0.09	-1.00
6	0.20	0.20	-1.00
7	0.20	0.20	-1.00
8*	-0.02	-0.02	0.13
9*	-1.00	0.20	0.20

* Specimens 3 mm long, whereas other individuals were 5 to 7 mm in length.

** Five individuals of each food item were offered to *S. crassa*.

copepodites and adults, consumed for a range of sizes of *S. hispidus* (0.5–11.5 mm). This chaetognath 1 mm in size prefers *Acartia* nauplii and this preference decreases with increase in length of the predator. *Acartia* copepodites are eaten by chaetognaths 2 to 5 mm in length. Chaetognaths 2.5 mm in length begin to eat adult copepods and always choose adult *Acartia* by the time they attain 6 mm. This coincides with the size preference of *S. crassa*, although adult copepods of different species and size were offered to the latter.

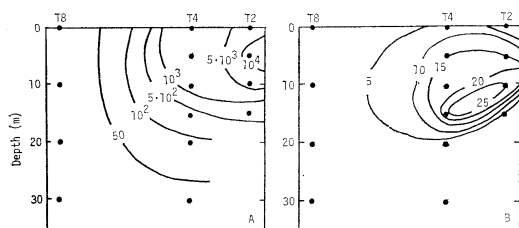


Fig. 4. Abundance of *Oithona aruensis* adults and copepodites (ind./10 l) (A) and of *Sagitta crassa* (ind./10 l) (B) at Stns. T2, T4 and T8 in Tokyo Bay on July 13–14, 1979.

Fig. 4 shows the vertical distribution of *O. aruensis*, both adults and copepodites, and *S. crassa* on the basis of abundance at Stns. T2, T4 and T8 in summer. *Oithona aruensis* is abundant in particular in the inner part of Tokyo Bay (above 10 m) and *P. marinus* is second in abundance to *Oithona*. Apart from these copepods a small number of *Corycaeus* and *Paracalanus* are present. The water of inner part of the bay was stratified with a thermocline between 10 and 15 m. The averaged temperature was 24.7°C at the surface and 18.7°C at the near-bottom. From Table 4 we can see that the *S. crassa* population has little impact on the copepod populations. The mean abundance of *Sagitta* of 2.1 ind./l above the thermocline results in the consumption of only 14.9 prey/l/day. This is 10% of the adult copepod population and 1% of the total prey available. Other predators of copepods which occur abundantly in summer have not been examined so far, but some medusae, which occur abundantly in summer, are considered to have great impact on the *Oithona* population. It is of importance to

Table 4. Numerical abundance of dominant species of copepod and chaetognath in the inner part of Tokyo Bay.

Station	Depth (m)	<i>O. aruensis</i>		<i>S. crassa</i> (inds./l)
		Copepodites (inds./l)	Adults	
T2	0	875	144	0.3
	5	1404	187	1.6
	10	511	58	2.7
	14	78	4	0.1
TA	0	1797	199	1.7
	5	1891	218	3.4
	10	396	74	3.1
	4	114	17	0.5
above thermocline*		1146	147	2.1
mean				

* The water was stratified with a thermocline between 10 and 14 m.

Table 5. Data on chaetognaths with spermatophores which offer evidence of cross-fertilization.

Time	No. of <i>Sagitta</i> examined (A)	No. of <i>Sagitta</i> with spermatophores (B)	B/A (%)
2300	650	0	0
0000	420	21	5.0
0050	1273	274	21.5
0100	573	151	26.4
0200	417	34	8.2
0300	639	0	0

investigate the feeding impact of *S. crassa* on *A. clausi* which is a more preferable prey than *Oithona* for this chaetognath during the period when *A. clausi* is the most abundant copepod in Tokyo Bay.

Table 5 shows that *Sagitta*, collected between 0000 and 0200, had spermatophores. Other specimens, collected at other times, had no spermatophores. Spermatophores of *S. hispidus* do not remain on the outside of the body for more than 20 minutes (REEVE and WALTER, 1972). On the basis of this observation, it is considered that the cross-fertilization of *S. crassa* begins just before 0000 and finishes after 0200. This suggests that cross-fertilization occurs at a certain period of the night unlike feeding activity which occurs throughout the day despite an apparent diurnal feeding rhythm. *Sagitta* with

spermatophores increased with time between 0000 and 0200 and the proportion of such chaetognaths exceeded 20% at 0050. Most of chaetognaths had one spermatophore but some had 2 to 4. After cross-fertilization fertile eggs are laid in the water column. Eggs in various stages of development were collected from the samples of series B at Stn. T2. *Sagitta crassa* in culture usually lays eggs at dawn. Taking account of the time of cross-fertilization, egg-laying of this species occurs within a few hours after this reproductive behaviour. According to the literature on the time of egg-laying (CONANT, 1896; VASILJEV, 1925; GHIRARDELLI, 1968; DALLOT, 1968; NAGASAWA and MARUMO, 1978), most of the species reported so far lay eggs from nighttime through sunrise. Therefore, cross-fertilization of most species is supposed to occur at night as in *S. crassa*.

Acknowledgements

We express our sincere thanks to Prof. T. NEMOTO, Ocean Research Institute, University of Tokyo for his interest in this study, and Dr. M. TERAZAKI, Ocean Research Institute, University of Tokyo for helpful suggestions and criticism. Thanks are also due to the captain, crew members and scientists on board the R/V Tansei Maru for their cooperation at sea. This study formed part of the project "Investigation on the Procedure of Development of Severe Red Tide and Prevention of Damage" supported by a grant to Prof. R. MARUMO from the Fisheries Agency of Japan.

References

- CONANT, F. S. (1896): Notes on the chaetognaths. Johns Hopkins Univ. Circ., **15**(126), 82-85.
- DALLOT, S. (1968): Observations préliminaires sur la reproduction en élevage du Chaetognathe planctonique *Sagitta setosa* MÜLLER. Rapp. Comm. int. Mer Médit., **19**, 521-523.
- FEIGENBAUM, D. (1979): Daily ration and specific daily ration of the chaetognath *Sagitta enflata*. Mar. Biol., **54**, 75-82.
- GHIRARDELLI, E. (1968): Some aspects of the biology of the chaetognaths, pp. 271-375. In Advances in Marine Biology, 6 (ed. F. S. RUSSELL and M. YONGE). Academic Press, London and New York.
- IVLEV, V. S. (1961): Experimental Ecology of the Feeding of Fishes. 302 pp. Yale University Press, New Haven and London.
- KADO, Y. (1954): Notes on the seasonal variation of *Sagitta crassa*. Annotnes zool. jap., **27**, 52-55.
- MARUMO, R. and M. MURANO (1973): Succession of plankton diatoms in Tokyo Bay. La mer, **11**, 70-82.
- MARUMO, R., K. KAWAGUCHI, T. KAJIHARA, M. HORIKOSHI and N. TAGA (1978): Biological indicator and ecological characteristics. pp. 253-306. In Environmental Marine Science II (ed. Y. HORIBE). Univ. Tokyo Press, Tokyo.
- MURAKAMI, A. (1957): The occurrence of planktonic chaetognaths in the bay and Inland Sea regions. (1) On the occurring conditions in Tokyo Bay, and the central and western parts of Seto-Inland Sea. Suisangaku-syusei, Tokyo Univ., 357-384.
- NAGASAWA, S. (1984): Laboratory feeding and egg production in the chaetognath *Sagitta crassa* TOKIOKA. J. exp. mar. Biol. Ecol., **75**, 1-15.
- NAGASAWA, S. and R. MARUMO (1972): Feeding of a pelagic chaetognath, *Sagitta nagae* ALVARIÑO in Suruga Bay, Central Japan. J. oceanogr. Soc. Japan, **28**, 181-186.
- NAGASAWA, S. and R. MARUMO (1976): Further studies on the feeding habits of *Sagitta nagae* ALVARIÑO in Suruga Bay, Central Japan. J. oceanogr. Soc. Japan, **32**, 209-218.
- NAGASAWA, S. and R. MARUMO (1978): Reproduction and life history of the chaetognath *Sagitta nagae* ALVARIÑO in Suruga Bay. Bull. Plankton Soc. Japan, **25**, 67-84.
- NISHIDA, S. and F. D. FERRARI (1983): Redescription of *Oithona brevicornis* GIESBRECHT, and *O. aruensis* FRÜCHTL, new rank, with notes on the status of *O. spinulosa* LINDBERG. Bull. Plankton Soc. Japan, **30**, 71-90.
- REEVE, M. R. (1980): Comparative experimental studies on the feeding of chaetognaths and ctenophores. J. Plankton Res., **2**, 381-393.
- REEVE, M. R. and M. A. WALTER (1972): Observations and experiments on methods of fertilization in the chaetognath *Sagitta hispida*. Biol. Bull., **143**, 207-214.
- VASILJEV, A. (1925): La fécondation chez *Spadella cephaloptera* LGRHS et l'origine du corps déterminant la voie germinative. Biologia gen., **1**, 249-278.

内湾性やむし *Sagitta crassa* の摂餌と交尾

永沢 祥子, 丸茂 隆三

要旨: *Sagitta crassa* TOKIOKA は東京湾奥部でとくに夏に多数出現する。このやむしの摂餌について報告する。やむしの餌は小型かいあし類 *Oithona aruensis* FRÜCHTL であり、餌全体の 95.4% に達した。やむしはしばしば複数の餌を有した。餌保有率(FCR)は21時と22時に 60% をこえた。*S. crassa* の日間摂食量を求めるために、実験室で得た消化時間と野外の試料に基づくやむしあたりの餌の数(NPC)を用いた。日間摂食量は *O. aruensis* 7.1 個体あるいは乾重量で 5.2 μ g であった。前者の値と水温躍層より上におけるやむしの平均個体数 2.1 から、1L 中のやむしが1日あたり消費する餌は 14.9 個体であると計算される。このことは、*S. crassa* 個体群が捕食する *O. aruensis* はその成体の 10% あるいは成体とコペポダイトの 1% にしか相当せず、やむし個体群の *O. aruensis* に対する捕食圧は小さいことを意味する。大型のやむしは *O. aruensis* を避ける傾向をもち、この餌に対してマイナスの選択性を示した。精包を付着する *S. crassa* の出現と消失に基づいて、交尾の起る時刻は0時前から02時までであると推定された。このように、交尾は夜のある時期のみに起る。これに対し、摂餌は昼夜を通して行なわれ、昼夜のリズムをもっている。

福井県梶地先におけるバフンウニの漁業生物学的研究—IV.

DELURY 法による資源量の推定

前川邦輝**, 難波高志**, 石渡直典***, 伏見 浩****†

Studies Concerning the Fishery Biology of the Sea Urchin *Hemicentrotus pulcherrimus* (A. AGASSIZ) in Kaji, Fukui Prefecture—IV.

Stock Size Estimation by DELURY's Methods*

Kuniteru MAEKAWA**, Takashi NANBA**, Naonori ISHIWATA***
and Hiroshi FUSHIMI****†

Abstract: Applying DELURY's catch-effort methods, the sea urchin stock size is analysed from the viewpoint of fishery biology for three fishing seasons through 1966 to 1968 at Kaji, Fukui Prefecture. Initial stock size for these seasons are estimated from the relationships between catch per person and cumulative catch or cumulative fishing effort. Hereupon, the effects of natural mortality, recruitment and the like seem negligible, because of very short seasons in this sea urchin fishery. Characteristics in the fishery are also discussed in relation to the stock size.

前報(石渡ら, 1977a)では福井県梶地先におけるバフンウニ漁業の漁期は1966~1968年には7月21日から8月13日までで、ごく短く、漁獲は主に海女の潜水により行われ、主漁場は西水域の水深3m以浅、副漁場は3m以深(高瀬沖)と東水域であることを知った。本報では主漁場と漁場全域について、1966~1968年の解禁当初の資源量としての個体数をDELURYの方法によって推定した結果を述べる。

1. 調査方法

1966~1968年の漁期中、福井県坂井郡三国町梶

* 1983年7月11日受理 Received July 11, 1983

** 福井県農林部水産課, 〒910 福井市大手3

*** 東京水産大学, 〒108 東京都港区港南4

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

† 東京水産大学, 現所属: 静岡県水産試験場浜名湖分
場, 〒431-02 静岡県浜名郡舞坂

Tokyo University of Fisheries;
Present Address: Hamanako Branch, Shizuoka
Prefectural Fisheries Experimental Station, Mai-
saka, Hamana-gun, Shizuoka, 431-02 Japan

地先のバフンウニ漁場(Fig. 1, A~F区)で、出漁者全員について、個別調査によって日々の漁獲個体数と出漁場所を調べた。DELURYの1人当たり漁獲個体数の累積漁獲個体数への回帰を用いる方法と1人当たり漁獲個体数(対数值)の累積漁獲努力数への回帰を用いる方法によって、主漁場(A~D区)と漁場全域(A~F区)について、各年の解禁当初の資源個体数を推定し、漁獲率を求めた。

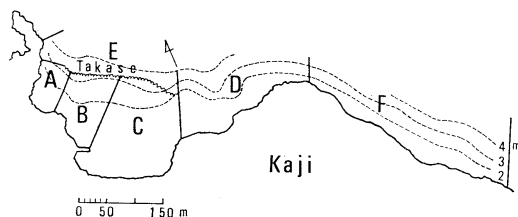


Fig. 1. Sea urchin fishing ground and its segmentation (A-F) on the coast of Kaji, Fukui Prefecture. Area E, definable inshore by an eminent edge of the rocky reef "Takase", distinct from A, B and C, while its offshore limit is variable by season, as in the case of Areas D and F.

Table 1. Daily catch-effort data in the sea urchin fishery at Kaji, Fukui Prefecture, for the fishing season in 1966 to 1968. —: no fishing operation in concerned area. During each season, suspension of fishing operation occurs in some days, because of stormy weather.

A: 1966 season

Date	Catch in number Number of fishermen Catch in number per person							
	Fishing area							
	A	B	C	D	Sum	E	F	Total
July 24	—	—	—	—	—	—	40,066 68 589	40,066 68 589
25	3,212 6 535	10,519 17 619	7,319 17 431	11,196 28 400	32,246 68 474	—	—	32,246 68 474
26	5,692 9 632	4,635 12 386	13,398 25 536	9,419 23 410	33,144 69 480	—	—	33,144 69 480
27	2,824 7 403	4,328 13 333	10,809 27 400	5,127 18 285	23,088 65 355	—	494 2 247	23,582 67 352
28	1,435 4 359	5,780 19 304	7,345 20 367	8,437 23 367	22,997 66 348	—	1,319 5 264	24,316 71 342
29	3,556 9 395	3,471 10 347	4,089 12 341	8,045 25 322	19,161 56 342	1,326 3 442	396 2 198	20,883 61 342
30	5,913 16 370	2,307 7 330	1,246 7 178	4,792 17 282	14,258 47 303	2,004 4 501	316 1 316	16,578 52 319
Aug. 4	1,642 7 235	1,162 7 166	4,162 15 277	1,503 11 137	8,469 40 212	3,326 9 370	—	11,795 49 241
5	2,917 9 324	—	6,207 22 282	1,057 6 176	10,181 37 275	2,237 4 559	705 3 235	13,123 44 298
6	—	1,795 8 224	3,095 13 238	2,686 7 384	7,576 28 271	3,362 8 420	5,502 16 344	16,440 52 316
7	657 3 219	1,871 8 234	4,011 18 223	2,932 10 293	9,471 39 243	980 3 327	7,395 18 411	17,846 60 297
8	455 2 228	—	1,819 11 165	2,225 10 223	4,499 23 196	2,959 7 423	4,364 10 436	11,822 40 296
9	527 2 264	1,381 7 197	2,052 15 137	4,192 16 262	8,152 40 204	1,598 3 533	5,249 9 583	14,999 52 288
10	1,668 8 209	1,230 6 205	1,993 14 142	1,468 6 245	6,359 34 187	3,822 9 425	5,400 16 338	15,581 59 264
11	1,120 5 224	130 1 130	808 4 202	2,208 10 221	4,266 20 213	5,168 12 431	6,311 15 421	15,745 47 335

	A	B	C	D	Sum	E	F	Total
Aug. 12	455	—	867	3,301	4,623	14,533	3,004	22,160
	3 152	—	6 145	16 206	25 185	34 427	6 501	65 341
13	231	—	459	770	1,460	2,169	—	3,629
	2 116	—	4 115	6 128	12 122	6 362	—	18 202
Total	32,304	38,609	69,679	69,358	209,950	43,484	80,521	333,955
	17 days	92	115	230	232	669	102	942
		351	336	303	299	314	426	355

B: 1967 season

July 22	—	—	—	—	—	—	42,634	42,634
							88 484	88 484
23	10,215	14,395	13,753	22,570	60,933	—	—	60,933
	18 568	23 626	16 860	39 579	96 635	—	—	96 635
24	10,134	10,316	10,520	18,984	49,954	—	—	49,954
	23 441	19 543	19 554	35 542	96 520	—	—	96 520
25	1,897	7,226	10,244	19,078	38,445	—	—	38,445
	4 474	18 401	22 466	41 465	85 452	—	—	85 452
26	5,419	3,281	15,568	6,489	30,757	—	—	30,757
	12 452	8 410	35 445	20 324	75 410	—	—	75 410
27	3,419	2,676	14,913	5,078	26,086	—	—	26,086
	9 380	11 243	36 414	17 299	73 357	—	—	73 357
28	5,919	797	8,556	4,370	19,642	—	2,214	21,856
	12 493	4 199	21 407	11 397	48 409	—	6 369	54 405
29	10,287	552	4,856	4,697	20,392	—	—	20,392
	20 514	2 276	14 347	14 336	50 408	—	—	50 408
31	2,427	—	9,846	1,816	14,089	—	—	14,089
	5 485	—	28 352	8 227	41 344	—	—	41 344
Aug. 1	1,164	1,468	6,373	5,781	14,786	749	4,066	19,601
	3 388	5 294	20 319	16 361	44 336	1 749	6 678	51 384
2	2,846	1,200	3,957	8,176	16,179	590	1,002	17,771
	8 356	5 240	8 495	23 355	44 368	1 590	2 501	47 378
3	793	540	4,389	4,986	10,708	1,202	6,583	18,493
	3 264	3 180	12 366	16 312	34 315	2 601	13 506	49 377
5	—	—	4,719	5,598	10,317	632	4,806	15,755
	—	—	20 236	16 350	36 287	1 632	11 437	48 328
6	1,398	1,031	3,436	2,740	8,605	—	4,456	13,061
	5 280	5 206	12 286	9 304	31 278	—	11 405	42 311

		A	B	C	D	Sum	E	F	Total
Aug.	8	2,683	1,371	1,994	1,865	7,913	712	5,548	14,173
		7	5	9	8	29	1	12	42
		383	274	222	233	273	712	462	337
	9	3,578	1,576	227	1,371	6,752	—	5,161	11,913
		12	6	2	6	26	—	13	39
		298	263	114	229	260	—	397	305
	10	5,805	—	—	4,401	10,206	—	3,973	14,179
		16	—	—	13	29	—	7	36
		363	—	—	339	352	—	568	394
Total	17 days	67,984	46,429	113,351	118,000	345,764	3,885	80,443	430,092
		157	114	274	292	837	6	169	1,012
		433	407	414	404	413	648	476	425

C: 1968 season

July	22	—	—	—	—	—	—	44,550	44,550
		—	—	—	—	—	—	78	78
		—	—	—	—	—	—	571	571
	23	9,757	11,268	7,315	14,253	42,593	—	—	42,593
		22	33	14	28	97	—	—	97
		444	341	523	509	439	—	—	439
	24	4,181	5,863	14,263	14,374	38,681	—	280	38,961
		11	16	24	36	87	—	1	88
		380	366	594	399	445	—	280	443
	25	5,185	6,319	12,593	11,722	35,819	—	3,502	39,321
		13	16	25	23	77	—	6	83
		399	395	504	510	465	—	584	474
	27	5,837	5,147	10,304	5,943	27,231	—	610	27,841
		12	10	24	19	65	—	2	67
		486	515	429	313	419	—	305	416
	28	8,120	799	7,628	7,564	24,111	—	210	24,321
		19	3	19	24	65	—	1	66
		427	266	401	315	371	—	210	369
	29	3,764	1,484	6,813	9,336	21,397	2,905	—	24,302
		10	4	15	24	53	4	—	57
		376	371	454	389	404	726	—	426
Aug.	5	8,920	4,993	2,565	5,090	21,568	—	1,055	22,623
		21	12	5	22	60	—	2	62
		425	416	513	231	359	—	528	365
	6	3,893	694	6,119	6,641	17,347	2,813	3,599	23,759
		11	4	16	22	53	4	6	63
		354	174	382	302	327	703	600	377
	7	2,179	986	4,528	8,749	16,442	4,072	5,502	26,016
		5	4	12	21	42	6	11	59
		436	247	377	417	391	679	500	441
Aug.	8	210	283	3,600	7,094	11,187	3,018	8,200	22,405
		1	2	10	20	33	4	18	55
		210	142	360	355	339	755	456	407
	9	—	995	1,699	7,988	10,682	4,376	7,343	22,401
		—	4	6	22	32	6	14	52
		—	249	283	363	334	729	525	431
	10	412	—	5,394	1,836	7,642	2,307	3,636	13,585
		2	—	20	11	33	4	12	49
		206	—	270	167	232	577	303	277
Total	13 days	52,458	38,831	82,821	100,590	274,700	19,491	78,487	372,678
		127	108	190	272	697	28	151	876
		413	360	436	370	394	696	520	425

2. 調査結果

1966~1968年の漁期中の毎日の漁獲個体数, 出漁者数および1人当たり漁獲個体数を漁区別に取りまとめると, Table 1に示すようになる。Table 1の漁獲資料を用い, 主漁場と漁場全域について, 各年の解禁当初の資源個体数を DE LURY の方法によって推定してみる。

DE LURY (1947, 1951) は, いくつかの仮定のもとで, 初期資源個体数を N_0 , 漁獲能率を q とすると, t 期の努力当たり漁獲個体数 C_t/X_t と $(t-1)$ 期までの累積漁獲個体数 K_t , 累積漁獲努力数 E_t との間に次式,

$$C_t/X_t = qN_0 - qK_t \quad (1)$$

$$\log_{10}(C_t/X_t) = \log_{10}(qN_0) - 0.4343qE_t \quad (2)$$

が成立するとしている。(1)式を適用し, Table 1から1966年の主漁場について, K_t を計算し, K_t と C_t/X_t との関係を図示すると, Fig. 2のようになる。両者の関係はほぼ直線であるので, 一次式 $(C_t/X_t = A - BK_t)$ を当てはめて, 最小二乗法で回帰直線を求めると,

$$C_t/X_t = 491.8 - 0.00155 K_t$$

となった。(1)式から $A = qN_0$, $B = q$ であるので,

$$\hat{N}_0 = 31.73 \times 10^4, \hat{q} = 1.55 \times 10^{-3}$$

と推算された。1967, 1968年の主漁場と1966~1968年の漁場全域について, \hat{N}_0 と \hat{q} を同様にして推定すると, Table 2に示すようになる。つぎに, (2)式を適用し, Table 1から主漁場と漁場全域について, 各年の \hat{N}_0 と \hat{q} を同様にして推定した (Table 2)。(1), (2)式から求めた \hat{N}_0 は,

1) 主漁場については

$$1966 \text{ 年: } \hat{N}_0 = 31.73 (29.67) \times 10^4$$

$$1967 \text{ 年: } \hat{N}_0 = 63.68 (63.86) \times 10^4$$

$$1968 \text{ 年: } \hat{N}_0 = 77.89 (69.61) \times 10^4$$

であり,

2) 漁場全域については,

$$1966 \text{ 年: } \hat{N}_0 = 60.48 (66.72) \times 10^4$$

$$1967 \text{ 年: } \hat{N}_0 = 98.52 (101.22) \times 10^4$$

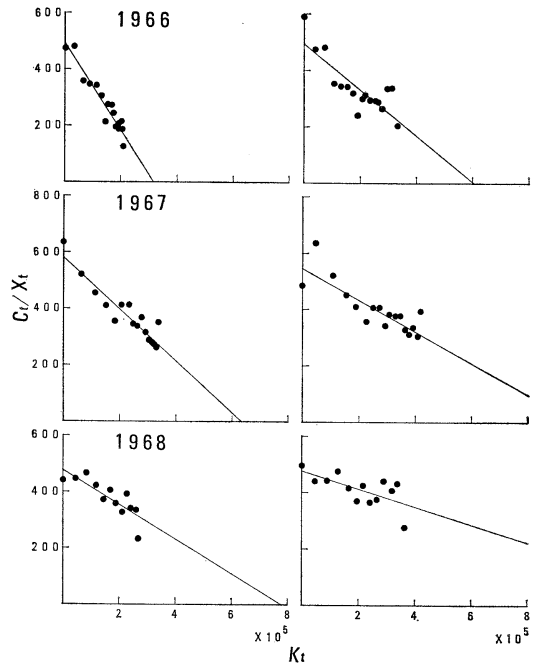


Fig. 2. Relationship between catch in number per person, C_t/X_t , and cumulative catch in number, K_t , for the sea urchin in the main fishing ground (left side, A-D in Fig. 1) and the whole fishing ground (right side, A-F in Fig. 1) at Kaji for the fishing season in 1966 to 1968.

A-D:

$$1966 \text{ season, } C_t/X_t = 491.8 - 0.00155 K_t;$$

$$1967 \text{ season, } C_t/X_t = 580.8 - 0.00091 K_t;$$

$$1968 \text{ season, } C_t/X_t = 476.7 - 0.00061 K_t;$$

A-F:

$$1966 \text{ season, } C_t/X_t = 495.9 - 0.00082 K_t;$$

$$1967 \text{ season, } C_t/X_t = 546.8 - 0.00056 K_t;$$

$$1968 \text{ season, } C_t/X_t = 477.5 - 0.00032 K_t.$$

$$1968 \text{ 年: } \hat{N}_0 = 148.75 (139.59) \times 10^4$$

であった。

上述の推定された資源個体数が正しいものとするれば, 漁獲率 $E(\%)$ は (1), (2) 式から求めた場合には,

1) 主漁場については,

$$1966 \text{ 年: } \hat{E} = 66.2 (70.8)$$

$$1967 \text{ 年: } \hat{E} = 54.3 (54.1)$$

$$1968 \text{ 年: } \hat{E} = 35.3 (39.5)$$

となり,

Table 2. Initial stock number and its relative estimates in the sea urchin fishery at Kaji, Fukui Prefecture, for the fishing season in 1966 to 1968.

Fishing areas	Season	Catch in number	Initial stock number	Catch-ability coefficient	Exploitation rate	Average catch in number per person	Stock number remained
		C	\hat{N}_0	\hat{q}	$\hat{E} = C/\hat{N}_0, \%$	$\overline{C_t/X_t}$	$\hat{N}_0 - C$
A-D	1966	21.00×10^4	$31.73 \times 10^{4*}$	$1.55 \times 10^{-3*}$	66.2*	314	$10.73 \times 10^{4*}$
			29.67	1.67	70.8		8.67
	1967	34.58	63.68	0.91	54.3	413	29.10
			63.86	0.88	54.1		29.28
	1968	27.47	77.89	0.61	35.3	394	50.42
			69.61	0.70	39.5		42.14
A-F	1966	33.40	60.48	0.82	55.2	355	27.08
			66.72	0.69	50.1		33.32
	1967	43.01	98.52	0.56	43.7	425	55.51
			101.22	0.52	42.5		58.21
	1968	37.27	148.75	0.32	25.1	425	114.48
			139.59	0.34	26.7		102.32

* Upper row: estimates from the relationship between catch in number per person, C_t/X_t , and cumulative catch in number, K_t ; lower row: estimates from the relationship between $\log C_t/X_t$ and cumulative fishing effort, E_t .

2) 漁場全域については,

1966年: $\hat{E} = 55.2$ (50.1)

1967年: $\hat{E} = 43.7$ (42.5)

1968年: $\hat{E} = 25.1$ (26.7)

であった。

さらに, Table 2 に示した各年の漁期の終わりの取り残し個体数とその翌年の解禁当初の資源個体数から, 各年の漁期の終わりの翌年の解禁に至る期間(休漁期間)中の資源への添加個体数を推定すると,

1) 主漁場については,

1966~1967年休漁期間: 52.95 (55.19) $\times 10^4$

1967~1968年休漁期間: 48.79 (40.33) $\times 10^4$

となり,

2) 漁場全域については,

1966~1967年休漁期間: 71.44 (67.90) $\times 10^4$

1967~1968年休漁期間: 93.24 (81.38) $\times 10^4$

であった。各年の休漁期間中の資源への添加個体数は, 漁期の終わりの取り残し個体数の多少にかかわらず, ほぼ一定で, 主漁場については約 $50 \times$

10^4 個体, 漁場全域については約 80×10^4 個体となった。なお, Table 2 から主漁場と漁場全域について, 各年の \hat{N}_0 と漁獲個体数 C , C_t/X_t の平均値 $\overline{C_t/X_t}$, \hat{E} および \hat{q} との関係を図示すると, Fig. 3 が得られる。 C と $\overline{C_t/X_t}$ は \hat{N}_0 の大きい年には大きく, また, \hat{E} と \hat{q} は \hat{N}_0 の大きい年には小さい傾向が認められた。

3. 考 察

本調査では DELURY (1947, 1951) が提示した

- 1) 漁獲努力単位は相互に競合しない
- 2) 資源が閉鎖的で, 自然死亡, 加入, 移出・移入などは無視し得る
- 3) 漁獲能率は漁期中一定である

という仮定のもとで, 前記 (1), (2) 式を適用し, 本漁場における各年の解禁当初の資源個体数を推定したが, 本法の理論式の前提となる上記の仮定が本調査事例において満足されているかどうか検討する必要がある。

上記の3つの仮定のうち, まず仮定 1) については, 主漁場の日々の1人当たり漁獲個体数が低下するにつれて, 漁獲努力は主漁場から副漁場

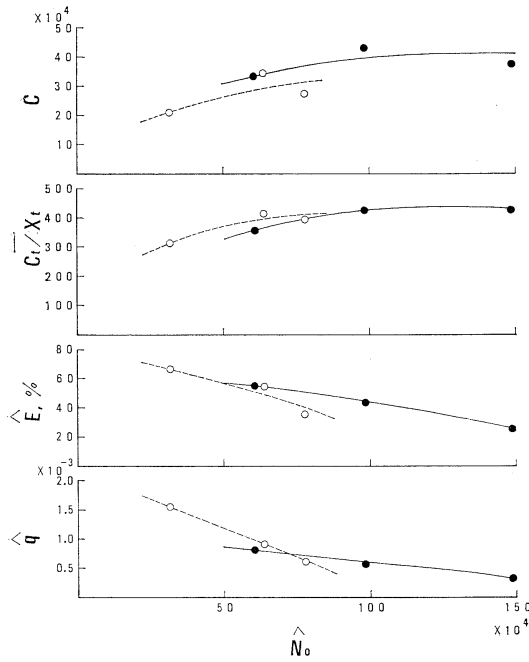


Fig. 3. Relationships between initial stock number, \hat{N}_0 , and catch in number, C (uppermost), average of catch in number per person, C_t/X_t (upper middle), exploitation rate, \hat{E} (lower middle), and catchability coefficient, \hat{q} (lowermost), for the sea urchin in the main fishing ground (open circles, A-D in Fig. 1) and the whole fishing ground (solid circles, A-F in Fig. 1.) at Kaji during the fishing seasons through 1966 to 1968.

(E, F 区)へ次第に分散していること (Table 1), また, 主漁場と漁場 全域の日々の 1 人当たり漁獲個体数が低下するにつれて, 漁獲努力数も漸減し, 1 人当たり漁獲個体数が主漁場では 122~352 個体, 漁場全域では 202~394 個体に低下すると, 終漁していること (Table 1) などから見て, 漁獲努力単位間の競合は小さいものと思われる。つぎに, 仮定 2) の自然死亡, 加入などについては, 漁期は 1966 年には 7 月 23 日から 8 月 13 日までの 22 日間, 1967, 1968 年には 7 月 21 日から 8 月 10 日までの 21 日間で, ごく短く (石渡ら, 1977a), その間にかかなり強度の漁獲が加えられていることから見て, 漁期中の自然死亡, 加入および大石の下面や岩礁間隙などからの補充は 近似的に無視し得

るものと思われる。なお, 移出・移入については, 漁期はごく短く, しかも, 東西水域間, 高瀬沖・沿岸間および本漁場と隣接漁場間の海底地形が閉塞的であること (石渡ら, 1977b), また, 本種は著しい移動を行わないことなどから見て, これらの間の移出入は考えられない。仮定 3) については, 漁獲は漁期を通して海女の潜水により転石を一つ一つ起こして行われ, 出漁時間は午前 7 時 30 分から 10 時 30 分までの 3 時間に厳しく規制されていること (石渡ら, 1977a), しけの日には一せいに休漁していること (Table 1), また, 本種は著しい移動性がないので, 生息密度, 分布状態などは日によって大きく変化し得ないことなどから見て, 漁獲能率は漁期中ほぼ一定していたものと思われる。

以上の検討によって, 上記 1)~3) の仮定はほぼ満足され, 本法による資源個体数推定の妥当性は高いものと考えられる。ただし, この場合の資源個体数推定値は漁場内の漁獲し得る状態にある漁獲対象の大きさ (殻径約 20 mm 以上) の資源についてであって, 漁獲対象にならない個体数を含んでいない。

本漁場には 1~2 人では転覆することのできない大石や漁獲作業の困難な岩礁間隙などがあって, これらの場所に生息するウニの大部分は漁獲し得ない状態にあり, 漁獲対象からはずされている。したがって, 漁場内の漁獲対象の大きさのウニの解禁当初の生息個体数は前記の推定値より高く, その漁獲率は低くなるものと推測される。

しかし, 長い休漁期間中には, この漁獲対象からはずされたウニもその一部は漁獲によって生息密度が著しく低下した場所にじょじょに移動し, 次期の資源を補充するようになる。本調査事例では, 各年の休漁期間中の資源への添加個体数は, 漁期の終わりの取り残し個体数の多少にかかわらず, ほぼ一定であるが, この一定数は上記の補充個体数と加入個体数との和と自然死亡個体数との差と見なし得るものと思われる。

以上, 本調査では梶地先のバフソウニ漁場における 1966~1968 年の解禁当初の資源個体数を DELURY の方法によって推定したが, 本漁場に

は大石や岩礁間隙などがあって、これらの場所に生息するウニの大部分は漁獲対象からはずされている。続報では本漁場において標識放流調査を実施し、この漁獲対象からはずされている個体数を推定した結果について述べる。

文 献

- DELURY, D.B. (1947): On the estimation of biological populations. *Biometrics*, **3**, 145-167.
- DELURY, D.B. (1951): On the planning of experiments for the estimation of fish populations. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **8**, 281-307.
- 石渡直典, 伏見 浩, 前川邦輝, 難波高志 (1977a): 福井県梶におけるバフンウニの漁業生物学的研究—I. バフンウニ漁業. *うみ*, **15**, 146-150.
- 石渡直典, 伏見 浩, 今 攸, 難波高志 (1977b): 福井県梶におけるバフンウニの漁業生物学的研究—II. 生息場所の底質・海藻植生・大形底生動物群集. *うみ*, **15**, 151-162.

浅海域での係留方式による流速測定値の差異*

高杉由夫**, 埜口英昭**, 山崎宗広**

Intercomparison Test of Current Measurements by Two Types of Mooring in Shallow Water

Yoshio TAKASUGI, Hideaki NOGUCHI and Munehiro YAMASAKI

Abstract: Current measurements with Savonius rotor-vane current meter are made for comparing results by subsurface mooring with results by surface mooring in Seto Inland Sea. Speeds measured by surface mooring are greater than those by subsurface mooring, when current speeds are slow. At frequencies higher than 6×10^{-4} cph, the kinetic energy level obtained by surface mooring is higher than that by subsurface mooring. This difference is mainly attributed to the characteristics of the mooring line response to varying water motion. However, the difference of the kinetic energy level between the two mooring types becomes smaller if the velocity vectors are averaged over a period longer than ten minutes. The effect of the mooring type on current measurements is not so significant for tidal frequencies.

1. まえがき

浅海域における流速測定ではオイラータイプの測流が数多くみられる。流速測定は海洋調査の中でも最も基本的なものの一つであり、最近では海域の諸現象のメカニズムなどを解明する上から、時間的にも空間的にも詳細な流動場を知ることが要求されており、海面から海底まで係留系を利用した測流が行なわれている。

係留系による測流では、大別して海底から中間ブイにより流速計を立ち上げる中間ブイ方式と表面のブイから流速計を吊り下げる表面ブイ方式がある。この中間ブイと表面ブイ方式とでは、その構造上係留系の振まいが異なり、それぞれで異なった流速測定値を記録することが考えられる。中田(1975)は、沿岸の浅い海域での測定結果から両方式による測定値に明確な差異は見い出せなかったものの、ある水深における表面ブイ方式の測

定値には表面の流動の影響があったことを述べており、また GOULD *et al.* (1975) は深海における両方式の比較から表面ブイ方式が中間ブイ方式に比べて大きめな流速値を示すことを報告している。さらに、HALPERN *et al.* (1981) は spar buoy を使用した表面ブイ方式と中間ブイ方式の海面下 79m における測定結果から、中間ブイ方式では波よりも流れの影響が強いが、表面ブイ方式での測定値は波に影響されやすいことを示している。

このように両方式の相互比較から中間ブイ方式の優位性が指摘されているが、なかでも一般の観測によく使用されるローター型流速計では、ローターが波などに敏感に反応して流れを過剰評価する可能性もあり、係留方式としては中間ブイ方式を用いた方が望ましいとされている。しかしながら、浅海域での測流では、中間ブイ方式は潮位の変化に加えて、柳(1980)の報告にもみられるように流れの強さの変化に対応して測定深度が変わるため、成層の発達した海域や表層流を目的とした測流には適さないという面があり、このような場合には表面ブイ方式による測流を行なわざるを

* 1983年8月5日受理 Received August 5, 1983

** 中国工業技術試験所
〒737-01 広島県呉市広町15000番地
Government Industrial Research Institute, Chu-
goku, 15000 Hiro-machi, Kure, 737-01 Japan

得ない。このため、これらの係留方式による測定値の特性を十分に把握した上で流速データの解析を進めるべきであるが、浅海域における係留方式による流速測定値の差異を明確にしたものは少ない。

本稿は、係留方式による流速測定値の特性を把握するため、ローター型流速計を用いて中間ブイと表面ブイ方式による流速測定の比較実験を行った結果についての報告であり、浅海域で測定された流速データを扱う上での資料を提供しようとするものである。

2. 方法

係留方式による流速測定の比較実験は瀬戸内海の安芸灘に隣接する広湾の沖合、平均水深40mの地点において実施した。Fig. 1 に流速計の係留方法を示す。測定深度は両方式とも10mおよび25m

である。係留にはナイロクロスロープ(14 mm ϕ)を使用した。中間ブイ方式ではアンカー約150 kg重、Total 浮力約90 kg重(浮力約154 kg重、水中重量約64 kg重)とし、海面には目印とする

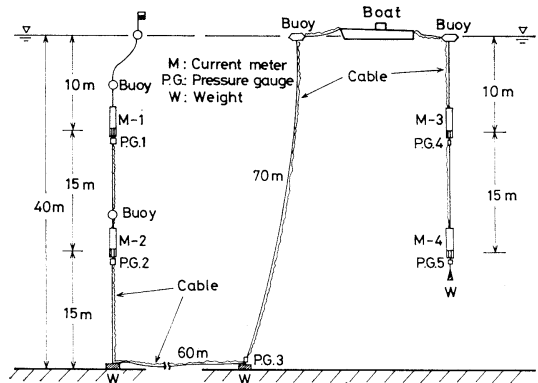


Fig. 1. Schematic diagram of the mooring system.

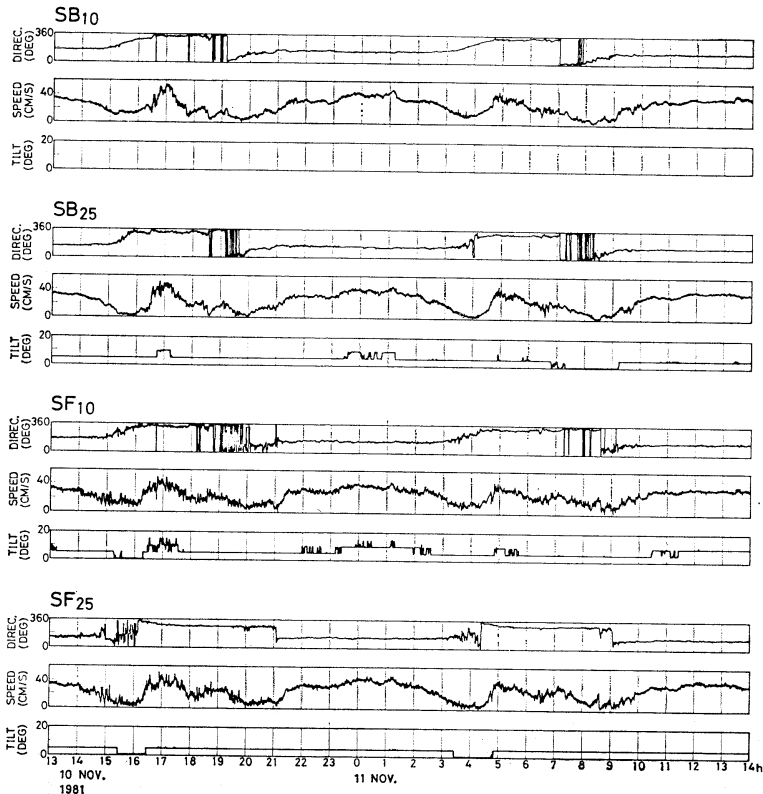


Fig. 2. Time series of the flow direction, speed and tilt of instrument. SB₁₀: At 10 m depth by subsurface mooring, SB₂₅: At 25 m depth by subsurface mooring. SF₁₀: At 10 m depth by surface mooring. SF₂₅: At 25 m depth by surface mooring.

ため、長さ 1.5 m の竹ざおに 30 cm 四方の小旗およびフラッシャーを取付けたフロート (27 cm ϕ , 浮力約 8 kg 重) を浮かべ、ナイロンロープ (6 mm ϕ) で最上層ブイと結んだが、この標識用フロートが下の係留系に及ぼす影響は少ないものと考えた。表面ブイ方式は海面の鉄製ブイ (浮力約 70 kg 重) に流速計 2 台と重り (約 20 kg 重) を吊り下げたものであるが、表面ブイを船につないでいるため、船と表面ブイ間のロープの長さを調節して船の横揺れなどの運動が表面ブイに及ぼす影響を少なくするように努めた。しかし、船の動きによる影響

は無視できず、船に係留しないときの表面ブイ方式よりもやや複雑な動きをしたものと推定される。この表面ブイ方式は海底に沿った長さ 60 m のロープで中間ブイ方式とつないで設置した。

流速測定のために測定深度の変動および潮位の変化を測定するため、ひずみゲージ方式の圧力センサーを両係留方式の流速計の下部およびアンカーした海底に取付け、船上のデータレコーダーにて 4 秒間隔でサンプリングした。水圧データの解析には、波による短い周期の変動を除去するため、20 秒間の平均値を使用した。

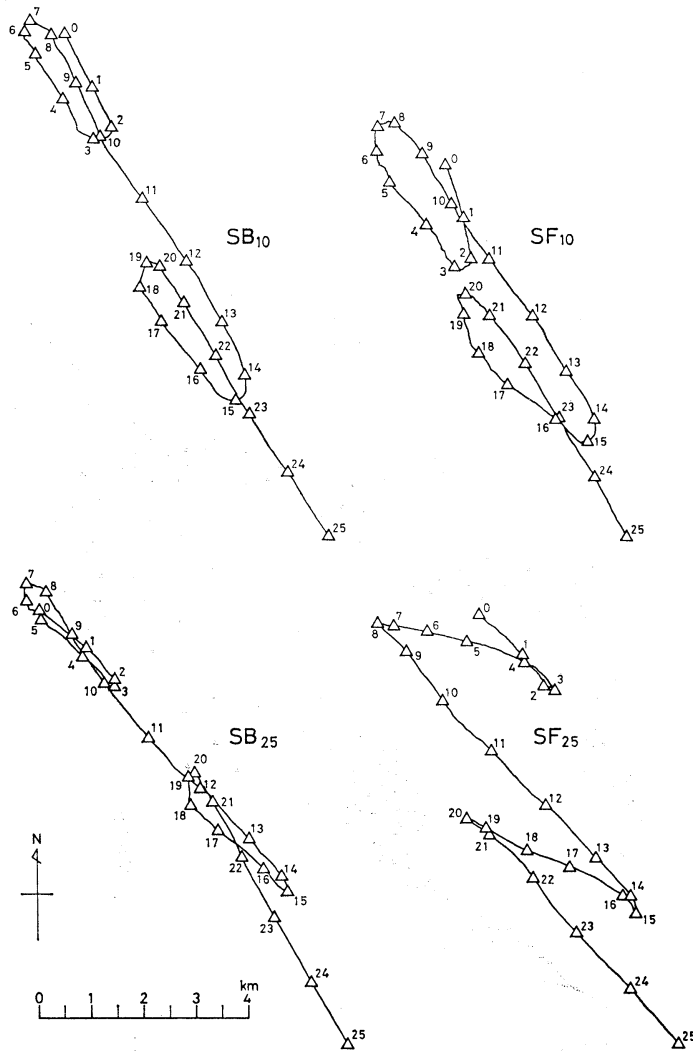


Fig. 3. Progressive vector diagrams. Numbers in hours. Symbols SB₁₀, SB₂₅, SF₁₀, SF₂₅ are the same as in Fig. 2.

流速計はいずれもサボニアスロータ式の MTC M-ST 型流速計（鶴見精機製、長さ 1.9 m、直径 153 mm、水中重量 26 kg 重）を使用した。この流速計は流向、流速に加えて水温、塩分（電気伝導度）および傾斜角を測定し、21.6 秒間に 10 データのサンプリングを行ない、これらの平均値（流速についてはベクトル平均）を算出する。使用したこれらの流速計はあらかじめ定常流において校正し、相互の測器間に差異のないことを確認したものである。

実験は 1981 年 11 月 10・11 日の 2 日間にわたり行ない、測定時間は 25 時間、サンプリング間隔は 21.6 秒とした。なお、実験時においては、前半は 6~7 m/s の風速で白波も立っていたが、後半には風も弱まり海面も穏やかであった。また、実験期間中を通して水温の鉛直分布は海面から海底まで

ほとんど一様で、成層のない状態であった。

3. 結 果

(1) 流向、流速、傾斜角の時間変化

Fig. 2 は流向、流速および流速計の傾斜角の時間変化を示したものであり、上から中間ブイ方式 10 m (SB₁₀)、25 m (SB₂₅)、表面ブイ方式 10 m (SF₁₀)、25 m (SF₂₅) の記録である。全記録とも流向は 180° あるいは 360° を示しており、流れは南北流となっている。流速は最大で 55 cm/s 程度であり、瀬戸内海では中流域に属する流れ場としてみる事ができる。測定深度の上層 (10 m) と下層 (25 m) における流速値はほぼ同程度であり、流れ場は鉛直的には一様であると言える。流速計の傾斜角は、SB₂₅ と SF₁₀ で大きく、最大で 10°~15° 程度となっているが、SB₁₀ ではほとん

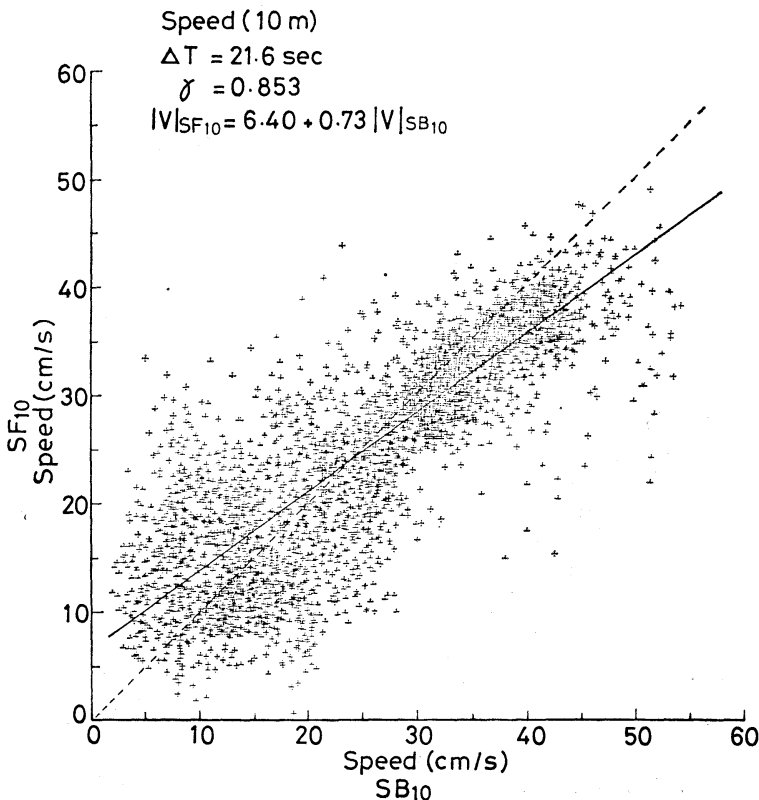


Fig. 4-1. Speed versus speed plots by two mooring types SB₁₀ and SF₁₀. Solid line is regression line. Broken line denotes $|V|_{SF} = |V|_{SB}$. $|V|$: Speed, ΔT : Sampling interval, γ : Correlation coefficient.

ど傾斜していないことを示している。係留方式による違いは、あまり明瞭ではないが、流れの遅い転流時頃にわずかにみられるほかに、表面ブイ方式では中間ブイ方式に比べて高周波の振動が多く現われていることがわかる。

(2) 流速値の比較

Table 1はそれぞれの流速値の25時間における平均、分散および標準偏差を示したものである。平均値では、中間ブイ方式の流速値が表面ブイ方式より1~2 cm/s大きく、下層25mの流向の違いが10°程度あり、また分散、標準偏差ではSF₂₅の値が他とは少し異なっている。しかし、これらの違いはわずかであり、係留方式の違いにより現われたものとは言い難い。また、流速の進行ベクトルをFig. 3に示す。1潮時の移動距離は4~6 km程度であり、転流時頃の移動方向の違いを除けば移動方向、移動距離とも大きな差異はみられ

Table 1. Means, variances and standard deviations of current velocities (statistics of the 25-hour record; 4176 samples at data sampling intervals of 21.6 sec).

SB: Subsurface mooring, SF: Surface mooring, SP: Speed, D: Direction, U: Eastward component, V: Northward component.

	Mean		Variance		Std. Dev.	
	SP (cm/s)	D (deg)	U (cm ² /s ²)	V (cm ² /s ²)	U (cm/s)	V (cm/s)
SB (10m)	11.9	153	202.4	468.0	14.2	21.6
SB (25m)	11.2	145	242.5	369.0	15.6	19.3
SF (10m)	8.8	154	228.2	446.1	15.1	21.1
SF (25m)	10.0	155	422.2	279.4	20.6	16.7

ない。以上のことから平均的にみた場合には係留方式による流速値の差異は小さいものと言える。

Fig. 4-1, Fig. 4-2は上層および下層における中間ブイと表面ブイ方式との流速値(絶対値)の関係を示したものである。両方式間の分布はかなり

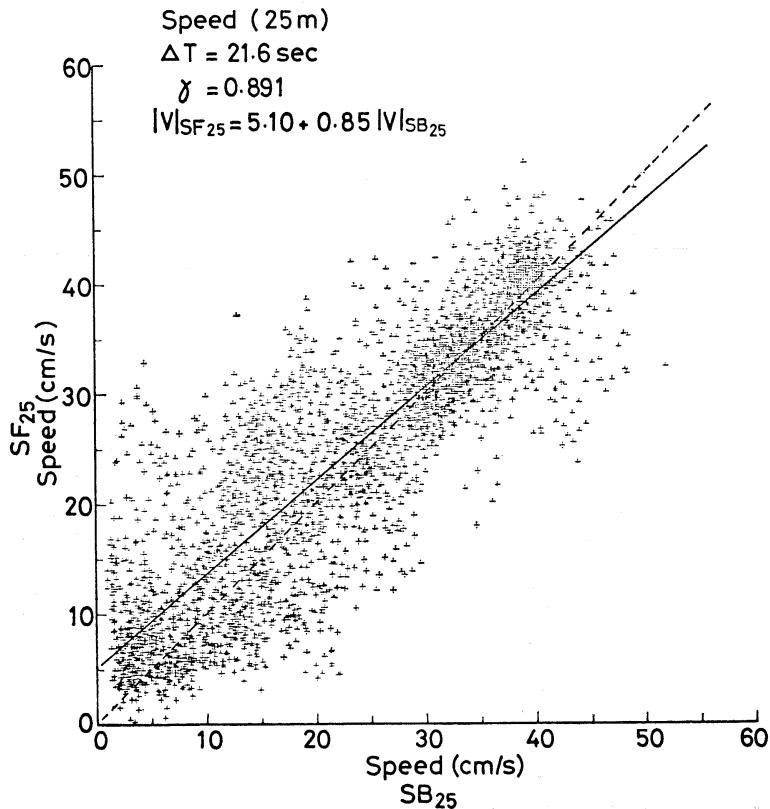


Fig. 4-2. Speed versus speed plots by two mooring types SB₂₅ and SF₂₅. Symbols are the same as in Fig. 4-1.

ばらついているものの、相関係数は 0.85~0.9 となっており、特に際立った差異はない。しかし、もっと細かくみれば上下層とも回帰係数は 0.73 および 0.85 と 1 以下の勾配を示しており、15~20 cm/s 以下の流速の遅いところでは表面ブイ方式の方が流速値は大きくなっていることがわかる。また、上層では流速が速くなると中間ブイ方式の方が流速値は大きくなっている。すなわち、表面ブイ方式は、低流速に対しては中間ブイ方式に比べて流速値は大きめに現われるが、高流速になると逆に、中間ブイ方式の方が流速値は大きくなる傾向がみられる。

Fig. 5-1, Fig. 5-2 は FFT 法により流速の回転スペクトルを求め、その全スペクトルを示したものである。上下層とも、低周波域では両方式に差異はないが、 6×10^{-4} cps (約 30 分周期) 以上の高周波域では表面ブイ方式が中間ブイ方式に比べてエネルギーレベルは高くなっている。これは表面ブイ方式が海面上の波浪などによる影響をより

強く受けることの現われであろう。さらに、両方式間における流速のベクトルコヒーレンスを Fig. 6-1, Fig. 6-2 に示す。上下層とも低周波域(数時間周期)ではコヒーレンスは 1 に近く、位相差もほとんどなく、両方式に差異のないことを示しているのに対し、高周波域ではコヒーレンスは低く、位相も 0° から大きくずれている。このように両方式による流速値の違いは高周波域において顕著にみられる。

(3) 測定深度の変化

Fig. 7 は圧力センサーで測定した流速計の測定深度の変化と水深変化、すなわち潮位変化を示したものである。測定精度は P.G. 1, P.G. 2, P.G. 3, P.G. 4, P.G. 5 についてそれぞれ 9, 16, 30, 7, 14 cm である。SB₁₀, SB₂₅ については、海底での測定値 (P.G. 3) の平均値を除いた値を差し引いて潮位変化による効果を除去したものである。これらは近似的には流速計自体の鉛直方向の位置の変動を表わすものと考えることができる。測定深度

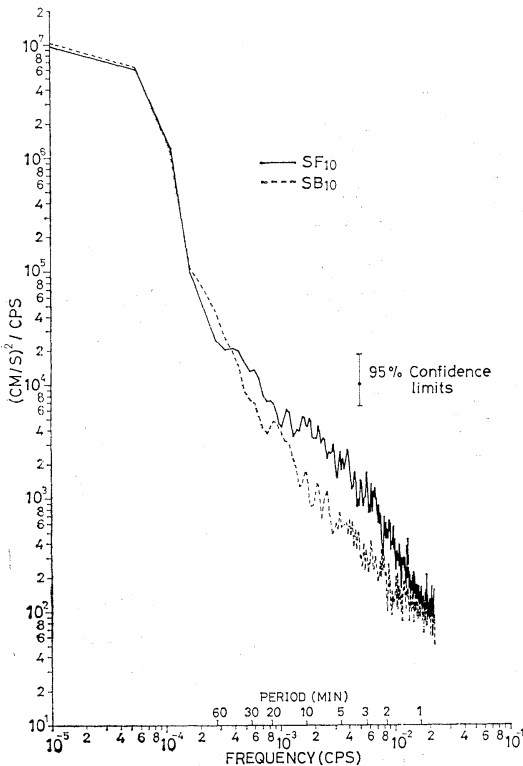


Fig. 5-1. Kinetic energy spectra by SB₁₀ and SF₁₀.

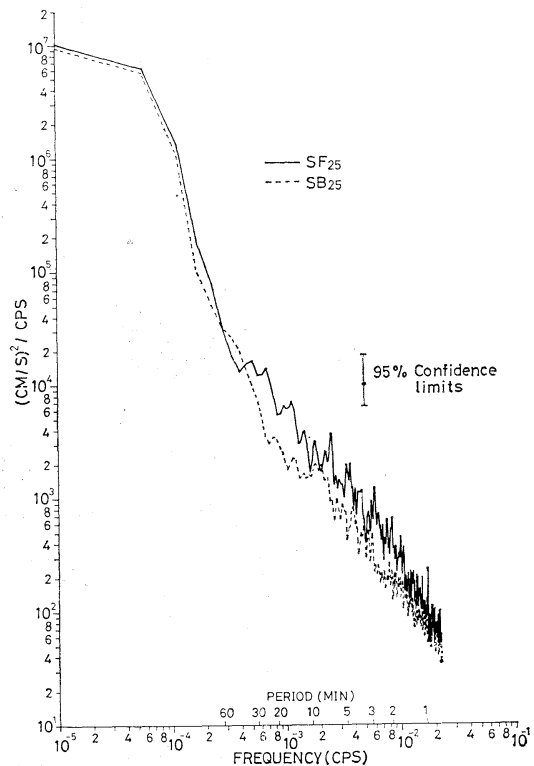


Fig. 5-2. Kinetic energy spectra by SB₂₅ and SF₂₅.

の変化は中間ブイ方式の上層 10 m と表面ブイ方式の下層 25 m で大きく、両方式とも最大 1 m 程度である。両方式での深度変化の仕方は全く逆位相となっており、これらは流速に対応して変化すると考えられる。Fig. 8 は SB₁₀ と SF₂₅ におけ

る流速計の深度と流速との関係を示したものである。測定深度は流速の増加とともに係留系が傾斜するため、中間ブイ方式では深く、表面ブイ方式では浅くなる。この深度変化と流速との関係は大雑把には 1 つの 2 次曲線で近似できるように見え

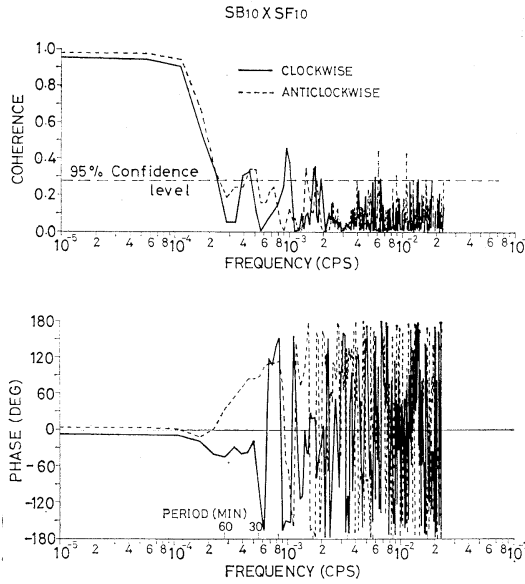


Fig. 6-1. Vector coherence and phase of current velocities between SB₁₀ and SF₁₀.

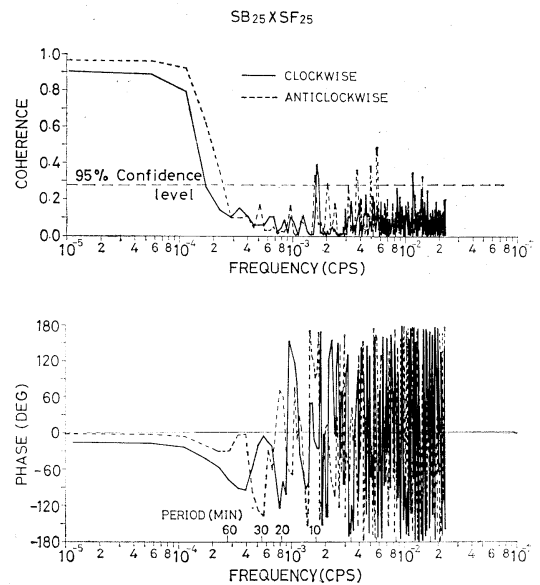


Fig. 6-2. Vector coherence and phase of current velocities between SB₂₅ and SF₂₅.

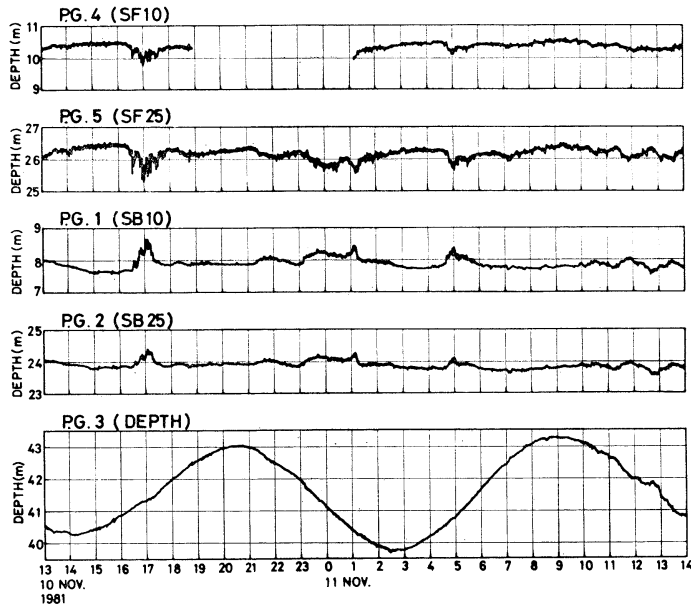


Fig. 7. Time series of the meter depths. Tidal effect is excluded from P.G. 1 and P.G. 2.

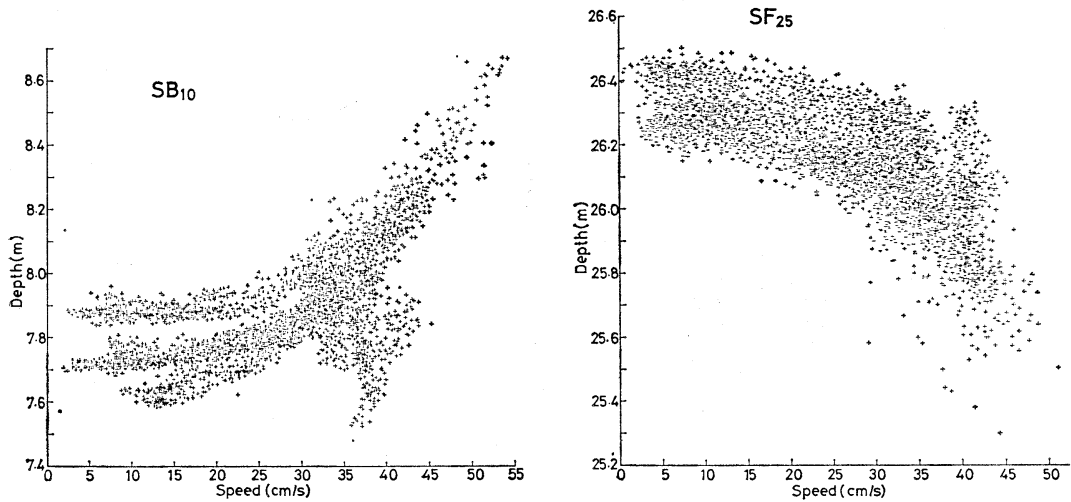


Fig. 8. Meter depths versus flow speeds by SB₁₀ and SF₂₅.

る。SB₂₅ および SF₁₀ についても、深度変化は最大で 0.5 m 程度であったが、SB₁₀、SF₂₅ の場合と同じような関係を示していた。なお、Fig. 8 の SB₁₀ における 30 cm/s 以下の流速と深度変化の関係は 3 つのグループに分かれて分布しているが、これらは実験開始からの経過時間に関係しているようであり、ロープ等の伸びなどに関連したものと考えられる。しかし、どのような要因によってこのような分布を示すのか、また、32~45 cm/s 間の流速で深度が異常に浅くなっている原因についても明確にはできなかった。

流れによる測定深度の変化は比較的ゆるやかな流速計の運動をとらえたものであり、波などによるブイの動揺にともなう運動はもっと短い周期の動きとして現われると考えられる。Fig. 9 は下層 25 m における流速計の測定深度の変動スペクトルである。高周波域 (6×10^{-4} cps 以上) でのエネルギーレベルは表面ブイ方式の方が高くなっており、表面ブイ方式による流速計は短い周期でより激しく上下運動することを示している。これは波による表面ブイの動揺の影響が現われたものと考えられ、表面ブイ方式では短周期での流速計自体の運動が中間ブイ方式に比べて激しいと言える。

4. 考 察

浅海域での測流方式として一般に用いられてい

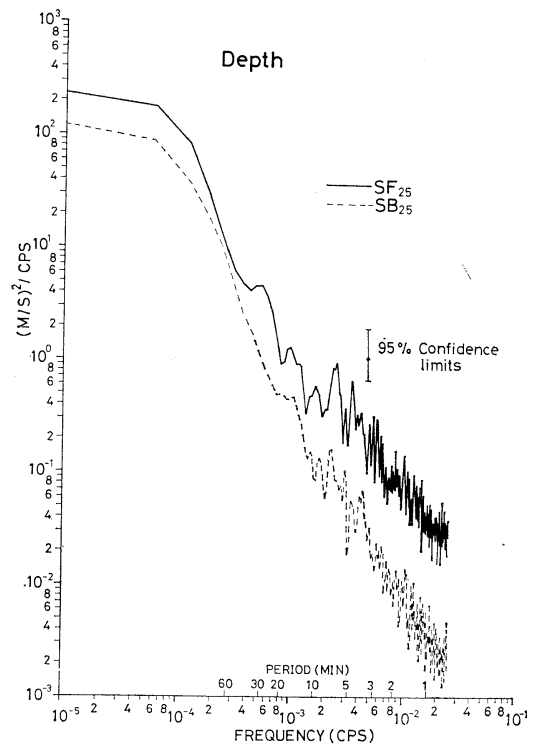


Fig. 9. Spectra of the meter depths by SB₂₅ and SF₂₅. Tidal effect is excluded from SB₂₅.

る中間ブイおよび表面ブイ方式についての流速測定比較を行なったが、数時間以上の平均的な流れ場をみるかぎりでは両方式に大きな差異はみられなかった。しかしながら、個々の流速値について

細かくみた場合、流れが低流速であるときと高周波帯域においてその差異が認められた。実験における測定結果はブイの浮力によっても異なることが考えられるが、同種の流速計を使用した同様な係留方法（中間ブイの Total 浮力が約 45 kg 重）で行なった比較実験（高杉ら, 1983）においても同じ測定結果が得られており、ここで得られた結果は、中間ブイ方式と表面ブイ方式における流速測定値の違いを現わしているものと言える。これらの流速測定値の差異はいずれも海水の動きに対する係留係の振まいが違ふことにより流速計自体の運動も異なるために生じたものと考えられる。

ローター型流速計の場合、波などの短周期の振動流にも反応してローターが回転するため、平均流中に振動流があるとき流速値は大きめに現われ、その誤差は平均流が低流速のとき大きいことが KARWEIT (1974) や藤縄 (1978) により報告されているが、振動流として造波器による波を与えたときの MTCM-ST 型流速計の測定結果を Fig. 10 に示す。この測定は走行台車を備えた造波水槽（長さ 50 m, 深さ 1.2 m, 幅 0.6 m）により、波長 2 m および 3 m (周期 1.139 s および 1.436 s) の 2 種類で波高を変えて行なったもので、Fig. 10 は波の影響にとまらぬ流速測定値の誤差と平均流の大きさとの関係を示したものである。横軸は振動流のみで測定される流速値 U_w に対する平均流 U_0 の大きさを表わし、縦軸は平均流中に振動流が

あるときの流速値 U_w と U_0 との差を U_{w0} に対する比で表わしている。また、図中の曲線は長嶋ら (1982) に従って、2 枚の羽根を持つローターの運動方程式 (2-Vane model) から平均流中に振動流がある場合の流速を求めた計算値を示す。この結果、振動流がないときと比べて大きな流速値を示すが、その誤差は平均流が小さいとき大きく、平均流が大きくなると振動流による影響は小さくなり、振動流がないときとほとんど違いがなくなることがわかる。

中間ブイ、表面ブイ両方式を比較したとき実際の波などによって生ずる振動流が直接流速計に及ぼす影響は両方式ともに同程度であると思われるが、ブイの動きが違ふことにより流速計自体の運動は係留方式により異なり、Fig. 9 でみたように、表面ブイ方式の流速計は、短い周期では中間ブイ方式に比べてより激しく運動している。この流速計自体の短周期の運動が振動流を与えたときと同じ効果を引き起こすと考えられ、中間ブイ方式に比べて激しい流速計の運動が、表面ブイ方式では高周波での流速のエネルギーレベルを高くし、低流速における流速値が大きめに現われた原因である。

一方、上層 10 m では高流速側において中間ブイ方式の流速値がやや大きめに現われていたが、この原因としては流速計の傾斜が考えられる。流速計が傾斜すると、ローターの回転軸が鉛直とは

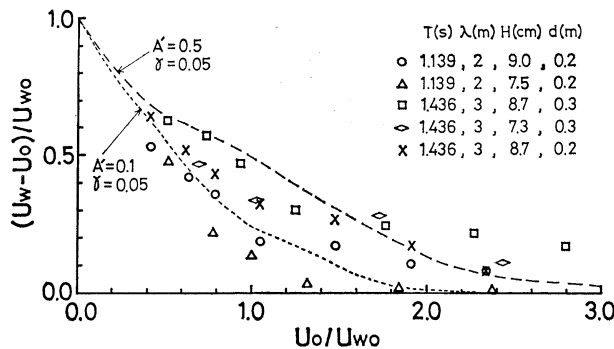


Fig. 10. Relative error in measurement of wave oscillatory flow from MTCM-ST current meter. Two lines indicate calculated curves from a two-vane model by NAGASHIMA *et al.* (1982). U_0 : Constant flow speed, U_w : Speed with wave oscillatory flow, U_{w0} : Speed for wave oscillatory flow without constant flow, T: Wave period, λ : Wave length, H: Wave height, d: Rotor depth.

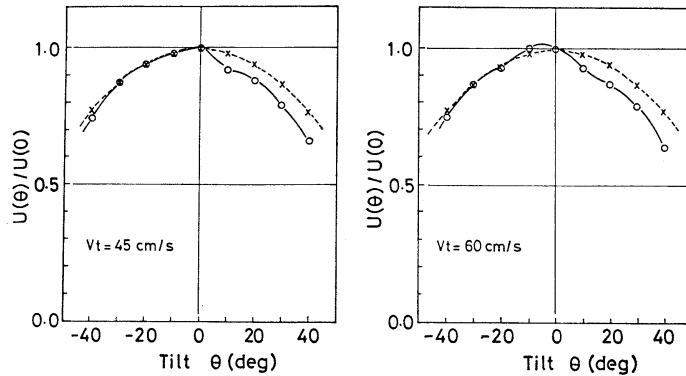


Fig. 11. Tilt characteristics of an MTCM-ST current meter. Positive direction of θ is defined as an angle which the rotor makes with the flow when the meter suspended from above deflects downstream. V_t : Constant flow speed, $U(\theta)$: Speed measured at tilt θ , --- \times ---: $\cos(\theta)$.

ならず、流れにある迎え角をもってあたることになり、流速値がその迎え角によって異なってくる。Fig. 11 は MTCM-ST 型流速計の鉛直方向特性であり、流速計の上端を固定したとき（吊り下げた状態のとき）流れによって傾斜する方向を正としてある。傾斜角 $+10^\circ$ では流速値が 1 割程度減ずるのに対して -10° ではほとんど変わらず、傾斜角の正負で分布が非対称となっている。この分布の非対称性は測器の形状に起因するものであるが、表面ブイ方式と中間ブイ方式では単振子と倒立振子の違いにより流れに対する傾斜の向きは逆になり、この傾斜の方向による違いが高流速側において中間ブイ方式の流速値を大きめにした原因と考えられる。

中間ブイ、表面ブイ方式の流速値においてどのくらいの平均化を施せば両方式の差異がより小さくなるのかをみるため、平均化（ベクトル平均）を行なって平均化時間と両方式の相関値との関係を求めた。その結果を Fig. 12 に示す。流向の相関値は 0° - 360° 間で単純に計算しているため平均化時間により変化のばらつきは大きい、流速の絶対値および両成分については平均時間を大きくすることにより相関値は高くなっており、また計算した直線回帰式も 1 対 1 の関係に近づいている。しかし、平均時間が 10 分以上になるとその違いはあまりなくなる。したがって、10 分程度のベクトル平均を施せば両方式による流速値の差異は小さ

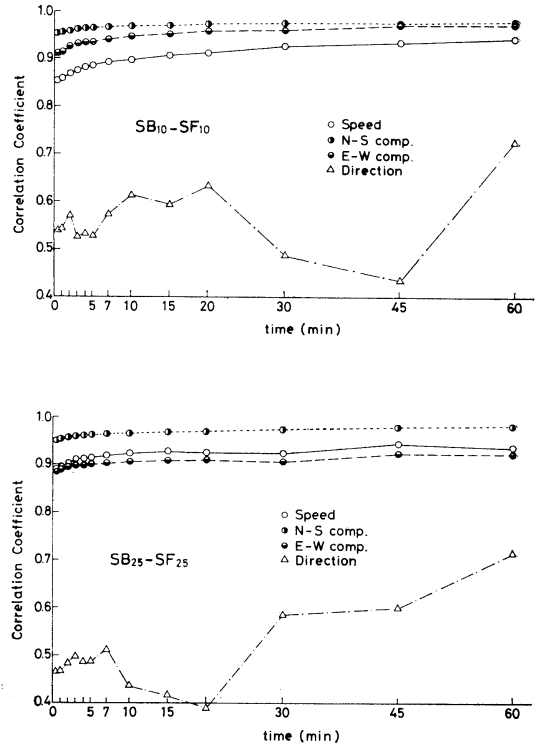


Fig. 12. Correlation between the subsurface mooring measurement and the surface mooring measurement as a function of the averaging time.

Upper: At 10 m depth, Lower: At 20 m depth.

くなり、潮汐流現象を取扱う時間スケールでは両方式とも流速値に特に大きな差異は生じないと言

える。

5. あとがき

浅海域での係留方式による流速値の違いを明らかにするため、中間ブイ、表面ブイ両方式での流速測定比較実験を試みたが、浅海域と言っても瀬戸内海の比較的海況の穏やかな海域での実験であったこともあって、潮流現象の時間スケールでみるかぎりでは両方式に大きな違いを見ることはできなかった。この種の結果は使用する流速計によっても大きく変ることが考えられ、今回の実験結果はある特殊なケースとも言えるかもしれない。しかしながら、海域の流速をより正確に把握するためには、これらの実験結果の積み重ねが必要であり、本報告はその一資料を提供するものとする。

最後に、この実験を行なうにあたり種々の有益な指示や便宜を図っていただいた中国工業技術試験所内海水理研究室の河野研究室長および現地での実験に協力していただいた肥後主任研究官はじめ同研究室の方々に深く感謝します。

文 献

- 藤縄幸雄 (1978): 連続測定とテレメトリー流速計の動特性一. 環境科学としての海洋学 2 (堀部純男編), 東大出版会, p. 215-233.
- GOULD, W.J. and E. SAMBUCCO (1975): The effect of mooring type on measured values of ocean currents. *Deep-Sea Res.*, **22**, 55-62.
- HALPERN, D., R.A. WALLER, M.G. BRISCOE, R.E. DAVIS and J.R. MCCULLOUGH (1981): Inter-comparison tests of moored current measurements in the upper ocean. *J. Geophys. Res.*, **86**, 419-428.
- KARWEIT, M. (1974): Response of Savonius rotor to unsteady flow. *J. Mar. Res.*, **32**, 359-364.
- 中田喜三郎 (1975): 沿岸海域で使用されているいくつかの流速計の相互比較について、沿岸域における観測手法の精度向上に関する調査研究. 公害資源研究所, 1-38.
- 高杉由夫, 埜口英昭, 山崎宗広 (1983): 浅海域における係留方式による流速測定比較実験. 中国工業技術試験所報告, **19**, 1-12.
- 柳 哲雄 (1980): 潮流による係留系の振動. 沿岸海洋研究ノート, **18**, 25-27.

Solution of a Fourth Order Finite Difference Vorticity Equation in an Ocean*

Satoshi MURATA**

All the numerical ocean models so far developed are fundamentally based on the finite differencing of second order accuracy for both space and time. Although the second order differencing has been believed accurate enough, it is worth while examining whether a higher order differencing leads to a better approximate solution or not.

A finite difference analog of fourth order accuracy of a vorticity equation in a rectangular ocean basin is dealt with here as a simple example. The results are compared with an analytical solution and a finite difference solution of second order accuracy.

On the assumption that the water motion is horizontally nondivergent, the bottom is horizontal or the horizontal gradient of pressure vanishes in deep layers, and the momentum advection is negligible, the vorticity equation is written in terms of the stream function ϕ ,

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \phi = -\beta \frac{\partial \phi}{\partial X} + A \nabla^4 \phi - \frac{1}{\rho H} \text{curl}_z \tau, \quad (1)$$

where the X and Y axes are directed eastward and northward, respectively, t is the time, A the coefficient of eddy diffusivity for momentum, ρ the density, β the change of Coriolis parameter with latitude, H the depth of the ocean basin, τ the wind stress, and $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial X^2} + \frac{\partial^2}{\partial Y^2}$.

The velocity components u and v are given by $-\partial\phi/\partial Y$ and $\partial\phi/\partial X$, respectively.

Relationship between the grid size and the coefficient of horizontal eddy diffusivity

The grid size and the coefficient of horizontal eddy diffusivity can not be independently specified (TAKANO, 1975; hereafter referred to as T).

When the finite differencing of second order accuracy is used, the computational noise grows up unless the relationship

$$\Delta x \leq 2.75 (A/\beta)^{1/3} \quad (2)$$

holds good, Δx being the grid size.

We shall show to what extent the fourth order accuracy differencing modifies this relationship.

Because only the amplification factor is concerned with, the forcing τ can be neglected.

The Y -dependency may be neglected. Then, the vorticity equation is written

$$A \partial^4 \phi / \partial X^4 - \beta \partial \phi / \partial X = 0, \quad (3)$$

which is transformed into the non-dimensional form

$$\partial^4 \phi / \partial x^4 - \partial \phi / \partial x = 0 \quad (4)$$

with $D = (A/\beta)^{1/3}$ and $x = X/D$.

The derivatives $\frac{\partial \phi}{\partial x}$ and $\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4}$ are approximated, to the fourth order of Δx , by

$$\begin{aligned} (\partial \phi / \partial x)_i &= \{8(\phi_{i+1} - \phi_{i-1}) - (\phi_{i+2} - \phi_{i-2})\} / 12 \Delta x, \\ (\partial^4 \phi / \partial x^4)_i &= -\{\phi_{i+3} + \phi_{i-3} - 12(\phi_{i+2} + \phi_{i-2}) \\ &\quad + 39(\phi_{i+1} + \phi_{i-1}) - 56\phi_i\} / 6(\Delta x)^4, \end{aligned}$$

where Δx is the non-dimensional grid size, ϕ_i , $\phi_{i\pm 1}$ and $\phi_{i\pm 2}$ are the values of the stream function at the (i)th, ($i\pm 1$)th and ($i\pm 2$)th grid point, respectively.

Equation (4) becomes

$$\begin{aligned} \phi_{i+3} - \{12 + 0.5(\Delta x)^3\} \phi_{i+2} + \{39 \\ + 4(\Delta x)^3\} \phi_{i+1} - 56\phi_i + \{39 - 4(\Delta x)^3\} \phi_{i-1} \\ - \{12 - 0.5(\Delta x)^3\} \phi_{i-2} + \phi_{i-3} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

With the amplification factor δ , ϕ is written as $\phi_i = \delta \phi_{i-1}$, so that Eq. (5) becomes

$$\begin{aligned} \delta^6 - \{12 + 0.5(\Delta x)^3\} \delta^5 + \{39 + 4(\Delta x)^3\} \delta^4 - 56\delta^3 \\ + \{39 - 4(\Delta x)^3\} \delta^2 - \{12 - 0.5(\Delta x)^3\} \delta + 1 = 0. \end{aligned}$$

* Received January 5, 1984

** School of Environmental Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki-ken, 305 Japan

Among six roots $\delta_i (i=1, \dots, 6)$, three ($i=1, 5, 6$) are independent of Δx ; $\delta_1=1.0$, $\delta_5=0.127$, $\delta_6=7.87$.

The exact amplification factors are obtained from the differential equation (4). Substitution of $\phi \propto e^{\gamma x}$ into Eq. (4) yields

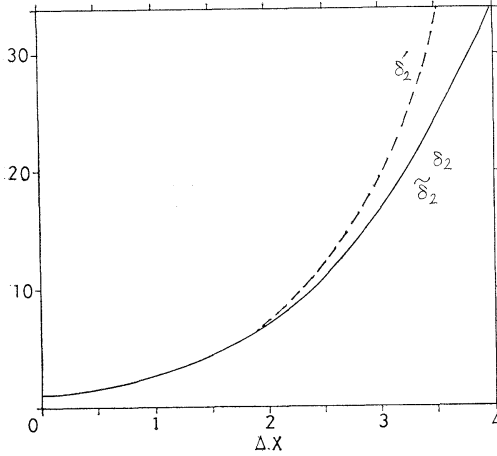


Fig. 1. Amplification factors δ_2 , δ_2' and $\tilde{\delta}_2$.

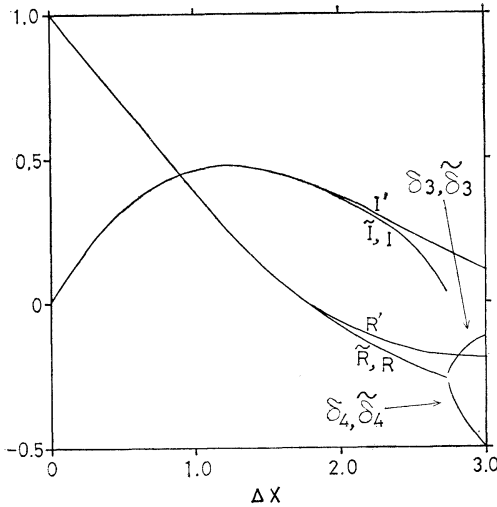


Fig. 2. Amplification factors δ_3 , $\tilde{\delta}_3$, δ_3' , $\tilde{\delta}_3'$, δ_4 , $\tilde{\delta}_4$, δ_4' and $\tilde{\delta}_4'$.

$$\gamma^4 - \gamma = 0,$$

which gives $\gamma_1=0$, $\gamma_2=1$, $\gamma_{3,4}=(-1 \pm \sqrt{3}i)/2$. The exact amplification factors to be compared with $\delta_i (i=1, \dots, 4)$ are written as $e^{\gamma_i \Delta x}$.

Figure 1 shows δ_2 and δ_2' together with $\tilde{\delta}_2$

obtained by the second order accuracy finite differencing in T (hereafter the mark tilde refers to T). No qualitative difference is found between δ_2 and $\tilde{\delta}_2$, though both are slightly smaller than δ_2' for $\Delta x \geq 2$. Figure 2 shows δ_3 , δ_3' and $\tilde{\delta}_3$, of which the real and imaginary parts are shown in the case where they are complex numbers: $\delta_3=R \pm Ii$, $\delta_3'=R' \pm I'i$, $\tilde{\delta}_3=\tilde{R} \pm \tilde{I}i$. No difference is found between δ_3 and $\tilde{\delta}_3$. Both are complex numbers if $\Delta x \leq 2.75$, which is in qualitative agreement with δ_3' . However, if $\Delta x > 2.75$, they are real, negative numbers, which is qualitatively quite different from δ_3' . Because the amplification factors are negative numbers, the finite difference solution is contaminated by false oscillation around $\phi=0$ for x .

The coefficient 2.75 is the same as in T . The relationship (2) remains unchanged.

Values of the stream function

A one-dimensional vorticity equation is solved. If the Y -dependency is neglected, the vorticity equation (1) is simplified as

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial^2 \phi}{\partial X^2} = & -\beta \frac{\partial \phi}{\partial X} + A \frac{\partial^4 \phi}{\partial X^4} \\ & - \frac{1}{\rho H} \text{curl}_z \tau. \end{aligned} \quad (6)$$

The boundary conditions are

$$\phi = \partial \phi / \partial X = 0 \quad \text{at } X=0, L.$$

Moreover, $\text{curl}_z \tau / \rho H$ is assumed to be a constant, $-10^{-14} \text{ sec}^{-2}$.

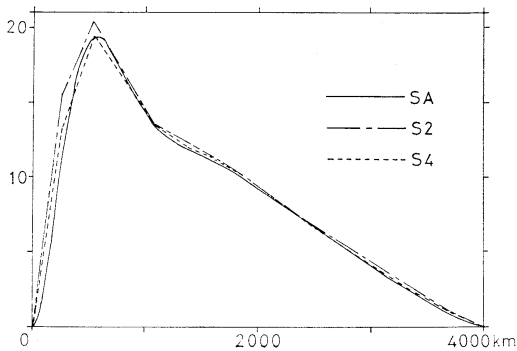
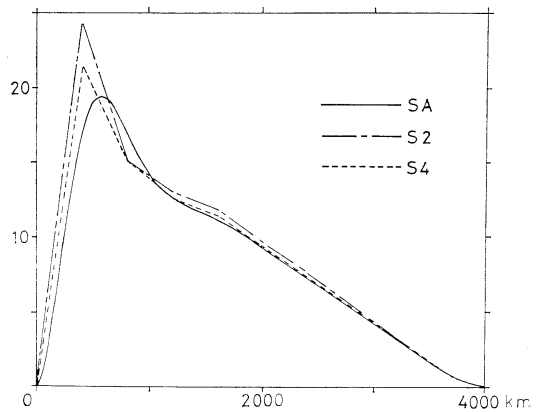
The other parameters are chosen as follows; $L=4,000 \text{ km}$, $\beta=2 \times 10^{-13} \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$, $A=10^9 \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}$, $\Delta X=85.1 \text{ km}$, 108.1 km , 133.3 km , 266.6 km , 400 km , $\Delta t=8 \text{ hours}$. Since the finite difference accuracy depends on the grid size, five different values are used for ΔX .

Equation (6) is solved analytically (hereafter referred to as AS), by the second order accuracy finite differencings (hereafter referred to as S2) and by the fourth order accuracy finite differencings (hereafter referred to as S4). In S4, the finite difference analog of $\partial^2 \phi / \partial X^2$ in the left hand side of Eq. (6) is given by

$$\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial X^2} \right)_i = - \frac{\phi_{i+2} + \phi_{i-2} - 16(\phi_{i+1} + \phi_{i-1}) + 30\phi_i}{12(\Delta X)^2}.$$

Table 1. Total kinetic energy and period of time integration.

ΔX (km)	S2					S4					SA
	85.1	108.1	133.3	266.6	400	85.1	108.1	133.3	266.6	400	
Total kinetic energy (10^7 erg)	0.831	0.823	0.828	0.978	1.55	0.823	0.818	0.807	0.901	1.27	0.835
Time integration (days)	51	48	51	51	51	51	32	51	51	51	—

Fig. 3. Stream functions by SA, S2 and S4 (units: $10^6 \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$). $\Delta X = 266.6$ km.Fig. 4. Stream functions by SA, S2 and S4 (units: $10^6 \text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$). $\Delta X = 400$ km.

The time differencing is identical with that in S2. Although it is fundamentally leap-frog, the Euler-Matsuno backward scheme is applied every ten time steps.

The analytical solution is

$$\begin{aligned} \phi = & [(1-L) - \exp(X-L) + \exp(-0.5X)] \\ & \times \{(L-1) \cos \sqrt{3} X/2 + (L-3)/\sqrt{3} \\ & \times \sin \sqrt{3} X/2\} + X] \text{curl}_z \tau / \rho H. \end{aligned}$$

As to S2 and S4, the stream function at the coasts is made symmetric with respect to the coasts, which satisfies the boundary condition $\partial\phi/\partial X = 0$ at the coasts.

Starting from the initial state where the planetary vorticity advection is balanced with the wind stress curl, the time integration is forwarded for 32 to 51 days until an almost steady state is reached.

Figures 3 and 4 show the solutions SA, S2 and S4 for $\Delta X = 266.6$ and 400 km. As expected, the difference between the three solutions decreases with decreasing grid size. In the case of $\Delta X = 85.1$ km and 108.1 km, they are too close to each other to be figured. For $\Delta X = 133.3$ km they are practically equal to each other. For $\Delta X = 400$ km, the maximum value of the stream function (volume transport of the western

boundary current) by S2 is larger by about 25% than the maximum value by SA. The maximum value by S4 is larger by about 10% than the latter. These differences should not be small enough. However such a large grid size as 400 km is generally not used in most of the ocean models. The difference becomes much smaller for $\Delta X = 266.6$ km.

Table 1 shows the period of time integration as well as the total kinetic energy defined by

$$\frac{\rho}{2} \Sigma \left(U_{i+\frac{1}{2}} \right)^2 \Delta X = \frac{\rho}{2} \Sigma \left(\frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{\Delta X} \right)^2 \Delta X.$$

For a given ΔX , the total kinetic energy is not always better approximated by S4 than by S2 for $\Delta X \leq 133.3$ km.

In a brief summary, the fourth order accuracy differencing has no advantage in the practical range of the grid size.

Reference

- TAKANO, K. (1975): Relationship between the grid size and the coefficient of lateral eddy viscosity in the finite difference computation of the linear vorticity equation in the ocean. *J. Oceanog. Soc. Japan*, **31**, 105-108.

Instrument for Measuring Downward and Upward Spectral Irradiances in the Sea*

Motoaki KISHINO** and Noboru OKAMI**

Previous reports presented experimental results on underwater spectral irradiance (OKAMI *et al.*, 1978, 1981). An instrument was lowered to selected layers, first facing its collector to the zenith direction for obtaining downward irradiance. After all downward irradiances were measured, the instrument was returned to the deck. Then, the instrument was lowered again into the water in such a way that the collector looked at the nadir for the measurement of upward irradiances. This procedure took some time. In some cases the sky condition changes during the measurement. This may bring a serious error in the measurement, especially in the irradiance reflectance which is a ratio between upward and downward irradiances at a given instant. To remedy this shortcoming, the instrument which can measure downward and upward irradiances quickly and simultaneously is required, but such a meter has not been reported so far. Hence, we designed an irradiance meter which is quick-scanning type and has two independent collectors collecting downward and upward irradiances almost simultaneously. Its underwater unit is shown in Fig. 1.

Its optical system and a block diagram of its electric circuit are presented in Figs. 2 and 3, respectively. The downward and upward irradiances collected by the collectors reach a mirror inserted in the path. The mirror reflects one of the irradiance components towards grating grid (600 lines/mm) and the other component is intercepted by the back of the mirror. The light reflected by the mirror is divided by a beam splitter into two components; one component travels towards the grating grid and the other

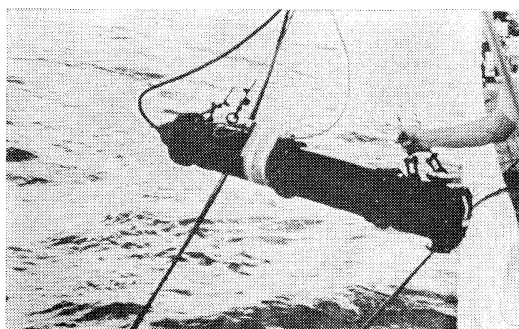


Fig. 1. Underwater unit of the spectroradiometer

component is used to monitor the incident light level at one of the wavelengths of 482, 531 or 569 nm. These monochromatic lights are derived by interference filters placed in front of the detector. We need to select one of the filters beforehand in such a way that the optical center of the filter is as closest as possible to the wavelength of maximum transmittance of spectral irradiance. This is due to the fact that the monitor signal at the selected wavelength controls the high voltage supply to the photomultiplier tube for producing a spectral distribution normalized at the selected wavelength.

The measurement is done as follows: first, the grating grid sweeps downward irradiance from 350 nm to 750 nm and then returns to 350 nm with the shutter closed, to measure dark current. Next, the mirror is turned around to measure upward irradiance, followed by the same procedure of the grating grid. The grid sweeps downward or upward irradiance from 350 nm to 750 nm in one second; the total time required for a set of measurements of spectral downward and upward irradiances is about 4 sec. The signals from the photomultiplier tube at 2 nm intervals from the detector are amplified. The

* Received June 28, 1983

** The Institute of Physical and Chemical Research, Wako-shi, Saitama, 351 Japan

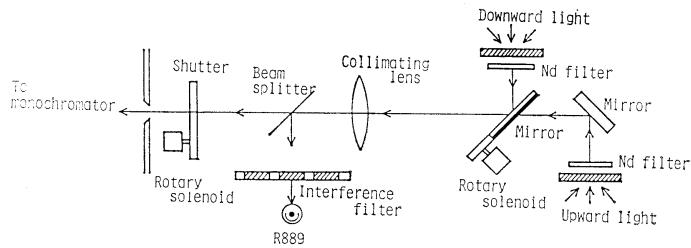
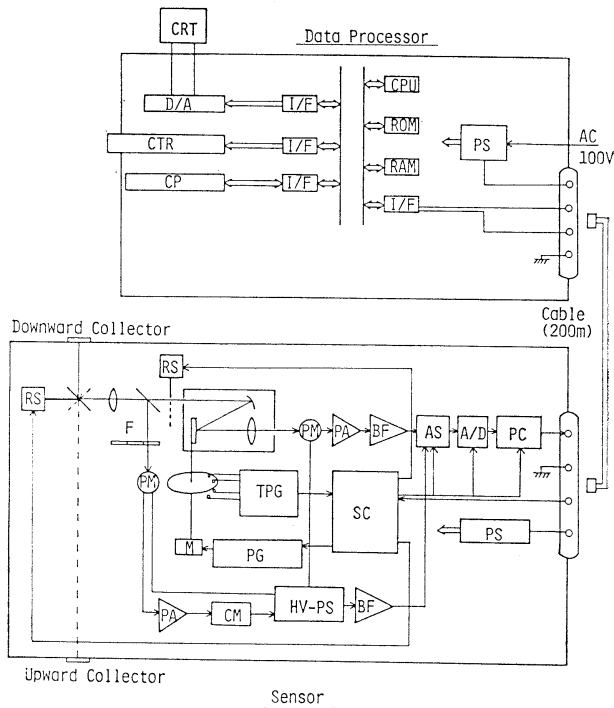


Fig. 2. Path of the light travelling from the collector to the entrance slit of the monochromator.



A/D : Analog / digital converter	I/F : Interface
AS : Analog switch	M : Pulse motor
BF : Buffer amplifier	PA : Pre amplifier
CM : Comparator	PC : Parallel / serial converter
CP : Control panel	PG : Pulse generator for motor drive
CRT : CRT display	PM : Photomultiplier tube
CTR : Cassette tape recorder	PS : Power supply
D/A : Digital / analog converter	RS : Rotary solenoid
F : Interference filter	SC : Sequence control
HV-PS : 'HV power supply'	TPG : Timing pulse generator

Fig. 3. Block diagram of the electric circuit of the spectroradiometer.

amplified signals along with the high voltage used, are sent back to the deck unit through the cable.

The relative spectral distribution is monitored on the screen of oscilloscope and only data to be

analysed are recorded on cassette tape in digital form. In our previous instruments, values averaged over several scans are recorded. In the present instrument, however, data for each scan are recorded, and the averaged values are calcu-

lated later. This offers an advantage of excluding needless data during data processing if they are still present as well as of simplifying the data processing unit of the instrument.

Absolute calibration of the irradiance meter is done by use of a quartz-halogen lamp having 1000 watt tungsten filament as a standard source for spectral irradiance. The detailed calibration procedure is described in a paper by KISHINO *et al.* (1983). Wavelength calibration is made by using monochromatic light of known wavelengths from an ordinary monochromator and checked with mercury line spectra.

Angular response of cosine collector is tested in a water tank. The results are compared with the cosine curve in Fig. 4. Both are in good agreement.

Immersion effect is examined also in the same water tank; the ratio of sensitivity in water to that in air was 0.62 over almost whole wavelength range except in a region of very short wavelengths.

The spectroradiometer was tested in the KT-81-14 cruise of the R.V. Tansei-Maru. The spectral irradiances presented in Fig. 5 were taken on Aug. 19 at the location of 33°30.1'N and 138°54.7'E to the west of the Izu Islands. The water in that region is expected to be of clear oceanic type. These data are averaged

values over several scanings. Due to unskillfulness the first in-site operation took about 29 minutes to obtain the data shown in Fig. 5, but subsequent operations required only 15 to 20 minutes. In addition to shortness of the operation time, another advantage is that the instrument is of quick-scanning type. Therefore, the spectral curves are little affected by the temporal change in environmental factors, especially, by the change in the depth of underwater unit due to wave action. As the depth increases, the

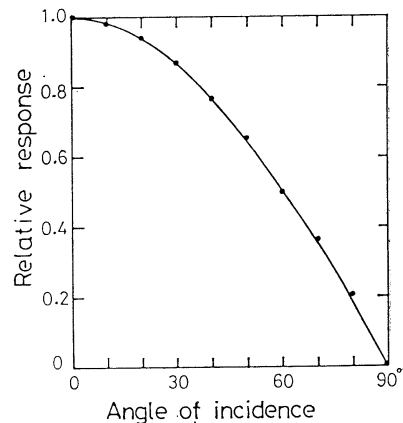


Fig. 4. Measured response (circles) of the collector of the spectroradiometer compared with an ideal cosine collector response (solid line).

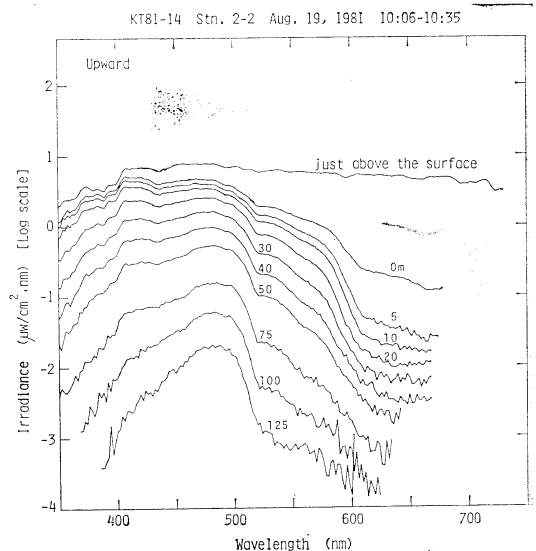
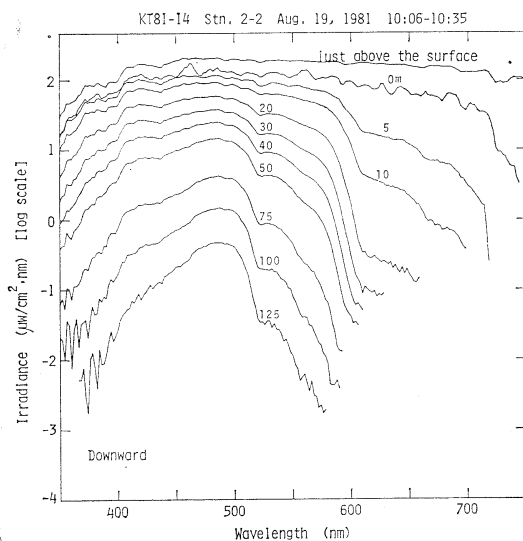


Fig. 5. Spectral irradiance distribution at some selected layers at Stn. 2-2 of Tansei-Maru cruise on Aug. 19, 1981.

spectral irradiances of both downward and upward components are concentrated gradually into a narrow band.

Since the spectral data obtained by this instrument give the photosynthetically available radiation (PAR), they are very useful for the study of primary production; the photosynthetically usable radiation and the quantum yield are evaluated from the PAR. Further, the simultaneous measurement of downward and upward irradiances has an advantage for the remote sensing study, because the ratio of upward to downward irradiances is often used for quantitative evaluation of oceanographic parameters such as chlorophyll-*a* concentration and suspended solids.

The authors are much indebted to Dr. S. SUGIHARA, the Institute of Physical and Chemical Research, for his valuable advice and suggestions. This study was supported by a grant

for "Solar Energy Conversion by Means of Photosynthesis" to the Institute of Physical and Chemical Research from the Science and Technology Agency of Japan.

References

- KISHINO, M., S. SUGIHARA and N. OKAMI (1983): Ocean color spectrum meter (OCSM) for remote sensing study. *J. Remote Sensing Soc. Japan*, **3**(2), 13-20.
- OKAMI, N., M. KISHINO and S. SUGIHARA (1978): Measurements of spectral irradiance in the seas around the Japanese Islands. *Tech. Rep. Phys. Oceanogr. Lab., Inst. Phys. Chem. Res.*, **2**, 130 pp.
- OKAMI, N., M. KISHINO, S. SUGIHARA, S. UNOKI, K. MUNAYAMA, T. TOYOTA, T. NAKAJIMA, Y. SASAKI and T. EMURA (1981): Measurements of Spectral Irradiance in Tokyo Bay. *Tech. Rep. Phys. Oceanogr. Lab., Inst. Phys. Chem. Res.*, **5**, 75 pp.

学 会 記 事

1. 昭和58年11月28日, 東京水産大学に副会長・常任幹事・監査が集まり, 学会運営について話し合った。昭和59年5月に開催予定の総会まで, 会則第12条により, さしあたり富永政英副会長が会長代行をつとめることになった。
 2. 昭和58年12月26日, 東京水産大学に常任幹事・監査が集まり, 故佐々木会長追悼号を昭和59年に刊行すること, 学会誌第22巻第3号をとりあえずこれに当てること, 現在の編集委員会を拡大した委員会が編集すること, などをきめた。
 3. 逝去
中井甚二郎
 4. 退会
石井幸次郎, 半谷高久, 倉田 亮, 千葉卓夫,
新田忠雄, 近藤正夫, 荒川好満, 柳瀬 訓
 5. 住所・所属の変更
高橋淳雄 〒899-25 日置郡伊集院町妙円寺1-58-12
冨田 廣 〒982 仙台市向山3-17-28 成田方
松村臯月 〒424 清水市折戸5-7-1 遠洋水産研究所
木谷浩三 〒951 新潟市水道町1-5939-22 日本海区水産研究所
 6. 交換および寄贈図書
 - 1) JODC ニュース No. 27
 - 2) 広島大学生物生産学部紀要 第22巻第1号
 - 3) 研究実用化報告 Vol. 32 No. 9, 10, 11, No. 11 Part 2, No. 12
 - 4) 日本プランクトン学会報 第30巻第2号
 - 5) なつしま No. 67
 - 6) 広島日仏協会報 No. 87
 - 7) 鯨研通信 No. 351, 352, 353
 - 8) Preliminary Report of the Hakuho Maru Cruise KH-81-5 1981
 - 9) Bulletin of the Ocean Research Institute, University of Tokyo No. 15
 - 10) 季刊 海洋時報 第31号
 - 11) 海洋産業研究資料 Vol. 14 No. 6, 7, 8, 9, 10
 - 12) Memoirs of the National Science Museum No. 16
 - 13) Bulletin of the National Science Museum Vol. 9 No. 3
 - 14) 房総半島東方海底地質図
 - 15) 大学出版部協会20年の歩み
 - 16) 海洋生物教育研究センター研究報告 No. 5
 - 17) 広島県水産試験場事業報告 昭和57年度
 - 18) 切期餌料の培養技術開発研究報告書
 - 19) 水産工学研究所技報 第4号
 - 20) 海産研ニュース No. 8
 - 21) 場報 No. 40
 - 22) 航海 第78号
 - 23) Congress & Convention 創刊2号
 - 24) 船と港のはくぶつかん No. 21
 - 25) Centre national pour l'exploitation des océans 10-1982
 - 26) численность и оераз жизни промысловых рыб северо-западной атлантики
 - 27) экология и пролЕйского донных рыб северо-европейского бассейна
 - 28) 科学通報 Vol. 28 No. 9, 10, 11, 12
 - 29) Triennial Report 1979-1981
 - 30) 海洋学技 Vol. 5 No. 3, 4, 5, 6
 - 31) 海洋与湖沼 第14巻第4, 5期
 - 32) 韓国海洋学会誌 第18巻第2号
 - 33) Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes Tome XLVI Fasc 1
- 日仏海洋学会役員
- 顧問 ユベール・ブロッシュ ジャン・デルサルト
ジャック・ロベール アレクシス・ドランデール
ベルナル・フランク ミシェル・ルサージュ
ロベール・ゲルムール ジャック・マゴー
- 名誉会長 レオン・ヴァンデルメルシュ
- 会長 富永政英
- 会長代行 富永政英
- 副会長 國司秀明, 高野健三, 富永政英
- 常任幹事 阿部友三郎, 有賀祐勝, 佐伯和昭, 関 文威
松生 治, 三浦昭雄
- 幹事 石野 誠, 井上 実, 今村 豊, 岩下光男,
宇野 寛, 川原田 裕, 神田献二, 菊地真一,

草下孝也, 齋藤泰一, 佐々木幸康, 高木和徳,
高橋 正, 辻田時美, 奈須敬二, 根本敬久,
半沢正男, 丸茂隆三, 森田良美, 山中鷹之助
(五十音順)

監 査 久保田 穰, 岩崎秀人

評 議 員 青木三郎, 青山恒雄, 赤松英雄, 秋山 勉,
安達六郎, 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, 岩井 保,
岩崎秀人, 岩下光男, 岩田憲幸, 岩本康三,
宇野 寛, 大内正夫, 小倉通男, 岡市友利,
岡部史郎, 岡見 登, 岡本 巖, 梶浦欣二郎,
梶原昌弘, 加藤重一, 加納 敬, 鎌谷明善,
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,
國司秀明, 久保田 穰, 黒木敏郎, 小泉政美,
小林 博, 西条八束, 齋藤泰一, 齋藤行正,
佐伯和昭, 坂本市太郎, 坂本 亘, 佐々木幸康,

佐藤孫七, 猿橋勝子, 柴田恵司, 下村敏正,
庄司大太郎, 須藤英雄, 関 文威, 平 啓介,
隆島史夫, 多賀信夫, 高木和徳, 高野健三,
高橋淳雄, 高橋 正, 高橋正征, 谷口 旭,
田村 保, 辻田時美, 寺本俊彦, 鳥羽良明,
富永政英, 鳥居鉄也, 中野猿人, 永田 豊,
奈須敬二, 奈須紀幸, 西沢 敏, 西村 実,
根本敬久, 野村 正, 畑 幸彦, 半沢正男,
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, 増沢謙太郎,
松生 洽, 丸茂隆三, 三浦昭雄, 三宅泰雄,
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, 山口征矢,
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・ジュグラリス, ジャン・アンクテ
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 沖繩さんご園
株式会社 オーシャン・エージ社
株式会社 オセアノート
小樽船舶電機株式会社
社団法人 海洋産業研究会
協同低温工業株式会社
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
新日本気象海洋株式会社
株式会社 鶴見精機
株式会社 東京久栄
東京製網繊維ロープ株式会社
中川防蝕工業株式会社
日本アクアラング株式会社
日本テトラポッド株式会社
社団法人 日本能率協会
深田サルベージ株式会社
藤 田 峯 雄
古野電気株式会社
丸文株式会社
三井海洋開発株式会社
宮 本 悟
株式会社ユニオン・エンジニア
ング 佐野博持
吉野計器製作所
株式会社 読売広告社
株式会社 離合社
株式会社 渡部計器製作所

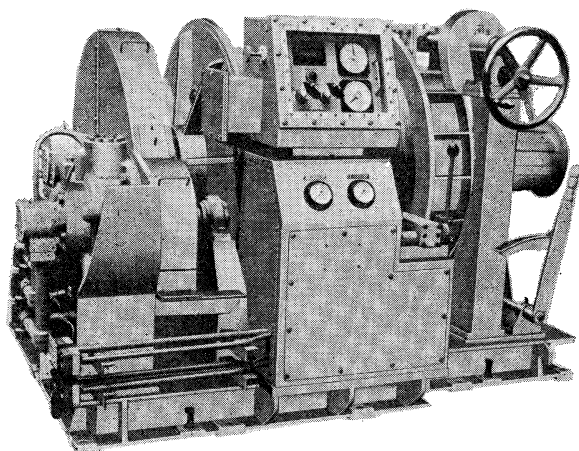
東京都千代田区有楽町 1-1-2 三井ビル
東京都千代田区九段北 1-2-1 蜂谷ビル
那覇市首里金城町 3-5
東京都港区元赤坂 1-7-8
東京都世田谷区北沢 1-19-4-202
小樽市色内町 3-4-3
東京都港区新橋 3-1-10 丸藤ビル
東京都千代田区神田佐久間町 1-21 山伝ビル
東京都千代田区岩本町 1-10-5 TMMビル5F
東京都文京区本駒込 6-15-10 英和印刷社
東京都千代田区神田 1-16-8
東京都中央区日本橋堀留町 1-3-17
東京都港区南青山 2-2-8 DFビル
高松市寺井町 1079
東京都世田谷区玉川 3-14-5
横浜市鶴見区鶴見中央 2-2-20
東京都中央区日本橋 3-1-15 久栄ビル
東京都中央区日本橋本町 1-7-1
東京都千代田区神田鍛冶町 2-2-2 東京建物ビル
神奈川県厚木市温水 2229-4
東京都新宿区西新宿 2-7-1 新宿第一生命ビル17F
東京都港区芝公園 3-1-22 協立ビル
東京都千代田区神田錦町 1-9-1 天理教ビル8階
茨城県北相馬郡藤代町大字毛有 850 株式会社 中村鉄工所
東京都中央区八重洲 2-3-13 藤和ビル
東京都中央区日本橋大伝馬町 2-1-1
東京都千代田区一ツ橋 2-3-1 小学館ビル
東京都中央区かちどき 3-3-5 かちどきビル 隣本地郷
神戸市中央区海岸通 3-1-1 KCCビル4F
東京都豊島区駒込 7-13-14
東京都中央区銀座 1-8-14
東京都千代田区鍛冶町 1-10-4
東京都文京区向丘 1-7-17

Exploiting the Ocean by...

T.S.K. OCEANOGRAPHIC INSTRUMENTS

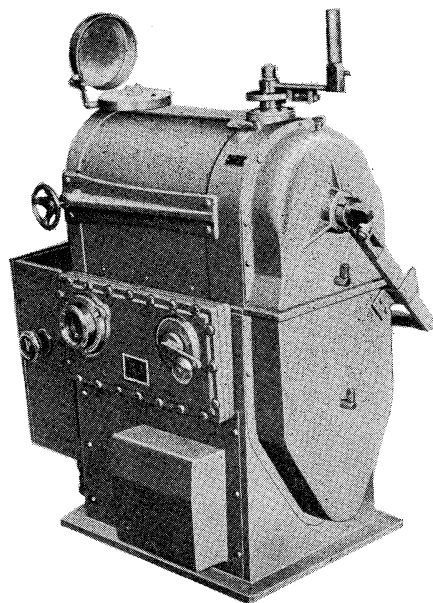
REPRESENTATIVE GROUPS OF INSTRUMENTS AND SYSTEMS

○ T.S.Kの海洋調査用捲上機



的に過酷な使用に耐え、安全・確実に故障なく使えるものでなければなりません。当社の50余年の歴史は充分にそれに御答え出来ます。観測要件のすべてに万全である500m~10,000mまでの深度用の当社製各種より御選択下さい。

単に捲上機(ウインチ)と言っても、大洋上において、精密海洋調査に当るには電氣的・油圧・物理的・機構



株式会社 鶴見 精 機

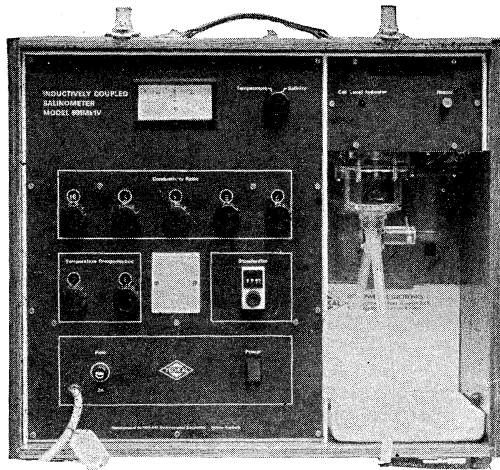
横浜市鶴見区鶴見中央2丁目2番20号 〒230 TEL; 045-521-5252

CABLE ADDRESS; TSURUMISEIKI Yokohama, TELEX; 3823750 TSKJPN J

OVERSEAS OFFICE; TSK-AMERICA INC. Seattle WASHINGTON

IWAMIYA INSTRUMENTATION LABORATORY

INDUCTIVE SALINOMER MODEL 601 MK IV



海水の塩分測定標準器として、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 渡部計器製作所
会社

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

営 業 案 内

- 科学魚探 SIMRAD
- 理研式 GEK
- 曳航式水温計

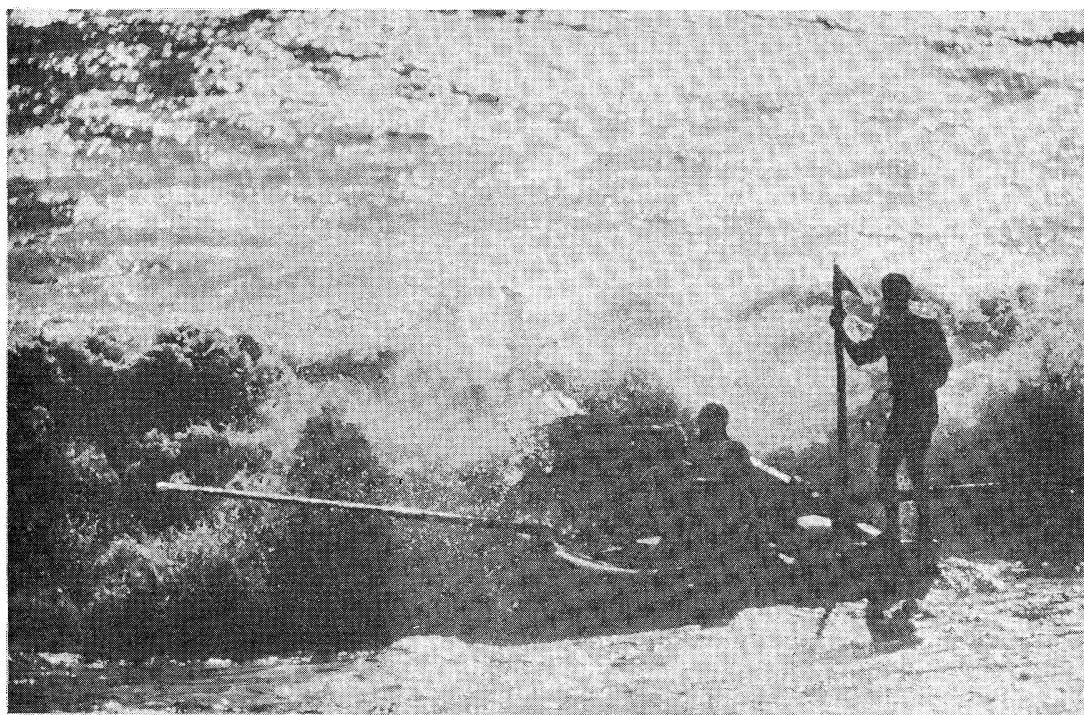
D. B. T.	水中テレビジョン	採泥器類
C / S T D	自記流向流速計	電气流速計
水中照度計	比重計, 水色計, 標準海水	船用機器模型及標本類
水中濁度計	ア ク ア ラ ン グ	標 識 票 類
溶存酸素測定器	プランクトンネット類	
サリノメーター	採水器類	

株式会社 **本 地 郷**

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

代表取締役 宮 本 悟 取締役 大 塚 昌 治

好奇心



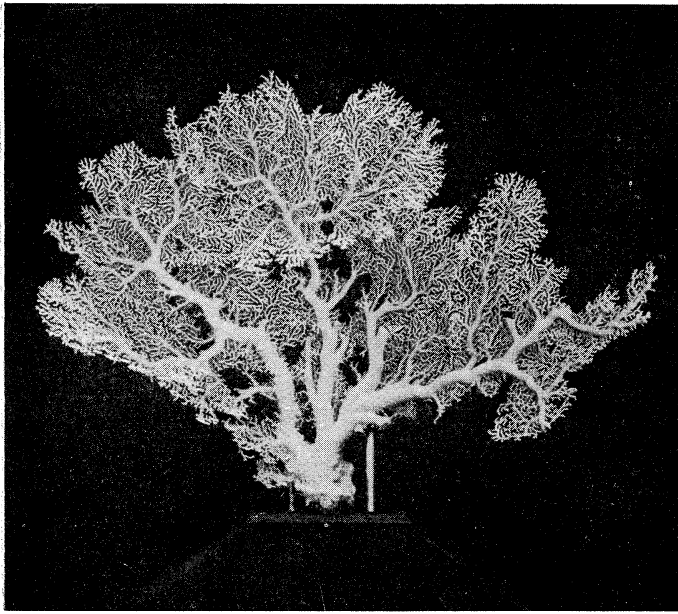
身近なもの、夢のあるもの、美しいもの、未来。自然、動物、魚、鳥、そして人々の笑顔。ほんのちょっとした好奇心が、なにげない情景を感動のドラマに変える。新しい興味が新しい世界を造る。今日から明日、そして未来へ——
好奇心いっぱい。



読売広告社

支社：中央・新橋・渋谷・新宿・池袋・上野・蒲田・立川・横浜・北海道・仙台・名古屋・大阪・広島・小倉・福岡

本社：東京都中央区銀座1-8-14 TEL 567-8111 (代)



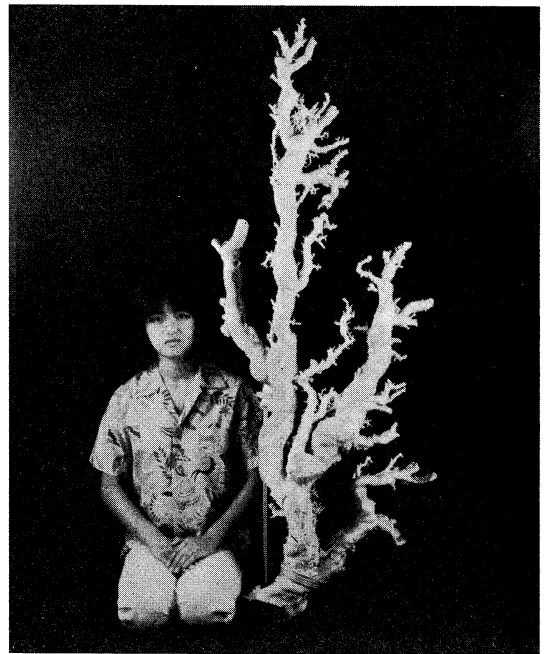
珊瑚美術館

「クイーン・コーラル」 ↑
深海潜水艇“はくよう”により採集された、世界で一番美しい珊瑚。

高さ 1m 幅 1.2m 重さ 12kg

採集場所 徳之島近海

採集年月日 昭和54年7月4日



世界最大の珊瑚 →
高さ 1.6m, 重さ 35kg の歴史上最大といわれる“ジャンボサンゴ”

採集場所 沖縄近海

採集年月日 昭和49年5月

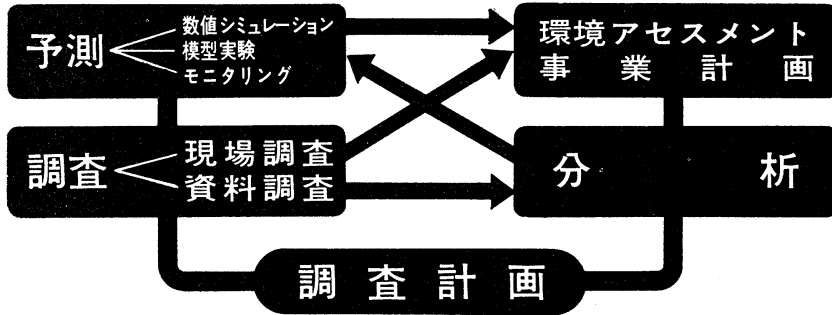
花とさんごと美術館



沖縄さんご園

本社 / 〒903 那覇市首里金城町 3-5 ☎ (0988) 86-3535 (代)
さんご園事業所 / 〒901-03 糸満市字摩文仁 1102 ☎ (09899) 7-3535 (代)
ホテル店事業所 / 〒903 那覇市首里山川町 1-132-1 ☎ (0988) 84-3535 (代)

当社は環境アセスメントを始め環境の質を把握するため、
 水域及び大気環境調査から分析・予測・解析まで一貫して
 ユーザーの要望に応える環境総合コンサルタントです。



★海洋，河川，ダム湖，湖沼，道路，鉄道の環境実態調査

水質・底質・プランクトン・底生生物・魚類・鳥類・哺乳動物・植生

★海域，河川，ダム湖，湖沼の水質予測解析

潮流・恒流・吹送流解析，COD拡散解析，SS沈降拡散，富栄養化予測
 解析，ダム湖の水温・濁度予測解析

★環境アセスメント調査

港湾・空港・大規模工業団地・石油精製・石油基地・海の公園・人工海浜
 造成計画等の環境アセスメント調査
 河川・ダム湖・河口堰・鉄道計画等の環境アセスメント調査

★分析・実験

水質分析，底質分析，土壌分析，産業廃棄物分析，生物分析，天気分析，
 水質汚濁機構解析のための生産量，分解量，溶出量，酸素消費量実験およ
 びAGP試験，土砂の沈降試験，ノリの成育実験，魚類室内実験，土壌中
 の有害物質の植物検定

★気象海象観測，予報，解析

天気予報，気象観測整理解析，降雨汚水解析，大気・騒音・振動の環境調
 査，波浪推算調査，波浪予報，漂砂調査，大気拡散シミュレーション

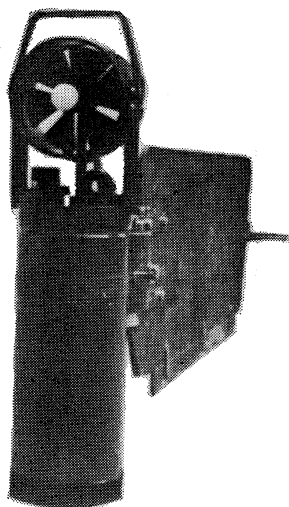


新日本気象海洋株式会社

本社 第二技術研究所 東京都世田谷区玉川3-14-5 TEL 03-708-1161
 第一技術研究所 東京都目黒区上目黒4-17-18 TEL 03-793-0591
 大阪支店 大阪府堺市北安井町2-12第2CBCビル TEL 0722-21-1626
 九州事務所 福岡県北九州市小倉区片野新町1-15 TEL 093-922-2214
 事業所 釜石(岩手県)，小名浜(福島県)，金沢(石川県)，沖縄

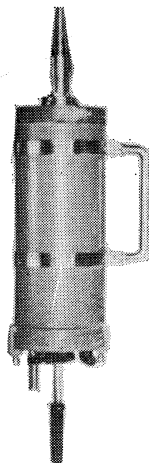
表層域から深海まで すべての測流技術を結集した
ユニオンエンジニアリングの

流速計シリーズ



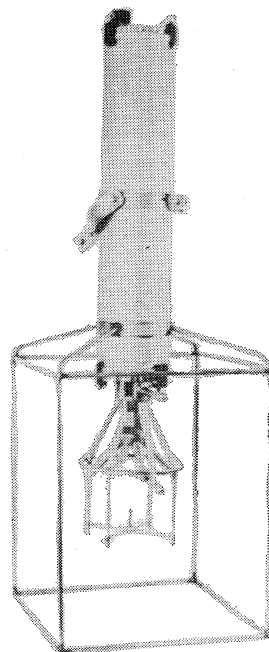
アーンデラー表層域流速計
P-RCM

RCM-4 (ローター型)の改造受付中



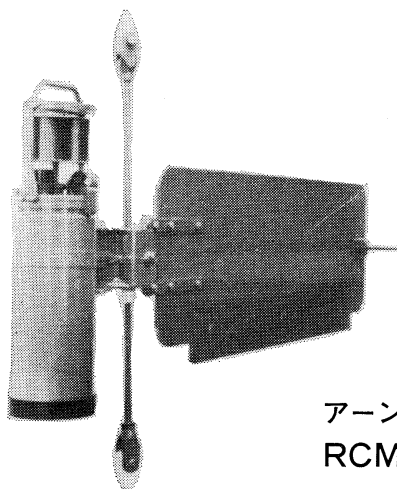
ユニオン電磁流速計
UECM-1000

2成分ベクトル計測用
CTDセンサー取付可能



CMI超音波流速計
UCM-2

2成分ベクトル及び
鉛直成分計測用



アーンデラー深海用流速計
RCM-5 (7000m用)

その他フリーフォール流速計
メモリーポータブル流速計、
ラボ用流速計もあります。



株式会社 **ユニオン・エンジニアリング**
本社 神戸市中央区海岸通3丁目1-1
〒650 KCCビル4F TEL 078-332-3381(代)
東京支店 東京都中央区銀座7丁目18
〒104 銀座スカイハイツ602号 TEL 03-543-5399

Tome 22 N° 1

SOMMAIRE

Notes originales

Shelf-seiches off Susami, South of Japan (2) (in Japanese).....	Shigehisa NAKAMURA	1
Feeding Habits and Copulation of the Chaetognath <i>Sagitta crassa</i>	Sachiko NAGASAWA and Ryuzo MARUMO	8
Studies Concerning the Fishery Biology of the Sea Urchin <i>Hemicentrotus pulcherrimus</i> (A. AGASSIZ) in Kaji, Fukui Prefecture — IV. Stock Size Estimation by DELURY'S Methods (in Japanese).....	Kuniteru MAEKAWA, Takasih NANBA, Naonori ISHIWATA and Hiroshi FUSHIMI	15
Intercomparison Test of Current Measurements by Two Types of Mooring in Shallow Water (in Japanese) ...	Yoshio TAKASUGI, Hideaki NOGUCHI and Munehiro YAMASAKI	23
Solution of a Fourth Order Finite Difference Vorticity Equation in an Ocean	Satoshi MURATA	34
Instrument for measuring Downward and Upward Spectral Irradiances in the Sea	Motoaki KISHINO and Noboru OKAMI	37
Procès-Verbaux.....		41

第 22 卷 第 1 号

目 次

原 著

周参見の棚静振 (2)	中村重久	1
内湾性やむし <i>Sagitta crassa</i> の摂餌と交尾 (英文)	永沢祥子, 九茂隆三	8
福井県梶地先におけるバフンウニの漁業生物学的研究 IV. DELURY 法による資源量の推定.....	前川邦輝, 難波高志, 石渡直典, 伏見 浩	15
浅海域での係留方式による流速測定値の差異	高杉由夫, 埜口英昭, 山崎宗広	23
4 次精度のうず度方程式の差分分解 (英文).....	村田 聡	34
水中分光放射照度計の試作 (英文).....	岸野元彰, 岡見 登	37
学会記事		41