
Tome 23

Août 1985

Numéro 3

La mer

う み

昭和 60 年 8 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)

海外委員: H. J. CECCALDI (フランス), E. D. GOLDBERG (アメリカ), T. ICHIYE (アメリカ), T. R. PARSONS (カナダ)

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), 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 (正副 1 通ずつ) の送り先は、高野健三 (〒305 茨城県新治郡桜村 筑波大学生物科学系), または海外委員。

Rédacteur en chef: K. TAKANO (Université de Tsukuba)

Rédacteurs étrangers du bureau d'édition: H. J. CECCALDI (EPHE, Station marine d'Endoume), E. D. GOLDBERG (Scripps Institution of Oceanography), T. ICHIYE (Texas A&M University), T. R. PARSONS (University of British Columbia)

Comité de rédaction: S. AOKI (Université de Toyo), Y. ARUGA (Université des Pêches de Tokyo), M. HANZAWA (Université de Marine Marchande de Kobe), M. INOUE (Université des Pêches de Tokyo), Y. MORITA (Université des Pêches de Tokyo), M. MURANO (Université des Pêches de Tokyo), S. OKABE (Université de Tokai), K. TAKAGI (Université des Pêches de Tokyo), Y. UNO (Université des Pêches de Tokyo)

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 au rédacteur en chef, Kenzo TAKANO, Institut des Sciences Biologiques, Université de Tsukuba, Niihari-gun, Ibaraki-ken, 305 Japon, ou à un des rédacteurs étrangers, H. J. CECCALDI (EPHE, Station marine d'Endoume, rue Batterie des Lions, 13007 Marseille, France), E. D. GOLDBERG (Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California 92093, U.S.A.), T. ICHIYE (Department of Oceanography, Texas A&M University, College Station, Texas 77843, U.S.A.), T. R. PARSONS (Department of Oceanography, University of British Columbia, Vancouver, B.C. V6T 1W5, Canada)

Article spécial n° 3

Hypothesis testing and rigorous statistics as criteria for marine research proposals*

Timothy R. PARSONS**

Oceanography is a young science, too young to become bureaucratized in its approach towards a better understanding of the world's oceans. In spite of this, there has recently crept into the minds of many funding agencies the need for scientists to define a testable hypothesis and to accompany applications for money with proposals which will yield statistically valid results. For the administrator, the submission of both a testable hypothesis and the proposed use of rigorous statistics gives the application a ring of scientific authenticity and veracity which can be readily defended to those who are concerned with the taxpayers' dollars. Unfortunately the approach may not yield *new* discoveries about the oceans.

I do not want to suggest the elimination of grant proposals which outline scientists' intentions. Rather my plea is to assure that researchers may probe the ocean depths without necessarily having to formulate their plans into some preconceived idea (the hypothesis) of what they expect to find. While fisheries data are collected for many purposes, it has perhaps been their endless use in order to verify the hypothesis of a "maximum sustainable yield" that has been one of the most oversold chronic forms of hypothesis testing (LARKIN, 1977). It has resulted in very little being known about long term changes in fish populations relative to the large amount of money expended. In contrast, I believe that the recent flurry of papers (e.g., HARBISON *et al.*, 1978) on the massive occurrence of gelatinous zooplankton in the sea has been largely the result of developing a new way



to look at the ocean (i.e., open ocean SCUBA diving). This was not the result of any testable hypothesis and it did not require rigorous statistics for verification. The importance of this discovery may in fact have far reaching effects on fisheries science since in many cases the "jellies" are competing for the same food resources as commercial fish. The description of populations of large deep sea fishes and scavengers (e.g., ISAACS and SCHWARTZLOSE, 1975) and the discovery of the hydrothermal vent communities (e.g., EDMOND, 1982) are additional recent examples of hitherto unknown phenomena.

Many theoreticians and administrators in marine science have long abandoned the essential element of field observations. What we really need to know about fish populations is

* Received March 2, 1985

** Department of Oceanography, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia V6T 1W5.

unlikely to be revealed by more theoretical models on catch statistics, nor is it likely that nature can be contained inside a computer. The aim of all *basic* research should not be to produce statistically valid results but to study what is new and previously undiscovered. One fallacy in the "statistically valid" approach is that it emphasizes the reliability of a result which occurs 19 times out of 20, or whatever other odds you choose. Nature, on the other hand, seems to succeed, *against all odds*. The evolution of new species and life itself are now being described as improbable events. The scientist who finds himself looking at a previously unrecognized phenomenon in the ocean and describing it for his colleagues is analogous to the chance occurrence of a new species in evolutionary time. In other words, it is the anomaly that has been the true driving force for new science and not hypothesis testing and rigorous statistics. The latter should be thought of more in the role of technology—an area of science dedicated to improving the agreement between facts and currently held dogma. In this area, a workable hypothesis and rigorous statistical validity are necessary for the solution of practical problems. It is, however, very certain that this process did not lead us from the age of Leonardo de Vinci to lasers. Rather, a few keen observers of nature pointed out unique phenomena which had hitherto gone unnoticed by the rest of mankind. The contrast between preconceived notions about nature and natural phenomena is succinctly given by KUHN (1970) in the statement

"Unanticipated novelty, the new discovery, can emerge only to the extent that his (the

scientist's) anticipations about nature and his instruments prove wrong".

It is a common observation that children ask innocent and revealing questions. It is no coincidence that their eyes, seeing the world for the first time, see it differently than adults. In marine science, much encouragement needs to be given to the new approach, the original idea, the astute observer, the novel question and pioneering instrumentation—these are the 'eyes' through which science advances. The successful progress of marine science will be accomplished through seeing differently the complex interactions of nature afloat, rather than simply through the application of statistics to hypothesis testing. The latter fulfills an important role in science but it is more akin to the role of an engineer in our society than to one who discovers (*sensu stricto*—one who reveals something not previously seen).

References

- EDMOND, J.M. (1982): Ocean hot springs: a status report. *Oceanus*, **25**, 22-29.
- HARBISON, G.R., L.B. MADIN and N.R. SWANBERG (1978): On the natural history and distribution of oceanic ctenophores. *Deep-Sea Res.*, **25**, 233-256.
- ISAACS, J. D. and R. A. SCHWARTZLOSE (1975): Active animals of the deep-sea floor. *In* Life in the Sea. *Publ.* Scientific American, W. H. Freeman and Co., San Fransisco, 1982, 41-48.
- KUHN, T. S. (1962): The Structure of Scientific Revolutions. *Publ.* Univ. Chicago Press, p. 96.
- LARKIN, P.A. (1977): An epitaph for the concept of maximum sustained yield. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **106**, 1-11.

沖合の擾乱によって誘起される沿岸水位変動について

中 村 重 久

On response of coastal waters to offshore disturbance

Shigehisa NAKAMURA

Abstract: A study on response of coastal water to offshore disturbance was undertaken using a numerical model for specific areas, Kii Channel and Osaka Bay. The available mareogram shows that a specific oscillation of 42 min in period at Shirahama is observed even under a calm weather. With a numerical model of finite difference method, the author computed water level variations at the corresponding tide stations in the model in order to find what condition should be set up for meteorological disturbance traveling offshore.

1. 緒 言

沖合において水位あるいは流れに何らかの擾乱があらわれると、これに対応して沿岸水位の変動が誘起されるであろうことは十分予想されることである。

紀伊半島太平洋岸に近い白浜海洋観測塔で観測される水位変動については、すでに、中村ら (1982) の検討した例がある。すなわち、田辺湾内の水位変動は約42分の周期の成分があらわれるのは、台風来襲によるのではなくて、黒潮の流軸および最大流速の変動に関係がありそうだとみられる一方、総観的気象条件との対比からみて、低気圧が紀伊半島南方洋上を東支那海から太平洋へ発達しながら東進した場合に観測される例が多いことが指摘されている。このようなことからみて、田辺湾内で観測される周期約42分の水位変動については、沖合の流速変動に対する沿岸水位の応答として考えることもできよう。その後、田辺湾内で超音波式流速計を利用して観測を実施した結果 (cf. 海象(流れ)観測グループ, 1983) からみても、約42分の周期の水位変動は、田辺湾付近で

強風など強い気象的変動のみられない時にむしろ顕著なことが明らかになった。しかも、この水位変動は、単一周期という特徴が強く、その周期から予想される波長のスケールは大ざっぱにみても田辺湾の幅あるいは奥行の数倍以上であり、田辺湾内の湾水固有の運動というよりは田辺湾沖の陸棚におよぶようなスケールの現象であると考えるのが力学的に妥当であるとみられている (中村・芹沢, 1984)。

ここでは、はじめに、白浜で約42分の周期の水位変動が顕著な時に、紀伊水道および大阪湾沿岸の検潮記録にあらわれた特徴を示す。また、さきに中村 (1982) が利用した有限差分値モデルによって、沖合の流れとしてあらわれた変動に対する沿岸水位の応答特性をしらべる。とくに、紀伊水道南方洋上を発達しながら東進する低気圧に対応した移動速度で流れの変動があらわれた場合を数値的に検討し、沖合の擾乱の位置と沿岸水位変動との関係についても考察する。

2. 検潮記録にあらわれた水位変動

1921年7月から1983年7月までの2年間、白浜海洋観測塔の北方、水深 13.5 m の位置 (30°41.68'N, 135°20.78'E) において超音波式流速計によって流れの長期連続観測をした (cf. 海象(流れ)観測グループ, 1983; 中村・芹沢, 1984)。この観測期間中、田辺湾内で約42分の周期の単一周期的流速変動は、1982年12月21-22

* 1984年11月13日受理

** 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 Japan

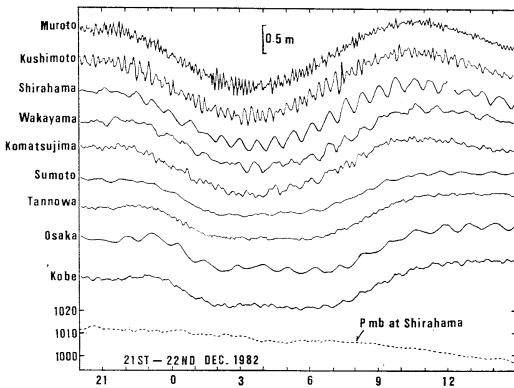


Fig. 1. Mareograms (full line) from 20:00 on 21st to 15:00 on 22nd December 1982 with atmospheric pressure at Shirahama (dotted line).

日にとくに顕著であった。これに対応して、田辺湾内の水位変動もみとめられた。このとき、白浜海洋観測塔で観測記録された風速は高々数 m/s であり、しかもその風向は東寄りであった。したがって、この場合、水位変動の直接的原因としてその時の風を考えることはできない。

紀伊水道・大阪湾周辺の気象庁管轄の検潮所は、室戸岬、串本、白浜、和歌山、小松島、洲本、淡輪、大阪、神戸である (cf. Fig. 2)。これらの検潮所で得られた記録を1982年12月21日20時から22日15時までについて図示したのが Fig. 1 である。なお、図中の点線は白浜における気圧である。この気圧の傾向は、神戸の記録をみても同様であり、気圧の変動そのものが白浜の約42分を周期とする水位変動をひき起したとは考え難い。この時、洲本、淡輪、神戸では明瞭ではないけれども、大阪では約50分を周期とする水位変動が目立つことに注意しておく必要がある。なお、この時にかぎって徳島県の日和佐において不規則な水位変動 (振幅最大 20 cm, 周期 10-20分程度) が検潮記録にみとめられた。ここで注目すべきことは、いくつかの検潮所で時を同じくして顕著な水位変動を記録していることである。これは、中村ら (1982) が沖合流速変動に対する沿岸水位の対応として有限差分数値モデルで考えた例によく似ているパターンである。

3. 有限差分数値モデル

ここで用いた数値モデルは中村ら (1982) が用いたものと基本的には同じものである。

この数値モデルは、有限差分法によるもので最も簡単な up-wind scheme である。この計算法は、もともと LOOMIS (1972) が、沖合から沿岸域に侵入してくるような長波の伝播の数値計算のために開発し、ハワイのオアフ島にあるハレイワ港の問題に応用したものを、中村がいろいろの機会に改良をくりかえして津波の問題に応用してきたものである。すなわち、1977 スンバワ津波の例 (中村, 1981) では、LOOMIS の計算法を津波の計算ができるように改良し、インドネシアのインド洋沿岸の津波の資料の欠けている部分の補うように努めた。利用できる資料からみて、十分な精度とはいえないが、対応づけができる程度の結果は得られたものと考えた。この 1977 スンバワ津波はオーストラリア北西海岸にも影響を及ぼしているので、この計算法をさらに改めて数値実験をした。この結果からみて、オーストラリア海岸の津波の記録例に対して約 3 時間の移動平均が計算結果に対応していることがわかった (中村・ALLISON, 1981)。これは格子間隔のならば方に関係しているものとみられ、隣りあった格子の間の水柱で生じる Nyquist 共振があらわれたり、高周波成分が平滑化されることによるもので、たとえこのような計算過程で、数値計算に必要な Neumann の安定条件のみを満していても、このように簡単な up-wind scheme では生じうるものであると考えられる。この問題に対処するだけの数学的あるいは力学的根拠は、現在なお得られたとは言えないが、数値計算の多数反復による trial and error の経過の結果からみれば、格子間隔をできるだけ小さくすることは、スンバワ津波の計算遂行の解決法のひとつだと考えられる。たしかに、この計算プログラムは、そのまま、格子間隔を小さくし、 $\Delta x = 4.54 \text{ km}$ とすると、大阪湾・紀伊水道の津波の数値モデルでは、計算結果から、津波の実記録例と対応する波源の条件をもとめることも可能となった (中村, 1981b, 1983)。このようなことから、とくに、大阪湾・紀伊水道については、この数値計算法を津波以外の沖合の擾乱にともなう沿岸水位変動の問題について適用しても妥当な結果が得られるものと判断した。その計算例が中村ら (1982) の報告の中に示されている。この例では、沖合の擾乱源の位置を室戸岬と潮岬とのちょうど中間と考え、これを、時刻 $t=0$ に黒潮流軸が北に偏ったものと対応させ、そこでの擾乱として、西から東へ向かう 1 m/s の流れがあらわれた場合を考えた。

この種の数値計算では、たとえば、津波について、相田モデル (1981)、安藤モデル (1982) などがある。こ

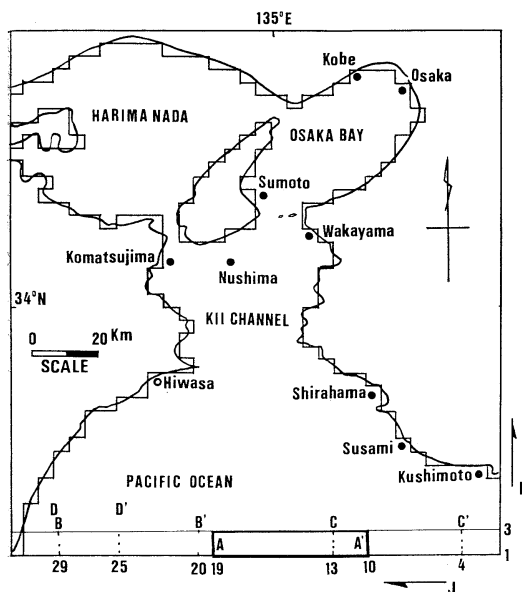


Fig. 2. Study area. Tidal stations are shown by dots or circles.

のほか、精度をあげるために高度の技法を応用する例もあるようであるが、このため大容量の計算機が要求され、長時間にわたる計算が必要になってくる。ここでは、最も簡単な scheme で、できるだけ小さい容量の計算機でも可能な方法を実用的な面からみても利用できるようにすることもあわせて考慮にいれることにした。ここで考えようとするのは、沖合の擾乱によって誘起される沿岸水位である。この問題を数値モデルによって検討し、前節の Fig. 1 のような観測例に対する外力としての要因が明らかにすることができれば、この問題の予測への手がかりが得られることになる。

いま、計算の便宜上、Fig. 2 に示すような範囲の海域を数値計算の対象領域とする。すなわち、およそ神戸から潮岬を結ぶ線以北の海域で、紀伊水道、大阪湾および播磨灘を含む範囲である。ここでは、海域の海水は均質であるとする。この海域内の水深分布や海岸線の形状は複雑であり、凹凸が顕著であるが、便宜上、北向きに I 軸、西向きに J 軸をとり、それぞれ 4540 m 間隔の様な格子網となるように切り、各格子点の水深は海上保安庁水路部発行の海図 (No. 100A) より内挿によって与えた。この水域の最大水深は、2,600 m とした。数値計算にあたり、時間間隔は $\Delta t = 14.2 \text{ sec}$ ととり、可能なかぎり安定な計算条件を満すようにした。計算は、京都大学大型計算センターの FACOM-382 によ

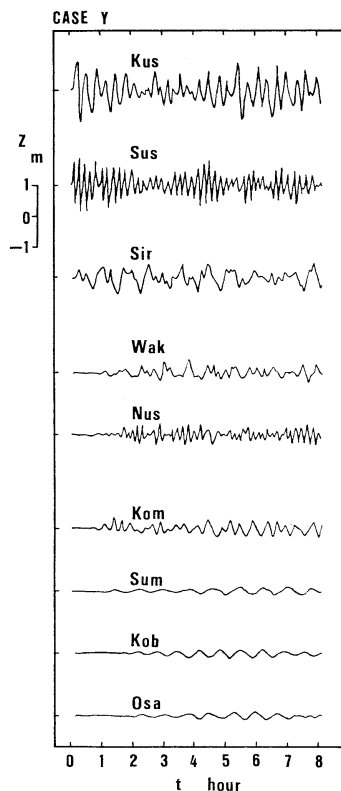


Fig. 3. Response of the water level to a stationary disturbance at A-A' prescribed by a step function for an eastward current of 0.25 m/s.

た。

いま、何かの原因で Fig. 2 の下辺、すなわち、室戸岬から潮岬を結ぶ線上のどこかで流れがあらわれたとしよう。この自然的原因としては、海上風あるいは気圧などの気象条件によって生じたと考えることもできるし、黒潮の流軸が変動して、計算対称領域に入ってきたと考えてもよい。ここでは、Fig. 2 の下辺の長形状水域の一部で流れのかたちで擾乱があらわれる場合を考える。

中村ら (1982) は Fig. 2 の A-A' の水域において、時刻 $t = 0 \text{ sec}$ に、東向きの流速が 0 m/s から 1 m/s になった場合について検討した。ここでは、東向き流速が 0 m/s から 0.25 m/s になった場合について計算した結果を Fig. 3 に示した。図中、検潮所の位置に最も近い格子点をえらび、串本 (Kus)、周参見 (Sus)、白浜 (Sir)、和歌山 (Wak)、沼島 (Nus)、小松島 (Kom)、洲本 (Sum)、神戸 (Kob)、大阪 (Osa) に対する水位

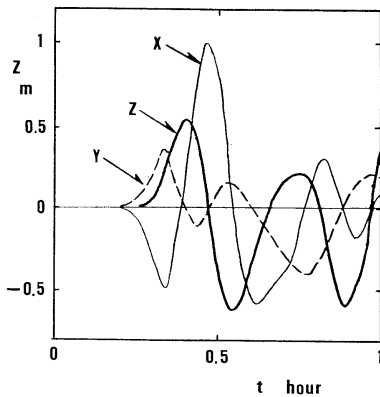


Fig. 4. Response of the water level at Shirahama over one hour after a stationary disturbance is applied to B-B' (thick line, case Z), C-C' (thin line, case X) and A-A' (broken line, case Y).

変動の計算波形を、流れとして擾乱があらわれてから8時間にわたって示した。この東向きの流速が1 m/s以下の場合、各点の水位変動の振幅は数値的にみて流速の大きさに比例するだけである。

いま、擾乱水域を A-A' のかわりに、それより西側の水域 B-B' ($1 \leq I \leq 3$, $20 \leq J \leq 29$) にとると、白浜における最初の1時間の水位変動は Fig. 4 の太線 (Z) のようになる。また、東側の水域 C-C' ($1 \leq I \leq 3$, $20 \leq J \leq 4$) にとると、これに対応した白浜の水位変動は Fig. 4 の細線 (X) のようになる。Fig. 4 には、擾乱水域が A-A' の場合を参考までに破線 (Y) によって示した。これを見ると、擾乱水域が室戸岬と潮岬との中間にあるときには白浜における水位変動は小さいことがわかる。擾乱源が東寄りの場合には、擾乱源と計算点とが距離的に近いことため振幅が大きくなるものと考えられる。また、擾乱源が西寄りの場合、海底地形による波の屈折が計算点の振幅を増大させるように作用したものと考えられる。ところで、いろいろの位置を擾乱源として与えて計算した結果にもとづき各点の水位変動を比較検討してみると、擾乱源が A-A' の場合は白浜で約40分の周期成分がやや顕著であるが、擾乱源が東に偏っても西に偏っても白浜では約20分の周期が目立つが約40分の周期成分はそれほど目とめられない。とくに、串本、白浜、大阪などについて、これらの計算結果を Fig. 1 の検潮記録と対比してみると、擾乱源が A-A' の位置の場合が全般によく対応する。ここで用いた数値モデルが力学的に妥当なものであるとするかぎりにおいて、上のような検討の結果から、自然的条件として可能なのは、計算上

擾乱源 (等価) が A-A' の位置をとった場合であって、それ以外の位置に擾乱源 (等価) がくるような現象は考え難いのではないだろうか。その根拠として、上に検討したことのほかに、白浜では約20分の周期の水位変動はあまり観測されないという事実をあげておかねばならない。Fig. 1 の白浜の検潮記録からみて、周期約42分のみ成分が天文潮ののっているのみとみられ、スペクトル解析の結果 (海象 (流れ) 観測グループ, 1983) によっても周期42分の成分は鋭いピークの位置にあり、周期20分の成分は振幅スペクトル成分としてみても周期42分の成分の1/5以下でしかない (cf. 付録)。Fig. 1 の白浜の検潮記録は他の記録と比較してその特徴が顕著である。にもかかわらず、その力学的機構についての検討は中村・芹沢 (1984) が行なった程度にとどまっている。この点に留意すれば、ここで用いた数値モデルで完全なシミュレーションができるための条件をさらに検討する必要があるであろう。

4. 沖合流速変動域が移動する効果

田辺湾で約42分周期の水位変動があらわれた時の総観的気象条件を、気象庁発行の極東天気図 (地上) によって調べてみると、低気圧が東支那海から太平洋へおよそ 30°N 線に沿って東進した場合の例が多い (たとえば、中村ら, 1982)。1980-1981年の期間に限ってみても、1980年3月3日、11月7日と1981年2月20日の3例がとくに顕著であった。1982-1983年の例について、1980年11月7日のようなパターンの地上天気図のあらわれた例のうち約90%が田辺湾で42分周期の水位変動の出現と対応していた。ここで、もし、このような気象条件による擾乱が沖合の流速変動としてあらわれたと考えることができるであろうか。このような仮説を検討するために、ここでは、前節で考えたような沖合流速変動域が低気圧の移動速度に近い速度で東進する場合に対する数値モデルを考えた。対象とする海域は、これまでと同じく Fig. 2 に示されるような範囲である。

日本附近における温帯性低気圧の径路を調べてみると (たとえば、高橋, 1955, p. 44)、日本列島に沿って北東に進むことが多く、これは気団論的にみると、日本の列島が大陸気団と太平洋の海洋気団との境になっているためと解釈される。したがって、上述のような田辺湾の特異の水位変動が気象学的変動の原因であるとみるかぎり、これに対応する紀伊水道南方の太平洋の水が低気圧の移動にともなう気象学的変動によって擾乱を受け、その擾乱が周囲にひろがって沿岸域で水位変動としてとら

Table 1. Moving speed of low-pressure center in km/h (after TAKAHASHI, 1955).

zone	month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
East China Sea		42	36	43	34	31	27	23	21	27	28	35	36
Japan Sea		30	32	33	39	37	30	28	29	29	35	38	35
on Japan Islands		30	39	35	38	25	31	29	31	39	41	61	35
on Pacific SE of Japan Islands		53	61	49	50	43	35	22	25	28	36	42	49
on Pacific S of Japan Islands		47	48	46	39	35	31	21	20	23	27	39	43

えられることも 現実に 不思議な ことでは なさそうである。ただ、なぜ低気圧が特定の径路をとった場合に限って田辺湾に特異な水位変動があらわれるかについての力学的理解は現在のところまだ得られていない。最近の例をみても (たとえば、海象(流れ)観測グループ, 1983; 中村ら, 1984), 田辺湾の特異な水位変動は直接に台風と関係がなさそうである。これに加うるに(高橋, 1955, p. 283), 温帯低気圧の速度および発生地点についてみるならば、温帯低気圧のよく通る径路は季節によってはあまり変化しないが、その速さは季節によってかなり違い、また台風などに比べると変化しやすい。地域別・月別に低気圧の平均速度をもとめた高橋の表を参考にすると、Table 1 のようなことになる。これからみて、わが国の南方洋上での低気圧の東進する速度は、冬の12-3月には平均 43-48 km/H であり、夏の8月には 20 km/H である。この資料はやや古いようではあるが、この低気圧の特徴は現在も同様であり、十分その特徴はとらえることのできるものと考えられる。したがって、擾乱源としての低気圧は西から東へ移動し、これに対応して海水の擾乱源が移動するものとするれば、その移動速度は 20-50 km の範囲内と考えても差支えないであろう。移動しない場合についての数値モデルについては前節で検討した。移動する場合として、実際には 0-45 km/H のいろいろの場合を数値的に計算して比較検討することになるが、本文では、とくに 45 km/H の例を中心にして検討することにした。すなわち、(i) 低気圧の影響による擾乱が室戸岬沖付近であらわれて、それが低気圧とともに東進す辺場合、(ii) 低気圧の影響が室戸岬と潮岬との中間付近であらわれて、その後低気圧の移動とともに東進する場合、そして、(iii) 潮岬付近で低気圧の影響があらわれ、それが低気圧の移動速度で東進する場合を数値モデルによって考えることになる。少なくとも、低気圧のような気象条件が田辺湾の特異な水位変動にかかわっているのであれば、擾乱源は移動するものと考えても当然なことではあるはずである。

まず、ここで、沖合流速変動域が西から東へと毎時

45 km の一定速度で移動する場合を考える。時刻 $t=0$ sec において流速変動域が Fig. 2 の B-B' にあらわれ、その後 45 km/H でそれが移動するとした場合の沿岸水位変動の数値計算結果は Fig. 5 (case Q) のようになる。計算点は Fig. 3 に対応した点をえらんだ。また、時刻 $t=0$ sec に流速変動域が C-C' (cf. Fig. 2) にあらわれた後、東方に 45 km/H で移動した場合には、沿岸水位変動は Fig. 6 (case P) に示すようなことになる。これを見ると、串本、周参見、白浜など擾乱源に距離的に近い点で水位変動の振幅が大きいことが顕著であ

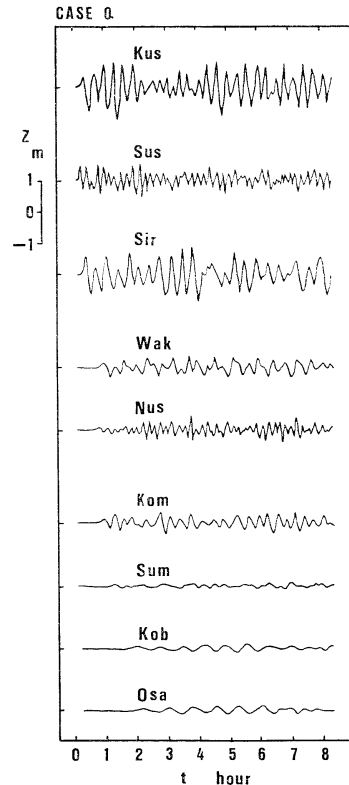


Fig. 5. Response of the water level to an eastward movement of the disturbed area starting from B-B' with a speed of 45 km/H.

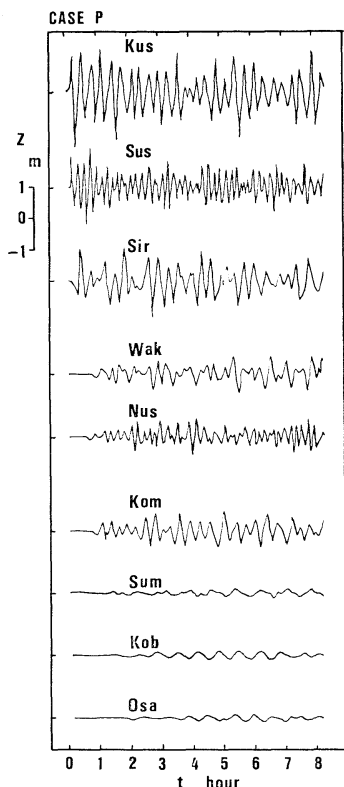


Fig. 6. Same as Fig. 5 except for starting from C-C'.

る。大阪では振幅は小さいが約50分周期の水位変動があらわれている。しかし、白浜では約20分の周期成分が目立ち、これは検潮記録にみられる特徴にうまく対応していない。ただ、串本の約17分の周期や周参見の約12分の周期は従来の記録解析の結果（たとえば、中村・芹沢，1983；中村，1984）ともよく対応しているようである。

流速変動域の東方への移動速度 45 km/H が低気圧の移動速度に対応すると考えると、この速度は比較的速い低気圧の移動ということになる。この移動速度を 22.5 km/H として計算した結果は、数値的に数パーセント以下の差異を除けば、移動速度 45 km/H の場合の Fig. 5 および 6 と同じ図が得られた。移動速度が 0 km/H でも、ほぼ同様な図となった。このことからみて、沿岸水位変動の特性は沖合流速変動域のあらわれる最初の位置に関係し、流速変動域の移動速度による効果は顕著とはいえないといえる。

ついでながら、擾乱源としての沖合流速変動域の面積が大きければそれだけ沿岸水位変動も大きくなることを計算例によって Fig. 7 に示す。すなわち、計算領域内

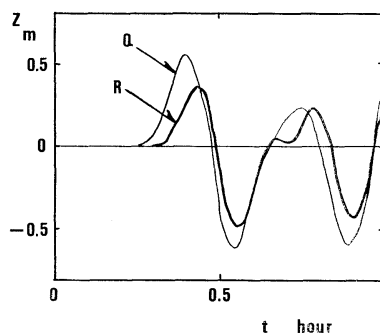


Fig. 7. An example showing the effect of the extent of the moving disturbed area. Q for extent and initial location B-B'; R for D-D'.

で、たとえば白浜にできるだけ遠い水域を擾乱源にえらぶことにする。擾乱源が B-B' ($1 \leq I \leq 3$, $20 \leq J \leq 29$) にあらわれ 45 km/H で東方に移動する場合、最初の1時間の白浜における水位変動は Fig. 7 の細線 (Q) のようになる。擾乱源が D-D' ($1 \leq I \leq 3$, $25 \leq J \leq 29$) にあらわれた場合の水位変動は図中太線 (R) のようになる。

5. 結 言

沖合の擾乱によって誘起される沿岸水位変動について、検潮記録および数値モデルによる検討をした。対象海域として大阪湾・紀伊水道を中心とした海域をえらんだ。ここでの解析の結果、沿岸水位変動の特性は沖合流速変動域の最初にあらわれる位置に関係し、流速変動域の移動速度によらないことがわかった。また、数値モデルの結果を検潮記録と比較して、自然にあらわれる現象に対応した数値モデルに与えるべき条件についても考察した。

謝 辞

白浜海洋観測塔における観測記録およびその解析には芹沢重厚・片山富晴両君があたった。検潮記録の収集およびその利用については神戸海洋気象台海洋課長松崎正夫氏の御好意を得た。白浜の気圧については気象庁和歌山地方気象台白浜空港気象通報所の記録を利用した。また、西勝也・吉岡洋両氏の助力によって徳島県日和佐土木事務所の検潮記録を参考にすることができた。なお、海象（流れ）観測グループ*の協同研究で得られた資料の一部も利用した。

* 土屋義人(代表者), 国司秀明, 中村重久, 西勝也,

吉岡洋, 芹沢重厚, 片山富晴, 富永政英, 棚橋輝彦, 森谷誠生, 市川雅史, 土子良治, 森田行司, 小堀泰宏 (順不同)

参考文献

相田 勇 (1981): 南海道沖の津波の数値実験. 東大地震研究所報, **56**, 713-730.
 ANDO, M. (1982): A fault model of the 1946 Nankaido earthquake derived from Tsunami data. Phys. Earth and Planet. Interiors, **28**, 320-336.
 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. 京大防災研究所年報, No. 26B-2, 637-672.
 LOOMIS, H. G. (1972): A package program for time-stepping long waves into coastal regions with application to Haleiwa Harbor, Oahu, NOAA-JTRE-79, HIG-72-21, 1-33.
 中村重久 (1981a): 数値実験からみた1977スンパワ津波. La mer, **19**, 30-37.
 中村重久 (1981b): 大阪湾・紀伊水道の津波の数値モデル. La mer, **19**, 105-110.
 NAKAMURA, S. (1983): Numerical tsunami model in Osaka Bay. Bull. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, **33**, Pt. 1, No. 295, 1-14.
 中村重久 (1984): 周参見の棚静振 (2) La mer, **22**, 1-7.
 中村重久・H. ALLISON (1981): 西オーストラリア海岸の長周期波について. 第28回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 44-48.
 中村重久・芹沢重厚 (1983): 周参見の棚静振. La mer, **21**, 89-94.
 中村重久・芹沢重厚 (1984): 田辺湾で観測された台風時の流れ. La mer, **22**, 124-130.
 中村重久・吉岡 洋・芹沢重厚 (1982): 白浜海洋観測塔周辺の水位変動. La mer, **20**, 223-230.

付 録

田辺湾口付近の観測点 (30°41.68'N, 135°20.78'E; 水深 13.5 m) において超音波式流速計によって観測した結果は, 海象(流れ)観測グループ (1983) によって解析されている. この観測結果のうち, 1982年12月22日0時から5時10分までの記録から $\Delta t=2.4$ 分の時間間隔で読み出したデータ (データ数 $N=128$ ケ) にもとづいて, FFT法により流速のパワースペクトルをもとめると, Fig. A1の破線のようなになる. また, 流速のベクトル特性をとらえるため, 回転スペクトルをもとめた (cf.

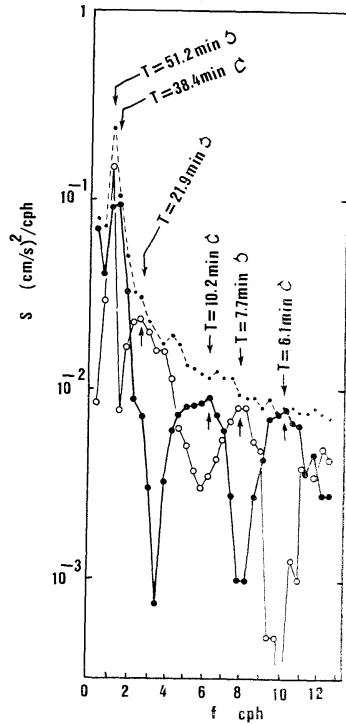


Fig. A1. Total spectrum (broken line), clockwise rotational spectrum (dots and thick line) and anticlockwise rotational spectrum (circles and thin line) after current velocity data obtained by an acoustic current meter in Tanabe Bay on 22nd December 1982.

日野幹雄著 スペクトル解析, 朝倉書店, 1982, pp. 258-261)。Fig. 1Aには, 時計まわりスペクトルを黒丸と太線によって示し, 反時計まわりスペクトルを白丸と細線によって示した。これを見ても, 本文中でも述べた約42分の周期に対応して, 時計まわりおよび反時計まわりのスペクトルにピークがあることがわかる。これに次ぐピークは, 主ピークよりおよそ1桁小さく, それに対応する周期は 21.9分となっている。この周期成分の一部は, Figs. 5 および 6の白浜で顕著であった約20分を周期とする水位変動の成合に対応するものとして力学的な解釈ができよう。なお, 超音波式流速計による観測期間 (1981年7月から1983年7月まで) で, 約20分を周期とするべく顕著な流速変動は記録されていない。

海水の沈降電圧測定*

平川 廣 満**・武石 泰 亮**

Measurement of sedimentation potential of sea water*

Hiromitsu HIRAKAWA** and Taisuke TAKEISHI**

Abstract: Sea water samples were collected at regions southwest of Kyushu and around Taiwan for investigating the sedimentation potential. It was generated by a sedimentation-potential-generating apparatus and measured by a.c.-potentiometric method in laboratory. Irrespectively of the sampling depth, it ranges from -0.19×10^{-6} to -0.21×10^{-6} (V), except surface samples which show considerably smaller values. A sedimentation coefficient calculated from the experimental result is within the range of -1.70×10^{-12} to -2.10×10^{-12} [(V/cm)/(cm/sec²)].

1. 緒 言

電解質溶液を加速度場におくと溶液中に微小電圧（以降これを沈降電圧とよぶ）が発生することは COLLY (1875) により予見され、重力場での沈降電圧が初めて検出された。その後発生沈降電圧を大きくして正確に測定するさまざまな試みがなされてきた（たとえば、COUDRESS, 1896; TOLLMAN, 1910; DEBY, 1933 など）。一価二元や二価三元の電解質溶液およびいくつかの混合電解質溶液についての沈降電圧は著者らの論文（平川・武石, 1983）を含め R. ZANA and E. YEAGER (1967) および Z. MIDUNO (1971) らによって報告されているが、海水の沈降電圧を検出し報告したものはみあたらない。これは海水の沈降電圧がきわめて小さく、これを検出するにはかなりの困難を伴っていたからである。

しかし海水の沈降電圧はすべての混合電解質溶液の基準となるもので発生電圧はいくらになるか、また海水の沈降電圧は海水中の主成分とどのような関係があるかなどを知ることにはかなり興味のあることであり有意義であると考える。

この度文部省特定研究の一環として南西諸島海域から台湾島周辺までの海洋調査に参加し、これらの海域で海

水を採水するとともに採水地点での深度と水温および塩分を測定した。採水した海水は持ち帰りの後、研究室において沈降電圧を測定した。その結果正確で信頼できる測定値が得られたので報告する。

2. 調査方法

調査は鹿児島大学水産学部所属の研究練習船 散天丸（約 880 トン）により南西諸島海域から台湾島周辺まで 32 地点の観測点を設定し、99 種の海水を採取した。観測

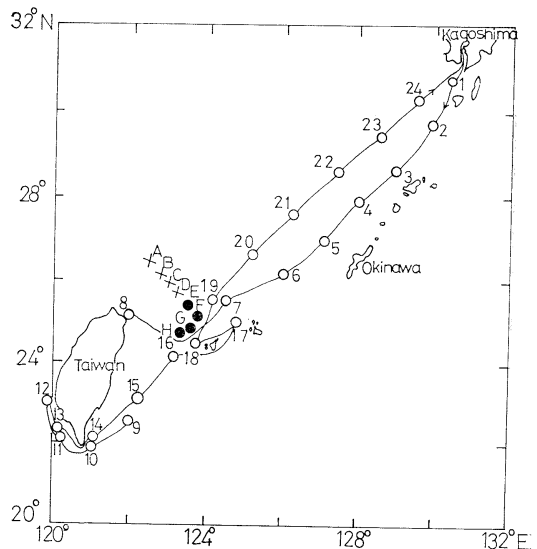


Fig. 1. Station map.

* 1985年2月25日受理 Received February 25, 1985

** 鹿児島大学工学部

〒890 鹿児島市郡元 1-21-40

Faculty of Engineering, Kagoshima University,
1-21-40, Korimoto, Kagoshima 890

期間は1984年7月25日～8月26日までの1カ月間である。観測点を第1図に示す。観測点1～24では表層水を、観測点A～Dでは表層から水深90m、観測点E～Hでは表層から水深1,000mまでそれぞれ敬天丸に装備されているCTD記録計(Neil Brown Instrument System社製のMark III system)により深度と水温および塩分を連続的に測定した。それらの値は10秒間隔で読みとられ印字機により打ち出された。同時に海水の沈降電圧を測定するため水深10m～水深1,000mまではバンドーン採水器を用いて採水した。表層水はバケツにより採取した。

3. 沈降電圧発生装置

海水の沈降電圧を発生させる沈降電圧発生装置を第2図に示す。同図で、測定容器6(内径11mm、長さ50mm、厚み2mmの円筒状アクリルパイプ)に採取した海水を満し、動電型加振器3(加振力10kg重)を用い振動周波数100Hz、振動振幅1.5mm(p-p)で上下に振動させると海水中に微小な正弦波交流(周波数100Hz)の沈降電圧が発生する。この沈降電圧をアクリルパイプ内に設けた白金電極(間隔35mm)8により検出

し、同軸ケーブル9により入力変成器に導く。変成器の出力は検出増幅器(Lock-in Amplifier NF社製LI-574)に接続している。

沈降電圧を測定する測定装置の構成は交流電位差計法を採用した(たとえば平川, 1984)。

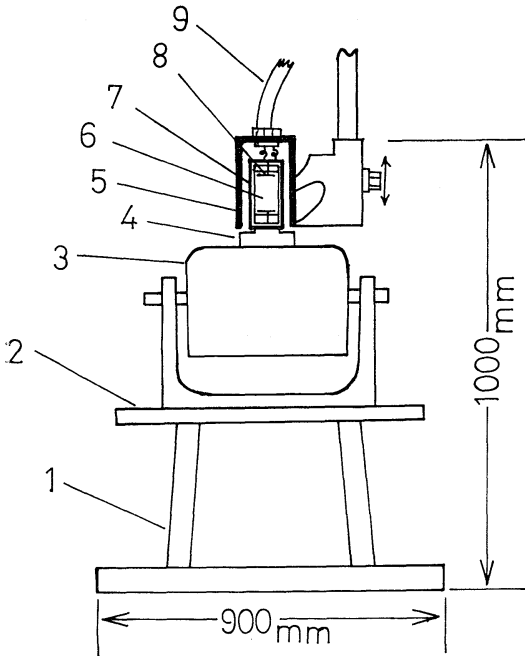
4. 測定結果と考察

前節で述べた各観測点での深度と水温、塩分の測定結果および沈降電圧発生装置により発生させた海水の沈降電圧の測定値を合せて第1表～第3表に示している。第1表～第3表のうち、海水の沈降電圧に限って考察を進めるため各観測点での海水の沈降電圧を第3図～第5図に示す。

第3図は観測点1～24での表層水の沈降電圧を、第4図は観測点A～Dでの水深10m～水深90mの海水の沈降電圧を、第5図は観測点E～Hでの水深10m～水深1000mの海水の沈降電圧をそれぞれ示している。第3図より、海水の沈降電圧はほとんど $-0.18 \sim -0.22$ (μV)の範囲内にあり、その値はほぼ $-0.19 \sim -0.21$ (μV)の間に集中していることがわかる。第4図、第5図に示す海水の沈降電圧でもその傾向はかわらず、深度

Table 1. Temperature, salinity and sedimentation potential (S.P.) of surface water at stations 1 to 24. July 26-August 26, 1984.

Station	Latitude	Longitude	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Salinity (‰)	S.P. (μV)
1	30°46'32"N	130°29'62"E	26.8	34.25	-0.10
2	29°37'25"N	129°55'82"E	30.0	34.23	-0.09
3	38°39'15"N	129°00'28"E	30.4	34.30	-0.19
4	27°55'64"N	128°03'72"E	30.0	34.30	-0.20
5	27°02'00"N	127°10'00"E	30.6	34.37	-0.21
6	26°12'83"N	126°06'48"E	30.2	34.35	-0.19
7	25°33'04"N	124°55'11"E	30.0	34.47	-0.20
8	25°13'61"N	124°02'53"E	29.0	34.39	-0.21
9	22°36'54"N	122°09'06"E	29.2	34.47	-0.18
10	21°58'17"N	121°11'14"E	29.8	34.37	-0.21
11	22°08'87"N	120°22'18"E	28.4	34.45	-0.21
12	23°01'21"N	119°56'30"E	30.0	34.40	-0.19
13	22°21'05"N	120°17'66"E	31.0	34.48	-0.16
14	22°06'80"N	121°11'99"E	29.6	34.53	-0.21
15	23°07'31"N	122°21'78"E	29.0	34.49	-0.20
16	24°09'27"N	123°14'78"E	28.2	34.50	-0.19
17	24°59'05"N	124°50'04"E	29.0	34.61	-0.20
18	24°28'56"N	123°43'08"E	30.0	34.45	-0.20
19	25°38'40"N	124°14'46"E	29.8	34.39	-0.19
20	26°37'51"N	125°15'11"E	27.4	34.40	-0.19
21	27°34'84"N	126°17'17"E	29.0	34.35	-0.09
22	28°34'03"N	127°25'56"E	29.4	34.50	-0.20
23	29°26'17"N	128°32'20"E	28.0	34.39	-0.20
24	30°17'83"N	129°35'75"E	28.4	34.45	-0.19



1: Iron angle, 2: sheet copper, 3: vibrator, 4: ebonite insulator, 5: fixed shield, 6: measurement cell, 7: moving shield, 8: platinum electrode, 9: coaxial connector.

Fig. 2. Apparatus for generating sedimentation potential.

による沈降電圧の変化もみられない。このように海水の沈降電圧の値に変化がみられないことを確認するため、表層から水深 1000 m まで 99 種の海水の塩素量をモールの銀滴定法により測定した。この結果、表層水の観測点 No. 1, No. 2 および No. 21 をのぞいた各観測点での塩素量は 19.111‰~19.317‰ の範囲にありその値に大きな変化はみられなかった。また第 1 表~第 3 表に示す塩分濃度に大きな変化はみられないことから海水の沈降電圧が $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ の範囲にあることはかなり信頼出来ると思われる。なお日本標準海水 (Cl = 19.37‰, 日本学術会議標準海水委員会検定, 1980) の測定でも上記とほぼ同じ値 ($-0.193 \mu\text{V}$) が得られた。以上の理由により、海水の沈降電圧を $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ の範囲であるとすれば、この値は著者らが報告 (平川, 武石, 1983) した NaCl 単独の電解質溶液の沈降電圧にほぼ等しい。このことは海水の沈降電圧が海水中の塩分濃度による沈降電圧として定義できることを示している。従来、海水を塩分濃度で代表させることが慣例となっているが、沈降電圧の測定からもこのことが確

認できた。

しかし第 3 図に示す表層水の沈降電圧のうち、観測点 No. 1 と No. 2 および No. 21 での沈降電圧は他の観測点の沈降電圧より $-0.09 \mu\text{V}$ 前後とかなり小さい。この原因を調べるため上記と同様、モールの銀滴定法により塩素量を測定した結果では、No. 1 では 18.63‰, No. 2 では 18.82‰ および No. 21 では 18.73‰ と他の観測点より低い値であることがわかった。第 1 表に示すように、塩分濃度は観測点 No. 1, No. 2 および No. 21 では 34.23‰~34~35‰ と他の観測点とくらべ大きな変化はみられない。このため塩素量の低下が沈降電圧の減少に寄与したわけで、海水の沈降電圧測定が塩分や塩素量の濃度変化を検出するのに有力な手段の一つと考えることができる。次に塩素量が低下すると沈降電圧が小さくなる原因を沈降電圧の理論から推測してみる。

一般に電解質沈液の沈降電圧は陽イオンと陰イオンの原子量と陰イオンの原子量を比較し、陽イオンの原子量

Table 2. Temperature, salinity and sedimentation potential (S.P.) of sea water collected at depths of 0-90 m at stations A to D.

Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (‰)	S.P. (μV)	
A	0	29.8	34.18	-0.20	
	26°31'00"N	10	28.6	34.10	-0.21
	122°30'00"E	30	26.4	34.25	-0.19
	Date	50	23.4	34.41	-0.19
	8.04, 1984	75	19.4	34.67	-0.20
	90	19.4	34.68	-0.19	
B	0	28.2	34.28	-0.21	
	26°13'42"N	10	27.7	34.30	-0.22
	122°45'42"E	30	24.9	34.36	-0.20
	Date	50	22.9	34.51	-0.20
	8.04, 1984	75	20.2	34.73	-0.20
	85	19.5	34.70	-0.22	
C	0	28.9	34.25	-0.22	
	26°00'00"N	10	28.8	34.26	-0.20
	123°00'00"E	30	27.1	34.53	-0.20
	Date	50	24.6	34.67	-0.19
	8.04, 1984	75	20.7	34.71	-0.19
	85	19.6	34.70	-0.19	
D	0	29.1	34.12	-0.20	
	25°46'18"N	10	28.9	34.18	-0.18
	123°15'18"E	30	28.2	34.51	-0.19
	Date	50	27.2	34.71	-0.20
	8.04, 1984	75	25.1	34.70	-0.19
	85	23.9	34.76	-0.18	

Table 3. Temperature, salinity and sedimentation potential (S.P.) of sea water collected at depths of 0-1000 m at stations E to H.

Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (‰)	S.P. (μV)	Station	Depth (m)	Temp. (°C)	Salinity (‰)	S.P. (μV)
E	0	30.0	34.24	-0.20	G	0	30.1	34.21	-0.21
25°24'00"N	10	29.8	34.28	-0.19	24°54'30"N	10	30.1	34.21	-0.21
123°36'00"E	30	28.9	34.26	-0.19	123°47'30"E	30	29.5	34.35	-0.22
Date	50	26.6	34.66	-0.21	Date	50	27.1	34.65	-0.19
8.03, 1984	75	24.6	34.70	-0.19	7.28, 1984	75	25.0	34.70	-0.20
	100	22.5	34.86	-0.22		100	22.7	34.77	-0.19
	150	20.1	34.87	-0.21		150	20.1	34.83	-0.19
	200	18.2	34.79	-0.21		200	18.6	34.79	-0.21
	300	15.0	34.62	-0.20		300	15.4	34.65	-0.19
	400	11.2	34.36	-0.21		400	12.0	34.42	-0.21
	500	9.2	34.32	-0.19		500	10.4	34.32	-0.21
	700	6.2	34.39	-0.20		700	6.3	34.37	-0.20
	1000	4.6	34.43	-0.21		1000	4.6	34.43	-0.20
F	0	29.9	34.36	-0.21	H	0	30.5	34.32	-0.19
25°08'18"N	10	29.4	34.38	-0.21	24°40'00"N	10	29.7	34.32	-0.19
123°51'18"E	30	26.7	34.65	-0.22	123°30'00"E	30	27.7	34.53	-0.21
Date	50	25.9	34.74	-0.19	Date	50	25.9	34.74	-0.19
8.03, 1984	75	24.0	34.72	-0.19	7.28, 1984	75	24.3	34.85	-0.21
	100	22.6	34.82	-0.19		100	22.4	34.91	-0.19
	150	19.9	34.88	-0.19		150	20.5	34.90	-0.19
	200	18.6	34.84	-0.19		200	19.2	34.84	-0.22
	300	15.2	34.64	-0.19		300	15.4	34.65	-0.21
	400	13.0	34.49	-0.19		400	13.0	34.94	-0.22
	500	10.8	34.36	-0.20		500	10.7	34.35	-0.20
	700	6.2	34.38	-0.19		700	6.0	34.39	-0.21
	1000	4.6	34.43	-0.20		1000	4.7	34.43	-0.20

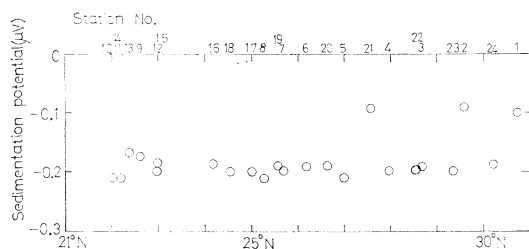


Fig. 3. Sedimentation potential of surface water collected at stations 1 to 24.

が陰イオンの原子量より大きいと正の電圧、逆であれば負の電圧をそれぞれ発生することは著者ら(平川・武石, 1983) がすでに報告している。

海水は海水中の塩分濃度で定義でき、観測点 No. 1, No. 2 および No. 21 をのぞく観測点では塩分濃度と塩素量はそれぞれ 34.18‰~34.91‰, 19.111‰~19.317‰ で、-0.19~-0.21 (μV) の沈降電圧を発生することはすでに述べた。しかし観測点 No. 1, No. 2 および

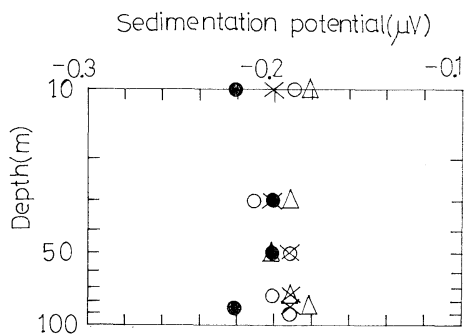


Fig. 4. Sedimentation potential of sea water collected at stations A to D., ○: A, ●: B, ×: C, △: D.

No. 21 では塩分濃度は他の観測点と大差はないが、塩素量が 18.63~18.82‰ とかなり低い。ということは相対的に Na⁺ の量が Cl⁻ の量より増加したと考えることができ、上記で述べた沈降電圧の理論から Cl⁻ 量の減少分だけ沈降電圧が小さくなったと推測できる。しかし観

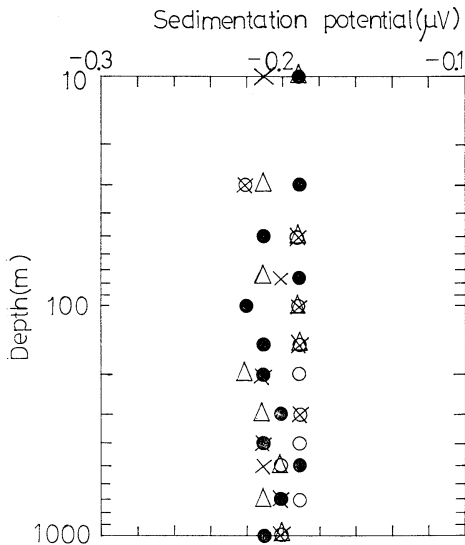


Fig. 5. Sedimentation potential of sea water collected at stations E to H., ●: E, ○: F, ×: G, △: H.

測点 No. 1, No. 2 および No. 21 での海水の試料が少ないこともあり今回結論を出すことはさげたいと思う。これらの観測点での海水を再度採水し、海水の沈降電圧を測定した後結論を出したい。またこの 3 地点では表層から水深 1000 m までの海水を今回は採取できなかったため、次回の海洋調査では採水を行い、海水の沈降電圧を測定すれば興味ある結果が得られることも考えられる。

以上述べたように海水の沈降電圧は著者らの使用した沈降電圧発生装置では $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ を発生することを明らかにしたが、沈降電圧発生装置が異なればその値もちがってくる。このため単位長 (cm)・単位加速度 (cm/sec^2) 当りの沈降電圧すなわち沈降係数を求めておいたほうが別な発生装置で測定された沈降電圧と比較ができ都合がよい。それ故海水の沈降係数 E を計算した結果次式が得られた。

$$E = -1.70 \sim -2.10 \times 10^{-12} [(\text{V}/\text{cm})/(\text{cm}/\text{sec}^2)].$$

5. まとめ

1984年7月25日～8月26日まで文部省特定研究費による海洋調査に参加し、南西諸島海域から台湾島周辺の海

水を採水した。採水した海水は沈降電圧発生装置により沈降電圧を発生させ、この電圧を交流電位差計法により測定した。この結果次のことが明らかとなった。

- (1) 海水の沈降電圧は $-0.19 \sim -0.21 (\mu\text{V})$ であること。
- (2) 海水の沈降電圧は海水中の塩分濃度で定義できること。
- (3) 今回採水した海水のうち、3地点の表層水でかなり小さい沈降電圧が観測された。これは塩素量が 18‰ 台とかなり低いことが原因として考えられること。
- (4) 海水の沈降係数は $-1.70 \times 10^{-12} \sim -2.10 \times 10^{-12} [(\text{V}/\text{cm})/(\text{cm}/\text{sec}^2)]$ であること。

謝辞

海水の採取および水温、塩分の測定に対してお世話になった鹿児島大学水産学部敬天丸船長辺見富雄教授および乗組員の方々に感謝の意を表します。また海水の塩素量を測定いただいた鹿児島大学理学部坂元隼雄先生にお礼を申し上げます。なお本研究の一部は文部省特定研究費によった。

文献

- COUDRESS, T. D. (1896): Messungen der elektromotorischen Kraft colly'scher Gravitation Elemente. *Ann. Phys.*, **49**, 284-291.
- DEBY, P. (1933): A method for the determination of the mass of electrolytic ions. *J. Chem. Phys.*, **1**, 13-20.
- 平川廣満 (1984): 1-1 電解質水溶液のイオンの部分モル容積の決定法. 電気化学および工業物理化学, **52**, 331-335.
- 平川廣満・武石泰亮 (1983): ハロゲン化アルカリ電解質水溶液の沈降電圧の測定. 応用物理, **52**, 619-625.
- MIDUNO, Z. and SAITA, T. (1971): An oscillating cell method for sedimentation potential measurements. *Ann. Reports of the Res. Group on Biophys. Japan*, **4**, 71-86.
- TOLLMAN, R. C. (1910): The electromotive force produced in solutions by centrifugal. *Proc. Amer. Acad.*, **46**, 109.
- ZANA, R. and YEAGER, E. (1967): Ultrasonic vibration potential and their use in the determination of ionic partial molal volumes. *J. Phys. Chem.*, **71**, 521-536.

水中の濁りと魚の視力との関係 (2)

濁り濃度と視認限界における物標の大きさ及び距離*

中村善彦**・松生 洽**

Relationship between turbidity of water and visual acuity of fish (2)

Turbidity level, target size and distance at visual limits in case of small target*

Yoshihiko NAKAMURA** and Kanau MATSUIKE**

Abstract: In water with a large quantity of minute suspended particles, the distance at which carp, *Cyprinus carpio* could discriminate a small target was analyzed by conditioned reflex method and optico-physical measurement.

In different levels of water turbidity, the relationship of target size and distance (expressed as visual angle, min. of arc) to the apparent contrast at the visual limit was divided into three ranges: In the range 1 restricted by visual angle only, the angle and apparent contrast were limited to 10 min. and 0.8, respectively. At an angle less than 10 min., though the apparent contrast was high, the fish cannot discriminate the target. In the range 2 restricted by both the apparent contrast and the visual angle, the relationship of both factors to the visual limit was expressed by: $Y=9.05 X^{-0.876}$, where Y is the visual angle and X is apparent contrast. In the range 3 restricted by apparent contrast only, this apparent contrast limit is called as contrast threshold. At the contrast less than this, the fish cannot discriminate the target, even though the visual angle was large. In the case of small target, it is necessary to use the second relationship.

From the relationship between turbidity level, distance and apparent contrast with the above formula, target size and distance at the limit of discrimination in different water turbidity are calculated. For example, the limit distances for a target size of 5 mm with an inherent contrast of 70 are 1.6, 1.4, 1.0 and 0.7 m for the turbidity levels (beam attenuation coefficient, 486 nm) of 0.1, 0.4, 1.6 and 3.2 m^{-1} , respectively.

1. 緒言

現在、内湾や沿岸海域においては濁りが非常に増加している。このことは魚類の生理や生態にかなりの影響のあることが容易に推察される(宇田, 1984)。

本研究は微細な粒子の多く存在する水中の濁りが魚の視覚へどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的としている。

前報ではコイ (*Cyprinus carpio*) を用いて濁り濃度および物標の大きさを変化させ、視認距離を一定として、濁り濃度が増したときに、視力がどのように減少するかを生態学的手法から求めた。

本報告は濁った水中で、しかも小さな物標を対象とした場合の、視認限界における物標の大きさと距離を求めようとするものである。この問題は従来の研究で行なわれた清澄な水中での視力や、大きな物標の見掛のコントラストから論じられた視程の概念からのみでは十分に解明することはできない。その理由として、懸濁粒子による光の散乱に起因する見掛のコントラストの減少は、特に小さな物標を対象とした場合には複雑であり、大きな

* 1985年5月4日受理 Received May 4, 1985
昭和59年5月学術研究発表会において一部発表。

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

物標の場合とは異なること、魚の眼の視角内に存在する粒子自体による直接的な視認の妨げ（マスク現象）は小さい物体の場合には無視できない可能性のあること、その他粒子自体が眼に対して生理的に影響する可能性のあることなどが考えられる。これらの問題を明らかにするためには、濁り濃度、物標の大きさを変化させるばかりでなく、視認距離を変化させて更に生態学的実験を行うとともに、濁った水中における物標や背景からの輝度および下方向照度など光学物理量の測定が必要である。

従来、魚の視力に関しては、European minnow (BRUNNER, 1934) Convictfish (YAMANOUCHI, 1956), および Skipjack tuna (NAKAMURA, 1968) を用いた生態面からの研究があり、それぞれ 0.09, 0.2, および 0.18 という結果が報告されている。また、TAMURA (1957) は硬骨魚を用いて、その最少分離角 (Resolving power) が $4.2' \sim 15.4'$ の間にあることを生理学的に明らかにした。魚の視認距離に関しては、井上 (1978) が透明度の極めて良好な海中でも 30 m 以下であることを指摘している。DUNTLEY (1952) は人間の眼を対象として水中視程に関する理論を確立している。コントラストに関しては HESTER (1968) がキンギョの場合 0.05 であると報告している。魚の眼の遠近調節については SOMIYA and TAMURA (1973) が、水晶体の移動が明確な魚は無遠近まで遠近調節が可能であるが、コイなどは移動が極めてわずかであることを明らかにしている。

2. 実験方法

(1) 生態学的実験

生態学的実験に関しては前報 (MATSUIKE et al. 1981) とほぼ同様であるが、異なる点は物標の視認距離（仕切板の長さ）を自由に変えるようにしたことである。実験水槽の概要は Fig. 1 のようである。水槽の上面よりオパールガラスを介して照明し、水槽内を均一に照射するようにした。水槽内には 30 cm まで汙過水を満し、培養クロレラ (*Chlorella ellipsoidea*) を加えることにより種々な粒子濃度の懸濁水を作った。実験における最大濁り濃度を 3 ppm (光束消散係数 3.5 m^{-1} 、重心波長 486 nm) とした。このときの水槽底面での明るさは 480 lux であった。水温は温度調節器により 20°C に保った。物標は白色アクリル板に黒色正方形を描いたもの（固有のコントラスト、約 70、コントラストに関しては光学的物理量測定結果参照）の他に、固有のコントラストの異なる 3 種類のねずみ色正方形を描いたもの（固有のコントラスト、5.5, 2.3 および 1.1）を用いた。

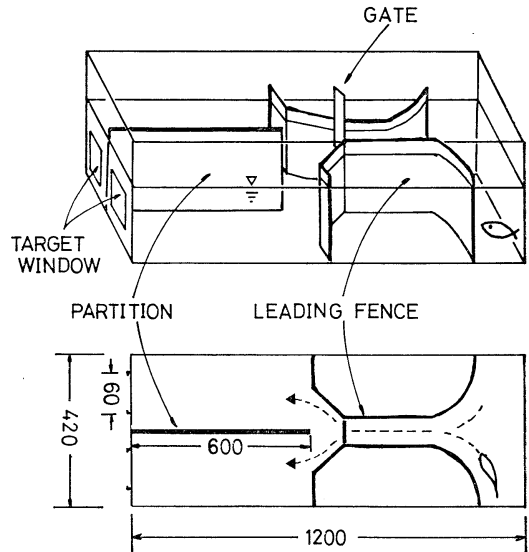


Fig. 1. Experimental tank (mm).

実験には体長 7~10 cm のコイ 5 尾を使用した。

条件付け学習は次のように行なった。Fig. 1 に示す水槽左端に設けた左右の Target window のいずれかに、物標を左右にランダムに設置し、コイがその区画に入ってきた場合には正解として餌を与え、その正解率（正解回数 / 実験回数）が 90% 以上になるまで続けた。この条件付け学習は 5 尾のコイについて全て個別に行なった。この間 40 数日を要した。次に物標を小さくした場合、正解率の底下が確認されたので、更に小さな物標による条件付けを行い、正解率が常に 90% 以上になるまで続けた。これに約 30 日を要した。

本実験は条件付けの完了したコイ 5 尾について個別に、濁り濃度、および視認距離を変化させ、更に物標の大きさ（正方形の一辺の長さ）を 7.5 mm から 0.5 mm まで小さくした場合について、それぞれに正解率を測定した。濁り濃度は汙過水（クロレラ無添加、光束消散係数 0.1 m^{-1} ）、クロレラ濃度 1 ppm (1.25 m^{-1}), 2 ppm (2.50 m^{-1}) および 3 ppm (3.75 m^{-1}) の 4 段階、視認距離は 20, 40 および 60 cm の 3 段階とした。

(2) 光学物理量の測定

それぞれの濁り濃度の水中における物標からの反射輝度、下方向照度、および光束消散係数をそれぞれ、輝度計 (Topcon BM-5)、分光照度計、および光束透過率計 (Martek, XMS, 光路長 1 m, フィルター波長 486 nm) を用いて測定した。

懸濁粒子に関しては粒径分布と粒子量を測定した。前

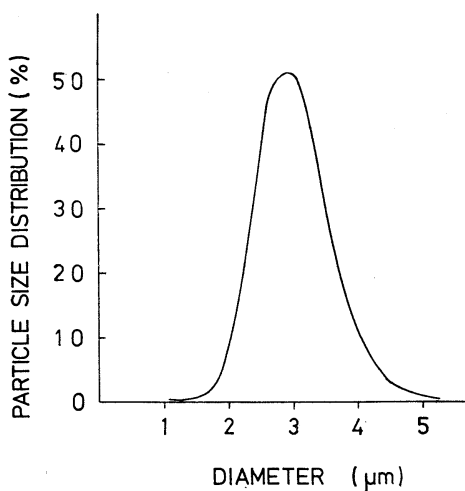


Fig. 2. Particle size distribution of *Chlorella ellipsoidea* used.

者はコウルターカウンタを用いて 1μ 以上の粒子について行い、後者はミリポアフィルター HA (0.45μ) で濾過後、 70°C で約1時間乾燥したのち秤量した。粒径分布は Fig. 2 のようであり、平均粒径は 3μ である。

光束消散係数 (α) と懸濁物量 (G) との関係は次式のように表わされる。

$$\alpha = \frac{3 \cdot Q(D, \lambda, m)}{2 \cdot \bar{D} \cdot \rho} \cdot G$$

ここで λ は波長、 m は海水に対する粒子の相対屈折率、 ρ は粒子の密度、 Q は消散に関する Efficiency factor であり、また \bar{D} は次式で表わされる粒子の平均粒径である。 $\bar{D} = \sum N(D_i) \cdot D_i^3 / \sum N(D_i) \cdot D_i^2$ 、 D_i は粒径、 $N(D_i)$ は粒径 D_i の粒子数。

この場合 Q は粒径が光の波長よりもかなり大きいので、ほぼ2と考えて差支えない。従って両者の関係の勾配は平均粒径と密度によって決まる。本実験で用いた培養クロレラ粒子の場合には Fig. 3 に示すような直線関係があり、非常に良い相関 ($r=0.99$) がある。

3. 結果と考察

(1) 生態学的実験結果

濁り濃度、物標の大きさ、および視認距り(仕切板の長さ)を変えて行なった生態学的実験結果を Fig. 4-(1)、および(2)に示す。Fig. 4-(1)は視認距りが20cmと40cmの場合、Fig. 4-(2)は60cmの場合である。物標の大きさと視認距離の変化に関する実験結果を統一的に表示するために見込角(分)を用いた。見込角(θ')と距

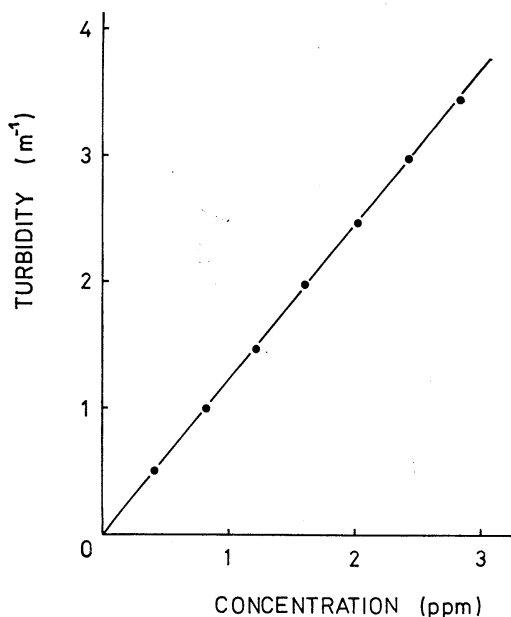


Fig. 3. Relationship between *Chlorella* concentration (ppm) and beam attenuation coefficient (m^{-1} ; wavelength of gravity center: 486nm).

り ($l\text{mm}$) と物標の大きさ ($D\text{mm}$) の関係は $\theta=120 \tan^{-1}(D/2l)$ で表わされる。図中の各シンボルマーク \circ , \blacktriangle , \bullet および \blacksquare はそれぞれ濃度 I (濾過水, 光束消散係数 0.1m^{-1}), II (クロレラ濃度 1ppm , 1.25m^{-1}), III (2ppm , 2.50m^{-1}), および IV (3ppm , 3.75m^{-1}) の場合を表わし、各点は個別別に30回ずつ行なった実験結果の平均値である。

Fig. 4-(1) では濁り濃度の増加と見込角の減少に伴って正解率が比較的なだらかに低下していくことが明白に現われている。また視認距離が異なっても正解率には何ら影響を与えていない。

これに対し Fig. 4-(2) では正解率の低下パターンが Fig. 4-(1) とは大きく異なっている。即ち、I では Fig. 4-(1) と全く同様の正解率を示すが濃度が増加するに従って見込角の大きな所で正解率が低下し、更に見込角の減少に伴う正解率の低下が急激である。

本実験において濁り濃度の最も大きい IV の場合でも水中の明るさは充分であり (NAKAMURA, 1968 は視力に影響をおよぼす限界の明るさを 170lux と報告している), しかも見掛のコントラストも魚のコントラスト閾 (キンギョ 0.05 , HESTER, 1968) よりもはるかに大きい (次節の光学物理量の測定結果を参照) のにかかわら

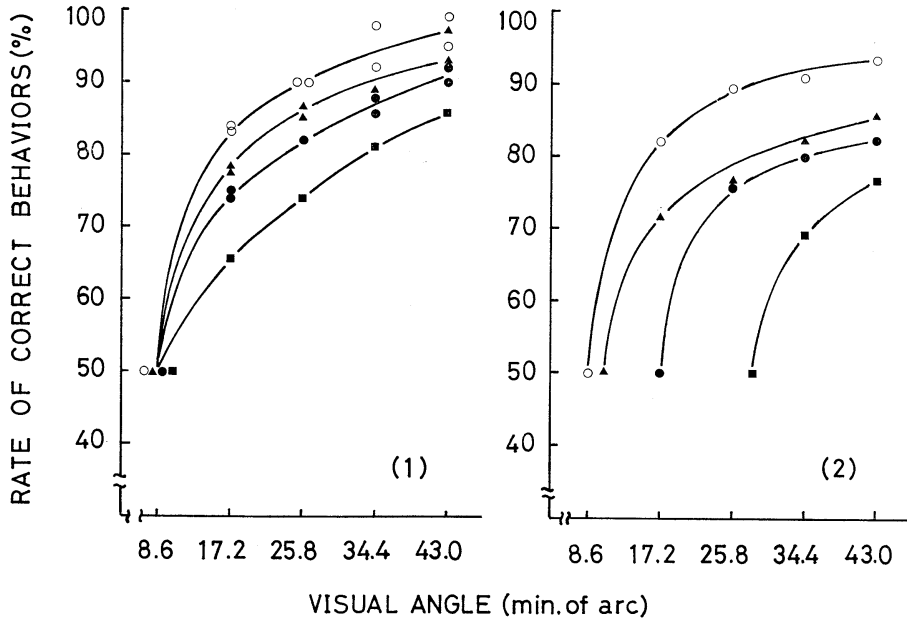


Fig. 4. The rate of "correct behaviours" for different target visual angles after changing turbidity level at distances (partition length) of 20, 40(1), and 60 cm(2). Symbols \circ , \triangle , \bullet and \blacksquare stand for the mean values in pure water (I), and turbid water of 1(II), 2(III), and 3 ppm (IV), respectively.

ず、濃度が増すに従って Fig. 4-(1), および (2) の正解率に大きな違いが現われるということは従来の視程や視力に関する研究結果からは説明しえない現象である。このことは前にも述べた見込角内の粒子による複雑な光学現象や粒子自体によるマスク現象、その他生理的な影響が起因しているものと思われる。

コイの視認限界における正解率を二項分布の片側検定において、有意水準を1%として求めると、63%以上で有意な差が認められる。これより視認限界の見込角を求めると Fig. 4-(1) の場合、I で 9.4', II で 10.3', III で 11.1' および IV で 15.4' となる。視力はこの逆数であり、視力に換算すると前報とほぼ同一の結果が得られていることが確認された。さらに、Fig. 4-(1) および (2) の I より、最少分離角が約 10' であることが判明した。この結果は TAMURA (1957) の生理学的手法から求めた値 4.2~15.4' のほぼ中間に位置する。Fig. 4-(2) から同様に視認限界の見込角を求めると、I で 10.3', II で 12.1', III で 18.9', および IV で 30.3' と大きな値になる。

(2) 光学的物理量の測定結果

固有のコントラストおよび見掛のコントラストは次式のようなものである。

$$C(o) = \frac{B_t(o) - B_b(o)}{B_b(o)}$$

$$C(r) = \frac{B_t(r) - B_b(r)}{B_b(r)}$$

ここで、 $C(o)$ は固有のコントラスト、 $C(r)$ は距離 r における見掛のコントラスト $B_t(r)$ は距離 r における物標からの反射輝度および $B_b(r)$ は距離 r における背景からの反射輝度である。

水中における固有のコントラストと見掛のコントラストの関係は次式のように示される。

$$C(r) = C(o) \cdot \exp(-ar) \cdot \frac{B_b(o)}{B_b(r)}$$

本実験における見掛のコントラストの濁り濃度（光束消散係数）や距離の増加に伴う減少は Fig. 5-(1) のようである。但しこの場合には物標は充分大きいものを使用した。濁り濃度や距離の増加に伴う見掛のコントラストの減少は正確には指数函数的であるとはいえない。このことは照明の位置が近いために水槽内における $B_b(o)/B_b(r)$ が影響しているためと考えられる。

次に $B_b(o)/B_b(r)$ の影響する範囲を調べるために更に距離を延長して測定した。結果は Fig. 5-(2) のようである。

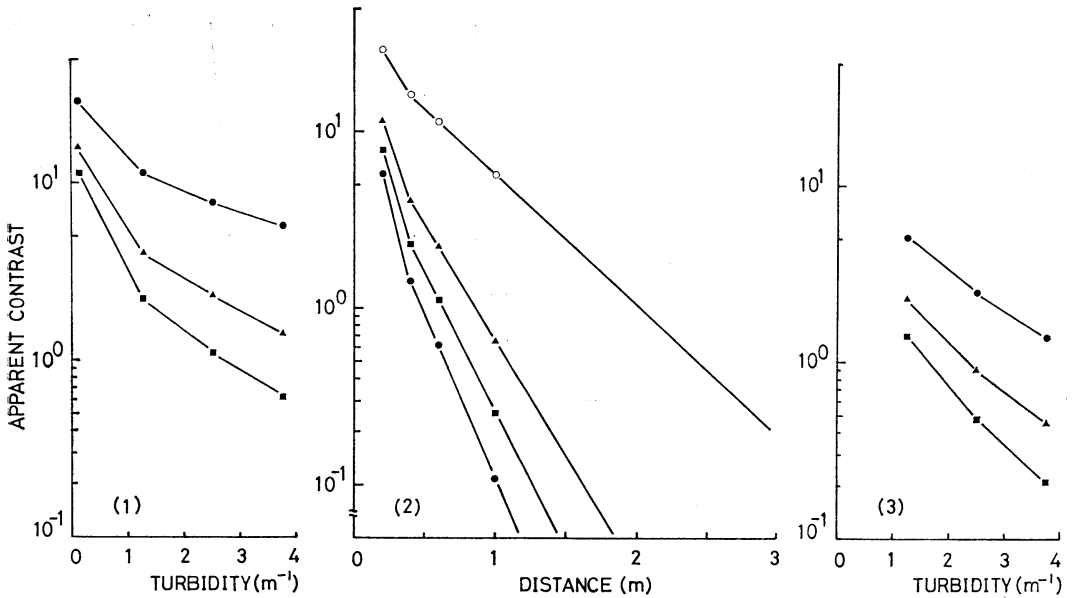


Fig. 5. (1) Apparent contrast of large target for different turbidity levels (beam attenuation coefficient, m⁻¹) after changing distance. Symbols ●, ▲ and ■ stand for the experimental value at distances of 20, 40, and 60 cm, respectively.
 (2) Apparent contrast of different distances after changing turbidity level. Symbols ○, ▲, ■ and ● stand for the experimental values in I, II, III and IV, respectively.
 (3) Apparent contrast of small target (the side of the square, 3 mm) for different turbidity levels (m⁻¹) after changing distance. Symbols same as in (1).

物標がある限度以下に小さくなると、濁り濃度や距離の増加に伴う見掛のコントラストの減少は更に大きくなる。Fig. 5-(3) は物標の大きさが 3 mm の場合の見掛のコントラスト、濁り濃度、および距離の関係を示したものである。同図より距離が 60 cm の場合を例にとると、小さな物標の見掛のコントラストは大きい物標にくらべて II, III, および IV でそれぞれ 35%, 55%, および 65% 減少していることが判る。この現象は前に述べた粒子による影響が、小さい物標の場合にはより顕著に現われたものと考えられる。

小さい物標を対象とした場合の視認限界における見掛のコントラストの、濁り濃度および距離の増加に伴う減少は Fig. 6 のようである。

(3) 視認限界における濁り濃度、物標の大きさおよび距離の関係

以上の生態学的実験結果と光学的物理量の測定結果の双方から、視認限界における見込角と見掛のコントラストの関係を求めた。結果は Fig. 7 のようである。図中のマーク○, ▲, ■および●はそれぞれ濁り濃度 I, II, III および IV の場合であり△は I においてねずみ色物標を用い、その固有のコントラストを変えることによっ

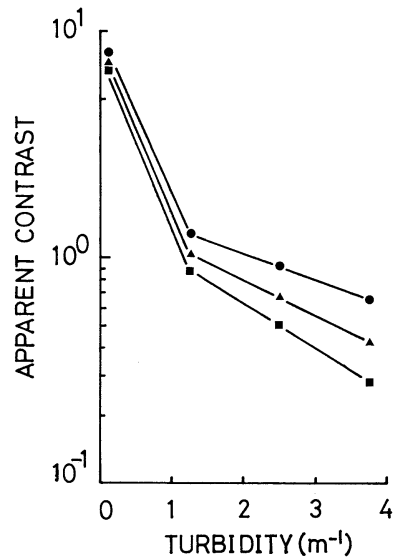


Fig. 6. Apparent contrast of the small target at the limit of discrimination for different turbidity levels (m⁻¹) after changing distance. Symbols same as in Fig. 5-(1).

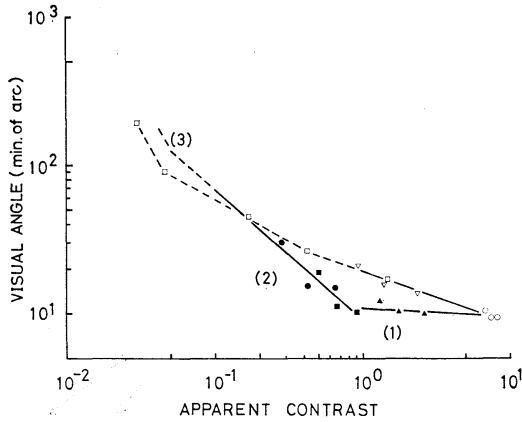


Fig. 7. Relationship between target visual angle (min. of arc) at the limit of discrimination and apparent contrast. Symbols \circ , \blacktriangle , \blacksquare and \bullet stand for the experimental values for black painted targets in pure water (I), and turbid water of 1(II), 2(III) and 3 ppm (IV), respectively. Symbols \triangle and \square stand for gray painted targets in pure water and the results of HESTER (1968), respectively.

で見掛のコントラストを変化させた場合である。更に \square は HESTER (1968) の結果である。

同図より最も注目されることは、視認限界が見込角のみによって決まる部分 (1)、視認限界が見掛のコントラスト、および見込角の双方の影響を受ける部分 (2)、および視認限界が見掛のコントラストのみで決まる部分 (3)、の3つに分けられることである。

第1は見掛のコントラストが充分大きい場合で、その限界は見掛のコントラストが約 0.8、見込角が約 $10'$ である。これ以下の小さな見込角では見掛コントラストがいくら大きくても視認することはできない。即ちコイが視認しうる最少分離角といえる。

第2は本論文の最も重点とする部分であり、視認限界における見込角と見掛のコントラストとの関係は次式のように表わされる。

$$y = 9.05 x^{-0.876} \quad (= -0.92)$$

ここで y は物標の見込角(分)、 x は見掛のコントラストである。

上記の関係は清澄な水中において固有のコントラストを変えた場合の両者の関係とは明白に異なる。固有のコントラストを変えた場合の結果は、HESTER (1968) の生理学的実験結果と非常によく合致している。このことから懸濁粒子の多く存在する水中では視認限界に特殊性

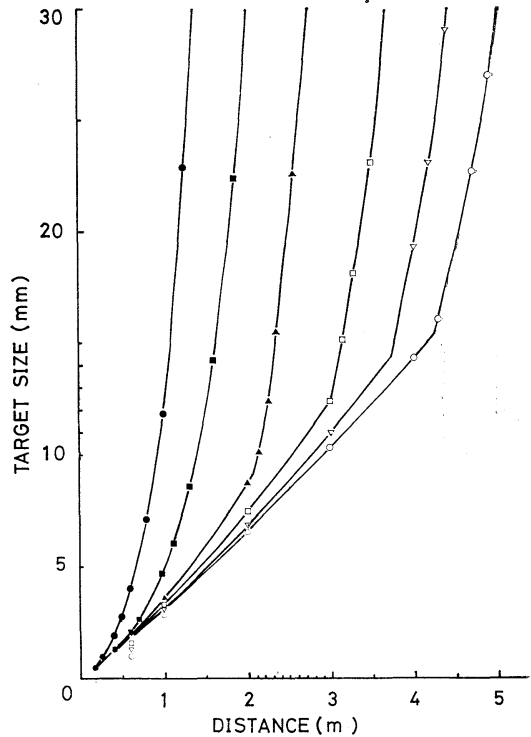


Fig. 8. Relationship between target size (mm) and distance (m) at the limit of discrimination after changing turbidity level (beam attenuation coefficient, m^{-1}). Symbols \circ , ∇ , \square , \blacktriangle , \blacksquare and \bullet stand for the values calculated from the experimental results in pure water ($0.1 m^{-1}$), and turbid water of 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6 and $3.2 m^{-1}$, respectively.

のあることが判る。

第3は見込角が充分大きく、コントラスト関のみで視認限界が決められる部分である。コイの場合もキンギョのコントラスト関 (HESTER, 1968) と大差ないものと考え、これ以下では見込角をいくら大きくしても視認することはできない。

Fig. 6 および 7 に示される関係より、小さな物標を対象とした場合の種々の濁り濃度における、視認限界の物標の大きさと距離の関係を求めることができる。その結果は Fig. 8 のようである。

同図より、水中における濁り濃度 (光束消散係数) が判れば、どの大きさの物標が、どの距離から見えるかが簡単に判る。例えば、相模湾では光束消散係数が $1.6 m^{-1}$ 程度、黒潮では約 $0.1 m^{-1}$ であるが、ここにおける物標の大きさが 10 mm の場合の視認限界距離はそれ

それぞれ 1.4 m, および 3.0 m といえる。

また最少分離角の面から, 3 mm の物体は, いくら見掛のコントラストが大きくても, 即ちきれいな水中においても, 1 m 以上では視認できないことが判る。

以上は固有のコントラストが 70 の物標の場合であるが固有のコントラストが変わった場合についても上記の関係から容易に算出できる。

4. 結 語

微細な粒子の多く存在する水中においては, 魚(コイ)が小さい物標を視認する限界は大きい物標を対象とした場合とは異なる。種々な濁り濃度の水中で小さい物標に対する視認限界における物標の大きさと距離(見込角表示)と見掛のコントラストの関係は次式のように示された。

$$y = 9.5 x^{-0.576} \quad (r = -0.92)$$

ここで y は見込角(分), x は見掛のコントラストである。

上式の適用範囲は見込角が 10' ~ 約 100' である。視認限界の最少見込角は 10' でありこのときの見掛のコントラストは 0.8 である。即ち見掛のコントラストがこれ以上いくら増大しても, 見込角が 10' 以下では視認することはできない。この結果は TAMURA (1957) の生理学的手法から求めた最少分離角 (4.2~15.4) とほぼ一致する。これに対し適用範囲の最大値はキンギョの見込角 100' 以上でのコントラスト閾 0.05 (HESTER, 1968) を引用した。また濁った水中ときれいな水中では, 見掛のコントラストが同一であっても, 視認限界における見込角はかなり異なることが判った。

上式と, 濁り濃度, 距離, および見掛のコントラストの関係から, 小さい物標を対象とした場合の視認限界の物標の大きさと距りを求めた。例えば 5 mm の物標(固有のコントラスト, 70)の場合, 光束消散係数が 1.6m^{-1}

で視認距離 1 m, 0.1m^{-1} で 1.4 m となる。また, 3 mm の場合視認距離 1 m 以上では見ることはできない。

海中の濁りは海域によりかなり異なるので特に小さい物標に対する視認限界を求める場合には注意する必要がある。

本研究は網等の漁具への応用や, 魚の索餌行動等の生態学的な研究の基礎として役立つものと思う。

文 献

- BRUNNER, G. (1934): Über die Sehscharfe der Elritze (*Phoxinus laevis*) bei verschiedenen Helligkeiten. *Zeit. vergl. Physiol.*, **21**: 297-316.
- DANTLEY, S.Q. (1952): The visibility of submerged objects. *Visibility Laboratory, Mass. Inst. Technol., Cambridge, Mass.*, 74.
- HESTER, F.J. (1968): Visual contrast thresholds of the goldfish (*Carassius auratus*). *Vision Res.*, **8**: 1315-1335.
- 井上 実 (1978): 魚の行動と漁法. 恒星社厚生閣
- MATSUIKE, K., SHIMAZU, Y. and NAKAMURA, Y. (1981): Relationship between turbidity of water and visual acuity of fish (1). *La mer* **19**: 159-164.
- NAKAMURA, E.L. (1968): Visual acuity of two tunas, *Katsuwonus pelamis* and *Euthynus affinis*. *Copeia*, 40-48.
- SOMIYA, H. and TAMURA, T. (1973): Studies on the visual accommodation in fishes. *Japan. J. Ichthyol.* **20**, 193-206.
- TAMURA, T. (1957): A study of visual perception in fish, especially on resolving power and accommodation. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **22**, 536-557.
- 宇田道隆 (1981): 海と漁の伝承. 玉川大学出版部
- YAMANOUCHI, T. (1956): The visual acuity of the coral fish *Microcanthus strigatus* (Cuvier and Valenciennes). *Publ. Seto Mar. Biol. Lab.*, **5**, 133-156.

A topographic Rossby wave off Ashizuri Point*

Tetsuo YANAGI**

Abstract: A current measurement was carried out at a station on the continental shelf off Ashizuri Point in Shikoku, Japan from September to December, 1981. The current velocity fluctuation with a period of 10.6 days was prominent in the upper and lower layers. This fluctuation, more remarkable in the lower layer than in the upper layer, is considered to be due to a bottom trapped topographic Rossby wave whose wave length is 66.8 km and whose phase speed is 7.3 cm s^{-1} .

1. Introduction

It has been widely known that the persistent low frequency variabilities in sea level and horizontal velocities with periods of several days exist along the Japanese coast. SHOJI (1961) and ISOZAKI (1969) pointed out that a sea level variation propagates from north to south along the Pacific coast of Japan Island looking the coast to the right hand. ENDO (1968) found that sea level variabilities have periods of 15 days along the Pacific coast and of 7.5 days along the Japan Sea coast. KUBOTA et al. (1981) analyzed current velocity data along the Fukushima coast and confirmed the existence of periodical fluctuation whose period was about four days and whose amplitude was about 20 cm s^{-1} . That current fluctuation propagated southward with a phase speed of about 1 m s^{-1} . KUBOTA (1982) showed that such fluctuations were due to the second or third mode shelf waves and discussed a generation mechanism of shelf waves by the wind. So far the low frequency variabilities along the Japanese coast have been attributed to the topographic long Rossby wave with wave length of several hundreds or thousands kilometers. However, it has been never discussed the existence of topographic Rossby wave with short wave length of several tens of kilometers along the Japanese coast yet.

In the present study I shall analyze the current velocity data obtained on the continental shelf off Ashizuri Point in Shikoku, Japan from

September to December, 1981, and discuss the characteristics of low frequency current fluctuation with periods of about 10 days.

2. Observation and data processing

The current measurement was carried out at Stn. T-1 ($32^{\circ}39'06''\text{N}$, $132^{\circ}51'27''\text{E}$, 135 m deep) on the continental shelf off Ashizuri Point in Shikoku, Japan as shown in Fig. 1. Two Aanderaa RCM 4 current meters were moored 30 m below the sea surface (hereafter referred

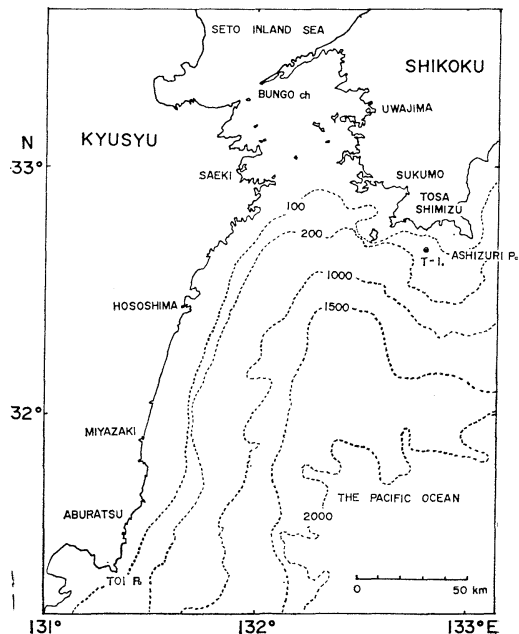


Fig. 1. Current measurement station. Numbers show depths (m).

* Received May 24, 1985

** Department of Ocean Engineering, Ehime University, Matsuyama 790, Japan

to as upper layer) and 35 m above the bottom (hereafter referred to as lower layer). Water temperature, salinity, current direction and speed were recorded every 15 minutes from September 16 to December 23, 1981.

The vertical profiles of water temperature, salinity and density at Stn. T-1 on September 17, 1981 are shown in Fig. 2. The prominent density stratification existed 50-70 m below the

sea surface, so that the current meters were set above and below pycnocline. At first, one-hour average data were obtained and all data were processed by a Cosine-Lanczos filter ($p=0.6$ and a half power point is 2.2 days) in order to cut off short period fluctuations mainly due to semi-diurnal and diurnal tidal currents and internal oscillations. The low-passed data prepared in this way will be discussed as basic data set. The eastward and northward components of the low-passed velocity data and water temperature data are shown in Fig. 3. Salinities in both layers are nearly constants throughout the observation period and are not shown here. The raw

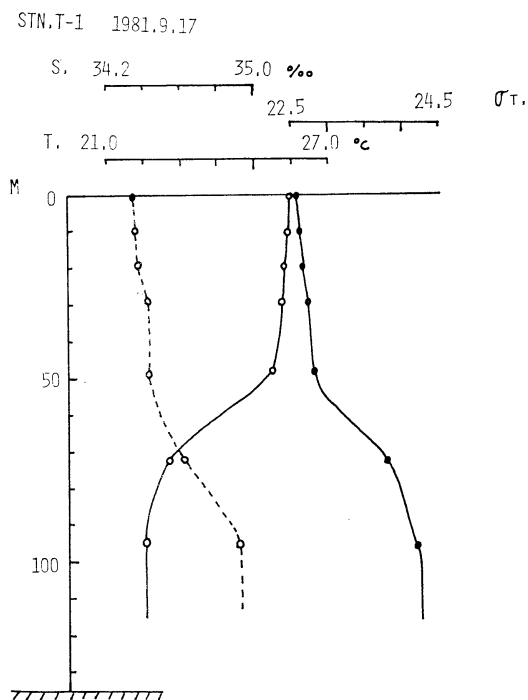


Fig. 2. Vertical profile of water temperature (open circle and solid line), salinity (open circle and broken line) and density (solid circle and solid line) at Stn. T-1 on September 17, 1981.

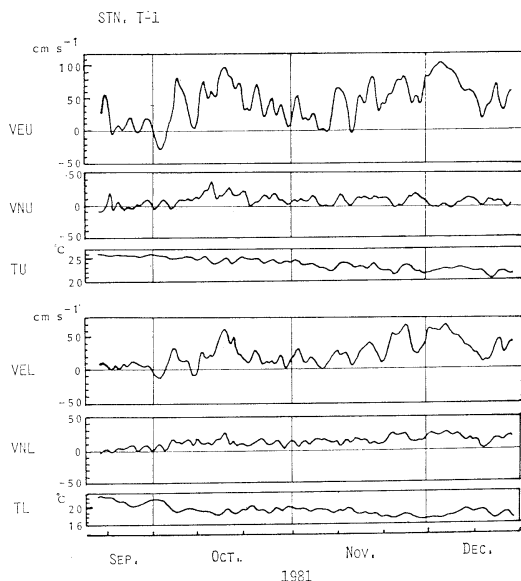


Fig. 3. Low-passed eastward (VE), northward (VN) velocity components and water temperature (T) in the upper (U) and lower (L) layers.

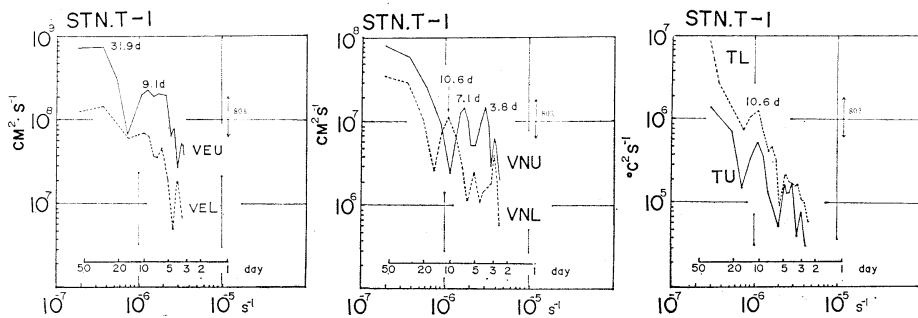


Fig. 4. Power spectra for the eastward velocity (left), northward velocity (center) and water temperature (right) in the upper and lower layers.

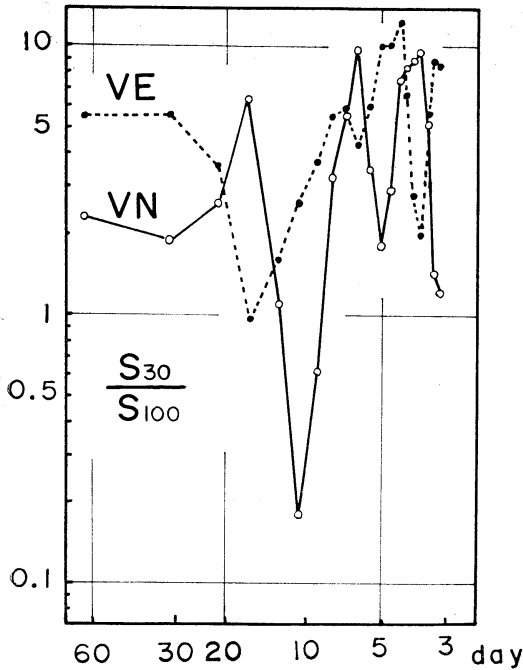


Fig. 5. Ratio of energy of current velocities at 30 m and 100 m depths from Stn. T-1.

data are shown in a previous paper (YANAGI, 1984). The low-passed eastward component is stronger in the upper layer than in the lower layer. On the other hand, the northward components in both layers have almost the same magnitude. We can easily identify in Fig. 3 the dominant variations with periods of several to several tens of days. The spectra for the eastward and northward velocity components and water temperature in both layers are presented in Fig. 4. The fluctuations with periods of around 10 days are dominant in all data. The energies of velocity fluctuations are larger in the upper layer than in the lower layer except for a period of 10.6 days in the northward velocity component. In Fig. 5 are plotted the ratios of the energy in the upper layer to that in the lower layer for the eastward and northward components. While low and high frequency fluctuations are more energetic in the upper layer, intermediate frequency fluctuations of periods around 10 days are more energetic in the lower layer. Water temperature fluctuations are stronger in the lower layer than in the upper layer. The fluctuation with a period of 10.6

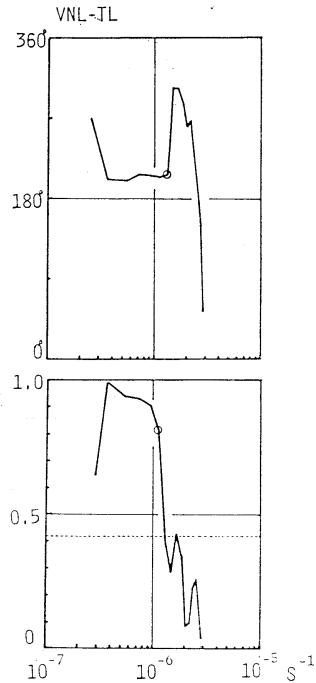


Fig. 6. Phase difference (upper) and coherence square (lower) between the fluctuations of the northward velocity and water temperature in the lower layer at Stn. T-1. Open circle denotes the fluctuation of period of 10.6 days and broken line a confidence limit of 90%.

days is dominant in both layers. The coherence and phase difference between the fluctuations of the northward velocity and water temperature in the lower layer are shown in Fig. 6. A high coherence square of 8.2 is observed for the fluctuation of a period of 10.6 days with phase difference of around 180° . This fact shows that the water temperature decreases when the northward current is strong in the lower layer.

Then I shall investigate the characteristics of 10.6-day fluctuation for the water temperature and for the northward component velocity in both layers.

3. Discussions

The current velocities averaged over the observation period and the current ellipses with a period of 10.6 days in both layers are shown in Fig. 7. The average speed in the upper layer is about 1.5 times as large as that in the lower

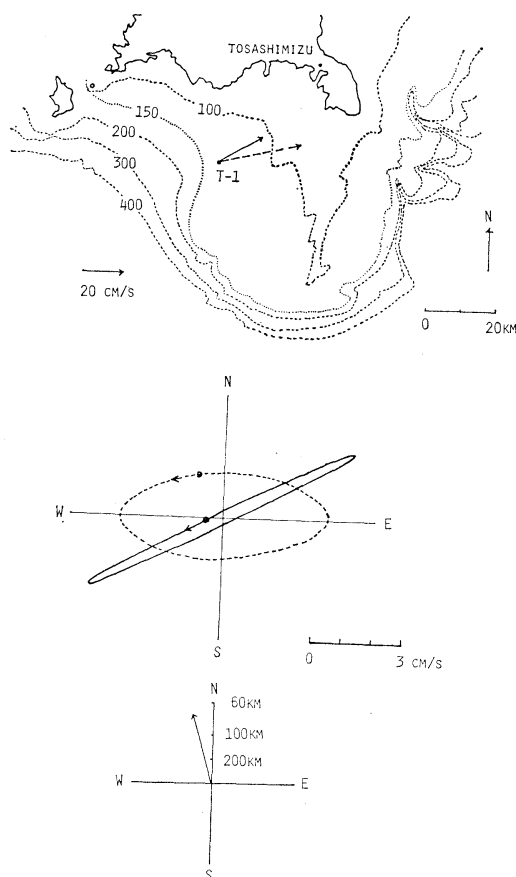


Fig. 7. *Upper panel*: Mean velocity vector in the upper layer (broken arrow) and that in the lower layer (solid arrow). *Middle panel*: Current ellipse with a period of 10.6 days in the upper layer (broken line) and that in the lower layer (solid line). Open circle on the ellipse denotes the phase at the beginning of current observation and arrow the direction of rotation. *Lower panel*: Wave number vector for bottom trapped topographic Rossby wave of period of 10.6 days.

layer. On the other hand, the amplitude of current ellipse with a period of 10.6 days in the lower layer is larger than that in the upper layer. More energetic velocity fluctuation in the lower layer suggests the existence of bottom trapped topographic Rossby wave (TOMPSON and LUYTEN, 1976).

Internal divergence parameter ε_i is defined as

$$\varepsilon_i = \left(\frac{f}{N} \cdot \frac{L}{D} \right)^2. \quad (1)$$

Here f denotes Coriolis parameter ($7.8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ at 32.6°N), N the Brunt-Väisälä frequency, L the horizontal scale and D the depth. Average Brunt-Väisälä frequency at Stn. T-1 estimated from Fig. 2 is $1.3 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, which gives $\varepsilon_i = 0.03$ for $L = 100 \text{ km}$ and $D = 2,000 \text{ m}$. RHINES (1970, 1977) showed that the topographic Rossby wave tends to be bottom trapped mode in the case of $\varepsilon_i \ll 1$. He gives the horizontal velocity component of bottom trapped topographic Rossby wave V by

$$V = V_0 \cosh\left(\frac{\kappa N}{f}\right) z. \quad (2)$$

Here κ is the horizontal wave number, z the vertical coordinate increasing upward from the bottom and V_0 velocity at the bottom. From Eq. (2) the ratio of kinetic energies at depth z_1 and z_2 is

$$R = \left[\frac{\cosh\left(\frac{\kappa N}{f} z_2\right)}{\cosh\left(\frac{\kappa N}{f} z_1\right)} \right]^2. \quad (3)$$

If the physics of topographic Rossby wave holds good and z_2 is larger than z_1 , R is smaller than 1.0. For evaluating R by the observation, the northward component is used because it should be less contaminated by nonlinear effect and the average flow. The ratio of kinetic energies of the northward velocity fluctuation of period of 10.6 days estimated from Fig. 5 is 0.19 at depths of 30 m and 100 m. The wave number κ and wave length obtained from Eq. (3) are 0.094 km^{-1} and 66.8 km, respectively. The phase velocity $C = \omega/\kappa$ of this topographic Rossby wave is 7.3 cm s^{-1} . The direction of the wave number vector θ counted anticlockwise from the east is derived from FOFONOFF's (1969) formula,

$$\tan 2\theta = \frac{2S_{uv}}{S_{uu} - S_{vv}}. \quad (4)$$

Here S_{uv} the cospectrum between the eastward and northward components, S_{uu} and S_{vv} are autospectra of the eastward and northward components, respectively. The wave number vector for the bottom trapped topographic Rossby wave with a period of 10.6 days can be estimated from Eqs. (3) and (4) and is plotted in Fig. 7.

The wave number vector is nearly along the isobathes and its phase propagates looking the coast to the right hand. The principal axis of current ellipse is nearly perpendicular to isobathes in the lower layer.

Acknowledgements

I like to express my sincere thanks to Dr. H. TAKEOKA and Mr. Y. ISODA of Ehime University for their helpful discussions. The data processing was carried out on a FACOM M-180 of Ehime University and on a FACOM M-200 of the computer center of Kyushu University. This study is a part of the special research project "The ocean characteristics and their change" by the Ministry of Education, Science and Culture, Japan.

References

- ENDO, H. (1968): Spectral analysis of daily mean sea level records along the coast of Japan. Report of Hydrographic Researches, **4**, 5-19.
- FOFFONOF, N.P. (1969): Spectral characteristics of internal waves in the ocean. Deep-Sea Res., Suppl., **16**, 59-71.
- ISOZAKI, I. (1969): An investigation of the variations of sea level due to meteorological disturbances on the coast of Japanese Islands III. J. Oceanogr. Soc. Japan, **25**, 91-102.
- KUBOTA, M. (1982): Continental shelf waves off the Fukushima coast. Part II, theory of their generation. J. Oceanogr. Soc. Japan, **38**, 323-330.
- KUBOTA, M., K. NAKATA and Y. NAKAMURA (1981): Continental shelf waves off the Fukushima coast. Part I, observations. J. Oceanogr. Soc. Japan, **37**, 267-278.
- RHINES, P. (1970): Edge-, bottom-, and Rossby waves in a rotating stratified fluid. Geophys. Fluid Dyn., **1**, 273-302.
- RHINES, P. (1977): The dynamics of unsteady currents. In *The Sea*, **6**, ed. by GOLDBERG, D. et al., Wiley and Sons, New York, 189-318.
- SHOJI, D. (1961): On the variations of the daily mean sea levels along the Japanese Islands. J. Oceanogr. Soc. Japan, **17**, 21-32.
- TOMPSON, R. O. and J. R. LUYTEN (1976): Evidence for bottom-trapped topographic Rossby waves from single moorings. Deep-Sea Res., **23**, 629-635.
- YANAGI, T. (1984): Variability of the dynamical state of the Bungo Channel (III)—Results of long period current measurement off Tosashimizu—. Mem. Fac. Eng., Ehime Univ., **10**(3), 253-262.

足摺岬沖の地形性ロスビー波

柳 哲 雄

要旨: 四国の足摺岬沖の大陸棚上で1981年9月~12月, 長期測流観測を行った。水深 60 m 付近に存在した密度躍層の上, 下に流速計は係留された。上・下層の流速・水温とも10.6日周期の変動が卓越したが, 下層のこの周期の運動エネルギーは上層のそれより大きく, 波長 66.8 km, 位相速度 7.3 cm s^{-1} の海底捕捉地形性ロスビー波によってもたらされたと推定される。

In situ observations on the surface swarm of *Euphausia pacifica* in Sendai Bay in early spring with special reference to their biological characteristics*

Yoshinari ENDO**, Yukio HANAMURA*** and Akira TANIGUCHI****

Abstract: During early stage of the surface swarming of a euphausiid, *Euphausia pacifica*, swarming individuals were studied on their biological characteristics. The euphausiids do not seem to come to the surface to feed, because the stomach fullness is low and their probable food is not plentiful at the surface layer. Forty-six percent of the stomachs contained crystalline cones of euphausiid eye and 90% contained crustacean spines, perhaps of thoracic legs of euphausiids. Cannibalism may take place during swarming. While all the males were in breeding condition, no females attached spermatophore. Although swarming of *E. pacifica* seems to be related to breeding behavior, mating would occur in the later period of the swarming season.

1. Introduction

Underwater observations on the behavior of euphausiid swarming at the sea surface are very important for understanding their swarming mechanism (HAMNER et al., 1983). We made observations on a swarm of *Euphausia pacifica* HANSEN by SCUBA diving on March 27, 1983 and reported the results (HANAMURA et al., 1984). Dimension and density of the swarm and orientation of individuals within the swarm, as well as their swimming speed were described. We could not observe feeding, defecation, mating or molting behavior in situ, contrary to the observation of HAMNER et al. (1983). The last authors observed mass molting in *E. superba*, which may act as decoys.

In this paper, we report the biological characteristics which were examined later on the euphausiid specimens collected from the same swarm to supplement in situ observations. This may provide detailed information to discuss the characteristic swarming behavior of dense aggre-

gation of *E. pacifica* at the sea surface during daylight.

2. Materials and methods

The swarm we observed was nearly circular in shape and about 20 m in diameter. The main body of the swarm lay below about 50 cm depth when diving operation started at 0900 hrs. Some small upward protrusions from the main body of the swarm, however, reached the surface, where euphausiids were jumping up into the air. Underwater observations of one particular swarm lasted about one hour at the location about 42.6 km SSW of Kinkazan Island. Water temperature was 6.7°C from the surface down to 23 m depth (HANAMURA et al., 1984).

A hand net, 23 cm in mouth diameter and 2.5×3.0 mm mesh aperture was used to collect *E. pacifica* from the upper surface of the swarm. Specimens were preserved in ca. 5% formalin.

Measurements of body size were made using a Kogakusha® micrometer (precision: ±0.01 mm). The length of the sixth abdominal segment along the dorsal margin of each individual was measured, and converted to body length for each sex using equations derived by ENDO (1984). Body length denotes the length between the anterior tip of the rostrum and the posterior limit of the telson.

In *E. pacifica*, mating is performed by transfer of spermatophore from male to female.

* Received June 3, 1985

Requests of reprints should be mailed to A. TANIGUCHI

** Far Seas Fisheries Research Laboratory, Shimizu, 424 Japan

*** Enkai Chosa Kaihatsu Co., Ltd, Hokkai Bldg., Chuo-ku S-2, W-13, Sapporo, 060 Japan

**** Laboratory of Oceanography, Faculty of Agriculture, Tohoku University, Sendai, 980 Japan

Spermatophore transfer is inferred by examining either male ejaculatory ducts or female thelycum.

Stomach fullness and gut fullness were examined to assess the feeding activity of swarming individuals. Stomachs from 100 specimens randomly selected were removed and examined under a dissecting microscope to estimate fullness. Stomach fullness was scored into four classes (PONOMAREVA, 1971). Those 0-25 % full were placed in class I, those 25-50 % full in class II, 50-75 % full in class III and 75-100 % full in class IV. The stomach was then placed on a glass slide and dissected and its contents examined under a microscope. Gut fullness was also examined under a dissecting microscope by a little modified method of PAVLOV (1969). The gut was divided into seven sections corresponding to the six segments of the abdomen and that part of the body below the carapace. In each specimen the number of segments was counted which contained faecal matter.

After underwater observation, in order to compare the species composition of stomach contents of *E. pacifica* in the swarm with that outside the swarm, 1-*l* water samples were collected with Van Dorn water bottles at 0, 10 and 20 m depths, 24 km NNE of the location where the swarm was observed by SCUBA diving. When water sampling was tried at the same location where the swarm was found, the swarm had disappeared. At least in water temperature, no change was detected between these two locations. The water was preserved by adding ca. 10 ml of borax neutralized formalin just after sampling. The fixed samples were concentrated by a settling method to about 10 ml in the laboratory on land. Phytoplankton, microzooplankton and faecal pellets, etc. were counted under a Nikon MSDR inverted microscope.

In order to collect the eggs and larvae of euphausiids which might occur in the plankton, a Norpac net, 45 cm in diameter, 180 cm long and 0.35 mm mesh aperture, was hauled vertically from 20 m depth to the surface at the same location where the water samples were collected.

3. Results

Two hand net samples taken from different parts of the swarm revealed that the percentages of male were 61.9 and 63.4 %, which were significantly greater than 50 % ($p < 0.01$).

Frequency of length of the sixth abdominal segment of each sex is shown in Fig. 1. The histograms somewhat skewed to right indicating that smaller individuals were undersampled.

Body length of males calculated ranged from 12.8 to 18.7 mm with a mean of 16.0 mm and that of females from 13.6 to 20.6 mm with a mean of 17.0 mm. As male *E. pacifica* carry spermatophores when they reach 8.5 mm and females larger than 9.5 mm have spermatophores attached in the Sanriku waters (ENDO, 1981), these individuals are mature. Neither eggs nor larvae of euphausiids were collected by the Norpac net.

All the males had developed spermatophores except those which had extruded both spermatophores recently. Seventeen percent of males were extruding or had extruded one or two spermatophores. No females, however, attached spermatophore.

Stomach fullness of swarming euphausiids was low. Seventy percent of them were in classes I and II. Gut fullness showed a parallel pattern with stomach fullness (Table 1). Weighted average of the number of gut segments which contain faecal matter increased with increasing stomach fullness. The same result was shown by PAVLOV (1969) in *E. superba*.

Table 1. Stomach fullness in 100 euphausiid specimens in the surface swarm. Number of intestinal segments which contain faecal matter was also tabulated with the weighted average for each stomach fullness.

Stomach fullness	n	No. intestinal segments which contain faecal matter							Weighted average
		1	2	3	4	5	6	7	
I	50	6	11	11	14	5	3	0	3.2
II	20	1	2	6	5	5	1	0	3.7
III	7	1	0	2	2	1	0	1	3.9
IV	23	3	3	2	3	6	3	3	4.2

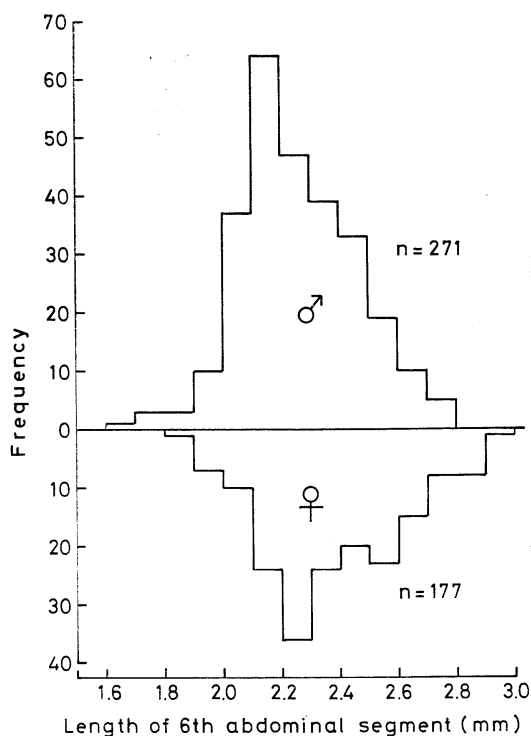


Fig. 1. Length-frequency histograms of 6th abdominal segment of male and female euphausiids collected from the surface swarm by a hand net.

Table 2. Frequency of occurrence of food items in stomachs of 100 euphausiids in the surface swarm.

Food item	Frequency
Detritus	95
Diatoms	2
Dinoflagellates	1
Foraminifera	12
Tintinnids	5
<i>Acanthostomella norvegica</i>	1
<i>Parafavella</i> sp.	2
<i>Ptychocylis obtusa</i>	1
<i>Ptychocylis</i> sp.	1
Crustaceans	90
Copepod abdomen	1
Copepod mandible	1
Crustacean spines	90
Crystalline cones of euphausiid eye	46
Crustacean fragment	5

Table 3. Plankton and other constituents identified in 1-l water samples collected at 0, 10 and 20 m depths by Van Dorn water bottles in Sendai Bay. Numbers of each category in 1-l water samples were shown.

	0 m	10 m	20 m
Diatoms	2,000	2,496	1,444
<i>Asterionella glacialis</i>	18	20	28
<i>Bacteriastrium</i> spp.		4	
<i>Chaetoceros</i> spp.	10	66	8
<i>Corethron criophilum</i>	14	74	20
<i>Cylindrotheca closterium</i>	60		
<i>Denticulopsis seminae</i>	4	4	6
<i>Licmophora</i> sp.	6	10	20
<i>Melosira</i> spp.	110	236	44
<i>Nitzschia longissima</i>	84	512	336
<i>Nitzschia</i> spp.	1,220	1,012	578
<i>Paralia sulcata</i>		4	180
<i>Rhizosolenia</i> sp.		6	
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	20		
<i>Thalassiosira</i> spp.	124	68	14
Other centric diatoms	46	90	58
Other pennate diatoms	284	390	148
Dinoflagellates	56	60	110
<i>Ceratium</i> spp.		4	4
<i>Peridinium</i> sp.		2	
<i>Podolampas</i> sp.			2
<i>Prorocentrum</i> sp.		2	
<i>Pyrocystis lunula</i>	2		
Naked dinoflagellates	44	50	92
Others	10	2	12
Silicoflagellates	8	6	2
Coccolithophorids			52
Radiolarians			2
Tintinnids	8	4	6
<i>Acanthostomella norvegica</i>		2	
<i>Helicostomella subulata</i>	2		
<i>Ptychocylis obtusa</i>			2
<i>Stenosemella pacifica</i>			2
<i>Tintinnopsis beroidea</i>	6		
<i>Tintinnopsis</i> sp.		2	2
Naked ciliates	1,164	1,154	386
Crustaceans	10	46	22
Copepod nauplii	2	14	14
Copepodites			2
Copepods		6	4
Crustacean spines	6	6	
Crustacean fragments	2	20	
Crystalline cones of euphausiid eye			2
Faecal pellets	46	268	154

Unidentified detrital material with or without crustacean spines, perhaps from euphausiid, were the main constituent of the contents in volume in all but one case. In the latter case, only crystalline cones of euphausiid eyes were found. Among other components, foraminifera were rather frequently found, although only one or two individuals were found in a stomach (Table 2).

It is noticeable that 90 and 46 out of 100 specimens respectively fed on the crustacean spines and crystalline cones. Noticeable is also that a number of euphausiids (15.6%) had broken eye.

Plankton in the water samples are listed in Table 3. Diatoms were most dominant in number in samples from all depths in spite of the fact that only 2% of *E. pacifica* fed diatoms. Naked ciliates were also numerous. Foraminifera which were found in 12% of stomachs could not be found in the water samples.

Two kinds of parasites were found: the ellobiosid, *Thalassomyces* sp. (possibly *T. fagei*) and the suctorian, *Ephelota* sp. Infection rates of *E. pacifica* by *Thalassomyces* sp. and *Ephelota* sp. were 2.0 and 67.0%, respectively.

4. Discussion

There have been several hypotheses concerning the causes of the daytime surface swarming of euphausiids as reviewed by KOMAKI (1967) and BROWN et al. (1979), i.e., (1) predators may drive euphausiids to the surface, (2) euphausiids may come to the surface to feed, (3) conditions of current and tide may accumulate euphausiids, or stimulate them to swarm at the surface, and (4) some internal demands related to maturation may drive euphausiids to the bright sea surface. Only first two hypotheses could be tested in the present study, because no observations on tide or current were made. The last hypothesis can not be proved without extensive laboratory experiments.

Although many sea gulls afloat above the swarm were feeding on euphausiids, no predators such as fishes were observed below the swarm. This was confirmed not only by direct observation of divers but also by the echogram (HANAMURA et al., 1984). The first hypothesis that the predators which hunt and pursue euphausiids

from depths (cf. KOMAKI, 1967) was not applicable to this case.

Stomach fullness of swarming *E. pacifica* was apparently low compared with that in non-swarming ones. For example, more than 70% of the population showed class IV stomach fullness at night in summer in the same area (ENDO, 1981). Although low stomach fullness does not necessarily mean non-feeding, *E. pacifica* in the present swarm might not come to the surface for feeding. Chlorophyll *a* crops and cell number of diatoms and ciliates were not largest at the surface layer where *E. pacifica* swarmed, but most abundant below the swarm (10 m). Only 2 diatom cells were found in 100 stomachs of euphausiids, although diatoms were the most plentiful organisms in the water.

Spines and crystalline cones of euphausiid were found in most stomachs. In a different swarm 42% of stomachs also contained euphausiid spines, although no crystalline cone was found (ENDO, 1984). These results suggest that the cannibalism took place during swarming behavior of *E. pacifica*. FISHER and GOLDIE (1959) suggested that *Meganyctiphanes norvegica* eat the eye of its neighbor when the proportion of euphausiids to other organisms in the plankton is high. It is well known that euphausiid eyes are rich in vitamin A and astaxanthin (MAUCHLINE and FISHER, 1969).

Males slightly outnumbered females. Sex ratio of *E. pacifica* in swarms does not differ so greatly from unity (TERAZAKI, 1981; ENDO, 1984), as in *E. superba* (e.g. MARR, 1962) and *M. norvegica* (CASANOVA-SOULIER, 1970; BROWN et al., 1979; NICOL, 1984a), which exhibit highly variable sex ratios. BYRON et al. (1983) showed that the swarms of a copepod, *Diaptomus tyrreli*, were predominately composed of adult males. They suggested that these swarms have mating purpose and that males were predominate because mated females had dropped out as in the insect swarms. Such may also be the case with *E. pacifica* swarms, because males outnumbered females and the percentage of males tended to increase at the end of the swarming season (ENDO, 1984).

Males were fully mature. The percentages of males which were extruding or had extruded one or two spermatophores is 17.4%, being

less than 47.8 %, the average value obtained in the 1978 swarming (ENDO, 1984). The difference may come from the methods by which euphausiids were collected. Specimens were scooped by a small hand net in 1983, while they were commercially caught by a bow mounted trawl in 1978. In the latter case much larger amount of euphausiids were caught at a time, many of which were exposed to damage and might be forced mechanically to extrude their spermatophores.

Fifteen out of 271 males (5.5 %), not females, attached spermatophores mainly to their gill. More than half of these males possibly attached their own spermatophores, considering the fact that 53 % of males with attached spermatophores had one or two empty ejaculatory ducts.

Sixty-seven percent of *E. pacifica* examined were infected by *Ephelota* sp. This suctorian was found also abundantly on *M. norvegica* from surface swarms in the Bay of Fundy (NICOL, 1984b). As suggested by NICOL, however, it is unlikely that the suctorian is the cause of surface swarming. We examined swarming *E. pacifica* collected in 1978-1983 for the presence of parasites. Percentage of *E. pacifica* infected by *Thalassomyces* sp. is rather constant, ranging from 0.6 % in 1978 to 5.5 % in 1982. More variable is that by *Ephelota* sp., ranging from 0 % in 1978 up to 67.0 % in 1983.

ENDO (1984) suggested that surface swarming of *E. pacifica* in the Sanriku coastal waters is related to breeding behavior, because the maturation of ovarian eggs and fertilization occur during the swarming season and eggs and early larvae of the species occurred most frequently about one month after the swarming season ended. In the present study, no females with attached spermatophore occurred. This is not incompatible with ENDO's hypothesis, because the present sampling was made in the middle of the swarming season. NICOL (1984a) suggested that *M. norvegica* swarming in the Bay of Fundy is related to reproductive activity by examining biological characteristics of swarming individuals.

Acknowledgements

We greatly appreciate the collaboration of research divers, Messrs. Hiromi NOMURA,

Satoshi YAMAMOTO, Noritaka UEDA and Osamu NAKASAI. Our thanks are also due to Captain Kitaro ABE of the "Juho-Maru VIII" and his two sons for their kind assistance in the field. This work was partly supported by a research grant from the Enkai Chosa Kaihatsu Co., Ltd., Sapporo.

References

- BROWN, R. G. B., S. P. BARKER and D. E. GASKIN (1979): Daytime surface swarming by *Meganyc-tiphanes norvegica* (M. SARS) (Crustacea, Euphausiacea) off Brier Island, Bay of Fundy. Can. J. Zool., **57**, 2285-2291.
- BYRON, E. R., P. T. WHITMAN and C. R. GOLDMAN (1983): Observations of copepod swarms in Lake Tahoe. Limnol. Oceanogr., **28**, 378-382.
- CASANOVA-SOULIER, B. (1970): Les rassemblements d'euphausiacés en Méditerranée. Rapp. P. -v. Réun. Commn int. Explor. scient. Mer Méditerr., **20**, 435-437.
- ENDO, Y. (1981): Ecological studies on the euphausiids occurring in Sanriku waters with special references to their life history and aggregated distribution. Ph. D. Thesis, Tohoku Univ. Sendai, 166 pp. (in Japanese)
- ENDO, Y. (1984): Daytime surface swarming of *Euphausia pacifica* (Crustacea: Euphausiacea) in the Sanriku coastal waters off northeastern Japan. Mar. Biol., **79**, 269-276.
- FISHER, L. R. and E. H. GOLDIE (1959): The food of *Meganyc-tiphanes norvegica* (M. SARS), with an assessment of the contributions of its components to the vitamin A reserves of the animal. J. mar. biol. Ass. U.K., **38**, 291-312.
- HAMNER, W. M., P. P. HAMNER, S. W. STRAND and R. W. GILMER (1983): Behavior of Antarctic krill, *Euphausia superba*: chemoreception, feeding, schooling, and molting. Science, **220**, 433-435.
- HANAMURA, Y., Y. ENDO and A. TANIGUCHI (1984): Underwater observations on the surface swarm of a euphausiid, *Euphausia pacifica* in Sendai Bay, northeastern Japan. La mer, **22**, 63-68.
- KOMAKI, Y. (1967): On the surface swarming of euphausiid crustaceans. Pacif. Sci., **21**, 433-448.
- MARR, J. W. S. (1962): The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* DANA). Discovery Rep., **32**, 33-464.
- MAUCLINE, J. and L. R. FISHER (1969): The biology of euphausiids. Adv. mar. Biol., **7**, 1-454.
- NICOL, S. (1984a): Population structure of daytime surface swarms of the euphausiid *Meganyc-tiphanes*

- norvegica* in the Bay of Fundy. Mar. Ecol. Prog. Ser., **18**, 241-251.
- NICOL, S. (1984b): *Ephelota* sp., a suctorian found on the euphausiid *Meganyctiphanes norvegica*. Can. J. Zool., **62**, 744-746.
- PAVLOV, V. YA. (1969): The feeding of krill and some features of its behaviour. Trudy VNIRO, **66**, 207-222. (Translated from Russian into English, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft, Translation, New Ser. **94**, 1970)
- PONOMAREVA, L. A. (1971): Circadian migrations and feeding rhythm of some Indian Ocean euphausiid species. Oceanology, **11**, 226-231.
- TERAZAKI, M. (1981): Biological and oceanological aspect of the Isada (*Euphausia pacifica*) Fishery in the vicinity of Otsuchi. Otsuchi mar. Res. Cent. Rep., **7**, 25-33. (in Japanese)

仙台湾で観察されたツノナシオキアミ (*Euphausia pacifica*) 濃密浮上群の生物学的特性

遠藤宣成・花村幸生・谷口 旭

要旨: 仙台湾でツノナシオキアミ *Euphausia pacifica* の濃密浮上群を潜水観察した際に採集した個体の生物学的特性を調べた。胃の充満度は全体に低く、現場海域の植物プランクトンは群が見られた表層よりも 10 m 層で多かったことから、摂餌のために表層で成群していたとは考えにくい。採集された個体の 46% の胃中にオキアミ複眼の円錐晶体が、また 90% の胃中にオキアミ胸脚の刺毛が見出された。共食している可能性がある。浮上群は成体だけから成り、雄の精莢は成熟していたが、精莢を付着させた雌は存在しなかった。成群浮上現象は繁殖行動と関係があると考えられるが、交尾は成群期間の後半に行われるのであろう。

A note on change of a front in an oceanic shear flow*

Takashi ICHIYE** and Fagao ZHANG***

Abstract: Fickian diffusion equations for concentration gradients are derived to study effects of vertical shear of the mean current and eddy diffusion processes on front-like distributions of conservative properties. The initial front is vertically uniform and is simulated with a delta function of the coordinate of mean flow which is assumed variable only in the vertical direction. In the initial stage the vertical diffusion is not important. Because of the vertical shear, the vertical gradient of the concentration is developed and increases with time. The front is advected by the mean flow but the gradient of the concentration near the front decreases with time because of diffusion processes. Horizontal gradients of salinity in the upper 50 m on the slope of the East China Sea show the Gaussian-like distribution similar to the solution of the present model. Horizontal eddy diffusivity is determined from the difference of second moments of two successive salinity gradient profiles 5 days apart, leading to $3.9 \times 10^2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. A solution of the equation with both horizontal and vertical diffusivities is also determined.

1. Introduction

There are many cases in the ocean where water characteristics like temperature, salinity and nutrients change abruptly in horizontal directions. These are called fronts (BOWMAN and ESAIAS, 1978). In the upper layer the fronts are moved by the current which has usually strong vertical shear. In the bottom boundary layer the brine discharged from a diffuser at the bottom is advected by a current with a strong vertical shear and forms a front near the bottom (ICHIYE and NAKAMOTO, 1985). In both cases the concentration of the property near the front is affected both by a shearing current and diffusion processes.

This note is to show how vertical structure of a shear flow influences the vertical distribution of the concentration. The feature of the front is represented with simplest mathematical expression, a delta function. The diffusion processes are expressed by eddy diffusivities of constant values and the mean current has vertical shear only.

2. Basic equations

The transport equation for concentration S is given by

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla S = K \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + M \frac{\partial^2 S}{\partial y^2} + N \frac{\partial^2 S}{\partial z^2}, \quad (1)$$

where \vec{u} is a velocity vector with components, u , v , and w ; x , and y are horizontal coordinates, ∇ is the gradient operator and K , M and N are eddy diffusivities in the x , y , and z directions.

Imposing a gradient operation on (1), we have

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \nabla S = & K \frac{\partial^2 \nabla S}{\partial x^2} + M \frac{\partial^2 \nabla S}{\partial y^2} + N \frac{\partial^2 \nabla S}{\partial z^2} \\ & - (\nabla S \cdot \nabla) \vec{u} - \nabla S \times (\nabla \times \vec{u}), \quad (2) \end{aligned}$$

where \times denotes the vectorial product and $d/dt = \partial/\partial t + \vec{u} \cdot \nabla$. Equation (2) represents the vectorial equation and its component can be expressed in matrix form as

$$\begin{bmatrix} F + \partial u / \partial x & \partial v / \partial x & \partial w / \partial x \\ \partial u / \partial y & F + \partial v / \partial y & \partial w / \partial y \\ \partial u / \partial z & \partial v / \partial z & F + \partial w / \partial z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = 0, \quad (3)$$

where

$$F = d/dt - (K \partial^2 / \partial x^2 + M \partial^2 / \partial y^2 + N \partial^2 / \partial z^2), \quad (4)$$

$$X = \partial S / \partial x, \quad Y = \partial S / \partial y, \quad Z = \partial S / \partial z. \quad (5a, b, c)$$

* Received May 24, 1985.

** Dept. of Oceanography, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA.

*** Institute of Oceanology, Academia Sinica, 7 Nan-Hai Road, Qingdao, PRC

3. Solutions for a front of a delta function

At the initial moment $t=0$, the front is simply represented by a delta function perpendicular to the mean current u equaling $U(z)$ which is dependent on the vertical coordinate only. Then, it is assumed that S is vertically uniform at $t=0$. Thus the initial conditions are expressed by

$$X|_{t=0} = C\delta(x), \quad Z|_{t=0} = 0. \quad (6), (7)$$

If there is no source or sink for S , then the front is uniform in the y -direction. In the initial stage the vertical gradient is small and the vertical eddy diffusion is not effective. Then only the diffusion in the x -direction is an important dissipative process and Eq. (3) is simplified as

$$\partial X/\partial t + U(z)\partial X/\partial x = K\partial^2 X/\partial x^2, \quad (8)$$

$$\partial Z/\partial t + U(z)\partial Z/\partial x = K\partial^2 Z/\partial x^2 - U'X, \quad (9)$$

where the prime denotes derivative about z .

$$X = C(2\pi Kt)^{-1/2} \times \exp[-\{x - U(z)t\}^2(4Kt)^{-1}], \quad (10)$$

$$Z = -U'tX = -CU't^{1/2}(2\pi K)^{-1/2} \times \exp[-\{x - U(z)t\}^2(4Kt)^{-1}]. \quad (11)$$

Expression (11) is a particular solution of (9). Solution (10) shows that the front is advected with the velocity $U(z)$ and that its width increases but its intensity decreases with time because of the horizontal diffusion. Solution (11) indicates that the vertical gradient is developed because of the vertical shear and its magnitude at the advected front site $x=U(z)t$ increases with time, whereas the intensity of the horizontal frontal structure there diminishes with time as shown by (10).

Since X is dependent on z through $U(z)$, an effect of vertical eddy diffusivity N should be taken into account in the later stage even if the initial condition (6) indicates uniformity about z . The time when the vertical diffusivity becomes important can be estimated by comparing terms $\partial X/\partial t$ and $N\partial^2 X/\partial z^2$ which is neglected in Eq. (8). Both terms become maximum at $x=U(z)t$. Therefore, the ratio of magnitudes of the two terms can be determined from their values at this point denoted with a suffix m .

The ratio is given by

$$\begin{aligned} |NX''|_m/|\partial x/\partial t|_m \\ = NK^{-1}|U'^2 + UU''|t^2. \end{aligned} \quad (12)$$

For the values of $N/K=10^{-4}$ and $U'=10^{-2}s^{-1}$ with a condition $|U'/U|\gg|U''/U'|$, the ratio (12) becomes unity for $t=10^4$ s. In case of the uniform shear $U'=a=const.$, an analytical solution of X can be obtained for Eq. (8) with the vertical eddy diffusion term as an integral form instead of (10) (Appendix). A particular solution of (9) with the same vertical eddy diffusion term is given by the second term of (10) with the constant shear a .

4. Application

An actual front cannot be represented by a delta function even in its generating period. Its movement can not be expressed by a simple advection as modeled here either. However, some features of front-like distributions of properties can be explained by the present model. For instance, MOOERS et al. (1978) classified topology of prograde and retrograde fronts. This may be explained as effects of the shear in the mean flow. When the concentration gradients are expressed by (10) and (11), the slope of the concentration isolines dx/dz can be given by

$$dx/dz = -Z/X = U't. \quad (13)$$

This relation is valid even when the vertical diffusion is considered as in Appendix. Relation (13) simply indicates that the isolines are advected with the mean current $U(z)$ even with the dissipative processes, though the gradient of the concentration normal to the isolines decreases with time according to (10) and (11). Therefore, the six basic patterns of the retrograde and prograde fronts classified by MOOERS et al. (1978) can be attributed to different vertical distributions of shear in the mean flow normal to the fronts.

In order to apply the solution given by Eq. (10), vertical distributions of salinity on a continental slope will be used, because temperature and nutrients are influenced by other factors like heating, cooling, consumption, etc. than advection and diffusion. These distributions must be determined within a relatively short

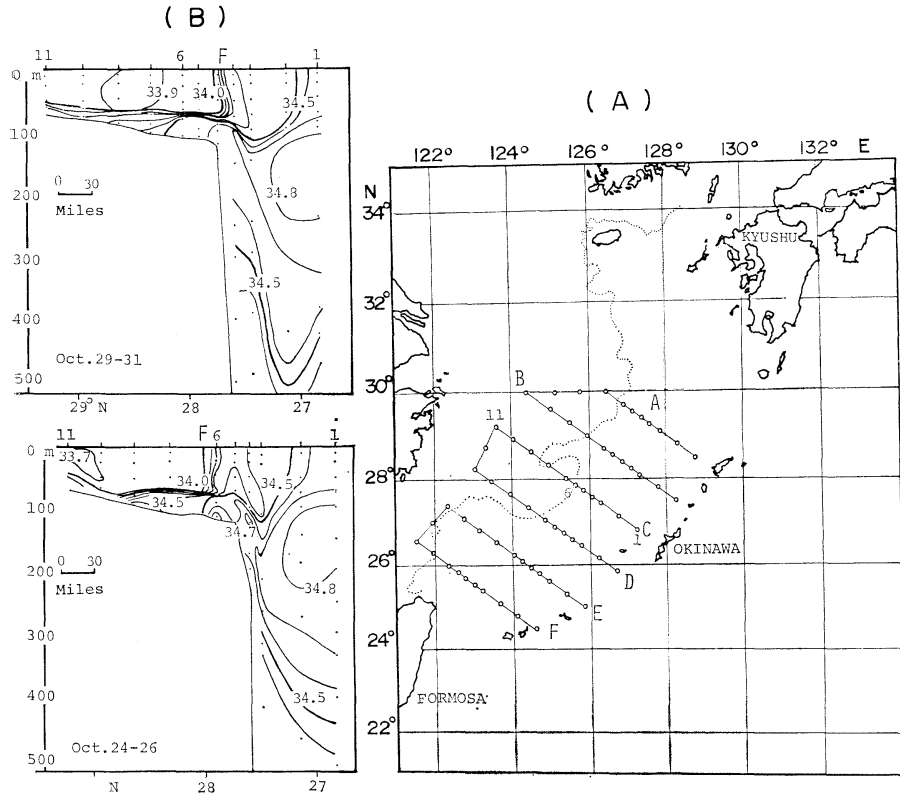


Fig. 1. (A) Salinity sections of C Line in October 1973 measurements (modified from originals). Left: October 24-26, (SI) right: October 29-31 (SII). F indicates front. (B) Location of C Line.

period of time in order to eliminate other factors like the lateral advection. Figure 1 indicates two successive vertical salinity sections on October 24 to 26 and 29 to 31 in 1973 along a line over the continental slope in the East China Sea and their location (Japan Meteorological Agency, 1976). The two sections are denoted as SI and SII and the isohalines are modified from the original ones in order to clarify the frontal structures.

The gradient $X = \partial S / \partial x$ is almost uniform vertically in the upper 50 m. Its values for SI and SII are plotted in Fig. 2 with the origin for SII being offset by 52 km northwestward. The two profiles of the gradient show Gaussian-like distributions about x . The profile for SI has higher peak and narrower width, whereas the one for SII is flattened, suggesting the diffusion process as indicated by Eq. (10).

First, the advective velocity can be determined

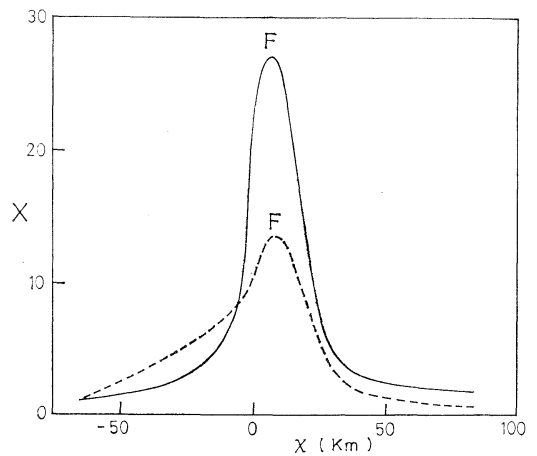


Fig. 2. Salinity gradient $X = \partial S / \partial x$ against the distance x along C Line (km). Full line for Oct. 24-26 (SI), dashed line for Oct. 29-31 (SII). F indicates front.

from the northwestward displacement of the peak gradient, which is 51.9 km in about 5 days. This yields the mean velocity in the upper 50 m as 12.0 cm s^{-1} which is comparable with the mean velocity of 0.23 kts in the direction of the line determined from the average of GEK data of SI and SII (Japan Meteorological Agency, 1976).

When X is expressed as an arbitrary function of a distance $s(=x)$ as shown in Fig. 2, the second moment can be obtained as

$$m_2 = (\bar{X})^{-1} \int X(s - m_1)^2 ds, \quad (14)$$

with

$$\bar{X} = L^{-1} \int X ds, \quad m_1 = (\bar{X})^{-1} \int Xs ds. \quad (15), (16)$$

In these integrals the limits of integration are truncated at 5% of the peak value of X and L denotes the integration interval thus defined.

The following table lists \bar{X} , $m_1 \bar{s}^2$ and m_2 for SI and SII ($\bar{s}^2 = (\bar{X})^{-1} \int Xs^2 ds$).

Table 1.

	$\bar{X} (\% \text{ cm}^{-1} \times 10^{-6})$	$m_1 (m \times 10^3)$	$\bar{s}^2 (m^2 \times 10^6)$	$m_2 (m^2 \times 10^6)$
SI	10.5	5.0	287	262
SII	5.6	1.3	432	431

If X is given by (10) and integration limits of (14) are taken to infinity, then

$$m_2 = Kt. \quad (17)$$

Actual integration of (14) to (16) has to be truncated for profiles as shown in Fig. 2 and a correction for the truncation is needed to (17) as discussed by ICHIYE and NAKAMOTO (1985). Since observed values of X as a function of s are only approximate, such a correction may be superfluous and ambiguous.

The horizontal eddy diffusivity K can be determined from

$$m_2(II) - m_2(I) = K(t_{II} - t_I), \quad (18)$$

where I and II represent SI and SII, respectively. The values of M from Table 1 yield $K = 3.9 \times 10^2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ which is reasonable.

Salinity section of SII of Fig. 2 indicates much sharpened halocline at about 60 m on the shelf. This seems to prove the increase of Z with time

as expressed by (11) or change of isohaline slope as shown by (13). However, there are no sufficient data about the current near the bottom, thus further discussion is refrained. We hope more satisfactory data will be obtained in the future.

If the mean velocity is assumed to decrease to zero linearly with depth from 60 m to the bottom, Eq. (13) yields $dx/dz \sim 1.3 \times 10^3$ or the isohalines will be almost horizontal as the data show.

5. Conclusion

More applications of the present model will become possible when more data becomes available about vertical structures of the mean current and details of vertical profiles of salinity and other conservative properties together with their changes with time. The present model does not explain the distributions near the bottom which have different characteristics both in the mean current and diffusion processes. We will treat the latter problem in the future.

This work is supported by a grant from National Science Foundation US-China Cooperative Program.

Appendix

A solution of (8) with the vertical diffusion term $N\partial^2 X/\partial z^2$ and for the initial condition (6) and with the uniform vertical shear $U' = \alpha$ is given by

$$\begin{aligned} X(x, z, t) &= C \int_{-h}^0 (KN)^{-1/2} (4\pi t)^{-1} (1 + NK^{-1}\alpha^2 t^2/12)^{-1/2} \\ &\cdot \exp \left[-\frac{\{x - U_0 t - 1/2\alpha t(Z - Z_0)\}^2}{4Kt(1 + NK^{-1}\alpha^2 t^2/12)} \right. \\ &\left. - \frac{(Z - Z_0)^2}{4Nt} \right] dz_0, \end{aligned} \quad (\text{A}\cdot 1)$$

where $U = U_0 + \alpha z$ and subscripts 0 and $-h$ indicate the surface and the bottom, respectively. The integrand of (A.1) is a solution for the initial condition

$$X|_{t=0} = C\delta(x)\delta(z - z_0). \quad (\text{A}\cdot 2)$$

The integral of (A.1) can be expressed with error functions erf and erfc (ABRAMOWITZ and STEGUN, 1964) but further discussion will be given elsewhere.

References

- ABRAMOWITZ, M. and I.A. STEGUN (Editors) (1964): Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables. US Government Printing Office, Washington, D.C., 1004 pp. 297-309.
- BOWMAN, M.J. and W.E. ESAIAS (Editors) (1978): Oceanic front in coastal processes. Springer-Verlag, Berlin, 114 pp.
- ICHIYE, T. and S. NAKAMOTO (1985): Comparison of Lagrangian and Eulerian diffusion near the bottom. *La mer*, 23(4), in press.
- Japan Meteorological Agency (1976): Study of mixing mechanism of the Kuroshio and coastal waters of the Chinese continental shelf. Report to Japanese Science and Technology Agency (In Japanese). 41-130.
- MOOERS, K.C., C.N. FLAGG and W.C. BIOCOURT (1978): Prograde and retrograde fronts. *in* Oceanic fronts in coastal processes, edit. M.J. BOWMAN and W.E. ESAIAS, Springer-Verlag, 43-58.

シヤーのある流れの中のフロントの変化についての小論

市栄 誉・FAGAO Zharg

要旨: 保存量の不連続的な分布に及ぼす平均流の鉛直シヤーを渦拡散の影響を見るため濃度の傾度のフィック形の拡散方程式を導いた。初期のフロントは鉛直には均質で平均流の方向の座標のデルタ関数で表わした。平均流は鉛直方向にだけ変るとした。初めの間は鉛直拡散は重要でない。濃度に鉛直傾度が生じ、時間と共に増える。フロントは平均流で流されるが拡散のため濃度の傾度は時間と共に減少する。東支那海の上層50米の塩分の水平傾度は拡散方程式の解のようにガウス分布を示している。5日離れた2つの塩分傾度の分布から求めた水平拡散係数は $3.9 \times 10^2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ であった。鉛直方向の拡散係数も入った方程式の解も求めることができた。

日仏海洋学会賞受賞記念講演

毛顎類の生態および海洋生態系における その役割に関する一連の研究*

永 沢 祥 子**

Studies on the ecology of chaetognaths and their role in marine ecosystems

Sachiko NAGASAWA

私は多くの時間を費やし、労力を惜しむことなく捧げてプランクトンの研究に励んできました。それはなにかの野心のためでもなく、また名誉のためでもなく、ただひたすら自分の心にさからわずに素直に忠実に生きるためでした。このような姿勢で研究してきたつたない私に対し、この度日仏海洋学会賞が授与されることになり、思いもかけない光栄に接し、驚くとともに深く感謝しています。私はこの度の受賞を誰が喜んでくれるかとまず考えました。私にはすでに両親はなく、家族もなく、親類は少なく、残念ながら私の業績について理解できる身内は一人もいません。しかし幸い私には小学校、中学校、高等学校時代にそれぞれ一人ずつの親友があり、彼らとの交流は今なお続いています。私を一人前のプランクトン研究者として育ててくださった丸茂先生が、また研究の内容については十分にわからないながら、いつも関心を持ち、見守ってくれている親友3人が私の今回の受賞について恐らく心ひそかに誇らしく思い、祝福してくれているのではないかと推察しています。

プランクトンの研究は生きた物をそのまま室内で扱おう実験的な方法と固定した標本に基づくデータを解析する方法の2つに大別できる。便宜上、ここでは前者をAの方法、後者をBの方法とよぶことにする。これまではA、B2つの方法を駆使して行なわれた研究は少ないかほとんどない。AかBのどちらかの方法に偏るのが

常であった。それは研究所の立地条件や研究所の性格に左右されたり、あるいは対象とする生物の特徴や性質に依存したりするためである。

これから私が話をする毛顎類はかいあし類について量が多く、重要な動物プランクトンのひとつである。標題は毛顎類となっているが私は通常やむしということばを好んで使っている。ここでもやむしの方を使わせていただく。ついでにやむしという名前はこの虫が矢のように突進すること、その形が細長いことに由来する。やむしはその種類が少なく、普遍的にどここの海にもすんでいる。相模湾、駿河湾の表層から採集されるやむしは2cm以下である。中・深層には体長が6cmに達する個体も分布している。やむしは肉食性でかいあし類を食べ、一方魚の餌になる。やむしは性の区別がなく、雄と雌の器官を同時に備えている。

従来のやむし研究の大半はBの方法に基づいている。それはやむしのぜい弱さ、飼育の困難さのためである。しかし、近年生きたやむしが容易にいつでも手に入るといふ地の利を生かし、Aの方法に専念し、著しい成果をあげた人も外国にはいる。私の場合は海洋研究所の所在地、性格からまたやむしのもつ性質からBの方法で主に研究を進めてきた。つまり、研究船に乗って標本を採集し、生きた物をあまり観察せずに固定標本にしていた。たまたま船上で生きているやむしを観察すると固定標本では見えないものが見えてきたり、新しいことに気づくことがあった。生きている物はともかく見ていて楽しく、美しいことも事実であった。そのうち、航海中夜に表面近くにあがってくるやむしを採集し、その観察を頻繁に行なうようになった。乗船すれば容易にとれるやむし

* 1985年5月30日 日仏会館（東京）で講演
Conférence à la remise du Prix de la Société
franco-japonaise d'océanographie

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

も、臨海実験所の近くの海ではあまりとれない。その上やむしの飼育はむずかしいという大問題がある。したがってAの方法によるやむしの研究は基本的にむずかしい。そのため、たびたび飼育を試みても失敗につぐ失敗を重ねてきた。幸い1982年に船を使わず千葉県市川市にある新浜湖の干潟からやむしがかなりたくさん採集でき、生きたやむしが室内で餌を食べる場面にはじめて遭遇した。とらわれの身となったやむしが餌を食べることは大変まれなことで、やむしが餌を食べるたびに私は興奮し、心を踊らせていた。多数の観察を通して餌を食べるやむしは健康な証拠であるという結論に達している。

私はBの方法によって得たやむしに関する基礎知識を土台にして、新たにそして徐々にAの方法もとりにいれてやむしの研究をさらに進めた。ところで固定標本はある瞬間におけるやむしの状態が維持されているので、いつでも一定の状態の標本を見ることができると利点がある。したがってBの方法は研究者本位であり、すきな時、都合のよい時が選べ、時間に拘束されることがない。これに対し、室内で生きたやむしを世話するAの方法はやむし本位であり、自分の都合を無視して、自分の生活をやむしにあわせなければならないという欠点がある。私は迷わずためらわず思いきって自分の生活を忘れて、ある時間やむしに献身的な努力を傾けて、生きているやむしと昼夜をとわず親しくつきあい、世話をした。このようにして私はBの方法だけにとらわれず偏らず、また満足できなかったのも、Aの方法も重視し、採用した。その苦勞のかいはあって、やむし研究の新しい分野が私の眼前に開けてきた。第一にある現象の一面だけでなく、他の側面をも明らかにし、真実により近づく解明に迫ることができた。第二に、予期していたよりはるかに珍らしいできごと、また予想もしていなかった重大な興味深い問題への糸口がつかめた。

ではこれから実例を述べよう。まず第一の例をひとつとりあげる。生殖に際しやむしは交尾を行なう。実験的な研究者によりAの方法でやむしの交尾行動が詳しく観察され、交尾の経過が示され、交尾後やむしの体の脇には精包が付くことが明らかにされた。一方、私は船上で夜やむしを採集して観察したとき、体の脇に球状の物体が付いているのをしばしば見出し、それは精包であることがわかった。Bの方法を用いて昼と夜に採集した固定標本を調べ、交尾の証拠である精包の有無を確かめた。その結果、夜の標本には精包が付いているが、昼には付いていないことが明らかになった。つぎに夜1時間おきに採集した固定標本を調べた。精包を付着する個体はか

なり限られた時間のみに出現した。交尾行動は気ままではなくいつも決った時間帯に行なわれるかどうかを確かめるため、再び別の年に試料を採集し、データーを解析した。結果は予想通りで交尾行動のパターンは同じであった。

以上のように交尾行動そのものの観察はAの方法により室内で行ないやすいが、交尾行動に関する習性や特徴は固定標本それも夜に採集されたもの、つまりBの方法によるデーターを解析することにより明らかになった。

第二の例はいずれも正常でないやむしに関する知見である。はじめに頭部が欠損したやむしの例について述べる。やむしを飼っているとき、それまで餌をよく食べていた個体がある日餌を食べなくなり、2~3日たつと頭の一部が欠損することがしばしば起こった。ときには頭が完全に欠損してもまだ生きており、運動をする個体もいた。欠損したやむしは細菌に攻撃されていた。一方、10年ほど前に調べた固定標本の中に頭が欠損するやむしが多数いたことを思い出し、それらについて細菌の有無を調べた。期待どおり細菌の存在が確認された。

次に細菌の侵襲による異常なやむしの存在を明らかにした例をあげる。固定標本の中には体がふしくれだち、ぶよぶよした形状のやむしがしばしば見出される。このようなやむしは曳網中にうけた損傷のため人為的に生じると一般に考えられていた。この通念に疑問をいただき、その原因を追究しようとする人はいなかった。ところがはからずも私がこの問題にメスをいれることになった。新浜湖の調査を始めたことが問題を解明するきっかけになった。新浜湖の干潟からプランクトンの採集を行なうようになった。わずか数秒間の手曳きで採集した標本の中に元気なものと弱ってあまり動かず、形状も異常なやむしがいることに気づいた。これは曳網中に異常が生ずるのではなく、海にいるときにすでに何かが起こっていることを意味している。異常な形状のやむしを調べてみると、体内には細菌の侵襲が起こっていた。細菌の繁殖のためにやむしの筋肉は劣化し、体がふしくれだち、ぐにゃぐにゃになることがわかった。このような異常なやむしは摂餌や生殖活動を営んでいるが、その活動は正常なものに比べ著しく低かった。

さいごに病的なやむしの例について述べる。やむしは飼っているそばから弱って死んでいく。飼う側にとっては、弱いものや死にかけたものは用がないから関心を払わずに捨ててしまうのが普通である。しかし、死ぬやむしがあまりに多いため、私の関心は死んでいくやむしに移っていった。そして弱ったやむしがどういう経過をた

どって死に至ったかを克明に記録した。この記録は100個体のやむしのカルテともいうべきものになった。さながら私はやむしの医者になったような気分であった。飼育の経験がまずにつれ、私はやむしの死を前もって予測できるようになった。にもかかわらず、死の兆がなかったのに急死した個体があった。そのやむしの体は奇妙な外観を示していた。またやむしには多数の触毛斑があり、この器官は餌を食べるときに重要な役割を果たしている。触毛斑の繊毛がゆ着する個体もいた。このような個体は摂餌に支障をきたし、やがて餓死すると考えられる。

A, B 2つの方法の併用によって研究を進めた結果得られた第一の利点についてひとつの例を、第二の利点について3つの例を述べた。後の3つの例は従来研究の対象として無視され、除外されていた異常な個体をまともにとりあげ、注意深く調査した結果はじめて日の目をみることになった。

やむしは海洋生態系において第二次消費者として食物連鎖上、重要な位置にある。しかし、魚、貝、えびなどところがやむしは食用にならないため、経済的重要性も乏しく、病的症状にはほとんど注意が払われてこなかった。ところが、やむしの一部は細菌の侵襲のため異常な形状を呈することが明らかになった。異常な個体の摂餌、

生殖活動は低下しており、これらはやがてデトリタスになると考えられる。このような過程でデトリタス化するやむしはその個体群の約10%に達する。この値は寄生虫に感染した個体より大きいこと、ある大きさ以上では異常な個体がないこと、異常な個体の平均体長は正常または寄生虫に感染した個体より小さいことから、細菌感染は寄生虫感染よりむしろやむしの死亡に急速かつ直接につながる現象であることがわかった。したがって、細菌に感染したやむしの海洋生態系における役割、その生態学的意義はきわめて大きいといえる。

これまでのやむしに関する総説には異常なやむしや病的なやむしについての情報は皆無である。今後やむしの総説を書くとするならば、新たに一章を設け、異常なやむしについてふれる必要があると思う。このように、やむし研究の新しい分野が開拓されたが、これをさらに強力にそして着実に推進し、発展させるためには微生物学的な研究の手法を十分に活用することが不可欠である。したがって、プランクトン研究者だけでは限界があり、この研究の躍進はむずかしい。共同研究の円滑な実施、効果的な相互協力による研究の進展がとくに望まれることを痛感している次第である。

学 会 記 事

1. 昭和60年5月29日 日仏会館小会議室において評議員会が開かれた。

- 1) 会務報告および編集報告が行われた。
- 2) 学会賞受賞候補者として永沢祥子氏が推薦され、受賞者として決定された経過が報告された。
- 3) 昭和59年度の収支決算報告および監査報告が行われた。
- 4) 昭和60年度の収支予算案が審議された。
- 5) 会則改正案が審議された。
- 6) 学会賞受賞候補者推薦委員が選出された。
- 7) 分科会活動の状況について、報告がなされた。

2. 昭和60年5月30日 日仏会館会議室において第26回総会が開かれた。

- 1) 昭和59年度の会務報告および会計報告が行われ、収支決算(表1)が承認された。

表 1 昭和59年度収支決算

収 入			(単位: 円)
項 目	決 算	(予 算)	
前年度繰越金	193,904	(193,904)	
正会員会費	1,962,500	(2,130,000)	
賛助会員会費	440,000	(800,000)	
学会誌売上金	185,120	(200,000)	
広告料	210,000	(440,000)	
著者負担印刷費	1,025,800	(100,000)	
雑収入	392,000	(605,000)	
計	4,409,324	(4,468,904)	
支 出			
項 目	決 算	(予 算)	
学会誌等印刷費	3,031,800	(3,000,000)	
送料・通信費	393,785	(280,000)	
編集費	6,300	(60,000)	
事務費	714,420	(650,000)	
交通費	158,190	(150,000)	
会議費	35,450	(50,000)	
学会賞賞金	50,000	(50,000)	
次年度繰越金	19,379	(228,904)	
計	4,409,324	(4,468,904)	

2) 編集委員長から学会誌 La mer の編集報告が行われた。

第22巻は総ページ 462ページで、その内訳は原著論文 30 篇(和文 7, 英文 21, 仏文 2), 短報 7 篇, 資料 5 篇, 記念講演 1 篇, その他(追悼記事, 学会記事等)である。

3) 学会賞受賞者として、永沢祥子氏が決定に至る経過が報告された。

4) 昭和60年度収支予算案(表2)について審議の結果原案通り承認された。

表 2 昭和60年度収支予算(案)

収 入		(単位: 円)
項 目	予 算	
前年度繰越金	19,379	
正会員会費	2,230,000	
賛助会員会費	700,000	
学会誌等売上金	1,400,000	
広告料	360,000	
著者負担印刷費	400,000	
雑収入	20,000	
計	5,129,379	
支 出		
項 目	予 算	
学会誌等印刷費	3,500,000	
送料・通信費	300,000	
編集費	30,000	
事務費	650,000	
交通費	150,000	
会議費	50,000	
学会賞経費	75,000	
学会賞メダル代	250,000	
予備費	124,379	
計	5,129,379	

5) 会則改正案(表3,4,5; 下線は改正部分)について、審議の結果承認された。

表 3 日仏海洋学会会則改正案

第9条 本会は評議員会によって運営される。

評議員の定数は50名とし、正会員の投票によ

て選出される。選挙事務は別に定める選出規定による。

会長は評議員会の同意を得て5名までの評議員を追加することができる。

評議員の任期は2年とする。ただし、重任を妨げない。

第10条 評議員はその内より次の役員を選ぶ。ただし、幹事は評議員以外からも選ぶことができる。

会 長 1名, 副会長 2名

幹 事 10名, 監 事 2名

役員の任期は2年とする。ただし重任を妨げない。

役員の選出方法は別に定める選出規定による。

第12条 会長は本会を代表し、総会および評議員会の議長となる。会長事故あるときは副会長がこれに代わる。

会長、副会長および幹事は幹事会を構成し、本会の庶務、会計、編集、研究発表、渉外などの会務を行なう。

監事は本会の会計を監督する。

表 4 日仏学洋学会評議員・役員選出規定(案)

1. 本規定は日仏海洋学会会則第9条および第10条に基づき本会の評議員および役員の選出方法について規定するものである。
2. 評議員は正会員の50名連記無記名投票により選出する。
評議員の選挙事務は庶務幹事が行なう。ただし、開票にあたっては本会役員以外の会員2名に立会人を委嘱するものとする。
3. 会長は評議員の単記無記名投票により選出する。
会長選挙の事務は庶務幹事が行なう。ただし、開票にあたっては本会役員以外の会員2名に立会人を委嘱するものとする。
4. 副会長、幹事、および監事は、会長の推薦に基づき評議員会で決定する。
5. 本規定の改正は評議員会の議を経て行なう。

表 5 日仏海洋学会賞規定改正案

7. 本規定の改正は評議員会の議を経て行なう。
- 6) 学会賞受賞候補者推薦委員を下記の14名とすることが承認された。
阿部友三郎, 有賀裕勝, 石野 誠, 井上 実, 岡見登, 鎌谷明善, 高野健三, 竹松 伸, 中村重久, 根

本敬久, 松生 治, 丸茂隆三, 村野正昭, 森田良美

- 7) 分科会活動の状況が報告された。
- 8) 今年度の事業計画の一つとして、日海洋学会(パリ)と共同して、“海洋・水産用語集”(仮称)を作ることが報告された。

3. 総会終了後、学会賞授与が行われた。

昭和60年度学会賞受賞者:

永沢祥子氏(東京大学海洋研究所)

受賞課題: 毛顎類の生態および海洋生態系におけるその役割に関する一連の研究

(別項「推薦理由書」参照)

富永会長が入院中の為、高野副会長から永沢氏に賞状、メダルおよび賞金が授与され、続いて受賞記念講演(要旨: pp. 146-148)が行われた。

4. 受賞講演終了後、懇親会が開かれ盛会であった。
5. 昭和60年5月30日 日仏会館会議室において昭和60年度学術研究発表会が次の通り行われた。

1. 波浪観測漂流ブイロボット1号機の実験結果について……………竹永一雄(日本気象協会)
2. アルゴスブイを使った波浪観測装置について……………堤 正之(東洋通信機研)
3. 漂流ブイロボットによる波浪データの計算手法の検討……………森谷誠生(日本気象協会)
4. 千葉県野島崎沖の波データの統計……………富田 宏(船舶技術研)・竹之内直子(上智大物理)
5. 観測用スパーブイの洋上設置について……………佐藤孫七(東海大海洋)
6. 黒潮流路に及ぼす日本南岸の陸岸・海底地形効果……………関根義彦(防衛大地球)
7. 北太平洋亜熱帯循環系の季節変動……………関根義彦(防衛大地球)・響田邦夫(東大海洋研)
8. 熱赤外面像による黒潮流軸の決定……………齊藤誠一・古賀真綱(日本気象協会)
9. ケモスタットを用いた細菌成長速度の測定……………長沼 毅・関 文威(筑波大生物)
10. 物質環境制御装置をもちいた洞峰沼植物プランクトンの生長特性……………劉 群・原 慶明・関 文威(筑波大生物)
11. キャンベル川河口域の春季植物プランクトンブルーム……………原 慶明・関 文威(筑波大生物)・大槻 晃(国立公害研)・C. D. McAllister (Fisheries & Oceans, Canada)

12. 三陸各地の内湾ベントス群集の相異に及ぼす湾の形態と向背地…堀越増興(千葉県教育庁文化課博物館準備室)
6. 昭和60年7月24日 東京水産大学で幹事会が開かれ日本学術会議海洋学研究連絡委員会委員候補者の推薦について協議され、東京水産大学教授森田良美氏を推薦する事に決定した。

7. 新入会員

氏名	所 属	紹介者
遠藤 昌宏	〒305 筑波群谷田部町松代4-419-201	杉村行勇
佐藤 猛	〒424 清水市横砂中町14-2 東海大学海洋科学博物館	
関根 明彦	〒174 板橋区蓮沼町75-1 東京光学機械㈱	松生 治

8. 住所変更

高橋 正征 〒113 文京区本郷7-3-1
東京大学理学部植物学教室

9. 退会者

河野 祐一, 中川防蝕工業㈱

10. 交換図書

海洋時報(日本海洋協会)など32種, 29冊.

日仏海洋学会賞受賞候補者推薦理由書

毛顎類は海洋プランクトンとして橈脚類について生物量が大きく、海洋生態系において第2次消費者として食物連鎖上きわめて重要な位置にある。永沢祥子博士は16年にわたり駿河湾、相模湾、東京湾で毛顎類に関する研究に専念し、代表的な沿岸性種 *Sagitta nagae* および内湾性種 *S. crassa* を主としてとりあげ、その分布構造、生活史、摂餌に関与する器官(顎毛、触毛斑)の微細構造、食性、栄養生態、生殖、細菌による侵襲、病症ならびに毛顎類の海洋生態系における役割について研究を行ない、とくに *S. nagae* については成果を集成してその生物学を確立した。これらに関する論文は23篇に達し、その研究成果は海洋生態系における基本的な知見として国内外において頻繁に参照され、高い評価をうけている。

毛顎類の体表には多数の触毛斑が分布する。永沢博士はその分布の特徴や器官の微細構造を電子顕微鏡で解析し、その機能について考察した。この器官は毛顎類の摂餌行動に深く関与しているため、触毛斑の絨毛がゆ着するなど異常を有する個体では摂餌に支障をきたし、やがて餓死するに至ることを指摘した。

毛顎類の主要な餌は現場に多い橈脚類であり、毛顎類は一生を通じて摂餌活動を行なう。自己の体重のどのくらいの餌を1日に摂食するかまた摂食した餌のどのくらいが成長や再生産にあてられるかを計算した。*S. crassa* は短時間に数個の餌を摂食する傾向があることを見出し、このようなため食いの習性は餌の不均一な分布に対する適応戦略であると解釈した。また *S. crassa* が橈脚類を消化する時間を測定するとともに、その消化効率は餌生物により異なるが、これらの平均値は他の肉食者(あみ類、魚類)が示す消化効率とほぼ同じであることを明らかにした。

永沢博士は *S. crassa* の摂食、生殖という基本的な活動に顕著な日周のリズムがあることを認めた。すなわち、摂餌のピークは22時に現われ、体に精包を付着する個体の出現により示される交尾活動のピークは真夜中の1時に現われ、さらに産卵は夜明けに行なわれる。本種は深層種に比べ、多数の卵を産み、卵は同時に成熟しないため産卵数は周期的に変動することを指摘した。

海洋生態系で毛顎類は橈脚類の捕食者としてまた一方魚類の餌として重要な役割を演じている。すなわち、東京湾では橈脚類の卓越種 *Oithona aruensis* 成体に対する *S. crassa* の捕食率は10%であること、東シナ海の毛顎類を捕食する率は1~64%と変動はするがかなり大きいことを明らかにした。毛顎類は捕食されると体が軟弱なため容易に消化され、魚の胃内にはキチン質の顎毛だけが残る。おきあみ類や魚類など毛顎類捕食者の胃内に残った顎毛の構造だけを手がかりに毛顎類の種同定方法を考案し、この方法を使用して毛顎類の被捕食と生態系における役割について新しい知見を得た。

以上のように永沢祥子博士は標記の研究題目について多数の優れた業績をあげ、それらは日仏海洋学会、日本海洋学会、日本プランクトン学会および海外の関連諸学会に発表されています。このたび本委員会は同博士の優れた研究を高く評価し、日仏海洋学会賞の授与にふさわしいとしてここに推薦いたします。

学会賞受賞候補者推薦委員会

委員長 阿部 友三郎

日仏海洋学会役員

顧問 ユベール・ブロッシェ ジャン・デルサル
ト ジャック・ロベール アレクシス・ドラン
デル ベルナル・フランク ミシェル・ル
サージュ ロベール・ゲルムール ジャック・
マゴー レオン・ヴァンデルメルシュ

誉名会長 オーギュスタン・ベルク

会 長 富永政英

副会長 高野健三, 森田良美

常任幹事 有賀祐勝, 宇野 寛, 佐伯和昭, 関 文威,
高木和徳, 松生 治

幹 事 青木三郎, 阿部友三郎, 石野 誠, 井上 実,
岩下光男, 岡見 登, 川原田裕, 菊池真一,
草下孝也, 斎藤泰一, 佐々木幸康, 佐藤孫七,
高橋 正, 奈須敬二, 根本敬久, 半沢正男,
丸茂隆三, 三浦昭雄, 山中鷹之助

監 事 久保田 穰, 辻田時美

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, 岩井 保, 岩崎秀人,
岩下光男, 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,

川原田裕, 菊池真一, 草下孝也, 久保田 穰,
黒木敏郎, 小泉政美, 小林 博, 西条八東,
斎藤泰一, 斎藤行正, 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, 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, 淵 秀隆, 前田昌調,
増沢謙太郎, 松生 治, 丸茂隆三, 三浦昭雄,
三宅泰雄, 宮崎龍雄, 村野正昭, 元田 茂,
森田良美, 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 (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

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 気 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 ^{ホン}本 ^チ地 ^{ゴウ}郷

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

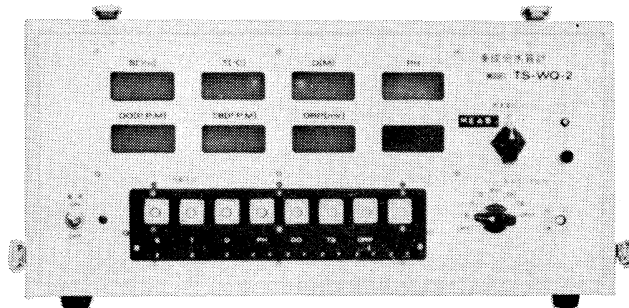
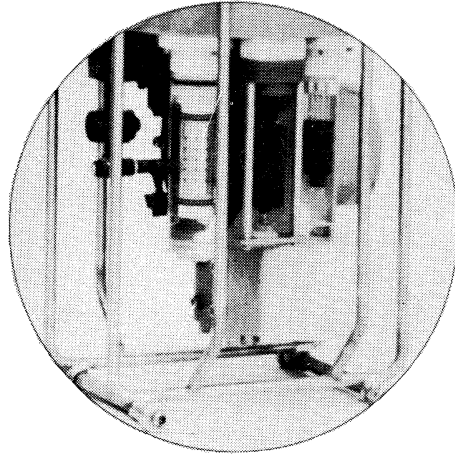
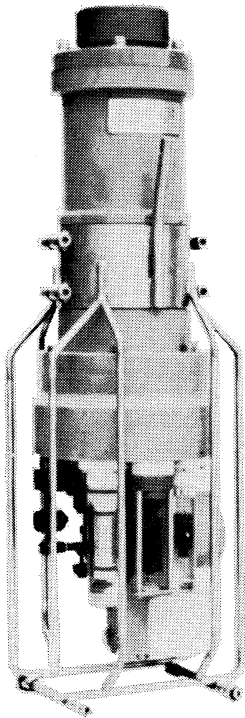
代表取締役 宮 本 悟 取締役 大 塚 昌 治

多成分水質計 MODEL TS-WQ-2R

水質調査に新時代を画す！

弊社の水質計測に関する長年の経験とお客様の現場経験に基づく御指導によって設計いたしました。

現場において、合計8項目の水質を同時に、迅速に、容易に、しかも高精度で測定することができます。観測者は、リアルタイムで調査海域の状況を把握しつつ観測計画（測線間隔、測点間距離、測定深度及び深度間隔など）を適切に変更実施することが可能になりました。



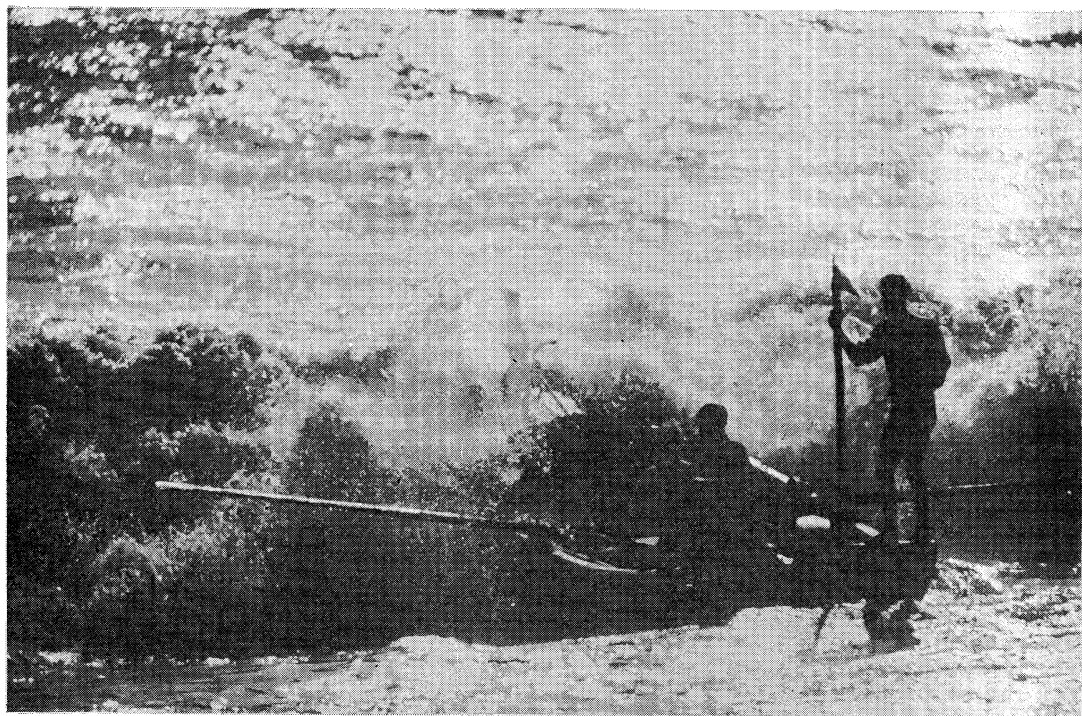
項目 要目	水 温	塩 分	深 度	水素イオン 濃度 (PH)	溶 酸 素 量 (DO)	濁 度	酸 化 還 元 電 位 (ORP)	(ブランク)
測定方式	白金抵抗体	電磁誘導	ストレッチゲージ	複合ガラス電極	隔膜電極	透過光散乱比較式	白金電極	—
測定範囲	0~32℃	10~35‰	0~50m	4~12	0~20ppm	オプション (0~100ppm) (0~500ppm)	-500~ +500mV	—
精 度	±0.1℃	±0.05‰	±0.3%FS	±0.05	±0.5ppm	±5%FS	±1%FS	—

T.S.K

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
電話(045)521-5252(代) FAX045-521-1717
テレックス3823750 TSK JPN J

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。

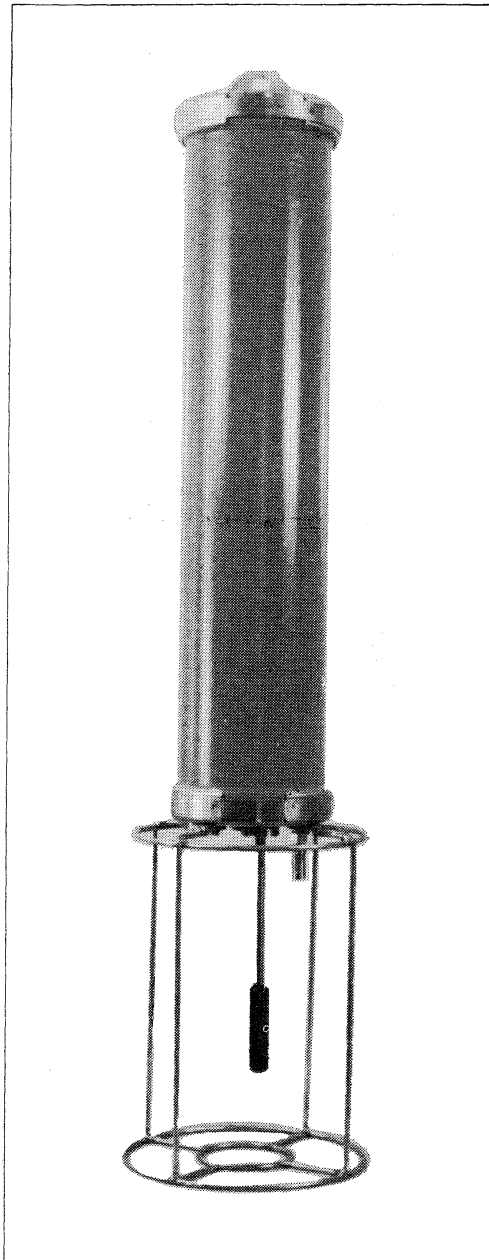


読売広告社

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

バブルメモリ電磁流速計



BUBBLE MEMORY SYSTEM

UECM2000

UNION
ELECTROMAGNETIC
CURRENT
METER

四大特長

1. バブルメモリデータロガー内蔵

- 1メガビットの高容量バブルカセット方式
- 機械的可動部なく保守不要
- 不揮発性で、媒体エラーなし
- 低電力消費システム
- 各種パソコンに容易に接続可能

2. 多機能マイクロプロセッサ内蔵

- 計測パラメータは簡単なキーボード操作で入力
- 液晶ディスプレイによる対話方式
- ベクトルアベレージ演算機能
- 装置内のセルフチェック機能

3. 高精度センサ

- コンパクトなベクトル電磁流速センサ
- ハイレスポンスの高性能ホール素子コンパス
- 標準4ch— X、Y流速、コンパス、水温
- オプションセンサー—電気伝導度、深度、濁度

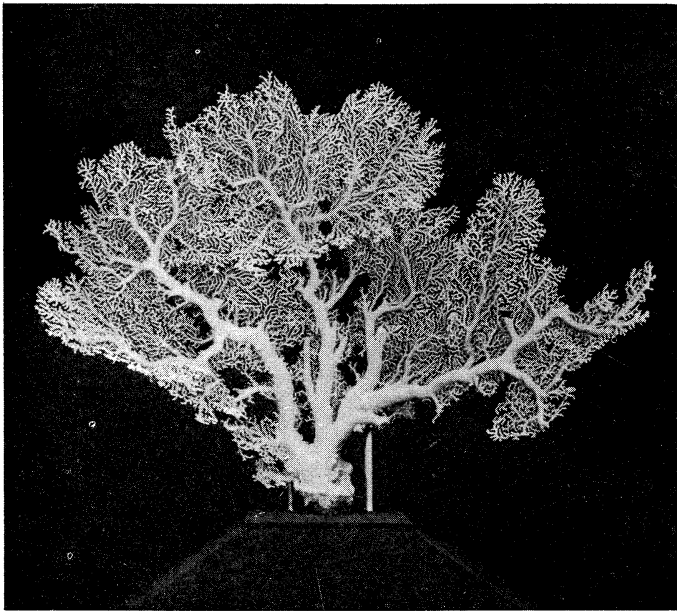
4. 取扱い容易

- 軽量、非腐食の特製FRP耐圧ケース
- 係留が容易で、波浪域でも良好なデータ取得
- 接続ミスのない1パック電源使用

この他にも表層域から海深まで、すべての測流技術を結集した各種流測計があります。



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



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

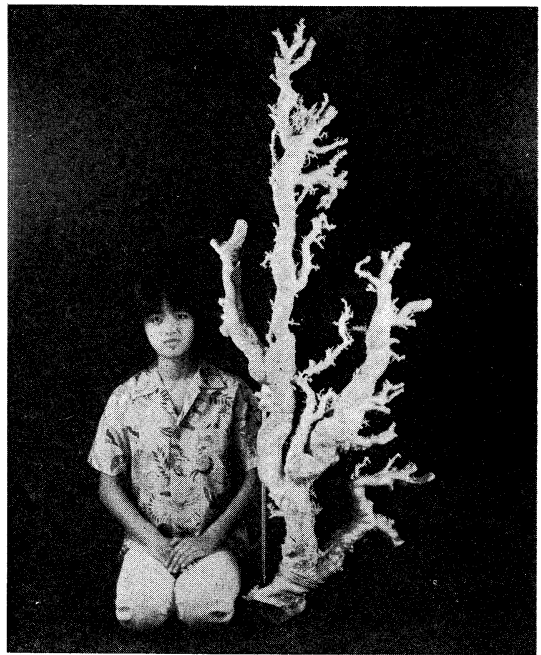
採集場所 徳之島近海

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)

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 オセアノート
 小樽船用電機株式会社
 社団法人 海洋産業研究会
 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
 東京製網繊維工業株式会社
 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
 深田サルベージ株式会社
 古野電気株式会社
 丸文株式会社
 三井海洋開発株式会社
 宮 本 悟
 株式会社ユニオン・エンジニアリ
 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
 東京都千代田区神田錦町 1-9-1 天理教ビル8階
 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 轉本地郷
 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

昭和 60 年 8 月 25 日 印刷
 昭和 60 年 8 月 30 日 発行

う む 第 23 卷
第 3 号

定 価 ￥ 1,600

編 集 者 高 野 健 三

発 行 所 日 仏 海 洋 学 会

財団法人 日仏会館内

東京都千代田区神田駿河台2-3

郵便番号: 101

電話: 03(291)1141

振替番号: 東京 5-96503

印 刷 者 佐 藤 一 二

印 刷 所 有 限 会 社 英 和 出 版 印 刷 社

東京都文京区本駒込 6-15-10

郵便番号: 113

電話: 03(941)6500

Tome 23 N° 3

SOMMAIRE

Article spécial

- Hypothesis testing and rigorous statistics as criteria for marine research proposals
 Tomothy R. PARSONS 109

Notes originales

- On response of coastal waters to offshore disturbance..... Shigehisa NAKAMURA 111
 Measurement of sedimentation potential of sea water..... Hiromitsu HIRAKAWA
 and Taisuke TAKEISHI 118
 Relationship between turbidity of water and visual acuity of fish (2)
 Turbidity level, target size and distance at visual limits in case of small target
Yoshihiko NAKAMURA and Kanau MATSUIKE 123
 A topographic Rossby wave off Ashizuri Point..... Tetsuo YANAGI 130
 In situ observations on the surface swarm of *Euphausia pacifica* in Sendai Bay
 in early spring with special reference to their biological characteristics..... Yoshinari ENDO,
 Yukio HANAMURA and Akira TANIGUCHI 135
 A note on change of a front in an oceanic shear flow..... Takashi ICHIYE and FAGAO Zhang 141

Conférence

- Studies on the ecology of chaetognaths and their role in marine ecosystems.....Sachiko NAGASAWA 146

- Procès-verbaux 149

第 23 卷 第 3 号

目 次

特別寄稿

- 海洋研究計画と成果の評価 (英文) Tomothy R. PARSONS 109

原 著

- 沖合の擾乱によって誘起される沿岸水位変動について (和文)中村重久 111
 海水の沈降電圧測定 (和文)平川廣満・武石泰亮 118
 水中の濁りと魚の視力との関係 (2) 濁り濃度と視認限界における物標の大きさ及び距離 (和文)
中村喜彦・松生 治 123
 足摺岬沖の地形性ロスビー波 (英文)柳 哲雄 130
 仙台湾で観察されたツノナシオキアミ (*Euphausia pacifica*) 濃密浮上群の生物学的特性 (英文)
遠藤宣成・花村幸生・谷口 旭 135
 シャーのある流れの中のフロントの変化についての小論 (英文).....Takashi ICHIYE and FAGAO Zhang 141

記念講演

- 毛類類の生態および海洋生態系におけるその役割に関する一連の研究 (和文)永沢祥子 146

- 学会記事..... 149