

La mer

うみ

1999年5月

日 仏 海 洋 学 会

La Société franco-japonaise
d'océanographie
Tokyo, Japon

SOCIÉTÉ FRANÇO-JAPONAISE D'OcéANOGRAPHIE

Comité de Rédaction

(de l'exercice des années de 1998 et 1999)

Directeur et rédacteur: Y. YAMAGUCHI

Comité de lecture: S. AOKI, M. HORIKOSHI, M. MATSUYAMA, M. MAEDA, M. OCHIAI, T. YANAGI, S. WATANABE

Rédacteurs étrangers: H. J. CECCALDI (France), E. D. GOLDBERG (Etats-Unis), T. R. PARSONS (Canada)

Services de rédaction et d'édition: M. OCHIAI, H. SATOH

Note pour la présentation des manuscrits

La mer, organe de la Société franco-japonaise d'océanographie, publie des articles et notes originaux, des articles de synthèse, des analyses d'ouvrages et des informations intéressant les membres de la société. Les sujets traités doivent avoir un rapport direct avec l'océanographie générale, ainsi qu'avec les sciences halieutiques.

Les manuscrits doivent être présentés avec un double, et dactylographiés, en *double interligne*, et au recto exclusivement, sur du papier blanc de format A4 (21 × 29.7 cm). Les tableaux et les légendes des figures seront regroupés respectivement sur des feuilles séparées à la fin du manuscrit.

Le manuscrit devra être présenté sous la forme suivante:

1° Il sera écrit en japonais, français ou anglais. Dans le cadre des articles originaux, il comprendra toujours le résumé en anglais ou français de *200 mots* environ. Pour les textes en langues européennes, il faudra joindre en plus le résumé en japonais de *500 letters* environ. Si le manuscrit est envoyé par un non-japonophone, le comité sera responsable de la rédaction de ce résumé.

2° La présentation des articles devra être la même que dans les numéros récents; le nom de l'auteur précédé du prénom *en entier*, en minuscules; les symboles et abréviations standards autorisés par le comité; les citations bibliographiques seront faites selon le mode de publication: article dans une revue, partie d'un livre, livre entier, etc.

3° Les figures ou dessins originaux devront être parfaitement nettes en vue de la réduction nécessaire. La réduction sera faite dans le format 14.5 × 20.0 cm.

La première épreuve seule sera envoyée à l'auteur pour la correction.

Les membres de la Société peuvent publier 7 pages imprimées sans frais d'impression dans la mesure à leur manuscrit qui ne demande pas de frais d'impression excessifs (pour des photos couleurs, par exemple). Dans les autres cas, y compris la présentation d'un non-membre, tous les frais seront à la charge de l'auteur.

Cinquante tirés-à-part peuvent être fournis par article aux auteurs à titre gratuit. On peut en fournir aussi un plus grand nombre sur demande, par 50 exemplaires.

Les manuscrits devront être adressés directement au directeur de publication de la Société: Y. YAMAGUCHI, Université des Pêches de Tokyo, Konan 4-5-7, Minato-ku, Tokyo, 108 Japon; ou bien au rédacteur étranger le plus proche: 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, Etats-Unis; ou T. R. PARSONS, Institute of Ocean Sciences, P.O.Box 6000, 9860W, Saanich Rd., Sidney, B. C., V8L 4B2, Canada.

黒潮大蛇行の前駆現象としての小蛇行

永田 豊*・吉田 昭三*・藤田 弘一**

Small-scale meander as the trigger of the Kuroshio Large Meander

Yutaka NAGATA*, Shozo YOSHIDA* and Kouichi FUJITA**

Abstract: Small-scale meanders of the Kuroshio are often generated just off Cape Toi. It has been believed that the small-scale meanders usually travel eastward and that some of the meanders are suddenly developed into the Large Meander of the Kuroshio just after passing by Cape Shinomisaki (the tip of the Kii Peninsula). This scenario of the initiation of the Large Meander was usually derived from the analysis of the Prompt Report of the Oceanographic Condition published bimonthly by the Hydrographic Department of Maritime Safety Agency (YOSHIDA 1961, SHOJI 1972, KAWABE 1980 and FUJIMOTO *et al.*, 1988) However, by re-analyzing series of the Report, we found that the eastward propagation occurs only for the eastern margin of the meander and the western margin usually stays just off Cape Toi: namely, the east-west width of the meander is increased. Just after the eastern margin passes Cape Muroto, a small but strong small-scale eddy is generated in the eastern part of the elongated meander and is cut off. The rapid development of the eddy takes place in the area just off the Kii Channel, and then it moves eastward to pass by Cape Shinomisaki and to form the Large Meander of the Kuroshio. It should be noted that any meander of "small-scale" was never detected off Shikoku.

1. はじめに

本州南岸の黒潮には、紀伊半島先端の潮岬のすぐ沖から真っ直ぐに東進する直進路を取る場合と、遠州灘沖に現れる大冷水塊を迂回する大蛇行路を取る場合があり、いずれの流路も安定しており一旦現れると数年程度持続することが多い。また、大蛇行路から直進路への遷移は比較的ゆるやかに起こるのに対して、直進路から大蛇行路への遷移は数日という短時間の内に起こることが知られている(例えば、KAWABE, 1980: 但し遷移時間の推

定は串本と浦神との検潮所間の水位差から推定されることが多い)。この直進路から大蛇行路への遷移に際しては、「都井岬の沖合いで黒潮に発生する小蛇行が東進してきて、それが潮岬沖を通過した直後に急速に成長する」とされている。このことを最初に指摘したのは、1959年の大蛇行発生に際して吉田(1960, 1961)およびMORIYASU(1961)である。後にSHOJI(1972)が黒潮の流路の変動特性を論じて1959年と共に1969年の発生時にも同様の現象が見られることを指摘しており、これにより、この概念が一般に定着した様である。さらにKAWABE(1980)が1975年の、藤本ら(1988)が1986年の大蛇行発生前に同様の黒潮流路の変遷が見られることを指摘している。もっとも、都井岬から東進してくるとされる小蛇行の全てが大蛇行に発展するのではなく、小蛇行のまま紀州沖を通過するものも多いとされている(増沢, 1965)。なお、これらの研究は、MORIYASU(1961)を除き、いずれも海上保安庁水路部が月2回で発行している海洋速報の黒潮流路の変遷資料を基礎として行われている。

*日本水路協会海洋情報研究センター；〒104-0061 東京都中央区銀座7-15-4 三島ビル5F
Marine Information Research Center, 7-15-4
Ginza, Mishima Bldg. 5F, Chuo-ku, Tokyo 104-0061, Japan

**三重県水産技術センター；〒517-0404 三重県志摩郡浜島町浜島3564-3
Fisheries Research Institute of Mie, 3564-3
Hamashima, Hamashima-cho, Shima-gun, Mie
517-0404, Japan

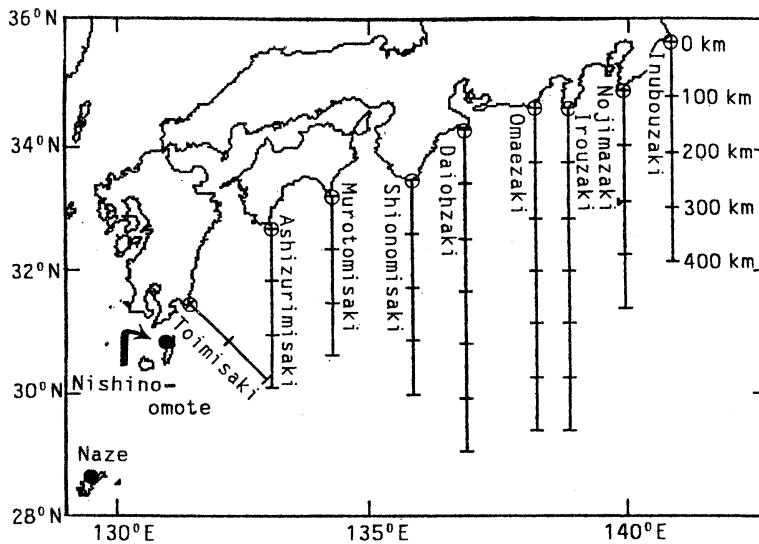


Fig.1. Standard lines where the position (the distance from the coast) of the Kuroshio axis was determined from the Prompt Report of the Oceanographic Condition published bi-monthly by the Hydrographic Department of Maritime Safety Agency. (FUJITA, 1997)

藤田 (1997a) (この論文の内容の一部は、SEKINE and FUJITA, 1999 に示されている) は Fig. 1 に示すような定線を設定して、これらの線上で黒潮の流軸位置を海洋速報から読み取り Fig. 2 に示すような時系列を求めた。この時系列から定線間での相互ラグ相関等を計算して小蛇行の東進現象を示そうとした。しかし、ラグ相関解析からは、東進現象を示唆するような有意な結果を得ることができなかった (藤田ら, 1997b, 1997c)。またこの時系列を詳細に検討しても東進現象を明確に示すような現象は認められなかった。そこで、われわれは、基となった海洋速報に戻って検討しなおした。その結果、都井岬沖で生じた小蛇行がそのまま東進するのではなく、その西縁は殆ど動かないままに東西幅が増大していく、すなわち東縁だけが東進していくと考える方が自然であることが分かった。少なくとも、都井岬沖で発生した小蛇行と同じ程度の東西幅を持つ蛇行が四国沖で検出された例は皆無であった。後に述べるように、従来の研究でもほとんどが蛇行の東縁の移動から「小蛇行の東進」を推定しており、今回の結果は過去の研究と矛盾する訳ではない。しかし蛇行の変形を考慮した議論は今までにはなかった。

この論文では藤田 (1997a) の議論を更に発展させ、黒潮大蛇行発生のおきかけを与える都井岬沖の「小蛇行」の変形と、紀伊水道周辺で新しく生じる東西幅の小さい「小蛇行」について論じ、従来の考え方の再検討を行う

ことにする。なお、この論文の一部は第9回 PAMS/JECS ワークショップ (1997 台北) で発表されたものであり、概要は英文でそのプロシーディングに載せられていることを付記する (FUJITA and NAGATA, 1998)。

2. 1986年及び1989年大蛇行発生直前の黒潮流路地の変遷

Fig. 2 に見られるように、1975年以降に1975年7月、1981年11月、1986年11月、1989年11月の4回、黒潮の大蛇行が起こっている (大蛇行の定義は研究者により若干異なるが、ここでは藤田 (1997a) に従う。これはほぼ海洋速報の定義に一致している)。1950年までさかのぼると、SHOJI (1972) が議論の対象とした1959年5月と1969年4月の大蛇行の発生が知られている (1969年4月の事例については、継続期間が短く大蛇行と見なさない場合もある)。われわれは過去の全ての大蛇行について、発生直前の海洋速報の再吟味を試みたが、1950年以前については観測点が少なく、黒潮流路の変遷を海洋速報から論ずることは不可能である。また、1981年の事例についても、基礎となる観測資料が四国沖において少なく今回の議論からは省いた。

これらの事例のうち、特に1986年の場合には第5管区海上保安本部水路部が中心となって、特別な黒潮観測体制を取った関係から観測資料が豊富である。また、1989年の際の観測資料はこれに次いで豊富である。そ

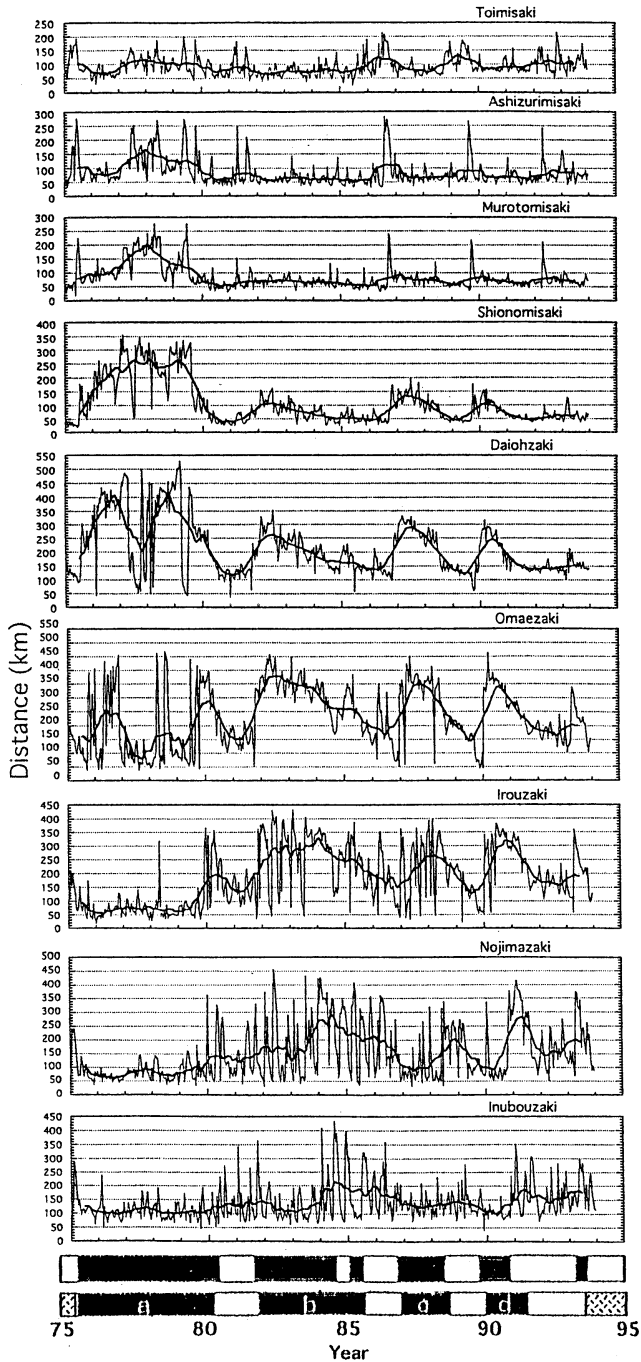


Fig. 2. The variation of the position of the Kuroshio axis on each standard line shown in Fig. 1. The distance (km) measured from the coast is taken in the ordinate. The thick curve indicates the one-year running averaged position. The horizontal black and white bars in bottom column indicate the period of the large meander path and that of the straight path, respectively : the identification of the flow path in the upper column is based on the description in the Prompt Report, and that in the lower column was made by FUJITA. Four large meander events(a, b, c and d) were defined by FUJITA in the period from 1975 to 1994. (FUJITA, 1997)

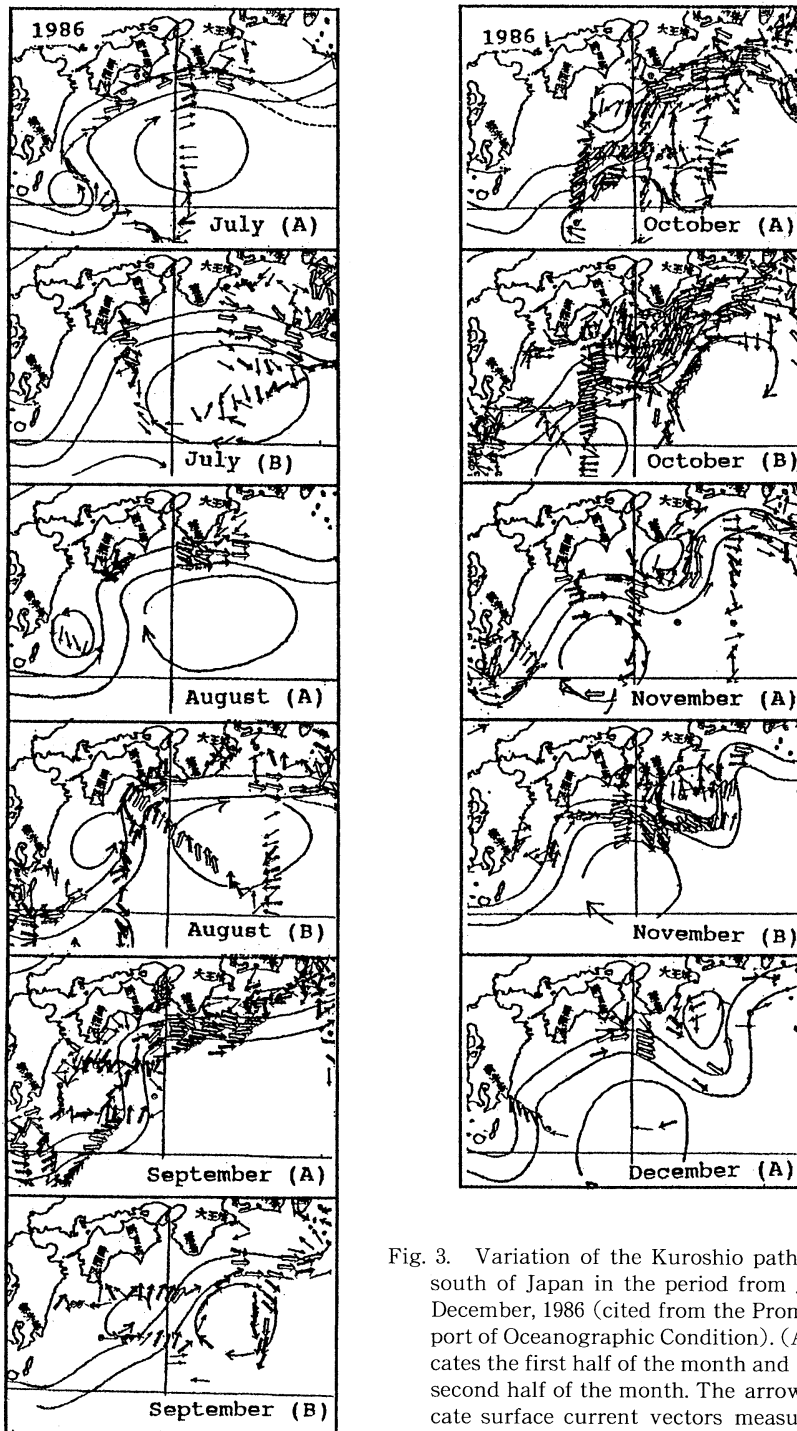


Fig. 3. Variation of the Kuroshio path to the south of Japan in the period from July to December, 1986 (cited from the Prompt Report of Oceanographic Condition). (A) indicates the first half of the month and (B) the second half of the month. The arrows indicate surface current vectors measured by GEK. The distribution of the arrows demonstrates roughly that of the oceanic observations in each period.

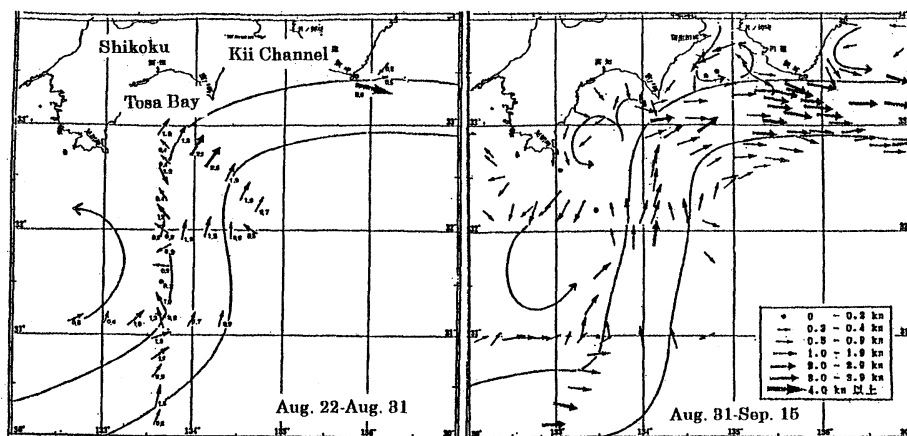


Fig. 4. Detailed oceanic conditions to the south of Shikoku and the Kii Peninsula in the periods from Aug. 22 to Aug. 31 (left figure) and from Aug. 31 to Sept. 15, 1986 (right figure) (cited from the Regional Prompt Report of Oceanographic Condition published bimonthly by the 5th Maritime Safety Headquarter).

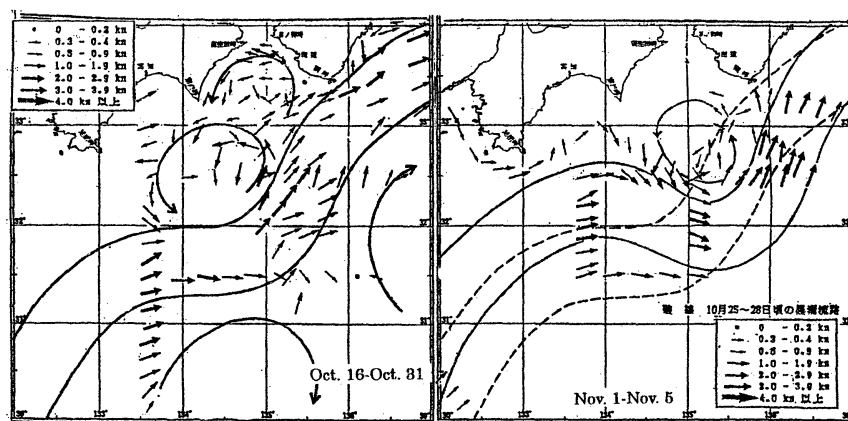


Fig. 5. Same as in Fig. 4 except in the periods from Oct. 16 to Oct. 31 (left figure) and from Nov. 1 to Nov. 5, 1986 (right figure)

ここでこの2例について先ず考察してみよう。

1986年11月の大蛇行発生に至る黒潮流路の変遷を7月上旬から12月上旬の期間についてFig. 3に示す。この場合7月前半に都井岬沖の黒潮に幅の狭い蛇行が発生している。7月後半・8月前半は観測点が少なくこの期間の動静は明確でないが、8月後半から9月前半にこの蛇行は大きく発達し、その東縁が土佐湾から室戸岬沖に達している。しかし、都井岬南方での黒潮流軸の位置には殆ど変化は現れていない。すなわち、蛇行の東縁の北流部分は東に移動しているが、西ないしは南の縁の位置はそのまま、蛇行ないしは冷水渦の東西幅が増大して行ったと考える方が自然である。第5管区海上保安本部

水路部の発行している海洋速報は土佐湾沖から紀州沖の部分拡大された形になっているので8月下旬 (Aug. 22-31) および9月上旬 (Aug. 31-Sep. 15) のものをFig. 4に示す。「都井岬沖に発生した小蛇行が形を変えず四国沖まで東進してきた」という状態は起こっていないことはこれらの図から明らかである。潮岬周辺の黒潮は典型的な直進路を取っているが、紀伊水道内に低気圧性の渦が明確に存在することは注目すべきである。この東縁部はさらに東進を続け、9月下旬から10月上旬には室戸岬沖を越えて潮岬沖近くまで達したと考えられるが、室戸岬沖から紀伊水道沖の観測が少なく海況の細部は不明である。Fig. 3のOctober (A) に低気圧性の小

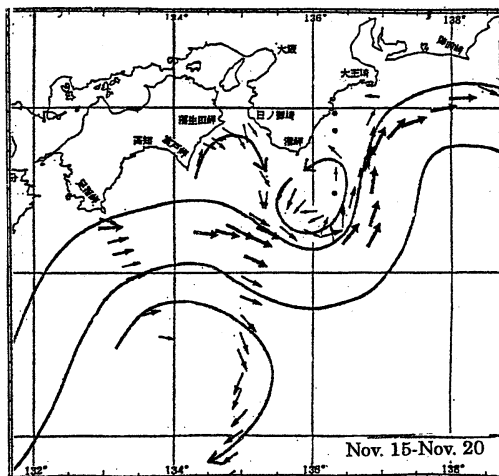


Fig. 6. Same as in Fig. 4 except in the period from Nov. 15 to Nov. 20, 1986.

規模渦の発生が記されているが、観測点の分布から存在を確認することは難しい。しかし、東西に延ばされた蛇行南縁部の位置が四国沖でやや北に移動しているように思われる。

東縁部が室戸岬を通過し、潮岬付近に達したと思われる10月下旬 (Oct. 19-31) および11月上旬 (Nov. 1-5) の第5管区の海洋速報を Fig. 5 に示す。10月上・下旬には四国沖での黒潮強流部の北縁が 32°N に達し (Fig. 5), 蛇行南縁部は足摺岬南方で折れ曲がった形になるとともに、東西に引き伸ばされた蛇行の東端部分 (南縁の折れ曲がりによる南北幅の減少した部分の東) に東西幅の小さい低気圧性渦が生成されている (Fig. 3, Fig. 5)。Fig. 5 に示された流況は、この渦が紀伊水道内に存在していた低気圧性渦と相互作用を起こし、合体したことを示唆している。これに伴い、黒潮流路は土佐湾の沖で北上し、東西に引き伸ばされた蛇行 (冷水域) は東西に2分されてしまう。その後、西側の冷水域は消滅し、紀伊水道沖の低気圧性の渦・小蛇行だけが存在することになる。この小蛇行の東西幅は、最初に都井岬沖で発生した小蛇行と殆ど同じである。恐らく、この類似性が、都井岬沖の小蛇行がそのまま紀伊水道沖にまで伝播してきたという印象を一般に与えたのであろう。

小蛇行がさらに東進し、潮岬沖を通過しつつある状況が11月15-20日の資料に基づく第5管区の海洋速報に示されている (Fig. 6)。興味深いのは、この時紀伊水道内の低気圧性の渦が消滅し、高気圧性の渦が発生していることである。これに関しては、第4章でさらに議論することにする。

1989年の大蛇行発生時の黒潮流路変遷を7月下旬から12月上旬の期間について、Fig. 7 に示す。この場合にも7月下旬に都井岬沖に小蛇行の発生が見られており、この蛇行がそのまま東進するのではなく、西縁の位置が殆ど動かず、蛇行の東西幅の増大に伴って、東縁が東進していく様子が見られる。9月下旬の図で、東西に引き伸ばされた蛇行の東端部 (室戸岬南方) で、東西幅の小さい渦が描かれているが、流速場がその存在を明確に示しているとは言えない。しかし、10月の上下旬になり、東縁部が潮岬沖に達すると、東西に引き伸ばされた蛇行の南縁にくびれが生じ、土佐湾南方での黒潮流路の北遷が起こり先端部が切り離されて、紀伊水道沖に東西幅に狭い、強い渦・小蛇行が形成される。この全体の変遷過程は1986年の場合とほぼ同じであるが、紀伊水道沖での小蛇行の発達はより顕著である。2つの場合ともに、紀伊水道沖の小蛇行は東進して潮岬を越えて遠州灘沖の黒潮大蛇行へと発達した。

3. 都井岬沖で発生した小蛇行の変形とその東縁の東進

前章で論じた様に、1986年および1989年の大蛇行の発生時においても都井岬沖で発生した小蛇行が黒潮大蛇行の引き金の役割を果たしている。ただ通常の意味では、「小蛇行の東進」の現象は認め難く、「小蛇行の変形とその東縁の東進」を考えるべきであると言う結論を得た。他の1959年、1969年、1975年の事例についても水路速報に戻って再検討を行った。しかし、1986年、1989年の場合に比べて、基となった観測資料が少なく、すでにSHOJI (1972) や KAWABE (1980) が論じた以上には、詳しい解析は出来なかった。そこで、彼らの図を引用しながら、前章で述べたような考え方が成り立つかどうかを検討することにする。

SHOJI (1972) が示した、1959年と1969年の黒潮大蛇行発生時における黒潮流路の変遷を Fig. 8 に、KAWABE (1980) の示した1975年の変遷を Fig. 9 に示す。面白いことは、これらの図は都井岬沖で発生した小蛇行の東縁が東進することが明確に示されているものの、四国沖で東西幅が限られた「小蛇行」の存在を示すような流路図は一枚も無いことである。われわれは藤田 (1997a) が解析した1982以後に発生した4つの黒潮大蛇行の発生事例についても検討したが、得られた結論は全く同じであった。東西幅の狭い「小蛇行」が認め得るとしても、四国沖ではなく紀伊水道付近であり、東西に引き伸ばされた蛇行の東端の部分が分離し新しく発生したと考える方が自然である。紀伊水道での小蛇行の発

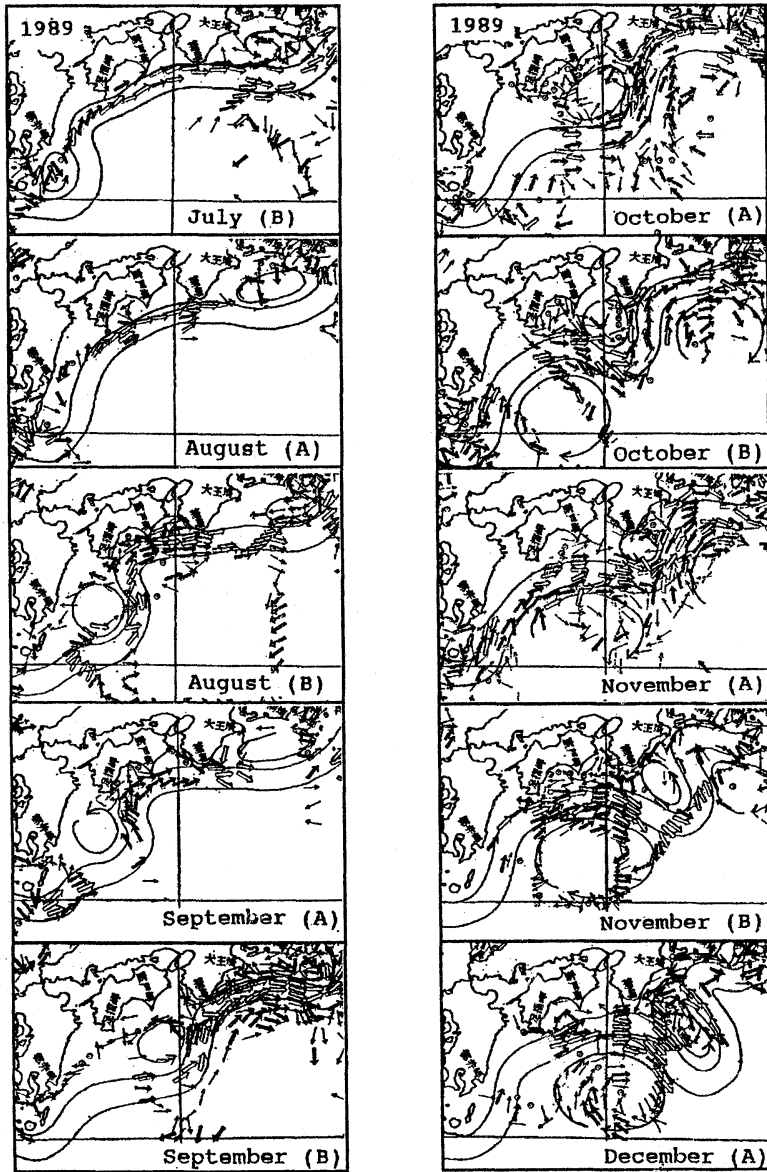


Fig. 7. Same as in Fig. 3 except in the period from July to December, 1989.

生と発達については、次章でさらに詳しく論じることとする。

ここで注目すべきは、東縁が室戸岬から潮岬に達するようになった引き伸ばされた蛇行の東西幅は、遠州灘沖の黒潮大蛇行の幅に優に匹敵する規模となっていることである。四国沖でくびれを生じて小蛇行が新たに分離される以前では、蛇行の沿岸寄りにある冷水域の西縁は九州東岸の海岸線そのものと見ることも出来よう。これま

での議論で「小蛇行西縁は殆ど移動しない」としたが、これは都井岬沖での小蛇行の「上流側の縁」と取る方が正確であろう。この部分はむしろ真東に流れており、「東縁の東縁」はこの「東流部分の長さが室戸岬の南方まで伸びていく」ことに伴っての「北上流の位置の東進」と考える事も出来よう。しかし、ここでは従来の「小蛇行の東進」との対比のために、西縁は殆ど動かないと言う表現をとっている。

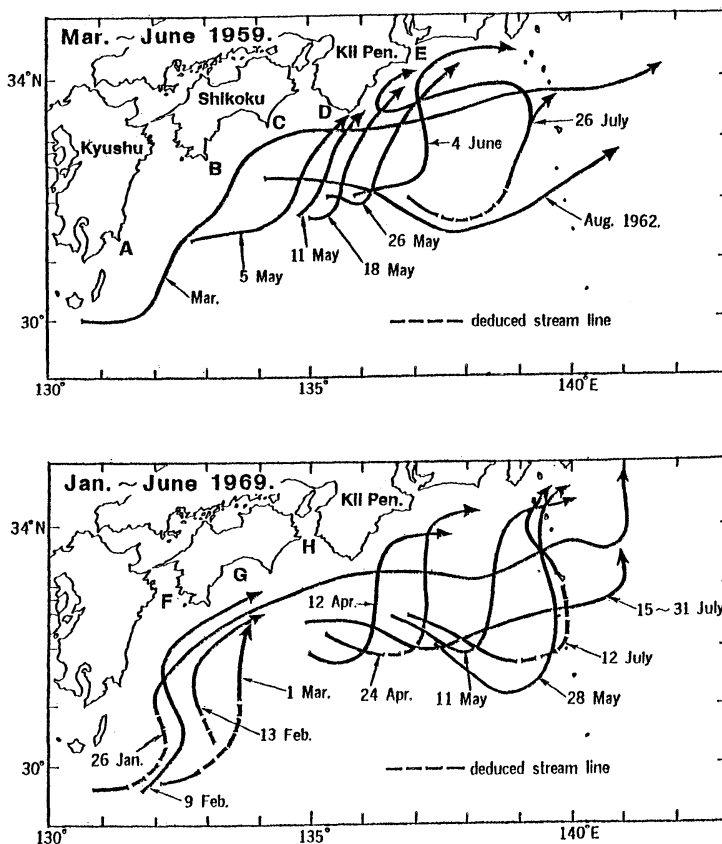


Fig. 8. Evolution of the Kuroshio path prior to the generation of the Large Meander of the Kuroshio in the period from March to August, 1959 (upper figure), and that from January to July, 1969 (lower figure). A : Cape Toi, B : Cape Ashizuri, C : Cape Muroto, D : Cape Shionomisaki, E : Cape Daio, F : Bungo Channel, G : Tosa Bay, and H : Kii Channel. (SHOJI, 1972)

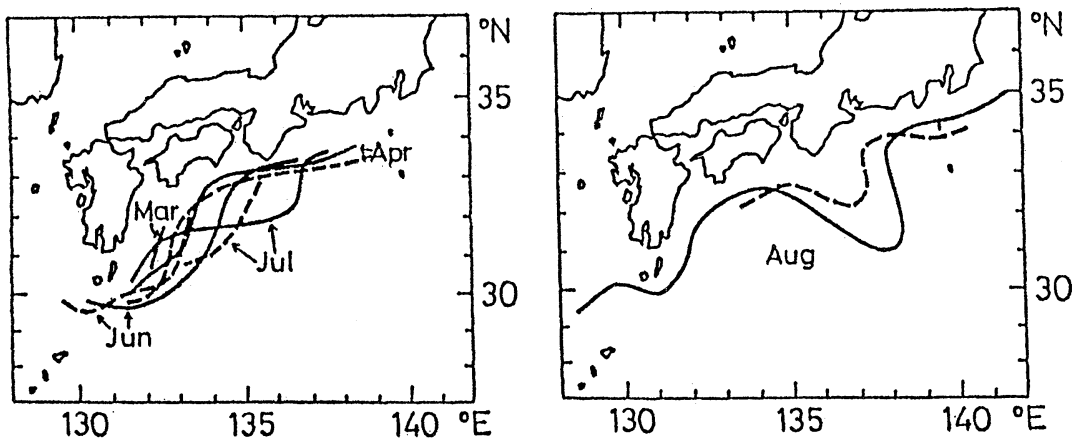


Fig. 9. Evolution of the Kuroshio path prior to the Large Meander of the Kuroshio in the period from March to July (left figure) and in August, 1975 (right figure). Dashed lines indicate the position in the first half of the month, and full lines indicate that in the second half. (KAWABE, 1980)

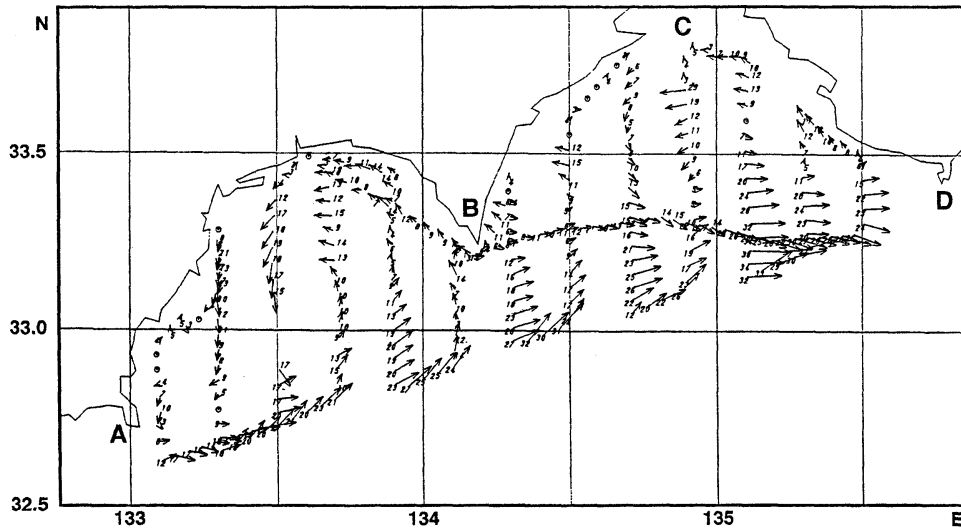


Fig. 10. Current distribution at the depth of 10m on Aug. 20–22, 1997 measured by ADCP. Numerals attached to arrows indicate current speed in $0.1 \times \text{knots}$ (e.g., 24 means 2.4kt). A : Cape Ashizuri, B : Cape Muroto, C : Kii Channel, D : Cape Shionomisaki. (Courtesy of the 5th Maritime Safety Headquarter : NAGATA *et al.* 1999)

津村 (1963) や KAWABE (1980) は日本沿岸の水位の変化特性を論じて、その変化特性がかなり広い範囲で共通性があり、日本沿岸を幾つかのブロックに分けることができることを示している。それによると油津から串本までが1つのブロックを形成しており、浦神から油壺までが別のブロックを成している。このような広範囲に水位変動特性に共通性が生じる原因については明らかにされていないが、このことはそれぞれのブロックの範囲にまたがる沖合に共通する何らかの海況変動が存在することを示唆している。以上に論じてきた黒潮大蛇行の直前での都井岬から潮岬に至る「引き伸ばされた蛇行」あるいは「黒潮流路の離岸」はそのような広範囲な海況変動の1つと考えられる。黒潮の大蛇行を論じる際、指標とされる串本・浦神間の水位差と並んで、広範囲の水位特性にも注目して論じられるべきであろう。増沢 (1965) は、潮岬を通過する小蛇行の全てが大蛇行を起こさないことを指摘しているが、大蛇行を引き起こす条件として、ここで述べたような大蛇行に匹敵する水平スケールを持った現象の関与を考えるのは自然であろう。

4. 紀伊水道沖に存在する低気圧性の渦 — 紀伊水道で発生する新しい小蛇行の発生と発達と関連 —

従来、大蛇行の発生は、東進してきた小蛇行が潮岬を通過した後に急速に成長することによってとされてきた。しかし、上に述べたように、1986年および1989年の事

例では、大蛇行発生の直前に紀伊水道沖での新しい小蛇行の発生（あるいは切離）が起こり、それが紀伊水道沖で急速に発達し、潮岬を通過した後、さらに発達すると考える方が自然である。この紀伊水道沖での渦の切離と発達には、黒潮が直進路を取っている場合に恒常的に存在するらしい紀伊水道内の低気圧性の渦が関連していることが示唆される。紀伊水道内あるいはその沖合に、冷水渦がかなり恒常的に存在するらしいことは古くから知られている（竹内：personal communication）。しかし、紀伊水道内での和歌山県水産試験場を初めとする各機関の定期観測測点密度がこの渦を明確に捉えるには不十分で、この渦の存在・消長に関する研究は今までも殆ど行われていない。

第5管区海上保安本部水路部では「土佐湾及び紀伊水道南方海域における沿岸流観測」と銘打って、ADCPを用いた流れの平面分布を求める観測を1997年8月から開始している。この観測は年4回実施される予定で、第1回目が8月20–22日に実施された。残念なことに第2回目の観測は悪天候のため、観測は土佐湾内部にのみ限られた。この第1回の観測結果（水深10m層での流速分布）をFig. 10に示す。この時期の黒潮は直進路を取っていたが、紀伊水道内の低気圧性の渦が見事に捉えられている。この状況が一般性を持つかどうかは今後の観測資料の蓄積を待たなければならない。第5管区の観測計画は、2年間とされているが、より長期の観測が望

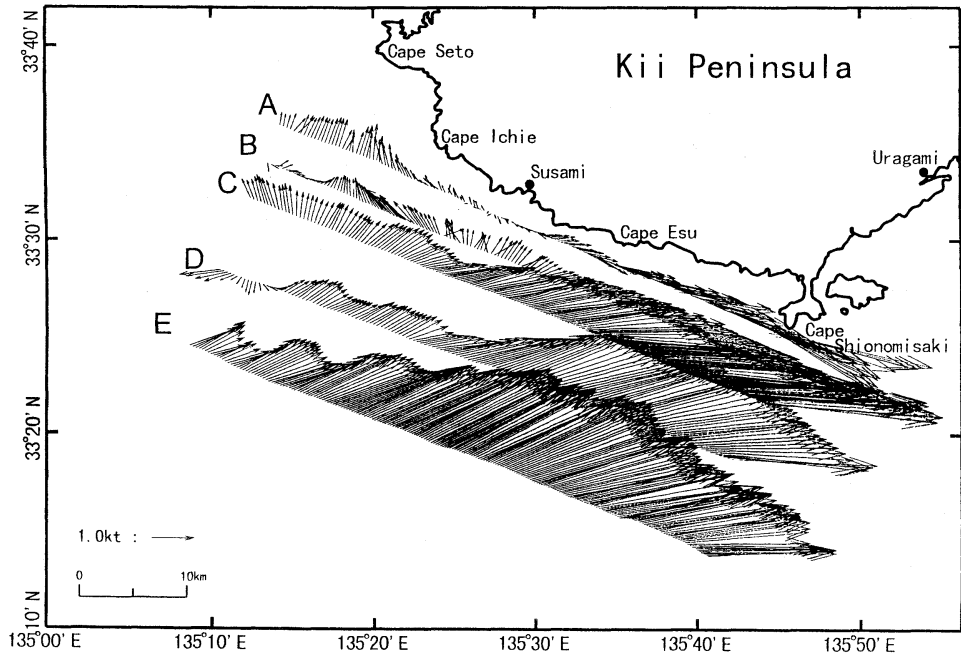


Fig. 11. Example of the current distribution of the Bifurcation Current along the southwest coast of the Kii Peninsula: Measured by ADCP on board of the R/V Seisumaru of the Mie University on June 24-25, 1997 (TAKEUCHI *et al.*, 1998c). The current direction along the line nearest to the coast is changed just off Susami : NWW to the west and SEE to the east of Susami.

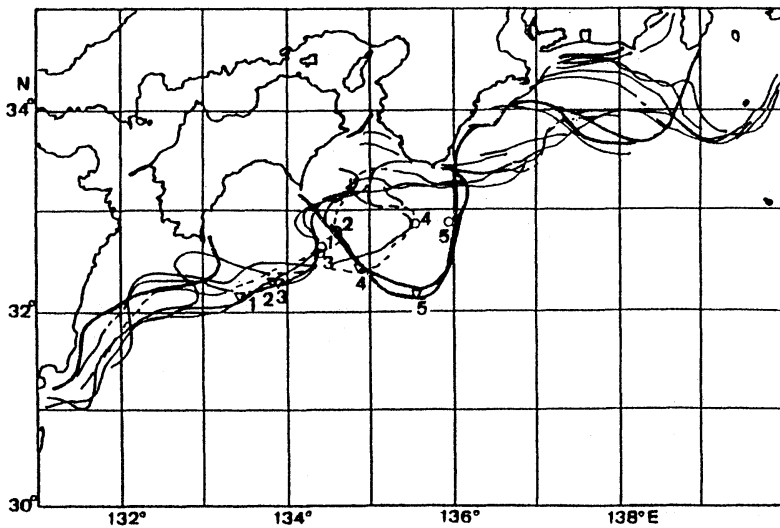


Fig. 12. Evolution of the Kuroshio path just before the generation of the Large Meander of the Kuroshio in late May of 1998 deduced from NOAA HRPT images. Attached numbers indicate the dates of the observation : 1 indicates May 20, 2 May 21, 3 May 22, 4 May 26 and 5 May 31. (Courtesy of TAKEUCHI).

まれる。

黒潮直進時に紀伊水道に恒常的に低気圧性の渦が存在することの傍証としては、紀伊半島の南西海岸に見られる「振り分け潮」(TAKEUCHI *et al.*, 1998a, 1998b, UCHIDA *et al.*, 1999) の存在が上げられる。振り分け潮の流速水平分布の1例を、三重大学の観測船勢水丸のADCP観測(1997年6月24-25日)からFig. 11に示す(TAKEUCHI *et al.*, 1998b, UCHIDA *et al.*, 1999)。このときの黒潮は直進路を取っており、黒潮強流部は潮岬に接していた。この分布図から分かるように、振り分け潮の東部の東流部分は黒潮の流れそのもので構成されていると考えられる。振り分け潮の西部の西流部分については観測資料が少なく確言することは困難ではあるが、Fig. 5の左図(Oct. 16-31)や、Fig. 10の流速場が振り分け潮の存在を示唆していることから判断して、紀伊水道内の低気圧性の渦と密接に関連していると考えるのが自然であろう。

TAKEUCHI *et al.* (1998a) は、ほぼ100mの等深線に沿った岸に平行した線上で1988年から1996年までの期間に258回行われた和歌山県水産実験場の観測船わかやまのADCPの観測資料を解析して、振り分け潮の出現頻度が70%にも達することを示している。また、その出現頻度が黒潮流路の位置に関係し、大蛇行時には低く、直進路の時に高いことが示されている。また、黒潮流路が安定した直進路を取っている場合には、振り分け潮の構造も安定しており、変動が少ないことが示される(UCHIDA *et al.*, 1999)。この結果は、黒潮が直進路を取っている時には、紀伊水道内の低気圧性の渦がほぼ恒常的に存在することを示唆している。

1986年の大蛇行発生の直前に小蛇行が東進し潮岬沖を通過する際に、紀伊水道内の低気圧性の渦が消滅し、高気圧性の渦が出現したことは先に述べた(Fig. 6)。1997年10月29-31日に行われた三重大学勢水丸によるこの海域の観測時は、大蛇行の発生につながらなかったが、東進する小蛇行が潮岬を通過したために黒潮流路が一時的に離岸した時に当たっていた。この時には、振り分け潮は観測されず、流れは岸沿いの線上でむしろ収束する傾向を示し、Fig. 6と非常に似た海況が出現した。潮岬付近の黒潮流路の位置、振り分け潮、紀伊水道内の低気圧性渦の間には明確な相関があると考えられる。

大蛇行発生直前の紀伊水道で発生する新しい小蛇行の発生と発達に、直進時に恒常的に存在する紀伊水道内の低気圧性の渦が影響することは十分考えられる。Fig. 10において、土佐湾内にも低気圧性の渦があり、この渦が

室戸岬周辺で新しい小蛇行を生み出すきっかけを作り出す可能性は否定できない。しかし、黒潮流路は一般に室戸岬にそれ程接近することはなく、土佐湾での渦は紀伊水道内の渦よりも変動性に富むようである(例えば、藤本, 1987)。その可能性は大きくないと考えている。黒潮直進時にも遠州灘沖には、南北スケールが小さいながらも低気圧性の渦が恒常的に存在している。小蛇行が潮岬を通過した後、さらに大蛇行に発展する際、この遠州灘に元々存在している低気圧性の渦とどのような相互作用を持つのかについては殆ど研究されていない。沿岸水位の変化特性と併せて、今後さらに検討すべき問題であろう。

5. おわりに

黒潮大蛇行の発生の引き金として、「都井岬沖で発生した小蛇行が東進し、潮岬を通過すると同時に急速に発達する」ことが従来からいわれてきた。しかし、小蛇行が、その形を保存したまま東進するのではなく、東縁のみが東進し、黒潮は都井岬付近からほぼ真っ直ぐ東流するようになり、都井岬から室戸岬ないしは潮岬までの広範囲で陸岸を離れる形を取る。その後、東西に引き伸ばされた蛇行の東端が切り離される形で紀伊水道沖に東西幅の小さい小蛇行が発生し、発達する。この小蛇行がさらに東進し、潮岬を通過して黒潮大蛇行を引き起こすと考える方がより合理的である。ただし、この考え方にしても、黒潮流路の変遷を追うために利用できる観測資料が十分でなく、今後さらに検討していく必要がある。1998年5月末に大蛇行の発生(発生の初期から蛇行路は伊豆海嶺を横切っており、典型的な大蛇行の形態はとらなかったが)が見られている。この直前における黒潮流路の変遷をFig. 12に示すが、ここで述べて来たと同様の流路の変遷が見られる。このように人工衛星資料を含めて、海洋観測資料は従来になく充実しつつある現在、ここで述べた推論が、大蛇行の発生を含めた今後の黒潮変動の研究に何らかの示唆を与えることが出来れば幸いである。

謝辞

この研究を通して種々の有益な討議をいただいた三重大学小池隆教授・森川由隆助手および和歌山水産試験場の竹内淳一氏に感謝の意を表します。また、資料整理や作図等に多大の協力をいただいた海洋情報研究センターの田島敬子氏ならびに鈴木亨博士に感謝いたします。さらに、貴重な資料をお借りした第5管区海上保安本部水路部の方々には心からお礼を申し上げます。

文 献

- 藤本実 (1987) : 土佐湾に出現する海水流動の型と流れの安定度. 海と空, **62**, 127-139.
- 藤本実, 坂本久雄, 中川倫寿 (1988) : 黒潮大蛇行と南西海域の海況. 海と空, **64**, 129-144.
- 藤田弘一 (1997a) : 日本南岸の黒潮流路の変動と串本・浦神の潮位差との関連に関する研究. 三重大学生物資源学部博士論文. pp. 136.
- 藤田弘一, 森川泰幸, 関根義彦 (1997b) : 串本・浦神の潮位差と日本南岸の黒潮流路との変動の関連. 海と空, **72**, 103-108.
- 藤田弘一, 森川泰幸, 陳苗陽, 関根義彦 (1997c) : 日本南岸における黒潮流路離岸距離の変動特性. 海と空, **73**, 1-7.
- FUJITA, K. and Y. NAGATA (1998) : Does small-scale meander travel eastwards and trigger large-scale meander of the Kuroshio. Acta Oceanographica Taiwanica, **37**, 127-138.
- KAWABE, M. (1980) : Sea level variation along the south coast of Japan and the large meander in the Kuroshio. J. Oceanogr. Soc. Japan, **36**, 227-235.
- 増沢譲太郎 (1965) : 黒潮の蛇行. 科学, **35**, 588-593.
- MORIYASU, S. (1961) : An example of the conditions at the occurrence of the cold water region. Oceanogr. Mag., **12**, 67-76.
- NAGATA, Y., J. TAKEUCHI, M. UCHIDA, I. ISHIKURA, Y. MORIKAWA and T. KOIKE (1999) : Current nature of the Kuroshio in the vicinity of the Kii Peninsula. J. Oceanogr., (in press)
- SHOJI, D. (1972) : The variation of the Kuroshio south of Japan. In, Kuroshio-Its Physical Aspects-, ed. H. Stommel and K. Yoshida, Univ. of Tokyo Press, 217-234.
- TAKEUCHI, J., N.HONDA, Y. MORIKAWA, T. KOIKE and Y. NAGATA (1998a) : Bifurcation current along the southwest coast of the Kii Peninsula. J. Oceanogr., **54**, 45-52.
- TAKEUCHI, J., Y. MORIKAWA, M. UCHIDA, Y. MAEKAWA, O.MOMOSE, T. KOIKE and Y.NAGATA (1998b) : Bifurcation current along the Kii Peninsula and position of the Kuroshio axis. Acta Oceanographica Taiwanica, **37**, 113-125.
- SEKINE, Y. and K. FUJITA (1999) : Why does the sea level difference between Kushimoto and Uragami show periods of large meander and non-large meander paths of the Kuroshio south of Japan ? J. Oceanogr. **55**, 43-52.
- UCHIDA, M., J. TAKEUCHI, Y. MORIKAWA, Y. MAEKAWA, O. MOMOSE, T. KOIKE and Y. NAGATA (1999) : Structure and temporal variation of the Bifurcation Current off the Kii Peninsula. J. Oceanogr., (in press)
- 津村健四郎 (1963) : 日本沿岸の平均海面およびその変動の研究-潮位変化の地域分布-. 測地学会誌, **9**, 49-90.
- 吉田昭三 (1960) : 遠州灘沖の冷水塊. 科学朝日, **7**, 100-104.
- 吉田昭三 (1961) : 遠州灘沖冷水塊と黒潮の変動について (その1). 水路要報, **67**, 54-57.

受付 1999年1月8日

受理 1999年2月18日

Regional variations in the winter chlorophyll *a* and primary productivity of micro-, nano- and pico-phytoplankton fractions in the Bering Sea basin

Akihiro SHIOMOTO*, Masaaki NANBA** and Keiichi MITO***

Abstract: Regional variations in chlorophyll *a* concentrations and primary productivity of micro-(10–200 μm), nano-(2–10 μm) and picophytoplankton ($<2\ \mu\text{m}$) fractions were measured at the surface in the Bering Sea basin from January to March 1993. Chlorophyll *a* concentrations of micro-, nano- and pico-phytoplankton fractions were 0–0.3, 0–0.09 and 0.1–0.4 $\mu\text{g l}^{-1}$, respectively. Primary productivity of the three phytoplankton fractions was respectively 0–0.45, 0–0.53 and 0.04–0.37 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{ h}^{-1}$. In the eastern region, chlorophyll *a* concentration of the three fractions was more than 0.2, 0.06 and 0.3 $\mu\text{g l}^{-1}$, and primary productivity more than 0.2, 0.4 and 0.3 $\mu\text{g C l}^{-1}\text{ h}^{-1}$, respectively. The chlorophyll *a* concentration and primary productivity of the three fractions were lower in the western and central regions than in the eastern region, and rather uniform in the western and central regions. We conclude that for the eastern region, their growth rates, nutrient availability and zooplankton grazing pressure were unlikely to be related to their high chlorophyll *a* concentrations and primary productivity. In the eastern region, the Alaskan Stream with water of a low density flowed into the upper layer across the Aleutian Islands. The inflow formed a shallower upper mixed layer in the eastern region and this shallower upper mixed layer leads to a net positive production of the three phytoplankton fractions. We therefore suggest that the inflow of the Alaskan Stream causes an increase of micro-, nano- and pico-phytoplankton and hence their high chlorophyll *a* concentrations and primary productivity in the eastern region.

1. Introduction

Regional variations in chlorophyll *a* concentration and primary productivity have been observed in the summertime Bering Sea basin and shelf break areas (KAWAMURA, 1963 ; TANIGUCHI, 1969 ; McROY *et al.*, 1972 ; SAINO *et al.*, 1979) and the high values were observed in the eastern region and the shelf break front. TANIGUCHI (1969) suggested that sporadic water turbulence and vertical mixing induced by

storms play an important role in the high values. On the contrary, wintertime chlorophyll *a* concentration and primary productivity were measured in the eastern region (McROY *et al.*, 1972). Primary productivity was one order of magnitude smaller in the winter than in the summer, whereas chlorophyll *a* concentration in the winter was about 20% of that in the summer on average. Little is known about regional variations in the biomass and productivity of the phytoplankton community in the wintertime Bering Sea basin.

The phytoplankton community is composed of various size fractions and the size structure has a marked influence on the ecosystem (e.g., PARSONS *et al.*, 1984b). Moreover, each size fraction has specific controlling factors for fluctuation in biomass (HARRISON and TURPIN, 1982). It is thus necessary to determine the biomass and

* National Research Institute of Far Seas Fisheries, 7-1 Orido 5-chome, Shimizu-shi, Shizuoka, 424-8633 Japan

** Kagawa University, 2393 Ikenobe, Miki-cho, Kida-gun, Kagawa, 761-0701 Japan

*** Ishigaki Tropical Station, Seikai National Fisheries Research Institute, 148-446 Fukai-Ohta, Ishigaki-shi, Okinawa, 907-0451 Japan

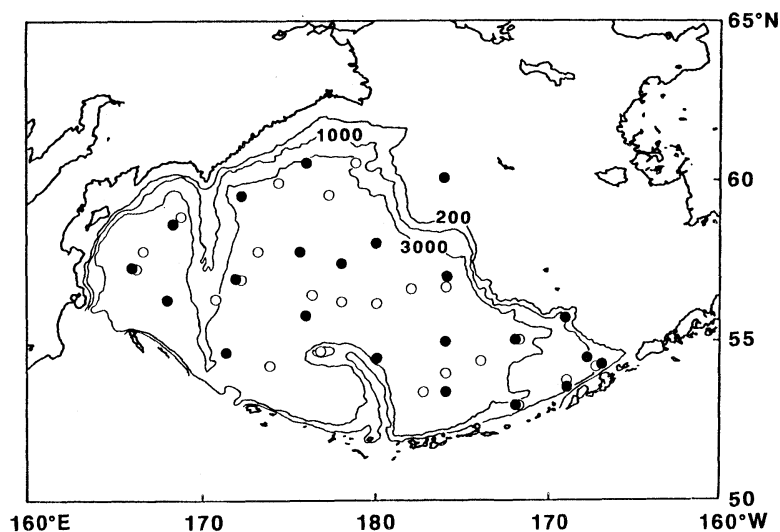


Fig. 1. Location of the sampling stations in the Bering Sea from January to March 1993. Open circles indicate the stations for measuring chlorophyll *a* concentration and primary productivity at the surface and solid circles, the stations for the CTD casts. Numbers indicate the depth in meters.

productivity of size-fractionated phytoplankton, and examine the controlling factors for each fraction to explain the controlling factors for fluctuations in the phytoplankton community. SIEBURTH *et al.* (1978) divided phytoplankton into three size fractions: microplankton $>20 \mu\text{m}$, nanoplankton $2\text{--}10 \mu\text{m}$ and picoplankton $<2 \mu\text{m}$. Here, we refer to the $10\text{--}200$, the $2\text{--}10$ and the $<2 \mu\text{m}$ size fractions as micro-, nano- and pico-phytoplankton, respectively. We determined the regional variations in chlorophyll *a* concentration and primary productivity of these phytoplankton fractions in the wintertime Bering Sea basin and examined the factors causing their regional variations.

2. Materials and methods

This study was carried out from January to March 1993 during a cruise of the Kaiyo Maru of the Fisheries Agency of Japan (Fig. 1). Surface seawater was collected 8–10 a.m. using an acid-cleaned plastic bucket. Samples were sieved through a $200 \mu\text{m}$ mesh screen to remove large zooplankton.

Chlorophyll *a* concentration was determined by fluorometry according to PARSONS *et al.* (1984a). Total chlorophyll *a* was determined in samples filtered through 47mm Whatman

GF/F filters. Size-fractionated chlorophyll *a* was measured in samples obtained as follows: seawater samples were filtered through 2 and $10 \mu\text{m}$ pore size Nuclepore filters and then the filtrates were refiltered onto 47 mm Whatman GF/F filters (<2 and $<10 \mu\text{m}$ fractions). The filters were stored frozen at -20°C until analysis ashore. Pigments were extracted in 90% acetone and fluorescence was measured with a Hitachi F-2000 fluorophotometer. Calibration of the fluorophotometer was performed with commercially prepared chlorophyll *a* standards from Wako Pure Chemical Industries, Ltd. (Tokyo). Chlorophyll *a* concentrations of the $2\text{--}10$ and $10\text{--}200 \mu\text{m}$ fractions were obtained from the differences between the <10 and $<2 \mu\text{m}$ fractions and between the total and $<10 \mu\text{m}$ fraction, respectively.

Primary productivity was determined by the ^{13}C method (HAMA *et al.*, 1983). The tracer experiments were started within 1 h after sample collection. The seawater samples (1-l) were dispensed into six acid-cleaned 1-l polycarbonate bottles and enriched by an addition (1-ml) of $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ (99 atom% ^{13}C ; Shoko Co., Ltd., Tokyo) to about 10% of the total inorganic carbon in ambient water. Incubations were conducted under sunlight and cooled with near-

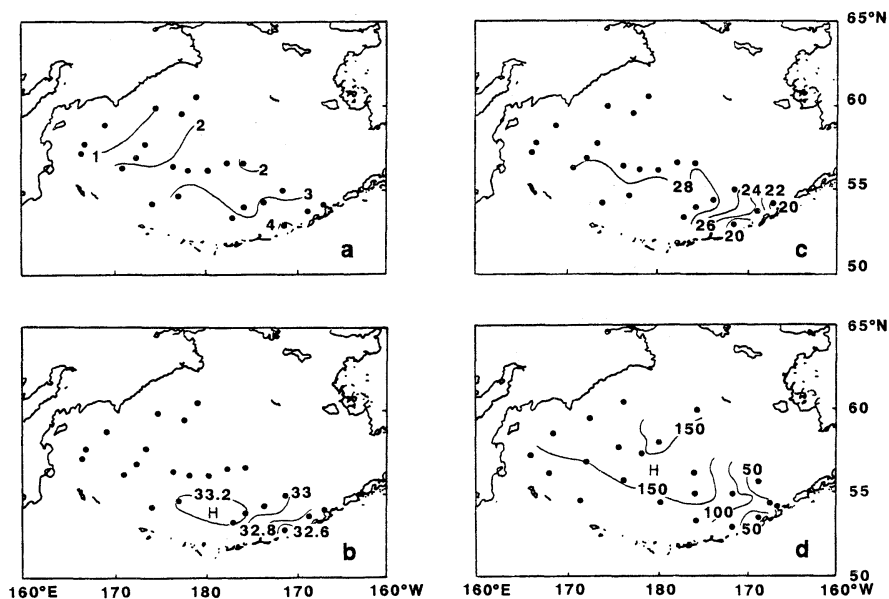


Fig. 2. Regional variations in temperature ($^{\circ}\text{C}$) (a), salinity (b) and nitrite+nitrate concentration (μM) (c) at the surface and the depth of upper mixed layer (m) (d).

surface seawater for 3–4 h. Fractionation of size classes was carried out immediately after incubation. Two samples were directly filtered through precombusted (450°C for 4 h) 47mm Whatman GF/F filters (total). Two of the remaining four samples were filtered through Nuclepore filters with a pore size of $2\ \mu\text{m}$ and the other two with pore size of $10\ \mu\text{m}$. The filtrates were refiltered onto 47mm Whatman GF/F filters (<2 and $<10\ \mu\text{m}$ fraction). Particulate matter on the Whatman GF/F filters was rinsed with prefiltered seawater. Filters were stored frozen at -20°C until analysis ashore. They were treated with HCl fumes for 4 h to remove inorganic carbon and completely dried in a vacuum desiccator. The isotopic ratios of ^{13}C to ^{12}C and particulate organic carbon were determined through infrared absorption spectrometry using a JASCO EX-130 S^{13}CO_2 analyzer (Japan Spectroscopic Co., Ltd., Tokyo; cf., SATOH *et al.*, 1985). Total inorganic carbon in the water was measured with an infrared analyzer (Shimadzu TOC 5000). Primary productivity was calculated according to the equation described by HAMA *et al.* (1983). Size-fractionated primary productivity was estimated in the same manner as the chlorophyll *a* concentra-

tion. Repeatability of the tracer experiment was 7.3% as the coefficient of variation for nine replications.

Surface temperature and salinity were measured with a thermometer and with an Auto Lab salinometer. Surface nutrient concentrations were immediately determined using a Bran and Luebbe Auto Analyzer II. Vertical profiles of temperature and salinity down to 1000 m were measured using a Neil Brown CTD Mark II at different station locations from the stations for measuring chlorophyll *a* concentration and primary productivity (Fig. 1). The depths of water at all stations except one CTD station were deeper than 500 m (Fig. 1).

3. Results

A high-east and low-west trend was observed in the surface temperature (Fig. 2a). Surface salinity was relatively low in the eastern region and nearly uniform in the western and central regions (Fig. 2b). Surface nitrite+nitrate concentration were relatively low in the eastern region (Fig. 2c). Water with a relatively high temperature, low salinity and low nutrient concentration was found in the eastern region. Based on temperature, salinity and

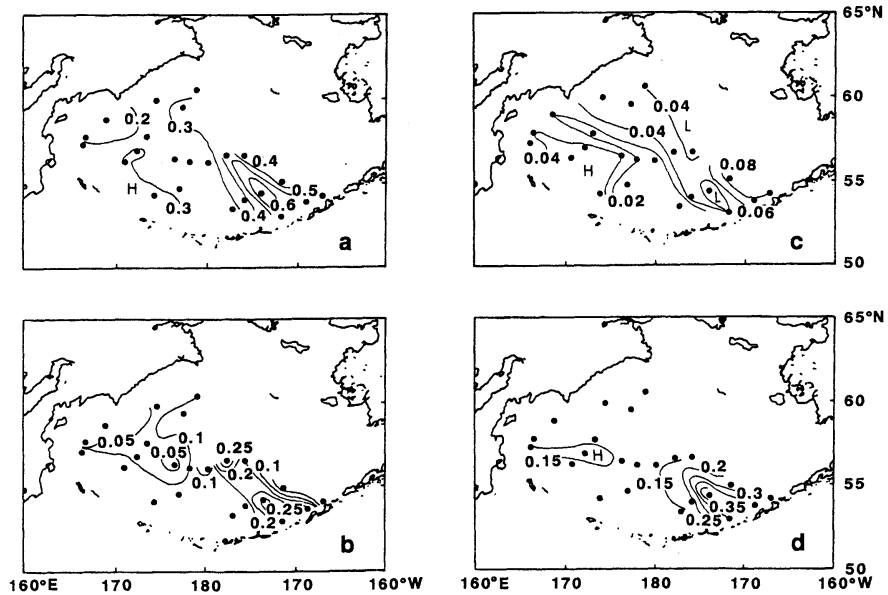


Fig.3. Regional variations in chlorophyll *a* concentrations ($\mu\text{g l}^{-1}$) of the total (a), micro- (10–200 μm) (b), nano- (2–10 μm) (c) and pico-phytoplankton ($<2\mu\text{m}$) (d) fractions at the surface.

nutrient horizontal distributions (Fig. 2a, b, c), this water originates from the direction of the Aleutian Islands. The depth of the upper mixed layer is defined as the depth where the vertical sigma-t gradient was maximum. In the eastern region mixed layer depths were shallower than 100 m, whereas 100–200 m in the western and central regions (Fig. 2d).

Total chlorophyll *a* concentration at the surface ranged from 0.12 to 0.70 $\mu\text{g l}^{-1}$ throughout the stations (Fig. 3a). The chlorophyll *a* concentrations were more than 0.5 $\mu\text{g l}^{-1}$ in the eastern region. The concentrations were lower than 0.4 $\mu\text{g l}^{-1}$ in the western and central regions and generally 0.2–0.3 $\mu\text{g l}^{-1}$. Chlorophyll *a* concentrations were rather uniform in these regions. The chlorophyll *a* concentrations of the micro-, nano- and pico-phytoplankton fractions were 0–0.3, 0–0.09 and 0.1–0.4 $\mu\text{g l}^{-1}$, respectively (Fig. 3b, c, d). The concentrations of the three phytoplankton fractions exceeded 0.2, 0.06 and 0.3 $\mu\text{g l}^{-1}$, respectively, in the eastern region, while they were generally lower than 0.15, 0.06 and 0.15 $\mu\text{g l}^{-1}$, respectively, in the western and central regions; ranging generally 0.05–0.15, 0.02–0.05 and 0.1–0.15 $\mu\text{g l}^{-1}$,

respectively. The chlorophyll *a* concentrations of all three fractions were rather uniform in the western and central regions, while the concentrations of the total and the three phytoplankton fractions were higher in the eastern region.

Total primary productivity at the surface ranged from 0.30 to 1.2 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$ throughout the stations (Fig. 4a). The primary productivity values were more than 1 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$ in the eastern region. The values were lower than 1 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$ in the western and central regions and generally 0.3–0.5 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$. Primary productivity was rather uniform in these regions. The primary productivity of the three phytoplankton fractions was 0–0.45, 0–0.53 and 0.04–0.37 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectively (Fig. 4b, c, d). In the eastern region values of the three phytoplankton fractions were more than 0.2, 0.4 and 0.3 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectively. In the western and central regions values of the three fractions were generally lower than 0.3, 0.2 and 0.2 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectively, ranging generally 0.1–0.3, 0.1–0.2 and 0.05–0.2 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectively; and for each fraction the primary productivity was rather uniform. The primary

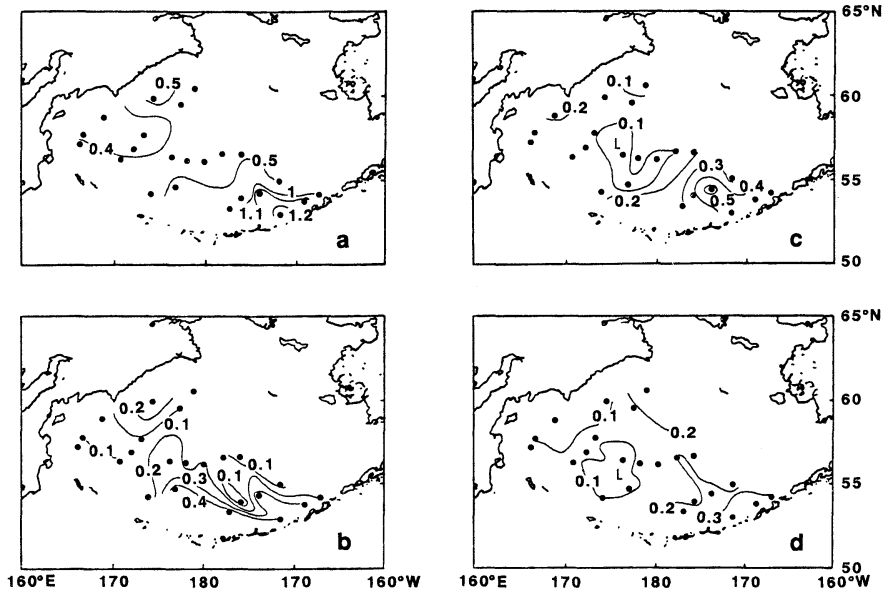


Fig. 4. Regional variations in primary productivity ($\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$) of the total (a), micro- ($10\text{--}200 \mu\text{m}$) (b), nano- ($2\text{--}10 \mu\text{m}$) (c) and pico-phytoplankton ($<2 \mu\text{m}$) (d) fractions at the surface.

productivity of the total and each of the three fractions was higher in the eastern region than in the western and central regions, a pattern similar to that of the chlorophyll *a* concentration.

The biomass of phytoplankton may have much influence on regional variations in primary productivity of the three phytoplankton fractions. Using chlorophyll *a* concentration as an index of the phytoplankton biomass, primary productivity per unit of chlorophyll *a* may be taken as an indicator of activity for phytoplankton productivity. Values of the total phytoplankton ranged from 0.96 to $3.6 \mu\text{g C } \mu\text{g Chl}^{-1} \text{h}^{-1}$ (Fig. 5a). The values were not higher in the eastern region than in the western and central regions, a pattern dissimilar to those for chlorophyll *a* concentration and primary productivity. Values for the micro-, nano- and pico- phytoplankton fractions were $0\text{--}13$, $0\text{--}18$ and $0.36\text{--}2.7 \mu\text{g C } \mu\text{g Chl}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectively (Fig. 5b, c, d). Values for each of the three phytoplankton fractions were not higher in the eastern region than in the western and central regions, as found for the total phytoplankton. Remarkably high and low

values were found for the micro- and nano-phytoplankton fractions at a few stations. The value of the pico-phytoplankton fraction was rather uniform throughout the stations.

4. Discussion

Results show that the biomass and productivity of the phytoplankton community were relatively high in the eastern Bering Sea in winter. Results further show that the micro-, nano- and pico-phytoplankton fractions were responsible for the relatively high biomass and productivity. One might expect the occurrence of factors in the eastern region that led to the increase of these phytoplankton. We discuss possible factors below.

Primary productivity per unit of chlorophyll *a* for the three fractions did not tend to be higher in the eastern region than in the western and central regions (Fig. 5b, c, d). Primary productivity per unit of chlorophyll *a* is a measure of the growth rate of phytoplankton (LALLI and PARSONS, 1993). Growth rates of these phytoplankton fractions are unlikely to be higher in the eastern region than in the western and central regions.

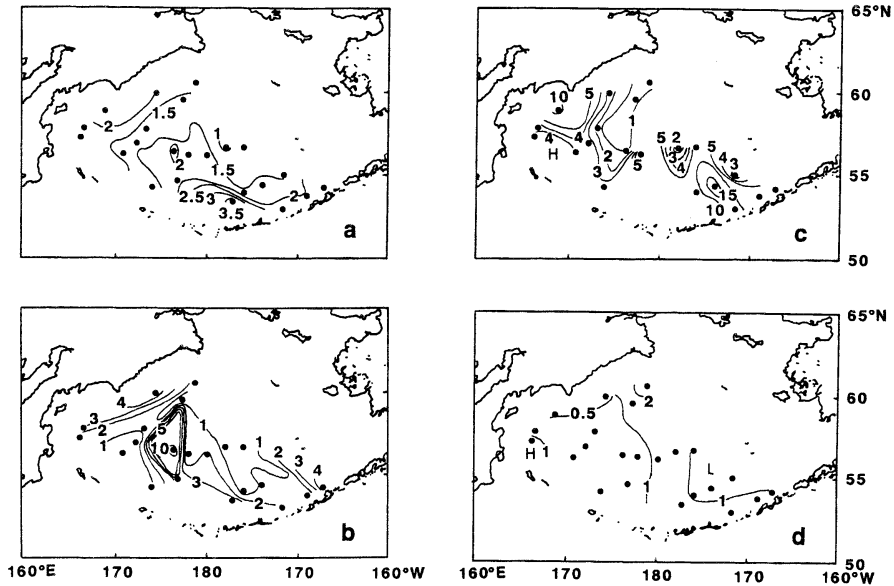


Fig. 5. Regional variations in primary productivity per unit of chlorophyll *a* ($\mu\text{g C } \mu\text{g Chl}a^{-1} \text{ h}^{-1}$) of the total (a), micro- (10–200 μm) (b), nano- (2–10 μm) (c) and pico-phytoplankton (<2 μm) (d) fractions at the surface.

Larger phytoplankton have a higher half-saturation constant (K_s) for macronutrients (MALONE, 1980). PARSONS *et al.* (1984b) showed that K_s may determine the minimum concentration at which a species can grow. The K_s for nitrate uptake of large phytoplankton (10–100 μm cell size) is less than 5 μM (MALONE, 1980). Ambient concentrations of nitrite+nitrate at the surface were more than the K_s value at all stations (Fig. 2c) and thus macronutrients are unlikely to limit the growth of the three phytoplankton fractions in the Bering Sea basin in winter.

Iron is an important micronutrient for phytoplankton (e.g., MARTIN and FITZWATER, 1988). The stations in the eastern region were located near the Aleutian Islands (Fig. 1), and thereby iron may have been a limiting factor for phytoplankton in the western and central regions but not in the eastern region. Iron limitation lowers primary productivity per unit of chlorophyll *a* (GREENE *et al.*, 1991; BARBER and CHAVEZ, 1991) and growth rate (COALE *et al.*, 1996a; BOYD *et al.*, 1996), and establishes a phytoplankton community dominated by small cells (MARTIN *et al.*, 1989; BOYD *et al.*,

1996; COALE *et al.*, 1996b). However, primary productivity per unit of chlorophyll *a* for the three fractions was not lower in the western and central regions than in the eastern region (Fig. 5b, c, d), and the percentage contribution of pico-phytoplankton did not tend to be higher in the western and central regions than in the eastern region (Fig. 6). Iron may thus fail to be a limiting factor for phytoplankton in the Bering Sea basin in winter.

ODATE (1994) showed a possible top-down controlling system in the northern North Pacific. According to ODATE (1994), when the macrozooplankton grazing impact is intense, the biomass of microzooplankton and net phytoplankton (>10 μm cell size) is low, whereas the biomass of pico-phytoplankton (<2 μm cell size) is high. Therefore, even though zooplankton grazing impact is weak in the eastern region, the weak impact of zooplankton grazing is not likely to cause a high biomass of all three phytoplankton fractions simultaneously.

According to SVERDRUP'S (1953) critical depth model, net positive production of phytoplankton will occur in the water column if the

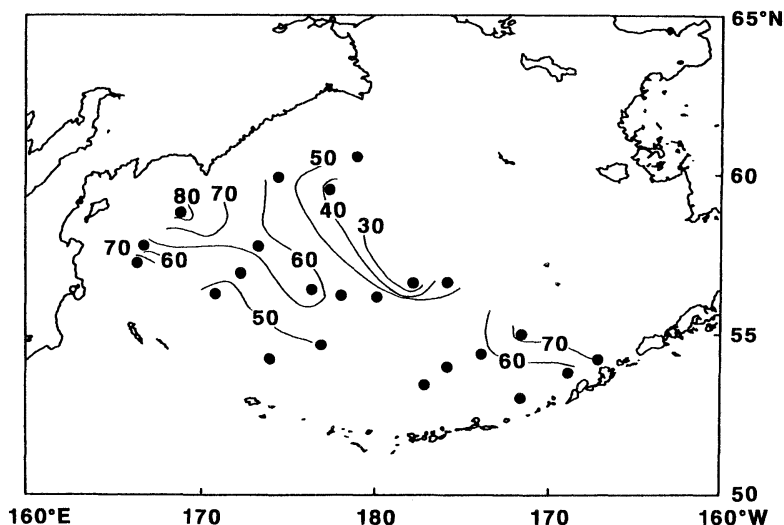


Fig. 6. Regional variation in the percentage contribution of pico-phytoplankton (<2 μm) fraction to the total chlorophyll *a* concentration at the surface.

critical depth is greater than the depth of mixing, whereas no net production can take place if the critical depth is less than the depth of mixing. This model can be applied to fluctuation of phytoplankton regardless of cell size. The three fractions therefore will increase simultaneously if the upper mixed layer depth is shallower than the critical depth.

OBATA *et al.* (1996) estimated the critical depth to be shallower than 100 m in the Bering Sea basin in winter. In this study, the upper mixed layer depth was shallower than 100 m in the eastern Bering Sea, whereas the depth was 100–200 m in the western and central regions (Fig. 2d). According to SVERDRUP'S (1953) critical depth model, it is expected that phytoplankton biomass will be increased in the upper layer in the eastern region. As high chlorophyll *a* concentrations of micro-, nano- and picophytoplankton fractions were observed at the surface in this region (Fig. 3b, c, d), we suggest that the shallower upper mixed layer depth in the eastern region leads to an increase of the three phytoplankton fractions.

Warm (>3°C) and low saline (<33) water was observed at the surface in the eastern Bering Sea (Fig. 2a, b). The Alaskan Stream which flows westward along the southern side of the Aleutian Islands flows into the upper layer in the Bering Sea across the straits and passes of

the Aleutian Islands (OHTANI, 1965, 1970). The winter surface temperature and salinity of the Alaskan Stream are 3–4°C and lower than 33.0 (OHTANI, 1970). In this study, the surface temperature and salinity in the eastern region were almost equal to the surface temperature and salinity of the Alaskan Stream. Moreover, the surface water of the Alaskan Stream has a high temperature and low salinity, in other words, a low density compared with the upper water in the wintertime Bering Sea (OHTANI, 1970). Accordingly, the upper mixed layer in the eastern region was of water from the Alaskan Stream. We therefore suggest that the flow of the Alaskan Stream into the upper layer in the eastern Bering Sea caused the shallower upper mixed layer in this region, and thereby an increase in the micro-, nano- and picophytoplankton fractions and hence their chlorophyll *a* concentrations and primary productivity.

Acknowledgements

We are exceedingly grateful to the captain and crew of the R/V Kaiyo Maru for assistance with the sample collection.

References

- BARBER, R. T. and F. P. CHAVEZ (1991) : Regulation of primary productivity rate in the equatorial

- Pacific. *Limnol. Oceanogr.*, **36**, 1803-1815.
- BOYD, P. W., D. L. MUGGLI, D. E. VARELA, R. H. GOLDBLATT, R. CHRETIENT, K. J. ORIANS and P. J. HARRISON (1996) : *In vitro* iron enrichment experiments in the NE subarctic Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **136**, 179-193.
- COALE, K. H., S. E. FITZWATER, R. M. GORDON, K. S. JOHNSON and R. T. BARVER (1996a) : Control of community growth and export production by upwelled iron in the equatorial Pacific Ocean. *Nature*, **379**, 621-624.
- COALE, K. H., K. S. JOHNSON, S. E. FITZWATER, R. M. GORDON, S. TANNER, F. P. CHAVEZ, L. FEROLI, C. SAKAMOTO, P. ROGERS, F. MILLERO, P. STEINBERG, P. NIGHTINGALE, D. COOPER, W. P. COCHLAN, M. R. LANDRY, J. CONSTANTINOU, G. ROLLWAGEN, A. TRASVINA and R. KUDELA (1996b) : A massive phytoplankton bloom induced by an ecosystem-scale iron fertilization experiment in the equatorial Pacific Ocean. *Nature*, **383**, 495-501.
- GREENE, R. M., R. J. GEIDER and P. G. FALKOWSKI (1991) : Effect of iron limitation on photosynthesis in a marine diatom. *Limnol. Oceanogr.*, **36**, 1772-1782.
- HAMA T., T. MIYAZAKI, Y. OGAWA, T. IWAKUMA, M. TAKAHASHI, A. OTSUKI and S. ICHIMURA (1983) : Measurement of photosynthetic production of a marine phytoplankton population using a stable ^{13}C isotope. *Mar. Biol.*, **73**, 31-36.
- HARRISON, P. J. and D. H. TURPIN (1982) : The manipulation of physical, chemical, and biological factors to select species from natural phytoplankton communities. *In* : "Marine Mesocosmos : Biological and Chemical Research in Experimental Ecosystem" G. D. GRICE and M. R. REEVE (eds.), Springer Verlag, Berlin, pp. 275-289.
- KAWAMURA, T. (1963) : Preliminary survey of primary production in the northern North Pacific and Bering Sea, June-August 1960. *Inform. Bull. Planktol. Japan*, **10**, 28-35. (in Japanese with English abstract)
- LALLI, C. M. and T. R. PARSONS (1993) : *Biological Oceanography : An Introduction*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 301 pp.
- MALONE, T. C. (1980) : Algal size. *in* : "The Physiological Ecology of Phytoplankton" I. MORRIS (ed.), Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 433-464.
- MARTIN, J. H. and S. E. FITZWATER (1988) : Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic. *Nature*, **331**, 341-343.
- MCRoy, C. P., J. J. GOERING and W. E. SHIELDS (1972) : Studies of primary production in the eastern Bering Sea. *In* : "Biological Oceanography of the Northern North Pacific Ocean" A. Y. TAKENOUTI *et al.* (eds.), Idemitsu Shoten, Tokyo, pp. 199-216.
- OBATA A., J. ISHIZAKA and M. ENDOH (1996) : Global verification of critical depth theory for phytoplankton bloom with climatological *in situ* temperature and satellite ocean color data. *J. Geophys. Res.*, **101**, 20657-20667.
- ODATE, T. (1994) : Plankton abundance and size structure in the northern North Pacific Ocean, early summer. *Fish. Oceanogr.*, **3**, 267-278.
- OHTANI, K. (1965) : On the Alaskan Stream in summer. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **15**, 260-273. (in Japanese with English abstract)
- OHTANI, K. (1970) : Relative transport in the Alaskan Stream in winter. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **26**, 271-282.
- PARSONS T. R., Y. MAITA and C. M. LALLI (1984a) : *A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis*. Pergamon Press, Oxford, 173 pp.
- PARSONS T. R., M. TAKAHASHI and B. HARGRAVE (1984b) : *Biological Oceanographic Processes*, 3rd edition. Pergamon Press, Oxford, 330pp.
- SAINO, T., K. MIYATA and A. HATTORI (1979) : Primary productivity in the Bering and Chukchi Seas and in the northern North Pacific in 1978 summer. *Bull. Plankton Soc. Japan*, **26**, 96-103.
- SATOH, H., Y. YAMAGUCHI, N. KOKUBUN and Y. ARUGA (1985) : Application of infrared absorption spectrometry for measuring the photosynthetic production of phytoplankton by the stable ^{13}C isotope method. *La mer*, **23**, 171-176.
- SIEBURTH, J. M., V. SMETACEK and J. LENZ (1978) : Pelagic ecosystem structure : Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.*, **23**, 1256-1263.
- SVERDRUP, H. U. (1953) : On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *J. Con. Int. Explor. Mer.*, **18**, 287-295.
- TANIGUCHI, A. (1969) : Regional variations of surface primary production in the Bering Sea in summer and the vertical stability of water affecting the production. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **20**, 169-179.

Received July 29, 1998
Accepted March 1, 1999

Size distribution of phytoplankton community in oligotrophic tropical coastal waters

Kuninao TADA*, Machiko YAMADA**, Akihiro TAKEMURA***
and Yoshikatsu NAKANO***

Abstract: The size distribution of the phytoplankton community in oligotrophic tropical coastal waters at Okinawa, Japan was investigated. The chlorophyll *a* (Chl *a*) concentrations in surface seawater collected from 9 stations around Sesoko Island and determined using a Whatman GF/F filter varied from 0.131 to 0.60 $1 \mu\text{g l}^{-1}$. The average contributions of the pico-, nano-, and micro-phytoplankton to the total chlorophyll biomass in this study were 55%, 28% and 17%, respectively. Due to the size distributions of Chl *a* in the surface waters, our study area was characterized as oligotrophic water because of its higher content of picoplankton (average 48%). Moreover our results revealed that picoplankton was mostly responsible for the change in the Chl *a* concentration and that microplankton also plays an important role in the variation of the Chl *a* concentration, although the relative abundance of microplankton was lower than that of picoplankton.

1. Introduction

It is well known that small cells of the nanoplankton and picoplankton are widely distributed and are thought to account for a large proportion of the total phytoplankton production. CHISHOLM (1992) reviewed phytoplankton size and pointed out that the fractional contribution of small cells to the standing crop increases as the total chlorophyll decreases. Until today, many studies have been conducted with respect to the size distribution of the phytoplankton community in the oligotrophic open ocean and eutrophic coastal waters (e. g. ODATE and MAITA, 1988; IRIARTE and PURDIE, 1994; LEE *et al.*, 1996). However, very few studies as to the phytoplankton biomass have been conducted in the oligotrophic tropical coastal area, al-

though much attention has been given to coral reef area (e. g. DELESALLE *et al.*, 1993).

In this study, we investigated the distribution of fractionated chlorophyll *a* (Chl *a*) concentrations of micro-, nano- and picophytoplankton sizes in the tropical coastal waters where Chl *a* concentrations were low. We aimed to determine the relative importance of the pico-, nano- and microplankton in the oligotrophic tropical coastal waters.

2. Materials and methods

Oceanographic observations were made and samples were collected at 6 stations (Stn C1, C2, E1, E2, O1 and O2; Fig. 1) by the *R. V. Merulina II* on 28 May 1998. Surface seawater samples were collected with a clean plastic bucket at all stations. In addition, water samples below the surface were collected using Van Dorn bottles from several depths at Stn E1 and O2. Additionally, surface waters were collected using a plastic bucket at the pier of the Sesoko Marine Science Center, University of the Ryukyus (Stn S), Toguchi port (Stn T) and Motobu port (Stn M) on 27 May 1998. Water samples for Chl *a* measurements were imme-

*Kagawa University, Miki, Kida-gun, Kagawa 761-0795, Japan

** Kitakyusyu City Institute of Environmental Sciences, Tobata-ku, Kitakyusyu 804-0082, Japan

*** Sesoko Station, Tropical Biosphere Research Center, University of the Ryukyus, Sesoko, Motobu, Okinawa 905-0227, Japan

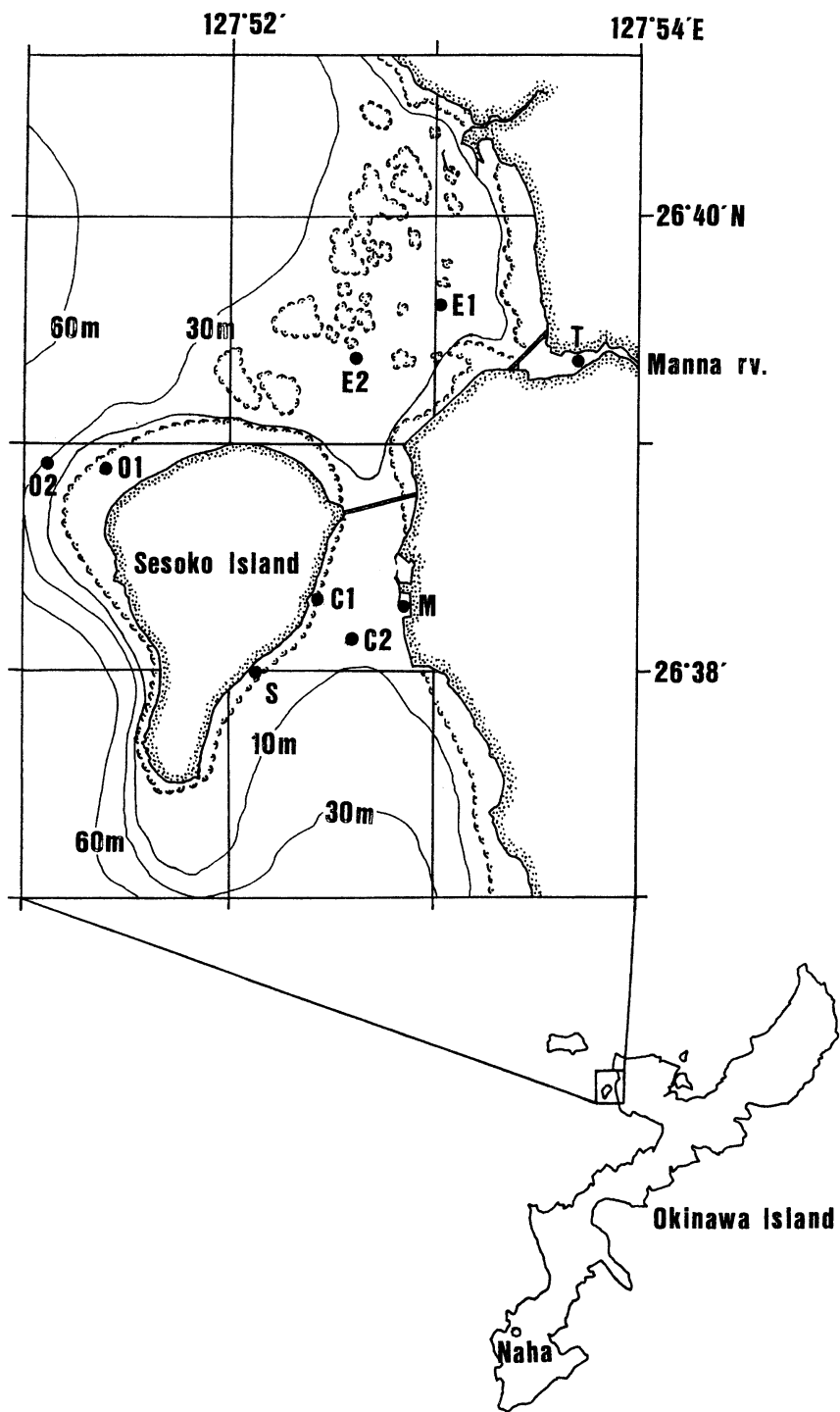


Fig. 1. Sampling stations around Sesoko Island, Okinawa. shows a coral reef area.

diately filtered through a Whatman GF/F filter and preserved in N, N-dimethylformamide at -20°C until analysis (SUZUKI and ISHIMARU, 1990). Additionally, the Chl *a* concentrations of three size-fractionated samples ($0.2\text{--}2.0\ \mu\text{m}$, $2.0\text{--}20\ \mu\text{m}$ and $>20\ \mu\text{m}$) were measured using various filters which had different pore sizes using Nuclepore filters (pore size: $0.2\ \mu\text{m}$ and $2.0\ \mu\text{m}$) and a $20\ \mu\text{m}$ mesh screen (Tanaka Sanjiro Co). Chl *a* concentrations were determined using the fluorometric method of HOLM-HANSEN *et al.* (1965) as described in PARSONS *et al.* (1984), with a fluorometer (Turner model 10-AU). Phytoplankton samples were collected by horizontal tows for about 10 minutes at Stn O2 and E1 using the plankton net with a mesh size of $20\ \mu\text{m}$ (HD-20) and $100\ \mu\text{m}$ (XX13). Phytoplankton samples were fixed by Adachi solution (ADACHI and IRIE, 1980) and dominant phytoplankton were determined under a microscope. Water temperature and salinity were measured using a YSI Multiparameter Monitoring System model 6000. Transparency was measured using a Secchi disk.

3. Results

Stns O1, C1 and S were located in a coral reef and the depths of their stations were very shallow (1.2 to 2.4m). Transparency was very high at all stations and the bottom could be seen

from the boat at each station except for Stns O2 and E1. The transparency was 24m at Stn O2 (the water depth was 34m) and 13m at Stn E1 (the water depth was 17.7m). The water temperature and salinity were similar at all stations, although Stn E1 is located on the Manna river estuaries (Table 1). Phytoplankton samples collected using the two types of nets at Stns O2 and E1 were dominated by *Trichodesmium* (Cyanophyceae), *Ceratium* (Dinophyceae), *Protoperdinium* (Dinophyceae) and *Chaetoceros* (Bacillariophyceae). The concentrations of Chl *a* in the surface seawater, which was determined using a Whatman GF/F filter, varied from 0.131 to $0.601\ \mu\text{g l}^{-1}$. In the horizontal distribution of Chl *a* concentrations in the surface seawater (0m), the Chl *a* concentrations in Toguchi port (Stn T: $0.589\ \mu\text{g l}^{-1}$) and Manna river estuary (Stn E1: $0.601\ \mu\text{g l}^{-1}$; Stn E2: $0.467\ \mu\text{g l}^{-1}$) were relatively higher.

The variations of size fractionated Chl *a* biomass in surface waters was characterized by the high contribution of picoplankton (Fig. 2). In our size fractionated data, picoplankton accounted for 48% of the total biomass in average value.

In the surface water at E1 where the total Chl *a* was the highest ($0.601\ \mu\text{g l}^{-1}$), the Chl *a* concentration of the microplankton was also highest ($0.181\ \mu\text{g l}^{-1}$ in Stn E1). In the vertical

Table 1. Water temperature, salinity and Chl *a* concentrations of surface seawater at sampling stations. Chl *a* concentrations were determined using Whatman GF/F filter.

Sampling station	depth (m)	W.T. ($^{\circ}\text{C}$)	Sal. (psu)	Chl <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)
C1	0	25.74	35.09	0.267
C2	0	25.53	35.04	0.191
O1	0	25.46	34.96	0.131
O2	0	25.68	35.07	0.330
	5	25.51	35.09	0.285
	20	25.36	35.10	0.323
E1	0	25.51	35.12	0.601
	5	25.36	35.10	0.467
	15	25.25	35.12	0.668
E2	0	25.70	35.11	0.467
S	0	n.d.	n.d.	0.234
Toguchi port	0	n.d.	n.d.	0.589
Motobu port	0	n.d.	n.d.	0.304

W. T; water temperature, Sal; salinity n.d.; no data

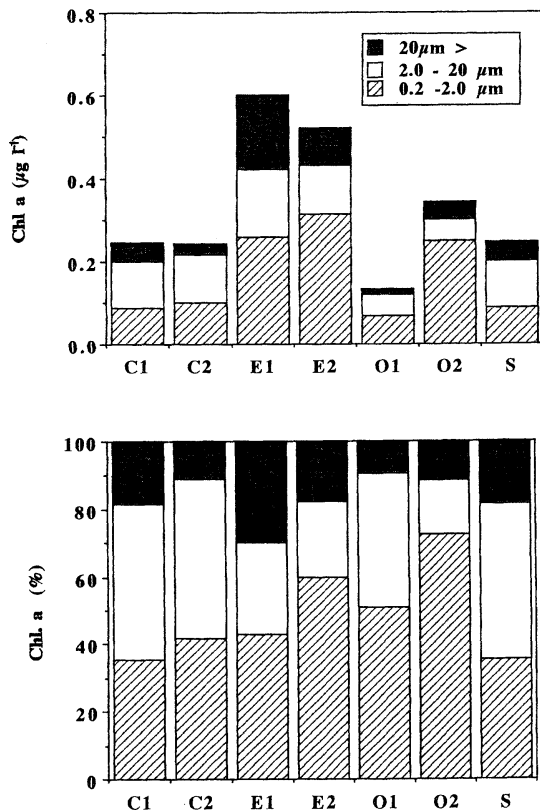


Fig. 2. Three size-fractionated concentrations of chlorophyll *a* at surface seawater (Top) and their relative abundance (bottom).

distributions of the three size-fractionated concentrations of Chl *a* at Stn E1, the total Chl *a* concentrations increased with depth and the Chl *a* concentrations of the picoplankton also increased with depth. At Stn O2, the total Chl *a* concentrations and the relative abundance of each of the three fractions of Chl *a* was almost vertically constant (Fig. 3).

4. Discussion

Comparison of the Chl a concentrations determined by different filters

In this study, four types of filters for the Chl *a* determination were used, such as Whatman GF/F filter, Nuclepore filters (pore size; $0.2\mu\text{m}$ and $2.0\mu\text{m}$) and a $20\mu\text{m}$ mesh screen. When comparing the Chl *a* concentrations using the GF/F filter and $2.0\mu\text{m}$ Nuclepore membrane, all Chl *a* concentrations using the $0.2\mu\text{m}$

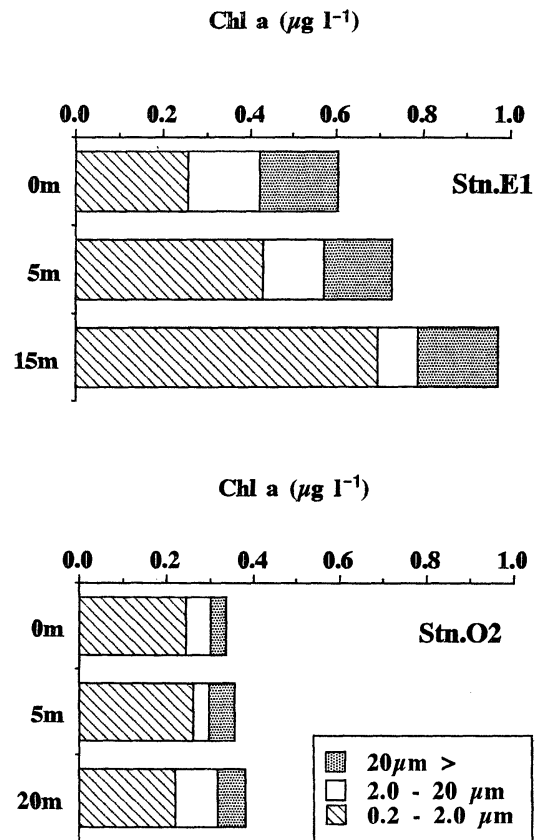


Fig. 3. Vertical distributions of three size-fractionated concentrations of chlorophyll *a* at Stns E1 and O2.

Nuclepore membrane, except for one sample at Stn C1, were higher than those using the GF/F filter (Fig. 4). Whatman GF/F filter is made from the glass fibers and the average opening of the filter is $0.7\mu\text{m}$. Our result indicated that the small phytoplankton pass through the Whatman GF/F and that the Chl *a* concentration, which passed through the Whatman GF/F, but were retained on the $0.2\mu\text{m}$ Nuclepore membranes, varied from 0 to $0.302\mu\text{g l}^{-1}$. Its fraction contributed up to 36% of the total Chl *a*. TAGUCHI and LAWS (1988) reported on the content of microparticles which passed through the Whatman GF/F but were retained on the $0.2\mu\text{m}$ Nuclepore membranes in Kaneohe Bay, Hawaii. Furthermore, DICKSON and WHEELER (1993) reported that the surface Chl *a* concentrations measured with the $0.2\mu\text{m}$ Nuclepore filters were up to four-fold higher

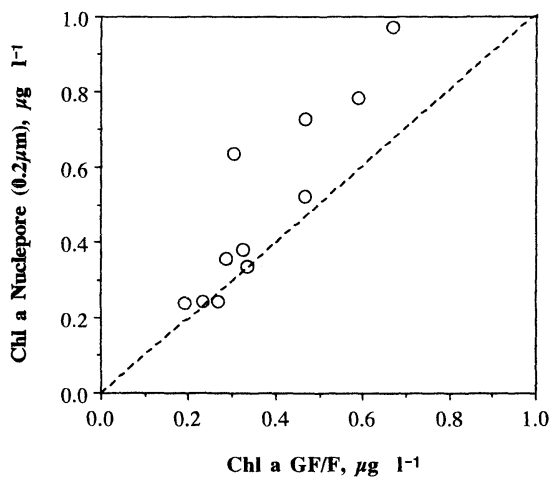


Fig. 4. Comparison of chlorophyll *a* measurements made with Whatman GF/F filters and Nuclepore filter (pore size: $0.2 \mu\text{m}$).

than those measured with the Whatman GF/F filters. In contrast CHAVEZ *et al.* (1995) reported that these two types of filters produce results that differ only by a few percent. Our results from tropical coastal waters indicated that the small phytoplankton pass through the Whatman GF/F and they can not be ignored. Our results also suggested that filtration through the widely used GF/F filters underestimated Chl *a* concentration in tropical coastal seawater.

Three size-fractionated concentrations of Chl *a*

The average contributions of the pico-, nano-, and micro-phytoplankton to the total chlorophyll biomass in this study were 55%, 28% and 17%, respectively. Moreover the mean contribution of the picoplankton size to the total chlorophyll biomass in surface waters was 48%. On the other hand, vertical profiles of three size-fractionated concentrations of Chlorophyll *a* from the two stations (Stns E1 and O2) showed that their relative abundances did not widely change vertically (Fig. 3). It is known that the fractional contribution of small cells to the standing crop of phytoplankton increases as the total chlorophyll decreases (CHISHOLM, 1992). ODATE and MAITA (1988)

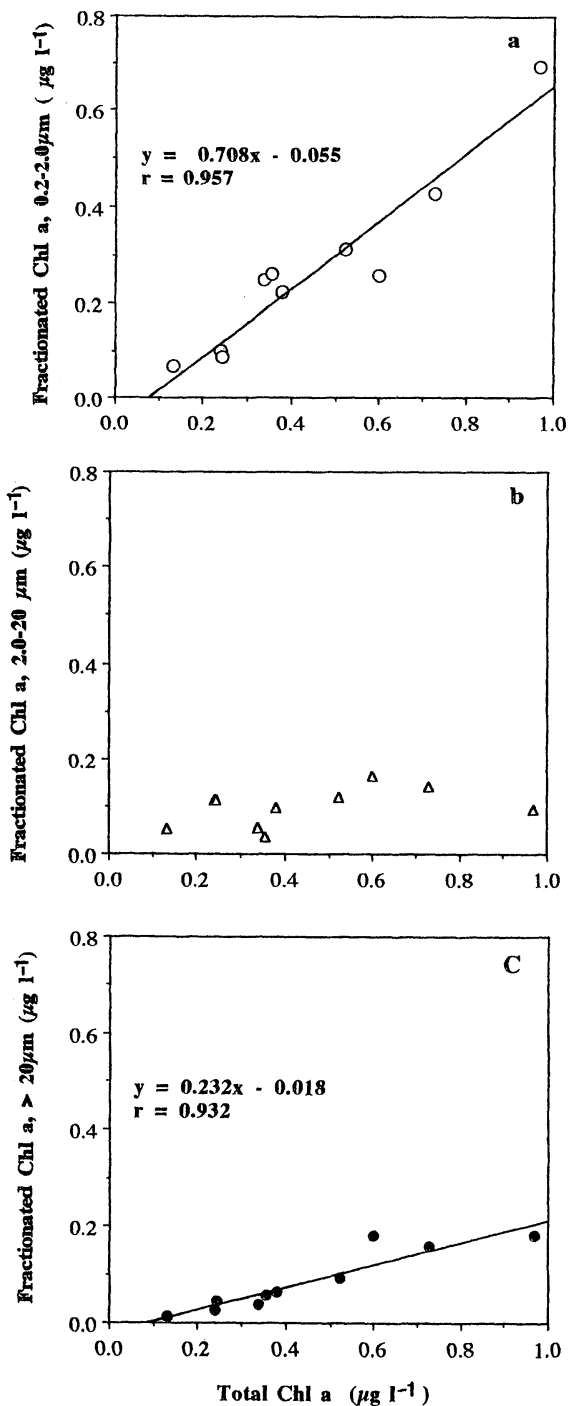


Fig. 5. Relationship between Chl *a* concentrations, total Chl *a* concentration and Chl *a* concentrations in $0.2\text{--}2.0 \mu\text{m}$ (a) $2.0\text{--}20 \mu\text{m}$ (b) and $>20 \mu\text{m}$ (c) fractions.

showed that picoplankton was estimated to constitute from 80% to 90% of the subtropical waters in which the Chl *a* concentrations are low. On the other hand, it has been reported that the picoplankton was estimated to constitute up to 10% or 20% of the eutrophicated area (IRIARTE and PURDIE, 1994; LARSSON and HAGSTROM, 1982). We conclude that our study area is characterized by oligotrophic waters because of its higher contribution of picoplankton size (48%) than that of eutrophic coastal waters (up to 10 or 20%).

Generally, nano- and picoplankton usually dominates in oceanic systems, while the microplankton show marked seasonal trends and dominate when conditions became favourable for diatom (e. g. MAITA and ODATE, 1988). In the marine environment picoplankton contribute significantly to the total biomass of phytoplankton communities (STOCKNER, 1988) and can be responsible for more than 50% in waters where total Chl *a* concentration is less than $0.5 \mu\text{g l}^{-1}$ (IRIARTE and PURDIE, 1994). On the other hand, RODRIGUEZ and GUERRERO (1994) reported that the large increases in biomass consisted mostly of nanoplankton (2.0 to 20 μm) and this generally represents some 50% of the Chl *a* in Malaga Bay, South Spain. TADA *et al.* (1994) also reported that the contributions of nanoplankton (2.0 to 25 μm) was 50% (average) in Hiroshima Bay, Japan and that the change in nanoplankton fraction was reflected in the total Chl *a* concentrations. In our size fractionation data the phytoplankton community was dominated by picoplankton and the changes in the picoplankton fraction was reflected in the total Chl *a* concentration (Fig. 5a). The variation in the Chl *a* concentration of microplankton also correlated with that of the total Chl *a* concentration (Fig. 5c), although the variation in microplankton was small compared to that of the picoplankton. Our results indicated that microplankton also play an important role in the increase in the Chl *a* concentration, although picoplankton was mostly responsible for the high Chl *a*.

Acknowledgements

The authors thank Mr. S. NAKAMURA, Sesoko Marine Science Center, University of the

Ryukyus, for his kind assistance during the field observations and collection of samples. We are grateful to Dr. S. MONTANI, Kagawa University, for his critical comments on this study. This study was partly supported by the research fund defrayed from University of the Ryukyus.

References

- ADACHI, R. and H. IRIE (1980): The Manual of Red Tide I. The Association of Red Tide Research. 175pp.
- CHAVEZ, F. P., K. R. BUCK, R. R. BIDIGARE, D. M. KARL, D. HEBEL, M. LATASA, L. CABELL and J. NEWTON (1995): On the chlorophyll *a* retention properties of glass-fiber GF/F filters. *Limnol. and Oceanogr.*, **40**, 428-433.
- CHISHOLM, S. W. (1992): Phytoplankton size. p213-237. *In* Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea (FALKOWSKI, P. G. and A. D. WOODHEAD eds.), Plenum Press, New York.
- DELESALLE, B., M. PICHON, M. FRANKIGNOULLE and J.-P. GATTUSO (1993): Effects of a cyclone on coral reef phytoplankton biomass, primary production and composition (Moorea Island, French Polynesia). *J. Plankton Res.* **15**, 1413-1423.
- DICKSON M. -L. and P. A. WHEELER (1993): Chlorophyll *a* concentrations in the North Pacific: Does a latitudinal gradient exist? *Limnol. Oceanogr.* **38**, 1813-1818.
- HOLM-HANSEN, O., C. J. LORENZEN, R. W. HOLMES and J. D. H. STRICKLAND (1965) Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer.* **30**, 3-15.
- IRIARTE, A. and D. A. PURDIE (1994): Size distribution of chlorophyll *a* biomass and primary production in a temperate estuary (Southampton Water): the contribution of photosynthetic picoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **115**, 283-297.
- LARSSON, U. and A. HAGSTROM (1982): Fractionated phytoplankton primary production, exudate release and bacterial production in Baltic eutrophication gradient. *Mar. Biol.* **67**, 57-70.
- LEE, Y. S., T. SEIKI, T. MUKAI, K. TAKIMOTO and M. OKADA (1996): Seasonal variations of micro-, nano-, picophytoplankton in Hiroshima Bay. *J. Japan Soc. Water Environ.*, **19**, 405-411. (in Japanese with English abstract)
- MAITA, Y. and T. ODATE (1988): Seasonal changes in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate nertic water of Funaka Bay, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Jpn.*, **44**, 268-279.
- ODATE, T. and Y. MAITA (1988): Regional variation in

- the size composition of phytoplankton communities in the Western North Pacific Ocean, Spring 1985, *Biol. Oceanogr.*, **6**, 65-77.
- PARSONS, T. R., Y. MAITA and C. M. LALLI (1984): A manual of chemical and biological methods for sea water analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.
- RODRIGUEZ, V. and F. J. GUERRERO (1994) Chlorophyll *a* of size-fractionated summer phytoplankton blooms at a coastal station in Malaga Bay, Alboran Sea. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **39**, 413-419.
- STOCKNER, J. G. (1988): Phototrophic picoplankton: An overview from marine and freshwater ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* **33**, 765-775.
- SUZUKI, R. and T. LSHIMARU (1990): An improved method for the determination of phytoplankton chlorophyll using N, N-dimethylformamide. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **46**, 190-194.
- TADA, K., K. MATSUMOTO, M. TADA and T. OCHI (1994): Size distribution of phytoplankton community in Hiroshima Bay. *Tech. Bull. Fac. Agric. Kagawa Univ.*, **46**, 27-35. (in Japanese with English abstract)
- TAGUCHI, S. and E. A. LAWS (1988): On the microparticles which pass through glass fiber filter type GF/F in coastal and open ocean waters. *J. Plankton Res.*, **10**, 999-1008.

Received December 4, 1998

Accepted March 1, 1999

日仏海洋学会誌 うみ (La mer) 第 36 巻掲載欧文論文和文要旨

[36巻1号]

関根義彦*・小松俊晶*・福富敦志* : 日本南岸の駒橋第三海山周辺の海洋構造

日本南岸の伊豆海嶺の西側にある駒橋第三海山周辺の海洋観測を1989年7月に行った。海山の頂以深の層では等温度線と等塩分線の水平勾配があり、第二紀南海山、駒橋第二海山、土佐脊などの観測結果と同じ結果が得られた。多種の微細構造が海山上で観測され、異なる海水の貫入現象が生じていることが示唆された。34.2 psu以下の海水からなる塩分極小層の厚さは海山直上で相対的に薄く、海山上では鉛直混合が大きいかあるいは海山の回りを循環する流れの存在が示唆された。駒橋第三海山周辺における中層水の水温と塩分は伊豆海嶺の西側の海水よりも伊豆海嶺南部の海水の水温や塩分に近く、低塩分水は伊豆海嶺を迂回して南側から来ている可能性が示唆された。(*〒514-8507 津市上浜町1515 三重大学生物資源学部)

Ahmed I. RUSHDI*・Chen-Tung Arthur CHEN**・Erwin SUESS*** : 25°C 1気圧下、種々のマグネシウム濃度の海水中での方解石の溶解性: 実験室における再吟味

人工海水(ASW)中のマグネシウムイオン濃度と炭酸カルシウムの飽和の程度が固体状の炭酸カルシウムの平衡状態に与える影響について調べた。カルシウム濃度に対してマグネシウム濃度が異なる比率のASWにさらした場合、純方解石の見かけの溶解生産物は供試溶液中のマグネシウムイオン濃度の増加に伴って増加した。それらの溶解値はASW中のマグネシウム濃度が同じ場合でも、過飽和度が増加するに従ってさらに増加した。同一条件下で同じ容積の溶液にさらされた場合、表面積の増加が見かけの溶解生産物の値を低下させる傾向が見られた。このことは、動力学的な定常状態からおそらくはある種の熱力学的平衡状態への移行を示すのかもしれない。イオン結合モデルや供試ASW中のカルシウム塩やマグネシウム塩の活性から算出された熱力学的溶解生産物では、マグネシウム塩の活性効率がカルシウム塩のそれより高い傾向が見られ、このことは典型的でない固体を含む溶液が形成されたことを示唆している。(*College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, 104 Ocean Admin. Building, Corvallis, OR.

97331-5503, **Institute of Marine Geology, National Sun Yat-sen University, Kaohsiung, Taiwan, 80424, R.O.C., ***GEOMAR, D-24148, Kiel, Germany)

Md Golam Mahhub ALAM*・Nasrin JAHAN*・Md. Abdul MAZID** : バングラデシュにおける水質汚濁とその水産への影響

バングラデシュは膨大な水資源に恵まれている。沿岸域、河口域、マングローブ域、河川、湖沼そして池沼などのすべてが、魚介類の生産に莫大な機会を提供している。水界環境に対する重金属の影響についてはレビューされており、バングラデシュにおける重金属の地域的な人為汚染は、明らかに水産養殖環境に有害な影響を及ぼし、結局は魚類生産の減少をまねくであろうことを示唆している。自然や人為的な干渉を通しての環境の悪化は、開放水域における漁獲の減少の原因として最初は認められる。この国における急速な産業の発達、水界環境にとって脅威となってきているかもしれない。しかし、産業廃棄物による汚染が水界の生物に及ぼす影響については、ほとんど組織的な研究が行われていない。産業界からの汚染、特に農業、石油化学製品、なめし皮、パルプ、紙屑および蒸留酒製造所などからの排水や、発電所からの温排水が水界の生物に有害な影響を及ぼしているかもしれない。また、穀物増産のための見境のない殺虫剤の使用が、河川の水質悪化の原因の一部となり、バングラデシュの開放水域での漁獲の減少を引き起こしているかもしれないと考えられている。近年、人為的なあるいは動物による水域汚染が、生態学者やとりわけ養殖業者の間に特別な関心を引き起こしている。(*〒305-8572 つくば市天王台1-1-1 筑波大学生物科学系, **Bangladesh Fisheries Research Institute, Mymensingh-2201, Bangladesh)

[36巻2号]

柳 哲雄*・高尾敏幸** : タイランド湾における三次元循環流の季節変動

1959年10月から1960年8月にかけて行われたNAGA航海で観測された水温、塩分、風データをもとに、診断モデル計算を行ってタイランド湾の三次元循環流の季節変動特性を明らかにした。1年を通じて、湾内ではパロ

トロピックな構造をもった吹送流が卓越していた。北西・南東季節風の両時期にタイランド湾の中央部には、時計回りの循環流が存在している。（*〒816-8580 春日市春日公園6-1 九州大学応用力学研究所，**〒790-8577 松山市文教町3 愛媛大学工学部）

土屋光太郎*・岡本浩明**・魚住雄二**：熱帯東太平洋の浮魚類胃内容物から得られた頭足類，および浮魚類の摂餌生態

熱帯太平洋海域から延縄によって漁獲された表層性魚類14種131個体の胃内容物中に出現した頭足類の調査を行った。出現した頭足類は20科40種以上に分類された。これはこの海域の表層・上部中層性頭足類相をよく反映していた。最も多く出現した科はツメイカ科で、少なくとも3種で全頭足類出現個体の30.3%を占めた。これに次いでアカイカ科（14.4%）、ナツメダコ科（7.0%）の順に出現頻度が高かった。全餌料頭足類中で最も高い出現頻度を示した種はランクレールツメイカダマン（20.7%）であった。主要魚種を種ごとに出現頭足類の種組成を見ると、メカジキではムラサキダコ（16.7%）が高い出現頻度を示し、キハダとメバチでは共通種もあるものの、メバチがより中層性の種を多く捕食していることが認められた。この2種のマグロ類において、ランクレールツメイカダマンは重要な餌料生物であると考えられ、この2種に共通して高い出現頻度を示すことから、2種の分布境界である混合層下部にその分布の中心を持っており、またその水深が2種のマグロ類の主要摂餌水深であることが考えられた。胃内容物中に出現した頭足類組成から、これら大型浮魚類は多少の重複はあるものの、種間で摂餌水深を鉛直的に分割しており、その主要摂餌水深はカジキ類では表層、マグロ類2種は混合層の底層を中心として上下に別れた摂餌水深を持っているものと考えられる。またミズウオのみは、これらの境界に妨げられない広い摂餌水深を持っていることが明らかとなった。（*〒108-8477 東京都港区港南4-5-7 東京水産大学資源育成学科，**〒424-8633 静岡県清水市折戸水産庁遠洋水産研究所）

[36巻3号]

石垣哲治**・寺崎 誠*：CCDカメラによる *Actinomonas mirabilis* Kent と *Cafeteria robergensis* Fenchel and Patterson の二分裂様式の観察

東京湾湾奥から単離した *Actinomonas mirabilis* と *Cafeteria robergensis* の二分裂様式についてVTRを用

いて観察した。*Actinomonas* の二分裂様式は7段階に区分され、二分裂方法は縦分裂、分裂時間は最大20分、最小10分であった。*Cafeteria* の二分裂様式も7段階に区分されるが、二分裂方法は横分裂で、分裂時間は最大10分、最小5分であった。（*〒164-8639 東京都中野区南台1-15-1 東京大学海洋研究所，*Biodiversity and Ecology Division, School of Biological Sciences, University of Southampton, Bassett Crescent East, SO16 7PX, U.K.）

Kye-Young Kim*・Jong Yul Khung*：沖縄西方の黒潮における慣性振動に関する数値実験

NAKAJIMA *et al.* (1994) は、1990年8月と9月の台風により慣性振動が黒潮内で引き起こされ、それが表層エクマン層と同様に黒潮の下部領域にも見られたと報告した。観測された慣性振動に伴う流れを再現するため、また慣性振動の時空間構造を支配する主要因を調べるために、外力として理想的な風と実際の風を与える数値モデルの作成を試みた。理想的な風を外力として与えた実験の結果によれば、慣性振動は主に風と平均流の時間変化によって支配されている。平均流が強くなるにつれて、慣性振動は弱められる傾向にあった。また風の時間変化は、応力により生じる運動量の増減に密接にかかわっているため非常に重要である。さらに、乱流過程の表現方法が慣性振動のシミュレーションにおいて重要である。実際の風応力を与えた数値実験の結果は観測された慣性流 (NAKAJIMA *et al.*, 1994) とは一致しなかった。観測結果との比較より、実験で得た慣性流の振幅は小さく、位相が大きく異なっていた。この不一致はさまざまな要因、例えば成層、平均流、風のデータおよび数値モデルの特性、によるであろう。このことはまた慣性振動の鉛直構造の再現は実際上困難であることを示唆する。（*Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea）

河野 博*・加藤充宏*・多紀保彦*：フィリピンの碎波帯における仔稚魚の出現と量の季節変化

フィリピン、パナイ島の碎波帯で1986年5月から1987年9月にかけて、サバヒー採捕用の押し網で仔稚魚の採集を行った。その結果、13目38科に属する18,282個体の仔稚魚が採集された。最も個体数が多かったのはタカサゴイシモチ属魚類 (*Ambassis* spp. : 8,216 個体、全体の44.94%) で、次いでモトギス (*Sillago sihama* : 3,490 個体、19.09%) が多かった。出現のパターンには周年

にわたって出現する種 (例えばタカサゴイシモチ属) や乾期 (11月から4月) に出現する種 (ホシギス *Sillago aeolus* など), 雨期 (5月から10月) に出現する種 (サバヒー *Chanos chanos* など) の3つのタイプが認められた。出現個体数には季節的な変化は見られなかったが, 出現種数では雨期よりも乾期により多くの種が出現した。各月間の類似度にもとづいてクラスター分析をしたところ, 乾期の仔稚魚群集はかなり安定しているのに対して, 雨期にはかなり不安定であった。さらに, 連続する月間の類似度の比較から, 季節の変わり目には劇的な仔稚魚群集の変化が生じることが判明した。 (*〒108-8477 東京都港区港南4-5-7 東京水産大学資源育成学科)

[36巻4号]

塩本明弘*・難波正明**・水戸啓一***: 冬季ベーリング海盆におけるマイクロ, ナノ, ピコプランクトンのクロロフィル *a* および基礎生産力の地域差について

1993年1月から3月のベーリング海盆における表面のマイクロ (10-200 μm), ナノ (2-10 μm), ピコ (<2 μm) プランクトンのクロロフィル *a* 濃度と基礎生産力の地域差を明らかにした。マイクロ, ナノおよびピコプランクトンのクロロフィル *a* 濃度は, 各々0-0.3, 0-0.09 および0.1-0.4 $\mu\text{g l}^{-1}$ であり, 基礎生産力は各々0-0.45, 0-0.53 および0.04-0.37 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$ であった。これらの植物プランクトンのクロロフィル *a* 濃度は東部において, 各々0.2, 0.06 および0.3 $\mu\text{g l}^{-1}$ 以上で, 基礎生産力は各々0.2, 0.4 および0.3 $\mu\text{g C l}^{-1} \text{h}^{-1}$ 以上であった。西部や中央部でのクロロフィル *a* 濃度と基礎生産力はいずれの植物プランクトンについても東部の値よりも低くむしろ均一であった。これらの植物プランクトンの成長速度, 栄養塩, 動物プランクトンの捕食は, 東部におけるクロロフィル *a* 濃度や基礎生産力高い分布に関与していないと考えられた。東部ベーリング海表層にはベーリング海の海水よりも密度の低いアラスカストリームがアリューシャン列島を通して流入していた。このような流入が, 東部海域に浅い表層混合層を形成し植物プラ

ンクトンの純生産を導き, マイクロ, ナノおよびピコプランクトンの増加を引き起すため, これらの植物プランクトンの高いクロロフィル *a* 濃度と基礎生産力が導かれたと考えられた。 (*〒424-8633 静岡県清水市折戸5-7-1 水産庁遠洋水産研究所, **〒761-0701 香川県木田郡三木町池戸2393 香川大学, ***〒907-0451 沖縄県石垣市椏海大田148-446 西海区水産研究所石垣支所)

多田邦尚*・山田真知子**・竹村明洋***・中野義勝***: 熱帯貧栄養沿岸域における植物プランクトン群集のサイズ組成

貧栄養沿岸海域である熱帯の珊瑚礁域 (沖縄・瀬底島周辺海域) において, 植物プランクトン群集のサイズ組成を調査した。調査海域の表層海水中のクロロフィル *a* 濃度は0.131 ~ 0.601 $\mu\text{g l}^{-1}$ と低い値であった。また2観測点でプランクトンネットの水平曳きによって採集された試料では, *Trichodesmium* (Cyanophyceae), *Ceratium* (Dinophyceae), *Proto-peridinium* (Dinophyceae) および *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) が優占していた。表層水中のクロロフィル *a* 濃度のサイズ分布では, 0.2~2.0 μm のサイズ (ピコプランクトンサイズ) が全クロロフィル *a* 濃度の35.3~76.2% (平均48%) を占めていた。このようにクロロフィル *a* 濃度が低く, ピコプランクトンサイズが優占していることは貧栄養海域の特徴をよく表していると考えられた。一方, クロロフィル *a* 濃度が高くなるに従って20 μm 以上のマイクロプランクトンも増加しており, マイクロプランクトンの全クロロフィル *a* 濃度に占める割合は9.4~30.1% (平均17%) であった。本調査海域では全クロロフィル *a* 濃度の増減に最も寄与しているのはピコプランクトンであるが, マイクロプランクトンの寄与も無視できないと考えられた。 (*〒761-0795 香川県木田郡三木町池戸2393 香川大学農学部, **〒804-0082 北九州市戸畑区 北九州市環境科学研究所, ***〒905-0227 沖縄県本部町瀬底 琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底支所)

学 会 記 事

1. 1999年3月31日(水) 東京水産大学において、1998年度第2回幹事会が開かれた。主な議事は下記のとおり。

- 1) 平成10年度事業報告
ア) 平成11年3月段階での会員の移動状況が報告された。
イ) 平成10年度中の活動状況が報告された。
ウ) 平成10年度中の学会誌の発行状況が報告された。
- 2) 平成11年度学会賞受章候補者選考経過報告。
- 3) 平成10年度収支決算報告。
- 4) 平成11年度事業計画案審議。
- 5) 平成11年度予算案審議。
- 6) その他
ア) 1999年度(第40回)日仏海洋学会総会及び学術研究発表会を1999年6月12日(土)、日仏会館会議室で開催することとした。
イ) 1999年度日仏学者交換事業による派遣希望者を評議員宛に照会することとした。
ウ) 学術会議水産学研究連絡委員会から照会のあった、文部省科学研究費補助金審査員候補者の推薦について協議し、本会でも候補者選出規定を定めることとした。

2. 退会(受付順)
小寺山 亘

日仏海洋学会役員・評議員 (1998~1999年度)

顧問: ユベール・プロシエ ジャン・デルサル
ト ジャック・ロベール アレクシス・ドラ
ン デール ベルナル・フランク ミシェル・
ルナル 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 オーギュス
タン・ベルク ユベール・セカルディ
オリビエ・アンサール

名誉会長: ビエール・カブラン

会長: 有賀祐勝

副会長: 高木和徳 岡市友利

幹事: (庶務) 森永 勤 前田 勝
(会計) 松山優治 岸野元彰
(編集) 落合正宏 佐藤博雄
(研究) 関 文威 小池勲夫
(渉外) 佐伯和昭 隆島史夫

監事: 久保田穰 須藤英雄

編集委員長: 山口征矢

評議員:

青木三郎	有元貴文	有賀祐勝	石丸 隆
磯田 豊	糸刈長敬	今脇資郎	宇野 寛
岡市友利	奥田邦明	落合正宏	梶浦欣二郎
金成誠一	鎌谷明善	岸野元彰	黒田一紀
小池勲夫	佐伯和昭	坂本 亘	佐藤博雄
須藤英雄	関 文威	関根義彦	平 啓介
高木和徳	隆島史夫	高野健三	高橋正征
谷口 旭	寺本俊彦	鳥羽良明	中田喜三郎
中田英昭	長島秀樹	永田 豊	平野敏行
福田雅明	前田明夫	前田昌調	前田 勝
松生 洽	松山優治	丸茂隆三	村野正昭
森永 勤	門谷 茂	柳 哲雄	山口征矢
山崎秀勝	和田 明	渡邊精一	

(51名会長推薦評議員を含む)

ご著書の著作権の予備登録のお願い

学術著作権協会 研究者著作権審議委員会 委員長 黒田 晴雄

複写機が技術的にますます進歩し、爆発的に普及が進んだ結果、本来は著作権法によって、著者の許諾が必要な場合でも、複写がほとんど野放しになっているのが現状です。あなたが執筆なさった図書がどこかで、誰かによって複写されていても、それを監視することはもちろん、複写のための著作権使用料を徴収することは、個人の力では現実には不可能です。一方、複写する側（利用者）では、著者（著作権者）から許諾をとろうと思っても、複写の都度、著者に直接連絡することは実際問題としてできない相談です。

このような不都合を少しでも緩和し、著者の方々の正当な権利を守るために、日本では1991年に（社）日本複写権センター（J R R C）が設立され、複写権の管理の代行（著作権集中処理とっています）をしています。欧米諸国にも同様な団体があります。

学術著作権協会（学著協）は、J R R Cの三つの会員機関の一つとして、学協会が発行する学術雑誌の複写権の行使の委任を各学協会から受けて、複写許諾と複写使用料徴収の事務をJ R R Cに委託し、J R R Cが集めた複写使用料を学協会に分配する仕事をしています。その過程で行う実態調査などで、研究者が学術雑誌に発表する論文に限らず、図書もよく複写されていることが判明し、学術雑誌だけでなく一般の図書についても、同様な複写権管理の仕組みが必要であると痛感するにいたりしました。

J R R Cによる複写権集中処理は、著作権者からJ R R Cの会員団体への権利行使の委任（委託）に基づいて、代行業務を行うことにしていますので、研究者で著作権をお持ちの著者からは、学著協に登録して頂くことが大前提です。

毎年数万点も発行される新刊図書の著作者全員から委託して頂くことが理想ですが、それは将来の目標として、さしあたりは単行本についても、学術雑誌と類似の仕組みをスタートさせるため、相当数の委託を受け得たら、J R R Cの集中処理機構に平成12年度を目処として乗せたいと考えています。それで、以上の目標を達成するため、あなたがお書きになった図書の予備登録をお願いする次第です。予備登録がある程度の数に達した時点で、J R R Cのシステムに乗せる正式登録（権利行使の委託）のため、改めて手続きをお願いすることにしたいと思います。

- 注：（1）登録対象の著作物：研究者が学術雑誌に発表する論文等は学術雑誌のグループとして扱いますので、予備登録の対象は研究者個人または少数の共著者で執筆された図書とします。さしあたり翻訳著作物は対象から除外します。
- （2）重複登録について：もしあなたの著作物の出版者が、たとえば出版者著作権協議会にあなたの著書を登録している場合は二重に登録されるおそれがあります。私どもの方に登録変更なさってもかまいませんし、そのまま出版者との契約にしたがってもかまいませんが、集めた複写使用料があなたに分配されることを確認されるようお勧めします。
- （3）学著協の活動について：1990年以降学協会（現在数420）が著作権を有する著作物の著作権集中処理を行ってきましたが、今回、研究者個人が著作権を有する著作物の著作権集中処理の仕組みをスタートさせようとしています。
- （4）J R R Cの活動について：日本の企業、団体と複写許諾契約を結んで、複写権使用料を集め、一定の方式に従って、著作者団体連合、学術著作権協会、出版者著作権協議会を通じて分配しています。米国の同様な機関である Copyright Clearance Center (CCC) と提携して、相互の複写使用料を取次ぐよう交渉中です。

上記趣旨の予備登録（無料）にご参加下さる方は、ご氏名（ローマ字付）、連絡先住所（自宅又は勤務先、勤務先の場合は部署、役職も）、電話、FAX 又は E-mail、ならびに、著作権をお持ちの各著作物のリスト（書名、ISSN、発行所）を下記に電話、FAX、又は E-mail でお知らせ下さい。

〔予備登録連絡先〕〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 学術著作権協会
TEL:03-3475-5618、 FAX : 03-3475-5619、 E-mail : kammori@msh.biglobe.ne.jp

**La mer (Bulletin de la
Société franco-japonaise
d'océanographie)**
Tome 36 (1998-1999)

Sommaire

Numéro 1

Notes originales

Oceanic structure in the vicinity of seamount, the Komahashi Daisan Kaizan, south of JapanYoshihiko SEKINE, Toshiaki KOMATSU and Atsushi FUKUTOMI	1-8
The solubility of calcite in seawater solution of different magnesium concentrations at 25 °C and 1 atm total pressure: A laboratory reexaminationAhmed. I. RUSHIDI, Chen-Tung Arthur CHEN and Erwin SUESS	9-22
Impact of aquatic pollution and its effect on fisheries in BangladeshMd. Golam Mahhub ALAM, Nasrin JAHAN and Md. Abdul MAZID	23-37
Procès-verbaux	39-42

Numéro 2

Notes originales

Seasonal variation of three-dimensional circulations in the Gulf of ThailandTetsuo YANAGI and Toshiyuki TAKAO	43-55
Cephalopods eaten by pelagic fishes in the tropical East Pacific, with special reference to the feeding habitat of pelagic fishKotaro TSUCHIYA, Hiroaki OKAMOTO and Yuji UOZUMI	57-66
Study on the working simulation of suspended perpetual engine (in Japanese)Shigeki KAMETANI and Sadami YADA	67-73
Procès-verbaux	75-84

うみ (日仏海洋学会誌)

第36巻 (1998-1999年)

総目次

第1号

原 著

日本南岸の駒橋第三海山周辺の海洋構造 (英文)関根義彦・小松俊晶・福富敦志	1-8
25°C 1気圧下, 種々のマグネシウム濃度の海水中での方解石の溶解性: 実験室における再吟味 (英文)Ahmed. I. RUSHIDI・Chen-Tung Arthur CHEN・Erwin SUESS	9-22
バングラデシュにおける水質汚濁とその水産への影響 (英文)Md. Golam Muhhub ALAM・ Nasrin JAHAN・Md. Abdul MAZID	23-37
学会記事	39-42

第2号

原 著

タイランド湾における三次元循環流の季節変動 (英文)柳 哲雄・高尾敏幸	43-55
熱帯東太平洋の浮魚類胃内容物から得られた頭足類, 及び浮魚類の摂餌生態 (英文)土屋光太郎・岡本浩明・魚住雄二	57-66
疑似永久機関の作動シミュレーション亀谷茂樹・矢田貞美	67-73
学会記事	75-84

Numéro 3

第3号

Notes originales

Binary fission patterns of heterotrophic nano-flagellates, <i>Actinomonas mirabilis</i> Kent and <i>Cafeteria roenbergensis</i> Fenchel and Patterson, observed with a CCD cameraTestuji ISHIGAKI and Makoto TERAZAKI	85-90
Numerical experiments of inertial oscillations in the Kuroshio west of OkinawaKye-Young KIM and Jong Yul CHUNG	91-100
Seasonal occurrence and abundance of larval and juvenile fishes in a Philippine surf zoneHiroshi KOHNO, Mitsuhiro KATO and Yasuhiko TAKI	101-109
Procès-verbaux	111-118

原 著

CCDカメラによる <i>Actinomonas mirabilis</i> Kent および <i>Cafeteria roenbergensis</i> Fenchel and Pattersonの二分裂様式の観察 (英文)石垣哲治・寺崎 誠	85-90
沖縄西方の黒潮における慣性振動に関する数値実験 (英文)Kye-Young KIM・Jong Yul CHUNG	91-100
フィリピンの碎波帯における仔稚魚の出現と量の季節変化 (英文)河野 博・加藤充宏・多紀保彦	101-109
学会記事.....	111-118

Numéro 4

第4号

Notes originales

Small-scale meander as the trigger of the Kuroshio large meander (in Japanese)Yutaka NAGATA, Shozo YOSHIDA and Kouichi FUJITA	119-130
Regional variations in the winter chlorophyll <i>a</i> and primary productivity of micro-, nano- and pico-phytoplankton fractions in the Bering Sea basinAkihiro SHIOMOTO, Masaaki NANBA and Keiichi MITO	131-138
Size distribution of phytoplankton community in oligotrophic tropical coastal watersKuninao TADA, Machiko YAMADA, Akihiko TAKEMURA and Yoshikatsu NAKAO	139-145
Faits divers	147-149
Procès-verbaux	150-151

原 著

黒潮大蛇行の前駆現象としての小蛇行永田 豊・吉田昭三・藤田弘一	119-130
冬季ベーリング海盆におけるマイクロ, ナノ, ピコプランクトンのクロロフィル <i>a</i> および基礎生産力の地域差について (英文)塩本明弘・難波正明・水戸啓一	131-138
熱帯貧栄養沿岸域における植物プランクトン群集のサイズ組成 (英文) ...多田邦尚・山田真知子・竹村明洋・中野義勝	139-145

資 料

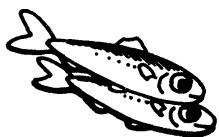
第36巻掲載欧文論文和文要旨.....	147-149
学会記事.....	150-151

Sommaire du Tome 36	(1)-(2)
----------------------------------	---------

第36巻総目次.....	(1)-(2)
--------------	---------

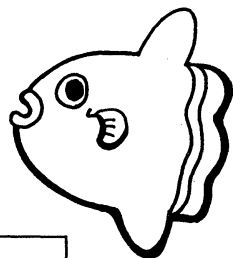
賛 助 会 員

阿 部 嘉 方	東京都練馬区春日町2-15-6
アレック電子株式会社	兵庫県神戸市西区井吹台東町7-2-3
株式会社 イーエムエス	兵庫県神戸市中央区多聞通3-2-9
株式会社 内田老鶴圃 内田 悟	東京都文京区大塚3-34-3
有限会社 英和出版印刷社	東京都文京区千駄木4-20-6
株式会社 カイジョウ	東京都西多摩郡羽村町栄町3-1-5
(財)海洋生物環境研究所	東京都千代田区内神田1-18-12 北原ビル内
株式会社 川合海苔店	東京都太田区大森本町2-31-8
ケー・エンジニアリング株式会社	東京都台東区浅草橋5-14-10
三洋測器株式会社	東京都渋谷区恵比寿南1-2-8
株式会社 自然・情報環境研究所	横浜市栄区桂町1-1, 3-401
新日本気象海洋株式会社	東京都世田谷区玉川3-14-5
全日本爬虫類皮革産業連合会	東京都足立区梅田4-3-18
株式会社 高岡屋	東京都台東区上野6-7-22
テラ株式会社	東京都世田谷区代田3-41-8 代田ウエスト5F
株式会社 東京久栄技術センター	埼玉県川口市芝鶴ヶ丸6906-10
株式会社 西日本流体技研	長崎県佐世保市棚方町283
日本アクアラング株式会社	神奈川県厚木市温水2229-4
(株)三菱総合研究所 (社会情報システム部)	東京都千代田区大手町2-3-6
日本海洋株式会社	東京都千代田区神田須田町2-2-4 須田町藤和ビル7F
株式会社 読売広告社	東京都中央区銀座1-8-14
渡辺機関工業株式会社	愛知県渥美郡田原町神戸大坪230
株式会社 渡部計器製作所	東京都文京区向丘1-7-17



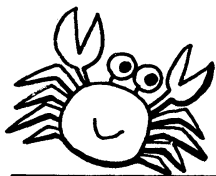
海洋生物資源を大切に利用する企業でありたい

——青魚(イワシ・サバ・サンマ)から宝を深し出す——



母なる海・海には愛を!

La mer la mère, l'amour pour la mer!



SHIDA

信田缶詰株式会社

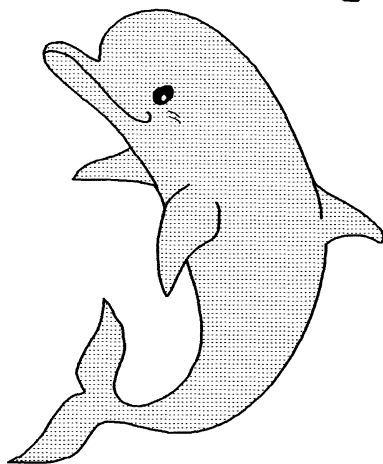
〒288 千葉県銚子市三軒町2-1 TEL 0479(22)7555 FAX 0479(22)3538

●製造品・水産缶詰・各種レトルトパウチ・ビン詰・抽出スープ・他

街をきれいにしてイルカ?

事業内容

- 産業廃棄物、一般廃棄物の収集運搬処理
- 各種槽、道路、側溝の清掃
- 上下水道、排水処理施設運転管理
- 下水道管内TVカメラ調査
- 総合ビル管理
- その他上記に付随する一切の業務



 **株式会社 春海丸工営**

本社 〒312 茨城県ひたちなか市長砂872-4 ☎029-285-0786 FAX285-7519
 銚子支社 〒288 千葉県銚子市長塚町6-4490-1 ☎0479-22-4733 FAX22-4746
 水戸支社 〒310 茨城県水戸市中央 2-2-6 ☎029-226-9639 FAX226-9855

Chelsea Instruments

(Chelsea社は、曳航式CTD計の専門メーカーです。)

Aquashuttle/Aquapack

曳航器・アクアシャトル

最適航速 8-20ノット

アーマードケーブルでリアルタイム測定可

CTDロガー・アクアパック

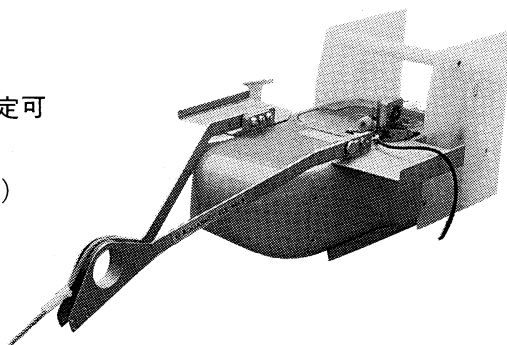
電導度 1~55mS/cm (0.01mS/cm)

温度 -2~32℃ (0.005℃)

深度 0~200m

蛍光光度 0.01μg~100μg/l

メモリー 50,000データ (標準)



CI

CHELSEA
INSTRUMENTS
LIMITED



**Biospherical
Instruments
Inc.**

日本総代理店

ケー・エンジニアリング株式会社

〒111 東京都台東区浅草橋5-14-10

TEL 03-5820-8170

FAX 03-5820-8172

日仏海洋学会入会申込書

(正会員・学生会員)

	年度より入会	年 月 日 申込
氏 名		
ローマ時		年 月 日 生
住 所 〒		
勤務先 機関名		
電 話		
自 宅 住 所 〒		
電 話		
紹介会員氏名		
送付金額	円	送金方法
会誌の送り先 (希望する方に○をつける)	勤務先	自 宅

(以下は学会事務局用)

受付	名簿	会費	あて名	学会
	原簿	原簿	カード	記事

入会申込書送付先：〒150-0013 東京都渋谷区恵比寿 3-9-25

(財) 日仏会館内

日 仏 海 洋 学 会

郵便振替番号：00150-7-96503

日仏海洋学会編集委員会 (1998-1999)

委員長：山口征矢

委員：青木三郎, 堀越増興, 前田 勝, 落合正宏, 松山優治, 柳 哲雄, 渡辺精一

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

幹 事：落合正宏, 佐藤博雄

投 稿 の 手 引

1. 「うみ」(日仏海洋学会機関誌; 欧文誌名 *La mer*) は, 日仏海洋学会正会員およびそれに準ずる非会員からの投稿(依頼稿を含む)を, 委員会の審査により掲載する。
2. 原稿は海洋学および水産学両分野の原著論文, 原著短報, 総説, 書評, 資料などとする。すべての投稿は, 本文, 原図とも正副2通とする。副本は複写でよい。本文原稿用紙はすべてA4判とし, 400字詰原稿用紙(和文)に, または厚手白紙にダブル・スペース(和文ワープロでは相当間隔)で記入する。表原稿および図説明原稿は, それぞれ本文原稿とは別紙とする。
3. 用語は日, 仏, 英3カ国語の何れかとする。ただし, 表および図説明の用語は仏文または英文に限る。原著論文(前項)には約200語の英文または仏文の要旨を, 別紙として必ず添える。なお, 欧文論文には, 上記要旨の外に, 約500字の和文要旨をも添える。ただし, 日本語圏外からの投稿の和文要旨については編集委員会の責任とする。
4. 投稿原稿の体裁形式は最近号掲載記事のそれに従う。著者名は略記しない。記号略号の表記は委員会の基準に従う。引用文献の提示形式は, 雑誌論文, 単行本分載論文(単行本の一部引用を含む), 単行本などの別による基準に従う。
5. 原図は版下用として鮮明で, 縮尺(版幅または1/2版幅)に耐えられるものとする。
6. 初校に限り著者の校正を受ける。
7. 正会員に対しては7印刷ページまでの掲載を無料とする。ただし, この範囲内であっても色彩印刷を含む場合などには, 別に所定の費用を著者負担とすることがある。正会員の投稿で上記限度を超える分および非会員投稿の印刷実費はすべて著者負担(10,000円/頁)とする。
8. すべての投稿記事について, 1篇あたり別刷50部を無料で請求できる。50部を超える分は請求により, 50部単位で作製される。別刷請求用紙は初校と同時に配布される。
9. 原稿の送り先は下記の通り。

〒108-8477 東京都港区港南4-5-7 東京水産大学 山口征矢 気付
日仏海洋学会編集委員会

1999年5月25日印刷
1999年5月28日発行

う み

第36巻
第4号

定 価 ￥1,600

編 集 者 山 口 征 矢
発 行 所 日 仏 海 洋 学 会
財団法人 日仏会館内
東京都渋谷区恵比寿3-9-25
郵便番号: 150-0013
電 話: 03 (5421) 7 6 4 1
振替番号: 00150-7-96503
印 刷 者 佐 藤 一 二
印 刷 所 (有)英和出版印刷社
東京都文京区千駄木4-20-6
郵便番号: 113-0022
電 話: 03 (5685) 0 6 2 1

Tome 36 N° 4

SOMMAIRE

Notes originales

Small-scale meander as the trigger of the Kuroshio large meander(in Japanese)
.....Yutaka NAGATA, Shozo YOSHIDA and Kouichi FUJITA 119

Regional variations in the winter chlorophyll *a* and primary
productivity of micro-, nano- and pico-phytoplankton fractions in the Bering Sea basin
.....Akihiro SHIOMOTO, Masaaki NANBA and Keiichi MITO 131

Size distribution of phytoplankton community in oligotrophic tropical coastal waters
.....Kuninao TADA, Machiko YAMADA, Akihiko TAKEMURA and Yoshikatsu NAKAO 139

Faits divers 147

Procès-verbaux 150

Sommaire du Tome 36 (1)

第 36 卷 第 4 号

目 次

原著論文

黒潮大蛇行の前駆現象としての小蛇行.....永田 豊・吉田昭三・藤田弘一 119

冬季ベーリング海盆におけるマイクロ, ナノ, ピコプランクトンの
クロロフィル*a*および基礎生産力の地域差について (英文)
.....塩本明弘・難波正明・水戸啓一 131

熱帯貧栄養沿岸域における植物プランクトン群集のサイズ組成 (英文)
.....多田邦尚・山田真知子・竹村明洋・中野義勝 139

資 料

第36巻掲載欧文論文和文要旨..... 147

学会記事..... 150

第36巻総目次..... (1)