

沿岸海洋の変動—Ⅳ

柏井 誠・桑原昭彦・坂本 亘・加藤安雄

Fluctuations in Coastal Marine Conditions

Makoto KASHIWAI*¹ Akihiko KUWAHARA*²

Wataru SAKAMOTO*¹ Yasuo KATO*²

若狭湾西部海域の暖水構造^{1,2,3)}に関する1978年、1979年の調査において、16個の漂流ブイのレーダー追跡を行った。これは、暖水構造と表層流との対応をしらべるとともに、面としての流れの測定によってどんなことがわかるか、とくに卵稚仔やプランクトンの輸送・分散・集積に重要な役割をもつ表層流の収束・発散がどのようにになっているかを明らかにするために実施したものである。ここで後者の目的に関して得られた知見について報告する。

観測方法

漂流ブイの追跡 漂流ブイにはレーダー反射体(東京計器製レンズレフDL-8A形)を海面上約1.5 mの高さにとりつけ、海面下1 mから抵抗布(長さ2 m幅1 m)を垂下した。追跡には平安丸のレーダー(JMA-158GB 12インチ 120海里)を用い、スコープの映像を5分毎に写真撮影した。撮影はテストを行い、レンズ35 mm F5.6、フィルムTri-X(ASA 400)、スクヤナが一周する間シャッター開放の条件で行った。

ブイの投入はみさき丸によって行った。1978年の観測では約1海里四方に、1979年は約1.5海里四方の海域に、格子状となるように16個投入した。

両年とも約3時間の追跡を3回(3日間)くり返した。

ブイ群横断航走観測 表層流の収束・発散が水温・塩分や粒状物・プランクトン・クロロフィルの分布にどのように影響しているかを調べるために、ブイのレーダー追跡に平行して、ブイ群の中央を横断往復して航走観測を行った。水温・塩分はサリノグラフ(鶴見精機製)を、クロロフィルはバリオセンスを、濁度および粒状物は粒々カウンター(坂本亘製作のビームの細い濁度センサー)をみさき丸により海面下2 m²ノットで曳航し連続記録を行った。プランクトンの検鏡計数および粒状物の粒径の分布をコールターカウンターによって測定するための試料は、往路について5分毎の表面採水によって得た。また横断航程の両端においてSTD観測を行った。

航跡およびブイとの位置関係は、平安丸のレーダースコープの画像中のみさき丸を、ブイと

*1 Faculty of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan

*2 Kyoto, Institute of Oceanic and Fishery
Science, Miyazu, Kyoto, Japan

同様フィルムの画像計測により決定した。

結果および考察

1978年の結果 1978年8月8日～10日の3日間行った漂流ブイの追跡結果を、追跡開始後1時間30分について、図1～3に示した。調査海域は、新井崎と鷺崎と冠島を結ぶ海域

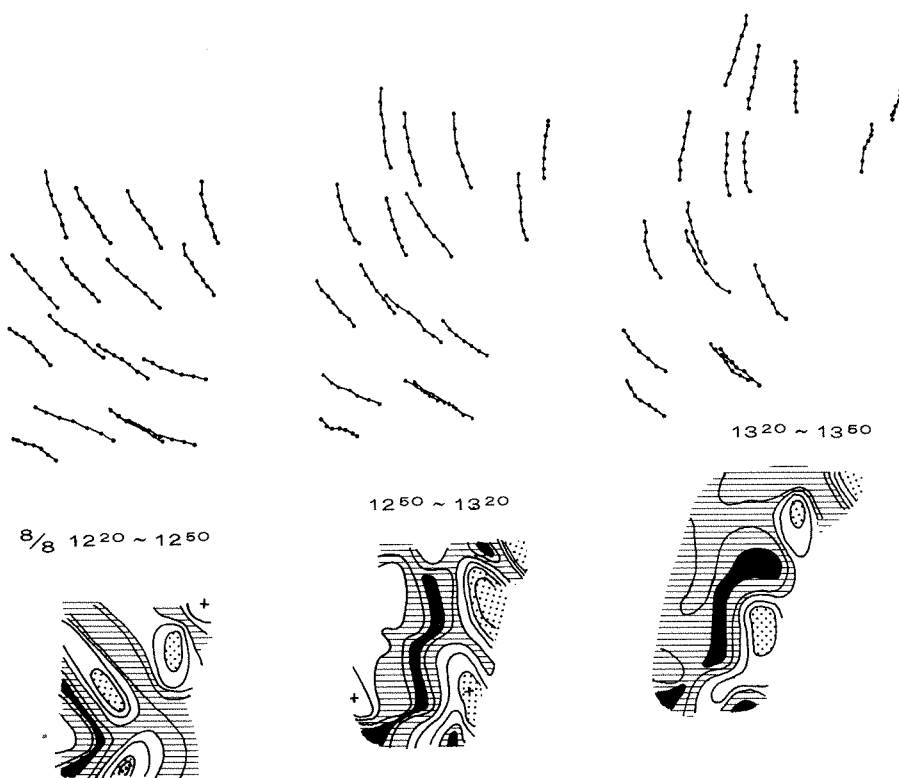


図1 漂流ブイの流跡と収束・発散の分布(1978年8月8日)

の西よりの部分である。

流跡は、5分毎の位置をつないで示してある。流跡の下にそれぞれ示した図は、変形解析の結果得られた収束・発散の分布図である。横線をひいた部分は収束の値が $1 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ より大きいところであり、黒くぬりつぶした部分は $3 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ 以上の強い収束域を示す。点を打った部分は発散の値が $1 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ 以上を示す発散域である。

流跡は、数分の1海里のスケールで流向・流速ともかなり変動することを示している。8月9日の場合では、0.1ノットの流れの地点から0.5海里のところまで1.0ノットの流れをみせている。このことは、1個の漂流ブイもしくは流速計が沿岸域において代表しうる範囲は数分の1海里以下の場合があること、さらには、GEEKの沿岸域での使用に際し十分注意と工夫を要することなどを意味するであろう。

ブイ群の拡り1海里西方の海域の中に、一定の流れのパターン、たとえば時計まわりの環流

の存在がはっきり示される。こういう流れのパターンは、ブイの拡りよりさらに広い範囲に対

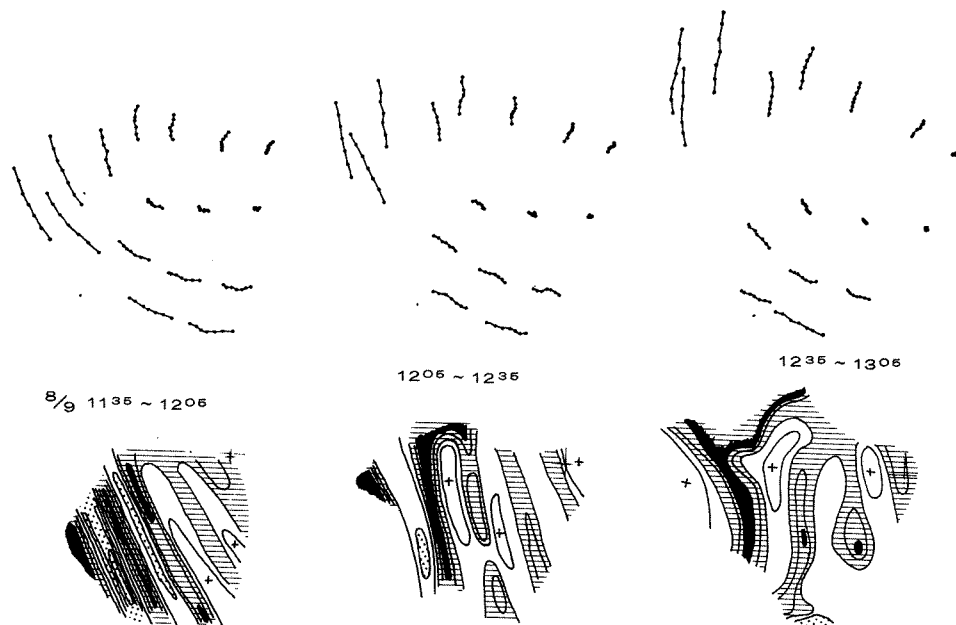


図2 漂流ブイの流跡と収束・発散の分布（1978年8月9日）

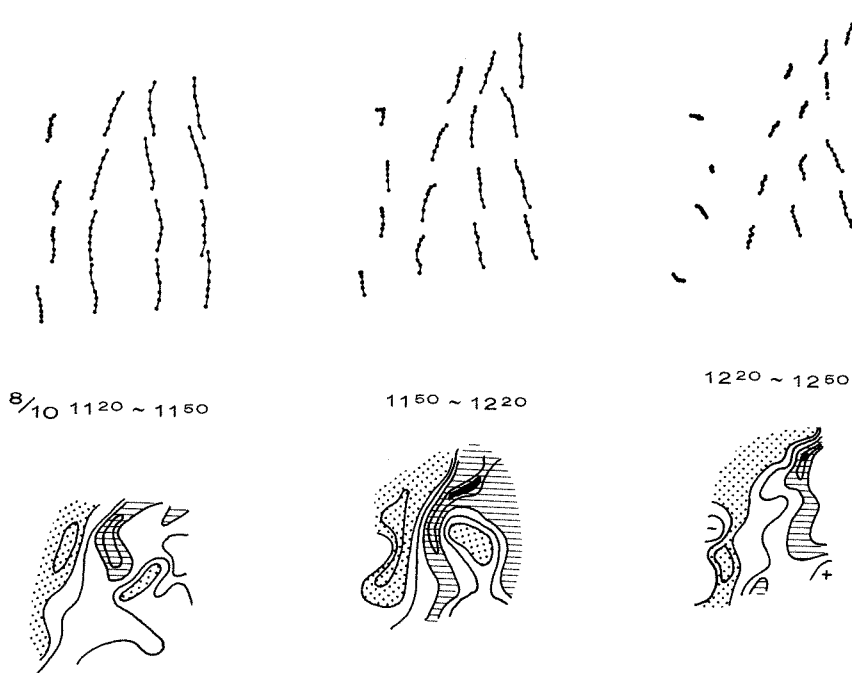


図3 漂流ブイの流跡と収束・発散の分布（1978年8月10日）

して外そうすることが可能であろう。なお、ブイの示す流れのパターンと暖水塊との関連については前々報²⁾を参照されたい。

収束・発散の分布とその変化から、次のようなことがいえそうである。収束域は比較的幅が狭く(10分の1海里程度)強い集中部をもつが、発散域は収束域にくらべて広い領域を占めるとともに強い集中部をもつことが少ない。そして、収束域と発散域は空間的に交互に配列している。その強さは時間的に変化し、大きくなったり小さくなったりするが、顕著な部分とくに強い収束域はほぼ同一の部位を保ったまま全体的な流れとともに移動していく。このような複数の漂流ブイによる測流(ラグランジ的測流)によってとらえられた流れの微細な構造は、固定点での流速計による測流(オイラー的測流)においては、“乱れ”として現われる。しかしその“乱れ”が、平均的な流れに乗った二次流の性格をもち、その性格を保ったまま平均流とともに(によって)流れていくというのが上述に他ならない。この点を踏えると“乱れ”による浮遊粒子(海面近くにとどまろうとする物・生物)の“拡散”の具体的なイメージについて次のように表現しなければならないであろう。浮遊粒子は、乱れすなわち平均流中の二次流によって、集積されつつ分散する。したがって広く分散したからといって、密度が総量を分散域で割った値にまで低くなると考えるわけにはいかない。

1979年の結果 図4に1979年の調査の結果得られた流跡の一部を示す。調査は1日約3時間8月7日、8日、9日の3回行った。調査海域はMTCM設置点(35°43.2' N. 135°22.9' E)をほぼ中心とする海域である。ブイは約1.5海里四方の海域に16個投入した。

8月7日の流跡は、調査海域の南端付近に中心をもつ時計まわりの環流の存在を示している。8月8日にはこの環流はこの海域付近には存在せず、あったとしても北東方かなり沖合であろうと思われる。8月9日の流跡は北北西流を東方から北西ないし南西流が圧迫している状態を示している。

図5に示したものは、各調査日のSTD記録を50m以浅についてトレースしたものである。これによると調査海域に時計まわりの環流が存在していた8月7日には表層暖水層が厚く30数mに及んでいるが、環流域になかった8日、9日は表層暖水層は薄くなっており、時計まわり環流と発達した表層暖水層との関連性を示唆している。

ブイ群横断航走観測の結果 1979年はレーダーによるブイ追跡と平行して、ブイ群の中央を横断往復し水温塩分、粒状物、プランクトンの水平分布を調べた。8月7日および8日の水温等の航走記録は、ブイ群の横断往復中変化を示さなかった。8月9日は、ブイ群のほぼ中央に南北に伸びるスリックが存在し、これを横切る際に図6に示す水温変化が記録された。塩分にもやや変化が現われたが、クロロフィル、粒々カウンターには目立った変化は見られなかった。これは測定器の測定下限近くのため検出されなかったものと思われる。また図6に、航走測定時の5分毎のみさき丸の位置および収束・発散の分布を往路・復路に対応させて示した。往路の第1点は11時30分、復路の第1点は12時15分である。収束・発散の分布は、ほとんど収束域となっており、図中横線を引いた部分は収束の値が、 $2 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ 以上の強い収束域を示す。

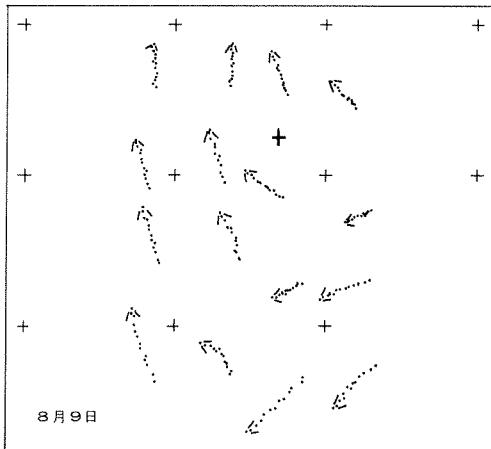
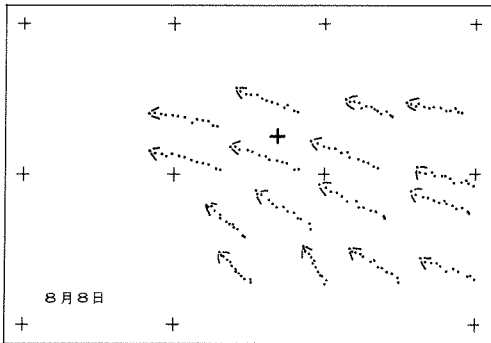
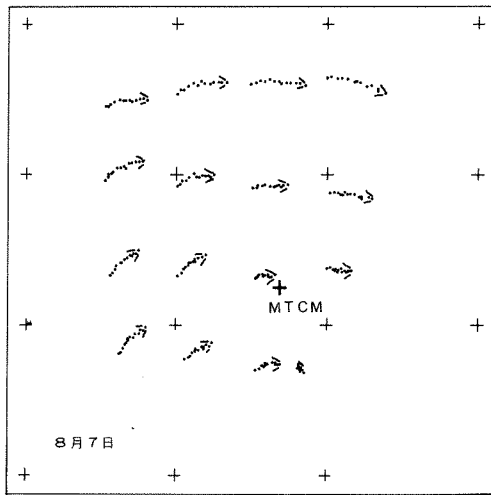


図4 漂流ブイの流跡
(1979年8月7・8・9日)

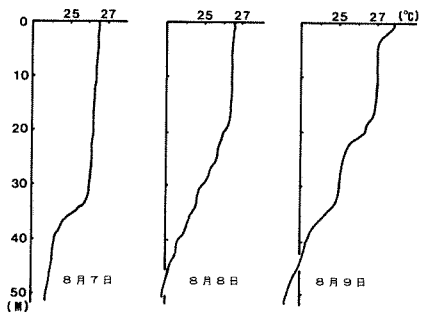


図5 STD記録
(1979年8月7・8・9日)

この収束域は、図4の流跡にみられる流れの不連続部に一致している。そして航走水温記録は、この収束域の前面付近にシャープなフロントを持ち、ほぼ収束の値が $1 \times 10^{-4} \text{sec}^{-1}$ 以上の収束帯に一致する昇温域が存在することを示している。

図5の8月9日のSTD記録には表層2~3mに薄く高温層が見られる。水温センサーの曳航水深が2mであることを考えると、航走記録に見られるシャープなフロントを持つ昇温域は、この表層の薄い高温層が収束帯の沈降流によって部分的に強く押し下げられたものと考えられる。

平安丸による水温水平分布観測³⁾に際して、昼間航走中、サーモサリノグラフによる水温・塩分の航走記録とスリックの目視の対応を調べたところ、水温が極大値・極小値を示す位置にはほとんどの場合スリックが視認された。上述の結果を考えあわせると、水温航走記録からかなり興味ある情報が引きだせるものと思われる。

表面採水試料をコールターカウンター

によって粒状物の粒径分布を測定した結果を図7に示す。11時40分(サンプル番号3)と復路の12時35分(サンプル番号12)および12時40分(サンプル番号13)の試料が顕著な昇温域に対応する。これらの試料において $15\mu\text{m}$ 以下の粒径の小さい部分で粒状物の量が他の試料にくらべ明らかに多くなっている。

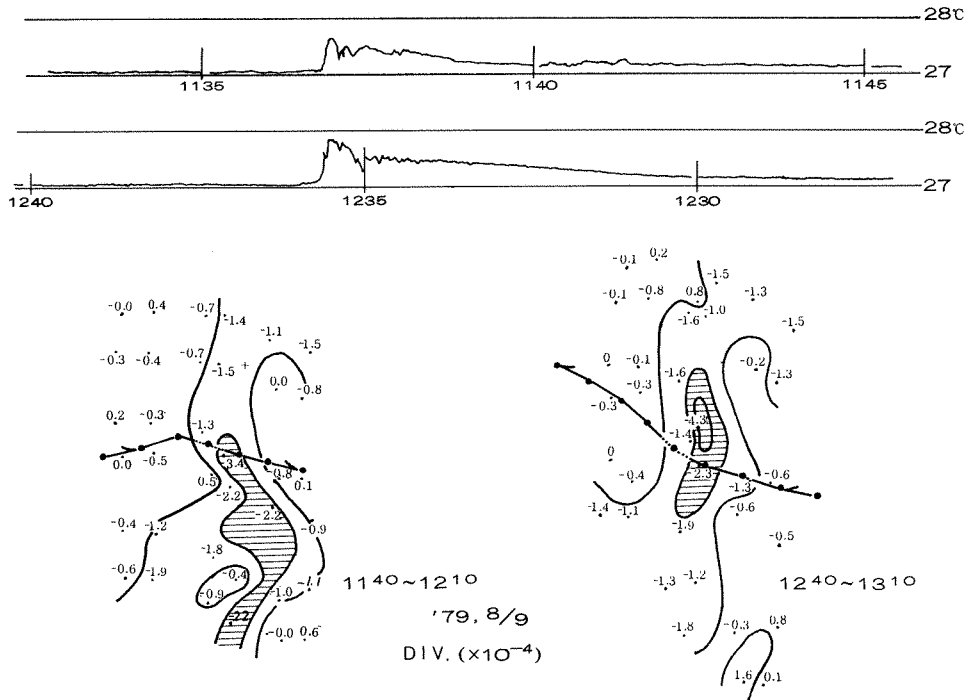


図6 水温航走記録・収束・発散の分布および航走路(1979年8月9日)

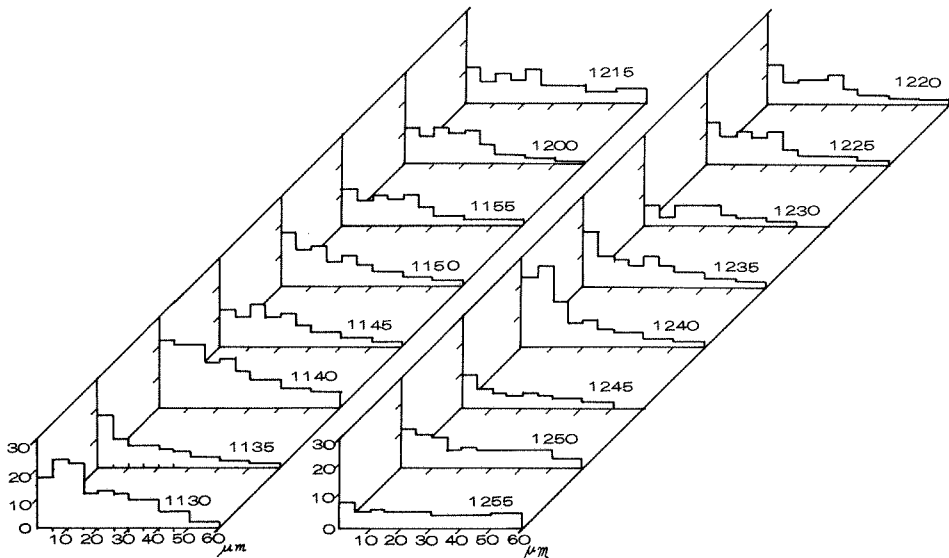


図7 コールターカウンタによる粒状物の粒径分布(1979年8月9日)

往路に採水した試水 10 ℓ 中のプランクトンの計数結果を図 8 に示す。図は 5 分毎に採水したサンプル番号に対してプロットしてある。サンプル番号 1 は 11 時 30 分に採水したものでありサンプル番号 8 は往路の第 1 点 12 時 15 分の採水である。今回計数を行ったプランクト

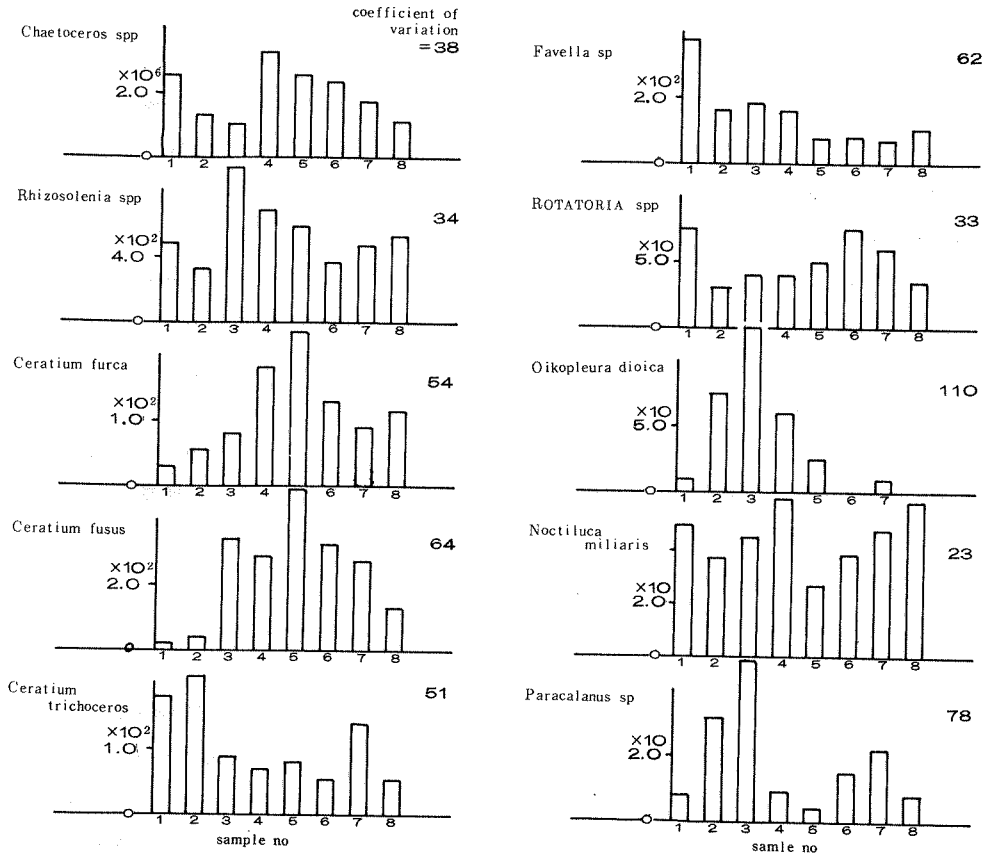


図 8 プランクトンの計数結果 (1979年8月9日)

ンはそのサイズからみて、また *Chaetoceros* 類では大部分が数細胞以上の連鎖状群体を形成していたことから考えて、コーンカウンターでの測定粒状物とは別なものである。図中に変動係数 (%) を示したが、大きな値をみせるのは *Oikopleura dioica* と *Paracalanus sp.* である。これらは収東域のはじまり、すなわちサンプル番号 3 において顕著なピークをみせている。*O. dioica* より少し外洋性の *Oikopleura longicauda* については昼間、光によって表層に集まるとともに収東域に濃密に集積されることが知られている。⁴⁾ 今回計数された *O. dioica* についても *O. longicauda* と同様の収東域における集積機構が予想される。

Paracalanus sp. の出現個体は全てコペポダイド期のものであり、光や流れといった環境条件に対する反応の仕方については未知の部分が多いが、何らかの形で収東域に集積する機構を有しているものと思われる。

これら以外でサンプル番号 3 でピークをみせるのは運動力がない *Rhizosolenia spp.* であるが、変動係数からいっても顕著なピークとはいいがたい。

サンプル番号 3, 4 を境いとして分布パターンに違いをみせるのは *Ceratiun fnsus*, *Ceratiun furca* 及び *Ceratiun trichoceros* であり、前 2 種と後の 1 種とでは互いに相反する分布パターンとなっている。このように同じ *Ceratiun* 類においても収束域との対応の仕方が異なっているのは、ここでみられた収束現象が起る以前のプランクトンの分布とか収束現象の持続時間といったものが関係しているものと思われる。*Ceratiun fnsus* と *Ceratiun furca* は内湾域で多い種であり、*C. trichoceros* は沿岸域から外洋域で多い種である。この点から考えると、サンプル番号 3 以降の昇温域は沿岸・内湾に起源をもつ水塊である可能性が強い。*Chaetoceros* spp. もサンプル番号 3 を境にして分布パターンが異なっているが、変動係数も小さく、確定的なことは言えない。

一方、運動能力をもっている種類であっても *Rotatoria* spp. や *Noctilaca miliaris* は一様な分布をみせている。

以上のように表層流の収束は水温構造との対応を示し、粒状物、プランクトンの分布に一応関連をみせた。特にプランクトンの分布に及ぼす水平収束の影響は当然のことながら種によって大きく異なっていた。しかしながら収束域で個体数密度が高くなる *Oikopleura dioica* や *Paracalarus* sp. は稚仔魚の餌料として重要な種である。プランクトンの捕食者にとって、普通は海洋中で低密度に分布しているプランクトンを一定濃度以上に集積させる水平収束というものは大きな意味を持つものと思われる。

今回の調査は海域を固定して行ったが、強い潮目あるいは明瞭なプランクトンのパッチの存在する海域で調査を行えばさらに興味ある知見が期待されよう。

その中で明らかにされるべき課題は、平均流とともに移動する収束域の持続時間と集積している生物の日周運動などの生態との関連、発生海域と総観的流況との関連であろう。

最後に、この調査と結果のまとめに当って有益な助言と協力をいただいた京都府立海洋センター塩川所長はじめ久米調査課長及び平安丸、みさき丸乗組員の諸氏並びに京大水産物理学研究室の諸氏に心から感謝の意を表します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費によった。

文 献

- 1) 加藤安雄・坂野安正：沿岸海洋の変動，京都府立海洋センター研究報告，1，181—186（1977）。
- 2) 加藤安雄・鷺尾圭司・坂野安正・柏井 試：沿岸海洋の変動，京都府立海洋センター研究報告，2，1—13（1978）。
- 3) 加藤安雄・鷺尾圭司・坂野安正・柏井 誠：沿岸海洋の変動—Ⅲ，京都府立海洋センター研究報告，3，
- 4) OWEN, R. M. Small-scale horizontal vortices in the surface layer of the sea, J. Marine Res, 24, 56—65. (1966).