

Ⅱ 水産海洋研究会昭和50年度秋季シンポジウム  
「九州西方海域における卵・稚仔の輸送」

主催 水産海洋研究会  
日本海洋学会

日 時 : 昭和50年10月13日(日) 09:00~17:10

場 所 : 長崎大学教養部

コンピーナー : 入江春彦(長崎大学水産学部)  
青山恒雄(西海区水産研究所)

挨拶 : 入江春彦(長崎大学水産学部)

話題および話題提供者

座長 石野 誠(東京水産大学)

1. 対馬暖流水域及び隣接水域における魚卵・稚魚の出現環境

千田 哲 資(長崎大学水産学部)

2. 九州西方海域における流れ

2-1 海流ビン調査から見た表層流

玉井 一 寿(西海区水産研究所)

2-2 定置測流からみた流れ

三井田 恒 博(福岡県福岡水産試験場)

2-3 プイ追跡調査からみた表層の流れ

小川 嘉 彦(山口県外海水産試験場)

2-4 海流クラゲ調査からみた海底流および流れに関する総括

井上 尚 文(西海区水産研究所)

討 論

3. 輸送機構と減耗

座長 川合 英夫(京都大学農学部)

3-1 卵・稚仔プランクトン等の離合集散機構

坂本 亘(東京大学海洋研究所)

3-2 卵・稚仔の離合集散に関する生態学的考察

田中 克(西海区水産研究所)

3-3 流れ藻の移動とそれに伴う稚魚の生態

浅見 忠彦 (西海区水産研究所) · 古藤 力 ·  
花岡 藤雄 (南西海区水産研究所)

3-4 卵・稚仔の減耗に関する2, 3の考察

畔田 正格 (西海区水産研究所)

討 論

4. 総 合 討 論

座長 平野 敏行 (東京大学海洋研究所)

1 対馬暖流水域及び隣接水域における魚卵・稚魚の出現環境

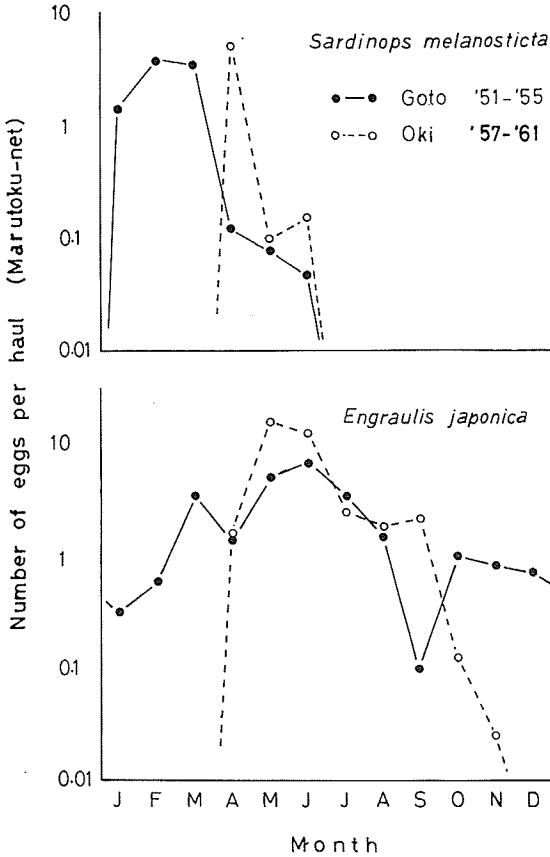
千田 哲資 (長崎大学水産実験所)

最初の演者として表記の題目で概括的に話し、本日の主題のための予備知識とさせて頂きたい。講演の材料は1953~1963年に演者が長崎・鳥取・岡山の各県水産試験場に勤務していた間に実施した稚魚網採集の結果であり(千田, 1964), その後当水域におけるこの面の研究はもっと進んでいると思う。

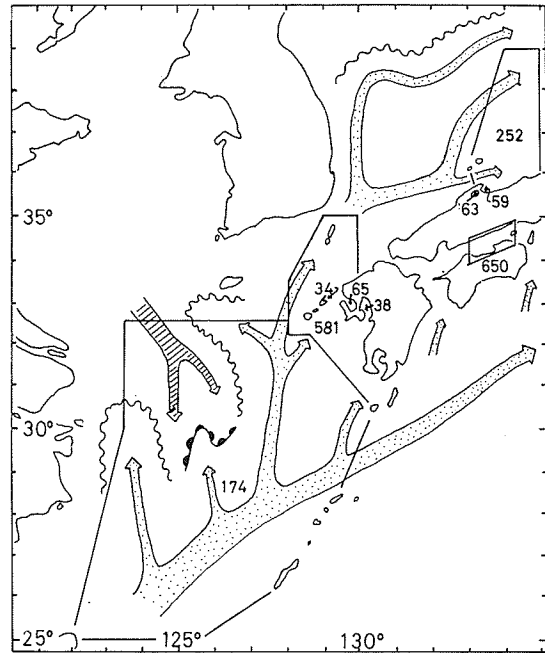
第1図は五島近海と隠岐島近海でのマイワシ卵とカタクチイワシ卵の季節的な出現状況を、(特) ネットの採集結果を通じてみたものである。この図から二つのことがいえる。第1点はマイワシ卵の出現期はカタクチイワシ卵の出現期に比べ、両水域共にかなり短いことであり、第2点はマイワシ・カタクチイワシ両種とも、より南方の五島近海における卵の出現期は、より北方の隠岐島近海におけるより早く始まり且つ長いことである。

マイワシ卵・稚仔の出現は時間的にカタクチイワシより短かいのみでなく、空間的にもより限られている。すなわち、カタクチイワシ卵・稚仔は沿岸水域は勿論、距岸200マイル以上の東シナ海や日本海の沖合水域、さらに瀬戸内海、中海のような内湾にも普通にみられる。他方マイワシ卵・稚仔は分布が距岸数10マイルまでの沿岸に限られると同時に、瀬戸内海はじめ各内海水域には出現しない。

上の例を一般化して次のようにいえる。魚卵・稚魚の出現期と出現水域とは魚種別にはぼ定まっっていて、ある魚種では広い水域でしかも長期間出現し、ある魚種では極く限られた期間と水域でのみ出現する。また同一魚種でもその出現期と長さは水域によって異なり、南の水域では北の水域に比べ、外海水域では内湾水域に比べて、出現がより早く且つ期間が長い傾向にある。これ



第1図 五島近海および隠岐島近海におけるマイワシ卵およびカタクチイワシ卵出現量の月変動。各5年間の(特)ネット垂直採集に基づく平均値を示す(千田, 1956および丹羽他, 1962より)



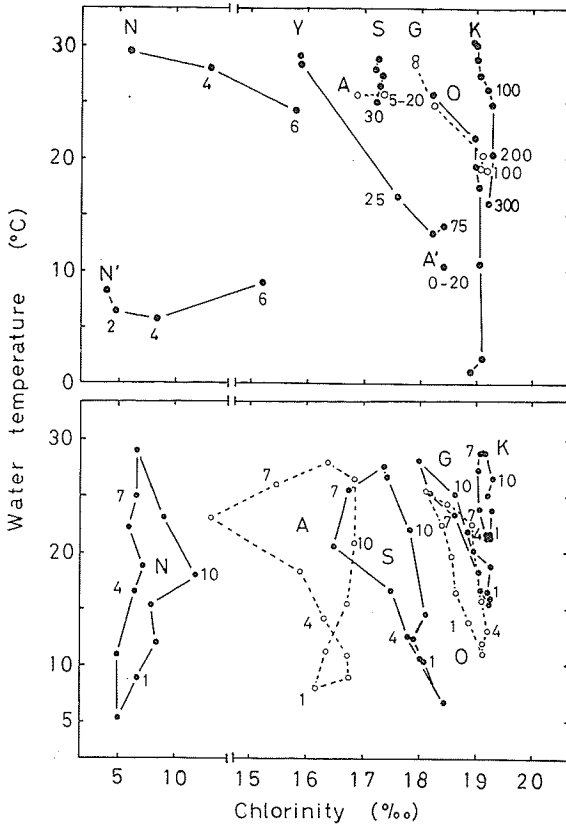
第2図 稚魚網採集をおこなった水域と延曳網回数(千田, 1964より。以下第8図まで同様)

は一方では各魚種の生物的特性に基づき、他方では各水域の海況特性によるのであろう。そこで以下魚卵・稚魚の出現と海況特性の主な要因である水温・塩分との関係をみよう。

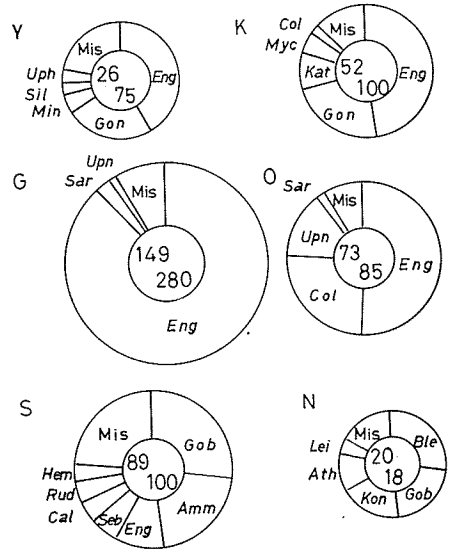
1953~1963年に稚魚網採集をおこなったのは、第2図に示す沖合、沿岸、内海、内湾の各水域で、それぞれにおける曳網回数は図にあるとおりである。主要水域のT-CIダイアグラムを第3図上半分に示した。第3図及び第5~8図においては塩素量の目盛が1.5%を境として変えてある。第3図の下半分はこれらの水域の表層水の水温・塩素量が同年を通じてどう変化するかを示したもので、図中の数字は月を示し、このような図はハイドロクライモグラフと呼ばれる。黒潮水域は五島近海や隠岐島近海の対馬暖流水域に比べ、水温・塩素量ともに変動の巾が

狭く、他方瀬戸内海や有明海などでは、冬季の水温低下と夏季の塩素量低下が著しく、外海と比べ環境変動が大きいことが判る。更に中海になると、冬の水温低下と季節による塩素量の変動が著しいのみでなく、夏季の水温も他水域に比べてより上昇する。しかも水温最低期が同時に塩素量の最低期でもあることは注目すべきことである。

第4図は先に第2図に示した各水域のうち、周年の採集のなされた水域における稚魚の出現状況を要約したものである。出現種類数、個体数ともに五島近海が圧倒的に多く、瀬戸内海、隠岐



第3図 主要調査水域のTCI立体ダイアグラム(上)と表層のハイドロクライモグラフ(下)。  
A, 有明海; G, 五島灘中央; K, 奄美大島西方の黒潮水域; N, 中海; O, 隠岐島近海; S, 瀬戸内海(小豆島北方); Y, 黄海冷水域。  
TCI立体ダイアグラムのうちA', N'は冬, 他は夏。

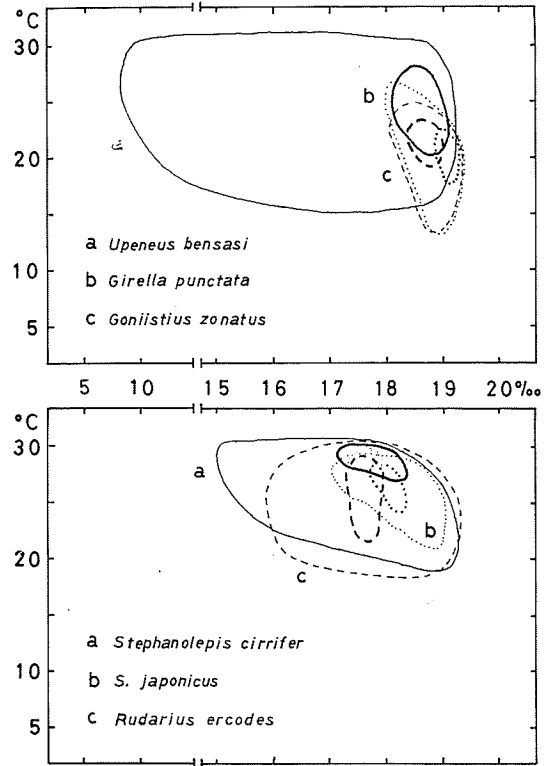
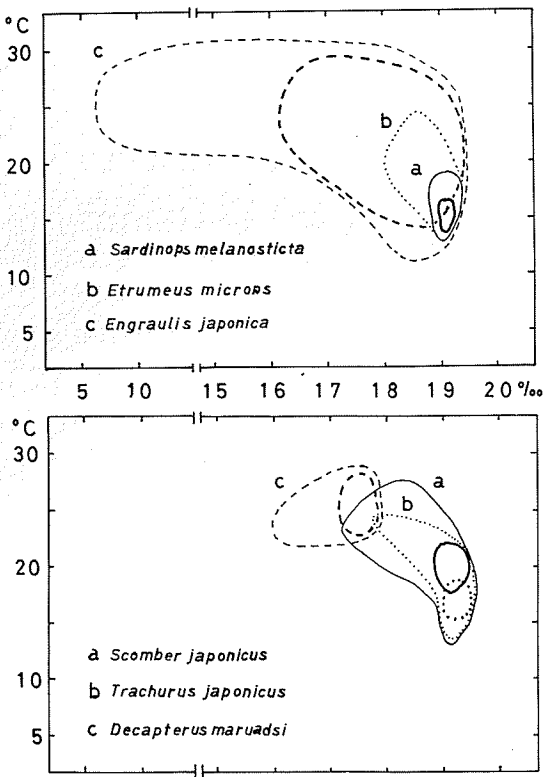


第4図 主要水域における稚魚出現の概要。円中の数字は1曳網当り個体数(上)と総出現種類数。

Amm, イカナゴ; Ath, トウゴロウイワシ; Ble, インギンボ; Cal, ネズツポ類; Col, サンマ; Eng, カタクチイワシ; Gob, ハゼ類; Gon, ネズミギス; Hem, サヨリ; Kat, カツオ・マグロ類; Kon, コノシロ; Lei, ヒイラギ; Min, ヒメオコゼ; Myc, ハダカイワシ類; Rud, アミメハギ; Sar, マイワシ; Seb, カサゴ; Sil, キス; Upn, ヒメジ; Mis, 雑。  
水域を示す記号は第3図に同じ。

島近海と黒潮水域，黄海冷水域と続き，中海では極めて少ない。主要出現魚種は各水域により特色があるが，外海域では共通してカタクティワシが優占種となっているのに対し，内海・内湾域ではハゼ類その他が優勢である。季節変化については詳細を略すが，一般に黒潮水域では冬から春にかけて，対馬暖流域では春から秋にかけて，また内海・内湾水域では夏の間，魚卵・稚魚の種類数と個体数が多い。

第5～8図は，先のハイドロクライモグラフと同様に水温・塩素量を目盛った平面上における魚卵・稚魚の出現状況を示したもので，演者はこのような図を魚卵・稚魚の出現環境図と呼んでいる。これらの図は，稚魚網採集がおこなわれた時の条件を水温は1℃毎に，塩素量は1.5‰以下については2‰毎，1.5‰以上については0.4‰毎に階級分けし，水温・塩素量の各組合せ毎に各魚種について1曳網当たり採集数を計算して画いたもので，細い線は出現した範囲，太い線は



第5図 イワシ類卵とアジ・サバ稚魚の出現環境図。細線は出現範囲，太線は多量出現範囲を示す。ウルメイワシ卵の多量出現範囲はマイワシ卵のそれと重なっている。

第6図 春，夏，秋の稚魚の出現環境図

その中でも特に多量に採集された範囲を示す。

マイワシ卵は極く限られた水温・塩素量の範囲でしか出現しないのに対し、ウルメイワシ卵の出現範囲はやや広く、カタクチイワシ卵のそれは極めて広い(第5図上)。同時に注目すべき点は、低温部においては出現範囲が高鹹部に限られていて、高温になるにつれ低鹹部に広がっていることで、これは他の多くの魚種の魚卵・稚魚についてもしばしば観察される現象である。同図下半分のマサバ、マアジ、マルアジの例にみるとおり、そしてイワシ類の場合にもみられたように、多量出現範囲は出現範囲の中でも低温・高鹹部に片寄ることが多い。

第6図は春に出現するメジナ、夏に出現盛期のあるヒメジとカワハギ類、そして秋が出現期であるネズミギスの稚魚の場合である。メジナとネズミギスの出現範囲は殆ど一致しているが、多量出現範囲はネズミギスがやや高温・低鹹の側に寄っている。これは春に出現する魚種と秋に出現する魚種を比較した折によくみられる現象で、先のハイドロクライモグラフに示されていたように、西日本海域の表層水の塩分は秋よりも春に高いことによる。夏季に出現する沿岸性の魚種においては、一般に出現する塩素量範囲が広い。

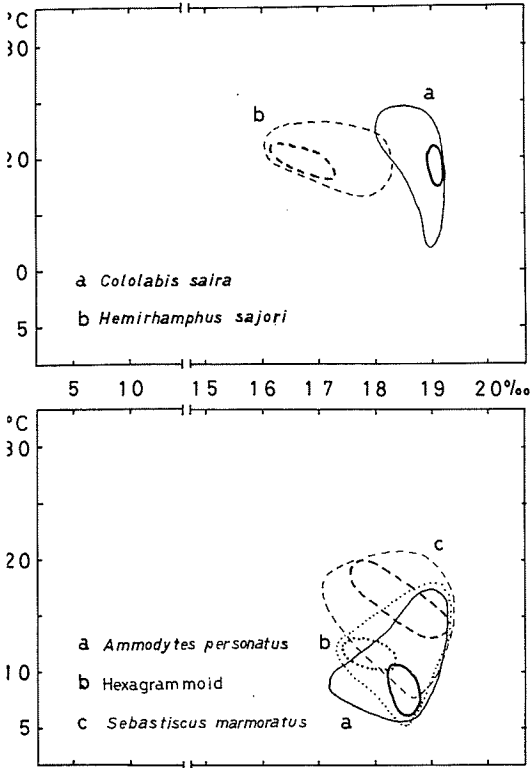
サンマの稚魚は季節によって、夏は北海道、春と秋は山陰沖、冬は九州南部から台湾近海までと地理的には極めて広い範囲に出現するが、出現環境図に表わすと第7図のとおりで、むしろ限られた環境の水帯を追って産卵場が移動することが判る。時期を同じくして、サヨリはより低鹹な水域に出現する。

第7図の下半分は冬に出現する稚魚で、イカナゴおよびクジメ、アイナメの例にみるように塩素量の範囲が高温部で狭く、むしろ低温寄りでも最も広いのが特徴的である。カサゴの稚魚は真冬をさけてその前後に出現する。

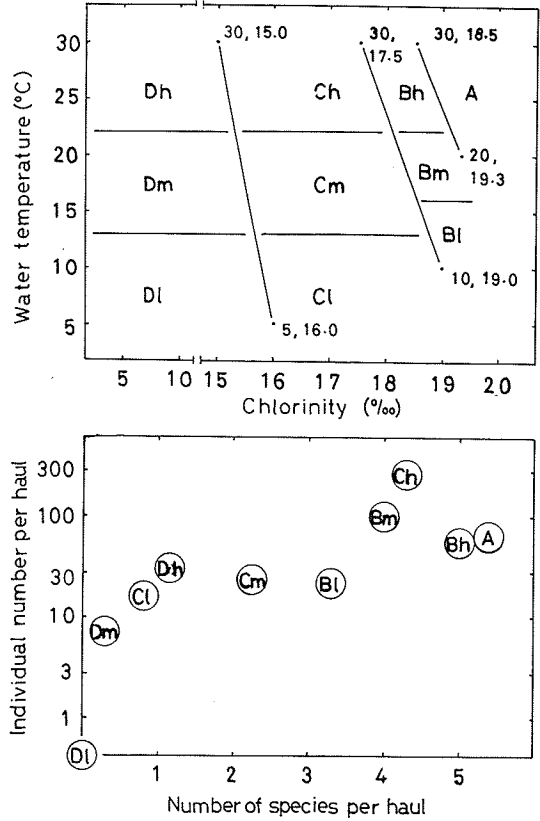
採集された回数の多かった36種の稚魚について、出現した水温・塩素量の上限と下限の差を求め整理すると第1表のようになる。水温については上下の較差が15~8℃である種類が多く、表に掲げたものの80%がこの範囲にあり、塩素量に関しては45%の魚種が4~2‰の較差を示した。水温については上下の較差が中程度(15~8℃)である魚種が多かったのに対し、塩素量に関しては較差が中程度(8~4‰)の魚種は殆どみられぬことは興味深い。

水温・塩素量平面を第8図上半分のように区劃すると、それぞれAは黒潮水域、Bは対馬暖流水域、Dは中海、Cはその他の内海・内湾水域のハイドロクライモグラフを包括する。そしてh, m, lは各区劃内の高・中・低温部に相当する。第8図下半分は上述の各区劃内に含まれるような水温・塩素量の条件でおこなわれた採集による稚魚の1曳網当り種類数と個体数を表わす。種類数においてはA, Bhが多く、個体数においてはCh, Bmに多い。他方Dlの区劃では殆ど稚魚が得られなかった。各区劃により出現する魚卵・稚魚の種組成に特徴があるが、この点については省略する。

稚魚調査のなされていない水域であっても、その水域についてハイドロクライモグラフを画き、さきに示した魚卵・稚魚の出現環境図と重ねると、その水域におけるその魚種の卵・稚仔出現の



第7図 サンマおよびサヨリと冬の稚魚の出現環境図



第8図 水系別のハイドロクライモグラフに対応させた水温・塩素量平面の区割(上)と、各区割における稚魚の出現状況(下)。上の図中にある数字の組合せは水温(°C)と塩素量(‰)。

可能性およびその時期をほぼ予測できる。

魚卵・稚魚の出現環境図において、多くの魚種で低温部では出現範囲が高鹹部に限られ、高温になるにつれて低鹹部まで拡がることをさきに示した。すなわち高水温時には低塩分に対する適応性が増し、また高鹹であれば低温に対する適応性が増すように見受けられる。この現象は魚類の種苗生産にあたって応用の道があるであろう。

第1表 魚卵・稚魚が出現する水温・塩素量の較差

$\Delta Cl$ / $\Delta T$	$> 15^{\circ}C$	$15 - 8^{\circ}C$	$< 8^{\circ}C$
$> 8\%$	カタクチイワシ ヒメジ	マアジ キス カマス サヨリ 他 3 spp.	トウゴロウイワシ
$8 - 6\%$	ヒメオコゼ		
$6 - 4\%$			
$4 - 2\%$		ウルメイワシ マサバ メジナ イカナゴ カサゴ アイナメ類 他 7 spp.	マルアジ ヨソギ シイラ
$< 2\%$		マイワシ サンマ ブリ タカノハダイ 他 4 spp.	カンパチ

引用文献

- 丹羽正一, 千田哲資, 川口哲夫. 1962: 隠岐島周辺の巾着網漁場の生態学的および海洋学的研究 II。漁獲対象魚の卵・稚魚の出現・日本水産学会誌, 28: 870~875.
- 千田哲資. 1956: 稚魚・魚卵調査. 五島灘並にその周辺調査(22): 19~69. (長崎県水試).
- 千田哲資. 1964. 西日本海域における魚卵・稚魚の分布の研究. 岡山県水試昭和39年度臨時報告, 1~80 pp.



## 2 九州西方海域における流れ

## 2-1 海流瓶調査からみた表層流

玉井一寿（西海区水産研究所）

## まえがき

漂流物による海流調査は、海流瓶・封筒等を用いて古くから行なわれ、目的によっては断片的ながら研究成果をあげてきた。

それにも拘らず、漂着結果から海流々路を想定するにあたっては、風圧による漂流物の運動を考慮しなければならないし、宿命的課題として投入地点と漂着地間の径路が不明であることなどがあげられる。

しかしながら、東シナ海および九州沿岸域における表層の流れを大まかなりとも知ることは、各魚種の卵・稚仔を移送・分布させるカラクリについて考慮する場合に重要になる。このような観点も含めて過去—1953年～1969年の16年間—、九州沿岸から東シナ海におよぶ海域において、九州・山口各県水試・海上保安庁・各大学・水産庁等で行なってきた海流瓶等の投入による表層流調査の資料を網羅して取りまとめ中であるが、ここではその一部として九州沿岸域から東シナ海域における季節的な表層流パターンのうち、冬季と夏季について報告する。

## 結果と考察

本報告では過去の資料の中から、第1表に示すように冬季については1959年2月と1960年1月の2例を、夏季については1954年7月、1960年7月と1968年8月の3例をそれぞれ選び出した。

第1表 調査結果概要

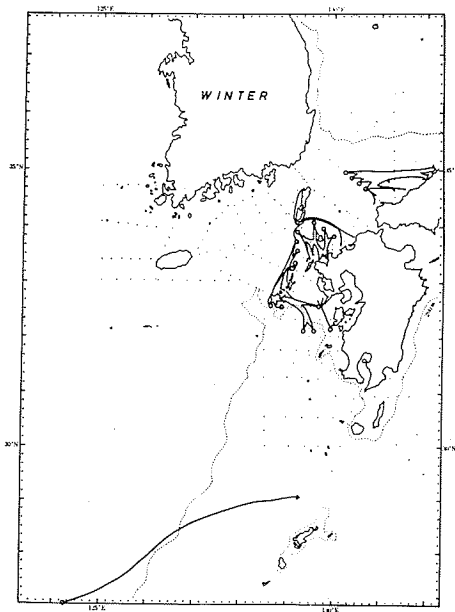
図番号	投入年月日	投入点	投入本数	拾得数	拾得率	実施機関
第1図	1960年1月25日～31日	17	本 345	本 56	16.8%	長崎水試・西水研
第2図	1959.2.1～12.19	48	900	60	6.6	山口外海・福岡・佐賀 長崎・熊本各水試・西 水研
第4図	1960.7.21,24.25	20	20,000	994	4.9	第十管区 1)
第5図	1968.8.2	20	1,995	82	4.0	西水研 2)
第7図	1954.7.1～20	55	3,945	180	4.5	佐賀・鹿児島・大阪 学芸大・西水研

なお、漂着点については漂流経過日数が30日以内のものを、また、漂流速度の算出には漂流中の拾得のものをそれぞれ用いた。さらに、参考資料として過去の定置測流結果（第七管区海上保安本部水路部）から冬季と夏季における表層流況図を作成し、また、1968年8月については流速断面分布図<sup>2)</sup>も併せて使用した。

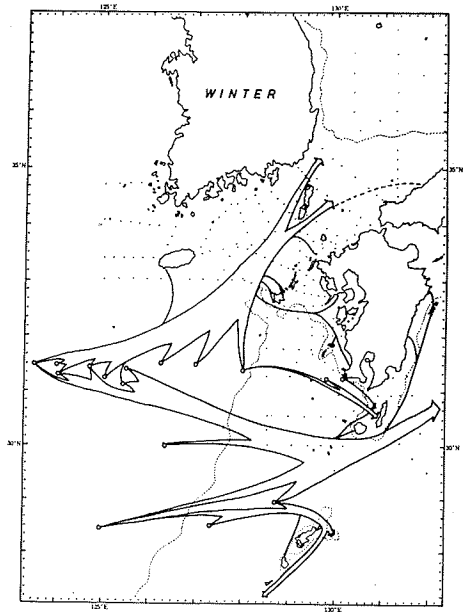
冬季 東シナ海における代表例として第1図に1960年1月の状況を示す。

この図から分かるように、黒潮は、 $29^{\circ}\text{N}$ 以南の大陸斜面付近から東進してトカラ海峡を抜けるルートと、 $30^{\circ}\text{N}$ 以北の大陸棚上をやや北上して東へ転じ大隅海峡を通過するルートの2流路を経て太平洋に流入している。前者の流れに対応するかのよう黒潮反流が南西諸島沿いに南下して琉球列島周辺域におよぶ。

対馬暖流は、 $30^{\circ}\text{N}$ 以北の陸棚上で黒潮と分かれて北上し五島西沖へ向かう。この暖流から五島南方で分かれる暖流分枝流は、天草灘へ突っ込んでいて、一部は北上して五島灘に入る。しかし、大半の流れは、九州西岸沿いを南下して大隅海峡に入るらしいことがうかがわれる。いっぽう、黄海暖流は、陸棚上を北上する対馬暖流から済州島南方付近で分かれるようである。



第1図 漂流経路図 (1960.1)



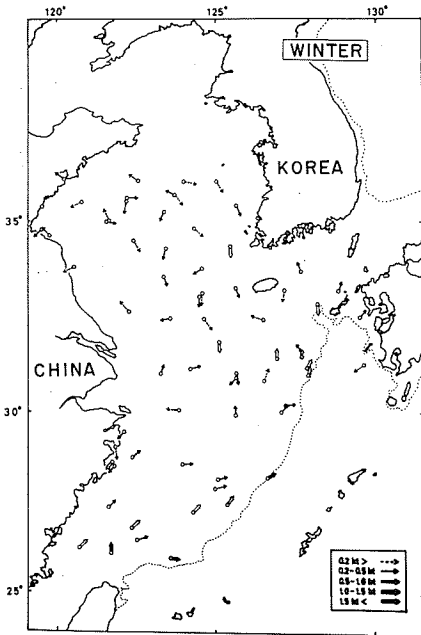
第2図 漂流経路図 (1959.2)

この時期には、全体的な様相として北西の季節風によるものと考えられる九州西岸から南西岸に圧迫された形での流れが現われている。

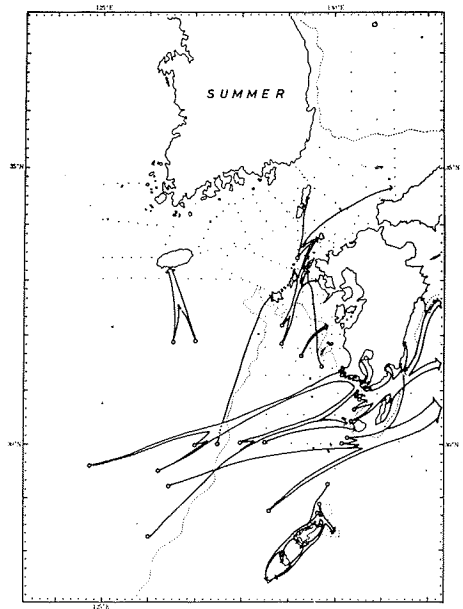
次に、第2図は1959年2月の状況である。この時の漂流速度は、0.1~0.4ノットであった。

この図は、主として九州沿岸寄りの流れを表わしている。対馬暖流は、対馬海峡および山口県北沖において北ないし東へ向かう流れを示し、この動きに対して九州北部から山口県の沿岸寄りには南向する反流が認められる。いっぽう、五島灘~天草灘においては、五島南方から入った暖流分枝流が、反時計方向に回る様子がうかがえるが、これはこの時期における暖流分枝流の動向を示す一例であろう。全体的にみると、やはり第1図同様に季節風の影響をかなり受けた状況と考えられる。

第3図は、定置測流結果から描いた表層の流況図である。黒潮の様子は、大陸斜面付近については過去の報告とよく合っているが、大陸棚上を北上する対馬暖流の様子は、不明瞭であり、流れが複雑なことをうかがわせる。なお、済州島南方には黄海暖流に相当する流れが部分的に認め



第3図 表層流況図



第4図 漂流経路図 (1960.7)

られる。

夏季 代表例として第4図に1960年7月, 第5図に1968年8月の状況を示す。両図とも短期間に少数点で大量に投入した好例である。

第4図を見ると, 対馬暖流が, 黒潮から分かれるのは九州南西方の大陸棚斜面付近らしく, その様子は薩南海域ではっきりうかがわれる。対馬暖流は, 九州西方を北上し五島西沖を経て対馬海峡へ向かい, 対馬海峡においては東・西両水道に分かれて日本海に入っている。この暖流から五島南方で分かれて天草灘・五島灘へ突っ込む暖流分枝流は, 一部は九州西岸沿いに南下して大隅海峡へ向かう。大隅海峡ではこの南下流と黒潮分派(屋久島西方より北上した)とが混合して太平洋へ流入しているようである。

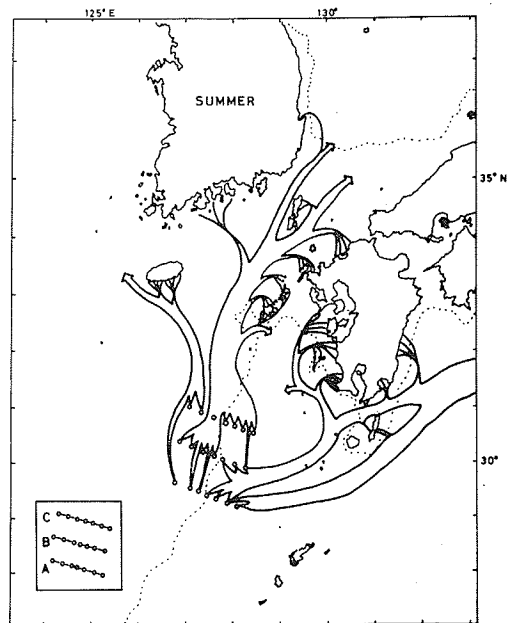
黄海暖流は, 北上する対馬暖流からカキノセ近海で分かれて北西に向かい黄海を指向している。

次に, 第5図は, 対馬暖流が黒潮から分岐する所を明らかにさせる目的の調査結果である。

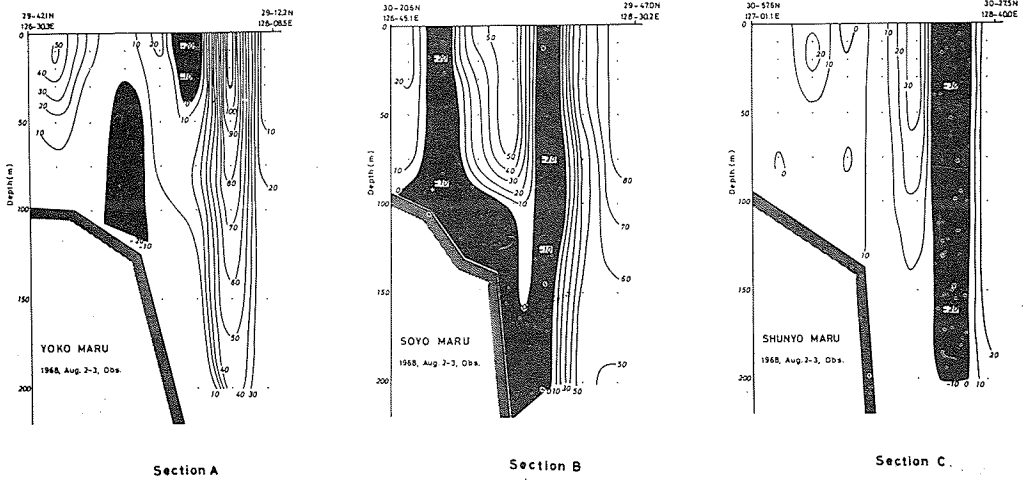
黒潮は, 30°N以南の大陸斜面付近を北東進し, トカラ海峡を経て太平洋へ抜けているが, その際に屋久島西方から大隅海峡へ突っ込む分派が目立つ。この分派には, 大隅海峡を東進するものと, 屋久島西方をそのまま北上して甌列島西方を通り天草灘に入るものとの2分派が認められる。

対馬暖流は, 30°N以北の大陸斜面付近および陸棚上を北上している。その後は, 第4図で説明した経路を辿っている。この暖流から分かれる分枝流は, 五島南方から天草灘・五島灘へ突っ込む。なお, この時の黄海暖流は, 陸棚上をそのまま北上してきて済州島南方で北西から西へ向かい, 黄海に入るコースが目立っていた。この分枝流と黄海暖流の動向は, 新知見である。

第6図は, 1968年8月調査時の海洋観測結果から力学計算(基準面を一応800mにとったが, 観測点が大陸斜面から陸棚上が大半であるため, 浅所においては海底を無流面とした。この場合, 水深の異なる2観測点間の等比容線分布は海底に対して等間隔で, しかも平行に交わる条件が必要であるが, 等比容線の鉛直分布からみて, この条件は比較のみたされているので, この計算を逐次, 大陸棚上に適用した)による流速の断面分布図である。斜線部分は, 逆方向(紙背から紙面へ)の流れを表わしている。



第5図 漂流経路図(1968.8)



第6図 流速断面分布図

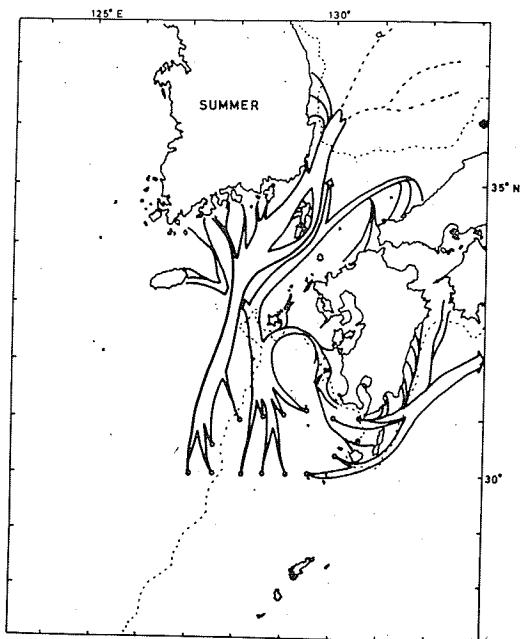
3断面における流れは、かなり複雑であるが、黒潮および対馬暖流の動向が、明瞭に示されている。また、北へ向かう両暖流の東側にはそれぞれ反流が存在するのは非常に興味ある事象である。

第7図は、1954年7月における九州沿岸域の流況を示す。漂流速度は、0.1-0.6ノットで、冬季に比べてやや速くなっている。黒潮の流路は、これまで述べてきた例と殆ど同じであり、黒潮分派が屋久島西方から大隅海峡へ突っ込む模様も同様である。これまでの例と若干異なる点は、薩南沿岸へ向かう流れが目立っていること、大隅海峡を通過した黒潮分派は一部が九州東岸沿いに北上して、豊後水道へ突っ込んでいることなどである。なお、黒潮反流が、冬季同様南西諸島沿いに南下する傾向が認められる。

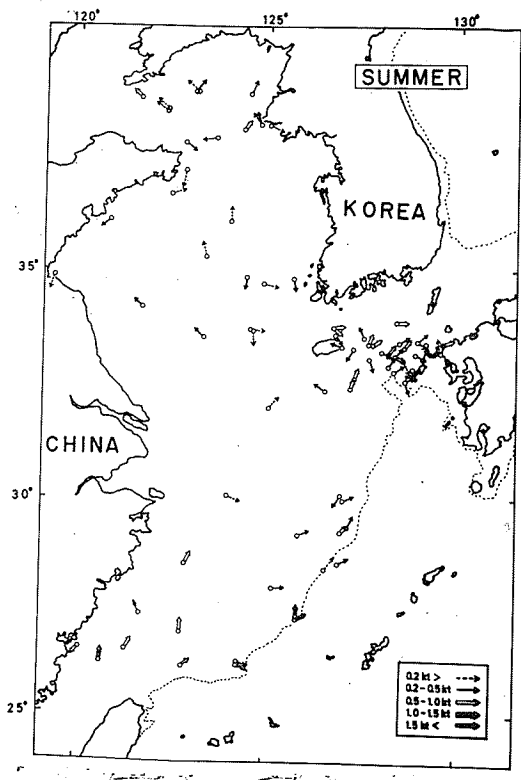
対馬暖流は、対馬東水道に入ってから北東へ向かい山口県沿岸域に達している。対馬暖流からの分岐点は不明ながらも天草灘に向かう分枝流があり、五島灘を経て壱岐水道を指向している。いっぽう、黄海暖流らしきものは、前例同様に東シナ海中央部の陸棚上を北上して済州島南西へ向かっている。

第8図は、第3図同様夏季における表層の流況を示す。各暖流については冬季の図で説明したとおりであり、黒潮は大陸斜面付近に明らかに認められ、対馬暖流については陸棚上では不明瞭である。

これらは、今後表層流関係のとりまとめにあたっては貴重な情報となる。



第7図 漂流経路図 (1954.7)



第8図 表層流況図

参 考 文 献

- 1) 藤井正之・木村 稔, 1961:九州南西海上に放流した約20,000本の海流びんのゆくえ. 水路要報, 67:58-62.
- 2) 井上尚文, 1970:黒潮分派(対馬暖流基幹部)の分岐機構に関する研究. 黒潮国際共同調査に関する総合研究報告書;40~51.
- 3) 辻田時美・近藤正人, 1961:東シナ海域における重要浮魚資源の補給機構の研究(1) 表層流の輸送様式(1958年の状況). 西水研々報, (21);29-46.
- 4) 山口・九州各県水試事業報告書, 1954~'60.

## 2-2 定置測流からみた流れ

三井田 恒 博 (福岡県福岡水産試験場)

### はじめに

黒潮から分岐した対馬暖流が九州西方海域を北東進し、日本海へ流入しているという流動パターンは、一般に認められている事実である。しかし、その実体は調査結果を基にして客観的に納得させるほど整理されているわけではなく、事実、対馬暖流調査に関係している担当者の間でも、その海流像や流況構造に対する認識は必ずしも一致していない。特に、九州西方海域においては、うつろいやすい対馬暖流に加えて潮流の影響も強いので、黒潮流域のように地衡流解析や水温構造解析による推定は困難であり、どうしても Euler 式測流や Lagrange 式測流による流況把握が必要である。ここでは、与えられた課題に従って、Euler 式の定置測流結果から見た対馬暖流域の流れについて報告する。

### 1. 資料と方法

九州西方海域 ( $31^{\circ}\text{N}$ 以北,  $126^{\circ}\text{E}$ 以东)において実施された定置測流は、筆者の知る限りでは浅海内湾域を除いても1924~1974年間で延450点に達している。実施機関は海上保安庁(旧海軍水路部を含む)、第七管区海上保安本部、第十管区海上保安本部、長崎海洋気象台、西海区水産研究所、福岡水産試験場、鹿児島県水産試験場ならびに韓国水産振興院である。この定置測流の大部分はエクマン・メルツ流速計による1昼夜観測であるが、なかには自記流速計による数昼夜連続観測も含まれている。この調査は、かなりの長時間にわたって調査船自体を錨碇させて測流するか、自記流速計を海洋中に定置させて行なう必要があり、調査技術上の難かしさと相まって、気象条件や海域条件(水深、海底地形、底質)によって実施上、時・空間的に大きな制約を受ける。実施回数は調査条件の良い夏期の7、8月に多く、秋、冬、春期に少ない。調査が行なわれた点は全域にわたって分布しているが、相対的には対馬海峡で多く  $33^{\circ}\text{N}$ 以南の沖合域で少なく、特に南九州西方の200m以深海域ではごく僅かである(第1図)。観測層が1層で終わっている回数は延113点で、これらはほとんど5m以浅の表層である。他は少なくとも2層、多くて7層にわたっている。

定置測流の結果は、ほとんど調和分解法による海潮流の調和常数として整理されており、現場で得られた測定流の生データではない。もともと調和分解法は海洋の流れが半日周期潮流と1日周期潮流と恒流(定常流)との和であると仮定して計算されており、恒流はその観測期間の平均流である。したがって、恒流は一般に風や地形ならびに陸水や外洋水の流入などに影響されるほか、長周期の潮流も含まれており厳密には海流を示すものではない。しかし、ここでは、恒流は潮流以外の要因による流れであり、対馬暖流の流れやあるいはそれに付随して生起

されている流れの状態を示すものであるという仮定に立って論を進める。ここで取り上げる流れの資料は特に断わらない限り恒流のことであり、潮流については除外した。

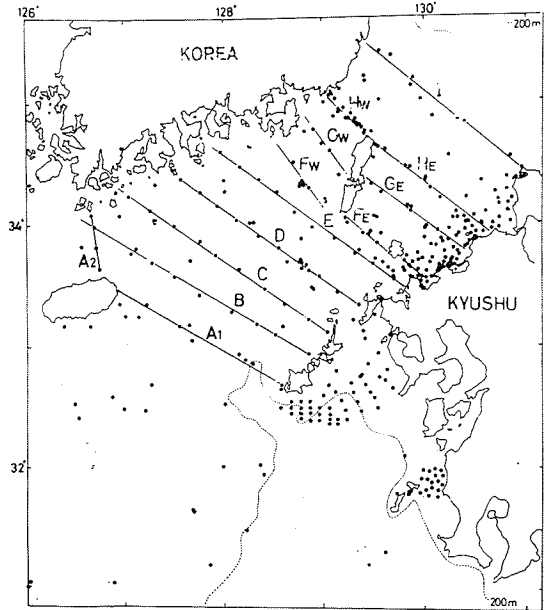
さて、これら恒流は海洋のある固定点におけるある期間内での対馬暖流の状態を表わすとしても、それぞれ個別に取り上げている限りでは海域全体にわたる海流像を浮かび上がらすことはできない。対馬暖流の流況構造をとらえるためには、まずこれら資料を相互に関連性を持たせながら解析を行なう必要がある。すなわち、資料を四季別に分け、その期間内のものについては時・空間的に同時性、連続性の概念を持って取り扱えるという大胆な仮定に立って、総観的アプローチを試みる。こ

のことは、小規模でうつろいやい対馬暖流系を把握する上で誤りを犯す恐れもあるが、かなり長い時間の平均した状態に対馬暖流をとらえる場合には、差し支えないものと考えられる。最後にいくつかの点における流れの変動について触れる。

## 2. 対馬暖流の流況構造

### 1) 恒流ベクトルの水平分布

海域全体の流れを概観するために、恒流資料を冬期（1～3月）、春期（4～6月）、夏期（7～9月）ならびに秋期（10～12月）に分け、さらに各季節ごとに上層流（10 m 以浅）、中層流（50 m 付近）、底層流（底から10 m 以内）ベクトル分布図を描いた（第2図1, 2, 3, 4）。これらの図から全体的に次のように要約できる。すなわち、五島西方から対馬海峡を経て日本海へ至る海域では、流向はほとんど西～南西から東～北東へ向かっており、明らかに対馬暖流北東流の存在が認められるが、さらにまた、五島西方に至るまでの九州西方南部海域でも少ないデータの中からその存在がうかがわれる。この様相は上層流、中層流ならびに底層流において共通して見られており、三者の流況パターンの間では大きな差は認められない。但し、甌島西方に広がる200 m 以深の海域では資料がないので定置測流結果から流況は推定できない。一方、九州沿岸域においては沖合の暖流域に比べて流

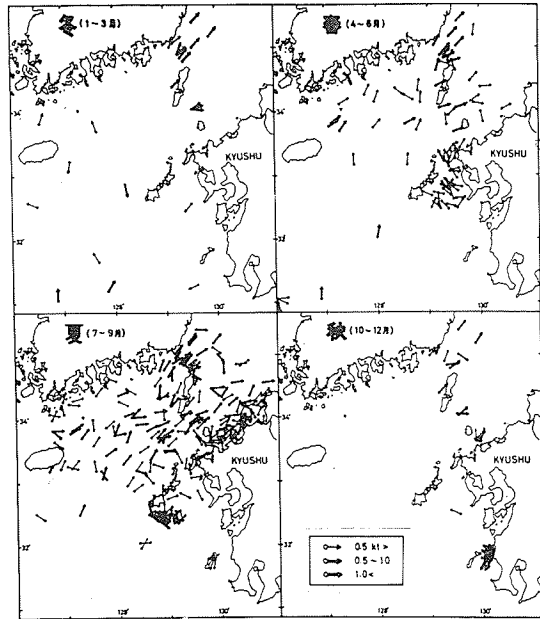


第1図 測流点図

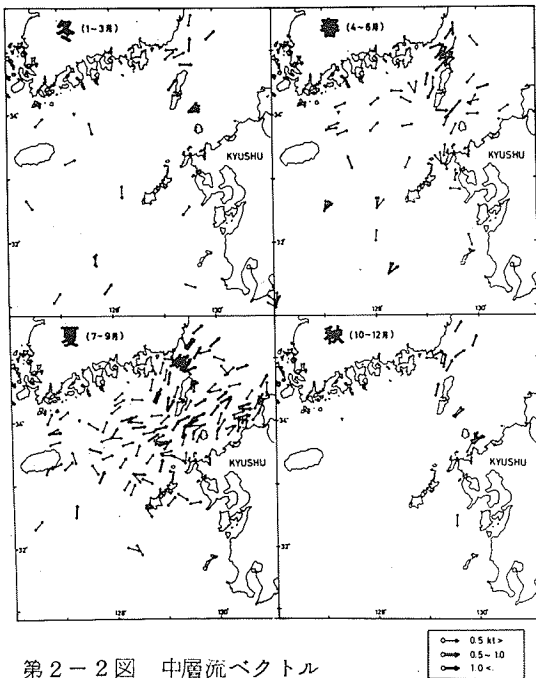


向は不安定であり、流速も一般に弱くなっている。

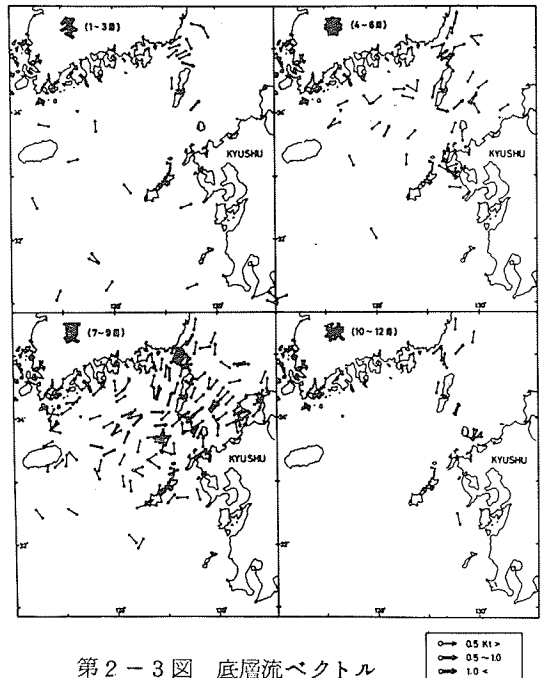
さらにこれらを四季別に対比して見ると、比較的資料の豊富な夏期に比べて他の時期、特に冬期と秋期では資料に乏しいので厳密には比較できないが、海流瓶の漂流結果に見られるような顕著な相違は認められない。上層流においては、流速は全般的に夏期に強く冬期に弱く、流向は僅かながら夏期に北偏、冬期に東偏の傾向を示している。この相違は深くなるほどなくなり、底層流ではほとんど季節の変動は認め難い。



第2-1図 上層流ベクトル



第2-2図 中層流ベクトル



第2-3図 底層流ベクトル

## 2) 流速の断面分布

恒流ベクトルの水平分布から対馬暖流としての流れの存在を推定したが、さらに対馬暖流の流況構造をとらえるために暖流流向にほぼ直角方向の横断面における流速分布を求めてみる。横断面は第1図のように九州北西方海域にA<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C, D, E, Fw, FE, Gw, GE, Hw, HE, Iの13断面が設定された。ここに使用された資料は、大部分が旧海軍水路部が1942年と1943年との夏期に調査したものであるが、一部には他機関によるものも補足してある。いずれの観測点でも5~7層の測流がなされているので、横断面全体にわたる流速分布を描くことができる。同一点でいくつもの資料がある場合には、そのなかで最も流速の強いものを採用した。以下、各断面における流速分布について述べる。

i) A<sub>1</sub> 断面 (五島大瀬崎・済州島防頭串間)

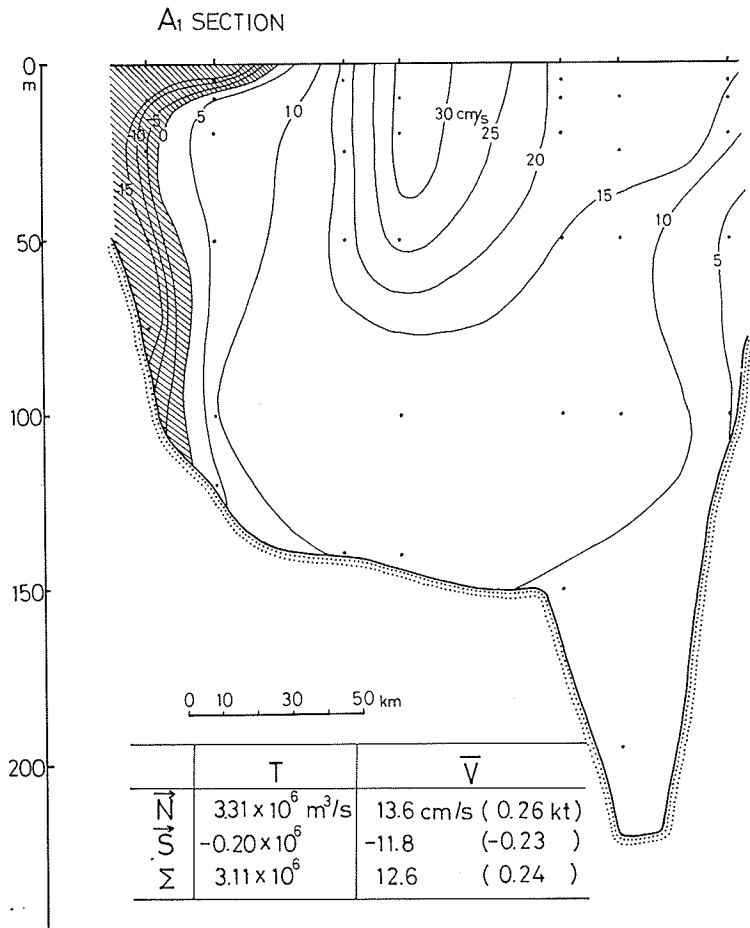
この断面は対馬暖流が五島西方海域へ流入する入口に位置しており、その水平距離は約180Km、全断面積は $26.1 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。海底地形を見ると、五島寄りに200m以深のくぼみが入り込んでおり、このくぼみから東側では急傾斜をなして五島陸岸に連なっている。それより西側では150m付近まで急傾斜をなすが、それ以西の五島距岸60~140Kmの間では140~150mの平坦面が続いている。流れは済州島寄りに僅かに南流が見られる以外、大半が北流によって占められている。北流の最強部は140~150m平坦面の断面中央付近にあり、その表層流速は約30cm/s (0.6ノット)である。それから沿岸に寄るほど、また深くなるほど弱流となっている。北流平均流速は13.6cm/s (0.26ノット)、南流平均流速は11.8cm/s (0.24ノット)である(第3-1図)。

ii) A<sub>2</sub> 断面 (済州海峡)

この断面の水平距離は約60Km、断面積は $4.9 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。済州島から距岸15Km付近に約120mのくぼみがあり、これより済州島寄りでは急傾斜、朝鮮本土寄りでは緩傾斜をなしている。流れは全断面にわたり東流であり、最強流部は断面中央よりやや済州島寄りにある。その表層流速は約40cm/s (0.78ノット)に達し、断面平均流速は10.9cm/s (0.21ノット)である(第3-2図)。

## iii) B断面 (五島奈留・韓国所安群島間)

この断面はA<sub>1</sub>断面から約37Km離れており、水平距離が約250Km、断面積が $27.3 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。約175mの最深部は奈留島距岸約40Km付近にあり、これより東側では急傾斜を、西側では比較的緩傾斜をなしている。流れは、五島沿いと韓国沿岸沿いにそれぞれ南流が僅かに認められる以外、北流が大部分を占めている。北流流域のなかには強流部が2箇所あり、1つは五島距岸110~120Kmに、1つは所安群島から60~70Kmにそれぞれ認められている。北流平均流速は13.9cm/s (0.27ノット)、南流平均流速は4.9cm/s (0.10ノット)、全断面平均流速は11.7cm/s (0.22ノット)である(第3-3図)。



第3-1図 流速分布

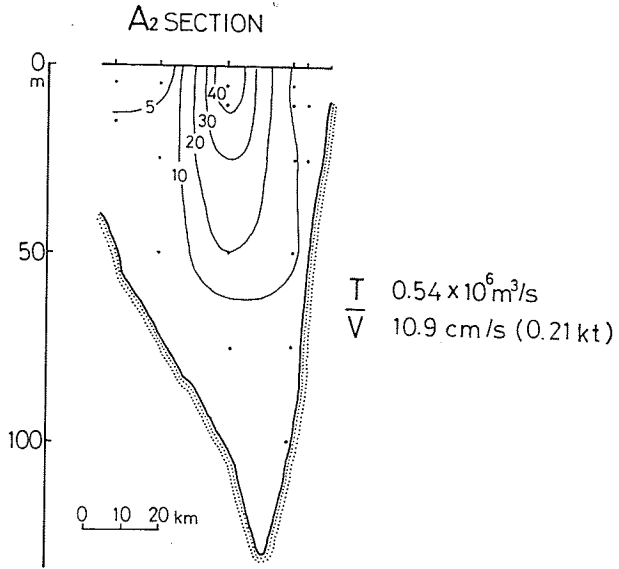
IV) C断面 (五島中通島奈摩・韓国生白島間)

この断面はB断面からさらに約3.7Km, 対馬海峡寄りであり, その水平距離は約2.30 Km, 断面積は $2.06 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。約145mの最深部は五島距岸約6.0Kmにあり, その東西両側では緩傾斜をなしているが, 西側の韓国寄りにより緩やかである。流れはほとんど北流で占められており,  $2.0 \text{ cm/s}$  (0.4ノット)以上の流速域が五島距岸3.0~1.40Kmの広範囲にわたり存在し, そのなかで上層の2個所で $3.0 \text{ cm/s}$  (0.6ノット)以上の強流部が認められている。北流平均流速は $18.9 \text{ cm/s}$  (0.37ノット), 南流平均流速は $4.3 \text{ cm/s}$  (0.09ノット), 全断面平均流速は $17.9 \text{ cm/s}$  (0.35ノット)である(第3-4図)。

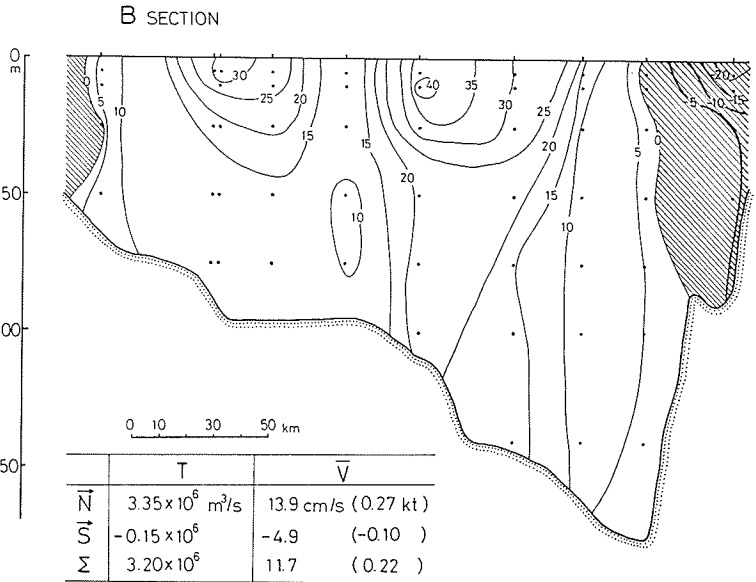
V) D断面 (平戸島・韓国外羅老島間)

この断面は C 断面よりさらに約 37 Km 対馬海峡寄りであり、水平距離は約 210 Km、断面積は  $1.97 \times 10^6 \text{ m}^2$  である。平戸島距岸約 70 Km に約 140 m の最深部があり、その両側の海底傾斜は緩やかである。流速分布は C 断面のそれに似ており、20

$\text{cm/s}$  (0.4 ノット) 以上の北流流域が平戸島距岸 50 ~ 170 Km の広範囲にあり、さらにそのなかでも上層 2 個所で  $3.0 \text{ cm/s}$  (0.6 ノット) 以上の強流部が認められる。北流平均流速は  $18.0 \text{ cm/s}$  (0.35 ノット)、南流平均流速は  $4.6 \text{ cm/s}$  (0.09 ノット)、全断面平均流速は  $17.6 \text{ cm/s}$  (0.34 ノット) である (第 3-5 図)。



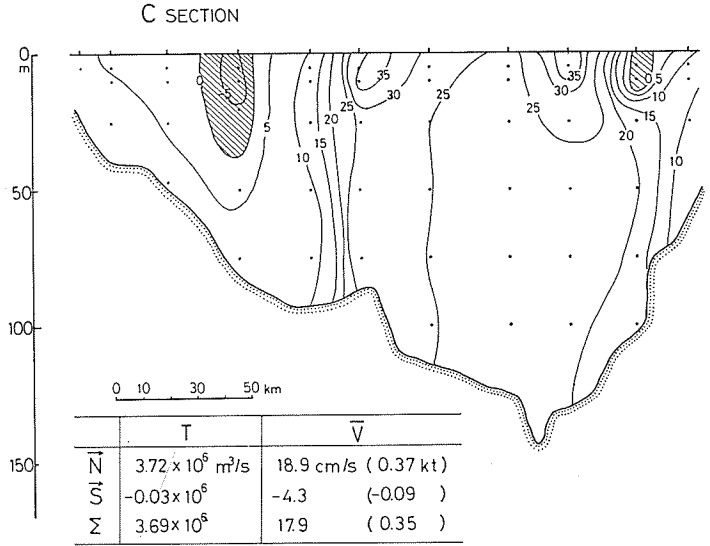
第 3-2 図 流速分布



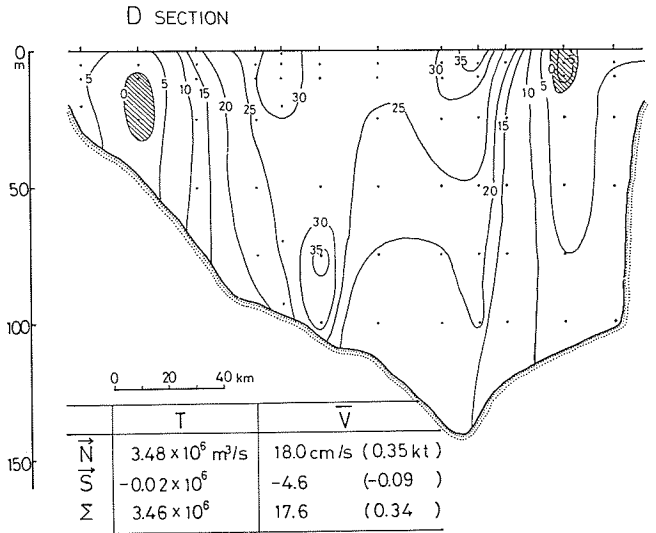
第 3-3 図 流速分布

Vi) E断面 (佐賀県向島・韓国麗水海灣口間)

この断面は対馬海峡入口に最も近く、D断面とは約37Km離れている。その水平距離は約220Km、断面積は $1.80 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。海底状況を見ると、向島距岸80Km付近に約140mの最深部があり、その両側は陸岸に向かって緩傾斜をなしている。流れは両岸寄りに弱い南流があるが、他の断面と同様にほとんど北流によって占められている。この北流のなかでも最強部が向島から約50Km付近にあり、その最大流速は上層で約5.5cm/s (1.1ノット)に達している。この断面にはB, C, D断面に見られたような2箇所**の強流部が明瞭には認め難いが、上げて上げれば断面中央付近に20cm/s (0.4ノット)以上**

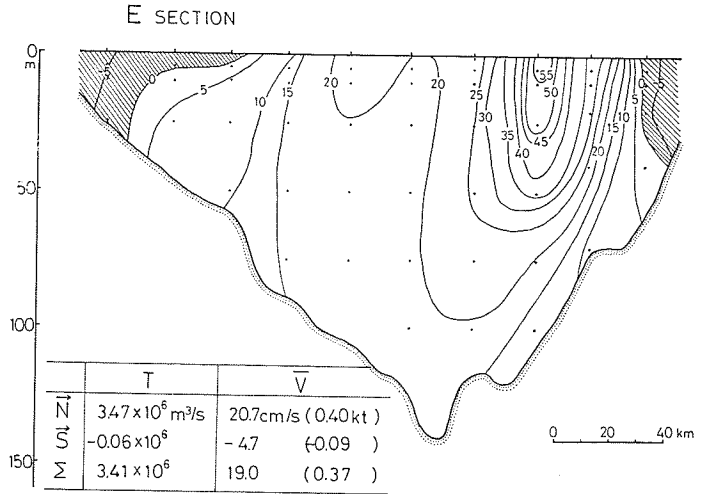


第3-4図 流速分布



第3-5図 流速分布

の強流部がもう1箇所認められる。この断面の韓国寄り海域では流れが対馬列島に向かう東偏流を示しているため、断面直角方向の流速が見かけ上多少弱く出ていることを考え合わせれば、強流部は向島距岸50Km付近と向島距岸100~120Kmの断面中央付近にも存在するとみなされる。北流平均流速は20.7cm/s(0.40ノット)南流平均流速は4.7cm



第3-6図 流速分布

/s (0.09ノット), 全断面平均流速は19.0cm/s(0.37ノット)である(第3-6図)。

VII) Fw断面(対馬豆酸崎・韓国小每勿島間)

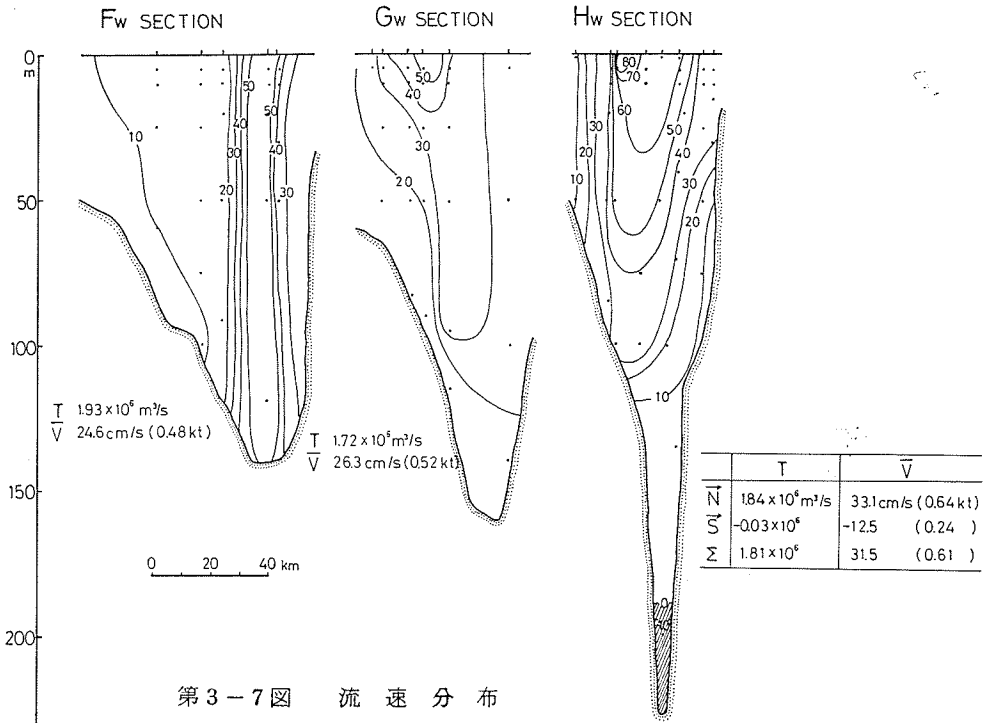
この断面は対馬海峡西水道入口に位置しており、水平距離は約80Km、断面積は $7.9 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。対馬距岸約20Kmに約140mの最深部があり、そのくぼみの東側で急傾斜、西側で緩傾斜の海底地形をなしている。流れはすべて北流であり、対馬距岸30Km以内では20cm/s(0.4ノット)以上の流速を示すが、そのなかでも50cm/s(0.97ノット)以上の強流部が対馬距岸20Km付近に存在している。平均流速は24.6cm/s(0.48ノット)と五島西方海域の場合よりも強くなっている(第3-7図)。

VIII) Gw断面(対馬三根御前崎・巨濟島鼠耳末間)

この断面は西水道中央に位置し、水平距離は約60Km、断面積は $6.6 \times 10^6 \text{ m}^2$ である。約160mの最深部は対馬距岸約10Kmにあり、そのくぼみの両側は急傾斜の海底地形をなしている。流れはすべて北流であり、下層を除く大部分が20cm/s(0.4ノット)以上の流速を示すが、そのなかでも50cm/s(0.97ノット)の強流部がやや韓国寄りの表層で認められる。平均流速は26.3cm/s(0.52ノット)とさらに強くなっている(第3-7図)。

IX) Hw断面(対馬三島灯台・韓国牧ノ島間)

西水道出口に位置するHw断面は、水平距離が約50Kmと狭く、断面積も $5.8 \times 10^6$



第3-7図 流速分布

$\text{m}^2$ と小さい。ここには約225mの舟状海盆状の深みが入り込んでおり、この両側は急傾斜をなしているが、特に東側の対馬寄りでは断層崖となっている。流れは、深みの底層で南流が僅かに認められる以外はすべて北流によって占められている。北流は100m以浅のほとんど全域にわたり20cm/s(0.4ノット)以上の流速を示し、そのなかで最強流は断面のやや韓国寄りの表層で約80cm/s(1.55ノット)となっている。南流の見られた底層では日本海底部冷水が張り出しているが、この冷水が底層流として南方へ流れていることは、例えばLim. Chang(1969)によって推定されている。北流平均流速は33.1cm/s(0.64ノット)、南流平均流速は12.5cm/s(0.24ノット)、全断面平均流速は31.5cm/s(0.61ノット)である(第3-7図)。

X) FE断面(老岐半城浦口・対馬神崎間)

東水道の入口に位置するFE断面は、水平距離が約50km、断面積が $4.8 \times 10^6 \text{ m}^2$ と小さい。流れは全断面にわたり北流で占められ、強流部は断面中央よりやや対馬寄りにある。最強流速は約70cm/s(1.36ノット)、平均流速は32.5cm/s(0.63ノット)と強い(第3-8図)。

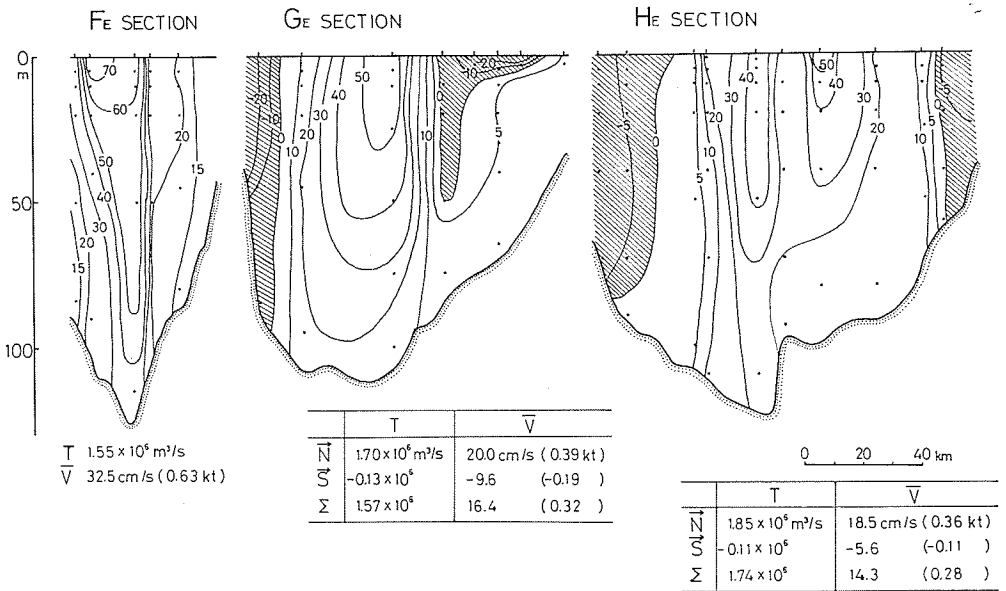
XI) GE断面(福岡県相島・対馬黒島間)

この断面は東水道の中間に位置し、その水平距離が約110km、断面積が $9.6 \times 10^6 \text{ m}^2$

とFE断面よりも広がっている。海底地形は約110mの最深部から西側の対馬寄りではかなり急傾斜をなすが、福岡沿岸寄りではきわめて緩やかである。流れは大部分が北流であるが、南沿岸寄りで南流が見られる。北流の最強部は断面中央の最深部付近にあり、最大流速は表層で約50cm/s (1.0ノット)を示す。対馬沿いの南流は全層にわたり見られるが、この状態はHE断面においても認められる。辻田(1955)は、対馬上島東方海域には地形性の左旋渦動域が形成されていることを指摘しているが、この南流は渦動域の存在をうかがわせるものであろう。また、福岡県沿岸域での南流はHE断面にも認められているが、この沿岸反流は暖流北東流の補流的性格を持つものと思われ、海流瓶調査結果からもその存在が推定されている。北流平均流速は20.0cm/s (0.39ノット)、南流平均流速は9.6cm/s (0.19ノット)、全断面平均流速は16.4cm/s (0.32ノット)である(第3-8図)。

xii) HE断面(福岡県狩尾鼻・対馬西泊間)

東水道出口に位置するHE断面は、水平距離が約130km、断面積が $1.22 \times 10^6 \text{ m}^2$ と次第に広がる。流れは両端に南流が僅かに見られるが、大部分北流によって占められている。北流の強流部は断面中央付近にあり、その流速は最大約50cm/s (1.0ノット)に達する。北流平均流速は18.5cm/s (0.36ノット)、南流平均流速は5.6cm/s (0.11ノット)、全断面平均流速は14.3cm/s (0.28ノット)である(第3-8図)。



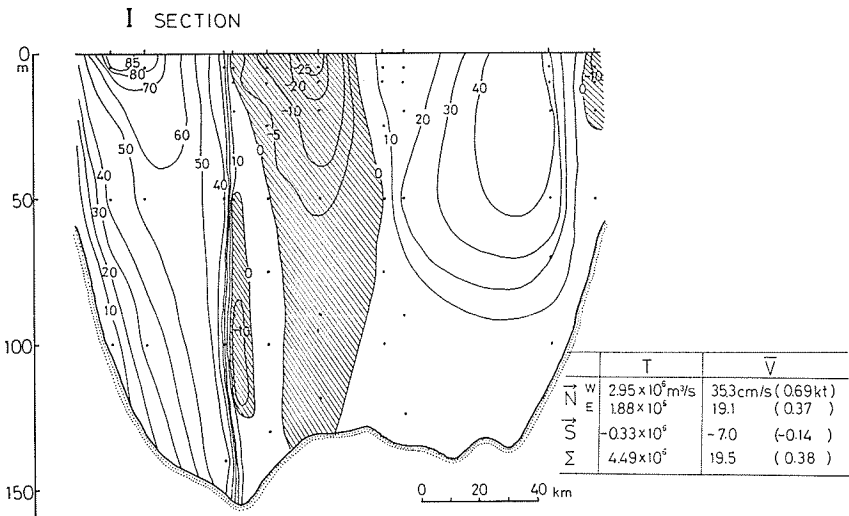
第3-8図 流速分布



XIII) I断面 (山口県川尻岬・韓国蔚山間)

日本海入口に位置するI断面は比較的平坦な海底が続き、水平距離が約180km、断面積が $23.0 \times 10^6 \text{ m}^2$ と広がっている。流れは、おおまかには断面中央付近のかなり広範囲にわたって南流があり、その両側に広流域の北流が見られている。西側北流の強流部は韓国寄りにあって、最大流速は表層で $85 \text{ cm/s}$  (1.65ノット)に達する。ここでの平均流速は $35.3 \text{ cm/s}$  (0.69ノット)で五島西方～対馬海峡の間で最も強い。東側北流は西側のそれに比べて弱く、平均流速 $19.1 \text{ cm/s}$  (0.37ノット)となっている。南流は、最強流速が $25 \text{ cm/s}$  (0.5ノット)、平均流速が $7.0 \text{ cm/s}$  (0.14ノット)とかなり弱い。全断面平均流速は $19.5 \text{ cm/s}$  (0.38ノット)である(第3-8図)。

この断面においては、須田(1938)、宮崎(1952)と李(1966)が力学計算から対馬暖流の消長を論じている。三者の間には必ずしも一致した結論は得られていないが、共通的に言えることは、断面の両側に暖流北東流がありその間に南反流ないし微弱な流れのところがある。西側の北東流は西水道からの引続きで、蔚山沖5～20海里に存在する。東側のものは東水道からの引続きで、川尻岬から10～70海里に存在するが、西側に比べてその位置はきわめて不安定である。両分枝流の間には南流傾向の弱流帯があり、その位置はやや西側に偏在している。流速について見ると、西分枝流は、須田によれば冬期の $25 \text{ cm/s}$  (0.49ノット)から夏期の $55 \text{ cm/s}$  (1.07ノット)までの間で変化するとし、李によれば $10 \sim 60 \text{ cm/s}$  (0.19～1.17ノット)の間で変化するとしている。東分枝流については、須田、李ともに西分枝流の約 $\frac{1}{2}$ の $5 \sim 35 \text{ cm/s}$  (0.10～0.68ノット)と推算している。中央部の南流流速については、須田が $5 \text{ cm/s}$  (0.10



第3-9図 流速分布

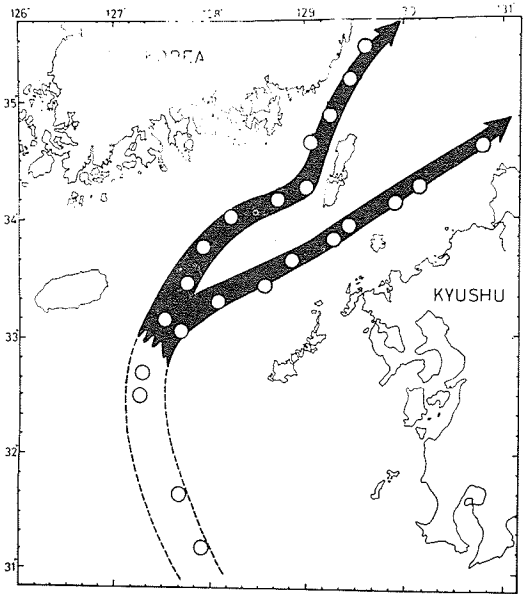
ノット) 以下, 李が  $7\text{ cm/s}$  ( $0.14$  ノット) 以下と推算している。以上の力学推算値と恒流とを対比すると, 流速は必ずしも合わないが, 流況パターンとしてはほぼ一致している。このことはほぼ地衡流近似の場を表わしているときみなされる。

### 3) 流軸の推定と流速

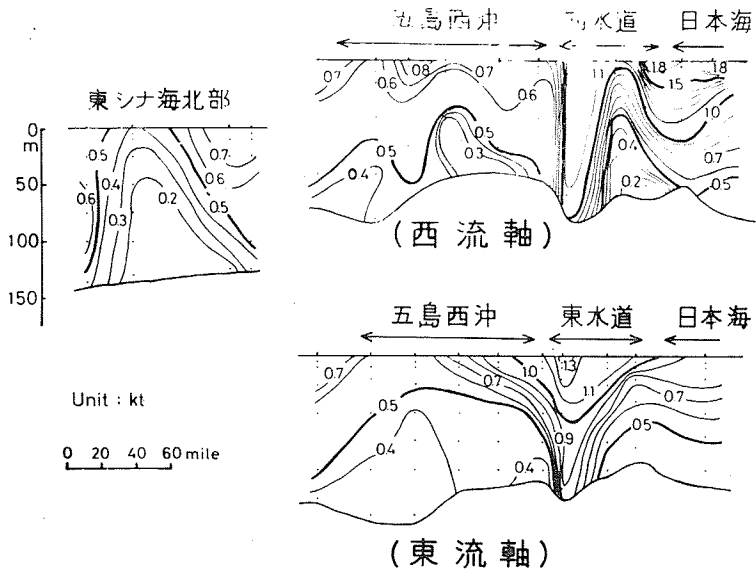
各断面の流速分布を概観してきたが, これらを通して対馬暖流の流況に関する特性を次のように要約する。各断面ともほとんど北東流によって占められ, しかもその中心付近には強流部が存在するが, その流れの強いところをつなぐと細長い連続した強流帯, すなわち対馬暖流の流軸を描き出すことができる(第 4 図)。つまり, 九州西方海域での対馬暖流は, ある程度長時間の平均像として見れば連続した強流帯としてとらえることを示している。図のなかでは流軸は五島西方海域よりもさらに南方へ延長して描かれているが, これは五島西方海域～対馬海峡の場合と同様な解釈から得られたものではなく, 従来の想定位置をそのまま点線によって示してある。図から対馬暖流流軸の位置を次のように概述できる。五島南西方の大陸棚縁辺域を北上してきた対馬暖流流軸は, 五島・済州島間の五島距岸  $50\sim60$  海里を通るが, すでに五島西方海域で東, 西二流軸に分離し, それぞれ東, 西両水道へ連なっている。東分枝流はほぼ直線的に東北東へ進み, 東水道中央部から川尻岬へ伸びている。西分枝流は五島西方海域では当初北北東へ進むが, しだいに東偏し対馬下島南西端へ向かう。西水道に入ると対馬列島沿いを北北東へ進んで日本海へ抜けるがのち韓国東岸沿いを北上する。

対馬暖流が以上のような流路をたどるとして, その流速がどのように変わっていくかを見る。

第 4 図の流軸内に示される各丸印の点から流速データを選び, これらに基づいて流軸の流速分布を表わした(第 5 図)。五島南西方の東シナ海北部海域での資料は, 夏期のものがないので他の時期のものを使用した。対馬暖流の流れは黒潮から分岐して五島西方海域に至るまでの間では不鮮明であるといわれているが, この図によれば  $31^{\circ}\text{N}$  以北の東シナ海北部においては, それぞれ上層で  $0.4\sim0.6$  ノット, 中層で  $0.3\sim0.6$  ノット, 底層で  $0.2\sim0.4$  ノットの流速が見られる。そして五島西方海域に近づくと流速は強くなり, 表層で  $0.6\sim0.8$  ノット, 中層で  $0.5\sim0.6$  ノット, 底層で  $0.4$  ノット



第 4 図 流軸模式図



第5図 流軸の流速分布

程度となる。五島西方海域では東、西両流軸ともほぼこの程度の流速で推移するが、対馬海峡に入ると、地形の影響により流れが収束されるため、流速は急激に増大する。西水道入口では全層にわたり1ノットを上回っている。但し、西水道中間で一時的に流速が弱くなっており、これが選択資料の偶然性によるものか、あるいは第4図に見られるように流軸変更時に伴う減速現象としてとらえられるかについては不明である。いずれにしろ、西水道内では著しい変動を伴いながら強流速で流れるが、水道出口付近での表層流はさらに強く、1.7～1.8ノットに達し、そのまま減衰しない状態で韓国東岸沿いを北上する。しかし、中、底層流は全般的に弱く、西水道出口では中層流が1.0～1.1ノット、底層流が0.5～0.6ノットであるが、韓国東岸沿いでは中層流が1.0ノット、底層流が0.4～0.5ノットとやや弱まっている。一方、東流軸は東水道入口で最も流速が強く、表層流が1.3ノット、中層流が1.0～1.1ノット、底層流が0.8～0.9ノットであるが、北東進するにつれ弱まり、出口では表層流が1.0～1.1ノット、中層流が0.6～0.7ノット、底層流が0.4～0.5ノットとなっている。日本海へ入るとさらに弱まり、川尻岬西方ではそれぞれ表層流が0.8～0.9ノット、中層流が0.6～0.8ノット、底層流が0.4～0.5ノットとなっている。

### 3. 対馬暖流の流量

流量は海流の勢力指標として使われており、対馬暖流の流量はすでに力学計算によって推定

されている(11, 17, 18, 19, 24)。ここでは、設定されている13断面における流速分布からそれぞれ流量を求めた。海流系内の断面(Y-Z平面、面積B)に直角に、(y, z)点でx方向に速度vをもって流れているとすれば、流量(T)、平均流速( $\bar{V}$ )はそれぞれ次式で与えられる。

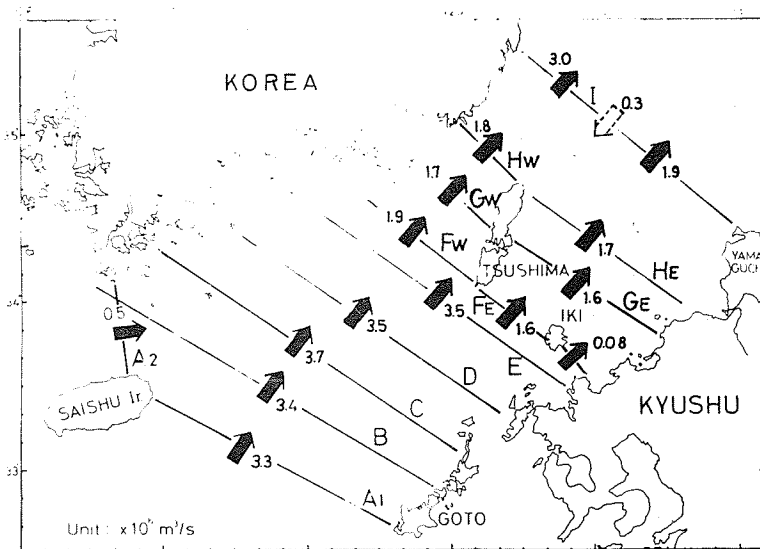
$$T = \int^B v \, dy \cdot dz = \sum V_i \cdot S_i$$

$$\bar{V} = \sum V_i \cdot S_i / \sum S_i = T / B$$

ここで、 $S_i$ は $V_i$ の占める面積である。

上式により求められたT、 $\bar{V}$ は第3図のなかに示されており、 $\bar{V}$ については前項の流速分布のなかですてに述べた。

五島西方海域～対馬海峡における各断面での北方流量は、 $3.3 \times 10^6 \sim 3.7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ の間にあるほぼ連続的にとらえられ、一応もっともらしい値となっている。しかし、川尻岬・蔚山間(I断面)では西流軸の流量が大きいため全流量は $4.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、前者とのつながりは不連続的である。これが海域特性を暗示するものなのか、あるいはデータ処理の任意性に由来するものかは不明である。このI断面においては、宮崎と李がそれぞれ力学計算により流量を求めている。李によれば、北方流量は $0.33 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ (冬～春)～ $2.21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ (夏～秋)であり、断面中央に存在する南方流量は $0.01 \times 10^6 \sim 0.26 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ であるとしており、宮崎によってもほぼ同様な値が求められている。これらと比べて今回の値は大きく、北方流量で1.5～2.0倍、南方流量でやや大きい。力学推算値はバロクリニックな部分しか含まれていないし、この海域のようにバロトロピックな部分も無視できないと



第6図 流量図

ころでは真の値よりも小さいはずであるし、また基準層（無流層）のとり方によってもかなり左右されるが、ここでは過小評価されていると思われる。ちなみに、他海域で力学推算された対馬暖流域の流量について見ると、永原（1965）の $41^{\circ}\text{N}$ 線での $2 \times 10^6 \sim 8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ 、秦（1962）の $40^{\circ} \sim 41^{\circ}\text{N}$ 線での $2 \times 10^6 \sim 7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  および長崎海洋気象台（1957）の屋久島西方での $4 \times 10^6 \sim 13 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  などが報告されている。今回の $3.3 \times 10^6 \sim 4.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  値が夏期のものであることを考えると、対馬海峡付近での流量は他海区のそれより小さく出ている。

さらに、東、西分枝流の流量を比較する。李は、西分枝流の年平均流量を $0.92 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ （73%）、東分枝流のそれを $0.33 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  と算出し、西分枝流流量の方がはるかに大きいと述べており、宮崎も西分枝流流量が東分枝流流量の約3倍であるとしている。今回の推算によれば、西水道断面（Fw, Gw, Hw）と東水道断面（FE, GE, HE）での流量平均値を比べるとそれぞれ $1.80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ （52%）と $1.63 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ （48%）となり、またI断面では $3.0 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ （61%）と $1.9 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ （39%）となり、いずれの場合にも西分枝流流量が大きい、力学推算結果のような大きな差は認められていない。

済州海峡での東方流量は $0.5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  と推算され、五島西方海域のその約 $1/7$ に相当する。

壱岐水道においては断面流速分布図は描かれていないが、その中心付近で求めた平均流速 $10 \text{ cm}/\text{s}$  と断面積との積から $0.08 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$  が算出される。これは東水道を通過する流量の約 $1/20$ に当たり、東水道流量の誤差範囲内に入ってしまう程度である。

#### 4. 対馬暖流の変化

以上、3においては、対馬暖流を定常的視点からとらえてきた。しかし、現実の対馬暖流は模式的に帯状の矢印をもって表わし得るほど単純ではなく、例えば、ある時期には流軸が偏移したり、きれぎれになって伸びていなかったりするかも知れない。このような海洋変動の実体を明らかにし、それを支配する法則性を見出していくことが肝要であるが、実際のところ、対馬暖流の変動について論ずるほどに定置測流資料は充実していないので、僅かな資料のなかからその一端を述べる。

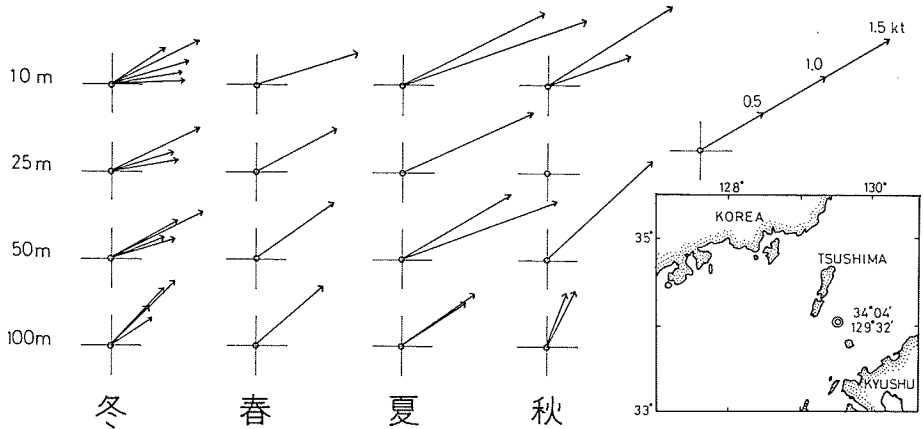
##### 1) 季節変化

定置測流が調査条件の良い夏期に集中しているため、海域全体にわたって四季別に流況を論ずるには資料が大いに不足している。第2図の恒流ベクトル水平分布からは、海流瓶の漂着結果に見られるような顕著な季節変化は認められない。ここでは、四季ごとに観測が行なわれている対馬海峡の東、西両水道における流れの季節変化を見る。

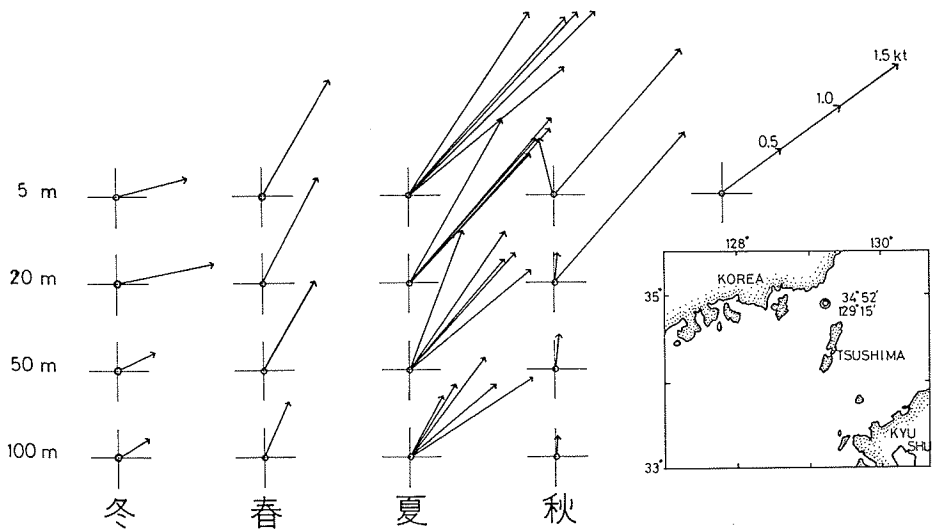
##### i) 東水道

調査点（ $34^{\circ}04' \text{N}$ ,  $129^{\circ}32' \text{E}$ ）は東水道入口の中央部にあり、ほぼ暖流流軸の

位置に当たっている。一般的傾向としては、流向は常に北東方へ向いているが深くなるほどやや北偏しており、流速は表層で強く深いほど弱くなっている。季節的变化を見ると、流速、流向とも表層ほど顕著で、深くなるほど緩やかである。流速は夏期に最強、冬期に最低の周年変化をなし、夏期の表層流は1.0～1.3ノットで、冬期のそれの0.5～0.7ノットの約2倍である。但し、底層流(100m)の流速は0.4～0.6ノットでほとんど季節的变化が認められない。



第7-1図 恒流の季節変化



第7-2図 恒流の季節変化

## ii) 西水道

調査点 (34°52'N, 129°14'E) は西水道出口の中央部にあり、西流軸流域のなかでも最も強い流速を示すところである。東水道の場合と同様に、流向は常に北東方へ向いており、流速は表層で強く、深いほど弱くなっているが、その季節的变化は表層ほど顕著である。流速は夏期に最強、冬期に最低の周年変化をなし、夏期には表層流が1.5~1.8ノット、下層流(100m)が0.5~1.0ノットと強いが、冬期には表層流が0.5~0.7ノット、下層流が0.2~0.3ノットとかなり弱まっている。

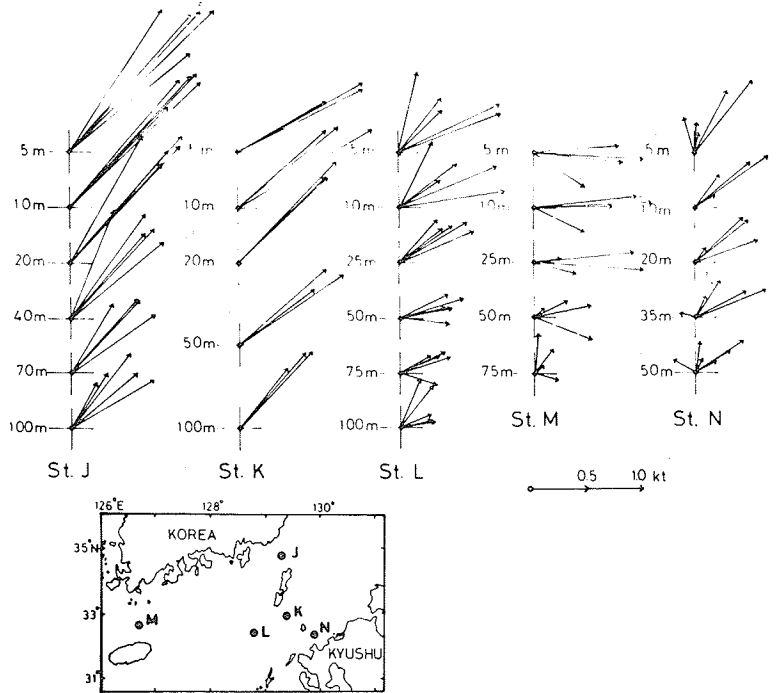
## 2) 短期変化

定置測流資料のなかには、ある期間内において数日間隔で数回にわたって各層観測の行なわれたものがある。これら恒流の比較から対馬暖流の短期変化に関する情報の入手が期待される。ここで取り上げた点は、Hw断面でのSt. J, FE断面でのSt. K, D断面でのSt. L, A2断面でのSt. Mならびに壱岐水道でのSt. Nの5定点であり、それらの観測実施年月日は第1表のとおりである。第8図に各St.ごとに恒流ベクトルを示す。これらは観測時期、間隔ともに異なっており一様な比較ができないが、全体的には次のように要約できる。すなわち、いずれの点においても、流れは流向、流速ともに変動を伴いながらもほぼ北東方へ状態を保っているが、そのなかでも対馬暖流の主軸に当たるSt. J, St. Kでの流れは他の場合と比べて流向、流速ともに変動幅が小さい。このように流域が狭く、流れが収束されるところでは比較的安定性をもって流れているのに対して、St. Lが暖流流域に位置しているとはいえ、そこの流れは前二者に比べて変動性が顕著である。さらに、暖流主軸からはずれている壱岐水道St. Nにおける流れは弱く、かつその変動性は著しい。こ

第1表 定置測流実施状況

St.	位置	回数	実施年月日
J	34°53'N 129°15'E	5	1942年6月25~26日, 28~29日, 7月10~11日, 22~23日, 28~29日
K	33°56'N 129°24'E	3	1942年7月5~6日, 14~15日, 28~29日
L	33°40'N 128°48'E	5	1943年7月1~3日, 4~5日, 31~8月1日, 9~10日, 29~30日
M	33°48'N 126°43'E	4	1943年8月3~4日, 17~18日, 30~31日, 31~9月1日
N	33°39'N 129°51'E	6	1941年10月5~6日, 7~8日, 10~11日, 11~12日, 13~14日, 19~20日

ここでは沖合の暖流による影響のほかにも他の変動要因も加わって非定常過程がより顕著となっているのであろう。濟州海峡の St. M での流れは1カ月の観測期間中、常に東方へ向かっているが、その間流向、流速ともに壱岐水道の場合と同様、顕著な変動性が認められる。



第8図 恒流の短期変化

5. 沿岸海域の流況

沿岸海域では沖合の暖流域に比べて海況変動が大きく、かつその非定常過程も顕著であるためその実体の理解は容易でない。ここでは、沿岸海域の複雑な流れを模式的に示し得るほど知見は整理されていないので、今までに沿岸海域で行なわれた定置測流結果を対比的に紹介する。九州西方沿岸海域といっても、その区域は広くかつ地形も複雑であるが、ここでは浅海、内湾域を除いた比較的暖流水の影響の強い外海性沿岸海域を示し、便宜的に次の二海区に大別する。一つは五島灘、天草灘、甌列島周辺海域にわたる南九州西方沿岸海域であり、もう一つは響灘、玄界灘、壱岐水道に及ぶ北九州西方沿岸海域である。前者では水深が深く、暖流分派が直接流入しているため、その流況は大局的には暖流の変動機構と直接関連した現象として把握できることであろうと思われるのに対して、後者では一般に水深が浅くしかも暖流主軸が沖合を通っているため、ここでの流れは暖流と深くかかわり合っているにもかかわらずその変動様式には差異があり、かつ非定常過程も顕著であると思われる。

1) 南九州西方沿岸海域の流況

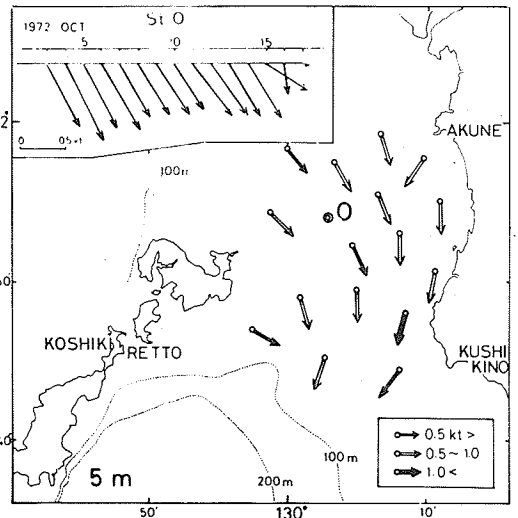
この海域の海況を論ずる場合、まず問題となるのは、対馬暖流がこの海域へどのように影響を及ぼしているかということであろう。男女群島方面から五島灘へ向かって分岐北東する対馬暖流の分派は、五島列島南東海域に入り、野母崎から天草灘沿岸に至って南流に転ずる



反流を形成するとされている(辻田:1954, 対馬暖流開発調査報告:1958)。この様子は水温、塩分分布から高温、高塩水が舌状に張り出していることや、海流瓶の漂着結果などからうかがわれている。暖流分派が分岐して五島南東海域に至るまでの範囲における定置測流としては、男女群島近辺海域で夏期に各層(5, 10, 20, 50, 底)観測が2箇所実施されているに過ぎない。調査点海域は島嶼に近くしかも水深が急に浅くなっているため、流れは地形による影響も認められるが、大勢としては北東方へ向かっており、ここでは暖流分派が流れとして認められることをうかがわせる。

天草灘沿岸から甌島、宇治群島へと向かう南反流は、海流瓶調査結果ならびにG E K測定結果(例えば鹿児島水試:1972)などから明瞭に認められている。この海域での定置測流としては、第十管区海上保安本部により1972年10月2~18日の間、甌海峡において実施されており、その結果を第9図に示す。いずれの点でも南流を示し、流速も大部分で0.5~1.0ノットと卓越している。さらに、このなかの1点(St. O)では10月3~17日の半月間にわたって連続測流が行なわれているが、その期間中、常に南流状態を示している。これらは、甌海峡においても対馬暖流分派の南反流が大局的に見てほぼ定常的に存在していることを示唆する。また、天草灘沿岸域の1点(32°05', 129°49')の30m層で定置測流が西海区水産研究所により1967年5月19~20日に行なわれており、その結果によっても0.2ノットの南流が認められている。

対馬暖流の分派は五島灘南東海域で南反流に転ずる一方、五島灘の海況にも大きな影響を及ぼしている。辻田は五島灘の海洋構造について次のように論じている。五島灘中央部よりやや西側の海谷部に沿って暖流中層水塊が北方へ向かって突込み、湧昇する。この湧昇性暖水塊の東西両側には、それぞれ有明海水を中心とする本土側沿岸水ならびに五島列島沿岸水があり、これらの間に沿岸前線を形成している。五島灘東側の沿岸水域においては、冬期には北西季節風による表層南流と野母崎沖合における表層離岸流ならびに有明海水の流出との三つの上層水塊の作用によって上層右旋環流が形成されている。しかし、夏期には南東卓越風により表層全域が北流となる。以上は、主として水塊分布の解釈の立場から論じられており、



第9図 恒流ベクトル  
(十管海上保安部 1972年秋)

流況として明確にとらえられてはいない。

五島灘での流況が定置測流結果を基として論じられたものに赤松の報告(1950)がある。赤松は、第10-1図に示す4点の各層(5, 10, 25, 50, 75, 90m)測流結果から夏期、五島灘全域にわたり左旋環流が存在するとし、それは男女群島方面から突込む暖流分派の流量が、甌列島方面へ南下する量よりも大きいために、分派流の一部が西彼杵半島に遮られて左旋し、さらに五島列島に沿って南下するものであろうと推定した。また、五島灘の流れが地衡流近似を表わすと仮定して、各測点間の力学的深度差の比較から、それぞれ夏期を中心とする5~11月には左旋環流を、冬期を中心とする12~4月には右旋環流を形成するであろうと想定した。

その後、五島灘では定置測流が次のとおり実施されているので、これらの結果を概述する。

第2表 定置測流実施状況(五島灘)

実施機関	測点数	測流層	実施年月日
第七管区海上保安本部	14	8m	1968年5月10~27日
”	13	10”	1969年7月25~8月3日
”	10	10”	1970年9月3~12日
長崎海洋气象台	3	10, 30, 50	1974年5月16~24日

a. 1968年5月の例(第10-2図)

五島灘中央域におけるベクトル図から、この時期の表層流は左旋環流の状況を呈していたと思われる。このうち、1昼夜以上の観測がSt.PとSt.Qの2個所で行なわれている。図から見て、北流と南流の変更点付近に位置するSt.Pにおいては、恒流は調査期間(11~25日)の前半では南流であったが、しだいに流向を左旋させ、後半では北流となっている。このような流れの変化は、五島灘全域の流況が大きく変わったものではなく、環流系中心付近における不安定な流れの様子を示したものである。しかも、流向が左回りに変移していることは左旋環流の存在を支持するものであろう。また、北西流の流域に位置しているSt.Qでは、調査期間中、おおむね北西流を示している。以上から、少なくともこの期間では左旋環流が持続されていたと思われる。

b. 1969年7月の例(第10-3図)

五島南側の全調査海域にわたり、流れは南~南東方へ向かっている。数昼夜測流結果からSt.RとSt.Sの流れはいずれも観測期間中、常に南東方の流向を示している。すなわち、この海域で見られた南東方への流況パターンは少なくとも観測期間中、特続されて

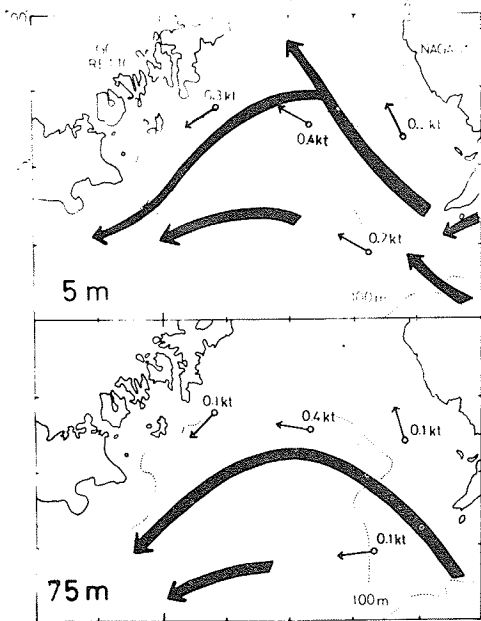


図10-1 恒流からみた流況模式図  
(赤松 1950年8月)

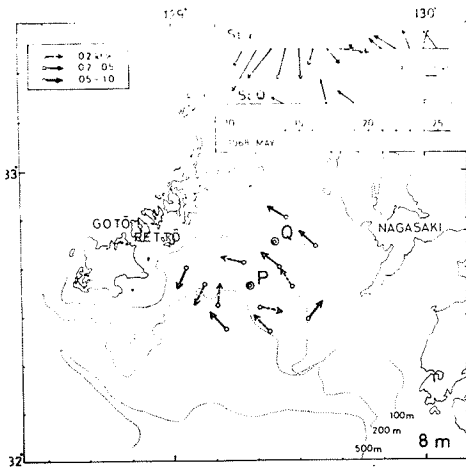


図10-2 恒流ベクトル  
(七管海上保安部 1968年春)

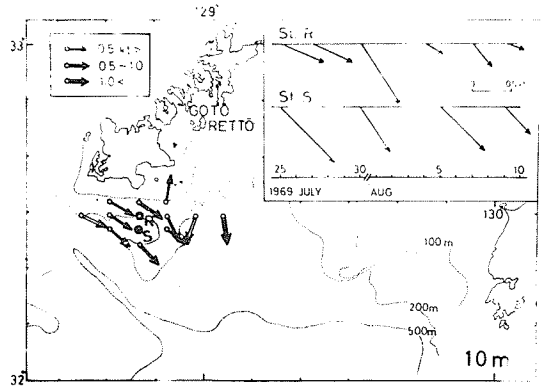


図10-3 恒流ベクトル  
(七管海上保安部 1969年夏)

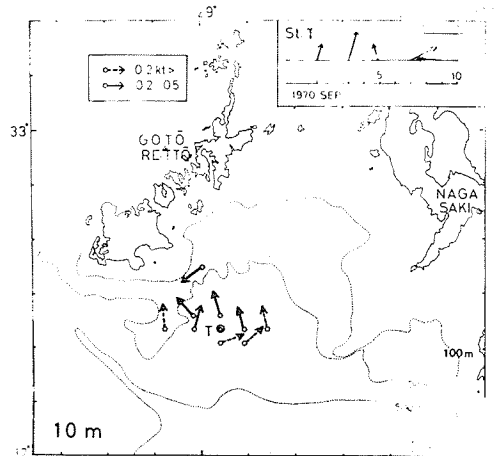


図10-4 恒流ベクトル  
(七管海上保安部 1970年夏)

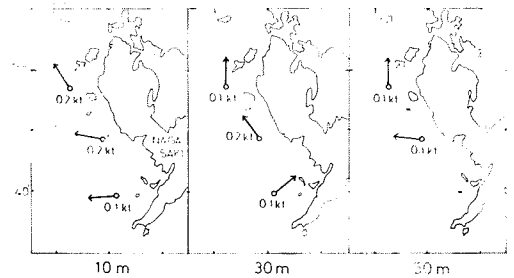


図10-5 恒流ベクトル  
(長崎海洋気象台 1974年5月)

いたと推定される。

c. 1970年9月の例(第10-4図)

調査海域は五島南東海域で1969年7月の場合と重なっているが、流れは全般的にその時とは逆の北向きとなっている。このなかで、数昼夜観測が行なわれた St. T における流れはおおむね北流が継続している。すなわち、この場合でも北流の流況パターンは、少なくとも観測期間中、持続されていたとみなされる。

d. 1974年5月の例(第10-5図)

1 昼夜観測が西彼半島沿いに3点実施されているが、いずれの点でもほぼ海岸線に沿った北向きの流れを示している。流速は0.1~0.2ノットでさほど強くないが、表層で強く底層で弱い傾向を示した。このことは、どちらかといえば左旋環流の存在を支持している。

2) 北九州西方沿岸海域の流況

響灘、玄界灘、壱岐水道海域(山口~佐賀沿岸域)における流れについては、宇田(1934)が南反流の存在について述べており、須田(1938)も力学計算結果から南流を推定している。海流調査結果によれば、玄界灘沿岸域では一般に暖流勢力の強い夏期に南流が認められるが、他の時期では冬期に北西季節風によって陸岸に吹送される以外、北東への流動を示している。この海域での定置測流としては、第七管区海上保安本部が1961年8~9月に響灘、玄界灘で実施したものがある。その結果によれば、明らかに南流域が認められており、その流速は0.2~0.5ノットで、沖合の暖流北東流に比べて弱いものの、有意性のある値である(第11図)。おそらく、この沿岸反流は暖流北東流の補流的性格を持つものと思われるが、常時、定常的に存在するかといえば、必ずしもそうではないらしい。断片的に行なわれた定置測流結果や海流瓶調査結果から、夏期でも南反流が認められないこともある。

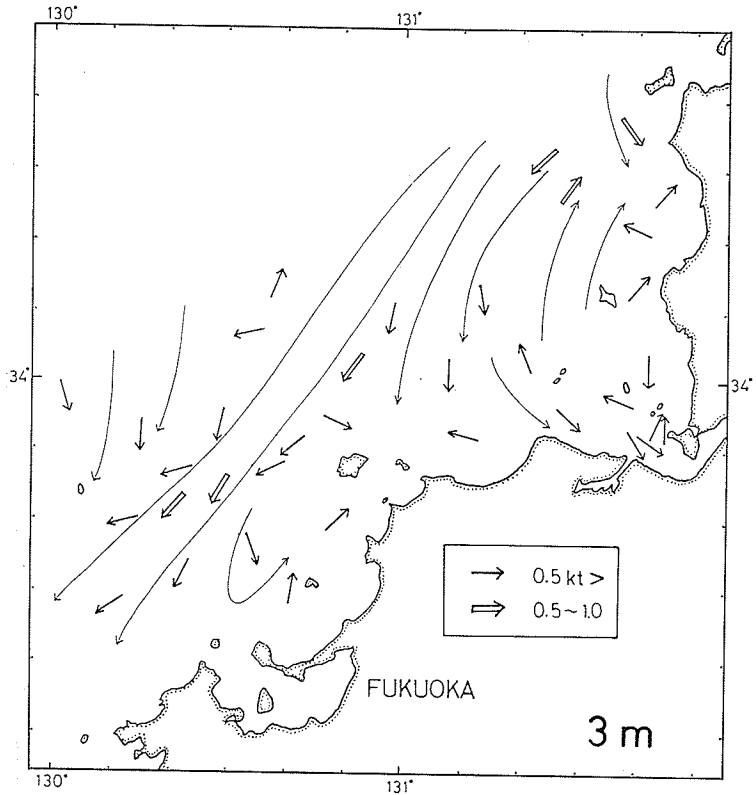
第七管区海上保安本部は1964年7月に壱岐水道海域において延21点の定置測流を実施している。その結果によれば、壱岐水道の流れは0.3~0.7ノットの流速で東~東北東へ向かっており、この期間では少なくとも南反流は存在していない(第12図)。このうち、壱岐水道の中央点(St. U)で7月10~26日の間、連続測流値が得られているので、この資料から恒流の日変化を見ると、流速は最低0.1ノットから最強0.95ノットと顕著な差異があり、流向は東北東方が多いが、時には西や南西方も認められている。この傾向はすでに述べた1941年10月の St. N における調査結果でも同様に認められている。ここで流れの変化は五島灘や甕海峡の場合よりも顕著である。

さらに、沿岸海域における流れの変化例として、筆者らが玄界灘で1974年8月2~11日に行なった定置測流結果を紹介する。調査点(33°50.3', 130°06.0')は対馬東水道の小呂島近辺にあり、海底地形的に見ると、陸岸から緩やかな傾斜で連なる陸棚の縁辺部に

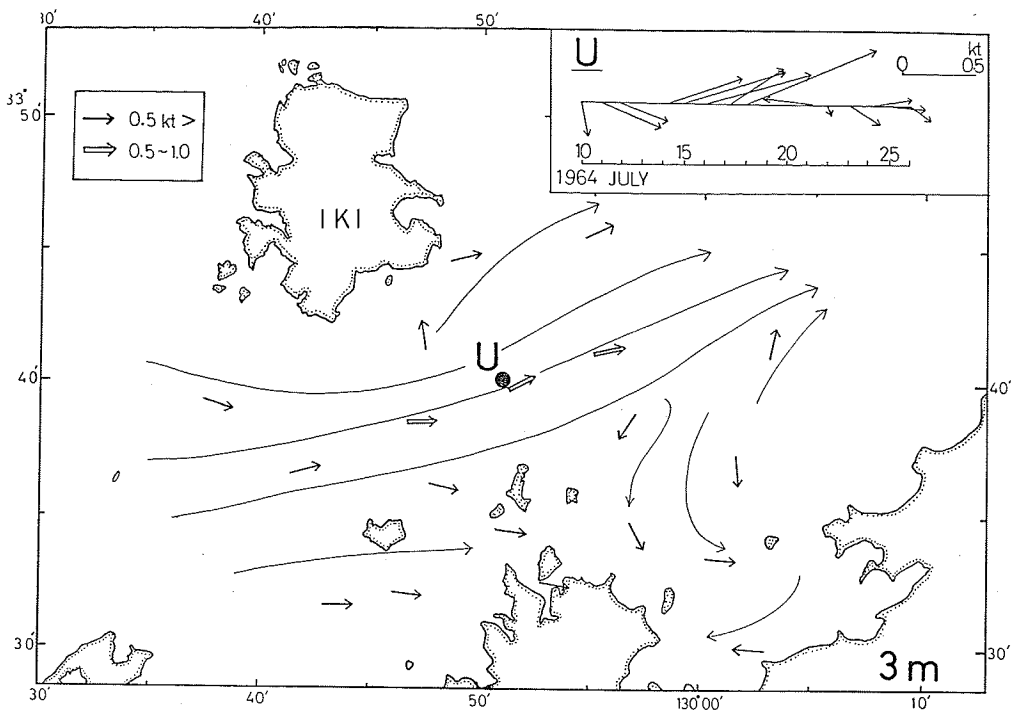
当たる水深50mのところ  
 ところで、これから沖合  
 側の海底は急傾斜をな  
 している。海況的には  
 暖流水と沿岸水との境  
 界付近に位置している。  
 調査は5m, 45mの  
 2層に自記流速計

(GENERAL OCEA-  
 NICS Film Recor-  
 ding Current  
 Meter Model  
 2011)を定置し、毎  
 15分ごとに測流記録  
 がなされるようにして  
 行なわれた。この資料  
 から恒流の時系列変化  
 を見るため次の操作を  
 行なった。まず、測定  
 流の成分ごとに調和分  
 解に必要な最後の観測  
 値を求めた。恒流成分

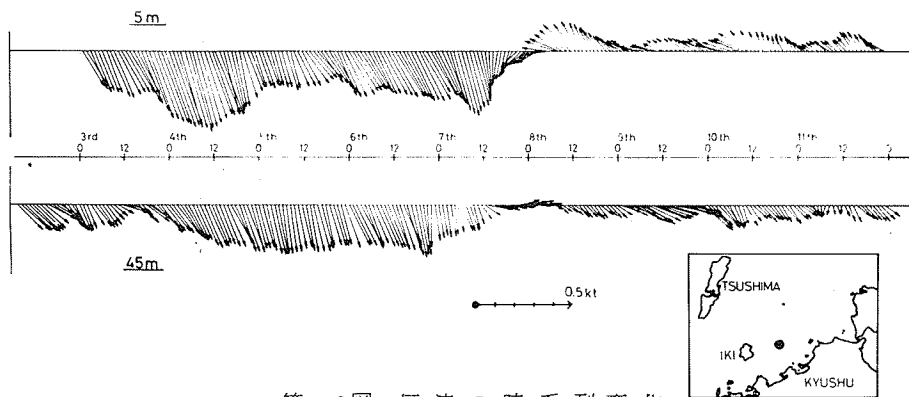
は最後の観測値24個の平均値であるから、これら24個の移動平均を行なってゆけば、恒流の時系列変化が1時間間隔のきわめて連続した形でとらえられる。その結果は第13図のとおりであって、観測期間の前半2~7日では、流速は5m層で0.2~0.5ノット、45m層で0.1~0.3ノットの変化を示しながらも、流向は2層ともに沖合から沿岸水域へ入り込む南~南南東の方向を持続しているが、7~8日にかけて急激な流況変化が認められている。すなわち、5m層の流れは、流向が急速に右旋回して前半とは逆の北西方向となり、流速も0.1~0.2ノットと弱くなっている。一方、45m層の流れは一時的に0.1ノット程度となったが、その後0.05~0.2ノットの南東流となっている。調査期間の後半では、上下層の流れはそれぞれ北西流、南東流の相反した流況構造を持続していたことになる。以上のことは、対馬暖流が沿岸海域の海況に及ぼす変動様式的一端を示すものであり、その変動を第一義的に支配しているものは、対馬暖流そのものの変動機構に深くかかわり合っていると思われる。また、定地水温変化からうかがわれる沿岸海域における数日の時間スケールでの海況



第13図 恒流ベクトル  
 (七管海上保安部 1961年8~9月)



第12図 恒流ベクトル(七管海上保安本部 1964年7月)



第13図 恒流の時系列変化  
(1974年8月2日~11日)

変化は徐々にではなく、ごく短期間で急速になされているものと示唆される。観測期間が短いため、コログラムやパワースペクトルなどから有意性のある卓越周期は得られていない。

## おわりに

本報では、定置測流の成果をできるだけ紹介したいという意向に添って取りまとめられたが、結果的には図の多い皮相的な記述にとどまり、対馬暖流の実体に迫る論議はなされていない。定置測流が、流れを直接把握する方法としてはきわめて重要であるのは言うまでもないが、対馬暖流の実体をとらえる立場から見れば、いろんな調査方式で得られた結果を総合的に整理、検討することが必要であり、定置測流からの限定された情報だけで対馬暖流を論ずることは難かしいばかりでなく、実体とかけ離れた結論に導かれる危険性さえある。ぜひとも、他の資料も加えた総合的な解析が必要である。ともあれ、対馬暖流系の把握には定置測流は何としても必要であり、しかもそれは細密観測網による同時観測が長期間にわたりなされるべきであろう。

また、ここでは本シンポジウムのテーマ「卵・稚仔の輸送」問題と関連付けては論じられていない。むしろ、現段階では基本的に対馬暖流という実体を整理することが第一となり、卵・稚仔の輸送条件として具体的に論議できなかったと言すべきであろう。この点、不本意ながらも、発表の任を果たしたいと思う。

終わりに、過去の貴重な資料の入手に協力され、有益なご意見をいただいた第七管区海上保安本部益本利行氏、海洋資料センター齊喜氏、第十管区海上保安本部板東氏、西海区水産研究所井上尚文氏、玉井一寿氏、山口県外海水産試験場小川嘉彦氏、鹿児島県水産試験場肥後道隆氏に厚くお礼申し上げる。また、海上調査などで常に労をともにしている古田久典氏ならびに本報文の製図を一手に引き受けていただいた藤本真弓嬢に心から感謝の意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 赤松英雄 (1950) : 五島灘に於ける潮流・海流について. 海象と気象, Vol. 4.
- 2) Chang Ki Lee (1970) : On the currents in the western channel of the Korea Strait. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea, 6.
- 3) ——— (1974) : A Study on the current in the western channel of the Korea Strait. Bull. Fish. Res. Dev. Agency Korea, 12.
- 4) 第七管区海上保安本部 (1962) : 玄界灘潮流観測報告.
- 5) ——— (1962) : 響灘潮流報告.
- 6) ——— (1963) : 対馬海峡および東海北部の表面海流.

- 7) —— (1965) : 九州北岸沓岐水道の潮流 .
- 8) —— (1972) : 長崎県五島灘の潮・海流の資料 . 巨大船の海上試運転海面の整備に  
関する調査研究報告書 (日本造船研究協会編) .
- 9) 第十管区海上保安本部 (1973) : 甌島海峡潮流観測報告 .
- 10) Du Byung Lim and Sun-duck Chang (1969) : On the cold  
water mass in the Korea Strait. Jour. Oceanol. Soc. Korea,  
4 (2) .
- 11) 秦克己 (1962) : 北部日本海における輸送水量からみた海況変動 . 日本海洋学会創立  
20周年記念論文集 .
- 12) 鹿児島県水産試験場 (1967) : 甌島定置漁場調査 (潮流調査) .
- 13) —— (1972) : 昭和46年度漁海況予報事業結果報告書 .
- 14) 近藤正人・玉井一寿 (1975) : 東シナ海の流況 . 海洋科学, SYMPOSIUM 63 .
- 15) 三井田恒博 (1962) : 対馬東水道における海流・潮流について . 福岡水試研報, 2 .
- 16) —— (1973) : 過去の研究結果からみた対馬海峡における対馬暖流の流況と消長 .  
第17回西水研ブロック漁海況シンポジウム報告書, 4 .
- 17) 宮崎道夫 (1952) : 日本海の熱経済 (海況予想の研究) . 北水研研報, 4 .
- 18) 永原正信 (1965) : 1962~1964年の日本海における輸送水量の変化と海況変  
動 . 日水研研報, 14 .
- 19) 長崎海洋気象台 (1957) : 対馬暖流の流量変化 (屋久島西方断面) . 海洋速報, 8 (1) .
- 20) —— (1970) : 1970年5~6月東シナ海陸棚海域測流観測報告 . 海洋速報, 58 .
- 21) —— (1971) : 西日本海区観測報告 . 海洋速報, 62 .
- 22) —— (1973) : 西日本海区観測報告 . 海洋速報, 70 .
- 23) —— (1974) : 西日本海区観測報告 . 海洋速報, 73 .
- 24) Sok-U Yi (1966) : Seasonal and secular variations of  
the water volume transport across the Korea Strait. Jour  
Oceanol Soc. Korea, 1 (1~2) .
- 25) 須田暎次 (1938) : 対馬海流の変化について . 陸水学雑誌, 8 .
- 26) 水産庁 (1958) : 対馬暖流開発調査報告第1輯 (漁況海況編) .
- 27) 辻田時美 (1954) : 対馬海峡及び五島天草海域漁場の構造と特に二重潮の発達につい  
て . 西水研研報, 1 .
- 28) 宇田道隆 (1934) : 日本海およびその隣接海域における一斉海洋調査結果 (1933  
年5, 6月) . 水産試験場報告, 5 .



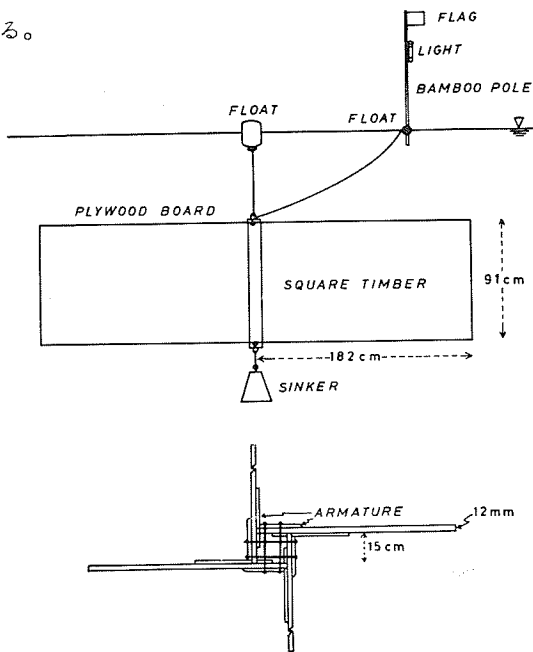
## 2-3 ブイ追跡結果からみた表層の流れ

小川 嘉彦 (山口県外海水産試験場)

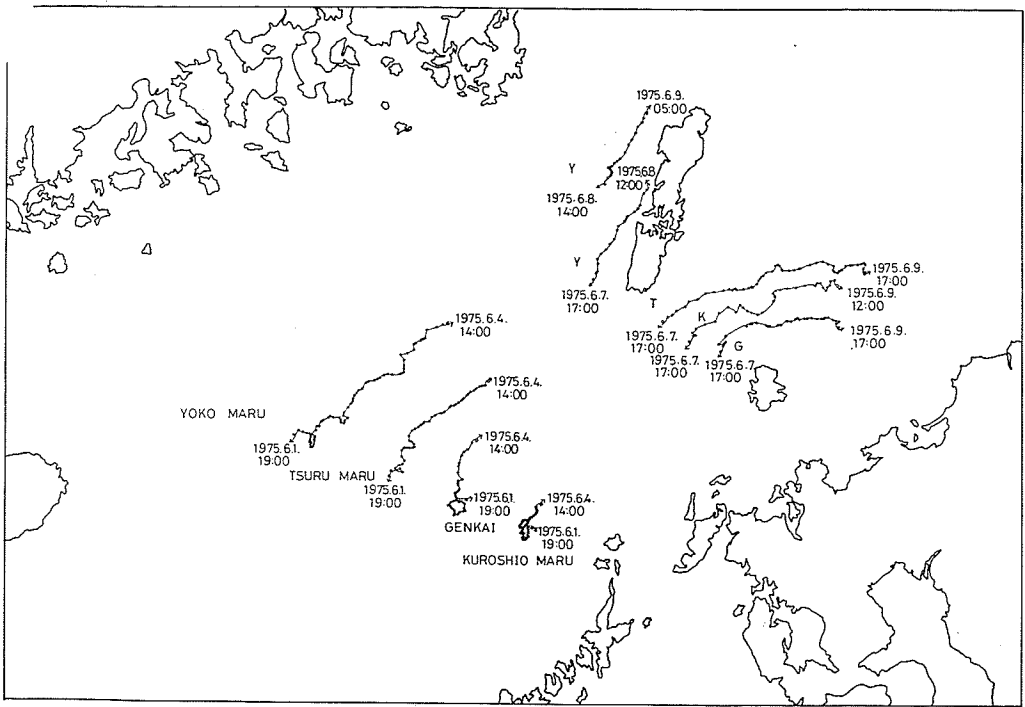
## 要旨\*

本シンポジウムで玉井は海流ビン調査結果を整理して、東シナ海全体の流れのパターンを示し、三井田は定置測流結果をもとに対馬海峡を中心に平均的な対馬暖流の構造と季節変化を論じたが、三井田も氏のORO St.における例として示されたように、さらに細かい変動が海の中ではあり、かつそれが生物輸送などの問題を考える場合には重要である。ここでは、1973~'75年に“東シナ海に関する総合研究”の一部として行なわれたブイ追跡法による表層流測定の結果にもとづき、目下検討中のものを討論の材料として提供し、併せて御批判を仰ぎたい。

1. 実際の調査には、西水研 (陽光丸), 長崎水試 (鶴丸), 佐賀水試 (かがみ), 福岡水試 (げんかい) および山口外海水試 (黒潮丸) が参加した。得られた成果は各機関に共有のものである。
2. 1975年6月に五島沖および対馬海峡で共同観測を実施した。そのうち生物調査については本シンポジウムで田中氏から発表される。
3. 使用したブイは第1図に示すもので、流速が0.6 kt 程度ある海域では風力6程度までは測定誤差は小さいと考えられる。
4. 共同調査時の流跡図を第2図に示す。流速は五島沖では沖合に行くほど大きく、沿岸寄りでは0.09 kt ときわめて小さい。沖合では0.65 kt である。各ブイ間で流れ方は異なっていて、相互相関は小さい。対馬海峡では、0.5~0.9 kt の平均流速で、各ブイとも非常に類似したパターンを示している。

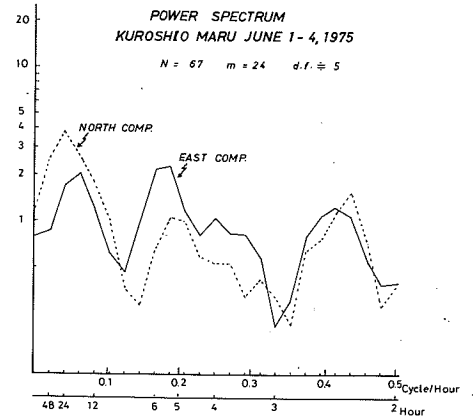
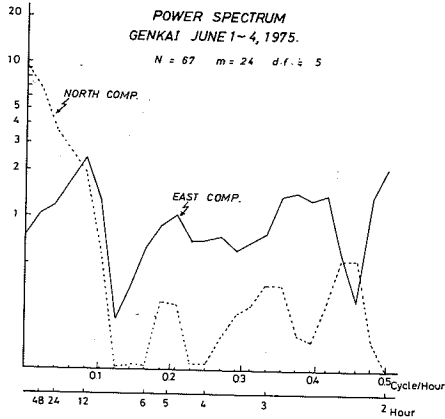
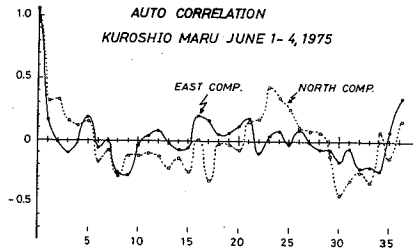
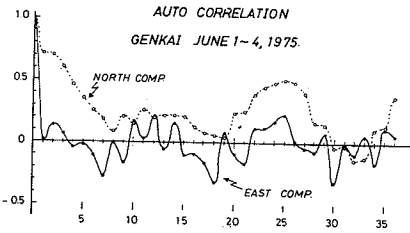
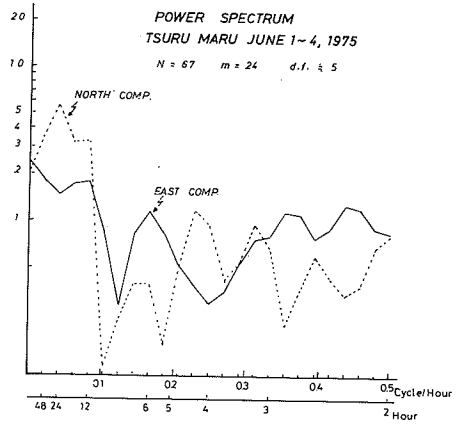
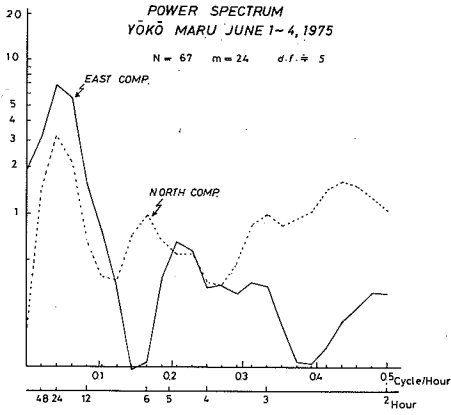
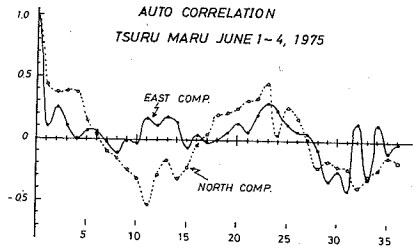
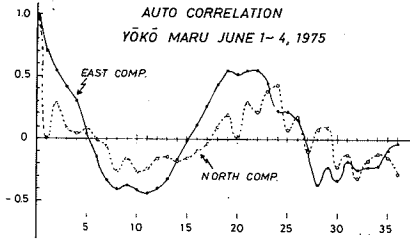


第1図 追跡試験用ブイの仕立



第2図 プイの追跡状況図(1975年6月)

5. 変動成分としては、五島沖の沖合部と対馬海峡では潮汐周期が卓越しているが、沿岸部では短周期の変動が有意性を示す。五島沖の測定にもとづくパワー・スペクトラムを第3図に例示する。こうした傾向は、共同調査時のみでなく、各機関が他の年に別個に行なった結果についても認められる。
6. 調査対象海域はカタクテイワシの主要な産卵場のひとつであると考えられるが、同じオーダーの空間スケールでのプイの分布の変化をみると、分布面積の変化率 $Q$ は、 $10^{-6}$ のオーダーで小さい。
7. 三井田が先にORO st.の観測から指摘した数日単位の時間スケールでの変動については、追跡した期間が短いではっきりしないが、流れのパターンは、気圧配置の変化とよい相関を示し、気圧配置の変動にもなう東シナ海と日本海の水位差の変化にもなう流れの変化が存在することが、ひとつの可能性としては考えられる。



第3図 追跡結果の時系列分析

8. 以上の調査は表層の流れに関するものであり、生物輸送、あるいは分布との関連では、中・底層の流れの様子、相互の関連を知る必要があるが、今回の調査では各船の作業能力の限界から表層（現実には海面下5m）のみの測定しか行なわれなかった。また、追跡期間が短く、かつ一回の測定であるので“代表性”についても疑問が残る。
9. いくつかの重要な点で問題はあるが、長年の間、口では言われながら実現し得なかった共同調査を実施できたことは“すばらしい成果”であると思われる。

※ シンポジウムでは主として共同調査結果にもとづいて大略上記のような要旨の発表を行なったが、正式のとりまとめ方法については西海区水研ブロック場所長会議の議を経ることとしているので、その後に詳細の報告をしたい。

## 2-4 海流クラゲ調査からみた海底流および流れに関する総括

井上尚文（西海区水産研究所）

### 1. はじめに

大陸棚海域における海底付近の流れについては、定置測流による測流点に限られてその状況が知られるが、広範囲にわたり、かつ長期間の動向については、水温や塩分の分布などからの推測によるほかはなかったように思われる。しかし、1968年8月に東シナ海大陸棚上で、川合等<sup>1)</sup>によって始められた海底用人工クラゲ（以下、人工クラゲと呼ぶ）を用いた調査の結果から、当海域における海底流の動向について、かなりの知見が得られるとともに、大陸棚上の海底流調査にとって、人工クラゲは有効な手段であることが実証された。以降、現在までに西海区水研をはじめとして、最近では南西海区水研、韓国水産振興院によっても東シナ海で同種の調査が進められている。

ここでは当水研で1969年11月から1971年6月までに東シナ海中南部で実施した8回の調査（投入総数約13,000個）のうち、主な調査結果から海底流の概要について述べる。

なお、本シンポジウムの流動班の最後の話題提供者ということで、流れに関する総括を行なうことになっているが、前の話題提供者である玉井・三井田・小川の三氏が、それぞれの立場から詳細な報告をしているので、具体的な内容についてはそれにゆずるとして、ここでは西日本海域のいわゆる対馬暖流域の流れに関して概貌を述べる。

## 2. 海底流調査の概要

海底流調査に用いた人工クラゲの構造や投入方法などについては、川合・他<sup>1), 2), 3)</sup>の報告に詳しいが、以下に簡単に記しておこう。

人工クラゲの構造はアメリカ東岸の調査などで使用されているWoodhead Sea-bed drifter (A. J. Lee et al., 1965)<sup>4)</sup>とほとんど同型で、ポリエチレン製の凸面になった丸い笠(直径18cm)と、1本の足(長さ約50cm)から構成されている。海底流調査用クラゲには海面に浮き上らないように、足の先端部に管状の錘をつけ、全体の重さを海水の比重よりやや大きくしている。水中では笠の部分が浮いて、足はほぼ真直に立ち、その先端は海底に軽く接している。流れがあると海水とともに海底を這うようにして流れる。なお、笠には報告事項を印刷した耐水性のラベルが貼布してある。調査に際しての人工クラゲの投入は、そのままでは沈降速度が遅いため、海底に達するまでに表層中層でかなり流され、海面投入点と海底到達点に位置の「ズレ」が生じてくる。したがって、沈降速度をなるべく早めるために、川合等は沈降用の錘りとして溶解性の塩塊・砂糖塊、西水研では離脱用の管状鉛と小石などを用いている。さらに南西海区水研ではナンゼン採水器の転倒機構を利用して、船上からメッセンジャーによって、海底付近で直接分散させる方法をとっている。

投入された人工クラゲの回収は、その性質上すべて海底で拾得され報告される。拾得者は東シナ海に出漁している我国の機船底曳網漁船が主体であるが、韓国や台湾の底曳網漁船からも、相当数の報告を受けている。中国からはまだ1件の回収報告もないが、大陸棚西部の海域では、おそらくかなりのものが中国漁船によって回収されているものとみられる。

## 3. 人工クラゲの投入・回収状況からみた海底流の動向

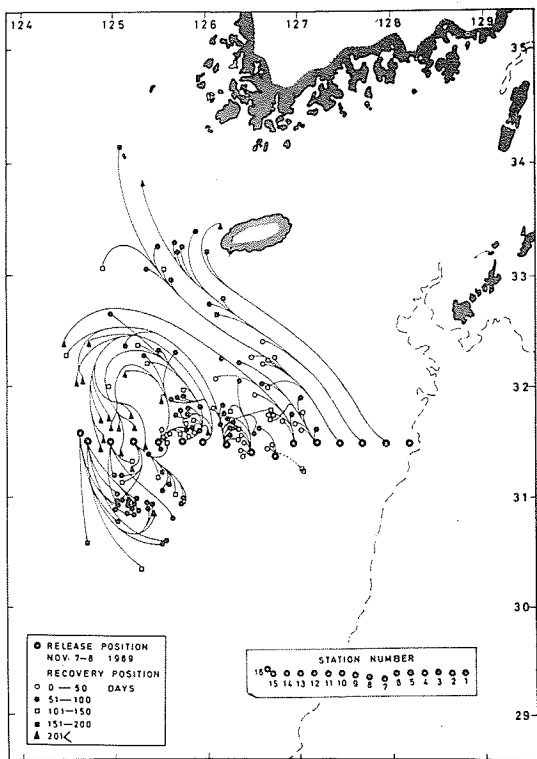
まず、最初に川合等の調査結果から得られた知見についてみると、1968年8月2～3日に、奄美大島北西～北北西140～200哩の大陸棚の9点で合計1,788個の人工クラゲが海底に投入された。投入してから約1年間に海底より94個が回収されているが、これらの投入・回収位置と経過日数から大陸棚上での人工クラゲの流跡や海底流について、

- (1) 投入点海域よりほぼ100m等深線に沿って、31°N付近までは北方に向かい、涇州島南西60哩付近を経て黄海南部に入り込む海底流の存在することが明らかにされた。漂流速度(直線移動距離)は1日当たり0.5～1.5哩であった。ただし、人工クラゲは海底摩擦の影響を多少受けるので、実際の流速はこれを若干上回っていると見積っている。
- (2) 投入点付近の海底流は、対馬海峡(対馬東西水道)に向かうものと推定されていたが、この調査の結果では否定的な傾向が示された。

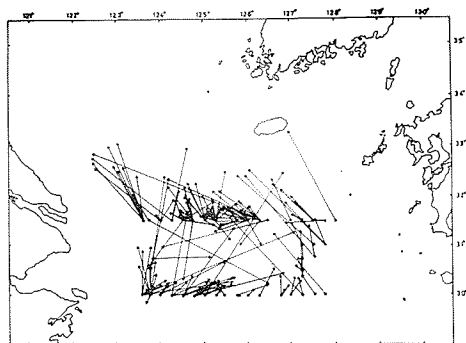
以上のような知見が得られたが、東シナ海大陸棚上では潮差が大きく、海底付近でも潮流がかなり発達しているし、大陸棚上では水塊配置の変動が季節的に大きく、それに伴う海底流の変動も当然あるとみなければならぬ。したがって、当海域の海底流に関しては海域別に、ま

た季節別に調査を繰り返す必要のあることから、当水研では1969年11月以降、断片的にはあるが調査を重ねてきた。

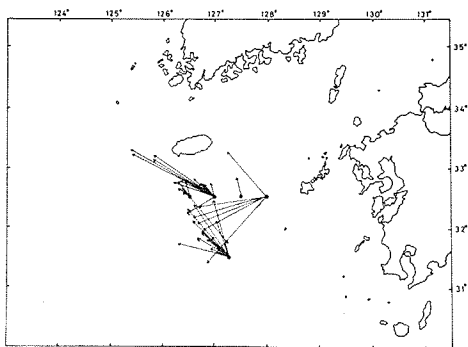
第1～4図は調査次別の人工クラゲの流跡図である。第2～4図では、投入点と回収点を直線で結んでいるが、第1図は投入後の経過日数を50日間隔に回収の位置を示し、水塊配置を考慮して移動状況を描いた。放流点は31°30'N線上に約15涅間隔で配置し、1点につき100個、合計1,600個を投入した。投入後約1年間の総回収数は164個で拾得率は10%を若干上廻っている。なお、回収率は流れ去る海域と対応する漁船の操業位置に大きく左右されるので、調査海域と時期によって異なってくる。ちなみに第5図は人工クラゲ投入後の以西底曳網漁船による曳網数を農林漁区別(緯度、経度30分区画)に表わしたものである。5ヶ月間を合計した曳網数に比べて回収された人工クラゲの数があまりに少ないため、回収率に関する解析は果せないが、操業傾向と回収率との



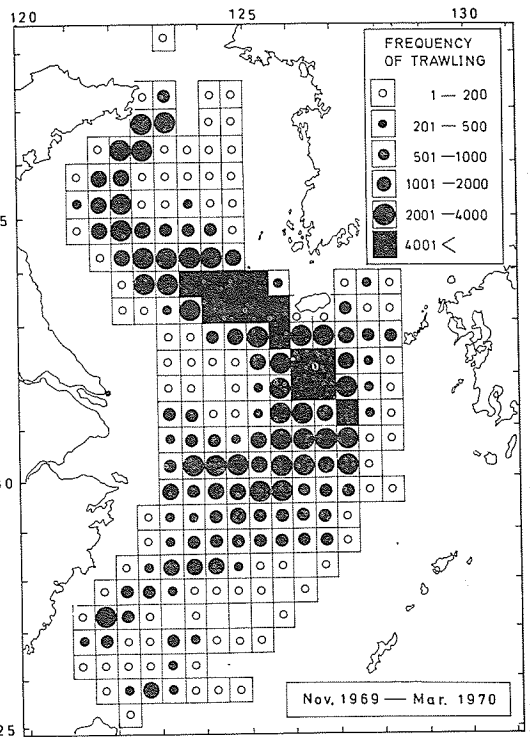
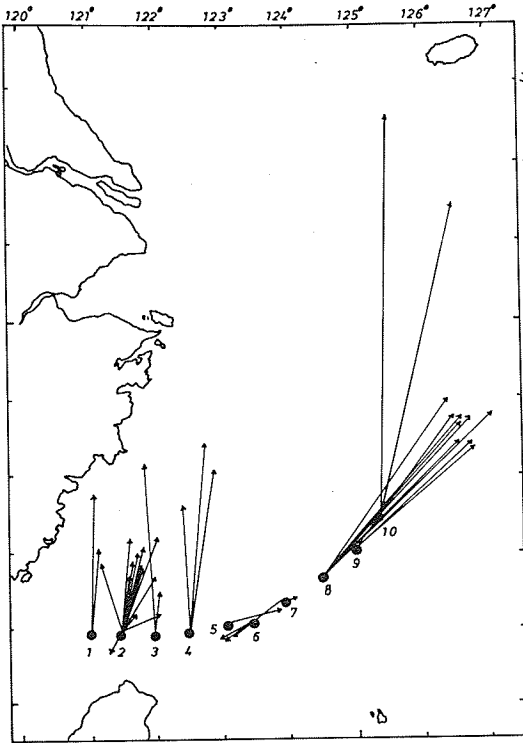
第1図 1969年11月に投入された海底用人工クラゲの投入点と投入後50日間隔に示した回収点



第2図 1970年5月に投入された海底用人工クラゲの投入点(黒点)と回収点(矢印)



第3図 1970年10月に投入された海底用人工クラゲの投入点(黒丸)と回収点(矢印)



第4図 1971年6月に投入された海底用人工クラゲの投入点(黒丸)と回収点(矢印) 数字は投入点番号

第5図 機船底曳網漁船による農林漁区別の曳網回数(1969年11月~1970年3月の合計曳網回数)

関係、および以西底曳船の漁獲率の試算についての可能性は示されているようである。

さて、投入初期(0~50日)では、東寄りの投入点3~6で投入された人工クラゲは北西方向にかなりの速さで流れている。それを直接移動距離にすると、1日当たり平均速度は1.5~2.0 哩となるが、なかには2.5 哩の速さで流れているものもある(第6図)。

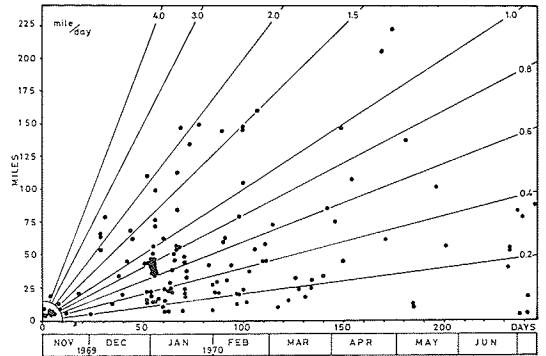
中間部の7~12点で投入されたものは、投入点付近海域での回収が目立っており、緩慢な動きを示している。

西寄りの4点(13~16)からのものは、投入後50日以内には1個も回収されなかったが、50日経過後の12月末から1月初めになると、投入点から南東海域で急に回収され始めた。これは漁船の操業位置と人工クラゲの移動方向の関係をよくあらわしている。

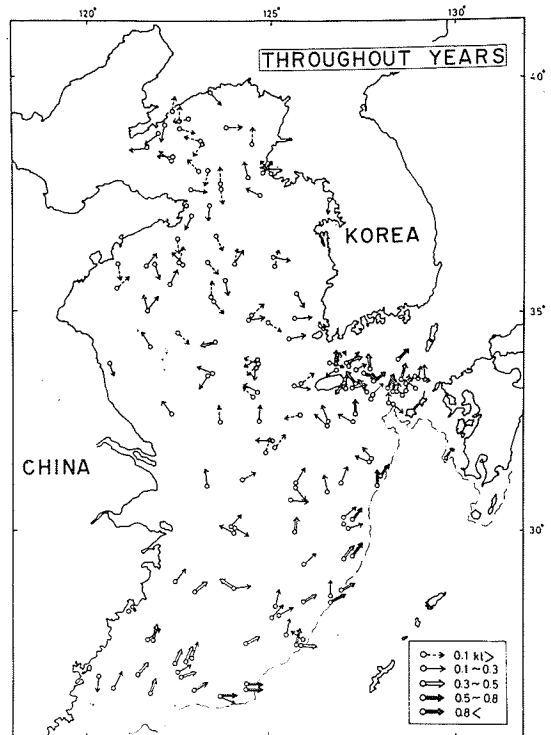
すなわち、投入点海域では11月から12月中旬までは操業がほとんど行われていない。そして回収が急増した1月に入ると、その海域にかなり多くの漁船が集中して操業している。このことは投入された人工クラゲが正常に海底流に乗って流れていたことを裏付けるものであ

ろう。また、その速さは南東方向に1日当たり0.4~0.8哩の範囲であった。50日以降は日数がたつにつれて、東側で投入された人工クラゲは済州島南西をかすめて黄海方面に流れているが、1973年頃から韓国国立水産振興院が行なった人工クラゲによる海底流調査でも、済州島西方から済州海峡方面へ流れる海底流の存在が報告されているし、三井田が定置測流結果の恒流成分から考察した結果も、海底付近で相当強いことを示している。

以上は11月上旬の調査による海底流の動向であるが、東シナ海中部の大陸斜面に近い大陸棚上の海底流が済州島南西を指向して黄海方面に流れることについては、川合等の調査結果と一致している。また、1970年11月の同海域における調査やその他の季節の調査(第3・4図)からも類似した海底流が認められる。さらに、井上・川合(1972)<sup>5)</sup>による海底等深線と海底水の等温線分布の関係から推定された海底流ともほぼ一致している。そしてこれらの海底流の動向は水塊配置の変動と関連深い。すなわち、冬季における大陸沿岸水・黄海冷水の南東方への張り出し、それに伴う黄海暖流の増勢、さらには春先から晩秋にかけて水温躍層下に分布する黄海底層冷水の北退などからみあっているが、東シナ海南部から大陸棚上(海深100~200m)をほぼ等深線に沿って北東流する海底流で、これは定常的な流れとして存在しているようである。ちなみに、第7図は東シナ海における過去の定置測流資料(第七管区海上保安本部)から作成した海底付近の



第6図 1969年11月に投入された海底用人工クラゲの投入より回収までの経過日数に対する直線移動距離(原点よりの放射直線は漂流速度 海里/日を示す)



第7図 定置測流による海底付近の恒流ベクトル



恒流図である。

測流の時期は異なるが、同図からも知られるように、大陸棚外縁から大陸斜面にかけての流れは、ほぼ200m等深線に平行して北東を指向しており、31°N付近で、北西方向に転じていることが認められる。速さは人工クラゲの移動速度よりも、かなり大きい、これが実際に近い流速であろう。人工クラゲの場合は、海底摩擦の影響をうけること、流速の算出にあたって直線移動距離を使用しているため過小評価となっているとみられる。

ところで、人工クラゲの移動状況から得られた黄海方面を指向する海底流を主流として取り扱えば、五島列島と済州島を結んだ線から対馬海峡方面にかけての海底流はどうなっているであろうか？

今までに投入された人工クラゲのうちで、五島列島西方から北方の海底で回収された例は今回までに1件もなく、第3図からみても、対馬海峡方面へ北流する海底流の存在については否定的でさえある。しかし、三井田の報告や第7図の恒流図によると、海底付近にも、はっきりした北方流が存在し、しかも、強流帯も形成されている。人工クラゲの場合は、おそらく、底曳漁船の操業が少ないことや、操業があったとしても流れる場所と一致しないため回収されなかったことも考えられる。したがって、対馬海峡方面に流去する海底流と、上記の東シナ海大陸斜面に沿って北上する海底流の主流との直接的な結びつきを全面的には否定できない。しかし、この海域（済州島—五島列島）では地形条件や水塊配置の動きを加えて考える必要がある。すなわち、ソコトラック海域（32°32'N, 125°15'E）から南東方に向かって張り出してくる黄海冷水の先端が大陸斜面付近まで大きく張り出す場合は主流が直接に連続する可能性はほとんどないが、黄海冷水の張り出しが弱い年や、夏季に向かって北退する過程では主流が連続するものとみられる。また、対馬海峡方面の中層以浅の流れは別としても、この方面の海底流の根源をなすものは、大陸斜面にごく近い海域か、五島南西海域の“く”の字型の海底谷を辿って北上する、いわゆる対馬暖流の中層水と連続する可能性も十分考えられる（川合・坂本1970）<sup>1)</sup>。ふたたび第1図についてみよう。西側の4点で投入した人工クラゲは、明らかに冬季の中国大陸沿岸水の張り出しを物語っている。また、中間部の投入点の人工クラゲの移動状況は投入初期（秋から初冬）における黄海底層冷水の北退・消滅と、この冷水の消滅によって更新され、冬季に発達して黄海方面から南下張り出してくる黄海冷水の二つの水塊の動きを反映している。

今まで述べてきたことは、海底水温分布の変動から推定された海底流をほぼ裏付けているが、意外に思われるのは1970年5月の調査における人工クラゲの移動状況である。すなわち、大陸棚西部（揚子江沖合）の大陸沿岸水の分布域で北～北西への流れを示していることである。これについては推測の域を出ないが、投入後季節が進むにつれ、海況が夏型に移行したこと、大陸沿岸寄りでは4月ごろから主風向が冬季の北西風から逆転して南東風になることなどから、表層水の南東への流れの補償として海底付近では北西流となるということ。もう一つには浅海

のため風の効果（吹送流）が海底まで達するという、二つが考えられるが確かなことは今後の調査や解析にまたねばならない。

なお、第4図は台湾北方の黒潮分派域の海底流を調べるために、1971年6月上旬に水産庁調査船開洋丸で投入した人工クラゲの移動状況図である。1点につき200個、合計2,000個が投入された。回収された個数は41個で回収率は2.1%とあまり良くないが、大部分は台湾の漁船から、投入後短期間に報告されたものである。

台湾北方の4点（1-4）で投入された人工クラゲは真北に向かって1日当り2.1~3.0哩のかなりの速さで移動している。ちょうど、黒潮分派と同じパターンをとるが、海底流としては比較的優勢である。黒潮分派そのものも、今までに知られているよりも強い流れではあるまいか。投入点5~7からのものは回収が少なく、明確なことはいえないが、この海域は海底谷状の地形をしているし、辻田<sup>6)</sup>のいうように、もしcascadingが起るとすれば、それによって投入直後、大陸斜面の深みの方に流れ沈降したのであろうか。投入点8~10の人工クラゲは大陸棚外縁に沿って1.0~1.5哩で流れている。以上、当水研で1969年から始めた海底用人工クラゲを用いての調査から、東シナ海大陸棚上の海底流の動向について述べたが、要約すると、

- (1) 東シナ海大陸斜面に平行して、大陸棚南部の大陸棚上を北北東に流れる海底流は3°N付近で向きを北西に進んで黄海南部に達する。そしてこの流れは定常的に形成されていると見なすことができる。
- (2) 大陸棚西部では冬季に南東方に向う海底流が存在するが、春から夏に向かっては北西の流れとなる。
- (3) 上記の海底流の中間域は黄海底層冷水の舌状先端部にあたり、秋季から冬季にかけて、北流から南流へ移行するが反時計廻りの流動を示す。以上のことを含めて水塊配置の季節変動を考慮すれば、済州島南方の海底にはかなり大きな循環流が形成されていることが推定される。
- (4) 台湾北方の黒潮分派域の北方への海底流はかなり強いことが知られる。
- (5) 人工クラゲの移動状況から済州島-五島列島を結んだ線を境界として、その南と北の海底流の関係が明確でないが、この海域の海底流は水塊配置の変動によって「ふれ」の大きいことが考えられる。

次に海底流動と関連深い堆積物について若干述べよう。一般に浅海堆積物は複雑な海水流動を永年にわたる平均的な姿としてよく反映しているとみられる。第8図は堆積物の中央粒径値の分布図である（井上, 1970）<sup>7)</sup>。数値は $\phi$ 単位で、-1以下は礫、-1~4は砂、4~8沈泥、8以上粘土に区分される。浅海堆積物を形成する際の一般則として、粒度組成における礫質部、砂質部、泥質部の中央粒径値（Md  $\phi$ ）が-6, 2, 8付近にそれぞれ分級の良い粒揃いの堆積物集団がある。<sup>8) 9)</sup>そしてこの三つの粒度付近では堆積条件に安定さをもっている

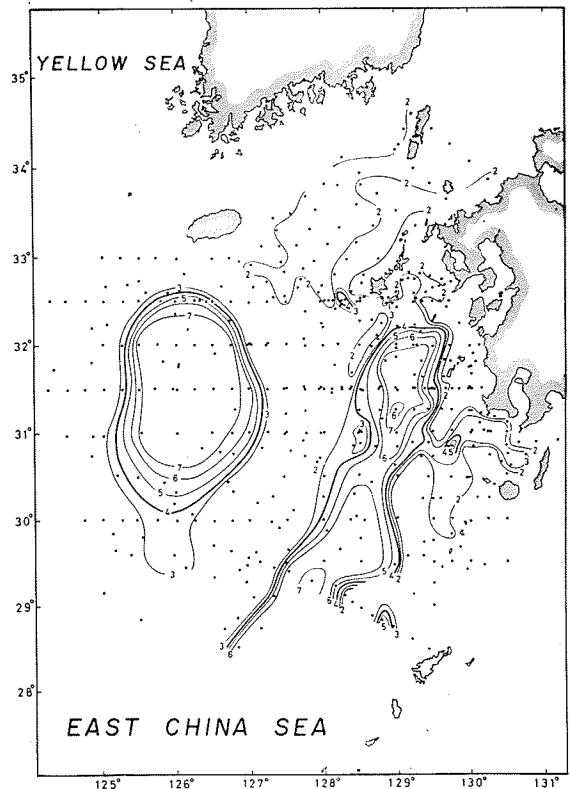
ことが知られている。

すなわち、海水の動きが比較的安定しているということになるが、東シナ海では第8図から明らかなように、大陸斜面に平行して北東に流れ黄海方面に達する海底流の分布域に、分級の良い細砂 ( $Md \phi 2 \sim 3$ ) が対応していることは海水流動を良く反映している。さらには、この海域の大陸斜面寄りには relict sediment の帯状分布<sup>10)</sup>がみられる。これは海底における侵蝕とはゆかないまでも微粒子の再堆積を許さないだけの海水の動きを示すものであり、海底付近でも流動の強いことが示唆される。一方、済州島南方にみられる粘土に近い微粒で、かなり分級の良い泥質堆積物の分布は、堆積条件としては全般的に海水の動きが緩慢で、内湾・浅海における環流域内の堆積物分布の特徴<sup>11)</sup>を顕著にあらわしている。

以上、海底用人工クラゲ調査結果からみた東シナ海大陸棚上の海底流についての概要であるが、繰り返して述べてきたように、大陸棚海域における海底付近の海水流動は水塊配置の変動と密接な関係があるが、水塊そのものは季節変動のほか、多くの変動要因を含んでいる。したがって海底流の究明にあたっては今後、多くの調査の積み重ねも重要であるが、水塊、海底地形、気象等も含めた相互的な解析が必要であるし、調査にあたっては、さしあたって、投入時はもちろん、投入後一定期間隔に調査海域を含むかなり広範囲の海洋観測資料が得られると、海底流の解明にとっては非常に都合が良い。また、観測年次は異なっている、過去における多くの貴重な資料、これは何も定置測流観測資料に限られたことではないが、それらを見直すことによっても、大陸棚上の海底流について今までにない多くの知見が得られるものと考えられる。

#### 4. 流れに関する総括

冒頭に述べたように、3名の話題提供者から、海流瓶調査、定置測流、追跡調査と流動測定手法別に過去の資料および最近の調査資料の整理解析の結果から流れに関して、それぞれ具体的に発表され、西日本海域の対馬暖流について、今までに得られていなかった特性が多く明らかにされた。対馬暖流



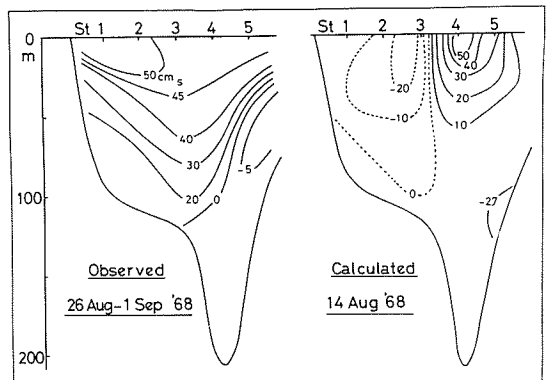
第8図 海底堆積物の中央粒径値 ( $Md\phi$ ) の分布

に関しての科学的調査はL. Sherench の対馬暖流の発見とその名の命名によって、1870年代の初期にさかのぼるので、その調査研究の歴史は1世紀以上になる。この長い研究史のなかで、その時代時代の先輩達が知見の集積に心血を注いでこられたことは否定するものではないが、西日本海域の対馬暖流に関して言えば、暖流としての海流像が黒潮等のように具体的に鮮明に浮び上ってこない。これについては川合<sup>14)</sup>がすでに論じているように、海流として黒潮等に比べて、その流速が弱く、厚さが薄く、幅が狭く、流路の屈曲が著しいため、その総観的な観測と解析が非常に困難である。さらに外洋では流速の観測方法が厄介なばかりでなく、解析方法も複雑であるということに加えて、浅海のため気象の影響を受け易く、さらに大きな潮差のための潮流の発達、他水塊との接触、その他複雑な変動の要因の多様性のため、対馬暖流をあらゆる角度から検討し、その実体を具体的に、かつ間違いなく述べることは、ここでも非常にむずかしい。

それには過去の知見も含めて、いろいろな方法で調査された個々の資料の整理解析の結果や流動を主体とした、今後の多くの調査の総括的な解析なしには対馬暖流の実体解明に迫ることはできないように思われる。

確かに、個々の研究結果から対馬暖流の特性として、その一面が知られる場合も多いが、反面、間違った解釈に落ち入る危険性もある。例えば、既に三井田<sup>12)</sup>や李<sup>13)</sup>が述べているように、地衡流場が成立しているとして求めた、力学計算による流速や流量がかなり実態に近く、そのまま暖流特性と解釈されるものがある。一方、第9図は釜山と対馬間に配置された定置測流結果から求めた恒流流速分布と、この断面における力学計算による流速分布を対比したものであるが、両者の結果は全く一致していない。このことは海域の地形や海洋特性を考慮しない単なる力学計算がいかにか実態を誤らすかという一例であろう。

本シンポジウム「九州西方海域における卵・稚仔の輸送」に関連して筆者らに与えられた課題は流れであるが、流れ一つにせよその実体は非常に複雑で理解しにくい。しかし、水産の立場から水産生物資源の再生産過程を考える場合、流動と魚卵・稚仔魚のかかり合い(集積・拡散・輸送等)の問題は欠すことのできない重要な研究課題である。対馬暖流という流れが再生産過程のなかで発生初期(卵稚仔期)に及ぼす役割は大きいと観念的には言われているが、一方に卵稚仔という生物系と片方に流動という海洋系の

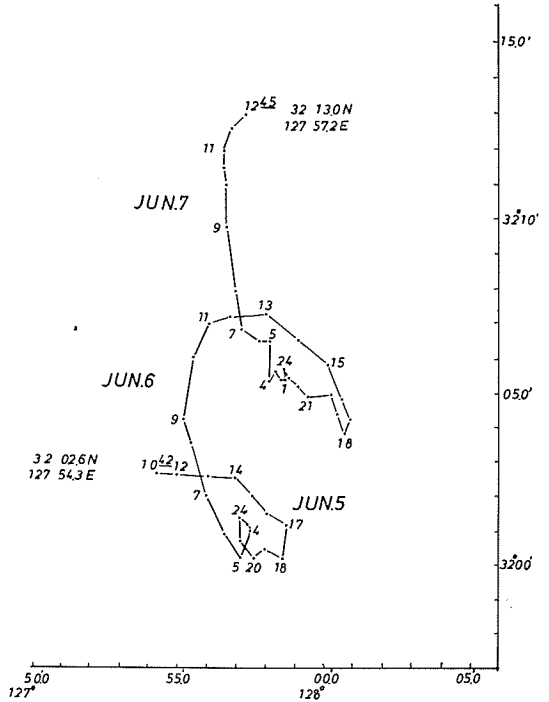


第9図 対馬西水道(韓国観測線)における恒流流速と力学計算流速との比較(李昌起, 1970)

それぞれ独立した領域があって、現実的にはそれぞれの実体と変動の法則性を掘り下げ、明確にしてゆくことから出発しなければ、この方面の進展は多くを望めないように思われる。

以上、流れに関する総括としては多少的はずれのことを述べたが、最後に1973～1975年の3年間、西海区水研ブロック各県水試と共同で西日本海域の対馬暖流域で行なった、ラグランジェ型の流動観測結果の一例を多少述べて終りとしたい。なお、同調査については小川氏が詳細を報告している。

第10図は1974年6月上旬に男女群島西方で実施した漂流板の流跡図である。連続50時間足らずの追跡時間であるので、確かなことは言えないが、北方への流れに、約24時間位の周期の潮流が加わっている。潮流以外の流れについては明らかでないが、慣性円に類似した流れの存在も認められないことはない。しかし、この海域は慣性円流の周期と1日周潮流の周期がほぼ同じで、どちらの流れが影響しているかはっきりしない。この調査では海水の平均移動速度は30cm/secであるが、直線移動距離におすと、10cm/secに過ぎない。いずれにしても、この海域の流れは単純でなく、流動を通して、魚卵・稚仔魚およびプランクトン等の集積・分散・輸送を考える場合、時空間的にかなり綿密な調査により正確な流れの実態把握が必要であることを示している。



第10図 10m層における漂流板の流跡  
(1974年6月5～7日、西水研陽光丸)

参 考 文 献

- 1) 川合英夫, 坂本久雄 (1970): 人工クラゲにより観測された東シナ海海底流について - I. 南西水研研報, (2), 39-48.
- 2) 川合英夫, 永原正信 (1973): 人工クラゲにより観測された日本海大陸棚海底流について - II. 日水研研報, (24), 1-19.
- 3) 井上尚文 (1975): 東シナ海大陸棚付近の流動. 海と空, 海洋気象学会, 15 (1).
- 4) A. J. Lee, D. E. Bumpus and L. M. Lauzier (1965): The Sea-bed

- drifter. International commission for the Northwest Atlantic Fisheries Research, Bull.(2), 42-47.
- 5) 井上尚文, 川合英夫(1972): 人工クラゲにより観測された東シナ海海底流について - II. 西水研研報, 42, 91-105.
  - 6) 辻田時美(1957): 東シナ海及び対馬海峡の海洋学, 1. 漁場の水理構造とその生態学的特徴. 西水研研報, 13.
  - 7) 井上尚文(1970): 黒潮分派(対馬暖流基幹部)の分岐機構に関する研究, 黒潮国際共同調査に関する総合報告書, 45-51, 科学技術庁研究調整局.
  - 8) 鎌田泰彦(1959): 長崎郊外網場湾の海底地質, - 矢上炭田の研究その2 -. 長崎大学学芸学部自然科学研報(10), 1-14.
  - 9) 鎌田泰彦(1967): 有明海の海底堆積物. 長崎大学教育学部自然科学研究報告.18.
  - 10) Niino, H. and K. O. Emery (1961): Sediments of Shallow Portions of East China Sea and South China Sea. Sea. Geol. Soc. Amer. Bull., 72, 731-762.
  - 11) 井上尚文(1970): B. 橋湾の海底地形の概要と堆積物の粒径分布.
  - 12) 三井田恒博(1972): 過去の研究結果からみた対馬海峡における対馬暖流の流況と消長, 第17回西海区水研ブロック漁海況予報会議におけるシンポジウム報告書, 63-86.
  - 13) 李昌起(1970): 朝鮮海峡における流れについて, 韓国水産振興院報告, 6.
  - 14) 川合英夫(1974): 対馬暖流-海洋構造と漁業-日本水産学会編, 恒星社厚生閣, 7-26.

### 3 輸送機構と減耗

#### 3-1, 卵・稚仔・プランクトン等の離合集散機構

坂本 亘(東京大学海洋研究所)\*

##### 1. はじめに

生物の卵・稚仔の離合集散に関しては、海水の流動が大きく影響を与えている。しかし海水の流動と物質の輸送の類似性については未知の点が多く、又、その保存量である塩分、水温の変動と生物行動についても、ほとんど知られていない。

\* 現在京都大学農学部

海洋生物は進化の過程でいくつかの環境変動に対する適応性を生得的なものとして有している。その適応性と環境因子の関係がすべての生物について異なるため、単に自力移動がすくないという理由で、卵・稚仔を一括して輸送理論の中でおしこめ論ずることは適当ではないように思われる。ここでは、そのような生物による特性を三段階に分類し、その中で最も特徴的な二つの集散形態について考察した。すなわち、

- 1) 通常状態では流動にともなう強制分散力より相互集合力の方がまさり、群行動を維持しうるもの。(稚魚期以後の回遊魚)
- 2) 流れに対してほとんど受動的ではあるが、若干の集合力を有するもの。(動物プランクトン)
- 3) 全く環境に対して受動的であり、その離合集散は海水の流動変化により一義的に決定されるもの。(魚卵、植物プランクトン)

1) に関する離合集散の研究はほとんど見られないので、演者等が行なった群行動の数値解析をのべ、又、3) に関しては輸送過程における増殖を考慮に入れて、過去に行なわれた研究の中から紹介する。

## 2-1. 魚群行動の数値解析

流動にともなう強制分散力より、相互集合力のまさっている海洋生物(主として魚類)は群行動を行なう。魚の群行動はその遊泳、集合の形によって、SchoolあるいはAggregation等とよばれて区別されていた<sup>1)</sup>。しかし、現在、魚群については次のように考えられている。<sup>2)</sup>

“群とは魚が生得的に持つ相互誘引力による遊泳形態であり、その中には二つが考えられる。一つは各個体の向きも相互間隔もばらばらに単に集まっているだけのもの(non-polarized school)、他の一つは等定位、等間隔を保っているもの(polarized school)である。この二つの形は永続するのではなくさまざまにくり返されるのが常である。”

群行動に関しては、数多くの論文があるが、群がなぜ変化するのか、その変化の法則性は存在するのか等の解析はほとんど行なわれていない。これは測定方法を主として観察にたよるため、測定精度、観測時間等に大きな制限を受けることによる。

したがって群の変化に関する基礎的研究には、コンピューターによる数値解析方法も大きな武器となりうる。

魚の群行動にも運動の第二法則が成立つものとすれば、次のように示される。

$$F = m \frac{d^2 P}{dt^2} \dots\dots\dots 1)$$

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 \dots\dots\dots 2)$$

ここで、Fは個体に作用する力、mは質量、Pは位置ベクトル、tは時間、F<sub>1</sub>は平均遊泳

力,  $F_2$  はランダム力 (無意識的動きをもたらす力),  $F_3$  は個体間相互影響力,  $F_4$  は環境から個体に作用する力,  $F_5$  は遊泳時の魚体摩擦抵抗力をそれぞれ示す。計算に際しては, 摩擦抵抗力を無視し, 環境変動もほとんど群行動には影響を与えないと想定した。

したがって2)は

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad \dots\dots\dots 3)$$

となる。平均遊泳力はランダム行動が大きくなるほど小さく見積られるから, 相互に反比例すると考え,

$$F_* = F_1 + F_2 = (a + r_n) q \quad \dots\dots\dots 4)$$

とした。qは乱数に比例して小さくなる速度ベクトル,  $r_n$  は正規乱数で平均値0,  $3\sigma = a$ , ( $\sigma$ は標準偏差)を考慮, aと $r_n$ の間は

$$0 \leq (a + r_n) \leq 2a$$

と考え, ランダム数と平均遊泳を関係づけた。

$F_3$  は個体間距離が離れすぎると接近するよう, 又, 接近しすぎると反撥するような力を想定し,

$$F_3 = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \left\{ \left( \frac{h}{R_0} \right) |P_i - P_j| - h \right\} \frac{(P_i - P_j)}{|P_i - P_j|} \quad \dots\dots\dots 5)$$

ここで, Kはj番目の個体の周囲に想定した作用円の半径 ( $R_0$ ) の中に存在する他個体の数, hは相互誘引力のパラメーター,  $P_i$  は他個体の位置ベクトルをそれぞれ示す。シミュレーションには36個体を均一になるよう分散させ, その動きを次々プロットした。力の組合せは次の四通りを考えた。

- i) 相互間誘引力の全くない場合:  $F_3 = 0$ ,
- ii) ランダム成分と平均遊泳力の全くない群の動き:  $F_* = 0$ ,
- iii) 相互間力が十分強い場合:  $F_* \ll F_3$ ,
- iv) 二つの力が均衡を保っている場合:  $F_* = F_3$

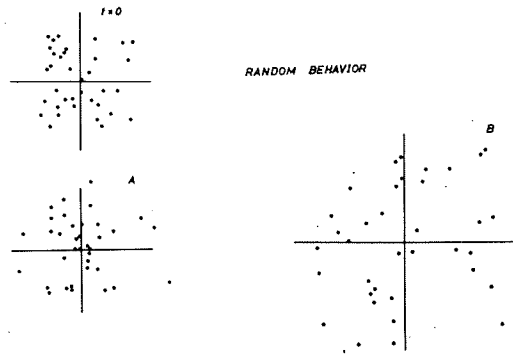
## 2-2. 数値解析の結果

それぞれの結果を第1図から第5図迄に示す。群は相互間影響力がなければ分散してしまう (第1図)。しかし逆に相互影響力だけでランダム成分がなければ一つの団塊状になりほとんど分散しない (第2図)。

相互間力が強い場合は, 各個体は次第に収斂して, しかる後, A~Dまでの分布状態をくり返す (第3図)。  $F_*$  と  $F_3$  が均衡を保っていると, 群はある大きさ迄分散するが, 各々の分散の度合いに濃淡が生ずる。この濃い部分の一つをとり出し, さらに計算を続けても, これ以上の分散は見られなかった (第4, 5図)。

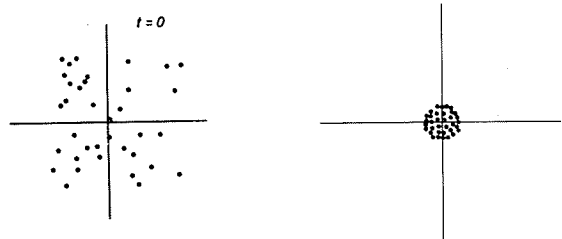


魚卵等の分散はおそらく第1図に示されるような動きであり、ランダム成分は海洋の乱れによって決定される。又、ゴンズイの幼稚魚に示されるような団塊状の群は非常に相互誘引力の強い状態と考えられるから、ii) の条件にあてはめて考えることができる。一般に魚群の行動に示されるのは、iii) あるいはiv) の条件時であろう。これらの力のバランスは必ずしも絶えず一定ではなく、変化を続けている。



第1図  $F_3 = 0$  の個体の動き、A、Bは任意経過時間を示す  $t_0 = 0$

離合集散はiii) とiv) の条件のくり返される周期を各生物種によって変えながら計算することになるが、それには魚種、発育段階、環境等すべての資料を考慮に入れねばならない。

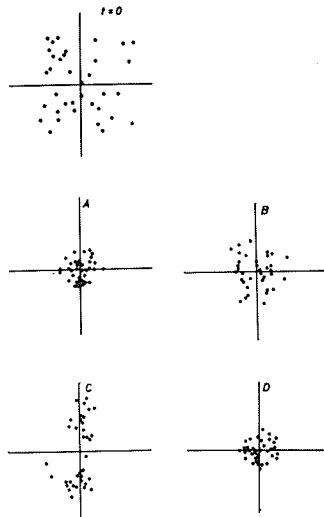


第2図  $F^* = 0$  の個体の動き、時間と共に集合したままになる

環境要因の変動はおそらく相互誘引力と何等かの相互関係にあるものと推定される。今後は各々の種に適した海洋環境の測定も行ない、より正確な行動の推定を行ないたいと考えている。

### 3. 植物プランクトンのパッチに関する解析

行動力のない魚卵と植物プランクトンはその移動に際して、海洋変動の影響を大きく受ける。しかし、両者の間で本質的に異なる点は、輸送される過程での増殖の有無であろう。植物プランクトンには増殖の項が加



第3図  $F^* \ll F_3$  の個体の動き、AからDに向って動きがくり返される

わる。

海洋における流れの変動については、次のように考えられている。すなわち、流れは平均流（観測の長さ、測器の精度によって異なる）とその中に存在する乱れの成分から構成され、乱れに関しては、スペクトルによって表現される。それは局所的等方性乱流場であると考えれば、運動エネルギースペクトル  $E(K)$  と乱れの波数  $K$  との間には、

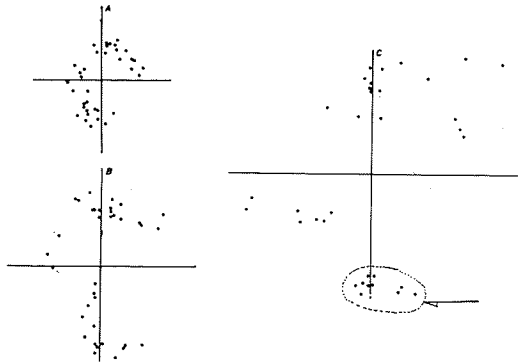
$$E(K) = A E_0^{2/3} K^{-5/3}$$

( A : 定数  
 $E_0$  : エネルギー逸散率 )

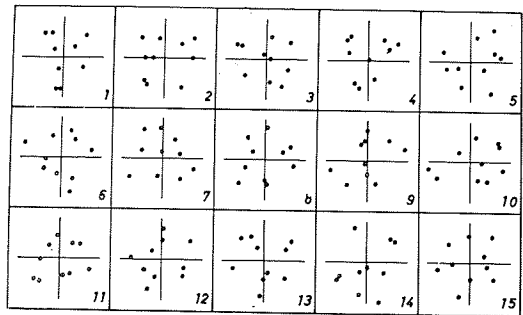
が成立し、乱れが内部波に起因するとすれば、波数の  $-1 \sim -3$  乗則が成立つとされている。

海洋中のプランクトンパッチについて考えると、移動は平均流により、又、パッチ内の分散は乱れによって左右されよう。一般にパッチとは他と比較して単位体積当りの存在量が多い部分であるが、明確な規定はなく、研究者により、そのとらえ方には相異がある。統計的な考え方として興味深い研究例をあげると、中田、石川 (1976)<sup>3)</sup> の岡山湾における植物プランクトン変動の解析例があげられる。

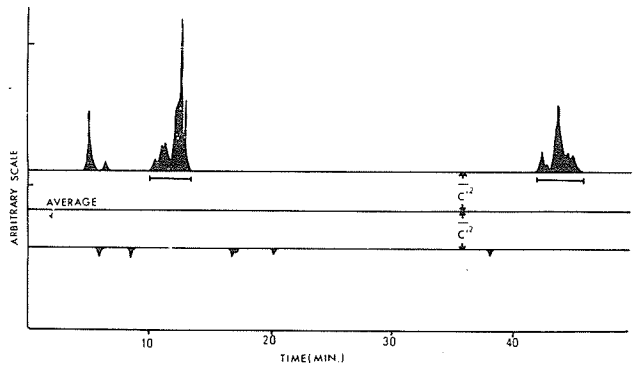
測定は現場用蛍光光度計（バリオセンス）により、一定点で50分間続けられた。パッチを考えるに当たっては、平均値を計算し、分散の上下巾を求めた。パッチとしては、上限



第4図  $F^* = F_3$  の個体の動き、Cの部分で三つの集合体が見られる



第5図 第4図破線で囲まれた部分のシュミレーション、これ以上は分散しなかった



第6図 プランクトン変動から考えたパッチ  $\bar{C}^2$ ,  $\bar{C}^2$  の巾は上下の分散値を示す

よりさらに高い値を示した部分を考えた(第6図参照)。又、変動のスペクトルは第7図に示すように $-\frac{5}{3}$ 乗則にしたがっていた。このことは、同海域における植物プランクトンの変動は、流動に良く似た動きを示していたことになる(詳しい説明は、大久保明, 1975)<sup>4)</sup>。

第6図からもわかるように、測器を通過したパッチの部分は三個所示されている。上流から移動してきた速さがわかれば、パッチのサイズについても推定が可能となる。

そのサイズを $L_c$ とすれば、

$$L_c = \bar{V} \int_0^t R(\tau) d\tau \dots\dots 6)$$

ここで、 $V$ は平均流速を。又、 $R(\tau)$ は50分間のプランクトン変動の自己相関係数を示す(第8図)。もし、このパッチが輸送されるとすれば、分散と繁殖を同時に考慮に入れねばならないから、そのサイズにはおのずと限界が生ずる。上記の $L_c$ を限界サイズと仮定すれば、

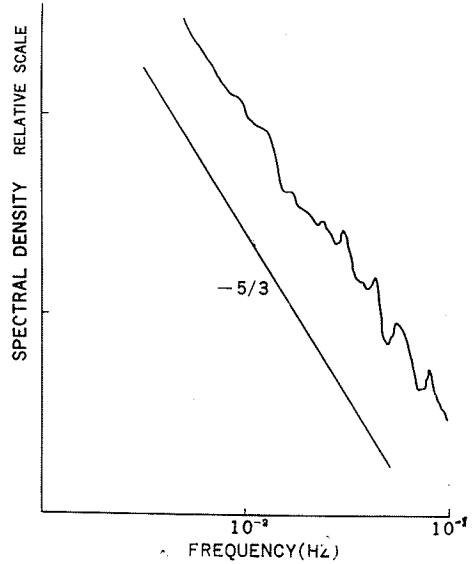
$$L_c = \pi \frac{D}{\alpha} \dots\dots 7)$$

として与えられる<sup>4)</sup>。ここで、 $\alpha$ は増殖率、 $D$ は拡散率をそれぞれ示す。 $D$ は海洋においても

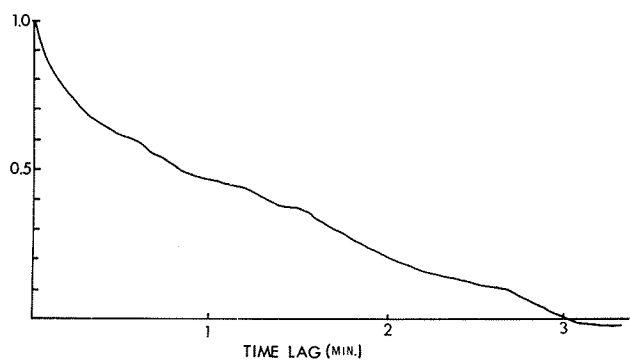
現象スケールの $\frac{4}{3}$ 乗に比例することが知られているから<sup>5)</sup>。

$$D = C \cdot L^{\frac{4}{3}} \dots\dots 8)$$

ここで、 $C$ は無次元常数であり、 $0.01$ の値を考えた。同海域で同時に行なった流速結果では $V=40\text{cm/sec}$ を得た。6)から時間を計算すると約180秒となり、この値は第6図に示されたパッチの通過時間とも良く対応していた。各々の数値を7), 8)に代入すると、 $\alpha=1/\text{時間の値}$ を得た。



第7図 植物プランクトン変動のスペクトル



第8図 変動の自己相関係数

現実には1時間に1個体が1回増殖することは不可能であるから、このような海域ではパッチは次第に拡散して行くことが想像される。しかし、研究の方法としては、海洋環境と同時に量的変化を測定することによって、はじめて離合の機構解明に近づくことができる訳であるから、注目に値する研究といえよう。

#### 4. おわりに

現在、海洋の流れ、乱れ等の解析は、その変化の過程 (Process) がランダムであるとの前提に立って行なわれている。過程がランダムであるという事は、それが確率法則に支配されていることを意味し、海洋中の物質の濃淡は必然的に均一化される方向にしか移動しないことになる (エントロピーの増大方向)。しかし、群行動は明らかにエントロピーの増大とは矛盾する部分があり、単なる拡散理論では解決し得ない。

パッチの分散についても、水平方向では海水の運動量の逸散にその類似性を求めることは可能であろうが、垂直方向での移動は異なる。水粒子では、水平方向の収斂した分だけ垂直方向へ運動量が移り、全体としては均衡を保っている。卵・稚仔の移動に関しては、垂直方向の水の移動との類似性はほとんど測定されていないが、ほぼ一致しないことが予想される。

水粒子の移動とズレが生じ、取り残された物質の水平方向への濃密化が起る。機構的にはこの部分が見かけ上の集合部となる。

近年海洋の漂流物による追跡実験がさかんに行なわれているが、分散についての測定に興味が行けられ、しかも、乱流スペクトルとどの程度一致しているかが論じられやすい。しかし、水産海洋学的に見れば、分散よりもむしろ、漂流物の集合して行く過程、及び、その部分の内部構造にもっと注目すべきではないかと思われる。何故ならば、我々は水の動きそのものに研究対象を向けているのではなく、水の中に存在するものの動きをとらえようとしているからである。

したがって、測定、解析方法等にいくつかの類似性は見出せても、明らかに異なった哲学の上立っている。その差を明確に認識することにより、新しい海洋生物の離合集散の機構に関する知見が増すものと考えている。

#### 参 考 文 献

1. C.M. Breder, JR. (1959) : Studies on social grouping in fishes. Bull. Amer. Mus. Nat. Hist., Vol. 117. 399-481.
2. E. Shaw, (1970) : Schooling in fishes : Critique and review. in "Essays in memory of T.C. Schneirla." 452-480.
3. 中田喜三郎, 石川公敏 (1976) : 沿岸海域における植物プランクトン量の変動について。日本生態学会誌 (印刷中)。

4. 大久保明 (1975) : 生態学と拡散, 築地書館, P.217
5. 井上栄一 (1952) : 地表風の構造, 農技研報告A, 第2号, 1-81.

### 3-2, 卵・稚仔の離合集散に関する生態学的考察

田 中 克 (西海区水産研究所)

「卵・稚仔の輸送と拡散」は資源の再生産や沿岸域への加入の問題とも密接に関連して、重大な関心が払われてきた。しかし、その関心度の高さにくらべ、研究の蓄積は必ずしも十分ではなく、今後の水産海洋研究の主要な課題の一つと考えられる。

従来一般に使われてきた「卵・稚仔の輸送と拡散」という概念は、魚卵や仔稚魚の流れに対する受働性に根拠を置いているように考えられる。九州西方海域においても、海流ビンや海流クラゲ等の浮漂物による流れの調査から、卵・稚仔の輸送経路についての推定が試みられてきた。海流ビンや海流クラゲと卵・稚仔との本質的な相違は、後者が自らに内在する法則性に基ついて発育・生長する主体であるという点にある。したがって、卵・稚仔の輸送を研究する場合、水の流れと同時に発育・生長の法則性に基づくそれらの生活空間やその移動の可能性について考察を加えておくことが重要と考えられる。

九州西方海域では、1973年以来各県水産試験場と西海区水産研究所が共同で対馬暖流域における流動と水塊変動に関する研究を実施し、最終年度の1975年には漂流板追跡と平行して魚卵・仔稚魚・プランクトン等の採集を実施した。このような調査は卵・稚仔の輸送過程の一端を明らかにする上で重要であるばかりでなく、流れを主軸にした「卵・稚仔の輸送と拡散」の意義や問題点に検討を加える上でも重要といえる。

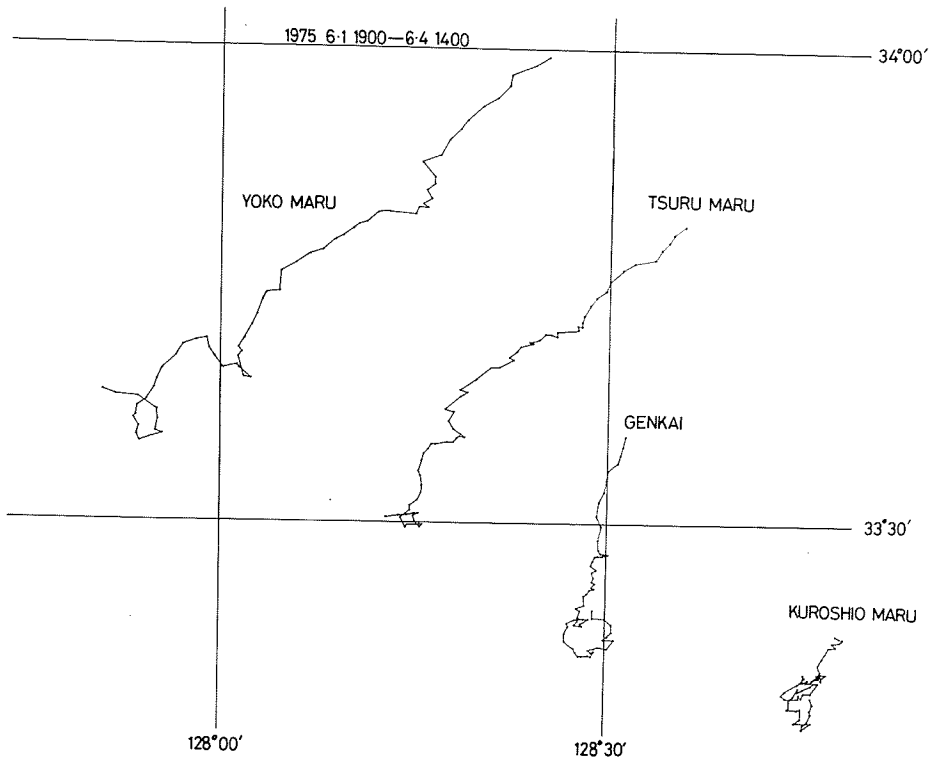
本報では1975年6月上旬に五島西方海域で実施した漂流板追跡調査結果の一部をフィールド調査の一例として紹介し、さらに発育・生長の法則性に基づく卵・稚仔の離合集散の可能性について考察を加える。

#### 1. 漂流板追跡中における卵・稚仔の分布状態の変動

五島西沖の $33^{\circ}19'N$ ,  $128^{\circ}46'E$ と $33^{\circ}38'N$ ,  $127^{\circ}51'E$ を結ぶ直線上に配置した4隻の調査船—沖合より陽光丸(西海水研), 鶴丸(長崎水試), げんかい(福岡水試), 黒潮丸(山口外海水試)—による漂流板の追跡は1975年6月1日19時に開始し、6月4日14時まで継続した。漂流板の追跡層は水深5mであり、用いた漂流板の形や大きさ等については小川(山口県外海水試)が示しているとおりである。漂流板追跡中06, 12, 18, 00

の各時刻には稚魚ネット（口径130cm, 目巾0.345mmの網地使用）による表層水平曳（陽光丸のみ20mの層の水平曳も同時に実施）を, また6月1日20時より2時間間隔にプランクトンネット（口径60cm, 側長200cm, 目巾0.111mmの網地使用）の鉛直曳を実施した。

第1図に示すように漂流板の流跡は沖合域では相対的に単純で, 沿岸域ほど複雑な傾向が認められるが, いずれの場合にも, 潮汐による影響を強く受けている様相がうかがわれる。3日間の直線的移動距離は沖合域の陽光丸で35.6マイル, 沿岸域の黒潮丸では4.3マイル, 平均流速は各々0.81ノットと0.35ノットであった。従来から九州西方海域で実施されてきた浮漂物による流れの調査では, 魚類の一般的な浮遊生活期間に相当する40日程度で, それらが京都府地先まで到達する例や可能性のあることが知られている。一方, マダイ等主要沿岸性魚類の幼稚魚生育場は成魚の分布域とそれほど遠くない九州沿岸地先に形成され, その矛盾が指摘されてきた。上述の沖合域と沿岸域における流速や流跡の著しい相違はこの矛盾の解明に重要な糸口を与えているように考えられる。

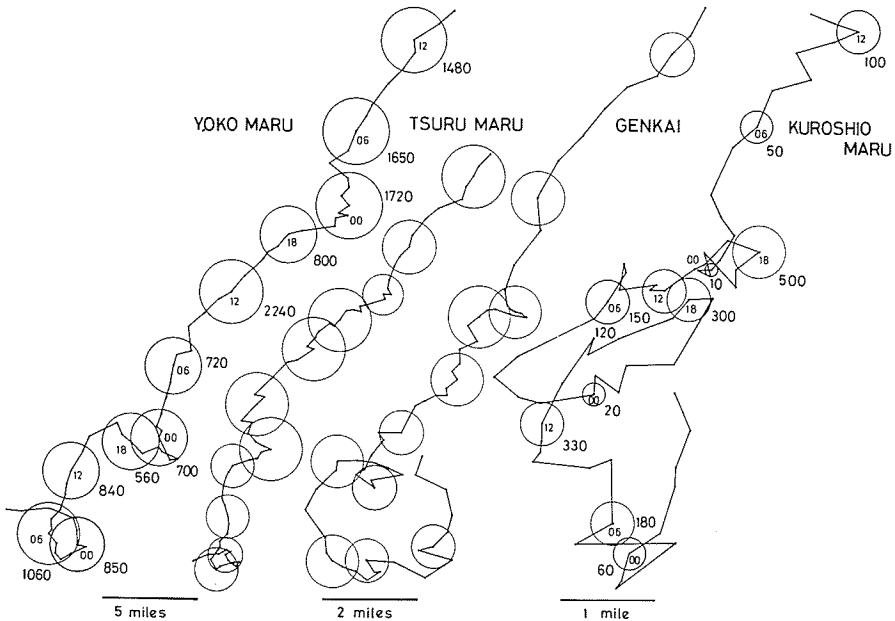


第1図 五島西海岸における漂流板流跡図

1) 表層水平曳よりみた卵・稚仔分布の変動

魚卵の採集量は第2図に示すように沖合域に多く(一曳網当り最高2240個体), 沿岸域では少なかった(同500個体)。一方, 仔稚魚の採集量(第3図)は魚卵とは逆に沿岸域に多く(一曳網当り最高40,350個体), 沖合域に少なかった(同3,070個体)。鰻丸とげんかいの採集量は魚卵・仔稚魚とも中間的な値を示した。採集物の主体は魚卵ではマサバ卵(類似卵を含む), 仔稚魚ではカタクテイワシ仔魚であった。上述のような分布状態は各々の種の産卵場及び発育場の地域的特性の反映と考えられる。

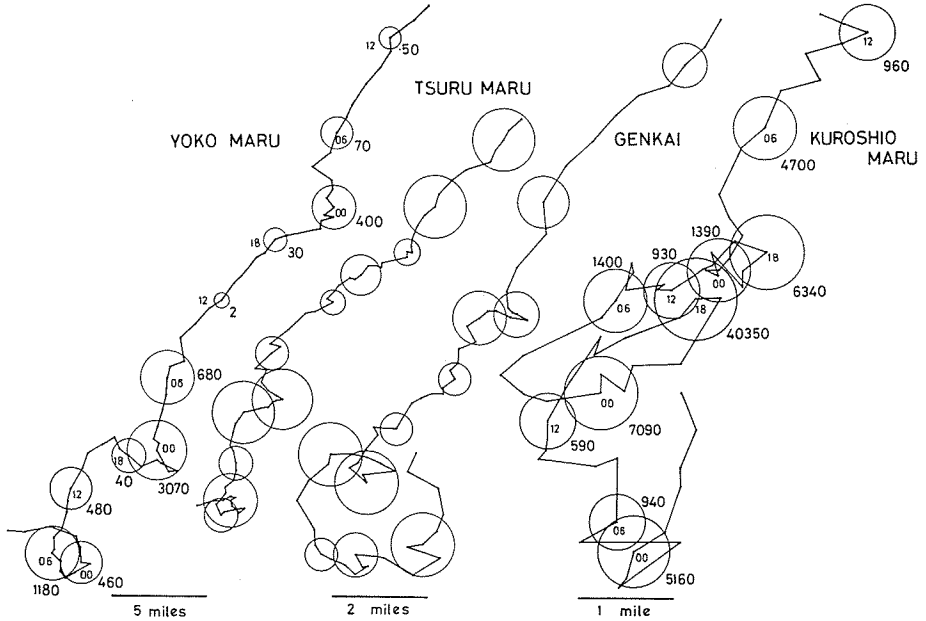
最も沖合の陽光丸の場合には, 魚卵の採集量はマサバ卵の産卵による表層への加入と, 発生 の進展にともなり表層からの離脱の収支を反映して, 比較的安定した分布状態がみられる(第2図)。これは調査海域が対馬暖流の流軸にあたり, 流れが速く流向も北東方向と安定して流れる流動状態とも関連しているように考えられる。一方, 仔稚魚の採集量は流速が相対的に小さく流向変化の著しい追跡前半に多く, 追跡後半には少ない傾向がみられる(第3図)。また, 表層における採集量は2個体から3,070個体まで変動し, 20m層の採集量にくらべてきわめて変動巾が大きい(第4図)。これは昼夜による採集効率の相違や, 日周期的垂直移動等の影響が表層でより顕著にあらわれた結果と考えられる。特定の種を除き, 表層は仔稚魚の生活域としては縁辺部にあたり, 仔稚魚の輸送を考える場合表層における分



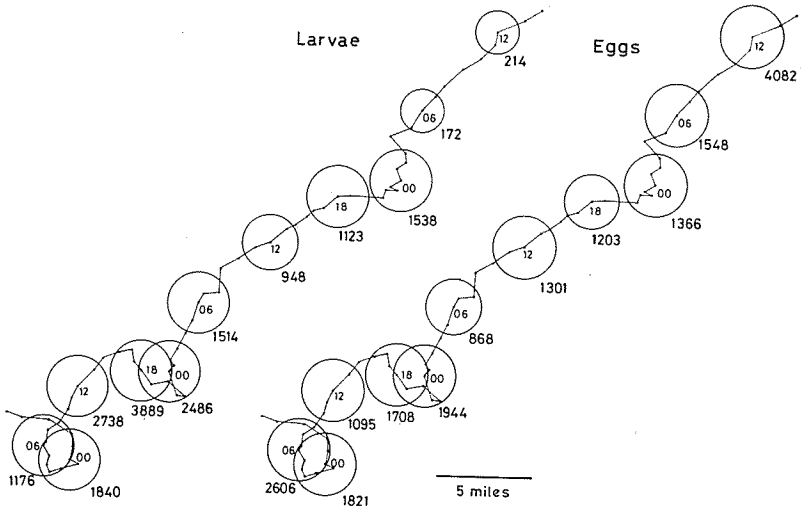
第2図 漂流追跡過程における魚卵採集量の変化(表層水平曳)。円内の数値は採集時刻, 円外の数値は一曳網当り採集量を示す。

布や流れのみでは論議できないといえる。

最も沿岸寄りの黒潮丸の場合、魚卵の採集量はおよそ100~500個体であったが、最も複雑な転流のみられた6月3日12時から4日00時の間には150, 10, 500個体



第3図 漂流板追跡過程における仔稚魚採集量の変化(表層水平曳)。円内の数値は採集時刻, 円外の数値は一曳網当り採集個体数を示す。



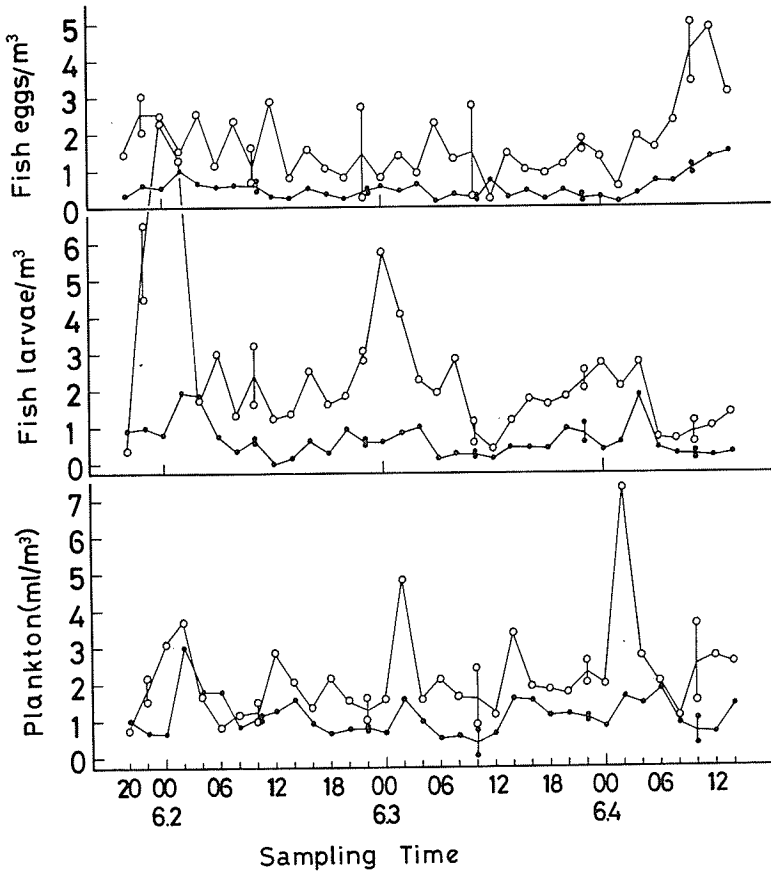
第4図 漂流板追跡過程における卵・稚仔採集量の変化(20m層水平曳き一陽光丸) 円内の数値は採集時刻, 円外の数値は一曳網当りの採集量を示す。



と変動が顕著であった(第2図)。一方、仔稚魚の採集量には590個体から40,350個体までの変動がみられた。この変動パターンは基本的には採集物の90%以上を占めるカタクタイワシ仔魚の日周期的垂直移動を反映したものであり、日没とともに表層に浮上し、日の出とともに再び沈降して表層から姿を消す状態がよく表われている。しかし、その採集量は同一時刻でさえ、06時が940~4,700、12時が590~960、18時が6,340~40,350、00時が1,390~7,090個体とかなりの変動を示す。このような変動は、特定の層に固定した1個の漂流板では把握できない水の動きの影響とともに、仔魚の垂直移動と上下層の流速の相違による追跡群の交代による結果の反映ではなからうか。

2) 鉛直曳きよりみた卵・稚仔分布の変動

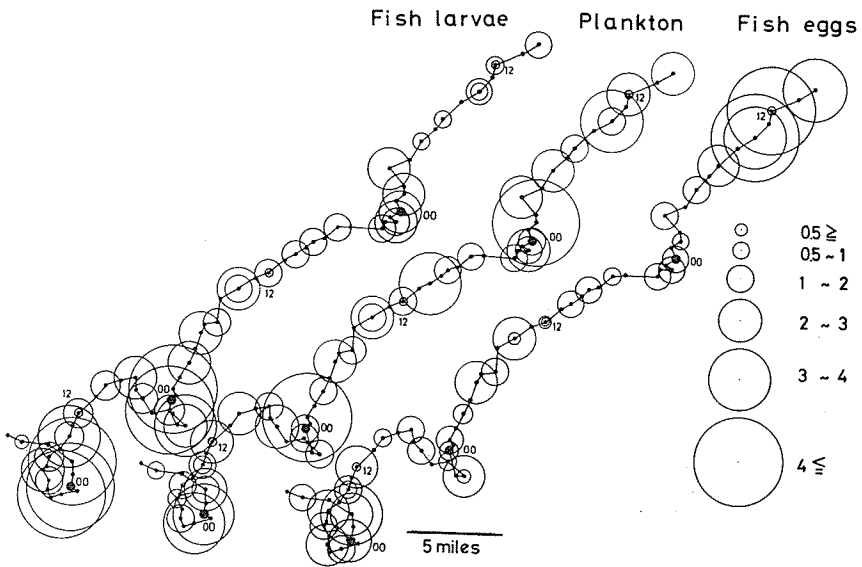
第5図に陽光丸による採集結果を示した。プランクトン沈澱量、魚卵数、仔稚魚数とも表



第5図 プランクトンネットの鉛直曳きによる採集量の経時変化(陽光丸)。白丸は表層曳き(20m層から海表面まで)、黒丸は全層曳き(海底近くから海表面まで)による採集量を示す(1m³当り)。

層曳き（20 m層から海表面まで）では採集量の変異が大きく、全層曳き（海底近くから海表面まで）では小さい傾向がみられる。同様の傾向は10時と22時に実施した2回の曳網結果にも表われている。これは全層曳きでは濾水量が多く変異が平均化されることにもよるが、躍層の上層における生物分布と流動の複雑さに起因していると考えられる。

同一採集時刻における採集量の変異は、表層曳きの仔稚魚数では最高2.5倍であるのに対し、魚卵数では10倍にも達する。これは産卵後の時間経過の短い卵より経過時間の長い仔魚で分散度の高いことによるのであろう。表層曳きによる仔稚魚数やプランクトン沈澱量には転流期に増加がみられる（第6図）。しかし、これらの転流期は夜間のため昼夜による採集効率の影響もあり、さらに詳細な検討が必要である。



第6図 漂流板追跡過程における卵・稚仔・プランクトンの採集量の変化（陽光丸による鉛直表層曳き）。図中の数値は時刻を示す。卵と仔稚魚は1m<sup>2</sup>中の個体数、プランクトンは1m<sup>3</sup>中の沈澱量（mℓ）で示す。

以上のように漂流板の移動を指標とする流動のパターンと稚魚網採集による魚卵や稚仔の分布状態の変化の間には必ずしも単純な対応関係がみられない。これは調査方法の不備や解析の不十分に負うところも大きい。筆者にはこのような状態が自然の実態の反映であり、その中にこそ輸送のメカニズムを明らかにしてゆく糸口が内包されているように考えられる。今後この種の調査による研究を発展させるには、漂流板の流跡は同一水塊の移動を反映するという「仮説」そのものに検討を加える必要がある。稚魚網採集の代表性（信頼性）や卵・稚仔と漂流板の流され方の相違等についても検討が加えられねばならない。さらに、より基本的な問題として、卵・稚仔の発育・生長にともなう生活空間の移動や、日周期的垂直移動といった

環境とは相対的に独自の生物自身の動きをも十分考慮した調査設計が望まれる。

## 2. 卵・稚仔の垂直移動についての考察

卵・稚仔の離合集散は流れや海洋構造、とりわけ海水の「収束と発散」に影響を受けると考えられる。一方、生物の主体的な動きからみると、それは生物リズムによる集合特性と考えられる。すでにフィールド調査における事例で述べたように卵・稚仔の輸送過程を調査する場合、各々の種の発育段階に応じた垂直分布や垂直移動の特殊性を無視することはできない。したがって、ここでは垂直分布に関係の深い生物リズムとして個体発生の法則性に基づく垂直分布の変化 (Ontogenetic rhythm) と日周期的垂直移動 (Diurnal rhythm) について考察を加えたい。

### 1) 個体発生の法則性に基づく垂直分布の変化

魚類の個体発生の初期、すなわち卵期・仔魚期・稚魚期は器官形成の最も著しく進展する時期で、内的・外的諸器官の構造的諸変化に基づいて、生活空間や分布様式にも顕著な変化を經過する時期といえる (第7図)。

魚卵の分布は各々の種の産卵水深や産卵様式により規定されるが、分離浮遊卵の場合、比重は海水とほぼ等しく (清野<sup>1)</sup>、発生初期には浮上する傾向が認められている (西村<sup>2)</sup>、伊東<sup>3)</sup>、渡部<sup>4)</sup>)。魚卵の発生初期における浮上現象は、上下層における流速の相違や海表面近くにおける流れの複雑性と関連して、魚卵の分散度を高める上で重要な意味を持っていると考えられる。発生初期から中期を海表面近くで経過した卵は、発生後期になると比重の増大により沈降する。ふ化直前における魚卵の沈降現象については、飼育実験観察により数種の魚種で報告されている (神谷<sup>5)</sup>、渡部<sup>6)</sup>、福所<sup>7)</sup>)、今回の調査でも表層水平曳きと20 m層水平曳きを比較した場合、マサバやカタチイワシの発生後期卵は20 m層に多く、さらに前期仔魚は90数%以上が20 m層で採集されており、ふ化直前に沈降する現象はかなり一般的ではないかと考えられる。中層でふ化した前期仔魚の膜嚢内側には subdermal spaceが形成され水分を保持することにより (Shelbourne<sup>7)</sup>)、浮力が回復して沈降現象に終止符がうたれる。一般に沈性卵や付着卵は胚発生のかなり進展した段階でふ化するのに対し、分離浮遊卵では諸器官のほとんど未分化な段階でふ化する。これは貧栄養の水深への沈降に対する防止作用として、仔魚の生残には重要な適応的意義を持つと考えられる。

前期仔魚は発生の進展状態に応じて感球等の働きにより小規模な垂直運動を繰り返しながら (山下<sup>8)</sup>)、仰向位や倒立位から仔魚後期への移行とともに正位を保つようになる。このような正位の保持には、脳の発達とともに眼の機能化が重要な役割を果たしていると考えられる。この時期には眼の機能化により光環境への反応が発現し、またある種の魚種では空気を吸入する必然性とも関連して、再び表層へ浮上する可能性が強いと考えられる。後期仔

魚への移行過程の仔魚が表層へ浮上することは、餌料プランクトン、とりわけコペポダのノウブリウス等幼生プランクトンの分布層と一致し、内部栄養から外部栄養への転換という生態上の一大転期を乗り越える上で重要な意味を持つと考えられる。仔魚後期になると視覚の発達とともに中枢神経系や内分泌系の機能化により、各々の種に固有の日周期的垂直移動を開始するようになる。

後期仔魚から稚魚への移行にともない鰭・脊柱・体側筋等の分化や発達が見られ、中心的生活空間が表層や底層等の特定層へ移行する。視覚の高度化による外界の光条件からの相対的独自性の高まりに起因するこのような生活空間の垂直的分化は、側線の機能化による個体間認知の発現と結びついて、次第に群の形成へと発展する。動物性プランクトンについては、日周期的垂直移動の他に成長ともなう大規模な棲息層の移動 (Ontogenetic vertical migration) が知られている (関口<sup>9)</sup>)。一時性プランクトンの場合には、このような垂直移動はプランクトン生活から遊泳生活や着底生活への移行と密接に関連しているように考えられる。さらに、沿岸性の魚類では、それが沿岸や内湾の生育場への来入という水平移動の契機ともなっているのではなかろうか。

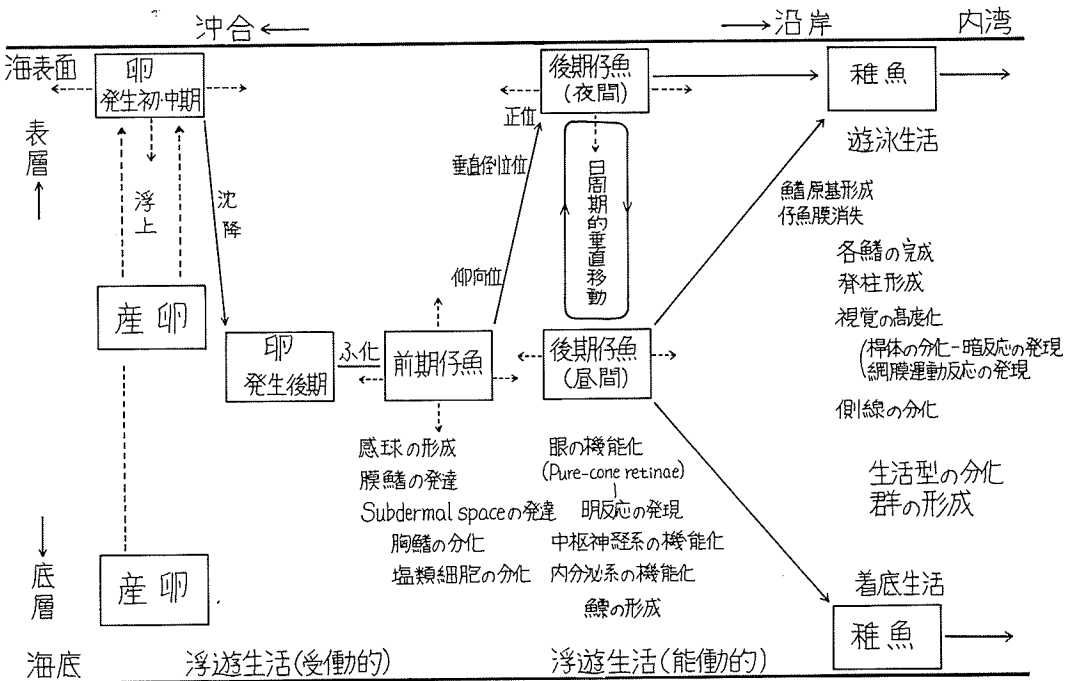
## 2) 日周期的垂直移動

魚類の個体発生の過程で日周期的垂直移動が最初に発現するのは仔魚後期に移行後と考えられる。この時期の仔魚の網膜を構成する視細胞は明反応に関与する錐体のみで、網膜運動反応も未分化である (Blaxter and Jones<sup>10)</sup>, Blaxter and Staines<sup>11)</sup>)。したがって、外界の光の日周変化の影響を直接受け、好適な光環境への単純な反応を通じて日周期的垂直移動を行うと考えられる。すなわち、日没時に照度の低下にともない表層へと浮上し、海表面近くに集中するが、深夜には海水の動きに応じてやや分散する。夜明け時再び海表面近くに一時的に集中した後、照度の増大とともに沈下し日中は中層 (浅海域では底層) を中心に分布する。このような垂直分布の日周変化は餌料プランクトンの日周期的垂直移動とも類似し、総体的には餌不足環境の中にあっても生残りの可能性を高める上できわめて重要な適応的意義を持つと考えられる。

発育の進展とともに垂直分布の様相は変化すると考えられるが、とくに稚魚への移行期には顕著な変化が生じると考えられる。この時期には網膜には錐体の他に桿体が形成され、色素層も発達して網膜運動反応が発現する (Blaxter and Jones<sup>10)</sup>, Blaxter and Staines<sup>11)</sup>)。このような視覚の高度の発達には、外界の光環境の変化に対して調節機能が生じることを意味し、特定層への生活空間の固定化が起きる契機となる。日周期的リズムも仔魚後期とは質的に異なった機序で発現するのではないかと考えられる。

仔稚魚の日周期的垂直移動については Russell<sup>12)</sup>, 岡山水試<sup>14)</sup>, 服部<sup>15)</sup>, Ryland<sup>16)</sup>, 水戸<sup>17)</sup>, Ida<sup>18)</sup>, Seliverstov<sup>19)</sup>等が種々の魚種について報告

している。しかし、現時点においては必ずしも統一的理解には至っていないように考えられる。筆者はこれまで卵・稚仔の器官形成の特殊性を基礎に发育・生長にもなう一般的な垂直分布パターンや日周期的垂直移動についての可能性に考察を加えてきた(第7図)。今後この分野の研究を深めるには、各々の種の发育・生長の特殊性に応じた垂直分布パターンの仮説を立て、フィールド調査を通じて検証していくことが大切と考える。



第7図 卵・稚仔の发育・生長にもなう垂直移動の変化に関する模式図。図中の破線は分散を主要な側面とする移動を、実線は集合を主要な側面とする移動を示す。

### 3. おわりに

今回報告した例は調査期間が短く、単一の漂流板追跡という限界や、仔稚魚の採集層がほとんど表層に限られた点等種々の限界を持っている。しかし、少なくとも流れと卵・稚仔分布を平行して沿岸から沖合域まで同時に調査した点は評価できよう。現在までの整理段階では、流れの変化と卵・稚仔分布の変動との間には単純な関係が見い出せないが、上述の生物自身のリズムを基礎に検討を深めることにより、両者間に“不一致”が生じる原因についての推定が可能ではないかと期待される。

本シンポジウムで三井田(福岡水試)が述べているように、定置測流結果によれば流速は上層で大きく、中下層ではしだいに小さくなる。一方、仔稚魚の遊泳力は飼育実験結果によれば、

通常体長の2~3倍(秒速)であり、体長12~14mmのニシン仔魚では1時間に約36m泳遊できる(Blaxter<sup>20</sup>)。ニシン仔魚は昼夜に より底層と表層の間を垂直移動することが知られている(Seliverstov<sup>19</sup>)。例えば、上層と中層あるいは底層の流速が0.1ノット異なれば夜間上層の浮上群を漂流板を指標に追跡開始した場合、翌日の夜には両者は1マイル程度離れてしまうことになる。このような単純なモデルを考えた場合にも、漂流板の移動と仔稚魚分布との間にはズレが生じることになる。今後立体的に配置した複数個の漂流板を追跡しつつ、それに対応した卵・稚仔分布の調査を実施することにより垂直分布と水平分布及び両者の相互移行の実態が把握できるのではないかと期待される。

魚卵や仔稚魚はその発生や発育の段階ごとに異なった様式で流れに対して適応している。魚卵には魚卵なりの「流され方」があり、それが生存にとってきわめて重要な意味を持つと考えられる。「卵・稚仔の輸送」の問題は魚卵や仔稚魚が環境(とくに流動や水塊)にどのように適応的であるかを明らかにする観点で、生活内容や生き残りを全面的に把握することなしには本質に迫れないのではなからうか。

#### 文 献

- 1) 清野通康(1974):産出卵の卵質評価—海産魚・魚類の成熟と産卵(日本水産学会編), 113~119.
- 2) 西村三郎(1960):マイワシ発生初期卵群の海中における行動. 日本海洋学会誌, 16(1), 25~35.
- 3) 伊東祐方(1961):日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究. 日本海区水研報告, (9), 1~227.
- 4) 渡部泰輔(1970):マサバの発育初期における形態・生態ならびに資源変動に関する研究. 東海区水研報告, (62), 1~283.
- 5) 神谷尚志(1916):館山湾に於ける浮性魚卵並に其稚魚. 水講試報, 11(5), 1~92.
- 6) 福所邦彦(1975):私信.
- 7) Shelbourne, J.E. (1956): The effect of water conservation on the structure of marine fish embryos and larvae. J.mar. biol. Ass. U.K., 35, 275~286.
- 8) 山下金義(1963):マダイ養殖の基礎的研究—1. 稚仔の行動について. 水産増殖, 11(4), 189~206.
- 9) 関口秀夫(1976):動物プランクトンの垂直移動の起源と適応(1). 海洋科学, 8(2), 63~69.
- 10) Blaxter, J.H.S. and M.P. Jones (1967): The development of

- the retinae and retinomotor responses in the herring.  
J.mar.biol.Ass.U.K., 47, 677~697.
- 11) Blaxter, J.H.S. and M. Staines (1970) : Pure-cone retinae and retinomotor responses in larval teleosts. *ibid*, 50, 449~460.
- 12) Russell, F.S. (1926) : The vertical distribution of marine macroplankton, III. Diurnal observations on the pelagic young of teleostean fishes in the Plymouth area. *ibid*, 14, 387~414.
- 13) Russell, F.S. (1928) : The vertical migration of marine macroplankton, VIII. Further observations on the diurnal behavior of the pelagic young of teleostean fishes in the Plymouth area. *ibid*, 15, 829~850.
- 14) 岡山県水産試験場 (1964) : 瀬戸内海中央部における魚卵・稚魚の出現とその生態. 幼稚魚生態調査報告書, 1~85.
- 15) 服部茂昌 (1964) : 黒潮ならびに隣接海域における稚魚の研究. 東海区水研報告, (40), 1~158.
- 16) Ryland, J.S. (1964) : The feeding of plaice and sand-eel larvae in the southern north sea. J.mar.biol.Ass.U.K., 44, 343~364.
- 17) 水戸敏 (1967) : プランクトン期における仔稚魚の生態. 日本プランクトン研連報, (14), 33~49.
- 18) Ida, H. (1972) : Some ecological aspects of larval fishes in waters off central Japan. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 38(9), 981~994.
- 19) Seliverstov, A.S. (1973) : Vertical migrations of larval of the Atlantic Scandian herring (*Clupea harengus* L.). in "The early life history of fish" (Springer-V.), 253~262.
- 20) Blaxter, J.H.S. (1969) : Development: Eggs and larvae. in "Fish physiology" (Academic Press), vol. 3, 177~252.

### 3-3 流れ藻の移動とそれに伴う稚魚の生態

浅見 忠彦 (西海区水産研究所)

古藤 力 (南西海区水産研究所)

花岡 藤雄 ( " )

かつて1957年～1959年に農林水産技術会議の特別研究として全国の水産研究所によって“魚類資源の補給機構に関する研究”が共同でニシン、イワシ、アジ、サバ類を対象にして実施された。このとき魚類資源の補給量を決定する主たる要因として(ア)親魚における卵成熟の問題、(イ)稚仔期における餌の分布と量、(ウ)共喰いを含む稚仔幼魚期の食害、(エ)発生初期の輸送による影響の四つがとりあげられ検討された。それぞれ研究成果が得られたが、特定の時期、海域の特定の資源については各要因の複合した形で補給量に変化を与えると考えられる。(エ)の初期時代の輸送の影響については、特に九州西方域をモデルにして検討されたものであり、今回のシンポジウムの主題である魚類の初期時代、すなわち卵・稚仔期の輸送機構による補給量変動への影響については常に指摘されているものである。

魚類 - 特に回遊性魚類の場合 - は数量変動が大きく、なかでも初期時代の減耗状況の変化が数量変動を大きく左右する。前記のように輸送はその主たる要因の一つと考えられるが、例えばある資源全体にとっては有利(加入条件がよくなる)に働く場合と不利(逸散すなわち生息に困難な水域への輸送)に働く場合とがありその影響の幅は極めて広いといえる。さらにその中でもある海域にとっては有利に、別の海域では不利にという具合に地理的な偏りの生ずることもありうる。輸送の途中稚仔が冷水塊に遭遇して死滅する場合などは逸散の例といえよう。なお海水の流動に関する収束逸散は浮遊生活を営む卵・稚仔期にとっては重要な影響をもつが、魚類資源としての加入逸散とは別のもので、物理的には収束しても生物的には逸散となる場合もある。

海水の流動による卵・稚仔の輸送が魚類資源の補給にとって安定条件として働くか、どの程度の変化を与えるかは、産卵期、産卵場の形成等生物的的要因と環境(特に流れ)との相互の関連による。

#### 1. 魚類資源の補給域としての九州西方域の特徴

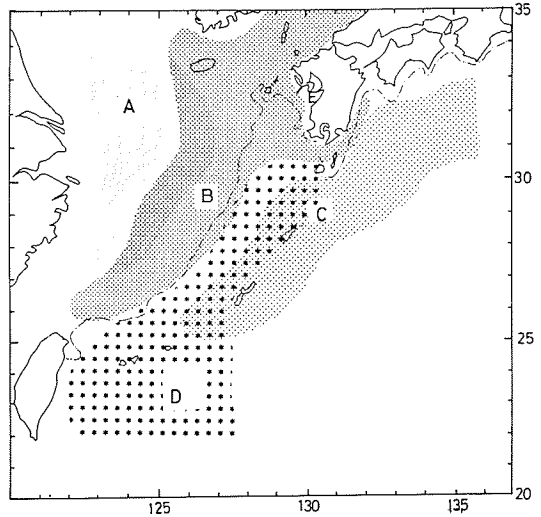
九州西方海域の環境の特徴(特に流れ)については本シンポジウムの前半で井上尚文氏らによって報告されたように、東シナ海大陸棚縁辺部を北東流しトカラ海峡を太平洋へぬける黒潮、九州西方から日本海へ向う対馬暖流、その分派である黄海暖流、黄海から東シナ海へ張出す中国大陸沿岸水によって特徴づけられる。魚類資源の補給域としての九州西方域をごく模式的に示すと第1図のようになり、黄海・東シナ海域(A)はタチウオ、ハモ、ワニエソ、ホウボウなど底魚類の産卵場(シログチ、キグチ、クログチ、マダイ等は更に沿岸域に、レンコダイ等は陸



樹縁辺近くにある), (B)の黒潮と沿岸水との接触域はアジ, サバ類, イワシ, ブリ等沿岸回遊性魚類の産卵場, (C)はサンマ等黒潮反流域を産卵場とするもの, (E)は日本周辺の沿岸性魚類の多くの産卵場である。因みに(D)はカツオ, キワダ等亜熱帯, 熱帯系回遊魚類の回遊路である。

2. 卵・稚仔の輸送に関連する諸問題

卵・稚仔の輸送が魚類資源の補給・初期減耗に関連する事項としては第1表のようなものがある。すなわち産卵期, 産卵場(発生時期, 場所)が比較的安定しているか, かなり変化するかによって, 初期時代の輸送条件が変わり, 水の動きの季節変動の pattern とその変動との相乗効果としてあらわ



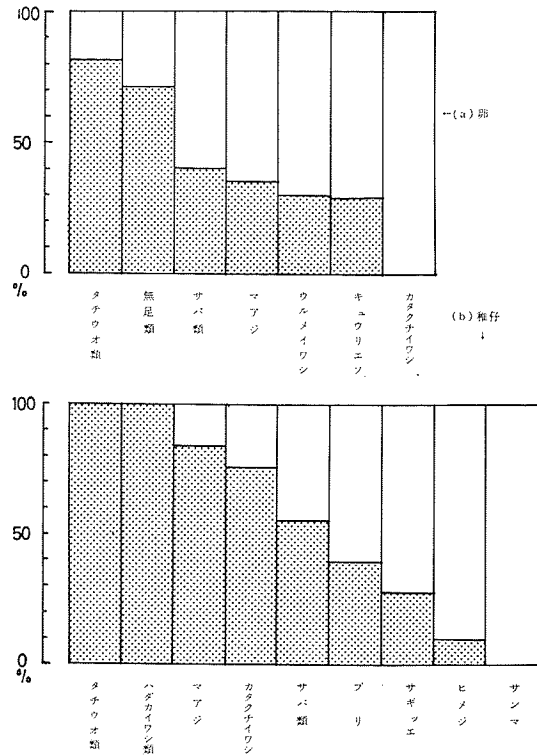
第1図 魚類資源の補給域・九州西方模式図

- A : 底魚類, タチウオ
- B : アジ, サバ, イワシ類, ブリ
- C : サンマ
- D : カツオ, マグロ類
- E : 沿岸性の魚類

れる。1963年(異常冷水年)東シナ海のマアジ産卵場の南偏と卵・稚仔期の季節風吹送によるこの海域の流れの例年との相違が, 本邦の太平洋岸へのマアジ当才群の補給量の増大をもたらしたのはその典型的な例といえよう。卵・稚仔の分布層の相違も輸送状況に変化を与えるものであり, この報告でとりあげた流れ凜の場合, 表層の動きとしてとらえなければならない。卵・稚仔の垂直的な分布の相違については, 魚種による表層性, 中層性の割合を比較的(第2図に示したが, 稚仔についてみると表層性-サンマ-ヒメジ-ブリ-サバ-カタクチイワシ-マアジ-中層性の順となっている点に留意したい。

第1表 卵・稚仔の輸送に関連する事項

魚類の資源・生態		環 境	
産卵期(発生時期)	} とその変化	水の動き	} とその変化
産卵場(発生場所)		一般型	
卵 } 分布域		季節の型	
稚仔 } 分布層		水深による相違	
		特異現象	



第 2 図 稚魚網の表層びき、中層びきの採集割合  
(中層は 20 m 層, 松田星二 (1969) による)

### 3. 流れ藻との関連で留意すべき事項

今回のシンポジウムで流れ藻がとりあげられたのは、幼稚魚期に流れ藻に付き、これを生活の基礎とする魚類がかなり多いこと、しかも輸送と関連が深いからである。流れ藻の水産的効果については千田 (1965) によって総述されているので、ここでは流れ藻およびその移動が魚類の初期時代の減耗 (生残り) にどのような役割りを果たすかについてふれることとしたい。成魚ではシイラが流れ藻に付くがこれは他の幼稚魚に対して捕食種として作用する。流れ藻に産卵する魚種にはトビウオ類、サンマ、ダツ、サヨリ等があり、卵内発生の期間に流れ藻に集る幼稚魚等によって食害も受けながら流れによって運ばれ、海岸に漂着した場合は付着卵の死亡減耗も考えられる。

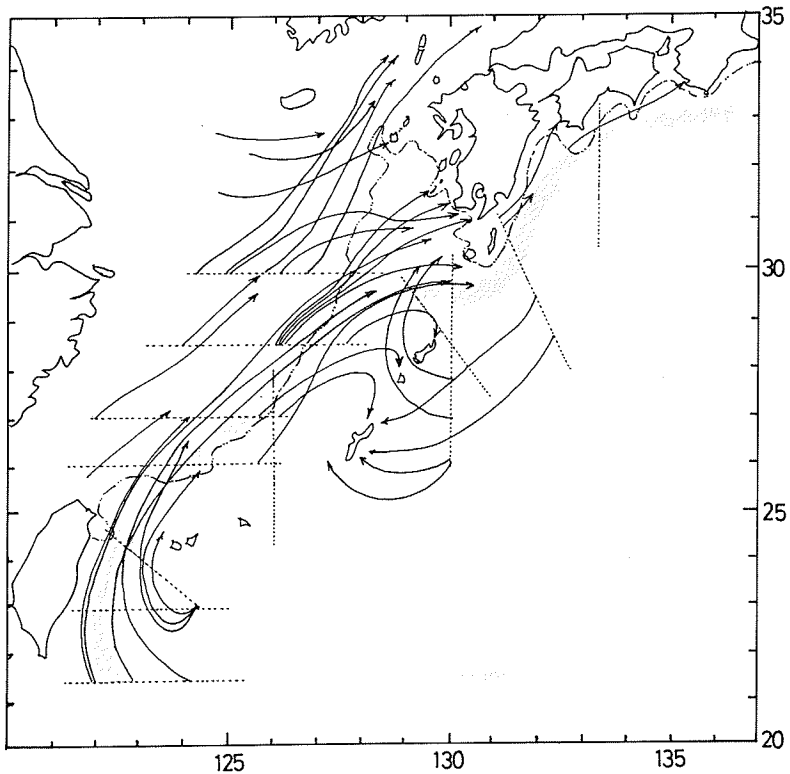
稚魚、幼魚期に流れ藻に付く魚種は非常に多く、千田 (1965) によれば 51 科 113 種に達するが、そのうち主なものはブリ、カンパチ、メジナ、イシダイ、メダイ、アイゴ、カワハギ、ウマズラハギ、メバル類、アイナメ、ギンボ、マアジ、ムロアジ、サバ、シイラ、ハナオコゼ、イザリウオ等である。なかでも魚類資源の初期減耗を問題にする場合は、幼稚魚期に流れ藻を生活の主たる基盤とするものに注目しなければならない。

流れ藻の利用のし方については魚類によってそれぞれ特徴があるが、ハナオコゼ等のように常に流れ藻に密着しているものと、その他の大部分の魚種のように成長の段階によって異なるものとに分れよう。ブリ（モジャコ）の場合全長15mm程度から藻に付きはじめ、初期には藻に極めて近く生活するが、次第に行動範囲が広がり、100～180mmの間に藻を離れるようになる。

流れ藻の移動との関連についてはサンマ、トビウオのように卵時代に藻に付いて移動するもの、ブリ（モジャコ）等のように稚幼魚期に藻に付いて移動するものと大別できる。

#### 4. 流れ藻の移動

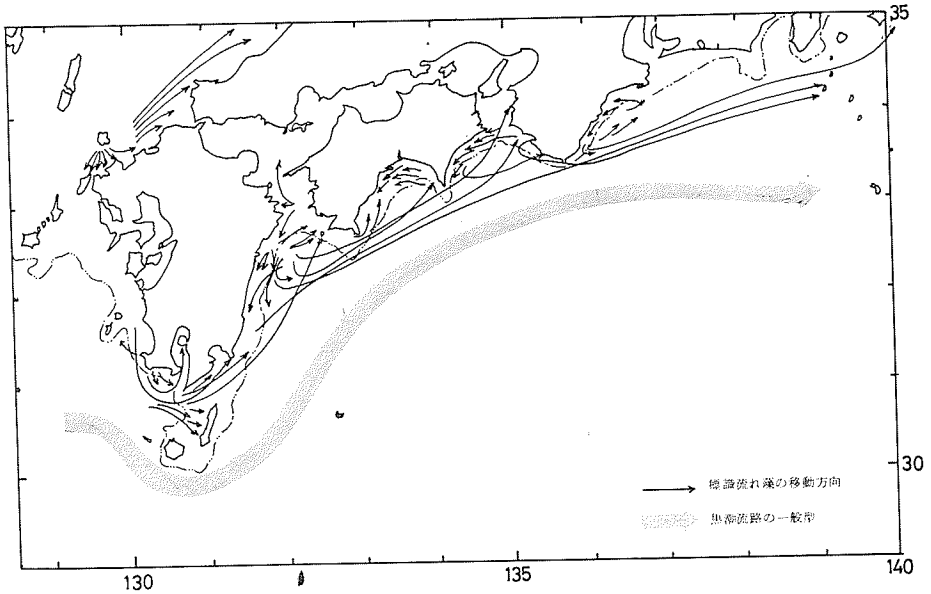
九州西方海域の流れ藻の移動については瀬川ら（1959）の報告があり、流れ藻標識放流の結果から流れ藻の移動と海流瓶のそれとは殆んど相違は認められず、基本的には対馬暖流およびその沿岸の流れに左右されるとしている。南西水研およびその関係水試で実施した九州南岸から日本南海沿岸沖合域の調査でも同様の結果が得られている。東シナ海南部から九州西



第3図 九州西方海域の海流瓶，海流封筒の漂着状況（2-3月）  
（西海水研（1961），南海水研（1965, 1966）の資料による）

方域の海流瓶の漂着状況は第 3 図のようになり、沖合域では黒潮や対馬暖流によってその流去方向に輸送され、沿岸域では分枝流や渦流に左右される。流れ藻の多くなる 2~3 月には季節風による影響で九州西岸を南下して太平洋側へ向うものが多くなる。

モジャコ漁場一斉調査等に関連して行った流れ藻標識放流による流れ藻の移動状況を第 4 図に示した。流れ藻移動を詳細にみると、年変動がみとめられるが、大局的には図のようになり、九州南岸ではほぼ西から東に向かって移動し、九州東岸またはそれ以东へ動く。日向灘、豊後水道、足摺岬で囲まれた水域、土佐湾、紀伊水道とその外海域（室戸~潮岬の間）、熊野灘などの渦動域では、ほぼ反時計回りに移動または滞留し、その沖側の黒潮またはその縁辺域では早い速度で東に向かって移動し、伊豆諸島、房総半島以北に達することもある。移動速度は黒潮域では 20 海里/1 日以上になることもあり、沿岸の渦動域では 5~10 海里/1 日以内である。



第 4 図 九州沿岸および日本南海域の流れ藻の移動  
(モジャコ研究成果 (1964-65), 瀬川ほか (1961),  
南西海区モジャコ漁場一斉調査 (1972-74) より模式的に描いたもの)

## 5. 流れ藻の出現と季節変化

瀬川ら (1961) の報告によると壱岐、対馬東水道域では流れ藻分布量の季節変化は大きく、冬季は非常に少ないが、4 月頃から増加しはじめ、5~7 月に多量に出現、8 月以降は再び少なくなる。分布の重心は沿岸域の渦流、反流域にあり、沖合の対馬暖流域では少ないことが指摘されている。日本南海の沿岸沖合域でもほぼ同様で、鹿児島県から三重県にいたる太平

洋岸ぞいの各県水産試験場および南西水研の実施したモジャコ漁場一斉調査や漁海況飛行観測調査等によれば、沖合の黒潮強流域では流れ藻は少なく、沿岸域の渦動域に多く分布する。この海域では2~4月頃よく発生する九州南東沖合域の冷水域の発達とその東進、それにとまなう黒潮流軸の離接岸の変動によって流れ藻の分布、移動に大きな影響を与える。

なお九州近海および日本南海沿岸に出現する流れ藻のうち出現数の多いものは次の通りである。

マメタワラ	Sargassum	piluliferum
ヤツタモク	S.	patens
アカモク	S.	horneri
シダモク	S.	filicinum
ノコギリモク	S.	serratifolium
オオバノコギリモク	S.	giganteifolium
シヨロモク	Cystophyllum	sisymbrioides

## 6. 稚仔・幼魚の輸送と減耗の問題 — 流れ藻との関係

(流れ藻に關係の深い稚仔・幼魚の輸送と減耗)

卵稚仔期、幼魚期における輸送は、種個体群の数量変動に大きな影響を与える初期減耗の中でも大きな要因である。この場合 (A)流れ藻に特に關係の深い稚仔・幼魚の場合と、(B)そうでない魚種とでは当然相違が考えられる。以下第2表に従って対比検討する。

- i) 分布層……(A)は比較的表層に限定され、(B)は表層から次層、中層以深にも分布する。もし表層と次層以深とで水の動きが異なり、かつ(B)の卵稚仔幼魚期の分布層の重心が次層以深にある場合は、(A)と(B)とで輸送方向(補給方向)にかなりの相違が生じる。
- ii) 移動の型……表層に限定した場合は一般的な移動の型としては(A)と(B)で殆ど相違はなく、海流瓶や流れ藻の移動とほぼ同じとみてよいであろう。但し、(A)では流れ藻に付く期間にはそれ自身かなりの遊泳力をもつ程に成長していても、大局的には流れ藻の移動につれて輸送されるが、(B)ではある程度遊泳力がつくと、その魚種にとって好適な生息条件を求めて移動あるいは滞留するため、流れの方向、強さと遊泳力等との相互関連で(A)と(B)とは異った輸送(補給)の型をとり得る場合も起り得よう。例えばモジャコ(ブリ幼魚)の場合、成長が早いにもかかわらず黒潮や対馬暖流の流去する方向に大きな拡がりをもって補給されるのは、かなりの遊泳力をもつまで流れ藻と行動を共にする生態によるとみてよいのではなからうか。
- iii) 流れ藻への集群効果……流れ藻などのような浮漂物は一般流の大きな動きのなかで収束域の表層(潮目)に集積することが多い。(A)の魚種の場合はこの流れ藻自身の集積効果と、流れ藻へ集る魚の集群効果とが相乗的に働いて特異の輸送(補給)状況を示すことも考えられ

る（特定の地域をとると集中的になりうることもある）。近年増加しているウマズラハギの増加要因については種々考えられるが、この効果もかなり働いているとみられる。一方(B)の魚種の場合は流れの方向、強さと稚仔幼魚期の生態（成長にともなう分布層、遊泳力の変化等）との関連で輸送条件が決まる。

IV) 食害（共喰いを含む）による減耗の軽減……(A)の場合流れ藻を逃避場所とすることによって捕食種からの食害（共喰いを含む）を著しく軽減する効果が働く。モジャコの場合共喰い等による減耗も大きいですが、流れ藻の存在によって減耗が軽減することが実験的に確かめられている。

V) (A)の場合その魚種自身の発生量の変動によることも勿論であるが、流れ藻の出現期、分布層の変化、分布量の多少もその魚種の補給量や補給域についてプラスにもマイナスにも偏りを生ずる。またモジャコ等のように養殖種の天然種苗として商品価値の高いものは流れ藻への集群効果を利用して漁獲が行われており、流れ藻の分布状況と稚仔魚の付き具合が漁獲に変化を与えることとなる。一方(B)魚種の場合は流れ藻は殆ど関係がない。

第 2 表 稚仔・幼魚の輸送と減耗

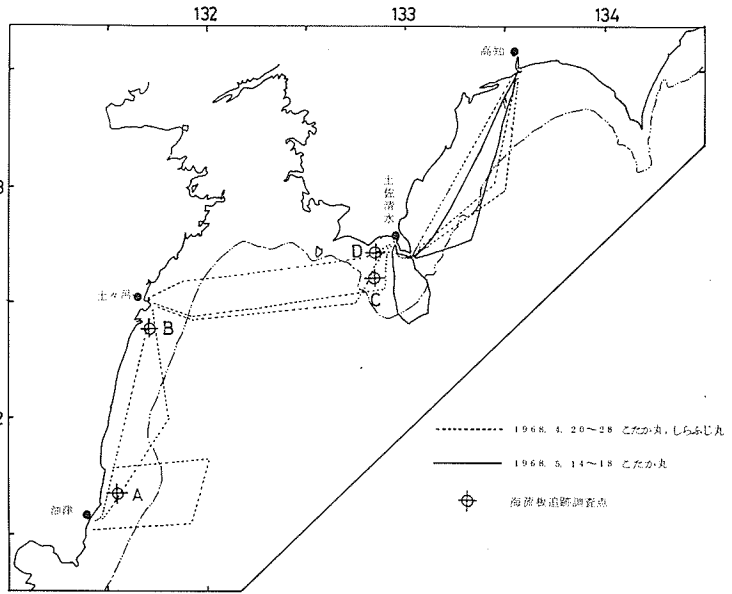
(A) : 流れ藻に関係の深い魚種  
 (B) : 流れ藻に関係のない魚種

事 項	(A)	(B)
分布層	表層に多い。	必ずしも表層とは限らない。
移動の型		
表 層	流れ藻、海流瓶の動きとほぼ同じ。	同左
中・下層		移動の型は表層と異なる可能性あり。
成長につれて	(B)と異って流れ藻と一緒に輸送される可能性あり。	遊泳力つけは沿岸域あるいは中・底層へ。
流れ藻への集群効果	(流れ藻の集積) × (魚の集群)	流れと稚仔・幼魚の生態（遊泳力）との関係で輸送条件がきまる。
食害（共喰いを含む）に対して	減耗が軽減される。	
流れ藻の出現量，時期，場所の変化	その魚種の稚仔・幼魚の加入条件，生残り（減耗）に影響する。	

7. 表層水の収束，発散の状況と流れ藻の移動に関する追跡調査

瀬川ら（1961）の流れ藻標識放流調査は主に流れ藻の移動について調べたものであるが、1963年から実施したモジャコ採捕のブリ資源に及ぼす影響の研究においては、モジャコ採捕漁業による流れ藻の漁獲率の推定を主目的とし、あわせて流れ藻の移動、寿命についても検討が加えられた。その後筆者らは流れ藻が沿岸部から沖合水域へ遊出する状況、輸送のより詳細な機構についていまだ資料が得られればとの目的で、1968年4月～5月のモジャコ来遊期に日向灘から四国南岸足摺岬周辺海域で流れ藻移動調査、海流板追跡調査（卵・稚仔分布、海洋調査も併行）を実施したので、主題の九州西方域とは海域が異なるが参考までにその概要を報告したい。

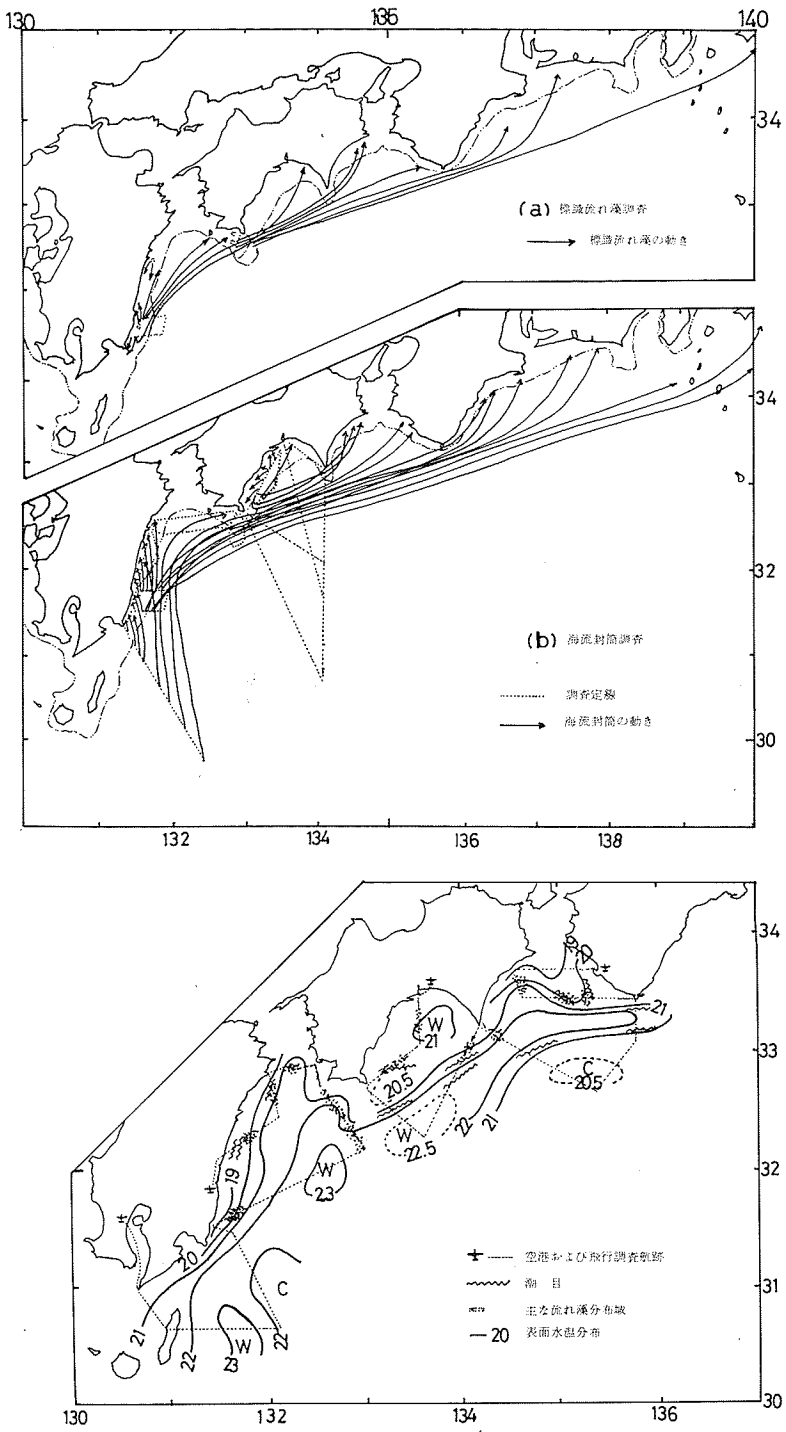
i) 調査海域，調査定線は第5図に示す通りで、1968年4月と5月の2回実施、各点では海洋観測、海流（GEK）、稚魚ネット、(特) ネットによる卵稚仔調査、流れ藻分布、流れ藻に付くモジャコその他の魚類調査、海流封筒、流れ藻標識放流を実施した。a定線、c定線では特に距岸1，2，5，10，15，20哩に定線



第5図 海流板追跡および流れ藻移動精密調査

を設け、流れ藻標識放流（各点10個毎）を行ない、それまでに実施してきたモジャコ漁場周辺（通常はごく沿岸部ではなくやや沖合）ではなく、ごく岸寄りの水域を含めたもので、流れ藻移動の状況と流れとの関連をみようとしたものである。更にA，B，C，D点において、海流板追跡による表層の収束発散と海流板と同地点に放流した流れ藻の動きも検討するように努めた。Aは潮目のない沿岸域の流れの弱い地点、Bは顕著な潮目周辺、Cは流れの強い（GEK調査で1ノット以上）地点、Dはその沿岸部でCにくらべてやや流れの弱い地点を選んだ。（使用調査船は南西海区水研のこたか丸、およびしらふじ丸）。

ii) この時期（1968年4～5月）日本南海域で、前記の精密調査を含めて実施した流れ藻標識放流とその再捕、海流封筒調査、漁海況飛行観測調査による流れ藻分布を示すと第6(a)，



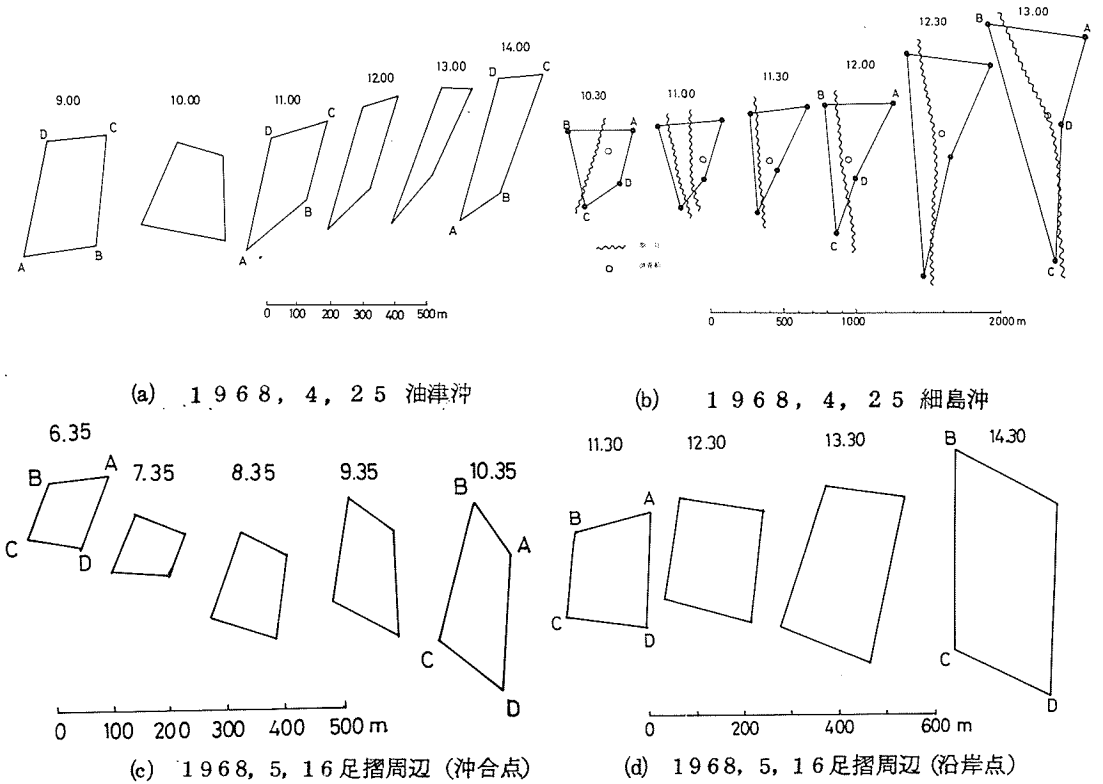
第6図 精密調査時期(1968年4~5月)の日本南海域の状況



(b), (c), 図となる。1968年2月~4月上旬には九州南東沖合に顕著な冷水域が出現し、黒潮はその沖合を迂回していたが、4月中~下旬には急激に接岸し、これにもなって流れ藻が比較的沿岸域に分布し、モジャコ漁況も好漁となった年である。同時にサンマ産卵親魚群も九州東岸、四国沿岸の各水域に接岸し、流れ藻にはサンマ卵多く、また日向灘北部から豊後水道域ではまき網によるサンマの特異な漁(約1万トン)のあった年でもある。

iii) 海流板の追跡……海流板は川合ら(1969)にほぼ準拠し、船位は陸測で、海流板は船からの距離(距離計と写真判定の併用)と方向(コンパス)によって位置を決定した。海流板の投入と同時に海流封筒(各点10枚)、標識流れ藻(5~10個)を投入した。

九州東岸油津沖のa線の調査では、海流板は第7(a)図のような動きを示し、時間経過と共にやや収束しながら岸と並行に拡がる形、すなわち沖合から沿岸に圧するような形となっている。このときの油津沖全般のGEK、海流封筒、流れ藻調査の結果は第9(a)図のようになっており、距岸10哩以遠では1ノット以上の強流帯であり、ここで投入した標識流れ藻、海流封筒はいずれも足摺周辺かそれ以東の海域に輸送され、日向灘、豊後水道域に滞留する



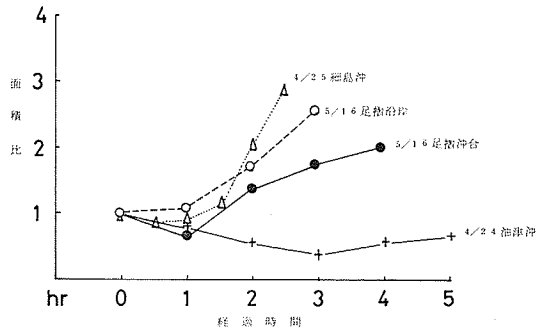
第7図 流れ藻・海流板追跡調査  
(海流板のしめる四辺形の変化のみを示した)

例はない。距岸10哩以内の沿岸部で投入したものは海流封筒、標識流れ藻ともに日向灘沿岸域で再捕発見されているものが多い。

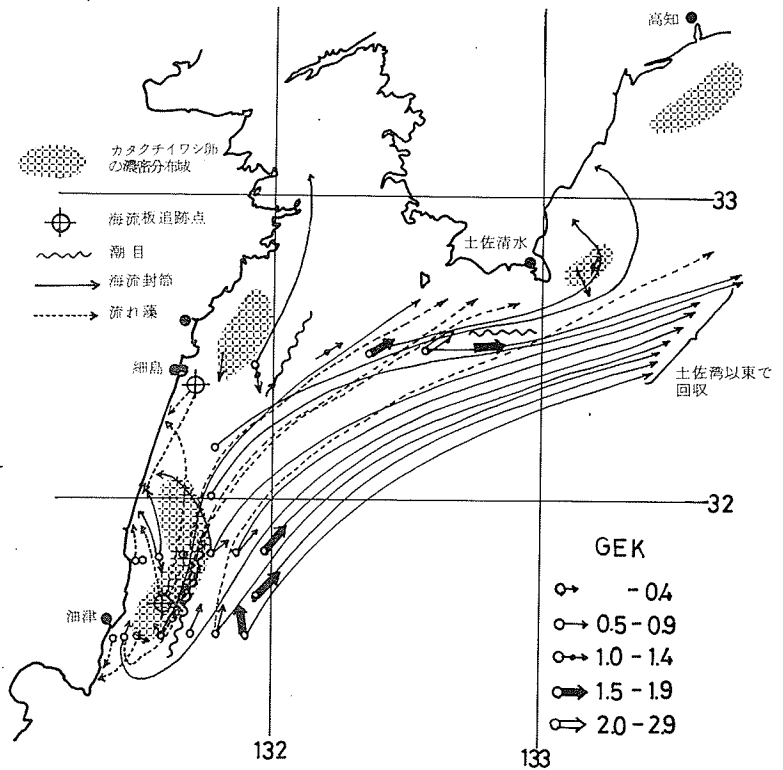
九州東岸細島沖で顕著な潮目が認められたのでこれをはさんで海流板を投入したが、第7(b)図のように変化し潮目に並行方向に著しく発散することが認められた。このとき投入の海流封筒の発見報告がないのは残念であるが、標識流れ藻は日向灘沿岸を南下して回収されている。

足摺岬周辺では沖合部C点、沿岸部D点について追跡を行ったが、図に示す程度の発散を示している。足摺岬距岸5哩より沖合で放流した流れ藻は回収報告がなく、それより沿岸のものが土佐湾、室戸岬と潮岬の間の海域、熊野灘、伊豆近海のモジャコ漁場その他で回収されている。

以上の調査結果から日本南海の四国、九州沿岸では岸から遊出した流れ藻は黒潮強流域の陸側流速ほぼ1ノット以下の水域に分布するものは、その周辺の海域に輸送、滞留する機会が多いが、渦流その他の影響で1ノット以上の強流域に遊出した場



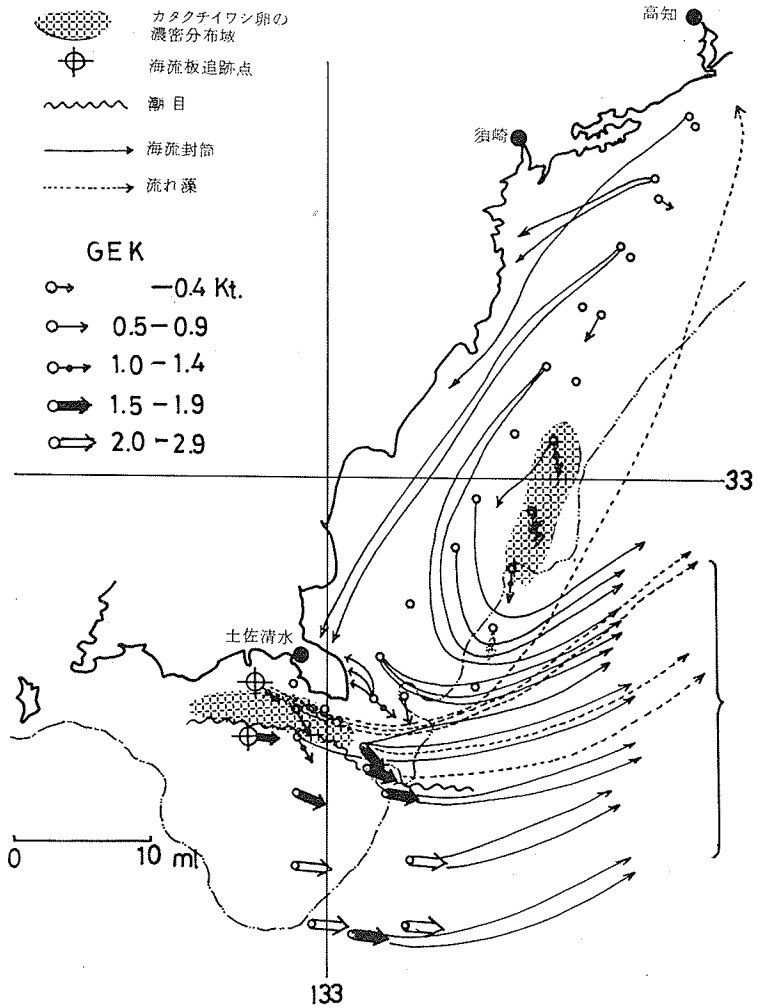
第8図 海流板のしめる面積の変化



第9図 精密調査時期の表面海流と流れ藻、海流封筒の動き

(a) 1968, 4, 20-28

合は、黒潮流去方向のかなり遠隔の海域に輸送されるかまたは沖合域へ逸散してしまし割合が極めて高いといえる。



第 9 図 精密調査時期の表面海流と流れ藻，海流封筒の動き  
 (b) 1968, 5, 14~18

お わ り に

流れ藻の移動については、資料の関係から話題提供の重点を九州南岸から熊野灘にいたる日本南海沿岸におかざるを得なかったが、九州西方の沖合海域については、今回の報告にもある通り海流瓶等に関する多くの調査研究があり、流れ藻移動のパターンについては概略の想定が可能であろう。また流況についても多くの研究成果が得られているので、流況の変動を掴むことによって流れ藻移動の変化の概要を想定することはさほど困難ではないと考えられる。ただ流れ藻の分布そのものは各種の調査でおさえるよりほかないし、今後は比較的沿岸域について

の資料の蓄積が必要であろう。流れ藻ともなり稚魚の生態については、今回は流れ藻の移動との関係、すなわち魚類の初期時代の輸送という観点から問題点を指摘するにとどめた。

#### 主な参考文献，資料

- 1) 農林水産技術会議(1960): 魚類資源の補給機構に関する研究経過報告書.
- 2) 近藤正人, 玉井一寿(1975): 東シナ海の流況, 海洋科学, 7(1).
- 3) 浅見忠彦, 花岡藤雄, 松田星二(1969): 日本南海域~台湾東方海域の海況の変化が重要資源の再生産に与える影響, 農林水産技術会議研究成果, 38.
- 4) 千田哲資(1965): 流れ藻の水産的効用, 日本水産資源保護協会, 水産研究叢書13.
- 5) 瀬川宗吉, 沢田武男, 檜垣正浩, 吉田忠生(1959-1961): 流れ藻の海藻学的研究, I~VII, 九大農学部学芸雑誌, 17-19.
- 6) 浅見忠彦, 花岡藤雄, 松田星二(1967): プリの産卵および発生初期の生態ならびにモジャコの漁獲・減耗に関する研究, 農林水産技術会議研究成果 30.
- 7) 南西海区水産研究所外海資源部(1972-1975): モジャコ漁場一斉調査報告, 南西海区漁況海況予報検討資料.
- 8) 浅見忠彦(1970): 流れ藻移動に関する精密調査, 日本水産学会中国四国支部大会(高松).
- 9) 川合英夫, 坂本久雄, 百田方子(1969): 黒潮表層水の収束発散に関する研究-I, 南西海区水産研究所報告 1.
- 10) 松田星二(1970): 俊鷹丸による日本南海~台湾東方海域の海洋生物調査報告-卵・稚仔の部, 南西海区水産研究所調査報告.

### 3-4 卵・稚仔の減耗に関する2, 3の考察

畔田正格(西海区水産研究所)

海産硬骨魚類の卵・稚仔の多くは、感覚器官や運動器官、消化器官などが未発達な状態で一定期間浮漂生活を送るが、この浮漂生活中に卵および前期仔魚期のエネルギー源として依存していた卵黄の栄養物質を消費しつくし、外部から餌生物を摂取せねばならなくなる。このような卵・稚仔期は海洋の物理、化学的環境条件や餌生物の分布状態、食害などの生物的環境条件に大きく影響されやすい状態にあり、魚の一生のうちでも最も大きな試練の時と考えられている(岩井, 1972<sup>1)</sup>)。この卵・稚仔期の減耗の実態を把握し、その機構を解明することは魚類個体群の数量変動を解析するうえでも、種苗生産技術の向上をはかるためにも、基本的に重要な課題

であり、古くから強い関心が払われてきている (Hjort, 1914<sup>2)</sup>)。

いっぽう、自然界における卵・稚仔の減耗に関する報告は調査が困難なこともあって比較的少ないが、1943年のSetteのアメリカ大西洋岸産サバに関する研究を始めとして、10数編が知られている (Sette, 1943<sup>3)</sup>)。これらの生残曲線は、すべて調査定点においてネット採集を精力的にくり返して卵・稚仔の分布状態を調べ、分布海域の面積、初期成長曲線を考慮して推定されている。いずれの場合も、初期減耗の高い点では一致しているものの、減耗の過程 (特定のCritical periodの有無など) については魚種や海域によって異なっており、“Hjortの仮説”を証明するような例は多くない (May, 1974<sup>4)</sup>)。

しかし、このような生残曲線のもつ意味を考える場合、次のような諸点に留意する必要がある。(1)卵・稚仔は海洋中ではパッチ状の分布をしており、ネットによる採集量の変動は極めて大きく、個々のデータの信頼度は高くないこと。(2)網目の選択性によって小型個体が網目からぬけるいっぽう、感覚器官がととのい、遊泳力の増した大型個体は、ネットに対して回避行動を示し、卵・稚仔の発育段階によってネットの採集効率が著しく異なること。(3)卵・稚仔の成長曲線は餌の量や水温によって大きく変化し、孵化後の経過日数を得るためにあてはめた1本の成長曲線で、天然の状態を示すことは不可能であること。(4)分布海域や季節の異なった卵・稚仔をこみにして処理し、減耗状態の時間的空間的変化を無視していること。

このようなことから、現在までに得られた生残曲線が、どの程度実際の海洋中の卵・稚仔の数量変動の状態を示しているか疑問な点が多く、卵・稚仔の減耗の実態については、未解明の部分が多いというのが実情であろう。さらに卵・稚仔の輸送過程と結びついた減耗については、いろいろ調査は試みられてはいるものの (Shelbourne, 1957<sup>5)</sup>) そっくり今後の課題として残されているといえよう。

海洋の卵・稚仔の生活を脅かす環境要因は物理化学的なもの、食害および餌に関するものに大別できる。これらの要因はそれぞれ単独で作用する場合もあるが、普通はいくつかの要因が複雑にからみあって作用しているものと考えられる。

物理化学的な要因の中では、卵・稚仔の生理的な反応に対する水温の影響の大きいことが知られ、孵化時間、成長速度、酸素消費量、卵黄の転換効率などが変化し、間接的に卵・稚仔の減耗に関与することが考察されている。しかし、一般に棲息水域でみられる水温の変動状態は、実験的に得られた卵・稚仔の死につながる致死温度や水温の変化速度に比べてはるかにおだやかであり、水温が直接卵・稚仔の減耗に結びつく可能性の低いことを暗示している (Blaxter, 1969<sup>6)</sup>)。また、卵・稚仔は塩分温度の大巾で急激な変化に対応して、あまりエネルギーを使わずに、短時間内に体液の浸透圧を調整できることが明らかにされており、実際に孵化率や死亡率からみた塩分濃度の変化に対する耐性は、極めて強いと云う結果も得られている (Holliday, 1969<sup>7)</sup>)。この他、溶存酸素量やpHの変動 (Blaxter, 1969<sup>6)</sup>)、紫外線や機械的圧力の影響 (Pommeranz, 1974<sup>8)</sup>) についても、海洋中で普通観測されている値および

海洋の緩衝作用からみて、否定的な見方が強い。

このようなことから、卵・稚仔は物理化学的環境要因によって生存が規制される限界の、かなり内側にしか分布していないことは明らかで、物理化学的な要因が卵・稚仔の初期減耗の直接の原因になることは、極めて限られた場合であろうと思われる。

一般に卵・稚仔の生存に対する捕食者の影響は大きいと考えられているが、実際に夜光虫 (Enomoto, 1956<sup>9)</sup>、くらげ類 (Fraser, 1969<sup>10)</sup>、多毛類 (Lebour, 1923<sup>11)</sup>、コペポダ (Lillelund・Lasker, 1971<sup>12)</sup>、オキアミ類 (Theilacher・Lasker, 1974<sup>13)</sup>、ヤムシ類 (Lebour, 1923<sup>11)</sup> および魚類 (横田他, 1961<sup>14)</sup>) などの卵・稚仔に対する食害が、野外調査や室内実験で確かめられている。このようなことから、動物食性のプランクトンは全て卵・稚仔に対する捕食者となる可能性があり、海洋に棲息している生物の摂餌に関する研究が進めば、更に多くの種の捕食者としての役割が明らかになるものと思われる。現在のところ捕食者の影響の量的な側面は想像の域を出ないが、卵・稚仔の減耗と深くかかわりあっている可能性は強い。

しかし、生物の生活にとって本質的に重要なことは摂餌であり、卵・稚仔の減耗の機構を考える場合も、餌をめぐる問題を中心に検討を進めるべきであろう。Blaxter and Hempel (1963<sup>15)</sup>) は仔稚魚を飢餓状態においた場合、一定の段階に達すると、生存はしているものの再び摂餌行動を示さなくなることを見出し、この段階を "Point of no return" と名づけた。絶食後、この "point of no return" に至る日数は飢餓に対する耐性の有効な指標となるものと思われるが、卵黄吸収期のカタクティワシ仔魚の場合、1~2日の間であることが報告されている (Lasker et al., 1971<sup>16)</sup>); 畔田, 未発表)。このように一般に分離浮性卵の卵黄吸収期の仔魚の飢餓に対する耐性は極めて弱く、卵黄から外部栄養に切り換えるための時間的余裕はあまりないものと思われる。

さらに、仔稚魚は運動器官や感覚器官が未発達で摂餌技術も未熟であるため、生存のためには一定限度以上の餌の密度が必要となる。O'Connell and Raymond (1970<sup>17)</sup>) がカタクティワシの卵黄吸収時の仔魚の飼育実験によって得た結果によると、餌料としてコペポダの nauplius を少なくとも4個体/ml/日の割合で与えないと孵化後6~7日でほとんどの個体が死亡することが明らかになっている。また、酸素消費量から求めた必要な餌の量 (畔田, 未発表) と、仔稚魚の索餌可能水量 (Hunter, 1972<sup>18)</sup>) を組み合わせて求めた、カタクティワシの卵黄吸収時の仔魚が生存するのに必要なコペポダの nauplius の最低密度は、約1個体/ml となる。得られた結果には多少の変動があり、魚種による相異も考えられるが、海洋中の魚類の孵化仔魚が卵黄吸収時の critical period を切り抜けるための餌 (コペポダの nauplius またはこれに匹敵するもの) の最低必要密度としては、1~5個体/ml 程度と考えてよいように思われる。そしてこの値は我国の魚類の種苗生産の際に用いられている値ともほぼ一致している。

いっぽう、海洋中のコペポダの nauplius の平均的分布密度は  $5 \times 10^{-4} \sim 0.1 / ml$  で (農林水産技術会議, 1962<sup>19</sup>) ; Blaxter, 1965<sup>20</sup>) 仔魚の要求する最低密度の値より1~数けた少なく、一見仔魚の生存を許さないように思われる。しかし、この矛盾を克服するかぎは、最近明らかになりつつある餌料プランクトンの、ミクロな分布状態に求められるように思われる。すなわち、餌料プランクトンは局所的に高密度のバッチを形成しており (Anraku, 1975<sup>21</sup>)、仔魚の側でも積極的にこのバッチの探索を行ない、バッチを発見するとその中にとどまるように行動すること (Hunter, 1974<sup>22</sup>) によって、必要な餌を確保しているものと考えられる。このように生存の可能性はあるもののバッチに遭遇できなかった個体には死が迫っており、一般的には仔稚魚をめぐる餌料環境は極めてきびしい条件下にあるものと云える。

いっぽう、死に至らないまでも仔稚魚の栄養状態は餌料条件によって変化し (Ehrlich, 1974<sup>23</sup>)、行動にも影響することが報告されている (Blaxter and Ehrlich, 1974<sup>24</sup>)。このようなことから海洋中の仔稚魚の栄養状態を調べてみると、餌料プランクトンの分布状態と関係が深いことがしばしば観察されている (Shelbourne, 1957<sup>5</sup>) ; 関口, 1975<sup>25</sup>) ; 畔田, 未発表)。

以上のようなことから卵・稚仔の減耗の機構を検討する際には、まず餌をめぐる問題を出発点とすべきで、餌の大きさ、種類、量、分布状態などと稚仔魚の摂食機構、神経系の総合作用、運動力、経験などが海洋中でどのように対応しているかを究明する必要がある (岩井, 1972<sup>1</sup>)。そして広い意味での餌不足が直接稚仔の死とつながる場合、間接的に稚仔の栄養状態を悪化させ、生理・生態的機能が低下し、物理化学的要因や捕食者の影響を受けやすくなる場合など、餌不足を総合的に検討すべきであろう。

卵・稚仔の輸送を考える場合、海洋の流れや拡散作用などの物理的な側面とともに、卵・稚仔が生き残れるかどうかという観点から、餌生物、餌をめぐる競合種および捕食者などと、輸送の過程でどのようにかわりあっているかを把握する必要があると思われる。

## 文 献

- 1) 岩井保 (1972) : 仔魚の摂食について. うみ, 10 (2), 71-82.
- 2) Hjort, J. (1914) : Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. Rapp. Proc-Verb. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 20, 1-228.
- 3) Sette, O. E. (1943) : Biology of the atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) of North America. Part I : Early life history, including the growth, drift, and mortality of the egg and larval populations. U. S. Fish. Wildl. Serv.

Fish. Bull., 38, 149-239.

- 4) May, R.C. (1974) : Larval mortality in marine fishes and the critical period concept. in "The early life history of fish" (J.H.S. Blaxter ed.), pp.3-19. Springer-Verlag New York.
- 5) Shelbourne, J.E. (1957) : The feeding and condition of plaice larvae in good and bad plankton patches. J.Mar. Biol. Assoc. U.K., 36, 539-552.
- 6) Blaxter, J.H.S. (1969) : Development : Eggs and larvae. in "Fish physiology" (W.S. Hoar and D.J. Randall ed.), Vol.3 pp.177-252. Academic Press, New York.
- 7) Holliday, F.G.T. (1969) : The effects of salinity on the eggs and larvae of teleosts. in "Fish physiology" (W.S. Hoar and D.J. Randall ed.), Vol.1, pp.293-311. Academic Press, New York.
- 8) Pommeranz, T (1974) : Resistance of plaice eggs to mechanical stress and light. in "The early life history of fish" (J.H.S. Blaxter ed.), pp.397-416. Springer-Verlag, New York.
- 9) Enomoto, Y. (1956) : On the occurrence and the food of *Noctiluca scintillans* (Macartney) in the waters adjacent to the west coast of Kyushu, with special reference to the possibility of the damage caused to fish egg by that plankton. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 22 (2), 82-88.
- 10) Fraser, J.H. (1969) : Experimental feeding of some medusae and chaetognaths. J. Fish. Res. Bd. Can., 26, 1743-1762.
- 11) Lebour, M.V. (1923) : The food of plankton organisms, II. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 13, 70-92.
- 12) Lillelund, K. and R. Lasker (1971) : Laboratory studies of predation by marine copepods on fish larvae. Fish. Bull., U.S., 69, 655-667.
- 13) Theilacker, G.H. and R. Lasker (1974) : Laboratory studies of predation by euphausiid shrimps on fish larvae. in



- "The early life history of fish" (J.H.S.Blaxter ed.), pp.287-299. Springer-Verlag, New York.
- 14) 横田滝雄・通山正弘・金井富久子・野村星二(1961):魚類の食性の研究. 南海区水研々報, (14), 1-234.
- 15) Blaxter, J.H.S.and G.Hempel(1963):The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). J.Cons.perm.int.Explor.Mer, 28, 211-240.
- 16) Lasker, R., Feder, H.M., Theilacker, G.H.and R.C.May(1970):Feeding, Growth, and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. Mar.Biol., 5, 345-353.
- 17) O'Connell, C.P.and L.P.Raymond(1970):The effect of food density on survival and growth of early post yolk-sac larvae of the northern anchovy (*Engraulis mordax* Girard) in the laboratory. J.exp.mar.Biol.Ecol., 5, 187-197.
- 18) Hunter, J.R.(1972):Swimming and feeding behavior of larval anchovy *Engraulis mordax*. Fish.Bull., U.S., 70(3), 821-838.
- 19) 農林水産技術会議(1962):イワシ類後期仔魚の食餌と加入量の関係. 昭和36年度水産資源に関する共同研究推進会議報告書, pp.102-121.
- 20) Blaxter, J.H.S.(1965):The feeding of herring larvae and their ecology in relation to feeding.Rep.Calif.coop.oceanic Fish.Invest., 10, 79-88.
- 21) Anraku, M.(1975):Microdistribution of marine copepods in a small inlet. Mar.Biol., 30, 79-87.
- 22) Hunter, J.R.and G.L.Thomas(1974):Effect of prey distribution and density on the searching and feeding behaviour of larval anchovy *Engraulis mordax* Girard. in "The early life history of fish"(J.H.S.Blaxten ed.), pp.559-574. Springer-Verlag, New York.
- 23) Ehrlich, K.F.(1974):Chemical changes during growth and starvation of larval *Pleuronectes platessa*. Mar. Biol., 24, 39-48.
- 24) Blaxter, J.H.S. and K.F.Ehrlich(1974):Changes in

behaviour during starvation of herring and plaice larvae.  
in "The early life history of fish" (J.H.S. Blaxter ed.),  
pp. 575-588.

25) 関口秀夫(1975): 稚仔魚の生残. 海洋科学, 7(12), 36-41.

#### 4. 討 論

##### 玉井氏に対する質問・回答

辻田(北大・水) 漂流コースは風圧の影響を受けているはずである。したがって漂流コースの推定に際しては風圧の影響の処理が問題である。

福岡(北大・水) 関連して出された図に、力学計算による海流断面図があったが、同図は大陸斜面から大陸棚上に及んでいる。大陸斜面上は無流面を浅くとしている筈であるから、斜面部と併せたとき、両者の速度を同じ意味で評価できるだろうか。

玉井 この力学計算では無流面を一応、800mにしているが、観測点が大陸斜面から大陸棚上にあるために、この部分における800m以浅の観測点では海底を無流面とした。この際、水深の異なる2観測点間の等比容線の鉛直分布は海底に対して等間隔で、しかも平行に交わる条件がみたまされていなければならないが、等比容線の鉛直分布からみて、比較的みたまされていたので、大陸棚上までこの計算を適用して、鉛直断面流速分布図を作成した。

川合(京大・農) 夏の推定流況図で、黒潮主流帯が東シナ海大陸棚上から流れ出るかのように描かれているが、海流ビンの回収はなかったにせよ、その海域での流れは知られているのであるから、一般に云われるように、200m等深線にそって流れる形に描いてよいのではないか。

##### 小川氏に対する質問・回答

宇田(東海大・海) 1 気圧差( $\Delta P$ )に対する流れ( $V$ )の変化は興味深いが、 $\sqrt{\Delta P}$ と $V$ との関係式とした方がより適合が良くないか。barometric currentというより吹送流が加わったものとして見られはしないか。理論的解析は別として、風速を $W$ とすると $\sqrt{\Delta P} = KW$ ,  $V = K'W = K'K\sqrt{\Delta P}$ となるのではないか。

2 宍島付近に収束帯ができて、稚仔魚の濃密分布帯が現われるのではないか。その関係を追求して欲しい。

小川 1 気圧配置の変化は風系の変化に直接深く関与するもので、御指摘のように吹送流としての検討も必要であるが、その点の検討はまだ行っていない。

2 宍島周辺の収束帯の存在については、従来から問題としており、生物分布との関連に注意しながら今後研究を進めたい。

川合(京大・農) 上海と西郷の気圧差をとられているが、むしろ、東シナ海一帯と日本海南西部一帯との気圧差をとった方が良いのではないか。上海と西郷との気圧差では、偶然うまく合ったような感がないでもない。

小川 気圧差を考える場合、東シナ海全体と日本海を対比しなければならないが、現実に資料を得難いことと、気圧配置の変化のパターン — 調査期間では低気圧が上海付近から東進して日本海に入る — から、ここでは2点の気圧差で近似的に代表し得ると考えた。短い調査期間についての2例にすぎないから、偶然適合したということもあり得ようが、気圧配置の変化に伴う海の変化のよなものもあるような印象を持っている。

坂本(東大海洋研) ① 3つのプイ追跡による拡散実験で、三角形の面積を用いて拡散(水系の変化)をはかっているが、その理論的根拠は何か。三角形の重心からの距離の2乗の和を用いた方が良いのではないか。

② パワー・スペクトルが周波数の $-2$ 乗にのるかどうか。

小川 ① 特に拡散実験として行なったものでなく、逆に現実に各プイの流跡に変化があるところから、面積変化に着目して試算したものである。計算の根拠は、川合の黒潮域での収束発散実験に準じた。

② 三井田の小呂ノ島付近での実験結果によると、 $-2$ 乗にのるとみられる。

黒木(東大海洋研) ① オートコレロヤパワー・スペクトルの図で、潮汐のドミナンスと等程度の山が見えていたが、その周期は何時間位だったか。

② その程度の「息つき」現象があるという事か。

小川 ① 最もはっきりしており有意なものは2.4~2.5時間の潮汐周期で、他のものについては測定時間が短いので問題があるが、3~4時間のものが見られた。

② はっきりしないが、そのように思う。

## 井上氏に対する質問・回答

宇田(東海大) ① 濟州島と五島福江島間の200m等深線が北に入りこんだ部分で、黄海へ向け北北上するものと東への東流が分れ、底層にdivergenceが現われるように見られる。また、台湾北方でも、西方の北上流と東方の北東流とへの底層の発散が見られるが、これについて、水塊分析からと、この力学的な成果と併せ考慮する必要がある。

② 以上の底層流の発散(或は収束)と表層のそれらとの関係が興味深い。

③ 台湾北方に冷水渦が出来るが、これと低気圧の通路との関係などについては、宇田・岸(1974)[CSKⅢ,バンコク提出報文]を参照されたい。

井上(西水研) 人工クラゲの流跡と海底流については水塊分析とその変動から検討しなければならない。

とくに海底付近の水溫・塩分の分布と地形の関係から海底流を推定することができるので、今後そのような整理をしてみたい。また、浅い大陸棚上では海底流と表層流の関係を明らかにすることは重要と思う。

川合(京大・農) 東シナ海全体の底層流では、年間を通じて北上成分が卓越しているが、これは東シナ海全体を一つの河口域として眺めた時、表層の大陸河川水に対する底層の塩分クサビに伴う北上流に対応するものではないか。もちろん、普通の塩水クサビのように上下の配置とは限らず、側方向の配置であってもよいが。

井上(西水研) 大陸棚西部の揚子江沖合などでは塩水クサビに伴う北上流とみられないことはないが、水塊分布と変動からみて、側方向の流れとみている。

辻田(北大・水) 底層流という表現をとっているが、人工クラゲが海底に接して運動しているとして、実際に海底に接する面の流れと考えているのか。

井上 海底直上の流れとみている。

辻田 底層といっても、ある厚みを考えるべきであるが、ここでいう底層流の場合、どの程度の層のことを考えているか。

井上 海底等深線を直角に直接横切る海底の流れは考えられないが、東シナ海の場合は等深線に沿いながらも海底緩傾斜を辿りながら連続していると考えている。

辻田 例えば、海深150mの海底の流れと、60mの海底の流れとを連続して考えてよいものであるか。

井上 先の質問とも関連するが、海底に接する面だけとは区別せず、或る程度の厚さをもっている。

## 「九州西方海域における流れ」に関する討論

福岡(北大・水) 流況図を一枚の図で示しているが、夏季には成層を生ずるから上下層で流況が異なるだろう。流況図は少なくとも夏・冬は別のタイプとして纏めるべきである。

青山(西水研) 西水研で水塊配置のパターン図を出しているが、これは模式的な表現をとっており、鉛直構造を考慮した形とはしていない。鉛直構造とか、水平分布の変動を考慮したパターン造りについては更に検討したい。

黒潮から分岐してから対馬海峡に近づくまでの間の(九州西における)対馬暖流の性状・動向については未だ不明の点が多く、目下研究中である。東シナ海における黒潮の流路は、パターン図では大陸棚縁辺沿いに平滑な流れとして書いてあるが、細かくみれば消長の変動があるが2~3の蛇行があるように見られるが、その点を確認できるような観測がない。

辻田(北大・水) 対馬暖流の起源や変動については、対馬暖流調査時代から問題とされていたものである。とくに、対馬・済州島・五島列島・男女群島間での性状が不明である。卵・稚仔の輸送機構を考える場合には、ここでの暖流の構造と変動に焦点をあてるべきである。

福岡(北大) 検潮記録を福岡・厳原間、厳原・釜山間、済州島と済州島に面した韓国南岸間という組み合わせで用い、対馬東水道、西水道および済州海峡における海水の輸送を推定することができはしないか。

済州島と九州の間の調査を密にすれば、上の結果と併せて九州西方から対馬海峡にかけての海水の輸送の問題が或る程度わかるのではないか。勿論その他の調査も必要であるが、潮汐の記録は連続してとれる利点がある。

なお、現状では相対潮位しか測れないが、流れの実測を同時に行ない、潮位との関係を事前に明らかにしておけばよい。

鬼塚（防災センター） 流れと関連して潮位測定の話があり、絶対潮位の測定の困難性が問題となったが、マイクロ・ウェーブによる人工衛星からのリモート・センシングにより絶対潮位の測定がアメリカで検討されている。その他に、マクロ・スケールの水塊分析にもリモート・センシングの技法を導入すべきである。

宇田（東海大） 済州島から五島にかけての線の東側にブランクがある。またその南では表層流の分岐がみられる。重要魚類の卵・稚仔漂流輸送の立場からは、生物調査も同時に進め、冬春初夏を中心に物理的な機構解析と併せ、予報に役立てるようにしてほしい。

昭和24～26年頃、マイワシ産卵調査の際、小生が提案し、中井甚二郎技師が産卵場で海流ビン投入を行なったが、その漂流からマイワシ・稚仔の漂流分布の様相がよく理解できた例がある。当海域でも応用されたい。

千田（長大） 従来の海流調査は、主として海洋自体の問題として進められており、「卵・稚仔の輸送」との関係といった特殊目的に対応する形では行なわれていない。

海流ビン調査についていえば、海流ビンは海岸に打ち上げられても、それと共に流れて来た卵は打ち上げられずに水と共に流れ去ることが多い。その機構を明らかにしてほしい。また、岸近くで産卵された魚卵の拡散・移動を左右する流れの作用の解明も重要である。

深瀬（神戸海洋气象台） 井上氏の研究は、東シナ海域の海底の流動を良く示しており、従来断片的に出されていた知見ともよく符合している。五島西から対馬海峡方面に向ったクラゲが全く回収されていないのは、その方向に向う海底の流れが、実際になかったとみても良いのではないか。

青山（西水研） 五島西沖に大規模なサンドウェーブ、波長250～400m、波高4～8mのものが発達しており、海底直上にサンドウェーブを形成する流れがある——恒常的ではないかも知れないが——ことを暗示している。

福岡（北大） そのサンド・ウェーブの方向はどうか。

青山（西水研） サンド・ウェーブの峯は、三井田氏が示した対馬暖流の流路にはほぼ直交している。つまり、サンド・ウェーブの方向は暖流の方向と平行している。

小網（海洋圏研究所） サンド・ウェーブ形成に内部波は関係していないか。

青山 内部波の影響については検討していない。

福岡（北大・水） 冬季の東シナ海では、対流が盛んで、上下の密度が一様になる。しかし水平方向には密度差があろう。そこで或る点で急に温度が低下した場合、水平方向の密度傾度が急になると思うが、この場合、急に流れが速くなるという事に対応しないだろうか。これはまた、対馬暖流の短周期の変動に結びつかないだろうか。

青山 水平的に大きい密度差を示す部分は、対馬海峡のように流れの強い部分でみられる。水塊の温度差の発生が流れを変化させるかどうかについては調査した事がないし、調査域の制約があって、現状では調査はほとんど不能である。

俵(水大校) 対馬暖流というのは黒潮から分岐しているのどうか現場で観測していて何時も疑問に感じている。この疑問に答えられるような、いわゆる対馬暖流なるものの根源を把握できるような研究プロジェクトを組み、解明に努める必要がある。

座長(石野) 先輩として下村教授の総評をお願いする。

下村(北里大・水産) 東シナ海の調査について多くの意見が出されているが、東シナ海・黄海は広いが、調査を許される範囲は狭い。つまり、日中ライン・日韓ライン等により、日本の船が自由に調査できるのは中央のごく僅かの部分に限られている。また西水研の限られた調査船やスタッフの行動力および、それらに課せられている多くの他の業務の量等を考えると、本日述べられた調査は立派なもので、敬服している。

#### 田中氏に対する質問・回答

黒木(京大海洋研) ある時刻の採集量から前の時刻の採集量を差し引いた時間微分値が(大型漂流板の近くで採集したという事は同一水塊内での採集であると仮定して)より深く処理考察されるべきではなからうか。その意味では、つっ走った航跡でよりも紋裡内にただよっていた漂流板近くでの採集の方が、生物の離合集散の追求には最も重大な資料となり得るものと思われる。また、生物の分布に昼夜変動が考えられるなら、24時間前の資料とか、12時間前の資料とかとの差を考えるべきかどうか検討されたい。

宇田(東海大) 稚仔魚の鉛直移動について興味深い模式図を示されているが、具体的な値はどの程度であったのか。1975年6月のマサバヤカタクチワシの例で示してほしい。

田中 仔稚魚の鉛直移動には個体発生の過程に応じた移動(発育の進展にともなう分布層の移行)と日周期的な垂直移動が考えられる。今回の調査では表層採集に重点が置かれ、層別分布や鉛直移動に関しての資料は少ないが、20m層と0m層の比較ではマサバ・カタクチワシともに比較的類似した傾向を示し、前期仔魚はほとんど20m層に限定され、仔魚後期の前半から後半へと移行するにしたがい表層出現の割合が高くなる。日周期的な鉛直移動も発育の進展とともに顕著になり、日没とともに分布の中心が20m層から表層へと移行する傾向が認められた。全長10mm前後の個体では20~30m程度の鉛直移動は十分可能と考えられる。

平野(京大・海洋研) 漂流板追跡時のBTによる水温測定値の時間による変動と、卵・稚仔採集量の変動との間に対応は見られないか。また、卵・稚仔採集量の代表性——同一場所、同一時間に同一方法で採集したとした時の値の安定性——はどの程度だと考えられるか。日周垂直移動による変動に比べ、その変化の大きさはどの程度か。

田中 オーの問題については両者の間には単純な関係は認められなかった。これは一つにはネットによる採集が卵稚仔の分布を平均化してしまうことに問題があると考えられる。卵稚仔の“micro-distribution”とそれに対応した環境諸要素の把握が重要と考えられる。

オ二の問題に関しては口径60cmのネットによる20m層からの鉛直採集結果によると、2回の採集量の変異は魚卵で最大10倍・平均2倍、仔魚で最大2.5倍、平均1.3倍程度であった。底層からの鉛直採集結果では変異の中はずっと小さい。一方、口径130cmの稚魚ネットによる表層と20m層の採集結果では日周期的採集量の変化は通常1~2オーダーの差として表われる。この問題は卵稚仔一般としてではなく対象とする生物の特殊性(種;発育・生長状態etc.)に応じて考慮すべきであろうし、採集が分布の中心域であるか周辺域であるかによっても様相を異にすると考えられる。

### 浅見氏に対する質問・解答

宇田(東海大) 黒潮や対馬暖流の本流に流される量から、沿岸の渦動域に入り込んで来る流れ藻やそれについて稚仔魚量を予測することが、事前調査により可能ではないか。低気圧通過による異常潮流での運搬などを考えて修正すれば予測の精度を向上できよう。

浅見 事前調査によって得られた黒潮やその分枝流の流れのパターン、流れ藻、稚仔魚の分布状況から、流れ藻や稚仔魚の沿岸域への加入状況ないしは配分割合についてある程度の予測を行なうことは可能と考えられる。

辻田(北大・水産) 流れ藻はある意味では誘引効果を持っており、その下についているモジャコ等は、一種のミクロ・コスモスの中にあると見ることもできる。そうした環境下での餌生物と捕食者との関係はどうか。また、その場合の減耗の度合はどの程度のものと考えるか。

浅見 モジャコを中心にみると流れ藻につきはじめた段階では浮遊性甲殻類を主として摂るが、FL4~5cmから次第に肉食性となり、カタクチシラス、メジナ、マアジ、モジャコの幼稚魚を摂るようになる。捕食種としてはこの時期に来遊の多いカツオ、シイラや流れ藻につくハナオコゼ等があるが、モジャコ自身による共喰いも大きい。ブリ特別研究の際の調査では、モジャコの共喰いの出現率は個体で5.4%、群で34.3%となっており、共喰いのみの減耗を試算すると、換餌回数にもよるが1カ月で $3^35/1000 \sim 5^5/1000$ しか生残らないという結果がでている。(海域、年次によって異なる。)

坂本(三重大・水産) 流れ藻の数や量は、ブリ産卵期などの特定期間と関係したある時期に、藻が着定床から離脱する条件生起の頻度により決まるだろう。また、孵化した稚魚群との遭遇の発現頻度により、モジャコの漁獲量や漁期の長さが決まるのではないかと考えられる。数年間の調査結果からこの考えを支持するような情報は得られていないか。

浅見 ご指摘の通り流れ藻の数や量は九州四国等沿岸域の藻類の繁茂状況や春期のあらしの発生回

数などに影響され、流れ藻分布のパターンは黒潮やその分枝流、渦動など流れを主とした環境条件によってきまると思う。またモジャコの来遊状況（来遊時期、魚体の大きさ、来遊量、分布の偏り等）はブリ親魚量、産卵量、その後の補給条件（流れ藻分布も含め）によってかなりの年変動がみられる。全域としての公式の漁獲量や漁期は資源状態、漁況（モジャコ来遊状況）予測、その他の条件を考慮して年々決められているが、近年ではほぼ4月下旬～5月中旬の30日、4,000～5,000万尾となっている。ただ各水域の漁況や主漁期については大局的にみてご指摘のようなお考えが支持できると思う。

小網（海洋圏研） 1 流れ藻を形成する藻の種類と割合、2 流れ藻の大きさとそれに付く稚魚の量との関係、3 流れ藻に棲む甲殻類について、4 今年度は流れ藻の生物組成に変化が見られていないかの4点についてお聞きしたい。

浅見 (1) 詳細は瀬川ら、吉田、千田諸氏の報告がある。我々の調査した九州東岸、四国周辺域ではジョロモク、ノコギリモク、ヤツマタモク、マメタワラ、アカモク等が多く出現した。

(2) 流れ藻の大きさとそれに付く稚魚の量との関係については特に資料を解析していないが、あまり関係がないように思う。藻が大きくても付いていない場合、小さくても多量に付いている場合がある。

(3) 特に調査はしていない。

(4) 昭和43年頃から徐々に増加していたが、48年・49年には特にウマズラハギの付く量が多くなっており、沿岸域の魚類群集としても留意する必要があるが、モジャコ採捕漁業にとっても、モジャコ来遊量の減少、ウマズラハギによるモジャコ魚体の損耗等不都合が多い。

## 畔田氏に対する質問・回答

杉本（東北大・理） 濃度レベルは全体として大きな減衰をしているが、卵・稚仔の分布の形は瞬間点源からの染料拡散実験ほどの分散を示していない。稚仔魚の密度が拡散で薄くなると減耗はより著しくなるものかどうか。

畔田 稚仔魚の密度の減少が波耗率を増加させるものかどうかについてはよくわからない。しかし染料などに比べて卵稚仔の分散が小さい傾向はしばしば観察されることで、生物としての諸特性（減耗、自律的な動き、発育にともなう形態変化など）が複雑に組み合わさった結果であろう。

辻田（北大・水） 孵過後、卵黄を吸収してしまう前に仔魚は天然餌料を選択して取り込む必要があると理解してよいか。

スケトウダラの仔魚では、大部分のものが、卵黄のうの残っている内から餌を取っている。こうした摂餌が必要なのではあるまいか。

畔田 一般に、仔魚は卵黄が多少残っていても口が開いていれば摂餌を行なうのが普通のように、このことは仔魚の個体維持にとって有利であるのではちがいない。しかし、顎や消化管が機能的になるのは卵黄吸収時とほぼ一致しており、卵



黄から外部栄養への切り換えもごく短時間内に行なわれるものと考えられているので、卵黄吸収前の摂餌が仔魚の生存にとって必ず必要なものかどうか、現在のところよくわからない。

宇田（東海大） 4点についてお聞きしたい。

1. 非生物要因と生物要因とを組み合わせた実験の研究が必要ではないか。
2. 産卵親魚が受けた影響で、卵が健康であったり、なかったりして、孵化後餌に対するクリティカルな条件が異なるのではないか。
3. 漁況の豊凶は、天然環境の物理的条件と餌の生物的条件とが組合わさって生起すると考えるかどうか。
4. 沿岸域で産卵するニシン・マイワシ等では、汚染水の影響を受け易い。その場合餌等の生物条件の影響が異なって来るだろう。

畔田 1. 限られた要因だけを個別的にとりあげた飼育実験結果を単純によせ集めて、卵稚仔の減耗一般を論ずることは不可能であり、複数の要因の複合効果（特に生物要因と無機要因との間の）を調べることは今後の実験的研究の重要な課題であろうと思われる。

2. 親魚の栄養状態や生活条件などによって卵の大きさや質が変化し、卵黄吸収時の critical period において飢餓に耐えられる期間や摂餌能力に差がみられるという実験的報告もあり、親魚の健康状態は卵稚仔の減耗を考える場合重要な要因の一つと考えられる。

3. 魚類は無機環境による限界のかなり内側にしか分布していないように思われ、漁況は生物的要因、無機要因、および魚自身の動きがからみあって決定されているにしても、主導的な役割を果たしているのは魚自身の動きであり、次いで生物的要因を重視すべきであろう。

4. 富栄養化現象や温排水の影響などによって生物相が変化することが知られており、卵稚仔をめぐる生物的環境は当然異なってくるものと思われるが、それがどのように卵稚仔の減耗にかかわってくるのかはよくわからない。

#### 「輸送機構と減耗」に関する討論

福岡（北大・水）〔坂本氏に対し〕 $L_c$ によりDが定まる形をとっているが、小さい湾ではスケールが小さく、当然Dは小さく、 $L_c$ は小さくなるだろう。しかし大きい海、例えば東シナ海ではスケールが大きいからDは大となり、終局的には $L_c$ は大きくなると考えてよいだろうか。

川合（京大・農）〔福岡氏の意見に対し〕拡散項の大きさは面積に比例し、生産項の大きさは体積に比例するので、限界スケール以下の小さいパッチでは生産項が拡散項を下回ることになる。

杉本（東北大・理）〔坂本氏に対し〕拡散係数の scale effect は入れられるはずである。

$$\frac{ds}{dt} = 0 = D \frac{S}{\left(\frac{L}{8}\right)^2} - \alpha S \quad \text{のDに}$$

$D = cL^n$ ,  $n = 1.1 \sim 1.3$  を入れると

$$\frac{8cS}{L^{2-n}} = \alpha S \quad L_c = \left( \frac{8c}{\alpha} \right)^{\frac{1}{2-n}} \quad \text{となる。}$$

新崎(日大・殺) [浅見氏に対し] 流れ藻は日向灘よりと足摺岬よりとどちらに出現が多かったか、そして多く現れた年の豊後水道の海況で、瀬戸内海からの南下流の勢力が強かったという現象はなかっただろうか。

浅見(西海水研) 本日の話題提供で報告した調査では、日向灘南部と足摺岬周辺とではどちらが多いという判断はできなかった。ただ豊後水道、日向灘水域について一般的に言えば、黒潮の分枝流と内海からの南下流との前線域にあたる、大分県南部沿岸(芹埼沖)域に流れ藻が多いことが指摘できる。

杉本(東北大・理) [浅見氏に対し] 魚卵を使った拡散実験があったら紹介してほしい。

浅見(西海水研) 実験という程精密のものではなくて、日向灘、豊後水道域でカタクチイワシ等の天然卵分布の日別、時間別の追跡を行ったことがある。(科学技術庁特調研究、豊後水道精密調査等)

川合(座長) 午前中は、主に環境という話題にしばられていたのに対して、午後の話題は多岐にわたっていた。しかし、卵稚仔の対水速度と種および発生段階によるその変動と、環境である流動構造との「かみあい」が、よくわかっていないことが、共通の問題点として残されているように思える。

坂本氏は、群の離合集散に関して二つの例をひいて考察した。一つは群を保持するための個体間相互影響力のいちじるしい魚群に関するもので、他は環境変動の影響のいちじるしい植物プランクトンに関するものである。前者については、ランダム運動力と個体間距離調節力とを含む運動方程式によって、魚群内個体運動の数値シミュレーションを行なった。後者については、プランクトンパッチ限界サイズ・生産係数・拡散係数の間の関係式〔K & Sの式〕に、固定点バリオセンス観測によるパッチサイズと、それに応ずる拡散係数とをいれて、生産係数を求めた。

田中氏は、まず九州西方海域における漂流板の流れ方と卵稚仔の分布とが、必ずしもうまく対応しないことを指摘した。ついで、卵稚仔固有の浮沈または接岸運動として、個体発生の法則性に基づくリズム〔個体発生の段階に内在する時間変動パターンで必ずしもリズムックではない〕と日周期リズムとによる二つについて述べ、これらが卵稚仔の離合集散において果たすべき生物主導的役割を強調した。

浅見氏らは、流れ藻の移動・分布状態を媒介として、海水流動が生物資源の補給機構に及ぼす影響を検討した。とくにモジャコを例として、稚魚の発育によって、流れ藻へのつき方が変化し、孵化後しばらくしてから、海水の収束によって、流れ藻と同様に潮目に集まり、流れ藻との関係が深くなると述べた。さらに、流れ藻との関係が深いか浅いかによる稚仔幼魚の輸送と減耗の相異を対比した。

畔田氏は、卵稚仔の採集技術が定量的研究にとっては不満足であり、これと時間的サンプリング網の展開の制約とがあいまって、発生段階別の現存量と生残率の推定とを困難にしていると述べた。さらに、稚仔の減耗要因として、餌の問題の重要性を強調した。餌の分布密度も確かに重要であるが、稚仔の対餌速度の問題も残されていると思われる。

これらの話題提供を伺って感ずることは、午前中の「九州西方海域における流れ」の話題と、午後の話題との「かみあい」が充分ではないことである。卵稚仔は同じような海流帯に乘せられて、みな同じところに行きつくのではない。海水流動の一般流だけでなく、収束・発散や水平・鉛直のシアなどの流動構造と、卵稚仔の種や発生段階に内在する対水運動〔浮上沈降・離着底・離接岸・集群性・流れ藻につくこと〕の時間変動との「かみあい」によって、それぞれ特有の移動・分布・減耗状態を示すのであろう。

## 総合討論

**坂本(三重大・水)** 卵・稚仔の輸送源すなわち産卵場がなぜそこに形成されるのか。初期餌料の供給が順調なためか、流れ藻の発生地であるためか、流れの分岐点となっているためか、渦動があるためか、合理的な説明を求めたい。

**浅見(西海水研)** 多獲性回遊魚の産卵場が必ずしも九州西方海域と限られているわけではないが、この海域が多くの重要魚種の産卵場であり、かつ輸送の条件が補給に大きな関連のある点为本日の主題と思う。それぞれの魚種ないしは系統群によって、ある個有の環境特性をもった産卵場を形成するが、地理的には必ずしも特定されたものではなく、例えばマイワシの場合かつては九州西方域に主たる産卵場があったが、近年では太平洋岸の四国周辺に主産卵場があり、卵・稚仔期の輸送の型としては九州西方域とは著しく異なる。

**杉本(東北大・理)** 産卵場がある場所になぜできるかという問題はホーミングの問題に関していると思われるが、そうした機能をどのような生理で感得しているのだろうか。

**辻田(北大・水)** 西日本海域・東シナ海がなぜ重要な産卵場となっているかということであるが、一つには重要資源生物のホーミングという特性によっていると思われる。例えば、ブレイスについて北海でのホーミングの研究があり、西日本でも東シナ海でアジ・サバなどについてホーミングが成り立っていて、それで大きい産卵場が毎年形成される。

**コンビナー(青山)** なぜ、そこに産卵場が形成されるか、ホーミングがなぜ起るかという問題になると、単なる環境特性とか魚の生理の問題ではなく、魚の進化に関する遺伝的なものとして環境特性とからめて考える必要がある。例えば、ブリはたまたま流れ藻の多い時期・場所で産卵するので、モジャコが流れ藻について輸送されるのではなく、流れ藻が大量に出現する条件の中で淘汰されながら、稚魚の流れ藻につくという形質を育てながらブリとして今日へ存在して来たものである。

坂本(京大・海洋研) 卵・稚仔の輸送ということでは焦点がしぼり難い。卵・稚仔それぞれ海洋環境とのかかわり合い方が異なっているから、卵とか稚魚とか目的をしぼった討論会を持つてはどうか。

千田(長大・水) 漂流板追跡と同時に稚魚網採集を行なっておられるが、その際両舷ひきとか3回ひきなどを行なうことにより、採集結果の信頼限界の中を狭め、より有効な資料を得ることができよう。

辻田(北大・水) 今後の研究の進め方として次の4点を挙げておく。

1. 資源変動との結びつきという観点からすれば、大スケールに現象をとらえる必要がある。
2. この点で特に重要なのは、五島列島と済州島との間の海域の詳細な観測と解析である。
3. 減耗の機構を明らかにするためには、それなりのマイクロな観測を生物採取の方法、器械の開発などと併せて進める必要がある。
4. 卵・稚仔・プランクトン等のパッチ状分布の研究が重要である。