

シンポジウム「水産海洋」

漁場環境の観測手法の見直しと今後の問題点

共催 水産海洋研究会
日本海洋学会

日時: 昭和58年4月5日(火) 09:30~17:00

会場: 東京水産大学海洋環境工学科棟

コンパニナー: 近藤正人 (東海区水産研究所)

杉本隆成 (東京大学海洋研究所)

石野誠 (東京水産大学)

挨拶: 辻田時美 (水産海洋研究会会長)

話題及び話題提供者

主旨説明

近藤正人 (東海区水産研究所)

座長 平本紀久雄 (千葉県水産試験場)

1. プランクトンの調査手法の現状と問題点

鈴木秀彌 (東海区水産研究所)

2. 卵・稚仔分布の実態把握のための調査上の問題点

小西芳信 (南西海区水産研究所)

3. 卵・稚仔の輸送過程

中田英昭 (東京大学海洋研究所)

座長 中村保昭 (静岡県庁)

4. 浅海・内湾の漁場環境調査手法と問題点

井上尚文 (西海区水産研究所)

5. 漁場形成と黒潮の短期変動

竹下克一 (鹿児島県水産試験場)

6. 漁業生物生産機構解明のためのリモート
センシング技術の応用

松村皐月 (東海区水産研究所)

座長 近藤正人 (東海区水産研究所)

杉本隆成 (東京大学海洋研究所)

7. 総合討論

シンポジウムの主旨

コンビーナー 近藤正人 (東海区水産研究所)
杉本隆成 (東京大学海洋研究所)
石野誠 (東京水産大学)

従来、行われてきた漁場環境観測が、気象庁、水路部のように物理現象解明のために行われる一般海洋観測とどのように違っているかといったことが始発点である。このことについては以前から論じられてきたことで古い話ではあるが、依然として問題点が多いので本主題をとりあげた。

水温、塩分など漁場環境が急に変わった場合、この要因変動が魚群に何等かの影響を及ぼさずにはいない筈である。恐らく短期的には、魚の呼吸数の変動や逃避行動が認められるだろうし、長期的には成長の差が生ずるといったこと等であろう。このようなときの観測の基本は、生物側の何をみるかといった目的意識があって、そして、それに対応した時間間隔、空間範囲、調査時期での観測計画が立案されなければならない。また、低次生産を対象とした場合でも同じことがいえる。卵・稚仔プランクトン等遊泳力のないこれらの低次生物はパッチ状に分布(恐らく渦動域に相当するところであろう)したり、潮境付近に収れんすることが多いから、その分布の実態や現存量を把握する目的のためには、時・空間を考え、しかも採集方法等の調査手法の見直し等が必要である。

要するに、物理・化学的、餌生物的要素の時間的、空間的变化、または、微分値・積分値が、海洋生物の生理生態にどのような影響を及ぼし、生物からどのような反応が得られるのかなどについて定量的な知見が得られるような観測が必要である。しかし、諸条件の制約もあって現段階で具体化するの是非常に困難であろうが、その解決に向かって努力すべきであろう。

従来、漁場環境の実態把握は、主として調査船によって行われてきたが、データの収集に長時間を要するため

広域のデータの同時性確保に難点があって、時々刻々変化する漁場環境の現況の再現性に乏しかった。つまり、広い海域を対象とする環境の把握は、少数の調査船やブイ(定置、漂流)等ではその有効性におのずから限界がある。また、浅海・内湾のような漁場環境は特に、気象、河川水等の影響を直接間接に受けて時間的にも、空間的にも著しく変化し易いからリアルタイムベースでの情報収集が必要である。また、沿岸・沖合域の広域、同時性の情報収集には人工衛星資料の導入、AXBT 観測等が有効である。

今回は、刻々変化する漁場環境について可能な限り再現性のある形での情報をどうやって効率よく把握し、生物生産との関係を明らかにするための観測はどうやらねばならないか、そのためにはどんな問題があるかを提起してもらおう。

そこで、プランクトン、卵・稚仔といった低次生物は、海中に均一に分布するのではなく、パッチ状や潮境域に収れんし数条の帯状に分布することが多いといわれる。とするならば、その分布の実態を把握したり、卵・稚仔の輸送過程を解明するためにはどんな問題があるかを鈴木秀彌氏、小西芳信氏、中田英昭氏に、変化の激しい浅海・内湾域の漁場環境の調査方法の具体例について井上尚文氏に、黒潮の離接岸変動の実態を把握するための調査方法とその変動が沿岸漁場の形成に及ぼす影響について竹下克一氏に、また、近年非常に関心が高まっているリモートセンシング技術を水産海洋研究、生物生産の機構解明のためにどのように役立てていくかといった問題点と将来方向について松村皐月氏にそれぞれ話題提供していただくことにした。

1. プランクトンの調査手法の現状と問題点

鈴木 秀 彌 (東海区水産研究所)

はじめに

水産海洋研究,あるいは漁業資源研究といわれる分野でのプランクトン調査については,全国的ネットワークで経年的に実施されている定型的調査がその特徴としてあげられよう(図1)。

変動する海の実況を把握し,経年的にその変動レベルを知るために定型的調査の役割は大きい。しかし,現在の各県水産試験場,ならびに海区水産研究所による調査体制が組織されてからすでに30年余を経ている。近年,各種観測機器の開発が進み,情報処理技術の飛躍的な進展と普及がみられているなかで,プランクトンの採集,定量,定性についての方法の精度などの問題が論議されてきている。また同時に,オイラー流の調査そのものに対しての見直しを通じて,研究の展望や方法論についての問題提起もなされてきている(鈴木1977,小達1980,船越1980)。

そこで,海域の生産層におけるプランクトンバイオマスの動態についての実体をどのように捉えたらよいか,さらに魚類資源の変動とのかかわりなどの基本的課題について,定型的プランクトン調査が果たす役割に視点を置いて考えてみたい。

1. 定型的プランクトン調査

現在,漁海況予報事業調査で実施されている,いわゆる定型的プランクトン調査は,戦後まもなく全国的規模で始められたイワシ資源調査にその端を発している。すなわち,陸上での漁獲物調査に対応して企画された海上での調査船による生物調査の力点は沿岸域におけるイワシ類の産卵量推定のための産卵調査におかれていた。また,観測定点の設定,プランクトンネットの種類ならびに採集の方法など,プランクトン調査としての基本的手法は産卵調査を主体として統一的に実施可能な形で定型化された。その後,この調査は多くの隘路のあるなかで沿岸重要資源調査から漁海況予報事業調査に引き継がれてきている。

したがって,定型的プランクトン調査の技術的方法と対象海域については,重要魚類の卵,稚子の採集を主眼とした産卵調査との整合的な側面を強くもっていること

が大きな特徴といえる。また,多数の定点におけるネット採集によって得られた生物量の一定面積当りの平均レベル(現存量)と,その時空的変動の把握を根幹とする手法は卵,稚子と同じく,その他のマクロプランクトンについても一応の定着をみている。

採集は,一般的に水産試験場ではマルトクネット(口径45cm,篩目割合は0.3mm),水産研究所ではマルナカネット(口径60cm,目はマルトクネットと同じ)による水深150mからの鉛直曳きである。その他にNORPAC網が使用されている場合もある。得られたマクロプランクトン試料については沈殿量,湿重量が統一的に測定されている。

それらの調査結果の1例として,千葉県から三重県にいたる沿岸の,いわゆる関東・東海ブロック海域におけるマクロプランクトン現存量の経年変化を図2,3に示す。このようにマクロプランクトンの存在様式を,その

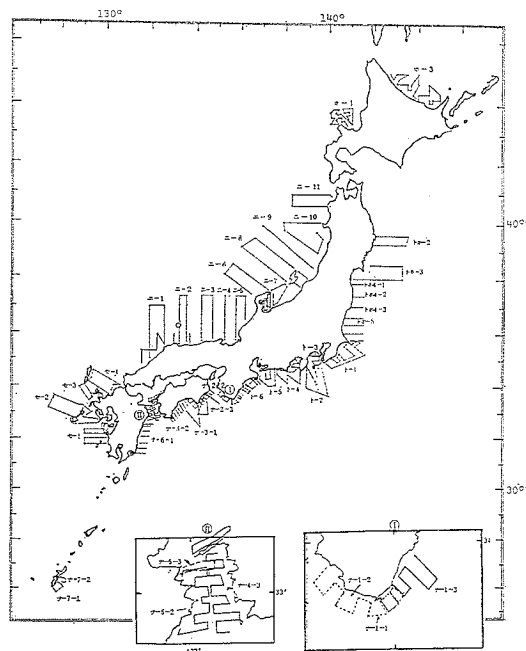


図1 漁海況予報事業における沿岸定線

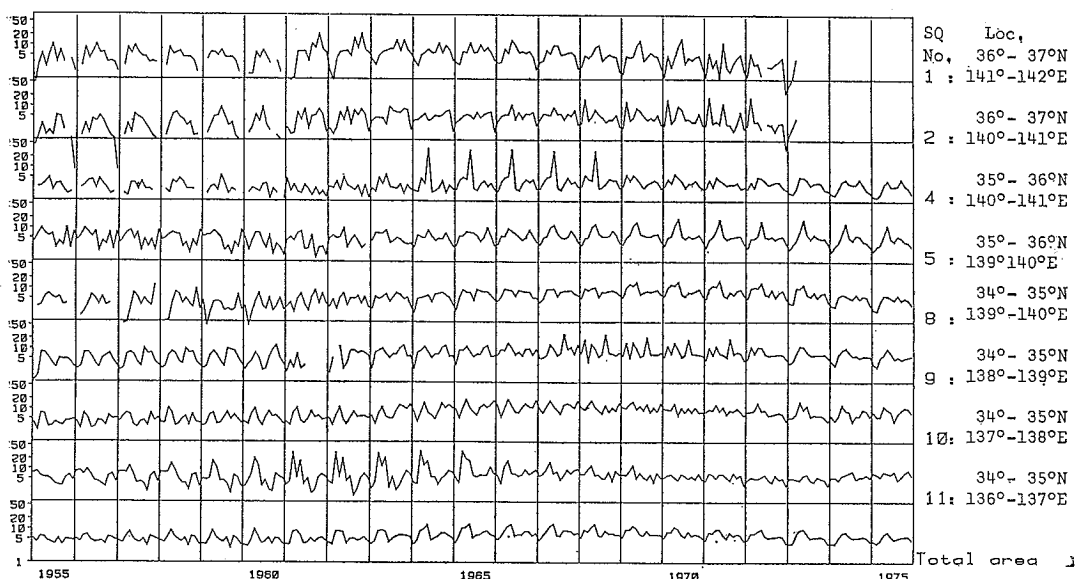


図2 月ごとに5か年移動平均したマクロプランクトン現存量 (g/m²)

現存量の時空的変動の側面から海域全体を俯瞰する包括的な視野のなかで捉えるための集計整理が経年的に継続して行われている。さらに近年では、関係水産試験場ならびに東海区水産研究所の担当研究者による関東・東海ブロック海洋連絡会などを軸として研究者相互の連携も深まり、それぞれの地先担当海域について多面的な解析が試みられてきている。

さらに、電算機の利用によって、これまでネックとされていた多量データの集計、解析が迅速に行われるようになった。これまでの定型的調査で得られた諸データを一面的な平均化ではなく、海域における物理環境の変動特性とその経年的レベルに対応したスケールでマクロプランクトンバイオマスの動態を数値化する作業は現在進められようとしている。水温、塩分の地点別データと整合させる形でコンピューター処理によるマクロプランクトン水平分布図の一部を図4に例示する。

2. 問題点と今後の課題

定型的調査で得られた結果が海の現象をどのように代表しているのかということはプランクトンネットによる採集物と魚の胃内容物にみられる種組成とのギャップなどからもよくいわれるところである。

研究の出発点ともいべき変動する海の現象についての実況をいかにして豊富に、かつ合理的に知るかということから定型的調査体制が維持されてきているとすれば、そこから得られたマクロプランクトンの平均現存量

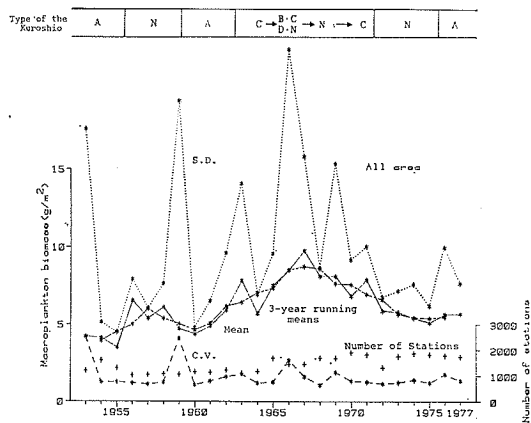


図3 マクロプランクトン現存量 (g/m²) の経年変化

そのものの見かけ上の時系列変動などについて、例えば、その周期性などについての機械論的な現象の説明に終るのではなくて、対象を“動くもの”として見る確かな認識を根底とする解析手法が必要とされよう。

ネット採集によって濃し集められたプランクトン採集物を、海域におけるプランクトン生産の荷手であるそれぞれの種個体群として仕分けて、その数量変動を具体的に位置づけていく、いわば自然の生産組織に復元していく根拠を得るためにはオイラー流の時系列調査に加えてラグランジュ流調査の活用がなくてはならない。その

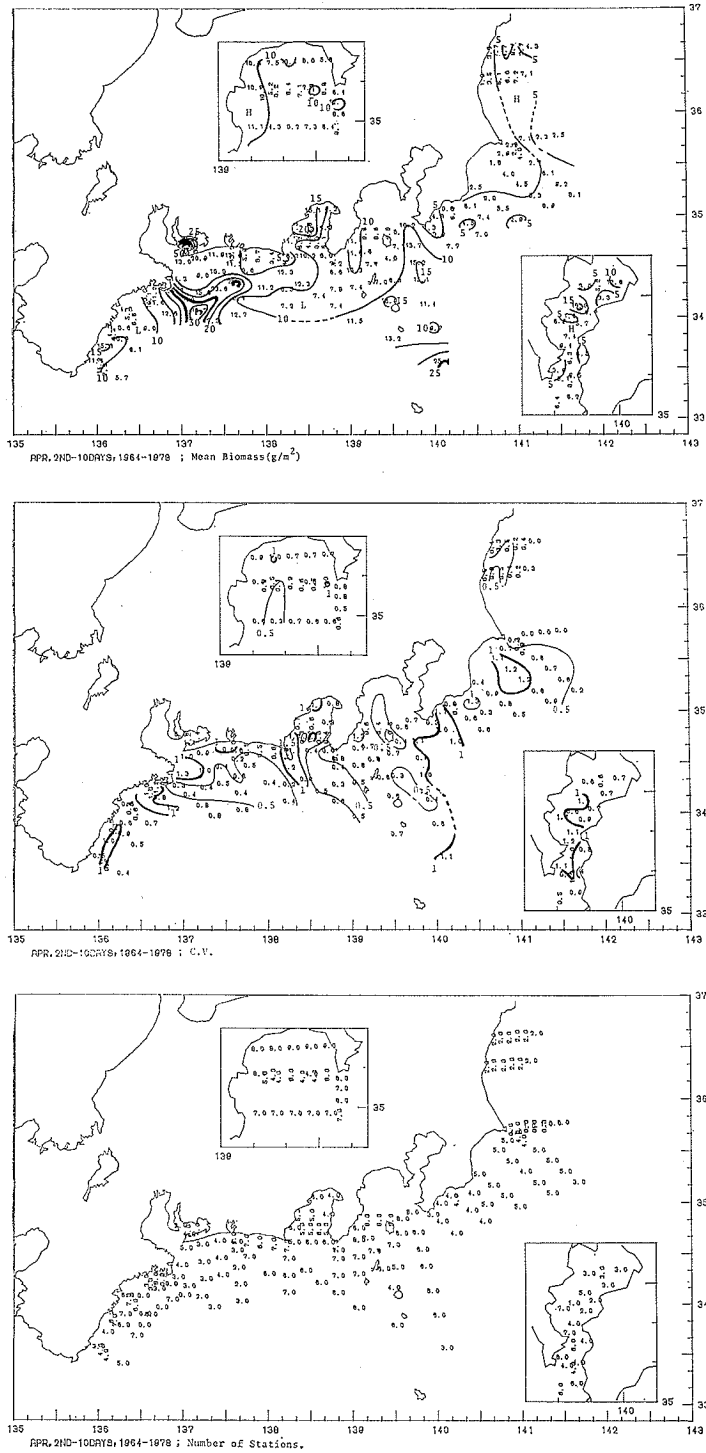


図4 マクロプラクトン現存量 (g/m^2) の旬平均(上), その変動係数(中)および測点数(下)の水平分布 (4月中旬, 1964~1978年)

反面、永年にわたるプランクトン現存量レベルの経年変化にみられる諸相はラグランジュ流調査の解析結果を具体的に評価するためのバックグラウンドとしての根拠をもつものでなければならぬであろう。

プランクトン研究の歴史は採集技術の歴史ともいわれるように、万能なネットはあり得ないと同時に合目的なネットでも曳網方法によっては効果のない場合が多い。一定のネット、一定の曳網方法による定型的調査が相対的にプランクトン現存量の変動傾向を知るために有効とされる由縁もそこにある。しかし、個々の調査船による調査結果の推論、解釈を払拭するためにも例えば現象のスケールに応じた multiple ship survey の目的に合うような調査船の運航も、調査船の機能を含めてこれまで以上に考慮される必要があろう。

以上のように、定型調査から得られる結果に対しての具体的な評価と位置づけを明確にしていくための方策がこれまで欠けていたことは、調査そのものにもさることながらプランクトンの定量、同定に多くの労力と時間がかかり過ぎたことによることも見逃せない事実であろう。このことは今後、効率的な調査方法（例えば音響を利用したバイオマスの連続的測定の併用）の実用化を推進するための大きな根拠の1つともなっている。現在、進められているプランクトンデータのMT化にしても、物理環境との相関についての解析も含めて、定型的調査から得られた結果のもつ意味と位置づけを検討する1つの方策でもある。

このように定型的調査そのものの検討がなされるなかで問題とされることは、非生物環境、生物環境、漁業生

物の産卵、卵稚仔の分布移動および漁況との相互の因果関係など資源変動あるいは漁況予測に、マクロプランクトンを中心とした海域の生物生産がどのような役割をもつかということである。関東・東海ブロック海域全体にわたるマクロプランクトンの動態というような、実験的手法をとることが極めて困難な対象の解析には精緻な論理の組立てと、それを基盤にした現象の整理が当面の課題として提起される。

ま と め

例えば、定型的調査で得られた諸データのコンピュータ処理を行うことの意味のあるところは、プランクトン採集、処理にかかわる精度などの技術的問題にもまして、これまで述べてきたように、方法論上の問題を展開していく契機としていくことにある。

要するに、過去30年余を通じてのデータを“使える形”にすることを改めて出発点とするものである。このことによって、冒頭に述べたような産卵調査そのものの補強的役割をさらに固めていくとともに、さらに合理的で効果的な調査体制の構築に向けての足がかりが得られよう。

文 献

- 船越茂雄(1980) シラスの分散と集合. 関東・東海ブロック水産海洋連絡会報, (5), 40-49.
 小達和子(1980) 海洋プランクトン——東北海区の混合水域. 海洋科学, 12(9), 634-645.
 鈴木秀彌(1977) 東海区海域における海洋特性と生物生産にかかわる研究上の問題点——マクロプランクトンとマサバの関係を例として. 漁業資源研究会議報, (20), 103-121.

2. 卵・稚仔分布の実態把握のための調査上の問題点

小 西 芳 信 (南西海区水産研究所)

1977年以降 200 海里体制が主流となって、漁業先進国は自国内だけでなく他国の水域も含めて、対象とする漁業資源の存在量や許容漁獲量の算定にまい進している。これらの量を求める方法には、数理統計調査、卵・稚仔調査、魚群探知機による魚群調査がある。卵・稚仔調査と魚群調査は漁業の影響をあまりうけず、かつ比較的即答性があることから最近脚光を浴びつつある。

卵・稚仔調査は、(1)産卵量、親魚量、資源量および許

容漁獲量の算定、(2)卵・稚仔の生残率の推定とその機構の把握、(3)卵・稚仔から漁業資源に加入するまでの補給量の推定とその機構の把握、などの目的のために行われている。

一般的に、魚卵・稚仔魚を含めたプランクトン生物は集中分布すると言われている。それがために調査結果の精度が悪化することもある。

ここでは、マイワシの卵・仔魚を主体にして、卵・稚

仔が集中分布することを統計的処理から述べ、ついで、これらが集中分布する要因を考えそれらの事例を示す。そして最後に、産卵量や卵・稚仔の生残および補給機構を把握するために、卵・稚仔分布の実態をどのようにとらえるかの観点から、調査回数、採集器具、採集方法の調査上の問題点について述べる。

1. 卵・稚仔の集中分布

図1に屋久島、種子島から潮岬に至る南西外海域で、

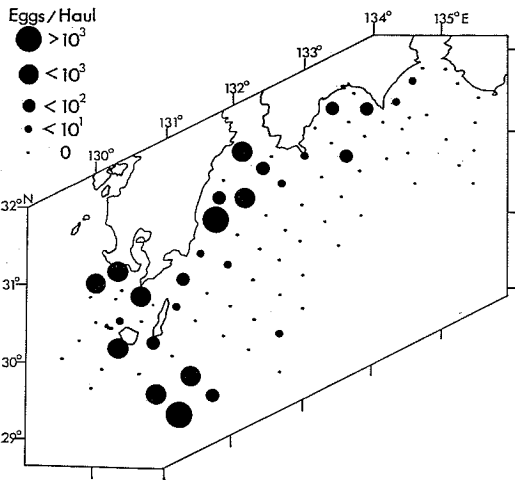


図1 南西外海域における丸稚ネット採集によるマイワシ卵の分布(1981年1月24日～2月8日)

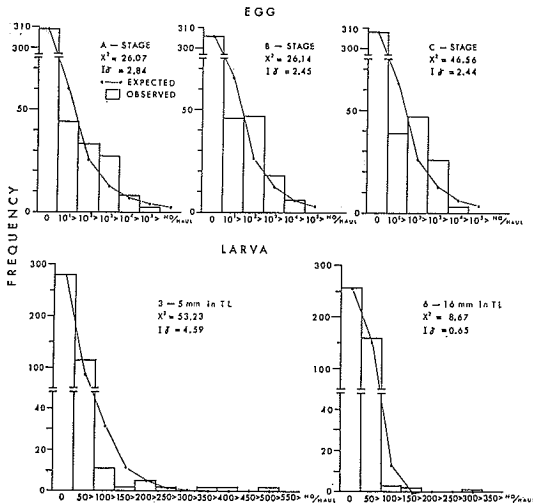


図2 南西外海域におけるマイワシ卵・仔魚の丸稚ネット1曳網当り採集数の頻度分布とそれらの負の2項分布へのあてはめおよび I_0 指数(1976, '77, '79, '80, '82年1, 2月)

20~30遅毎に設定した83調査地点の丸稚ネット採集(表層を船速2ノットで5分間水平びき、以下同じ)によるマイワシ卵の分布を示した。卵は屋久島、種子島の南側と大隈海峡、日向灘および土佐湾に集中してみられた。

図2に、図1と同様の水域で、丸稚ネットで採集されたマイワシ卵・仔魚の1曳網当り採集数の頻度分布と、それらの負の2項分布へのあてはめおよび I_0 指数を示した。生物が集中分布することの統計的処理として S^2/\bar{x} , 負の2項分布, I_0 指数が使われている(伊藤・村井1977)。ここでは後2者を求めた。すなわち、負の2項分布に適合すれば、また、 I_0 が1より大きければ集中分布を示す。マイワシの卵・仔魚とも、1曳網当り採集数の頻度分布の実測値は負の2項分布の理論値と類似している。しかし、これらのカイ2乗検定の結果では卵・仔魚のいずれも有意差があることから、実測値と理論値は必ずしも一致するとは言えない。一方、 I_0 指数は全長6~16 mm 仔魚を除いていずれも1より大きい。このように、ここに示したマイワシ卵・仔魚は I_0 指数では集中分布を示し、負の2項分布では必ずしもそういえない結果となったが、後者の場合、実測値と理論値の頻度分布が類似しないこともない。したがって、マイワシの卵・仔魚は集中分布するとみてよい。

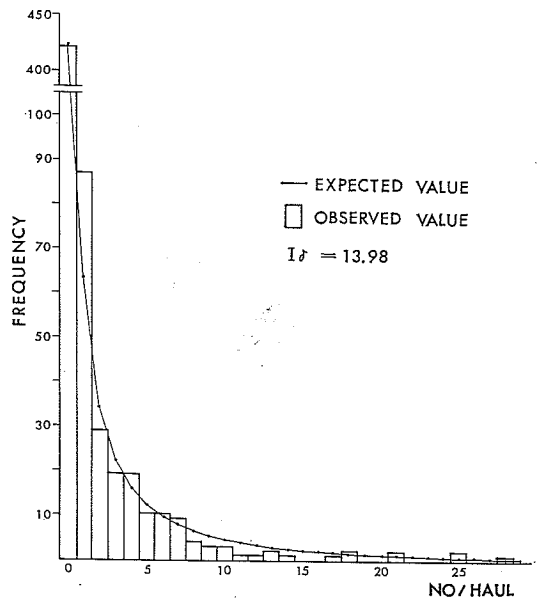


図3 南西外海域におけるサンマ稚仔の丸稚ネット1曳網当り採集数の頻度分布とそれらの負の2項分布へのあてはめおよび I_0 指数(1976~'81年1, 2月)

図3は図2と同様に丸稚ネットで採集されたサンマ稚仔魚についてみたものである。サンマ稚仔魚の1曳網当り採集数の頻度分布は負の2項分布によく適合しており、また、 I_0 指数も1より大きい。したがって、サンマ稚仔魚は集中分布することを示している。

2. 卵・稚仔の集中分布の要因と事例

図4に卵・稚仔が集中分布する要因をあげた。物理的要因として、風、水温、塩分の条件とこれらによって結果的に起こる海水の流動環境、および光条件があり、また、生物的要因として親魚の産卵生態、食害条件、摂餌行動、群行動がある。なお栄養塩などの化学的要因は、卵・稚仔の集中分布と直接に関係しないと思われるので除外した。

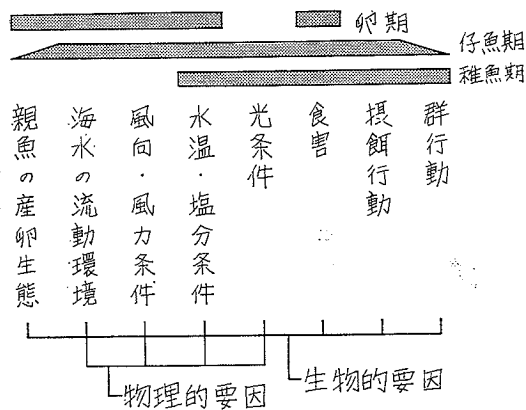


図4 卵・稚仔の集中分布の要因

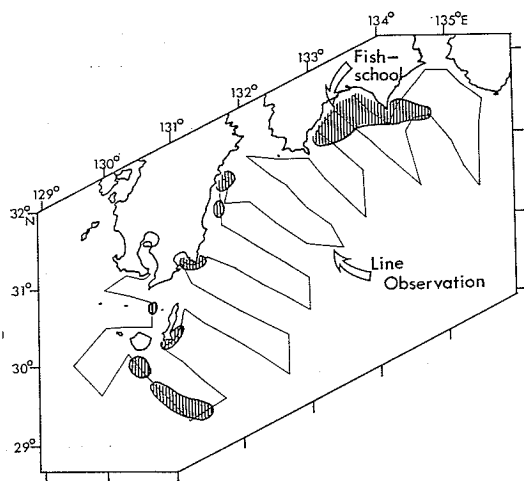


図5 南西外海域における魚群探知機によるマイワシ親魚群の分布(1981年1月24日~2月8日)(花岡未発表)

1) 親魚の産卵生態

図5に魚群探知機によるマイワシ親魚群の分布を示した。調査は図1と同様に1981年1月24日から2月8日にかけて行った。マイワシの親魚群は屋久島、種子島の南側と土佐湾に集中してみられ、他に日向灘でもみられた。このマイワシ親魚群の分布と図1のマイワシ卵のそれとほぼ一致している。つまり、当然のことながら親魚群の分布が集中型であるから、それらから産出された卵も集中分布することになる。

2) 渦流域

図6に薩南海域における表面海流の流向・流速、マイワシ親魚群、丸稚ネット採集によるマイワシ卵・仔魚の分布を示した。発生初期の卵は親魚群と同様に薩南海域の北西および南日向灘で多くみられた。一方、発生中期、後期の卵は薩南海域の東半域の黒潮とその陸側縁辺

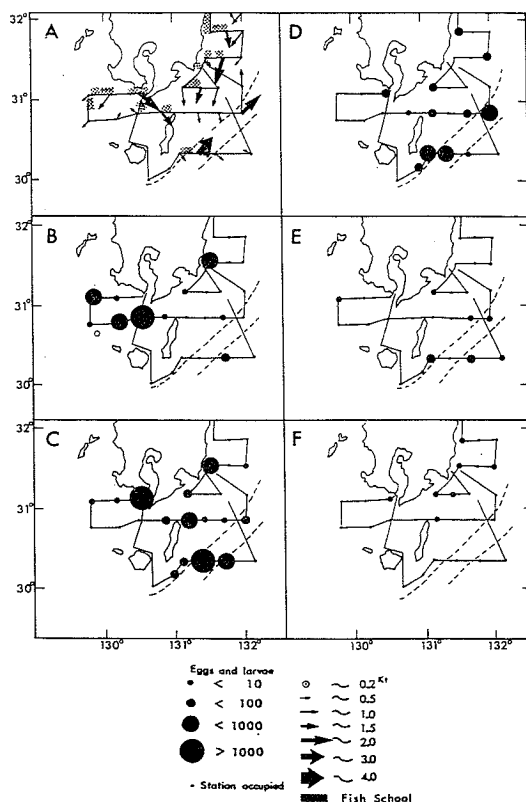


図6 薩南海域における表面海流の流向・流速、マイワシ親魚群、マイワシ卵・仔魚の分布
A—流向・流速、親魚群、B—発生初期卵、C—発生中期卵、D—発生後期卵、E—全長3~6mmの仔魚、F—全長6~16mmの仔魚(1977年2月9~19日)(小西1983)

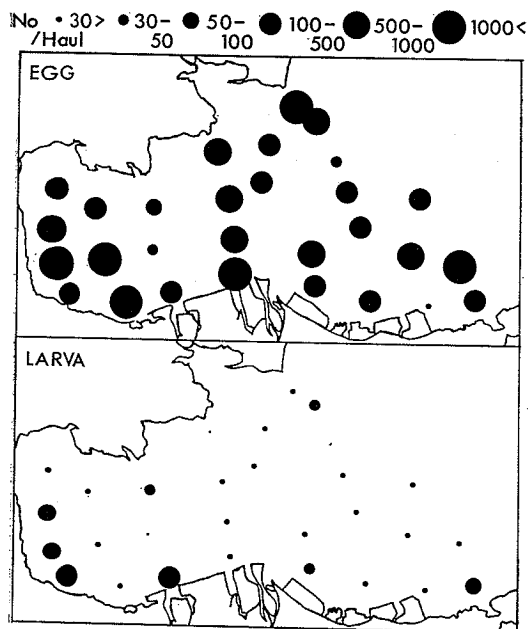


図7 別府湾における IKMT ネット採集によるカタクチイワシ卵・仔魚の分布 (1978年6月26~27日) (小西, 福岡 1979)

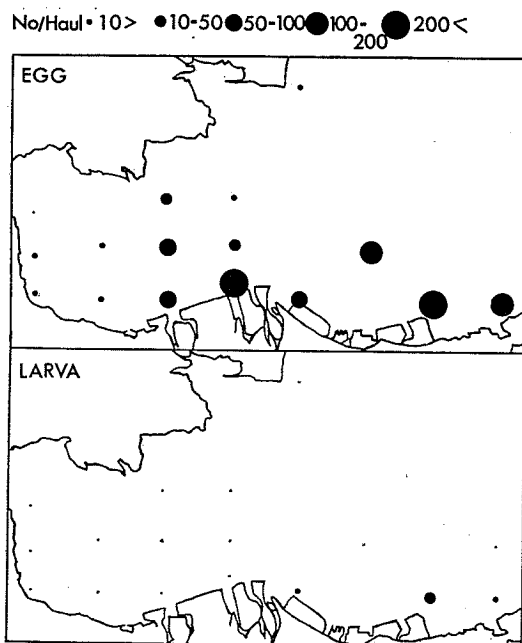


図8 別府湾における IKMT ネット採集によるマイワシ卵・仔魚の分布 (1979年3月1~2日) (小西, 福岡 1979)

に多くみられた。この黒潮とその陸側縁辺は、HATTORI (1970)が指摘する黒潮による卵・稚仔の輸送に関与する渦流域という流動環境である。

図7に、別府湾の29調査定点で行った IKMT ネット採集 (上, 中, 底層を5分間づつ階段びき, 以下同じ) によるカタクチイワシ卵・仔魚の分布を示した。大分県水産試験場 (1976) の報告によると、別府湾の東半域では反時計回りの、一方、西半域では時計回りの環流がある。カタクチイワシ卵・仔魚はこれらの環流の縁辺で多く中心部ではやや少ない。

このように、卵・仔魚が環流の縁辺に多くその中心部で少ない傾向は、反時計回りの表層流が卓越する土佐湾でもみられる (小西 1980b)。

3) 風向・風力条件

図8に別府湾の17調査定点で行った IKMT ネット採集によるマイワシ卵・仔魚の分布を示した。別府湾の北側の調査定点数が時化のために少ないが、卵・仔魚は同湾の南側で多い。このことは、表層を浮遊する卵・仔魚が冬期に別府湾に連吹する北西季節風の影響を受けているためと思われる。

4) 潮目 (水温・塩分条件)

表1に、土佐湾中央部の3環境下でばっち網によって

採集された幼稚魚の種類数と採集数を示した。表から幼稚魚は潮目に集まることが示唆される。ただし、ここに示した各種の幼稚魚は能動的に行動する発育段階のもので、流れ藻や潮目に餌場や逃避場として集群する側面もある。しかし、あまり運動能を持たない卵・仔魚が潮目に集群することは、潮目の微細な流動に関する川合他 (1969)の報告から推測できる。

5) 光条件

図9に土佐湾で行った丸稚ネットと MTD ネットの水面下 15, 35, 50, 70, 100 m の各層びきによるマイワシ卵・仔魚の発育段階別、昼夜別の垂直分布を示した。全長 7 mm 以上の仔魚は昼間は水面下の 15 m 層に多いが、夜間には表層で多く採集された。このことはやや成長した仔魚が日周期的に垂直移動し、とくに、夜間には表層に集まることを示している。

6) 食害・摂餌行動・群行動

これらの要因について演者が行った調査事例はない。しかし卵・稚仔が食害に遭い結果としてそれらの分布に濃淡が生じたり、また、稚仔の摂餌行動と群行動によってそれらが集群することは考えられる。

このような卵・稚仔の集中分布の要因は、卵・稚仔の発育段階によってその内容が異なると思われる。すなわ

表 1 土佐湾中央部の異なる 3 環境下でしらすばっ
ち網で採集された幼稚魚の種類数と採集数
(1980年 5月 7日～8月 1日) (小西他 1981)

潮目域で流れ藻あり (11曳網)

種 名	採集尾数	%
ウマヅラハギ	5,332	61.4
ブ リ	1,772	20.4
カワハギ	356	4.1
アミメハギ	216	2.5
ツクシトビウオ	158	1.8
ハリセンボン	123	1.4
マ ア ジ	85	1.0
カンパチ	69	0.8
ヨ ソ ギ	66	0.8
イシダイ	60	0.7
ゴクラクメジナ	47	0.5
アカカマス	42	0.5
カタクチイワシ	40	0.5
シ イ ラ	33	0.4
スジハナビラウオ	32	0.4
ハナオコゼ	31	0.4
ウスバハギ	21	0.2
サバ 属	18	0.2
ソウシハギ	18	0.2
ホソトビ	16	0.2
オヤビッチャ	16	0.2
イシガキダイ	13	0.1
アヤトビウオ	12	
アミメウマヅラ	9	
カイワリ	8	
タカベ	8	
ダルマトビウオ	7	
アオリイカ	7	
ニジギンボ	6	
アミメモンガラ	6	
キヘリモンガラ	5	
ホシフグ	5	
フグ科	5	
メダイ	4	
タツノオトシゴ	3	
ヨウジウオ	2	
ボラ科	2	
アカアジ	2	
ツムブリ	2	
ブリモドキ	2	
ギンガメアジ	2	
オキアジ	2	
イトヒキアジ	2	
サッパ	1	
オキエソ	1	
サンマ	1	
サヨリトビウオ	1	
ホソアオトビ	1	

ムロアジ属	1
メアジ	1
アイブリ	1
テンジクダイ科	1
ギンユゴイ	1
ムラサメモンガラ	1
ハコフグ	1
計	8,682

潮目域で流れ藻なし (5 曳網)

種 名	採集尾数	%
サンマ	44	29.1
カタクチイワシ	19	12.6
ハリセンボン	18	11.9
ヒメジ	12	7.9
カワハギ	10	6.6
オキエソ	9	6.0
ウマヅラハギ	7	4.6
マアジ	5	3.3
アオリイカ	4	2.6
ホソトビ	3	2.0
ヨソギ	3	2.0
カンパチ	2	1.3
イシダイ	2	1.3
ハコフグ	2	1.3
アカヤガラ	1	0.7
アカカマス	1	0.7
サバ 属	1	0.7
シイラ	1	0.7
カイワリ	1	0.7
ブリ	1	0.7
メジナ 属	1	0.7
ゴクラクメジナ	1	0.7
イシガキダイ	1	0.7
ヒメジ 属	1	0.7
アミメハギ	1	0.7
計	151	

潮目も流れ藻もなし (4 曳網)

種 名	採集尾数	%
ウマヅラハギ	143	79.0
カタクチイワシ	10	5.5
ブリ	7	3.9
マアジ	4	2.2
カイワリ	4	2.2
カンパチ	3	1.7
ツクシトビウオ	2	1.1
サバ 属	2	1.1
オキエソ	1	0.6
トウザヨリ	1	0.6
ホソトビ	1	0.6
イトヒキアジ	1	0.6
イシガキダイ	1	0.6
アオリイカ	1	0.6
計	181	

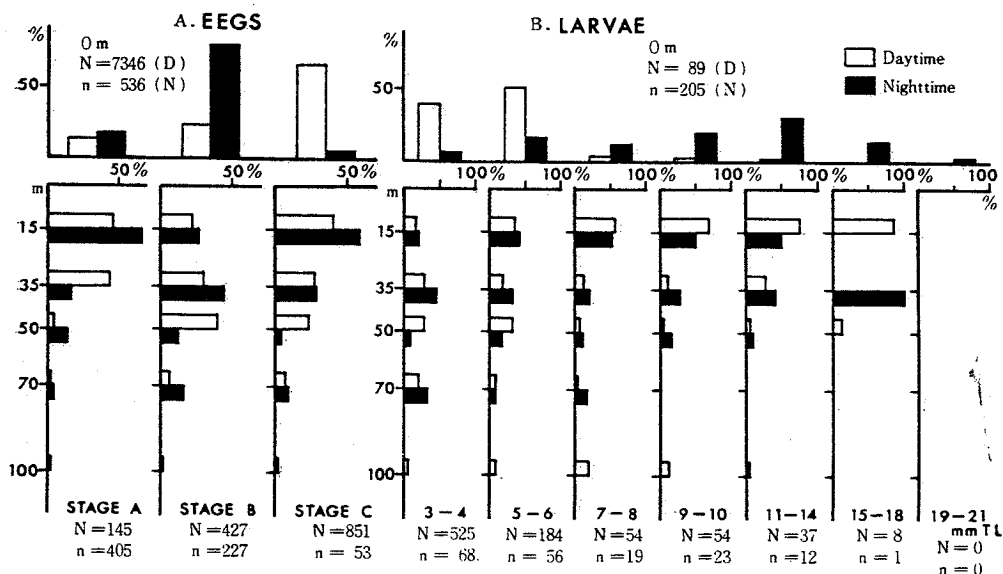


図9 土佐湾におけるマイワシ卵・仔魚の垂直分布 (1978年2月11~13日) (小西 1980a)

ち、図4の左側の要因ほどあまり運動能のない受動生活を送る時代に関与し、逆に、右側の要因ほど感覚器官の分化がすすみ、したがって運動能を伴った能動的な時代に関与すると思われる。また、これらの要因が複合して卵・稚仔の集中分布を形成することがあり、実際にはこのような場合が多いと思われる。

これまでに述べた卵・稚仔の集中分布の事例では、主として海水の表層における現象を取り上げた場合が多かった。垂直方向における卵・稚仔の集中分布も基本的には先に示した物理的、生物的要因が関与していると思われるが、この点に関する報告はあまりない。また、集中分布の規模や間隔に関する報告もほとんどない。

3. 調査上の問題点

1) 産卵量推定上の問題点

南西水研外海資源部は、毎年イワシ・アジ・サバ・ブリ・スルメイカ・サンマの産卵量を精査はあるが把握している。これらの基になる調査は、当水研が南西外海の沿岸、沖合で年1回1~2月に行うものと、鹿児島県から和歌山県までの7県水産試験場が行うものからなる。後者の調査は、当初原則として毎月1回であったが、昨今では諸般の事情からそれが揺らいできている。

南西外海域では、ほぼ周年にわたって産卵するカタクチイワシを除くイワシ・アジ・サバ類の産卵期は、冬期を中心にして秋から春にかけてある。これらの産卵量を月1回の調査から求めることは、図10に示した産卵の

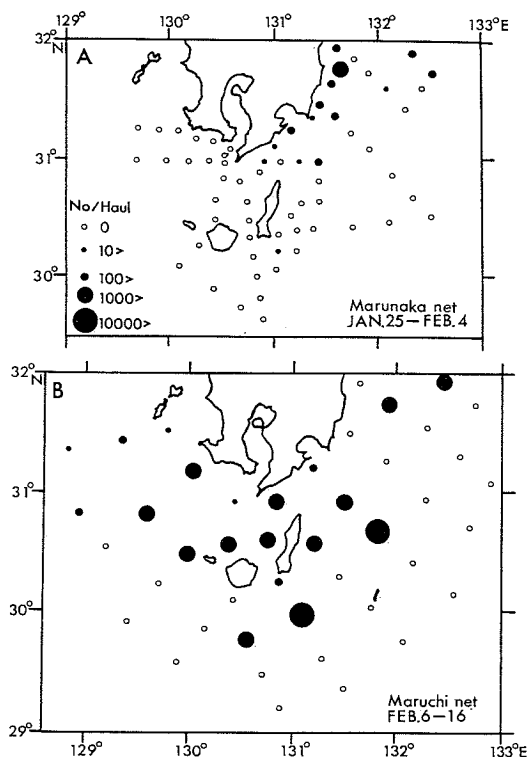


図10 薩南海域におけるマイワシ卵分布の短期変動

短期変動を考慮すると精度の悪化を伴う。

産卵量推定の精度向上のためには、それを求める方法にも問題がある。われわれは NAKAI and HATTORI (1962) の方法で、月 1 回の調査で採集された卵数だけを基に、その量が 1 カ月間持続するものとして 1 カ月に引き延した数に、卵期の生残率やその他の値で乗除計算してある月の産卵量を推定している。先のマイワシ卵分布の短期変動を考えると、調査時点の卵採集数だけでなく、同時に採集される仔魚数によって補正した値で、ある月の産卵量を推定する可能性を追究する必要がある。

図 11 に、南西外海域で行った丸稚ネット、ジェットネット (TANAKA *et al.* 1968)、丸中ネット (150 m 層からの垂直びき、以下同じ) 採集によるマイワシ仔魚の分布を示した。丸稚ネットと丸中ネットは調査定点で曳網し、ジェットネットは、黒潮を横断する定線上で定点間 (約 20~30 マイル) の 5~10 m 層を船速 8~10 ノットの高速で連続曳網した。3 つのネット採集によるマイワシ仔魚の分布は、黒潮とその陸側内側域ではほぼ類似している。このことは、高速曳網によって調査が短期間に行え、しかも卵・稚仔の集中分布をとらえそれらを平均的にみることができると長所を持つ連続採集法 (線の採集法) が、卵・稚仔の定量化に一面では有効であることを示している。そのためには、卵・稚仔の垂直分布を明らかにしておく必要がある。

産卵量推定のための卵・稚仔調査は、ルーチンとして広域に短期間のうちに行わねばならない。この調査の回数、採集器具、採集方法は相互に関係しており、原則として最低月 1 回の調査回数は守らねばならないが、同時に産卵量推定に仔魚の採集数で補正する可能性および線の採集法導入の可能性を検討して真の調査回数を求めなければならない。

2) 卵・稚仔の生残率とその機構を把握するための調査上の問題点

産卵量の推定のために卵期の生残率が必要であるが、現在わが国で標準的に使われている丸特ネット (150 m 層から垂直びき、以下同じ) と丸中ネットによるマイワシ卵の採集状況からは信頼のおける生残率は求められない (小西他 1981)。それが計算上求められても、実際は NAKAI and HATTORI (1962) の報告に近い値を産卵期間中常に一定として用いている。信頼のおける生残率が求まらない原因は、現在使われている採集器具、採集方法では卵分布の実態を十分とらえていないこと、また、産卵された卵を時空間的に追跡する調査設計がたてられていないことによると思われる。

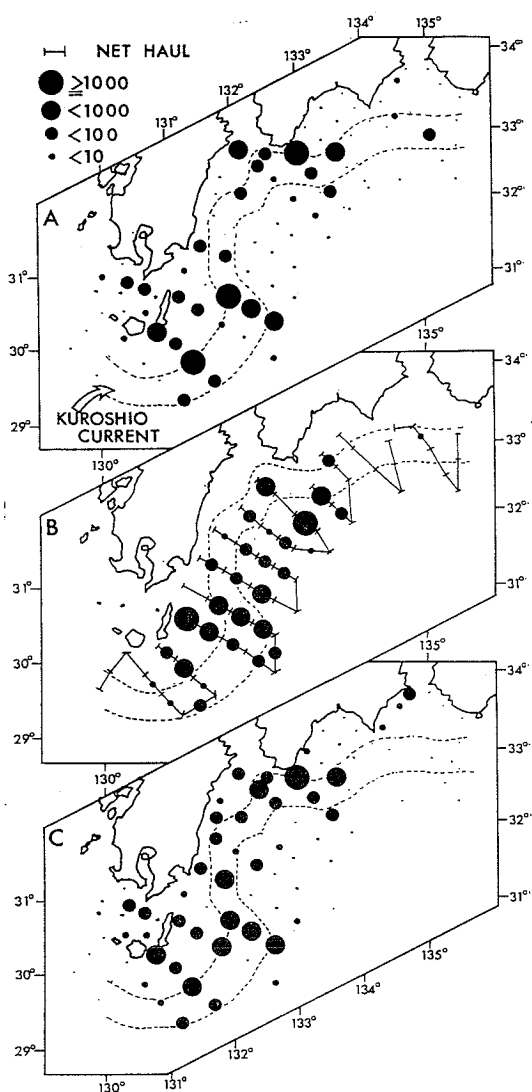


図11 南西外海域におけるマイワシ仔魚の分布
A—丸稚ネット 1 曳網当り、B—ジェットネット 1,000 m³ 当り、C—丸中ネット 100 m³ 当り (1981 年 1 月 24 日~2 月 8 日) (小西 1983)

産卵量推定の精度を高めるために、卵量だけでなく仔魚量も加えて推定する必要があることは先に述べた。そうならば仔魚期の生残率の値が必要である。マイワシ仔魚は全長 18 mm ぐらいから浅海域のしらすばち網漁場に加えられ漁獲されはじめる。したがって、卵・稚仔調査でマイワシの仔魚期の生残率を求めるためにフォローしなければならない発生段階は、卵から全長 18 mm ぐ

らいまでである。全長 10 mm 以上のマイワシ仔魚は、各県の水産試験場が行う丸特ネットの昼間曳網ではほとんど採集されず、また、水研が昼夜間に行う丸中ネット曳網では全長 15 mm 以上のものの採集数は少ない（小西未発表）。したがって、卵から全長 18 mm までの仔魚を採集するにはボンゴネットなどによる斜めびきが有効である（森 1981）。

卵・稚仔の生残機構に関与する要因は、餌や食害条件とつぎに述べる好・不適環境下への輸送条件がある（浅見 1962）。餌条件については、卵・稚仔の集中分布が餌生物のそれに遭遇する確率が問題視されている（田中 1981）。また、食害条件についても食害種と遭遇する確率が問題となろう。これらのことを把握するには卵・稚仔、餌生物、食害種 3 者の集中分布のスケールと間隔を調べることが必要である。そのためには線の採集法がとられなくてはならない。

3) 補給量の推定とその機構を把握するための調査上の問題点

補給とはマイワシについてみるなら卵・稚仔が産卵場から沿岸に輸送されて資源に加入することを言う。もちろん、卵・稚仔は沿岸だけでなく沖合の黒潮逆流の不適環境下へも運ばれる（図 11）。卵・稚仔の補給量をみるには、単に卵・稚仔分布と流況の関係を検討するだけでなく、その結果としてのしらすばち網による漁獲量まで加えて検討する必要がある。

また、従来、卵・稚仔の輸送機構を調べるために海流瓶、海流ハガキを使用していた。この方法では海岸に漂着したものだけが評価され、沖合へ流去して回収されなかったものは評価できず、さらに、時空間的に変化する過程もとらえられない。したがって、この目的のためには、多量に産卵された卵・稚仔や大量放流させた模擬卵を連続的に追跡調査するか、あるいはその場の流況を考慮して反復調査を行う必要がある。

最後に卵・稚仔研究は多数の研究者と補助研究者が必要である。研究者は各水産研究所に 1 人という状態で、年齢構成から今後ジリ貧となることが予想される。また、卵・稚仔の選別、同定を行う補助研究者は臨時職員に頼っており恒常的雇用が困難である。調査上の問題点にはスタッフの充実も含めて考える必要がある。

文 献

- 浅見忠彦 (1962) 太平洋南区のカタクチワシ *Eng-raulis japonica* (HOOUTUYN) に関する研究. 南海水研報, (16), 1-55.
- HATTORI, S. (1970) Preliminary note on the structure of the Kuroshio from the biological point of view, with special reference to pelagic fish larvae. The Kuroshio—A symposium on the Japan Current—, East-west Center Press, 399-404.
- 伊藤嘉昭・村井 実 (1977) 動物生態学研究法(上巻). 古今書院, 東京, 268 頁.
- 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. 海面における収束発散の実測とその解釈. 南西水研報, (1), 1-14.
- 小西芳信・福岡和光 (1979) 主要な漁業対象魚類の初期生態. 埋立の漁業環境への影響に関する調査研究昭和53年度報告書, 南西水研・水大校・大分水試, 99-116.
- 小西芳信 (1980a) マイワシとウルメイワシの卵・仔魚の垂直分布について. 南西水研報, (12), 93-103.
- 小西芳信 (1980b) 土佐湾におけるマイワシ卵・仔稚魚の補給経路. 水産海洋研究会報, 36, 41-50.
- 小西芳信・花岡藤雄・古藤 力 (1981) しらすばち網型稚魚網によるブリ仔の採集状況について. 天然ぶり仔資源保護培養のための基礎調査実験昭和55年度報告, 日本栽培漁業協会, 133-139.
- 小西芳信・平田益良雄・河野孝吉 (1981) 産卵調査からみた南西外海域における1980年のマイワシ資源量の推定. 200 カイリ水域内漁業資源調査昭和54年度卵・稚仔特定調査報告書, 水産庁研究部資源課, 71-76.
- 小西芳信 (1983) 薩南海域におけるマイワシの卵・仔魚の分布, 1976-1981 年. 南西水研報, (15), 103-121.
- 森 慶一郎 (1981) 魚類プランクトンの定量的採集方法(レビュー). 漁業資源研究会議報, 水産庁・水産研究所漁業資源研究会議, (22), 29-51.
- NAKAI, Z. and S. HATTORI (1962) Preliminary studies on fluctuation in the Japanese sardine stock, mainly for the prewar period. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 9, 23-53.
- TANAKA, H., I. IMAMIYA, M. AZETA, and M. ANRAKU (1968) A hydrodynamic study of a modified model of the Clarke Jet Net. Mar. Biol., 1(3), 204-209.
- 田中 克 (1981) 海産仔魚の摂餌と生残—IV, 天然海域における餌生物の密度. 海洋と生物, (15), 293-299.
- 大分県水産試験場 (1976) 埋立の漁業環境への影響調査昭和50年度報告書, 大分水試, 92頁.

3. 卵・稚仔の輸送過程

中 田 英 昭 (東京大学海洋研究所)

はじめに

海域における卵・稚仔の漂流・分散の過程は、流れの構造とその変化に基本的に支配されている。しかしながら、流速観測等の技術開発が進み、各地で精度の高い測流データが得られるようになった現在においても、卵・稚仔の輸送にかかわる流れの役割はいまだ観念的に論じられることが多い。これは一つには、卵・稚仔の輸送を具体的に問題にし得るような微細な時間・空間スケールにまで立ち入った流れの観測や生物採集が十分になされていないことによる。すなわち、初期減耗にかかわる卵・稚仔の輸送過程を明らかにするには、産卵後数日から十数日といった微細な時間スケールの、しかも産卵場周辺の局所的な流動変化ないしは卵・稚仔の空間分布変化を知る必要があるが、このような実測資料はこれまで非常に少ない。

1975年10月に長崎市で開催された「九州西方海域における卵・稚仔の輸送」に関するシンポジウムの討論の中でも、このような問題点が既に幾つか具体的に指摘されている*。とくに卵・稚仔輸送にかかわる流れの構造とその変動を生物サイドの情報とどのようにかみ合わせるかについては多くの議論がなされ、産卵場からの漂流物の放流・追跡と生物採集とを組み合わせた観測、魚卵そのものを用いた分散実験、卵・稚仔分布の時間変化の追跡による分散過程の実測など新たな試みの必要性が強調されている。

最近、稚仔魚の飼育等の技術的な進歩ともなって初期減耗にかかわる諸条件が実験的に究明されてきているが(田中 1981)、フィールドにおける卵・稚仔分布とその変化、産卵場からの輸送等の実態については、最初に述べたようにいまだに資料が十分に得られていない。著者らはこれまで、黒潮域、相模湾、瀬戸内海、志々伎湾(長崎県平戸市)など種々のスケールで、流れの構造の変化にもなう水温変化や漂流ブイ・ハガキ等の動きの変化を測定し、これらを卵・稚仔の漂流・分布と対比することによって両者の関連の詳細を明らかにしようとして

きた。ここではまず、これまでの研究成果にもとづいて、1) 卵・稚仔の産卵場からの輸送過程、とくに風による変動の問題、2) 沿岸への卵・稚仔の補給過程、とくに沿岸水と沖合水との間に存在する前線の役割、について幾つか具体的な事例を紹介しながら、今後の調査・研究手法のあり方を探ってみる。

1. 産卵場からの輸送過程

瀬戸内海においてこれまでに実施された表層漂流ハガキによる流動調査結果から、瀬戸内海の表層水の動きが風によって大きく左右されていることが明らかになってきている。とくに、播磨灘・周防灘など従来から停滞性が強いといわれている海域では、表層水の移動速度と風速との間に密接な対応関係があることが示されている(中田 1982)。

漂流ハガキ等の標識を用いた流動調査から得られる情報には、漂流経路が明確でないなど幾つかの限界はあるが、卵・稚仔の輸送過程を調べる上で重要な数日ないし十数日という時間規模の物質の動きを知る上で、この種の資料はきわめて有用である。例えば、中田(1982)は瀬戸内海東部におけるイカナゴの主な産卵場の一つである鹿ノ瀬(播磨灘北東部)で、産卵時期に数回ハガキの放流をくりかえし、その結果からイカナゴ稚仔の移動方向や分散の度合いが産卵時期の卓越風の状況に大きく左右されていることを示唆している。イカナゴ稚仔の発生量変動に産卵盛期の北西季節風の強弱が大きく関与していることは既に指摘されているが(浜田 1966)、ハガキ調査から得られた事実はそのことを明確に裏付けている。

このような風によるイカナゴ稚仔の分布変化の実態については、現在のところ調査資料が十分とはいえない。しかしながら、岡山県水産試験場の調査資料にもとづいて、備讃瀬戸中央部に産卵されたイカナゴ稚仔の分布状況を稚仔の全長別に描いてみたところ、稚仔の成長にもなう漂流分散の状況が調査前の風の状況(高松)とよく対応していることがわかってきた。図1は、1976年1月26~28日(A)、2月25~27日(B)、1977年1月17~19日(C)の調査結果(松村ほか 1976, 1977)について、調査前1週間の風の状況(3時間ごとの観測データから

* 本会報第 28 号に掲載

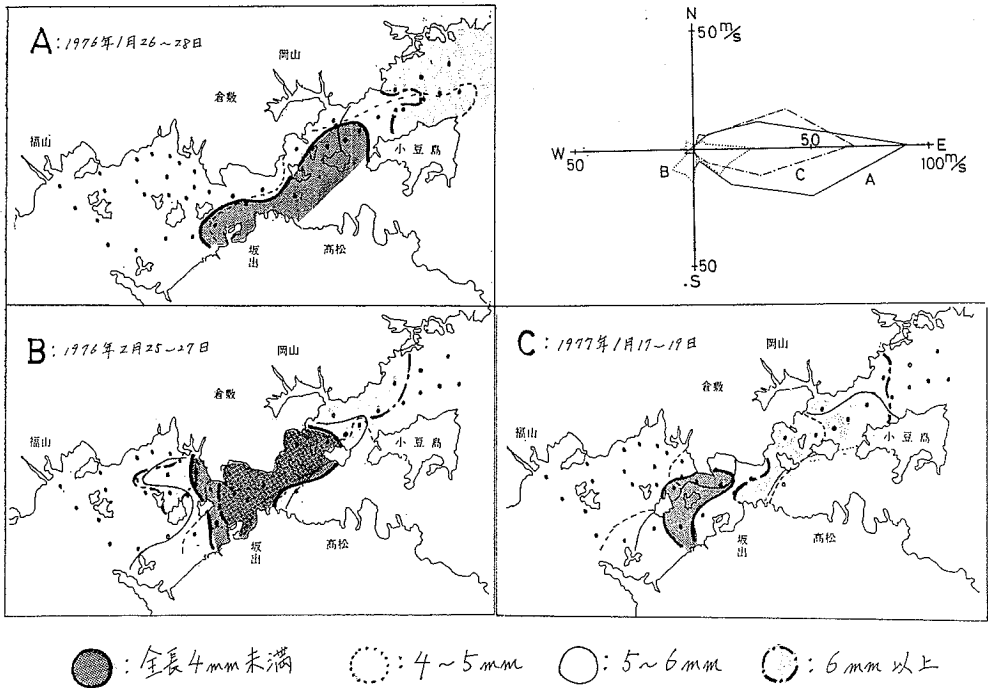


図1 備讃瀬戸におけるイカナゴ稚子の分布パターンによる体長の変化。稚子の全長別に平均尾数以上採集された範囲を图示してある。右上方はイカナゴ調査前1週間の高松における風向別風速積算値（風の方向はここでは風の吹き去る方向を意味している）

求めた風向別風速積算値、図1右上方)を対比したものである。3つの調査例のうち最も西寄りの風の強い1976年1月の場合(調査前1週間の平均東向風速 $\bar{w}=3.4\text{ m/s}$)には、イカナゴ稚子は東方にきわめて速やかに移動しているのに対して、2月の例($\bar{w}=0.6\text{ m/s}$)では産卵水域と考えられる備讃瀬戸中央部に滞留する傾向が強い。1977年1月($\bar{w}=2.6\text{ m/s}$)には稚子の分布域は次第に東方に移動しているが、その速度は1976年1月の場合より遅い。イカナゴ稚子採集の時間間隔をさらに密にし、香川・徳島・兵庫など隣接水域についても同様の調査資料を収集していけば、風による稚子の漂流分散の実態をより定量的に把握することも可能となろう。

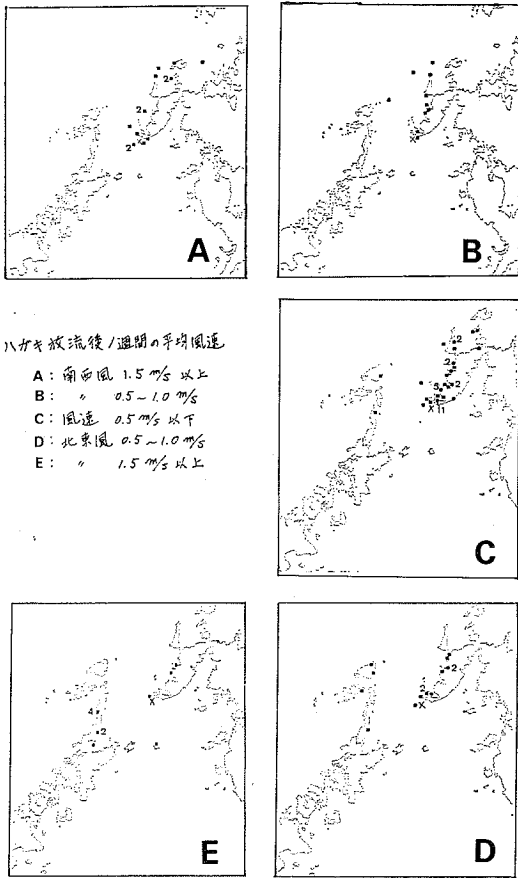
次に、九州西方におけるマダイ幼稚子の生育場の一つとして知られる志々伎湾(長崎県平戸市)で、マダイ仔魚の産卵場からの補給に関連して最近実施した漂流ハガキ調査の結果について述べる。

図2は、志々伎湾沖合のマダイ産卵水域(産卵親魚の濃密分布域、図中×印)で1982年3月中旬から7月中旬まで5~7日ごとに放流(1回に50枚、計20回放流)した漂流ハガキの、放流して1週間以内の漂着状況を放

流後の風の状況に応じてA~Eの5つに類別して示したものである。ハガキは志々伎湾周辺など平戸島西岸一帯に多数漂着しており、この産卵場が志々伎湾への仔魚の補給源の一つとなっていることが窺えるが、ことに風の影響の弱い時(C)に志々伎湾周辺への漂着傾向が著しいことがわかる。なお、この調査におけるハガキの回収総数は393枚(回収率39.3%)で、このうち89枚(回収総数の22.6%)が放流して1週間以内に回収された。

一方、図3は西海区水産研究所のこれまでの調査結果にもとづいて、各年5月上旬の志々伎湾湾口におけるマダイ仔魚の採集量(田中、私信)とその年の4月中旬~5月上旬の平均風速(南西風成分、平戸の観測値)との関係を示したものである。データ数は少ないが南西風の強い年ほど仔魚の補給量が多い傾向がみられる。ハガキ調査の結果と一見矛盾するように思えるが、これらの結果は、産卵期の風の状況如何によって志々伎湾に運ばれてくるマダイ仔魚の補給源や補給量が年々変化していることを示唆しているようで大変興味深い。

以上、風の変化に応じて産卵場からの卵・稚子輸送の様相が異なる可能性があることを瀬戸内海・志々伎湾に



ハガキ放流後1週間以内の平均風速
 ×: 放流点, ■: 漂着場所, 数字: 漂着枚数
 A: 南西風 1.5 m/s 以上
 B: " 0.5-1.0 m/s
 C: 風速 0.5 m/s 以下
 D: 北東風 0.5-1.0 m/s
 E: " 1.5 m/s 以上

図2 漂流ハガキの漂着状況(放流後1週間以内)
 ×: 放流点, ■: 漂着場所, 数字: 漂着枚数

における調査事例から示してきたが、これらに関する実測資料は現状ではまだ十分でない。水温・塩分・流速等の連続測定、時間的に密な生物採集などを組み合わせながら実態をさらに究明していく必要がある。

2. 沿岸への補給過程

相模湾の沿岸水と沖合水の間には、2°C程度の水温差を持った水温前線が存在しており、この前線はまた流れのシアゾーンにもなっている。図4はこの前線を横断して空間的に密な卵・稚仔採集(表層連続曳)を実施した結果の一例を示したものであるが、水平距離1~2kmで2°Cほど水温が急変する前線をはさんで、卵・稚仔数に著しい変化がみられることがわかる。すなわち、卵の分布は前線の沖合水側に著しく偏っているのに対して、稚仔(主にマイワシ)は水温が急変する前線付近に個体数がきわめて多い。また、マイワシの卵の発生段階、

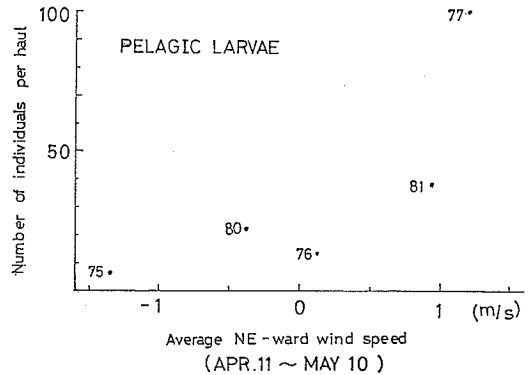


図3 志々伎湾湾口におけるマダイ仔魚採集量と風との関係

稚仔の体長組成などの分析結果によれば、前線の沖合水側で採集されたものほど発育の初期段階のものが多い。

相模湾沿岸でしばしばみられる水温の急上昇現象は、前線の変動にともなって沖合水が沿岸に間欠的に補給される結果ひきおこされるのではないかとされているが、このような沖合水の補給機構はまた、前線周辺に集中的に分布している卵・稚仔の湾内への補給にも重要な役割を果たしているものと考えられる。

こうした流れの前線は、瀬戸内海、別府湾、志々伎湾などにおけるこれまでの調査結果にもみられ、それぞれのスケールで湾内水の交換や沖合から輸送される卵・稚仔の湾内への補給に大きな影響を及ぼしている。

図5には別府湾湾口における測定例を示した。ここでも湾内水(図の左側)と湾外水(図の右側)との間に2°Cほどの水温差を持つ前線が存在し、その位置や水温傾度は潮汐の満・干に応じて変化している。図中(上段)に付記した数値は、水温測定とあわせて行った丸稚ネットの表層曳(5分間)による稚仔の採集数(1網あたり)を表わす。前線を境にして1マイルほどの空間規模で稚仔数には大きな変化がみられ、その傾向は水温傾度の強まる満潮時前後に顕著である。レーダーブイ追跡等の結果から、この前線をはさんで流れの様相が湾の内・外で異なっていること、前線の潮汐等にもなる変動が湾内水の交換に重要な役割を持っていることなどが次第に明らかになってきている。このような流れの情報とあわせて卵・稚仔の分布に関する時空間的に細密な採集資料を蓄積していくことができれば、これらの沿岸への補給過程とそれに対する前線等のかかわりを明確にとらえることが可能となる。

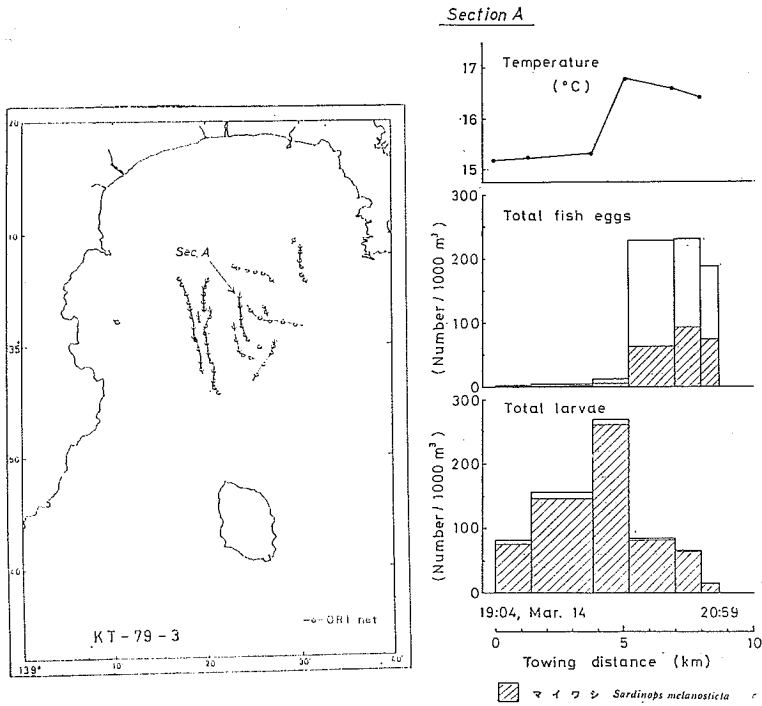


図4 水温前線を横断しての卵・稚仔の分布状況，1979年3月14日の観測結果（相模湾，ORI-100ネットの表層曳による）

3. 観測手法に関する課題

これまで示したような流れ・水温等の時空間的な微細変化に対応する形で卵・稚仔の漂流分布の実態をとらえるためには，時間的には連日，空間的には少なくとも1マイル程度の空間規模でこれらのサンプリングを行う必要がある。海洋の物理サイドの情報については，既に係留ブイ・定期船などを利用した連続的なモニターが行われているが，生物サイドの情報については，採集の方法・頻度など工夫を要する点が数多く残されている。

たとえば，毎日のように運航される定期航路の船舶を生物採集に利用することは，卵・稚仔等の出現・分布の日々の変化を追跡する方法の一つとして注目されるが，このためには10~15ノットの高速で採集できる航走採集ネットや戸別用の海水を大量に船上にくみあげる揚水ポンプなどの開発が不可欠である。また，現在主に沖合で用いられているプランクトン・レコーダー（LHPRなど）を，浅海域でもっと頻繁に使えるように工夫するなど新たな連続採集器の開発にも努力する必要があるだろう。このような連続採集がルーチン化されると，次には当然のことながらそのサンプル処理の問題が出てくる。むしろ，この点が物理サイドの情報と生物を結びつける上で大きな妨げになっているともいえる。できれば採集・戸別する際から必要とする生物情報のある程度仕分けでき

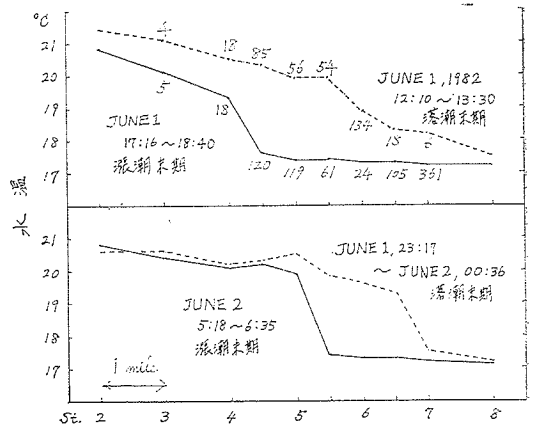


図5 別府湾湾口における表面水温と稚仔数の変化，上段の図中に付記した数値は1網あたりの稚仔採集個体数（丸稚ネット表層5分曳による）を示す

る，この点が物理サイドの情報と生物を結びつける上で大きな妨げになっているともいえる。できれば採集・戸別する際から必要とする生物情報のある程度仕分けでき

るように工夫することが望ましいが、当面は観測に携わる物理・生物双方の研究者が相互に緊密に連絡をとりながら観測を進めることが肝要であろう。

日々の沿岸海況変化や生物情報を得るもう一つの方法として、毎日現地に出漁している漁業者からの情報を活用することが考えられる。既に漁海況速報などにはこのような情報がシステムにとり入れられているが、卵・稚仔のように直接漁獲対象にならないものについては、この種の検討例は少ない。最近、志々伎湾において、卵・稚仔に代わるものとして海面における流れ藻の漂流状況に関する目視観測を、地元の漁業者の協力を得ながら周年にわたって継続したが、ブイ追跡結果などから示唆されていた流れの前線付近に流れ藻の出現頻度がきわめて高いという大変興味深い結果が得られている。必ずしも新しいアプローチの方法というわけではないが、このような観測を積極的に導入していくことも今後考える必要があるように思われる。

一方、卵・稚仔等の物質輸送にかかわる流れの実態を調べるには、漂流ハガキ等のトレーサーの動きを追跡するラグランジュ的な測流方法がきわめて有用である。現在のところ、多数個のトレーサーを同時にしかも数日にわたって追跡することは技術的に難しいが、送信機付きの小型ブイなどの開発が進めばそれも可能になるかもしれない。また、卵・稚仔の輸送など生物がらみの問題を考える場合には単に表層水の動きをとらえるだけでは不十分であり、何らかの方法で流れの鉛直プロファイルを測定することが必要になる。さらに、流れの前線周辺での物質の鉛直的な挙動を明らかにするには、水平方向の収束・発散の測定に加えて、中立浮きなどを用いた鉛直流の測定が必要になる。これらに関する測定手法を開発・確立し、実測資料を蓄積していくことは重要な課題といえる。

最近、塚本・柳(1982)は漂流ハガキの動きをシミュレーションによって再現することによって現地の実態に即した流動モデルを作成することを試みているが、現地の情報をこのような演繹的な手法と組み合わせながら物質輸送の実態を探っていくことは、今後の研究の方向として大変興味深い。

おわりに

卵・稚仔輸送にかかわる流れの問題がいまだに観念的に論じられることの原因の一つとして、実測資料が非常に少ないことを強調してきた。これを言いかえれば、実測資料が少ないにもかかわらず、想像力を駆使した推論があまりにも多くなされてきているということになるのかもしれない。その意味ではまず、流れと生物情報の両面から現地の実測資料を丹念に積み上げ、それぞれの変動実態を十分に把握することが重要と考えられる。たとえば、同様の時空間スケールで平均した流れと生物それぞれの“マップ”を用意して両者の比較を試みることなどは、基本的に必要なことであるが、統計的にも十分信頼され得る形で両者のこのような比較を行った例はこれまでほとんどない。どのような時空間スケールに注目して両者を比較するかは、大変重要な問題であるが、卵・稚仔輸送に関しては、風による数日規模の変動、沿岸前線周辺の1マイル程度の空間規模の変動がきわめて重要なことをここでは指摘した。

現地の実態が把握された段階では、数値実験等による流れのダイナミックモデル、生態モデルの確立とその現地観測による検証が重要な課題になるものと考えられる。このような数値モデル化に向けて、現地観測計画や手法の今後のあり方を考えていくことも必要であろう。

文 献

- 浜田尚雄(1966) 播磨灘、大阪湾におけるイカナゴ発生量変動に関する研究—III. 日本水産学会誌, 32(7), 579-584.
- 松村眞作・唐川純一・三谷 勇・安家重材(1976) 備讃瀬戸における1976年のイカナゴ仔魚. 昭和50年度岡山県水産試験場事業報告, 105-113.
- 松村眞作・唐川純一・三谷 勇(1977) 備讃瀬戸における1977年のイカナゴ仔魚. 昭和51年度岡山県水産試験場事業報告, 57-62.
- 中田英昭(1982) 近年の調査資料からみた瀬戸内海の流況・海況について. 水産海洋研究会報, 41, 34-38.
- 田中 克(1981) 海産仔魚の摂餌と生残—II. 海洋と生物, 3(1), 63-68.
- 塚本秀史・柳 哲雄(1982) 赤潮発生環境としての播磨灘 IV. 1982年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 12-13.

4. 浅海・内湾の漁場環境調査手法と問題点

井上 尚文 (西海区水産研究所)

はじめに

複雑な自然条件にとりかこまれている沿岸・内湾域の海洋構造は、変動要因の多様性のために、外洋にくらべると一般に複雑であるばかりでなく、時間・空間的に大きな変動を示す。こうした海域での海洋観測では把握しようとする現象の規模に対して観測配置が適切になされているかどうかということが、きわめて重要な問題といえる。観測の同時性や広域性および連続性に関しては、近年、人工衛星・航空機によるリモートセンシングやロボット観測の導入によって飛躍的な前進がみられているが、従来からの調査船による観測では、高度に開発された航海計器や観測機器が装備されている今日でも、観測の同時性などを確保することは仲々むずかしいものがある。けれども、探究目標を達成するための不可欠な条件として、調査設計の段階で目的に応じた適切な観測配置が考慮されていなければならない。

本報告では浅海・内湾のうちでも際立った特性をもつ有明海を対象海域として、当海域における従来からの定線観測や自動観測装置による観測の現状を述べ、特殊観測として実施された数10隻の船の定置による同時連続観測の調査概要を紹介しながら表題について若干の考察を加えて報告する。

1. 有明海の概要

有明海の総面積は約 1,700 km² で、福岡・熊本・長崎・佐賀の4県に囲まれた胃袋型の形状をした内湾である。肢湾として湾の北西部に諫早湾(泉水海)が湾入しているほかは、顕著な島・岬の突出や深く入り込んだ部分も少なく単調な海岸線が縁どられている。遠浅のため干拓や埋立が古くから行われており、湾奥などには直線状の人工海岸が多い。

湾口は幅 5 km 内外の早崎瀬戸を通して橋湾に接しているが、水深が浅くて狭少な三角・柳・本渡の3瀬戸を通して八代海(不知火海)ともわずかに交流している。

水深は湾口部の早崎瀬戸から島原半島沿いに50~70mの深みがあるが、大部分は30m以浅で、湾全体の平均水深は20mにすぎない。

海底地形は湾口部、湾中央部、湾奥部にそれぞれ特徴

のある地形が形成されている。

湾口部の早崎瀬戸には東西方向に数条の溝状地形が発達している。強い潮流の侵食作用によって形成されたとみられるこの地形は、連続性を欠いており、所々で溝が切れたり、切れた溝同志がつながり合うなどによって、全体として網目状の特異な海釜となっている。

湾中央部には30~40mの平坦面が広く分布している。これはウルム氷期末期の海退によって形成されたと考えられている(海上保安庁 1974)。

湾奥部には南北に細長く伸びた海底砂州があり、この両側には湾奥に流入している各河川の湾に連なる海底水道が形成され特徴的な地形を示している。このような海底砂州の地形は、世界各地の干満の差の大きい海域に知られている“tidal current ridges”に相当し、8m以上にもおよぶ大きな潮汐を示す韓国西岸域には顕著な海底砂州が発達している(鎌田 1979)。

さて、有明海の最も著しい特徴は、わが国で最も大きい潮汐と発達した広大な干潟である。有明海の大きな潮汐は、この湾の固有振動の周期と潮汐の周期(半日周潮)に起因しており、外洋潮汐が湾内に入ったときに湾内水が共鳴現象を起すためである。最大潮差は湾口部で3m、湾南部で4m、中部で5m、三池沖合で5.5m、湾奥で5.8mで、湾奥に向かって著しく増大している。六角川河口部では6.5mに達する。潮汐の最も大きな成分は半日周潮であり、1日周潮との比は湾口部で0.3、湾内で0.25以下で半日周潮がきわめて卓越している。以上のように大きな潮差の結果、干潮時には広大な干潟が露出する。干潟の総面積は231km²で、有明海全体の面積の13.6%を占めているが、とくに流入河川の多い湾奥部や東部の熊本県側および西部の諫早湾に著しく発達している。大潮の干潮時には筑後川河口域では7.5kmのはるか沖合まで干出する。

潮流は大きな潮汐に対応してきわめて優勢である。大潮平均流速は湾口部で6.6ノット(最大7ノットを超える)、湾南部で2~3ノット、湾中央部で1.5~2ノット、湾奥部と沿岸部で1~1.5ノットを示している。湾奥に至っても強い流速を伴っているのは、潮汐の場合と同様

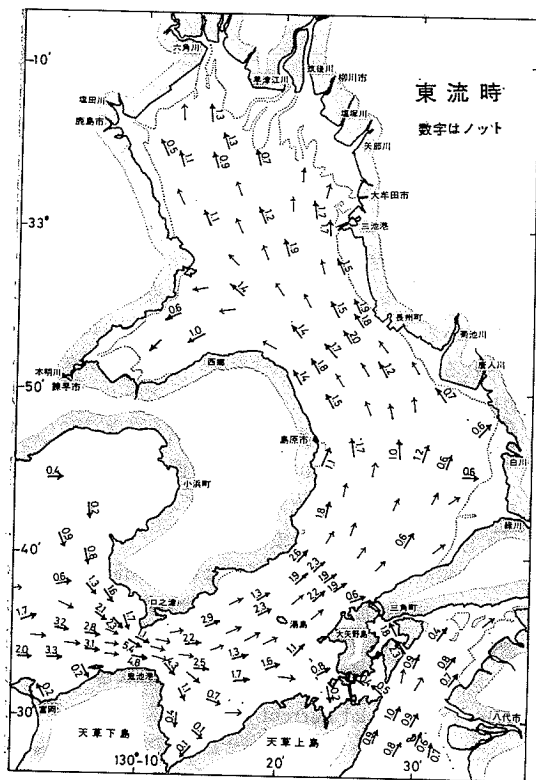


図1 早崎瀬戸東流最強時の平均流速分布
(春秋大潮期, 海上保安庁 1974)

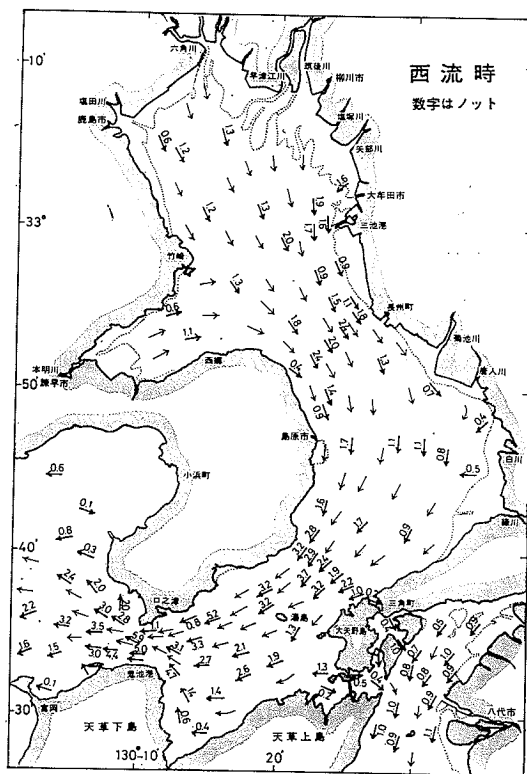


図2 早崎瀬戸西流最強時の平均流速分布
(春秋大潮期, 海上保安庁 1974)

に定常波共振による振動増幅とみられている。1日周潮流の半日周潮流に対する比は全般的に 0.15 以下で、半日周潮流は潮汐のそれよりもさらに卓越している。流向は湾軸方向に半日周期の規則正しい変化を示し、上げ潮と下げ潮ではおおむね逆向きである (図1・2)。

湾内の流動を恒流の分布からみると、湾南部、湾中央部、湾奥部にそれぞれ独立した環流を形成する恒流がある。湾奥部では東部の三池沖に北向きの流れが存在し、湾奥部になるにしたがって北西に向きが変わり、全体として反時計回りの流れを形成している。湾中央部も大勢としては反時計回りの傾向を示している。南部では全体的に湾口へ向かう流れとなっており、島原半島沿いで、この傾向が顕著である。早崎瀬戸では南北両岸沿いに湾内への流入がみられ、両者は瀬戸中央部で合流し再び湾外へ流れている。恒流の分布から有明海全体の大勢をみると、湾口から熊本県・福岡県側の沿岸沿いを湾奥へ向かって流入し、西側の佐賀県・長崎県の沿岸寄りを湾口へ向かって流出するという流動パターンが推定される。湾内を水塊的に分けると、湾奥部および東側の熊本県接

岸部の河口域、その沖の内湾水域、島原沖から三角にかけての混合水域と南部の外海水域の4水域に大別できる (青山 1977)。

以上、有明海の特徴をきつまって述べた。繰り返しになるが、大きな潮差と発達した干潟、これらに加えて筑後川をはじめ多くの河川の流入は他の海域には類をみない独得な特性をそなえた内湾といえる。このような環境特性は湾内を生活の場としている魚介類をはじめ海産生物の生産やそれらを対象とする漁業生産にも顕著に反映されているし、有明海をわが国でも漁業生産の最も高い水域にしている。とくに干潟とこれに続く浅海域は生物生産量がきわめて大きく、養殖によるノリと貝類の生産がきわめて高い水域になっている。

有明海の基幹漁業の座を占めているノリ養殖は有明海の環境特性を十分に生かした漁業といえるが、ちなみに1978年の生産は36.2億枚(生重量換算12.5万トン)で、707億円という莫大な額に達している(西海区水研1981)。

なお、有明海特産の生物として、ムツゴロウ、オオシヤミセンガイ、アリアケヒメシラウオなど15種が棲息し

ている。また、独特の漁法として強い潮流を利用したアンコウ網漁や竹羽瀬漁などがある。

2. 有明海における海洋観測の現状

有明海の漁場環境に関連した海況調査は、主として有明海をとりまく4県水試によって相当古くから行われているが、有明海全体における組織的な調査が実施されるようになったのは、1972年からの漁海況予報事業の一環として開始された浅海定線観測からである。この調査は、途中で長崎県の定線が廃止されたので、現在は福岡・熊本・佐賀の3県により、月1回の割で実施されている。図3に観測点分布を示す。観測は、大きな潮汐を考慮して、毎月朔の大潮の昼間満潮時を中心に配置し、原則として3県一斉観測を実施するようにしている。佐賀県を例にとると、満潮時を中心に前後2時間の範囲内で11地点の観測を行っている。この定線調査とは別に、1972年度には水産庁の内湾漁場の環境観測網の整備計画に基づいて自動観測装置による観測が開始された。現在、福岡県2基、佐賀県3基、熊本県2基、長崎県1基、計8基の自動観測装置によって観測が行われている(図3参照)。

自動観測装置の配置は有明海全体を総観して合理的に

決定すべきであろうが、各県の事情によってそれぞれの地先漁場内に設置されている。設置方式は干潟域に位置する福岡県と佐賀県の各装置が塔方式、比較的に水深の大きい熊本県と長崎県はブイ方式を採用している。設置点の沖出し距離は福岡県の2号(F-2)は三池港岸壁から約100m、長崎県の1号(N-1)は島原市の沿岸から800m、熊本県の2号(K-2)は長州町の沖合1.5kmで、いずれも海岸近くにあるが、ほかの装置は6~7kmの沖合に設置されている。

自動観測装置の設置付近一帯は長崎県を除くと、冬期はノリ養殖の中心漁場、夏期はサルボウやアサリなどの漁場となっている。

観測項目は水温と塩分が主な要素であるが、必要に応じて気温、ノリ温、pH、DO、流向・流速などが観測されている。

観測間隔は設置当初は15分間隔を採用していたが、装置の電力消費の問題や保守管理など経済的および労力的な負担、さらに莫大な観測データの処理や保存などの面から現状にあわせた測定間隔の検討が行われ、水塊の移動速度や持続時間および欠測が生じた場合の再現性などを考慮して、特殊観測の場合を除き1時間間隔の観測が採用されることになった(宮地 1979)。

観測は各県水産試験場を基地局とするテレメトリング方式で行っている。この方式は、基地局から設定された時間に指令を出すと、海上局はこれをうけて観測を行い、測定値をデジタルパルス符号に変換して基地局に送信し、基地局ではデータをタイプアウトするというシステムである。

自動観測装置の観測は当初は周年の観測体制が計画されていたが、観測値の利用度、夏季の精度維持の困難性、保守管理、経費などの面から現在では、9月から翌年の3月までの主としてノリ養殖期間に実施している。

自動観測装置から送られた情報の処理と利用状況について佐賀県と福岡県を例にしてみると(曾根ら 1979)、基地局に送りこまれた0~23時までの各定時の観測値の1次処理としてまず、データチェックと補正(干出時の水温・塩分などは赤字で印字されるようになっており、それらの値の除去など)を行った後、観測項目毎に1日の平均値、標準偏差、最高、最低を求めるとともに、昼間満潮時の水温、塩分を抽出して整理表に記入する。さらに日平均や昼間満潮時の値については図化も行っている。次に2次処理としては観測点の各要素の変動解析、ノリ養殖情報と対応、観測装置間の関係、欠測時の補完、短期予測などが行われている。

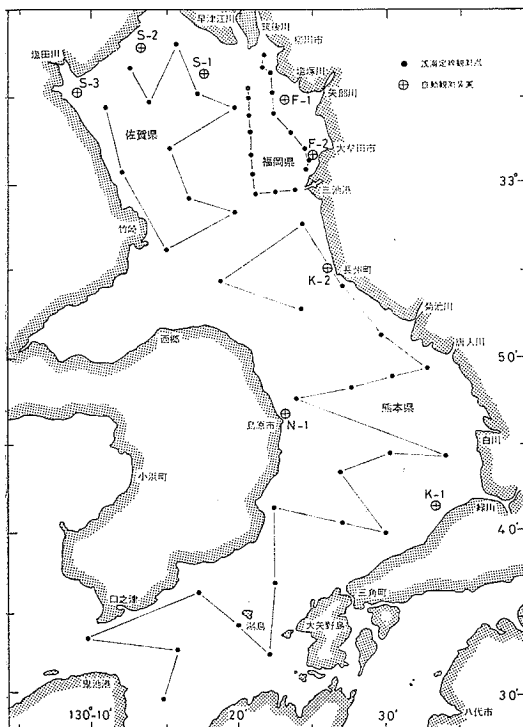


図3 浅海定線観測点および自動観測装置の設置点

ノリ養殖は海況条件によりそれぞれに対応した管理方針がとられているため、毎日の環境変化や短期の水温予測に対する漁業者の要望はきわめて高い。したがって自動観測装置で得られた結果は漁業用情報として、新聞社(8社)やラジオ・テレビ局(各1社)を通して日報として通報している。また、週報として漁連、漁協、関連機関に対し、ノリ養殖情報とともに文書で通報されている。

以上のように、有明海では浅海定線観測や自動観測装置から得られた環境情報は海況変動解析などの研究面の情報源になっているばかりでなく、ノリ養殖漁業に直接利用され、具体的に漁業の場によく還元されている。

さて、定線観測結果や自動観測装置で得られた時系列データから調査時における海況の概況や様々なスケールの現象の存在することをわれわれは知ることができる。しかし、一歩進んで海洋構造のしくみやそこに内在する変動のメカニズムに触れようとするとなんとも不明な点も多い。すなわち自動観測装置では観測の連続性は保証されるが、数少ない固定点における状況しか把握できない。定線観測では広域性は充たされているとしても、月1回程度の観測では連続性が問題で、変動の大きいこの海域では現象の時間的空間的変化を十分に追跡することができない。このようなことから目的に応じて計画された特殊観測などが必要になる。

既に述べたように有明海は、ノリ養殖にとって好適な条件が揃い漁場の利用率はきわめて高く、その生産は他の海面漁業の生産額を大きく引きはなしている。しかしながら、漁期におけるノリの育成過程で環境の及ぼす影響は大きく、年によって生産が質量ともに大きく左右されることが多い。生産の変動要因を考えると種苗生産から摘採にいたるまでの高度に開発された養殖技術のなかにも問題がないとはいえないが、自然環境を直接利用するという養殖形態から漁場をとりまく環境の変動特性にかなった漁場利用、すなわち合理的な養殖管理や病害に対する適切な対策が行きとどかないことが大きな要因としてあげられている。したがってノリ養殖漁業を進めてゆく上で、具体的な育成管理はもとより、安定した生産を計るためには漁場環境の実体の解明と漁期における木目の細かい実況把握は欠かせないのである。各県水試は適正な養殖管理はもとより養殖漁業の発展を支える基礎として定型的な観測のほかに、従来からそれぞれの漁場において特殊な調査を企て、諸々の漁場環境に関する調査を精力的に展開してきたが、次に特殊調査の1例として福岡県有明・佐賀県有明の両水試と西海区水研の3機関の共同で有明海湾奥部を対象に実施した多数船の定置

による同時連続観測について述べてみたいと思う。

3. 多数船の定置による同時連続観測

多数船の定置による共同観測は1974~1977年の4年間に5度実施された。そのなかから1975年7月24日に実施された定置点配置を図4に示した。

調査に参加した57隻の船は、主としてノリ漁業または潜水漁業に従事する漁船で、有明海の強い潮流や干出するという事情(もたもたしていたら干潟の上にとり残されて、次の潮が満ちてくるまで何時間でも待たねばならぬ)などから毎時30~40kmの速い船速をもつ4~5トンの漁船である。

まず、このような特殊調査を試みた背景を多少述べよう。再三述べたように、有明海は大きな潮差に対応して潮流が卓越している。調査海域にあたる湾奥部には筑後川のほか大小の河川が流入し、満潮時には各河川のかなり上流まで感潮するが、干潮時には6~7kmの遠くの沖合まで露出する。また、湾奥部に発達した海底砂州と海底水道の地形は流動に複雑にからんでいるはずである。下げ潮時における河川水や上げ潮時の沖合水はそれらの影響をうけて流動し、海の様相は時々刻々と著しく変化する。

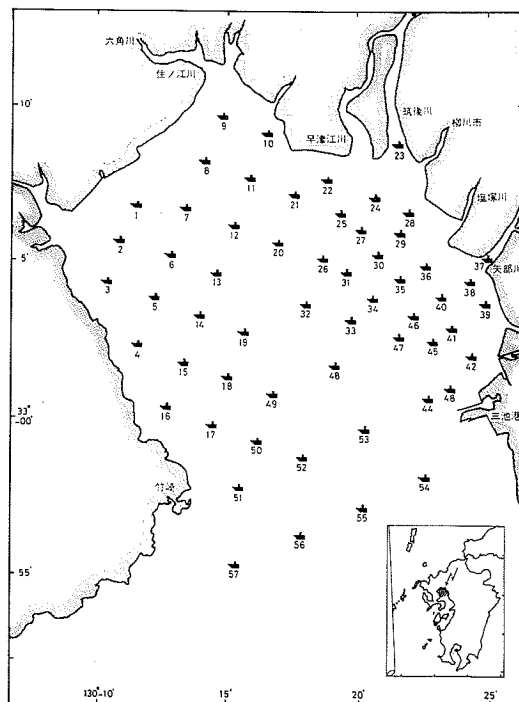


図4 57隻の定置による観測点分布(1975年7月24日, 7時30分~19時30分)

従来から特殊な観測を除けば、広域を覆う観測の場合は予め観測点が設定され、それを1隻の調査船で順次観測してゆくという航走観測が一般的な方法としてとられている。しかし、これは厳密に言えば観測しようとする海の現象が定常状態であるという前提に立った観測手法で、海の状態が時間とともに大きく変化する海に適した方法ではなく、とくに生じられる現象が複雑な沿岸・内湾域の観測でそれがいえよう。今、潮流の卓越した有明海で、潮汐スケールを考慮せずに観測した場合を仮定して得られる結果について考えてみよう。これについては既に村上(1968)も有明海湾奥部を例として具体的に指摘している。

図5は前述の57点の同時連続観測で得られた資料に基づき、1隻の船で航走しながら観測を行った場合を想定して描かれた塩分分布である。図5(a)は57点の観測点のうちから、筑後川河口域を中心に37点をえらび、同河口の観測点①を起点として、ほぼ満潮時の9時30分に観測を開始し、三池港南部の観測点③⑦を終点としている。その際、観測所要時間は1点につき4分間(表面採水測温と表面測流)、船の速度を毎時25kmと見積ると、最終点の観測は16時33分に終了となり、全部の観測に7時間3分を要する。想定観測の塩分は同時観測で得られている30分毎の資料から観測点毎に想定観測時に最も近いものを用いている。図5(b)は同じ条件のもと

に、観測の順序だけを逆にした場合の想定塩分分布である。いずれにしても最初と最後の観測点では観測時が約7時間ズレている。観測点によって満潮時、下げ潮、干潮時の時間帯の測定値が同じ図中に含まれている。観測時のズレのため、後掲の図6・7に示している潮時別の塩分分布とくらべてみると、各測点における塩分値も等値線の配列もかなり異なっているのは当然としても、観測の順序を逆にするによって予想もされない相異なる塩分分布のパターンが現われる。これを流れのベクトルについて適用してみると、観測時刻が統一されていなければ全く話にならない。繰り返しになるが、観測しようとする現象の変動スケールに対応した観測設計が重要で、こうした条件を欠いた観測から得られた資料に基づく考察結果がいかに実態からかけはなれているかは明白であり、間違った結論さえ導き出される危険性がある。そこで、われわれは有明海湾奥部における漁場環境の変動特性を解析するにあたって、それに応え得る情報のとり方について討議を重ねているうちに、潮時別に流れや水温・塩分その他の実況を正確に把握することから始めようということになり、共同調査として多数船による同時観測を4年間にわたって展開した。

1975年7月24日は、月齢16日の大潮で当日の7時30分から57点で一斉に観測を開始し、19時30分まで続けられた。主な観測項目は、①30~60分毎の表面の採水測

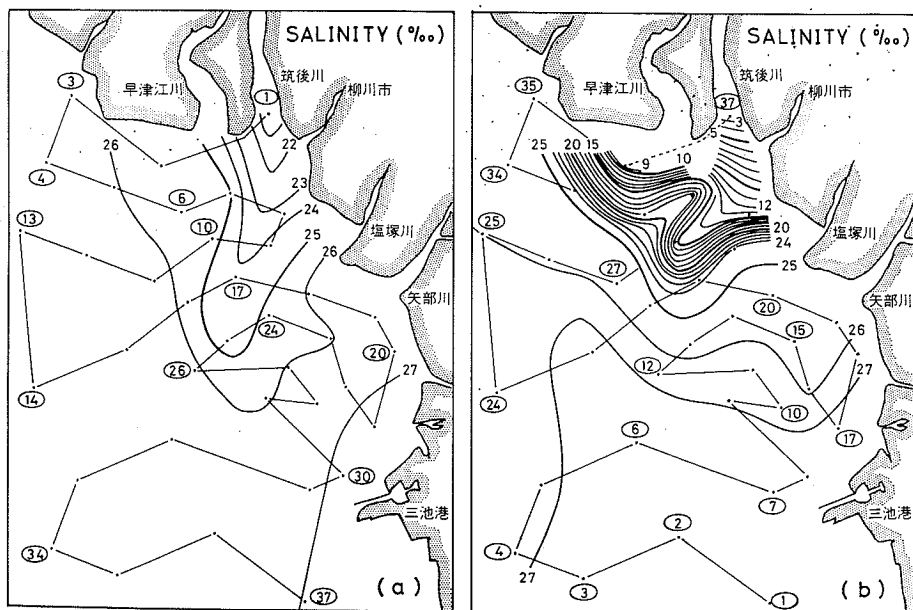


図5 想定航走観測から得られた表面の塩分分布

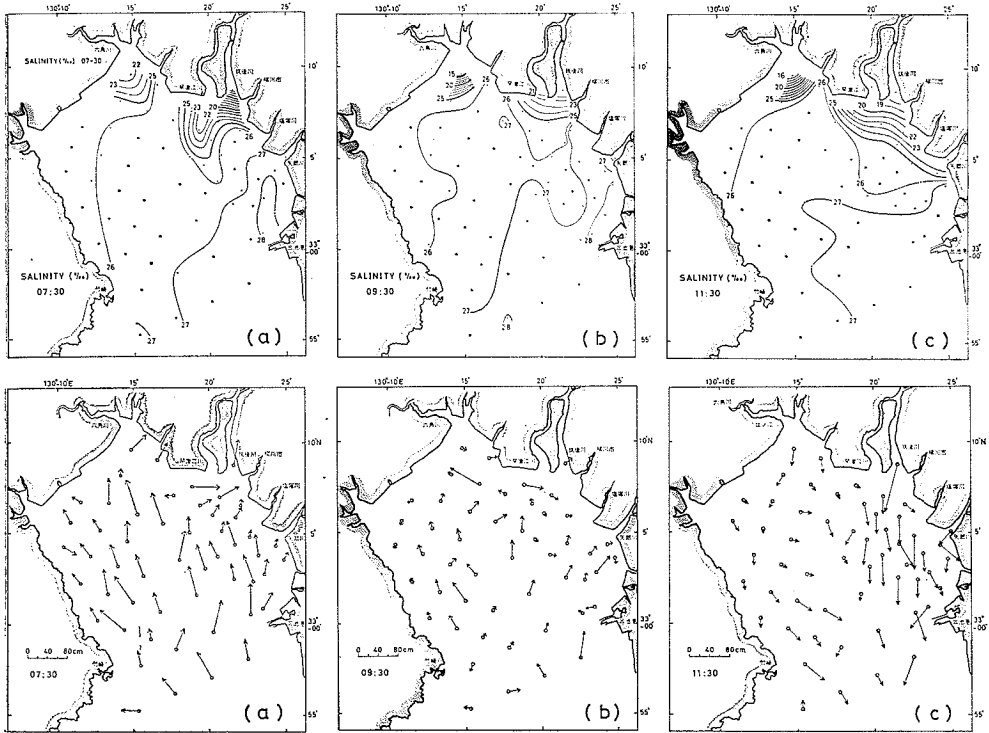


図 6 潮時別の塩分および流向流速分布

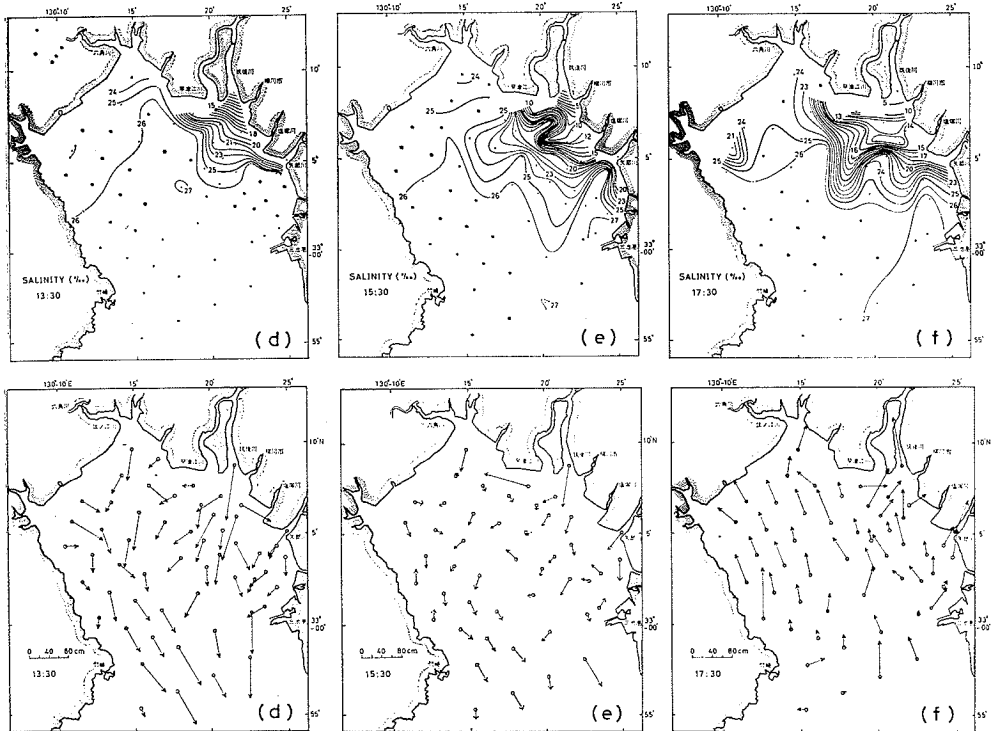


図 7 潮時別の塩分および流向流速分布

表1 三池港の潮位

観測日	旧暦	満潮		干潮	
		時刻	潮高	時刻	潮高
1975年7月24日	6.16	09.45	485	22.25	500
				03.55	138
				16.0	65

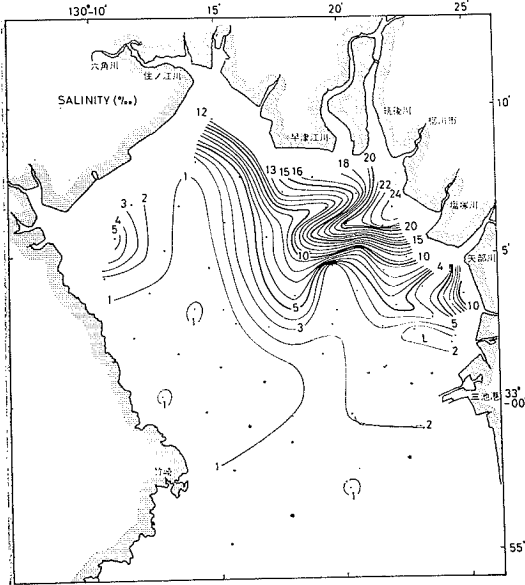


図8 1 潮汐周期における塩分較差の分布 (1975年7月24日7時30分~18時30分)

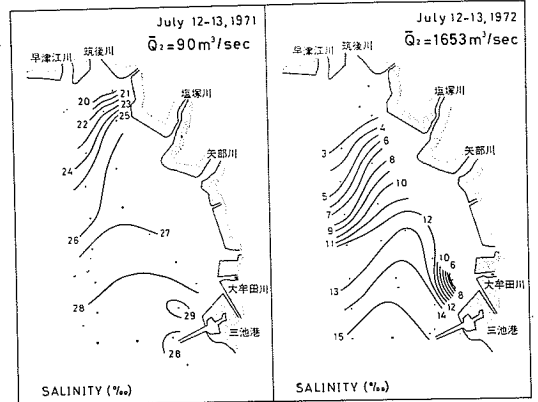


図9 筑後川の流量と河口域の塩分分布

温、潮位の測定、②漂流板による表面の流れの観測（方法は通称“紐流し”と呼ばれるもので、細長い紐に繋いだ漂流板を流し、流向流速を測る方法）、および主要点での小野式潮流計または CM-II 型電流流速計の観測（9点）、③自動観測装置による15分間隔の観測である。そのほか、ニゴリ、透明度なども測定されている。

本調査の結果は紙面の関係で詳細に述べることはできないが、図6と図7に表面の塩分分布と測得流のベクトルをいくつかの潮時について示した。観測当日の三池港における潮位は表1のようにになっている。潮位基準面は平均海面下 280 cm である。日潮不等はそれほど顕著でない。

両図から明らかなように、塩分も流れも著しい変化を示しているが、潮汐とほぼ一致した半日周期の波をえがいて変動している。低塩分域は筑後川・早津江川や六角川の河口域に常にみられ、これらの低塩分域が時間の経過とともに拡大縮少を繰り返している。満潮時を中心に転流前後はごく沿岸域まで塩分の高い沖合水が分布し、

低塩分域は河口内部の方に圧迫された様相を示している。低塩分域の沖出しが活発になるのは、満潮後3時間すぎ頃からであり、河川水の流出によって河口域を中心に急激に低塩化が進む。

塩分変化の最も著しい海域は、図8に示した1潮汐周期における塩分較差の分布からも明らかなように筑後川を中心とした河口域である。そして潮時による塩分変化で注目されるのは河川水を含んだ低塩水が潮流のように沖合を目指して流出するのではなく干潟の前面付近を境として、その内側では横方向、すなわち海岸線に平行して拡がるという現象である。この傾向は干潮時から上げ潮にかけて強くでている。これは下げ潮時に滞りながら流出してくる河川水と、上げ潮時に沖合から流入してくる沖合水が滞り干潟を通して混合しながら拡がることを示している。

なお、河口域の塩分は河川流量に大きく左右される。図9は筑後川の流量と河口域の塩分分布との関係を示したものである（井上ら 1979）。両年とも7月12~13日の大潮の昼間満潮時を中心に観測されている。筑後川の流量は図中に示しているように観測日の2日間の平均で $90 \text{ m}^3/\text{s}$ と $1,695 \text{ m}^3/\text{s}$ になっている。前者の塩分は河口付近では 20% であるのに対し、後者は沖合でも 15% 台に過ぎず河口付近では塩分の検出もできないほど淡水化されていた。

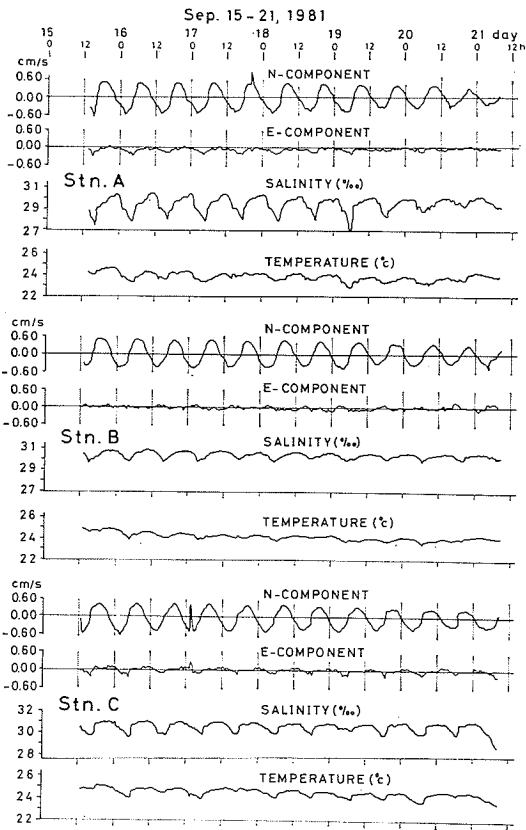


図10 筑後川河口域における流速・水温・塩分の変動

有明海の海水の動きの主体は潮流であって全体的にみると、潮時に応じておおむね周期性運動を繰り返している。とくに南北方向の往復運動が顕著である。参考のために1981年に実施した筑後川の滞筋での観測結果を図10に示しておこう。

以上、多数船の定置による同時連続観測の概要と結果の一端を断片的に紹介した。この海域の流動などについては数値シミュレーションや水理シミュレーションが行われているが、それらの結果と本調査結果と比較するとシミュレーションの限界について考えさせられるものがある。

おわりに

浅海・内湾域の漁場環境調査手法について有明海を例にして記述したものの、表題の趣旨に応え得る内容とは思えない。また、有明海自体が他の海域にみられない諸特性をもつことおよび、多数船の定置による同時観測が内湾域の観測方法として優れたものであることは認められるとしても観測規模の面などからみて一般的に適用される手法とも思えない。

経済水域200海里時代にはいつてからは、わが国でも沿岸・内湾域の漁業生産が再認識され、沿岸漁業の見直しや総合開発利用の機運はきわめて高いものがある。このような動きのなかで海域のもつ生産力を最大限に利用しようとする栽培漁業や大規模増殖および海洋牧場などの構想のなかで、沿岸域がそれらの展開の場になるようにしている。これらの構想は自然環境を直接利用しようとする側面を持った内容であるだけに、その前提には生産基盤である漁場環境の実態を正しく把握しておくことは不可欠の条件である。それぞれの海域の特性に応じた合理的な調査手法の確立はきわめて重要な課題といえる。

文 献

- 青山恒雄 (1977) 漁業振興の立場からみた湾内水の流動と問題点, I 有明海の流動と漁業. 沿岸海洋研究ノート, 14 (1・2), 36-41.
- 井上尚文・青山恒雄・宮地邦明 (1979) 沿岸域の海況調査方法としての多数船同時観測の有明海における試行の意義. 海洋科学, 11 (5), 448-457.
- 井上尚文 (1980) 有明海の物理環境. 沿岸海洋研究ノート, 17 (2), 151-165.
- 海上保安庁水路部 (1974) 有明海海象調査報告書.
- 鎌田泰彦 (1979) 有明海の地形・地質. 沿岸海洋研究ノート, 17 (1), 61-67.
- 宮地邦明 (1979) 自動観測装置による観測時間間隔について. 沿岸環境変動予察方法についての研究報告書, 水産庁研究部研究課・西海区水産研究所・福岡県有明水産試験場・佐賀県有明水産試験場, 27-33.
- 村上彰男 (1968) 有明海湾奥部における塩量分布. 筑後川調査報告付属資料 (3), 1-15, 水産庁.
- 西海区水産研究所 (1981) 九州西岸海域藻場・干潟分布調査報告, 391.
- 曾根元徳・山下康夫・小澄千尋 (1979) 自動観測装置の維持管理と情報の利用状況. 沿岸環境変動予察方法についての研究報告書, 水産庁研究部研究課・西海区水産研究所・福岡県有明水産試験場・佐賀県有明水産試験場.

5. 漁場形成と黒潮の短期変動

竹下 克一（鹿児島県水産試験場）

はじめに

水産における海洋調査は生物環境を知る目的で実施されている筈であるが、その手法にはいくつかの疑問が提起されるであろう。例えば水温一つとってみても、生物は常に移動し、量的にも変化している。一方、生物環境も常時変動している。しかし、得られる観測値は、生物と生物環境との接点を見出すにはあまりにも時・空間的位置付けがあいまいか、あるいは無視されている場合が多い。また、そうして得られた結果が生物環境の特性として、過去の研究成果はともかく、漁業者が期待する漁況研究に如何ほどの意義をもっているか疑問である。

過去の海洋調査結果から大まかな海況パターンと生物環境は知ることができるようになった。しかし、それらの結果は現実の漁業生産や漁況予測のための資源研究にどれだけ対応し、活用され、実用化されているであろうか。それには、現在の海洋調査における観測手法や解明の手法が、海洋物理学的手法と大差なく行われていることに問題点があるように思われる。

すなわち、水温、塩分等の各観測値は平均的な静止した分布パターンではなく、それぞれの測得値は、生物の変動に対応させられるよう動態として解明する手法への手掛りを求める必要があろうと考えられる。

たまたま、当水試には黒潮調査研究により鹿児島～奄美大島～沖縄間の定期貨客船「エメラルドあまみ」を利用した連続水温観測資料が入手できるようになった。この観測資料は水深約 6 m の表層水の水温値で、定期船は 4 日ごとに鹿児島港から沖縄の那覇港へ向け出港しているため往復 2 日ごとの資料が入手される。特に黒潮流域の横断中は夜間となり、日変化の小さい高精度の水温資料である。

そこで、この観測資料を現実の漁業生産に活用できるよう解析することを目的に若干の工夫を試みて資料を整理してみた。

一般に漁業者が必要とする海況情報は、過去の平均的な一断面の海況を知ることよりも、現時点での各水塊の区分とその範囲、その強度、形状ならびに現在までの変化過程と今後の変化予想である。また、各水塊の接触域

(潮目)の位置と、その接触強度ならびに今後の変化予想であろう。

そこで、単なる表層水の水温情報からだけで即座に沿岸水帯、黒潮水帯を区分し、その潮目の位置を明確にし、さらに、それらの変化過程から今後の予想を試み、漁業への活用を計ろうと試行しているので、その概要を報告するとともに、漁場環境の観測手法とそれに関する問題点について考えてみたい。

1. 定期船の資料からみた水塊区分

資料が入手できるようになったのは、昭和53年10月以降で、調査線（定期船航路）は鹿児島港を出港して鹿児島湾口の佐多岬沖、大隅海峡を通り、屋久島西方を経てトカラ海峡（黒潮流域）を横断して奄美大島名瀬港に入港する。名瀬港からは南西諸島の主要港に寄港しながら沖縄那覇港に入港する。帰港は、それと逆な航路をたどり、出港後 4 日目に鹿児島港に入港する。

その間の水温資料は、アナログ記録と、15分間隔で時刻、水温が印字されたデジタル記録が入手される（間隔は自由に調整可能）。測定方式は、サーミスタ式で、精度は $\pm 0.1\%$ 、小数点以下 2 位まで表示された水温情報である。

この水温値は鹿児島～奄美大島間について水温スケールを拡大し、常に前回観測値と重複させ、アナログ化して描いたその 1 例が図 1 である。また、図 1 には同じ観測日に、当水試の調査船で観測した資料による水温の鉛直断面分布および GEK による表面流向流速を併記した。定期船の航路と調査船の横断観測線はほぼ一致しており、観測位置は対応させてある。

図 1 で、3 月 1～2 日の定期船の水温記録では、屋久島の南部から笠利崎（名瀬港北端）の間が最も高く、水温傾度の最も大きい海域は、中之島と屋久島の間にある。しかし、3 日後の 3 月 5～6 日の観測では、高温域は拡大し、水温傾度の大きい海域（潮境）は屋久島の北部域に移動している。この 3 日間に潮境の位置は約 50 海里北に移動したことになり、このために屋久島周辺の水温は 4°C 前後昇温した。これは、黒潮主軸が北上したことを意味している。また、同じ日に観測した調査船に

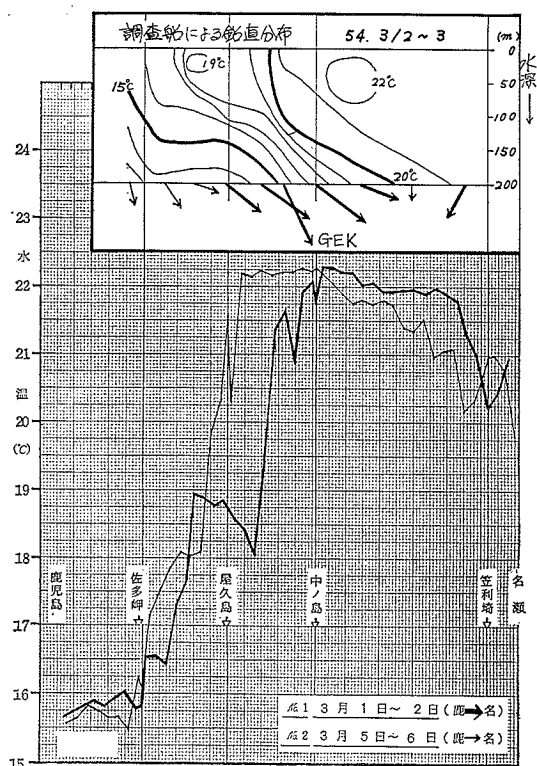


図1 定期船による表層水温の変化と調査船による観測結果との対比

よる水温鉛直断面分布ならびに GEK の値と比べてみるとよく一致している。このような事例は、年間を通してみられる。このことから、定期船による水温観測資料から黒潮主轴、黒潮と沿岸水との潮境の位置等を把握することのできる事が知られた。また、定期船による黒潮横断観測資料は2日に1回、周年にわたって入手できるから黒潮の離接岸の短期変動をみる場合には、定期船による観測は非常に有効な手段といえる。

なお、潮境付近の水温値の急変は後述するように常時みられる現象であるが、他の海域でもこのような水温の急変現象は常に起きていることであろう。

このような急変現象は、生物にとっても環境の急変で、生物の分布や行動に何らかの大きな変化を起している筈である。生物環境と重要な関わりをもっているこのような急変現象やその変化の過程が観測され、それが生物との関わり合いを明らかにできるような観測と、その資料の解析手法を開発することが、漁場環境を知るうえで今後、最も重要な課題であろう。

2. 水塊と潮境の指標化

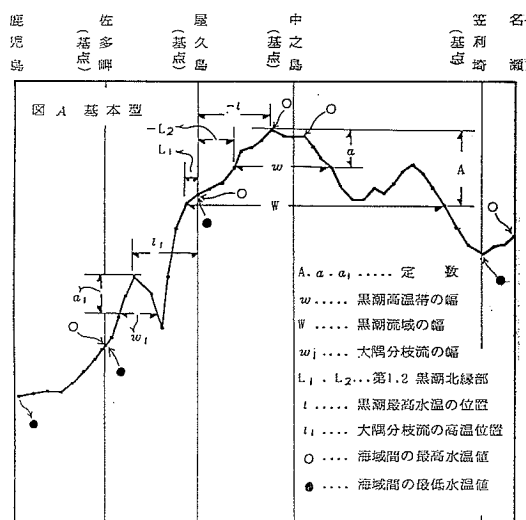


図2 黒潮要素の測定位置図

前記したように常に変動している黒潮や沿岸水の状態を捕捉し、定量化しておくためにはそれぞれ指標化、指数化しておく必要がある。黒潮流域を横断する鹿児島～奄美大島間の水温変化は図1のようであるが、これを模式に描くと図2のようになる。これは黒潮要素の測定位置を示す基本型となる。そこで、水温変化により最高水温値から、ある定数 (A, a, a₁) 以内を黒潮高温帯、黒潮流域、大隅分枝流域として、それぞれの流域幅を測定した。また、沿岸水と黒潮との潮境を第1、第2黒潮北縁部とし、その潮境の位置を屋久島を基準と、それぞれの数値で測定して黒潮要素と潮境の数値化を行い、さらに、その時間的変化を周年連続的に把握することを試みた。

黒潮の南側の潮境付近は第1、第2黒潮南縁部とした。

なお、現在のところ定数を正確に定める基準を設定することは困難であるが、測得される水温値の最高最低値差の多少により、Aは0.5～2.0°C、aで0.25～0.5°Cの範囲で定めている。しかし、年、季節により水温差が異なるので、毎年同一時期に、同一定数とする必要はなく、むしろ定数変化に伴う流域測定値に大きな誤差を生じないように考慮して定数を変化させている。このような定数の決定には、現在個人差が心配されるが、今後資料の蓄積により一定の基準を設けることは可能である。

次に、このように水温値から各水塊を区分し、指標化したのが図3である。

3. 水温変化

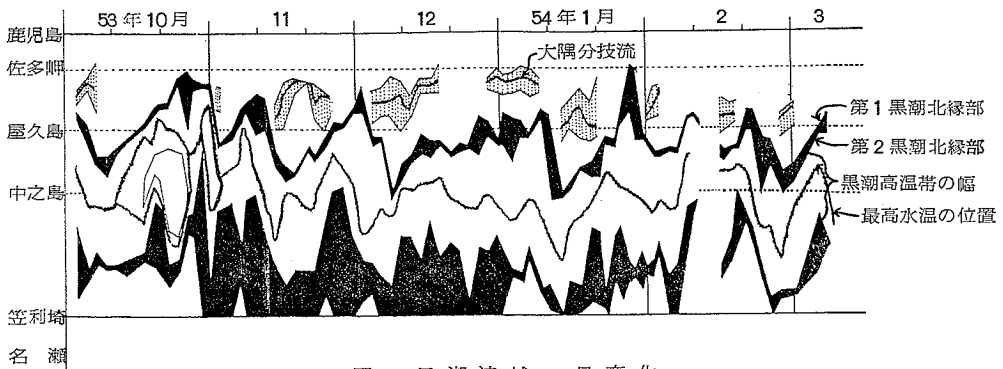


図3 黒潮流域の日変化

ある海域の水温値の変化はその海域の水塊配置の変化による昇、降温と、その水塊自体の変化によって変る2つの要素が考えられる。一般に定点観測における水温値の変化は、それがいずれの要素による変化なのか明らかにされず取り扱われていることが多い。そこである海域の水温値を表示する方法として、ある定点の水温値の変化を追跡する方法でなく、ある広さの海域を考え、その海域で観測される最低の水温値は、その海域の沿岸水(冷水系)の消長を表わしており、また、最高水温値は黒潮あるいはその影響域(暖水系)の消長を表わすものとした。図4はその一例として沿岸水と黒潮との潮境の出現が多い佐多岬～屋久島間の最高、最低水温値の日別変化を示したものである。

前記した図3の各水塊、潮境(南、北縁部)の指標図は、どちらかといえば各水域の広さ、変化の周期、変化の距離を表わしているが、必ずしもその強度を表わしているとは考えられない。一方、図4の最高、最低水温値の変化図は、流域が変動することによる水温値の急変がよく解り、その水温値の変化量の大きさにより水塊変化の強度をも推察できよう。ただし、その変化量の強弱は各季節ごとに海域内での水温値の高低差に関連して考えなければならない。

4. 黒潮北縁部の南北変動

黒潮の漁業への関与の仕方はいくつかあろうし、また、その比重は海域によっても異なると考えられる。それらのうちで卵・稚仔の移送と熱エネルギーの搬送は最も重要な事項であろうが、決して漁業生物の生存の場となることは少なく、漁場は一般に黒潮流域の縁辺部から沖側または、沿岸側に形成される。したがって、定義の曖昧な黒潮流軸の論議よりも、漁業生物の主たる生存の場となる沿岸水塊(あるいは沖合水塊)の動向と黒潮流域との潮

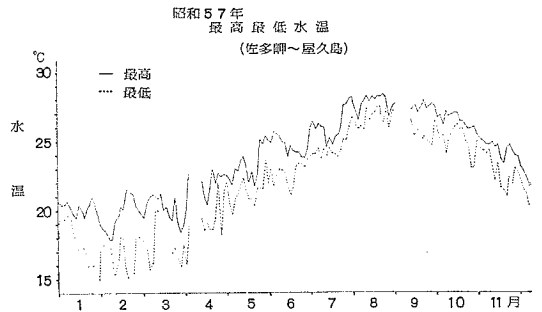


図4 佐多岬～屋久島間における最高最低表層水温の変化

境の変動を常に知ることが肝要であろうと考えられる。

そのような見方の整理方法の一つとして、黒潮第1北縁部だけの変化を昭和54年から図示したのが図5である。図5でも明らかのように、北縁部の変化は1～2日の間に20～30海里変化することは珍しいことではなく、また、その変化の様相には20日内外の短期変動と、北縁部の北偏傾向、南偏傾向が4～5か月間続く中短期の周期性に近い変化を読みとることができる。しかし、これらの変動は必ずしも一定ではなく、年により相違はみられるものの変動そのものは変りなく発生している。

このように常時変動、急変している海況の数値を月1回程程度の調査船等による瞬時観測結果によって、それが、ある期間の代表的な漁場環境値であるが如く評価される海況には多くの問題を包含しているであろうことは前項でも指摘した。

5. 観測資料の漁業への利用

海況資料の漁業への活用は、過去に多くの研究により、平均的海況と平均的漁況との相関例が報告されている。しかし、それらを実際の漁業へ役立てようとするれば、常

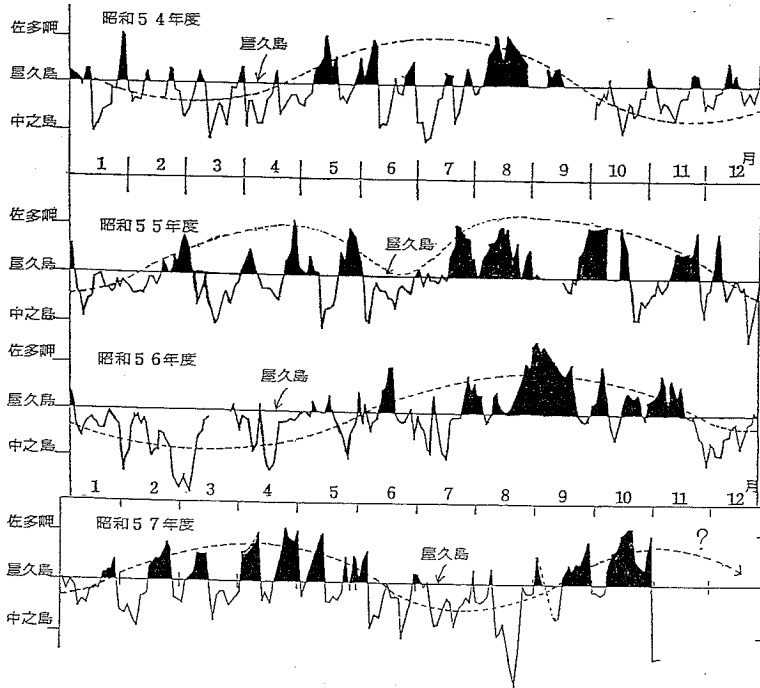


図5 黒潮北縁部(潮境)の南北変動

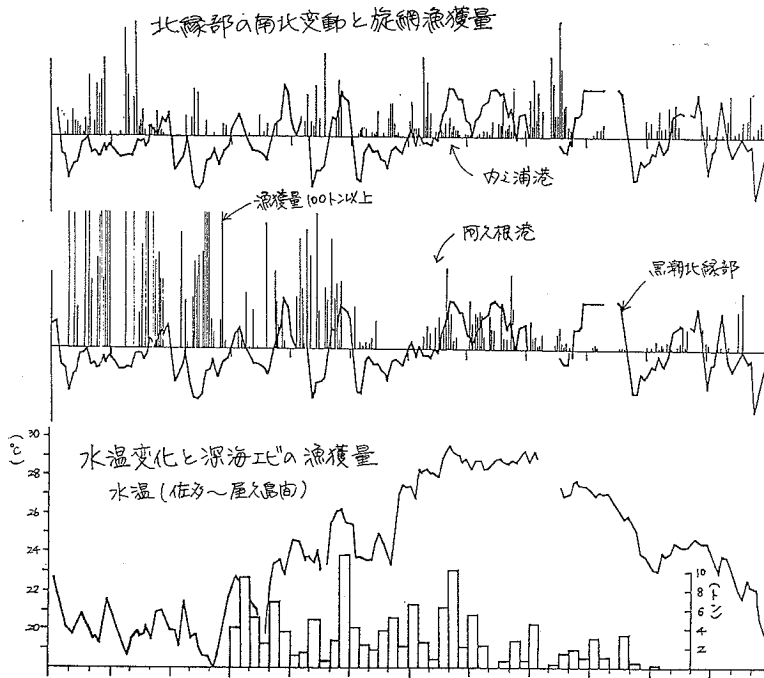


図6 黒潮北縁部の南北変動とまき網漁況, 深海エビ漁況との関係

に水塊配置や潮境等を明確に知り、それが変動の予測を可能にしなければならないだろう。

図6は、まき網漁業による浮魚類の日毎の漁獲量と黒潮北縁部の南北変動の相関図ならびに水深300~400mで漁獲される深海エビ(ヒゲナガエビ)の5日間の漁獲量と、同海域で黒潮の消長を示す最高水温値の変化との相関を表わしたものである。

浮魚類は、黒潮流域が南偏したときに漁獲量は増大し、黒潮が接岸したときには不漁となることを示している。

ただし、南偏したときは常に好漁するわけではなく、漁期との関係を考慮しなければならないこと、また、北偏したときでも特定の沿岸地域では、むしろ魚群を密集させ好漁する地区や魚種も出現することがある。

一方、深海エビの場合は、水温が急上昇したときに漁獲量は増大し、浮魚類とは逆な関係となっている。これは黒潮北縁部が北偏し、漁場の表層が黒潮流域帯になり、深海に生息するエビに何らかの刺激(底層水温の変化、底層水の流れの増速等が考えられる)を与えるために漁獲し易い状態となり、漁獲量は増加するといった例である。その他いくつかの漁業との相関例や漁期の遅速との関係例を検証しつつあるが、問題はそのような事後証明をなすことよりも、要は今後どのような海況となるか、否かの予測ができなければ漁業への利用はできない。

このような観点から目下、図5に示した黒潮北縁部の短期的、中短期的南北変動の周期性や変動傾向を利用し、漁海況予報事業で検証しつつある。また、漁業者の一部では独自に黒潮北縁部の現状から今後の漁場選定の目安にしている人もいる。

6. 卵・稚仔と海況変動等

ある海域における、その年の卵・稚仔の分布量を知る目的で調査採取される卵・稚仔量は、その年の親魚量の多寡や発生量と単純に比例するとは考えられない。

卵・稚仔の採取量は、その採取日時が親魚の産卵開始時期の遅速と、その期間のいずれの時点であったかということと、その採取当時の水塊分布の様相により大きく変化することが予想される。当薩南海域の水塊と卵・稚仔について、野島(1982)は、マイワシ、カタクチイワシ等イワシ類の卵・稚仔は沿岸水域か、黒潮との混合水域に分布し、黒潮域にはほとんど出現しなかった。また、ハダカイワシは黒潮域に多く、沿岸水域に少なかった等、

分布量(採取量)はその水塊と非常に関係のあることを明らかにしている。

前記したように、黒潮流域は短期間に数10海里も変動しており、したがって同一水域、同一時期内であっても、水塊の異なる場所での採取量を比較してもそれは発生量の多寡を示す資料とするには問題であろうと考えられる。だから、採取量の比較は水塊区分を行い、同一水塊内での分布密度と、その水塊の分布の広さから検討する必要があると考えられる。

その他にも鹿児島湾内水の外海域への流出量は黒潮北縁部の南北変動や、外海水の急激な水温変動とも関連している等の結果について、永田・竹下(1982)、桜井(1982)らからも報告されている。また、竹下(1980, 1981, 1982)はこの報告に関連したものとして「黒潮の離接岸変動」について論じている。

終りに

以上のように、単に表層の水温値からだけでも連続的に入手できれば、沿岸水域、黒潮水域、あるいはその潮境(黒潮北縁部と呼称)等が判別できた。また、それは短期間に大きく変動していることを紹介しながら、漁業生産や卵・稚仔等とも大きな関わり合いをもっていることや、それに関する問題点を述べてきた。

また、漁場環境や漁業との関わりを知るためには、単に黒潮そのものを知ることも大切であろうが、むしろ黒潮がどのように漁場形成に、あるいは生物環境に影響しているかというような影響度としてのとらえ方もあるべきではないかと考えた。そして、そのような影響度の尺度として黒潮北縁部の位置とその変動について述べ問題提起としたい。

文 献

- 野島通忠(1982) 薩南海域における栄養塩と卵・稚仔プランクトンの分布・黒潮開発利用の調査研究成果報告書(その5), p. 354~366.
- 永田 豊・竹下克一(1982) トカラ海峡の表面水温の変動. 海洋学会秋季大会講演要旨集, p. 41~42.
- 桜井 仁(1982) 鹿児島湾口を通しての海水流出. 海洋学会秋季大会講演要旨集, p. 288~289.
- 竹下克一(1980) 黒潮の離接岸変動. 黒潮開発利用の調査研究成果報告書(その3), p. 201~214.
- 竹下克一(1981) 黒潮の離接岸変動. 黒潮開発利用の調査研究成果報告書(その4), p. 234~249.
- 竹下克一(1982) 黒潮の離岸変動. 黒潮開発利用の調査研究成果報告書(その5), p. 334~353.

6. 漁業生物生産機構解明のためのリモートセンシング技術の応用

松村 阜 月* (東海区水産研究所)

はじめに

シンポジウムの主旨にあるように、漁場環境観測法と一般の海洋観測法との違いを明確に区別することはかなり困難であろうが、気象学の中にも農業気象学の分野が確立されているのだから、漁場海洋学が独立して存在していても不自然さはない。

しかし、農業気象学が定着している農作物を対象としているのに対し、漁場海洋学は動き回る海水のままに動かされる卵・稚仔や餌プランクトン、あるいは、その中を独自の遊泳力を持って移動する魚類を対象としている。そのために、生物を中心とした環境観測が必要であるにもかかわらず、その困難さ故に、生物研究サイドから環境研究サイドへのはっきりした問題提起あるいは要求が出なかったことが現在の問題となっているのであろう。

海の生物を時間を追って観察することは実際に不可能であるために、生物研究と環境研究との一体化が叫ばれつつも具体的な結合点が見出し得なかったのであろう。それ故に、取り得るデータを出来るだけ数多く集め、その中から生物の存在形態と海洋の物理環境との相関を求める——という手法がその限界を意識しつつも取られていたのである。

生物を主体として環境研究の一手法として、バイオテレメトリーがある。人工衛星を利用した LDCS (ロケーション & データ コレクション システム) を用いて、センサーと発信機をクジラやマグロ等の大型魚に取りつけ、水温や体温の測定値を衛星に送ると同時に、衛星ではその発信機の位置を高い精度で算出するという方式である。

しかし今回のメインテーマになっているプランクトンや稚仔魚はおろか、マイワシやマサバの成魚においてもその方式は取れない。

時々刻々と変化する海況と魚の分布に追いつく観測法はないのであろうか、海の実態を把握する目的で海洋観測をしているが、果たして把握できているのであろうか、というのが観測船に乗っている我々が常に感じている疑問である。

船による観測が時空間スケールの中で限界があり、より早く、より広域なデータ取得を目指して、人工衛星や航空機を用いたリモートセンシングが登場するのも、上記のようなニーズによるものである。

ここでは漁場環境観測手法、特に生物基礎生産力把握法としてリモートセンシング技術の応用を検討する。

1. 漁場環境とは

漁業が経済活動の一環である以上、漁場とは「経済的価値を有する水産生物が経済的に漁獲可能な密度で分布し漁業活動が行われている所」と定義されよう。漁業学を宇田 (1960) は「水族と環境との相関原理を求め、漁況を貫く法則を見出し、漁業成立の根拠を究明する学問」と定義している。

これらの前提を踏まえて、漁場の環境要因を大別すると概ね次の 4 項目となる。

- (1) 生物生産機構 (低次)
(海洋の基礎生産力から餌生物まで)
- (2) 漁場形成機構 (高次)
(成魚の集まりやすい環境、回遊環境、水塊、水温、前線)
- (3) 操業可能海況
(海上気象、波浪、海流、海氷)
- (4) 政治経済環境
(条約、規制、市況、効率)

これらの環境を調査するために従来から種々の手法が取られてきている。リモートセンシング手法をこの環境調査に取り入れることはそれぞれの項目で有用である。(1)については次章で詳述するが(2)以後の項目について簡単に述べる。

漁場形成機構を解明するために、水塊分布図や前線、海流、水温図が用いられるが、赤外面像を用いた表面水温図がほぼ実用段階に達している。赤外面像から、面的に連続な瞬時の広域水温分布図を見ることにより、従来知り得なかった前線や渦の微細構造が一目で解るようになった。そして漁場が、その渦の最先端部に多く形成されていることも、漁況調査と衛星画像の重ね合せから明らかになった。

* 現在は遠洋水産研究所

漁船の航行および操業の安全のために、海況通報は重要なことである。特に漁船は商船に較べて小型である上に不安定な形で操業することも多い。また、漁場への往復は海流を計算した最短距離を取りたい。それ故に波浪や海上風、海流の状況がきめ細かく短時間のうちに通報されることを望んでいる。従来は海上風や波浪の情報は船舶からの報告に頼らざるを得なかったが、人工衛星搭載のマイクロ波散乱計や合成開口レーダーを用いて、海面の波浪状況を詳しく観測することが出来るし、高度計を用いて海面の高低差を求め海流を計算することもできる。また、可視光やマイクロ波放射計を用いて海水の分布図が作成され得る。これらは、技術的には相当進んでおり研究段階から実用段階へと移行しつつある。

(4)の政治経済環境をリモートセンシングで観測することはできないが、取締りのために人工衛星を用いる手法は進行しつつある。FVTT (漁船監視装置) がアメリカ漁業専管水域 (200カイリ) 周辺で操業する外国漁船 (主として日本船) に装着されようとしている。それはキーボードのついた無線発信機で、常時位置を知らせるための電波が衛星に送られており、その電波を受けた衛星は電波のドップラーシフトと軌道から、漁船の位置を自動的に計算して監視当局に送る。漁船のキーボードからは水温やその日の漁獲量が入力され、同じ経路で監視当局に通報される。少なくとも操業位置のごまかしはきかなくなるだろう。

2. 生物生産機構とリモートセンシング

海洋における食物連鎖の最終段階である魚類の生産量

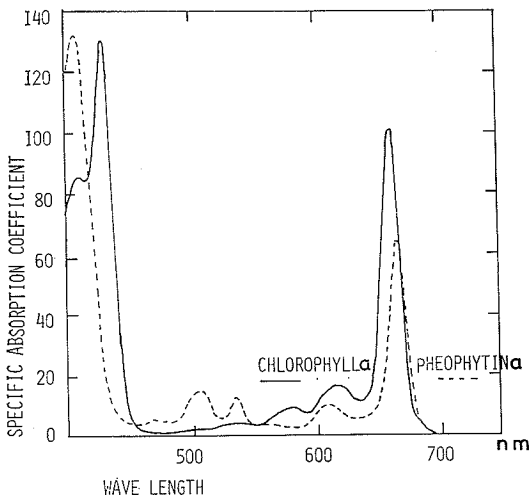


図1 クロロフィルa (実線) およびフェオフィチンaの分光吸収特性

が我々の関心事であるが、それは基礎生産からスタートしているものであることはいうまでもない。それは、光や水温といった物理環境と栄養塩類等の化学環境に支配される。

海洋における基礎生産力を、厳密に且つ広範囲に測定することは困難なことであるが、植物プランクトン現存量を測定して基礎生産量を算出することは、現段階では多少の問題を含みつつも不可能ではない。

植物プランクトンは、クロロフィルやフェオフィチンを主体とする固有の色素を持っているために、独特の分光特性を持っている。クロロフィルaとフェオフィチンaは植物プランクトンの構成色素の大きな部分を占めているが、その分光特性は図1に示されるように、波長440 nmと675 nm附近に吸収の極大値を持つ。プランクトンは種類によって異なる色素含有量を持っているので、図2に示されるごとく各々異なる分光特性を持つのであるが、基本的にはクロロフィルaのパターンをベースにしたものである。この分光吸収係数の逆数が必然的に反射率の差となって表われてくるので、海面から上向き光の分光特性を測定すれば、その中に海中の植物プランクトンの情報を含んでいることになる。

図3にはクロロフィル濃度の異なる各海域における分光反射率の測定値が示されている。この測定のために、飛行機と観測船が用いられ、飛行機にはTRW分光計が積み込まれ、観測船には連続測定用ターナー蛍光光

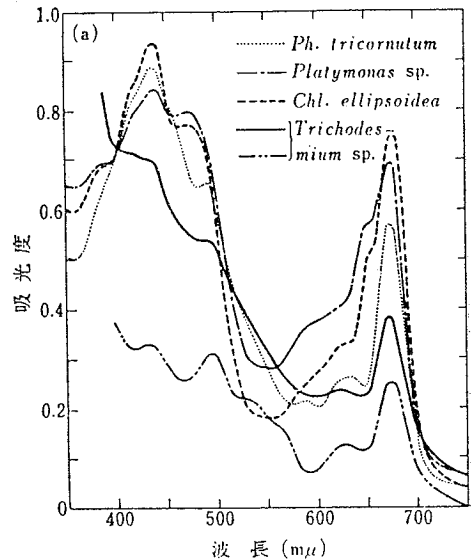


図2 各種プランクトンの分光吸収特性 (有賀 1973)

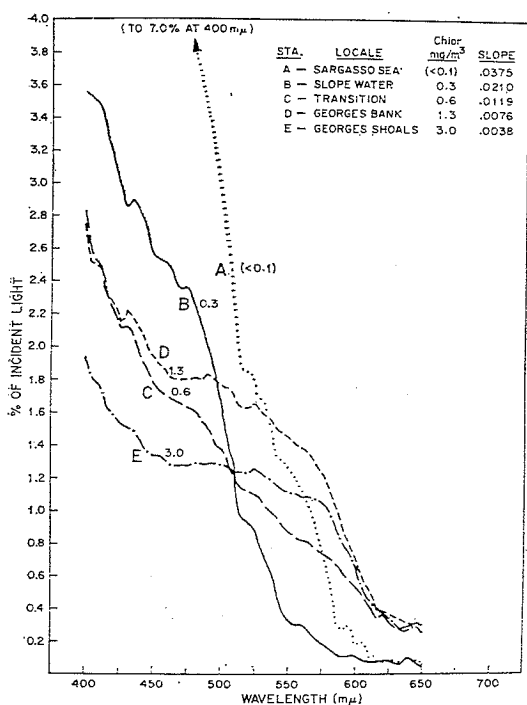


図3 海域別分光反射特性 (CLARKE 1973)

度計が用いられた。この実験の結果、現場海面においてもクロロフィル濃度の差が分光反射率の差となって表われてくることが明らかになり、可視光利用のリモートセンシングでクロロフィル測定が種々試みられるようになったのである。

3. 懸濁物と海の色

海水中に含まれている懸濁物の大部分は植物プランクトンであるとされているが、動物プランクトンや魚卵、稚子やデトライタス、あるいは陸地起源の鉱物性懸濁物も無視できない。しかし、鉱物質懸濁粒子を除き、他の有機物は何らかの形で生産に関わっている。それ故に、懸濁物の量が海の濁りを表し、濁りの度合が透明度で表わされ、透明度が水色を支配しているとなれば、海面からの分光情報は海の生産力の指標となり得る。

図4に渥美外海におけるプランクトン量と透明度の関係を示す。マルチネットを使用しているために、採集されているのは大型プランクトンであるが、大型プランクトンの存在は必然的にその数十倍の餌プランクトンの存在を意味しているために、透明度との相関が高くなっているであろう。

図5は同水域の水色と透明度の相関図である。これらの相関の高さから、分光測定値と生産力との間に、ダイ

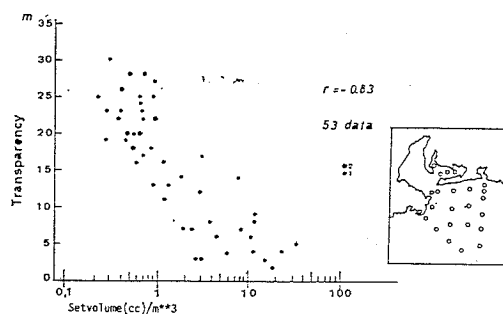


図4 渥美外海におけるプランクトン採集量と透明度の関係 (松村 1981)

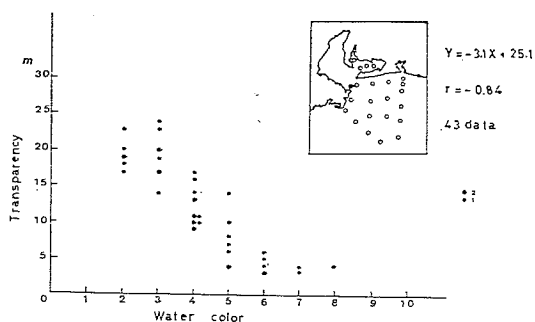


図5 渥美外海における水色と透明度の関係 (松村 1981)

レクトではないにしろ深い関係があることは十分理解できる。

4. 可視光リモートセンシングを用いた海洋生産力把握のための問題点

海洋生産力は地域的・季節的・経年的に大きく変動している筈である。それを観測船の利用で総てを把握するのは不可能であり、人工衛星利用のリモートセンシングが、その広域性・同時性・反復性といった特質をフルに活用して観測されれば、その効果には絶大なものと期待できる。

それ程期待が持たれているにもかかわらず、現時点においては解決しなければならない多くの問題点がある。そのいくつかをここに例記して解決法を議論したい。

(1) 大気散乱光の影響をいかに除くか

今までは、海面から射出する光の分光特性が、プランクトンの存在によって異なる点を利用した測定法について述べてきたが、高々度のセンサーに入る光の中には、海面からの光の他に大気の散乱光を多く含んでいる。図6に示されているように、海の情報として必要なのは海面反射光の一部と、海中における後方散乱成分である。

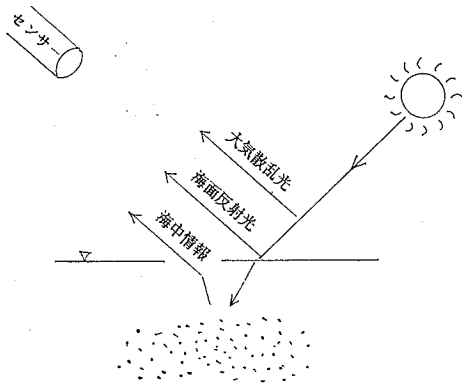


図6 太陽から来た光の挙動

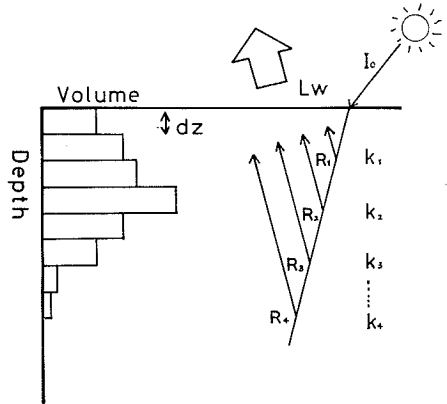
太陽からの光は空気中で散乱, 吸収され, また海中でも吸収される。海面, 海中からの反射光は入射光の僅か5%前後に過ぎない。高々度のセンサーに入る光情報のうち, 大気からのものが90%以上を占めているために, プラントン等の変動による分光特性の差はセンサーに達するまでに相当薄められている。したがって, 大気の僅かなゆらぎが海中情報を上回る値となってセンサーに飛び込んでくることになる。センサーに入射する光の絶対値は, 大気の状態に左右される部分が多くて海中状態を表わし得ないことから, 各種の波長を組み合わせた演算が行われている。例えば全チャンネル入射光と特定チャンネル分光光度との比 $(N(\lambda)/\Sigma(\lambda))$ であるとか, クロロフィルに影響される470 nmと影響されない550 nmに着目して両チャンネルの比 $(N(470)/N(550))$ あるいは, その差を更に強調するために $(N(550) - N(470)) / (N(550) + N(470))$ 等の演算式が種々試みられ, 大気の影響を減少させる努力がされている。

一方, マイクロ波を用いた大気鉛直構造把握の研究も気象学の新分野で進行しており, それが完成すればセンサーで受けた分光エネルギーの中から大気からの成分を排除することも不可能ではなくなるであろう。

(2) 海面からの分光情報と海洋構造をいかに結びつけるか

海中に存在するクロロフィル量や懸濁物質が特定の分光情報を与えてくれることは今までの議論で明らかになった。今後は海中の懸濁物構造(量と質と鉛直分布状態)と分光情報とが1対1で対応し, 分光データを用いた計算から, 懸濁物構造が明らかになるようなアルゴリズムを開発しなければならない。

特に問題となるのは, プラントンは常に海表面に分布しているのではない, という点である。海域によって



Phytoplankton Vertical distribution & Back scattering of light

図7 海面下に来た光の挙動

も異なるが, プラントン濃度鉛直分布の極大値は, 20 m~50 m 層にあることが多い。

その場合, 下層にあるプラントン高密度層から十分な分光情報が得られるか否かが問題となろう。図7に示されているようなプラントン鉛直構造がある場合太陽から海面に達した光は各層における減衰を受けながら次々と下の層に伝播していく。各層における, プラントン量に応じた後方散乱光が上向き放射量となるのであるが, その上向きの放射光が海面に達するまで通過する各層において再び減衰を受けることになる。

海面から射出する光 $I(\lambda)$ はそれ故に概略

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \sum_{i=1}^n R_i(\lambda) e^{-2k_i(\lambda)dz}$$

I_0 ; 入射光 R_i ; i 層における後方散乱係数

k_i ; i 層における消光係数

という形で表わされる事になる。

もちろん, その都度この観測をしていたのではリモートセンシング利用の意味がないので, 典型的な分布を持つ海域や季節におけるモデルを設定しておき, リモートセンシングの測定をはめ込む手法が取られるようになる。それに至るまでに数多くの光学実験を行わねばならない。

かなり粗い方法として, 透明度を測定し, 透明度深度までのクロロフィルの総量と CZCS データとの比較を取り, 高い相関値を得たという報告もある (山中 1981)。

(3) 植物プラントン現存量把握後の問題点

植物プラントン現存量から基礎生産力を求める方式

は、不十分なながらも開発されている。しかし、現存量が精度高く見積もられるようになれば、その転換公式の精度向上も必然的に要求される。最終的には、我々が直接必要としている高次生産物である魚介類にいたるまでの転換方式が作られねばならない。

そこで、高次生産力あるいは生産余力を把握するようになって初めて、最適漁獲可能量が算出されるようになる。そこに至るまでに踏まなければならないステップは数多くあるが、着実に進めていく価値のある問題であろう。

おわりに

“リモートセンシングという先端技術を海洋観測に応用すれば、今までわからなかった漁場環境をめぐる諸問題は、たちどころに解決するだろう”という幻想と、“高い空から海の中なんか把握できる訳がない、一体どうやって魚やプランクトンの分類をするのかね”という否定論や時期尚早論のある中で、漁場環境観測法の見直

しに関するシンポジウムが開かれ、リモートセンシングの問題が取り上げられたことの意義は大きい。

リモセン観測それ自体が水産海洋学の最終目的となり得ないことは今更いうまでもないが、海洋生物資源の有効利用を目指す時、大きな武器となろう。

今後の発展のために必要なのは、情報ユーザーとしての水産研究者と工学的なりリモートセンシング技術者との絶え間ないディスカッションであろう。

文 献

- 有賀祐勝 (1973) 水界植物群落の物質生産 II. 生態学講座 8, 共立出版.
- CLARKE, G.L., G.C. EWING (1974) Optical Aspects of Oceanography, Academic Press, London and New York.
- 松村皐月 (1981) MSS を用いた漁場探査の問題点. 航水研ノート海と空, 4, 99-111.
- 宇田道隆 (1960) 海洋漁場学, 恒星社厚生閣.
- 山中一郎 (1981) 未発表.

7. 総 合 討 論

座 長 近 藤 正 人 (東海区水産研究所)
杉 本 隆 成 (東京大学海洋研究所)

卵・稚仔, プランクトン等低次生物の分布, 現存量把握や卵・稚仔の輸送過程を考える場合の調査手法, 採集方法, 海況変動が漁場形成に及ぼす影響を解明するための観測手法, また, 特に変動の激しい浅海・内湾域における漁場環境の観測手法, さらに, 水産海洋研究にリモートセンシング技術の導入の将来方向等について話題提供していただきましたが, いろいろ多くの問題点が指摘されました。これからの総合討論で, これらの問題点をさらに論議し, このシンポジウム主題に対する全体的な問題点をとりまとめ, 提起していきたいと思えます。活発な討論をお願いします。

坂本市太郎 (三重大水産): 鈴木氏にお尋ねする。定型的な鉛直採集で, サンプリングの時間帯を特に意識した解析は不要なのか。鉛直日周移動で夜間上層に密集がある場合と昼間曳網層の範囲内に分散した場合とでサンプリングされたバイオマス量に差はないか?。動物プランクトンバイオマスについても時刻要素を無視して平均してもよいか疑問である。

鈴木秀弥 (東海水研): 海域, 季節によっても異なるが, 昼夜によってプランクトン採集物には量, 種組成の変化がみられることは容易に考えられる。特に, オキアミ類など特定の種では顕著にみられる場合が多い。時・空的平均による海域の代表性について多くの問題があるが, 地点別データ (例えば位置, 時刻別) の解析処理によって再検討が可能である。

石野 誠 (東京水大): ある定点で入手される量的な知見が, 周辺海域のマクロプランクトン量の代表値となり得るかどうかに疑問が残る。それは, マクロプランクトンのパッチや測点網の大きさに関連するだろうから。

鈴木 (東海水研): 一口にパッチといっても海域, 潮境などの海況条件によって, さまざまな形と規模があり, それらをカバーし得る時・空的に効果的なラグランジュ流の観測が併行され, 定型調査そのものの位置づけが明確化されていかなければならない。

谷口 旭 (東北大農学部): パッチの規模というのはどのような意味か。パッチのサイズや個体密度, 持続時

間などどのような関連を持たせて使っているのか。むしろ内容をあいまいにってしまう恐れがあるのではないか。

小西氏の講演の中で、鉛直方向への集中分布に関しては研究例が少ないといわれたが、本日使われたスライドの中でMTDネットによる採集の結果、稚魚が発育するに従って特定層に集中するように拝見された。それは鉛直方向への集中分布の生態の一端を示し得たものではないだろうか。

杉本隆成（東大海洋研）：竹下氏にお尋ねする。20日周期の黒潮フロントの南北変動は、空間的にはどういう構造に対応しているのか。

竹下克一（鹿児島県水試）：対馬暖流の流路、強弱あるいは太平洋側では黒潮流路の蛇行等にも関与していると考えているが、そのようなことは一地方水試の研究テーマではないので海洋学者の方で解明して欲しい。

中村保昭（静岡県水産課）：黒潮変動と漁場形成の変動、魚群の配分の違いか、または密度の変化か実証する必要がある。これには深海曳航式水中テレビが有力な武器となる。

竹下克一（鹿児島県水試）：配分か、密度の変化か、生物現象の解明はそんなに単純ではないだろう。あえていえば、魚自体の現象変化である。水中テレビで広大な海洋、海中での魚の群構造、群生態をどれだけ把握できるか疑問である。

なお、私の話題はそのようなことではなく、漁場、生物環境と関連する海況変動（現象）にはどのようなものがあるか、その観測手法、解析手法は、さらに、それを予測まで進めるにはどうしたらよいか等について論議を喚起したいのが目的のつもりであった。

平本紀久雄（千葉県水試）：黒潮の離接岸の周期のインターバルは何日か。短い周期を考えていたのだが。

竹下克一（鹿児島県水試）：20日位の短期と4～5か月程度の中短期の周期性がみられている。何年単位の周期も当然予想されるが資料数が少ない。

20日位の短期は、早いときで10日、遅いときには30日程度で変化し、平均的には20日程度が多い。また、その規則性は年により異なり、乱れの大きい年もある。いずれにしても20日位の周期性（正確には周期性という表現が正しいか否かは疑問）が常時みられている。

杉本隆成（東大海洋研）：黒潮の北縁部が南下したとき漁獲量が増えるということであったが、沿岸水、沿岸の魚群は西から南下するのか、東側（日向灘側）から南

下するのか。

竹下克一（鹿児島県水試）：黒潮本流域は漁場とはならないので、北縁部が北上して沿岸域が黒潮流域におおわれると当然に総漁獲量は減少する。もちろん、魚種、局地的には反対現象もある。

魚の南下は魚種、時期によりそれぞれ異なる。しかし、本県の場合、西側よりの南下群を対象にした漁場や漁業が多い。

平本紀久雄（千葉県水試）：マイワシ卵と稚仔の分布域の相違は、生態の相違と解釈してよいか。

中田英昭（東大海洋研）：マイワシ卵と稚仔との分布の相違は基本的には、相模湾のシアゾーンを通して海水交換の状況を反映していると考えている。すなわち、卵より稚仔の滞在時間が長いから、稚仔は海水交換を通じてより湾の中まで運ばれるものとする。海水交換のプロセスが間欠的なものか連続的なものかは現在何ともいえない。

中田英昭（東大海洋研）：プランクトンデータを電算機で数値化することによって、物理量と対応させることを意図しているが、その場合

①使用するデータの質についてどう考えているのか。定型調査で得られるデータは海域のプランクトン量を代表し得るか。

②バイオマスとしての見方とプランクトンの組成を追求することの間には大きなギャップがある。しかし、複雑なものを複雑なままでものごとを考えていくことでは問題はなかなか進展しない。バイオマスとしてとらえていくことの有効性と限界について伺いたい。

鈴木秀弥（東海区水研）：定型的調査では、プランクトンの採集定量、質、精度については特に、データの統一性が保証されるような努力がなされている。さらに進んで、プランクトン現存量の担い手としての個々の種個体群の数量変動を具体的に位置づける例えば、生命表のようなものがプランクトン全体の量的変化の中で把握されるような合目的な調査手法が必要とされる。

平本紀久雄（千葉県水試）：永年にわたる定型的なプランクトン、卵・稚仔調査から時系列別の現存量のカレンダーは一応まとまった。しかし、それは生物資源の変動機構の解明に迫るには至っていない。中田氏の話題からも一定の示唆は与えられてはいるが、対象生物の資源量を十分に把握し得てはいない。

しかも、卵・稚仔期の数日間は未成魚、成魚の1～3か月間に相当する。したがって、調査海域における卵から仔魚期の数日間、連続的（または、繰り返し）な調査が

必要であるし、調査機器の使用を考えなければならない。もちろん、必要最小限の範囲でよいのだが。今までの調査体系を洗い直してみる時期にきているのではないか(定型調査を止めるといっているのではない)。

辻田時美(三洋水路測量): パッチの発生は目下理論が展開されつつあるが、物理学の方からの理論でもまだ解明には至っていないし、生物側からのパッチ研究でもはっきりした論議には到達していない。例えば、植物プランクトンのパッチ、あるいは卵・稚仔のパッチなどは形成過程が同じとみることはできない。

このように、現状ではプランクトンその他の生物の不均等分布による標本誤差を少しでも小さくするために、連続採集の方法あるいはそのための機器を開発した方がよい。

坂本市太郎(三重水産): モデルによる手法は性格が固定された物理的物体の移動であるが、実際の卵・稚仔には変性、例えば比重の経日的変動がある。稚仔の生き残りには、餌料豊富な水体(餌料生物パッチ)に融合しなければならない。そのためには変性がキイになるのではないか。

中田英昭(東大海洋研): 魚卵そのものの拡散実験あるいは卵・稚仔分布の細かい時間スケールでの変動追跡など生物を主体にした輸送の調査は大変重要と思われるが、現段階では技術的に困難な面がある。そこで、ハガキ等を用いた実験研究を進めているが、物理サイドの基本的な役割は「物理レベルでの輸送モデル」を組み立てることにあるように思う。それが確立された段階で生残にかかわる要因、生物自体の特性をモデルにさらに盛り込み、生態的なモデルに発展させる必要がある。ただ、この2つの段階はある程度仕分けしておく必要がある。

黒木敏郎(日大理工学部): 生物現象の不連続性(個体、群、パッチ等)を承知の立場を保ちつつ、無生物環境パラメータの連続測定結果と結びつけて行くように、両側面の研究者が協力し合う必要がある。

小西芳信(南西海区水研): 物理現象の連続と生物現象の不連続性を埋めるものとして、卵・稚仔研究者から発言する。1つは、イワシ・アジ・サバ類の卵・稚仔は表層から水面下の50m層までに多く分布し、これらの層を連続して採集すること。2つには、輸送という対象物の時空間分布をとらえることになるが、卵・稚仔は時間が経過すればどんどん減耗する。したがって、卵・稚仔の輸送の問題をとらえるには、同時にそれらの減耗要因をとらえる調査を組んでいかなければならない。

中田英昭(東大海洋研): 生物現象の連続性、不連続

性を論じる場合、「測定する上での問題」と「実体としてのありよう」とは区別しておく必要がある。基本的には生物、物理現象はいずれも実体として不連続性が強く、ただ、現在の段階では生物面での測定技術が立ち遅れているということなのではないか。しかしながら、連続して測定して初めて「不連続性」を検出できるのであり、今後、生物の連続採集技術の確立は急務といえる。その場合、どういう規模の現象に着目するかが極めて重要であり、この点については両者で詰める必要があるが、それは、このような議論をさらに発展させる一つの契機になるだろう。そのためのデータサンプリングのあり方がまず今後の方向として詰められる必要があると考える。

黒木敏郎(日大理工学部): 全く、中田氏のいわれる通りでよいと思う。関連して、物理要因の測定は(時間的連続性は保持しつつ)、空間性は複数のReference ptの程度で測定してもらい、むしろ生物側からは(同定はできずとも)、連続測定できる装置の活用へ前進すべきではないか。

松村皐月(東海区水研): 物理環境研究者と生物環境研究者との認識の差は確かにある。複雑な生物現象を複雑なまま問題を大きくしていかないで、一つづつ単純化して解決していくのが良策であろう。例えば、無機的な蛍光砂かトレーサーとして生物の拡散実験ができるのか!といった議論でなく、

輸送=流動拡散+生物動態

と考え、そのうちのひとつひとつを解決すべきである。

リモセンを用いて海面情報を得たとき、それで総てがわかるとか、わからないとかの議論でなく、それを見てどのように海を理解すべきかを議論すべきであろう。その意味で生物研究者は、その複雑さを強調する前に、物理環境研究者にもっと強く、欲しいデータを注文しても良いだろう。

座長: 卵・稚仔、プランクトンの何をみるのか目的を明確にすべきである。種類によって魚卵やプランクトンの分布、出現の仕方も違う。だから、いつ、どんな採集器具を用いて、どの範囲を、どの位の時間間隔で調査しなければならないかを考える。そのような具体的な例も含めてご意見いただきたい。

井上尚文(西海区水研): 海水流動と魚卵・稚仔のかわり合いの調査研究は、従来からいろいろなところで数多くなされている。しかし、流れの調査と魚卵・稚仔の分布等の調査は全く別個に実施されている場合が多い。西海区ブロックでは、以前に対馬暖流域で4隻の調査船をもち寄って追跡法による流れと、魚卵・稚仔、プ

ラクトンに関する同時調査を実施したことがある。流れという物理系と魚卵・稚仔等の生物系の調査を具体的に現場で同時に実施することはむずかしい問題もあるが、それぞれの研究者が同じ現場で一緒になって調査を展開しなければ、魚卵・稚仔の輸送過程等に関する研究の進展は望めないように思う。

辻田時美（三洋水路測量）：プランクトン研究で、わが国が続けてきた長年の観測結果をコンピューター処理をされた貴重な結果を生かすには、魚類生産プランクトンとの関係を知るところに期待をすれば、食物連鎖の調査を多少でも実施しておく必要がありはしないか。

点から得られたプランクトン情報を魚類その他バイオマス生産に結びつけるには、それなりの今ひとつの実験（時空間連続のための情報引き出し）がなされる必要がある。

黒木敏郎（日大理工学部）：プランクトンパッチは、減耗率が大きいと空間間隔が粗になって、遂には消滅してしまうというシミュレーション結果がある。

中田英昭（東大海洋研）：パッチの実体は、現状でははなはだ不明確である。人によって考えているサイズはそれぞれ異なっている。また、プランクトンのマイクロ分布についていわれるパッチと卵・稚仔のパッチとは origin があるか否かという点だけでなく、サイズの面でも大きな違いがあるのではないか。連続採集といってもあまり細かい方にばかり目を向けてしまうと、木を見て森を見ずということにもなりかねない。私自身としては、空間スケールにして 1~2 km 程度のフロント周辺における卵・稚仔の集積状況が、卵・稚仔の場合に重要なパッチのスケールになるのではないかと考える。

河村章人（北大水産）：環境としてのプランクトンを考える場合、生物量として対応させ得る事柄は何かを明確に認識しておく必要がある。つまり、生物量として示されるプランクトン量は直ちにその多寡が食環境の良否として判断できないであろう。

生物の生活は、種と種との対応で進むはずであり、食環境としてのプランクトンを考えるならば、種レベルで考察を進めないといけないのではないか。

中村保昭（静岡県水産課）：海況の短期予測は、各種漁業によってその具体的ニーズが異なる。つまり、曳網およびカツオ一本釣漁業では海洋前線を、シラスおよび沿岸一本釣漁業では流動を、サバタモ抄網漁業では水帯

（水塊）を、増養殖漁業では水温値（魚病の流行に関係）にそれぞれ関心がある。静岡県水試が日々刊行している漁海況速報を解析すると、例えば、駿河湾周辺におけるシラスの場合、前日差水温から水塊の交替に伴う流動を推定し、それと回遊群、魚群レベルでの CPUE との関係では同一漁場での漁場形成は、せいぜい数日（2~3 日）で、これは海況の短期変動つまり、水温前日差の $\pm 1/2\sigma$ を同一海況と見做した場合 3 日以内が 80% を占め、CPUE と海況変動の時空間スケールは対応する。これらの海況の短期変動の time interval は 1 週間程度である。また、シラスの輸送と密接な関連をもつ外洋系水の沿岸への波及は、黒潮流路の変動が重要な要因であり、その変動パターンと駿河湾の流動は密接な関連がある。

藤本 実（南西海区水研）：今日の話題は、最先端技術研究に焦点がしばられている感があるが、定型的定線調査にも目を向けるべきではないか。永年にわたって蓄積されてきている定線調査結果が充分に生かされていないように思う。その意味で、鈴木氏が示されたプランクトン分布量の経年変動の取りまとめ作業は重要だと思われ、南西海区ブロックについても是非実行してみたい。

近藤正人（東海区水研）：調査船による調査を批判しているのではなく、定型的定線調査はむしろ充実していく方向で考えるべきだと思う。ただ、目的を明確にしなければいけない。卵・稚仔、プランクトンの現存量を把握するのか、また、それらの分布、漁場形成と関連の深い黒潮、対馬暖流、親潮、冷水塊、暖水塊、潮境等の海洋構造やその変動に関する情報を収集するためか。それだとすれば、現在、定型的に実施している定線調査は適当かどうか検討する必要がある。そのためにも、藤本氏がいうように今までに蓄積された定線調査資料の大整理を行う必要がある。

座長：予定の時間も過ぎましたので、ここで総合討論を終りたいと思います。

本日の話題提供者、座長の方々に感謝いたします。また、多くの参加者の皆さんには活発な討論をしていただきありがとうございました。

総合討論では、特に、卵・稚仔、プランクトン等低次生物の調査目的、調査手法等について多くの意見、問題点の提言をいただきました。この討論の結果を踏まえて、今後の調査研究に生かすよう努力していただければ幸いです。