

浮遊卵稚子の分布構造と初期減耗について

松 下 克 己

1 9 8 7 年 2 月

# 目次

緒言	1
1章 浮遊卵稚子の水平分布構造	4
1-1) 白鳳丸研究用海水連続濾過採集による 浮遊卵・生物沈澱量の海域的変動	6
材料と方法	6
1. サンプル採集方法	6
2. 濾水量の推定	10
3. 水温変動の推定	10
結果と考察	13
1. 生物沈澱量の分布と水温変動の関係	13
2. 浮遊卵稚子の分布と水温変動の関係	20
1-2) NORPACネット表層連続曳網採集による 浮遊卵稚子等の微細分布構造	26
材料と方法	26
結果	32
1. 濾水量の推定	32
2. 生物沈澱量の分布の概況	35
3. 浮遊卵稚子の分布の概況	35
4. 浮遊卵稚子の微細分布	41
5. 浮遊卵稚子の分布パターン	47
6. 浮遊卵稚子等の相対平均変動率	50
考察	52
1-3) 航走連続採集器の開発および性能に関する力学的検討	54
材料と方法	54
1. 測器の形状	54
2. 力学的検討	56
3. ヘル型導入部による海水の加速効果	59
結果と考察	60
1. 揚水が常時あった場合の性能	60
2. 揚水が間欠的であった場合の性能	63

1-4) 航走連続採集器による浮遊卵稚仔等の分布構造	
およびその経時的変化	6 7
材料と方法	6 7
結果と考察	6 9
1. 湧昇水域における浮遊卵稚仔等の分布構造	6 9
2. 沿岸フロント水域における浮遊卵稚仔等の分布構造	
および経時的変化	7 3
1-5) 低速連続採集器による浮遊卵稚仔のパッチ状分布構造	8 4
材料と方法	8 4
結果と考察	8 7
1. 性能テスト	8 7
2. フィールドテスト	8 7
1-6) パッチ状分布の方向性の検出	9 6
材料と方法	9 6
1. 三角形状測線での連続曳網	9 6
2. MTD ネットによる三方向曳網採集	9 9
結果	1 0 3
1. パッチ状分布の方向性	1 0 3
2. パッチ状分布の幅および間隔	1 0 3
3. 三方向曳網採集間のNiche Overlap 指数	1 0 9
考察	1 0 9
2 章    浮遊卵稚仔の垂直分布構造	1 1 5
2-1) 同一水塊追跡各層連続曳網採集による	
浮遊卵稚仔の垂直分布構造	1 1 5
材料と方法	1 1 6
結果と考察	1 1 6
2-2) 六連層ネットによる表層微細分布	1 2 3
材料と方法	1 2 3
結果	1 2 5
1. 浮遊卵稚仔の表層微細分布構造	1 2 5
2. 海況による垂直分布構造の変化	1 2 5
考察	1 2 5

2-3)パッチ状分布の垂直分布構造	1 3 3
材料と方法	1 3 3
結果と考察	1 3 5
3章 海流構造内における浮遊卵稚仔の分布構造	1 3 8
3-1)海流横断面における浮遊卵稚仔の分布構造	1 3 8
材料と方法	1 3 8
結果と考察	1 4 2
1. 海洋構造の推定	1 4 2
2. 生物沈澱量および浮遊卵稚仔の分布構造	1 4 2
3. 海流横断面における浮遊卵稚仔の種組成	1 6 8
3-2)黒潮前線における浮遊卵稚仔の分布構造	1 7 3
材料と方法	1 7 4
結果と考察	1 7 4
4章 パッチ状分布構造内における稚仔の餌生物密度と摂餌個体率	1 9 4
材料と方法	1 9 5
1. 試料の採集調査	1 9 5
2. 試料の処理	1 9 7
3. 摂餌状態指標	1 9 9
結果	2 0 1
1. 稚仔の分布構造	2 0 1
2. 餌生物分布密度の推定	2 0 3
3. 稚仔の摂餌個体率	2 0 4
考察	2 0 9
5章 浮遊卵稚仔の食害による初期生残率への影響について	2 1 4
材料と方法	2 1 4
結果	2 1 5
1. 捕食プランクトン種と被捕食稚仔種	2 1 5
2. 被捕食部位	2 1 5
3. 被捕食稚仔の体長	2 1 5
4. 被捕食稚仔の摂餌状態	2 1 5

5. 大型稚仔による浮遊卵の捕食	2 2 0
考察	2 2 0
6 章 浮遊卵稚仔のパッチ状分布構造とその形成要因	
および初期減耗についての考察	2 2 3
6-1) 生物的要因によるパッチ状分布構造	2 2 3
1. 産卵行動によるパッチ	2 2 3
2. 捕食-被捕食関係によるパッチ	2 2 3
6-2) 物理・化学的要因によるパッチ	2 2 4
1. 内部波	2 2 4
2. 栄養塩	2 2 4
3. ラングミュア循環流によるパッチ	2 2 5
4. フロントに形成されるパッチ状分布構造	2 2 5
5. 水温・塩分躍層に形成されるパッチ状分布構造	2 2 6
6. 湧昇水域に形成されるパッチ状分布構造	2 2 7
6-3) パッチの効果	2 2 7
6-4) 輸送・拡散	2 2 8
6-5) 今後の課題	2 2 8
謝辞	2 3 0
引用文献	2 3 1

## 緒言

多くの生物について、その個体数が一定に保たれることはあり得ず、時間とともに常に増大、減少をくり返している。水産生物資源の開発利用にあたって、資源量の変動現象の解明は、重要な研究課題となっている。一般に、海産魚は多産性によって再生産における個体数の維持をはかっているものが多い。このことはその生活史全体あるいは特定の時期における大量減耗の存在を意味している。また、資源量の変動要因には様々なものが存在し、種や成長段階が異なれば、同一の環境条件に対してもその影響の程度は大きく異なるものと考えられる(水戸(1967), 沖山(1979))。したがって、それぞれの生活期における減耗機構が研究されなければならない。しかし、なかでもFabre-Domergue & Bietrix(1897)によって"Critical period"と名付けられ、Hjort(1914, 1926)によって提唱された生活史初期における大量減耗が最も重要な変動要因であるとして、その後、多くの研究者によって数多くの飼育実験および海洋調査などの研究が行なわれてきた。それらの多くは、卵黄吸収後の内部栄養依存段階から外部栄養依存段階への移行期に最も大量の減耗が生じることを明らかにしている。すなわち、摂餌開始期における不成功を第一の原因としてとり上げており、その理由として自然海域における餌生物の不足をあげている。このことは、(1) 飼育実験等によって推定された孵化仔魚の生残に必要な限界餌料密度が、海洋における平均餌生物分布密度と比較して極端に高いということ、そして、(2) 自然海域において採集された稚仔の大半は飢餓状態にあるということによって説明されている。一方、Sette(1950)は、浮遊卵期および稚魚期等の外部栄養依存段階への移行期以外にも漁業との関わりから大量減耗の生ずることを挙げて資源変動機構におよぼす影響が必ずしも一義的でないと指摘しているが、初期減耗も大きな変動要因の一つであることに違いはないとしている。その他の初期減耗要因として急激な物理的環境の変化が存在し、Barker et

al.(1981) は卵・仔魚に対する急激な水温変化等が死亡要因として影響のあることを実験的に明らかにしている。しかし、この実験で行なったような急激な水温変化は自然現象としては普通みられないことから、自然海域における減耗要因としてはそれほど重要性はないと見られる。また、Blaxter & Hempel(1974) は、卵の大きさが孵化後の仔魚の死亡に影響があると報告しているが、これは摂餌に関係した問題と捉えられる。

その他の大きな減耗要因として被捕食が考えられる。Hunter(1976, 1981) は、Hjort 以来摂餌に関する研究に大きく傾いている現状の見直しを提唱し、初期減耗機構の中において摂餌と被捕食は相互に関連する現象であり別個には扱えないと指摘している。さらに、摂餌と関係のない浮遊卵期における減耗は被捕食が第一要因であることから、被捕食の影響も大きな初期減耗要因として検討されねばならない。

いずれにせよ、遊泳力に乏しい浮遊卵稚仔にとってその餌生物あるいは捕食者への遭遇率が生死を決定する主要因であるとして検討することが必要である。そして、その遭遇率に大きな影響を及ぼしている浮遊卵稚仔、その餌生物および捕食生物などの分布構造と、それらの分布構造を左右している海流等の物理的要因の影響の大きさを明らかにすることが求められる。

これらの分布構造が形成されるにあたり、大海流系、潮汐流、湧昇流、Langmuir 循環流、吹送流など大小様々な規模での事象が関与しそれぞれに重要な意味を持っていると考えられる。しかしながら、従来の研究の多くは比較的大きな規模でのしかも平均的な取り扱いに終っており、その調査サンプルを採集した空間内における各種要因の大きな変化の存在によって引き起こされる初期減耗変動への影響について考慮がなされていない。また、浮遊卵稚仔およびそれらの餌生物の分布については統計的にランダムと仮定して実施する調査・研究が多く、海洋環境によって大きく変化を及ぼされることにより様々な特異性を持っている浮遊卵稚仔等の微細な分布構造による初期減耗機構への影響についての検討を行っていない。すなわち、微細な分布構造の相違による浮遊卵稚仔の生残り要因あるいは減耗要因の大きな変化、たとえば、餌生物

・捕食者等との遭遇率ひいては摂餌成功率・被捕食率等の変動を扱っている研究は少なく、自然海域における孵化仔魚の生き残り機構そのものの説明を行なうには至っていない。

本論文においては、海洋における浮遊卵稚仔およびそれらの餌生物等の大小様々な規模における分布構造と海洋構造との関連を、その規模に相応した種々の観測方法・測器を用いて調査することによって水産生物資源量の変動機構の一端を明らかにしようとした。すなわち、浮遊卵稚仔および孵化仔魚の餌生物（動・植物プランクトン等）の分布が不均一であり、この不均一な状態（パッチ状分布構造）を形成していることが資源変動機構の中で重要な役割を果たしていることを明らかにしようとするものである。また、そのような不均一な分布構造が海洋構造に大きく左右された結果として形成されていることも合わせて明らかにすることを目的としている。

第1章においては浮遊卵稚仔および各種プランクトンの大小様々なスケールでの水平分布構造について、第2章では垂直分布構造について種々の観測方法・測器を用いて海洋構造と分布構造の関係について検討する。第3章においては浮遊卵稚仔および各種プランクトンの海流構造内における分布構造および各種フロント構造内における分布構造を、それぞれについて輸送機構との関連から検討する。第4章においては、上記に述べたようなパッチ状分布構造の特異的環境内における孵化稚仔の初期生残の可能性について餌生物密度と摂餌率の観点から検討する。そして、第5章においては、浮遊卵稚仔の被捕食について検討する。最後に、第6章においてパッチ状分布構造形成についての総合的な検討を加え、さらに、今後の課題を提起する。



## 1章 浮遊卵稚仔の水平分布構造

海洋に浮遊するプランクトンが不均一に分布することがHaekel(1890)およびHensen(1911)によって明らかにされて以来、初期の頃には分布の不均一性を検出するための様々なスケールでの数多くの調査・研究が行なわれてきた。分布の不均一性を明らかにするためには連続的な観測が不可欠であり、様々な連続採集方法、測器が開発されてきた。なかでも、Hardy(1926)以降始まった大西洋におけるHardy型連続採集器による一連の観測調査、Cassie(1959a, b)による10 cmごとの規模での微細な分布構造の観測、Aron(1958)の大容量ポンプによる連続観測等によって、動・植物プランクトンが様々なパッチ状分布構造を示すことが明らかにされて来た。また、ネット採集の信頼性の観点からも、動・植物プランクトンのパッチ状分布について様々な調査・統計的解析等が行なわれて来た(Wiebe(1970, 1971, 1972))。その後、さらに、El-Sayed & Lee(1963), Platt et al.(1970), Mackas & Boyd(1979), Sheldon & Parsons(1967, 1972), Battarbee & Kneen(1982)などによってコールター・カウンター、蛍光光度計等の観測機器、およびスペクトル解析等の解析手法の開発が行なわれて研究の進展に大きく寄与し、物理学的・化学的・生物学的にパッチ状分布構造が検討されるようになった。さらに、分布構造の把握のみでなく形成要因と海洋構造との関連についても関心が高まり、Anraku(1975)、Kuwahara et al.(1975), Harris & Smith(1977), Derenbach et al.(1979), Eppley et al.(1984), Fevre & Grall(1970)などによって形成要因の中で物理的・化学的影響の大きいことが明らかにされ、また、パッチ状分布構造の大きさ・間隔等についての統計的取り扱いがFasham et al.(1974)によって行なわれ始めて来ている。しかし、これらの動・植物プランクトンのパッチの研究(Cushing(1962), Cushing & Tungate(1963), Steel(1974))に比較して浮遊卵稚仔のパッチ状分布に関する研究および調査は産卵場・資源量推定のための地理的分布の調査にとどまっているといわざるを得ない。

浮遊卵稚仔のパッチ状分布についての研究として最初のものは、Hardyのプランク

トン・レコーダーを用いた北大西洋における動・植物プランクトンの一連の調査の中にみられるが、採集記録のみで十分な検討は行なわれていない。従来の報告の中で、浮遊卵稚仔のパッチ状分布を意識して行なった最初のものとして、浅見(1958)が土佐湾のカタクチイワシの産卵場調査を行なったものがあげられる。しかし、微細なスケールでのパッチ状分布について明らかにしようとしたもので最初の報告としては、Miller(1973)がある。彼は、240 m 毎の各種稚仔のパッチ状分布を調査した。さらに、海洋構造との関連から浮遊卵稚仔のパッチ状分布を調査した報告としては、Matsushita et al.(1981) および黒田他(1986)がある。Matsushita et al.(1981) は、相模湾沿岸フロントを横断する測線上で 60 m 毎の間隔での連続採集調査をカタクチイワシ、Engraulis japonica, 浮遊卵稚仔について行ない、黒田(1986)は、黒潮横断線上で 600 m 毎の連続採集調査を行なった。このように浮遊卵稚仔のパッチ状分布を調査した報告は少ないが、しかし、いずれの調査でも、通常の浮遊卵稚仔採集観測の一曳網程度の距離内においてその分布密度が大きな変動を示すこと、その分布と海洋構造との間に強い関連性が存在することが指摘されている。

海産魚の自然海域における初期生残についての知見を得るためには、Hjort(1914, 1926)、岩井(1972)・畔田(1981)等による”稚仔の摂餌に関する問題が最も重要”との指摘から見て、自然海域における稚仔と餌生物などとの遭遇率等の知見を得ることが必要である。しかし、従来の報告から、海洋においては浮遊卵稚仔および動・植物プランクトンの分布が、大小様々な規模でパッチ状分布を形成していることが明らかであり、摂餌・捕食等の初期生残に関する各種パラメーターの大きな変動を伴っていることから、これらのより正確な把握をするためには単に一つの観測・調査方法では不十分である。そのため、後述のような種々の連続採集器を用いて、様々な規模、海域での分布構造についての調査が必要不可欠であり、それらについてそれぞれの検討をすることが重要であると考えた。

本章においては、浮遊卵稚仔および各種動・植物プランクトンの水平分布構造が、大小様々な規模でのパッチ状分布を形成していること、また、それらが海洋構造の大きな影響を受けて形成されていることを明らかにしようとした。

## 1-1) 白鳳丸研究用海水連続濾過採集による浮遊卵・生物沈澱量の海域的変動

海洋においては沿岸水域、沖合水域、あるいは、湧昇流水域などの様々な海洋構造が存在し、その海洋構造ごとに水温、塩分、栄養塩、プランクトン組成などにおいて特徴的で様々な性質を持っている。生物に与える影響のなかの大きな性質の一つとして水温が考えられ、海域によって平均水温が異なり、また、その変動傾向も大きく異なっている。しかも、水温によって様々な生物の生息域が制限されている。さらに、水塊の混合等によって代表される水温の変動にも海域によって大きな変化が存在する。微細なスケールでの水温変動についての報告には、Hecht & Hughes(1971), Maeda(1974) などがあるが、生物との関係については論じられていない。水塊の混合等の物理的現象は同時に浮遊卵稚仔および動・植物プランクトンの分布構造にも大きく影響するものと考えられ、水塊を代表する1つの特性値としての水温の変動傾向と浮遊卵稚仔ならびに動・植物プランクトンの分布構造との間には相関関係の存在が予想される。この調査では比較的大きな規模（メガスケール）での海洋構造と生物の分布との関係を、水温変動と生物沈澱量および浮遊卵の分布構造との関係から検討してみた。

### 材料と方法

#### 1. サンプルの採集方法

各種プランクトンおよび浮遊卵の分布構造と海洋構造との関係を検討するために、東京大学海洋研究所白鳳丸の研究用海水を利用して各種プランクトンおよび浮遊卵稚仔の濾過採集および水温の測定を調査航海の航路上において連続的に行なった。採集および測定を行なった航海の一覧および参考データを表1に、そして航跡図を図1に示した。調査は図からわかるように、主として、太平洋北部、熱帯および黒潮水域において行なった。

研究用海水からの各種生物の採集は図2に示す方法で行なった。研究用海水の取水

表 1 白鳳丸研究用海水連続濾過採集航海の日時・海域・採集サンプル数

航海名	調査海域	年月日	採集サンプル数
KH-74- 2	北部北太平洋	'74/ 4/30- 6/26	221
KH-77- 2	黒潮および東支那海	'77/ 6/25- 8/ 1	130
KH-79- 4	熱帯および 亜熱帯西部太平洋	'79/ 8/28- 9/14	118
合計			469

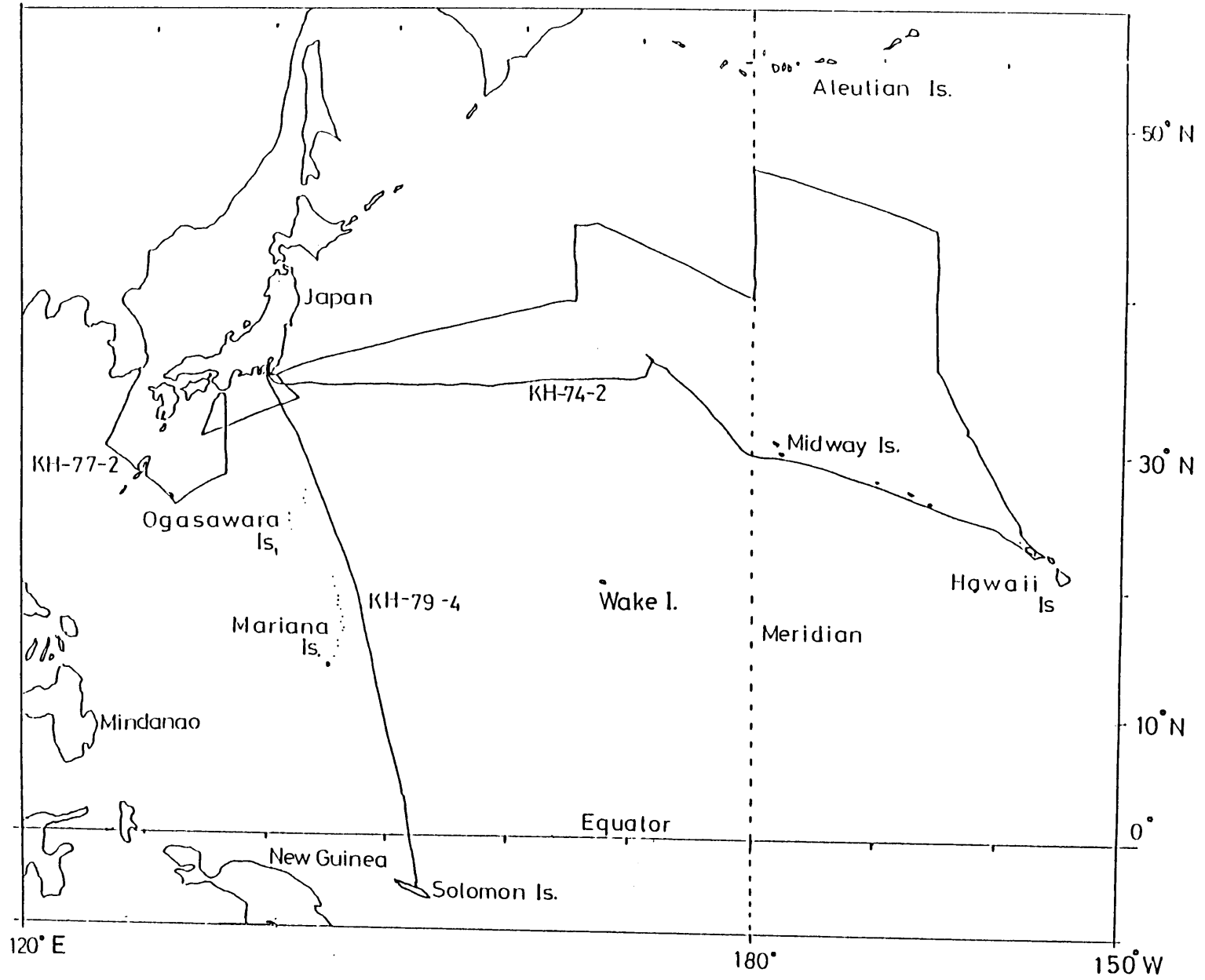


圖 1 研究用海水連續濾過採集調查測線。

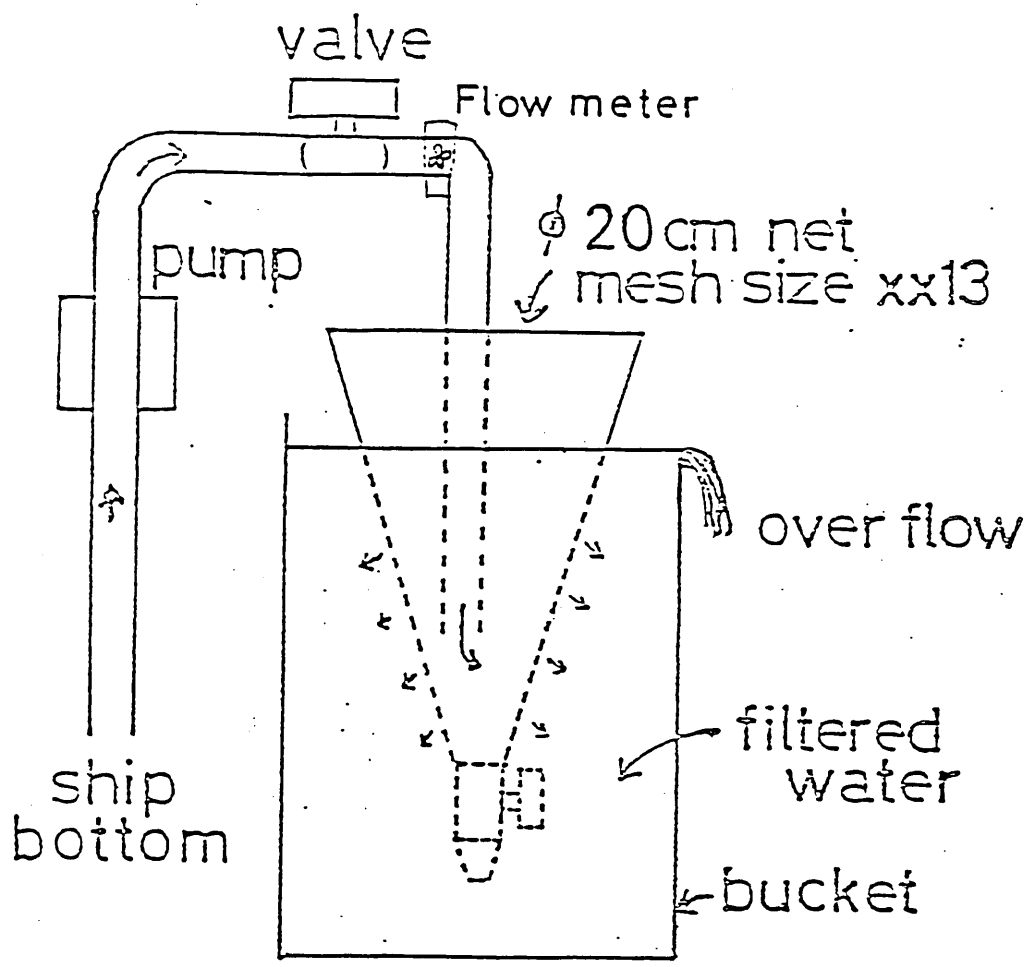


図 2 研究用海水連続濾過採集システム。

口は白鳳丸の船底（水面下7 m）にあり、ポンプによって汲み上げられた海水は流量計を経由して研究室に導かれる。各種生物の採集にあたっては、採集物に損傷を与えるのを避けるため海水が泡だたないようにホースを用いて採集槽（バケツ）の水面下まで導き、プランクトンネット（XX13）によって濾過採集を行なった。観測のため停船、減速している間、および、一部の水域においては中断している場合もある。それ以外はサンプルの採集を連続的に行ない、原則として採集間隔は1時間、採集ネットの交換は正時に行なった。洗網作業は一定の手順によって行なった。採集物を5%中性海水ホルマリンによって固定し、生物沈澱量の測定後、ラフターの計数盤を用いて検鏡下で各種生物の種の同定、計数を行なった。

## 2. 濾水量の推定

濾水量の推定には水道メーターを使用した。さらに定量バケツを満たすのにかかる時間から計算してキャリブレーションを行なった。KH-77-2 次航海における濾水量のキャリブレーションの結果を表2に示した。また、濾水量の連続的な変動については図3に示した。航海中に若干、濾水量の平均値は減少したが、これは水道量水器内に珪藻が付着するためと考えられた。しかし、短期間の変動は少なく、比較的安定しているものと考えられるため、随時キャリブレーションを行なうことにより補正した。

## 3. 水温変動の推定

海洋構造の推定は巡航航走中の1分毎の水温の一時間内における変動（60点のデータの分散）を一区間の水温変動とすることによって行なった。すなわち、水温変動の大きい海域と少ない海域の推定を行なった。

水温は自記水温計の記録紙からデジタイザーによって読み取り、正時に記録される位置表と対応させて航跡上の位置を確認した。正時の間の距離が10マイル以上離れていない場合には停船あるいは減速航走中とみなし、その区間のデータは水温変動、採集生物とも検討から除外した。巡航速度は約10ノットであり、1区間の距離は約18 k

表 2 研究用海水連続濾過採集における濾水量の変動。  
(単位:ℓ)

DATE OF TEST	July 9	July 20	July 24
VOLUME	982	947	963
PER	998	964	956
HOUR	989	951	
	1006	947	
	985	946	
AVERAGE	992	951	960



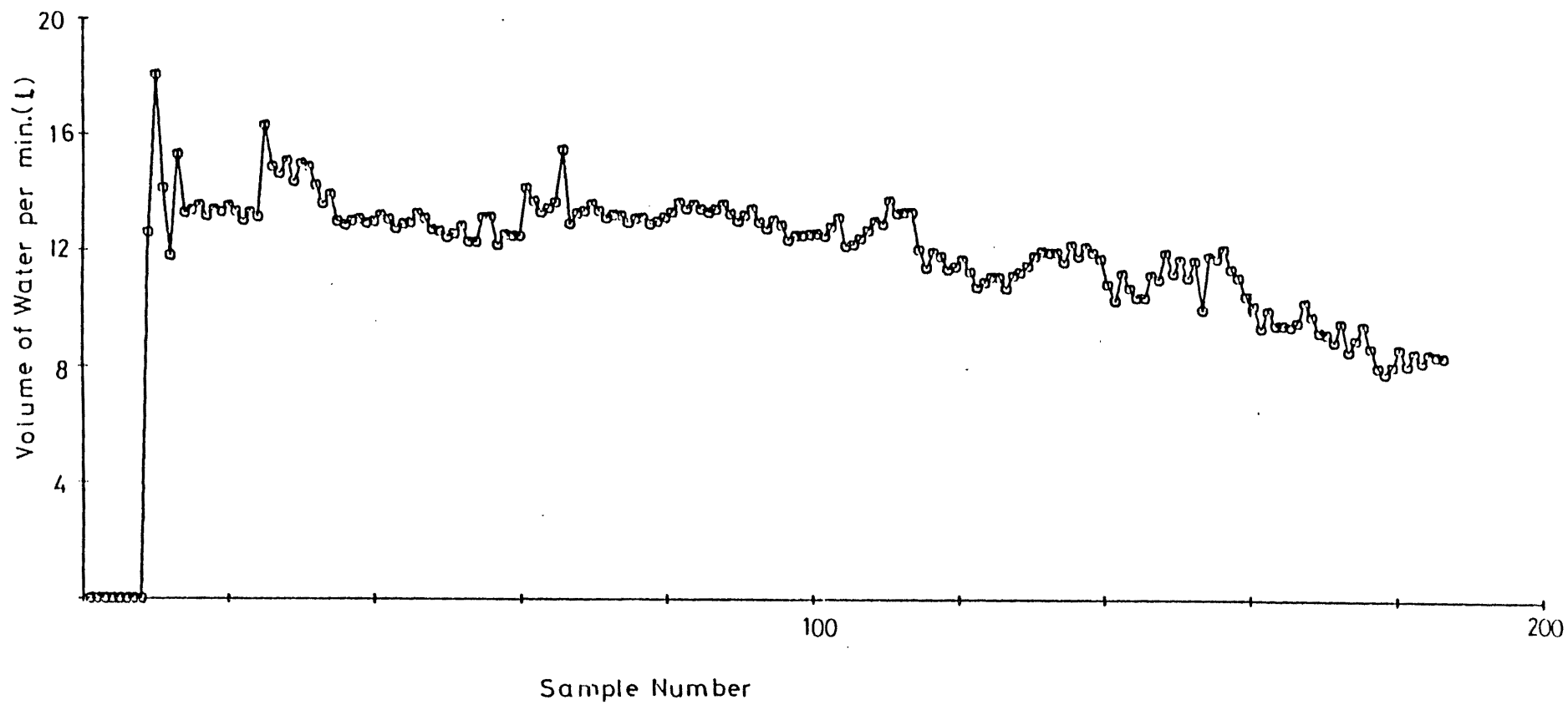


図 3 研究用海水濾水量の変動。

m に相当する。

#### デジタイザーによる水温の読み取り方法および精度についての検討

白鳳丸の自記水温計記録紙からデジタイザーにより0.1 mm（約12秒間、巡航速度では約60 mに相当）間隔で数値を読み取り、ある一分間の読み取られたいくつかの数値の平均値をその一分間を代表する水温の値とした。読み取りの模式図を図4に示した。デジタイザーの確度は0.5 mmであるため信頼できる水温の値として一分毎の間隔とした。ある正時から正時までの一時間（一区间）内における一分毎の水温（60データ）の標準偏差を計算して、その一時間の水温変動とした。サンプルの採集間隔が一時間以上にわたっている場合には、各区間の水温変動の平均値を水温変動とした。

### 結果と考察

#### 1. 生物沈澱量の分布と水温変動の関係

図5、6、7にKH-74-2, KH-77-2 およびKH-79-4 次航海における生物沈澱量の分布を示した。この図から、明らかに測線上において生物沈澱量の高い水域と低い水域が認められる。また、調査海域が南緯10度から北緯50度にわたっているため水温の平均値が明らかに異なっている。また、生物沈澱量において緯度による相違が存在した。すなわち、生物沈澱量の各水域毎の平均値は、北部太平洋域（北緯50度－30度）、3.98 ml、中部太平洋域（北緯30度－10度） 2.98 ml、南部太平洋域（北緯10度－南緯10度） 0.48 mlである。また、図8、9に示すように、水温変動においても特有の水域として特徴づけられる黒潮、赤道反流、および赤道海流等の海流系の縁辺部において生物沈澱量の高分布域が認められた。また、水温変動の小さい水域はその水域の安定性を示しているものとみられ、動・植物プランクトンの組成においても変動は小さい傾向が認められた。水温変動の高い区間を境にして両水域の動・植物プランクトンの組成は大きく変化した。

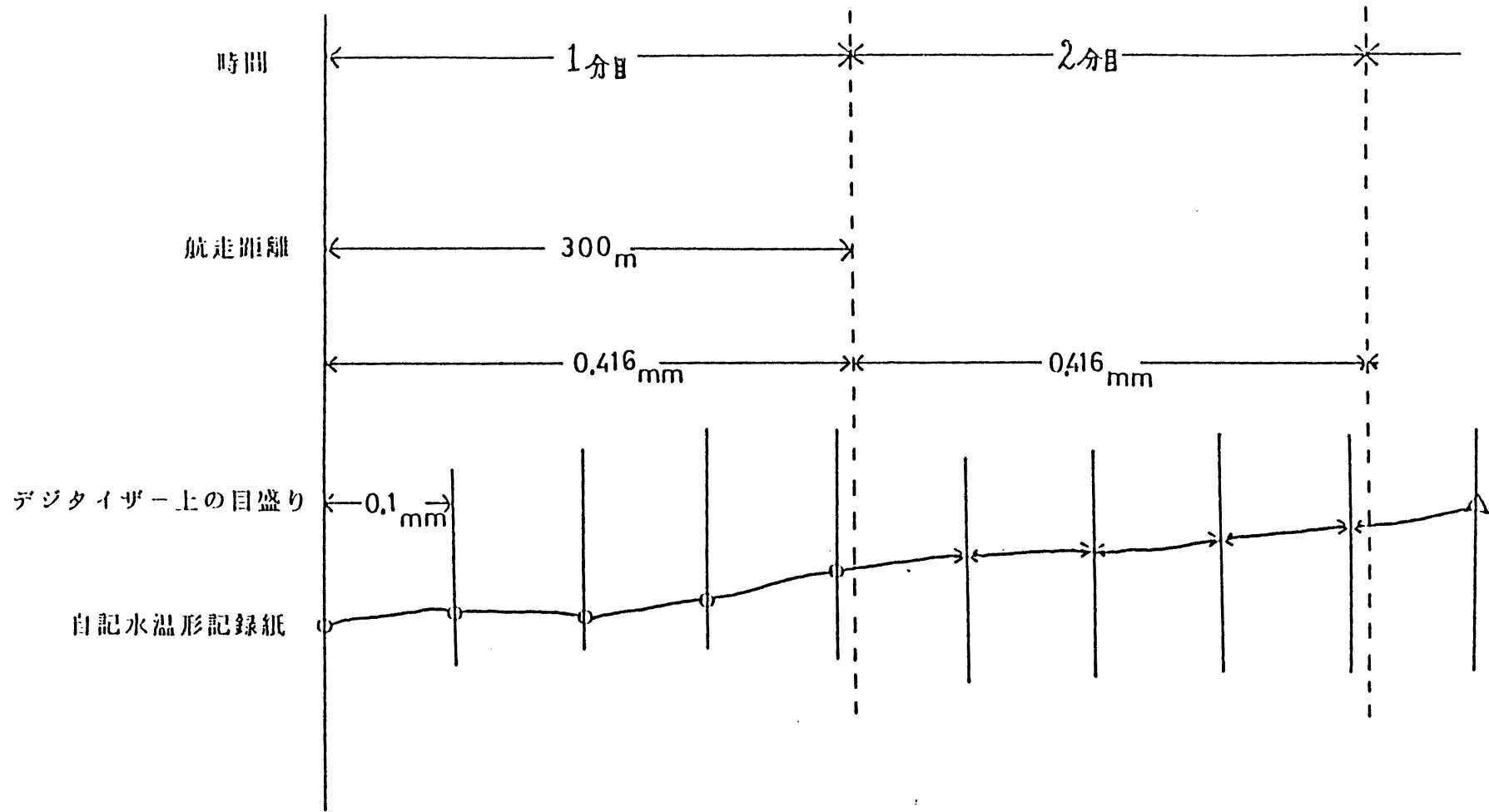


図 4 自記水溫記録紙からのデジタイザによる水溫の読み取り方法。

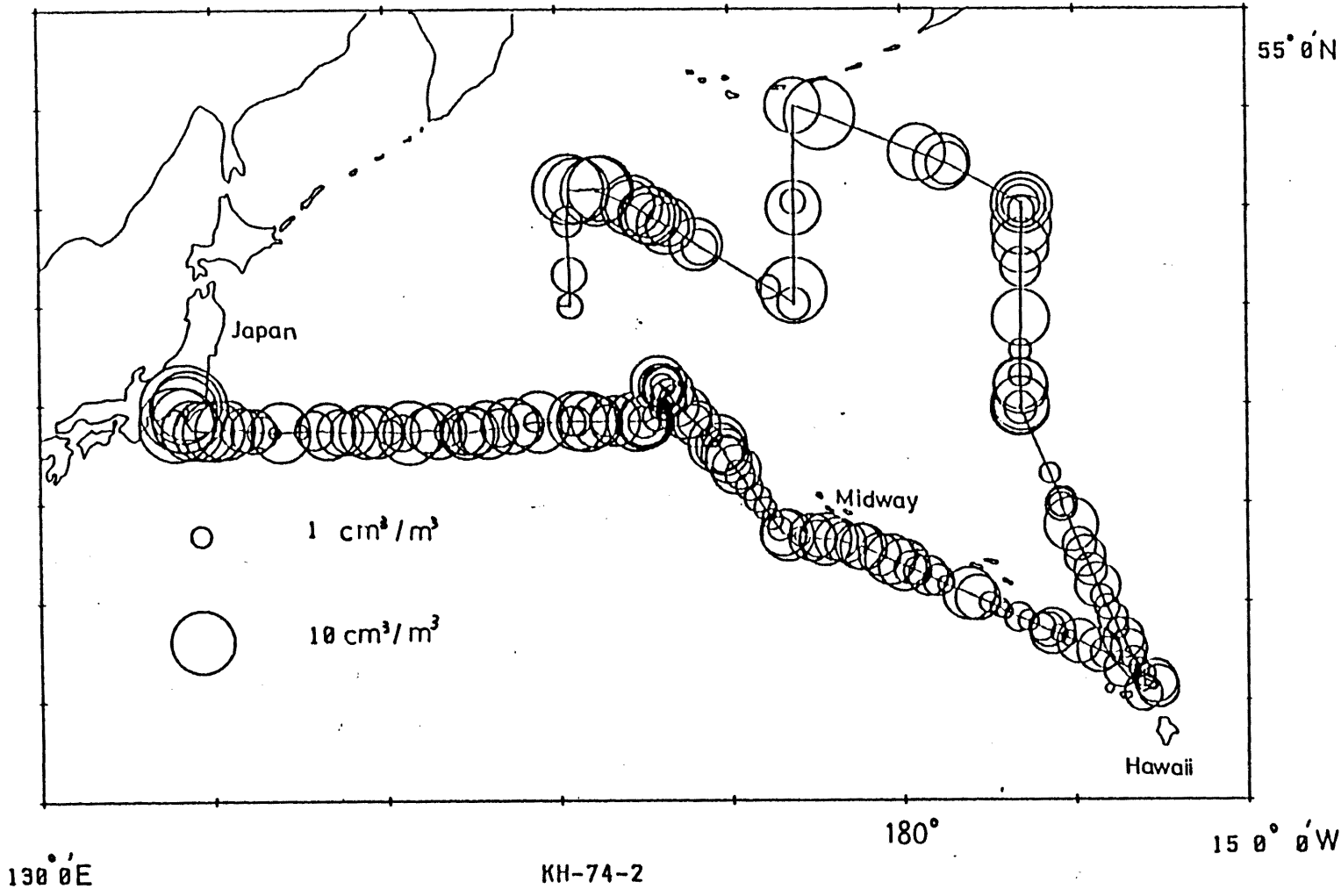


図 5 KH-74-2次航海 (1974年 4月30日 - 6月26日) 測線上における生物沈澱量の分布図。

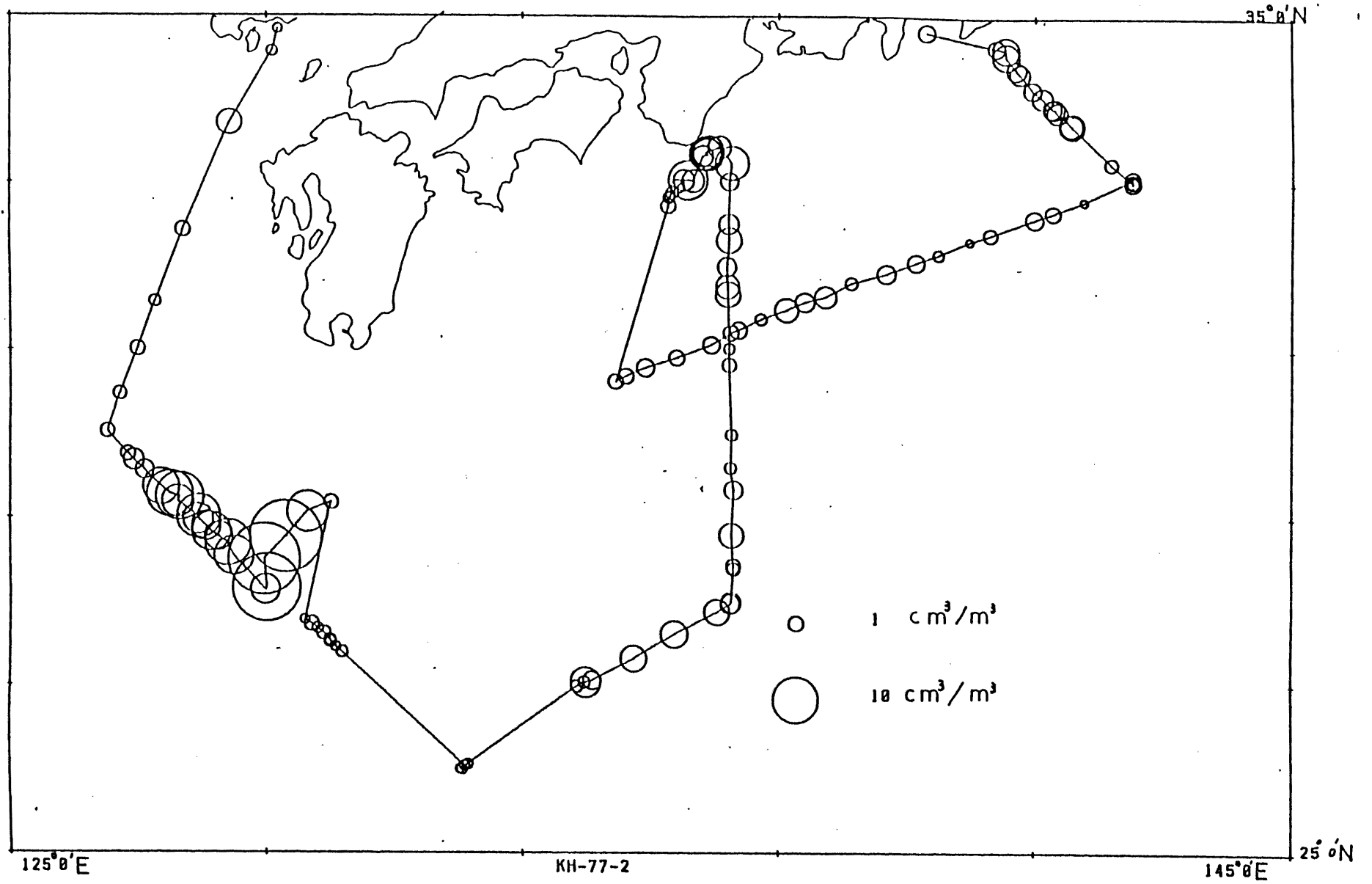


図 6 KH-77-2次航海 (1977年 7月 5日 - 7月25日) 測線上における生物沈澱量の分布図。

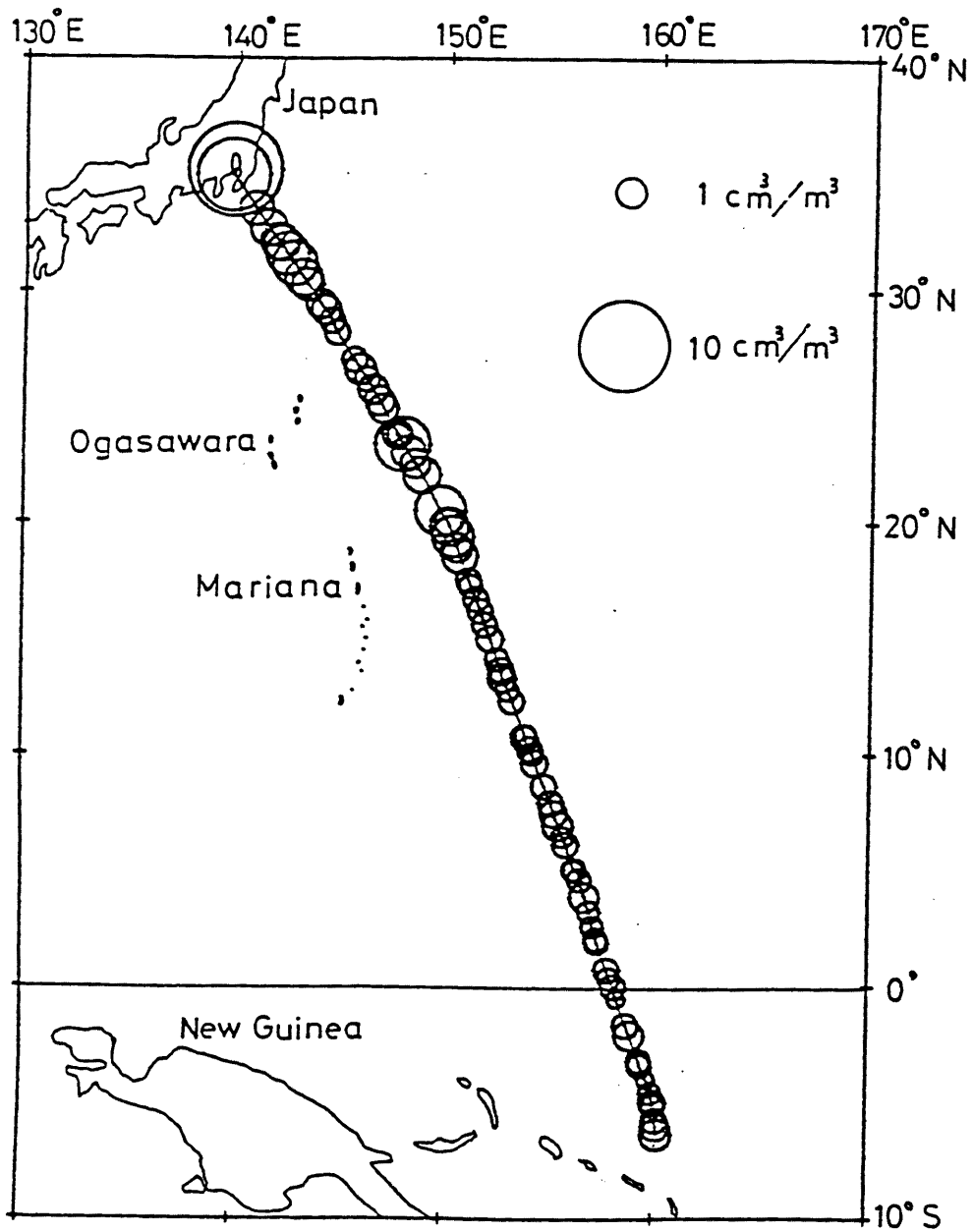


図 7 KH-79-4次航海（1979年 8月28日 - 9月14日）測線上における生物沈澱量の分布図。

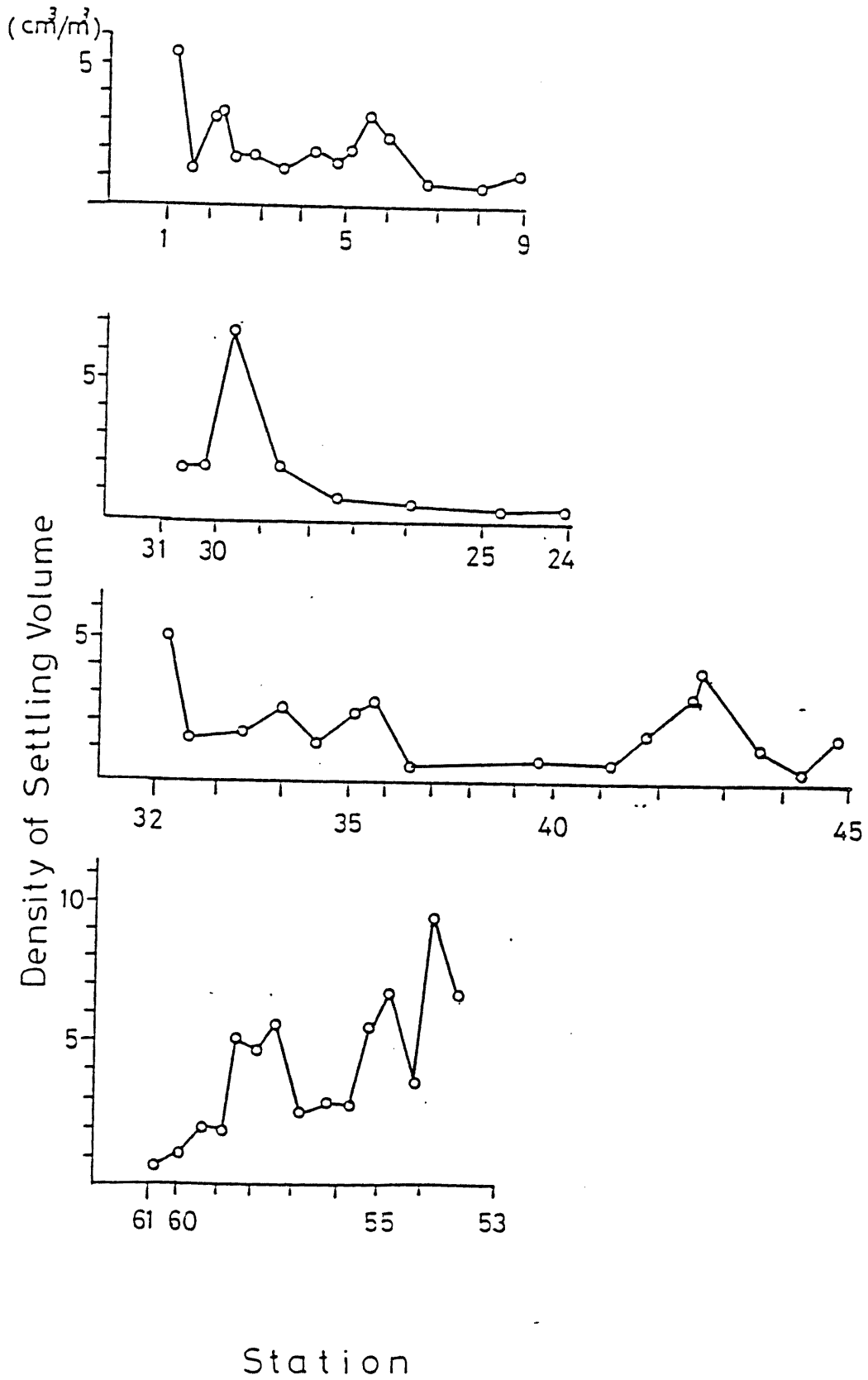


図 8 KH-77- 2次航海 (1977年 7月 5日 - 7月 25日) 測線上における黒潮横断測線上の生物沈澱量の分布図。

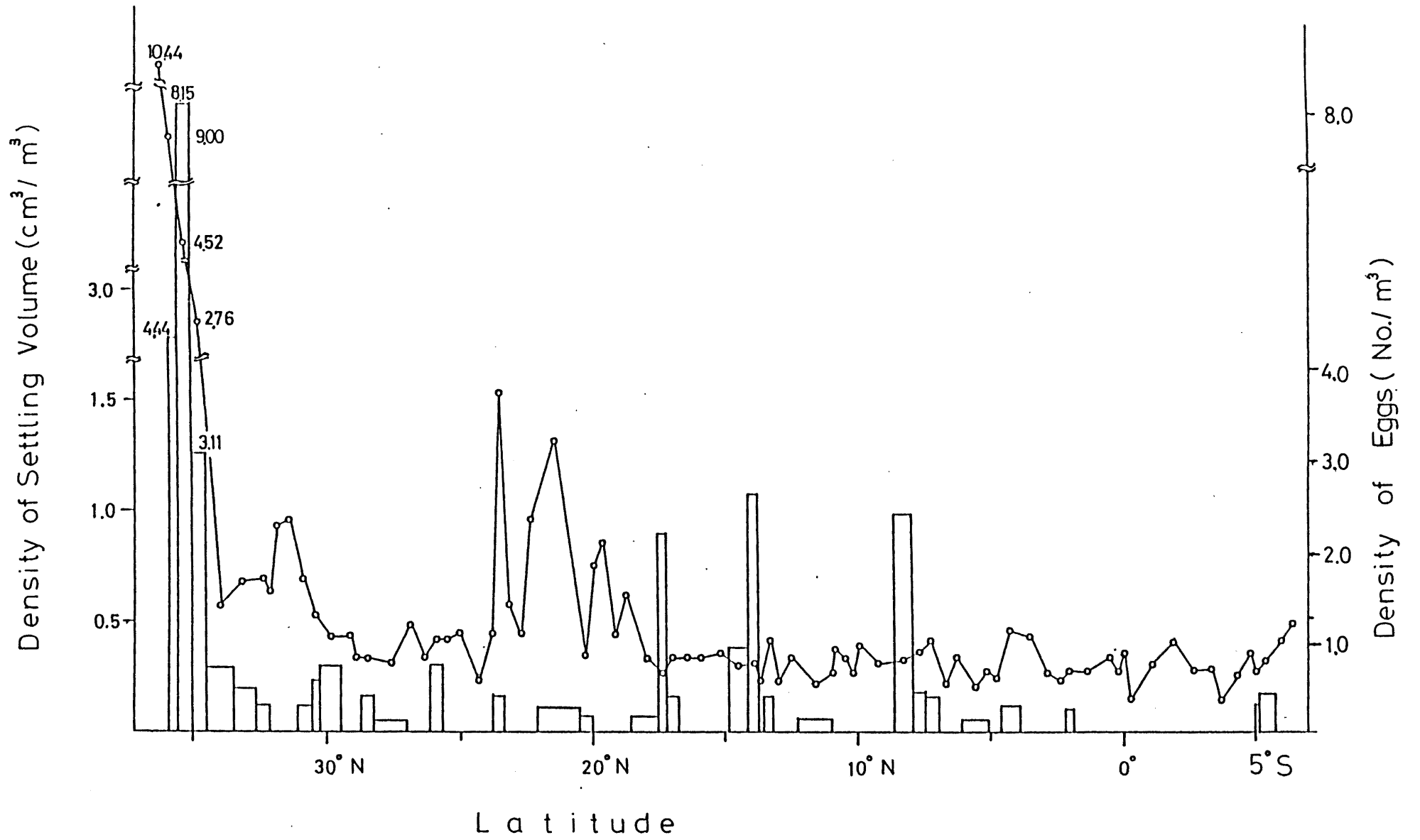


図 9 KH-79- 4次航海測線上における生物沈澱量、浮遊卵の分布図。



生物沈澱量に影響を及ぼすものとして、昼夜による変動も予想されるため、生物沈澱量の解析には、水温変動の大きさ、緯度、昼夜別に集計してその差を検討した。その結果を図10に示した。緯度および水温変動については差が認められた。このことから、緯度および水温変動が動・植物プランクトンの分布構造へ影響していることが認められた。昼夜の差については有意ではなかったが、これは海域によって昼夜移動を行なう動・植物プランクトンの組成割合が生物沈澱量の中で変動することや物理的混合の作用の影響のほうが大きいことを示すものと考えられた。

## 2. 浮遊卵の分布と水温変動の関係

KH-74-2, KH-77-2 およびKH-79-4 次航海における浮遊卵の分布図を図11、12、13に示した。KH-74-2 次航海においては、日本沿岸域、ハワイ諸島の周辺域、天皇海山嶺上において、そして、KH-77-2 次航海においては日本沿岸域、黒潮横断域、マーシャル群島付近に高密度分布域が存在した。

浮遊卵の高密度分布域は明らかに産卵場である浅海域において認められるとともに水温変動の高い水域においても認められた。この水温変動の高い水域は海流やWarm core のフロント水域、湧昇流水域等の異水塊の混合域として特徴づけられることから、混合の過程に生ずる渦流への浮遊卵の収束現象の存在を認めるものと考えられた。仔魚についても沿岸域に多い傾向があった。

浮遊卵の分布についても、水温変動、緯度、昼夜の別に集計して検討した。その結果を図14に示した。今回の調査の結果では、緯度、昼夜による差は認められなかった。このことは、高緯度から低緯度まで様々な魚種の産卵が行なわれているため、そして、各発生ステージを一緒に集計したためと考えられた。しかし、水温変動別については差が存在し、浮遊卵についても水温変動の分布構造への影響が存在することが認められた。

以上のことから、水温変動の大きい水域では浮遊卵分布密度、生物沈澱量が多くなることが明らかである。採集数が少なく統計的な解析を行なわなかったが、仔魚についても同様の傾向があった。

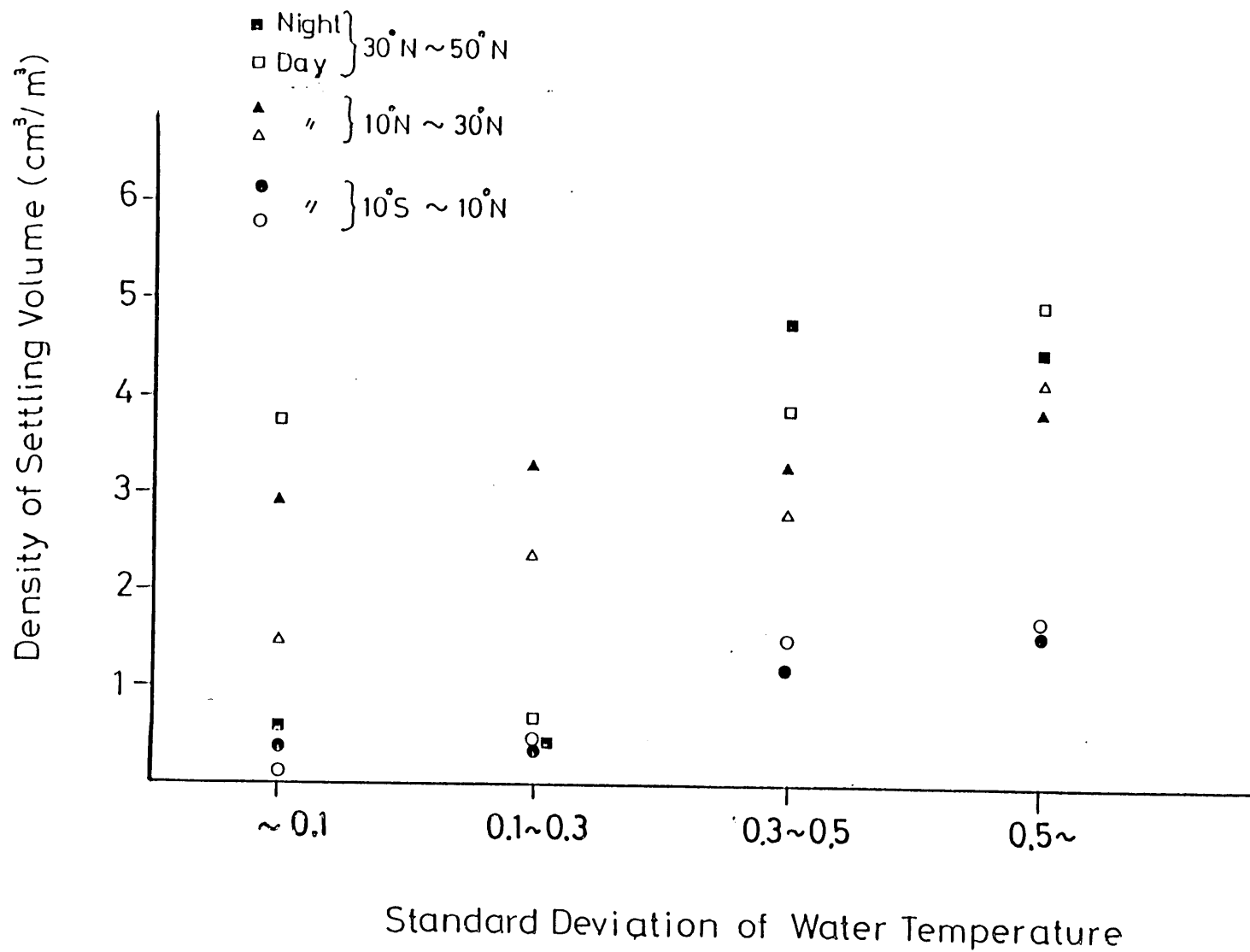


図 10 生物沈澱量の水溫変動の大きさ、緯度、昼夜別による集計図。

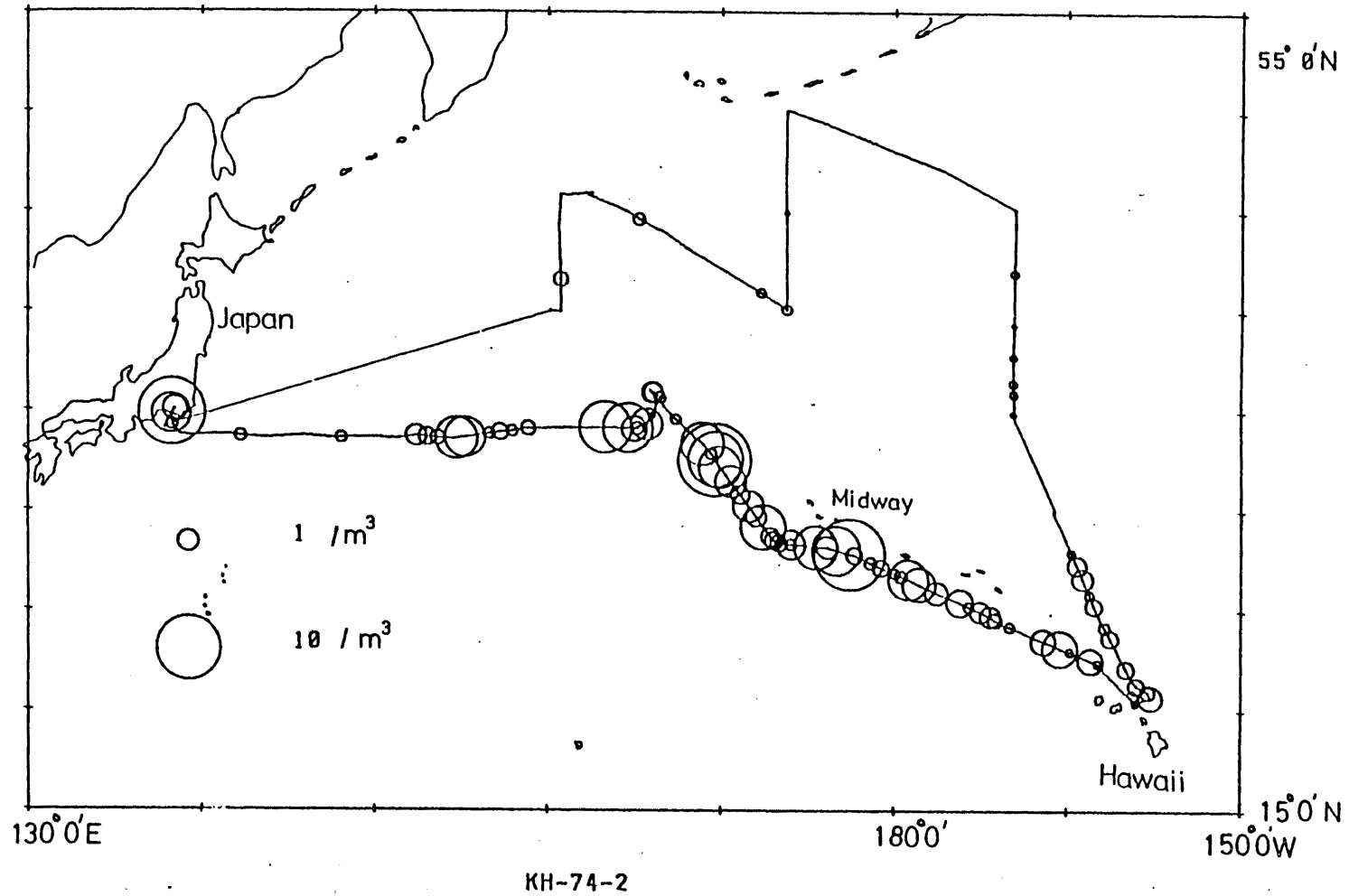


図 11 KH-74-2次航海 (1974年 4月30日 - 6月26日) 測線上における浮遊卵の分布図。

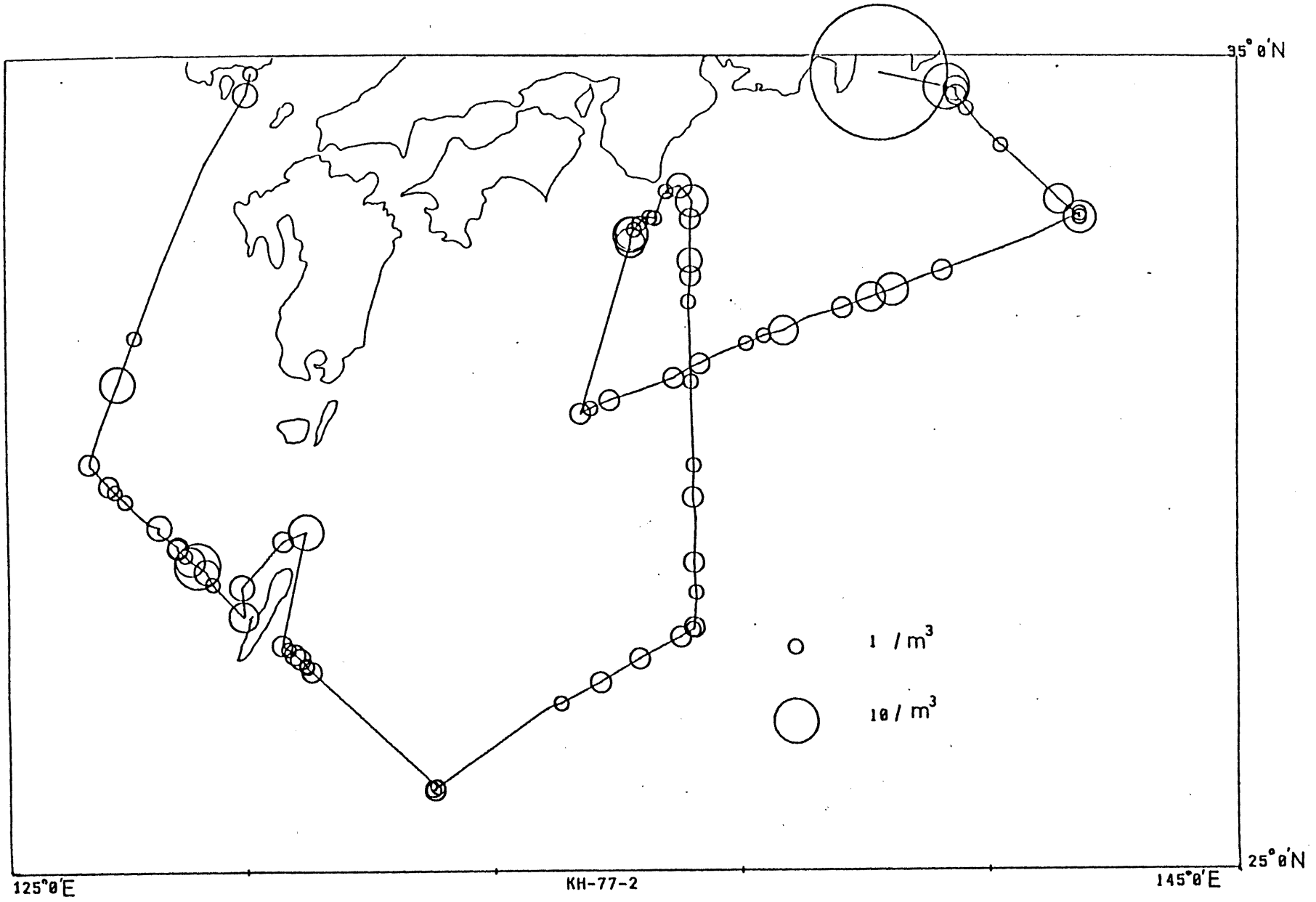


図 1 2 KH-77- 2次航海 (1977年 7月 5日 - 7月25日) 測線上における浮遊卵の分布図。

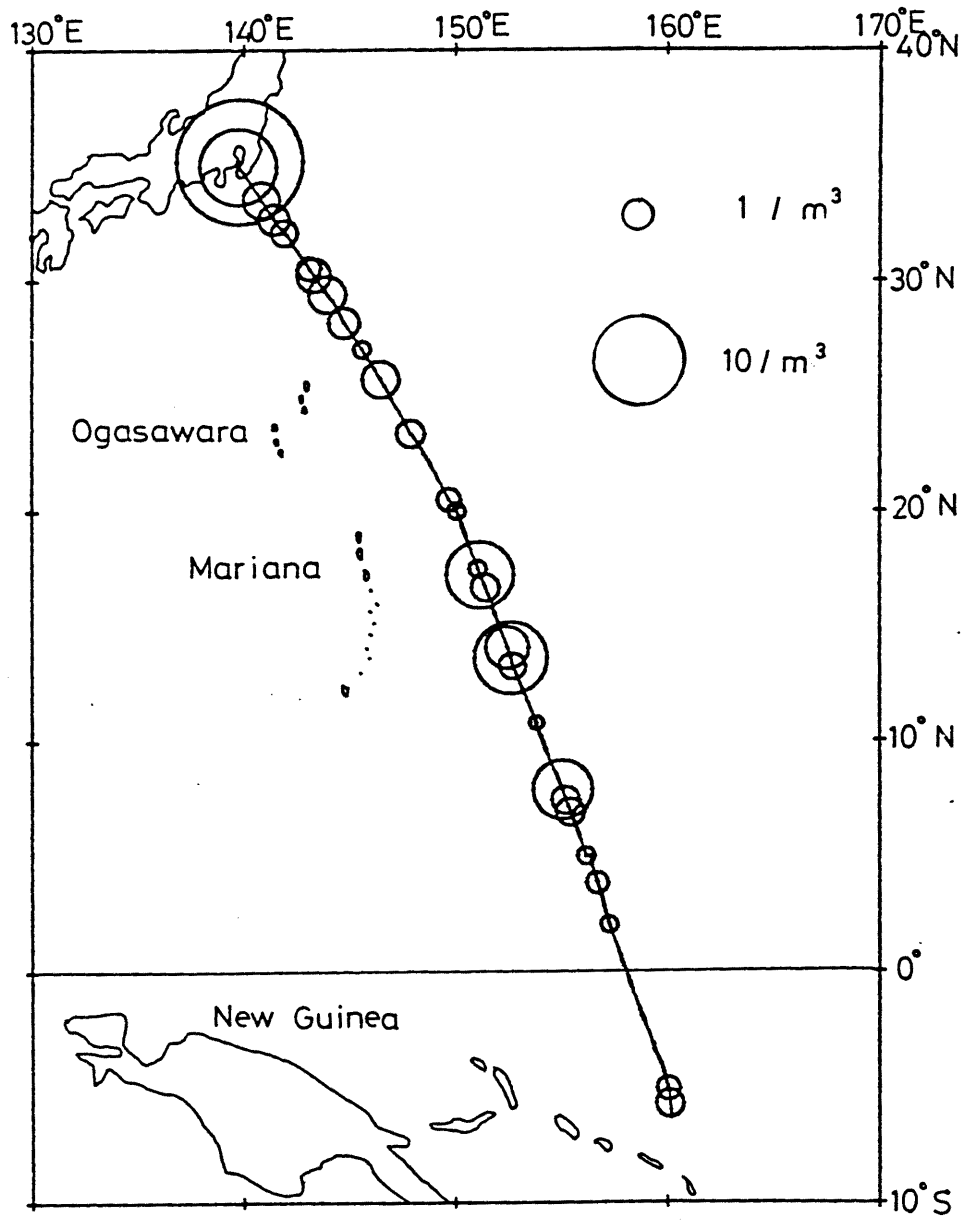


図 1 3 KII-79- 4次航海 (1979年 8月28日 - 9月14日) 測線上における浮遊卵の分布図。

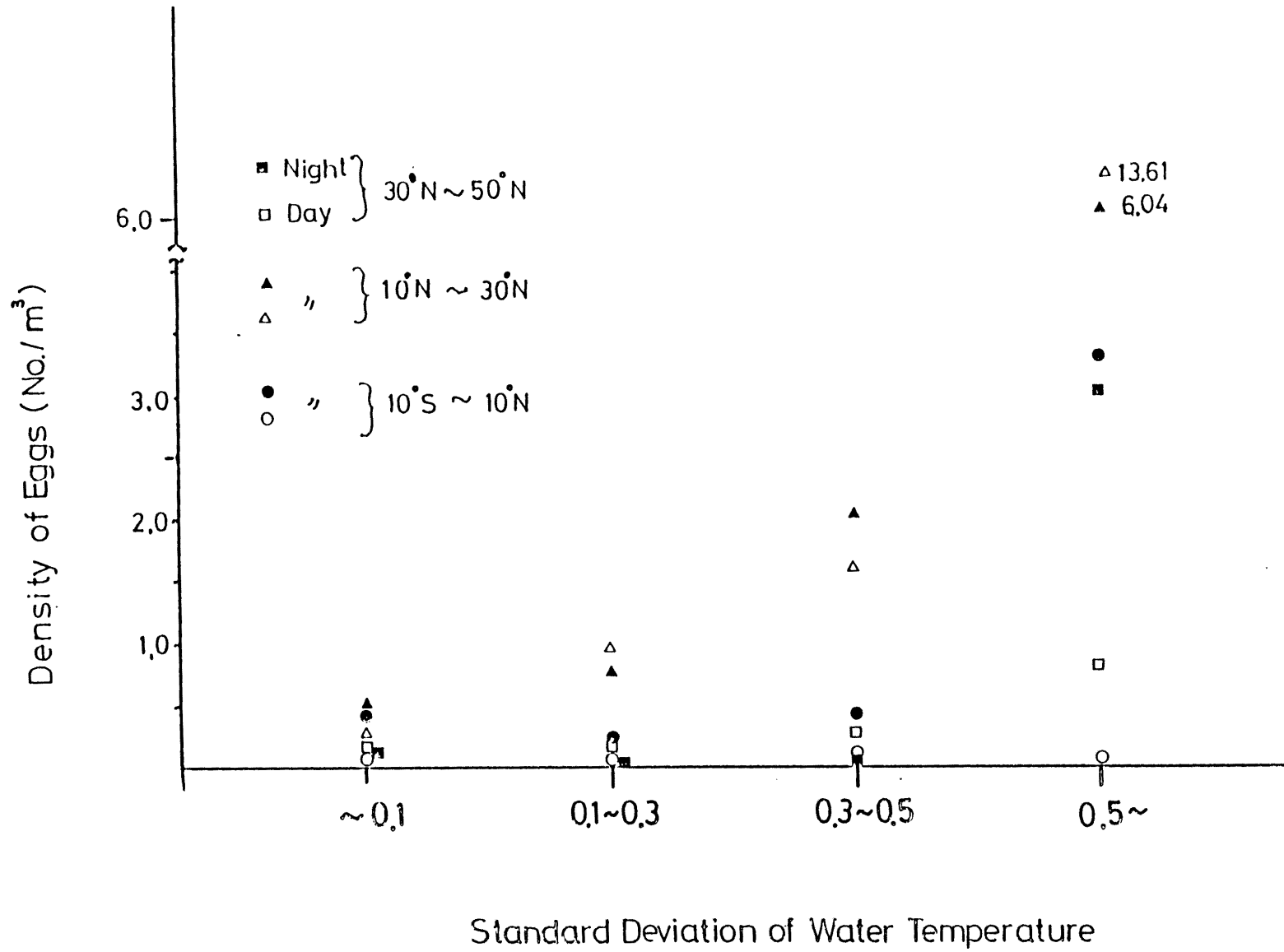


図 14 浮遊卵分布密度の水溫変動の大きさ、緯度、昼夜別による集計図

## 1-2) NORPACネット表層連続曳網採集による浮遊卵稚仔等の微細分布構造

分布密度の高い動・植物プランクトンの分布の不均一性の検出に比較して、浮遊卵稚仔の分布の不均一性の検出には大きな濾水量が必要とされる。そのため、様々な観測機器が開発されて来たが、現在のところネットによる連続曳網採集が最も有効な方法である。

そのため、浮遊卵稚仔の微細分布構造を調査するにあたり、まず最初に、最も容易で簡便な方法である二つのネットを交互に用いて行なう連続採集を実施した。黒潮前線、沿岸フロント、湧昇流水域縁辺部、および潮目等の収束現象が顕著に存在してパッチ状分布が形成されやすく、また、浮遊卵稚仔の主たる分布層である表層を調査対象として行なった。

### 材料と方法

この調査は東京大学・海洋研究所淡青丸によって、KT-73-7, KT-75-9 およびKT-78-12次航海において行なわれた。表3にKT-73-7次航海、表4にKT-75-9次航海、表5にKT-78-12次航海における、調査水域、観測日時、1曳網時間間隔、距離、サンプル数などを示した。

KT-73-7次航海では、表3に示すように7月22日から28日に相模湾において調査を行なった。相模湾に図15のように3本の観測線を設けた。測線1は三崎から伊東まで、測線2は下田から伊東まで、測線3は伊東から三崎へと設定した。その測線上に連続採集測点を、それぞれ8, 7, 8点設けた。一つの測点において20回の連続採集を行なったので、合計460回の曳網採集を行なったことになる。一区間の曳網距離は60mである。

また、KT-75-9次航海においては、表4および図16に示す地点においてほぼ南北に黒潮前線を横断する測線を設定した。その測線上で34回の連続採集を行なった。1

表 3 KT-73-7次航海における連続採集調査。

		Line 1	Line 2	Line 3
Location		Misaki → Ito 35°-06.7 N    35°-00.4 N 139°-35.3 E    139°-09.3 E	Shimoda → Ito 34°-40.1 N    34°-55.6 N 139°-01.5 E    139°-11.8 E	Ito → Misaki 34°-59.6 N    35°-07.7 N 139°-08.3 E    139°-31.7 E
Date		22-June	26-June	28-June
Station No.		Time    Water Temp.	Time    Water temp.	Time    Water Temp.
	1	13:01    22.3 C	8:46    20.9 C	9:19    21.6 C
2	13:36    22.5	9:23    21.3	9:56    21.6	
3	14:16    21.3	9:59    21.6	10:30    21.7	
4	15:00    21.4	10:34    21.9	11:06    21.8	
5	15:40    21.3	11:09    22.1	11:41    22.0	
6	16:21    21.7	11:48    22.2	12:15    21.8	
7	16:59    21.9	12:30    22.2	12:50    20.5	
8	17:35    21.8		13:34    20.9	



表 4 紀伊半島沖におけるNORPACネットによる黒潮横断表層連続採集調査  
(KT-75-9 次航海)。

年月日	時刻	速力	位置	風向	海況	
1975 14 July	12:00	2 ノット	33°18'7"N 135°45'0"E	NW7	2	
	13:00	2.3	18'4"	45'3"	NW5	2
	14:00	2.1	18'3"	45'4"	NE2	2

表 5 KT-78-12次航海におけるNORPACネットによる表層連続採集。

年月日	時間	速力	位置	風向	海況
1978 24 July	19:30	2.3	34°44'8"N 138°30'2"E	SSW2	2
	20:00	2.2	34°45'1" 138°31'6"	SSW2	3
	20:30	2.1	34°46'7" 138°32'7"	SSW2	3
	21:00	2.1	34°47'2" 138°34'5"	SSW2	2

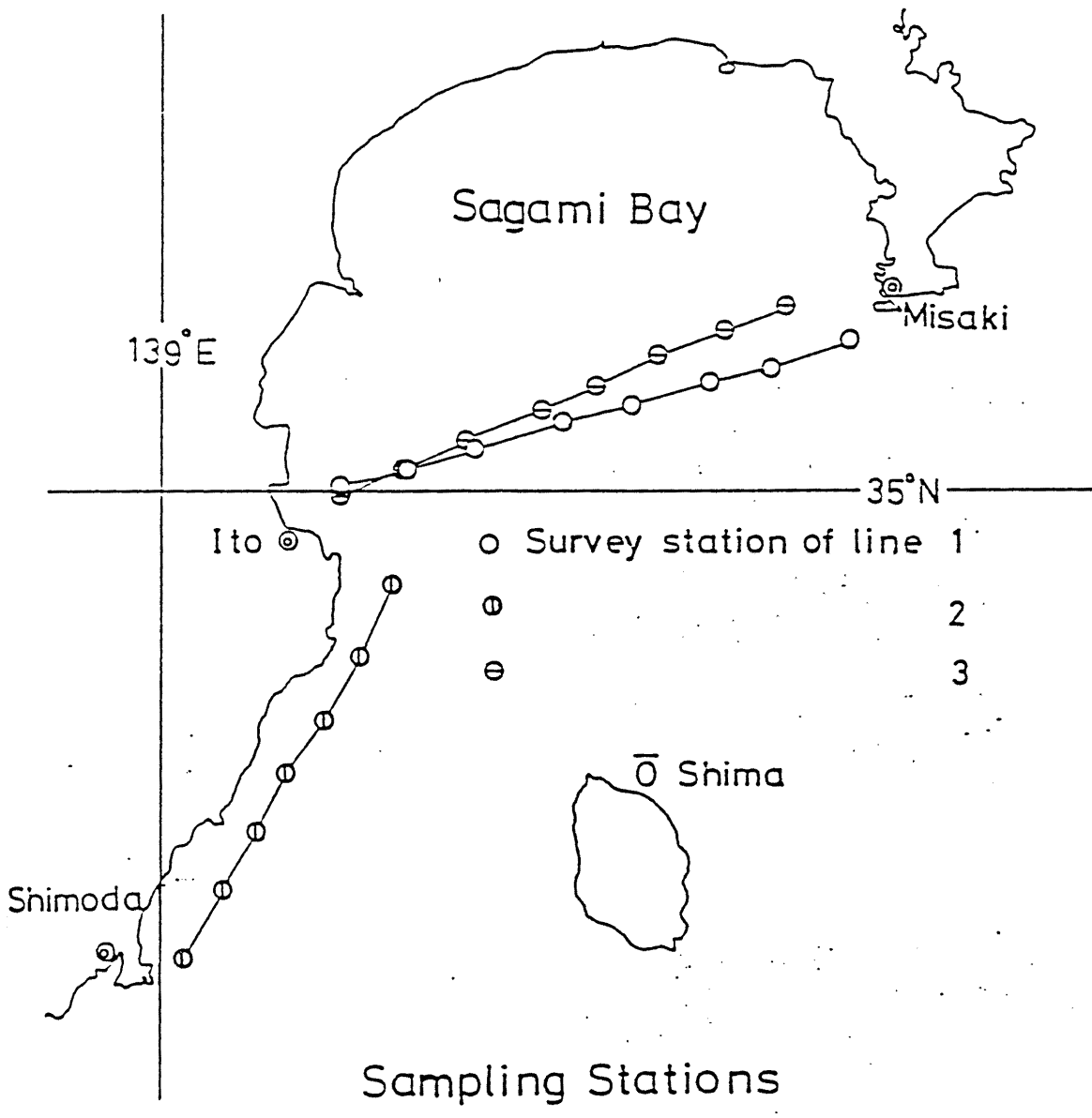


図 15 KT-73- 7次航海での相模湾における連続採集測線。

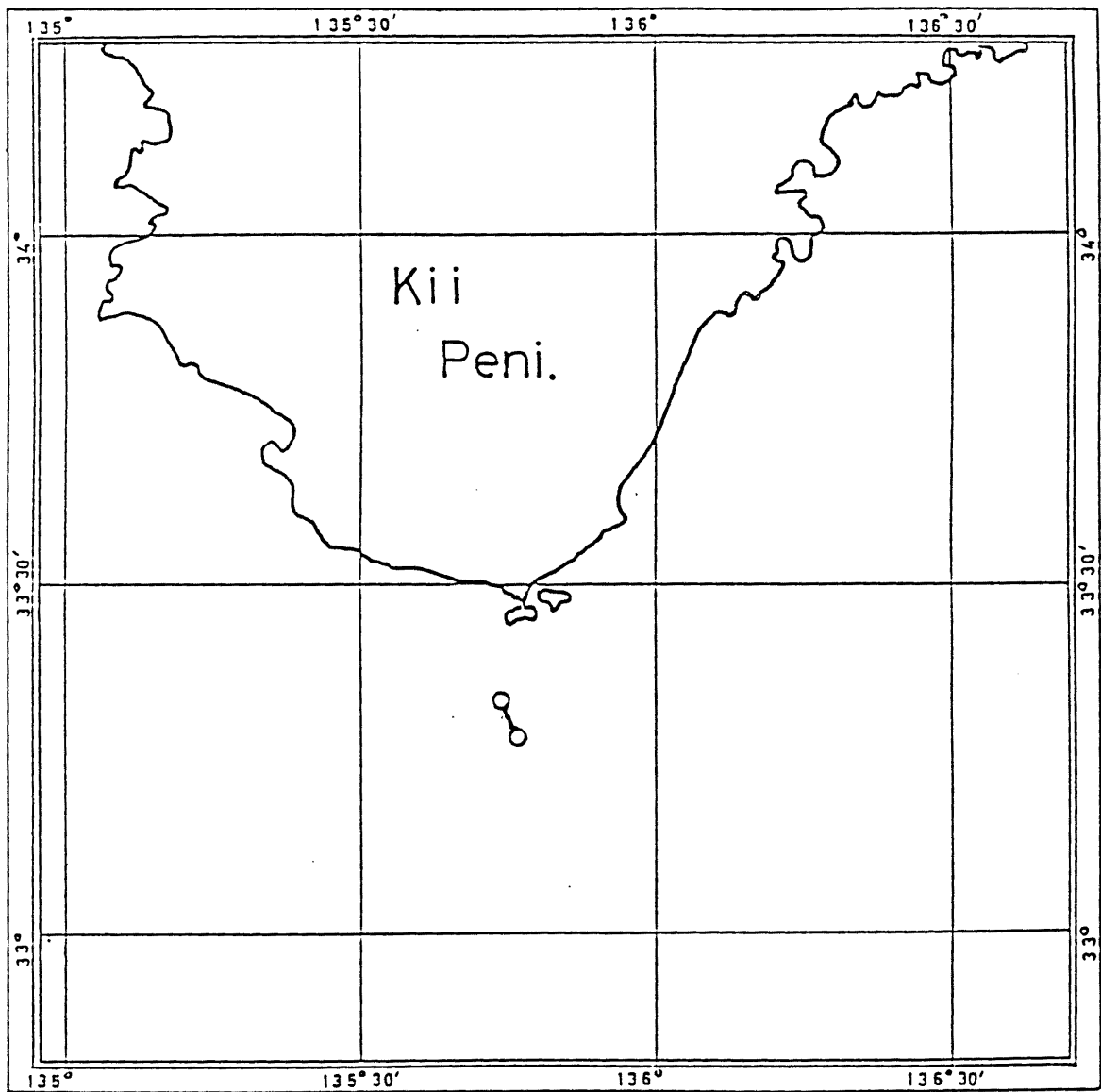


図 16 KT-75- 9次航海における黒潮横断連続採集測線。

区間の曳網距離は、300 m である。

KT-78-12次航海においては、表5および図17に示すように駿河湾湾口部の顕著な浅瀬である石花海上を横断する測線を設けた。ここは、黒潮分枝流が湾外より流入することによって深層水が湧昇し冷水域を形成する水域である。一区間の曳網距離は、150 m である。

以上の調査ではいずれも、NORPACネット (Mesh size 0.33 mm) 2つを交互に用いてサンプルを採集した。濾水量を推定するため、口輪に離合社製の流量計を装着し、また、曳網速度は2ノットとした。なお、船の進行波の影響を避けるために、舷側から3 mのブームを張り出しその先端から曳網した。

サンプルの採集における洗網作業は常に一定の手順により行なった。しかし、目詰まりによると思われる濾水量の減少が認められた時には、通常の洗網およびサンプルの採集作業の後にさらに洗網を行なうことによって、濾水量をなるべく一定にするよう図り採集性能の変化を避けた。サンプルは5%中性海水ホルマリンで固定し、研究室に持ち帰った後、ソーティング、種の同定、計数を行なった。

## 結果

### 1. 濾水量の推定

濾水量については、流量計のキャリブレーションの結果を用いて計算して推定した。KT-73-7次航海での各測点における濾水量の平均値と標準偏差を表6に示した。測線2においては、全体に生物量が少なく目詰まりが少なかったため、濾水量の多い傾向が認められた。しかし、幾つかの測点においてネットの目詰まりによるものと思われる濾水量の減少が認められた。それは、特に測線3の測点2、6において顕著であった。一般に、船速が一定でないことによると思われる濾水量の周期的な増減が認められた。

測線および測点間において若干の変動は存在するが、全体からみてほぼ安定した濾

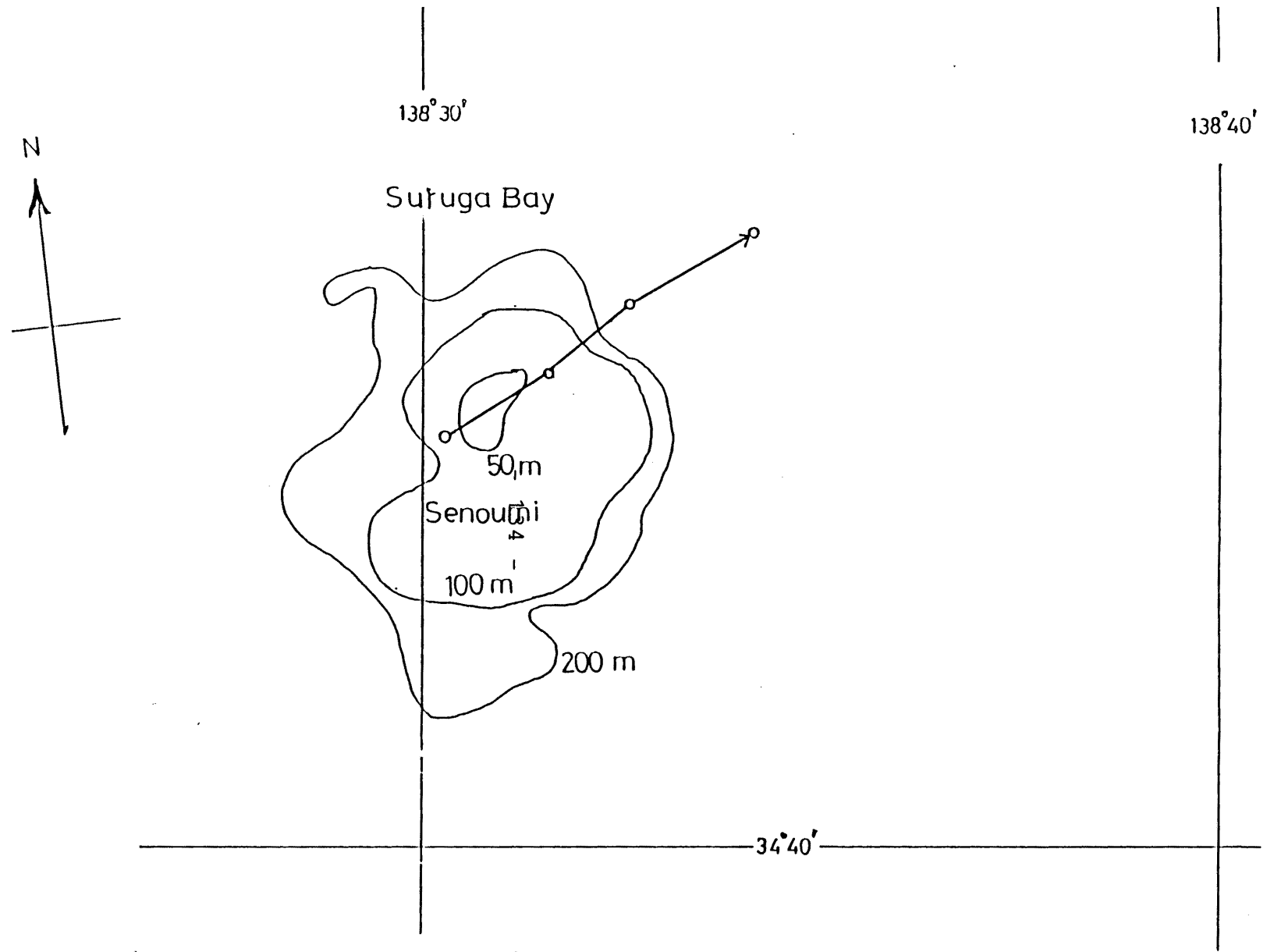


図 17 KT-78-12次航海における石花海上横断連続採集測線。

表 6 KT-73-7次航海での連続採集調査における濾水量（単位：m<sup>3</sup>）の変動。

括弧内は20回の曳網データの濾水量の標準偏差を示した。

Station	Line 1	Line 2	Line 3
1	7.67 (0.41)	9.44 (1.48)	8.27 (0.55)
2	5.66 (1.94)	8.29 (0.49)	4.87 (1.55)
3	5.84 (1.10)	9.60 (0.41)	6.10 (1.06)
4	6.03 (1.72)	9.14 (1.51)	6.73 (0.60)
5	6.63 (1.10)	8.59 (0.63)	5.37 (0.77)
6	7.07 (0.61)	9.13 (0.75)	3.07 (1.36)
7	7.47 (0.80)	9.37 (0.79)	6.46 (0.51)
8	7.00 (1.10)		6.79 (0.92)

過状態を示しているので、流量計の回転数から濾水量の推定を行なうことは妥当であると考えられた。KT-75-9 次航海における連続採集での流量計回転数および生物沈澱量について図 1 8 に示した。KT-75-9 次航海においては更に良好な濾過状態を示していた。

## 2. 生物沈澱量の分布の概況

KT-73-7 次航海における、1 m<sup>3</sup>あたりの生物沈澱量の分布図を図 1 9 に示した。この調査期間中、夜光虫 Noctiluca scintillans (Macartney), が相模湾全体に顕著であった。生物沈澱量の組成の測定結果からもその傾向が見られたが、生物沈澱量については何れの測線においても特に顕著に集中して分布する傾向は認められなかった。しかし、測線 2 の測点 1 において、夜光虫のバッチが形成され、測線 1 においてはCopepodsのバッチが測点 2、3 にかけて、および、測点 7 に形成されているのが観測された (図 2 0)。

測線 1、3 においては測線 2 に比較して全体に高い生物沈澱量を示したが、これはそれぞれの測線での水域の水塊が異なっていたためと考えられた。

KT-75-9 次航海においても同様に生物沈澱量が顕著に集中して分布する傾向はうかがえなかった (図 1 8)。

しかし、KT-78-12次航海においては図 2 1 に示すように区間No.14-34の湧昇水域縁辺部において生物沈澱量のバッチ状分布が認められた。

## 3. 浮遊卵稚仔の分布の概況

KT-73-7 次航海においては、カタクチイワシの浮遊卵が優占的に採集された。最初に相模湾全体の分布状況を概観するために、各測点における20回の曳網を合計して1 m<sup>3</sup>あたりの浮遊卵の分布密度として図 2 2 に示した。高密度水域が測線 1 の測点 1、測線 2 の測点 1、および測線 3 の測点 7、8 に認められた。このことから、この観測期間中、カタクチイワシの産卵場が三崎および下田沖に形成されていたものと考えら



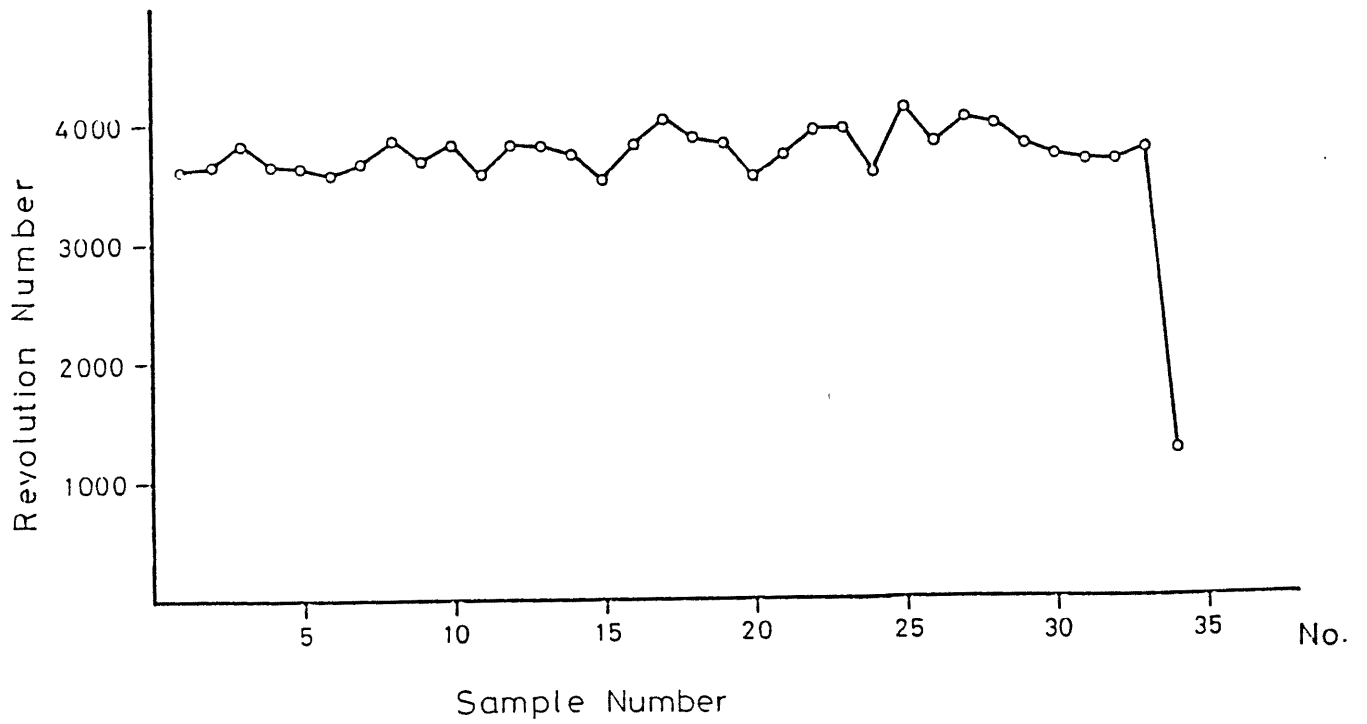
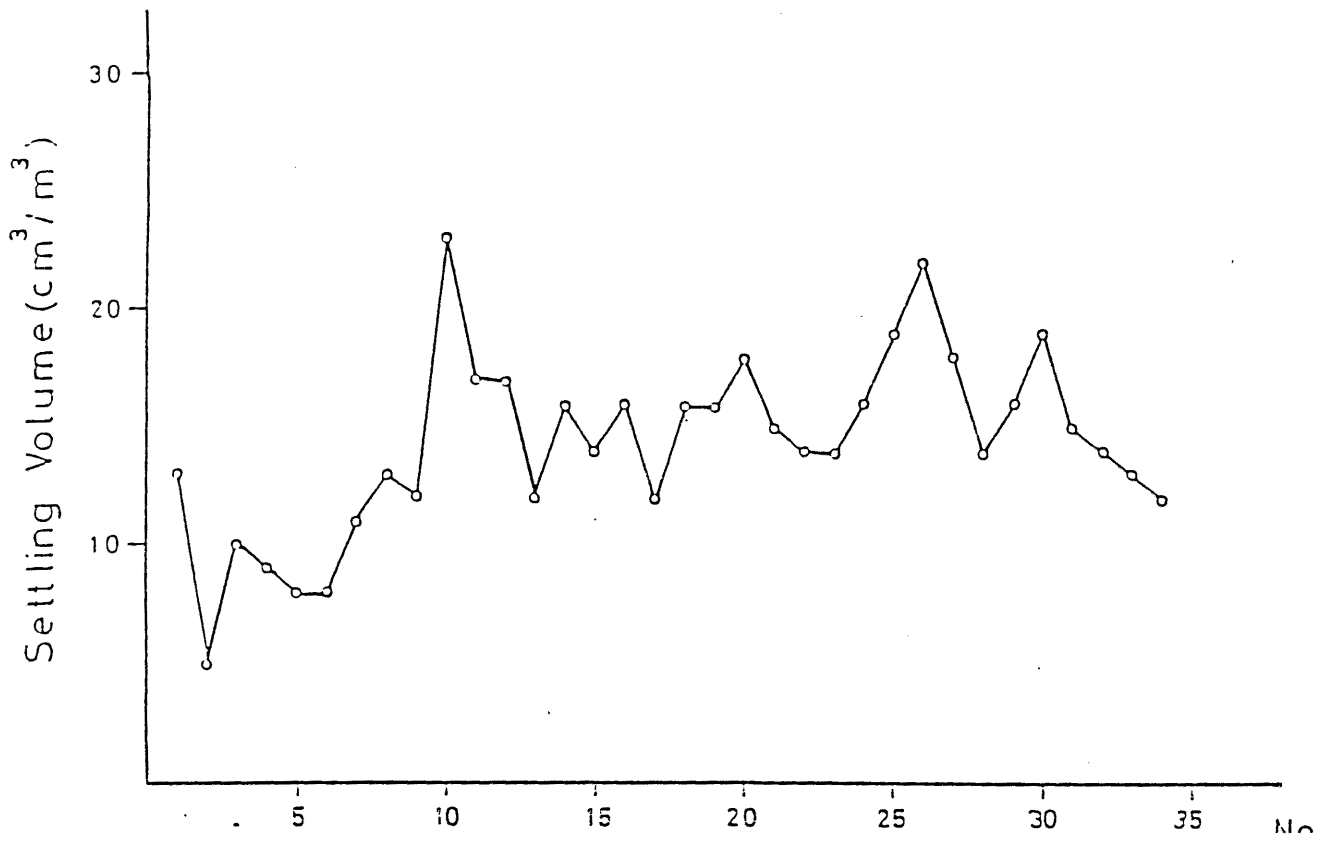


図 18 KT-75-9 次航海でのNORPACネット連続採集における濾水量の変化。

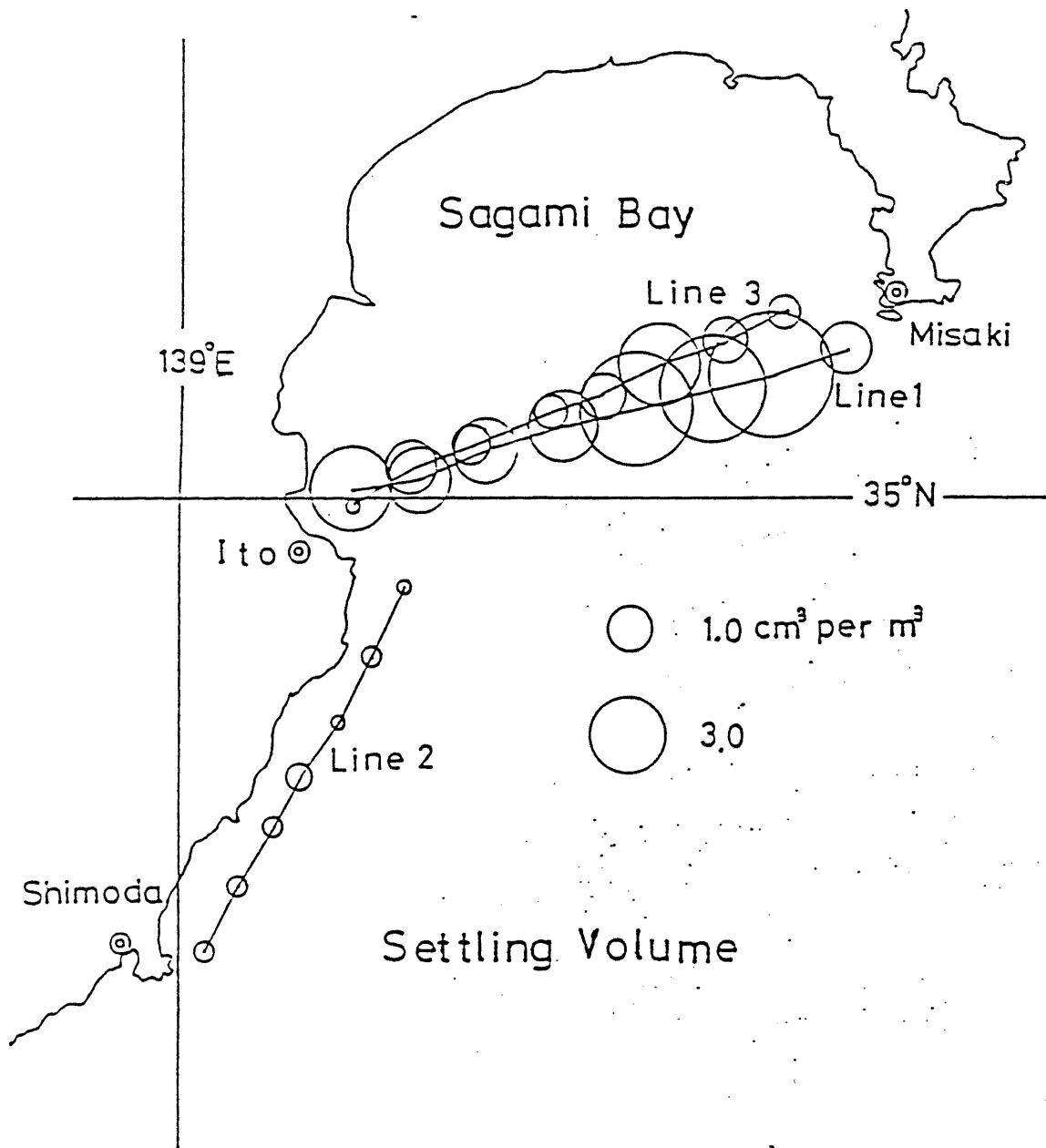


図 19 相模湾における生物沈澱量分布の概況。

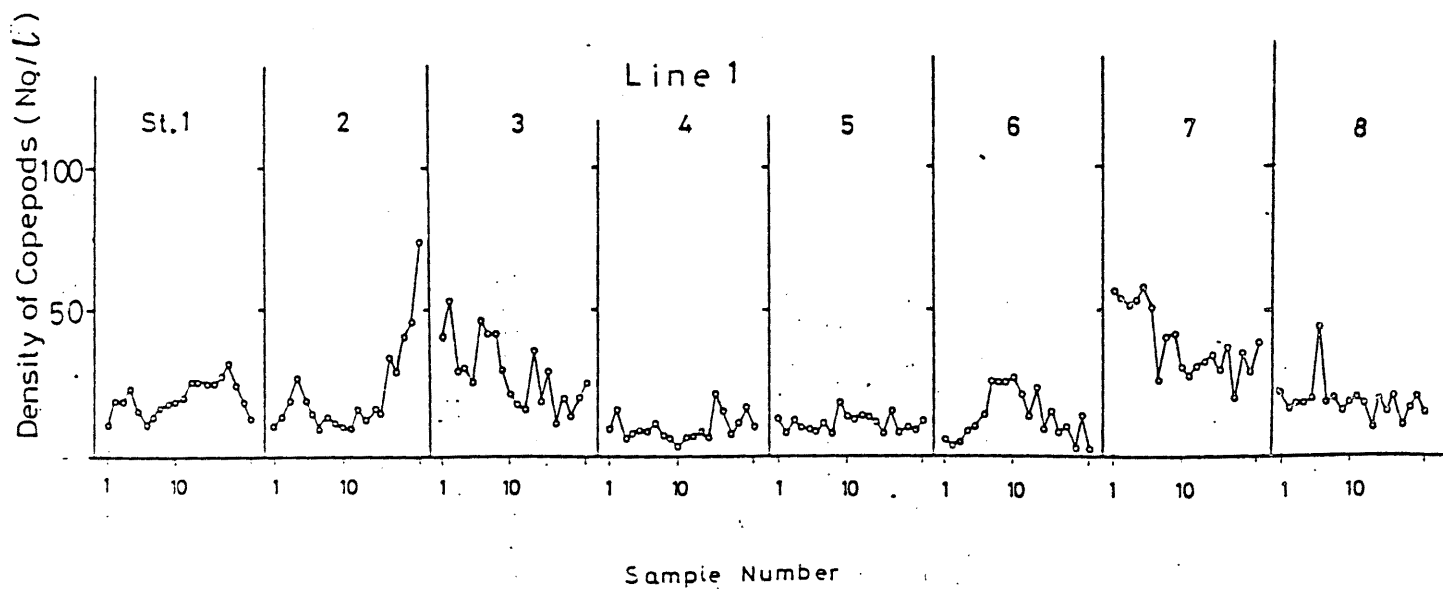
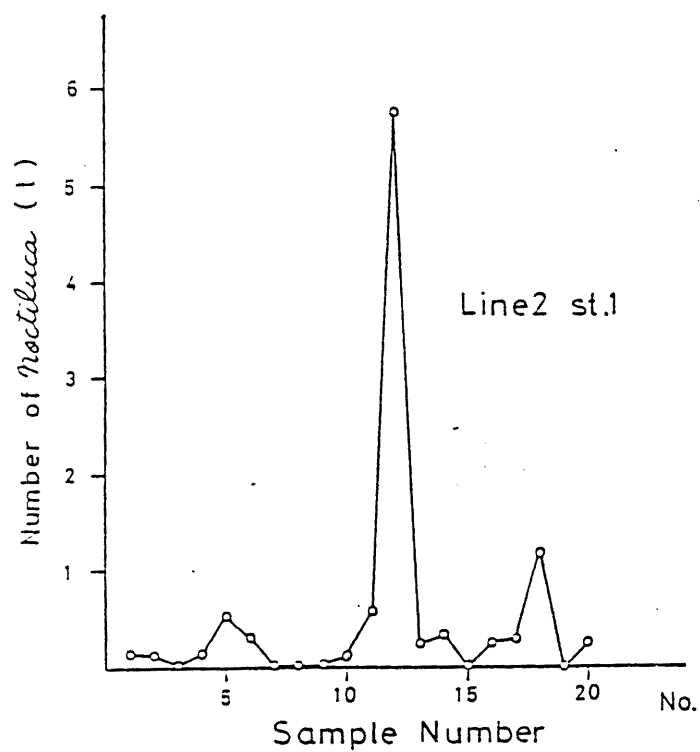


図 20 測線 2 の測点 1 における夜光虫、および測線 1 におけるコペポードのパッチ状分布図。

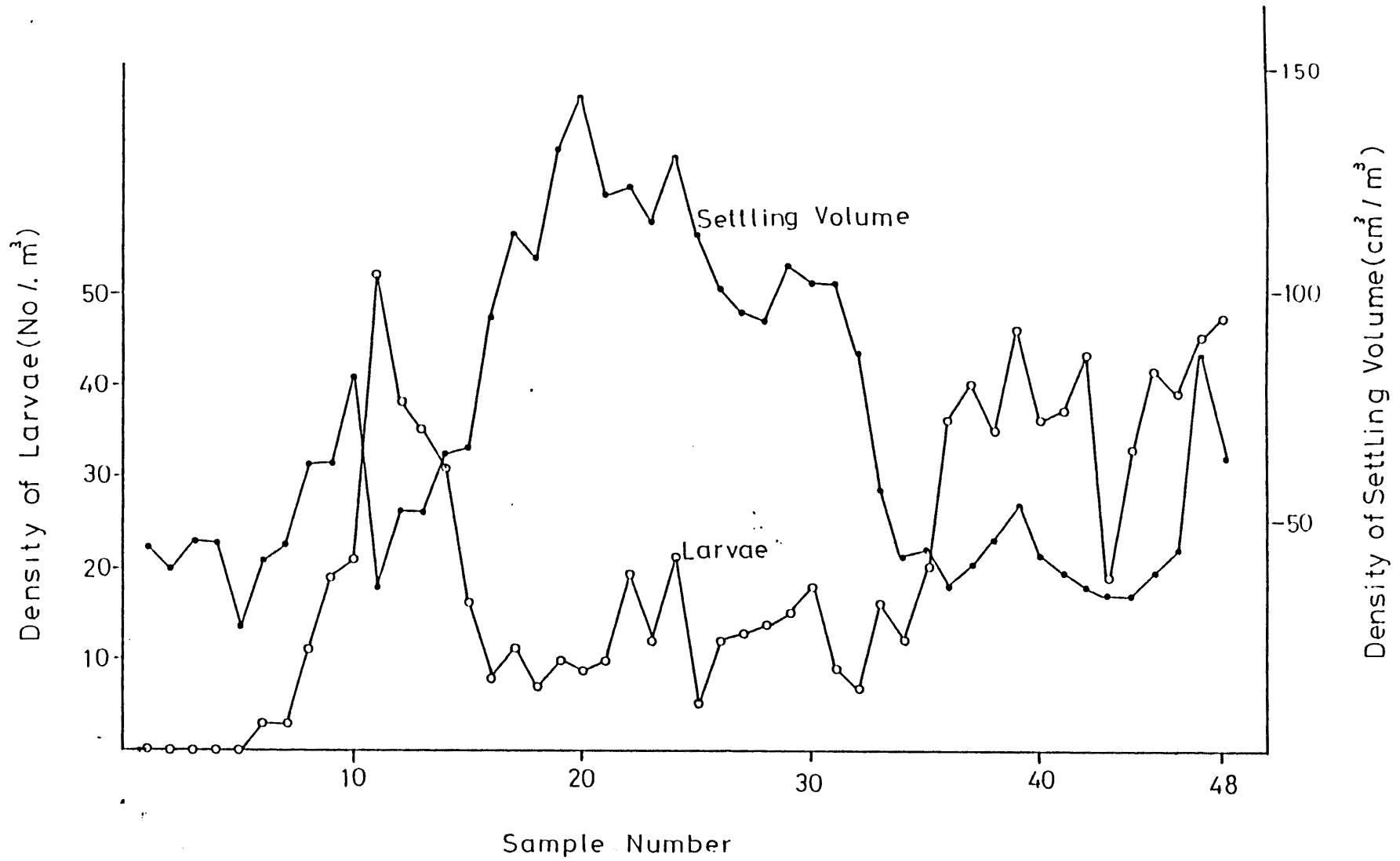


図 21 石花海上における生物沈澱量、浮遊卵、カタクチイワシ稚仔の分布図。

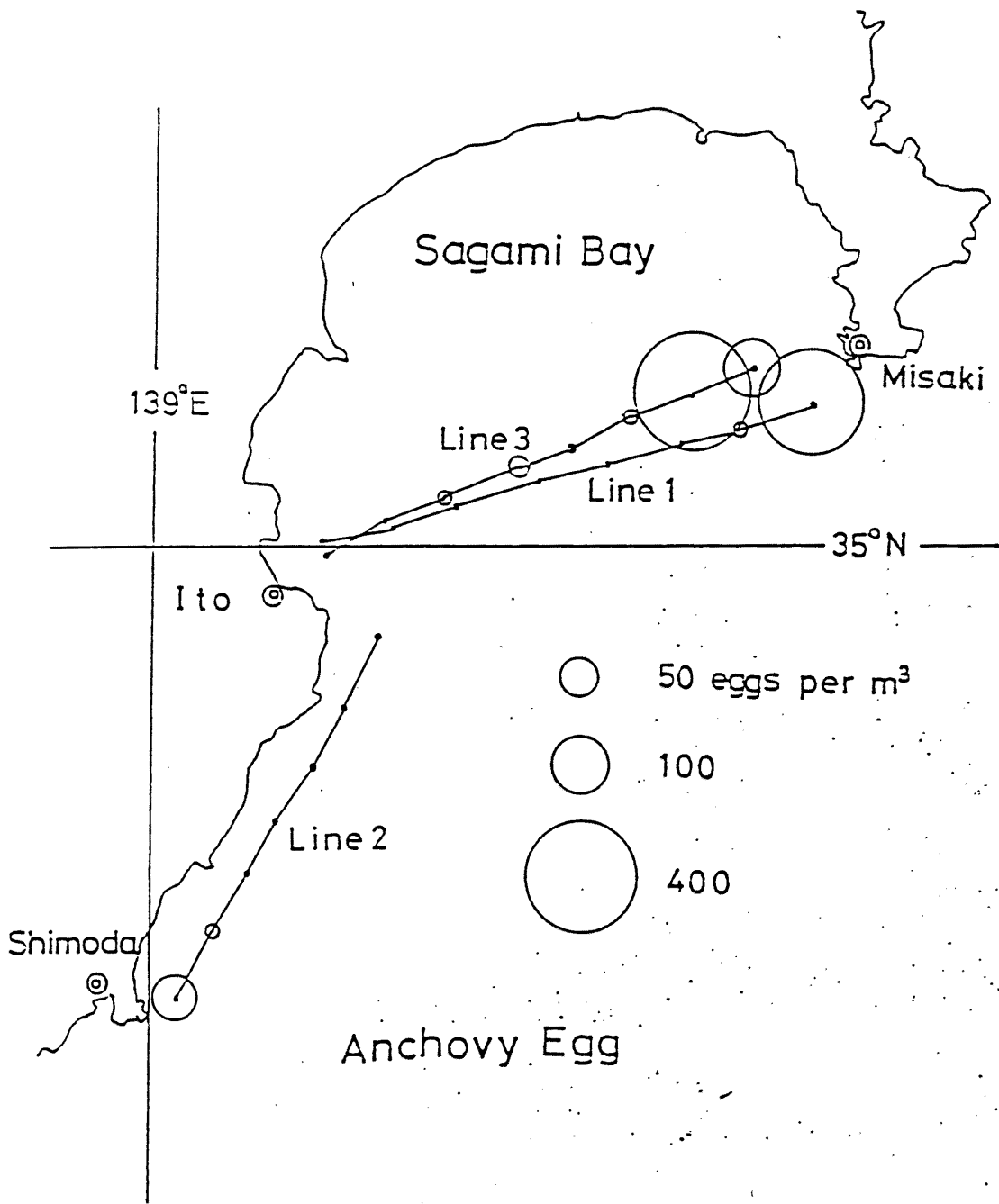


図 2 2 相模湾におけるカタクチイワシ浮遊卵の分布の概況。

れる。表 3 に示す水温分布の結果から、この両水域とも南方からの流入水の影響を受けていたことが明らかである。

測線 1 と測線 3 との調査日の間には 6 日間が経過しており、その間に沖合水と沿岸水とのフロントが西に移動していた。そのフロントの移動に対応するように浮遊卵の主分布域も西に移動していた。また、6 日間にわたって浮遊卵が分布していたことから、この時期に相模湾においてカタクチイワシの産卵が継続して行なわれていたものと考えられた。

つぎに、カタクチイワシの稚仔の分布を図 2 3 に示した。稚仔は浮遊卵に比べて広く分布する傾向が認められた。しかし、大量に浮遊卵の分布していた測線 2 の測点 1 と測線 3 の測点 7 においては稚仔の分布が認められなかった。また、浮遊卵の採集されなかった測線 1 の測点 3 - 8、測線 2 の測点 6、および測線 3 の測点 1 において比較的多い数の稚仔が採集された。このことから、稚仔と浮遊卵の分布の間には弱い逆相関が認められた。

各発生ステージ毎の浮遊卵と稚仔の採集数を表 7 に示した。この表から、発生ステージが進むにつれて採集数が減少することがわかる。浮遊卵は、測線 1 においては測点 1、2 のみに採集された。測線 2 においては大量に採集された測点 1、2 以外にも少量の浮遊卵が採集されている。測線 3 においては、後期卵を中心とした測点 3、4 の高分布域と、初期卵を中心とした測点 7、8 の高分布域の二つが認められた。一般に、初期卵によって形成されるピークの方が後期卵によって形成されるピークの尖度より高い傾向があった。このことは、一部の浮遊卵群を除いて、全体としては浮遊卵の発生が進むにつれて拡散する傾向にあると考えられた。

#### 4. 浮遊卵稚仔の微細分布

KT-73-7 次航海におけるカタクチイワシの各発生ステージの浮遊卵および稚仔の各測点における微細分布を図 2 4 に示した。浮遊卵の分布はランダムでなくある特定の

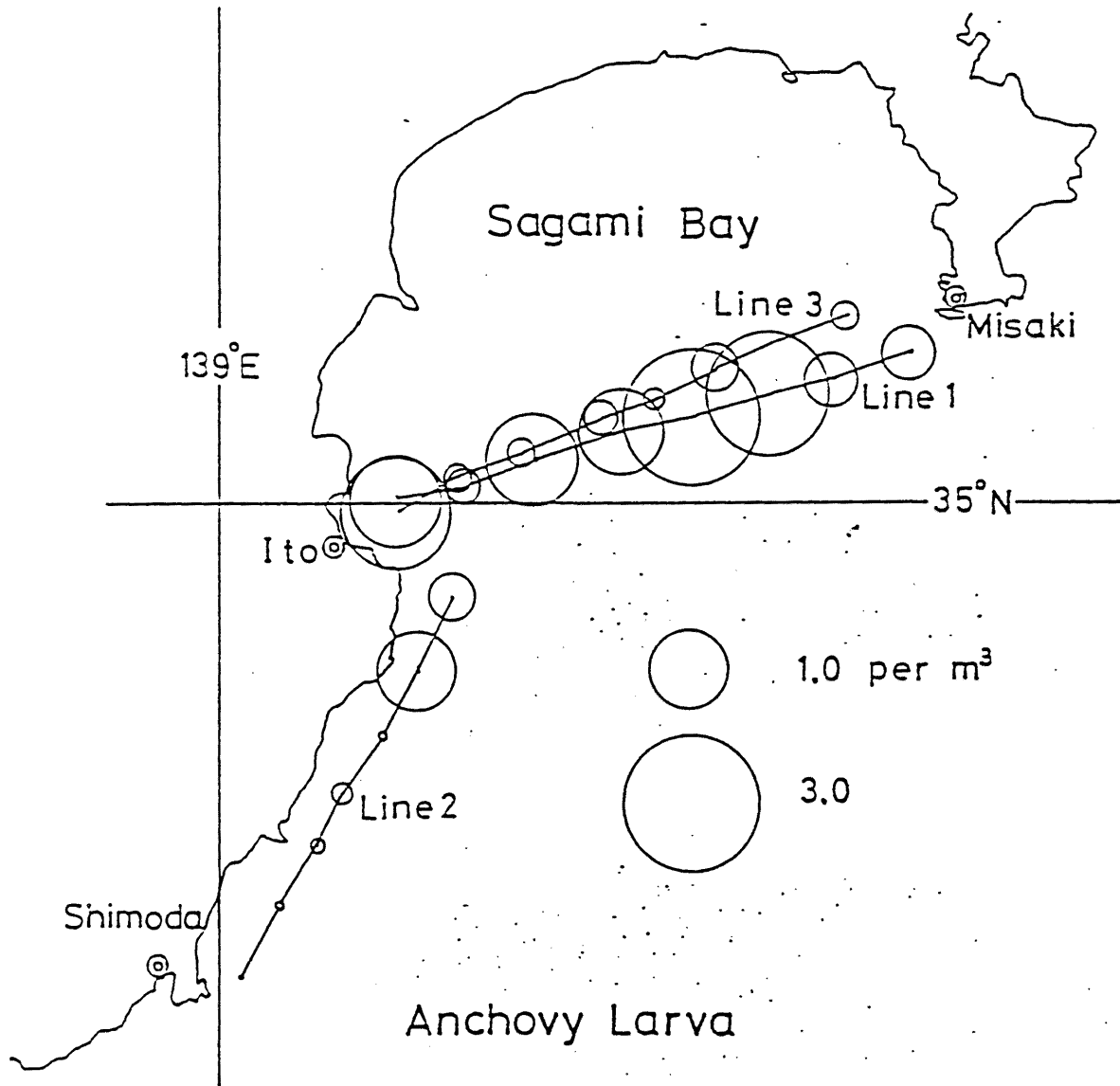


図 23 相模湾におけるカタクチイワシ稚仔の分布の概況。

表 7 KT-73-7次航海での連続採集調査における発生ステージ別浮遊卵および稚  
 仔の微細分布。

Line No.	Station No.		1	2	3	4	5	6	7	8
	Stage									
1	Egg	a	28271	1075	0	0	0	0	0	0
		b	18987	1	0	0	0	0	0	0
		c	580	4	0	0	0	0	0	0
	Larva		76	45	288	363	145	201	24	202
2	Egg	a	9313	80	0	3	2	0	1	
		b	0	0	0	0	2	0	0	
		c	1572	62	1	1	0	0	0	
	Larva		0	2	4	10	2	179	69	
3	Egg	a	0	1	29	146	22	148	47804	13712
		b	0	1	0	1	0	100	0	670
		c	0	0	893	330	4	40	7913	1137
	Larva		324	10	17	22	7	21	0	14



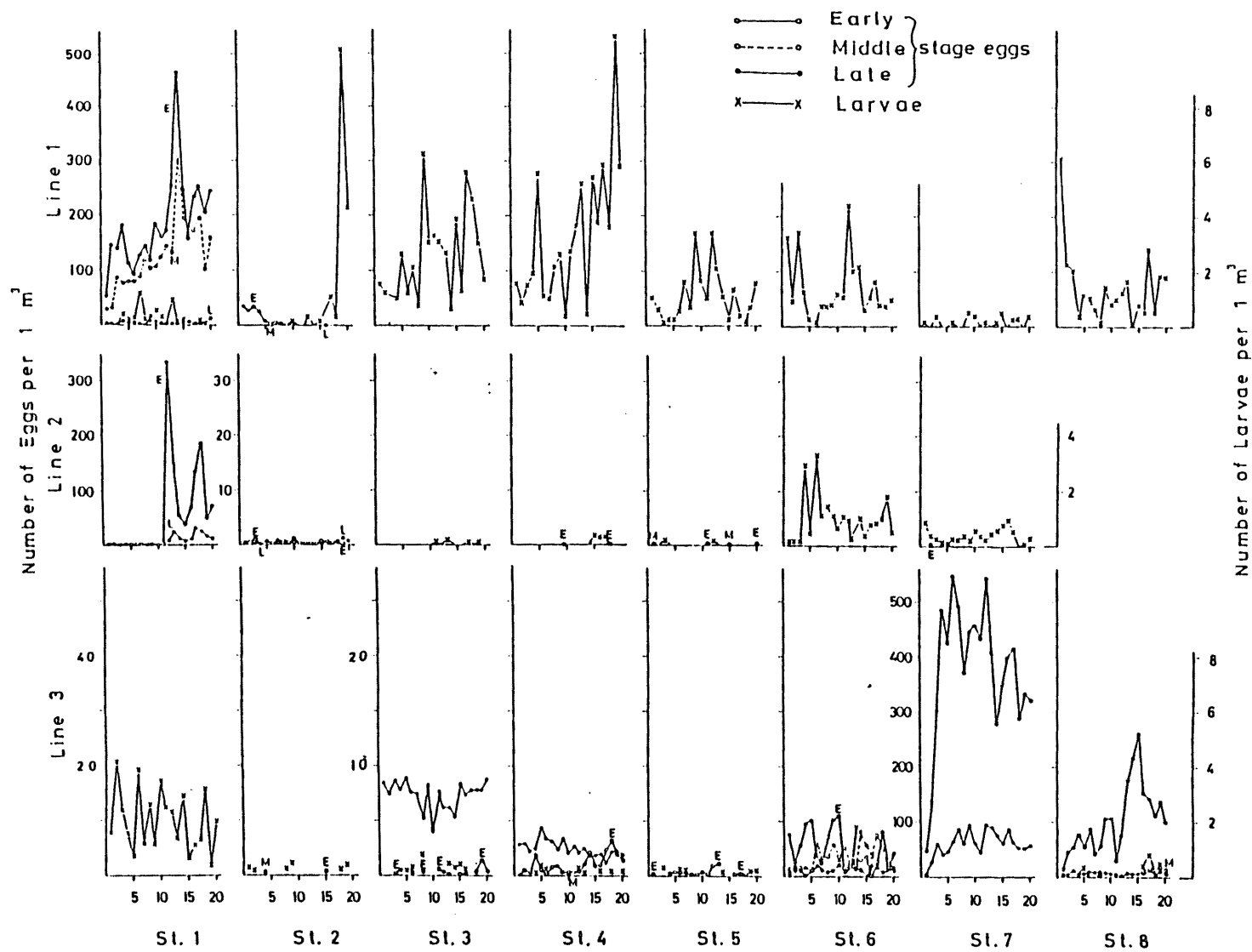


図 24 相模湾におけるカタクチイワシの各発生ステージ浮遊卵、稚仔の各測点における微細分布図 (図中のE, L, M はそれぞれEarly, Middle, Late stage の略)。

水域に極端に集中する傾向が認められ、その分布密度の変化も急激であった。しかし、集中している水域以外にも浮遊卵の分布が少しではあるが認められた。このような水域での浮遊卵は、集中水域から次第に拡散してきたものか、海流による収束作用から取り残されたものか不明である。

測線 1 と 2 における測点 1 から 2 にかけて分布していた浮遊卵群は、おそらく同一の産卵群から放卵されたものと考えられた。特に、測線 1 における測点 2 においては、その浮遊卵群の終端が認められた。測線 1 と 2 の測点間の距離はそれぞれ 4.3 km と 4.8 km であった。

測線 2 の測点 1 における区間 No. 12, 18 において特に集中した分布が観測され、そのピーク値はこのパッチ以外の区間の平均分布密度（背景密度）の 150 および 98 倍に達する。パッチ状分布の幅は 180-240 m、二つのパッチ状分布のピーク間の距離は 300-420 m であった。このパッチ状分布のピークにおいては、初期卵、後期卵、生物沈澱量、コペポダ、および夜光虫のパッチ状分布のピークがすべて一致していた。また、浮遊物や海草などもこの区間付近において大量に認められた。水温変動もこのピークと同期していた。また、区間 No. 12 のピークにおいては、区間 No. 11 から急激に分布密度が増加しているが区間 No. 13 以降ではなだらかに減少している。これらの分布密度の減少傾向から、このピークは海流の収束作用によって図の向かって右側から区間 No. 12 の収束中心へと移動してきて形成されたものと考えられた。

発生ステージ別の浮遊卵の出現傾向が一致している場合は他の測点においても観察されている。たとえば、測線 1 における測点 1、2 では初期卵と中期卵の分布傾向が同期している。しかし、この初期卵と中期卵は同一産卵群によって放卵された卵が発育速度の相違によって別々に分けられたものと考えられ、収束によって生じる分布の同期とは異なるものである。稚仔については、大小の群れがランダムに分布する傾向が認められた。稚仔のパッチ状分布は、浮遊卵に比較してピークの尖度が高い。

KT-75-9 次航海においても、図 25 に示すように区間 No. 19-26 にかけてマアジ卵と推定される浮遊卵のパッチ状分布が観測された。このパッチは KT-73-7 次航海におけ

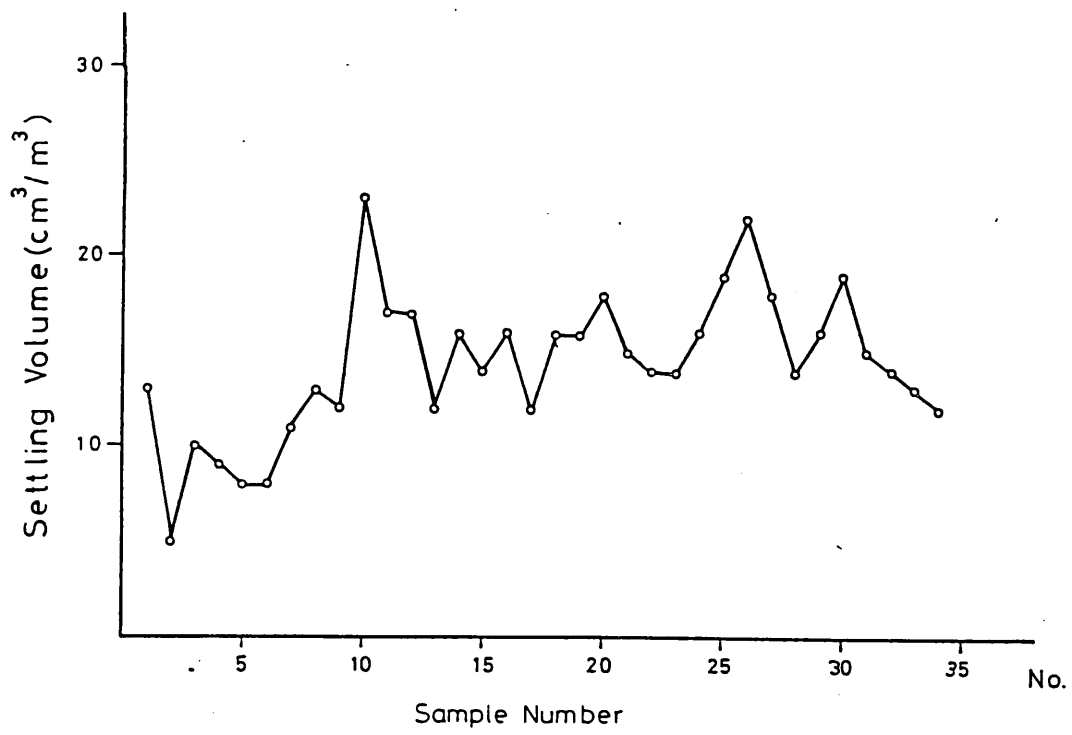
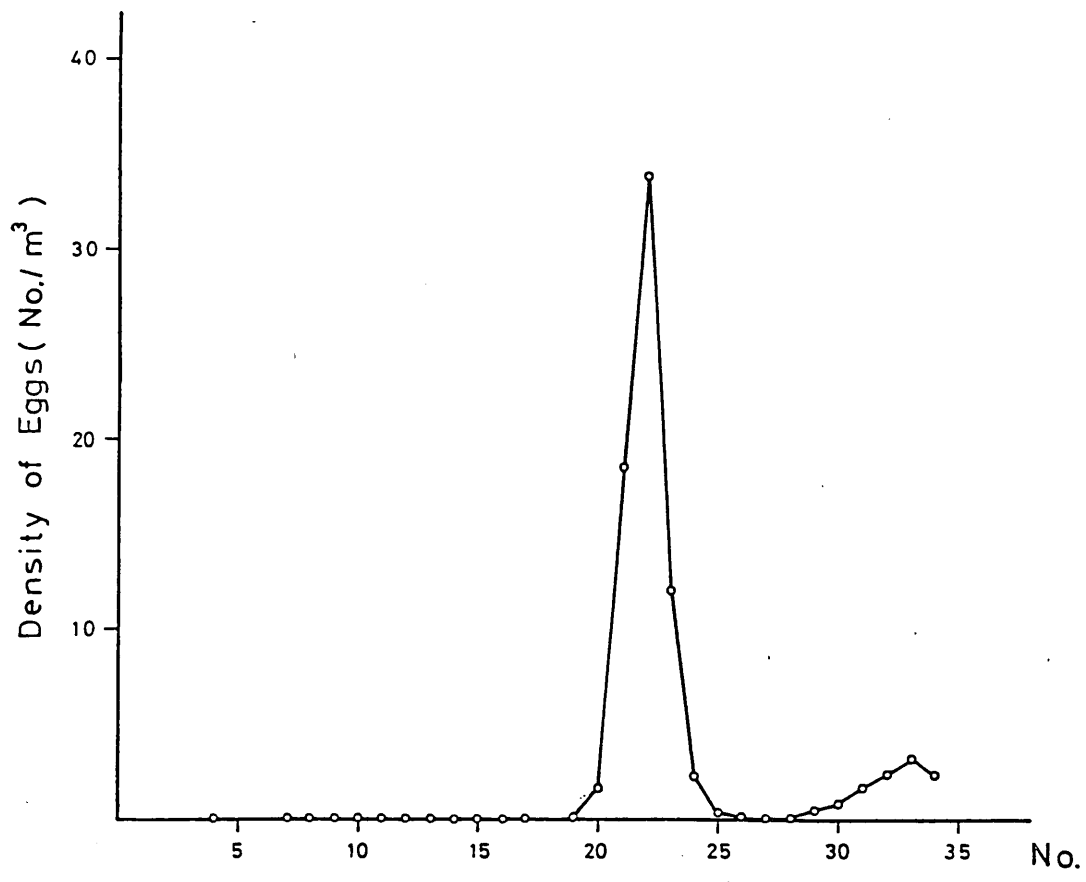


図 25 黒潮横断測線上のマアジ浮遊卵および生物沈澱量の微細分布図。

る前述のPATCHと異なり、単一の発生ステージの浮遊卵によって形成されていた。また、他の各種動・植物プランクトンのPATCHのピークが同じ区間に認められなかったことから産卵親魚から放卵された卵群がそのまま黒潮の中を浮遊・漂流していたものと考えられる。稚仔については顕著なPATCH状分布は認められなかった。浮遊卵のPATCH状分布の横断線における幅は1.5 kmであった。円形PATCHとして計算すると、たとえば、表層1 mまでの間に2765万の卵が存在していたことになる。

KT-78-12次航海においては、図21に示すようにカタクチイワシのPATCH状分布が区間No.8-16とNo.35以降の区間に認められた。これに対して、生物沈澱量ではカタクチイワシの分布密度の低い区間No.14-34にかけて逆に高密度分布域を形成していた。この区間は石花海の浅瀬から急激に深くなる水域にあたり、湧昇水域の縁辺部に相当する。栄養塩の豊富な深層水の浮上により表層の植物生産力の高まることが多くの報告で明らかにされており、今回の調査においてもこの現象が観測されたものと考えられた。カタクチイワシ稚仔の分布密度がこの区間で減少していた理由については不明であり、さらに、詳しい解析が必要である。

## 5. 浮遊卵稚仔の分布パターン

KT-73-7次航海におけるカタクチイワシの各発生ステージの浮遊卵、稚仔および生物沈澱量の分布パターンを比較するために、森下の $I_{\delta}$ 指数<sup>\*</sup>(Morisita(1935))を便宜的に一次元のデータにあてはめて計算を行なった。すなわち、各測点における20回の曳網データを、1/2, 1/4, 1/5, 1/10, そして1/20に分割して、それぞれについて $I_{\delta}$ 指数を計算した。一部の測点における計算結果を図26に示し、さらに、全測点におけるパターンについては表8に表わした。

---

\* 
$$I_{\delta} = g \frac{\sum_{i=1}^g n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$$

$g$ ; 区画数。  
 $n_i$ ; 各区画内個体数。  
 $N$ ; 全個体数。

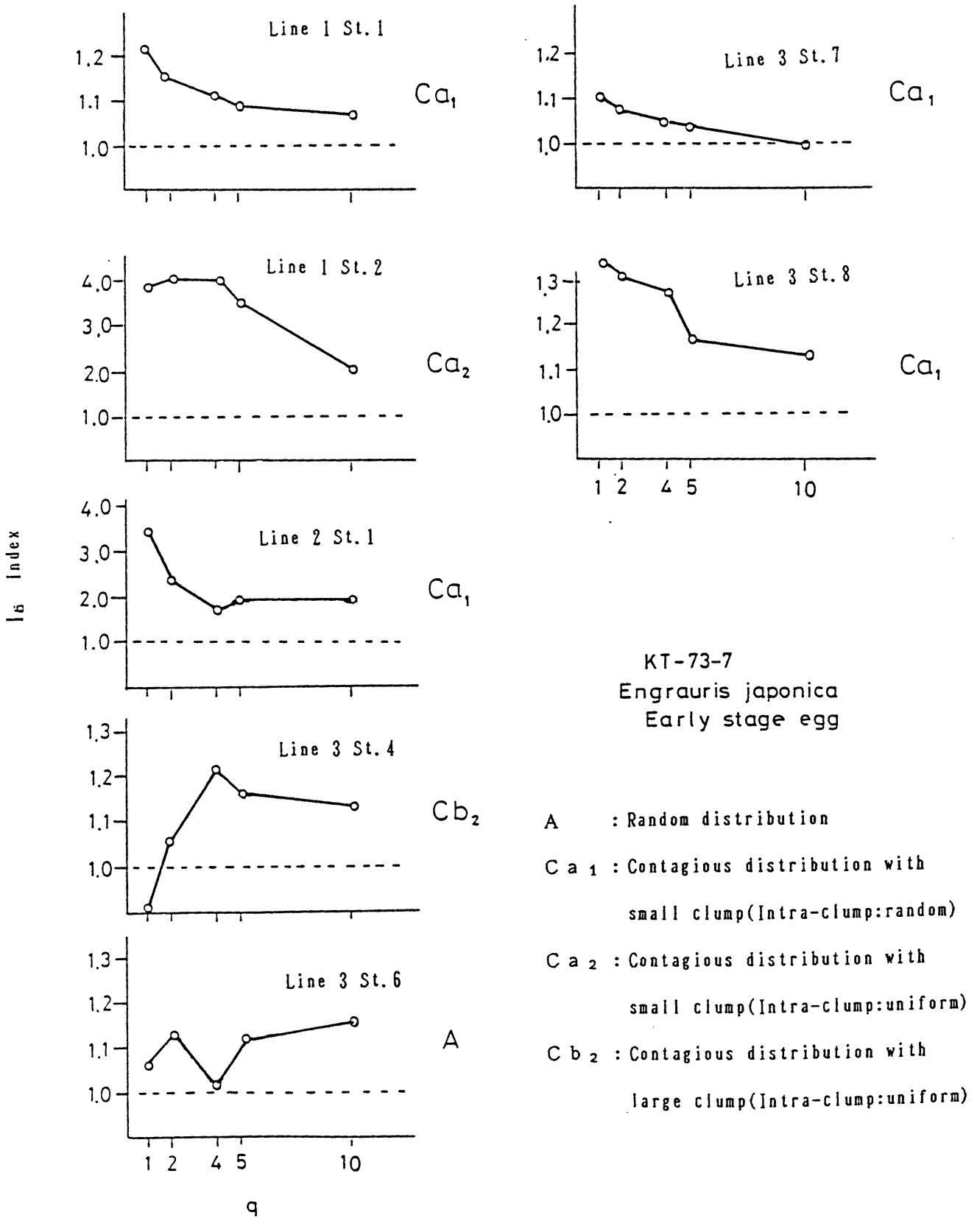


図 26 森下の I<sub>6</sub> 指数による KT-73-7 次航海各測点におけるカタクチイワシ初期ステージ卵の分布パターン。

表 8 森下のI<sub>6</sub>指数による各連続採集点における分布パターン。

Station		Englaulis japonica				Settling volume
		Egg			Larva	
		Early stage	Middle stage	Late stage		
Line 1	1	SC-R	SC-R	R	SC-R	R
	2	SC-R	-	-	SC-R	SC-R
	3	-	-	-	SC-R	SC-R
	4	-	-	-	SC-R	R
	5	-	-	-	SC-R	R
	6	-	-	-	SC-R	R
	7	-	-	-	SC-R	R
	8	-	-	-	SC-R	R
Line 2	1	SC-R	-	SC-R	-	R
	2	SC-R	-	SC-R	-	R
	3	-	-	-	-	R
	4	-	-	-	SC-R	SC-R
	5	-	-	-	-	U
	6	-	-	-	SC-R	U
	7	-	-	-	SC-R	U
Line 3	1	-	-	-	SC-R	U
	2	-	-	-	SC-R	R
	3	U	-	R	SC-R	R
	4	LC-U	-	U	SC-R	R
	5	SC-R	-	-	-	R
	6	R	U	U	SC-R	R
	7	SC-R	-	R	-	R
	8	SC-R	SC-U	R	SC-R	R

SC-R; Contagious distribution with small clump and Intra-clump distribution is at random.

SC-U; Contagious distribution with small clump and Intra-clump distribution is uniform.

LC-U; Contagious distribution with large clump and Intra-clump distribution is uniform.

R ; Random distribution.

U ; Uniform distribution.

- ; The data is insufficient

稚子の分布パターンはすべての測点で集中分布となり、小さなクラumpがランダムに分布するタイプであった。浮遊卵については、ほとんどの測点で集中分布であったが、その他に一部の測点で一様分布等が認められた。一方、生物沈澱量の分布パターンはそのほとんどがランダム分布であった。

## 6. 相対平均変動率

KT-73-7 次航海におけるカタクチイワシ浮遊卵の各ステージ、稚子、夜光虫、コペポータ、および生物沈澱量について各測点における相対平均変動率<sup>\*</sup>(鈴木(1960))を計算した。23測点についての平均値および標準偏差を表9に表わした。浮遊卵および稚子の相対平均変動率 0.305-0.412は、生物沈澱量やほかのプランクトンの相対平均変動率 0.114-0.168に比較して高い傾向があった。また、浮遊卵の各測点での相対平均変動率の標準偏差は 0.222-0.272と、稚子や生物沈澱量および他のプランクトンの標準偏差 0.064-0.096に比較して大きい傾向があった。

これらのことから、浮遊卵は測点内(60 mスケール)および測点間(約 5 km スケール)両方で変動が大きく、それに比較して稚子は測点内においてのみ変動が大きかった。このことは、稚子の分布パターンは、一部の測点に集中することなく測線全体に広く分布するが、測点内においては小さなパッチを形成しているものと認められる。

その他の生物沈澱量などについては、平均値、標準偏差両方について低く、全体として均一に分布しているものと考えられた。

-----

\*

$$\hat{R}_n = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^n |f_j(x_i) - f_j(x_{i+1})| / \bar{f}_j(x)$$

D; 測定間の距離。

$f_j$ ; j種の分布密度。

$\bar{f}_j$ ; j種の平均分布密度。

$x_i$ ; 区画番号。

表 9 生物沈澱量、浮遊卵、および稚仔等の各測点における相対平均変動率の平均および標準偏差。

		Relative Average Variation Rate	
		mean	Standard Deviation
<u>Encraulis</u> <u>japonica</u>	Early egg	0.324	0.222
	Middle "	0.412	0.272
	Late "	0.305	0.243
	Larva	0.367	0.150
Settling Volume		0.114	0.064
Noctiluca		0.168	0.096
Copepoda		0.145	0.078



## 考察

水産資源の変動については、回遊性魚類では、年級間の変動が加入後の漁獲および自然死亡による変動よりも大きいと考えられる。このことは、水産資源の変動の主原因が加入の大きさにあることを示しており、すなわち、再生産の成功・不成功が資源変動の重要であることを意味する。

さらに、再生産のレベルは、そのほとんどが初期生活期における死亡に大きく影響されている。すなわち、産卵された浮遊卵および孵化稚仔のほとんどが死亡してしまうことから、死亡率におけるほんの少しの変動が生残率において数倍の変動を引き起こすことになることによる。

孵化直後の仔魚はほとんど遊泳力をもたないため、その周囲における餌生物密度が生き残りに重要と考えられている。一般に、自然海域においては平均的な餌生物分布密度は希薄であり、仔魚およびその餌生物の空間的な微細分布が生き残りに大きく影響するものと考えられる。それを裏付ける事実として、多くの研究者によって、動・植物プランクトンがパッチ状に分布していることが明らかにされている。

今回の調査においても、浮遊卵稚仔のパッチ状分布構造が認められており、それらのピークが水温変動に一致していた場合や、フロントの移動に伴って分布域を移動していた場合も観測された。相模湾での調査における測線3の測点3、4における後期卵のパッチはこの水域が水深200 m以深でありカタクチイワシの産卵場とは認められないことから、浮遊卵が海流によって移送されて来たものと考えられる。調査時の相模湾の水温範囲は20-25℃で、後期卵は産卵後ほぼ一日経過していたものと考えられる。海流による移送や集積の事実から、浮遊卵稚仔の分布構造の形成における海洋構造の影響の大きいことが明らかである。

相模湾の調査では通常一回の曳網距離である1.2 Kmを20回に区分けして曳網したところ、1.2 Km内においても浮遊卵稚仔の分布構造はランダムでなく、パッチ状分布を形成していたことが明らかである。このことから、通常の観測での一曳網のデータの

取り扱いには、測点間隔、1 曳網距離などについて慎重な配慮が必要と考えられる。

これらのパッチ状分布構造の形成要因として動・植物プランクトンについては、海洋環境の作用（集積）による場合（Cassie(1959)）と、生物自身による作用（増殖・集合）（Bernhard & Rampi(1965)）との二つがあることが知られている。浮遊卵のパッチ状分布については、集積された場合および放卵された浮遊卵群がそのまま維持された場合とが考えられる。すなわち、測線 2 の測点 1 の区間 No. 12, 18 におけるパッチは 60 m の間に様々な生物のピークが観測されたこと、および、カタクチイワシの初期卵から後期卵（当水域での水温から見て同時に採集された初期卵の一日前に放卵されたものと推定される）までの各発育ステージのピークが観測されたことから、海流の収束作用によって形成されたものとみられる。また、区間 No. 12 におけるパッチはその形状から図の右側から収束して来たものと推測される（図 24）。

この調査海域においては前夜から風力 5 の西風が吹いていたことから、調査船のコースにはほぼ直角にラングミュア循環流（Langmuir(1938)）が形成され、ストリークが存在していたものと考えられた。また、Ware et al.(1981) は、表層におけるラングミュア循環流が餌生物の集積に重要な役割を果たしていることを指摘しており、餌生物への遭遇率が大きく変化していることを報告している。

これに対して、KT-75-9 次航海において観測されたパッチ状分布は他のプランクトンのいずれともピークが一致していないこと、浮遊卵の発生段階も同一であったことから海流等の収束作用によって形成されたものでなく、親魚から放卵された浮遊卵群が海流にそのまま保持されて流されていたものと推測された。

KT-78-12 次航海におけるカタクチイワシのパッチ状分布は石花海上と湧昇水域以外の水域に認められた。このパッチ状分布の形成要因は稚子の集合によるものか海流の作用によって集積されたものかは不明である。さらに詳しい解析が必要である。この分布傾向と反対に生物沈澱量のパッチ状分布が湧昇水域の縁辺部に存在した。これは、この水域で湧昇流の豊富な栄養塩により植物プランクトンの生産力が上昇したことによって形成されたものと認められる。

### 1-3) 航走連続採集器の開発および性能に関する力学的検討

変動の激しい水域において形成される浮遊卵のパッチ状分布構造の経時的な変化を把握するためには、観測所要時間の少ない測器が求められる。そのため、航走中に連続的に浮遊卵稚仔等を採集できる測器の開発を行なった。

#### 材料と方法

##### 1. 測器の形状

測器は、海水導入部、揚水管、および流量計からなる。海水導入部は、FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) 製で、ベル型をなしている (図 27)。このベル型が最も、“水頭損失”の少ない形状として知られている。その内面の曲線は、下記によって表わされる。

$$\text{最上部が} \quad \frac{X^2}{60^2} + \frac{Y^2}{15^2} = 1$$

$$\text{最下部が} \quad \frac{X'^2}{60^2} + \frac{Y'^2}{18^2} = 1$$

である。

若干、下部が上部よりも急であることから、測器自身にデプレッサーの機能が存在する。測器の側面に3つの安定翼があり、その先端から直径2 mmのステンレスワイヤーにより曳航する。

揚水管は内径50 mmのフレキシブルダクト (東拓工業 Kanaflex H型50) であり、搬送に便利なように分離でき、使用時には海水導入部にネジ込み式で連結される。揚水管の出水口は甲板上に固定される。

この測器を海水中で曳航することにより、海水がその動圧によって甲板上まで押し上げられ、その海水を連続的に濾過することにより、浮遊卵稚仔等の連続採集を可能と

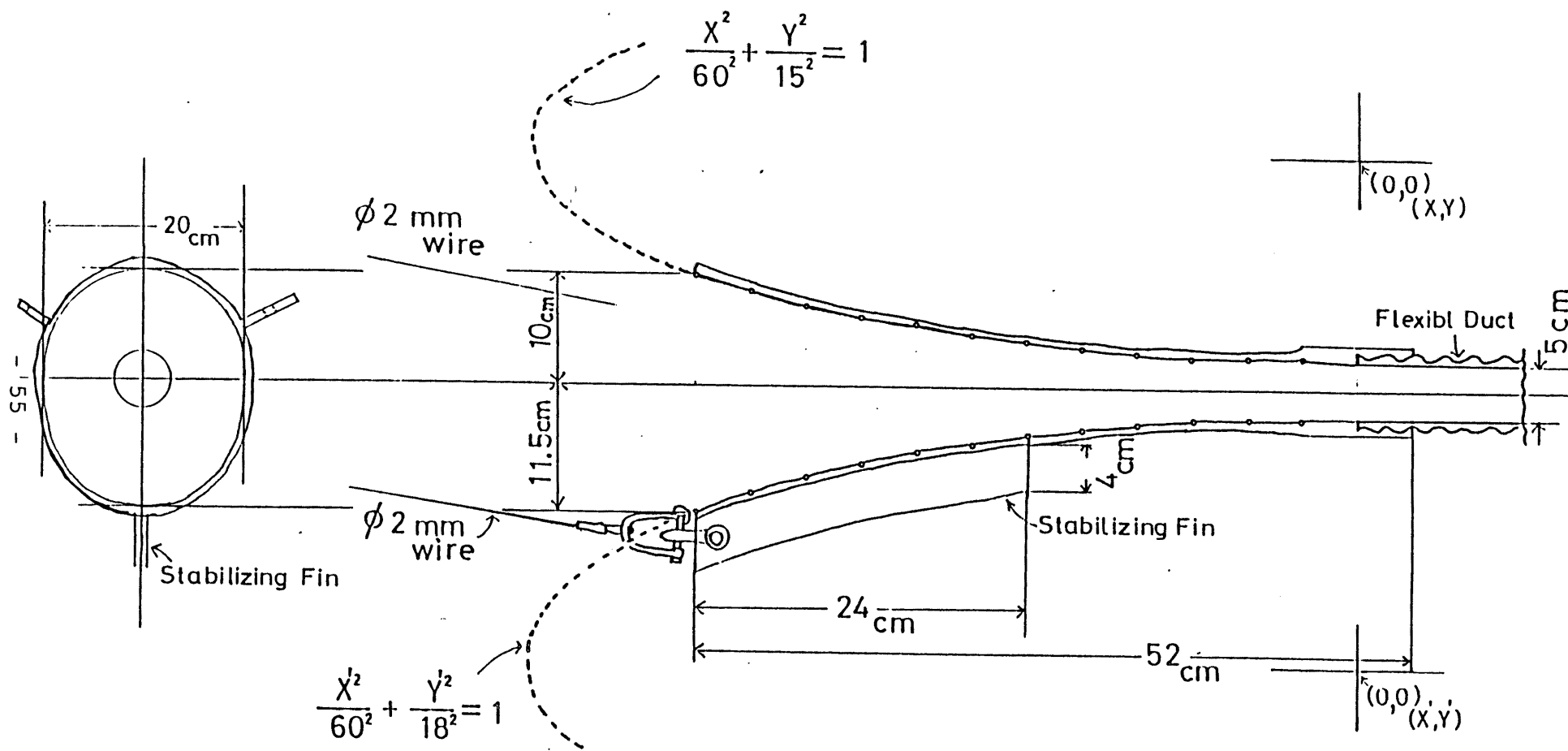


図 27 航走連続採集器の形状。破線は最上端および最下端の採集器内曲面を表わす楕円曲線の軌跡の一部。

するものである。

この測器用に小型の流量計を作成し、揚水管の出水口に取りつけた。流量計は小さなプロペラと、磁気センサー、電子カウンター（共同電気（株）KDK-04N）からなる。流量計のキャリブレーションは、一定量の水を速度を変えて流量計内に流すことによって行なった。その結果を図28に示した。調査において最もよくみられた1-2 m/secの流速の範囲において、1回転あたり120.0 cm<sup>3</sup>（標準偏差0.76 cm<sup>3</sup>）であった。

## 2. 力学的検討

この測器による操作状況および主要な力学的パラメーターについて図29に示した。力学的な基本式として

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 = \frac{1}{2}m_2v_2^2 + m_2gh + \frac{1}{2}(m_1 - m_2)v_3^2 + TL, \quad (1)$$

$m_1$  : 海水導入口に入ろうとする海水の量 (cm<sup>3</sup>/sec)

$m_2$  : 揚水される海水の量 (cm<sup>3</sup>/sec)

$v_1$  : 海水導入口に入ろうとする海水の速度 (= 船速) (cm/sec)

$v_2$  : 揚水された海水の速度 (cm/sec)

$v_3$  : 海水導入口から溢れでた海水の速度 (cm/sec)

$h$  : 出水口の高さ (cm)

$g$  : 重力係数 (981 cm/sec<sup>2</sup>)

ここで、 $v_3$  は係数  $q$  と  $v_1$  で下記のように表わされる。

$$v_3 = q v_1 \quad (2)$$

( $q$  は最初の海水の速度と溢れでた海水の速度の変化を表わす係数)

もし、抵抗等のロスが0で ( $v_1 = v_3$ 、 $TL = 0$ )、船速が514 cm/sec (=10 kt) であれば、最も高い揚水位置 (すなわち  $v_2 = 0$  の場合) は、理論的には1.35 mとなる。しかし、実際には様々なロスが生じており、 $TL$  は揚水管内を海水が通過することによるロス (A) と調査船が波浪の影響で船位が変化するため、揚水が一時的に止

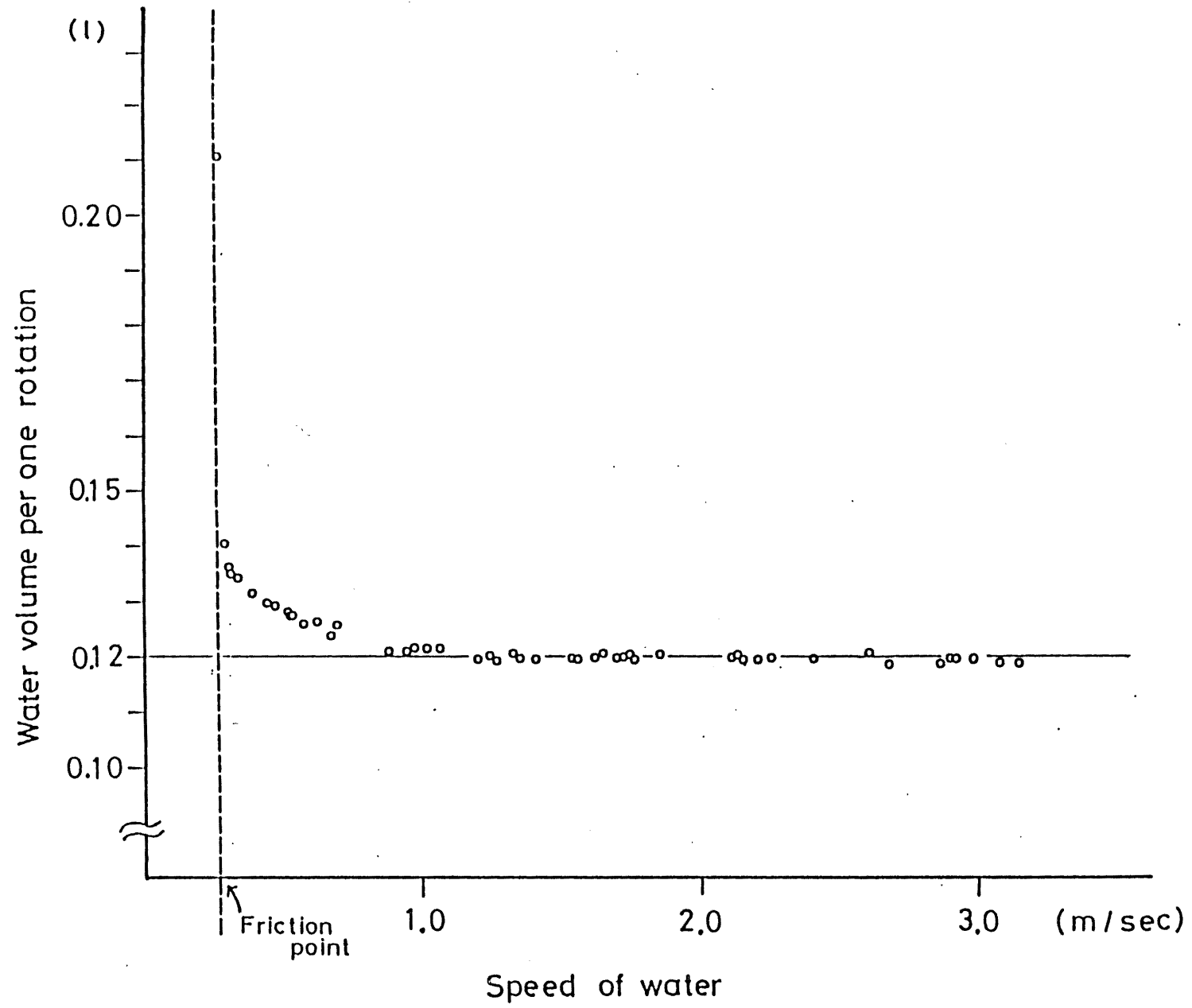


図 28 航走連続採集器の流量計のCalibrationの結果。破線はFriction Pointを表わす。

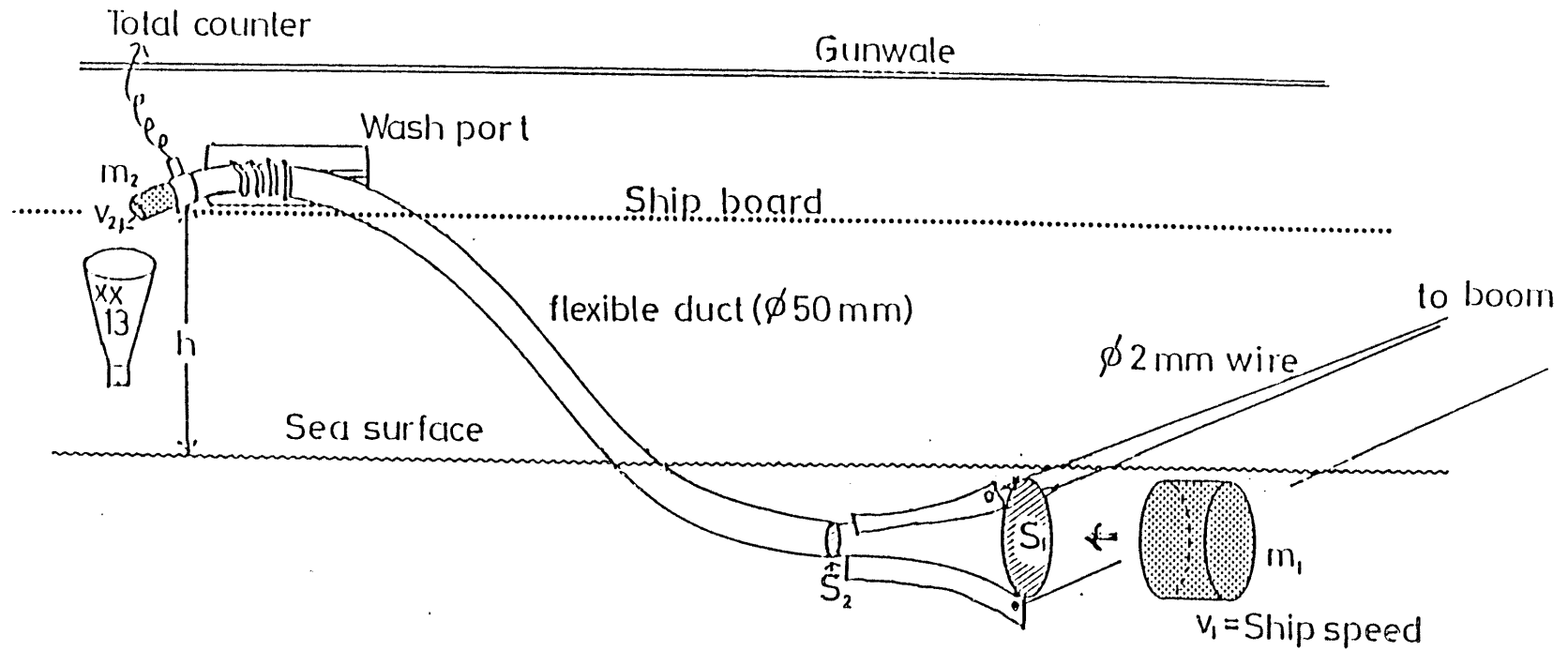


図 29 航走連続採集器の曳航システム図。図内に示したシンボルの説明は本文の力学的計算式を参照。

まることにより生ずるロス、揚水管の振動等により生ずるロスからなるロス（B）に分けられる。ロス（A）については、揚水管内の摩擦、揚水管が曲がっていることによるものに分けられるが、それらはいずれも揚水管内の海水の速度（ $v_2$ ）の2乗に比例すること、そして、ロス（B）は揚水間内に存在する海水の質量に比例すると考えられることから、TLは下記のように表わされる。

$$\text{loss (A)} = m_2 g \left( f_1 \frac{L \cdot v_2^2}{D \cdot 2g} + f_2 \cdot f_3 \frac{v_2^2}{2g} \right) = m_2 p v_2^2, \quad (3)$$

$$\text{loss (B)} = m_2 B. \quad (4)$$

$$TL = m_2 (p v_2^2 + B) \quad (5)$$

ここで

$f_1$  : 摩擦係数

D : 揚水管の内径

L : 揚水管の長さ

r : 揚水管の曲がり角度

$f_2$  : r / D によって決められる係数

$f_3$  : 揚水管の曲がり角度 90 度のときのロスと測定の場合の角度のロスとの比

p : ロス（A）に関する係数

B : ロス（B）に関する係数

力学的理論式についての検討は実際の性能実験結果を使用して後でさらに行なう。

### 3. ベル型導入部による海水の加速効果

海水導入口がベル型をしていることによる加速効果を明らかにするために、海水導入口を揚水管をつけずに曳航して、その場合の海水導入口から出る海水の速度と曳航



速度との比を求めた。その結果を表10に示した。28-210 cm/sec の範囲の曳航速度において1.27の加速比があった。しかし、海水導入口が正確に曳航方向に向いていることが必要で、そうでない場合にはかえって減速してしまうため、曳航ワイヤーの長さを調節するなどして、測器の姿勢を正しく曳航方向に向けることが必要である。

## 結果と考察

### 1. 揚水が常時あった場合の揚水性能

この測器を用いて、揚水性能についての調査をKT-81-11次航海において実施した。各船速、出水口の高さでの1分間当たりの揚水量を表11に示した。海水が常時出水していた場合については、式(1)を数値の明らかなパラメーターで置き換えて下記のように表わした。

$$\frac{S_1 v_1^3}{2W} - \frac{1}{2} \left( \frac{W}{S_2} \right)^2 - gh = p \left( \frac{W}{S_2} \right)^2 + q^2 \left( \frac{S_1 v_1^3}{2W} - \frac{v_1^2}{2} \right) + B, \quad (6)$$

$S_1$  : 海水導入口の面積 (  $\text{cm}^2$  )

$S_2$  : 出水口の面積 (  $\text{cm}^2$  )

$W$  : 揚水量 (  $\text{cm}^3$  )

この式は、 $p$ 、 $q$ と $B$ についての多項回帰式であり、常に海水が揚水されていた5つの場合について計算すると、

$p = 0.7634$ 、 $q^2 = 0.9987$ 、そして  $B = -19800$  (  $\text{cm}^2 / \text{sec}^2$  ) となった。

ロス ( $B$ ) の係数がマイナスになった原因として船速が正確でないこと、出水口の平均の高さが実験時には、燃料の補給のためあるいは風の影響により調査船が一方に傾いていたために、港内で水面の穏やかな時に測定した高さより低かったことが考えられた。

表 10 航走連続採集器の海水導入口がベルマウス型をしていることによる海水の加速効果。

Towing speed of apparatus (cm/sec)	Number of trials	The speed of water at the end of the mouthpiece ( $\pm$ S. D) (cm/sec)	Average Ratio
28	4	43.75 $\pm$ 8.81	1.56
35	4	47.25 $\pm$ 6.70	1.35
42	4	54.25 $\pm$ 3.50	1.29
49	2	59.50 $\pm$ 4.95	1.21
56	4	64.75 $\pm$ 8.81	1.16
63	4	85.75 $\pm$ 6.70	1.36
70	5	86.80 $\pm$ 7.98	1.24
84	5	100.8 $\pm$ 7.98	1.20
133	4	164.5 $\pm$ 4.04	1.24
140	6	173.0 $\pm$ 9.66	1.24
189	1	224	1.19
198	1	238	1.21
210	1	259	1.23
Total	45	Total	Average 1.27

表 1 1 各船速、出水口の高さにおける1分間あたりの航走連続採集器の揚水量。  
 各項の上段左側が測定値、括弧の中が理論値。下段がその割合を示した。  
 (+) においては揚水しないため測定していない。(−) は理論的に揚  
 水されない場合を示す。

Ship speed	Height of the end of the duct from the sea surface (cm)				
	50	80	100	110	120
7 knots	171 (207) 82.7 %	5 (−) −	+	+	+
8	*260 (314) 82.9	91 (129) 70.8	7 (−) −	+	+
9	*288 (400) 72.0	*235 (280) 83.9	128 (155) 82.7	11 (−) −	+
9.5	*209 (441) 70.1	*295 (336) 87.9	197 (241) 81.6	141 (176) 80.1	70 (61) 114.7

Remarks, \*; The case of water flow out continuously.

## 2. 揚水が間欠的に行なわれた場合の揚水性能

調査時には、波浪等により常にローリング・ピッチングが生じて、出水口の高度が変動しているため、揚水が一時的に止まることがある。その場合、再び揚水が始まるためには、管内に残存していた海水に運動エネルギーを与えねばならない等のロスが生じる。そのため、揚水が間欠的にしかなされない場合には、式(1)は下記のように改められねばならない。

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = t \left( \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + m_2 g h + m_2 p v_2^2 \right) + \frac{1}{2} (m_1 - m_2) q^2 v_1^2 + m_2 B, \quad (7)$$

$t$  : 1分の中に海水が出水されていた時間の比 ( $0 < t < 1$ )

$m_1$  :  $S_1 v$

$m_2$  :  $W / t$

$v_2$  :  $W / S_2 t$

式(7)を、 $m_2$ で割り既知の変数で置き換えると、

$$\frac{q^2 v_1^2}{2} = \left( \frac{(0.5+p) W^2}{S_2^2} \right) \frac{1}{t} + t \left( \frac{(q^2-1) S_1 v_1^3}{2W} + g h \right) + B. \quad (8)$$

の式を得る。

この式を簡単に表記するため、 $K = L / t + M t + B$ とし、 $K$ 、 $L$ 、 $M$ を下記のように定義する。

$$K = \frac{q^2 v_1^2}{2}, \quad L = \frac{(0.5+p) W^2}{S_2^2}, \quad \text{and} \quad M = \frac{(q^2-1) S_1 v_1^3}{2W} + g h.$$

もし、常時揚水されていた場合に求めた  $p$  と  $q$  がこの場合にも変化しないとするならば、 $K$ 、 $L$ 、および、 $M$ を変数として最小二乗法により  $t$  と  $B$  を求めることが出来る。

$$Q = \sum (K - L / t - M t - B) \rightarrow \text{Minimum}. \quad (9)$$

この式 (9) をとくために、 $t$  と  $B$  について偏微分をおこなうと、式 (10、11) が得られる。

$$\frac{\partial Q}{\partial B} = \Sigma 2(K - \frac{L}{t} - Mt - B)(-1) = 0,$$

$$B = \frac{t \Sigma K - \Sigma L - t^2 \Sigma M}{tN}, \quad (N: \text{Number of data}), \quad (10)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \Sigma 2(K - \frac{L}{t} - Mt - B) (\frac{L}{t^2} - M) = 0,$$

$$E = t \Sigma KL - t^3 \Sigma KM - Bt \Sigma L + Bt^3 \Sigma M - \Sigma L^2 + t^4 \Sigma M^2 = 0. \quad (11)$$

E : 各々の  $t$  と  $B$  の値の時の式 (11) の計算値

式 (10、11) を同時に満足する  $t$  と  $B$  を求めるために、 $t$  ( $0 < t < 1$ ) を 0.0001 から 0.0001 刻みに変化させて式 (10) により  $B$  を求め、その  $t$  と  $B$  を用いて式 (11) の  $E$  を計算した。その計算過程を図 30 に示した。

この図から、 $t = 0.535$ 、 $B = 49800(\text{cm}^2 / \text{sec}^2)$  のときに式 (10、11) が同時に満たされた。

揚水が間欠的である場合には、調査船の動揺によるロスと定義したロス ( $B$ ) は非常に大きくなる。

このことから、この測器を用いて採集調査を行なう場合には、揚水が常時行なわれるよう出水口の高さを考慮する必要がある。

Miller(1973)の Push net systemが、小さな入り江等における浮遊卵稚仔のパッチ状分布を調査する測器としては優れたものである。今回開発した測器は、さらに改良の余地および実験データの蓄積の必要はあるが、この方法により広域的な規模での連続的な分布の調査を速やかに行なうことを可能にすると考えられた。

この方法は、原理、構造が単純なことから、安価なこと、操作が用意であること、使用に当たって流量計に使用する電源を除いてエネルギーを必要としないこと、また、航走中に特別の Ship timeを必要とせず速やかに広域の連続採集が可能であることなどから、浮遊卵稚仔等のパッチ状分布の調査にとって便利で強力な手段となる。

また、簡単な改良によってさらにこの測器の性能が向上する。すなわち、調査船が

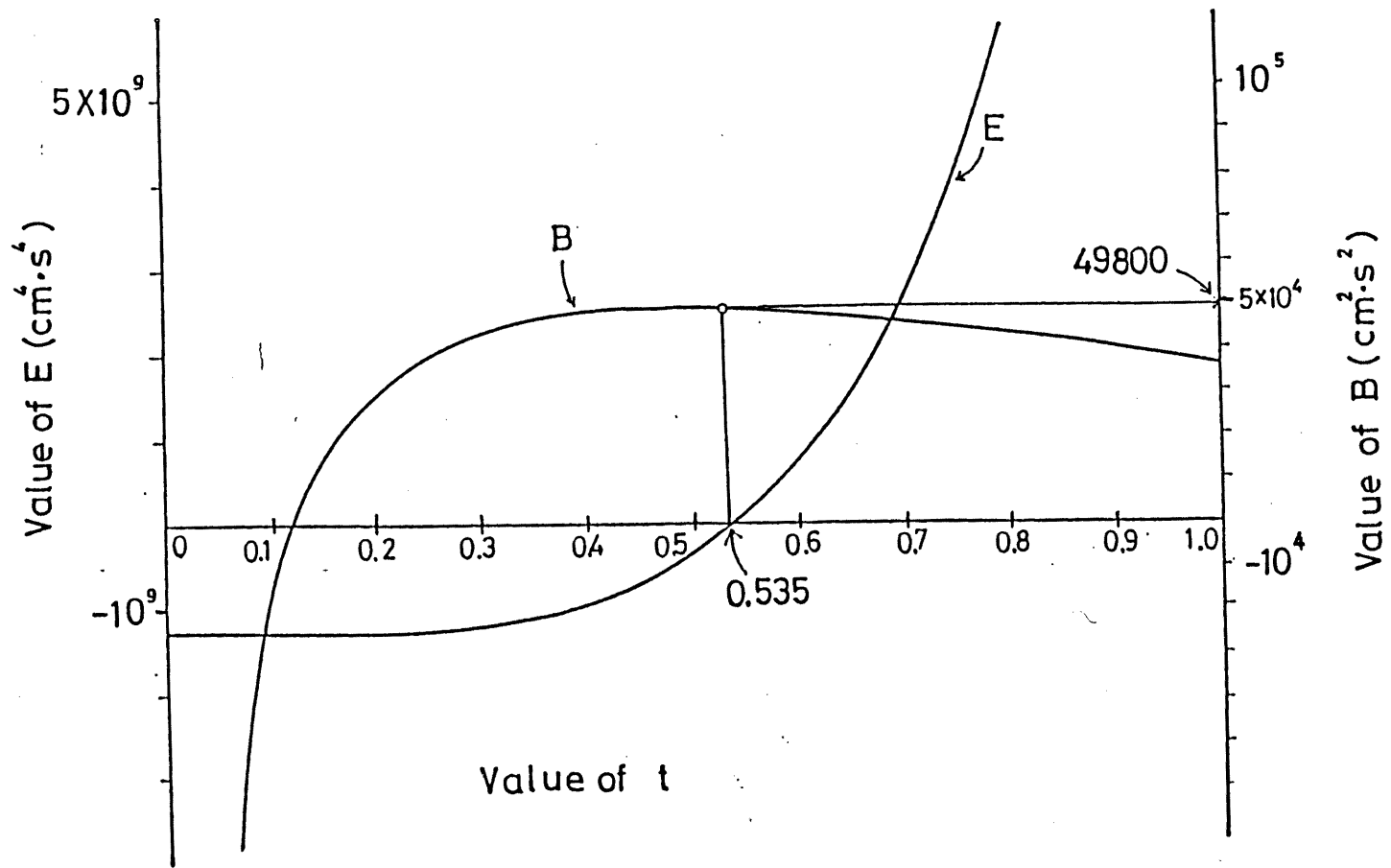


図 30 t を 0 から 0.0001 刻みに 1 まで変化させた時の E と B の値の計算結果。  
t が 0.535 で E が 0 となり、そのときの B の値は 49800 である。

より早く航走すればより高く揚水され採集操作が容易になること、揚水管の内径を2倍にすれば揚水量は4倍になることなどが可能となる。このことは、より小さな間隔での連続採集を可能とする。

さらに、この測器では揚水の過程で小さなプロペラ以外に障害物がないことから、サンプルの損傷が少なく飼育実験等のサンプルとして使用出来ることも利点の一つとしてあげられる。

#### 1-4) 航走連続採集器による浮遊卵稚仔等の分布構造およびその経時的変化

水産資源量の変動機構を浮遊卵稚仔等の分布構造の観点から明らかにするためには、微細な分布構造の調査だけに限らずメガ、マクロ、メソ、マイクロあるいは、超マイクロ等様々なスケールでの調査をすることが必要と考えられる。しかし、現在のところ自然海域に分布する浮遊卵稚仔の分布の観測にはネットによる採集作業が不可欠であり、これには多大の時間ロスが伴っている。しかも、水産資源量変動機構を解明するための浮遊卵稚仔の分布構造の調査には、刻々と変化する海況に対応して観測することが求められるため、広い水域をなるべく短い時間で調査することが必要とされる。また、分布構造の経時的な変化を調査することにも大きな意義が存在すると考えられる。そのため、人工衛星画像等の解析による広域の瞬間的・経時的な把握が期待され、動・植物プランクトンの分布構造および水温分布などについての調査は、すでに実施されその成果が報告されているところである（平井(1985), Legeckis & Creswell(1981)）。しかし、浮遊卵稚仔については未だ有効な検出・確認方法はなく、標本の採集が必要不可欠である。そのため、以上の目的を達成するためには、多くの調査船による同時観測の方法に限られている。本節においては、ネット曳網のために停船・減速等の時間ロスを伴うことなく、航走中に連続的に浮遊卵稚仔を採集する測器を用いて経時的に変化するフロント水域、湧昇水域等の海洋構造に対応させて浮遊卵稚仔等の分布構造を調査することができたので、その結果について述べる。

#### 材料と方法

調査を行なった日時・地点等のデータを表12に示した。調査に用いられた航走連続採集器(Matsushita et al.(1986))は、前節で述べたものを使用した。

航走連続採集調査は駿河湾・石花海と相模湾それぞれの水域に特徴的な海洋構造に対応させて行なった。



表 1 2 航走連続採集観測日時、水域および風向について。

航海名	年月日	時刻	位置 (始点 - 終点)		風向
KT-76-14	1976/9/5	10:30	34° 50' 0"N	138° 33' 5"E	
		12:50	34° 31' 5"	138° 25' 3"	
KT-80-2	1980/2/20	13:12	34° 48' 4"	139° 30' 4"	NE3
		19:58	35° 15' 2"	139° 31' 2"	
KT-80-3	1980/3/3	18:00	35° 3' 8"	139° 23' 0"	S4
		23:00	35° 15' 4"	139° 24' 2"	
KT-80-12	1980/7/13	14:00	35° 4' 0"	139° 35' 0"	S3
		19:09	35° 15' 4"	139° 31' 2"	
KT-81-11	1981/6/26	16:10	35° 0' 8"	139° 31' 9"	SSW6
		21:46	35° 14' 5"	139° 31' 3"	
	1981/6/26 6/27	22:53 0:30	35° 5' 5" 35° 14' 5"	139° 34' 4" 139° 27' 9"	SSW8

駿河湾においては石花海上に形成された湧昇水域における浮遊卵稚仔、各種動・植物プランクトンの分布構造を海洋構造と対応させて調査した。

相模湾における測線は、相模湾において顕著な南方から流入する沖合水（急潮）と沿岸水との間に形成されるフロント水域、カタクチイワシの産卵水域およびマイワシ浮遊卵稚仔の流入水域を把握し得るように4測線（南から第一、第二、第三、第四測線とした）をグリッド状（10 km×10 km）に設定した。海洋構造の推定の為に水温・塩分等の測定、各種動・植物プランクトンの分布構造を調査した。

海洋構造による浮遊卵稚仔の分布構造への影響をより明らかに推定するために、KT-80-2とKT-80-3次航海においては10日間の間隔をおいて、また、KT-81-11次航海においては6時間間隔で連続して2回のグリッド観測を行ない、さらに、G E Kの測定を行ない調査時点での海流の流向・流速を推定した。ただし、2回めの調査では全測線について行なえず、第2、3測線および第4測線の一部に限られた。

## 結果と考察

### 1. 湧昇水域における浮遊卵稚仔等の分布構造

KT-76-14次航海における駿河湾・石花海上の航走連続採集の結果について述べる。

駿河湾・石花海上における横断測線の位置を図3-1に示した。観測水域の水深平面図を図3-2に示した。横断観測中の水深図および水温分布図を図3-3に示した。駿河湾には南方の沖合からの黒潮分枝流が流入し、そのために常に石花海上には栄養塩の豊富な深層水が障壁効果により上昇し卓越している(Inaba(1981))。今回の調査においても、石花海のやや北よりに最も水温の低い区間がみられ、南方からの水塊が流入することにより深層水が持ち上げられていることが、水温分布図から明らかに伺える。湧昇水域縁辺部は、区間No.5付近と区間No.20付近に形成されていたと考えられた。

この湧昇水域に対して浮遊卵稚仔および各種動・植物プランクトンがどのような分布構造をもつか調査した。横断観測線上の全浮遊卵、カタクチイワシ稚仔、ミス類

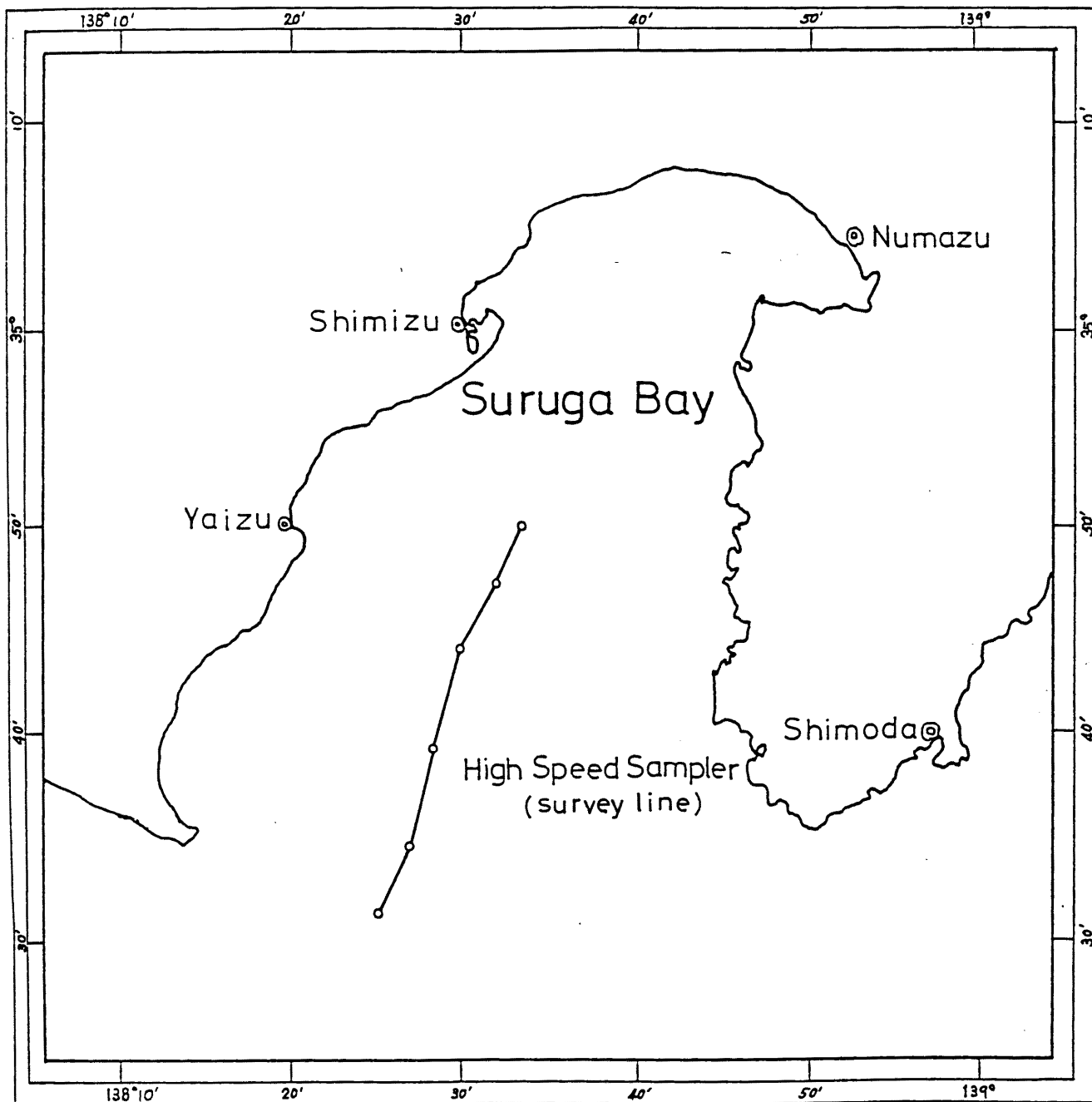


図 3 1 KT-76-14次航海 (1976年 9月 5日) における航走連続採集測線。

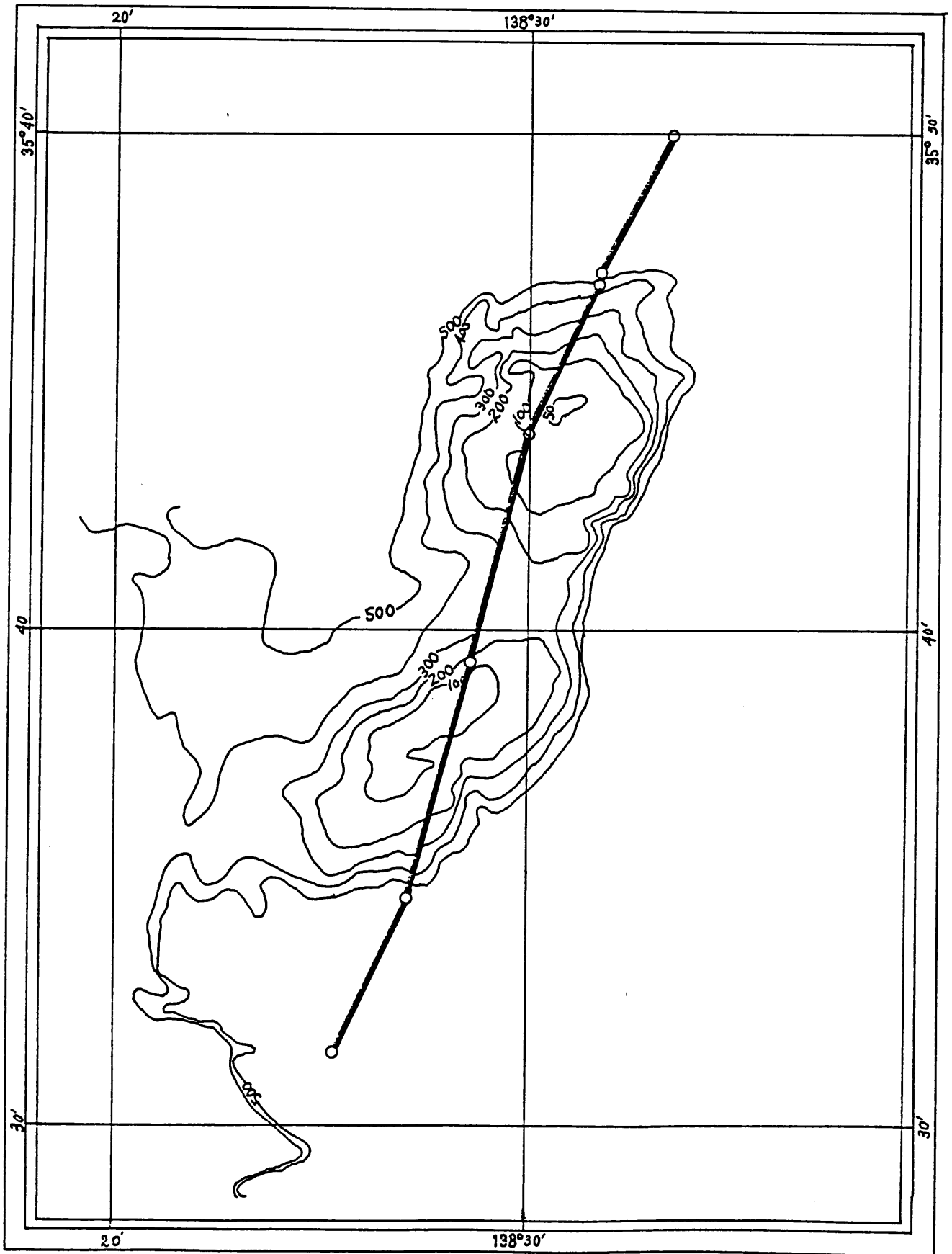


図 3 2 石花海横断連続採集測線における水深平面図。

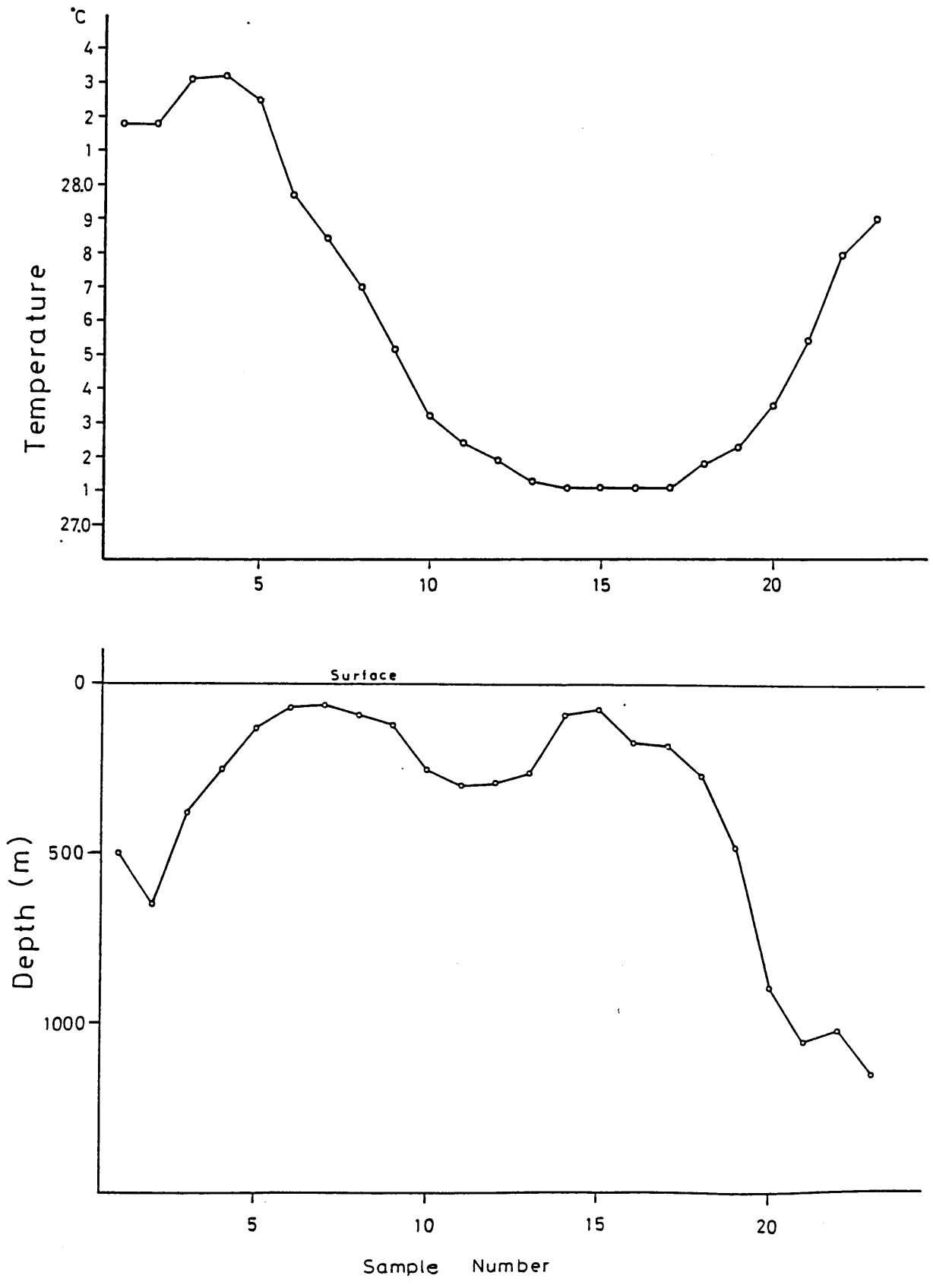


図 33 石花海横断連続採集測線における水深横断面図および水温分布図。

の分布密度を図34に示した。浮遊卵の分布をみると、湧昇水域の縁辺部にのみ高分布密度が存在した。これは、縁辺部における海水の混合過程の際に生じる収束現象の結果と考えられた。それに反して、カタクチイワシ稚仔については、石花海上に主分布域が認められる。ミシス類については、顕著なパッチ状分布が区間No.13-15にかけて石花海直上に認められた。石花海の浅瀬上において、カタクチイワシ稚仔はこのミシス類のパッチ状分布に追随して分布していたと考えられた。カタクチイワシ稚仔、ミシス類と反対の分布傾向を示したものとして、図35に黒潮水系の指標種である *Tricidesmium spp.* 他の分布密度を示した。石花海上で減少する傾向が明らかに認められ、湧昇水域に少なく流入水と湾内水の混合水域に多いことが明らかである。同様の分布傾向を示したものとして同じく図35に示す *Sagittoidea*, *Copepoda*などがあげられる。

以上の結果から種々のプランクトンが湧昇水域の海洋構造に対応して種毎に特徴的な分布域あるいは分布構造を示すことが認められた。また、湧昇水域に特有の海水の流動状況に一致した分布構造が観測された。中でも、遊泳力のない浮遊卵が湧昇水域縁辺部に高密度で分布していたことにより、縁辺部における収束現象の存在が示唆された。

## 2. 沿岸フロント水域における浮遊卵稚仔等の分布構造および経時的变化

KT-80-2次航海およびKT-80-3次航海の結果を図36に示す。この2航海の間には一週間の隔たりが存在する。図37にマイワシ浮遊卵の分布域に対応した第2測線での各種動・植物プランクトンの分布状態を示している。図36にみられる海洋構造から推定して、KT-80-2次航海においては第2測線付近、13.0℃等温線に添ってフロントが存在した。また、図37におけるKT-80-2次航海の第2測線における *Diatoms* の分布から区間No.79-80付近にフロントが存在することがわかる。マイワシ浮遊卵がこのフロントの水域にのみ採集され、フロントに添うように分布していた。約10日後のKT-80-3次航海までの間に南方からの沖合水の流入が顕著になり急潮現象が生じた。

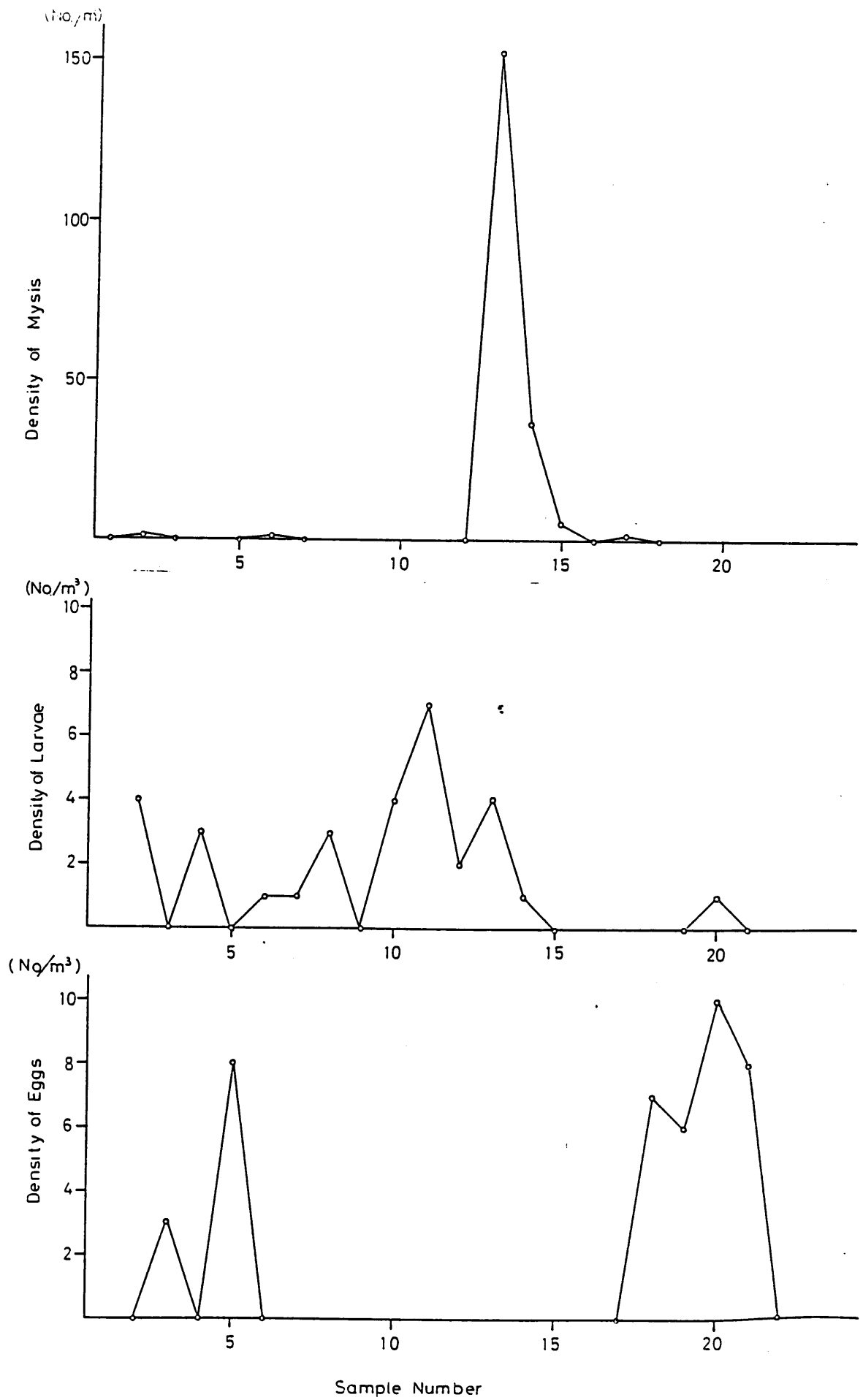


図 3 4 石花海横断連続採集測線における全浮遊卵、カタクチイワシ稚仔、ミシス類の分布図。

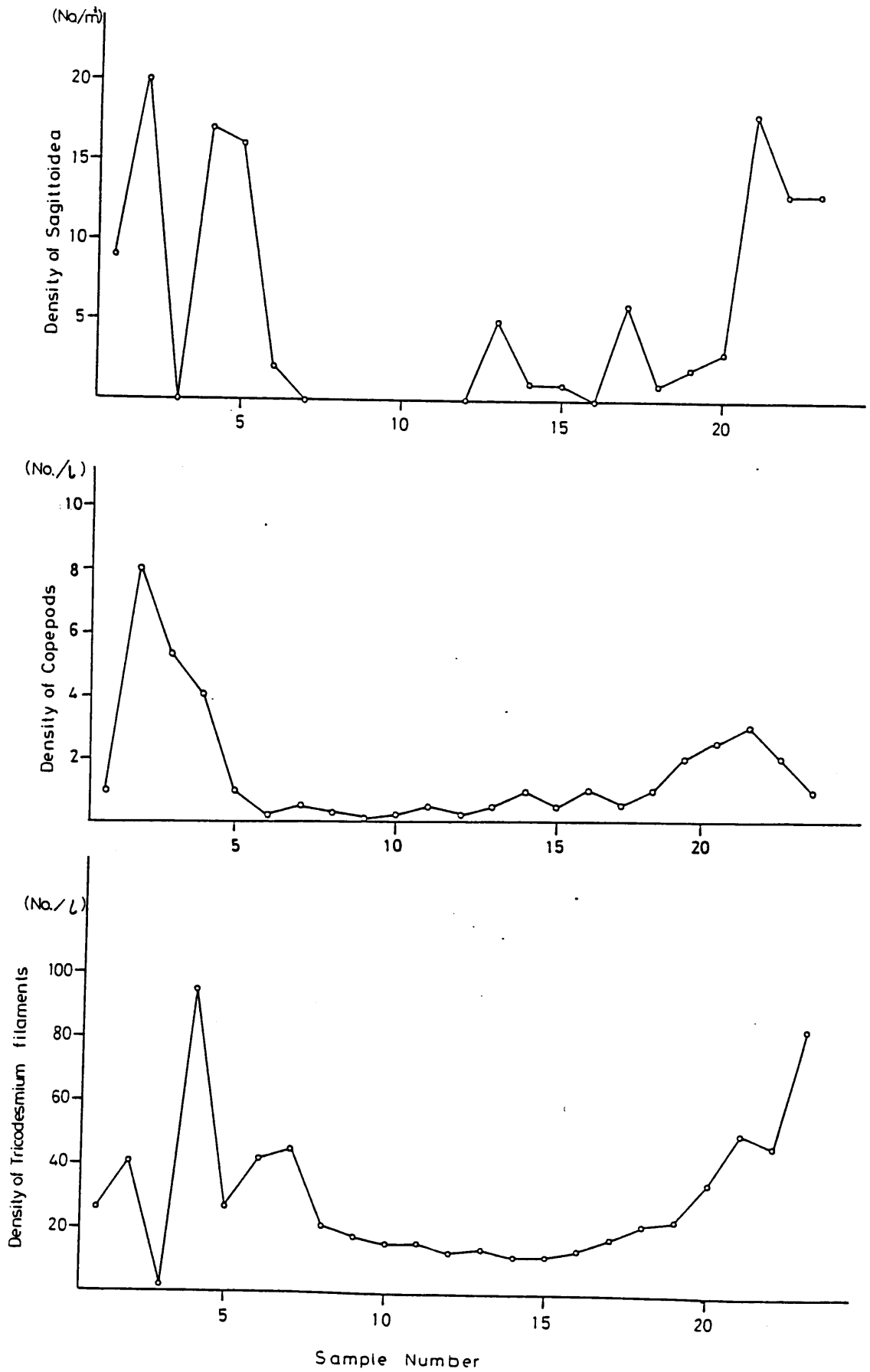


図 3 5 石花海横断連続採集測線における *Tricodesmium* spp., *Sagittoidea*, *Copepoda* の分布図。



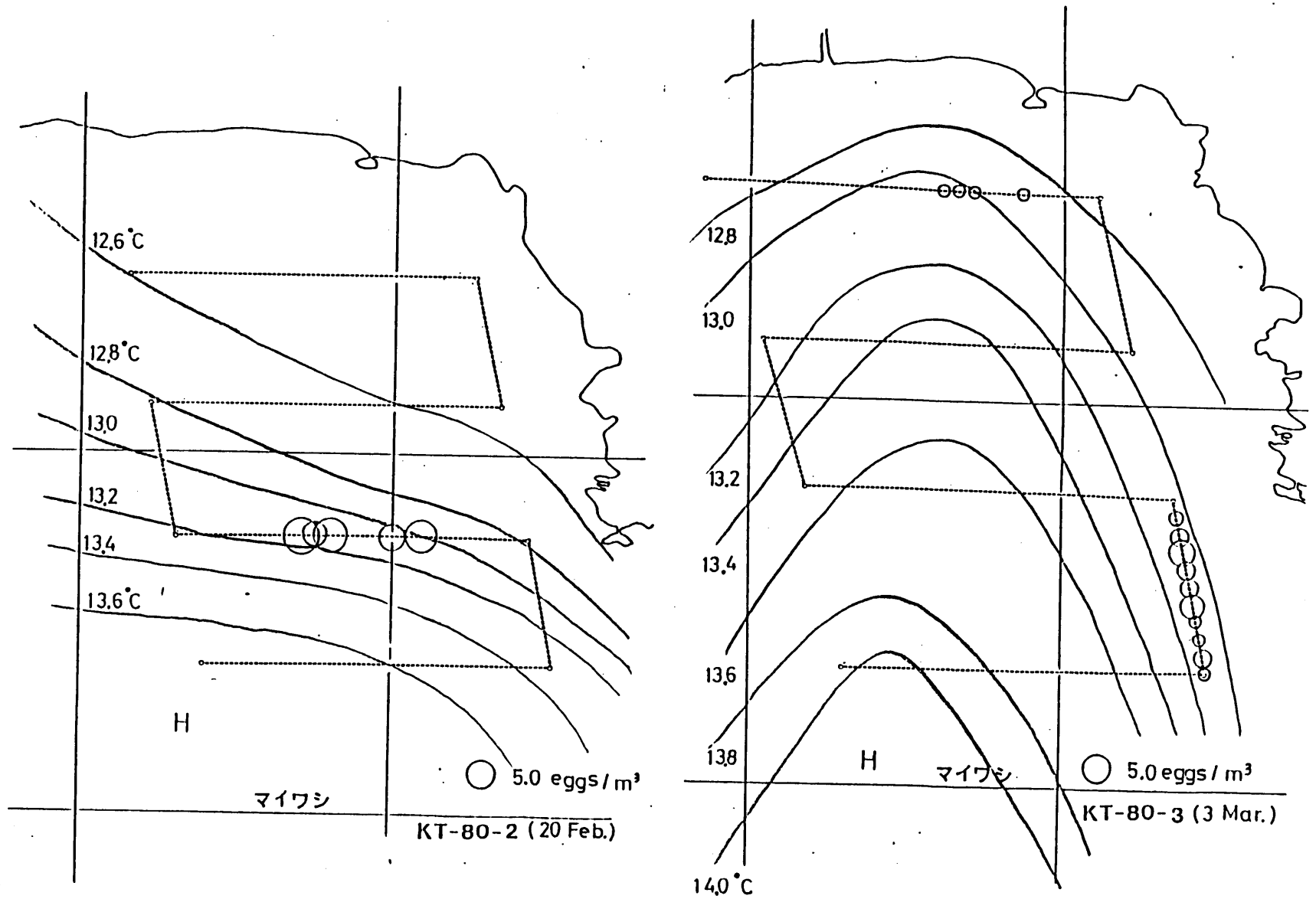


図 3 6 相模湾における沿岸フロント横断測線上でのマイワシ浮遊卵の分布図  
および水温分布図 (左図: KT-80-2 次航海、右図: KT-80-3 次航海)

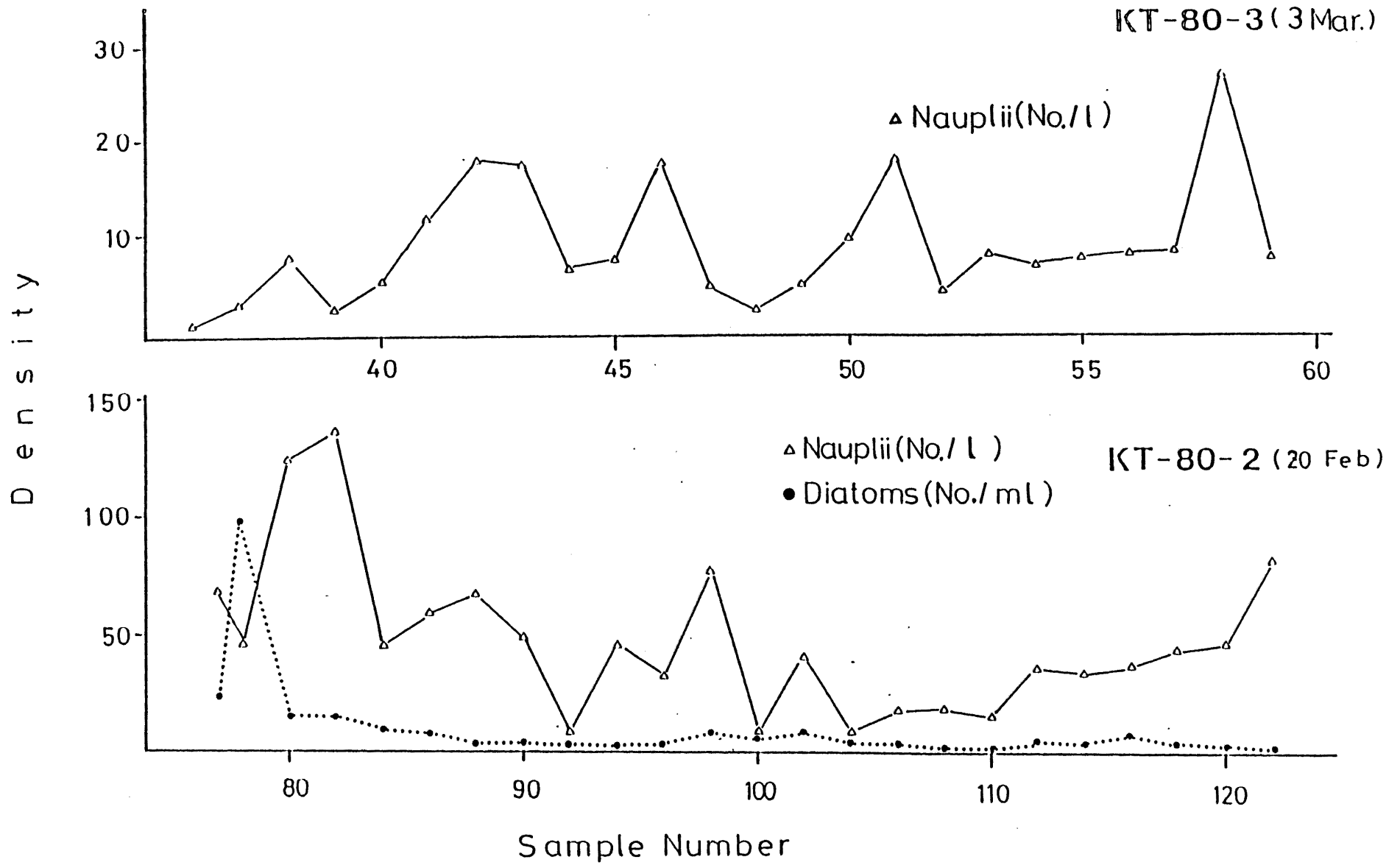


図 37 KT-80-2 次航海：第2測線およびKT-80-3 次航海における10 l採水区間における各種動・植物プランクトンの分布図。

フロント水域および13.0℃等温線もそれに伴い三浦半島沿岸に平行に形成されていた。KT-80-2次航海において認められていたマイワシ浮遊卵の分布域は第4測線の一部と第1測線と第2測線への移動線上に移動していた。その他の水域では採集されていないことから、新たなマイワシ浮遊卵の沿岸水域への移入は行なわれていなかったと考えられた。南方海域において産卵されたと推定されるマイワシ浮遊卵が、沖合水の湾内への流入によりにより間欠的に沿岸水域へ移入され、しかも、沖合水と沿岸水との間に形成されたフロントに添って分布し、経時的なフロントの移動に付随して移動していたことは、沖合で産卵が行なわれる魚種の浮遊卵稚仔の沿岸域への移入の現象を表わしているものとして興味深い現象である。また、KT-80-3次航海で実施した101採水区間でのノウブリウスの分布をみると、幾つかのバッチが認められ、マイワシ稚仔の初期生残の可能性を示唆している現象とみられた。

KT-80-12次航海およびKT-81-11次航海におけるカタクチイワシ浮遊卵および水温分布図を図38に示す。この図の水温分布から海洋構造を推定すると、夏期の湾内の水温上昇に伴う暖水塊が湾中央部に認められ沖合水は第1測線付近を東に流れていたものと考えられる。各種動・植物プランクトンの分布状態および水色から第2測線付近にフロントが形成されていたと判断され、そして、カタクチイワシ浮遊卵がこの第2測線のみ分布していた。さらに、図39にカタクチイワシ浮遊卵の採集された第2測線におけるカタクチイワシ浮遊卵および稚仔の発育ステージ別の分布状況および各種動・植物プランクトンの分布状況を示した。第2測線を詳細に示した図39における渦鞭毛藻類の分布から区間No.50-52付近にフロントの存在していたこと、カタクチイワシ稚仔がそのフロントに付随するように区間No.50にピークをもって分布していたこと、区間No.52-56にかけてカタクチイワシ浮遊卵が沖合水域だけでなく沿岸水域にも分布している事が認められた。さらに、ノウブリウスの顕著なバッチが幾つか認められた。

図38の右図から、KT-81-11次航海においては、第2測線付近、21.6℃等温線に添ってフロントが形成され沖合水は第1測線付近を東北東方向に流れていたと推定され

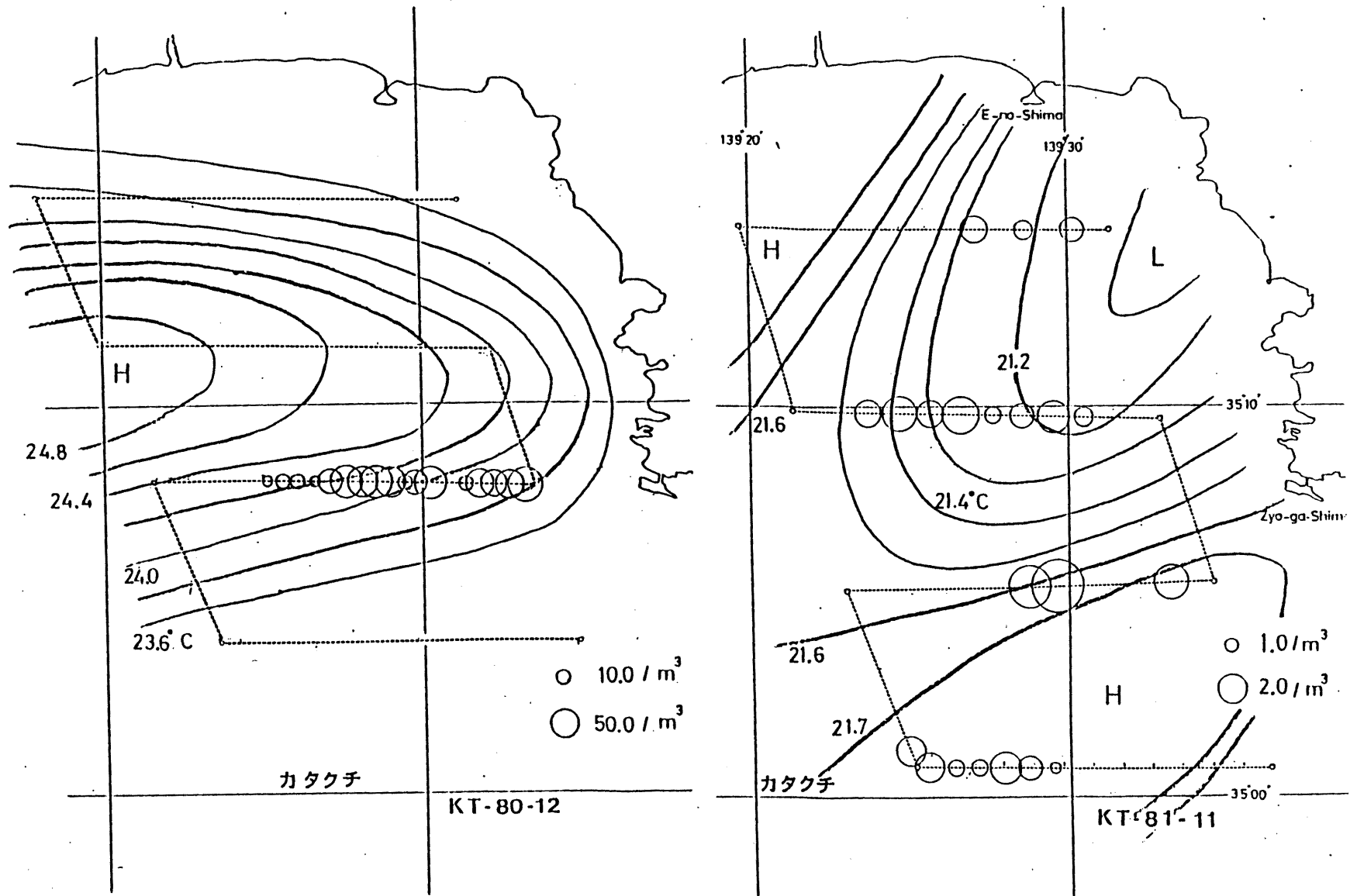


図 38 KT-80-12次航海およびKT-81-11次航海におけるカタクチイワシ浮遊卵の分布図および水温分布図。

(左図：KT-80-12次航海、右図：KT-81-11次航海)

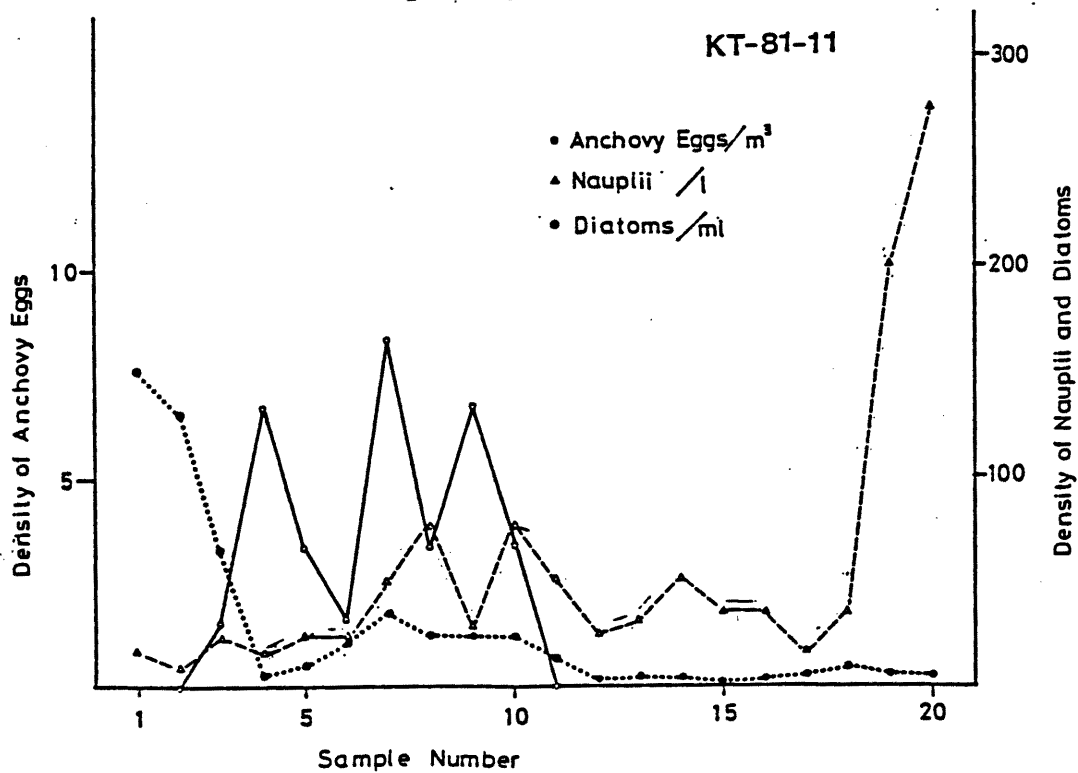
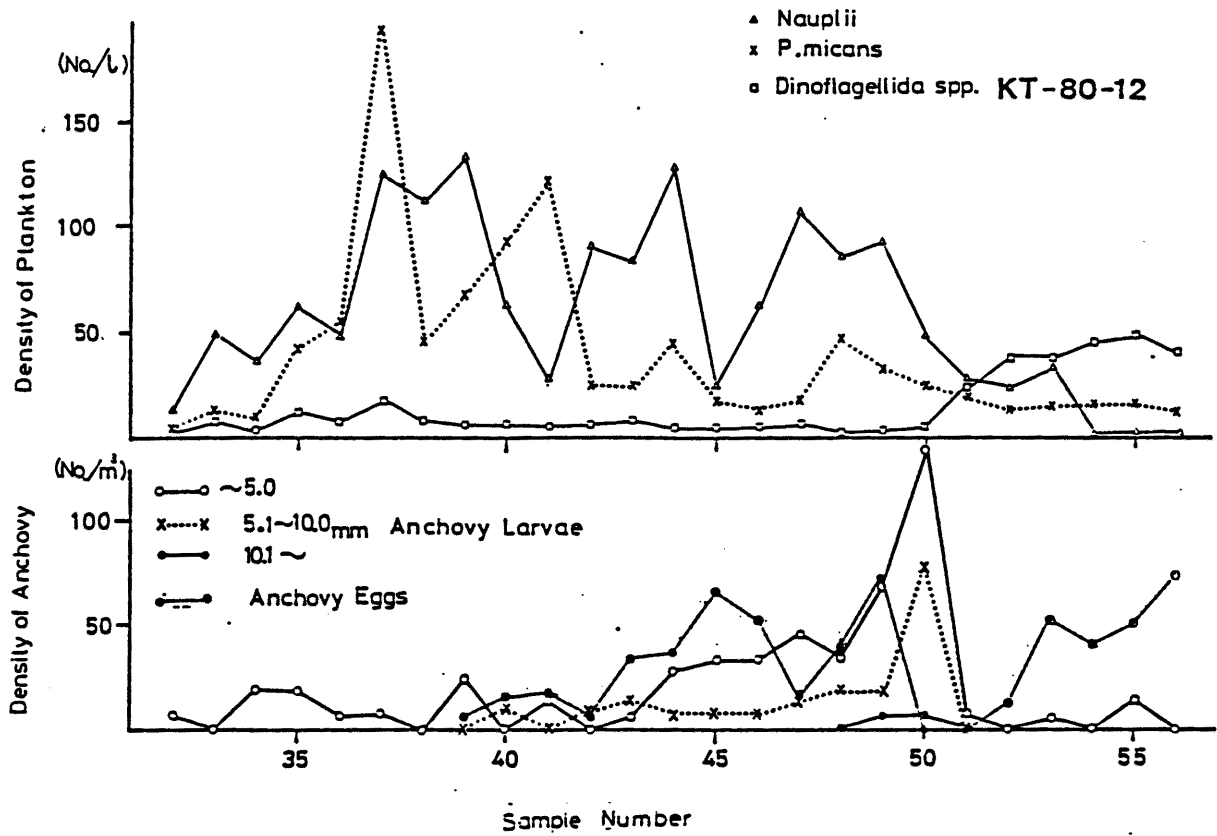


図 39 KT-80-12次航海第2測線における发育ステージ別カタクチイワシ浮遊卵および各種動・植物プランクトンの分布図、ならびに、KT-81-11次航海の第3測線(10 l採水測線)における浮遊卵および各種動・植物プランクトンの分布図。

た。しかし、カタクチイワシ浮遊卵の分布はフロント付近に限らず、むしろ湾内全域の 200 m 等深線付近に存在した。これは、この調査時期にカタクチイワシの産卵が湾内全域において行なわれていたためである。第 3 測線においては海水 10 l 採水を同時に実施しており、その結果を図 39 に示した。10 l 採水区間 No. 1-3 にかけて Diatom が高密度に分布し、10 l 採水区間 No. 4-5 にかけてフロントが存在していたこと、10 l 採水区間 No. 18-20 にかけてノウブリウスが高密度に分布していた。カタクチイワシ浮遊卵の分布はフロント域にかけてパッチ状に分布しており 3 つのピークが存在した。この 3 つのパッチ状分布は、フロント域への収束に伴う波動現象を表わしているものと推測された。

第一回めの調査においては、G. E. K. による測流を行っておりその結果を図 40 に示した。湾内には時計回りの平均約 0.2 ノット程度の環流が存在し、第 1 測線付近では沖合水が東北東方向へ約 0.5 ノットの速度で流れていたことが認められる。

さらに、KT-81-11 次航海においては、6 時間後に再び同様のグリッド観測を行なった。2 回めのカタクチイワシ浮遊卵の分布状態および湾内の水温分布を図 41 に示した。カタクチイワシ浮遊卵は第 2 測線の区間 No. 8-10 付近のフロント付近に集積するように分布していた。他の測線ではカタクチイワシ浮遊卵は分布していなかった。この浮遊卵は、環流の移動速度・方向等から推察して第一回めの第 3 測線に存在していたカタクチイワシ浮遊卵群と同一のものと考えられた。

以上の結果から、カタクチイワシ浮遊卵、マイワシ浮遊卵および各種動・植物プランクトンの分布構造が海洋構造および海水の流動状況と密接な関係を持っていることが明らかである。しかも、浮遊卵稚仔等の分布構造は、経時的に変化してゆく海洋構造に対応するように決定されていた。

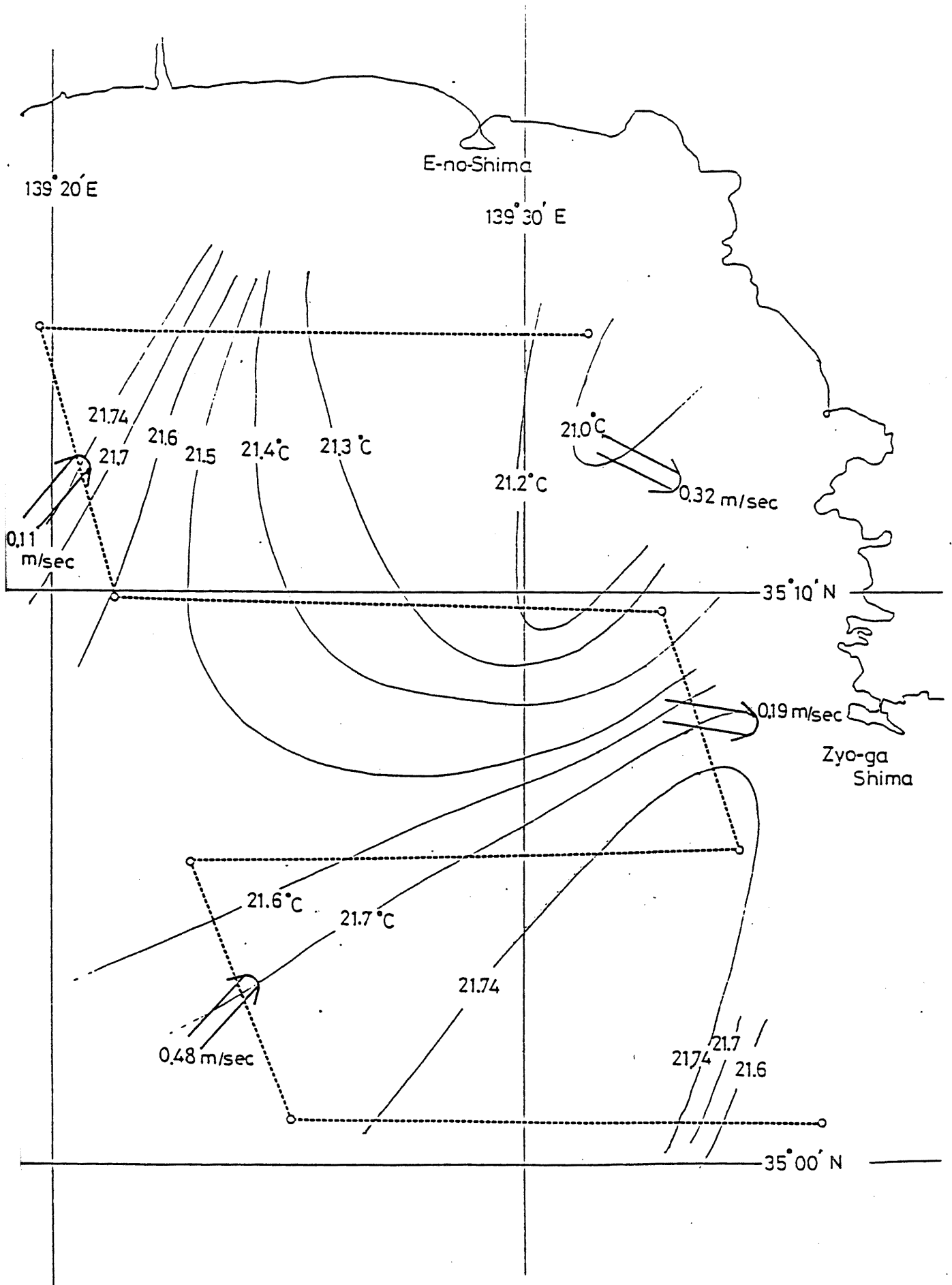


図 40 KT-81-11次航海におけるG. E. K. 測定結果及び水温分布図。

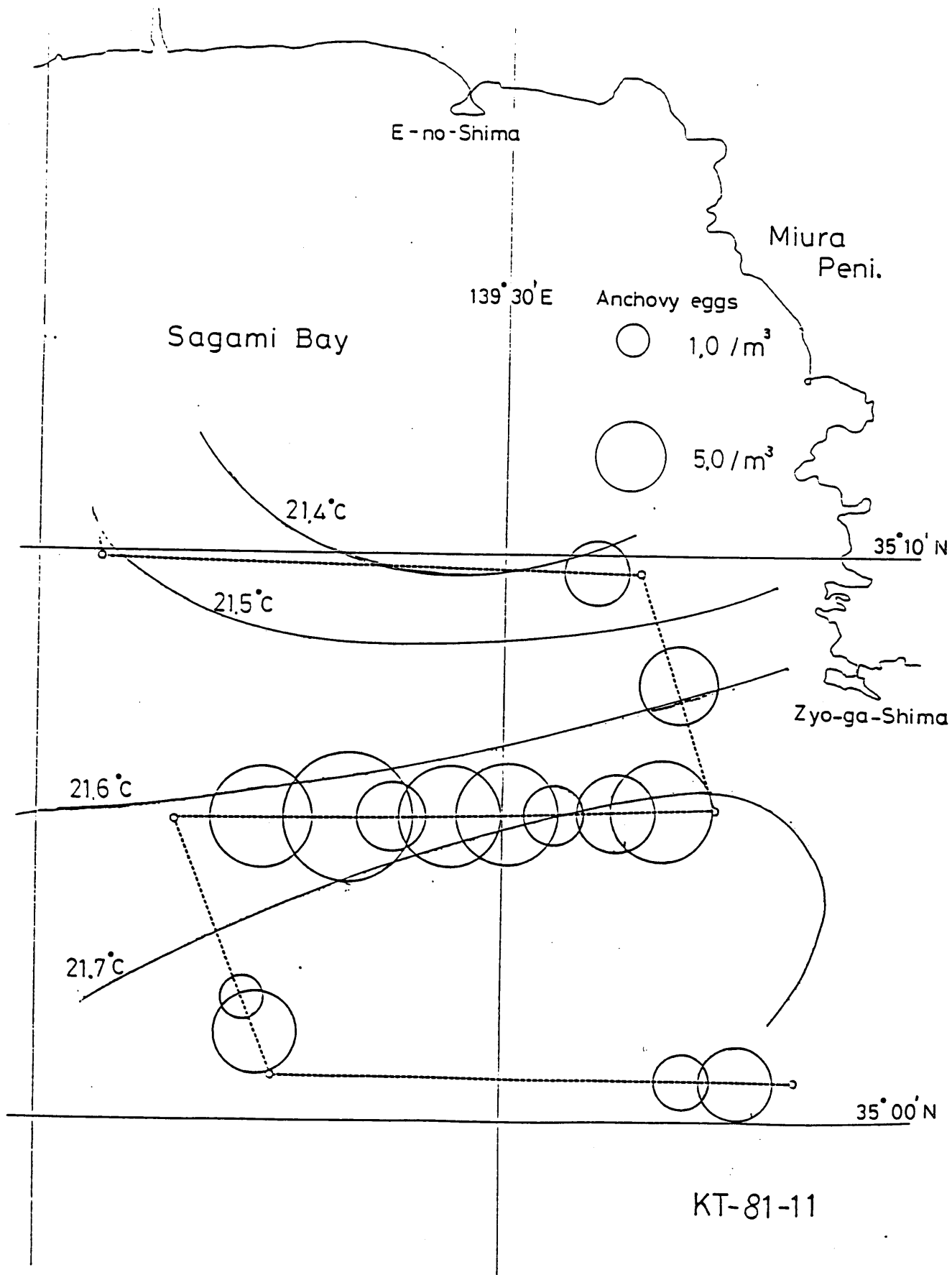


図 4 1 KT-81-11次航海における航走グリッド第二回目の観測結果。

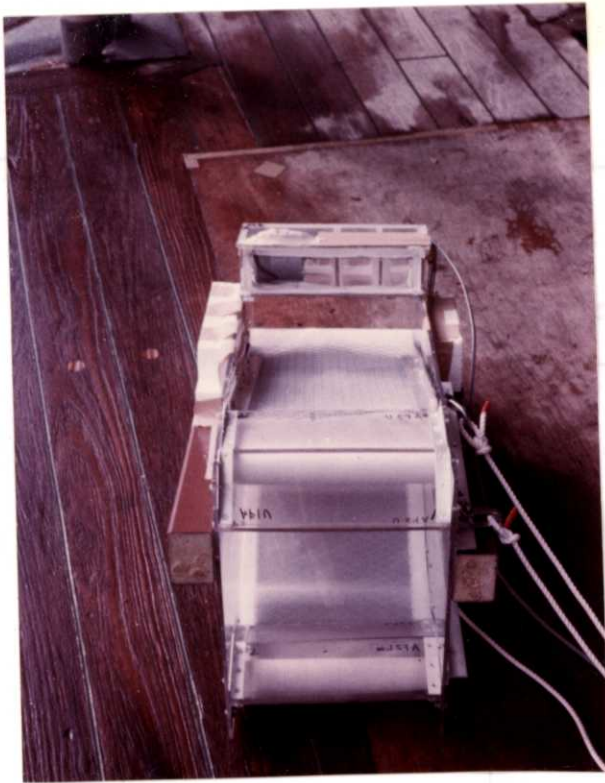


#### 1-5) 低速連続採集器による浮遊卵稚仔のパッチ状分布構造

浮遊卵稚仔のパッチ状分布構造を明らかにするためには、連続観測が必要不可欠であり、多大の労力が要求される。この点を克服するために、様々な連続採集測器が開発されてきた。前節で述べた航走連続採集器は、広域の比較的大きな規模のパッチ状分布を短時間に調査するために用いるのに適している。しかし、入り江等の比較的小さな水域での調査や、さらに微細な分布構造を調査する目的のためには不都合である。そのため、新たにHardy型連続採集器を改良した低速連続採集器を作成した。浮遊卵稚仔の分布構造を調査するためには大量の濾水量を必要とする。しかし、従来のHardy型の連続採集器は比較的高密度に分布する動・植物プランクトンのパッチ状分布を調査対象として作成されたために、1区間における濾水量が少なく浮遊卵稚仔の分布の調査には不都合な点が存在した。また、構造および稼働システムが複雑なため、故障することが多かった。本節で使用する測器は、構造を単純にし、また、口径を大きくすることにより以上の点を克服した。この節では、この低速連続採集器の構造の説明とこれを使用した調査結果について述べる。

#### 材料と方法

新たに作成した低速連続採集器の本体写真および調査時（表層および各層）の写真を図42に示す。採集原理は従来のHardy型とほぼ同様であり、次第に巻き取られてゆく2枚のプランクトンネット地の間に浮遊卵稚仔および動・植物プランクトンを順次挟みこんでゆくものである。調査後、ネット地上の各種プランクトンを所定の間隔で洗い流し1サンプルとする。表層曳網および各層曳網の両方に使用出来る。すなわち、表層曳網時にはオッターボード板を使用して調査船から離して曳網する事が出来る。また、ワイヤーへの取り付け具を用いることにより、各層曳網が可能となる。図43に各層曳網時の模式図を示す。



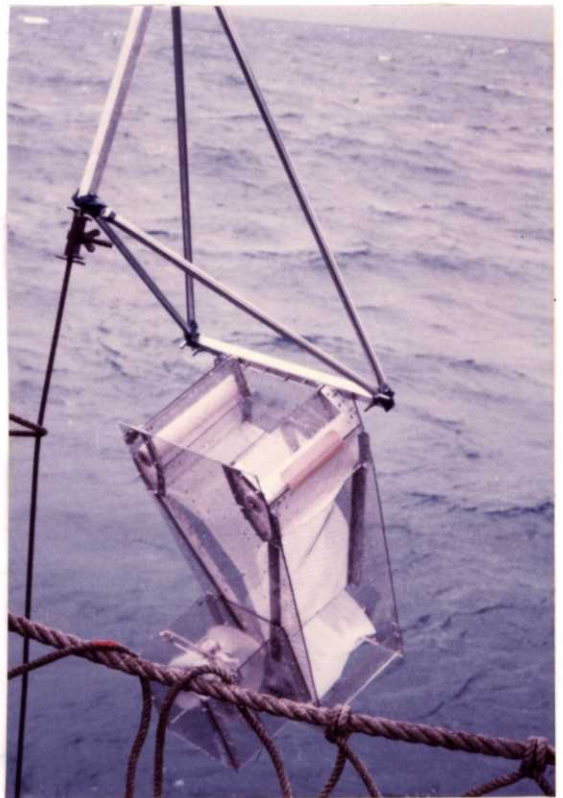
表層曳航用に準備した状態



表層曳航時の状態



各層曳航用に準備した状態。



各層曳航時の状態。

図 4 2 低速連続採集器の概観写真および表層、各層曳網調査時の写真。

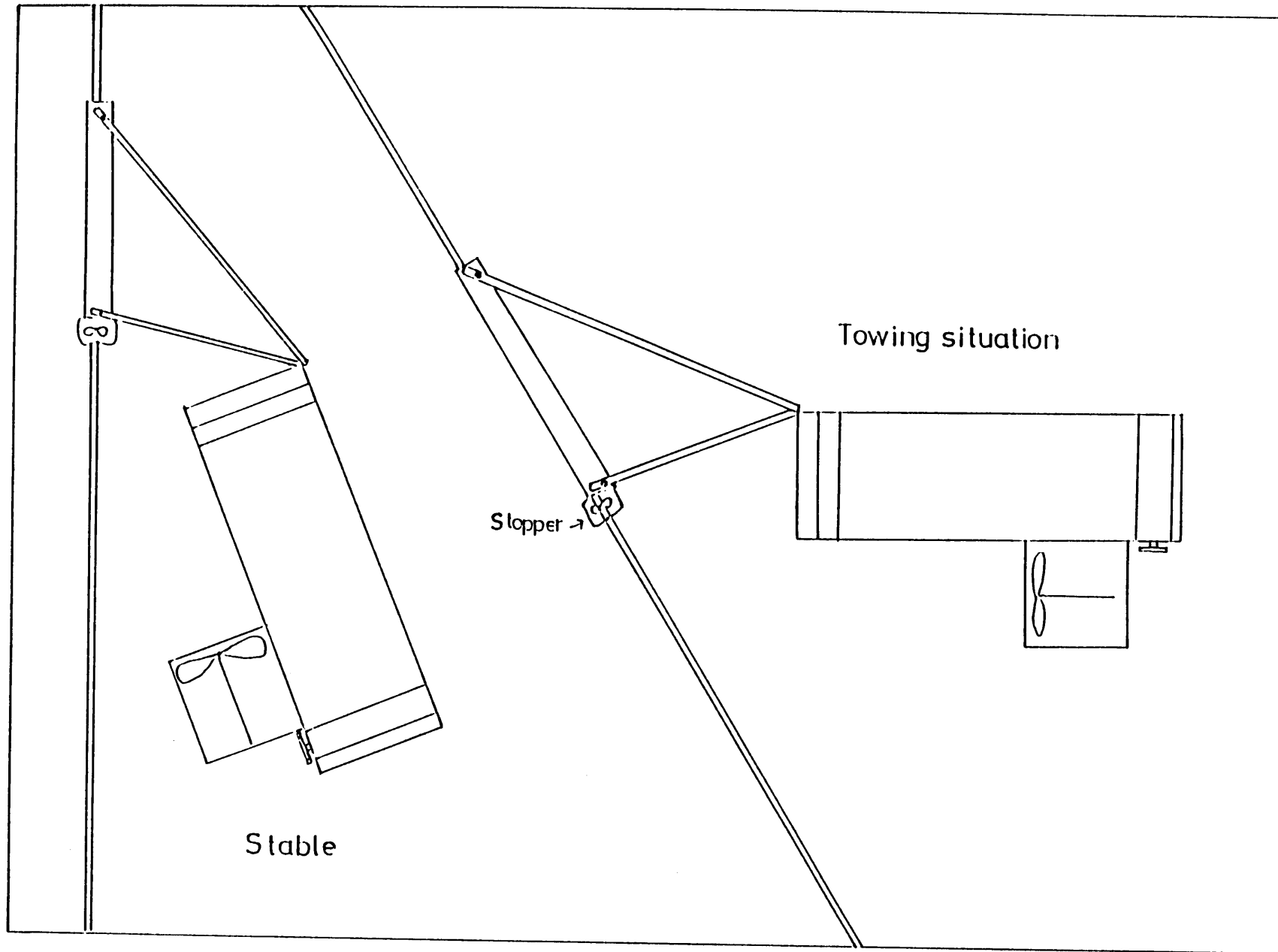


図 4 3 低速連続採集器の各層曳網時の状態図。

## 結果と考察

### 1. 性能テスト

採集性能等のテストについての日時、濾水量、稼働状況などについて表13に示した。

曳網テストはKH-77-2次航海において計10回行ない、成功率は約6割でHardy型の約5割に比べれば良いがさらに改良の必要がある。濾水量等についてのデータをとった5回については、約30秒(2ノットで約30m)曳網の間に平均1.32m<sup>3</sup>の濾水量を示しており、これはHardy型の約20倍に達する。

### 2. フィールドテスト

次に、この採集器を利用して行なった調査の結果について述べる。採集日時および地点、採集間隔等について表14および図44に示した。

KT-76-14次航海において、2回の曳網採集を駿河湾湾央およびKT-78-12次航海においては石花海上において1回行なった。KT-76-14次航海での1回目の採集結果について、図45にCopepoda、Sagittoidea、およびMysis期幼生それぞれの分布密度を示した。2回目の採集結果について、図46にCopepoda、にSagittoidea、およびMysis期幼生それぞれの分布密度を示した。KT-78-12次航海における石花海上での採集結果について、図47にカタクチイワシ稚仔、Copepoda、Sagittoidea、およびMysis期幼生それぞれの分布密度を示した。KT-76-14次航海の調査では稚仔は採集されなかったが、KT-78-12次航海の調査でカタクチイワシ稚仔が大量に採集された。

海洋構造の測定を行なっていなかったので関連性を検討出来ないが、各分布図ともにパッチ状分布が認められ、この採集器により30m間隔での各種生物のパッチ状分布の検出が可能であることが明らかである。

KH-77-2次航海における生物沈殿量の分布およびハダカイワシ科spp.のTest No.6, 7, 10での採集結果を図48に示す。横軸上の黒いバーが1個体のハダカイワシ科稚仔

表 13 低速連続採集器のテスト日時および性能データ。

No.	DATE	TIME	LOCATION	CONDITION OF WINDING	ROTATION NUMBER	CONDITION OF SAMPLES
1	Jul. 9	17:30	33°27.3N 141°53.9E	wrong	42	none
2	Jul. 18	12:45	25°59.5N 132°00.5E	well	44	little
3	Jul. 21	0:10	28°30.4N 128°58.5E	wrong	--	none
4	Jul. 21	16:50	28°46.2N 128°17.6E	well	44	little
5	Jul. 22	18:14	29°20.4N 127°24.3E	well	41+(2)	well
6	Aug. 8	18:30	32°07.5N 133°55.9E	well	43	well
7	Aug. 9	21:55	31°53.8N 134°06.6E	well	45	well
8	Aug. 9	23:00	31°53.8N 135°06.6E	wrong	44	none
9	Aug. 11	16:00	30°53.4N 135°19.2E	wrong	43	none
10	Aug. 12	16:17	30°17.6N 136°41.2E	well	42	well

NO.	DATE	ROTATION NUMBER	TOWING TIME (min.)	TOWING LENGTH PER ROTATION	FILTERED VOLUME PER ROTATION	ROTATION NUMBER (PROPELLER)
4	July 21	44	18	24.5	1.21 m <sup>3</sup>	4.0
5	July 22	43	21	29.3	1.45	3.4
8	Aug. 9	44	20	27.2	1.35	3.6
9	Aug. 11	43	18	25.1	1.24	3.9
10	Aug. 12	42	19	27.1	1.34	3.6
	AVERAGE	43.2	19.2	26.6	1.32	3.7

表 14 低速連続採集器の調査日時。

航海名	年月日	時刻	位置 (始点-終点)	風向
KT-76-14	1976/9/3	7:54	35° 5' 0" N 138° 35' 1" E	SE3
		8:20	35° 4' 1" 138° 34' 7"	
	9/3	9:42	35° 2' 9" 138° 33' 7"	S3
		10:40	35° 0' 7" 138° 32' 8"	
KT-78-12	7/24	18:15	34° 46' 9" 138° 30' 0"	S5
		19:00	34° 46' 4" 138° 30' 1"	
KH-77-2	7/21	16:50	28° 46' 2" 128° 17' 6"	
	8/8	18:30	32° 7' 5" 133° 55' 9"	
	8/9	21:55	31° 53' 8" 134° 6' 6"	

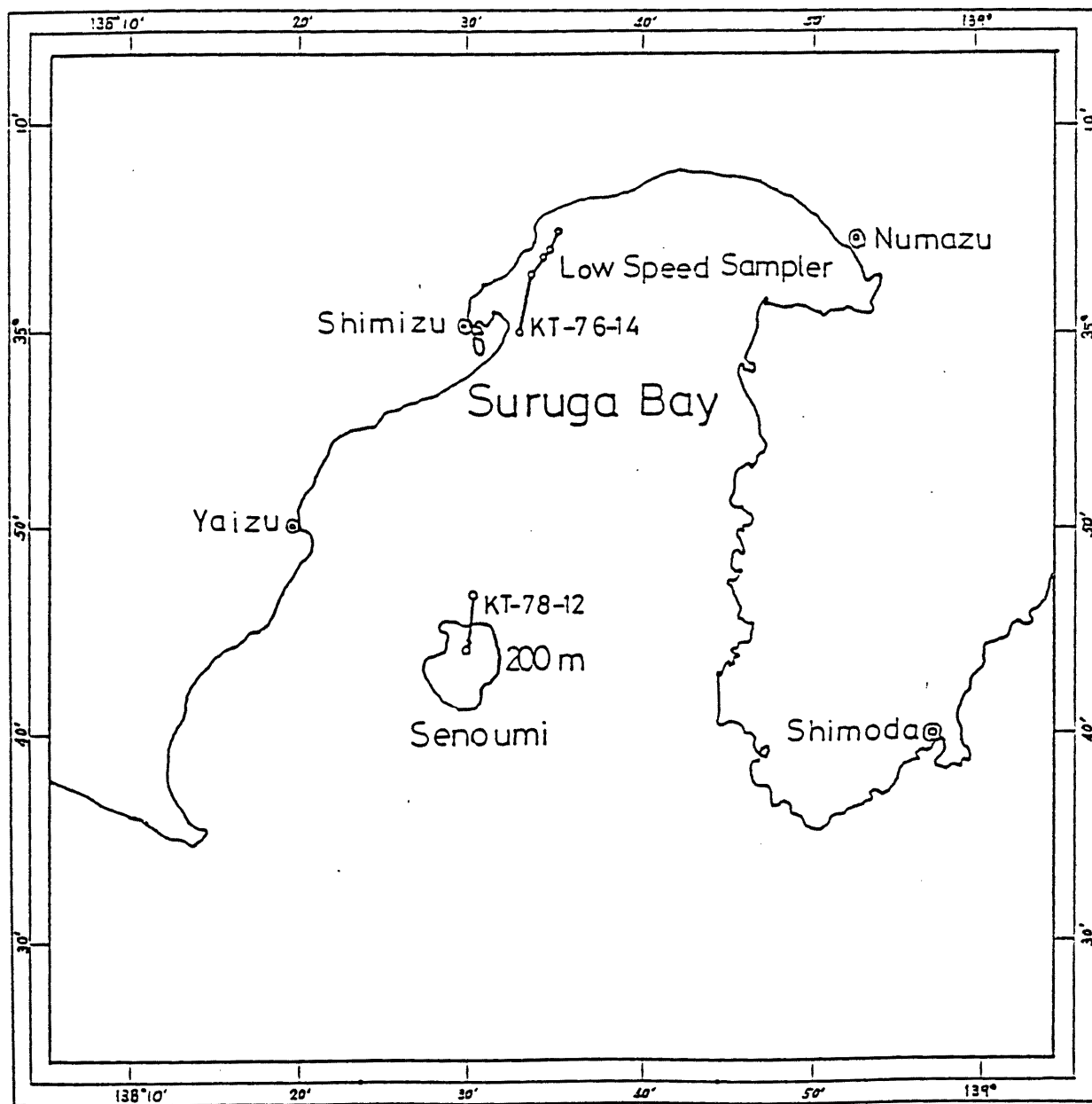


図 4 4 低速連続採集器による採集測線、KT-76-14次航海（9月3日）、KT-78-12次航海（7月24日）。

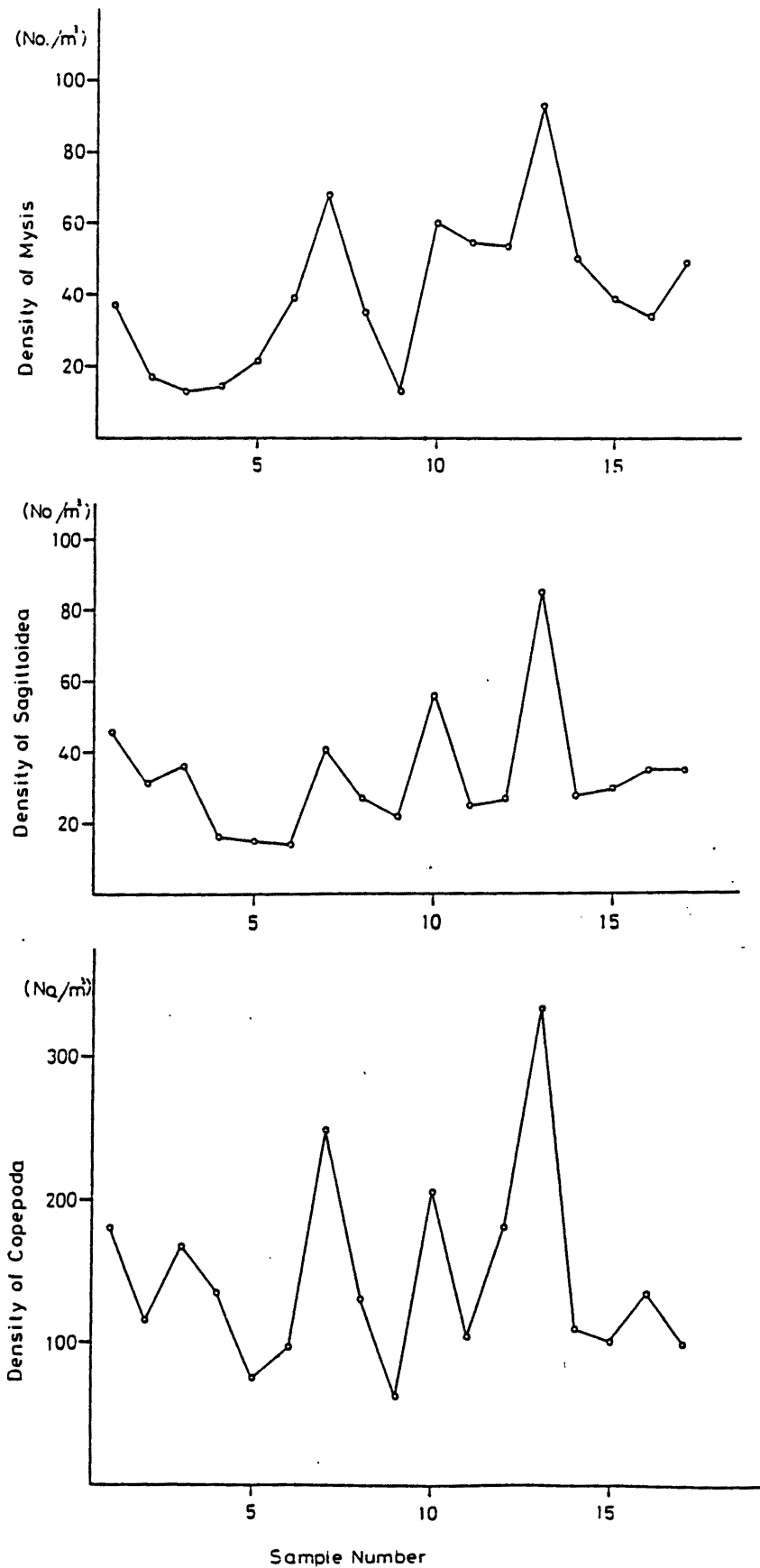


図 45 駿河湾湾奥での低速連続採集観測(Test1)におけるCopepoda, Sagittoid ea, Mysis期幼生の分布図。



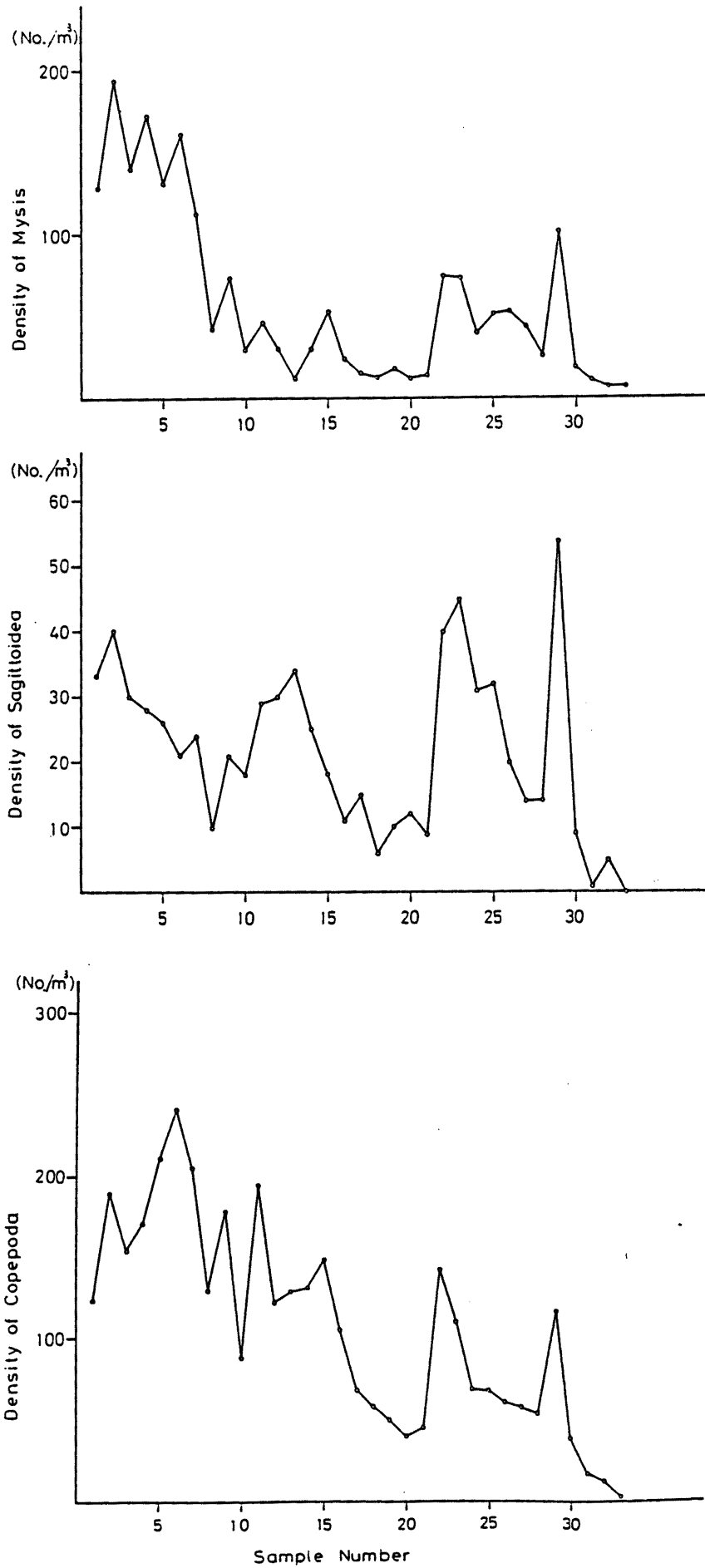


図 4 6 駿河湾湾奥での低速連続採集観測(Test2)におけるCopepoda, Sagittoida, Mysis期幼生の分布図。

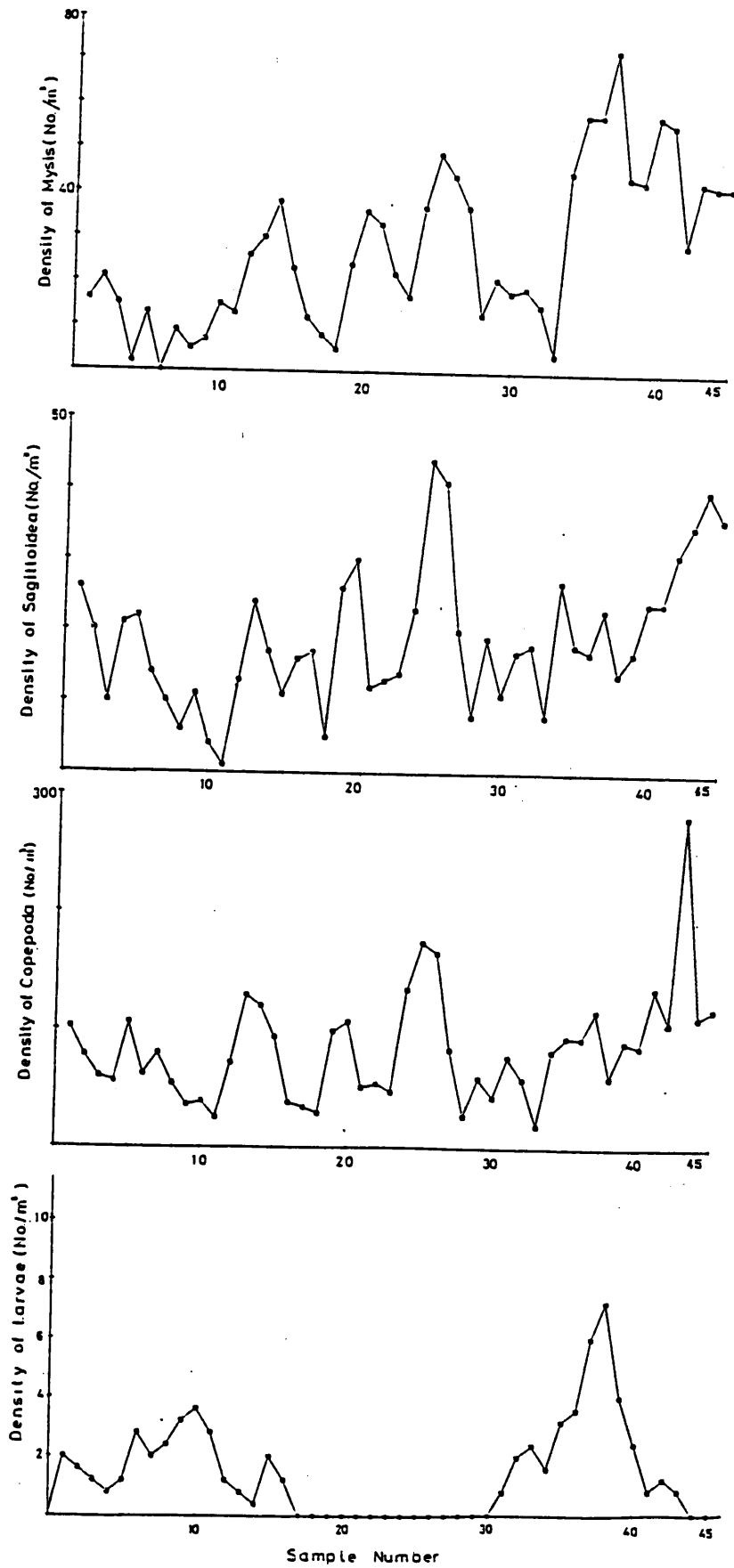


図 4 7 石花海上での低速連続採集観測におけるカタクチイワシ稚仔, Copepoda, Sagittoidea, Mysis 期幼生の分布図。

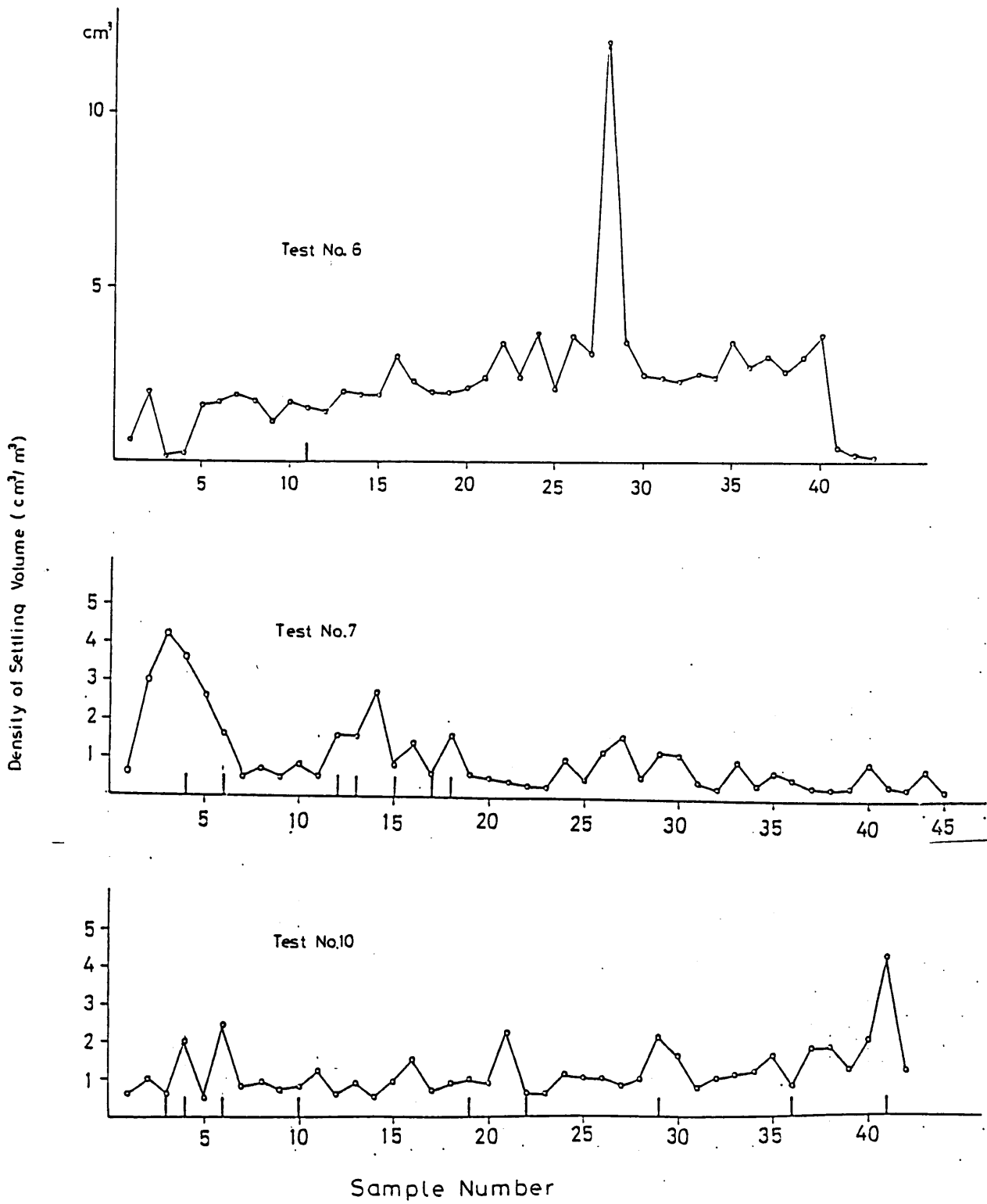


図 48 KH-77- 2次航海における低速連続採集 (Test No. 6, 7, 10) の結果。

を示している。1区間は30 mの距離に相当する。テストNo.6の生物沈澱量が急上昇しているのは浮遊していた紙の繊維のためである。生物沈澱量については全ての調査ともランダム分布であった。

ハダカイワシ科稚仔の分布では、テストNo.6の区間No.12-18にかけて集中している様子が認められた。稚仔同士の間平均距離は、45 mと推定された。

本測器により浮遊卵稚仔及び各種動・植物プランクトンのパッチ状分布の検出が可能であることが明らかである。しかし、動・植物プランクトンが巻取ネット地上に目詰まりするためにおこるContamination、また、大型稚仔が巻き取られる際の圧力で損傷を受ける点などについて改良が必要である。

## 1-6) パッチ状分布の方向性の検出

様々な生物のパッチ状分布はその分布位置およびその形状がランダムあるいは円形にのみ形成されるのではなく、パッチの形成要因と大きく関係しており、海洋構造にたいしてある特定の位置および方向性を持っていることが知られている。すなわち、曳網方向によっては採集結果に大きな差異を与えることも予想される。このことは、パッチの検出やその特性を調査するうえで重要な問題であり、常に考慮されていなければならない。また、浮遊卵稚仔の定量的採集においても方向性を想定した調査計画を設定することが必要である。

動・植物プランクトンにおいては、赤潮等の現象を空中から観察することによりその存在、方向性、幅、間隔等の情報を得られるが、浮遊卵稚仔については現在のところ不可能であり、ネットによる採集作業が不可欠である。

この節では、三角形の調査測線上で連続曳網採集を行なった結果およびMTDネットによる三方向曳網の結果について検討し、パッチの方向性およびその分布幅、間隔について検討した。

### 材料と方法

三角形連続曳網およびMTDネットによる三方向曳網を行なった調査海域・日時等のデータを表15に表わした。

#### 1. 三角形測線での連続曳網

海面に対して正三角形の調査測線を設定し、調査船の進行角度を変更させずに測線上を2ノットで連続曳網した。海図上の調査船の航跡・風向から海水の流向状況についての知見を得た(図49)。一辺の曳網回数は24回、一回の曳網時間は、KT-79-3次航海では2.5分、KH-79-4次航海では5分である。調査船の速度を一定に保つこ

表 15 三角曳網実施日時及び位置。

航海名	年月日	時刻	位置 (始点-終点)		風向
KT-79-3	1979/3/8	19:00	33° 54' 3" N	139° 12' 6" E	NW4
		20:00	33° 54' 2"	139° 10' 8"	
		21:00	33° 56' 4"	139° 13' 4"	
		22:00	33° 54' 0"	139° 15' 9"	
KH-79-4	1979/9/18		9° 59' 4" S	154° 58' 0" E	SSW6 NORPAC
		9/23 9:38	20° 3' 6" S	154° 50' 8" E	S3 MTD A
		9:54	20° 4' 0"	154° 50' 5"	
		10:50	20° 4' 1"	154° 50' 6"	MTD B
		11:10	20° 4' 1"	154° 51' 3"	
		11:45	20° 4' 2"	154° 51' 1"	MTD C
		12: 5	20° 4' 0"	154° 50' 8"	

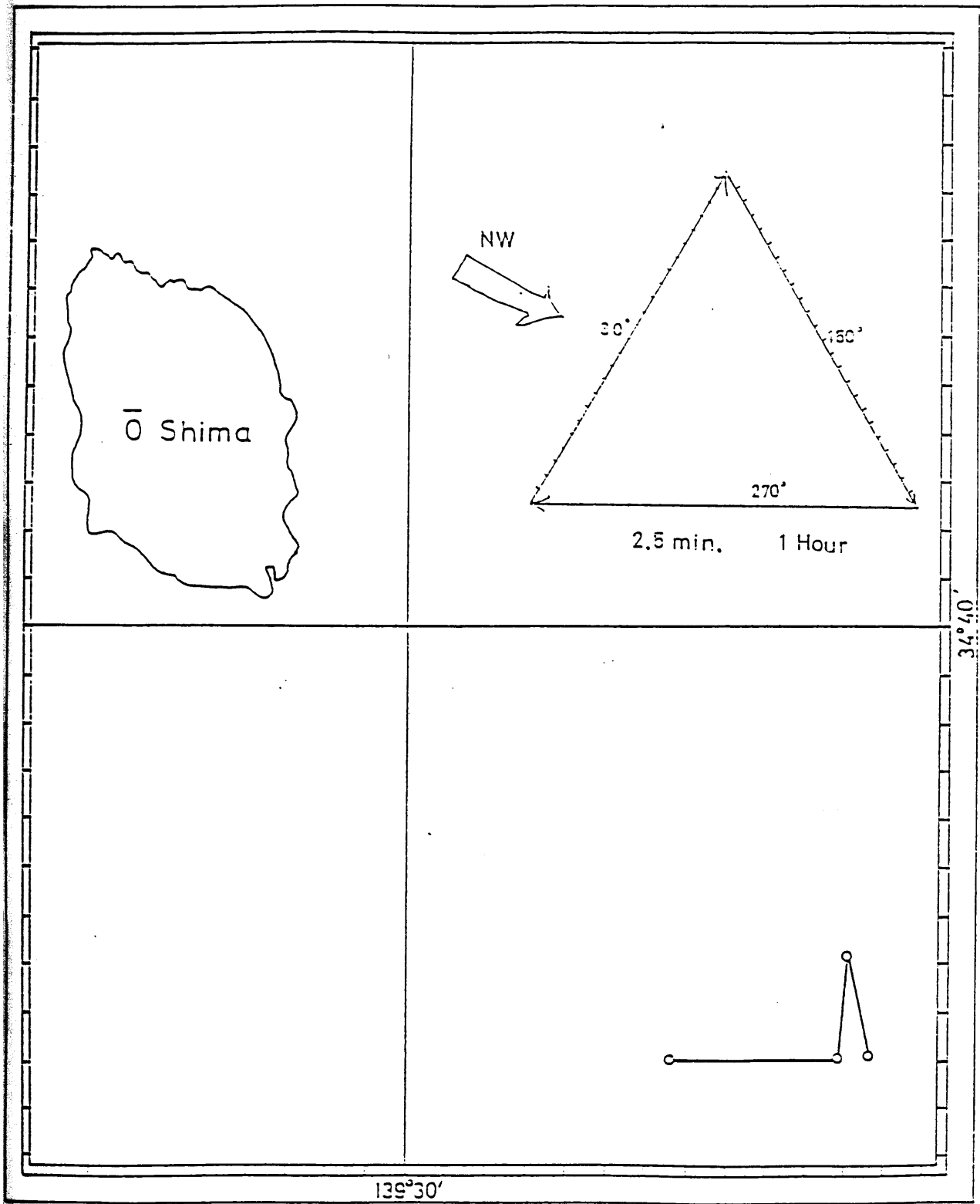


図 49 三角連続採集航跡図（右上部に調査船の操船法および当時の風向を示した。実線は実際の地図上での軌跡）。

とが困難なため、ネットには図50に示すように流量計を口輪内と外に装着して、一曳網距離および濾水量を正確に測定した。図51に各区間の曳網距離およびネットの濾水率を示した。若干の変動はあるものの1曳網距離は一定として解析してもさしつかえないものと考えられた。

三辺上の浮遊卵稚仔等のパッチ状分布を確認し、そのピーク域における浮遊卵稚仔の発育ステージ組成・各種動・植物プランクトンの組成等を勘案して、各辺のパッチ状分布同士の類似性を検討し、各辺のパッチ状分布の連続性を推定した。連続した同一のパッチ状分布と推定されるものをつなげて、それをもって各パッチの方向を決定した。

パッチ状分布の間隔、幅などについての計算方法および計算式を図52に示した。すなわち、この解析方法は、様々の長さ (i=1-24) の三辺によって形成される正三角形の各頂点に当たる採集区間三個所での分布密度の平均変動係数 (CV) を求めた。これを三方向について行ない、各方向での同じ長さにおける3つの平均変動係数 (CV<sub>1</sub>, CV<sub>2</sub>, CV<sub>3</sub>) の平均値を長さに対し図にプロットし、その変動傾向からパッチ状分布構造の周期を推定した。

## 2. MTDネットによる三方向曳網採集

MTDネットの各層曳網 (0, 10, 25, 50, 75, 100, 125, 150, 200 m) を正三角形形状の三方向 (A, B, C) について行なった。採集された浮遊卵稚仔を種あるいは種の不明なものは特徴によってTYPEに区分けし、A-B, B-C, およびC-A 間についてPianka(1975)の Niche overlap 指数<sup>\*</sup>を計算した。

-----

\*

A辺, B辺について求める場合,  $\alpha_{AB}$  と  $\alpha_{BA}$  の平均値を求めた。

$$\alpha_{AB} = \frac{\sum_{h=1}^S P_{Ah} \cdot P_{Bh}}{\sum_{h=1}^S P_{Bh}^2}$$

$$\alpha_{BA} = \frac{\sum_{h=1}^S P_{Ah} \cdot P_{Bh}}{\sum_{h=1}^S P_{Ah}^2}$$

$\alpha_{AB}$  ; Aに対するBの overlap 指数。

$\alpha_{BA}$  ; Bに対するAの overlap 指数。

$P_{Ah}$  ; 種hのA内における比率。

$P_{Bh}$  ; 種hのB内における比率。

S ; 種数。



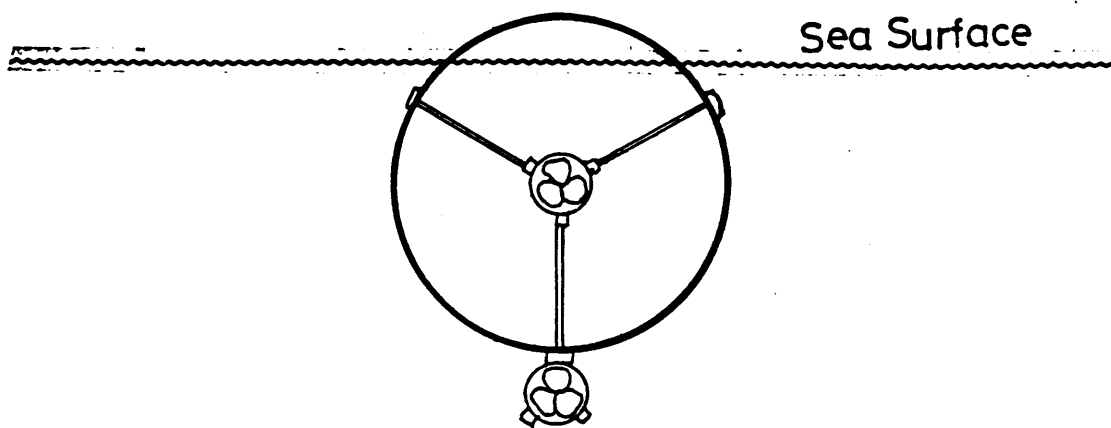


図 50 三角連続採集に使用したネットの曳網状態および流量形の取り付け位置。

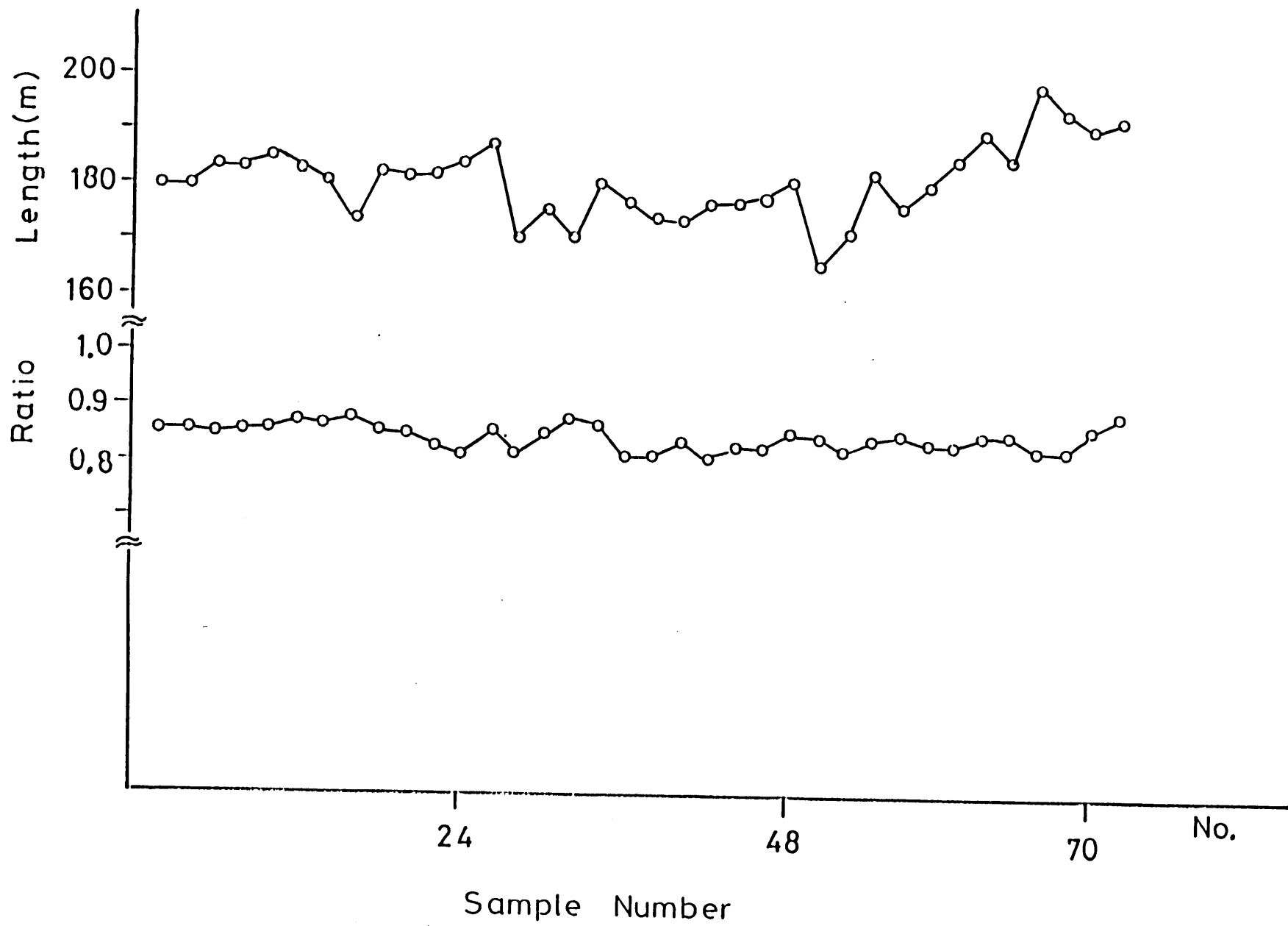
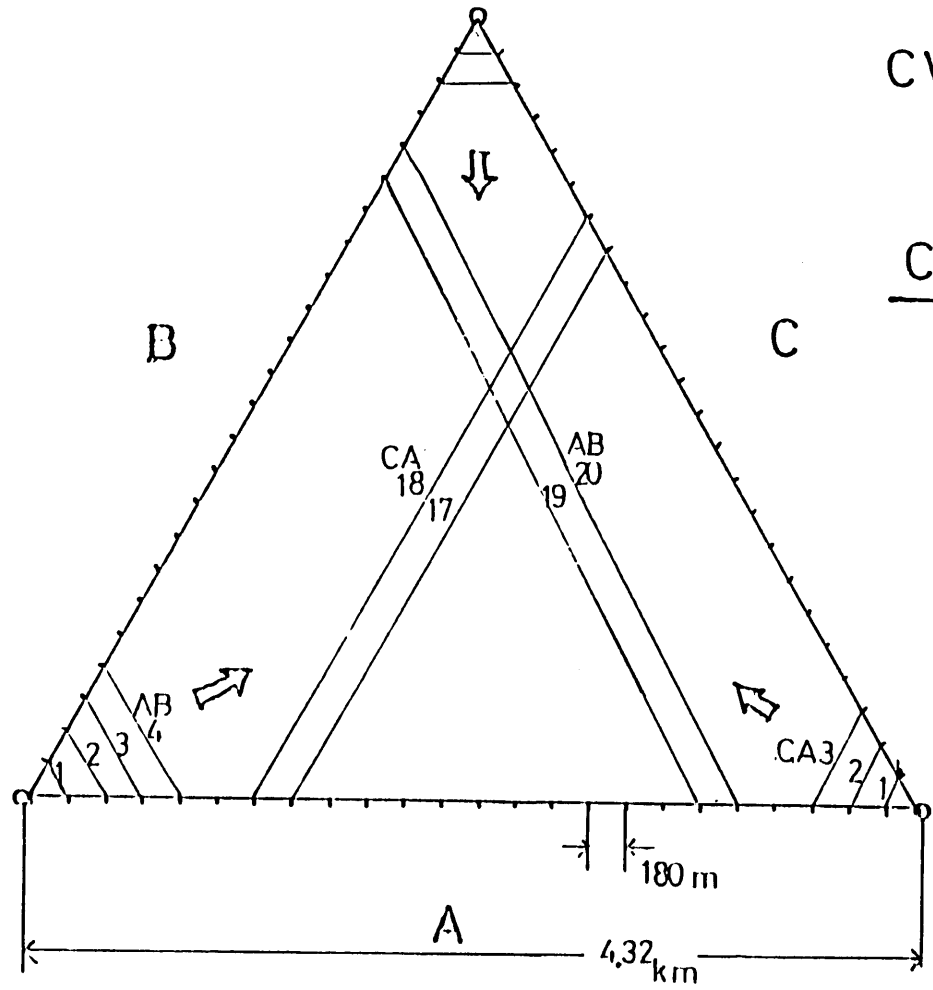


図 51 三角連続採集における濾水量および一曳網距離の変動。



$$CV_{AB_i} = \frac{S_i}{\bar{X}_i} \quad i=1 \sim 24$$

$$\frac{CV_{AB_i} + CV_{BC_i} + CV_{CA_i}}{3} = \overline{CV}_i$$

図 5 2 パッチ状分布の間隔および幅についての計算方法。CVはそれぞれの大きさの正三角形の頂点にあたる区間の3つのデータの平均変動率。

## 結果

### 1. パッチ状分布の方向

図53にKH-77-2次航海における調査結果を示した。明らかに測線上に各種生物および浮遊物質のパッチ状分布が認められる。さらに、測線間の相違も認められた。特に、浮遊力の強いトビウオ類や夜間において表層に浮遊していたハダカイワシ類およびOil ballについては、測線間で顕著な相違が認められた。これは主に風向に対する曳網方向の相違によって説明される。すなわち、曳網舷側が風上側の場合には、調査船が風下に流されることにより、表層に分布する各種生物および浮遊物質が掃かれてしまうためと考えられた。この現象は風圧を受けやすい舷側の高い大きな調査船で顕著であると推察された。このため、表層採集を行なう場合には風向に対する曳網方向について考慮されねばならない。

KT-79-3次航海における浮遊卵の分布密度および生物沈澱量を図54に示した。この図からも明らかに測線上に小さなパッチ状分布が認められた。さらに、パッチ状分布のピークにおける各種生物の類似性から図55に示すように各辺のパッチ状分布同士連続性が推定された。各辺上のパッチ状分布を結ぶ方向は、調査船の航跡等から推定した海水の流向と一致していた。

### 2. パッチ状分布の幅および間隔

このバンド状のパッチの幅及び間隔を推定するために前述の解析方法により生物沈澱量、全浮遊卵についての結果を図56、およびマイワシ稚仔についての結果を図57に示した。

生物沈澱量については特に顕著な変動は認められないが、全浮遊卵については1.8 kmおよび3.6 km付近において高い値を示して、0.36 km および2.7 km付近において低い値を示しており、パッチ状分布が約1.8 km毎に形成されていることが認められた。

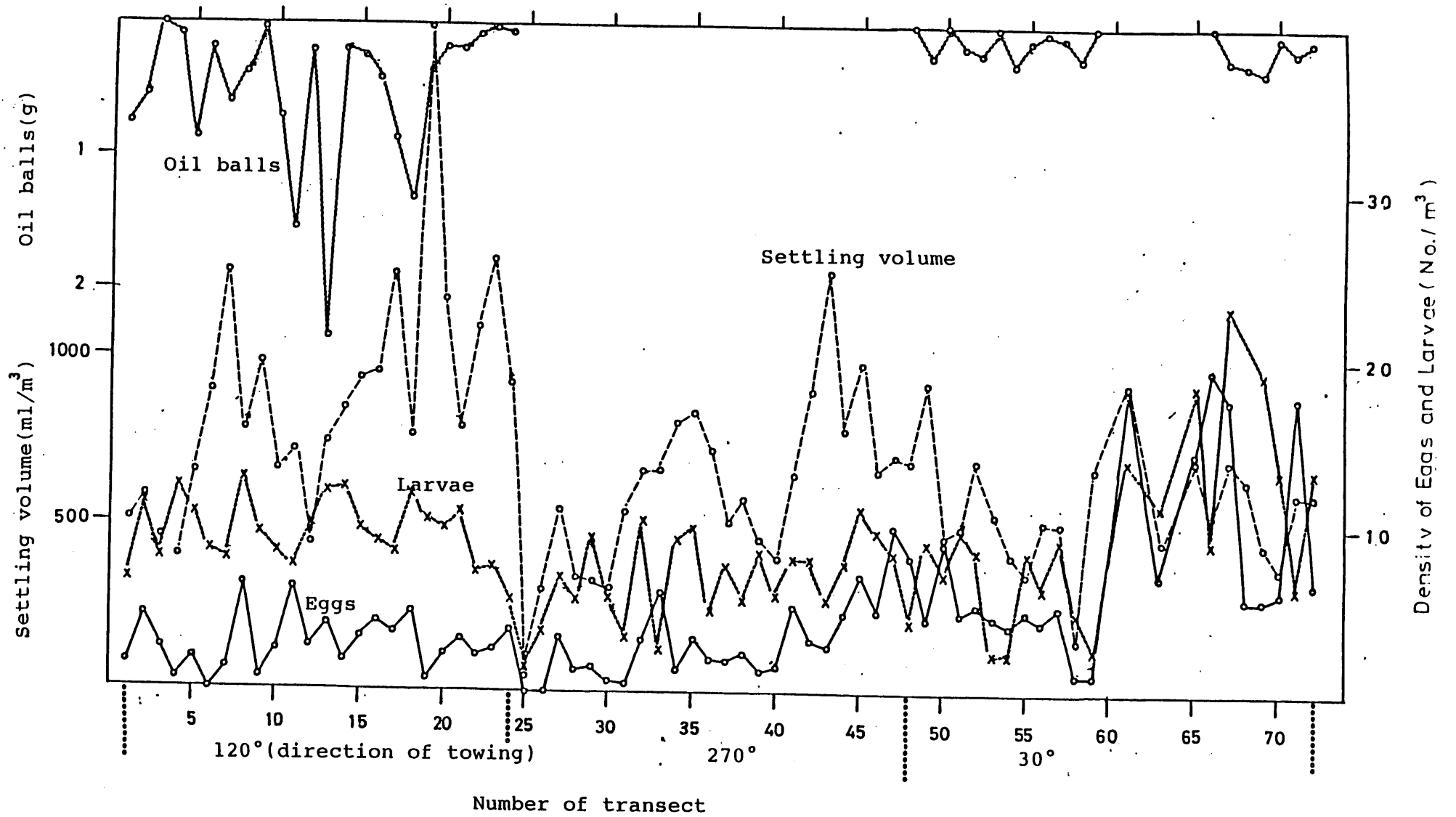


図 53 KH-79-4 次航海での三角連続採集における採集結果。

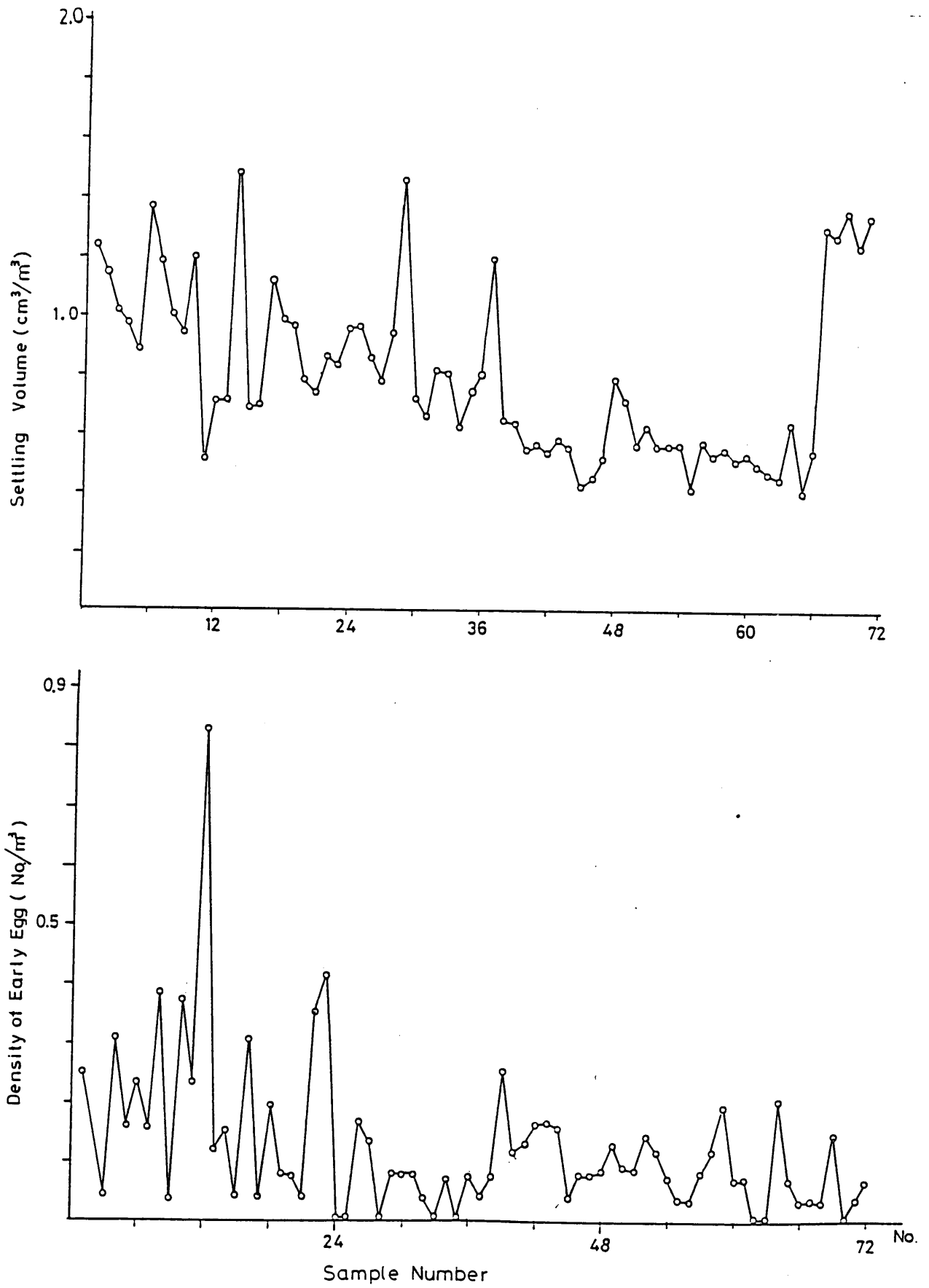


図 5.4 KT-79- 3次航海での三角連続採集における浮遊卵および生物沈澱量の分布図。

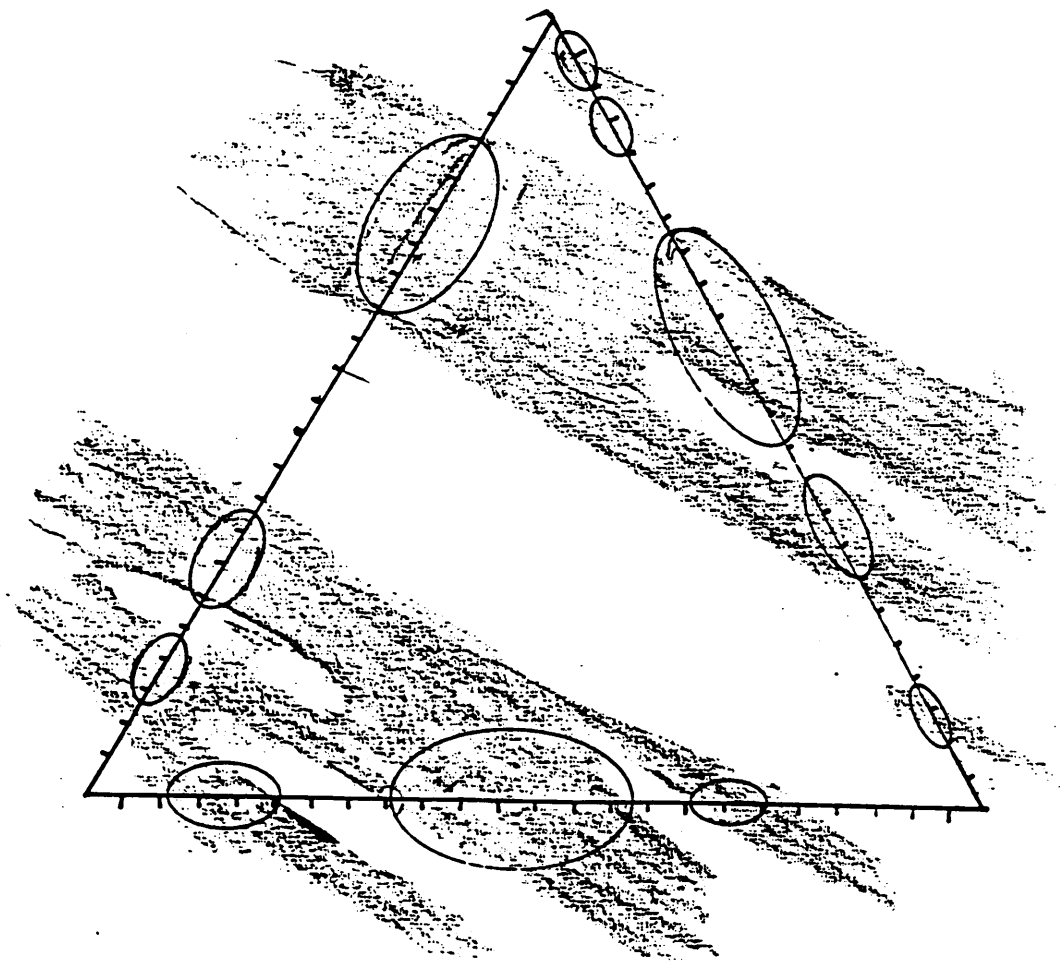


図 55 各辺におけるパッチ状分布同士の類似についての模式図。

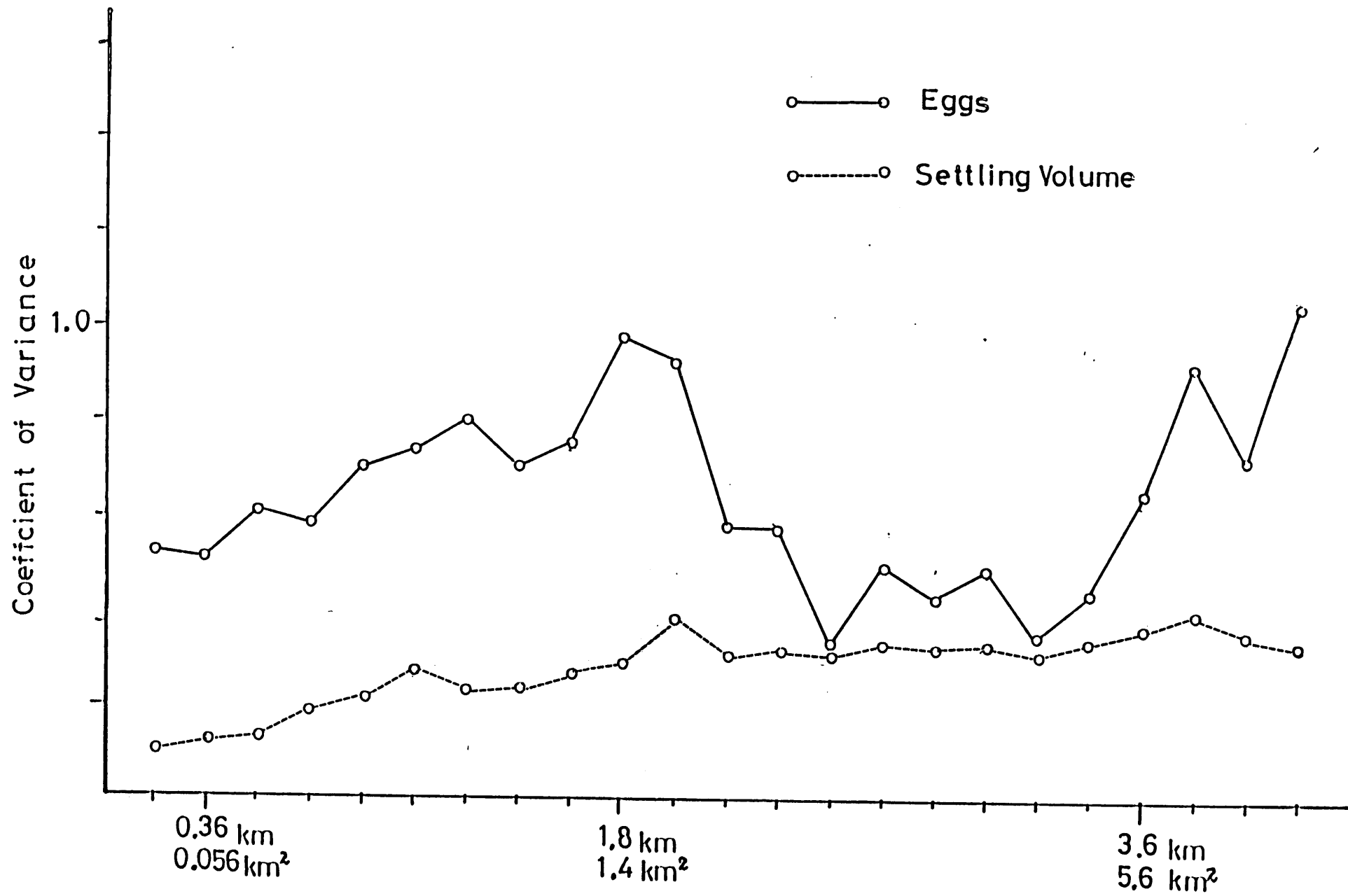


図 5 6 生物沈澱量、浮遊卵のバッチ状分布の幅、周期について。





図 5.7 マイワシ稚仔のパッチ状分布の幅、周期について。

また、マイワシ稚仔については、約1.8-2.7 km毎に形成されていたことが認められた。

### 3. 三方向曳網採集間のNiche Overlap 指数

次に、MTDネットの三方向曳網における生物沈澱量、浮遊卵、および稚仔についての採集結果を表16、17、18に示した。これらをタイプに区分けした結果をもとに、各2方向(A-B, B-C, C-A)間におけるPianka(1975)のNiche overlapを計算し、その結果を表19に示した。稚仔では浮遊卵よりも全体に低い数値を示している。

### 考察

パッチ状分布の形成要因としては生物的要因と物理的要因の二つの存在することが推定されている。生物的要因によるものは、生物自身の産卵および集合があげられており、このようなパッチ状分布はその起源から考えてむしろ円形構造を持つものと推定される。これに反して、物理的要因の影響を受けて形成されたパッチ状分布は海水による収束現象においては潮目等の直線形が卓越すること、海水のシア-効果により引き伸ばされる等の理由により方向性を持つことが推定される。

Abbott et al.(1980)は、曳網方向を変化させて測定したクロロフィルの分布密度をスペクトル解析することにより、分布パターンが曳網方向により変化することを明らかにした。すなわち、顕著な変動をする方向とそうでない方向の存在することを示して、パッチ状分布およびその方向性の存在することを指摘した。また、Eppley et al.(1984)は、カリフォルニア沖でSubsurface planktonであるDinoflagellate、Ceratium tripos、が大陸棚縁辺部に添って45 kmの長さで帯状に見いだされたことを報告している。

パッチ状分布の周期性については、Platt et al.(1972)が10 mから1000 mのスケールの範囲のクロロフィルのスペクトル解析を行なった結果から海流の乱流スペクトルと全く一致していることを示し、パッチ状分布の形成に海流の作用の大きいことを指

表 16 KII-79-4 次航海における三方向MTD曳網による生物沈澱量  
の分布密度 (c m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)。

Station Depth	8			9		
	A	B	C	A	B	C
0 m	0.639	0.729	0.955	0.089	0.021	0.059
10	0.305	0.369	0.561	0.048	0.028	0.026
25	0.539	0.688	0.672	0.118	0.123	0.227
50	-	0.413	0.732	0.075	0.082	0.087
75	0.336	0.318	0.293	0.162	0.128	0.239
100	-	0.077	0.118	0.055	0.092	0.144
125	0.114	0.289	0.080	0.089	0.061	0.037
150	-	0.091	0.080	0.071	0.066	0.110
200	0.074	0.055	0.097	0.063	0.063	0.074
Total	2.007	3.029	3.588	0.770	0.664	1.003

表 17 KH-79-4 次航海における三方向MTD曳網による浮遊卵の分布個体数。

Station Depth	8			9		
	A	B	C	A	B	C
0 m	120	117	170	49	8	0
10	111	53	120	321	9	12
25	41	46	107	12	40	34
50	-	61	90	4	15	0
75	23	42	34	12	0	27
100	-	22	59	26	9	30
125	49	46	25	24	32	5
150	-	29	19	22	7	8
200	6	9	14	4	36	7
Total	350	425	638	474	156	123

表 18 KII-79-4 次航海における三方向MTD曳網による稚仔の分布個体数。

Station Depth	8			9		
	A	B	C	A	B	C
0 m	72	21	40	49	53	17
10	20	20	39	73	97	84
25	4	25	23	77	64	76
50	-	34	97	17	119	49
75	62	38	6	8	4	38
100	-	43	37	7	35	8
125	38	76	32	20	26	5
150	-	24	10	4	0	24
200	6	17	4	8	12	0
Total	202	298	288	263	410	301

表 19 三方向曳網における各辺同士の Pianka の Niche overlap 指数。

		EGG	LARVA
Station	A-B	0.8432	0.5921
	8 B-C	0.9454	0.7428
	C-A	0.8656	0.7186
	A-B	0.9616	0.6272
	9 B-C	0.9792	0.5260
	C-A	0.9614	0.4348
Average		0.9261	0.6069

摘している。また、Ozmidov(1965) は乱流のエネルギースペクトルを解析して、特定の波長領域にエネルギーの集中することをみだし、海水の渦構造によく出現する波長領域 (10 m, 数 km, 1000 km) が存在することを指摘した。海水の動きに左右されて分布する浮遊卵稚仔等のプランクトンもこの海洋構造に大きく影響されていると考えられる。

KT-79- 3次航海において観測されたパッチ状分布もこの数Km程度のスケールにほぼ一致しており方向性も存在したことから、物理的要因の影響を強く受けて形成されていたものと考えられた。

MTDネットによる三方向曳網の解析の結果から稚仔が浮遊卵よりも均一に採集されていることが判明した。遊泳力をもたない浮遊卵は方向による分布の相違のままに採集されることにより大きく変化した。稚仔については、遊泳力の存在により比較的自由に分布を変化させていること、Net avoidance の影響などにより若干方向性が弱くなったと推定された。

## 2章 浮遊卵稚仔の垂直分布構造

海洋に生息する各種の生物は、ある程度の幅をもちながらもその種に固有の生息深度を持っている。しかし、海産魚の多くは生活史の初期において、一時期浮遊生活期を送るため、様々な適応形態をみせつつその種の成魚に固有の生息深度と異なる特有の垂直分布構造を海洋構造と対応させて形成する。Coombs(1981)はScomberの類の卵の比重が成長するにつれて上昇すること、近藤(1966)はカタクチイワシの浮遊卵期から成魚期までの生息深度が変化することを明らかにしている。

浮遊卵稚仔のパッチ状分布は収束現象の卓越する表層において顕著であるが、その下層においてどのような微細分布構造を形成しているか従来の報告にはみるべきものがない。また、パッチ状分布構造は表層のみに形成されるのではなく、水温躍層、塩分躍層等の物理的要因により垂直方向にも存在することが考えられる。また、多くの研究報告により各種動・植物プランクトンが日周垂直移動を行なうことが明らかになってきた。また、Enright(1977)、Iwasa(1982)は、浮遊卵稚仔の日周垂直移動のタイミングによって、餌生物との遭遇率が大きく変化することを報告している。摂餌・被捕食に関してこれらの動・植物プランクトンとの遭遇について検討を加えるためには、浮遊卵稚仔の垂直分布構造について調査を行なうことが必要である。

### 2-1) 同一水塊追跡各層連続曳網採集による浮遊卵稚仔の垂直分布構造

Ahlstrom(1958)は、カリフォルニア沖のマイワシ等の浮遊卵稚仔の垂直分布構造を調査し、浮遊卵稚仔の多くは水温躍層の上部にある混合層に多く分布するが、しかし、種によっておよび観測毎に分布構造を大きく変化させていることを明らかにしている。また、多くの研究報告により各種動・植物プランクトンが日周垂直移動を行なうことが知られている。なかでも、Enright & Honegger(1977)らは、動・植物プランクトンの日周垂直移動が浮遊卵稚仔の生き残り戦略に重要な要因であることを指摘している。摂餌あるいは被捕食に関してこれらの動・植物プランクトンとの遭遇について検討を



行なうためには垂直方向における浮遊卵稚仔の分布構造を動的に把握することが求められる。そのために、本節においては、同一水塊を追跡して連続的に各層曳網を行なうことにより浮遊卵稚仔の垂直分布構造を明らかにし、また、日周垂直移動についての知見を得ることを目的とした。

## 材料と方法

この調査はKT-75-9次航海において7月18日17:40から20日11:06にかけて遠州灘沖で、図58に示すレーダーブイ漂流体を投入しこれを追跡しながら連続的にMTDネットによる各層曳網を行なったものである。表20に曳網時間、位置を示した。図59に曳網地点、方向を示した。曳網地点群はレーダーブイの軌跡上にある。曳網層は、0, 10, 25, 50 mであり、曳網時間は30分、曳網速度は2ノットとした。垂直水温構造を知るためにBTによる観測をMTD曳網地点において行なった。採集サンプルは5%中性海水ホルマリンで固定した後、研究室に持ち帰り生物沈澱量を測定後、浮遊卵稚仔および各種動・植物プランクトンの種の同定、計数を行なった。濾水量によって分布密度を計算した。

## 結果と考察

MTDネットの曳網地点を示した図59から遠州灘沖に反時計回りの流れが存在していたことが認められた。表21の上部、中部、および下部に各点、各層の生物沈澱量、浮遊卵、および稚仔の分布密度を示した。この表から生物沈澱量、浮遊卵、稚仔の垂直分布構造には、水塊の移動に伴って生じたとみられる動・植物プランクトンの分布密度の変化は特に認められなかった。

次に、図60に各曳網を昼と夜に区別して生物沈澱量、浮遊卵、および稚仔の垂直分布構造について示した。その結果、生物沈澱量には10-25 mにかけて高分布密度

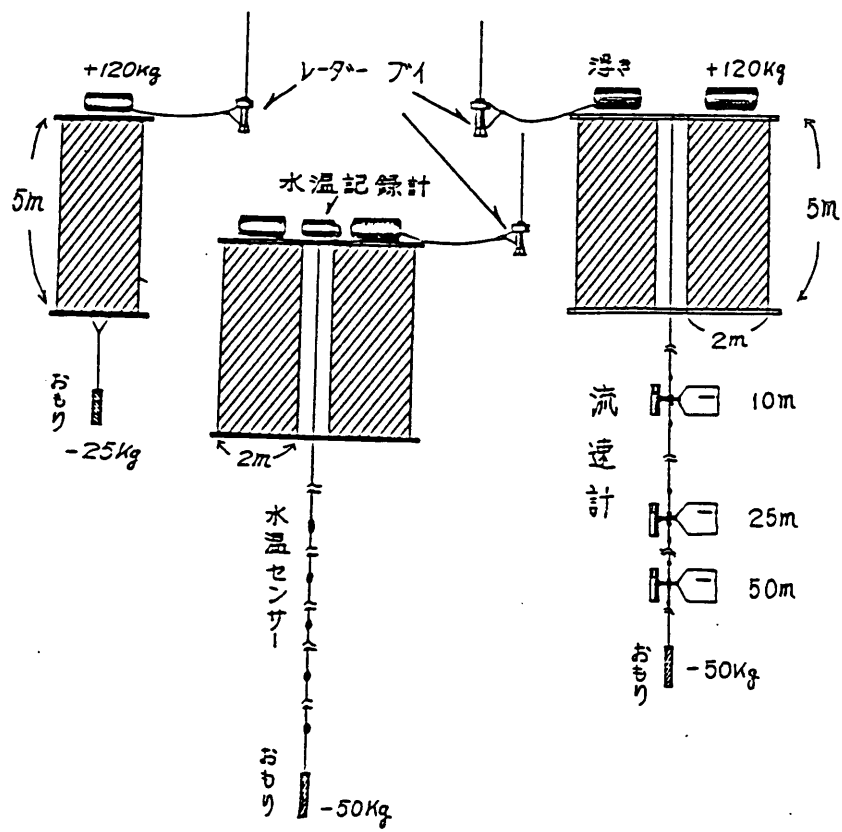


図 58 水塊追跡に使用したレーザーファイの概観図。

表 20 KT-75-9 次航海におけるMTDネット曳網日時。

日時		位置
1	1975/7/18 17:40	34°22'5"N 137°56'6"E
2	20:00	34°23'4" 137°58'0"
3	19 0:00	34°22'8" 137°57'7"
4	4:10	34°21'4" 137°49'2"
5	9:50	34°17'7" 137°43'2"
6	12:30	34°18'2" 137°42'3"
7	17:15	34°17'7" 137°39'8"
8	20 0:00	34°11'4" 137°37'2"
9	3:00	34°8'0" 137°35'1"
10	7:00	34°6'9" 137°37'2"
11	11:06	34°3'6" 137°37'7"

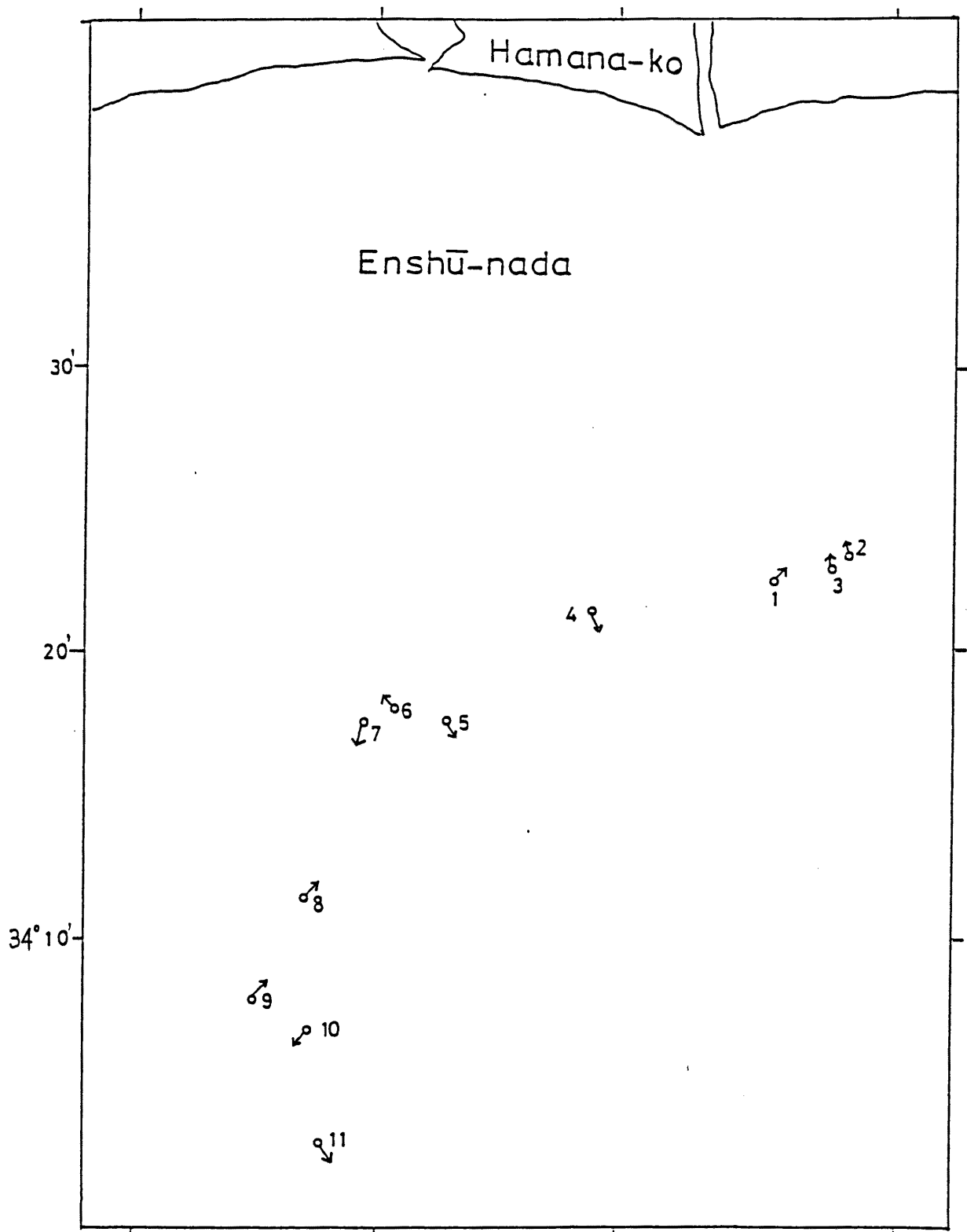


図 59 MTDの曳網地点および曳網方向。

表 21 KT-75-9 次航海におけるMTDネットによる生物沈澱量、浮遊卵、および稚仔の分布密度。

STATION \ DEPTH	STATION											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Settling Volume (cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	0 m	0.29	0.57	0.47	0.77	0.35	0.25	0.52	0.44	0.46	0.21	0.09
	10 m	1.03	0.68	1.04	0.90	0.77	0.92	1.33	0.91	1.59	1.26	0.99
	25 m	0.90	0.93	*	*	1.69	0.48	1.56	1.39	1.60	0.46	0.61
	50 m	0.05	0.26	0.36	0.18	0.76	0.46	0.55	0.27	0.22	0.41	0.50
TOTAL	2.27	2.44	1.87	1.85	3.57	2.11	3.96	3.01	3.87	2.34	2.19	

STATION \ DEPTH	STATION											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Eggs (No./m <sup>3</sup> )	0 m	0.10	0.16	0.11	0.36	0.25	0.19	0.07	0.11	0.11	0.75	1.09
	10 m	0.20	0.04	0.37	0.14	0.00	0.08	0.25	0.04	0.08	0.77	0.00
	25 m	0.38	0.10	*	*	0.25	0.05	0.00	0.04	0.00	0.61	0.00
	50 m	0.02	0.22	0.03	0.17	0.20	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
TOTAL	0.70	0.52	0.51	0.67	0.70	0.32	0.32	0.20	0.20	2.13	1.09	

STATION \ DEPTH	STATION											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Larvae (No./m <sup>3</sup> )	0 m	0.34	0.80	0.43	0.34	0.33	0.32	0.21	0.33	1.92	0.53	0.09
	10 m	1.05	1.69	1.59	4.87	0.38	0.25	0.33	0.19	1.29	0.81	1.57
	25 m	0.38	0.14	ψ	ψ	0.27	0.12	0.00	0.04	0.58	0.16	0.51
	50 m	0.00	0.00	0.03	0.05	0.14	0.20	0.01	0.03	0.00	0.12	0.00
TOTAL	1.77	2.63	2.05	5.26	1.12	0.89	0.55	0.59	3.79	1.62	2.17	

# D e n s i t y

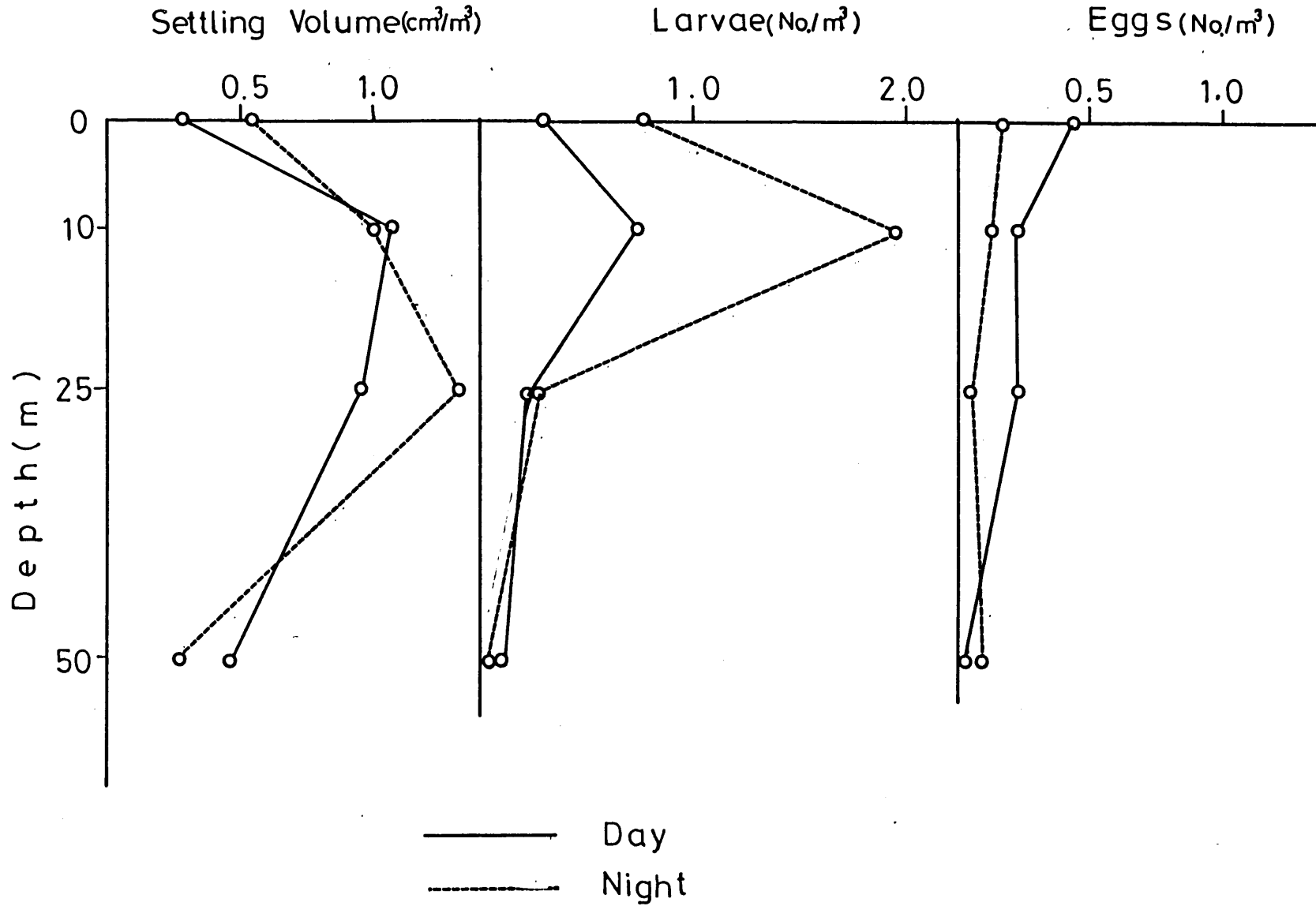


図 60 生物沈澱量、浮遊卵、および稚子の昼夜における分布の相違。

が認められた。この傾向は昼夜によって大きく変化しなかった。稚仔については多くの種について、10 m層に主分布域が見られ、また、特定の種を除いては25 m層以上に分布は限られていた。BT観測の結果から水温躍層が約25 m付近にみられ、稚仔の分布が水温躍層によって大きく制限されているものと考えられた。稚仔の分布密度は昼夜によって大きく変化するが、これは照度によって採集性能が変化したためと考えられた。浮遊卵の分布密度については、深度、昼夜ともに大きな変化はなく、若干、表層に多い程度であった。

今回の調査においては、日周垂直移動の存在についての知見は得られなかった。

## 2-2) 六連層ネットによる表層微細分布

従来、浮遊卵稚仔の分布量を調査する場合には海域を代表する測点において、垂直曳きあるいは傾斜曳きを行ない垂直方向の平均で表わすのが通常である。様々な制約により垂直曳きが行なえない場合には、表層曳きで代替されることが多いが、このような場合でも浮遊卵稚仔の分布に関する様々な知見が得られることが多い。通常行なわれる表層曳きにおいては、ネット口輪の上端が若干水面上に出るように曳網される。しかし、海洋の表層は、Hypo neustonなどの生物により微細なスケールで層別化されていることが知られている。一方、風波の影響により水面下において上下層の混合が行なわれていること、また、調査船の進行による表層水の攪乱があることなどから、表層採集における測定値が水面下のどの層までを代表しているか不明である。

また、垂直分布構造を把握するために通常行なわれる各層曳きにおいても、表層の次に設定される曳網層は通常 5-10 m 程度であり、表層から 5 m の間の風成対流渦層における微細な分布構造については考慮されていない。このようなことから、通常の各層曳きで把握され得ない層における浮遊卵稚仔の分布構造を知ることは表層曳網および各層曳網の信頼性を確認する上で重要なことと考えられる。

このような観点から、本節においては表層数メートル内における微細分布構造を調査することを目的とした。

### 材料と方法

表層における垂直方向の微細分布構造を調査するために様々な採集器が考案されている (Arlt(1973), Morioka(1981))。今回の調査では、図 6 1 に示すように、NORPAC ネット(GG54)を垂直方向に六個連結したものを使用した。上端に浮子、下端に錘を取りつけ、曳網時の安定性を図った。各ネットには濾水量推定のための流量計が取り付けられている。曳網索は、水塊を攪乱させないようになるべく細い直径 (2 mm) のステン



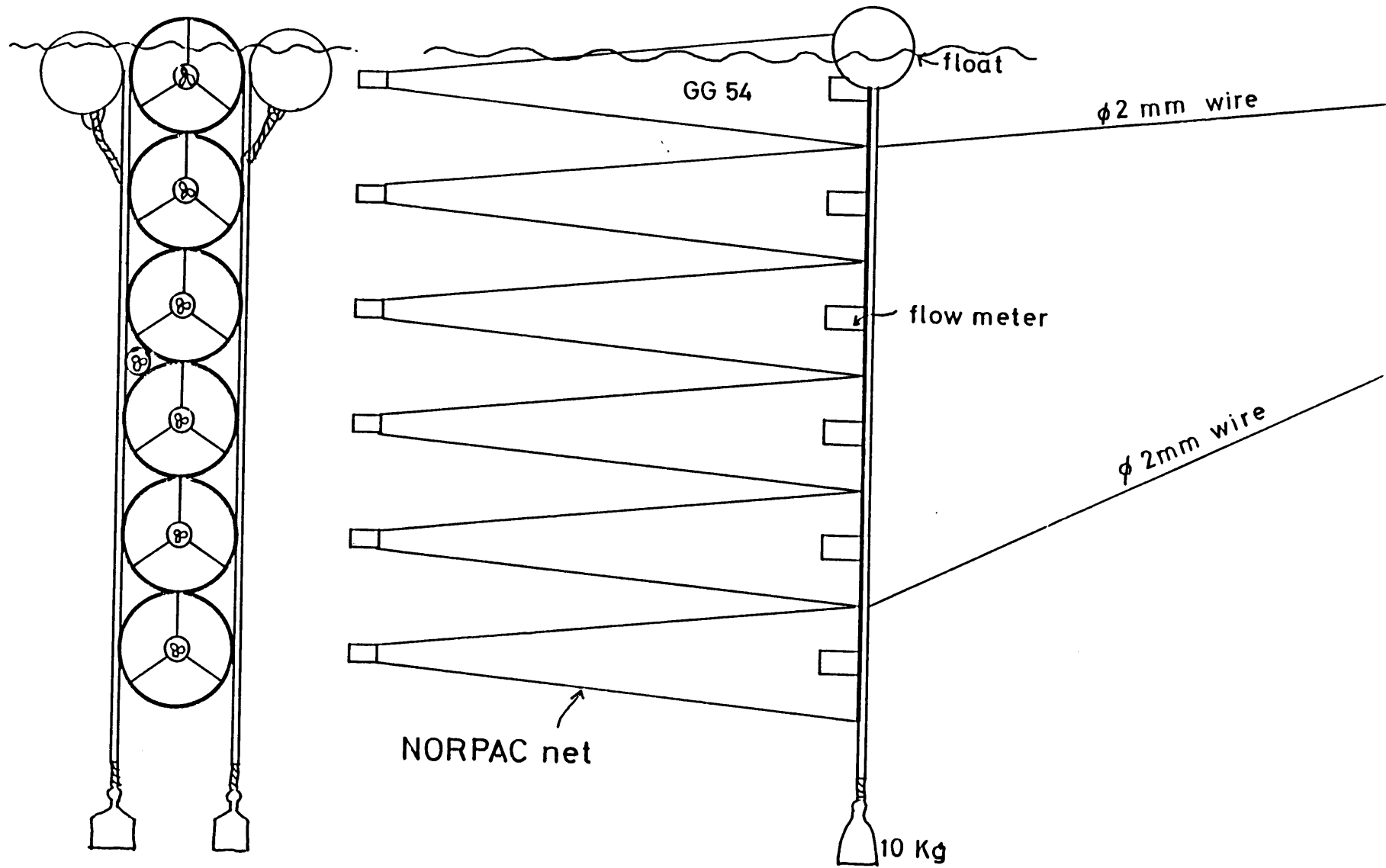


図 61 六連層ネットの構造図。

レスワイヤーを使用した。船の進行波による攪乱を避けるため舷側から4 mのブームを張り出しその先端から曳網した。図6 2に曳網時の写真を示す。

調査日時、場所、海況等のデータを表2 2に示した。

## 結果

### 1. 浮遊卵稚仔の表層微細分布構造

図6 3に生物沈澱量の採集結果を示す。この図から明らかなように生物沈澱量の分布にはとくに偏った分布はみられなかった。図6 4に浮遊卵の分布を示す。浮遊卵の分布は明らかに0-35 cmの表層に偏って高密度に分布していた。稚仔の採集結果を図6 5に示した。マアジ稚仔には特定の分布傾向は認められなかったが、カタクチイワシ稚仔については若干下の層に多い傾向が存在した。

### 2. 海況による垂直分布構造の変化

海況別の集計結果を図6 6に示した。海況の悪いときには浮遊卵は上層および下層にかなり平均して分布しており、波浪による上下の混合が行なわれていると考えられた。一方、稚仔については海況の変化によってそれほどの影響を受けておらず、稚仔自身の深度保持機構が作用しているものと考えられた。

## 考察

Zaitsev(1964)により、NeustonあるいはHypo neuston等の生物分類群が提唱されており、海洋表層における微細な垂直分布構造には種特有の分布層が存在することが知られている。それらには、海水の物理的作用による場合、生物自身の保持作用による場合がある。浮遊卵の分布層は明らかに表層に偏った分布を示すが卵自身の浮遊力に起因しているものと考えられるが、その浮遊力は小さく、海況の条件如何では容易

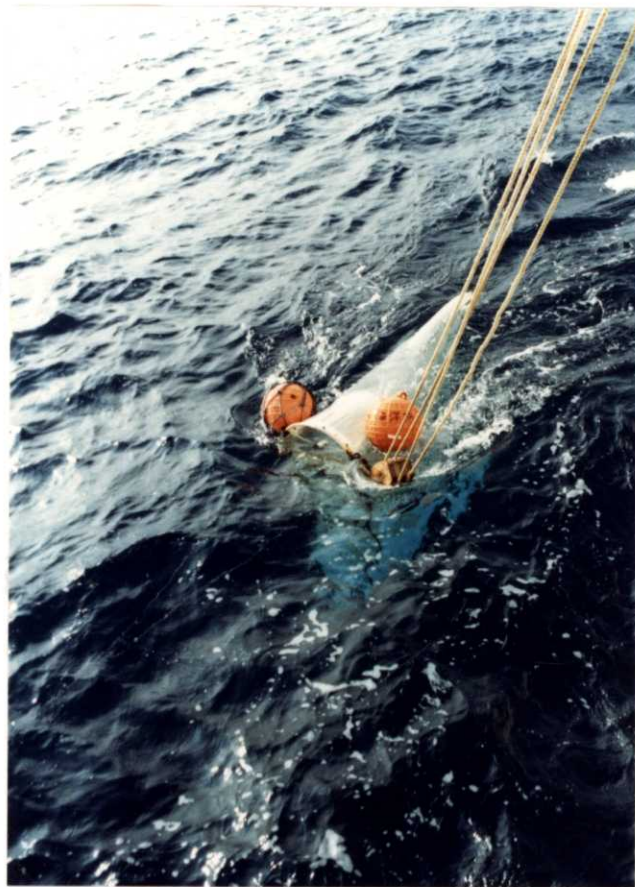


図 6 2 六連層ネット曳網時の写真。

表 2 2 海流横断観測日時および位置。

航海名	測点名	年月日	時刻	位置	
KH-77-2	1	1977/ 7/ 6	20:12	34° 50' 8" N	140° 2' 1" E
	2		10:25	34° 38' 9"	140° 28' 1"
	3		20:27	34° 22' 3"	140° 40' 09"
	4	8	6: 4	34° 7' 3"	140° 59' 1"
	5		16:25	33° 53' 8"	141° 17' 4"
	7	9	5:35	33° 27' 2"	141° 53' 2"
	9		20:54	33° 3' 1"	142° 31' 2"
	55	21	16:50	28° 46' 2"	128° 17' 5"
	56	22	1:25	28° 59' 4"	127° 57' 3"
	57		14:40	29° 16' 1"	127° 38' 6"
	58		19:58	29° 24' 9"	127° 17' 0"
	59	23	0:40	29° 39' 1"	126° 58' 9"
	60		5:34	29° 48' 7"	126° 46' 4"
KH-79-4	4	1979/ 9/ 8	10:18	5° 2' 1" N	156° 9' 9" E
	4-1		22:00	3° 29' 6"	156° 43' 3"
	4-2	9	11:35	1° 57' 7"	157° 13' 0"
	5	10	4:29	0° 0' 6"	158° 2' 5"
	5-1		19:55	1° 40' 2" S	158° 38' 6"
	5-2	11	6:59	3° 19' 1"	159° 19' 0"
		6		16:18	5° 0' 3"
KH-84-2	1PN1	1984/ 7/ 2	3:17	29° 1' 1" N	126° 1' 3" E
	1PN2		10:58	28° 35' 6"	126° 37' 7"
	1PN3		14:30	28° 26' 2"	126° 56' 5"
	1PN4		20:40	28° 15' 1"	127° 13' 0"
	1PN5	3	3:23	27° 54' 4"	127° 38' 7"
	2PN5	4	15:03	27° 53' 5"	127° 42' 6"
	2PN4	5	16:39	28° 14' 2"	127° 12' 6"
	2PN3		20:32	28° 24' 2"	126° 54' 9"
	2PN2	6	0:40	28° 35' 5"	126° 36' 3"
	2PN1		8:00	29° 0' 2"	126° 0' 3"

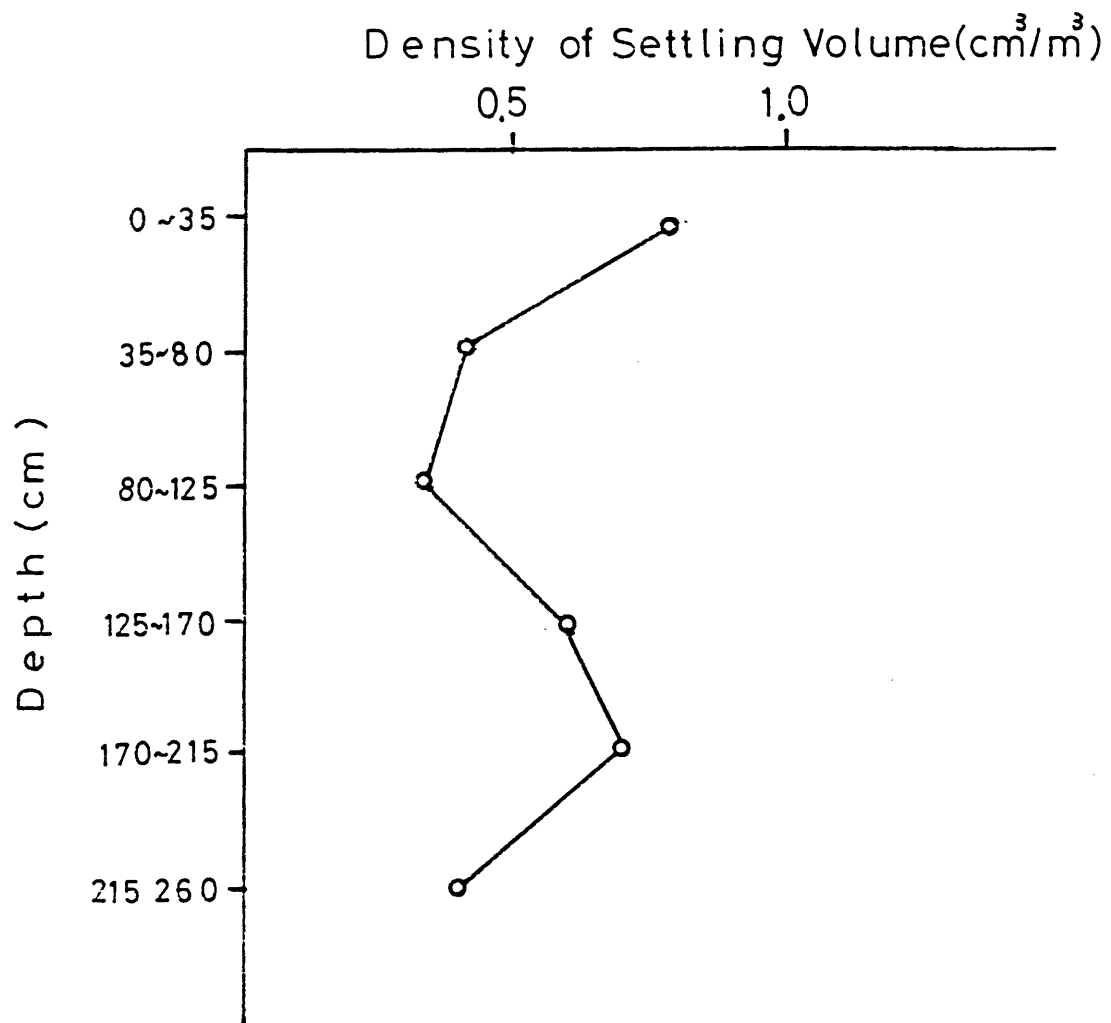


図 6 3 生物沈澱量の表層における微細分布構造。

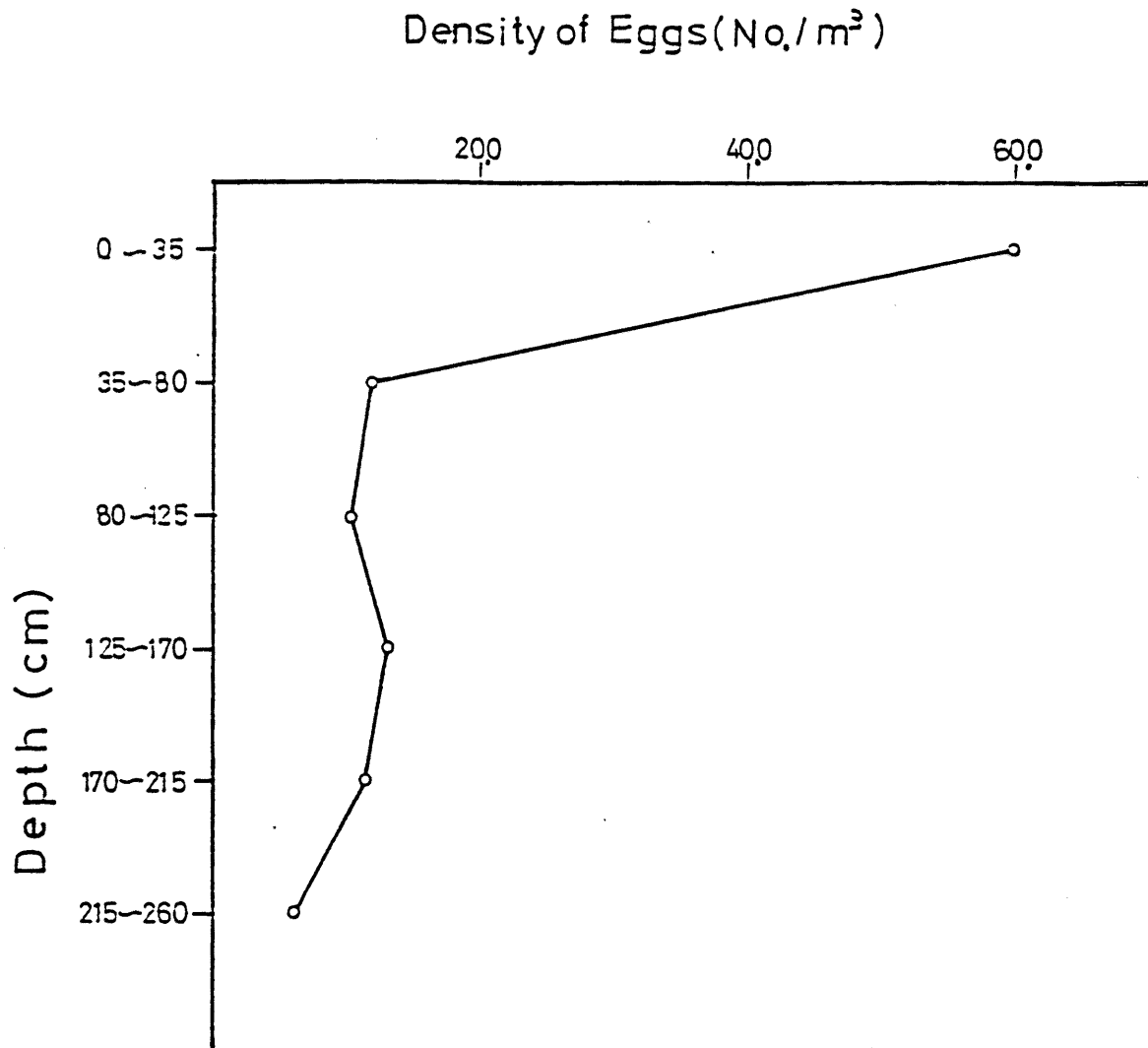


図 6 4 浮遊卵の表層における微細分布構造。

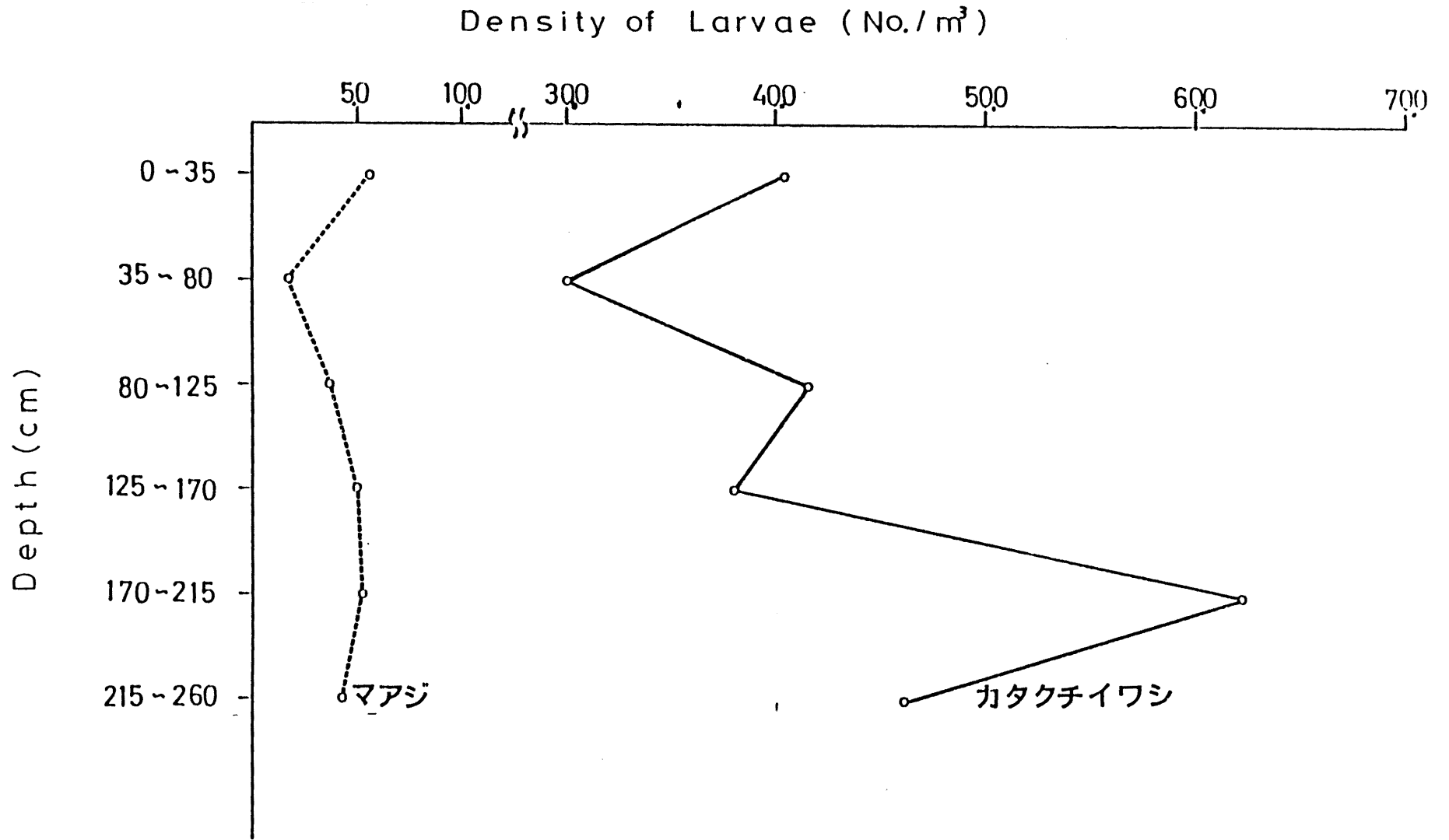


図 65 カタクチイワシ、マアジ稚仔の表層における微細分布構造。

D e n s i t y ( N o . / m <sup>3</sup> )

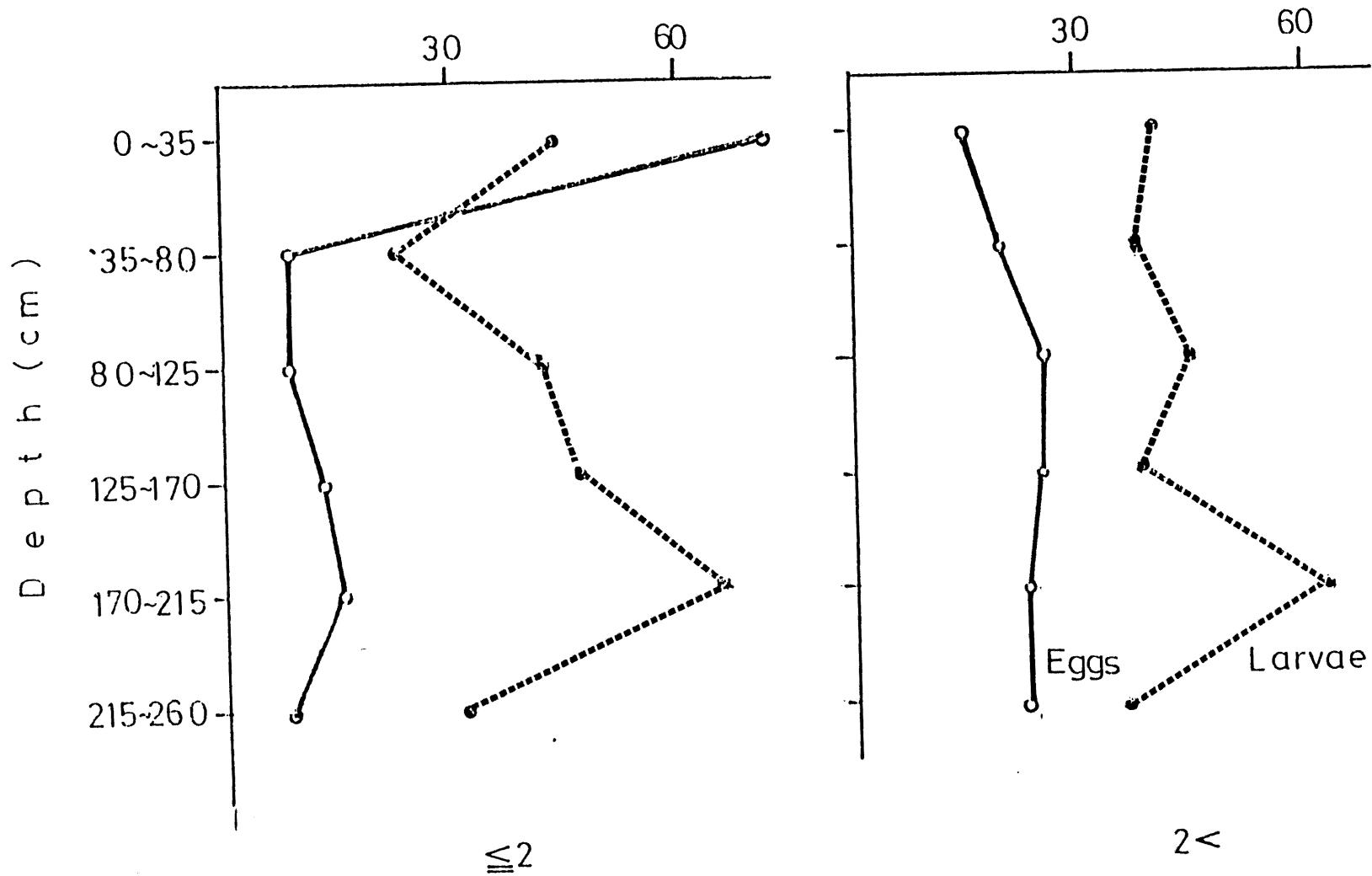


図 6 6 海況による垂直微細分布の変化。左図は海況 2 以下、右図は海況 3 以上の  
の場合を集計した。



に下層にも分布する。稚仔については、種によりその分布層は異なるようであるが、海況による変動が少ないことからある程度強い保持作用が存在するものと思われる。生物沈澱量については、どの場合にも特有の分布層を持たなかったが、これは種々の動物・植物プランクトンが分布することによって種毎に特有の分布層が平均化されたことによると考えられた。

今回の調査結果から、浮遊卵・生物沈澱量に関しては調査海域における水平分布密度を表層曳網によって代表することは同じ海況である場合には可能であると考えられた。しかし、稚仔の表層における水平分布密度を推定する場合には種によっては注意を払わなければならない。しかし、相対的な水平分布を推定することは可能であり、また、稚仔の特定層への保持能力が浮遊卵に比較して存在することから海況による影響を受けることは少ないと考えられた。

### 2-3) パッチ状分布の垂直構造

表層での連続採集において顕著に認められるパッチ状分布の下層における垂直構造を明らかにすることを目的とした。そのため、最初に設定した測線での表層採集によってパッチ状分布の認められる水域を判定し、その後、その水域を横断する測線上にあらたに各層曳網測点を設定して調査を行なった。すなわち、表層において認められた高密度分布が下層のどこにまで及んでいるのか、パッチ状分布の中心から離れるにつれて下層における分布構造がどのように変化するかを調査した。このことは、パッチ状分布の正確な把握、パッチ状分布の形成要因の推定、さらに、パッチ状分布の全体の分布量の推定を行なうためにも必要なことである。

#### 材料と方法

調査は東京湾・磯子沖において小型モーターボート（FRP製6m、165HP）によって、満潮時(13:29)を選んで、1984年5月25日の13:00より行なった。航走連続採集器によりあらかじめ表層におけるパッチの水平分布を航走連続採集測線において把握した後、パッチの中心から低密度域へとあらたに垂直分布調査測点を設定し、各層曳網を行なった。航走連続採集測線は東京湾中ノ瀬上において灯標を目標として設定した。航走速度は、約30 km/hourであり、1測線は約15-20分で横断した。

図67に調査測線およびコノシロ浮遊卵の表層における分布図を示した。磯子沖においてコノシロ浮遊卵のパッチ状分布を確認後、測点A, B, Cをあらたに設定し、各層曳網を行なった。採集ネットはNORPACネット（GG54、流量計付き）4つをロープに傾角を考慮して所定の深度になるよう取り付けすみやかに沈めた。曳網中の傾角は、約60度に保つようにした。船速は1.5-2ノットと推定された。曳網時間は5分間とした。採集されたサンプルは5%中性海水ホルマリンで固定し研究室に持ち帰り、生物沈澱量を測定後、発生ステージ別のコノシロ浮遊卵の分布密度を計算した。

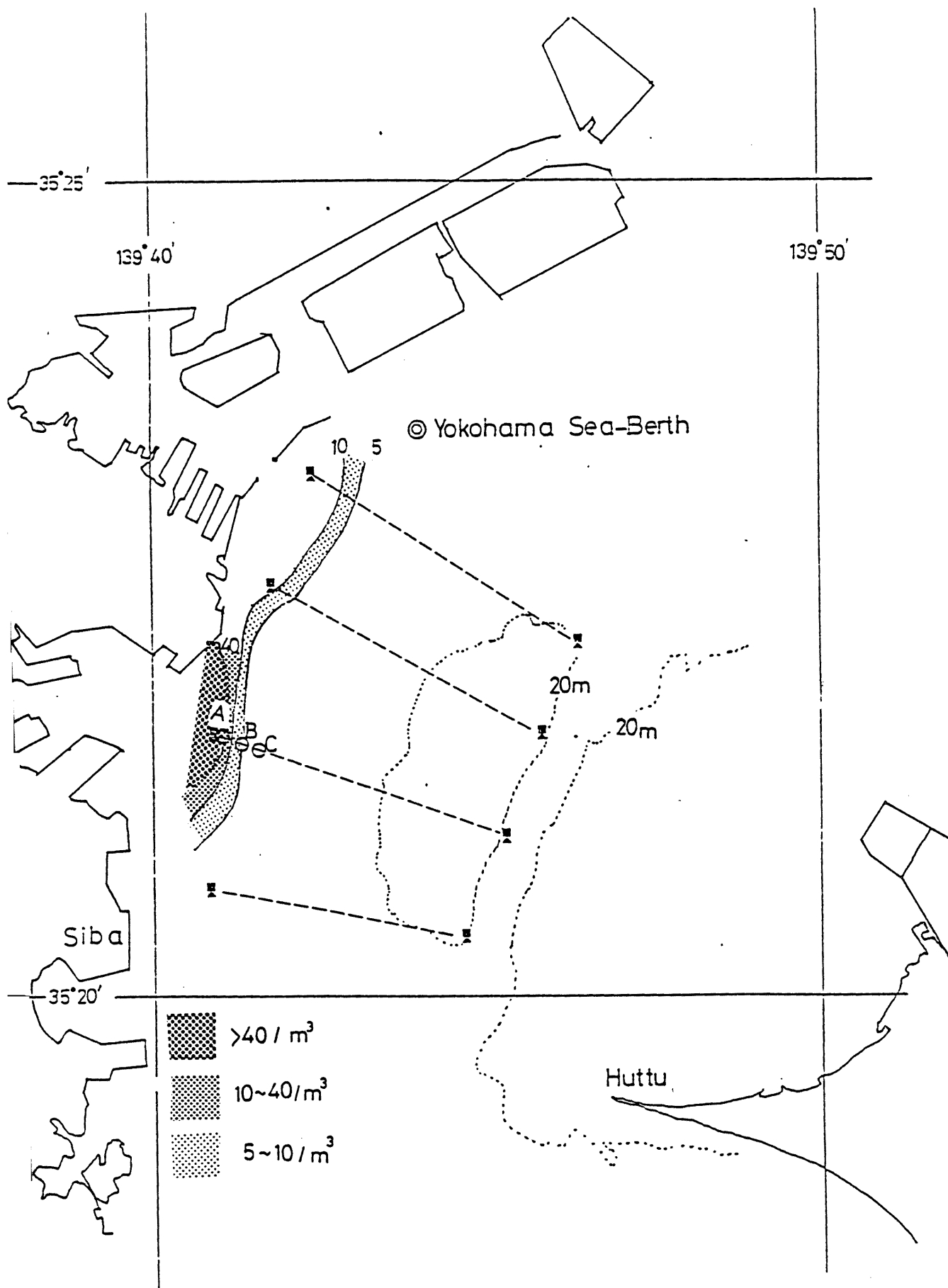


図 67 東京湾表層における航走連続採集測線およびコノシロ浮遊卵の分布図。

## 結果と考察

図68にコノシロ浮遊卵のパッチの確認された水域の測点A, B, Cにおける生物沈澱量の垂直分布構造を示した。生物沈澱量については、とくに層別の分布の差は存在しなかった。図69にコノシロ浮遊卵についての結果を示した。実線は中期卵、点線は後期卵を示す。測点Aにおいては、中期卵、後期卵ともに採集されたが、測点B、Cにおいては中期卵のみであった。パッチの中心水域においては分布が20 m付近にまで認められるが、測点Bにおいては5 mまで、測点Cにおいては表層のみに低密度で分布するのみであった。比重の大きい後期卵は表層と下層との間の分布密度の差が少なかった。また、パッチの中心水域から離れるにつれて表層に偏って分布する傾向が認められた。

このことは、パッチの中心水域に沈降流を想定することにより説明することができる。すなわち、調査は満潮時にかけて行なわれており、測点A, B, Cには湾外からの流入水と岸寄りの湾内水との間に渦流が存在し沈降流が生じ、比重の重い後期卵は容易に沈降流に付随して下層にまで達し沈降流に保持され、一方、浮遊力の比較的強い中期卵は表層にとどまり、さらに流入水の動きに付随して分布域を拡大していたものと考えられた。

この現象は物理的要因により形成されるパッチ状分布全体にあてはめられるものと考えられた。

Density of Settling Volume ( $\text{cm}^3 / \text{m}^3$ )

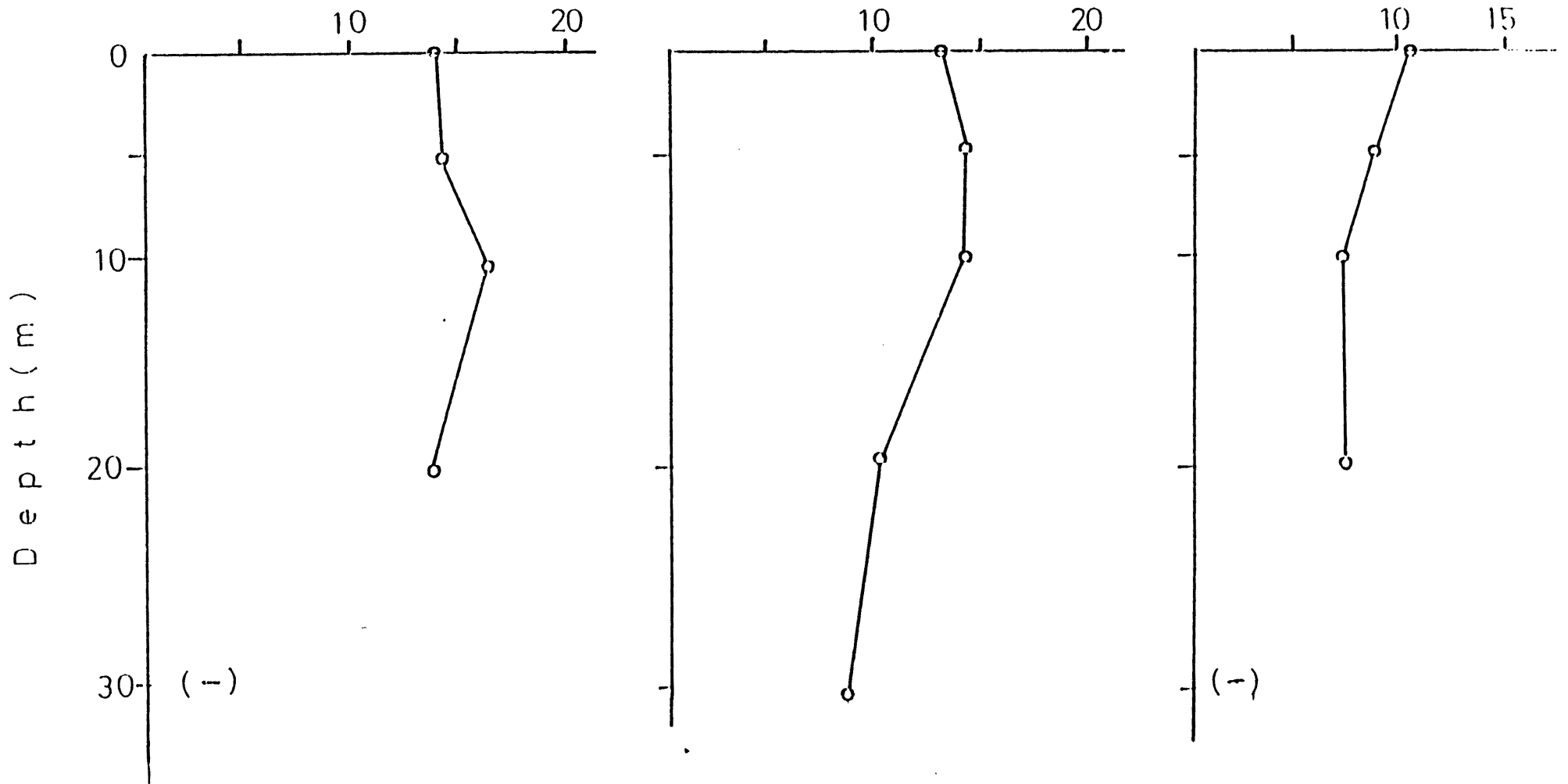


図 68 コノシロ浮遊卵パッチ状分布地点における生物沈澱量の垂直分布図。

(-) は曳網していない。

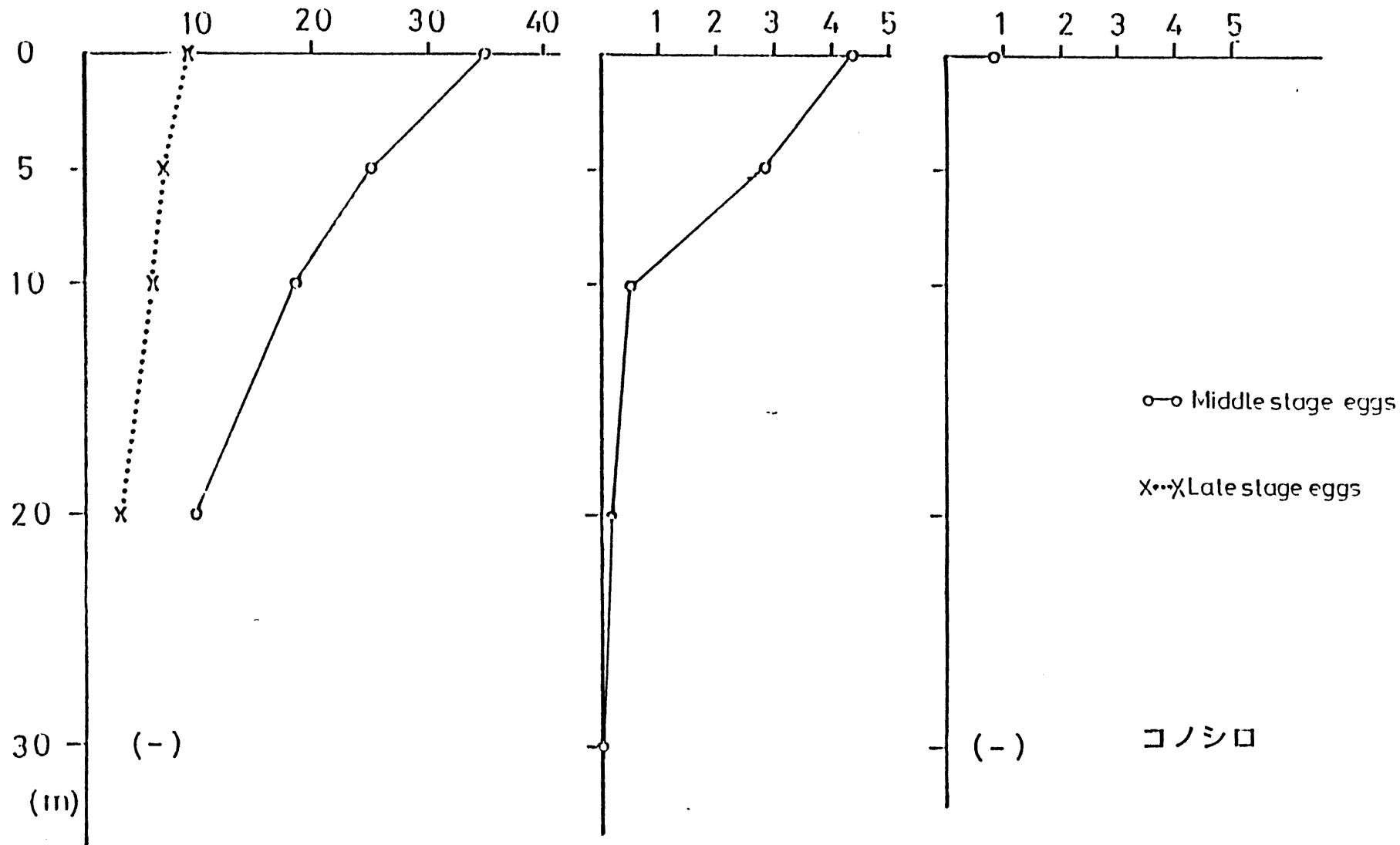


図 6.9 コノシロ浮遊卵パッチ状分布地点における垂直分布図。

(-) は曳網していない。

### 3章 海流構造内における浮遊卵稚仔等の分布構造

#### 3-1) 海流横断面における浮遊卵稚仔の分布構造

遊泳力を欠き、または、乏しい浮遊卵稚仔の分布構造は親魚の産卵形態ならびに放卵後の海流の動きに大きく影響を受けている。特に、沖合域において産卵の行なわれる多くの回遊性魚類にとって、浮遊卵稚仔の産卵域からの海流内への取り込み機構ならびに海流による輸送、そして海流よりの離脱・沿岸への移入等は海産魚初期生活期における生き残りに大きな影響を与えていると考えられる（平野(1965), Hirano & Fujimoto(1965)）。これらの現象を明らかにするためには、海流横断面における浮遊卵稚仔の分布構造を調査し海洋構造との関連から検討することが必要と考えられる。本章においては、赤道海流、黒潮（源流域および房総沖）の横断観測の結果について述べる。

#### 材料と方法

図70にKH-77-2次航海、図71にKH-77-2およびKH-84-2次航海、図72にKH-79-4次航海でのMTDネットによる各層採集地点を示した。採集層は、0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200 mの10層である。同時にCTD等により1000 mまでの垂直水温・塩分構造の測定も行なった。採集日時は表22に示した。観測点は黒潮あるいは赤道海流を横断する測線上に設定されている。昼夜移動による垂直分布構造の変化を明らかにするためにKH-84-2次航海においては、一観測点において昼間（日の出から日没まで）と夜間（日没から日の出まで）の2回の曳網を実施するよう考慮した。採集サンプルは5%中性海水ホルマリンで固定し研究室に持ち帰った後、種の同定および計数を行なった。なお、KH-77-2次航海におけるサンプルは1/2分割サンプルである。

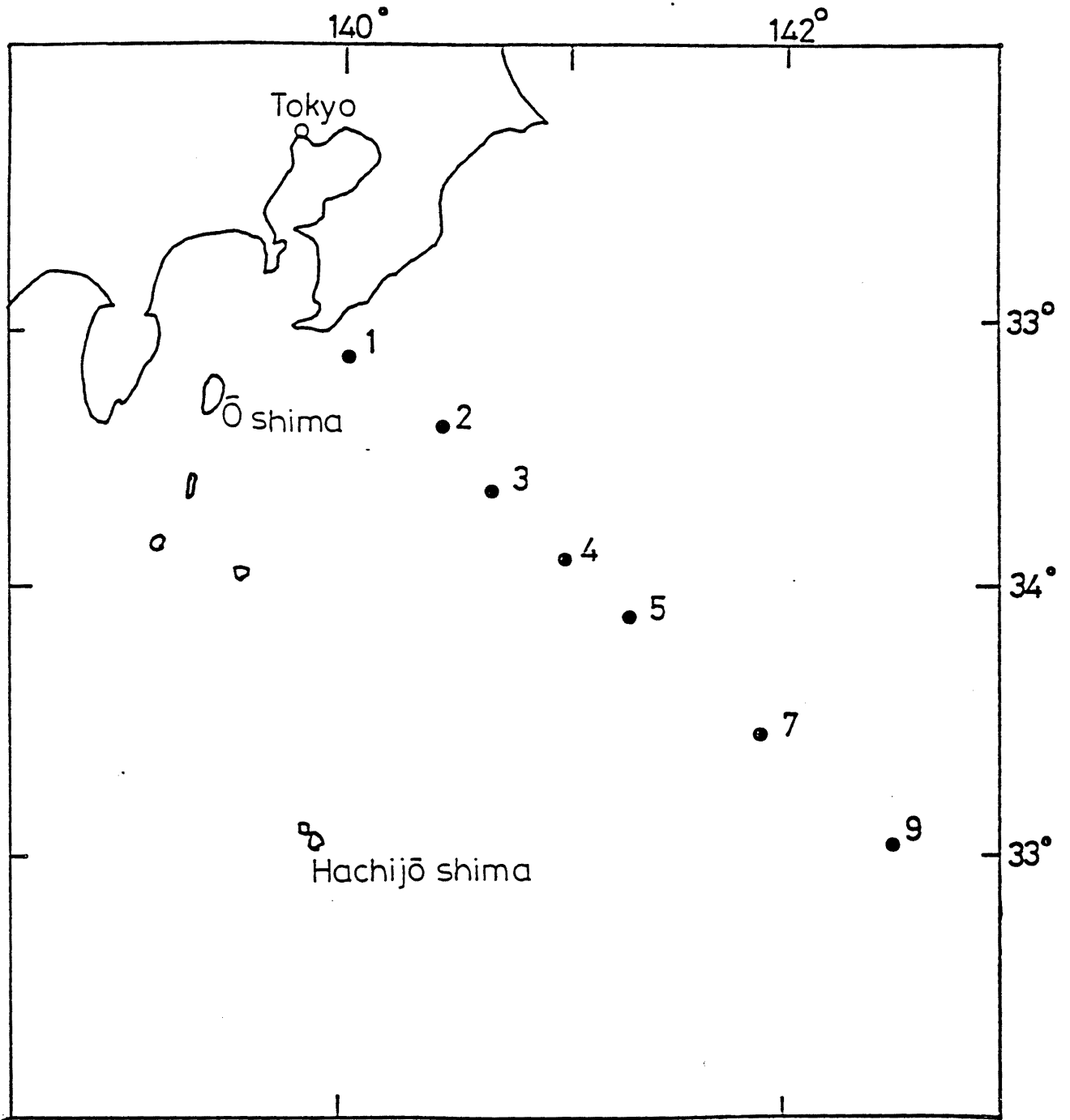


図 70 KH-77-2次航海における黒潮横断観測測線におけるMTD曳網地点。

黒潮流軸はSt. 2-3にかけて存在した。



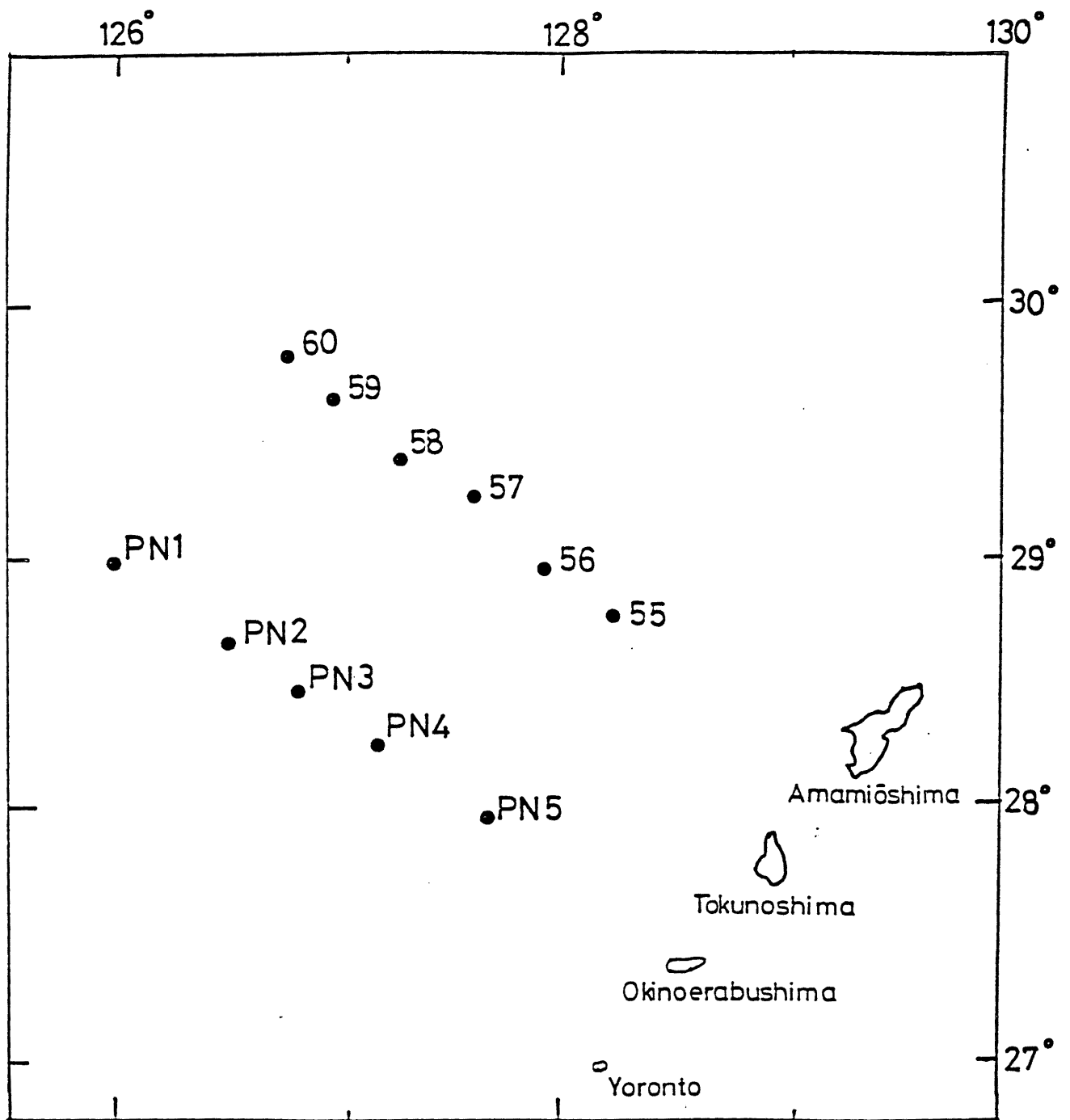


図 7 1 KH-77-2次航海 (St. 55-60), および KH-84-2次航海 (St. PN1-PN5) での黒潮横断観測測線におけるMTD曳網地点。黒潮流軸はそれぞれ St. 55-56 および St. PN2-PN3 にかけて存在した。

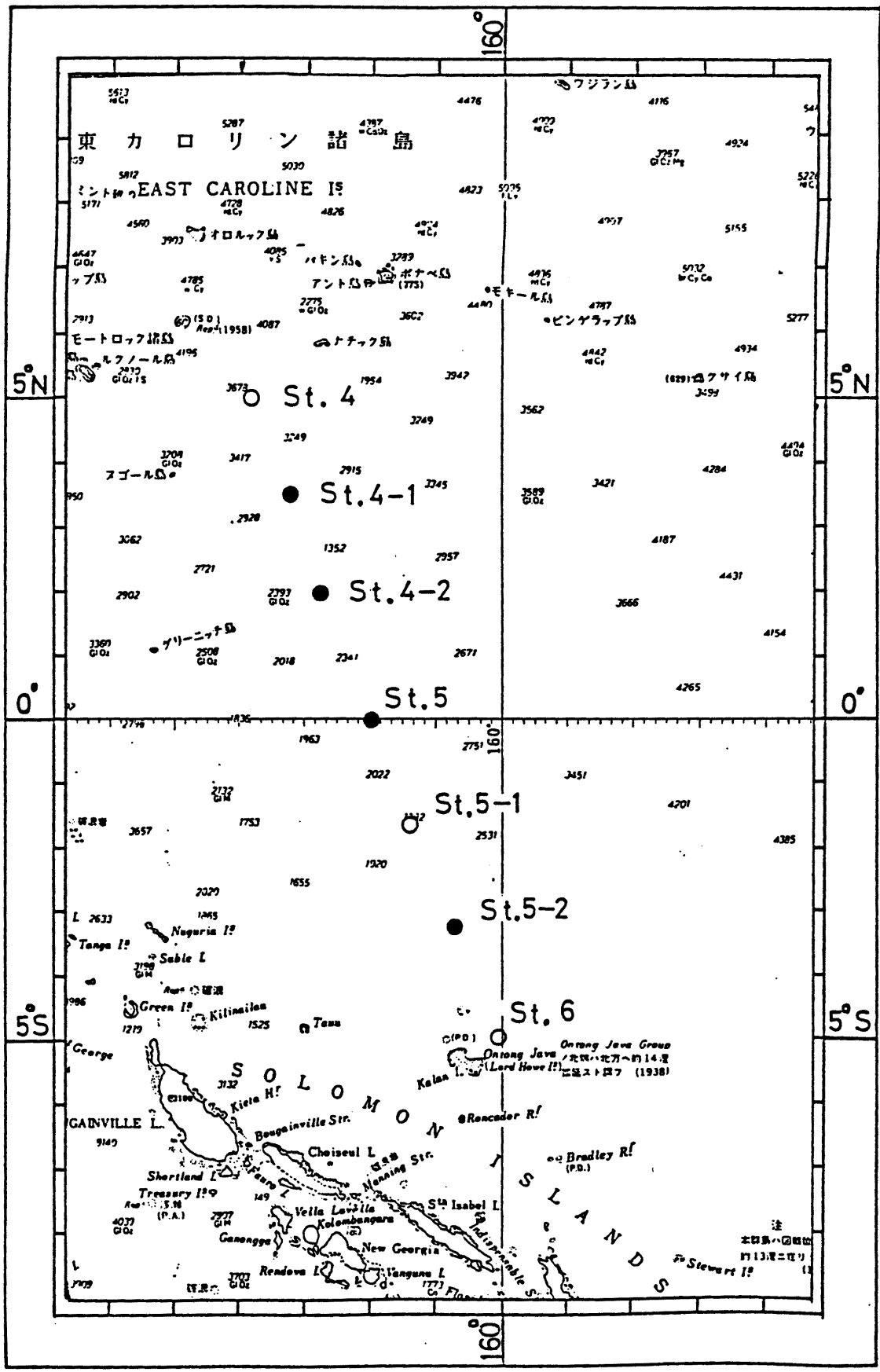


図 72 KH-79-4次航海における赤道海流横断観測測線およびMTD曳網地点。  
白丸は昼間曳網、黒丸は夜間曳網を示す。

## 1. 海洋構造の推定

KH-77-2 次航海におけるSt.1-9およびSt.55-60での水温の鉛直分布断面図をそれぞれ図73に示した。黒潮本流はそれぞれSt.2-3およびSt.55-56を通過していたと推定された。

図74にKH-79-4 次航海におけるSt.1-6における塩分の鉛直分布断面図を示した。赤道海流本流はSt.4およびSt.5を通過していた。同水域の水深100m付近にはクロムウエル反流が観測され、St.C-1にかけて北赤道海流の本流が観測された。

図75にKH-84-2 次航海における黒潮横断面における昼シリーズ（日の出－日没間）、夜シリーズ（日没－日の出間）の塩分の鉛直分布断面図をそれぞれ示した。1回目の観測では、黒潮本流はSt.PN3-PN4観測点にかけて通過していた。黒潮前線域がSt.PN2-PN3観測点にかけて形成されており、同水域の水深30m層付近に大陸棚系水と推定される低塩分水塊が認められた。この水域は大陸棚縁辺部に相当し黒潮がその縁辺部に添って北上し沿岸水域との間に大陸棚フロントが形成されていたと推定された。2回目の横断観測においては黒潮本流の潮汐周期とみられる波動現象により高塩分水塊の後退と100m層において大陸棚系水のくさび状侵入が観測された。

## 2. 生物沈澱量および浮遊卵稚仔の分布構造

表23にKH-77-2 次航海において採集された生物沈澱量、表24に全浮遊卵数、表25に稚仔数を示した。図76にSt.1-9における塩分と全浮遊卵の分布密度の鉛直断面図を、図77にSt.1-9における塩分と稚仔の分布密度の鉛直断面図を示した。図78にSt.55-60における全浮遊卵および全稚仔の分布密度の鉛直断面図を示した。

これらの図から、生物沈澱量については黒潮本流域よりも沿岸水域（St.1）あるいは黒潮海流外側域（St.5-9）の方が多傾向がみられた。また、フロント域においては生物沈澱量の変動が大きい傾向が認められた。水深100m以深においては生物沈澱量

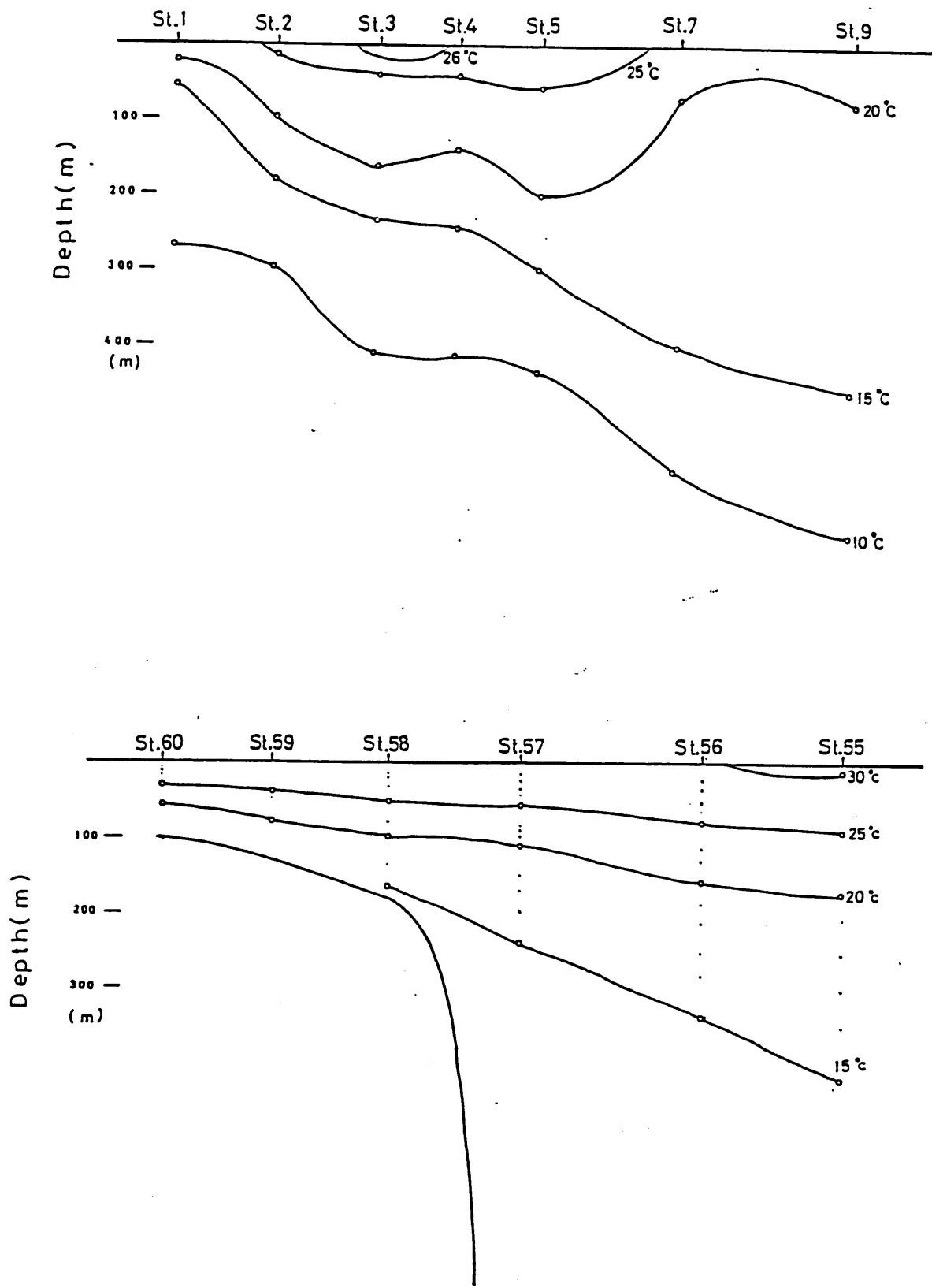


図 7 3 KH-77-2次航海・St.1-9およびSt.55-60における水温鉛直分布断面図。

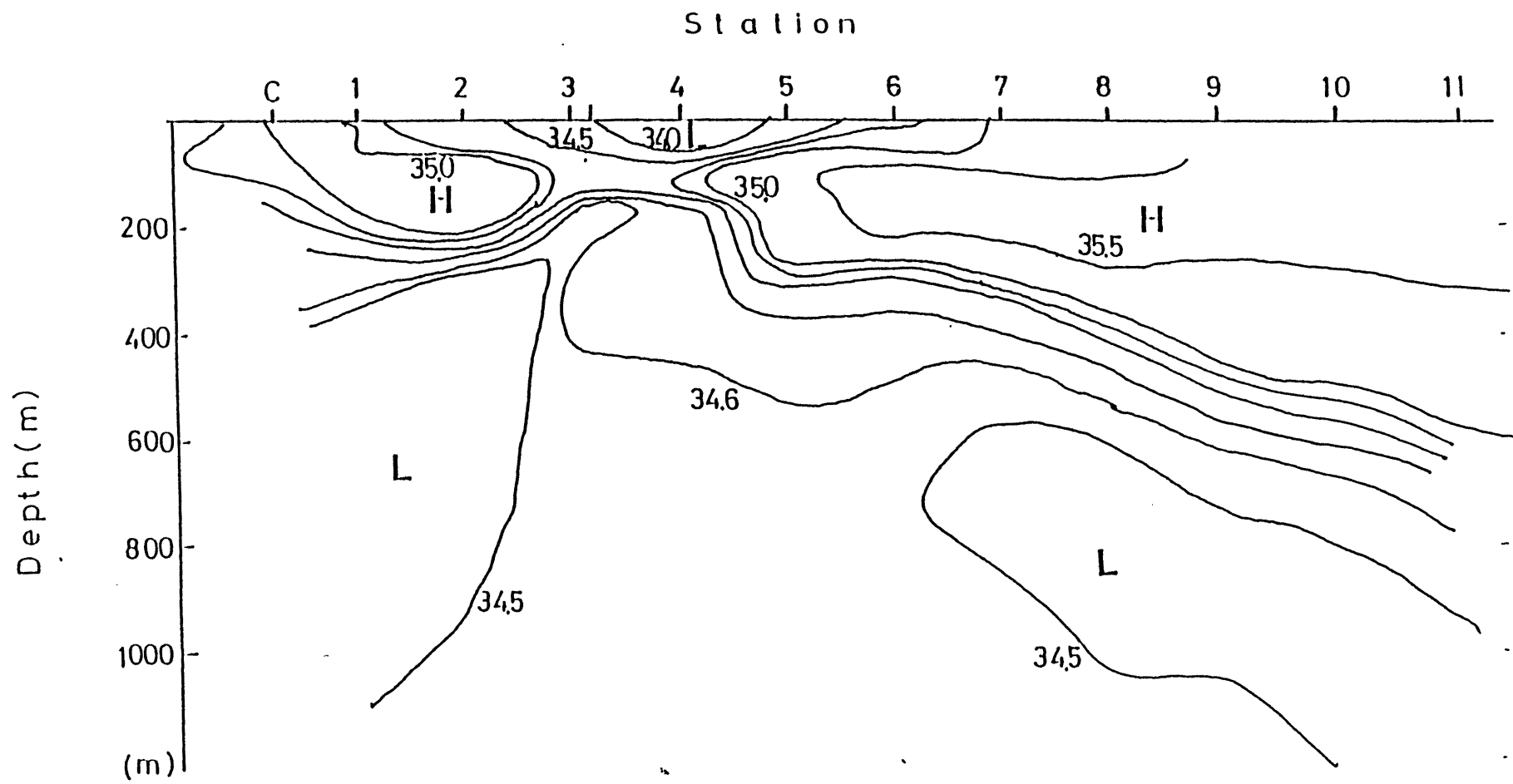


図 7 4 KII-79-4次航海・St.1-6における塩分鉛直分布断面図。

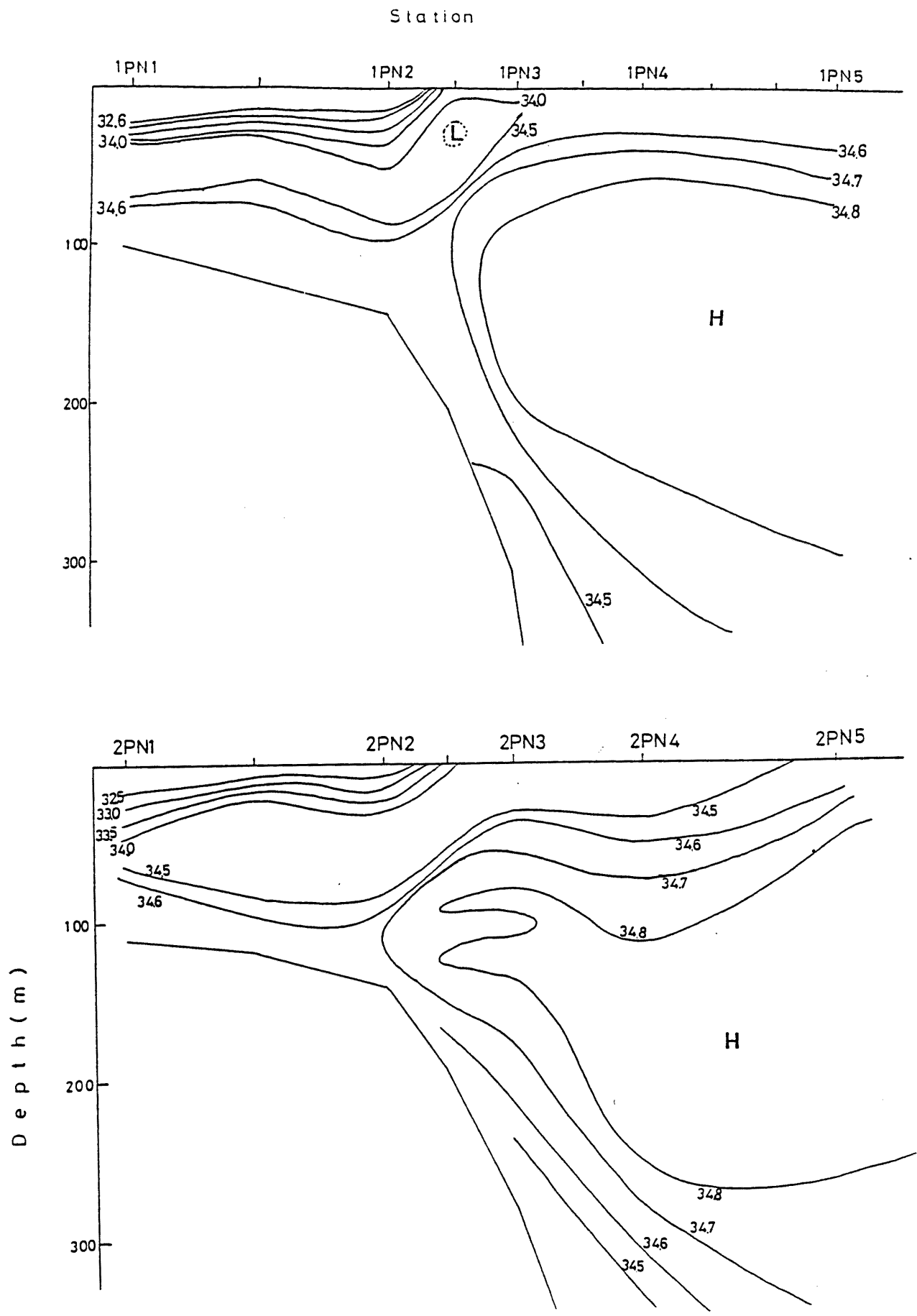


図 7 5 KH-84-2次航海黒潮横断観測測線における昼シリーズおよび夜シリーズの塩分鉛直分布断面図。

表 2 3 KH-77-2 次航海における生物沈澱量の分布密度 (c m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)。

STATION DEPTH	1	2	3	4	5	7	9
0 m	0.447	1.020	2.359	1.942	1.399	2.731	2.047
10 m	0.194	0.711	0.598	-	1.602	4.427	1.130
20 m	0.369	0.455	1.610	0.626	0.366	1.249	0.517
30 m	0.236	0.842	0.427	0.255	0.409	0.200	0.202
50 m	0.363	0.988	0.377	0.350	0.428	0.113	0.375
75 m	0.210	0.210	0.327	0.309	0.282	0.211	0.313
100 m	0.382	0.066	0.166	0.181	0.331	0.156	0.177
125 m	0.103	0.043	0.159	0.125	0.171	0.077	0.105
150 m	0.089	0.022	0.143	0.128	0.063	0.030	0.095
200 m	0.034	0.022	0.059	0.039	0.049	0.041	0.094

STATION DEPTH	60	59	58	57	56	55
0 m	0.748	1.221	2.485	0.883	0.741	1.053
10 m	1.177 (5 m)	0.929	2.365	0.316	0.376	0.635
20 m	1.553 (10 m)	2.030	-	0.557	0.274	0.472
30 m	1.010 (20 m)	1.277	0.759	0.508	0.220	0.471
50 m	0.323 (30 m)	0.446 (40 m)	0.806 (40 m)	0.951	0.261	0.218
75 m	0.935 (40 m)	0.410 (50 m)	0.264 (50 m)	-	0.118	0.138
100 m	1.365 (50 m)	0.194 (65 m)	0.331 (60 m)	0.217	0.126	0.130
125 m	0.243 (60 m)		0.356 (75 m)	0.183	0.069	0.170
150 m				0.393	0.074	0.074
200 m				0.011	0.041	0.047

表 24 KH-77-2 次航海における浮遊卵の分布個体数。

STATION DEPTH	1	2	3	4	5	7	9
0 m	3203	80	11	53	7	19	9
10 m	966	41	24	56	10	10	9
20 m	224	126	0	32	2	15	12
30 m	228	136	14	23	3	20	24
50 m	66	31	7	9	3	8	2
75 m	24	11	10	3	2	2	0
100 m	15	8	7	4	0	1	1
125 m	11	2	7	1	1	0	0
150 m	76	16	14	5	2	1	0
200 m	17	9	5	1	7	6	1
TOTAL	4830	460	99	187	37	82	58

	60	59	58	57	56	55
0 m	59	27	2	7	3	7
10 m	(5m) 51	24	3	1	13	9
20 m	(10m) 172	6	8	1	4	2
30 m	(20m) 4	4	6	4	2	20
50 m	(30m) 12 (40m) 31	(40m) 5	1	0	18	
75 m	(40m) 9 (50m) 13	(50m) 4	1	3	3	
100 m	(50m) 16 (65m) 0	(60m) 3	3	5	3	
125 m	(60m) 5	(75m) 3	1	1	2	
150 m			0	1	9	
200 m			0	1	3	
TOTAL	328	105	34	19	33	76



表 25 KH-77-2 次航海における稚仔の分布個体数。

STATION DEPTH	STATION						
	1	2	3	4	5	7	9
0 m	76	8	34	18	20	0	106
10 m	114	39	41	112	39	15	155
20 m	144	420	88	118	57	159	382
30 m	24	145	127	110	763	55	156
50 m	14	67	110	38	124	39	92
75 m	4	59	61	79	71	143	100
100 m	4	21	82	11	53	91	188
125 m	3	5	28	4	29	7	133
150 m	1	0	12	3	4	4	69
200 m	0	2	5	0	2	2	13
TOTAL	384	766	588	1081	1162	522	1394
	60	59	58	57	56	55	
0 m	3	2	2	19	45	2	
10 m	(5m) 11	1	8	10	136	12	
20 m	(10m) 16	67	27	12	53	23	
30 m	(20m) 11	18	87	40	112	19	
50 m	(30m) 18 (40m) 12 (40m) 37			43	91	25	
75 m	(40m) 14 (50m) 12 (50m) 23			9	79	27	
100 m	(50m) 20	(60m) 46		9	51	31	
125 m	(60m) 13	(75m) 28		9	16	24	
200 m				0	8	2	
TOTAL	106	112	258	157	600	182	

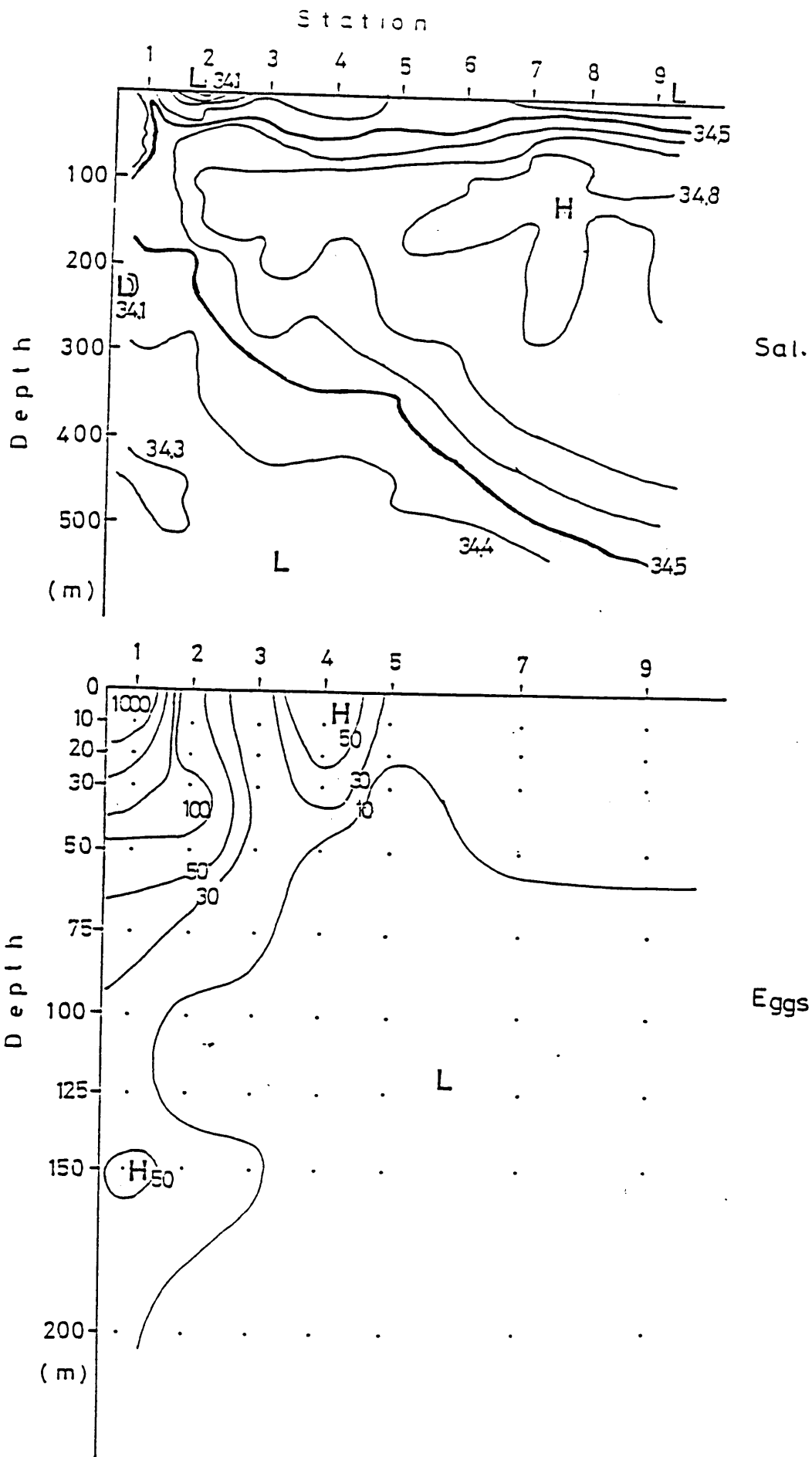


図 76 KH-77-2次航海・St.1-9における塩分および浮遊卵の鉛直分布断面図。

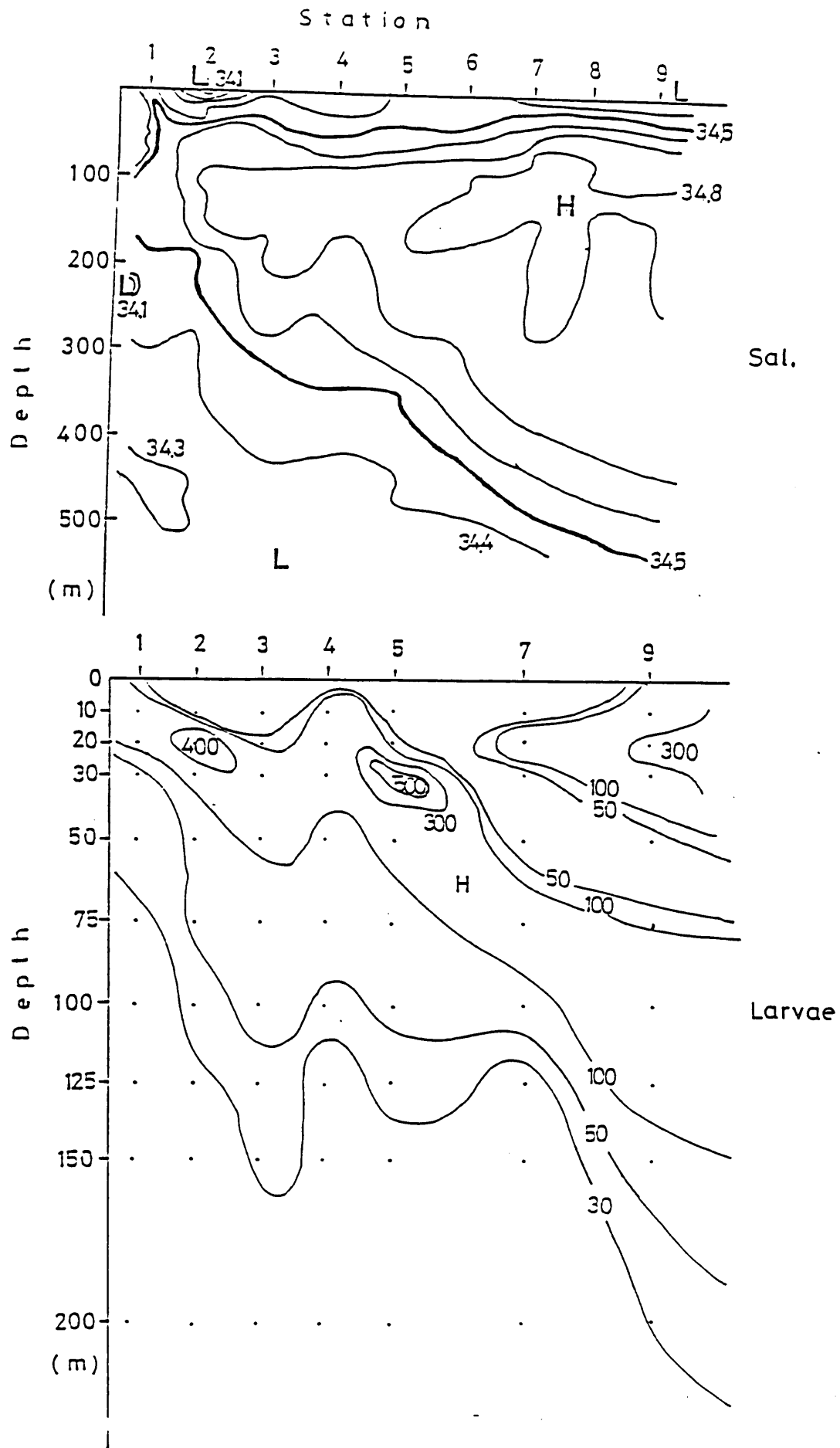


図 77 KH-77-2次航海・St.1-9における塩分および稚子の鉛直分布断面図。

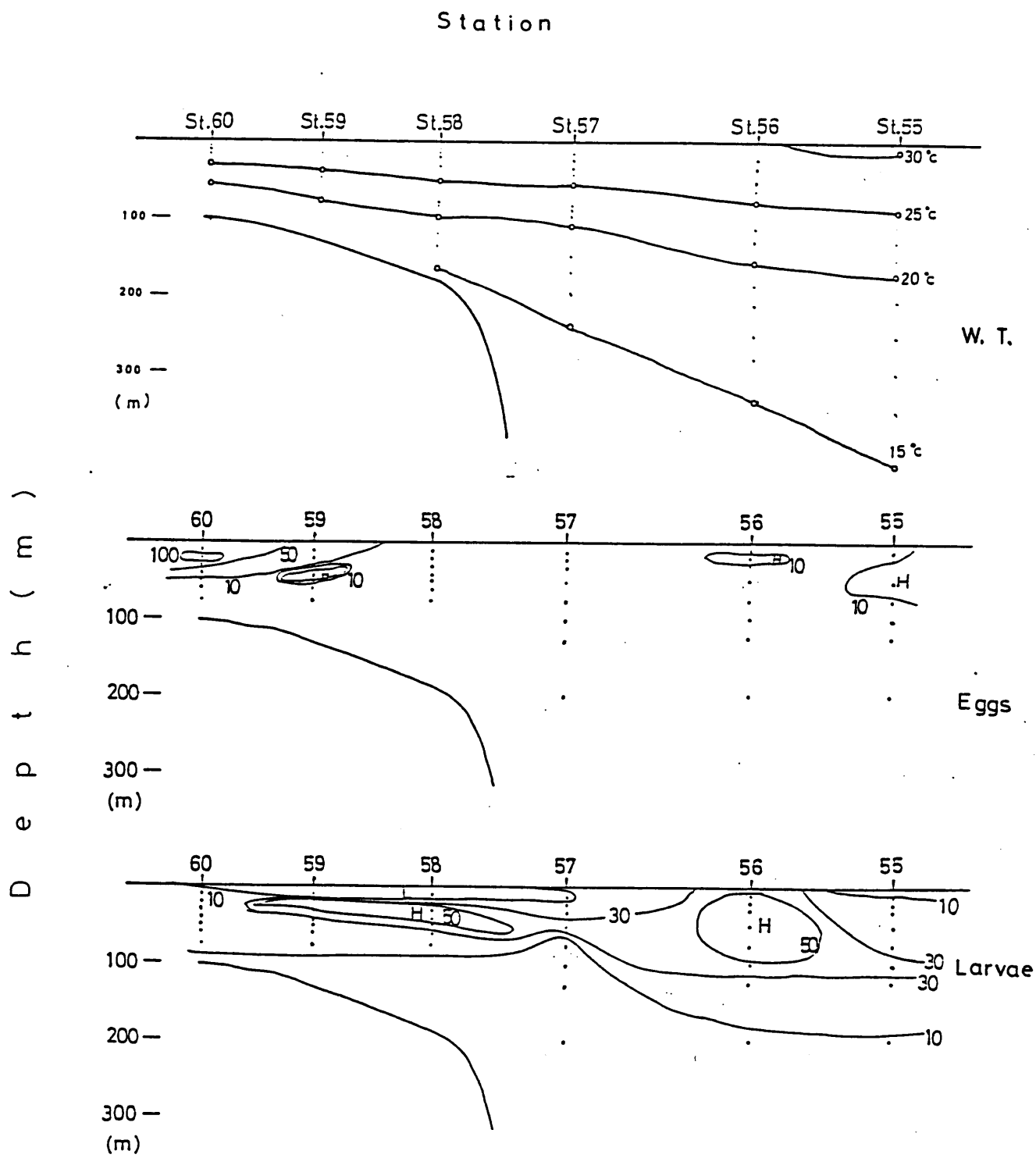


図 78 KH-77-2次航海・St. 55-60における水温、浮遊卵、および稚仔の鉛直分布断面図。

は急減する。全稚仔分布密度および全浮遊卵分布密度は黒潮本流に低くフロント域に高い傾向が認められた。

表 2 6 にニザダイ稚仔 Prionurus microlepidotus、表 2 7 にサイウオ稚仔 Bregmaceros japonicus、表 2 8 にキュウリエソ稚仔 Murolius japonicus についての黒潮横断面における分布密度を示した。表 2 9 にキュウリエソ浮遊卵の各ステージ別分布密度を示した。これらの表から、生物種によって主分布域が異なることが認められる。

表 3 0、3 1、3 2 に KH-79-4 次航海における生物沈澱量、全浮遊卵、および全稚仔の分布密度を示した。図 7 9 に赤道海流域における塩分の垂直分布断面図、浮遊卵、および稚仔の鉛直分布断面図を示した。

赤道海流本流域表層には浮遊卵および稚仔ともに分布が認められず、北赤道海流およびクロムウエル反流域との境界域に浮遊卵稚仔および生物沈澱量の高分布密度域が認められた。

KH-84-2 次航海における結果を表 3 3 に生物沈澱量、表 3 4 に浮遊卵、表 3 5 に稚仔についてそれぞれの昼間と夜間の分布密度を示した。表の上部が昼間、下部が夜間の分布密度を表わしている。図 8 0 に昼の水温と生物沈澱量の鉛直分布断面図、図 8 1 に夜の水温と生物沈澱量の鉛直分布断面図を示した。図 8 2 に昼間の塩分、浮遊卵、および稚仔の鉛直分布断面図を、図 8 3 に夜間の塩分、浮遊卵、および稚仔の鉛直分布断面図を示した。

これらの図から、昼間の生物沈澱量の分布密度には黒潮水域に低く大陸棚系水に多い傾向が認められた。また、St. PN2-PN3 の水深 30 m 層の低塩分水塊に付随するように St. PN3 付近の水塊に生物沈澱量の高分布密度域が認められ、大陸棚系水の流入が推定された。夜間においては黒潮系水の潮汐周期による後退に伴い生物沈澱量の帯状高分布密度域が St. PN3 付近にまで侵入していた。

全浮遊卵の分布については昼間は各水塊に散見される程度であるが、夜間においては St. PN3 の黒潮フロント域に高分布密度が認められた。

表 26 KH-77-2次航海での黒潮横断面におけるニザダイ稚仔 Prionurus  
microlep idotusの分布個体数。

STATION	1	2	3	4	5	7	9
DEPTH							
0 m							
10 m							
20 m					1	1	
30 m						1	
50 m					3		1
75 m					1		
100 m							
125 m							
150 m							
200 m							

	60	59	58	57	56	55
0 m						
10 m					2	1
20 m					1	1
30 m			(40m) 1		1	1
50 m						
75 m						2
100 m						2
125 m						
150 m						
200 m						

表 27 KII-77-2次航海での黒潮横断面におけるサイウオ稚仔 Bregmaceros japonicus の分布個体数。

STATION DEPTH	1	2	3	4	5	7	9	55	56	57	58	59	60
0 m	3												
10 m					1								
20 m				1									
30 m	3			2									
50 m	2		1	2	1					1			1
75 m		2	9	22	5	1				1	1		
100 m		3	20	3	4			8	3	2			
125 m			2						1				
150 m			1					2					
200 m													

表 28 KH-77-2次航海での黒潮横断面におけるキュリエソ稚仔、Maurolicus japonicus、の分布個体数。

STATION DEPTH	1	2	3	4	5	7	9
	0 m	3					
10 m					1		
20 m				1			
30 m	3			2			
50 m	2		1	2	1		
75 m		2	9	22	5	1	
100 m		3	20	3	4		
125 m			2				
150 m			1				
200 m							

	60	59	58	57	56	55
0 m						
10 m						
20 m						
30 m	1					
50 m		1		1		
75 m			1	1		
100 m				2	3	8
125 m					1	
150 m						2
200 m						



表 29 KH-77-2次航海での黒潮横断面におけるキュリエソ浮遊卵 Maurolicus japonicus の分布個体数。

STAGE DEPTH	EARLY	MIDDLE	LATE
0 m			
10 m			
20 m			
30 m			
50 m	1		
75 m	3		
100 m	3	1	
125 m	2		
150 m	57	3	2
200 m	9	1	
TOTAL	75	5	2

表 30 赤道海流横断面における生物沈澱量の分布密度 (c m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)。

Station Depth	4	4-1	4-2	5	5-1	5-2	6
0 m	0.254	0.628	0.375	0.213	0.288	0.117	0.280
10	0.156	0.236	0.105	0.071	0.207	0.108	0.075
25	0.215	0.823	0.112	0.079	0.193	0.220	0.193
50	0.074	0.357	0.236	0.130	0.350	0.271	0.208
75	0.225	0.359	0.139	0.160	0.290	0.118	0.119
100	0.167	0.496	0.306	0.123	0.369	0.079	0.136
125	0.131	0.248	0.302	0.037	0.067	0.084	0.085
150	0.139	0.166	0.079	0.040	0.070	0.048	0.055
200	0.052	0.090	0.070	0.054	0.060	0.119	0.041
Total	1.413	3.403	1.724	0.907	1.894	1.164	1.192

表 3 1 赤道海流横断面における浮遊卵の分布個体数。

Station Depth	4	4-1	4-2	5	5-1	5-2	6
0 m	0	0	0	828	9	47	683
10	0	0	0	0	13	61	220
25	524	0	0	0	0	30	19
50	188	0	13	122	0	12	0
75	99	9	0	12	6	0	0
100	0	0	0	12	13	0	6
125	12	3	0	0	16	6	0
150	7	3	9	0	20	0	0
200	27	8	9	0	13	51	0
Total	857	23	31	974	90	207	925

表 3 2 赤道海流横断面における稚仔の分布個体数。

Station Depth	4	4-1	4-2	5	5-1	5-2	6
0 m	0	0	0	0	0	0	0
10	14	0	0	31	45	7	6
25	12	17	17	21	0	0	71
50	0	23	66	29	32	43	70
75	8	9	46	17	166	61	83
100	10	131	55	65	513	28	97
125	12	97	61	35	94	23	100
150	15	100	46	64	60	26	67
200	0	50	35	0	32	17	36
Total	71	427	326	262	942	205	530

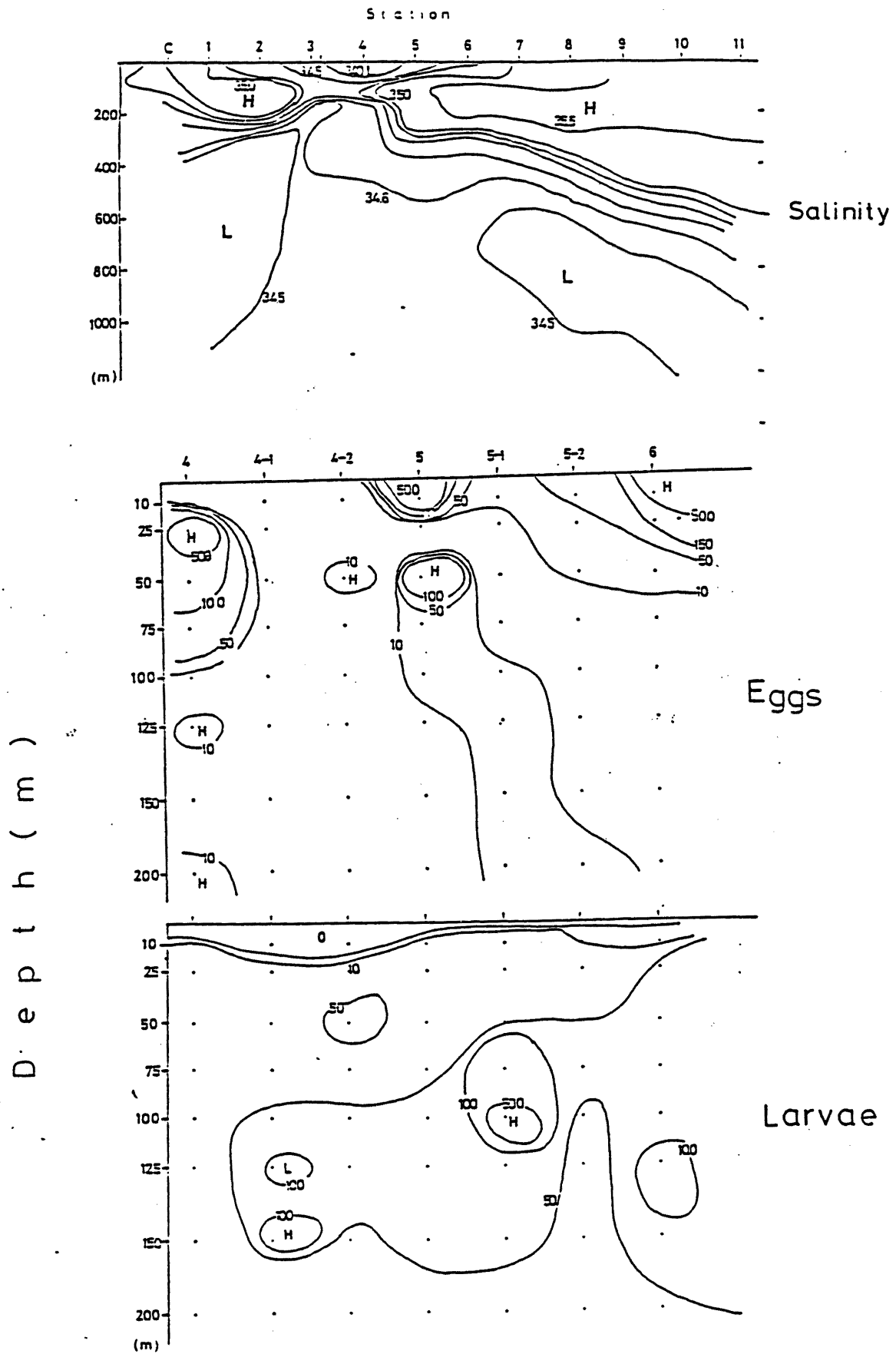


図 79 KH-79-4次航海での赤道横断観測における塩分、浮遊卵稚仔の鉛直分布断面図。

表 3 3 KH-84-2次航海PN線における生物沈澱量の分布密度 (c m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)。

	12:09	7:30	16:40	19:20	5:21
S-Volume	1PN1	1PN2	1PN3	1PN4	1PN5
0 m	.381	.187	1.264	.691	.559
10	.352	.566	1.319	.554	.363
20	.888	1.265	2.432	1.041	.332
30	.365	.750	.532	.773	.230
40	.719	.585	.522	.285	.240
50	1.128	.563	.440	.275	.242
60	.926	.527	.309	.629	.182
75	.824	.462	.336	.280	.255
100		.368	.677	.242	.142
125			.181	.209	.233
150			.161	.189	.175
200			.233	.098	.106

	6:10	1:25	21:35	15:20	20:30
S-Volume	2PN1	2PN2	2PN3	2PN4	2PN5
0 m	.623	.620	.935	.629	.836
10	1.824	.573	1.179	.650	.521
20	.599	1.453	1.610	.810	.294
30	2.296	.675	1.1302	.930	.356
40	4.514	1.302	.823	.842	.281
50	2.240	.891	.564	1.545	.215
60	.560	.843	.509	1.178	.191
75	.407	.632	.627	.739	.242
100		.544	.281	.395	.156
125			.190	.197	.173
150			.183	.155	.147
200			.189	.142	.133

表 3 4 KH-84-2次航海PN線における浮遊卵の分布密度 (No./m<sup>3</sup>)。

T-Eggs	1PN1	1PN2	1PN3	1PN4	1PN5
0 m	.271	.162	.137	.095	2.865
10	.088	.017	.179	.083	.618
20	.144	.097	.308	.038	.249
30	.191	.121	.086	.071	.054
40	.335	.125	.039	.201	.107
50	.476	.188	.081	.063	.081
60	.226	.183	.016	.083	.107
75	.127	.171	.018	.048	.042
100		.139	.037	.045	.042
125			.132	.023	.031
150			.135	.031	.014
200			.038	.000	.012

T-Eggs	2PN1	2PN2	2PN3	2PN4	2PN5
0 m	.026	.090	.317	.179	.054
10	.070	.022	.080	.130	.016
20	.375	.030	.061	.043	.042
30	.139	.026	.942	.029	.029
40	.142	.107	1.160	.018	.021
50	.400	.248	.029	.025	.018
60	.022	.218	.043	.035	.013
75	.032	.169	.029	.021	.017
100		.157	.018	.024	.006
125			.031	.023	.013
150			.034	.036	.018
200			.078	.029	.092

表 35 KH-84-2次航海PN線における稚子の分布密度 (No./m<sup>3</sup>)。

T-Larvae	1PN1	1PN2	1PN3	1PN4	1PN5
0 m	.051	.048	1.236	.027	.109
10	.028	.064	1.957	.327	.235
20	.030	.268	1.507	.652	.410
30	.161	.450	.526	.426	.193
40	.314	.742	.586	.132	.211
50	.180	.292	.651	.135	.223
60	.121	.237	.241	.415	.159
75	.059	.275	.232	.077	.152
100		.078	.329	.148	.164
125			.954	.083	.295
150			.066	.031	.119
200			.085	.015	.012

T-Larvae	2PN1	2PN2	2PN3	2PN4	2PN5
0 m	.208	.180	.539	.614	.674
10	.281	.153	.590	.508	.689
20	.178	.614	1.780	.604	.763
30	1.540	.456	1.782	.802	.980
40	8.870	1.622	1.827	.332	.740
50	2.190	.759	.694	.244	.162
60	.508	.509	.502	.315	.169
75	.218	.363	.404	.482	.177
100		.105	.188	.298	.057
125			.171	.188	.048
150			.217	.084	.078
200			.144	.068	.046



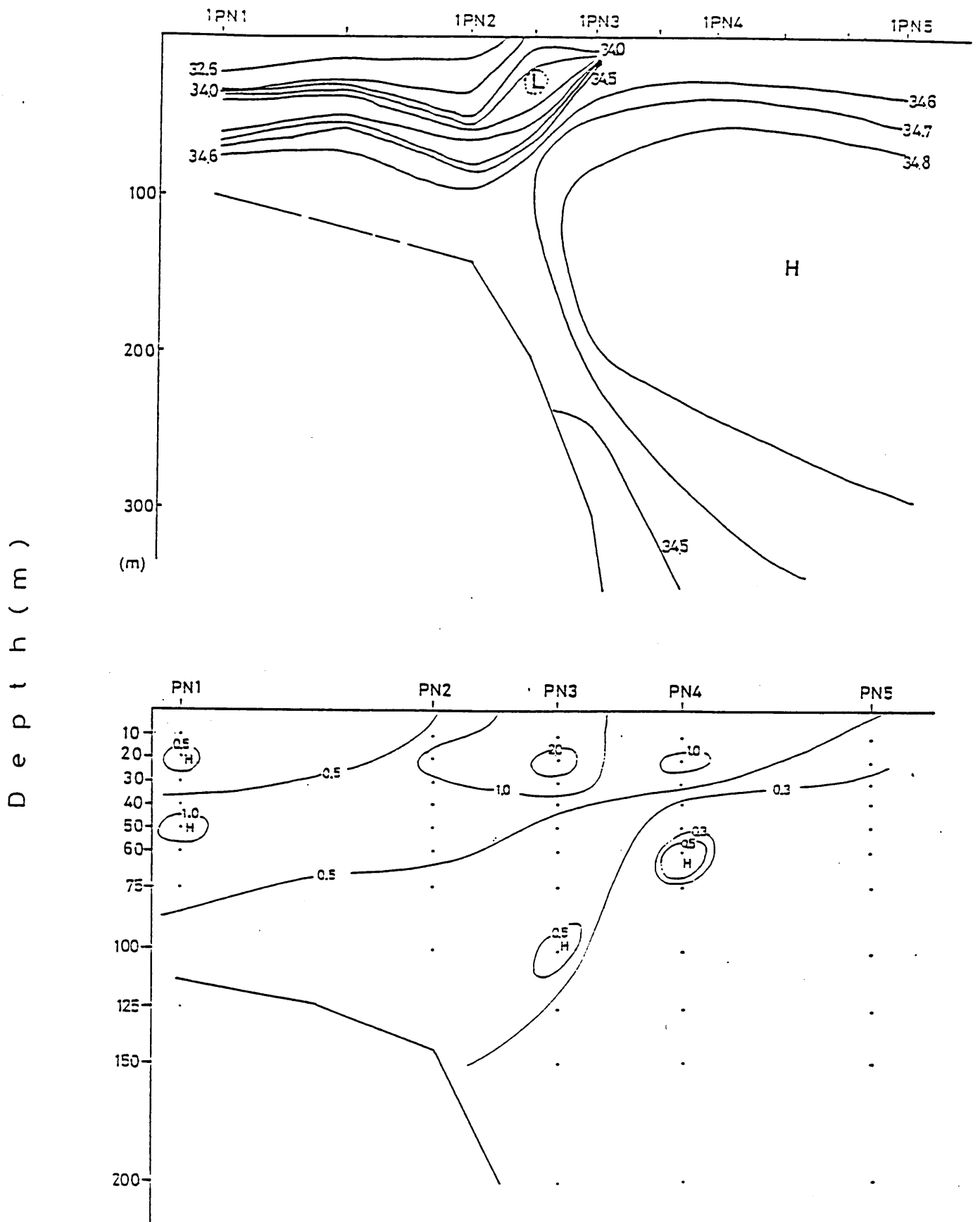


図 80 KH-84-2次航海黒潮横断観測測線における生物沈澱量 (層) の鉛直分布断面図。

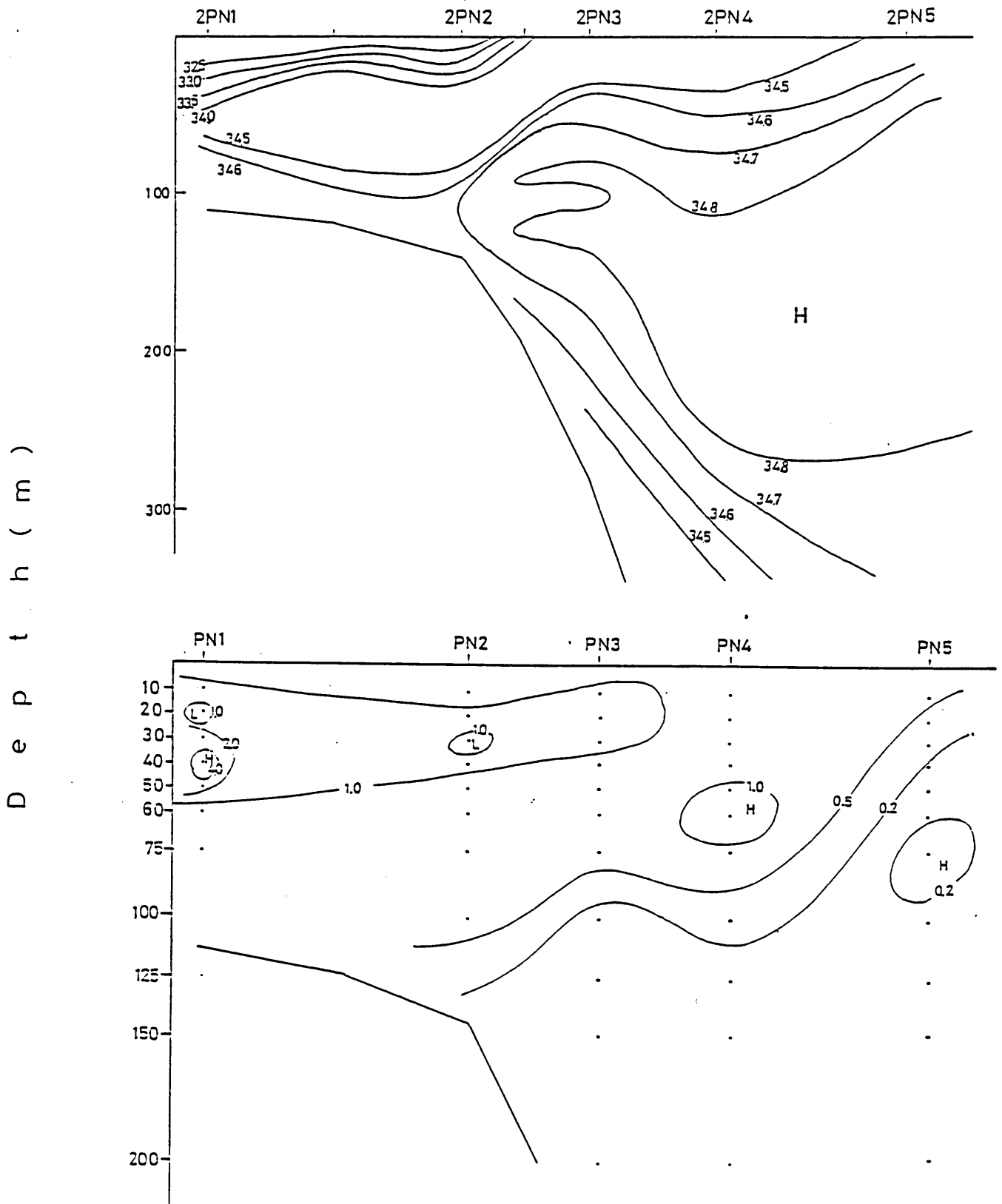


図 8 1 KII-84-2次航海黒潮横断観測測線における生物沈澱量 (夜) の鉛直分布断面図。

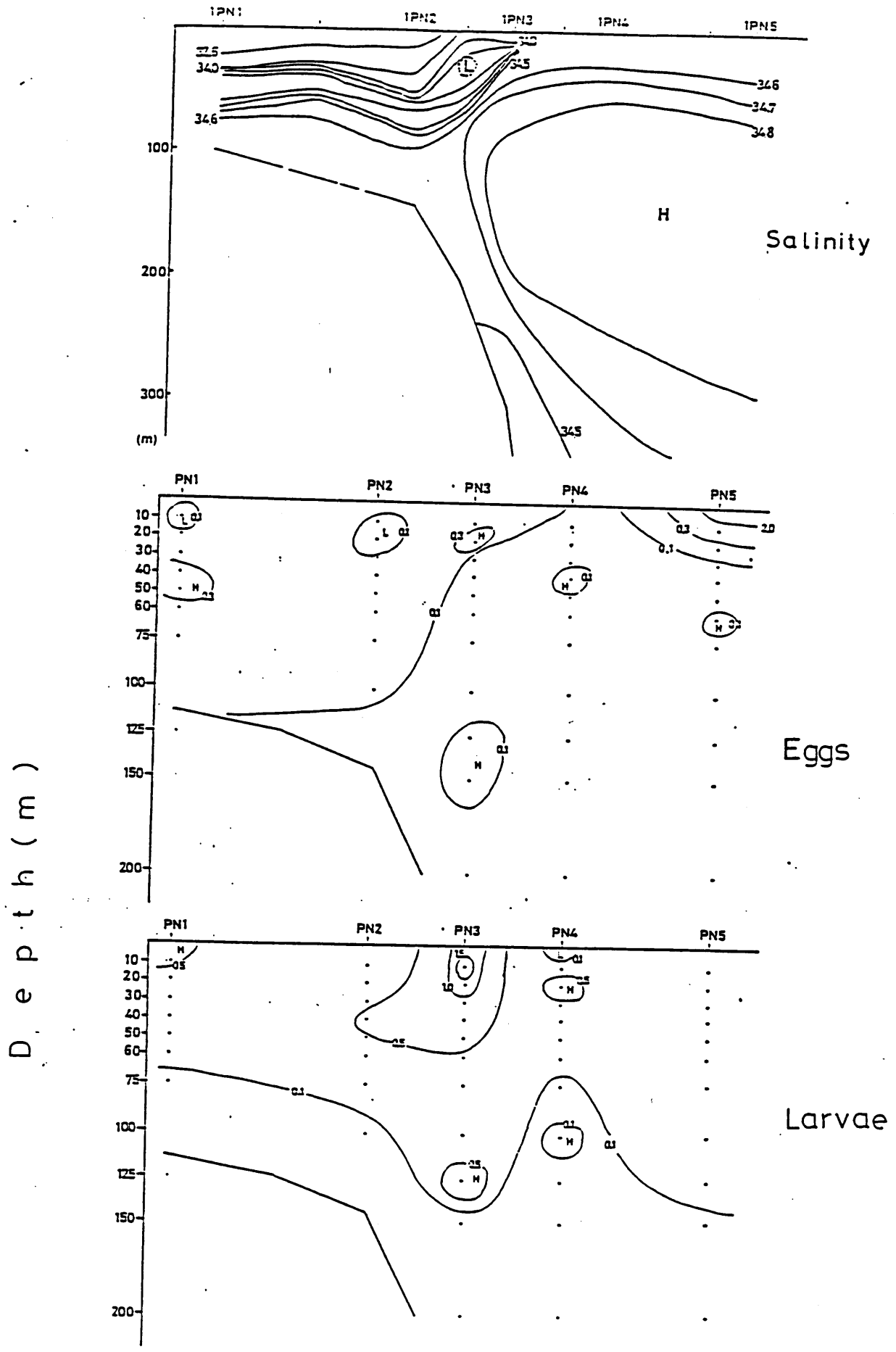


図 8 2 KH-84-2次航海黒潮横断観測測線 (昼) における浮遊卵稚子の鉛直分布断面図。

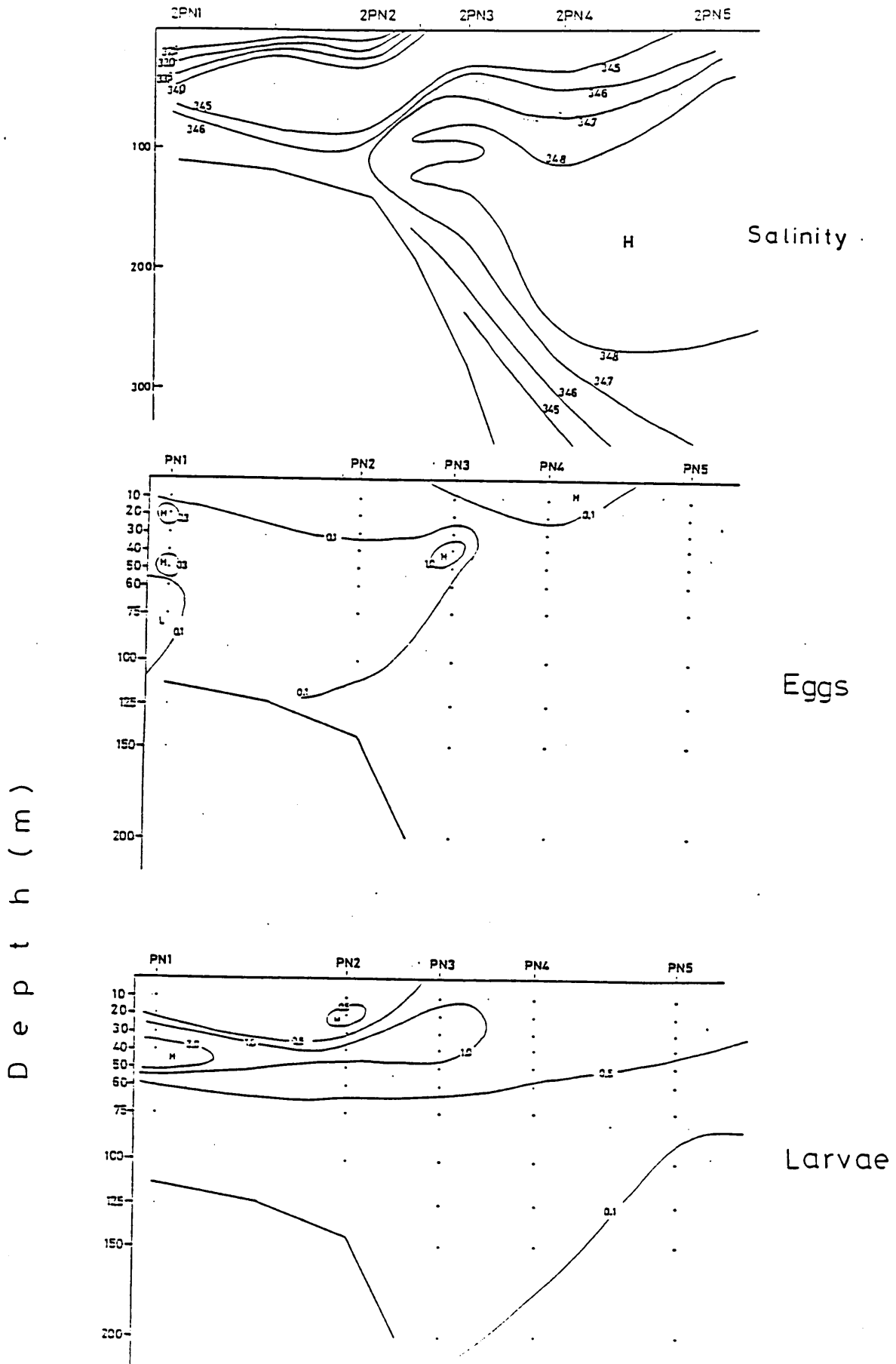


図 83 KH-84-2次航海黒潮横断観測測線(夜)における浮遊卵稚子の鉛直分布断面図。

全稚仔の分布については、夜間において生物沈澱量の分布にも認められたように、黒潮本流域に大陸棚水系の分布域から分離しかかった帯状高分布密度域が認められた。これは、大陸棚系水に分布していた稚仔の黒潮本流内への取り込み現象の一つの表われと推定された。

### 3. 海流横断面における浮遊卵稚仔の種組成

上記の観測で採集された全浮遊卵稚仔を表36の分類群にまで分類し各曳網採集標本内における類似度を計算した。類似度指数は木本の $C_{\pi}$ 指数<sup>\*</sup>を用いた。さらに、計算した類似度指数から単純連結法によってデンドログラムを作成し、一部の例外と思われる採集標本を除いてクラスターに区分けを行なった。図84にKH-77-2次航海、図85にKH-79-4次航海、図86にKH-84-2次航海のそれぞれの結果を示した。これらの傾向を大別すると、一部の水域では例外もあるが、赤道および黒潮本流水系、沿岸水系（表層、底層）、深層水系、外洋性水系および外洋諸島水系に区分けされた。この区分は海洋構造における各水塊の区分の位置ともほぼ一致していた。

これらの水系の間の浮遊卵稚仔等の生物の連絡および交流は各水系の水塊との接点において行なわれており、その顕著な例がKH-84-2次航海において観測された（図86）。すなわち、沿岸水系の生物種が黒潮本流域内にみられた。また、黒潮フロント域における沿岸水系の水塊の黒潮本流内への侵入現象（パッチ状低塩分水塊の存在）と一致していることから、浮遊卵稚仔の交流および連絡は物理的水塊の混合によって引き起こされていると考えられた。この侵入現象は黒潮の潮汐周期による波動現象と一致しており、黒潮の蛇行に伴って生じるものと推定された。

$$* \quad C_{\pi} = \frac{2 \sum_{i=1}^S n_{1i} \cdot n_{2i}}{(\sum \pi_1^2 + \sum \pi_2^2) N_1 \cdot N_2} \quad 0 \leq C_{\pi} \leq 1$$

$$\sum \pi_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{1i}^2}{N_1^2}, \quad \sum \pi_2^2 = \frac{\sum_{i=1}^S n_{2i}^2}{N_2^2}$$

$N_1$ ; 第1組における総サンプル数。

$n_{1i}$ ; 第1組における第i番目の区分に属するサンプル数。

$N_2$ ; 第2組における総サンプル数。

$n_{2i}$ ; 第2組における第i番目の区分に属するサンプル数。

$S$ ; 区分の組数

表 36 稚仔分類群。

Engraulidae (カタクチイワシ)  
 Genorhynchidae (ネズミキス)  
 Gonostomatidae (ヨコイソ)  
 Sternoptychidae (ムネイソ)  
 Chauliodontidae (ホウライイソ)  
 Stomatidae (ワニトカゲキス)  
 Astronesthidae (トカゲハタカ)  
 Idiacanthidae (ミツマタヤリウオ)  
 Melanostomiidae (ホテイイソ)  
 Chlorophthalmidae (アオメイソ)  
 Synodontidae (イソ)  
 Myctophidae (ハタカイワシ)  
 Scopelarchidae (テメイソ)  
 Paralepididae (ハタカエソ)  
 Evermannellidae (ヤリエソ)  
 Fisulariidae (ヤカラ)  
 Machrorhamphosidae (サキフエ)  
 Holocentridae (イトウダマイ)  
 Trachipteridae (フリソテウオ)  
 Mugilidae (ホラ)  
 Scombridae (サハ)  
 Histiophoridae (メカシキ)  
 Gempylidae (クロタチカマス)  
 Trichiuridae (タチウオ)  
 Coryphaenidae (シイラ)  
 Carangidae (アシ)  
 Nomeidae (エホシタイ)  
 Apogonidae (テンシクダイ)  
 Serranidae  
 Kyphosidae (イスミ)  
 Champsodontidae (ワニキス)  
 Uranoscopidae (ミシマオコセ)  
 Blenniina (イツキンホ)  
 Carapidae (カクレウオ)  
 Gobiidae (ハセ)  
 Pomacentridae (スメダイ)  
 Labridae (ハラ)  
 Chaetodontidae (チョウチョウウオ)  
 Diodontidae (ハリセンボン)  
 Scorpaenidae (フサカサコ)  
 Platycephalidae (コチ)  
 Trigridae (ホウホウ)  
 Bothinae (タルマカレイ)  
 Cynoglossidae (シタヒラメ)  
 Bregmacerotidae (サイウオ)  
 Antennariidae (イザリウオ)  
 Ceratiidae (ミツクリエナカチョウチンアンコウ)

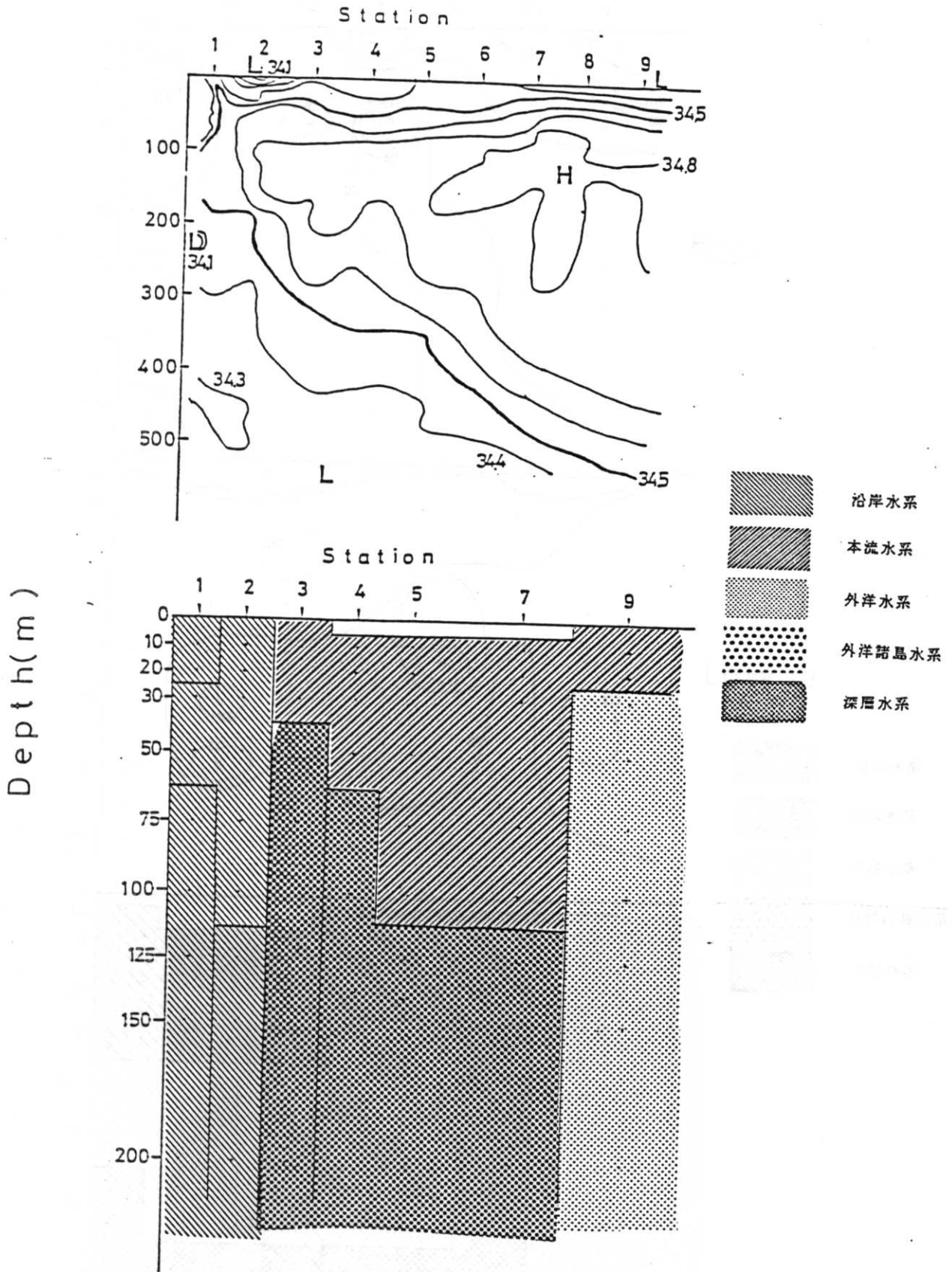


図 84 KH-77-2次航海における黒潮横断観測測線鉛直断面における  
 クラスタ分析。

Depth ( m )

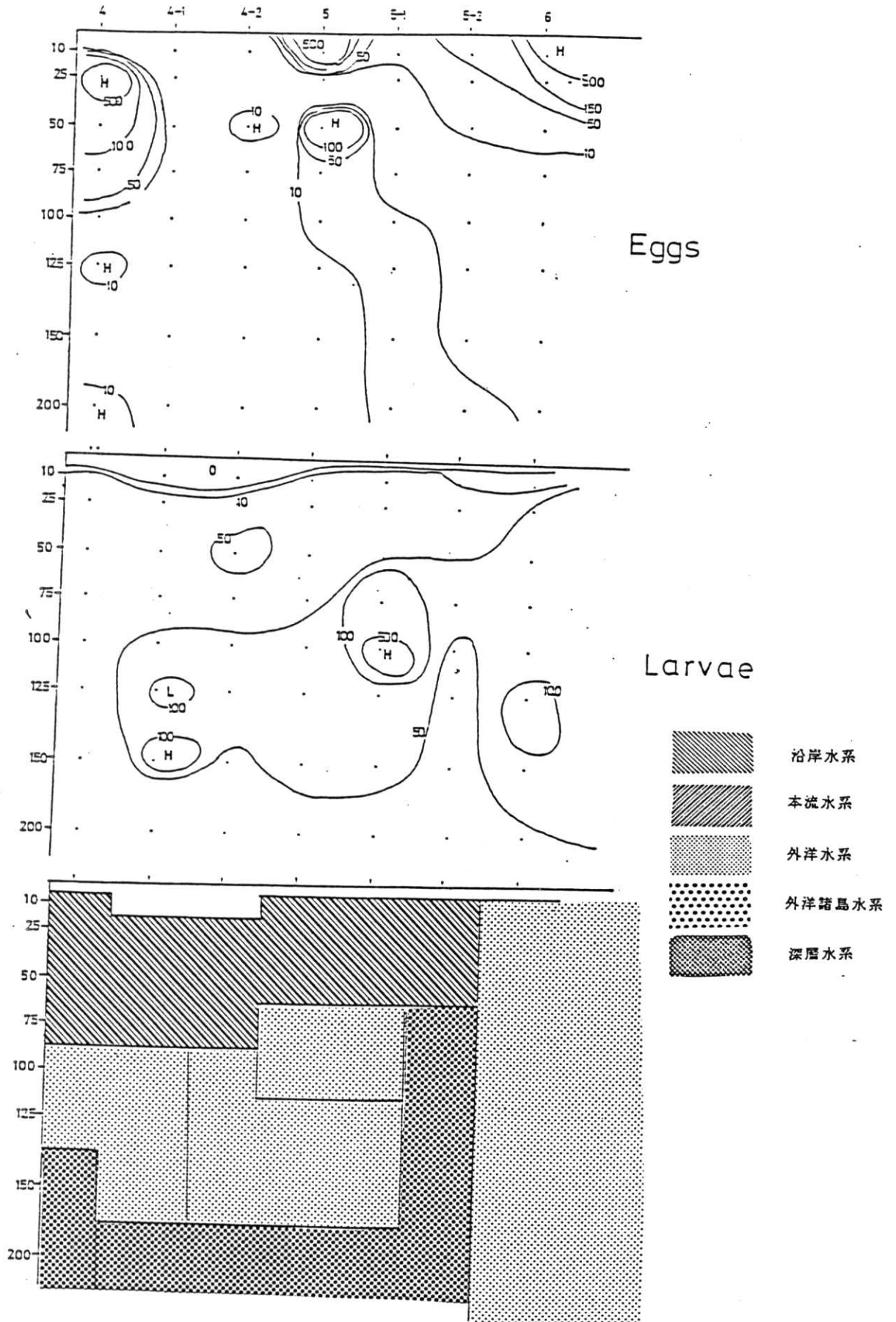


図 85 KH-79-4次航海における赤道横断観測測線鉛直断面におけるクラスタ分析。



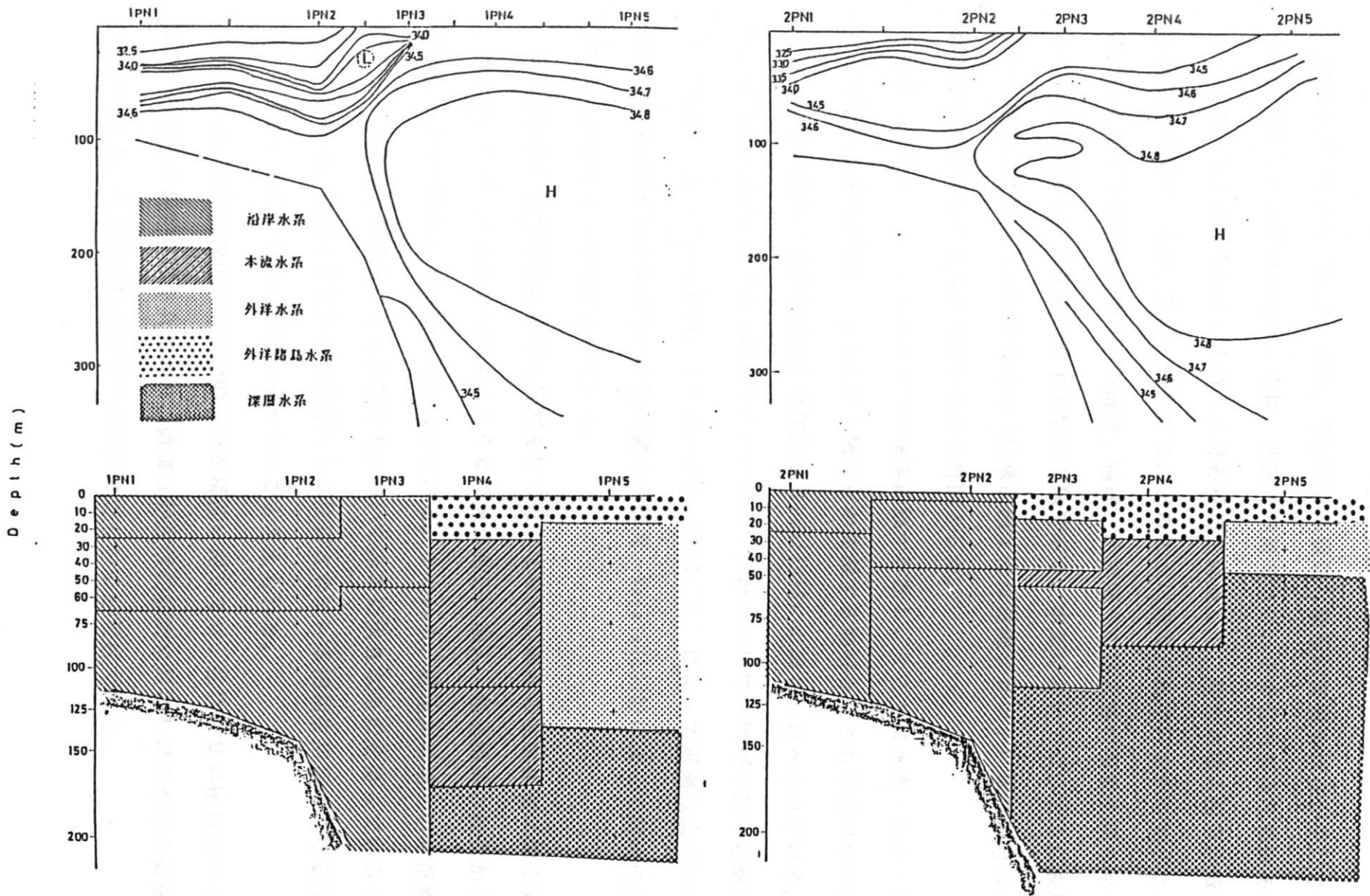


図 86 KII-84-2 次航海における黒潮横断観測測線鉛直断面 (昼夜) における  
クラスター分析。

### 3-2) 黒潮前線における浮遊卵稚仔等の分布構造

海流と沿岸水との間には、渦流、前線などの複雑な物理的変動の存在が予想され、それに対して浮遊生物は混合、集積、拡散の作用を受け、その分布構造を特徴あるものとしていると考えられる。それらの分布構造を調査して、沖合水域と沿岸水域との浮遊生物の接触、混合、集積、拡散などがどのように行なわれているかを知ることは、海流による浮遊卵稚仔の取り込み機構、輸送、沿岸域への移入等の現象を明らかにすることとも関係し、水産資源学上重要な課題である。本節においては、とくに表層において顕著に認められる海流の前線（黒潮前線または黒潮フロント）域における浮遊卵稚仔の分布構造を明らかにすることを目的とした。

海洋には様々なスケールの大きさの海洋前線が存在し、そこでは水温・塩分・比重などの環境条件が急変し、さらに浮遊物などが集積する潮目としても特徴づけられている。潮目の研究では漁場形成との関係からUda(1938)に詳しく述べられている。一方、海洋前線帯における海洋構造ならびに収束・発散についての物理学的な考察が川合(1955)によって行なわれ、さらに、小長(1967,78)によって黒潮強流帯と水温の関係や前線付近の海洋構造と変動に関する研究、Nagata(1970)によって前線付近の微細な海洋構造の究明がなされている。

海洋前線は、漁場形成に重要な役割を持つだけでなく、海洋の生物生産に深く関与しており、産卵場を沖合に形成するような浮魚の稚仔の加入・輸送機構の観点から資源変動に大きく関与していると考えられている。すなわち、遊泳力に乏しい浮遊卵稚仔にとってその分布構造に与える影響力において非常に大きなものを持っていると推察され、特に、資源変動の大きな要因として注目されている初期生活期における生き残りの現象に関して重要な影響を与えていると考えられる。

今までは、海洋前線付近の生物的な分布構造に関しては、生物採集の困難性から地理的分布構造の観測に限られており、微細な物理学的観測に対応し得るだけの微細な生物学的調査、および情報に関する知見に乏しいのが現状である。

本節では、出来るかぎり微細なスケールでの観測を行なうことを目的として顕著な海洋前線である黒潮フロントを横断する水平的な調査を実施した。

### 材料と方法

黒潮本流域、フロント域、沿岸域とを横断する観測線上の観測点でNORPACネットの表層曳網採集を、KT-76-11, KT-81-11, およびKH-84-2 次航海において行なった。KT-76-11次航海を除く他の航海については表層曳網を2回行ない、その2回の採集物の比較およびDisparity について検討を行なった。観測日時を表37に、図87にKT-76-11次航海、図88にKT-81-11次航海、図89にKH-84-2 次航海における観測地点を示した。

### 結果と考察

KT-81-11次航海においては、伊豆半島南端を通過する黒潮を2回横断する観測点において調査を行なった。横断面における水温分布を図90に示す。黒潮本流は、測点8-11および測点14-16 に存在していたと考えられた。採集結果を図91、92に示した。各測点における生物沈澱量、浮遊卵、および稚仔についてのDisparity<sup>\*</sup>の計算結果を図93に示した。これらの観測点における採集結果からみると、明らかに黒潮本流の縁辺部における浮遊卵稚仔の分布密度が高かった。しかし、生物沈澱量には変化が少なかった。

---

\* 
$$\text{Disparity} = \sum_{i=1}^s |D_{Ai} - D_{Bi}| / (D_{Ai} + D_{Bi})$$

$D_{Ai}$  : Aにおけるiの分布密度

$D_{Bi}$  : Bにおけるiの分布密度

S : 種類数

表 3 7 黒潮前線横断観測日時および位置。

航海名	測点	年月日	時刻	位置		
KT-76-11	1	1976/ 7/23	15:00	34°34' 3" N	138°23' 9" E	
	2		19:05	34°27' 3"	138°32' 4"	
	3	25	13:10	34°21' 6"	138°40' 1"	
	4		14:58	34°16' 0"	138°47' 6"	
	5		16:35	34°9' 6"	138°55' 8"	
	6		18:22	34°3' 4"	139°4' 9"	
	7		21:07	33°57' 2"	139°14' 0"	
	8		22:17	33°52' 8"	139°20' 9"	
	9		26	0:31	33°46' 7"	139°28' 6"
	10			3:00	33°41' 4"	139°35' 4"
	11	5:49		33°35' 4"	139°43' 2"	
	12	9:38		33°5' 7"	139°33' 4"	
	13	12:23		33°5' 8"	139°22' 1"	
	14	13:50		33°7' 0"	139°10' 3"	
	15	16:04		33°6' 0"	138°57' 5"	
	16	18:13		33°5' 8"	138°45' 9"	
	17	20:20	33°5' 1"	138°33' 9"		
	18	23:31	33°4' 8"	138°20' 6"		
KT-81-11	Line1	1981/ 6/27	9:03	34°30' 5"	139°8' 7"	
			10:20	34°33' 4"	139°6' 1"	
	Line2		11:00	34°34' 9"	139°3' 9"	
			12:05	34°37' 3"	139°1' 6"	
	Line3		13:15	34°38' 2"	139°1' 8"	
KH-84-2	Grid Line	1984/7/ 7	4:40	28°20' 0"	126°58' 0"	
			8	11:36	27°35' 0"	126°18' 0"

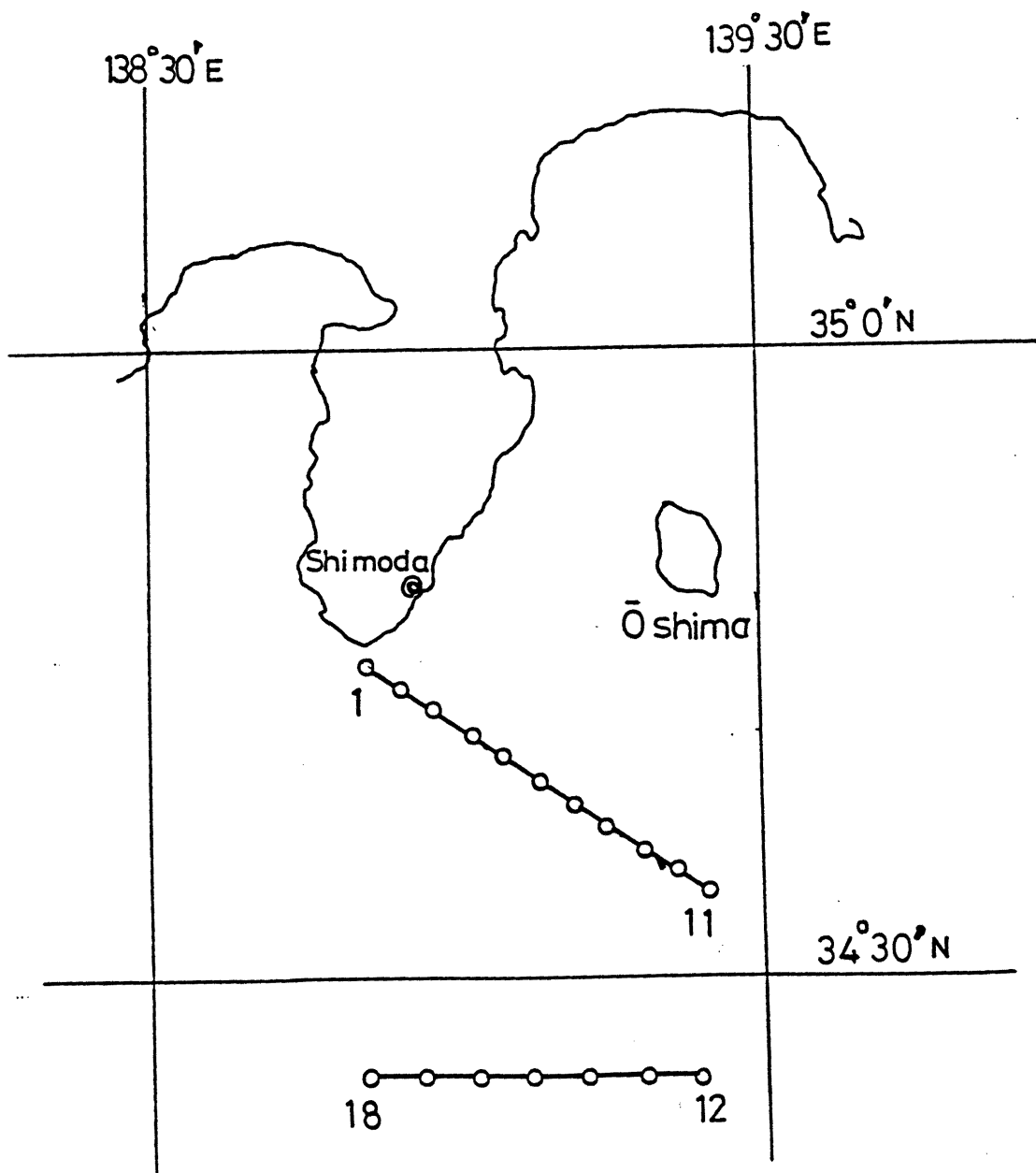


図 8 7 KT-76-11次航海における黒潮前線横断観測点。

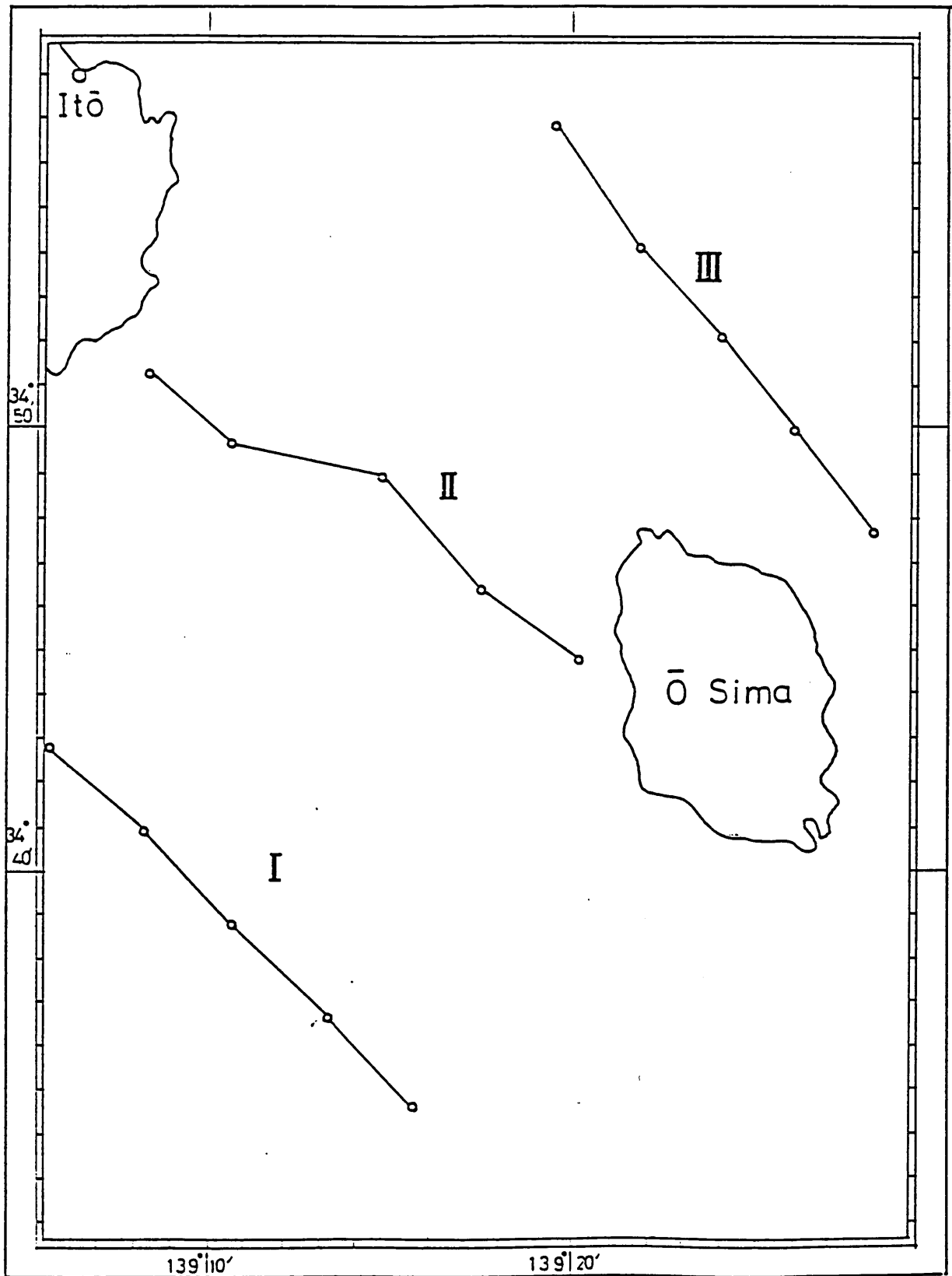


図 8 8 KT-81-11次航海における黒潮前線横断観測点。

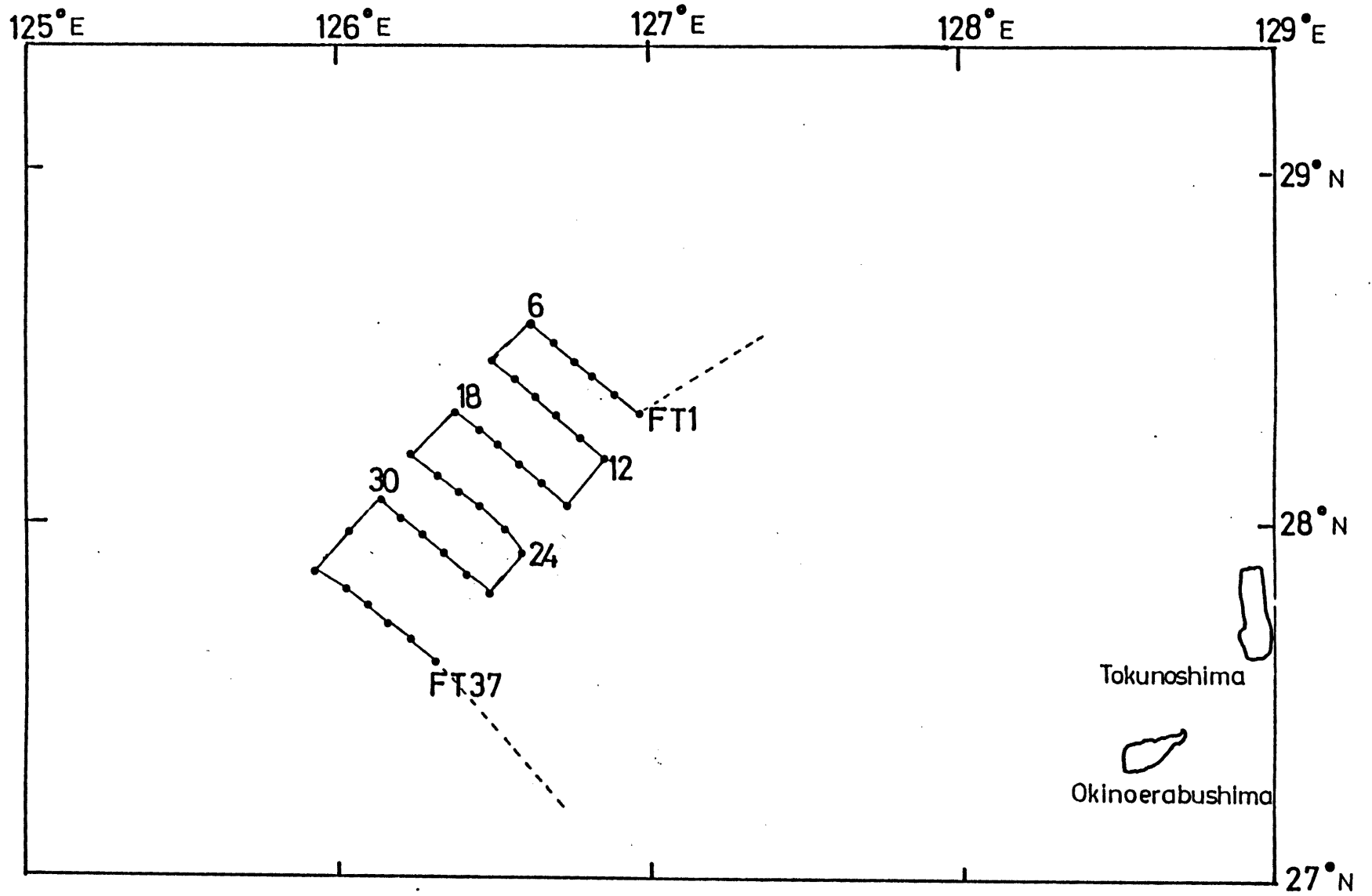


図 89 KII-84-2 次航海における観測点

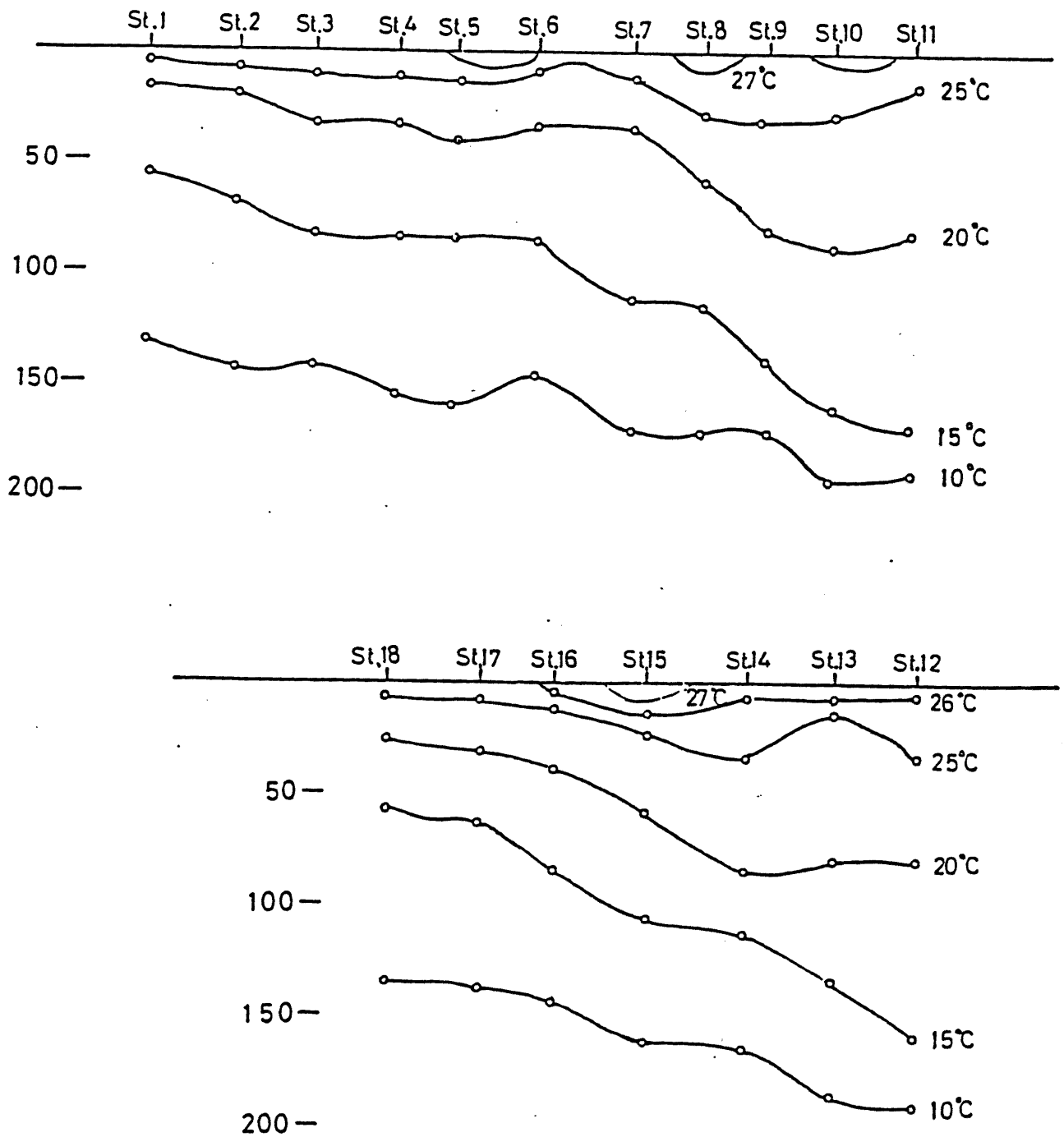


図 9 0 KT-76-11次航海における黒潮前線横断面 (測点1-11, 12-18) における鉛直水温分布。



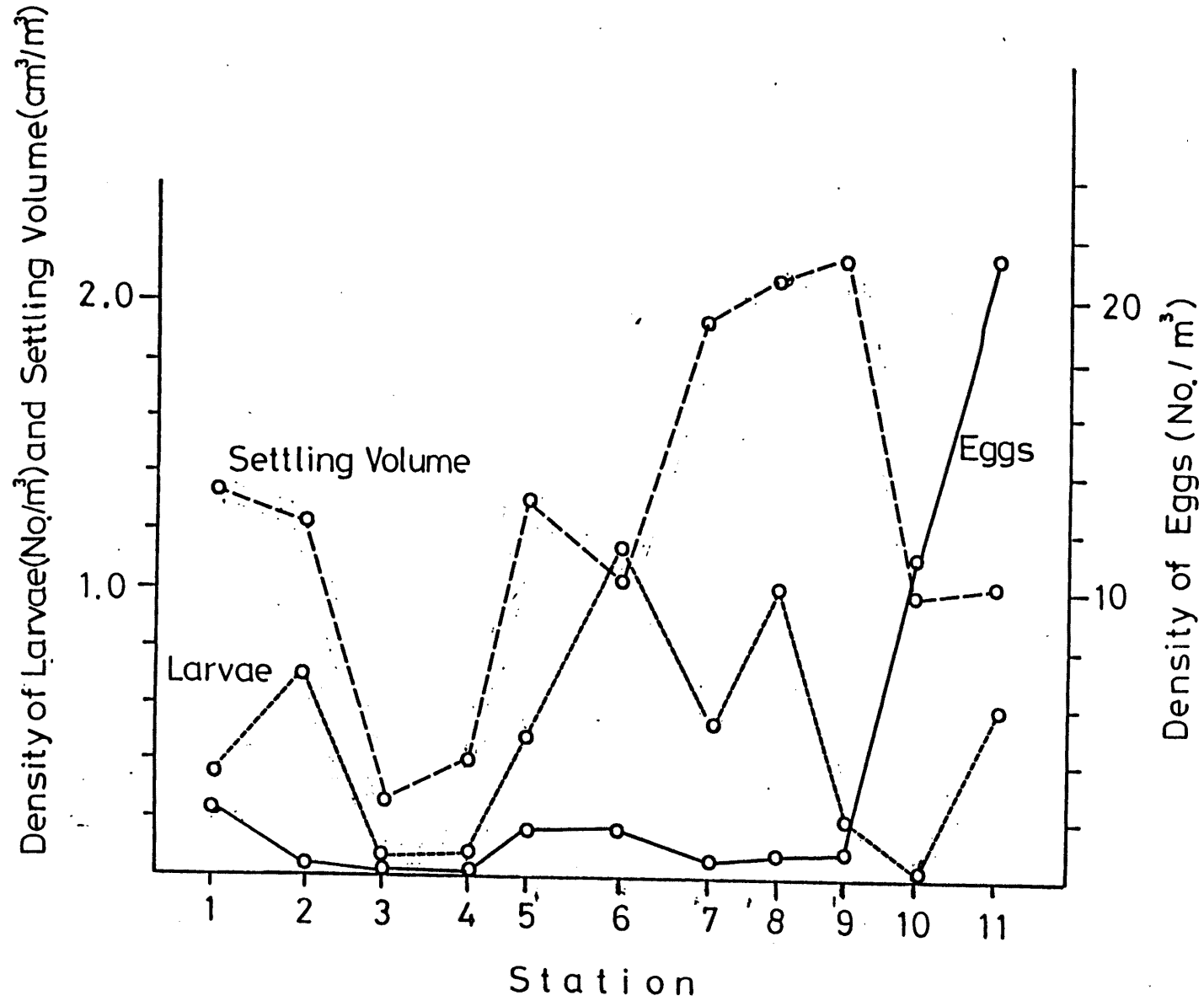


図 9 1 KT-76-11次航海における黒潮横断線(St. 1-11)における浮遊卵稚子等の分布図。

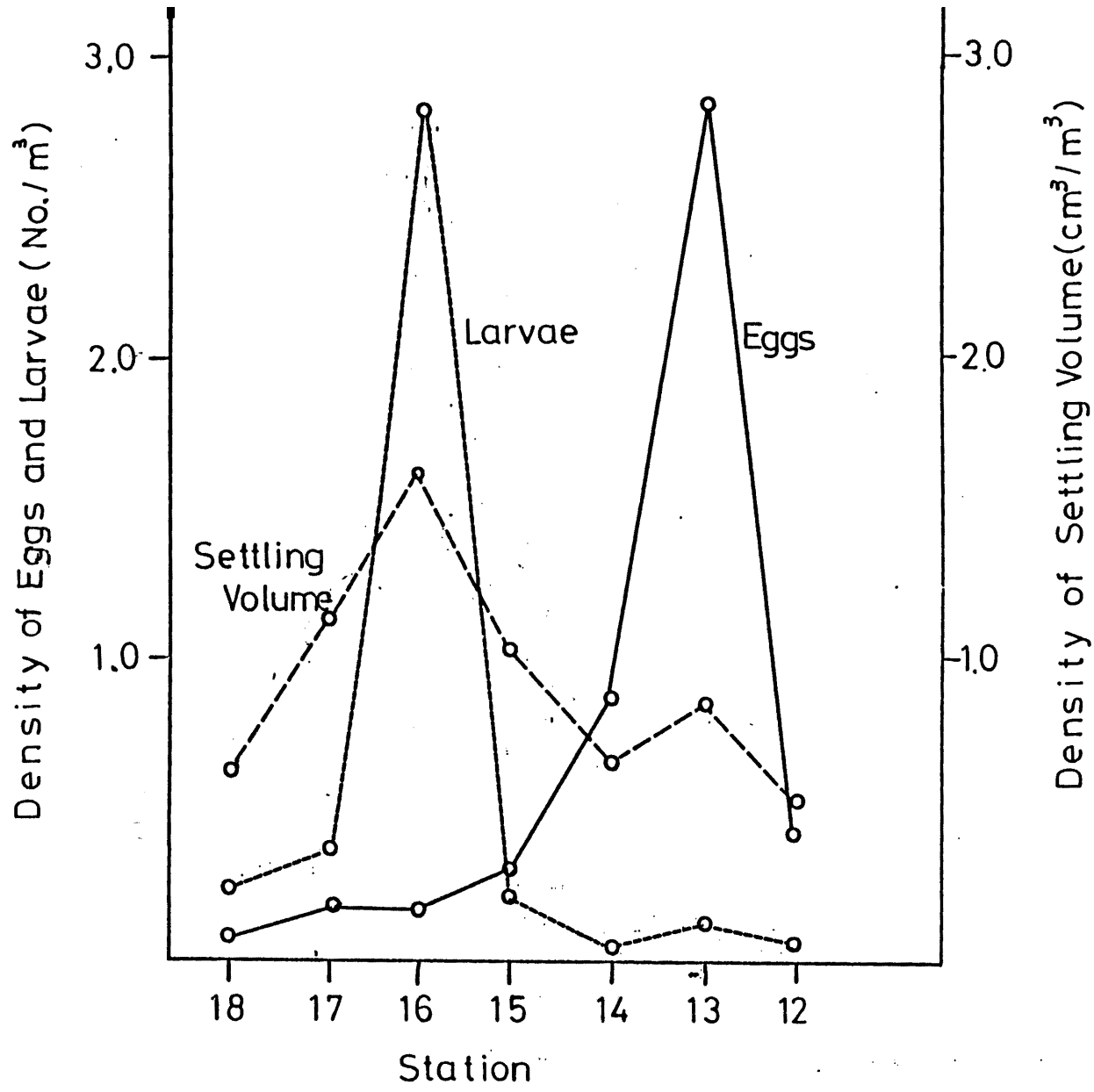


図 9 2 KT-76-11次航海における黒潮横断線 (St. 12-18) における浮遊卵稚仔等の分布図。

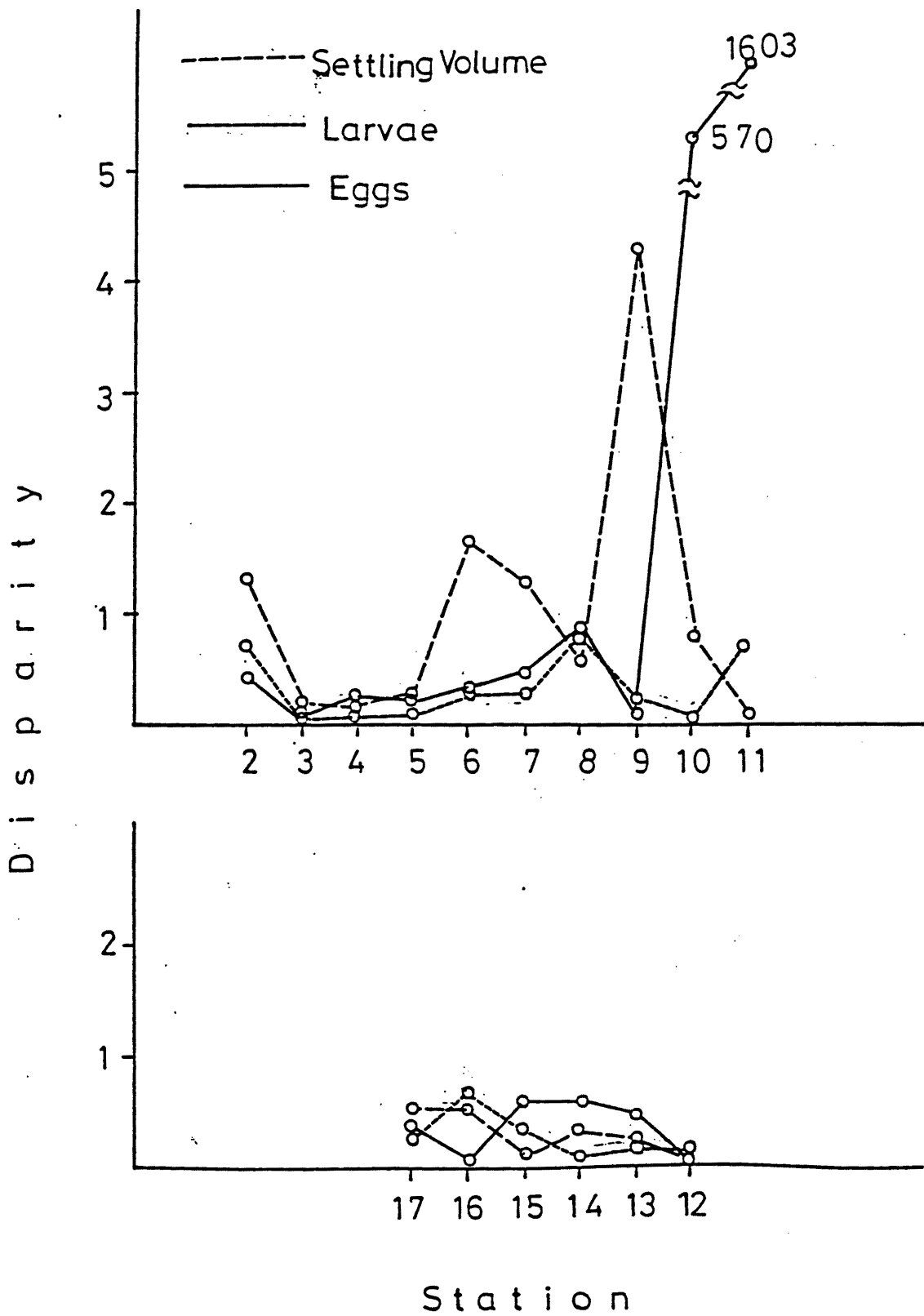


図 93 KT-76-11次航海における各測点における生物沈澱量、浮遊卵、および稚子のDisparityの計算結果。

沿岸水域をAREA I、FRONT 水域をAREA II、本流水域をAREA IIIとして、2回の採集物間のDisparityを計算した結果を横軸にDisparityの高い種から順番に図示した。その結果を図94に生物沈澱量、浮遊卵、稚子の順で示した。また、AREA毎に生物沈澱量、浮遊卵、稚子の順にDisparityの平均値および範囲を図95に示した。

生物沈澱量についてはAREA IIのみが多い傾向を示している。これはMarra(1981)の報告のようにフロントにおける渦流により深層水が上昇し、栄養塩が豊富になり植物プランクトン等の生産力が高まる事によるものと考えられた。それに比較して稚子については、どのAREAも同様な傾向を示している。浮遊卵については生物沈澱量・稚子に比較して非常に高いDisparityを示す種がAREA IIにおいて認められたが、AREA Iでは高いDisparityを示すものがなかった。

これらのことから、浮遊卵は海流の攪乱に伴う収束作用により黒潮フロント域に大きなパッチ状分布構造を形成し分布密度の大きな変動を引き起こしたものと考えられた。

KT-81-11次航海においては、伊豆半島と大島間の大島水道に黒潮分枝流が流入して伊豆半島沿岸域にフロントが認められた。大島側から伊豆半島へ向けて、分枝流を横断するように三本の観測線を設けた。採集結果を図96に示す。第1横断線のフロント域にマイワシ中期卵の、第3横断線のフロント域にマイワシ稚子のパッチが認められた。このことから、フロント域に添って間欠的にパッチ状分布が形成されていると推定された。

KH-86-4次航海においては、東支那海における大陸棚水系と黒潮との間に形成された大陸棚フロント上をグリッド状に観測点を設定した(図89)。観測は昼夜にわたったため表層水温に影響が考えられたため、観測線の昼夜別を細線(昼)、太線(夜)で図97に示した。表層水温と塩分の分布を図98、99に示した。塩分34.0‰等値線に添ってフロントが形成されていた。フロントから若干沖合の一部に、斜線域で示したような高塩分帯(34.2‰以上)が認められている。その高塩分帯の沖合側に低塩分水塊がパッチ状に認められている。

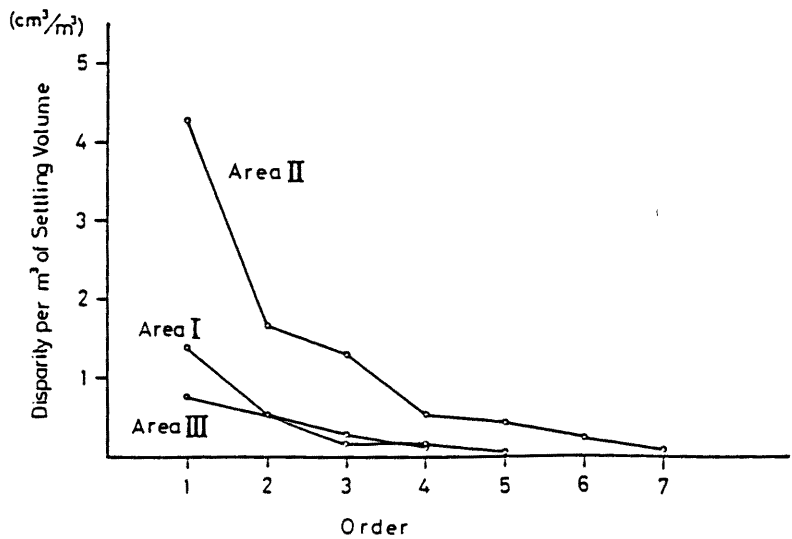
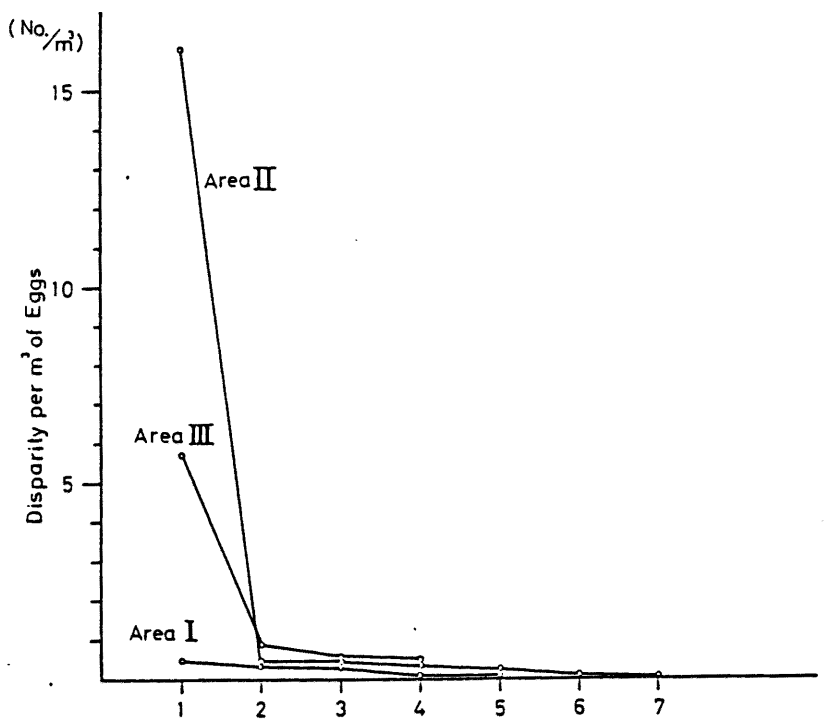
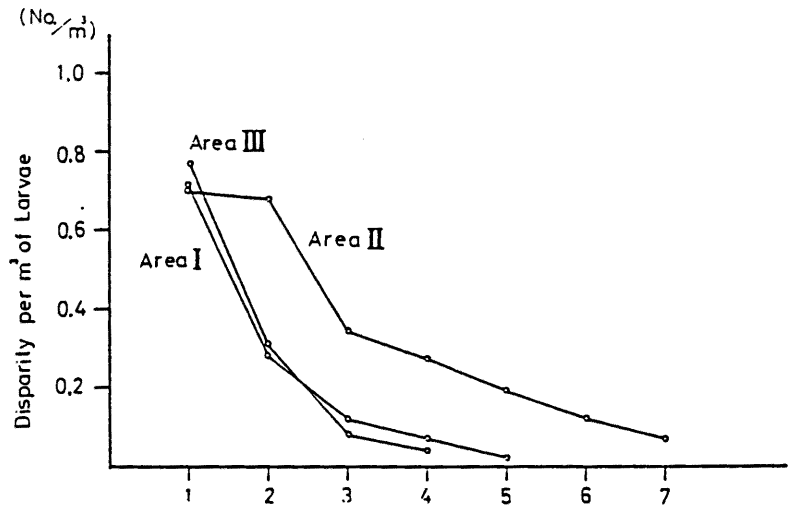


図 9 4 生物沈澱量、浮遊卵、稚仔のDisparity のOrder 順表示。

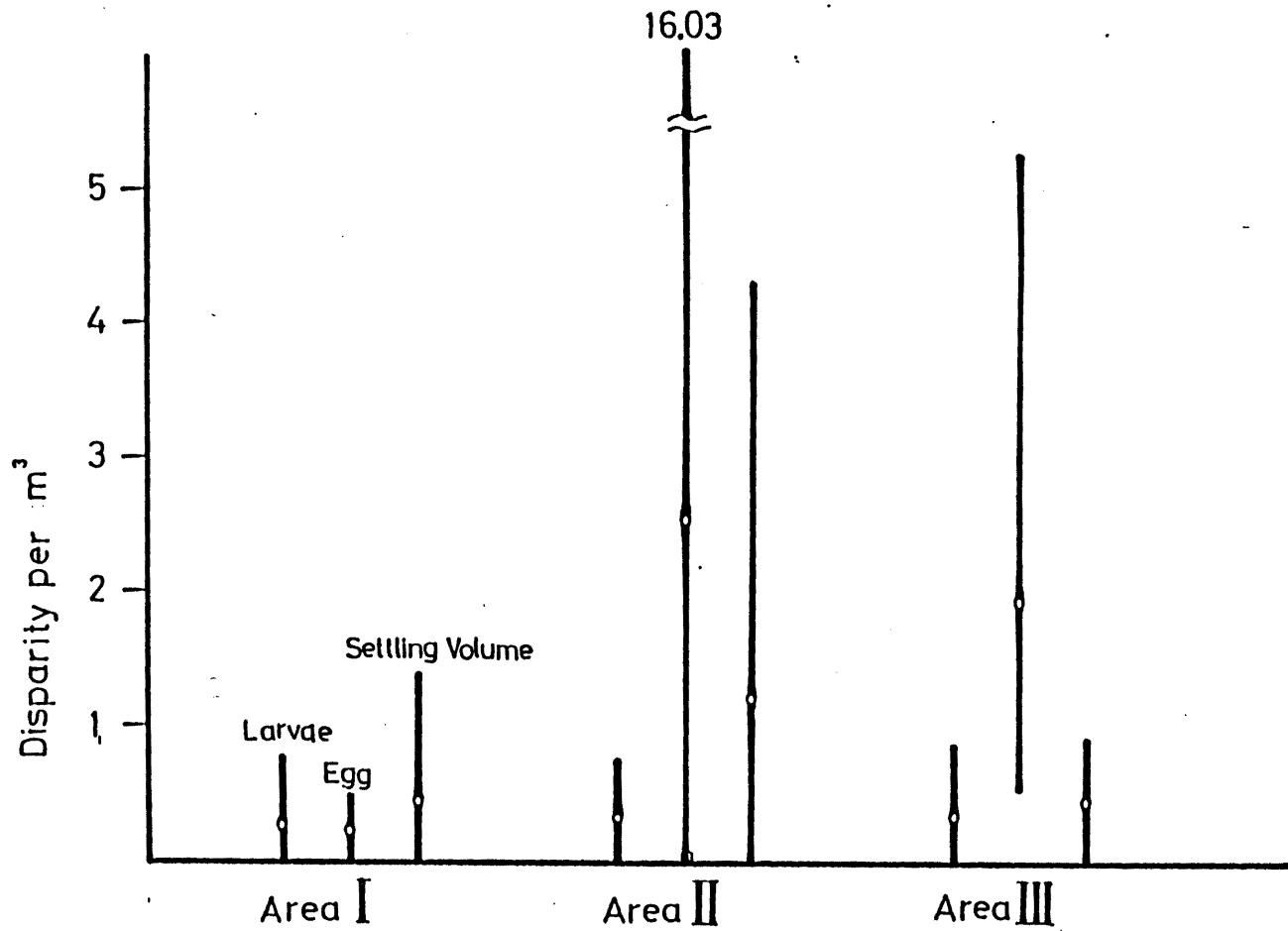


図 95 生物沈澱量、浮遊卵、及び稚子の各エリア毎のDisparityの平均値および範囲。

Density of Eggs and Larvae (No./m<sup>3</sup>)

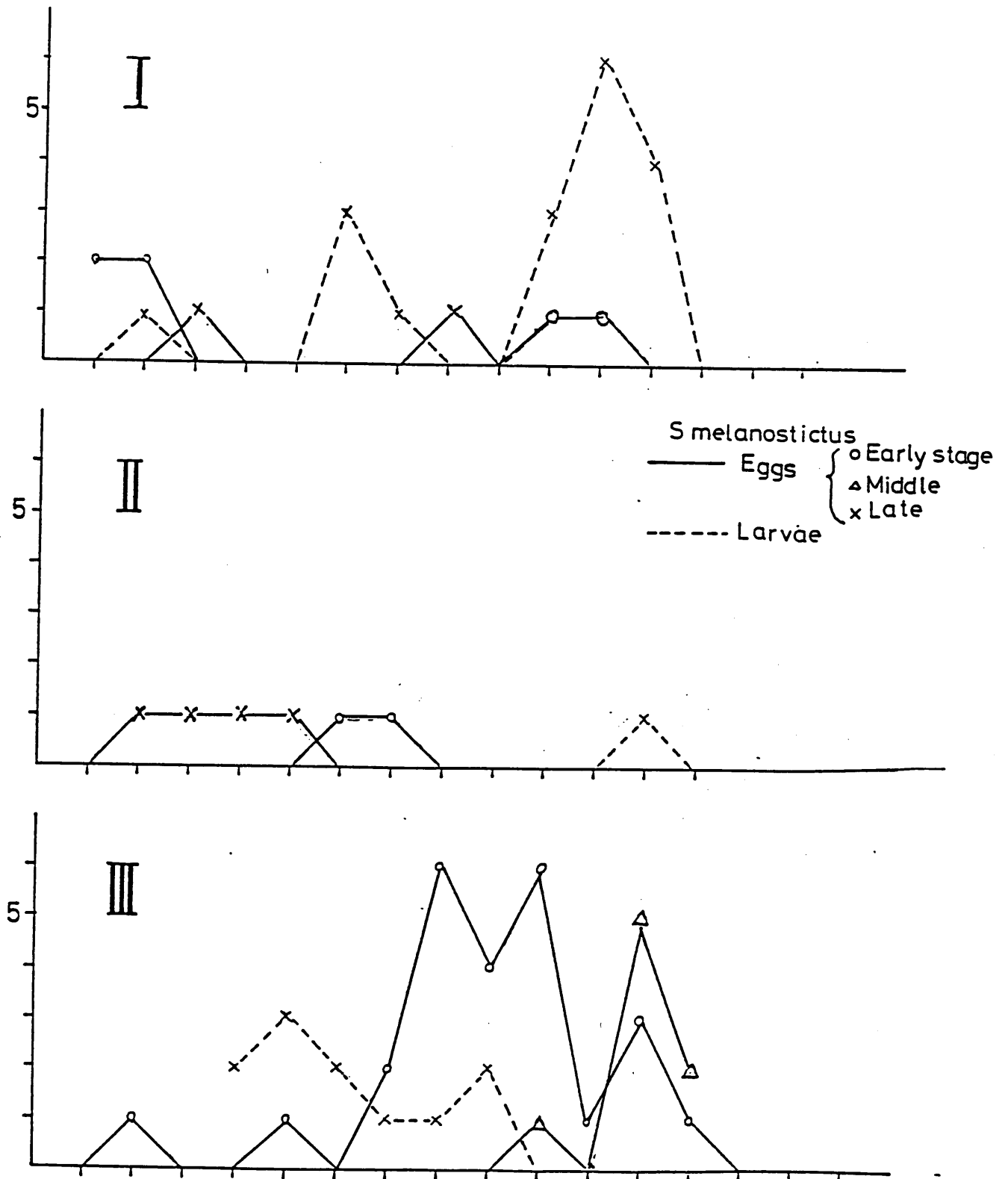


図 96 KT-81-11次航海におけるマイワシ浮遊卵稚仔の分布図 (No./m<sup>3</sup>)。

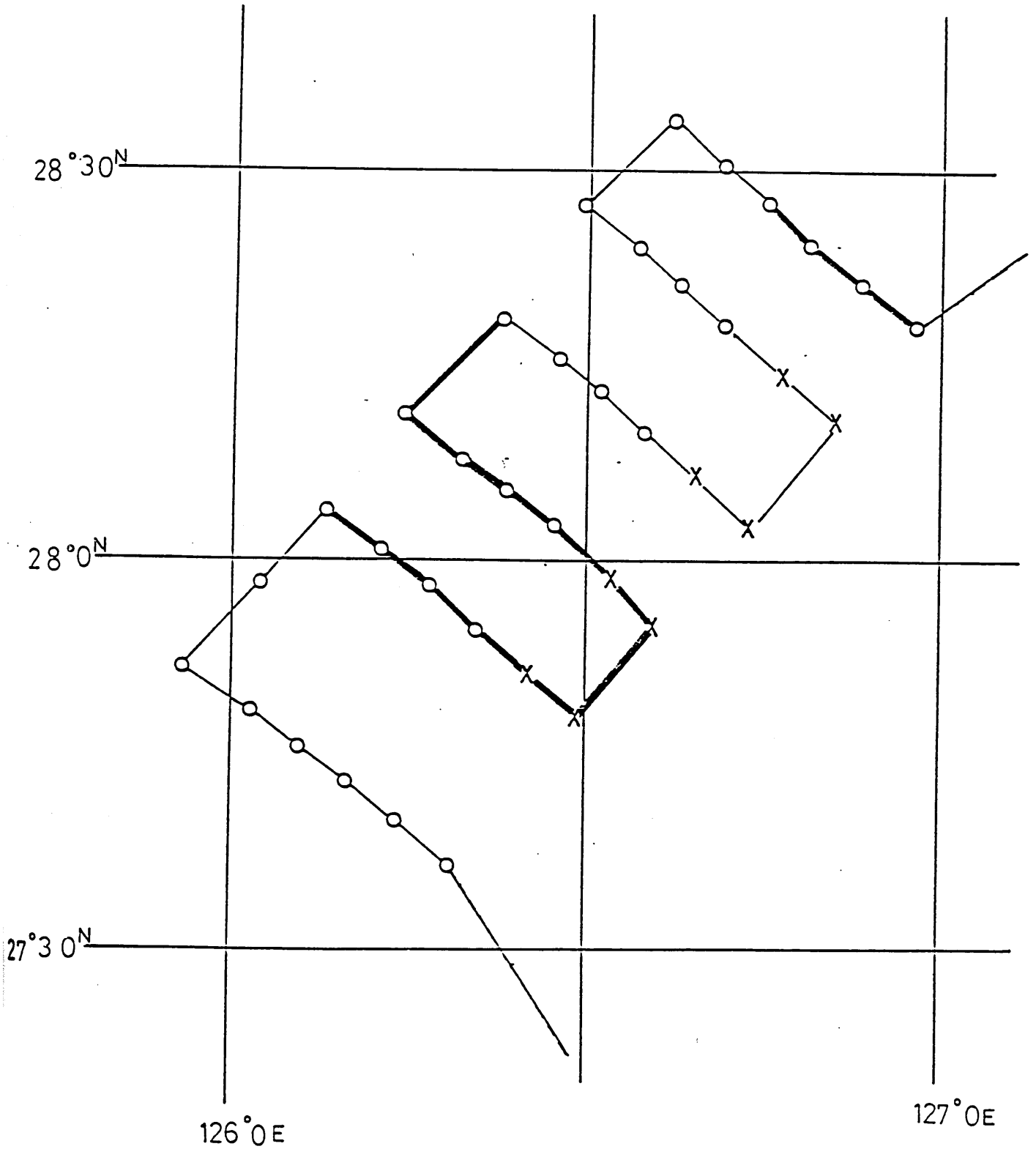


図 97

KH-84-2 次航海における黒潮前線横断観測点。細線は昼間、太線は夜間の観測を示す。○はCTD、×印はXBTでの観測地点を示す。



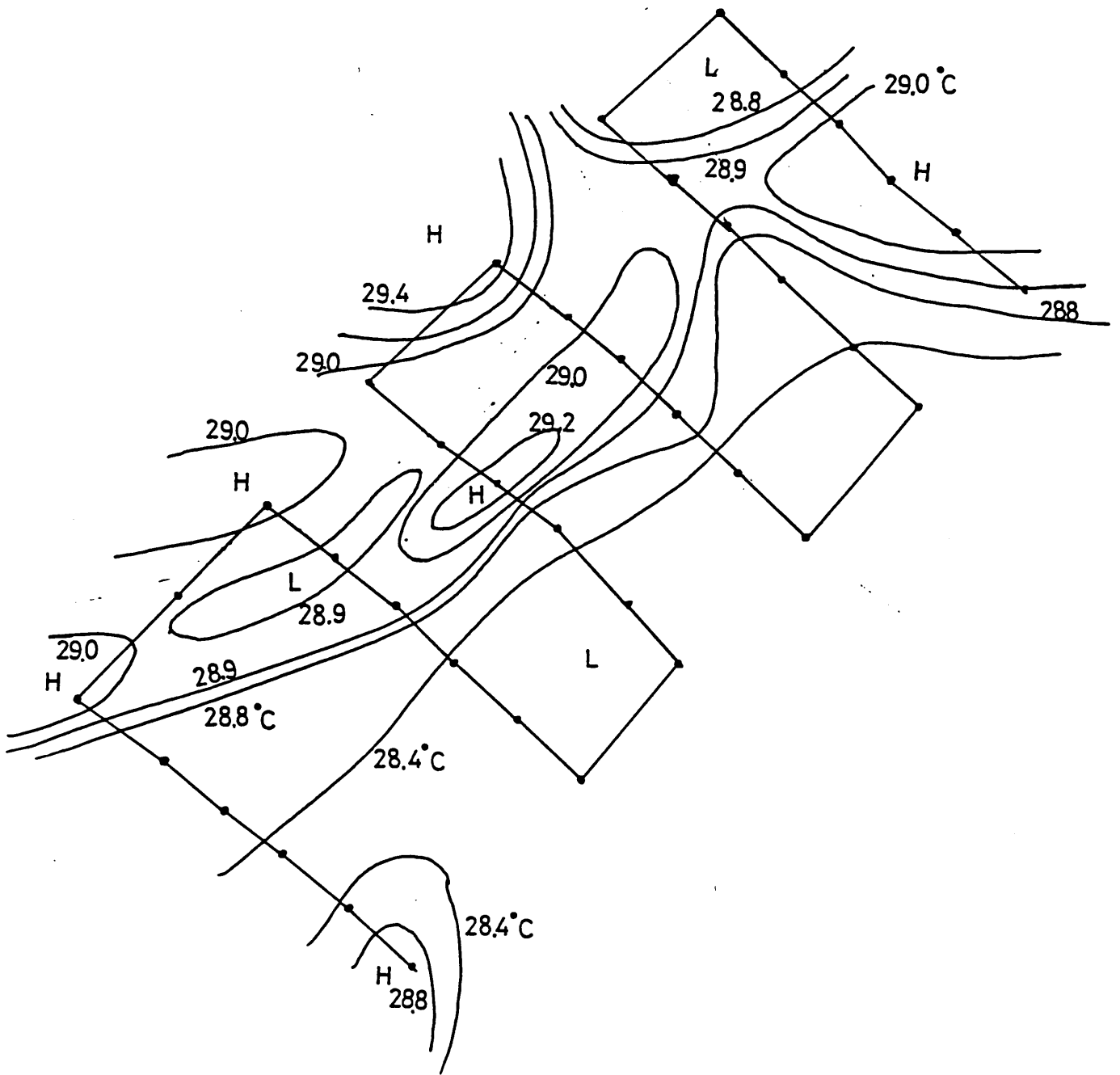


図 98 KH-84-2 次航海における表層水温分布図。

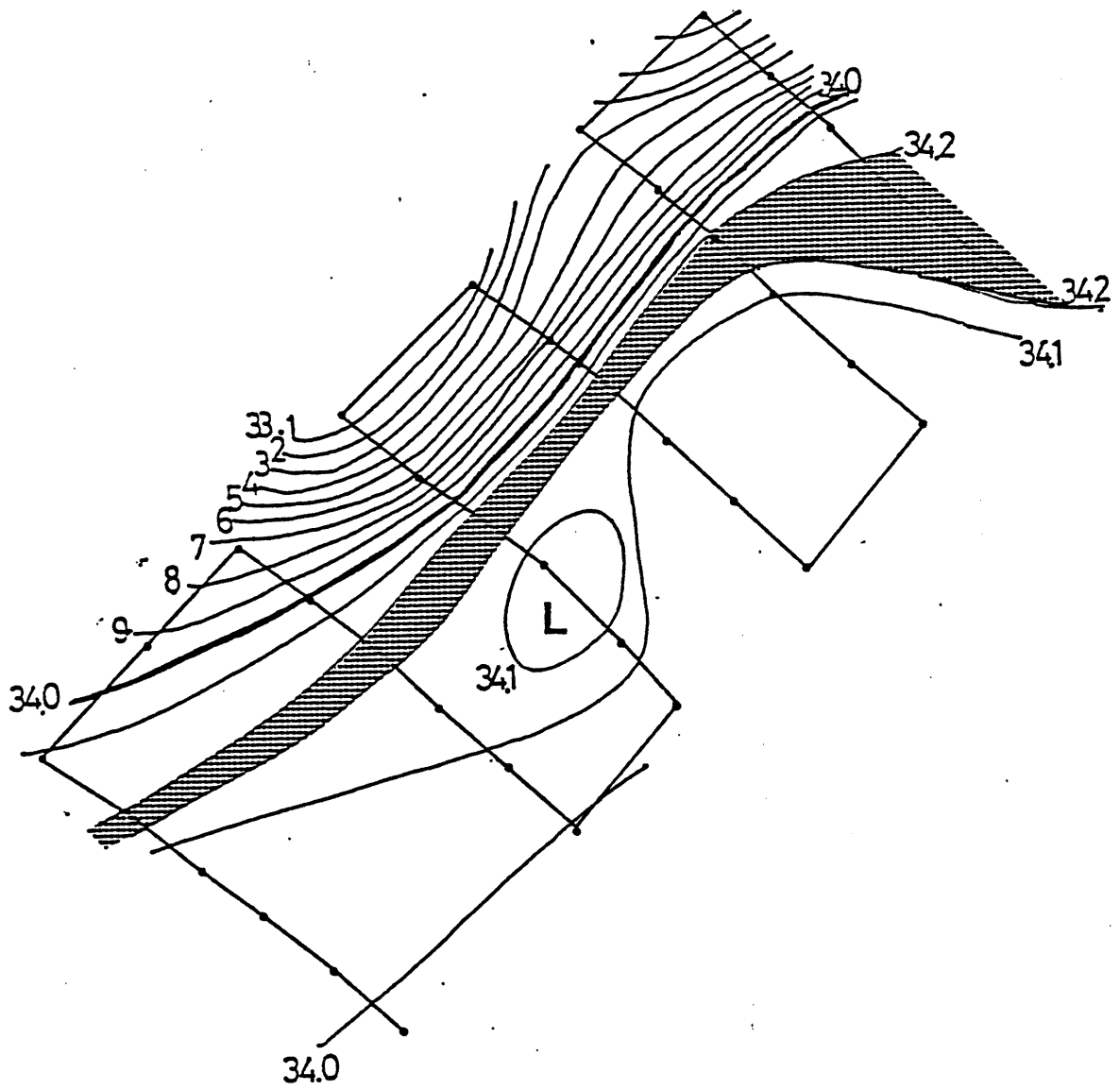


図 99 KH-84-2 次航海における表層塩分分布図。

図100にTricodesmium spp., Fish eggs, Diatoms の分布図をしめした。高密度分布域を斜線域で示した。さらに、これらとその他の各種動・植物プランクトン群の高密度分布域をパターン化にして図101に示した。グリッド観測線を横切る線は塩分34.0‰の等値線である。これらの図から、種によってその主分布域がこの程度のスケール内においても大きく異なっていることが明らかである。

図102に各観測点での2回の曳網間の各種動・植物プランクトン群のDisparityを図示した。Disparityが1.5以上の測点を斜線で示した。この図から明らかにフロント域におけるDisparityの高いことが認められた。

フロント域のDisparityが高いこと、また、フロントの形状が直線でなく蛇行をしていることが図98、99から認められ、さらに、蛇行部の背後に他水塊が取り込まれていることから海流前線域における取り込み現象の一端を表わしている観測結果と考えられた。

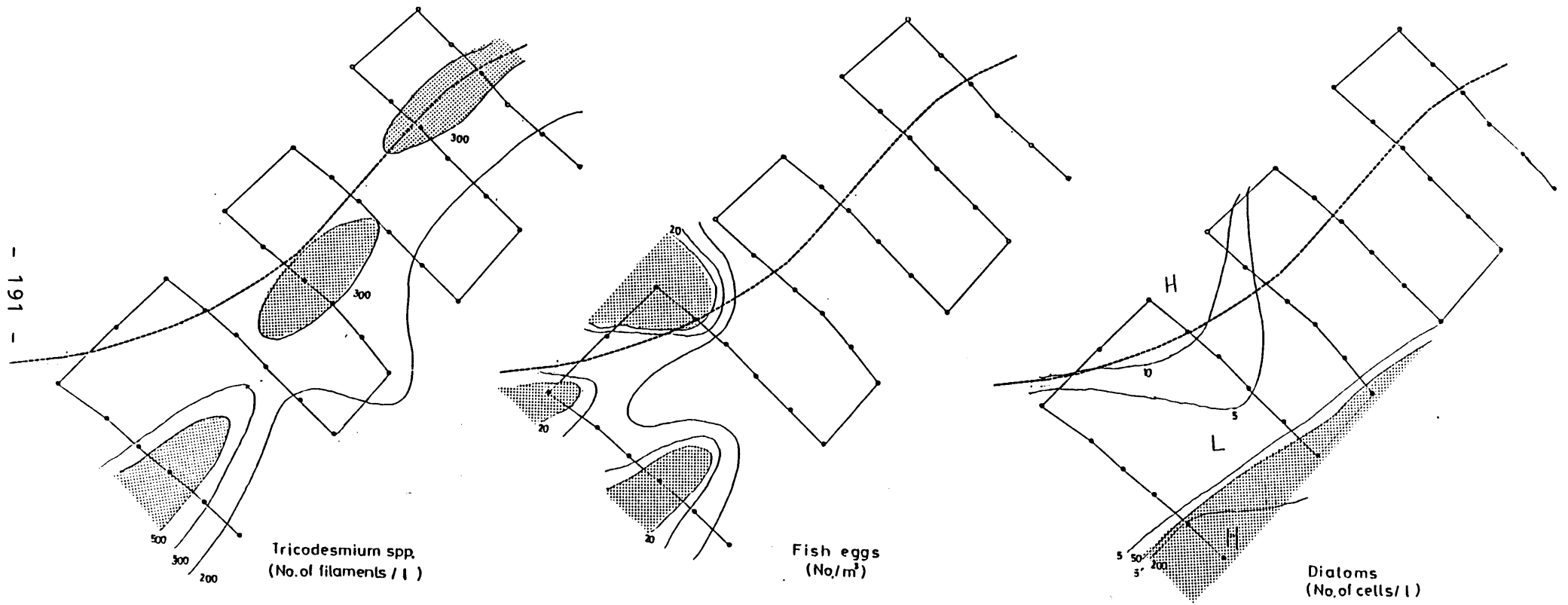


図 100 KII-84-2 次航海における黒潮前線横断観測線上における各種動・植物プランクトンそれぞれの主分布域。

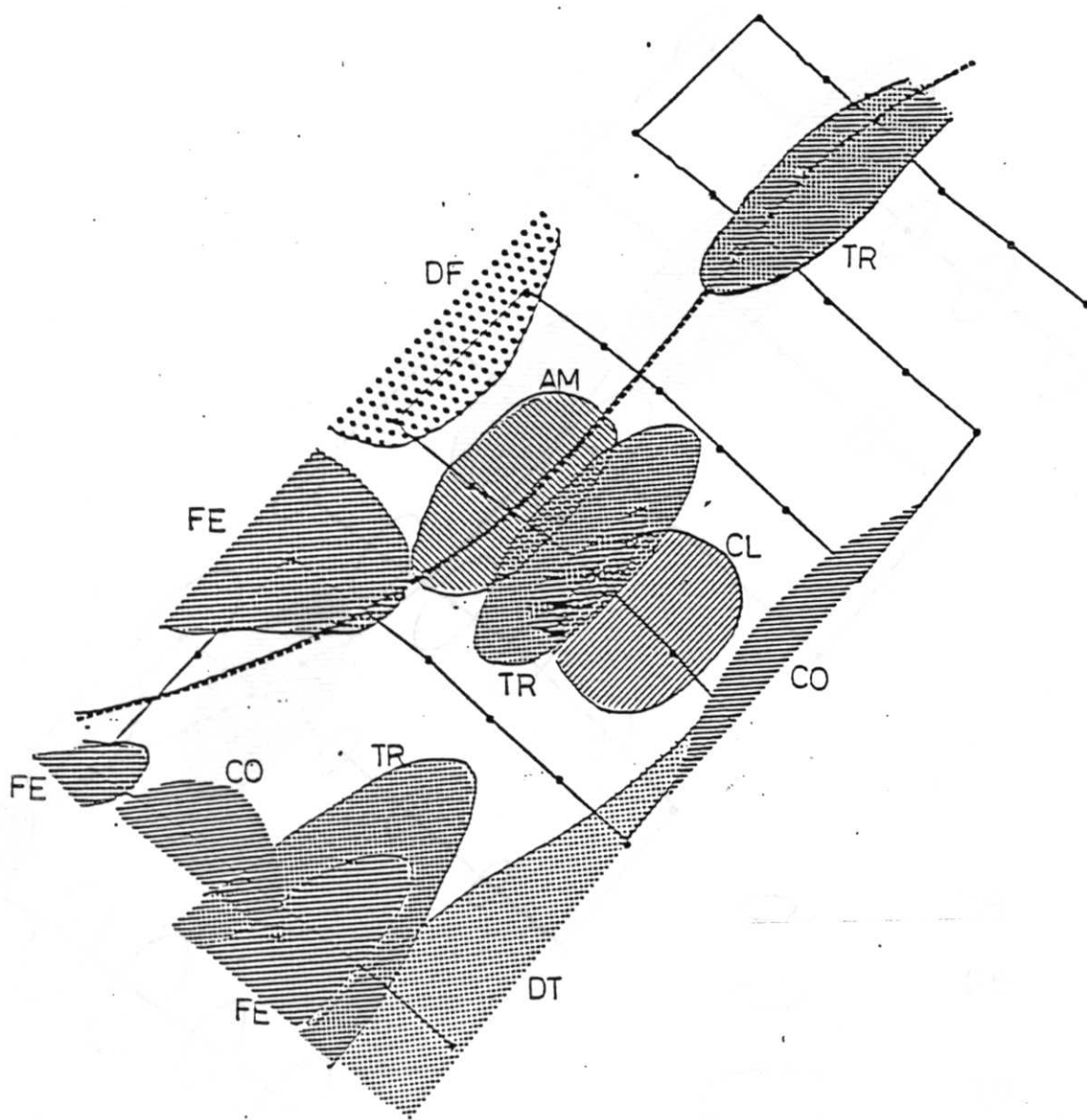


図 101 KH-84-2 次航海における黒潮前線横断観測線上における各種動・植物プランクトンの主分布域パターン図。COはCopepos , TRはTricodesmium spp., DF はDinoflagelates, FE はFish eggs, AMはAmpphipoda, CLはCladocera, DTはDiatoms を示す。

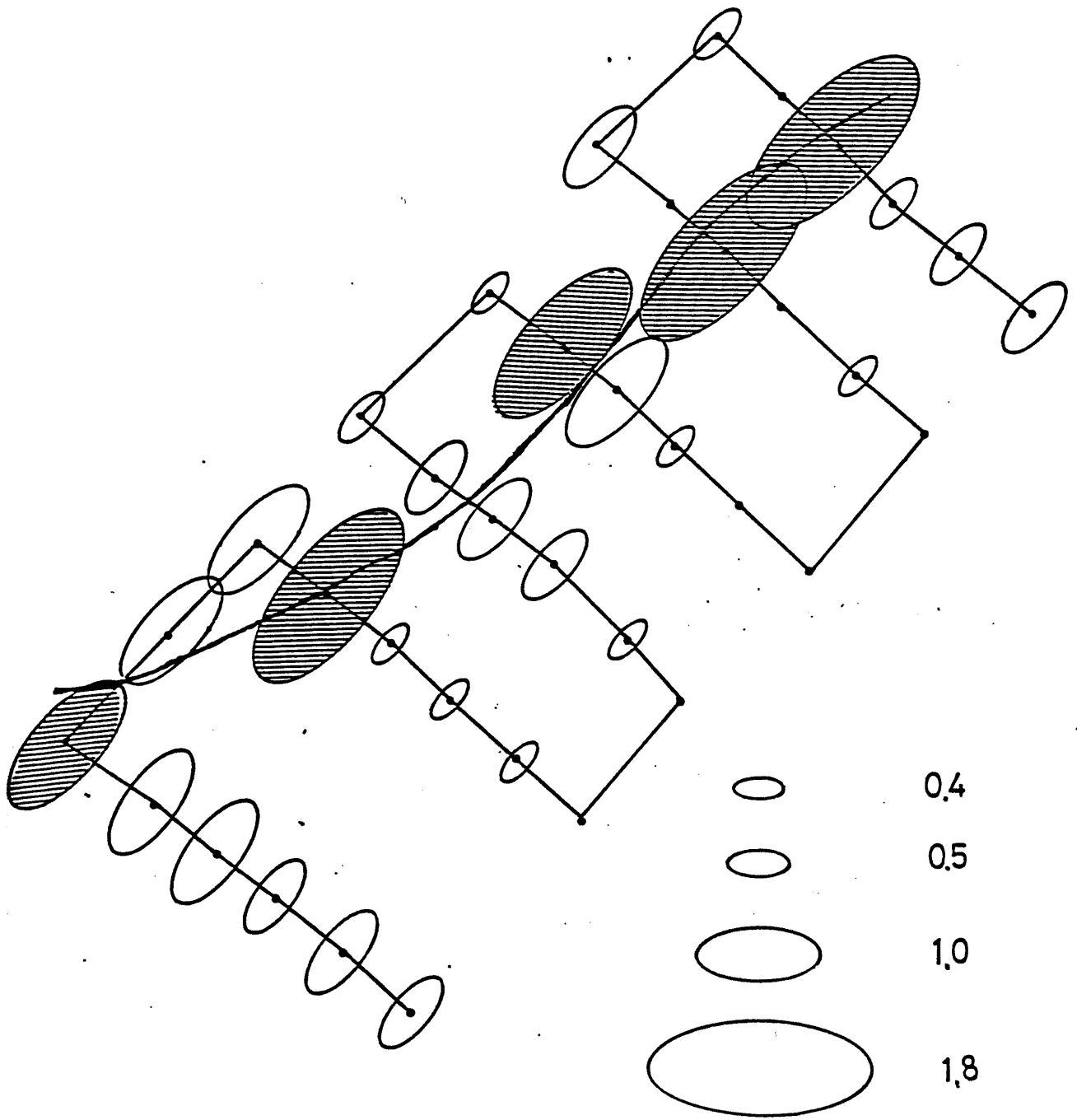


図 102 KH-84-2 次航海における 2 回曳網間の Disparity の計算結果。

#### 4章 パッチ状分布構造内における稚仔の餌生物密度と摂餌個体率

近年、稚仔の生残機構に関する研究が魚類の資源変動機構の研究の中の主要な部分の一つを占めるようになってきた。さらに、その興味は、親魚の資源量の変動では説明し得ない加入量の莫大な変動のメカニズムを明らかにすることに向いてきている。Hjort (1914)は、親魚資源における年級群の強度は稚仔の初期の摂餌期における死亡率にそのほとんどが起因していること、そして、その死亡率は稚仔が初めて摂餌する時の周囲の餌料密度に大きく依存していること、ならびに海流によって移送される水域により大きく変化することを示唆している。さらに、多くの稚仔飼育実験の結果からも稚仔の飼育環境中の餌生物密度が稚仔の生き残りに関して重要な役割を果たしていることが明らかになってきている。しかしながら、Lasker(1975, 1981) や他の多くの研究者によって、実際の自然の海域においては餌生物の分布密度は飼育実験による限界餌料密度に比較して極端に低いということ、とくに、多くの回遊性魚類の産卵場となっている沖合においてその傾向が顕著であることが報告されている。このことから、Shelbourne(1957, 1962)、O'Connell and Raymond(1970)、そしてSaksena & Houdé(1972)、Hunter and Thomas(1974)、Hunter(1977, 1978)、Laurence(1974, 1977)らは、稚仔の生き残りについて餌生物のパッチが重要な役割を果たしている可能性があること、また、Lasker(1978)、Lindahl(1983)は植物プランクトンの極大層が水温躍層に一致して存在していたことを観測し、垂直方向の微細分布の重要性を指摘している。

海産魚の浮遊卵稚仔およびその餌生物が様々なスケールのパッチを形成して分布していることは良く知られるようになってきている。つまり、自然海域において稚仔およびその餌生物がパッチ状分布構造を形成することにより、稚仔とその餌生物との遭遇率が水域によって大きく変動していることが予想される。遊泳力に乏しい稚仔にとって餌生物の摂取量ならびに利用度はこの遭遇率によって大きく左右されることが報告されており(Hunter(1972))、稚仔の生残ならびに加入の大きな変動の要因となっていることは確かであると考えられる。これらのことから、海産魚の初期における生残

機構を明らかにするためには、定点観測による地理的分布調査にとどまらず、稚仔と餌生物のパッチの微細な分布構造を連続的に同時に把握し、さらに加えて稚仔の摂餌状態を明らかにし、餌生物の分布密度との関係を検討することが重要である。

本章では連続採集調査によって、稚仔とその餌生物のパッチ状分布構造に関連して稚仔の摂餌個体率および餌生物分布密度について検討し、自然海域における稚仔の生残機構の一端を明らかにすることを目的とした。

## 材料と方法

### 1. 試料の採集調査

この調査は、東大海洋研所属淡青丸のKT-75-9 次航海とKT-79-3 次航海において行なった。

調査はKT-75-9, およびKT-79-3 次航海において行なった。夜間においては、稚仔は摂餌しないと報告があることから（農林水産技術会議(1961), Dawd & Houde(1980))、採集はすべて昼間に行なうようにした。採集調査線およびその時の海洋環境を図103に示した。

稚仔およびその餌生物は、前に述べた航走連続採集器を用いて、表層 0-60 cmから採集された。すなわち、採集器を海水中で曳航することにより採集器の前面に生ずる動圧を利用して海水を連続的に甲板上に導き、そして、その海水を濾過することにより、浮遊卵稚仔および他のプランクトンを定量的に連続採集することを可能とするものである。採集は、KT-75-9 次航海においては10分間ずつ、KT-79-3 次航海においては5分間ずつ（稚仔のパッチの存在した区間No.31-35では2.5分間ずつ）2つのネットを交互に用いて連続的に行なわれた。船速は約10ノット、すなわち、1採集区間の距離は、KT-75-9 次航海では約3 Km、KT-79-3 次航海では1.5 Km（1部の高分布密度区間では0.75 Km）である。船の航跡、すなわち、連続採集調査測線はほぼ直線である。



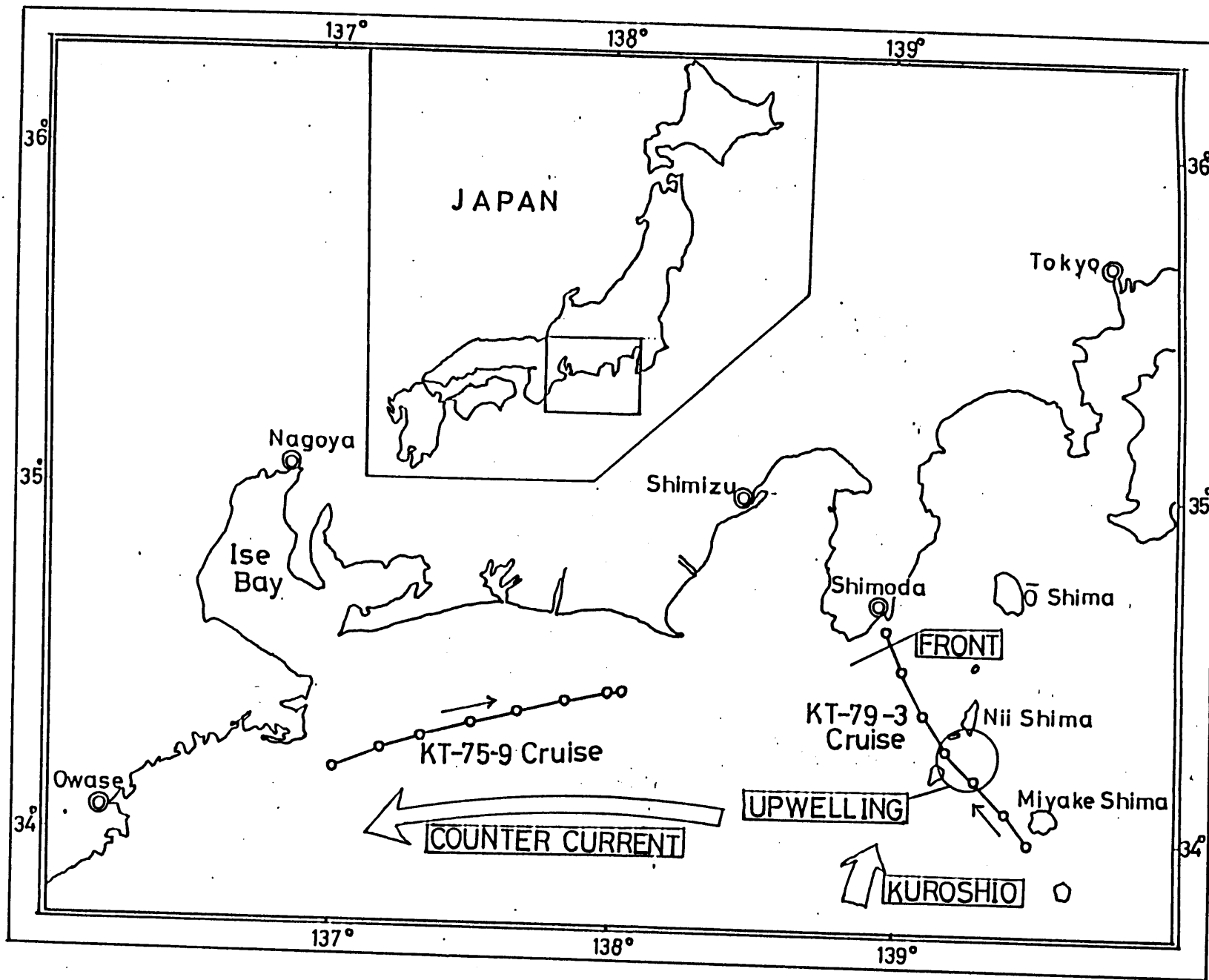


図 103 航走連続採集測線および海洋構造。

連続採集調査線上の採集区間数は、KT-75-9 次航海においては32、KT-79-3 次航海においては72である。

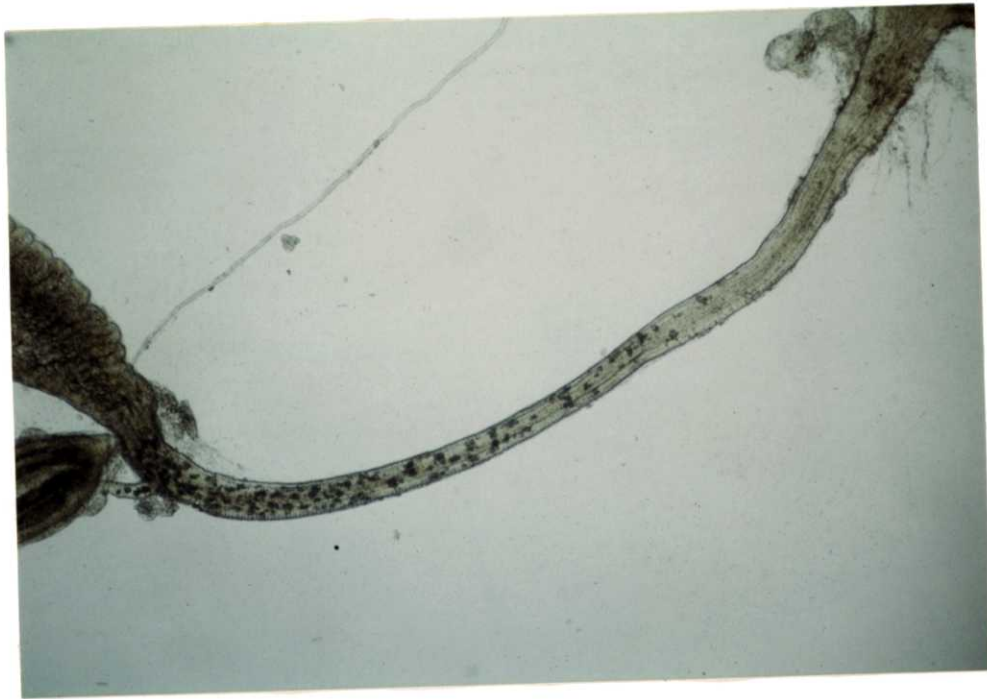
濾過採集に使用したネットの目合はXX13 (0.095 mm) である。洗網作業は、同一手順で変化のないよう行なった。採集したサンプルは中性ホルマリンが5%になるよう加えて固定保存した。海洋構造を推定するために、表面水温を水銀温度計および自記水温計により測定した。

## 2. 試料の処理

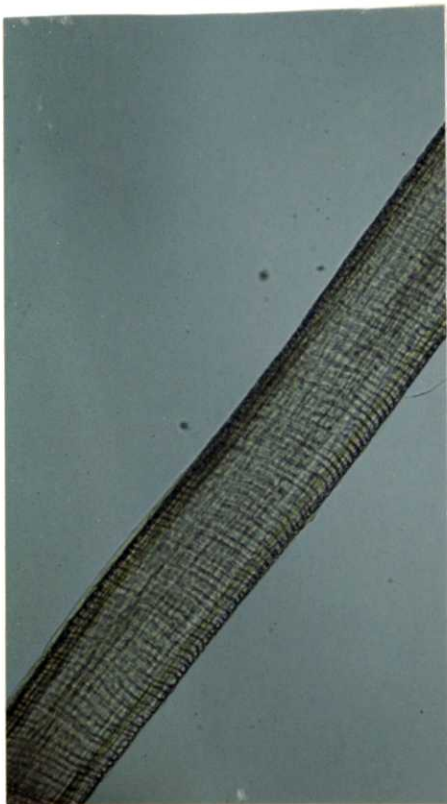
餌生物の分布密度、すなわち、各サイズのノウブリウス、コペポード、ならびに他のプランクトンの分布密度については、適当な密度になるようにデカンテーションを繰り返した後にSedgwick-Rafterセル上で計数を3回行ない推定した。

魚谷ら(1978)は、カタクチイワシ稚仔の消化管内容物調査から稚仔の餌生物への選択は、種に対するよりもむしろサイズにあることを明らかにしており、各体長における摂餌可能な餌生物サイズを推定している。今回の調査では、それを参考にして、5 mm以下の稚仔は0.25 mm以下のノウブリウス、5.1-10.0 mmの稚仔はすべてのサイズのノウブリウスと0.5 mm以下のコペポード、10.1-15.0 mmの稚仔はすべてのサイズのノウブリウスと1 mm以下のコペポード、15 mm以上の稚仔はすべてのサイズのノウブリウスとコペポードを摂餌対象の餌生物として区分けして集計した

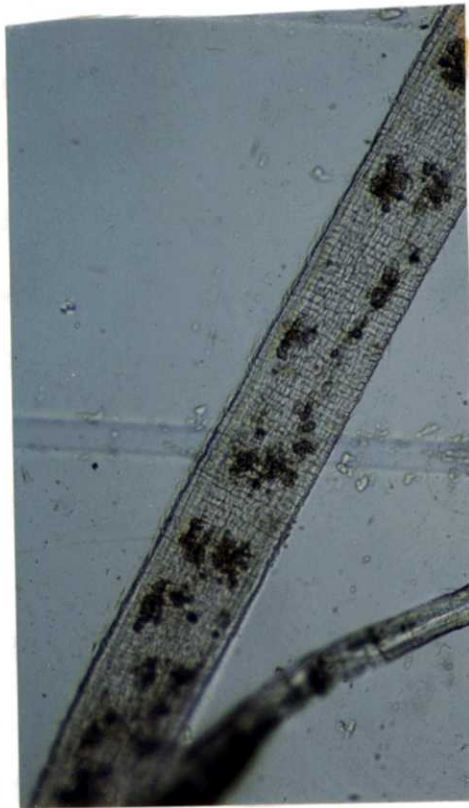
稚仔の生残には継続的な摂餌が保証されることが重要と考えられ、採集時および以前の摂餌状態の推定を試みた。採集後直ちに固定保存された稚仔は、研究室に持ち帰ったあと、顕微鏡下で、脊索長(吻端より脊索末端までの長さ、以下体長とする)を測定し、さらに、微針を用い腹腔を切開してFore gut (Miller(1979)の言うFore gutとMid gut)とHind gutを体内より取り出した。消化管を切開するとその際に生じた小片と摂餌内容物とを区別することが困難であること、また、25 mm以下の稚仔のFore gutは透明で十分内容物を確認し得ることから、Fore gutは切開することなくその中に摂餌内容物が存在するか存在しないかを図104のように検鏡することだけで確



(a)



(b)



(c)



(d)

図 104 稚子の胃内容物確認の写真。(a)ForegutとHindgut、(b)はEmpty、(c)はSufficient feeding、(d)はFull stomachを示す。

認した。また、Hind gut内の餌生物については、消化管の組織像と摂餌内容物とが区別しがたいため、微針で軽く消化管を押さえた際に内部の摂餌内容物が移動することでその存在を確認した。稚仔の生残の可能性を表わす指標を知るには稚仔の摂餌過程を知ることが必要であり（福所（1976, 1977））、そのために、餌生物の消化管中での存在状況を測定した。すなわち、消化管をFore gut(a) とHind gutに分け、Hind gutを前部(b) と後部に、そしてさらに、後部を肛門部(d) とそれ以外の部分(c) に区分けして餌生物の存否を集計した。

### 3. 摂餌状態指標

カタクチイワシ、マイワシの消化管中の餌生物の各区分における餌生物の存在パターン (16 Case)の各体長階級毎の出現頻度数を表38に示した。Fore gut内に餌生物の存在した個体はHind gut全体にも餌生物のみられる個体が多かった。そのため、Fore gut内に餌生物の存在していた個体は採集時およびそれ以前において活発に摂餌を行ない得たものと考えられた。それに反して、Fore gut内に餌生物の見られなかった場合には、全消化管においても餌生物の認められない個体あるいは肛門部のみに見られる個体が多かった。さらに、Hind gut後部および肛門部に存在していた餌生物は採集時以前に摂餌されていたものと考えられる。また、過去に摂餌した結果成長してきた個体でも今後生き残れるかどうかは、索餌行動をとり続ける間はエネルギーの消耗が非常に大きいことから、継続的に餌生物を摂餌し得るかどうか (Fore gut内に摂餌内容物が存在しているかどうか) で決定されるものと思われる。

今回の調査においては、採集時における海水中の餌生物分布密度と稚仔の摂餌状態 (生残の可能性) の関係を明らかにすることにあり、そのため、稚仔の採集時直前の摂餌行動を表わす指標として、ならびに採集時および以前から活発に摂餌し得ていたかどうかを表わす指標としてFore gut内の餌生物の存否を用いることが最も妥当であると判断した。そのため、各区分における稚仔の平均的な摂餌状態を表わすために、各区分毎の採集全稚仔数に対するFore gut内に餌生物の存在していた個体数の比 (摂

表 38 稚仔消化管内各部における胃内容物の存在パターン。

Anchovy									
Incidence of contents in				The range of body length(N.L.in mm)					
Foregut		Hindgut		<5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	>20.0	
(a)	(b)	(c)	(d)						
+	+	+	+	0	14	5	1	0	0
+	-	+	+	0	5	0	0	0	0
+	+	-	+	0	6	4	0	0	0
+	+	+	-	0	3	3	0	0	0
+	-	-	+	0	13	1	0	0	0
+	-	+	-	1	3	0	0	0	0
+	+	-	-	0	1	0	0	0	0
+	-	-	-	1	2	0	0	0	0
.....									
-	+	+	+	0	0	0	0	0	0
-	-	+	+	2	6	5	0	0	0
-	+	-	+	0	3	2	0	0	0
-	+	+	-	0	1	0	0	0	0
-	-	-	+	3	43	12	1	0	0
-	-	+	-	2	14	2	1	0	0
-	+	-	-	1	0	0	0	0	0
-	-	-	-	30	87	15	0	0	0
-----									
Sardine									
Incidence of contents in				The range of body length(N.L.in mm)					
Foregut		Hindgut		<5.0	5.1-10.0	10.1-15.0	15.1-20.0	>20.0	
(a)	(b)	(c)	(d)						
+	+	+	+	0	0	42	55	14	0
+	-	+	+	0	0	8	7	0	0
+	+	-	+	0	0	5	4	0	0
+	+	+	-	0	0	4	6	0	0
+	-	-	+	0	0	11	2	1	0
+	-	+	-	0	0	1	3	0	0
+	+	-	-	0	0	2	0	0	0
+	-	-	-	0	1	4	0	0	0
.....									
-	+	+	+	0	0	4	4	2	0
-	-	+	+	0	0	29	24	3	0
-	+	-	+	0	0	12	8	1	0
-	+	+	-	0	0	6	7	0	0
-	-	-	+	0	0	90	48	1	0
-	-	+	-	0	0	24	5	0	0
-	+	-	-	0	0	11	8	0	0
-	-	-	-	1	3	172	44	0	0

餌個体率) を各体長階級毎に計算した。

## 結果

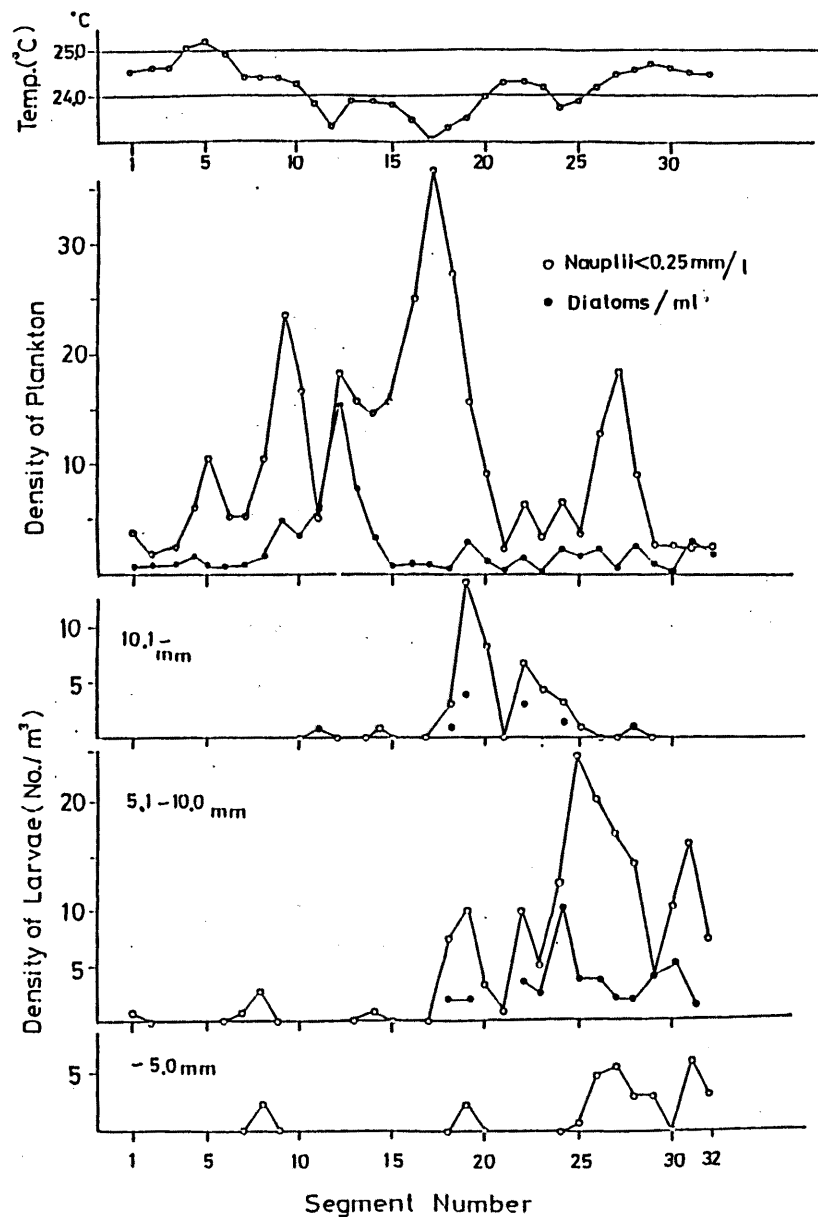
### 1. 稚仔の分布構造

カタクチイワシ稚仔 Engraulis japonica 293尾がKT-75-9 次航海において、マイワシ稚仔 Sardinops melanostictus 677尾がKT-79-3 次航海において、採集数の少ない他の種の稚仔とともに優占的に採集された。カタクチイワシ、マイワシの採集調査線上における分布をそれぞれ図105 a, b 下方にそれぞれ示した。図105 a, b から、カタクチイワシ、マイワシ稚仔の分布には、明らかにパッチ状分布が認められた。

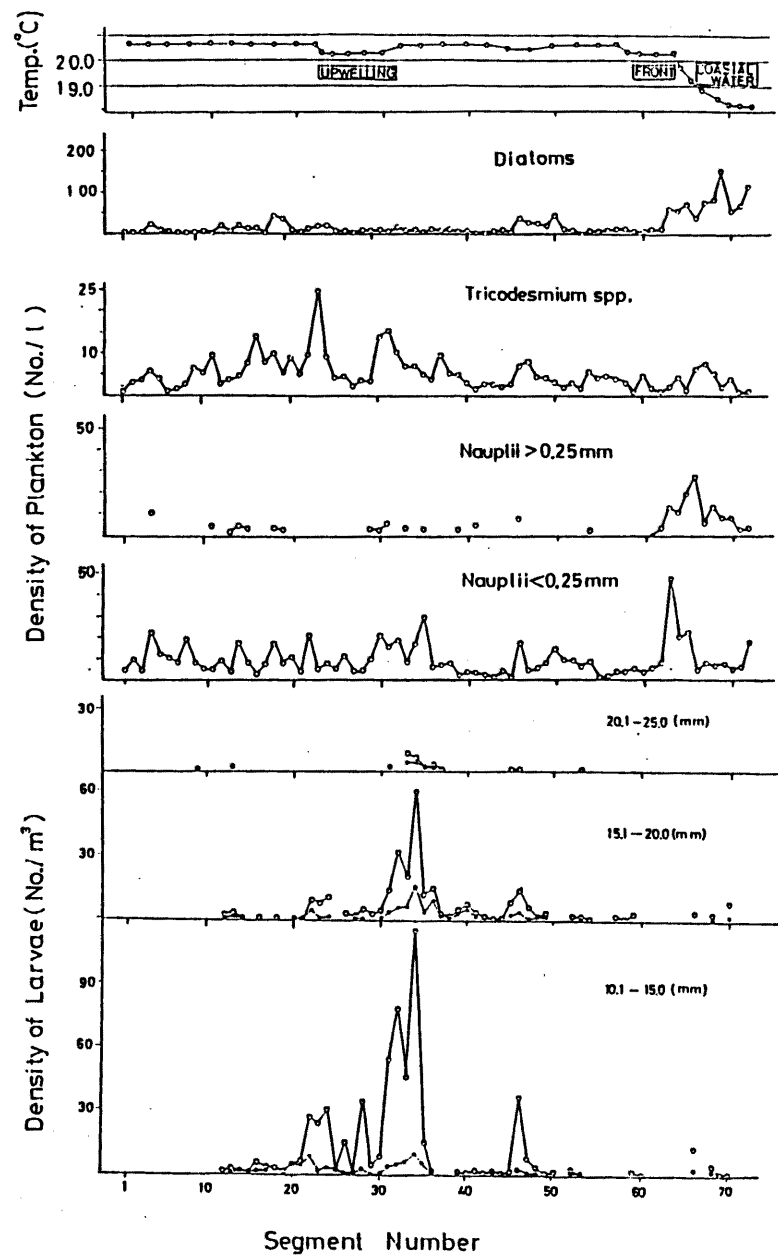
KT-75-9 次航海において採集されたカタクチイワシの体長範囲は3.0- 15.5 mm、KT-79-3 次航海におけるマイワシの体長範囲は、3.3-23.4 mm であったが、マイワシの10 mm 以下の個体は分布の中心から離れた区間 (No. 2, 64, 65, 67) に出現した5個体のみであった。

KT-75-9 次航海におけるカタクチイワシにおいては、一部水域 (区間No.18-20) において同時に各体長範囲の稚仔の分布図にピークがみられ、この水域においては集積作用の存在が伺われるが、しかし、全体の傾向としては、体長範囲によって分布水域が異なっている。この理由として、これらの稚仔が未だ十分海流に対抗して泳ぎ得るまで成長しておらず、また、海流によって集積されることもなく産卵場から放卵された順番のまま次第に流されてきたことが考えられる。当時、この海域には、西向きの黒潮逆流が存在していたこと (水路部速報) とも矛盾しないものと考えられる。

しかしながら、KT-79-3 次航海におけるマイワシについては、その主要な分布水域である区間No.30-36におけるパッチの体長組成においては、各成長段階の稚仔が採集され、その出現ピークも一致すること、また、全調査線上における分布においても、とくに一部の区間に特定の体長範囲の稚仔が集中することもなかったところから、お



(a)



(b)

図 105 航走連続採集観測線上のカタクチイワシ、マイワシ稚仔および各種動物プランクトンの分布図。(a)はKT-75-9次航海、(b)はKT-79-3次航海での結果を示す。

互いに集合する能力を持つ程に十分成長していたか、もしくは海流の作用によって集積されていた状態であったと考えられる。つまり、区間No.30-36に分布していたマイワシのパッチは、黒潮の流れの中にそびえたつ伊豆諸島背後に生じていた湧昇域内に一致して分布していた。さらに、島部のまわりに存在していた主なパッチから離れて黒潮の海流の中にみられた区間No.45-50のパッチはその体長組成が島部付近に分布していたものとほぼ一致するところから、同じ群集が海流の作用によって分離され輸送されていたものと考えられた。

## 2. 餌生物分布密度の推定

餌生物ならびに他のプランクトンの分布についても、同じ図105 a、b上方に示している。これらの餌生物ならびに他のプランクトンについても、いくつかの区間、特に沿岸水と沖合水とのフロント域および湧昇域においてパッチを形成していることが明らかである。

KT-75-9 次航海において、珪藻類のパッチが伊勢湾から流出してくる沿岸水域である区間No.8-15 において認められた。採集ネットの目合が95 $\mu$ mであることから、珪藻類の多くは逸出してしまうと考えられ、定量的には検討し得ないが、相対的な分布密度の変化を推定することは可能であると思われる。また、ノウブリウスのパッチも認められ、とくに、伊勢湾から流出した水域の縁辺部に添うように2つの大きなパッチ(区間No.8-10,15-20)がみられ、珪藻類のパッチのピークにやや近く、区間No.14 においては体長0.25 mm 以上のノウブリウスのパッチがみられた。KT-75-9 次航海におけるノウブリウス全体の1リットルあたりの分布密度範囲は1.65-30.8、平均分布密度は、8.37、標準偏差は7.29であった。

KT-79-3 次航海においては、Trichodesmium spp. のパッチがそのピークの分布密度を漸減させながらほぼ周期的(主要なピーク間の平均距離10.2 Km)にみられた。区間No.23 と31にみられたピークは、湧昇域の縁辺部に相当し、区間No.47 のピークは伊豆諸島から分離したマイワシのパッチの分布していた水域の縁辺部に相当してい



る。

さらに、珪藻類のパッチが沿岸水と沖合水とが接するフロント域である区間No.63-72に認められ、沖合に向かうにつれ急激に減少した。また、区間No.18-24およびNo.46-50においてもパッチがみられ、それぞれの区間は、湧昇域および伊豆諸島から分離したマイワシのパッチの分布していた水域に相当する。これらの現象は、Tranter et al. (1983)の報告しているEdge enrichment に相当すると考えられた。

0.25 mm 以下のノウブリウスは珪藻類の急増している水域の縁辺部である区間No.62-64においてパッチを形成しており、その最高密度は、1リットルあたり46.6個体に達していた。また、0.25 mm 以上のノウブリウスのパッチが区間No.63-66にみられ、KT-75-9 次航海と同様に0.25 mm 以下のノウブリウスに比較して珪藻類のパッチにより近い水域に主に分布していた。KT-79-3 次航海全体におけるノウブリウスの1リットルあたりの分布密度範囲は1.1-46.6、平均分布密度は8.56、標準偏差は6.99であった。

餌生物のパッチのいくつかは、稚仔のパッチとおなじ区間にみられ、また、KT-75-9 次航海においては、カタクチイワシが成長するにつれ、その分布域がノウブリウスのパッチの存在する伊勢湾内水の流出域に接近していく現象がみられた。しかしながら、今回の調査結果からのみでは、餌生物のパッチと稚仔のパッチが一致する場合はむしろ少なく、稚仔にとっての餌生物条件はかならずしも恵まれているとはいえなかった。

### 3. 稚仔の摂餌個体率

カタクチイワシもマイワシも、餌生物の分類を確実に判断することの困難であった5 mm以下の仔魚を除いて、そのほとんどがコベボードおよびノウブリウスのみを摂餌していた。そのため、今回の調査においても、コベボードおよびノウブリウスを最も重要で有効な餌生物として考えた。

主要な餌生物として考えられるノウブリウスの分布密度は、稚仔の限界餌料密度を

満たしておらず、両航海の調査海域においては稚仔の生き残りに十分な餌生物分布密度ではなかったと考えられた。すなわち、KT-75-9 次航海のカタクチイワシ、KT-79-3 次航海のマイワシそれぞれの全稚仔数にたいする全摂餌個体数のパーセントは21.5%および25.1%であった。しかしながら、十分(図104のc、d)に摂餌していたとみられる個体のパーセントは極端に低く、それぞれ4.1%、2.7%にすぎない。しかも、Fore gutの中を全部満たしていた個体はKT-75-9 次航海における区間No.22の体長11.2 mm、KT-79-3 次航海における区間No.13の体長21.5 mmの2個体のみであった。

次に、それぞれの区間における各体長階級毎の摂餌個体率と餌生物平均分布密度との関係を図106に示した。それぞれの区間におけるカタクチイワシとマイワシの摂餌個体率を、各区間における調査個体数が5個体以上の場合には黒い三角および丸で、5個体よりも少ない場合には白い三角および丸で示してある。測定稚仔数が5個体以上のケースについてみると餌生物分布密度が高くなるにつれ摂餌個体率が減少しているような傾向が伺えるが、これは餌生物分布密度の高い区間における測定稚仔数が少なかったためと考えられ、むしろこの図からは、摂餌個体率と餌生物の平均分布密度との間にはなんの関係も見いだすことが難しいと考えられる。

各体長範囲における稚仔の摂餌個体率を図107に示す。摂餌個体率は、稚仔の体長範囲が20 mm以上のクラスに達すると急激に上昇している。しかし、5 mm以下の稚仔の摂餌個体率は極端に低かった。マイワシの5.1-10.0 mmクラスの摂餌個体率25%は測定稚仔個体数が4個体にすぎないためあまり信頼できる数値ではない。

各区間における摂餌個体率と稚仔の分布密度との関係を図108に示した。摂餌個体率は稚仔の分布密度が増加するにつれて次第に減少する傾向がこの図からはっきりと認められる。稚仔の分布密度の高い区間での低い摂餌個体率は、比較的小さい体長の稚仔が多く、体長によるひずみからこの結果を生じているかもしれない。しかし、稚仔の分布密度の低い区間での高い摂餌個体率はそのような理由では説明し得ない。さらに、各体長階級毎の分布図105 a, bからみても、各区間における稚仔の個体

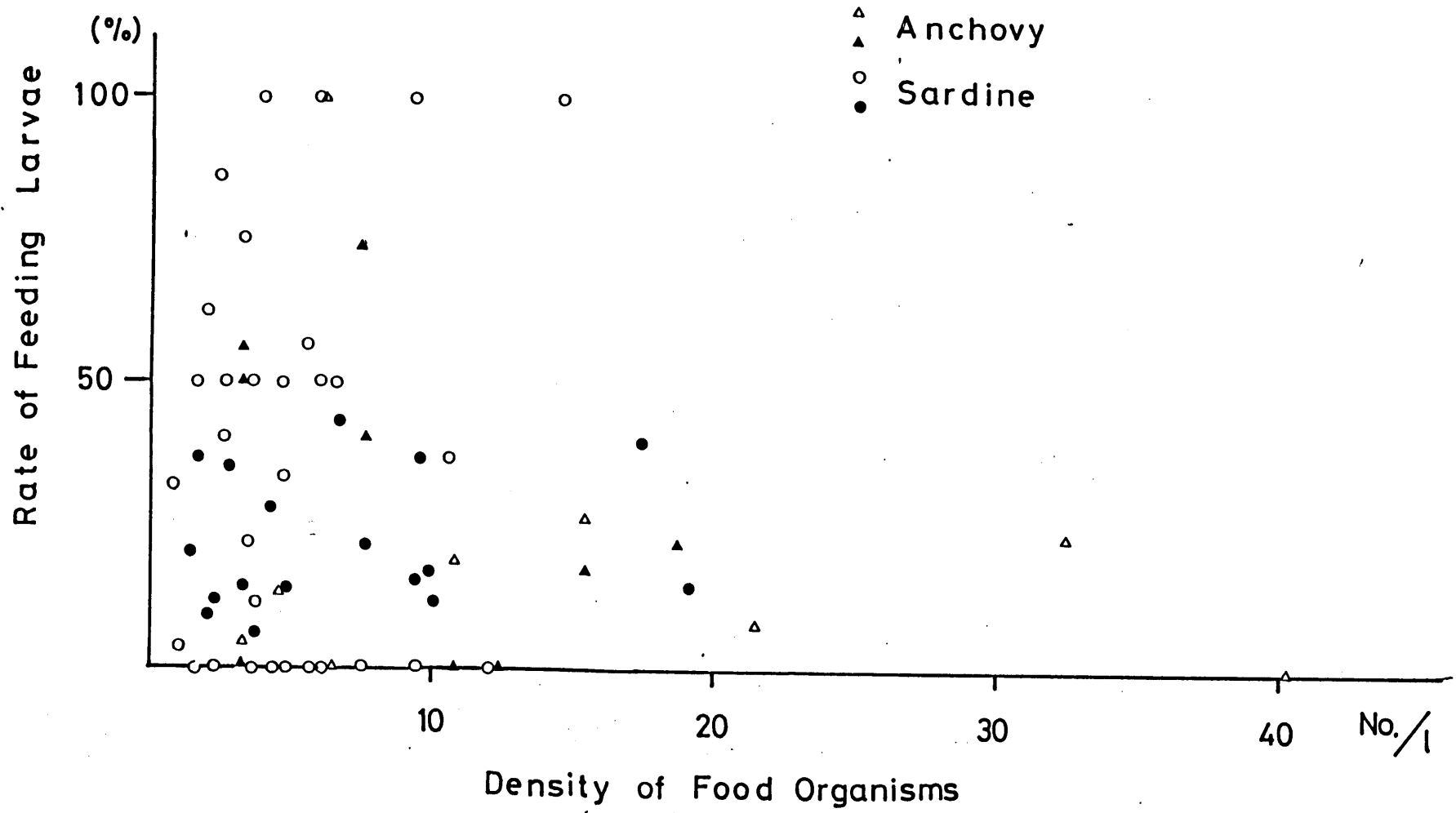


図 106 稚子の摂餌個体率と餌生物分布密度。

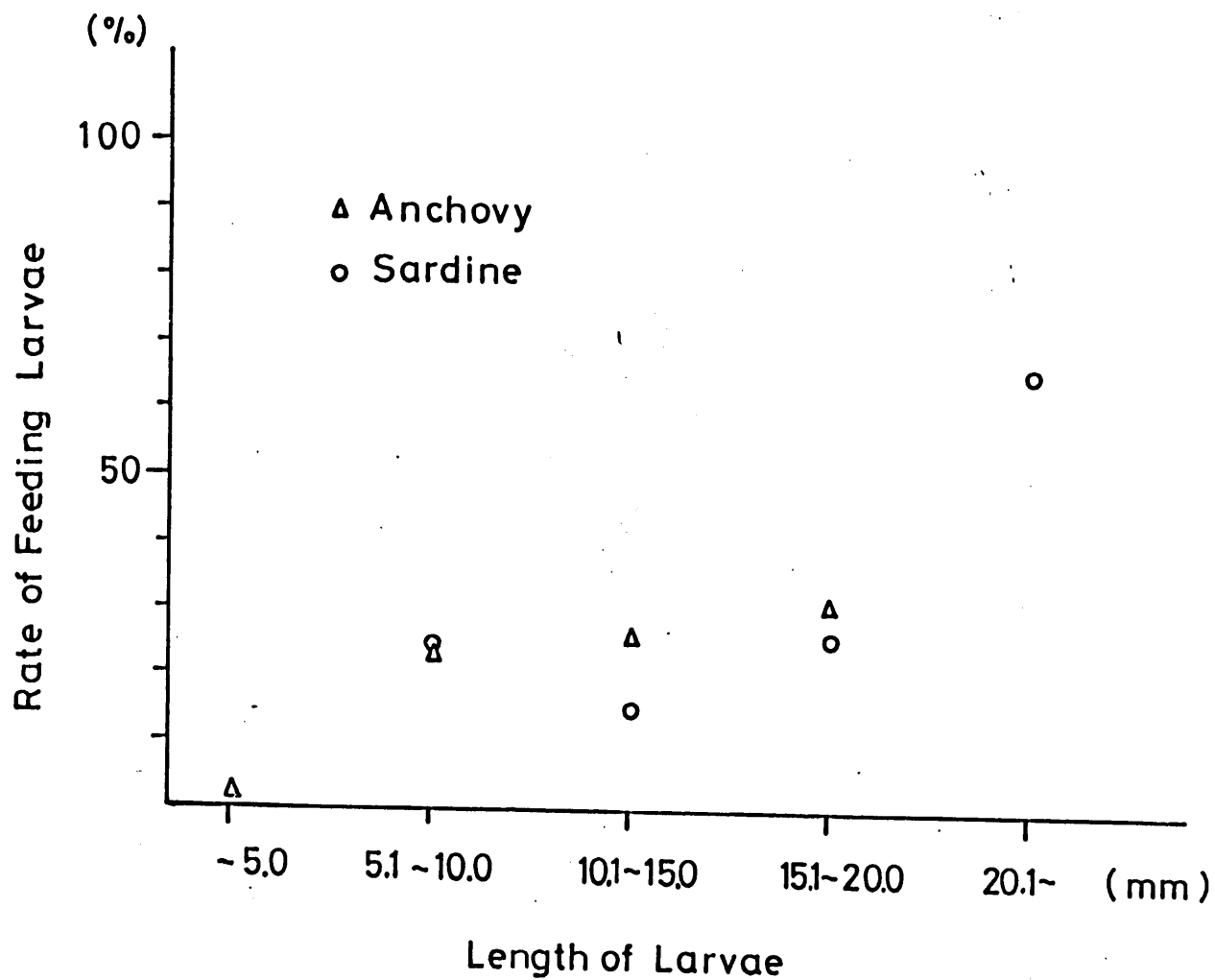


図 107 稚仔の摂餌個体率と体長。

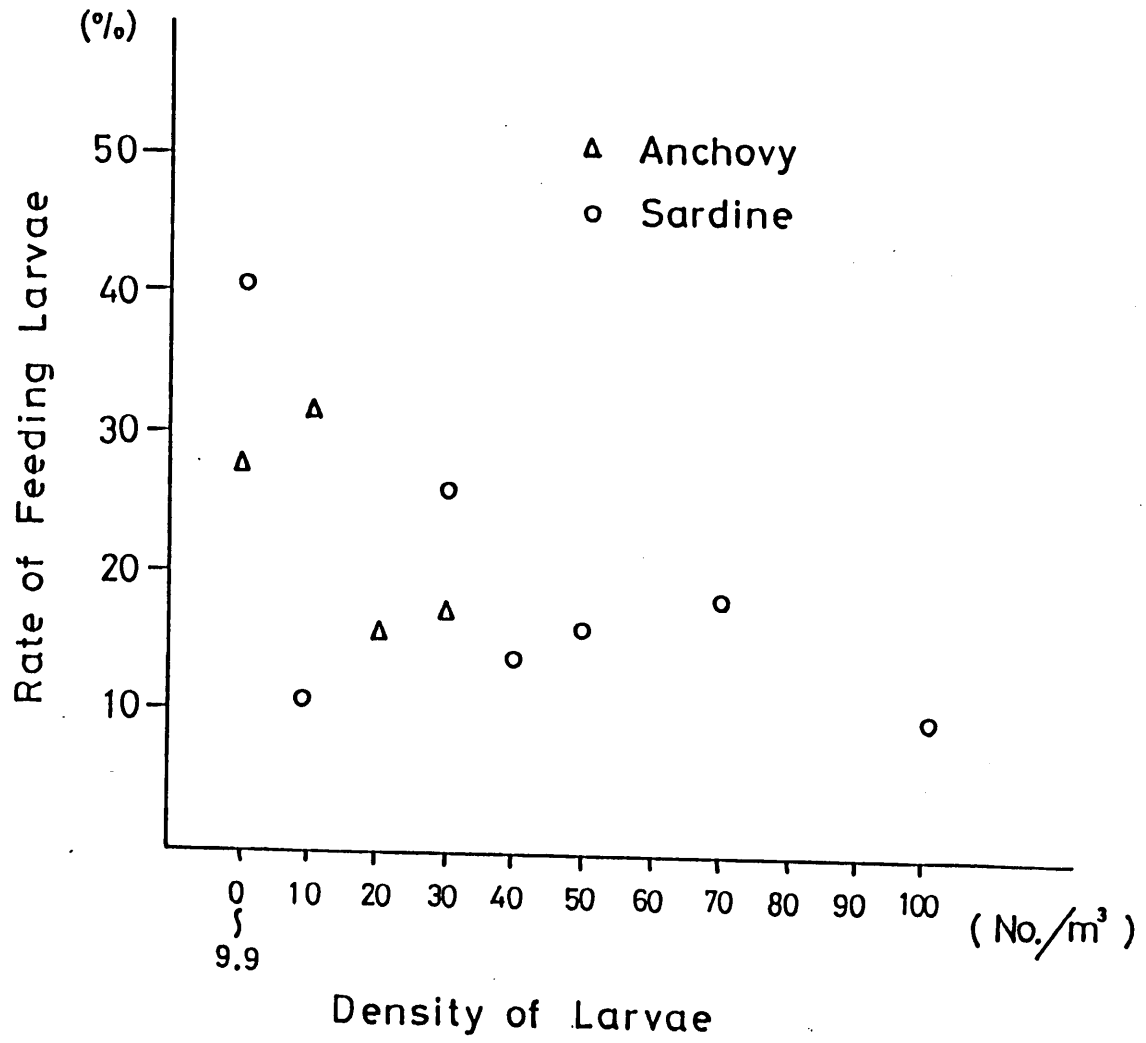


図 108 稚仔の摂餌個体率と稚仔分布密度。

数が増加してもそれに比例して摂餌している個体数が増加していないことからこの傾向は窺える。

### 考察

稚仔の生残機構を解明するためには、様々な、例えば、マクロ、メソ、ミクロ、そして稚仔の周りの水塊を対象とするような超ミクロなスケールでの調査が必要である。すなわち、それぞれのスケールにおいて稚仔の生き残りの機構に関する様々で重要な現象が存在しているからである。本章では、比較的大きなスケール、数Km間、での平均的な摂餌個体率を調査している。このスケールでの調査が、地域的な個体群の資源量の変動機構を明らかにするのに最も適していると考えられる。

稚仔とその餌生物はパッチ状に分布していることが明らかである。そして、その分布構造と海洋構造との関連が認められた。とくに、異なる水塊、たとえば、沿岸水、沖合水、深層水、の接触によって生ずる湧昇域ならびにフロント域がパッチの形成に関して重要と考えられる。これらは、海流やその他の水流の乱れというものによって特徴づけられている水域といえる。

海洋構造と動・植物プランクトンのパッチに関する報告は数多く存在し、フロント域におけるさまざまなプランクトンのパッチの分布構造および成因に関する物理的、化学的な考察についてはSeliger (1970, 1981) らに詳しく、Tranter (1983) らはWarm core eddyに伴うBiological enrichment と栄養塩との関係を物理学的条件から考察して報告している。Yoder and Atkinson (1981) はガルフストリームにみられるFrontal eddiesに伴う上昇流に符合して植物プランクトンのパッチがみられること、石坂・高橋 (1984) は黒潮分枝流のフロント域にクロロフィルのパッチが存在すること、Hann (1981) らは大陸棚縁辺部湧昇域にみられるIsothermに付随して稚仔のパッチがみられ輸送されることを明らかにしている。また、黒田ら (1985) は黒潮前線における微細観測をおこない、各種プランクトンのパッチと海洋構造との関係を論じている。これ

らの報告および今回の調査の結果から、生物の分布に及ぼす海洋構造の影響の大きいことが明らかであり、海産魚の資源変動機構を論ずるうえで欠かせない重要な要素として考えられる。

また、障壁としての島により生じた擾乱によって形成された水塊に取り込まれるように主な群れ集団から分離され輸送されていたものとみられる稚仔のパッチが確認された。Uda and Ishino(1958)、Hamner and Hauri(1981)は海水の流れの中に存在する島の後方に切離渦ができること、それに付随して各種プランクトンのパッチが生じることを指摘している(Hamner & Carleton(1979))。Shelton and Hutchings (1982)は、貧栄養域に産卵された卵が大陸棚縁辺部に形成されるフロント域に生ずるFrontal jet current によって輸送が行なわれることを確認し、その取り込み機構を季節風と関連づけている。今回の調査で観察された分離パッチは、海流の中に存在する島によって生じた湧昇域および切離渦によって形成、分離、輸送されており、稚仔の加入機構を明らかにするうえで一つの重要な現象と考えられる。

本章の目的は、海洋条件によって引き起こされるパッチ状分布構造が稚仔の生き残りとくに摂餌に及ぼす影響を知ることにある。たしかに、稚仔およびその餌生物は海洋条件によって様々なパッチを形成しており、それらの遭遇率が大きく変動していることが確認された。

次に、多くの研究により、カタクチイワシ、マイワシの摂餌開始期における主要な餌料としてコペポーダなどのノウブリウスが報告されている。コペポーダの卵については、マイワシの胃内容物に認められたがそのほとんどが未消化であったことも報告されている。Adams et al.(1982)は、水温等の環境要因によって摂取する餌生物の最適サイズが変化することを報告しているが、魚谷(1978)、代田(1975)らはほとんどの稚仔の摂餌回式の主要な餌生物はコペポーダおよびそのノウブリウスであること、またその中での種に対する選択よりもむしろ摂餌個体の体長と餌生物のサイズに強い相関のあることを指摘している。

さらに、Lasker(1978)は、Northern anchovy, Engraulis mordax, の最初の摂餌

期における生き残りに関して渦鞭毛藻類である、Gymnodinium splendens が重要な役割を果たしていることを報告している。日本のカタクチイワシやマイワシの稚仔にとっても、このような渦鞭毛藻類や植物プランクトンに対する利用のあることが予想されるが、現在までのところその事実を確認し得ている報告は存在していないこと、また、本調査においても餌生物としてそれらが認められなかったため、採集された稚仔にとって有効な餌生物条件を表わす重要な指標として各サイズのコペポータおよびノウブリウスの分布密度のみを考えた。

また、稚仔の採集時直前の摂餌状態を表わすために消化管内容物の確認を行なった。しかしながら、5 mm以下の仔魚のノウブリウス以外の餌生物についての査定は困難で確実な報告はいまだ少なく、現状においては種は勿論、科レベルの査定も不可能であることから、図104のように、稚仔のFore gut内に内容物が存在していたかどうかで、“摂餌していた”か“摂餌していない”かをみた。この“摂餌していた”か“摂餌していない”かどうかをみることで、採集時直前の稚仔の生き残りの可能性を表わすための稚仔の摂餌状態を必要な程度十分に示し得ると考えた。すなわち、稚仔が生き残るために外部からの栄養を採集時直前から採集時までの間、継続的に摂取し得ていたかどうかを知ることが最も重要なことと考えたからである。

この研究を実施するにあたり、当初、ある区間における平均餌生物分布密度が高ければその区間における稚仔の摂餌個体率が高くなると予想していた。しかしながら、両者の間にはなんらの関係もみいだせなかった（図106）。

恐らく、これには2つの理由が考えられる。その1つは、餌生物のマイクロバッチが関係していたと考えられる。すなわち、ある区間の平均餌生物分布密度が低くても、ある特定の部分に高い餌生物分布密度の水塊が存在し、ある“幸運な”稚仔がそれに遭遇して一時しのぎにしる摂餌し得たのかもしれない。しかし、このマイクロバッチの数は限られているか、または、稚仔によって発見され得ないため摂餌していた稚仔の数は限られてしまい、平均餌生物分布密度と相関がなかったと考えられる。しかしながら、別の見方からは、もう一つの理由が考えられる。すなわち、ある“頑健な”



稚仔は、他の多くの稚仔が生き残り得ないような低い餌生物密度の中でさえも摂餌し得るのかもしれない。このことは、稚仔の生き残りに関して稚仔自身の能力差に多くを依存することを意味する。

次に、稚仔の分布密度の高い水域、すなわち、パッチの中心に分布していた稚仔の摂餌個体率は、稚仔の分布密度の低い水域に存在する稚仔のそれよりも低かった(図108)。この一つの理由としては、ある海洋条件のもとでのある限られた水域の中に存在する餌生物のマイクロパッチの数は少なく一定のため、摂餌できる稚仔の数は稚仔の分布密度に比例して増加しないためか、または、稚仔の生存し得るマイクロパッチの数は十分あるが、稚仔が発見し利用し得る数は稚仔の分布密度と関係がないためではないかと推測している。すなわち、その遭遇はあまりにも低い確率で起こる現象のため今回の調査のサンプル数程度では稚仔の分布密度に比例して増加しないためと考えられる。一方、O'Connell(1980)は、自然海域において、稚仔が高密度(パッチ)であったステーションでの飢餓個体率が高いこと、このパッチが変動の激しい環境(Fluctuating Environmental Conditions)の中に形成されていたことを明らかにしている。このことは他もう一つの理由、稚仔のパッチの中心水域(集積作用のためにturbulenceの高い水域と考えられる)においては海水の擾乱が高く、稚仔の眼の前を通過する餌生物のスピードが増大するため摂餌成功率が減少し、マイクロパッチの利用が行なわれなかったためと考えられた。そして、成長段階の低い稚仔ほどその影響は大きいものと考えられる。

さらに、Houde(1975)が餌生物密度と稚仔密度の関係についての興味ある飼育実験を行なっている。すなわち、餌生物量は十分確保された条件のもとで、高い稚仔密度で飼育したら生き残れないような餌生物密度でも低い稚仔密度での場合には生き残れる可能性が存在したことを報告している。彼の実験での稚仔の最低密度でさえも自然海域にみられる最高分布密度より高いため、単純には自然海域への比較はできないと思われるが、このことは、低い餌生物分布密度である自然の海の中での稚仔の生き残りに関して重要なヒントであると考えらる。Houdeは彼の実験での結果に関して、餌

生物への遭遇率で説明せず、稚仔同士の排除動作が摂餌時間を減少させているためと推測している。

しかし、自然海域でのこの現象について説明するには、稚仔の分布密度は極端に低いことから排除動作では説明できず、むしろ、稚仔のパッチおよび餌生物のマイクロパッチの形成要因ならびにお互いの遭遇機構に強く関連する現象と考えられる。

次に、体長と摂餌個体率の関係から5 mm以下のほとんどの仔魚の摂餌率は極端に低く、また、成長とともに摂餌率が急激に増加すること（図107）や、個体数の大きい時の変動がその後の経過に大きな影響を与えると考えられることから、摂餌期初期における成功・不成功が加入期の変動を決める上で重要な役割を果たしているに違いない。

親魚から放卵された浮遊卵および稚仔は、海流等により拡散あるいは集積し、様々な餌生物環境の中で、継続的に摂餌し得なかった稚仔は次第に体力を衰えさせそれがさらに摂餌能力を失わせ死亡してゆくものと考えられる。継続的に餌生物に遭遇し摂餌し得ていた稚仔のみが生き残ると考えられ、その確率は極端に低いものとなるが、海洋は様々な環境を用意するのに十分なほど広く、そして稚仔の数は莫大である。すなわち、極端に低い確率で起こる現象であっても、それを広さと数で補償することにより再生産が行なわれているものと考えられる。最初に広い水域に分布していた多くの稚仔のなかから生き残り得た稚仔が、集積あるいは集合し、次の成長ステージのグループを形成してゆくという過程を経て加入してゆくと考えられる。

しかし、これらの現象を明らかにするためには、餌生物のマイクロパッチのスケール・間隔・持続時間ならびにさらに微細な仔魚の可視空間スケールでの摂餌についての情報が必要である。また、浮遊卵稚仔がパッチを形成することの資源変動機構におよぼす影響についての結論を出すためには、さらに海域毎の様々な数多くのパッチについての出現パターンについての調査を繰り返し行ない、また、垂直分布構造および日周変動についても様々なスケール、水域での調査を行なわなければならない。

## 5章 浮遊卵稚仔の被捕食による初期生残率への影響について

前章までにおいて海産魚の初期減耗機構を明らかにする上で、稚仔期における摂餌ならびにそれを左右する稚仔および餌生物の分布構造の影響の重要性を論じてきたが、その他の大きな初期減耗要因の一つとして被捕食が存在する。すなわち、餌生物への遭遇を扱うのと同様に捕食生物への遭遇もまた検討することが必要と考えられる。また、摂餌を行なわない浮遊卵期における減耗については被捕食が最も大きな減耗要因としてあげられることから、海産魚の初期減耗機構を解明するために被捕食は重要な研究課題としてとりあげられなければならない。しかし、稚仔の摂餌における不成功は稚仔の運動能力の減少をもたらし、被捕食に対する抵抗力を大きく変化させると考えられることから、海産魚の初期減耗機構をとり扱う上では摂餌と被捕食は不可分の問題であり、浮遊卵稚仔を含めたプランクトン群集のなかでの捕食-被捕食の相互関係を明らかにすることが重要である。

浮遊卵稚仔に対する被捕食については魚類の成魚・幼魚等の胃内容物調査からの研究が多く行なわれている。本章においては、そのような調査によっては把握し得ないプランクトンネット採集標本中に出現する稚仔および動物プランクトンの捕食-被捕食関係について、種、サイズ、被捕食稚仔の摂餌状態、ならびに浮遊卵については大型稚仔胃内容物中の浮遊卵の出現等の検討を行なった。

### 材料と方法

本章においては、動物プランクトンの口器によって、捕捉されていた稚仔を被捕食稚仔とした。ネット曳網採集後、直ちに5%中性海水ホルマリンで固定された採集サンプルのソーティング中に見いだされた被捕食稚仔とその捕食動物プランクトンについてそれらの種およびサイズについて記録を行なった。また、そのサンプル中の被捕食稚仔種の密度および捕食動物プランクトン種の密度について記録した。さらに、被

捕食稚仔および非捕食稚仔の摂餌状態について比較を行なった。稚仔の摂餌状態の測定は4章で述べたものと同じである。

浮遊卵を摂餌していると推定される大型稚仔（食道口径 1 mm 以上のもの）については、胃内容物中の浮遊卵の出現を調査した。

調査を行なったサンプルの日時、地点、採集方法、サンプル数、水深等について表 39 に示した。

## 結果

### 1. 捕食プランクトン種と被捕食稚仔種

被捕食稚仔および浮遊卵捕食稚仔の見いだされたサンプルの日時・地点・採集方法・捕食動物プランクトン種、などについて表 40 に示した。稚仔が捕食を受けている状況の写真を図 109 に示した。毛顎類による捕食が最も多かった。一個体で2個所に捕食を受けていた個体がみられた。

### 2. 被捕食部位

次に、稚仔の被捕食部位について表 41 に示した。稚仔の被捕食部位では体側に対するものが最も多く、次に尾鰭、頸部の順であった。特定の部位に集中することはなかった。

### 3. 被捕食稚仔の体長

12個体中10 mm 以上の稚仔はオキエソ Synodus macrops、11.0 mm の1個体のみであった。成長に伴う遊泳力の上昇とともに捕食を受けなくなると考えられた。

### 4. 被捕食稚仔の摂餌状態

捕食された稚仔の摂餌状態は全稚仔とも Foregut , Hindgut とともに空胃であった。

表 39 被捕食稚仔の確認を行なったサンプル。

航海名	採集方法	年/月/日	海域	サンプル数	水深
KT-73- 7	NC	73/ 7/22-28	相模湾	460	Surface
KT-75- 9	NC	75/ 7/15	紀伊沖	34	Surface
	HC	7/17	遠州灘	32	Surface
	NSC	7/18-19	遠州灘	42	0-2.7 m
	MTD	7/18-20	遠州灘	44	0-50 m
KT-76-11	NC	76/ 7/18-19	石廊崎沖	22	Surface
	MTD	76/ 7/27-28	伊豆諸島	14	0-70 m
KT-76-14	LC	76/ 9/ 1	駿河湾	78	Surface
	HC	9/ 3- 5	石花海	45	Surface
KT-78- 4	HC	78/ 3/17	大島水道	30	Surface
KT-78-12	NC	78/ 7/24	石花海	48	Surface
	HC		石花海	30	Surface
KT-79- 3	NC Tri	79/ 3/ 8-14	大島沖	216	Surface
	NC	79/ 3/ 9-14	房総沖	164	Surface
	HC	79/ 3/10	伊豆諸島	73	Surface
KT-80- 2	HC	80/ 2/20-24	相模湾	284	Surface
	NC	80/ 2/21	相模湾	72	Surface
KT-80- 3	HC	80/ 3/ 3	相模湾	131	Surface
	HC	80/ 3/ 3	相模湾	130	Surface
	HC	80/ 3/ 4	相模湾	125	Surface
	MTD	80/ 3/ 4-12	相模湾	12	0-150 m
	NC	80/ 3/ 8	相模湾	21	Surface
KT-80-12	HC	80/ 7/13	相模湾	120	Surface
	NSC	80/ 7/14	駿河湾	24	0-2.7 m
	MTD	80/ 7/15	大島沖	6	0-150 m
KT-81-11	HC	81/ 6/26	相模湾	124	Surface
	MTD	81/ 6/27	相模湾	96	0-200 m
	NSC	81/ 7/ 1	相模湾	36	0-2.7 m
	NC	81/ 7/ 2	相模湾	20	Surface
KH-77- 2	MTD	77/ 7/ 6-10	房総沖	90	0-200 m

合計 2623

備考 NC ; Norpacネットによる連続採集  
 NSC ; 六連層ネット  
 MTD ; 元田式各層曳ネット  
 HC ; 航走連続採集器  
 LC ; 低速連続採集器  
 NCTri ; Norpacネットによる三角型連続採集

表 40 サンプル内に認められた被捕食稚仔および捕食動物プランクトン。

航海名	月日	採集方法	被捕食稚仔		捕食動物プランクトン種		水深	
KT-75-9	7/18	NSC	<i>Engraulis japonica</i>	4.0 mm	<i>Candacia bipinnata</i>	2.5 mm	1.2 m	
KT-76-11	7/27	MTD	<i>Myctophidae</i> sp.	3.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.5 mm	40 m	
		MTD	<i>Engraulis japonica</i>	8.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.0 mm	20 m	
		MTD	<i>Engraulis japonica</i>	7.0 mm	Cephalopoda	3.5 mm	20 m	
		MTD	<i>Engraulis japonica</i>	7.3 mm	<i>Sagitta elegance</i>	7.0 mm	20 m	
	7/28					Copepoda	1.3 mm	20 m
		MTD	<i>Myctophidae</i> sp.	5.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	8.0 mm	20 m	
		MTD	<i>Myctophidae</i> sp.	4.8 mm	<i>Sagitta enflata</i>	7.5 mm	20 m	
		MTD	<i>Gempylidae</i> sp.	3.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	9.5 mm	30 m	
	MTD	?	3.0 mm	<i>Sagitta enflata</i>	9.0 mm	30 m		
KT-78-12	7/24	NC	<i>Engraulis japonica</i>	9.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.0 mm	0 m	
		NC	<i>Engraulis japonica</i>	9.5 mm	<i>Sagitta hexaptera</i>	9.6 mm	0 m	
KII-77-2		MTD	<i>Synodus macrops</i>	11.0 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.5 mm	60 m	



図 109 稚仔の被捕食状態の写真。

表 4 1 被捕食部位、摂餌状態、および同時に採集された稚仔数について。

航海名	月日	被捕食稚仔種	体長	捕食種	体長	被捕食部	稚仔数	摂餌状態	
KT-75-9	7/18	<i>Engraulis japonica</i>	4.0 mm	<i>Candacia bipinnata</i>	2.5 mm	頸部	15	空胃	
KT-76-11	7/27	<i>Myctophidae</i> sp.	3.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.5 mm	尾部	58	空胃	
		<i>Engraulis japonica</i>	8.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.0 mm	頸部	11	空胃	
		<i>Engraulis japonica</i>	7.0 mm	Cephalopoda	3.5 mm	頭部	58	空胃	
		<i>Engraulis japonica</i>	7.3 mm	<i>Sagitta elegance</i>	7.0 mm	肛門部	18	空胃	
					Copepoda	1.3 mm	頭部		
			<i>Myctophidae</i> sp.	5.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	8.0 mm	頸部	128	空胃
	7/28	<i>Myctophidae</i> sp.	4.8 mm	<i>Sagitta enflata</i>	7.5 mm	尾部	104	空胃	
<i>Gempylidae</i> sp.		3.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	9.5 mm	尾部	5	不明		
?		3.0 mm	<i>Sagitta enflata</i>	9.0 mm	腹部	84	空胃		
KT-78-12	7/24	<i>Engraulis japonica</i>	9.5 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.0 mm	頸部	40	空胃	
		<i>Engraulis japonica</i>	9.5 mm	<i>Sagitta hexaptera</i>	9.6 mm	肛門部	46	空胃	
KII-77-2		<i>Synodus macrops</i>	11.0 mm	<i>Sagitta enflata</i>	11.5 mm	腹部	1	空胃	



## 5. 大型稚仔による浮遊卵の捕食

大型稚仔（体長29-58 mm）の胃内容物について表42に示した。浮遊卵を捕食していた稚仔は、KT-79-3次航海での、サンマ Cololabis saira だけであった。また、その稚仔が採集された曳網区間では、浮遊卵がパッチ状に高密度に分布していた。

### 考察

稚仔の減耗要因のなかの一つである被捕食については摂餌と不可分の関係にあり別個に扱うことは出来ない。従来、海産魚の初期減耗の研究については、主として摂餌の面からのみ行なわれることが多かった。これは、Hjort (1914)の仮説がその後の研究に大きく影響をおよぼしたことにもよるが、被捕食の研究が摂餌の研究よりも困難なことにも起因している。しかし、Hunter(1976, 1981)は海産魚生活史初期における減耗要因を大きく分けて、Predation, Starvationの二つが存在することをあらためて指摘した。その後、Bailey(1983, 1984)は、Medusaの Aurelia aurita の cod, flounder, plaice 等への食害を実験的に証明し、成長や生息密度による影響等について検討を行なっている。Brewer et al.(1984)は、動物プランクトンおよび魚による魚類プランクトンに対する食害を飼育実験により検討し、ネット採集サンプル中の食害傾向と一致していることを明らかにしている。

被捕食の問題には、捕食者の摂餌選択性、被捕食者の発育段階あるいはサイズ、生息密度、水温、照度による変動が予想される。そのため、飼育実験水槽での捕食-被捕食関係の結果も自然海域においては、それらの遭遇を支配する分布構造および様々な環境要因により直ちに顕在化するとは考えられず、自然海域における捕食-被捕食の関係、とくに捕食量を明らかにすることには困難な面が多く存在する。

また、ネット採集の方法によっては、曳網中個体同士の密度が高くなったうえでの被捕食であるかもしれないこと、あるいは反対に、曳網中およびホルマリン固定時に捕食個体から離脱することが予想されるため、ただちに自然海域における被捕食の状

表 4 2 胃内容物をしらべた大型稚仔とその胃内容物。

航海名	採集方法	稚仔種名	体長	胃内容物
KT-75- 9	M T D	<i>Gonostoma gracile</i>	29 mm	Copepoda etc.
		<i>Gonostoma gracile</i>	31 mm	粘液質
	N S C	<i>Diaphus watasei</i>	48 mm	シラス様稚仔
	N S C	<i>Diaphus watasei</i>	46 mm	Copepoda etc.
KT-79- 3	N S C	<i>Diaphus watasei</i>	58 mm	粘液質
	H C	<i>Coryphaena hippurus</i>	47 mm	Copepoda
	N T r i	<i>Cololabis saira</i>	31 mm	Eggs

況を表わし得ないという問題も存在する。しかし、被捕食および捕食種の関係、サイズにおける選択性、稚仔の摂餌状態などについては、ある程度自然海域の状況を反映し得ると考えられる。

従来、知られている捕食プランクトン種には、夜光虫、毛顎類、橈脚類、端脚類、頭足類がある。今回の調査においてもほぼ同様の傾向が認められた。夜光虫による浮遊卵に対する捕食がEnomoto(1956), Hattori(1962) により報告されているが今回の調査においては認められなかった。毛顎類による捕食が最も多いが、これは毛顎類の歯の構造により捕食個体から離脱しにくいいためとも考えられる。

今回の調査結果からは、全体に動物プランクトンにより捕食された稚仔の出現する頻度は極端に低く、自然海域における動物プランクトンによる被捕食の事実は存在するもののその影響は小さいものと考えられた。

また、被捕食稚仔の摂餌状態は全稚仔とも Foregut , Hindgut とともに空胃であった。このことから、動物プランクトンによる稚仔への捕食は、摂餌が十分に行なえず衰弱した稚仔に対して行なわれる可能性が高い。また、1個体で2個所に捕食を受けていた個体がみられ、このことも捕食を受けやすい（体力の衰えた個体）個体が存在することを意味するものと考えられる。

Lillelund and Lasker(1971)は、稚仔の夜間における表層への移動による高密度化によって表層性の動物プランクトンによる捕食の可能性の高まることを指摘している。今回の調査においても、浮遊卵が高分布密度の場合において捕食していた稚仔が認められた。しかし、そのようなパッチ状分布構造を形成するような状況を除いて平均的な分布密度から考えると、稚仔および捕食動物プランクトン種の遭遇・接近する確率は、今回の調査での結果からすると低いと推定された。パッチ状分布構造の被捕食に及ぼす影響についてはいまだ未知の部分が存在するが、上記に述べたことから、海産魚の初期生活期の減耗の変動に与える影響を検討する場合において、稚仔の摂餌の成功・不成功が被捕食よりも重要な要因であると考えられた。

## 6章 浮遊卵・稚仔および動・植物プランクトンのパッチ状分布の形成要因

### および初期減耗についての総合的考察

#### 6-1) 生物的要因によるパッチ状分布構造

##### 1. 産卵行動によるパッチ

Allredge(1982) は、産卵のために Appendicularians が表層の Windrows に集積することを報告している。また、Seki(1973) は Saanich Inlet において産卵のために *Oikopleura* のパッチが形成されることを報告している。生物は再生産の為に生殖を行なうが、種によって様々な形態・行動を持っている。そのため、その分布構造も様々に変化している。Clutter(1969) は、Pelagic mysids が生殖のための Copulation の増大を図るために、Parallel swarming orientation を行なうことによってパッチを形成することを報告している。

一般に、生殖する相手に遭遇することが必要なことからパッチ状分布を形成することが多い。子世代においてもその影響でパッチ状分布を形成する結果となり、その減耗過程を親世代と異なる特有なものとしている。浮遊卵の場合、親魚の産卵後の放卵群は、産卵形態によって様々なパッチ状分布を形成している。そのような初期減耗機構を解明するためには、そのパッチ状分布の構造を解明することが必要不可欠である。

##### 2. 捕食-被捕食関係によるパッチ

多くの研究により、古くから動物プランクトンと植物プランクトンの分布には逆相関が認められることが報告されている。Bainbridge(1952, 1953) は不均一に分布する植物プランクトンと動物プランクトンの分布に逆相関が認められることの原因を探るために、植物プランクトンへの動物プランクトンの傾斜を実験的に測定し、動物プランクトンの植物プランクトンへの Migration & Grazing によりパッチ状分布構造が形成

されることを明らかにした。

Dubois(1975)は、このような現象を理論的に明らかにするために、動・植物プランクトンのPrey-Predator 関係をLotka-Volterra 型の式でPractical differential equation を解くことによって、動・植物プランクトンのパッチ形成要因をシミュレートした。この理論ではパッチ状分布の持続時間等のパラメーターの推定も可能であり、初期減耗機構の解明に参考データを与えている。

しかし、これらの報告では、海水の流動による影響を考慮しておらず、実際の自然海域での現象を把握するには、パッチの持続時間と海水による擾乱についての問題を検討しなければならない。

Busky(1984) は、コペポダも機械的・化学的な感覚受容器によって、餌生物のパッチの存在を知り、遊泳速度の減少、Pause の増大によってパッチを形成することを実験的に明らかにした。Hunter & Sanchez(1976)は、稚仔においても餌生物のパッチに留ることを報告しており、この現象は単にパッチの形成要因の問題に関連することだけでなく、餌生物の利用度と関連させて解明することが必要である。

## 6-2) 物理・化学的要因によるパッチ状分布構造

### 1. 内部波

Kamykowski(1974, 1976, 1981)は植物プランクトンのパッチが内部波面に付随すること、日周垂直移動が水温傾斜に関係していることを報告している。

### 2. 栄養塩

Currie(1984), Lehmann & Scavia(1984) は栄養塩のマイクロパッチが植物プランクトンのパッチ状分布構造形成要因のひとつに上げられることを明らかにし、佐々木他(1985) は、黒潮前線に栄養塩の微細分布構造が存在することを明らかにしている。

このような第一次生産者としての植物プランクトンの分布および生産量によってその後のエネルギーの流れを大きく変化させることから海産魚の初期減耗機構を解明するためには自然海域における生物群として全体的に捉えることが必要である。また、栄養塩の分布・補給は海洋構造と関連させて考えられるべきである。Alexander & Niebauer(1981)はアイスエッジゾーンに浮遊卵稚仔のバッチが集積することを指摘し物理的要因の強いことを報告している。

### 3. ラングミュア循環によるパッチ状分布構造

Langmur(1938)によって初めて報告された湖での縞状のパッチの形成要因は、その後の種々の調査(Stavn(1971))・実験(Faller(1978), Faller & Woodcock(1964), Stommel(1949))・理論(Evans et al.(1980))によって様々な生物の数10 m程度のスケールのパッチの形成要因をよく説明している。Owen(1966)はラングミュア循環流が海洋にも存在することを指摘し、その収束作用が稚仔にとっての餌生物としての動物プランクトンの集積に役だっていることを示した。

生物が物理的に収束されて形成されるパッチを説明するだけでなく、Denman & Garrett(1983)はLangmur CellによるVertical turbulent diffusionによる栄養塩の補給が植物プランクトンのパッチの形成に重要であることを指摘している。

いずれにせよ、このラングミュア循環流は、自然海域において一般的に生じている現象であることから、パッチ状分布の形成に大きな役割を果たしていると考えられる。また、この現象によって生じるスケールは数10 m程度であり、個々の稚仔の行動可能範囲から考えて、生息環境等に大きな変化を及ぼしており、海産魚の初期減耗機構に大きな影響を与えていると推定される。

### 4. フロントに形成されるパッチ状分布構造

海洋には様々なフロントが存在しそれらはいずれも異水塊との間の接触面において

渦流を生じさせ、浮遊生物の収束・拡散の大きな要因となっている。この現象のスケールは普通数 km のメソ・スケールとして捉えられ、また、その変遷も数週間にわたるため、大量の変動を浮遊卵稚仔等の分布構造に与えている。また、異水塊同士の間の取り込み・離脱もこのフロント水域において行なわれることから海産魚の初期減耗機構に大きな役割を果たしていると考えられる。

#### 5. 水温・塩分躍層に形成されるパッチ状分布構造

海洋においては水温躍層は普遍的に存在し、この層において上層と下層のエネルギーの分離あるいは交流が行なわれていると考えられる。

Lasker(1975)は、水温躍層に植物プランクトンの分布極大層が形成されることを明らかにしているが、その形成要因については、有光層内における栄養塩の補給と Stability の問題としている。桑原(1982)は、内湾におけるプランクトンの分布パターンが水温躍層に大きく影響されることを報告している。また、Harder(1968)は、一般に、各種プランクトンが水温躍層に付随して分布することを報告している。

Ahlstrom(1958)は、東太平洋域において総合的な浮遊卵稚仔の垂直分布構造を総合的に調査し、稚仔の垂直分布が水温躍層に大きく支配されていることを明らかにしている。これは温度障壁としての効果と餌生物との関係によるものと考えられる。

Coombs(1981)は Scomberの類の卵の比重を測定し、成長につれて上昇することを明らかにしている。このことが浮遊卵の垂直移動を生じさせ、しかも、適当な比重を持つ間は、海水比重の変化の激しい水温・塩分躍層への集積を引き起こしていると考えられる。Koslow(1981)は、沿岸水の大量の流出によって形成される低塩分水塊の表層への張り出しが Codの浮遊卵の上昇を妨げ塩分躍層が障壁となってパッチを形成するため、結果として表層吹送流による浮遊卵の外洋域への逸失を防ぎ初期減耗を減じていることを明らかにしている。また、Lance(1962), および Riis-Vestergaard(1982)は、表層における低塩分がプランクトンの垂直移動を制限することにより、パッチ状

分布形成することを明らかにした。

## 6. 湧昇水域に形成されるパッチ状分布構造

Barnett(1983) は旋流内において Meso-pelagic fishの豊富な生物相が認められることを明らかにし、隔離された物理的環境の影響を形成要因の一つに考えた。

Borstad(1982), Brandt(1981)は、Warm core 内にハダカイワシ科魚類がパッチ状分布を形成することを明らかにした。Lee(1981), Chiew(1981), Blanton et al. (1981)はこのようなWarm core eddyが海流の蛇行によって形成されることを示した。

この現象のスケールは普通メガ・スケールであり海域的な変動・輸送の大きな要因となっている。

### 6-3) パッチの効果

Brock & Riffenburgh(1970), Owen(1979) は、パッチの形成により、遭遇率を減じ、一度に摂餌する平均摂餌量に変化がなければ、全体としては被摂餌量が減少することを指摘している。Breder(1954), Pullian(1973)は、捕食のされにくさを増すことを指摘し、パッチの形成の利点とした。Checkley(1982)は、動物プランクトンのパッチをヘリングの稚子が好んで摂餌することを観察し、摂餌にはパッチ状分布構造が必要条件であることを推測している。

自然海域における稚子の平均餌生物分布密度は極端に低くパッチを餌生物が形成することによりほんの一部の稚子が生き残ることが可能となる。海産魚の多産性は、このパッチへの遭遇を確実に保証するためのものと考えられる。

このように、パッチは、捕食-被捕食関係に関して捕食側被捕食側両方に意味のあるものと考えられ、生物の個体数の調節に大きな役割を果たしているものと考えられる。



#### 6-4) 輸送・拡散

Fortner & Leggett(1982)は、Fickian transport 現象によって生物が拡散している例を観察している。この現象の存在することは明らかであるが、輸送・拡散という観点からは、むしろ、生物が様々な物理的環境に対応することによりその分布域を広げているとするほうがより妥当である。すなわち、Gordon et al.(1981)は、吹送流によって浮遊卵稚子が輸送されること、Gabric(1983)は、稚子が潮汐の周期的な変化を利用して移動していること、Kelly et al.(1982)は、孵化時の垂直移動の調節によって拡散を調節していること、Levassen et al.(1983)は、潮汐、風によって植物プランクトンが分布のパターンを変化させていることなどを明らかにしている。このように、生物は様々な現象を利用してそれ自身の輸送・拡散を行っており、生物自身の意図があるかないかは別にして、生物は海水の流れを巧みに利用して種属の維持を図ってきたものと考えられる。遊泳力に乏しい初期生活期に大きな変動があることから、物理的な海水の流れの影響にどのように対応するか、すなわち、生態・形態をどう違えるかによって、種の特異性が生じてきたものと考えられる。

#### 6-5) 今後の課題

稚子の初期減耗機構を明らかにするうえで、海洋においては様々な分布構造が海洋構造との対応で形成されており、それぞれに大きな変動を伴うことから、全体を平均的な取り扱いをすることで現象の正確な把握を行なうことは不可能である。

分布構造の把握の問題以外にも、たとえば、稚子の減耗において、どのような稚子がどのような過程を経て死亡に至るのかということ、ひいてはその原因を明らかにしなければならない。すなわち、稚子の摂餌率による間接的な方法で死亡を推定するのではなく、稚子の健康状態・履歴そのものを明らかにする微視的な見方をして直接に死亡の要因を明らかにすることが必要である。

Theilacker(1980)は、自然海域における稚子の飢餓の程度を生理学的な手法を用い

て推定をした。また、Ager & Dawirs(1982) は、生理学的なC, N, H 組成比により飢餓個体の推定を行なっている。また、Buckly(1982)は、RNA-DNA 比が、健康度および Growth and mortality の指標となることを明らかにした。これらの研究は死亡原因そのものの究明を行なっているものである。

このような研究を進めるにあたり、研究室での実験的な研究も必要不可欠であるが、Hay(1982) は固定によって縮変すること、Arthur(1980)は、飼育条件下の稚仔の心臓が肥大していることを指摘し、飼育条件下での各種パラメーターの信頼性の問題を提起している。すなわち、自然海域でどのような現象が起こっているかを知ることが最も重要なことであり、そのためには、稚仔の摂餌空間スケールでの調査（超マイクロなスケール）での自然海域における調査を行なわなければならない。そして、そのような現象がどの程度の確率で生じているかを明らかにして、全体の推定を行なうことが海産魚の資源変動機構を扱ううえで最も必要なことと考えられる。

## 謝辞

本論文を作成するにあたり、終始、御指導を戴いた東大農学部教授・能勢幸雄博士、また、御助言を賜わった東大農学部助教授・清水誠博士に深く感謝の意を表す。さらに、本論文における調査のほとんどは東京大学海洋研究所所属の白鳳丸・淡青丸において実施されており、心よく調査に御協力いただいた白鳳丸・田玉一郎船長、淡青丸・五十嵐宏、上之清尚、神野洋一船長ならびに両船の乗り組み員の方々に厚く感謝の意を表す。また、乗船するにあたって種々の御便宜を図っていただいた東京大学海洋研究所長・職員ならびに各世話部門の田中昌一、水江一弘、梶原武、青山恒雄、多賀信夫、平野敏行教授ならびに各助教授そして各研究室の方々に心からお礼を申し上げます。