

35°N線上の黒潮構造と流量の短期変動及び卵稚仔の輸送量

久保治良

On the short-Duration Variation of Structure and Transports of the Kuroshio and on the Volume Transport of Eggs and Larvae along 45°N

Haruyoshi KUBO

1. はじめに

黒潮の調査研究は、1977年に始まり1992年まで続いている「黒潮開発利用調査研究総合プロジェクト」によって急速な進歩をとげた。これらの調査研究により、それ以前にも多くの研究はある（例えば平野、藤本、1969）が黒潮上流域で産卵された多様性浮魚類の卵稚仔は下流域に輸送され、東北海域に入ってくるのが再確認された。

今回の調査は黒潮の短期変動（2～3日間）の規模はどの様なものか、どの位の卵稚仔が黒潮によって北方海域へ輸送されるのか等を推算するために行ったものである。

2. 材料と方法

1992年2月17日～21日に水戸丸（179トン）により35°N線上の140°20'E～143°00'E間を3回にわたって反復観測を実施した。

1回目は経度10分毎の観測点、2回、3回目は経度15分毎の観測点とした（図1）。

卵稚仔採集は夜間のみ実施し、3回の反復観測で図1（上図）の全点で採集することが出来た。

稚魚ネットは表層曳きで、船速2ノット、10分間曳きで行った。卵稚仔の同定を日本エヌ、ユー、エス㈱に依頼した。

水温、塩分はCTD（Neil Brown社）によりワイヤーを1000mまで下ろして測定した。水温、塩分から密度及び地衡流を求めた。地衡流は900dbを基準面として計算した。またG.E.K.（理研式）観測結果から海面流向、流速を求めた。

卵稚仔の輸送量は稚魚ネット内を通過した水量（濾水計を付けなかったので濾水率を1とした。網の口径130cmで網の3/4（直径）が海面下にあるとすると、1.07m²の網口を水が通過し、2ノット、10分間の曳網で617mを曳いたことになり、網を通過した水量は660m³となる）と地衡流量から推算した。

3. 結果と考察

1) 海況の全体像

調査海域を含んだ調査当時の海況の全体像を図

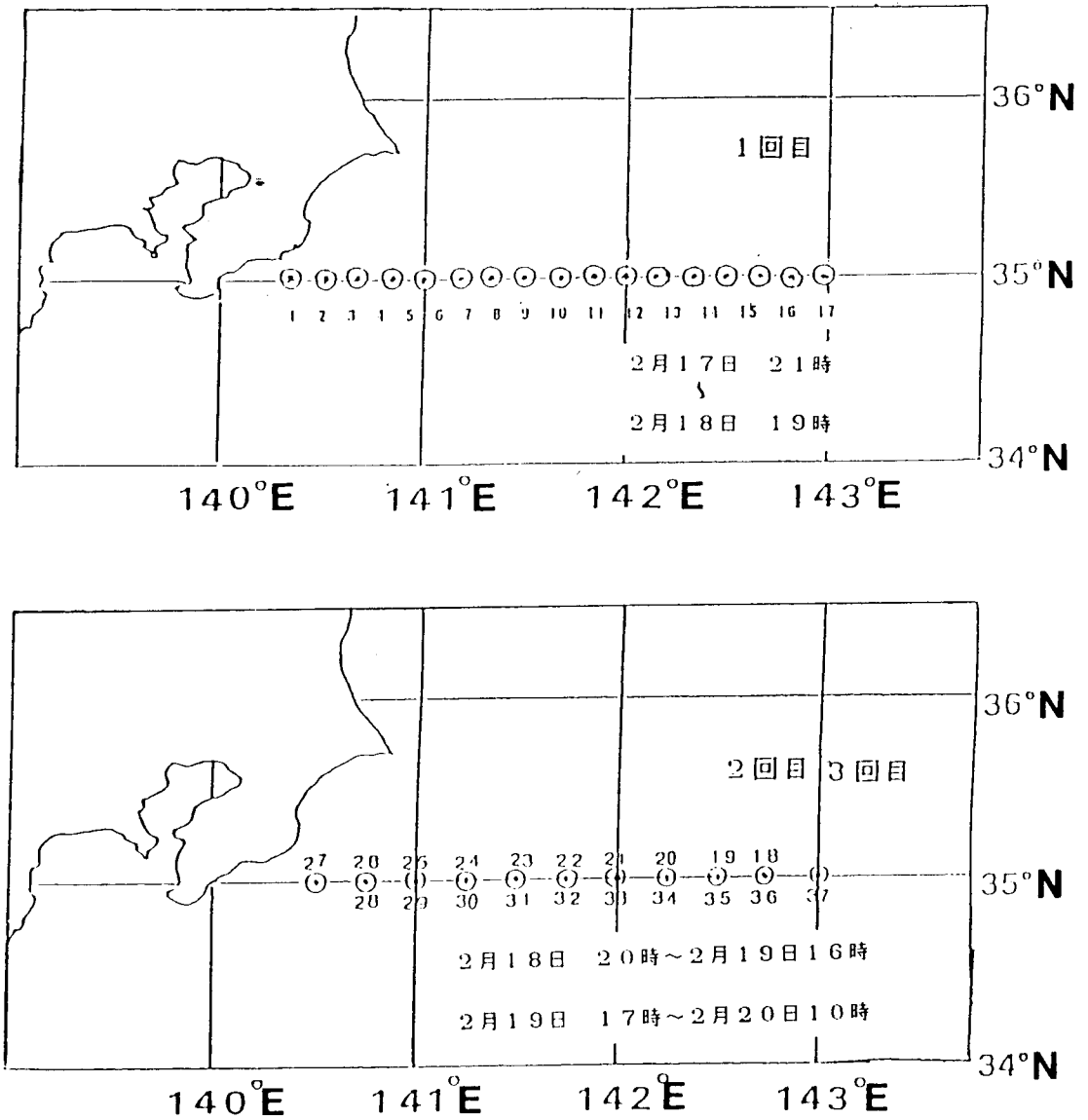


図1 調査地点

2に示した。

調査時の水温分布(200m層)をみると鹿島灘の沿岸域に暖水舌が張り出し、その沖合に冷水が南下していた。房総沖は沿岸域が低温で、沖合に行くに従って高温になり、最高水温は18℃台で、

その沖が17℃台となっていた。

流れをみると、黒潮の位置は前半も後半もあまり変わりはなく、黒潮の沖合には反時計回りの還流が存在していた。

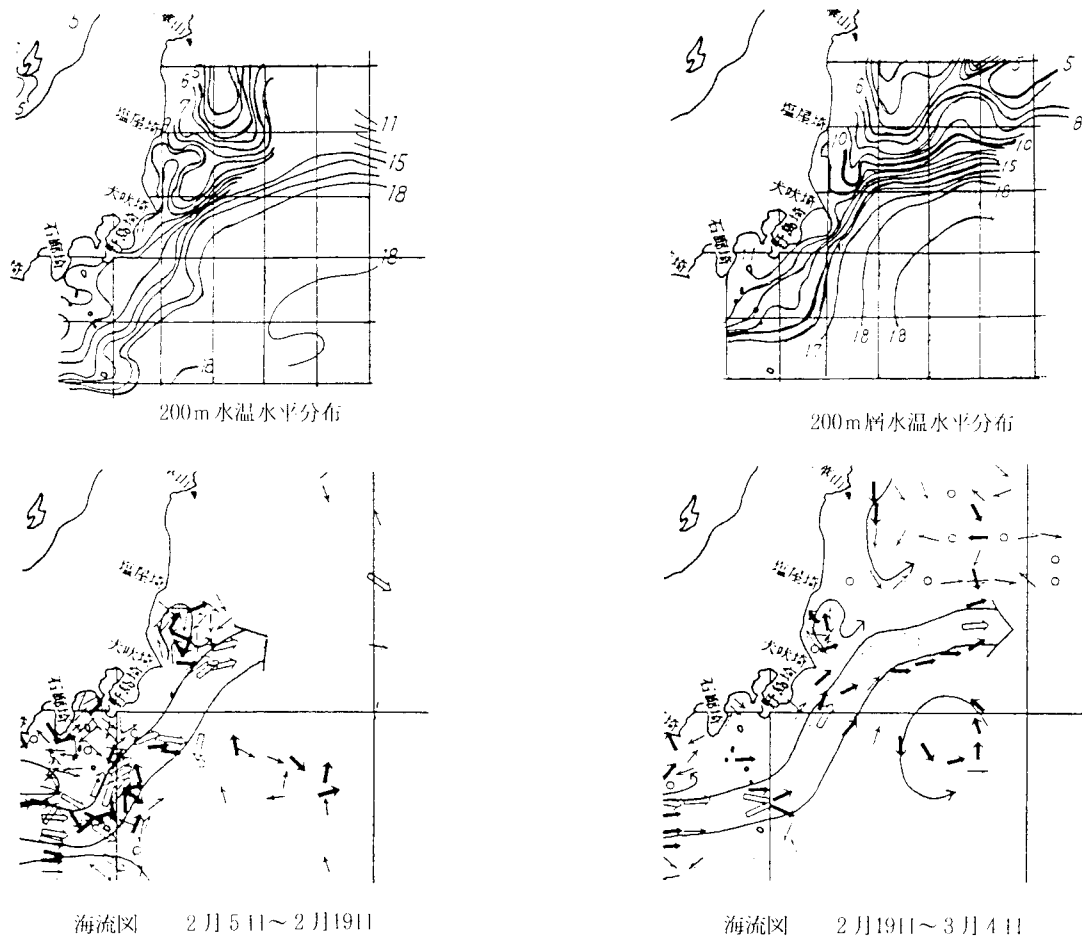


図2 調査海域の海況（海洋速報平成4年 4号、5号より）

2) 水温、塩分鉛直分布

図3～図5は1回目から3回目の水温、塩分の鉛直分布である。

水温分布は1回目から3回目まであまり変化しておらず、調査期間中の1週間位の短期変動は大きくなかったことを物語っている。141° 00' E付近には水温水平勾配の大きい所が認められ、強流帯と一致している。

塩分分布をみても塩分極小層が浅は1回目から3回目まであまり変化していない。塩分極小値は

34.0‰台である。極小層は沿岸側が浅く、沖合側が深くなっており、沖合の極小層は変動が小さく、岸側ではかなり変動している。

3) 表面水温

サーモメーターによる表面水温分布及び観測当時の風向、風力を図6に示した。

141° 00' Eより沖側の分布状況は1回目から3回目まであまり大きな変化は認められないが、岸側は2回目、3回目に向斜構造が認められる。

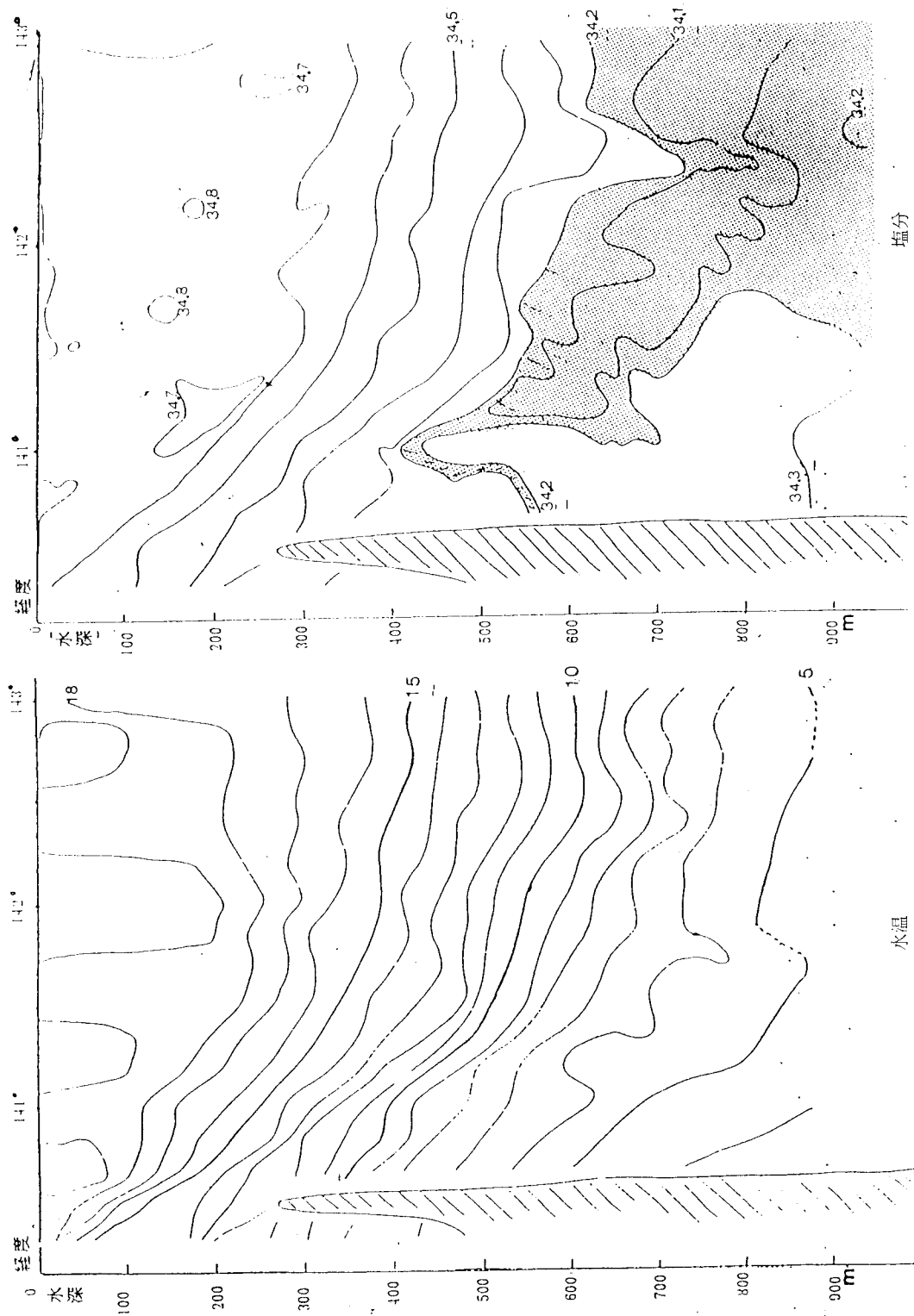


図3 水温、塩分鉛直分布(1回目)

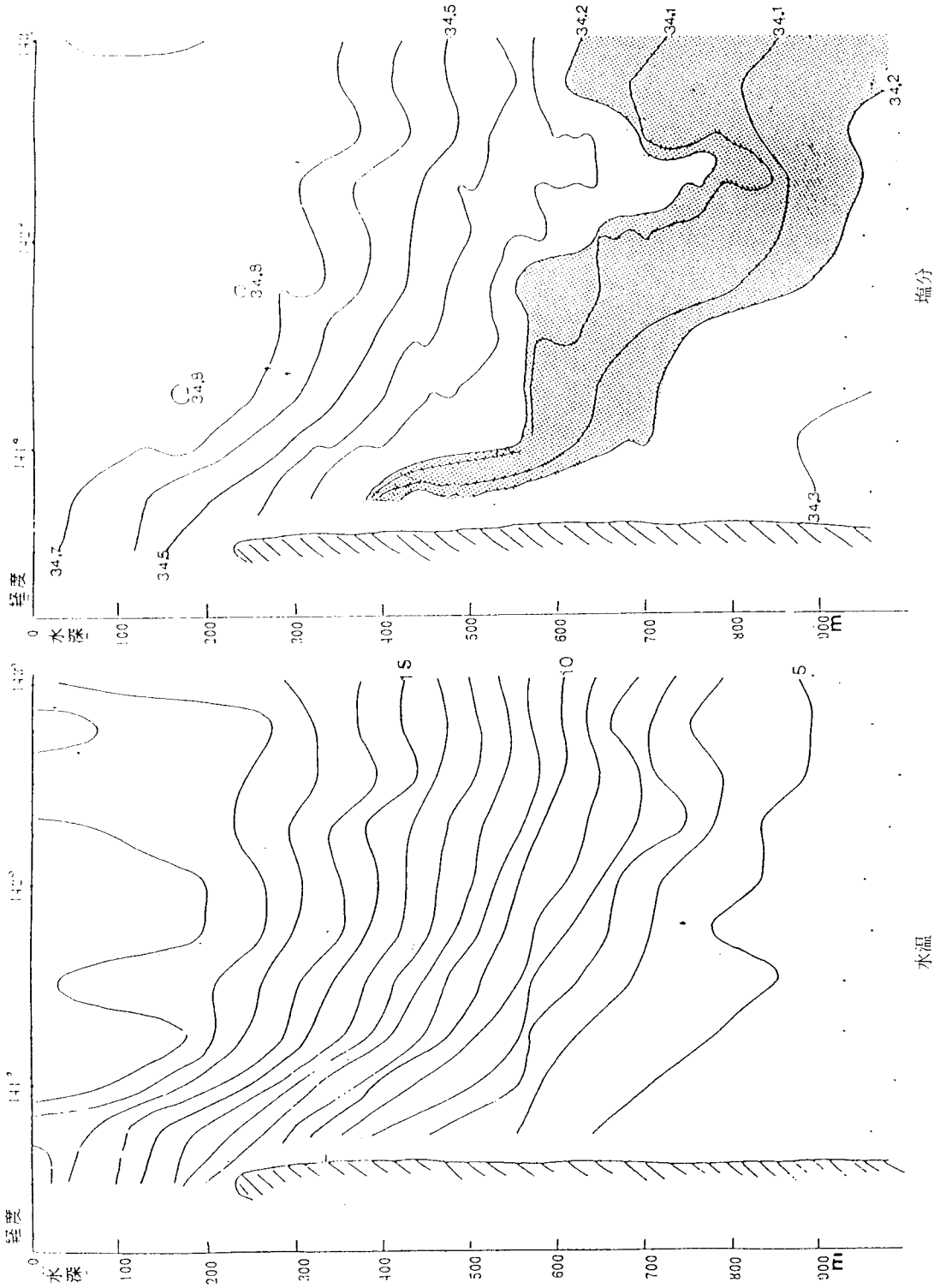


図4 水温、塩分鉛直分布 (2回日)

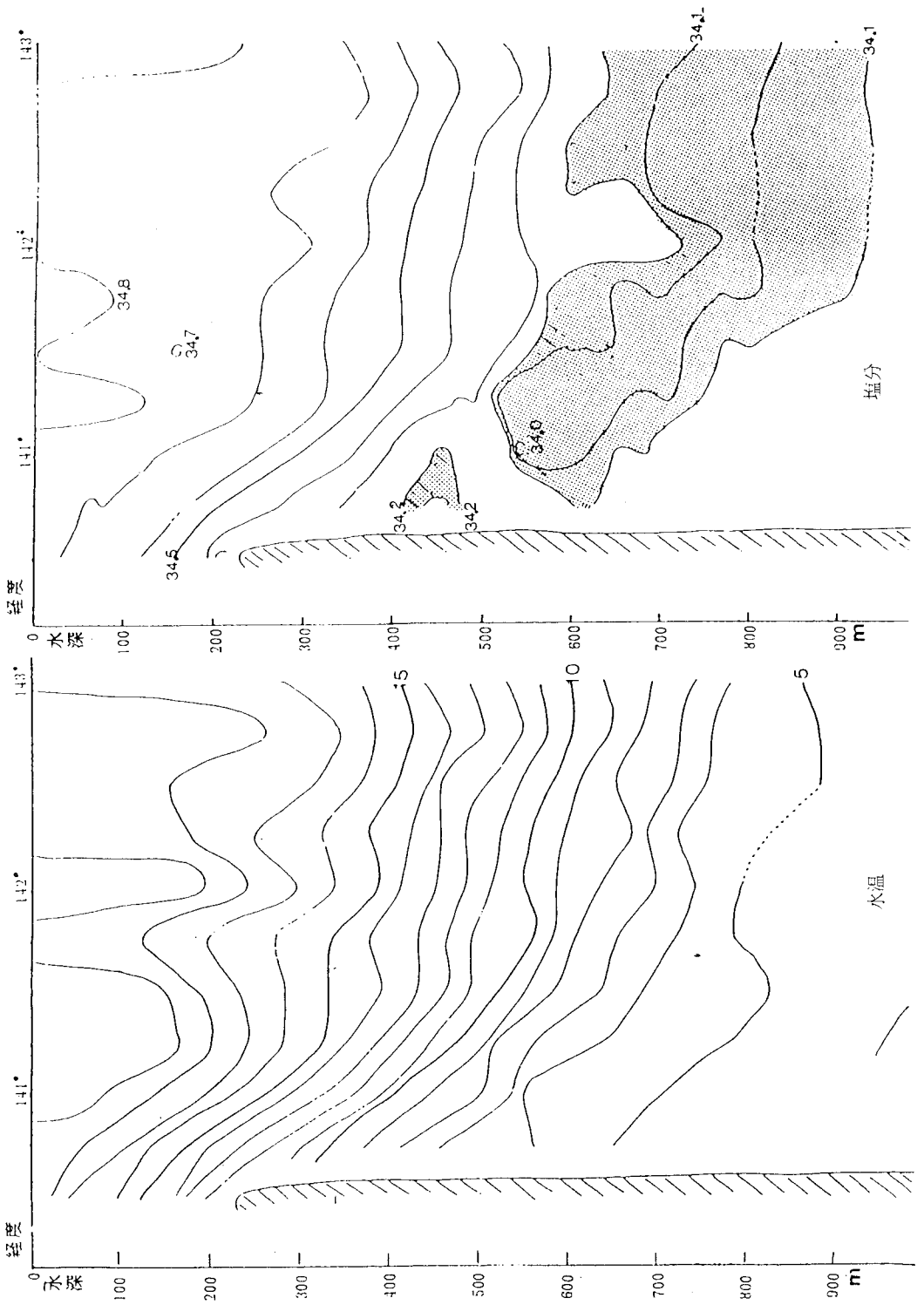


図5 水温、塩分鉛直分布 (3回目)

また沖合の水温値は1回目と2回目が同程度であるが、3回目は0.5°C内外の降温を示している。

こら等の変化と風向、風力との関係を見ると、岸側の向斜構造が認められた2回目、3回目は北～北北東の風で、あまり強くはない。1回目は東の風である。また沖合の水温が降温した3回目は北北東の風が強く、1回目、2回目は北西の風が強くなっている。このようなことから、従来から言われているように、海況（表面水温）の変動には風が大きく関与していたであろうことが推測される。

4) 水塊特性

図7～図9は1回目から3回目の調査を141°00′ Eより西側、141°45′ E～142°15′ E間、142°30′ Eより沖側の3つの海域に分けて作成したT-Sダイアグラムである。

塩分鉛直分布で塩分極小層付近で浅ではあまり変化がないことが分かった。T-Sダイアグラムを見ても $\sigma_t 26.5 \text{ g}/\ell$ より軽い海水はT-S点のほぼ一線上に集まり、従来の黒潮域の海洋観測で得られたT-Sダイアグラムと一致している。

1回目から3回目まで岸側の塩分極小値は34.1‰台であるのに対し、中間及び沖側では34.1‰より小さくなっている。友定(1981)によるとこれは、岸側が黒潮の内側域のT-Sのパターンであり、内側域の中層水はその東側の海水に比べて滞留時間が長く、その間に鉛直混合によって中層水の塩分が高くなったものと推定している。

1回目の岸側及び中間、3回目の沖側のT-SダイアグラムはT-S点の曲線上に並び、他の六つは水温10°C以下においてT-S曲線から外れたT-S点のみみられる。

一般に黒潮のT-Sダイアグラムのパターンは3回目の沖側と一致しているが、本調査でのT-S曲線から外れたT-S点は岸側が内側域のダイ

アグラム、中間から沖側は黒潮域のダイアグラムから外れていることからみて、黒潮が小笠原列島を通過した時の擾乱が黒潮域の水を内側域に、内側域の水を黒潮域に運び、T-S曲線からのT-S点の外れを起こさせているものと考えられる。

しかし、友定(1979)は沖合の高塩分極小(T-S点の曲線から外れた部分)については、岸側の高塩分極小と一筋のものとしてつながってはいないと述べている。また友定(1992)は本調査の結果について、もし全点のT-S図を描き塩分極小が一致する部分で分けると①塩分極小が大きい(内側域の水)②塩分極小が中位(黒潮の水)③塩分極小が小さい(黒潮外側の水)の3つに分けることが出来そうだと指摘している。

また、水温15°C以上でも海域によっては、曲線から外れたT-S点のみみられる。以上のことから図10に水温11°C以下及び水温15°C以上のT-Sダイアグラムを示した。これを見ると $\sigma_t 25.5 \text{ g}/\ell$ より軽い水は塩分0.1‰程度の差であり、この差は黒潮内側域の水と黒潮域の水が水平混合をする過程の中で生じたものであろう。

塩分極小付近($\sigma_t 26.3 \text{ g}/\ell \sim 27.2 \text{ g}/\ell$)では明らかにT-S曲線が二つに分かれ、内側域の極小と外側域の極小の差によるものと考えられる。

筆者ら(1982)は以前、常磐、鹿島灘の水塊分析を試みた。そこでは亜熱帯モード水の上限の密度は $\delta_t 250 \text{ cl}/\text{ton}$ ($\sigma_t 25.49 \text{ g}/\ell$)、西部北太平洋中央水(水温躍層水を含む)が155～200 cl/ton ($\sigma_t 26.49 \sim 26.02 \text{ g}/\ell$)、北太平洋中層水が125 cl/ton ($\sigma_t 26.81 \text{ g}/\ell$)内外であることを確かめた。

友定(1981)は伊豆嶺以東の海洋調査から亜熱帯モード水は255 cl/ton ($\sigma_t 25.44 \text{ g}/\ell$)、躍層水は170 cl/ton ($\sigma_t 26.34 \text{ g}/\ell$)、中層水は125 cl/ton の面が各水塊を代表する等密度

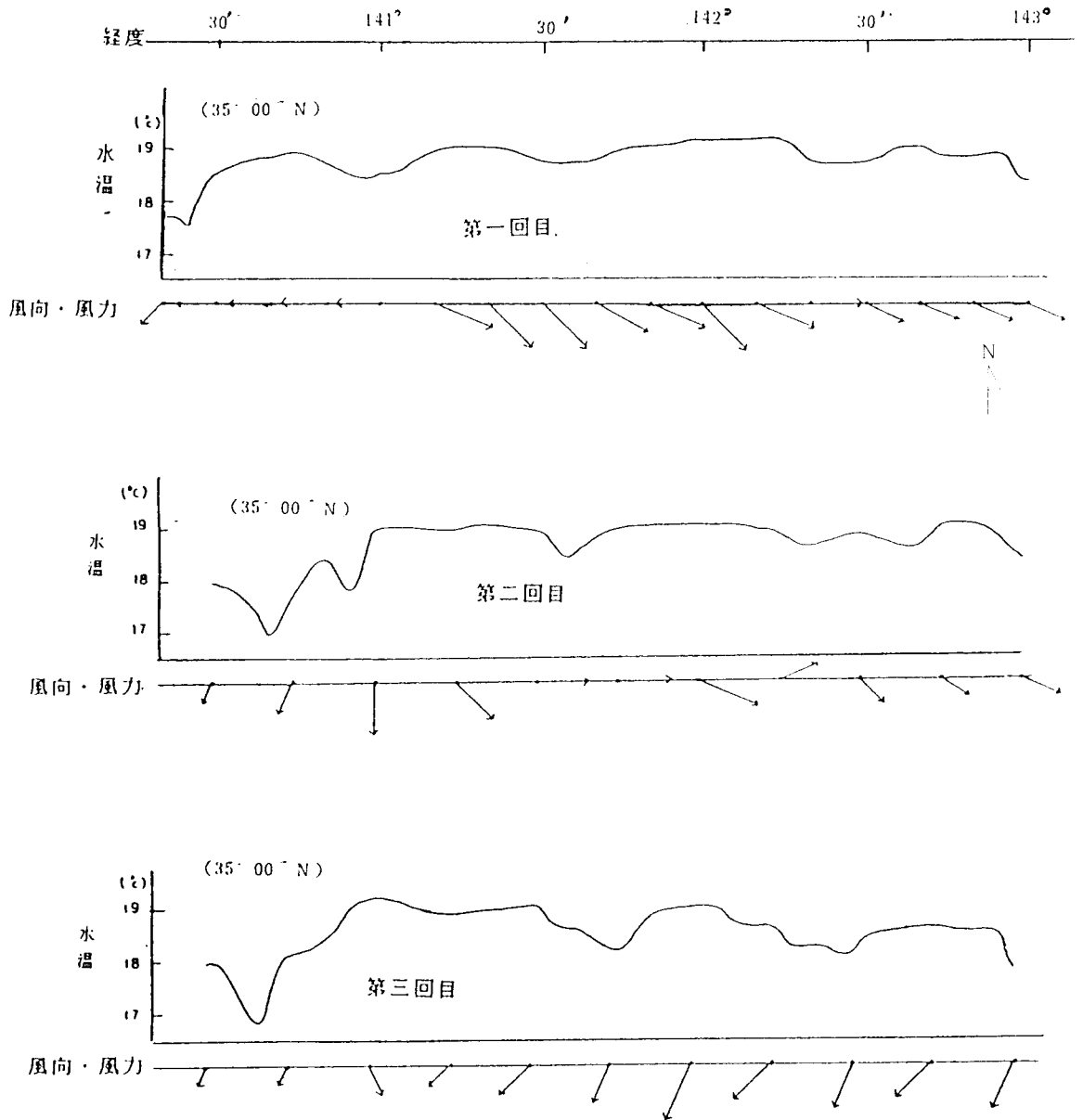


図6 サーモメーターによる表面水温分布及び風向・風力 (----- 風力5)

黒潮構造と流量の短期変動

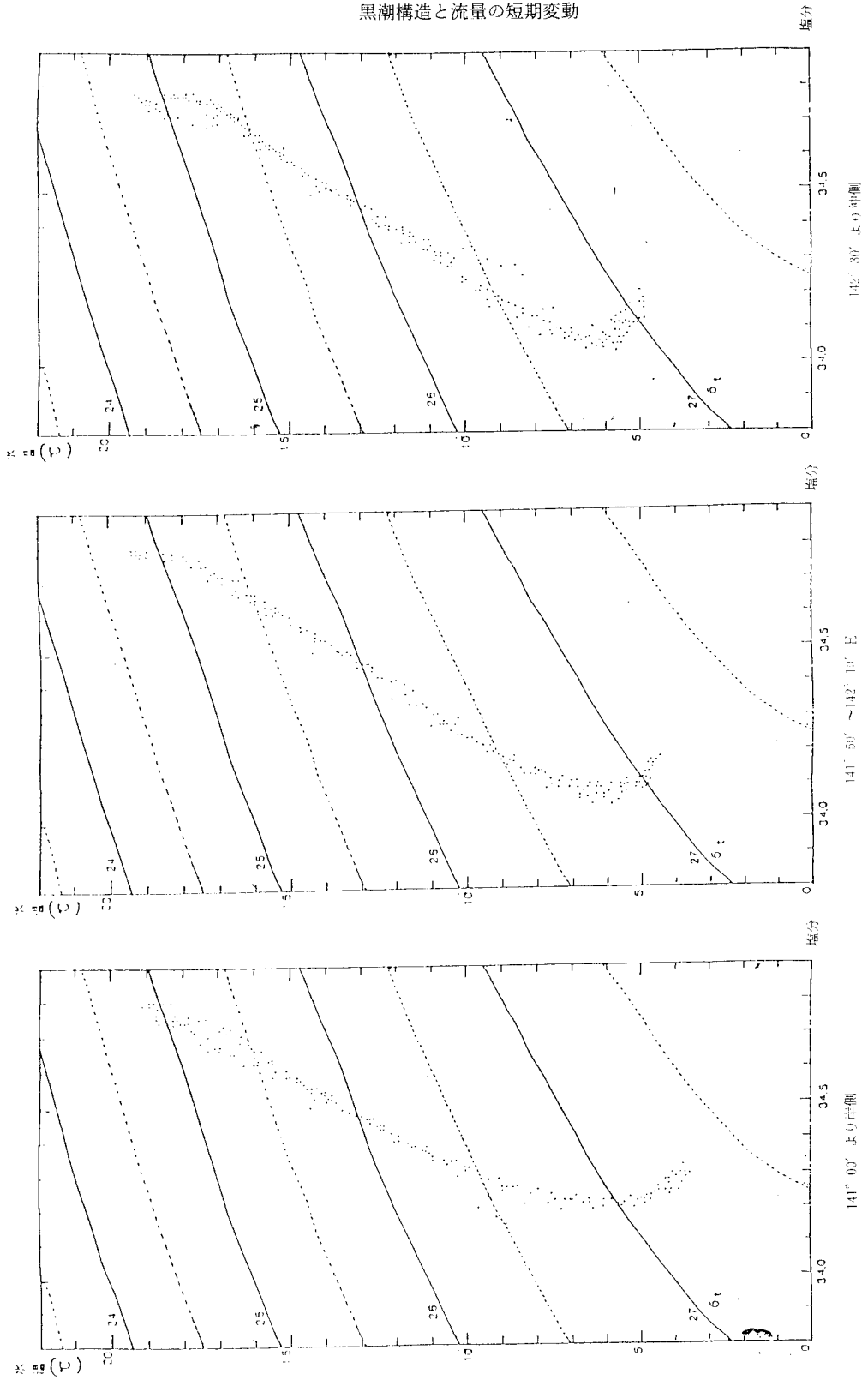


図7 1回目T-Sダイアグラム

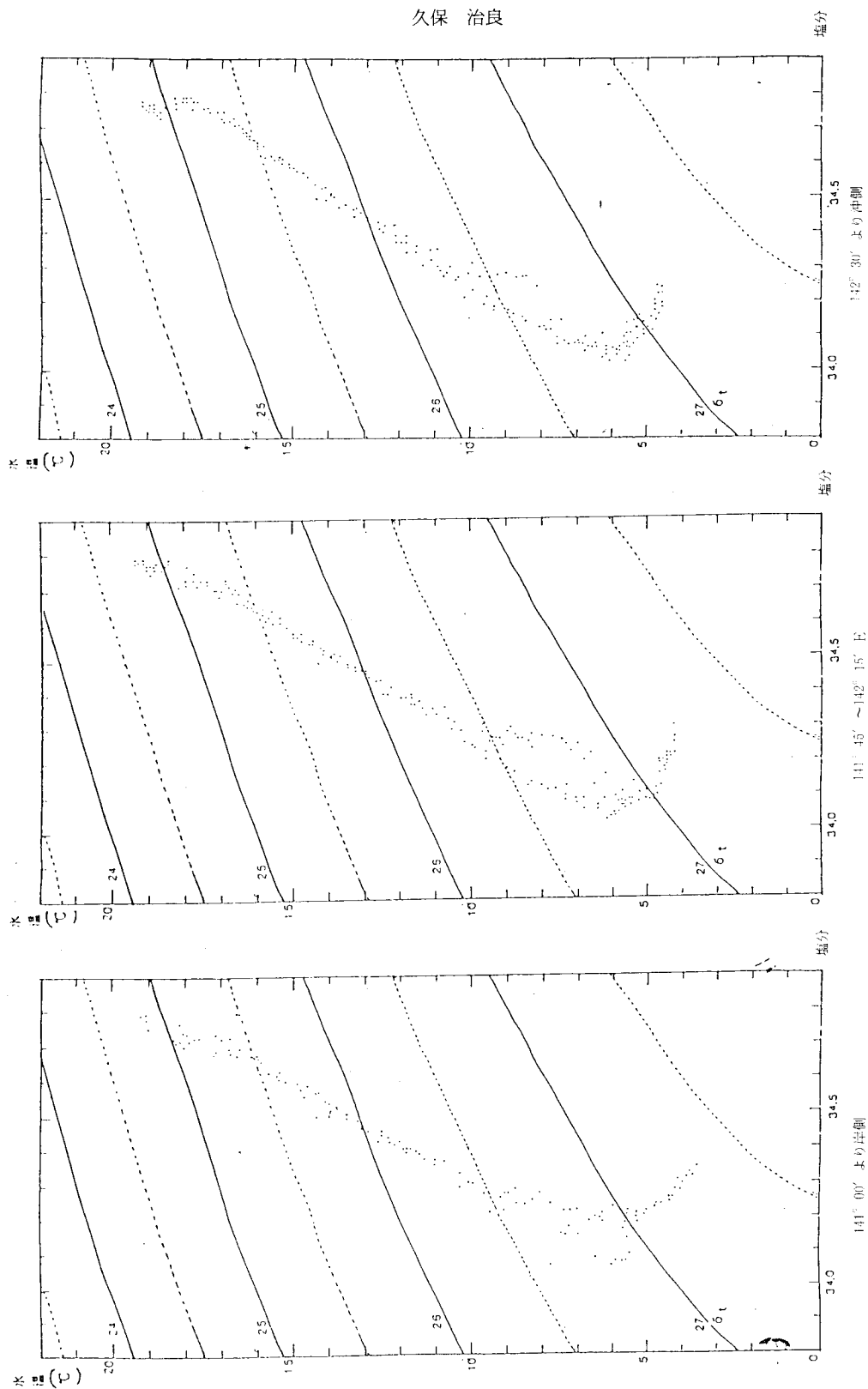


図8 2回HT-Sダイヤグラム

黒潮構造と流量の短期変動

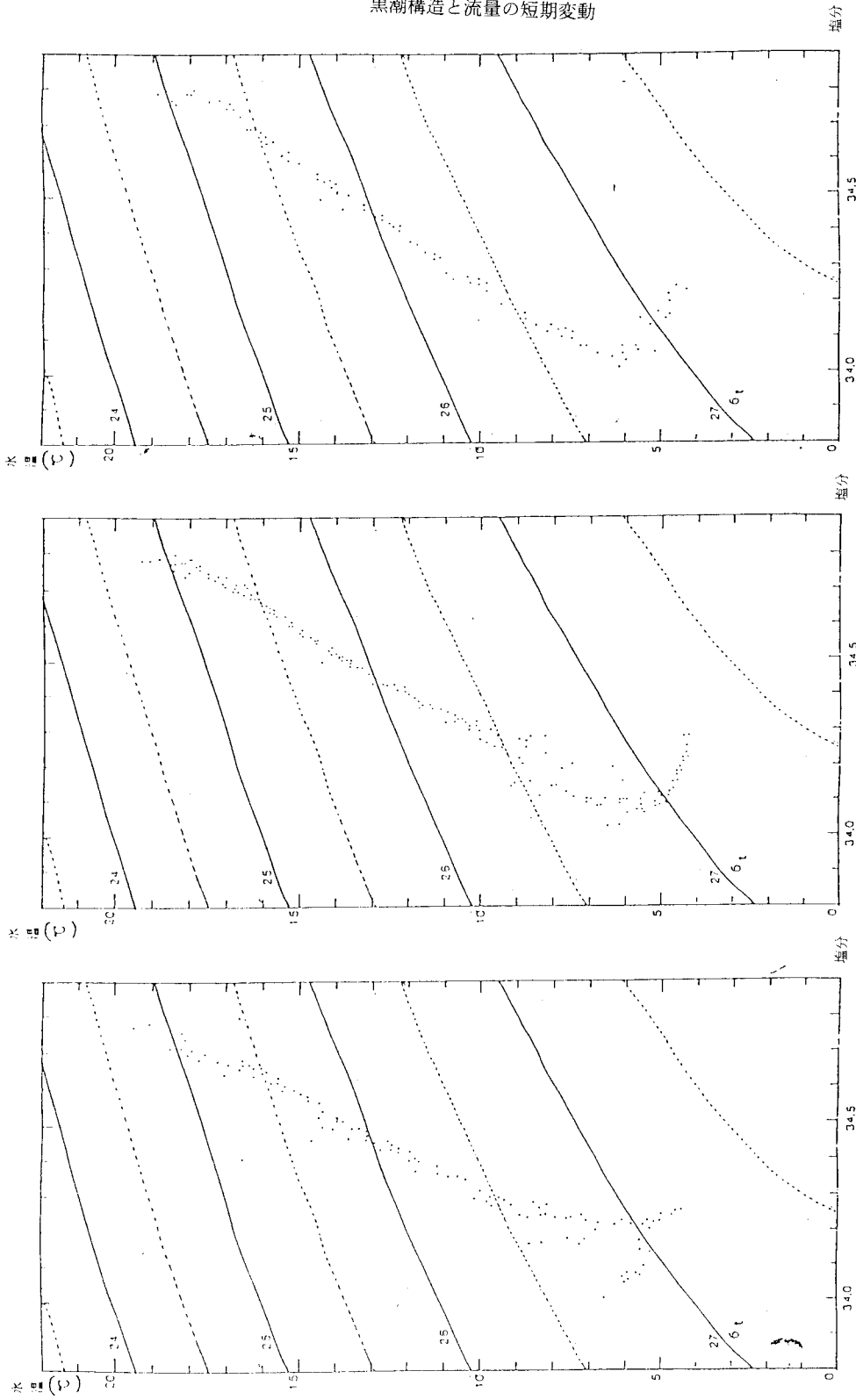


図9 3回T-Sダイヤグラム

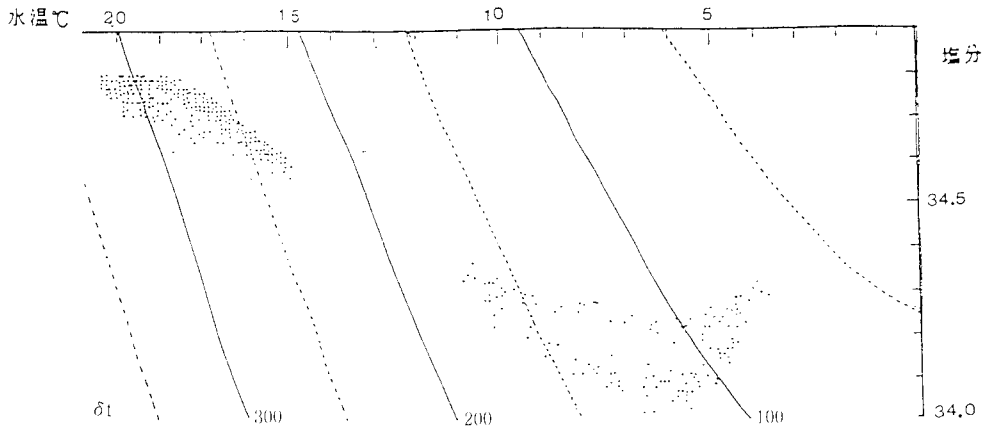


図10 水温11°C以下及び15°C以上のT-Sダイアグラム

面であるとしている。

今回の調査では、亜熱帯モード水の密度の上限は δt 240 cl/ton (σt 25.60 g/l) 付近にあり、増沢ら (1977) によるとこの水は冬季に太平洋中央海域北西部の表層で多量に生成され、黒潮の輸送する海水の中でも重要な水系で、黒潮及び黒潮統流の南側では、冬季、対流によって均質な厚い表面混合層が形成されると述べている。

西部北太平洋中央水は、増沢ら (1977) によると、直線状のT-S曲線を示す部分の海水であると述べており、これに従うと今回の場合密度が δt 240 cl/ton から175 cl/ton (σt 26.28 g/l) の水がこれに相当する

北太平洋中層水については、増沢ら (1977) は、42° N付近にある亜寒帯前線域から水温躍層の直下に塩分極小となって現われ、その極小塩分値を徐々に高めながらほとんど赤道にまで達する。また一般に塩分極小は中層水の中心をなすものと考えられていると述べており、今回の場合、図からみて密度が δt 175 cl/ton から95 cl/ton (σt 27.13 g/l) の間が北太平洋中層水と考えられる。しかしこれは図からの判断であり、友定 (1992) は統計的に水の量が125 $cl/ton \pm 1 \sigma$

以内に入る部分を基本にする要ありと指摘している。

95 cl/ton より重い水は中層水と深層普遍水との混合水で、ここでは深層普遍水に入れた。以上のことから水塊分布様式を示したのが図11の模式図である。

5) 流 動

a) G E Kの流向、流速変動

図12は1回目から3回目のG E Kによる流向、流速図である。1回目では岸側が東から東北東の流れで弱く、沖合に行くに従って徐々に北東から北北東と北向きの流れが強くなり、強流帯を越えた頃から再び徐々に流れが弱くなり北東から東北東、更には南流要素が加わり東南東の流れとなり南東に向きを変える頃から再び流れが強くなっている。2回目、3回目は1回目ほどきれいには流向、流速がそろっていないが概ね同じような流向、流速パターンで、141° 00' Eに黒潮の流軸があり、ここを中心に沖合に行くに従って流速は弱くなり、流れは東寄りから南寄りへと変って来ている。1回目から3回目までの沖合の南寄りのやや強い流れは図2に示された反時計回りの環流の西

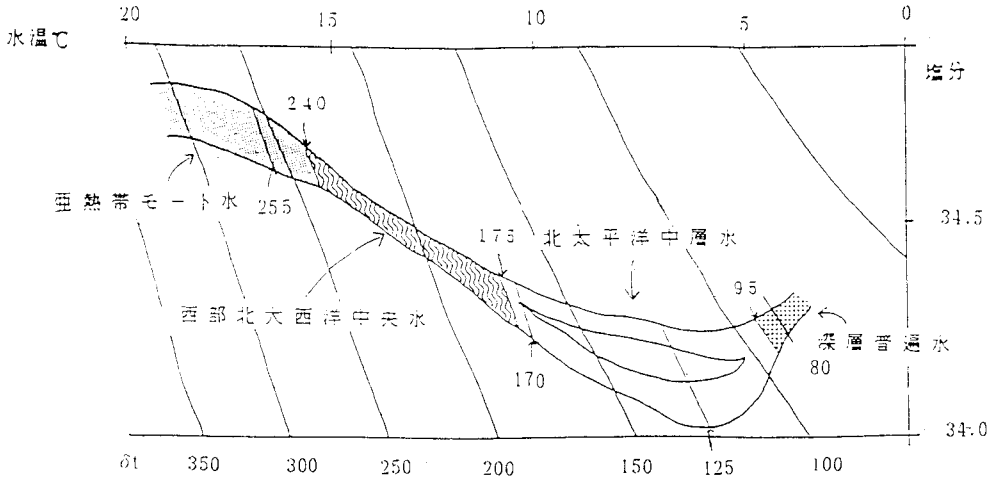


図11 T-Sダイアグラムからみた水塊分布様式模式図

側縁辺部に当たるものであろう。

流向、流速 (図12) と風向、風力 (図6) との関係を見ると、両者が一致しているような所は見当らず、黒潮域においては、風が流れを左右するようなことはなさそうである。

b) 地衡流及び流量

図13は35° N線上の1回目から3回目の900db面を基準面とした地衡流の分布である。北向きを正、南向きを負としている。

50cm/sec以上の北向きの強い流れは1回目から3回目まで141° 15' Eより岸側にあり、これが黒潮流軸である。2回目には141° 30' Eと141° 45' E間にも強い北向きの流れがあり、3回目にはこれが141° 45' Eと142° 00' E間に移っている。

1回目から3回目まで142° 00' Eから142° 15' E間の上層には弱い南向きの流れがある。GEKの流向 (図12) をみてもこの海域は南流となっている。3回目の141° 30' Eから141° 45' E間に

も弱い南向きの流れがある。また、沖合の142° 45' E以東にも1回目から3回目まで弱い南向きの流れがあり、GEKの流向 (図12) をみても南寄りの流れが卓越している。この南向きの流れは図2に見られた反時計回りの環流を反映しているものと考えられる。

流速はGEKで測定した流れよりかなり小さく計算されている。これは基準面が900dbで基準面を浅くとり過ぎたことによるものであろう。

900db面を基準面とした地衡流量分布を図14に示した。流量は141° 15' E以西に最大流量の海域があり、それより東に行くに従って徐々に流量は少なくなり (3回目 st23とst22間を除く)、142° 00' E付近に流量の極小が認められる。従って岸からこの付近までが黒潮域であろうと考えられる。

以上のことから黒潮の流量を計算すると、1回目 (st3~11) が26.1sv (10⁶ m³/sec)、2回目 (st21~26) が26.3sv、3回目 (st28~33) が23.0svとなる。

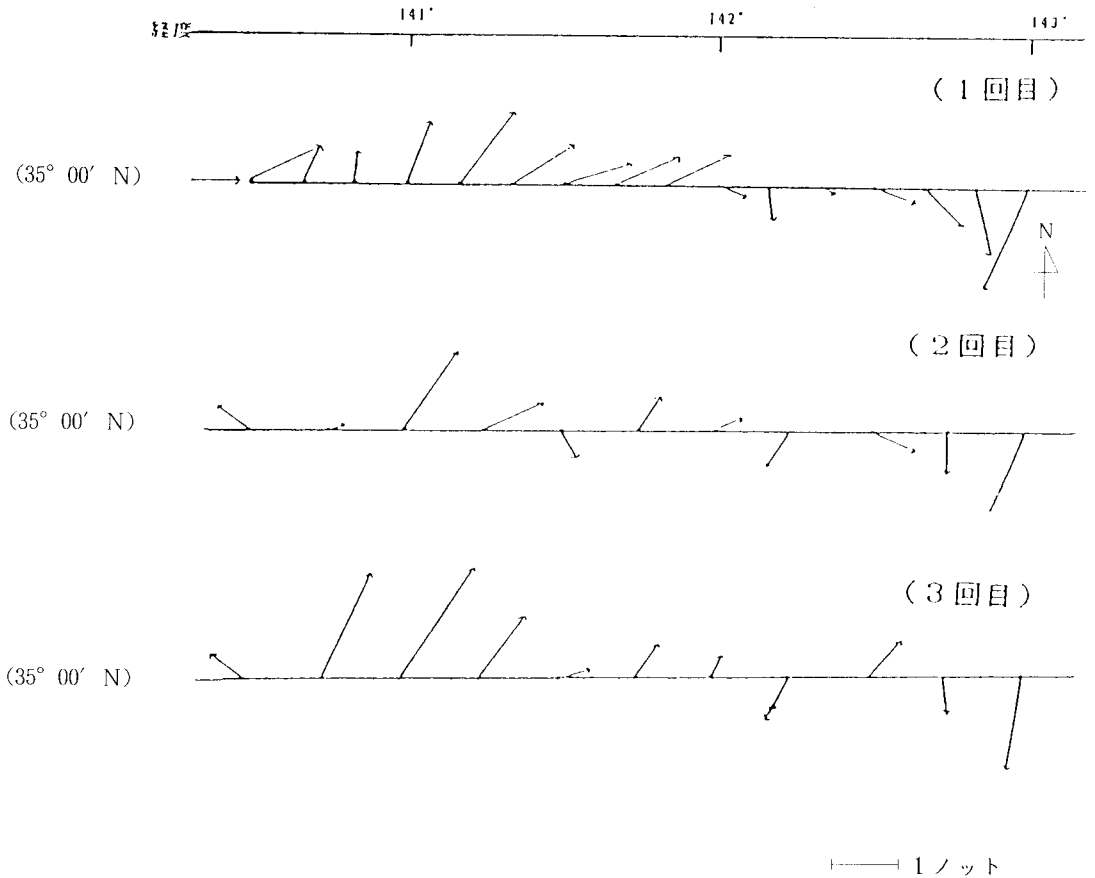


図12 GEKによる流向・流速

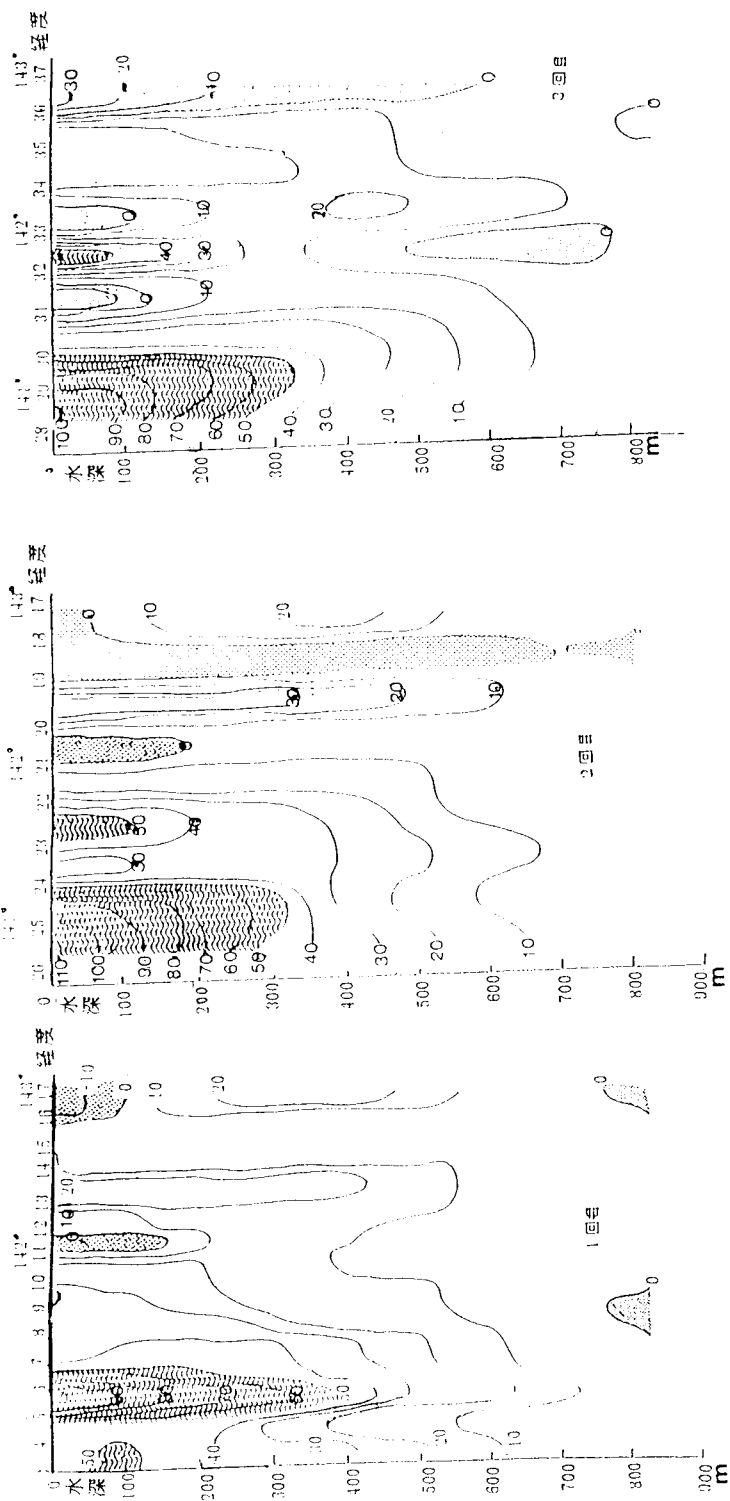
友定 (1981) は1980年夏の観測で、34° N線上の1400db面を基準とした地衡流から黒潮の流量を44svと算出した。また飯田 (1979) は房総南東沖の東向流量を1200db面を基準として図15のように流量を算出している。これらからみると今回の流量は10~15sv程友定や飯田の計算値より低くなっている。これは基準面を900dbにとったこと、沿岸寄りの強流部の一部が、水深が900mより浅く、流量計算が出来ず、この部分が除いてあることによるものと考えられる。

6) 卵稚仔魚分布

稚魚ネットによる卵稚仔採集はst 1からst17までの全点で行なったが、夜だけの採集であったので、実際には表1に示した採集順序で、最初の採集から最後の採集までの間は、2日間以上の時間的な開きがある。

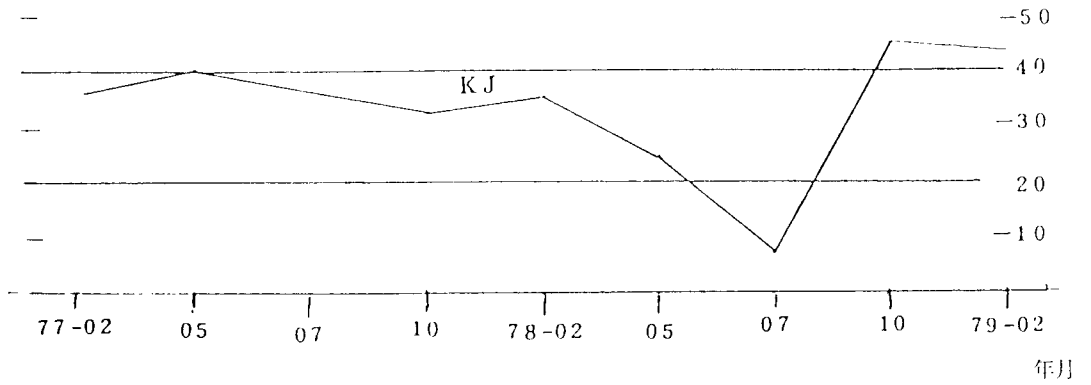
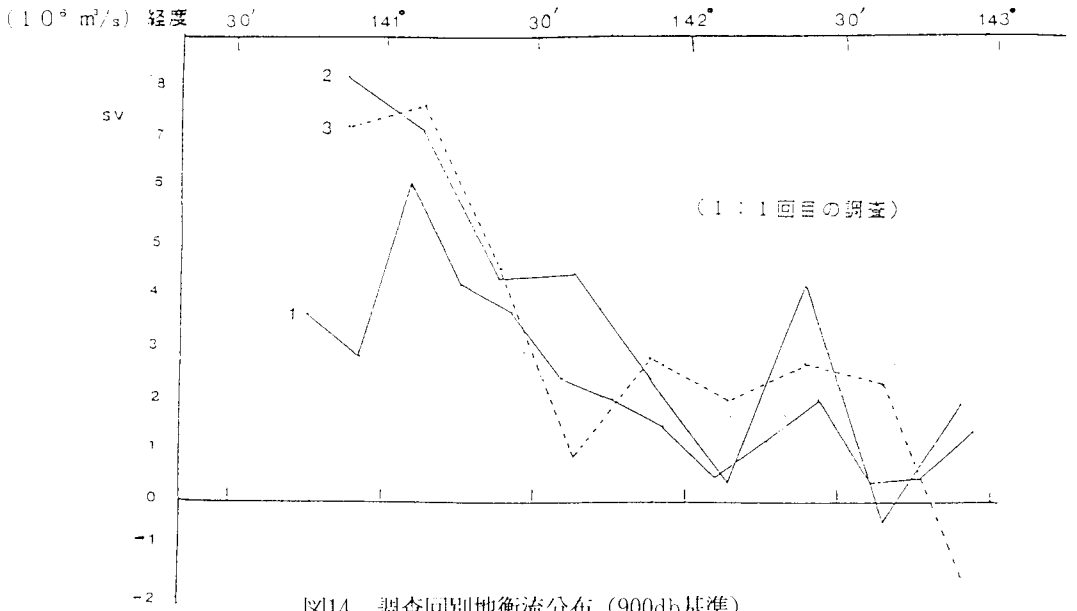
st別卵稚仔魚採集数を図16に示した。これを見ると稚仔魚は岸側と沖側に山がみられ岸側のピークは141° 00' Eにあり、沖側のピークは142° 20' Eにある。2つの山の谷は142° 00' Eにあ

黒潮構造と流量の短期変動



● 南向き流れ
 ○ 北向き50cm/sec以上

図13 地衡流分布 (900db基準)



黒潮構造と流量の短期変動

る。これを流れ（図12）に重ね合わせると、岸側のピークは強流帯（141° 00′ E）にあり、これより東に移るに従って徐々に減少している。また強流帯より西側は極端に稚仔魚量が少なくなっている。谷の所は流れが一番弱くなっている（変位海域）。沖側のピークは流れが南流に変わった所で、反時計回り環流の縁辺部に当たる。

卵をみると、量は多くなく、ほぼ一様な分布をしているが、142° 20′ Eと143° 00′ Eに多い所がある。卵の採集数より稚仔魚の採集数が多いのは、この海域が産卵場というよりも稚仔魚の輸送される海域となっていることによるものであろう。

魚種別に稚仔魚の出現状況をみたのが図17である。マイワシは黒潮強流域に多く出現し、他海域では殆んど出現していない。

カタクチイワシは量的には少ないが、黒潮域と反時計回り環流域に一様に出現している。しかし両者の変位海域では全く出現していない。

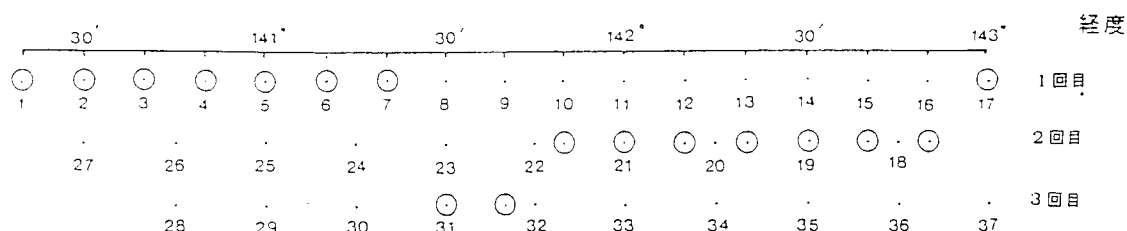
サンマは全海域で出現しており、ピークは黒潮域と反時計回り環流域にあり、どちらかと言えば環流域に多く出現している。これは林ら（1981）の調査結果と一致している。

その他の魚種については、サンマとほぼ同じような出現分布を示しているが、黒潮域の方に出現量は多い。以上をまとめるとマイワシは黒潮域、サンマは反時計回り環流域を主体に出現し、カタクチイワシはどちらの海域にも出現している。また、変位海域では卵稚仔の出現量が極端に少なくなっている。

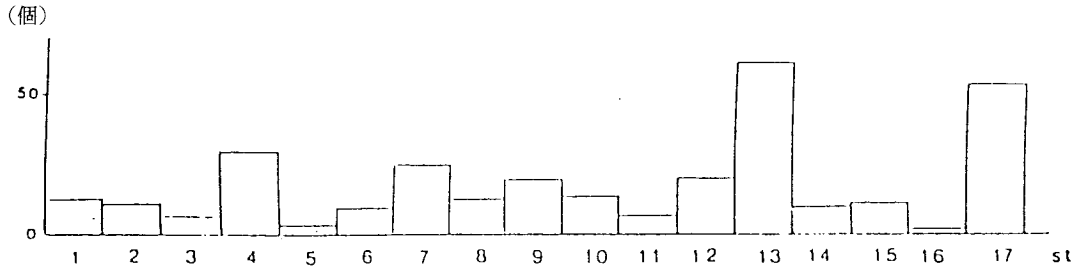
7) 黒潮流量と稚仔魚輸送量

稚仔魚採集は夜間に行なったため、稚仔魚は表層に集まっていると仮定し、15m以浅の地衡流量（900db 基準）と稚仔魚輸送量の分布を図18に示した。これをみると流量が多い所では輸送量も多く、流量が少ない所では輸送量も少なくなっており、流量と輸送量はほぼ比例している。このことは流量が多い所（流速が速い所）に稚仔魚が集まることを示しているものであろう。しかし黒潮内側域では、流量が多いにもかかわらず、稚仔魚の輸送量は少なくなっている。黒潮域を140° 20′ Eから142° 00′ Eまでとすると黒潮によって輸送された稚仔魚の量は 117×10^3 尾/secとなり、1時間には 4.2×10^6 尾が輸送されたことになる。

表1 35° Nにおける観測定点（番号）と稚魚採集点（○）



卵



稚子魚

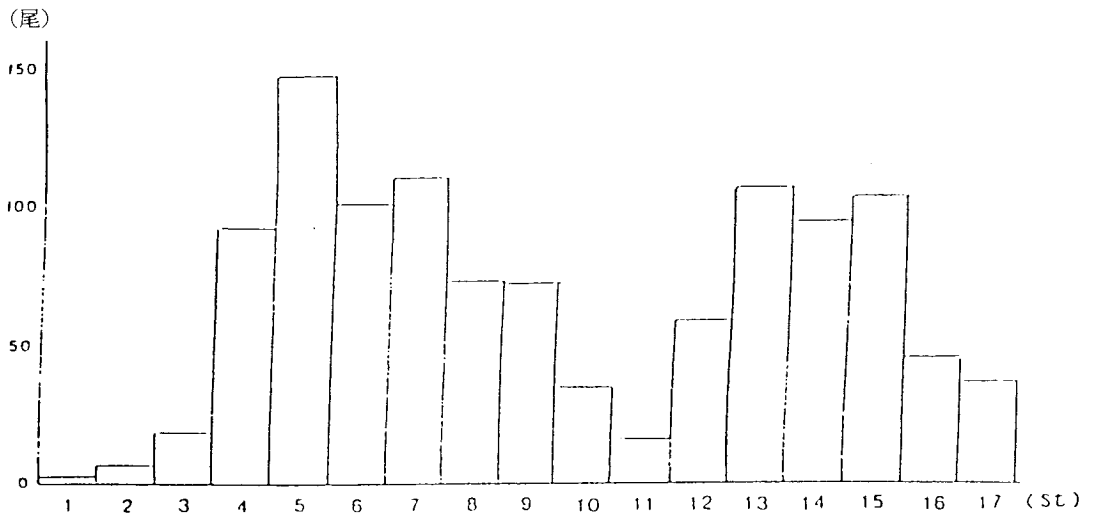


図16 ステーション別卵稚子魚採集総尾数

黒潮構造と流量の短期変動

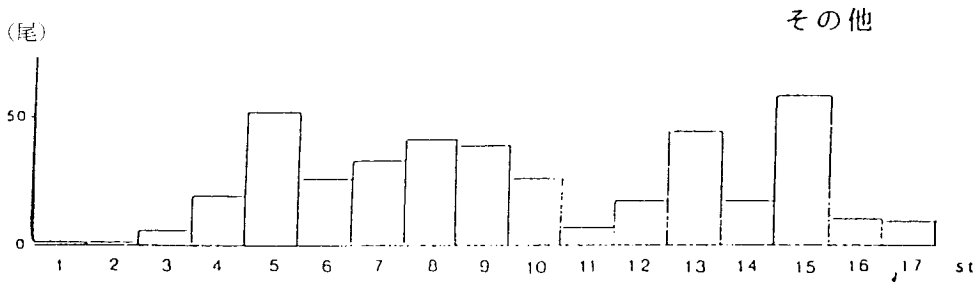
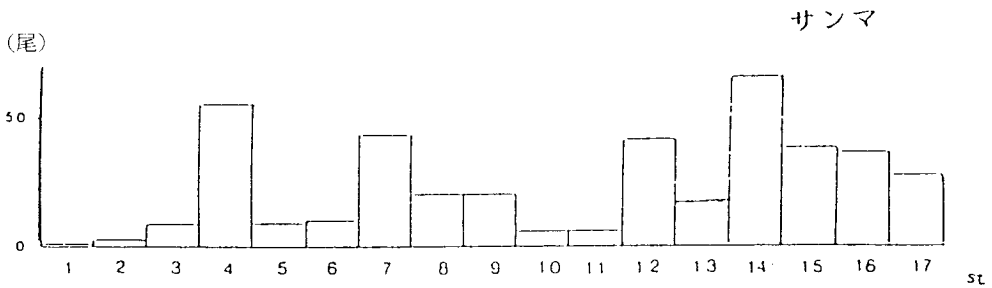
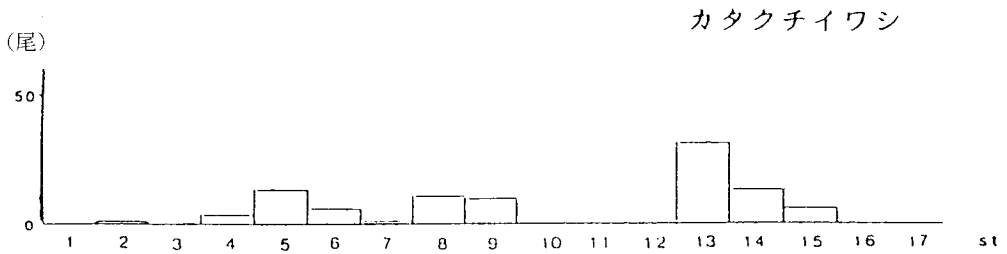
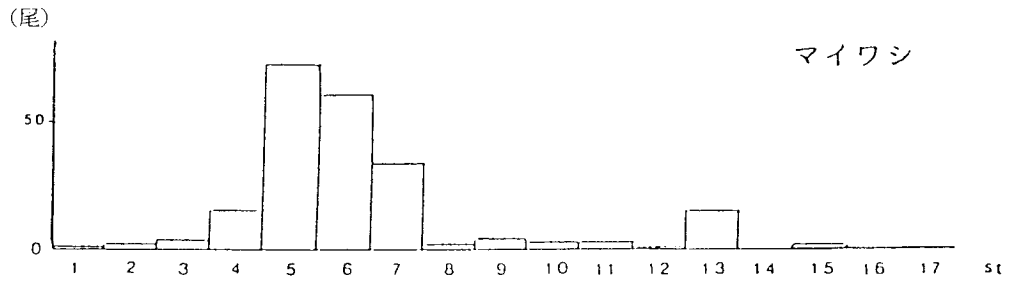


図17 ステーション別魚種別稚仔魚採集尾数

反時計回り環流域では 21×10^3 尾/secが輸送され、黒潮域の約 $1/6$ である。しかしもっと沖合までの調査があれば、これよりは多くなるはずである。魚種により稚仔魚の出現ピークの月は異なり、鈴木（1992）は房総海域においては、マイワシが3月、カタクチイワシは5～6月に出現のピークがあると述べており、林（1981）によるとサンマは2月であると述べている。このようなことから調査月が遅くなると、マイワシやカタクチイワシの稚仔魚の出現量はもっと多くなることが予想される。

魚種ごとに輸送量をみるとマイワシは黒潮域で 46.7×10^3 尾/sec、反時計回りの環流域で 0.8×10^3 尾/sec、サンマは黒潮域で 27.0×10^3 尾/sec、環流域で 8.0×10^3 尾/sec、カタクチイワシは黒潮域で 8.1×10^3 尾/sec、環流域で 4.7×10^3 尾/secの輸送量である。図17では反時計回り環流域でサンマが多いように見えるが、流量が少ないため、輸送量が少なくなっているのである。表2に流量、稚仔魚輸送量の計算結果を示した。

これらの計算結果は力学計算を900db基準としたため、実際より流量は少なく算出されている。

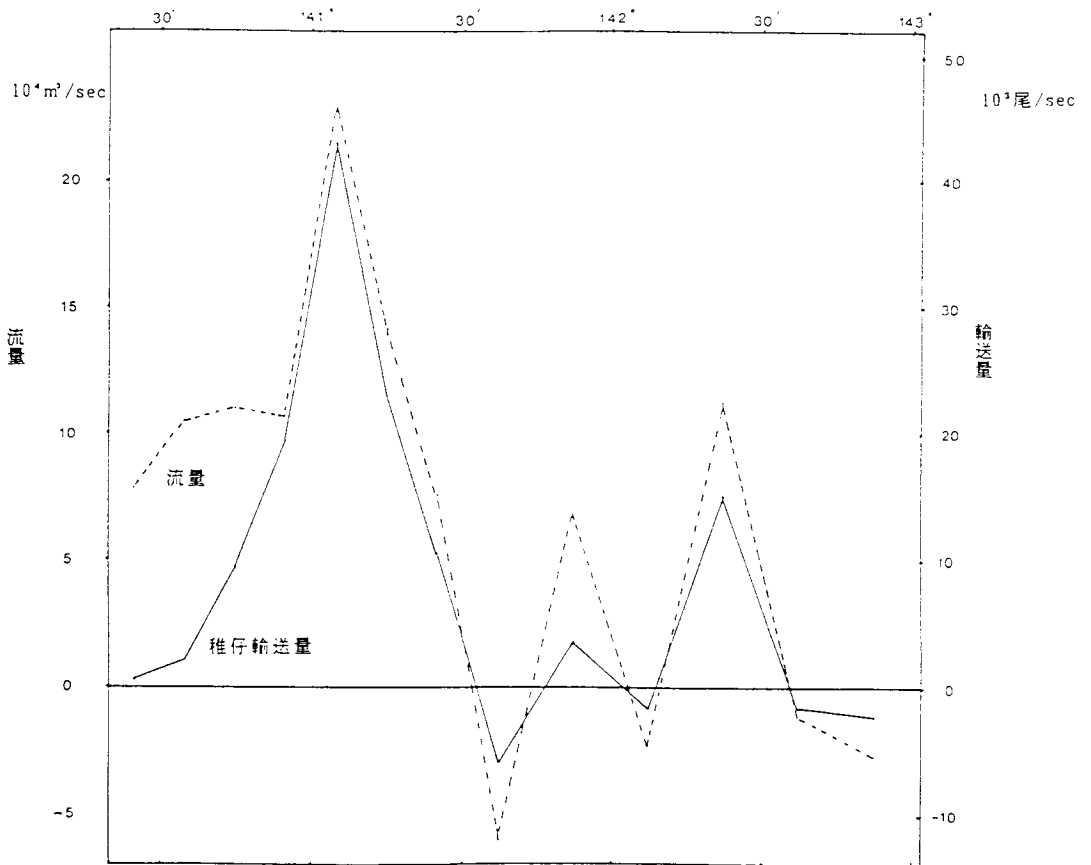


図18 稚仔魚採集時の15m以浅の地衡流量（900db基準）と稚仔輸送量

表2 流量、稚仔魚輸送量計算結果

S T		1	2	3	4	5	6	7	31	32	21	20	19	18	17
流 量	$10^4 \text{ m}^3 / \text{sec}$	7.8	10.5	11.0	10.6	22.9	14.1	7.5	-6.0	6.7	-2.3	11.2	-1.2	-2.7	
稚仔魚輸送量	$10^3 \text{ 尾} / \text{sec}$	0.6	2.1	9.3	19.3	43.1	22.9	10.6	-5.9	3.7	-1.3	15.6	-1.6	-2.3	
イワシ輸送量	$10^2 \text{ 尾} / \text{sec}$	2.4	4.8	33.4	70.8	227.4	100.6	20.5	-3.6	3.1	-0.7	6.8	-0.2	-0.4	
サンマ輸送量	$10^2 \text{ 尾} / \text{sec}$	2.4	9.5	53.4	51.5	34.5	57.8	36.5	-18.2	6.1	-8.3	49.1	-8.4	-14.1	
カタクチ輸送量	$10^2 \text{ 尾} / \text{sec}$	1.2	1.6	3.3	14.5	34.5	8.6	6.8	-10.0	0	0	45.7	-1.5	0	

注 流量に合わせるため稚仔魚採集量は径度10分ごとの観測では2点間の平均を、15分ごとの観測点では三点法を用いて2点間の中心に当たる所の採集量を読み取って稚仔魚採集量とした。マイナスは南への輸送

これを基に輸送量を算出したので、実際の稚仔魚の輸送量は表2の量よりかなり多いと考えられ、ここに揚げた量を最低量と考えれば良い。

4. まとめ

35° N線上の調査から、解析した結果は次のとおりである。

- (1) 水温鉛直分布短期変動はあまり大きくはない。
- (2) 塩分鉛直分布の短期変動は、黒潮域及び外側域より黒潮内側域で大きい。
- (3) 表層の海況は風向及び風速によって短期変動する。
- (4) 水塊は上層に亜熱帯モード水、以下下層に向かって西部北太平洋中央水（躍層水）、北太平洋中層水、深層普遍水という層重構造になっている。

(5) 中層水（塩分極小層）は内側域の塩分値が高く（34.2‰台）、外側域の塩分値が低く（34.0‰台）になっており、内側域では、黒潮より流れが小さいため滞留時間が長く、塩分値が高くなっているであろう。この水はその場に滞留していた水か又は西で滞留していた水がここまで運ばれて来た水かの両方が考えられる。

(6) GEKでの測流結果は1回目から3回目まで141° 00' E付近に流速のピークがあった。

(7) 黒潮域においては流向、流速は風向、風速とあまり関係がないようである。

(8) 900dbを基準面とした地衡流とGEKによる測流結果を比べると南北方向の流向は、ほぼ一致しているが、流速は地衡流の方がかなり遅く出ている。黒潮の地衡流量は26sv程度で、一般に計算されているものより10~15sv程少なくなっている。

- (9) 稚仔魚の出現海域のピークは岸側の黒潮強流帯と沖側の環流域にあり、この両海域の中間で流れの弱い所では稚仔魚の出現が極端に少なくなっている。
- (10) 稚仔魚の出現状況を魚種別にみると、マイワシは黒潮強流域に多く、他海域では殆ど出現していない。カタクチイワシは黒潮強流域と外側環流域に一様に出現している。サンマもカタクチイワシと同様であるが、環流域に多く出現している。
- (11) 流量と稚仔魚輸送量はほぼ比例しているが、黒潮内側域では流量が多いにもかかわらず、稚仔魚の輸送量は少ない。
- (12) 魚種ごとに稚仔魚の輸送量を計算した。

5. おわりに

今回の調査は初めてのケースであったので、過去の調査との比較が出来なかった。今後このような調査を継続して実施する必要がある。また観測点のとり方にも問題があり、修正して行かなければならない。終りに当り本論文の校閲を御願した東北水研海洋環境部部長友定彰博士に感謝する。

参考文献

- 林小八、小達繁、1981、サンマ仔魚の分布様式について、水産学会誌、47(6)、705～711、
- 平野敏行、藤本実、1969、補給を含めた再生産機構と環境との関連、漁業資源研究会議報、9、16～33、
- 飯田隼人、1979、黒潮の流量変動について、黒潮の開発利用の調査研究報告書、(その2)、38～45
- 久保治良、友定彰、西畑功夫、宮沢公雄、1982、鹿島灘の海況Ⅲ、東海区水研報、108、59～133
- 増沢譲太郎、蓮沼啓一、海洋の水系、海洋科学基礎講座4、東海大学出版会、1～114
- 鈴木達也、1992、春季の房総海域における主要魚種卵稚仔の出現状況、中央ブロック卵稚仔プランクトン調査研究担当者協議会研究報告No.12、中央水研50～62、
- 友定彰、1979伊豆海嶺とその東の海域の黒潮の実態と変動の調査、黒潮の開発利用の調査研究報告(その2)、65～77
- 友定彰、1981、1980年の伊豆海嶺以東の海洋調査から、黒潮の開発利用の調査研究報告(その4)、77～91、
- 友定彰、1992、私信