

魚群の回遊および漁場形成に果たす
暖水ストリーマの役割に関する研究

為石 日出生

①
論文題目

魚群の回遊および漁場形成に果たす
暖水ストリーマの役割に関する研究

Studies on the roles of warm streamers in fish migration
and fishing ground formation.

為石 日出生

目次

第I章 緒言	(1)
1-1. 本研究の背景と意義	(1)
1-2. 暖水ストリーマと漁場形成に関する従来の研究	(2)
1-3. 本研究の目的	(5)
1-4. 本研究の方法	(5)
1-5. 本論文の構成	(6)
第II章 日本周辺海域における暖水ストリーマの動態	(10)
2-1. 序	(10)
2-2. 資料と方法	(10)
2-3. 結果	(11)
2-3-1. 日本周辺海域における暖水渦の分布および変動	(11)
2-3-2. 日本周辺海域での暖水ストリーマの分布	(13)
2-3-3. 三陸沖暖水渦における暖水ストリーマの派生位置	(13)
2-3-4. 暖水ストリーマの動的特性	(14)
2-4. 考察と結論	(16)
2-4-1. 表面水温分布構造からみた暖水渦の分類 および生成・消滅	(16)
2-4-2. 暖水ストリーマの分類および生成・消滅	(17)
第III章 マイワシ北上期の三陸沿岸漁場の形成と暖水ストリーマとの関係	(41)
3-1. 資料と方法	(41)
3-2. 結果	(42)
3-2-1. 三陸沿岸におけるマイワシ漁場形成の特性	(42)
3-2-2. マイワシ漁獲水温	(43)
3-2-3. 三陸沿岸漁場域のマイワシ群の移動方向	(43)
3-2-4. 暖水ストリーマの時間的変動とマイワシ漁場	(44)
3-2-5. マイワシ漁場形成と暖水渦から派生する 暖水ストリーマとの関連性	(44)
3-2-6. マイワシ魚群の北上接岸と暖水ストリーマとの関連	(47)
3-3. 考察	(48)
3-3-1. 三陸沿岸のマイワシ漁場の形成と水温との関連	(48)

3-3-2. マイワシ漁場形成に対する暖水ストリーマの役割 (49)

第IV章 北上期沖合マイワシ群の沿岸来遊に果たす暖水ストリーマの役割(73)

—航空機調査から—

- 4-1. 序 (73)
- 4-2. 資料と方法 (73)
- 4-3. 結果 (75)
 - 4-3-1. 表面水温と魚群の分布 (75)
 - 4-3-2. 水塊別および暖水渦内外の魚群出現頻度分布 (75)
 - 4-3-3. 暖水ストリーマ内外の魚群頻度分布 (77)
 - 4-3-4. 航空機観測による水色分布 (77)
- 4-4. 考察 暖水ストリーマのマイワシ群に対する魚道機能 (78)

第V章 暖水ストリーマの短期的変動および動植物プランクトン
とマイワシ群の3次元分布の観測 (92)

- 5-1. 序 (92)
- 5-2. 資料と方法 (92)
- 5-3. 観測結果 (93)
 - 5-3-1. 三陸沖暖水ストリーマの動態 (93)
 - 5-3-2. 暖水ストリーマの流向・流速 (93)
 - 5-3-3. 暖水ストリーマ内の水温分布構造 (94)
 - 5-3-4. 航空機で捉えられた暖水ストリーマとマイワシ群 (94)
 - 5-3-5. 水温水平分布図とマイワシ群 (95)
 - 5-3-6. 暖水ストリーマ内外の水温鉛直構造および
動・植物プランクトンとマイワシ群の分布 (95)
- 5-4. 考察 (98)
 - 5-4-1. 暖水ストリーマ内のマイワシ群の分布 (98)
 - 5-4-2. マイワシ群の分布と適水温 (99)
 - 5-4-3. マイワシ群分布と流れ (99)
 - 5-4-4. マイワシ群分布と餌生物 (100)

第VI章 総括 (123)

- 6-1. 暖水ストリーマの地理的分布および季節変動 (123)

6-2. 流出型暖水ストリーマの鉛直構造と 動・植物プランクトンの分布の関係	(123)
6-3. 暖水ストリーマがマイワシの北上・接岸に果たす役割	(124)
6-4. マイワシの北上回遊と水温および餌料プランクトンとの関係	(125)
6-5. 今後の研究課題	(127)
謝辞	(130)
参考文献	(132)

第1章 緒言

1-1. 本研究の背景と意義

温帯性の回遊性浮魚類の漁場は、暖流・寒流・暖冷水塊等の水塊の前線域（潮境）に形成され、特に潮境が袋状に入り組んだ部分に形成される傾向にある（Laurs, 1984; 川崎・永沼, 1965; Aoki and Inagaki, 1992; 為石, 1985）。本研究で主な対象とした東北海域は、黒潮統流と親潮との間の混合（混乱）水域と呼ばれる海域（川合, 1972）であり、世界でも有数の前線漁場となっている。こうした漁場の位置やその短期的変化を予測する場合、漁場付近の魚群量に加えて漁場への来遊に関する情報を知る必要があり、とりわけ後者には水温等の海況条件が重要と考えられている（宇田, 1940）。

従来、浮魚類の回遊経路については標識放流の結果に基づく推定（例えばカツオについては、浅野, 1984; 二平, 1991）、等温線の南下・北上と漁場の移動との対応関係に基づく総観的で概略的な推定（例えば、笠原, 1977）などが行われてきた。これらは、いずれも季節的な南北回遊の経路や時期をおおまかに推定しようとするもので、漁場の短期予測に繋がるような知見はきわめて乏しい。一般に、漁場位置はきわめて狭く限定されているが、これは魚群の行動が微細なスケールの環境条件に規定されるためと考えられる。したがって、短期の漁場予測を行うには、この魚群の位置・来遊時期に関わる微細海況を明確にする必要がある。特に、マイワシ漁場のように沿岸域に主な漁場が形成される場合には、沖合から沿岸への来遊に関わる条件が重要と考えられるが、これらに関する知見はこれまでほとんど得られていない。

さらに、最近ではカツオの漁場形成時期の予測に関連して、体長や肥満度等の生物の生理的条件が、黒潮前線・第2次黒潮前線を越えて北上回遊するかどうかを決定する重要な要因になることが示唆されている（二平, 1992）。その意味で餌料生物の分布などが魚群の回遊に関与する可能性があるが、こうした生物的条件についての研究はまだ

きわめて不十分である。

一方、近年人工衛星を海洋観測に導入することによって、微細で変化の大きい海洋現象を同時かつ総観的に把握できるようになった。例えば、三陸沖では暖水渦の周辺から細長い突起状の暖水が伸び出す様子や、暖水渦と暖水渦との間を繋ぐ芋づる状の細い带状暖水の存在が見出されており、暖水ストリーマと呼ばれている（為石他，1987）。この暖水ストリーマには、暖水渦の中へ入り込む流入型と暖水渦から外側へ派生する流出型があり、前者については従来から比較的多く発見され、漁場との関連が明らかにされている（Kawai and Saito, 1986; 川合・佐々木, 1962）。しかし、流出型の暖水ストリーマに関しては、発生場所や発生時期が流入型に比べて不規則であり、発生後も急速に変化し、寿命が1～2週間程度であること（Sugimoto et al., 1992）から、船による観測ではほとんど発見されていない。

本研究は、東北海域において、漁船漁場データ、衛星画像、航空機調査、調査船を総合的に用いることにより、主にこの流出型の暖水ストリーマがマイワシ群の回遊および漁場形成に果たす役割を明確にし、海況情報に基づく短期の漁場予測手法を確立しようとするものである。

1-2. 暖水ストリーマと漁場形成に関する従来の研究

1-2-1. 暖水ストリーマの物理的特徴

暖水ストリーマの研究が始まったのは、衛星によりこの現象が発見されるようになったからであり、その歴史はきわめて浅い。ここでは、これまでの研究で明らかにされている物理的特徴について整理する。

黒潮主流から分岐した暖水ストリーマは、幅約30 km、深さ25 m程度のスケールを持ち、1. 3 m/秒で移動し、流れは地衡流性であり、第2次黒潮前線域へ大規模に入り込むとこの前線域を暖水渦として分離する（Kawai and Saito, 1986）。また、暖水渦と暖水ストリーマの関わりに関しては、1986年秋季に発生した暖水渦86B

に流入した暖水ストリーマを、時系列的に追いかけた例がある。それによれば、ストリーマの幅は20～30 km, 流入期間は1週間～10日間であり、暖水塊の東～南側と東側から流入している。また発生時期は主に4～6月と9～10月である (Sugimoto et al., 1992)。さらに、その役割について稲掛 (1991) は、暖水ストリーマが地衡流性であり、暖水帯として暖水塊を取り巻き、暖水塊を成長させる働きをもっていることを指摘している。Yasuda et al. (1992) はまた、2個の暖水塊を想定した数値実験により、暖水ストリーマがその相互作用により大量の水の輸送を行っていること、暖水塊が集中する東北海域においては、そうした相互作用が頻繁に起きている可能性があることを指摘し、暖水ストリーマが暖水塊の生成に深く関係していることを示唆している。

以上は、すべて暖水渦に入り込む暖水ストリーマ (Fig. 1-1-(a)) の物理的特徴を述べたものであり、暖水渦から外側へ派生する暖水ストリーマ (Fig. 1-1-(b)) の物理的特徴に関する知見は、今までほとんど得られていない。ただ、森永 (1991) らは、水槽実験により暖水塊に暖水ストリーマを侵入させ、その外縁に低気圧性渦流 (暖水渦から派生する暖水ストリーマの初期段階) が発達することを発見しており、流出する暖水ストリーマが存在することを確かめている。

本研究では、この暖水塊から外へ派生する暖水ストリーマについて、衛星画像解析および海洋観測によりその物理的特徴を捉え、その役割を明確にしようとした。

1-2-2. 漁場形成・魚群移動に果たす暖水ストリーマの役割

暖水渦に伴う漁場の形成機構に関しては、Sugimoto and Tameishi (1992)、西村 (1987) などの研究があるが、暖水ストリーマに伴うものについては研究が極めて少ない。ただ、カツオ群が黒潮純流域から東北海域へ移入するとき、第2次黒潮前線の強流帯に乗って北上することを指摘した例があり (川合・佐々木, 1962)、これは暖水渦に入り込む暖水ストリーマと魚群との関連を述べたものと考えられる。また、

暖水ストリーマの先端部における漁場形成の事例として、釧路沖暖水塊から伸長する帯状暖水の先端部のマイワシ漁場（萩島，1988）や、同じく道東海域において10～13℃の水温前線の暖水側に形成されたマイワシ漁場（稲掛，1987）に関する報告がある。しかしながら、これらは単に暖水域と漁場の位置的な対応関係を述べているにすぎず、暖水ストリーマが魚群の回遊や漁場形成にどのような役割を果たすかは、ほとんど明らかにされていない。

一方、マイワシ群の回遊と環境条件との関係について、近藤（1988）はマイワシの索餌群が、黒潮前線あるいは暖水塊の先端域を北上することを指摘している。この傾向は、日本海でも見られ、産卵後のマイワシ群は水温上昇期に暖水域とともに沖合を北上する（伊東，1961；Fig. 1-2）。この北上期の魚群回遊の指標となるのは、表面水温10℃の等温線である（吉田，1987）。その後、索餌期のマイワシ群は、黒潮系北上暖水域から大陸棚上の沿岸水域へ移動する（長澤，1984）。また、南下期のマイワシ群は、親潮系水の影響を受ける沿岸域の南西向きの流れを利用していることが明らかにされている（Ihara，1987）。

以上のように、マイワシ群の従来の回遊経路に関するこれまでの研究は、季節的な南北回遊の経路や時期を概略的に述べるのみで、暖水渦や暖水ストリーマなど海況の微細構造との関係や、沖合—沿岸方向の魚群の動きに関しては、ほとんど研究されていない。また、研究に用いられる資料も漁船の操業位置データを旬または月単位で解析したものが多く、漁場以外の水域に分布する魚群の実態も含めた回遊経路についての詳細な検討例はきわめて少ない。Ihara（1987）は、飛行機調査による道東沖合のマイワシ魚群を追跡し、一日スケールでの魚群の動きを把握しようとした。しかしながら、観測回数が少なく、魚群の分布と海洋環境との対応が不明であること、飛行調査を実施した海域が沿岸域に限定され、沖合域から沿岸の漁場へ移動する魚群については情報が得られていないこと等が、課題として残されている。

1-3. 本研究の目的

本研究は、暖水渦から派生する流出型の暖水ストリーマが三陸沿岸のマイワシ流場の形成とどのように関係しているのか、魚群の来遊および漁場形成機構に対する暖水ストリーマの役割を明らかにすることを目的としている。そのため、①衛星画像により暖水渦およびそれから派生する暖水ストリーマの総観的な実態、②漁場データと衛星画像により漁場と暖水ストリーマとの関係、③航空機調査により沖合マイワシ群と暖水ストリーマとの関係、④海洋観測により暖水ストリーマの動態とマイワシ群の分布および餌条件をそれぞれ解明し、これらの結果を総合しながら、漁場の短期変動予測のための環境（海況）要因として、暖水ストリーマの重要性を究明しようとした。

1-4. 本研究の方法

暖水渦から派生する暖水ストリーマの観測は、これまでほとんど実施されていない。これは、①暖水渦から派生する時期が不規則であり、また暖水ストリーマが派生しても1～2週間程度で消滅するなど、短期的な変動が大きく観測時期を逸しやすいこと、②暖水ストリーマの構造が細長く、規模も一定せず全体像の把握が難しいこと、③発生後のストリーマの変化について、その方向および速度等の予測が難しいことなどによると考えられる。

このように短期的かつ突発的な行動を示す暖水ストリーマの動態を調査するためには、衛星画像の連日の解析が必要不可欠である。さらに、航空機で船舶による調査海域を事前に調査する体制を取ることによって、焦点を絞った調査が可能となる。暖水ストリーマと魚群との対応関係など、微細かつ短期的に変動する場の魚群行動を調査するには、魚群とその周辺の水温等を同時に把握できる飛行調査がもっとも有効である。航空機調査にはさらに、①調査実施時期が任意であり、暖水ストリーマの発生時期など海洋現象の変化に迅速に対応できる、②面的な水温観測や魚群探査を迅速に実施可能である、③潮境や水色など実際の海の状態と魚群を対応させ、その状態を写真として保存できる等

の利点がある。

そこで、本研究では、①衛星画像を用いて暖水ストリーマの出現状況を客観的・統計的に整理し、三陸沿岸のマイワシ漁場の形成状況と暖水ストリーマとの関係を明らかにすると共に、②過去10年間にわたる航空機調査の結果を整理し、暖水ストリーマと沖合マイワシ群との関係を明確にした。さらに③調査船によって暖水ストリーマの3次元の水塊構造とマイワシ群との関連、とくにクロロフィル-aや動物プランクトンの分布などの生物要因が魚群の分布に与える影響について検討した。

このように本研究では、暖水ストリーマのような微細かつ短期変動の著しい海洋現象を、人工衛星・航空機・調査船等の各観測手段の長所を十分に生かした総合的な観測によって捉え、そのマイワシ漁場形成に対する役割について、実証的な見地から検討を加えた。

1-5. 本論文の構成

第I章では、本研究の背景と意義、目的等を体系的に述べる。

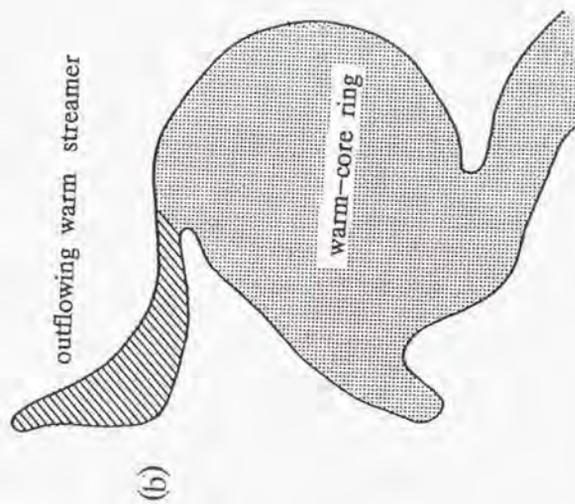
第II章では、日本周辺海域における暖水渦の生成・変化およびその形状のパターン分類について記述する。さらに、暖水渦から派生する暖水ストリーマの動態について、1985～90年のNOAA熱赤外画像を利用し、出現位置・寿命・周期等の法則性を明らかにする。

第III章では、暖水渦・暖水ストリーマがマイワシ魚群の北上回遊および漁場形成に果たす役割、特に三陸沖の暖水渦から外側へ派生する暖水ストリーマが北上期のマイワシ漁場形成に果たす役割について、まき網漁船データ(1987～1990年)をもとに具体的に述べる。

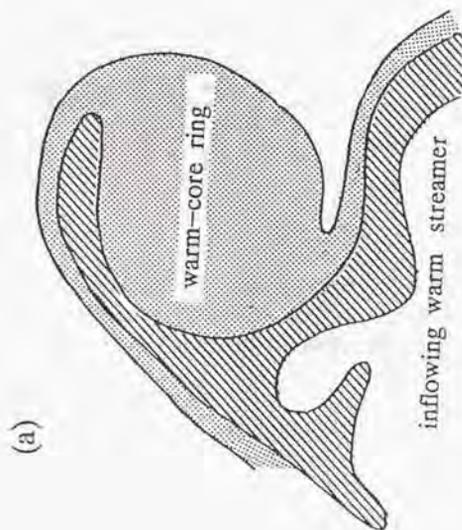
第IV章では、航空機による海洋観測およびマイワシ群発見情報(1982～1991年)をもとに、暖水渦・暖水ストリーマと沿岸域へ来遊する前の沖合域におけるマイワシ群の分布、回遊との関係について考察する。

第V章では、調査船で集中観測した暖水ストリーマ内外の海洋構造とプランクトンおよびマイワシ群の分布との対応関係について述べる。また、マイワシ群と共に沿岸域へ向かう暖水ストリーマの3次元構造を明確にし、それがマイワシ群にどのような物理的・生物的な影響を及ぼしているかを解明する。

第VI章では、暖水渦や暖水ストリーマについて衛星画像解析と航空機や調査船による観測の結果から導かれた仮説を論証しながら、短期漁場予測の基礎となるマイワシ群の回遊機構について論じる。



(O type)



(I type)

Fig.1-1-(a) (b) Schematic figures showing warm streamers inflowing into a warm-core ring (I type) and outflowing from the front of the warm-core ring (O type).

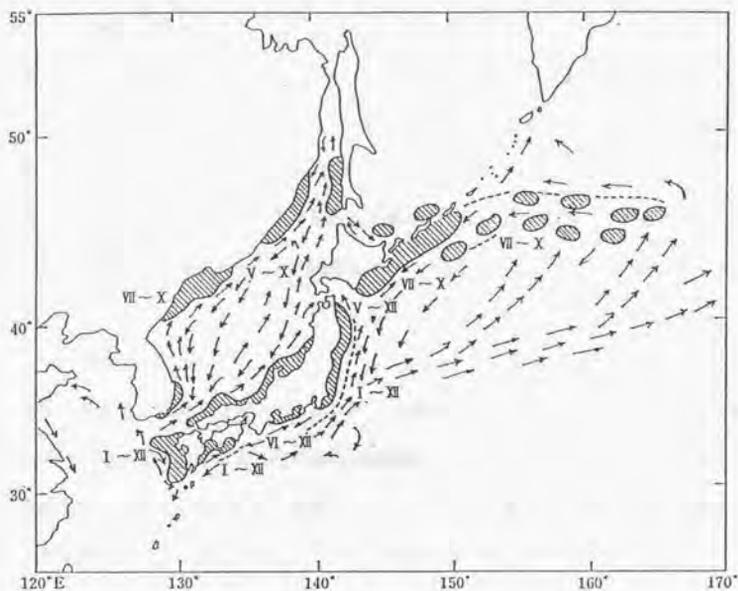


Fig.1-2 Main sardine fishing grounds and estimated migration routes of sardine schools in 1980's(Itoh 1961). Numerals indicate month of year.

第II章 日本周辺海域における暖水ストリーマの動態

2-1. 序

漁場形成に関係の深い海洋要因としては、まず潮境が挙げられ衛星画像からは潮境が容易かつ有効に検出されることが知られている。宇田(1940)は、潮境には渦動があること、潮境が漁場となるのはこの小・中規模の渦動の湧昇によるものであることを指摘している。また、近年の海洋物理学では海洋は直径100~200Kmの渦で満ちているとして、その性状がおおきな大きな研究課題となってきた。また、漁業からみても、これらの渦と漁場形成との関係が着目されてきている。

本章では、過去に得られた人工衛星画像を整理し、暖水塊から派生する暖水ストリーマの挙動、特にその発生・変化・消滅過程について検討する。

2-2. 資料と方法

解析にあたり、米国海洋大気庁(NOAA)環境局(NESS)が運用する気象衛星NOAA-9~11号で得られた日本周辺海域の1985-90年のデータを利用した。この衛星は、高度840kmを、周期102分(14.1周/日)で、北極と南極を通る太陽同期の軌道上を通過している。1日の回転数は14.1回で、パラボラアンテナで水平線からの仰角5度で水平線に落ちるまでの13分間に南北5,200km、東西2,900kmの範囲を観測できる(毎日4~6回; 為石他, 1983、漁業情報サービスセンター, 1987)。衛星には、AVHRR(改良型超高分解能放射計Advanced Very High Resolution Radiometer)が搭載しており、Table 2-1に示す波長帯で観測が可能である。解析にはチャンネル4(波長10.5~11.5 μ m、温度分解能0.1 $^{\circ}$ C、距離分解能1.1km)を使用した。

熱赤外画像は白黒の濃度で温度を示し、画像処理コンピュータのCRT上に表現される。等温線を描くため、画像に陸や緯経線の入った透明のオーバ・レーをあて、輝度を

1℃温度に相当する輝度差に直し、その境目をエッジ強調して等輝度線をトレースする。その後、この温度1℃毎の等輝度を船舶データ(5° 柵目あたり約10個)と照合し温度修正した後、Fig. 2-1に示すような「人工衛星利用温度分布図」(岡田・為石, 1983; 漁業情報サービスセンター, 1983, 1984, 1985)を作成した。Table 2-2に、本論文で利用したデータ数を、漁業情報サービスセンターが指定した海域別(Fig. 2-2)に整理した。暖水渦や暖水ストリーマを日本周辺海域から検出するために取扱った総画像数は4,280件である。また、暖水渦や暖水ストリーマの抽出およびその集約した位置の決定は、総観的に目分量で行った。

本項では、暖水渦・暖水ストリーマの出現位置を明確にするために、出現率(特定海域5年間の暖水渦または暖水ストリーマの全個数/特定海域5年間の全処理回数)を求めた。また、暖水渦・暖水ストリーマの発生から消滅までの変化をより明確にするため、暖水渦・暖水ストリーマの面積を10分升目(約324km²)を“1”として指数化し、これらの相対的变化を検討した。

2-3. 結 果

2-3-1. 日本周辺海域における暖水渦の分布および変動

(1). 暖水渦の分布とその特徴

1985~90年の6年間に日本近海のNOAA画像で認めた、直径100km以上の中・大規模暖水渦をプロットしたものをFig. 2-3に示す。この図から、年による位置の違いはあるものの、暖水渦はほぼ一定の海域に出現していることが分かる。これを海流系の中に模式的に描いたものがFig. 2-4であり、東北海域6個(A~F)、南西東海海域1個(G)、日本海9個(H~P)、東シナ海3個(Q~S)、合計19個の暖水渦高頻度出現海域が日本周辺海域に認められる。

Table 2-3にそれぞれの暖水渦高頻度出現海域の特性を示す。これらの暖水渦域には以下のような特徴が見られる。①日本海には平均直径が50~200km程度の渦

しか存在しない。スケールが小さいため、船舶データによる水温図では、その動態を捉えることは困難で、高密度データの衛星画像を有効に活用する必要がある。②海域別の暖水渦の出現率（特定海域で特定期間の暖水渦の個数をその期間の画像枚数で除した値）は、日本海が最も高く77%、次に東北海域の51%、東南海域の50%、東シナ海22%の順である。また、局所的な暖水渦では、大和堆の暖水渦が94%、朝鮮海灣沖の暖水渦91%、ウツリョウ島沖暖水渦88%といずれも日本海の渦である。③各海域の暖水渦の発生個数は、熊野灘の年間平均3~4個を除き、その他の海域は年間平均1~3個程度である。④寿命は暖水渦の厚さが100~300mのもので平均1~3カ月、400~600mのもので平均1~2年と、暖水渦の厚さが厚いほど持続期間が長い。

(2) 中規模暖水渦の生成-消滅過程

Fig. 2-5は、1985年9月に釧路沖で発生した暖水渦の生成から消滅に至る過程を衛星画像から模式的に表したものである。暖水渦発生の初期段階は、三陸沖暖水渦から派生した暖水ストリーマが時計回りに伸びることにより起こり、約1カ月を要して冷水部分（親潮水）を巴状に巻き込み、周辺部に著しい潮境を形成する。その後、発生初期の段階から2カ月を要して、暖水部分が冷水部分を覆い暖水渦を形成する。この形状に達した後、暖水渦として3カ月持続するが、北東方向へ移動して冬の冷却の影響を強く受けるため急激に小さくなり、4カ月後の1986年6月には消滅した。

Fig. 2-6は、1982年9月~11月の熱赤外画像と人工衛星利用温度分布図から、エトロフ沖暖水渦の一生を捉えたものである。発生期(1)には、黒潮系暖水が北東へ張り出し、その後暖水と冷水が巴状をなして形成期(2)に入る。暖水渦は東へ移動しながら、中央部全体を暖水が覆う完成期(3)を迎える。発生期から完成期まで約1カ月であり、Fig. 2-5の場合に比べ、暖水渦のスケールが小さい関係もあって、約半分の時間で完成期に達する。その後、北東方向に移動しつつ消滅期に入る。一般的に規模の小さい暖水渦は発生期から消滅期まで、各段階を早く移り、短命であり、

活発に移動する傾向を持つ。

2-3-2、日本周辺海域における暖水ストリーマの分布

1985年9月～90年12月までの5年4カ月分のNOAA熱赤外画像4,280枚から、Fig. 2-7に示す暖水ストリーマを判読し、全てをプロットした。Fig. 2-8は分布の多い海域を25海域に集約したものである。また、暖水ストリーマの出現個数を調べ、その結果をTable 2-4に示す。出現頻度がもっとも高かったのは山陰沿岸で22%、低かったのは関東沿岸の6%であった。これをFig. 2-4の暖水渦の分布と比較すると、暖水ストリーマの位置と暖水渦の位置はよく対応し、暖水ストリーマの出現位置が、本州南岸の黒潮水域を除いて暖水渦の位置の周辺に当たっていることがわかった。また、暖水ストリーマが伸びる方向は北または北北西が多い。しかし、東海～南西海域の黒潮水域では、黒潮から内側域に向かう分枝流であり、その方向は西～西北西が多い。

2-3-3、三陸沖暖水渦周辺の暖水ストリーマの発生位置と季節別の出現頻度

三陸沖暖水渦は、他の海域の渦に比べ鉛直スケールが大きいいためその寿命が長く、そのため暖水ストリーマの出現頻度が極めて高く、また陸地から離れているため東西南北から流出・流入を観測することが可能である。暖水ストリーマが暖水渦のどの位置から派生するかは、魚群の回遊経路を予測することや暖水ストリーマの海洋観測を実施する上で重要な要素である。そこで、暖水渦を北西、北東、南西、南東の4つに分けて、暖水ストリーマの流出あるいは流入方向別頻度を調べ、Fig. 2-9に示した。

その結果、1985年9月～1990年12月の期間、三陸沖暖水渦周辺において視認された流出する暖水ストリーマの数は、合計147個で、月平均2個程度発生している。最も発生頻度の多いのは北西部、次に北東部で、南東部では1個もなかった。これに対して、流入する暖水ストリーマは、流出する場合とはほぼ同数の134個認められたが、南側、特に南西部に偏る傾向がある。また、暖水ストリーマの5カ年間の月別出現

率(5カ年間月別全個数/5カ年間月別全画像処理回数 $\times 100$)は、Fig. 2-10-aに示すとおり4~6月の春季に多い。さらに、この春季の年別出現率(4~6月間年別全個数/4~6月間年別全画像処理回数)は、1986年から1990年にかけて漸増傾向で1990年が最も多くなっている。ただ、1989年は著しく少なかった(Fig. 2-10-b)。

2-3-4. 暖水ストリーマの動的特性

(1). 発生・変化・消滅

Fig. 2-11は、暖水ストリーマの発生から消滅までの典型的なパターンを総観的に表したものである。発生期である5月21日に三陸沖暖水渦の北側から暖水ストリーマが発生していることがうかがえる。しかし、その根元部は暖水渦に繋がっており、暖水の補給を受けている。この時の津軽暖流の東への張り出しはあまり発達していない。その後、6月1日の図のように、根元部が暖水渦から離れて暖水の補給を受けない状態になり、暖水ストリーマの先端部が津軽暖流渦の一部を巻き込み始めて、変化期を迎える。そして、暖水ストリーマは、津軽暖流に巻き込まれて、ほぼその暖流域の一部分を構成し始めて消滅する。

(2). 移動速度

暖水ストリーマの移動速度に関しては、Fig. 2-12においてその先端部の移動として捉えると、 $AB=0.2\text{kt}$ 、 $BC=0.4\text{kt}$ 、 $ABC=0.3\text{kt}$ であった。これは、川合・斎藤(1987)の黒潮前線から派生した暖水ストリーマの速度 1.4kt に比べ、かなり遅いものであった。

(3). 面積の変化

Fig. 2-13は、1988年4月25日~5月26日までに、三陸沖暖水渦から暖水ストリーマが派生し、釧路沖暖水渦に吸収される過程を表している。その面積の変化過程をTable. 2-5に表す。これによると、①暖水ストリーマ(A)の発生期

4月25日の面積指数は、②同発生期4月28日に比べ徐々に大きくなっている。③暖水ストリーマ(A)の変化期5月1日は、先端部が暖水渦に掛り、最後部は三陸沖暖水渦から切れている状態になっており、このストリーマの最大期でもある。④5月5日には三陸沖暖水渦からさらに大きな規模の新たな暖水ストリーマ(B)が発生している。旧暖水ストリーマ(A)は、③の時期に比べ変化はみられないが、新暖水ストリーマ(B)は、旧暖水ストリーマ(A)の約2倍の大きさを持っている。⑤5月9日は、(A)と(B)が合併し、大型の暖水ストリーマとなって暖水渦に入り込み、暖水渦の形成期の様相を呈している。その面積指数は、上記旧暖水ストリーマ(A)の面積指数と新暖水ストリーマ(B)の面積指数の合計とほぼ一致している。⑥消滅期5月19日には暖水ストリーマはほとんど無く、釧路沖暖水渦の東側から新たな暖水ストリーマ(C)が発生している。

一方、暖水渦の面積指数は、①4月25日と②4月28日と③5月1日とは、幾分変動はあるものの、暖水ストリーマが入り込まない時期はほぼ同じである。④の5月5日と⑤の5月9日は、暖水ストリーマが入り込んでいるため、ストリーマと渦が重複しているので、渦の面積を特定できない。しかし、⑥の5月19日は大型の暖水渦に成長しており、新たな暖水ストリーマを含めた面積指数は、流入していない暖水渦の最小値と新・旧暖水ストリーマ(A・B)の面積指数との合計した値と良く一致している。

一方、Fig. 2-14は、1989年6月12日、13日、14日の3日間連続画像である。6月12日は発生期でその面積指数は、“6”で、13日は変化期で面積指数“12”、14日は消滅期で面積指数“5”である。この時の暖水ストリーマは、北方水域に暖水塊がみられず、小規模暖水渦となって、暖水ストリーマが消滅している例である。このように、暖水ストリーマが発生しても、近傍に暖水渦が無い場合、暖水ストリーマ自体が小規模の暖水渦となって存在するか、再び暖水塊に吸収される可能性が強い。また、この場合前者の暖水ストリーマと異なりその面積もあまり大きな

らない傾向にある。

2-4. 考察と結論

2-4-1. 表面水温分布構造からみた暖水渦の分類および生成・消滅

暖水渦の出現海域は、その位置に年による変動はあるものの、ほぼ一定している。これら暖水渦は、渦の周辺部の潮境から派生する暖水ストリーマと相互に連携して暖水の補給・吸収を行っており、渦の生成にストリーマは重要な役割を果たしているものと考えられる。多くの衛星画像から、渦の形状変化を時系列的に追ってみると、Fig. 2-15に示す通り、第1期の生成期、第2期の形成期、第3期の完成期、第4期の消滅期の4期に分けられることが分かる。また、暖水渦は、形成期に暖水渦の中心部に冷水が入らない場合（Ⅰ型）、冷水が長期に中心部を広く覆い暖水がリング状になる場合（Ⅱ型）の2つのパターンに分類される。Ⅰ型は比較的暖水の補給が多い場合の形状と考えられ、暖水ストリーマが暖水渦内に環状に入り込んだ時、一時的に中心部が相対的に低温部になることもあるが、渦全体が均一の暖水に覆われる場合である。このパターンは比較的寿命が長く2カ月～1.5カ年、時には3～4年に及ぶこともあり、その平均的な移動は初めに北西～西方向で、接岸すると北北東～東北東方向に転じる。東北海域における暖水渦がこの代表的な例である。消滅期は、周辺部の冷水や気象の影響を受けながら小型化するものと考えられるが、Ⅰ型の消滅期は北部海域において雲の関係で確証のある形状が発見されておらず不明である。Ⅱ型は、暖水の補給が少ない場合の形状と考えられ、形成期に冷水が中央部に長期に分布する。完成期には中央部に冷水が広く分布しリング状になる。渦状部の暖水が幅広くなり渦の形状も緩み、渦として認められなくなり、消滅期を迎える。このⅡ型の寿命は比較的短く、2カ月以内であることが多い。中心部の冷水が下層の方にも分布するようになり、厚さの有る暖水塊となってい

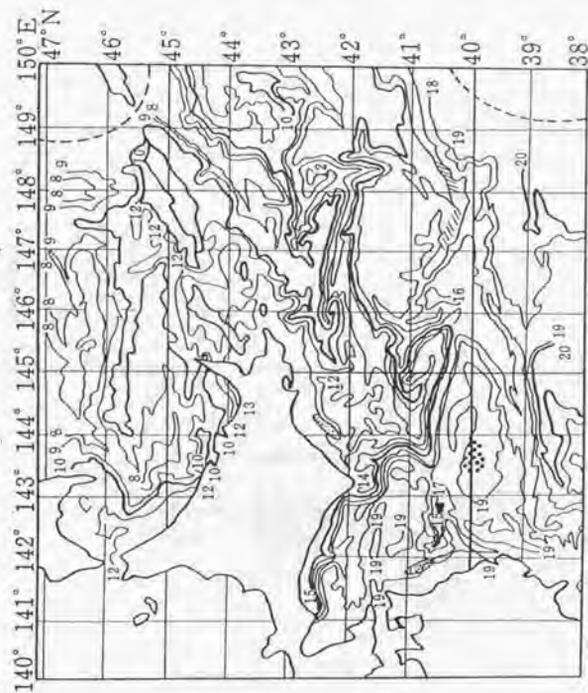
ない。また、この渦の移動は少なく、日本海、東シナ海、東北海域の小規模の渦にこのパターンが多い。Table. 2-3によると、19個の暖水渦のうちI型が7個、II型が9個、I型・II型両方が3個であった。

2-4-2. 暖水ストリーマの分類および生成・消滅

暖水ストリーマには、暖水渦に入り込むタイプ（I型；Inflowing type）と暖水渦から外へ派生するタイプ（O型；Outflowing type）がある。I型のタイプは、暖水塊の位置が比較的安定しているため、その存在は把握しやすく多くの知見や論文がある（稲掛，1991；川合・斎藤，1987；濱，1989）が、O型はその発生位置・時期が不安定なこと、その規模が大・小様々で変動が大きいことから、偶然に衛星画像で捉える以外には、海洋観測でその実態を明らかにした例はない。本項では、5年4カ月間の衛星画像からO型の暖水ストリーマを抽出することによって、その実態を初めて明らかにすることができた。

補給前後の暖水渦の面積指数差は、暖水ストリーマの最大時の面積指数に良く一致しており、ストリーマにより、渦の水平スケールが変化していることが分かる。また、南北2個の暖水渦において、南の暖水渦から派生するO型暖水ストリーマは、北の暖水渦に入り込みI型暖水ストリーマになる場合がしばしば見受けられる。暖水塊自体の移動速度は比較的遅く、0.03～0.06ktまたは1.4～2.9cm/秒（黒田1987）であることから、暖水塊が急に大型化したり小型化する要因は、鮮明な衛星画像が得られる時間差内に暖水塊が入れ替わってしまうためではなく、O型暖水ストリーマによる暖水補給によるものと考えられる。そして東北海域の暖水塊は、いたるところで芽づる式に細かい帯状の暖水で連なっており、それが接続したり切れたりを繰り返して暖水の供給と補給がなされている。しかし、O型暖水ストリーマはいつも暖水渦と連携するとは限らず、その周辺部に暖水渦が存在しない場合、暖水ストリーマ自体の先端部が小規模な暖水渦になって持続するか、元の暖水渦に暖水ストリーマのまま吸収される場合も

ある。O型の暖水ストリーマは、暖水渦の北西部から47%、北東部から41%派生し、北北西～北方向に移動している。このことは、魚群の回遊を考えた場合、後章で詳述するように、これを利用すると索餌条件の良い沿岸域や北方水域へ回遊できる可能性が強いことを示している。たとえば、マサバ・マイワシ群が津軽暖流域へ移動する場合、三陸沖暖水渦の北側潮境の周辺（マイワシ・マサバとも暖水側）に分布していた群が、暖水ストリーマの派生と同時に分離しともに移動する様子がしばしばみられ、魚群が北上回遊や沿岸回遊する場合、暖水ストリーマが不適な冷たい親潮水域を横切って津軽暖流域や釧路沖暖水渦へ回遊するための経路としての役割を果たしていることが考えられる。また、暖水ストリーマの月別存在率は、春季ブルーミング期の5月に54%、6月39%ともっとも多く、秋季のブルーミング期も10月25%、9月22%と比較的多かった。このことから、暖水ストリーマによる水温の上昇は、春季のブルーミング現象に対し、日射量の増加以外の光合成に必要な熱の補給源として重要であることが考えられる。さらに、産卵後の成魚や発生後の稚魚・幼魚が餌の豊富な海域へ北上する4～6月に、この暖水ストリーマの出現率に年変動が存在することがわかった。この年変動や発生時期のずれなどは、魚群が索餌水域へ回遊する際に微妙に影響を与え、魚種間に好・不良の条件となり、また、植物プランクトンの生産をとおして直接餌生物と関係する。このことが、資源の長期変動やそれに伴う魚種交替とも関係している可能性を含んでいると推察される。



Legend

 saury
  flying squid
  skipjack
  sardine

Fig.2-1 Example of Satellite-aided Temperature Distribution Chart (1982 Nov).

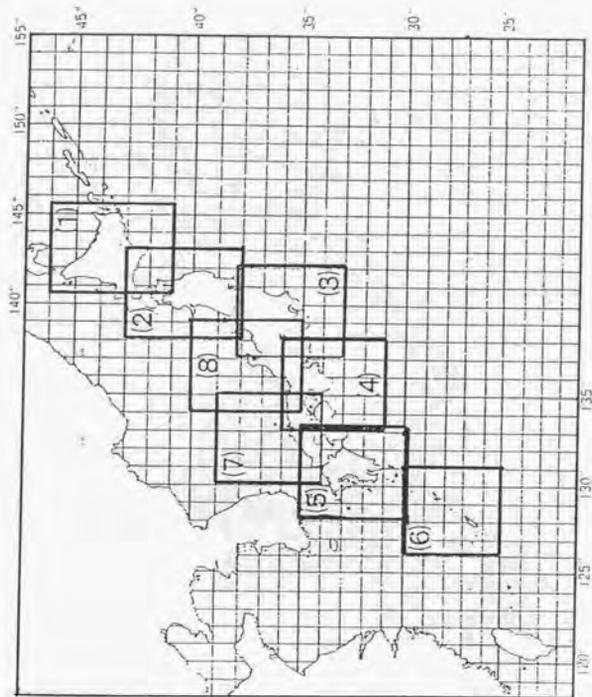


Fig.2-2 Processed coastal area.

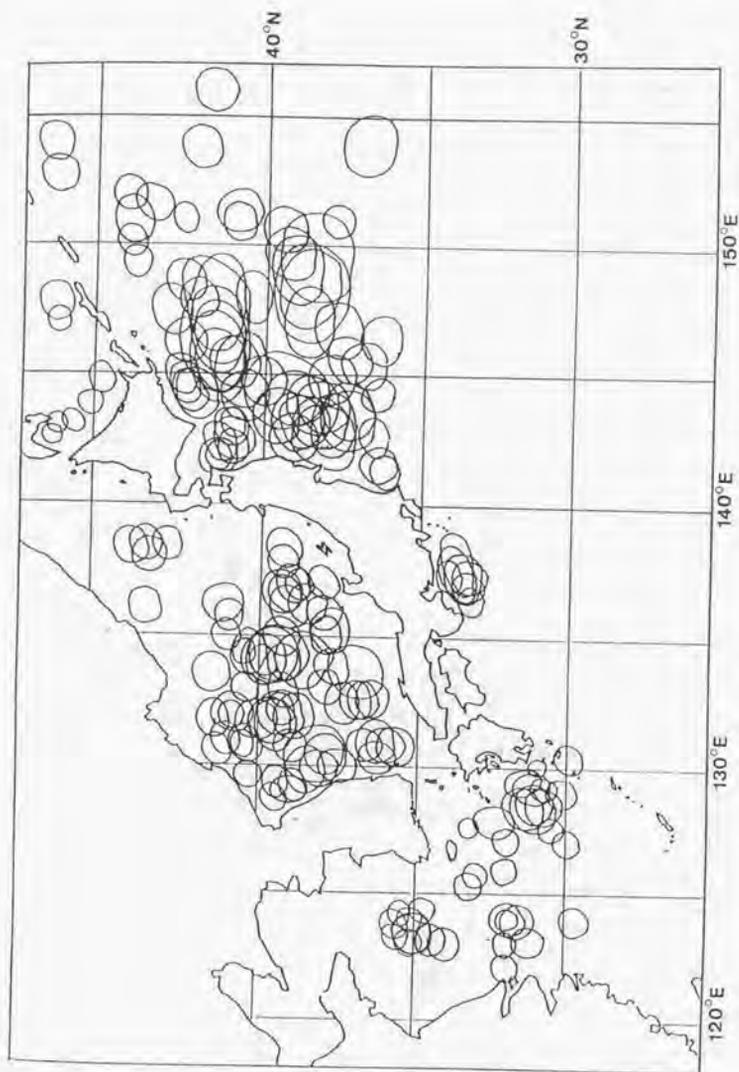


Fig.2-3 Distribution of warm-core ring around Japan observed by satellite NOAA imagery (1985-1990).

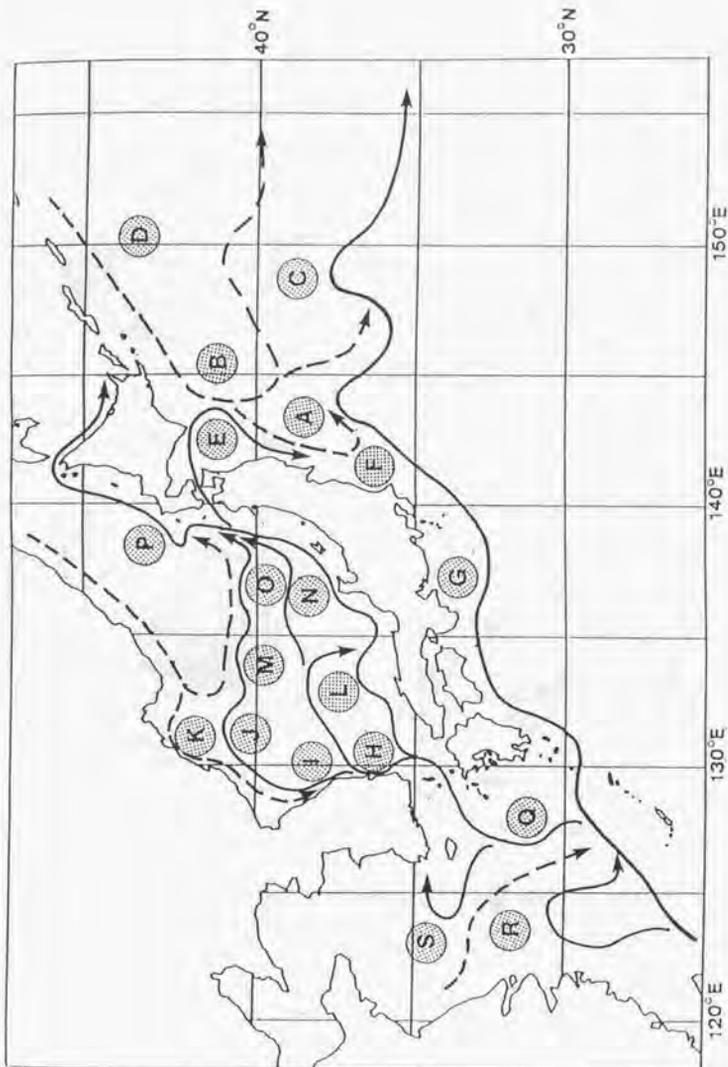


Fig.2-4 Schematic distribution of warm eddies around Japan by satellite NOAA imagery (1985-1990).

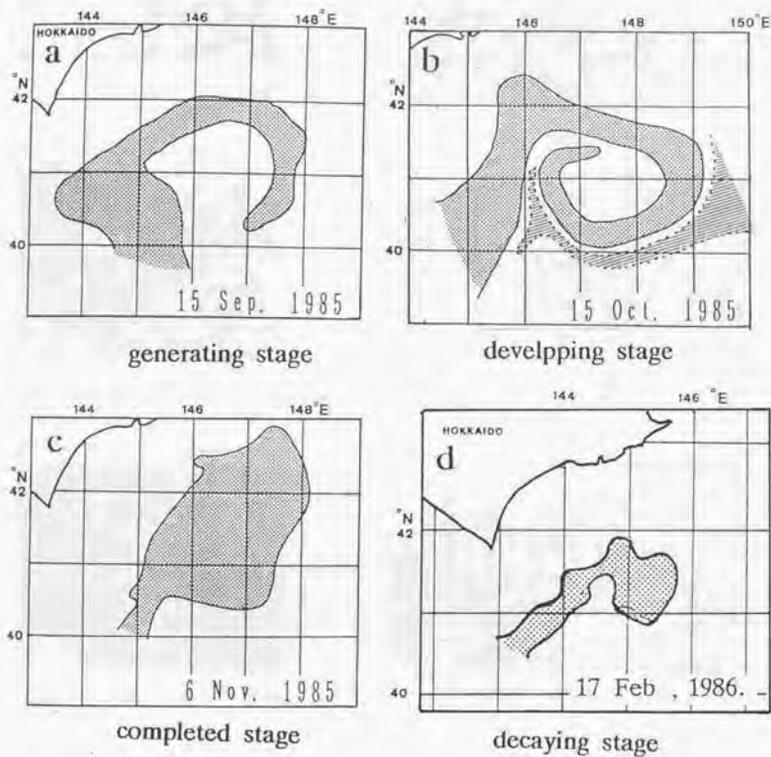
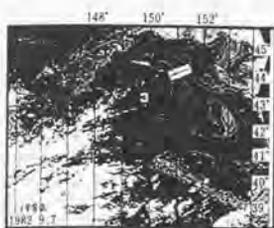


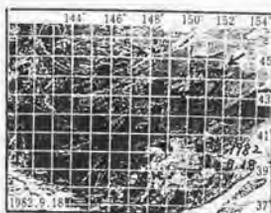
Fig.2-5 Transition of warm-core ring during 1985-1986.



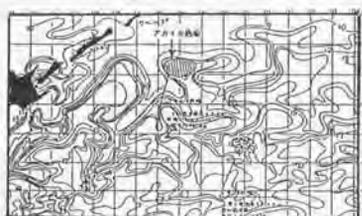
“generating stage” (1982.9.7)



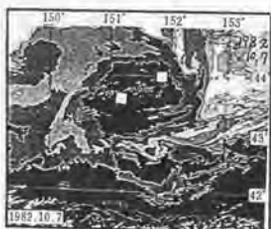
“decaying stage” (1982.10.28)



“developing stage” (1982.9.18)



“decaying stage” (11.1-5)



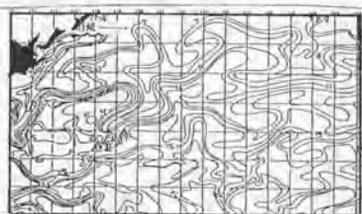
“completed stage” (1982.10.7)



“decaying stage” (11.6-10)



“decaying stage” (1982.10.13)



“decaying stage” (11.11-15)

Fig.2-6 Transition of warm eddy off Kuril Islands in 1982.

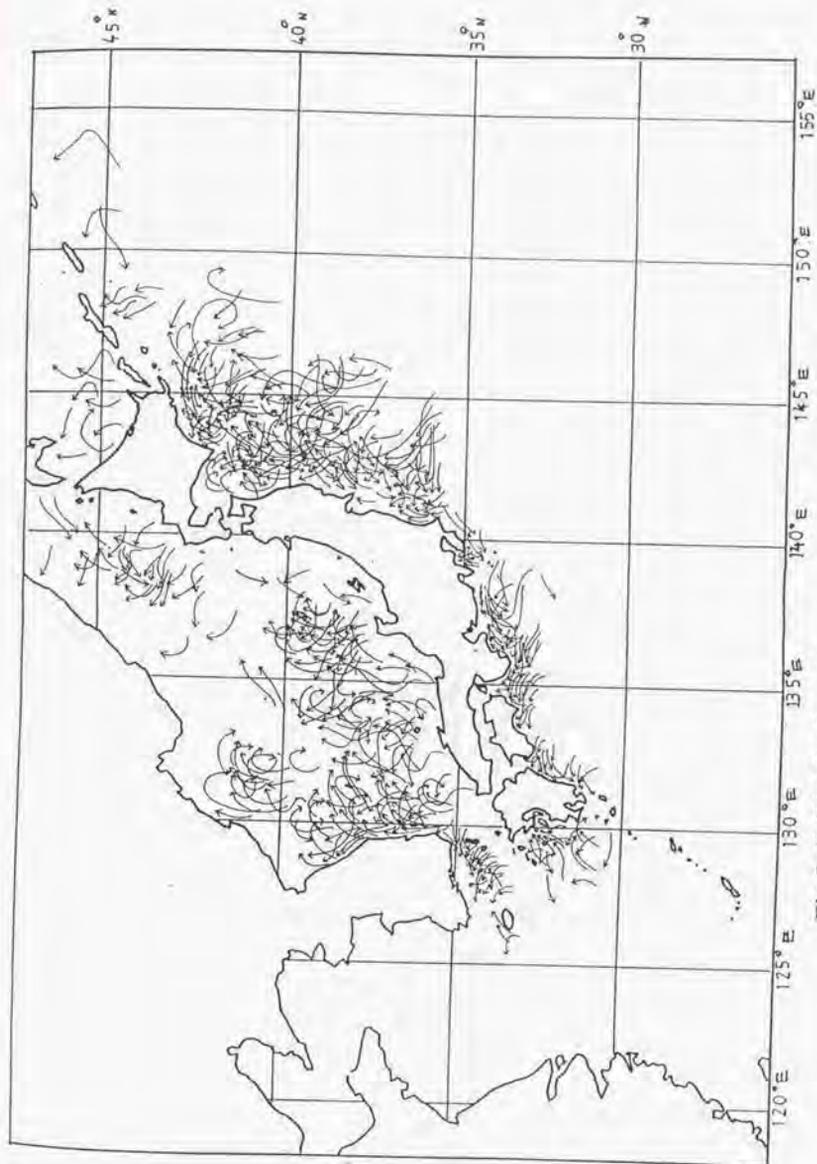


Fig.2-7 Distribution of warm streamer outflowing from fronts of warm-core rings around Japan (1986-1990).

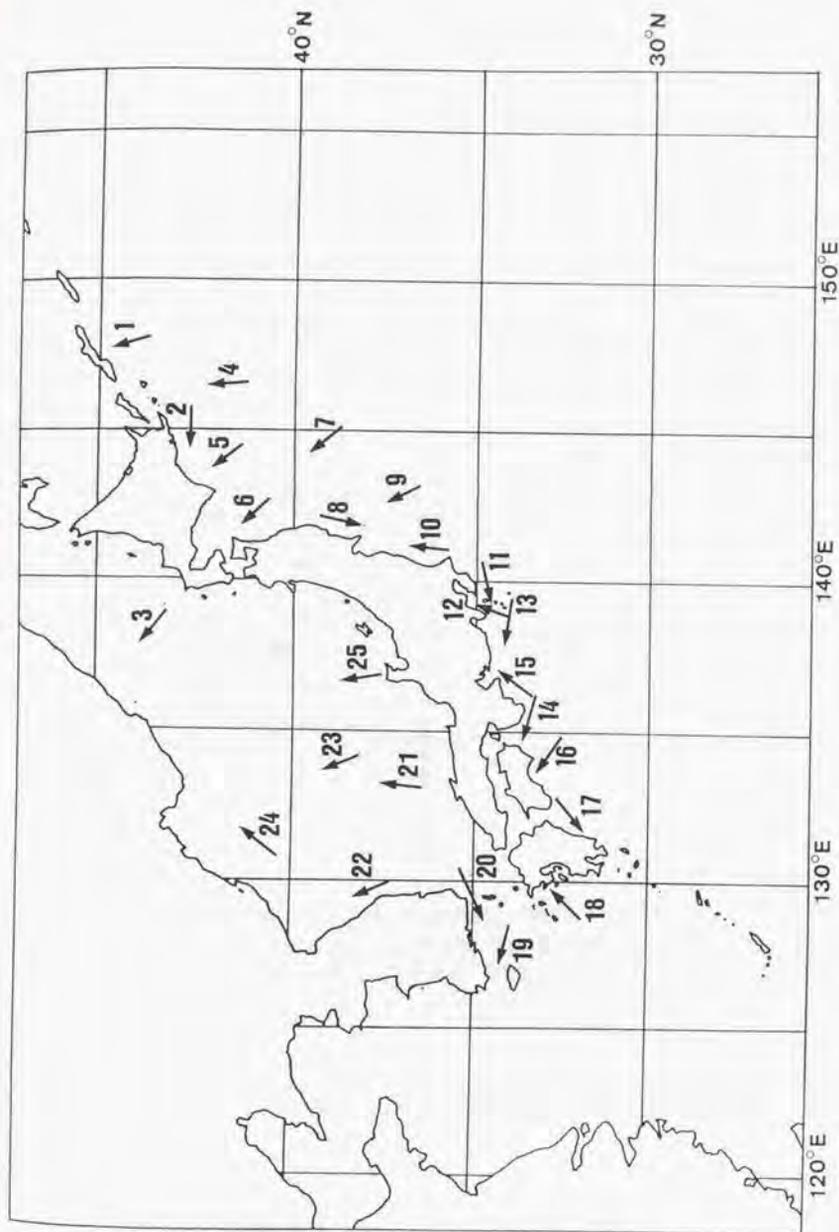


Fig.2-8 Schematic distribution of warm streamers around Japan.

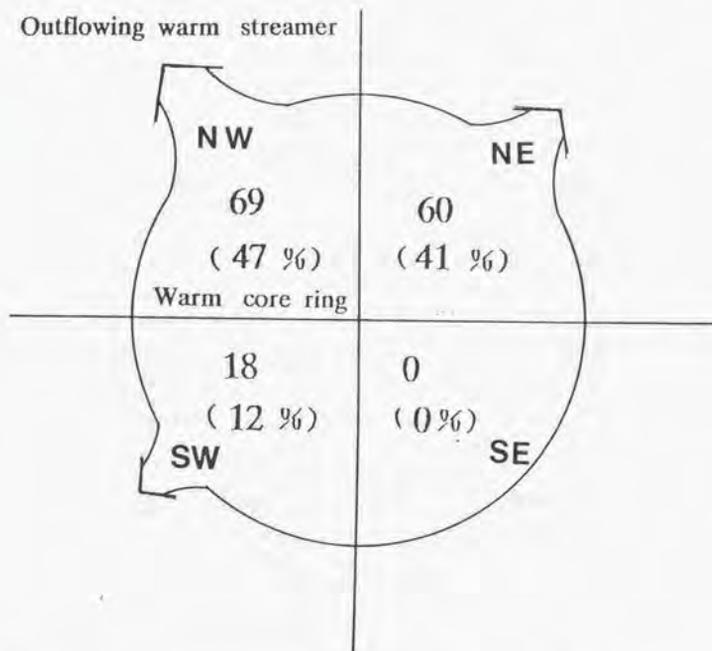


Fig.2-9-a Frequency of outflowing directions of warm streamer from warm-core ring off Sanriku during 1985-1990.

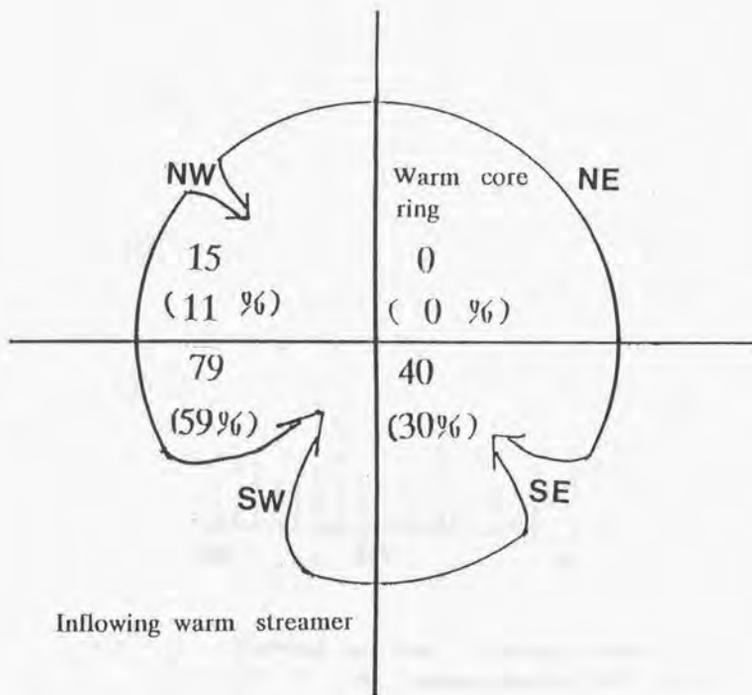


Fig.2-9-b Frequency of inflowing directions of the streamer into warm-core ring off Sanriku during 1985-1990.

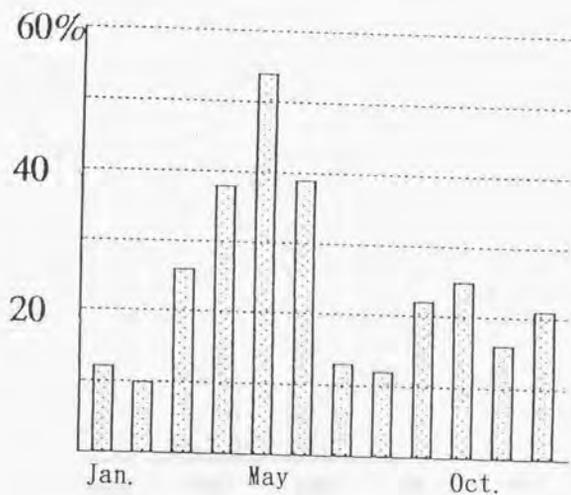


Fig.2-10-a Seasonal variation in the appearance rate of warm streamer during 1985-1990.

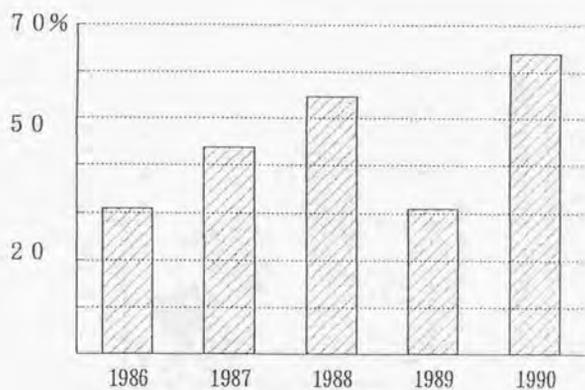


Fig.2-10-b Year to year variation in appearance frequency of the warm streamer in spring during 1987-1990.

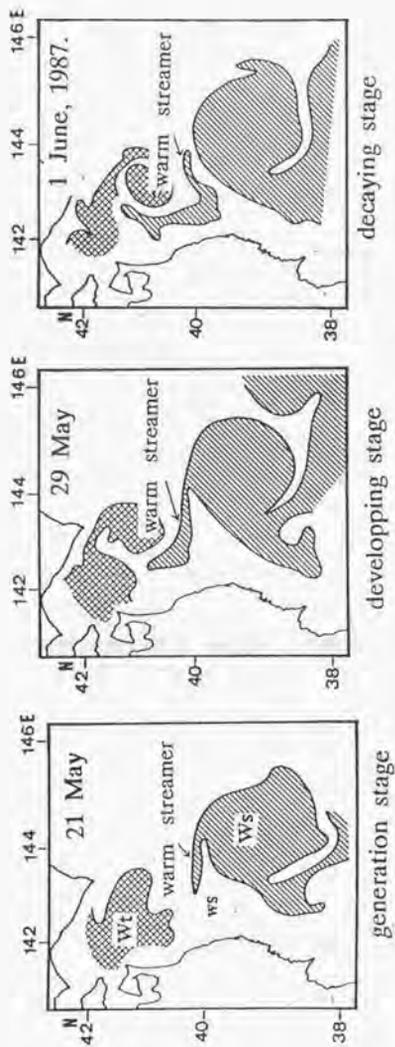


Fig.2-11 Synoptic views the warm streamer (WS) which derived from the warm-core ring off Sanriku (Ws) to the warm eddy off Tsugaru (Wt). (Honozawa and Tameishi et al.,1988)

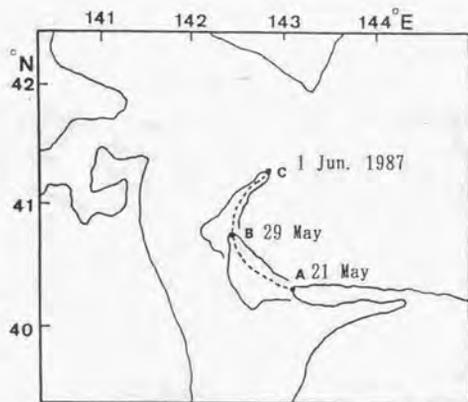


Fig.2-12 Movement of a warm streamer observed from 21 May to 1 Jun. 1987.

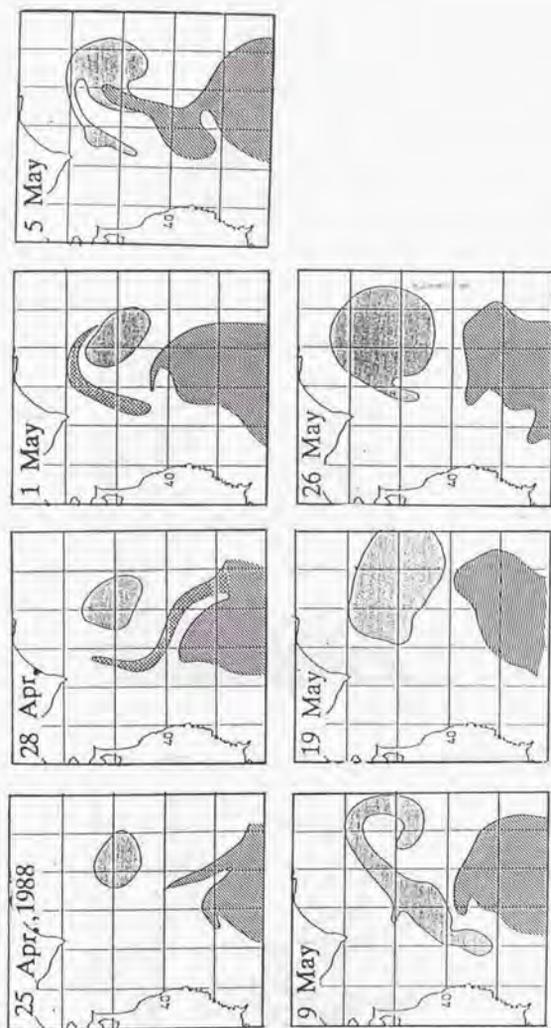


Fig.2-13 Evolution of a warm streamer and the warm-core rings off Sanriku and off Kushiro during 25 April–26 May, 1988.

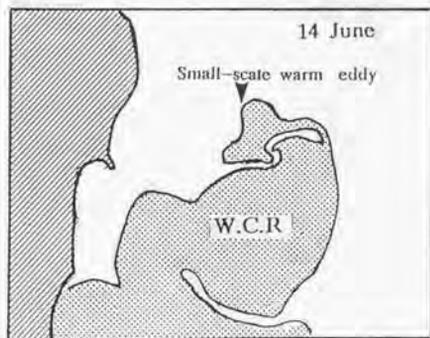
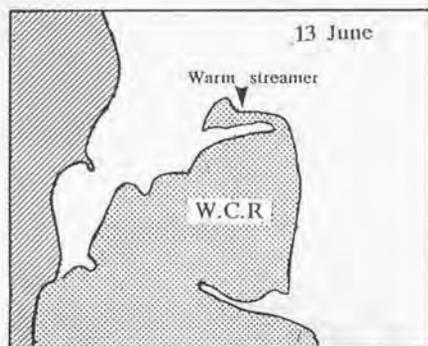
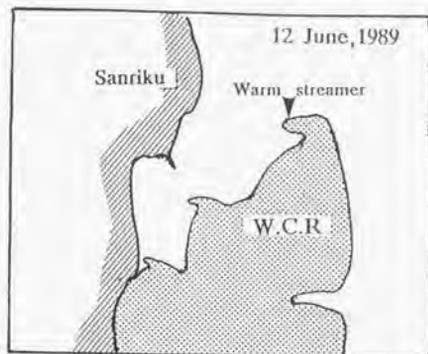


Fig.2-14 Evolution of a warm streamer around warm-core ring during 12-14 June 1989.

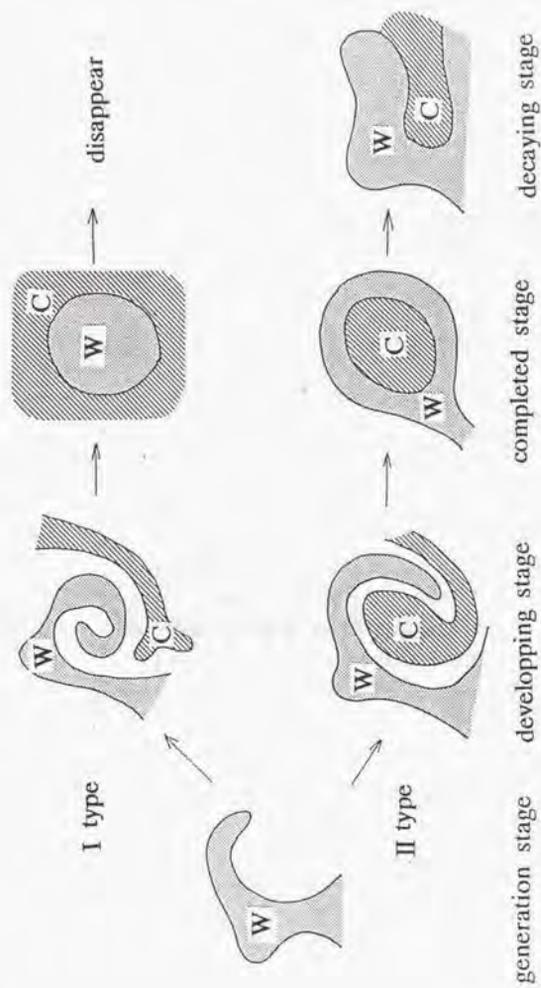


Fig.2-15 Life history of warm-core ring.

Table 2-1-Wave-length and objects of observation
of AVHRR on the satellite NOAA.

ch	wavelength (m)	The object of observation
1	0.55 ~ 0.9	distribution of cloud,ice,snow
2	0.725 ~ 1.10	distinguish between water area and land area
3	3.55 ~ 3.93	distribution of temperature of the surface of the earth
4	10.5 ~ 11.5	∴
5	11.5 ~ 12.5	∴

Table 2-2 Number of processed imagery.

Area	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Total
Hokkaido	51	70	132	106	202	200	761
Tohoku	52	94	121	104	180	190	741
Kanto	50	93	132	124	161	162	722
Kishu	63	83	113	116	154	156	685
Kyushu	54	87	97	121	120	157	636
Sanin	25	85	87	66	73	96	432
Hokuriku	22	54	52	44	55	76	303
Total	317	566	734	681	945	1037	4280

Table 2-3 Characteristics of main warm-core rings around Japan.

The name of warm eddy	Extend of the area	Generation rate	Lifespan	Diameter(km)	Thickness(m)	Speed of movement: Direction	Speed of movement: Speed (cm/sec)	Classification of I type or II type	Significant of life stage	
									Gene- -ation	Develon- -ment
(A) off Sanriku Joban	37°-41°N, 142°-145°E	1 ~ 2 per year	1-2years	150 ~ 200	400 ~ 500	NW ~ N	1 ~ 5	I	○	○
(B) Kushiro warm eddy	40°-43°N, 143°-145°E	1 ~ 2 per year	1-2years	150 ~ 200	400 ~ 500	E ~ E	1 ~ 3	I (II)	○	○
(C) Oshoro - northward intrusion	37°-40°N, 145°-151°E	?	0.5-1years	150 ~ 250	400 ~ 500	W ~ NW	1 ~ 3	I	?	?
(D) off Kuri island	41°-45°N, 145°-153°E	?	2-3months	50 ~ 100	100 ~ 300	E ~ E	5 ~ 7	I	○	○
(E) Tsugaru warm eddy	40°-43°N, 141°-144°E	1 ~ 3 per year	0.3-1years	50 ~ 150	200 ~ 300	stagnant		I	?	?
(F) off Koshimanada	38°-38°N, 140°-143°E	1 per year	1-2months	50 ~ 100	100 ~ 200	*		I	○	○
(G) off kumanonada	38°-38°N, 135°-135°E	3 ~ 4 per year	1-2months	50 ~ 150	100 ~ 200	NE ~ E	10 ~ 25	I (II)	○	○
(H) WE off East Korea current	35°-37°N, 130°-132°E	1 ~ 2 per year	2-3months	100 ~ 150	100 ~ 200	stagnant		II (I)	○	○
(I) off Utsuryo island	37°-40°N, 128°-133°E	1 ~ 2 per year	2-3months	100 ~ 150	?	*		II (I)	○	○
(J) WE off the bay of Korea sea	38°-41°N, 131°-134°E	?	0.5-1months	50 ~ 100	?	?	?	II	?	?
(K) off the bay of Fyoutor emperor	40°-43°N, 130°-132°E	?	0.5-1months	50 ~ 100	?	?	?	II	?	?
(L) off Oki islands	38°-38°N, 132°-135°E	?	0.5-1months	100 ~ 150	100 ~ 200	stagnant		I, II	?	?
(M) Yamato bank	38°-41°N, 132°-135°E	2 ~ 3 per year	0.5-1months	50 ~ 100	100 ~ 200	*		I, II	○	○
(N) Noto peninsula	37°-38°N, 135°-138°E	1 ~ 2 per year	0.5-1months	100 ~ 200	200 ~ 300	*		II	?	?
(O) seaward Yamato bank	38°-40°N, 135°-138°E	1 ~ 2 per year	3-5months	50 ~ 100	100 ~ 300	*		II	○	○
(P) off Okushiri island	42°-44°N, 138°-140°E	?	?	50 ~ 100	?	*		I, II	?	?
(Q) WE off Tushima warm current	30°-33°N, 127°-130°E	?	?	100 ~ 150	400 ~ 500	*		II	?	?
(R) WE of the Kuroshio branch	31°-32°N, 123°-125°E	?	?	50 ~ 100	?	?	?	II	?	?
(S) WE of yellow sea	34°-36°N, 123°-125°E	?	?	50 ~ 100	?	?	?	II	?	?

Table 2-4 Appearance frequency of warm streamer
in seven areas around Japan during
1985-1990.

Area	number of processed imagery	number of warm streamer appearance	frequency of warm streamer appearance
Hokkaido area	761	91	12 (%)
Tohoku area	741	92	12
Kanto area	722	40	6
Kishu area	685	49	7
Kyushu area	635	63	10
Sanin area	432	96	22
Hokuriku area	303	34	11
Total	4280	465	11

Table 2-5 Change of area index for warm streamer and warm-core ring.

Warm streamer(A)+(B)	The first stage	The second stage	The third stage	The fourth stage	The fifth stage	The sixth stage
Warm streamer(A) The case of being warm eddy at the northern part of warm streamer.	14 (Generation)	26 (Generation)	35 (Change)	35 (Change)	95 (Change)	(Decay)
Warm streamer(B) Warm streamer(C)			(Generation)	64 (Generation)	(Decay)	(Decay)
Kuroshio warm eddy	62 (Meso-scale)	39 (Meso-scale)	53 (Meso-scale)	(Change)		7 (Generation)
Warm streamer Small-scale of warm eddy	6 (Generation)	12 (Change)	5 (Decay) 16 (Small-scale)			128 (Large-scale)

第Ⅲ章 マイワシ北上期の三陸沿岸漁場の形成と暖水ストリーマとの関係

北上期のマイワシを対象とする三陸沿岸漁場の形成機構、とくに沖合から沿岸の漁場への来遊にかかわる海況条件について検討を行い、暖水渦から派生する流出型暖水ストリーマがそれに果たす役割を明らかにする。

3-1. 資料と方法

用いた資料は、①漁業情報サービスセンターが作成したNOAA衛星利用水温分布図(1987~1991年各5~6月)と、②漁業情報サービスセンターが収集した北部太平洋まき網組合所属漁船の操業日誌(1987~91年各5~6月)、③漁業情報サービスセンター発行の漁海況速報、④漁業情報サービスセンターで処理したNOAA衛星画像、および⑤(株)日本沿海フェリー「ブルーゼファー」による表面水温観測結果である。まず、暖水ストリーマと漁場との関連性を調べるために、衛星利用水温分布図に漁況データをプロットし総観的解析を行った。さらに、②のQRYデータ(漁獲データファイルに入力されている年月日、漁獲量、魚種、投網方向(32方位)、水温、緯度、経度)を基に漁場図を年別・旬別に作成し、必要に応じて各時期の漁場重心(宇田, 1960)を求めた。ただし、三陸海域では実際に形成された漁場位置と計算された漁場重心との整合性が保たれるように、 $38^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ と $40^{\circ} \sim 42^{\circ} \text{N}$ の2つの海域に分けて漁場重心を求め、さらに③の漁海況速報の漁場と照合しその有意性を確認した。また、常磐海域においては、北上群が常磐海域から三陸へ移行する状況をより細かく調べるため、③の漁海況速報の漁海況図に記載されているマイワシ漁場の中心点を目分量により求め、それを漁場重心とした。次にQRYデータからまき網船の投網方向を魚群の遊泳移動方向(32方位)とし、緯経度10分区分画毎にそのベクトル平均値を求め、魚群移動方向の水平分布図を作成した。また、漁獲水温(漁獲のあった位置での水温す

なわち漁場水温)の旬別、年別の平均値・標準偏差を求めた。一方、①の衛星利用水温分布図および④のNOAA衛星画像から暖水ストリーマを判読し、暖水ストリーマの南北方向の中心点の緯度(または陸岸からの最接近点の緯度)と漁場重心の緯度とを、それぞれ下記の(1)(2)式により指数化し(Table 3-1)、相互の相関を求めた。

$$WSI = 10 (WSL - 38) \dots \dots (1)$$

$$FGI = 10 (FGL - 38) \dots \dots (2)$$

ここで、WSIとFGIはそれぞれ暖水ストリーマWSおよびマイワシ漁場FGの緯度指数、WSLとFGLはそれぞれ暖水ストリーマおよびマイワシ漁場の緯度である。緯度は、いずれも10進法分単位で表現し、ここでは三陸の38°N以北の漁場を対象とするので便宜的に38を引いた値を10倍して各指数とした。Fig. 3-1は、暖水ストリーマおよびマイワシ漁場の各緯度指数の分布を例示したものである。⑤は三陸沿岸を航海するフェリーの連続水温観測により、暖水ストリーマの時間的変動を追い、三陸沿岸漁場との関連性を調べた。

3-2. 結果

3-2-1. 三陸沿岸におけるマイワシ漁場形成の動向

常磐南部・北部および三陸南部・北部の4海域のそれぞれについて、漁場の移動を旬別に細かくみると(Fig. 3-2)、5月に入り表面水温の急激な上昇に伴い、主漁場は常磐海域から三陸漁場へと移行している。各漁場重心に付けた番号は、各年の5月上旬または中旬から6月下旬までの旬別の漁場重心の位置を順に表している。この数字を順に追ってみると、北上期であるにもかかわらず漁場形成位置の南から北への段階的な移動傾向は明瞭でない。これまでマイワシ漁場の移動については、水温の上昇に伴って常磐沿岸から三陸沿岸へと沿岸をそって北上すると考えられているが、常磐沿岸の漁場と三陸沿岸の漁場との間には漁場重心の連続性が見られない(鄭他, 1988)。さらに、

1987~1990年のいずれについても、5月上旬~6月下旬まで漁場は沿岸よりに集中し、また三陸漁場と犬吠崎漁場は大きく分離している。漁船は犬吠崎から三陸沖までマイワシ群を探索しながら北上し、ほぼ全域に一樣に分布していると考えられるので、このことは両海域間にはほとんど魚群がいないことを意味している。

3-2-2. マイワシ漁獲水温

5~6月北上期の漁獲水温は、漁獲対象となるマイワシの北上先端群のものであるため、盛漁期(7~10月)のそれに比べ全体に低めとなる。例年三陸における初漁期は、5月上旬~中旬にみられ、親潮系冷水が接岸している津軽暖流域の暖水側に漁場が形成される傾向がある。Table 3-2は、旬別の平均漁獲水温およびその標準偏差を求めたものである(データ総数3,526点)。これによると、初漁期である5月上旬の漁獲水温は平均8.6℃(±1.2℃)、月別漁獲水温の平均値は5月が8~9℃台、6月が11~14℃台で6月下旬に昇温が顕著となっており、5~6月の漁獲水温の範囲は8~15℃台であった。また、1987~1990年の各年5月、6月を通しての平均値は10.3~11.8℃であり、この4年間の漁獲水温の全体の平均値は11℃、標準偏差は2.2℃であった。ちなみに、この5~6月のマイワシ群の遊泳層は10~20mと浅く表層混合層内に分布するので、漁場表面水温はマイワシの生息水温とみなすことができる(本澤1990)。

3-2-3. 三陸沿岸漁場域のマイワシ群の移動方向

Fig. 3-3-aは、1987~1990年の北上期5~6月のマイワシ群の移動方向を、緯度経度10分マス目ごとに平均しプロットしたものである。また、Fig. 3-3-bは、各年毎及び4年間の平均の移動方向の出現頻度をグラフに現したものである。これによると年による変動はあるものの、1988年を除けばおおむね北~北東方向に向かう群れが多いことがわかる。さらに、1991年5月21日(Fig. 3-

4) の画像は、この代表的な例を示している。この画像は、鮫角東北東沖にある暖水渦へ津軽暖水が流入型暖水ストリーマとして入り込んでいる状態を示している。画像中黒丸の点は、21日午前2時から午後8時までのマイワシ漁場であり、この衛星画像に克明にプロットすることによりその移動状況を示している。さらに、その右下にマイワシ群の移動方向を示している。これによると、マイワシ群は沖合へ移動するのに暖水ストリーマの流れを利用し、その移動方向は暖水に沿っていることが分かる。この様に、沿岸域へ加入したマイワシ群は、再び北東方向沖合へ回遊していると判断される。

3-2-4. 暖水ストリーマの時間的変動とマイワシ漁場

次に、暖水ストリーマ先端部の移動状況をもとに暖水ストリーマの時間的変動について述べる。Fig. 3-5に示す通り、NOAA衛星画像により1991年5月21日に鮫角沖暖水渦から南南西方向に暖水ストリーマが伸びている。水温は5月下旬から6月上旬のマイワシの漁獲水温と同じ9~11℃台であった。この暖水ストリーマは、11℃台を指標にすると、21日綾里埼東20海里、24日金華山東30海里、13℃台を指標にすれば28日に福島県諸戸東50海里に達していた(Fig. 3-5)。このストリーマの南下状況は、フェリーでの観測水温によっても24日から確認され、6月2日にはほとんど認められなくなっている(Fig. 3-6-(a))。したがって、この暖水ストリーマの寿命は、5月21日に発生し6月2日に消滅するまで約2週間(13日)程度と判断される。

また、Fig. 3-6には、この暖水ストリーマの発生と同じ時期のマイワシ漁場の緯度別・日別の変化を示した。暖水ストリーマが出現した38.5°N付近(Fig. 3-15の(a)点)、40.0~40.5°N付近(Fig. 3-6の(b)点)に間欠的にマイワシ漁場が形成されていることがわかる。

3-2-5. マイワシ漁場形成と暖水渦から派生する暖水ストリーマとの関連性

暖水ストリーマの発生は不規則であり、毎年5～6月のマイワシ北上期には1～2例を発見できるにすぎない。以下1987～90年の各北上期に得られた計6例について、各年別に暖水ストリーマとマイワシ魚群の三陸沿岸への来遊・漁場形成との関連性について述べる。

(1) 1987年 (Fig. 3-7, Fig. 3-8)

Fig. 3-7は、1987年5月6～9日までの水温図である。三陸沖暖水渦の西側に暖水ストリーマが凸状に発生し、9日までに徐々に接岸していることが分かる。この年の5月上旬までの漁獲水温は前項で述べた通り、平均8.6℃であり、5月9日には暖水ストリーマの8℃と沿岸水の8℃台の等温線とが繋がっている。この年の三陸沿岸の本格的な初漁は5月12日であり、その位置は上記ストリーマの先端延長部にあたっていた。なお、その漁獲量は12日・13日に著しく増大している。一方、Fig. 3-8は5月21～6月1日の例である。暖水ストリーマの先端部は、三陸沖の北側鮫角沖東南東60海里沖合にある。この南側の三陸沿岸には鮫角沖に北上するような漁場はない。5月21日～27日までは、目立った漁が見られなかったが、28日から急激に鮫角沖に操業船が多くなり、漁獲も好調となった。これは、29日に暖水ストリーマが急接近し、その先端部分に本格的な漁場が形成されたため、29日には最高の漁獲がみられた。また、6月1日の14時22分の衛星利用の水温図では、5月下旬の平均漁獲水温である10℃台の暖水ストリーマが下北半島沖に接近し、その中にマイワシ漁場が形成された。

(2) 1988年 (Fig. 3-9, Fig. 3-10)

衛星利用水温分布図によれば、この年の5月は津軽暖流域の張出しが小さく、すぐ沖合に親潮第1分枝が幅広く南下していた。三陸沖暖水渦は例年より沖合にあり、暖水ストリーマの発生は多かったが、いずれも沿岸まで接岸していない。八戸沖で4月28日～5月9日に小規模な暖水ストリーマが接近しており、それに対応し9日に八戸～久慈沖で漁場が形成され、同時期では最高(約500トン)の漁獲がみられた (Fig. 3-

-9)。本格的な漁獲は暖水渦が接近した6月22日以降にみられ、八戸沖合の暖水渦の北側に出現した水温14℃台の暖水ストリーマの周辺部にマイワシ漁場が形成された(漁獲量約2,000トン)。また、この暖水渦の西側から暖水ストリーマが発生し、その延長部の三陸沿岸トド崎沖で24・25日に顕著な好漁場が形成された(Fig. 3-10)。

(3) 1989年(Fig. 3-11)

金華山以北にほとんど暖水塊が無い年にあたり、三陸沿岸一帯に例年形成される漁場が、八戸沖と綾里崎〜トド崎沖の2カ所に分離される形となり、北上期のマイワシ漁況は低調であった。八戸沖の漁場は、金華山南東沖の暖水渦の北側から、八戸沖へ伸びる11℃台の暖水ストリーマの先端部に当たっていた。衛星利用水温分布図によれば、上述の金華山南東沖暖水渦の北側に6月12日ごろから暖水ストリーマが発生したが、その一部は三陸黒崎沿岸の小規模の暖水渦に吸収され、その後の発達はみられなかった。しかし、6月中旬のマイワシ平均漁獲水温12℃と同程度の水温を持つ暖水ストリーマが、12〜14日に綾里崎沖に形成され、マイワシ漁場も綾里崎沿岸に形成された。11〜16日までの八戸沖と綾里崎沖の合計漁獲量は、約14,000トンとなった(Fig. 3-11)。

(4) 1990年(Fig. 3-12)

金華山(北緯38.3°N)沿岸に中規模の暖水渦が接岸しただけで、三陸沖以北に目立った暖水渦は存在しなかった。三陸沿岸漁場の本格的な初漁は、金華山沿岸に暖水渦が分布していた関係もあって、5月7日と例年より早かったが、Fig. 3-12の漁獲グラフに示したように、漁況は暖水ストリーマが一時的に発生した5月9日前後に活況を呈し、11日から再び低調となった。5月9日の衛星利用水温分布図でみると、漁場は金華山沖暖水渦の北側から伸びた10℃台暖水ストリーマの先端部分に形成されており、暖水ストリーマの接近に伴い漁獲量は急に増加した(7〜11日で約7,000トン)。

以上、暖水ストリーマの三陸沿岸への接近が観測された6つの事例について、いずれもそれがマイワシ漁場の形成と関連していることを述べた。そこでさらに両者の関係について、統計的に検討してみた。Fig. 3-13は暖水ストリーマの緯度指数と漁場重心の緯度指数 (Table 3-1) との相関関係を示したものである。ここで、FGIは漁場重心の緯度指数、WSI aとWSI bはそれぞれ暖水ストリーマの陸岸への最近点および中点の緯度指数を表している。この図からWSI aおよびWSI bとFGIとの間に高い正の相関関係があることがわかる (相関係数はWSI aとFGIとの間で0.85、WSI bとFGIとの間では0.81)。

3-2-6. マイワシ魚群の北上接岸と暖水ストリーマとの関係

Fig. 3-14は、三陸海域で1987~1990年の各年5~6月の衛星画像をもとに、暖水渦から沿岸域へ達した暖水ストリーマの発生状況を調べ、それと日々の漁獲量の変化の関連を示したものである。これにより、漁獲量の変動がどの程度暖水ストリーマと関係しているのか、統計的に整理してみた。

1987年には、暖水ストリーマは①5月6日~9日、②5月20日~21日、③5月23日~6月1日、④6月16日~24日の4回発見された。来遊群としては5月11日~14日第1群、5月18日~22日第2群、5月26日~30日第3群、6月1日~6日第4群、6月23日~25日第5群の5群が沖合から来遊したと考えられる。このすべての群で暖水ストリーマとの関係が認められた。

1988年には、暖水ストリーマの発生は、①4月28日~5月9日、②5月31日、③6月7日、④6月23日の4回であった。来遊群は、5月2日~3日第1群、5月6日~12日第2群、5月15日~28日第3群、5月30日~6月2日第4群、6月7日~18日第5群、6月21日~25日第6群、6月29日~30日第7群の7つが出現した。このうち第3群と第7群を除く5つについて暖水ストリーマとの関係が認められた。

1989年に、暖水ストリーマが発見されたのは①5月13日～15日と②6月12日～14日の2回であった。来遊群としては、5月9日～10日第1群、5月15日～27日第2群、5月28日～31日第3群、6月10日～16日第4群、6月21日～30日第5群が出現した。このうち暖水ストリーマと関係しているのは、2群のみであった。

1990年には、暖水ストリーマが①5月6日～17日、②5月18日～21日、③5月27日～5月30日、④6月7日～6月9日、⑤6月18日～6月20日の5回発生している。一方、魚群については5月5日～13日に第1群、5月16日～18日に第2群、5月25日～6月1日に第3群、6月3日～8日に第4群、6月18日～27日に第5群がそれぞれ来遊した。このすべてについて暖水ストリーマとの関係が認められた。

以上の通り、1987年～1990年に漁場に来遊した合計22群中、雲の無い画像の暖水ストリーマのみで検討してもストリーマと関係する群が17群で、来遊した魚群総数の77%を占めている。このことから、暖水ストリーマの発生と三陸沿岸のマイワシ漁場形成との関係が裏づけられる。

3-3. 考察

3-3-1. 三陸沿岸のマイワシ漁場の形成と水温との関連

マイワシまき網漁業は、3～4月に犬吠崎周辺海域で盛漁期を迎える(本澤1990)。その後漁場は水温の上昇にもなって沿岸を順次北上すると考えられていた。たとえば、鄭他(1988)は、1981～1985年について常磐～三陸全体の漁場重心を求め、1～7月には房総・常磐南部周辺に位置し7・8月に常磐北部から金華山付近に移動すると述べている。しかし、Fig. 3-2に示した旬別の時系列をみると、三陸沿岸への来遊は常磐沿岸から順次北方に加入する形をとるのではなく、前述の6つの事例で紹介

介したように、暖水ストリーマの接岸に対応して単発的かつ間欠的に行われる。

三陸沿岸に来遊するマイワシ群の回遊経路としては、一般に、次の3つのケースが考えられる。すなわち、鹿島灘を通して常磐沿岸から暖水舌を利用して沿岸域を北上するケース、津軽暖流に乗って日本海側から南下してくるケース、三陸沖合から加入してくるケースの3つである。以下、それぞれについて検討を加える。

暖水舌の北限は塩屋埼付近であること(久保1982)、三陸沿岸漁場が三陸南部沿岸から徐々に北方へ移動するのではなく、断続的に不規則に形成されていることなどから、まず常磐沿岸海域から沿岸を北上する形で補給される群は少ないと考えられる。

次に、日本海側からの補給については、これまでに黒田(1990)が考察を加えているが、4~5月に青森県沿岸の定置網や陸奥湾へのマイワシ群の補給がほとんどないことから、この時期津軽海峡を越える群は少ないと考えられる。また、1991年三陸沿岸では、日本海から来遊可能な水温で繋がっていたにもかかわらず、マイワシ漁場が形成されなかった。さらに、日本海の群と太平洋の群とは系群が異なる。このため、三陸の初漁の漁獲水温は、日本海のそれより2~3℃低く(田名部他、1958)、日本海マイワシ群の太平洋への来遊条件は悪い。

一方、三陸沖合からの来遊に関しては、Fig. 3-15に示した旬別平均漁獲水温が1987~90年の5~6月に観測された暖水ストリーマの表面水温(低温部~高温部)とほぼ一致していることが注目される。すなわち、沖合暖水ストリーマは、水温環境としてマイワシ群の生息に適した海域と言える。このことは、沖合から接岸する暖水ストリーマがマイワシ群の沿岸への補給に重要な役割を果たしている可能性を示唆している。

3-3-2. マイワシ漁場形成に対する暖水ストリーマの役割

1987~1990年の6事例についての検討結果を総合すると、次のような結論が見出される。北上期5月から6月のマイワシ漁場は、暖水ストリーマが接岸した日もし

くはその1~2日後に、その周辺の海域で形成され、漁獲量も急激に伸びる。さらに、この漁場の南北沿岸域には、ごくわずかの漁場と漁獲量が見られるにすぎず、沿岸域づつに魚群が南下もしくは北上することによって、漁場が形成された可能性は小さい。1987~1990年の4年間5~6月のマイワシ群の北上期において、暖水ストリーマが三陸沿岸へ差し込む時期と三陸漁場の形成時期とがよく一致しており、その割合は77%に達していた。また、Fig. 3-13に示したように三陸沿岸のマイワシ漁場の緯度と沖合に分布する暖水ストリーマの緯度との間には高い相関($r=0.85$)がある。これらのことから、マイワシ漁場は沖合の暖水ストリーマの接近があるときに、沖合からの魚群の補給によって形成される可能性が強いと推察される。

そこで次に、暖水ストリーマの接近に伴い、マイワシ群が沿岸へ移動する過程の詳細についてさらに検討を加えた。Fig. 3-16は、1989年6月14日の画像であり、暖水ストリーマの12℃台の暖水が綾里埼方向へ向かっていることがわかる。この状況でマイワシ群が綾里埼沿岸の暖水域に接岸するためには、9~10℃の親潮系冷水を越える必要がある。そこで、Fig. 3-16の12時間前の画像を処理して、12℃台の暖水ストリーマと親潮系冷水とが接している海域を、0.2℃毎に色分けしたさらに細密な画像に変換した(Fig. 3-17)。その結果、暖水ストリーマの先端に微細な前線渦の存在が認められ、この渦から派生する微細暖水ストリーマが上記のマイワシ群の接岸移動に何らかの働きをしている可能性が考えられた。すなわち、暖水渦に大規模な暖水ストリーマ(Kawai et al., 1986; Sugimoto et al., 1992)が入り込むと、その暖水渦の北側部分から中規模暖水ストリーマ(森永, 1991; 為石・杉本, 1993; 本澤・為石 他1988)が派生することがこれまでも知られており、その中規模暖水ストリーマが渦状になった時、そこから小規模・微細規模暖水ストリーマが派生する可能性は十分に考えられる。この微細規模の暖水ストリーマが親潮系冷水を越える際に、それを利用してマイワシ群は、沿岸の暖水域へ接岸しているものと推察される。

なお、Fig. 3-5に示した暖水ストリーマの時系列変動のうち、5月28日の衛星画像を拡大して見ると、暖水ストリーマから相対的に水温の高い微細な暖水ストリーマが、金華山方向へ伸び、沿岸の暖水と繋がっているように見える。また、この微細暖水ストリーマの中にもマイワシ漁場が形成されているのが実際に確認されている（Fig. 3-18）。

一方、沖合域から沿岸域に加入したマイワシ群は漁獲の対象となるが、その群の移動方向は、沖合から加入後には逆に北～北東方向であることがわかった。このことは、三陸沿岸へ来遊した群は、再び索餌北上回遊する群に加わることを意味し、暖水ストリーマが沿岸へ接近した時、来遊する群と入れ替わりに沿岸のマイワシ群の一部が同じ暖水ストリーマを利用して沖合に移動しているものと推察される。

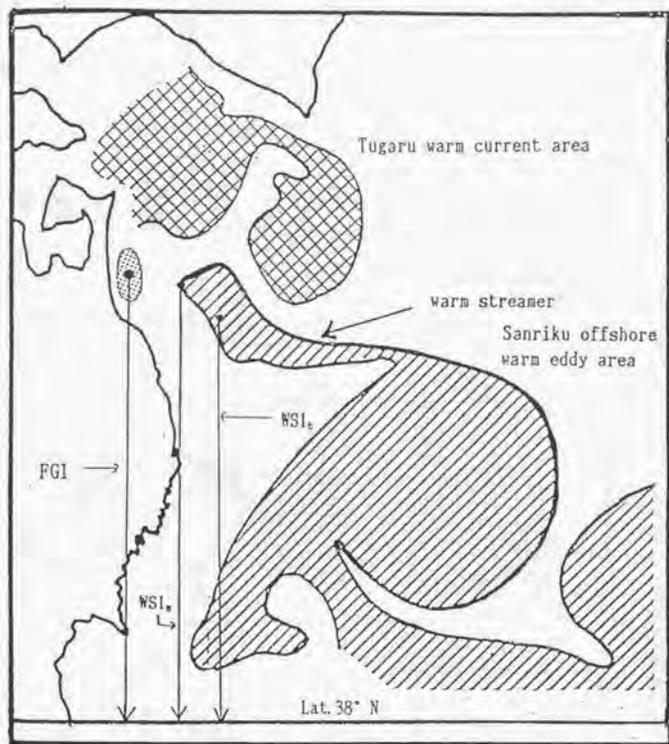


Fig.3-1 Schematic views of the latitudinal index for location of warm streamer and fishing ground. FGI denotes the index of fishing ground and WSI_a and WSI_b denote warm streamer indices for the nearest part and middle parts of warm streamer to shore.

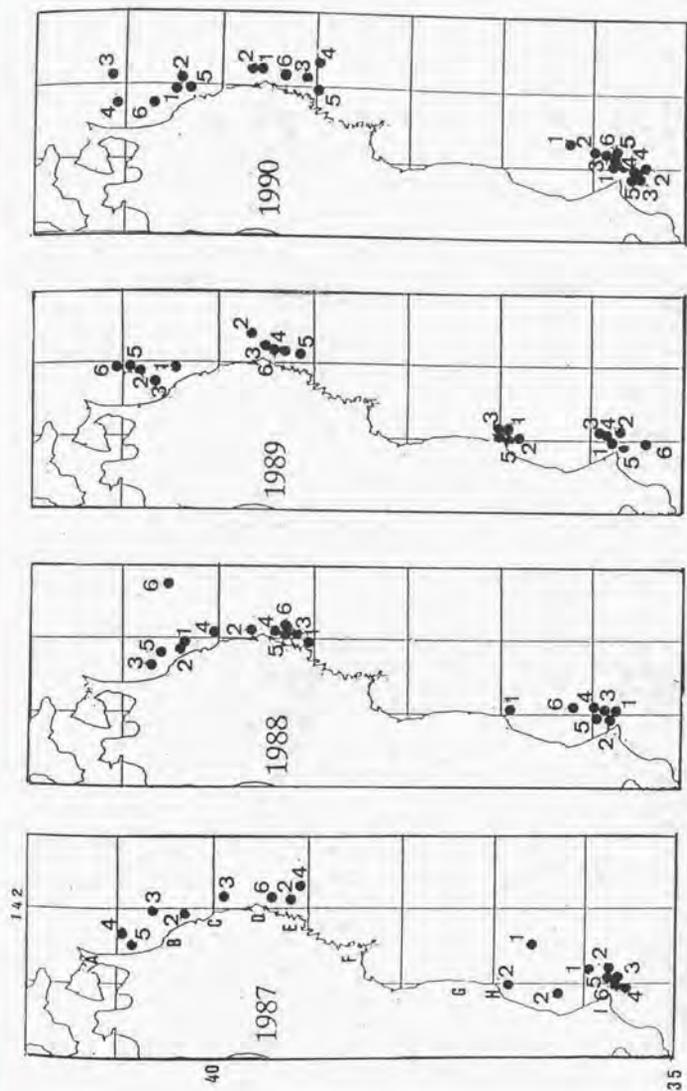


Fig.3-2 Movement of sardine fishing grounds. Numerals 1,2,3,4,5 and 6 indicate, early May, mid May, late May, early June, mid June and late June, respectively. A,B,C,D,E,F,G,H and I denote Siriyasaki, Samekado, Kulosaki, Todosaki, Utatsusaki, Kinkazan, Ukedo, Sioyasaki and Inubohsaki, respectively. Areas from A to F and G to I are located in Sanriku Coast and Johban Coast, respectively.

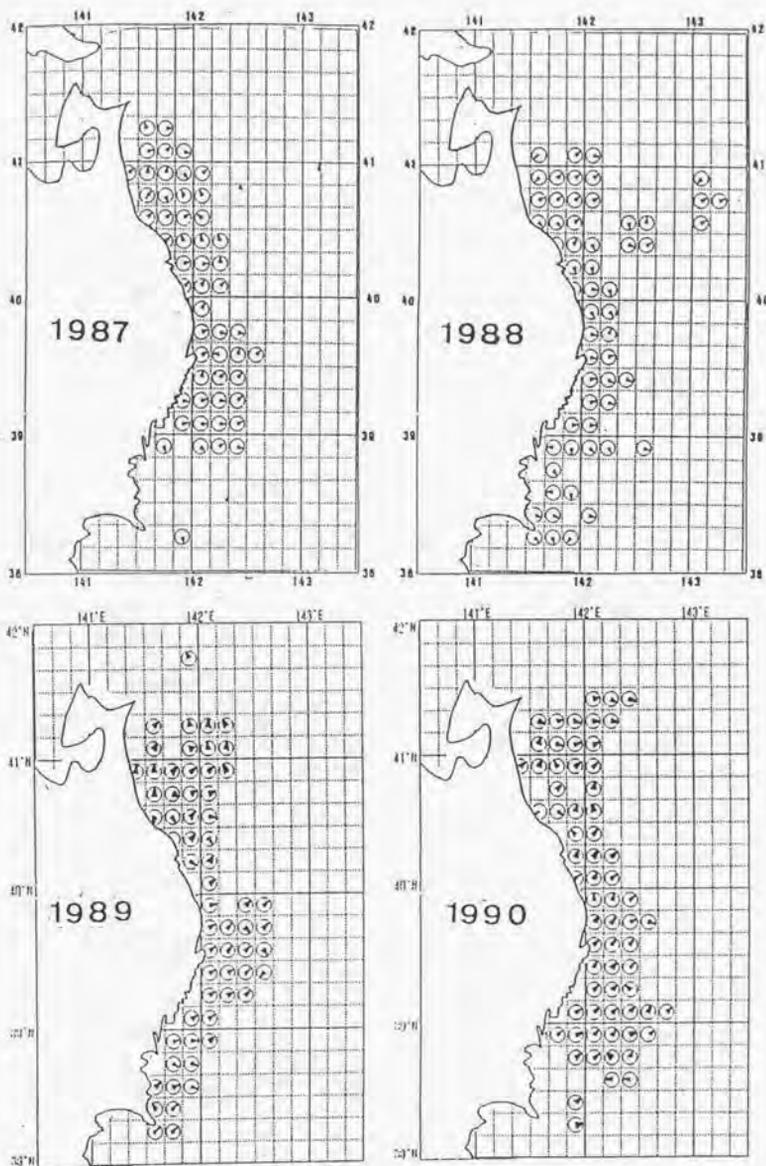


Fig.3-3-a Average direction (shown by arrow) of moving sardine school during 1987-1990.

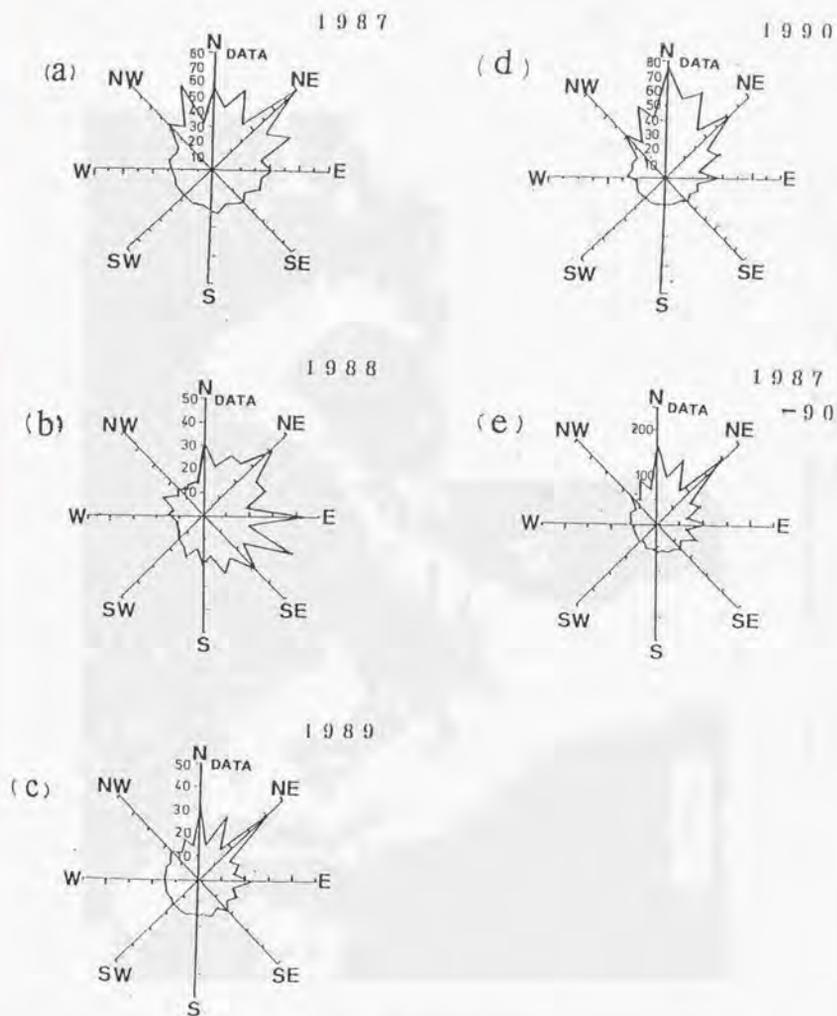


Fig.3-3-b Frequency of average direction of moving sardine school during 1987-1990.

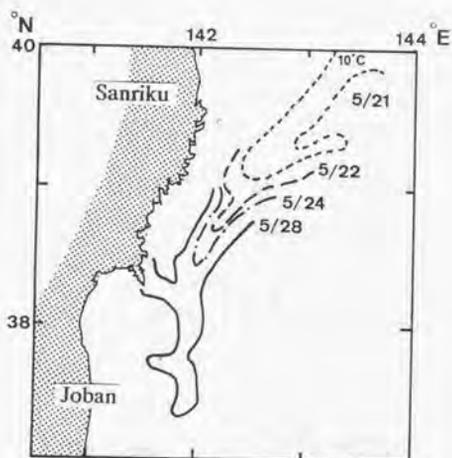


Fig.3-5 Time change of the warm streamer intruding into northern part of Joban water during 21-28 May, 1991.

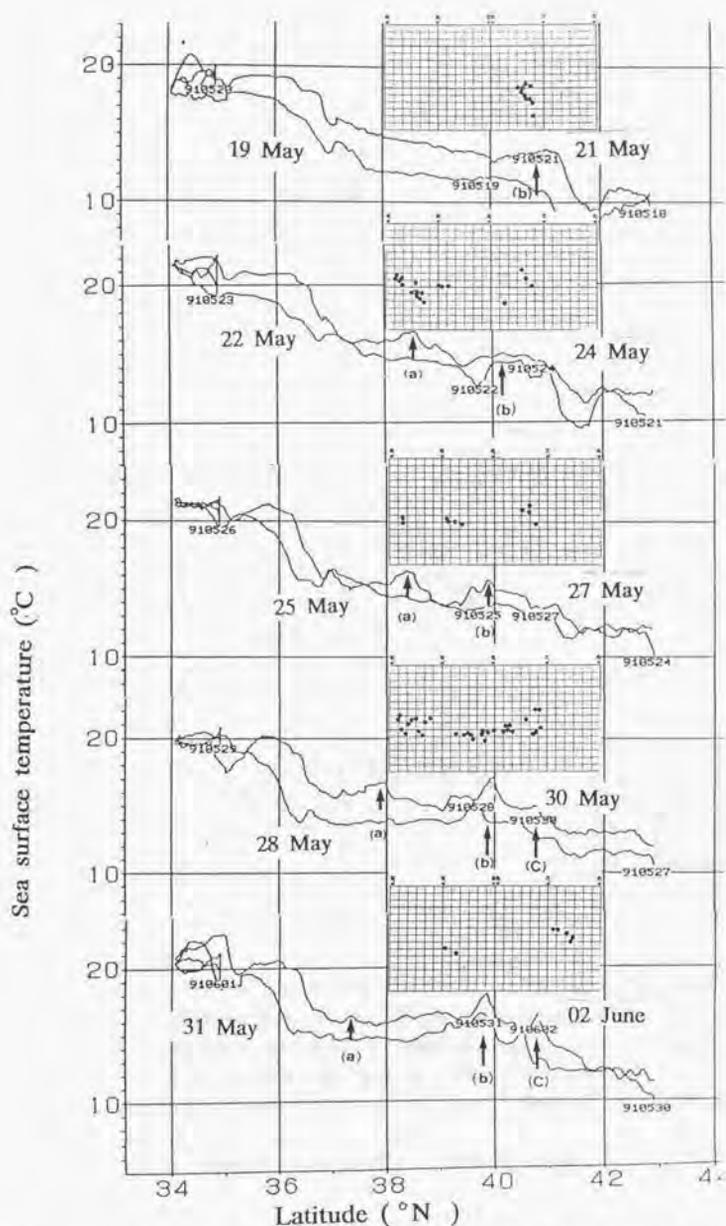


Fig.3-6 Sea surface temperature between Tokyo and Kushiro observed by ferry boat and location of sadine fishing grounds (dots). location of warm streamers as shown by a, b, c.

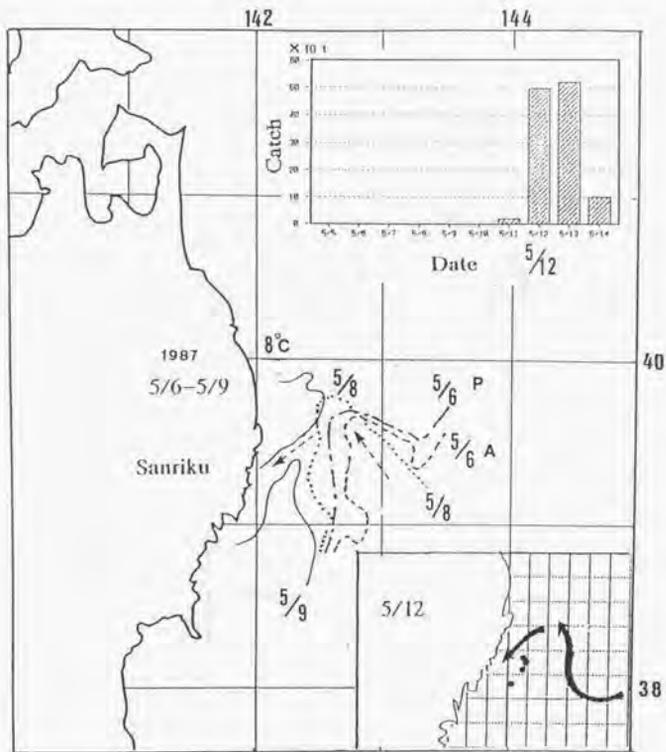


Fig.3-7 Time change of the warm streamer recognized by satellite imagery during 6-9 May,1987. Arrows indicate directions of warm streamer movement. Inserted figures are variation of sardine catches and distribution of fishing grounds indicated by solid circles. Date are indicated by a fraction (month/day).
A and P denote a.m. and p.m. respectively.

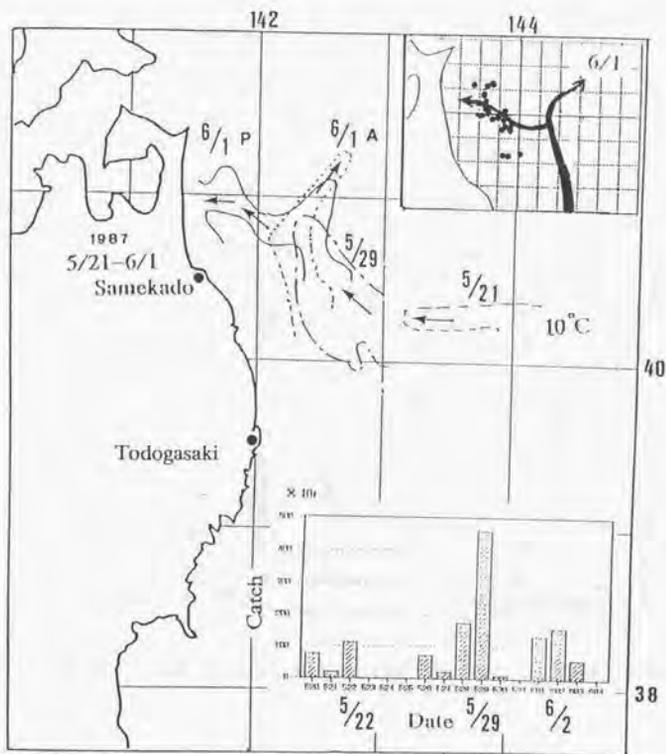


Fig.3-8 Same as Fig.3-7, except during 21 May - 1 June, 1987.

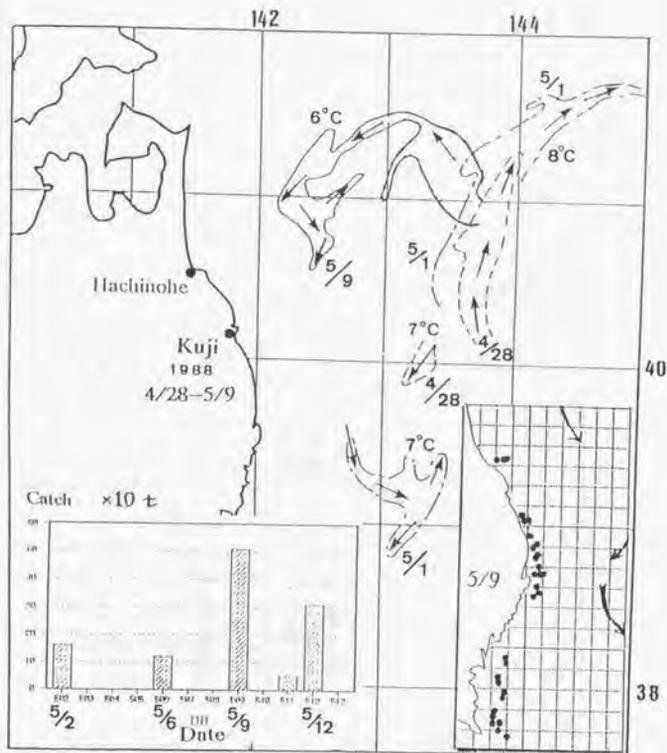


Fig.3-9 Same as Fig.3-7, except during 28 Apr. - 9 May, 1988.

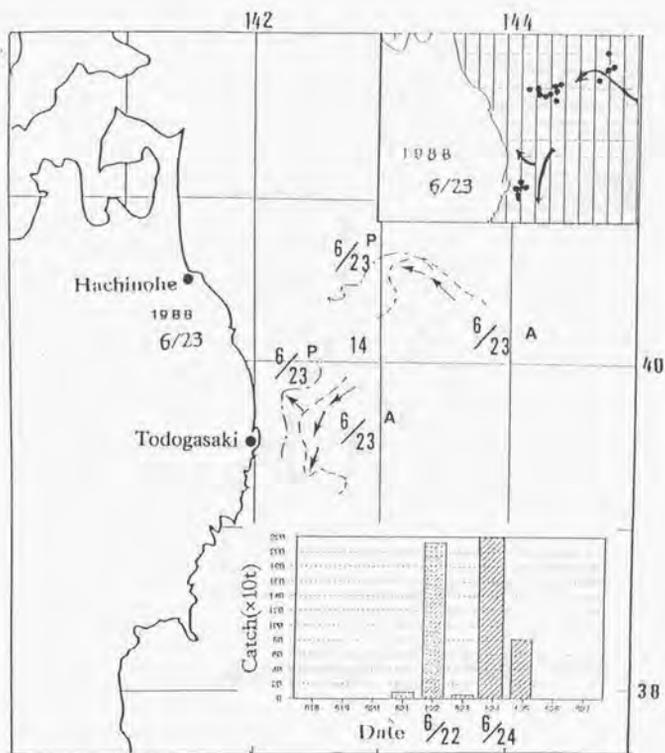


Fig.3-10 Same as Fig.3-7, except on 23 June, 1988.

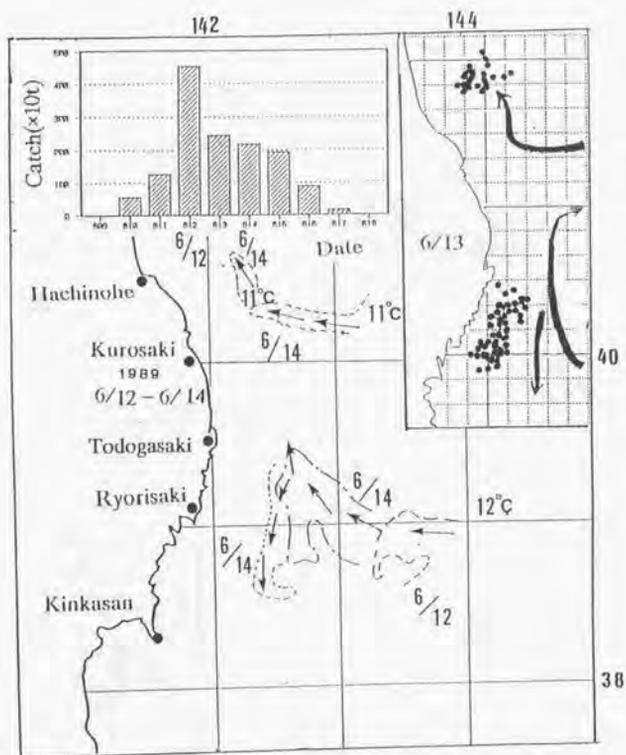


Fig.3-11 Same as Fig.3-7, except during 12-14, June 1989.

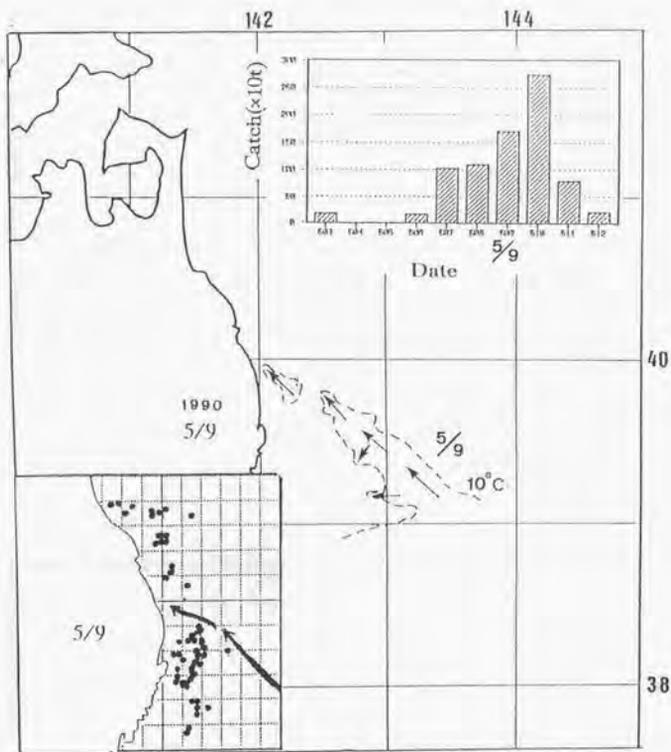
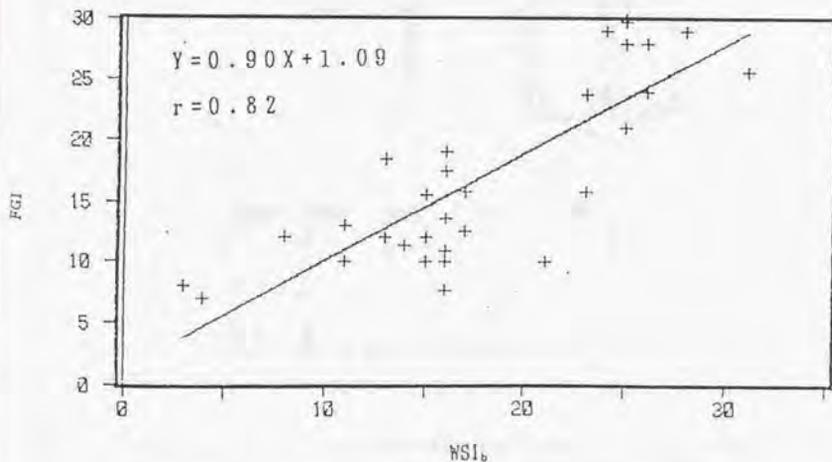
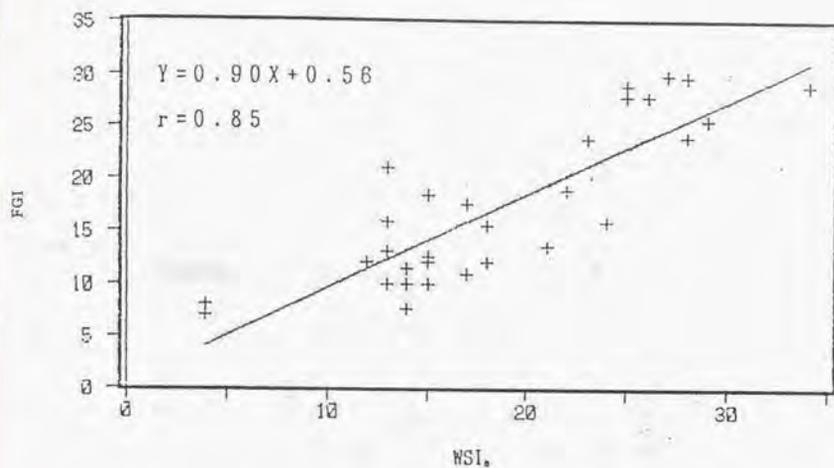


Fig.3-12 Same as Fig.3-7,except on 9 May, 1990.



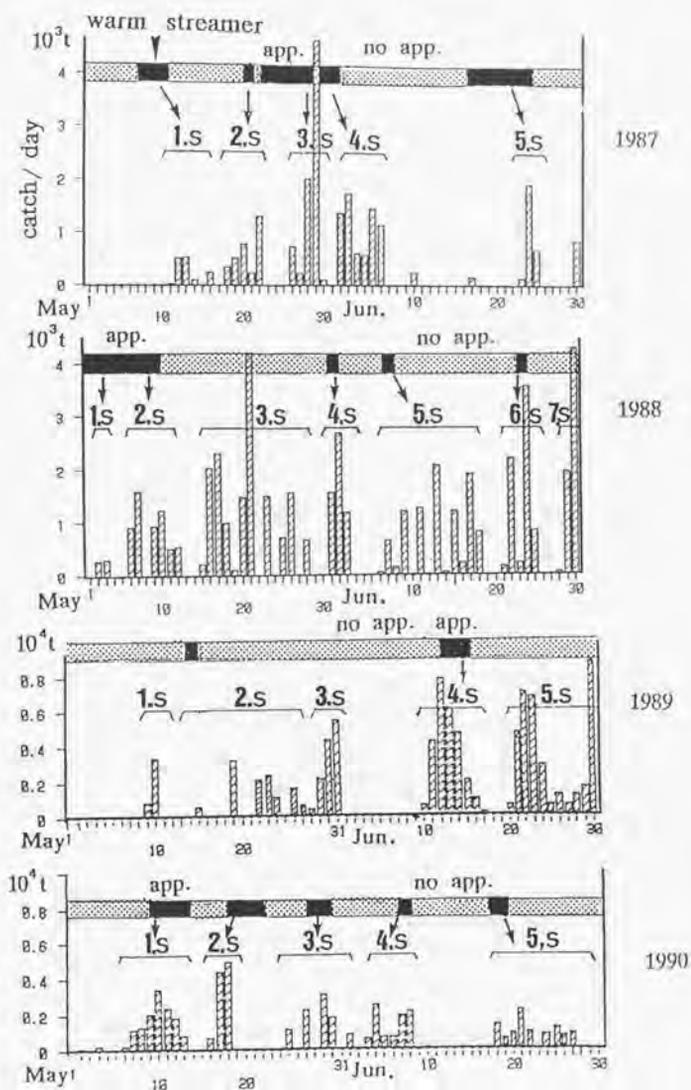


Fig.3-14 Appearance periods of outflowing warm streamer and daily variations of sardine catch during May-June, 1987-1990 in the area of latitude 38-42 N off Sanriku coast.

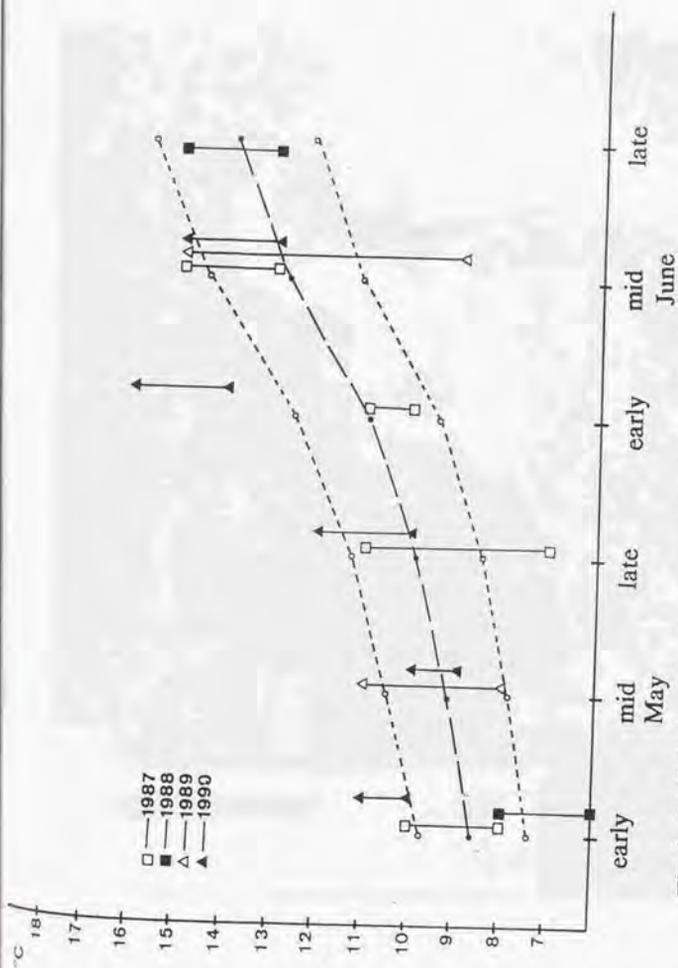


Fig.3-15 Relationship between temperature for catch (dashed line) with standard deviation (dotted line) and maximum and minimum temperature of warm streamer (solid lines) in each year.

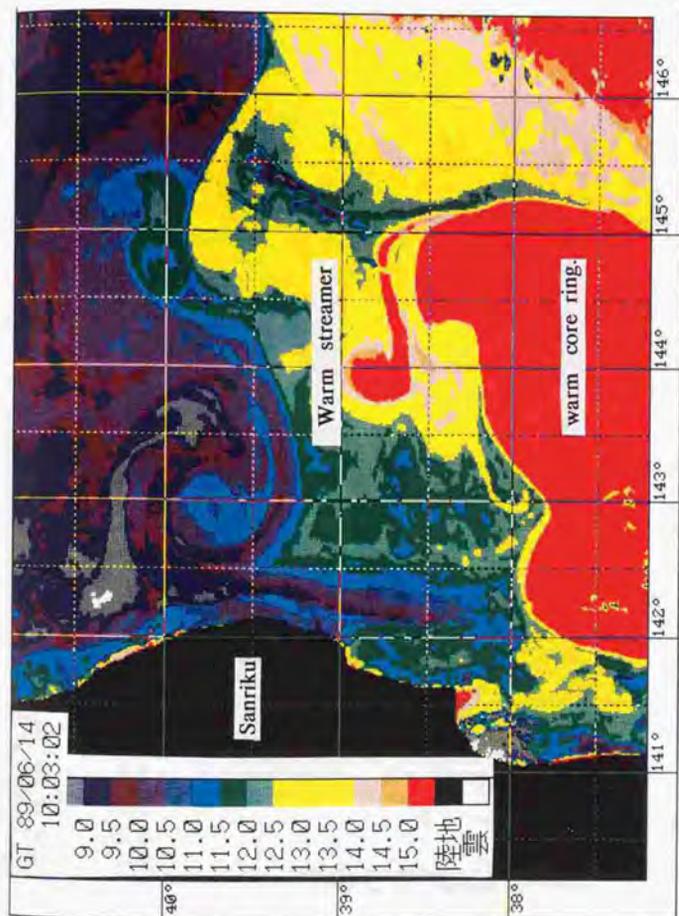


Fig.3-16 Satellite image of warm streamer approaching to the Sanriku coast on 14 June, 1989.

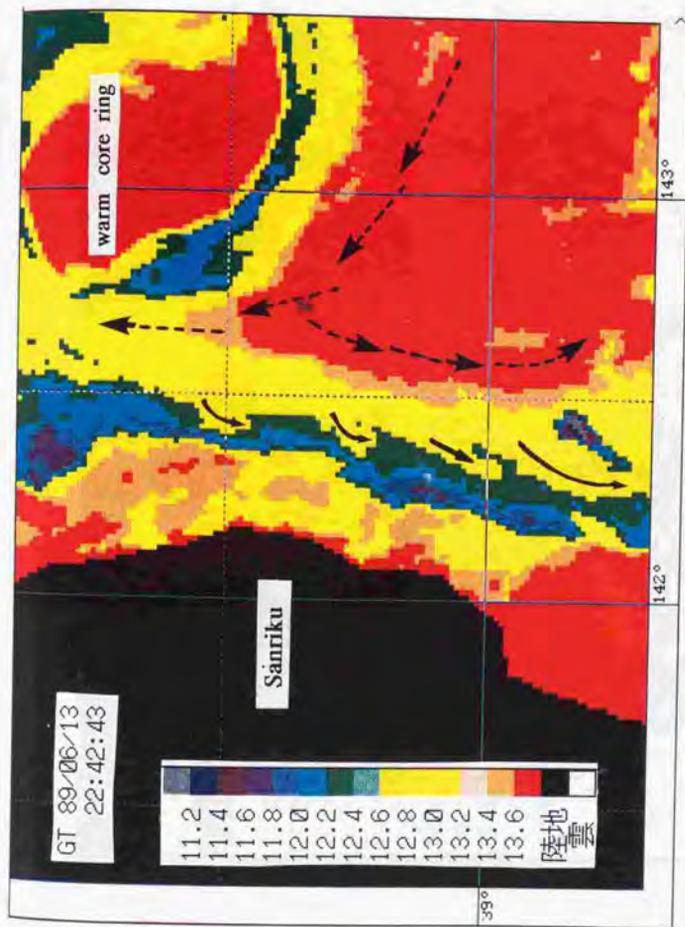


Fig.3-17 Satellite image of the small scale warm streamer (shown by arrows) derived from the meso scale warm streamer (shown by broken line and arrow) on 14 June , 1989.

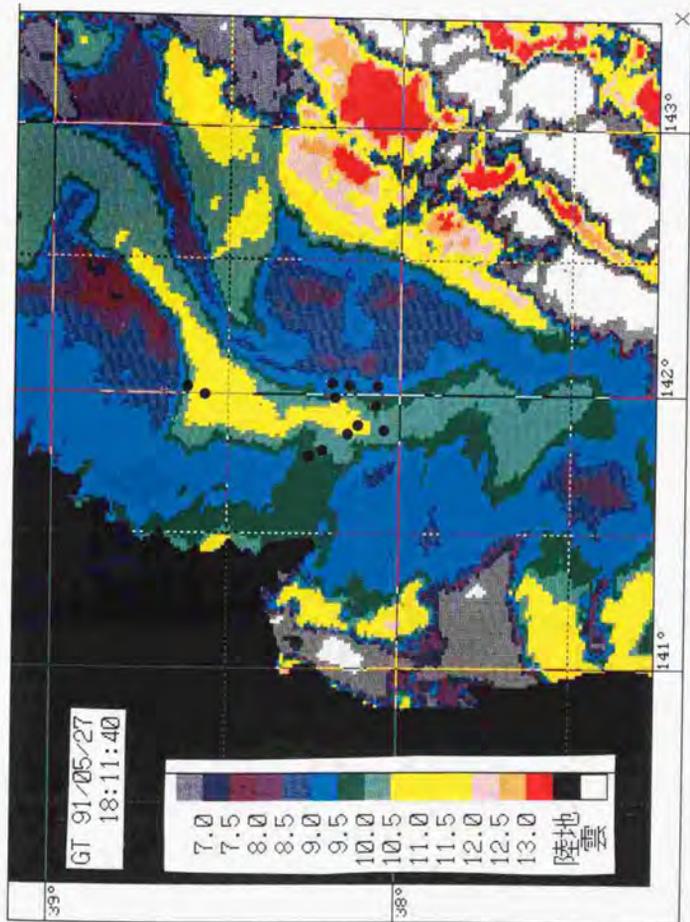


Fig.3-18 Distributions of small scall warm streamer and sardine fishing grounds in satellite image on 28 May 1991.

Table 3-1 Latitudinal location of warm streamer and fishing ground.

Y	M	D	NP	MP	CPF	WSIa	WSIb	FGI
1987	5	21	40.3	40.3	40.4	23	23	24
1987	5	29	40.8	40.6	40.4	28	26	24
1987	6	1	40.8	40.5	41.0	28	25	30
1987	6	1	40.7	40.5	41.0	27	25	30
1987	6	24	39.2	38.8	39.2	12	8	12
1988	5	9	40.9	41.1	40.6	29	31	26
1988	5	9	39.3	40.5	40.1	13	25	21
1988	6	7	39.5	40.1	39.0	15	21	10
1988	6	23	40.6	40.5	40.8	26	25	28
1988	6	23	40.5	40.6	40.8	25	26	28
1989	5	15	39.4	39.4	39.1	14	14	11
1989	5	19	40.4	40.3	39.6	24	23	16
1989	6	12	39.3	39.1	39.3	13	11	13
1989	6	13	39.3	39.6	39.0	13	16	10
1989	6	14	39.5	39.3	39.2	15	13	12
1989	6	14	41.4	40.8	40.9	34	28	29
1989	6	14	39.8	39.5	39.2	18	15	12
1989	6	14	40.5	40.4	40.9	25	24	29
1990	5	9	39.8	39.5	39.6	18	15	15
1990	5	10	39.7	39.6	39.8	17	16	18
1990	5	13	39.4	39.6	38.8	14	16	8
1990	5	17	39.3	39.7	39.6	13	17	16
1990	5	18	39.5	39.3	39.9	15	13	19
1990	5	25	38.4	38.4	38.7	4	4	7
1990	5	27	40.1	39.6	39.4	21	16	14
1990	5	29	39.5	39.7	39.3	15	17	13
1990	5	30	39.7	39.6	39.1	17	16	11
1990	6	3	39.4	39.5	39.0	14	15	10
1990	6	7	40.2	39.6	39.9	22	16	19
1990	6	7	38.4	38.3	38.8	4	3	8
1990	6	18	39.4	39.1	39.0	14	11	10

NP: Nearest Point MP: Middle Point

CPF: Center Point of Fishing ground WSIa: Latitudinal index for the nearest part of warm streamer to shore. WSIb: Latitudinal index for the middle part of warm streamer. FGI: Latitudinal index for the center of fishing ground.

Table.3-2 Average (μ) and standard deviation (σ) of temperatures of fishing grounds.

Year	early May		mid May		late May		early June		mid June		late June		Thru the year	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
1987			9.6	0.78	9.4	1.44	10.7	0.94	13.3	0.80	15.0	1.90	11.6	2.52
1988	8.0	0.39	8.2	0.68	9.8	1.25	10.5	0.62	11.7	0.83	13.6	1.22	10.5	2.08
1989	8.4	0.54	8.3	0.80	8.8	0.84	11.3	0.29	11.7	1.52	12.2	1.04	10.3	1.71
1990	9.3	1.28	9.6	1.53	10.7	1.89	11.7	1.67	14.6	0.75	15.2	0.70	11.8	2.57
Total year	8.6	1.16	9.2	1.29	9.9	1.78	11.0	1.50	12.8	1.49	14.0	1.63	11.0	2.20

第四章 暖水ストリーマが北上期沖合マイワシ群の沿岸来遊に果たす役割

—航空機調査から—

4-1. 序

海況の微細かつ短期的な変動と沖合魚群との関係を解明するためには、航空機の調査が適している。過去、このような調査・研究はそれほど多くない。たとえば、Hara (1987) は道東陸棚海域のマイワシ魚群を観測し、1日以内の短期的な魚群の移動速度を求め、流速との対応性を調べた。また、堀田他(1961)は、三陸沖合海域で航空機からの目視調査によって海況と漁況との関連を調べ、潮目・スリックのある周辺20海里以内には魚群の発見率が高いと述べている。さらに、黒田(1962)は、航空機調査からの目視により潮影や潮目の実態を詳しく記している。このように、目でみた海の実態と魚群との関連に関しては述べられているものの、それらとあわせて水温を実際に観測し、魚群をとりまく微細水温環境との関係を論じたものは皆無である。また、植物プランクトン等による水色を、航空機によって観測した例もほとんど無い。本章では、漁場へ加入しようとする沖合のマイワシ群をとりまく水温・水色環境を把握することを目的として実施した航空機調査の結果を基に、暖水渦から派生する流出型暖水ストリーマとマイワシ群の分布との関係を明らかにする。

4-2. 資料と方法

資料として、漁業情報サービスセンターが収集・解析した1987~1991年の各5~6月分の衛星利用水温分布図と、三陸沿岸の漁場データを用いた。また、漁業情報サービスセンターが1982~1991年のいずれも5~6月に実施した合計24回の飛行調査データの他、海洋水産資源開発センターによる飛行調査(1983~1991年の5~7月、合計14回)、北部太平洋まき網組合連合会による飛行調査(1982年の5月、1983年の5月と1985年6月に計3回)の結果も資料に加えた(Ta

ble 4-1)。調査に用いたセスナ機は、米国製のU206型陸上単発機（最大馬力300馬力、最大離陸重量3,600ポンド6人乗り、巡航スピード120ノット、飛行可能時間8.5時間）である。水温観測には、熱赤線放射温度計（IRT：ナショナルModel ER-2007）を用いた。IRTによる水温測定精度は0.5℃程度であり、本論文では暖水渦・暖水ストリーマ等の海洋特性の判断に重点を置くので精度上の問題はない。また、水色の目視観測にはフォーレル水色計（本地郷）を用いた。その測定結果を、水温分布図から区分した①暖水渦、②暖水ストリーマ、③沿岸暖水域（津軽暖流域も含む）、④親潮水域、⑤黒潮水域ごとにまとめて、各水域の水色頻度分布図を作成し、クロロフィル-aが多いと考えられる水色5以上の測点の出現割合を検討した。さらに、クロロフィル-aの観測データとして、東北区水産研究所調査船「わかたか」による1991年5月24～26日の観測結果を用いた。魚群の撮影には、貫井式航空用カメラ（4"×5"フィルム使用、レンズチャッターはシロナー製 f:150mmを装備）をそれぞれ使用した。

上記の飛行調査では、まず赤外放射温度計により測定した表面水温の水平分布を描き、黒潮水域・暖水渦・暖水ストリーマ・沿岸域・親潮域等の配置を推定し、同日の衛星画像および漁業情報サービスセンター発行漁海況速報と対比しながらそれを確認した。また、魚群がどのような水塊構造に多く分布しているかを調べるため下記に定義する魚群発見率を計算した。すなわち、航空機（500m上空）から魚群を見逃すことのない海面は真下からせいぜい500mまでの範囲であることから（堀田他、1961）、航跡に沿って500m×10海里（9.3km²）の区画（10海里区画と称する）を設け、各水塊毎にマイワシ群の発見された10海里区画数の区画総数に対する百分率を発見率と定義した。

なお、発見率には航空機の高度（高度750mでは500mの場合の80%程度となる）の他に、風波の度合や天気など気象条件が影響を与えるが、本調査では、調査員が熟練した同一の人物であり、調査期間も5～6月のマイワシの北上期で、時刻も10～

14時頃に限定し、高度も500mと一定で、晴天日で風の弱い時にのみ実施したことから、気象条件等による発見率の変動は小さいと考えた。

4-3. 結果

4-3-1. 表面水温と魚群の分布

1982~1991年の5~7月の飛行調査コースとこの調査で発見されたマイワシ群の分布をFig. 4-1に示す。マイワシ群は沖合海域に広く分布している。水温分布との関係でみると、Fig. 4-2は、1984年5月18日の常磐沖合海域の結果である。マイワシ群は暖水渦の縁辺潮境域に多く分布している。さらに、暖水渦から外側へ派生する暖水ストリーマとの関係では、1991年5月28日(Fig. 4-3)に漁業情報サービスセンターが実施した第9次漁海況飛行調査の結果に明瞭に示されており、暖水ストリーマの中にマイワシ群が15群発見された。また、Fig. 4-4の同日の衛星利用水温分布図では、13℃台のストリーマ先端部は金華山まで伸びており、その先端付近にはマイワシの好漁場が形成されている。このように、航空機観測(1983年6月16日、海洋水産資源開発センター実施)による水温分布から、水域を黒潮(KR)・暖水渦(WCR)・暖水ストリーマ(WS)・沿岸暖水域(NWW)・親潮水域(OY)中に発見したマイワシ群の位置をプロットすることによって、魚群と環境との関係が明確になった(Fig. 4-5)。

4-3-2. 水塊別および暖水渦内外の魚群出現頻度分布

飛行調査によるマイワシ魚群の発見率を水塊別にTable 4-2に示す。マイワシ魚群の発見率は、暖水塊から流出する暖水ストリーマ域で26%と他の水塊に比べきわめて高い。これは、①暖水ストリーマは帯状かつ袋状であるので集群効果が良いこと、②暖水渦から沿岸暖水域へ到達するまで多くの魚群がこれを利用することによると考え

られる。次に沿岸暖水域が11%と高く、移動してきた群が沿岸域に滞留するものと考えられる。暖水渦の中と親潮域はともに6%であり、黒潮域は1%と最も低い。

航空機の調査によると、マイワシ群は1982~1991年4~6月の北上期に暖水渦の内側および周辺に421群発見されている。Figs. 4-6は、暖水渦を①北西部、②北東部、③西南部、④南東部に分け、航空機によって発見されたマイワシ群の分布割合を描いたものである。

これによると、4海域に分けた暖水渦でのマイワシ群の分布割合は、北西部が最も多く、暖水渦縁辺潮境の暖水側が31% (131群)、冷水側が14% (58群) であり、合計45% (0.85群/区画)。次に西南部で、潮境の暖水側で24% (101群)、冷水側が5% (22群) であり、合計29% (0.54群/区画)。北東部は暖水側13% (53群)、冷水側12% (50群) であり、合計25% (0.42群/区画)。南東部が最も少なく1% (0.04群/区画) で暖水側にのみ分布していた。暖水渦全体で潮境の暖水側と冷水側を比較すると、暖水側69% (291群)、冷水側31% (130群) と暖水側が多い。また、4海域の魚群の分布密度は、北西部 (0.85群/区画) が最も多く、最低は南東部 (0.04群/区画) であった。

一方、Fig. 4-7は、暖水渦の中心部、中間部、潮境周辺部、潮境の外側部におけるマイワシ群の発見率を比較したものである。これによると、渦の潮境部の暖水側35%、潮境の冷水側30%、暖水渦の中間部23%の順で、渦の中心部が10%、渦の潮境から遠く離れた海域が2%と非常に低い。なお潮境付近の暖冷水側の合計は65%に達し、縁辺潮境部に魚群が集中している。このことから、暖水渦に分布するマイワシ群は暖水渦の縁辺潮境付近から外側へ派生する暖水ストリーマに乗って北西~北東方向へ押し出される機会が多く、餌料豊富な沿岸域や北方水域への回遊条件に恵まれていると考えられる。

4-3-3. 暖水ストリーマ内外の魚群頻度分布

暖水ストリーマ内外の魚群の出現頻度分布を暖水ストリーマ先端部・中間部・根元部の内側・外側にかけて、Fig. 4-8に示す。暖水ストリーマ全体の暖水側と冷水側の発見率を比較すると、暖水側91% (516群)、冷水側9% (50群)と暖水側に多く分布している。先端部では全体の63% (3.2群/区画)で最も多く、ついで中間部の26% (1.3群/区画)、根元部の11% (0.57群/区画)である。Fig. 4-9は、水塊毎に魚群が発見された区画の分布を、流入型暖水ストリーマ、暖水渦、流出型暖水ストリーマ (根元部・中間部・先端部)の中で発見された群の区画域、および暖水ストリーマから飛びだし沿岸暖水域へ移行する途中の群の区画域、沿岸暖水域で発見した群の区画域にわけて、模式的に図示したものである。マイワシ群は沖合の暖水ストリーマと沿岸暖水域及びその間のやや水温の低いところに分布しており、群の分布は沖合の暖水ストリーマから沿岸の暖水域に繋がっている。時間的に順を追って見ると、マイワシ群は黒潮水域から流入型暖水ストリーマを通過して暖水渦へ、暖水渦から流出型暖水ストリーマへ、流出型暖水ストリーマから沿岸暖水域へと順に移動している様子がうかがわれる。

4-3-4. 航空機観測による水色分布

水色の観測結果をFig. 4-11に示す。クロロフィル-aを多く含んでいると考えられる緑色のフォーレル番号5以上の出現割合が多いのは、暖水ストリーマ (26%)、親潮水域 (22%)、津軽暖流域・沿岸暖水域 (10%)、暖水渦 (7%)の順であった。また、Fig. 4-10に示すように東北水研「わかたか丸」が実施した5月24~26日の観測でも、水温10~11℃、深さ20~30mの暖水ストリーマの先端付近で、クロロフィル-aがもっとも多いことがわかった。これらのことから、暖水ストリーマの海域は先端付近を中心に植物プランクトンが比較的多い海域といえる。

4-4. 考察

暖水ストリーマのマイワシ群に対する魚道機能

暖水ストリーマの発生から消滅までの寿命は、3日間～2週間程度であった。また、その周期は雲の関係もあって正確には捉めないが、ほぼ10日～2週間程度と考えられる。

萩稿(1988)は道東海域のマイワシ群の漁場形成が、沿岸に侵入する暖水と関係しており、この短期の漁場形成の要因については餌よりも水塊変動の重要性を強調した。また、小川(1981)も、カタクチイワシ魚群が水塊とともに移動する傾向を示すことから、餌よりも水塊変動を重要視している。本調査結果でも、暖水渦の縁辺部においてマイワシ群が多く分布し、特に暖水ストリーマの発生頻度の高い西側に75% (1.4群/区画) と多いことから、マイワシ群がストリーマの中に入り込む可能性は高いと考えられる。しかし、マイワシ群がストリーマと共に移動する場合、マイワシ群の移動速度が1日に8～20海里程度 (Ihara, 1987; 黒田, 1990) とすると、餌の豊富な沿岸域や北洋海域 (41°N以北の釧路沖暖水渦周辺海域) に到達するまでに10～15日程度の日数が必要である。初期の段階は水塊移動と水温条件に伴う回遊であっても、ここで生き延びて回遊し続けるためには、良好な餌条件が必要となる。航空機によってフォーレル水色分布状態を調査した結果、暖水ストリーマの海域はフォーレル度数5以上 (クロロフィル-aの多いと考えられる緑色の海域) の出現割合が高く、植物プランクトンの多い海域である (Fig. 4-11)。したがって、暖水渦の縁辺部にいたマイワシ群は、暖水ストリーマの発生によってストリーマの水塊とともに移動し、沿岸域に到達するまで、ストリーマ内の餌を利用している可能性が高い。

総じて、1982～91年の飛行調査結果に基づく、マイワシ群北上期の沖合海域における分布の実態から、北上期のマイワシ群は暖水渦に分布し、暖水渦から派生する暖水ストリーマによって北上・接岸回遊している可能性が高い。

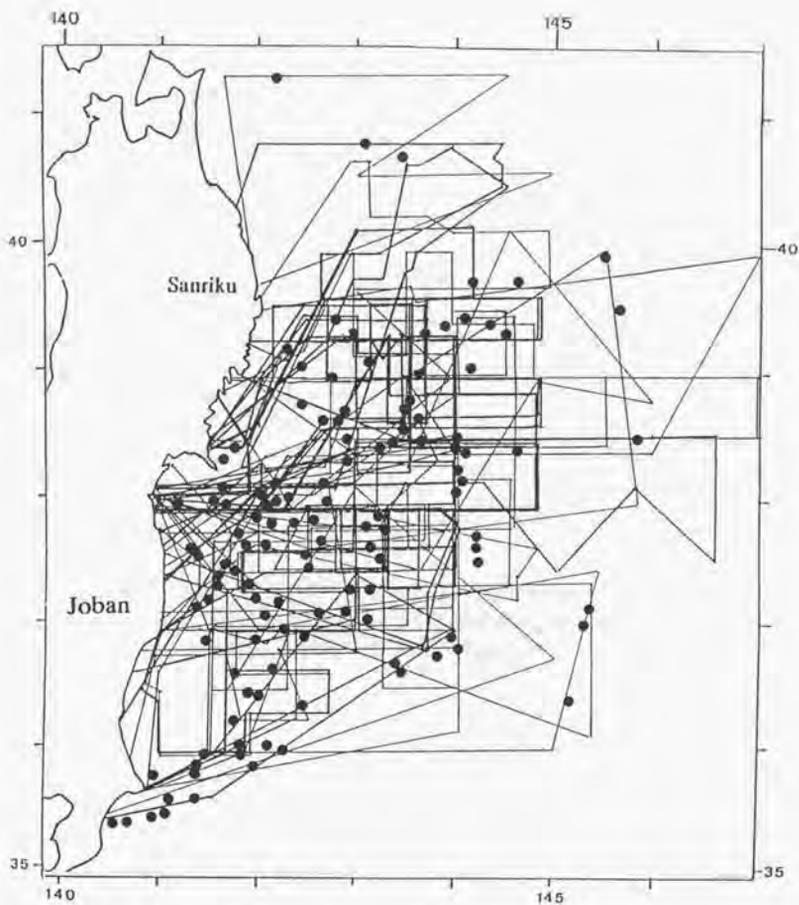


Fig.4-1 Track lines of aircraft research and the positions of sardine schools(solid circles) discovered by aircraft research (solid circles) in May and June during 1982 – 1991.

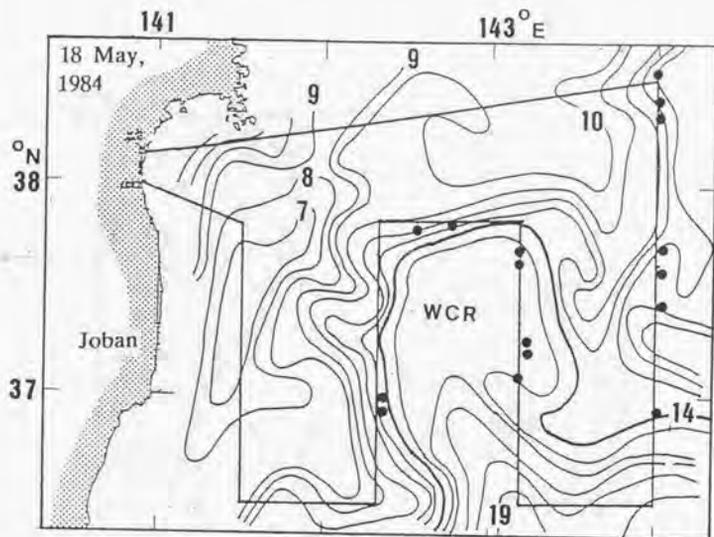


Fig.4-2 Distribution of SST and locations of sardine schools (solid circles) in and around a warm-core ring.

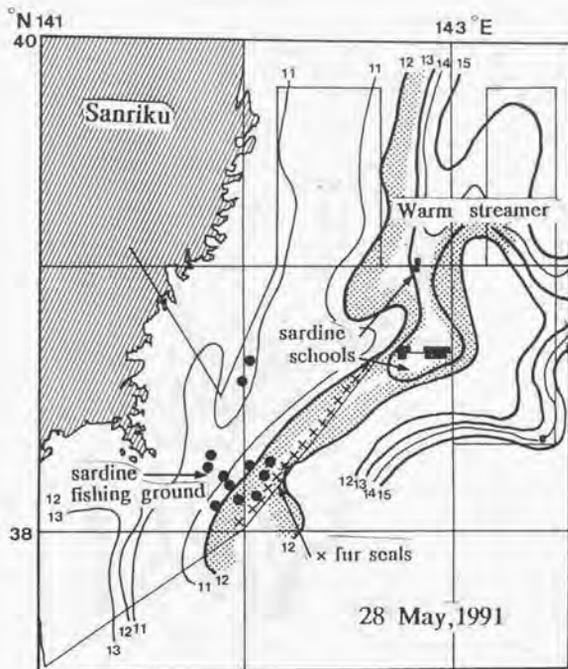


Fig.4-3 Locations of sardine schools(solid squares) and fur seals(crosses) in the warm streamer observed by aircraft and sardine fishing ground (solid circles) off Sanriku on 28 May,1991.

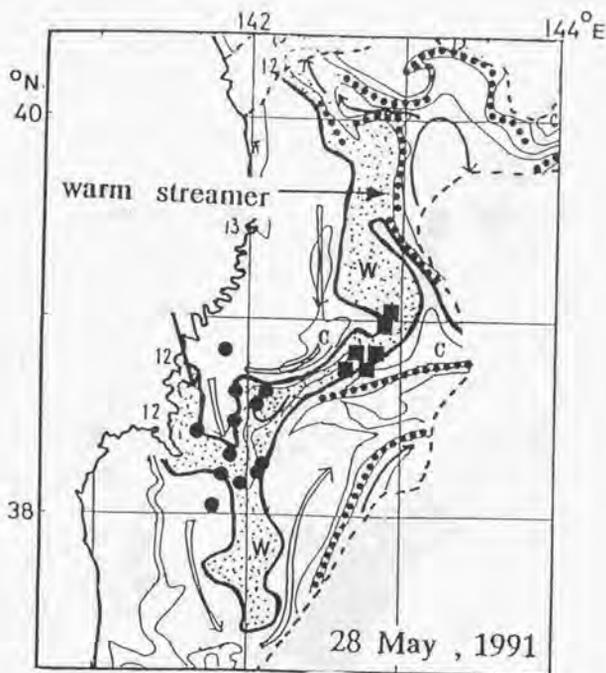


Fig.4-4 Distribution of the sea surface temperature observed by satellite, sardine schools observed by aircraft (solid circles) and sardine fishing grounds (solid circles) on 28 May,1991. The warm streamer area is shown by halftone. W and C indicate warm and cold water, respectively. Thick dotted lines indicate oceanic fronts. Open and closed arrows indicate cold and warm currents, respectively.

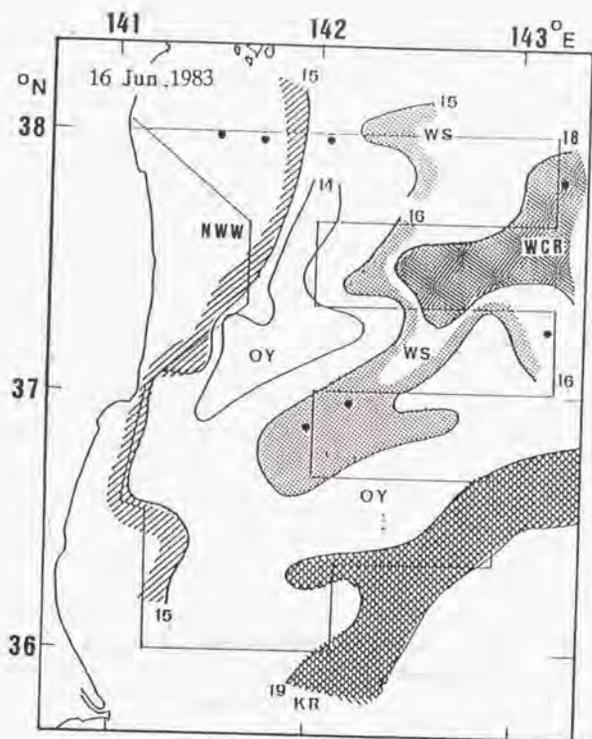


Fig.4-5 Distribution of SST on 16 June ,1983.
 WCR:warm core ring; WS:warm streamer;
 KR:Kuroshio; OY:Oyashio; NWW:nearshore
 warm water. Lines show the course of
 aircraft survey. Dots show locations of
 sardine schools .

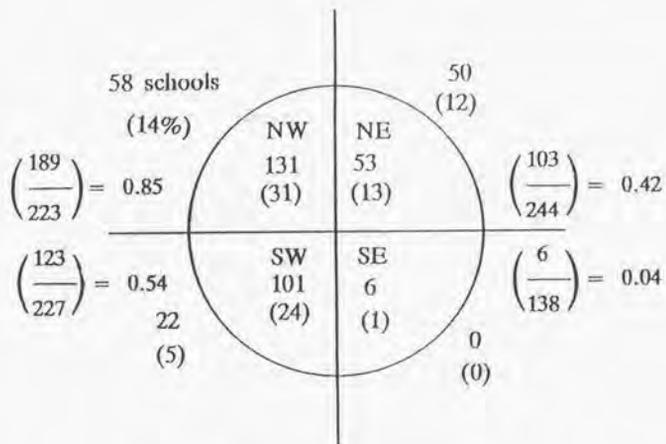


Fig.4-6 Relative frequency of sardine schools in and around a warm-core rings.

$$\left(\frac{\text{Number of schools}}{\text{Number of divisions}} \right) = \text{Ratio of appearance}$$

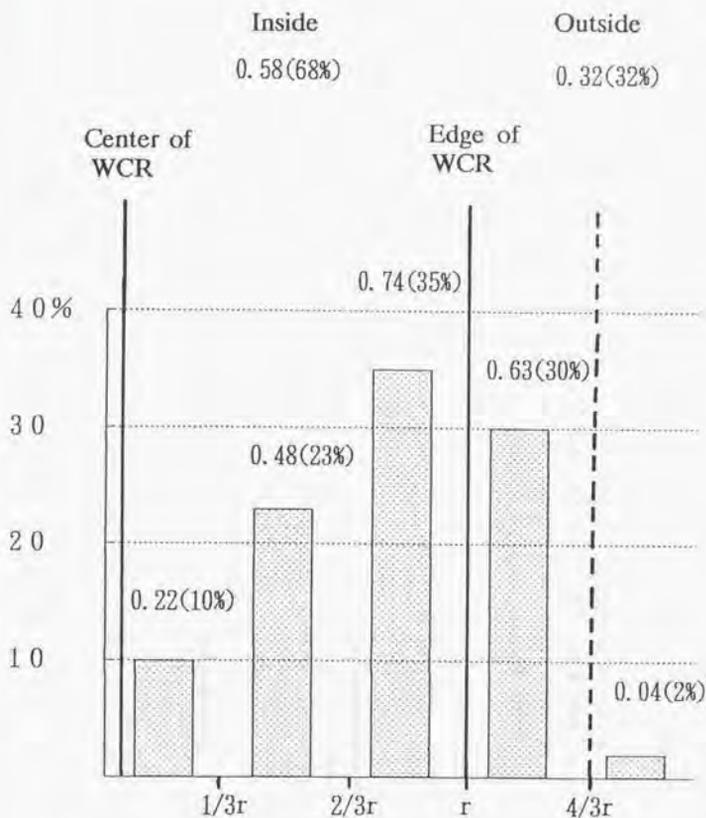


Fig.4-7 Relative density of sardine schools in and around a warm-core ring (April-June, 1982-1991).

$$\left(\frac{\text{Number of schools}}{\text{Number of divisions}} \right) = \text{Ratio of appearance}$$

45 schools (8)	2 (0)	3 (1)
	Front	
	Warm streamer	
265 (47) head	154 (27) middle	97 (17) root
$\left(\frac{310}{98}\right) = 3.16$	$\left(\frac{156}{123}\right) = 1.27$	$\left(\frac{100}{176}\right) = 0.57$

Fig.4-8 Ratio of the number of sardine schools observed by aircraft surveys in three parts of warm streamer during May - July, 1982-1991.

$$\left(\frac{\text{Number of schools}}{\text{Number of divisions}}\right) = \text{Ratio of appearance}$$

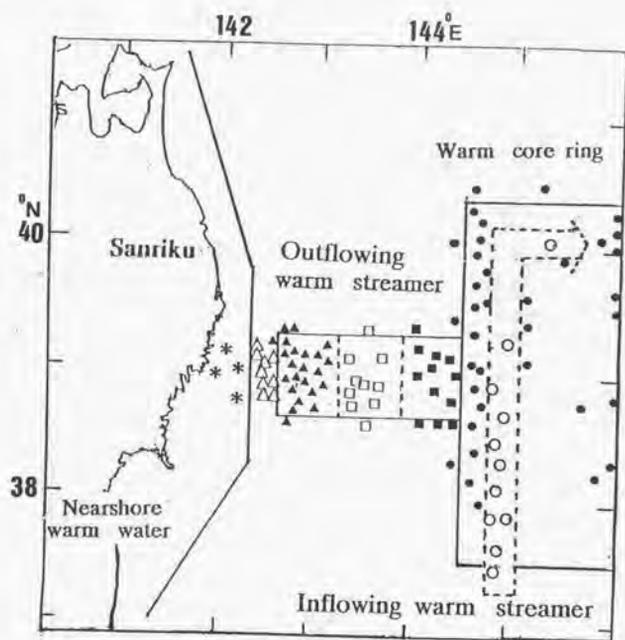


Fig.4-9 Number of sardine schools in and around the Sanriku WCRs during 1982-1991.

Inflowing warm streamer (IWS, ○)	: 247	} /687=0.97
Warm-core ring excepting IWS (●)	: 421	
Outflowing warm streamer (OWS, ▲□)	: 566	/384=1.47
Nearshore warm water (*)	: 240	/146=1.64
Others	: 64	/644=0.10

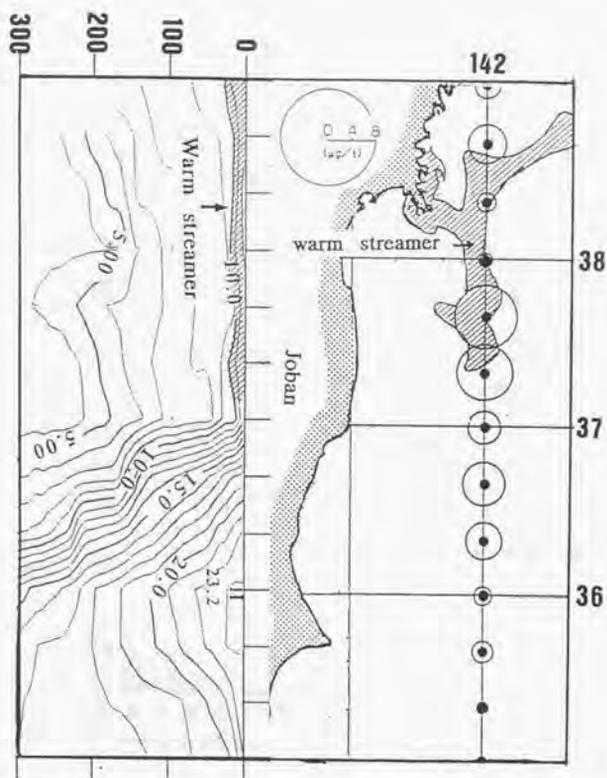


Fig.4-10 A north-south vertical section of water temperature(left) and distribution of chlorophyll-a density off Sanriku and Joban coast on 26 May,1991 observed by Tohoku-National Fisheries Research Institute. Shade area indicates warm streamer observed by satellite on 21-28 May, 1991.

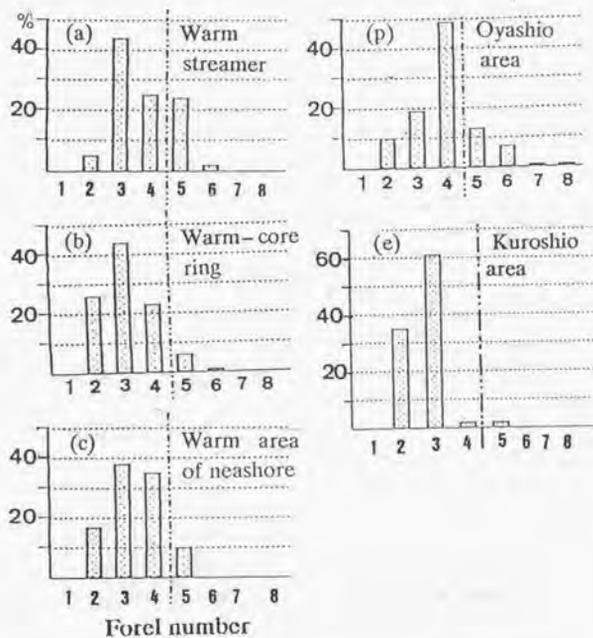


Fig.4-11 Frequency of Forel colour number observed by air-craft in May-June, 1989-1991.

Table 4-1 Date of air-craft research.

	JAFIC		JAMRC
1	18 May 1982	1	6 Jun. 1983
2	19 May	2	8 Jun.
3	6 Jun.	3	15 Jun.
4	27 May 1983	4	19 Jul.
5	24 Jul.	5	25 Jul.
6	18 May 1984	6	7 May 1984
7	22 Jun.	7	18 May
8	24 Jun.	8	27 May 1985
9	10 Jun. 1986	9	16 Jun.
10	6 May 1988	10	15 Jul.
11	6 Jun.	11	26 Jul. 1986
12	10 May 1989	12	22 Jun. 1989
13	13 Jun.	13	23 Jul. 1990
14	27 Jun.	14	19 Jul. 1991
15	11 Jul.		
16	4 Jun. 1990		
17	7 Jun.		
18	1 Jul.		FNPDPFC
19	2 Jul.	1	18 May 1982
20	22 Jul.	2	15 May 1983
21	24 May 199	3	1 Jun. 1985
22	28 May		
23	19 Jun.		
24	14 Jul.		

JAFIC :Japan Fisheries Information Service Center

JAMARC :Japan Marine Fisheries Resources
Development Center

FNPDPFC:Federation of North Pacific District
Purse Seine Fisheries Co-operative
Associations of Japan

Table 4-2 Detection rates of sardine schools by aircraft observation in each five nautical miles in the different water mass types.

type of	number of segment with sardine schools.	total number of segments.	ratio(%)
Oyashio area (OY)	25	385	6
Nearshore warm water(NWW)	16	146	11
warm streamer (WS)	101	384	26
warm core ring (WCR)	39	687	6
Kuroshio water (KR)	3	259	1

第V章 暖水ストリーマの短期的な動態および調査船による動植物プランクトンと マイワシ群の3次元分布の観測

5-1. 序

宇田(1940)は、東北海域の餌持ちカツオ群の分布を調べ、「索餌回遊の魚道は、餌料の豊富な場所を連ねた帯の上に見い出される」と述べている。しかし、この報文には魚道としての帯状の水域は示されておらず、概念的な説明に終わっている。第IV章の結果から、ストリーマは沖合の魚群が沿岸へ来遊するための魚道になっている可能性が示された。一方、暖水ストリーマと漁場との関連については、西村(1987)が黒潮から熊野灘へ暖水ストリーマが伸び沿岸域でカツオ漁場が形成された例を示したことや、Sugimoto and Tameishi(1990)が日本周辺海域の暖水渦と暖水ストリーマの漁場形成機構を述べた例がある。

本章は、このような暖水ストリーマと魚群の移動および漁場形成の可能性について研究船による動植物プランクトンとマイワシ群の3次元分布の観測結果を加えて詳細に論じた。

5-2. 資料と方法

調査は、東京大学海洋研究所研究船「淡青丸」によって1992年5月5~18日に行った。観測線をFig. 5-1に示す。海洋構造の把握のために用いた測定機器は、CTDO (Neil Brown社製; 観測点17点)、XBT (観測点73点)、ADCP (Acoustic Doppler Current profiler; 吉野電気社製)、また、蛍光光度計(アレック社製、クロロテック、モデルACモ-100)により、クロロフィル-aの水平および鉛直分布を観測し、そのキャリブレーションのため、採水を行なった。動物プランクトン量の計測は、魚群探知機(吉野電気社製 FQ70)の周波数50kHzと200kHzを利用し、動物プランクトン密度とback scattering strength (SV値)との

間に相関関係がある(Cooney, 1989; Nash et al, 1989; Nero et al, 1990; Aoki and Inagaki, 1992) ことを使って、相対的な分布状況を調査した。さらに、刺網により、暖水ストリーマ内のマイワシを捕獲した。また、E線でのORIネット(GG54)斜め曳き(200mワイヤーアウト)を実施した。なお、短期的な変動の著しい暖水ストリーマを調査船で観測するに先立って、衛星画像と航空機による事前調査を実施した。すなわち、まず衛星画像(1992年4月29日、5月7日、5月11日、5月12日、5月13日)を解析し、さらに飛行調査を3回(1992年5月6日、5月7日、5月12日)実施した上で、調査船による観測線(Fig. 5-1)を決定した。

5-3. 観測結果

5-3-1. 三陸沖暖水ストリーマの動態

本調査の対象とした暖水ストリーマの変動の経過を、NOAA衛星画像にもとづきFig. 5-2に示した。ストリーマとは図の①~④の順に変化し、ストリーマの先端は金華山東北東沖から福島県舘戸沖まで達した。先端部は、発生初期の4月29日14時にA点、次いで5月7日03時にB点、5月12日04時にC点、5月13日03時にD点にあり、全体の平均移動速度は16cm/秒であった。この速さは、川合・斎藤(1987)が推定した三陸沖暖水渦内に巻き込まれる暖水ストリーマの速度72cm/秒の1/4以下であり、三陸沖暖水渦から派生し、津軽暖水渦に巻き込まれた暖水ストリーマの速度15cm/秒(為石1991)とほぼ同じであった。

5-3-2. 暖水ストリーマの流向・流速

暖水ストリーマの観測において、ADCPで測定した流向・流速分布と海面水温の衛星画像と対比させてから、Fig. 5-3-a, bに図示した。Fig. 5-3-aは衛星画像が5月7日、ADCPは5月8~9日のものである。ADCPの流向は暖水ストリーマの移動する方向と一致しており、先端部においては、流速1k1台の海域が多

く見られた。Fig. 5-3-bは衛星画像が5月12日、ADCPは5月12日～14日のもので、ADCPの流向は、暖水ストリーマの伸びている方向及び移動方向と一致している。Fig. 5-3-bの衛星画像から判断されるように、暖水ストリーマは南西方向に伸び、全体的に反時計回りの流況が見られた。ADCP観測による流向・流速も反時計回りではば一致しており、先端部では流れが速くなる傾向があった。

5-3-3. 暖水ストリーマ内の水温分布構造

Fig. 5-4-aは、1992年5月1～5日までの漁業情報サービスセンターで収集したデータによる表面水温分布図である。三陸沖暖水渦の西側から小規模の暖水ストリーマ(10℃の等温線)が伸び始めていることがわかる。Fig. 5-4-bは、5月6～10日の表面水温分布図である。暖水ストリーマの10℃台の等値線が急激に南西方向へ伸び、その先端部が金華山東方沖と南東沖の2カ所(5月7日分の衛星画像にて確認)に分かれている。Fig. 5-4-cは5月11～15日分の水温分布図であり、暖水ストリーマが最も長く伸びている状態である。Fig. 5-4-dは5月16～20日の水温分布図である。その先端部の位置はほとんど変化していないが、北側の親潮第1分枝に押され、暖水ストリーマの中間部が南偏している。一方、暖水ストリーマ内はFig. 5-4-cより1℃昇温し、11℃台の水温を示している。また、親潮第1分枝が強いため、暖水ストリーマの先端部はあまり西方へ伸びず、南偏していた。

Fig. 5-5-aは、この観測で得られたデータと漁業情報サービスセンターが収集したデータによって作成された5月1～15日の50m深水温分布図である。5℃以上の海域に暖水ストリーマの形状を認めることができる。Fig. 5-5-bは100m深の水温図であり、同様に5℃以上の海域に暖水ストリーマが認められる。Fig. 5-5-cに示した200m深の水温分布図では、金華山沖にこの暖水ストリーマの核になったと考えられる5℃台の小規模の暖水塊が認められた。

5-3-4. 航空機によりとらえられた暖水ストリーマとマイワシ群

5月12日に実施した航空機調査の結果をFig. 5-6に示す。これによれば、暖水ストリーマの先端部は常磐北部の約70km沖に達していた。その10℃台の暖水ストリーマの中にマイワシ群が9群、周辺部の潮境付近に9群、合計18群発見された。なお、暖水ストリーマの先端部の延長線上の沿岸には、沖合から来遊したと思われるマイワシ群が5群発見された。

5-3-5. 水温水平分布図とマイワシ群

Fig. 5-7-a, bは、淡青丸による調査で得られたデータと、JAFICで同時期に集めた表面水温データおよび衛星画像をもとにして描いた表面水温分布図から、5℃ごとの等温線を抽出したものである。航空機調査で暖水ストリーマ内にマイワシ群が合計18群確認されたが、上記の分布図に魚探反応のあったマイワシ群をプロットした結果でも、ほとんどの魚群は暖水ストリーマの中およびその周辺部に分布していた。

なお、マイワシ群による魚探反応であることを確認するための刺網によるマイワシ捕獲試験は、ST. 4x (Fig. 5-1, 暖水ストリーマの先端部暖水側)において実施した。採集されたマイワシ群の生物特性はTable 5-1の通りである。その他の海域については、魚探の反応記録、遊泳水深、反応域の水温や水塊パターンによって判断し、かつ長年魚探記録を見て漁獲している茨城県波崎市、千葉県銚子市の漁撈長にマイワシ群であることを確認をして頂いた。

5-3-6. 暖水ストリーマ内外の水温鉛直構造および動・植物プランクトン とマイワシ群の分布

(A~F線はFig. 5-1, 観測点はTable 5-3)

(1) A線 (暖水ストリーマの根元部)

A線 (ST. Tx8~ST. Tx13) の観測は、1992年5月8日に実施。Fi

g. 5-8に観測結果に基づきA線の水温鉛直断面と魚群探知機による動物プランクトン密度(SV値)の変化と表層クロロフィル-aの相対値の変化を示す。マイワシ群が発見されたのは、暖水ストリーマの底部の10℃付近で50~80mの深さに分布していた。この深さを含む50~90m層の動物プランクトン量の相対的値を測点間の平均値で示すと、魚群反応のあったST. Tx9~ST. Tx11間では10℃台の暖水ストリーマの部分で高く、この両側の冷水域であるST. Tx8~ST. Tx9とTx12. ~Tx13. でその値は低かった。魚群のいるところの動物プランクトン量は、冷水域の量の約2.5倍にもなる。しかし、暖水ストリーマ内表層のクロロフィル-aの量は、ストリーマ内で10℃台の黒潮系水が深くまで分布している関係もあって、相対的に少なかった。動物プランクトンがもっとも多い海域は、潮境を含むST. Tx11. ~Tx12. 間で相対値約50を示した。この海域で魚群が見られないのは、マイワシ群の生息には水温が低過ぎるためと推測される。なお、暖水ストリーマの深さは断面図から、最高水温域である10℃台以上の暖水で示される部分で水深70mで、5℃を含む水温躍層までを暖水ストリーマの水深とすると、ストリーマの深さは約200mである。

(2) B線(暖水ストリーマの中間部)

この断面も、ST. Tx14~ST. Tx17で5月8日にA線と同様の観測を実施した(Fig. 5-9)。マイワシ群は50m深付近に反応がみられ、その位置は10℃台の暖水ストリーマが50m深と浅くなり、A線同様10℃の底辺に分布していた。動物プランクトンの分布は、魚群のいた40~70m層で測点間の相対的な量を比較して見ると、魚群のいたST. Tx14~Tx15では相対値が約40を示し、多いことがわかった。しかし、フロントを含む海域ST. Tx16~Tx17は、相対値が約70と最高だったが、10℃の暖水はなく魚群も発見できなかった。一方、ST. Tx15~Tx16でも魚群が見られたが、動物プランクトン量は欠測で多寡は不明であった。魚群がみられた暖水ストリーマの海域では黒潮系水が厚く、表層のクロロフィル-a量

は、少なかった。

(3) C線 (暖水ストリーマの最先端部)

5月9日にST. Tx17~Tx20においても、同様の観測を実施した(Fig. 5-10)。マイワシ群はST. Tx19~Tx20の間で、深さ40~50mの5~8℃台の水溫躍層の暖水側に多く発見されている(スキミングソナーで確認しているため群の数は不明、魚探では2群が明確に判断された)が、群れの移動も速い模様で、5時間後にこの海域を再び探索した際には、この群れは全く見られなかった。また、魚探反応が見られた40~50m層での各測点間の動物プランクトンの相対的な量は、魚群のいたTx19~Tx20で相対値約10とやや多かったが、南偏する前の旧暖水ストリーマと潮境の形状が残っているST. Tx17~Tx18には及ばなかった。

一方、暖水ストリーマの先端部ST. Tx20のクロロフィル-aと水溫の鉛直分布をFig. 5-11に示す。これによると、8~9℃台の暖水が40m付近まで分布し、クロロフィル-aの量も表層から30m付近まで多い。また、ST. Tx20では、表層クロロフィル-aの量が、暖水ストリーマの中で最も多かった。なお、この海域は暖水ストリーマの最先端部分に相当し、最高水溫部10℃台の暖水もTx20においては、ごく表層に存在するのみで、断面図において5℃を含む水溫躍層で示される暖水ストリーマ部の水深も、100~200mとA・B線に比べその半分程度に浅くなっていた。

(4) D線 (暖水ストリーマの先端部)

D線ST. 1x~ST. 6xは、5月12日~13日に観測した(Fig. 5-12)。この断面図は暖水ストリーマの先端部の様相を最もよく捉えており、マイワシの漁獲にも成功した。暖水ストリーマ中の最高水溫に近い10℃台の厚さは、先端部のため30mくらいまで小さくなっている。マイワシ群は、この底辺暖水部25m付近で発見され、刺網により捕獲された。また、魚群のいた20~50m層の各測点間の動物プラン

クトンの量は、暖水ストリーマの内部が最も多かった。また、表層クロロフィル-aの量も、暖水ストリーマ部のST. 4x~5xで最も多く、10℃の暖水ストリーマ全域でも多く分布していた。捕獲されたマイワシの胃内容物は、東京大学海洋研究所漁業測定部門の東らの解析によると、カイアシ類 (Copepoda) がもっとも多く約6割、次にオキアミ類 (Euphausiacea) 約3割、植物プランクトンが1割である。5月7日に鹿島灘で捕獲されたマイワシの胃内容物のEuphausia 約9割と比べ、Copepodaが主体である。

(5) E線・F線 (暖水ストリーマの中間部、根元部)

E線はST. 6x~8x、F線はST. 15c~18xで、共に5月13~14日の観測である (Fig. 5-13)。表層の水溫変化と表層クロロフィル-aの変化を示している。これによると、図中高温部が暖水ストリーマに当たっており、右端がその南端に相当する。クロロフィル-aは、両断面とも暖水ストリーマの南側でその量が多くなっていた。また、Fig. 5-14はE線の動物プランクトン種の組成を表したものである。ST. 11CとST. 13Cは暖水ストリーマ内の組成であり、カイアシ類 (Copepoda) が約8割を占め優占種となっていた。

5-4. 考察

5-4-1. 暖水ストリーマ内のマイワシ群の分布

本章の目的は、暖水渦から派生する暖水ストリーマが魚群にどのような影響をしているのかを、海洋観測データを基に明確にすることにある。

従来、暖水ストリーマの観測は暖水渦に入り込む型の観測 (稲掛, 1991; Kawai and Saitoh 1986年) が多く、暖水渦から派生する流出型暖水ストリーマを対象とした海洋観測は皆無である。これは、このストリーマの時空間的不規則性と短期の変動が原因になっている。また、この流出型暖水ストリーマの実態や生物学的特性や魚群との関係に関してもほとんど知見がない。

1992年4月29日~5月14日の2週間の間存在した流出型暖水ストリーマは、

人工衛星画像・航空機調査・漁船漁場データ等で得られていた暖水ストリーマと魚群との関わりに関する過去の知見を、充分に実証するものであったと考えられる。すなわち、魚群探知機で発見されたマイワシ群の中で88%がこの流出型暖水ストリーマの中で発見されており、漁獲もされている。なお、5月12日には飛行調査も実施しストリーマの中にマイワシ群を18群発見している。これらのことから、暖水ストリーマはマイワシ群にとって重要な環境であり、その回遊に少なからず影響を与えている可能性が示された。

5-4-2. マイワシ群の分布と適水温

流出型暖水ストリーマの厚さは、6~9℃の水温躍層を底辺とすると、根元部で150m、先端部で50mと比較的厚い。しかし、最高水温帯10℃でみると、根元部で70m、中間部で50m、先端部で30m、最先端部で0~20mであった。マイワシ群が分布していたのは、この10℃台暖水の底辺部でこれより低い水温には、ほとんど分布していなかった。これらのことから、三陸沖暖水渦に分布するマイワシ群の主群が、暖水ストリーマを利用して沿岸域へ接岸して来るのは、暖水ストリーマの最高水温が10℃になったときと考えられる。このことは、吉田(1987)が述べた「北上初期にあたる5月に、表面水温10℃等温線の北上とともに5月中旬に道東に達し、漁獲尾数も10℃前後に多獲地点があった」ことと一致している。また、Inagake and Hirano(1984)は、7月の北上期道東海域のマイワシ魚群が、10~13℃の水温前線の暖水側に生息していると述べていることとも、共通している。

5-4-3. マイワシ群分布と流れ

魚群が沿岸へ回遊するために重要な条件の一つとして流れがある。流出型暖水ストリーマをADCPで観測したところ、ストリーマの張り出し伸びる方向と流向とが総観的にはほぼ一致していた。特にC線最先端部では、先端部のほぼ全域で1kt程度の流れがス

トリーマの伸びる方向(南南西方向)へ卓越していた。したがって、暖水渦から派生する暖水ストリーマの移動速度は、16 cm/秒、流速は1 ktでストリーマの伸びている方向と一致していることから、これに乗った魚群は暖水ストリーマの伸びる方向すなわち沿岸回遊・北上回遊が容易になると考えられる。

5-4-4. マイワシ群分布と餌生物

暖水ストリーマの餌の条件に関して、表層のクロロフィル-aは根元部では少なく、先端部に行くに従い多くなっている。特に先端部では、暖水ストリーマの海域で多く、最先端部で最も多くなっている。魚探の結果によると動物プランクトンも浅い層で多く、深い層で少なくなっている(Fig. 5-15)。この最先端部のマイワシ群は、餌の条件が良く滞留し捕食するのに好条件下にある。

動物プランクトンの相対的な量も、暖水ストリーマ内の10℃の暖水が分布する海域に多い(Fig. 5-16)。暖水ストリーマ内はこの水温が分布しているので、動物プランクトンの相対的な量も暖水ストリーマ以外の冷水域より多く、カイアシ類(Copepoda)が優占種になっていた。

暖水ストリーマ内で漁獲されたマイワシは、魚体において沿岸の鹿島灘海域で漁獲されたものに比べ肥満度は小さく、生殖腺も鹿島灘海域のものに比べ未発達のものが多い(Fig. 5-17)。これは、暖水ストリーマ内のマイワシ群が依然、索餌北上過程にあることを意味している。したがって、沿岸域に比べ沖合域では餌の捕食状態が悪く、このことが餌の豊富な沿岸域や北方水域へ、暖水ストリーマを利用して索餌回遊する動機になっていると考えられる。また、1992年の場合鹿島灘では、3月中旬～6月下旬にかけて、オキアミ漁が行われている(東北水研 1992)。このように、群集団を形成するツノナシオキアミ(オキアミ類Euphausiacea)は、カイアシ類(Copepoda)に比べるとマイワシにとっても、捕食対象となり易いと考えられる。

これらのことから、Table 5-2及びFig. 5-18に示す通り、暖水ストリー

一マは魚群が餌の豊富な沿岸域や北方水域へ索餌回遊するための、「流れ」・「水温」

・「餌」の3条件を備えた「魚道」と言えそうである。

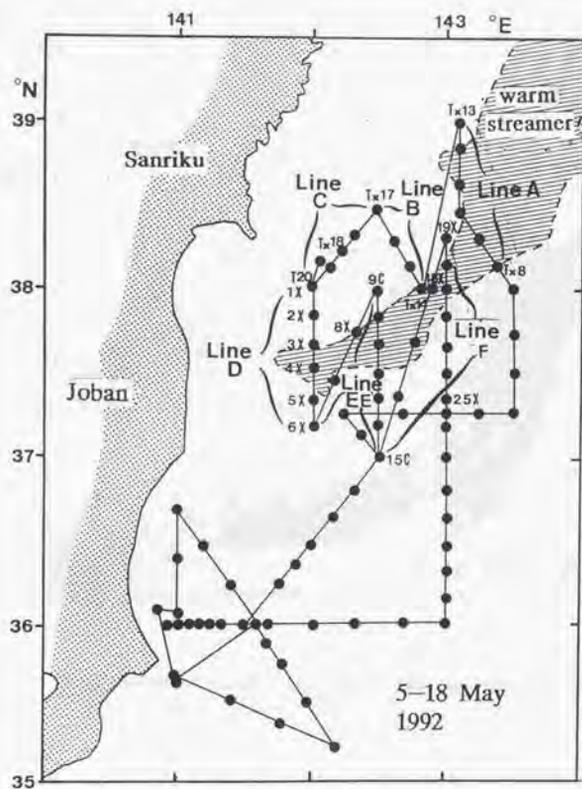


Fig.5-1 Track lines and stations by RV Tansei Maru in May, 1992.
The warm streamer area off Sanriku is indicated by broken line .

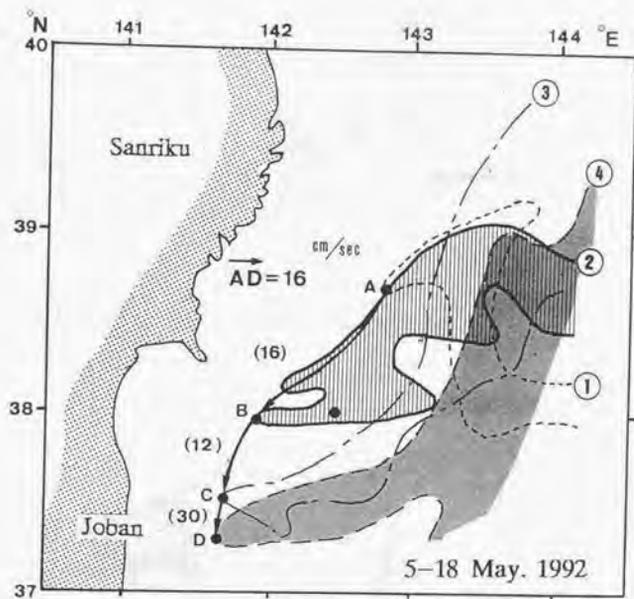


Fig.5-2 Movement of warm streamer and its velocity off Sanriku in April and May, 1992.

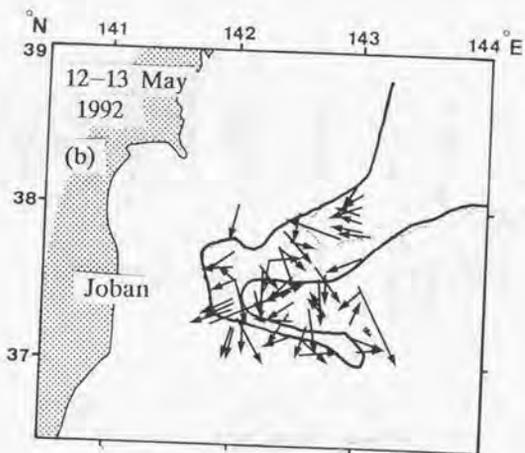
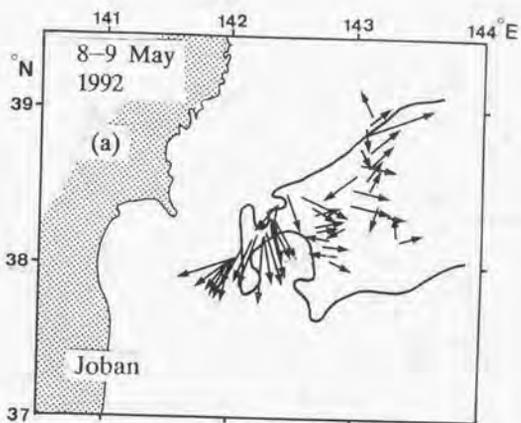


Fig.5-3 Current direction and velocity observed with ADCP in the warm streamer off Sanriku in May, 1992.

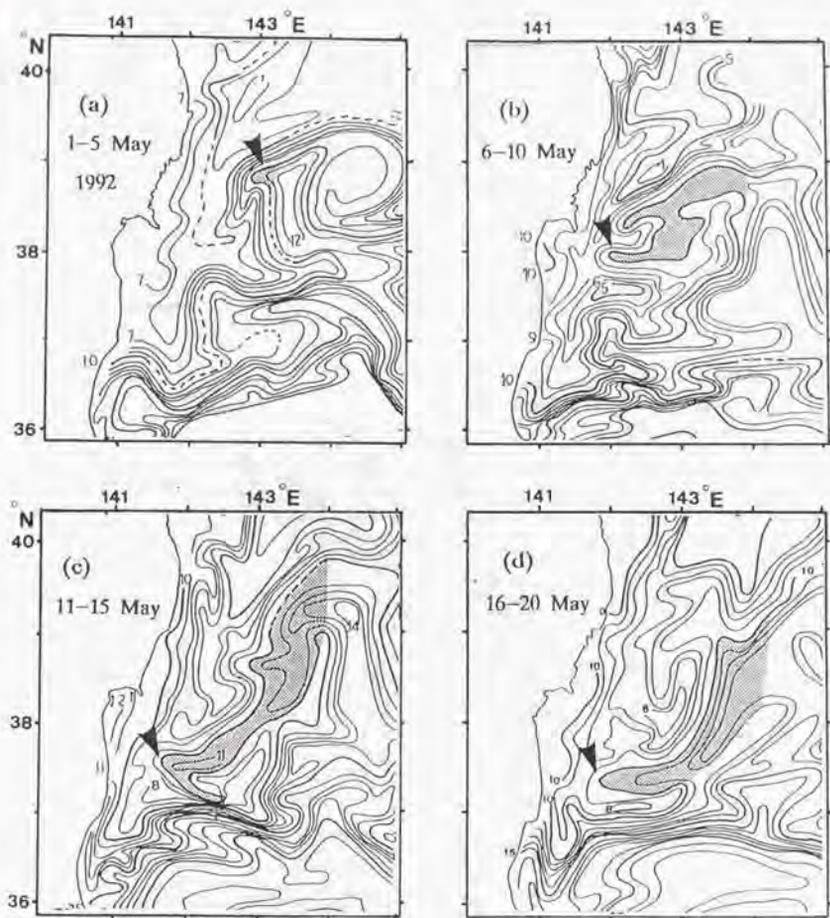


Fig.5-4 Time change of warm streamer during 1-20 May, 1992 estimated from SST. Arrows indicate heads of the warm streamer.

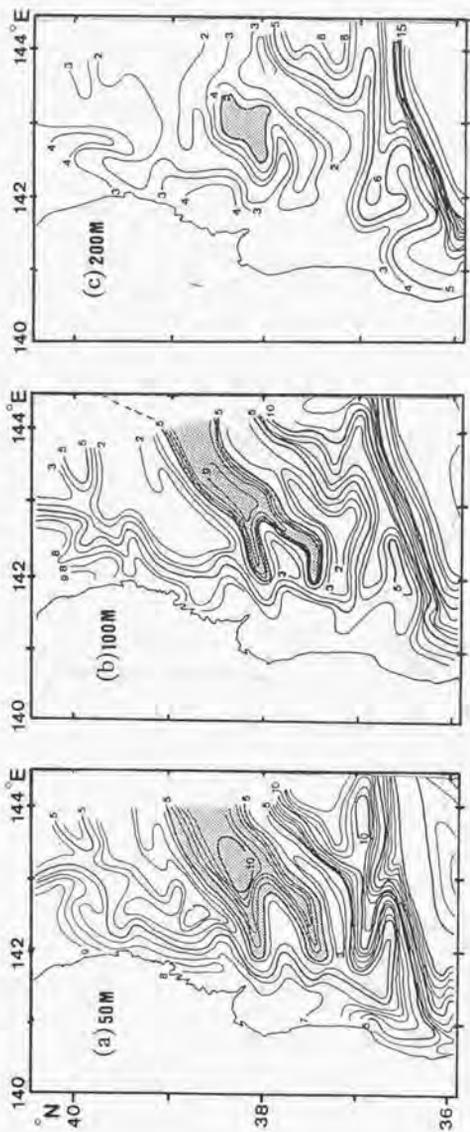


Fig.5-5 Distributions of water temperature at the depth of 50m, 100m, 200m during 1-15 in May, 1992.

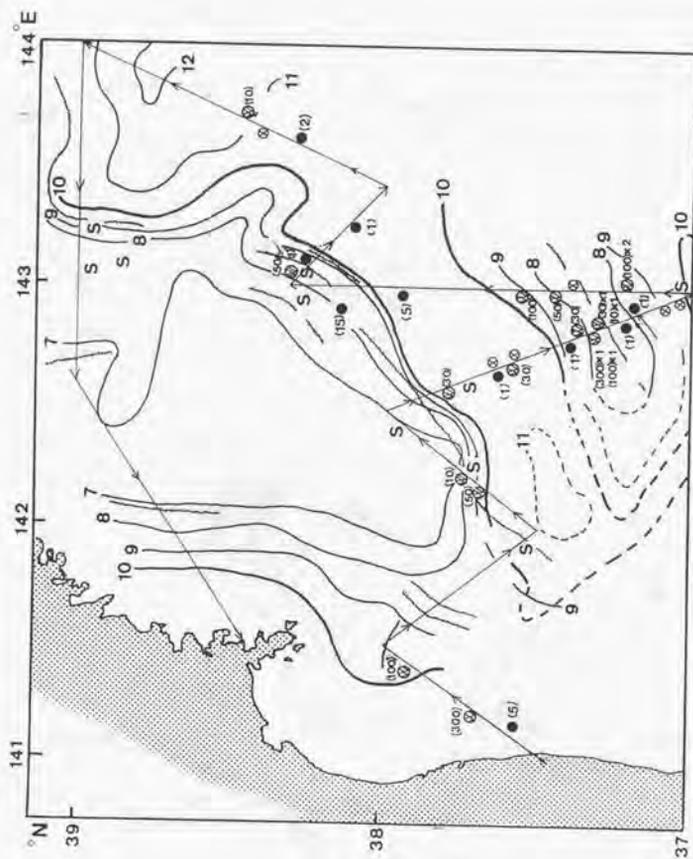


Fig.5-6 Result of aircraft research an offshore area of Sanriku on 12 May,1992. Solid circle marks indicate sardine schools.

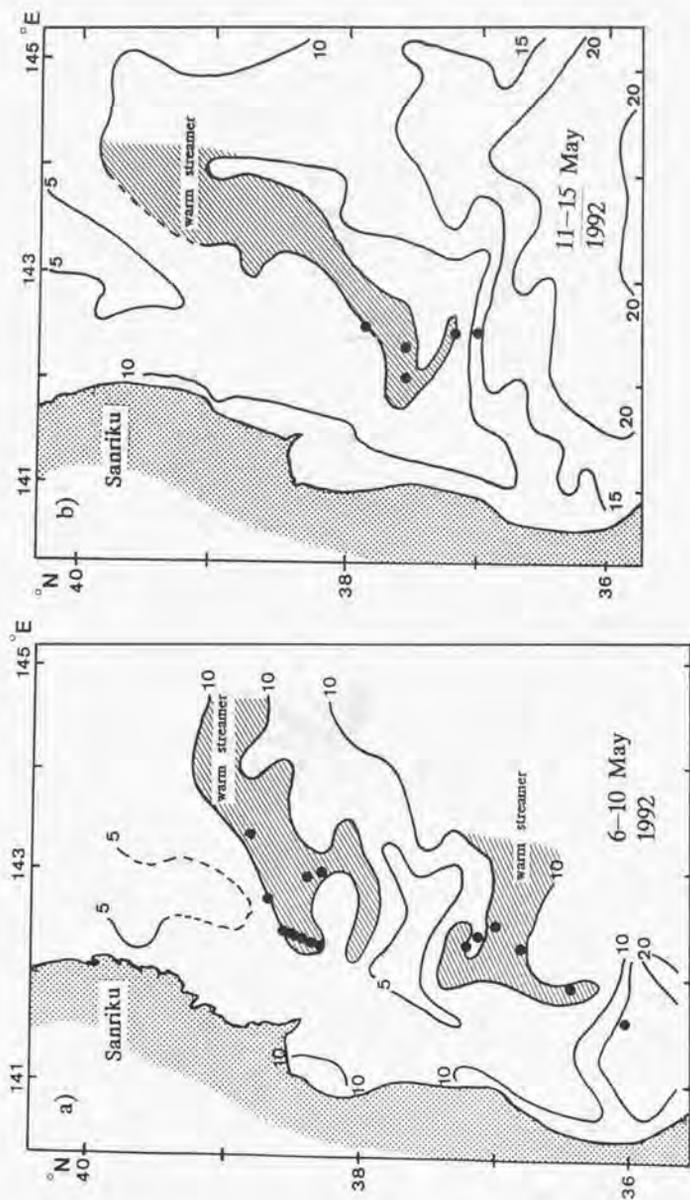


Fig.5-7 Relationship between locations of sardine and warm streamer in May, 1992.

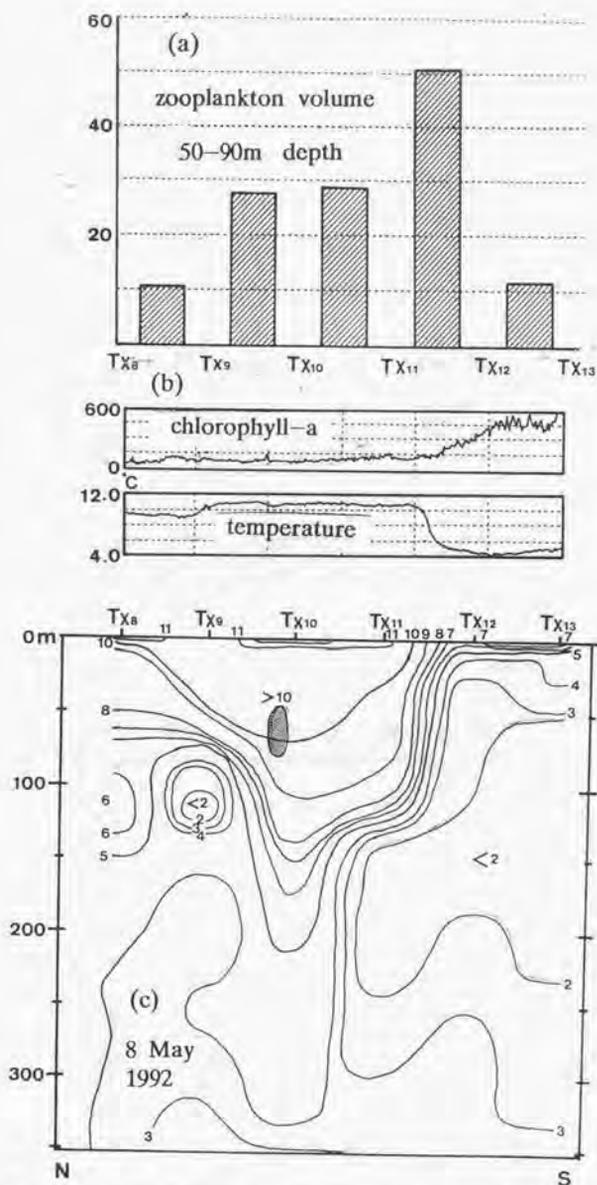


Fig.5-8 Observational results of line A on 8 May, 1992.

(a) Variation of zooplankton volume.

(b) Variation of chlorophyll-a and temperature at sea surface.

(c) Temperature section with location of sardine schools
(shaded).

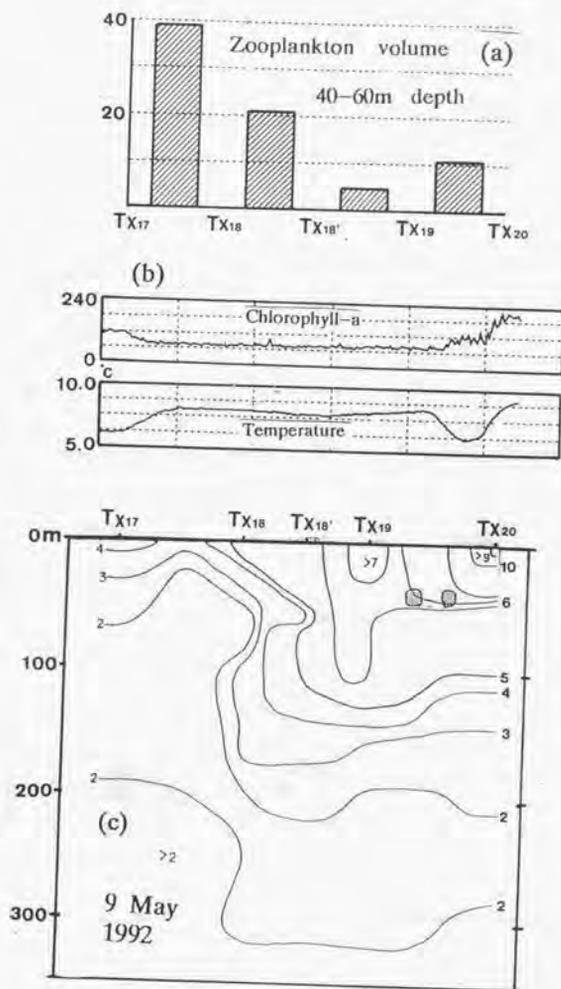


Fig.5-10 Same as Fig.5-8, except line C observed on 9 May, 1992.

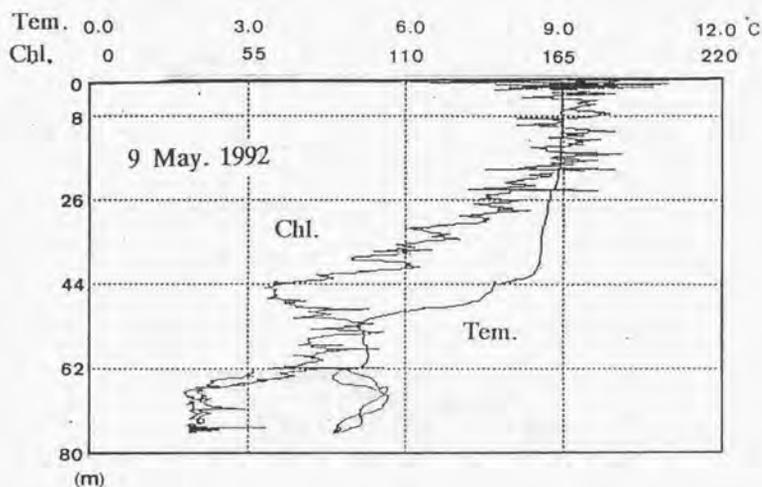


Fig.5-11 Profiles of chlorophyll-a and temperature observed on 9 May, 1992.

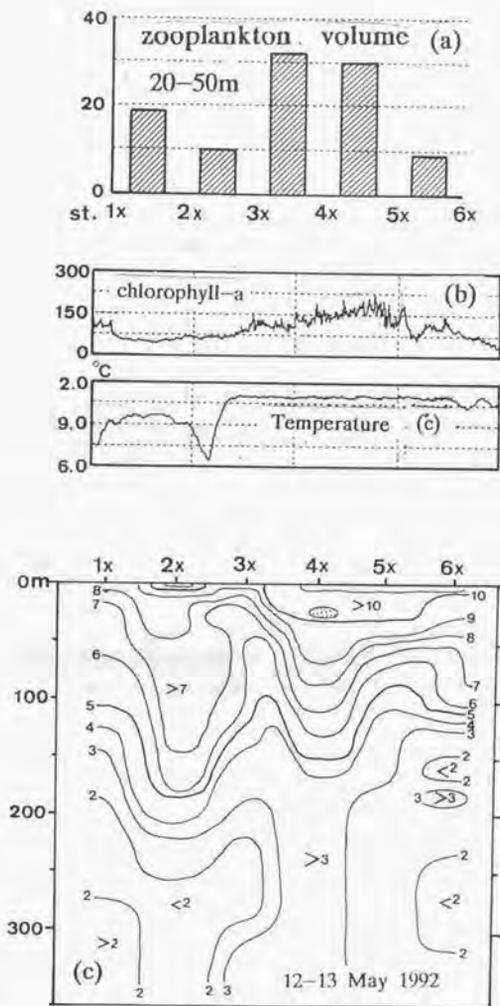


Fig.5-12 Same as Fig.5-8, except line D observed along 14200E on 12-13 May, 1992.

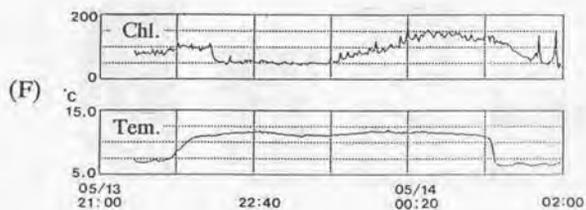
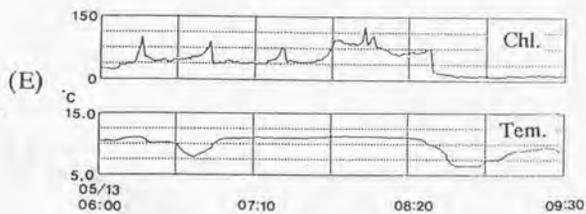


Fig.5-13 Horizontal distributions of surface chlorophyll-a density and water temperature on lines E and F in May, 1992.

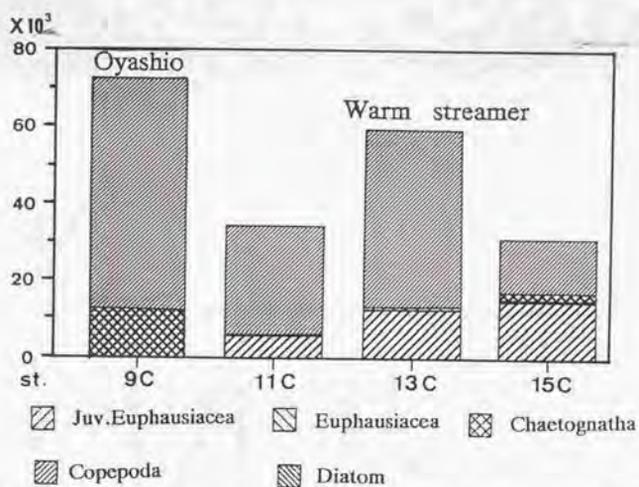


Fig.5-14 Species composition of zooplankton in the upper 50m on line E'.

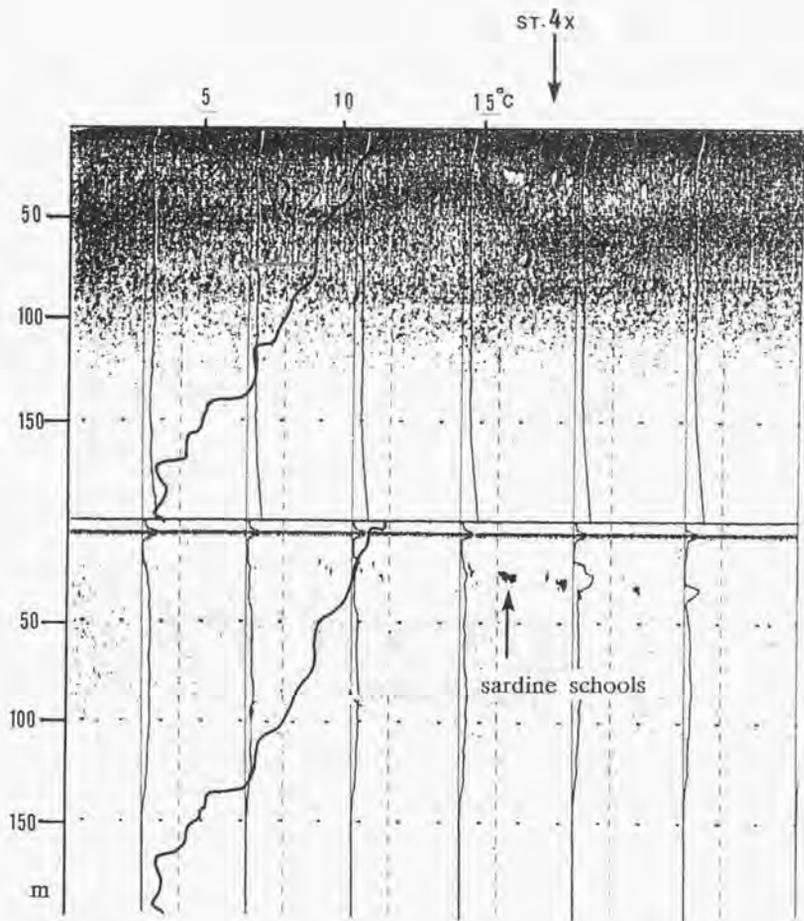


Fig.5-15 Daytime echograms at 200kHz (upper) and 50 kHz (lower) — and temperature profiles (thick lines on the both 200kHz and 50 kHz echograms) at Station 4x in the warm streamer ; 12 May , 1992. Thick vertical wave in the 200kHz echogram indicate vertical distribution of Sv at 0.2 nautical-mile intervals and black points indicate sardine schools.

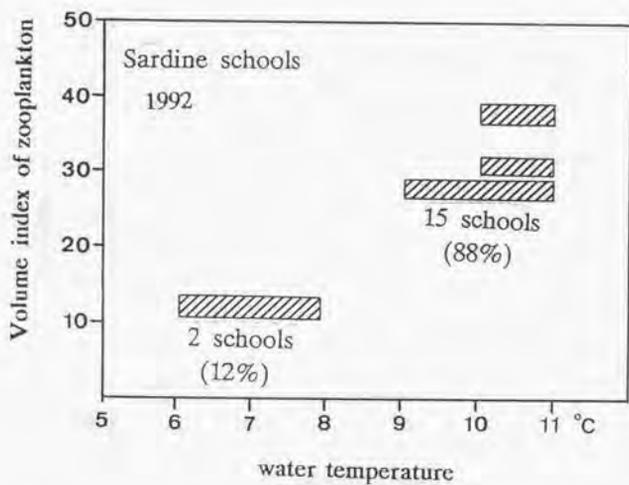


Fig.5-16 Relationship between water temperature and volume index of zooplankton in the warm streamer.

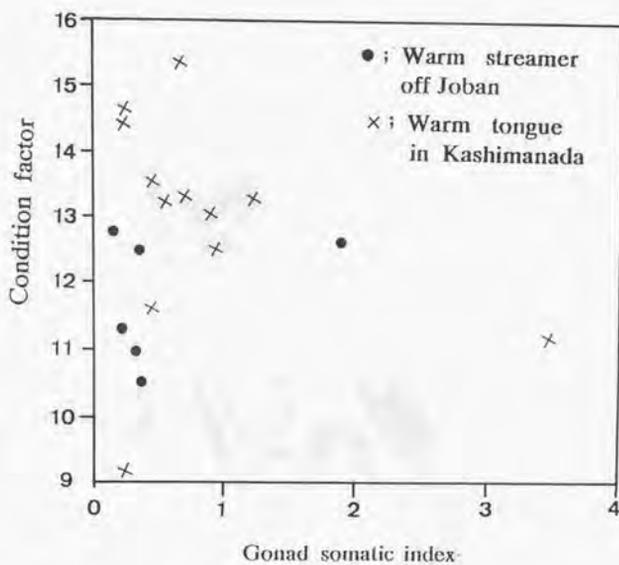


Fig.5-17 Relation between condition factor and gonad somatic index of sardine caught in two water masses.

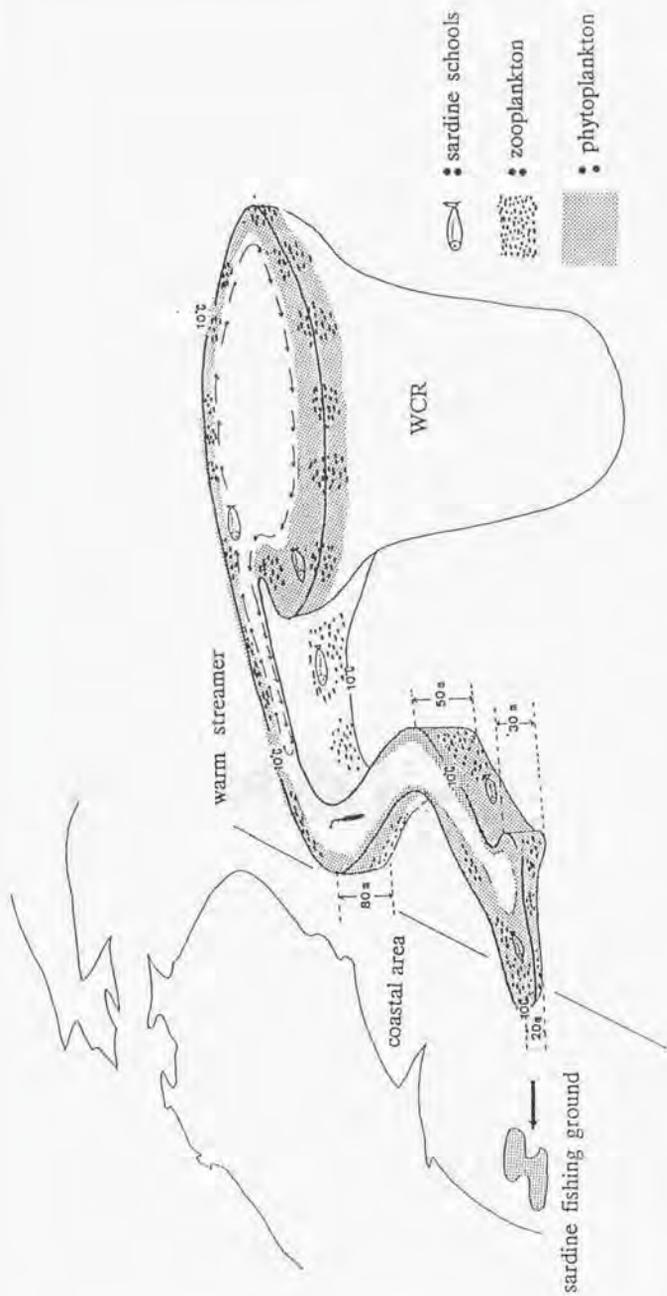


Fig.5-18 Schematic view of warm streamer with migrating sardine schools from warm-core ring to coastal area.

Table 5-1 Comparison of sardine's biological factors between the warm streamer and the nearshore water (by Azuma and Aoki).

area	warm streamer						nearshore water					
	date	03h03m	03h45m	May 13,	1992		19h29m	23h13m	May 5,	1992		
location	37°33' 141°07'E						36°04' 140°51'E					
biological characteristic	length (cm)	weight (g)	egg wt. (g)	sex	Gonad S. index	condition factor	length (cm)	weight (g)	egg wt. (g)	sex	Gonad S. index	condition factor
1	19.5	78.4	0.28	m	0.36	10.57	19.4	95.7	0.87	m	0.91	13.11
2	20.6	96.2	0.30	m	0.31	11.00	20.7	103.0	0.42	f	0.41	11.61
3	21.0	116.1	0.39	m	0.34	12.54	19.6	101.9	0.46	f	0.45	13.53
4	19.4	92.2	1.75	f	1.90	12.63	21.7	114.3	3.97	f	3.47	11.19
5	20.0	102.3	0.15	f	0.15	12.79	20.8	82.7	0.17	m	0.21	9.19
6	20.4	96.7	0.20	m	0.21	11.39	19.8	113.7	0.27	m	0.24	14.65
7							20.5	114.5	0.55	m	0.57	13.29
8							19.1	107.6	0.71	m	0.66	15.44
9							19.8	114.4	0.25	m	0.22	14.74
10							17.8	70.7	0.69	m	0.98	12.54
11							19.4	95.5	0.22	m	0.23	13.08
12							17.0	64.8	0.47	m	0.73	13.19
13							20.5	114.8	1.41	f	1.23	13.33

Table 5-2 Characteristics of warm streamer off Sanriku.

	①root(Line A)	②middle(Line B)	③head(Line D)	④pointed end(Line C)
detected group number	1	2	12	2
date	May 8, 1992 15h38m	May 9, 1992 10h15m-11h28m	May 13, 1992	May 9, 1992 15h38m
location of sardine	38°28'N-143°07'E	38°05'~20'N-142°48'~40'E	37°38'N-141°07'E	38°20'N-142°20'E
detected depth	50~80m	30~50m	20~30m	30~50m
water temp.	9~10°C	10°C~11°C	10°C	6'~7°C
max. index of zooplankton	10~50m	-76	-64	-70
	50~100m	-67	-63	-80
distribution	northern part	southern part	whole area	warm area of pointed end
max. index of chlorophyll-a	150	150	225	230
depth of warm streamer	10°C 5°C	70m 200m	30m 150m	0~20m 100m
width of warm streamer	60 nautical miles	30 nautical miles	20 nautical miles	10 nautical miles
current velocity	0.5~1.0 knot	0~0.5 knot	1.0~2.0 knot	1.0~2.0 knot
water temp. in warm streamer	0m 50m 100m	10°C 10°C 9°C	11°C 9°C 7°C	10°C 5°C 5°C
depth of thermocline in warm streamer	200m	5°C	3°C	2°C
	150m (7'~9°C)	150m (6'~9°C)	100m (6'~9°C)	50m (6'~8°C)

Table 5-3 Station of observing points around the warm streamer.

Sta.	Date	Latitude	Longitude
Line A			
Tx8	8 May	38° -10' N	143° -21' E
Tx9	8 May	38 -20	143 -14
Tx10	8 May	38 -30	143 -07
Tx11	8 May	38 -40	143 -08
Tx12	8 May	38 -50	143 -08
Tx13	8 May	39 -00	143 -08
Line B			
Tx14	9 May	38 -00	142 -50
Tx15	9 May	38 -07	142 -47
Tx16	9 May	38 -14	142 -44
Tx17	9 May	38 -20	142 -40
Line C			
Tx17	9 May	38 -30	142 -30
Tx18	9 May	38 -20	142 -20
Tx18'	9 May	38 -15	142 -15
Tx19	9 May	38 -10	142 -11
Tx20	9 May	38 -00	142 -00

Line D			
1x	12 May	38° -00'	142° -00'
2x	12 May	37 -50	142 -00
3x	12 May	37 -40	142 -00
4x	12 May	37 -33	142 -00
5x	13 May	37 -20	142 -00
6x	13 May	37 -10	142 -00
Line E			
6x	13 May	37 -10	142 -00
7x	13 May	37 -28	142 -10
8x	13 May	37 -46	142 -20
Line F			
15c	13 May	37 -00	142 -30
16x	13 May	37 -20	142 -37
17x	13 May	37 -40	142 -45
18x	14 May	38 -00	142 -53
19x	14 May	38 -20	143 -00

第VI章 総括

本研究では、暖水渦から派生した暖水ストリーマが、マイワシ等の浮魚類の漁場形成に果たす役割について検討し、マイワシ群の沖合における北上や沖合から沿岸への移動過程で、暖水ストリーマがいわゆる「魚道」として重要な働きをしていることを明らかにした。具体的には、NOAA衛星画像をもとに暖水ストリーマの地理的分布および季節変動を、また調査船によりその立体構造と餌条件としての低次生産環境を明らかにした。さらに、マイワシまき網漁獲資料や航空機観測資料から推定した三陸沿岸漁場の時空間分布、沖合のマイワシ群の分布などを総合的に比較検討することにより、暖水ストリーマがマイワシ魚群の北上・接岸に果たす役割を解明した。

6-1. 暖水ストリーマの地理的分布および季節変動

日本周辺海域における暖水ストリーマの地理的・季節的な出現状況を統計的に整理した結果、以下のことが分かった。(1) 日本周辺海域における暖水ストリーマの発生頻度の高い所は暖流および暖水渦の前線波動と関連している。また、暖水渦に関連した暖水ストリーマには、暖水渦内に入り込む型(流入型)と暖水渦から派生する(流出型)の2通りがある。(2) 流出型暖水ストリーマの派生回数は、暖水渦の北西側でもっとも多く全体の47%、次に北東部の41%(合計88%)であり、流出方向は北北西～北方向が多い。一方、流入型は南西方向からの流入回数をもっとも多く59%、次に南東で30%(合計89%)であった。(3) 植物プランクトンのブルーミング期や魚群の北上期にあたる春季(4~6月)に発生頻度が高い(5月最高54%: 月別暖水ストリーマ総個数/月別画像処理回数×100)。

6-2. 流出型暖水ストリーマの鉛直構造と動植物プランクトンの分布

(1) 寿命・流れ・移動

流出型暖水ストリーマは、1992年4～5月の観測では、約2週間の寿命を持ち、先端部が伸びる速度は15 cm/sec程度であった。ストリーマ内の流れは、ストリーマが伸びる方向とほぼ一致し、その先端部は1kt台の速い流れが観測された。

(2) 水温の鉛直構造とマイワシ群の分布

暖水ストリーマの幅は、根元部で100 km、中間部で50 km、最先端部で20 kmと先に行くほど細い。暖水ストリーマ底部の水温躍層の深さは、根元部で150 m (7～9℃)、中間部150 m (6～9℃)、先端付近50 m (6～8℃)であるが、魚群が集まっていた高水温上部混合層内の10℃層の深さは、根元部で70 m、中間部で50 m、先端付近で20 mと先端に行くに従い徐々に浅くなっていた。マイワシ群のほとんどは、暖水ストリーマ内に分布し、とくに10℃付近の深さに多く見られた。

(3) 低次生産環境

クロロフィル-aの表層での濃度は、根元部ではストリーマの南側あるいは北側の潮境域で多く、ストリーマの内側中央では少なかった。しかし、先端部ではストリーマ域全体(中央部も含む)で多く、冷水域(暖水ストリーマでない部分)で少なかった。魚群探知機で計量した動物プランクトンの分布量は、根元部ではマイワシ群のいた暖水ストリーマ内の深さ50～90 m層で多く、ストリーマ外の冷水域では少なかった。先端部ではマイワシ群のいた暖水ストリーマ内の20～50 m付近で動物プランクトンの量も多く、ストリーマ外の冷水側で少なかった。

これらのことから、マイワシ群は暖水ストリーマの10℃台暖水域を利用して移動しており、またストリーマの餌条件も周辺の冷水域に比べても良好と判断された。

6-3. 暖水ストリーマがマイワシの北上・接岸に果たす役割

例年、三陸沿岸にマイワシ漁場が形成されるが、沖合にもマイワシ群が多く分布し、これが沿岸漁場に参加している可能性が高いことを航空機の調査から示した。海況との関連において最も魚群の発見率が高かったのは、暖水ストリーマ内(26%)であり、

以下沿岸域（11%）、暖水渦（6%）、親潮域（6%）、黒潮域（1%）の順であった。また、暖水渦の内外での分布についても、マイワシ群は暖水渦内の北西部に分布する頻度が最も高く（45%）、とくに暖水渦内外の潮境部に魚群の大半が集中していた。これは流出型暖水ストリーマの派生頻度が暖水渦の北西部でもっとも高い（47%）ことと一致しており、マイワシ群は暖水渦から流出型暖水ストリーマに移動しやすい状態にあり、沿岸への移動に暖水ストリーマを利用している可能性が高い。

次の様な理由でマイワシ主群は沖合を北上して、沿岸に来遊している可能性が強い。

①マイワシ漁場が形成されている位置と暖水ストリーマが接岸している位置との間に高い相関（ $r=0.85$ ）が見られる。②暖水ストリーマの発生時期と漁場形成の時期とが一致している場合が1987～1990年の5～6月の三陸沿岸漁場全体で77%に達している。③暖水ストリーマが接岸しつつあるとき、その先端部に漁場が形成され、漁獲量も急に増加する事例が多い。④同一暖水ストリーマ内で先端部にマイワシ漁場が形成され、根元部では航空機によりマイワシ群が発見されている。⑤暖水ストリーマの水温は三陸沿岸のマイワシ漁獲水温にほぼ一致している。

6-4. マイワシの北上回遊と水温および餌料プランクトンとの関係

北上期マイワシ群の分布指標水温は、三陸漁場の漁獲時の水温から10～11℃であることがわかった。調査船による水温鉛直断面においても、マイワシ群が分布していたところは、10℃の暖水ストリーマ域であった。一方、航空機による水色観測の結果、クロロフィル-aの多いフォーレル番号5以上の海域は、暖水ストリーマで調査海域全体の26%を占めており、他の暖水渦や親潮域等に比べその面積比率が大きい。海洋観測においても、暖水ストリーマは餌料条件がよく、特にその先端部の暖水ストリーマ内はクロロフィル-a濃度が高いことがわかった。マイワシ群は、暖水ストリーマでも10℃台の暖水の中に主に分布しており、魚群の発見された水深の動物プランクトン量は、暖水ストリーマ外側の冷水域より相対的に多かった。

これらのことから、暖水ストリーマは10℃台と周辺海域より高水温域であり、植物プランクトン・動物プランクトンともに多く、餌料条件をそなえた海域であることが明確となった。すなわち、暖水渦に分布するマイワシ群は、暖水渦の潮境部分に大半が集中していることから、暖水渦の潮境域に発生する前線波動の一部である流出型暖水ストリーマとともに移動回遊する可能性は高いと考えられる。マイワシ群は、沿岸域に到達するまで暖水ストリーマで生活し、その期間は10～15日程度であり、暖水ストリーマ内の動・植物プランクトンの分布状態からして餌を補給できる条件を備えていると推察される。

以上に述べた東北海域におけるマイワシ群の北上回遊経路を、Fig. 6-1に模式的に描いた。すなわち、黒潮水域で産卵を終えた(黒田, 1990)マイワシ群は、鹿島灘漁場や黒潮統流域に到達(本澤, 1990)する。その後、再び暖水ストリーマによって三陸・常磐暖水渦に入り込みながら北上し、沿岸へ伸びる暖水ストリーマの派生に伴いそのストリーマを利用して三陸沿岸漁場に来遊する。この沿岸海域では、産卵期を迎えるにはまだ摂餌状態が不十分な魚群が多く、沖合方向へ伸びる暖水ストリーマで再び沖合暖水渦に移動する。さらに北方へ伸びる暖水ストリーマを利用しながら北上し、良好な索餌水域で摂餌しながら産卵南下期を待つ。また、三陸北部沿岸域のマイワシ群は津軽暖流から派生する暖水ストリーマを利用して道東海域へ移動する。このように暖水ストリーマは、餌料条件を満たした沖合から沿岸への回遊経路(魚道)の役割を持っていると言える。

このことは、三陸沿岸域のマイワシ漁場の短期予測をする上に、暖水ストリーマの発見が必要条件であることを意味している。暖水ストリーマの発見は、暖水渦の存在が第1条件である。つぎに暖水渦から暖水ストリーマがいつどの部分から発生するかを明確にする必要があるが、その物理的機構はほとんど把握されていない。したがって、暖水ストリーマの存在を発見することが重要である。しかし、本論文でも第5章で述べたが、その規模・寿命・変動から船舶による発見はきわめて困難であり、人工衛星・航空機等

のリモートセンシングによる観測が、その広域性・反復性・同時性・迅速性やデータ量の多さから適している。さらに、生物要因としてマイワシの発育段階別の生活年周期から判断される平均的な北上期（三陸海域4～6月）を、考慮に入れながら暖水ストリーマを発見する必要がある。また、発見した暖水ストリーマの水温がこの北上期のマイワシ漁獲水温（8～15℃で特に10～11℃が重要）を示していることが、漁場予測のために重要である。発見された暖水ストリーマの接岸に伴い、その先端部に群が多くなる傾向にあるので、暖水ストリーマの延長線上の沿岸域が予測漁場と判断される。暖水渦から流出暖水ストリーマが派生する条件は、同じ暖水渦へ流入暖水ストリーマによる暖水渦容量の急激な増加が水槽実験により確かめられているが、将来的には理論海洋物理学や数値モデル等により解明され、コンピュータによる短期漁場が可能となろう。

6-5. 今後の研究課題

(1). 暖水ストリーマの魚道としての普遍性

本論文では、マイワシ群の資料から論じた。ここで指摘した暖水ストリーマの魚道としての機能が、東北海道を索餌場にもつ他の魚種にも認められるかどうか、検討する必要がある。

(2). 暖水ストリーマ先端部での魚群行動

マイワシ群は、三陸・常磐沖暖水渦から暖水ストリーマを經由して、沿岸索餌海域へ来遊する。この来遊過程の詳細、すなわち暖水ストリーマの先端部と沿岸暖水域との間の、マイワシ群の移動に関する物理・生物環境の微細構造の研究が今後さらに必要である。ここでは具体的に、中規模暖水ストリーマから小規模暖水ストリーマが派生し、それが沿岸域への来遊に大きく寄与していることを、可能性の一つとして提起したが、そうした微細海況と魚群行動との関係を解明する必要がある。

(3). 暖水渦・暖水ストリーマと資源変動

暖水ストリーマの発生が最も多い時期は4～6月で、春季のブルーミング現象と一致

し、プランクトンの生産を助長するものと推測される。このため、ストリーマを連行あるいは放出する暖水渦の存在は、基礎生産に大きく関係すると考えられる。また、浮魚類の索餌北上回遊にあたり、幼魚・成魚の成長に影響する可能性がある。木村(1973)は東北海域における大規模の暖水渦の発生に6年の周期があると述べているが、そうした長期変動機構の研究も重要である。

(4) 暖水ストリーマ等の微細海洋現象の調査体制への提言

流出型の暖水ストリーマに関する多分野からの研究は、漁場短期予測や資源変動のメカニズムを解明する上で、重要と考えられる。このためには、1992年4～5月の観測が、人工衛星・航空機・調査船を総合的に使用することにより、このストリーマを観測できた唯一のものである。これからの調査体制として、解明すべき海洋現象を絞る、人工衛星画像処理を行い発生の有無を予測する、航空機にてその存在や魚群の状態を調査する、海域的にも的を絞り物理・生物・化学の多方面の要素を同時に観測する。今後このような総合的な観測事例を増加していく必要がある。

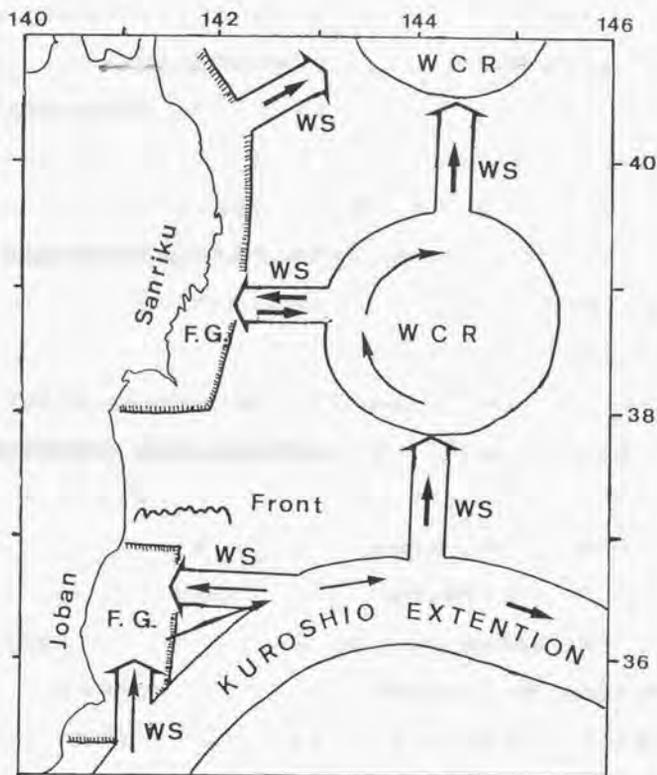


Fig.6-1 Schematic view of northward migration of sardine in the Tohoku area.
 F.G.:Fishing ground WS:Warm streamer
 WCR :Warm-core ring

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、ご指導と本論文の御校閲をいただいた東京大学海洋研究所教授杉本隆成博士に謹んで感謝の意を表します。同研究所助教授中田英昭博士、同助教授青木一郎博士、日本大学農獣医学部教授四之宮博博士、東北区水産研究所黒田一紀博士、元遠洋水産研究所海洋部長山中一郎博士には、論文の校閲または有益な御教示をいただきました。深く感謝申し上げます。また、本論文の作成にあたり、激励と有益な助言をいただいたトキワ松女子短期大学学長平野敏行博士、東京水産大学学長田中昌一博士、元水産大学校校長青山恒夫博士、東京水産大学名誉教授石野誠博士（故）、同大学教授大塚一志博士に心から感謝の意を表します。そして、本論文に取り掛かる時激励をいただいた東京水産大学教授竹内正一博士、同大助教授木原興平博士、西海区水産研究所企画連絡室長中村保昭博士、神奈川県水産試験場岩田静夫博士、同三谷勇博士、茨城水試久保治良博士、東北区水産研究所稲掛伝三博士、元全国漁業協同組合調査役山本康熙氏に御礼申し上げます。

本論文で使用した資料の大部分は、社団法人漁業情報サービスセンターが収集したものであり、いわゆる組織的な業務によって得られた資料を使用させていただいた。次の多数の関係の方々をここに記して深甚の御礼を申し上げる。種々間接的に御援助をいただいた社団法人漁業情報サービスセンター前会長理事斎藤達夫氏、会長理事岩崎寿男氏、元専務理事丹羽昭彦氏、後援助および激励をいただき、また漁海況の何たるかを教えていただいた専務理事高橋英雄氏、研究の先輩として適切な御教授をいただいた元参与中村悟氏、データ収集業務で後協力いただいた課長代理本田修氏、また論文の書き方について御教授いただいた東海大学講師岡田喜裕博士、長年に亘って図の清書をしていただいた主査高口俊之氏、納谷晶子女史、衛星データ入手で御協力いただいた浅沼貞三氏に

深く御礼申し上げます。

本論文の主要な観測であった東京大学海洋研究所「淡青丸」の上之清尚船長をはじめ乗組員方々、岸道夫博士、木村伸吾博士、永江英雄氏をはじめとする同大資源環境部門の方々、小松輝久博士、石田健一博士、稲垣正博士、博士課程学生東信行氏をはじめとする同大漁業測定部門の方々に深甚の謝意を表します。また、データのまとめ方を教えていただいた財団法人リモート・センシング技術センター本澤雅彦博士、コンピュータ利用の方法を教えていただいた東京大学海洋研究所学生古島靖夫氏、笠井亮秀氏、中井宗紀氏また日本大学農獣医学部学生楢村裕一氏に御礼申し上げます。

航空機観測において御協力・御助言をいただいた水産航空株式会社専務取締役高嶋静男氏（故）、相談役小川義司氏、代表取締役高橋久一氏、北部太平洋まきあみ組合常務理事高橋正三氏、特殊法人海洋水産資源開発センター調査課長高橋正憲博士、に深く御礼申し上げます。さらに本論文を作成するにあたり、種々の資料を提供および御助言を頂いたしていただいた北部太平洋まき網組合桜井均氏、宮城県水産試験場児玉純一氏に記して謝意を表します。

参考文献

- Aoki I. and T. Inagaki(1992):Acoustic of fish schools and scattering in a Kuroshio warm-core ring and its environs. Fisheries Oceanography, 11-2, 137-142.
- 浅野政宏(1984):標識放流あからみた東北海区のカツオの移動. 昭和59年度カツオ研究協議会会議報告, 15-20.
- Cooney R. T. (1989) Acoustic evidence for the vertical partitioning of biomass in the epipelagic zone of the Gulf of Alaska. Deep-Sea Res. 36:1177-1189.
- 漁業情報サービスセンター(1983, 1985):昭和57年度~59年度漁業情報利用システム開発事業報告書.
- 漁業情報サービスセンター(1987):衛星から海と漁場をみる. 漁業者のための衛星情報の見方使い方, 43頁.
- Hara I. (1987):Swimming speed of sardine school on the basis of aerial survey . Nippon Suisan Gakkaisi, 53, 223-227.
- 濱 健夫(1989):三陸沖暖水塊における有機物生産. 月刊海洋, 21(12) 723-728.
- 堀田秀之・福島信一・小達 繁・相沢幸雄(1961):東北海区に於ける魚群と海鳥群の観察. 東北水産研究所研究報告, 19, 49-71.
- 本澤雅彦・為石日出生・木原興平・大塚一志・石野誠(1988):衛星画像から識別した東北海域におけるウナギの挙動. J. Tokyo Univ. Fish, 75, 433-441.
- 本澤雅彦(1990):犬吠埼周辺海域のマイワシまき漁場環境に関する研究. 東京水産大学博士論文, 120頁.

- 稲掛伝三(1987):道東まき網漁場におけるマイワシの分布・移動と海洋構造
[水産海洋環境論] 杉本隆成他編, 恒星社厚生閣, 51~61.
- 稲掛伝三(1991):暖水塊周辺に認められるウォームストリーマの海洋構造.
月刊海洋科学, 123(8), 504-508.
- 伊東祐方(1961):日本近海におけるマイワシの漁業生物学的研究. 日水研報,
9, 1-225.
- 川合英夫・斎藤誠一(1987):ウォームストリーマについて. 月刊海洋科学,
19(5), 285-290.
- Kawai H. and S. Saitoh(1986):Secondary front, warm tongues and warm streamers
of the Kuroshio Extension system. Deep-Sea Res. 33:1487-1507.
- 川合英夫・佐々木 実(1962):カツオが黒潮前線を越えて北上回遊をする際の
促進的な水理条件について. 東北区水産研究所研究報告, 20, 1-27.
- 川合英夫(1972):黒潮と親潮の海況学. 海洋物理-II, 東海大学出版会, 2,
129-309.
- 笠原康平(1977):北太平洋におけるカツオの分布・回遊. 北大水産学部北洋水
産研究施設業績集, 特別号, 383-396.
- 川崎健・永沼璋(1959):日本近海のカツオ釣り漁業における漁況の変動につい
て第3報. 東北水研研究報告, 13, 79-94.
- 海洋水産資源開発センター(1985~1989):昭和58年度~昭和62年度
まき網(さば)新漁場開発調査報告書(北太平洋西部海域).
- 本村喜之助(1973):超大型暖水塊の発生が漁獲サンマの体長組成に及ぼす影響.
第22回(昭和47年)サンマ研究討論会議事録, 94-95.
- 近藤恵一(1988):浮魚資源動向の把握—マイワシ資源の長期変動と海洋条件と
の関係を素材として—21世紀の漁業と水産海洋研究(水産海洋研究会編).
恒星社厚生閣, 178-184.

- 黒田隆哉 (1962) : 東北海区における潮目の出現状況. 東北水産研究報告, 22, 45-115.
- 黒田隆哉 (1987) : 本州東方海域における暖水塊の出現と移動. 月刊海洋科学, 19 (5), 265-274.
- 黒田一紀 (1991) : マイワシの初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究. 中央水産研究所研究報告, 3, 25-278.
- 久保治良 (1982) : 鹿島灘の海況-II 暖水舌について. 茨城県水産試験場試験研究報告, 24, 5.
- Lauris R. M., P. C. Fiedler, and D. R. Montgomery (1984): Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. *Deep-Sea Res.*, 31-9, 1085-1099.
- 森永健司 (1991) : 道東海域における漁海況短期変動に係わる暖水ストリーマの研究. 東京大学博士論文, 49頁.
- 森永健司・杉本隆成 (1992) : 道東陸棚海域に見られる約18日間周期の水温変動とその原因. *水産海洋学会誌*, 56 (3), 255-262.
- 長澤和也 (1984) : 道東海域におけるマイワシの漁業生物学的研究. *北水試月報*, 41 (8), 337-349.
- Nash, R. D. M., Magnuson, J. J., Stanton, T. K., and Clay, c. s. (1989): Distribution of peaks of 70khz acoustic scattering in relation to depth and temperature during day and night at the edge of the Gulf Stream-Echo Front 83. *Deep-Sea Res.* 36:587-596.
- Nero, R. W., Magunason, j. j., Brandt, Stanton, T. K., and Jeck, J. M. (1990): Finescale biological patchiness of 70khz acoustic scattering at the edge of the Gulf Stream-Echo front 85. *Deep-Sea Res.* 37:999-1016.

- 二平章(1992):黒潮前線におけるカツオ漁場の形成機構に関する考察. 茨城県水産試験場研究報告, 30, 1-10.
- 西村昭史(1987):熱赤外画像から見た熊野灘の海況変動. 月刊海洋科学, 19(8), 434-440.
- 荻島 隆(1988):道東海域における暖水の立体構造(東北・道東海域における暖水漁場の短期予報技術に関する研究). 研究成果209, 農林水産技術会議事務局, 8~30.
- 小川嘉彦(1981):日本海南西沿岸域の海況特性とその漁業生物学的意義. 山口外海水試研報, 16, 1-96.
- 岡田鋭一, 為石日出生(1983):衛星情報利用システムより得られた知見. 航水研ノート・空と海, 6, 13-30.
- Sugimoto I. and H. Tameishi (1992): Warm-core rings, streamers and their role on the fishing ground around Japan. Deep-sea Res., 39, s183-s201.
- Sugimoto T., Y. Kawasaki and J. Li(1992): A description of the time-dependent hydrographic structure of the warm streamer around the Kuroshio warm-core ring 86B. Deep-Sea Res. 39 :s77-s96.
- 鄭 利栄・杉本隆成(1988):房総~三陸沖合におけるマイワシ魚群の季節的南北移動に及ぼす中規模海洋構造の影響. 黒潮の陸岸境界域の漁海況短期変動予測研究成果報告書, 102-107.
- 田名部政春・鶴川正雄(1958):青森県の海況と漁況について. 水産庁対馬暖流開発調査報告書, 第1号(海況・漁況編), 16, 427-454.
- 為石日出生・深畑晋作・横尾貴昭・吉田尚史(1988):漁業情報システム実験で用いられた画像処理法. 航水研ノート, 空と海, 6, 31-42.
- 為石日出生(1985):漁業情報としての赤外リモートセンシング. 月刊海洋科学, 17(8), 453-463.

- 為石日出生(1985):人工衛星を利用した魚群の探索. 計測と制御, 24(3),
208-218.
- 為石日出生(1985):赤外画像からみた渦動の生成・成長と漁場. 航水研ノート
・空と海, 8, 1-13.
- 為石日出生・岡田喜裕(1987):衛星画像による釧路沖暖水塊について. 航水研
ノート・空と海, 9, 47-64.
- 為石日出生(1991):衛星の登場と新しい漁場形成. 日本リモートセンシング学
会誌, 11-2, 126-136.
- Tameishih H. and T. Sugimoto(1993):Warm streamer extended from warm-core
ring (WCRs)and their role on fish migration and fishing ground
formation. Proceeding of PORSEC, PP255-260.
- 為石日出生・杉本隆成(1993):暖水ストリーマと漁場形成. 月刊海洋,
25(2), 105-111.
- 東北区水産研究所(1992):オキアミ資源研究会議報告. NO1, 130頁.
- 宇田道隆(1940a):魚群集散の原理について. 植物及動物, 8(8),
1379-1386.
- 宇田道隆(1940b):魚群集散の原理について. 植物及動物, 8(9),
1523-1532.
- 宇田道隆(1960):海洋漁場学. 水産学全集, 16, 恒屋社厚生閣, 347.
- 吉田英雄(1987):春期三陸~道東海域におけるマイワシの分布. 北水試月報,
44(4), 81-90.
- Yasuda I. and M. Hirai(1992):Evolution of a Kuroshio warm core ring
variability of the hydrographic structure. Deep-Sea Res., 39, s131-s161.

