

東北海域におけるマイワシの北上回遊と接岸に果たす 暖水渦と暖水ストリーマの役割

—— 航空機調査から ——

為 石 日出生・杉 本 隆 成

Aircraft surveys of warm streamer as a fish way of Japanese sardine (*Sardinops melanosticta*) in northward migration and coastal approach

Hideo TAMEISHI* and Takasige SUGIMOTO**

Abstract

To clarify northward migration route of sardine schools off Sanriku, aircraft surveys were performed during May-June in 1982-91. Most of the sardine schools were found in the warm streamers inflowing into and outflowing from warm-core rings (WCRs) and the northwestern part of the WCR and the coastal warm water area.

We also found that the warm streamer had the much water of more than Forel color number "5", which had chlorophyll-*a* of phytoplankton and the number of ratio was 26% in all water mass.

On the other hand, we found that the sardine schools of the number of 421 distributed in the edge of WCR eddy and that the highest ratio 45% of sardine shoals distributed at the northwest area of WCRs. We discovered sardine shoals, which were moving from WCRs to the nearshore warm area of Sanriku along the warm streamers.

These results suggest that the warm streamer with 10~13°C temperature might be the way of migration (fishway) with abundant prey for sardine.

1. はじめに

海面水温の人工衛星熱赤外画像を利用することにより、暖冷水渦やストリーマ等の海洋上層の諸現象の微細な構造が把握されるようになり、これらと漁場形成の関係が論議できるようになった(為石, 1991)。Hirai (1985)と斎藤(1983)は、冷水ストリーマ(フィラメント)がサンマの南下回遊の経路となっていること、為石(1985)や Sugimoto and Tameishi (1992)は日本周辺海域の暖水渦と漁場(カツオ、マサバ、スルメイカ、アカイカ、マアジ)との関係について記述してい

る。また、西村(1987)は本州南岸域の黒潮水域で中規模の前線渦に巻き込まれた北上期のカツオ群が、その渦に乗って沿岸に近づき、好漁場を形成したことを報告している。Fig. 1-aに示すような暖水渦に流入する暖水ストリーマに関しては、川合・佐々木(1962)が、カツオの北上回遊群が黒潮統流から混合域へ侵入するさい、表層の暖水舌がその侵入路となることを指摘している。しかし、暖水渦からその外側へと派生する暖水ストリーマ(Fig. 1-b)と漁場との関係に関する論文はほとんど皆無である。

このような、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、このような微細な水温環境と魚群との関連を示した調査・研究はそれほど多くはない。例えば、Hara (1987)は道東陸棚海域のマイワシ魚群を観

1993年12月24日受理

* Japan Fisheries Information Service Center, 2-9-7 Ikenohata, Taito-ku, Tokyo 110, Japan.

** Ocean Research Institute, University of Tokyo, 1-15-1 Minamidai, Nakano-ku, Tokyo 164, Japan.

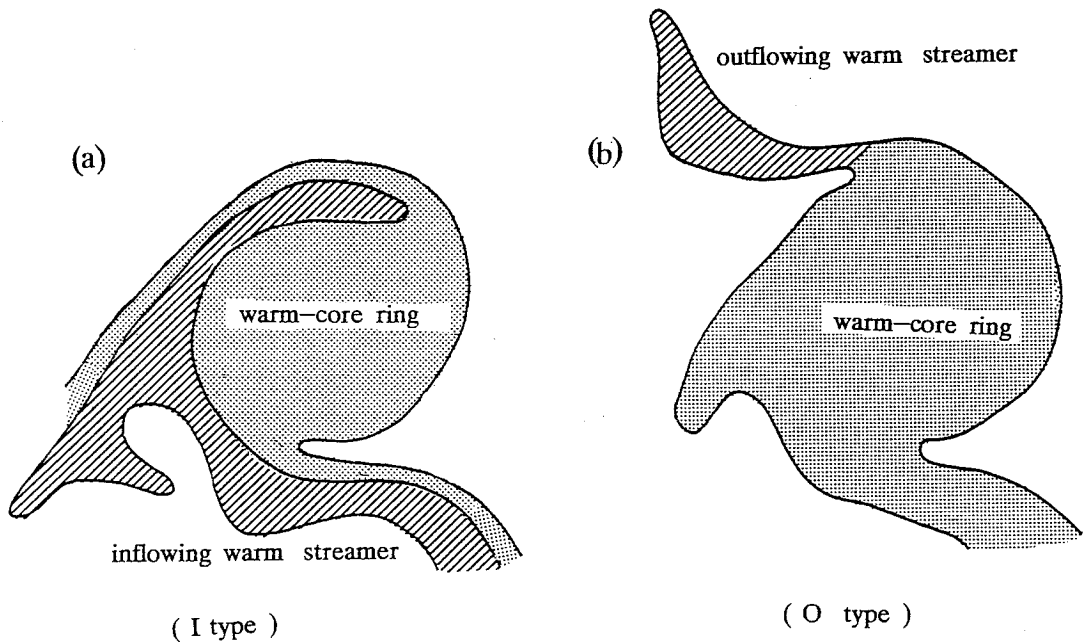


Fig. 1. Schematic figures showing warm streamers inflowing into a warm-core ring (I type) and outflowing from the front of the warm-core ring (O type).

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、堀田ほか(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。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。これらの研究は、目で見た海の実態と魚群との関連に関して述べられているものの、センサにより客観的に水温を観測し、魚群をとりまく微細水温環境との関係に関する論文は皆無である。

そこで本論文では、マイワシ群が5~6月の北上期に沖合の暖水渦に分布し、またそれから派生する暖水ストリーマに乗って親潮冷水を横切り、沿岸へ接近したり、北上回遊することを実証するものである。とくに三陸沿岸に形成される初漁期のマイワシ漁場を予測するために、来遊経路としての暖水ストリーマの役割を明らかにする。このため、漁場の形成されていない海域の環境要因とマイワシ群と環境要因を同時かつ広範囲に把握するために航空機による調査を実施した。

2. 資料と方法

資料には、漁業情報サービスセンターが集め解析した1987~91年の5年間の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。漁海況飛行調査は、1982~91年の5~7月の10年間に合計23回行った。その他、海洋水産資源開発センター¹⁾による飛行調査が1983~91年の5~7月に合計13回、北部太平洋まき網組合連合会の飛行調査が1983年の5月と1985年6月に各1回が行われ、総計38回の飛行調査結果を用いた。1982~91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. 2に示す。調査海域は、東北海域の35°00'~41°30'N, 140°00'~147°00'Eの広範囲にわたっている。マイワシ群が暖水渦の周辺潮境域に多く分布している例として、1984年5月18日の常磐沖合海域の結果を、Fig. 3に示す。さらに、クロロフィル-aの海洋観測データとして、東北区水産研究所調査船「わかたか丸」による1991年5月24~26日の海洋観測結果(東北区水産研究所提供資料)を用いた。

注) 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)。

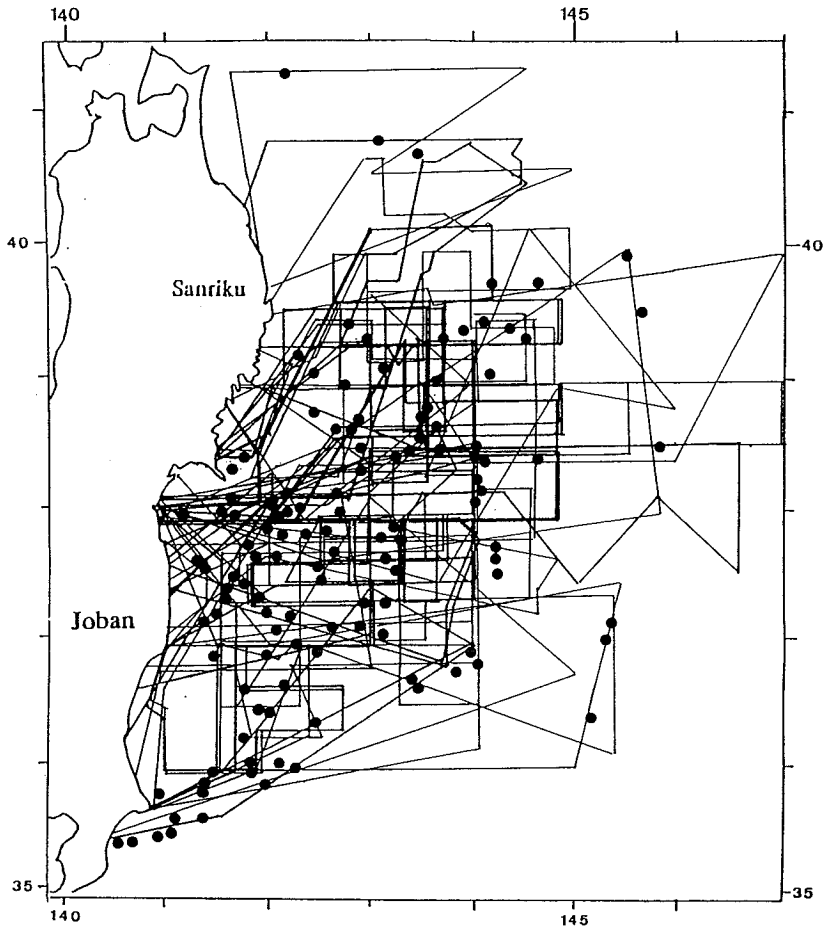


Fig. 2. Track lines of aircraft research and the positions where sardine schools (●) were discovered by aircraft research in May and June during 1982-1991.

上記の飛行調査では、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・親潮域を判断し、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によりそれを確認した。Fig. 4に、飛行調査の1例として1991年5月28日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、およびFig. 5に同日の衛星水温分布を示す。これらの水温分布から、水域を黒潮(KR: 航空機調査による水温分布図から判断し黒潮前線の南側)・暖水渦(WCR: 同分布図から判断して三陸・常磐海域で周辺域を円形の潮境で囲まれた相対的に水温の高い海域)・暖水ストリーマ(WO: 同分布図から判断し、暖水渦から派生したり、暖水渦の中に外側から流入した帯状の相対的に水温の高い海

域、Fig. 1を参照)・沿岸暖水域(NWW: 同分布図から判断した三陸・常磐海域の沿岸で相対的に水温の高い海域、常磐沿岸の暖水舌や津軽暖流域を言う)・親潮水域(OY: 同分布図から判断した北から南に伸びる相対的に水温の低い海域で、沿岸暖水域と暖水渦との間に分布するが多い)に区分し、それに発見したマイワシ群の位置をプロットした(Fig. 6, 1983年6月16日)。これらの資料を基に、魚群がどのような水塊構造に多く分布しているかを判断するため下記に定義する魚群発見率を計算した。

航空機から魚群を見逃すことのない海面を「1」とすると、この範囲は左右せいぜい500mまでの範囲であり、750mでは0.8程度におちる。1,000mでその確率は急激に落ちるが、3,600mまでは発見可能な範囲で

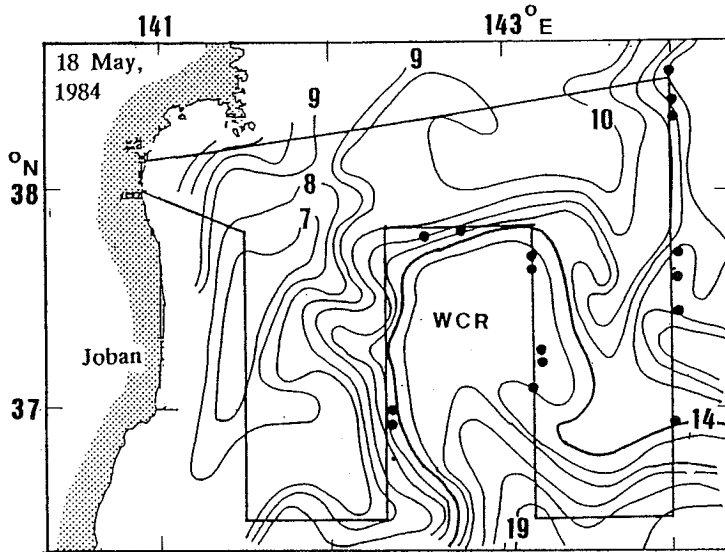


Fig. 3. SST and sardine schools (●) in and around a warm-core ring.

ある（水産航空高橋久一氏）。このことは、堀田ほか（1961）が、魚種まで判定可能な範囲はせいぜい400～600 m程度であるという記述とほぼ一致している。このため本論文では、500 mを判定可能とした。

航空機の航路に沿って5海里ごとに区画し、5海里区画を水塊ごとに区分した後、水塊ごとにマイワシ群の発見された5海里区画の数を、水塊ごとの5海里区画総数で割った値の100分率を発見率とした。例えば、暖水ストリーマと区分した5海里区画の総数は、384区画であり、そのうちマイワシ群を発見した区画は、101区画であった。したがって、発見率は101区画/384区画×100%＝26%となる。

ただし、1区画とは、500 m上空から魚種判定が可能な範囲が左右合せてせいぜい500 m程度であることから、 $0.5 \text{ km} \times 5 \text{ 海里} \times 1.852 \text{ km/海里} = 4.6 \text{ km}^2$ の面積の範囲を示すことになる。

発見率に影響する要因として、気象条件がある。その中で、① 風により海面が荒れると発見率が低下し、発見限界は碎波が生じる風速8 m/秒である。② 発見率は「もや」がかかると低下し、霧・雨天においては0となる。また、③ 太陽の高度や方向も影響し、逆光の場合発見率は0となる。すなわち、低高度で進行方向左側より太陽光を受けた場合、左半分の発見率は0となる。したがって太陽光が極力高高度の時間帯で実施するか、太陽光を前後から受けるようコースを設定

する必要がある。さらに、④ マイワシの群の大・小や遊泳水深も発見率に関係し、三陸海域において発見可能な水深は20 m以浅である。一方、⑤ 搭乗調査員（水産航空高橋取締役）の熟練度も関係する。したがって、精密さを保つには①～⑤を考慮した好条件の下で調査をする必要がある。本調査では、調査員が熟練の同一の人物であり、調査期間は5～6月のマイワシの北上期で、時刻も10～14時頃に限定し、晴天日で風の弱い時のみ実施したことから、発見率の変動は小さいとみなされる。

IRT（熱赤外放射温度計）による水温測定精度は、0.5℃程度であるが本論文で暖水渦・暖水ストリーマ等の海洋特性の判断に重点を置くので、その精度は1℃以内であれば充分である。暖水ストリーマは、先端部、中間部、根元部の3海域に細分し、餌料プランクトンの分布との関係を調べた。同様に、暖水渦内の分布を調べるため、渦を北西部、北東部、南西部、南東部の4海域に分け、マイワシ群数を調べた。水色にはフォーレルの水色計を用いた。その結果を、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 黒潮水域毎にまとめて、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以上の出現割合を検討した。

3. 結果および考察

3-1. 水塊別および暖水渦内外の魚群出現頻度分布

飛行調査の一例として示した1991年5月28日調査図 (Fig. 4) には、暖水ストリーマの中にマイワシ群が15群発見され、Fig. 5からは、金華山まで延びる12°C台のストリーマの先端部にマイワシ漁場が形成されていることがわかる。

マイワシ群と暖水ストリーマとの関係を定量的に表すため、飛行調査によるマイワシ魚群の発見率を水塊別に Table 1 に示す。Fig. 2 に示したように、マイワシ群は調査海域のほぼ全域にわたって広く分布しているが、水塊別の発見率を見ると、暖水渦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性が良いこと、② 暖水渦から沿岸暖水域へ到達するまで多くの群れがこれを利用すること、③ 水温や餌の条件が良く袋状であるため魚群の逃避行動を防いでいることによると考えられる。次に沿岸暖水域が11%と高く、回遊してきた群が適水温条件のみならず餌条件も良い沿岸域に滞留することが考えられ

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1982~91年の4~6月の北上期に暖水渦の内側および周辺に421群も発見されている (Fig. 7)。また同図は、暖水渦周辺で発見されたマイワシ群を、暖水渦中心から① 北西部、② 北東部、③ 南西部、④ 南東部、および表面水温での前線を境にその冷水側と暖水側に分布するものに分け、それぞれの分布割合を描いたものである。これによると、暖水渦での発見場所の割合および発見魚群数は、① 北西部がもっとも多く、潮境の暖水側が31% (131群) と冷水側が14% (58群) であり、合計45% (0.85群/区画) を占めていた。次に② 南西部で、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)、③ 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) を占めており、④ 南東部がもっとも少なく1% (0.04群/区画) で暖水側のみに分布していた。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

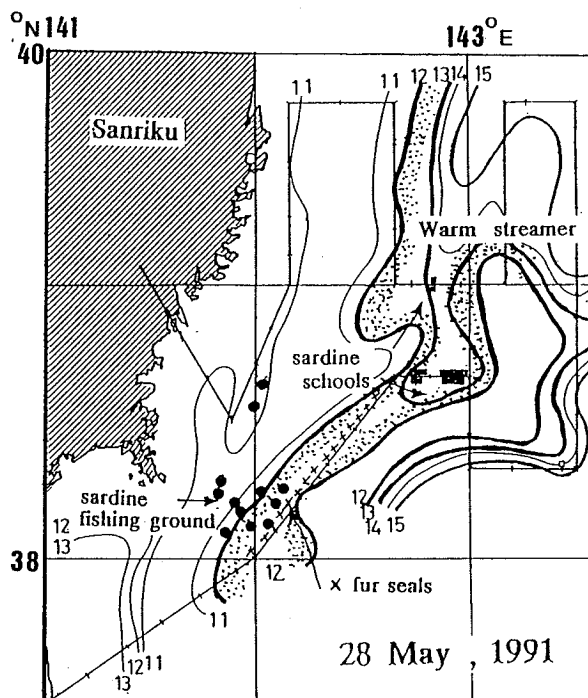


Fig. 4. Locations of sardine schools (solid squares) and fur seals (crosses) in the warm streamer observed by aircraft and sardine fishing ground (solid circles) off Sanriku on 28 May, 1991.

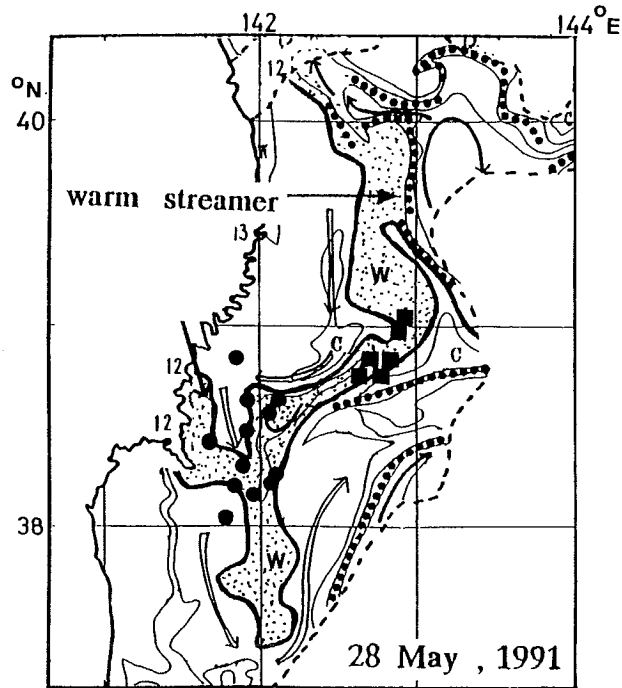


Fig. 5. Distribution of SST observed by satellite AVHRR (thin line), sardine schools observed by air craft (■) and sardine fishing grounds (●) on 28 May, 1991. The warm streamer area was shown by half-tone. W and C indicate warm and cold water, respectively, thick dotted lines indicate oceanic fronts and open and closed arrows indicate cold and warm currents, respectively.

Table 1. 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 (NWW)	16	146	11
Warm streamer (WS)	101	384	26
warm-core ring (WCR)	39	687	6
Kuroshio water (KR)	3	259	1

多いことが分かった。また、4 海域の魚群の密度分布は、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。Fig. 8 は、暖水渦の中心部～渦の中間部～潮境周辺部～潮境の外側部におけるマ

イワシ群の発見率の分布状態を示している。これによると、渦の潮境部の暖水側がもっとも多く 35%、ついで潮境の冷水側が 30%、暖水渦の中間部が 23%、渦の中心部が 10%、渦の潮境から遠く離れた海域が 2% と

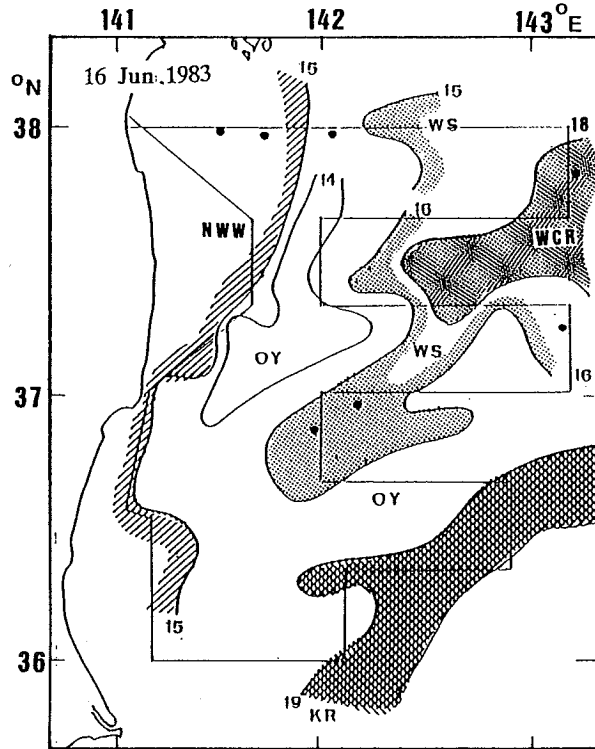


Fig. 6. Distribution of SST; WCR: warm-core ring ; WS: Warm streamer, KR; Kuroshio; OY: Oyashio; NWW: nearshore warm water. The line shows the course of aircraft survey. The dots show the observed sardine schools.

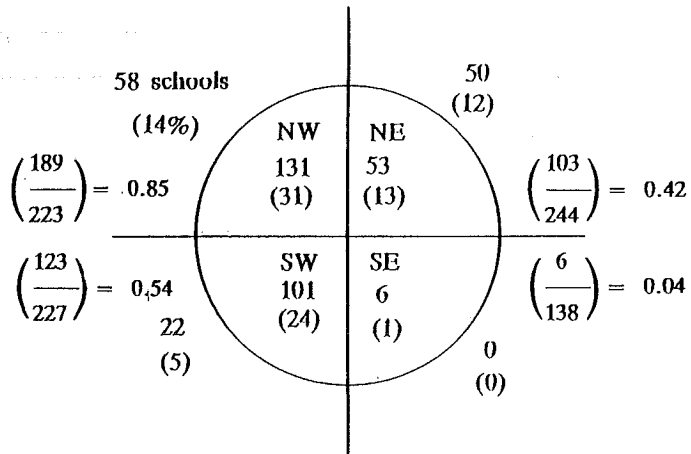


Fig. 7. Relative frequency of sardine schools in and around a warm-core rings.

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

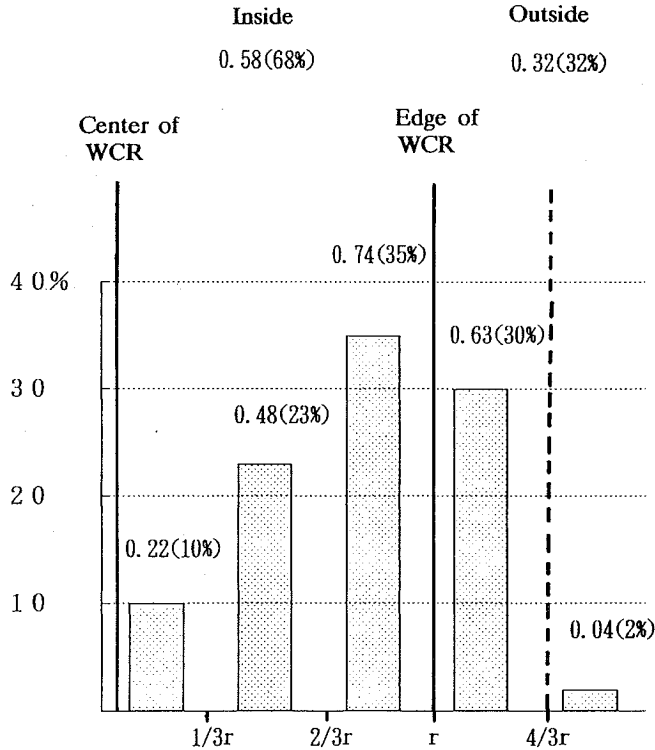


Fig. 8. Relative density of sardine schools in and around a warm-core ring (April-June, 1982-1991).

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

小さくなっている。なお潮境付近の暖水側および冷水側の合計は65%に達し、潮境周辺に魚群が集中していることが分かった。

以上のことから、マイワシ群は暖水渦の北西部から南西部に多く分布し、潮境を中心に特に暖水側に集中していることがわかった。Fig. 1(a)に模式的に示したように、黒潮から暖水渦へと延びる暖水ストリーマは、暖水渦の南西部から北西部へと時計回りに入り込むことは暖水渦に分布するマイワシ群が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。また、Fig. 9は1985～1990年にかけて、三陸沖暖水渦から派生した暖水ストリーマの全個数を、暖水渦の北西部・北東部・南西部・南東部の四海域ごとに集計したものである。これによると、三陸沖暖水渦から外側へと派生する流出型暖水ストリーマは、暖水渦の北西部から派生する場合が最も多い。このことと、暖水渦でのマイワシ群の分布が北西部に最

も多いこととはよく一致し、暖水ストリーマにマイワシ群が移動しやすい一因となっていると考えられる。

3-2. 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（外側の範囲は暖水ストリーマの潮境周辺部で、せいぜいストリーマ幅の1/3程度の距離内）にわけて、Fig. 10に示す。暖水ストリーマ周辺の暖水側（ストリーマ内側）と冷水側（ストリーマ外側）の発見数を比較すると、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。また、先端部・中間部・根元部での魚群分布密度を比較すると、先端部では全体の63%（3.16群/区画）でもっとも多く、ついで、中間部の26%（1.27群/区画）、根元部の11%（0.57群/区画）である。Fig. 11は、水塊毎に発見された魚群の数をI型暖水ストリーマ（Inflowing暖水ストリーマ：流入型暖水ストリーマ）、暖水渦、暖水ストリーマ（根元部、中間部、先端部）に分布する群、および暖水ストリーマから飛

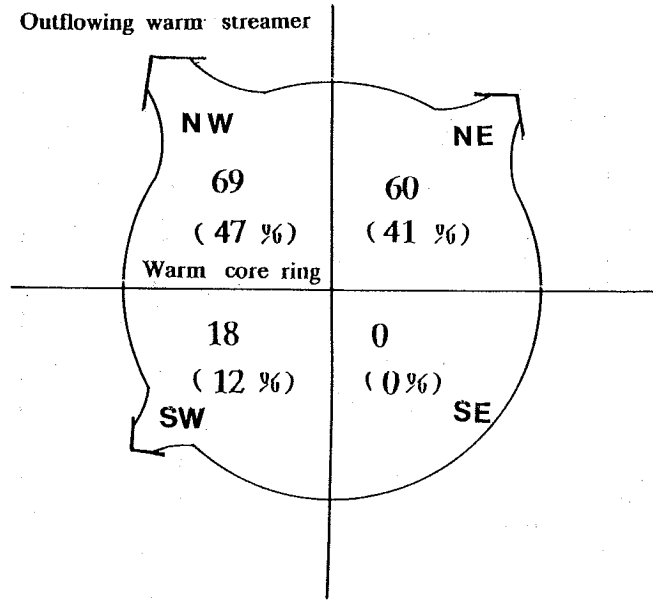


Fig. 9. Ratio of outflowing directions of warm streamer from warm-core ring off Sanriku during 1985-1990.

45schools (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. 10. Ratio of the number of sardine schools observed by aircraft surveys in three parts of warm streamer during May-July, 1982-1991.

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

びだし沿岸暖水域へ移行する途中の群、沿岸暖水域で発見した群にわけて、模式的に図示したものである。この模式図は、10年間の飛行調査の結果、Fig. 7, Fig. 10およびTable 1に魚群数と水塊ごとの魚群が発見された区画数などを参考にして描かれている。これによると、北上期5~6月のマイワシ群は三陸沖暖水渦および暖水ストリーマ周辺での分布が極めて多いことや、

Table 1が示すように、暖水渦と暖水ストリーマでの魚群のいた区画数は合計140区画と、他の水塊より多いことがわかった。したがって、北上期のマイワシ群は暖水渦と暖水ストリーマにきわめて関係が深いと考えられる。さらに詳細に分析すると、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、群が沖合の暖水スト

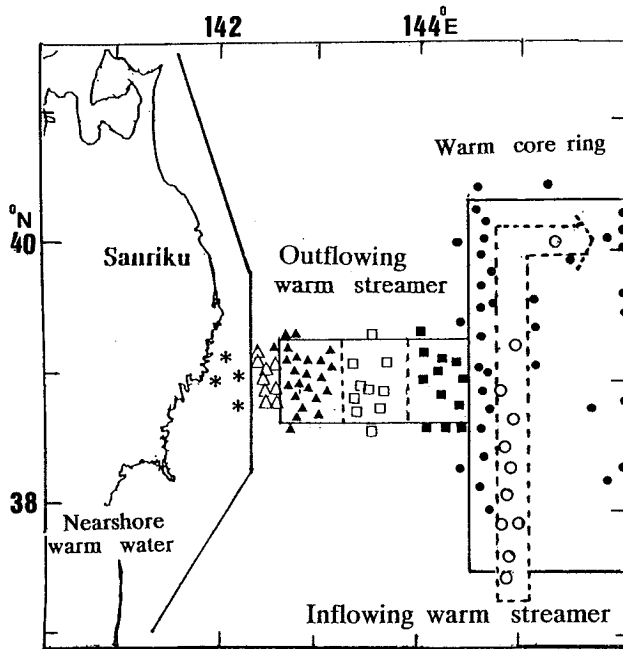


Fig. 11. Number of sardine schools in and around the Sanriku WCRs during 1982-1991.

Inflowing warm streamer (IWS, ○): 247
 Warm-core ring excepting IWS (●): 421
 Outflowing warm streamer (OWS, ▲□■): 566
 Nearshore warm water (*): 240
 Others: 64

リーマから沿岸の暖水域に繋がっていることがわかる。時間的に順を追って見ると、黒潮水域からI型暖水ストリーマを通して暖水渦へ回遊し、暖水渦からO型暖水ストリーマ(Outflowing暖水ストリーマ: 流出型暖水ストリーマ)へ、O型暖水ストリーマから沿岸暖水域へ移動していると考えられる。

3-3. 水色分布とクロロフィル濃度分布の対応性

フォーレルの水色分布を水塊別に Table 2 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%)の順である。松村・福島(1988)は、1981年4月14日のセンサ CZCS の水温と水色の画像から、暖水渦周辺の水温の高い部分にむしろ高クロロフィル域が存在することを示した。塩本ほか(1991)は、1990年5月の時期における三陸沖暖水塊の基礎生産力は親潮水域よりも数倍程度高いとし、これは春季の高水温による高い活性によっているとしている。また、堀井ほか(1992)は、オホーツク

海固有水と宗谷暖流水系には珪藻類は乏しいが、それらの混合水では豊富で複雑な群集構造をしていると述べている。さらに、Aoki and Inagaki (1992) は、三陸沖暖水渦の南東部の潮境を魚群探知機を利用して横断観測し、暖水側に動物プランクトンが多いことを示し、また、その潮境の暖水側にカツオ群を確認している。二平(1991)は沖合北上暖水縁辺部のカツオの胃内容物を調べ、暖水の中心部は空胃が多かったが、縁辺部の带状暖水部の先端ではオキアミを多く食べていることをつきとめた。

また、Fig. 12 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。これらのことは、東北海域の5月頃に暖水ストリーマの出現などによって、この出現海域やその周辺部では、植物プランクトン・動物プランクトン量が高くとともに高く、魚群への餌の条件も良くなっていると考えられる。また、クロロフィル-a の多い水温帯10℃台はマイワシ群の北

Table 2. Appearance ratio of each watermass in different Forel number observed by aircraft.

water mass	Forel number	2	3	4	5	6	7	8	total number
warm streamer		4 (5)	39 (44)	22 (25)	21 (24)	2 (2)			88 (100)%
warm core ring		73 (26)	120 (44)	65 (23)	17 (6)	3 (1)			278 (100)
nearshore warm water		8 (17)	18 (38)	17 (35)	5 (10)				48 (100)
Oyashio area		7 (10)	14 (19)	35 (49)	9 (13)	5 (7)	1 (1)	1 (1)	73 (100)
Kuroshio		15 (35)	26 (61)	1 (2)	1 (2)				43 (100)

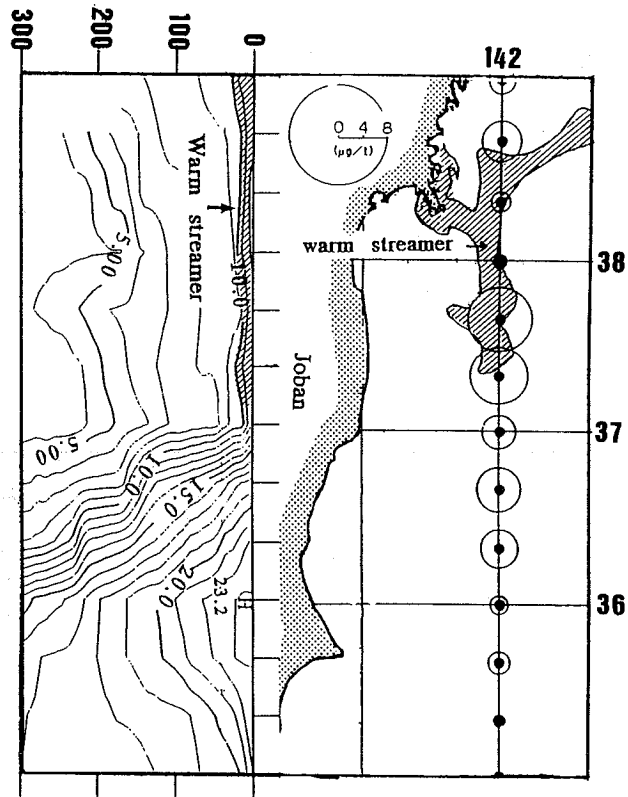


Fig. 12. A north-south section of water temperature (left) and the distribution of chlorophyll-*a* density off Sanriku and Joban coast on 26 May, 1991 (right, obtained by Tohoku National Fisheries Research Institute). The warm streamer (shown with shade) was observed by satellite NOAA 21-28 May, 1991.

上期先端群の漁獲水温と一致している (吉田, 1987)。

3-4. マイワシ魚群の北上接岸に対する暖水ストリーマの魚道機能

北上期5~6月の三陸マイワシ漁場は、暖水ストリー

マとの関係で形成されており、その相関係数は0.8以上である (為石ほか, 1994)。Fig. 13は、三陸海域で1987年, 1988年, 1989年, 1990年の5~6月の衛星画像から判断した三陸沖暖水渦から沿岸域へ達した暖水

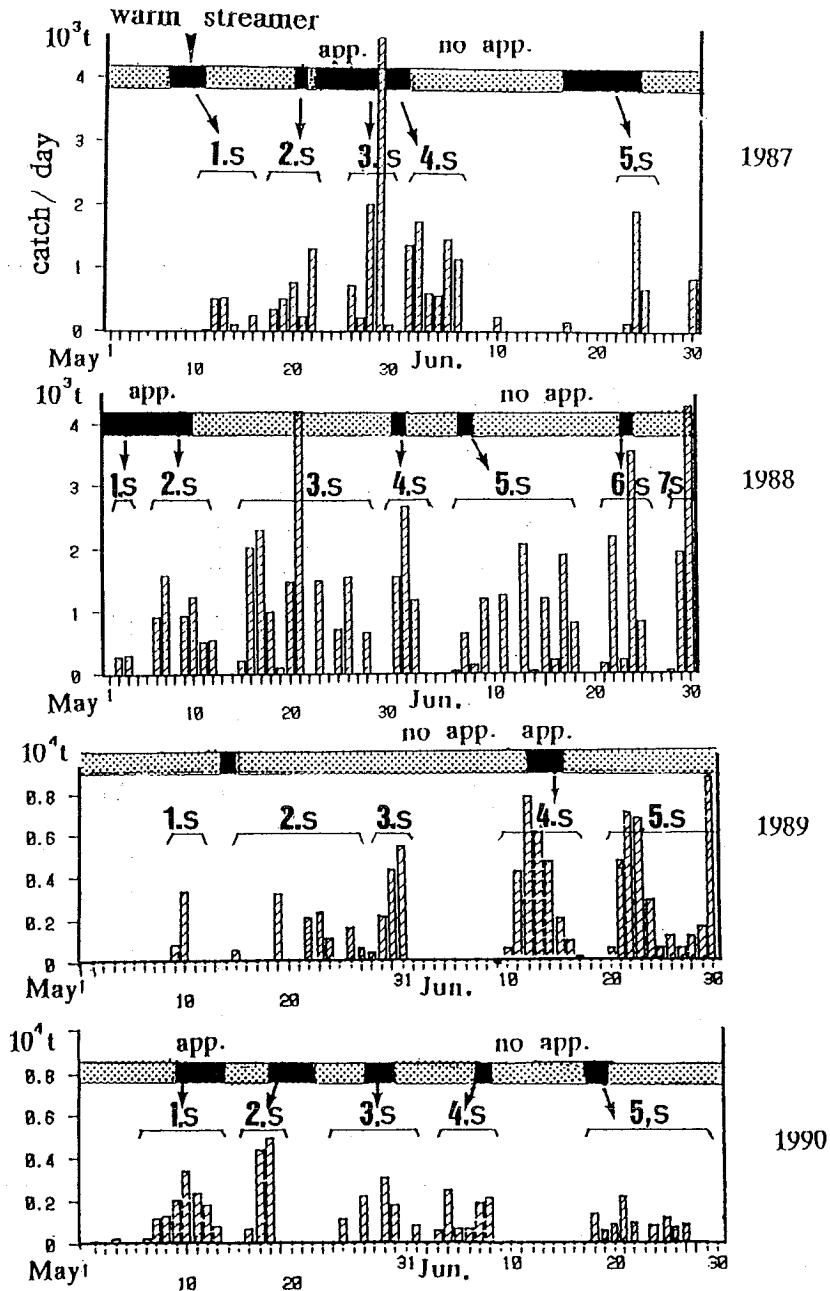


Fig. 13. Presence of outflowing warm streamer and daily sardine catch appeared during May-June, 1987-1990 in the area 38-42°N off Sanriku coast.

ストリーマの発生状況と日々の漁獲量の変化を示す。

1987年では、暖水ストリーマが、① 5月6日～9日、② 5月20日～21日、③ 5月23日～6月1日、④ 6月16日～24日の4回発見されている。来遊群は① 第1群5月11日～14日、② 第2群5月18日～22日、③ 第3群5月26日～30日、④ 第4群6月1日～6日、⑤ 第5群6月23日～25日の5群が沖合から来遊していると考えられる。このうち5群全てが暖水ストリーマの出現と前後しており、暖水ストリーマと魚群の関係が示唆されている。

1988年では、暖水ストリーマの発生は、① 4月28日～5月9日、② 5月31日、③ 6月7日、④ 6月23日の4回である。来遊群は、① 第1群5月2日～3日、② 第2群5月6日～12日、③ 第3群5月15日～28日、④ 第4群5月30日～6月2日、⑤ 第5群6月7日～18日、⑥ 第6群6月21日～25日、⑦ 第7群6月29日～30日の7回の来遊が見られた。このうち暖水ストリーマとの関係が認められた群は、①②④⑤⑥の5群であった。

1989年では、暖水ストリーマが認識されたのは① 5月13日～15日と② 6月12日～14日の2回であった。来遊群は① 第1群が5月9日～10日、② 第2群が5月15日～27日、③ 第3群が5月28日～31日、④ 第4群が6月10日～16日、⑤ 第5群が6月21日～30日と5群の来遊がみられた。このうち暖水ストリーマと関係しているのは、②と③の2群であった。

1990年では、暖水ストリーマが① 5月6日～17日、② 5月18～21日、③ 5月27日～5月30日、④ 6月7日～6月9日、⑤ 6月18日～6月20日の5回発生している。来遊群は① 第1群が5月5日～13日、② 第2群が5月16日～18日、③ 第3群が5月25日～6月1日、④ 第4群が6月3日～8日、⑤ 第5群が6月18日～27日に来遊している。①～⑤の5群の全てが暖水ストリーマと関係していた。

1987年～1990年の4年間で合計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関係ある群が17群で、77%を占めている。これらのことから、暖水ストリーマの発生と三陸沿岸マイワシ漁場形成とは関係が深いものと考えられる。

一方、暖水ストリーマの発生から消滅までの期間は、3日間～10日間程度であった。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～20日間程度と考えられる。

萩島(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、カタクチ魚群が水塊とともに移動する傾向から、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、特に西側部に75%(1.39群/区画)と多いことや、暖水渦の西側部で暖水ストリーマもより多く発生していることから、マイワシ群がストリーマの中に捕捉される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(Hara, 1987, 黒田, 1991)とすると、餌の豊富な沿岸域や北洋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ことが示された(Table 2)。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移動とともに回遊し、餌の豊富な沿岸域に到達するまで、ストリーマ内の餌を利用しつつ回遊している可能性が示唆される。

4. おわりに

1982～91年の10年間の飛行調査結果をまとめることにより、マイワシ群北上期の沖合海域の分布の実態がある程度明らかになった。それによると、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・接岸回遊している確率の高いことが示された。このことは、暖水ストリーマの発生期と沿岸マイワシ漁場の形成時期が77%の割合で一致することからも確認された。この暖水ストリーマはフォーレルの水色計により、番号「5」以上のクロロフィル-aの多い緑色の水であり、調査船のクロロフィル-aの観測からも確認された。以上のことから、暖水ストリーマ域での魚群発見率が他の海域に比べて高いことは、暖水ストリーマがマイワシ群にとって、環境条件(水温・餌料)が良好であることを示唆する。

本論文をまとめるにあたり、ご助言ご議論を頂いた東京大学海洋研究所の中田英昭・青木一郎両助教授、航

空機観測においてご協力・ご助言を頂いた水産航空株式会社専務理事高島静夫氏(故), 前相談役小川義司氏, 取締役高橋久一氏に厚く御礼申し上げます。また, データの提供を頂いた東北区水産研究所の稲掛伝三博士・横内克己博士に謝意を表します。

文 献

- HARA, I. (1987) Swimming speed of sardine school on the basis of aerial survey. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **53**, 223-227.
- HIRAI, M. (1985) An application of infrared remote sensing techniques to the fisheries oceanography-analysis of the fine structure in Saury fishing grounds using infrared images obtained from the NOAA-6 Satellite. *Sora to Umi*, **7**, 1-10.
- 堀井貴司・田村真樹・大槻知寛 (1992) 1989年3月におけるオホーツク海北海道沿岸の海況と珪藻類分布. *北水試研報*, **39**, 11-19.
- 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ォームストリーマの挙動. *J. Tokyo. Univ. Fish.*, **75**, 433-441.
- 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. *東北区水産研究所研究報告*, **19**, 49-71.
- AOKI, I. and INAGAKI, T. (1992) Acoustic of fish schools and scattering in a Kuroshio warm-core ring and its environs. *Fisheries Oceanography*, **11**, 137-142.
- 川合英夫・佐々木実 (1962) カッコ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.
- 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.
- 黒田隆哉 (1962) 東北海区における潮目の出現状況. *東北区水研研究報告*, **22**, 45-115.
- 松村卓月・福島 甫 (1988) 水色画像と熱赤外画像の比較による水塊解析. *航水研ノート*, *空と海*, **10**, 27-39.
- 二平 章 (1992) 黒潮前線域におけるカッコ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. *海洋科学*, **19**, 434-440.
- 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.
- 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). *農林水産技術会議事務局, 研究成果* **209**, 8-30.
- 斎藤誠一 (1983) リングの変動と資源生物の時空分布. *海洋科学*, **15**, 274-285.
- SUGIMOTO, T. and TAMEISHI, H. (1992) Warm-core rings, streamers and their role on the fishing ground around Japan. *Deep-Sea Research*, **39**, s183-s201.
- 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 (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.
- 為石日出生・檜村裕一・四之宮博 (1994) 北上期におけるマイワシの三陸まき網漁場に関する知見. *日本水産学会誌*, **60**(1), 39-44.
- 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**, 81-90.