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^{*1}

為石日出生, 樋村裕一, 四之宮博

(1993年5月6日受付)

Characteristics of the Fishing Ground of Japanese Sardine off Sanriku during Northward Migration

Hideo Tameishi,^{*2} Yuichi Naramura^{*3} and Hiroshi Shinomiya^{*3}

Very little research has been done on the mechanism for forming fishing grounds, particularly on the route by which Japanese sardine *Sardinops melanostictus* migrate to the Sanriku coast during their northward migration. In this connection, data on the fishing ground were analyzed and its relationship with a warm streamer was investigated using data recorded by fishing boats, satellite aided SST distribution charts etc. in the period from 1987 to 1990.

As a result, the following were found: (1) Sardine schools during northward migration do not come to the area off the Sanriku coast sequentially from off the Boso/Jyoban coast, but tend to come in random waves. (2) From the direction of motion of the schools approximately heading north-northeast, they are considered to move further north during their feeding migration. (3) The suitable SST for a catch (T_s) is 11.0°C on average with a standard deviation of 2.2°C, and 85% of SSTs of warm streamers are included in the range of T_s . (4) The centre of gravity of fishing grounds and the warm streamer have a close correlation with their latitude (coefficient of correlation is 0.85). As a whole, sardine schools in the early fishing season off the Sanriku coast are fed from the warm streamer during their feeding migration, where the warm streamer is considered to serve as a migration route.

キーワード: 暖水ストリーマ, マイワシ, 衛星画像, リモートセンシング

NOAA 衛星の海洋利用の発達により, 暖水ストリーマ等の微細な構造が明確となり, 新しい知見が得られつつある。例えば, 暖水ストリーマが暖水渦の発生, 再生と関係するなどの物理的な機構¹⁻⁶⁾や, 魚の餌生物である植物プランクトンや動物プランクトンの分布とも関係するなどの生物的な機構⁷⁻¹⁰⁾が解明されようとしている。

この暖水ストリーマは, 暖水渦に入り込むパターン (I 型) と暖水渦から派生するパターン (O 型) の 2 つのパターンがあり,¹¹⁾ 川合・佐々木¹²⁾は, I 型のパターンと漁場との関連の例として, 黒潮の最高水温帯から発する表層暖水舌の暖水塊への差し込みが, カツオ群が混合域へ侵入し, 漁場形成につながることを述べている。また, O 型のパターンの場合については, 荻島¹³⁾が道東海域のマイワシ漁場の形成が暖水ストリーマと密接に関係していることを述べている。ただ, 暖水ストリーマが漁場形成にかかわる役割についてはほとんど言及されていない。このように, 暖水ストリーマと漁場との関連に関する研究は, 例が非常に少なく, 内容も今後の検討に待つ

ものが多い。

一方, 北上期における三陸マイワシの漁場形成機構, とくに来遊経路についての研究はほとんどなされていない。しかし, その暖水ストリーマと初漁期の関係を把握することは, 常磐海域から三陸沿岸への漁船移動時の効率操業の上から重要な問題となっている。そのような観点から, 本論文では三陸沿岸の北上期におけるマイワシ漁場を分析し, さらに暖水ストリーマとの関係について検討する。

資料ならびに方法

次の資料をそれぞれ 1987~1990 年 (必要に応じて 1991 年) の 5, 6 月分について, 参照あるいは解析に用いた。

- ① 漁業情報サービスセンターが収集した大中型まき網漁船の操業年月日, 漁獲量, 魚種, 投網方向, 表面水温, 緯度・経度のデータ
- ② 漁業情報サービスセンター発行の衛星利用水温分

^{*1} 北上期におけるマイワシの三陸まき網漁場と暖水ストリーマの関係—I.

^{*2} 漁業情報サービスセンター (Japan Fisheries Information Service Center, Ikenohata Taito, Tokyo 110, Japan).

^{*3} 日本大学農獣医学部水産学科 (Department of Fisheries, Nihon University, Shimouma, Setagaya, Tokyo 154, Japan).

布図

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処理の NOAA 衛星画像

①のまき網漁船データから漁場図を年別、旬別に作成した。また、三陸沖の海域における漁場重心を下式により算出した。¹⁴⁾

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^h n_i x_i}{\sum_{i=1}^h n_i} \dots \dots \dots (1)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^h n_i y_i}{\sum_{i=1}^h n_i} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $\bar{x}$, $\bar{y}$: 漁場重心の位置

x_i , y_i : i 漁場の位置 ($i=1, 2, \dots, h$)

n_i : i 漁場の漁獲量

ただし、常磐海域においては、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①のまき網漁船(集魚せず、ソーナーで魚群の移動方向を感知、投網する)、また、投網は魚群の移動を押さえる方向に行われる)の投網方向を魚群の移動方向(32方位)とした。また、漁獲水温(漁船が漁獲した時の表層水温で漁場の水温を言う)の旬別、年別の平均値、標準偏差を求めた。②の衛星利用水温分布図(衛星の表皮水温を漁船の表層水温に変換した水温分布図)および④の NOAA 衛星画像から暖水ストリーマを判断し、暖水ストリーマの南北の中心点の緯度(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(3)(4)式のように指数化し、相互の相関を求めた。マイワシ漁場は沿岸域に形成されるので、その位置の変化はほぼ緯度の変化と言える。また、暖水ストリーマも三陸沖合の暖水渦から派生し、沿岸域の近くに存在する場合が多い。そのため、暖水ストリーマの緯度による変化がマイワシ漁場変化に関係していると仮説をたてた。

$$WSI = 10(WSL - 38) \dots \dots \dots (3)$$

$$FGI = 10(FGL - 38) \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 WSI は暖水ストリーマの緯度指数、 WSL は暖水ストリーマの緯度、 FGI はマイワシ漁場の緯度指数、 FGL はマイワシ漁場の緯度であり、緯度は度単位で表示した。暖水ストリーマは湾曲する帯状であるので、その暖水ストリーマの緯度の代表位置として、陸岸への最接近点をとる場合と、その暖水ストリーマの南北方向幅の中心をとる場合との2通りのケースで、漁場重心との相関を調べた(図1参照)。

結果ならびに考察

北上期(5~6月)における三陸のマイワシ漁場 犬吠埼周辺海域のマイワシまき網漁業は、3~4月に盛漁期を

Fig. 1. Schematic illustrations of the indices of latitude of warm streamer and fishing ground.

FGI denotes the index of FG (fishing ground), and WSIa and WSIb denote the indices of latitudes of the closest point to the coast and the middle point of a warm streamer.

迎えるが、漁場形成は5~6月まで続く。¹⁵⁾ この5~6月期に、犬吠埼沖からいつ三陸沖に漁船を移動させるかは、水揚げ金額に大きく影響するので、三陸漁場の初漁は漁業者の関心事になっている。鄭¹⁶⁾は、常磐~三陸全体のマイワシ漁場重心を求め、1981~1985年の漁場について、1~7月に房総、常磐南部周辺に位置し、7~8月に三陸沿岸域にマイワシ漁場が急速に移動することを示した。そこで、Fig. 2に旬別に、また犬吠埼周辺(35°~36°N)、常磐北部(36°~38°N)および三陸南部(38°~40°N)、北部(40°~42°N)の4海域別に、漁場重心をプロットし、これにより漁場の移動を細かく調べてみる。

漁場重心に1~6まで番号が打ってあるのは、その年の5月上旬から6月下旬まで旬別の漁場位置の変化を表している。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の態様に法則性が見られない。わずかに、1987年の鮫角沖漁場に、いくぶん南から北への段階的な北上傾向がみられるのみである。すなわち、数字の比較から、三陸沿岸の水温の上昇に伴って(Table 1)、三陸漁場は南から北へ沿岸域を少しずつ移動するのではなく、散発的で不規則に移行していることがわかった。また、1987~1990年の4年間とも5月上旬から6月下旬まで、漁場は沿岸域に集中し、三陸漁場と常磐南部、犬吠埼周辺漁場は大きく分離していることがわかる。

Fig. 2. Movement of sardine fishing ground centers.

The numbers 1, 2, 3, 4, 5 and 6 show 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, Kurosaki, Todogasaki, Utatusaki, Kinkazan, Ukedo, Siroyasaki and Inubohsaki, respectively. Area from A to F is Sanriku Coast and G to I Johban Coast.

漁船は犬吠埼から三陸沖までマイワシ群を探索しながら北上したり、再び漁況、市況の動向をみながら南下もすることから、この時期に沿岸域を中心に魚群探索していると考えられる。

これらの事実、三陸南部～常磐南部の沿岸域には漁場が形成されるほど魚群が滞留しないことを意味している。従来、マイワシ群は水温の上昇にともなって幅広く順次北上する沿岸域前線移動型が考えられていた。¹⁷⁾ しかし飛行調査によって、三陸沖合の暖水ストリーマの中にマイワシ群が多数発見されている¹¹⁾ことから、三陸沿岸へのマイワシ群の加入は、房総、常磐沿岸から順次沿岸づたいになされるのではなく、三陸沖合から沿岸へ行われるものと考えられる。

三陸海域におけるマイワシ群の移動方向 Fig. 3 は、1987～1990年の北上期5～6月のマイワシ群の移動方向とその相対頻度を、年別にベクトル表示したものである。年による変動はあるものの、おおむね北～北東方向に向かう群れが多い。これは、漁船が沿岸域へ加入した後の群を漁獲対象としており、また西方は陸域となっているので魚群が移動不可能であることによる。また、北上期の多くの群は索餌北上群であり、再び索餌北上回遊することを意味している。

マイワシ漁場と漁獲水温 5～6月のマイワシ北上期

の漁獲水温は、この資源の漁獲対象となる群の北上先端群のものであるため、盛漁期(7～10月)のそれに比べ低めの傾向が現れやすい。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にある。¹⁷⁾

Table 1 は、漁獲水温 3,526 データについて旬別に平均(μ)および標準偏差(σ)を求めたものである。これによると、初漁期のみられる5月上旬は平均 8.6℃、標準偏差は 1.2℃であるため、 $\mu \pm \sigma$ の 7.4℃と 9.8℃の範囲内に約 68% の漁獲水温が含まれている。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なっており、5、6月の漁獲水温の範囲は 8～15℃台である。1987～1990年の各年5、6月を通しての平均値は 10.3～11.8℃の範囲にある。概括的な把握として、マイワシの漁獲水温の平均値は 11℃で、標準偏差は 2.2℃である。

一般的に、犬吠埼周辺海域において5～6月の北上期のマイワシ群は季節躍層の上に集群し、その遊泳層は 10～20 m の間で浅く、表層混合層内に分布するので、漁場表面水温は魚群のいる生息水温とみなすことができる。¹⁵⁾ これらは、三陸海域においてもまき網漁船の操業日誌からも判読できる。なお、犬吠埼周辺漁場については、遊泳層に関する同様の知見がある。¹⁵⁾

Fig. 3. Arrow diagrams of the vectors denoting the relative frequencies in moving directions of sardine school at Sanriku area.

Table 1. Average (μ) and standard deviation (σ) of sea surface 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	0.00	15.0	1.90	11.6	2.52
1988	8.0	0.39	9.2	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	0.64	8.3	0.80	9.8	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

水温と緯度からみたマイワシ漁場と暖水ストリーマ
Fig. 4 は漁獲水温 ($\mu, \mu \pm \sigma$) の旬別変化と主な暖水ストリーマの表面水温範囲 (シートルース処理を施した衛星画像から得られた水温) を示したものである。全ストリーマ 13 個の表面水温のうち, 11 個 (85%) が漁獲水温

に含まれている。これらのことから, 水温からみた暖水ストリーマは, 5~6 月の北上期に十分にマイワシ群が生息できる水温環境といえる。

Fig. 5 は暖水ストリーマの緯度指数と漁場重心の緯度指数との相関関係を表した図である。ここで, $WSIa$ と

Fig. 4. The average (solid line) and standard deviation (dotted line) of sea surface temperatures of the fishing grounds and the variation range (distance between two marks of square or triangle) of temperatures of warm streamers.

Fig. 5. Correlation between WSI (warm streamer index) and FGI (fishing ground index).

WSIa and WSIb denote WSI for the closest point to coast and the middle point of a warm streamer, respectively.

WSIb はそれぞれ暖水ストリーマの陸岸への最接近点および中点の緯度指数を表している。図からわかるように WSIa および WSIb と FGI との間に相関関係があることがわかる。ちなみに、相関係数は WSIa と FGI との間では 0.85 であり、WSIb と FGI との間では 0.82 であった。

以上から、暖水ストリーマが分布している周辺の三陸

沿岸ではマイワシ漁場が形成されやすく、適水温で構成されている暖水ストリーマの南北の位置は、三陸沿岸漁場位置の予測手段となり得るものと考えられる。

暖水ストリーマが魚道である可能性 三陸沿岸のマイワシ群の回遊経路として3つの経路が考えられる。第1は鹿島灘を通過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、第2は津軽暖流に乗って日本海側から南下してくるケース、第3が三陸沖合から加入してくるケースである。はじめに、第1の常磐沿岸から三陸沿岸へ北上する経路について検討する。鄭¹⁶⁾は、6～8月の間の1か月間で、1981～1985年のいずれの年も、漁場重心が緯度で3～4度も急速に北上していることをつきとめた。このことは、魚群の移動速度から考えて、三陸の群が犬吠崎周辺からの北上群でないことを意味している。本論文の漁場形成の特徴としてみられた三陸と常磐海域の漁場形成との間に、金華山南方で漁場となっていない海域が広く分布している(1987年～1990年)ことと同じ現象と考えられる。

また暖水舌の北限は塩屋崎付近である¹⁸⁾こと、三陸沿岸漁場の形成の様相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、また漁場となっている沿岸域より南の沿岸域で魚群が発見されていないこと、さらに三陸初漁期の漁獲水温は平均 $8.6 \pm 1.2^\circ\text{C}$ 台であり、常磐海域には魚群が北上可能な水温があっても、漁場が形成されていないことなども重要な要因としてあげられる。このように水温環境面から考察しても、常磐沿岸海域から沿岸づたいに三陸沖に補給される群は少ないと考えられる。

次に、日本海側から補給される第2の説は、黒田¹⁷⁾が考察している例が1例あるのみで、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く、津軽海峡を越える群は少ないと考えられる。また1991年の三陸沿岸の初漁場形成は、親潮第1分枝が近年になく強く幅広く南下している状態のなかで、早期から三陸沿岸域の表面水温は津軽暖流域で日本海側からの暖水とつながっており、マイワシ群の来遊の可能な水温であったにもかかわらず、三陸沿岸の漁場形成がなかった。加えて初漁が例年より1か月遅れたこと、日本海の初漁の水温が三陸のそれより $2\sim 3^\circ\text{C}$ 高い¹⁹⁾ことなどから、日本海からの来遊の可能性は極めて薄いと考えられる。

3番目に三陸沖合から加入する説を検討する。水温環境については、前述のように、全暖水ストリーマ13個の表面水温のうち、11個(85%)が漁獲水温に含まれている。沖合暖水ストリーマは、北上期のマイワシ群が生息可能な水温を有している海域と言える。また、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

の緯度との間に高い相関 ($r=0.85$) があり, 暖水渦から派生した暖水ストリーマが接近している海域周辺の三陸沿岸には, おおむね漁場が形成されている。なお, 既述のとおり著者らの一部が他と調査した航空機調査でも, 三陸沖の暖水ストリーマの中に多量のマイワシ群の存在が確認され, 漁場形成につながっている。¹¹⁾

これらのことは, 三陸沿岸の北上期マイワシ漁場は, 沖合から加入するマイワシ群により形成され, 暖水ストリーマはそのための魚道の役割を果たしていることを示唆している。なお, これについては, 次報で詳述する考えである。

本論文を稿するに当たり, ご指導を頂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。

文 献

- 1) T. Sugimoto, Y. Kawasaki, and J. LI: A description of the time-dependent hydrographic structure of the warm streamer around the Kuroshio warm-core ring 86B. *Deep-Sea Res.*, **39** (Suppl), S77-S96 (1992).
- 2) I. Yasuda, K. Okuda, and M. Hirai: Evolution of a Kuroshio warm core ring-variability of the hydrographic structure. *Deep-Sea Res.*, **39** (Suppl), S131-S161 (1992).
- 3) 稲掛伝三: 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. *海洋科学*, **23**, 504-508 (1991).
- 4) H. Kawai and S. Saitoh: Secondary fronts, warm tongues and warm streamers of the Kuroshio Extension system. *Deep-Sea Res.*, **33**, 1487-1507 (1986).
- 5) 為石日出生: 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. (1985).
- 6) T. M. Joyce, R. Buckus, K. Blackwelder, O. Brown, T. Cowles, R. Evans, G. Fayxell, D. Mounian, D. Olson, R. Schmitt, and P. Wiebe: Rapid evolution of a Gulf stream warm-core ring. *Nature*, **308**, 13-83 (1986).
- 7) I. Aoki and T. Inagaki: Acoustic observations of fish schools and scattering layers in a Kuroshio warm-core ring and its environs. *Fish. Oceanogr.*, **1**, 137-142 (1992).
- 8) 遠藤宣成: 暖水塊ウォームストリーマと動物プランクトンの分布. *海洋*, **25**, 94-99 (1993).
- 9) 佐々木克之: 三陸沖暖水塊における栄養塩供給と低次生産. *海洋*, **25**, 87-93 (1993).
- 10) H. Tameishi and T. Sugimoto: Warm streamers extended from warm core ring (WCRs) and their role on fish migration and fishing ground formation. *Proc. Pacific Ocean Remote Sensing Conference*, **92**, 255-260 (1992).
- 11) 為石日出生, 杉本隆成: 暖水ストリーマと漁場形成. *海洋*, **25**, 105-111 (1993).
- 12) H. Kawai and M. Sasaki: On the hydrographic conditions accelerating the skipjack's northward movement across the Kuroshio front. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.*, **20**, 1-27 (1962).
- 13) 荻島 隆: 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」農林水産技術会議研究成果 209, 農林水産省, 東京, pp 8-30.
- 14) 宇田道隆: 海洋漁場学, 恒星社厚生閣, 東京, 1960, p. 347.
- 15) 本澤雅彦: 犬吠埼周辺海域のマイワシまき網漁場環境に関する研究, 学位論文, 東京水産大学, 東京, 1990, p. 120.
- 16) 鄭 利栄, 杉本隆成: 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」(杉本隆成編), 文部省科研費報告書, 1988, 102-107.
- 17) 黒田一紀: マイワシ初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究. *中央水研研報*, **3**, 25-278 (1990).
- 18) 久保治良: 鹿島灘の海況—II, 暖水舌について. *茨城県水産試験場研究報告*, **24**, 1-13, (1982).
- 19) 田名部政春, 鶴川正雄: 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, **1**, 27-454, (1958).