

## 黒潮系暖水塊の縁辺部における擾乱とその マイワシ漁場への影響

森永 健司\*・柏井 誠\*\*・河野 時廣\*\*・杉本 隆成\*

### Observations of Disturbance in the Periphery of the Kuroshio Warm-Core Ring and its Influence on the Sardine Fishing Grounds.

Kenji MORINAGA\*, Makoto KASHIWAI\*\*, Tokihiro KOHNO\*\*  
and Takashige SUGIMOTO\*

#### Abstract

Hydrographic and drifting buoy (with current meters at their bottom) data are combined with NOAA infrared imagery to study the movements of warm water detached from the periphery of the Warm Core Ring in Doutou sea region (off the eastern part of Hokkaido Is.) where the W.C.R. and the Oyashio strongly interact. The detached warm water is observed at the northern edge of the W.C.R. in two imageries on 2 and 13 September 1987.

The propagation and advective routes of detached warm water are examined using both NOAA infrared imageries and results of deployments of drifting buoys. From these results the northward or north-eastward movements of warm water towards the coastal area of Doutou sea region are inferred in the upper layer. This warm water propagates northward to the coastal area as a thin layer in the upper 30m.

It is shown that the fishing grounds of Japanese sardine in the coastal area of Doutou sea region has been shifted eastward by the influence of the warm water which continued for more than 10 days.

#### 1. はじめに

夏季(7月下旬~9月下旬)に道東沿岸域へ南方から侵入する暖水は、この時期索餌のためこの海域に移動してくるマイワシの水平および鉛直分布に大きな影響を与えることが報告されている(INAGAKE and HIRANO 1984; 原, 1990; 長澤, 1984a, b; 和田, 1988; 和田・荻島, 1988)。この暖水は、多くの場合、三陸および道東沖合域にある暖水塊から分岐した暖水である。この種の現象に関しては、釧路沖暖水塊縁辺部の擾乱について、NOAA 熱赤外画像の解析結果から、暖水の擾乱が2日前後維持

されるという報告がなされている(荻島ほか, 1987)。

暖水塊から暖水が分岐する現象に類するものは、湾流の前線域でも数多く報告されている。(LEE *et al.*, 1981; CHEW, 1981; PIETRAFESA, 1983)。また東シナ海や本州南方の黒潮前線、津軽暖流域および三陸沖暖水塊でも前線域より分岐する暖水が観測されている(KAWAI and SAITOH, 1986; SUGIMOTO *et al.*, 1988; 安田ほか, 1988; KIMURA and SUGIMOTO, 1990)。

道東沿岸域への暖水の移動は、同海域におけるマイワシまき網漁場の短期変動の予測にとって極めて重要である。暖水の移動状況を捉えるには、暖水塊から暖水が分岐する海域の流動に関する情報が必要であるが、これまでの研究はCTD、係留系ならびに人工衛星画像を用いて静的な海洋構造を観測したものがほとんどであり、分岐した暖水の移動を直接に測定した例はない。

本研究では、三陸沖暖水塊から分岐した暖水の近傍に

1990年9月14日受理

\* 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo, Minamidai, Nakano, Tokyo 164, Japan.

\*\* 北海道区水産研究所 Hokkaido Regional Fisheries Research Laboratory, Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 084, Japan.

漂流ブイを投入して、分岐した暖水付近の表層の流動を調べた。さらに、漁業情報サービスセンター発行の漁海況速報等をもとに、マイワシまき網漁場の空間変動に対する分岐した暖水の影響についても考察した。

## 2. 資料と方法

本研究で用いた資料は漂流ブイ追跡結果、CTD による観測資料、漁業情報サービスセンター発行の漁海況速報、北海道立釧路水産試験場昭和62年度事業報告および NOAA 熱赤外面像である。

低気圧の通過による悪天候の為に、後述の流動観測期間中に取得できた NOAA 熱赤外面像は1987年9月2日と9月13日の2画像のみであった。1987年9月2日の NOAA 熱赤外面像は、気象協会より購入した画像データを市販の解析プログラム IPPX (日本電子計算株式会社製) を用いて処理し、9月2日の観測船による表面水温観測値で補正した。また9月13日の画像は漁業情報サービスセンターで処理されたものであるが、これも同様

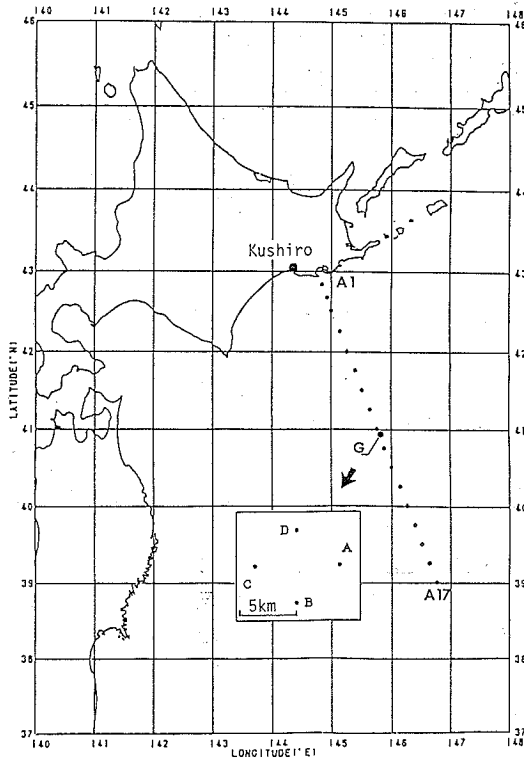


Fig. 1. Station locations of STD (from St. A1 to St. A17), drifter observation area (G) and deployment of drifters.

に表面水温観測値により補正されている。そのためいずれについても表面水温の誤差は  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$  以内であると考えられる (漁業情報サービスセンター, 1980)。

1987年9月7日に Fig. 1 中の Stn. G ( $40^{\circ}55'\text{N}$ ,  $145^{\circ}47'\text{E}$ ) において流動観測を行った。この観測点は北海道区水産研究所が北海道東部の釧路沖に設けている観測線A1~A17上にある。流動観測と並行して、この観測線で9月2日~9月16日にかけて、水産庁調査船北光丸により STD (Plessy 社製9400型) による観測を行った。STD の不調により、塩分の測定には問題があり、ここでは水温値のみを用いることにする。Stn. G は、9月2日~9月6日までの STD 観測結果並びに漁海況速報から、暖水塊縁辺部に位置するように決定した。また道東沿岸域の表層 (10m深) 水温の水平分布を示すため、東海区水産研究所 (現中央水産研究所) が水産庁調査船蒼鷹丸で行った観測結果も用いた。

観測で用いた漂流ブイの概略 (柏井・河野, 1988) を Fig. 2 に示す。上部に波浪による流速計の上下振動を抑えるための小型浮体列を、また表層流によって効率よくブイが流されるための抵抗布 ( $4\text{m} \times 2\text{m}$ ) を10m深に取り付けた。使用した漂流ブイ4個中3個にはレーダートランスポンダーブイ、1個にはラジオブイを取り付けた。また、漂流ブイの下端に流速計を取り付けた。しかし本論文ではその結果については言及しない。

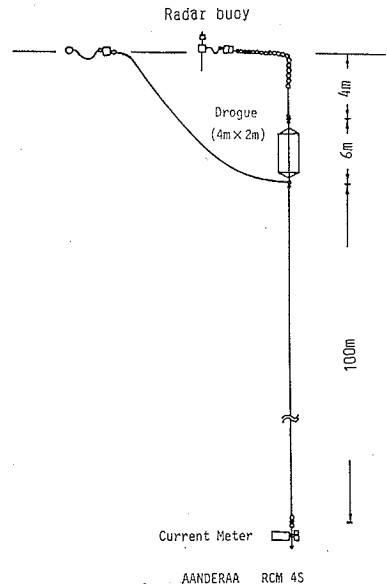


Fig. 2. Assembly of drifter. Four sets were used in the experiment.

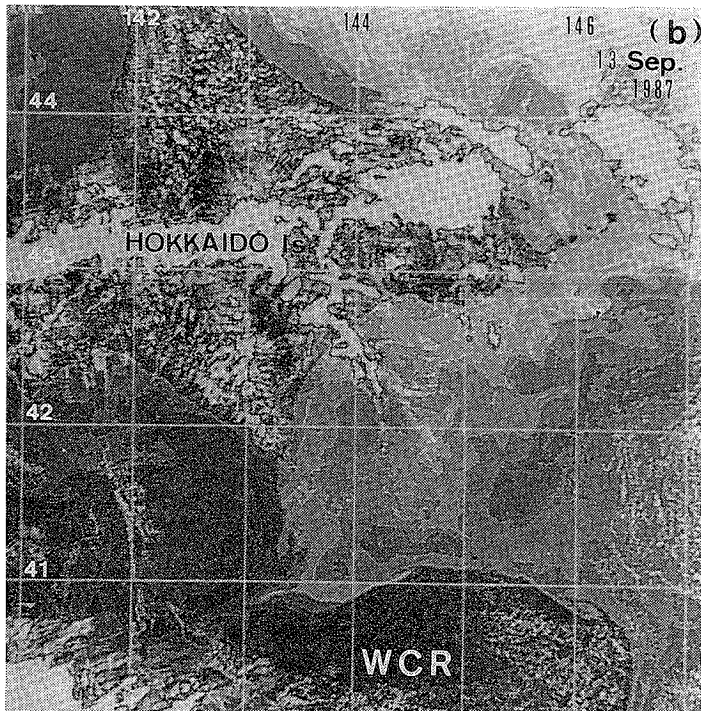
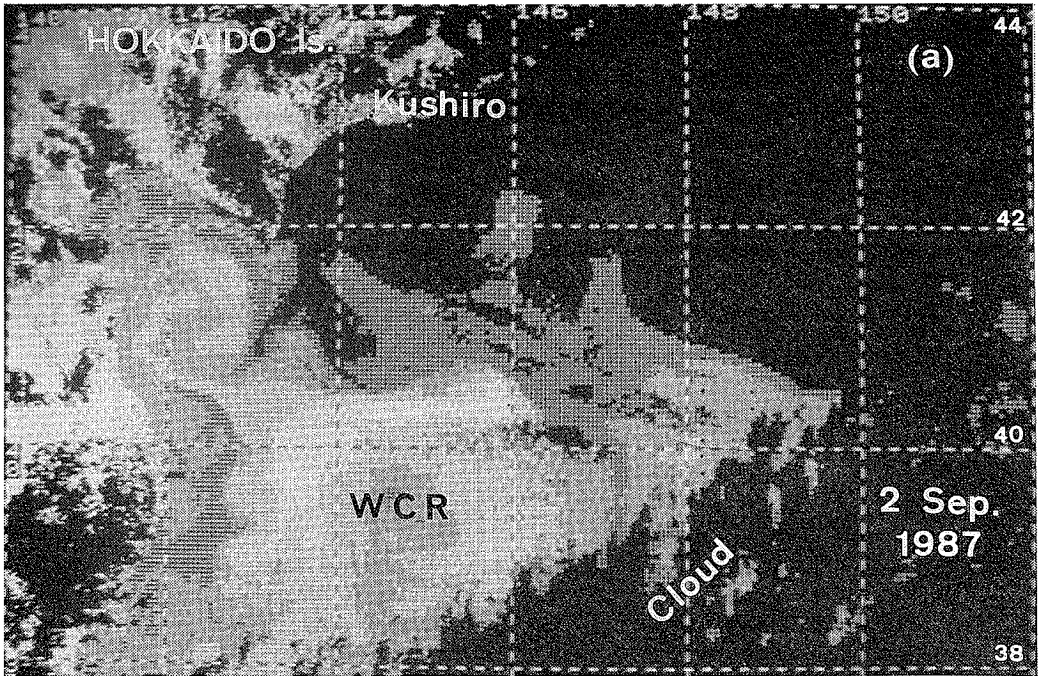


Fig. 3. (a) NOAA infrared imagery on 2 September 1987. Light tone is proportional to high Sea Surface Temperature. (b) Same as (a), except for on 13 September 1987. Heavy tone is proportional to high SST.

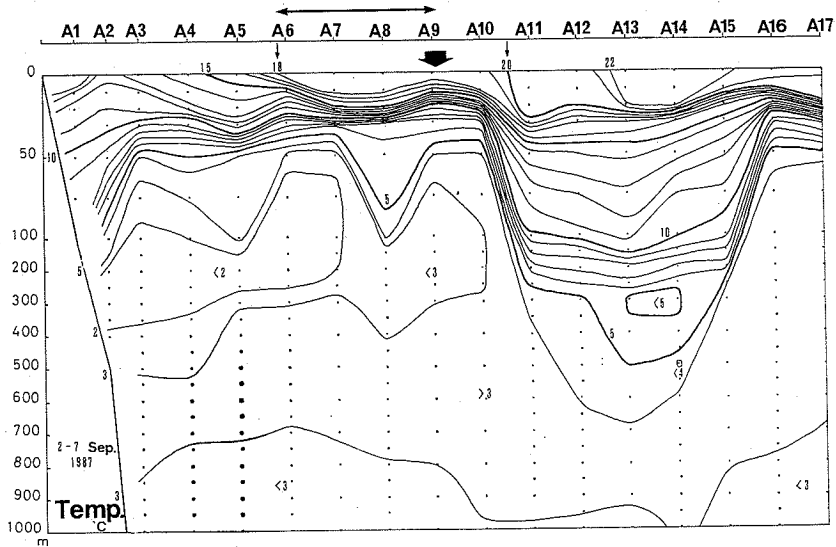


Fig. 4. Vertical section of water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) observed during Hokko-maru cruise on 2-7 September 1987. Broad arrow (near St. A9) denotes the drifter observation area. Upper arrow denotes warm water area.

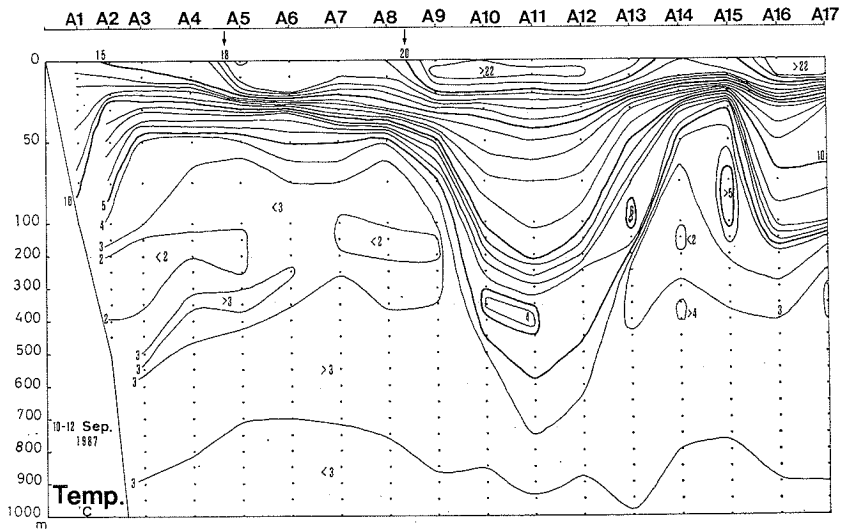


Fig. 5. Same as Fig. 4, except for on 10-12 September 1987.

漂流ブイは、Stn. G を重心とする 1 辺 2.5nm (4.63 km) の正方形の 4 つの頂点 A~D (Fig. 1) に投入し、観測船で各漂流ブイに近づきロランCによって位置を読み取った。すべてのブイが投入されてから最初のブイを揚収するまでの時間は 6 時間 45 分であった。また漂流ブイ投入時に漂流ブイ近傍において STD 観測を行った。

### 3. 結果および考察

#### 3-1 道東海域の海況

1987年9月2日の NOAA 熱赤外画像 (Fig. 3a) には  $39^{\circ}30'N$ ,  $144^{\circ}30'E$  付近に中心を持つ暖水塊 (Warm Core Ring) が示されている。その北縁部 ( $40^{\circ}30'N$  付近) の  $143^{\circ}30'E$  および  $145^{\circ}30'E$  の 2 箇所から、北ならびに北西方向へ暖水域が延びている。11日後の9月13日

の NOAA 熱赤外画像 (Fig. 3b) では暖水塊の北縁は  $41^{\circ}00'N$  にある。また暖水塊北縁部の西側 ( $144^{\circ}30'E$ ) から分岐した暖水は襟裳岬東方の沿岸域に、東側 ( $145^{\circ}30'E$ ) からのものは、道東沿岸域では  $145^{\circ}E$  以東に見られる。

鉛直的な水温構造との対応を見るために、調査船による観測結果を示す。Fig. 4 は 9 月 2 日～7 日の結果である。5°C 等温線に見られるような、等温線が下に凸となる暖水塊特有の構造が Stn. A10～A16 にかけて見られる。9 月 10 日～12 日の結果 (Fig. 5) では同様の構造が Stn. A9～A14 に見られる。このことは暖水塊が観測期間中に北上したことを示している。また、これらの図から観測期間中の暖水塊の北縁を示す表面水温としては、20°C が適当であることが分かる。

水温断面図 (Fig. 4) と NOAA 熱赤外画像 (Fig. 3a) との比較から、Stn. A6 に見られる 16°C から 18°C 等温線で示される前線が、暖水塊から分岐した暖水に対応するものと推測される。そこで、分岐した暖水の境界を指標する表面水温として高温側の 18°C を用いること

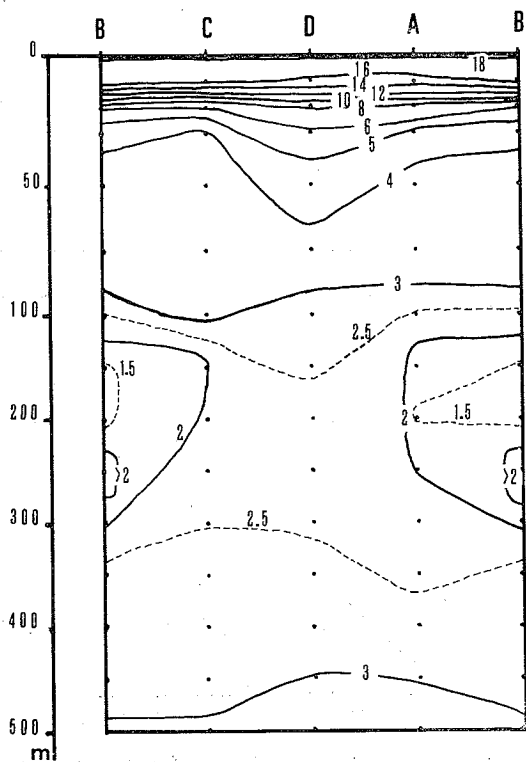


Fig. 6. Development elevation of vertical temperature distribution in observation area of drifters.

にする。

Fig. 4 では、18°C 等温線は Stn. A7～A8 で 10m 深にあり、Stn. A6 付近で表面に達する。その下層では Stn. A7～A9 で 5°C 等温線が 80m 深に達しており、分岐した暖水の影響が 80m 深に及んでいることが分かる。一方、Fig. 5 では 18°C 等温線は Stn. A5～A7 で 20m 深に達しており、Fig. 4 に示されていたものより厚さが増している。逆に下層の 5°C 等温線は 50m 深にあり、Fig. 4 に比べて浅くなっている。このことは上

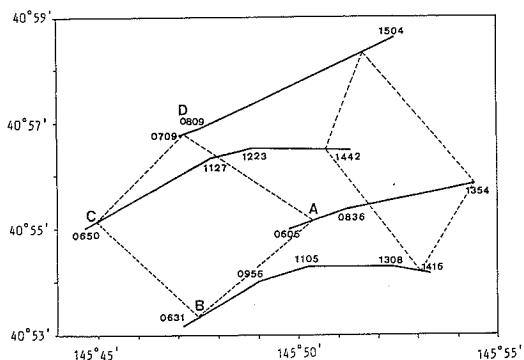


Fig. 7. Trajectories of four drifters (solid line). Dashed line on the left shows the quadrilateral which was made up four drifters when last drifter was released, and on the right the same expect for when the first drifter was picked up.

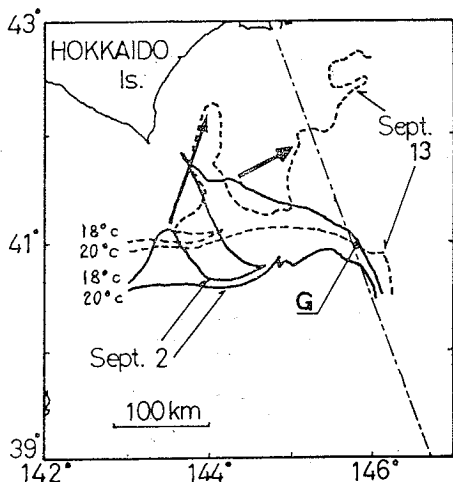


Fig. 8. Isotherms (18°C and 20°C) detected from two NOAA infrared imageries 2 September (solid line) and 13 September (broken line). One-dot broken line denotes the observation line of Hokko-maru.

層の暖水と下層の水が混合した可能性を示している。また Fig. 4, 5 から、親潮域の特徴である 2°C 以下の中冷水が、200m 深を中心として、Stn. A1 まで分布しており、分岐した暖水は親潮の上層に広がっていることが分かる。

### 3-2 暖水塊北縁部の流動

漂流ブイ観測を行った Stn. G は、暖水塊の北東縁部より分岐した暖水の南側に当たっていた (Fig. 1, 3a, 4)。このことはブイ投入点での水温断面図 (Fig. 6) からも分かる。ブイ投入点 A, B, C, D の水深 100m~300m 深には 2°C 以下の中冷水が存在している。しかし最も北側に位置するブイ投入点 D では、30m 深まで 5°C 等温線が達しており、周囲よりも表層の暖水が厚い。このことはブイ D が、分岐した暖水の近辺に投入されたことを示している。

各ブイの軌跡を Fig. 7 に示す。ブイ B, C は東北東から東方向、その後東南東方向へ、またブイ A は東北東から東方向へと漂流した。一方ブイ D は北東方向へと漂流した。ブイの平均移動速度はすべてのブイについて約 30 cm/sec であった。ブイ A, B, C の移動方向の変化は暖水塊の時計回りの流れの影響を受けたものと考えられる。一方、ブイ D の軌跡は他の 3 個のブイから遠ざかる傾向にあった。このことは、分岐した暖水が暖水塊に相対的に北方へと移動する傾向を持っていたことを示唆している。

ブイ投入点海域の回転と南北方向の変形を調べるために、投入完了時刻および揚収開始時刻でのブイの位置を内挿により求め、それぞれの時刻でのブイの位置を破線で結び、四角形を描いた (Fig. 7)。この四角形の面積変

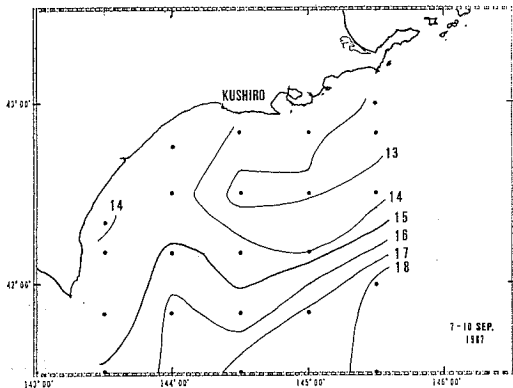


Fig. 9. Horizontal distribution of 10m temperature observed by Soyo-maru on 7-10 September 1987.

化率から相対渦度の鉛直成分 ( $\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ ) と伸び変形率 ( $N = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y}$ ) を川合 (1976) に従って求めた。ここで  $u, v$  はそれぞれ速度の東西成分 (東向き正) および南北成分 (北向き正) である。その結果  $\zeta = 3.46 \times 10^{-5}$ ,  $N = -2.02 \times 10^{-5}$  と推定された。これらは分岐した暖水の南側の海域が低気圧性の渦度を持ち南北方向に引延ばされていることを示している。

Fig. 8 に、9月2日から9月13日にかけての暖水塊の縁部および分岐した暖水の北縁部の移動をそれぞれ示す。ただし、表面水温 20°C と 18°C の等温線の位置を NOAA 熱赤外面像 (Fig. 3a, b) から求め、上述の分岐海域の流動特性を考慮しながら、推測した結果を図示した。これによると9月7日の観測で認められた東側の暖水域は北東方向へ、また西側のものは北北東へとそれぞれ移動し、道東沿岸域へ達したものと考えられる。この暖水が道東沿岸域の表層水に与えた影響を見るため、Fig. 9 に9月7日~10日の10m 深の水温の水平分布を示す。15°C 等温線に顕著に示されているように、分岐

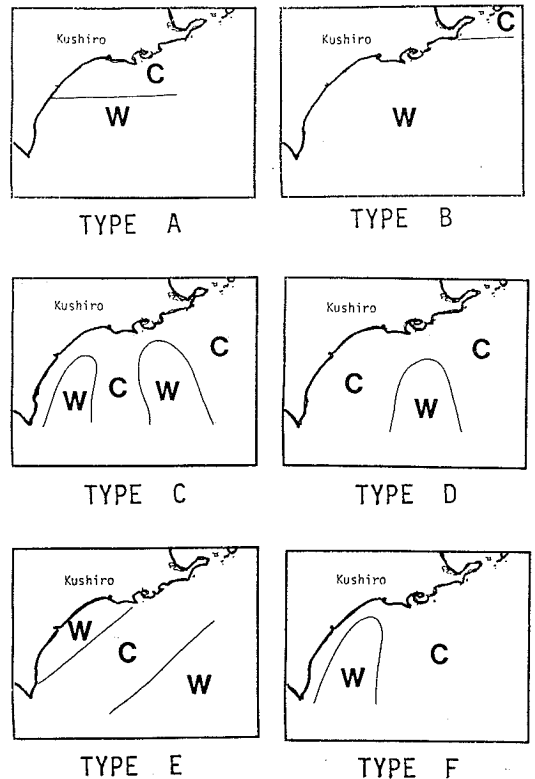


Fig. 10. Classification of sea surface temperature frontal patterns. (W, warm water; C, cold water)

した暖水の影響は 42°00'N, 144°00'E にまで及んでいることが分かる。このことは、南方にある暖水塊から分岐した暖水が、変形しながら北方へと移動することにより、30 m 以浅といわれている道東沿岸域でのマイワシの生息層（原，1990）の水温の水平分布に大きな影響を及ぼすことを示している。

3-3 マイワシまき網漁場形成に及ぼす暖水の影響

1987年7月～10月の漁海況速報ならびに北海道立釧路水産試験場（1988）より、表面水温前線および漁場分布の変動を抜き出し、分岐した暖水の影響を調べた。

まずマイワシ漁場が形成される 11°C～18°C（原，1990）の範囲の表面水温前線について、その分布パターンの類型化を行った（Fig. 10）。TYPE A, B は顕著な前線が見られない場合である。この場合は親潮系冷水の分布に伴って弱い前線が形成されている。TYPE C, D は南方からの暖水の影響が強い場合である。TYPE E は鉛直混合が盛んになる10月上旬以降によく現れた場合である。TYPE F は暖水域の消滅時、あるいは親潮の強勢時に南方から暖水が北上する場合によく現れた。

漁場分布については長澤（1984a, b）と同様に道東海域を5つの領域に分割し、それぞれの海域での特徴を調べた。ここでは道東海域内の沿岸域を西側海域（1）、中央海域（2）および東側海域（3）とし、それより沖合域を西側海域（4）と東側海域（5）とした（Fig. 11）。

Fig. 12a には 1987年7月～10月の前線の分布パターンの変動を示した。ここで注目されるのは、漂流ブイ観測を行った9月7日（図中の矢印）に、顕著な前線が見られない TYPE B から、南からの暖水の影響を示す TYPE C へと変化している点である。その後9月中旬～下旬にかけて暖水の影響を示す TYPE C および

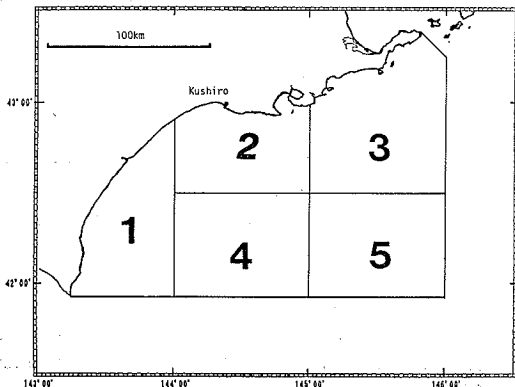


Fig. 11. Classification of fishing grounds off Doutou sea region.

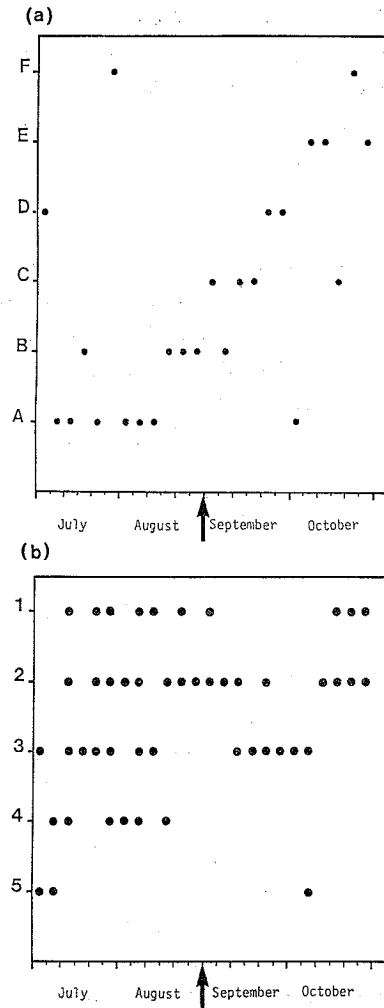


Fig. 12. (a) Temporal variation of sea surface temperature frontal pattern (see Fig. 10) from July to October in 1987. Arrow denotes the formation of warm filament. (b) Temporal variation of fishing grounds (see Fig. 11) from July to October in 1987. Arrow denotes the formation of warm filament.

TYPE D が10日以上続いている。Fig. 12b は漁場の水平分布の変動を示している。同時期の漁場分布には、沿岸域西側漁場（1）が消滅し、替って沿岸域東側漁場（3）が出現するという変化が生じている。沿岸域東側漁場（3）は、その後約1ヶ月間持続している。このように漁場の東方への移動が、長期に渡って持続することは、萩島ほか（1987）が述べている2日程度の持続期間を持つ暖水塊周辺部の暖水の短期変動よりも、より長い時間ス

ケール (10日程度) の現象による影響を示唆している。この持続時間のスケールは、暖水塊から分岐する暖水のボリューム、道東海域の暖水塊の位置、および分岐した暖水の移動に作用する因子 (道東沿岸域の平均流や風) に関係するものと考えられる。

#### 4. おわりに

道東海域に南方から侵入する暖水の挙動を、漂流ブイによる[流動観測および 1987 年 9 月 2 日と 9 月 13 日の NOAA 熱赤外面像をもとに追跡した。この暖水は三陸沖の暖水塊から分岐したもので、その暖水の分岐域付近での漂流ブイによる流動観測から、暖水が分岐する海域では低気圧性の回転と南北方向の伸びが示された。これらのことは分岐した暖水が、暖水塊の右旋環流方向の流速を減じて相対的に北方向へと移動し、道東海域に侵入する可能性を示している。また侵入した暖水は 30 m 以浅の水温の水平分布に影響を与え、この水深を生息層としているマイワシ魚群の移動と密接に関連していた。

今回観測した暖水は、接岸期にあたるマイワシ漁場を東方に移動させ、その変化を10日以上持続させた。これは暖水塊縁辺部での擾乱に関して荻島ほか (1987) が指摘している 2 日程度の時間スケールよりも、長い時間スケールの変動過程を考慮する必要があることを示唆している。

今後の課題は、道東沿岸域の表層に影響を与える暖水の出現頻度を、連続的な表層水温の観測により明らかにすることである。また道東海域に侵入する暖水が、荻島ほか (1988) が指摘しているような親潮系水の昇温したものである場合、その形成過程を明らかにすることも重要であると考えられる。

最後に本研究の観測に御協力下さった北海道区水産研究所海洋環境部の前部長井上尚文氏、北光丸前船長中山寛介氏はじめ乗組員の皆様に厚く御礼申し上げる。また、観測資料の解析において御指導御助言を賜った京都大学農学部水産学科教授川合英夫博士をはじめ水産物理学講座の諸先輩諸兄、北海道区水産研究所海洋動態研究室の川崎康寛博士に御礼申し上げる。NOAA 熱赤外面像は漁業情報サービスセンターの為石日出夫氏に、また蒼鷹丸による観測結果は東北区水産研究所生物環境研究室の稲掛伝三博士に提供して頂いた。記して心より感謝する次第である。

#### 文 献

- CHEW, F. (1981) Shingles, Spin-off eddies and an hypothesis. *Deep-sea Res.* **28**, 379-391.
- 漁業情報サービスセンター (1980) 画像データから放射海面温度への変換. 昭和54年度人工衛星利用調査検討事業報告書, 漁業情報サービスセンター, 74-79.
- 漁業情報サービスセンター (1987) 漁海況速報 (昭和62年). 漁業情報サービスセンター, 932-949.
- 原 一郎 (1990) 索餌期におけるマイワシ魚群の移動と資源量推定に関する研究. 農学博士論文, 京都大学. 139 pp.
- 北海道立釧路水産試験所 (1988) 北海道立釧路水産試験所昭和62年度事業報告沿岸重要資源調査. 北海道立釧路水産試験所, 28-36.
- INAGAKE, D. and T. HIRANO (1984) Horizontal distribution of the Japanese sardine in relation to oceanic front at the purse seine fishing grounds southeast of Hokkaido. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **50**, 577-589.
- 柏井 誠・河野時廣 (1988) 漂流多機測流系による親潮の測流. 1988 年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 34-35.
- 川合英夫 (1976) 収束・発散と海の粒々物理学. 海洋学講座第 2 巻, 海洋物理学 II, 東京大学出版. 251 pp.
- KAWAI, H. and S. SAITO (1986) Secondary fronts, warm tangues and warm streamers of the Kuroshio Extension system. *Deep-sea Res.* **33**, 1487-1507.
- KIMURA, S. and T. SUGIMOTO (1990) Short period fluctuations in velocity of Kuroshio off Kumano-nada Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, submitted.
- LEE, T. N., L. P. ATKINSON and R. LEGECKIS (1981) Observation of a Gulf Stream frontal eddy on the Georgia continental shelf, April 1977. *Deep-sea Res.* **28**, 347-378.
- 長澤和也 (1984a) 道東海域におけるマイワシの漁業生物学的研究, 第 1 報, 漁況の旬別変化. 北水誌月報, **41**(8), 337-349.
- 長澤和也 (1984b) 道東海域におけるマイワシ漁場の特徴. 水産海洋研究会報, **46**, 43-46.
- 荻島 隆・北野清光・藤井 浄・井上尚文 (1987) 人工衛星赤外面像からみた道東海域の海況. 1984年10月の APT 画像と調査船による海洋観測結果—I. 北水研報告, **51**, 51-60.
- 荻島 隆・北野清光・藤井 浄 (1988) 道東水域における立体構造. 特別研究「東北・道東海域における暖水漁場の短期変動に関する研究」研究成果 209, 農林水産技術会議事務局, 122 pp.
- PIETRAFESA, L. J. (1983) Survey of a Gulf Stream frontal filament. *Geophys. Res. Lett.*, **10**, 203-206.
- SUGIMOTO, T., S. KIMURA and K. MIYAJI (1988) Meander of the Kuroshio Front and Current



黒潮系暖水塊の縁辺部における擾乱とそのマイワシ漁場への影響

- Variability in the East China Sea. J. Oceanogr. Soc. Japan, **44**, 125-135.
- 和田時夫 (1988) 道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究. 北水研報告, **52**, 1-138.
- 和田時夫・萩島 隆 (1988) 道東海域におけるマイワシ資源と海洋環境. 漁業資源研究会議報, **26**, 49-60.
- 安田一郎・奥田邦明・平井光行・小川嘉彦・工藤英郎・福島信一・水野恵介 (1988) 秋季津軽暖流の短期変動. 東北水研報告, **50**, 153-191.