

人工衛星赤外画像にみられる道東海域の海況(2)

誌名	北海道区水産研究所研究報告
ISSN	05132541
著者	荻島, 隆
巻/号	53号
掲載ページ	p. 1-14
発行年月	1989年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



人工衛星赤外面像にみられる道東海域の海況—II 1984年9月から10月にかけての釧路沖暖水塊*

荻 島 隆

Fluctuation of Hydrographic Conditions Southeast off Hokkaido as Seen in the Satellite Infrared Images—II A Warm Eddy off Kushiro from September to October 1984*

Takashi OGISHIMA

Abstract : A warm eddy off Kushiro was investigated in relation to its hydrographic structures and short term fluctuations, using both data from shipboard observations and satellite infrared images. The eddy has a thickness of about 600m and consists of two layers, the upper high temperature and high salinity layer with a thickness of about 200m and the lower isothermal layer of 4°C. There are certain correspondences between surface temperature fronts by satellite infrared images and the subsurface fronts of the eddy. Position of the north-east front by satellite images well agrees with the front judged from the subsurface structure. Cold streamers seen in the satellite images coincide with the south boundary of the eddy. Thus the horizontal shape of the eddy can be deduced from the satellite image by neglecting the warm streamer and fitting to ellipse. The shape of the eddy changed from a circular to an elliptical form in late September. The eddy increased the ratio of major axis to minor axis to about three on 8 October. Then the eddy decayed to be an extremely elongated form on 15 October. The ellipticity appears to be closely related with stability of the eddy.

はじめに

北海道南沖から東沖にかけての暖水塊は一般に釧路沖暖水塊と呼ばれているが、道東近海のマサバ、スルメイカ、サンマ等の漁場形成に密接な関連があることが示唆されており^{1)~3)}、この暖水塊の動向は道東海域における漁海況予測において最も重要な予測対象の一つとなっている。

著者らは前報⁴⁾において1984年10月の赤外面像と調査船による海洋観測結果とを用いて、赤外面像と表面水温分布および表層下の水温構造との対応について検討し、また沿岸水の動向について報告した。本報では、1984年9月から10月にかけての赤外面像を用いて釧路沖暖水塊の短期的変化について報告する。

本文に入るに先立ち、懇切なるご指導と原稿のご校閲を頂いた北海道区水産研究所海洋環境部長井上尚文氏、同じくご指導頂いた前海洋第一研究室長北野清光博士ならびに前海洋第二研究室長藤井浄氏に深く感謝する。また、海上調査に当たって、全面的なご協力を頂いた調査船探海丸の乗組員の皆様にも感謝する。さらに、受画装置の使用に便宜を図って頂いた日本無線㈱にお礼を申し上げる。

*北海道区水産研究所 業績番号 A. 373 (昭和63年12月15日受理)

*本報告の一部は1986年度日本海洋学会春季大会にて発表した。

本研究の一部は農林水産技術会議特別研究「東北・道東海域における暖水漁場の短期予測技術に関する研究」により行われた。

資料および方法

海洋観測資料は1984年10月1日～11日および15日～24日の当所調査船探海丸によって行われた観測結果に、当所調査船北光丸、福島県水産試験場調査船いわき丸および函館海洋気象台調査船高風丸の観測資料を併せて使用した(観測点配置は荻島ら⁹⁾Fig. 1を参照されたい)。

赤外画像は、NOAA-6, 7号のAPT画像を当所に設置されたAPT受画装置により直接受信した、1984年9月～10月に得られた7シーンで、釧路沖暖水塊付近の微細な特徴が現れるように強調した白黒画像である。Table 1に使用赤外画像データを示した。

Table 1. Data of Satellite infrared images used.

Satellite	Orbit path	Date	Time (JST)
NOAA			
6	17068	11 Sep. 1984	06:55
6	17089	12 Sep. 1984	17:52
6	17239	23 Sep. 1984	07:07
7	16898	2 Oct. 1984	14:29
6	17459	8 Oct. 1984	17:29
6	17502	11 Oct. 1984	17:57
6	17559	15 Oct. 1984	18:01

結 果

1. 釧路沖暖水塊の経過

1984年10月における釧路沖暖水塊の100m深の中心水温は8～9°Cであったが⁹⁾、この暖水塊の経過を気象庁海況旬報の100m深水温分布から概観してみる(Fig. 1, 5°C以上の部分に斜線を施してある)。

6月には、10°C台の水が41°N, 146°E付近に北上しているが、孤立した暖水塊とはなっていない。7月には10°Cの等温線は40°N以南に後退しているが、40°30'N～41°30'N, 145°E～148°E付近に中心水温7°C台の暖水塊が形成されている。8月には襟裳岬南東の40°30'N～42°N, 143°E～146°E付近に中心水温10°C台の暖水塊がある。9月には40°30'N～42°N, 144°E～146°E付近に中心水温8°C台の暖水塊がある。

7月と8月の暖水塊は、その中心水温からみて、同一の暖水塊であるとは断定できないが、6月には孤立した暖水塊は観測されていないことから、10月に観測された暖水塊はおそらく7月以降に北海道沖に形成され、その後8月頃から持続していたものと推察される。

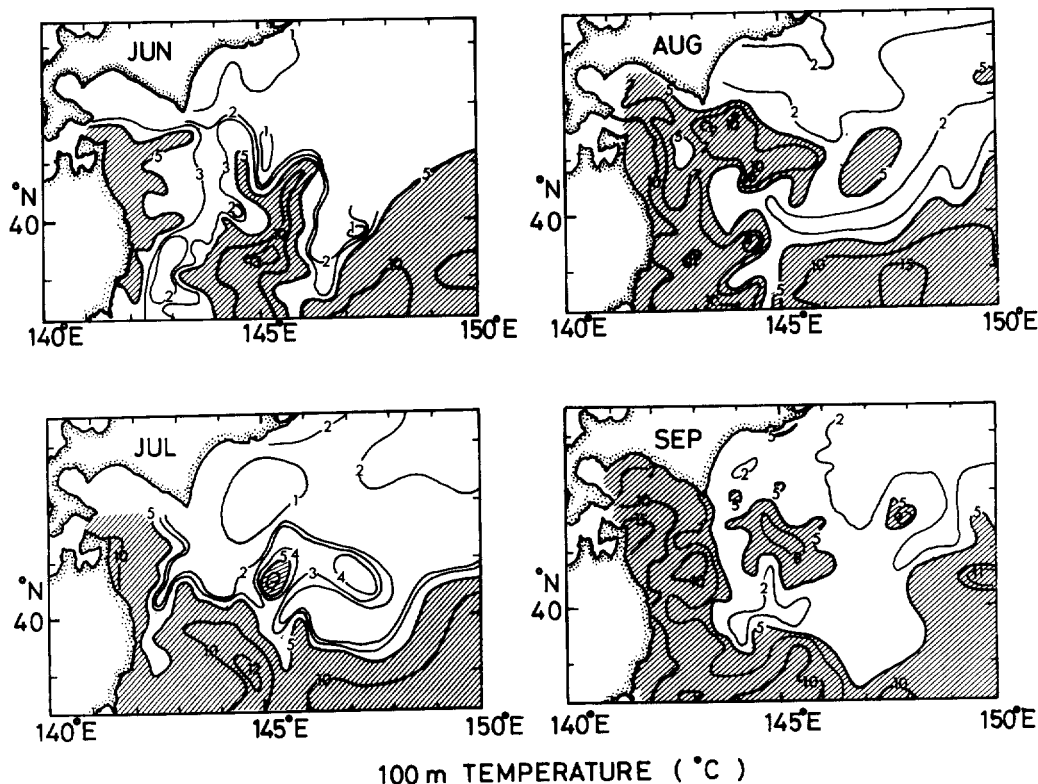


Fig. 1. Monthly temperature distribution of at the depth of 100m reproduced from the ten-day marine report by Japan Meteorological Agency from June to September 1984.

2. 赤外画像からみた釧路沖暖水塊の短期的変化

Fig. 2a~g に 9 月 11 日から 10 月 15 日に得られた赤外画像および画像から釧路沖暖水塊付近の温度勾配の急な部分を前線として判読した模式図を示す。画像は黒い方が輝度温度が高い。

9 月 11 日の画像 (Fig. 2a)

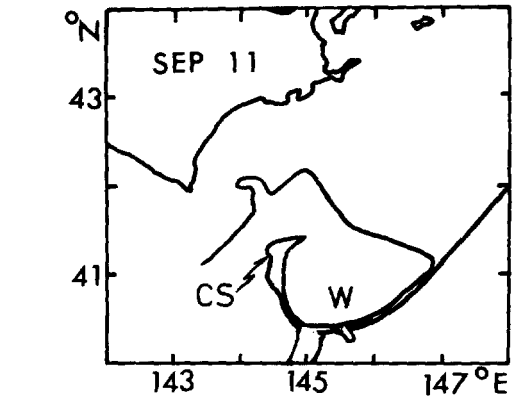
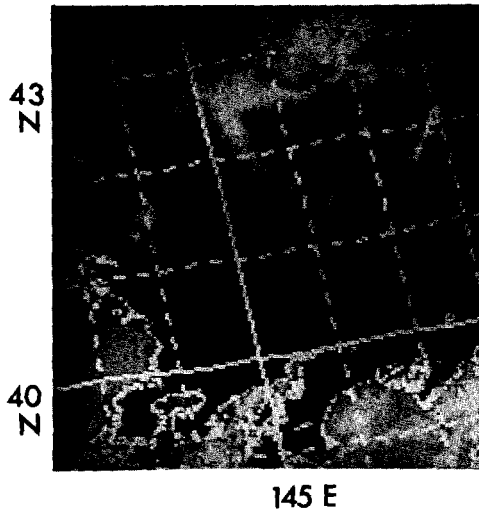
40°30'N~42°N, 144°30'E~147°E に暖水域 W があり, 東側から幅 10km 位の細長い帯状の冷水 CS がこの暖水域に時計回りに巻き込まれている。この暖水域の西側はその南側 40°30'N 以南の暖水域とつながっている。

9 月 12 日の画像 (Fig. 2b)

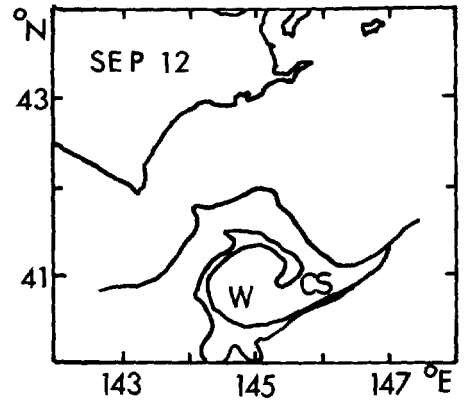
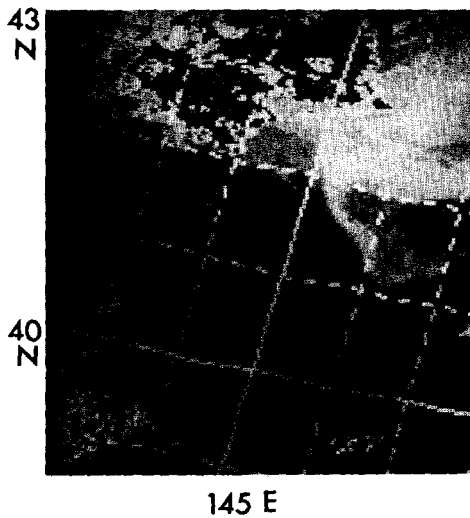
前日の 11 日の画像における帯状の冷水 CS の先端は 41°30'N, 145°E 付近であったのが, 12 日には 41°N, 145°30'E 付近に達していることから, この暖水域 W には全体として時計回りの環流があることがわかる。暖水域 W は Fig. 1 の 9 月の 100m 深の水温水水平分布における 5°C 以上とほぼ同じ位置であり, 暖水塊を示している。冷水巻き込み先端の移動からその速度を見積ると, 約 50km/day (58cm/sec) で, 暖水塊の直径を 185km (100 海里) 程度とするとその回転速度は約 30°/day となる。この値は VASTANO and BERNSTEIN⁹⁾ が赤外画像により釧路沖暖水塊について算出した 25°/day とほぼ同じである。また, 約 35 時間という短い時間の間に暖水塊は角張った形から円形に近い形に変化している。

9月23日の画像 (Fig. 2c)

暖水塊 W は楕円形に近い形に変形している。冷水の巻き込みは南側に細く認められ、暖水塊の西側 145°E 以西で高温となっている。また、暖水塊北側境界の 42°20'N, 145°E 付近には幅 20~30km の突起状の暖水がある。



a



b

Fig. 2. Satellite infrared images of NOAA-6 and-7.

(a) 11 Sep. (b) 12 Sep. (c) 23 Sep. (d) 2 Oct. (e) 8 Oct. (f) 11 Oct. (g) 15 Oct.

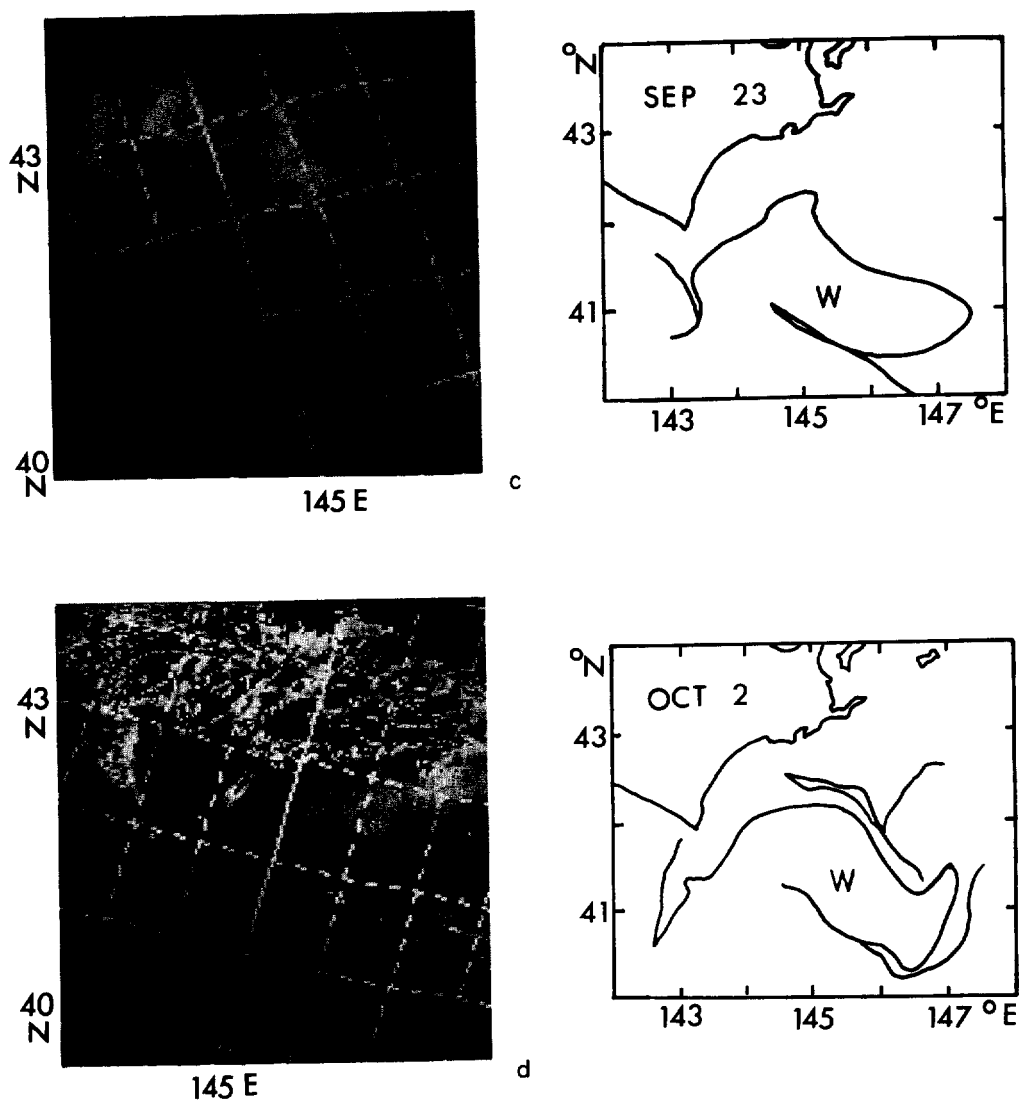


Fig. 2. (Continued)

10月2日の画像 (Fig. 2d)

西および北側に带状暖水があり、暖水塊 W の形は楕円形に近い形からさらに変化し、南東側がくびれたようになり、全体としてやや北上している。また、中心付近は低温域となっている。

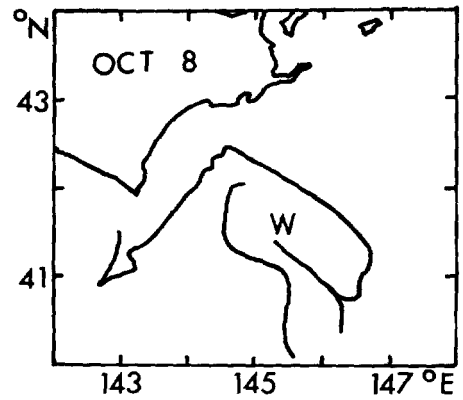
10月8日の画像 (Fig. 2e)

暖水塊 W は再び楕円形に近い形になっている。带状暖水はみられず、かわりに暖水塊の北側に波動状の擾乱がみられる。

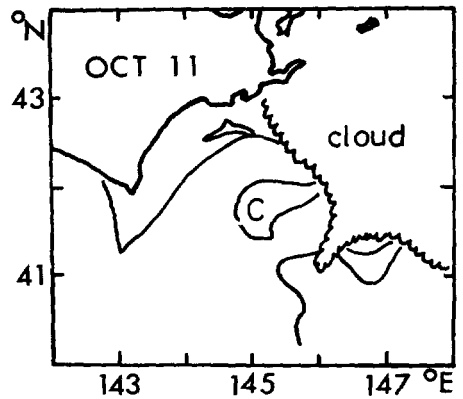
10月11日の画像 (Fig. 2f)

暖水塊の北東側に雲があり、不鮮明であるが、暖水塊の北縁は大陸棚付近まで北上し、北縁の峰から

带状暖水が西方に伸びている。東側から中心付近にかけて低温部分 C があり、図には示していないが 10月9日および12日の画像を参考にすると、南側と北側の高温部は東側で分裂しているようであり、南側の一部は幅20km位で南東方向に右回りに伸びている。また、 41°N 、 $146^{\circ}30'\text{E}$ 付近に低温域がひろがっている。



e



f

Fig. 2. (Continued)

10月15日の画像 (Fig. 2g)

暖水塊の北縁はさらに北上し、暖水塊の形は著しく変形し、減衰していることがわかる。11日の画像における南側の一部から伸びた高温部はさらに南東方向に伸び、あらたに 41°N 、 147°E 付近を中心とする直径150km位の暖水渦 W' を形成している。

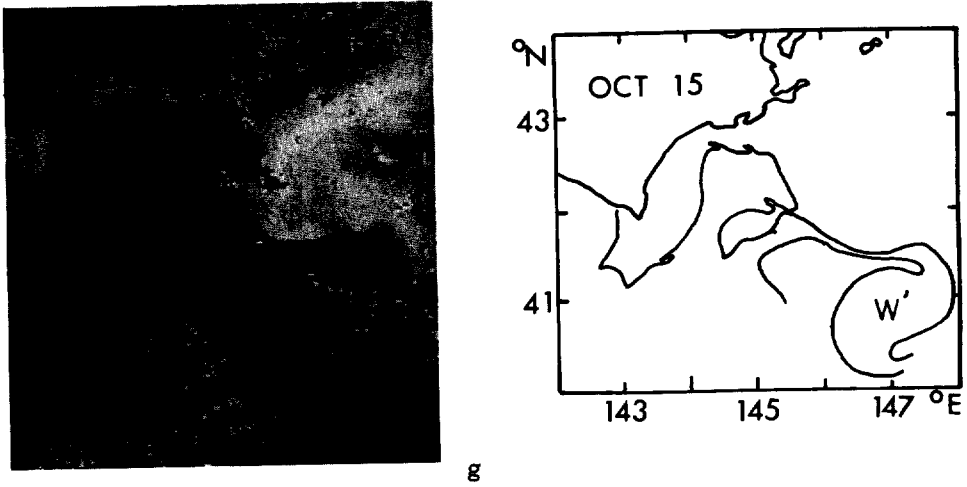


Fig. 2. (Continued)

3. 釧路沖暖水塊の海洋観測結果および赤外面像との対応

先ず、1984年10月1日～11日の調査船による海洋観測結果に基づいて釧路沖暖水塊の海洋構造について述べる。

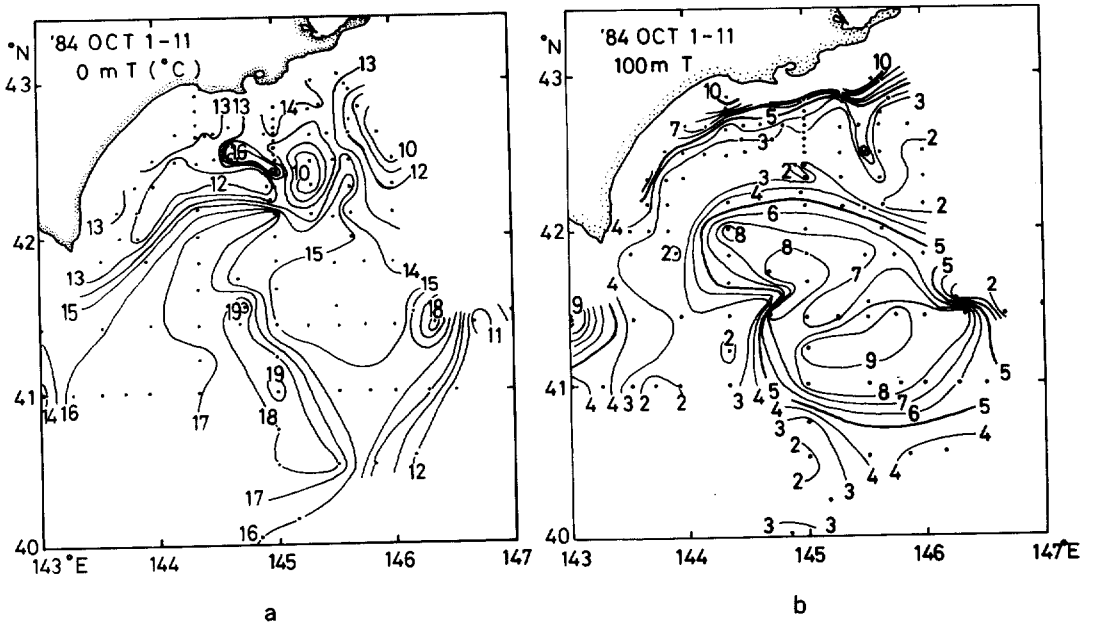


Fig. 3. Horizontal temperature distribution of the warm eddy off Kushiro by ship observations during 1-11 October, at the depth of (a) 0m, (b) 100m*, (c) 200m, (d) 300m, and (e) 400m.
* : After OGISHIMA *et al.* (1987).

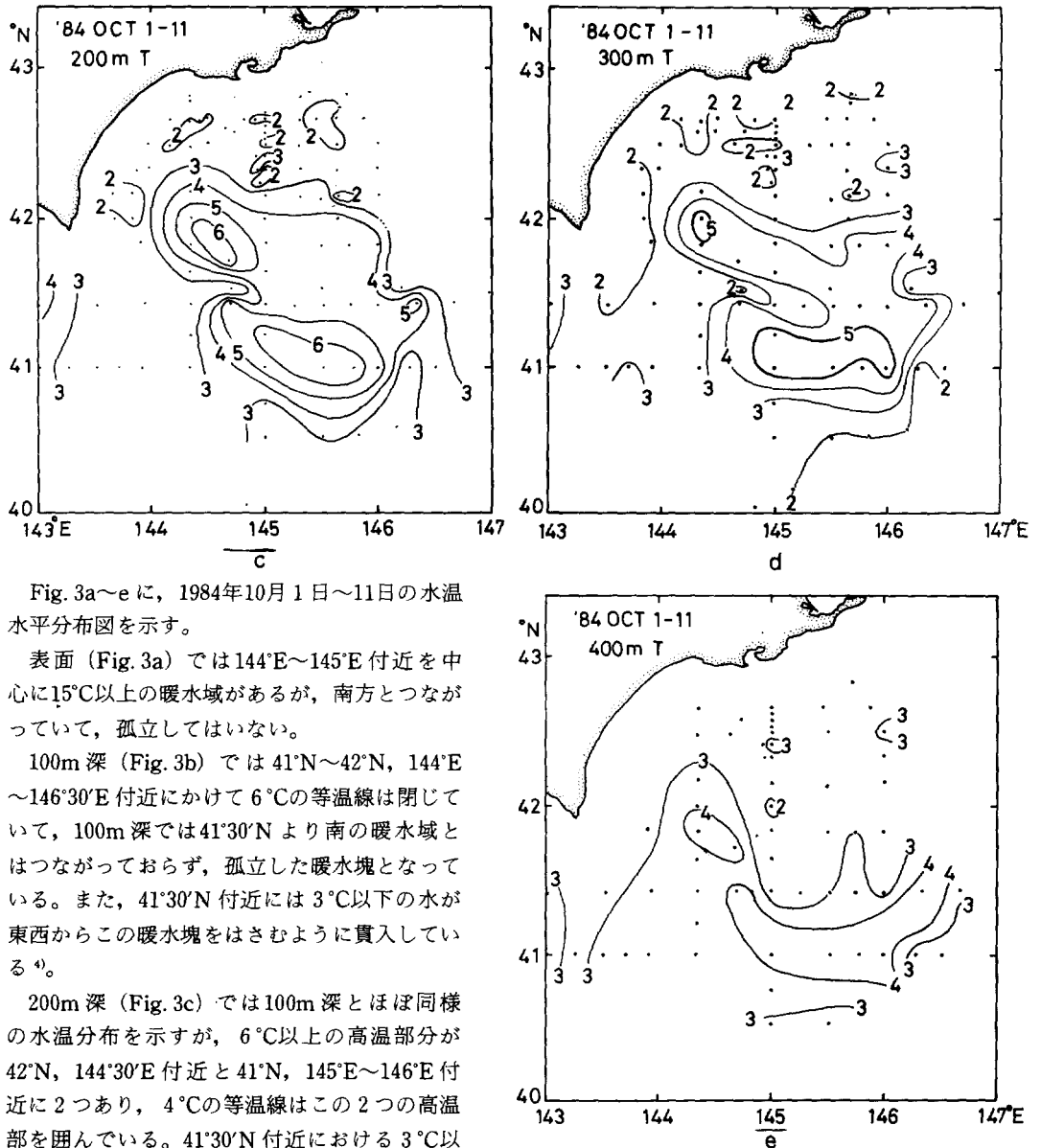


Fig. 3. (Continued)

Fig. 3a~e に、1984年10月1日~11日の水温水平分布図を示す。

表面 (Fig. 3a) では144°E~145°E 付近を中心に15°C以上の暖水域があるが、南方とつながっていて、孤立してはいない。

100m 深 (Fig. 3b) では41°N~42°N, 144°E~146°30'E 付近にかけて6°Cの等温線は閉じていて、100m 深では41°30'N より南の暖水域とはつながっておらず、孤立した暖水塊となっている。また、41°30'N 付近には3°C以下の水が東西からこの暖水塊をはさむように貫入している。

200m 深 (Fig. 3c) では100m 深とほぼ同様の水温分布を示すが、6°C以上の高温部分が42°N, 144°30'E 付近と41°N, 145°E~146°E 付近に2つあり、4°Cの等温線はこの2つの高温部を囲んでいる。41°30'N 付近における3°C以下の水の暖水塊内への貫入は100m 深より顕著である。

300m 深 (Fig. 3d) では2つの高温部の水温は5°C台である。41°30'N 付近における東西からの3°C以下の水の貫入は一層顕著である。また北側の42°N, 145°30'E 付近に4°C以下の水がひろがっている。

400m 深 (Fig. 3e) では4°C以上の水が100m 深における暖水塊の南および西側の高温部分にのみある。145°E から146°30'E にかけての41°30'N 以北は3°C以下となっている。

Fig. 4 に4°Cの等温線の深さを示す。暖水塊の南側にあたる41°N, 145°30'E 付近が最も深く、また41°45'N, 144°30'E 付近にも500m 以上の部分があるが、北側で比較的浅いことがわかる。

Fig. 5a~c は10月2日~5日の145°E 線に沿う水温、塩分および sigma-t 断面分布図で、ほぼ暖水塊

の中心を通る南北方向の断面である。

水温断面分布 (Fig. 5a) によると、表層では Stn. 13~15 および Stn. 17 以南に 15°C 以上の高温部がある。暖水塊中心付近の Stn. 16 では 14°C 台とやや低温となっている。Stn. 11~19 では 4°C 以上の暖水が下層にひろがっており、暖水塊の影響は、Stn. 15~16 で 300m 位、Stn. 19 で 600m 以深に達している。また、Stn. 15~16 の 200m 深付近および Stn. 19 の 350m~650m 深に 4°C 台の等温層がある。Stn. 17 付近では 3~9°C の等温線がその両側に比べてやや浅くなっている、南北で非対称である。Stn. 10 にも暖水が下層にひろがっているが、これは前報で述べたように帯状暖水である。

塩分断面分布図 (Fig. 5b) によると暖水塊中央部分の Stn. 15~17 の 20m~100m 深に 34‰ 以上がある。Stn. 15 および 17 のそれぞれ 400m 深および 200m 深付近には 33.5‰ 台の塩分極小がある。この暖水塊は表面および 200m 以深でかなり親潮水と混合している、200m 以深における塩分値はむしろ親潮に近く、塩分構造からみた暖水塊の厚さは 200m 位と考えられる。

一方、sigma-t 断面分布図 (Fig. 5c) によると 200m 深を境に流動構造が異なることが予想され

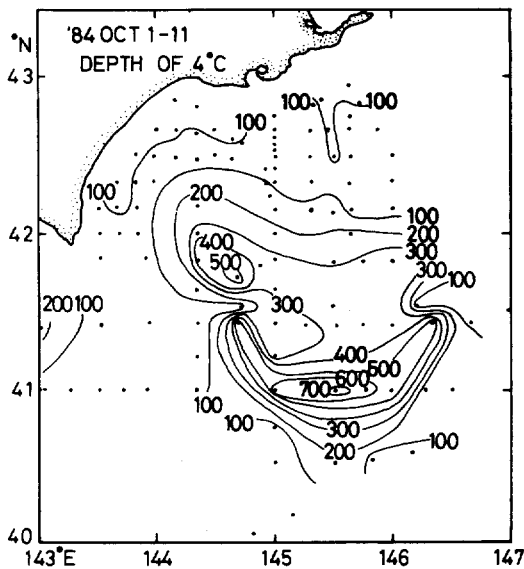


Fig. 4. Distribution of depth (m) of at 4°C during 1-11 October.

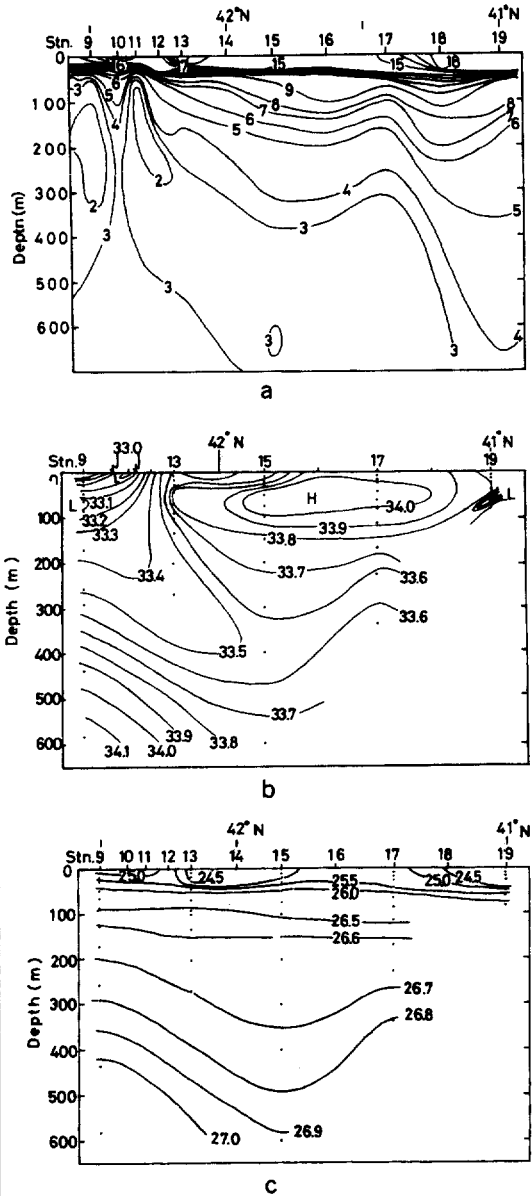


Fig. 5. Vertical sections along 145°E longitude during 2-5 October. (a) Temperature section, (b) salinity section, and (c) sigma-t section.

る。すなわち、下層では Stn. 15 を中心とする時計回りの環流が示唆されるのに対して上層 50m~200m では σ_t の水平傾度はほとんどなく、塩分構造から暖水塊の中核とみられた 20m~100m 深部分には時計回りの環流はほとんど認められないことになる。

Fig. 6 に 10 月 4 日~7 日の 41°25'N 線に沿う暖水塊の東西方向の水温断面分布図を示す。

表層では Stn. 37 付近と Stn. 31 付近に 18°C 以上の高温部があり、暖水塊中心付近の Stn. 17~32 では 14°C 台の低温部となっている。Stn. 17~32 では 4°C 台の等温層は周囲より薄く 200~300m 深までである。暖水塊西側の Stn. 47 から 38 にかけては、表層では 16°C 以上を示すが、50m 以深では 4°C 以下である。観測時期のずれはあるが、10 月 8 日の赤外面像 (Fig. 2e) から判断された前線位置は東側では表層下のフロントとよく一致している。一方、暖水塊西側の表層下のフロントは赤外面像における暖水域の西端の前線位置ではなく、144°30'E 付近の前線位置とよく一致している。

以上の海洋観測結果から、時計回りの環流を暖水塊の本質とすれば、この暖水塊の水平的な形状は 200m 深の 4°C の等温線 (Fig. 3c) によりほぼ代表できると考えられる。200m 深 4°C の等温線から暖水塊の大きさを見積ると、長軸方向 (北西-南東方向) は約 220km、短軸方向 (北東-南西方向) は約 150km である。

10 月 1 日~11 日に観測された釧路沖暖水塊の海洋構造における特徴として、まず上層 100m 以浅に高温・高塩部分があり、200m 以深に 4°C 台の等温層がある 2 層構造を持つこと (Fig. 5, 6) と、全体としてレンズ状の円形ではなく非対称な構造を示すこと (Fig. 4) が挙げられる。

暖水塊内の等温層について友定⁹⁾は、冬季を経過した暖水塊にみられると述べ、“越冬水”と呼んでいる。また、秦⁷⁾が 1 年半以上追跡した暖水塊においても冬季を経過したときには等温層が形成されている。

6 月から 9 月の 100m 深の水温分布 (Fig. 1) によると、観測された暖水塊は 7 月から 8 月にかけて形成され、冬季を経過してはいないことになる。観測された暖水塊の水温断面図 (Fig. 5a, 6) によれば 100m 深付近の鉛直方向の温度勾配は大きい。したがって、一ヶ月毎の 100m 深水温分布による中心水温のみでは暖水塊の追跡が可能かどうか疑問で、さらに検討する必要があるが、200m 以深にある 4°C 台の等温層には時計回りの環流が示唆される (Fig. 5c) ことから、考えられる解釈として、この暖水塊は友定⁹⁾や武藤⁸⁾が報告しているような、黒潮系暖水が冬季間を経て周囲の親潮水と混合し、形成された下層の 4°C 台の等温層の上の 200m 以浅に新たに黒潮系の暖水が覆う、“暖水塊の複合”の結果形成されたものかもしれない。

つぎに、調査船による海洋観測結果から判断された釧路沖暖水塊の形状・位置と赤外面像から判読した前線位置との対応を検討する。

前述のように、10 月 1 日~11 日に観測された釧路沖暖水塊の水平的な形状は 200m 深の 4°C の等温線ではほぼ代表できた。そこで、Fig. 7 に 10 月 1 日~11 日の 200m 深水温水平分布図 (Fig. 3c) に 10 月 2 日および 10 月 8 日の赤外面像 (Fig. 2d, e) から判読された前線位置とを重ねて示した。暖水塊の北東側の境界は 10 月 2 日および 8 日の場合ともよく一致している。また、暖水塊の南側の境界は赤外面像における冷水の巻き込みの部分境界として判読できる。西側の境界は冷水の巻き込みパターンを手がかりとして暖水塊を楕円形近似して外挿すればほぼ暖水塊と西側の表面だけの暖水域との判別ができるこ

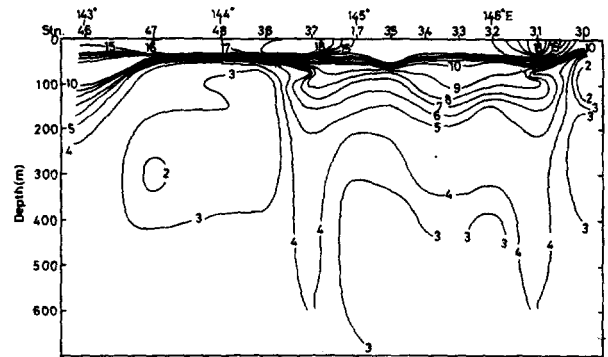


Fig. 6. Vertical temperature section along 41°25'N latitude during 4-7 October.

とがわかる。

一方、10月15日の赤外面像では釧路沖暖水塊の形状は著しく変形している (Fig.2g)。Fig. 8 に10月15日～24日に得られた200m 深水温水平分布を示す。4°C以上の水は一部道東沿岸域に達している。また、41°30'N, 144°E～145°20' E 付近には3°C以下の冷水がひろがっている。10月1日～11日の200m 深水温分布 (Fig. 3c) と比較すると、10月11日から15日の赤外面像において釧路沖暖水塊の高温部が東側で分かれ、北側の一部は大陸棚付近に達し、南側の一部は南東方向に伸びた変化とよく対応している。

考 察

釧路沖暖水塊は三陸沖の暖水塊と比べて複雑な海洋構造を持ち、これに加えて変動の時間スケールが短い。したがって、暖水塊の形状や位置の追跡には人工衛星赤外面像が効果的である。赤外面像を用いて暖水塊中心位置の追跡を試みた例として、BROWN *et al.*⁹⁾は大西洋 Gulf Stream warm core ring について、赤外面像における ring を楕円形近似し、前線位置を最小二乗法によってあてはめてその中心位置を決定している。一方、斉藤¹⁰⁾は三陸沖暖水塊について7日間の調査船によるデータを用いて、赤外面像による表面水温分布パターンにおける暖水塊中心の低温部は、200m 深の水温分布における暖水塊の暖水コアの位置と一致すると述べ、また冷水を時計回りに引き込むパターンも判読の指標として暖水塊の中心を決定している。しかし、本報における Fig. 2a～c のように、赤外面像において暖水塊中心の低温域がない場合もあり、中心の低温部を暖水塊の中心位置とする方法は必ずしも一般的とは言えない。また、赤外面像からの暖水塊中心の判読方法についてはふれていないが平井¹¹⁾は11～12日間の調査船による100m 深水温分布図の暖水塊の中心と赤外面像から求めた暖水塊の中心との差は約10海里の範囲であると報告している。暖水塊中心位置の追跡は暖水塊移動特性の研究に重要であるが、短期漁海況予測精度の向上を図る上で重要な時空間スケールの小さな変動特性の調査研究のためには暖水塊境界、すなわち暖水塊全体の形状を抽出し、追跡することが基本的に必要である。

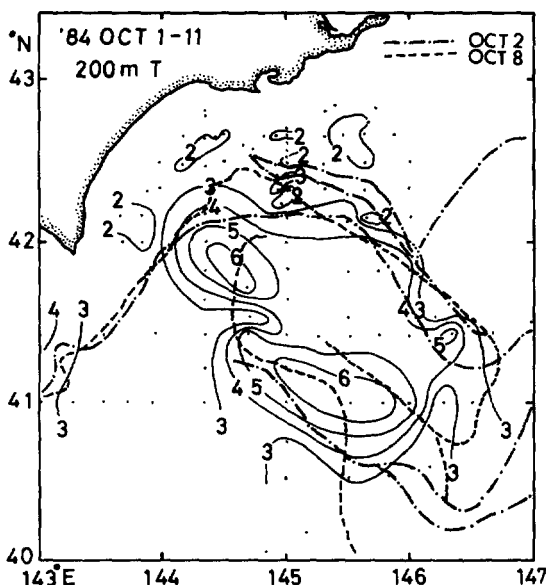


Fig. 7. Position of the sea surface temperature front deduced from the satellite infrared images for 2 and 8 October over the distribution of temperature of at the depth of 200m during 1-11 October (Fig. 3c).

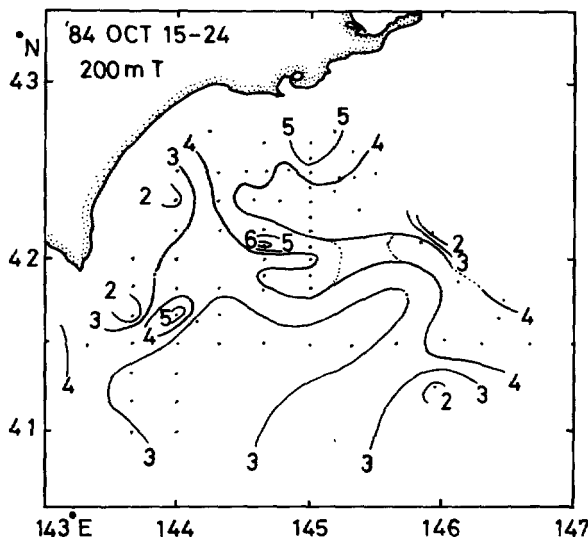


Fig. 8. Temperature distribution of at the depth of 200m during 15-24 October.

10月1日～11日に観測された暖水塊の西縁から暖水塊の南側の暖水域にかけて、いわゆる“warm streamer”がある。この部分では表層のみが暖かく、下層には冷水が分布しており (Fig. 6), 暖水塊本体とは区別される。warm streamerの海洋構造や暖水塊本体に対する補給の有無などについての観測例は多くない。秦⁷⁾は暖水塊西側の“補給流”について表面水温分布のみによると補給があると解析されるが、塩分分布ならびに表面流速分布からはその補給はほとんどないと述べている。一方、水野・秋山¹²⁾は赤外画像、表面水温図およびGEKの観測資料から補給流があると述べている。観測されたFig. 6のStn. 47から38にかけてみられる表層の暖水については、水温主体の観測のためその塩分および流れについては明らかではないが、もしも南方からの暖水の補給があるとすれば、暖水塊の維持機構を考えるうえで重要であり今後究明する必要がある。いずれにしても、本報で述べた暖水塊では北側の前線と南側の冷水の巻き込みパターンを楕円形に近似することで、ほぼ暖水塊本体の水平的な形状を判読できた。言うまでもないが、釧路沖暖水塊の海洋構造は年によって異なるし、周辺の表面水温分布は季節毎にも多様なパターンを示すため、赤外画像からの暖水塊の形状の判読方法についてはさらに多くの例について検討する必要がある。

KITANO¹³⁾は17年間の月毎の100m深水温分布図から暖水塊の形について調べ、長軸と短軸の比(歪み率: R)はモード約1.3で、通常1.0から2.0の間にあり、Rが3.3～5.0と著しく大きいものもあるがこのような暖水塊は不安定であると述べている。また、KITANO¹⁴⁾は1982年4月の赤外画像から41°N, 147°E付近を中心とする直径約300kmの暖水塊が1週間位の間には本報とは逆に楕円形から円形に変化したと報告しており、暖水塊の形状は10日間程度の間に変化すると考えられる。観測された暖水塊のRは、10月1日～11日の調査船による200m深の水温分布図 (Fig. 3c)からは約1.5, 10月8日の赤外画像 (Fig. 2e)からは約3と見積られる。調査船によるRの値は11日間の観測値を用いており、時間的なずれからゆがみが生じている可能性がある。したがって赤外画像からのRを採用すれば、10月8日の時点ではRは約3となり、不安定な状態になっていたと推定される。Rの増大は10月11日～15日の赤外画像にみられた暖水塊の減衰の前駆的現象であるとも考えられる。

友定¹⁵⁾は暖水塊の消滅過程について1973年～1982年の14例について調べ、黒潮と再結合するケースが多く、5例あったと報告している。しかし、他の例については追跡できなかったものが多い。とくに黒潮から遠く離れた釧路沖暖水塊については本報で述べたような急激な減衰によって消滅する場合も多いのではないかと考えられる。

最近暖水塊の形状についての理論的研究が行われているが¹⁶⁾、釧路沖暖水塊の移動・消滅についての短期的かつ実際の予測にはこのような理論的な研究を進めると同時に、本研究で行ったような赤外画像と暖水塊の海洋観測結果との対応を検討した上で、赤外画像による暖水塊の位置・形状と短期的な変動との関連についての統計的な研究を進めることが今後必要と思われる。

要 約

1984年9月～10月の赤外画像および同時期に行った調査船による海洋観測結果を用いて釧路沖暖水塊の海洋構造とその短期的変化を調べた。観測された釧路沖暖水塊は200m以浅の高温・高塩分層とそれ以深の時計回りの環流を示す層との2層からなる複雑な海洋構造を持っていた。赤外画像による表面水温分布パターンと海洋観測結果から判断された暖水塊の境界の形状を比較した結果、赤外画像における暖水塊西側のwarm streamerは表層のみ高温で、暖水塊本体とは区別されること、下層の暖水塊の水平的な形状は赤外画像における暖水域の北側の前線と南側の冷水の巻き込みパターンを楕円形に近似すればほぼ判読できることがわかった。赤外画像から判読された暖水塊の形状は9月下旬に円形から楕円形に変化し、その後長軸と短軸の比が約3に達した後、10月中旬に急激な減衰を示した。暖水塊の形状は安定性と関係するため、今後、釧路沖暖水塊の位置・形状と変動特性との関連についての統計的な研

究が必要である。

文 献

- 1) 佐藤祐二 (1968) : 釧路沖暖水塊を中心とするサバの回遊と漁況。水産海洋研究会報, (12), 57-61.
- 2) 新谷久男 (1968) : 釧路沖暖水塊を中心とする重要魚の回遊と漁況について。水産海洋研究会報, (12), 61-68.
- 3) 斉藤誠一 (1983) : リングの変動と資源生物の時空分布—人工衛星データによるアプローチ。海洋科学, 15, 274-285.
- 4) 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, (51), 51-60.
- 5) VASTANO, A. C. and R. L. BERNSTEIN (1984) : Mesoscale features along the first Oyashio intrusion. *J. Geophys. Res.*, **89**, 587-596.
- 6) 友定 彰 (1975) : 本州東方海域で黒潮から切離する暖水塊について。東海水研報, (81), 13-85.
- 7) 秦 克己 (1974) : 黒潮から分離した暖水塊の変動について。気象庁研究時報, 26, 295-321.
- 8) 武藤清一郎 (1981) : 東北海区における暖水塊の消長 第4報 暖水塊の複合について—1977年八戸沖暖水塊を例として—。東北水研報, (43), 1-14.
- 9) BROWN, O. B., D. B. OLSON, J. W. BROWN and R. H. EVANS (1983) : Satellite infrared observation of the kinematics of a warm-core ring. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, **34**, 535-545.
- 10) 斉藤誠一 (1984) : 衛星画像による暖水リングの追跡。海洋科学, 16, 470-474.
- 11) 平井光行 (1984) : NOAA-6による東北海区の短期的海況変化の解析。東北水研報, (46), 27-38.
- 12) 水野恵介・秋山正寿 (1980) : 赤外面像による東北海区の海況解析—暖水塊を中心として—。航水研ノート, 空と海, (2), 47-55.
- 13) KITANO, K. (1975) : Some properties of the warm eddies generated in the confluence zone of the Kuroshio and Oyashio. *J. Phys. Oceanogr.*, **5**, 245-252.
- 14) KITANO, K. (1983) : Some visual evidence of the Kuroshio warm core eddy revealed in the satellite APT pictures of NOAA-7. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.*, (40), 107-110.
- 15) 友定 彰 (1984) : 暖水塊の生成と変質経過。海洋科学, 16, 437-441.
- 16) CUSHMAN-ROISIN, B. C., W. H. HEIL and D. NOF (1985) : Oscillations and rotations of elliptical warm-core rings. *J. Geophys. Res.*, **90**, 11756-11764.

