

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

森永 健司*・杉本 隆成*

Relationship between 18-day Periodic Fluctuation in SST Data and Generation of Warm Streamer around Continental Shelf off Eastern Part of Hokkaido

Kenji MORINAGA* and Takashige SUGIMOTO*

Abstract

There was a 18-day fluctuation in time series of SST data at coastal station in Akkeshi (southeastern part of Hokkaido, called Dohtoh region). It was shown that SST anomalies resulted in this fluctuation moved south- or westward in SST time series data observed by a regular line between Kushiro and Tokyo. Its apparent velocity was evaluated about 7 cm/sec, and this value was corresponded to the observational value of mean current speed detected by moored current meters at coastal area of Dohtoh region (off Hiroo). It was also shown that this fluctuation was caused by warm water advection from offshore area, because of a detection of a band-like distribution of warm water along coastal line from satellite infrared imagery. Moreover, this band-like warm water was caused by the perturbation occurred when the giant warm streamer had intruded to the Kuroshio Warm Core Ring off Dohtoh region.

1. はじめに

道東海域(襟裳岬から根室半島にかけての北海道南岸の沿岸及び沖合域)は世界有数の漁場として知られ、わが国の水産業にとって重要な海域である。漁獲される主な魚種は、多獲性浮魚類のマイワシ、マサバ、サンマ、サケ、マス、さらには底魚ではスケトウダラなどである。とくにマイワシの漁獲量(北海道さば旋網漁業生産調整組合)は1976年の約26万トンから急激に上昇し、1984年には約116万トンに達した。この値は全国の年間漁獲量の1/3~1/4にあたり、当海域はわが国最大のマイワシ旋網漁場となっている。

当海域を海況学的に見ると、親潮系冷水と暖水塊に代表される黒潮系暖水が分布している。これらの水塊の間には前線が形成され、その前線域にはより小さい時空間スケールの擾乱が発生して、さまざまな時空間スケールの現象が重なり合った複雑な様相を呈する。

道東沿岸の海況については、藤井・阿部(1980)が、夏季における道東沿岸域の水系分布に関して宗谷暖流変質水が道東沿岸に沿って南西方向へと流れ、その沖合に親潮水が分布することを報告している。また、道東沿岸での水温の季節変動の位相の伝播に関して河野・井上(1987)は、北海道沿岸の15年間の旬毎の定点水温観測資料をもとに調和解析を行い、道東沿岸では水温の季節変動の位相が東から西へ伝播することを示している。この結果は道東海域における平均的な流れの方向と関係している。流れの実測例としては、小笠原(1982)の流速計を用いた沿岸流の観測がある。彼は、道東南部の十勝沿岸では海岸線に沿った半日周潮流が卓越し、その流速は最大で20~30cm/secであり、一方恒流はほぼ南西方向に10cm/secと小さいが、沖合になると潮汐流は弱まり恒流の流速が相対的に増加すると報告している。

以上の知見はいずれも道東の大陸棚および大陸棚縁辺部では平均的に南西方向の流れが卓越することを示唆している。しかし、道東沿岸の海況変動については、以上に述べた研究例があるのみで極めて少ない。

道東海域の巨視的な海況変動は、主として親潮の流量・

1992年3月10日受理。

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

流路変動と南からの黒潮系暖水塊の動きに左右されると考えられる(川合, 1972; 福島・小川, 1988; 杉本ほか, 1991)。道東海域周辺での親潮の流路変動の原因としては、それ自体の不安定性も考えられるが主として黒潮より切離され三陸および道東海域へと北上してくる暖水塊の影響が挙げられる。すなわち、暖水塊が数カ月～1年程度の時間スケールで道東沖合を移動することが、道東海域での総観規模(100km程度)の海洋構造とその経年変動を規定し、さらにその縁辺部に発生する擾乱が局所的(10数km程度)な海況変動に対して数日～数週間程度の周期の短期的な変動を与えるものと考えられる。

近年、人工衛星からの空間的に詳細な同時広域情報が得られるようになり、沖合での海況変動の様子が徐々に明らかになってきた。例えば、荻島ほか(1987, 1988), KITANO and OGISHIMA (1989)は、釧路沖暖水塊の縁辺部の擾乱をNOAA熱赤外面像で追跡し、その時間的变化を示した。また、同時期の海洋観測資料により沿岸域の表層に広がる水塊が、水温15°C, 塩分33という親潮系水の昇温したものであることを指摘した。しかし、これらの研究で捉えられた暖水塊縁辺部での擾乱は、空間スケールが数キロ程度と小さく、当海域の海況変動に大きな影響を与えるとは考えにくい。

道東海域における沖合域の海況変動と沿岸域の水温の短期変動の関係を明らかにすることは、沿岸域の短期的な海況の予測を行う上での基礎的な知見を与えられられる。しかし、これまでの研究では調査船による1カ月単位の海洋観測資料および人工衛星熱赤外面像から、海洋構造との静的な対応が論じられているのみである。

本研究では既存の海洋観測資料および定期航路船による連続的な水温観測資料に基づいて、道東沿岸域における表面水温の短期変動の特徴について検討を行った。沿岸域の水温の短期変動は、沖合の海況変動(暖水塊の位置および親潮の流路等)に深く依存していると考えられる。そこで、沖合の暖水塊から沿岸域へと波及する暖水の発生に焦点を絞り、定期航路船による水温連続観測と人工衛星熱赤外面像を用いて沖合域での海況変動に伴う沿岸域の変動を詳細かつ連続的に捉えようとした。

2. 資料・方法

道東沿岸域での短期的な海況変動を見るためには、海況変動を指標する情報を時間的に連続して得ることが必要である。そこで、東京～釧路を約30時間で航行する近海郵船フェリー株式会社所属の定期航路船“さろま

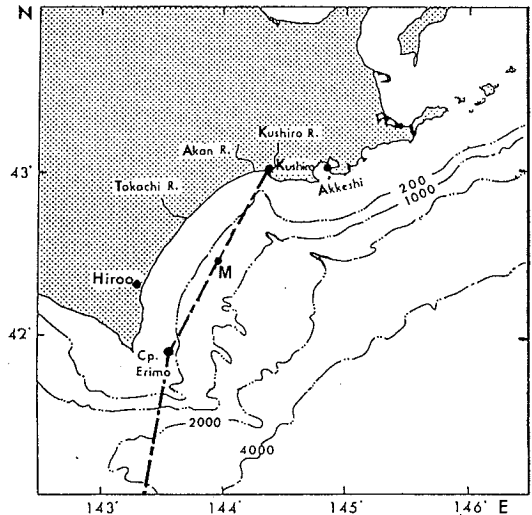


Fig. 1. Station location of SST observation and a regular line between Kushiro and Tokyo. M-point denotes the mid-point between Kushiro and off Cp. Erimo. point.

(8,000t)”と“サブリナ(12,000t)”のエンジン冷却水の取水口に水温計を取りつけ、1989年5月より海面水温の連続観測を開始した。定期航路船の航路は釧路から襟裳岬にかけての道東沿岸に沿っており、Fig. 1に示すように概ね200m等深線上にある。釧路港には3日毎に到着し、入出港時刻はそれぞれ午前6時および午後4時である。また、航路上には通過時刻を通信するチェックポイントが設けられており、各ポイントでの通過時刻は運航日誌に記録されている。道東海域でのチェックポイントは襟裳岬沖にあり、通過時刻は概ね午前2時(下り)と午後8時(上り)である。

水温計は、ポンプで取水した海水(エンジンの一次冷却用水)が通るパイプの最も取水口に近い場所に埋設した。海水の取水口は、船底(約6m)にあり、計測した水温は水面下6mの水温に相当する。水温のセンサーには、海水による腐食を防止するための被覆を施した白金抵抗温度計を用いた。測定した水温は、機関制御室内に設置したデータコレクター(AM-7000型 安立計器株式会社製)に10分間隔で記録した(水温の測定精度は0.1°C)。記録したデータは、東京港入港時にデータコレクターよりパーソナルコンピュータを用いてフロッピーディスクに転送した。本研究では、上記の方法で得

られた水温データから釧路～襟裳岬沖で取得したものを抜き出し、道東沿岸域の水温資料として用いた。また、定点での水温資料として、航路上M点（釧路～襟裳岬沖の中間点）の水温を用いて、1989年の時系列資料を作成した。

M点での水温は3日間に2回得られるが、別に解析に用いた沿岸定点水温は毎日午前10時に測定されていることから、それと比較するには、時間的に内挿して午前10時の水温値を推定する必要があった。そこで、M点通過時刻を釧路港入出港時刻および襟裳岬沖通過時刻の中間の時刻とし、その時刻に得られた水温を用いて、時間的に直線補間を行い、毎日定時（午前10時）の水温を求めた。さらに、10数日の変動を見るために、定時水温の時系列データに二項係数で重みを付けた11日間の移動平均を施して数日以下の変動を除去し、それを定点水温の基礎資料として合わせて用いた。

道東沿岸での水温変動を長期的に調べるために、水温の定点観測資料（栽培漁業振興公社）を用いた。同公社より公表されている資料は、北海道沿岸に設けた定点(53カ所)で毎日定時（午前10時）に観測された水温を基礎資料とし、それを旬毎に平均して取りまとめたものである。しかし、道東沿岸での短期的な水温変動を詳細に見るためには日単位の資料が必要である。そこで、公表された資料のほかに、その基礎となった毎日の水温測定資料を栽培漁業振興公社より入手した（1986～1988年）。

道東沿岸には4カ所（厚岸湾、厚岸湖、白糠、広尾）の定点が設けられている。このうち、本研究では厚岸湾（太平洋に面した北海道大学付属臨海実験所の地点）で得られた水温資料を用いた。その理由は、冬季の結氷期を除いて、ほぼ毎日観測され欠測が少ないこと、及び近辺に大きな河川がなく河川水による水温への影響を考慮する必要がないことである。解析に際しては、定期航路船の水温資料と同様の移動平均を施して数日以下の変動を除去したものを基礎資料として用いた。

上記の観測より得られた資料に加えて、面的に広範囲な情報を得るためにNOAA熱赤外面像を適宜使用した。NOAA熱赤外面像は気象協会より入手したのものを用いた。NOAA熱赤外面像からは、ある時刻における広範囲の表面水温分布を知ることができるが、海面上の水蒸気圧や大気中の塵などの影響を受けるため水温の絶対値への補正が困難である。そこで、本研究では水温の絶対値ではなく画像の色調が大きく変化する部分を水温前線として捉え、沖合および沿岸に分布する水塊を判断するための資料とした。

さらに、沿岸域での水温変動の原因の一つであるエクマン輸送の効果について検討するために、根室上空（850 mb）での6時間毎の風向・風速を道東海域での風の代表値とし、その1988年夏季（6～10月）の資料を用いて、風のベクトルを道東沿岸に対して沿う成分とそれに直交する成分とに分解し、FFT法を用いたスペクトル解析を行った。

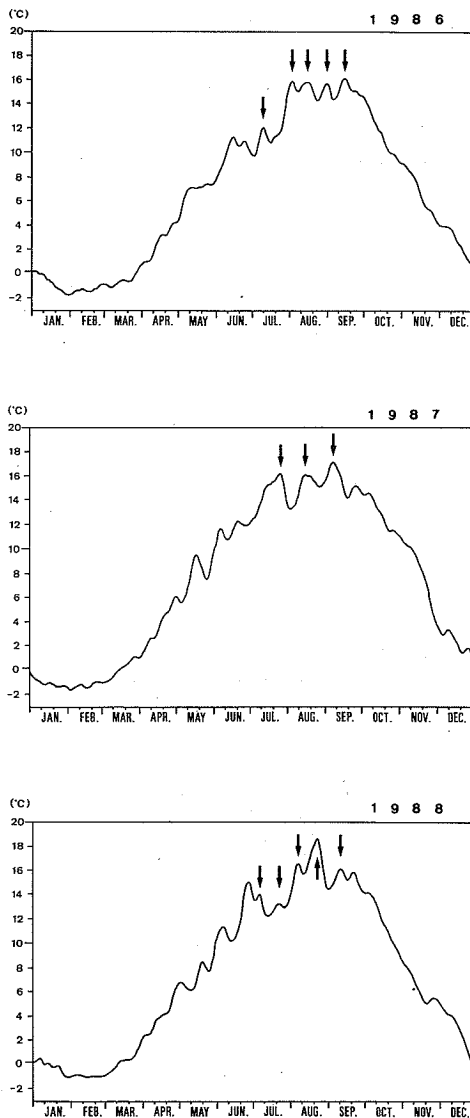


Fig. 2. Temporal variation of SST at Akkeshi from 1986 to 1988, given by 11-day running mean with binominal coefficients.

3. 結 果

1986~1988年の沿岸水温(厚岸)の日々の変化状況をFig. 2 a~cに示す。大きな特徴としては、各年とも水温の昇降を繰返しながら昇温していることが挙げられる。また、最高水温値は8月中旬から9月中旬に記録されており、年によって大きく変動していることが分かる。各年の昇温期(7月から最高水温観測日までとする)に見られる水温の短期的な変動の周期を、水温上昇のピーク間の日数から求めるとTable 1のようになり、3年間の平均周期は約18日となる。

次に、昇温期における道東沿岸(釧路~襟裳岬間)での暖水の移動状況を調べるため定期航路船による1989年の水温連続観測値を用いて作成したイソプレスをFig. 3に示す。これは、釧路~襟裳岬間の1航海中に得られた

水温の平均値からの偏差のイソプレスを示したものであり、水温偏差の大きい領域は顕著な水温前線を伴う水塊を示す。そこで、このイソプレス上で+2℃以上の偏差を示した領域に着目し、その領域の移動状況を見る。昇温期である7~9月には、+2℃以上の偏差を示す領域は2ヵ所認められる。Fig. 3中の直線AおよびBは、この+2℃以上の偏差を示した領域の移動状況を表したもので、これらの直線の傾きは水温前線の航路上における移動速度と考えられる。注目されるのは、直線A、Bが約17日間の間隔で現れ、それぞれ左上から右下へと傾いていることである。このことは、約17日間の間隔で現れた前線を伴った暖水が、航路上を南~西方向に伝播したことを示している。また、+2℃の偏差を示す領域の周辺には0℃~+2℃未満の偏差を示す領域が直線A、Bに

Table 1. The data when the peaks of temporal variation of SST data at Akkeshi appeared in Summer (from July to mid-September) between 1986 and 1988.

| 1986 | | 1987 | | 1988 | |
|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|
| Date | Interval (days) | Date | Interval (days) | Date | Interval (days) |
| 5 Jul. | - | 26 Jul. | - | 6 Jul. | - |
| 3 Aug. | 24 | 14 Aug. | 19 | 22 Jul. | 16 |
| 15 Aug. | 12 | 7 Sep. | 24 | 7 Aug. | 16 |
| 31 Aug. | 16 | | | 23 Aug. | 16 |
| 15 Sep. | 16 | | | 10 Sep. | 19 |

Mean interval=17.8(days)

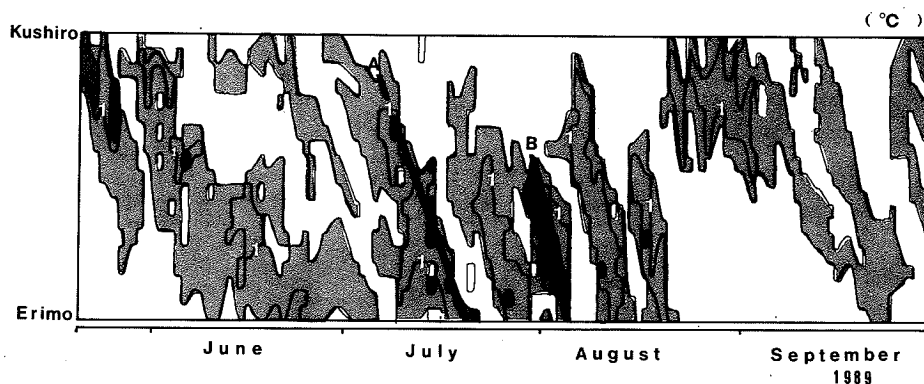


Fig. 3. Isopleth of SST variation observed from a regular liner. These values denote deviations from mean value between Kushiro and off Cp. Erimo. point in one service. Heavy tone areas denote positive value.

平行に存在している。さらに、これらの領域の間には負の偏差を示す領域も点在しており複雑な様相を呈している。このような複雑な分布は、水温変動をもたらす水塊が渦もしくは擾乱を伴っていた可能性を示唆している。

以上の結果から、夏季昇温期における沿岸での水温観測結果に、約18日周期という短周期の水温変動が出現することが示された。さらに、定期航路船による水温観測から、この水温の短期変動には航路上を南西方向に移動する暖水が関与していることが分かった。河野・井上(1987)は水温の旬平均値を用いて、水温の季節変動の見かけの伝播速度を見積もっている。それによると、道東沿岸における水温の季節変動の伝播方向は親潮の流れの方向と一致(南西方向)し、その伝播速度は39cm/sec(0.78ノット)であるとしている。

Fig. 3 に示した直線A, Bの傾きから航路上における暖水の移動速度を求めると、7 cm/sec(0.14ノット)となり、河野・井上(1987)により示された結果と大きく異なる。これは、用いた資料の捉えうる現象の時間・空間スケールの違いによるものと考えられる。すなわち、河野・井上(1987)は旬平均水温資料を用いたが、この資料で、捉えられる現象のスケールは、親潮の変動のスケール(西部北太平洋の水平スケール)程度である。それに比べて定期航路船による水温連続観測で得られる資料は、時間的には2~3日程度、空間的にも数km程度の小さいスケールの現象をも捉えている。そのために、様々な水平スケールの渦や擾乱を伴う局所的な変動が水温変動の記録に現われ、このような差異をもたらしたものと考えられる。

4. 考 察

1) 水温変動の周期と暖水域の移動

1986~1988年にかけての道東沿岸定点水温観測記録には、約18日周期の水温変動が見られた。また1989~1990年の定期航路船による海面水温連続観測でも同程度の周期の短期変動が認められた。

定点水温観測が行われた厚岸では、河川流入による水温への影響を考慮する必要がないことから、夏季の昇温期に現れる水温の短期変動は、主に暖水の沖合から沿岸への移流に原因するものと考えられる。また最高水温値を示す時期が年によって大きく異なることに関しては、沖合域での大規模な海洋構造(主に暖水塊の位置)の年変動に起因するものと推測される。

ここではさらに1989年7月上旬後半~中旬前半に生じた水温変動を例にとって、この変動をもたらした道東海域およびその沖合域の海況変動との関わりを考察する。

道東沿岸を航行する定期航路船による水温連続観測結果をもとに作成した航路上の定点Mでの水温の時系列をFig. 4に示す。これには、10日間に5℃以上上昇する期間が2回見られた(7月5~15日と7月21~30日)。すなわち、沿岸定点で見られた暖水の移動に伴う水温変動がこれらの水温上昇期間において発生したものと推測される。また、釧路~襟裳岬間の1航海毎の平均水温からの偏差(Fig. 3)を見ると、7月15~20日にかけて2℃以上の正の偏差の領域と負の偏差の領域が近接して存在し、また2℃以上の正の偏差の領域が時間の経過とともに釧路から襟裳岬の方向(南西方向)へと移動する傾向がある。このことは、道東の東部~中部海域に流入し

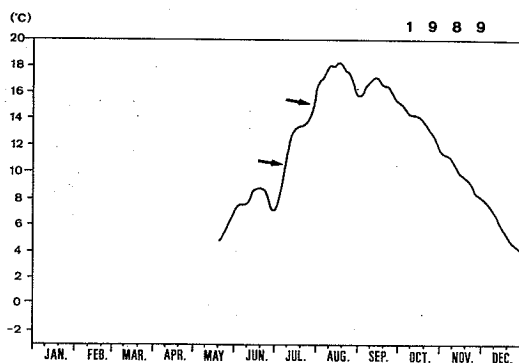


Fig. 4. Temporal variation of SST at M-point where is the Mid-point between Kushiro and off Cp. Erimo. point.

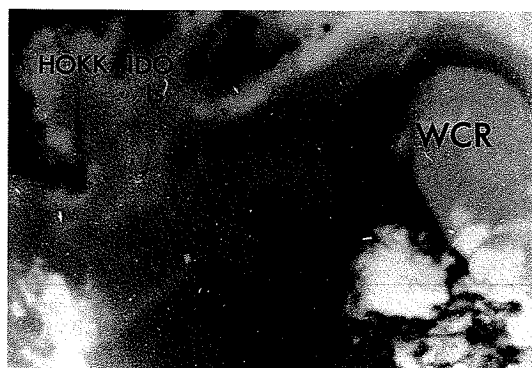


Fig. 5. NOAA infrared imagery on 18 July 1989. Heavy tone is proportional to high SST.

た暖水の縁の水温前線が定期航路船の航路に沿って南西に移動したことを示唆している。

2) 暖水域の空間的広がり

一般に、道東沿岸の恒流として、親潮に伴う南西方向の流れが知られている(小笠原, 1982)。また、9月になると道東沿岸には、やや高温の宗谷暖流変質水が到達するが、7月に出現する暖水の源は他に原因を求める必要がある。そこで、沖合の海況として1989年7月18日のNOAA熱赤外面像をFig. 5に示す。これによると、国後島沖合(中心位置 42° 20' N, 147° 20' E)に暖水塊が認められる。この暖水塊は安田・奥田(1989)や李・杉本(1989)らにより86Bと呼ばれているものが、1986年秋季に常磐沖で黒潮より切り離されたのち北上を続け、1989年7月に上記の位置に達したものである。この画像では暖水塊が周りの水塊に比べて低温となっている。これは3回の越冬を経験したために暖水塊の表層水が冷

却され鉛直混合した結果である。しかし、気象庁の海況旬報によれば、100m深の水温は依然として周囲より高温であり、暖水塊であることが分かる。

この暖水塊から沿岸への暖水波及は、暖水塊の南方からの暖水ストリーマの侵入と関係している。その様子をFig. 5で詳しく見ると、南から暖水塊に侵入した暖水ストリーマは暖水塊に巻き込まれるもの他に、沿岸に向かう分岐が発生していることが見出された。

3) 暖水域発生 of 周期性

上述の現象と同様のものとして、1988年10月の一連のNOAA熱赤外面像をFig. 6 a~dに示す。

Fig. 6 aには、暖水ストリーマが暖水塊の南方より侵入し、その暖水ストリーマの西側に西~南西へとのびる擾乱が示されている。また擾乱の先端部は釧路以西の沿岸域に達している。7日後の10月11日(Fig. 6 b)にはその擾乱域が拡大し、沿岸域に達している。続く5日

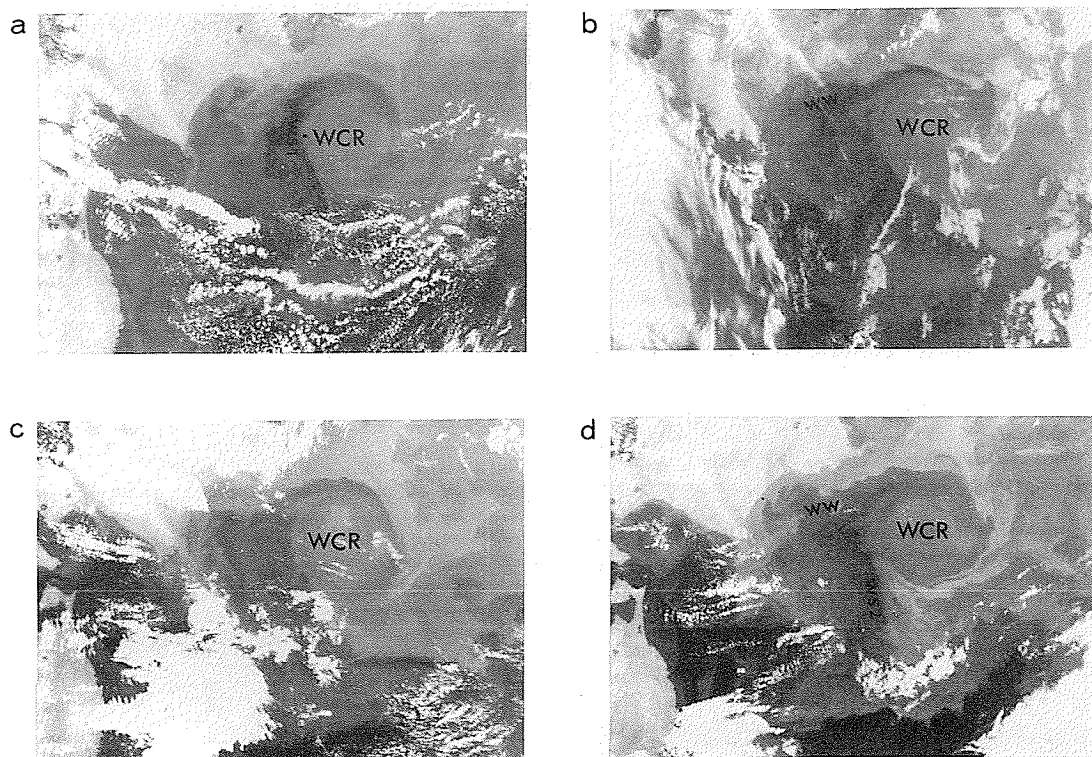


Fig. 6. Temporal distribution of band-like warm water elongated from periphery of the Kuroshio Warm Core Ring.

- a : NOAA infrared imagery on 4 October 1988. Heavy tone is proportional to high SST.
 b : Same as (a), except for on 11 October 1988. c : Same as (a), except for on 16 October 1988.
 d : Same as (a), except for on 22 October 1988.

後の10月16日 (Fig. 6 c) を見ると一旦擾乱域の面積は減少するが、その6日後の10月22日 (Fig. 6 d) には再び増加し沿岸域に達している。この擾乱域は、新たな暖水ストリーマの暖水塊への侵入にともない発生したものと考えられる。ただし、その期間に対応する厚岸での沿岸定点水溫観測記録 (Fig. 2 c) に水溫上昇が見られないのは、釧路以東の沿岸域に親潮系の低温水が分布していたためである。以上の変化過程を模式化すると Fig. 7 のようになる。すなわち、南方より侵入する暖水ストリーマの先端が暖水塊縁辺部を回転し、

再び暖水塊の最南部に達すると新たな暖水ストリーマが暖水塊に侵入する。また、暖水塊は暖水ストリーマの先端付近に長軸の一端をもつ楕円形をしている。すなわち、暖水塊に大規模な暖水ストリーマが侵入するのに伴い、暖水塊から小規模な暖水ストリーマが放出され、それがさらに沿岸へと波及し沿岸域での海況が短期的に変動するものと推察される。一方、荻島ほか (1987, 1988), KITANO and OGISHIMA (1989) は釧路沖暖水塊縁辺部の前線擾乱が道東沿岸域の海況に与える効果について報告している。しかし、この種の前線擾乱の時空間スケールはせ

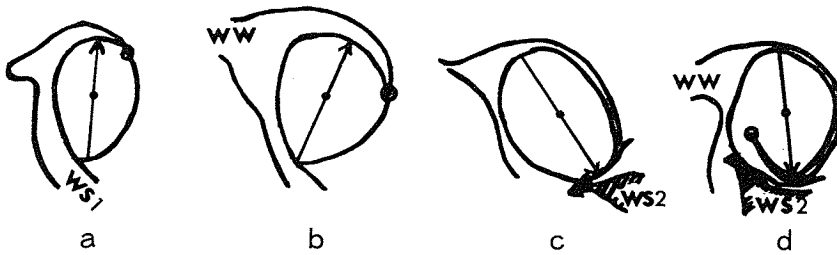


Fig. 7. Schematical expression for both generation of band-like warm water and intrusion of giant streamers to the Kuroshio Warm Core Ring. Arrows denote major axes of elliptical core with an end at the extreme point of warm streamer.

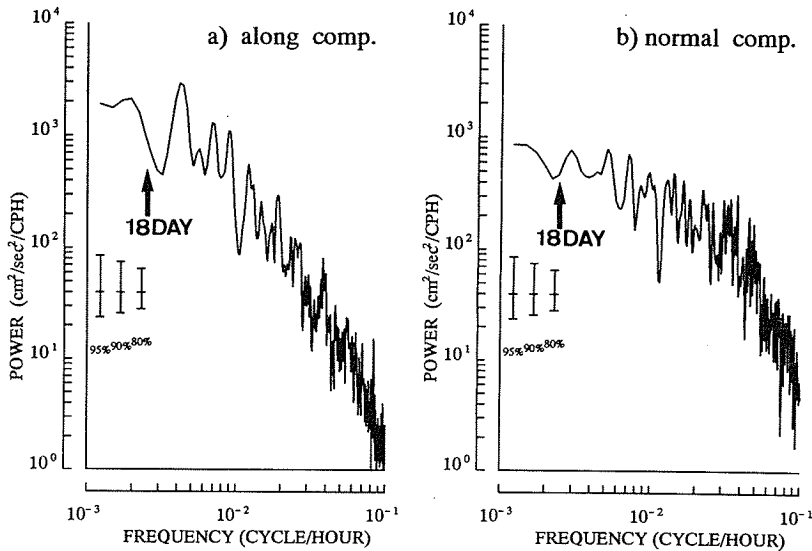


Fig. 8. Power spectra of (a) along and (b) normal components of wind velocity along the coastal line ($62-142^\circ$) observed at Nemuro (850mb). Arrows denote the spectral density at 18-day period.

いぜい1~2日および10数km程度のものであり、本研究で示した暖水ストリーマの波及を通して沿岸域の海況変動に与えられる影響の方がはるかに大きい。

次に、沿岸域での水温変動の原因の一つであるエクマン輸送の効果について言及する。ここでは本研究で指摘した約18日周期の水温変動に対して、エクマン輸送の効果を考慮する必要があるのかどうかを考える。それについて検討するために、根室上空(850mb)での6時間毎の風向・風速を道東海域での風の代表値とし、その1988年夏季(6~10月)の資料をもとに変動の卓越周期を求め、18日付近でのスペクトルピークの有無を調べた。風のベクトルを道東沿岸に対して沿う成分とそれに直交する成分とに分解し、FFT法を用いたスペクトル解析を行った。その結果をFig. 8 (a), (b)に示す。これらの図から分かるように18日付近にはスペクトルピークが見られない。このことは、エクマン輸送が18日周期の水温変動に対して大きく関与している可能性を否定している。

水温変動への海面過程(太陽放射, 気温および風)の影響については言及しなかったが、その変動に対する関与の可能性をある程度考慮する必要があるが、このことについては今後の課題である。

5. おわりに

わが国の水産業にとって重要な漁場である道東海域に関する海洋学的知見は、他の本邦沿岸域でのそれに比べて極めて乏しい。本研究では、道東海域沿岸域の海況の短期変動を沿岸定置で見出された水温変動から示した。それによると、出現周期は18日程度であることが分かった。また、定期航路船による当海域の線的な水温観測の時系列より、同様な短期変動は道東陸岸沿い南西方向に伝播することが分かった。また、上記の変動が見出されるためには異水塊の波及が必要となるが、その主因と考えられるものとして、沖合にあった暖水塊の縁辺部から分岐する暖水の移流による影響を人工衛星熱赤外面像より指摘した。

以上の様に道東海域の沿岸域は、その地形的な開放性および親潮のような大きな流量をもたらす海流が通年にわたってその沖合に分布するために、沖合域の海況変動特に長期的な変動に大きく影響される。また、本研究の結果より、当海域は短期的(10数日単位の変動)にも沖合域での短期的な海況変動の影響を受けることが分かった。従って、短期的な海況変動の予測を行うには、沖合域での海況変動、特に暖水塊の位置およびその縁辺部の擾乱の発生・発達に関する知見が今後必要となる。

謝 辞

おわりに、本研究に対し有益な御助言を頂いた東京大学海洋研究所資源環境部門助教中田英昭博士、同助手岸 道郎博士、木村伸吾博士に深く感謝する。とくに、観測に際して、永江英雄技官の御協力を頂いた。記してここに感謝の意を表す。また、沿岸定点水温資料を使用するにあたり格別の御配慮を賜った北海道栽培漁業振興公社の職員の皆様に厚く御礼申し上げる。

水温連続観測に御協力を頂いている近海郵船フェリー所属「さろま」「サブリナ」の船長・乗組員および社員の方々に心より御礼申し上げます。

文 献

- 藤井 浄・阿部深雪(1980) 根室湾に出現する外洋水の季節毎の特性と沿岸定置水温の関係. 昭和54年度根室湾海域総合開発事業調査報告, 6-16, 北海道区水産研究所.
- 福島信一・小川嘉彦(1988) 北西太平洋の海況の長期変動と多獲性浮魚漁況の変遷. 東北水研研報, 50, 67-95.
- 川合英夫(1972) 黒潮と親潮の海況学. 海洋科学基礎講座, 海洋物理II, 129-321, 東海大学出版会.
- KITANO, K. and T. OGISHIMA (1989) Observation of the boundary eddies on the warm core ring off Kushiro. Bull. Hokkaido reg. fish. Lab., 53, 15-24.
- 河野時廣・井上尚文(1987) 北海道各地の沿岸定置水温の変動特性. 北水研研報, 51, 61-73.
- 小笠原淳六(1982) 道東沿岸域における海況. 1981年度農林水産技術会議別枠研究. 朔河性さけ・ますの大量培養技術の開発に関する総合研究「河川型研究グループ」リポート, 5-16, 北海道区水産研究所.
- 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. 北水研研報, 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「道北・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, 122pp.
- 李 健・杉本隆成(1989) 暖水塊中の栄養塩, クロロフィルの分布と変動. 海洋科学, 21, 729-737.
- 杉本隆成・森永健司(1991) 道東沖陸棚斜面上の流速の中短期変動特性. 特別研究「親潮水域における海洋環境と餌料生物生産維持機構の解明」, 農林水産技術会議, 印刷中.
- 安田一郎・奥田邦明(1989) 黒潮系暖水塊86Bの形成・移動・変質過程. 海洋科学, 21, 639-651.