

岩手県沿岸域における津軽暖流水の分布と定地水温への影響

高杉 知*

Distribution of Tsugaru Warm Current Water in the Iwate Coastal Area and Their Influence to the Sea Surface Temperature at Coastal Hydrographic Station

Satoru TAKASUGI*

Abstract

Time series Monthly Averaged 100m Temperature (MAT100) data from the Iwate coastal area was obtained by monthly hydrographic observations during 1963-1990 and were used here to investigate seasonal and interannual variabilities. The author, after describing the features of Tsugaru Warm Current Water, examined the extent of barrier effect against the proximity of the Oyashio System Water to the Iwate coastal area. In addition to considering characteristics variations of MAT100, their influence on sea surface temperature (SST), as measured daily at the coast, is also discussed. Heat diffusion from the surface layer to the deep layer is estimated by the following simple vertical diffusion model; $\partial T/\partial t = K_z \cdot \partial^2 T/\partial Z^2$. Where, T is SST, t is time, Z is the vertical axis and K_z is the vertical diffusion coefficient.

The results are as follows:

- 1) Oyashio System Water frequently covers the central part of the Iwate coast off 10 nautical miles from spring through fall. On the other hand, the Tsugaru Warm Current Water always occupies the area inside 10 nautical miles of the Iwate coast during winter.
- 2) Variations of MAT100 at 5 nautical miles greatly influences the SST from winter through spring. However, from summer through fall, it has little influence on the SST.
- 3) The highest MAT100 appears 2~3 months (60~90 days) later than the highest SST. The time lag is explained by the vertical diffusion coefficient $0.07\text{cm}^2/\text{sec}$, and 60% to 80% of the amplitude of the annual variation of MAT100 obtained by observations is explainable by the vertical heat diffusion model.

1. はじめに

岩手県近海では沿岸域を津軽暖流が南下し、その沖合では親潮系水及び黒潮系水が分布し複雑な海況を呈している。岩手県水産業の主体となる海藻、魚介類の増養殖業や、地先の沿岸漁業、定置網漁業の主要な生産の場は沿岸の津軽暖流域内である。これらの漁業が行われる海域の海況変動は、主として津軽暖流の挙動と関係が深い

が、沖合の親潮系水や黒潮系水の勢力の消長にも左右される。このことから、沿岸域における津軽暖流の分布を正確に把握すれば、親潮系水や黒潮水系接岸に対する津軽暖流のバリアー効果を理解することができ、漁業操業や増養殖管理に寄与できるものと思われる。

一方、漁業者、養殖業者は操業の都度表面水温を測定し、水産試験場などの水産関係機関はごく沿岸で定地水温として毎日水温を測定している。この定地水温の変動が沿岸域の水温変動の指標となり得るのか、つまり定地水温の変動と沿岸域の水温変動とは、どのように関連しているかについては不明な点が多い。この点を解明して

1992年7月7日受理

* 岩手県水産試験場 Iwate Prefectural Fisheries Experimental Station, 1-4-21, Shinhama, Kamaishi, Iwate 026, Japan.

いくことは、岩手県沿岸域の海況の現状を、リアルタイムで把握できる手法の開発につながると思われる。

岩手県沿岸域での海況変動の解析は、多くは個々の湾を対象とした局所的なもので、岩手県沿岸全域にわたる例は少なく、花輪・岩坂(1987)の沿岸域への親潮系水接岸動向、菱田(1987)の岩手県近海での経年的な海況変動の特徴が挙げられる。これらの報告では津軽暖流が親潮の接岸に対して、バリアー効果を持つことが示されているが、具体的にどこまでその効果があるかは論じられていない。上野・山崎(1987)は岩手県沿岸域における津軽暖流の分布範囲を月別に検討したが、県中部のみの限られた資料を用いているため、岩手県沿岸全域にわたる津軽暖流の実態を充分解明しているとは言えない。

武藤ほか(1969)は三陸沿岸を南下する津軽暖流の南限位置や消長、及び南下を阻害する水系との関係を報告した。HANAWA and MITSUDERA(1987)は三陸沿岸海域におけるT-S分散図より水系解析を行ったが、津軽暖流の分布範囲が明確でないこと、及び水系の判定が確実なものに限られていることから、沿岸域における津軽暖流の分布範囲を決定づけるものとなっていない。

他方、石戸・橋本(1988)、橋本・石戸(1991)は、ババガレイ卵・スケトウダラ卵の分布が、青森県から岩手県北部の沿岸域と、岩手県南部から金華山の沿岸域に分かれていると述べている。梅崎(1984)は日本沿岸に分布するホンダワラ属の海藻分布の区分を行い、タマハキモク、トゲモク、エゾノネジモクの北限が、岩手県南部から中部にあると報告している。何れも卵や海藻の分布は、水温及び水系の分布に対応していることを示唆しているので、岩手県沿岸では中部及び南部が水系の境界線にあたっていると推測できる。

本報告では岩手県の沿岸域のうち、岩手県水産業の主要な生産場であり、かつ津軽暖流が通常分布すると思われる10海里以内(上野・山崎, 1987)の水温変動の特徴を、岩手県水産試験場が毎月実施している沿岸定線海洋観測結果からとりまとめたものである。これにより、季節別に津軽暖流の分布範囲を決定し、親潮系水接岸に対するバリアー効果、及び津軽暖流の水温変動と定地水温変動との関連性を比較検討した。なお、海面から中層への熱伝導も併せて検討し、中層での水温変動が海面からの熱伝導にどの程度依存しているかを検証した。

2. 資料と方法

沿岸域の海況変動をみるには、岩手県水産試験場が毎月実施している定線海洋観測における、黒埼定線

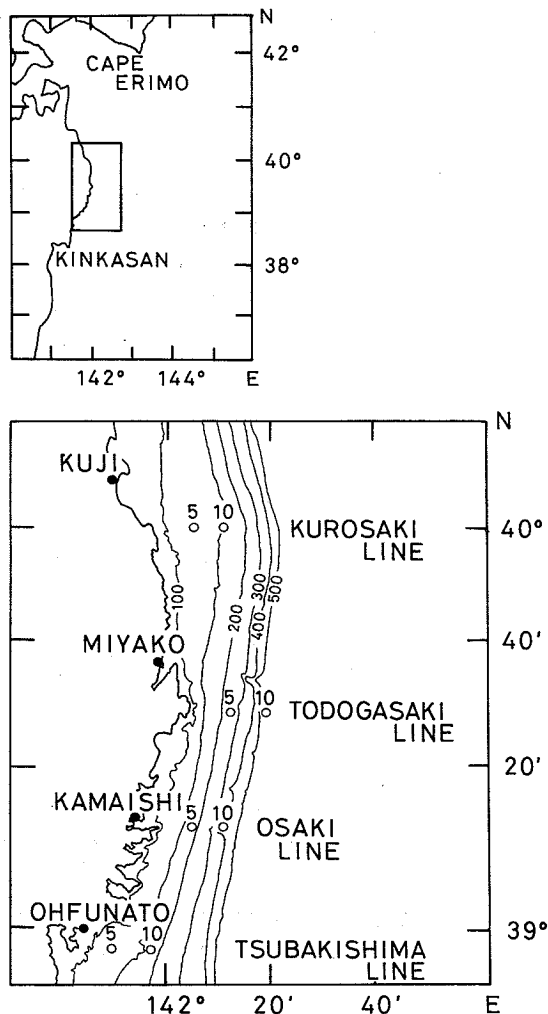


Fig. 1. Area map. Open circles show the locations of 100m temperature measuring stations at 5 and 10 nautical miles in the monthly serial observational points by the Iwate Prefectural Fisheries Experimental Station. They are referred from north to south Kuroasaki (KR), Todogasaki (TD), Osaki (OZ) and Tsubakishima (TS) regular line respectively. solid circles show the locations of SST measuring stations.

(40°00'N)・鮎ヶ埼定線(39°32'N)・尾埼定線(39°15'N)・椿島定線(38°56'N)の4定線の資料を用いた。海洋観測はそれぞれの定線で、0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 70海里測点において行われている。今回の解析では5, 10海里測点(Fig. 1)の100m深水温値を用い

岩手県沿岸域における津軽暖流水の分布と定地水温への影響

た。ここで100m深水温値を用いたのは、武藤ほか(1969)の解析から、津軽暖流の実態を把握するには100m深水温値を用いることが適切と示されているためである。0海里測点は水深が浅いために100m深までの観測が行われていないので、解析から除外した。また、水温データを補強し水系判別するために塩分値も用いた。

定線海洋観測は1953年から基本的に毎月実施されているが、1962年以前は欠測値が多いため、解析には欠測の

少ない1963年1月から1990年12月までの28年間の観測値を用いた。なお、鮎ヶ埼定線の観測は1965年7月からの実施のため、解析は同月からとした。塩分値は1970年3月以前では塩素量表示であるため、これに1.80655を乗じたものを使用した。解析した期間内における各測点での欠測月はTable 1に示す通りで、欠測値は時系列上で線型補間を施して補った。

Table 1. List of months of non-data in monthly serial hydrographie observation.

	KUROSAKI	TODOGASAKI	OSAKI	TSUBAKISHIMA
5 MILE	Mar.1964		Mar.1964	Mar.1964
	Feb.1967	Feb.1967	Feb.1967	Feb.1967
	Apr.1967			
	Feb.1975	Feb.1975	Feb.1975	Feb.1975
	Apr.1978		Feb.1980	
10MILE	Mar.1964		Mar.1964	Mar.1964
	Feb.1967	Feb.1967	Feb.1967	Feb.1967
	Feb.1975	Feb.1975	Feb.1975	Feb.1975

沿岸域の水温変動との関連性をみるための定地水温資料は、1970年1月から1990年12月までの21年間、久慈、宮古、釜石、大船渡(Fig. 1)において毎日1回定時(9時または10時)に観測されている水温をもとに、1ヶ月平均して求められる月平均水温値を用いた。久慈の定地水温は岩手県北部栽培漁業センター久慈研究室、釜石は岩手県水産試験場、大船渡は岩手県南部栽培漁業センターでそれぞれ収集されたものであり、宮古の定地水温は気象庁発行の全国海況旬報の月平均水温値を用いた。

水温、塩分の測点間の相関を求める際には、季節変動の影響を除くために、原系列値から月別平均水温値、塩分値を引いて得られる偏差時系列を用いた。季節別に検討する際の季節の区分は、春季を3~5月、夏季を6~8月、秋季を9~11月、冬季を12~2月とした。

3. 結 果

(1) 沿岸域における水温の季節変動

Fig. 2に4定線の各測点における月平均100m深水温と、その標準偏差の季節変動を示した。100m深水温には何れの測点でも明瞭な季節変動が存在している。年最

高水温は樺島5、10海里が10月であるほかは11月である。年最低水温は尾崎5海里が3月であるほかは4月である。同一測点における最高水温と最低水温との差、すなわち年較差は、5海里では7.4~9.1℃、10海里では8.9~9.4℃の範囲内にある。月平均100m深水温の標準偏差は、それぞれの定線で5海里より10海里が周年を通じて大きく、特に鮎ヶ埼10海里と尾崎10海里は大きい。また、何れの測点でも5、10海里における8~11月の標準偏差が、他の月に比べ大きい。しかし、樺島における8~11月の標準偏差は、5、10海里とも他の3定線に比べ小さい傾向が認められる。

Fig. 3に定地水温の月平均水温と、その標準偏差の季節変動を示した。月平均水温は100m深水温と同様、明瞭な季節変動が存在している。年最高水温は何れも8月であり、年最低水温は久慈、大船渡が2月、宮古、釜石が3月である。同一測点における年較差は、5、10海里に比べ大きく、14.1~16.3℃の範囲内にある。

月平均定地水温の標準偏差は、大船渡の4~8月を除き、周年を通じ小さい傾向が認められる。大船渡の標準偏差は、9~3月では0.75~1.10℃の範囲にあるが、4

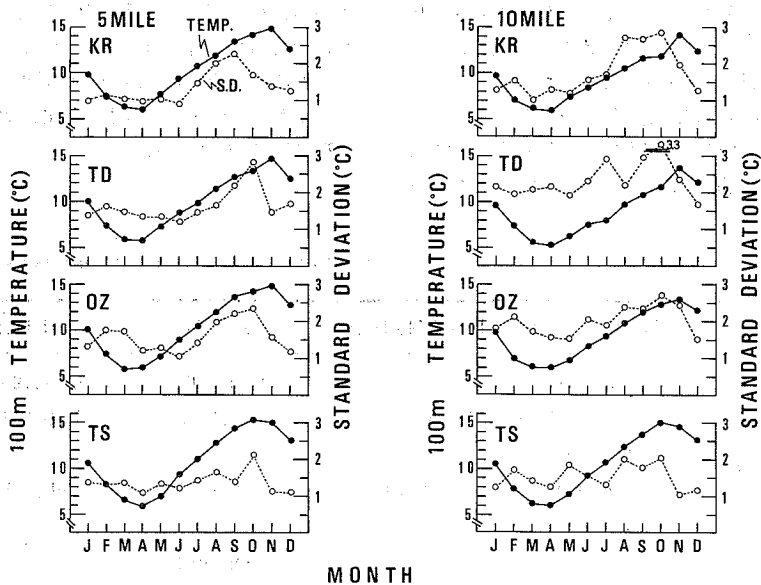


Fig. 2. The monthly change of average 100m temperature (MAT100 : ●) and their standard deviation (○) at each station of 5 and 10 nautical miles for the period from 1963 through 1990. (Left panels: 5 nautical miles, Right panels: 10 nautical miles)

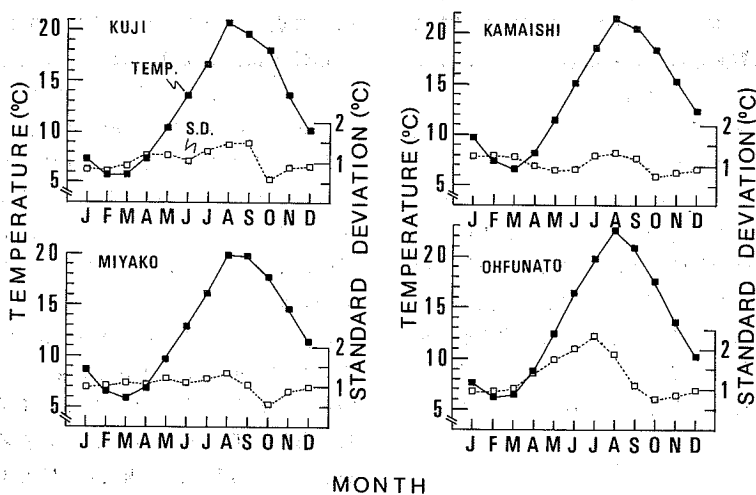


Fig. 3. The monthly change of SST (■) and their standard deviation (□) at each coastal station for the period from 1970 through 1990.

～8月の標準偏差は1.42～2.31℃と大きく、6、7月は2.0℃以上と特に大きくなる。

Figs. 2, 3から5海里測点の標準偏差が、隣接する定地水温の標準偏差に比べ大きい傾向が認められた。そこでこれらの4つの定地水温と、それらに近接する5海里測点の100m深水温との間の月別の標準偏差の関係をFig. 4に示した。なお、図にはS, s, F, W, の符号で季節を表現した。椿島5海里と大船渡を除く3ヶ所で

は、冬～夏季は5海里での標準偏差が、定地水温の標準偏差の0.8～1.7倍の範囲内にある。しかし、秋季は1.5～4.7倍と冬～夏季に比べ大きく、5海里での標準偏差が大きくなる。椿島5海里と大船渡は、秋～冬季は5海里の標準偏差が、定地水温の標準偏差の1.2～2.8倍であるが、春～夏季は0.6～1.3倍となり、定地水温の標準偏差が全体的に大きくなる。

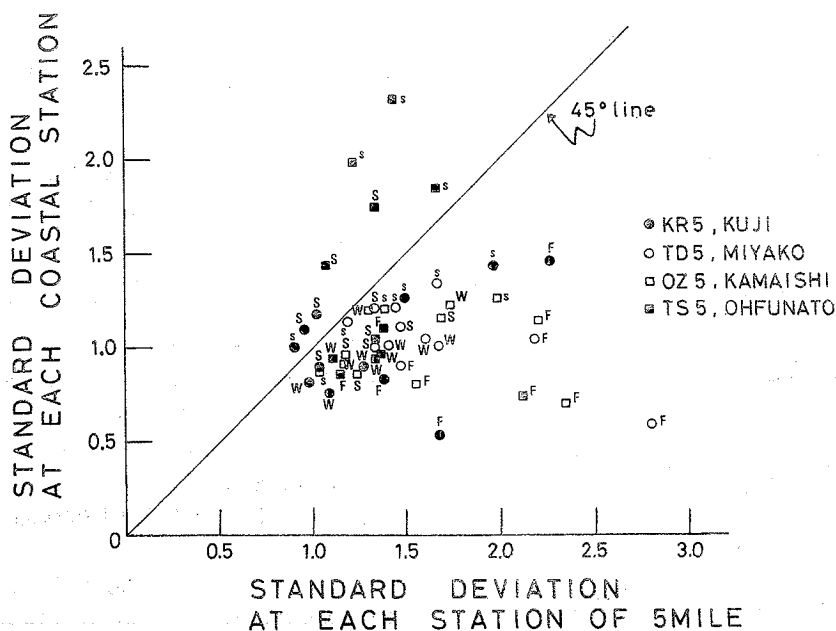


Fig. 4. Relationship between standard deviation at stations of 5 nautical miles and standard deviation at contiguous coastal stations. (S:spring, s:summer, F:fall, W:winter)

(2) 沿岸域における水温の長期変動

Fig. 5に、5、10海里測点のそれぞれにおいて毎月観測された100m深水温から、隣り合う定線の間で水温差を求め、その12ヶ月移動平均値を示した。ここで得られる値は、南北の隣接2地点の水温差を示し、北側の測点の水温が南側のそれよりも高ければ正(+)の値をとり、明瞭な水温差がなければ±0付近で変動する。10海里測点では、黒崎と鮎ヶ崎の100m深水温差は、'67年、'69年、'78年を除き正で、概ね1～3℃黒崎が高めで推移している。尾崎と椿島の100m深水温差は、'67年、'69年、'79年を除き負(-)で、'63年以降概ね1～3℃尾崎が低めで推移している。また、鮎ヶ崎と尾崎の100m深水温差の時系列

は、'81年以降負となり、鮎ヶ崎が低めで推移している。

5海里測点での100m深水温差の変動は、概ね10海里測点の場合と同様な傾向を示しているが、水温差の絶対値は10海里に比べ小さく、多くは±1℃前後の範囲内にある。このうち、黒崎と鮎ヶ崎、鮎ヶ崎と尾崎の100m深水温差には、5、10海里とも'81年を境に明瞭な違いが認められる。黒崎と鮎ヶ崎の100m深水温差は、'80年以前では'78年を除き±1℃以内で変動しているが、それ以後は常に正で水温差も大きく、鮎ヶ崎が低めで推移している。鮎ヶ崎と尾崎の100m深水温差は、'80年以後は常に負で、鮎ヶ崎が低めで推移している。

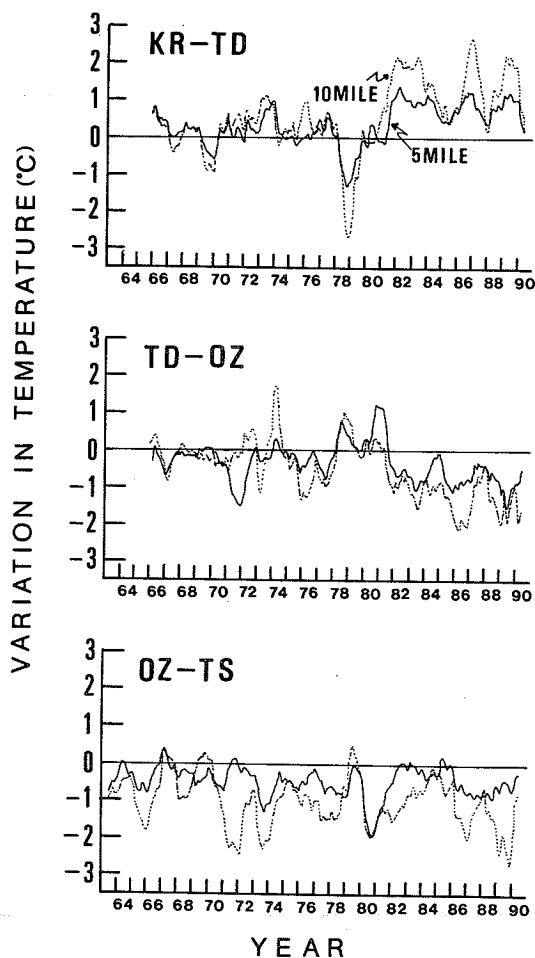


Fig. 5. Variation in 12-month running mean of MAT100 at each station of 5 nautical miles (solid line) and 10 nautical miles (broken line). (Upper: 100m temp. at Kurosaki minus 100m temp. at Todogasaki, Middle: 100m temp. at Todogasaki minus 100m temp. at Osaki, Lower: 100m temp. at Osaki minus 100m temp. at Tsubakishima)

(3) 塩分値からみた沿岸域への親潮系水の介入

Fig. 6 に 5 海里, Fig. 7 に 10 海里的各測点で観測された 100m 深塩分値の季節別出現頻度を示した。ここで親潮系水の指標塩分値である 33.6 以下 (川合, 1972) の占める割合に注目すると, 5 海里測点では, 春季は何れも 10% を越えている。夏季は各測点とも割合は春季に比べ大きく減少し, 黒埼で 6% であるほかは 0~2% である。秋季も割合は低く 1~4% の範囲にある。冬季は尾埼で 7%, 黒埼で 6% であるほかは, 2~4% と割合は低い。よって, 5 海里測点における 33.6 以下の塩分値を示す割合は, 春季に 13~23% と高く, 夏~冬季では 0~7% と低いことが示された。

一方, 10 海里測点における 33.6 以下の塩分値を示す割合は, 春季は黒埼, 椿島が 5 海里に比べ低いが, 鮎ヶ埼では 35%, 尾埼では 21% と 5 海里に比べ高い。5 海里同様何れの測点でも 10% を越えている。夏季は春季に比べ割合は減少し, 5 海里的割合と比べると椿島を除き高く, 鮎ヶ埼では他の 3 測点に比べ, 特に高い値を示した。秋季は鮎ヶ埼で 10% と夏季に比べ割合は低下したが, 夏季同様他の 3 測点に比べ高い割合を示している。冬季は尾埼が 15% と高く, 逆に椿島では 2% と低い。よって, 10 海里測点における 33.6 以下の塩分値を示す割合は, 春季が 12~35% と高く, 夏~冬季では 1~15% と低くなっている。夏~秋季では鮎ヶ埼が他の 3 測点に比べ値を示している。

また, Table 2 には 5, 10 海里的に塩分値 33.6 以下の親潮系水が出現した場合の, 測点別の出現頻度を示した。その結果, 1) 黒埼では親潮系水が出現する場合, 夏~秋季は 10 海里のみに認められることが多く, 冬季は 5, 10 海里同時に出現する場合が卓越している。春季は 5 海里のみ, 10 海里のみ, 5, 10 海里同時に出現する割合がほぼ同程度の割合を示した。2) 鮎ヶ埼では親潮系水が出現する場合には, 周年を通じ 10 海里のみに認められることが多い。3) 尾埼でも周年を通じ 10 海里のみに認められることが多いが, 秋~冬季は 5 海里のみ, 5, 10 海里同時に出現する場合も, 10 海里のみに出現する場合と同程度認められる。4) 椿島では周年を通じ 5, 10 海里同時に出現する割合が卓越している。5 海里のみに認められることは春~夏季に多く, 10 海里のみに認められることは秋季に多い。

岩手県沿岸域における津軽暖流水の分布と定地水温への影響

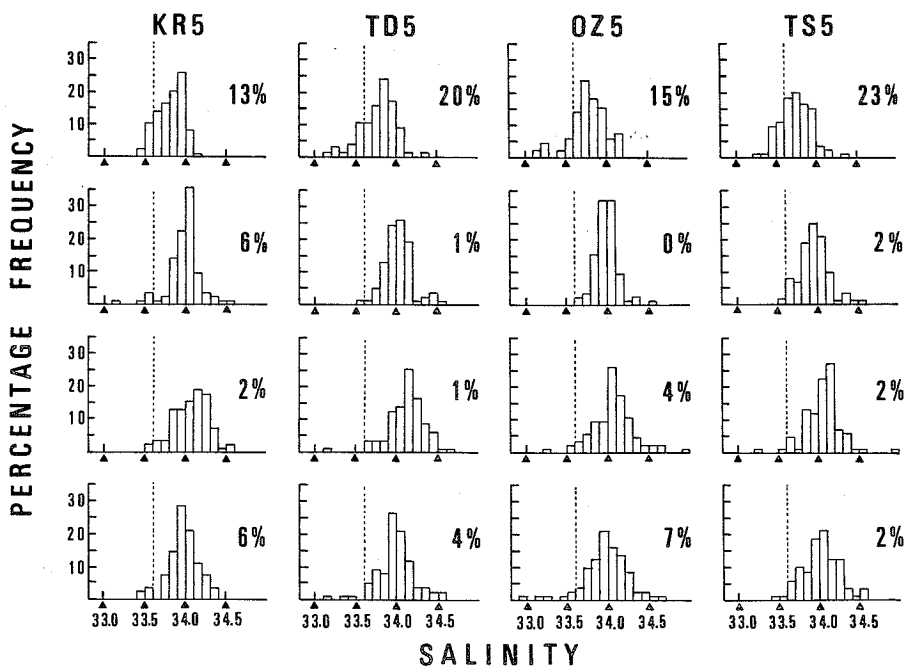


Fig. 6. Histograms of frequency (%) of salinity at each station of 5 nautical miles for the period from 1963 through 1990. The panels indicate the spring, summer, fall and winter from upper to lower panels. Percentage numerals indicate the rate of salinity less than 33.6.

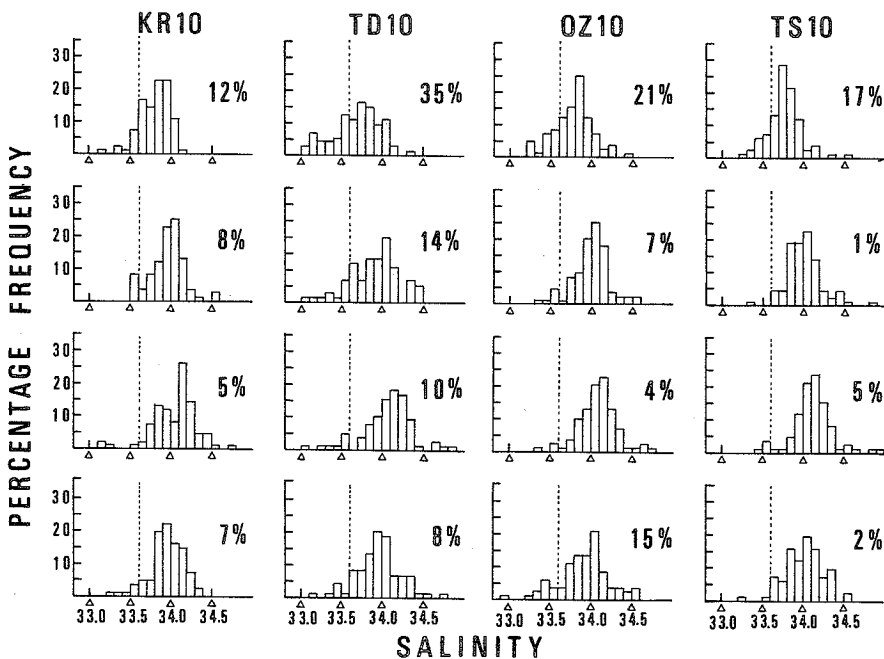


Fig. 7. The same as Fig. 6 but 10 nautical miles.

Table 2. Percentage frequency (%) of the seasonal appearance for Oyashio System Water in the offshore stations.

MAR.~MAY	ONLY 5 MILE	ONLY 10MILE	BOTH 5 MILE AND 10MILE
KUROSAKI	37.5	31.3	31.3
TODOGASAKI	10.3	48.3	41.4
OSAKI	21.8	43.5	34.9
TSUBAKISHIMA	39.1	17.4	43.5
JUN.~AUG.	ONLY 5 MILE	ONLY 10MILE	BOTH 5 MILE AND 10MILE
KUROSAKI	22.2	44.4	33.3
TODOGASAKI		90.9	9.1
OSAKI		100.0	
TSUBAKISHIMA	50.0		50.0
SEP.~NOV	ONLY 5 MILE	ONLY 10MILE	BOTH 5 MILE AND 10MILE
KUROSAKI	33.3	66.7	
TODOGASAKI	11.1	88.9	
OSAKI	40.0	40.0	20.0
TSUBAKISHIMA		50.0	50.0
DEC.~FEB.	ONLY 5 MILE	ONLY 10MILE	BOTH 5 MILE AND 10MILE
KUROSAKI	14.3	28.6	57.1
TODOGASAKI	14.3	57.1	28.6
OSAKI		50.0	50.0
TSUBAKISHIMA			100.0

(4) 沿岸域の水温変動と定地水温変動との関連性

Figs. 2, 3 から, 4~8月の標準偏差は樺島5海里では1.08~1.66℃と, 大船渡の4~8月の標準偏差1.42~2.31℃に比べ小さかった。また, Fig. 4からも

春~夏季における大船渡の標準偏差は他の地点に比べ大きい傾向が認められた。ここで, 1970年以降の4~8月における大船渡, 釜石の定地水温と, 樺島5, 10海里, 尾崎5, 10海里の水温との間の, 水温偏差時系列から求

Table 3. Correlation coefficient between stations at Osaki or Tsubakishima of 5 and 10 nautical miles and Kamaishi or Ohfunato monthly temperature anomaly from April to August.

		OZ 5 MILE	OZ 10MILE	TS 5 MILE	TS 10MILE
KAMAISHI	CORRELATION COEFFICIENT	0.496	0.344	0.546	0.450
OHFUNATO	CORRELATION COEFFICIENT	0.381	0.329	0.465	0.391

岩手県沿岸域における津軽暖流水の分布と定地水温への影響

MAR. ~ MAY

	KR 5	KR10	TD 5	TD10	OZ 5	OZ10	TS 5	TS10
KR 5	●	◎	△	△	×	△	×	
KR10		○	×	△	×	△	△	
TD 5				△	△	×	△	△
TD10					△	△	○	△
OZ 5						○	○	◎
OZ10							△	○
TS 5								◎
TS10								

SEP. ~ NOV.

	KR 5	KR10	TD 5	TD10	OZ 5	OZ10	TS 5	TS10
KR 5	○	×	×	×	×	○	×	
KR10			×	×	×	×	×	×
TD 5				○	△	△	△	×
TD10					×	○	×	△
OZ 5						△	×	×
OZ10							×	×
TS 5								◎
TS10								

JUN. ~ AUG.

	KR 5	KR10	TD 5	TD10	OZ 5	OZ10	TS 5	TS10
KR 5	◎	×	×	×	×	×	×	×
KR10			×	×	×	×	×	×
TD 5				○	×	×	×	×
TD10					×	△	×	×
OZ 5						×	×	×
OZ10							×	×
TS 5								◎
TS10								

DEC. ~ FEB.

	KR 5	KR10	TD 5	TD10	OZ 5	OZ10	TS 5	TS10
KR 5	◎	○	×	●	△	○	○	
KR10			△	×	◎	○	△	△
TD 5				◎	○	△	◎	○
TD10					△	△	×	△
OZ 5						◎	◎	◎
OZ10							○	○
TS 5								◎
TS10								

$0.8 \leq \text{◎}$ $0.7 \leq \text{◎} < 0.8$ $0.6 \leq \text{○} < 0.7$
 $0.5 \leq \text{△} < 0.6$ $\times < 0.5$

Fig. 8. Correlation among each station of monthly anomaly of salinity for the period from 1966 through 1990.

めた相関をTable 3 に示した。大船渡と各測点間の相関係数は、樺島 5 海里との間で0.465値の示したほかは0.329~0.391と低い。釜石は尾崎10海里との間で0.344と低い値を示したほかは0.450~0.546と、大船渡に比べ高い値を示した。

4 定線の 5, 10海里測点に分布する水系の変動、及び水系判別のために、それぞれの測点間で塩分偏差時系列を用いて、1966年から1990年までの期間で季節別の相関を求めた (Fig. 8)。その結果、1) 同一定線の 5 海里と10海里の相関は、黒崎と樺島では周年を通じ高く、尾崎では夏~秋季を除き高い。鮎ヶ崎は春季を除き高い傾向が認められた。2) 4 定線の 5 海里間の相関は、冬季が高いほかは低い。3) 4 定線の10海里間の相関は、尾崎と樺島間が冬~春季に高く、鮎ヶ崎と尾崎間が秋季に高いほかは、各測点間の相関は低いことが示された。

一方、4 定線の 5, 10海里における水温変動と、定地水温変動の相関を、水温偏差時系列で1970年から1990年までの期間において季節別に求めた (Fig. 9)。その結果、1) 定地水温変動の測点間における相関は周年を通じ高い。2) 定地水温と隣接する 5 海里測点の水温変動の相関は、4 定線とも冬~春季は高く、夏~秋季は低いことが示された。

MAR. ~ MAY

	KUJI	MIYAKO	KAMAISHI	OHFUNATO
KR 5	⊙	⊙	⊙	x
KR10	⊙	⊙	⊙	x
TD 5	○	○	○	x
TD10	x	x	△	x
OZ 5	△	△	○	x
OZ10	x	x	△	x
TS 5	○	⊙	●	○
TS10	△	△	○	△
KUJI		●	⊙	△
MIYAKO			⊙	⊙
KAMAISHI				○
OHFUNATO				

SEP. ~ NOV.

	KUJI	MIYAKO	KAMAISHI	OHFUNATO
KR 5	x	x	x	x
KR10	x	x	x	x
TD 5	x	x	△	x
TD10	x	x	x	x
OZ 5	x	x	x	x
OZ10	x	x	x	x
TS 5	x	x	x	x
TS10	x	x	x	x
KUJI		⊙	⊙	⊙
MIYAKO			⊙	⊙
KAMAISHI				●
OHFUNATO				

JUN. ~ AUG.

	KUJI	MIYAKO	KAMAISHI	OHFUNATO
KR 5	x	x	x	x
KR10	x	x	x	x
TD 5	x	x	x	x
TD10	x	x	x	x
OZ 5	x	x	x	x
OZ10	x	x	x	x
TS 5	x	△	x	x
TS10	x	x	x	x
KUJI		●	⊙	○
MIYAKO			⊙	⊙
KAMAISHI				⊙
OHFUNATO				

DEC. ~ FEB.

	KUJI	MIYAKO	KAMAISHI	OHFUNATO
KR 5	○	⊙	○	△
KR10	x	○	○	x
TD 5	○	⊙	⊙	x
TD10	x	x	○	x
OZ 5	△	⊙	⊙	△
OZ10	x	x	⊙	x
TS 5	△	⊙	●	⊙
TS10	△	○	⊙	○
KUJI		●	⊙	○
MIYAKO			●	⊙
KAMAISHI				⊙
OHFUNATO				

0.8 ≤ ● 0.7 ≤ ⊙ < 0.8 0.6 ≤ ○ < 0.7

0.5 ≤ △ < 0.6 x < 0.5

Fig. 9. Correlation between each station of 5 nautical miles or 10 nautical miles and each coastal station of monthly anomaly of temperature for the period from 1970 through 1990.

4. 考 察

(1) 水温の季節変動と海面からの熱伝導

各測点の100m深水温と定地水温には明瞭な季節変動が存在していることを示した (Figs. 2, 3)。年最高水温は100m深水温が10月~11月, 定地水温は8月に認められ, 年最低水温は100m深水温が3~4月, 定地水温は2~3月に認められた。同一測点における年較差は, 100m深測点が7.4~9.4℃, 定地水温が14.1~16.3℃であった。100m深水温の明瞭な季節変動と, 年最高水温

が定地水温に比べ2~3ヶ月遅れることが, 海面からの熱伝導 (鉛直拡散) によっているのか, 分布する水塊の水平移流を反映しているのかを評価してみる。

海面から水深100mへの熱の伝導を, 鉛直方向のみと考え, 鉛直拡散式

$$\partial T_{z_j} / \partial t_j = K_z \cdot \partial^2 T_{z_j} / \partial Z^2 \quad \text{①}$$

を用いた (T_{z_j} : 時刻 t_j 時の水深 Z_m の水温, t_j : 時刻,

Z: 水深, K_z : 鉛直拡散係数)。ここでは, 100m深水温に対応する海面水温を, 定地水温で代表させた。

海面境界条件は, Fig. 3の定地水温の季節変動から, 最低水温が約6°Cであることを用いて, 時刻 t_j 時の定地水温(海面水温)を

$$T_{o,j} = 14 + 8 \cdot \sin(t_j \cdot 2\pi/365 - \pi/2) \quad (2)$$

で近似し, 1日毎の定地水温を T_o を与えた。ここに, 定地水温が最低水温となる日を $t_j = 0$ ($T_o = 6$)とした。このモデルでは, 定地水温が最高を示す日は, 水温最低日から180日を経過したときに認められ, 最高水温から最低水温を引いた差すなわち年較差は, 16°Cを示すようにした。これはFig. 3の定地水温の季節変動に矛盾しない。深層の境界条件は, 水深200mでは季節変動が無視できるものとして, 常に水温が6°Cであるとした。初期条件は, $t_j = 0$ では等温層が発達している時期に相当させ, 海面から水深200mまで一様に6°Cとした。②によって毎日の定地水温を求め, この水温変化に対応して①で水温10m毎の水温を求めた。海面より下層の水温が高くなる水温逆転現象が現れた場合には, 高くなった下層水温を海面に等しいという条件を与えた。この両式によって得られる定地水温と, 100m深水温の年較差と, 定地水温の最高水温日と, 100m深水温の最高水温日との遅れの日数, すなわちラグを比較して, 熱伝導の程度を見積もった。

Fig. 10に①の K_z を0.1, 0.07, 0.01 (cm^2/sec)と変化させたとき期待される, 定地水温と100m深水温の季節変動を示した。100m深水温のラグは $K_z = 0.1, 0.07$ 及び0.01 (cm^2/sec)に対し, それぞれ40日, 80日, 150日と計算され, これらは定地の最低水温日からそれぞれ220日, 260日, 330日目に相当する。また, 計算された100m深水温の年較差は, $K_z = 0.1, 0.07$ 及び0.01 (cm^2/sec)に対し, それぞれ7°C, 6°C, 2°Cであった。

実際の観測では100m深の最高水温日と, 定地の最高水温日のラグは60~90日であり, 100m深水温の年較差は7.4~9.4°Cであった(Figs. 2, 3)。このことから, $K_z = 0.07$ の場合が, 定地と沖合5海里の100m深の最高水温日とのラグが, 実際の観測で得られた値と最もよく一致する。このときの100m深水温の年較差は6°Cと計算された。よって, 鉛直拡散係数 K_z が0.07 cm^2/sec 程度であれば, 100m深水温の年最高水温が定地水温に比べ2~3ヶ月遅れることが説明でき, 熱の鉛直拡散で実際の年較差7.4~9.4°Cの60~80%が説明可能となる。こ

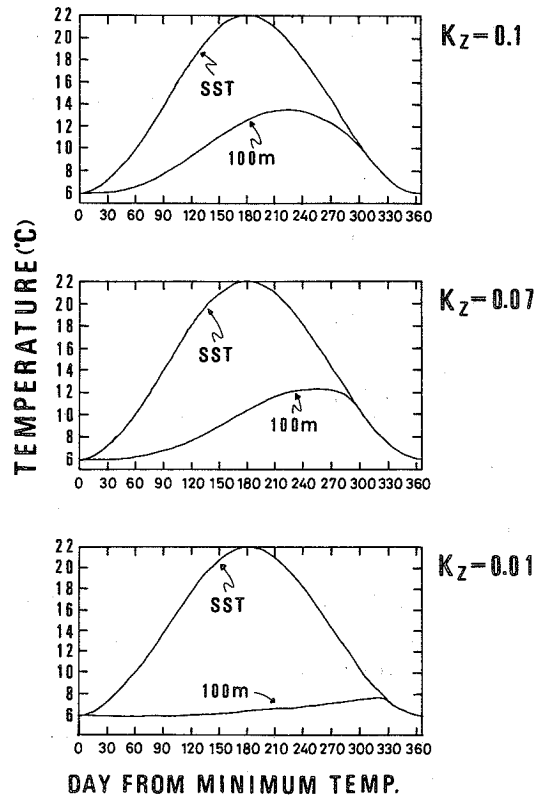


Fig.10. The SST pattern given by equation ② and 100 m temperature variation pattern calculated by equation ①. K_z is the vertical diffusion coefficient.

れは, 残り20~40%が, 分布する水塊の水平移流によって理解できる。

Table 4. The average variation in 12-month running mean of MAT100.

		The average variation in Temp. at all through- out the period.	The average variation in Temp. for the period before 1980.	The average variation in Temp. for the period after 1981.
KR-TD	5 MILE	0.37°C	0.07°C	0.83°C
	10MILE	0.60°C	0.05°C	1.46°C
TD-OZ	5 MILE	-0.35°C	-0.19°C	-0.60°C
	10MILE	-0.53°C	-0.13°C	-1.17°C
OZ-TS	5 MILE	-0.47°C	-0.47°C	-0.46°C
	10MILE	-1.03°C	-0.94°C	-1.15°C

(2) 水温の長期変動

Fig. 5 から、鯨ヶ崎10海里と尾崎10海里の水温が、他測点に比べて明らかに低いことが示された。特に、1981年以降では鯨ヶ崎10海里が低水温の影響を受けることが最も多い。Table 4 に、解析した全期間の水温差分値の平均値、及び1980年以前、1981年以後の水温差分値の平均値をそれぞれ示した。黒崎と鯨ヶ崎の水温差は、'80年以前は0.05~0.07°Cであるのに対し、'81年以後では0.83~1.46°Cと黒崎が高く、'80年以前に比べ水温差は約10~30倍と大きい。鯨ヶ崎と尾崎の水温差は、'80年以前は-0.19~-0.13°Cであるが、'81年以後では-1.17~-0.60°Cと尾崎が高い。尾崎と椿島の水温差は、'80年以前と'81年以後では顕著な差は認められない。以上から、黒崎と鯨ヶ崎、鯨ヶ崎と尾崎の水温差の平均値には、'80年以前と'81年以後では明らかに差が認められ、'81年以後で差が大きく、鯨ヶ崎で最も水温の低下が大きいことが示された。特に、この傾向は10海里で顕著であった。この事実が小川(1989)が明らかにした。親潮第1分枝の南限緯度の変動における1980年以後の"南進モード"と一致しているのが興味深い。これは、鯨ヶ崎10海里の水温の低下が、親潮第1分枝の南下に大きく影響されていると考えられる。また、Fig. 7 から10海里において塩分値33.6以下の親潮系水の占める割合が、春~秋季では他の3測点に比べ、鯨ヶ崎だけが高い値を示している。加えて、鯨ヶ崎における親潮系水の接岸は、10海里のみに認められることが多い(Table 2)。これはとりわけ春~秋季に、親潮第1分枝が鯨ヶ崎10海里へ介入することが、他測点に比べ低水温となる大きな要因と考えられる。

(3) 沿岸域への親潮系水の介入

冬季は親潮系水の出現頻度は、尾崎10海里を除き10%

以下であり(Figs. 6, 7), 10海里以内への親潮系水の介入は少ないと考えられる。ここで、5海里と10海里における親潮系水出現の割合について、95%の危険率で差の検定を行った。この結果4定線とも割合について差は認められなかった。以上のことは、冬季の同一定線における5, 10海里間の塩分の相関係数が、0.7以上と高いことに矛盾しない(Fig. 8)。よって、冬季は通常津軽暖流が5, 10海里に分布し、親潮系水の介入は少ないと考えられる。

春季はFigs. 6, 7, Table 2 から、鯨ヶ崎10海里における親潮系水の出現が他測点に比べ明らかに多かった。親潮系水出現割合の差の検定からは、鯨ヶ崎だけで有意差が認められ、5, 10海里間の塩分の相関係数は、鯨ヶ崎が0.6以下と低いほかは0.6以上と高かった(Fig. 8)。これは、春季の鯨ヶ崎10海里では親潮系水の介入の影響が強いことを示している。花輪・岩坂(1987)は、3月を中心に鯨ヶ崎へ親潮系水が接岸することを報告している。また、上野・山崎(1987)の鯨ヶ崎地先の塩分断面図から、平均的に3~5月の100m深には、低塩な親潮系水が分布していることが読み取れ、春季に鯨ヶ崎10海里へ親潮系水が介入する機会が多いことを裏付けている。

夏~秋季は10海里における親潮系水の出現は、5海里に比べ多い(Figs. 6, 7)。5海里と10海里の親潮系水出現割合の差の検定から、夏季は鯨ヶ崎と尾崎で有意差が認められ、秋季は鯨ヶ崎で有意差が認められた。黒崎と椿島では夏~秋季とも有意差は認められなかった。親潮系水の出現状況から、夏季の鯨ヶ崎と尾崎、秋季の鯨ヶ崎では10海里のみに親潮系水が出現する機会が多い(Table 2)。これより、夏季の鯨ヶ崎5海里と尾崎5海里、及び秋季の鯨ヶ崎5海里には津軽暖流が、10海里には親潮系水が分布していることが示唆される。一方、黒

埼と椿島の10海里以内には、夏～秋季とも津軽暖流が分布していると考えられる。よって、岩手県沿岸における津軽暖流の親潮系水接岸に対するバリアー効果は、春～秋季は県中部では5海里、県北部、南部では10海里と考えられる。冬季は津軽暖流が一樣に10海里以内に分布する場合が多いと考えられる (Fig. 11)。

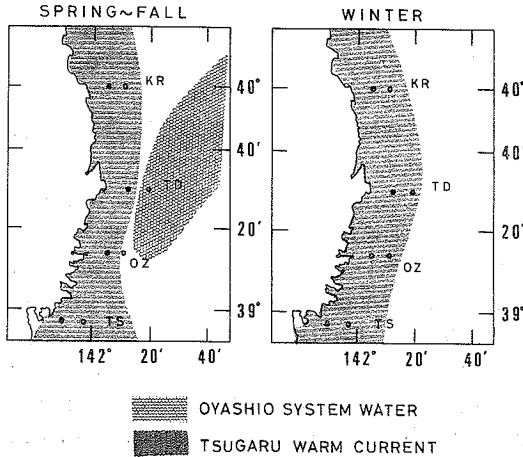


Fig.11. Schematic flow pattern of Tsugaru Warm Current and Oyashio System Water in the Iwate coastal area. (Left panel:from spring to fall,Right panel:winter) Solid circles and Open circles show the locations of 100m temperature measuring stations of 5 and 10 nautical miles.

以上のように、冬季を除いては県中部の沖合10海里に親潮系水の介入が多いことが示された。この原因の一つには海底地形による影響が多いことが挙げられよう。Fig. 1からわかるように県中部は急深である。一方、県北部、南部は遠浅である。黒埼、椿島の10海里測点は200m以浅にあるが、鮎ヶ埼・尾埼では400m以深にある。岩手県沿岸を南下する津軽暖流の流量が、月による違いはあるものの、県北部から南部に至る間で同程度であるならば、Fig. 12に示すような模式図が考えられる。すなわち、県北部の遠浅な海域を流れている場合には津軽暖流の水平方向における分布域は広いから、10海里測点における100m深は津軽暖流域にある。一方、県中部の急深な海域を流れる時には流量が同じであるがために分布域は必然的に狭くなる。よって、10海里測点における100m深は津軽暖流域外になる。県南部では再び遠浅な海域となるため、県北部と同様な状態となる。このよう

に、県中部における急深な海底地形が親潮系水の介入に大きく影響を与えていると考えられる。

HANAWA and MITSUDERA(1987)、武藤ほか(1969)は、夏～秋季を中心に、岩手県南部沿岸域に南から黒潮系水の接岸が認められることを報告している。今回の解析から、椿島5、10海里における8～11月の標準偏差は、他の5、10海里測点に比べ小さく (Fig. 2)、大船渡における4～8月の定地水温の標準偏差は他の地点に比べ大きい (Fig. 3) ことが示された。また、春～夏季には大船渡の定地水温の標準偏差は、近接する椿島5海里の水温の標準偏差に比べ大きい (Fig. 4)。以上のように、県南部だけに特異的に認められる特徴が明らかとなった。県南部にも県中部以北と同様に津軽暖流が分布しているが (Fig. 11)、上記の特異的な特徴が県南部だけに認められたことは、年によって津軽暖流とは異なる水系による影響が県南部へ加わった結果と考えられ、黒潮系水が北上して岩手県南部沿岸域に分布する可能性を示唆しているものと考えられる。

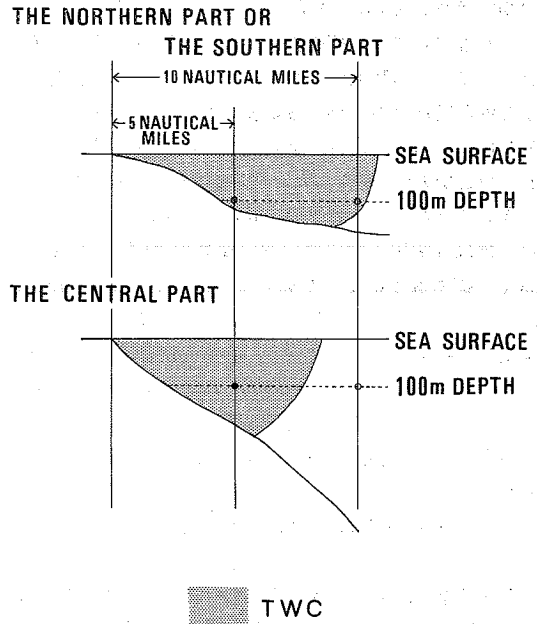


Fig.12. Schematic cross sectional flow pattern of Tsugaru Warm Current in relation to the bottom topography. Solid circles and Open circles show the locations of 100m temperature measuring stations of 5 and 10 nautical miles.

以上、考察の結果として岩手県沿岸における津軽暖流の分布形態については、以下の3つが考えられた。

- 1) 岩手県沿岸全域にわたって、一様に同一に幅をもって分布する。
- 2) 岩手県中部で、沖合から親潮系水の介入によって津軽暖流が分断され、県南部には南から黒潮系水が分布する。
- 3) 岩手県中部で、沖合から親潮系水の介入によって津軽暖流の分布域が狭められるが、県南部で再び分布域を広げる。

しかし、2)は今回の水温、塩分の解析だけでは不十分であった。岩手県南部沿岸への黒潮系水接岸を確認するには、岩手県南部～中部にかけての海況調査を充実させ、津軽暖流と黒潮系水の交錯する海域の構造を把握し、津軽暖流の流況についての知見を得ていく必要がある。

(4) 沿岸域の水温変動と定地水温との関連性

沿岸域の水温変動が定地水温変動へ与える影響を、5海里の水温変動と、隣接する定地水温から検討する。Fig. 4, 9より、春季は黒崎5海里と久慈の水温変動の相関係数は0.7以上と高く、標準偏差は同程度であった。水温の年による変動幅の規模・変動が、黒崎5海里と久慈で生じる時期が同じであることから、沿岸域の水温変動が定地水温へ与える影響は大きいと理解できる。鮎ヶ崎、尾崎は、宮古、釜石と水温変動の相関係数がそれぞれ0.6以上と高かった。標準偏差は5海里のほうが大きいことから、5海里の水温変動は定地水温では小さい。樺島5海里と大船渡の水温変動の相関は0.6以上と高く、標準偏差は定地水温のほうが大きい。Table. 3から4～8月の大船渡の定地水温は、隣接する海域の水温変動と相関が低い。よって、春季を含む4～8月の大船渡の定地水温変動は、他海域とは独立し、特異的かつ局地的に生じていると考えられる。

冬季は何れも相関係数は0.6以上と高く、標準偏差は鮎ヶ崎で5海里が大きく、他は同程度か5海里が大きい。よって、5海里の水温変動は定地水温にも影響を与えるが、その変動幅は定地水温では小さいと考えられる。

夏～秋季は、何れも5海里における水温変動と定地水温の相関は0.5以下と低く、標準偏差は夏季の樺島と大船渡を除く3地点で、何れも同程度か5海里が大きかった。これは、水温の年による変動幅が、5海里の水温と定地水温では同程度か5海里が大きいものの、変動が生じる時期が異なると理解できる。よって、5海里の水温変動が定地水温に与える影響は小さいと考えられる。この時期の相関が何れも低い理由として、夏季は顕著な水

温躍層が水深100m以浅に形成される。気象の影響を強く受ける定地水温と、水温躍層より深いため、気象の影響を受けにくい100m深水温との相関であると考えられる。また、定線観測は1ヶ月の中のある1スポットを観測しているのに対して、今回扱った定地水温は月平均値であることも一因と考えられる。

Fig. 2から、4定線の5、10海里における、9月あるいは10月の標準偏差が 2°C 以上と大きい傾向が認められ、この時期の変動が大きいことを示している。9～10月の年変動が大きい原因を次に考察する。

津軽暖流の津軽海峡東方での流出形態には7～11月に形成される渦モードと、12～6月に形成される沿岸モードがあり(Conlon, 1982)、渦モードから沿岸モードへの移行には流量や上下層間の密度差の減少が要因として挙げられている(川崎, 1987)。また、夏から晩秋にかけて津軽暖流の流勢は強くなり、流路が安定するという報告がある(力石・菊地, 1988)。しかし、安田ほか(1988)は渦モード期間内の9～11月において、津軽暖流の流出形態に1ヶ月弱の規則的な大規模な変動が存在し、三陸沿岸域へ突出域から分離した暖水が南下することを報告している。この1ヶ月弱の変動に対応して流量変動も同時に起きている(安田ほか, 1988; 川崎・杉本, 1988)。一方で、杉本・川崎(1984)は秋季における津軽暖流の流出形態は通常であれば渦モードが発達する期間であるが、その出現には年変動が認められ、差異の原因として黒潮系暖水塊や親潮の影響があることを示している。これらのことを考え併せると、9～10月における水温が年によって大きく変動するのは、三陸海域への突出域から分離した暖水の南下や黒潮系暖水塊、親潮の存在、流量変動などが複雑に影響し合った結果と考えられる。しかし、突出域から分離した暖水の南下や、1ヶ月弱の流量変動が毎年生じているならば、水温が年によって大きく変動していることにはならない。水温の年変動が大きいという事実は、1ヶ月弱で起こる暖水の南下の有無や流量変動に対して、月1回の海洋観測がその現象を捉えるか否かの時空間な測定精度の問題に起因すると考えられる。

今回は定地水温の月平均値と100m深水温値との関係を比較した。この結果、夏～秋季は5海里の水温変動と定地水温の相関が低いことが示された。これは、水温躍層の形成、月1回の観測頻度である定線観測値を用いたことが問題点として残った。今後はこの問題点を考慮して、海面水温と下層水温、海面水温と定地水温とを比較検討し、定地水温と沿岸域の水温変動との関連性、また

気象の影響による水温躍層の形成と水温変動との関連性を解明する必要がある。

5. まとめ

岩手県水産試験場が毎月実施している沿岸定線海洋観測結果のうち、4定線の5、10海里測点における100m深の水温値、塩分値、及び4ヶ所の定地水温資料を用いて、季節別の津軽暖流の分布範囲、津軽暖流の水温変動と定地水温変動との関連性を検討した。また、表面から中層への熱伝導についても検討した。その結果を次にまとめた。

- 1) 鉛直拡散係数 $0.07\text{cm}^2/\text{sec}$ 程度で、100m深水温の年最高水温が定地水温に比べ2~3ヶ月遅れることが説明でき、熱の鉛直拡散で実際の振幅の60~80%が説明可能である。このことは、残り20~40%が、分布する水塊の水平移流によっていると理解できた。
- 2) 水温の長期変動から、1981年以降では鮎ヶ埼10海里が低水温の影響を最も多く受けることが示された。これは、とりわけ春~秋季において親潮第1分枝が鮎ヶ埼10海里へ介入することが、他測点に比べ低水温となる大きな要因と考えられた。
- 3) 岩手県沿岸では、春~秋季は県中部の沖合10海里に親潮系水の介入が多いことを示した。なお、冬季は津軽暖流が一様に10海里以内に分布する場合が多いことが示された。
- 4) 県南部だけに特異的な特徴は明らかとなったが、黒潮系水が北上して県南部の沿岸域に分布することは、今回の水温、塩分の解析だけでは十分に明らかにできなかった。
- 5) 冬~春季は5海里測点の水温変動が定地水温変動に与える影響は大きいことが示された。夏~秋季は5海里測点の水温変動が定地水温変動に与える影響は小さいことが示された。これは、夏季は顕著な水温躍層が水深100m以浅に形成されるため、気象の影響を強く受ける定地水温と、水温躍層より深いため気象の影響を受けにくい100m深水温との相関であることが原因と考えられた。

6. 謝辞

本稿をまとめるに当たり、ていねいな指導、校閲の労を賜った東北区水産研究所海洋環境部長友定彰博士、有益な論議・助言を与えられた同部海洋動態研究室長稲掛

伝三博士、同室村上真裕美博士、安田一郎博士に厚く感謝の意を表します。また、現場での海洋観測に多大な労力を費やしていただいた、当水産試験場漁業調査指導船岩手丸・北上丸の乗組員の皆様に深謝します。

文 献

- CONLON, D. M. (1982) On the Outflow Mode of the Tsugaru Warm Current. *La mer* **20**, 60-64.
- 花輪公雄・岩坂直人(1987) 冬季三陸沿岸域への親潮系の水の接岸と水温予報の試み. 月刊海洋科学, **19**, 53-59.
- HANAWA, K. and MITSUDERA, H. (1987) Variation of Water System Distribution in the Sanriku Coastal Area. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**, 435-446
- 橋本良平・石戸芳男(1991) 東北海区のスケトウダラ卵・稚仔魚の補給と初期生活について. 東北水研研報, **53**, 23-38.
- 菱田昌考(1987) 津軽暖流の南下と季節変動について. 水路部研究報告, **22**, 1-22.
- 石戸芳男・橋本良平(1988) 三陸沿岸におけるババガレイ卵稚仔調査の結果の概要. 東北海区底魚研究チーム会議報告, **9**, 42-43.
- 川合英夫(1972) 黒潮と親潮の海況学. 海洋物理Ⅱ. 海洋科学基礎講座編集委員会編, 東海大出版会, 東京, 129-320.
- 川崎康寛(1987) 津軽暖流の変動機構. 水産海洋環境論. 杉本隆成・石野 誠・杉本健三・田中英昭編, 恒星社厚生閣, 東京, 42-50.
- 川崎康寛・杉本隆成(1988) 流量変動に伴う津軽暖流流出形態の短期変動. 東北水研研報, **50**, 203-215.
- 武藤清一郎・佐野孝・平井正夫・工藤英郎・八百和子・山村弥六郎(1969) 三陸沿岸水域の海況について第1報 津軽暖流の消長. 東北水研研報, **29**, 93-123.
- 小川嘉彦(1989) 親潮第1貫入南限緯度の変動. 東北水研研報, **51**, 1-9.
- 力石國男・菊地康文(1988) 津軽暖流・親潮の季節変化について. 大槌センター報告, **14**, 202-204.
- 杉本隆成・川崎康寛(1984) 津軽暖流の季節・経年変化とその力学的解釈. 沿岸海洋研究ノート, **22**, 1-11.
- 上野康弘・山崎幹雄(1987) 三陸沿岸域における津軽暖流の季節変化. 東北水研研報, **49**, 111-123.
- 梅崎 勇(1984) 日本沿岸におけるホンダワラ属(バクトロフスク亜属)の分布について. 大槌センター報告, **10**, 70-76.
- 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. 東北水研研報, **50**, 153-191.