

# 青森県十三湖西方における対馬暖流の流勢指標について

佐藤 晋一

## はじめに

本県日本海沖合は、対馬海峡を通過した後分岐・蛇行した対馬暖流が収束して北上する海域で、その勢力を評価するには都合のよい海域である。

北緯40度36.6分の航作線におけるいくつかの流勢指標については、平成9年度に整理して、報告した。さらに北方に位置する北緯41度線（十三線）における海況を把握することは、より北方の対馬暖流の動向を考えるうえで重要と考えられる。ここでは、十三線において各層最高水温、100m深指標水温による離岸距離、指標水温の最深度及び南北方向の地衡流量を整理し、航作線との比較を行ったので報告する。

## 材料と方法

### 使用した資料について

漁海況予報事業に係る海洋観測は1963（昭和38）年4月に始められた。解析資料としては、海洋観測資料（水産庁 昭和38年～60年）及び定線海洋観測結果表（青森県水産試験場 昭和61年～平成11年）を使用した。

### 資料の内容

- 1 観測水深についてみると、観測開始当初は転倒採水器による水深300mまでの観測であった（表1）。このため、日本海の対馬暖流の厚さを300m以浅と仮定して無流面を300m深に設定し、300mまでのデータがそろわない月は流量を算出しないこととした。

表1 十三線における海洋観測要目

年号	3.38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	H元	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
西暦年	1963	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000		
観測測器	転倒採水器																										CTD		CTD											
観測水深	300m													400m												500m		1000m												
塩分	塩素量													塩分量																										
定線の岸側（東端）	140-00E																																							
同岸 沖側（西端）	138-40E													一部137-20E																										

- 2 観測水深は観測開始当初は300mまでであったが、1976年6月からは400m、1990年6月からは500m、1997年4月からは1000mまでの観測となった（1971年4～5月は400m、1975年9月及び1976年6月は500mまで）。
- 3 1963年から1969年の7年間の観測データは塩分量ではなく、塩素量として表されていた。このため、塩素量clを $S = 1.80655 \times cl$ により塩分量Sに換算した。
- 4 観測機器としては1989（平成元）年11月までは転倒採水器が使用されていたが、1990（平成2）年3月以降はCTDも使われはじめ、1996（平成8）年9月以降はすべてCTDによる観測となった（1990年6、7、9、11月、1991年7、9、10月、1992年5、6、7、9、10月、1993年5、6、7月、1994年8月、1995年5、6、7月、1996年5、6、8月は転倒採水器による）。
- 5 十三湖西方定線は北緯41度00分であるが、定線の長さが変えられてきていた。300m以上の水深がとれる岸側の点は東経140度00分であった。これに対し、沖側の定点は次第に延びてきて

おり、観測開始当初の1963年4月から1976年3月までは138度40分、1997年5月までは138度20分であった。1997年6月以降は6、9、12、3月のみ137度20分までとなった(図1)。

6 各観測の観測日をみると、前月の23日から当月の22日までの広い期間にわたっていた(表2)。このうち、日本海区水産研究所で当月の観測期間としている前月の28日から当月の13日までに観測が行われていたのは全体の84.1%に及んでいた(図2)。

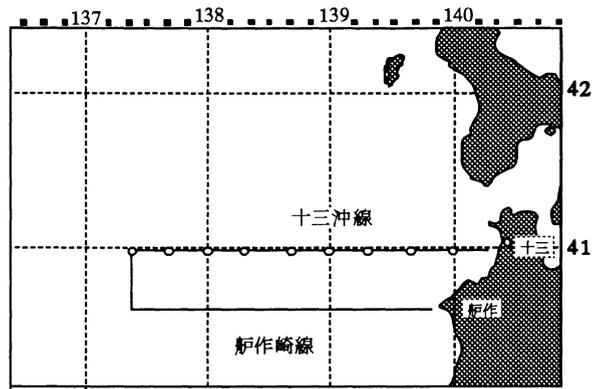


図1 海洋観測定線(十三線)

## 結果

### 1 十三線における流勢指標の整理

#### (1) 各層最高水温

図3に0m、50m、100m層最高水温の月平均値を示した。0m層では8~9月に最高、

表2 海洋観測日一覧(日本海 十三線)

年月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1963				20	8, 9	2, 3		18	8, 9	4		
1964			13	12, 13	8, 9	1, 2	1, 2	1, 2	4, 5	1, 2	17	
1965			23	8, 9	11, 12	1, 2	7, 8	4	3, 4	4, 5		8
1966			27	8, 9	6, 7	4	12	2, 3	6, 7	1, 2	4, 5	
1967			17	12, 13	6, 7	3, 4	8	3, 4	1, 2	4, 5	17, 18	4, 5
1968			24, 25	8, 7	7, 8	1, 2	9	1, 2	5, 6	5, 6	3, 4	4
1969			20	1, 2	1	5	15, 16	1, 2	1, 2	4, 5	9, 10	21, 22
1970			27	5, 6	1	3, 4	2, 3	1	2, 3	3	3	12
1971			24, 25	15	9, 10	3, 4, 7	13, 14	9, 10	3, 6, 7	30, 1	3	
1972			8, 9	9, 10	4, 5	6	3, 4	2	2	6, 7	2, 3	1, 6
1973				4, 9, 10	2	3, 4	1, 2	4, 5	13	9		16
1974	31	25	26	13	7, 8	8, 9	14	1, 2	10, 11	11, 12		23, 24
1975			3	2, 3	1	3	1	9, 10	4	7	4	
1976	16		12			2	6, 7	10	26	5, 6	10, 17, 18	
1977			14, 16, 17			7	8, 9	29, 30	2, 3	8		
1978			6			8, 9, 10	5, 6	25	27		7	
1979			8	6	9	1, 2	6, 7	10	30, 31	10, 11		
1980			14, 15		1	29		7, 8		30, 1	29, 30	
1981			10, 13	8	29	2	1, 2		10, 11	5, 8	28, 29	
1982			17, 18	1	23~26	31, 2, 3	29		7, 8	29, 30	29	
1983			1, 2	28, 29	26, 28	1	28, 29		24~26	30, 1	31, 1	
1984			14, 15	2, 3	24~26	29, 30	5, 6		3	2, 3	8, 9	
1985			28, 1	7	30, 1	28	25, 26		27, 28, 30	4	30, 31	
1986			4, 6	2, 3	30, 1	3	2, 3		2	29	5, 6	
1987			11	9, 10	6	2	30, 1		2, 3	28, 29	4	
1988			14	30	25, 26	30	29		1	27	18	
1989			28, 6	29, 30	26, 27	30	30, 1		5	27, 30	4	
1990			10	28, 29	27, 28	29	3		29, 30	5	30	
1991			11	29, 30	24, 25	28, 29	2, 3		28, 29	30, 1	1	
1992			28, 29	26, 27	6, 7	28, 29	30		1	1, 2	28, 29	
1993			4, 5	28, 29	30, 6	8	6	2	1	5, 6	28, 29	7, 8
1994			28, 1	4, 5	26, 27	27	10	5, 6	28, 29	8, 9	26	30, 1
1995			24, 25	6, 7	9	1, 2	27, 28	3, 4	31, 1	27, 28	30, 31	4, 5
1996			13, 14	8, 9	14	6	26, 27	1, 2	27, 28	1	8, 9	3, 4
1997		5, 6	12, 13	4, 5	12	13		30	5	30, 1	5	6
1998		11, 12	4	12, 16	6, 7	10, 11		28, 29	2	28, 29	29, 30	4, 5
1999		9, 16	13, 14	9, 10		5, 6	5, 6	3	2	29	3	1, 2

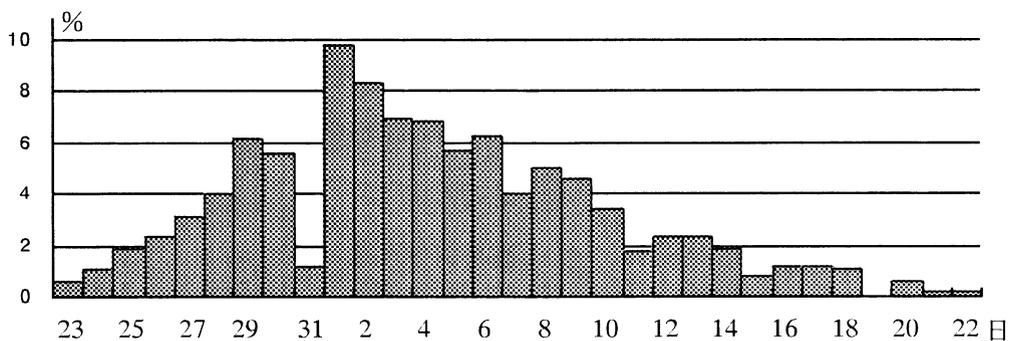


図2 観測日の度数分布

3月最低、50m層では9～10月に最高、3～4月最低、100m層では11月に最高、4月最低と、下層に向かってピークが少しずつ遅く、水温値も低くなっていた。12～4月は0～100m深までほとんど同じ水温で、鉛直混合期を示しているものと思われた。

(2) 暖流流幅

図4には暖流流幅の月平均値を示した。流幅は100m層で5℃等温線の岸からの距離をマイル数で示した。しかし、過去のデータをみてもこれまでの観測線で5℃等温線がとらえられない(5℃以下の水域がない)事例が5%ほどみられた(99年までは307事例のうち15例)。季節的には3月と12月にその事例が多かったが、流幅は2月に最も広いことが予想された。月平均値でみると流幅は5月に最も狭く、8月まで広がっていき、10月に極小値をみせるのが特徴的であった。

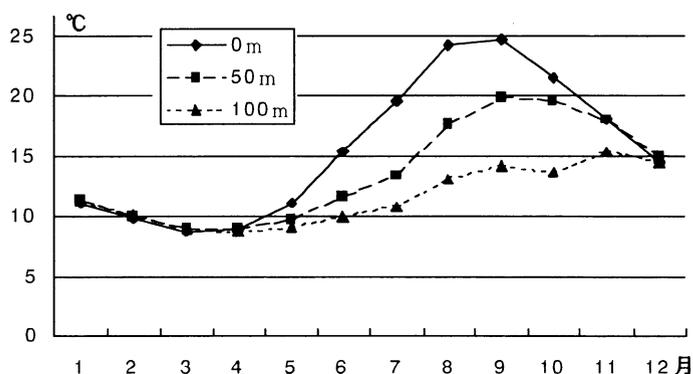


図3 0m、50m、100m層最高水温 (月平均値)

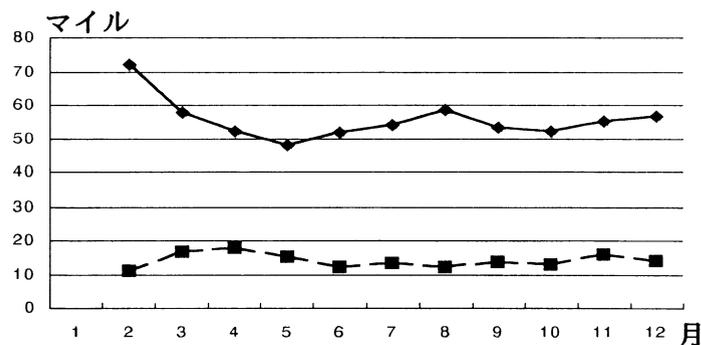


図4 十三湖西方の対馬暖流流幅の月別平均(実線)・標準偏差(破線)

(3) 水塊深度

図5には水塊深度の月平均値を示した。これは7℃等温線の最深度をメートルで示している。月平均値でみると4月に極小があり、8月まで深くなっていき、10月に最小値をみせていた。

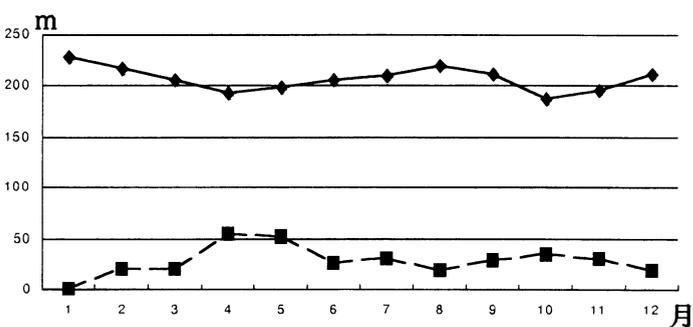


図5 十三湖西方の対馬暖流水塊深度の月別平均(実線)・標準偏差(破線)

(4) 北上流量

1) 地衡流量の計算結果を表3に示した。

データが得られたのは2～12月までの274回で、1月はデータがなく、2月は最近の3回のみとデータ数は極端に少なかった。274回の地衡流量値の全平均は2.93Svであった（Svは $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ）。月平均値で見ると、1～2月はデータが少ないので明確にはわからないが、4月に最小を示した（図6）。その後は増加していき、9月に極大となった後、10月に極小値を、12月には最大値を示すという変動をみせていた。

表3 十三湖西方における対馬暖流北上流量（無流面は300m）

単位：Sv ( $\times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ )

年月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1963					2.001	3.051		2.604	1.153	2.185		
1964			1.638	1.780	2.274	1.866		2.869	2.967			
1965					3.004	2.925	2.619	2.005	4.094	2.408		
1966				3.765		2.666	2.300	3.690		1.123		
1967			1.356	2.499	1.767	1.478	3.394	2.926	3.714	2.700	3.223	3.500
1968				2.408	1.681	1.464	1.710	2.287	3.282	2.462	2.467	4.025
1969				1.686		2.705	2.494	3.672		1.922	2.425	
1970				2.025	0.324	2.825	-0.383		4.297	3.217	3.817	4.522
1971				2.541	1.800	3.076	3.479	2.418	3.602	3.446	3.221	
1972				2.063	2.370	4.399	3.150	5.323	3.643	4.033	4.298	
1973				3.121	2.307			3.725	3.155			5.100
1974				2.340	3.524	2.484	4.095	3.767	3.272	3.220		
1975				2.366		2.574	1.293	3.070	3.053	2.600	1.522	
1976			2.304			2.376	2.391	3.976		2.488	3.260	
1977			3.169			2.690	4.237	3.248	2.381	2.186		
1978			2.566				4.253			2.579	2.440	
1979						3.513	4.193		3.568			
1980			0.904		2.055	2.552		0.803		3.120	6.477	
1981			2.651	2.644	3.118	2.806	3.456		3.769	2.772		
1982			3.137	1.587	2.176	3.013	2.170		2.530	2.853	3.354	
1983			2.808	1.557	2.804	2.746	2.710		3.639	3.265	2.217	
1984			1.870	1.430	1.623	1.929	2.078		3.177	2.287	3.923	
1985			2.260	2.367	1.408	3.044	2.905		2.502	3.114	2.411	
1986			1.563	2.476	2.411	3.342	2.715		2.964	3.584	4.421	
1987			3.114	2.663		3.220	2.627		3.167	4.812	2.102	
1988			2.958	1.865	3.855	2.414	1.997		2.506			
1989			2.122	2.763	2.482	3.309	2.619		6.014	5.491	4.092	
1990			2.201	2.706	3.486	3.215	3.525		4.802	2.458	2.427	
1991			3.489	2.157	2.634	2.717	2.976		2.856	1.894	3.804	
1992			3.568	1.078	2.679	2.550	3.975		4.580	3.063	3.801	
1993			5.027	2.366	2.440	3.305	3.074	3.204	4.536	3.932	4.309	3.937
1994			2.641	2.770	2.767	2.932	3.243	5.557	2.909	6.123	3.986	3.318
1995			2.839	4.306	2.127	3.183	2.544	3.462	3.137	2.782	2.917	3.154
1996			3.075	2.542	2.616		2.832	3.485	3.443	2.081	3.496	3.462
1997		2.830	1.778	2.580	2.865	2.231		4.070	4.187	2.450	3.833	3.395
1998		2.790	2.060	2.514	2.211	3.168		3.480	4.021			2.975
1999		1.712	2.549	2.201		3.440	3.475	4.222	3.924	2.748	3.279	4.795
平均		2.444	2.546	2.372	2.386	2.800	2.843	3.357	3.464	2.981	3.366	3.835
S. D.		0.518	0.834	0.637	0.701	0.577	0.944	1.009	0.868	1.009	0.991	0.671

- 2) 月ごとの標準偏差をみると、8月及び10月が大きめで、6月は小さめであった。
- 3) 個々の計算結果をみると、1970年7月の1例を除くすべてがプラス（北向き）で、ほとんどが0.0～6.0の間にあった（図7）。この範囲からはずれたのは1970年7月の-0.383Sv、1980年11月の6.477Sv、89年9月の6.014Sv、94年10月の6.123Svであった。

このときの水温・塩分の鉛直断面図をみると、1970年7月は水塊深度が浅めで5℃や10℃の等温線が沿岸から沖合方向に平行に走っていた。1980年11月は水温は全般に高めで、塩分は中層に34.1%以上の高塩分域がみられた。89年9月は34.1%以上の高塩分域が広く深くみられた。また、94年10月では水温が全般に高めであったが、塩分はむしろ低めとなっていた。

4) 地衡流量の各月のデータを使って自己相関を算出した(図8)。タイムラグ6年以上では6年、7年及び8年に自己相関の比較的高い値がみられたが、いずれも有意なものではなかった。また、平年偏差比の自己相関ではタイムラグ1.3年、12.2年、15.3年、15.8年及び18.6年に比較的高い自己相関の値がみられたが、いずれも有意なものではなかった。(図9)。

5) 図10に十三線の観測点間の地衡流分布を月ごとに平均して示した。観測定点は概ね一定であったが、観測範囲は、1976年3月以前は東経138度40分まで、それ以降は東経138度20分までとなった。観測点間は15マイルであった。

平均のピークの位置はすべての月で139度以東であった。月ごとの特徴をみると、ピーク位置は2、4月にやや沖側に位置していたが、季節的な変動としては認められなかった。

6) 図11には観測点間の地衡流量のピーク位置が、引き続く月との間でどの程度ズレるかを集計し、度数分布として示した。1963年5月から1999年12月までの37年間ではピークの位置が変わらない事例が37%と最も多く、東または西へ1カ所ズレる場合まで含めると83%にも及んだ。

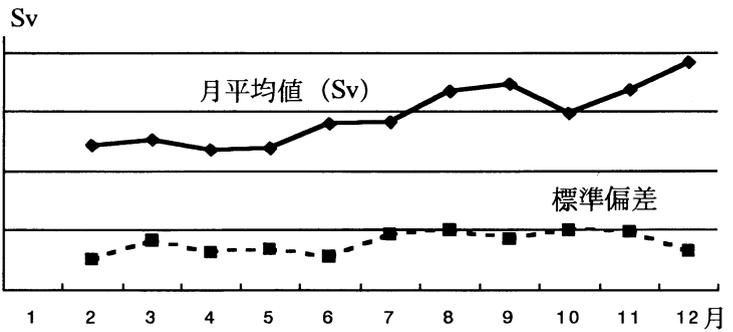


図6 対馬暖流北上流量の月平均値及び標準偏差

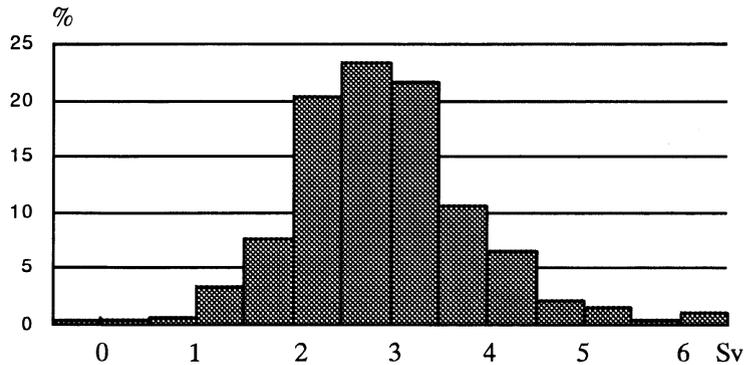


図7 対馬暖流北上流量の度数分布(十三線)  
(平均は2.93Sv 2.5~3Svが最も多い)

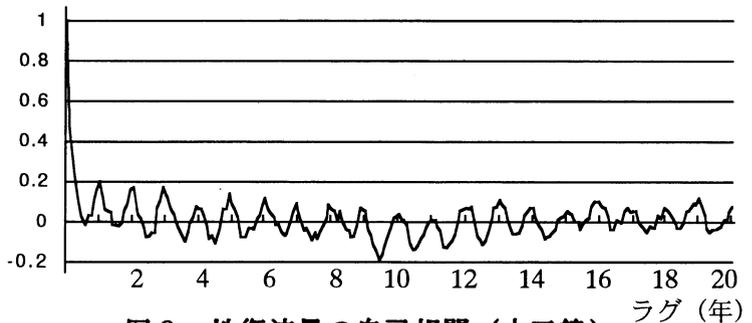


図8 地衡流量の自己相関(十三線)

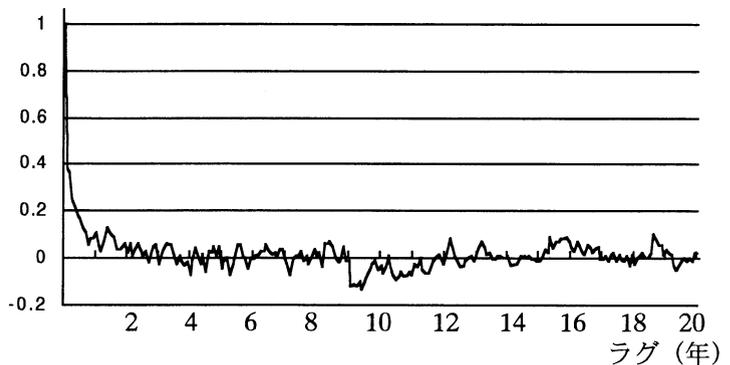


図9 地衡流量平年偏差比の自己相関(十三線)

## 2 十三線における水温・塩分の月平均鉛直断面について

十三線における水温・塩分の平均鉛直断面図を月ごとに図12に示した。水温の分布をみていくと

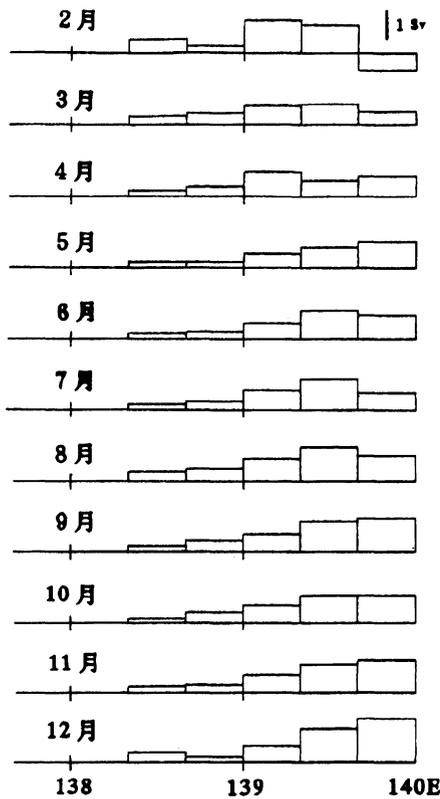


図10 十三線の観測点間の地衡流量分布 (1963年から1999年の平均)  
右側が陸側。  
棒グラフの幅は観測点の両端を示す。  
流量は棒グラフの長さで示す。

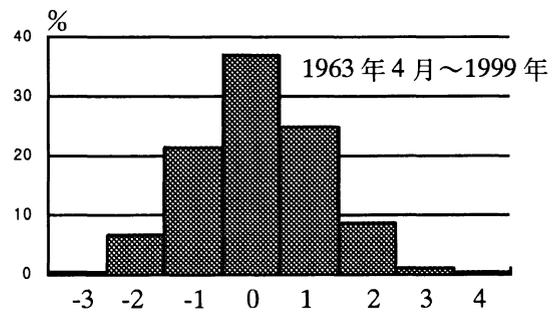


図11 測点間の地衡流量分布のピーク位置の変化  
0は同じ位置、+1は東へ1カ所移動したことを示す

2月は沿岸から離れたやや沖合部分の表層に10℃台の水域がみられた。3～12月は沿岸にへばりつくかこうとなっており、8℃台から9月の24℃台まで上昇し、12月は14℃台となっていた。7℃以上の範囲でみていくと3～5月が最も狭く、8～9月が広がっていた。また、1℃の等温線は概ね、水深200～400mにみられた。

塩分は、年を通じて沿岸の表層部に低塩分域がみられた。その塩分値は5～10月は33.5psu以下となっていた。また、5～12月は沿岸の中層部(水深100～300m)に高塩分域がみられた。塩分値としては、8～11月に34.3psu台となっていた。

### 3 十三線と舳作線の比較

0m、50m及び100m層最高水温の月平均の変動は舳作線での傾向とほとんど一致していた。

100m層5℃等温線の岸からの距離で表される暖流の流幅は5月に最小値を示した。舳作線の4月に比べて1カ月遅かったが、その後暖流幅は広がっていき8月に極大を見せるのは両線で一致していた。極小値は10月にみられたが、これは舳作線より1カ月遅くなっていた。また、データ数が少ないものの最大は2月となり、舳作線の12月と同様、最大値は冬場に現れるという点では一致していた。

7℃等温線の最深度で表される水塊深度は4月及び10月に極小値を示した。これは舳作線でも同様だったが、最小値は十三線の10月に対して、舳作線は4月であった。また、極大値は8月及び1月に現れ、最大値は1月であったが、これは両線で一致していた。

十三湖西方の300m無流面の地衡流量は4月に最小、9月極大、10月極小、12月最大となった。舳作線では5月に最小、8月最大、10月極小、12月極大で、傾向はほとんど一致していたものの、最大値の出現月が十三線の12月に対して、舳作線は8月となっていた。標準偏差の変動をみると、十三線では8月及び10月に高めで、6月低め、舳作線では10～11月に高めで、3～4月及び12月に低めであった。10月に変動が大きいことは一致していたが、変動の小さい時期は十三線の6月に対して、舳作線では冬場となっていた。

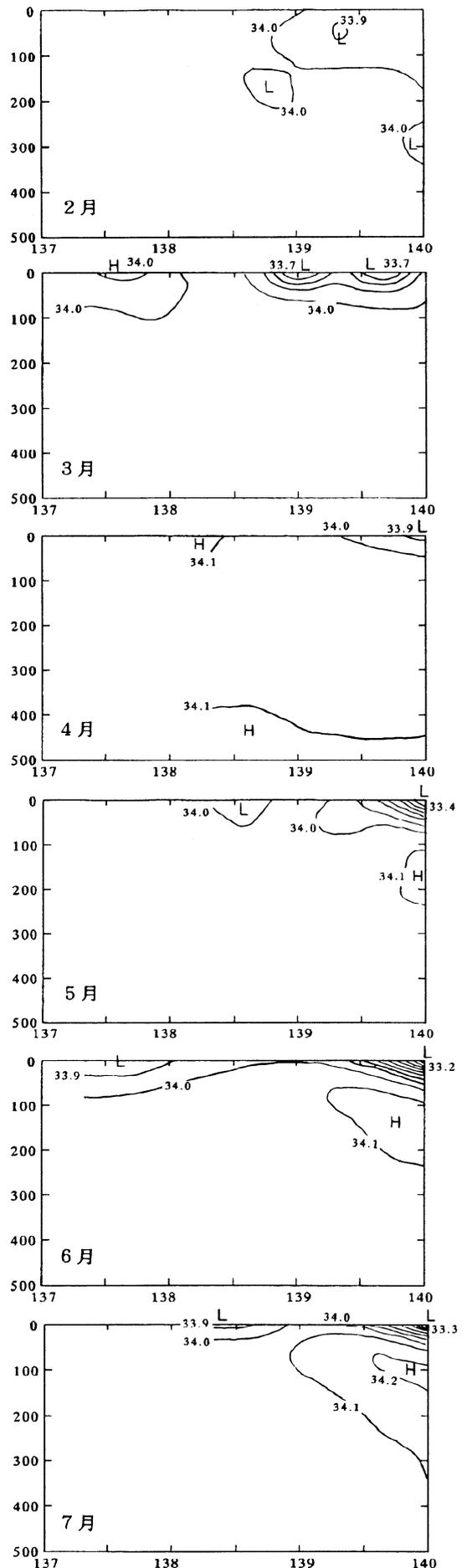
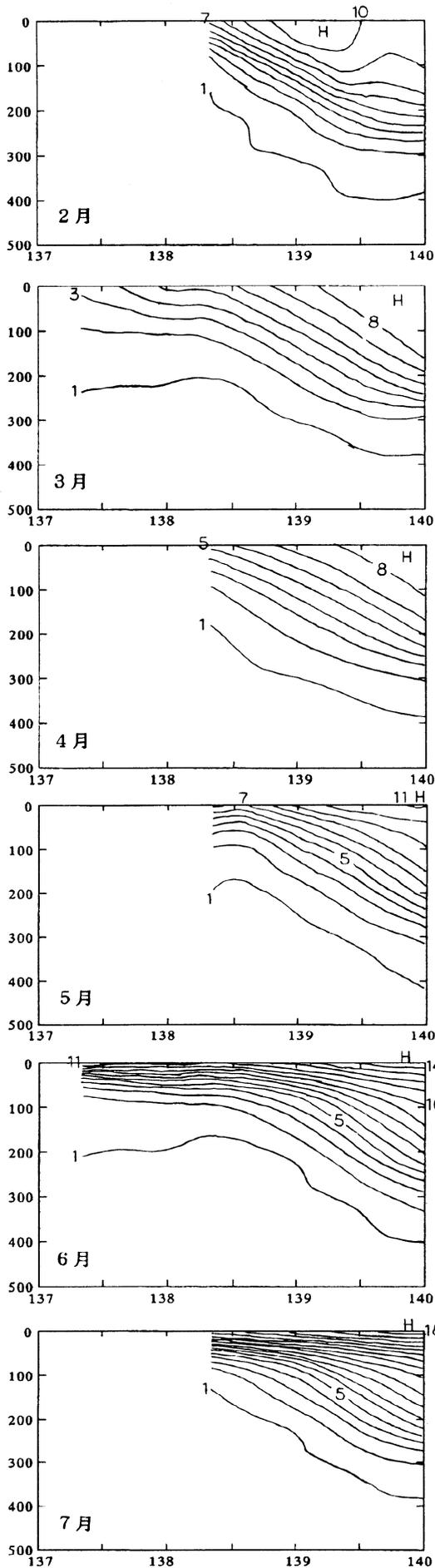


図 12-1 十三線（北緯 41 度）における鉛直断面図（2～7 月）  
左：水温 右：塩分（1963～1999 年の平均値による）

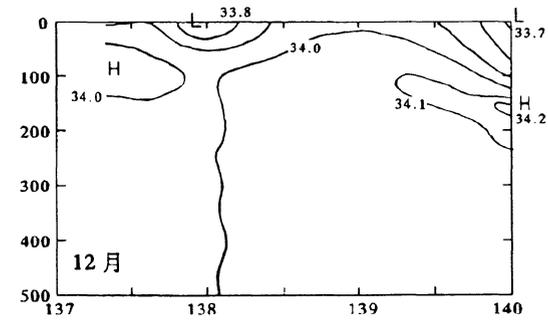
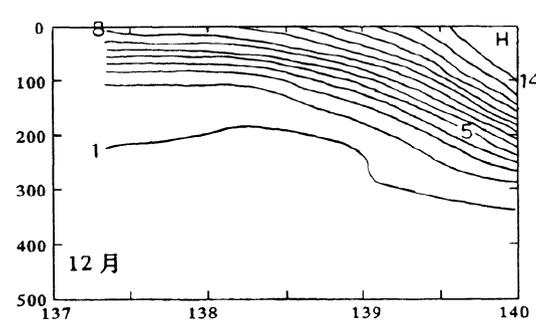
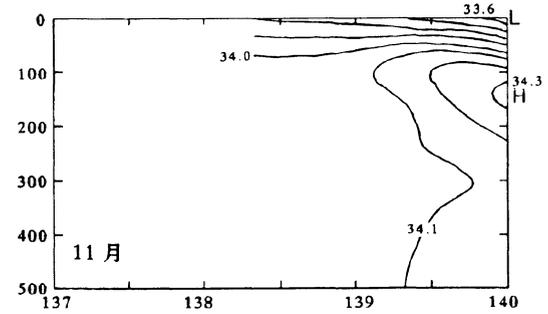
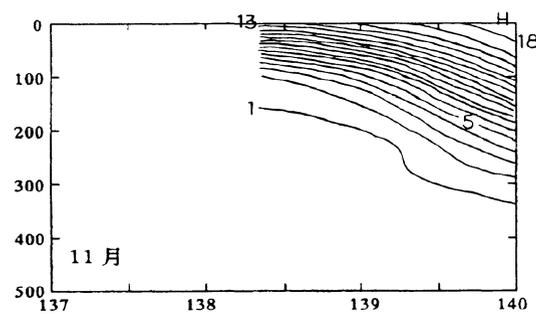
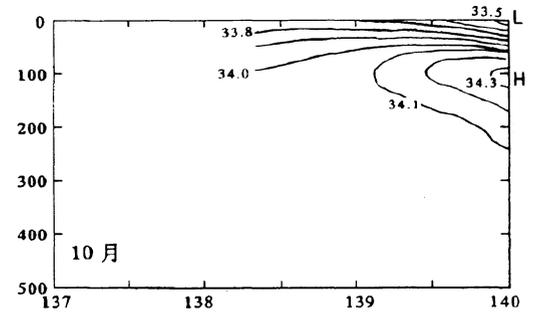
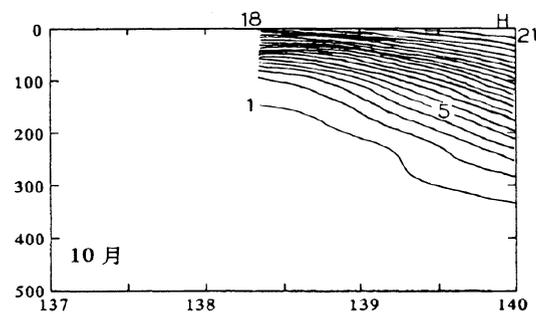
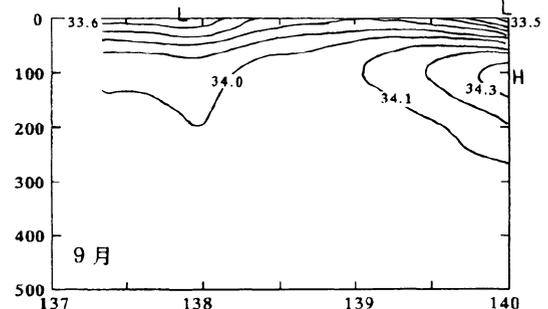
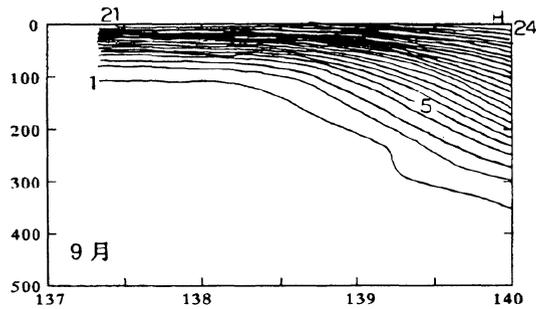
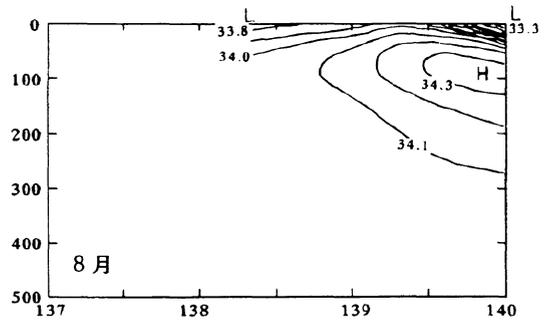
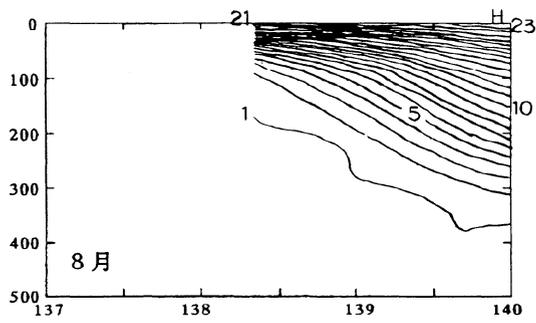


図 12-2 十三線（北緯 41 度）における鉛直断面図（8～12 月）  
左：水温 右：塩分（1963～1999 年の平均値による）

## 考 察

十三湖西方の300 m無流面の地衡流量値は月平均でみると4月の2.37Svから12月の3.84Svの範囲にあり、全平均は2.93Svであった。さらに南方の舳作崎線（北緯40度36.6分）では全平均は2.61 Svであった。十三線では舳作線よりおよそ12%ほど多い流量となるが、この原因としては沖合側及び沿岸側からの流入が考えられる（図13参照）。

そこで、データの得られたすべての月について、沖合側から観測ラインの内側に流入する分と沿岸側から流入する分についての地衡流量を算出してみた（図14）。

沖合側から流入する分の全平均は0.11Svで、11月及び7月にピークをみせていた。沿岸側から流入する分については全平均は0.17Svで、6月、9月及び3月にピークをみせた。また、この両者には相関はみられなかった（ $r=-0.16$ ）。このように、沖合側及び沿岸側からの流入分が加わって、十三線での流量が大きくなっていると考えられる。なお、ここで議論は無流面を300 mに仮定しており、300 m以深の流量については考慮していないため、より深い無流面を設定した議論も必要であろう。

地衡流量の季節変動をみると2～5月は流量が小さく、その後は次第に増加し、9月に極大となった後10月には減少し、その後再び増加に転じて、12月に最大となる変動をみせた。2月から9月にむかっては水温の上昇とともに流量が増大すると考えられる。8月は1℃の等温線が最も深いところにあるが、9月からは深層から水温が下がってくる。その後12月にかけては表層近くの水温が下がっていく変動をみせている。沿岸中層の高塩分域は5月からその形成がみられ、8月に最も広い範囲に及び中心塩分も高くなっていた。その後はその高塩分域が次第に狭まり、10月はその範囲が狭くなっていた。10月の地衡流量が極小となるのは、沿岸側の中層高塩分域が縮小する影響と思われる。

地衡流量の月ごとの標準偏差は8月及び10月に大きい値を示した。8月は深層の水温が最も上昇し、沿岸中層の高塩分域もその範囲が最も広い時期にあることは上に述べた。100 m 5℃等温線の離岸距離で表される暖流の流幅や7℃等温線の最深度で表される水塊深度も極大期にあたる時期でもある。これらの極値の変動により地衡流量の変動も大きくなっていることが予想される。また、10月は沿岸中層の高塩分域の範囲の極小期で、地衡流量の極小期にあたる。100 m層最高水温、暖流の流幅及び水塊深度も極小期にあたり、変動の大きな時期であることが予想される。

地衡流分布について、そのピーク位置は2月及び4月にやや沖側に位置していた。引き続く月との間でのピーク位置についてはズレない事例が3～4割あったが、月ごとには、5月から6月、10月から11月に多くみられた。5～6月は沿岸域の水温・塩分が上昇しはじめる月で比較的安定した時期と思われる。また、10～11月については、10月に極小をむかえた各指標が再び上昇しはじめるという点で安定した時期と考えられた。

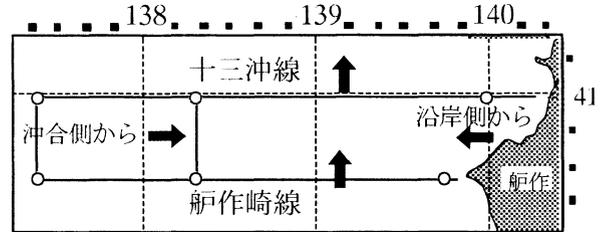


図13 沖合側から観測ラインの内側に流入する分と沿岸側から流入する分の検討

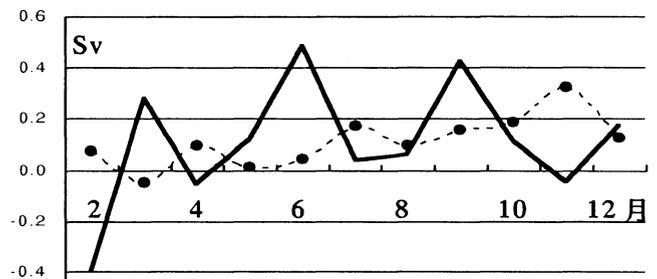


図14 沖合側から流入する分(破線)と沿岸側から流入する分(実線)の月別地衡流量(300 m無流面)

## おわりに

月ごとの地衡流量には周期性をみいだせなかったが、7～8か月周期があるようにも思われる。この点については今後さらに検討され、予測等に役立てられればと思う。

本報告ではすべて水深300 mを無流面として整理を進めてきた。年代が改まるにつれ、より深い水深までの観測資料が蓄積されるようになったので、より深い無流面での整理も必要となる。

今後は、十三線の北側における地衡流の整理も行って、近年蓄積されてきた津軽海峡の流量や水位差その他の時系列との関係を検討することも興味深い。さらに、日本海を回遊するスルメイカやイワシ等の漁獲量や資源量との関係についても検討できればと思う。

## 文 献

- 1) 佐藤晋一 (1999) : 青森県舮作崎西方における対馬暖流の地衡流量について 青森県水産試験場事業報告 (平成9年度)
- 2) 佐藤晋一 (2001) : 対馬暖流の流勢評価について 青森県水産試験場研究報告 (第1号)