

対馬暖流の流勢評価について

佐 藤 晋 一

Estimate of Condition on Tushima-Warm Current

Shiniti Sato

はじめに

当场では現在、日本海において7月と1月を除く各月ごとに年間10回にわたる海洋観測を行っている。その観測結果については、表に整理してファックスにより関係機関に送付するとともに、最高水温や暖流の範囲等に関する流勢指標を算出して漁海況速報「ウオダス」に掲載し、漁業関係者への周知を図っている。

対馬暖流の0, 50, 100m層の最高水温、暖流の流幅、水塊深度及び北上流量の流勢指標値についてはそれぞれ平年値との比較を行って評価しているが、それらをどのように総合して暖流としての評価を行うかについては担当者の主観にたっているのが現状である。ここでは、これらの指標を総合的に評価するものとして新たに「断面積算水温」を算出し、その妥当性についての検討を行った。

材料及び方法

使用した資料

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10年）を使用した。

資料の内容

解析資料としては、舩作崎線（北緯40度36.6分）のみを使用した（図1参照）。

0 m, 50 m, 100 m層の最高水温は各月の観測資料からピックアップして使用した。舩作線における対馬

暖流の流幅は100m層において5℃等温線の陸岸からの距離とし、単位はマイルで示した。しかし、5℃以下の点が観測されず流幅が観測定線をこえた場合は、便宜的にその観測定線長を暖流流幅とした。対馬暖流の水塊深度は7℃等温線の最深度とした。また、舩作崎西方における対馬暖流の北上流量は300m深を無流面とする2観測点間の地衡流量の総和とし、北向成分をプラスとして表した（単位はSv: $10^6 \text{m}^3/\text{sec}$ ）。

断面積算水温は過去からの資料がそろっている部分として、東経138度30分から139度50分、水深0～300mまでの範囲で所定層の水温値を積分して算出した。

結 果

1 現行の流勢指標について

現行の各指標はその値が大きければ暖流の勢力も強いと仮定して使っているものであるが、以下にその概要と問題点を挙げた。

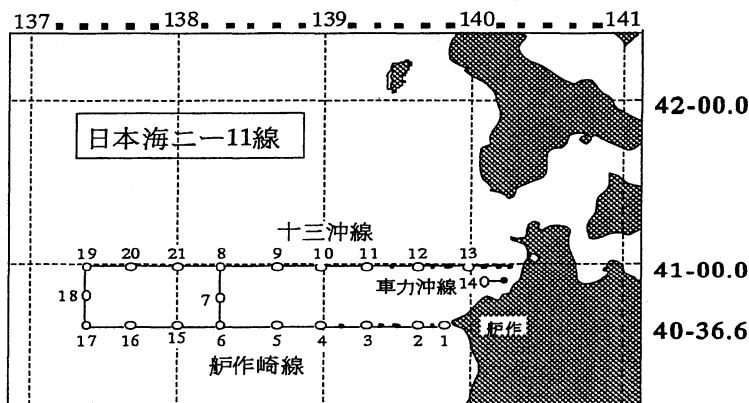


図1 海洋観測定線図

(1) 各層最高水温

図2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, 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。12~3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。

この指標は最高値を使っているため, 1個の異常データによって結果が左右される危険があると思われた。

(2) 暖流流幅

図3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ている。月平均値で見ると流幅は8月まで広がっていき, 9月にいったん狭まるのが特徴的である。

しかし, 過去のデータをみるとこれまでの観測線では5℃等温線がとらえられない(5℃以下の水域がみられない)事例が1割強もみられている(98年までは307事例中38例)。季節的には8~12月にその事例が多くみられ, 11月に最も流幅が広いことが予想された。指標水温を上げていけばとらえられる事例が増えるが, 例えば12℃に指標水温を設定すればほとんどがとらえられることになる。5℃の指標水温については, 「対馬暖流の中層水塊とは季節的に共通した変動様式を示していると考えられ, 対馬暖流域と日本海沖合冷水との境界の目安の水温と考えて差し支えない」として, 昭和45年から使われてきた。

なお, 水温が単調減少しない場合が7例みられ境界は不明であった。

(3) 水塊深度

図4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。「水温第2躍層を対馬暖流の下限と考える」として, 昭和50年から使われ

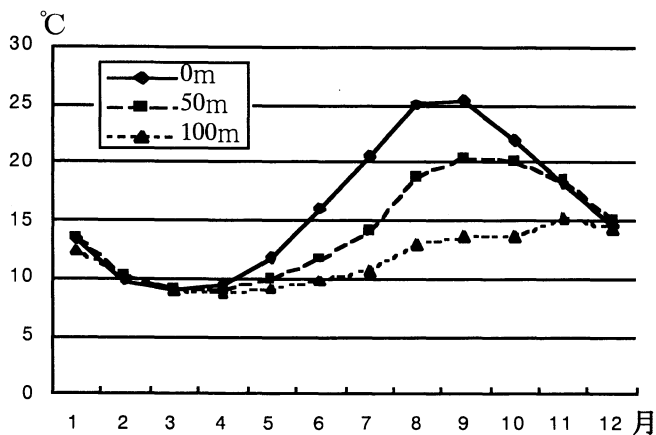


図2 0m, 50m, 100層最高水温 (月平均値)

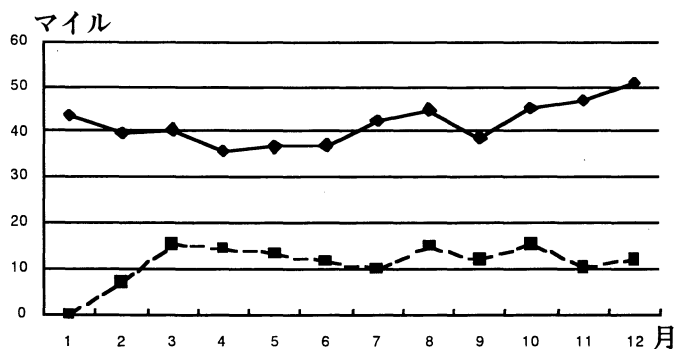


図3 舩作崎西方の対馬暖流流幅の月別平均 (実線)・標準偏差 (破線)

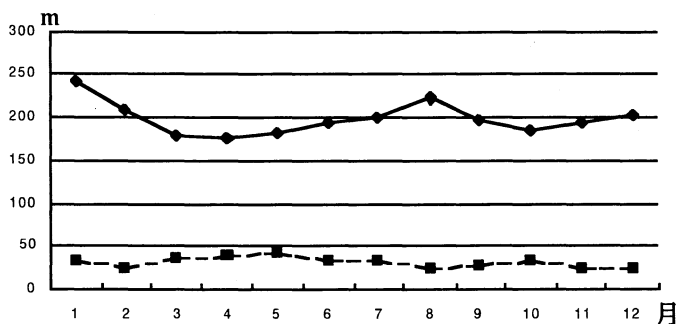


図4 舩作崎西方の対馬暖流水塊深度の月別平均 (実線)・標準偏差 (破線)

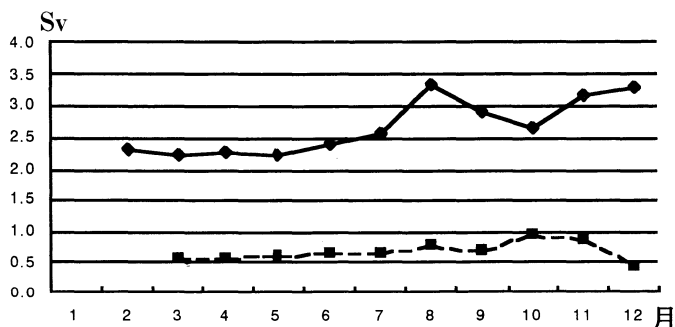


図5 舩作崎西方の地衡流量の月別平均 (実線)・標準偏差 (破線)

てきた。月平均値でみると8月まで深くなっていき、10月に極小値をみせていた。

この指標は7℃を示す深度が最も深い観測点のデータのみを使用することになるため、異常データに左右され得るものと思われた。

(4) 北上流量

図5には北上流量として、無流面を300m深とする観測点間地衡流量の合計値の月平均値を示した。この月平均値でみると8月に最大、10月極小、12月も8月に匹敵する極大値をみせた。

この指標は各地点の各層水温・塩分値を使って計算しているため暖流の勢力を評価するには有効な指標と考えられるが、観測終了後に塩分検定をする必要があるため、時間と手間がかかる。

2 6種の流勢指標の総合について

現在使用されている6種の流勢指標の偏差の相関行列を表1に示した。偏差データはそれぞれの指標について、各月の平均値及び標準偏差で正規

表1 流勢指標の偏差の相関行列

	max.0m	max.50m	max.100m	流幅	水塊深度	地衡流量
max.0m	1.00					
max.50m	0.88	1.00				
max.100m	0.64	0.85	1.00			
流幅	0.15	0.25	0.37	1.00		
水塊深度	0.23	0.25	0.38	0.44	1.00	
地衡流量	0.36	0.47	0.63	0.24	0.68	1.00

表2 流勢指標の偏差のクラスター分析結果

月	近い関係	遠い関係
3	50mと100mの最高水温	暖流流幅
4	50mと100mの最高水温	暖流流幅
5	100mの最高水温と水塊深度	暖流流幅
6	水塊深度と北上流量	0m最高水温
7	水塊深度と北上流量	0m最高水温
8	暖流流幅と0mの最高水温	100m最高水温
9	100m最高水温、北上流量、50m最高水温	0m最高水温
10	水塊深度と北上流量	0m最高水温
11	0mと50mの最高水温	暖流流幅
12	0mと50mの最高水温	

化したものを用いた。比較的相関の高かったのは0m層最高水温と50m層最高水温、50m層最高水温と100m層最高水温であった。次に相関の高かったのは水塊深度と北上流量、0m層最高水温と100m層最高水温、100m層最高水温と北上流量などであった。

次に、各指標の偏差についてクラスター分析を月別に行い、その結果を表2に示した。これを見ると3～4月は50m層最高水温と100m層最高水温、6～7月は水塊深度と北上流量、11～12月は0m層最高水温と50m層最高水温がそれぞれ近い関係を示した。また、11月から5月は暖流流幅が、6月から10月は0m層最高水温が遠い関係にあった。

これら6種の流勢指標を統計的に総合する目的で主成分分析を試みた。ここでは各指標の総合を問題としているため、第1主成分のみに注目した分析の結果、第1主成分の寄与率は50%であった。この寄与率は十分大きなものとは思われなかったため、最も異なった変動を示すと考えられる0m層最高水温を除いた5種の指標について同様

の分析を行ったところその寄与率は57%となった。逆に、全体を代表すると考えられる地衡流量をも除いた4種について分析したところその寄与率は59%となった。さらに、最高水温の指標が2種類あるので、50m層最高水温も除いた3種として分析した結果では、その寄与率は65%となった。

以上、6種の流勢指標を総合するために主成分分析を行った結果を示したが、いずれの場合も第1主成分の寄与率は高くなく、この方法は有効なものではないと思われた。

3 一定断面の積算水温

0, 50, 100m層最高

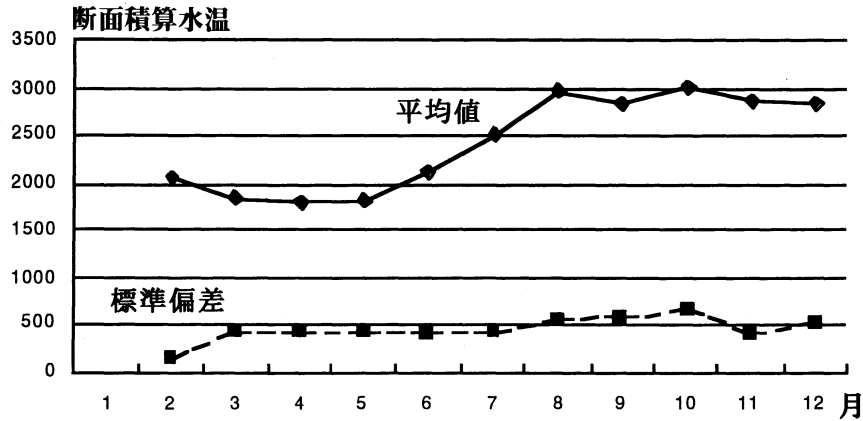


図6 船作崎西方の断面積算水温の月別平均・標準偏差

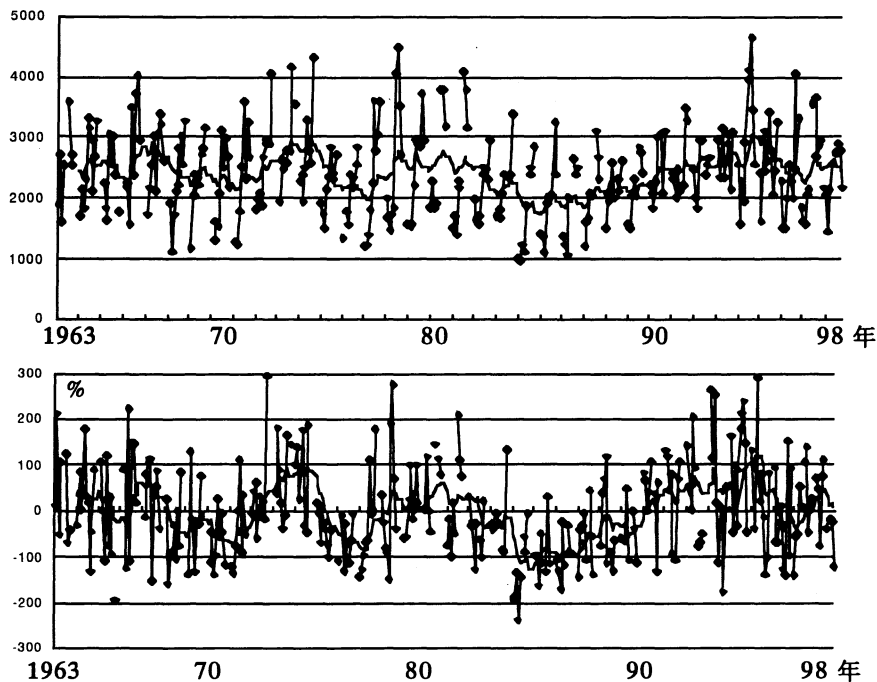


図7 断面積算水温の推移（太線は13カ月移動平均 下段は偏差値）

水温の月単位のピークにズレがみられたことや、暖流流幅がとらえられない事例が比較的多くみられたことで、主成分分析による第1主成分は流勢指標の総合化には不適當と思われた。そこで、全体の流勢を表す指標として船作線における鉛直断面のうち一定の断面を考え、この断面における水温の積算値によるアプローチを考えた。鉛直方向では、水深300～400mに通常は水温1℃の等温線がみられることから、対馬暖流の流勢を、古くからのデータがそろっている水深300mまでで考えることとした。これは対馬暖流の北上流量を算出する際に仮定した300m深無

流面とも一致するものである。水平方向では、沿岸側では最も岸よりの東経139度50分の点とした。

沖合側では、観測開始当初の1963年から1976年3月までは138度40分の点、それ以後については138度20分までの観測が多かったため、東経138度30分の点までとした（経度で80分、60.7マイル、112.5km）。

図6にはこの断面での積算水温を月平均値で示した。これをみると3～5月は低く、その後しだいに高まって8～12月は大きな変化はみせなかった（単位はdeg・分・mのままで表した）。

月単位の変動を個々にみていくと（図7）、断

表3 対馬暖流の強勢月と弱勢月（断面積算水温による）

	63.4	66.7	66.10	72.11	73.10	74.10	78.9	81.9	92.6	93.4	93.6	94.9	94.10	96.10
4000以上			○	○	○	○	○	○				○	○	○
200%以上	○	○		○			○	○	○	○	○	○	○	
0m層最高水温	100	-86	-87	88	30	-106	86	-211	-4	200	30	196	168	83
50m層最高水温	2	-69	-71	75	130	11	222	-215	-11	170	11	27	178	-43
100m層最高水温	6	-2	-27	152	49	78	250	48	45	210	172	63	172	15
暖流流幅	125	164	88<	112<	88<	88<	209	251<	274	229	192	191	153<	153<
水塊深度	95	159	138	182	152	170	134	186	-4	81	177	104	129	24
北上流量	-	88	-	40	8	-	188	-160	-144	-131	170	72	71	-62

	65.12	68.5	69.4	84.3	84.4	84.6	85.5	86.5	87.3	93.11
1220未満		○	○	○	○	○	○	○	○	
-170%未満	○			○	○	○		○		○
0m層最高水温	-16	43	-141	-217	-226	13	17	-60	-47	-6
50m層最高水温	43	20	-108	-310	-374	-293	-140	-122	-59	14
100m層最高水温	0	-162	-140	-285	-315	-365	-196	-74	-151	98
暖流流幅	-213	-171	-172	-138	-110	-199	-153	-142	-144	-159
水塊深度	-89	-155	-119	-352	-409	-320	-167	-68	-68	-28
北上流量	-124	-178	-171	-161	-100	-212	-	-109	-33	41

※表中の数字は各流勢
指標の偏差値を示す

面積算水温が4000をこえ、かつ偏差値が+200%をこえたのは、1972年11月、78年9月、81年9月、94年9月及び同年10月の5回であった。この他に断面積算水温が4000をこえたのは66年10月、73年10月、74年10月及び96年10月の4回、偏差値が+200%をこえたのは63年4月、66年7月、92年6月、93年4月及び同年6月の5回であった。逆に、断面積算水温が1220を下回り、かつ偏差値も-170%を下回ったのは、1984年3月、同年4月、同年6月及び86年5月及び87年3月の4回、偏差値が-170%を下回ったのは65年12月及び93年11月の2回であった（表3）。

4 断面積算水温と6種の流勢指標の関係について

断面積算水温の偏差値を6種の流勢指標の偏差値で1次結合のかたちで表してみたところ、次に示す式のとおりとなった。

$$\begin{aligned}
 \text{断面積算水温} = & 0.136 \times (\text{0m層最高水温の偏差値}\%) \\
 & + 0.171 \times (\text{50m層最高水温の偏差値}\%) \\
 & + 0.268 \times (\text{100m層最高水温の偏差値}\%) \\
 & + 0.664 \times (\text{暖流流幅の偏差値}\%) \\
 & + 0.343 \times (\text{水塊深度の偏差値}\%) \\
 & + 0.103 \times (\text{北上流量の偏差値}\%) \\
 & + 0.100
 \end{aligned}$$

表4 断面積算水温と各指標との相関（偏差値）

	断面積算水温
0m水温	0.21
50m水温	0.36
100m水温	0.52
暖流流幅	0.87
水塊深度	0.62
北上流量	0.29

この式の係数をみていくと、異常に大きいのは暖流流幅の係数で、その次には水塊深度の係数であった。表4には断面積算水温の偏差値と各指標の偏差値の相関係数を示した。断面積算水温と相関が高いのはやはり暖流流幅で、水塊深度や100m層最高水温がそれに次いでいた。

断面積算水温に対して寄与率が最も高いのは暖流流幅で、相関も高いという結果となった。

5 対馬暖流の強勢月と弱勢月について

断面積算水温の月ごとのデータでは1984年の異常低水温等の変動が読みとれたので、強勢月としてピックアップされた1972年11月、78年9月、81年9月、94年9月、同年10月及び弱勢月

表5 強勢月と弱勢月の記載（漁海況報告書及び日本海海洋調査技術連絡会議事録）

●断面積算水温による強勢月

年 月	漁況海況予報事業結果報告書の記載	日本海海洋調査技術連絡会議事録の記載
1972年11月	「7月に強勢」 11月については記載なし	1～8月及び10月は50mまでの表層水温は平年並みかやや高め。9月はやや低め。11月は記載なし。
1978年9月	「0m, 50m層最高水温はかなり高め」 「9月はやや強勢」 流幅の平年比は400%	表面水温は全般に1度前後高め。100m層でみられた大和堆から隠岐諸島北西海域の冷水域は規模が小さくなってきた。
1981年9月	「9月は平年並み」 水塊深度213%, 流幅は112% (仮想値)	表面水温は1～2度前後低め。
1994年9月 1994年10月	「9月は平年並み」 「10月は強勢」	表面は0～4度高め。50m層は0～4度高め。 表面は0～4度高め。50m層は0～10度高め。

●断面積算水温による弱勢月

年 月	漁況海況予報事業結果報告書の記載	日本海海洋調査技術連絡会議事録の記載
1984年3月	「異常冷水年」 「まれにみる低水温で経過」	表面は1～2度低い。対馬暖流の流軸は大きく蛇行。
1984年4月	「著しい弱勢」	表面は3度低い。対馬暖流の流軸は大きく蛇行。
1984年6月	「本県周辺海域は春～初夏にかけてかつてないほどの低水温を記録した。対馬暖流の弱勢がその一因と考えられる」	表面は1～2度高くなった。対馬暖流の流軸は大きく蛇行。
1986年5月	「5～7月（春～夏）は弱勢傾向」	表面は1～2度高い。

としてピックアップされた84年3月、同年4月、同年6月、86年5月について、当時の漁況海況予報事業結果報告書の記載を調べてみた（表5左）。

強勢月については78年9月及び94年10月は上記報告書の記載と一致していると思われた。また、81年9月も水塊深度や流幅についてはその値が大きくなっていた。弱勢月については4例とも上記報告書の記載と一致していた。

次に、日本海の毎年の海況の特徴をまとめた資料として、「日本海海洋調査技術連絡会」の議事録の海況の記載と比較してみた（表5右）。

強勢月については94年9～10月、72年11月及び78年9月は上記資料の記載と傾向が一致していると思われた。しかし、81年9月は表面水温のみの記載であったが一致してはいなかった。弱勢月については84年3～4月は上記報告書の記載と一致していたが、84年6月及び86年5月は表面水温のみの記載であったが一致してはいなかった。

考 察

断面積算水温の個々の（月単位の）変動からは、1984年の異常低水温や86年春季の暖流の弱勢傾向、あるいは78年9月や94年10月の暖流の強勢傾向等

その変動が読みとれたため、これを暖流の勢力を代表する指標として使うことは可能と思われた。

断面積算水温の注意すべき点は断面の決め方でその数値自体や変動のしかたが変わることが予想されることである。また、メリットとしては水温のデータのみで計算できることから、観測終了後すぐにでも計算が可能なことであり、対馬暖流の流勢評価のウラ指標として活用することも可能と思われることである。

断面積算水温は「今の海況をひとことという？」の問に答えられる可能性がある。今後はこの指標を生物データと関連づけた利用ができないかについても検討していきたい。

断面積算水温の偏差値を6種の流勢指標の偏差値で1次結合のかたちで表してみたところ、暖流流幅の偏差値の係数が異常に大きくなっていた。断面積算水温に対して寄与率が最も高いのは暖流流幅で、相関も高いという結果となった。しかし、流幅については先にもふれたように5℃の指標水温ではとらえられない事例が1割以上もあった。このため、流幅については指標水温を一定にするのではなく、月ごとに決める必要があると思われた。

川合（1970）は対馬暖流軸の100m深指標水温の頻度分布から指標水温を1～6月は8～10℃、7

～9月は9～11℃、10～12月は10～12℃、とした(表6)。また、日本海区水産研究所の海況予測資料では入道崎沖の冷水域外縁の指標水温として3月は8℃、6月は9℃、9月及び11月は12℃を採用している。

青森県沖での指標水温を検討するため、舩作崎沖の水温・塩分の月ごとの平均値から平均断面図を作成した(図8)。この図から月ごとに水温勾配

の大きい水温帯を選び出した。また、表7には100m深に現れた水温値頻度を月ごとに示したが、それぞれの最頻値に水温勾配の大きい水温帯を加味し、現在の指標水温5℃以上の新しい指標水温を設定してみた(表6最下段)。

この新指標で舩作崎西方の対馬暖流流幅を計算し直し、月別平均値を表8に示した。その偏差値と断面積算水温の偏差値の相関をとったところ、

表6 日本海冷水外縁位置の指標水温の検討

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
A.100m深指標水温	← 8～10					→ 9～11				← 10～12	→	
B.各冷水域外縁の指標水温												
入道崎沖			8			9			12		12	
佐渡沖			8			9			12		12	
山陰若狭沖			10			11			15		15	
島根沖			10			11			15		15	
C.舩作崎断面の水温勾配から	3～9	2～8	2～8	2～9	3～14	3～19	3～24	3～24	3～18	3～15	3～11	
D.100m深での新しい指標水温	-	10	6	6	6	6	8	10	9	10	12	12

注1：A.「100 m深指標水温」は川合英夫(1970)黒潮と親潮の海況学から引用

注2：B.「各冷水域外縁の指標水温」は日水研海況予測資料から引用

注3：Cは鉛直断面の平均水温分布の水温勾配の大きいところ

注4：Dの新指標は100 m深に現れた水温値頻度(表7)から設定した

表7 100m深に現れた水温値の頻度分布

指標水温	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
5℃		3	24	32	32	35	29	18	32	28	26	10
6		3	25	33	33	35	29	22	32	30	26	11
7		3	24	32	33	34	29	23	32	32	27	11
8		3	23	31	29	34	31	23	34	33	27	11
9		3	12	13	21	34	30	23	34	32	27	11
10		4	1	1	3	18	24	24	33	35	28	12
11							14	21	32	34	28	12
12							3	17	28	29	29	13
13								11	23	24	28	13
14								7	15	20	26	10
15								2	9	9	20	7
16									3	4	10	1
17									1		3	
18									1		1	
データ数N	0	4	25	34	34	37	32	24	35	37	30	13

表8 新指標水温による暖流流幅の月別平均値(1963～1999年)

100m指標水温線の平均離岸距離(マイル)												
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
指標水温	-	10℃	6	6	6	6	8	10	9	10	12	12
平均	-	11.2M	33.8	32.2	32.3	32.4	31.2	25.9	26.6	28.6	23.4	30.9
S. D.	-	1.38	14.74	14.42	13.32	11.41	11.46	12.25	12.85	15.66	11.08	16.45

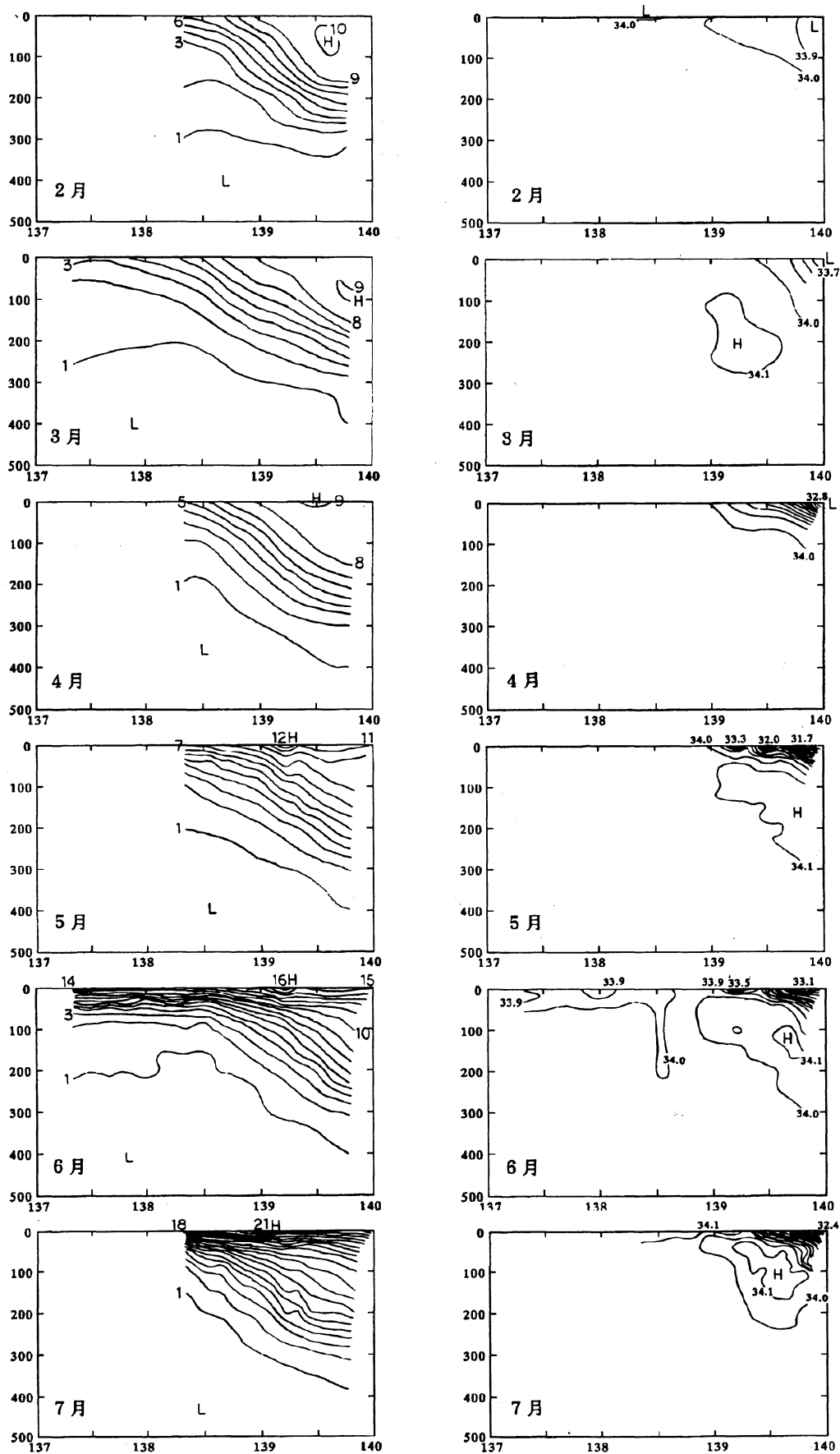


図8-1 船作線（北緯40度36.6分）における鉛直断面図（2～7月）
左：水温 右：塩分（1963～1999年の平均値による）

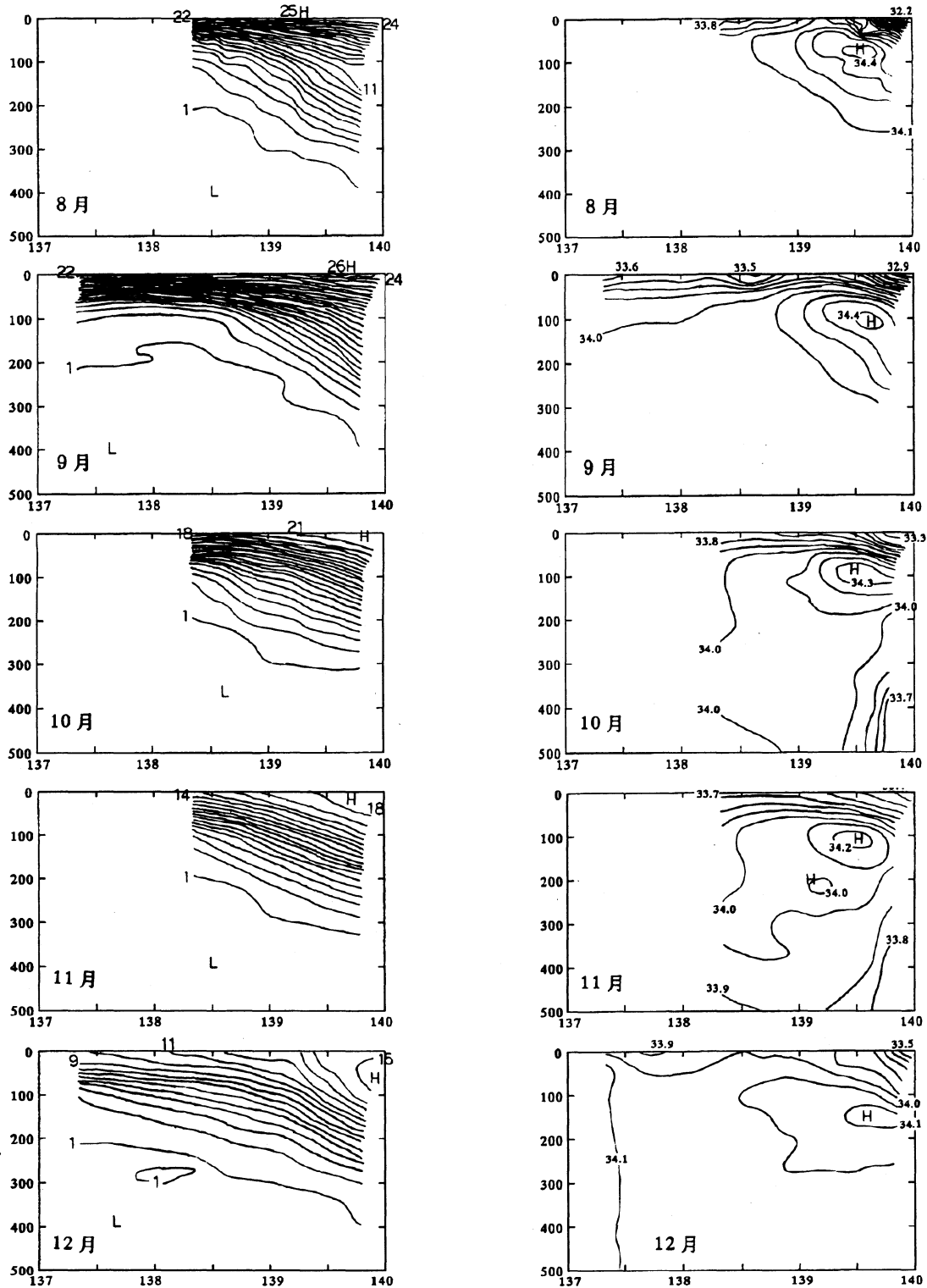


図 8-2 舩作線（北緯40度36.6分）における鉛直断面図（8～12月）
左：水温 右：塩分（1963～1999年の平均値による）

その相関係数は0.89となり、やはり高いものであった。断面積算水温と暖流の流幅は相関が高いものと考えられた。

要 約

対馬暖流の流勢については、0, 50, 100m層の最高水温、暖流の流幅、水塊深度及び北上流量の指標により評価を行っているが、それらの総合評価をどう行うかについて、断面積算水温を算出し、その妥当性の検討を行った。

上記6種の流勢指標を統計的に総合するため、主成分分析を行って、全体変動を表すと思われる第1主成分に着目したが、その寄与率は高くなく、有効な方法ではないと思われた。

そこで、全体の流勢を表す指標として舩作線における鉛直断面のうち一定の断面を考え、この断面における水温の積算値によるアプローチを考えた。この断面積算水温の月ごとのデータを過去の「漁況海況予報事業結果報告書」や「日本海海洋調査技術連絡会」の議事録の海況の記載と比較してみたところ、1984年の異常低水温や86年春季の暖流の弱勢傾向、あるいは78年9月や94年10月の暖流の強勢傾向等その変動が読みとれたため、これを暖流の勢力を代表する指標として使うことは可

能と思われた。

現行の6種の流勢指標のうち、断面積算水温に対して寄与率が最も高いのは暖流流幅で、相関も高いという結果となった。しかし、流幅については現行の5℃の指標水温ではとらえられない事例が1割以上もあったため、流幅の指標水温を月ごとに決めて舩作崎西方の対馬暖流流幅を計算し直し、その偏差値と断面積算水温の偏差値の相関をとったところ、その相関係数は0.89となり、やはり高いものとなった。断面積算水温と暖流流幅は相関が高いものと考えられた。

参 考 文 献

- 昭和45, 47, 50, 53, 56, 59, 61年度, 平成5~7年度 漁況
海況予報事業結果報告書 青森県水産試験場
第27, 33, 36, 39, 41, 49回日本海海洋調査技術連絡会議事録
日本海海洋調査技術連絡会
川合英夫(1970) 黒潮と親潮の海況学, 海洋科学基礎講座2,
海洋物理Ⅱ, 東海大学出版会, 227-230.

謝 辞

本稿の作成にあたり、有意義な助言をいただいた水産庁日本海区水産研究所の山田東也主任研究官に深くお礼申し上げます。