



Title	外洋海水温の1哩距てた2点での時間的連続観測結果について
Author(s)	黒木, 敏郎; KUROKI, Toshiro; 梨本, 勝昭 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 15(4), 243-259
Issue Date	1965-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23239
Type	departmental bulletin paper
File Information	15(4)_P243-259.pdf



外洋海水温の1 湮距てた 2 点での時間的連続観測結果について*

黒木敏郎・梨本勝昭・藤井武治

(北海道大学水産学部 漁具物理学講座) (北海道大学練習船おしよ丸)

The Fluctuations of Sea-water Temperature, Observed Continually during One Day at Two Points on the Ocean One Mile Apart

Toshiro KUROKI, Katsuaki NASHIMOTO and Takeji FUJII

Abstract

The data gotten through oceanographical observation by the usual method is valuable in itself, but it seems also that it may be not always useful for the scientific fisheries. For the purpose of getting useful data to analyze the relation between the ecology of fish and surrounding water-temperature, the authors observed continuously the fluctuations of sea-water temperature for about 24 hours at two points about 1800 m apart. On the one point directly under the ship, three thermo-elements (osmium thermister, 1.0 mm ϕ bead type; thermal time constant, about 10 sec.) were hung in three layers of 25 m, 75 m and 150 m in depth respectively. On the other point at the extremity of 1800 m cable-set, the same number of thermo-elements were hung in the same layers (cf. Fig. 1). These two points were drifted naturally by wind (, affecting mainly the ship) and by sea current (, affecting mainly the 1800 m cable-set).

A preliminary experiment was carried out on the sea off Tomakomai, Hokkaido ($42^{\circ}16.7'N$, $141^{\circ}28'E \sim 42^{\circ}12.8'N$, $141^{\circ}48.5'E$; Dec. 18th, $14^{00} \sim$ Dec. 19th, 14^{50} , 1962). Because of unexpected punctures (electric leakages), only two series of temperature were recorded continuously for 20 hours. Cf. Table 1, Fig. 2 and Fig. 3. The calculated velocities and directions of the sea-current are shown in Fig. 7.

A successful experiment was carried out on the Sea of Okhotsk (at the south-west point of Kamchatka Pen.; $51^{\circ}45'N$, $154^{\circ}22'E$; Aug. 12th, $20^{30} \sim$ Aug. 13th, 21^{00} ; because the successful deciding of position was impossible by Rador, Loran and even by astronomical observation, no drift was measured.) The data of the observation and the records of the sea-water temperature are shown in Table 2, Fig. 4 and Fig. 6. The results of analyzation by the auto- or cross-correlation method about "Time-series" are shown in Fig. 8 and Fig. 9. From the consideration of these results, the authors were able to appreciate the structures of the boundary between two heterogeneous water masses (cf. Fig. 10) and to estimate their horizontal length scales. And, conclusively, they propose a method for observing useful factors in surroundings of fish at 2 or 3 points on the sea, simultaneously by one or more research vessels and continuously for several days.

緒 言

水温は漁況を左右する要因のうちもっとも有力なものと考えられ従来もその表示や活用に大きな努

* 昭和 38 年 4 月 3 日 (於東京) 昭和 39 年 4 月 2 日 (於東京) それぞれ日本水産学会年会で講演発表

力が払われてきた。結果として現われる「漁況」という現象の裏面には対象魚群の生理生態の機序が潜んでいる筈であって、これに関する実験や理論的説明はまた別になされるであろうが、それにしては現在行われている規模や方法での海洋測温結果が漁況の説明や予報に必らずしもうまく役立っているとは限らないので筆者等はつぎのように考え直してみた。「もちろん 海水温そのものも魚群の生理生態に直接的な関係をもっているであろうが魚群の経てきた長時間の温度履歴や短時間内の温度変化の感受などもまた重大な関連を持つに違いない。とすれば、現行測温法が微積分計算の利く測定法へ移行発展する事によって数量化された関係が導き出され魚の生理生態と真に結びついた解釈が生じ、そして始めて漁況の判断や予報などの正確さが得られる事になるであろう。」例えば魚体内部の温度は外界水温の変化に 10 数分の時間的遅れをもって指数函数的に追従するという知見がある¹⁾。魚の游泳速度は毎分約 150 m と見做されるから²⁾、魚が外界水温との差を刺戟として受けとることを前提とすれば測温さるべき 2 点の空間距離は 2000 m 以下に (狭く) 抑えられなければならない。本報では約 1800 m 距たった 2 点 (各々 25 m, 75 m, 150 m 三水深層) での連続水温観測の結果とその解析とに関して述べるものである。

本研究の実施に当っては、「漁況要因の微積分値表示とその応用」なる題名の下に昭和 36・37 両年度に受けた文部省試験研究費補助金の一部をその経費に充当し、継目なし 1800 m 6 芯キャプタイマーコードは鹿児島大学水産学部よりこれを借用した。また試験船わかたか丸 (84 トン、東北区水産研究所)・練習船おしょう丸 (1181 トン、北大水産学部) 両船関係者の誠意ある協力を得、測定装置の仕立てには西山講師 (北大漁業学講座) 等の適切な助力を仰いだ。本論に入るに先立ち上記関係者各位の御好意に対して深甚の謝意を表する次第である。

測定方法と使用器材

本船下と 1800 m のコード先端の下と二点で測温するので、まず長さ 25 m, 75 m, 150 m 三本の複芯電線を一組としそれぞれの下端にサーミスターをつけて薄く水密にした受感部を作り細紐を添わせて 2 kg の錘で海中に吊下する。1 組は本船舷外に直接おろし、他の 1 組は 1800 m コード (外径 18 mm, 6 芯クロロプレーンシース, 各芯全抵抗約 60 Ω) の先端で水密メタルコネクターをもって接続しそこから垂直に吊す訳である。側温受感部として使用したサーミスターはオスミウム Os 製ビード型 (直径 1.0 mm, 25°C で 6 k Ω 定格, 熱時定数約 10 秒, 熱放散定数 1mW/°C, 大泉製) 6 箇である。コードは水平に 1800 m の距離にわたり展張するのであるが海面に置けば他船によって乗り切られる恐れもあるので 5 m の浮ナフをつけ水深 5 m 以上の所に保ちコードへ直接張力が掛らぬように綱を添わせた。浮子は合成樹脂黒色球形 (1 箇の浮力 13 kg) のもので、50 m 間隔にこれをつけほぼ 300 m ごとに旗を立てて目印とする。なお、夜間でも方位や展張具合を確認できるように 1800 m の先端と中間とに 2 本のレーダー反射板 (コーナーリフレクター) を立てた。Fig. 1 に展開要領概略を示す。

連続記録機としては 6 系統打点式電子管平衡型 (各点間 10 秒, 1 系統 60 秒ごとに打点する富士電機製 KES 618 型) の器材を用いた。海上観測にとり掛る前、全装備の状態陸上試験を行ない温度校正曲線を作って置いたが電線とくに 1800 m コードの海中温度変化による指示フレも考えられたのでさらに本船舷側で適時採水して従来法の測温結果と比べこれを check して正確を期した。船は錨泊することなく漂流しつつ 24 時間以上の連続記録をとるのであるから潮流と風向との関係如何では水に対し船が流される形となり吊下電線が幾分かの傾角を生ずることもある。しかしこのような場合でも本船側と先端側とでほぼ同程度の傾角状態になるものと思われるので、水深の絶対値で現象をとらえることにこだわらない限り水平かつ同時的な二点間水温差を論ずることは許されるであろう。

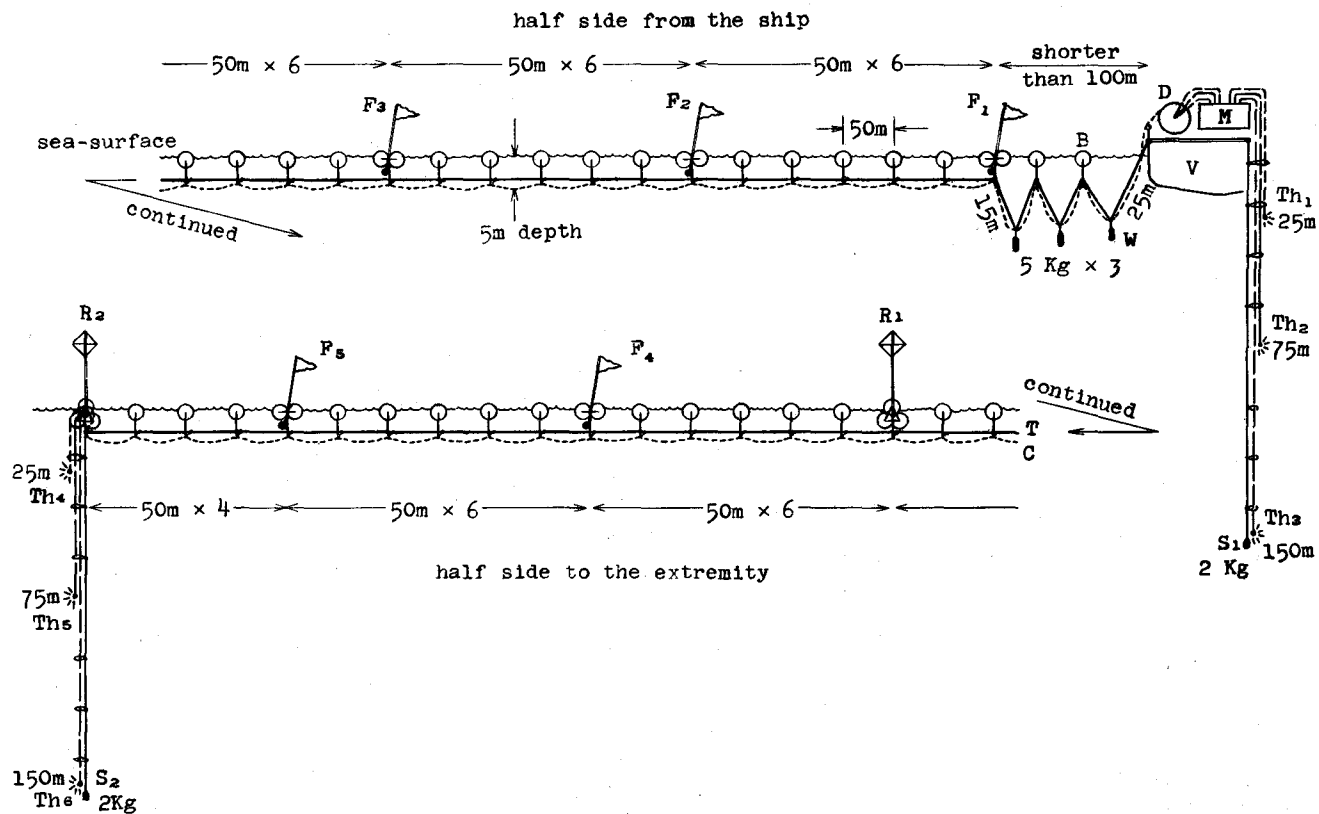


Fig. 1 Schematic illustration of 1800 m cable-set for measuring temperature at two points Th₁₋₆; thermistors, S_{1,2}; 2 kg sinkers, C; cable (18 mm ϕ , 6 cores, chloroprene sheath, 1800 m length junctureless), T; tension cord, R_{1,2}; reflectors for radar, F₁₋₅; flags, W; 5 kg sinkers for buffering, B; ball-buoys (every ones bouyance 13 kg) V; research vessel, D; drum winding cable, M; measuring apparatus

Table 1 Data of the observation on Dec. 18th-19th, 1962

Date (Dec. 1962)	Position		Wind		Cable-set		Remarks [w.t.; water temperature a.t.; atmosph. temp.]
	latitude N	longitude E	direction	velocity (m/sec.)	direction (from ship)	length (mile)	
18th 11 ³⁰⁻⁴⁰	42°17.2'	141°25.7'	293°	7	—	—	[depth; 0, 25, 75, 150 (m) w.t.; 9.9, 10.96, 10.03, 10.03 (°C), a.t.; 6.1°C
14 ^{00~}	42°16.7'	141°28.6'	293°	6	259°	0.90	
19 ^{00~}	42°18.1'	141°31.0'	315°	6	315°	0.93	
22 ^{00~}	42°18.7'	141°35.0'	315°	5-6	326°	0.92	(at 20 ⁰⁰) a.t.; 1.8°C, wind vel. (often) > 10 m/s.
23 ^{00~}	42°18.4'	141°36.5'	315°	3	306°	0.92	
19th 01 ^{45~}	42°16.5'	141°39.8'	315°	4-5	306°	0.90	
04 ^{06~}	42°14.5'	141°43.0'	315°	4	306°	0.90	
06 ^{00~}	42°13.0'	141°45.0'	315°	3	281°	0.92	
08 ^{00~}	42°11.5'	141°48.0'	248°	4	259°	0.92	[depth; 0, 25, 75, 150 (m) w.t.; 9.9, 10.11, 10.11, 10.02 (°C), a.t.; 4.4°C
12 ^{00~}	42°13.5'	141°47.5'	225°	3	214°	0.92	[w.t.; 10.07, 10.07, 10.06, 10.06 (°C), a.t.; 5.4°C
14 ^{50~}	42°12.8'	141°48.5'	158°	8	—	—	[(at 13 ⁵⁰) w.t.; 9.6, 10.20, 10.08, 9.23 (°C), a.t.; 5.3°C

観測結果の概要

観測はまず 1962 年 12 月苫小牧南方海域で予備試験的におこなわれ、つぎに 1963 年 8 月カムチャッカ半島南端の西北方オホーツク海域で本格的に実施された。

I. 苫小牧南方海域の場合

1962 年 12 月 18 日 14⁰⁰ より漂流をはじめ準備調整の後 18⁰⁰ より測定を開始、翌 19 日 14⁵⁰ に不連続線接近のため退避せざるを得なくなるまでの間続行した。試験はわかたか丸によって行なわれたのであるが、船位は北緯 42°16.7' 東経 141°28' から北緯 42°12.8' 東経 141°48.5' の点まで移動した。1 昼夜ではほぼ 28 漂流されたことになる。この間の気温は 4.4~6.1°C の範囲で変化したが海の表面水温は 9.6~10.0°C 程度であった。この回の関係資料を Table 1 に掲げ、船の動きとコード展開の方向に風向を添えて Fig. 2 に示す。Fig. 3 は得られた 3 水層の連続水温記録を転写したものである。1800 m 先端側 25 m 水深層のサーミスター (図中 ④) は投入直後からパンク漏電したため記録を逃し、本船下 75 m 水深のもの (図中 ②) も 19 日 02⁴⁵ から故障した。測定開始より 19⁴⁰ まで接触不良であった先端側 75 m 水深のもの (図中 ⑤) も一旦調子を回復して記録し始めたが翌 19 日 08³⁰ から浸水し、さらにまた 150 m 水深のサーミスター (図中 ⑥) も同じく 09⁵⁰ から浸水を受けて記録不能に陥った。結局 18 日 18⁰⁰ から翌 19 日 14³⁰ までを連続記録し得たのは本船下 25 m (①) と 150 m (③) との二水深層の水温のみであった。新しく組立てた器材の初回の試用であったためこのように故障も多くかつ測定温度の絶対値には大きな精度幅を許さざるを得ない結果ともなったが、時間的に水温変化の少いと目される漂流測温結果でも Fig. 3 程度の変動があることを確認し得た訳である。同図を眺めば α) 25 m・150 m 水深層における 20 時間内 (潮汐の影響をも含むと思われる) 水温変動幅は 0.8°C におよび、 β) 各水深層における不規則な (数分~数 10 分以内におこる) 変動の幅は 0.2~0.6°C の程度であって、 γ) 約 1 哩離れた 2 点間の同時的温度差は 75 m 水深層で 0.3~0.4°C 程度、150 m 水深層で最大 0.3°C 程度である事が判った。

II. カムチャッカ西南海域の場合

1963 年 8 月 12 日 20³⁰ より同 13 日 21⁰⁰ までの 24.5 時間の間おしよろ丸によって行なわれた。その推定位置は北緯 51°45' 東経 154°22' であるが、距岸 100 km 以上でレーダーも利かず曇天のため天測も不能で 24 時間の漂流がどのような跡を辿ったか具体的に示し得ないことを遺憾とする。各時点で得られた位置以外の資料を Table 2 に掲げる。それを水温時間変化と対比関連し易いようにするため横軸に時間経過をとってまとめたのが Fig. 4 である*)。図中コード展開方向の矢印は船に対する流れの方向を示すもので、これは観測当日には展開方位しか知り得なかったのが後述水温解析結果を勘案して後日向きまで記入し得たものである事に注意されたい。1800 m キャプタイヤーコードの展開状態をレーダー映像上で 1 時間おきに確認した資料のうち 3 時間等間隔の 3 例を Fig. 5 (写真) に示す。このようにしてコードの方位のみならず曲りや張り具合や先端迄の距離を知り船の対水的動きを check できるのである。

水温の連続記録結果を Fig. 6 に掲げる。今回も 13 日 04³⁰ 頃コード先端側 75 m 水深層 (図中 ⑤) のサーミスターが浸水を受けその後の記録を逃したけれどもその他の 5 点では 24 時間以上の連続記録をとることができた。同図を判読すれば、この回の観測は偶然にも明瞭な潮境で行われたものと思われる。すなわち 12 日の 23 時前後・13 日 04 時~05 時・同日 14 時前後の時刻頃それぞれ水温

*) Fig. 4 のうち ビタミン B₁₂ 量は試験研究の分担者として鹿児島大学水産学部柏田研一教授が Bioassay により微量測定したものである。海中のビタミン B₁₂ 分布などに関しては分担研究がなされ別途に発表されている。

Table 2. Data of the observation

Date (Aug. 1963)	Weather	Atmospheric temperature (°C)	Wind		Cable-set		wire- angle (°)		
			direc- tion (°)	class	direc- tion (°)	length (mile)			
12th 20 ²⁰	cloudy	11.0		calm	—	0.85	7.5		
21 ⁰⁰					9	0.86			
22 ⁰⁰⁻²⁵									
22 ²⁰	{cloudy at all	10.8		calm	318	0.85			
23 ⁰⁵	ditto	10.8			ditto	296		0.87	
13th 00 ⁰⁰	ditto	10.8			SSE	1		290	0.88
01 ⁰⁰	ditto	10.8	SSE	1	290	0.90	20		
01 ⁰⁵⁻²²									
02 ⁰⁰	{cloudy at all	10.8	—	calm	290	0.90			
03 ⁰⁰	ditto	10.8	S	1	290	0.89	5		
04 ⁰⁰	ditto	10.8	S E	1	281	0.88			
04 ⁰⁰⁻²⁰									
05 ⁰⁰	{cloudy at all	10.7	S	1	285	0.78			
06 ⁰⁰	ditto	10.7			S	2		281	0.84
07 ¹⁰								266	0.79
07 ²⁵							5		
08 ⁰⁰	{cloudy at all	10.7	S	2	234	0.88			
09 ⁰⁰	rainy	10.8			S	2		210	0.80
10 ⁰⁰⁻¹²	ditto	10.7			S	2		—	—
11 ⁰⁰	{cloudy at all	10.7	S	2	195	0.87	5		
12 ⁰⁰	ditto				219	0.90			
13 ⁰²	rainy	10.7			SW	1		—	—
13 ²⁰⁻⁴⁰					213	0.88	7		
14 ³⁰					234	0.83			
15 ⁰⁰	rainy	10.7	W	1	277	0.85			
16 ⁰⁰	{cloudy at all	10.7	NW	2	310	0.86	12		
16 ⁰⁰⁻²⁰									
17 ⁰⁰	cloudy	10.3			NW	1		—	—
17 ²⁴					331	0.85			
18 ⁰⁰	cloudy	10.3	NW	1	—	—			
18 ³⁰					336	0.88			
18 ^{56-19¹⁰}							10		
19 ⁰⁰	cloudy	10.4	NW	1	—	—			
10 ²⁴					332	0.89			
20 ²⁷					325	0.88			
20 ³⁰							12		
20 ³⁰⁻⁴⁰									

*) Bioassayed by Prof. Dr. Kashiwada, Kagoshima University.

1965]

黒木外: 外洋水温の連続観測

on Aug. 12th-13th, 1963

Sampling water				*Vitamin-B ₁₂ dissolved (mγ/l)			W. temp. by Bathythermo. (°C)			
temperature (°C) at depths				25 m	25 m	150 m	surface	25 m	75 m	150 m
surface	25 m	75 m	150 m	25 m	25 m	150 m	surface	25 m	75 m	150 m
10.9							11.2	6.7	2.4	2.1
	8.71	1.99	1.86	0.0	0.56	0.24				
10.8										
10.8										
10.6										
10.2										
	9.47	2.18	1.82	0.32	1.60	0.60				
10.2										
10.1										
10.1										
	10.34	2.78	1.79	0.44	1.20	1.28				
9.8										
10.1							11.0	7.5	1.3	1.3
	8.16	2.02	1.87	1.08	1.44	1.20				
10.0										
9.9										
10.0	6.81	2.12	1.88	1.32	1.24	1.00				
10.0										
10.3										
	6.94	1.90	1.85	miss	0.76	4.72				
10.7										
10.4										
	11.20	1.92	1.83	0.24	1.00	2.80				
10.5										
10.6										
	9.10	2.03	1.85	1.08	0.88	0.96				
10.6										
							10.3	9.0	1.8	1.6
	8.09	2.02	1.80	0.68	0.84	1.20				

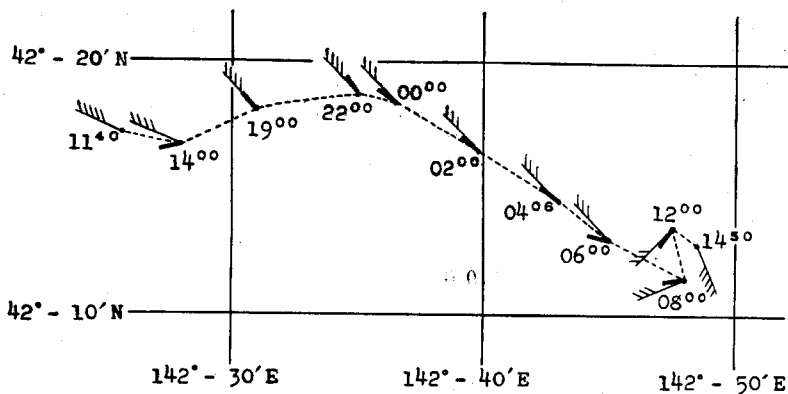


Fig. 2 Schematic diagram of the data on Table 1

Arrow; wind mark (direction and class),
heavy line; direction of cable set

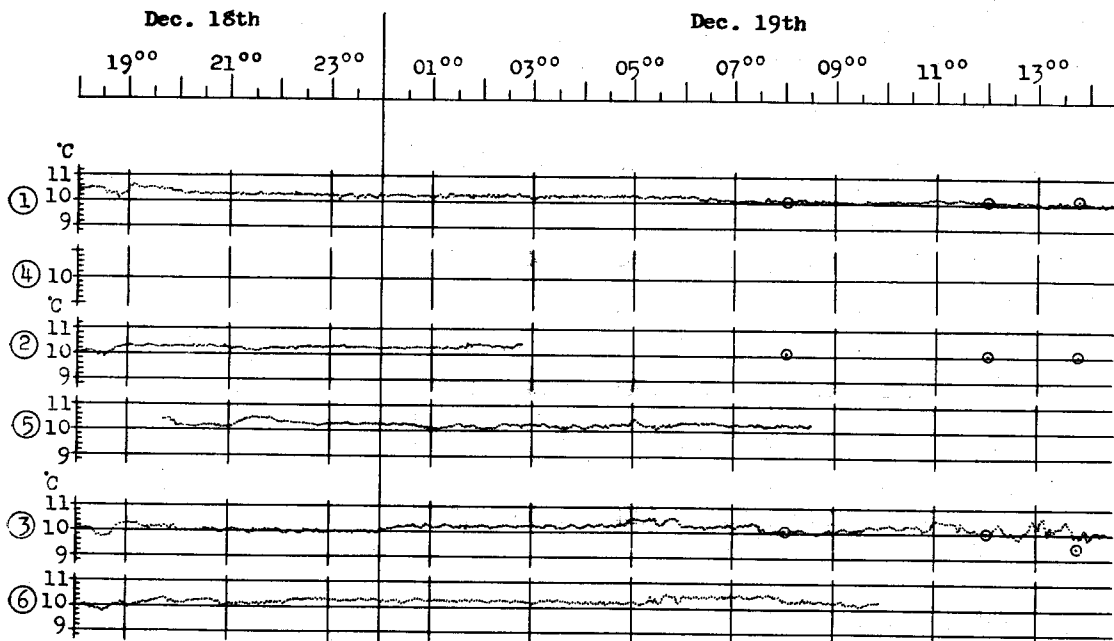


Fig. 3 Record of the temperature observed (Dec. 18th 18⁰⁰~19th 14⁰⁰, 1962)

- ① 25 m depth (full record)
 - ② 75 m depth (half miss)
 - ③ 150 m depth (full record)
 - ④ 25 m depth (miss)
 - ⑤ 75 m depth (partially miss)
 - ⑥ 150 m depth (partially miss)
- } directly under the ship
- } under the extremity of cable set
- circle; water-temperature by bathythermograph

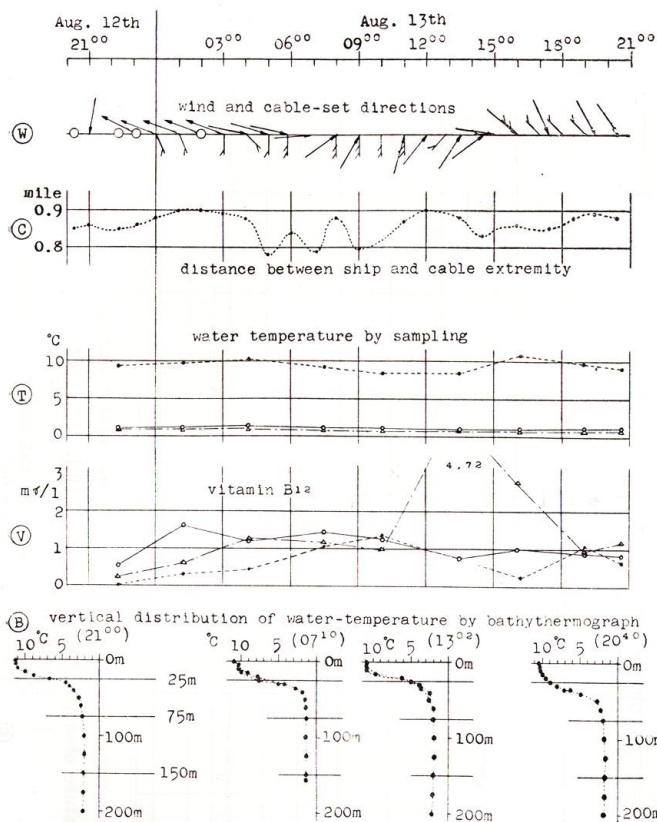


Fig. 4 Schematic diagram of the data on Table 2

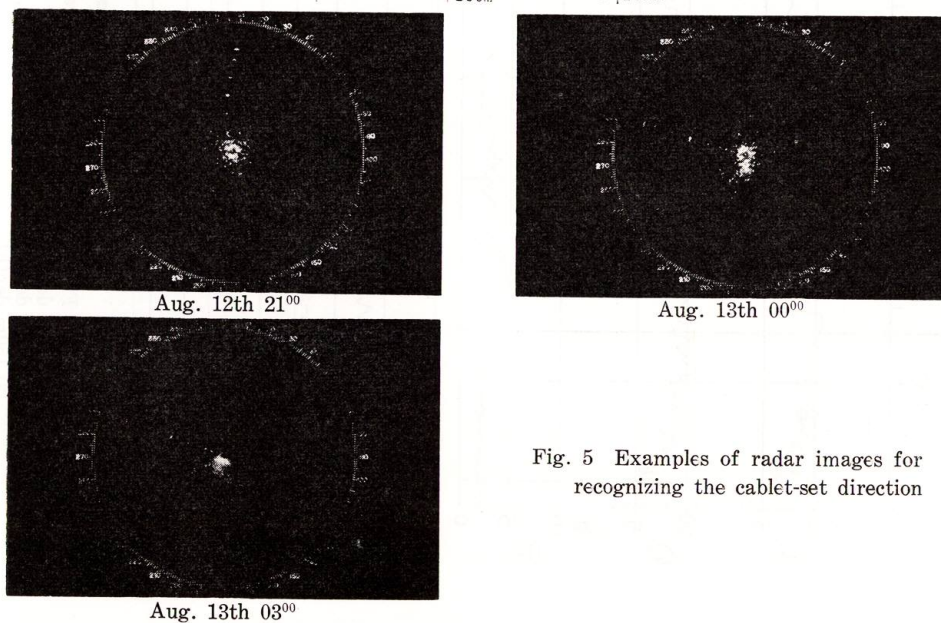


Fig. 5 Examples of radar images for recognizing the cable-set direction

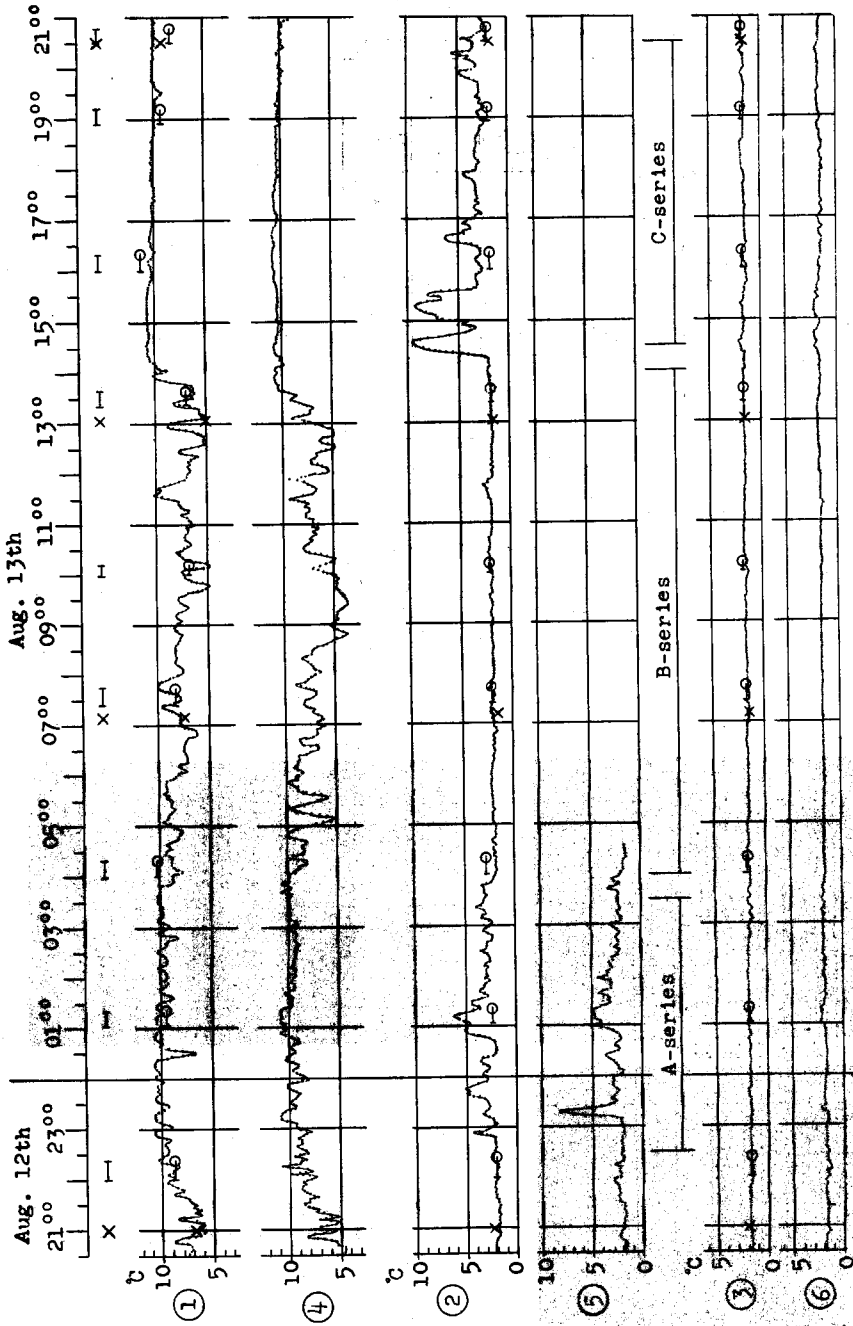


Fig. 6 Record of the temperature observed (Aug. 12th 20⁰⁰~18th 21⁰⁰, 1963)
 x by bathy thermograph directly under the ship, o by water sampling up
 ① 25m depth under the extremity of cable-set (After 04⁰⁰ of ⑤, missed)
 ② 75m depth
 ③ 150m depth

変動の現われ方に明らかな前後差が見受けられ、とくに13日14時の前と後とでは水温の安定度がまるで25m水深層と75m水深層とで逆転しているかのように見えて興味深い。

変動の周期については解析の章で述べる事にして、水温の変動幅という形の上だけで見た結果をまとめるとつぎのようになる。

α) 25m水深層では安定な場合の水温は10°C内外であるが変動の激しい時には4~10°C間の大振幅の変動を示す。

β) 75m水深層では、安定な時の水温は2°C内外であるが変動する時には2.5~9.5°C間の激しい変化を示す。

γ) 150m水深層では24時間を通じて安定した水温を示し、その変動幅は1.5°Cを中心としてほぼ1°Cの範囲に収まっている。この150m層のフレの幅は前回の苫小牧南方海域の場合と殆んど同程度のものである^{*)}。

Table 2とFig. 4とに掲げたBathy-thermograph判読結果も採水による水温値(常法により較正済の値)もそれぞれ×印と—○印とでFig. 6中に記入してみた。本装置による吊下電線と常用採水器ワイヤーとの水流吹かれの差による水深誤差が混入している事を勘定に入れても、連続測温法と一時点測温法とがどの程度に差違のあるものか充分に理解できるであろう。

結果の解析と考察

I. 苫小牧南方海域の場合

初回試作装置であったため故障が多く、得られた結果は1渚距つた2点間の同時的水温を比較し得ないものになってしまったが、それでもある水深での水温に潮汐影響と推定される約12時間周期の変動を認め得るしそれを含む全変動幅は0.8°Cにおよぶことが判った以上、われわれは海洋の水温観測に深い注意を払わねばならないであろう。ほとんど同一の水塊中に漂流している場合でも1地点1水深層の測温は24時間中唯々1回なされただけでは不安であって、少くとも等時隔に4回は行われるべきである事を知るのである。

さらにこの装置と方法では1渚の長いキャプタイヤー・コードを展開している難点を逆に利用し、船の漂流した跡とコード展張方位とから潮流の方向と速度とをも推定計算できる事をFig. 7に示

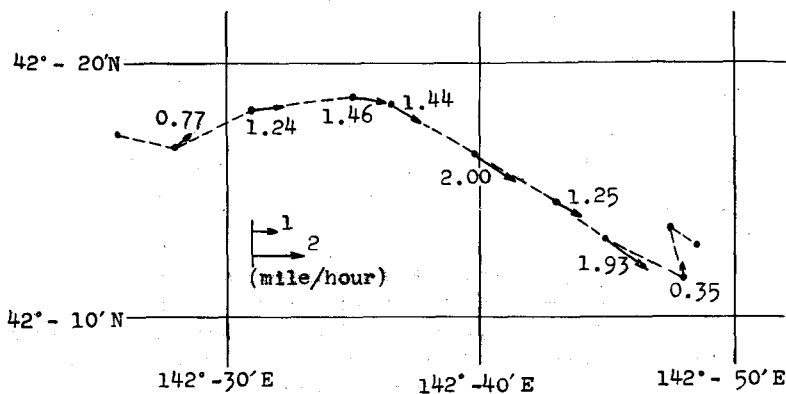


Fig. 7 Current velocities and their directions calculated on the sea off Tomakomai (Dec. 18th~19th, 1962)

^{*)} Fig. 3とFig. 6とでは縦軸の温度目盛りの刻みが違うから比較の際には注意を要する。

す*)。当時苫小牧の高潮は18日19¹⁴、19日08⁵²であったが、同図で判るようにこの高潮の時隔間には北東→南東(時計廻り)の方向に流速最高2ノット(平均1.58ノット)の潮汐流が存在した事になる。

II. カムチャツカ西南海域の場合

この回の観測記録について考えれば、測定の間隔点こそ不明に遷移しているけれども時間に関する限り水温値の明確な連続系列である。現象が ergodic に生じているものと認められるならばこの時系列を統計的に処理して水温変化母系列の特性を窺わんとする努力は許されてもよいであろう。Cybernetics²⁾の教えるところによれば処理されるべき変動資料は ergode 的でありかつ定常的な確率過程であると認められるものでなければならない。Fig. 6 の水温連続記録資料は前にも指摘したようにある時刻を境にして異質の水塊へ移ると言った過渡的な現象を抱き込んでいるように見える。そこで「定常性」を確保するために一応この境界時刻の資料を避けて計算を進められるように3つの時間区分を設定する**)。すなわち12日22³⁰~13日03³⁰間をA区、13日04⁰⁰~14⁰⁰間をB区、同14³⁰~20³⁰間をC区とし各時間区内での時系列解析を行なう事にする。面倒な自己相関々数・相互相関々数の計算には北大水産学部航海運用講座所管のリレー式電気計算装置 FACOM 426 型(単能3桁 digital 型)

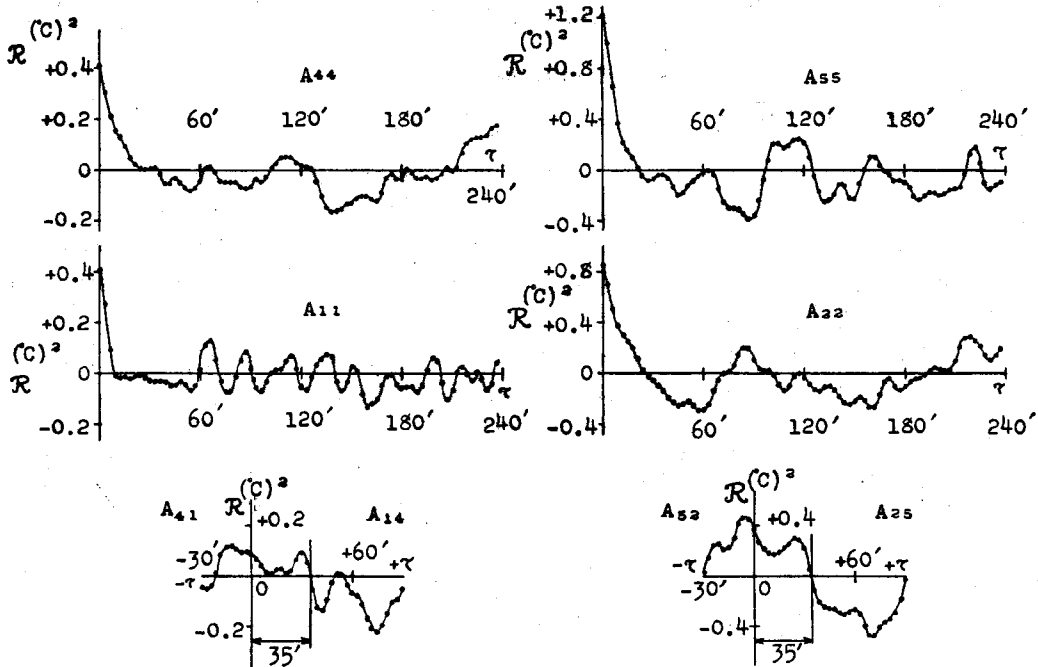


Fig. 8. Auto-correlograms and cross-correlograms

Marks A, B and C; three series of time-function, suffixes 1, 2, 3; 25m, 75m, 150m depths directly under the ship, 4, 5, 6; 25m, 75m, 150m depths at the extremity of 1800m cable-set, 11, 22, 44, 55; auto-correlograms, 41-14, 52-25; cross-correlograms

*) この場合、船は風に流されるが、1800m キヤブタイヤーコードの先端は150mの電線と2kgの錘りとを吊下している事よりほとんど風の影響を受けず単に潮流の影響と船から(添え綱經由)の直接張力とだけを受けているものと仮定して図式計算で求めた。

**) 256 頁脚注 *) 参照。

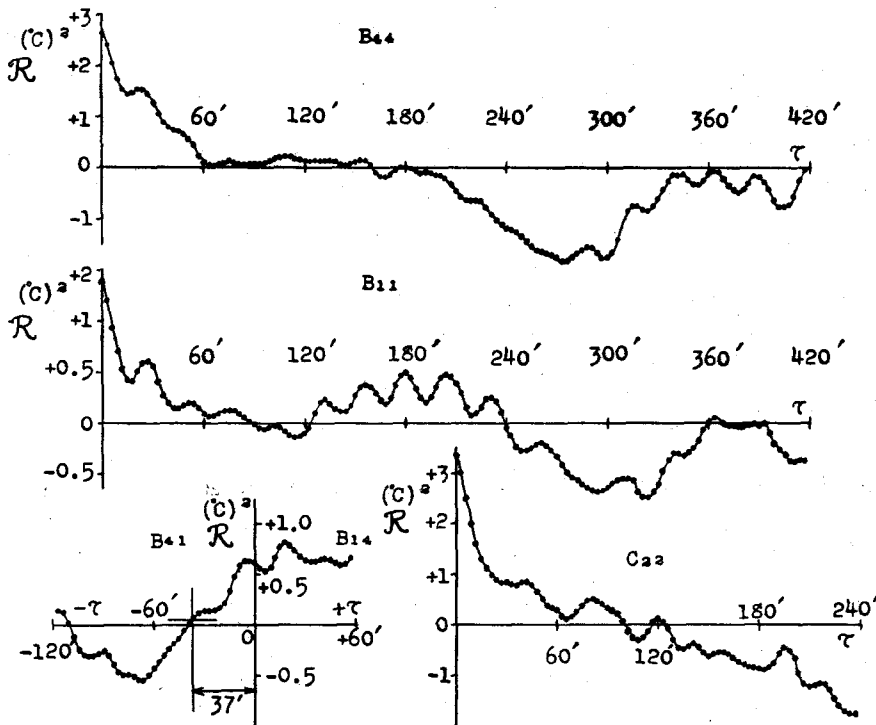


Fig. 8. Auto-correlograms and cross-correlogram

Cf. remarks of Fig. 8.

を活用してこれを行なった*)。Fig. 8₁・Fig. 8₂には同時間区内等水深資料同志の自己相関と相互相関との計算結果をならべ掲げた。図の横軸は母系列における時間刻み τ (分単位) であるが、縦軸には相関係数化されないいわゆる「生のまま」の共分散値 R が温度の二乗次元で刻まれている。ただし、比較に便利なように原点 ($\tau=0$) での値が図上でほぼ等しい高さとなるように画いた。これらの自己相関々数図 (auto-correlogram) や相互相関々数図 (cross-correlogram) は各時間区内平均値からのフレとしての水温変動値の特性を示すものであってそれぞれは色々な周期の変動を含んでいるものと思われる。auto-correlogram についてスペクトル分割数 k を 60 にとり周期解析を行なった計算結果が Fig. 9 の power-spectrum である⁴⁾。同図の横軸は周波数 n ($n=0, 1, 2, \dots, k$) であり縦軸はパワー P を前図 R と同じ二乗次元刻みでとったものである。Fig. 8₁, 8₂ & 9 のマークで A, B, C は前述時間区を表わし、添字の数字は本船下 25m, 75m, 150m 3 水深層の資料をそれぞれ 1, 2, 3 で示し、1800m コード先端側 3 水深層のものを 4, 5, 6 で示してある。またこれらの添数字の同じものの組合せはその点その水深での自己相関を表現し違った数字の組合せは本船下と先端との二点間の等水深両資料の相互相関を表現している。

これらの解析計算から得られた結果はつぎのようにまとめられる。

a) B 時間区には 12 時間の、又 C 時間区には 6 時間 (恐らくは 12 時間も) の周期変動がそれぞれ

*) 本計算に当っては同講座川島助教授の適切な助言を得た事また穿孔や操作など実際計算の労は葛西潤子氏をわずらわした事をここに附記して深謝するものである。計算式の概要については文末追補参照。

れ優勢に認められるので、測定された海域は潮汐の影響を強く受けている事が判る*)。(Fig. 9 の B₄₄, C₂₂ 参照)

β) A 時間区には短周期の変動が数多く含まれている。25m 水深層では 2 時間の周期を先端側で強く示しており、本船側先端側の両方で 1 時間、36 分 (~30 分), 21 分, 17 分などの短周期をも含んでいる。(Fig. 9 の A₄₄, A₁₁)。75m 水深層では両方の側で 40 分 (優勢), 17 分の短周期を含むほか本船側では 1.5 時間の、先端側では 2 時間・1 時間ならびに 20 分の周期も強く含んでいる。(Fig. 9 の A₅₅, A₂₂)

γ) 先端側 75m 水深層の受感部故障により B 時間区では⑤の資料がない事や 75m・150m 水深共に水温変動の少ない事などを考えて、B 区では 25m 水深の資料しか扱わなかったがとくに両方の側で 3 時間周期が強く現われている。短いものとしては 26 分前後の周期が著しい。(Fig. 8₂ の B₄₄, B₁₁ ならびに Fig. 9 の B₄₄, B₁₁)

δ) C 時間区では例として本船側 75m 水深層資料だけをとって図示した。6 時間周期や 40 分の周期変動が強く含まれているが、A 区・B 区と違うところは長期傾向を含む (n=0 での ϕ 値が高い) 事であってこれには潮汐のような 12~24 時間の周期も含まれているであろうが Fig. 6 の水温図 C 時間区②を見ても明らかなように長期低減の傾向が含まれている事と符合するところと思われる。(Fig. 8 ならびに Fig. 9 の C₂₂)

ε) 位相解析の結果として、cross-correlogram を眺めるに A 時間区では水深 25m 層の場合 (Fig. 8₁ の A₄₁-A₁₄)、でも 75m 層の場合 (同じく A₅₂-A₂₅)、でも、本船側変動の位相がコード先端側の変動位相よりも 35 分進んでいる事を知る。また B 時間区水深 25m の場合 (Fig. 8₂ の B₄₁-B₁₄) では位相が逆に 37 分遅れている事が認められる。つまり潮は船に対し (同位相水塊が相対的にという意味で) A 時間区ではコード先端へ向いて流れており B 時間区では先

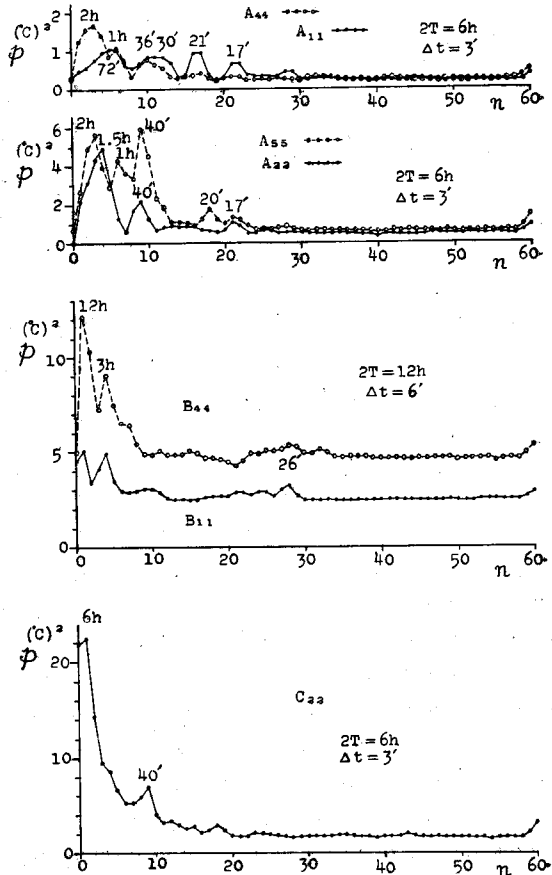


Fig. 9 Power-spectrum of every auto-correlogram

*) 水塊間境界層の出現も大空間内では ergode 性の中に没するものと考えれば、24 時間以上の定常的な確率過程を扱えたものだとし全時間長にわたった 1 連の資料で解析を行なう事も許される筈であって、そのような計算の結果には 24 時間や 48 時間の周期も優勢に出て来るであろう。しかし本論文ではこの計算を行っていない。

端側から船へ向いて流れていた事になる。前にも触れたように Fig. 4 のコード方向④欄につけた矢印は潮の方向を船に対して画いたものであって、コードが張ったり弛んだりしている状況(同図④欄)をよく説明し得るであろう。

さてこれらの解析結果を基礎に置いてさらに考察を進めてみよう。A時間区にあってはコードの展張平均距離(長さ)が Fig. 4 の④より約 0.88 浬と算出されるので、同相の水温変化が船からコード先端へ向いてこの距離を 35 分で通った事となり、同相温度水塊がコードに沿って進む速さは約 1.5 ノット (2.8 km/hr) と推算される訳である。同様に B時間区では展張平均距離 0.84 浬を 37 分で、つまり 1.36 ノット (2.5 km/hr) の速さで、水温同相のものが逆にコード先端から船の方へ向いて進んでいる事になる。ここで「進む」と称しているのは、水平投影面上で水温同相線がコードと交る点を考え、これがコード線上を船から先端へ(または先端から船へ)移る状態を指すのである。このように考えれば、解析結果の水温変動周期はキャプタイヤー・コード方向に切られた面での水塊の直径または水脈(山脈の形を想像する言葉での水脈)の幅を示すものであると推定してよいであろう。すなわちコード方向でのみ考えて、A時間区にあっては 25m 水深層では水塊境界が 3~5km 幅の脈を打っており、その脈面に 1~1.5km の小水塊または山脈のヒダにたとえられるような小水脈が散在している形を想定できるし、75m 水深層でも 5~9km の大幅脈の面に 1.9km や 0.8~0.9km のシワが脈打っている(または小水塊が混在する)けれども、150m 水深では均一になった水温の層が形成されているだけであると言ふような傾斜有限厚みの境界混合層「しおざかい」を想定できる。B時間区では、150m 水深層のみならず 75m 水深層まで均一水温帯をなし 25m 水深層だけが潮境混合層を示し、その斜面構造は 4~7km の大幅脈の面に 1.1km の小脈(または小水塊)があるといった形況を考え得る。さらに C時間区になれば、25m 水深層には均一温暖な水温層が形成されており 150m 水深層は今までとほぼ等質の均一な冷水層であっても 75m 水深の辺に潮境(その垂直厚みは 50m 以下の推定)が脈打っているような水界へ船やコードが吹き流されて行った事になる。以上のような想定に基づき潮境の模式図を(尺度にはこだわらずに)画いたものが Fig. 10 である。その右半は上から眺めた平面図、左の 3 図はそれぞれ A・B・C の時間頃に右半図を垂直に切った断面図であって本文中の A 時間区・B 時間区・C 時間区の水温変動特性を理解するのに何等矛盾

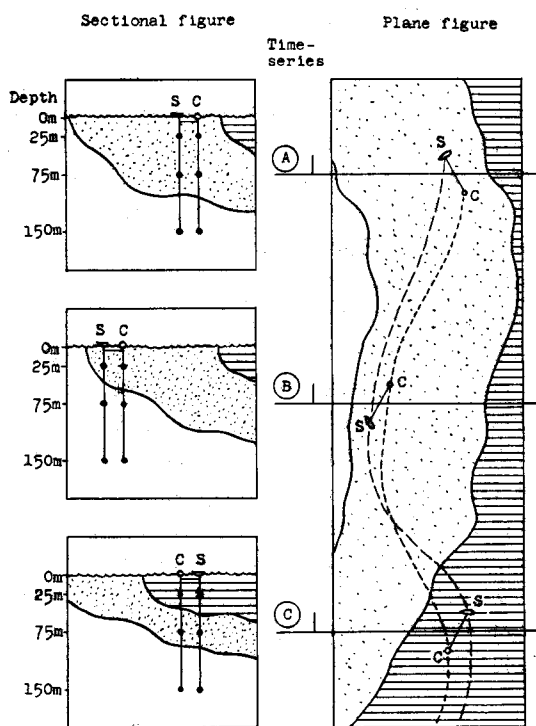


Fig. 10 Schematic illustrations of the boundary layer appreciated

Parallel-lined zone; warm water, dotted zone; mixed layer, plain zone; cold water, S; ship, C; cable-set extremity, 6 black-circles; thermister elements in depths respectively

成されており 150m 水深層は今までとほぼ等質の均一な冷水層であっても 75m 水深の辺に潮境(その垂直厚みは 50m 以下の推定)が脈打っているような水界へ船やコードが吹き流されて行った事になる。以上のような想定に基づき潮境の模式図を(尺度にはこだわらずに)画いたものが Fig. 10 である。その右半は上から眺めた平面図、左の 3 図はそれぞれ A・B・C の時間頃に右半図を垂直に切った断面図であって本文中の A 時間区・B 時間区・C 時間区の水温変動特性を理解するのに何等矛盾

を感じないであろう。

水温記録原図を細かに調べると例えば A 水界と B 水界との境目の現われる時刻が本船側と先端側とで7~8分の差を生じている事に気がつく。このような事を上述(迂り時間35分)の結果と結び合わせればこの境界線の方向は水平的に見てコード展開方位とほぼ9~16°を成す事などが推算できる。するとこの時刻の潮境の方向はほぼ270°つまり大略東西の方位に伸びていた事を知る。各時刻での船位や船の遷移方向や速さなどが判っておれば、苫小牧沖の場合と同様海潮流の方向も速さも算出し得るし、ひいては潮境の水深方向への傾斜角や混合不安定層の厚みの消長まで計算推定する事ができたであろう。残念なことに前にも触れたようにレーダー・天測・ローラン等による観測がことごとく不能で当時の船位遷移の資料が全く得られなかったので資料解析による情報掘り起しの作業もこの程度の例示にとどめる次第である。

結 び

以上2回にわたる海洋での近接2点連続測温の結果を述べたが、いずれも故障や天候に災いされて完璧な資料を得たものとはいえない。このように本方法の研究実施には困難が伴うし、1800mものキャプタイマー・コードを海面(下5m水深)に展張して24時間以上も漂流する事は作業自体も大変である上に、所要器材や作業日時の大きな浪費であるかの如く思われ勝ちであろう。しかし、このように海潮流の方向や速さを知りつつ水温を測り得る事、とくに潮目や潮境ではkm規模の「脈打ち」や50m程度の垂直厚みといったマイクロな構造や質的移动情况まで推定できる利点などを考えれば、大きな諸損失や測温精度の低下のような諸欠点を補って余りある研究方向というべきではなかろうか。

水産学・漁業学がその対象に生物資源をおきその最終目的に有効漁獲をおくものであるとするならば、水産学側から提唱されるべき漁場海洋の測り方があって然るべきである。従来の海洋学的観測法やそれによる観測結果も重要であり有用である事に異論はないが、水産学的観測法も同じ程度の有用さと重用さとの認識の上に確立されなければならないものと信ずるのである。試案としてここに提唱させて貰うならば、1隻または複数隻の船で近接2点乃至3点の同時連続観測を行う事である。これを1組とする作業団がさらに一定の空間および時間を距てて各海洋各漁場で数多くの観測を実施して行くなれば水産海洋学はまた格段の本質的な進歩を遂げるであろう。潮境や潮目にしても、潮境でないような漁場にしても、そのような時空間環境と漁業資源生態との間を結びつける要因を解明するためにはこの程度のマイクロさが要求される筈であると確信して上記観測法を提唱し不完全ながらここに1実例を報告する次第である。

文 献

- 1) 黒木敏郎(未発表)。「おやしお」(1964), 156, 1~12 に一部掲載]
- 2) 黒木敏郎(1959). 魚群の移動と出現状況との関係. 鹿大水産紀要, 7, 87~101.
- 3) WIENER, N. (1948). *Cybernetics* (France), 邦訳 池原・弥永・室賀共著 サイバネティック (1957) 岩波.
- 4) 赤池弘次(1962). 不規則振動のスペクトル解析. 統計数理研究所テキスト, 61~143.

追 補

Fig. 8_{1,2} と Fig. 9 との横軸縦軸の数値的關係を明確にするため計算式の概要をつぎに掲げて参考とする。

本船下 ①, ②, ③ 点と 1800m コード先端下 ④, ⑤, ⑥ 点とで測られた水温の各時間区 A, B, C 内平均値からの任意時刻 t におけるフレ値をそれぞれ $x(t)$, $y(t)$ とし ($\Delta t=3$ 分, T の値は A, B, C それぞれで $T=5, 10, 6$ 時間に選んである。)

$$R_{xx}(\tau) = \frac{1}{2T} \sum_{t=-T}^{T-\tau} x(t+\tau)x(t)\Delta t \quad , \quad R_{yy}(\tau) = \frac{1}{2T} \sum_{t=-T}^{T-\tau} y(t+\tau)y(t)\Delta t$$

$$R_{yx}(\tau) = \frac{1}{2T} \sum_{t=-T}^{T-\tau} y(t+\tau)x(t)\Delta t \quad , \quad R_{xy}(\tau) = \frac{1}{2T} \sum_{t=-T}^{T-\tau} x(t+\tau)y(t)\Delta t$$

Fig. 8_{1,2} では添字 x に ①, ② を添字 y に ④, ⑤ を選んで A, B, C 時間区別に例示してある。power-spectrum では、

$$\bar{P} = \Delta t \left\{ R_{xx}(0) + 2 \sum_{l=1}^{k-1} R_{xx}(l \cdot \Delta t) \cos \left(2\pi \cdot \frac{n}{2k} l \right) + (-1)^n R_{xx}(k \Delta t) \right\}, \quad n=0, 1, 2, \dots, k.$$

Fig. 9 では $k=60$ にとって hamming 処理を施した P 値として画いてある。(T ならびに ΔT の値は図中に示した。) 強いスペクトル (山) に附記した時間 (h) や分 (') は周期 $2T/n$ の値を示す。