



Title	潮境の探知に就いて
Author(s)	石田, 正巳; ISHIDA, Masami; 鈴木, 恒由 他
Citation	北海道大學水産學部研究彙報, 10(4), 291-302
Issue Date	1960-02
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/23085
Type	departmental bulletin paper
File Information	10(4)_P291-302.pdf



潮境の探知に就いて

石田 正巳・鈴木 恒由・佐野 典達
(北海道大学水産学部航海測器学教室)

斎藤 市郎 ・ 三島 清吉
(北海道大学水産学部遠洋漁業学教室) (北海道大学水産学部練習船北星丸)

On the Detection of the Boundary Zone

Masami ISHIDA, Tsuneyoshi SUZUKI, Noritatsu SANŌ

Ichiro SAITO and Seikichi MISHIMA

Abstract

The boundary zone between different water masses has been long utilized by fishermen as a good fishing ground.

Many works on the boundary zone have been published already by many investigators on its physical, chemical and marine biological aspects. Moreover more quantitative studies have been reported from the standpoint of fisheries during the last few years.

The present work was undertaken to learn how to detect the boundary zone efficiently using the auxiliary apparatus such as radar and sonar equipments, from the stand point of fishing. Especially sonar equipments were very useful to detect and investigate the boundary zone because the recorded various sonar echoes from the water temperature or salinity discontinuous layers, plankton and other suspended matter groups, and also abnormally moving water masses may inform one roughly to some extent about the actual state of the boundary zone.

1 緒 言

古来から潮境が各種魚族の好漁場となるということが漁業従事者の経験的事実から伝承され、又ある程度それが利用されてきた様である。又これを裏づけるための研究にも多くの努力が払われてきたが、何分にも潮境自身を漁業環境として考える場合に、物理化学的に、並に海洋生物学的に定量的把握の困難な因子が多いのみならず、常に魚族との生理生態学的関連に於て考察しなければならぬから、その解明には初めから多くの困難が予想される問題である。従来迄の研究も、主として特定の潮境に於ける物理化学的因子を実測したものが多くに見受けられ、最近松平がより定量的な研究として、潮境に於ける水産資源の定量生態学的研究を発表しているが¹⁾²⁾、吾々は主として漁業的立場より潮境の探知という問題から初め、次いで潮境の構造と漁業生産との関連を若干の例をとつて考察して行きたい。

2 潮 境

一般には、潮境とは寒流水と暖流水の如き異つた水塊の境界を呼び、又この両水塊の衝合する潮合線上に現われた特殊の漣の立つた泡や藻などの集つた線を潮目と呼んでいる。潮境では両側の水塊の混合、乱流、渦流、収斂等が起きて居り、且風波がある場合、夫等との相対関係に依つて、漣が大きくなつて崩れるため、白波が立つたり、又は逆に漣を消してトロミを作つたり、その様相は複雑で、且不安定である。大きな寒流水と暖流水の衝合する大洋に於ける潮境は、比較的はつきり現われる場合が多いが沿岸、特に湾流を伴う海域に於ける小さな潮境は、かなり不安定で、変化が激しいようである。又潮目と称する線がはつ

きり肉眼で見えているにかゝらず実測して見ると、同系統の水塊の衝合であるらしい場合もある。従つて潮目が見えるからといつても、どういう水塊の衝合によるものか×具体的にはつきりしなければ、それが漁業学的意義のある潮境に関係あるものか否かは、勿論分らないが只漁場探索という見地からすれば、潮目は一つの目安となるので、潮目及潮境の探知という問題を先づ取上げて見る。

3 潮目乃至潮境の探知の補助方法

潮境の探知は予め海流、潮流の状態から目標とするものゝ発生場所を推定しておき、現場で実際に確めるという方法をとるのが普通であるが、潮境は季節の変動が大きいようなので、補助方法があれば、尙探知が能率化される訳である。特に夜間などで、肉眼の探知能力が限定される時などに補助的に役立つ。吾々の経験では radar に依る探知、水中音響探知機に依る探知、及び航空機上よりの探索がある程度有効なことが判つた。これに就いて述べる。

4 radar に依る探知に就いて

一般に radar scope 上には波浪に依る海面反射が現われるが普通の航行上の目的には、之は寧ろ好ましくないので、anti-clutter 回路の使用に依つて夫等の映像を可及的に消すようにしている。然し目下の潮境の探知という目的には、逆に海表面から湧き立つ白波を伴う潮目を可及的に radar 映像として捕捉する様にする。即ち anti-clutter 回路を調整して、潮目と他の波浪との相対的強度の差を求めて、潮目の映像を適当に画面に残す様にする。斯の様にすれば特別に波浪の激しい場合でなければ潮目のある程度探知することが出来る。Fig. 1 ~ Fig. 3 は津軽海峡で捕捉した潮目の radar 映像の例である。Fig. 1 は Fig. 4 の position 5 に於いて、自船から約 1 哩の距離に現出していた潮目で、肉眼でも認められたものである。この際の海上状態は波浪階級 3 風速 5 米程度で、潮目にはかなり白波が大きく湧立っていたが、anti-clutter 回路 1 で潮目の映像は最も鮮明に弁別出来た。Fig. 2 は Fig. 4 の position 4 に於いて、得られたもので薄暮であつたので、肉眼では余りはつきりしなかつたが radar 映像によつて潮目が何本も列をなして縞目状に分布して居たものである。この時の海上状態は波浪階級 3 風速 5 米で、anti-clutter 回路 1 で最適であつた。Fig. 3 は自船の航跡を radar で捕捉してみたものであるが、海面上に白波が湧立っている様相は潮目に近似しているが海面上で湧立っている時間が短いので、自船に近い所以外はよく捕捉出来ない。従つて radar で捕捉出来るためには、白波の波頭が海上よりある高さを持つことが必要となつてくる。以上の諸例より波浪がある程度

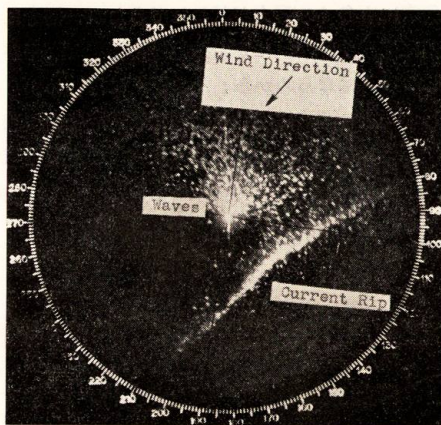


Fig. 1. Radar echoes of current rip obtained at the Tsugaru Strait at position 5 in Fig. 1. 1956

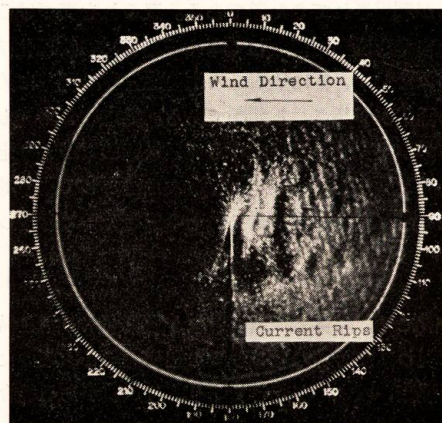


Fig. 2. Radar echoes of current rip obtained at the Tairadate Strait at position 4 in Fig. 1. 1956

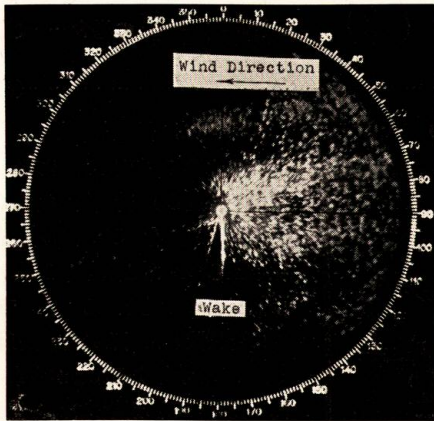


Fig. 3. Radar echoes of ship wakes obtained at the Tsugaru Strait 1956

以上激しくなければ1~2哩の距離にある潮目を弁別捕捉出来る可能性があることが分つた。

5 水中音響探知機に依る探知に就いて

潮境では異つた水塊の衝合が起つているから、茲に水温、塩分の不連続帯、並に水塊の異状流動と気泡の発生、又プランクトン群等の海洋生物集団、及び海中懸垂物集団等の諸因に依つて水中音響の反射が生じていることが推定される。従つて潮境に於ける水中音響の反射を求めて、その反射映像を他の実測された海洋データと照合することに依つて、潮境の探知並に潮境の構造究明にも有益な資料を得ることになる。只この方法は自船が潮境に極く近く接近するか、乃至は潮境に入りこまないで探知し難いことが難点である。このような海洋調査的な目的には、以上の諸因の反射量

は一般に小さいから、高出力、高感度の音響探知機の使用が望しく、且水平方向の音響探知機、及び可変周波音響探知機の併用も有益である。今回は主として海上電機製の SF-220 型の 24KC の垂直方向の音響測深機を使用した。

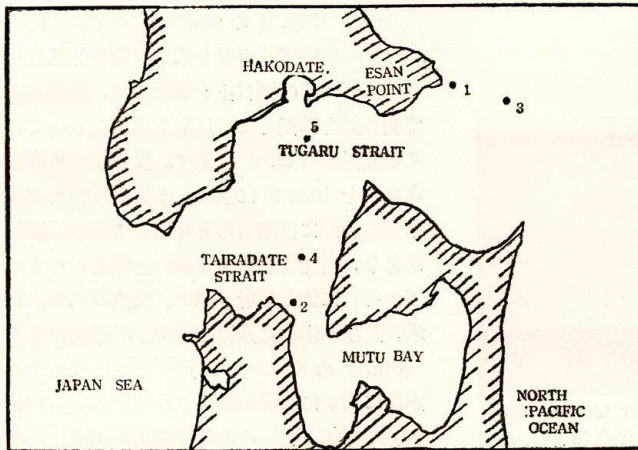


Fig. 4. Position of observations

機を使用した。

扱上記の諸因に基く異状反射の基礎的解析と実験に就いては他に発表する予定³⁾なので茲ではその結果を参考にしつゝ、現場で得られた幾つかの実測例に就いて述べて行きたい。

5-a) 水温躍層に依る反射

異状反射の内水温躍層に依る場合が度々実測されたが、水温の変化の形は大別すると次の二つの型が存在する様である。即ち水温が水深に対して変化する場合、温度TからT+ΔT迄の変化が全く鋭く飛躍的に変化する場合 [Fig. 5(a)] と緩慢に略指數的变化する場合

[Fig. 5 (b)] とある。実際の水温測定に依れば両者の場合の何れかに近い形が得られることが多い⁴⁾。

今水温T、及び(T+ΔT)の時に相応する伝播速度をC及び(C+ΔC)とし、伝播速度の水深Zに対する函数型を次の様に考える。

$$(a) \text{ 飛躍変化の場合 } \left. \begin{array}{l} V(Z) = C \quad Z > 0 \\ V(Z) = C + \Delta C = C' \quad Z < 0 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$(b) \text{ 緩慢変化の場合 } 1/V^2 = 1/(C + \Delta C)^2 + 2\Delta C / \{C^3 (1 + \exp(2\pi Z/d))\} \dots\dots\dots (2)$$

2d: 水温変化を生じている水層の厚み

音圧反射率は (a), (b) の場合に対して夫々S及びS'とすれば次の如くなる。

$$S = \frac{(C + \Delta C) \sin \theta / C \sin \theta' - 1}{(C + \Delta C) \sin \theta / C \sin \theta' + 1} \sim \left(\frac{\Delta C}{2C} \right) \quad \text{但し } \theta = \theta' = \frac{\pi}{2} \text{ の場合} \dots (3)$$

$$S' = \frac{\sinh [US / (1 + S)]}{\sinh [U / (1 + S)]} \dots (4)$$

但し $U = (2\pi d / \lambda) \sin \theta$ λ : 波長

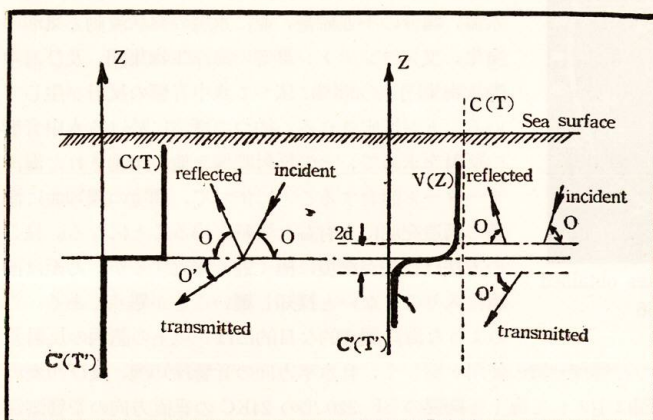


Fig. 5. Propagation velocity versus sea depth functions

- a) sharp change
- b) smooth change

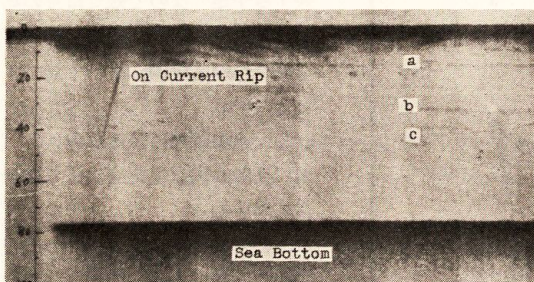


Fig. 6. Sonar echoes due to sea water temperature changes obtained at position 2 (a) in Fig. 4

尙反射 (a) に相当する水深にはプランクトンの分布が特に多く、之に依る反射も加味されているものと推定される。この場合には水温分布から分る如く、潮目のある海域では、異系統と思われる水塊が細かく、複雑に入り組んでいる如く推定される。そしてプランクトン分布の特に密な水深帯の下部には水温の躍層が存在する場合が多く、この傾向は position 3、及びその他の点でも認められた。これは水温の躍層とプランクトンの分布との間にある関連のありそうなことを暗示している。Fig. 6 (a) の記録に相当する水深のプランクトンの種類は殆ど動物性で Table 2 に示す如きものである。

尙水温躍層が音響探知機で記録し得るためには、水温変化が鋭く飛躍的に存在する場合(普通摂氏数度位迄)は比較的良く記録されるが水温変化がある厚みを以つて徐々に存在する場合、温度傾度が $1^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 位あることが必要なことが多かつた。

5-b) 主としてプランクトン及び其他海中懸垂物質に基く反射

従つて水温 T (又はそれに相応する伝播速度 C) と水温変化 ΔT (又は伝播速度変化 ΔC)、及び水温変化を生じつゝある水層厚み $2d$ 、及び波長 λ の諸量を知ると、垂直方向に送受波した場合の音圧反射率 S 及 S' を予想することが出来る。尙実測される反射損失は、躍層の水深を R 米として、(a) 及び (b) の場合夫々、

$$\beta = 20 \log_{10} S + 20 \log_{10} R$$

又は $\beta' = 20 \log_{10} S' + 20 \log_{10} R$ として考えてよい量である。

Fig. 4 の position 2 の平館沖に於いて、かなり大きい潮目を発見しその潮目上を横切つて、極低速度

で調査船を移動させて反射を調べたもので、その記録を Fig. 6 に示す。又水温の垂直分布特性を Fig. 7 に示す。水面より約水深10米迄の範囲には潮目の存在による海水の擾乱があり、当然含有気泡も多いと考えられるので、それに依る反射も強い。又水深15米、30米、及び38米帯に水温の急激な不連続があり [Fig. 7 の (a), (b), (c)] これに相当する水深に明かに反射が記録されている。[Fig. 6 (a), (b), (c)] この反射損失を実測した所 (a), (b) で約45db, (c) で約52dbであつた。

波長に比べて極く小さい懸垂物質群の反射は近似的に計算されるが³⁾⁵⁾、反射損失は理論的には近似的に次式で与えられる。

$$B = 20 \log_{10} \frac{\lambda^2}{\pi V} \left(\frac{\rho}{\Delta\rho} + \frac{m}{\Delta m} \right) \frac{1}{\theta_0 \sqrt{\pi \ln}} + 20 \log_{10} R \dots\dots\dots(5)$$

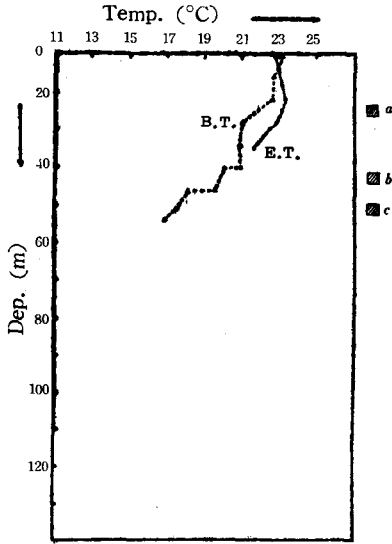


Fig. 7. Vertical distribution of temperature at position 2 in Fig. 4

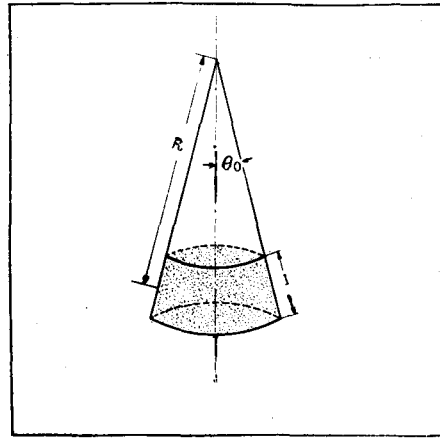


Fig. 8. Reflection of sound waves on the group of small suspended bodies in the sea

Table 1. Observed oceanographic data at position 2(a) in Fig. 4
Position 1. (Lat. 41°-48.0'N, Long. 141°-12.5'E) July. 27, 1956

Depth (m)	W.T (°C)	Cl (%)	O ₂ (cc/L)
0	15.3	17.800	3.52
10	14.6	18.020	4.86
20	11.4	18.460	
30	10.6	18.592	5.64
50	10.1	18.630	5.59
75	9.9	18.731	5.64
100	7.3	18.610	6.33

但し Fig. 8 に於いて、送受波器の有効指向角 θ_0 、パルス幅 τ を以つて送受波が行われている時、送受波器より R 米の距離に存在する懸垂物質群は、図で厚さ $l = \tau/2 \cdot C$ なる球殻中のもののみ反射音圧の合成に寄与するのである。
(5) 式中の文字の物理的意味は、

- V : 懸垂物質体積 (個体)
- λ : 音波長
- ρ : 媒質密度
- $\Delta\rho$: 媒質と懸垂物質の密度差
- m : 媒質圧縮率
- Δm : 媒質と懸垂物質の圧縮率差
- θ_0 : 送受波器の有効指向角

l : パルス幅の半分を媒質内の長さに変換したもの

n : 単位体積当りの懸垂物質の数

R : 懸垂物質群の存在する水深

Fig. 4 の position 2 (b) は position 2 (a) より、潮目を離れて1.5km陸地寄りの所であつて、調査船を低速で移動している時、記録に現われて来たもので、この辺一帯は海面より肉眼で見ても、大分緑灰色に変色して見える程懸垂物が繁殖して居て、プランクトンネットで曳いてみると、俗称ヌタと称する如き懸垂物が密集して採取された。この記録は Fig. 9 の水深12米帯に現われているもので、この水深帯ではプランクトンの分布も一番厚く、プランクトンの種類は Table 2 に示す如く、殆ど動物性であつた。尙この海域でも海面

Table 2. Observed oceanographic data at position 2(b) in Fig. 4
Position 2(a). (Lat. 41°-12.5'N, Long. 140°-39.2'E) Aug. 15, 1956

Depth (m)	W.T (°C)	Cl (%)	O ₂ (cc/L)	Plankton
0	22.8	18.452	5.16	{ Ceratium inflexum Chaetoceros affinis Ceratium tripos Nauplius of Copepoda Lriopi rosanea
12	23.3	18.620	5.12	
15	23.2			
18	22.9	18.656	5.14	
20	22.5			
30	21.7			

Position 2(b). (Lat. 41°-12.5'N, Long. 140°-39.2'E) Aug. 15, 1956

Depth (m)	W.T (°C)	Cl (%)	O ₂ (cc/L)	Plankton
0	22.7	18.585	5.15	{ Ceratium inflexum Ceratium tripos Penilia schmackeri Nauplius of Copepoda Chaetoceros affinis
10	23.2	18.551	5.12	
20	23.1	18.585	5.14	
30	22.9	18.601	5.14	
50	20.2	18.960	5.34	
75	16.8	19.115	5.65	

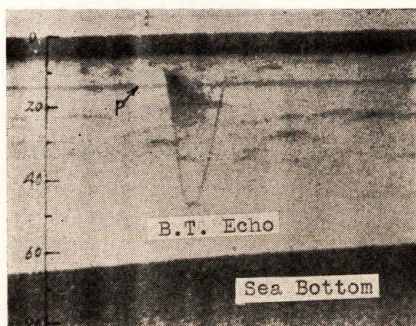


Fig. 9. Sonar echoes due to plankton obtained at position 2(b) in Fig. 4

から水深30米位迄は水温が略一定であり、プランクトン密集帯の下部で急に水温が下降して水温傾度が比較的大きい所がある。水温分布は Fig. 10 に示す。

このプランクトン群の反射損失は約42dbであつた。

又Fig. 4 position 3 では position 2 と別の潮目があり、その附近で得られた記録である水温分布は Fig. 11 に示す如く、水深30~35米帯に水温の躍層があり、又この水深より稍上方でプランクトン分布が最大であつた。プランクトン群に基く反射記録は Fig. 12 に示す。この反射損失は約55dbであつた。

反響記録は水深からいつて、丁度プランクトン群の水深に相当し、水温躍層に基く反射は水温傾度が余り大きくないこと、水温躍層の上部のプランクトン群の存在の

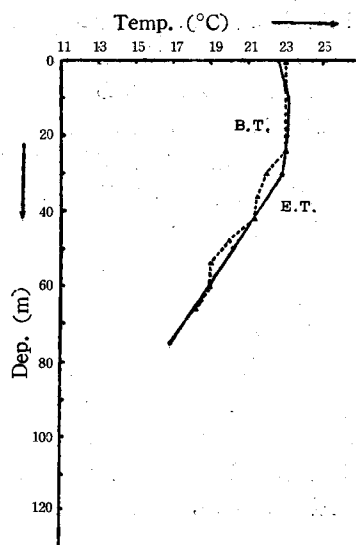


Fig. 10. Vertical distribution of temperature at position 2(b) in Fig. 4

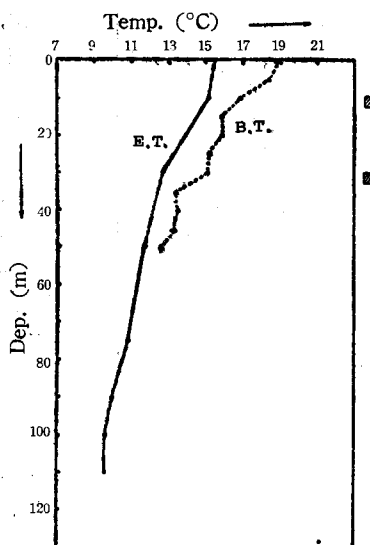


Fig. 11. Vertical distribution of temperature at position 3 in Fig. 4

ため記録には明瞭に現われていない。プランクトン群の種類は Table 3 に示す如く、殆ど全部が動物性であった。又プランクトン群の写真は Fig. 13 (a) 及び 13 (b) に示す。

Table 3. Observed oceanographic data at position 3 in Fig. 4
Position 3. (Lat. 41°-45.2'N, Log. 141°-24.5'E) Oct. 6, 1956

Depth (m)	W.T (°C)	Cl (‰)	O ₂ (cc/L)	Plankton
0	17.5	18.340		{ <i>Calanus helgolandicus</i> <i>Oithona plumifera</i> <i>Oncaea venusta</i> <i>Oncaea conifera</i> <i>Eucalanus giesbroccti</i>
10	17.2	18.369		
30	14.8	18.498		
50	13.8	18.614		
75	13.0	18.624		
90	12.1	18.661		
100	11.8	18.669		
110	11.8	18.706		

5-c) 海水の塩分差に基づく反射

海水の塩分が異つている境界では塩分の差に起因して海水の圧縮率と密度に於ける差が生ずるため、反射が生じ得る。理論的には温度差の場合と同様に取扱うことが出来る。只塩分1%の変化は、略温度0.6°Cに相応して海水中の音波伝播速度に変化を与えるから、かなりの塩分差が存在しなければ、反響記録は得難い。塩分の変化の顕著な例として河水が湾に注入する河口を挙げる事が出来る。その一例として網走川が湾に注ぐ所で、河水が表層5米位迄拡がつて居り、下部が海水になっている所で反響を求めることが出来た。尤もこの河水と海水では水温も異つているため、水温の不連続もあり、塩分差と温度差の両原因が混在してい

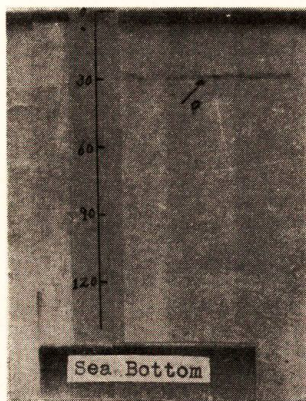


Fig. 12. Sonar echoes due to plankton obtained at position 3 in Fig. 4

るが、約30%の塩分差と約4°Cの温度差では反射の主原因は、塩分差であろうと推定される。Table 4 は代表的観測点15の観測結果を示す。又 Fig. 14 はそれを図示したものである。この海域の等密度曲線を描いたものが、Fig. 15 で、河水と海水との混合状態を示している。丁度 station 15 の附近で河水が表面に拡がって居り、河水と海水との混合する所に温度の不連続点のあることも分る。又この境界では植物性プランクトンが中位の密度で分布するのが認められた。反射損失の実測は約 39db で Fig. 16 は反響記録を示している。

5-d) 気泡層に基づく反響

異なつた水塊の混合に依つて生ずる海面の潮目は極めて多くの気泡を含んでいる。この気泡層の厚みは各々の潮目によつて勿論異なるが、風の状態に依つて非常にその様相を異にする。一例として、石狩湾に於いて石狩河口から注流した河水が海水と混合する所では、大きな潮目を作つているが、この潮目は風の影響と、



Fig. 13. a) Microscopical photographs of plankton from which sonar echoes were obtained as shown in Fig. 11

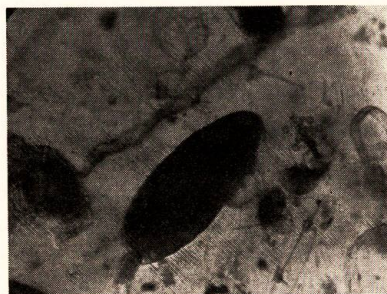


Fig. 13. b) Partially enlarged

Table 4. Observed oceanographic data at St. 15 in Abashiri Bay

Depth	W.T (°C)	O ₂ (cc/L)	Cl (‰)	S (‰)	σ_t	ρ (gr/cm ³)
0	12.5	7.37				1.0104
5	8.7	7.49	18.050	32.610	25.30	1.0253
10	7.7	7.39	18.250	32.291	25.75	1.0257
15	7.3		18.331	33.116	25.91	1.0259

両水塊の押し合い状態で極めて様相が変化する。Fig. 17 (a) はその代表的潮目で、Fig. 17 (b) はこの潮目に特に大きなアブクが集合した状態である。温度の異つた水塊の混合する境界では、気泡の発生が考えられる。これを酸素量で推定しようとしたが、潮境では複雑な変化を示すので、これに就いてはまだ確言出来ない。

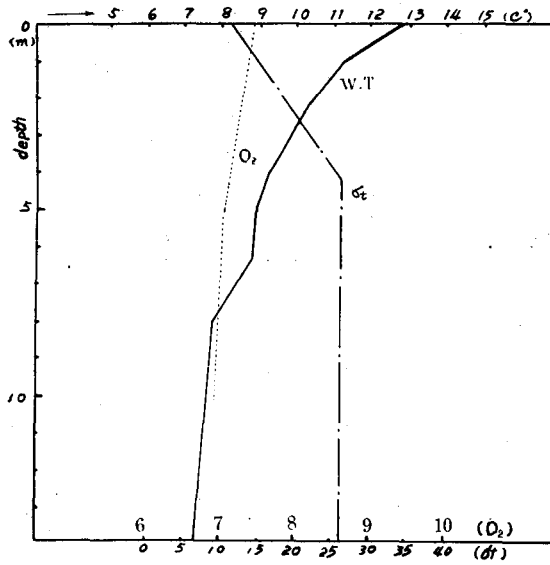


Fig. 14. Vertical distribution of temperature (W.T.), oxygen (O₂), density in *situ* (σ_t) observed at St. 15 in Abashiri Bay

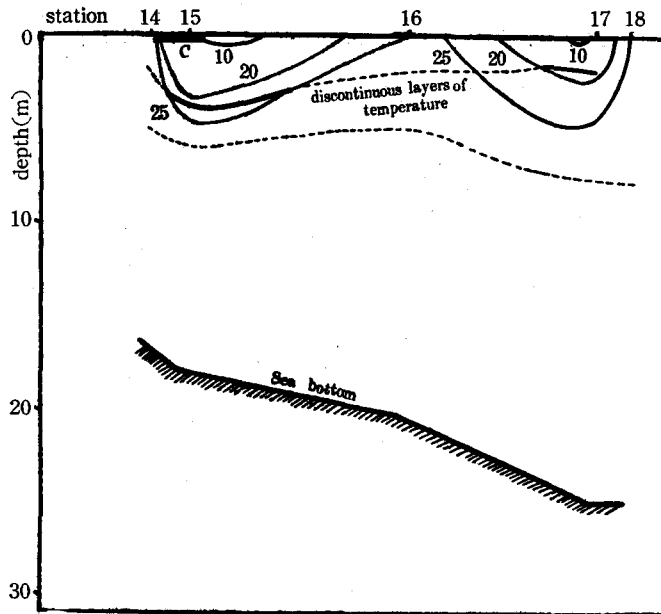


Fig. 15. Vertical iso-density curves observed near the current rip in Abashiri Bay

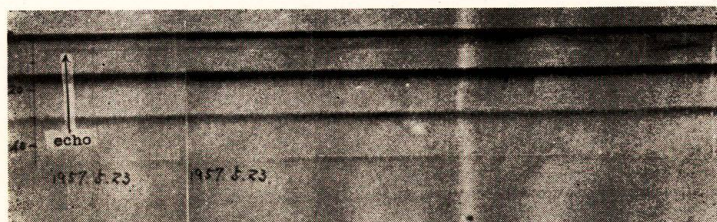


Fig. 16. Sonar echoes due to sea salinity changes obtained near the current rip in Abashiri Bay



Fig. 17. a) Representative current rip in Ishikari Bay

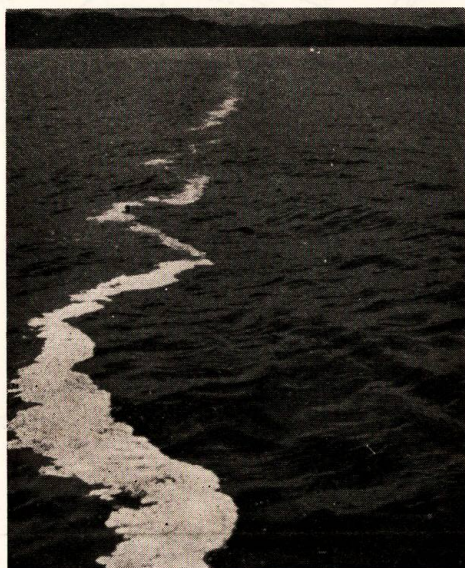


Fig. 17. b) Large bubbles formed on the above current rip

い。Fig. 18はFig. 17(b)の潮目を横切つた時の反響記録で音響探知機の送受波器は水面下1.5米に位置してこの位置が零線となるので実際は、水面から6~7米迄の間は含有気泡層があるものと推定され反響もかなり強い。又この付近では海水の擾乱が多いため不規則な雑音的記録も多い。



Fig. 18. Sonar echoes due to the bubbles-containing sea water layer under the current rip

6 航空機上よりの探索

航空機を用いると、潮目を迅速に且形状を全体的に把握出来、又その変化を良く観測出来るので、有効な方法である。Fig. 19は石狩湾に於ける河水と海水の混合状態を400米高度より撮影したものである。これの詳細に就いては次報に譲る。



Fig 19. Photograph of the River Ishikari running into Ishikari Bay photographed from a airplane at the height of 400 meters

7 考察並結論

以上の如く水中音響探知機を主体にして潮目内至潮境の探知に就いて述べたが、探知という点からすれば航空機並に Radar を用いて、海表面の潮目を目標にして探知した方が有効なるは言を俟たないが潮境の調査という見地を入れると水中音響探知機の利用は、別の有効性を与えることになる。種々の実測例より知り得たことは次の如くである。

- (1) Radar を用いて 1~2 哩の距離に於いて潮目を確認出来る。
- (2) 水温躍層は、1°C/m 程度の傾度があれば普通の音響測深機でも記録し得る。反射損失は 45~60db 位の場合が多い。
- (3) プラントトン群も比較的良く反射されるプラントトン群の特に密な所の下部には水温躍層の存在する場合が多かつた。
- (4) 塩分躍層は河水と海水の境界の如く、かなり差がなければ反響は得られない。
- (5) 含有気泡層は極めてよく反射される。

8 謝 辞

本研究は1955年より着手したものであるが、実験手段の不備と実験の困難さで未だ不明な点が多い。本研究には海洋学の知見については、当学部海洋学気象学教室の小藤助教授に多大の御援助をいたされた。深く謝意を表す。又実験に於ける遠洋漁業学教室の前田辰昭氏及び北星丸乗組員諸氏の御協力と、特に網走湾並に石狩湾に於ける実験に当つての関係各位の御後援に対しても厚く謝意を表す。尙海洋生物に就いては当学部富士昭氏並に藪熙氏、海洋化学に就いては小黒美樹氏の御援助をいたされた。併せて深謝する。

参 考 文 献

- 1) 松平他 (1956). 潮境に於ける水産資源の定量生態学的研究 I. 日水誌 21 (11), 1134~1140.
- 2) 松平他 (1956). 潮境に於ける水産資源の定量生態学的研究 II. 日水誌 21 (11), 1141~1143.
- 3) 未発表
- 4) Richard R. Carhart (1953). *J. of Appl. Physics* 24 (7), 929~934.
- 5) Lord Rayleigh (1917). *Theory of Sound II*. [p.152] London; Lowe & Brydone Ltd.