

流し網と魚の超音波反射

誌名	水産工学研究所技報. 漁業生産
ISSN	02895153
著者名	畠山,良己 赤松,友成
発行元	水産庁水産工学研究所
巻/号	5号
巻号補足	
掲載ページ	p. 15-24
発行年月	1991年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



流し網と魚の超音波反射

畠山 良己*・赤松 友成*

目 次

1. 緒言.....	15	4.1 調査方法	20
2. 魚と流し網の超音波反射特性.....	15	4.2 調査結果・考察	20
2.1 測定材料・方法	15	5. 魚と流し網の識別.....	20
2.2 測定結果・考察	17	5.1 識別方法	20
3. 鰯の形状調査.....	18	5.2 実験結果・考察	21
3.1 調査材料・方法	19	6. 結言.....	23
3.2 調査結果・考察	19	参考文献.....	23
4. サケ、マスの羅網位置の垂直分布.....	20	Summary.....	24

1. 緒言

操業中に破損したり、漁船から捨てられたりしたプラスチック性流し網は、いわゆる「漂流網（流れ網）」として半永久的に漂い、永続的にゴーストフィッシングや船舶の航行障害を起すので国際的問題となっている。

流し網が漂流網となって、いわゆるゴーストフィッシングとしての魚（サケ、マス）、海鳥（ミズナギドリ）、哺乳類（オットセイ、イルカ）などを絡める機能は、網が流失してから団塊状となる数日で失われると一般に考えられているが、実態は不明な点が多い。

近年、水産庁の組織的な調査によって網の漂流中の形状、分布状況については資料の蓄積と解析がなされつつある。今後は漂流網の漁獲機能の時間的減衰状況、形状変化の定量化、生物の付着と浮力の関係などについての解明が必要とされる。

それらの調査手段の1つとして、漂流網とそこに羅網した魚の音響的手段による調査の可能性について、その機器開発を含めて検討するため、サケマス流し網の漁獲物の垂直分布及び流し網とサケの超音波反射特性を調べ、流し網と羅網魚を識別できる距離を求めた。

2. 魚と流し網の超音波反射特性

2.1 測定材料・方法

2.1.1 サケ

東京築地の魚市場で延縄漁法により漁獲した生ザケを購入し水産工学研究所の大型長形水槽（長さ140m、幅6m、深さ3m）に吊し、反射指向性を測定した。測定したサケは尾又長74cm、体重4.7kgの雌1尾と尾又長72cm、体重3.9kgの雄1尾であった。測定後解剖した結果では、鰭が破れて潰れた状態であった。

測定周波数は200kHzであり、その超音波パルスを精密小型音響測深機（海上電機製PS-20R）から発射した。また、反射波の大きさは同測深機の受信回路の途中から出力を取り出して測定した。音源レベルは209dB re 1 μ Pa、パルス幅は120 μ s、指向性は半減角で6°であった。パルス幅は距離分解能を良くして、魚、網地、棚などをはっきり表示させる目的で短いものを利用した。

超音波ビーム内に上記の体長約70cmのサケの魚体をほぼ完全に入れるため、魚と送波器の間の距離を送波器の指向角により決める必要があり、反射波の記録を見ながら雑音の少ない距離の21.5mに決めた。

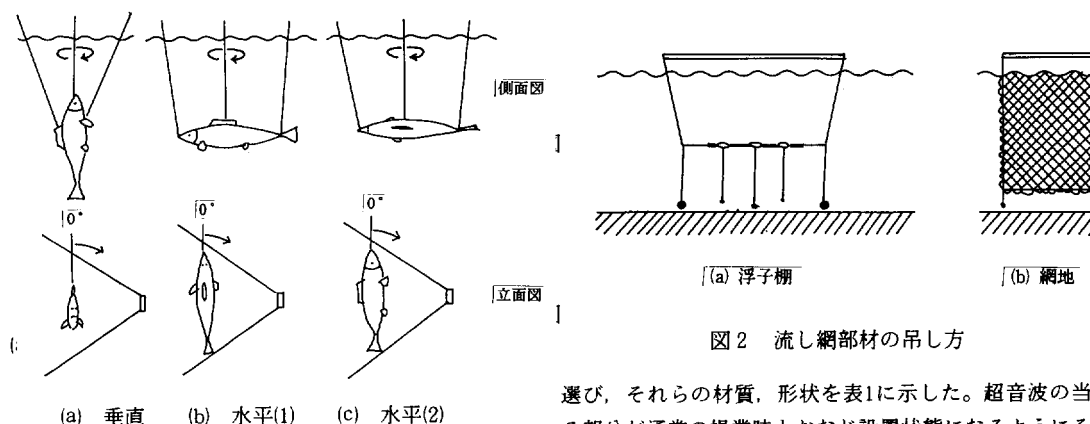


図1 サケの吊し方と回転方向

図1に示した3通りの方法で魚を吊り下げたが、水平(2)の方法では魚の体軸を一直線に保つことが少々難しかった。操業の現場では魚が流し網へ頭から突っ込み、頭部付近で網に絡まり、尾部が自由に垂れ下がっている姿勢が多いことから、主に図1に示したように魚を垂直にして測定した。反射指向性は 10° 間隔で測定し、得られた全方向の合計36個のデータを単純に算術平均して全方向の平均値を求めた。

サケのターゲットストレングス(TS)は金属球(直径4.5mm)の反射波と比較して求めた。波長を λ とすると半径 a の金属球のTSは、 $a \gg \lambda$ の条件では簡単な式($10 \log a^2/4$)となりその計算結果は-39.1dBである。

2.1.2 流し網部材

流し網を構成する部材として網地、浮子棚、沈子棚を

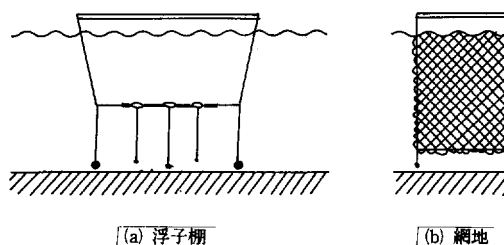


図2 流し網部材の吊し方

選び、それらの材質、形状を表1に示した。超音波の当る部分が通常の操業時とおなじ設置状態になるようにそれらを水中に吊るし、サケと同じく比較法によりTSを測定した。流し網から $2.0 \times 2.5\text{m}$ の寸法の網地を裁断し、長さ2mの角棒から吊り下げた。図2に示すように両端の網地を縫ってナイロンテグス(10号)を通し、一番下に茄子型錘(110g)をつけて強く張った。両端の網目は少し縦長に変形したが、中央部はほぼ正常な形となった。

長さ2mの浮子棚の両端に50cmの長さの10号ナイロンテグスを付け足して3mの測定試料とした。それを4mの角材の両端からナイロンテグス(10号)により底近くへ錘(2kg)を吊り下げ、その水深1.5m部分に測定試料を結んだ。浮子棚の浮子間隔は90cmであり、長さ2.0mの浮子棚には中央と両端の合計3個の浮子が付いていた。浮子の浮力により試料がやや凸型となったので、中央の浮子に500gの錘を、また両端の浮子には110gの錘を細いナイロンテグスで付け、ほぼ水平な直線に

表1 流し網部材の材質、形状、重量

部 材		材質、形状、寸法、重量	測定試料寸法
網 地		ナイロンモノフィラメント8.5号 $d_1 = 0.5\text{mm}$, 目合115mm	$2.0\text{m} \times 2.5\text{m}$
浮子棚	浮子	丸型、塩化ビニール、浮力220g $d_1 = \text{最大}43\text{mm}$, $d_2 = 8\text{mm}$, $l = 155\text{mm}$	2.0m
	浮子網	ポリプロピレン $d_1 = 7\text{mm}$, 12.5g/m	
沈子棚		各ストランドにビニール被覆鉛線1本入れた3つ打ちロープ2本, 106g/m ストランド…ポリプロピレン $d_1 = 6\text{mm}$ 鉛線…ビニール被覆 $d_1 = 2.0\text{mm}$ 鉛線 $d_1 = 1.5\text{mm}$	2.0m

d_1 = 外径, d_2 = 内径, l = 長さ

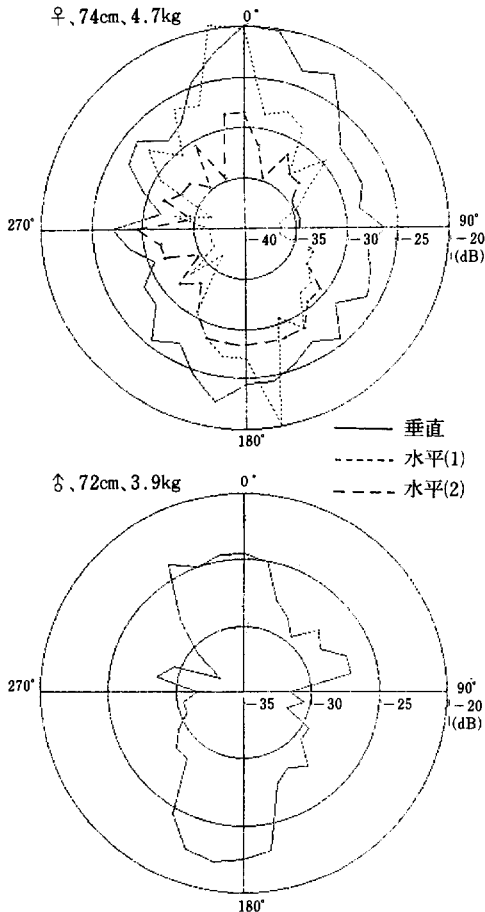


図3 サケの反射の指向性

なるように調整した。長さ2mの沈子棚も同じ方法で水深1.5mに水平に設置した。

角材の中心部を角度目盛りの付いた回転装置に取り付け、回転しながら各素材の反射指向性を測定した。超音波ビームに対し角材が直角となる方向を0°とした。

各吊り下げ方法とも測定試料の無い状態で45°まで回転し、錘やナイロンテグスなどによる不要反射波が無視できる程度に小さいことを確認した。沈子棚と浮子棚は21.5mの距離で測定し、網地については反射波が小さいので7.5mの距離で測定した。

2.2 測定結果・考察

2.2.1 サケ

前項で述べた雌サケと雄サケのそれぞれの反射指向性を図3に示した。金属球のTSは143kHzのパルスによりハイドロホン(B&K8103)を用いて測定すると-38.7dBとなり、計算値とはほぼ一致した。有鰭魚の場合、魚の

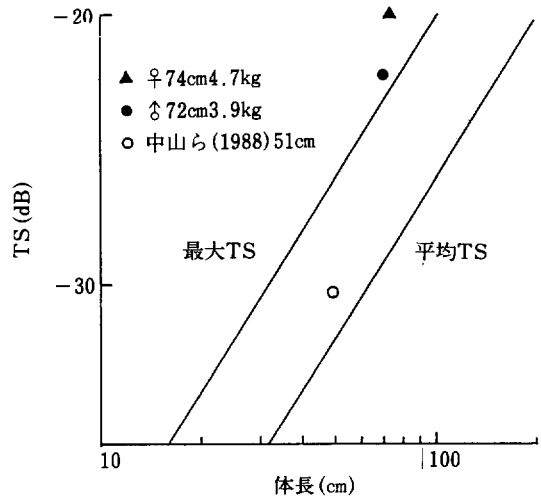


図4 TSと体長の関係

TSは殆ど鰭の反射で決まると言われているが、今回のように鰭の潰れによりガスが減少している場合、反射は魚の肉、骨などの体格構成部分から生じ、主として鰭からによる反射パターンの場合と異なっている。一般的な有鰭魚では図1の水平(2)の反射指向性は鋭く、垂直の反射指向性が鈍くなるが、今回の測定ではいずれも鈍い指向性となった。水平(2)では体軸が水平に一直線となりにくく、TSは小さい傾向を示した。

サケの反射波は垂直の吊し方で一番大きく、72cmの雄サケで最大-22.1dB、最小-33.0dB、全方向平均-29dBであり、74cmの雌サケで最大-19.9dB、最小-31.6dB、全方向平均-26dBであった。そこで体長70cmクラスの-30dBと体長25cmクラスの-40dBの2通りの平均TSについて識別可能距離を検討することにした。測定システムの雑音が大きいため、距離7.5mと21.5mの測定ではTS換算で各々-58dB、-37dBとなり、小さな反射波では雑音にマスクされた。

サケのTS測定に関しては中山ら(1988)¹⁾の報告があり、計量魚探機(古野電気製FQ-70)を用い50kHzでTSの現場測定を行っている。その報告によれば7回の測定でTSの最大と最小は各々-25.5dBと-35.7dBであり、平均値は-30.3dBとなっている。その時の流し網によるサンプリングではカラフトマス138尾、ベニザケ41尾、シロサケ36尾など合計221尾の漁獲があり、その平均尾叉長は51cm、平均体重は1.8kgであった。

横軸に尾叉長(cm)、縦軸にTS(dB)をとり、今回と中山らの測定値を図4に示した。一般的な魚の背方向のTSは体長をL(cm)とすると

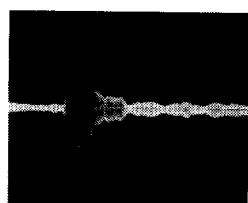
$$TS = A + 20 \log L \dots (1)$$

と簡単な式で表され、有鰐魚の平均TSではAが-66、最大TSではAが-60程度といわれている²⁾。図4に平均TSと最大TSを示すグラフを記入してある。

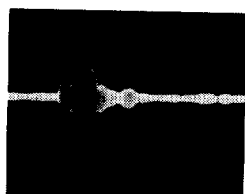
今回の測定値としては体側方向からの入射波による最大TSを図4に記入した。背方向より体側方向の反射が6dB大きいと間庭(1962)³⁾が報告している。今回の測定値は背方向の最大TSより1-3dBしか大きくないが、鰐のガスが殆んど無い状態にも拘らずかなり強い反射波を生じている。マスやサケが自然遊泳している時の中山らの測定値は平均TSに近い。

今回の測定はパルス幅約100μsの超音波パルスにより行われているため距離分解能が7.5cmと小さく、図5に示したように反射物の前面と後面で生じた反射波が明らかに分離できている。一般的なTSの測定はこれより長いパルス幅の超音波で行われ、肉・骨・鰐などからの反射波が合成され今回とは異なる様相を示す可能性がある。

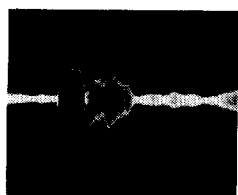
2.2.2 流し網部材



(a) 金属球
44.5mmφ



(b) サケ
垂直0°
♂ 64cm, 3.0kg



(c) サケ
垂直90°
同上

図5 反射波形
200kHz(C)
0.5V/DIV, 0.2ms/DIV

比較法により測定した流し網部材の反射指向性を反射波が雑音以下となる測定値を除いて図6に示した。網地と沈子棚では45°の角度変化でTSが10dB位しか減少しないが、浮子棚ではそれより急な減少傾向を見せている。

網地のTSは浮子棚と沈子棚に比べ見掛け上約20dB小さいが、おなじ21.5mの距離ではその差は約10dBに減少する。200kHzにおける網地の単位面積当りのTSは-40dB、同じく沈子棚の単位長当りのTSは-26dBであった。浮子1個の反射指向性を100kHzで測定した例⁴⁾では、最大TSが-27dBで、その指向性は鋭く半減全角で5°であり、角度によるTS減少は20°で約20dB、40°で約30dBであった。それに比べ今回の浮子棚は浮子にロープが付いており、浮子の鋭い反射指向性がロープの乱反射性により緩和されている。

143kHzによる網地のTS測定例⁵⁾では-55dBという値が得られている。今回の測定値がこの値に比べ大きい理由として、網地に当たる超音波ビームの直径が大きく、周波数が高いことが考えられる。超音波ビームが当たる面積の補正(9.0dB)と周波数の補正(4.4dB)を加えると、143kHzのデータから今回の予測値として-42dBが得られ実測値(-43dB)にはほぼ等しい。

網成りが変化して網に対し斜めに超音波パルスが当たる場合、網地と棚のTSは最大10dB位減少するが、魚の平均TSがあまり大きく変化しないので識別に関し有利に働く。

3. 鰐の状況調査

既に述べた生サケの標本に加えて青森県三沢市近辺の

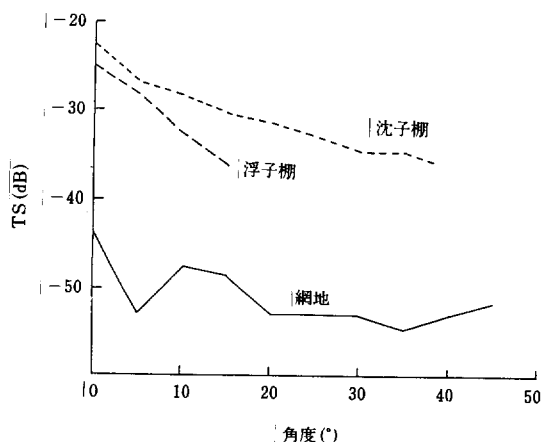


図6 流し網部材の反射指向性

定置網で漁獲したサケをクール宅急便（5℃）で1両日中に入手した標本でも鰾のガスは殆ど無かった。サケ・マスは有管鰾魚であるため、漁獲や運搬の過程で魚自身の生理反応や外力により鰾内部のガスが減少していくと考えられる。流し網で漁獲した直後のサケ・マスや飼育されて生きているサケ・マスの鰾の形状とガスの放出状況を調べた結果を以下に述べる。

3.1 調査材料・方法

水産庁が用船した調査船第3 歓喜丸（250トン）の平成元年度2次航海（6月5日～28日）に乗船し、N45°、E175°の海域付近で流し網操業を行った時、20～30尾の魚を無作為にサンプリングし、腹を開いて鰾の状況を目視調査した。また、平成2年度のサケマス調査船若竹丸（424トン）に乗船し、7月6日にN56°30'、W179°30'の地点で流し網操業を行った時の揚網直後の鰾状況を調べた。

平成2年1月8日に東京都水産試験場奥多摩分場で飼育しているニジマス（尾叉長41cm、体重860g）をビニール袋（水＋氷＋酸素）に入れて、約3時間かけて実験水槽に搬入した。2-フェノキシエタノールの1万分の1の希釈液でニジマスに麻酔をかけた後、軟レントゲン写真撮影装置（SOFTEX社製EMB）により背方向と体側方向から写真撮影を行い、楕円柱近似でおよその鰾体積を求めた。

バネ秤とメスシリンダーを使ってニジマスの体重と体積を測定した。また、発泡スチロールによりフロートを作り、それにニジマスを吊り下げながらフロートの体積を徐々に減少させ、浮力と体重を水中でバランスさせた。その時のフロート体積が鰾容積にほぼ等しいとして、鰾容積／魚体重と鰾容積／魚体容積を計算した。

表2 鰾の状況調査の結果

揚 網 日	鰾 の 状 況		
	ほぼ完全に ガス 充 満	ガス減少	ガス殆ど 無
1989年6月14日	5	6	9
15日	2	7	22
16日	9	4	12
24日	5	14	1
1990年7月6日	3	6	18

3.2 調査結果・考察

第3 歓喜丸での揚網直後のサケ、マスの鰾状況調査結果を表2に示した。調査した鰾のうち20%はほぼ完全にガスが充満しており、30%にガス減少が見られ、50%に殆んどガスが無かった。前日の夕方投網し翌朝揚網する操業形態では流し網は海中に約12時間存在することになり、魚の羅網から揚網までの時間にばらつきがあると思われる。

身動きの止まった魚を死んでいるものと判定し、生死別の鰾状況を調べた。平成元年6月16日の調査では、生魚4尾の全部と死魚21尾のうち5尾の鰾が完全にガスが充満していた。平成2年7月6日の調査では生魚5尾のうち1尾のみが鰾にガスが完全に充満し、3尾の鰾にはガスが殆んど無かった。また、死魚でも2尾の鰾にガスが完全に充満していた。

鰾内部のガス減少の原因としては、羅網時のショックがストレスとなって生理的影響が生じること、羅網時にもがいたり揚網時に網が引っ張られることにより魚の腹部に圧力が加えられること、死亡時に気管括約筋がゆるんで空気が放出し易いことなどが考えられる。生魚の鰾にはガスが完全に充満し、死魚の鰾のガスは減少しているとは必ずしも言えなく、羅網魚の鰾のガス容積の時間変化を今後とも詳しく調べていく必要がある。

実験水槽へ搬入直後のニジマスの軟レントゲン写真から、ガスの減少した鰾は最大でも長さ190mm、長軸10mm、短軸6mmの楕円柱と測定され、その容積は約9cm³と計算された。4日間水中に吊るしておいたニジマスの軟レントゲン写真では鰾のガスが完全になく体重は860g、体積は790cm³であり、比重は1.089となった。魚体の平均比重は1.076といわれており⁶⁾、それに比べると今回の測定値はやや大きかった。

搬入直後の鰾容積／魚体重は1.1%であり、一般的な淡水魚の7～9%に比べて極端に小さい⁶⁾。飼育水槽から取り上げ、運搬、麻酔の過程で鰾内部のガスが放出されていったと思われる。鰾にガスが無い時、魚体重とバランスするフロートの体積は54cm³であり、これを鰾容積とみなすと、鰾容積／魚体体重が6.3%、鰾容積／魚体容積が6.8%となり、一般的な淡水魚の値に近い。

ニジマスに麻酔をかけて水槽へ垂直に吊り下げると、16～20分後に6回に分けて口から小さな気泡を出した。このことから頭部を上にして羅網したサケマスも長時間放置すると鰾のガスを放出することが考えられる。

4. サケマスの羅網位置の垂直分布

4.1 調査方法

浮子棚や沈子棚から大きな反射波が発生し、その近辺の羅網魚の存在を音響的に調査することは不可能である。超音波ビームの指向角を 3° または 6° とすると、距離20mでビーム半径が各々0.5m, 1mになる。今回、棚から0.5mと1m以内の範囲を識別不可能として羅網魚の識別不可能尾数とその割合(%)を求めた。前項で述べた第3歓喜丸での調査の際、ブリッジ横で揚網状況を監視し、浮子棚と沈子棚から羅網魚までの距離を目測した。

4.2 調査結果・考察

第3歓喜丸の平成元年度2次航海における調査結果を表3に示した。識別不可能となる魚の割合は、識別不可能範囲を0.5mとすると19%, 同じく1.0mとすると36%であった。識別不可能となる魚は上層(浮子棚)で多く、上層8に対して下層1の割合であった。超音波ビームの

角度を鋭くすると識別不可能尾数が少なくなるが、超音波ビームが流網に当る部分の面積が少なくなるので、調査洩れが多くなる。この問題を解消するには、超音波ビームの指向性を上下に鋭く左右に鈍い変則的なものにするか、超音波ビームのスキャン速度を増加する必要がある。

5. 魚と流し網の識別

5.1 識別方法

送波器と受波器を同じ位置に置いたという条件で、送波器から発射された超音波パルスが反射物まで伝搬していき、その物体から反射されて受波器まで帰ってくる時の受波音圧(P_r)を次式により計算して、2つの物体の識別が可能かどうかを判定する。

$$P_r = P_o - 40 \log r - 2\alpha r + TS \dots\dots\dots (1)$$

但し、 P_o を音源レベル(dB re $1 \mu\text{Pa}$)、 r を送受波器と反射物の間の距離(m)、 α を200kHzの水平方向伝搬吸収減衰係数(50dB/km)とする。 TS は反射物のターゲットストレングス(dB)で反射物の形状により次式で

表3 識別不可能尾数とその割合(%)

揚網日	全 羅 網尾数	識別不可能尾数(%)					
		$R = 0.5$			$R = 1$		
		上 層	下 層	合 計	上 層	下 層	合 計
6 / 14	83	22 (26.5)	4 (4.8)	26 (31.3)	30 (36.1)	6 (7.2)	36 (43.4)
6 / 15	74	13 (17.6)	4 (5.4)	17 (23.0)	27 (36.5)	6 (8.1)	33 (44.6)
6 / 16	70	8 (11.4)	0	8 (11.4)	24 (34.3)	1 (1.4)	25 (35.7)
6 / 24	223	32 (14.4)	1 (0.5)	33 (14.8)	61 (27.4)	7 (3.1)	68 (30.5)
合計	450	75 (16.7)	9 (2.0)	84 (18.7)	142 (31.6)	20 (4.4)	162 (36.0)

R …識別不可能範囲(m)

上層…浮子棚付近

下層…沈子棚付近

割合(%) … (識別不可能尾数/全羅網尾数) × 100

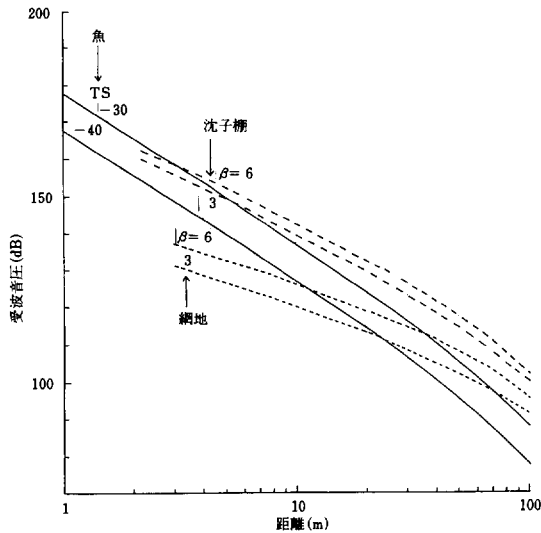


図7 距離による受波音圧の変化

表わされる。

$$TS = 10 \log K (r \tan \beta)^n \quad (2)$$

但し、 K を定数、 β を超音波ビームの半減全角(°)、 n を反射物の形状で決る定数で魚で0、ロープで1、網地で2とする。また、次式で表すこともできる。

$$TS = TS_0 + 10 \log L \quad (3)$$

$$TS = TS_1 + 10 \log S \quad (4)$$

但し、 TS_0 はロープなどの反射物の単位長当りの TS 、 L は超音波ビーム内に含まれる反射物の長さ(m)であり、 TS_1 は網などの反射物の単位面積当りの TS 、 S は超音波ビーム内に含まれる反射物の面積(m²)である。

2つの物対の受波音圧(Pr)の差が記録紙やブラウン管上の識別閾値より大きければ、2物体の識別が可能となる。

湿式記録における識別閾値を調べるため、精密小型音響測深機の入力端子へ2 dBステップで増加する信号を加えて記録をとった。サケと網地の識別の可能性に関する計算結果を検証するため、距離を7.5m一定として測深機のボリウム変えてそれらの記録をとった。また、指向角3°の送受波器を新しく試作し、上下方向に約2分の周期でゆっくりスキャンしながら流網に沿って走航し、流し網と表層近くの乱反射物の映像記録を採った。

5.2 実験結果・考察

反射物としては魚(サケ)、沈子棚、網地を対象とした。網地の TS としては $\beta = 6^\circ$ 、 $r = 7.5$ mの時の-43.4

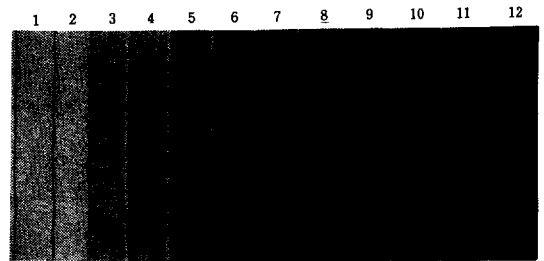


図8 入力による記録濃度変化
2 dBステップの入力変化

dBを、沈子棚の TS として $\beta = 6^\circ$ 、 $r = 21.5$ mの時の-22.5dBを基礎データとして用いた。 $\beta = 3^\circ$ と 6° 、魚の TS を-30と-40dBの2通りにした時の各反射物の受波音圧を計算し図7に示した。

2 dBステップで入力信号を増加させた時の乾式記録紙の記録を図8に示した。乾式記録紙は保存性に優れるが、湿式に比べ発色濃度が変化する入力範囲(ダイナミックレンジ)は12dBで狭い。図で2と5、3と6、及び4と7の間には入力信号で6 dBの差があるが、記録上明らかに濃さが違い両者の識別が可能である。同じ6 dBの差でも1と4及び6と9では、色の変化が少なく識別しにくくなっている。網地と魚を識別するには感度を適当に調整し、網地の記録濃度を2~4のレベルにする必要がある。魚からの反射波は大きく変動するので、安定した識別を行うには余裕のある識別閾値として10dBが必要と考えた。

図7において魚からの受波音圧が流し網部材のそれより10dB大きくなる距離(識別可能距離 R)を求めて表4に示した。即ち R より近い距離で網の中の魚を識別できることを意味する。魚の TS を-40dBとした時の網地に対する R は $\beta = 3^\circ$ で7.0m、 $\beta = 6^\circ$ で3.5mとなったが、その距離における超音波ビームの直径は37cmであり、サケの魚体と比較してあまり小さくなく、超音波ビームから魚体の一部がはみでる事もあり得る。魚の TS を-20dBとすると、沈子棚に対する R は $\beta = 3^\circ$ で5.0m、 $\beta = 6^\circ$ で2.9mとなるが、魚の TS が-30~-40dB

表4 網地に対する魚の識別可能距離 R (m)

超音波ビーム 角度 β (°)	魚のターゲット ストレングス (dB)	
	-30	-40
3	22	7.0
6	11	3.5

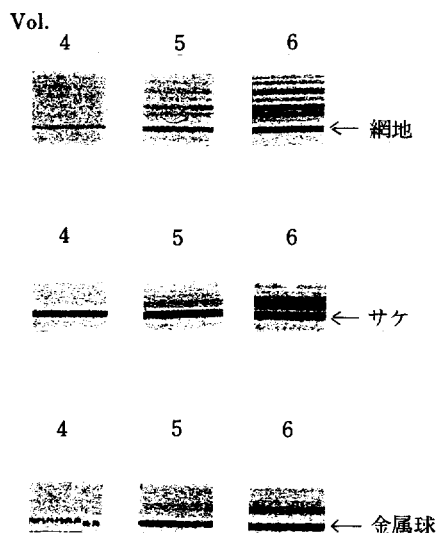


図9 感度による記録濃度の変化
距離7.5m

の範囲では沈子棚の付近の魚を識別できない。

洋上で流し網に並行して船を航走させながら羅網状況を調査する場合、網成り、風、海流などの影響を考えると安全距離として最小20mは必要である。従って魚のTSを-30dBとすると、Rを20m位に設定するには β を

3°とする必要があり、送受波器の面積を大きくして指向角を鋭くしなければならない。

指向角が小さい時流し網の調査洩れを少なくするには、送受波器の上下方向のスキャンニング速度を早くするか船の航走速度を遅くしなければならない。船のコントロールという点からは速度を精々1~2ノット位にしか落せない。

スキャンニング速度を早くするには機械的構造からの制約があり、またスキャンニング速度が早いと超音波パルスの往復伝搬時間の間に受波器の方向が変化して受波感度が減少するので送波をシャープに受波をブロードにするなどの工夫が必要となる。スキャンニングされた超音波ビームが魚に当たるのは1回である。記録紙上でその存在を確認し易くするためには特殊な信号処理が必要となる。いずれにしろ網までの距離、発振回数、送受波器の指向角、スキャンニング速度と角度、航走速度などを総合的に判断して流し網上の調査洩れを少なくしなければならない。

水槽で7.5mの距離に網地、金属球、サケを吊り上げた時の精密小型音響測深機の記録を図9に示した。網地は超音波ビームが直角に入射する方向に吊るし、サケは反射波の大きい0°方向に垂直に吊るした。図7からサケのTSを-30dBとすると、サケと網地からの受波音圧

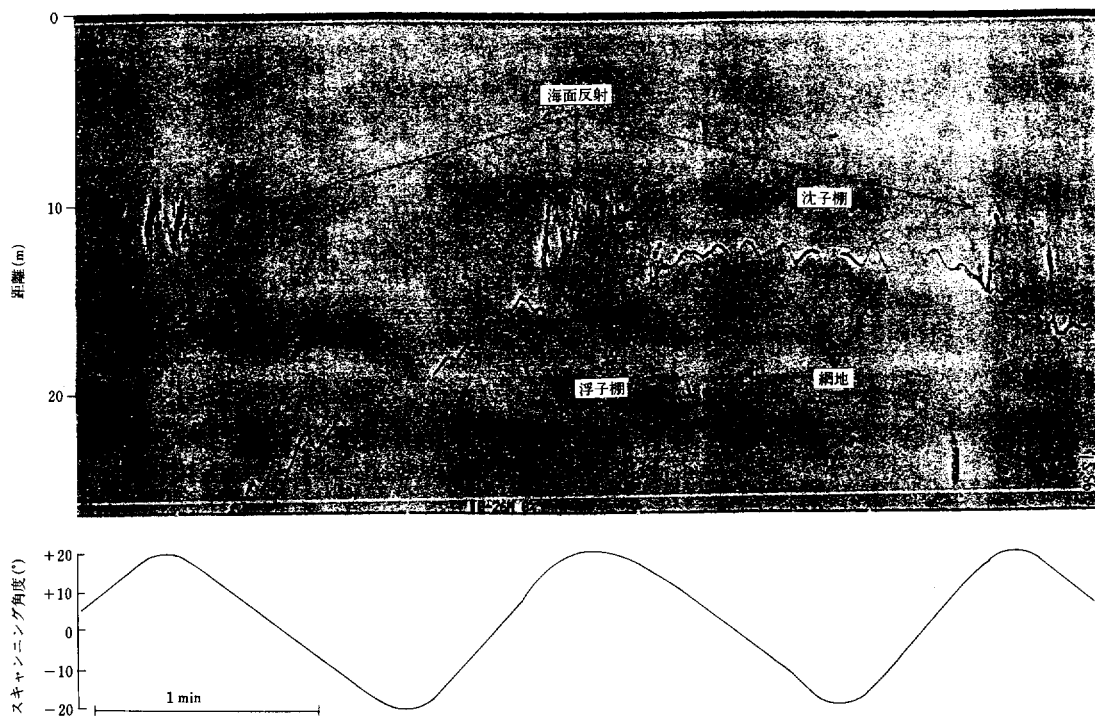


図10 送受波器を上下にスキャンニングした時の流し網記録

の差は13dBと予想される。ポリウム4では網地は細く薄い線として、またサケは太く濃い線として記録され、両者の識別は充分可能である。

穏やかな（ビューフォート風力階級1）洋上で流し網に平行して1～2ノットで航走しながら、水深4mで送受波器を上下方向に+20°から-20°まで約2分の周期でゆっくりスキャンした時の精密小型音響測深機の記録を図10に示した。

網成りが直線でないため、流し網の記録は12～25mで大きく変化している。送受波器のスキャン角度が大きいので+20°と-20°近辺で網の記録が消えている。網の記録が消える直前のやや濃い記録は沈子棚と浮子棚であるが、棚の形状が複雑に変化しているため図7から予想した程網地と棚の反射波の差が大きい。

+20°近辺のスキャン角度で常に海面の気泡や波からの反射記録があり、その中心距離は11mで3.6～4.6mの幅を持っていて、その記録の凹凸に7～8秒の周期性が見られる。

水深4mの送波器が上向き20°で超音波パルスを発車する時海面に当る地点は送波器から12mの距離であり、穏やかな海面でもこの地点付近から不要反射波を生じていることが分る。風力が大きくなると海面の不要反射範囲が広がり、船自体のローリングも加わり浮子棚付近の魚が増々識別しにくくなる。

6. 結言

漂流網とそこに羅網した魚（サケ、マス）を音響的手段により調査するための機器開発に関する基礎実験を行い、その可能性を検討した。

漂流網の存在は40～50m離れても超音波パルスの反射波から充分認知でき、漂流網の形状変化を観察できる。

夕方投網し翌朝揚網する流し網では、揚網直後のサケマスの鰾の20%にはガスが完全に充満し、30%にはガスの減少が見られ、残りの50%には殆んどガスが無かった。漂流網によりゴーストフィッシングされた魚は日が経つにつれて鰾のガスが減少し、ガスが殆んど無い魚の割合が増加すると考えられる。

鰾のガスがない体長70cmクラスのサケを垂直に吊り下げた時、全方平均TSは-30dBであり、反射物に直角に超音波が当たった場合の単位面積当りの網地のTSは-40dB、単位長当りの沈子棚のTSは-26dBであった。

網地と魚の識別に関しては、超音波ムービーの角度を3°、魚の平均TSを-30dBと仮定すると、22m以内の範囲で両者の識別が可能である。20m位の識別距離であれば、網に平行に走航しながら送受波器を上下方向にスキャンする調査を安全に行える。しかし、浮子棚や沈子棚からの強い反射波と海面付近の乱反射により実際の洋上では識別不可能な魚の割合が30%以上となり、羅網魚を正確に計数し漂流網の漁獲能力の時間的変化などを調べることは困難であることが分かった。

超音波パルスによる流し網と羅網魚の分離識別は、イルカが魚を食べに接近する時の羅網の危険性と共通した問題であり、イルカの混獲問題を考える上で参考になる。

残された問題点としては、サケマスの鰾のガスの有無によるTSの変化、鰾のガスの減少過程、海面付近の乱反射と海況の関係、網地の反射指向性などについてさらに詳しく調べる必要がある。

漂流網に羅る魚体の計数と魚種確認については、無人ボートから水深4mに水中TVカメラを固定し、ボートと網の距離を4m位に保持しながらカメラを上下方向にスキャンする方法も有効と考えられる。

参考文献

- 1) 山中寛介ほか：フルノFQ-70による現場でのTS測定、水産音響シンポジウム講演論文集、PP. 24-26, 1988
- 2) 古澤昌彦ほか：音響資源調査方法の高度化研究、水産音響シンポジウム講演論文集、PP. 55-53, 1988
- 3) 間庭受信：mm波超音波を応用した水中測器の開発に関する研究、水産庁漁船研究室研究報告、4号、PP. 29-57, 1962
- 4) 畠山良己ほか：サケ・マス流し網の素材の超音波反射指向性の測定、昭和59年度漁業公害（イルカ被害）対策調査依頼事業報告書、日本大学農獣医学部、PP. 59-67, 1985
- 5) 畠山良己、石井憲、武富一：ベーリング海におけるイシイルカのサケ・マス流網への羅網の防止に関する音響的研究（第1報）、水産工学研究所研究報告、6号、PP. 280-283, 1985
- 6) 尾崎久雄：鰾の生理、PP. 123-143、緑書房（東京）、1974

Ultrasonic Reflection from a Drift-Net and Entangled Fish

By

Yoshimi HATAKEYAMA and Tomonari AKAMATSU

Summary

An acoustic device which can discriminate between a salmon gillnet and entangled fish, would be useful for observing the net shape and counting fish. In order to examine the possibility of developing such device, we studied the gas volume in the swim bladder, the vertical distribution of the entangled fish, the target strength (*TS*) of the net and fish, and the acoustic discrimination range between the net and fish.

Under condition that a beam angle is 3° and an average *TS* of fish is -30dB , the discrimination range was estimated to be 22m. However, the precise counting of the entangled fish was found to be difficult because many fish got entangled in the vicinity of the float-line and the strong sound waves were reflected from the rough sea surface.