

7種の水中音に対する養殖クロマグロの反応行動

誌名	水産工学研究所技報. 漁業生産
ISSN	02895153
巻/号	6
掲載ページ	p. 1-8
発行年月	1995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



7種の水中音に対する養殖クロマグロの反応行動

赤松友成*・畠山良己**

Attracted and Dispersed Behavior of Tuna by Seven Underwater Sounds

Tomonari AKAMATSU and Yoshimi HATAKEYAMA

Abstract : We observed the behavior of tuna (*Thunnus thynnus orientalis*) in response to a variety of underwater sounds such as feeding sounds of tuna, engine noise of a small boat, call of a killer whale (*Orcinus orca*), calls of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and Risso's dolphins (*Grampus griseus*), pure tone signals of 300Hz and 500Hz and sound of iron drum. The tuna were kept in a net enclosure. A scanning sonar was used to observe the behavior of tuna school. The tuna were attracted to the surface by the feeding sounds and the engine noise of which sound pressure level was above 120 dB re 1 μ Pa. Other sounds dispersed the tuna school. Calls of odontocetes were effective at 10 dB sound pressure level lower than pure tone signals.

Key words : Tuna, Acoustic, *Thunnus thynnus orientalis*, Underwater sound, Behavior

1. 緒言

現在わが国は多くのマグロ類を漁獲しているが、長期的には漁獲量は減少している¹⁾。一方、幼魚捕獲後のクロマグロ (*Thunnus thynnus orientalis*) の養殖技術はすでに実用段階にあり、今後は養殖魚が増えると期待される。マグロのような価格の高い養殖魚の安定的な供給のためには、きめ細かな生産調整が必要である。養殖クロマグロは釣りで水揚げされる。釣りに先だってイワシをまき水面近くにマグロを浮上させ、大型の釣り針で1匹づつ釣り上げる。このとき生け簀内の個体密度が低下してくると釣獲効率が下がる。また、餌食いが悪いときはマグロが浮上せず、所期の匹数を得るのに時間がかか

る。

餌以外の刺激を用いて魚群行動を制御する試みは、音響馴致を用いたマダイの養殖などですでに行われている²⁾。ここで使われている音波は、200 Hz または 300 Hz を主な周波数成分とする人工的なものである。稚魚の時から餌と音を組み合わせた馴致を行い、給餌効率と再捕率を増加させている。音はこの場合、集魚効果をもつ。他にも、音波などの刺激を利用した漁業は追い込み網漁などにみられる³⁾。これらの漁業では、魚を追い立てるために海面をたたいたり、漁船で追いかけたり、投石など行って魚群の行動を制御している。またイルカが見えると魚がいなくなることも経験的に知られている。イルカの鳴音や姿が魚群を追い払う効果があると思われる

いる。このような伝統的な漁法で使用されている刺激は、音波のように聴覚に対するもの他に視覚刺激も考えられ、どの要素が有効なのかははっきりしない。また音波の周波数成分や音圧、時間的なスペクトラムの変化のうちどれが行動制御に有効であるのかも明かではない。刺激音は威嚇効果を持つものが多く、音響馴致の集魚とは異なる。

養殖マグロの釣獲効率の改善のため、釣り船付近への集魚効果のある音か、あるいは生け簀の底で回遊している魚を威嚇、拡散させる音を魚群の行動制御に利用することが考えられる。本研究では、スペクトラムが既知の7種類の音を音圧を変えてマグロの養殖生け簀で放音し、反応行動を観察した。過去の各種音波に対する魚類の反応行動の実験⁹⁾によれば、音響馴致を行っていない養殖魚において集魚効果の期待できる音は、餌船のエンジン音と給餌中の水中音が考えられる。この音は餌と結びついており結果的に馴致を行った状態になっているだろう。また、生得的に威嚇効果があると思われる音に、シャチ (*Orcinus orca*) の鳴音と、やはり同じハクジラであるハナゴンドウ (*Grampus grieus*) とバンドウイルカ (*Tursiops truncatus*) の鳴音がある。他に、人工的で供試マグロが経験したことのない単一の周波数成分の音2種のほか、伝統漁法で使用されているものと似た金属の打撃音を使用した。

2. 方法

平均体重約 35 kg のクロマグロが飼育されている生け簀 A (図 1) と平均体重 7 kg の比較的小型のマグロが飼育されている、ほぼ同じ大きさの生け簀 B を使用した。生け簀にはそれぞれ数百匹のマグロが蓄養されている。マグロの採餌に伴う音 (以下、採餌音) と餌船のエンジン音 (以下、エンジン音) での実験を生け簀 A で 1992 年 12 月に行い、シャチ鳴音、イルカ鳴音、打撃音、単一の周波数成分の音 (300 Hz, 500 Hz) は 1993 年 2 月に生け簀 B で行った。

マグロの採餌中の水中音は生け簀 A 内で収録した (図 2)。1/3 オクターブバンド音圧レベルで表示すると、この音は 125 Hz と 800 Hz 付近にエネルギーのピークを持っており、まかれた餌が水面に落下する音とマグロの捕食時に発生する水中音と思われる。縦軸の強度は相対値で、横軸は 1/3 オクターブバンドの中心周波数である。他に 1 kHz 付近に主なエネルギーを持つキューという音も含まれているが音源は特定できなかった。採餌中の水中音を録音したテープで S/N の良い部分を切断し、周期 31 秒のエンドレステープを作成して、これを繰

り返し再生し、DAT (Digital Audio Tape recorder) に収録した。この 31 秒の繰り返し周期の音を 5 分間水中に放音した後、10 分間の無音の時間を設けた。これは、マグロの音に対する慣れを緩和するためである。以下に示す 6 種の音も同様に一定の繰り返し周期で DAT に録音し、5 分間の放音の後、10 分間の時間をおいている。放音システムは図 3 に示したように、DAT の出力を抵抗減衰器で調整し、アンプで電力増幅した後、水中スピーカーで放音した。採餌音の生け簀の中央での音圧は 94~132 dB re 1 μ Pa の範囲でランダムに変えた。以下に示す音圧はすべて生け簀中央で測定または換算した音圧である。放音船と生け簀 A の位置関係は図 1 中に示した。

エンジン音は、生け簀 A から距離約 50 m 離れたところを餌船が通過したときの水中音を生け簀 A 内で収録した (図 4)。この音は 80 Hz 付近に船外機のプロペラの回転によると思われるエネルギーのピークが見られ、より高い周波数の 315 Hz, 5 kHz 付近に船の滑走に伴う泡や波に由来すると思われるピークがみられる。この音は 23 秒の繰り返し周期で DAT に録音した。

シャチ鳴音は、バンクーバーでウッツホール海洋研究所の研究者が録音したもののうちの 16 秒間に 2 秒間の無音部分を加えて、繰り返し周期 18 秒で DAT に収録した。シャチ鳴音の周波数成分を図 5 に示す。鳴音は前

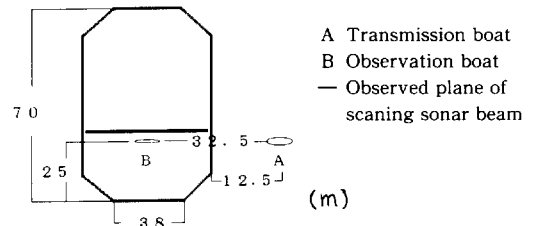


図 1 放音装置と観察船の位置

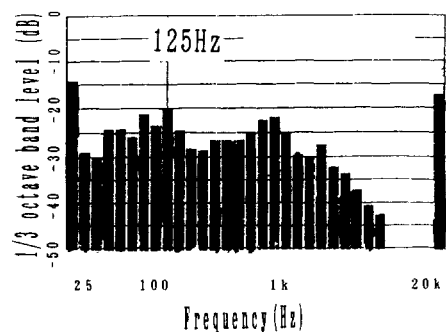
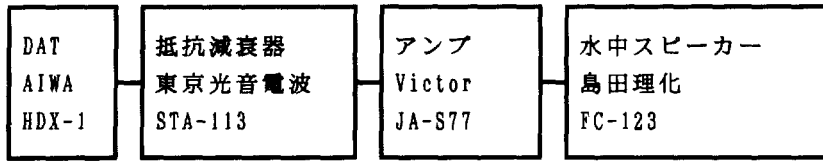
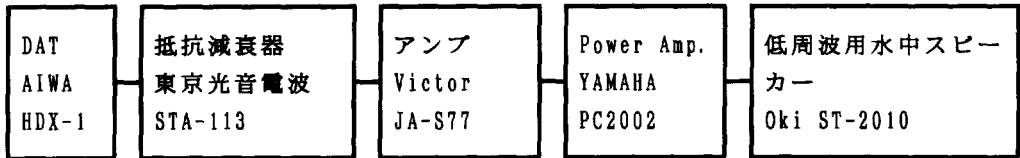


図 2 給餌中の水中音のスペクトル



給餌音、エンジン音、シャチ鳴音、イルカ鳴音の放音システム



300 Hz音、500 Hz音の放音システム

図3 放音システム

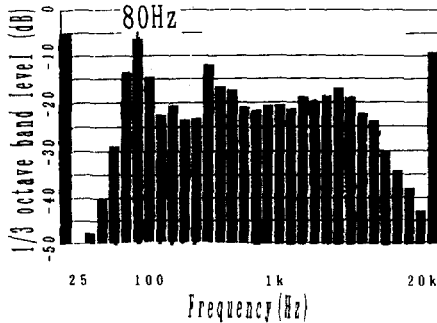


図4 エンジン音のスペクトル

半部13秒と後半部3秒に分かれ、ともに2 kHz以上の周波数成分が大きい。ハナゴンドウの鳴音は三浦半島の小網代湾で収録したものを31秒、バンドウイルカの鳴音は鴨川シーワールドの水槽で3頭が競争しながら採餌したときのものを6秒をそれぞれ使用した(図6)。これに7秒の無音部分を加えて繰り返し周期44秒でDATに収録した。この音は以後、イルカ鳴音と呼ぶ。音圧は110~133 dBの範囲でランダムに変えた。

人工的に300 Hzの音を5秒間発生させ、これに5秒間の無音部分を加えて繰り返し周期10秒のテープを作成した。同じ方法で500 Hzのテープも作成した。人工音は音圧の範囲を122~148 dBに設定した。このシステム(図3)は2段の電力増幅を行い、沖電気製の水中スピーカー ST-2010 を使用している。また、打撃音は海上電機製の低周波音発生装置(ビックラ)を使用した。この装置は、電磁石で駆動されたピストンが円盤状の鉄板をたたくもので、打撃の周期は0.5秒である。打撃音のスペ

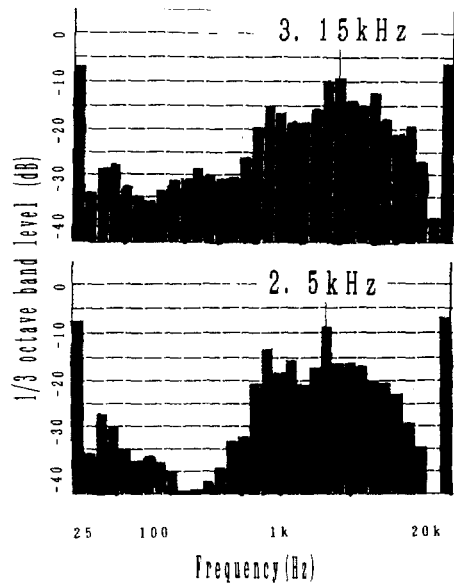


図5 シャチの鳴音。上ははじめの13秒間、下は残り3秒間のスペクトルである

クトルは1 kHz付近にピークがあり、パルス幅が短いため広い帯域幅を持っている(図7)。音圧は生け簀の中央で194 dBと他の音に比べて大きい。イルカ鳴音、人工音も音圧をランダムに変えながら放音した。

マグロの反応行動は生け簀内の船よりカラースキャニングソナー(Furuno CH-36)の断面モードで観察した。送信周波数は162 kHzで送受信ともビーム幅は水平方向が12° 垂直方向が9° である。垂直断面でのビームの旋

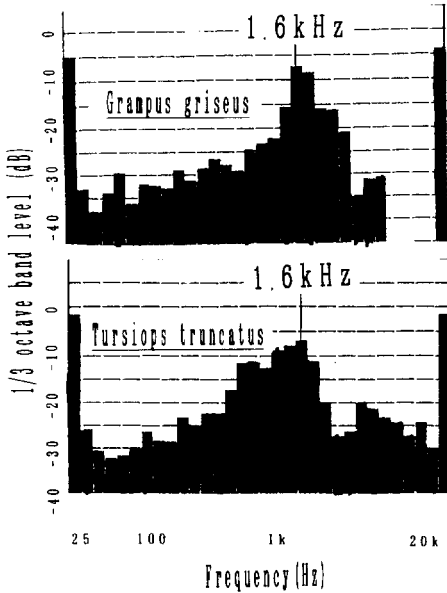


図6 バンドウイルカとハナゴンドウの鳴音

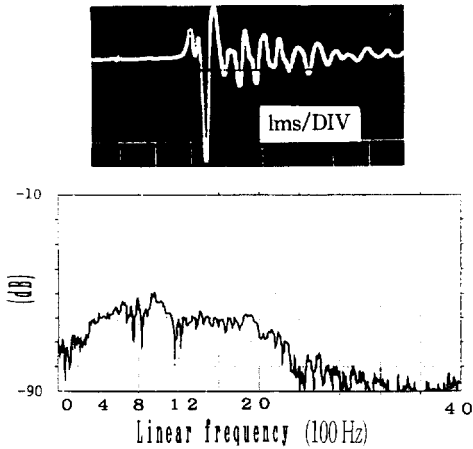


図7 ビックラの波形とスペクトル

回角度は6°ステップで変化し、180°度を4.8秒で走査する。観察した断面の方向を図1に示した。生け簀網に沿って回遊している魚群は、この断面を通過したときにスキャニングソナーに表示される(写真1)。

3. 結果

通常、生け簀のマグロは網沿いに左回りの円を描いて泳いでいるものが多かった。網から離れた生け簀の中央部には一部の魚群があらわれることがあった(写真1)。中層の魚群密度がやや多く、表層と下層の魚群密度は群

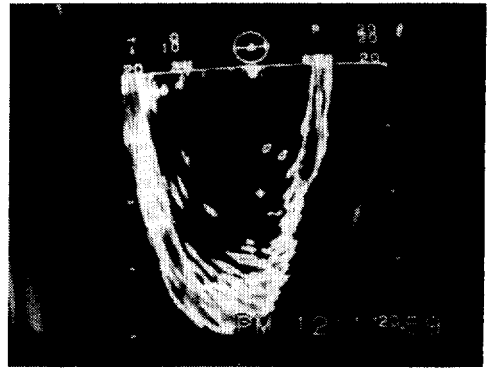


写真1 スキャニングソナーでとらえた魚群

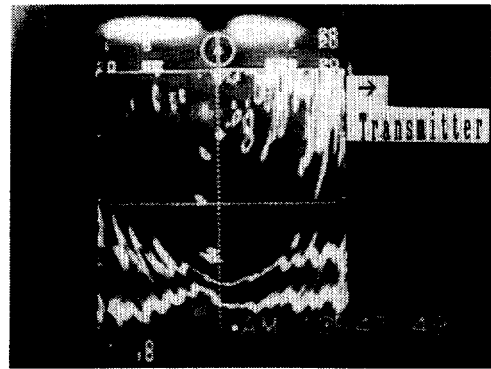


写真2 給餌中の放音により、マグロの魚群が音源方向に集まる

れ数が0~3であることが多い。

採餌音、エンジン音などの給餌にともなう音で実験を行った生け簀Aでは、放音直後に生け簀の底で回遊していたマグロが表層に浮いてくる様子が観察された(写真2)。このときの反応行動を次のように分類した。「放音直後に、生け簀の底のマグロが水面近くに上がってくるか、生け簀全体に広がる行動が見られたとき」を反応あり(●)、「放音前後でマグロの行動に変化がみられないとき」を反応なし(×)。また、生け簀の中央部に魚群が広がっただけのものをやや反応あり(▲)とした。分類された反応行動を表1に示す。また、音圧を縦軸にとり反応行動をプロットしたものを図8に示す。採時音、エンジン音とも120 dB以上の音にたいして反応行動が見られた。

生け簀Aの実験で反応ありの場合、放音開始時点から通常の網沿いを回遊する行動に戻るまでの時間を図9に示した。この図は放音中にも関わらず1~2分後に魚群は放音前の状態に戻ることを示している。

表1 給餌中とエンジン音に対する反対行動

Sound	Pmax	Reaction
Feeding	132	●
Feeding	124	●
Feeding	122	●
Feeding	112	●
Feeding	114	×
Feeding	104	●
Feeding	102	×
Feeding	94	×
Engine noise	133	▲
Engine noise	123	▲
Engine noise	113	×
Engine noise	103	×

Pmax は生け簀内での最大音圧。反応行動●は放音直後に魚群が表層へ浮上した場合、▲は魚群が生け簀中央部に拡散した場合、×は行動に変化が見られなかった場合を表す。

給餌音

No reaction	Sound level (dB)	Some reaction
	130	●
	120	●●
×	110	●●●
×	100	●
×	90	

エンジン音

No reaction	Sound level (dB)	Some reaction
	130	▲
	120	▲
×	110	
×	100	
	90	

図8 給餌中とエンジン音に対する反応音圧

生け簀Bで行った、シャチ鳴音、イルカ鳴音、300 Hz、500 Hz、打撃音の実験では、表層の魚群密度が減り、魚群が生け簀中央部に散らばる傾向が見られた(写真3)。給餌ともなう音を放音した生け簀Aのように、表層に浮いてくる行動は見られなかった。また、魚群の移動、分散も局部的なものが多かった。そこで放音前後での魚群密度変化を水深ごとに分析し、通常の行動と比較して、反応行動の判定を行った。

生け簀を水深0~5 m, 5~10 m, 10~15 m, 15~20 mの4つの層に分け、浅い方から表層, 中上層, 中下層, 下層と呼ぶことにする。各層の魚群密度をスキャニングソナーで観察し、その数をD0~D4の5段階で表した。D0は魚群がその層に見えないことをあらわし、D1はスキャニングソナーでひとかたまりとなって見える魚群の数が1~3, D2は魚群の数が4~10, D3は魚群の数が10以上, D4はその深度領域におけるスキャニングソナーの画面が魚群で埋め尽くされていることをあらわ

*←船が通過

*←船が通過

* ** *

給餌→*

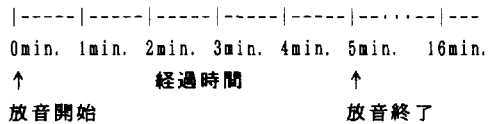


図9 放音開始からマグロが通常行動に戻るまでの時間



写真3 シャチの鳴音で生け簀内に拡散するマグロ

す。データのサンプリングは1分に1回、合計11時間行った。中上層の魚群密度の変化を図10に示す。密度状態はD1とD2の間での遷移が多く、D3あるいはD0への変化はまれであることがわかる。すべての密度変化の組み合わせについて、各層ごとにその出現確率を求めたものが表2である。ビデオテープの交換などのため、密度を計測できなかった時間があり、一部の密度状態変化が不明であったため、これをNAで表した。表層では、D0→D0の密度変化がない場合が38.7%でもっとも大きな割合を占め、ついでD1→D1が16.3%、密度が上がるD1→D2が12.2%、逆のD2→D1が12.4%

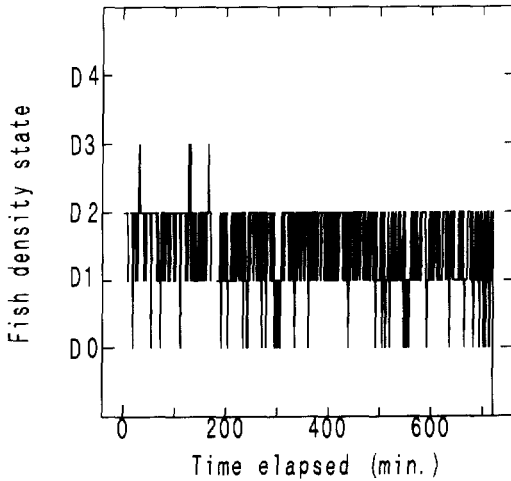


図10 水深0~5mの魚群密度

表2 各水深での魚群密度遷移確率

		Initial fish density					
		D0	D1	D2	D3	D4	NA
Depth 0-5 m	D0	38.7	12.4	1.0	0.0	0.0	0.4
	D1	12.2	16.3	3.8	0.0	0.0	0.0
	D2	1.0	3.3	7.5	0.3	0.0	0.3
	D3	0.0	0.0	0.1	0.7	0.0	0.1
	D4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NA	0.6	0.1	0.1	0.0	0.0	1.1	
Depth 5-10 m	D0	0.4	2.4	1.5	0.0	0.0	0.1
	D1	3.1	31.7	16.7	0.0	0.0	0.3
	D2	1.0	17.0	23.1	0.1	0.0	0.4
	D3	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
	D4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NA	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	1.1	
Depth 10-15 m	D0	0.7	3.5	1.3	0.0	0.0	0.0
	D1	3.2	17.9	17.2	0.1	0.0	0.4
	D2	1.5	17.1	33.4	0.4	0.0	0.4
	D3	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0
	D4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NA	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	1.1	
Depth 15-20 m	D0	3.6	4.7	2.5	0.1	0.0	0.0
	D1	5.0	12.9	7.6	0.6	0.0	0.1
	D2	2.1	7.9	17.1	6.3	0.1	0.1
	D3	0.3	0.6	6.0	15.6	1.5	0.6
	D4	0.0	0.0	0.1	1.5	1.0	0.0
NA	0.0	0.1	0.1	0.6	0.0	1.1	

である。密度変化の80%近くがこの4つの組み合わせである。表3に放音前後の密度変化を示したが、この変化の確率が5%未満のものに*, 1%未満のものに**をつ

シャチ鳴音

No reaction	Sound level (dB)	Some reaction
×	130	○○△△
	120	
××××	110	△
××	100	△
	90	

イルカ鳴音

No reaction	Sound level (dB)	Some reaction
×	130	△△
	120	
×	110	○△
×××	100	
	90	

300Hz

No reaction	Sound level (dB)	Some reaction
×××	140	○
×	130	△△
××	120	○

500Hz

No reaction	Sound level (dB)	Some reaction
	140	○△
××	130	△
×	120	△

ピックラ

No reaction	Sound level (dB)	Some reaction
×	180	△

図11 シャチ鳴音, イルカ鳴音, 300 Hz, 500 Hz, ピックラに対する反応音圧

けた。反応行動の判定基準は*が0個で反応なし(×), *が1個でやや反応あり(△), *が2個以上(確率1%未満の**も2個と数えることにする)で反応あり(○)とした。また, 反応行動判定結果を音圧を縦軸にとって図11に示した。

4. 結言

表層回遊魚は飼育が難しく, その聴覚特性はあまり調べられていない。体長50cmのキハダマグロの聴覚は300~600Hz付近で感度がよく, その域値は90dBである⁵⁾。クロマグロの聴覚特性は測られていないが, 本実験では108dBで反応が見られたケースがあり, 放音された音圧はクロマグロにも聴こえるものであったと考えられる。シャチおよびイルカ鳴音を除く5種の音の周波数成分も多くのエネルギーが魚類の聴覚感度⁶⁾のよい1kHz以下の領域に集中している。

給餌に伴う音の集魚効果は顕著であった。放音直後から魚群が音源方向に近い表層に浮き, 生け簀網に沿って回遊する通常の遊泳行動とは容易に区別できた。エンジン音は採餌音とはまったく違うスペクトルを持っているが, やはり集魚効果があった。また, 餌船以外の船が生

表3 シャチ鳴音, イルカ鳴音, 300 Hz, 500 Hz, ビックラに対する魚群密度の変化と反応行動。

Sound	Pmax	Density transition				Reaction
		0-5 m	5-10	10-15	15-20	
Orca	138	1→0	1→3**	2→3**	3→2	○
Orca	138	1→0	1→2	2→2	4→4*	△
Orca	138	0→0	2→1	2→3**	3→3	○
Orca	131	0→0	2→1	2→1	1→1	×
Orca	131	2→0*	2→2	2→2	2→2	△
Orca	118	1→0	2→2	2→2	4→3*	△
Orca	118	0→0	2→2	1→2	2→2	×
Orca	118	0→1	2→2	2→2	2→3	×
Orca	118	0→0	1→1	2→2	3→3	×
Orca	113	1→0	1→1	1→1	1→2	×
Orca	108	0→1	2→2	2→1	4→3*	△
Orca	108	0→0	1→1	2→1	3→3	×
Orca	108	1→1	2→2	1→2	3→3	×
Dolphin	138	1→1	1→0*	1→2	1→1	△
Dolphin	138	1→0	1→2	1→1	2→2	×
Dolphin	138	0→0	1→1	0→2*	3→3	△
Dolphin	118	0→0	1→1	2→1	2→2	×
Dolphin	118	0→0	1→1	1→0*	2→1	△
Dolphin	118	1→1	2→1	2→0*	3→1**	○
Dolphin	108	0→1	1→1	2→2	3→2	×
Dolphin	108	0→0	1→1	2→2	1→1	×
Dolphin	108	0→0	1→1	1→2	1→2	×
300 Hz	146	1→1	2→1	2→2	2→2	×
300 Hz	146	0→0	1→1	1→0*	2→0*	○
300 Hz	146	1→1	1→2	2→2	2→2	×
300 Hz	140	1→0	1→2	2→2	2→2	×
300 Hz	136	0→0	1→1	1→1	2→0*	△
300 Hz	136	0→1	1→1	2→1	2→2	×
300 Hz	130	1→0	2→0*	1→2	2→2	△
300 Hz	126	0→0	0→1*	1→2	0→2*	○
300 Hz	124	1→0	1→1	2→2	2→2	×
300 Hz	120	0→0	1→1	2→1	2→2	×
500 Hz	143	0→0	2→0*	2→2	0→2*	○
500 Hz	143	0→0	1→0*	2→1	1→2	△
500 Hz	137	2→1*	2→2	2→2	1→2	△
500 Hz	133	1→0	2→2	2→2	1→2	×
500 Hz	133	2→2	2→2	2→2	2→1	×
500 Hz	123	1→0	1→1	1→2	1→0*	△
500 Hz	123	1→0	2→1	1→2	1→1	×
Bikkura	188	1→1	2→2	1→2	0→2*	△
Bikkura	188	0→1	2→1	2→1	2→1	×

魚群密度遷移確率が5%以下の時*, 1%以下の時**をつけてある。反応行動○は*が2個以上, △は*が1つ, ×は遷移確率がすべての水深で5%以上のものを表している。

け簀近くを通った時もマグロの浮上がみられた。マグロは幼魚から養殖されているため, これらの給餌にともなう音は, 餌とむすびつけて条件付けされていると考えら

れる。一方, 音響馴致で集魚によく使われている単一周波数成分の音は, 逆に魚群を拡散させる効果があった。このことから, 集魚を行うためには馴致が重要であるこ

とがわかる。ただ、魚に方向定位⁷⁾をさせるためには純音は不向きであろう。300 Hz の音の場合、波長が 5 m となり魚体長よりかなり大きくなる、微妙な位相差を聞き分けて音源方向を定位するためには 2 種以上の周波数成分を含んだ音の方が都合がよい。多くの成分を持つ採餌音、エンジン音では、魚は表層の音源に近い側に集まってきた。

スキヤニングソナーは生け簀のある断面しか見ていない。ソナーのビーム幅は 10° 前後であり、とらえられた魚群は次のスキヤンではビームの外に出ている。だが、生け簀内のマグロは通常、生け簀網に沿って円運動をしており、狭い領域に固まって存在することはない。そのため魚群密度は概ね一定である。このことは、表 2 の D1→D1 や D2→D2 などの魚群密度遷移確率に変化がないものの合計が 50% 以上を占めていることからわかる。また、最大確率を与える密度状態から、隣接する密度状態への遷移確率が大きく、魚群密度の観測値の揺らぎが小さいこともわかる。魚群密度に通常には余り見られない変化があらわれるということは、このような定常的な円運動がくずれたことを示している。生け簀中央部へ魚群が拡散すると、網との区別がつきにくかった群れが見え、魚群数が見かけ上増える。また、魚の遊泳方向が変わると、一時的にビーム幅の中に入る魚群数が変動する。表 3 の*はこのような遊泳行動の変化を示していると考えられる。生け簀 B で行った鯨類の鳴音、純音、打撃音による反応行動は複雑である。採餌音やエンジン音のように表層付近に集まるといった行動ではなく、部分的に網から離れ、生け簀中央部に拡散しているように見える。またこのとき、音源に近い表層の密度が減ることが多い。これらの音は集魚ではなく威嚇効果をもっていると推測される。

マダイは側線による水中音の感度の良い 200 Hz の音に対し、140 dB で放音の試行の 30% が威嚇反応を示す⁸⁾。クロマグロは 500 Hz の信号に対し 140 dB 台で威嚇反応を示し、それ以下の音圧では威嚇反応の有無に顕著な差は見られなかった。この周波数はキハダマグロのもっとも聴覚感度の良い領域に一致する。一方、300 Hz の音に対しては 140 dB でも威嚇反応の有無に差はみられない。キハダマグロの聴覚特性は 300 Hz で約 5 dB、最大感度より悪くなっている。鯨類の鳴音のスペクトルは 1 kHz 以上の高い周波数に多くのエネルギーを持っているため、マグロの聴覚感度の良い領域での実効値はさらに小さくなると予想されたが、500 Hz にくらべ 10 dB 低い、130 dB 台で多くの威嚇反応が見られた。打撃音の威嚇効果は不明であった。高い周波数領域では音波

のエネルギー密度が威嚇反応に寄与してくるため⁹⁾、パルス幅の短い打撃音は不利である。またスペクトルは幅が広く、4~10 kHz のかなり高い周波数領域に多くのエネルギーが分布している。

長期飼育されている養殖マグロは、給餌にともなう音により餌が存在することを条件づけられている。従って、特別な馴致を行っていない魚群でも、このような音を表層付近への集魚の補助手段として利用することが考えられる。音源音圧や音源の位置の制御により、広い生け簀の一部に魚群を誘致する効果が期待できる。その際、音のスペクトルはマグロの聴覚感度が良いと考えられる 500 Hz 付近のものが有効であると考えられる。また、強化刺激として餌もまく必要があるだろう。一方、まったく馴致を行っていない音に対してもマグロの魚群は拡散する傾向にあるが、反応行動が局部的で大きな音圧を必要とする。魚類にたいして威嚇効果があると思われる鯨類の鳴音は、500 Hz の人工的な音より 10 dB 低いレベルで魚群を拡散させる効果があった。

謝辞

本実験を行うにあたりご協力を賜りました、(株)ニューニッポの仁科俊彦氏、及川清次郎氏、林田仁志氏、澤伸介氏、泰東製綱(株)沼口隆之氏、桐山智氏にお礼申し上げます。行動観察システムの運用においては古野電気(株)の浦祐一氏のご協力に感謝します。

参考文献

- 1) 水産庁：平成 4 年度漁業の動向に関する報告書，東京，pp. 24, 1992
- 2) (株)マリノフォーラム 21：マリノフォーラム 21 研究会報告 昭和 63 年度，1988
- 3) 金田禎之：漁具漁法図説，成山堂，東京，pp. 265-270, 1977
- 4) 間庭愛信：海中生物の鳴音の例と水中音に対する反応の実験と実用例，海洋科学，167, 285-296, 1984
- 5) Iversen R.T.B.: Response of Yellow tuna (*Thunnus albacares*) to underwater sound, in Marine Bio-Acoustics Vol. 2, (W. N. Tavolga ed) Pergamon Press, pp. 105-121, 1966
- 6) 水産資源保護協会：航空機騒音等が魚類の行動に及ぼす影響に係る資料収集等調査報告書，東京，p. 1-86, 1988
- 7) 島山良己：魚の聴覚能力，水産工学，28, 111-119, 1992