

超音波によるクラゲ探知に関する研究

稲垣 正*・豊川 雅哉*

Studies on Detecting Methods of Jellyfish *Aurelia aurita* by Acoustic Means

Tadashi INAGAKI* and Masaya TOYOKAWA*

Abstract

Studies on the detecting method of jellyfish *Aurelia aurita* by acoustic means were performed in Tokyo Bay, Japan.

Scientific echo sounder, FQ-50 was used for this investigation.

In order to confirm the existence of jellyfish, net samplings were carried out simultaneously with the acoustic measurement.

The results of the observation using two frequencies (200 and 50 KHz) showed that a difference in the SV (volume scattering strength, unit dB) between two frequencies is one of the available parameters for jellyfish detecting.

Two standard values for the judgment of jellyfish, i.e., (1) SV difference and (2) SV by 50 KHz, were decided from the observed jellyfish's data.

These values were incorporated into the discrimination program drawn in BASIC.

The acoustic judgment of jellyfish was made successfully based on this discrimination program.

1. はじめに

クラゲは一部の種を除き水産的には利用価値が低い生物である。更に沿岸域では、定置網への入網の被害や工業用海水導入水路への侵入による取水停止を引き起こす生物として有害視されている。

しかし、一方では水質浄化に寄与しているとの報告(柿沼, 1990)もあり、海洋生態系の保持を考えると単に有害生物であると言うことはできない。

従って、被害回避のための駆除方法の検討も必要であるが、それ以前に来遊、侵入を予知する手法の確立が必要であり、これによる事前回避技術の検討も重要なことである。

我が国において上記のような被害をもたらすクラゲとしては、沿岸水域に広く分布するミズクラゲ *Aurelia aurita* がよく知られている。

本種の生態及び生活史に関しては安田(1988)が福井県敦賀半島北端に位置する浦底湾を中心とした研究をまとめている。また、東京湾における本種の分布生態に関しては桑原ほか(1969)による東京湾北東部を中心とした研究がある。

一方、音響によるクラゲ探知に関する研究は我が国においては少ない。斉藤ほか(1990)はミズクラゲ生体単体の超音波散乱強度(Target Strength: TS (dB))を水槽実験において計測している。海洋現場での報告はクラゲの来襲予知として太田(1990)が報告しており、カラー魚群探知機の影像からクラゲを判別している。また、漁業従事者は経験的知識によりクラゲの音響による探知、認識を旧来から行っている。

従って、音響的方法を用いることによりクラゲ類の現場における探知や判別は充分可能であると考えられる。

音響によるクラゲの探知及び判別手法の確立は、生態調査への応用において時空間的な広がりを拡大することとなり、更には漁業及び工業への技術利用に寄与するものと考えられる。

1990年11月13日受理

* 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, Univ. of Tokyo, Minamidai 1-15-1, Nakano-ku, Tokyo 164, Japan.

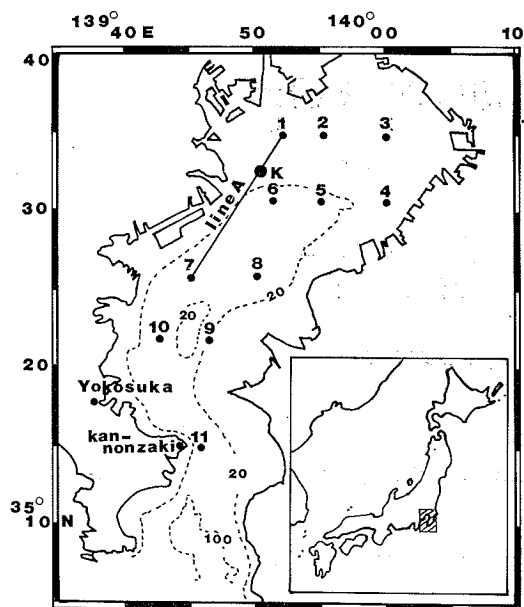


Fig. 1. Observed area of the KT-90-10 Cruise of the Tansai Maru. Dots indicate the station for net samplings. Line A indicates pre-observation line for visual and acoustic means.

これらの背景をもとに、音響によるクラゲの探知・判別手法を考察するため、東京大学海洋研究所・研究船淡青丸により東京湾においてミズクラゲの調査を実施した。

2. 方法

調査は淡青丸 KT-90-10 次航海において1990年7月13日から7月16日の4日間実施した。調査海域は Fig. 1 に示した東京湾奥部から湾口に近い観音崎までの範囲である。

音響による計測は、調査期間中は連続して行った。音響計測機器は計量型魚群探知機 Furuno FQ-50 (以下魚探と記す) を使用した (SASAKURA *et al.*, 1984)。本装置は積分型で 200 KHz 及び 50 KHz の 2 周波数での同時計測が可能である。

計測海域の水深は湾奥部で、10-20 m、湾中央部で 20-60 m 程度 (Fig. 1) であった。従って、魚探の計測深度レンジは前者では 0-20 m、後者では 0-50 m を主な設定とした。

観測中の体積散乱強度 (Volume Scattering Strength, 単位は dB, 以下 SV と記す) の現場モニター用周波数は 200 KHz とし、K 点での水平積分時間は 100 発振平

Table 1. FQ-50 acoustic parameter list.

FQ-50 Acoustic Parameter		
Sonar.....	No. 1	No. 2
Frequency (KHz)	200	50
Source Level (dB)	127.1	123.1
Receiving Sens. (dB)	-82.6	-89.4
Absorption Loss (dB/km)	65.1	14.3
Equivalent Beam (dB)	-16.1	-14.5
Pulse Duration (m/sec.)	0.6	0.6
Amplifier Gain (dB)	54.0	56.3
Sound Velocity (m/sec.)	1500	
Calculation Range (m)	0-20, 0-30, 0-50	
Integrator		
TVG Function	20 log (*R)	
Horizontal Int.	0.1 (n. mile), 100 (times)	
Vertical Int.	1 (m)	

*R: distance

均、航走及び他の点においては 0.1 マイル平均とした。50 KHz に関しては 200 KHz 計測と共に魚探記録紙に併記させた。

魚探の送受波器は船底 (水面下 3 m) に設置されているため発振線を含め 0~4 m は積分不能範囲である。魚探の計測にかかわる諸設定は Table 1 に示した通りである。両周波数での詳細な数値解析については音響情報を適時データレコーダに収録し、後日解析した。

なお、本論での SV については、魚探に関連した事前、事後の校正を実施しておらず、精度上の正確さを欠くため小数点以下は四捨五入した。

魚探で得られた記録映像の主体確認のため黒丸で示した停船調査地点 (Fig. 1) でノルバックネットおよびクラゲネット (口径 80 cm, 目合 2 mm) を用いて生物採集を実施した。また、微速航行時には ORI ネットによる採集を実施した。なお、K 点は観測当初に実施した測線 A における目視観察及び音響計測結果からミズクラゲが多く分布すると予測された地点で、36時間の停船観測を行った。

3. 結果及び考察

3-1. 魚探映像

7月13日18時から7月15日6時の間、測点K (Fig. 1) において3時間間隔でノルバックネットによる採集を実施した。夜間は投錨による停船観測とし、昼間は抜錨し、3時間おきの定時観測を実施した。クラゲネットによる採集は随時行った。

Fig. 2(a) は測点Kにおけるミズクラゲ出現時の魚探

超音波によるクラゲ探知に関する研究

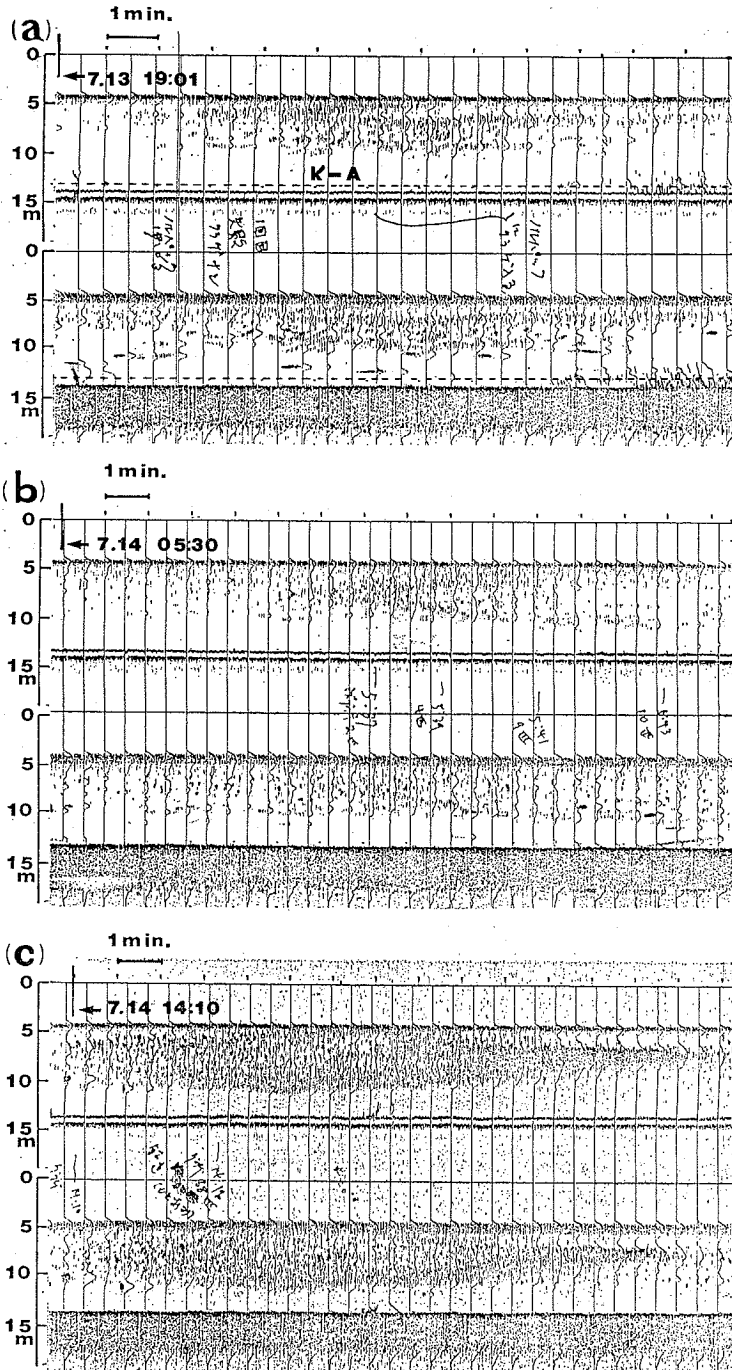


Fig. 2. Echo trace. Simultaneous recording of jellyfish *Aurelia aurita*. Upper trace 200 KHz. lower trace 50 KHz.

- (a) Just before sun-set. Vessel was anchored.
- (b) Just after sun-rise. Vessel was anchored.
- (c) Day time. Vessel was drifted.

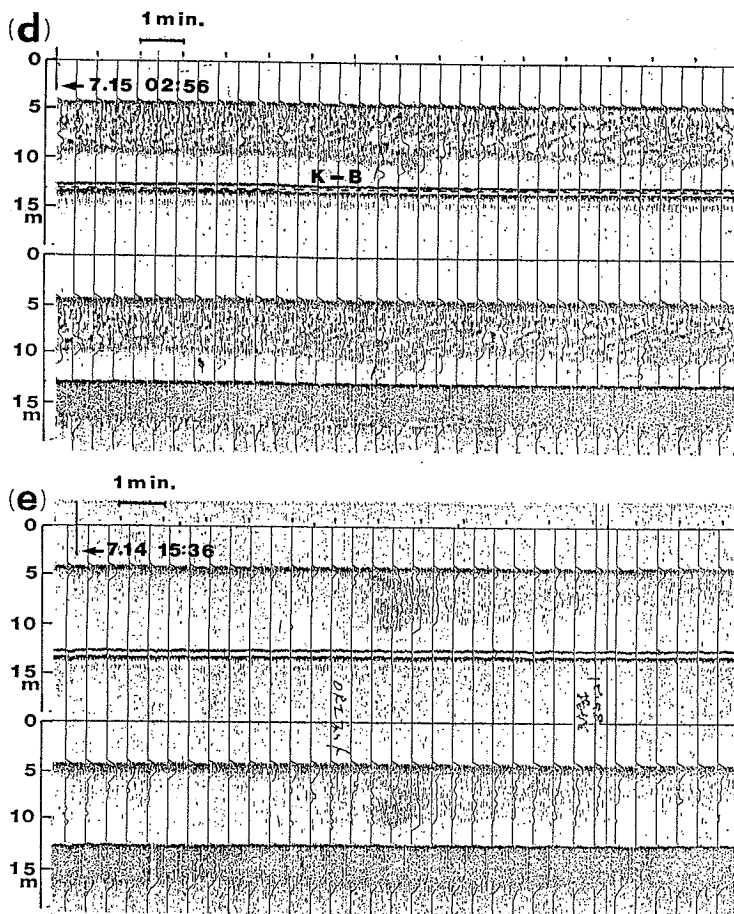


Fig. 2. (continued)

(d) Night time. Vessel was anchored.

(e) Day time. 2 knots cruising.

影像であり、上部が 200 KHz、下部が 50 KHz のものである。

ミズクラゲの出現は日没直後の薄明時で約 8 分間続いた。両周波数での濃い影像がミズクラゲ影像である。

ミズクラゲの確認は、濃い影像の出現前及び出現中に行ったノルパックネットによる採集によった。採集方法は海底近傍層から水面までの垂直曳とした。採集結果は、濃い影像の出現前はミズクラゲの入網が 0 個体に対し、出現中は 5 個体の入網が確認された。

Fig. 2(b) は測点 K において日出約 1 時間後に確認されたミズクラゲの魚探影像である。出現は約 8 分間続いた。この時はクラゲネットによる垂直曳きが 5 回実施され、出現影像がミズクラゲであることが確認された。

Fig. 2(c) も同様に測点 K において確認されたミズクラゲの魚探影像である。出現は昼間であり、約 17 分間続

いた。この間、2 回のクラゲネットを実施した結果、1 回の曳網で 68 個体のミズクラゲが捕獲された。

更に、Fig. 2(d) は測点 K において夜間計測されたミズクラゲの魚探影像の一部である。出現は約 56 分間続いた。この影像も同様にネット採集によりミズクラゲであることが確認された。

Fig. 2(e) は、測点 K 周辺において、1~2 ノット航走中に行った ORI ネット曳網時の魚探影像である。この時、ミズクラゲが多量に入網し、中央に現れた影像がミズクラゲであることが確認された。

ミズクラゲ集団の影像の特徴は、両周波数において影像の出現形態が酷似していたことである。

また、停船時の影像は大きな等濃度影像ではなく無数の斑点状の影像を呈し、斑点の分布に濃淡が認められ (Fig. 2(a)~(d))、航走中の影像では、ミズクラゲ集団

超音波によるクラゲ探知に関する研究

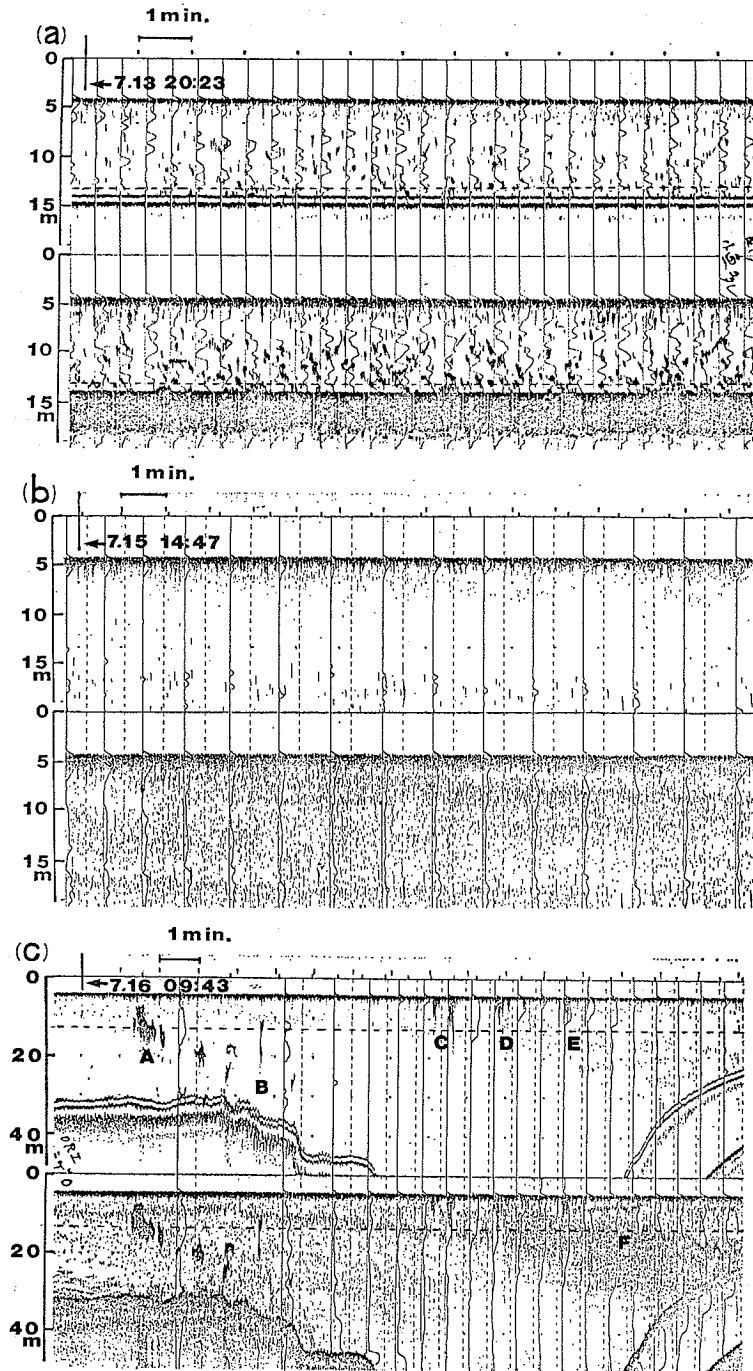


Fig. 3. Echo trace. Simultaneous recording of several organisms.
 upper trace 200 KHz, lower trace 50 KHz.
 (a) Small fish in night time.
 (b) Small organisms consist of chaetognaths
 (c) Fish school and scattering layer in day time cruising.

影像の外輪郭は、明瞭ではなく周辺になるほど影像が薄くなり、集群内部も濃淡が認められた (Fig. 2(e)) ことである。これらの特徴は、ミズクラゲが遊泳能力に乏しく自己集群能力が弱く個体間隔が不均一であるためと考えられる。

なお、ネット採集結果は、クラゲ類総捕獲量2282個体で、ミズクラゲは97.6%の2227個体であった。ミズクラゲの傘径は最大28 cm、最小4 cmで平均18.2cmであった。

Fig. 3(a) は夜間に測点Kで得た魚探影像である。ミズクラゲ影像と比較すると50 KHzの方が出現影像数が多く、濃度が濃いことがわかった。これらの影像はこの時、海表面の目視観測では多数の魚類幼魚が認められたので、魚類の影像であると推定された。

魚類の影像は、個々の影像に垂直幅があり、また傾斜したものもあるため、探知された個体が短時間で移動する様子を示していると考えられた。

さらに、周波数比較では50KHz影像への出現が200 KHzより濃く、かつ数が多い。この現象は周波数特性によるものではなく、両周波数を持つ指向特性が原因であると考えられる。一般に魚探送受波器の半減全角(-3 dB角)は周波数が低いほど大きくなり、従って探知範囲は広がる。すなわち、夜間、群を解いた魚類等の分布はランダム性が強くなり、探知範囲が広い方が探知確率が大きくなる現象であると考えられる。

本計測システムの200 KHz及び50 KHzの半減全角(-3 dB角)はそれぞれ約5度及び16度であり、これを説明できる。

Fig. 3(b) は湾中央部の測点7近傍において停船中、Fig. 3(c) は測点10から測点11に至る航走時に得られた魚探影像である。湾奥部とは異なり50 KHzにおいて高いレベルをもつ特徴的な影像が得られた。湾奥部と湾中央部においてノルバックネットを用いた生物採集を行ったところ、湾中央部ではヤムシ類が多量に採集されたところから、これらはヤムシ類の影像であると推定された。Fig. 3(c) の50 KHzに出現した濃い散乱層Fは、表面水温モニターで観測されたフロント域に対応し、動物プランクトンの集積した影像であると推定された。

Fig. 3(c) の塊状影像である、中層のA、B及び周辺の影像は両周波数で濃い影像が示され、その外輪郭は明瞭であり、かつ内部に濃度差が認められなかった。従って、強い集群性がある生物が高密度で存在していたことが考えられ、魚群の影像と推定された。また、Fig. 3(c) のC~Eは、船底近傍の気泡による散乱ノイズ影像

と重なるが、厚みと幅がある塊状影像を示し、前記同様の性質を持った影像であり、これらも魚群の影像と推定された。

以上、生態の特徴や機器特性も考慮することにより、東京湾におけるミズクラゲ集群を他の影像から判別することは可能であると考えられる。

3-2 体積散乱強度 SV

Fig. 4 はデータレコーダに収録した音響信号の一部を編集した後、再生して得た両周波数におけるSVの変動であり、図中のk及びfは、それぞれミズクラゲ及び魚群の出現を示している。

解析はFURUNO ABISの解析部を使用した(古野電気, 1989)。横軸は時間の経過を示しており、航行時においては、これは航走距離を意味する。縦軸はSV(dB)

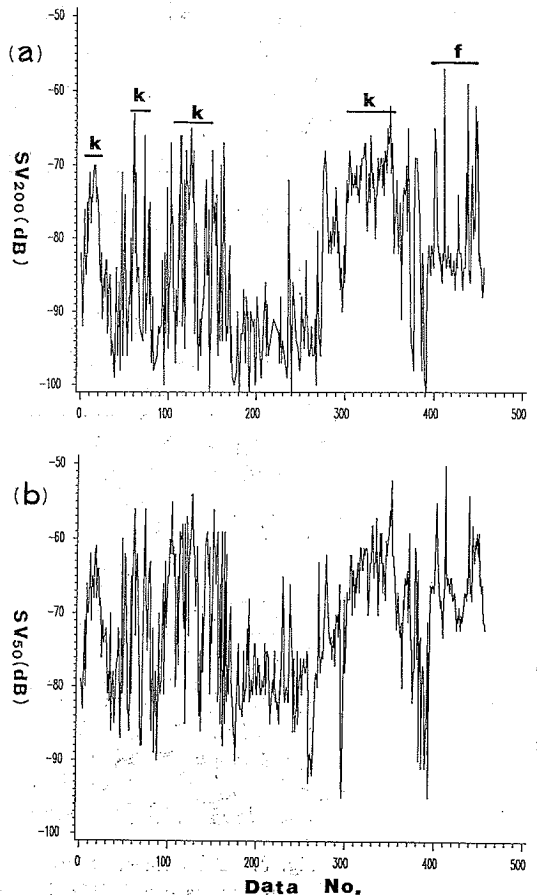


Fig. 4. Fluctuation of SV time-series from 8 to 9 m deep. f: fish school, k: jellyfish. Vertical axis shows SV unit in dB.

である。積分設定は深度方向には1m間隔、時間軸に対しては約15秒間隔とした。解析深度層は水深8~9m層であり、Fig. 4(a)が200 KHz, Fig. 4(b)が50 KHzのものである。

Fig. 4 に示した2周波数でのSVの変動は振幅差はあるが同一変動傾向で、ミズクラゲ、魚群及び散乱層の出現時に高い値を示したが、いずれか1周波数での変動からは散乱主体が何であるかの判別は困難である。

ここで、異なった散乱主体により特徴的な影象が出現した事はSVの周波数比較においても、その特徴が現われることが予想される。

Fig. 5 は同一再生データによる水深4~13mから得たSVの2周波数の関係を示している。横軸が、200 KHz, 縦軸が 50 KHz である。図中の直線は両周波数でのSVが1:1となる関係を示しており、両者は明らかに相関が認められるが、一般に200 KHzより50 KHzのSVが高いという傾向を示した。

Fig. 6(a) 及び Fig. 6(b) は、それぞれ Fig. 5 の散布図からミズクラゲ出現時、魚群及び濃い散乱層 (Fig. 3(c), F) 出現時のデータのみを分離した散布図である。

Fig. 6(a) から、ミズクラゲは散布図 (Fig. 5) の上辺部に位置することがわかった。すなわち、ミズクラゲは200 KHz及び50 KHzにおいては両周波数でのSVの差が少ないことを示している。

一方、Fig. 6(b) は、魚群 (f) 及び濃い散乱層 (s) の影象が確認できたデータのみを抜きだした結果であり、濃い散乱層に関してはミズクラゲとは分離され、また、

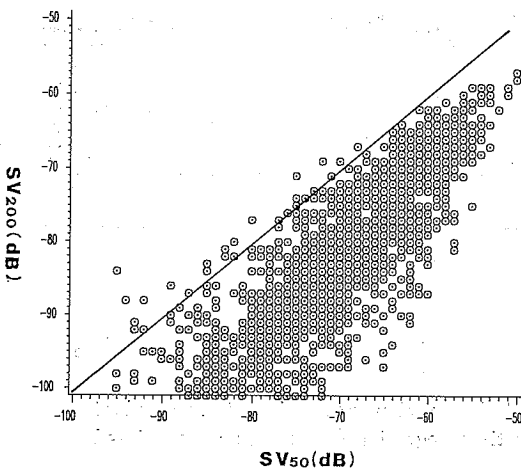


Fig. 5. Relationship between SV by 200 KHz and SV by 50 KHz for all data. Vertical axis: 200 KHz-SV, Horizontal axis 50 KHz-SV.

魚群に関してはミズクラゲと散布位置が重複するが、一般的にSVの高い部分に集中していた。但し、本計測における魚群出現時のデータレコーダの出力は飽和状態を示しており、算出されたSVは過小であると考えられる。

以上のことから、ミズクラゲは他の生物とは異なる傾向を示すため音響情報を解析することによってミズクラゲを分離探知できる可能性は充分あると考えられる。

Fig. 7 は、ミズクラゲ出現時のみのデータを用い、200 KHzのSVから50 KHzのSVを差し引いた値を縦軸に、50 KHzのSVを横軸にとったときの散布図である。これから、ミズクラゲは2周波数間でのSVの差は小さく、かつ50 KHzで比較的高いSVの位置に集中することが確認された。

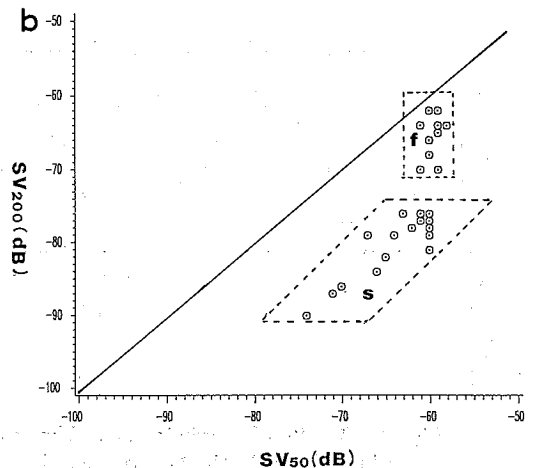
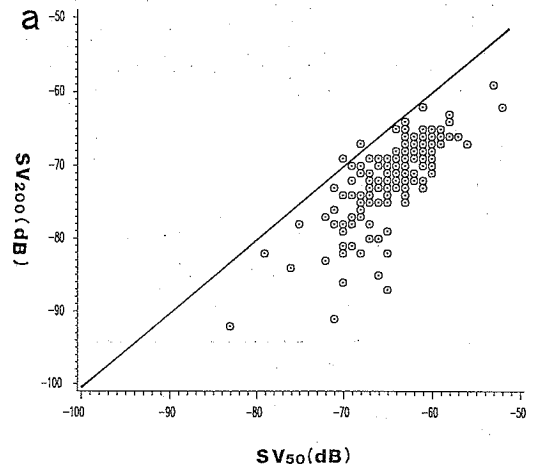


Fig. 6. Relationship between SV by 200 KHz and SV by 50 KHz.

(a) Jellyfish only.

(b) Fish school-f and dense scattering layer-s.

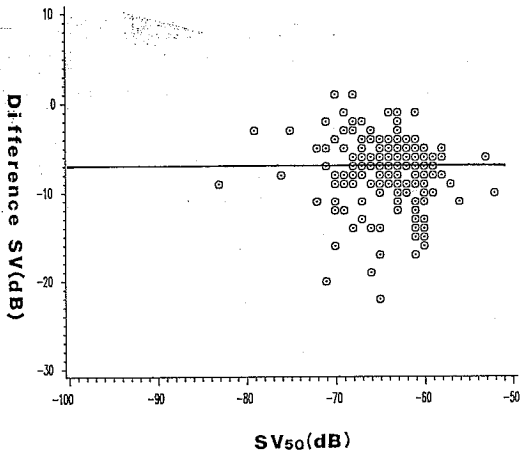


Fig. 7. Relationship between SV by 50 KHz and difference-SV about jellyfish only. SV difference means difference between SV by 200 KHz and SV by 50 KHz. Vertical axis: difference-SV unit in dB, horizontal axis: SV by 50 KHz.

ミズクラゲ出現時の SV 差の平均及び標準偏差は、それぞれ、 -7.9 dB, 2.9 dB であった。また、ミズクラゲ集団の 50 KHz における SV の範囲は、ほぼ $-67 \sim -60$ dB にあり、全体の 70% 強を占めた。

3-3 ミズクラゲ探知システム

以上のことから、単一周波数ではなく、異なった周波数を併用する事でミズクラゲを分離探知する事が可能であると判断される。

影像からの判別基準は、(a) 2 周波数で偏った影像は出ない、(b) 集団影像の外輪郭は鮮明ではない、(c) 集団内の影像濃度は濃淡が認められる、ことである。

数値からの判別基準は、(d) 2 周波数による SV の差が小さい、ことである。

これら 4 つの判別基準を利用することにより判別システムの構築は可能であると考えられるが、影像からの判別には画像解析によるパターン認識の手法を取り入れる

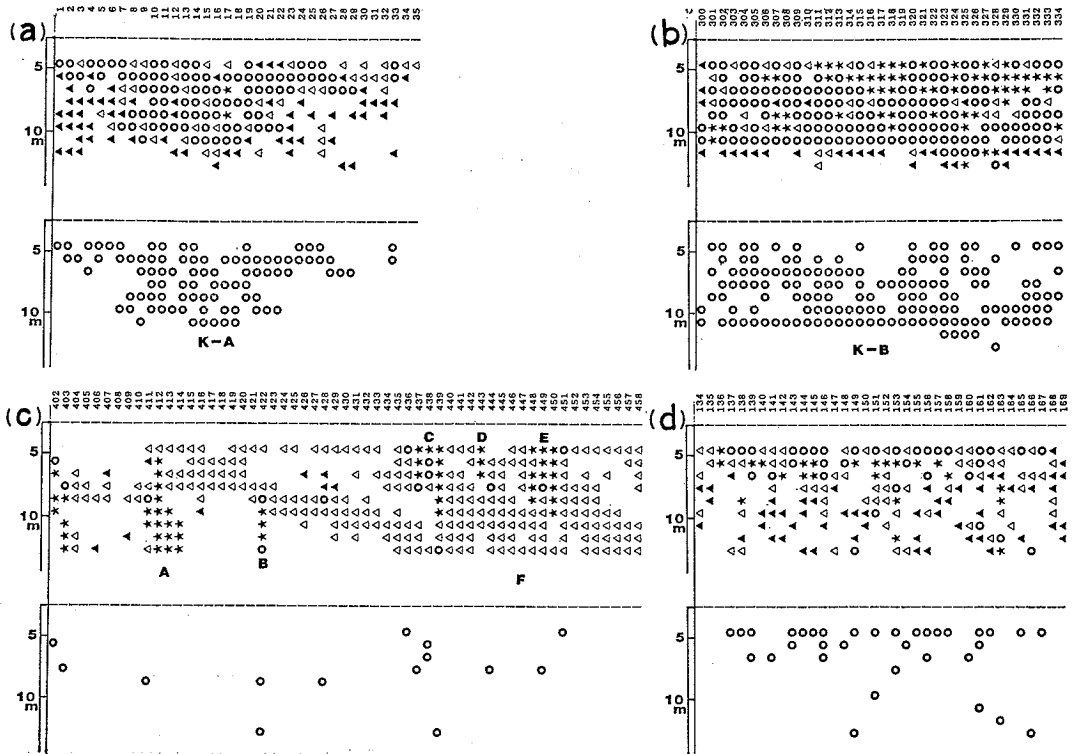


Fig. 8. Results of discrimination. Upper displays 4 classes character judged from standard values, \odot : jellyfish, \star : fish school, \blacktriangle : only satisfied equation (1) and \triangle : only satisfied equation (2). Lower displays jellyfish only.

Vertical axis: depth in meter, horizontal axis: data number.

(a) Jellyfish.

(b) Jellyfish.

(c) Fish school and dense scattering layer.

(d) Small fish.

べきであろう。

さて、判別基準 (a) 及び (d) は同義的な意味を含んでいる。すなわち、2 周波数で同一的な影像ということ、音響信号の積分結果である SV の差も少ないということである。従って、影像及び数値に共通した判別基準として (d) を用い、ミズクラゲの判別を試みた。

判別はオンライン計測での判別を想定して行なった。まず、判別用計算機に取り込んだ SV 値のエラー除去をするため、正常データ範囲として $-20 \sim -99$ (dB) を設定し範囲外の値は -99 (dB) に置換した。

次に、海底判別基準として -40 (dB) を与え、この値を越えた深度で深は以下の計算から除外した。

ミズクラゲの判別基準値として以下の条件を与えた。200 KHz 及び 50 KHz における SV をそれぞれ SV_{200} 及び SV_{50} とすると、ミズクラゲの判別条件は以下のようになる。

$$-10 \leq SV_{200} - SV_{50} \leq -4 \quad (1)$$

$$\text{かつ、} \quad -67 \leq SV_{50} \leq -60 \quad (2)$$

また、魚群に関してはミズクラゲと重複するが、式 (1) を満足し、

$$\text{かつ、} \quad SV_{50} > -60 \quad (3)$$

とした。

Fig. 8(a), (b), (c) 及び (d) は、Fig. 4 に示した再生データ系列を用いて判別を行なった結果の一部である。

図は、それぞれ上部が以下に記した判別区分に従った出力であり、下部がミズクラゲと判別した箇所だけの出力である。横軸は時間(空間)の経過(移動)を示しており、付した数値はデータ番号である。縦軸は、深度を示している。

図中の◎は式 (1) 及び (2) を満足しミズクラゲと判断されたもの、▲ 及び △ は、式 (1) と式 (2) のいずれかを満足したものである。また ★ は、式 (1) 及び式 (3) を満足し、魚群と判別されたものである。

Fig. 8(a) 及び (b) のミズクラゲ、K-A, K-B は Fig. 2(a) 及び Fig. 2(d) の影像に対応している。また、Fig. 8(c) の A, B, C, D 及び E はそれぞれ Fig. 3(c) に示した魚群に対応し、F は Fig. 3(c) の濃い散乱層に対応している。更に、Fig. 8(d) は Fig. 3(a) に対応した魚類幼魚出現時のものである。

魚群影像は、一部がミズクラゲと判別されたものもあるが、一塊の影像は魚群として判別された部分が多かった。

濃い散乱層は△印として出力された部分が多かった。

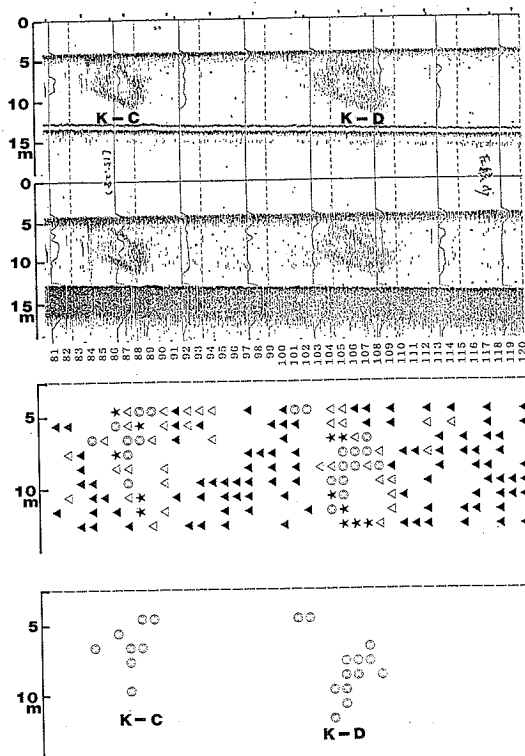


Fig. 9. Example of typical jellyfish image judged by computer. Upper 2 traces measured by 2 frequencies, lower 2 charts outputted by computer.

すなわち、50KHz での SV はミズクラゲの判別条件を満足するが、2 周波数による SV の差が大きい事を示している。

魚類幼魚影像に関しては、船底下 2m まではミズクラゲとして判別される傾向があり、それ以後は一定の判別枠には当てはまらなかった。なお、計測期間中 20 分間隔程度で行ったクラゲネットではミズクラゲ及び他種クラゲが数個体入網しており、分散したミズクラゲの存在があったことが考えられる。

以上の結果から不確実な部分もあるが、総体的にはミズクラゲ影像の判別ができたと考えられる。

なお、Fig. 9 は測線 A (Fig. 1) において、5 ノット航走で計測された魚探影像とその判別結果である。影像の主体確認は実施されていないが、K-C, K-D は影像及び数値からの判別基準に合値した典型的なミズクラゲ集群であると判断される。

4. おわりに

東京湾におけるミズクラゲ集群は既存の積分方式魚探

により探知, 判別できることがわかった。

影像からの判別は2周波数の魚探影像を目視観察する事で可能であるが, 自動判別を行うには影像パターンの処理, 解析が必要であり, 積分方式の魚探では情報量が少ないため今後の課題である。

数値からの判別は積分方式魚探の出力であるSVを用いて自動判別がほぼ可能であった。

判別処理における判別基準値の妥当性は, 魚群情報が飽和状態を示した事も含め, 今後の追試による検討が必要であろう。

生態調査, 現存量推定に関しては, ミズクラゲが照度の変化, 特に日出没時の薄明時に鉛直移動を行っており, 季節によっては日中, 底層に分布しているとの報告(安田, 1988)があるため, 海底近傍層での探知, 判別が課題となる。さらに, 本調査でも目視により確認されたが, 船底装備魚探の探査範囲外での分布は重要であり表層域を含めた計測を考えねばならない。

また, 本調査によって生物種による周波数特性が示唆された。これは形態, サイズの差異による共振現象が考えられる。クラゲ類に関しては体内に気泡を内在する管クラゲの仲間について議論されている(PICKWELL, 1967)。しかし, ミズクラゲについては気泡の存在は報告されておらず, 強い共振現象は期待できないが胃腔及び4つの生殖腺下腔を有しており(山路, 1979), この空洞による音響的な特性を考慮する必要があると考える。さらに, 他生物に関しても検討が必要であろう。

また, 本研究で観測された濃い散乱層(Fig. 3(c), (d))は水温, 塩分から見た海洋環境構造との対応が考えられ(稲垣, 1987; 稲垣ほか, 1989), 環境との対応を含めたミズクラゲの生態調査には重要な情報となるため別途検討する必要があると考える。

5. 謝 辞

研究に当たり, 助言及び協力を頂いた東京大学海洋研

究所プランクトン部門寺崎誠助教授ならびに西田周平助手, 津田敦助手に謝意を表す。

船の運行及び観測に関して協力を頂いた同研究所・淡青丸上之清尚船長をはじめ乗組員の皆様に謝意を表す。

文 献

- 古野電気株式会社 (1989) 生物資源音響探査システム. 海洋音響研究会誌, **16**, 219-220.
- 稲垣 正 (1987) 魚群探知機による生物量の測定及び海洋構造の計測. 海洋音響研究会誌, **14**, 132-134.
- 稲垣 正・青木一郎・石井丈夫 (1989) 三陸沖暖水塊および周辺海域における魚群と散乱層の音響計測. 海洋科学, **21**, 717-722.
- 柿沼好子 (1990) クラゲによる水質浄化能力. クラゲの生態と防除対策(予稿集), 電気化学協会・海生生物汚損対策懇談会, 87-95.
- 桑原 連・佐藤修一・野口信彦 (1969) ミズクラゲの生態学的研究—I, 1966, 1967年夏期の東京湾北東部における分布状態について. 日本水産学会誌, **35**, 156-162.
- 太田洋一 (1990) 超音波によるクラゲの来襲予知. クラゲの生態と防除対策(予稿集), 電気化学協会・海生生物汚損対策懇談会, 13-14.
- PICKWELL, G.V. (1967) Gas and bubble production by siphonophores. Naval Undersea Center, Res. Report TP8, 98 pp.
- 斉藤清隆・浜田悦之・ユッタナ テッパルーンラット・笹倉豊喜 (1990) ミズクラゲのターゲットストレングスについて. 平成2年度水産工学研究推進会議報告書, 111-114.
- SASAKURA, T., H. SHIRAIISHI, H. LINO, K. MINOHARA and H. AOKI (1984) An echo sounder for fish stock assessment. FAO Fish. Circular, **778**, 31-35.
- 安田 徹 (1988) ミズクラゲの研究. 水産研究叢書, **37**, 日本水産資源保護協会, 139 pp.
- 山路 勇 (1979) 日本海洋プランクトン図鑑. 保育社, 537 pp.