

サイドスキャンソナーによる 海底漁具の探索に向けた試み

松倉隆一（資源管理部・資源管理グループ）

サイドスキャンソナーとは？

海の中は陸上と異なり電波はほとんど通らないばかりか、太陽光も水深100mにもなるとほとんど届かず真っ暗闇である。一方、音波は電波や光と違い海中を遠くまでよく伝わる性質を持つ。クジラやイルカなどの鯨類は、このような音波の性質を利用して数千km離れた仲間と声で交信したり、餌の探索等を行っているとも言われている。

鯨類のように音を利用した水中探査機器の一つとして、漁業や遊漁でも使われる魚群探知機がよく知られている。一般に、魚群探知機は船底に装備された送受波器から超音波パルスを海中に発射し、海中の物体にはね返り戻って来た音の強さと要した時間を計測することで、目には見えない海中の様子を可視化している。魚群探知機は船の真下をみるための機器であり、航跡下の鉛直断面について詳細に知ることができる。

一方、サイドスキャンソナーは送受波器そのものを曳航体として、船からケーブルによって曳航して用いる（図1）。その基本的な原理は魚群探知機と同様で、超音波パルスを海中に発射し、は

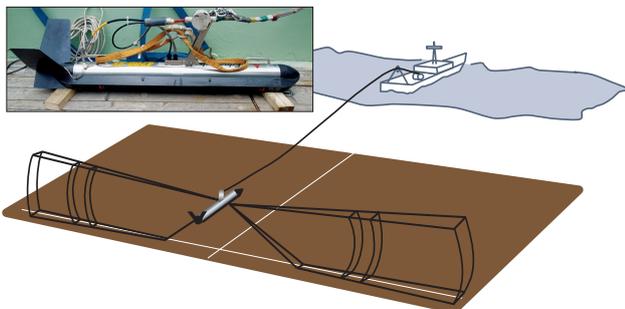


図1 サイドスキャンソナーの曳航体（写真）と調査の模式図
扇形ビームを発する曳航体を船舶によって曳航し海底面の情報を可視化する。

ね返り戻って来た音の強さ等を計測する。魚群探知機と異なるのは、曳航体の両舷斜め下、横方向に向けて扇形ビームを送出する点にあり、海底の凹凸によってはね返り戻って来た音の強さと要した時間を計測することで、海底面上の詳細な画像を描くことができる。得られた画像をソノグラムといい、海底の性状（硬い・柔らかい）や凹凸等を読み取ることができる。

これまで、サイドスキャンソナーは沈没船や墜落機といった海底落下物の探索に用いられている。水産分野への応用例は少ないものの、アラスカの水深100～150mの海域で海底に設置された2mを越える巨大なカニ籠の分布調査報告がある（Stevens et al. 2000）。今回は、日本海の水深150～300mの海域で実施した、サイドスキャンソナーの水産分野への応用事例や、調査で得られた様々なソノグラムについて紹介する。

なぜ海底の漁具を探すのか？

日本海における逸失・放置漁具の問題

日本海では、主に沖合底びき網によって主要な底魚資源（ズワイガニやカレイ類）が漁獲されている。しかしながら、漁業として漁獲される以外に、逸失漁具や放置漁具による漁獲（いわゆるゴーストフィッシング）が深刻な問題となっている。そのため、ゴーストフィッシングによる漁獲死亡量の把握ならびに軽減は、日本海の底魚資源、特にズワイガニの資源管理で重要な課題となっている。そこで、サイドスキャンソナーの特性を利用して、海底にある漁具の量や位置を把握する手法を開発するための調査を実施した。

調査方法

日本海の隠岐諸島北方及び島根県浜田沖の海域(図2)で、沖合底びき網漁船延べ6隻を用船して調査を実施した。当然のことながら、各船にはサイドスキャンソナーを曳航するための設備はなかったため、ケーブル、ウインチ、発電機といった機材を持ち込み調査前に設置した。調査に使用したサイドスキャンソナーの仕様を(表1)に示した。

船速2~5ノットで曳航しながら、曳航体の高度が海底から10~20mとなるようにケーブルの長さを調節した。サイドスキャンソナーの曳航体は有線で船上のパーソナルコンピュータ(PC)と接続されており、海底からの高度等をリアルタイムで確認できる。PCにてソノグラムをリアルタイムに表示できるので、状況を確認しながら曳航体の深度、姿勢情報と共にデータを収録した。ソノグラムに漁具と思われる反応が現れた際には、同時期に周辺海域で海底清掃事業に従事していた船に回収を依頼し反射体を確認した。

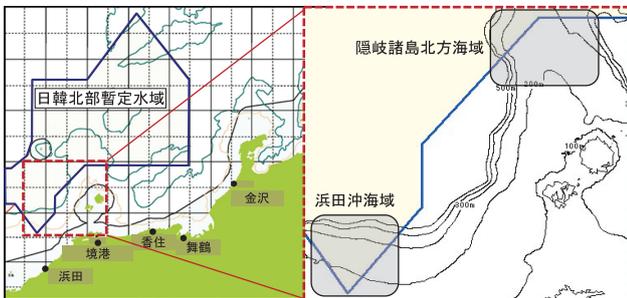


図2 調査海域

表1 サイドスキャンソナーの仕様

	周波数	
	300kHz	600kHz
収録範囲(片側)	100m	50m
水平面上のビーム幅	0.28°	0.26°
進行方向の解像度	45cm @100m	24cm @50m
側方の解像度	3cm	1.5cm
側方鉛直断面上のビーム幅	50°	
主音軸の角度	下向き20°	
曳航体の長さ	125.6cm	
曳航体の直径	11.4cm	
曳航体の重量(空中/水中)	48/36kg	

結果 一何がどのように見えたか

1. 海底の起伏

サイドスキャンソナーの大きな特徴は、海底面上を可視化して詳細な画像を描けることにある。そこで、海底面の凹凸に対するパルスの当たり方と得られるソノグラムの見え方について説明する。海底に物体や溝など起伏がある場合の概念図と、そのときに得られるソノグラムを図3に示した。海底上の物体に音が当たったとき(図3下左側)、音の当たった面からの反射波は強く、ソノグラムでは明るい色で表示され、逆に、物体で遮られ音が当たらなかった範囲では、光の場合と同様に影となる。絡まった漁網と推測されるソノグラム(図3上左図)では、音が当たった右側が明色で示され、左側には黒い影が生じた。また、漁網に繋がっているロープ自体は確認できないが、海底にはロープの影が落ちていることを確認することができた。

一方、海底に溝(図3下右側)のようなへこみがある場合、溝を横切る方向から音を当てると、溝中の、曳航体から遠い側の壁面には音が当たると、ソノグラムでは明色で表示され、逆に、音が当たらない手前側の壁面は影として暗く表示される。つまり、ソノグラムでは曳航体から遠い側に明部、近い側に暗部で一對となる線状の反応とし

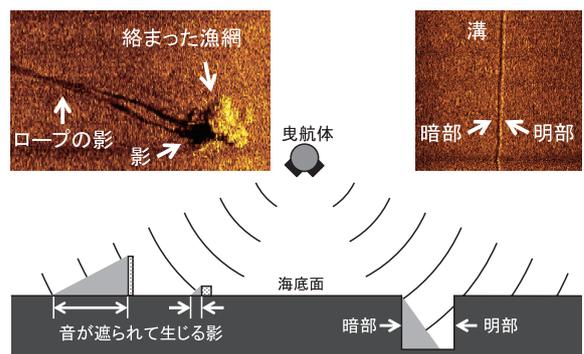


図3 起伏に対するパルスの当たり方とソノグラムでの見え方

海底上にある物体(下左側)に音が当たると遮られた部分に影が生じ、当たった面は明るい色としてソノグラムに表示される。絡まった漁網と推測されるソノグラム(上左図)では漁網とロープの影が確認できる。海底に刻まれた溝(下右側)は、溝の中の音が当たる遠い側の壁面が明るく、手前は音が当たらないため影として暗く表示される(上右図)。

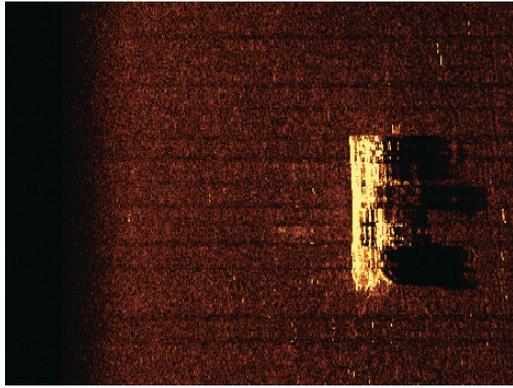


図4 曳航体の右舷側に見られた沈船魚礁のソノグラム
 舳先を図の下側に向けていると考えられる。沈船の右側には船体によって遮られて生じた音の影が伸びている。

て溝を確認できた（図3上右図）。

海底に設置されている沈船魚礁を凹凸の一例として図4に示した。沈船は曳航体の右舷側に、舳先を図の下方に向けて設置されていると考えられた。音の当たる船体左側が明るく、遮られて生じた影が右側の海底に伸びていた。船体上部の形状によって影に起伏が見られた。

2. 底刺網

底刺網はソノグラムで細長く明色の反応として確認できた（図5）。このソノグラムを得られた海底（水深260m）から、ズワイガニ等が罹網した底刺網が回収された（図6）。回収した底刺網は、網地を海底から高く立ち上げる必要が無いためか、フロート等の音を強く反射させる物体は取り付けられていなかった。つまり、反射強度の弱い細い網地やロープで構成される底刺網であっても、サイドスキャンソナーで確認できることが明らかとなった。

底刺網の回収前に、ソノグラムを得られたのと同じ地点で異なる方向にサイドスキャンソナーを曳航し、ソノグラムの違いを比較した。図5（a）は西（左）から東（右）へ、図5（b）は南（下）から北（上）へ向かって曳航したソノグラムである。図5（a'）及び（b'）では底刺網（3ヶ統、①～③）の反応に該当する箇所を白線および白点線で強調した。これらの底刺網の敷設状態は、直線的な部分や屈曲した部分があり、同じ部分でも

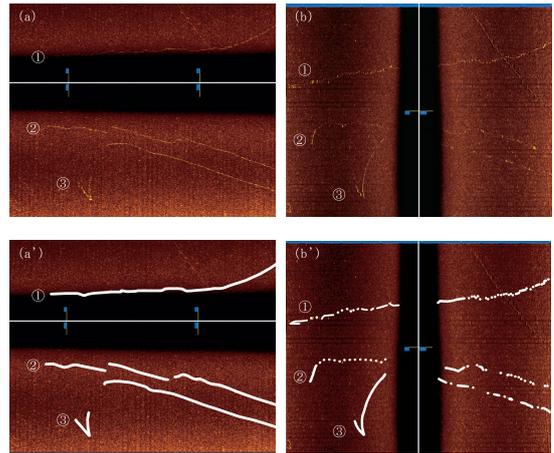


図5 同じ地点を異なる方向でサイドスキャンソナーを曳航して得られた3ヶ統の底刺網（①～③）のソノグラム
 (a) 西から東へ、(b) 南から北へ曳航して得られた。(a') 及び (b') はそれぞれの底刺網の部分に明瞭にした。



図6 海底から引き上げられた底刺網
 ズワイガニ等の罹網した生物が確認できる。

図5（a）と（b）ではソノグラムに違いがあった。例えば、底刺網②と③の右側の直線的な部分を比較すると、（a）では明瞭に連続していたが、（b）では不明瞭で途切れがちであった。今後の課題として、底刺網の識別精度向上を図るため明瞭・不明瞭となる条件について検討していく必要がある。

3. 籠漁具

籠漁具の反応はソノグラムで連続した明色の点として確認できた（図7）。このソノグラムを得られた周辺海域では、図中に示した長辺約1mの直方体型の籠漁具が回収された。この図からは確認できないが、他の地点では籠を繋ぐロープやそ

の影を確認できる場合もあった。

籠漁具は幹繩に一定間隔で連続して取り付けられており、ソノグラムでも連続した明色の点が規則的に並んでいることが確認できた。また、回収された籠漁具は、強い音響反射体となる金属製のフレームを有していたため、明瞭なソノグラムが得られたと考えられた。これらはソノグラムから籠漁具と判別するための大きな判断要素となった。

さらに、籠漁具であると判別するための要素として、ソノグラムにおける形状も重要となる。図7のソノグラムで左上の三点の籠漁具の反応を拡大すると、直方体の形状を確認することもできた。ただし、曳航する船舶の動揺によって曳航体も揺れ動くため、見た目の形状に歪みが生じる可能性もある。それゆえ、ソノグラムでの長さの計測には十分な注意が必要であり、この点はサイドスキャンソナーの弱みでもある。

さて、籠漁具の場合、フレームによって強い反射強度を得ることができるが、ソノグラムで通常確認できるのは籠部分のみで繋がるロープ部分は確認できないことが多い。一般的に、サイドスキャンソナーによる調査で、ある物体を確認するために十分な精度を維持するためには、3パルス分の連続したエコーを得ることが条件の一つとされている (NOAA 2013)。今後、この基準を満たす条件 (対象の大きさ、曳航船速など) について検討していくことが、サイドスキャンソナーによる籠漁具の探索精度の向上に必要と考えられる。

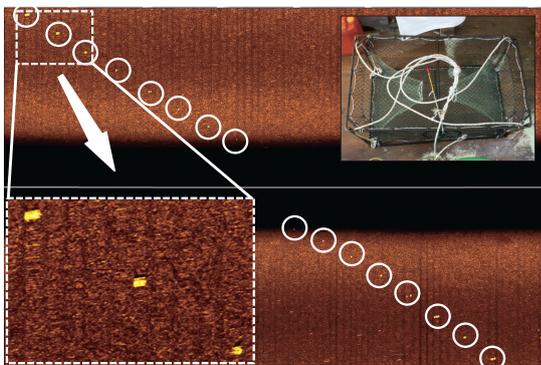


図7 籠漁具のソノグラム
籠の反応を白丸で囲んだ。写真の籠がこの付近から回収された。

今後の展望

サイドスキャンソナーを用いることで海底に設置された底刺網や籠漁具を識別し、籠の設置数を計数できることが明らかとなった。また、底刺網については、調査範囲に敷設されている長さを計測することができると思う。2012年に実施した浜田沖海域 (図2) では、得られたソノグラムから籠漁具と推測される反応は449個計数された。日韓北部暫定水域の内側を重点的に調査した結果、449個の内訳は内側に322個、外側 (南側) に127個となった。特に、暫定水域内の南端部分 (水深160~200m) に多く、全体の70%近く (308個) が集中していたことが明らかとなった。今後、本研究手法を用いてより広域における漁具の敷設量を明らかにし、ゴーストフィッシングへの対応策や放置・逸失漁具による底魚資源への影響の解明に利用されることが期待される。

謝 辞

調査の実施にご尽力頂いた一般社団法人全国底曳網漁業連合会、兵庫県機船底曳網漁業協会ならびに同会所属船舶 (栄正丸, 相生丸, 共幸丸), 鳥取県沖合底曳網漁業協会ならびに同会所属船舶 (福昌丸, 安全丸, 恵長丸) の諸氏に厚く御礼申し上げます。また、乗船してソナーの運用をされた株式会社アーク・ジオ・サポートの諸氏には、ここに記して感謝する。

【引用文献】

- Stevens B. G., Vining I., Byersdorfer S., Donaldson W. J., 2000: Ghost fishing by Tanner crab (*Chionoecetes bairdi*) pots off Kodiak, Alaska : pot density and catch per trap as determined from sidescan sonar and pot recovery data. *Fisheries Bulletin*, 56, 389-399.
- 海洋音響学会, 2004: 海洋音響の基礎と応用, 成山堂書店, 東京, pp. 107-109.
- NOAA. 2013 : Field procedures manual, U.S. Department of Commerce, Washington DC, p. 51.