

古野電気の漁業分野における最新の水中音響技術



企業レポート

小河 慎二*

Latest underwater acoustic technologies of Furuno Electric for fisheries.

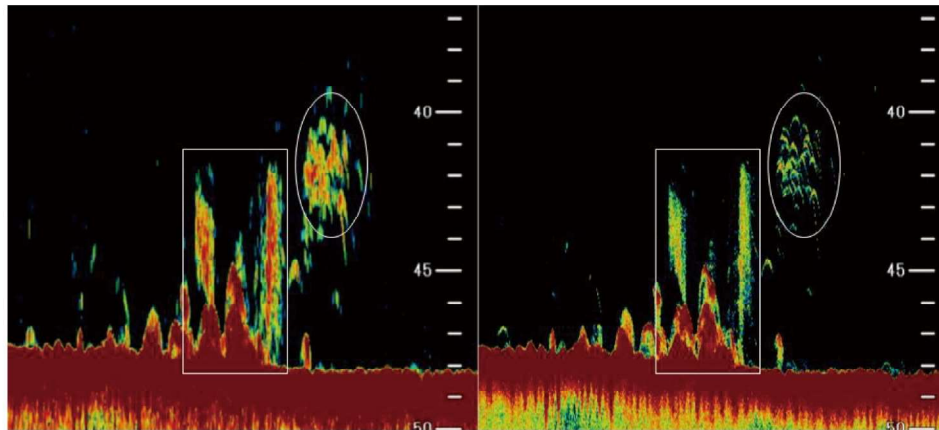
Key Words : Echo Sounder, Scanning Sonar, Multibeam Sonar

1. はじめに

魚群探知機が実用化されてから70年以上が経過した¹⁾。魚群探知機はそれまでの経験と勘に頼った漁業を根底から変える発明で、漁業の近代化の幕開けとなり、その後も多種多様な漁労機器が開発・実用化され、現代の漁船はさながら電子機器の要塞となっている。現代の漁業を支える代表的な漁労機器として、本稿では特に魚群探索に利用される「魚群探知機」、「スキャニングソナー」、および「マルチビームソナー」に関して近年の研究開発動向を解説する。

2. 魚群探知機の研究開発動向

電子デバイスやデジタル信号処理技術の進化により魚群探知機で得られる情報量は増加しており、これを支える近年の技術開発トレンドは広帯域技術である。一般的な魚群探知機では船底に装備された送受波器からトーンバースト波を放射する。このトーンバースト波のパルス幅が短いほど魚群探知機の距離分解能は高くなる。ところで魚群探知機の送受信に必要な帯域幅は、 $(\text{帯域幅}) \geq 1/(\text{パルス幅})$ で決定されるため短いパルスを送受信するためにはより広い帯域が必要となる。一方で短いパルスは送信



(a) 狭帯域魚群探知機

(b) 広帯域魚群探知機

図1 狭帯域魚群探知機と広帯域魚群探知機の映像比較



* Shinji OGAWA

1986年に古野電気株式会社入社。
漁業用水中音響機器や超音波診断装置の
センサ開発に従事。
現在は古野電気株式会社技術研究所
第1研究部に所属。

エネルギーが低くなるためSN比が低くなり探知距離が劣化する。この問題を解決するためにパルス幅の長いチャープ信号を送信することでエネルギーを確保し、受信でパルス圧縮処理を行う方式が採用されている。図1は従来の狭帯域魚群探知機と、広帯域魚群探知機の映像比較例²⁾であり、広帯域魚群探知機は距離分解能が向上し、魚群中の単体魚を分離して映像表示できていることが分かる。

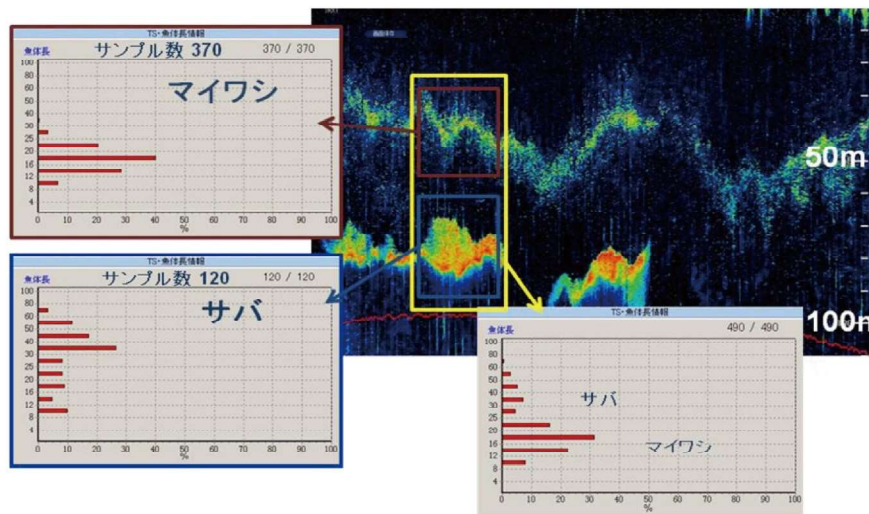


図2 マイワシ、サバ魚群の魚体長計測

広帯域魚群探知機は高い距離分解能を有し、魚群中の単体魚検出性能が向上するため、単に魚群を探知するだけでなく、魚群に関する様々な情報を抽出する技術開発が期待されている。水産資源の持続的な利用が求められる中で、正確な資源量を把握するための技術としてスプリットビーム方式による広帯域魚群探知機が開発されている。スプリットビーム方式は送受波器を前後と左右に4分割した独立チャンネルを設け、各チャンネルからの受信信号を送受波器の前後左右で夫々合成した後に、信号の位相差を計測することでエコーの到来方向を推定し、送受波器の指向特性による感度差を補正する技術であるが、スプリットビーム方式による広帯域魚群探知機では魚群中の単体魚検出性能が従来の狭帯域魚群探知機に比べて向上するため、より多くの単体魚を検出することができる。

図2はスプリットビーム方式による広帯域魚群探知機で魚体長計測を行った事例である。対象魚群はマイワシとサバであり、マイワシは魚体長18cm、サバは魚体長35cmに魚体長分布のピークがあり実態とも整合している²⁾。

3. スキャニングソナーの研究開発動向

漁業で利用されるスキャニングソナーは円筒状や球面状に小さなセンサを数百個配列した送受波器から自船全周方向に超音波を放射し、ターゲットからの反射信号を図3に示す様に³⁾、水平方向に傘型に形成した多数の受信ビームや、垂直断面に形成した

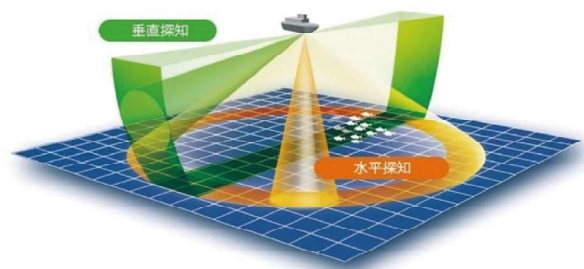
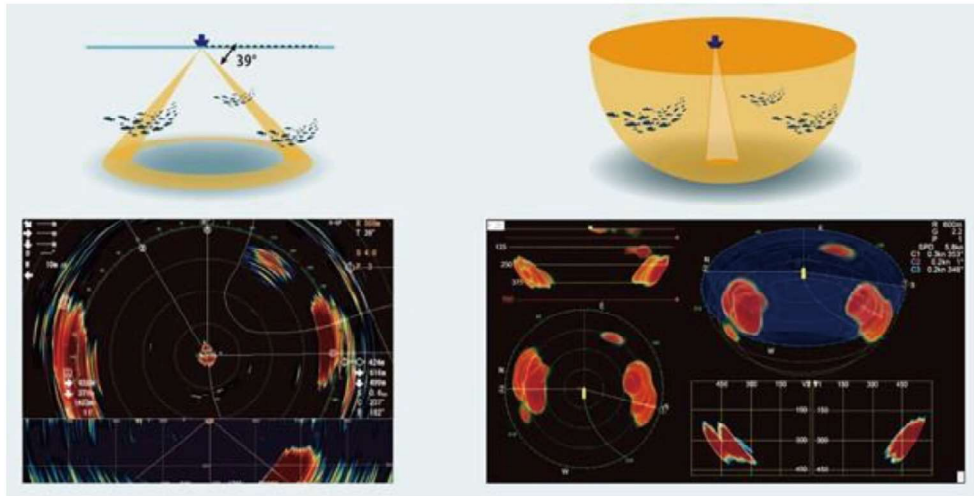


図3 スキャニングソナーの受信ビーム例

扇状の受信ビームにより検出する。スキャニングソナーによる水平探知は広範囲の探索を瞬時に行えるため効率的な魚群探索が可能であるが、一方で受信ビームは傘型に形成されるため図4(a)に示す通り⁴⁾、スキャニングソナーで検出できるのは魚群の一部となり、ユーザーは受信ビームの俯角を順次変化させ、各俯角での映像から魚群の全体像を把握することになるが、スキャニングソナーの利用経験の浅いユーザーには困難な作業である。

この課題を解決するために3次元映像を描画するスキャニングソナー(3Dスキャニングソナー)が開発されている。図4(b)は3Dスキャニングソナーの受信ビーム形状であり⁴⁾、細いビームを半球状に形成することで3次元映像化を実現している。図5は3Dスキャニングソナーを旋網漁で利用した際の映像例である⁴⁾。Top-view, Side-view, 3D-viewなど複数の異なる視点からの映像を描画することで魚群の全体像を容易に把握することができ、



(a) 傘型受信ビーム

(b) 3D 受信ビーム

図4 スキャニングソナーの受信ビーム形状

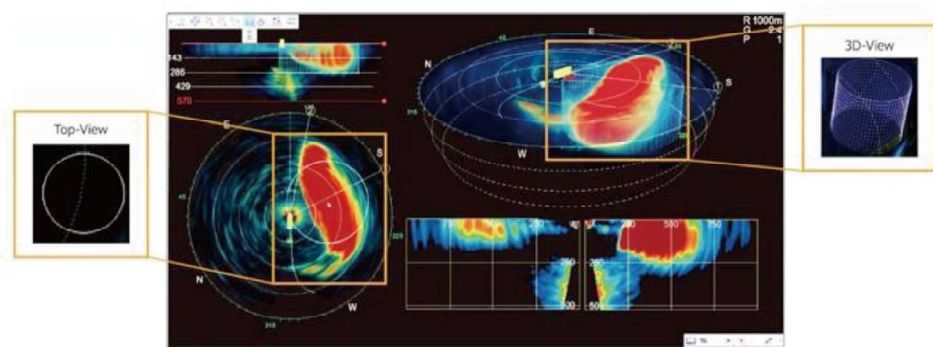


図5 旋網漁での3D スキャニングソナー FSV25-F3D-S の映像例

漁獲判断に有益な情報を提供できることが分かる。

水産資源の持続的な利用の観点でスキャニングソナーは広範囲の探索を効率的に行えるため、資源量調査には極めて有効な装置である。医療用超音波診断装置で技術開発が進んだデジタルビームフォーミング技術のスキャニングソナーへの採用が2000年頃から進み、魚群探知性能向上のためにデジタル信号処理技術が導入され⁵⁾、同時にスキャニングソナーで得られる様々なデータが出力されるようになったが、一方でデータフォーマットはメーカー独自のものが採用され、データを利用する水産研究者等にとって利用しにくい状況であった⁶⁾。そのためノルウェー IMR (Institute of Marine Research) の研究者を主体とするグループにより全周ソナーの共通フォーマット作成に向けた活動が立ち上げられ、国内においては海洋音響学会の研究部会が立ち上げら

れ、国内メーカー、大学、研究所の専門家の意見を集約し、2018年に SONAR-netCDF4 (Ver.1.0) とした規約が ICES の共同調査レポートとして出版された⁷⁾⁸⁾。今後は資源量調査に有効な機能開発や性能向上が進むことが期待される。

4. マルチビームソナーの研究開発動向

マルチビームソナーは海底に向けて船の左右方向に多数の音響ビームを形成し、船の進行方向に対して垂直断面の映像を取得する装置であり、送波器と受波器が直交する構成とすることで狭ビームを形成するミルズクロス法と呼ばれる技術が広く普及している⁹⁾。1983年にはマルチビームソナーが国内で初めて導入され、その後1990年代には浅海域におけるマルチビームソナーの導入が進み、水路測量等に利用されるようになった¹⁰⁾。

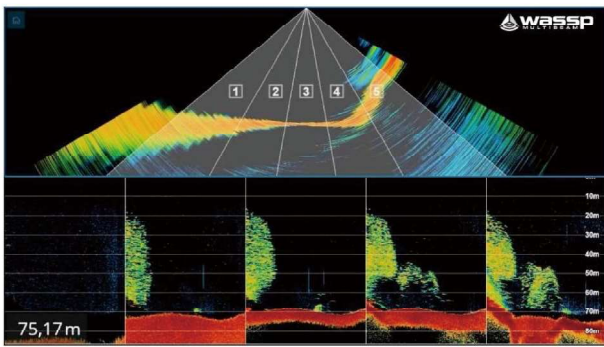


図6 マルチビームソナー WASSP の5ビーム魚群探知機としての利用例

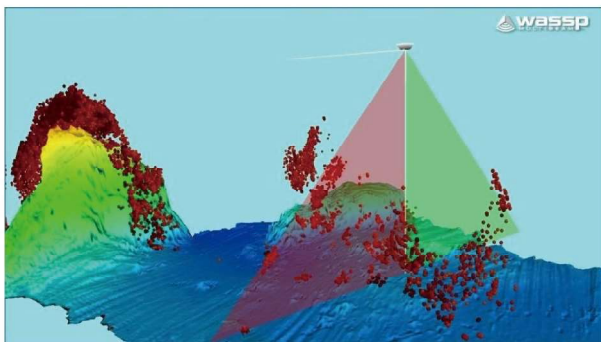


図7 マルチビームソナー WASSP の自船直下の断面履歴映像



図8 マルチビームソナー DFF-3D 送受波器

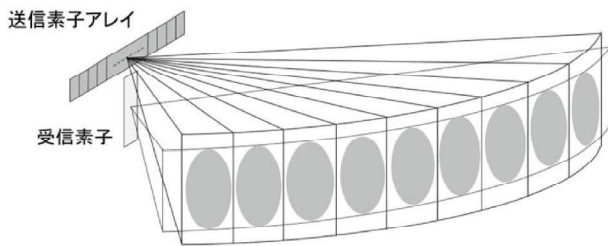


図9 MAT の送波器と受波器配置例

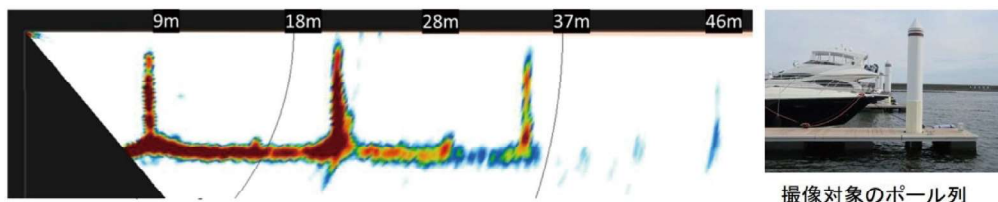


図10 MAT を採用したマルチビームソナーによる映像例

2000年代にはマルチビームソナーの低価格化や漁業向け機能の導入などによって漁業分野でも利用される様になり、海底マッピングや漁場探索、魚群探索などの効率化が進んだ。図6, 7は漁業用マルチビームソナーの映像例で、図6は5ビーム魚群探知機としての利用例であり、自船直下5方向に魚群探知機のビームを形成して魚群の探知漏れ回避や、自船と魚群との位置関係の把握を行うための機能である。図7は自船直下の断面履歴映像で、魚群と海底を識別・分離して3D表示することで、海底と魚群の位置関係を把握し、投網等の判断を行う際に有効な機能である。

図8は古野電気株式会社から販売されているDFF-3Dの送受波器で³⁾、送波器と受波器を一体化し、独自の信号処理技術で方位分解能を劣化させることなくチャンネル数を抑え、送受波器は幅83mm、長さ353mm（フェアリング含む）と小型漁船や小型プレジャーボート等にも搭載可能な大きさである³⁾。

また、送受信回路を小型化し、低コストでリアルタイム2D/3Dイメージングを実現する新しいビームフォーミング技術であるMAT（Moving Aperture Transmission）と呼ばれる技術が提案されている¹¹⁾。

MATでは送波器と受波器は図9に示す様に1次元アレイを直交配列し、直線状に配列した送波素子を順次切り替えることで、等価的に直線状を等速運動しながら超音波を放射する送波素子を形成する。こうすることで水中に放射された音波はドップラー効果の影響で方位によって異なる周波数が観測されることになり、周波数を選択することで方位検出が可能となる。原理的には送信回路と受信回路の各1chと送信スイッチング回路のみで2次元マルチビームソナーが実現できる技術である。

図10はMATを採用したマルチビームソナーによる映像例である。ヨットハーバーの棧橋に並ぶポール列を2次元映像として捉えていることが分かる。

5. まとめ

以上、漁業分野における水中音響技術に関して、魚群探知機、スキャニングソナー、およびマルチビームソナーの最近の研究開発動向について解説した。魚群探知機では広帯域技術による距離分解能の向上がトレンドであったが、広帯域信号から、対象魚に関する情報を抽出する技術についても今後は開発が進むであろう。スキャニングソナーでは3D映像化や広帯域化、共通データフォーマットがトレンドであり、今後も持続可能な水産業の維持発展に向けて漁業者や水産研究者にとって有益な機能開発が期待される。マルチビームソナーは、技術革新によって低価格化が進んだことで漁業分野での普及が今後進むと考えられる。また本稿では触れなかったが、近年飛躍的に進化するAIは水中音響分野でも利用が進むことは疑う余地は無いと思われる。

※本稿の内容は、「小河慎二 (2023), "漁業分野における最近の水中音響技術研究開発動向", 海洋音響学会誌, 40(4), 印刷中」を改変したものである。

6. 参考文献

- 1) 鎌田弘志, “音響測深から魚群探知機へ”, in 海洋音響の基礎と応用 第2版, 海洋音響学会 Eds. (成山堂書店, 東京, 2014), Chap.2.4.2, p.10-11
- 2) 王勇, 佐藤隆宣, “水産資源調査における音響計測と機器”, 超音波 TECHNO, 2013年12月号
- 3) 古野電気株式会社. “ソナーの仕組み”. <https://www.furuno.com/jp/technology/sonar/basic/> (参照 2023/7/1).
- 4) 古野電気株式会社. “3D Sonar Visualizer™”. <https://www.furuno.com/special/en/sonar/f3d-s/> (参照 2023/7/1).
- 5) 奥西哲, “漁業用スキャニングソナーの高画質化技術”, 映像情報メディア学会誌, Vol.70, No.2, 333-336(2016)
- 6) 澤田浩一, “海洋音響学会全周ソナーの標準データフォーマット研究部会に関して”, 超音波 TECHNO, 2020.11-12, 45-46
- 7) 澤田浩一, “水産音響計測分野における国際標準化の取り組み”, 海洋水産エンジニアリング, 第165号, 62-63(2022)
- 8) 澤田浩一, 甘糟和男, “全周ソナーの標準データフォーマット研究部会報告の概要” J.Marine Acoust Soc. Jpn., 47(3), 105-113(2020)
- 9) 浅田昭, “ミルズクロス法とクロスファンビーム方式”, in 海洋音響の基礎と応用 第2版, 海洋音響学会 Eds. (成山堂書店, 東京, 2014), Chap.13.3.2, p.159-161
- 10) 住吉昌直, 佐伯達也, 大久保匡騎, 森雄基, 森弘和, 吉澤信, 長野勝行, 栗田洋和, 鐘尾誠, 安原徹, 長澤亮佑, “水路測量における技術の進歩と近年の取り組み”, 海洋情報部研究報告, 第59号, 令和3年3月19日
- 11) 西森靖, 岩田光平, 柴田信雄, “新しい周波数ビームフォーミング手法MATの開発”, 海洋音響学会 2023年度研究発表会講演論文集, 37-40

