■ 研究速報

GPS プロッタ魚群探知機に取り付ける 簡易型音響資源調査システムの試作

宮本佳則[†], 内田圭一, 甘糟和男, 長谷川浩平 (東京海洋大学)^{*1}, Yuttana Theparoonart (SEFDEC/TD)^{*2},
Monton Anongponyoskun (Kasetsart University)^{*3}, 石川智士 (総合地球環境研究所)^{*4}, Yap Minlee (総合地球環境研究所/現 東京海洋大学)^{*5}, 笹倉豊喜 ((有)フュージョン)^{*6}
(2015 年 8 月 28 日原稿受付)

Abstract:

Biological production is thriving in the coastal areas of Southeast Asia. However, resource evaluation has not progressed. In addition, the valid acoustic research needed for resource assessment is not being conducted or disseminated. Therefore, we developed a simple measurement system to perform acoustic investigations and provide basic education. We then conducted a field test in an effort to understand the distribution of fish schools in Tateyama bay, Chiba, Japan. Depth of the target research area was about 20m. The acoustic device was composed of a GPS plotter and echo sounder (FURUNO GP1670F) + Interface Box and PC. The concept has been used previously. However, the equipment is simple and easy to use in collecting acoustic data. First, we assumed the amount of resources for recreational boats to measure the distribution of fish using the fish finder. Results confirmed that the system was sufficiently effective.

Classification: 水産音響・バイオアコースティックス, その他(観測, 計測等)

Keywords: 音響調査, 浅海域, GPS プロッタ魚群探知機

Prototype of a Simple Acoustic Survey System for Attachment to a GPS Plotter Echo Sounder

* 1 Yoshinori MIYAMOTO, Keiichi UCHIDA, Kazuo AMAKASU, Kohei HASEGAWA (Tokyo University of Marine Science and Technology: TUMSAT)

* 2 Yuttana THEPAROONART (SEFDEC/TD)

* 3 Monton ANONGPONYOSKUN (Kasetsart University)

* 4 Satoshi ISHIKAWA (RIHN)

* 5 Yap MINLEE (RIHN/TUMSAT)

* 6 Toyoki SASAKURA (Fusion Inc.)

[†] E-mail: miyamoto@kaiyodai.ac.jp

1. はじめに

日本では、近年の沿岸漁業で漁獲量の大幅な減少があり、資源の減少を示す現象が見られる。このことから日本では国の補助事業である沿岸特定資源調査を実施した。そして漁業実態、資源生態を調査している。さらに資源量、漁獲圧の実態、乱獲の有無および資源管理の必要性と方法を把握することが求められている¹⁾。

水産資源量調査では、調査船等を用いた音響手法やネットサンプリングで行うことが多い。一般的に音響手法を用いる調査では計量魚群探知機が用いられる。これは原理的には通常の魚群探知機と大きく変わらないが、すべてが定量化されている、魚のエコーの強さを分布密度に変換するための処理などができるようになってきている²⁻⁵⁾。しかし、計量魚群探知機は価格が高く装備している調査船の数に限りがある。また計量魚群探知機が装備されている調査船は比較的大型の調査船が多く、浅海域での調査に向いていない。先に述べた沿岸特定資源調査における提言でも明らかのように、豊富な水産資源と思われる内湾や浅海域において、音響手法を用いた継続的な魚群量調査や広域的な魚群量調査はあまり進んでいない。

一方で、内湾や沿岸では多くの漁船が操業しており、これらの漁船のほとんどに魚群探知機が装備されている。そこで多くの小型漁船に装備されている市販の魚群探知機を計量魚群探知機のように使用することができれば、小型の漁船を用いての魚群量を調査することが可能となり浅海域での魚群量調査(水産資源量の調査)が大きく進展する可能性があると考えた。

最近市販されている魚群探知機の多くは、音響信号をデジタル処理する。そのため、音響信号を外部に出力させるには、新たに D/A コンバータを取りつけるなどの改造が必要となる。また各メーカーが独自の信号処理を行っているので、出力された信号がどのような補正・加工をされているかが不明である。そこで、新規に音響データ出力を持つ魚群探知機を開発するのではなく⁶⁾、市販の

魚群探知機本体とトランスデューサの間から音響信号を抜き出すインターフェイスを用いて音響データ収集システムを構築することとした。このように、市販の GPS 魚群探知機に対応した信号取込機にすることにより、既存の小型漁船で簡単に使用することができ、新たに魚群探知機を購入する必要がない。また、機種やメーカーに依存することもないので多くの漁船での使用が可能となる。

本研究では、市販の魚群探知機本体を改造することなく、音響信号データを収録するシステムを試作し実海域における性能検証を行うとともに、その波及効果について検討した。

2. 音響信号収録システムの概要

本研究では、魚群探知機に古野電気製の GPS 魚群探知機 GP-1670F を使用した。この GPS 魚群探知機は、小型漁船やプレジャーボート向けに市販されている。GPS プロッター機能と 2 周波の魚群探知機の一体型である。この機器の送信周波数は 50kHz と 200kHz の 2 周波である。振動子は 520-5PSD である。また自船位置情報や水深情報を NMEA0183 形式の RS232C で PC に出力することができる。このため、調査船の位置と水深をこの機器から得ることができる。

試作した信号取込機は、魚群探知機の送波信号をトリガーとし、対象物からのエコー波形を受信アンプで増幅する。そして、AD コンバータを用いてデジタルデータに変換し PC に記録する(**Fig. 1**)。しかし最近市販されている魚群探知機の多くは片方の周波数のみを送波することができない。トリガーとしている送波信号で 2 つの周波数を識別することは困難である。また、対象物からの反射波の信号は非常に小さく、増幅する必要がある。そこで、受信アンプにバンドパスフィルタを設けて 50kHz のみを増幅するように設計した。受信アンプは増幅率を 2 段階に可変できるようにした。受信アンプの周波数特性を **Fig. 2** に示す。50kHz でのゲインは、Low で 58.0dB、High で 77.7dB あり、200kHz では 6dB である。した

Fig. 1 Block diagram for the prototype of the simple acoustic survey system to be attached to the GPS plotter echo sounder. CTD provided water temperature and salinity data only (Two points line).

Fig. 2 Frequency characteristics of the preamplifier. The solid line indicates high gain, and the broken line low gain.

がって、200 kHz の信号は、AD コンバータから電圧がほぼ 0V として出力される。

50 kHz のみを利用することは、本研究の調査対象海域は水深 20 m 程度の浅海域であることに起因する。一般的にビーム幅が狭いと、浅い海域でのビームの照射範囲が狭くなり探索漏れのリスクが高くなる。そこで、ビーム幅が広く探索漏れのリスクが少ない 50 kHz を選択した。

AD コンバータは Pico Technology 製の Pico Scope4224 を使用した。サンプリングレートは最

大 80 Ms/s、分解能は 12 bit、電源は USB バスパワーである。本機は本来、デジタルオシロスコープとして用いられている機器である。メーカーからデバイスドライバーや制御コマンドなどが提供されており、音響信号を PC に収録する為のソフト開発が容易である。ここでは、音響信号収録ソフト (Fish Finder, Fusion 社製) を使用して PC に CSV 形式で記録するようにした。このソフトでは、サンプリング周波数は 19.53 kHz、サンプリング数は 800 点で、音速を 1500 m/s とすると深度 30 m までのエコー波形が保存できる。ただし、本研究で利用した魚群探知機は、測定深度が変わると送信間隔とパルス幅が自動的に変化する。これはトリガー間隔が変化することとなり、収録データが固定長とならない。そこで、測定深度を固定 (80 m) することで、送信間隔とパルス幅が変化しないように設定してデータを収録した。

収録された CSV ファイルには、時刻データは記録されていない。そこで、魚群探知機に NMEA2000-0183 変換器 (IF-NMEA2K2) を使用し、自船位置情報や水深情報を NMEA0183 形式の RS232C で出力させ、Windows の HYPERTRM.EXE を利用して記録し、その時刻データと音響データを同期させるようにした。また、CTD (CastAwayCTD, SonTek/Xylem Inc.) を用いて実験海域で水温と塩

分を計測した。

3. 実験とその結果

3.1 較正実験

受信アンプの出力を体積後方散乱強度に換算するため、システムの較正実験を行った。2013年4月25日に千葉県館山湾において、東京海洋大学が所有する36号艇(2トン、全長:8.46m)を用いて実施した。標準球として直径38.1mmのタングステンカーバイド(WC)球を釣り糸でトランスデューサから5mのビーム軸上に懸垂し、3分間WC球のエコーを記録し、式(1)に代入し送受信係数 K を求めた。

$$K = 40 \log r + 2ar - TS + 20 \log E_R \quad (1)$$

ここで、 r は振動子から標準球までの距離(5m)、 α は吸収係数(0.015dB/m)、 TS は標準球のターゲットストレングス(-40.8dB)、 E_R はWC球のエコー電圧(0.100V)である。その結果、 $K=48.5$ dBが得られた。

3.2 実海域実験

海上実験は、音響による魚礁集効果評価手法ガイドライン⁸⁾を参考に、2013年4月25日に千

葉県館山湾において行った。舷側金具を用いて東京海洋大学が所有する36号艇に振動子を固定し、実験艇の船速は4ノットで行った。Fig.3に実験海域とその調査計画線を示す。一本の調査線の長さは1マイルとして調査計画線を設定し、計4海里の調査線の調査を行い、所要時間は機器の較正を含め2時間程度であった。

また、受信アンプのゲインはLowに設定した。3m付近までは発信線の影響があるので使用せず、積分層を深度5-10m、10-15m、15-20mに設定して解析を行った。

システムから得られるのは、受信電圧 v であるから、体積後方散乱強度 S_v は、

$$S_v = 20 \log v - K + 2ar + 20 \log r - 10 \log (c\tau\Psi/2) \quad (2)$$

ここで、 c は音速、 τ は等価パルス幅であり、 Ψ は等価ビーム幅である。 α と c は、CTDにより得られた水温と塩分から計算した。 τ は実測により、 Ψ は近似式

$$\Psi = \frac{4\pi}{(ka)^2} \quad (3)$$

Fig. 3 The research planning line at Tateyama bay

Fig. 4 Resource distribution estimation diagram of the experimental area in April 2013 at 5–10m; (b) at 10–15m; and (c) at 15–20m.

で求めた。ここで、 k は波数、 a は振動子の半径(m)値とした。

S_v は、積分層×0.1マイルのセル内で平均し、さらに積分層の厚み(4.922m)をかけて面積後方散乱強度 S_A とし、魚群量指標として表示した。

結果をFig. 4に示す。深度5–10mの解析ではLine 2では北部付近に比較的大きな反射があり、この付近に魚群が分布していたと考えられる。深度10–15mではLine 4の方がLine 3よりも反射が大きかったという結果が得られた。深度15–20mではLine 3の中央部付近で大きな反射が得られ、この付近に魚が分布していたと考えられる。

4. まとめ

GPS 魚群探知機の本体を改造することなく、

簡易計量化に成功した。また、魚群探知機を用いて魚群分布調査し、魚群分布図の作製が可能であることが確認された。機器の較正を行い、 S_A を算出することにより相対的に魚群量を比較することができた。

このシステムを用いることで、一つの周波数であるが、既存の計量魚群探知機の5%程度のコストで導入(解析ソフトを含む)を行えると推定する。

本研究では、エコー積分法で解析を行う際に積分層を5–10m、10–15m、15–20mに設定し0.1マイルごとの S_A を求めたが、実験で得たエコー波形は深度30mまでデータがあるため、発信線の影響がない3m～海底までの任意の積分層での解析が可能である。任意の時間(ピング数または距離)での解析が可能であり、比較的簡便に魚群分布の調査が可能であることが示唆された。

異なる時期の魚群分布を比較する際には実験機器の較正が必要であるが、よく利用する海域の海底の S_A をあらかじめ求めておき、海底の反射を利用した簡易較正法を適用すれば比較的簡便に魚群分布の比較が可能になると考えられる⁹⁾。このような方法を用いると、一度の操業で同一海域の魚群データを多量に収集することが可能となり、海底反射を用いた簡易校正法を用いれば複数の漁船、異なる魚群探知機や振動子を用いた場合でも比較的簡単に魚群分布の調査が可能となる。また多くのデータを平均することも可能となるため、誤差の軽減も期待できる。浅海域での魚群量調査が飛躍的に進むことが期待できる。

しかしながら本システムでは、魚群分布の比較にとどまっている。今後、魚群量を推定するためには本システムと計量魚群探知機との比較やネットサンプルとの比較を行うことが必要である。

また本研究では、2周波の魚群探知機を用いながら1周波のみのデータを収録することにとどまっている。複数の周波数を記録できれば、周波数による反射強度の違いなど、より計量魚群探知機に近い音響データを収録することができ、定量化の精度向上が考えられる。加えてGPS 魚群探

知機のデータを簡便に収集することが可能となるため、魚群量調査以外の調査への応用も期待できる。

また、使用した GPS 魚群探知機も一つの機種

のみで行えていない。基本的な魚群探知機の構成は、どのメーカーの製品であっても大きく異なることはない。しかし、使用している周波数が異なっている場合もある。したがって、本研究で

Fig. 5 Research area in Rayong, Thailand, off the coast

Fig. 6 Examples of echogram at the time of investigation

は、使用した機種に合わせたプリアンプの増幅率やバンドパスフィルターの周波数としたが、他の機種に対応できるようにプリアンプ回路における増幅率などを容易に変更できることや、ダイナミックレンジを広げるためにログアンプを使用するなどの対応が必要である。

本研究で試作した音響信号収録システムは、特に船室を持たず、単独操船が多い小型漁船の場合、データ収録を PCで行うことや、ソフトの操作など、漁業者が容易に操作することは容易ではない。調査だけの航海であれば問題はないが、操業をしながらデータの蓄積をすることを考えると、より簡便なデータ収録システムが必要であり、そのデータを一次処理(少なくとも簡易的なエコーグラム表示ができる)するソフトウェアの開発が本システムの普及への課題である。

一方、アジア諸国においては食料確保の上からも、沿岸域における小型漁具による漁業は重要な産業である。しかしながら経済発展が著しい近年の東南アジア諸国では、沿岸域の水産有用魚種の資源量推定は全く行われていないのが現状である。音響による資源量調査については東南アジア漁業開発センター (Southeast Asian Fisheries Development Center: SEAFDEC) などで沖合の調査は行われている^{6,10,11)}。しかしながら、音響調査の専門の調査員が多数配置されているわけではない。また沿岸域における音響調査については、日本と同様の理由で行われていない。もちろん漁業者は、魚群探知機を利用しているが、資源量調査とは無関係である。加えて、水産・海洋系の大学において音響資源調査は全く行われていない。これは、東南アジア諸国における高等教育の中で、水中音響についての教育がほとんど行われていないことが一つの原因である。日本に留学して、水産音響学や水中音響学で学位を取得した研究者は多数存在している。しかし、帰国後、その専門性を活かした研究が行われてはいないのも現状である。これは、水産音響学では、物理学、電気電子工学、統計学、生物学など多岐にわたる基礎知識

が必要であり、専門家を育成するのに時間がかかることが理由となる。加えて音響調査の弱点と問題点は、音響データだけでは魚種が不明なこと、計量魚群探知機の利用を促すには価格が高いこと、データ量が膨大で、解析に時間がかかることなどである。これらの問題は、東南アジア諸国だけの問題ではない。このように、教育と計測システムの両面から沿岸海域の音響資源量調査が東南アジア諸国で進んでいないのが状況である。

上記のような音響調査を有効活用できていない地域や、これから調査や教育を行う現場において、有効かつ容易に導入できるシステムであると考えられる。現在、本システムを用いてタイ王国タイ湾ラヨン沖において音響調査を行い、その結果を解析中である (Figs. 5, 6)。調査およびデータ解析手法をタイ側に開示し、その指導を行い音響調査の重要性や有用性を認識してもらい、東南アジアにおける音響資源量調査の啓蒙を行っている。

謝辞

この研究を行うにあたり、実験などを精力的に行ってくれた松下宗一郎氏(現本多電子株式会社)に謝意を示す。この研究は、大学共同利用機関法人人間文化研究機構総合地球環境学研究所研究プロジェクト“東南アジア沿岸域におけるエリアケイパビリティの向上”により実施された。関係者に深く謝意を述べる。

参考文献

- 1) 一般財団法人東京水産振興会, "日本沿岸域における漁業資源の動向と漁業管理体制の実態調査—平成 24 年度事業報告—," 1-296 (2013).
- 2) 古澤昌彦, "水産資源推定のための超音波による魚群探知に関する研究," 水工研報告, **11**, 173-249 (1990).
- 3) D. N. MacLennan and E. J. Simmonds, *Fisheries Acoustics*(Chapman & Hall, London, 1992), pp. 1-325.

- 4) 古澤昌彦, 宮野鼻洋一, 澤田浩一, 高尾芳三, "計量魚群探知機の較正方法," 水工研技報, **15**, 9-37 (1995).
- 5) 古澤昌彦, 宮野鼻洋一, "計量用魚群探知機の船間較正及び走航減衰調査," 水工研技報, **4**, 61-71 (1983).
- 6) J. Han, A. Asada and Y. Yagita, "New USB-based 3D digital echo sounder system for mapping and assessing fish and aquatic plants," Fish. Sci., **73**, 770-776 (2007).
- 7) 海洋音響学会, 海洋音響の基礎と応用(成山堂書店, 東京, 2004), pp. 121-145.
- 8) (社)マリノフォーラム 21, "音響による魚礁蝸集効果評価手法ガイドライン," 平成 20 年度水産基盤整備調査委託事業 簡易型計量魚探等を使用した魚類蝸集モニタリングシステムの実証, 1-89 (2009).
- 9) 青山千春, 濱田悦之, 古澤昌彦, 齊藤清隆, "水面を利用した計量魚群探知機の較正," 日水誌, **63**, 570-577 (1997).
- 10) Sunardi, J. Din, A. Yudhana, R. B. R. Hassan, "Target strength for fish identification using echo sounder," Appl. Phys. Res., **1** (2), 92-101 (2009).
- 11) R. B. R. Hassan, R. Ali, N. L. Anh, V. D. Hai, S. Fujiwara, K. Shiomi and N. Seman, "Pelagic stock assessment by hydroacoustic method in the South China Sea, Area IV: Vietnamese waters," Proceedings of the SEAFDEC Seminar on Fishery Resources in the South China Sea, Area IV: Vietnamese Waters, 1-9 (2001).