

音響リモートセンシングと GIS を用いた人工魚礁効果の定量的評価法に関する研究

実施機関： 独立行政法人水産大学校 海洋生産管理学科

担当者： 濱野 明・中村武史

調査実施年度：平成 13 年度 - 平成 15 年度

1 . 緒言

水産基盤整備事業における漁場造成の対象海域が沿岸から沖合域に進展し、さらに魚礁規模が大深度、大規模化するに従い、従来から行われてきた釣獲や潜水調査、また通常魚探機による評価方法では、魚礁設置効果を適正に評価することが難しくなってきた。このような状況のもと、広域、大水深における広域造成漁場の評価を考える上で、魚礁近傍や周辺域に分布する魚群の空間分布に関する情報は益々重要になってきた。

近年、ソナーや計量魚探機を中心とした水中音響機器の発展は目覚しく、音響機器による海中探査は水中音響リモートセンシングとも称され、海中空間に生息する海洋生物の分布状況を三次元的に計測できる重要な計測法の一つとなっている。また、GIS(地理情報システム)技術は魚群情報を位置情報と結合させることによりマッピング、オーバーレイ、三次元化を可能にする有効なツールとして、広く利用されるようになってきた。¹⁻⁴⁾

そこで本研究では、水中音響リモートセンシング法と GIS 技術を応用し、魚群分布の空間分布を三次元空間画像として表示し、さらに量推定のための新しい手法の開発を試みた。これは、従来、通常魚探機では見落とされていた船の針路の左右方向に分布する魚群情報をスキャニングソナーにより計測し、魚礁周辺に蟄集する魚群規模を三次元電子海図上に表示し、さらに得られた魚群の三次元画像化をもとに魚群推定を行おうとするものである。

これら一連の計測法は、今後、大深度、大規模化するであろう水産基盤整備事業において設置規模に応じた魚礁効果を評価する有効な方法になると考えられる。

2 . 調査方法

2.1 調査海域

対象とした調査海域は山口県阿武町約 2.5 マイル沖の沖合魚礁漁場である(図 1)。図 1 に示す水中構築物は水深約 67m に設置された 30m 型高層魚礁で、他に調査海域には 9m 型魚礁、さらに 7.5m 型、5m 型魚礁が南北方向に設置されおり、魚礁設置付近には最浅部 16m の二島グリと呼ばれる東西・南北方向に 1.5 ~ 2km 程度の広がりをもつ天然礁漁場がある。

2.2 調査内容

本調査は 3 ヶ年の調査研究として実施した。各年度ごとの調査内容は下記の通りである。

平成 13 年度：ソナー断層画像のデジタル化と GIS 技術による魚群規模の二次元マッピング

平成 14 年度：ソナー断層画像データの高速デジタル処理化及び魚群形状の三次元化のための基礎実験

平成 15 年度：GIS 技術を用いた魚群規模の三次元化と魚群量推定

2.3 調査方法

調査は平成 13-14 年にかけて図 2 に示す海域において実施された。山口県水産研究センター調査船「くろしお」(総トン数 119 トン)を用いて、図 2 に示すように南北 0.1 マイル間隔、東西方向 1-1.5 マイル長の調査定線を設定し、約 3.5 ノットの船速で実施した。用いた水中音響計測機器はカラーセクタースキニングソナー(古野電気製 CH-34, 162 kHz)及び準理想ビーム型計量魚探機(古野電気社製 FQ-70, 50kHz)である。スキニングソナーと計量魚探機の性能は表 1 に示す通りである。魚探機システムの較正は調査直後または直前に直径 38.1mm のタングステンカーバイド球を用いて行われた。⁵⁾

音響調査で得られたスキニングソナー映像は、一旦ビデオ装置(SHARP製、VC-LX2)に収録した後、後日研究室において解析した。密集魚群を対象とした魚群量推定調査では、計量魚探機を同時に作動させ、体積散乱強度 SV⁶⁾を測定すると同時に、一本釣り漁船による釣獲試験により魚種判別を行った。漁獲物はすべてサンプルとして持ち帰り、後日研究室で全長、標準体長及び、体重を測定した。

調査結果については、各年度ごとのテーマに沿って報告する。

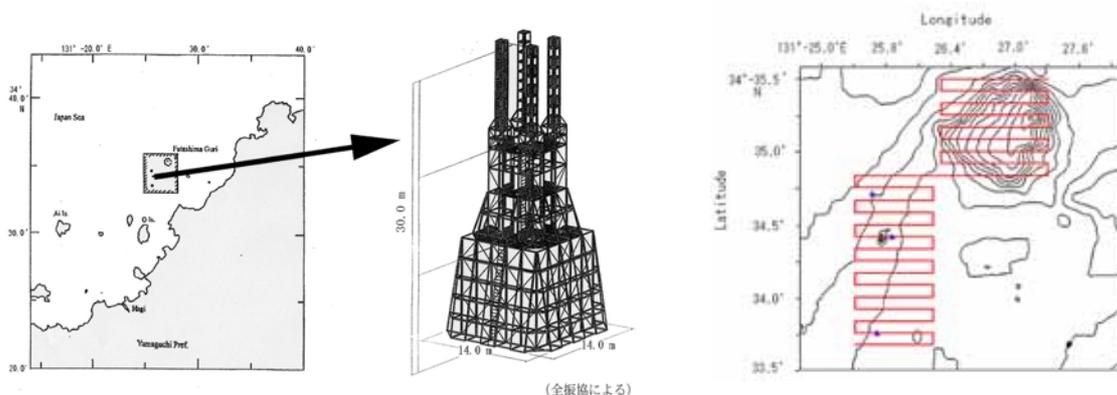


図 1 調査海域図と 30m 高層魚礁

図 2 調査定線図

表 1 スキニングソナー及び計量魚群探知機の性能

	Quantitative echo-sounder	Sector scanning sonar
Frequency (kHz)	50	162
Source level (dB)	208.7	224
Beam width (degree)		
Horizontal	—	12
Vertical	—	9
Alongship (= athwartship)	12.2	—
Pulse length (ms)	0.6	0.33
TVG	20 log R	20 log R
Absorption loss (dB/km)	13.7	—
Ping rate (rate/s)	1	—
Time to complete a sonar scan(s)		12

3. 調査結果

3.1 スキャニングソナー画像データのデジタル化と魚群分布の二次元マッピング

ソナーは音響ビームを回転させることにより、自船周囲の海中を可視化することができるので、より広範囲の魚群を探知することができる。本研究では、図3に示すように船の針路と直角な断層画像が得られるように、半円状のソナービームを船の進行方向と直角に、下方向に向けて使用した。これを船の進行方向に連続的に観測し、ソナー画像情報を重ね合わせることで、自船の真横方向の魚群分布や魚群の三次元的構造に関する情報を得ることができる。⁷⁾しかし、市販のソナーでは映像信号を外部出力するだけで、デジタル信号が出力されない。このため、今まで、魚群に関する情報、すなわち自船から魚群までの水平距離、深度、魚群断面積規模を求めるためには、多くの人手と労力を要した。

そこで、今回、ビデオに収録されたソナー画像をコンピュータ上で解析するために、映像画像をデジタル化し、魚群断面積を迅速に解析するためのシステムを構築した。まず、最初にビデオ装置（SHARP製、VC-LX2）に収録されたソナー画像をビデオキャプチャーボード（24ビット）でパソコンに取り込み、画像解析ソフト（Cosmos32）を用いて10cm（横方向）×4.64cm（深度方向）の分解能でデジタル化する。さらにデジタル化したデータは0-255の範囲で数値化し、魚群領域とそれ以外の領域とを閾値を設定することにより二値化し、魚群だけを抽出する。最後に抽出された魚群画像データは画像解析ソフト（Cosmos32）を用いて処理技術を用いて、実際の魚群断面積を求めると言うものである。これらの一連のフローを図4に示す。このようにして得られた魚群に関する情報は、位置情報と連結されて地理情報システムGISを用いて解析した。なお、今年度は用いたGISソフトはMapInfo（MapInfo Japan）である。

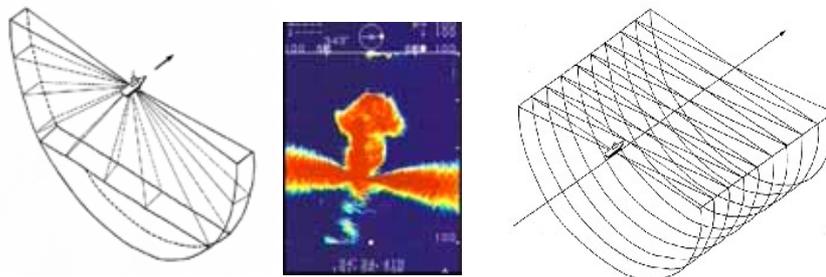


図3 スキャニングソナーにより得られる高層魚礁に蝟集する魚群画像

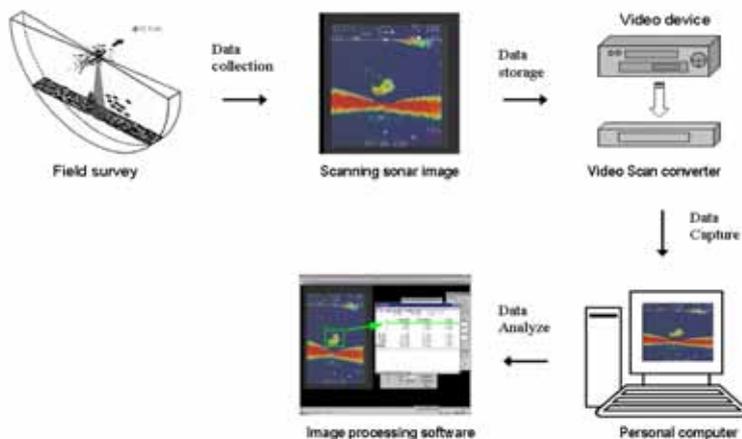


図4 魚群断面積を解析するためのシステム構築フロー

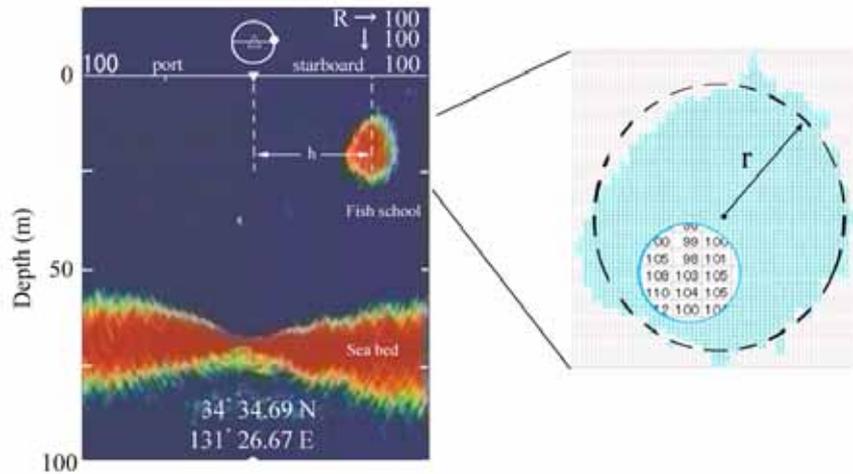


図5 スキャニングソナー断層画像と魚群データのデジタル化

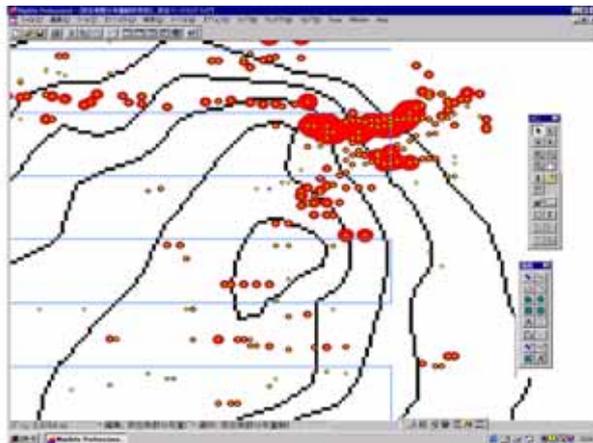


図6 バッファリング機能を応用した魚群規模の表示

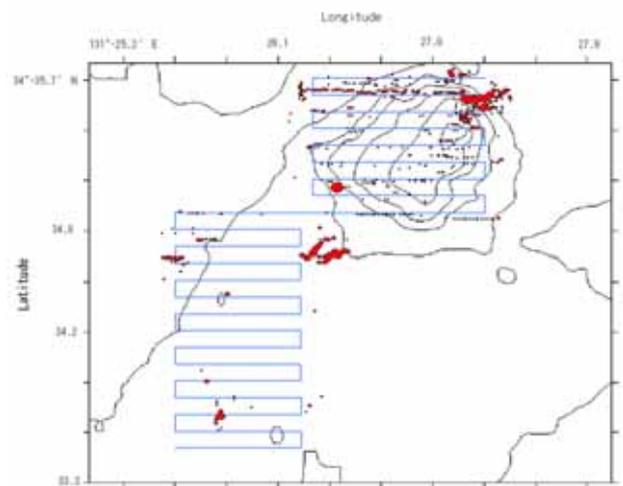


図7 コンピュータ上の海図に表示した魚群規模と位置

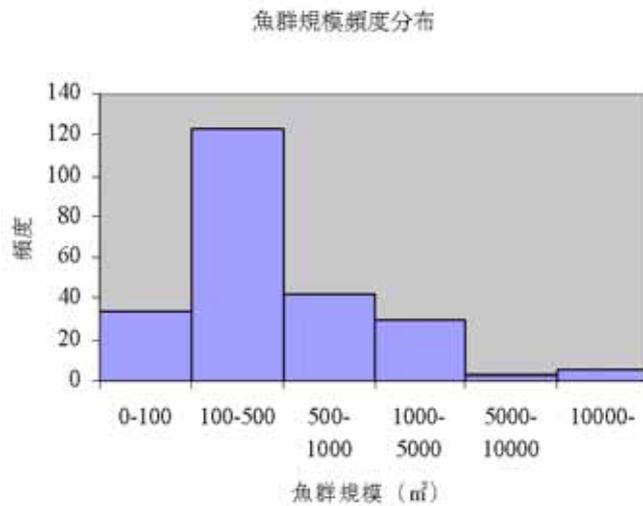


図8 魚群規模頻度分布

これらの解析から得られた主な結果は次の通りである。

- (1) 本研究で構築したシステムを用いて、船の針路の左右方向に分布する魚群を、デジタル化して抽出した。これにより実際規模の魚群断面積を迅速に求めることが可能となった(図5)。
- (2) スキャニングソナーで得られた魚群の断層画像面積を円とみなし、この等価半径を求めてGIS技術の一つであるバッファリングを用いて、魚群断面積をコンピュータ上に表示した(図6)。
- (3) 従来、船の針路の左右方向における魚群情報については、探査できず見落とされていた。しかし、本研究の成果により、調査海域全体における魚群の分布をもれなく探査し、さらにコンピュータ上の海図に実際の魚群規模を位置情報とともに二次元表示することが可能となった(図7)。
- (4) 図7から、高層魚礁、他の魚礁や二島グリ周辺辺部、とくに南側、北東側に大規模な魚群が分布していることが分かった。
- (5) これら魚群規模の頻度分布を図8に示す。

3.2 ソナー断層画像データの高速デジタル処理化及び

魚群形状の三次元化のための基礎実験

魚礁周辺に蟻集する魚群の規模を個別に把握するためには、通常の垂直魚探機で得られる直下情報だけでは不十分で、魚群形状に関する三次元的な情報の収集が重要となる。そこで本研究では、セクタースキャニングソナーから得られる船の針路に直角な断層画像を重ねあわせることにより、魚群形状の三次元画像化を考えた。⁸⁾ ここで、三次元化された魚群形状を求めたとしても、この結果を正しく評価する方法がないことから、魚群形状を求める前段階として、形状が既知の水中構築物(水深70mの海底に設置された高層魚礁:高さ30m、底面14m×14m)を対象として、ソナー映像で得られる断面積と実断面積及び三次元画像の比較実験を行った。また、このデータを解析するためには、画像処理を迅速に行うための高速デジタル処理化が必要となる。この高速処理化については、このテーマと同時に行った。

得られた主な結果は次の通りである。

- (1) セクタースキャニングソナーによる断層画像から画像処理技術を応用することにより魚礁の三次元画像を作成した(図9(a))。
- (2) 段階的に俯角が変わるビーム幅をステップ(3°)ごとに変化させ、得られた魚礁の画像を(x, y)座標点としてコンピュータ上に表示し、幾何学的アプローチによる三次元魚礁画像を作成した。この結果、頂上部が右側に幾分上がっている形状や、低部ではビームの球面波によるdead zoneの存在などにより円弧上に変化している状況が再現できた(図9(b))。
- (3) 今回の調査結果から、ソナー断層画像解析から求めた魚礁の推定体積は、表2に示すとおり、実際の魚礁体積より約5.53倍大きく示された。また幾何学的にビーム幅を考慮して求めた体積は実体積の5.73倍であった。
- (4) 表2に示すとおり、ソナー断層画像から求めた魚礁体積は幾何学的に求めた体積とほぼ、同じ値を示した。このことから、ソナー断層画像情報により求めた魚礁体積は幾何学的方法で補正できる可能性が示唆された。

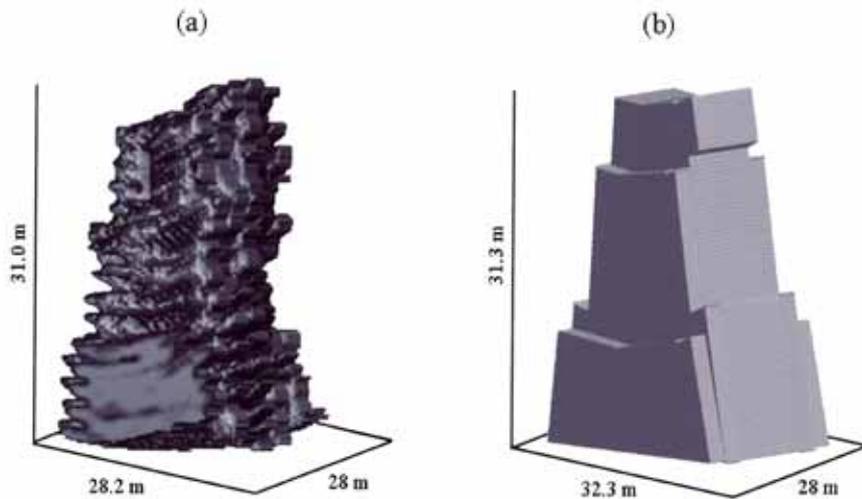


図 9 スキャニングソナー画像により三次元化した魚礁形状 (a) と幾何学的方法により三次元化した魚礁形状 (b)

表 2 魚礁形状の比較

	実測値 a	スキャニングソナーによる 推定形状 b (b/a)	幾何学的方法による 推定形状 c (c/a)
高さ (m)	30	31.0 (1.03)	31.0 (1.04)
幅 (m)	14	28.2 (2.01)	32.3 (2.31)
奥行き (m)	14	31.0 (1.03)	28.0 (2.00)
体積 (m ³)	2,500	13,844 (5.53)	14,360 (5.74)

3.3 GIS 技術を用いた魚群規模の三次元化と魚群量推定

平成 13 年度の本研究テーマで、船の針路の左右方向に分布する魚群を二次元マップ上に表示するシステムの構築を研究成果として報告した。しかし、魚礁に蜻集する魚群分布を二次元で表示するだけでは、高層化、大規模化する魚礁の設置効果を的確に評価することが難しい。そこで、本研究では、デジタル化された魚群の断層画像を GIS 技術を用いることにより、その魚群規模を三次元電子海図上に表示することを検討した。さらに魚群の三次元画像を基に、計量魚探機情報と釣獲による生物情報から、魚群量を推定する手法の開発を試みた。これら解析作業を円滑に進めるためには高速、大容量のコンピュータシステムが必要となる。本研究では高速デジタル処理が可能でかつ、三次元地図情報化が可能な ArcGIS 8.0(ESRI 社)を用いて解析を行った。また、三次元画像については画像処理ソフト Slicer (Spygrass 社)を用いて、魚群体積を求めた。得られた主な結果は次の通りである。

- (1) スキャニングソナーで得られた魚群の断層画像をデジタル化し、その断面積を求めた結果、得られた魚群断面積の平均は 638 m² で、約 41% が 100-500m² の規模をもつ魚群であった。
- (2) ソナー情報により船の針路の左右方向で探知された魚群数は全魚群数の約 64% を占めており、通常の魚探機探査では多くの魚群が見落とされていることが示唆された。
- (3) GIS 技術を用いてソナーで得られた魚群までの水平距離、深度から求めた魚群の位置情報に基づき、魚群断面積を三次元の海図上に立体画像として表示した。この結果、ソナー情報から高層魚礁周辺 4 年礁, 10 年礁及び二島グリと呼ばれる海底丘陵に魚群が集中して分布していることがわかった (図 10)。
- (4) 魚礁と魚群の位置関係を GIS のバッファリング機能を用いることにより、魚礁からの距離の分布を求めた。この結果、魚礁からの影響範囲はほぼ 0-80m と 100-500m 範囲の二つのグループに分かれる傾向が示された (図 11)。
- (5) セクタースキャニングソナーによる断層画像から画像処理技術を応用することにより、高層魚礁に蟄集する魚群の三次元画像を作成した (図 12)。これにより魚礁に蟄集する魚群形状を立体的に再現することができた。
- (6) ソナーと計量魚探機との同時使用により、魚礁に蟄集する魚群量の推定を行った。また、計量魚探機から得られた魚群密度をかけることにより魚礁に蟄集する魚群の尾数を推定した。魚群すべてをマアジ (TL = 11.5cm、W = 13.4g) と仮定すると、表 3 に示すとおり 4210 尾と推定された (表 3)。

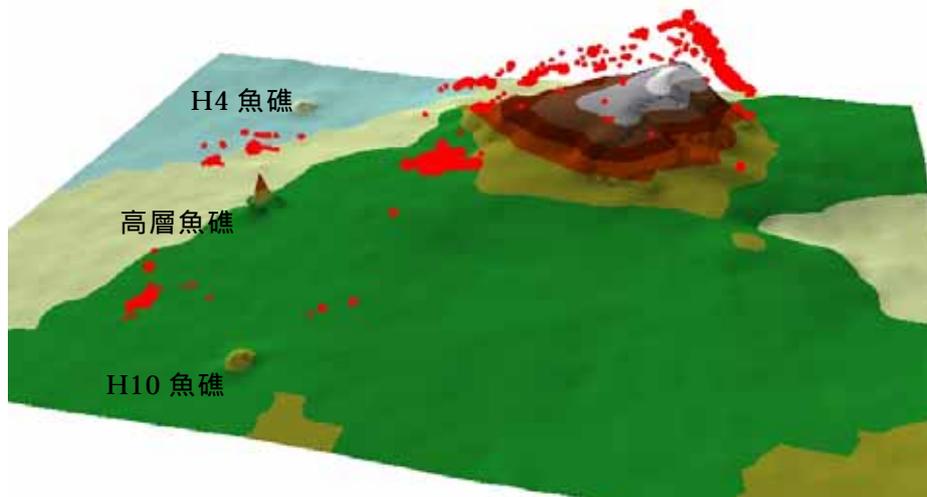


図 10 GIS による魚礁周辺に分布する魚群規模と位置の三次元表示

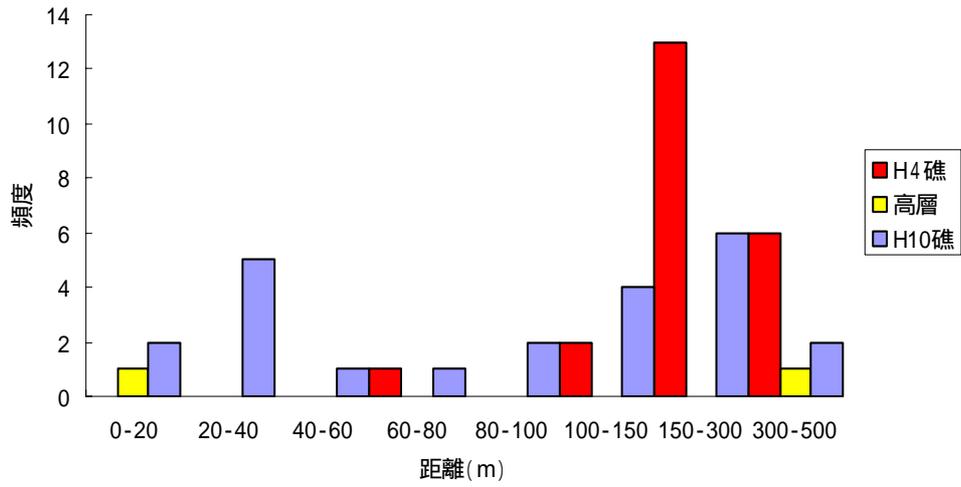


図 11 各魚礁から魚群までの水平距離

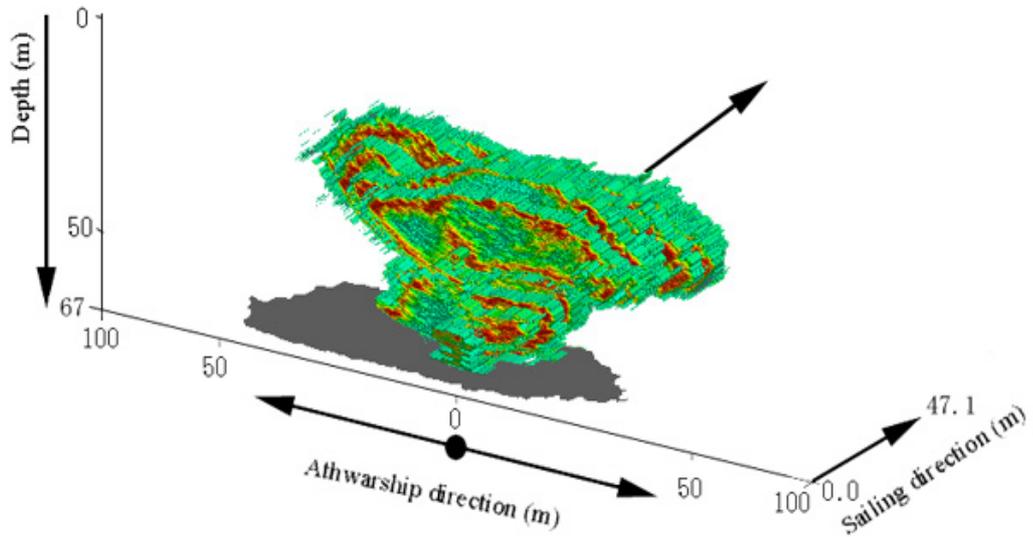


図 12 スキャニングソナーより得られた高層魚礁に蝟集する魚群の三次元画像化

表 3 魚群形状と魚群量の推定

規模 高さ×幅×長さ(m)	画像体積 × 10 ³ (m ³)	魚群体積 × 10 ³ (m ³)	補正体積 × 10 ³ (m ³)	平均密度 (g/m ³)	推定尾数 (number)
46 × 109 × 47	66.2	52.3	9.5	6.05	4210

4. 考 察

魚礁の設置規模が、大深度、大規模化、さらに人工海底山脈の造成も施行されるようになって、三次元的で広範囲な情報の収集が益々重要となってきた。水中音響リモートセンシング法は、衛星リモートセンシングなどで得られる二次元データとは異なり、海中空間に分布する生物や海底形状などの三次元情報を対象とする。しかし、沿岸域や沖合域は、人工魚礁、瀬、グリ、根、など、海底地形が変化に富んでいるため、魚群の分布は一様ではない。しかも、海中空間に分布する海洋生物は環境の影響を受けて三次元的にしかも短時間に移動するため、従来の垂直魚探機で得られた情報をもとに統計的に補間する方法では、魚群分布を正確に把握することはできない。そこで、統計的方法に依らないソナーを利用した三次元情報の収集法が益々重要となる。このソナーを応用した水中情報は三次元空間に分布する魚群情報そのまま我々の前に、可視情報として提供してくれるため、この情報をもとに画像処理技術を応用することにより魚群の三次元画像化も可能となる。^{9,10)} 一方、GIS技術は位置情報とともに海中空間を可視化できる重要な技術である。このGIS技術のバッファリング機能と空間検索機能を用いることにより、魚礁と魚群の位置関係についても魚群までの水平距離を容易に明らかにすることができる。すなわち、船の左右方向からの距離から求めた魚群の位置情報から、GIS空間検索を用いて、魚礁と魚群との位置関係を求めることができる。

このように、水中音響リモートセンシングとGIS技術を統合した人工魚礁効果評価法は、人工魚礁に蟄集する魚群分布を三次元的に表示し、他の要因との関連性を見出す手法として今後益々発展するものと思われる。また、将来コンピュータ上で魚群分布と海底地形や海洋環境など、他の複合情報との相関解析も行うことが可能ともなろう。

さらに、漁場造成の対象海域が広範囲に、しかも大深度になるに従って、時期、海域に関係なく扱える、等質データによる漁場評価法の確立は極めて重要なkeyになるであろう。統一された等質データに基づいた評価方法の整備は、今後、適切な漁場造成を行う上で、重要な指針になると思われる。このような点からも音響データはその重要なベースになる情報の一つであると考えられる。他の複合情報とともにきちんとデータベース化され、GIS技術を用いて情報検索とデータの可視化さらに情報間の相関・解析が行われれば、漁場評価手法も一段と進展すると考えられる。

5. 摘 要

1. キャプチャーボード(24ビット)を通してパソコンに取り込まれたソナー画像を、画像解析処理ソフトを用いて10cm(横方向)×4.64cm(深度方法)の分解能でデジタル化し、さらに、魚群までの水平距離、深度、魚群断面積が求めるシステムを構築した。
2. ソナー画像から魚群断面積を求めるに当たっては、二値化処理における判別分析法により閾値処理を行った。¹⁰⁾このようにして得られた魚群情報をGISの三次元表示機能を用いて、漁場の魚礁近傍や周辺域に蟄集分布する魚群の空間分布を表示した(図10)。この図に示すように当該魚礁漁場に分布する魚群を見落としなく、実規模で三次元的に表示することが可能となった。また、この図はGIS上の海図で描かれているため、回転、拡大が自由自在であるため、様々な視点からこの魚群の空間分布を見ることができる。

3. 鰯集魚群規模を三次元的に定量的に表示することが可能となり、二島グリと呼ばれる海底丘陵、さらに高層魚礁や設置魚礁周辺の中層に魚群が集中して分布していることが分かった。
4. 船の左右方向からの距離から求めた魚群の位置情報から、GIS空間検索を用いて、魚礁と魚群との位置関係を求めることができる。この空間解析の結果、魚礁からの影響範囲は、0-80mと100-500m範囲の二つのグループに分かれる傾向を示した(図11)。
5. ソナー断層画像解析から求めた魚礁の推定体積は、実際の魚礁体積より約5.53倍大きく示された。また幾何学的にビーム幅を考慮して求めた体積は実体積の5.73倍であった。
6. 断層画像を船の進行に沿って三次元画像ソフトを用いて重ね合わせることに、魚群形状を立体的に再現することができた(図12)。¹¹⁾ この図からこの鰯集魚群の横方向への広がりが100mにも及ぶことが分かった。

6 . 引用文献

- 1) Burrough, P.A., 1986 : Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University Press, New York. 194 pp.
- 2) Meaden, G.J., 1996 : Potential for geographical information systems (GIS) in fisheries management. *In Computers in Fisheries Research*, pp. 41-79. Ed. by B.A. Megrey and E. Moksness, Chapman & Hall, London. 254 pp.
- 3) Hamano, A., K. Uchida., S. Hara and S.Hiyama, 2000 : Application of GIS techniques to the preliminary step for estimating the effect of artificial reefs. *J. Nat. Fish. Univ.*, 48(4), 273-280.
- 4) Hamano, A., T. Nakamura and K. Uchida, 2001 : Assessment of artificial reef clusters on fish distribution using GIS techniques. The proceedings of the first international symposium on GIS in fishery science, 44-50.
- 5) Foote, K., Knutsen, H., MacLennan, D., and Simmonds, J., 1987 : Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: a practical guide. Cooperative Research Report, ICES No.144, 57 pp.
- 6) Foote, K.G., 1987 : Fish target strength for use in echo integrator surveys, *J. Acoust. Soc. Am.*, **82**, 981-987.
- 7) Hamano, A., Nakamura, T., and Mizuguchi, K, 2001: Quantitative assessment of small pelagic fish school on a three dimensional analysis using a scanning sonar and echo-sounder. International symposium on advanced techniques of sampling gear and acoustical surveys for estimation of fish abundance and behavior, Acoustgear, 9-th PICES Annual Meeting, Hakodate, P15.
- 8) Hamano, A., T. Nakamura, 2001 : Combined use of quantitative echo-sounder with scanning sonar to visualize semi-quantitative three-dimensional image of fish-schools. *J. Nat. Fish. Univ.*, 50(1), 1-11.
- 9) Gellotto, F., M. Soria and P. Freon, 1999 : From two dimensions to three : the use of multibeam sonar for new approach in fisheries acoustics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56, 6-12.

- 10) 飯田浩二・向井 徹・堀内則孝, 1998 : スキャニングソナーを用いた表中層魚群の三次元分布と形状の解析。海洋音響学会誌, 25(4), 240-249.
- 11) Hamano, A., T. Nakamura and H. Maeda, 2002 : Improvement in school-size estimates of pelagic fish using information from sector scanning sonar. *Fish, Oceanogr.*, 11, 361-365.