賛助会員の活動

水中3Dスキャナーによる水産資源の可視化技術のご紹介

いであ株式会社　高島創太郎･古殿太郎･西林健一郎･大野敦生･西翔太郎･峯岸宣遠

1. はじめに

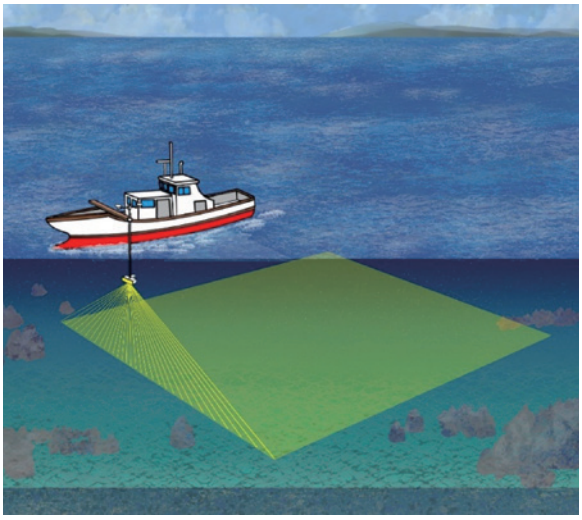
水産資源には、その全体像を直接見ることができない不可視性、季節やその他の要因に従って分布を変える移動性、環境条件等により資源量が大きく自然変動する変動性といった特徴があり、水産資源の評価は、過去、現在及び未来のいずれもが推定とならざるを得ず、不確実性が内在している。このため、「国連公海漁業協定」においては、資源の保存管理措置の導入に当たって「入手することのできる最良の科学的根拠に基づくものとすること」が求められるとともに、不確実性がある中であっても科学的なデータや証拠が十分でないことを理由に保存管理措置をとらないのではなく、むしろ一層の注意を払って一定の安全性を見込んだ予防的な措置をとること（予防的アプローチ）が規定されている。

これまでの水産資源評価は、漁獲統計、計量魚探、潜水観察、各種漁法による試料採取、等により評価されてきたが、ICTが発達した現在においては、効率的な漁業操業や持続的な水産資源管理を行うために、最新の科学技術を活用し、水面下の海洋情報、水産資源を可視化することで正確に実態を把握し、適切な管理を行うことが求められている。

本報では、最新の小型･高性能音響機器である水中3Dスキャナーを用いて水中を可視化し、魚群や魚礁、藻場等の実態を三次元で効率的に把握することで、水産資源の可視化を行う手法を紹介する。

2. 水中の可視化技術

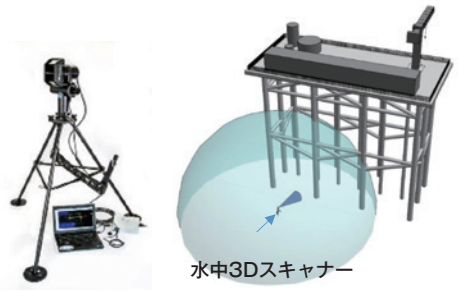
水中の可視化には、主に音響技術が使用されており、その中でもマルチビームソナー（図1参照）は、海底地形を計測する音響機器として最も一般的である。広範囲を効率的に計測可能であり、主に海底面に向けて音波を発信するため、海底に設置された魚礁や藻場の分布調査、地形測量に効果的である。



システム機能	内容
周波数	200～400kHz
ビーム幅	0.5° ×1°
ビーム数	256
スワス幅	10 ～ 160°
最大測定レンジ	500m
レンジ分解能	1.25cm

図1　マルチビームソナーの概要

最近では、このマルチビームソナーの技術を応用した、水中3Dスキャナー（TELEDYNE BlueView社製BV5000-1350）が開発され、ソナーヘッドがパン・チルト装置により上下左右に回転することで、陸上の3Dレーザースキャナーのように、360° 全周囲の測量が可能となった。また、対象物の側面から測量を行うことで、魚礁等の立体的な構造物や、魚礁に蝟集する魚群の形状を詳細に計測することが出来る。この機種の測定レンジは30m程度であるが、マルチビームと比較して周波数が高いため解像度が高く、より詳細なデータを取得することが可能となった。水中3Dスキャナーの概要を図2に示す。



水中3Dスキャナー

システム機能	内容
耐圧	2000m
周波数	1.35MHz
ビーム幅	1° ×1°
ビーム数	256
測定レンジ	30m
パン　水平方向	360°
チルト　鉛直方向	45°

図2　水中3Dスキャナーの概要

3. 水中3Dスキャナーによる調査技術

水中3Dスキャナーは、三脚に取り付けて海底に着底させ、対象物を計測する手法が一般的であったが、小型・軽量であることから、動揺センサーと組み合わせて調査船やROVに搭載し、移動・浮遊状態でも計測できる技術を当社独自に開発した。これにより、調査目的やフィールド条件により計測方法を選択し、水中の様々なシーンで水産資源の可視化データを取得することが可能となった。ROVを始めとする多様なプラットフォームに対応することで、目的に応じてユーザーが自由に観測方法を選択することができることも、従来のマルチビームと比べて新しい点である。以下に水中3Dスキャナーを用いた計測方法の概要を述べる。

1）三脚による計測

三脚に水中3Dスキャナーを搭載し、海底に設置することで、設置した位置を中心に周辺360° 半円球上に計測を行うことが可能である。海底への設置は潜水士、もしくは船上からロープで垂下して行う。（図3参照）。測定対象が決まっている場合や、船舶を利用できない場所では有効な手法であるが、測定可否はケーブル長（最大90m）に依存する。

図3　三脚による計測方法

2）調査船に艤装した計測

通常のマルチビームソナーのように、調査船に水中3Dスキャナーを艤装し、動揺センサー及びGNSSと組み合わせて、移動しながらの計測も可能である（図4参照）。船速約4ノットで移動しながら水中構造物の形状や海底地形を計測できるため、広い範囲を効率的に調査することが可能となった。また、停船して水中3Dスキャナーを前後左右に回転させての計測も可能である。

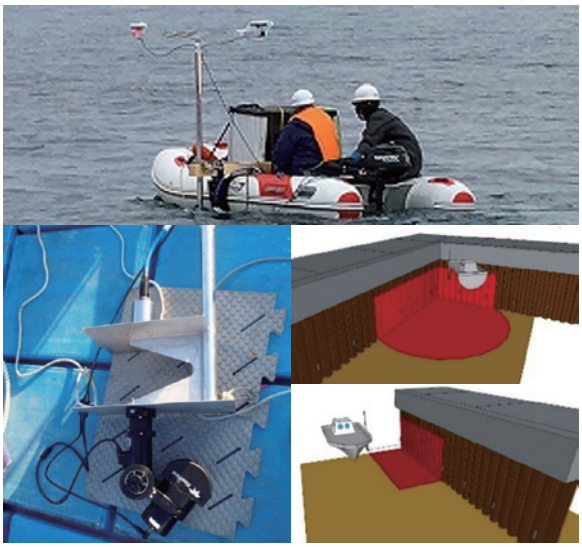


図4　船舶を用いた計測方法

3）ROVに搭載した計測

ROVに搭載した場合の計測概要を図5に示す。ROV（TELEDYNE BENTHOS社 製SeaRover）は水深300mまでの潜航が可能であるため、潜水士では対応困難な水深40m以深の魚礁調査などに活用される。船舶の調査と同様にROVにも動揺センサーが搭載されているため、ROVを着底または浮遊させた状態で計測することが可能である。ROVにはハイビジョンカメラも搭載されており、海底の周辺状況確認や魚礁に蝟集する魚介類の種判別等に使用する。ROVの水中測位は、音響測位装置USBL（Ultra Short Base Line）により、母船からの方位･距離を計算して行う。

図5　ROVを用いた計測方法

4. 水中3Dスキャナーによる水産資源の可視化

1）水中3Dスキャナーによる魚群の定量化

水中3Dスキャナーによる計測結果より、測定された点群データ[1]による魚群の定量化手法の検討を行った。初めに水中3Dスキャナーによる魚群計測結果の精度を確認するため、水槽内でイワシの魚群測定試験を実施した。水槽に投入した数百尾のイワシは、底層付近に小さな魚群と表層付近に大きな魚群を形成し、これらの魚群を補足できる位置に三脚に搭載した水中3Dスキャナーを設置、魚群の測定を実施した（図6参照）。また、測定状況を表1に、投入したイワシの諸元（代表30尾）を表2に整理した。

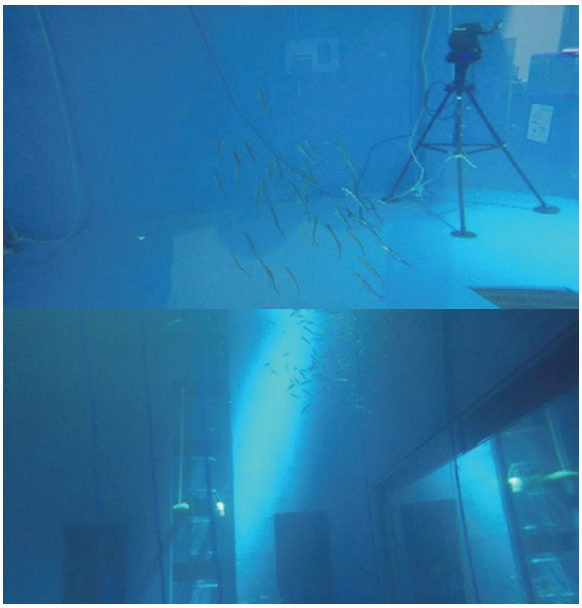


図6　水中3Dスキャナーによるデータ取得状況

1　点群データ：3Dスキャナーなどで物体や地形を計測したデータを、コンピュータ上で扱う際、物体や地形は「点」の集合【=3次元点群】として表現することになり、このデータを点群データという。

水中3Dスキャナーによる魚群の測定結果より、点群データの形状は、映像や肉眼で確認した形状と概ね一致していた。計測データから魚群の点群データを抽出し（図7参照）、点群データの体積より魚群体積を求め、表2の諸元を基に、単位体積尾数及び単位体積重量の算出を行った（表3参照）。

水中3Dスキャナーの点群データから魚群を定量化する過程において、水槽実験では、単位体積尾数及び単位体積重量の算出は、カメラ等による目視確認及び事前の測定による既知の値を用いて算出することができたが、実際のフィールドでの測定では、水中3Dスキャナーによる音響データとROVによる映像や一本釣りの漁獲データから算出することになる。水中3Dスキャナーによる定量化手法において、重要となるのが点群の体積と点群個体数であるが、水槽試験による点群個体数については、目視によるイワシの尾数と概ね一致していることが確認された。体積の算出については、魚群により様々な形状をしているため、より精度の高い体積算出を

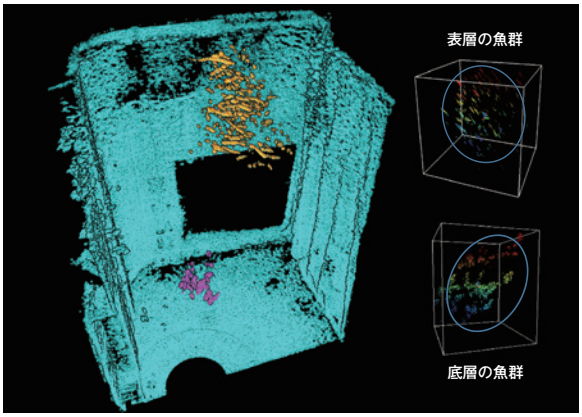


図7　水中3Dスキャナーによるイワシの魚群

表1　水中3Dスキャナーによるイワシの魚群測定状況

魚群	Scan Speed	魚群のデータ取得時間	尾数（ビデオ、写真より肉眼計測）
底層の魚群	5°/sec	6秒間	43尾
表層の魚群	5°/sec	8秒間	240尾

表2　イワシの諸元（30尾）

No	全長（mm）	体高（mm）	重さ（g）	No	全長（mm）	体高（mm）	重さ（g）	No	全長（mm）	体高（mm）	重さ（g）
1	160	24	26	11	162	27	31	21	142	22	21
2	155	24	23	12	154	25	27	22	165	25	30
3	162	27	30	13	150	24	23	23	161	22	21
4	181	32	48	14	136	23	21	24	154	22	22
5	158	26	29	15	153	24	25	25	148	22	20
6	143	23	21	16	157	25	23	26	163	23	23
7	142	22	20	17	164	23	25	27	155	24	23
8	164	28	34	18	124	19	13	28	164	23	23
9	158	24	24	19	162	24	25	29	148	21	19
10	161	25	29	20	147	22	19	30	168	26	27
								平均	155.4	24.0	24.8

表3　魚群抽出データの諸元

表層魚群		底層の魚群	
イワシ尾数	240尾	イワシ尾数	43尾
ScanSpeed	5°/sec	ScanSpeed	5°/sec
魚群のScanTime	8秒	魚群のScanTime	6秒
点群による個体数	215個	点群による個体数	49個
点群の体積m^3	0.15m^3	点群の体積m^3	0.06m^3
点群空間体積m^3	3.7m^3	点群空間体積m^3	0.4m^3
単位体積尾数	65尾/m^3	単位体積尾数	107尾/m^3
単位体積重量	1.623g/m^3	単位体積重量	2.669g/m^3

目標に、画像解析を併用することを検討している。

2) 蝟集量調査

水中3Dスキャナー搭載ROVによる、魚礁の蝟集量調査事例を図8に示す。魚礁に蝟集する魚群が個体の集まりとして点群データで立体的に計測され、さらにROVのハイビジョンカメラよりイサキやマアジである事が確認された。これらの計測された点群データより、魚群の点群データだけを分離することが可能であるため、分離した点群データから魚群の体積を求め、一本釣り等による漁獲調査結果と合わせることで、前述の手法による蝟集量の定量化が可能であると考える。

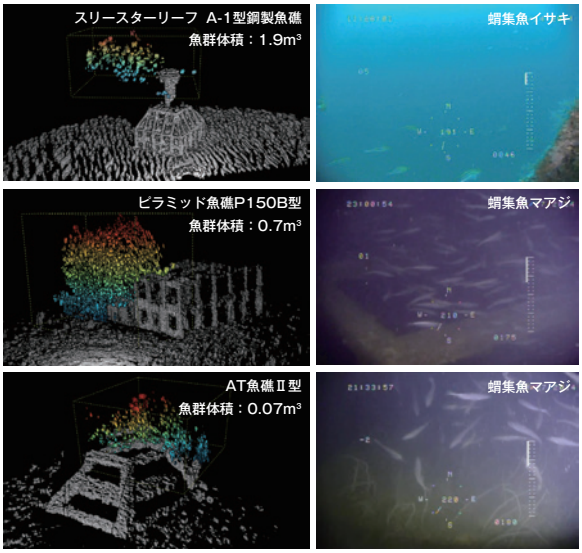


図8　ROVによる蝟集量調査事例

また、夜間に調査船で集魚灯を燈し、蝟集した魚群を水中3Dスキャナーで計測した。得られた点群データから魚群体積は5.0m³、個体数は253個体と推定された。さらに水中映像と漁獲調査により、群れの構成種はマアジ、サバであることが確認された（図9参照）。

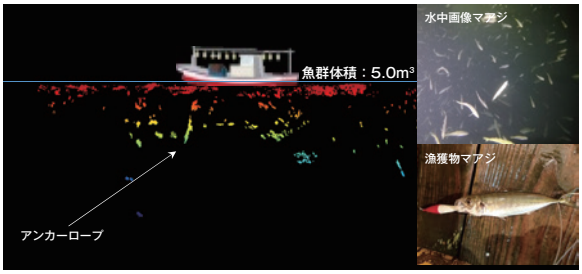


図9　集魚灯による蝟集量調査事例

3) 藻場調査

これまでの藻場調査においては、潜水士による調査が一般的であったが、最近では安価なROVも販売されており、映像による調査手法が主流となっている。このような調査手法は、決められた測線や定点を調査する際は有効であるが、広域な藻場の分布や、透明度の悪い海域では、効率的な作業が困難である。マルチビームによる音響調査は、これまで藻場調査でも活用されている。マルチビームでは護岸や岩場に繁茂する藻場については、ソナーを傾けて艤装する等、調査手法を改良しなければならなかったが、水中3Dスキャナーを用いて調査することで、マルチビームでは取得しづらい護岸や岩場に繁茂する藻場の分布状況を詳細に把握することが可能となった（図10参照）。

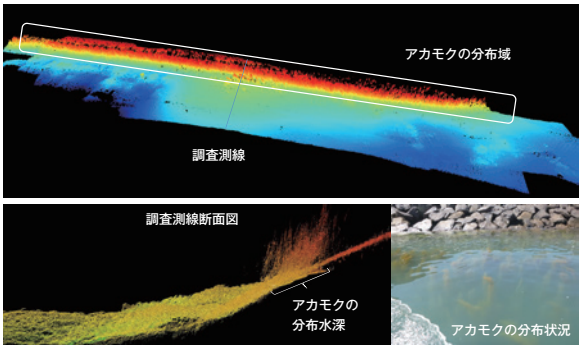


図10　藻場の分布状況

5. おわりに

本報では、水中3Dスキャナーで取得した点群データより、魚群を個体の集まりとして計測する手法を紹介した。今後は得られた点群データから自動的に魚群サイズ、個体数、個体密度、想定体長を計測するツールなど、点群を効率よく処理・解析する手法の開発を目指す。これにより従来の定量化手法と合わせて、水中のICTデータを参考に水産資源量評価を行うことで、水産資源の変動性をより正確に把握し、水産資源評価の精度を高めることが可能になると考える。

藻場分布調査では、アカモクなどの分布状況を海底地形データと合わせて3次元データとして取得できた。今後はこれらのデータを時空間的

に定量化し、藻場の消失や磯焼け対策、沿岸生態系維持のため、水産資源のデータベースとして管理することが重要である。

水中3Dスキャナーによる水産資源の可視化技術について紹介したが、当社では今後もより効率的な漁港施設や漁場管理の高度化を目指して、水産分野における水中音響技術や水中ロボティクス技術の開発を進める所存である。

参考文献

1) 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会水中維持管理部会:次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進　水中維持管理技術の現場検証･評価の結果。平成28年3月30日 http://www.mlit.go.jp/common/001125345.pdf

2) 古殿太郎･西林健一郎･大野敦生（いであ）:水中3Dスキャナーを活用した水中可視化技術によるインフラの維持管理・点検技術.建設機械施工Vol.70 No.5 May 2018 p63-67

3) 国土交通省　新技術情報提供システム NETIS番 号KT-180031-A　　水 中3Dスキャナーによる水中構造物の形状把握システム http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/NewIndex.asp

4) 古殿太郎・高島創太郎・西林健一郎・大野敦生・峯岸宣遠（いであ）：音響機器を用いた水中可視化技術の水産分野への応用.水産工学 Fisheries EngineeringVol.55 No.3, pp.223 〜229,　2019

5) 西　翔太郎･高島創太郎･古殿太郎･西林健一郎･大野敦生･峯岸宣遠（いであ）･梶川和武（水産機構水大校）：音響機器を用いた水中可視化技術の水産分野への応用.水産学会H30秋季大会ポスター発表