

音響機器と水中ロボットによる水中の可視化技術

古殿 太郎 (いであ株式会社 国土環境研究所 環境調査部)

1. はじめに

平成25年4月に策定された海洋基本計画では、海洋エネルギー・鉱物資源の開発、海洋再生可能エネルギーの利用促進、離島の保全など様々な施策が盛り込まれ、様々な実証事業が実施されている。

これらの施策には、従来の海洋環境のモニタリング調査に加え、海底資源や地殻変動などの調査が必要であるため、水面下の状況を正確に計測することができる ROV、AUV などの水中ロボットやカメラ、音響機器の開発が急速に進められている。

水中の音響計測技術は、軍事用ソナーに始まり、近年に至るまで急速に発展してきた。現在では、マルチビームソナーが測量機器の定番となり、海底地形を3次元の点群データとして詳細に測量(スワス測量)している。しかし、一般的なスワス測量は、船舶にソナーを艀装し水面から音響を発射して海底地形を計測するため、水中構造物の上面しか計測できない。水深が深くなると、扇状に発射される個々のビームの間が広くなり、点群の密度も粗くなる。

そこで、当社では水深300mまで潜行可能な小型ROVに音響機器である水中3Dスキャナーを搭載し、マルチビームソナーの測定では把握が困難であった魚礁や港湾施設(棧橋下、暗渠、トンネルなど)等の複雑な形状の構造物を3次元の点群データとして詳細に計測する技術を開発した。

本講演では、鹿児島県錦江湾の若尊カルデラや様々な形状の魚礁を対象に、マルチビームソナーによる概査とROVに搭載した水中3Dスキャナーによる詳査を組み合わせた計測技術について事例を紹介する。

2. 水中の3次元可視化技術

(1) マルチビームソナー

マルチビームソナーは、水底の地形を立体的に把握するための測深機であり、出力データは公共XYZ座標を持つ点群(3Dモデル)として取得される。大きな特徴は、一度に256本のビームを扇状に発射できるため、従来のシングルビームソナーと比べて、高密度かつ広範囲に測量が可能な点であり、河川から沿岸域において、深浅測量や水中構造物のアセットマネジメントなど様々な用途で利用されている。

使用したワイドバンドマルチビームソナー(R2Sonic社製 Sonic2024: 図1, 表1)は、水深約400mまで測深可能であり、GPS、モーションセンサーとの組み合わせにより正確な位置情報を取得するとともに船体動揺を高精度に補正する。さらに約5cm程度の凹凸を把握できる高解像度機能や地形を画像として把握するサイドスキャン機能も有している。



図1 マルチビームソナー外観 (R2Sonic社製 Sonic2024)

表1 マルチビームソナー機能内容一覧 (R2Sonic社製 Sonic2024)

システム機能	内容
周波数	200~400kHz
ビーム幅(進行方向×直行方向)	0.5° × 1°
ビーム数	256
スワス幅	10~160°
最大測深レンジ	500m
レンジ分解能	1.25cm

(2) 水中 3D スキャナー

水中 3D スキャナーは、小型マルチビームソナーとパン・チルト機能を持つ雲台を組み合わせた全周囲ソナーであり、出力データは XYZ 座標を持つ点群（ソナーを原点とする 3D モデル）として取得される。スキャナーは濁水中でも使用でき、遠隔操作により対象物の直近で高精度かつ詳細な測定が可能である。

使用した水中 3D スキャナー (TELEDYNE Blue View 社製 BV5000 : 図 2) は小型であるため、三脚に固定しての海底設置や ROV に搭載することにより、マルチビームでは測定が困難な海底構造物の側面部や船舶が航行できない浅海域の構造物測定に使用した。



図 2 水中 3D スキャナーの概要

3. 鹿児島県錦江湾奥部における実証試験

鹿児島県錦江湾の奥部に位置する若尊カルデラ (図 3) は、2003 年に火山噴火予知連絡会が活火山の選定基準を見直した際に新たに追加された海底活火山の一つである。海底からの激しい噴気は古くから「たぎり」として知られ、近年では研究機関や大学等の調査により、水深約 200m 付近で 200℃ 近い熱水を噴出するチムニーやアンチモン等レアメタルを含む熱水鉱床の形成が報告されている。

若尊カルデラ東部の水深 80~100m の海丘では、サツマハオリムシが生息しており、ハオリムシ類の棲息する世界一浅い海域としても知られている。ハオリムシは、太陽光に依存せず、火山性ガスや熱水噴出に起因する硫化水素を一次生産のエネルギー源とする化学合成生態系に属する。

音響機器と ROV の性能を実証するために、若尊カルデラにおいて火山性ガスの噴出状況やハオリムシ群集を測定・撮影した。

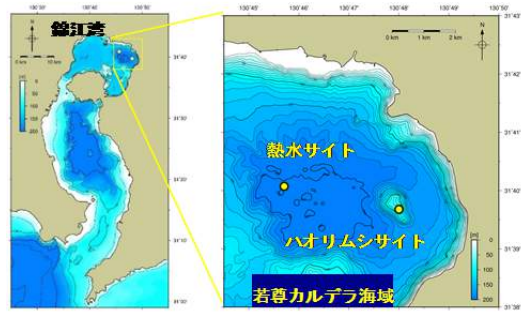


図 3 若尊カルデラ位置図

(1) マルチビームによる概査

熱水サイトの火山性ガス噴出位置を正確に特定するために、マルチビームソナーを用いて海底を計測した。

その結果、マルチビームのウォーターカラム (水中の反射強度を濃淡で表現したもの) で海底からの火山性ガス噴出状況を鮮明に捉えることができ (図 4)、広い海域を船上から計測することで、火山性ガスの噴出位置を効率的に特定できることが確認された (図 5)。

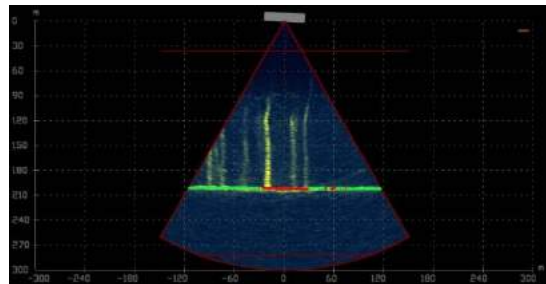


図 4 ウォーターカラムによる火山性ガス噴出状況 (噴出位置の断面図)

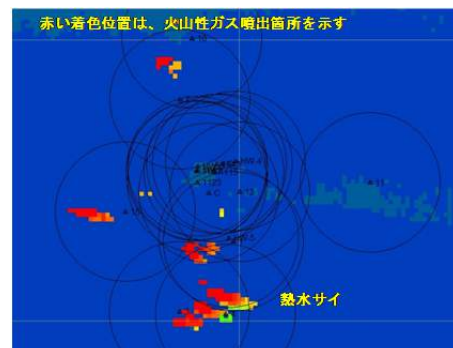


図 5 マルチビームソナーによる火山性ガス噴出位置 (調査範囲の平面図)

(2) 水中 3D スキャナー搭載 ROV による詳査

マルチビームによる概査結果に基づき、最も噴出活動が活発な箇所へ水中 3D スキャナー搭載の ROV (図 6) を潜航させ、熱水噴出状況の撮影とチムニーの 3 次元計測を実施した。

ROV は USBL(Ultra Short Base Line)方式の水中測位装置を搭載しており、ROV の水中位置を船上の海図画面に表示することができる。ROV をチムニー付近へ誘導してビデオ撮影するとともに、周辺を 3 次元計測して、火山性ガスや熱水の噴出・状況を詳細に可視化することに成功した(図 7)。

火山性ガス噴出海域では、水中で音響が散乱するため、USBL が正しく機能するか不明であったが、本研究により火山性ガス噴出海域においても ROV を見失うことなく、水中位置を追跡できることが実証された。

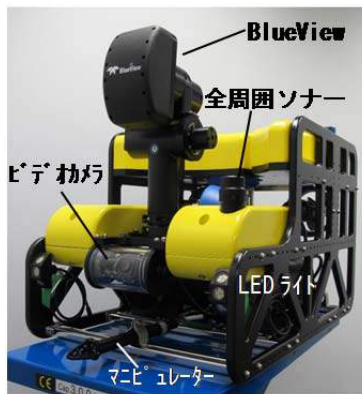


図 6 水中 3D スキャナー搭載 ROV

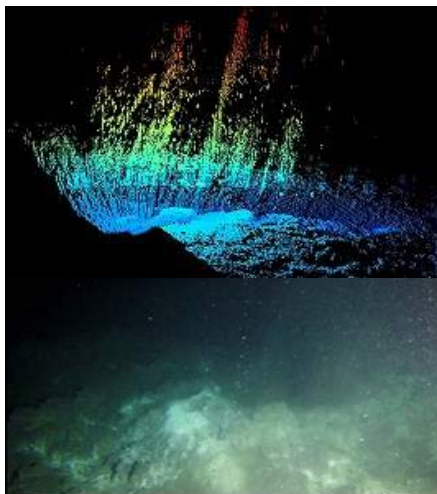


図 7 熱水噴出状況
(上段：3D モデル、下段：画像)

(3) サツマハオリムシの撮影・計測

若尊カルデラのハオリムシサイトにおいて、水中 3D スキャナー搭載の ROV により火山性ガス噴出状況とサツマハオリムシの生息状況を調査した。

その結果、水深 90m 付近の海底でサツマハオリムシが大規模なコロニーを形成し、コロニー周辺では火山性ガスが噴出している状況が確認できたが(図 8)、ビデオカメラではライトの光が届く範囲しか撮影できず、全体像を正確に把握することは困難であった。

そこで ROV を海底に着底させ、水中 3D スキャナーにより 3 次元計測したところ、火山性ガスの噴出状況や噴出位置、サツマハオリムシコロニーの分布状況を詳細に計測し、可視化することに成功した(図 9)。

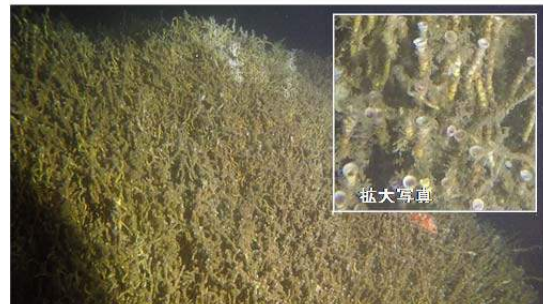


図 8 サツマハオリムシコロニー
(ROV 映像)



図 9 サツマハオリムシコロニーと
火山性ガス噴出状況の 3D モデル

4. 魚礁機能に関する実証試験

魚礁は、魚介類の蛸集、発生及び育成を効率的に行うため、沿岸海域に存在する天然礁の周辺に造成される人工構造物である。

これまでの魚礁に関する調査は、設置位置や配置状況を魚群探知機やシングルビーム測深機により測定し、蛸集状況を潜水観察やROVによる水中撮影で確認していた。

近年、魚礁の位置や配置状況はマルチビームソナーを用いた船上からのスワス測量により詳細に把握できるようになったが、魚礁の側面や下部は計測できない状況にある。

(1) 魚礁の配置状況と形状変化

設置した魚礁の位置と配置状況、各魚礁の形状変化を確認するために、マルチビームソナーによる船上からの測定と水中 3D スキャナー搭載の ROV による魚礁側面からの 3 次元計測を行った。

その結果、マルチビームソナーにより魚礁の配置状況を把握し、水中 3D スキャナーにより魚礁の単体形状と埋没・浸食状況を鮮明に捉えることができた。

さらにマルチビームソナーと水中 3D スキャナーの 3D モデルを統合することにより、魚礁の形状まで詳細に把握できる魚礁配置図を作成することができた (図 9)。

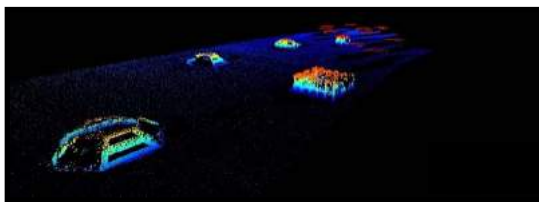


図 9 魚礁配置・形状の 3D モデル

(2) 魚群の蛸集状況

水中 3D スキャナーによる 3 次元計測では、魚礁の形状だけでなく魚群の蛸集状況も計測された。さらに ROV 搭載のビデオカメラにより魚群を構成する魚種を特定し、魚礁の付着生物も撮影した。(図 10、図 11)

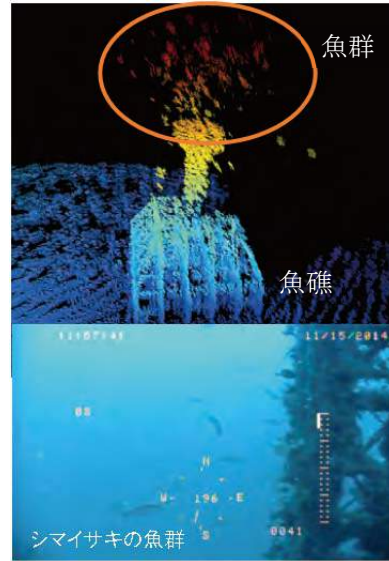


図 10 魚群の蛸集状況とシマイサキの魚群
(上段：3D モデル、下段：映像)

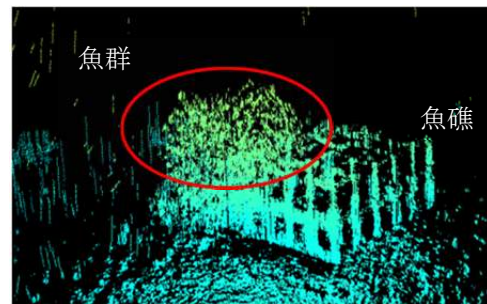


図 11 魚群の蛸集状況 3D モデル

5. おわりに

マルチビームソナーによる概査と水中 3D スキャナーによる詳査を組み合わせることで、水中の構造物や海底の状況をより詳細に計測できることが実証された。これらの音響機器を ROV などのプラットフォームに搭載することで機動力と汎用性が向上し、より広範囲な作業環境に対応することが可能となる。

今後も、これらの機器を用いて“海洋の可視化技術”の開発を進め、他の環境調査技術と融合させることで、海洋資源開発や海洋再生エネルギー事業など様々な海洋環境調査への活用を試みる予定である。