



海洋探査技術の現状

水中音響計測技術の応用例紹介

水野勝紀・浅田 昭

ソナー技術は、海底地形計測、水中通信、水産資源調査、海底資源探査などといった、海洋の幅広い分野で利用されており、近年では、水中構造物の劣化診断などにも用いられ始めているなど、技術の発展とともに新たな応用分野が開拓されつつある。本稿は、最新の研究事例を交えながらソナー技術の応用例を紹介し、建設工事の分野との技術交流を図ることを目的とする。

キーワード：ソナー、海洋鉱物資源探査、水中環境計測、水中構造物の劣化診断技術

1. はじめに

ソナー (SONAR: Sound navigation and ranging) は水中を伝搬する音波を用いて、物体を探索、探知、測距する装置である。水中音響計測技術は、光が届きにくい水中において必要不可欠な技術であり、各種超音波利用技術の原点ともいわれる。1912年に発生したタイタニック号沈没を契機として技術検討が開始され、その後の実験によって氷山や海底面を探知できることが示されて以来、様々な技術が開発されてきている。ソナーの方式としては、自ら音を発し、その反射音を利用するアクティブ方式と、自然界に存在する、或いは人工的に発生している音を利用するパッシブ方式がある。ソナー技術は、海底地形計測、水中通信、水産資源調査、海底資源探査などといった、海洋の幅広い分野で利用されており、近年では、水中構造物の劣化診断などにも用いられ始めているなど、技術の発展とともに新たな応用分野が開拓されつつある。本稿では、東京大学生産技術研究所海中観測実装工学研究センターで取り組んでいるソナー技術応用例を紹介する。

2. 最近の応用例

(1) 海洋鉱物資源広域探査

我が国周辺の海底には、海底熱水鉱床やコバルトリッチクラストなどと呼ばれる海洋鉱物資源が眠っており、この貴重な資源を有効に活用するためには、海底に多数存在する小域の海底熱水鉱床を突き止め、さらにその正確な賦存量を広範囲にわたって計測するた

めの技術が必要である。当センターでは、その熱水鉱床を広域で、且つ効率良く探査するための音響計測システムの開発及び、実用化を進めている¹⁾。海洋調査においては、図-1に示すように、まず、調査船に備えられている遠距離用のマルチビームソナー（海底地形の計測に適するソナー）を用いた概査が行われる。熱水鉱床の探査では、水深は500-3,000 m程度の海域が対象となり、水深や計測環境にも依るが、凡そ5-10 m程度の分解能を有するグリッド地形を取得する。また、その概査の結果を元に、Autonomous Underwater Vehicle (AUV) や Remotely Operated Vehicle (ROV) と呼ばれる海中ロボットや曳航体などの計測プラットフォームを投入した詳細な絞込み調査が実施される。ここでは、計測プラットフォームを海底近傍まで接近させ、近距離用のマルチビームソナーやサイドスキャンソナー（海底面における音の散乱強度を計測するソナー）、サブボトムプロファイ

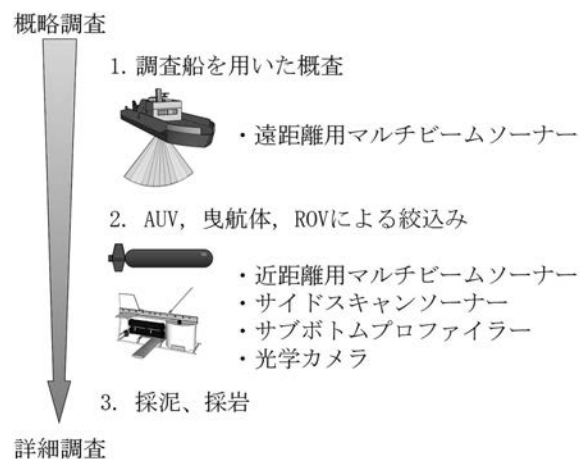


図-1 海洋鉱物資源の探査戦略

イラー（海底下の層構造などを計測するソナー）などを用いて海底や海底下の詳細な情報を取得する。マルチビームソナーを用いた1m程度の分解能を有する詳細な海底地形計測やサイドスキャンソナーによって得られる海底面からの音の散乱強度を利用する底質分類手法の検討、サブボトムプロファイラーを利用した海底下の地層検出手法開発を進めている。また、当センターで開発したインターフェロメトリック合成開口ソナー²⁾を用いる場合には、10-25 cm程度の分解能を有する海底地形の取得も可能である（図-2）。最終的には、それら詳細な調査の結果から候補地を絞り込み、採泥・採岩などを実施し、その分析結果に基づいて熱水鉱床を特定することになる。以上の様に、広大な海の中から新しい資源域を探し出すには、幾つかの探査フェーズを経ることになるが、ソナー技術を駆使することによってそこまでの道りを単純化し、資源探査を効率化させることが可能となる。

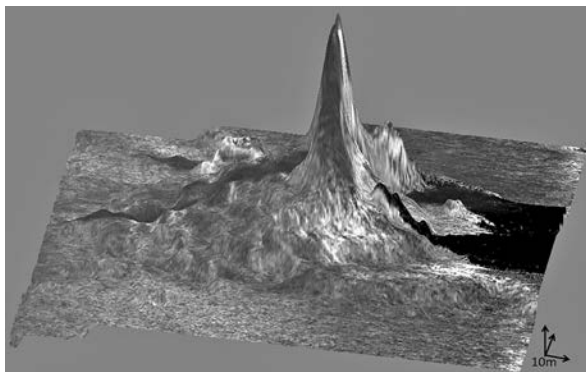
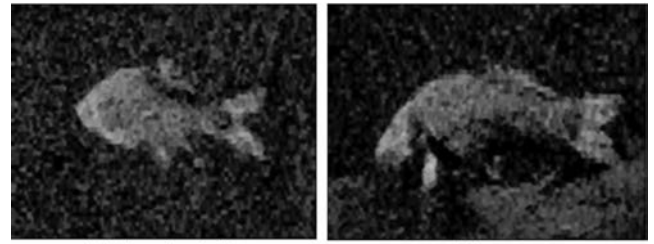


図-2 深海で発見した熱水鉱床マウンドの3次元音響画像

(2) 水中環境計測

最新のソナー技術を応用して、生物多様性の維持、海洋資源利用に向けたアセスメント、地球温暖化の抑制など、環境保全、修復、改変を目的として、海、川、湖沼などの水域における環境変化・状態を計測するための新しい計測手法の開発を進めている。多くの研究機関や企業との連携研究でもあり、地域に密着し、それぞれの土地で生じている特有の課題の解決を目指している。上記(1)で用いられるソナーの多くでは数百kHz以下の周波数帯域の送波信号が用いられていたが、最近では1.1-3.0 MHz帯域を使用する「音響ビデオカメラ」と呼ばれるイメージングソナーが開発されており、その高い分解能を利用して、水中環境計測に応用され始めている。中心周波数3.0 MHzを送波信号に用いるタイプの音響ビデオカメラでは、ビーム数128本、レンジ分解能は3 mm-10 cmという高い分解能を実現しており、計測範囲は5-15 m程度



(a) ゲンゴロウブナ (b) コイ

図-3 魚類の音響画像例

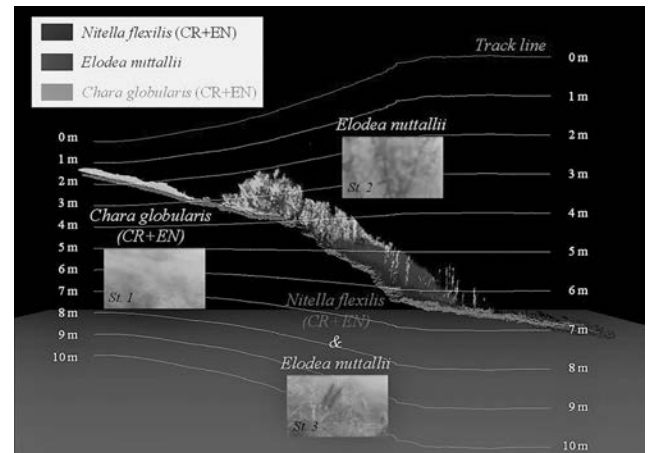
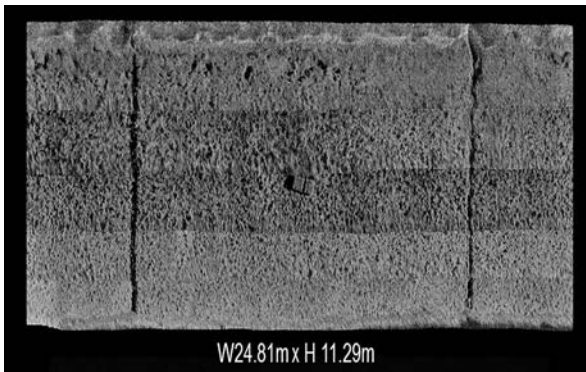


図-4 沈水植物群の3次元音響画像例

と短いものの、音響計測における課題の一つとされていた魚類や水生植物の識別をも可能とする新しいデバイスとして期待されている。図-3, 4に音響ビデオカメラを用いて取得した魚類の2次元音響画像や沈水植物群の3次元音響画像を示す。種毎の形状的な違いを確認することが出来る。また、画像内の濃淡は、対象からの音響散乱の強度を反映しており、対象の硬さなどの質的な情報も含んでいる。またこれらの取り組みは、地球環境をグローバルな視点から考えるために、東南アジア域の大学を中心とした国際的な連携体制の下で推進されている。発展途上の地域には豊かな自然が残されている一方で、急速な経済発展に伴う環境の劣化が懸念されている。しかしながら、それら地域の多くは環境影響評価技術を有していないケースも多く、当センターで培ってきた水中音響計測ノウハウを駆使しながら、国際的な技術協力を実施している。

(3) 水中構造物の劣化診断技術の開発

平成19年度から、土木研究所寒地土木研究所と共同で実施している研究である。近年、社会資本の老朽化に関する問題が顕在化しており、国土交通省によると港湾施設においては、建設後50年を経過する岸壁が、2013年の約8%から2033年には約58%と急速に増加するため、今後一斉に補修や改修が必要となると



図—5 音響画像から再構築した岸壁のモザイク図

予想されている。また、その補修や改修時には、優先順位を決める必要が出てくると考えられる。そこで当センターでは、水中構造物の劣化診断技術の開発を目的として、音波を使って水中構造物の外部を詳細に計測する技術と構造物内部の状況を把握するための技術を研究開発してきた。図—5に音響ビデオカメラを用いて計測した岸壁表面のモザイク画像を示す。気泡などの影響で、視認や光学画像での確認が困難な、岸壁表面の凹凸などを把握することが出来る。また岸壁の内部状況を把握するために、パラメトリック送信技術を利用したソナー（パラメトリックソナー）を開発し、矢板やコンクリートの裏側に配置された対象物体の可視化にも成功している³⁾。本研究は、現在も継続的に進められており、港湾インフラの分野で大きく発展することが望まれている。

3. おわりに

上述した海洋探査技術は、濁水中の物体探知や水中作業時のリアルモニタリング、構造物内部の可視化などに適しており、使用方法によっては、建設工事の分野においても有力なツールになると考えられる。例えば、駅改良工事等の場所打ち杭施工時において、掘削途中に支障物が出現した場合、その支障物の位置や種類を正確に特定することにより、工事費増大・工期延伸のリスクを低減可能であると期待されるが、安定液

は濁度が高いため、視認及び光学カメラなどによる支障物探査は困難である。そのような場合、濁度の影響を比較的受けにくいソナーを応用した支障物探査技術が有効であると考えられ、技術検討も進められている。また最近では、沿岸域における建設工事にもソナー技術の応用検討が進められており、特に底泥の巻き上がりや気泡が発生する水中施工時の状況を音響映像としてリアルタイムにモニタリングすることで、作業の安全性や正確性の向上が期待されているなど、ソナー技術の新しい展開が垣間見え始めている。

以上のように、海洋の分野を中心に発展してきたソナー技術は、建設工事の分野にも様々な用途で応用可能であると考えられるため、異分野間における技術の交流が促進されるとともに、新たな技術課題から派生する新しい応用技術が生まれることを期待している。

J C M A

《参考文献》

- 1) 水野勝紀, 他: 海底熱水鉱床の音響探査の最前線, 日本音響学会誌 解説, 72 (8), pp. 477-483, 2016.
- 2) Kojima, M. et. al., 3D Acoustic imagery generation by interferometric analysis of long baseline using Interferometric Real Aperture Sonar., Proceedings of OCEANS'15, INSPEC Accession Number: 15798943, 2015.
- 3) Kishi, N. et. al., Inspection Methods for Underwater Structures of Ports and Harbors., Proceedings of Underwater Technology 2015, in press.

【筆者紹介】



水野 勝紀 (みずの かつのり)
東京大学生産技術研究所
海中観測実装工学研究センター
特任助教



浅田 昭 (あさだ あきら)
東京大学生産技術研究所
海中観測実装工学研究センター
教授