

# ダム貯水池 3D マッピング技術

## 遊漁用魚群探知機のダム貯水池堆砂状況調査への適用

長 田 実 也

市販の遊漁用魚群探知機の音響探査機としての機能に着目し、これを水底地形計測機器として活用すべく、2018年7月以降、10余基の貯水池での実践を経て、2022年、ダム貯水池での堆砂状況調査の新しい手法として確立・実用化した。小型の調査船に魚群探知機を搭載してダム湖上を航行し、GNSSによる測位記録と同期して記録・収集される超音波測深データをもとに、市販ソフトでダム貯水池水底地形図を簡単に作成するというもので、その測深精度は現行の測量手法と同程度で、特殊な機器や技能を使うことなく、より安価に短期間で成果図が得られる。水中の映像資料も同時に得られ、貯水池の土砂管理に不可欠な基礎情報の収集・整備を支援できるだろう。

キーワード：ダム，堆砂，深淺測量，点群データ，DEM，地形図

### 1. はじめに

貯水池内の堆砂状況把握は管理上の最重要課題の一つである。その調査手法として一般的な深淺測量について国土交通省は、「従来からのシングルビームによる方法だけでなく、マルチビーム等による面的測量が可能な手法の採用が望ましい」としている<sup>1)</sup>。しかしながら、マルチビーム音響測深は高価な測深システムと高度で専門的な解析が不可欠なことから、広く実施されているわけではない。堆砂状況を面的に把握可能な、より安価な手法が求められている。

筆者は、近年、レジャーフィッシング分野で普及が進んでいる魚群探知機の水中探査機能に着目し、これをダム現場に応用し、新たな堆砂状況把握手法としての適用可能性を現場での実際の計測を通じて確認し、実用化にこぎつけて2022年、国土交通省新技術情報提供システム（NETIS）に登録された<sup>2)</sup>。本稿では、筆者が携わってきた魚群探知機を用いた堆砂状況調査手法（以下、「ソナーマッピング」という）開発の概要と今後の展開について報告する。

### 2. 魚群探知機の機能と堆砂調査への応用

魚群探知機は、水中に超音波を発射し、その反射波を捉え、分析し可視化する漁労用電子機器であり、操作・表示・記録を行う本体と超音波を送受信する振動子と呼ばれる機器から構成される<sup>3)</sup>。

その本体画面では、図-1に例示するように、水深、水温、水底の地形の音波反射状況、魚の群れといった情報がリアルタイムで水中断面図のように表示される。

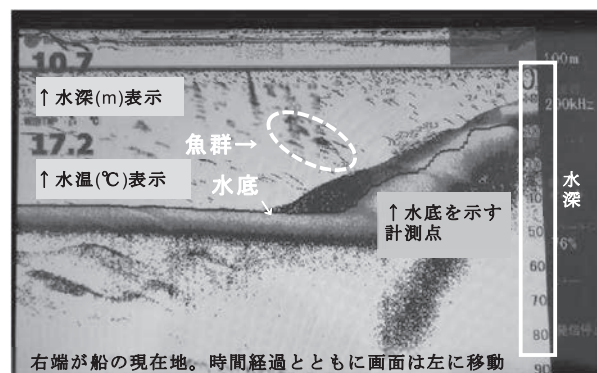


図-1 魚群探知機本体画面のソナー反射画像表示例

振動子には円錐状に低周波（50/83/200 kHz）超音波を発射し反射画像を得る2Dソナー振動子のほか、高周波超音波（455/800 kHz）反射波を使って船進行方向の縦断面図様の画像を表示するダウンスキャンソナー、船の左右舷方向に扇状に超音波（同）を発射し、受信波を連続的に処理して水底の平面図様の画像を表示するサイドスキャンソナーといったイメージング振動子があり、より広範囲で立体的・疑似写真的な水中探知が可能となっている<sup>4)</sup>。

魚群探知機にはGNSS受信機による測位機能が標準装備され、測深データと自船の位置情報が合わせて

記録され、水上のナビゲーションシステムとして、レジャーフィッシングの必須アイテムとなっている。

収集データの外部出力が可能な機種が、30万円程度で調達できるようになったのに加え、測点の実測値をもとに、測点間に内挿して水深を補間し、水底全面の地形図を作成できる安価な処理ソフトの公開により、面的な水底地形が把握できるようになったことから、水域の研究者から海底地形情報を収集する有力な計測機器としても扱われるようになり、魚群探知機は、水中レジャーフィッシングとは別の多様な異分野での活用が始まっている<sup>5)</sup>。この面的な水中探査機能をダム貯水池現場に応用したのが、ソナーマッピングである。

### 3. 魚群探知機を用いた水底地形調査の実際

#### (1) 計測システム

ソナーマッピングの計測には、図-2に示すようなシステムを用いており、通常現地計測に使用している資機材を表-1にあげ、調査船の例を写真-1に示す。

調査船には、貯水池縁辺の浅いところまで計測できるよう、小回りの利く喫水の小さな船が適している。船外機付きゴムボートでも実施可能である。

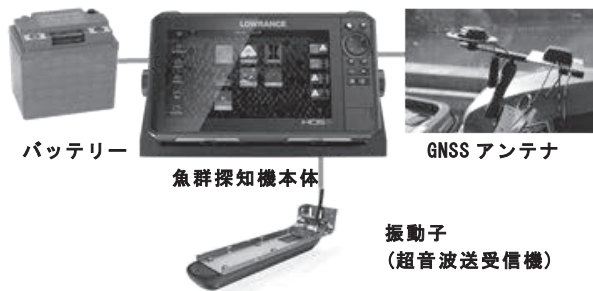


図-2 ソナーマッピング計測システム・機器構成

表-1 ソナーマッピング計測の資機材・機器類

項目	機種
魚群探知機	HDS Live 16 (Lowrance 社製)
振動子	アクティブイメージング 3in1 ソナー (同上, 周波数: 83/200, 455/800 kHz)
測位アンテナ	RTK-GNSS アンテナ (Dragger 社製部品を自作組み立て)
電源	リチウムイオン電池 DC12V 2個
調査船	アルミボート (乗船定員3名, 全長13ft), 船外機エンジン駆動/エレキモーター
その他	艀装治具 (固定ポール, クランプ等)



写真-1 ソナーマッピング計測調査船の例

#### (2) 現地計測

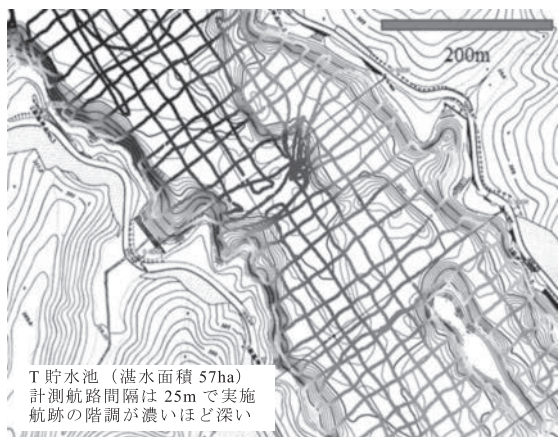
現地計測では、主に2Dソナーで航路直下の水深を取得する。航路は、最低標高地点を捉えるように貯水池横断方向を基本に計画する。従前の深浅測量では、貯水池横断測線の間隔は200m程度以上で実施されていて、限られた断面位置での情報しか得られなかった。これに対しソナーマッピングではGNSSで自船位置の測位をしながら計測できるため、従来の深浅測量に比べて、はるかに多くの断面測線を機動的に計測することができる。現地調査の効率も考慮し、概査段階では横断測線間隔25~50mを目安に、各現場の必要に応じて航路間隔を調整して計画航路として設定している。

航行・計測は、計器操作と操船各1名の2名で担当する。計画航路をトレースするように操船し、測深データを収集する。安定したデータ収集のため、計測中も振動子が鉛直姿勢を維持できるよう、姿勢計測器でモニターしながら、時速5km程度以下で航行している。一日の航行可能距離は20km程度に止まるが、湛水面積100ha程度の貯水池であれば、横断測線を50m間隔として航行・計測した場合、現地計測は2日間で完了できる。

#### (3) 計測データの取得と処理、成果

魚群探知機は、調査船の直下で毎秒3~4回の超音波の送受信を行って測深し、毎秒10回程度受信するGNSS位置情報と同調させて、本体のメモリカードに記録する。4~5時間の航行で従前のシングルビーム音響測深機による深浅測量実績の100倍以上、4~7万点のデータが得られる。2Dソナーの発射する超音波周波数は貯水池両岸斜面の計測誤差を軽減するため、指向角の狭い200kHzを使用している。この周波数でも水深200m程度まで探査可能である<sup>6)</sup>。図-3に、現場で計測した航跡例を示した。

魚群や藻などの植生、人工沈埋物等も超音波を反射し、本体画面上で、水底とは容易に区別できる。もし

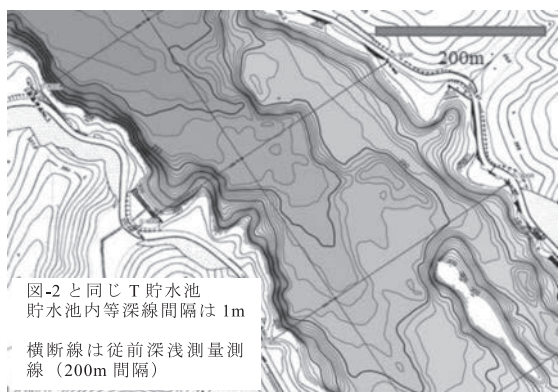


図一3 計測した航跡の例

も魚群探知機がこうした“障害物”の反射を水底と誤認して水深として計測していても、計測箇所は画面で確認できるため、後から水中画像に合わせて手動で適切な水深値として修正・編集できる。また、周波数 200 kHz の超音波は通常の懸濁物質の粒径より波長が長いので、水底の反射波は完全にはさえぎられることなく検知できる。

計測終了後、保存データをパソコンに読み込み、専用のデータ処理ソフト（リーフマスター社製リーフマスター<sup>7)</sup>で処理する。航路上での計測データをもとに航路間の内挿補間を行い、貯水池全域の 1 m 格子の水深グリッドデータを作成する。さらにこれから等深線図を出力し、貯水容量を算定する。グリッドデータは別途 GIS ソフトを使って数値標高モデル (DEM) に変換し、水底地形等高線図や任意の位置での断面図に加工することができる。図一4 に等深線図の作成例を示す。

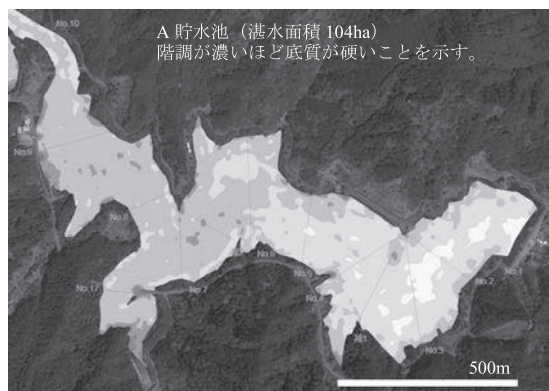
また、リーフマスターには、魚群探知機で記録された水底からの超音波の一次二次反射を解析して、底質の相対的な硬度と粗度の分布図を作成する機能がある。図一5 に、相対的硬度分布図の例を示す。この



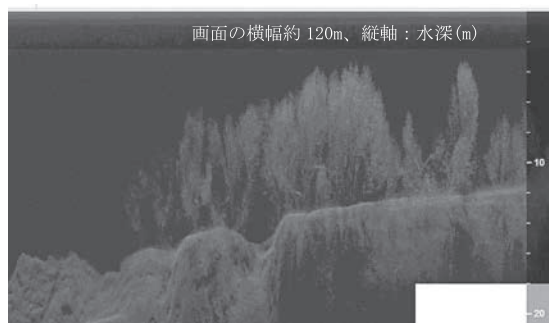
図一4 貯水池の水底地形図 (等深線図の例)

図は堆砂対策の検討段階で必要な堆砂性状調査を企画する際の基礎資料として活用できる。

さらに、3in1 振動子はダウンスキャン、サイドスキャン (455/800 kHz) の機能を使って、水底の地物を映像化できる。貯水池内の地形の変状、底質、巨礫、水没樹 (図一6) や沈木、取水施設 (など水中構造物の現況確認により、適切な貯水池管理を支えることができる。



図一5 底質の相対的硬度分布図の例



図一6 ダウンスキャンソナーによる水没林画像

#### 4. 水底地形調査手法としての評価

##### (1) 計測水深の精度検証

水中での計測点を特定し視認することはできず、水深の真値が不明なため、測深精度を定量的に評価することは容易ではない。そこで、信頼できる水底標高値が得られていた貯水池においてその標高を真値と仮定し、そこで実施したソナーマッピングによる計測標高との差をもって測深精度を評価した。

##### (a) UAV 写真測量成果による検証

落水時 (2016 年 12 月) に、高さ方向 4 cm 以内で精度管理された UAV 航測写真測量が行われていた S ダム (湛水面積 92 ha) で 2018 年 7 月、ソナーマッピングによる計測を行った。

測深精度の検証には、測量後の時間経過に伴う土砂流入・堆積の影響や水底地形変化が大きい場所での測位誤差の影響をできるだけ避けるため、河川流入域か

ら離れた堤体寄りの、ほぼ均平なエリア（標高 1203.49 ~ 1204.45 m）を選定した。測量時のオルソ画像を参照しながら河道や窪地の段差がある場所を除外し、図-7に示すソナーマッピング計測地点（908点、水深約 17 m）での水底標高値を同一座標地点の UAV 写真測量による DEM 格子の標高値と比較した。ソナーマッピング計測標高から写真測量による標高を引いた値は、0.20 ~ -0.51 m の範囲にあり、平均は -0.10 m、標準偏差 0.10 m だった。

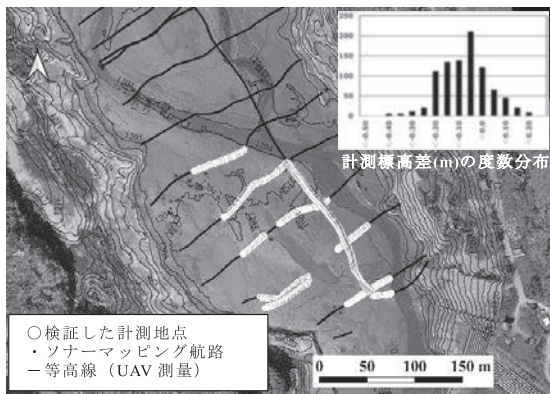


図-7 Sダム比較検証地点と計測標高差の度数分布

#### (b) ナローマルチビーム測量結果による検証

2019年11月に「河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説」<sup>8)</sup>に沿ってナローマルチビームによる深淺測量が実施されていた A ダム（湛水面積 104 ha）で 2020年11月、ソナーマッピング計測を実施した。ナローマルチビーム測深調査によって確認された水底の標高変動幅が 25 cm 以下の平坦な面（標高 154.25 ~ 154.50 m、満水時水深約 18 m）において、ソナーマッピングによる計測値を同一座標地点のナローマルチビーム測深による DEM 格子の標高値と比較した。比較検証の対象地点を図-8に示した。ナローマルチビーム測深の水底標高に対して、444 点のソナーマッピング計測標高は +0.11 ~ -0.15 m の範囲、平均は -0.01 m、標準偏差は 0.05 m だった。

このように、ソナーマッピング計測に用いた魚群探知機の測深誤差は、水深 17, 18 m 程度においては、深淺測量に用いられている音響測深機に比して、測深精度が著しく劣ることはないと思われる。

#### (2) 貯水量算定による精度検証

ソナーマッピング計測では、水底の全面計測は行わず、航路直下の計測値をもとにした推定値で貯水池全域の水深グリッドデータを作成し、貯水容量を算定している。その妥当性を確認するため、前項で測深精度検証を行った貯水池を含め、ソナーマッピング手法によ

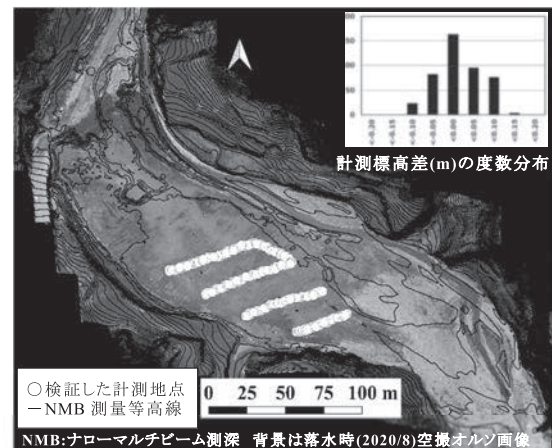


図-8 Aダム比較検証地点と計測標高差の度数分布

て把握した水底地形情報をもとに算定した貯水量を、直近に実施された水底全面測量成果をもとに算定された同一エリアにおける貯水量と比較し、表-2に示した。

経年の堆砂増加量が不明なため、厳密な評価は難しいものの、精度管理された信頼性の高い測量手法に対して、横断航路間隔 25 ~ 50 m でのソナーマッピング計測により算出した貯水容量は、量比 4% の差異の範囲内で貯水容量を把握できており、土砂管理対応を誤るような差ではない。

表-2 計測手法の違いによる算定水量の比較

貯水池	計測手法	実施時期 年/月	算定水量 (千 m <sup>3</sup> )	量比 (%)
S ダム	UAV 写真測量	2016/10	2,004	99.8
	ソナーマッピング	2018/7	1,999	
A ダム	ナローマルチビーム測量	2019/11	8,838	98.2
	ソナーマッピング	2020/11	8,680	
Fu ダム	ナローマルチビーム測量	2021/12	3,571	96.5
	ソナーマッピング	2022/11	3,446	
Tu ダム	ナローマルチビーム測量	2022/12	4,536	96.9
	ソナーマッピング	2023/2	4,396	

#### (3) 調査コスト

湛水面積 1 km<sup>2</sup>、水深 20 m 程度の貯水池堆砂状況調査を想定し、海洋調査会制定の積算基準<sup>9)</sup>を適用すると、マルチビーム測深の人工数は 50.50 人日となる。これに対し、ソナーマッピング手法にかかる人工総数はそれまでの 7 ダムでの実績から 26.0 人日と見積もられる。これに計測機器経費や調査船運転経費等を加えた調査費は、マルチビーム測深で 500 万円程度かかるのに対し、ソナーマッピングでは 110 万円となる。なお、水面幅 150 m、10 測線の深淺測量による堆砂測量調査でも、国土交通省の基準<sup>10)</sup>によれば、概算で 145 万円程度かかると見積もられ、ソナーマッピング手法が安価である。

## 5. ソナーマッピングの堆砂状況調査他への適用性

ソナーマッピングでは、貯水池内の水温変化に伴う水中音速度の計測や調査船の動揺に伴う姿勢補正を行うことを省略した測深の生データだけをもとに、航路間の未計測エリアについて内挿推定を行うなど、あいまなどところを内包している。しかしながら、これまで見えなかった貯水池内全域の面的な水底地形図を簡単に出力できて、貯水容量もかなり正確に算定できるほか、取水・放流施設などの構造物現況が映像で把握できるなど、貯水池の可視化ツールとしての活用可能性があることを示してきた。

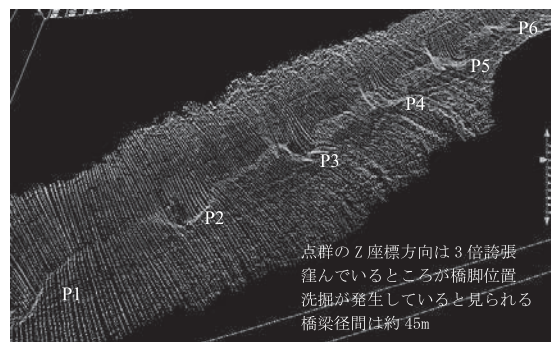
ソナーマッピング手法は安価ながらも、ダム・ため池の堆砂状況把握調査として、実用に耐える成果を提供できる。データの取得から処理、解釈まで、特に熟練を要する工程もなく、容易な手法であるため、今後、定期的あるいは出水イベントに合わせた臨時的貯水池モニタリングが機動的に企画・実施され、観測事実が蓄積していけば、科学的根拠をもった流域の土砂管理が促され、ダム・ため池の機能保全・長寿命化に貢献できるものと考えられる。

ソナーマッピングの水中可視化技術は、ダム貯水池以外にも、調査船の安定した航行が確保できる条件が調べば、河川でも海洋でも、現場のニーズに応えられる情報を収集できる。

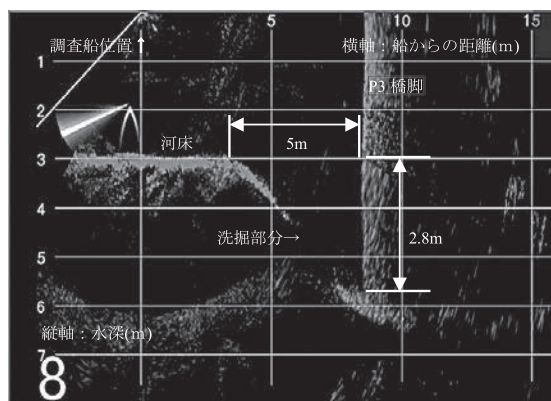
今後の同手法の現場への展開の方向性を示すものとして、橋脚周りの河床地形計測した事例をあげる。図一〇は2023年1月、簡易なマルチビーム機能を持つ3D振動子を用いてK鉄道橋の橋脚の直上下流7～8m地点の横断航路を往復して得た橋梁直下全面の河床上面の水深の点群データをもとに描いた河床地形鳥瞰図であり、図一〇には、水中の超音波反射画像をリアルタイムで投影できるライブソナーで見た橋脚基礎の洗掘現況画像を示した。これまで取得しにくかった水中点群データの取得がソナーマッピングにより可能になり、構造物基礎の地盤状況の可視化が進むことが期待される。

### 謝 辞

本業務の実施にあたっては、農林水産省北陸農政局、同東海農政局、国土交通省関東地方整備局、同九州地方整備局ほか関係機関のご協力をいただき、過年度成果資料の提供をいただいた。ここに記して深く感謝いたします。



図一〇 河床地形の点群データ3D鳥瞰図



図一〇 ライブソナーによるP3橋脚上流端の洗掘規模の判読

JCMA

### 〈引用文献〉

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：ダム貯水池土砂管理の手引き（案）（2018）
- 2) 国土交通省 新技術情報提供システム 登録番号 QS-220006-A <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=QS-220006%20>
- 3) 魚群探知機の仕組み： <https://www.furunostyle.jp/jp/mechanism/page2.html>
- 4) SONAR AND TRANSDUCER BASICS： <https://www.lowrance.com/sonar-basics/>
- 5) 山崎新太郎，原口強，伊藤陽司：レジャー用魚群探知機を利用した水底地形調査 応用地質，54（5），pp.204～208（2013）
- 6) GPS 魚群探知機の基礎知識：（株）ジェイエスピー， <https://www.neonet-marine.com/oyakudati/GPS-ykdt.html>
- 7) ReefMaster： <https://reefmaster.com.au/>
- 8) 河川定期縦横断測量業務 実施要領・同解説：財団法人 日本建設情報センター（1997）
- 9) 海洋調査会：ナローマルチビーム測深による港湾施設点検調査積算基準（案） <https://www.jamsa.or.jp/>
- 10) 国土交通省大臣官房技術調査課：設計業務等標準積算基準書 設計業務等標準積算基準書（参考資料），経済調査会（2020）

### 〔筆者紹介〕

長田 実也（ながた じつや）  
中央開発㈱  
理事・技師長

