

サイドスキャンソナーを用いた浅水域の水底面調査

鴨下 智裕・松原 由和・松村 謙一・岡村 健

Investigation of water bottom surface in shallow water zone using a Side Scan Sonar

Tomohiro Kamoshita, Yoshikazu Matsubara,
Kenichi Matsumura and Ken Okamura

Abstract

There are roughly two types of techniques for observing the subaqueous floor. Usually optical techniques such as visual observation method or underwater still camera or underwater video camera, are used when the transparency of water is high. However, it is difficult to use the optical techniques when transparency is low or when investigation area covers wide range. In this circumstance, the visualization techniques using the acoustic wave will be used. Side scan sonar is one of those methods and has grown up through the advancement of the focusing technology of acoustic wave beam and the digital technology. It comes to be able to obtain high-resolution acoustic picture image by this method as well as the photograph image in real time and easily.

This paper describes the measurement principle, measurement condition, data processing and interpretation method of the Side Scan Sonar. Some investigation examples acquired in shallow waters such as rivers, lakes, marshes, and coastal regions, where the application of this method is difficult, are given. Finally the applicability of this method and future application region will be stated.

Keywords: investigation of water bottom surface, side scan sonar, sound image, bottom sediments

(要 旨)

水底面の状況を把握する手法として、水の透明度が高い場合は水中写真・水中ビデオカメラなどの光学技術や目視による観察などがある。しかし、透明度が低い場合や調査区域が広範囲にわたる場合は光学的手法を用いることは難しいため、音波を用いた音響画像イメージによる手法を用いることになる。特にサイドスキャンソナーは、近年の音波ビームの収束技術やデジタル技術の進歩により、写真画像と同様に高分解能の音響画像イメージをリアルタイムで容易に取得できる技術として成長してきた。

本稿では、サイドスキャンソナーの測定原理や測定条件、データ処理と解釈方法について概要を説明し、これまでサイドスキャンソナーが苦手としてきた河川や湖沼、沿岸域のような浅水域の水底面調査で取得した事例を挙げ、その適用性と今後の展望について述べる。

キーワード: 水底面調査, サイドスキャンソナー, 音響画像イメージ, 底質土

1. まえがき

水底面の状況を把握する手法には、直接的手法と間接的手法がある。直接的手法とは、水中カメラや水中ビデオカメラなどの光学技術によって可視画像を撮影する方法である。間接的手法とは、数十～数百kHzの超音波を用いた音響測深技術や、数十kHz～1MHzの超音波を用いたサイドスキャンソナー技術によって、音響データを

取得する方法である。それぞれの手法には一長一短がある。直接的手法は得られる画像によりリアルタイムで誰にでも容易に水底面の状況が把握できるが、一度に撮影できる範囲が狭いことや、水中の濁度、明るさ等の気象海象条件に影響を受けやすいというデメリットがある。一方、間接的手法では、取得したデータを後処理することにより測定範囲の水底面状況を図化することから、最終結果を得るまで時間がかかるが、一度に広範囲のデー

タが取得できることや水中濁度などにはあまり影響を受けない利点がある。特にサイドスキャンソナーにおいては、可視画像と同様ないわゆる音響画像イメージを得ることができ、リアルタイムで簡易に水底面状況の把握が可能となった。

サイドスキャンソナーは、1960年代に対潜水艦探知機として開発されたのが始まりとされている¹⁾。1970年代中頃にはアナログ式の機器が数社から発表され、1980年代には半デジタル式、1990年代には完全デジタル式の機器が作成された。現在は、更なるデジタル技術の進歩により、軽量小型で高分解能な機器となり、加えて小型の動揺センサー、方位センサー、圧力計が内蔵され、取得したデータの補正を1台で行えるような高機能、高性能の機器へと発展した。

1990年代までの機種は、システムが大掛かりであったことと取得したデータの分解能の悪さから浅水域ではほとんど使用されていなかった。しかし、システムの小型・軽量化が進み浅海域での適用の可能性が出てきたため、筆者らは、最新型のサイドスキャンソナーSYSTEM3000(米国Klein社製)を用い、河川、湖沼、沿岸域の底質調査、構造物調査、環境調査への適用を試みた。

2. 測定原理

サイドスキャンソナーは、図-1に示すように、探査船で曳航体と呼ばれるセンサーを曳航し、曳航体の左右舷にあるトランスデューサーから探査船の進行方向と直

交方向に指向性をもった超音波(以下ビームと呼ぶ)を扇型に発振させ、水底からの後方散乱波(反射波)を受振する。曳航体から対象物までの距離に応じて受振波の到達時間が異なるので、受振波を時系列順に振幅強度の違いに応じて濃淡画像化し、移動方向に並べていくとその濃淡パターンから底質土(岩、礫、砂、泥)や水底面上の物体(人工魚礁、沈船、パイプライン、ケーブル等)を判別することができる。受振波の振幅は、水底の底質土や地形、ビームが当たる角度、送受振感度分布などに依存する。一般に、泥など軟らかい底質土では受振振幅が小さく、岩や礫など硬い底質土では振幅が大きい。また、曳航体の直下付近の振幅は小さくなる。さらに、地形が曳航体側に向いて傾いている場合は振幅が大きく、反対側に傾いているときは振幅が小さくなる。また、水底以外にも水中に浮遊する物体からの後方散乱波も受振するため、漁具や魚影を捉えることもできる。

サイドスキャンソナーには、シングルビーム方式とマルチビーム方式がある。これは、ビーム数が異なることはもちろんであるが、データ取得時の処理方法や分解能に違いがある。ここでは、シングルビーム方式としてSYSTEM3000、マルチビーム方式としてSYSTEM5400(米国Klein社製)を例にしてその特徴を述べる。表-1に主要な仕様を示す。

SYSTEM3000のデータ取得法は、単一のビームを発振し水底で散乱したシグナルを単に受振するだけであるが、複数のビームを出すSYSTEM5400の場合は、図-2に示したようにダイナミックフォーカシング(dynamic

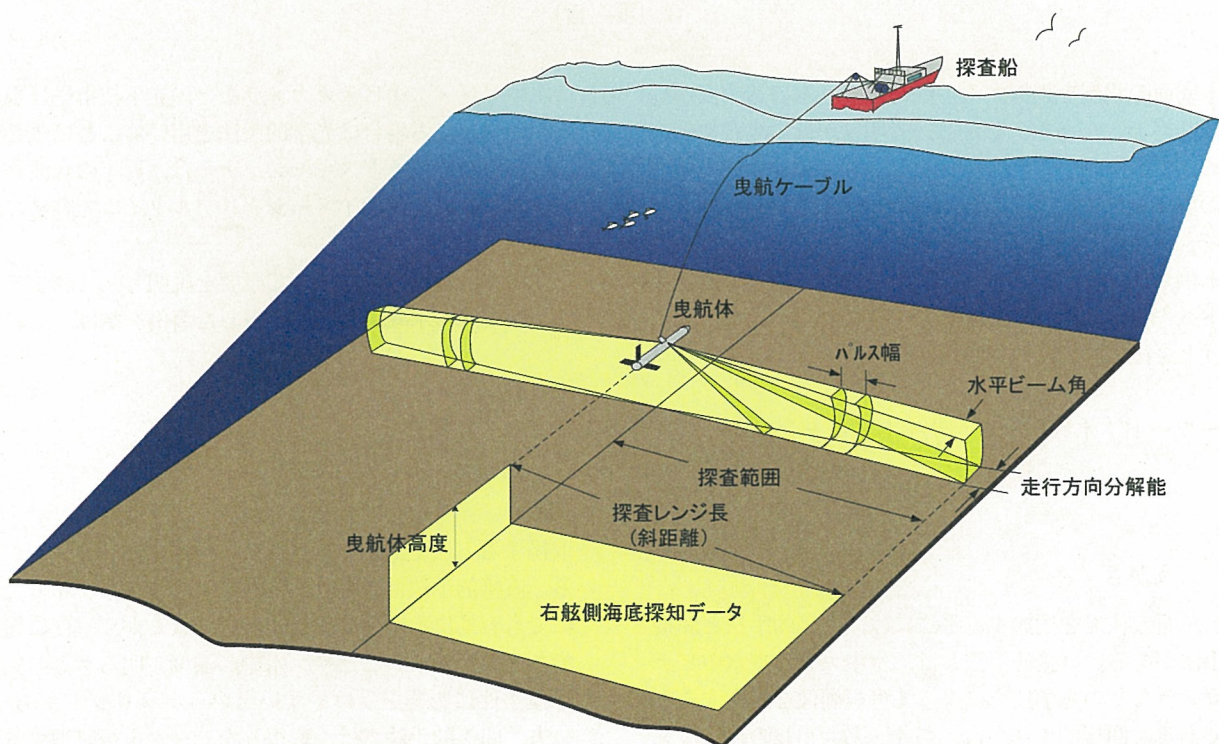


図-1 サイドスキャンソナー測定概念図

Fig. 1 Image of Side Scan Sonar survey

表-1 SYSTEM3000とSYSTEM5400の主要な仕様

Table-1 Main specifications of SYSTEM3000 and SYSTEM5400

項目	SYSTEM3000		SYSTEM5400
	発振周波数	130kHz	445kHz
ビーム数 (片側)	1	1	4
探査レンジ (片舷)	25~600m	25~150m	50~150m
水平方向指向性	0.70度	0.21度	0.14度
垂直方向指向性	40度		—
サンプリングレート	24kHz		22.75kHz
パルス幅	25, 50, 100, 200 μs		50, 100, 200 μs
耐圧水深	1500m (オプション 6000m)		200m (オプション 500m)
探査船速※1	2~4 ノット		2~8 ノット
曳航体全長	122cm		191cm
曳航体全幅	8.9cm		15.2cm
曳航体重量	29kg(空中)		70kg(空中)

(※1 ノット=1852m/h≒0.5m/s)

focusing)と呼ばれる処理を行っている。ダイナミックフォーカシングの原理は、次の通りである。水底の物体から円弧状に戻ってくる後方散乱波を複数の受波素子で受振する。このとき各素子で得た受振波の位相に時間的ずれが生ずるが、各素子間の距離はあらかじめ分かっているので、ずれた分の時間をシフトする。受波素子から物体までの距離(散乱波の到達時間)により円弧の形状が変わるので、これに応じてシフトする時間を変化させる必要がある。時間シフトした各波を足し合わせることで、より本来あるべき信号は強調され、逆にランダムに発生するノイズは弱められ焦点を合わせることができる。この手法は反射法探査で行う重合前マイグレーションをリアルタイムで行うことと同じである。

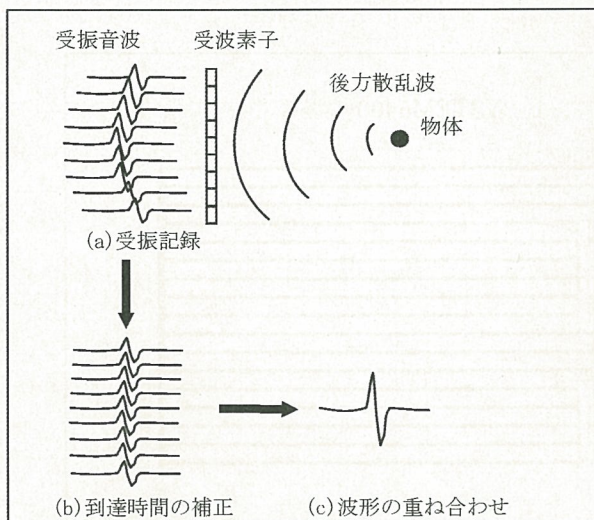


図-2 ダイナミックフォーカシングの概念図
Fig. 2 Image of dynamic focusing

分解能は航走方向とレンジ方向(航走と直交方向)の2種類に区分される。近年、マルチビーム方式のサイドスキャンソナーの登場により、図-3に示すように分解能をフットプリント(1回の送受振で音波が水底面を捉える範囲の最小範囲)として表現することが多くなってきている。

① 航走方向分解能について

SYSTEM3000のトランスデューサーの長さは約40cmあり、航走方向の最小分解能に相当する。また遠方での分解能は指向角に依存し、次式で求められる。

$$\lambda_h = R \cdot \tan \theta \quad (\text{ただし } \lambda_h \geq 40\text{cm})$$

・・・(1)

ここで、 λ_h は航走方向分解能、Rは探査レンジ(曳航体から対象物までの距離)、 θ は指向角である。

一方、SYSTEM5400はダイナミックフォーカシングにより航走方向の分解能は20cmで均一(探査レンジ75mまで)であり、探査レンジ75m~150mではビームが0.14度で拡散するため、探査レンジ100mで分解能は25cm、探査レンジ150mで36cmである。このことより、航走方向分解能はSYSTEM5400とSYSTEM3000を比較すると、SYSTEM5400のほうが若干優れている。

② レンジ方向分解能について

レンジ方向の分解能はサンプリングレートとパルス幅に依存し、サンプリングレートによって決まる分解能は次式で求められる。

$$\lambda_v \geq C / F \quad \dots \dots (2)$$

ここで、 λ_v はレンジ方向分解能、Fはサンプリングレート、Cは水中音速である。

水中音速(C)を1500m/sとすると、SYSTEM3000の場合6.25cmであり、SYSTEM5400では6.59cmとなる。

一方、パルス幅によって決まる分解能は次式で求められる。

$$\lambda_v \geq P \cdot C / 2 \quad \dots \dots (3)$$

ここで、Pはパルス幅である。

パルス幅25 μsの場合分解能は1.875cm、50 μsの場合3.75cm、100 μsの場合7.5cm、200 μsの場合15cmとなる。サンプリングレートとパルス幅から求められる分解能のうち低いほうが優勢となるため、SYSTEM3000とSYSTEM5400のレンジ方向の最小分解能は2機種とも7.5cmである。

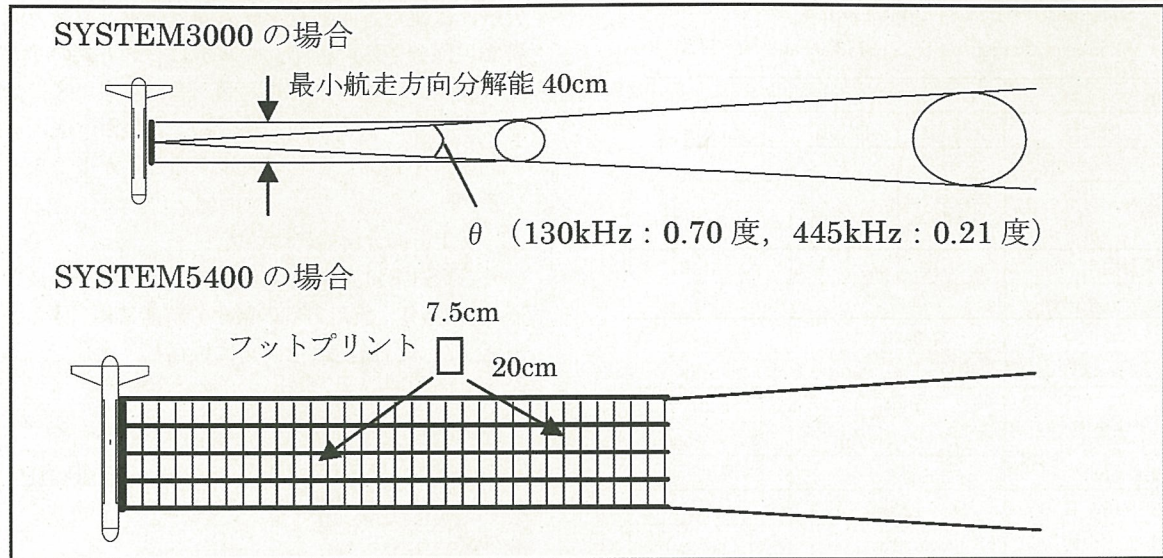


図-3 分解能概念図

Fig. 3 Image of resolution (along-track and across-track)

また、サンプリングレートは探査レンジと連動している。SYSTEM3000の最小探査レンジは片舷25mであり、このときのサンプリングレートは25 μ sである。一方、SYSTEM5400の最小探査レンジは片舷50mであり、このときのサンプリングレートは50 μ sである。レンジ方向の最小分解能は前述したように7.5cmで同じであるが、最小レンジに2倍の違いがあるということは、SYSTEM3000の音響画像イメージはSYSTEM5400の音響画像イメージの探査レンジ25mまでの部分を拡大していることになり、SYSTEM3000のほうが水底面の状況を把握しやすいことを意味している。

ビーム数の違いは、曳航速度に関係することから、現地作業における効率化に影響する。例えば、図-4に示したように探査レンジを150m、水中音速を1500m/sとすると、発振から最大到達距離（探査レンジ）の受振ま

での時間（往復走時）は0.2秒であり、曳航速度を8ノットとすると、その間に曳航体は0.8m進むことになる。SYSTEM5400では20cmのビームを4本発振しているのでも上記の条件下でも水底面を100%カバーする。SYSTEM3000の受振部は0.4mなので、水底面のデータ抜けを防ぐためには、曳航速度を半分の4ノットにする必要がある。つまり、ある測定範囲を設定した場合、SYSTEM5400はSYSTEM3000の2倍の速度で曳航可能となり、作業効率が上がることになる。しかし浅水域の調査では、測定効率もさることながら、いかに浅水域を測定できるかが重要である。このため探査船としては喫水が浅く小回りのきく小型船やゴムボートを使用することとなり、曳航体重量が29kgときわめて軽量のSYSTEM3000を使用することとなる。

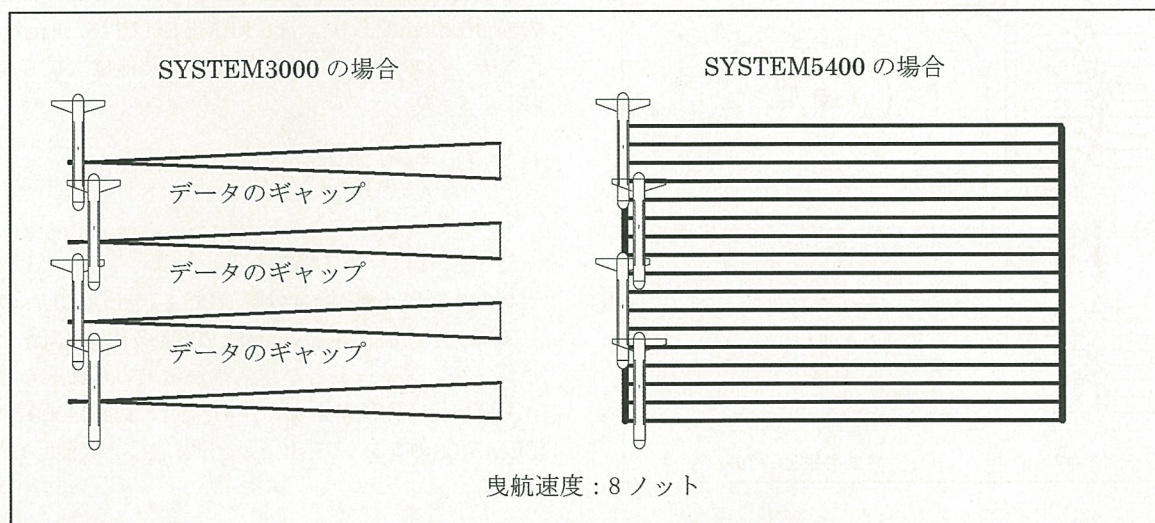


図-4 ビーム数の違いによる水底面のデータ取得概念図

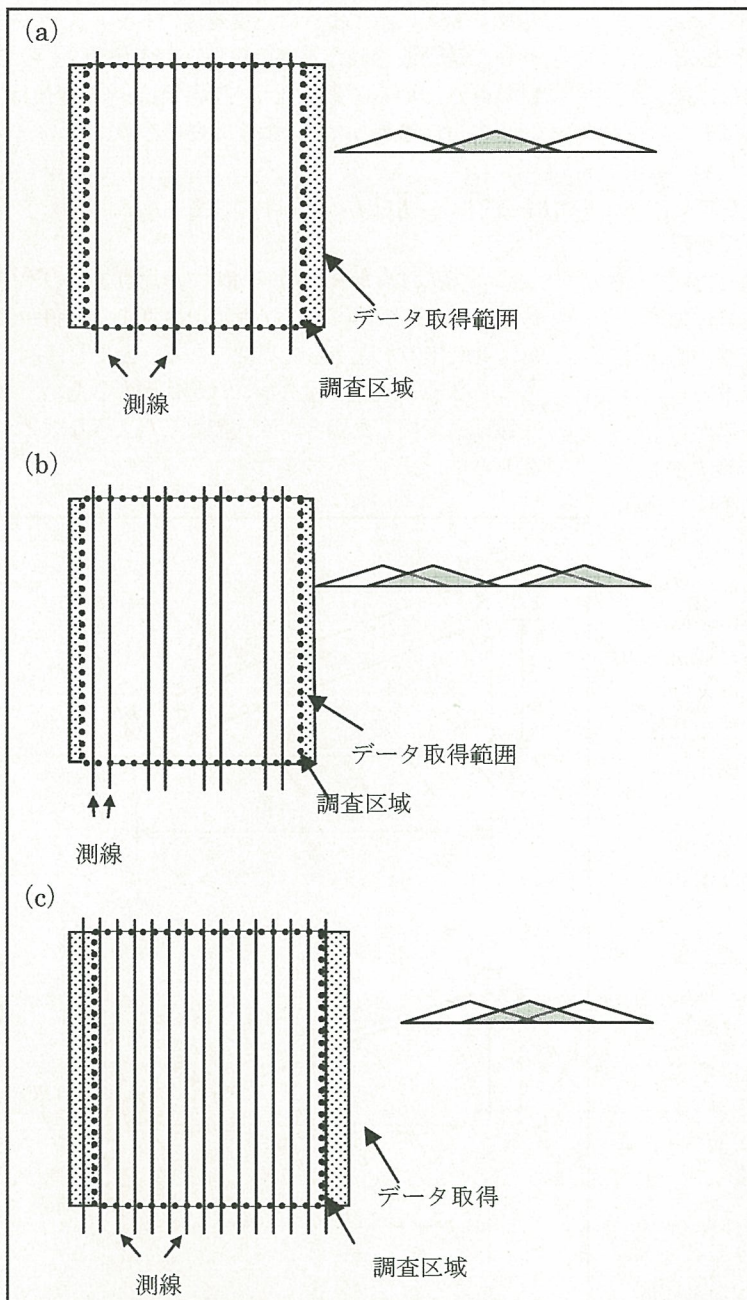
Fig. 4 Image of bottom detection capability by different number of beams

3. 測定方法

図-1に示したように通常の測定では探査船の船尾から曳航ケーブルを出して曳航体を曳航するが、水深がおおよそ10m未満の測定では、曳航体の水深を一定に保つため、あるいは測位を行っている探査船からの距離をできるだけ短くするために、探査船の船首または舷側から短く曳航ケーブルを出して測定を行う。船首から行う場合は、船底に曳航体が接触しないように十分注意を払う必要がある。また、船首は船の動揺の一つであるピッチング(上下動)の振幅が大きい場所であり、このピッチングにより曳航ケーブルが引っ張られるため曳航体も上下動し、進行方向に対して横縞が入ったような斑のある

データになることがある。そのためこの測定方法を行うときは、特に波高、うねりがほとんどない海象時にデータ取得を行う必要がある。舷側から行う場合は、船底の影が映らないようにすることと、船首方向から発生する自船のウェーキ(泡)がノイズとならないよう取り付け位置に十分留意する必要がある。水深が10m以上ある場合の測定は、船尾から曳航ケーブルを出し、曳航体を曳航する。このとき、舷側から曳航するのと同様に、スクリューから発生する自船のウェーキによる影響があるので、観測船から十分に距離を置く必要がある。

探査船の測位は、D(Differential)-GPS(Global Positioning System)あるいはRTK(Real Time Kinematics)-GPSを用いて行う²⁾。D-GPSは、陸上の既



- (a)は測線間隔をもっとも粗くした場合であり、測定時間とデータ処理時間が節約でき、経済的であるが、曳航体直下付近のデータを使用することとなり、均質な音響画像イメージとならないため、底質土分類や構造物などの解釈が難しくなる。ケーブル、パイプラインの敷設ルート選定調査や広範囲の水底面底質分布状況を知りたいときに有効である。
- (b)は曳航体の直下付近のデータを使用せずに、ほぼ均質な音響画像イメージを取得する方法である。(a)よりは詳細な水底面底質分布状況を知りたいときに有効である。
- (c)は測定・データ処理に時間を費やし最も経費がかかるが、測線に対し直交する一方向から見た音響画像イメージを作成でき、均質で解釈しやすい音響画像イメージとなる。水底の人工構造物(異物)調査や詳細な底質土分布を知りたいときに有効である。

図-5 基本測線間隔設定例

Fig. 5 Example of basic survey line setting

知点で検出した衛星固有の測定誤差を探査船に送ることによりリアルタイムに補正をして、1～2m程度の精度で測位が可能となる方法である。補正情報は、海上保安庁が運用する全国27箇所のビーコン局から無料で提供され、各局から200km以内の海上までカバーされている。RTK-GPSは、D-GPS同様、陸上の既知点から位相情報を探査船に送ることによって測位の精度を向上させる手法であるが、陸上の既知点を測定エリアの近傍に新たに設置できるため精度が飛躍的に向上し、その精度は数cmとされている。陸上の既知点はあらかじめ測量しておき、その箇所を基準局として特定省電力トランシーバーや携帯電話で位相情報を送るため、半径1km～5kmの範囲で上述の精度を維持したまま測位が可能である。

曳航体の測位は、曳航ケーブル長と曳航ケーブルの入水角度から求める方法とトランスポンダーを用いて探査船との位置関係を求める方法がある。曳航ケーブル長と入水角度から求める方法の場合、曳航長が短ければ誤差はほとんど無いに等しい。しかし、数十m以上伸ばした場合には、水の抵抗により曳航ケーブルが浮きの代わりとなり、入水角度と異なった状態でケーブルは伸びているため、ケーブル長が長ければ長いほど計算値と実距離に誤差が生ずる。最近では、探査船の測位と連動した収録ソフトにケーブル長を入力すれば、自動的に曳航体の絶対位置を算出するようになっているが、探査船の測位誤差や潮流による影響等もあり、正確な位置は求められない。トランスポンダーを用いる方法は、探査船から発振した信号を曳航体に取り付けたビーコンが応答することにより、探査船と曳航体間の距離を算定する手法である。探査船の位置は前述したGPS測位により既知なので、曳航体は絶対位置として求められる。しかし、トランスポンダーやビーコンから発振された超音波は、鉛直方向に温度や塩分濃度が急変する躍層が存在すると屈折を起こすので、探査船と曳航体を直線で結んだ経路とは異なった経路で伝搬する。そのため、数mの誤差が生じる可能性がある。これらのことを認識した上で、測定に望まなければならない。

測線間隔は、調査区域のデータに空白部が生じないようにオーバーラップを考慮することと、水底面の状況が大まかに分かれば良いのか、それとも詳細に知りたいか等の調査の目的に応じて設定する必要がある。また、曳航体直下の歪みの強いデータを使用するかどうか、最終的に作成する音響画像イメージを一定の方向からスキャンしたデータだけで作成するかどうかも考慮して、図-5に示す3タイプの測線間隔の設定が考えられる。

4. データ処理と解釈方法

4.1 データ処理

サイドスキャンソナーで取得した画像は、曳航体の進行方向に直交した1ライン毎の波形データを並べたもの

で構成される。水底面からの受振音波は、斜距離で計測されるため、曳航体に近いほど圧縮され、逆に遠い場所からの受振波は引き伸ばされて歪みが生じている。また、探査船の船速が一定しないこと、潮流や風等による探査船の進行方向と曳航体の方位のずれによっても歪みが生じている。さらに、遠い場所からの受振波は、音波伝搬損失と水底面への音波の入射角による損失があるため、曳航体に近い受振波より小さい振幅となっている。最終的な音響画像イメージを作成するためには、これらの歪みを取り除き、振幅を補正する必要がある。

(1) 斜距離補正

斜距離補正は、時系列順に記録された受振波を曳航体の海底からの高度にもとづき水平面上に投影することである。

図-6(a)に示すように、曳航体のトランスデューサーで送受波された水底の位置Pは斜距離によって計算されている。斜距離から水平距離への変換は、三平方の定理から次式のように表せる。

$$dp = \sqrt{lp^2 - hs^2} \quad \dots (4)$$

ここで dp は曳航体(s)から水底のP地点までの水平距離、 lp は曳航体(s)から水底のP地点までの斜距離、 hs は曳航体の水底からの高度である。ただし、図-6(b)のように実際の水底面には起伏があるため、水平距離に変換した場合、次式で表したような誤差が生じる。

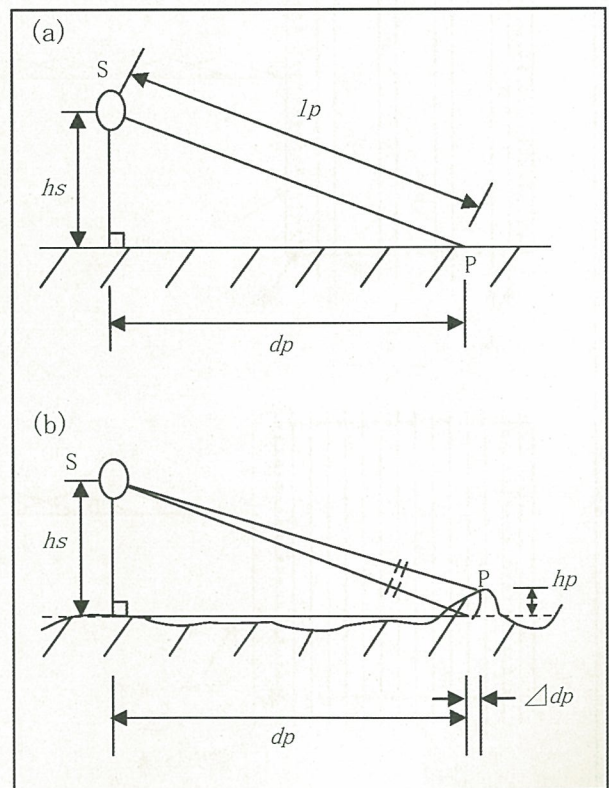


図-6 斜距離補正

Fig. 6 Principle of slant range correction

$$\Delta dp = \sqrt{dp^2 - hp^2 + 2hs \cdot hp} - dp \quad \dots (5)$$

ここで Δdp は地点Pの水平方向での位置の誤差、 hp は曳航体直下と同じ水深の水平面からの地点Pの高さである。 dp に比べ hp が十分に小さい場合は、 Δdp は無視できる。

(2) 船速補正

船速補正は、船速のデータから音響画像イメージの縦横比が1:1になるようにする補正である。アナログ時代の機種では、紙による記録であったため、船速に関係なく一定速度の紙送りで出力されたモニター記録はそのまま使うことができず、データ整理の際に実際の船速(距離)に見合った紙送りで出力をし直した記録を用いていた。最近の機種では、1波形毎にGPSから送られてくる座標値がヘッダーに書かれているため、コンピュータ上で船速補正が自動的に行われる。

(3) 幾何学補正

幾何学補正は、曳航体の動揺(ローリング、ピッチング、ヨーイング)や曳航体の曳航される方向と実際のヘディングの向きによる歪みを補正する。SYSTEM3000およびSYSTEM5400には標準でピッチ、ロールの動揺センサーとヘディングセンサーが装備されており、船速補正同様に、コンピュータ上で幾何学補正が自動的に行われる。

(4) 振幅補正

振幅補正は、曳航体に近ければ受振振幅は大きくなり、遠くなれば受振振幅が小さくなる現象を、ある基準値を定め全体を一定のレベルにする補正である。一般的に使用する方法は、TVG(Time Variable Gain)である。

以上の各種補正を終えた後に各測線毎の音響画像イメージを並べ、モザイク図と呼ぶ調査区域全体の音響画像イメージを作成する。アナログ時代には、紙出力の音響画像イメージをマイクロ写真撮影し、曳航ケーブルの繰り出し長から曳航体の位置を推定するとともに、隣り合

う測線の音響画像イメージを見比べながら、その現像写真を手作業で貼り付けてモザイク図を作成し、最後にもう一度全体を写真撮影してフィルムに残していた。現在では、専用のソフト上で各測線の音響画像イメージを作成し自動でモザイク図を作成する方法や、各測線の音響画像イメージをGeoTiffと呼ぶ位置座標を持った画像ファイルに一旦出力し、CADソフトでモザイク図を作成する方法がある。このようなデジタル化に伴い、アナログ時代のモザイク図と比較すると画質が飛躍的に向上し、任意の縮尺で表現できるようになり、モザイク図作成にかかる費用と時間が大幅に短縮された。

4. 2 解釈方法

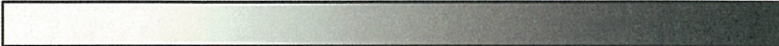

水底面の状況を解釈するには、多くの場合はモザイク図から判読する。モザイク図から判読しにくい場合は、オリジナルの記録に戻る必要がある。水底面の底質土の判読をする場合には、次のことに気をつけなければならない。モザイク図は受振した振幅強度に応じて色付けを行ったものであり、その濃淡パターンを相対的に判断して底質土の判読をするが、それだけでは間違った解釈をする可能性もある。このため測定時のモニター記録上で特徴的な箇所において、表層土の採取を実施し、解釈の際の指標とすることが重要である。

濃淡パターンの色彩は、一般的に白黒色を使用するが、最近では他の色を使用することもある。本稿ではSYSTEM3000のデフォルト色であるCopper色で表示した濃淡パターンも合わせ、散乱強度と底質土および濃淡パターンの関係を表-2に示す。

底質土の判読や地形の判読には、音響画像イメージに見られる特徴的な形状を利用する。たとえば、リップルやデューンの波型の模様は、砂質土にしかできない模様であるから、そのような模様があれば砂質土であることがわかる。また、人工構造物や水底から突起した物体の場合は、後方散乱強度の強い部分(実体)の輪郭を見ることによって判読可能であるが、実体の後方にある後方散乱強度が弱い部分(これを音響的な影と呼ぶ)の輪郭を見ることによってさらに実体の形状が理解しやすい場合が多い。

表-2 後方散乱強度と底質土、濃淡パターンの関係表

Table-2 Relation of backscatter strength, bottom material and light and shade pattern

後方散乱強度	弱い ←————→ 強い
底質土	泥 ←-----→ 砂 ←-----→ 礫 ←-----→ 岩 ←-----→ 石
濃淡パターン 模式図	白色  暗色 黒色  明色

白黒濃淡パターンの場合の一般的な底質土と地形の判読基準³⁾をそれぞれ表-3および表-4に示す。

5. 適用事例

図-7は、底質調査におけるモザイク図とモザイク図および底質土採取の結果から判読した底質土分布図である。現地は、水深1~4m程度で流行方向が図中右方向から左方向(南から北方向)の河川である。底質土分布図の黄色で示した箇所は、リップルが現れており砂質土であると判読できる。水色の右端(上流)にも波模様があるが、リップルは流行方向に対し直交する方向に形成されるが、ここでは、流行方向に対し平行の模様であるのでリップルとは異なり地形の凹凸と判読できる。このように、現地状況も加味することによって、誤った解釈を回避することができる。

図-8は、構造物調査において洗掘防止用の水制工を捉えた例である。水深は2~10m程度あり、(a)は右側に(b)は左側に曳航体があり、それぞれ白色が水制工からの後方散乱波、黒色が水制工の影である。(b)では白色の部分を見れば、中空三角形の水制工であることはおおよそ分かるが、(a)では白色の部分からだけでははっきりとした形状が読み取れない。そこで、影の黒色の部分に着目すると、(a)の左上のような形状をした水制工が見えて

くる。このように、実体からの後方散乱波よりも、影の部分を読み取ることによって形状が浮かび上がり判読しやすくなる場合が多い。

図-9は、環境調査において海草(うみくさ)であるタチアマモを捉えた例である⁴⁾。水深は1~3m程度であり、曳航体は図の右側を通過している。曳航体直下付近には、岩が点在していることが判読でき、さらに、リップルが現れていることから底質は砂質土であることが判読できる。図中左上の後方散乱強度の強い部分は、現地確認よりタチアマモであることが分かった。調査地でみられるタチアマモの特徴としては、生息域縁辺部では単体でパッチ状に、生息域中央部では密集して生息することである。また、白色のパッチ状の後方に見られる黒色の影の長さを測ることにより、タチアマモの概略の背丈が求まる。さらに同一調査区域において定期的な調査を行うことにより、藻場分布範囲の縮小・拡大、ならびに繁茂期の生育状況も分かり、水辺環境の計画的な保全にも役立つ情報を得ることが可能となる。

6. 技術的課題と今後の展望

サイドスキャンソナーを用いた水底面調査について述べた。現状のサイドスキャンソナーは、デジタル技術の飛躍的な発展により分解能が向上し、これまで捉えるこ

表-3 底質土判読基準

Table-3 Standards for bottom material identification

地形	音響映像パターン
露岩地形	岩質・表面形状によりことなる。互層がケスタ状に侵食された場合は、黒白の縞模様が連続してみられる。
砂・泥質堆積地形	映像パターンの区分は、底質判読基準に準じる。
段差	断層地形などの壁の部分が黒~暗灰色の細長い帯状の模様で描かれる。
リップルなど	黒白の縞模様が連続して見られる。白と黒の色調は凹部と凸部だけでなく、底質の差も反映している。
コンクリートブロックなど	角張った黒色の後が白く抜ける。
海草	音波が遮断されるため、進行方向の直交方向に白く抜ける。
魚群	黒く小さな点が多数描かれる場合と、黒い帯状に描かれる場合がある。

表-4 地形判読基準

Table-4 Standards for topography identification

底質土	音響映像パターン	
岩盤	岩盤(起伏あり)	突起部の黒色部分とその影になる白色部分が交互に断続的に現れる。岩質によっては層理・節理が見られる。
	岩盤(平滑)	均質な暗灰色。層理節理が見られる。
礫、礫質砂 砂質礫、貝殻	均質な濃い黒色。灰色の斑状模様を伴う場合もある。	
細砂、砂泥 シルト、泥砂、粘土	暗灰~灰白色の基調で、灰色の斑状模様を伴う場合もある。粘土は均質な白から灰白色。	

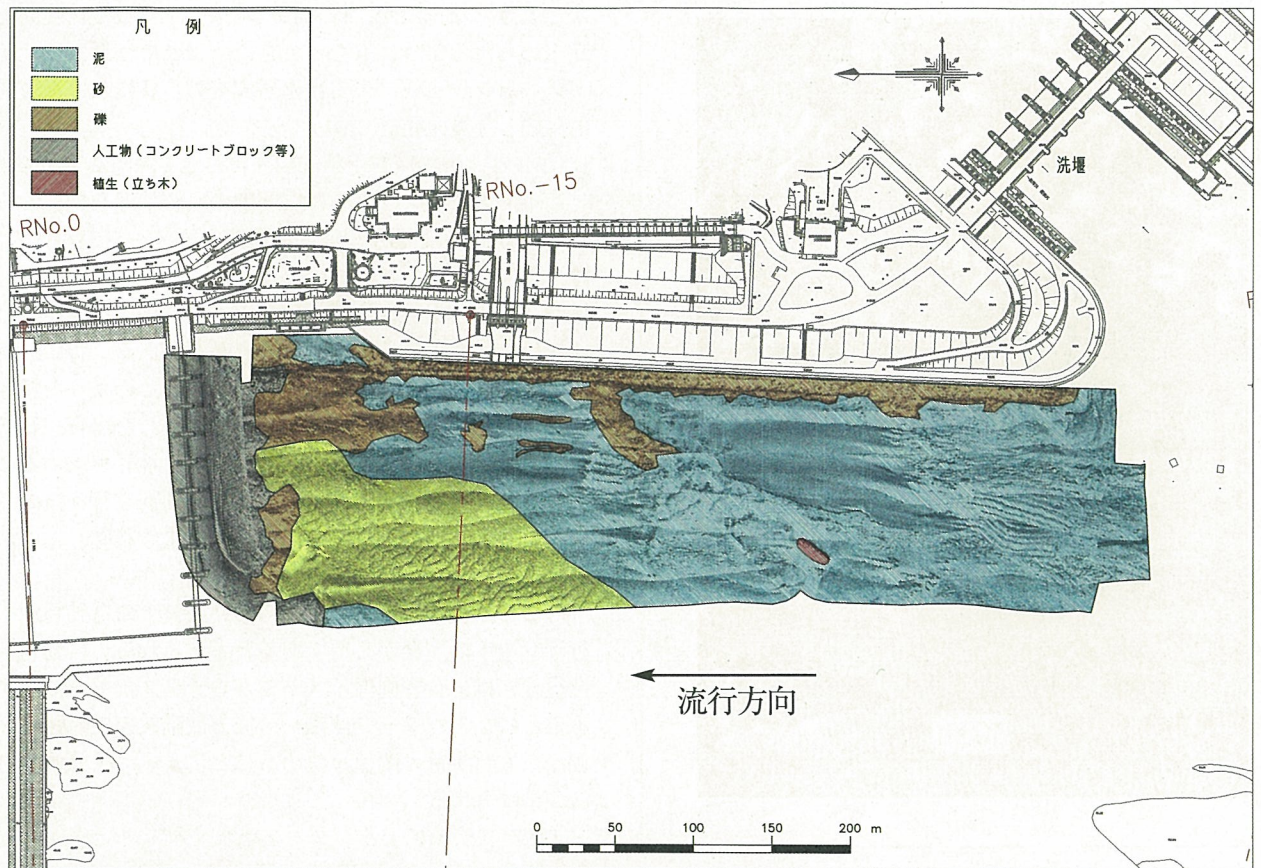
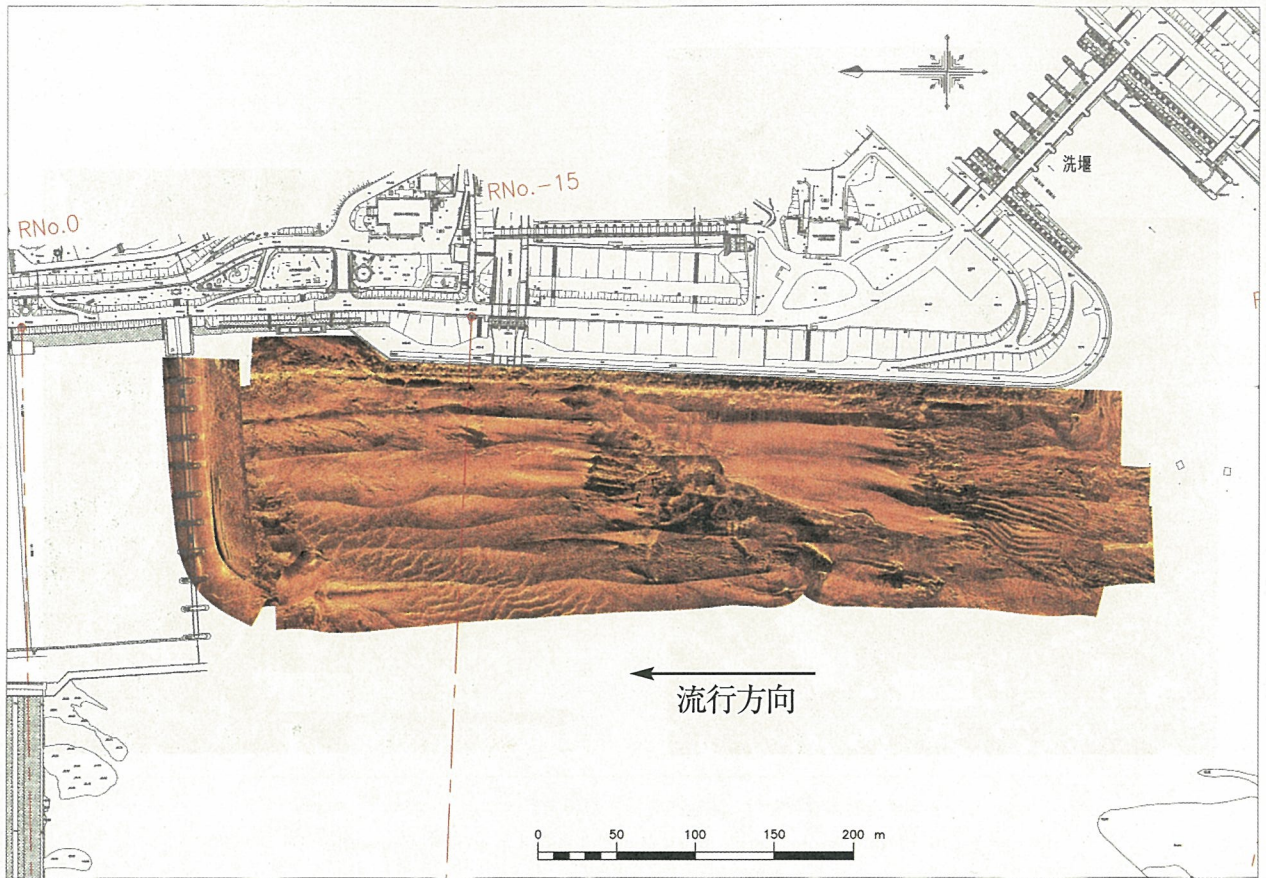


図-7 底質調査におけるモザイク図と底質土分布図

Fig. 7 Mosaic chart and bottom material distribution chart for sediment analysis

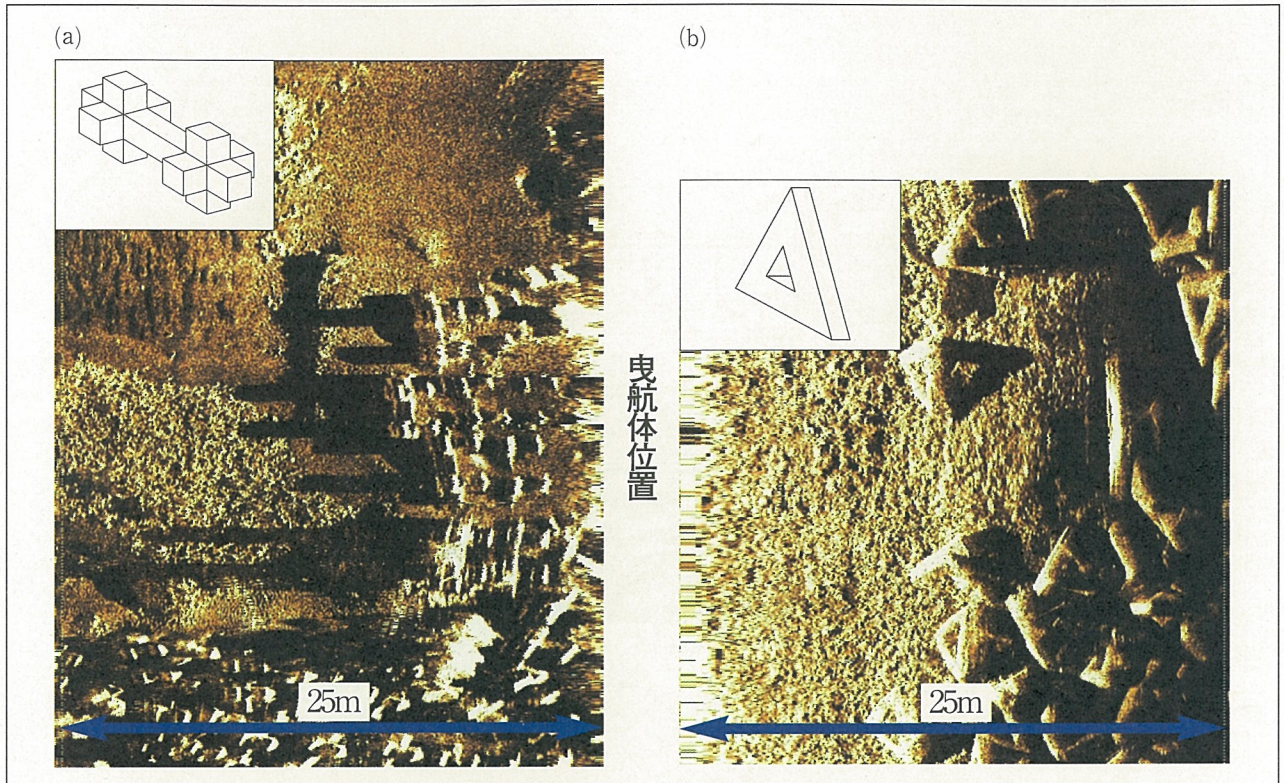


図-8 構造物調査における水制工を捉えた調査事例

Fig. 8 Example of concrete block image obtained in structure investigation



図-9 環境調査における藻場を捉えた調査事例

Fig. 9 Example of sea grass bed image obtained in environmental investigation

とが難しかった水底の微地形や構造物の詳細な形状がわかるようになったが、得られた結果のさらなる精度向上が求められるようになってきた。ここでは以下にサイドスキャンソナーによる浅水域調査の現状における技術的課題と今後の展望について述べる。

(1) 浅水域の底質土状況調査における課題について

サイドスキャンソナーは広範囲の底質状況を把握するには有効な手段であるが、音響画像イメージからは岩、礫、砂、泥といった大まかな区分しかできない。調査区域がどのような粒径の礫や砂なのかを詳細に把握するためには、水底の底質土採取を行う必要がある。特に、調査区域内に中粒砂 (mS) や細粒砂 (fS) のような粒径区分が隣り合った砂質土の分布域が混在した場合、音響画像イメージからの判別はかなり難しく境界を求めることはほぼ不可能である。また、底質土判別を行う技術者によって判断基準が異なるため、底質土分布図に違いが生じる可能性がある。

そこで、技術者の裁量によらない底質土の自動判別を行うソフトの開発が必要であると考えられる。自動判別を行うには、音響画像イメージからテクスチャを抽出することによるパターン認識や、後方散乱波の反射強度振幅から底質土毎の閾値を決めることによって区分する方法が挙げられる⁹⁾。

①テクスチャによるパターン認識区分

テクスチャとは規則的な濃淡変化が表す模様のことであり、それを数量化したものをテクスチャ特徴と

呼ぶ。テクスチャ特徴には、濃淡のコントラストや連続性などが挙げられる。例えば、泥質土のような弱い反射強度と砂質土の強い反射強度や、岩盤のような連続した輪郭を持ったものがテクスチャ特徴となる。

②後方散乱強度による区分

後方散乱波強度による区分は、調査地毎にゲイン調整やノイズの変化があるため、各底質土の反射強度が一概に決められない。この場合、底質土を採取し、底質土と反射強度振幅との関連付け（キャリブレーション）を行わなければならない。

いずれの方法も現段階では手法として確立されておらず、技術者が音響画像イメージから底質土判別したものと比較すると、不十分な結果となることがほとんどである。

このような底質土の自動判別手法はリモートセンシング技術の解析手法と同様であるので、技術的に先行しているリモートセンシング技術を取り入れながら、サイドスキャンソナー独自のソフト開発と底質土自動判別のためのデータベースの作成を早急に行わなければならない。

(2) 今後の展望について

音響画像イメージはすべての画素が地理的座標と対応していることから、単なる画像データではなく地理データとも言えるので、水深、水温、流速、その他の様々なデータとを組み合わせることにより、水底のGIS (Geographic Information System)を構築するための有効な手段の一つとなる。例えば、藻場調査の場合は、藻の種類、繁殖/減衰時期、バイオマス、水温、気象・海象、衛星写真とサイドスキャンソナーによる音響画像イメージ、藻の分布域、底質土の組み合わせによる環境保全としてのGISの構築、魚礁調査の場合は設置年月日、設置位置（経緯度や水深）、魚礁のタイプ、魚礁の個数、魚礁の形状とサイドスキャンソナーから得られた魚礁の音響画像イメージや底質土の組み合わせによる水産資源管理としてのGISの構築が挙げられる。今後、サイドスキャンソナーの活用の新たな方向性として、前述した環境保全や水産資源以外にも様々な分野における水底面GISへの活用を考案し、推進していきたい。

7. あとがき

サイドスキャンソナーによる水底面調査において、SYSTEM3000のような小型軽量かつ高精細な結果が得られる機種の開発により、浅水域への適用性が高まった。これにより、河川や湖沼などの浅水域の内水面も調査対象範囲とすることができるようになってきた。従来は、主として海底ケーブル敷設や海底パイプライン敷設のための事前海底面状況調査、魚礁設置調査などの地質工学・土木工学・水産工学の分野に活用されていたサイドスキャンソナーが、水底に投棄されたゴミの搜索、沈木調査、藻場の生育状況の調査、有害外来魚の駆除のため

の調査など環境分野や水産資源分野への適用が可能となった。

サイドスキャンソナーの浅水域での適用は始まったばかりである。今後も本論文で述べた調査対象への適用を継続するとともに、未知の分野へのサイドスキャンソナー探査の適用にも積極的に取り組んでいきたいと考えている。

謝辞

本稿を作成するに当たり、音響画像イメージの使用許諾をしていただいた国土交通省北陸地方整備局信濃川河川事務所、ならびに当社とサイドスキャンソナーによる藻場の分布状況の共同研究を実施した東京大学海洋研究所小松輝久助教授に厚く御礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 海洋調査技術学会(1993): 海洋調査フロンティア-海を計測する-, p.51.
- 2) 北高穂, 栗原則男, 橋本邦俊, 寺西和佳, 岡村健(2003): スワス測深を主とした海底地形測量技術について, 応用地質年報, No.23, pp.113~122.
- 3) 海洋調査協会(2004): 海洋調査技術マニュアル-海洋地質調査編-, pp.29~30.
- 4) 小松輝久, 佐川龍之, 三上温子, 松永大輔, 五十嵐千秋, 佐藤好史, 庄野和隆, 鴨下智裕(2005): 高周波サイドスキャンソナーを利用した浅海域漁場海底マッピング, 平成17年度日本水産学会大会講演予稿集, 日本水産学会.
- 5) 海洋調査技術学会(2004): 海洋調査フロンティア-海を計測する- 増補版, pp.39~41.