

スワス測深を主とした海底地形測量技術について

北 高穂・栗原則男・橋本邦俊・寺西和佳・岡村 健

A technical note regarding bathymetric technology with particular reference to swath bathymetry

Takaho Kita, Norio Kurihara, Kunitoshi Hashimoto,
Kazuyoshi Teranishi and Ken Okamura

Abstract

We are equipped with three types of swath bathymetric echo sounder; namely SeaBat8125 (RESON), EM1002 (KONGSBERG SIMRAD) and System5400 (KLEIN). These are used to conduct such activities as hydrographic surveys, route surveys, and coastal engineering inspections. Comprehensive planning for surveys is very important for their successful conclusion. High-level techniques and close attention to detail are required for outfitting, patch tests and the measuring of sound velocity in order to reveal seabed topography by swath bathymetric echo sounders.

In this technical note, we will explain several practical techniques for planning and conducting swath bathymetric surveys. We will also describe a few aspects of the improvements needed to create more accurate bathymetric charts.

キーワード：海底地形測量，スワス測深，マルチビーム測深機，測深機能付サイドスキャンソナー

1. はじめに

当社の海洋調査部門では、海底地形測量にスワス測深技術の導入を積極的に図ってきた。本稿では、海底地形測量の内容とスワス測深について計画立案と測定上の留意点をまとめる。さらに、海洋調査技術に関する現在の動向についても若干の説明を加える。

2. 海底地形測量の方法

ここでの海底地形測量とは、海底地形を把握するために、水深と位置を測定し、成果として水深図や等深線図などを作成する作業の総称とする。

水深を測る（測深）方法には、錘がついたロープなどを海底まで投入して測る投鉛（レッド）測深や、超音波の伝播時間により測る音響測深、あるいは水圧から換算する方法などがある。これらのうち本稿では、音響測深について述べる。測深位置を測る（測位）方法には、六分儀や光波測距儀などを使用する直接測位や、特定の電波を船で受信して、機械で自動的に測位する電波測位などがある。このうち、現在、測位方法の主流となっているGPS測位について後述する。

2.1 海底地形測量の種類

当社の海洋調査部門で実施している業務に着目して海底地形測量を分類すると、以下のようなものがある。

- (a) 水路測量
主として航路等の安全確保を目的とした測量で、水路業務法に基づき実施される。港湾測量、航路測量、沿岸測量、海洋測量、地磁気測量、補正測量、および海の基本図測量という分類¹⁾がなされている。
- (b) 工事施工管理測量
浚渫や土砂投入などの出来形管理測量。
- (c) 海洋構造物調査
護岸、防波堤や人工漁礁などの海洋構造物周辺地形や堤体の水面下の現況および変状を把握するための測量。
- (d) ルート調査のための測量
海底ケーブルやパイプラインの最適ルート選定のための測量。
- (e) 調査・設計に伴う測量
護岸や防波堤等の設計基礎資料の取得、人工漁礁の適地選定、環境調査の基礎資料としての地形把握、海底地形そのものの季節又は経年変化の把握などを目的とする。

2.2 測 深

2.2.1 音響測深機の種類

音響測深とは、海面付近から超音波を放射して、それが海底から反射して戻ってくるまでの時間から深さを知る方法である。音響測深機（以後、測深機と記す。）は、この原理に基づいて測深を行う機械である。

測深機は、シングルビーム測深機とマルチビーム測深機に大別できる。前者はひとつの送受信器から一本の音響ビーム（以後、ビームと記す。）を送受信するもので、後者は複数のビームを送受信するものである。

また、海底面を音波によって航空写真のような画像（以後、音響画像と記す。）を得るサイドスキャンソナーの技術を発展させて、面的な測深を可能とした測深機能付サイドスキャンソナーも測深機の種類といえる。

マルチビーム測深機や測深機能付サイドスキャンソナーはともに、一度に幅広い範囲を測深できるため、総称してスワス（Swath：刈り幅）測深機と呼ばれる。

測深機の種類を図-1にまとめる。

2.2.2 測深方法

シングルビームでの測深方法は、測深機の送受信機を船の舷側などに艀装し、船を航走させながら送受信を繰り返すことにより、水深データを取得するものである。

マルチビームでの測深方法も、シングルビームでの測深と同様な方法で水深データを取得するが、1回の送受信で、船と直交する方向のある幅を地形断面として測定できる。そして、船の航走に伴って連続した断面が取得されるため、この方式はスワス測深と呼ばれる。

2.2.3 データの補正の種類

音響測深により得られたデータは、送受信器と海底間の音波の往復時間から、仮定音速を1500m/秒として求めた水深値である。ここから、真の水深を求めるには以

下に述べる補正を施す必要がある。

なお、水深の基準となる高さ（水深0mの面）は、水路測量では近接する港の最低水面であり、地図（陸図）の基準面が東京湾の平均海面（TP：Tokyo Peil/Mean Sea Level of Tokyo Bay）であることと異なっている。

- (a) 喫水補正
海面から送受信器までの深さを補正する。
- (b) 潮位補正
潮位データから、測深時の海面と基準面の差を補正する。
- (c) 音速度補正
仮定音速度に対して、現場での実際の音速度の違いを補正する。
- (d) 動揺補正

シングルビーム測深機では、船の上下動（以後、ヒープと記す。）や船体の横方向の回転（以後、ロールと記す。）、船体の縦方向の回転（以後、ピッチと記す。）といった船体の動揺に起因して、記録紙に連続する凹凸の記録が得られる。水路測量では記録の凹凸の上から1/3を目途に線を引いて水深値を読みとる。

近年では、船の動揺（ヒープ、ロール、ピッチ）を計測し、測深データをコンピュータにより補正するようになった。特にマルチビーム測深では、ヒープ、ロール、ピッチに加えて船首の左右方向の回転（以後、ヨーと記す。）の変化が、斜方向を主とする測深結果に極めて大きな影響を与えるため、動揺センサーと方位センサーは不可欠となっている。

2.3 GPS（Global Positioning System）測位

米国が運用するGPSは、GNSS（Global Navigation Satellite System）と呼ばれる衛星航法システムのひとつで、現在の海上測位の主流となっている。GPSにより、沿岸から湖沼、遠洋に至るほぼすべての水域において、

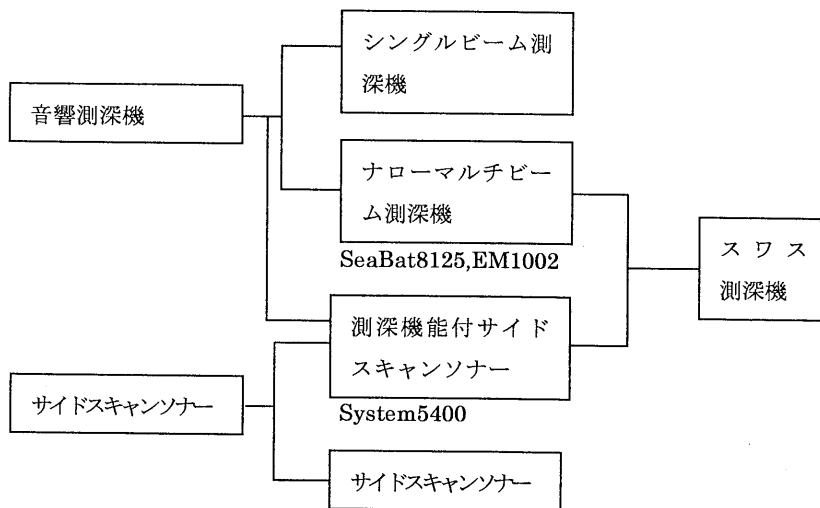


図-1 音響測深機の種類
Fig. 1 A classification of echo sounders.

比較的簡便に精度良く測位することが可能となった。

GPS測位は、2000年5月にSA (Selective Availability) が解除され、4つ以上の衛星の信号から測位する単独測位でも、15m程度の精度を確保できるようになった。さらに測位精度を向上させる方法として、D-GPS、RTK-GPS、S (Static) -GPS、VRS (Virtual Reference Station) -GPSなどがある。

以下に、測深に伴う測位の主流となっているD-GPS測位とRTK-GPS測位について概説する。

(a) D (Differential) -GPS測位

陸上の既知点で検出した測位誤差を船に送ることでリアルタイムに補正をして、1~2 m程度の精度で測位できる方法である。補正情報は、海上保安庁が運用するビーコン局から無料の補正情報が送信されており、日本沿岸では概ね100~200km 沖合までカバーされている。また、遠洋でもやや高額な補正電波使用料を払えば利用可能である。

(b) RTK (Real Time Kinematics) -GPS測位

補正情報として位相情報を船に送ることで、10cm程度の精度でリアルタイムに測位する方法ある。日本では、一般に特定小電力の無線や携帯電話などで補正電波を受信している。この場合、陸に設ける基準局から2~8 km程度までの範囲で測定が可能である。また、重要港湾を中心とした区域では、10km程度の受信範囲でRTK-GPSの補正信号が有料で提供されている。

3. スワス測深機による海底地形測量の方法と適用性

3.1 スワス測深機の種類と特徴

当社では、マルチビーム測深機であるSeaBat8125、SeaBat9001S、EM1002および測深機能付サイドスキャ

ンソナーSystem5400の4種類のスワス測深機を所有している。以後では、SeaBat8125の旧型機であるSeaBat9001Sを除く3機種について述べる。

図-2の測定概要図に示すように、マルチビーム測深機Seabat8125およびEM1002は、送受波器を船の舷側などに固定して測定を行う。一方、測深機能付サイドスキャンソナーSystem5400は船尾から送受波器（曳航体）を曳航しながら測定を行う。

マルチビーム測深機は図-3に示すように、船の左右方向に幅広く、前後方向に狭い扇形のビームを送信し、それに対して海底から反射してくる音波を船の左右方向に狭く、前後方向に幅の広い感度分布を持った多数の受波器で受信することで、幅広い範囲を一度に測深する²⁾。このような測深方法をMills Cross 法またはクロスファンビーム方式と呼び、SeaBat8125に採用されている。

一方、測深機能付サイドスキャンソナーは、測深機能が付いていない一般的なサイドスキャンソナーと同様に、曳航体から左右1対の扇形のビームを発信する。受信は一般のサイドスキャンソナーとは異なり、上下2列に備えられたトランスデューサーにより音波の位相差を計測する。位相差から計算した音波の到来方向と到達時間から反射点の座標が把握できる（図-4参照）。この測深方法をインターフェロメトリック方式といいSystem5400が採用している。

EM1002では、クロスファンビーム方式とインターフェロメトリック方式を併用して測深している。

当社で所有する3種のスワス測深機は、次のような特徴がある。なお、各機器の仕様は表-1にまとめる。

(a) 浅海用マルチビーム測深機SeaBat8125

100m以浅を対象とし、水深の3.4倍の幅（スワス角120°）を一度に測定できる高分解能、高精度スワス測深機である。水路測量、埋立施工管理、ダム堆砂調査、

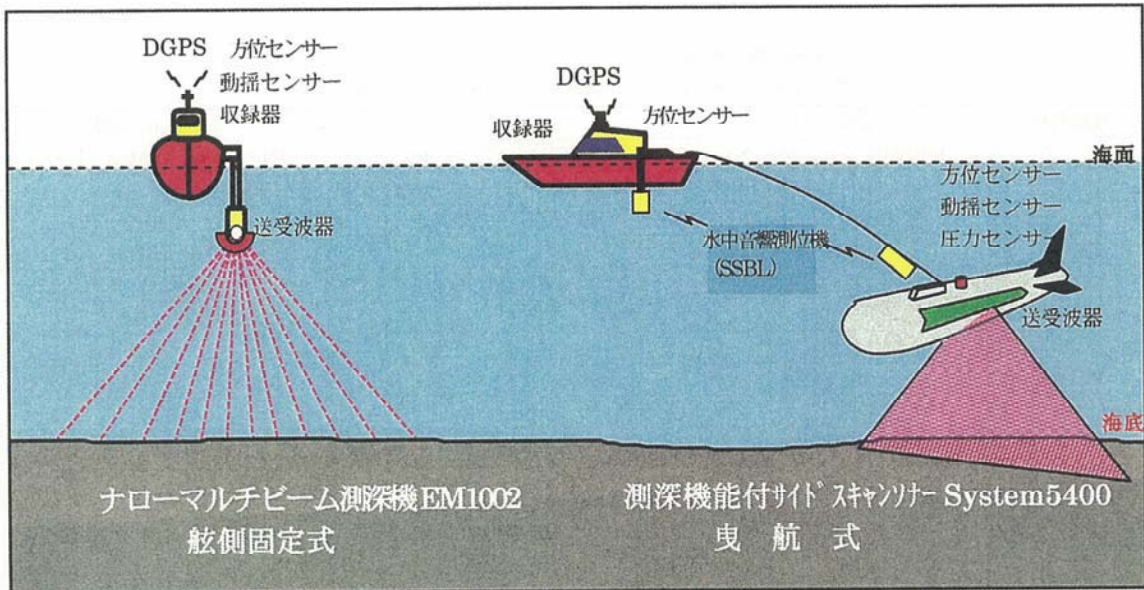


図-2 測定概要図
Fig. 2 Image of survey works.

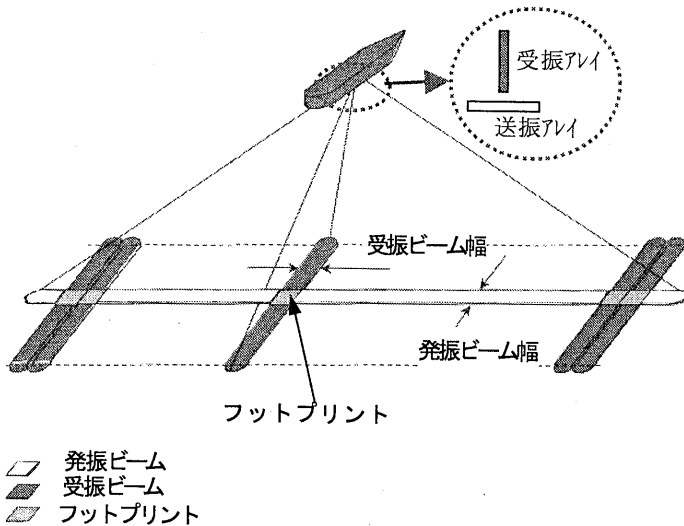


図-3 ナローマルチビーム測深機測定原理概要図

Fig. 3 Principle of bottom detection by narrow multi beam echo sounder.

護岸形状点検など幅広い用途で利用されている。

(b) 中深海用マルチビーム測深機EM1002

水深1000m以浅を対象とし、最大スワ幅1500m、最大スワ角150°を誇るワイドレンジなスワス測深機である。現在、海底ケーブルルート調査や深層水敷設ルート調査に主に利用されている。

(c) 測深機能付サイドスキャンソナーSystem5400

水深200m以浅を対象として、高解像度の音響画像とともに最大スワ幅300mの測深ができる曳航型スワス測深機である。海底面状況探査や施工出来形管理などに利用されている。Saebat8125やEM1002にくらべて、測深精度はやや劣るものの³⁾、10倍以上の密度で測深データを取得できるという特徴がある。

3.2 スワス測深の計画

スワス測深を計画する場合には、以下の点を十分に考慮し、測深機の選定、測線配置、測定工程、調査船選定

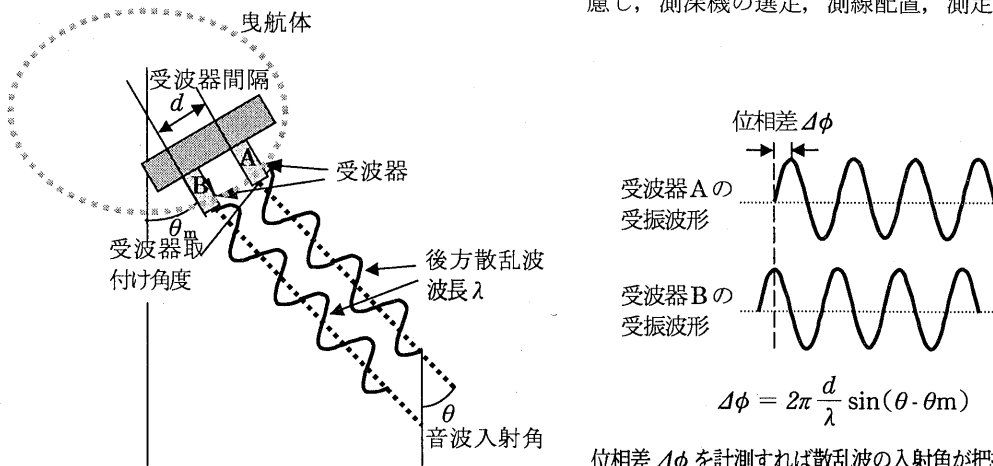


図-4 測深機能付サイドスキャンソナー測深原理概要図³⁾

Fig. 4 Principle of bottom detection by interferometric method.

表-1 機器仕様一覧表

Table 1 Specifications of swath bathymetric systems.

機器名称	SeaBat8125	EM1002	System5400
メーカー	RESON (デンマーク)	Kongsberg SIMRAD (ノルウェー)	Klein Associates (USA)
機種分類	ナローマルチビーム測深機	ナローマルチビーム測深機	測深機能付サイドスキャンソナー
測定方法	舷側固定/可搬式	舷側固定/可搬式	曳航式
適応水深	2~100m	5~1000m	10~200m
スワ幅	3.4×水深; 最大100m	7.5×水深; 最大1500m	最大300m
ビーム指向角	0.5°×1.0°	2°×2°	0.2°×40°
ビーム数	240	111	2
測深精度	5cm~8cm	10cm or 水深×0.2%	水深×1%+50cm程度
発振周波数	455KHz	95KHz	455KHz
送受波器重量	24kg (空中)	130kg (空中)	70.5kg (空中)
送受波器外寸	H19.2×W38.3×L49.9cm	H39.8×W88.7×L47.3cm	長さ194cm, 直径15.2cm+テールフィン
動揺センサー精度	機種: TSS DMS02-05 ロール, ピッチ0.05° (RMS) ヒープ5cm	機種: Seatex Seapath200 ロール, ピッチ0.025° (RMS) ヒープ5cm	内蔵センサー ロール, ピッチ0.2° (RMS) 水深30cm
方位センサー精度	機種: KVH GyroTrack 1°	機種: Seatex Seapath200 0.075°	内蔵センサー 0.5°
位置精度	±1cm×1.5ppm×基線長 (RTK・GPS 1秒更新)	2m程度 (DGPS)	2m程度 (DGPS)+曳航長×約5%

などを決定する。

- ① 調査・測量目的
- ② 調査海域の最大・最小水深と底質
- ③ 求められている測深精度と分解能
- ④ 検潮所の場所と調査時期の潮位予報
- ⑤ 海流・潮流や河川流入水の分布
- ⑥ 艦装および帰港場所
- ⑦ 調査に利用できる船の大きさや性能
- ⑧ D-GPSやRTK-GPS測位のための衛星電波受信状況や補正信号の通信手段
- ⑨ 定置網の配置などの漁業活動
- ⑩ 調査時期の一般的な気象・海象・流況
- ⑪ 成果図面の縮尺や体裁

次に、具体的な測定計画について概説する。

3.2.1 測線配置

スワス測深では、一般に、測深幅の30%程度が隣の測線と重なり合うように測線間隔を設定する。例えば、SeaBat8125を用いて水深30mのほぼ平坦な海域を測深する場合は、測深できる幅（スワス幅）は約100mとなるため、適切な測線間隔は約70mとなる（図-5参照）。

マルチビーム測深機で傾斜する海底面を測深する場合は、等深線に平行に測線を配置することで測定効率を高めることができる。しかし、急斜面の測定では、測定精度の低下を招く場合もあるため、主測線に直交する副測線を設ける。

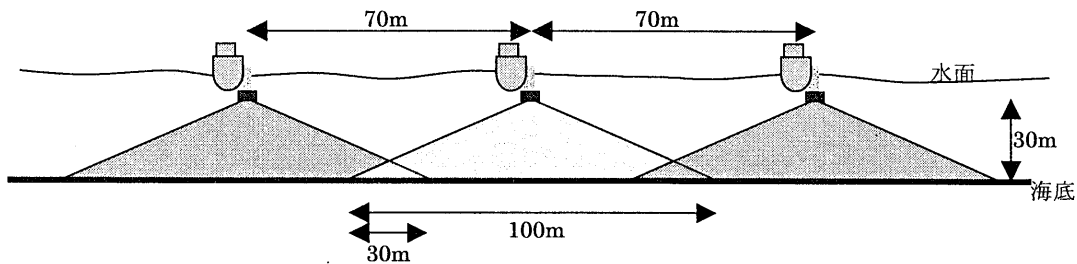


図-5 ナローマルチビーム測深の測線間隔設定例

Fig. 5 Example of line setting for narrow multi beam echo sounder.

一方、測深機能付サンドスキャンソナーSystem5400では、曳航体直下付近の測深精度が低下するため、隣り合う測線で曳航体直下付近をカバーする測線配置が必要である。

3.2.2 測定工程

現場測定は、概ね次の流れで実施される。

- ① 測位機の校正・艦装：GPSを船に艦装する前に、陸上基準点で精度確認測定を行う。
- ② 測深機の艦装：送受波器、動揺センサー、方位センサーを船に艦装し、設置位置と取付け角度を計測する。
- ③ 機器の作動テストと校正：動揺センサー、方位センサーのキャリブレーションを行う。
- ④ 音速度測定：調査海域の水中音速度の鉛直分布を最低1日1回測定する。
- ⑤ 測深機のパッチテスト：パッチテストは、測定システムのロール、ピッチ、ヨーのオフセット量（図-6参照）および計測遅延時間（レイテンシー）を計測するテストである。適切な海域にてこのテストを実施する。
- ⑥ 測深：マルチビーム測深では測深データ密度を考慮して4～5ノット程度までの船速で測定する。測深機能付サイドスキャンソナーSystem5400では船速8ノット程度で測定が可能である。
- ⑦ 測深データの確認：未測域や異常データがないかどうかを確認し、必要があれば補測を行う。
- ⑧ 解装：測定機器を船から取り外す。

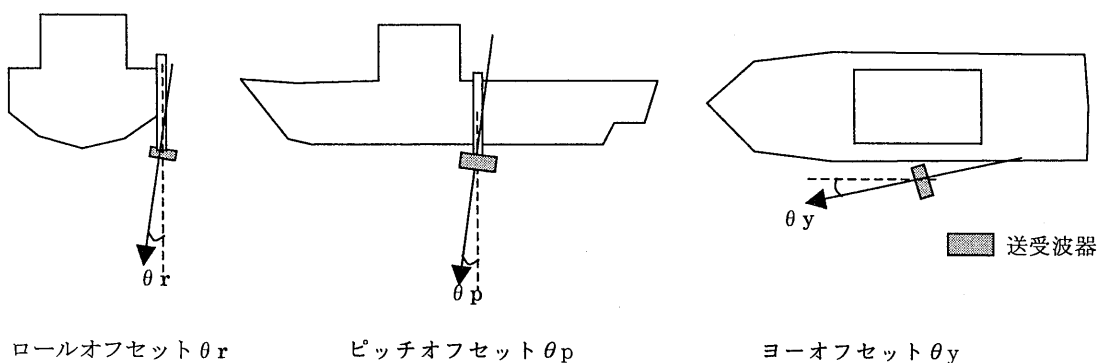


図-6 送受波器取付けオフセットの概略図

Fig. 6 Image of offset values of a transducer.

現場作業に要する時間は、調査船や測定内容などにより異なるが、SeaBat8125による測深では、上記①～④で半日程度、⑤は1～2時間が一般的に必要なである。⑥の測深作業では、測線上の航走に加えて測線間の回頭や避航あるいは補測などのために、概して予定測線長の1.5～2倍以上の距離を航走することが多い。⑧解装に要する時間は、艀装時間の半分以下である。なお、EM1002を用いた場合は、SeaBat8125の場合に比べて上記①～⑤の工程に2～3倍の時間が見込まれる。また、測深機能付サイドスキャンソナーの測定では、艀装および機器のキャリブレーションに2～3時間程度を要する。さらに、曳航長が長くなれば、測線から測線へ移行するための時間がより長くなる。

調査工程を立案するときには、上記の内容と所要時間を考慮に入れなければならない。

3.2.3 人員配置

SeaBat8125では、調査員3人で全ての現地調査が実施可能である。EM1002を使用する場合は、艀装・解装に4～5名の人手を必要とするが、それ以外では3名でよい。System5400では、水深が浅く、曳航長が短い場合は調査員3人で作業できるが、水深が深く、ケーブルウインチを使う必要がある調査では、ケーブルウインチ操作員が別途必要になる。

3.2.4 パッチテスト海域の選定

パッチテストは、平坦な海域と特徴的地形（急峻な谷や尾根、窪み、突起）がある海域で行うことが望ましい。そのような海域を調査海域の中もしくは近辺を対象に、海図などで事前に選定しておく必要がある。

3.2.5 測位方法の選択

スワス測深は、高い測位精度を必要とする。特に、浅海域でSeaBat8125による高精度測深を行う場合、一般に測位精度10cm程度のRTK-GPS測位が用いられる。一方、EM1002やSystem5400で測深する場合は、通常では、D-GPS測位が選択される。

GPS測位を利用できない場合、スワス測深を実施するには大きな困難が伴うので、調査計画時には、GPS信号や補正信号を受信できることを確認する必要がある。

3.3 スワス測深の測定上の留意点

スワス測深の測定で最も注意を払う必要がある事項は、艀装とパッチテストである。また、水中音速度測定を適宜実施することが重要である。そこで、艀装、パッチテスト、水中音速度測定について留意点を述べる。

3.3.1 艀装

SeaBat8125とEM1002の艀装では、調査船の舷側などに送受波器を、船体中央付近に動揺（ロール、ピッチ、ヨー、ヒープ）センサーを、計測上最適な場所に方位セ

ンサーとGPSアンテナを船体と一体となって動くように強固に設置する。そして、送受波器の喫水や、各機器の取付け位置と角度を精度良く測定する。

送受波器は、水圧や振動などにより、取付け角度が測定中に変化する可能性があるため、特に強固に設置しなければならない。また、長期間にわたって測定を行う場合では、送受波器を海面上に引揚げられるように艀装することがあるが、この場合、送受波器を海中に投入するたびに、取付け位置や角度を計測し、常に同じ状態で設置されているかを監視する。仮に取付け状態が変化していれば、再度パッチテストを行わなければならない。

System5400では、曳航体の位置（調査船からの方向と距離）を計測する水中音響測位機とGPSアンテナを調査船に設置する。また、曳航体を引揚げたり、曳航長を調節するためにAフレーム（荷物等を船外へ吊り出すためのクレーン）やケーブルウインチなどを必要に応じて設置する。特に、水中音響測位機の送受波器を設置する場合は、船底から1m程度以上深い場所に、堅牢に設置する必要がある。

3.3.2 パッチテスト

パッチテストは、その良否が測深精度に大きく影響する重要なテストである。

テスト方法は、使用するソフトウェアにより若干異なるが、基本的には図-7に概説する要領で実施される。

パッチテストは、必ず測定前に実施されなければならない。また、測深中においても、同じ測線を往復測定したり、測線に直交する副測線で検測するなどして、パッチテストで得られたオフセット量の変化を監視する。

System5400を使って測深する場合は、曳航体内部に方位センサーと動揺センサーが組み込まれているため、各センサーと送受波器との取付け位置の関係が変化しないので、パッチテストは必要ない。しかし、方位センサーと水中音響測位機のキャリブレーションを測定開始前に実施する必要がある。また、各種内蔵センサーの校正試験を定期的に行うことも重要である。

3.3.3 水中音速度測定

水中音速度は海水の塩分濃度と温度および水圧の変化に起因して、1500m/sを中心に±5%程度以内で変化する。したがって、音波の伝播時間から距離を求める音響測深では、測定海域の音速度を正確に計測しなければ測定誤差を引き起こす。加えて、スワス測深では、音速度の鉛直方向の変化により生じる音波の屈折により、外側のビームほど音速度に起因する測定誤差は大きくなる。よって、音響測深、特にスワス測深では、音速度の詳細な鉛直分布を計測する必要がある。また、SeaBat8125とEM1002では、送受波器が海水に接する面での音波の屈折角度を計算し補正している⁹⁾ために、送受波器周辺の音速度を常に測定しなければならない。

当社でスワス測深を行う場合には、水深100m未満で

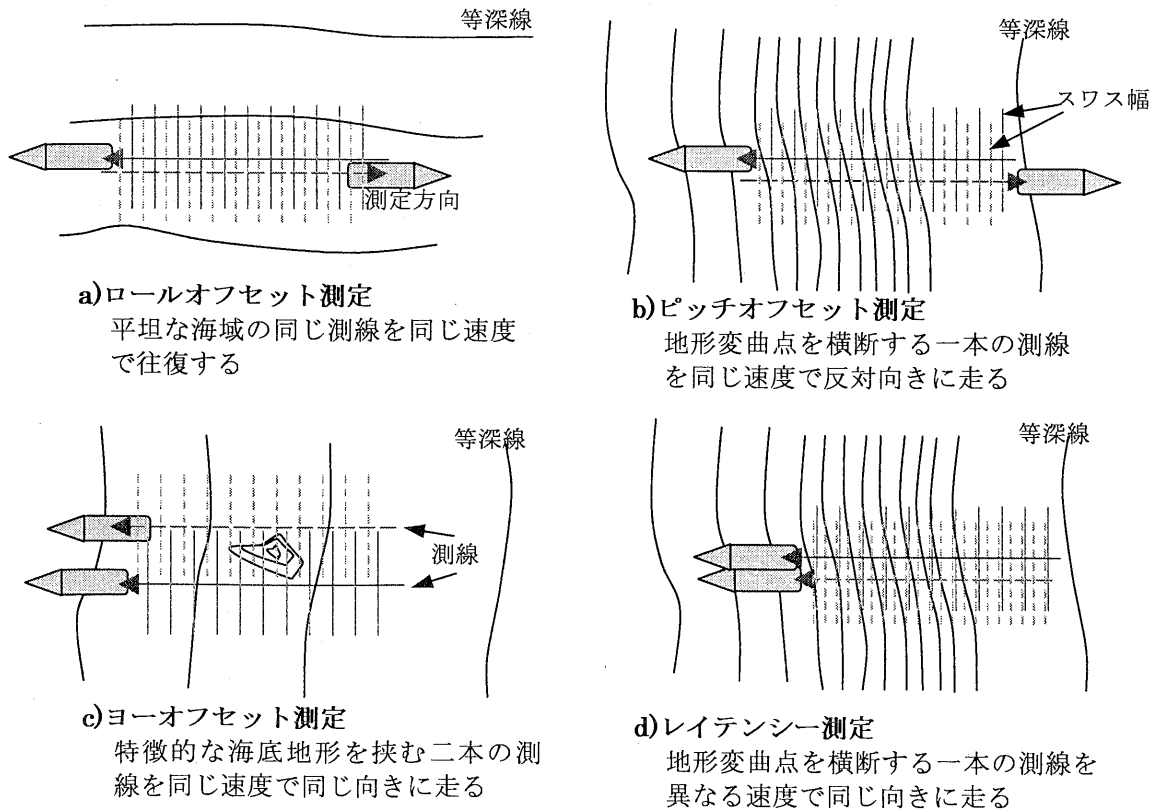


図-7 ナローマルチビーム測深のパッチテスト概要図
Fig. 7 Outline of patch test for narrow multi beam echo sounder.

の音速度測定は、音速度計を上げ下げして連続測定している。また、水深100m～1000mの音速度は、XCTD（投げ捨て型塩分水温測定器）を使って電気伝導度と水温を測定し、その結果から水中音速度を算出している。音速度計は、定期的に検定し、必要な測定精度を保証しなければならない。

水中音速度は、スワス測深実施前に必ず測定し、必要に応じて気温の上がる昼頃や測深終了時にも測定する。また、河口周辺など水中音速度が局所的に大きく異なる水域でも音速度を測定する。

3.4 スワス測深の適応事例

図-8はSeaBat8125で測深した防波堤周辺の海底状況である。捨石マウンドの形状やその周辺に散らばった岩塊が明瞭に捉えられている。このように、SeaBat8125は、テトラポットなど比較的小型の構造物でも形状が把握できるほどの精度を持っている。

図-9はEM1002で得た伊豆大島の東方沖の海底地形を表示したものである。海底斜面の尾根・谷が詳細に測量されており、最大水深1200mまでの海底地形が捉えられている。このように、EM1002は中深海を高精度に測深することができる。

図-10はSystem5400で測得した海砂採取海域での海底地形と音響画像である。System5400では、海砂を採取された部分の微細な地形が窪みとして捉えられると



図-8 SeaBat8125で測深した防波堤周辺の海底地形
Fig. 8 A bird's eye view of a breakwater measured with SeaBat8125.

もに、音響画像によって、底質分布を把握できる。すなわち、System5400には、超高解像度の音響画像と高密度の測深記録を同時に取得でき、両者を重ね合わせることが容易にできるという長所がある。

3.5 スワス測深の測定限界と測定精度

スワス測深機ごとの測定限界と測定精度をまとめる。

(a) SeaBat8125

- 海象：測深機の測深精度を保つためには、有義波

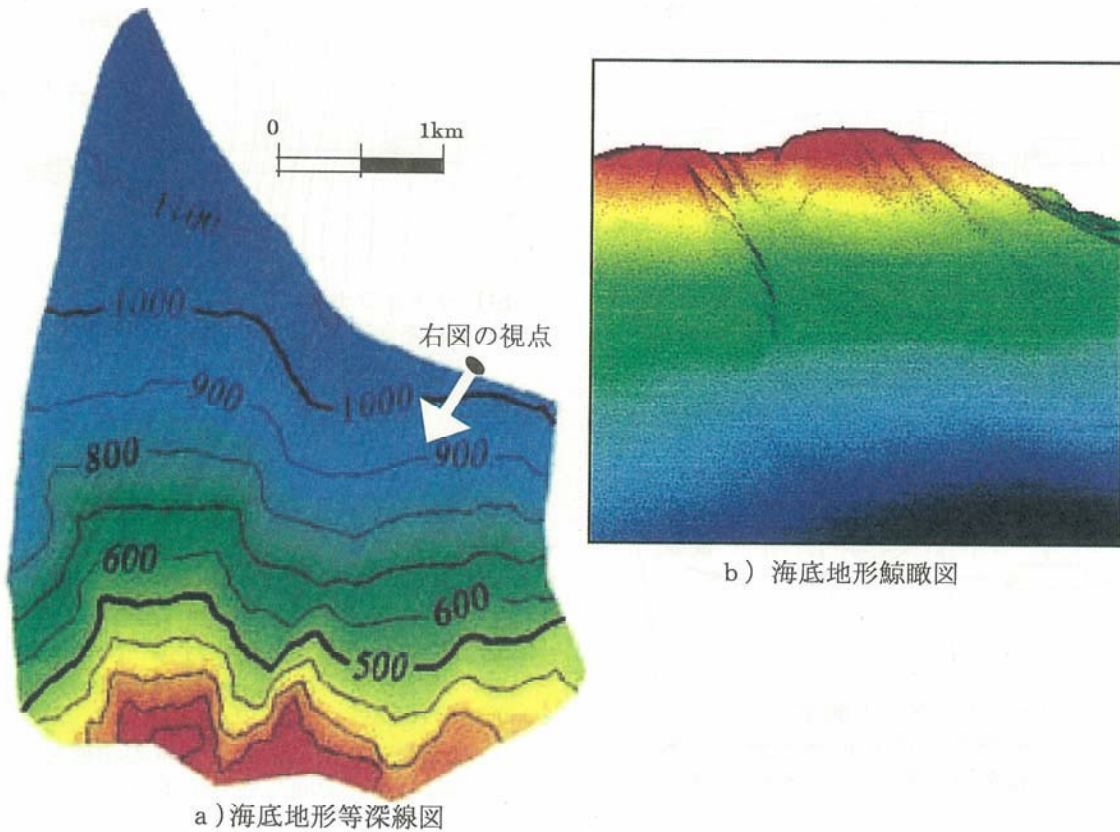


図-9 EM1002による伊豆大島東方沖の海底地形図 (25m メッシュ)
 Fig. 9 A bathymetric chart of east off-shore of Izu-island created by EM1002.

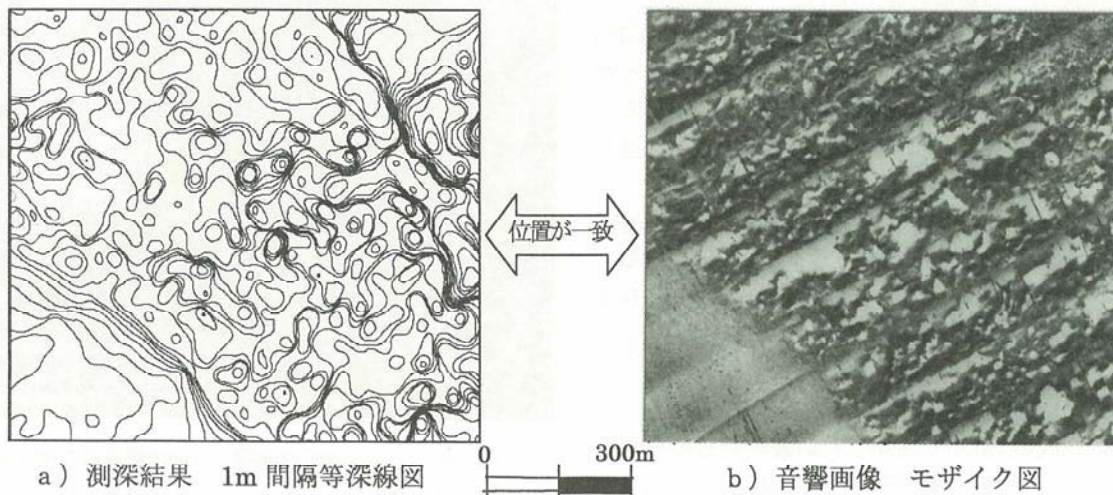


図-10 測深機能付サイドスキャンソナーSystem5400測定結果例
 Fig.10 A contour line map and scan image created by a vector side scan sonar System5400.

1m未満の海象で実施することが望ましい。

- 調査船：船外機付きボートでも実施可能であるが、調査員3名と合計150kg程度の機器を搭載できる能力を十分に有する船が必要となる。
- 精度：実質的な測深精度は、水深30m以下で約15cm程度と考えられる。一方、ビームの指向角は $0.5^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ であるので、水深20m、50m、80mでひと

つのビームの大きさ (以後、フットプリントと記す。)の短辺はそれぞれ、0.17m、0.44m、0.70mである。このフットプリントの大きさは、水平方向の分解能に等しい。

(b) EM1002

- 海象：小型鋼船の場合、有義波1.5m以下の海象で実施する。

- 調査船：測深機のポールを舷側に溶接するため、鋼船であることが条件となる。
 - 精度：実質的な測深精度は、水深の0.2~0.5%程度である。ビームの指向角は $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ であるので、水深100m, 500m, 1000mのフットプリントの一辺はそれぞれ、3.5m, 17m, 35mである。
- (c) System5400
- 海象：小型船の場合、有義波1.0m程度までの海象で実施する。
 - 調査船：5t程度以上の漁船であれば、実施可能であるが、ケーブルウインチを使用する場合は、溶接が可能な鋼船が必要となる。
 - 精度：測深精度は、曳航体内部の深度センサーの測定精度と曳航体の測位精度にも依存している。水深が深い場合では、水深の3倍程度の曳航長が必要であり、水中測位精度は曳航長の5%程度であるため、水深の15%程度の測位誤差が含まれることとなる。

3.6 スワス測深の技術的課題

マルチビーム測深では、小規模な突起や窪みなどを異常データとして削除されたり、メッシュデータに変換する過程で過小に表現されたりすることがある。特に、海底の突起は水路測量であれば取りこぼすことが許されないため、微小でも有意なシグナルを効率的に抽出する方法を確立する必要がある。

現在当社では、船のヒープを動揺センサーで計測した上下動加速度から算出しているため、長周期のうねりに伴うヒープを補正しきれない場合がある。今後、ヒープ補正の精度向上に努めなければならない。

さらに、測定ソフトウェアによっては、送受波器から測深点までの距離が長くなると、実際の測深点と収録された測深点の誤差が大きくなるという問題がある。これに対し、ソフトウェアに改良を加えるなどの対策が求められる。

測深機能付サイドスキャンソナーSystem5400の測深位置精度は、水中測位機を用いた場合、水深の15%程度の誤差を含む可能性がある。また、曳航体内に内蔵する深度センサーの測定値に $\pm 20\text{cm}$ の誤差が含まれるため、これ以上の測深精度の向上が望めない。今後、水中測位精度と圧力センサーの測定精度を向上させる必要がある。

4. 海底地形測量技術の最近の動向

4.1 広域調査から精細調査へ

スワス測深は、当初深海用のものから発展した。近年、浅海用のスワス測深機が登場し、高密度測深により微細な地形が把握されることから、精密測定の他に海底の構造物の調査等特殊な調査にも使用されるようになった。最近では、高密度測深の要求が深海へも広がっており、曳航体に送受波器を搭載し、深海曳航することによって

海底からの高度を小さくし、高密度測深を実現している。

曳航体をさらに進化させたものがAUV (Autonomous Under-water Vehicle) といえる。AUVは人工知能を持つ無索無人の潜水艇で、事前に航走ルートや航走高度、さらにはデータの収録方法をインプットしておくことにより、独力で必要なデータを収録する。今のところ、メモリーやバッテリーの容量により、最大でも3日間程度で母船に回収する必要がある。また、測位やデータ通信などにも改良の余地がある。しかし、AUVの性能は日進月歩で発達しており、近い将来、日本の海洋調査においても主要機器なるものと予測される。

近年、航空レーダー測深により浅海部を効率よく詳細に測深する手法が実用化された。一般に、汀線部や岩礁・珊瑚礁などが分布する極浅海域では、音響測深が困難である。また、極浅海部では、スワス測深の測定効率が低下するという問題がある。航空レーダー測深は、このような問題を解決する手法として注目されている。まだ国内での実用事例は少ないが、今後の動向を注視したい。

4.2 測深機とサイドスキャンソナー

スワス測深には、前述のようにSeaBat8125などのクロスファンビーム方式と、System5400などのインターフェロメトリック方式がある。前者は測深機が発展したもので、後者はサイドスキャンソナーの技術から発展したものである。

クロスファンビーム方式では、送受波器の直下付近の測深精度が高い反面、周辺部では精度が落ちる。インターフェロメトリック方式はその逆に、直下付近において測深精度が落ちるものの、周辺部での精度の下降が少ない。そのため、マルチビーム測深機ではEM1002のように両方の利点を合わせた機種が増えている。

マルチビーム測深機は音響画像を取得する機能が付け加えられ、一方、測深機能が付いたサイドスキャンソナーも増えつつある。このように、測深機とサイドスキャンソナーは互いの機能を併せ持ち、両者の性能が近づきつつある。

4.3 周辺機器の発展

深海でのスワス測深では、スワス幅は数kmから数10kmにもなり、方位や動揺の影響が測深精度に大きく影響する。浅海の測深においても、微細な地形や構造物の形状などを把握することが求められ、方位センサーと動揺センサーによる補正精度の向上が要求されている。

近年GPSの発展に伴い、2個以上のアンテナでGPS信号を同時に受信することにより、高い精度で方位や動揺やヒープさえも検出することができる機器が出現した。また、コイルにした光ファイバーを利用する高精度の方位センサー（光ファイバージャイロ）も登場した。

スワス測深機本体の性能向上と共に、補正用機器の精度向上、補正テストの厳格化およびソフトウェアの発展により、スワス測深の精度はますます向上している。

5. おわりに

今後、スワス測深技術に対して測深精度のさらなる向上とより深海への対応が迫られている。このような課題は、高額な機器を設備することですべてが解決できるものではない。なにより、機器性能を100%引き出す測定技術を多くの技術者が身につけ、独自の工夫を行うなどの技術開発を継続していかねばならない。

参 考 文 献

- 1) 日本水路協会 (1977) : 水路測量, p.2.
- 2) 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, pp.41~48.
- 3) 徳山英一, 山本富士夫, 芦寿一郎, 植木俊明, 八木下晃司, 平 朝彦 (1991) : 広域測深型サイド・ルッキング・ソナーによる海底探査—IZANAGIを例として—, 日本音響学会誌, 47, pp.57~62.
- 4) 岡村 健, 太田賢治 (2001) : 曳航式と舷側固定式スワス測深機の精度比較について, 海洋調査, No66, pp.12~16.
- 5) 浅田 昭, 山本富士夫, 徳山英一, 矢島広樹 (2003) : 測深技術の現状, 海洋調査技術学会誌, 第15巻第1号, pp.37~77.