

## 浅海用ナローマルチビーム測深装置 (SEABAT) について

穀田昇一・長野勝行：沿岸調査課

### Narrow Multibeam Sounding System For Sallow Sea (SEABAT)

Shoichi Kokuta/Katsuyuki Nagano : Coastal Survey and Cartography Div.

#### 1. はじめに

沿岸調査課は、平成6年度補正予算で沿岸海域での効率的・高精度の測深を促進し、諸外国がデジタル水深集録に移行する情勢に対応するため、民間では概に導入され阪神大震災で崩れた岸壁、護岸、防波堤等の被害調査で成果を上げており、補正測量・維持浚渫等で海図水深としての認知が期待されている浅海用ナローマルチビーム測深装置 (通称 SEABAT) を導入したので、本装置の概要、性能・機能等について紹介する。

なお、本装置を本年6月、JICA 水路測量コースの測深実習で今治港において初めて使用し、沈船やサンドウェーブ地形を精密に測定できたので機能・性能のすばらしさは十分に体験できたが、これから海図水深として採用するためには、水路測量準則の改正を含め検討課題も多く、早急に対策を立て解決していかなばならないので、必要な評価事項及び、問題解決の指針についてもふれてみよう。

#### 2. 装置の構成・概要

装置の構成は、図1に示すとおりでクロスファンビームを形成・制御するための SEABAT9001S 型測深ソナー部、水中ヘッド (送受波部)、ソナー部や周辺機器を制御・操作・データ集録処理・監視するための SEABAT6042 型測深データ集録表示部、船の動揺要素を検出する TSS335B 型ピッチロールヒープセンサー、船首方位をもとめる KVH-1000 コンパスから成る。これに精密な位置データを入力するため、本装置が現在のところ XY 座標値しか入力できないことから本装置とは別枠で XY 座標を

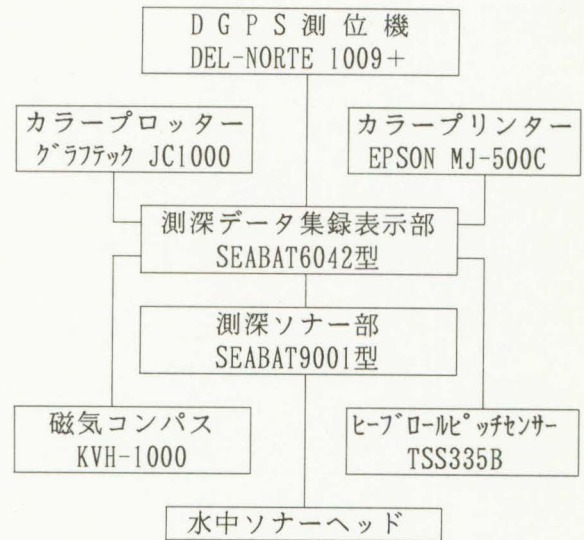


図1：本装置の構成

出力する米国デルノート社 DGPS 測位機 (データムーバ) を接続する。さらに、データ処理の図形出力デバイスとしてカラープロッター、カラープリンターが装置に含まれる。

9001S 型測深ソナーは、455KHz の超音波を最大1秒間に30回発信し水深約100mまでの海底地形データをリアルタイム出力する。水中ヘッドを前方に向けることにより前方監視ソナーとしても機能し200m前方の障害物を感知することもできる。

測深原理は、シービームとほとんど同じと考えてよく、測深ビームのフットプリント (1ショットの足跡) は  $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$  で合計60本のビームを形成し90度のスワッス幅をもち、5cmの高分解能・高精度の測深データを出力する。水中ヘッドは、空中重量18kg水中重量5kgなので取り付けパイプ重量を加味しても10m程度の測量艇の船上でも人力で舷てい装備が可能である。ソナー部、測深データ集録表示部も

デスクトップ PC 2 台の容積・重量分と考えてよいので本装置は携帯して運用できる。水中ヘッドを舷外側45度に傾けてセットする(図2)と岸壁や護岸の垂直面と海底が接する付近も容易に調査でき、図3のように2つの水中ヘッドを垂直面から20度交差

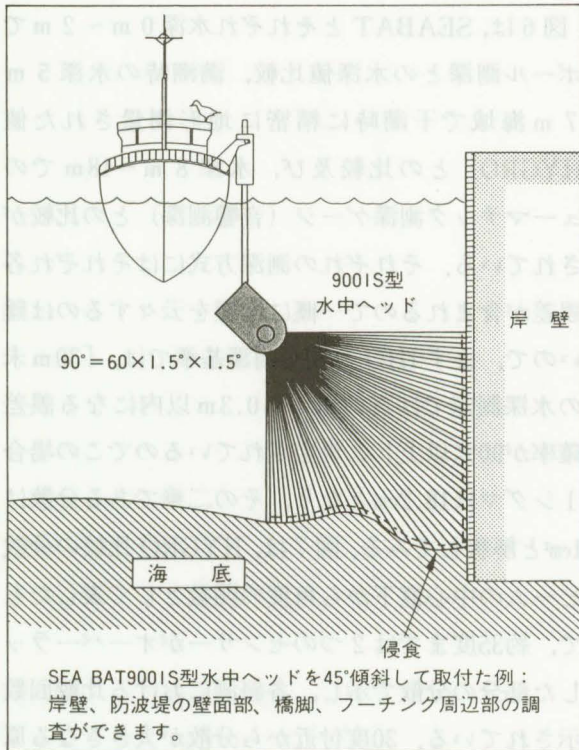


図2：水中ヘッド取付例(舷外側45°)

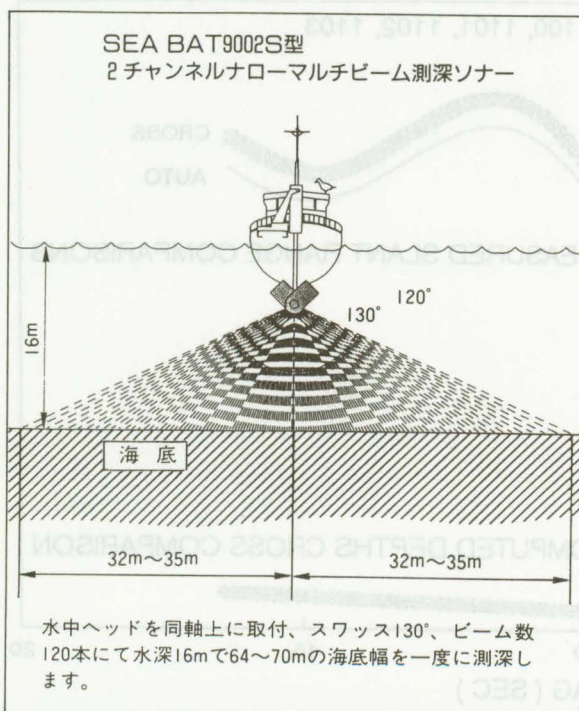


図3：水中ヘッドを2台取付けた測深例(1)

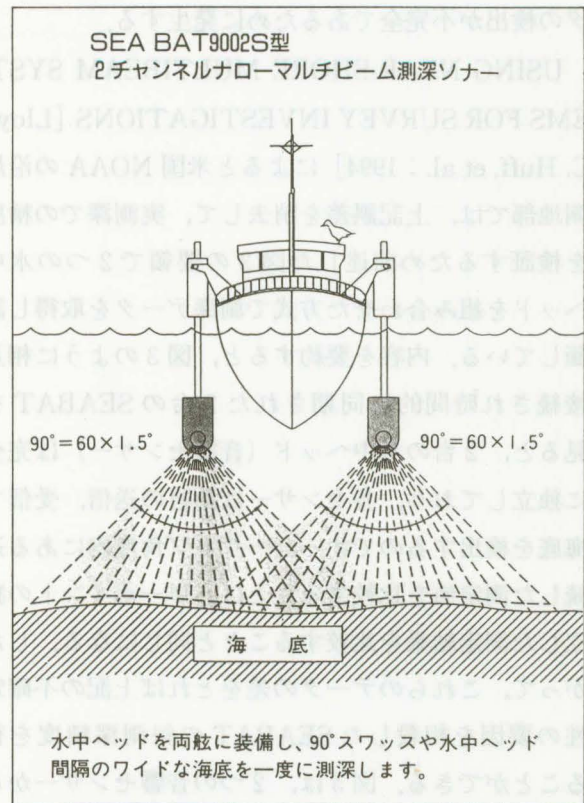


図4：水中ヘッドを2台取付けた測深例(2)

させた形でセットする(ソナー部も2台必要)と水深の4倍の幅で測深・探査できる。測量船の船幅が広い場合は図4の測深方法も有効となる。このように水中ヘッドを2個使用してビームが重複するとその部分の水深データを比較して取り付けジグの鉛直方向のずれを自動補正する機能もある。

TSS335B型ヒープコンペンセータは波の周期1~20秒、波高±10mの海況で5パーセント(5mm)の精度で補正を出力する。

### 3. 測深性能・精度

SEABAT-9001は、静的条件下での予想精度は中心ビーム上で約5cm、45度の外側ビームでは約8cmになることが水路学会の国際シンポジウムで公表されている[Steenstrup:1992]。

実測深における測深誤差は、送受波システムの不確実性や斜測音波が海中を伝搬するときの海水密度の不均衡による音線屈折変換・補正量の不確実性によるものと考えられ、変換の不確実性は、音速度プロファイル、潮流、船の動揺、斜測音波を得たときの測量船の位置、方向、動揺要素に関するパラメー

タの検出が不完全であるために発生する。

USING NEAR-SHORE MULTIBEAM SYSTEMS FOR SURVEY INVESTIGATIONS [Lloyd C. Huff, et al. : 1994] によると米国 NOAA の沿岸測地部では、上記誤差を消去して、実測深での精度を検証するため前述した図3の要領で2つの水中ヘッドを組み合わせた方式で測深データを取得し評価している。内容を要約すると、図3のように相互接続され時間的に同期された2台のSEABATを見ると、2台の水中ヘッド（音響センサー）は完全に独立しており、各センサーは独自の送信、受信で海底を検出するのでオーバーラップ角度内にある連続した測定値を比較することは、単一ポイントの独立した測定結果を比較することと同じになる。したがって、これらのデータの差をとれば上記の不確定性の要因を相殺したSEABATの斜測深精度を得ることができる。図5は、2つの音響センサーからのデータを比較したもので、斜測の比較を表す上側の2つの船の動きの影響を受けた曲線は、異なる時間における2つのソナーによる斜測測定値の比較 cross（クロス相関）と異なる時間における単一のソナーによる斜測の比較 auto（自己相関）の分散を示している。cross 比較分散の方が auto 比較分散より

幾分大きいのは、特定ソナーの測定上の不確定性型のソナーの不確定性と独立であることから生じてくる。増加した分散の半分を各ソナーに割り当て、誤差の分布が正規分布に従うと仮定して、1100個の斜測測定データから cross 比較に基づいて、SEABATの1シグマ精度を求めると2.55cmと判定されている。図6は、SEABATとそれぞれ水深0m～2mでのポール測深との水深値比較、満潮時の水深5m～7m海域で干潮時に精密に地形測量された値（HYGRO）との比較及び、水深8m～18mでのニューマテック測深ゲージ（音響測深）との比較が示されている。それぞれの測深方式にはそれぞれ各種誤差が含まれるので一概に精度を云々するのは難しいので、まずIHOの浅海測深基準では、「30m未満の水深測定では真の値から0.3m以内になる誤差の確率が90%以上」と規定されているのでこの場合の1シグマは18.2cmとなり、その二乗である分散は331cm<sup>2</sup>と解釈してみる。図7は、HYGRO比較の分散をビームの中心直下から角度の関数として表したもので、約35度までは2つのセンサーがオーバーラップした部分の分散で示し、各斜測における比較回数も示されている。30度付近から分散が大きくなる原因としては、サンプルサイズが小さくなること、音

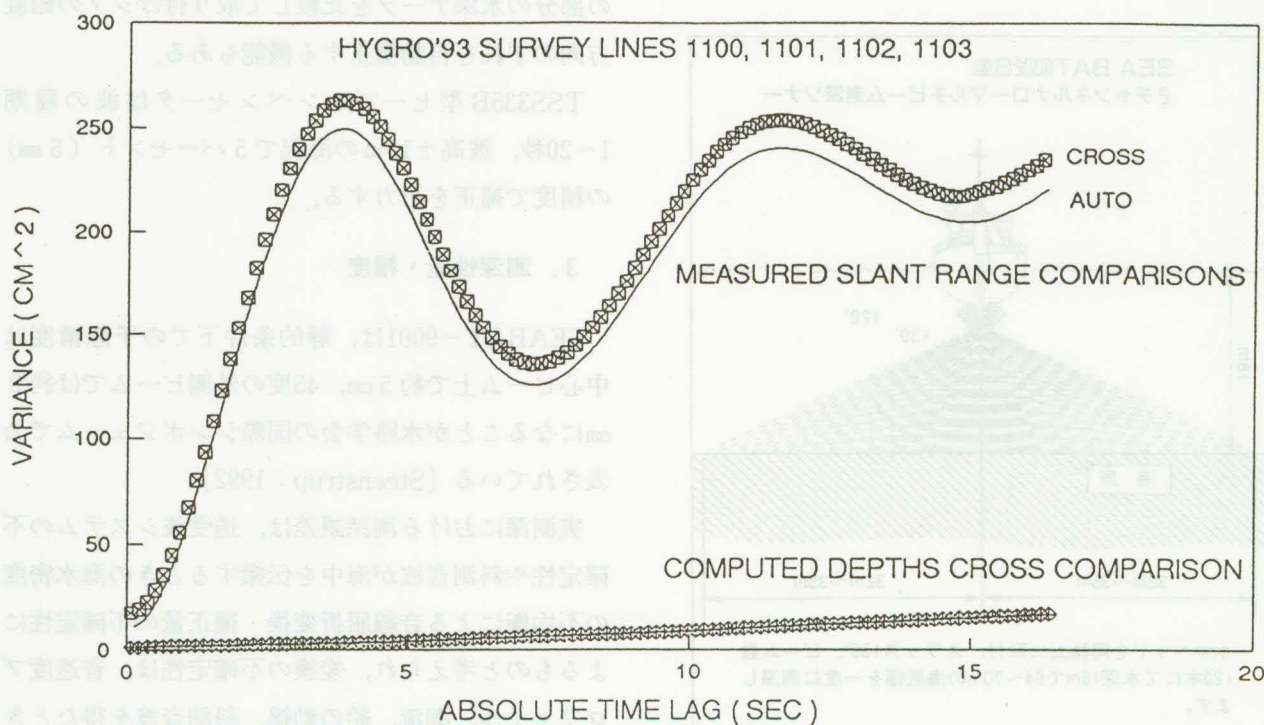


図5 : Beams 40 through 60 of Seabat heads A and B [Lloyd C. Huff, et al. : 1994]

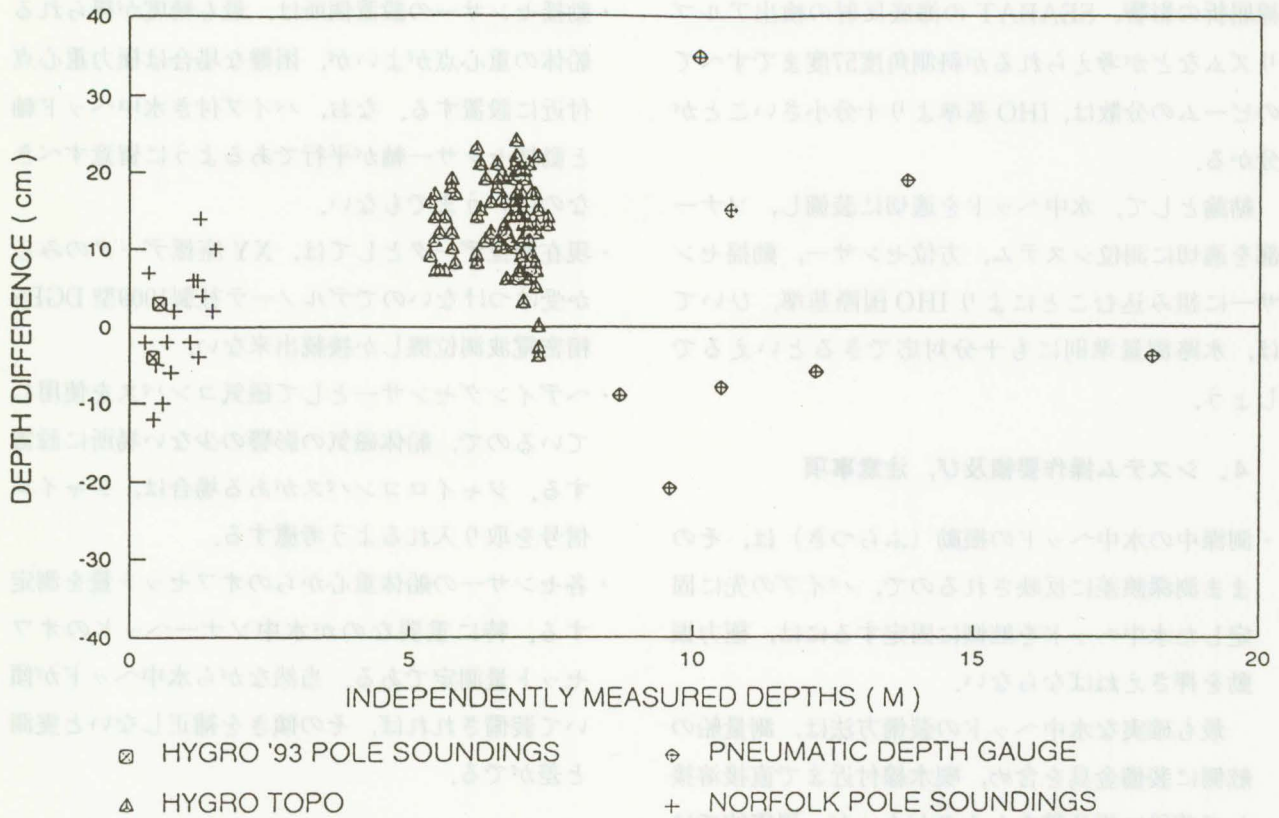


図 6 : Gertification testing of Seabat-9001 [Lloyd C. Huff, et al. : 1994]

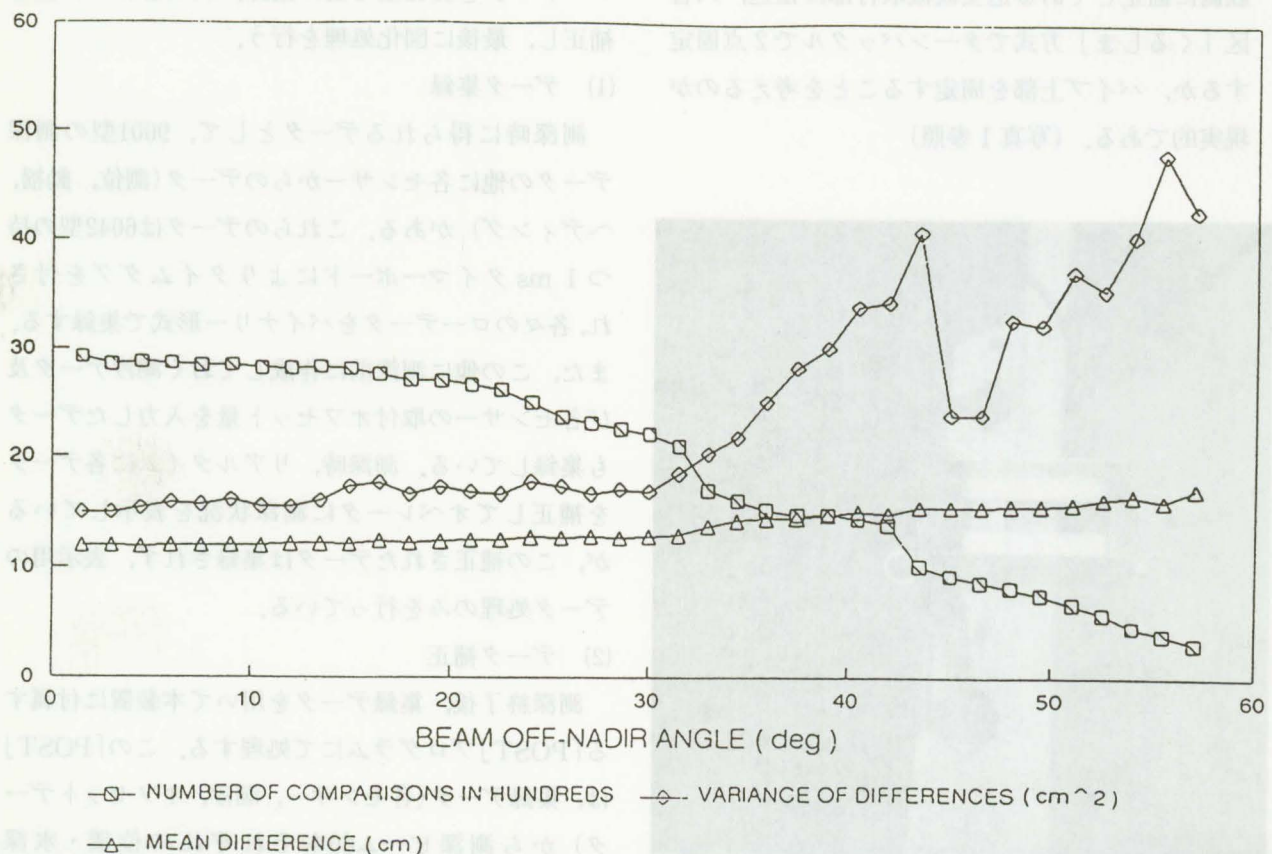


図 7 : Seabat VS tide-corrected HYGRO '93 TOPO. [Lloyd C. Huff, et al. : 1994]

線屈折の影響、SEABATの海底反射の検出アルゴリズムなどが考えられるが斜測角度57度まですべてのビームの分散は、IHO基準より十分小さいことが分かる。

結論として、水中ヘッドを適切に装備し、ソナー部を適切に測位システム、方位センサー、動揺センサーに組み込むことによりIHO国際基準、ひいては、水路測量準則にも十分対応できるといえるでしょう。

#### 4. システム操作要領及び、注意事項

- ・測深中の水中ヘッドの振動（ふらつき）は、そのまま測深誤差に反映されるので、パイプの先に固定した水中ヘッドを舷側に固定するには、極力振動を押さえねばならない。

最も確実な水中ヘッドの装備方法は、測量船の舷側に装備金具を含め、喫水線付近まで直接溶接して前後に張り策をとるのがよいが、現実的ではないので管区15m測量船で測深機を装備する方法と同様の水路部方式で中間に“だるま”をつけて、舷側に固定してある送受波機取付部に差込、六管区「くるしま」方式でターンバックルで2点固定するか、パイプ上部を固定することを考えるのが現実的である。（写真1参照）

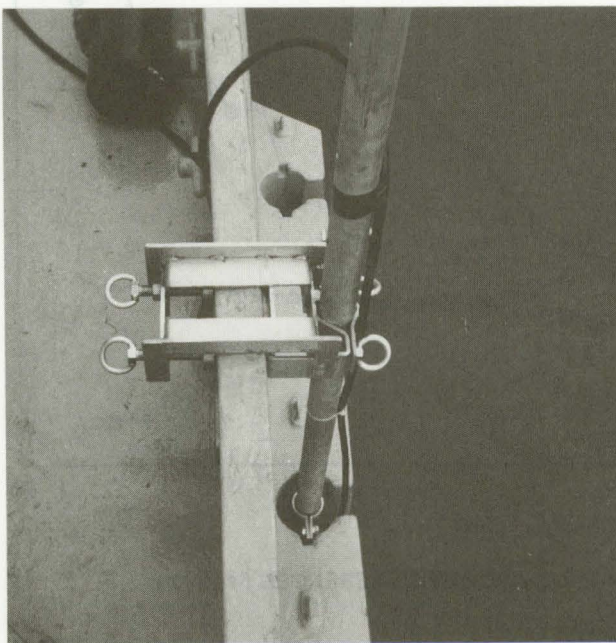


写真1：水中ヘッド取付状況

- ・動揺センサーの設置個所は、最も精度が得られる船体の重心点がよいが、困難な場合は極力重心点付近に設置する。なお、パイプ付き水中ヘッド軸と動揺センサー軸が平行であるように留意すべきなのはいうまでもない。
- ・現在測位データとしては、XY座標データのみしか受けつけないのでデルノーテ社製1009型DGPS精密電波測位機しか接続出来ない。
- ・ヘディングセンサーとして磁気コンパスを使用しているので、船体磁気の影響の少ない場所に設置する。ジャイロコンパスがある場合は、ジャイロ信号を取り入れるよう考慮する。
- ・各センサーの船体重心からのオフセット量を測定する。特に重要なのが水中ソナーヘッドのオフセット量測定である。当然ながら水中ヘッドが傾いて装備されれば、その傾きを補正しないと実測と差がでる。

#### 5. データ集録処理

本装置のデータ集録処理は、各センサーからのローデータを6042型で受け集録、次に各データ値を補正し、最後に凶化処理を行う。

##### (1) データ集録

測深時に得られるデータとして、9001型の測深データの他に各センサーからのデータ（測位、動揺、ヘディング）がある。これらのデータは6042型の持つ1msタイマーボードによりタイムタグを付され、各々のローデータをバイナリー形式で集録する。また、この他に測深前に作成しておく潮汐データ及び各センサーの取付オフセット量を入力したデータも集録している。測深時、リアルタイムに各データを補正してオペレータに測深状況を表示しているが、この補正されたデータは集録されず、表示用のデータ処理のみを行っている。

##### (2) データ補正

測深終了後、集録データを用いて本装置に付属する「POST」プログラムにて処理する。この「POST」は、集録データ（各センサー、潮汐、オフセットデータ）から測深ビーム60本それぞれの位置・水深（XYZ）データを計算し、アスキー形式にて保存す

る。また、処理の前に潮汐・オフセットデータの入力ミスのチェック・修正が可能である。

### (3) 図化

数値図化ソフトとして「DGM (Digital Ground Model) 3」を付属している。このソフトは、測深区域を180×180のセル(メッシュ)に分け、セル内のMAX・MIN・MEAMのいずれかのデータを選択してDGMファイルを作成する。このファイルを使用してカラープロッターにて水深図、等深線図、立体図等を作成する。また、図化データをCADソフトへ渡せるようDXFフォーマットのファイルも作成できる。

以上、データ集録処理について、データの流れ及び概要を簡単に記述したが、大きな問題点として次のようなことがあげられる。

- ・潮汐データは、相次ぐ高低潮の値のみしか入力できず、潮汐改正データとして十分でない。
- ・測位データの不良データ等の修正・削除等の処理が行えない。
- ・航跡図の作成ができない。
- ・時間データの付加された集録データがバイナリー形式である(処理データにはXYZ値のみ)。
- ・図化処理でセル範囲が固定であるので、広区域、細長い区域のセル化が不十分。

これらを含むデータ集録処理の問題点について、これから早急に解決していかなければならない。

## 6. データ紹介

本装置の測深中のリアルタイム画面表示を図8に紹介する。また、今治港で調査したデータを処理し、「DGM 3」で作図した立体図を図9、図10に紹介する。今回の調査は本装置の知識・技能習得及びデータの取得を目的とし、沈船及びサンドウェーブという変化のある海底を選定した。

図9は、調査区域全体の立体図で、図中央に沈船が、南側にサンドウェーブ(色の変化が激しい箇所)が見られる。また、沈船の北側に規則的に並んだ独立したサンドウェーブが見られる。

図10は、図9の南側サンドウェーブ区域を拡大したもので、サンドウェーブの起伏が良好に図化され

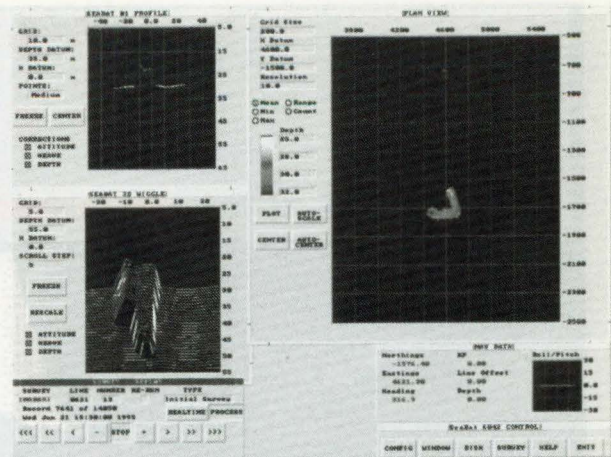


図8：調査中のリアルタイム画面

ており、単純な山谷の繰り返しによって形成されたものではないことが理解できる。

この調査によって、本装置は海図作成のためのデータ取得だけでなく海底地形の変化、海底障害物の発見等様々な調査に有効に活用できることが体験できた。

## 7. 今後の運用計画と検討課題及び対策

本装置は平成7年9月現在、水中ヘッドとソナー部及び、データ集録表示部が2組で一式になっており、図2のように水深の4倍の幅で測深できる機能をもつが実用上はジグの開発等かなりの開発コストと労力を必要とするので実用上使いやすい組での運用(水深の2倍の幅)とし、1組は平成7年12月就役の第五管区新造測量船「うずしお」に装備し、もう1組は第三管区測量船「はましお」に水中ヘッドの支持金具が測量船に整備された段階(平成8年2月頃)で配備して管区水路測量の高精度・効率化を目指して運用していく予定である。

## 8. あとがき

本装置は、浅海用ナローマルチビーム測深機としては画期的であり、護岸等の工程管理・海底地形変動・海底障害物調査等には威力を発揮する。しかし、水路部において主目的とする海図作成のための水深測量に関しては、解決すべき問題も抱えており、また、誤差要因(ソナーヘッドの取付誤差等)を削減するための指針を示していかなければならない。今

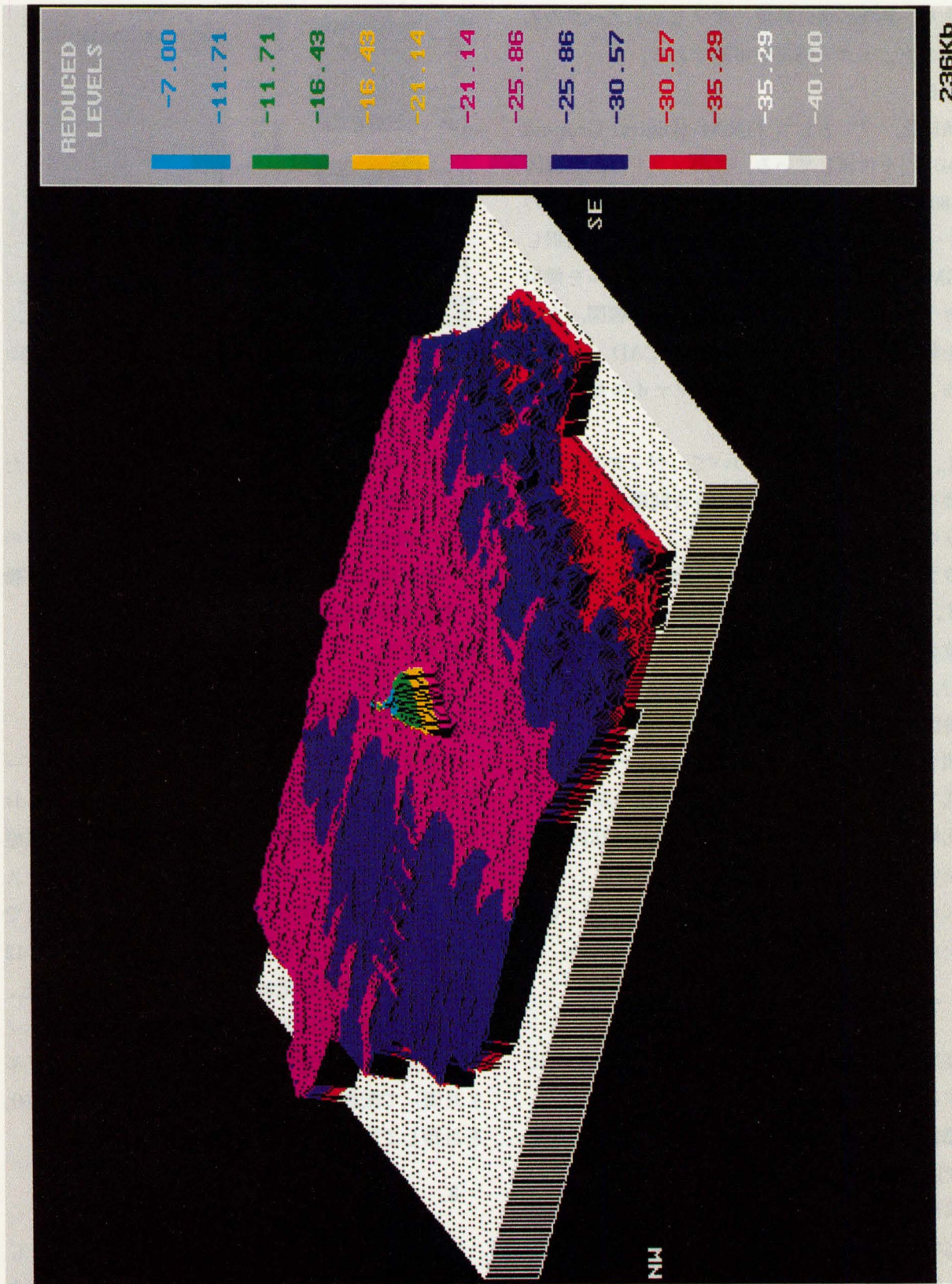


図9：「DGM3」で図化した立体図(1)

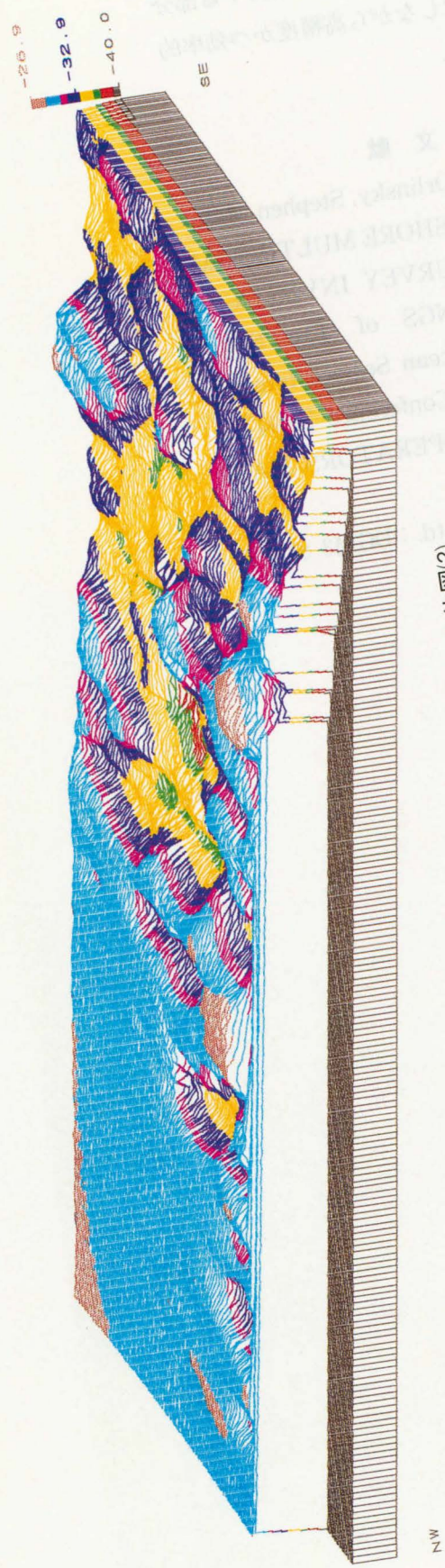


図10: 「DGM3」で図化した立体図(2)



後の課題をのこしながらも、本装置に期待する部分も多く、関係各位と協力しながら高精度かつ効率的な調査を行っていきたい。

#### 参 考 文 献

- ・ Lloyd C. Huff, Harold Orlinsky, Stephen Matulla : USING NEAR-SHORE MULTIBEAM SYSTEMS FOR SURVEY INVESTIGATIONS, PROCEEDINGS of The Sixth Biennial National Ocean Service International Hydrographic Conference [1994]
- ・ RESON Inc. : SEABAT OPERATORS MANUAL
- ・ L. M. Technical Services Ltd. : DGM3 SOFTWARE MANUAL