

浅海域における SEABEAM 2112 の測深能力の評価

藤沢美幸, 及川光弘: 大陸棚調査室

The bathymetric survey performance of SEABEAM 2112 in a shallow sea area

Miyuki FUJISAWA, Mitsuhiro OIKAWA: Continental Shelf Surveys Office

1 はじめに

マルチビーム音響測深機 (Multi Beam Echo Sounder 以下 MBES) は使用する音波の周波数によって測深分解能が変化し、周波数が高ければデータの分解能が上がる反面、水中における振幅の減衰が大きくなるため、深海域での調査には使用することができない。一方、周波数が低ければ水中での振幅の減衰が小さく深海域まで測深可能であるが、その分解能が低くなってしまふ。また、浅海域では 1 本のビームが照射される海底における面積 (フットプリント) が小さくなるため、測深密度を高めるためには十分に短いサンプリング周期で測定する必要がある。

現在、測量船昭洋・拓洋は MBES の SEABEAM 2112 を搭載し、主に中深海域での調査に従事している。SEABEAM 2112 は中深海域を対象として開発された MBES であるため、発振周波数として比較的長波長である 12 kHz を使用している。SEABEAM 2112 の中深海域における性能についてはよく検証されているが、200 m 以浅の浅海域における測深能力はよく分かっていない。浅海域は、航行安全にも直結するため高精度・高密度のデータが求められている。そこで今回、浅海域での昭洋・拓洋の SEABEAM 2112 の測深精度の評価と浅海域調査に適した調査方法について検証した。尚、今回は SEABEAM 2112 の性能のみに焦点を当てており、音速度や測位の誤差については考慮していないため、音速度や測位については別途検証を要する。

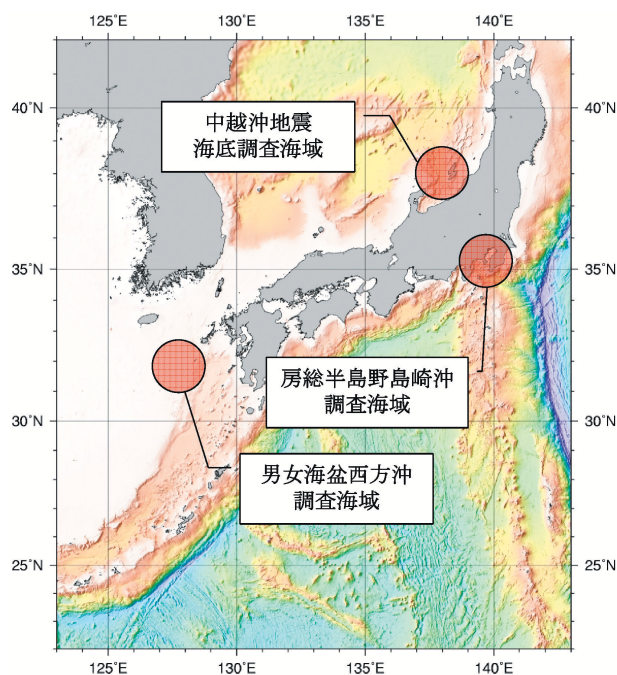
2 仕様機器及び使用データ

今回使用した昭洋・拓洋・天洋の MBES の仕様は下のようになっている (株式会社東陽テクニカ HP)。

昭洋・拓洋 SEABEAM 2112: 周波数 12 kHz, ビーム数 151 本, ビーム角 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, 最大スワ幅 150°

天洋 SEABEAM 1180 MK 2: 周波数 180 kHz, ビーム数 126 本, ビーム角 $1.5^{\circ} \times 2.8^{\circ}$, 最大スワ幅 153°

本検証に使用したデータは次に示す調査行動で取得



第 1 図 調査海域図

Fig. 1 The survey area map. The red circle indicates the survey area.

されたデータである (第1図).

平成13年度第4回大陸棚調査 男女海盆海域 (昭洋)

平成18年度第14回大陸棚調査 房総半島内房沖 (昭洋)

平成18年度ドック回航 房総半島内房沖 (天洋)

平成19年度第4回大陸棚調査 房総半島野島崎沖 (拓洋)

平成19年度中越沖地震海底調査 (天洋)

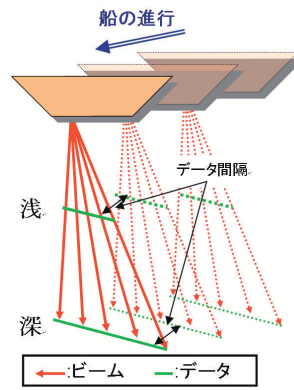
3 データ検証

3.1 データの密度

船の進行方向におけるデータの密度は、船速、水深、及びサンプリング周期で決まる (第2図). 通常のMBESでは、一度の測定が終了した後に次のビームを発振するため、水深に応じて自動でサンプリング周期を調節する機能を有している. サンプリング周期、水深、ビーム角から一本のビームのフットプリントが求められるが、船速が速くなれば取得されるデータの間隔が広がるため、進行方向のフットプリントの重なりに空白域を生じてしまう恐れがある. そこで、実際の昭洋および天洋の水深とサンプリング周期の関係から、未測深域を生じないための適切な船速について検討した.

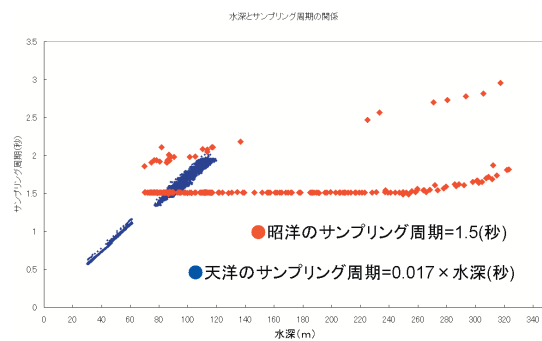
第3図は水深とサンプリング周期の関係をグラフで示したものである. 200 m以浅において、天洋のMBESでは水深に応じてサンプリング周期が変化するのに対して、昭洋は浅海域ではサンプリング周期が変化しないことが確認できる. サンプリング周期が一定であるので、未測深域を生じない程度にデータ密度を保つには、水深に応じて船速を変える必要がある.

ビーム角 θ の一本のビームによるフットプリントの半径は、水深を Z とおくと、 $Z \tan \theta$ である (第4図). 未測深域をなくすには第5図のように、次に発射するビームのフットプリントが重なり合う必要がある. そこで、1サンプリング周期 (T) 中の船の移動距離が $2 Z \tan \theta$ 以下でなければならない. したがって、未測深域をつくらないための船速 (V) は

$$V \leq 2 Z \tan \theta / T \quad \dots (1)$$


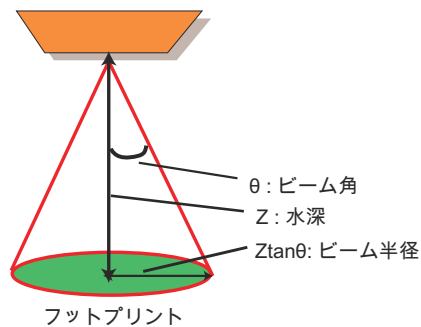
第2図 データ密度と船速の関係

Fig. 2 The relations between ship speed and data density.



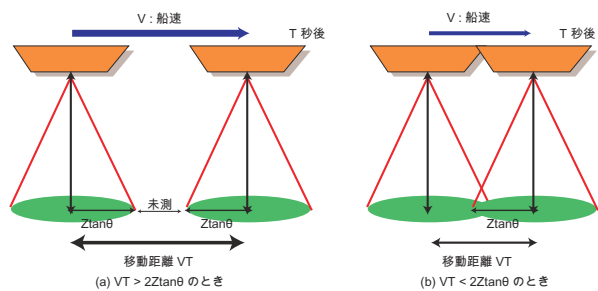
第3図 水深とサンプリング周期の関係

Fig. 3 The relations between the sampling interval and depth.



第4図 フットプリントとビーム角度

Fig. 4 The beam footprint corresponding to the depth.



第5図 未測深域を作らないための船速

Fig. 5 Non-sounding area for the vessel speed

の条件を満たせばよい。SEABEAM 2112のビーム角は2度であり、第3図より水深200 m以浅でのSEABEAM 2112のサンプリング周期は約1.5秒で一定であるから、

$$V \leq 0.047 Z \quad \dots (2)$$

となり、例えば水深 $Z=100$ (m) のとき $V \leq 4.7$ (m/s) $\div 9$ knot となり、水深100 m の場合では9 knot以下の船速で未測深域を作らずに測深することができる。

3.2 データの精度

データ精度の国際的な基準としてIHO・S 44 (国際水路機関水路測量基準以下S 44)がある。今回は比較的平坦な地形である東シナ海の地形データを、マルチビームデータ処理ソフトウェアを用いてメッシュ化し、メッシュ毎に平均水深 (1メッシュに含まれるデータの平均水深値) と標準偏差 (1メッシュ中の水深値の標準偏差) のデータをグラフ化してS 44の基準と比較し精度を比べた。尚、今回使用したデータは、水深80~100 m、船速4 knotのデータである。

S 44では、測深の基準である95%信頼度における許容誤差は以下の式によって定められている。

$$(95\% \text{信頼度における許容誤差}) \quad \dots (3)$$

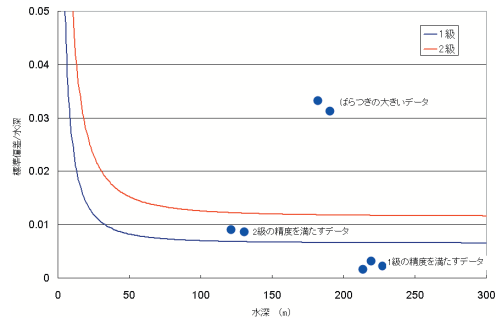
ただし

$$1 \text{ 級} : a=0.5, b=0.013$$

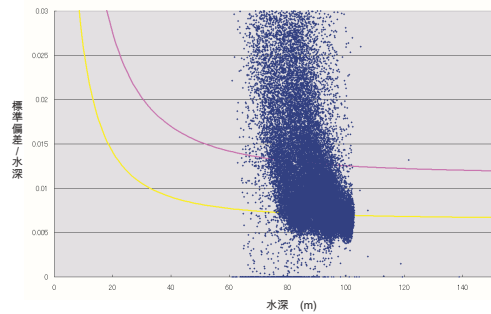
$$2 \text{ 級} : a=1.0, b=0.023$$

上式の水深と標準偏差の関係をグラフにすると第6図のようになる。尚、縦軸は水深で割り、規格化している。縦軸の値が大きくなるほどデータのばらつきが大きく、2級ラインより下にあるのが2級の精度を満たすデータ、1級ラインより下にあるのが1級の精度を満たすデータということになる。ただし、起伏の激しい地形では標準偏差が大きくなるので、値が大きくても直ちに不良データになるとは限らない。

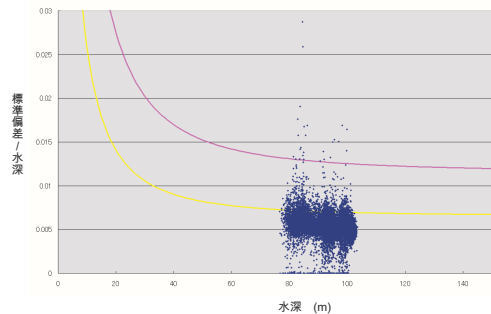
次にSEABEAM 2112で取得されたデータをこのグラフにプロットした (第7図)。第7図を見るとあきらかに誤差の大きい基準範囲外のデータが多く



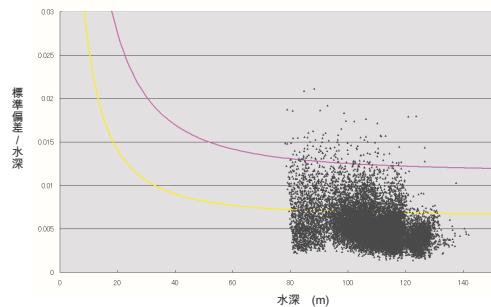
第6図 国際水路機関の定める測量基準S 44のグラフ
Fig. 6 IHO Standards for Hydrographic Surveys S 44



第7図 1999年の昭洋の測量による水深と標準偏差
Fig. 7 The bathymetric data and standard deviations collected by S/V Shoyo in 1999.



第8図 1999年の昭洋の測量による水深と標準偏差 (60度以上のデータを除く)
Fig. 8 The bathymetric data and standard deviations collected by S/V Shoyo in 1999 (without over 60 degree data).



第9図 2007年の天洋の測量による水深と標準偏差
Fig. 9 The bathymetric data and standard deviations collected by S/V Tenyo in 2007.

含まれていた。この誤差の大きなデータを落とす方法としてビーム射出角度によってデータを削除することを考えた。海洋音響学会 [2004] によるシミュレーション結果によると、ビームの射出角度が60度を超えると、データの誤差が大きくなる傾向がある。そこで、SEABEAM 2112のデータのうちビームの射出角度が60度以下のデータのみを使用してグラフに示した (第8図)。その結果60度以下のデータのみを使用した場合、ほとんどのデータが2級以上の精度となることが示された。

参考として浅海域対応型MBESの天洋のデータと同じくグラフに示す (第9図)。天洋は浅海域対応のMBESを使用しているため、求められた精度は非常によい値を示している。測量場所・船速が昭洋、天洋で違うため一概に比較はできないが、昭洋と天洋のグラフを比較すると、昭洋の測深精度も天洋と同程度になると考えられる。

3.3 データ確度

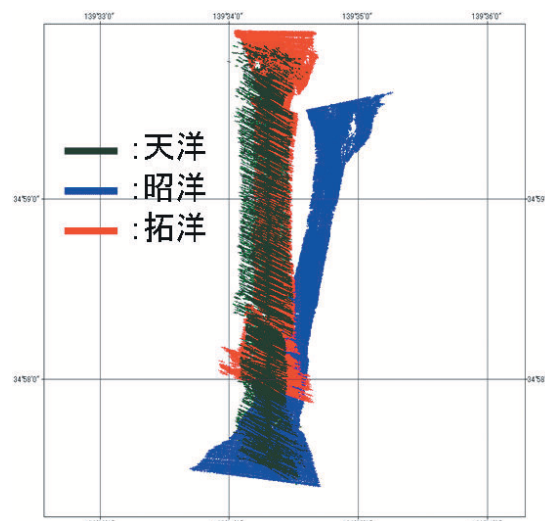
データの正確さを検証するためには、既知の値を測量し値を比較する必要がある。本検証においては、浅海域測深対応の天洋の水深データを正しい値とし、ほぼ同一測線を走った天洋・昭洋・拓洋の水深データの比較をすることで、昭洋・拓洋のデータの検証を実施した。調査海域は房総半島野島崎沖の「沖の山」において実施し、測量結果の比較を実施した (第10図)。

天洋・昭洋の比較

天洋と昭洋で観測した地形データから作成した地形図、及び地形データが重なっている部分を拡大して3次元表示し、両者の結果について比較した (第11図)。天洋と昭洋のデータにおいてはほぼ等しい値が取得されていることが分かった。2船のデータの境界に水深値の違いが見られるが、天洋のビームが高角度側であったため天洋のデータのばらつきが大きかったものと推測される。

天洋・拓洋の比較

昭洋のときと同じく、天洋と拓洋で観測した地形



第10図 沖の山測線上の昭洋・拓洋・天洋の測量範囲

Fig. 10 The survey coverage of Shoyo, Takuyo and Tenyo on Oki-no-Yama survey line.

データから作成した地形図、及び地形データが重なっている部分を拡大して3次元表示し、両者の結果について比較した (第12図)。第12図より天洋と拓洋のデータでは地形の起伏の傾向は一致しているが、水深値が平行にずれていることが認められる。2者の水深値のずれを計測すると10 m程度、天洋の方が浅くなる傾向が現れた。起伏の大きさや位置が一致していること、及び昭洋・天洋の水深値は一致していることから、この水深差はおそらく拓洋に何らかのバイアス等の誤差が含まれていることが推測される。ただし、今回はずれの原因の特定まではいたっていない。

4 まとめ

- ・SEABEAM 2112において未測深域なく測量するための適切な船速を求める式を導出した。
- ・水深80~100 mにおいては、4 knotで精度を検証した結果、2級程度の測深能力はあることが確認できた。ただし60度より広角度側のデータは精度が悪いため、現状では使用に適さない。
- ・昭洋は天洋との比較から、昭洋の水深値は天洋とほぼ一致しており、浅海域でも使用可能と思われる。
- ・拓洋は地形の傾向は天洋と一致しているものの、

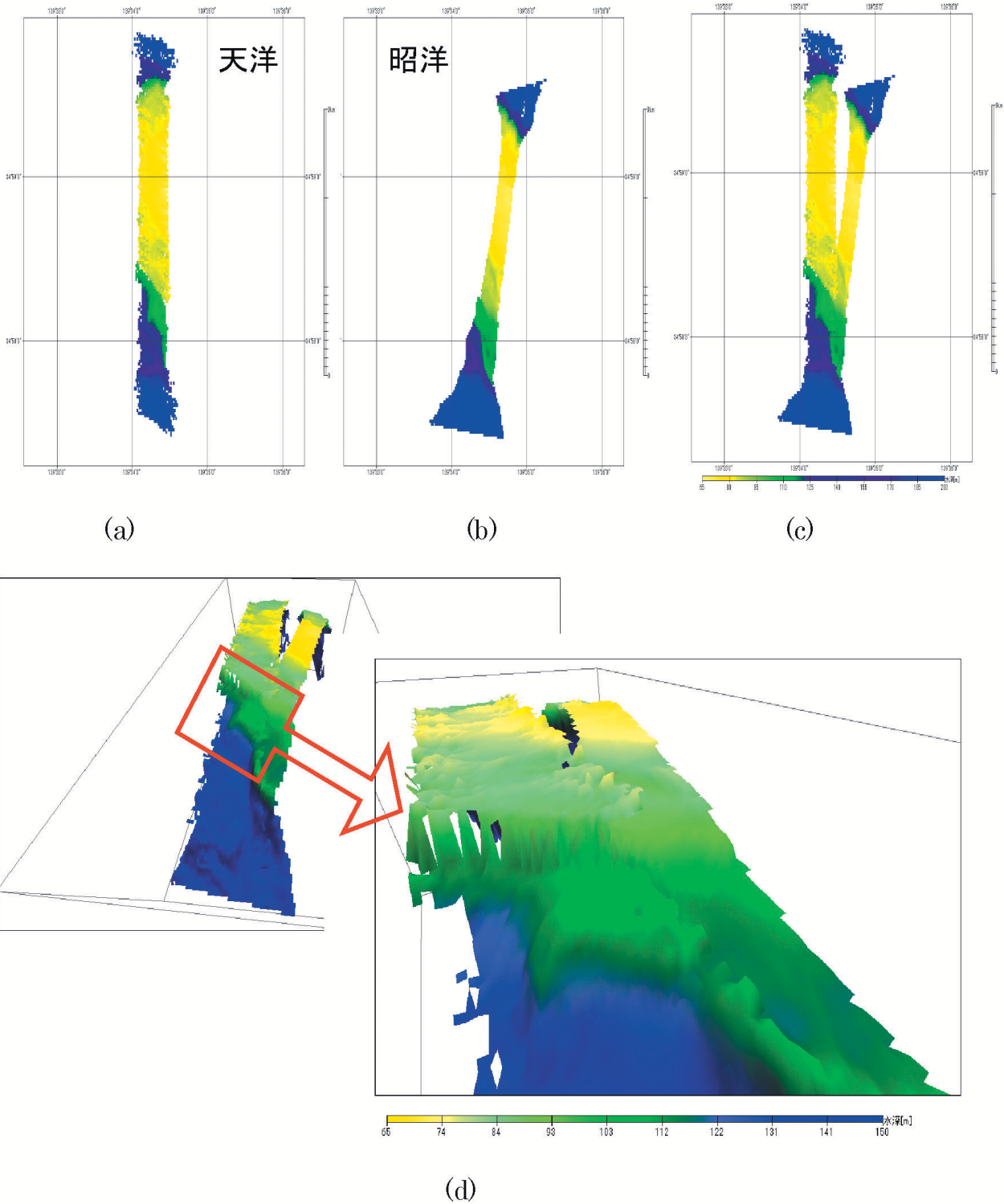
水深値に大きなずれがあるので、ずれの原因を特定し、適切な補正を施す必要がある。

5 謝辞

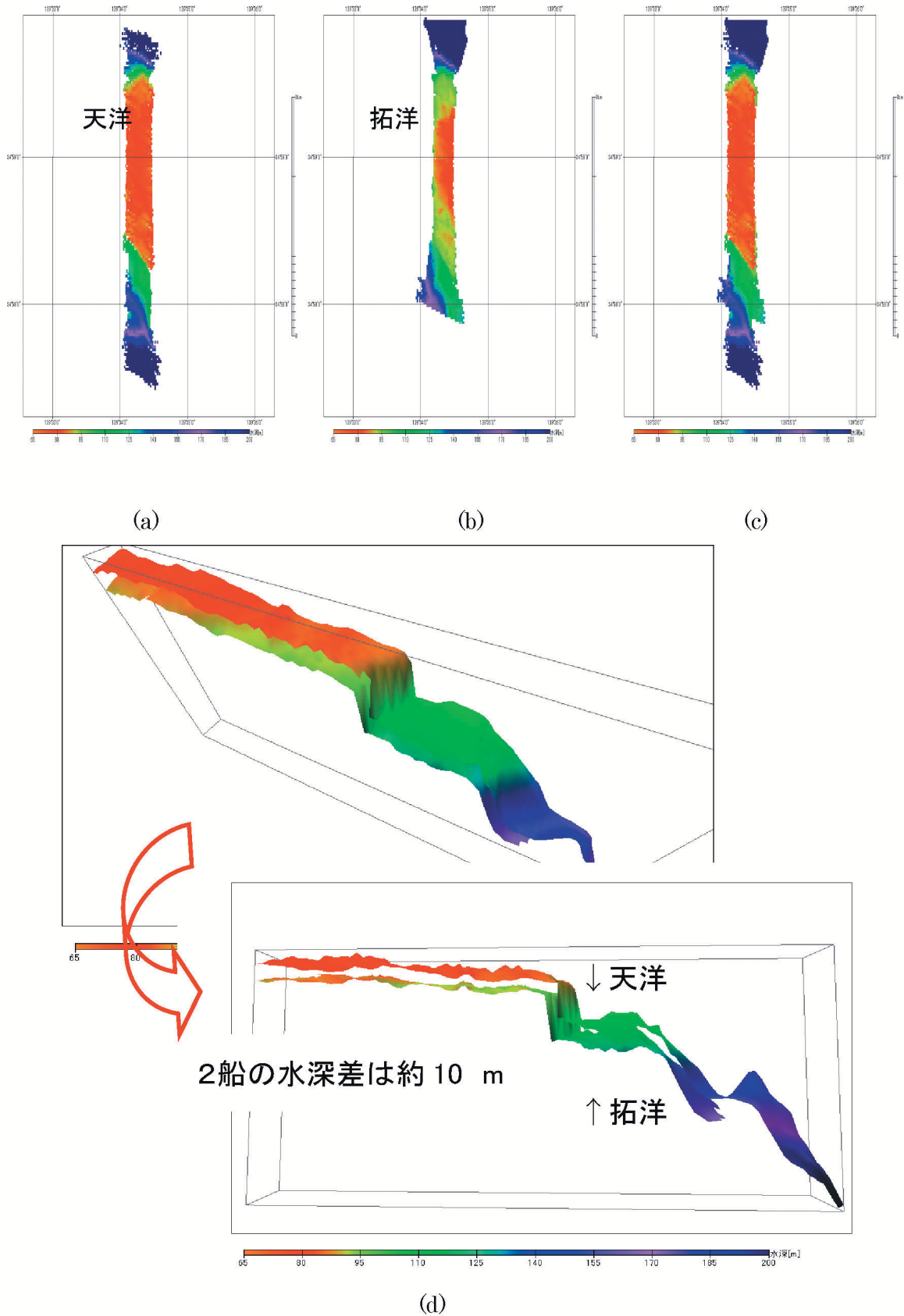
本報告の作成にあたり技術的指導や資料提供に携わってくださった方々に感謝の意を表します。また、今回のデータ処理に当たり、水路協会との共同研究で作成された「大陸棚限界画定のためのソフトウェア開発」のマルチビームデータ処理ソフトウェアを使用しました。

参 考 文 献

- 海洋音響学会：海洋音響の基礎と応用, 169, (2004)
株式会社東陽テクニカ HP, <http://www.toyo.co.jp/kaiyo/>
The International Hydrographic Organization : IHO
Standards for Hydrographic Surveys (4 th
edition) S-44, (1997)



第11図 昭洋と天洋の測深結果の比較。(a) 天洋の測深記録, (b) 昭洋の測深記録, (c) 2 船を重ね合わせたもの, (d) 2 船の水深を 3 次元表示したもの。
 Fig. 11 The Difference of the Bathymetric data collected by Shoyo and Tenyo.
 (a) Bathymetric data by Tenyo, (b) Bathymetric data by Shoyo, (c) Merged bathymetric data, (d) 3 D image of the merged bathymetric data.



第12図 拓洋と天洋の測深結果の比較。(a) 天洋の測深記録, (b) 拓洋の測深記録, (c) 2船を重ね合わせたもの, (d) 2船の水深を3次元表示したもの。
 Fig. 12 The Difference of the Bathymetric data collected by Takuyo and Tenyo.
 (a) Bathymetric data by Tenyo, (b) Bathymetric data by Takuyo, (c) Merged bathymetric data, (d) 3 D image of the merged bathymetric data.