

深海域のマルチビーム音響測深データの不確かさと管理

及川光弘^{*1}, 渡邊奈保子^{*1}, 橋本崇史^{*2}, 吉田剛^{*3}, 千葉未子^{*4}

The uncertainties and the data management of deep water bathymetric data obtained with multibeam echo sounders.

Mitsuhiro OIKAWA^{*1}, Naoko WATANABE^{*1}, Takafumi HASHIMOTO^{*2},
Tsuyoshi YOSHIDA^{*3}, Sakiko CHIBA^{*4}

Abstract

Bathymetric data are essential for safety navigations and earth scientific researches. As the international standards for bathymetric survey (IHO S 445 ed.) was revised in 2008, we had needed to evaluate qualities and uncertainties of bathymetric data. We therefore have carried out a priori and a posteriori estimation for uncertainties of bathymetric data. A priori estimation has revealed that our multibeam echo sounders satisfy the IHO-S 44 special order or order 1 a. A posteriori examination has showed the accuracies of the bathymetric data obtained by the current survey system including multi-beam echo sounders, navigation systems, motion sensors, etc. have adequate performance to meet the IHO-S 44 special order or order 1 a. We also have classified the bathymetric data based on vessel's states and velocity corrections. Finally we designed the bathymetric data management system to deal with a large amount of bathymetric data.

1 はじめに

海上保安庁は 1983 年に測量船「拓洋」に我が国で初めて深海用マルチビーム音響測深機（以下、測深機）を導入し、深海域における測深データの収集に努めてきた。「拓洋」に導入された後には、本庁所属測量船「昭洋」・「明洋」・「海洋」・「天洋」にも測深機が導入され、測量能力の強化が図られた（及川・他，2008）。現在、海上保安庁には、1983 年以来続けられてきたマルチビーム音響測深機による測量によって、非常に大量の測深データが蓄積されている。近年、国際水

路機関（IHO）の測深データの基準が改定され、測深データの信頼性を評価する必要が生じてきた。また、評価を行った膨大なデータの管理体制が必要になってきた。そこで本稿では、海上保安庁の測量船の測深データの不確かさを評価するとともに、大量の測深データを管理する体制を構築した。

*1 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

*2 海洋調査課 Hydrographic Surveys Division

*3 海洋情報課 Oceanographic Data and Information Division

*4 株式会社海洋先端技術研究所 Ocean High Technology Institute Inc.

2 使用機器及び調査手法から求められる不確かさ(先天的不確かさ)の評価

2.1 調査機器

今回評価を行った測深器及び測位装置等の一覧を Table 1 に示す。1983 年に「拓洋」に初代 SEA-BEAM が導入され、その後、測量船「昭洋」に SEA-BEAM 2112, 測量船「明洋」・「海洋」に SEABEAM 2000 が導入され、深海域における測量能力の強化が図られた。2007 年以降は、中深海域における測量能力の強化を目的として、測量船「明洋」・「海洋」の測深機の更新が行われ、より高周波の測深機である、Kongsberg 社製の EM 302 が導入された(橋本・及川, 2009)。さらに、2010 年度には測量船「拓洋」に Kongsberg 社製の EM 122 及び EM 710 が導入される予定である。

使用された測位装置は、1993 年 10 月以前は Navy Navigation Satellite System (NNSS), Range-Range-Long-Range Navigation System C (RR-LORAN C) から最適な測位を選択する複合測位装置 (hybrid navigation system) である。測位精度は当時の現地作業報告書に「NNSS と LORAN-C の測位が 0.2 海里以上ずれた場合には測位補正を行う」との記載があるため、約 370 m (0.2 海里) 以下であった。その後、GPS 衛星の初期配

備が完了した 1993 年後半から GPS の使用を開始した。これに伴い、測量船の測位装置として 1993 年 10 月以降は、stand-alone GPS with the Standard Positioning Service が使われている。Standard Positioning Service では、2000 年 5 月 1 日以前は Selective Availability (SA) が有効であり、測位精度は 95% 信頼度で 100 m であった (GPS w SA, Table 1)。SA は 2000 年 5 月 1 日に解除され、それ以降の測位精度は 95% 信頼度で 13 m (GPS w/o SA, Table 1) となっている (SeeBer, 2003)。

2.2 測深データの不確かさ

測深データの国際的な基準である IHO の S 44 の第 5 版 (2008) (以下、S 44 の第 5 版を S 44_5 ed と呼ぶ) が刊行され、測深データについては、総伝播不確かさ (TPU: Total Propagated Uncertainty) を評価する様に改められている。TPU は水平方向 (THU: Total Horizontal Uncertainty), 及び鉛直方向 (TVU: Total Vertical Error) の 2 方向についてそれぞれに検討をする必要がある。

なお従来、総伝播誤差 (TPE: Total Propagated Error) というものを用いていたが、誤差は真の値からのずれであり、真の値は不明であるため、誤差を正確に測定することは不可能であることから、S 44_5 ed より TPU に改められている。なお、不確かさ (Uncertainty) とは、真の値からどれだけ外れているかを示す指標であり、TPU の算出のためには、測深機の標準偏差から得られる精度 (Accuracy) だけではなく、装置に起因する不確かさ、潮汐に起因する不確かさ等、不確かさの原因として考えられる複数の要因を考慮する必要がある。

TPU は不確かさのそれぞれの要因について、二乗和の平方根をとることで計算される。TPU は S 44_5 ed において、水深に比例する項と水深に依存しない項とに分けられ、次の式のように記述される。

$$\Delta Z = \pm \sqrt{a^2 + (b \times Z)^2} \tag{eq. 1}$$

第 1 表 測深機一覧

Table 1 Specifications for bathymetric surveys
GPS (w. SA) means “GPS with selective availability”. GPS (w/o) means “GPS without selective availability”. Tx and Rx in the beam size column are transmitter and receiver, respectively.

Vessel	Period	Navigation sensor	Multibeam system	Swath width	Beam size (TX × RX)	
Takuyo	1983 to Oct 1993	GPS (w. SA)	hybrid system	SeaBeam	± 20°	2.67° × 2.67°
	Oct 1993 to Jun 1995			SeaBeam210A	± 40°	2.67° × 2.67°
	Jul 1995 to Sep 1998			SeaBeam210B	± 60°	2.67° × 2°
	Oct 1998 to Aug 1999			SeaBeam2112	± 75°	2° × 2°
	Sep 1999 to May 2000			EM710	± 75°	1° × 1°
	after May 2000	EM122	± 75°	2° × 2°		
Shoyo	1998 to May 2000	GPS (w. SA)	SeaBeam2112	± 75°	2° × 2°	
	after May 2000	GPS (w/o SA)				
Meiyo	1994 to May 2000	GPS (w. SA)	SeaBeam2000	± 60°	2° × 2°	
	May 2000 to Apr 2008	GPS (w/o SA)				
Kaiyo	after Apr 2008	GPS (w/o SA)	EM302	± 75°	1° × 1°	
	1994 to May 2000	GPS (w. SA)	SeaBeam2000	± 60°	2° × 2°	
	May 2000 to Dec 2007	GPS (w/o SA)				
Tenyo	after Dec 2007	GPS (w/o SA)	EM302	± 75°	1° × 1°	
	1994 to May 2000	GPS (w. SA)	Seabeam1180	± 60°	1.5° × 1.5°	
after May 2000	GPS (w/o SA)					

ここで

- a: 水深に依存しない不確かさ
 - b: 水深に比例する不確かさ
 - Z: 水深
- である。

2.3 総伝播鉛直不確かさ (TVU)

TVU は, S44_5 ed の付属文書において, 次の項目を含むこととされている。

- a) 鉛直水準面の誤差
 - b) 鉛直方向の測位システムの誤差
 - c) 潮汐計測の誤差, 該当する場合は等潮面の誤差も含む
 - d) 計測機器の誤差
 - e) 音速の誤差
 - f) 楕円体・基準面の分離モデルの誤差
 - g) 船舶の動揺の誤差, すなわちロール, ピッチ及びヒーブ
 - h) 船舶の喫水の測定誤差
 - i) 船舶の沈下とスピードを出した時の船尾の沈下に起因する誤差
 - j) 海底の傾斜による誤差
 - k) 時刻同期・内部遅延
- である。

機器の精度に起因する事項 (d, g) については, 機器の仕様の精度を不確かさの値とした。測深機の精度については, 仕様に特定の角度しか示されていない場合には, より高角度側の値を採用した。潮汐及び潮汐補正の手法に起因する事項 (a, c) は, 今回は, 深海域における測深データについての評価のため, 潮汐補正を実施していないため, 両者をまとめて経験的に十分に大きい値として 1 m とした。(b, f) は船による深海域の調査のため考慮していない。船の喫水の変化 (h) については, 出入港時の喫水の変化から, 経験的に昭洋・拓洋で 1 m, 明洋・海洋・天洋で 0.5 m とした。(i) 船の沈下は, 深海域の調査で影響が小さいため考慮しない。時刻同期・内部遅延 (k) については, 鉛直方向については深海域の調査でサンプリング周期の方が十分に大きく, 内部遅延

の影響は十分に小さいと考えられるため考慮していない。音速度プロファイル (e) の誤差については, スワス角度に依存するため, 経験的に音速の誤差を設定し算出した。表面音速度については, 表面音速度計又は, 表面の海水温・塩分からほぼリアルタイムに計測している。なお, 海面の傾斜 (j) については, 地形に依存するため今回は評価しない。

TVU の内, 角度に依存する主な項目は, 測深機の精度 (d), 動揺センサーの精度 (g), 音速度プロファイル (e), 表面音速度 (e) である。これらについて, 不確かさの算出のための式を記す。ここで, Z は水深, θ は直下からのビームの射出角度, α は受波アレイの角度, $\Delta\theta$ は動揺補正装置 (ピッチ・ロール・ヨー) の精度, ΔZ は水深の誤差, $\Delta V_{average}$ は音速度プロファイルの誤差, $\Delta V_{surface}$ は表面音速度の誤差である。動揺センサーに起因する要因は,

$$\frac{\Delta Z}{Z} \approx \Delta\theta_{roll} \tan \theta \quad (\text{eq. 2})$$

音速度誤差に起因する要因は,

$$\frac{\Delta Z}{Z} \approx \frac{\Delta V_{average}}{V_{average}} (1 - \tan^2 \theta) \quad (\text{eq. 3})$$

表面音速度誤差に起因する要因は,

$$\frac{\Delta Z}{Z} \approx \frac{\Delta V_{surface}}{V_{surface}} \tan \theta \tan (\theta - \alpha) \quad (\text{eq. 4})$$

2.4 総伝播水平不確かさ (THU)

THU についても同様に S44_5 ed で検討すべき事項が挙げられている。

- a) 測位システムの誤差
- b) ビームのパルス長に起因する誤差
- c) 波線モデル (音速プロファイルを含む) 及びビームの指向角に係る誤差
- d) 船首方位の誤差
- e) センサー位置
- f) センサー間の相対位置によるもの
- g) 船の動揺センサーの誤差, すなわちロールとピッチ
- h) センサー位置の偏りによる誤差

i) 時刻同期・内部遅延

TVUと同様に、機器の精度による箇所 (a, b, d, g) については、機器の仕様の精度を用いた。音速度誤差 (c) についての扱いは垂直方向と同様である。センサー位置に関する誤差 (e, f, h) は、測深機据付時に cm 単位で測定及び補正を行っており、今回の深海域の測深データでは考慮していない。時刻同期 (i) については、リアルタイムプリプロセッサを用いた時刻同期を行っており、こちらも十分に小さいと考えられるため考慮しない。

THUのうち、水深及び角度に依存する事項について、下に記す。ここで、Hは水平位置、 ΔH は水平誤差、それ以外については鉛直不確かさと同様である。

動揺センサー (ロール) に起因する要因は、

$$\frac{\Delta H_{across}}{Z} \approx \Delta \theta_{roll} \quad (eq. 5)$$

動揺センサー (ロール) に起因する要因は、

$$\frac{\Delta H_{along}}{Z} \approx \sqrt{\Delta \theta_{pitch}^2 + \Delta \theta_{yaw}^2 \tan^2 \theta} \quad (eq. 6)$$

音速度誤差に起因する要因は、

$$\frac{\Delta H}{z} \approx 2 \tan \theta \frac{\Delta V_{average}}{V_{average}} \quad (eq. 7)$$

表面音速度誤差に起因する要因は、

$$\frac{\Delta H}{z} \approx (\tan \theta - \tan (\theta - \alpha)) \frac{\Delta V_{surface}}{V_{surface}} \quad (eq. 8)$$

と記述される。

2.5 TPUのまとめ

各不確かさの要因から計算されたTPUをTable 2に記す。音速に起因する不確かさは $\tan \theta$ 及び $\tan^2 \theta$ で寄与するため、特に船の直下から45度以上の高角度側においては、船の直下からの角度が大きくなるにつれてTPUは大きくなる。特にTVUについては角度の依存性が強く、ほぼ全ての測深機について、60度の水深比例項はS44_5edの第1級とほぼ同程度、70度においては第2級も満たさないことが明らかとなった。調査計画の段階で第2級の規準を満たさないような測量を計画することは、水深の基準を満たさないデータを取得する恐れがあるため避けるべきであろう。

第2表 総伝播不確かさ

Table 2 TVU and THU calculated

Ship Name	Echo Sounder	Navigation	Motion sencer	Gyro	Parameter a (m) for TVU		Parameter b (%) for TVU at the beam angle from the nadir (deg)				Parameter a (m) for THU	Parameter b (%) for THU at the beam angle from the nadir (deg)			
					with Tide Corr.	without Tide Corr. in a deep sea	0	45	60	70		0	45	60	70
Takuyo	first SEABEAM	Hybrid	appurtenances	appurtenances	1.2	1.5	0.4	0.6	1.4	3.8	200.7	0.3	1.0	1.7	2.7
Takuyo	SEABEAM210A	GPS_SA	TSS-DMS3-05	TG-5000	1.1	1.4	0.4	0.5	1.2	3.7	101.3	0.2	0.8	1.3	2.1
Takuyo	SEABEAM210B	GPS_SA	TSS-DMS3-05	TG-5000	1.1	1.4	0.4	0.5	1.2	3.7	101.3	0.2	0.8	1.3	2.1
Takuyo	SEABEAM2112	GPS_SA	TSS-DMS3-05	TG-5000	1.1	1.4	0.4	0.5	1.2	3.7	101.3	0.2	0.8	1.3	2.1
Takuyo	SEABEAM2112	GPS	TSS-DMS3-05	TG-5000	1.1	1.4	0.4	0.5	1.2	3.7	20.8	0.2	0.8	1.3	2.1
Takuyo	EM122	GPS	SEAPATH200	SEAPATH200	1.1	1.4	0.5	0.4	0.9	2.3	14.0	0.1	0.7	1.2	1.9
Takuyo	EM710	DGPS	SEAPATH200	SEAPATH200	1.1	1.4	0.5	0.4	0.9	2.3	5.3	0.1	0.7	1.2	1.9
Shoyo	SEABEAM2112	GPS_SA	TSS-DMS3-05	TG-6000	1.1	1.4	0.4	0.5	1.2	3.7	101.3	0.2	0.8	1.3	2.1
Shoyo	SEABEAM2112	GPS	TSS-DMS3-05	TG-6000	1.1	1.4	0.4	0.5	1.2	3.7	20.8	0.2	0.8	1.3	2.1
Meiyo	SEABEAM2000	GPS_SA	TSS-DMS3-05	TG-5000	0.7	1.1	0.4	0.5	1.2	3.7	101.3	0.2	0.8	1.3	2.1
Meiyo	SEABEAM2000	GPS	TSS-DMS3-05	TG-5000	0.7	1.1	0.4	0.5	1.2	3.7	20.8	0.2	0.8	1.3	2.1
Meiyo	EM302	DGPS	SEAPATH200	SEAPATH200	0.7	1.1	0.5	0.4	0.9	2.3	5.3	0.1	0.7	1.2	1.9
Kaiyo	SEABEAM2000	GPS_SA	TSS-DMS3-05	TG-5000	0.7	1.1	0.4	0.5	1.2	3.7	101.3	0.2	0.8	1.3	2.1
Kaiyo	SEABEAM2000	GPS	TSS-DMS3-05	TG-5000	0.7	1.1	0.4	0.5	1.2	3.7	20.8	0.2	0.8	1.3	2.1
Kaiyo	EM302	DGPS	SEAPATH200	SEAPATH200	0.7	1.1	0.5	0.4	0.9	2.3	5.3	0.1	0.7	1.2	1.9
Tenyo	SEABEAM1185	DGPS	POS-MV	POS-MV	0.7	1.1	0.4	0.5	1.2	3.7	5.3	0.1	0.7	1.2	1.9
IHO-S44 Special order					0.25		0.75				2	-			
IHO-S44 Order 1a/1b					0.5		1.3				5	5			
IHO-S44 Order 2					1		2.3				20	10			

3 実際の測深データによる不確かさの評価（後天的不確かさ）

次に、実際の測深データを用いて、S44_5 edの基準を満たしているか評価する。今回は、現在の深海域における調査の大部分を担っている昭洋・拓洋のSEABEAM 2112、及び明洋・海洋のEM 302について行った。

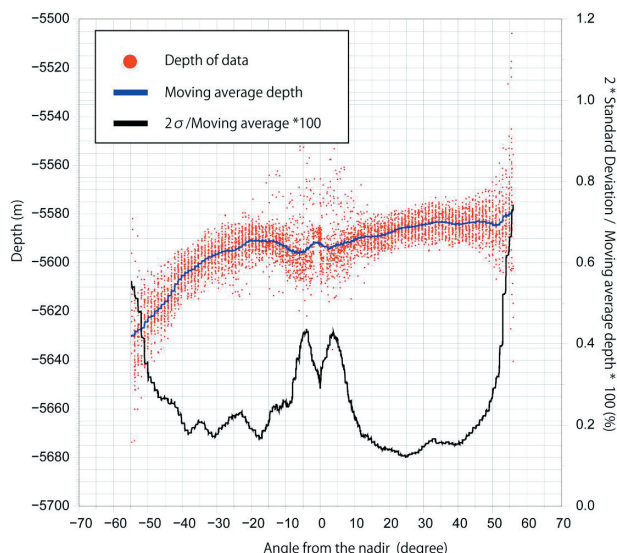
3.1 評価手法

評価の手法は次の方法による。まず、比較的海象が良い条件の時に、比較的平坦な海底面を調査している測深データの抽出を行う。そこから数ピングN抽出し、水深Zと角度 θ を書き出す。抽出した測深データについて、角度 θ についてソートした後、移動平均値と標準偏差を計算する。ほぼ同じ箇所を測定しているビーム数をmとし、フットプリントの重なりと1ピングあたりのデータ数を考慮して決定した。得られた標準偏差を2倍することにより95%信頼区間における不確かさを求めた。その後、(m×N)個のデータについて、角度 θ と水深Zとのグラフを描いた。

尚、今回の評価は同一航海の同一測線の中で評価を行っているため、音速度、バイアス、潮汐等については同じ値を用いることになり評価できない。したがって、ここで評価される不確かさは、測深機及び動揺補正装置における総伝播鉛直不確かさを示している。

3.2 SEABEAM 2112

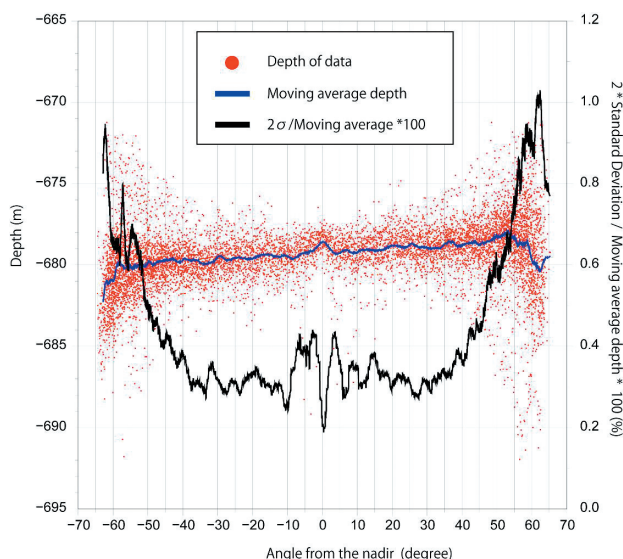
水深5,600 m付近の比較的平坦な海底面におけるデータの例である (Fig.1)。取り扱ったピング数は、N=50である。SEABEAM 2112はビームのフットプリントは2度で、1度毎にデータを取得する。隣り合う2個のビームの水深はほぼ等しい値を検出するので、M=5（自ビームと両側2ビームずつ）として、水深と標準偏差の2倍(2 σ :95%信頼区間)をプロットした。



第1図 SEABEAM 2112の不確かさの評価

Fig.1 Evaluation of TVU with SEABEAM 2112

Red dots mean depths of data obtained. The Blue line is the moving average of depth (Left axis). The black line is the 95% confidential level of data (Right axis).



第2図 EM 302の不確かさの評価

Fig.2 Evaluation of TVU with EM 302

Red dots mean depths of data obtained. The Blue line is the moving average of depth (Left axis). The black line is the 95% confidential level of data (Right axis).

3.3 EM 302

水深680 m付近の比較的平坦な海底面におけるデータの例である (Fig.2)。取り扱ったピング数は、N=45である。今回のスワ幅は等角度

モードで、スワス幅 140 度、EM 302 は 1 ピングあたり 432 個のデータを取得するので 1 ビームあたりの角度は 0.3 度である。また、ビームのフットプリントは 1 度であるから、隣り合う 2 個のビームの水深とフットプリントが重複するので、 $M=5$ (自ビームと両側 2 ビームずつ) として、水深と標準偏差の 2 倍 (2σ : 95% 信頼区間) をプロットした。

3.4 後天的不確かさのまとめ

SEABEAM 2112, EM 302 の 2 台では対象としている水深が異なるものの、直下からの角度が SEABEAM 2112 では 55 度以内で、EM 302 では 65 度以内において、 2σ の値が 1.3% 以下であり、1 級の基準を満たすことが確認できた。両測深機共に、高角度側ほどデータの不確かさが悪くなるほか、鉛直からの角度 10 度以内に不確かさが悪い部分が認められる。これは、測深機の特徴として、直下付近方向からの波は位相で分離することが難しく、強度を用いて検出しているためである。また、誤差の範囲内ではあるが、測深機の直下は周囲よりもわずかに浅い水深となる。この傾向は系統的に現れるため、地物や高まりの連続として捉えない様、注意が必要である。

4 測深の状況に応じた分類

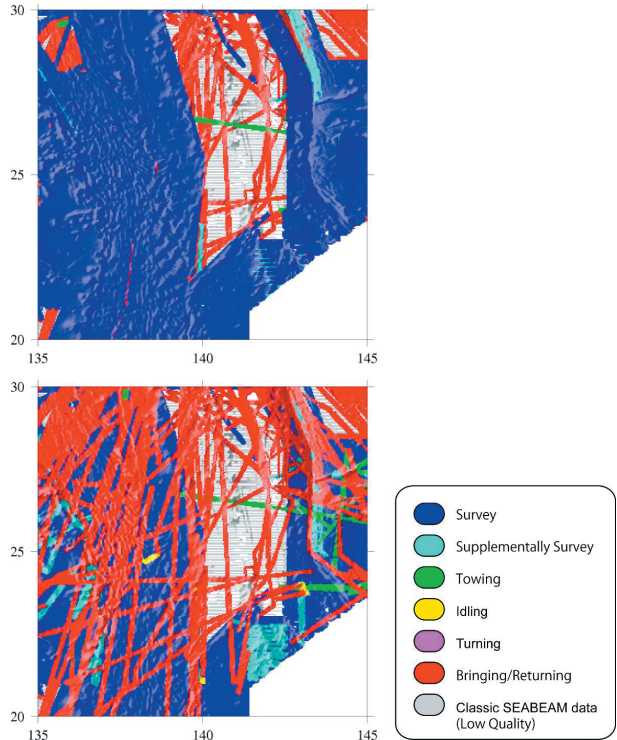
実際の測深データの不確かさの検討は、機器ごとの不確かさの評価だけでは不十分であり、現場で行っている作業も考慮する必要がある。海上保安庁の測量船は、地形測量のとき以外にも測深データの取得を行っている。しかし、地形測量以外の測深データには、音速度補正の有無や、船の回頭中に取得されたものもあり、それらを同一条件で処理を行うと、品質の良いデータと悪いデータが混在してしまう。そこで、それぞれの測深データについて、そのデータがどのような状況で取得されたかを分類しフラグを付した (Table 3)。

より正確な水深を求めたい場合には、品質の良いデータだけを用いることで、品質の悪いデータ

第 3 表 状態別分類

Table 3 Classification of the survey states

Vessel State	Speed (knot)	Course	Sound Vel. Corr.	Quality
Survey	8-12	Straight	Yes	High
Supplementally Survey	8-12	Straight	Yes	High
Towing	4-8	Straight	Yes	High
Idling	0-2	Stop	No	Low
Turning	8-12	Turn	Yes or No	Low
Bringing/Returning	10-15	Sraight/Turn	Yes or No	Medium or Low



第 3 図 状態別分類の例

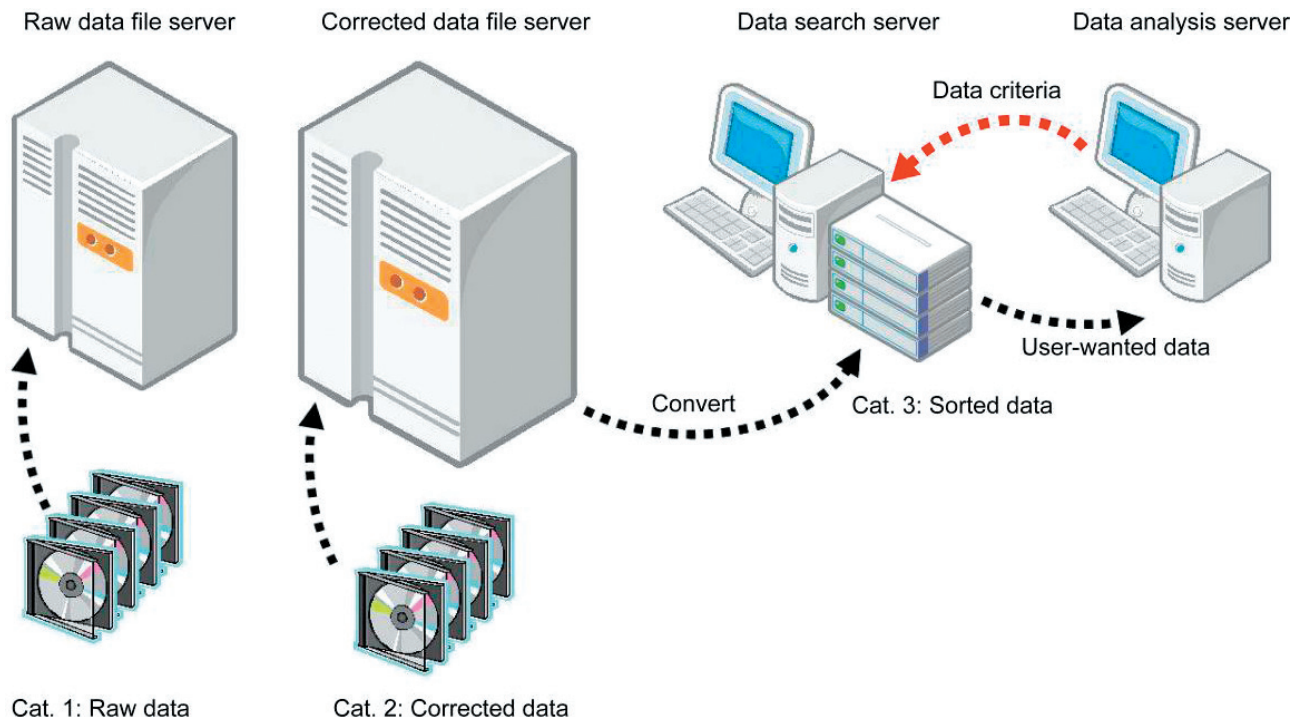
Fig. 3 Example of a bathymetric coverage map based on the classification Table 4. UPPER: Superimposing the high quality data on the low quality data. LOWER: Superimposing the low quality data on the high quality data.

の影響を避けることができる (Fig. 3)。また、なるべく広い範囲の地形の状況を把握したい場合には、品質の悪いデータも含めてデータを検索することで対応できる。

5 測深データ管理システム

5.1 システムの構成

取得された測深データを一括して取り扱うため、「測深データ管理システム」に検索用データとして登録した (Fig. 4), 1 点 1 点のデータに対しては、Table 3 の分類項目のほか、TPU の計算に用いる機器名や調査フラグを付した。



第4図 測深システムフロー図
Fig. 4 Schema of Bathymetric data management system

測深データについては、処理の段階に応じて、以下に示す4種類に分類した。

Cat. 1：生データ

海上における調査の生データであり、測深データの校正前のデータの他、XBT等音速度データ、表面音速度、測位データ等の付随データ、及び、観測日誌や作業報告書等のドキュメントも含む。

Cat. 2：編集・校正データ

編集・校正後の最終データであり、基本的にCat 1のデータと同一の情報を含む。調査直後の編集・校正作業によるデータから、後の時代に再編集・再校正する場合もあるため、改版される可能性のあるデータである。

Cat. 3：検索用データ

校正データについて、個々に緯度経度のほか、調査日時、装置、水平垂直方向不確かさ等を付して検索に適した様式に変換したデータであり、同データを検索するシステムとセットで運用される。Cat. 2のデータの書き換え版であり、Cat. 2のデータが更新されれば随時自動的に再生成されるものである。

Cat. 4：加工データ

数値水深モデル等解析により派生した加工データ。

5.2 測深データの検索

測深データ管理システムからデータを抽出しようとするユーザは、同システムに付随する検索システムによりCat. 3の検索用データからデータを検索及び抽出する。検索項目としては、緯度経度及び水深値の他、調査日時、測深装置名、測位装置名、THU、TVU等が要求されることから、そのような項目で高速検索が可能なシステムを設計した。例として、深海域の測深データについて、緯度経度で1度四方程度以下の領域の矩形領域のデータの検索及び抽出については1秒以下の時間でデータが抽出される。これらの検索データは、データの加工を経て、断面図・鳥瞰図・立体視図等（及川・他2009）様々な要望に応じて活用される。

6 まとめ

今回の研究によって、以下の評価及び開発がなされた。

- ・ 先天的な不確かさの評価により、当庁の既存の測深機について、IHO の S 44_5 ed の基準に基づいて評価した。
- ・ 後天的な不確かさの評価から、SEABEAM 2112 及び EM 302 において、IHO の S 44_5 ed の特級又は 1 a 級の品質を満たすことを確認した。
- ・ 調査データの状態に応じた分類を行った。
- ・ 測深データの TPU を考慮した、測深データ管理システムを構築した。

現状の測深データ管理システムには大陸棚調査で得られた SEABEAM 210 以降の深海域のデータについては登録が完了している。現在進行中の領海・EEZ 調査のデータについても順次データ登録作業を進めている他、大陸棚調査初期の(classic) SEABEAM で得られたデータ、大陸棚調査以外の調査で得られたマルチビーム測深データについても登録を行う予定である。

参 考

- International Hydrographic Organization (2008), IHO Standards for Hydrographic Surveys (5 th edition)., S 44.
- 及川光弘, 吉田剛, 加藤幸弘 (2008), 海上保安庁による海底地形調査とデータ管理, 第 20 回海洋工学シンポジウム
- 及川光弘, 吉田剛, 渡邊奈保子, 千葉未子 (2009), 海上保安庁の水深精度評価と測深データの管理, 第 21 回海洋調査技術学会研究成果発表会.
- Seeber, G. (2003), Satellite Geodesy, 2 nd ed., 589 pp., Walter de Gruyter, Berlin-New York
- 橋本崇史, 及川光弘 (2009), 海上保安庁による中深海域における海底地形調査, 第 21 回海洋工学シンポジウム
- 吉田剛, 渡邊奈保子, 及川光弘 (2009), 海上保安庁の海洋調査における測深データの管理, 第 21 回海洋工学シンポジウム

要 旨

水深に関する国際的な規準である S 44 が改定され、近年測深データの品質について言及されることが多くなってきており、測深データが信頼できる値なのか評価する必要性が生じてきた。そこで本稿では、測深データの不確かさについて先天的及び後天的な検討を行い、海上保安庁の測深データの品質を評価した。

また、後天的な不確かさの評価から、SEABEAM 2112 及び EM 302 において、測深機が持つ不確かさが特級に許容される範囲であることを確認した。さらに、大量の測深データを分類・品質管理するシステムを構築した。