

The IHO-IOC GEBCO Cook Book における Chart Adequacy の 評価手法：日本沿岸海域における適用例と改善策の検討[†]

小川 遥^{*1}, 橋本崇史^{*1}, 住吉昌直^{*1}, 森 弘和^{*2}

Chart Adequacy evaluation method in "The IHO-IOC GEBCO Cook Book": Improvements in
towards the use of this method and its application example in the coastal waters of Japan[†]

Haruka OGAWA^{*1}, Takafumi HASHIMOTO^{*1}, Masanao SUMIYOSHI^{*1}, and Hirokazu MORI^{*2}

Abstract

Evaluation of survey priorities is crucial for hydrographic surveys, which is required to ensure the safety of navigation under limited survey resources. In this study, we introduce the "Nautical Chart Adequacy Evaluation Procedure" proposed by Klemm et al. (2016), which that considers multiple factors such as the sounding depth, vessel traffic, hydrographic characteristics, and bathymetric difference. We apply this method to the waters around Japan as a trial and discuss the possibility of its effective utilization.

1 はじめに

Chart Adequacy (CA) とは、海図に記載されている水深や海底地形をはじめとした航行船舶の安全のために必要な情報の有効性を意味し、Chart Adequacy を適切に評価することは、海図改訂のための再測定の必要性や緊急性を判断する材料の一要素となる (Klemm et al., 2016; 松本・他, 2017; 熱海・他, 2019)。

一般的に、海図に描画されている海底地形や水深は、浸食、堆積等の自然条件や浚渫、埋め立て等の人工条件により変化する。特に変化の大きな沿岸部では、航行船舶の安全確保のために連続的なモニタリングと高頻度の海図更新が求められる。しかし、頻繁に面的な水路測量を沿岸部で実施し海図を更新し続けることは、限られた費用や

時間、人的資源の観点から困難である。そのため、Chart Adequacy の適切な評価を行うことは、再測定の必要性や緊急性が高いエリアを抽出し、効果的に水路測量を実施するための有効な手段の一つであるといえる。

Klemm et al. (2016) は衛星画像から水深を推定して Chart Adequacy の評価を行う "The Nautical Chart Adequacy Evaluation Procedure" (以下、NCAE 方式と略す) を提唱した。衛星画像データを利用して推定された水深を Satellite Derived Bathymetry (SDB) といい、日本語では衛星画像推定水深という。SDB は正規の水路測量に比べ精度は劣るものの、低コストで面的に水深情報が取得できるため、極浅海域における有用な海洋調査技術の一つとして知られている。ま

[†] Received September 27, 2019; Accepted November 14, 2019

* 1 技術・国際課 海洋研究室 Ocean Research Laboratory, Technology Planning and International Affairs Division

* 2 海洋調査課 Hydrographic Surveys Division

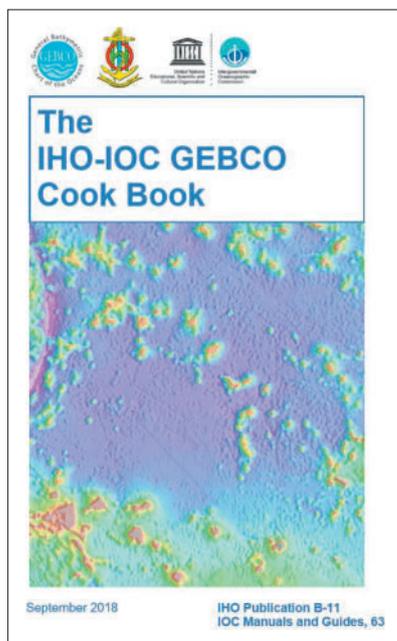


Fig. 1. The IHO-IOC GEBCO Cook Book (taken from the International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission (2018)).

図 1. IHO-IOC GEBCO Cook Book (International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission (2018) より)。

た、NCAE 方式の詳細な手順は GEBCO Cook Book (IHO and IOC, 2018; Fig. 1) の第 14 章に記載されており、GIS ソフトウェアの ArcMap を使用して、参照水深、船舶交通量、水深の品質情報、水深変化の各種レイヤーについて演算を行い、Chart Adequacy という指標を数値化するプロセスが記されている (Fig. 2)。

本研究では、GEBCO Cook Book 第 14 章に記載されている NCAE 方式による Chart Adequacy の評価方法を紹介し、日本の沿岸海域における適用を試みた。

2 GEBCO Cook Book 第 14 章 NCAE 方式の解説

GEBCO Cook Book とは、海底地形図作製に関する技術解説書であり、国際水路機関 (IHO) とユネスコ政府間海洋学委員会 (UNESCO-IOC) の共同プロジェクトである全世界の海底地形図作製を行う GEBCO (GEneral Bathymetric Chart of

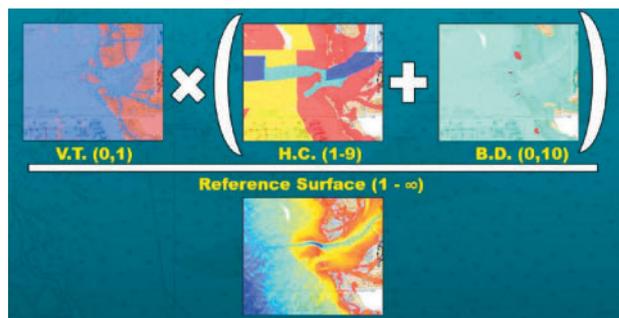


Fig. 2. Conceptual diagram of the Nautical Chart Adequacy Evaluation Procedure (taken from the International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission (2018)).

図 2. The Nautical Chart Adequacy Evaluation Procedure (NCAE 方式) の概念図 (International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission (2018) より)。

the Oceans : 大洋水深総図) が刊行している。本章では GEBCO Cook Book 第 14 章に記載されている NCAE 方式を用いた Chart Adequacy の評価方法について解説する。

2.1 ArcMap の設定

NCAE 方式による Chart Adequacy の評価は、GIS ソフトウェアとして Esri 社の ArcGIS の主要アプリケーション ArcMap を使用する。標準の ArcMap の機能に加え、3D Analyst と Spatial Analyst という付加機能 (エクステンションという) が必要であり、ArcMap の各種環境設定について記述されている。

2.2 各種データセットの準備

2.2.1 電子海図 (ENC) の入手

ENC のデータをインポートする。必要な情報は、海図記載の水深の品質情報 (M_QUAL) と水深情報 (SOUNDG) のシェープファイルである。これらをインポートし、適切な座標系に変換する。

2.2.2 衛星画像

インターネット上で無料公開されている

Landsat8 の画像を米国地質調査所 (USGS : The United States Geological Survey) のウェブサイト Earth Explorer (USGS online : <https://earthexplorer.usgs.gov/>) からダウンロードする. Landsat 8 の解像度は 30 m 程度である. Landsat 8 は USGS 及び米国航空宇宙局により打ち上げされた衛星で, 可視光から近赤外の 9 つの観測バンドを持つセンサーが搭載されている.

2.2.3 船舶交通量

船舶交通量を算出するために自動船舶識別装置 (Automatic Identification System : AIS) のデータを使用する. 米国海洋大気庁 (NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration) のウェブサイト Marine Cadastre.gov (NOAA and the U.S. Department of the Interior's Bureau of Ocean Energy Management (BOEM) online : <https://marinecadastre.gov/>) から必要な年月日の AIS データと使用環境の ArcGIS のバージョンに合わせた AIS Track Builder をダウンロードする. AIS Track Builder は日時と船舶識別番号, 位置が含まれる AIS の点情報から船舶の航跡を作成する無料のツールであり, これを利用して 30 m グリッド毎の船舶交通量を求める. なお, このページからダウンロードできるのは米国周辺の UTM1 から 20 のタイムゾーンの AIS 情報のみであるため, 日本周辺海域における船舶交通量については後述する.

2.3 参照水深レイヤー (Reference Surface : RS) の作成

ENC の水深情報である SOUNDG に対し IDW (Inverse Distance Weighting : 逆距離加重) 内挿法により 30 m グリッドデータを作成する. このレイヤーを RS と呼ぶ. SOUNDG のファイルがない場合は, 紙海図をデジタル化して, SOUNDG ファイルに相当する水深のグリッドデータを作成する必要がある.

2.4 水深変化レイヤー (Bathymetric Difference : BD) の作成

SDB と現行海図の水深の差に基づき, 大きな水深変化のある海域を特定するためのレイヤーを作成する. なお, SDB の算出手法は, Stumpf et al. (2003) の方法で, これは青と緑バンドの衛星画像を用いた学習アルゴリズムにより, 一部の学習水深と色輝度の経験的關係式から, 水深を面的に推定する方法である. SDB 算出後, 海図水深と比較し, 海図水深よりも浅い海域を手動で判別しポリゴンを作成する. そして, 水深変化が大きいエリアに 10, その他のエリアに 0 を付与し BD レイヤーとする. この際, 定量的な基準は明示されていないため海域ごとに基準を定める必要がある.

2.5 船舶交通量レイヤー (Vessel Traffic : VT) の作成

AIS Track Builder を使用して, AIS 情報を csv ファイルから読み込む. 次に船舶交通量の線密度を計算し, 0.0044 隻 / m^2 / 年以上の船舶の航行がある海域グリッド (本レイヤーも他と同様 30 m グリッドとする) に 1, ない海域グリッドに 0 を入れて VT レイヤーとする.

2.6 水深情報品質レイヤー (Hydrographic Characteristics : HC) の作成

測量実施年, 測量手法, 測量海域のカバレッジ率からグリッド毎に水深情報の品質を表す整数値を設定する. 本レイヤーも他と同様 30 m グリッドとする. 最悪の品質を 9 で表し, 最良を 1 で表す. 米国の ENC の M_QUAL は測量開始年月, 測量終了年月, S-57 TECSOU codes (測量手法), CATZOC (CATegory of Zone of Confidence in data) が記載されており, それらを参考に Table 1 のランク表に基づき HC を手動で入力し, HC レイヤーを作成する.

Table 1. Rank table for Hydrographic Characteristics (HC) (taken from the International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission (2018)). The rank of HC is classified by bottom coverage, survey date, and methods of surveying.

表 1. 水深情報品質 (HC) のランク表 (International Hydrographic Organization, Intergovernmental Oceanographic Commission (2018) より). 測量のカバー率, 測量年次, 及び測深技術により, HC の値を分類する.

Bottom coverage	Survey Date	Technology	Rank
No bottom coverage	--	--	9
Partial bottom coverage	Pre-1975	Leadline	9
Partial bottom coverage	Pre-1975	SBES	8
Partial bottom coverage	Pre-1990	SBES	8
Partial bottom coverage	Pre-1990	MBES	7
Partial bottom coverage	Pre-2000	SBES	7
Partial bottom coverage	Pre-2000	MBES/ALB	6
Partial bottom coverage	Post-2000	SBES	6
Partial bottom coverage	Post-2000	MBES/ALB	5
Full bottom coverage	Pre-1975	Leadline	5
Full bottom coverage	Pre-1975	SBES	4
Full bottom coverage	Pre-1990	SBES	4
Full bottom coverage	Pre-1990	MBES	3
Full bottom coverage	Pre-2000	SBES	3
Full bottom coverage	Pre-2000	MBES/ALB	2
Full bottom coverage	Post-2000	SBES	2
Full bottom coverage	Post-2000	MBES/ALB	1

2.7 Chart Adequacy の評価

2.3 から 2.6 で作成した RS, BD, VT, HC の各レイヤーを使用し, 式 (1) でレイヤー演算を行う (Fig. 2).

$$CA = \frac{VT + (HC + BD)}{RS} \quad \text{式 (1)}$$

NCAE 方式では, このレイヤー演算によって得られた CA の数値が 0.5 以上である海域については, 水路測量の優先順位が高い海域である.

さらに, 船舶交通量がある海域 (VT=1 とされた海域) のうち, 水路測量の優先順位がより高い海域を判別するために, Table 2 に従い, 各グリッドを再分類する.

その上, 式 (2) によって, 船舶交通量がある海域で妥当と評価された割合を, 式 (3) で, 計算に使用した海域全体の中で妥当と評価された海域の割合を計算し, 海図全体の海域のうち妥当である海域の割合を評価する. 式 (2) 及び (3) の [] は Table 2 に基づいて CA を再分類した後のそれぞれの閾値に対応するグリッド数を表し, 式中では再分類後の値が 1, 2, 3 のグリッド数をそれ

Table 2. Chart Adequacy (CA) reclassification table. The priority of hydrographic survey is determined based on the VT and CA.

表 2. Chart Adequacy (CA) の再分類表. 船舶交通量 (VT) と Chart Adequacy (CA) に基づき測量の優先順位を判別する.

閾値	再分類後
VT=0	1
VT=1 かつ CA<0.5	2
VT=1 かつ CA≥0.5	3

ぞれ [1], [2], [3] とする.

$$\frac{[2]}{[2] + [3]} \times 100 \quad \text{式 (2)}$$

$$\frac{[1] + [2]}{[1] + [2] + [3]} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

3 日本の沿岸海域における NCAE 方式の試行に使用したデータ

日本の沿岸海域において NCAE 方式による CA の評価を試行した. CA の評価を行う海域として以下の観点から新潟県柏崎港を選定した.

- ・ AIS 搭載船舶の交通量がある程度ある海域.
- ・ 海図の改版時期と学習用水深データの取得時期が近い海域.
- ・ SDB 解析が可能な衛星画像が取得できる海域.

3.1 海図

使用した海図は, 海上保安庁刊行の W1390 「柏崎港」 (平成 25 年 6 月 25 日刊行) に対応した航海用電子海図 (ENC) JP54RB7Q である.

3.2 AIS 情報

使用した AIS 情報は海上保安庁交通部より入手した, 2013 年 6 月 1 日 00 時から 24 時までの一日分のデータを使用である.

3.3 SDB 解析に使用したデータ

3.3.1 使用した衛星画像

SDB 解析に使用した衛星画像は 2013 年 6 月 4 日に撮影された Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 で

ある。

3.3.2 潮位データ

気象庁がウェブサイト上で公開している柏崎の潮位表（気象庁，2019）の毎時潮位を使用した。

3.3.3 学習用水深データ

学習用水深データとして，海上保安庁海洋情報部が所有するマルチビーム水路測量で得られた水深データを使用した。

4 日本の沿岸海域における NCAE 方式の試行的結果と考察

第2章において，GEBCO Cook Book に記載されている NCAE 方式による Chart Adequacy の評価について紹介したが，日本の海図の評価を行う場合，いくつかの変更が必要となる。本章では日本沿岸海域で NCAE 方式を行うために必要な最低限の変更について記載した。

4.1 NCAE 方式を日本沿岸海域で活用するにあたっての変更点

4.1.1 RS レイヤーを作成する際のパラメーターの変更

NCAE 方式のパラメーターをそのまま使用すると，記載水深の密度に対し，乗数が低く検索半径が広すぎるため，周辺の記載水深の影響を強く受け，RS レイヤーのグリッドに補間される値は明らかに適切ではなかった。そのため海図の水深情報を 30 m グリッドに補間するパラメーターを，Table 3 のように変更した。

Table 3. Setting parameters (power and search radius) of IDW interpolation for the default and after modification.

表 3. IDW 内挿法における各種パラメータの GEBCO COOK BOOK での値と今回変更した値。

IDW内挿法のパラメーター	変更前	変更後
乗数	0.75	2
検索半径	固定：500m	可変：1点

4.1.2 SDB レイヤー作成方法の変更

GEBCO Cook Book に記載されている SDB 作成方法は，Stumpf et al. (2003) の方法であるが，本研究では平成 26 年度から平成 28 年度において一般財団法人日本水路協会が実施した「衛星画像を用いた浅海水深情報の把握の調査研究」（日本水路協会，2017）によって開発された「Bathymetry Mapper2.0」を用いた。このソフトウェアは，衛星画像の一部に対応する海図または実測した水深値を学習用水深データとして使用し，衛星画像の画素毎の輝度と学習水深の相関関係式を回帰分析によって導く Lyzenga (1978) の手法をベースに開発されたものである。なお，Lyzenga (1978) の方法は，二つ以上の可視光バンドを使用し，底質の色変化に対応した広域の水深の推定ができることが特徴である。

4.1.3 AIS データの処理方法の変更

前述した NOAA のウェブサイトからは米国周辺の AIS データのみがダウンロードできるため，日本周辺の AIS データを別の方法で収集する必要がある。本研究では，試行として，海上保安庁交通部の AIS データを使用した。なお，日本周辺の AIS データは有償で民間企業が提供している。また，AIS Track Builder は米国の AIS データのファイル形式 (Fig. 3) でのみ使用可能であるため，データ形式を変換した (Fig. 4)。さらに，データ量が多すぎると AIS Track Builder がエラーを起こすため，Excel VBA や Perl 等で必

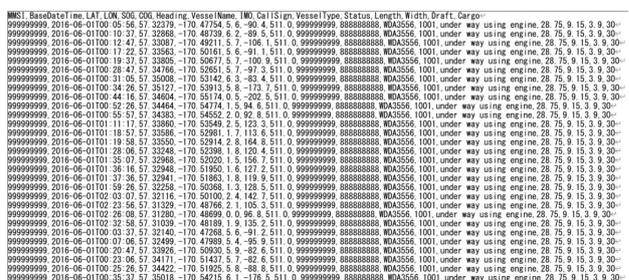


Fig. 3. AIS information downloaded from Marine Cadastre.gov.

図 3. MarineCadastre.gov からダウンロードした AIS 情報。

```

"99999999,20130601000000,34.240308333,133.401871667,.....
"99999999,20130601000000,34.297973333,133.792336667,.....
"99999999,20130601000000,34.219980000,133.274496667,.....
"99999999,20130601000000,34.362753333,133.754481667,.....
"99999999,20130601000000,34.630938333,134.334495000,.....
"99999999,20130601000000,34.374290000,133.798510000,.....
"99999999,20130601000000,34.303526667,133.598083333,.....
"99999999,20130601000000,34.400491667,134.224450000,.....
"99999999,20130601000000,34.020493333,132.775926667,.....
"99999999,20130601000000,34.769921667,134.645800000,.....
"99999999,20130601000000,34.411226667,133.922183333,.....
"99999999,20130601000000,34.385750000,134.088283333,.....
"99999999,20130601000000,33.925183333,132.652366667,.....
"99999999,20130601000000,34.146460000,132.889038333,.....
"99999999,20130601000000,34.101981667,132.850278333,.....
"99999999,20130601000000,34.229465000,133.316788333,.....
"99999999,20130601000000,34.512143333,134.726873333,.....
"99999999,20130601000000,34.163478333,132.949148333,.....
"99999999,20130601000000,34.406093333,134.242101667,.....
"99999999,20130601000000,34.052833333,132.846950000,.....
"99999999,20130601000000,33.984790000,133.333066667,.....
"99999999,20130601000000,34.096928333,133.067035000,.....
"99999999,20130601000000,33.938401667,134.925606667,.....
"99999999,20130601000000,34.297755000,133.792448333,.....
"99999999,20130601000000,33.794485000,132.468260000,.....
"99999999,20130601000000,34.248700000,135.078500000,.....
"99999999,20130601000000,34.405641667,134.227400000,.....
"99999999,20130601000000,34.110291667,132.969185000,.....
"99999999,20130601000000,34.445710000,135.073770000,.....
"99999999,20130601000001,34.439540000,134.116203333,.....
"99999999,20130601000001,34.056100000,134.601850000,.....

```

Fig. 4. AIS information of June 1st, 2013, obtained from the Maritime Traffic Department of the Japan Coast Guard.

図 4. 海上保安庁交通部から入手した 2013 年 6 月 1 日の AIS 情報。

要な区域のデータを抽出して処理を行う必要がある。

4.1.4 HC の付与方法の変更

海洋情報部が刊行する ENC には、M_QUAL に CATZOC 属性が付与されており、評価区分は S-57 IHO Transfer standard for digital hydrographic data Appendix A (2002) に示されている Table 4 のとおりである。GEBCO Cook Book に記載されている Hydrographic

Table 4. Category of zone of confidence (CATZOC) in depth data (taken from the International Hydrographic Organization (2002)).

表 4. 水深の Category of zone of confidence (CATZOC) (International Hydrographic Organization (2002) より)。

評価	評価項目			
	位置精度	水深精度	測量海域の範囲	測量精度
A1	±5m	0.50 + 1% × 水深	全面測量	高精度測量
A2	±20m	1.00 + 2% × 水深	全面測量	標準精度測量
B	±50m	1.00 + 2% × 水深	一部測量	標準精度測量
C	±500m	2.00 + 5% × 水深	一部測量	低精度測量
D	評価cより悪い	評価cより悪い	一部測量	更に低精度な測量
U	未評価	未評価	未評価	未評価

Table 5. Newly defined rank table for Hydrographic Characteristics (HC).

表 5. 新たに作成した水深情報品質 (HC) のランク表。

CATZOC	HC
B	6
C	7
D	8
U	9

Characteristics rank table の各要素である測量実施年、測量手法、測量海域のカバレッジ率との整合性を加味し、Table 5 に示す HC のランク表を作成した。

4.1.5 BD の判別方法の変更

GEBCO Cook Book では、BD が大きいエリアを手動で判別しているが、本研究では SDB レイヤーと RS レイヤーの差分を取り、その差分から水深変化があるエリアを判別した。具体的には、SDB で得られた水深の平均二乗誤差 (RMSE) の約 2 倍の値を閾値とし、本閾値より小さい水深変化は統計的に有意ではないと考えた。

4.2 結果と考察

4.2.1 SDB

SDB 解析に使用した衛星画像を Fig. 5 (a) に、Bathymetry Mapper 2.0 を使用して解析した SDB の水深分布図を Fig. 5 (b) に示す。両図はともに SDB の解析が有効と考えられる水深 2 m から 12 m までを表示した。この SDB 解析においては、決定係数 $R^2 = 0.791427$ 、二乗平均誤差は $RMSE = 0.916056$ m であった。使用した学習用水深データ数は 292 個、潮高補正量は 0.254 m である。

Fig. 5 (c) は学習用水深データと SDB の散布図である。横軸が学習用水深データ、縦軸が SDB 水深値である。黒線は、ある学習用水深 Z における $Z \pm 0.5$ m 区間の SDB 水深の平均値、青線は、任意の Z における $Z \pm 0.5$ m 区間の 95% 信頼区間を表す。



Fig. 5. (a) Satellite image captured by Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 of June 4th, 2013, used for the SDB analysis.

図 5. (a) SDB 解析に使用した Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 により取得された 2013 年 6 月 4 日の衛星画像。

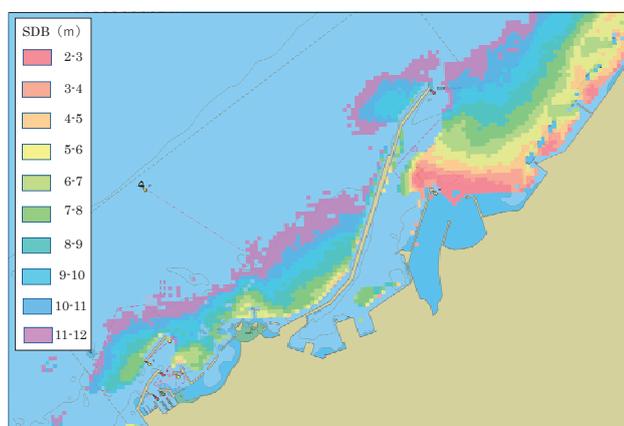


Fig. 5. (b) SDB at Kashiwazaki Port. The color bar shows the depth of SDB.

図 5. (b) 柏崎港の SDB. カラーバーは、SDB の水深を表す。

Fig. 5 (d) は学習用水深データと SDB のヒストグラム散布図である。横軸が学習用水深データで、縦軸が SDB の水深値であり、0.5 m 間隔のメッシュの色でプロット数を表現する。黒線は $Z \pm 0.5$ m 区間の SDB 水深値の平均値、赤線は $Z \pm 0.5$ m 区間の 95% 信頼区間を表す。

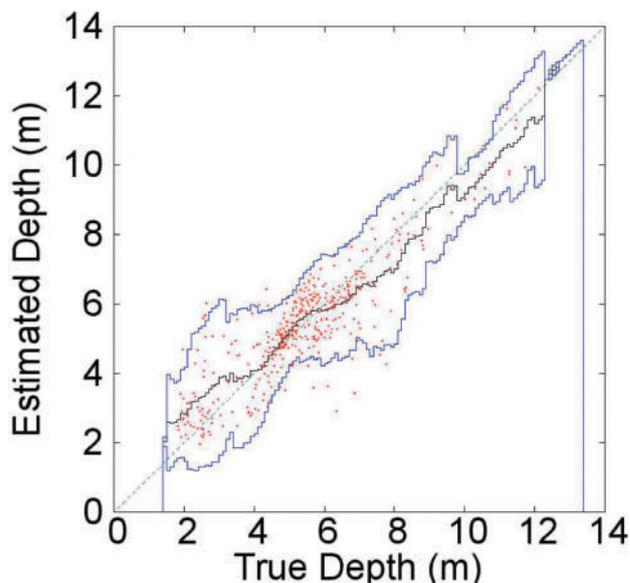


Fig. 5. (c) Scatter plot of SDB depths versus training data.

図 5. (c) 学習用水深データと SDB の散布図

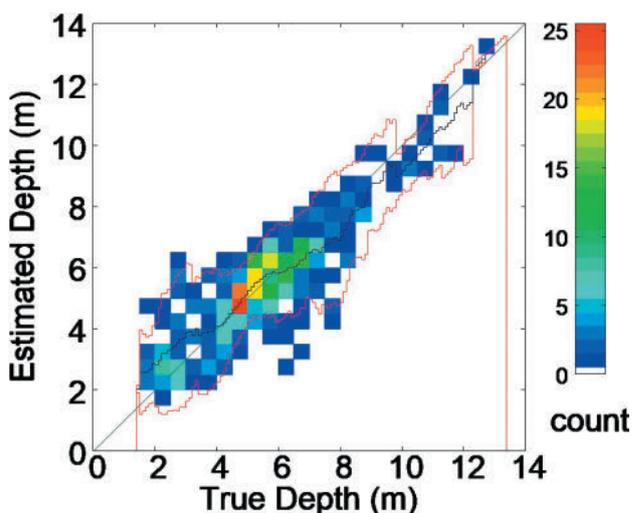


Fig. 5. (d) Histogram scatter plot of SDB depths versus training data.

図 5. (d) SDB と実水深のヒストグラム散布図。

4.2.2 参照水深レイヤー (Reference Surface : RS)

Fig. 6 (a) は SOUNDG を ENC に重畳した図、Fig. 6 (b) は、SOUNDG を IDW 内挿して 30 m グリッドにした RS レイヤーである。RS レイヤー作成時に最も忠実に海図を表現できる 30 m グリッドデータを作成するために、IDW 内挿法のパラメーターの検討を行った。当初 NCAE 方式で試行した際には、実際の海図表記水深と大きな

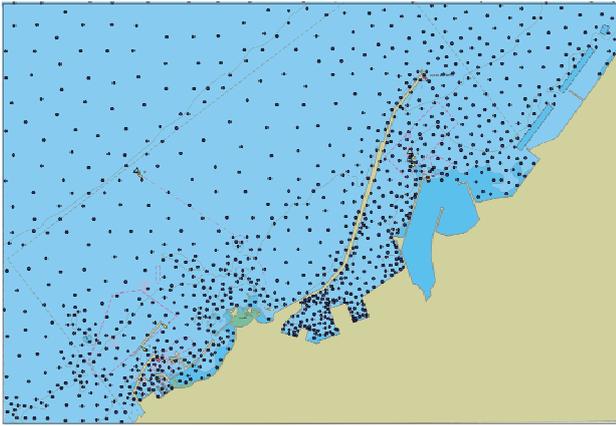


Fig. 6. (a) Distribution of ENC depths (SOUNDG) in Kashiwazaki Port.

図 6. (a) 柏崎港における ENC の水深情報 (SOUNDG) の分布.

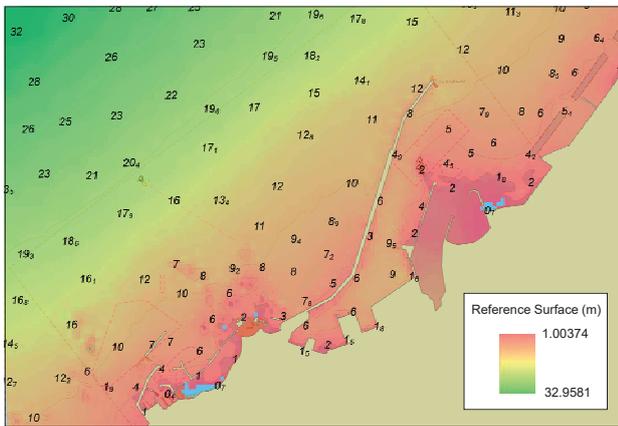


Fig. 6. (b) Reference Surface (RS) layer of Kashiwazaki Port.

図 6. (b) 柏崎港における参照水深 (RS) レイヤー.

乖離があったため、ENC の海図水深の表記方法を参考にしながら、対象海域に対して適切と思われるパラメーターを設定した。なお、図 6-図 10 以降の図に記載してある数字は、内挿後の水深を問引いて表示したものであり、実際の海図記載水深とは異なる。

4.2.3 水深変化レイヤー (Bathymetric Difference : BD)

SDB レイヤーと RS レイヤーの差分を取り、差分が ± 1.8 m (SDB で得られた水深データの RMSE のおよそ 2 倍の値) 以上の海域をピンクで示したものが Fig. 7 (a) である。そして、そ

のピンクの海域を水深変化が大きいエリアとし 10 を、その他のエリアに 0 を付与しポリゴンを作成した (Fig. 7 (b)). NCAE 方式では紙海図を SDB の結果に重畳し、目視で水深変化が大きいエリアを特定しているが、より定量的に判別すべきと考え、本研究では SDB 解析で得られた 95% 信頼区間である 1.8 m を採用した。

4.2.4 船舶交通量レイヤー (Vessel Traffic : VT)

AIS データを Track Builder で取り込んだ図を Fig. 8 (a) に、船舶交通量の線密度を計算した図を Fig. 8 (b) に、 0.0044 隻 / m^2 / 年以上の航行が

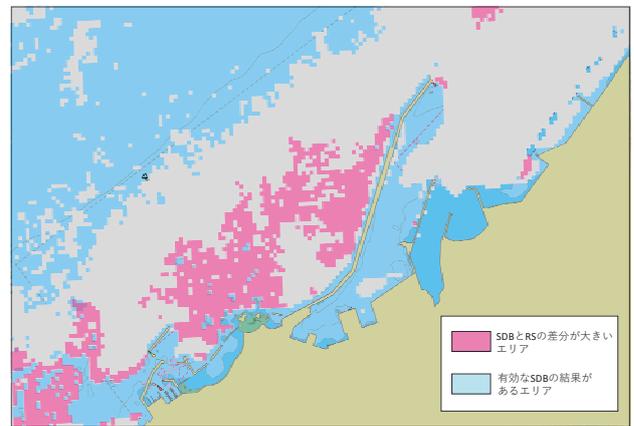


Fig. 7. (a) Difference between SDB layer and RS layer of Kashiwazaki Port.

図 7. (a) 柏崎港における SDB レイヤーと RS レイヤーの差分.

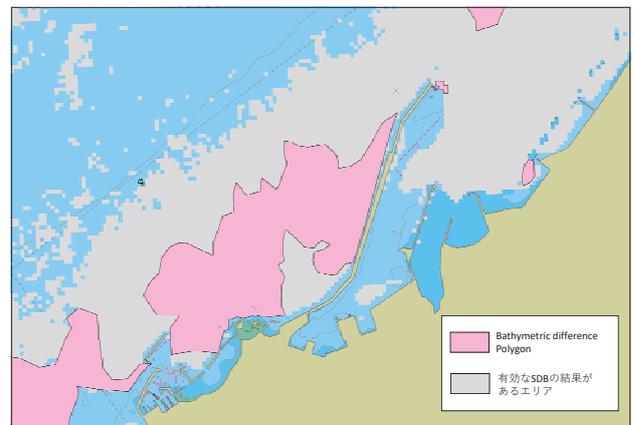


Fig. 7. (b) Polygon of difference between SDB layer and RS layer of Kashiwazaki Port.

図 7. (b) 柏崎港における SDB レイヤーと RS レイヤーの差分のポリゴン.

ある海域グリッドに 10, ない海域に 0 を入れた VT レイヤーの図を Fig. 8 (c) に示した。



Fig. 8. (a) AIS data imported via the AIS Track Builder of Kashiwazaki Port is shown as black point.
 図 8. (a) 柏崎港における Track Builder を使用して取り込んだ AIS データ (図中の黒の点)

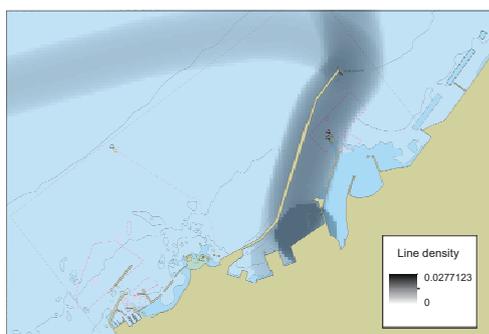


Fig. 8. (b) Line density (the number of vessels/m²/year) calculated from the AIS data of of June 1st, 2013 in Kashiwazaki Port.
 図 8. (b) AIS データをもとに計算した 2013 年 6 月 1 日の柏崎港における航行船舶の線密度 (隻 /m²/年)

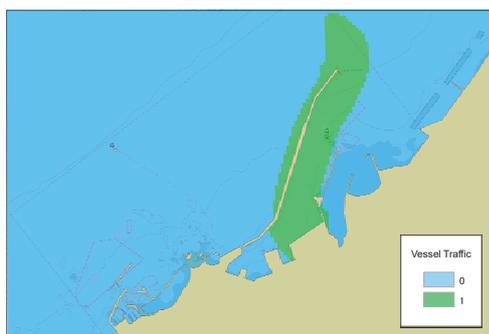


Fig. 8. (c) Vessel Traffic (VT) layer in Kashiwazaki Port. The green area indicates an area with more than 0.0044/m² vessel traffic per year.
 図 8. (c) 柏崎港における船舶交通量 (VT) レイヤー. 緑色の海域は, 年間 0.0044/m² 以上の船舶の航行がある海域を示す。

4.2.5 水深情報品質レイヤー (Hydrographic Characteristics : HC)

4.1.4 で紹介した CATZOC に基づくランク対応表を使用し, M_QUAL のフィールドに HC を付与した図を Fig. 9 に示した。



Fig. 9. Hydrographic Characteristics layer in Kashiwazaki Port.
 図 9. 柏崎港における水深情報品質 (HC) レイヤー。

4.2.6 Chart Adequacy

Fig. 10 は式 (1) の計算式によって求めた値を 0.5 未満のエリアは緑で, 0.5 以上のエリアは赤で示した図である. 式 (2) を用いて計算した, 船舶交通量があるエリアで妥当と評価された割合は 11.8% であった. また, 式 (3) より計算に使用した, エリア全体の中で妥当と評価されたエリアの割合は 94% であった。

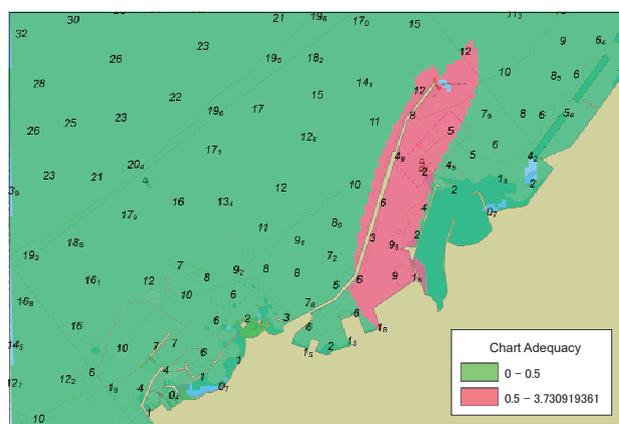


Fig. 10. Operation results of Chart Adequacy in Kashiwazaki Port.
 図 10. 柏崎港における Chart Adequacy の演算結果。

Fig. 11 は、VT=1つまり船舶交通量がある程度あるエリアでの妥当性を表現した図であり、Fig. 10 で示した値をさらに Table 2 に従って数値分類した。

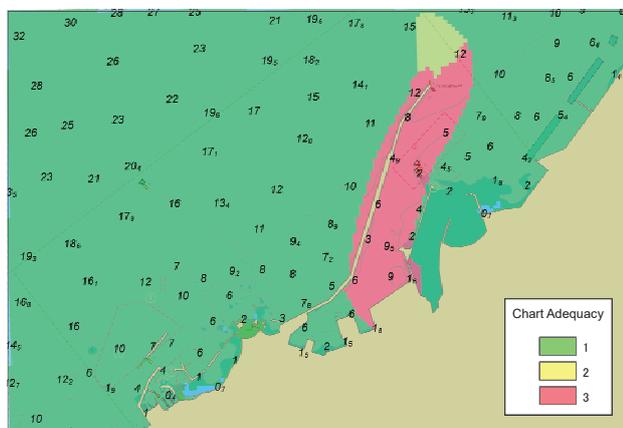


Fig. 11. Reclassified Chart Adequacy according to Table 2.

図 11. 表 2 を用いて再分類した Chart Adequacy の図

Fig. 10, Fig. 11 について、再測定の必要性が高いとされた海域は、AIS 搭載船舶交通量がある海域でかつ海図記載水深が 12 m 以下のところである。

5 4 章を踏まえた改良方式の検討とその結果

日本の沿岸海域には小型船舶が多いため、小型船舶を考慮した場合の NCAE 方式による CA の評価について各レイヤーに対し検討及び改良を行った。

5.1 VT レイヤー作成方法の検討

VT レイヤーの作成方法を改良した。NCAE 方式による VT レイヤー作成方法では、0.0044 隻/m²/年以上の航行がある海域のグリッドに 1、それ未満の海域に 0 を入れて VT レイヤーを作成した。しかし、この方法では AIS 搭載船舶の 0.0044 隻/m²/年未満の航行があった場合、あるいは AIS 非搭載船舶が航行した場合が全く考慮されないことになってしまう。日本の沿岸を航行する小さな漁船やプレジャーボートをはじめとした AIS 非搭載船舶の交通量を考慮し、0.0044 隻/m²/年

に満たない AIS 搭載船舶の交通量の海域には VT = 0.3 の数値を与えた (Table 6)。

Table 6. Improved rank table for Vessel Traffic (VT).

The area in which the line density of vessel traffic is higher than 0.0044/m²/year is given the VT=1, and the area with lower traffic than that is given the VT=0.3.

表 6. 改良した船舶交通量 (VT) レイヤーのランク表。年間 0.0044 隻/m² 以上の航行がない海域に VT = 0.3, ある海域に VT = 1 を与えた。

船舶交通量	改良前	改良後
0.0044隻/m ² /年以上の航行がある海域	1	1
0.0044隻/m ² /年以上の航行がない海域	0	0.3

5.2 HC の付与方法の検討

HC の付与方法を検討した。NCAE 方式では HC を決定するために必要な情報が ENC に含まれている。一方、日本の ENC にはそれらの情報の一部が含まれていないため、Table 5 にあるようななんらかの指標を参考に HC を決定する必要がある。Fig. 9 によると全体的に HC が 6 の海域が大半を占めることがわかる。本来の HC=6 の意味は、西暦 2000 年より前にマルチビーム測量か航空レーザー測量が部分的に行われた海域、または全面測量ではなく西暦 2000 年以降にシングルビーム測量を部分的に行った海域である。しかし、本研究対象海域の測量データの品質を考慮すると、柏崎港周辺の水深情報は実際には HC=6 以上の品質の良い情報も多数含まれると考えられるため、CATZOC が B のエリアには HC=5 を付与することにした。HC と CATZOC の対応を Table 7 のとおり一部変更した。

5.3 CA の分類法の検討

CA の分類数について検討した。Table 6 に従って求めた VT レイヤーと Table 7 に従って求めた HC レイヤーを使用して計算した CA を Fig. 12 に示す。Fig. 12 について、改良前の VT レイヤーと HC レイヤーを使用している Fig. 10 および Fig.

Table 7. Improved rank table for Hydrographic Characteristics (HC).

表 7. 改良した水深情報品質 (HC) のランク表.

CATZOC	HC (改良前)	HC (改良後)
B	6	5
C	7	7
D	8	8
U	9	9

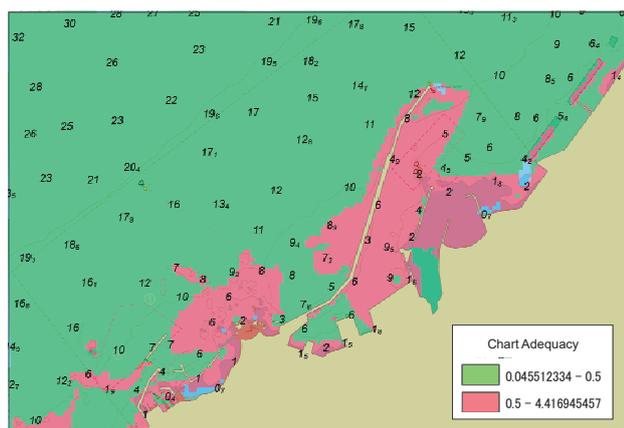


Fig. 12. Chart Adequacy based on improved VT and HC layers.

図 12. 改良後の VT と HC レイヤーを使用し求めた Chart Adequacy の図.

11 と比較すると、VT=1 の AIS 搭載船舶が通行する航路の海域だけでなく、BD の大きな海域や RS が浅い海域も再測定の必要性が高い海域として認識された。式 (2) によって求めた船舶交通量があるエリアで妥当と評価された割合は、63.7%であった。VT=1 の CA がそれ以外の海域に比べ厳密に評価されたうえに、BD と RS の要素も加味して CA を表現することができた。Fig. 13 では、BD がある海域は VT=0.3 であるため RS の寄与が小さくなり、VT=1 の海域に比べより RS が浅い海域が再測定の必要性が高い海域として捉えられた。さらに、Table 8 のように CA の分類数を増やすことで、CA は Fig. 13 のように評価され、小型船舶も考慮した場合の再測定の必要性がより高い海域を抽出することができた。本改良方式は、小型船舶も考慮した場合の水路測量エリアの優先順位付けに役立つと思われる。

Table 8. Improved Chart Adequacy (CA) reclassification table.

表 8. 改良した Chart Adequacy (CA) の再分類表.

CA	分類 (改良前)	分類 (改良後)
0-0.5	妥当	妥当
0.5-0.7	再測定の必要性を警告	再測定の必要性を警告
0.7-		再測定の必要性を強く警告

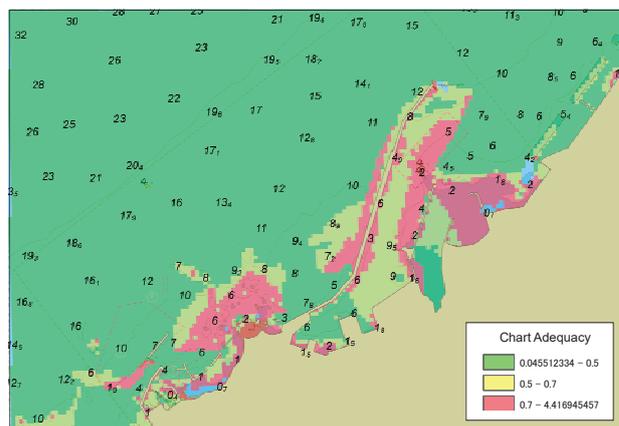


Fig. 13. Reclassified Chart Adequacy in Fig. 18 according to Table 8.

図 13. 表 8 を用いて図 8 を再分類した Chart Adequacy の図.

6 まとめ

本研究では、パイロット事例として、柏崎港で NCAE 方式の CA の評価方法を試行し、NCAE 方式が日本沿岸海域においても、水路測量の優先順位を可視化する一つのツールとして有用であることが示された。今後は、日本版 CA 評価の実用化へ向けて、他の海域でも NCAE 方式の CA 評価法を試し、各要素の重みづけを加減しつつ、更なる改善を実施する必要があるか検討する。また、他海域への試行による考慮すべき要素の追加検討、熱海・他 (2018) が行ったような河口域をはじめとした海底地形変化がより激しい海域での試行等も検討していきたい。

謝 辞

本研究は (公財) 日本財団の助成により (一財) 日本水路協会が実施した「衛星画像を用いた浅海水深情報の把握の調査研究」により作成された SDB 解析ソフトウェア Bathymetry Mapper 2.0

を使用させていただきました。高橋 弘生 海洋空間情報官には ArcGIS の使用方法についてご助言いただきました。また、田中 友規 管轄海域情報官には AIS 情報の処理方法についてご助言をいただきました。さらに本報告を書く上で、匿名の査読者には査読の上、有益なご指摘と助言をいただき、本稿は大幅に改善されました。ここに記して感謝いたします。

文 献

熱海吉次・森 弘和・松本良浩・住吉昌直 (2018) 衛星画像推定水深 (SDB) を利用した Chart Adequacy の評価に向けて、海洋情報部研究報告, 57, 75-86.

International Hydrographic Organization (2002) IHO Transfer Standard for digital hydrographic data, Special Publication No. 57, S-57 Maintenance Document (Cumulative) Number 8, March 2002, Editions 3.0 and 3.1, pp.56, International Hydrographic Bureau, Monaco, Mar. 2002.

International Hydrographic Organization and Intergovernmental Oceanographic Commission, The IHO-IOC GEBCO Cook Book, IHO Publication B-11, Monaco, Sep. 2018, 416 pp - IOC Manuals and Guides 63, France, Sep. 2018, 429pp.

気象庁, 潮位表, <http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/suisan.php?stn=ZC>, Accessed 22 Aug. 2019.

Klemm, A., S. Pe'eri, C. Sartor, J. Nyberg and J. Barber (2016) Chart adequacy procedure using publicly-available information, paper presented at Canadian Hydrographic Conference, Halifax, Canada, 16-19 May 2016.

Lyzenga, D. R. (1978) Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, *Appl. Opt.*, 17, 379-383.

松本良浩・栗田洋和・佐川龍之・平岩恒廣 (2017) 衛星画像推定水深を活用した海洋情報業務の

展望, 海洋情報部研究報告, 54, 17-31.

(一財) 日本水路協会 (2017) 衛星画像を用いた浅海水深情報の把握の調査研究実施報告 (平成 26 ~ 28 年度), <http://fields.canpan.info/report/detail/19931>, Accessed 22 Aug. 2019.

Stumpf, R. P., K. Holderied, and M. Sinclair (2003) Determination of water depth with high resolution satellite imagery over variable bottom types, *Limnol. and Oceanogr. Methods*, 48, 547-558.

United States Geological Survey, EarthExplorer, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Accessed 22 Aug. 2019.

U.S. Department of Commerce's National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Office for Coastal Management and the U.S. Department of the Interior's Bureau of Ocean Energy Management (BOEM), MarineCadastre.gov, <https://marinecadastre.gov/>, Accessed 22 Aug. 2019.

要 旨

水路測量の優先順位を適切に評価することは、限られたリソースの中で航行船舶の航行安全を担保する必要のある水路測量にとって非常に重要である。本研究では、GEBCO Cook Book (IHO and IOC, 2018) にも記載されている、水深帯・船舶交通量・水深の品質情報・水深変化の各要素を考慮した Chart Adequacy の評価手法 "The Nautical Chart Adequacy Evaluation Procedure" (NCAE 方式) (Klemm et al., 2016) を紹介する。更に、本手法を日本の沿岸海域にも試行的に適用し、その有効活用の可能性について議論する。