

# 衛星画像推定水深 (SDB) を利用した Chart Adequacy の評価に向けて — 揖斐川河口域及び鹿児島湾における解析と問題抽出 —<sup>†</sup>

熱海吉次<sup>\*1</sup>, 森 弘和<sup>\*2</sup>, 松本良浩<sup>\*1</sup>, 住吉昌直<sup>\*1</sup>

Toward the application of Satellite Derived Bathymetry to Chart Adequacy evaluation  
— trial analyses and problem finding at the Ibi River estuary and Kagoshima Bay —<sup>†</sup>

Yoshitsugu ATSUMI<sup>\*1</sup>, Hirokazu MORI<sup>\*2</sup>, Yoshihiro MATSUMOTO<sup>\*1</sup>, and  
Masanao SUMIYOSHI<sup>\*1</sup>

## Abstract

In an effort to apply Satellite Derived Bathymetry (SDB) to chart adequacy evaluation, we created SDB at the Ibi River estuary and Kagoshima Bay from Landsat-8 satellite images. Using multibeam depth data shallower than a depth of five meters for training, the resultant SDB at the Ibi River estuary shows a good correlation down to a depth of about two meters. SDB can be a useful solution for the chart adequacy evaluation of very shallow waters where navigation is difficult for survey boats. At Kagoshima Bay, we created SDB using depth data of electronic navigational charts for training. The resultant SDB represents the trends on the seafloor and estimates the depths well, even apart from the training data area.

## 1 はじめに

海図には水深、低潮線、海岸線や航路標識等の航行船舶の安全のために必要な情報が記載されている。これらの情報の妥当性は Chart Adequacy と呼ばれている。Chart Adequacy を評価することは、海図改訂のための再測量の必要性や緊急性を判断する上で重要な材料となる。とりわけ、海底地形を表現する海図水深は人工改変のほか、浸食、堆積等の自然条件によっても常に変化していく。海底地形が特に短期間に変化しやすい場所としては、河口や潮流口がある。こうした場所であっても変化は一様ではない。例えばサンドウェーブのように浅所が時間とともに移動してい

くなどして周期的に変化していく領域がある一方で、変化が小さく安定した領域もある。沿岸域ではこうした海底地形の変化を面的にモニタリングして海図水深の妥当性を適時に評価し、変化に応じて再測量し、海図を改訂していくことが望まれる。

沿岸域や港湾における水路測量ではマルチビーム測深機が広く用いられている。測量船の航行が困難でスワ幅が減少し、作業効率が落ちる極浅海域や多島海においては航空レーザー測深機も利用されている。これらは国際水路測量基準 IHO S-44 (現行は第 5 版; IHO, 2008) が浅海域において要求する 1b 級以上の要件を満たす品質で水

<sup>†</sup> Received September 21, 2018; Accepted November 1, 2018

\* 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

深を計測できる測量技術であり、測量成果は海図水深として採用される。だが、水深が比較的短期間で変化のしやすい沿岸域、とりわけ極浅海域の海底地形の変化を高頻度でモニタリングする手法としては調査期間やコストの面で負担が大きいと考えられる。海図水深として採用できる水路測量スペックの測深技術でなくとも、事前調査的に簡便かつ低コストで水深の変化が面的に把握できる調査手法が望ましい。

こうした用途に適した調査手法として、衛星画像を解析して画像範囲の水深分布を面的に推定できる衛星画像推定水深 (SDB: Satellite Derived Bathymetry) の利用が注目されている。例えば、Freire et al. (2016) によれば、SDB を用いた繰り返し調査により、①海底地形の変化の活発な領域と安定した領域とを峻別し、②報告されている浅所の位置を確認し、③浅所の移動トレンドを推定する等を、再測量の優先度が判断できるといふ。

本稿では、わが国海域における SDB を用いた Chart Adequacy の評価を目指し、実験的に河口域の SDB 解析を実施し、実用化に向けた問題点の抽出を行うものである。

## 2 SDB 解析の概要

### 2.1 解析手法

本研究において、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 Mapper 2.0」を用いて SDB 解析を行った。このソフトウェアは衛星画像のうちの一部の画素に対応する水深値を既知の情報として与える。この水深値を学習水深データという。そして、母集団である画像全体の各画素に対応する水深を回帰分析によって経験的に推定する Lyzenga (1978) の手法を基本に用いている。Lyzenga の回帰方程式は、光が水中において波長帯 (バンド) 毎に異なる減衰率で指数関数的に減衰していくという基本理論に基づくものである。

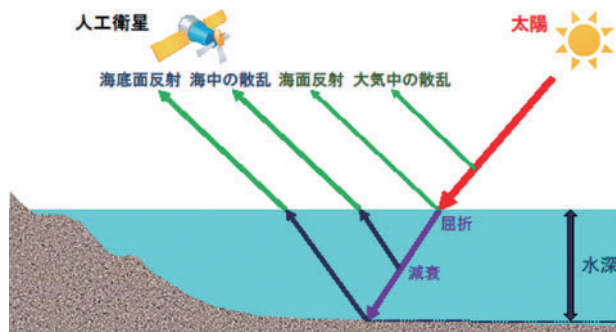


Fig. 1. Propagation path of sun light to satellite (after Matsumoto (2018))

図 1. 太陽光の人工衛星への伝搬経路 (松本 (2018) より)。

衛星の光学センサが観測する光は、水深推定のための情報となる海中の散乱及び海底面反射のほか、海面反射や大気中の散乱などの様々な要因から影響を受けている (Fig. 1)。大気中での光の散乱や吸収などによって生じる影響を除去するため、光が海水中でほとんど減衰する程度に水深が十分に深く、輝度が低い領域を学習海域周辺で選定し、その輝度の平均値を大気補正值として画像全体から差し引く手法 (暗画素法) をとっている。なお、本ソフトウェアでは、衛星画像ごとに、ある水深より深い部分の推定を行っていない。その水深とは、同じ学習水深の複数のセルに対し、推定された水深の残差平均の絶対値が、全推定値の残差の標準偏差以上となるような水深である。潮高補正については解析区域の近くにある験潮所のデータを気象庁の HP より取得し使用した。学習水深は最低水面を基準としているが、これに衛星画像の撮影時の潮位を加算して学習に用い、推定された水深からは潮位を差し引いて最低水面基準の水深へと補正している。

また、SDB 解析において近赤外光バンドの衛星画像を用いて、陸地を判定している。これは、水域では近赤外光がほとんど反射せず、陸上からの反射強度と異なることを利用し陸上判定を行っている。

### 2.2 使用衛星画像について

本研究において、アメリカ地質調査所 (USGS:

The United States Geological Survey) の HP 上に無償で公開されている Landsat-8 OLI/TIRS C1 Level-1 を用いて解析を行った。Landsat-8 は USGS 及びアメリカ航空宇宙局 (National Aeronautics and Space Administration) により、2013 年 2 月 11 日に打ち上げられた。Landsat-8 は可視光から赤外線 (約 400–2300 nm) までの 9 バンドの波長帯を観測するセンサー (OLI: Operational Land Imager) 及び地表からの赤外線を観測する 2 バンドのセンサー (TIRS: Thermal Infrared Sensor) を搭載している。解析に使用するマルチバンド衛星画像の解像度は 30 m となっている。

### 2.3 解析領域について

SDB による Chart Adequacy の評価のモデルケースを選定するために、次に述べる要件を考慮した。

- ・高密度での測深を行っており、SDB による解析結果と測深データの比較が可能であること。
- ・比較的測深を行うことが容易であり、本稿での報告後も、時間変化を追うことが容易であること。
- ・港湾の近くにあり、多くの船舶が利用する港湾の近くであるため、Chart Adequacy の評価が重要な海域であること。
- ・河川による土砂の堆積があることにより、海底地形の経年変化が大きいと想定される海域であること。

以上の要件より、揖斐川河口域と鹿児島湾を解析対象とした。

#### 2.3.1 揖斐川河口域

揖斐川河口域の SDB 解析をするにあたり、USGS の HP 上から Landsat-8 画像を 2014 年 11 月から 2017 年 12 月までの 9 枚選び、解析を行った。衛星画像を選定するにあたり、雲がかかっている面積の割合を示す Scene Cloud Cover の値が 30% 未満の衛星画像を抽出し、その中で解析海域に比較的雲のかかっていない画像を選定した。お

およそ相関の良い結果が得られたのは 2014 年 11 月 21 日、2016 年 2 月 28 日及び 2017 年 12 月 15 日に撮影された 3 枚の衛星画像であったため、本稿にて報告する。Fig. 2 (a) が 2014 年 11 月 21 日、Fig. 2 (b) が 2016 年 2 月 28 日、Fig. 2 (c) が 2017 年 12 月 15 日に撮影されたものである。大気補正に使用する暗画素として Fig. 2 の各図の赤い線で囲まれた範囲を指定した。潮高補正については、気象庁が HP で公開している名古屋 (NAGOYA) の潮位表 (気象庁, 2018) を使用した。験潮所は Fig. 2 の緑の点で示された、名古屋港に位置する。学習用水深データとして、揖斐川の河口域の 2004 年から 2006 年における測量成果のうち水深 5 m 未満の水深データを学習用水深データとして用い解析を行った。学習用水深データを Fig. 3 (a) に示す。解析する衛星画像の中では、Fig. 3 (b) の橙丸で囲った範囲に対応する。

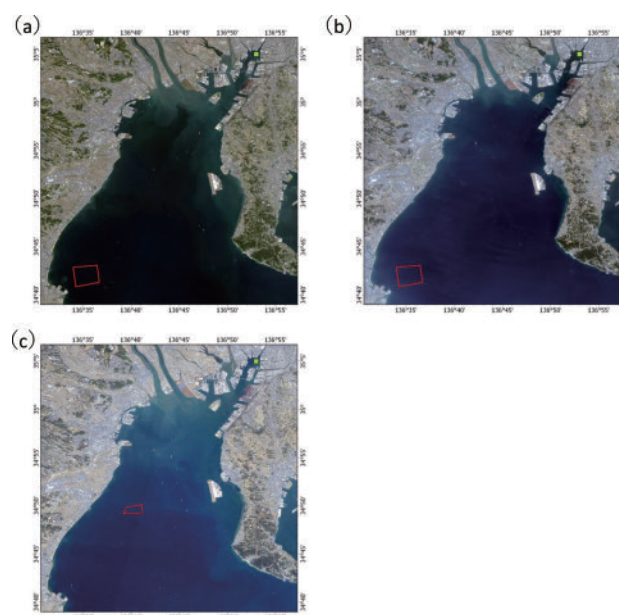


Fig. 2. Satellite images around Ibi River estuary. (a) obtained on 21 November 2014. (b) obtained on 28 February 2016. (c) obtained on 15 December 2017.

図 2. 揖斐川河口域の衛星画像。(a) 2014 年 11 月 21 日撮影。(b) 2016 年 2 月 28 日撮影。(c) 2017 年 12 月 15 日撮影。

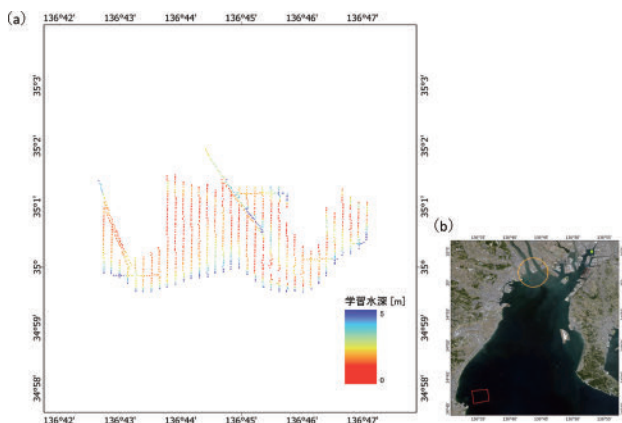


Fig. 3. (a) Training data. (b) Location of the training data (Ibi River estuary).

図3. (a) 学習水深データ. (b) 学習水深データの位置 (揖斐川河口域).

### 2.3.2 鹿児島湾

2018年3月10日に撮影された衛星画像で解析を行った。大気補正に使用する暗画素は Fig. 4 の赤線で囲まれた範囲である。潮高補正については、気象庁がHPで公開している鹿児島 (KAGOSHIMA) の潮位表 (気象庁, 2018) を使用した。験潮所は Fig. 4 の緑点に位置する。

学習用水深データとして、電子海図の水深データを使用した。学習用水深データの分布は Fig. 5

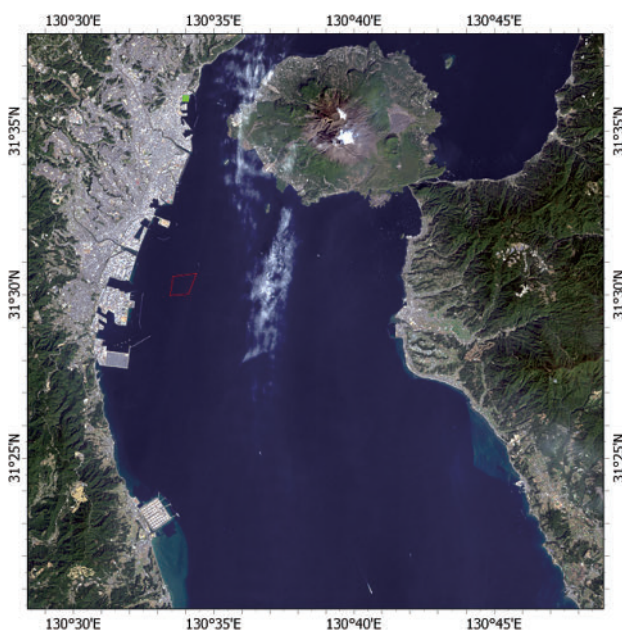


Fig. 4. Satellite images around Kagoshima Bay (satellite image obtained on 21 November 2014)

図4. 鹿児島湾の衛星画像 (2014年11月21日撮影)

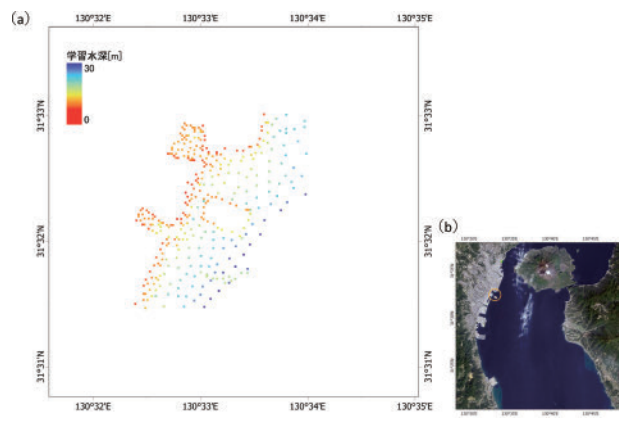


Fig. 5. (a) Training data. (b) Location of the training data.

図5. 学習水深データ. (b) 学習水深データの位置

(a) である。Fig. 5 (b) の橙線により囲まれた鹿児島湾に流れ込む河川の河口域周辺での水深データを使用した。鹿児島湾に流れ込む河川の河口域に広がる浅海には、比較的新しい測量成果がない。しかし、電子海図水深であれば、河口域の水深分布がある程度把握できることから、今回は、電子海図を学習用水深データとして使用した。

## 3 各海域の解析結果

### 3.1 揖斐川河口域について

#### 3.1.1 解析結果

2014年11月21日撮影の衛星画像を用いて、解析を行った結果が Fig. 6 である。潮高補正量は 0.879 m である。Fig. 6 (a) は算出された水深の分布を表す。陸域と判定された区域は灰色でマスクされている。

Fig. 6 (b) は学習用水深データと算出された水深の散布図である。横軸は学習水深データであり、縦軸はSDBにより算出された水深を表す。黒線は学習用の実水深値  $Z$  に対し、 $Z \pm 0.5$  m 区間のSDB算出値の平均値をプロットしたものである。青線は実水深値  $Z$  に対し、 $Z \pm 0.5$  m 区間のSDB算出値の95%信頼区間を表す。

水深 2 m まではおおよそ実水深と相関がみられる。水深 2-5 m については、実水深との相関が失われ、浅く見積もられる結果となった。なお、SDBにおいて伊勢湾を北北東から南南西方

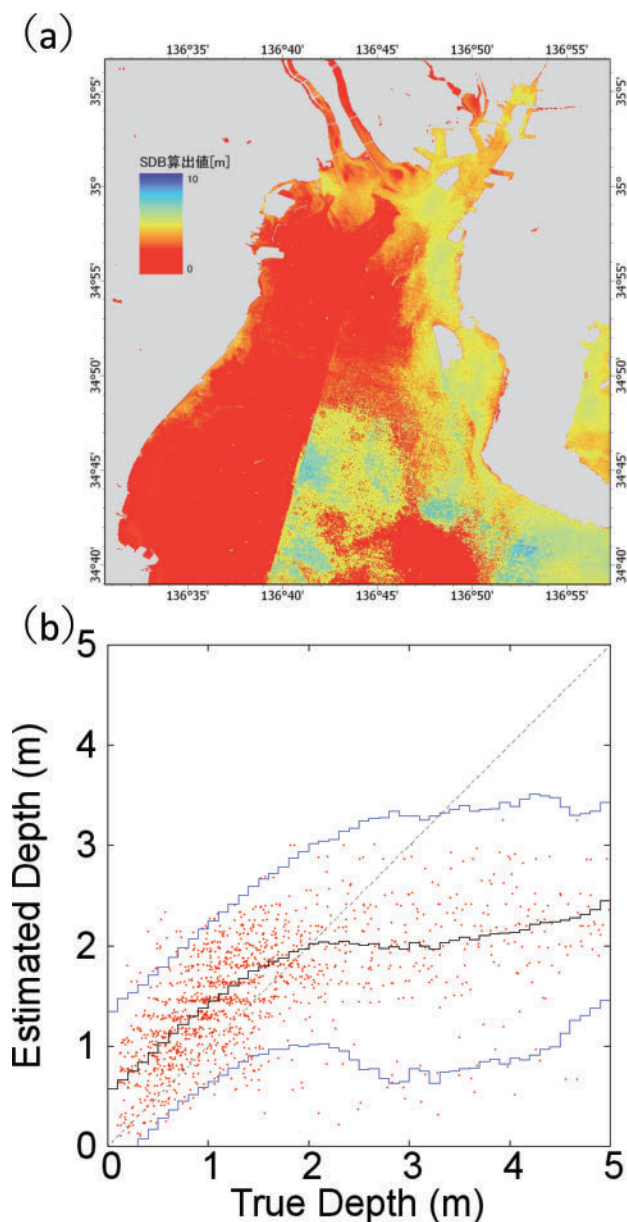


Fig. 6. SDB analysis result (satellite image obtained on 21 November 2014). (a) SDB calculated value. (b) Scatter plot of training data versus SDB depth.

図6. SDB解析結果(2014年11月21日撮影). (a) SDB算出値. (b) 学習水深とSDB算出値の散布図

向に筋のようなものがあるが、これは光学センサの感度むらによりできたものと推測される。

2016年2月28日撮影の衛星画像を用いて解析を行った結果がFig.7である。潮高補正量は1.741mである。Fig.7(a)は算出された水深の分布である。海岸線に沿った範囲のみ算出値が得られている。また、名古屋港は算出値が得られなかつ

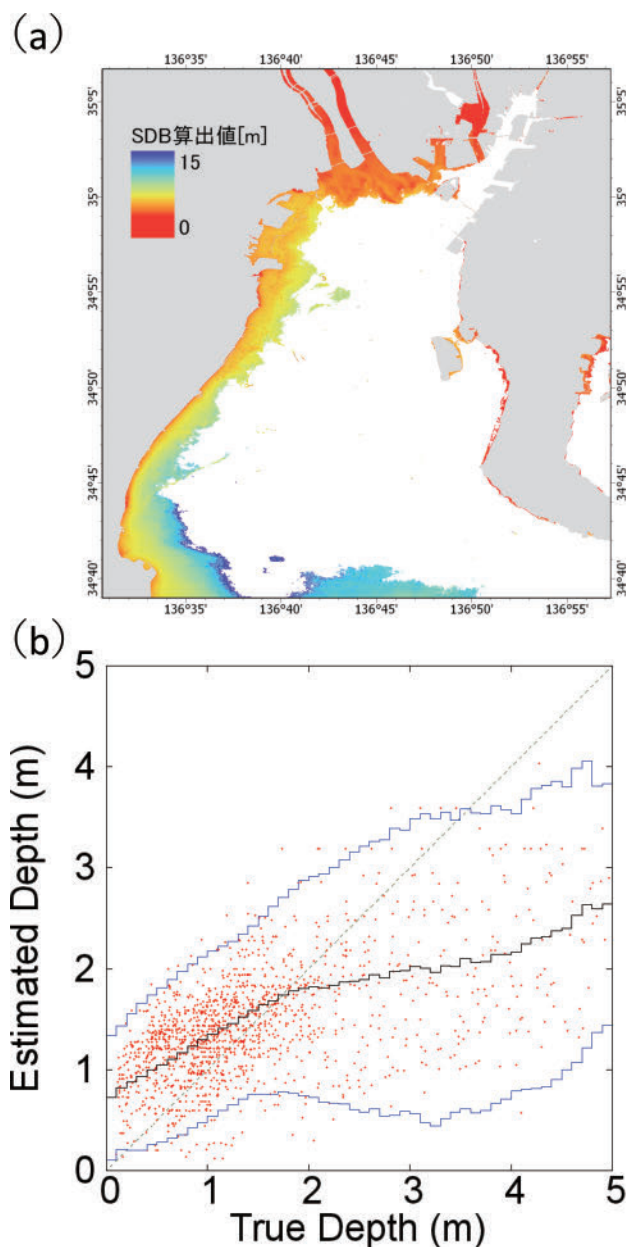


Fig. 7. SDB analysis result (satellite image obtained on 28 February 2016). (a) SDB. (b) Scatter plot of training data versus SDB depth.

図7. SDB解析結果(2016年2月28日撮影). (a) SDB算出値. (b) 学習水深とSDB算出値の散布図

た。Fig.7(a)について、2014年11月21日撮影の結果Fig.6(a)と比較すると、西側の三重県沿岸部において、水深が深くなる結果となった。

学習水深とSDB算出値の散布図はFig.7(b)である。Fig.6(b)と同様に、水深2mまではおおそSDB算出値と学習水深の相関が良いこ

とが分かった。

2017年12月15日撮影の衛星画像を用いて、解析を行った結果が Fig. 8 である。潮高補正量は 0.963 m である。Fig. 8 (a) は算出された水深の分布である。学習水深と SDB 算出値の散布図は Fig. 8 (b) である。Fig. 6 (b), Fig. 7 (b) と同様に、水深 2 m まではおおよそ SDB 算出値と学習水深の相関が良いことが分かった。

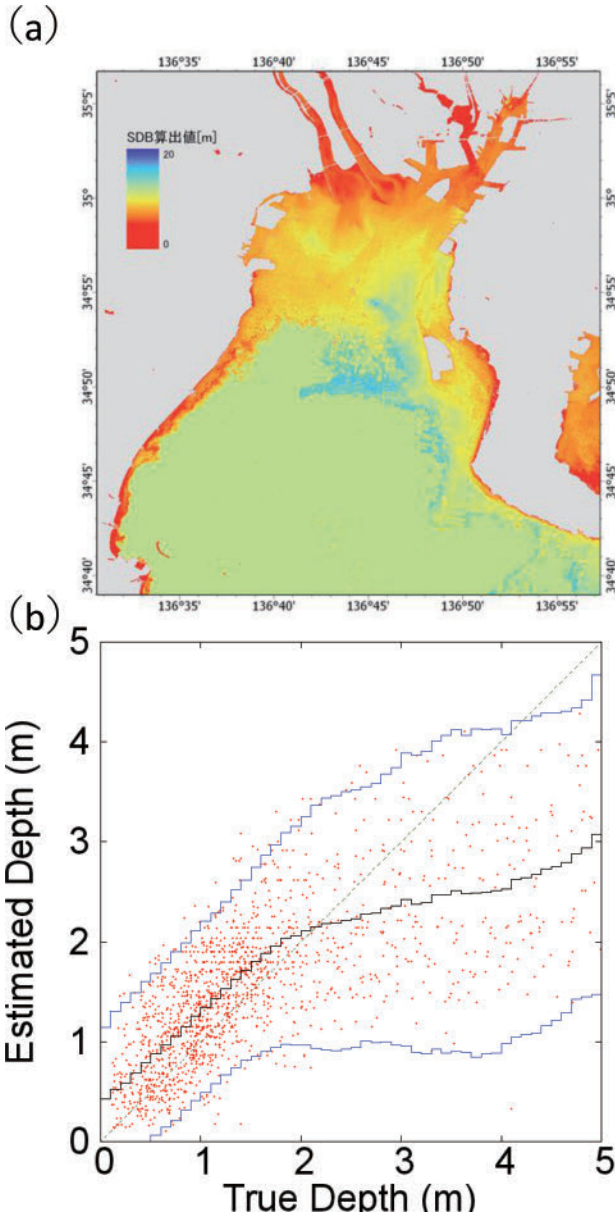


Fig. 8. SDB analysis result (satellite image obtained on 15 December 2017). (a) SDB. (b) Scatter plot of training data versus SDB depth.

図 8. SDB 解析結果 (2017 年 12 月 15 日撮影). (a) SDB 算出値. (b) 学習水深と SDB 算出値の散布図

### 3.1.2 電子海図水深との比較

Fig. 9 (a) は 2014 年 11 月 21 日撮影の衛星画像を用いて解析を行った結果を拡大した図である。Fig. 9 (a) 上にオーバーレイされている数字は現行の電子海図の水深を表す。Fig. 9 (a) と海図水深を比較する。Fig. 9 (a) 中の①, ②の海図水深を比較する。Fig. 9 (a) 中の①, ②の海図水深が周りに比べて浅くなっている区域において

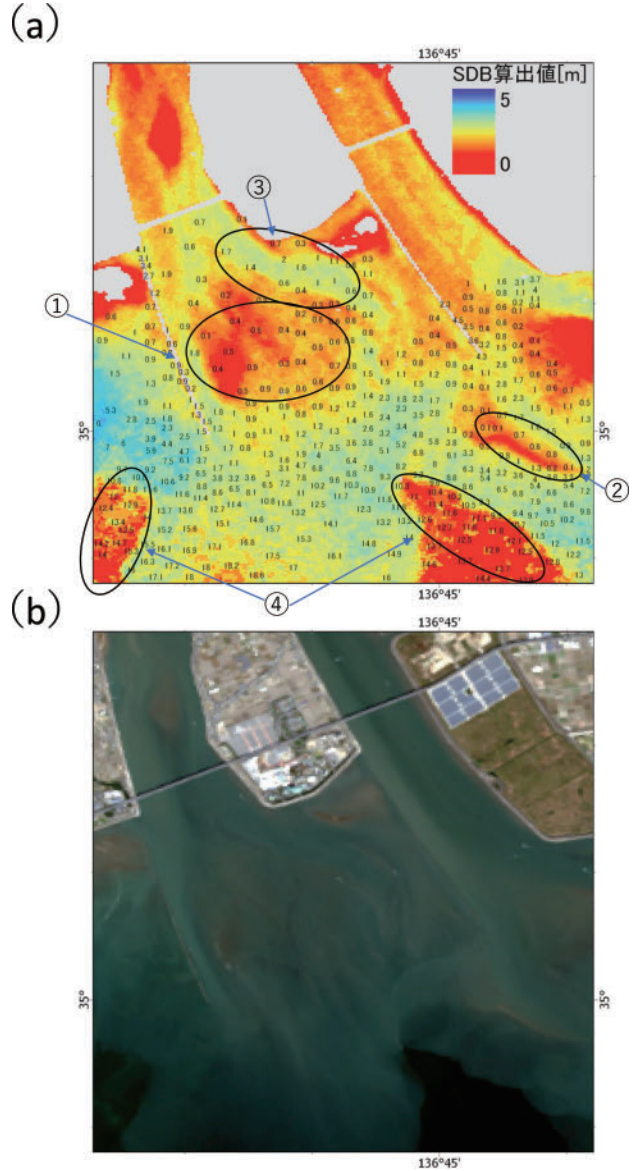


Fig. 9. SDB analysis result and the depth on Electronic Navigational Chart (ENC) around the Ibi River estuary (satellite image obtained on 21 November 2014). (a) SDB and depth of ENC (b) Satellite image.

図 9. 揖斐川河口域拡大図の SDB 解析結果 (2014 年 11 月 21 日撮影) と電子海図水深 (a) SDB 算出値と電子海図水深 (b) 衛星画像

は、SDB 算出値も同様に周囲と比べて浅くなっている。また、③の領域では、海図水深は周囲と比べて深くなっているが、SDB 算出値でもやはり深くなっている。また、水深が0-5 m付近までは、SDB 算出値は海図水深の傾向をおおよそ再現している。しかしながら、海図水深5 m以上の河口域からやや離れた箇所については、浅く

算出されていた。特に Fig. 9 (a) 中の④の領域では、海図水深は10 mを超えているが、SDB 算出値では0 mに近い値となっている。Fig. 9 (a) 中の④の領域を衛星画像 Fig. 9 (b) と比較すると、水の色が大きく暗く変化していることがわかる。このことから、SDBにおいて、海域の水質、底質等の状態が算出値に大きく影響することがわ

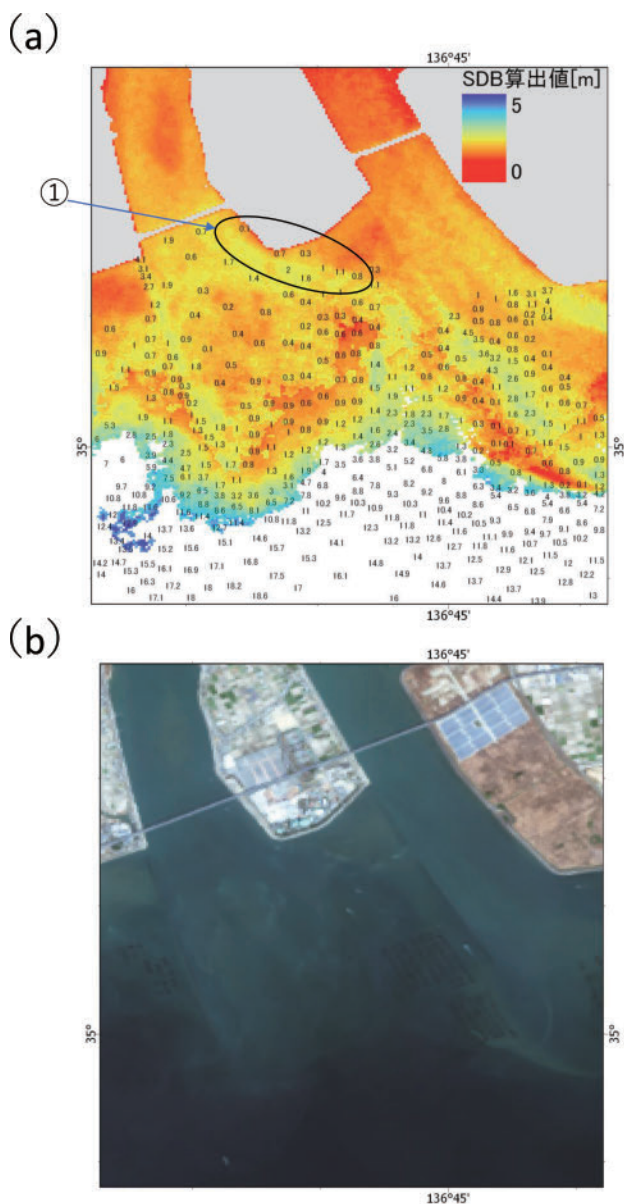


Fig. 10. SDB analysis result and the depth on ENC around the Ibi River estuary (satellite image obtained on 28 February 2016). (a) SDB and depth of ENC (b) Satellite image.

図 10. 揖斐川河口域拡大図の SDB 解析結果 (2016 年 2 月 28 日撮影) と電子海図水深 (a) SDB 算出値 (b) 衛星画像

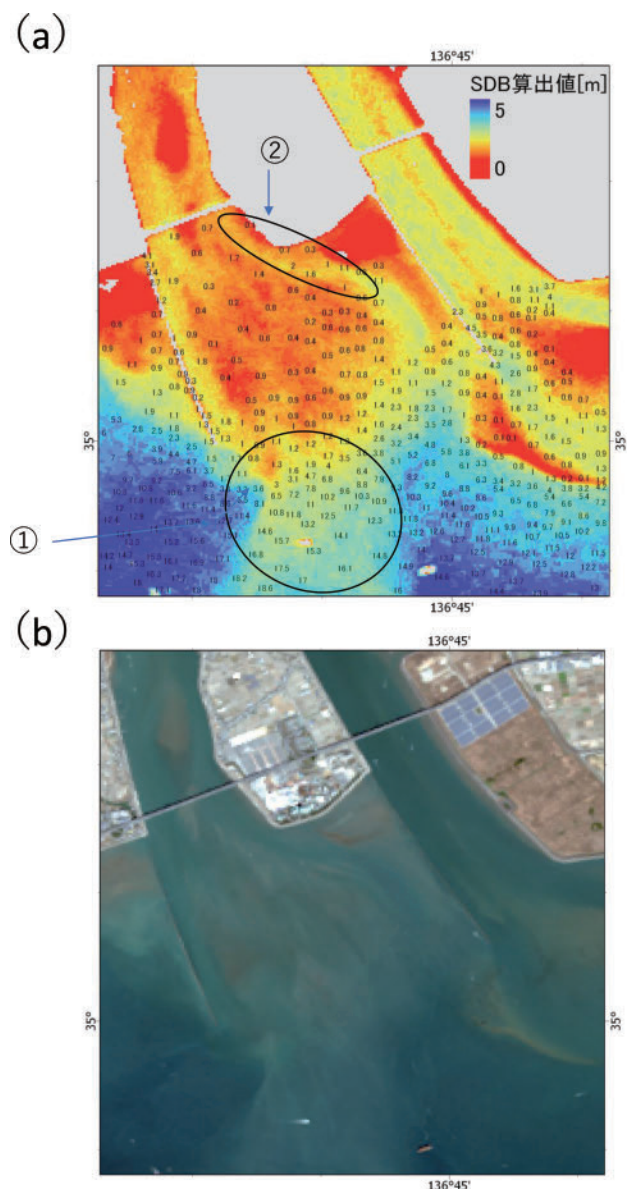


Fig. 11. SDB analysis result and the depth on ENC around Ibi River estuary (satellite image obtained on 15 December 2017). (a) SDB and depth of ENC (b) Satellite image.

図 11. 揖斐川河口域拡大図の SDB 解析結果 (2017 年 12 月 15 日撮影) と電子海図水深 (a) SDB 算出値 (b) 衛星画像

かる。

Fig. 10 (a) は 2016 年 2 月 28 日撮影の衛星画像の解析を行った SDB 算出値のうち揖斐川河口域を拡大した図である。Fig. 10 (a) は Fig. 9 (a) と同様に 0–5 m 付近まではおおよそ海図水深の傾向を再現している。また、河口域からやや離れた水深 10 m 以上の区域は、SDB による算出が行われなかった。衛星画像 Fig. 10 (b) と比較すると SDB 算出が行われた区域と行われなかった区域の境目で水の色が大きく変化していることがわかる。

Fig. 11 (a) は 2017 年 12 月 15 日撮影の衛星画像の SDB 算出値の分布を示している。Fig. 11 (a) の①の領域は海図水深に比べて浅く算出されている。

### 3.1.3 SDB 算出値同士の比較

SDB 算出値による河口域の水深の分布の経年変化を追うために、SDB 算出値同士の比較を行った。ここで、Fig. 9 (a) の①–③で示した、周囲より浅いまたは深い海域について、Fig. 9 (a)、Fig. 10 (a) 及び Fig. 11 (a) の水深分布を比べる。Fig. 10 (a) では、水深の水平勾配が、Fig. 9 (a) と Fig. 11 (a) に比べて小さくなっている。これは、衛星画像の撮影時の潮位の影響であると考えられる。Fig. 9 (a) と Fig. 11 (a) の潮高補正量がそれぞれ 0.879 m、0.963 m であるのに対して、Fig. 10 (a) は 1.741 m である。衛星画像の撮影時の潮位が高いと、より長く水中を光が伝搬し、より減衰するため、深い部分の水深が算出されない。そのため今回の Fig. 10 (a) は水深の水平勾配が小さくなっていると考えられる。そのため、今回は潮位が同程度である Fig. 9 (a) と Fig. 11 (a) の水深分布の変化を評価する。

解析された水深変化量が有意であるか定量的に評価するため、揖斐川河口の土砂の流入が多いと考えられる区域を対象に、衛星画像を比較した。Fig. 12 (a) は 2014 年 11 月 21 日撮影の衛星画像、Fig. 12 (b) は 2017 年 12 月 15 日撮影の衛星画像である。衛星画像同士の水深推定値のバイアスを

評価するため、上記画像の範囲のうち、河川との相対的な位置関係や水深分布から総合的に判断して、赤色の実線で囲まれた範囲を、水深がほとんど変化しない範囲と仮定した。Fig. 13 は 2017 年 12 月 15 日撮影の衛星画像の SDB 算出値から

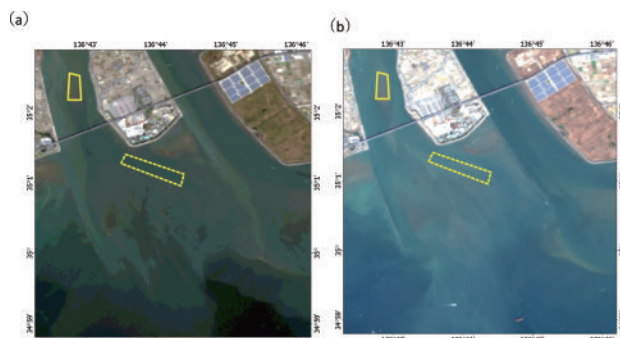


Fig. 12. (a) Satellite image obtained on 21 November 2014. (b) Satellite image obtained on 15 December 2017. (Solid line: the area where the SDB estimated value was assumed unchanged, broken line: analysis area.)

図 12. (a) 2014 年 11 月 21 日撮影衛星画像。(b) 2017 年 12 月 15 日撮影衛星画像。(実線：SDB 算出値が変化しないと仮定した範囲、破線：解析範囲)

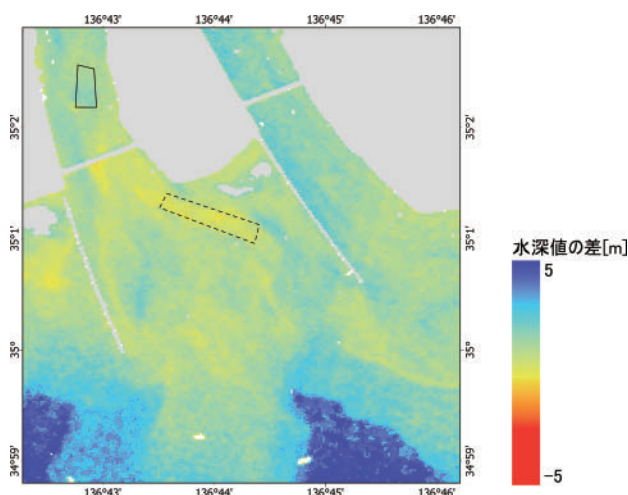


Fig. 13. SDB difference between satellite images taken on 15 December 2017 and 21 November 2014. (Solid line: the area where the SDB estimated value was assumed unchanged, broken line: analysis area)

図 13. 2017 年 12 月 15 日撮影衛星画像と 2014 年 11 月 21 日撮影衛星画像の SDB の差。(実線：SDB 算出値が変化しないと仮定した範囲、破線：解析範囲)



2014年11月21日撮影の衛星画像のSDB算出値を引いたものである。黒色の実線によって囲まれた範囲は、水深がほとんど変化しないと仮定した範囲である。この範囲での水深の差の中央値は0.33 mである。この0.33 mを、画像ごとの水深算出値のバイアスとする。Fig. 13の黒色の破線部分 (Fig. 12 (a) (b)の黄破線部分) では、水深の差の中央値は-1.21 mであった。ここで、マイナスの値は、時間とともに水深が浅くなっていることを示す。この値は、衛星画像ごとの算出値のバイアスより大きい。また、2014年11月21日、2017年12月15日撮影の衛星画像によるFig. 13の範囲の水深推定値の二乗平均平方根誤差 (RMSE) は、それぞれ0.88 m、0.78 mとなっている。これらの値と比べても、Fig. 13の黒色の破線部分の水深の差の中央値-1.21 mは大きい。従って、衛星画像同士の比較により水深の時間変化を捉えた可能性がある。

### 3.2 鹿児島湾について

#### 3.2.1 解析結果

解析を行った結果がFig. 14である。衛星画像の撮影時の潮位1.744 mにより潮高補正を行った。以下、10 mより大きいSDB算出値も得られたが、水深の分布がほぼ同じ値であった。これは衛星画像で薄雲がかかっている箇所であり有意な算出値でなかったと考えられるため、10 m以下の水深のみを表示する。Fig. 14 (a) は算出された水深の分布を表す。沿岸部については水深を推定することができた。なお、Fig. 4の衛星画像に見られる桜島南方の雲のかかった領域が陸地判定されている。

Fig. 14 (b) は学習水深と算出された水深の散布図である。水深10 mまではおおそ良い相関が得られた。

#### 3.2.2 電子海図水深との比較

電子海図水深とSDB算出値との比較を鹿児島湾西部沿岸でFig. 15の①-③の区域で行った。鹿児島湾において、元々はFig. 15の①の河口付

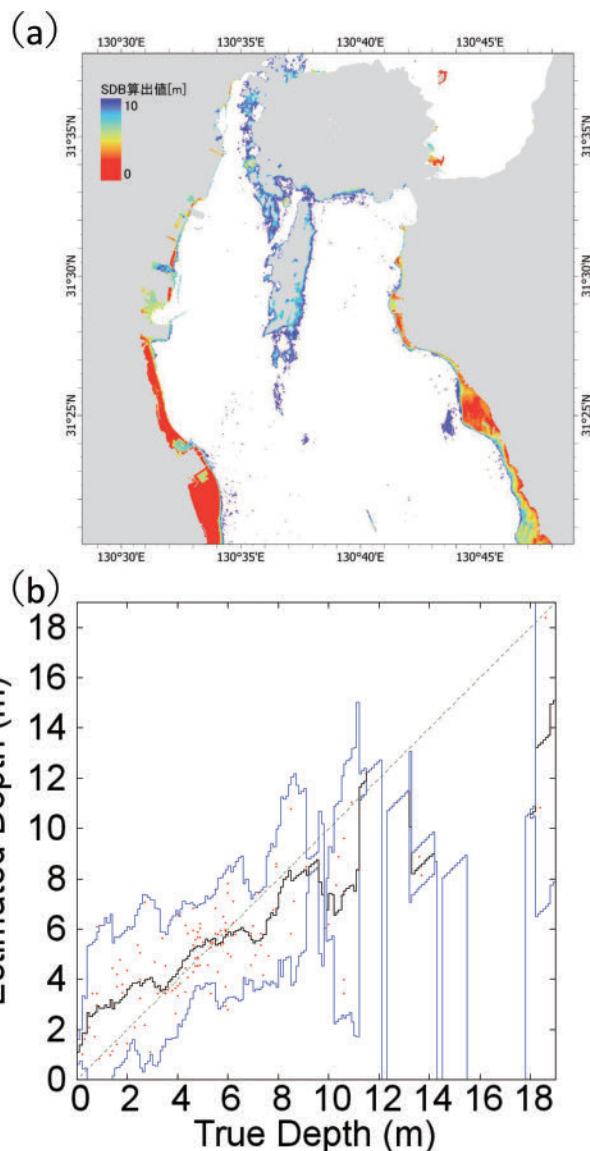


Fig. 14. SDB analysis result. (a) SDB (less than 10 m only). (b) Scatter plot of training data versus SDB depth.

図 14. SDB 解析結果. (a) SDB 算出値 (10 m 以下のみ). (b) 学習水深と SDB 算出値の散布図

近についてのみ電子海図水深との比較を行う予定であった。しかし、鹿児島港内のFig. 15の②、③についても、透明度が良くSDB算出で良い解析結果を得られたため、①と合わせて電子海図との比較を行った。

Fig. 16はFig. 15中の①を拡大したものである。①-1、①-2のように、海図水深の傾向をよく再現していたが、陸地と判定された箇所との境目では、深く算出されている水域があった。

Fig. 17はFig. 15中の②を拡大したものである。

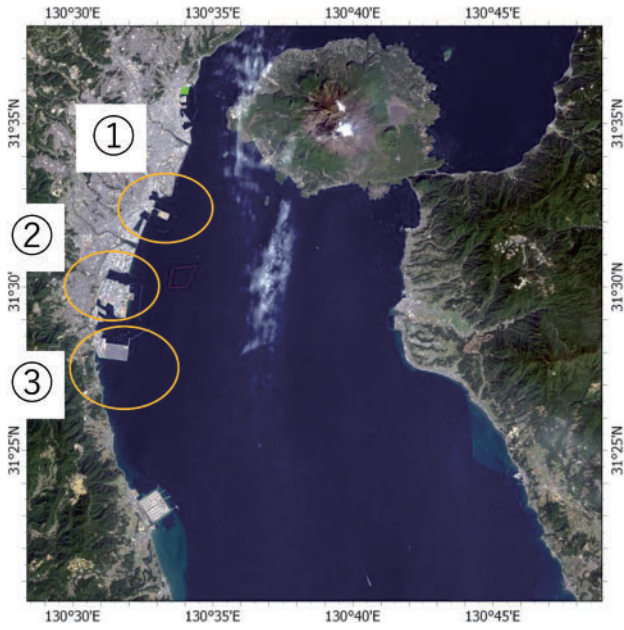


Fig. 15. Areas ①-③.

図 15. 区域①-③

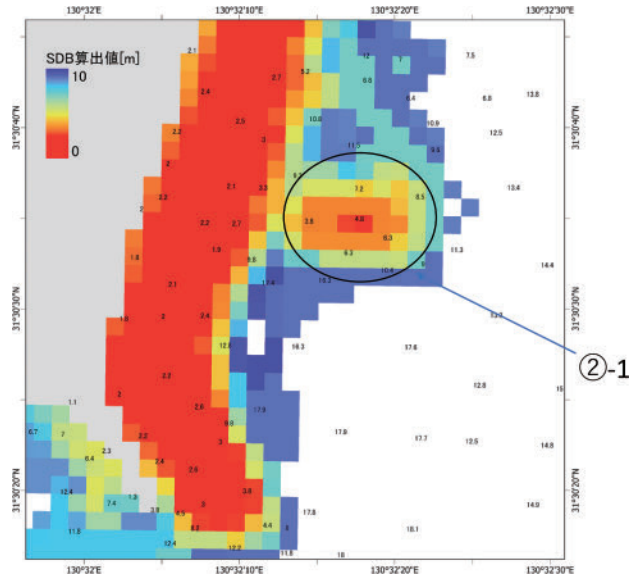


Fig. 17. SDB estimated value (area ②).

図 17. SDB 算出値 (区域②)

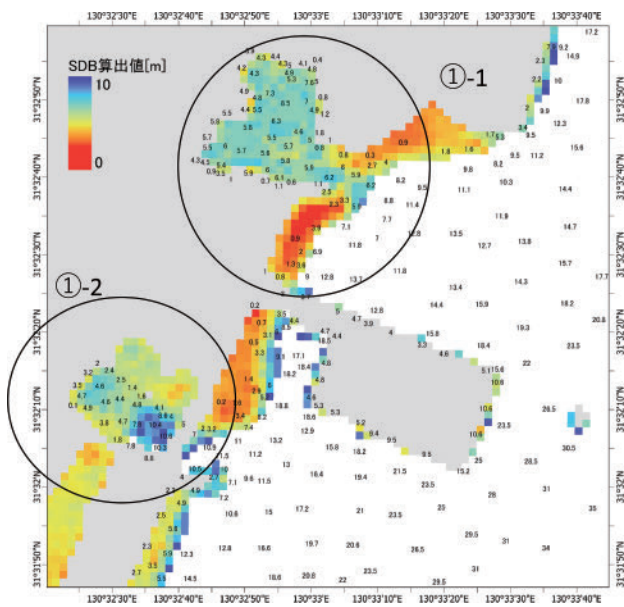


Fig. 16. SDB estimated value (area ①).

図 16. SDB 算出値 (区域①)

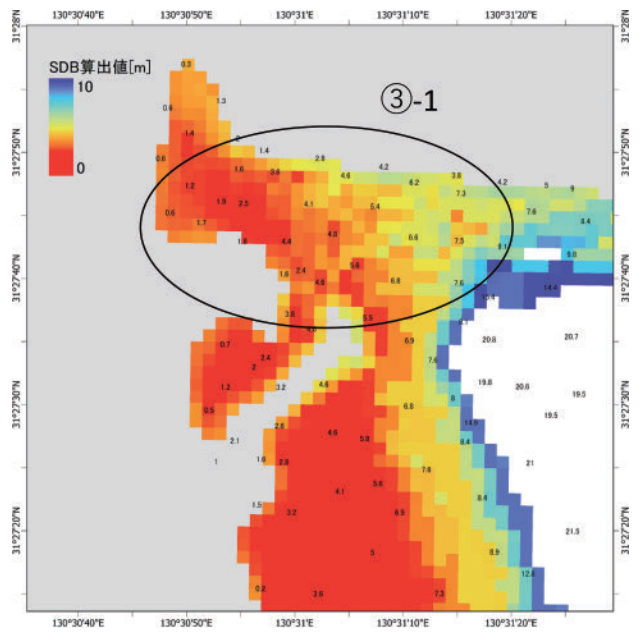


Fig. 18. SDB estimated value (area ③).

図 18. SDB 算出値 (区域③)

この区域は、学習用水深データを与えた Fig. 15 中の①から、約 4 km 南に位置している。②-1 のように、海図水深と同様に周辺と比較して浅くなっている傾向が SDB 算出値からも確認することができた。

Fig. 18 は Fig. 13 中の③を拡大したものである。この区域は、学習用水深データを与えた Fig. 15 中の①から、約 9 km 南に位置している。学習水

深データを与えた場所から、ある程度離れた③-1 の区域でも SDB 算出値は、海図水深の傾向をよく表していた。

#### 4 考察とまとめ

本研究では、Landsat-8 の衛星画像を用いて、揖斐川河口域及び鹿児島湾の 2 海域について、SDB による解析を行った。

揖斐川河口域においては、河口域の海底地形の経年変化を追うことを目標に、水深5 m未満の水深データを学習データとして用い、解析を行った。その結果、水深2 mまではおおよそSDB算出水深と学習水深の相関が良いことが分かった。また、SDB算出値は5 m付近までは、電子海図水深の傾向をおおよそ示していた。この様に、揖斐川河口域において、河川から土砂等の流入から透明度が低いことが予想されていた。そのため、SDBによる算出到達可能な水深が低かったが、測量船の航行が困難な極浅海の水深もSDBは算出が可能である。よって、SDB解析は河口域のChart Adequacyの評価に非常に有効であると考えられる。

また、今回、揖斐川河口域の経年変化を追うにあたり、USGSのHP上からLandsat-8画像を2014年11月から2017年12月までの9枚選び、解析を行った。衛星画像を選定するにあたり、雲がかかっている面積を示すScene Cloud Coverが30%未満で抽出し、その中で解析海域に比較的雲のかかっていない衛星画像を選定した。おおよそ相関の良い結果が得られたのは、上記で結果を示した3枚のみであった。Landsat-8の回帰間隔は16日であり、河口域の海底地形の経年変化を追うのに十分な高頻度でSDB解析が行えることを期待したが、実際には対象の海域に雲がかかった画像や、あたかも雲がないように見えるが、薄雲などによって正常な解析結果が得られないケースが多数あった。相関の悪いSDB解析結果は、学習水深と算出された水深の散布図を確認すると、算出された水深が学習水深によらずほぼ一定の値となっていた。このようなことから、解析結果が正常でないことが判断できる。このようにSDB解析のための条件の良い画像を入手することは意外に困難であり、商用の画像を入手することも考えに入れる必要がある。商用の画像においても、雲量によるフィルターを行うことができる。

2014年11月と2017年12月撮影の衛星画像のSDB算出値同士の水深の差をとり、水深がほと

んど変化しない範囲を仮定し、経年変化を追った。その結果、揖斐川河口域において、変化を捉えた可能性がある範囲を見つけることができた。本報報告後も最新の衛星画像から、水深がほとんど変化しないと仮定した範囲が最新の衛星画像の解析結果においても変化しないのか、今回見られた海底が浅くなっている箇所が今後も土砂の堆積により浅くなる傾向にあるのか等の解析を継続的に行いたい。ただし、潮位はSDB算出値の上限を制限するため、以上の手法では同程度の潮位の衛星画像を入手することが望ましい。

鹿児島湾においては、電子海図の水深データを学習水深として使用しSDB算出を行った。その結果、10 mより浅い海域ではおおよそ正しい結果が得られた。学習水深データには新しい測量成果ではなく、海図水深を使用しているが、海底地形の傾向を把握するという目的は概ね達成できている。また、学習水深データからある程度離れた箇所についても、SDB解析が比較的良い結果を算出した。これは衛星画像を見ると、良い結果が算出された箇所は海の色が周囲と異なっており、透明度が高かったためであると考えられる。透明度の良い海域においては、SDB解析は鹿児島湾のようにある程度離れた箇所でも有効であるため、そのような海域において水深が変わりにくい場所の測量成果や海図水深を学習データとし、SDBによる経年変化を追うことにより、浅所の移動等の水深の変化を捉えられることが期待される。

## 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。第四管区海上保安本部海洋情報部の皆様には、本稿を作成するにあたりご協力いただきました。査読者からのご指摘により本報は改善されました。記して感謝いたします。

## 文 献

結果を算出できた。

- Fraire, R., S. Pe'eri, L. Alexander, Y. Rzhhanov, C. Parrish, and T. Lippmann (2016) Use of satellite imagery for monitoring the mouths of dynamic rivers, paper presented at Canadian Hydrographic Conference, Halifax, Canada, 16-19 May 2016.
- IHO (2008) IHO Standards for Hydrographic Surveys 5<sup>th</sup> edition, Special Publication No44, pp.28, International Hydrographic Bureau, Monaco, February 2008.
- (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 4 September 2018.
- 気象庁, 潮位表, <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index>, Accessed 4 September 2018.
- Lyzenga, D. R. (1978) Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, *Appl. Optics*, 17, 379.
- 松本良浩 (2018) 学習データが無い海域における衛星画像推定水深 (SDB) の精度評価—離れた海域の学習データを用いた推定は有効か?—, 海洋情報部研究報告, 56, 24-45.

## 要 旨

Chart Adequacy の評価に向けて, 揖斐川河口域及び鹿児島湾において Landsat-8 の衛星画像を用いた SDB 解析を行った。揖斐川河口域では, 水深 5 m までの学習用水深データを用いて, 解析を行い, 2 m 程度まで比較的良い結果を得られた。測量船の航行が困難な極浅海で水深を算出できる SDB は Chart Adequacy の評価へ有意義である。鹿児島湾については, 電子海図の水深を学習用水深データとして SDB 解析を行った。その結果, 学習用水深データに電子海図水深を使用した場合においても, 海底の傾向を把握することができ, 学習箇所からある程度離れた場所でも良い