

衛星画像を用いた砂浜域の水深推定に関する一考察

豊橋技術科学大学大学院 正会員 岡辺拓巳
 豊橋技術科学大学 岡田 悠
 豊橋技術科学大学 学生会員 〇皿上貴浩
 豊橋技術科学大学大学院 正会員 加藤 茂

1. はじめに

防災や環境保全に不可欠な浅海域地形情報を広域に得るためには、衛星リモートセンシングが有効な手段である。本研究では、研究事例の少ない砂浜域での satellite-derived bathymetry (SDB) 手法による水深マッピングを試みるとともに、水深推定の誤差や応用に際しての課題について考察する。

2. 対象地域と推定手法の概要

(1) 対象海域

静岡県遠州灘の浜名港海岸から浅羽海岸までの約 30 km の沿岸を対象とした。誤差評価および水深推定のための係数算出をする領域を、天竜川の東西に設けることで、精度評価の客観性を確保した。

(2) 水深推定手法

多くの研究で用いられている Lyzeng (1978) モデル (L-1978 とする) は、測量データ (学習用水深) の放射輝度を経験的に結びつけるものである。放射輝度は、大気補正、サングリント補正によって大気散乱や太陽光反射の影響を除き、道路などの構造物を用いて幾何補正し、水中散乱・海底反射成分の空間分布を得る。この分布と測量結果よりパラメータを求めることで、水深推定を行う。

$$Z = a + \sum_{i=1}^N b_i \ln L'_i \quad (1)$$

ここで、 Z は水深、 L'_i は i バンドの補正後放射輝度、 a および b_i は回帰係数である。係数は回帰分析より求め、式(1)を用いて海域の水深を推定する。

Lyzeng (1978) モデルと比較するため、次に示す Lyzenga et al. (2006) による推定手法 (L-2006 とする) も適用した。これは、大気・サングリント補正をしない衛星画像の可視バンドと近赤外バンドを用いて、対数補正分光放射輝度の変数 X を式(2)より求め (神野ら, 2011)、測量した水深を用いて式(3)より係数 c の値を決定し、水深推定をするものである。

$$X \equiv \ln[L_i - \alpha_0 - \alpha_1 L_{NIR}] \quad (2)$$

$$Z = \beta X \quad (3)$$

ここに L_i は補正されていない可視バンドの放射輝度、 L_{NIR} は近赤外バンドの放射輝度、 α_0 および α_1 は可視および近赤外バンドの放射輝度の回帰分析より求める係数、 β は測量水深との回帰分析から求める係数である。また、 $X = (0, X_1 \cdots X_N)$ である。

(3) 衛星データと学習用水深

衛星データは Landsat-8 画像 (2016 年 1 月 4 日撮影) を用いた。L-1978 モデル (式(1)) に対しては、Band 2, 3, 4 を、L-2006 モデル (式(2)) には Band 2, 3, 4, 5 を用いた。水平解像度は 30 m であるが、測量地形の分解能に合わせ、10 m 格子となるよう内挿して用いた。

対象領域の測量水深は、漁船ビッグデータを分析して生成した。2015 年 12 月 24 日から翌年 2 月 1 日までの間に対象海域を航行した漁船の位置・水深情報から海底地形を 10 m 格子で算出したものを学習用水深として用いた。

3. 水深推定の結果と考察

図 1 に L-2006 モデルによって推定した天竜川東側の水深分布図を示す。卓越する沿岸漂砂は図中の右 (東) 向きであり、漁港の影響により堆積した土砂が、その西側に浅い水深を形成していることがわかる。岸沖の水深変化も理に適っており、大まかな海底地形を再現できていると考えられる。しかし、沖合まで浅く推定される領域 (図中矢印) がある。こ

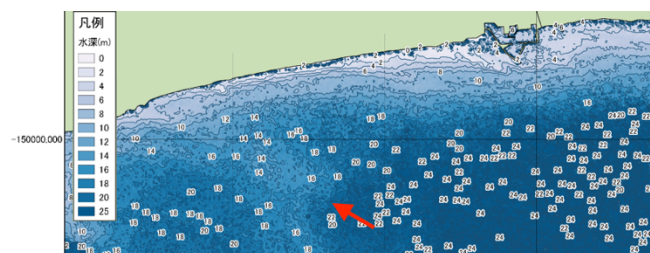


図 1 推定した水深の空間分布 (L-2006 モデル, 沿岸方向は約 12 km)

れは、砕波による浮遊土砂が広がっている影響と考えられ、砂浜海岸での適用の大きな課題といえる。

図2は岸沖断面における水深推定結果 (L-1978・L-2006 モデル) と静岡県による断面測量成果 (2016年2月) を比較したものである。衛星画像の陸に近い領域では、砕波や砂浜の影響によって放射輝度が極端に大きく、推定に向かないため水深推定の対象から省いている。これより水深15 m付近までは地形の勾配を再現できている。それ以深では大きく過小評価する結果となった。また、2つの手法による推定結果には、大きな差はみられなかった。

図3は図1と同じ領域における測量水深とL-1978モデルで推定した同位置での水深の関係を示したものである。図中の実線は両者が同値であることを示す。これより、水深15 m程度までは両者の関係はお

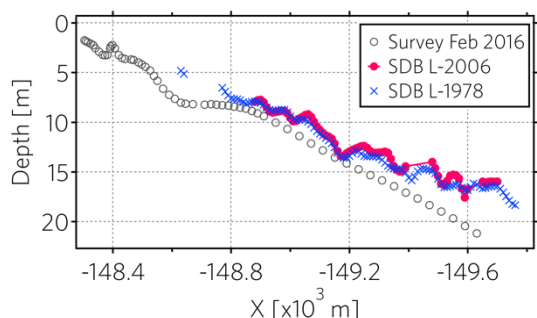


図2 岸沖断面における水深推定結果と公共測量成果の比較

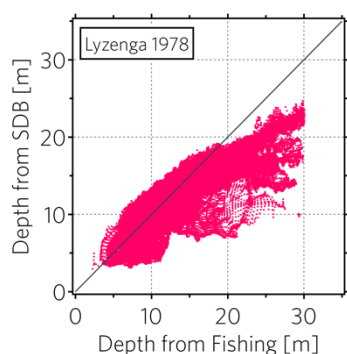


図3 測量水深と推定水深 (L-1978 モデル) の関係

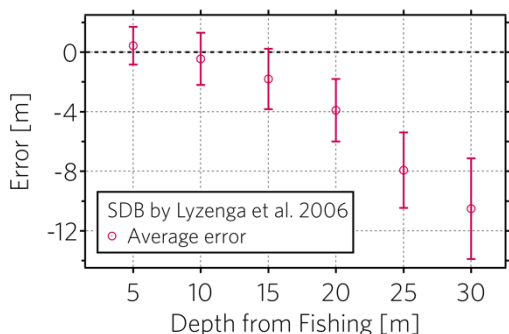


図4 測量水深と誤差の関係 (L-2006 モデル)

およそ 1:1 であり、それ以深では水深増加に従って過小に推定される傾向がわかる。また、推定結果のばらつきは大きく、数 m に及ぶ地点も多く見られる。

図3はSDBの推定値から測量水深を差し引いて求めた推定誤差から、5 m 毎に平均値および標準偏差を算出して測量水深との関係を示したものである。これより、誤差の要因は水深の増大に伴って大きくなるオフセットおよびばらつきであることがわかる。オフセット量は、推定手法における水深と放射輝度の関係を修正することで抑制できるものと考えられる。また、あまり大きな水深では放射輝度が小さくなり、正しく推定できないことが指摘されていることから、水深方向の適用範囲を設定する必要がある。ばらつきについては、推定の基となる放射輝度そのものの分散が大きく、そのまま推定精度を落としている。サングリント補正によって波の影響は考慮されているものの、空間的なばらつきを抑える方法を検討する必要がある。例えば、鈴木ら (2002) では60 m 程度以内で生じている空間的な短周期変動を除去することで、推定精度を向上させている。このようなローパスフィルターは、本研究で用いたSDB手法の改善に有用であると考えられる。

4. おわりに

Landsat-8 画像を用いたSDB手法により、砂浜海岸である遠州灘沿岸の海底地形を推定した。2つの手法ともに広域な浅海域のおおよその形状を推定できるものの、平均絶対誤差は約1.5 m程度であった。標準誤差も既往研究と同程度であった。誤差要因は、水深に伴うオフセットと放射輝度のばらつきであり、これを抑制できれば推定精度の向上が図れる。

参考文献

- 神野有生ら (2011): 可視・近赤外画像による水深予測式の画像間互換性に関する検証, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 67, No. 4, pp. I_1153-I_1158.
- 鈴木健太郎ら (2002): 衛星リモートセンシングによる砂浜海岸の高精度水深推定とその適用性に関する研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1521-1525.
- Lyzenga, D.R. (1978): Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, Applied Optics, Vol. 17, pp. 379-383.
- Lyzenga, D.R., N.P. Malinas and F.J. Tanis (2006): Multispectral bathymetry using a simple physically based algorithm, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 44, pp. 2251-2259.