

## ② 衛星画像を用いた浅海域の海底地形推定技術 (SDB) ～機械学習と多数の衛星画像を活用した技術の高度化～

佐川 龍之

公立鳥取環境大学 人間形成教育センター

浅海域の海底地形は航海の上では座礁の危険を回避するために重要であり、海流や生物の生息場にも影響が大きいことから沿岸域の解析のための学術的な基礎データとしても不可欠である。

既存の測深方法には主に音響測深と航空レーザー測深がある。音響測深では船による調査を行うが、非常に浅い海域においては効率が悪く、座礁の危険性もあることからそもそも計測が困難である。航空レーザー測深では、浅海域を計測できるが、航空機が飛行できる海域である必要がある。この他、各調査に必要なコストが大きいこともあり、浅海域においてはこれまで必ずしも十分なデータが収集されていない。

これら既存の測深方法とは異なる方法として、衛星画像を解析して得られる水深情報であるSDB (Satellite Derived Bathymetry) がある。衛星画像から水深を推定する方法は、光が水中で指数関数的に減衰する原理に基づき、衛星で観測される放射輝度が水深により異なることを利用している。SDBは、航空レーザーと同じく浅海域の水深情報の取得に適している上に、衛星画像は世界中のほとんどの海域を観測でき、迅速に結果を得ることが期待できる。

SDBの海図への活用については、主に各国の水路機関や国際水路機関 (IHO: International Hydrographic Organization) により検討されてきた。フランス海軍水路部 (SHOM: Service Hydrographique et Océanographique de la Marine) は、1990年代から海外領土の島しょ部の海図作成にSDBの活用をしてきており、100図以上の海図にSDBを参考情報として段彩表示している。英国水路部 (UKHO: United Kingdom Hydrographic Office) は、2015年にSDBの成果を採用した海図をはじめて刊行した。海図ではSDBを使用した区域を記載した上で、SDBの水深値を他の水深と同じ書式で表記している。米国は、2015年12月にSDBの利用を盛り込んだ「US Nautical Manual」の改訂を実施した。SDBの水深値は予備調査という位置づけで、等深線の生成のみに用いるという方針である。日本においては、2014年度から2016年度に、海上保安庁海洋情報部、(一財)日本水路協会および(一財)リモートセンシング技術センターが共同研究としてSDBの研究動向の調査や国内沿岸におけるSDBの精度調査等を実施し、解析ツール「BathymetryMapper 2.0」およびマニュアルも作成している(一財)日本水路協会, 2017)。また、海洋情報部では、SDBのCA(Chart Adequary)の一要素としての使用も検討してきた(小川ら, 2021)。

また、(一財)リモートセンシング技術センターは、環境省の太平洋地域における気候変動影響評価等支援業務(2015年度～2020年度)において、SDBを高潮・高波シミュレーションに必要な沿岸域の地形データとして活用している(福田, 2018)。サンゴ礁や藻場などの浅海域の生態系のマッピング精度の向上におけるSDBの活用も研究が進められており、SDBの利活用が広がりつつある。

SDBのアルゴリズムは1970年頃から様々な研究が行われてきたが、高い空間分解能もつ衛星画像データが利用できるようになったことに伴い、2010年ごろより研究が盛んに行われてきている(Ashphaq, 2021)。SDBのアルゴリズムは、統計的なアプローチと光学的な物理モデルに基づいたアプローチに大別できる。統計的なアプローチで

は、衛星画像とそれに対応する測深データ（学習用水深データ）との比較で衛星画像の輝度値と水深の関係を統計学に基づいてモデル化する。光学的な物理モデルに基づいたアプローチでは、衛星画像の輝度値と水深の関係を光学的なモデルで表す。この光学的なモデルは未知の係数を含むが、学習用水深データと衛星画像の輝度値を比較、解析することで、係数を回帰的に得ることができる。近年は、機械学習を用いた統計的なアプローチによる研究で高精度な解析結果が報告されている。

しかしながら、SDBには依然として大きく二つの課題がある。一つ目は、衛星画像のみから水深を推定する技術についてはほとんど研究されていないことである。従来手法では、衛星画像ごとに対応した学習用水深データを得るための現地調査が必要であり、このことによりSDBに期待される低コストかつ迅速に情報を提供するというメリットが大幅に損なわれてしまう。二つ目は、精度と解析条件の関係の不明瞭さである。SDBは、これまでも特定の海域においては高い精度を示している。しかし、SDBの精度は衛星画像のスペックや海水の透明度などに左右され不安定である。SDBが実用に資するデータとなるためには、精度と解析条件の関係を明確にする必要がある。

本講演では、これら二つの課題を解決するために、機械学習や多数の衛星画像を活用することで衛星画像のみから効率的かつ高精度でSDBを作成する最新の研究（Sagawa et al, 2019）についても紹介する。

#### 参考文献

- （一財）日本水路協会, 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), 2017, <http://fields.canpan.info/report/detail/19931> (2022年12月27日アクセス) .
- 小川遥, 松本良浩, 山野寛之, 海洋情報部におけるリモートセンシングを用いた測深技術への取り組み, 海洋情報部研究報告, 2021, 59, 31-45.
- 福田徹, 島しょ国における気候変動下での高潮・高波ハザードの推定, G空間EXP020 19 日本写真測量学会・日本リモートセンシング学会シンポジウム「気候変動適応と衛星地球観測」 November, 2018, [http://www.jsprs.jp/pdf/GEXP019\\_05fukuda.pdf](http://www.jsprs.jp/pdf/GEXP019_05fukuda.pdf) (2022年12月27日アクセス) .
- Ashphaq, M.; Srivastava, P.K.; Mitra, D. Review of Near-Shore Satellite Derived Bathymetry: Classification and Account of Five Decades of Coastal Bathymetry Research. *Journal of Ocean Engineering and Science* 2021, 6, 340-359, doi:10.1016/j.joes.2021.02.006.
- Sagawa, T.; Yamashita, Y.; Okumura, T.; Yamanokuchi, T. Satellite Derived Bathymetry Using Machine Learning and Multi-Temporal Satellite Images. *Remote Sensing* 2019, 11, 1155, doi:10.3390/rs11101155.