

衛星画像を用いた浅海域の水深推定方法に関する調査研究

(一財)リモート・センシング技術センター 主任研究員 佐川 龍之

1. 調査研究の目的

近年、高い空間分解能を持つ光学衛星データが利用できるようになり、様々な分野での活用されている。我が国でも防災・災害対策、農林水産、国土管理等の分野に貢献する先進光学衛星の開発が計画されており、将来高い分解能の光学衛星データが入手しやすくなるため、利用拡大が期待されている。先進的な光学衛星データの利用研究の一つとして、水深推定技術が盛んに研究されている。この衛星画像から得られた水深情報を国際水路機関（IHO: International Hydrographic Organization）では SDB（Satellite Derived Bathymetry）と呼んでいる。

SDB は、主に船による測量調査が困難な水深 20m 未満程度の浅海域において活用され、フランスなどでは 1990 年代後半から海図作成に利用している。SDB は、従来の深浅測量技術より精度は劣るものの、大震災等の災害時の航路障害物調査や海図に準じた参考図、海図の無いエリアの等深線図の作成などへの利用が期待できる。また世界中どこでも同様に調査でき、従来の測深技術より低コストなことから、途上国や現場観測が実施できない海域などでの活用も想定される（図1）。

しかしながら、従来の SDB 作成方法では、画像中の一部において既知の水深データ（学習用水深データ）が必要であり、海域ごとに現地調査で水深を計測していたため、必ずしも時間とコスト面で効率的ではなかった。この学習用水深データは、水深を推定するモデル式の係数の算出に利用される。そこで本調査研究では、シミュレーションまたは複数の実データを用いて係数を算出することで、学習データが不要な SDB 作成方法を検討した。SDB 作成技術の効率化により、世界中のあらゆる浅海域において、衛星画像から迅速かつ低コストで水深情報を提供することが目的である。

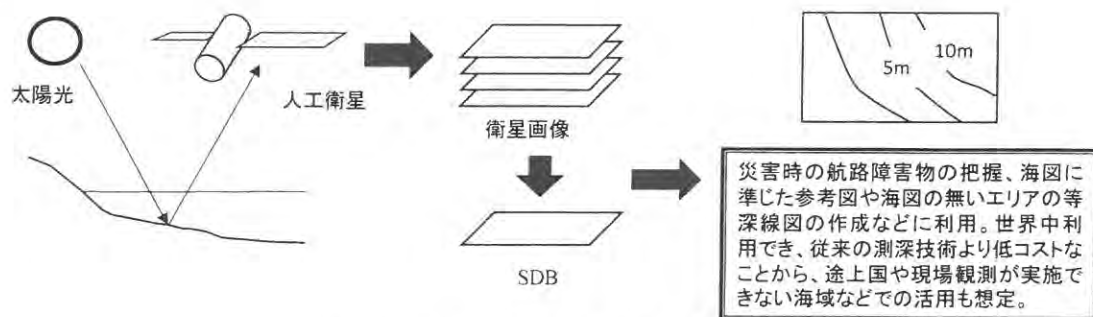


図1 SDBの作成と活用イメージ

2. 調査研究の実施内容

2.1. 水深推定式の取得方法の概要

浅海域における水深推定方法として、可視近赤外域の高分解能マルチスペクトル衛星画像を用いて、画素ごとに水深を推定する方法が、数多く開発されてきた。これらの水深推定法の中で、比較的適用例の多い Lyzenga(1978)の水深推定法は、放射伝達理論に基づく次式によって、各画素の水深を推定する。

$$Z = \beta_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i X_i \quad (1)$$

ここで、 Z は水深、 N は可視域のバンド数、 β_i は回帰係数である。 X_i はバンド i について観測された放射輝度から算出される変数である。式(1)を用いた水深推定方法では、衛星画像ごとに学習用水深データが必要となり、ある画像で得られた回帰係数 β_i をほかの画像に適用することができない。しかしながら、式(1)はより一般性のある次式変換できる。

$$Z = p_n(\beta_0 + \sum_{i=1}^N \beta_i X_i) \quad (2)$$

ここで、 β_0 は太陽照度や大気成分により変化する係数で、 p_n は透明度（消散係数）に関する係数である。 $\beta_1 - \beta_N$ は汎用係数である。すなわち、汎用係数 $\beta_1 - \beta_N$ が得られれば、画像ごとに β_0 と p_n を求めるだけで、式(2)より水深の算出が可能となる。 β_0 は海岸線を 0m として求めることができ、 p_n は学習用水深データが最低 1 点あれば推定できる。

汎用係数 $\beta_1 - \beta_N$ を得るためには、水深 Z と衛星画像から得られるデータ X_i についての多様なデータセットがあればよい。そこで本調査研究では（1）シミュレーションで多様なデータを発生させる方法と（2）複数の実データのセットを用いる方法の二通りの方法で汎用係数を算出し、水深推定式を得ることを検討した。

2.2 衛星画像データと深浅測量データ

解析用の衛星画像データとして 8 シーンの WorldView-2 データを準備した。このうち 3 シーンについて本調査研究で新規に購入した。また、学習用および精度評価用の水深データとして、RESTEC、山口大学で保有しているデータおよび NOAA のサイトからダウンロードした深浅測量データを用いた。

2.3 シミュレーションにより得られた Lyzenga 水深推定式による SDB の精度検証

シミュレーションにより得られた水深推定式を用いて、衛星画像データを解析し、SDB を作成した。また、深浅測量データを正解として、RMSE 誤差および決定係数を算出した。すべての画像に対し、決定係数は 0.6 未満と小さく、RMSE は 2.74-8.57 m と、学習用水深データを用いる既存の水深推定手法と比較すると数倍誤差が大きくなった。

2.4 複数の実データの解析から得られた水深推定式による SDB の精度検証

複数の実データのセットを用いる方法で得られた水深推定式を用いて、衛星画像データを解析し、SDB を作成した。また、深浅測量データを正解として、RMSE 誤差および決定

係数を算出した。1シーンの衛星画像以外については決定係数が 0.8 以上と高かった。RMSE は 1.35-2.79m と通常の方法の 1.5 倍程度となった。図 2 は、ここで作成した SDB と深浅測量データの画像を比較した例だが、全体的な地形はよく一致していることが分かる。

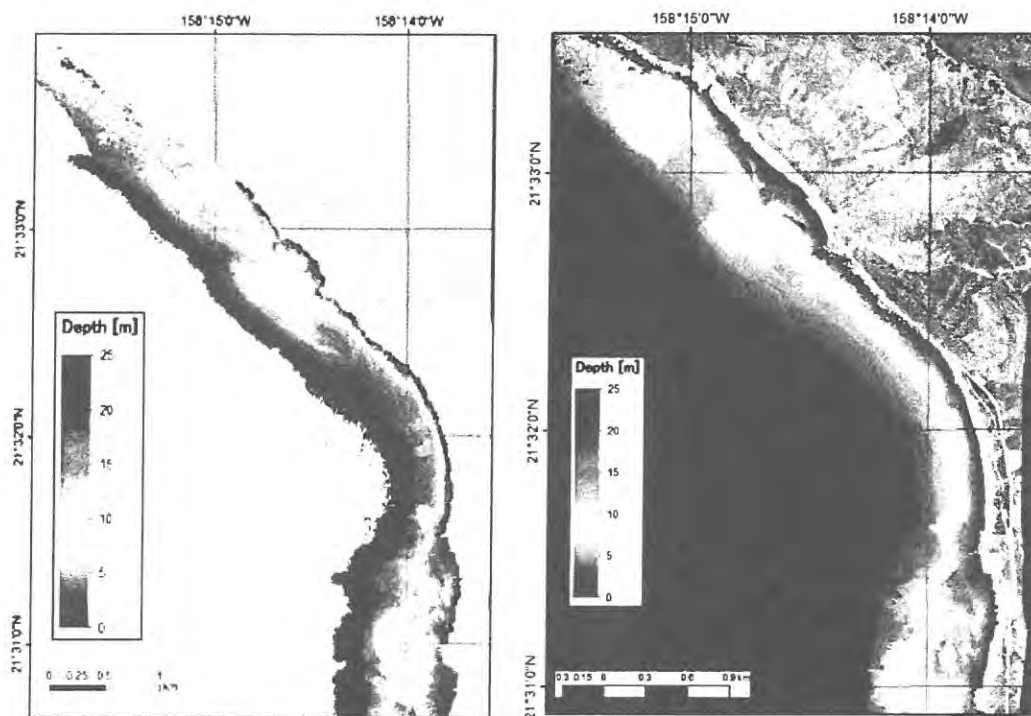


図 2 複数の実データから得た汎用水深推定式による SDB と深浅測量データの例

3 まとめ

本研究で得られた Lyzenga の汎用水深推定式は、今回の 8 シーンの衛星画像のみから得られたものであり、今後多様な衛星画像で検証が必要であるが、ここで得られた成果は SDB の利用可能性を大きく広げるものである。汎用水深推定式が実用化できれば、現在密なデータの少ない多くの浅海域の水深データを低コストで作成することができ、津波シミュレーションなどに寄与することができる。また、これまで船や航空機によるアクセスが難しかった海域の海図の作成や災害時の海底地形変化の迅速な把握などへの活用も期待できる。今後さらに多くの実データを用いて検証を行うことで手法を発展させ、NASA の提供する Landsat-8 など無償の衛星画像の利用も視野に入れることで、世界的な SDB 技術の普及に貢献していきたい。

今回このように、衛星画像を利用して水深を推定するための新しい技術について研究調査する機会を与えていただいた、一般財団法人新技術振興渡辺記念会に、感謝申し上げます。