

重相関係数を用いた衛星マルチバンド・データによる海深度の推定

長崎大学大学院 学生員 ○ 前間英一郎

近畿大学九州工学部 森 正 寿

長崎大学工学部 正会員 後藤恵之輔

1. まえがき

リモートセンシングデータ（以下 RS データ）を用いた水深推定の為の研究において、海図や水深図が、基本的な資料として利用されていることは良く知られている。しかし、水深測量の作業は、潮位の影響や風などの天候や自然環境によって困難性や苦勞を伴う。水深の調査や測量などは、超音波やレーダーによる実測である場合がほとんどである為、RS データを利用し、将来新しい技術として確立されれば、水深測量の作業や大規模な地震による海底地形の変化にも即対応でき、最新の海図や水深図が短期間で作成できるようになるだろう。RS データのメリットである広域性・経済性・同時性・客観性・反復性等を生かして福岡市の志賀島沿岸域の水深を推定する。

2. 解析方法

2.1 水深推測の原理

RS データを用いる場合は、太陽光が大気と海面を通過して海底まで入り、そこからの反射により、人工衛星のセンサまで入ってくる光の量を測ることであるが、電磁波と大気との関係、また水深との関係などを検討する必要があるが、どの波長域がどの程度の透過率をもっているか、水の汚れによる消散係数がどのように影響しているかがすでに研究されているので、水深を推測するには、Jerlov の反射理論¹⁾に基づいた次のような数学モデルが使われていた。

$$L_i = L_{di} + C_i \times R_{ai} \times \exp(-f \times k_i \times Z) \quad (1)$$

Z は水深、 L_i は、水深が Z の時の波長 i の人工衛星センサの受感輝度、 L_{di} は、深海表面の輝度、 C_i は、太陽照度の関数、 R_{ai} は、水深 Z 上で海底地質 a の反射率、 k_i は、水の消散係数、 f は、反復係数（= 2）である。式 (1) は、水深 Z で解くことができるが、水質や海底物質が変わる為に生じる反射輝度の問題や消散係数の問題が難しくさせる。その後、Lyzenga により (1978, 1981, 1985)、Paredes と Spero により (1987)、Spitzer と Dirks により (1987) それぞれ Landsat の TM センサによって、研究され開発されている¹⁾。彼らによれば、

$$\text{Water Depth} = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i X_i \quad (2)$$

のように表されるもので、海底地質や水質の影響を少なくできるメリットがあった。しかし、それでもやはり海底地質や水質が考慮された地域にしか適用できず、誤差もかな

り含まれていた。よって、この理論の基づいて考案され、大気補正 (L_i を引く) を行なった RS データのマルチ性を生かした Bathymetry 法²⁾を、一般水域に当てはめて改良した推定法で推定した。本来、水深と RS データのデジタル値の関係は、線形的な関係を持っていると言われているが、海底地質や水質の影響などにより、非線形的な関係になってしまう。将来的に確立した技術とするには、条件を少なくした方が良いので、Bathymetry 法を改良して当てはめてみた。ただし、今回は、一般水域に当てはめた場合の誤差がどのくらいあるのか、どういった相関関係があるのか分からなかった為、解析エリアは、福岡市の内湾ではなく外海側を解析した。

2.2 改良型 Bathymetry 法

(2) 式にある X_i は、特殊なモデルを考慮しなくてもいいように、 $\ln(L_i - L_{i0})$ とした。

$$W_d = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \ln(L_i - L_{i0}) \quad (3)$$

A_i : constant

L_i : radiance in band i

L_{di} : deep-water radiance in band i

W_d : Estimated water depth

衛星画像の典型的な 2 次元ヒストグラムを図 1 に示す。

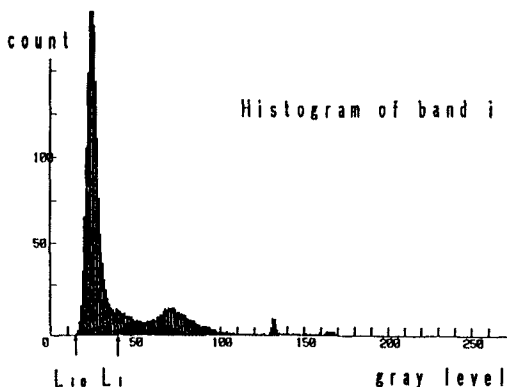


図 1 衛星画像の典型的な 2 次元ヒストグラム
センサバンド毎の画像データのヒストグラムによって、ヒストグラムの最低濃度値を求め L_{i0} 値を決定した。ただし、 L_i は解析エリアに依存し、ほぼ水域と陸域の境の値になる (図 1 参照)。解析に使用した RS データは、LANDSAT/TM

と SPOT/HRV と JERS-1/OPS の3つで、そのうちの馴染みの薄い JERS-1/OPS データ画像を図2に示す。

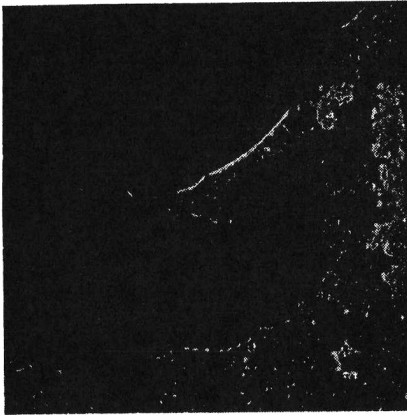


図2 JERS-1/OPSの原画像

考慮した条件は、潮位だけである。RSデータは、歪みがあるので幾何補正しなくてはならないが、狭いエリアの解析であるので、地球の球面効果までは考えず、通常のアフィン線形変換のみとした。

2.3 重相関係数による解析

SAS (Statistical Analysis System) を使用し、線形回帰解析 (STEPWISE メソッド) を行ない、海図³⁾による W_d (水深の測定値) と $W_{d'}$ (水深の推定値) の相関 R^2 を調べ、海深度を推定する。そして、その時、どの人工衛星のセンサの相関係数 R^2 が最大になるか、どの波長域のセンサのものが相関が大きくなるかを調べることによって、その有効性を検討する。

3. 結果

線形回帰解析による相関係数表を SPOT は表1、LANDSAT は表2、JERS-1 は表3に示す。最も良い結果であった SPOT を図3に示す。

表1 SPOT/HRV センサにおける相関値

バンド	R^2	Cumulative	R
XS1	0.6422	0.6422	0.8014
XS2	0.0507	0.6929	0.8324
XS3	0.0331	0.7260	0.8521

表2 LANDSAT/TM センサにおける相関値

バンド	R^2	Cumulative	R
TM2	0.3401	0.3401	0.5832
TM7	0.0493	0.3894	0.6240
TM4	0.0360	0.4254	0.6522
TM3	0.0205	0.4459	0.6676
TM5	0.0188	0.4647	0.6817
TM1	0.0086	0.4833	0.6952

表3 JERS-1/OPS センサにおける相関値

バンド	R^2	Cumulative	R
VNIR1	0.1343	0.1343	0.3665
VNIR2	—	—	—
VNIR3	0.0282	0.1625	0.4031
SWIR8	0.0256	0.1881	0.4337

SPOT/HRV-XS1-3

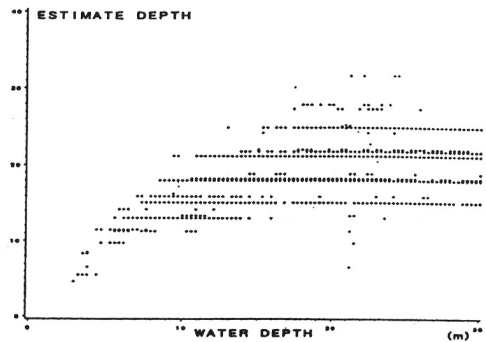


図3 SPOT の線形回帰解析結果

4. 結論

人工衛星については、SPOT の HRV センサが最大の相関を示していた。また、 $\sqrt{x}$ のような曲線を示していたことから、非線形の特徴がみられ、今後非線形回帰解析が望まれる。センサについては、XS1 と TM2 が強い相関を示しているので、可視光域 $0.5 \sim 0.6\mu m$ の波長域を持つ衛星データを複数検討すれば、将来の技術の確立に明るいと思われる。誤差の追実験として、LANDSAT で行なったところ、バンド数が5つよりも7つで行なった方が小さく、相関値も高いことが分かった。バンド数が多いほど解析に向いている。SPOT と LANDSAT の差については、地上分解能の差であると思われる。JERS-1/OPS センサのデータについては、日本製で種々の解析にあまり使われていないことから期待したのであるが、不向きであることが分かった。

謝辞

本研究は、一部平成6年度文部省科学研究費補助金一般研究(c)【課題番号0568038】によるものである。

参考文献

- [1] 前間英一郎・森正寿・後藤恵之輔: 衛星マルチバンド・データと海深度との重相関係数による海深度の推定、九州大学計算機科学研究報告、1994。
- [2] 全炳徳・後藤恵之輔: 水深推測のためのリモートセンシング手法の比較と提案、日本リモートセンシング学会誌、Vol.13、No.4、pp.41-50、1993。
- [3] 海上保安庁水路部: 5万分の1沿岸の海の基本図(福岡市、福岡湾)、1988。