

ランドサットTMデータによる海底地質 を考慮した水深推測モデルの開発

Bathymetry Mapping of Kin Bay, Okinawa Main Island, Japan
Using LANDSAT-5/TM Data with the Consideration of Bottom Features

全 炳徳*・後藤恵之輔**・サム・ウオウトウゼン*
Byung-Dug Jun, Keinosuke Gotoh and Sam Wouthuyzen

Remotely sensed bathymetry in Kin Bay, Okinawa main-island, Japan was performed using digital data of a single band (band 2) of Landsat-5 Thematic Mapper (TM). Models were developed considering the bottom features of coral reef-bright sand type and sand mud-mud sand type. The Bottom features (coral reef and bright sand) greatly influenced the results, especially in shallow waters. For depth less than 18 m the root mean square (r.m.s.) error of predicted depth was 2.9 m and 6.1 m for coral reef-bright sand type and sand mud-mud sand type, respectively. But for depth more than 18 m, the bottom influence was decreased, and the r.m.s. error was measured 1.4m and 1.1 m, respectively.

Keyword: bathymetry, remote sensing, bottom features, Landsat-5

1. はじめに

海岸周辺の水深測量は、海岸およびその周辺の研究やプロジェクトを進めるさい、基本的なこととして行われている。また、海図と水深図を作る時にも、必ず海岸周辺の水深測量が行われている。このように作られた海図と水深図などは、いろいろな研究に使われており、特に、海岸の浅いところの水深図が海岸の環境学、海の生態学、海底の構造学などで基本的に使われるのは、良く分かっていることの一つである (Pierre, 1989)。このような海岸の浅いところの水深測量については、船舶を使った伝統的な方法があるが、これは時間を要しかつ、危険である。そこで、広域性、経済性などを考えて、リモートセンシングの研究者たちは、人工衛星による水深測量を考え、ランドサットのMSSデータを使う調査が、1960年代の末 (Brown, et al., 1971, Lyzenga, 1985) に始められた。

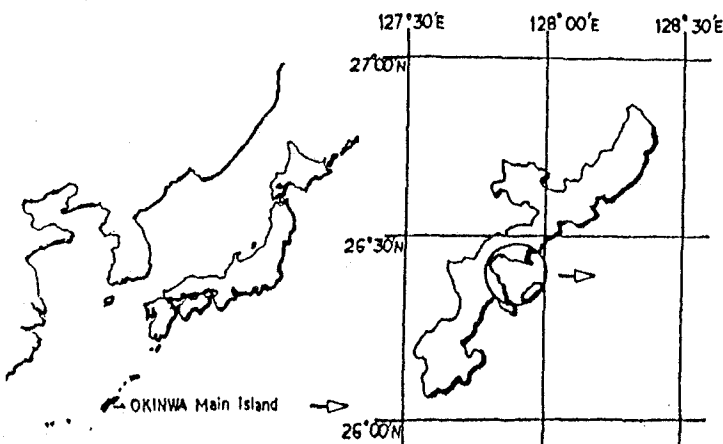


Fig.1 Location of study site

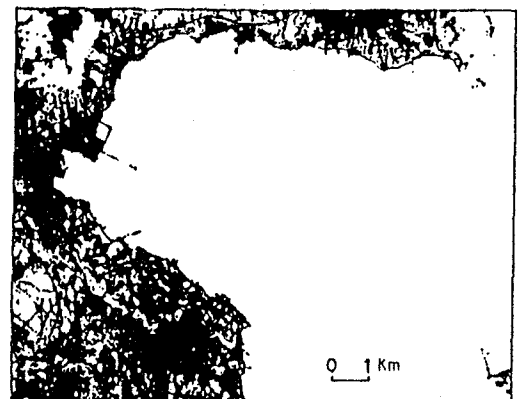


Fig.2 Landsat-5 TM band 4 image
of part of study area,
Kin Bay

* 学生会員 長崎大学大学院海洋生産科学研究科 (〒852 長崎市文教町1-14)
** 正会員 長崎大学工学部社会開発工学科

著者らは、前の研究（全ほか、1990）で沖縄の久志湾に対して、SPOTデータを用いた簡単な水深推測モデルによる浅いところの水深推測を行ってみた。このモデルでは、すべての海底地質が一定だと仮定している。しかし、海底の地質はその種類ごとに反射パターンを持つので、この仮定は真ではない。そこで、本研究では、海底地質の差異を考慮して、沖縄の金武湾を選び、新しい水深推測モデルを作ってみた。使用したデータはランドサットTMデータのバンド2である。

2. 研究方法

(1) 研究地域

研究地域は沖縄本島の金武湾である。金武湾は北緯 $26^{\circ} 20' - 26^{\circ} 28'$ と東経 $127^{\circ} 49' - 127^{\circ} 58'$ の間に位置する。この地域を研究地域として選んだ理由は、この地域の浅いところには5つの違う海底地質があり、浅いところの地域が広がっているためである。このような条件は、この地域が、海底地質を考慮した浅いところの水深推測の研究を行うことに適当な地域である。図1は研究地域の地図上の位置であり、図2は研究地域を含むランドサット5号TMのバンド4の画像データのプリンターアウトの結果である。

(2) 使用TMデータと解析過程

1984年に打ち上げられた地球観測衛星ランドサット5号には、高空間分解能センサとしてThematic Mapperが搭載されている。TMの地表空間分解能はMSSの79mから30mに向上し、また、MSSに比べてバンド数も7つになっている。観測波長域が小さくなって各バンドの特性が強調され、各バンドの分光度も大分改良された。TMバンド5は積雪と雲の識別、融雪の始まっているところとそうでない雪の識別などに役立ち、水文関係者の要請で追加された。バンド7は岩石の識別に役立つ情報を得るためのもので、資源関係の利用者からの要請で付けられたものである。バンド6は温度情報を得るためのものであり、バンド1、2は特に水中の情報を得るために使われている。表1はTMの諸元である。

この研究では、1988年7月15日に観測されたTMデータ（PATH 113、LOW 042）が使われた。表2にデータの内容を示す。RESTECで購入した磁気テープから金武湾の所を512 X 400の大ききでフロッピーディスクに落として、パソコンを使って画像処理を行った。この研究で水中情報を得るために使われたバンドはバンド2であるが、その理由としては、TMバンド1はRayleigh散乱とMie散乱の影響が大きく（Hovis, 1971）、バンド3はその波長が水層を透過するが、その深さが、ただ何センチ程度のものである。まず、CCデータから512 X 400の大ききで落とした画像について、海図と重ね合わせるために幾何補正を行った。補正の方法は、海図の地上基準点20ポイントと画像上の同じ点20ポイントを合わせるために、Welchら（1985）が提案した2次元回帰分析の式を利用した。

海上保安庁から1988年3月16日に出版された海底地質構造図（1:50,000、地図No.6508-2）から、800個所の水深情報と海底地質情報が選ばれた。幾何補正を行った512 X 400画像の各ポイントで、光の散乱エラーを低くするために、3 X 3ピクセルの大ききで各ピクセルのデジタルカウントを求め、その平均値を各ポイントのデジタルカウントとした。以上の800ポイントの中で400ポイントはモデルを作るために、また残る400ポイントはモデルの精度をチェックするために使われた。

(3) モデル理論

人工衛星のセンサに入れられた海面上の情報を理論的に整理するためには、一般的にJerlov（1976）の単純散乱理論を元としている。水深が Z の時、バンド i の波長における輝度 L_i は次の式に表現される。

Table 1 Design parameter of TM sensor

	BAND	波長	検出素子
波長 (μm)	1	0.45-0.52	シリコ ンフォ トダイ オード
	2	0.52-0.60	
	3	0.63-0.69	
	4	0.76-0.90	
	5	1.55-1.75	InSb
	6	10.4-12.50	HgCdTe
	7	2.08-2.35	InSb
観測幅	185 km		
解像力	30 m (バンド1 - 5, 7) 120m (バンド6)		
サンプリング	9.611 μsec		
符号化	8 bit (256レベル)		
帯域幅	170 MHz		

Table 2 Contents of used data

人工衛星	LANDSAT - 5 号
センサー	TM
パスロー	113 - 042
補正モード	バルク
地図投影法	UTM
リサンプリング法	キュービクソプリームリネーション
フォーマット	BIL
記録密度	6250 bpi

$$L_i = L_{di} + c_i \cdot R_{ai} \cdot \exp(-2k_i \cdot z)$$

ここで、 L_i はバンド i における輝度、 L_{di} は深いところの輝度の平均値、 c_i は様々な光学因子の係数である。また、 R_{ai} は海底地質タイプ a のバンド i における海底反射率である。この式を Z に対して整理すれば、次のような式になる。

$$Z = C_i/2k_i - X_i/2k_i$$

ここで、 $X_i = \ln(L_i - L_{di})$ で、 $C_i = \ln(c_i \cdot R_{ai})$ である。

この単純散乱理論のモデルは、次の3つのことを仮定している。一つは、海底反射率はすべての海底地質に対して一定であること、二番目は、海上と大気状態は一定であること、また残る一つは、他の背景の光学と天空光と後方散乱などがイメージ全体に対して一定であり、太陽の角度も一定であることである。しかし、海底地質の影響が各地質タイプに対して違うため (Lyzenga, 1978)、海底地質による誤差を減少させるために、本研究で考案されたモデルでは、海底地質が考慮された。

次の2式は、海底地質を考慮して考案された式である、

$$Z(cb) = C_{bi}/2k_i - X_i/2k_i \quad \text{----- (1)}$$

$$Z(sm) = C_{si}/2k_i - X_i/2k_i \quad \text{----- (2)}$$

この式は、1、2次元回帰分析で表現すると、 $Z = A + B \cdot X_i$ 、または $Z = A' \cdot X_i + B' \cdot X_i^2 + C$ で表現される。ここで、式(1)と(2)はそれぞれ、海底地質が＜珊瑚礁+明るい砂＞タイプおよび＜砂+泥＞タイプの式である。これらの式は光学散乱の影響のため、2次元回帰分析式で表現すると次の式になる。

$$Z(BF) = A(BF)0 + A(BF)1 \cdot X_i + A(BF)2 \cdot X_i^2 \quad \text{----- (3)}$$

ここで、BF というのは海底地質を意味している。式(3) が非線型になったのは、海上での反射と水中の光の散乱のためである。式(3)の3個のパラメータ $A(BF)0$ 、 $A(BF)1$ および $A(BF)2$ は、非線型の回帰分析を用いて求められる。また、 L_{di} は水深50-55m までの輝度の平均値である。

3. 解析結果

幾何補正を行うために計算した多項式回帰分析の結果は、カラム（軽度）とライン（緯度）に対して、それぞれの平均二乗誤差は、0.28画素(7.8m)と0.27画素(7.5m)であった。また、式(3)の3個のパラメータは、本論文で分類された2つの海底地質のタイプに対して、それぞれ次のような値で表される。

$$(\text{珊瑚礁+明るい砂}) \text{ 所: } Z(cb) = 56.68 + (-823.47) \cdot X_i + 3056.28 \cdot X_i^2 \quad \text{----- (4)}$$

$$(\text{砂+泥}) \text{ 所: } Z(sm) = 38.25 + (-84.02) \cdot X_i + (-2024.86) \cdot X_i^2 \quad \text{----- (5)}$$

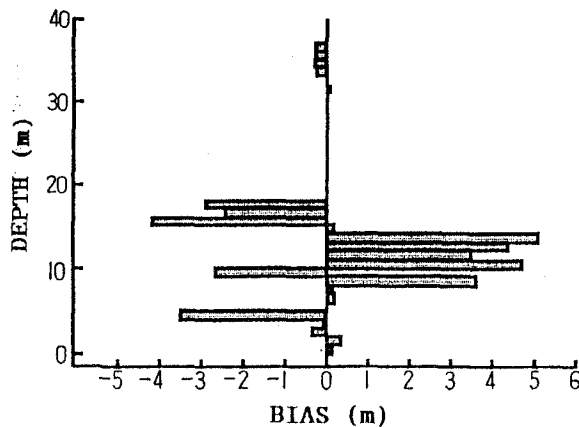


Fig.3 Value of bias for coral-reef and bright-sand type.

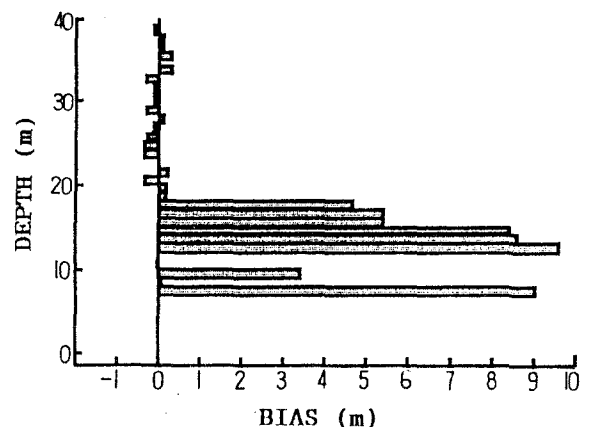


Fig.4 Value of bias for sand-mud and mud-sand type.

この式を用いて、各海底地質に対してのバイアス（実際水深－推測水深）は、図3、4に示されるとおりであり、その平均二乗誤差は、水深が0 - 18mまではそれぞれ2.9mと6.09mで、水深が19 - 38mまではそれぞれ1.40mと1.17mであった。

水深が18m以下で平均二乗誤差が大きくなったのは、18m以下にある珊瑚礁と明るい砂の光散乱のためである。しかし、水深が19m以上の所は平均二乗誤差が1.5m以下になって、非常にいい結果となった。この結果は、2つのことを示している。一つは、人工衛星データを用いて水深を予測するとき、海底地質が珊瑚礁とか明るい地質タイプになっているときには、多くの誤差を伴うようになるということ。他の一つは、泥のように反射率が小さい地質を持っている海岸では、人工衛星の技術を用いて水深推測を行うとき良い結果を得ることができるということである。

著者らは前の研究（全ほか、1990）で、SPOTのバンド1データを用いて、沖縄の久志湾の水深を推測した。そのとき、水深推測ができた水深の深さは1 - 25mであった。しかし、今度の研究では、その深さが1 - 38mまで水深推測ができることが分かった。これは、TMデータがSPOTデータより観測波長域が狭くなっているからである。このことは、水深推測を行う場合、SPOTデータが解像力は大きい、このSPOTよりTMデータの方がもっと良い結果を得ることができるということを示している。

図5、6は、この論文で開発したモデル（式（4）、（5））を用いて作られた、＜珊瑚礁＋明るい砂＞の所と＜砂＋泥＞の所の金武湾の水深画像（原図はカラー）である。

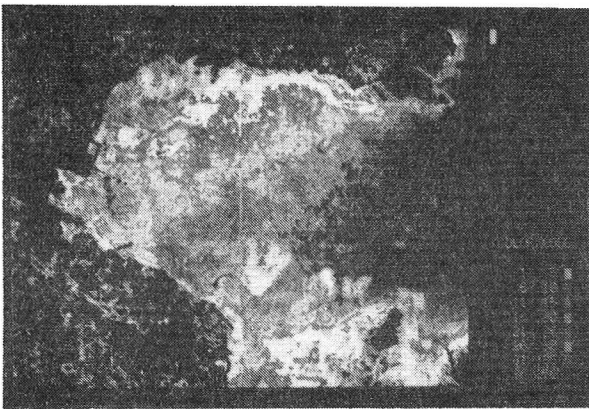


Fig.5 Bathymetry map of Kin Bay for coral-reef and bright-sand type.

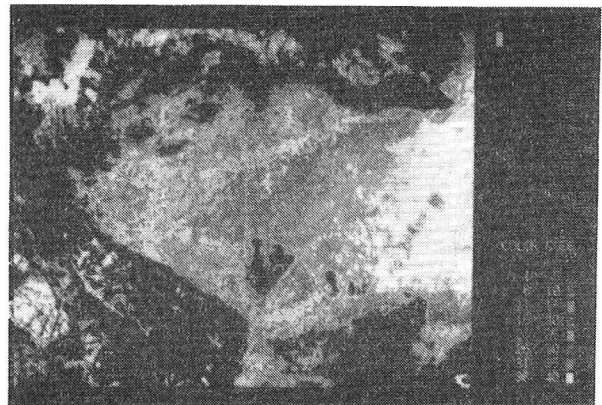


Fig.6 Bathymetry map of Kin Bay for sand-mud and mud-sand type.

4. まとめ

この研究では、ランドサット5号/TMデータを用いて、海底地質を考慮して水深推測を行ってみた。その結果では、人工衛星を用いて海岸周辺の水深推測を行う場合には、必ずその場所の海底地質を考慮しなければならないということが分かった。更に、別途著者らは、次の二つのことについても調べている。すなわち、人工衛星のデータには衛星によって各特性を持っているということと、沖縄より水質が良くないところでは、どんな結果がでるかということである。これに対しては現在研究を進めているので、続いて次の論文で、発表したいと思っている。

参考文献

1. Brown, W.J., Polcyn, F.C., and Stewart, S.R., 1971. A method for calculating water depth, attenuation coefficients, and bottom reflectance characteristics, Proceedings of the seventh International Symposium on Remote Sensing of the Environment, Vol.1, pp. 663-682.
2. Hovis, A.W., 1971. Measurements of ocean color, Proceeding of the Symposium on the Significant Accomplishments in Sciences, NASA, pp. 24-29.
3. Jerlov, N.G., 1976. Marine Optics, Elsevier, New York, pp. 83-87.

4. 全 炳徳、後藤恵之輔、サム・ウオウトウゼン、1990. S P O Tデータによる沖縄本島周辺の水深推測、日本写真測量学会平成2年度秋季学術講演会発表論文集、pp. 207-208.
5. Lyzenga, D.R., 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, Appl. Optics, Vol.17, p. 379.
6. Lyzenga, D.R., 1985. Sallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data, Int. J. Remote Sensing, Vol.6(1), pp. 115-125.
7. Pierre E., 1989. Thematical studies of shallows in the Great Barrier Reef, Asian-Pacific Remote Sensing Journal, Vol. 2(2), pp.29-32.
8. Welch, R., Jordan, T.R., and Ehlers, M., 1985. Comparative evaluations of the geodetic accuracy and cartographic potential of Landsat-4 and Landsat-5 Thematic Mapper image data, Jour. ASPRS, Vol.51(9), pp. 1249-1262.