

ランドサットTMデータによる 大村湾の水深推測

Depth prediction of Omura Bay, Nagasaki prefecture, Japan
Using LANDSAT-5/TM Data

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 depth prediction in Omura Bay, Nagasaki prefecture, Japan was performed using digital data of band 2 of Landsat-5 Thematic Mapper by an indirect methods(a use of transparency). Models were developed considering the transparency have a good relationship with Landsat - 5 / TM band 2, and the transparency have a good relationship with water depth too. Transparency model was developed using nonlinear regression analysis in other to increase accuracy in this paper. The r.m.s. error using developed method was measured 2.20m a good value to predicted water depth of Okinawa sea water. The relationship between depth and transparency was explained.

Keyword: water depth, remote sensing, transparency, Landsat-5/TM

1. はじめに

海岸周辺の水深測量は、船や多くの装置を用いて行っており（海上保安庁水路部、1988）、測量の際、考慮すべき、波や風など、海洋の自然環境の激しさを考えると、経済的によく、安全性がある測量方法が望まれている。その上、水深図を造るための水深測量の作業は、3～5年目に1回ぐらいの再測量があって、現実性ある生データを得ることは難しいことになっている。リモートセンシングを用いて、初めて水深推測を考えたことは、その技術が持っているデータ処理の早さとデータ自体が持っている広域性、経済性、同時性、反復性などを用いて、上記のような欲求を満足させるためであった（Polcyn, et al., 1969）。その後、多くの研究が、アメリカや

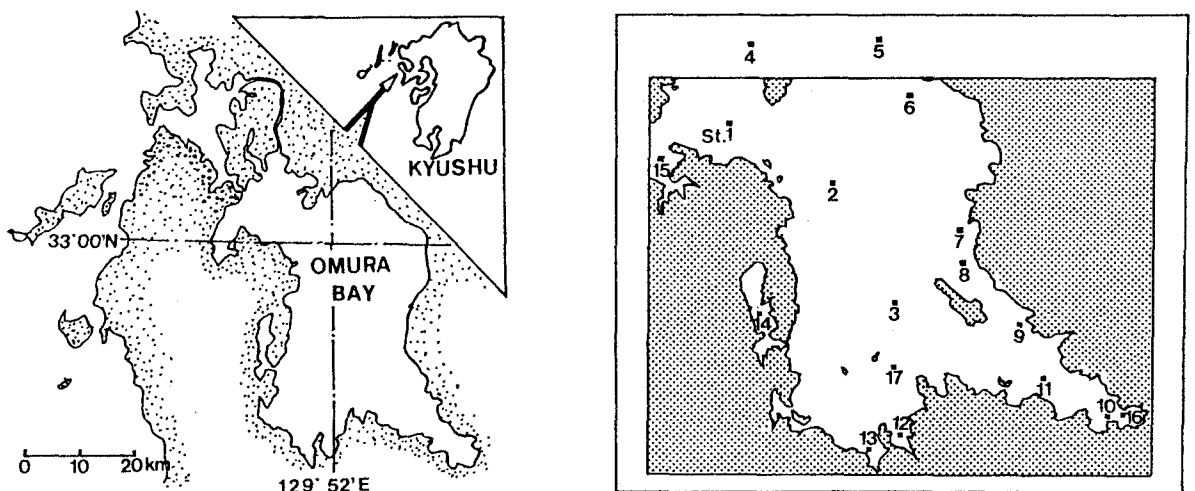


図1。研究地域の地図上の位置（左）と研究に用いられたTMデータの範囲と現場観測位置（右）。

*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

ヨーロッパを中心に行ってきた (Brown, et al., 1971, Lyzenga, 1981, 1985, Clark, et al., 1987, Ibrahim, et al., 1990)。しかし、このような研究の対象は清水であって、開発されたモデルや、考え方などが濁水には適用できにくい点があった。そこで、濁水と水深との関係やモデル式の研究が行われ、その結果が発表されてきた (Paredes and R.E. Spero, 1983, Spizer, et al., 1987, L. Estep, et al., 1992)。しかし、濁水の原因である懸濁物質や浮遊物質、クロロフィルなどの影響を除去するには無理があった (全ほか、1991)。それは、濁水の場合、人工衛星がチャッチする海中の情報の中には、水深情報より懸濁物質情報の方が多く含まれているからであった。そこで、本研究では、濁水でも非常に高い相関関係を持っている、透明度と人工衛星データのデジタル値との関係性があることを用い、間接的に濁水においても水深推測ができるモデルを考案した。

2. 研究方法

(1) 研究地域

研究地域は長崎県の中央部に位置する大村湾である。(図1 参考) 大村湾は南北に26 km、東西に11 km、面積320 km²、容積49億m³の中型湾で、外海とは佐世保湾を挟んで湾北部の針尾瀬戸と早岐瀬戸の2カ所で通じているのみで、二重の閉鎖的な内湾である。湾内水深は全体的に浅く、湾口部の一部を除いて20 m以下で、干満の差も少ない。この地域を研究地域として選んだ理由は、この地域が人工衛星データを用いて水深推測することの良い条件である浅い水深を持ってしるし、清水より、濁水のほうであるからであった。それだけでなく、今度の研究で用いられる、透明度や水深などが続けて観測されておりそのデータを用いて、透明度と水深との関係を分析することが出来るからである。図1の左側は研究地域の地図上の位置であり、右側は2は研究地域と現場調査点を含むランドサット5号(1988年5月17日) 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。ステーション4、5は画像の中に含まれていないことを示すものである。

(2) 使用TMデータと解析過程

この研究では、1988年5月17日に観測されたランドサット5号のTMデータ(PATH 113, LOW 042)とその同時に観測された現場のデータが使われた。ランドサットデータは、1X1 Pixel の場合には大村湾が全部入らないため、2X2 Pixel のデータをRESTECからフロピ(512 X 400)で買って、パソコンを使って画像処理を行った。この研究で透明度や水深情報を得るために使われたチャンネルはバンド2である。ランドサット5号のTMデータの中で水中情報を待っているチャンネルは1、2、3バンドの、三つであるが、今度の研究にバンド2を使ったことは、TMバンド2が透明度と高い相関関係を持っているからであった。その理由は、透明度を測る人間の目の視感度の最大波長が550nmであって、それがTMバンド2に当たるからである(安東滋ほか、1991)。それに加えて、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ことがその理由の一つである。解析課程はまず、購入した512 X 400の大きさの画像を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。幾何補正の結果は、カラムとラインのR.M.S.が各々0.62, 0.67 PIXELであった。

(3) 現場データの選択とその解析方法

今度の研究で用いられた、現場のデータは、1988年5月17日の9:55分から13:45分にわたって、長崎県衛生公害研究所が取られた、17ポイントの現場実測データである。しかし、その中で今度の研究に用いられたのは、10ポイントのデータであった。除外された7ポイントの中で、2ポイント(4,5ポイント)はランドサットデータの画像に入りにくい場所であり、ほかの6ポイント(1,6,7,8,15ポイント)は、今度の研究の目的である、水深と透明度との関係を調べるために、1988.4月から1989.3月までの現場測定データを調べた結果、水深変化の変化率が2m以上であるからであった。このように選ばれたデータは、干満の潮位差の影響を受けていたため、潮位の補正を行った。大村湾の潮位差を求めるためには、現在、大村湾の潮位が観測されていないため、佐世保の測点から間接的に求めることにした。それには、気象庁から用意されている潮候改正数(気象庁、1988)を利用した。その時、大村湾の改正数 $t=170$ 分 $k=0.27$ が用いられ、平均潮位は0.53mが用いられた。このように求められた大村湾の満潮と干潮の潮位は、ランドサット5号が現場の海中情報を観測した10:04分中心としてに、満潮は11:30分で、平均水面からの高さが29.046Cmであり、干潮は5:55分、18:04分の2回あって、高さは各々、-17.88, -44.884Cmであった。このように求められた大村湾の潮位表をもとに、各々の測点が受けられた潮位の影響を全ての測点に対して一定に補正した。その補正に用いられた方法は、任意時刻の潮位を求める方法として、気象庁が提案した式を用いた。(気象庁、1988)

(4) 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。筆者らはその理論式を濁水における透明度の情報を取るために利用した。

$$T_r = A_0 + A_1 * X_i + A_2 * X_i^2 \quad \text{----- (1)}$$

ここで、 T_r = 推測透明度、 A_0 , A_1 , A_2 = 係数、 X_i = CCT カウントである。上の式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。このような影響を少なくするためには、非線型の回帰分析を用いて求められるべきである (Lyzena, 1987)。また、今度の研究で用いられたTMデータのLdi は CCT カウント²であった。このように求められた透明度は間接的に水深を求めるのに利用された。その関係式は次のようである。

$$D_e = B_0 + B_1 * T_r + B_2 * (T_r)^2 \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 D_e = 推測水深、 B_0 , B_1 , B_2 = 係数、 T_r = 推測透明度である。

3. 解析結果

解析方法で説明された1,2式のパラメータは2次回帰分析を使って、推測透明度と推測水深に対して、それぞれ次のような値で表される。

$$\text{推測透明度: } Z(TR) = 47.04 + (-2.32) * X_i + 0.03 * X_i^2$$

$$n = 10, \text{ R.M.S. } = 0.21, r = 0.94$$

$$\text{推測水深: } Z(D) = 14.55 + (-6.51) * T_r + (1.97) * (T_r)^2$$

$$n = 10, \text{ R.M.S. } = 2.20, r = 0.79$$

この結果は、データ数が少ない短所がありますが、清水に適用してみた結果の R.M.S. が 2m 以上であったこと (R.K.Clark, et al., 1988, B.D.Jun, et al., 1991) を考えてみるとよい結果であることを示している。これは、人工衛星データを用いて、濁水の水深を推測したい場合、高い相関係数を持っているランドサット5号のバンド2データを用いて、間接的に精度が高い水深データを求めることができることを示している。しかし、今度のデータが偶然に透明度と水深との間に関係性を持っていたのか、それとも、全ての透明度データと水深データが関係を持っているのかを調べるために、筆者らは1年中の透明度と水深との関係を調べて分析してみた。これは1988.4月から1989.3月までのデータを分析した結果である。その結果は図2に示す。図を見ると分かるように、透明度と水深は精度の差はありますが、全てのデータが関係性を持っていることが分かる。また、透明度が高くなると水深と透明度の関係も強くなることが分かる。特に透明度が一番高い、1,10,11月の相関関係は、11月のデータの相関関係が少し下がりますが、とても高い相関関係を持っていることが分かる。これは、海水の中の生産活動が少なくなると、透明度と水深との関係が強くなることを示すものである。もう一つここで、筆者らは、透明度が高くなると、ランドサット5号のTMデータと水深関係は度のように変わるのかを調べてみた。この分析に用いられたランドサット5号のデータは1988年度の5月17日データと同年度の10月8日のデータであった。このデータは現場の実測の水深データがないため、水深と透明度の関係を調べるために分析した1年間の水深データの平均値が用いられた。その結果を図3に示す。図を見ると分かりますように、透明度が高くなった10月のデータは透明度が低い5月より、CCT カウントと水深との関係が悪くなっていることが見える。これは、濁水において、透明度が高くなっても、人工衛星が取らえた水中情報の中には、水深情報があまり入り込んでいないことを示している。それは濁水において、海中情報のほとんどが海水の中に含まれている懸濁物質の情報であり、その懸濁物質のため光が海底まで入らないということである。図3で各ポイントに付けられている番号は現場観測データを取らえたステーションを示している。この中で、陸地から近いポイントである12,13,14ポイントと10,16ポイントの動きはだいたい一致しているし、そのポイントが水深とCCT カウントとの関係を低くさせる原因になることが分かる。これはまた、大村湾の場合、透明度が高くなっている秋にも、海水は内湾の海水であって、水質が悪い濁水であることを示している。これらの結果からみると、D. Spitzer らが彼らの論文でも指摘したように、水の中に懸濁物質が含まれているとき、ランドサットのTMデータを使って水深推測を行う場合、3-7 m程度で満足するしかないと言ったことが証明される。しかし、本論文で提案した透明度を使った間接的な水

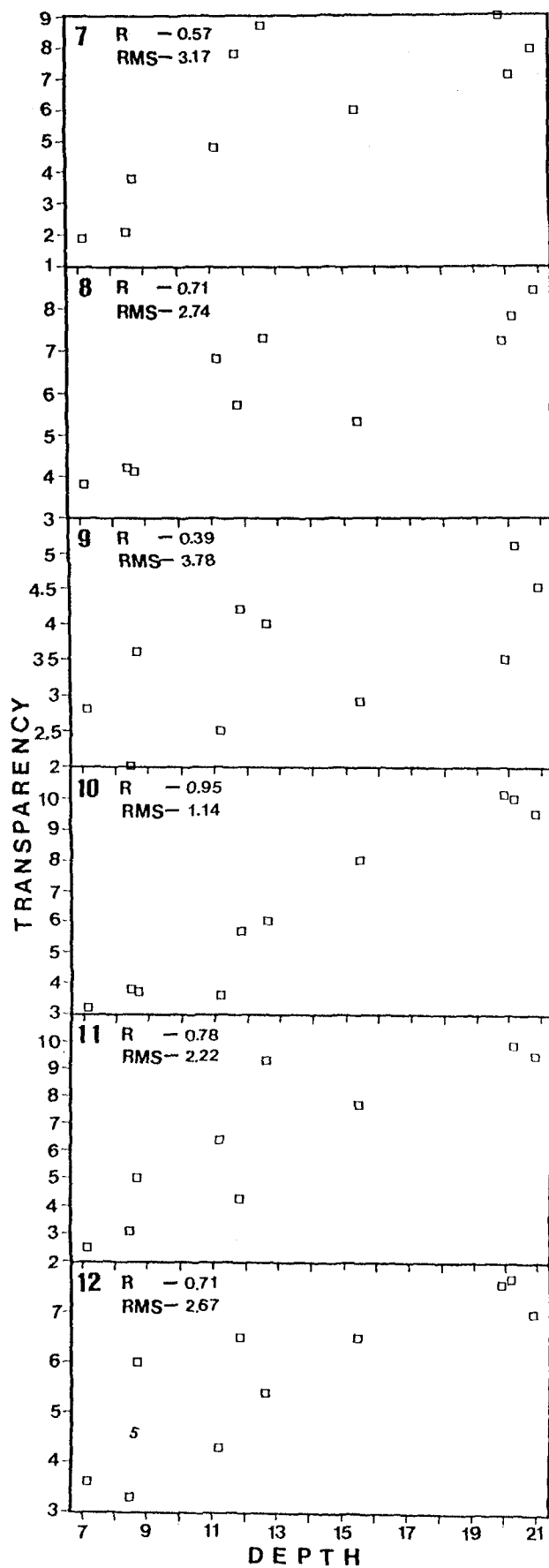
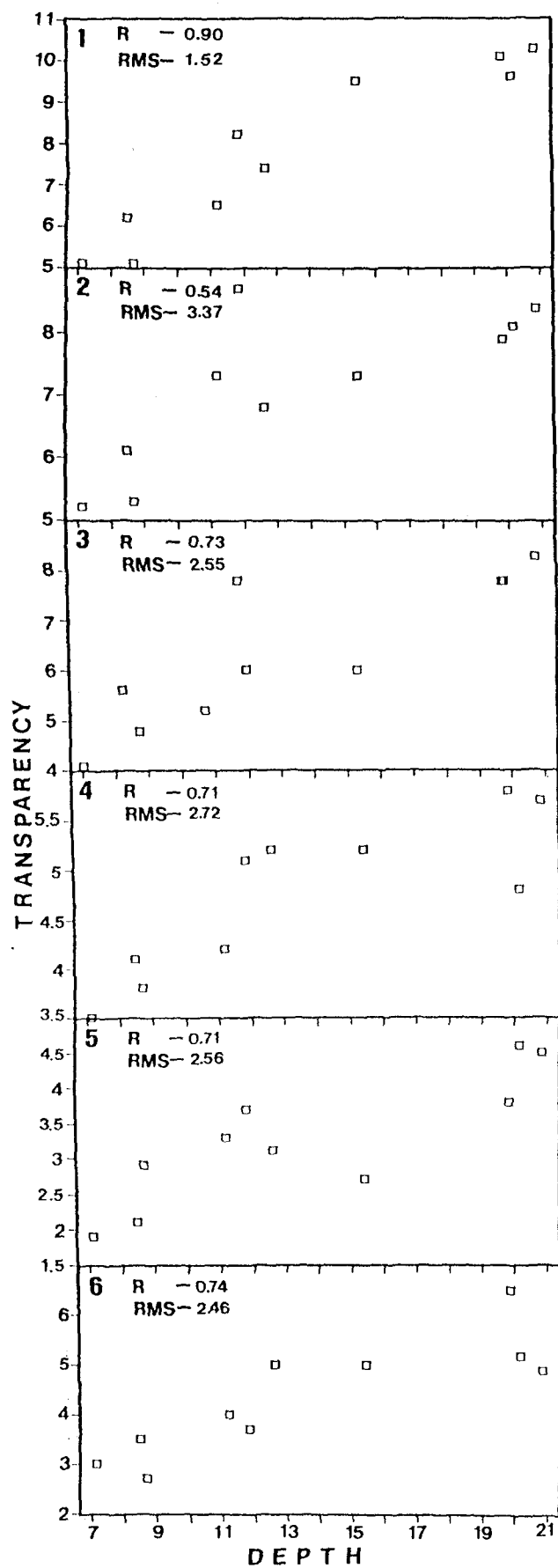


図3。水深と透明度との関係。(左上側の数字は月を指す。)

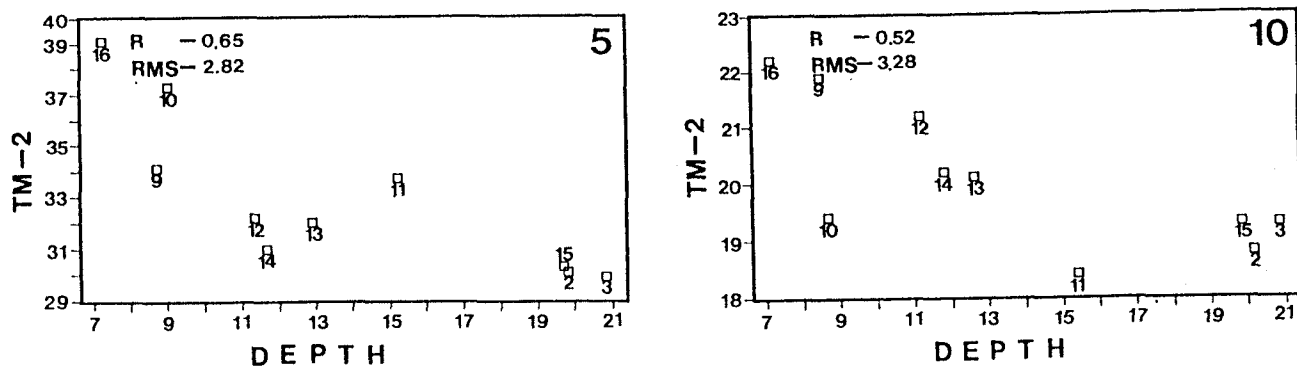


図3。ランドサット5号/TMデータのバンド2と水深との関係性図。

深推測方法は、大村湾のような濁水に対しても、その透明度が高くなると、直接的な理論式やモデルを使った水深推測モデルよりも、良い結果を得ることができる方法であることが分かる。

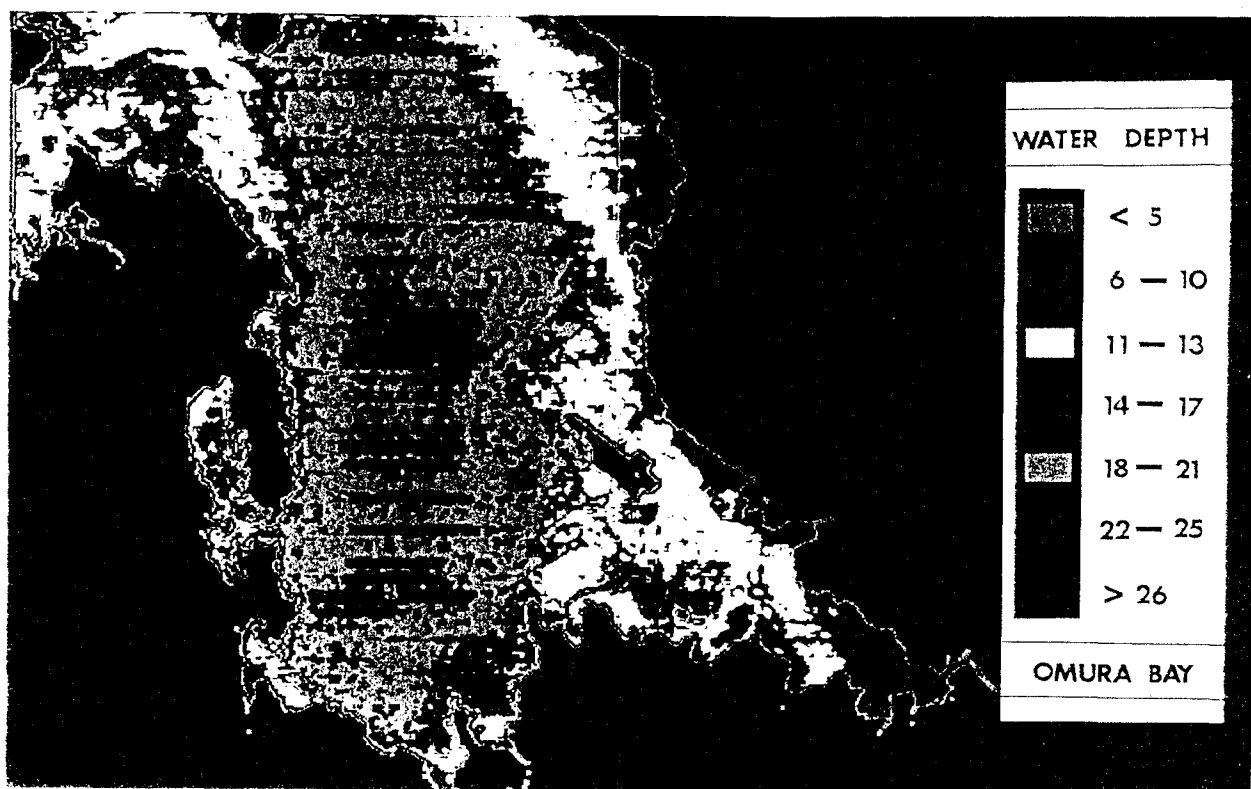


図4。本研究で提案した方法を用いて出力した結果。

図4は本研究で提案された方法を使って、1988年5月17日のデータの水深推測画像を出力したものである。これは、R.M.S. が2.20mであり、r値は0.79の結果である。(原図はカラー)

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、濁水において精度が高い水深推測方法を考え、適用してみた。その結果、濁水の水深推測をリモートセンシングデータを用いてする際、直接的な方法よりは、透明度を用いる間接的な方法が有効であることが分かった。しかし、データがまだ少ないため、多くのデータを分析し、ある程度の規則や季節的なモデルを開発するのが今からの研究課題である。筆者らは、研究を進めながら、もし透明度がバンド(1988年5月17日のランドサットのTMデータ)別に測られるととってもおもしろい結果が得られるのではないかと思い、今後から続けて、大村湾を対象にバンド別の透明度を測り、その結果を分析する研究を計画している次第である。本研究で用いられた現場観測データは、長崎県衛生公害研究所が実施した海上実

測調査で得られたことで、ここに記して、深甚の感謝を表する次第である。

5. 参考文献

- 1。海上保安庁水路部：5万分の1沿岸の海の基本図（海底地形地質調査報告—金武湾）、4p., 1988.3.
- 2。Polcyn F.C. and Sattinger I.J., 1969. Water depth determinations using remote sensing techniques, Proceeding of sixth international symposium on remote sensing of environment, Ann Arbor, Michigan, Vol.1, pp. 1017-1028..
- 3。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.
- 4。Lyzenga, D.R., 1981. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. Int. J. remote sensing, 2, P. 71.
- 5。Lyzenga, D.R., 1985. Shallow-water bathymetry using combined lidar and passive multispectral scanner data, Int. J. Remote Sensing, Vol.6, No. 1, pp. 115-125.
- 6。R. Kent Clark, Temple H. Fay, and Charles L. Walker, Bathymetry calculations with Landsat 4 TM imagery under a generalized ratio assumption. Applied Optics, Vol.26, No.19, pp. 4036-4038.
- 7。Ibrahim, M., and Cracknell, A.P., 1990. Bathymetry using Landsat MSS data of Penang Island in Malaysia. Int. J. Remote sensing, Vol.11, No. 4, pp. 557-559.
- 8。Pardes, J. M., and Spero, R.E., 1983. Water depth mapping from passive remote sensing data under a generalized ratio assumption. Applied Optics, Vol. 22, No. 8, pp. 1134-1135.
- 9。Spitzer, D., and Dirks, R.W.J., 1987, Bottom influence on the reflectance of the sea. Int. J. Remote sensing, Vol. 8, No. 3, pp. 279-290.
- 10。Estep, L., Holloway, J., 1992, Estimators of bottom reflectance spectra. Int. J. Remote sensing, Vol. 13, No. 2, pp. 393-397.
- 11。全 炳徳、後藤 恵之輔、サム・ウオウトウゼン、1992、ランドサットTMデータによる有明海の水深推測、九州大学大型計算機センター計算機科学報告、第9号、pp.49-56.
- 12。安東滋、関根征士、1991、光工学、アオピーシー（株）、pp. 6-7.
- 13。Hovis, A.W., 1971. Measurements of ocean color, Proceeding of the Symposium on the Significant Accomplishments in Sciences, NASA, pp. 24-29.
- 14。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, J. ASPRS, Vol.51(9), pp. 1249-1262.
- 15。気象庁、1987、潮位表（昭和63年）、pp. 312-317.
- 16。気象庁、1987、潮位表（昭和63年）、p. 318.
- 17。Jerlov, N.G., 1976. Marine Optics, Elsevier, New York, pp. 83-87.
- 18。Lyzenga, D.R., 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, Appl. Optics, Vol.17, p. 379.
- 19。Clark, R.K., Fay, T.H., and Walker, C.L., 1988. Bathymetry using Thematic Mapper imagery, SPIE, Vol.925, pp. 229-231.
- 20。全 炳徳、後藤 恵之輔、サム・ウオウトウゼン、1991. 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、海洋開発論文集、Vol.7, pp.189-192.