

リモートセンシングによる有明海浅海域の海象の研究
(III) ランドサット5号 TM データによる
濁度と海面温度分布の推定

瀬口 昌洋・渡辺 潔

(浅海干潟総合実験施設)

昭和63年10月31日受理

Study on Oceanic Phenomena in the Shallow Area of
the Ariake Sea by Remote Sensing
(III) Estimated Distributions of Turbidity and Sea Surface
Temperature by Landsat-5 TM Data

Masahiro SEGUCHI and Kiyoshi WATANABE
(Research Institute on Shallow Sea and Tideland)

Received October 31, 1988

Summary

The distributions of turbidity and sea surface temperature in the interior parts of the Ariake Sea in the winter season were estimated by using Landsat-5 TM data.

In the present study, an empirical approach known as the "correlation method" of relating TM data with simultaneously collected "sea truth" data through liner regression analysis was employed.

Highly significant relationships were recongnized between TM Band 4 data and turbidity, and between TM Band 6 data and sea surface temperature. Accordingly, the distributions of turbidity and sea surface temperature were estimated by using TM Band 4 and 6 data, respectively. The results indicated that these distributions were influenced strongly by tide and the behavior of fresh water from the rivers and sea water from the open sea, etc.

Key words : remote sensing, Landsat, Thematic Mapper, turbidity, sea surface temperature

緒 言

有明海奥部における海象の時空間スケールやその変動構造は、広い外海のそれらに比べて非常に小さく、かつ複雑である。このような内湾において水質などの分布性を的確に把握することは非常に難しい。従来、湾内における水質などの分布性は、多くの船による同時一斉現地観測によって推定されてきた。しかし、このような方法は、多くの経費と労力を費やすと同時に、その“点”情報から“線”あるいは“面”情報への変換過程において、かなりの誤差を含むものと考えられる。

特に近年、沿岸や内海あるいは内湾などの環境調査に人工衛星によるリモートセンシングが

積極的に活用されつつある^{1), 2), 3)}. この方法は、衛星リモートセンシングの有する広域性、同時性さらに反復性といった長所を有効に活用したものといえる。

ここでは、前報⁴⁾の研究で利用した LANDSAT 5号 TM (Thematic Mapper) データを用いて、有明海奥部の水質、特にここでの干潟の発達・形成過程と密接に関連する濁度分布、並びに海面温度分布の推定を試みた。

濁度と海面温度分布の推定

1. TM データ

LANDSAT 5号 TM データには、可視波長域から熱赤外波長域にわたって7バンドのデータが収録されている。

ところで、高度 h の人工衛星に搭載された TM センサーに達する波長 λ の電磁波エネルギー (分光輝度) $L(\lambda, h)$ は、一般に次式で表される。

$$L(\lambda, h) = \tau(\lambda, h)L_u(\lambda) + L_p(\lambda, h) \quad (1)$$

ここに、 $\tau(\lambda, h)$ は大気分光伝達関数、 $L_u(\lambda)$ は地表面での上向き分光輝度、そして $L_p(\lambda, h)$ は大気から放射される光路輝度 (path radiance) である。

特に、海域では可視及び近赤外波長域に対し、(1)式中の $L_u(\lambda)$ は次式で与えられる。

$$L_u(\lambda) = L_s(\lambda) + L_w(\lambda) + L_b(\lambda) \quad (2)$$

ここで、 $L_s(\lambda)$ 、 $L_w(\lambda)$ 及び $L_b(\lambda)$ は、Fig. 1(a)に示されるように、それぞれ水面、水中及び海底での反射分光輝度である。

一方、熱赤外波長域に対しては、 $L_u(\lambda)$ は次式で与えられる。

$$L_u(\lambda) = \varepsilon(\lambda)L_T(\lambda) + \gamma(\lambda)L_d(\lambda) \quad (3)$$

ここで、 $\varepsilon(\lambda)$ は地表面の放射率、 $L_T(\lambda)$ は黒体分光放射輝度、そして $\gamma(\lambda)$ は地表面の反射率である。なお、 $L_T(\lambda)$ は Planck の法則に従い、絶対温度 $T(^{\circ}\text{K})$ の関数として次式で与えられる⁵⁾。

$$L_T(\lambda) = \frac{2\pi PC^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c\rho/\lambda kT} - 1} \quad (4)$$

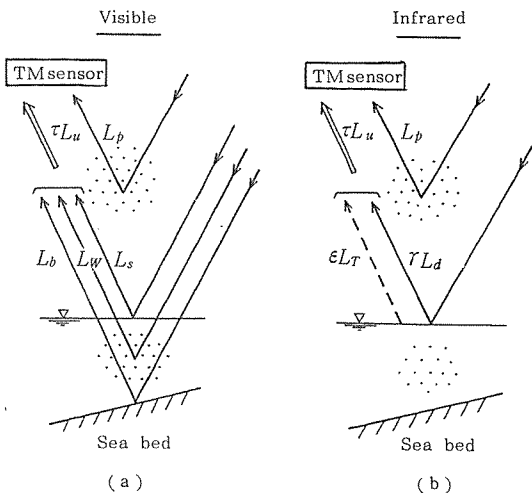


Fig. 1 Spectral components detected by TM sensor

ここで、 $L_T(\lambda)$ の単位は $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 、 P は Planck 定数 ($6.626 \times 10^{-34} \text{W} \cdot \text{sec}^2$)、 C は光速 ($2.988 \times 10^{10} \text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$) そして k は Boltzmann 定数 ($1.380 \times 10^{-23} \text{W} \cdot \text{sec} \cdot \text{K}^{-1}$) である。

したがって、(2)式から明かなように、可視及び近赤外波長域の Band 1~4 のデータには、path radiance L_p や水面反射分光輝度 (sun glitter) L_s のような潜在的ノイズと共に、 L_w と L_b とによりもたらされる水質や海底地形などの情報が含まれている。特に、これらの情報量は波長、水深及び海水中の懸濁物質の種類と量に大きく依存している。また、(3)、(4)式から明らかなように、熱赤外波長域の TM Band 6 のデータには海面温度の情

報が含まれている。したがって、求めようとする海域情報は適切なバンドと処理方法を選択することにより、TM データから抽出される。

2. 濁度及び海面温度と TM データとの関係

リモートセンシングの基本原理は、対象物の種類と状態の差異により、分光特性が大きく変化することに依拠している。この研究では、まず濁度と可視及び近赤外波長域における分光特性すなわち反射率との関係を明らかにするために、有明海奥部の筑後川河口域で分光光度計と濁度計を用いて現地測定を実施した。その測定結果を示すと、Fig. 2 となる。測定日の気象条件に恵まれなかったため、この結果は必ずしも精度的には満足すべきものではない。しかし、全般的な分光特性は、ここで十分に示されているものと考えられる。図示されるように波長域0.4

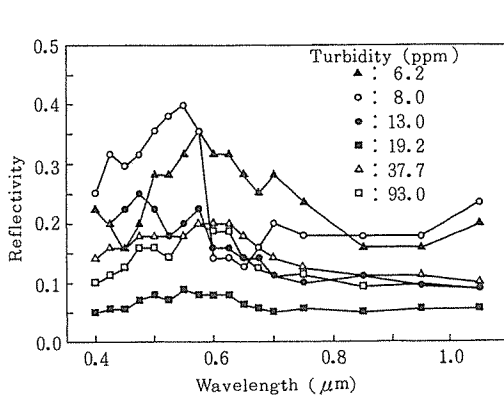


Fig. 2 Relation between turbidity and reflectivity

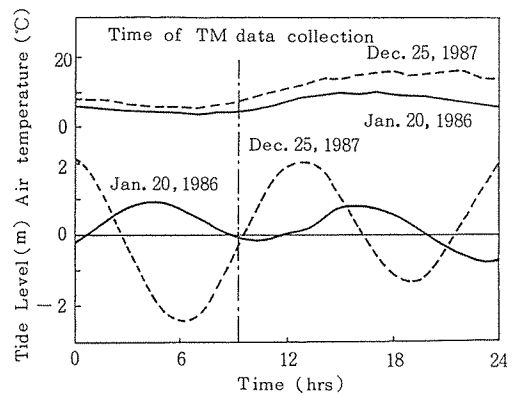


Fig. 3 Tide level and air temperature in the interior parts of the Ariake Sea at the time of TM data collection

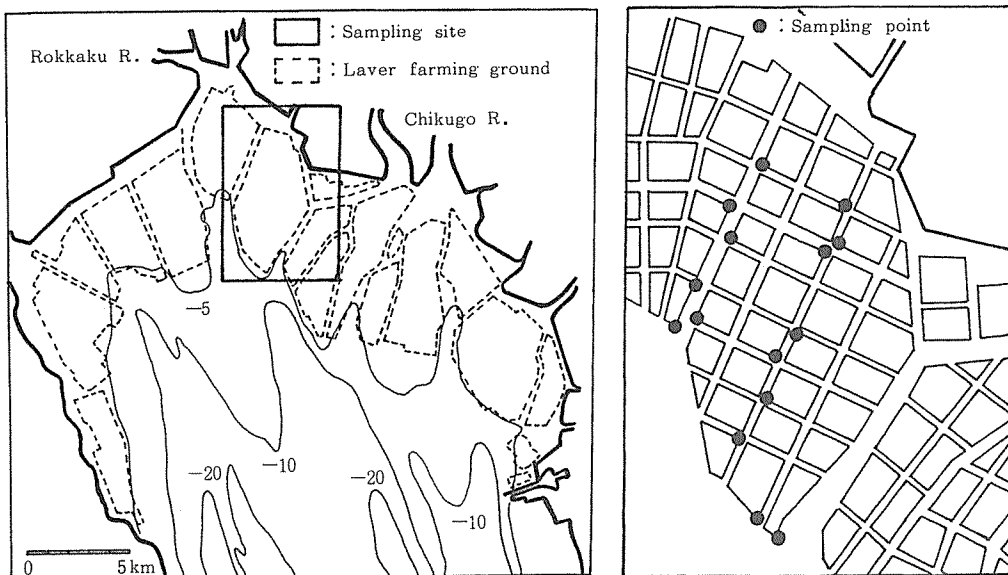


Fig. 4 Sea truth data sampling points in the interior parts of the Ariake Sea

～0.8 μm の範囲で、反射率は濁度に応じて著しく変化しており、両者の間に深い関連性が認められる。したがって、この波長域に対応する TM Band 1～4 のデータは、濁度に関する情報の抽出に有効と考えられる。

次に、濁度とこれらの各バンドの CCT (Computer Compatible Tape) カウント値との相関性をみるために Fig. 3 に示される

Landsat 5 号の通過時刻 (10時18分) に合わせて濁度、海面温度などの現地測定を実施した。これらのシートルースの収集地点は、Fig. 4 に示されるように海苔網の間を縦横に通過する潮通し (船通し) の交差点付近に設定された。そして、測定地点を海苔漁場を明瞭に表す TM Band 5 のシュードカラー画像上で同定し、それらのラインとピクセル番号を把握した。さらに、これらの番号の回りに配列している 3×3 の各バンドの画素から求めた CCT カウント値の平均値との間の相関係数を算出した。なお、Band 1 のデータについては、海域情報が認められなかったために⁴⁾、相関係数は求められなかった。

各バンドの CCT カウント値と濁度 (TB) の対数変換値 ($\text{Ln } TB$) との相関係数 (CR) を求めると、Table 1 となる。この表から明らかなように、Band 4 の CCT カウント値 ($B4$) と $\text{Ln } TB$ との間に高い相関性が認められる。したがって、両者の間の回帰式を求めると、次式となる。

$$TB = 2.25 \times 10^{-3} \exp(0.389 \times B4) \quad (5)$$

ここで、 TB の単位は ppm である。また、これらの関係を図示すると、Fig. 5 となる。

一方、上述したように Band 6 のデータは海面温度情報を含んでいる。そこで、Band 6 の CCT カウント値 ($B6$) と海面温度 (WT) との間の相関係数を求めると、Table 1 となる。この表に示されるように、両者の間には高い相関性が確認される。したがって、両者の間の回帰

Table 1 Correlation coefficients (CR) between CCT count value and turbidity ($\text{Ln } TB$) or sea surface temperature (WT)

Band	$\text{Ln } TB$			WT
	Band 2	Band 3	Band 4	Band 6
CR	0.75	0.85	0.95	0.98

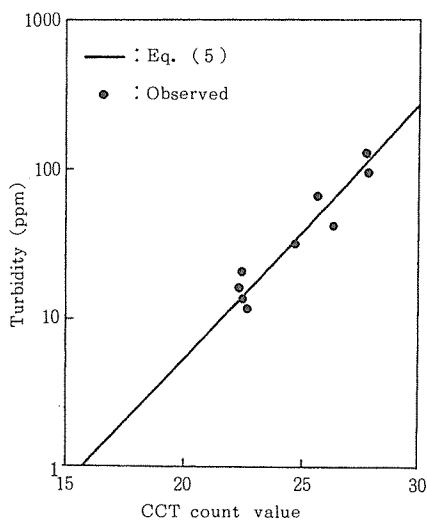


Fig. 5 Relation between Band 4 CCT count value and turbidity

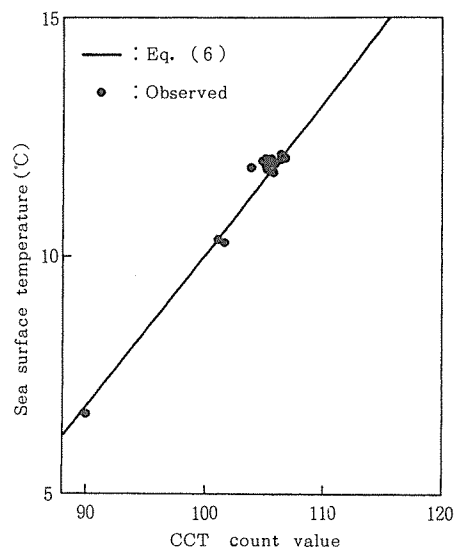


Fig. 6 Relation between Band 6 CCT count value and sea surface temperature

式を求めると、次式となる。

$$WT = -21.49 + 0.315 \times B6 \quad (6)$$

ここで、 WT の単位は $^{\circ}\text{C}$ である。また、これらの関係を図示すると、Fig. 6 となる。

3. 推定結果及び検討、考察

衛星リモートセンシングの画像データを用いた水質分布などの推定方法として、相関法と電磁波の反射あるいは放射理論に基づく方法とに大別される⁶⁾。前者は、画像データとシートルースとの間の回帰分析により、両者の間の関係式を求めておき、この経験式を用いて画像データより水質分布を推定しようとするものである。この方法は、シートルースと画像データとの間の直接的関係を利用するため、大気中の水分やエアロゾルなどが電磁波の伝播過程に及ぼす影響を陽に考慮する必要がない。しかし、衛星の通過時に合わせて毎回シートルースを測定し、これと画像データとの間の関連性を新たに求めなければならないという煩わしさを伴う。一方、後者においては、画像データから水質分布を直接推定することができるため、推定の迅速化を計ることができる。しかし、現在のところ、複雑な大気中での電磁波の伝播過程を的確にモデル化することができず、精度や実用性の点でまだ検討の余地が残されている。

このような点を考慮し、ここでは広く一般に用いられ、有用性が明らかにされている⁷⁾相関法により、有明海奥部の水質分布の推定を試みた。

まず濁度分布は、先に求めた(5)式を利用して、Band 4 の CCT カウント値より推定された。その結果は Fig. 7 に示される。図示されるように、1986年1月20日と1987年12月25日の両日における濁度分布の推定値に大きな差異が認められる。すなわち、前者においては高濁度域が干潟域に限定されており、湾奥部の大部分は低濁度域となっている。しかし、後者においては高濁度域が湾奥部の広範囲にわたって広がっている。これらの差異は、Fig. 3 に示されるように両日の潮汐の違いに起因していると考えられる。つまり、小潮下げ潮時の前者においては潮流による底質の巻き上げが干潟域に限定され、一方大潮上げ潮時の後者においては、それが湾奥部の広範囲で発生したためと考えられる。

同様に海面温度分布は、(6)式を用いて Band 6 の CCT カウント値より推定された。その推定

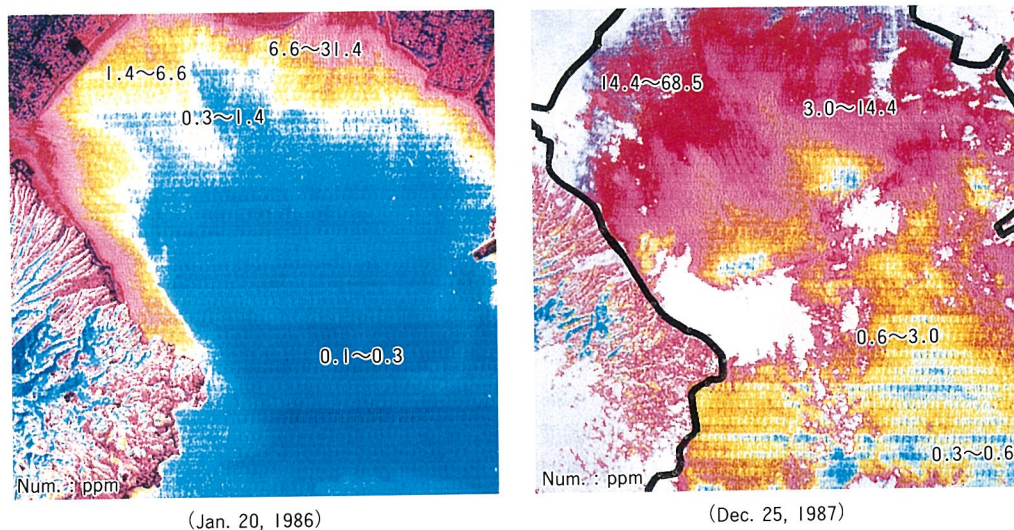


Fig. 7 Estimated distribution of turbidity in the interior parts of the Ariake Sea

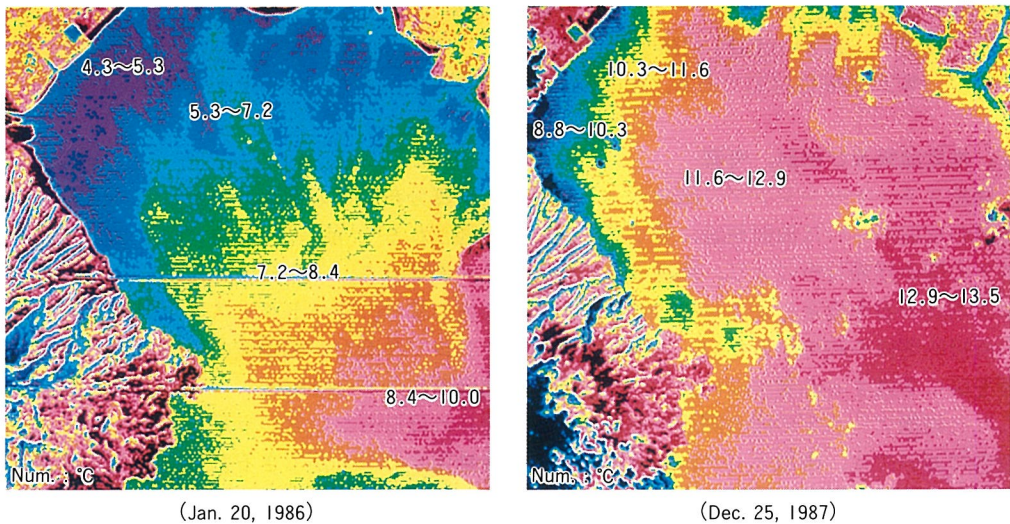


Fig. 8 Estimated distribution of sea surface temperature in the interior parts of the Ariake Sea

結果は Fig. 8 に示される。図示されるように1986年1月20日においては、湾奥部の海面温度は 8°C 以下のかかなり低い値となっている。しかし、1987年12月25日のそれは $8\sim 13^{\circ}\text{C}$ と比較的高い値を示している。これらの差異には、濁度分布の場合と同様に両日の潮汐の違いが大きく影響しているものと考えられる。すなわち、前者は小潮下げ潮時であったため、低水温の河川水が湾奥部に広く拡散し、海面温度の低下をもたらし、一方、後者は大潮上げ潮時であったため、温度の高い外海水がここに流入し、海面温度を上昇させたためと考えられる。その他、Fig. 3にも示されるように両年の冬季の気温の差も海面温度分布に影響しているものと推測される。

ま と め

本報では、Landsat 5号 TM データによる有明海奥部の濁度と海面温度分布の推定を試みた。そして、その結果について検討、考察した。ここで明らかにされた知見についてまとめると、次のようになる。

- (1) 波長域 $0.4\sim 0.8\ \mu\text{m}$ の範囲において、反射率は濁度に応じて大きな変化を示した。そして、この波長域において濁度と分光特性との間の相関性が確認された。
- (2) 上記の波長域に対応する TM データの各バンドのうち、特に Band 4 の CCT カウント値と濁度との間に高い相関性が認められた。また、この値と濁度との間には、(5)式の指数関数的関係が明らかにされた。
- (3) Band 6 の CCT カウント値と海面温度との間にも高い相関性が確認され、これらの間には(6)式の一次関数的関係が明らかにされた。
- (4) (5)、(6)式を用いた相関法により、有明海奥部の濁度と海面温度分布の推定が行われた。これらの推定結果より、特に冬季における濁度や海面温度分布は潮汐の状態や河川水及び湾口から出入りする外海水の挙動、さらには気温などによって大きく影響されていることが示された。

謝 辞

この研究を実施するに際し、当施設の学生永野国彦(現北海道開発庁)、中村幸典(現福岡県)の両君の協力を得た。また、この研究は、昭和62年度と63年度の文部省科学研究費〔一般研究(B)、代表者：渡辺 潔〕の補助を受けて行われた。ここに、このことを付記して深謝する。

文 献

1. 宇多高明・古川博一・竹淵 勉(1984). ランドサット, 航空機, 船の同時観測による沿岸海域特性の把握. 第31回海岸工学講演会論文集, 690-694.
2. 宇多高明・古川博一・竹淵 勉(1985). ランドサットによる沿岸水理の観測. 第32回海岸工学講演会論文集, 772-776.
3. 神田勝己・小山田宇高・高原千秋(1987). リモートセンシングによる伊勢湾奥部水質調査. 第34回海岸工学講演会論文集, 680-684.
4. 渡辺 潔・瀬口昌洋(1988). リモートセンシングによる有明海浅海域の海象の研究(II) ランドサット5号 TM データから見た流況. 佐賀大農彙65, 53-59.
5. 日本リモートセンシング研究会(1981). 画像の処理と解析. 共立出版. 東京. p.11
6. 松村皐月(1987). リモートセンシングによる沿岸観測手法とその問題点. 沿岸海洋研究ノート24, 134-144.
7. Lathrop, Jr.R.G. and T.M.Lillesand (1986). Use of Thematic Mapper data to assess water quality in Green Bay and Central Lake Michigan. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52, 671-680.