

大村湾の水質汚濁の遠隔監視

長崎大学工学部	正会員 後藤恵之輔
近畿大学九州工学部	森 正寿
復建調査設計(株)	正会員 後藤 正孝
日本道路公団	川内 清明

1. まえがき

近年、閉鎖性水域において進行しつつある富栄養化現象による水質汚濁¹⁾は、沿岸漁業を始めとして近隣の生活環境に多大な被害をもたらし、大きな社会問題となっている。琵琶湖と霞ヶ浦²⁾はその代表的な例であるが、長崎県の中央部に位置する大村湾³⁾も、これらと同じく水質汚濁の問題を抱えている。

水質汚濁の現象を解明し、水質の予測、制御、さらには浄化を行っていくためには、その第一段階として湾内の水質を監視する必要がある。しかし、従来の方法では、広範囲にわたる場合、時間や経費がかかるばかりでなく、あるポイントを決めて行うため精細な調査はなされない。

人工衛星によるリモートセンシングでは、同時に広域にわたる環境状態を計測することができ、また周期的な反復観測を利点としているため、水質監視を行ううえでは有効であると考えられる。本研究では、人工衛星ランドサットによるリモートセンシング・データを用いて、大村湾の水質監視を行おうとするものである。

2. 大村湾の地形と地質

長崎県の中央部に位置する大村湾^{4), 5)}は、通称「琴の湖」と言われる風光明媚な海湾で、周辺は大村湾県立自然公園として県民に親しまれている。同湾は南北に約26km、東西に約11km、総面積約320km²の中型湾であり、佐世保湾と連結する針尾瀬戸と早岐瀬戸の2つの狭小な瀬戸と佐世保湾口とで閉鎖されている、いわゆる二重閉鎖性水域である。湾内は西岸に、大串・形上・村松湾のリアス式支湾が、また南岸には、時津湾・長与浦・津水湾があり、こまやかな入江と岬とが発達している。湾内の水深は全体的に浅く、最も深い湾口の針尾瀬戸付近が25~30mで、湾内の大部分は15~18mの起伏の少ない比較的平坦な海底地形で、海盆状となっている。底質の性状は、湾口部で潮流の速い海域に岩礁、礫および粗砂から細砂がみられるが、大部分は粘土性分を含んだシルトが分布している。

3. 大村湾の水質汚濁

大村湾⁶⁾は、昭和49年 6月に環境基準の水域類型が海域A類型に指定され、同湾に流入する河川についても14河川にそれぞれ類型指定がなされている。また、総貯水量(47.3×10⁸m³)に見合う海水交換がないため、湾水は停滞気味である。

近年の大村湾⁷⁾は、周辺の開発による生活排水の流れ込みによって、年々水質が悪化している。湾内は古来、天然真珠自生地として知られ(肥前風土記)、昭和42年以前は真珠養殖では三重県英虞湾に次ぐ高い生産を挙げていたが、近年では赤潮の発生などによって、生産は低迷している。

海域別に環境基準を大きく上回る箇所をみても、60年度は2箇所だったのに対し、61年度は10箇所にも及んでいる^{7), 8)}。このような水質汚濁を防止し、40年代の大村湾の姿を取り戻すため、長崎県では排水量の規制を厳しくするなどの対策⁹⁾を講じている。

4. リモートセンシングによる調査・解析の概要

リモートセンシング¹⁰⁾では、地上の対象物の性質、種類、形状などを非接触で計測するため、広域にわたる環境条件を同時に計測することができる。水域においては、水質の違いによって太陽光を反射するスペクトル特性が異なるため、上空から太陽の反射スペクトルを面的に計測することにより、水質分布の定量的把握が可能と考えられる。

本解析では、ランドサットの観測に合わせて同日、同時刻前後に大村湾現地においてシートルースを行い、水質に関するデータを収集し、ランドサットデータとの相関解析を行った。データ処理の流れを図-1に示す。湾内17個の各ポイントにおいて単バンドと水質に関する要素とを対応させ、そのバンドと要素との相関係数を計算する。これを各バンドと各要素について行い、相関係数の高い組合せについて最小2乗法を用いてモデル式を導き出す。また、相関の低い組合せについても、散布図の状態から何らかの関係が見られる組合せを抽出し、それ

に沿う方法で相関係数を求め、値が高ければモデル式を導き出す。次に各ポイントにおいて、水質に関する項目とバンド間演算値(例えば バンド4/バンド5)とを対応させ、その相関を単バンドの場合と同じように調べる。

バンド間演算値として、

- ① バンドA－バンドB
- ② バンドA/バンドB
- ③ バンドA×バンドB
- ④ (バンドA－バンドB)/(バンドA+バンドB)
- ⑤ (バンドA×バンドB)/(バンドA－バンドB)
- ⑥ (バンドA－バンドB)/(バンドA×バンドB)

A, B = 4, 5, 6, 7

を用いた。

5. シートルース

ランドサットの観測に合わせて、1983年12月6日に大村湾現地においてシートルースを行ない、水質に関するデータを収集した。シートルースの概要を以下に記す。

- (i) 対象水域 大村湾
- (ii) 実施日時 1983年12月6日 午前9:05～午後2:05
- (iii) 観測項目 海上17点の環境基準点における透明度など8項目にわたる水質データ

シートルースによって得られた水質に関するデータを表-1に示す。

表-1 水質測定結果

No. 環境基準点	位 置		採水時刻 時 分	水 温 (℃)	水 深 (m)	透明度 (m)	PH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	塩素イオン (mg/l)	総リン (μg/l)
	N	W									
1. 湾中央 (北)	33°01'55"	129°47'47"	12:30	15.7	18.2	8.2	8.4	8.0	2.6	18700	16.5
2. 湾中央 (中)	32°59'06"	129°51'16"	11:35	15.3	20.4	9.4	8.5	8.1	3.2	18400	15.3
3. 湾中央 (南)	32°55'12"	129°52'43"	11:10	15.2	20.0	8.1	8.5	8.1	3.4	18400	16.4
4. 早岐港	33°04'32"	129°47'24"	12:55	15.3	8.6	6.6	8.4	8.1	3.2	18600	15.3
5. 川棚港	33°03'14"	129°52'00"	14:05	14.7	6.9	3.5	8.5	8.1	3.4	18300	22.5
6. 彼杵港	33°01'29"	129°54'52"	13:35	15.4	9.2	5.4	8.5	8.2	3.0	18400	16.1
7. 郡川	32°57'05"	129°55'22"	12:55	15.3	7.2	4.5	8.5	8.1	3.5	18400	17.0
8. 自衛隊沖	32°56'00"	129°55'21"	12:45	15.0	5.6	4.3	8.5	8.1	3.4	18400	17.1
9. 競艇場沖	32°53'49"	129°56'53"	12:20	14.7	8.2	3.5	8.5	8.2	3.3	18400	16.5
10. 津水湾奥	32°50'24"	130°00'13"	11:40	13.8	5.5	2.4	8.5	8.6	3.8	18100	26.3
11. 喜々津川	32°50'24"	129°59'23"	11:25	14.0	7.9	3.9	8.5	8.4	3.7	18200	24.3
12. 祝崎沖	32°51'56"	129°57'34"	11:10	13.8	15.0	3.8	8.5	8.2	3.5	18200	19.9
13. 長与浦	32°50'56"	129°52'02"	10:15	14.0	10.4	3.5	8.4	8.2	3.8	18200	26.2
14. 時津沖	32°49'54"	129°50'55"	9:50	13.9	5.6	3.1	8.4	7.7	3.7	18000	35.0
15. 久留里沖	32°50'32"	129°50'40"	10:00	14.3	14.2	4.3	8.4	7.9	3.2	18200	23.8
16. 形上湾	32°55'29"	129°47'40"	10:25	14.2	12.2	6.6	8.4	7.9	3.6	18200	20.6
17. 大串湾	33°00'49"	129°45'03"	13:30	15.6	12.6	7.5	8.4	8.1	2.7	18700	17.2

6. ランドサットデータの抽出方法

今回の解析で説明変数として使用したランドサットデータの抽出方法は、まず図-2に示す湾内17ポイントの環境基準点をランドサットデータ上のピクセル(メッシュポイント)に決定し、そのピクセルと周りを囲む合計9つのピクセルのCCT値の平均をとり、そのポイントのCCT値とした。

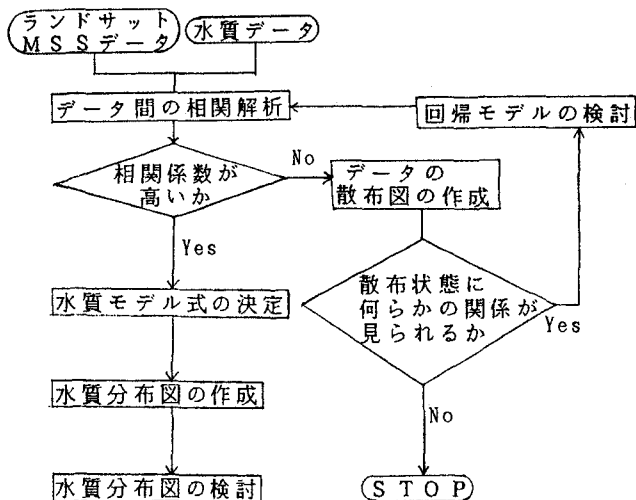


図-1 データ処理のフローチャート

これを各バンドについて行なった結果が表-2である。また使用したランドサットデータの概要を表-3に示す。



図-2 大村湾内の環境規準点

表-2 大村湾水質測定点
のランドサットMSSデータ

環境基準点 No.	M S S データ			
	バンド 4	バンド 5	バンド 6	バンド 7
1. 湾中央(北)	39.8	21.4	3.3	2.0
2. 湾中央(中)	39.4	20.8	4.2	2.1
3. 湾中央(南)	39.0	20.1	3.9	1.7
4. 早岐港	39.7	24.6	4.7	2.6
5. 川棚港	41.3	21.2	4.2	2.3
6. 彼杵港	39.6	19.8	3.3	3.0
7. 郡川港	40.1	20.1	3.2	2.3
8. 自衛隊沖	42.1	23.4	3.4	2.8
9. 競艇場沖	43.6	22.1	3.8	3.6
10. 津水湾沖	48.1	34.7	9.8	6.4
11. 喜々津川沖	42.4	21.2	4.0	3.2
12. 祝崎沖	40.8	20.6	3.9	2.0
13. 長与浦	40.0	20.8	3.0	2.0
14. 時津港	40.9	21.1	4.1	2.3
15. 久留里沖	40.1	20.2	3.4	2.0
16. 形上湾	39.9	22.6	4.3	2.3
17. 大串湾	39.6	20.8	3.7	2.4

表-3 使用ランドサットデータの概要

衛星	Landsat 4号
センサ	MSS
観測日	1983年12月6日
パスNo. -ロウNo.	D 1 1 3 - 0 3 7
補正モード	バルク
地図投影法	UTM
リサンプリング法	キュービック・ソフ・リユージョン
フォーマット	BIL
記録密度	6250 bpi

7. 画像データと水質の単相関

各水質要素の実測値とランドサットMSSデータの各バンドのCCT値との散布状態を、透明度と総リンを例にとり図-3、図-4に示す。表-4はこれら散布図から得られる単回帰分析結果の相関係数である。この解析結果によれば、高い相関をもった組合せは存在しなかった。しかし、水質要素と各バンドのCCT値との散布状態から、バンド4のCCT値と透明度との間に反比例の関係がみられた(図-3(a)参照)。

そこで透明度を逆数にとり、バンド4との相関係数の計算を行なったところ、 $r=0.794$ という高い相関をもつことが明かになった。

これを用いることにより、バンド4のCCT値と透明度には、表-4 各水質要素の実測値とMSSデータの各バンドの相関係数

	透明度	COD	総リン
バンド4	-0.632	0.445	0.340
バンド5	-0.314	0.320	0.206
バンド6	-0.271	0.355	0.242
バンド7	-0.461	0.304	0.176

$$\text{透明度(m)} = (0.031 \times \text{バンド4のCCT値} - 1.031)^{-1}$$

8. 画像データと水質の重相関

表-5は、各水質要素の実測値とランドサットMSSデータのCCT値のバンド間演算値との重回帰分析結果の相関係数を示している。これら解析の結果から、高い相関をもった組合せは存在しなかった。しかし、図-5

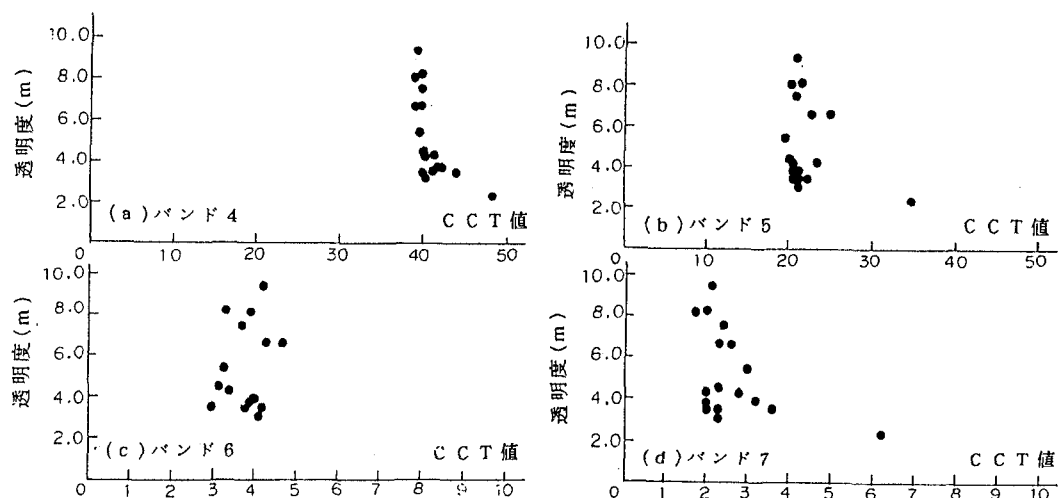


図-3 透明度と各バンド CCT 値の散布図

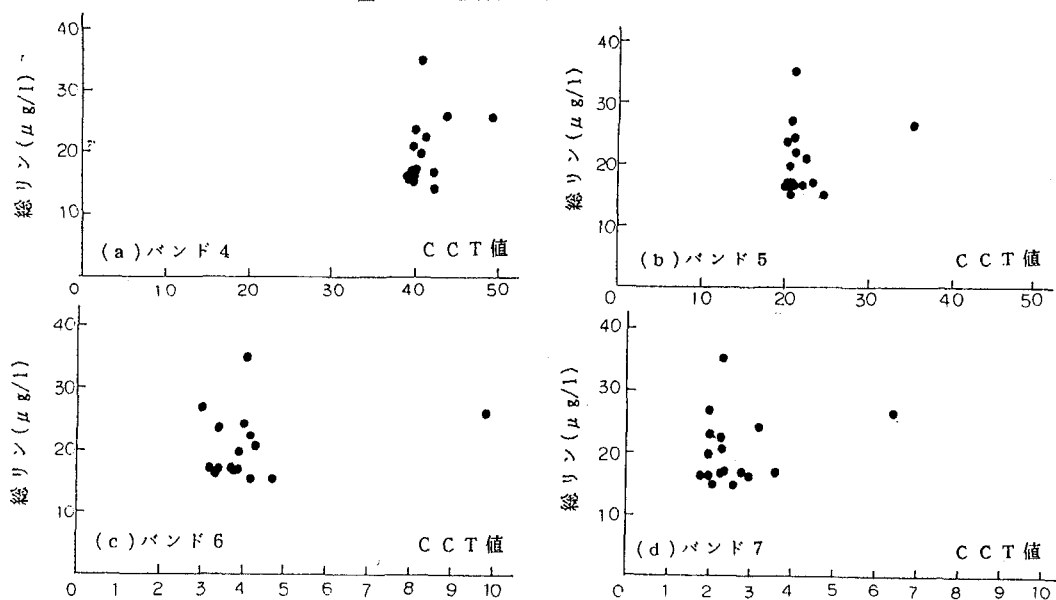


図-4 総リンと各バンド CCT 値の散布図

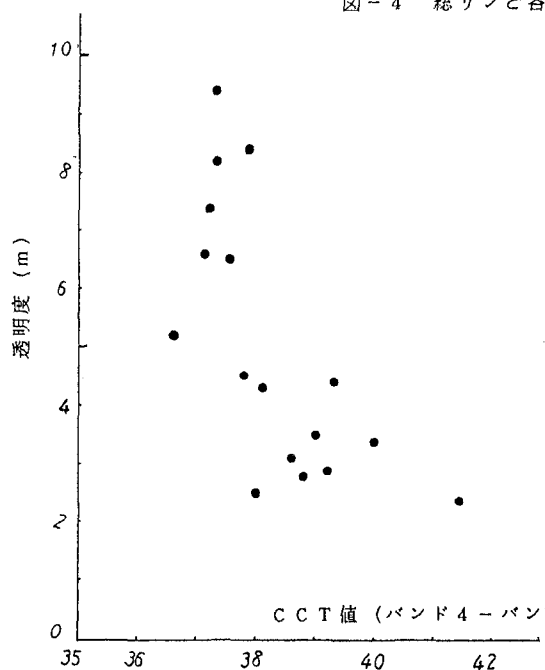


図-5 透明度とバンド間演算の散布図

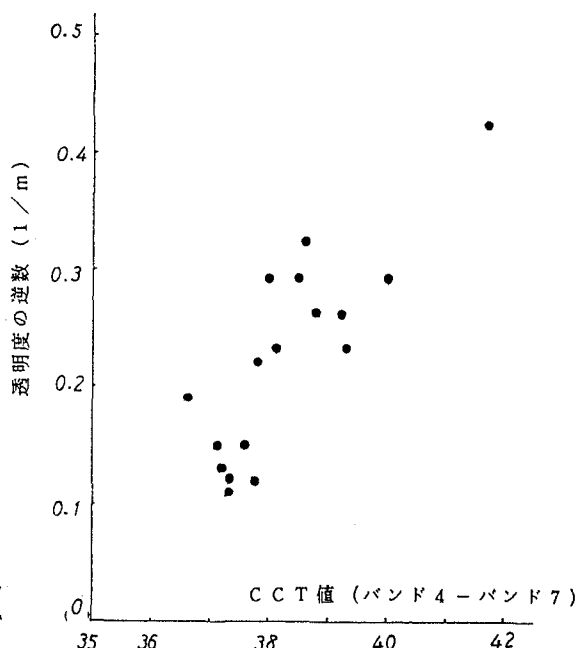


図-6 透明度の逆数とバンド間演算の散布図

に示す散布図の状態から、(バンド4-バンド7)の演算値と透明度との間に反比例の関係がみられた。

そこで、透明度を逆数にとり、(バンド4-バンド7)の演算値との相関係数を計算したところ(図-6 参照)、 $r=0.837$ という高い相関をもつことが明らかになった。これを用いることにより、(バンド4-バンド7)の演算値と透明度の間には、次に示すモデル式が成立する。

$$\text{透明度}(m) = \{0.056 \times (\text{バンド4のCCT値} - \text{バンド7のCCT値}) - 1.926\}^{-1}$$

表-5 バンド間演算値と水質との相関係数

(a) $\text{バンド4} - \text{バンド7}$

A, B	透明度	COD	総リン
4, 5	-0.147	-0.065	0.014
4, 6	-0.719	0.325	0.224
4, 7	-0.703	0.513	0.422
5, 6	-0.323	0.270	0.142
5, 7	-0.230	0.305	0.197
6, 7	-0.105	0.264	0.254

(b) $\text{バンド4} / \text{バンド7}$

A, B	透明度	COD	総リン
4, 5	0.042	-0.176	-0.061
4, 6	0.026	-0.268	-0.187
4, 7	0.043	-0.180	-0.071
5, 6	0.061	-0.291	0.243
5, 7	0.509	-0.173	-0.097
6, 7	0.450	-0.040	0.046

(c) $\text{バンド4} \times \text{バンド7}$

A, B	透明度	COD	総リン
4, 5	-0.402	0.361	0.251
4, 6	-0.327	0.370	0.288
4, 7	-0.471	0.327	0.219
5, 6	-0.305	0.345	0.264
5, 7	-0.413	0.326	0.227
6, 7	-0.373	0.341	0.264

(d) $(\text{バンド4} - \text{バンド7}) / (\text{バンド4} + \text{バンド7})$

A, B	透明度	COD	総リン
4, 5	0.081	-0.198	-0.083
4, 6	0.163	-0.322	-0.236
4, 7	0.438	-0.261	-0.147
5, 6	0.138	-0.342	-0.281
5, 7	0.497	-0.201	-0.101
6, 7	0.418	-0.045	0.104

(e) $(\text{バンド4} \times \text{バンド7}) / (\text{バンド4} - \text{バンド7})$

A, B	透明度	COD	総リン
4, 5	-0.269	0.299	0.199
4, 6	-0.274	0.353	0.272
4, 7	-0.456	0.306	0.197
5, 6	-0.274	0.357	0.278
5, 7	-0.462	0.312	0.193
6, 7	-0.314	-0.037	-0.197

(f) $(\text{バンド4} - \text{バンド7}) / (\text{バンド4} \times \text{バンド7})$

A, B	透明度	COD	総リン
4, 5	-0.509	0.196	0.176
4, 6	-0.268	0.358	0.272
4, 7	-0.466	0.301	0.188
5, 6	-0.269	0.353	0.263
5, 7	-0.458	0.305	0.193
6, 7	-0.059	0.310	0.336

9. 水質分布図の作成

ランドサットMSS画像データと水質の相関解析を行った結果、透明度に関する2つのモデル式

$$\text{透明度} = (0.031 \times \text{バンド4} - 1.031)^{-1}$$

$$\text{透明度} = \{0.056 \times (\text{バンド4} - \text{バンド7}) - 1.926\}^{-1}$$

を用いて、大村湾全域にわたり透明度の分布図を作成した。写真-1、写真-2にその結果を示す(原図はカラー)。色が黒みがかっているところが透明度の低いところで、白みがかったところが透明度の高いところである。

大村湾東南部に位置する津水湾(図-2 参照)は、最も水質の悪化している水域である。これは、この湾が最奥部にあり入り組んでいるために、湾内の水の循環がほとんどなされていらないためである。写真-1、2の透明度分布図にはその状態がうまく現れている。また大村市、東彼杵町、川棚町、

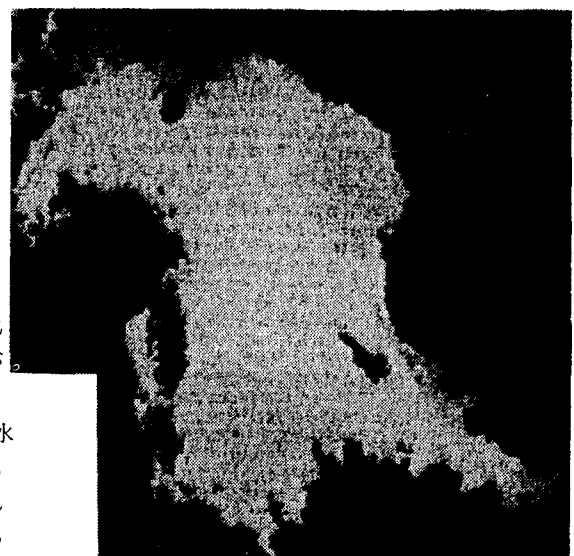


写真-1 透明度の分布図(単相関)

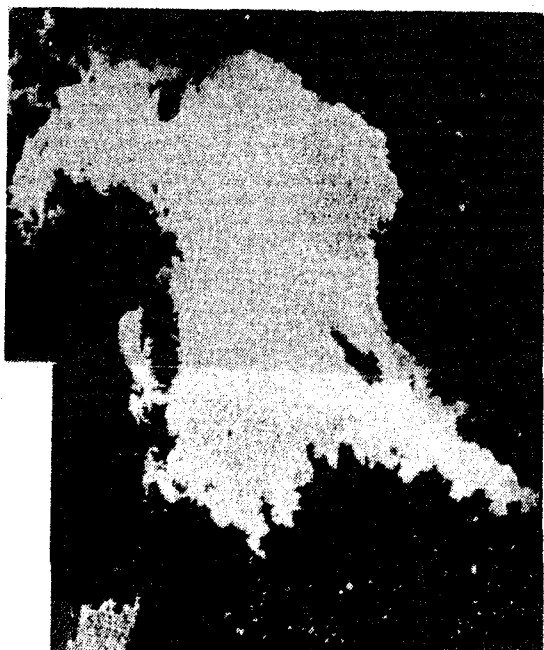


写真-2 透明度の分布図(重相関)

佐世保市の沿岸は、生活排水等が湾内へ流入することによって水質が悪化している。この点についても、分布図では透明度が低くなっている。こういったことから、この解析で得られた透明度分布は、実際の水質汚濁とうまく合致していると判定される。

10. まとめ

今回の解析から、ランドサットMSSのバンド4と透明度、(バンド4-バンド7)の演算値と透明度との間に、8. と9. で示したような関係が成立した。

水域における透明度の低下には、水中浮遊物質や植物プランクトンの影響などが考えられる。一般に、微粒子などの浮遊物質は、 $0.5 \sim 0.55 \mu\text{m}$ 付近のスペクトル帯域に影響を与えることが知られている。ランドサットMSSのバンド4は、 $0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$ の波長域であるから、このような理由により透明度との間に高い相関があったのではないかと考えられる。

また、(バンド4-バンド7)の演算値と透明度との相関が高かった。ランドサットMSSのバンド7は近赤外域で、水面では数センチのところで吸収されてしまうため、水の表面に近いところで起きる現象(赤潮やプラ

ンクトンの異常発生など)をよくとらえることが出来る。バンド4、バンド7はともに、透明度が高くなるとCCT値が低くなるという、透明度との間に負の相関を持っている。この2つのバンドの差をとることによって、透明度との間の相関が高くなることは、物理的に説明することは困難なようである。

COD、総リンはともに解析の結果、単相関、重相関いずれも低い相関係数を示している。CODや総リンの場合、その値の大小が直接反射スペクトルの変化として反映される因果関係は考えにくく、そのためCOD、総リンを画像データから検出できるという結論は見出せなかった。

今回の解析では、人工衛星データによるリモートセンシングでの水質監視は、透明度に関する限り可能であった。しかし、透明度に主として関与する因子としては、クロロフィル分布及び河川や各種排水に伴うSSの影響が強いと考えられる。そのため、今後のリモートセンシングによる水質監視においては、クロロフィル-a、SS値などの測定項目もぜひ考慮されるべきである。

謝辞：本研究に用いたランドサットMSSデータは、宇宙開発事業団地球観測センターにより、ハイゲイン方式で観測・受信されたものである。また、この観測に合わせて行ったシートルースは、長崎県環境部公害規制課および同県衛生公害研究所が実施した海上実測調査である。ここに記して、深甚の謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 西條八束：内湾の環境科学，上巻，培風館，pp.1～37，1984.
- 2) 宇都宮陽二郎：霞ヶ浦におけるLANDSAT3号のMSSデータより推定した透明度の分布，地理学評論，Vol.55，No.10，pp.707～714，1982.10.
- 3) 長崎県環境部・長崎県衛生公害研究所：大村湾栄養塩類等収支挙動調査，162p.，1983.3.
- 4) 日本海洋学会沿岸海洋研究部会：日本全国沿岸海洋誌，第22章 大村湾，pp.881～pp.883，東海大学出版会，1985.
- 5) 長崎県：大村湾周辺地域環境利用ガイド，昭和59年度環境庁委託業務報告書，101p.，1985.3.
- 6) 前出 4)，pp.879～881
- 7) 「大村湾の汚濁進む一方」，長崎新聞，1987.7.31付朝刊.
- 8) 長崎県保健環境部：昭和61年度公共用水域水質測定結果，451p.，1987.7.
- 9) 「大村湾浄化で規準見直し」，長崎新聞，1987.6.3付朝刊.
- 10) 安岡善文・横山隆三：リモートセンシングによる水質環境調査，JAFSA RS REPORT，No.794003，68p. 日本造船振興財団，1979.3.