

リモートセンシングによる水質調査とその問題点

運輸省港湾技術研究所 正会員 村上和男
 運輸省港湾技術研究所 正会員 菅沼史典
 運輸省港湾技術研究所 宮原祐二

1. はじめに

衛星画像による広範囲かつ瞬時的なデータは、毎日の天気予報に利用されている”ひまわり”の映像をはじめとして、数多くの分野に利用されている。海域環境の分野においても、周辺海域の同時刻での水質の平面分布を把握できることは、その海域の全体的な水質環境を把握できるばかりでなく、そのような水質の平面形状から海域の水塊運動の物理的なメカニズムを把握する上でも有力な手段として期待される。また、埋立や浚渫等の港湾工事にともなって発生する土砂の濁りの拡散の環境監視のモニタリングあるいは濁りの周辺海域の水質環境に与える影響を把握することは、環境保全の意味からも、また工事の進捗上の意味からも重要であると考えられる。

このような観点から、筆者らは人工衛星及び航空機からのリモートセンシングによる水質調査への適用を目的として、Landsat-5 の TM , MOS-1 の MESSR , 航空機 MSS , 及び海上からのシートルース調査を実施した。またこれらのデータを用いて、リモートセンシング画像とシートルースデータとの相関を求めた。これらの解析結果を通して、現時点でのリモートセンシング技術による水質調査の可能性、及びその問題点について考察した。

2. リモートセンシングの水質調査への応用

人工衛星を用いたリモートセンシングによる地球観測の歴史は、1970年初頭の米国における Landsat-1 (資源探査衛星) に始まり、現在でも1984年に打ち上げられた Landsat-4 , Landsat-5 が稼働中である。その他、気象観測衛星としての NOAA シリーズ、あるいは海洋観測のための SEASAT , NIMBUS 等がある。我国においても、1987年に国産初の地球観測衛星 MOS-1 が打ち上げられ、現在運用中である。表-1に Landsat-4 の MSS , -5 の TM 及び MOS-1 衛星の搭載している MESSR のセンサーの諸元を示す。このような人工衛星によるリモートセンシングの他に、航空機によるリモートセンシング調査がある。これは、人工衛星の高度が非常に高い(例えば、Landsat-5 で705km , MOS-1 で 909km) ので、大気の影響 (Path Radiance) が入りやすいこと、また衛星に積まれた機器が限られているのに対し、航空機の場合は高度が低い (1000~3000m) こと、目的に合わせた機器を搭載できること等の利点を持つ。表-2に、今回航空機に搭載した MSS センサーの諸元を示す。

リモートセンシングによって水質調査を行うためには、海域での水質と、そこから放射されてセンサーに到達する光のエネルギーとの関連を明らかにしておく必要がある。一般にセンサーに到達する光のエネルギーは図-1に模式的に示されるように、海中から放射される光ばかりでなく、海面においての反射光、大気中での太陽光の散乱光が含まれている。これより、センサーに到達する光の輝度 $L_z(\lambda)$ は、

$$L_z(\lambda) = L_o(\lambda) \cdot T_a(\lambda) + L^*(\lambda) \quad \cdots(1)$$

$$L_o(\lambda) = L_w(\lambda) + L_r(\lambda) \quad \cdots(2)$$

である。ここに、 $L_o(\lambda)$ は海面直上における上方向の放射照度で、 $L_w(\lambda)$ (海中から大気に放射される上方向の照度) と $L_r(\lambda)$ (海面より反射される空光の上方向の照度) で構成される。この $L_o(\lambda)$ は大気の影響を受けて透過率 $T_a(\lambda)$ でもって減衰しセンサーに到達する。またセンサーには太陽直達光が大気の影響を受けて散乱して生じた上方向照度 $L^*(\lambda)$ も到達する。このような $L_z(\lambda)$ の情報から $L_w(\lambda)$ を取り出して水質との関連を把握する必要がある。このためには、それぞれの水質項目 (例えばクロロフィルa) が持つ自然光に対する吸収あるいは反射スペクトルを把握することが重要となる。図-2に示すのはクロロフィルaの吸収・反射スペクトルであるが、このような自然光に対する物質の特性を利用してリモートセンシングによる水

表-1 Landsat-MSS, Landsat-TM, MOS-1 MESSR

LANDSAT-4 MSS		LANDSAT-5 TM		MOS-1 MESSR	
	(μm)		(μm)		(μm)
B-4	0.5-0.6	B-1	0.45- 0.52	B-1	0.51-0.59
B-5	0.6-0.7	B-2	0.52- 0.60	B-2	0.61-0.69
B-6	0.7-0.8	B-3	0.63- 0.69	B-3	0.72-0.80
B-7	0.8-1.1	B-4	0.76- 0.90	B-4	0.80-1.1
		B-5	1.55- 1.75		
		B-7	10.40-12.50		
		B-6	2.08- 2.35		

表-2 航空機MSS

Band	波長(μm)	色調	帯域
2	0.425-0.439	青緑	可視
3	0.462-0.481	青緑	可視
4	0.499-0.519	黄緑	可視
5	0.535-0.557	黄緑	可視
6	0.570-0.592	黄緑	可視
7	0.608-0.635	黄緑	可視
8	0.654-0.669	赤	可視
9	0.688-0.708	赤	可視
10	0.723-0.740	濃赤	近赤外
11	0.762-0.782	—	近赤外
16	2.060-2.450	—	中間赤外
17	8.000-12.00	—	熱赤外

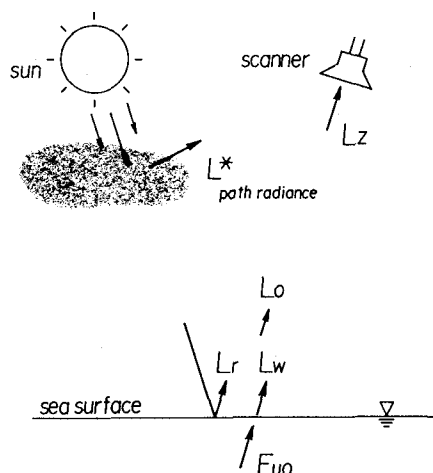


図-1 大気中の放射伝熱機構

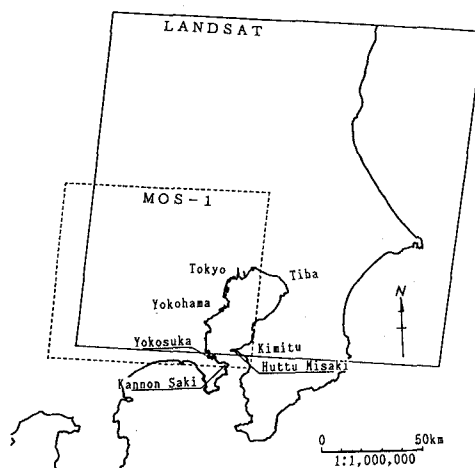


図-3 Landsat-5号とMOS-1衛星の撮影範囲

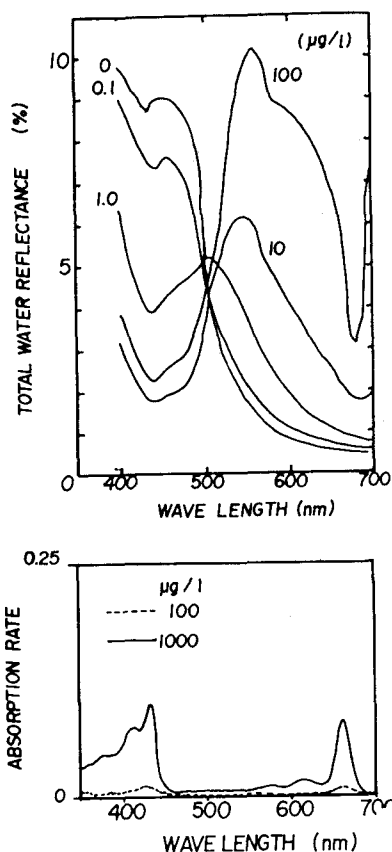


図-2 クロフィルaの分光反射率と吸光スペクトル

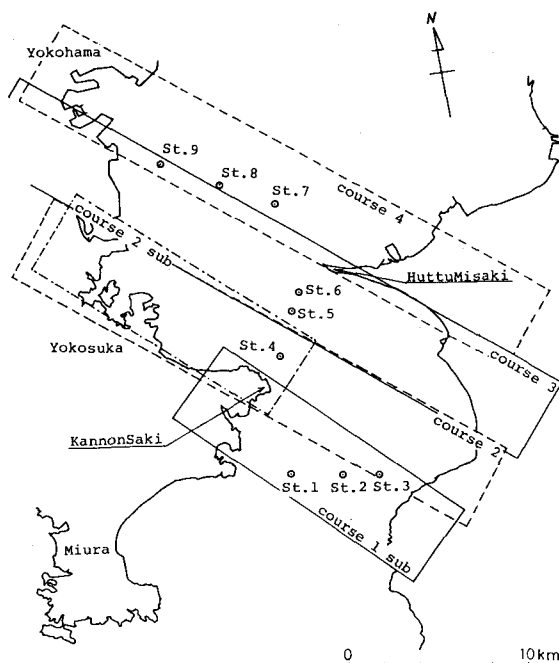


図-4 航空機MSSの飛行コースとシートルースの調査地点

質の測定を行うものである。

3. 東京湾口におけるリモートセンシング調査

調査対象海域を東京湾において、1986年 8月 6日(夏期)に Landsat-5 のTMと航空機MSS調査¹⁾、また1988年 2月 9日(冬期)にMOS-1,MESSR と航空機MSS調査²⁾をそれぞれ同期させて実施した。図-3にLandsatとMOS-1の撮影範囲を、図-4に冬期に実施した航空機の飛行コース、およびシートルースの調査地点を示す。夏期の調査もほぼ同様に実施している。シートルースによる水質調査項目は表-3に示されたものである。

3.1 シートルース調査

リモートセンシング調査時における東京湾口の水質の概要を、同期して実施したシートルース調査の結果から示す。表-4に示すのは夏期のシートルース調査の結果である。本調査日は、数日前に関東地方を台風が通過し相当量の降雨があった後なので、湾奥から大量の濁りが拡がっており、その影響が塩分及び濁度に現れている。また表-5に示すのは、冬期に実施したシートルースの結果である。冬期は一般的に水質は良いが、湾内の水質が若干汚れている傾向がみられ、その結果が透明度に顕著に現れている。

3. 2 航空機MSSによるリモートセンシング調査

図-5に夏期に実施した航空機MSSの各バンド(2~10バンド)の輝度レベルのシートルース調査地点近傍での値を示す。ここに示す値は、各波長帯毎に平均値100、標準偏差10になるように規格化されている。この図から、測点7~9及び測点3の輝度値が各バンドとも高い値を示していることがわかる。このような結果は、シートルースの結果において湾内の各点と湾外の測点3での濁度が高かった結果を示している。このMSSのデータとシートルースの水質結果との相関を求めたものが表-6である。塩分を除いて全般的に高い相関を示しているが、特に水温と熱赤外帯域のバンド17との相関が高い値($r=0.924$)を示している。濁度に関しては、バンド16とバンド2, 4, 5付近で高い相関を示している。またクロロフィルaに関しては、反射帯とされているバンド4, 5付近ではあまり高くなく、逆に吸収帯とされているバンド8, 9で若干高い相関を示している。

次に、冬期に実施した航空機MSSの同様の結果を図-6及び表-7に示す。赤色の長波長側のバンドで、湾内で輝度値が高く湾外で低い分布を示しているが、緑色の短波長側ではその傾向はみられていない。また相関係数に関しては、水温とバンド17、クロロフィルa及びSSとバンド9~11、透明度に関してはバンド7~11と長波長側で高い相関を示している傾向がみられる。

夏期と冬期の航空機MSSの結果より、対象海域の気象条件、水質条件がかなり違うので直接比較はできないが、どちらの場合も水温はバンド17と良い相関を示し、また長波長側においては、濁度の高

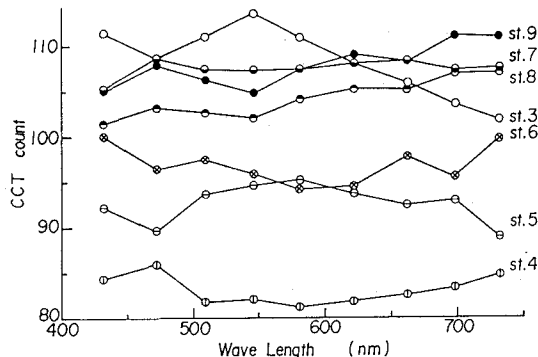


図-5 各測点のMSSの輝度分布(夏期)

表-6 MSSの各バンドと水質項目との相関(夏期)

Band	Att	Temp	Sal	Trb	SS	COD	Chl-a	D 0
2	0.585	0.873	0.260	0.775	0.608	0.814	0.419	0.668
3	0.689	0.893	0.025	0.676	0.578	0.910	0.509	0.733
4	0.643	0.870	0.119	0.735	0.631	0.846	0.446	0.680
5	0.635	0.822	0.170	0.772	0.617	0.827	0.380	0.655
6	0.674	0.867	0.028	0.736	0.682	0.873	0.495	0.721
7	0.687	0.899	-0.068	0.677	0.677	0.897	0.581	0.750
8	0.641	0.905	-0.078	0.611	0.619	0.860	0.543	0.708
9	0.663	0.920	-0.200	0.581	0.686	0.889	0.667	0.781
10	0.574	0.919	-0.172	0.499	0.587	0.832	0.646	0.734
16	0.331	0.658	0.661	0.841	0.449	0.598	0.219	0.546
17	0.299	0.924	-0.205	0.536	0.681	0.711	0.682	0.781

表-3 水質調査項目(シートルース)

測定項目	記号	測定・分析方法
水温	Temp	サーミスタ温度計
塩分	Sal	電気伝導度
溶存酸素	DO	隔膜電極法(ウィンクラ補正)
透明度	Trans	白色透明度板
照度	Att	水中放射照度計
浮遊物質	SS	採水試料の濾過
COD	COD	過マンガン酸カリウム法
クロロフィルa	Chl-	蛍光強度
濁度	Trb	透過式濁度計

表-4 シートルース調査結果(夏期: 表層0.5mの結果)

St. No (夏期)	Trans m	Temp °C	Sal. %	SS mg/l	COD mg/l	Chl-a µg/l	DO mg/l	Trb ppm	Att -
1	3.5	25.3	33.9	3.0	1.28	3.80	7.7	8.2	0.024
2	2.0	25.3	33.3	6.7	2.79	7.10	9.9	9.7	0.170
3	2.0	26.1	33.7	6.1	3.49	4.65	10.7	16.5	0.981
4	3.5	24.3	33.0	3.9	2.02	2.87	7.0	7.4	0.401
5	3.0	24.7	32.9	5.6	2.10	3.45	7.1	9.2	0.657
6	3.0	25.4	33.4	4.9	2.10	3.61	7.3	9.4	0.349
7	3.0	25.5	32.6	4.4	2.65	2.92	7.9	8.7	1.186
8	2.5	26.1	32.5	6.4	2.50	6.30	10.6	10.9	0.358
9	2.0	26.5	33.0	7.6	3.03	9.47	12.3	13.4	1.448

表-5 シートルース調査結果(冬期: 表層0.5mの結果)

St. No (冬期)	Trans. m	Temp. °C	Sal. %	SS mg/l	COD mg/l	Chl-a µg/l	DO mg/l
1	9.5	13.8	33.75	1.3	6.06	0.41	8.35
2	15.0	16.2	34.45	1.8	4.41	0.19	7.65
3	15.0	16.0	34.46	2.0	5.21	0.14	7.65
4	6.0	12.8	33.45	3.2	5.04	0.55	9.27
5	7.0	13.7	34.00	3.0	4.44	0.14	8.31
6	8.5	11.2	32.85	2.2	6.44	0.16	9.44
7	4.5	11.8	32.89	3.3	6.35	0.94	9.65
8	4.8	11.8	32.95	3.3	5.01	0.94	9.72
9	3.5	9.1	32.56	4.7	5.76	1.38	9.82

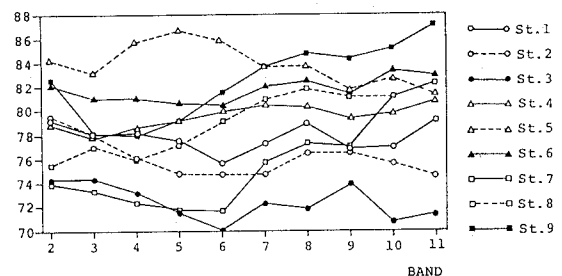


図-6 各測点のMSSの輝度分布(冬期)

表-7 MSSの各バンドと水質項目との相関(冬期)

	No	Trans	Temp	Sal	SS	COD	Chl-a	DO
M	2	-0.147	-0.262	-0.078	0.147	-0.149	-0.153	0.008
	3	-0.094	-0.120	0.022	-0.026	-0.269	-0.361	-0.054
	4	-0.186	-0.147	0.009	0.038	-0.251	-0.332	-0.020
	5	-0.360	-0.291	-0.133	0.210	-0.245	-0.152	0.139
	6	-0.512	-0.467	-0.315	0.431	-0.244	0.077	0.327
S	7	-0.713	-0.721	-0.595	0.591	0.014	0.321	0.595
	8	-0.736	-0.753	-0.642	0.580	0.065	0.396	0.630
	9	-0.728	-0.803	-0.685	0.708	0.048	0.480	0.660
	10	-0.847	-0.873	-0.810	0.690	0.276	0.526	0.790
	11	-0.921	-0.951	-0.899	0.729	0.405	0.688	0.886
	16	-0.334	-0.657	-0.712	0.231	0.483	0.393	0.641
	17	0.829	0.864	0.886	-0.721	-0.422	-0.546	-0.895

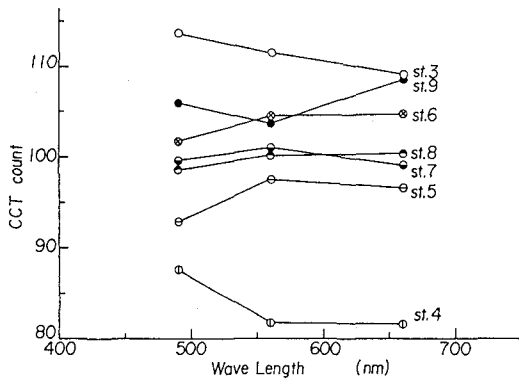


図-7 各測点のLandsat-TMの輝度分布（夏期）

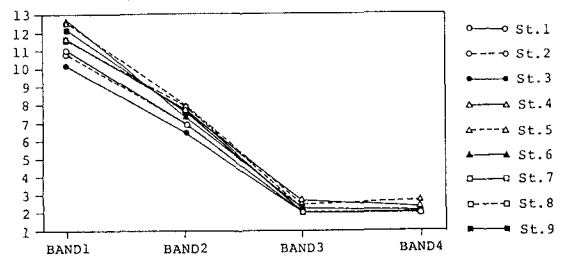


図-8 各測点のMOS-1 MESSR輝度分布（冬期）

表-8 Landsat-TMの各バンドと水質との相関（夏期）

Band	Att	Temp	Sal	Trb	SS	COD	Chl-a	D O
1	0.532	0.830	0.552	0.904	0.678	0.758	0.454	0.693
2	0.426	0.776	0.414	0.763	0.636	0.618	0.354	0.539
3	0.496	0.858	0.370	0.773	0.750	0.692	0.554	0.659
5	0.403	0.814	0.413	0.616	0.555	0.612	0.520	0.577
7	0.471	0.895	0.264	0.626	0.654	0.707	0.661	0.694
6	0.336	0.852	-0.187	0.352	0.544	0.654	0.731	0.701

表-9 MOS-1 MESSRの各バンドと水質との相関（冬期）

	No	Trans	Temp	Sal	SS	COD	Chl-a	DO
M O S	1	-0.606	-0.578	-0.534	0.340	0.155	0.027	0.533
	2	-0.846	-0.606	-0.580	0.658	-0.072	0.448	0.658
	3	-0.376	-0.155	-0.094	0.279	-0.357	-0.112	-0.072
	4	-0.238	0.037	0.157	0.164	-0.502	-0.317	-0.072

いところでは輝度値が大きくなっているようである。しかし、相違点もかなりあるようである。

3. 3 人工衛星によるリモートセンシング調査

Landsat-TM についてもシートルースの各測点での輝度値（平均値100，標準偏差10）を図-7に，また相関係数を表-8に示す。熱赤外帯のバンド6と水温，濁度と短波長側のバンド1，クロロフィルaと吸収帯である長波長側で相関が高いのは，航空機MSSとLandsat-TM とが相当異なる高度での撮影にも拘らず，ほぼ類似の傾向を示していると考えることができる。

次に，冬期のMOS-1,MESSR とシートルースの各測点での輝度値の分布及び相関係数をそれぞれ図-8，表-9に示す。MOS-1の調査は種々の理由により，冬期の比較的水質が良かつLow-Gainでの調査を余儀なくされたことから，非常に小さな輝度値になっている。特に，長波長側での解析は断念せざるを得ない状況である。相関係数をみると，バンド2において透明度，SS等との相関が高いことが認められた。

4. リモートセンシングによる水質測定とその問題点

以上，人工衛星と航空機を同期させたリモートセンシング調査とシートルース調査を2回実施した。これらのデータを水質情報として有用に活用するためのデータ処理方策及びそれらの持つ問題点について検討した。

人工衛星あるいは航空機による遠隔計測は，前述したように多くの利点を持つ反面，水質と光の特性あるいは大気中での種々の雑音等の問題もあり，まだ完全に完成された技術とはいえない。水質と吸収・反射される光のスペクトル特性の把握，及び $L_z(\lambda)$ で得られるセンサーでの情報と $L_w(\lambda)$ との関連の把握，水質測定のために必要なセンサーの開発等も重要な研究課題であるが，それらの問題はそれぞれの専門家に委ねるとして，ここではリモートセンシングのユーザーとして，互いに得られたデータの統計的な手法による水質の定量的な把握を試みた。

現在，リモートセンシングによる水質測定で最も一般的に用いられているのが水温の熱赤外バンドによる測定である。本研究においても，水温に関しては航空機MSSの17バンド及びLandsat-TMの6バンドとの相関が高く，水温に関しては単一バンドの相関から水温分布を求めても良いものと思われる。図-9に示すのは航空機MSSによる夏期と冬期の東京湾口での水温分布である。他の水質項目に関しても，相関係数表をみるとかなり高い値が得られているものもあるが，単一バンドでの相関による水質の測定にはもう少し細かい検討が必要である。例えば極端な例として，夏期の調査ではクロロフィルaとMSSのバンド17ではかなり高い正の相関を示しているが，これはバンド17の輝度がクロロフィルaの濃度に影響されたのではなく，たまたま水温とクロロフィルaとの相関が高かった($r=0.784$)に他ならない。したがって，湾内と湾外で水温分布の傾向が逆転する冬期には，その相関は逆転している。

次に，濁度の算定法について検討する。濁度は，水中での不純物による光の散乱の程度を示すもので，その影響は可視域の光バンドに現れやすい。したがって，総じて航空機MSSのどのバンドとも高い正の相関を持っている。

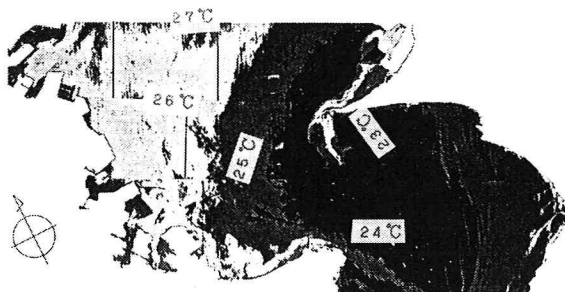


図-9(a) 航空機MSSによる水温分布(夏期)

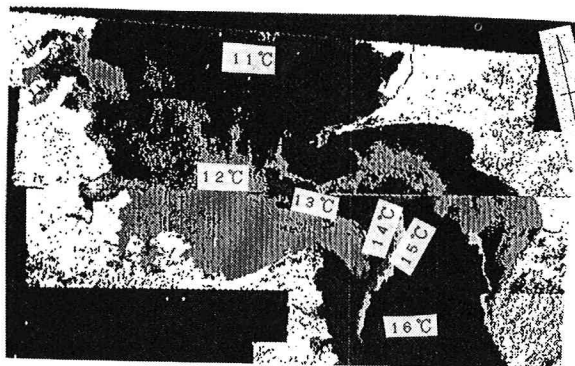


図-9(b) 航空機MSSによる水温分布(冬期)

しかし、ここで測定点の輝度レベルから水質を測定する場合に注意しなければならないのは、測点間の輝度レベルの差に水質以外の原因による差がある場合である。例えば、測点間の太陽からの入射光量の相違、大気のPath Radiance の相違によって輝度レベルに差が出ることも考えられる。これらの補正は、飛行間のコース間補正のみでは不十分である。そこで、ここではMSSデータの標準化を行なった。

表-10 MSSの各バンドと水質項目との相関(夏期)
(標準化操作後のデータ)

Band	Att	Temp	Sal	Trb	SS	COD	Chl-a	D O
3	-0.081	-0.205	0.108	-0.233	-0.471	-0.075	-0.161	-0.122
4	-0.126	-0.069	0.792	0.323	-0.065	-0.182	-0.446	-0.267
5	-0.029	-0.150	0.668	0.413	-0.025	-0.089	-0.477	-0.185
6	0.292	0.170	0.136	0.520	0.470	0.269	0.048	0.230
7	0.462	0.447	-0.672	0.151	0.568	0.525	0.623	0.540
8	-0.276	-0.005	-0.640	-0.585	-0.271	-0.244	0.063	-0.201
9	-0.040	0.080	-0.713	-0.408	0.113	0.013	0.510	0.184

$$B_{STDi} = \frac{B_i}{\sum B_i} \quad \dots(3)$$

ここに、 B_{STDi} は標準化された i バンドのデータ、 B_i は元の i バンドのデータ、 $\sum B_i$ は m バンドから n バンドまでの総和である。このような標準化操作は、センサーに到達する光の放射エネルギー全体に対する各帯域のエネルギーの割合(色調の度合)を示すものと解釈できる。表-10に、標準化操作を施されたMSSデータと水質項目との相関係数を示す。濁度とは、短波長帯域の5, 6バンドと正の相関が高く、長波長帯域の8, 9バンドとは負の相関が高い結果となっている。これらの結果から、濁度の関してはMSSの6バンドでの単一バンドからの相関により平面分布が算定された。

次にクロロフィルaについての検討を行なう。クロロフィルaは植物の葉緑体に含まれる物質で、植物プランクトンの現存量の指標となり、海域の富栄養化あるいは赤潮等の指標として期待されるものである。クロロフィルaによる光の反射特性・吸光特性は比較的良好に把握されており、リモートセンシングによる測定項目として挙げられる水質の一つである。しかし、表-8の相関係数あるいは表-10の標準化されたデータでの相関係数とも、バンド7よりも長波長側で正の相関が高いことが示されている。単に相関だけからの判定であれば、この付近での単一バンドによる相関から算定可能であるが、このバンドの光の波長はクロロフィルaの吸収帯域に相当し、算定方法として矛盾が生じる。一般に、クロロフィルaの濃度の算定は単一バンドからの相関からでは難しく、各バンド間の四則演算による特性の明確化によって算定している例が多い。しかし本データは、このようなバンド間演算を施しても基本的な特性は変わらず、よって今回の解析からはクロロフィルa量の有効な算定法は得られなかった。その他の水質項目に関しては、SSは濁度と関連が高いので濁度と同様な方法で可能と考えられるが、塩分、DO、CODに関しては、それらの光の特性があまり明らかでないので本解析においては算定しない。

以上の調査・解析を通して、リモートセンシングによる水質調査でのいくつかの問題点が呈示された。それらについての若干の考察を行なう。まず、調査時の天候の問題がある。可視域の測定であるので雲の上からの測定は不可能で、天候は重要な因子である。1986年 8月の調査は比較的すんなり実施されたが、1988年 2月の調査は、当初前年の夏に計画されていたが、天候等の理由により遅れて、冬期のMOS-1, MESSRのLow-Gainでの測定を余儀な

表-11 調査可能日(天候による)

	月 日	取得回数	観測回数	取得率
湾内	12月～2月	4	14	29 %
	3月～5月	5	16	31 %
	6月～8月	8	21	38 %
	9月～11月	5	20	25 %
計		22	71	31 %
湾外	12月～2月	5	14	36 %
	3月～5月	6	16	38 %
	6月～8月	8	21	38 %
	9月～11月	6	20	30 %
計		25	71	35 %

くされた。そこで、表-11には東京湾でのリモートセンシング調査可能日の割合を示す。だいたい30% 前後の値となっている。この割合で、2週間程度の周期の極軌道で回っている人工衛星による水質の測定は、その継続性に若干の問題が残る。シートルース無しでの調査が可能になるか、あるいは静止軌道衛星での水質調査が可能になることを望む。

次に、大気のPath Radianceの問題がある。Path Radianceの補正に関しては種々の研究成果があり、かつリモートセンシングによる地球観測の根本的な問題である。この問題に関しては、新しいセンサーの開発あるいは大気の妨害の除去等の対処法が考えられるが、それらの専門家の研究成果に待つことにする。

更に、クロロフィルaに対する水中に含まれる不純物の問題がある。図-2に示されるようにクロロフィルaに対する光の反射・吸収スペクトルが明確であるのに、実際の海域で測定が難しいのは、東京湾のように汚染された海域では種々の汚染物が含まれており、これらが不純物となってクロロフィルaの吸収波長帯においても高い反射輝度となって現われるものと考えられる。もう少し沖合いの不純物が少ない海域では可能となるものと思われる。また、リモートセンシングデータとシートルースデータとの関連を掘り下げていくために、海面直上・直下での光の放射スペクトルの形状と水質との関連は把握しておく必要があるであろう。

最後にシートルース調査の問題がある。リモートセンシングデータは相対的な大小の関係は得られるが、水質指標の絶対値は不明である。したがって、リモートセンシングデータとシートルースデータの相関から水質項目の絶対値を求めている。この方法により、常に同じ様な関係式が得られるのであれば問題はないが、気象条件、水質条件等によってその特性が変化する。また、測定時刻も、人工衛星の場合は瞬間であるが、航空機の場合は1~2時間の、また海上のシートルースの場合は約4時間の測定時間を有しており、必ずしも同一時刻での比較になっていない。最終的にはリモートセンシング調査がシートルース無しで行えることが望ましい。

このように、まだ数多くの問題点が存在するが、広範囲での瞬間的な水質の平面分布を把握できることは、船上からの点の観測と較べると情報量が莫大に多く、その利用方法は無限に広がるものと思われる。このようなことから、数多いシートルース調査を通じて、精度よい水質の測定が可能になるように鋭意努力する予定である。

5. おわりに

最後に、今回の解析によってえられた東京湾全域のLandsat-TM (1986年8月6日) の濁度分布を図-10に示す。Landsat-TM測定時の数日前に相当量の降雨が有り、大量の河川水の流出の様子がみられており、河川流出の貴重なデータとなり得るものと思われる。

おわりに、本研究で使用したLandsat-5 のデータは宇宙開発事業団地球観測センター提供のものであり、またMOS-1データはMOS-1衛星検証の検証協力として実施したものである。また、航空機MSSは(株)中日本航空、シートルースは第二港湾建設局京浜港工事事務所横須賀工場の調査船 “はまゆう” を用いて実施したものである。これらの調査に協力していただいた関係職員諸氏に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 村上・菅沼・佐藤・宮原：リモートセンシング手法の水質調査への適用、港湾技研資料、NO.626, 1988, 47P.
- 2) 村上・菅沼・宮原：衛星画像データの港湾工事監視システム(1986年8月6日) への利用、MOS-1衛星検証報告書、1989.

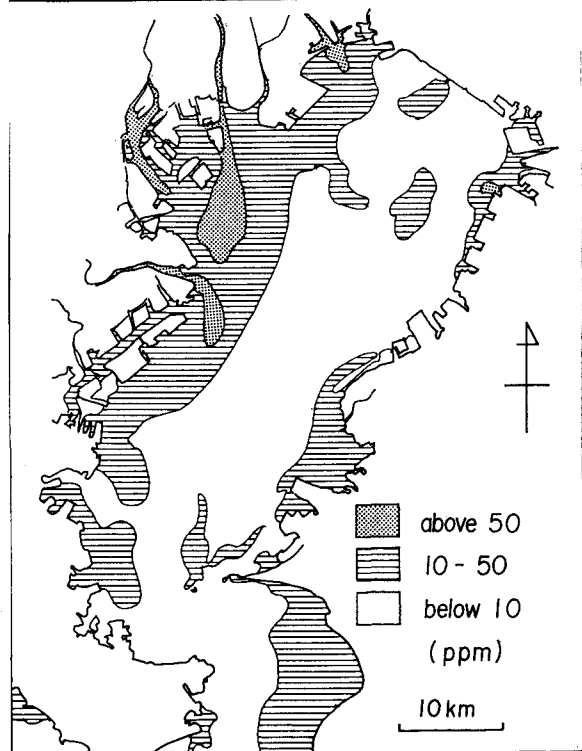


図-10 東京湾全域の濁度分布
(台風の数日後：1986年 8月6日)