

第6章 リモートセンシングによる赤潮等の分布推定に関する基礎的検討

水尾寛己*, 二宮勝幸*, 雫石雅美**, 多賀保志***

6-1 はじめに

東京湾の水質観測は、従来から船を用いて行われてきた。この方法では、サンプリング地点数にも限度があると同時に、観測データもサンプリング時間の違いによる水質変動の影響などの問題を含んでおり、赤潮の分布調査においても観測範囲はかなり限定的な狭い水域となってしまう。

サンプリング時間差による水質変動の問題をクリアする手法としては、リモートセンシングの一手法としてのブイや設置型による自動連続計測システムによる水温、pH、濁度、COD、蛍光強度などの計測があげられるが¹⁾、この方法も設置場所が限られるとともに、検出部に生物などが付着して計測を困難にするなどの問題があり、定期的な保守や更正を必要とする。

他の一つとしては、赤潮の広域的分布の把握に適している人工衛星の利用が考えられる。しかし、赤潮の指標であるクロロフィル濃度の推定法についてはすでに Gordon ら^{2,3)}によって明らかにされているが、わが国においては大気のエアロゾルの影響や無機懸濁物質の影響などに対する有効な方法としては未だ確立されていない。

また、今回検討に用いた人工衛星ランドサットは、16日周期で午前9時40分頃に東京湾を数秒で通過するため、人工衛星データと水質観測データを比較するには、それぞれの観測時間のズレによる影響についての検討も必要である⁴⁾。

このため、1989年度より、人工衛星データによる赤潮等の分布状況の把握手法の確立のために、観測時間帯における水質の特徴及び観測時間のズレによる影響について検討するとともに、衛星の運航時に併せた同日水質調査を実施し検討してきたのでその結果を報告する。

6-2 観測時間帯の違いによる水質変動の特徴

横浜市沿岸域の富栄養化調査の一環として(株)芙蓉海洋に委託し、1989年6月7日から9月12日までの約3ヶ月間、東京湾磯子沖にブイを設置し水質の連続測定を実施した。この内容は文部省統計数理研究所共同研究で報告したものである⁵⁾。

6-2-1 測定方法

6-2-1-1 測定器設置場所

図6-1に示すように東京湾磯子沖である。

6-2-1-2 測定項目

水温、塩分、690 nm 透過率 (690 nm での平行放射透過率)、254 nm 透過率 (254 nm での平行放射透過率) 蛍光強度 (励起波長 436 nm、蛍光波長 685 nm のクロロフィル蛍光強度)

Apprication of remote sensing to red tide

*Hiroimi Mizuo, *Katsuyuki Ninomiya, **Masami Sizukuishi, ***Yasushi Taga

*横浜市環境科学研究所, ** (株) パスコ, ***文教大学

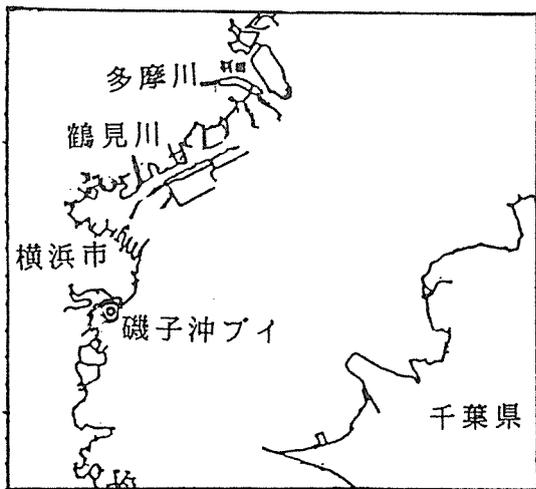


図6-1 測定器設置場所

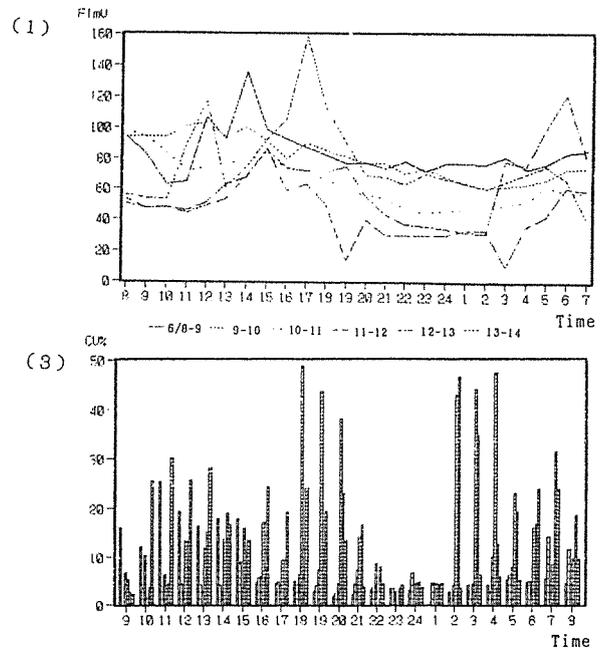


図6-2 水質変動の時間帯による違いの比較 (その1)

(1)自動連続測定による蛍光強度 (FlmV) の値
 (2)各時間での3時間移動平均値の変動率

▨ 6/14-15 ▨ 15-16 ▨ 16-17 ▨ 17-18 ▨ 18-19 ▨ 19-20

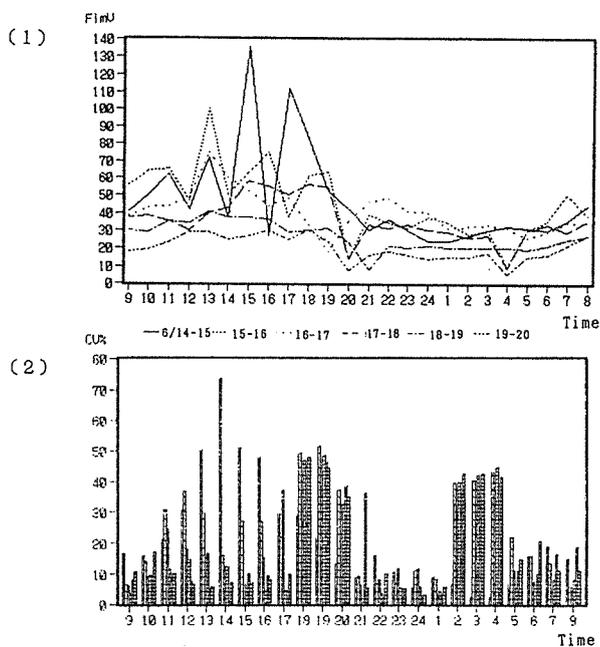


図6-3 水質変動の時間帯による違いの比較 (その2)

(1)自動連続測定による蛍光強度 (FlmV) の値
 (2)各時間での3時間移動平均値の変動率

▨ 6/8-9 ▨ 9-10 ▨ 10-11 ▨ 11-12 ▨ 12-13 ▨ 13-14

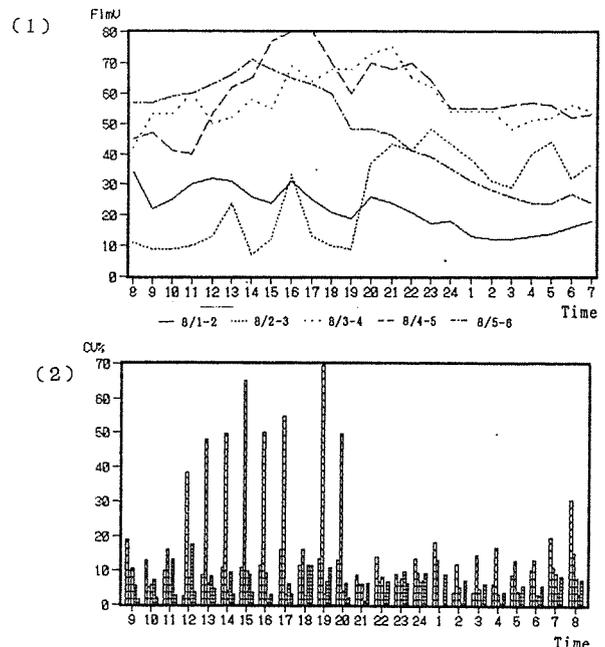


図6-4 水質変動の時間帯による違いの比較 (その3)

(1)自動連続測定による蛍光強度 (FlmV) の値
 (2)各時間での3時間移動平均値の変動率

▨ 8/1-2 ▨ 8/2-3 ▨ 8/3-4 ▨ 8/4-5 ▨ 8/5-6

6-2-1-3 測定条件

水深1mのところまで1時間単位で自動計測した。機器点検は2週間単位でバッテリーの交換とセンサー部の保守を行った。測定機器の仕様は、下記の通りである。

クロロ UV 計 (芙蓉海洋開発 (株) 製, 型式: EP-2000)

透過率測定部 測定波長 254 nm, 690 nm 感度 0~100 % (0~1 V)

蛍光強度測定部 EX 436 nm EM 685 nm

感度 ウラニン 0~2, 0~0.5, 0~0.125 ppm (各レンジ 0~1 V)

メモリーカード記録方式

自記水温・塩分計 (ユニオン・エンジニアリング (株) 製, 型式: CT-2000)

6-2-2 結果と考察

これらのデータの内、クロロフィル a と関連のある蛍光強度について検討した。結果を図 6-2 から 6-4 に示した。図 6-2 は 6 月 8 日から 14 日までの 7 日間, 図 6-3 は 6 月 14 日から 20 日までの 7 日間, 図 6-4 は 8 月 1 日から 6 日までの 6 日間の結果である。図に示した値は、蛍光強度の 3 時間移動平均値, 移動変動率である。

これらの結果からは、計測日により蛍光強度が異なっていることがわかる。図 6-2 (1), -3 (1) からは、日中蛍光強度が高く、夜間低い傾向が見られるとともに、日中において蛍光強度が強く変動する日としない日が見られるのが特徴的である。図 6-4 においても、8 月 2~3 日のデータを除くと同様な傾向が見られた。

図 6-2, -3, -4 の変動率の結果からは、測定日によって水質変動に違いが見られた。変動の大きい時間帯としては、植物プランクトンの活動の盛んな日中以外に、夕方及び深夜の 2 時~4 時頃に見られる。水質が強く変動している原因の一つとしては、プランクトンの活動の変化による影響や潮の影響等の他にたまたま、計測時間付近にブイの近くを運行した貨物船により、表層よりプランクトンの少ない中下層海水との混合による影響も考えられる。しかし、水質変動の全体的傾向としては、午前の 8 時から 11 時頃、夜間の 2 時から 1 時頃が比較的安定していると思われた。このことから、ランドサットの運行している時間帯 9 時 40 分頃の東京湾の水質は比較的安定しており、この時間帯の水質観測データが衛星データとの比較に有効であることが推定できた。

6-3 観測時間のズレによる TM データ解析への影響

人工衛星データは、植生分布や土地利用の把握など多方面に応用されている。水質については、濁度、透明度、クロロフィル濃度、水温などの推定に応用されてきているが、これらの検討に有効な衛星運行時の観測データを得ることが容易でないために、マルチスペクトルメータを積んだ航空機による調査等により検討されたりもしている。ここでは、衛星が東京湾上を運行し同時に同日観測の行われた数少ない晴天時の TM データの内、1986 年 8 月 6 日のデータのバンド 6 と水温、バンド 3 とクロロフィル a 濃度との関係について、観測時間のズレによる影響について検討した。この検討は、文部省統計数理研究所との共同研究の中で行われたものである⁴⁾。

6-3-1 方法

6-3-1-1 使用データ

1986 年 8 月 6 日の TM データ、及び同日の水質データを用いた。水質データは、環境庁委託で実施されている広域調査のものを使用した^{6~8)}。ランドサット TM データは (財) リモートセンシング技術センターから

表6-1 1989年8月6日における水質及びTMデータ

調査地点 No	水温 (°C)	透明度 (m)	クロロフィルa (μg/l)	COD (mg/l)	塩分 (‰)	バンド1 (CCT値)	バンド2 (CCT値)	バンド3 (CCT値)	バンド4 (CCT値)	バンド5 (CCT値)	バンド6 (CCT値)	バンド7 (CCT値)
1	23.1	0.3	3.2	4.3	3.40	9.29	43.38	45.96	13.89	4.88	146.70	2.14
2	23.6	0.8	8.9	4.9	10.79	89.93	40.68	36.01	8.93	3.93	146.30	1.79
3	24.1	0.8	2.8	4.2	11.48	83.91	36.15	30.74	8.17	3.47	147.27	1.22
4	24.7	1.5	21.0	4.8	15.82	69.80	24.43	19.32	8.16	5.94	146.28	3.11
5	25.3	2.4	29.0	5.4	22.36	71.37	25.54	20.93	9.73	7.67	148.27	3.59
6	24.1	2.3	12.0	4.4	18.09	69.89	25.73	20.43	8.05	5.51	147.33	2.65
7	25.2	2.8	26.0	4.8	22.13	69.10	24.14	19.74	8.98	5.91	149.99	2.62
8	23.5	1.2	15.0	4.9	14.65	73.43	28.85	23.16	8.22	5.35	145.64	2.46
9	27.7	2.6	12.0	3.9	23.20	73.62	27.73	22.88	9.56	5.94	150.23	2.93
10	25.2	2.0	30.0	5.1	24.11	69.17	23.88	19.81	10.21	8.80	148.93	3.96
11	24.8	2.1	38.0	5.3	24.00	65.65	22.72	17.90	7.49	5.90	147.27	2.80
12	25.7	2.0	41.0	5.0	24.10	67.37	22.65	18.68	8.68	7.25	148.12	3.64
13	24.0	2.0	53.0	4.2	24.67	67.58	23.25	19.25	9.15	7.33	148.12	3.77
14	25.3	1.5	37.0	5.0	25.43	66.19	22.73	18.33	8.11	6.68	147.72	3.33
15	25.1	2.3	51.0	4.5	26.85	67.47	23.44	19.31	8.77	7.43	147.64	4.01
16	23.8	3.5	13.0	4.9	29.69	65.56	22.00	16.31	7.58	5.52	145.37	3.05
17	25.0	1.8	56.0	5.4	26.18	68.44	24.12	20.23	9.49	8.19	148.15	4.36
19	24.8	3.5	40.0	3.7	28.73	66.37	22.12	17.75	9.80	8.49	150.62	4.21
20	25.7	1.5	26.0	4.6	28.28	64.40	21.05	16.05	7.89	5.78	146.88	3.19
21	26.2	5.3	6.8	2.5	32.20	68.05	23.52	19.01	10.90	12.56	150.54	6.93
22	24.2	2.9	28.0	3.6	30.17	65.28	20.94	16.21	7.53	5.93	146.59	3.15
23	24.8	2.5	5.1	3.4	24.68	69.17	24.25	17.89	7.44	5.17	146.99	2.42
30	23.4	0.5	2.3	4.4	10.50	91.47	43.56	40.42	10.17	4.70	143.89	2.38
31	23.5	1.0	6.4	4.1	14.40	68.42	24.37	19.32	7.75	5.25	145.84	2.62
32	22.7	0.5	5.9	3.6	20.80	75.21	28.91	21.47	8.99	6.59	142.59	3.48
34	24.8	1.1	38.0	4.6	22.16	65.85	23.25	16.83	6.75	4.58	145.78	2.49
35	26.2	1.5	35.0	4.3	21.97	66.80	23.91	17.64	6.74	4.65	144.27	2.26
36	25.8	1.0	56.0	5.3	22.84	66.04	23.23	18.86	8.78	6.53	147.25	3.34
38	24.3	1.7	32.0	3.7	22.65	66.85	23.59	19.60	8.83	7.09	146.79	3.80
39	26.5	2.7	14.0	3.0	24.90	66.37	22.84	16.88	7.83	5.48	146.01	2.85
40	24.1	1.8	32.0	3.9	22.15	65.42	22.48	17.69	8.42	5.84	146.35	2.94
44	25.0	1.7	42.0	4.9	22.94	65.62	22.72	17.02	7.54	5.36	147.52	2.72
46	25.3	2.7	5.1	3.2	25.92	67.89	23.53	18.84	8.25	5.72	147.69	2.94
49	23.6	3.0	12.0	3.0	26.69	65.47	22.81	17.05	6.94	5.11	146.98	2.77

入手し、パスコ（株）で前処理，幾何補正を行い，定点観測点を中心とする9画素×9画素の平均値を使用した。当日の気象条件は快晴で，視程は100 Kmで，周辺の大気中の浮遊粒子状物質濃度（SPM）は平均11と低く，大気の汚れの影響は比較的少ないと思われた。

解析に使用した水質及びTMデータを表6-1に示した。

6-3-1-2 測定地点

使用した水質の測定地点は図6-5に示す通りである。

6-3-2 結果及び考察

水温とバンド6の関係，クロロフィルa濃度とバンド3との関係をそれぞれ，図6-6，6-7に示した。遠赤外線領域であるバンド6と水温の相関は全観測データ（N=34）では，相関係数が0.545に対して，ランドサット通過前後90分以内のデータ（N=12）では相関係数0.819と正の相関が強かった。

クロロフィルa濃度とバンド3との相関は，全観測データ（N=34）では，相関係数が-0.398で，ランドサット通過90分以内のデータでは相関係数は-0.533であった。さらに，河川水の影響の違いにより区分することにより，河川水の影響大のデータ（N=5）では，相関係数 -0.490，河川水の影響小のデータ（N=7）では，相関係数 0.958と正の相関が強かった。

河川水の影響大のデータで負の相関が見られているのは，濁りが強い河口に近いほどクロロフィルa濃度が少ないことによる。

以上の結果から，衛星データから水温を推定する場合については，観測時間のズレによる影響が大きいことが明らかになった。また，クロロフィルa濃度を推定する場合においては，観測時間のズレによる影響の他に濁度の影響が大きいことが明らかになった。

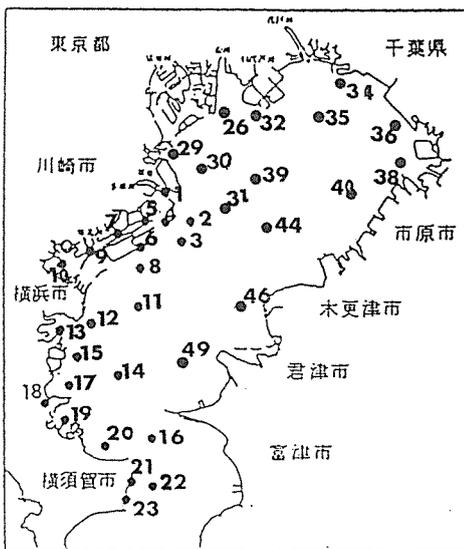


図6-5 水質測定地点

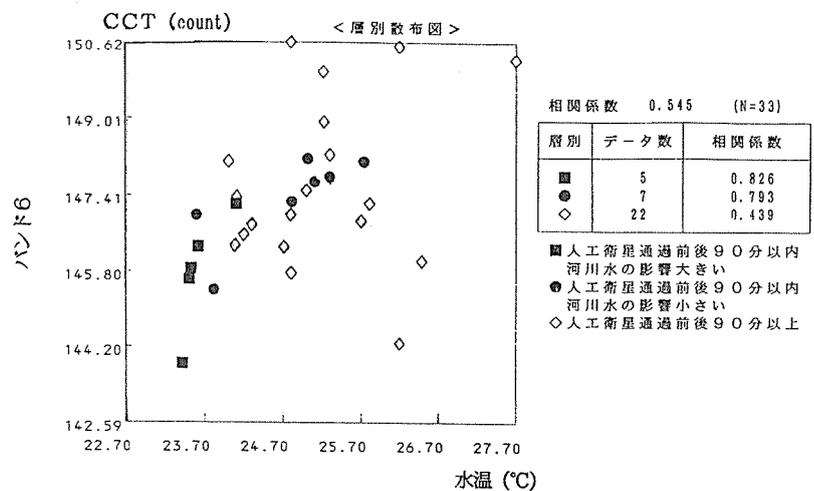


図6-6 水温とバンド6との関係
(1986年8月6日のデータ)

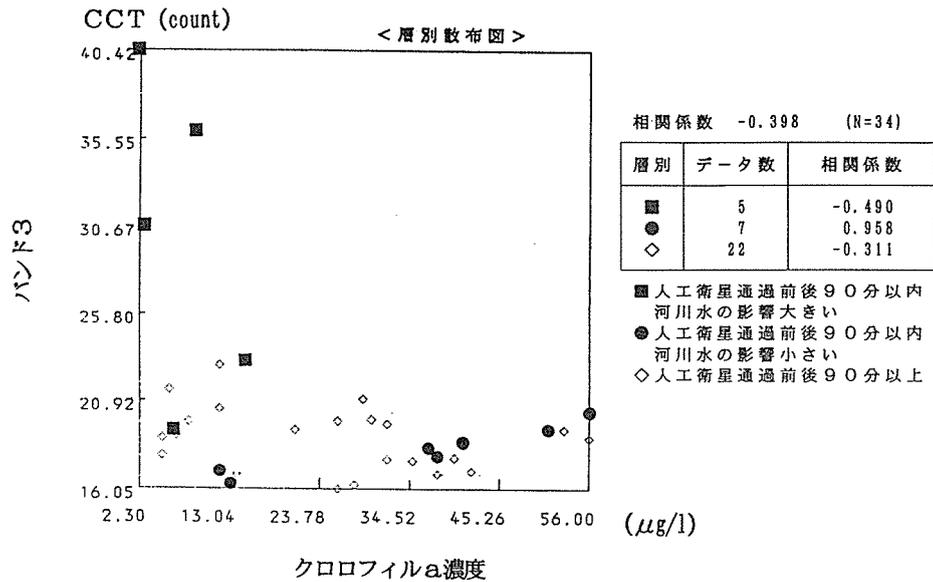


図6-7 クロロフィルa濃度とバンド3との関係
(1986年8月6日のデータ)

6-4 ブイや設置型による自動連続計測データの利用についての検討

人工衛星データから水質（クロロフィル a など）を推定する上では水質の実測データが必要であり、そのデータの一つとして、ブイや設置型による自動連続計測データを利用する方法が考えられる。ここでは、これらのデータを利用する上での問題点について、東京湾上での光学的計測データから検討した。

6-4-1 調査地点及び方法

6-4-1-1 調査地点

図6-8に示すように東京湾の内奥から中の瀬までの間の5地点

6-4-1-2 調査時期

1989年5月30日、6月16日、6月27日、8月14日、8月30日の計5回調査を実施した。

6-4-1-3 調査項目及び方法

試料は、船上よりポリバケツで採水した表層水である。

測定項目は、水温、pH、透明度、塩分、SS、COD、クロロフィル a、及び光学計測によるものである。光学計測の項目は、254 nm、690 nm の吸光度特性、436 nm で励起した 685 nm の蛍光強度の3項目で5地点について、(株)芙蓉海洋に委託により実施した。

採水は、ポリバケによりおこなった。測定法は、以下の通りである。

(1) 水質

水温；棒状温度計（検定済）	pH；JIS KO 102.12.1 ガラス電極法
透明度；セッキ板	塩分；HAMNON 製水温-塩分計
SS；JIS K 0102.14.1 懸濁物質	COD；JIS K 0102.17
クロロフィル a；LORENZEN 法	

(2) 光学的計測

濾水の作成

前処理済み（400度 4時間焼成）GFB フィルターで前濾過

蒸留水中で煮沸1時間の前処理済みミリポアフィルター（0.45 ミクロン）でさらにもう一度濾過

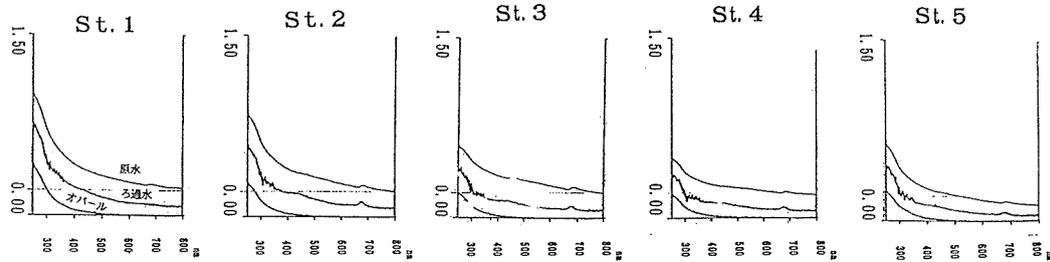
表6-3 水質及び光学的計測データ

調査時期 地点	水温 (°C)	塩分 (‰)	SS (mg/l)	COD (mg/l)	クロロフィルa (μ g/l)	254nm (Abs)	690nm (Abs)	蛍光強度 (Flmv)
5/30 st1	19.4	16.5	8.0	4.1	69.7	0.981	0.249	92.6
st2	18.7	24.5	17.8	5.0	96.4	0.829	0.249	110.8
st3	19.0	28.0	7.0	3.6	14.0	0.587	0.246	85.4
st4	19.0	30.0	6.7	3.4	63.0	0.482	0.208	76.1
st5	19.1	28.0	7.2	4.0	59.5	0.615	0.159	63.7
6/16 st1	20.0	16.0	9.3	7.3	172.7	0.935	0.240	84.0
st2	19.7	29.0	12.1	8.4	134.8	0.819	0.241	108.2
st3	19.5	30.0	9.2	6.8	100.1	0.669	0.165	73.1
st4	20.8	30.5	5.2	5.2	53.4	0.447	0.101	76.5
st5	19.5	30.5	14.2	7.8	189.6	0.661	0.239	93.5
6/27 st1	23.2	9.5	9.2	4.5	50.7	0.978	0.246	65.7
st2	22.8	25.0	17.0	8.1	403.2	1.008	0.506	235.2
st3	22.9	21.5	16.8	7.2	253.7	1.230	0.619	296.4
st4	22.8	30.0	9.6	4.7	91.8	0.631	0.293	131.4
st5	22.8	25.4	16.1	6.9	224.3	0.921	0.467	221.2
8/14 st1	25.1	23.6	4.8	4.4	102.4	0.518	0.216	95.9
st2	25.0	24.5	4.3	3.9	73.0	0.406	0.148	58.0
st3	25.8	25.0	4.0	3.9	76.5	0.463	0.176	57.7
st4	25.0	25.8	2.5	2.8	60.5	0.344	0.109	56.8
st5	24.7	26.0	1.3	2.0	28.5	0.225	0.051	34.9
8/30 st1	26.6	12.7	15.0	3.8	91.7	1.321	0.556	86.0
st2	25.7	13.7	13.8	4.5	126.4	1.213	0.556	88.3
st3	26.7	26.1	6.8	4.3	95.2	0.632	0.300	76.6
st4	27.0	24.3	8.6	5.4	114.8	0.774	0.405	95.5
st5	26.5	22.0	8.1	5.5	113.0	0.815	0.393	73.6
最小値	18.7	9.5	1.3	2.0	14.0	0.225	0.101	34.9
最大値	27.0	30.5	17.8	8.4	403.2	1.321	0.619	296.4
平均値	22.7	23.9	9.4	5.1	114.4	0.740	0.261	101.5

表6-4 横浜沿岸水域の水質及び光学的計測データの相関係数行列

	pH	塩分	透明度	DO	SS	COD	クロロフィルa	254nm	690nm	蛍光強度
pH		0.344	-0.357	0.709	0.413	0.598	0.597	0.198	0.511	0.620
塩分(‰)			0.419	0.317	-0.217	0.111	-0.026	-0.668	-0.440	0.303
透明度(m)				-0.464	-0.700	-0.536	-0.477	-0.837	-0.765	-0.362
DO(mg/l)					0.593	0.712	0.708	0.330	0.495	0.749
SS(mg/l)						0.661	0.691	0.801	0.756	0.625
COD(mg/l)							0.769	0.457	0.394	0.804
クロロフィルa(μg/l)								0.507	0.627	0.657
254nm	0.198	-0.668	-0.837	0.330	0.801	0.457	0.311		0.857	0.352
690nm	0.511	-0.440	-0.765	0.495	0.756	0.394	0.442	0.627		0.375
蛍光強度	0.620	0.303	-0.362	0.749	0.625	0.804	0.713	0.657	0.352	

5月30日



6月27日

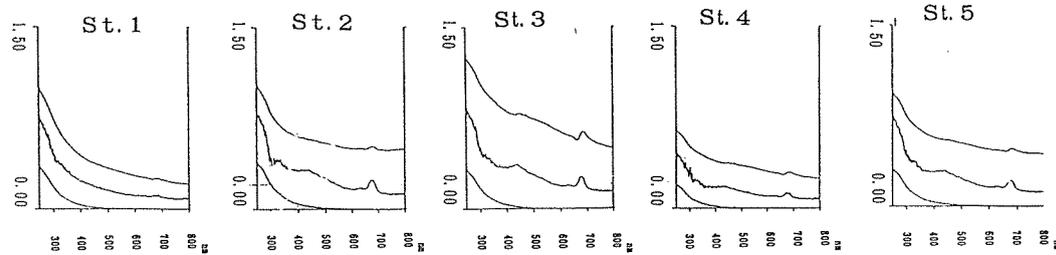


図6-9 吸光度スペクトル

に利用する場合において、同一調査地点での機器更正データにより時系列把握は可能と思われた。しかし、光学計測データを異なった地点、特に懸濁物質の影響が異なるような地点の比較に利用する場合には、それぞれの地点の機器更正データがその都度必要と思われた。また、計測上重要となるのは、6章の6-2で用いたブイ式自動連続計測において経験したところであるが、計測のセンサー部分の付着生物等による汚れの防止と保守である。

6-5 まとめ

リモートセンシングによる赤潮等の分布の検討に用いる東京湾の水質データの取得方法及び特徴について検討した。

- 1) 東京湾磯子沖上で、蛍光強度などについてブイ式自動水質連続計測をおこなった結果では、ランドサットが運行する時間帯の9時40分前後は、比較的水質変動が少ないことがわかった。
- 2) 大気中のエアロゾルの影響が少ないと思われる日の衛星データと同日採水の水質データから、水温及びクロロフィルについての相関分析をおこない、実測データの衛星運行時間からのズレの影響について検討した。その結果、衛星運行時前後90分以内の水質データは、90分以上の時間的ズレのあるデータに比べて影響が少ないことが推定できた。
- 3) 光学計測データについてクロロフィルa濃度、濁度などとの関係を検討した結果、サンプリング時期が異なっても、同一調査地点内では相関が強かった。このことから、適性の機器更正がなされていれば、自動光学計測データが衛星データから水質を推定する上では、実測値としての使用が可能と思われる。

謝 辞

本研究におきましては、調査船を出して下さった横浜市港湾局海務課の関係者各位、並びにブイ設置の指導を頂いた第3区海上保安部横浜海上保安航路標識事務所と横浜海上保安部航行安全課、視程情報を提供して下さった東京航空地方気象台及び東京管区気象台観測室の関係者各位に感謝申し上げます。特にブイ設置及び光学計測に多大な協力を頂いた(株)芙蓉海洋の関係者各位に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 畠中潤一郎・水尾寛己・石井哲夫；紫外外部吸収，濁度，蛍光強度の連続測定による横浜市沿岸海水の有機汚濁状態の観測，横浜市公害研究所報第14号，183-191(1991)。
- 2) Gordon, H. R., and K. Clark; Atmospheric effects in the remote sensing of phytoplankton pigments, *Boundary-Layer Meteorology* **18**, 299-313(1980).
- 3) 江森康文・安田嘉純；第5章 海洋生物光学と海洋のリモートセンシング，海洋環境光学，東海大学出版会，164-200(1985)。
- 4) 水尾寛己・雫石雅美・鶴田治雄・二宮勝幸・多賀保志；東京湾水質データとランドサットデータとの比較，自然環境についての標本調査法の研究，統計数理研究所共同リポート，**16**，21-40(1989)。
- 5) 水尾寛己・二宮勝幸・雫石雅美・安藤晴夫・多賀保志；東京湾水質データとランドサットデータとの比較(その2) —空間的・時間的ズレの問題—，自然環境についての標本調査法の研究2，統計数理研究所共同リポート，**23**，37-45(1990)。
- 6) 神奈川県；昭和61年度神奈川県水質調査年表(1987)。
- 7) 東京都環境保全局；昭和61年度公共用水域の水質測定結果(資料編)(1987)。
- 8) 千葉県環境部；昭和61年度公共用水域測定結果(1987)。