

## 第7章 ランドサット TM データによるクロロフィル a 濃度の推定手法

水尾寛己\*, 岡 敬一\*\*, 二宮勝幸\*, 前川 渡\*, 吉見 洋\*\*, 大道章一\*\*  
安岡善文\*\*\*, 小倉久子\*\*\*\*, 小川カホル\*\*\*\*\*, 田中總太郎\*\*\*\*\*

### 7-1 はじめに

人工衛星データによる水質, 特にクロロフィル a 濃度の推定は, 大気中のエアロゾルの影響を強く受けることから, その補正手法についてはいろいろ検討されてきている<sup>1)</sup>。CZCS (Coastal zone color scanner, 沿岸域海色操作計) データについては推定手法が明らかになっている<sup>2)</sup>が, ランドサット TM (Thematic Mapper セマチックマッパー) データについては有効な推定手法が明らかにされてはいない。

安岡ら<sup>3)</sup>は, 実測値とマルチスペクトルの計測値から推定モデルの検討を行っている。現在まで, 人工衛星データからクロロフィル a 濃度を推定する方法としては, 同日水質データとの相関が強い時に回帰式から推定されるが, この推定値の有効性については明らかになっていない。

ここでは, 人工衛星データのみからの水質推定の見通しについて明らかにするとともに, 実際のデータで実証を試みた。

人工衛星データと水質との関係については, 実験室レベルでマルチスペクトルメータと水質との関係について把握されているが, この結果が必ずしも, そのまま実際の現場に適用できるとは限らない。

現場で人工衛星データと水質との関係を把握するためには, 解析を容易にするうえから, 快晴日でエアロゾルの影響のほとんどないような条件の同日の衛星及び水質データを入手する必要がある。筆者らは, すでに, エアロゾルの影響の小さいと思われる 2 シーンのデータと, エアロゾルの影響が大きいと思われる 3 シーンのデータを取得している。これらのデータから, エアロゾルの影響の大小がクロロフィル a 濃度の推定にどの様に影響しているかを把握することが可能である。また, クロロフィル a 推定上の問題点及び推定手法を明らかにするために検討した。

### 7-2 エアロゾルの影響の小さい場合におけるクロロフィル a 濃度の推定

衛星データでクロロフィル a 濃度を推定する場合において, エアロゾルの影響の他に無機懸濁物質の影響が大きく, 無機懸濁物質の濃度が高い場合には, クロロフィル a 濃度の推定は難しいといわれている。そこで, ここでは, 無機懸濁物質を影響の大小にわけて検討する<sup>4-6)</sup>。

---

Aplicaton of Randossat TM data to Chlorophill a

\*Hiroimi Mizuo, \*\*Keichi Oka, \*Katsuyuki Ninomiya, \*Wataru Maekawa, \*\*Hiroshi Yoshimi,  
\*\*Syouiti Oomiti, \*\*\*Yoshifumi Yasuoka, \*\*\*\*Hisako Ogura, \*\*\*\*\*Kahoru Ogawa, \*\*\*\*\*Soutarou Tanaka  
\*横浜市環境科学研究所, \*\*神奈川県環境科学センター, \*\*\*国立環境研究所, \*\*\*\*千葉県水質保全研究所,  
\*\*\*\*\*千葉県環境部水質保全課, \*\*\*\*\*リモートセンシング技術センター

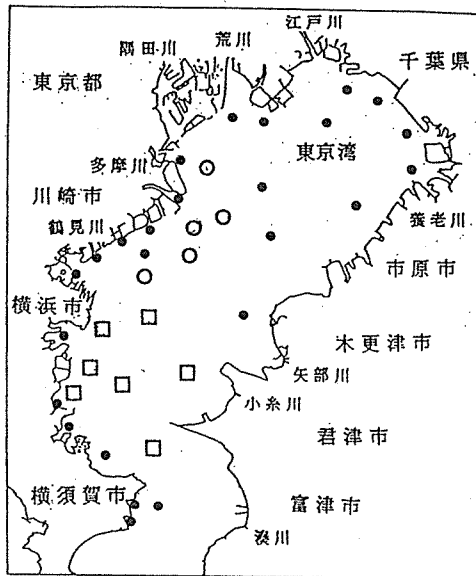


図7-1 水質測定地点図  
○河川水の影響大 □河川水の影響小

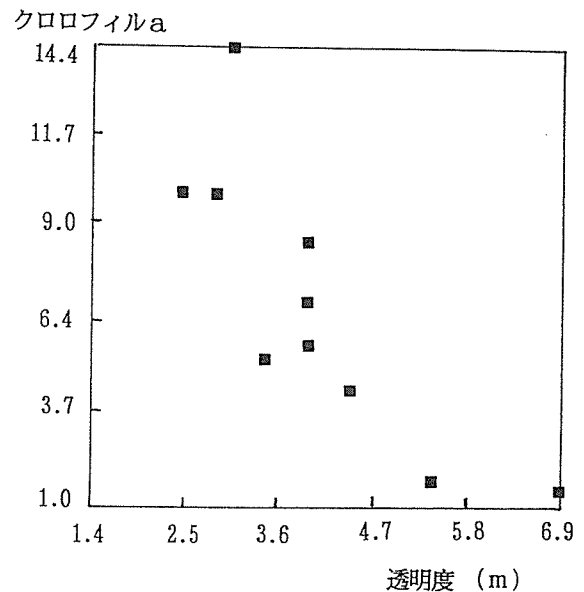


図7-2 透明度とクロロフィルaとの関係  
(1987.3.2, 東京湾)  
相関関数  $R = -0.813$

## 7-2-1 調査方法及び解析に使用したデータ

### 7-2-1-1 使用した水質データ

1986年8月6日と1987年3月2日の水質データについては、環境庁委託で実施されている広域調査のうち、衛星運行時間(9時40分頃)を配慮して午前中のものを使用した。水質項目は、水温、pH、透明度、塩分、COD、クロロフィルa濃度などである。

### 7-2-1-2 調査地点

調査地点は図7-1に示す通りである。

### 7-2-1-3 TMデータの前処理法及び解析に使用したデータ

TMデータは、リモートセンシング技術センターから購入した幾何補正済みのもので水質調査地点の周辺3画素×3画素の平均値を用いた。(但し、TMデータにおいては、1画素は30m<sup>2</sup>。また、1986年8月6日と1987年3月2日TMデータについては、9×9画素の平均値を使用した。)

解析に使用したデータのうち、1986年8月6日のデータについては、第6章の表6-1のデータと同じである。1987年3月2日のデータについては表7-1に示した。

## 7-2-2 無機懸濁物質の影響の弱い水質でのクロロフィルa濃度との関係

無機懸濁物質が少ないと思われる1987年3月2日のデータについて検討した。水質項目間及びTMデータとの相関を表7-2に示した。図7-2は透明度とクロロフィルa濃度との関係を示した散布図で負の相関を示す。光合成色素であるクロロフィルa濃度が増加するということは、植物プランクトンの増加によるもので、その結果、海水の透過性は悪くなり透明度は低くなるためである。次に図7-3は透明度と濁度との関係を示した散布図で図7-2と同様負の相関を示す。これは、クロロフィルa濃度の増加に比例して濁度も増加する。すなわち、植物プランクトンの増加に伴い濁度が増し、透明度は低くなるためである。

次にTMデータとクロロフィルa濃度との関係について比較すると、図7-4はクロロフィルa濃度とバンド3との関係を示した散布図で正の相関を示す。すなわち、植物プランクトン量が増大するほどクロロフィルa濃度が増大し、反射強度が強くなる関係を示している。このような関係は、表7-2に示すようにバンド2, 4, 5, 7との間にも見られたが、バンド2は懸濁物質としての植物プランクトンと植物プランク

表7-1 1987年3月2日における水質及びTMデータ(N=24)

| 調査地点<br>No | 水温<br>(°C) | 透明度<br>(m) | DO<br>(mg/l) | COD<br>(mg/l) | 塩分<br>(‰) | クロフィルa<br>(μg/l) |
|------------|------------|------------|--------------|---------------|-----------|------------------|
| 2          | 9.0        | 2.5        | 9.6          | 3.2           | 31.45     | 10.0             |
| 3          | 9.0        | 2.9        | 9.8          | 3.3           | 31.54     | 10.0             |
| 4          | 10.5       | 3.3        | 8.6          | 2.8           | 31.79     | 7.0              |
| 5          | 11.1       | 3.1        | 8.3          | 3.0           | 31.61     | 6.9              |
| 6          | 9.6        | 3.1        | 8.9          | 2.8           | 32.00     | 4.5              |
| 7          | 10.5       | 3.7        | 8.4          | 3.0           | 31.58     | 4.5              |
| 8          | 9.1        | 3.2        | 9.6          | 3.0           | 32.06     | 9.8              |
| 10         | 9.8        | 3.5        | 8.9          | 2.3           | 31.94     | 5.3              |
| 11         | 8.3        | 4.0        | 9.3          | 1.9           | 32.62     | 8.5              |
| 12         | 8.2        | 4.0        | 9.5          | 2.0           | 32.54     | 6.9              |
| 13         | 10.3       | 4.2        | 8.7          | 2.0           | 32.96     | 4.1              |
| 14         | 9.4        | 4.0        | 9.0          | 1.8           | 32.87     | 5.6              |
| 15         | 9.4        | 3.5        | 9.1          | 1.7           | 32.81     | 5.3              |
| 16         | 11.3       | 5.5        | 8.1          | 1.0           | 33.84     | 1.7              |
| 17         | 8.5        | 4.5        | 8.8          | 1.6           | 32.84     | 4.3              |
| 19         | 9.0        | 5.5        | 8.3          | 1.6           | 33.51     | 2.9              |
| 20         | 10.7       | 6.5        | 8.4          | 1.1           | 33.57     | 1.5              |
| 21         | 11.8       | 4.5        | 7.9          | 1.2           | 33.99     | 1.4              |
| 22         | 11.0       | 7.0        | 8.1          | 0.9           | 33.99     | 1.6              |
| 23         | 11.5       | 5.0        | 8.2          | 1.5           | 33.06     | 1.0              |
| 26         | 9.2        | 1.4        | 8.5          | 4.0           | 29.08     | 12.2             |
| 29         | 9.3        | 1.5        | 8.8          | 3.3           | 30.02     | 9.2              |
| 30         | 8.6        | 3.1        | 9.7          | 3.0           | 30.06     | 14.4             |
| 31         | 8.9        | 3.7        | 10.0         | 2.4           | 31.05     | 13.2             |

| 調査地点<br>No | ポイント1<br>(CCT値) | ポイント2<br>(CCT値) | ポイント3<br>(CCT値) | ポイント4<br>(CCT値) | ポイント5<br>(CCT値) | ポイント7<br>(CCT値) |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2          | 58.80           | 20.16           | 15.32           | 7.04            | 5.20            | 2.68            |
| 3          | 58.40           | 19.72           | 15.00           | 7.44            | 5.28            | 2.84            |
| 4          | 60.76           | 20.52           | 16.04           | 8.04            | 6.32            | 3.24            |
| 5          | 60.64           | 20.88           | 15.68           | 8.20            | 5.32            | 3.00            |
| 6          | 60.00           | 20.52           | 15.52           | 8.04            | 5.56            | 3.12            |
| 7          | 61.36           | 21.28           | 16.72           | 8.60            | 6.40            | 3.56            |
| 8          | 59.24           | 20.24           | 16.36           | 8.20            | 5.68            | 3.00            |
| 10         | 61.08           | 20.56           | 15.88           | 7.96            | 5.04            | 2.84            |
| 11         | 57.40           | 19.32           | 15.00           | 7.80            | 5.28            | 2.88            |
| 12         | 57.44           | 19.84           | 14.92           | 7.28            | 5.68            | 2.72            |
| 13         | 60.36           | 20.04           | 15.96           | 8.16            | 4.96            | 2.52            |
| 14         | 57.12           | 19.12           | 14.88           | 6.52            | 4.48            | 2.28            |
| 15         | 58.36           | 19.44           | 14.84           | 6.68            | 4.48            | 2.40            |
| 16         | 58.48           | 19.72           | 14.68           | 6.52            | 4.72            | 2.56            |
| 17         | 58.68           | 19.56           | 14.64           | 6.80            | 4.60            | 2.28            |
| 19         | 68.04           | 19.04           | 14.28           | 7.28            | 4.76            | 2.40            |
| 20         | 59.12           | 19.16           | 14.40           | 7.44            | 5.08            | 3.12            |
| 21         | 60.72           | 19.88           | 15.04           | 7.44            | 4.92            | 3.04            |
| 22         | 58.28           | 18.72           | 13.60           | 6.24            | 4.20            | 1.88            |
| 23         | 62.44           | 20.92           | 15.88           | 8.48            | 6.04            | 3.00            |
| 26         | 59.44           | 20.12           | 15.80           | 8.08            | 5.00            | 2.76            |
| 29         | 61.32           | 21.96           | 17.36           | 8.00            | 5.04            | 2.32            |
| 30         | 58.16           | 20.32           | 15.88           | 7.40            | 4.80            | 2.60            |
| 31         | 57.96           | 19.48           | 15.04           | 7.92            | 5.76            | 3.16            |

表7-2 無機懸濁物質の影響が小さい水質での水質項目間及びTMデータとの相関  
(N=10) 1987年3月2日のデータ

|       | 透明度    | COD    | 塩分     | Chl-a  |
|-------|--------|--------|--------|--------|
| 透明度   |        | -0.878 | 0.811  | -0.813 |
| COD   |        |        | -0.910 | 0.904  |
| 塩分    |        |        |        | -0.975 |
| Chl-a |        |        |        |        |
| バンド1  | -0.025 | 0.148  | -0.095 | -0.054 |
| バンド2  | -0.706 | 0.706  | -0.775 | 0.706  |
| バンド3  | -0.863 | 0.765  | -0.872 | 0.868  |
| バンド4  | -0.638 | 0.658  | -0.658 | 0.774  |
| バンド5  | -0.549 | 0.558  | -0.416 | 0.512  |
| バンド7  | -0.703 | 0.634  | -0.536 | 0.632  |

Chl-a:クロロフィルa

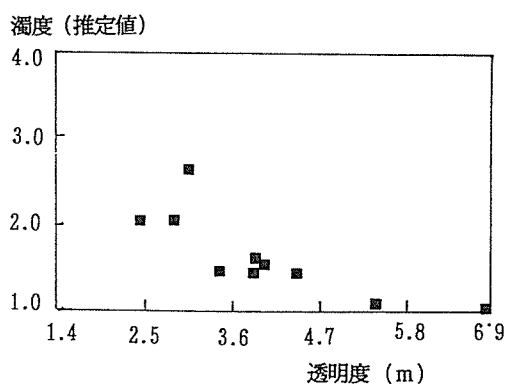


図7-3 透明度と濁度との関係  
(1987.3.2, 東京湾)  
相関関数 R=-0.811

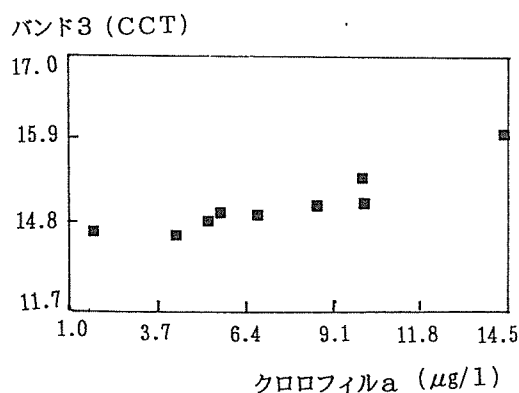


図7-4 クロロフィルaとバンド3との関係  
(1987.3.2, 東京湾)  
相関関数 R=0.868

トンの色素による色との関係, バンド3, 4は主に植物色素による色との関係ではと考えられるので単に同一に相関で捉えるのは危険である。

### 7-2-3 無機懸濁物質の影響の強い水質でのクロロフィルa濃度との関係

降雨後で河川から多量の無機懸濁物質が沿岸域に流入している1986年8月6日のデータについて検討した。水質項目間及びTMデータとの相関を表7-3に示した。図7-5は透明度と濁度との関係を示している。無機懸濁物質が多くなるほど透明度が低くなる関係, すなわち負の相関を示す。次に透明度とクロロフィルa濃度との関係を見ると, 図7-6に示すように正の相関を示す。これは, クロロフィルa濃度と濁度において図7-7に示すように負の相関が見られることと関係する。すなわち, クロロフィルa濃度の少ない河口において懸濁物質が多いために濁度は高くなり, 沖合いにいくにつれクロロフィルa濃度は増加するが, 懸濁物質が減少するために濁度は低い値となる。この場合は, 無機懸濁物質の影響がクロロフィルa濃度より大きく濁度に寄与しているためである。

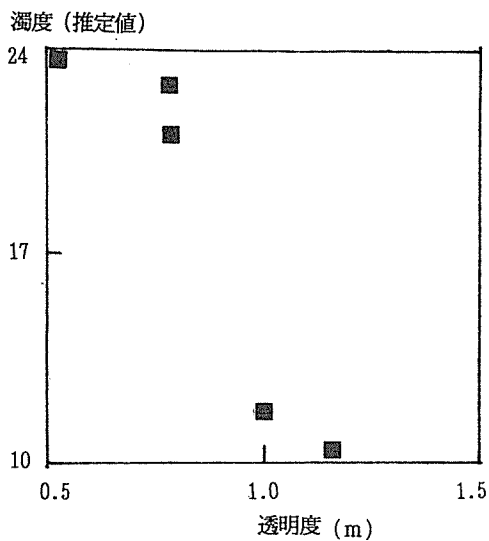


図7-5 透明度と濁度との関係図  
(1986.8.6, 東京湾)  
相関関数 R=0.899

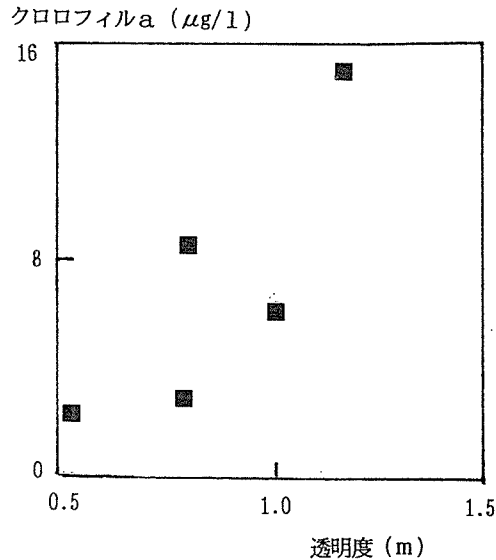


図7-6 透明度とクロロフィルaとの関係  
(1986.8.6, 東京湾)  
相関関数 R=0.825

上記の関係を反映してTMデータとクロロフィルa濃度との関係を見ると、表7-3に示すように、クロロフィルa濃度とバンド1, 2, 3, 4において負の相関が見られ、透明度とバンド1, 2, 3, 4においても負の相関が見られた。

#### 7-2-4 無機懸濁物質の影響を強く受けている海水でのクロロフィルa濃度の推定方法

7-2-3の結果より、無機懸濁物質の影響を強く受けている水質においては、バンド1, 2, 3, 4のいずれかを用いてのクロロフィルa濃度の推定は困難であることが明らかになった。

筆者らは、すでに東京湾の水質とランドサットTMデータの解析において、中間赤外域のバンド5, 7がクロロフィルa情報を有している可能性を明らかにした。ここでは、1986年8月6日の無機懸濁物質の影響を強く受けている沿岸域と影響の弱い沖合い域を含むデータについて、クロロフィルa濃度とバンド3, 5との関係を図7-8に示した。図7-8(1)のクロロフィルa濃度とバンド3との散布図からは、クロロ

表7-3 無機懸濁物質の影響が大きい水質での水質項目間及びTMデータとの相関  
(N=5) 1986年8月6日

|       | 透明度    | COD   | 塩分     | Chl-a  |
|-------|--------|-------|--------|--------|
| 透明度   |        | 0.277 | 0.899  | 0.825  |
| COD   |        |       | -0.026 | 0.750  |
| 塩分    |        |       |        | 0.638  |
| Chl-a |        |       |        | -0.638 |
| バンド1  | -0.832 | 0.236 | -0.970 | -0.463 |
| バンド2  | -0.845 | 0.234 | -0.957 | -0.463 |
| バンド3  | -0.874 | 0.201 | -0.953 | -0.490 |
| バンド4  | -0.814 | 0.202 | -0.743 | -0.380 |
| バンド5  | 0.488  | 0.081 | 0.743  | 0.506  |
| バンド7  | 0.274  | 0.054 | 0.563  | 0.362  |

Chl-a:クロロフィルa

フィル a 濃度の推定は、無機懸濁物質の影響の強い水域を除かなければ困難であることを示している。

一方、図7-8(2)のクロロフィル a 濃度とバンド5との散布図からは、無機懸濁物質の影響の強い沿岸域において、バンド3の結果とは異なって懸濁物質の影響をほとんど受けず、クロロフィル a 濃度とバンド5で強い正の相関が見られた。

同様な傾向は、バンド7でも見られた。バンド5と7は、水による吸収を強く受ける波長域で、陸域と水域を画像上で区分するのに良く使用されるバンドで、水質情報はほとんどないと考えられている。

しかし、図7-9に示すように、水中での反射はほとんどないが、植物や土に対しては他のバンドに比べて弱いながらも反射が存在する。図7-10は石山ら<sup>7)</sup>によるホテイアオイの葉の分光反射を示したもので、可視・近赤外域の他、バンド5と7それぞれの領域に反射の山が見られる。このことから、バンド5と7がクロロフィル a 濃度の情報を持っている可能性は強く、濁りの強い水におけるクロロフィル a 濃度の推定に有効と思われた<sup>8)</sup>。

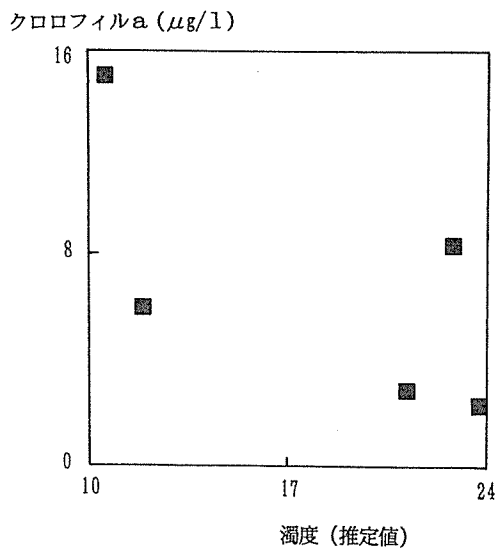


図7-7 濁度とクロロフィル a との関係 (1986.8.6, 東京湾)

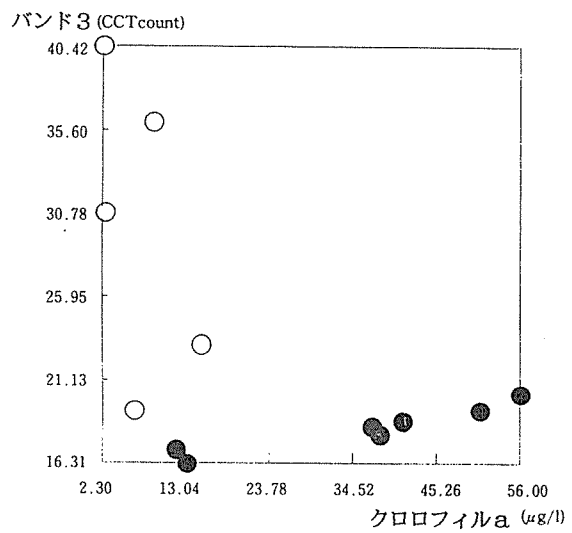


図7-8(1) クロロフィル a とバンド3との関係 (1986.8.6, 東京湾)  
○濁りの影響の強い海水 (R=-0.490)  
●濁りの影響の弱い海水 (R= 0.958)

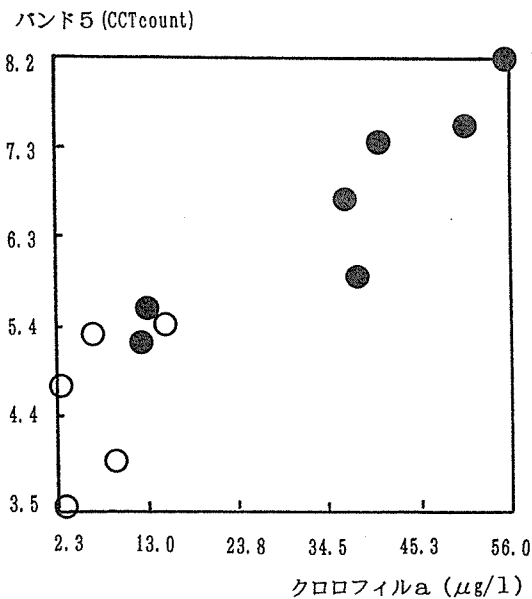


図7-8(2) クロロフィル a とバンド5との関係 (1986.8.6, 東京湾)  
○濁りの影響の強い海水 (R=0.506)  
●濁りの影響の弱い海水 (R=0.928)

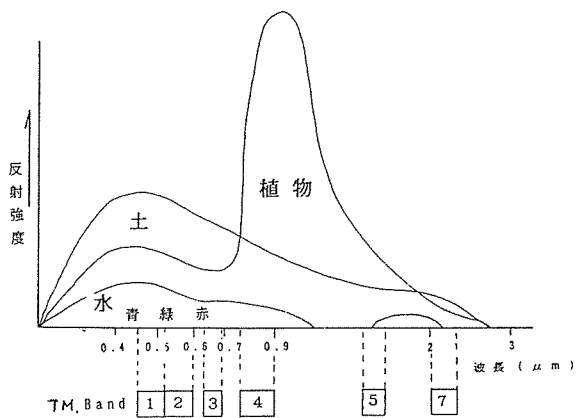


図7-9 各バンドの反射特性 (地球観測センター原図より)

### 7-3 クロロフィル a 濃度と TM 各バンドとの関係におけるエアロゾルの影響

ここでは、エアロゾルがクロロフィル a 濃度と TM 各バンドとの関係にどう影響するかを検討した<sup>9,10)</sup>。

#### 7-3-1 調査方法及び解析に使用したデータ

##### 7-3-1-1 調査方法及び項目

使用した TM データの日付及び太陽高度等を表 7-4 に示した。

1986 年 8 月 6 日と 1987 年 3 月 2 日の水質データについては、環境庁委託で実施された広域調査のものを使用した。その他の水質データについては、横浜市環境科学研究所が取得したものである。1989 年からは人工衛星の運行日に合わせて調査を行っているが、そのうち今回解析に使用した水質データは、天候が快晴で人工衛星データが取得できた 5 シーンに関するものである。船上での水質調査は、衛星運行時間(9 時 40 分頃)を配慮して午前中とした。

調査項目は、水温、pH、透明度、DO、SS、塩分、クロロフィル a などである。採水は、ポリバケツによりおこなった。測定法は、以下の通りである。

- 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                                      DO；JIS K 0102.32.1 ウィンクラー・アシ化ナトリウム変法
- SS；JIS K 0102.14.1 懸濁物質                      塩分；HAMNON 製水温-塩分計
- クロロフィル a；LORENZEN 法

また、浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度は光散乱法で得られた相対濃度である浮遊粉塵濃度に同一期間における質量濃度で得られた換算係数を乗じて算出している<sup>11)</sup>。

##### 7-3-1-2 調査地点

調査地点及び解析に使用した大気常時監視測定局は図 7-11 に示す通りである。

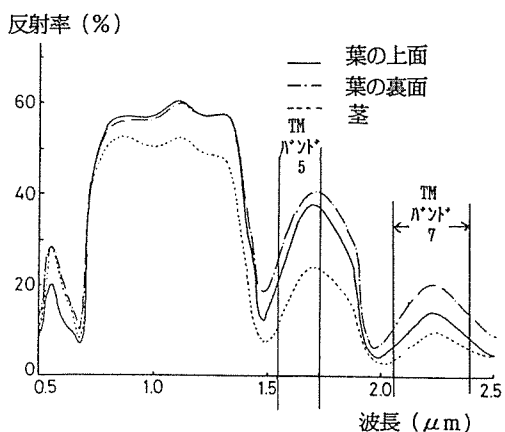


図 7-10 ホテイアオイの分光反射特性  
(石山 隆原図より引用)

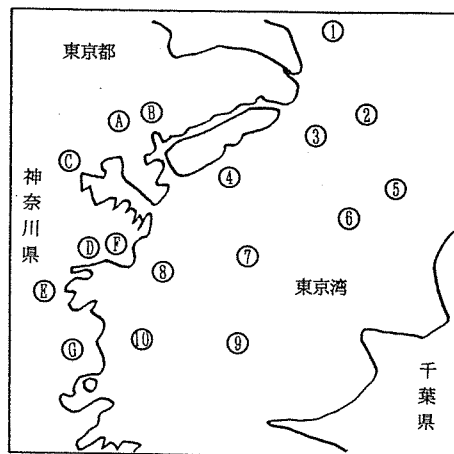


図 7-11 水質調査地点及び大気常時監視測定局  
1~10 水質調査地点  
A~G 大気常時監視測定局

表 7-4 使用したデータの日付及び太陽高度など

| 年月日        | 太陽高度角    | 補正係数 | 年月日        | 太陽高度角    | 補正係数 |
|------------|----------|------|------------|----------|------|
| 1986.08.06 | 55°, 56° | 1.21 | 1990.05.29 | 60°, 60° | 1.15 |
| 1987.03.02 | 35°, 36° | 1.72 | 1990.11.05 | 31°, 32° | 1.91 |
| 1989.08.14 | 55°, 55° | 1.22 | 1992.06.03 | 60°      | 1.15 |
| 1990.04.27 | 54°      | 1.24 |            |          |      |

補正係数(k)：太陽高度を x 度とすると、 $k = 1/\sin(x)$

### 7-3-1-3 TM データの前処理法及び解析に使用したデータ

TM データは、リモートセンシング技術センターから購入した幾何補正済みのもので水質調査地点の周辺 3 画素×3 画素の平均値を用いた。また、エアロゾルとの関係を見るうえから、各 TM データに対して太陽高度角補正を行った。太陽高度角補正は、太陽高度角が 90 度の時の係数を 1 として、それぞれの仰角から求めた係数を用いて行った。

大気中のエアロゾル濃度の指標は、横浜市内の臨海部にある大気常時監視測定局で地上 1.5 m のところから採集している浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度の 9 時と 10 時の 1 時間値の平均値を用いた。解析に使用したデータの基本統計量を表 7-5 に示した。

表 7-5 水質及び TM データの基本統計量

|       | Chl-a | Tr. | SPM   | バンド 1 | バンド 2 | バンド 3 | バンド 4 | バンド 5 | バンド 7 |
|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 標本数   | 66    | 66  | 49    | 66    | 66    | 66    | 66    | 66    | 66    |
| 平均値   | 58.0  | 2.2 | 49.7  | 75.4  | 27.3  | 24.4  | 12.9  | 9.6   | 4.9   |
| 標準偏差値 | 80.4  | 1.1 | 36.8  | 18.3  | 8.3   | 9.5   | 6.0   | 4.6   | 2.4   |
| 最小値   | 1.6   | 0.5 | 8.5   | 43.7  | 13.8  | 10.2  | 4.1   | 2.6   | 1.0   |
| 最大値   | 484.0 | 7.0 | 160.5 | 104.0 | 41.0  | 40.6  | 23.4  | 18.6  | 10.0  |

Chl-a:クロロフィル a ( $\mu\text{g/l}$ )

Tr:透明度 (m)

SPM:浮遊粒子状物質濃度 ( $\mu\text{g/m}^3$ )

### 7-3-2 TM データへのエアロゾルの影響

7 種類の太陽高度角未補正 TM データについて、バンド別に反射強度を比較した。そのうち、バンド 1 について図 7-12 に示した。また、バンド間の反射強度の比較をおこない、その中からバンド 1 と 3 との関係について、太陽高度角未補正のデータを図 7-13 (1) に、太陽高度角補正のデータを図 7-13 (2) に示した。これらの図からは、調査時期の違いにより反射強度が異なっていることと、太陽高度角補正によりそれらの関係が異なることが明らかになった。これらの違いが何に起因しているか明らかにするために、太陽高度角補正データでの検討を試みた。例えば、図 7-14 に示すように太陽高度角補正したバンド 1 における 7 時期の TM データの反射強度が、図 7-15 に示した 7 時期の大気中における SPM 濃度と対応した関係が見られた。

この関係についてバンド別に比較するために、各時期における平均 SPM 濃度及びバンド別平均反射強度を求めた。その結果、図 7-16 に示すように、大気中の SPM 濃度とバンドとの間に強い正相関が見られた。このことは、地上 1.5 m で測定した大気中の SPM 濃度が、大気中の地上付近から上空に分布するエアロゾル濃度による TM データへの影響の予測の可能性を示している。この関係を利用することによって、TM データによる海域のエアロゾル濃度の推定が可能である。また、エアロゾルの TM データへの影響がバンドにより異なることから、これらの特徴を利用することにより、水質解析への応用も考えられる。

### 7-3-3 エアロゾルの影響が見られる中でのクロロフィル a 濃度の推定

表 7-6 にクロロフィル a 濃度と TM 各バンドとの相関係数行列を SPM 濃度の大きい順に示した。また、バンド 3 とクロロフィル a 濃度との散布図を図 7-17 に示した。クロロフィル a 濃度と TM データとの関係は SPM 濃度によって 2 つに分類された。SPM 濃度が  $50 \mu\text{g/m}^3$  以上の場合は、局所的な変動も大きく、TM 各バンドとクロロフィル a 濃度の間に相関は見られなかった。SPM 濃度が  $50 \mu\text{g/m}^3$  より小さい場合、クロ



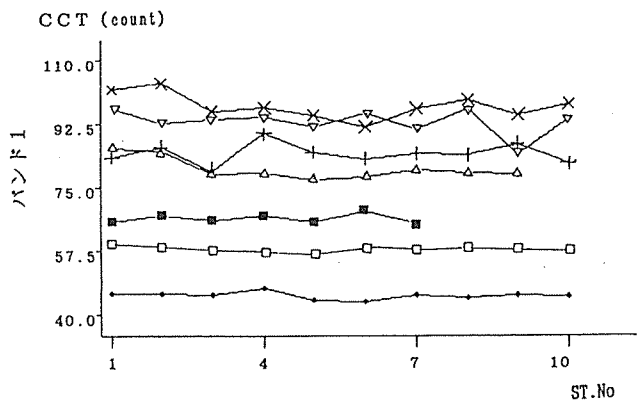
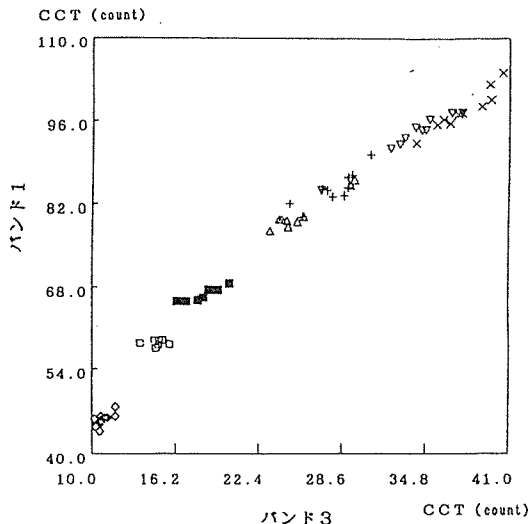


図7-12 7種類のTMデータに関してバンド1での比較  
(太陽高度角未補正)

××: '90.04.27    ▽▽: '92.06.03    ++: '89.08.14  
 △△: '90.05.29    ◇◇: '90.11.05    □□: '87.03.02  
 ■■: '86.08.06



(1)太陽高度角未補正データ

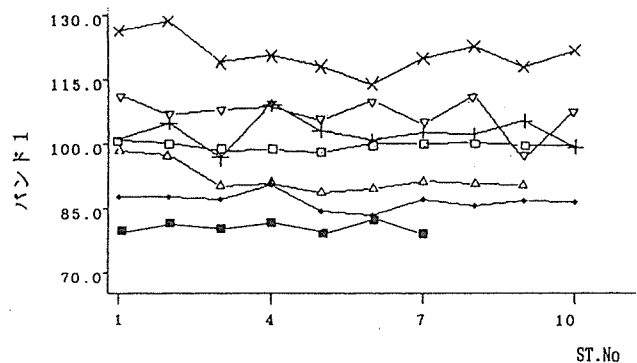
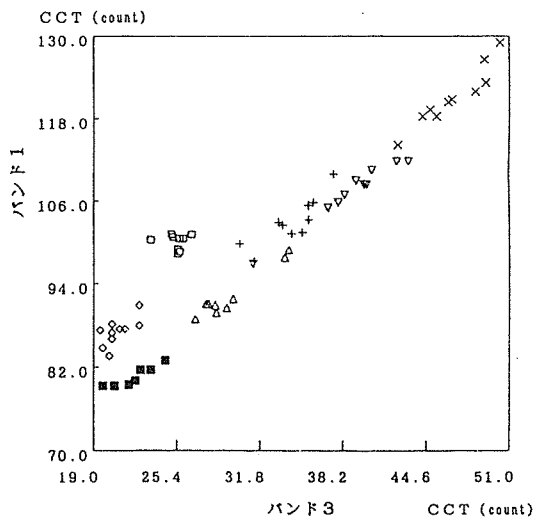


図7-14 7種類のTMデータに関してバンド1での比較  
(太陽高度角未補正)

data in Band1  
 ××: '90.04.27    ▽▽: '92.06.03    ++: '89.08.14  
 △△: '90.05.29    ◇◇: '90.11.05    □□: '87.03.02  
 ■■: '86.08.06



(2)太陽高度角補正データ

7-13 7種類のTMデータについての  
バンド1とバンド3との比較

××: '90.04.27    ▽▽: '92.06.03    ++: '89.08.14  
 △△: '90.05.29    ◇◇: '90.11.05    □□: '87.03.02  
 ■■: '86.08.06

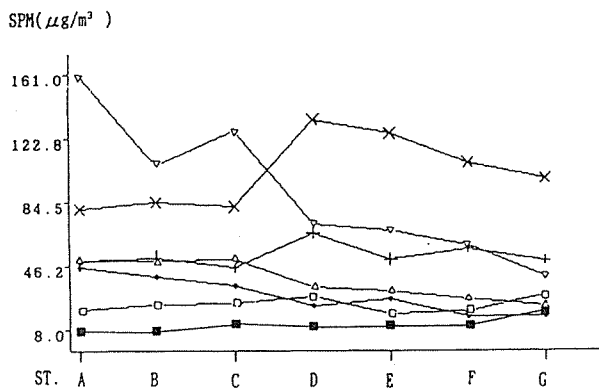


図7-15 7種類の浮遊粒子状物質 (SPM) 濃度の比較

××: '90.04.27    ▽▽: '92.06.03    ++: '89.08.14  
 △△: '90.05.29    ◇◇: '90.11.05    □□: '87.03.02  
 ■■: '86.08.06

A: 鶴見    B: 旧鶴見    C: 神奈川    D: 加曾台    E: 磯子  
 F: 本牧

表7-6 クロロフィルaとTM各バンドとの相関係数

| 調査日      | 平均値                      |               | 自由度 | 相 関 係 数           |                   |                   |                   |                   |                   |
|----------|--------------------------|---------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|          | SPM<br>μg/m <sup>3</sup> | Chl-a<br>μg/l |     | バンド1<br>0.45-0.52 | バンド2<br>0.52-0.60 | バンド3<br>0.63-0.69 | バンド4<br>0.76-0.90 | バンド5<br>1.55-1.75 | バンド7<br>2.08-2.35 |
| 90/04/27 | 111                      | 51.7          | 8   | -0.378            | -0.513            | -0.248            | 0.093             | -0.144            | 0.104             |
| 92/06/03 | 91                       | 143.6         | 8   | 0.450             | 0.388             | 0.376             | 0.595             | 0.244             | 0.000             |
| 89/08/14 | 52                       | 70.3          | 8   | -0.122            | 0.091             | 0.263             | 0.239             | 0.168             | 0.252             |
| 90/05/29 | 35                       | 82.1          | 7   | 0.762*            | 0.766*            | 0.783*            | 0.854*            | 0.787*            | 0.650             |
| 90/11/05 | 28                       | 12.1          | 8   | 0.115             | -0.352            | 0.417             | 0.014             | 0.157             | -0.003            |
| 87/03/02 | 26                       | 6.6           | 8   | -0.177            | 0.576             | 0.827*            | 0.804*            | 0.612             | 0.734*            |
| 86/08/06 | 11                       | 35.4          | 5   | 0.778*            | 0.678             | 0.907*            | 0.820*            | 0.884*            | 0.737             |

各バンドの下の数字は、測定波長の範囲。(単位μm) \*:危険率5%で有意となる相関係数

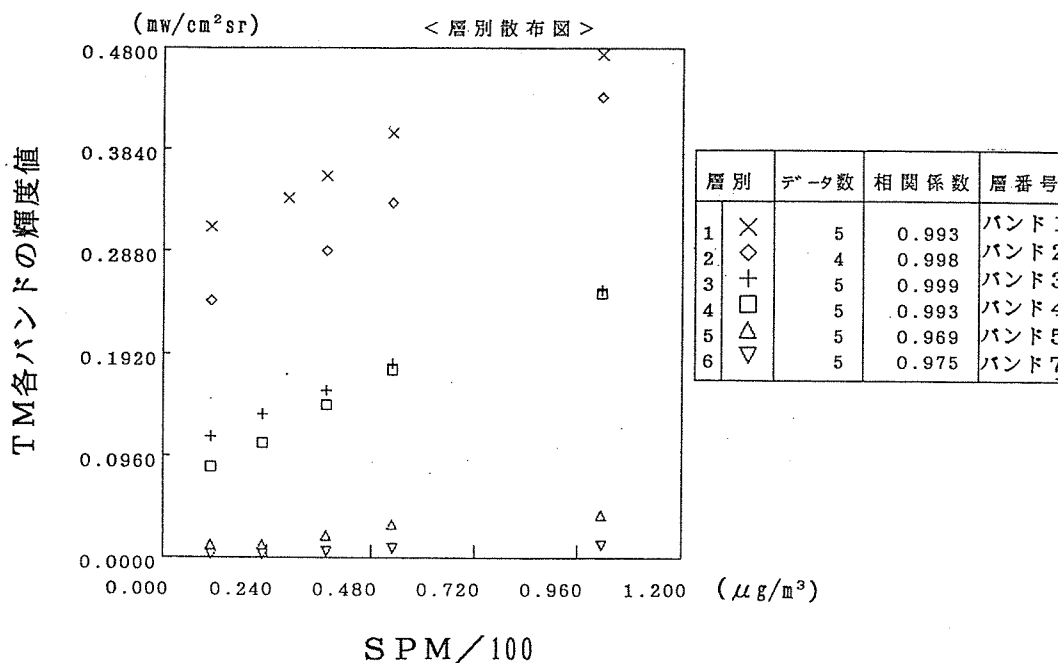


図7-16 SPMとTMデータとの関係

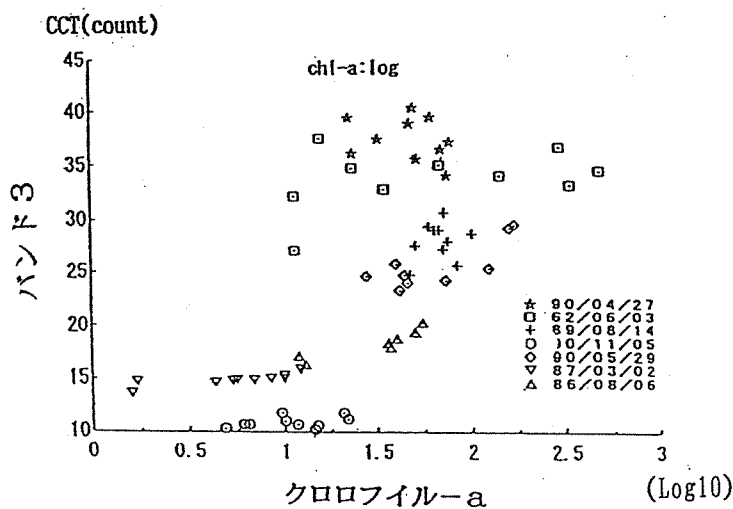


図7-17 クロロフィルaとバンド3との関係

ロフィル a 濃度が高いときには、1990 年 5 月 29 日の例のように TM 各バンドとの間に相関が見られ、TM 単バンドによるクロロフィル a 濃度の推定が可能と思われた。しかし、1990 年 11 月 5 日の例のようにクロロフィル a 濃度が低いときには、TM データに対する寄与が低くなり、単バンドでの推定は難しく思われた。

#### 7-4 TM データによる東京湾全域のクロロフィル a 濃度の推定上の問題点と今後の課題

第 6 章において、濁りの影響の有無が TM データに影響を及ぼすことを明らかにしたが、同様に、運河や沿岸と沖合いの水深の違い、湾奥と湾央の水深の違い、海水中のノリなどの海藻、千葉、東京、神奈川の大気の違いなどによる影響が考えられる。これらの影響について明らかにするためには、人工衛星の運行日に合わせた東京湾の広域水質調査が必要である。1993 年からは、千葉県水産試験場、千葉県水質保全研究所、東京都環境保全局、東京都環境科学研究所、大田区役所、神奈川県環境科学センター、神奈川県水産試験場、川崎市公害研究所、横浜市環境科学研究所の 9 機関共同での水質調査を実施している。1993 年に得られた晴天時のデータは 5 月 21 日と 9 月 10 日の 2 回で、神奈川県側と千葉県側の水質データからなっている。1994 年は晴天時データを得られなかった。今後、これらのデータを解析することにより、TM データによる東京湾全域のクロロフィル a 濃度の推定手法の確立を図りたい。

#### 7-5 まとめ

- 1) ここでは、まず、快晴日でエアロゾルの影響のほとんどないような条件の同日の TM データとクロロフィル a 濃度との関係について、無機懸濁物質の影響との関連から検討した。
- 2) その結果、無機懸濁物質の影響の弱い水質では、クロロフィル a 濃度と TM データのバンド 2, 3, 4, 5, 7 と正の相関が見られ、クロロフィル a 濃度の推定が可能と思われた。
- 3) 次に、無機懸濁物質の影響を強く受けている水質について検討した結果、バンド 1, 2, 3, 4 のいずれにおいてもクロロフィル a 濃度の推定は困難であることが明らかになった。しかし、バンド 5 と 7 がクロロフィル a 濃度の情報を持っている可能性は強く、濁りの強い水におけるクロロフィル a 濃度の推定に有効と思われた。
- 4) 次にエアロゾルの影響のあるシーンについて、クロロフィル a と TM 各バンドとの相関係数行列を SPM 濃度との関係で検討した。その結果、クロロフィル a 濃度は、SPM 濃度が  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  より小さい場合、クロロフィル a 濃度が高い時には TM 各バンドとの間に相関が見られ、TM データからの推定が可能であることを明らかにした。

#### 謝 辞

本研究におきましては、調査にご協力下さった横浜市港湾局海務課及び「ひばり」「おおとり」の関係職員の方々並びに浮遊粒子状物質濃度の情報を提供して下さった環境保全局環境監視センターの鶴東正博氏に深く感謝の意を表します。

また、本研究にランドサットデータを提供して下さった宇宙開発事業団並びに、データ処理等に協力して下さったリモートセンシング技術センターの関係職員の方々に深く感謝の意を表します。

「衛星データ所有：米国政府」

「衛星データ提供：EOSAT/宇宙開発事業団」

#### 文 献

- 1) 宮崎忠国・大井こう；リモートセンシングによる水質計測の現状, 国立公害研究所報告昭和 59-60 年度, 273-283(1987).

- 2) 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，海洋生物光学，東海大学出版会，164-200(1985)。
- 3) 安岡善文・宮崎忠国；遠隔計測による湖水域の水質分布計測－回帰分析を用いた大気補正と水質推定－，国立公害研究所研究報告，39，129-143(1983)。
- 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・中村永友；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) 水尾寛己；クロロフィルとリモートセンシング，環境とリモートセンシング（第1回）テキスト，日本リモートセンシング学会，53-58(1994)。
- 7) 石山 隆，岡山 浩；ホテイアオイの分光反射特性，千葉大学環境科学研究報告第10巻，11-14。
- 8) 水尾寛己・二宮勝幸・雫石雅美・多賀保志・安岡善文；TM データによる東京湾のクロロフィル a 量の観測の検討－中間赤外域における水質情報の抽出の可能性－，日本リモートセンシング学会誌11（3），135-139(1991)。
- 9) 水尾寛己・二宮勝幸・前川 渡・岡 敬一・吉見 洋；リモートセンシングによる水質情報把握のための基礎的検討(1)－ランドサット TM バンド間の関係－，日本リモートセンシング学会第15回学術講演回論文集，119-120(1993)。
- 10) 岡 敬一・吉見 洋・水尾寛己・二宮勝幸・前川 渡；リモートセンシングによる水質情報把握のための基礎的検討(2)－ランドサット TM 各バンドと水質との関係－，日本リモートセンシング学会第15回学術講演回論文集，121-122(1993)。
- 11) 横浜市公害対策局；横浜市大気汚染調査報告書第26報（昭和61年度）(1987)。