

リモートセンシングを利用した環境解析 - 三方五湖の水質解析について -

吉川 昌範・白崎 健一

Environment Analysis by Remote Sensing
- Analysis of Water Qualities in the Five Lakes of Mikata -

Masanori YOSHIKAWA, Ken-ichi SHIRASAKI

Abstract

Since satellite LANDSAT-1 was launched in 1972, Satellite remote sensing was researched and applied to various field.

We tried to analyze satellite remote sensing data (LANDSAT-5/TM) and water qualities data in the Five Lakes of MIKATA using personal-computer, in order to examine a capability of water quality grasp by satellite remote sensing.

In the result, we found a good correlation between the specific TM-band value and the density of water qualities (suspended sediment, chlorophyll-a, transparency).

Using this correlation, we could make out the distribution-map of water qualities (suspended sediment, chlorophyll-a, transparency).

1. はじめに

1972年にアメリカで世界初の地球観測衛星ランドサット1号が打ち上げられて以来、人工衛星によるリモートセンシング(以下「リモセン」という)は、広域性、同時性等に優れていることから、気象、海洋、農業、防災、土地利用、地下資源等の様々な分野で研究・活用が進められている。

環境の分野においても、湾や湖沼における水質監視等への活用についていくつかの検討事例があり、その有効性がある程度明らかになってきている。しかし、センサーに検知される光エネルギーは大気散乱光や水面反射光が大半を占め、観測時の大気状態や季節および水域等によって変化するとされている¹⁾²⁾ことなどから、これまでに得られている知見は様々であり、全ての時期や水域に応用できるまでには至っていない。

そこで、他事例と同様な手法を用いて三方五湖(総面積約11km²)におけるリモセンデータによる水質把握の有効性を検討するため、パソコンを用いて解析を行ったのでその結果について報告する。

2. 解析方法等

解析方法は図1のフロー図に示すとおりである。

晴天日の衛星飛来日に合わせて図2に示した9地点(三方五湖における常時監視地点)で水質調査を実施し、得られた水質データとリモセンデータの相関分析結果からリモセンデータによる水質把握の有効性を検討し、その結果を用いて三方五湖における各水質の推定濃度分布図を作成する。

2.1 使用システム

使用したシステムは次のとおりである。

パソコン……PC9821Ap2

画像メモリ……SuperFrame2Σ((株)サピエンス)

解析ソフト……μ-CREST(セツラル・コンピュータ・サービス(株))

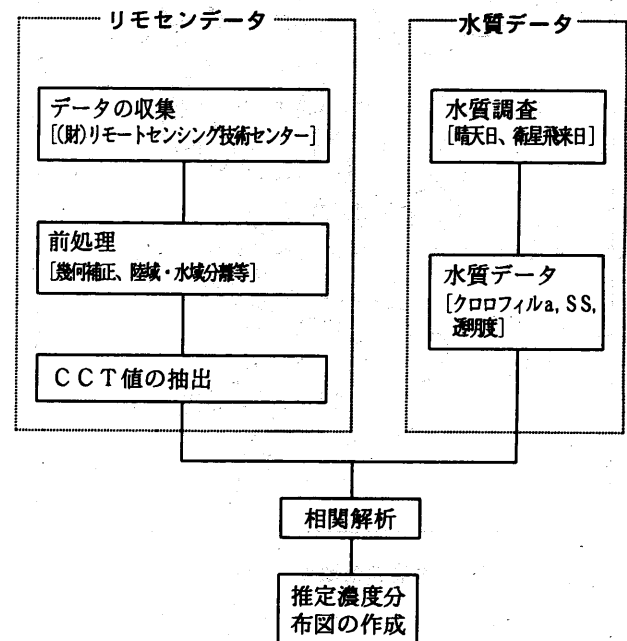


図1 解析フロー図

2.2 使用データ

解析に使用したデータは次のとおりである。

(1)水質データ

調査地点: 三方五湖(9地点)

調査日時: 1994年4月11日 午前9時~12時

水質項目: クロロフィルa、SS、透明度

(2)リモセンデータ

衛星: LANDSAT5号

センサー: TM (Thematic Mapper)

フォーマット: B S Q (Band Sequential)

観測日：1994年4月11日

パス-ロウ：110-35

なお、TMセンサーは多重スペクトル走査計であり、観測スペクトルは7バンドである。また、空間分解能は30m（熱赤外域のバンド6は120m）である。

2.3 リモセンデータの前処理

（財）リモートセンシング技術センターからフロッピーで購入したリモセンデータ（データ範囲：14.6km×11.4km）について、以下のような前処理を行った。

（1）衛星の軌道が南北でないことおよび購入した画像が歪を持っていることから、水質調査地点の画像上の画素位置を正確に抽出できるように、購入画像を地図座標系に精度よく投影しておく必要がある。その方法として、画像上で複数の基準点（GCP）を抽出し、アフィン変換

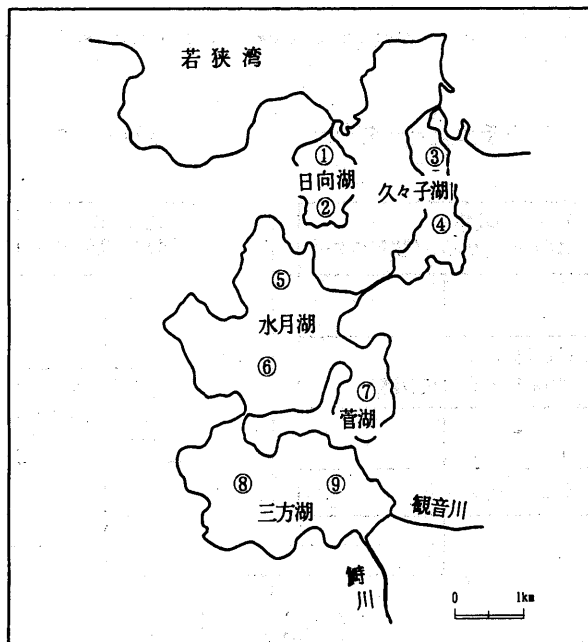


図2 水質調査地点（三方五湖）

により地図座標系への幾何学的変換を行った。その際の再配列の方法としては、原データを壊さずにすむ最近隣内挿法を用いた。

（2）推定濃度分布図の作成において、その分布が陸域まで広がり判別しにくい画像となることを防ぐため、水域と陸域において著しいCCTデジタル値（以下「CCT値」という）の差を示すと言われている中間赤外域のバンド5⁹⁾を用いて、水域のCCT値を0、陸域のCCT値を255とする2値画像を作成した。

なお、水域と陸域を分離する際の閾値（CCT=7）は目視判読により求めた。

2.4 CCT値の抽出

各調査地点におけるTMデータのCCT値については、水質調査地点の緯度・経度と2.3(1)で作成した画像の緯度・経度の関係から、水質調査地点の対応画素位置を求め、その画素におけるCCT値をバンド毎に抽出した。

3. 結果と考察

3.1 水質データとTMデータ

各調査地点の水質データと各バンド別のTMデータのCCT値は表1のとおりである。

調査地点の水質は、クロロフィルaが2.5~24.4 $\mu\text{g}/\ell$ 、SSが1以下~9 mg/ℓ 、透明度が0.9~5.2mの範囲であった。なお、三方五湖の過去5年間(89年4月から94年3月)の平均値は、クロロフィルaが2.2~39.9 $\mu\text{g}/\ell$ 、SSが1以下~13 mg/ℓ 、透明度が0.8~8.3mの範囲であり、調査日の三方五湖は、ほぼ平均的な水質レベルにあったと言える。また、アオコの発生は観察されなかった。

調査地点のTMデータのCCT値は、バンド1が62~71、バンド2が22~30、バンド3が19~28、バンド4が11~14、バンド5が9~11、バンド6が110~117、バンド7が3~5の値であり、可視域（バンド1~バンド3）および熱赤外域（バンド6）では7~9の範囲であったが、その他のバン

表1 水質データとTMデータ（三方五湖：1994年4月11日）

地点	クロロフィルa ($\mu\text{g}/\ell$)	SS (mg/ℓ)	透明度 (m)	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
①	2.7	<1	4.8	64	22	19	13	10	110	4
②	3.8	<1	5.2	63	23	19	11	11	111	4
③	3.4	<1	2.0	67	25	23	14	10	116	4
④	2.5	<1	1.8	65	25	21	14	11	113	4
⑤	5.4	<1	1.8	62	23	21	12	9	115	5
⑥	6.3	<1	1.9	66	24	21	13	9	117	4
⑦	8.1	<1	2.4	65	23	21	13	10	113	5
⑧	24.4	9	1.0	70	29	26	14	9	116	3
⑨	15.6	6	0.9	71	30	28	14	10	113	4
範囲	2.5-24.4	<1-9	0.9-5.2	62-71	22-30	19-28	11-14	9-11	110-117	3-5

Band 1 : 450-520nm

Band 2 : 520-600nm

Band 3 : 630-690nm

Band 4 : 750-900nm

Band 5 : 1550-1750nm

Band 6 : 10400-12500nm

Band 7 : 2080-2350nm

表2 水質データとTMデータの相関

	SS	透明度	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7
クロロフィルa	0.967**	-0.566	0.776*	0.815**	0.804**	0.401	-0.473	0.338	-0.535
SS		-0.523	0.822**	0.885**	0.842**	0.465	-0.350	0.241	-0.658
透明度			-0.637	-0.701*	-0.768*	-0.688*	0.491	-0.734*	0.105
Band 1				0.929**	0.922**	0.751*	-0.218	0.343	-0.613
Band 2					0.963**	0.639	-0.177	0.332	-0.585
Band 3						0.655	-0.308	0.398	-0.415
Band 4							-0.135	0.359	-0.417
Band 5								-0.685	0.030
Band 6									-0.155

注) **: 有意水準 1% *: 有意水準 5%

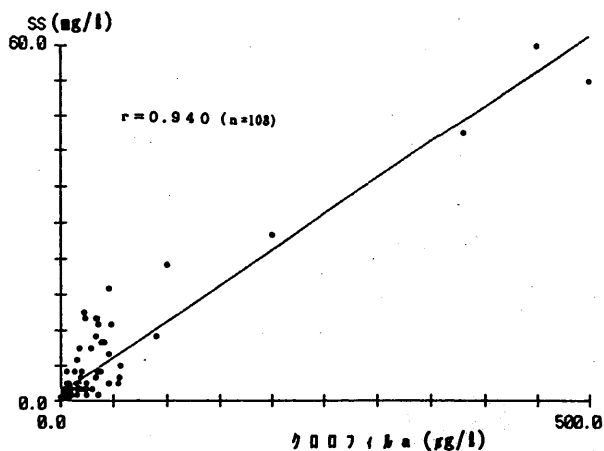


図3 SSとクロロフィルaの相関

ドでは範囲が狭く、これらのバンドを用いて解析した場合には推定精度が悪くなるものと思われる。

3.2 水質データとTMデータの相関解析

水質データとTMデータ間の相関係数は表2のとおりである。

水質項目間では、SSとクロロフィルaの間に有意水準1%の強い相関が認められた。なお、SSとクロロフィルaとの相関については、92年4月から94年3月までの2年間のデータを用いた場合も図3に示す様に強い相関が認められており、三方五湖のSSはクロロフィルa由来のものが主であると推察される。

TMデータ間では、可視域のバンド1～バンド3の間でそれぞれ有意水準1%の強い相関が認められた。

水質データとTMデータ間の相関では、クロロフィルa、SSとも可視域バンドとの相関が強く、特にバンド2およびバンド3とはともに有意水準1%の相関が認められた。このことは、クロロフィルaおよびSSの反射スペクトルの特徴が700nm付近と言われている⁴⁾ こととほぼ一致する結果であった。

透明度は、バンド2～バンド4および熱赤外域のバンド6との間に有意水準5%で負の相関が認められた。

以上のように、相関分析により各水質と強い相関のあるTMバンドを求めることができたことから、TMデータを用いて三方五湖の水質濃度を推定することは充分可能であると考えられる。

なお、他事例では、大気エアロゾルの影響を考慮したりSSとクロロフィルaの情報を分離しないと良い結果が得られないとの報告^{5) 6)}があるが、今回、それらの影響を考慮しなくても良好な結果が得られた要因としては、

- ①地点間にある程度の濃度差があった。
- ②SSとクロロフィルaの間に強い相関があった。
- ③当日の大気中の浮遊粒子状物質濃度は、三方五湖に最も近い大気常時観測局(敦賀局)で $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度であり、良好な大気状態であった。

ことなどが考えられる。これらの要因については、三方五湖においては一般的な状況であることから、他時期においてもある程度良い結果が得られるものと推察される。

3.3 水質の推定濃度分布図の作成

各水質項目と3.2で最も強い相関が得られた単バンドとの回帰式を求め、その回帰式を用いて推定濃度の画像データを作成する。次に、その画像と2.3(2)で作成した2値画像との重ね合わせを行った画像を用いて、レベルスライス法により濃度範囲を3～4段階に区分した推定濃度分布図を作成した。

各水質項目と最適バンドとの回帰式は次のとおりであった。

$$\text{クロロフィルa} = 2.141 \times \text{バンド2} - 45.256$$

$$\text{SS} = 1.003 \times \text{バンド2} - 22.899$$

$$\text{透明度} = (-0.386) \times \text{バンド3} + 10.962$$

クロロフィルaの推定濃度分布図を図4に、SSの推定濃度分布図を図5に、透明度の推定分布図を図6にそれぞれ示した。

クロロフィルaは、三方湖を除く4湖では $10 \mu\text{g}/\ell$ 以下、三方湖では $11 \mu\text{g}/\ell$ 以上で、特に三方湖東部に流入する最大の河川である鱒川河口付近では、 $21 \mu\text{g}/\ell$ 以上の濃度分布域が推定された。また、SSもクロロフィルaと同

様な濃度分布パターンを示し、鱈川河口付近において11mg/ℓ以上の濃度分布域が推定された。

透明度は、日向湖で3.1m以上、久々子湖、水月湖および菅湖で1.1～3m、三方湖で1m以下と推定される分布図となった。

4 ま と め

三方五湖を対象に、パソコンを用いてリモセンデータの水質評価への有効性を検討した結果、次の知見が得られた。

- 1) クロロフィルaおよびSSは、TMデータの可視域バンドとの相関が強く、特にバンド2およびバンド3とはともに有意水準1%の相関が認められた。
- 2) 透明度は、バンド2～バンド4およびバンド6との間に有意水準5%の負の相関が認められた。
- 3) 水質項目と最も強い相関のあった単バンドとの単回帰式を用いて、リモセンデータからクロロフィルa、SSおよび透明度の推定分布図を作成することができた。

以上のように、今回の解析結果から三方五湖のクロロフィルa、SSおよび透明度について、リモセンデータ（ランドサット5号TM）による水質推定の可能性が明らかとなった。

今後は、多くの事例を積み重ねて、リモセンデータが取得された時期等を考慮した最適な回帰式モデルを作成するなど、リモセンによる水質監視手法の開発を試みたい。

参考文献

- 1) 安岡善文, 宮崎忠国: 遠隔計測による水質の定量, 国立公害研究所特別研究報告, **77**, pp. 165-185, 1985.
- 2) 福島甫: 人工衛星による水色リモートセンシング, 日本リモートセンシング学会誌, **11**, No2, pp. 103-117.
- 3) 脇田安彦他: リモートセンシングによる鹿児島湾の水質評価への試み(第Ⅱ報), 鹿児島県環境センター所報, **5**, pp. 37-50, 1989.
- 4) 宮崎忠国, 大井紘: リモートセンシング技術による水質計測の現状, 国立公害研究所研究報告, **34**, pp. 29-42, 1982.
- 5) 水尾寛己他: TMデータによる東京湾のクロロフィルaの観測の検討, リモートセンシング学会誌, **11**, No3, pp. 135-139.
- 6) 岡敬一他: 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, 日本リモートセンシング学会第15回学術講演会論文集, pp. 121-122, 1993.

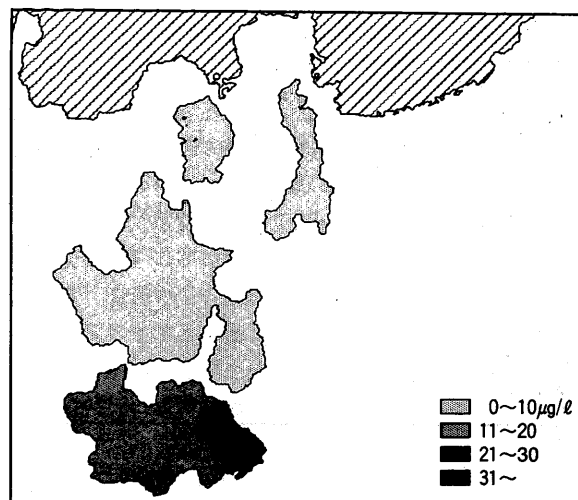


図4 クロロフィルa推定濃度分布図

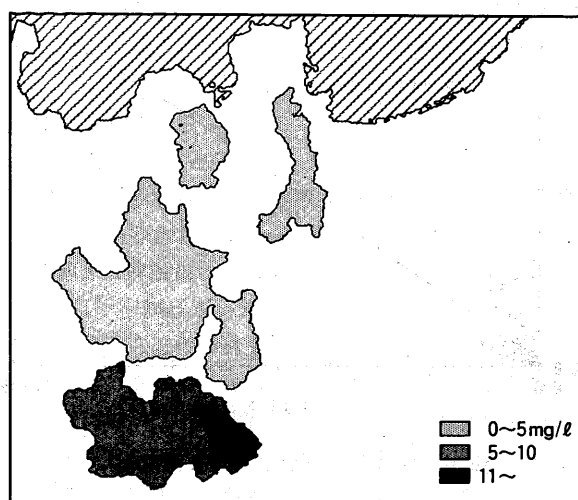


図5 SS推定濃度分布図

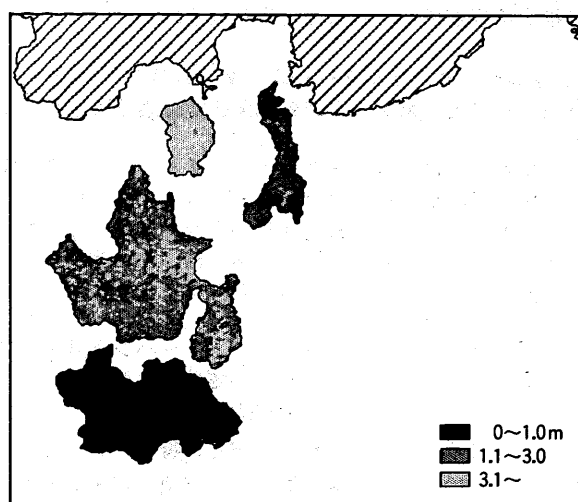


図6 透明度推定分布図