Landstat 画像データの主成分分析による水環境評価

Evaluation of Water Environment by Using Principal Component Analysis for Landsat Digital Data

村井 俊治 前田 紘

by Shunji Murai and Hiroshi Maeda

東京大学生産技術研究所

ABSTRACT : The objective of the study is test the principal Tcomponent analysis to obtain the comprehensive in dicator for evaluating the water environment with use of LANDSAT MSS digital data.

From the results of the analysis, much more detail information concerning the water environment can be obtained by the linear combinations of four bands, that by the single band of MSS 4 or MSS 5 band. This is because the digital data of the band of MSS 6, and even MSS 7 make a good deal of contribution to the water invironment.

和文梗概

地球資源衛星 (LANDSAT) の MSS 画像から、海面の水環境を見るには、一般に、4 バンド ($0.5 \sim 0.6 \mu\text{m}$) と 5 バンド ($0.6 \sim 0.7 \mu\text{m}$) を用いればよいとされている。しかし、LANDSAT のデジタルデータを詳細に検討して行くと、6 バンド ($0.7 \sim 0.8 \mu\text{m}$) も水量環境に大きな影響を与えていることがわかった。また、海岸や河口近くにおいては 7 バンド ($0.8 \sim 1.1 \mu\text{m}$) の影響もやや見られる。

これらの事から、本研究では、主成分分析の手法を用いて、4 つのバンドの線形結合により、水環境を評価する指標を得ることを目的として、いくつかの数値的な実験を試みた。主成分分析の結果、水環境を評価するには、第 1 主成分と第 2 主成分を用いれば、それぞれのバンドを単独に用いるよりも、より詳細な情報が得られることがわかった。

1. はじめに

わが国の沿岸の利用度はきわめて高いが、その水環境は都市排水、工場排水、廃棄物の投棄、土砂流入などによりいろいろな影響をうけている。沿岸の利用度が高くなればなるほど、影響する要因は多様化する。水環境を適切に把握、評価し、さらに管理、保全するために必要な情報を与える手段の一つにリモートセン

シングの活用がある。その中で LANDSAT による MSS データを水環境の評価情報として利用する研究がなされ、いくつかの可能性が報告されている。

本研究では、LANDSAT-2 号がとられた 1975 年 9 月 11 日の名古屋地域の MSS データ (ID. No. 2232—00 47300) を用い、陸部と厚い雲のデータを除いた水域部に対応する 4 つのバンドのデータを取出し、これらのデータに主成分分析を適用して各主成分のもつ意味を考察し、さらにそのスコアによって水環境を評価することを試みた。

水域部から得られる LANDSAT のデータは大別すると、次に示す成分で構成された光がセンサーに入射したものと考えられる。

- (1) 水中における散乱光
- (2) 水面における天空反射光
- (3) 浅面、河川などの水底からの反射光
- (4) 大気における散乱光

これらの成分の大小は、水環境、大気および太陽光の状態によって異なる。しかし、ここではそれぞれの成分の影響を補正しないままで、オリジナルのデータをそのまま主成分分析にあてはめた。

2. 使用データ

2.1 水域部データの画像特性

図 1. a, b は 1975 年 9 月 11 日に LANDSAT—2 号が

(a) 4 BAND

(b) 5 BAND

図1 1975年9月11日 名古屋地域MSSバルク画像

とらえた名古屋城の4バンドと5バンドのバルク画像である。

図1. aの白線で囲んだ地域(1632画素×1840ライン)をテスト領域とし、4、5、6、7バンドのデータを用いた。

図2は、対象地域の沿岸図である。この地域のデータの各バンドごとに頻度をとると図3に示すようになる。4バンドにおいてはあまり明確でないが、各バンドとも2つの大きなピークが見られる。特に、7バンドにおける低いレベルの方のピークには顕著な傾向がみられ、0のレベル値をもつものが極端に多い頻度を示している。7バンドのレベル値が0、1である画素は水域部に対応するものである。レベル値が2、3について地図上に対応させてみると陸地近くの海、入江、湾内、河口、厚い雲の周辺などに対応している。さらにレベル値が4の画素は、レベル値2、3の画素と近接しているが地図上ではほとんど陸地に対応していた。このことから、7バンドにおけるレベル値が3以

図2 対象地域の沿岸図

図3 テスト地域の各バンドのヒストグラム

下の画素は水域であると判断してよいことがわかった。他の3つのバンドについて水域部のデータはほとんど低いレベル値のピーク周辺に分布している。各バンドの水域部のレベル値の幅は、4バンドでは10～32、5バンドでは6～31、6バンドでは0～22であった。

図4は各バンドの水域部の相対頻度を示す。また、図5は各バンドにおける水域部を強調した画像を示す。

2.2 サンプルングのケース

対称地域より、次の4つのケースに対して、水域部のデータを1000個以上サンプリングし主成分分析を行

図4 水域部ヒストグラフ

図5 デジタルデータから画像化された対象水域

なった。

ケース1： 6ライン毎のラインに注目し、1ライン中の一定画素おきのデータを用いる。これはLAN-DSATデータが6つの検出器により収集されているので、同じ検知器のみデータを用いることを目的としたためである。表1に示されるように伊勢湾から大王崎までの範囲で、ケース1はさらに異なる3つの検知器に対応するケースに細分された。

ケース2： 7バンドのレベル値0, 1, 2, 3をもつ海域の画素を等個数サンプリングする。これは水域に対応する7バンドの値の差の影響を見ようとしたものである。ケース2は表1に示すように3つの異なる場所に対応するケースに細分された。

ケース3： ラインを省略しないで一定画素おきのデータを用いる。これは、サンプリング地域の総合的な差異を見ようとしたものである。ケース3は表1に示すように、さらに2つの異なる場所に対応するケースに細分された。

ケース4： ケース1およびケース3の条件のもとでサンプリングしたデータ群のうち、7バンドを用いずに主成分分析を行なう。これは7バンドの値がほとんどの値であるので、7バンドの値の影響が期待で

きないと想定したためである。ケース4は表1に示されるようにさらに3つのケースに細分された。

各ケースとも、1000～5000個のデータが対象地域のいろいろな場所よりサンプリングされている。

3. 主成分分析の適用

3.1 主成分分析の手法

各バンドのレベル値をそれぞれ x_4, x_5, x_6, x_7 、平均値を $\bar{x}_4, \bar{x}_5, \bar{x}_6, \bar{x}_7$ 、標準偏差値を $\sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7$ 、としたとき、サンプリングされた画素の各バンド値を次の式で正規化する。

$$Xi = (xi - \bar{x}_i) / \sigma_i \quad \text{ただし、} i = 4, 5, 6, 7$$

正規化されたデータ Xi を用いて、次の式で表わされる線型結合を Z_j とすると、 Z_j の分散を最大にし、さらに Z_j と Z_{j+1} が無相関であるように、係数 a_{ij} を求める。

$$Z_j = a_{4j} \cdot X_4 + a_{5j} \cdot X_5 + a_{6j} \cdot X_6 + a_{7j} \cdot X_7$$

$$\text{ただし、} j = 1, 2, 3$$

Z_j は4つのバンドのレベル値の重みつき平均となるから、4つのバンドの線型結合からなる総合特性値であらわす。 Z_j は第 j 主成分のスコアとよばれる。

3.2 主成分分析の適要

表1は2.2に示した4つのケースについて、主成分分析に供したデータ群の要約を示し、表2はこれらの

Case	n	$\bar{x}_4$	σ_4	$\bar{x}_5$	σ_5	$\bar{x}_6$	σ_6	$\bar{x}_7$	σ_7	備	考
1-1	5000	13.60	1.19	9.57	0.87	3.47	1.15	0.02	0.17	伊勢湾から大王崎沖まで	$ST=500$ $S=1200$ $\Delta S=12, \Delta P=5$
1-2	5000	13.98	1.07	9.69	1.09	4.51	0.88	0.02	0.17	" "	$ST=502$ $S=1200$ $\Delta S=12, \Delta P=5$
1-3	5000	13.35	1.27	9.34	1.03	4.58	0.93	0.09	0.13	伊勢湾から伊良湖岬まで	$ST=501$ $S=700$ $\Delta S=6, \Delta P=6$
2-1	1000	15.91	2.65	12.72	2.97	8.62	3.90	1.50	1.12	" "	$ST=500$ $S=700$ 7バンド均等
2-2	1000	16.74	4.60	13.53	5.01	8.52	4.28	1.50	1.12	知多半島先より安乗岬まで	$ST=900$ $S=600$ "
2-3	1000	16.71	3.79	13.13	4.25	8.26	4.44	1.50	1.12	安乗岬より南側全域	$ST=1100$ $S=900$ "
3-1	5000	14.07	1.27	9.02	1.44	4.11	1.00	0.01	0.13	伊良湖岬より大王崎まで	$ST=1000$ $S=600$ $\Delta S=0, \Delta P=6$
3-2	5000	13.04	1.04	8.96	0.99	4.19	0.76	0.00	0.02	大王崎より南側全域	$ST=1600$ $S=600$ $\Delta S=0, \Delta P=6$
4-1	4511	12.67	1.03	8.90	1.31	4.46	0.89	—	—	伊勢湾から大王崎沖まで	$ST=501$ $S=1200$ $\Delta S=12, \Delta P=12$
4-2	4515	12.88	1.33	9.02	1.00	4.08	1.10	—	—	" "	$ST=503$ $S=1200$ $\Delta S=12, \Delta P=12$
4-3	5000	13.55	1.17	9.21	1.00	4.13	1.17	—	—	全地域	$ST=500$ $S=1840$ $\Delta S=0, \Delta P=100$

表-1 サンプルデータの要約 (ST: スタートラインNo, S: 使用ライン数, ΔS : 省略ライン数, ΔP : 省略画素数)

ケース	第1主成分					第2主成分					第3主成分				
	a_4	a_5	a_6	a_7	α	a_4	a_5	a_6	a_7	α_2	a_4	a_5	a_6	a_7	α_3
1-1	0.447	0.559	0.530	0.454	55.8	-0.706	-0.192	0.255	0.633	76.6	-0.377	0.189	0.655	-0.627	89.7
1-2	0.475	0.576	0.548	0.377	51.3	-0.493	-0.163	0.010	0.855	72.7	-0.681	0.227	0.598	-0.357	88.8
1-3	0.499	0.555	0.530	0.403	61.5	-0.410	-0.236	-0.036	0.881	79.9	-0.672	0.131	0.685	-0.249	92.2
2-1	0.491	0.520	0.511	0.477	80.4	-0.597	-0.349	0.328	0.643	93.0	-0.045	-0.219	0.794	-0.565	97.3
2-2	0.503	0.518	0.517	0.459	85.0	-0.494	-0.379	0.184	0.761	96.2	-0.398	-0.008	0.797	-0.454	99.0
2-3	0.486	0.522	0.516	0.473	83.4	-0.604	-0.337	0.313	0.651	96.1	-0.331	0.127	0.725	-0.590	98.7
3-1	0.523	0.529	0.535	0.401	62.7	-0.356	-0.289	0.844	-0.263	81.2	-0.368	-0.289	0.844	-0.263	91.1
3-2	0.461	0.630	0.617	0.106	39.0	-0.121	-0.094	0.017	0.988	63.9	-0.875	0.275	0.388	-0.088	85.1
4-1	0.584	0.566	0.581	—	62.6	-0.350	0.822	-0.449	—	82.1	-0.732	0.059	0.678	—	100.
4-2	0.563	0.605	0.563	—	71.8	-0.708	0.001	0.707	—	88.9	-0.427	0.796	-0.429	—	100.
4-3	0.572	0.603	0.526	—	61.7	-0.604	-0.110	0.789	—	88.5	-0.555	0.769	-0.317	—	100.

表-2 主成分の係数および寄与率 (a_1 : 係数, α : 寄与率)

データ群を用いた主成分の係数値と寄与率を第3主成分まで示した。

3.3 主成分のスコア

表2に示された主成分の係数のうち、ケース4の3を用いテスト地域の全ての画素について、第1主成分

いて、 Z_1 が高い値を示すところは何らかの原因で汚染されているといえる。すなわち、第1主成分のスコアの値の大小は汚染度に関連した指標といえる。

(3) 第2主成分は、ケースによって必ずしも統一的な傾向を示さないが、全般的な傾向として赤外部(6

図6 a Z_1 のヒストグラム

と第2主成分を算定した。図6は対象地域全域にわたって計算された第1主成分(Z_1)と第2主成分(Z_2)のヒストグラムである。このヒストグラムで、スコア値の大きいところにある頻度のピークが陸部に対応している。

図7は水域部のみに対して、第1主成分と第2主成分を2軸とする2次元ヒストグラムを示す。成分のきざみ幅は0.5であり、第1主成分は-5.5~6.5, 第2主成分は-4.0~4.0の値の範囲となっている。頻度は1000の単位で示され、1000以下の頻度は(.)で、頻度なしは空白で示されている。

図8は主成分分析によって得られた第1主成分と第2主成分を画像化したものである。第1主成分については-4.0~6.0, 第2主成分については-3.0~3.0の値の範囲をそれぞれ11等分に分けて、濃度配分して画像化した。

表3は、バンド別の画像と主成分によって得られた画像とを比較して、各種の物体がどのように異なっているかをしらべたものである。

4. 結果の検討および考察

以上に示した結果から、つぎのことが指摘できる。

(1) ケース2の結果などから、センサー特性の相異によって同じ対象物でも、その主成分の係数値が異なる。したがって、分析を行なう場合、センサー特性の相違に対するデータ補正が必要である。

(2) 第1主成分の係数の値はどのケースも約0.5近辺である。したがって、スコア Z_1 は4つのバンドのスペクトルエネルギーの和に比例している。水域部に

図6 b Z_2 のヒストグラム

図7 第1主成分(Z_1)第2主成分(Z_2)による次元ヒストグラム

バンド、7バンド)に対する係数はプラスで、可視部(4バンド、5バンド)に対する係数はマイナスであり、赤外部と可視部の差を示している。スコア Z_1 の小さいところは河口部、沿岸開発の進んでいる水域部あるいは干潟、砂岸のある水域部などである。しかし、沿岸開発の進んでいるところでもやや高い値をもっているところがあり、 Z_2 については Z_1 と関連づけて、その意味づけを行なう必要がある。

(4) 水域部における7バンドの値は赤外吸収により、0~3までの4レベルの値しかもたず、そのうち0と1の値がほとんど全体の水域を占めている。2, 3

(a) 伊 勢 湾

(b) 三 河 湾 遠 洲 灘

(c) 志 摩 南西沿岸

図 8 第 1 主成分(左), 第 2 主成分(右)によるMSS画像

の値をもつ水域は、わずかに、水域と陸部あるいは厚い雲との境界のみである。水域部における7バンドの値の変動が水環境の評価に対して、有意義であるか否かはセンサーの特性に対する補正を行なったのちに検討すべきである。

(5) 第3主成分のスコアの値は、顕著な意味を有していない。第2主成分までの寄与率が約80%以上ある

ことから、水環境の解析には第3主成分は考慮しなくてもよいと考えられる。

(6) 主成分分析にかけた画像の方が、バンド別の画像より、より詳細で特徴的なパターンを示す。水域部に対して、MSS データによる主成分分析を用いることによって、水環境の指標を確立しうる可能性がある。

表一3 MSSバンド別画像と主成分分析画像の対比

対象物体	MSSバンド別画像	主成分分析画像	場 所 の 例
1. 全 体	各バンドとも濃淡の変化がゆるやかである。バンド間の濃淡パターンの相異がみられる。	Z 1, Z 2の濃淡変化は急である。Z 1とZ 2の濃淡パターンは大きく異なる。	・木曽川河口（長島海岸） ・名古屋港 ・知多半島，師崎海岸南方沖
2. 濁 水	4バンドと5バンドでわかるが，うすい雲，スモッグとの分離はできない。	Z 1においては高い値であるがZ 2においては低い値を示し，Z 1とZ 2の組合せにおいて判る	
3. 船	4，5，6バンドでは大きい船はわかる	Z 1において非常によくわかる Z 2においてややわかる	・伊勢湾内 ・渥美半島太平洋側 ・志摩半島太平洋側
4. 航 跡	5バンドにおいてややわかる	Z 1においてよくわかる Z 2は不明	・渥美半島太平洋側 ・伊勢湾中央
5. 防波堤橋	5，6バンドにおいてややわかる	Z 1においてきわめてよくわかる Z 2でわかる	・名古屋港高潮防波堤 ・四日市港 ・知多半島衣浦港
6. 埋立工事	わかる	わかる。ただし，Z 1とZ 2の濃淡はそれぞれ反転している	・四日市霞ヶ浦埋立地 ・伊勢市二見浦海岸
7. 雲 スモッグ	厚い雲は，はっきりわかるが薄い雲およびスモッグは水の濃淡変化と混同される。	Z 1において薄い雲などがバンド別画像と同じようにわかる。 Z 2において，ほとんどあらわれないのでとの組合せでわかる。	・志摩半島太平洋上の雲 ・渥美半島太平洋上
8. 水域以外 の分離性	7バンドで陸部との区別ができる	Z 1，Z 2とも非常によく分離される。	・陸部と水域部，全体