

UDC 528.782.067

## リモートセンシングデータのデジタル処理 (第2報)

## — 地球資源衛星データのパターン分類 —

Digital Processing of Remote Sensing Data (2)  
— Pattern Classification for LANDSAT MSS Data —

村井俊治\*・奥田勉\*

Shunji MURAI and Tsutomu OKUDA

## まえがき

第1報では、地球資源衛星データを放射輝度に対応する形に変換すると、四つのバンドの数値からつくられる分光特性曲線が大きく三つのパターンに分類されることを示した。また、三つの曲線パターンは、それぞれ、植物、無機物および水に対応することも示した。

本報では、地表のすべての物体は、植物、無機物および水の3原要素により構成されていると仮定した上で、統計的な距離の概念を導入することにより、地表の物体をこれら3原要素の混合割合に応じて分類することを試みた。

本研究によれば、土地被覆および土地利用の状態を系統のおよび定量的に分類することが可能であることがわかった。

## 1. 土地被覆区分と混合問題

一般に土地の状態を表現するものに土地利用図がある。土地利用 (Land Use) は、利用目的別に土地の様態を分類したもので、住宅用地、商業用地、工業用地、農業用地などと、利用されている用地、あるいは利用が予定されている用地をさす。したがって、土地利用は、土地に結びついた人間活動を表し、計画や管理に重要な情報となっている。

一方、土地被覆 (Land Cover) は、土地の表面をおお自然物および人工物の現況をいい、土地の物理的材料に対応している。

ところで、リモートセンシングデータは、地表の物理的特性のうち、電磁放射に関する特性を反映しており、人間活動そのものを反映しているわけではない。したがって、リモートセンシングデータは、どちらかといえば土地利用より土地被覆により多く対応している。土地被覆から多くの土地利用を類推することができるけれども、なかには、全く関係のないものもあるし、補助的な情報を加えてはじめてわかるものもある。

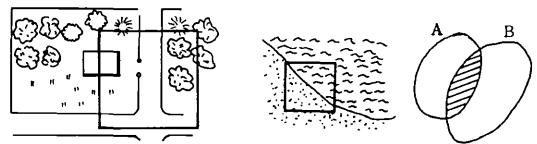
さて、陸域の環境をリモートセンシングデータを用い

て分類するには、どのような土地被覆区分にしたらよいであろうか。まえにも述べたように、既存の土地利用図と同じ区分を設定することは、リモートセンシングの特性を活用する上からは適切でないし、また無理もある。

リモートセンシングデータを活用するためには、スペクトルな特徴を考慮しながら、ある程度従来の区分との斉合をはかれる余地のある区分にすることを考えなければならない。

第1報では、LANDSATのデータが大きく、植物、無機物および水に対応する三つのスペクトルな特徴空間に分類されることを示した。しかし、土地被覆を3区分に分類したのみでは利用価値が少ないので、もう少し詳細に細分類したい。そこで、本研究では、土地被覆の状態を、植物、無機物、水の3原要素の混合で構成されていると考え、3要素の混合比に応じて土地被覆を区分する試みを行ってみた。すなわち、たとえば、庭つきの住宅地は、植物と無機物の混合であり、畑などは、植物と無機物 (土) との混合であり、水田は、植物と水の混合であると考ええる。

このような“混合問題”は、図1に示すように、リモートセンシング画像の解像力、土地被覆の単位面積および境界、土地被覆区分の定義などから生じる。土地被覆境界部に発生する混合問題は、どんな解像力が高くなっても解消されない。



(a)低解像力による混合 (b)境界部に生ずる混合 (c)区分の定義による混合

図1 リモートセンシングにおける混合問題

LANDSAT データに伴う混合問題は、上に示した三つの原因になるものが多い。特に、解像力 (59 m × 76 m) によるものが多い。すなわち地上解像力約 4,000 m<sup>2</sup> の中には、数種の異なる土地被覆が含まれる。同じスペクトルパターンの中にも、均質なデータのもの

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

と混合的なデータが含まれる。

つぎに、統計的な距離の概念を用いて混合問題を解決する方法を示そう。

2. マハラノビスの距離による混合問題へのアプローチ

2.1 マハラノビスの距離

$n$  バンドからなる第  $i$  クラスのリモートセンシングデータ  $X_i$  が、平均値  $\bar{X}_i$  のまわりに正規分布しているとき、点  $X$  からこのクラスへ統計的な距離  $d_i$  は、つぎの式で与えられ、マハラノビスの距離とよばれる。

$$d_i^2 = (X - \bar{X}_i)' S_i^{-1} (X - \bar{X}_i)$$

ここで  $S_i$  は、 $i$  クラスのデータ  $X_i$  の分散-共分散行列をあらわす。

第1報で示した千葉の  $120 \times 80$  画素全体の分散-共分散行列  $S$  およびその逆行列  $S^{-1}$  は、つぎのようであった。

$$S = \begin{bmatrix} 41.78 & 36.59 & 27.19 & 48.15 \\ 36.59 & 40.36 & 29.43 & 58.37 \\ 27.19 & 29.43 & 35.05 & 86.05 \\ 48.15 & 58.37 & 86.05 & 313.05 \end{bmatrix} \quad S^{-1} = \begin{bmatrix} 0.123 & -0.100 & -0.033 & 0.009 \\ -0.100 & 0.155 & -0.059 & 0.003 \\ -0.033 & -0.059 & 0.197 & -0.038 \\ 0.009 & 0.003 & -0.038 & 0.012 \end{bmatrix}$$

第1報でパターン分類された植物、無機物および水の三つのクラスの分散-共分散行列をそれぞれ  $S_1, S_2, S_3$ 、逆行列を  $S_1^{-1}, S_2^{-1}, S_3^{-1}$  とすると、つぎのようであった。

$$S_1 = \begin{bmatrix} 18.21 & 16.94 & 15.80 & 32.79 \\ 16.94 & 23.21 & 18.53 & 42.05 \\ 15.80 & 18.53 & 35.20 & 101.55 \\ 32.79 & 42.05 & 101.55 & 404.97 \end{bmatrix} \quad S_1^{-1} = \begin{bmatrix} 0.189 & -0.112 & -0.055 & 0.010 \\ -0.112 & 0.148 & -0.034 & 0.002 \\ -0.055 & -0.034 & 0.173 & -0.036 \\ 0.010 & 0.002 & -0.036 & 0.010 \end{bmatrix}$$

$$S_2 = \begin{bmatrix} 69.76 & 61.95 & 44.47 & 81.26 \\ 61.95 & 65.93 & 48.04 & 96.74 \\ 44.47 & 48.04 & 46.78 & 109.55 \\ 81.26 & 96.74 & 109.55 & 362.20 \end{bmatrix} \quad S_2^{-1} = \begin{bmatrix} 0.092 & -0.083 & -0.020 & 0.007 \\ -0.083 & 0.145 & -0.079 & 0.004 \\ -0.020 & -0.079 & 0.210 & -0.038 \\ 0.007 & 0.004 & -0.038 & 0.012 \end{bmatrix}$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} 31.14 & 23.61 & 14.48 & 11.23 \\ 23.61 & 22.10 & 13.08 & 12.72 \\ 14.48 & 13.08 & 11.11 & 8.59 \\ 11.23 & 12.72 & 8.59 & 35.58 \end{bmatrix} \quad S_3^{-1} = \begin{bmatrix} 0.178 & -0.181 & -0.032 & 0.016 \\ -0.181 & 0.338 & -0.139 & -0.030 \\ -0.032 & -0.139 & 0.306 & -0.014 \\ 0.016 & -0.030 & -0.014 & 0.037 \end{bmatrix}$$

一般に、各クラスの分散-共分散行列は、等しいと仮定して、クラス  $i$  とクラス  $j$  のクラス間の距離が、つぎの式で求められる。

$$d_{ij}^2 = (\bar{X}_i - \bar{X}_j)' S^{-1} (\bar{X}_i - \bar{X}_j)$$

表1は、クラス間の距離を求めたものである。しかし上に示した分散-共分散行列は等しくないで、クラス

表1 クラス間距離

クラス \ クラス	植 物	無 機 物	水
植 物	0.0	3.09	5.59
無 機 物	3.09	0.0	4.00
水	5.59	4.00	0.0

間の距離を上式で求めるのは十分でない。ここでは、表2に示すように各クラスの平均値  $\bar{X}$  から、他のクラスへの距離を求めて見た。表2を見ると、植物の重心から無機物のクラスへの距離と、無機物の重心から植物のクラスへの距離は等しいから、両者の分散-共分散行列はほぼ等しいとすることができる。しかし、水のクラスと他の二つのクラスとの相互距離は互いに異なるので、水のクラスと他の2つのクラスの分散-共分散は互いに異なると考えられる。

表2 クラス重心から他クラスへの距離

クラス \ 重心	植 物	無 機 物	水
植 物	0.0	3.17	17.85
無 機 物	3.17	0.0	11.65
水	4.83	3.58	0.0

図2は、マハラノビスの距離を表3に示す六つのランクに分けたとき、リモートセンシングデータから三つのクラスへの距離の分布を示したものである。表3に示した各クラスのランクの基準は、土地被覆と対応するようにインターアクティブな視覚表現により求められた。

表3 マハラノビスの距離のランク分け

ランク	植 物	無 機 物	水	記号
1	$0 \leq d \leq 1.4$	$0 \leq d \leq 2.0$	$0 \leq d \leq 2.4$	■
2	$1.4 < d \leq 3.0$	$2.0 < d \leq 3.0$	$2.4 < d \leq 4.0$	⊛
3	$3.0 < d \leq 4.0$	$3.0 < d \leq 4.4$	$4.0 < d \leq 6.0$	⊗
4	$4.0 < d \leq 5.6$	$4.4 < d \leq 7.2$	$6.0 < d < 20.0$	□
5	$5.6 < d \leq 8.0$	$7.2 < d < 20.0$	$20.0 \leq d < 30.0$	◻
6	$8.0 < d$	$20.0 \leq d$	$30.0 < d$	◻

2.2 混合比による土地被覆分類

ある点から三つのクラスへの距離  $d_1, d_2, d_3$  とすると、クラス  $i$  の要素の混合比  $r_i$  は、つぎの式で求められる。

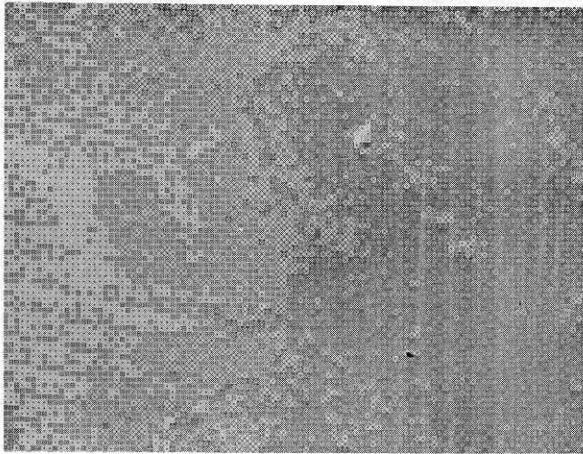


図2(a) 植物クラスへのマハラノビスの距離

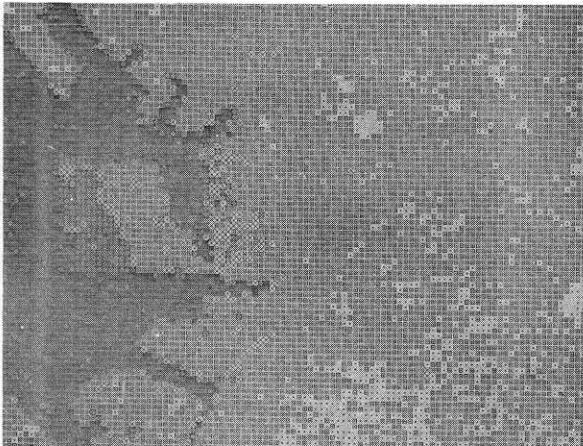


図2(b) 無機物クラスへのマハラノビスの距離

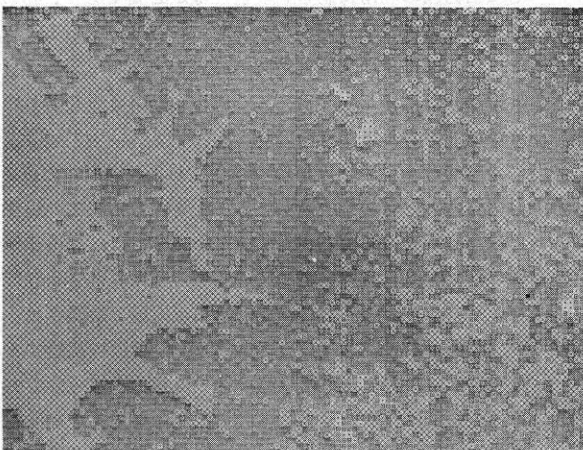


図2(c) 水クラスへのマハラノビスの距離

$$r_i = d_i / (d_1 + d_2 + d_3)$$

混合比を詳細に求めることにより、土地被覆の分類を行うのが目的であるから、距離を大きく小、中、大の3段階に分けることにより表4に示されるように土地被覆を27分類に分類した。すなわち、植物、無機物および水への距離の組合せにより、図3は、27区分を植物、無機物および水の含有率の三角座標で示したものであり、三角形の中側に入る程、純粋度が少なくなることを示している。

表4 土地被覆区分

区分No	距離の段階			対応する土地被覆
	植物	無機物	水	
1	1	3	3	森林
2	3	1	3	市街地
3	3	3	1	正常な水
4	1	1	3	畑
5	3	1	1	無植生湿地
6	1	3	1	水田、植生湿地
7	1	2	3	林地、野菜畑
8	2	1	3	住宅地
9	3	1	2	臨海工場
10	3	2	1	水域
11	2	3	1	湿地
12	1	3	2	水田
13	1	2	2	植物が卓越
14	2	1	2	無機物が卓越
15	2	2	1	水が卓越
16	1	1	2	} 2者混合
17	2	1	1	
18	1	2	1	
19	2	3	3	植物が卓越
20	3	2	3	無機物が卓越
21	3	3	2	水が卓越；濁水
22	2	2	3	植物と無機物の混合
23	3	2	2	無機物と水の混合；濁水
24	2	3	2	植物と水の混合
25	1	1	1	} 特殊物体か混合物
26	2	2	2	
27	3	3	3	

表5 マハラノビスの距離の段階分けの基準

距離の段階 クラス	距離		
	1 小	2 中	3 大
植 物	$0 \leq d \leq 1.4$	$1.4 < d \leq 3.0$	$d > 3.0$
無 機 物	$0 \leq d \leq 2.0$	$2.0 < d \leq 3.0$	$d > 3.0$
水	$0 \leq d \leq 3.4$	$2.4 < d \leq 4.0$	$d > 4.0$

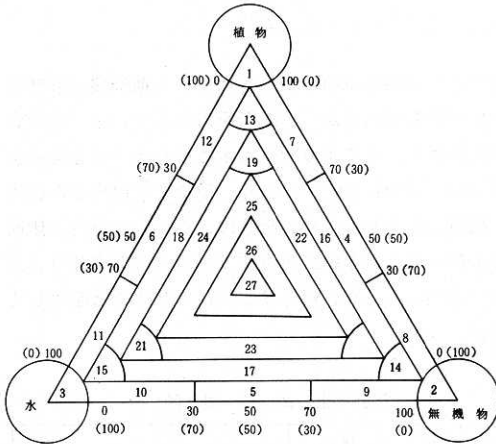


図3 3原要素とその混合による土地被覆区分

3. 応用例

前に示した千葉の120×80画素の地域に表4に示した土地被覆区分の基準をあてはめてみた。表6は、植物、無機物または水のいずれかの曲線パターンを有していた画素が、三つのクラスへの距離により27分類のどの区分に属したかの頻度を示している。結局このテスト地区では、27区分のうち13区分だけ該当するものがあつた。図4は、表6に示した記号にもとづいて分布図を出力したものである。

表6 土地被覆分類のケーススタディ (千葉120×80画素)

区分 No.	パターン頻度			記号
	植物	無機物	水	
1	689	0	0	■
2	0	1,573	0	■
3	0	0	203	■
4	0	240	0	■
7	808	6	0	■
8	0	863	0	■
10	0	0	1,404	■
19	1,207	1	0	■
20	1	836	12	■
21	0	0	105	■
22	842	184	0	■
23	0	0	194	■
27	212	181	19	■

出力されたものと、実際の千葉の土地利用現況とを比較してみると、つぎのことが指適できる。

- (1) Na.1およびNa.7は、緑の多い森林、公園等に対応している。
- (2) Na.2およびNa.8は、市街地、裸地、工場等に対応している。
- (3) Na.3およびNa.10は、水域に対応している。

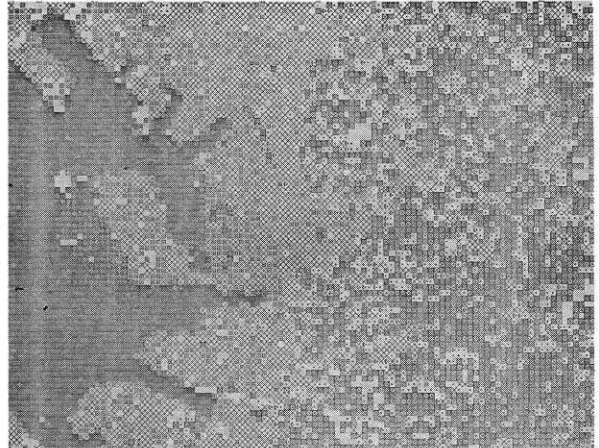


図4 土地被覆区分図(千葉ケーススタディ)

- (4) Na.4およびNa.22は、冬の畑など土と緑の混在しているところや、庭つきの住宅地などのように緑と無機物の混在しているところに相当する。
- (5) Na.19は、植生のあるところに相当しているが、森林か田畑かの区別はできていない。
- (6) Na.20は、裸地、埋立地、工場などの無機物系の土地である。
- (7) Na.21は、埋立工事中の水域など汚濁されているところに相当する。

4. 陸域環境評価へのアプローチ

本論文に示した土地被覆分類は、地球資源衛星データのもつスペクトラルな特徴と解像力の制約を理解した上で、従来の分類区分および分類方法と異なる考え方にもとづいて発展させたものである。それだけに、ここに示した出力図の利用に新しい解釈仕様が必要であり、初めて接する者にはなじみが薄いかもしれない。もちろん、ここに示した土地被覆分類図が従来の土地利用図の代替とはなり得ない。むしろ、ここに示した考え方を新しい分野に応用する方が良い。

地球資源衛星データが広域同時性および周期性の点で他では得られない長所をもつことを考えると、広い範囲にあたる陸域の環境を評価するための資料になり得る情報へ加工することに、本論文の考え方を発展させる方が適切であろう。たとえば、最近、都市周辺で論議される緑の環境とか自然度など、総合的な環境指標に関連する情報などは、地球資源衛星データの得意とするものである。次報には、地球資源衛星データから緑地比率を推定する方法について報告する。(1977年1月25日受理)