

リモートセンシングデータのデジタル処理 (第4報)

—— LANDSAT データを用いた山岳起伏の陰影判別 ——

Digital Processing of Remote Sensing Data (IV)

- Discrimination of Shadow Area in Mountain Range with Use of LANDSAT Data -

村井俊治*・前田 紘*

Shunji MURAI and Hiroshi MAEDA

はじめに

山岳地帯には地形の起伏と太陽の位置によって、太陽の直達光を受ける場所(日射面)と、太陽の直達光を受けない場所(日影面)がある。山岳地帯の LANDSAT MSS データを利用する場合、太陽光の地形面に対する射影関係を考慮しなければならない。

本研究は、LANDSAT MSSデータの各画素と一対一に対応する地形データを用い、LANDSAT MSSデータの日射面、日影面について、つぎの事項の検討を行った。

- 1) 日射面、日影面におけるLANDSAT MSSデータのスペクトルの特徴を調べる。
- 2) LANDSAT MSSデータから日射面および日影面の判別を行う。
- 3) LANDSAT MSSデータを用いて陰影の濃淡のついた地形図を作成する。

1. 使用データおよびテスト地域

(1) LANDSAT MSSデータとテスト地域

テスト地区は図1に示されるように、南アルプスの赤石山脈、北岳を中心とする野呂川源流域の約9 km×12 km = 10.8 km²の地域である。この地域のLANDSAT MSSデータは次のものを用いた。

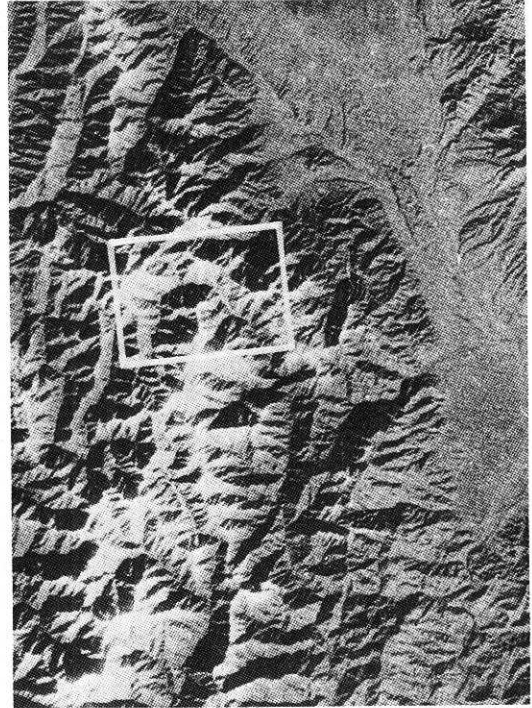


図1 テスト地域のLANDSAT画像

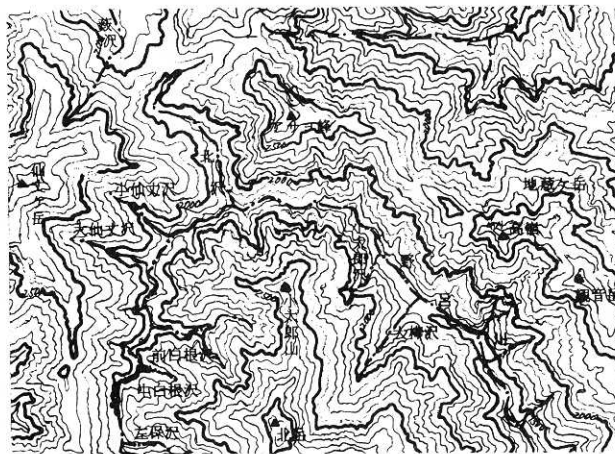


図2 テスト地域の地形図

表1 テスト地域におけるLANDSATデータ特性

特性 バンド	平均 値	標準 偏差	最小	最大	相 関 係 数			
					4	5	6	7
4	33.3	29.4	10	127	1.0			
5	28.3	31.8	5	127	0.997	1.0	対	称
6	30.5	31.5	3	127	0.977	0.984	1.0	
7	13.9	15.1	0	63	0.953	0.962	0.991	1.0

画像番号：1145-00542

撮影日時：1972年（昭和47年）12月15日 10時07分20秒（現地時）

太陽位置：高度角24° 44'，方位角 南から東へ36° 58'

テストに用いられた画素：100 mメッシュに地理補正された10800画素

図1は、テスト地域を示したものであり、図2は地形図である。テスト地域のLANDSAT MSSデータの特徴は次のようであった。

- 1) 全般的に積雪があり、特に北岳、仙丈ヶ岳、アサヨ峰、地藏岳などの山頂周辺はほとんど冠雪している。
- 2) 野呂川、大武川周辺の一部に常緑樹がみられる。
- 3) 各バンドともレベル値が広く分布しており、高いレベル値をもつ画素はほとんど雪によるものである。

表1は、テスト地域におけるLANDSAT MSSデータの特徴値をまとめたものである。

(2) 地形データ

テスト地域（北岳）のLANDSAT MSSデータの画素と一対一に対応する100 mメッシュ地形データを1/5万地形図より収集した。

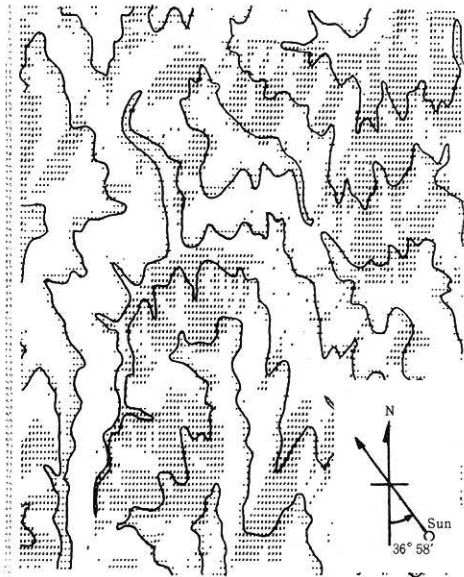


図3 地形データから求められた日影面の分布 (太陽方位 S 36° 58' E, h = 24° 44')

LANDSAT MSSデータの収集時における太陽位置を上記の地形データにあてはめて得られる日影面と日射面を、LANDSAT MSSデータから日影面と日射面とを判別するためのグランドトルスデータとした。図3は太陽位置と100 mメッシュ地形データより求めた日影図である。等高線は500 mを表す。テスト地域における日影面データ数は3339 (30.9%)、日射面データ数は7461 (69.1%)であった。

テスト地域における地形データから求められた日射面と日影面に対応するLANDSAT MSSデータの特徴をしらべた結果、次のことが指摘できる。(表2, 図4参照)

表2 日射面および日影面のLANDSATデータの特徴

特性 バンド	日射面 N=7461		日影面 N=3339		
	平均 値	標 準 差	平均 値	標 準 差	影 部 の 多 頻 データ
4	38.9	31.6	19.5	16.5	10, 11, 12, 13
5	34.7	33.9	12.6	17.7	5, 6, 7
6	37.9	32.7	12.1	18.0	3, 4, 5
7	17.7	15.5	4.6	8.8	0, 1, 2, 3

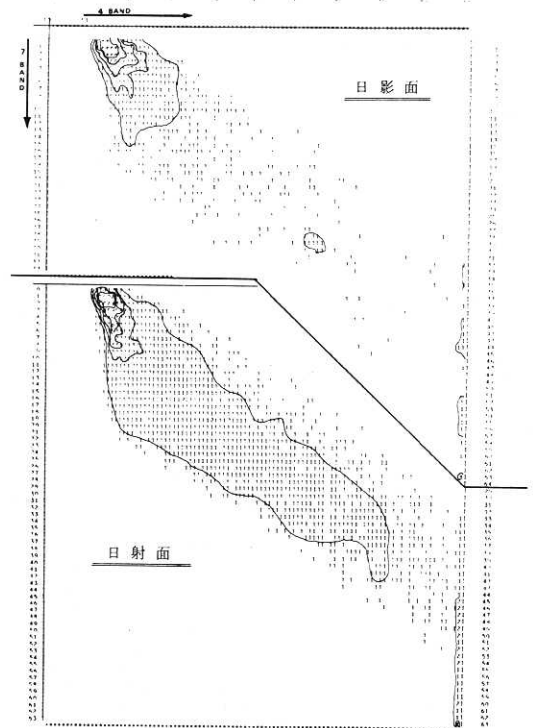


図4 日射面、日影面の二次元ヒストグラム

- 1) 日影面は相対的に、各バンドとも低いレベル値をもち、日射面は高いレベル値をもつ。
- 2) 図4に示される4バンドと7バンドの二次元のヒストグラムにみられるように日射面、日影面における最大出現頻度はほぼ同じ低いレベル値にあるが、日射面は日

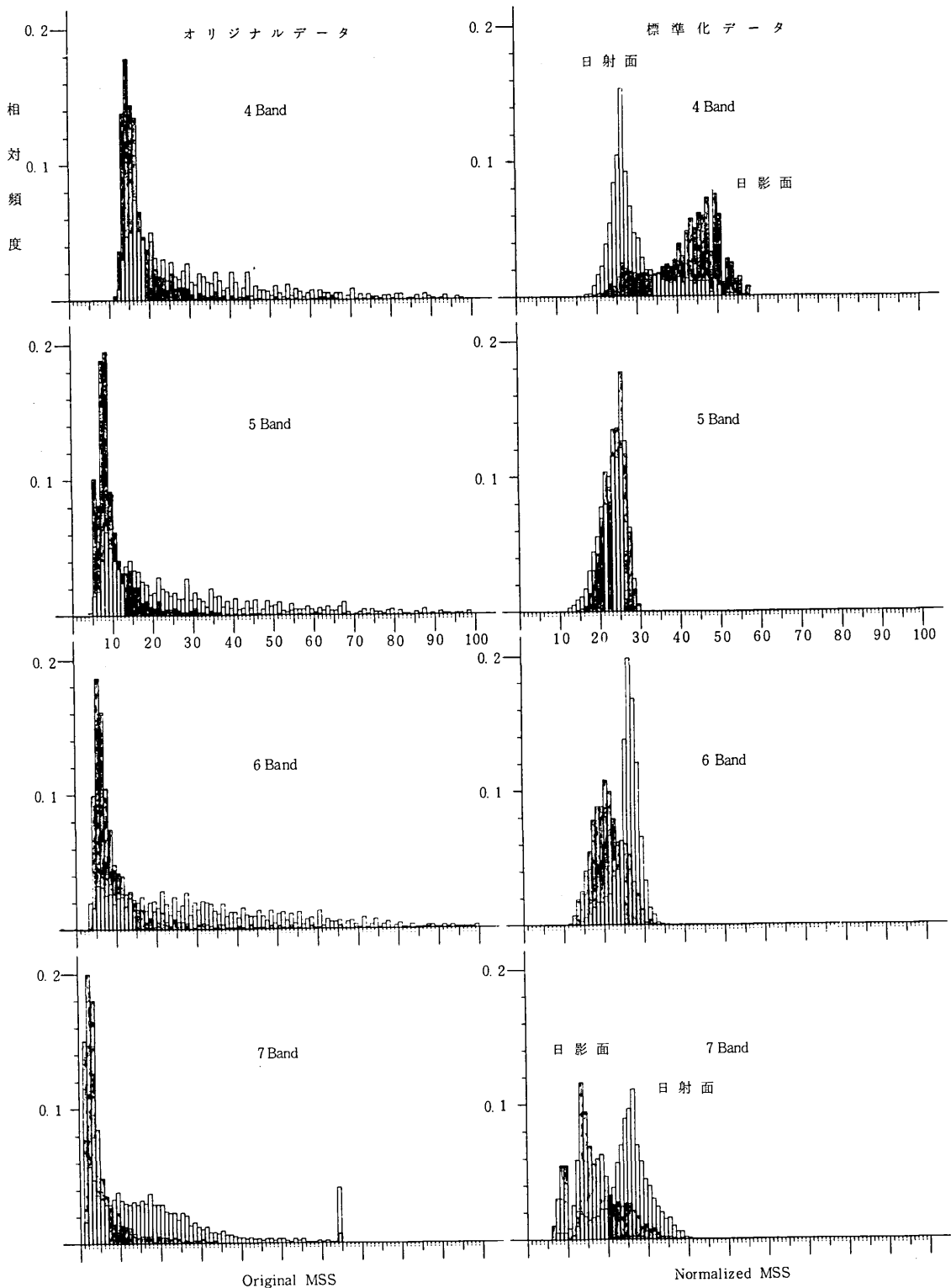


図5 日射面, 日影面ヒストグラフ

影面に比べて分布が大きい値に広がっている。

- 3) 標高の高い部分で積雪があるところは、日影部であっても相対的に大きい値をもつ。
- 4) 日射面と日影面の差異は7バンドにおいて顕著に表れ、4バンドはあまり顕著でない。
- 5) 日射面、日影面それぞれにおける各バンド間の相関はいずれも正の相関である。

2 日射面と日影面の判別

(1) LANDSAT MSSデータの標準化

本研究では、いくつかの試行の結果、日射、日影の判別が最も良くできるような前処理として、各バンドのオリジナルデータ x_i を次の式により変換したレベル値 X_i を用いることが良いことがわかった。この X_i を標準化データとよぶことにする。

$$X_i = IFIX \left(\frac{a_i (x_i + 1)}{\sum_{j=4}^7 a_j (x_j + 1)} \times 100 \right)$$

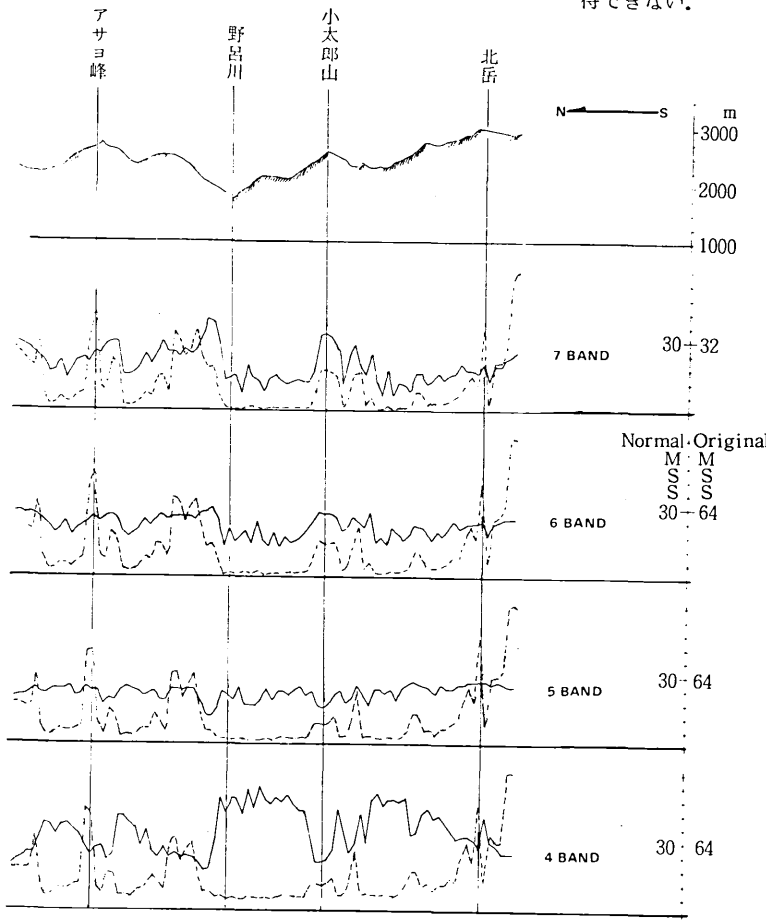


図6 地形断面とLANDSATデータの関係
 (— Normalized MSS DATA)
 (- - - Original MSS DATA)

$i = 4, 5, 6, 7$ バンド, a_i : 各バンドに対する重み。

X_i は個々の画素の各バンドの重みつき反射量の重みつき全反射量に対する比を表わす値である。本研究では、各バンドのビットの尺度を統一する意味で、 $a_4 = a_5 = a_6 = 1.0$, $a_7 = 2.0$ とした。

(2) 標準化されたLANDSAT MSSデータの特徴

図5はオリジナルデータと標準化データに対する日射面および日影面に対する相対ヒストグラムである。図6は、北岳を通る南北方向の地形の断面とLANDSATデータとの関係を示している。図7は日射面および日影面別に出した標準データの4バンドと7バンドの二次元ヒストグラムである。表3は、標準化データの日射面、日影面別の特性を示している。これらの結果から標準化データは次のような特徴があげられる。

- 1) 標準化データのうち特に4バンド、7バンドにおいて日射面と日影面との判別性がよくなる。
- 2) 5バンドでは、日射面と日影面の判別はほとんど期待できない。

3) 4バンドと7バンドにおける日射面と日影面の関係は負の相関を示す。すなわち、図7にみられるように4バンドにおいて高い値をもつ画素は日影面に多く出現し、この画素の7バンドにおける値は低い値をもつ。日射面に対しては日影面と反対になる。

(3) 標準化データによる日射面、日影面の判別

標準化されたMSSデータを用い日射面、日影面の判別を行うには、(2)で示したように4バンドあるいは7バンドの値を用いると有効である。表3に各バンドの日射面、日影面別に求めた特性を示す。これらのことより、4バンドと7バンド(2変数)により日射面、日影面(2群)を判別するために、正規分布を仮定しさらに二つのクラスの母集団の分散-共分散行列が等しいと仮定して、つきに示すような線形判別関数を定めた。

いま、日射面のデータの確率密度関数および分散-共分散行列をそれぞれ $f_1(X)$, S_1 、日影面のそれを $f_2(X)$, S_2 とし、用いるデータ X は、4バンドの値 x_4 と

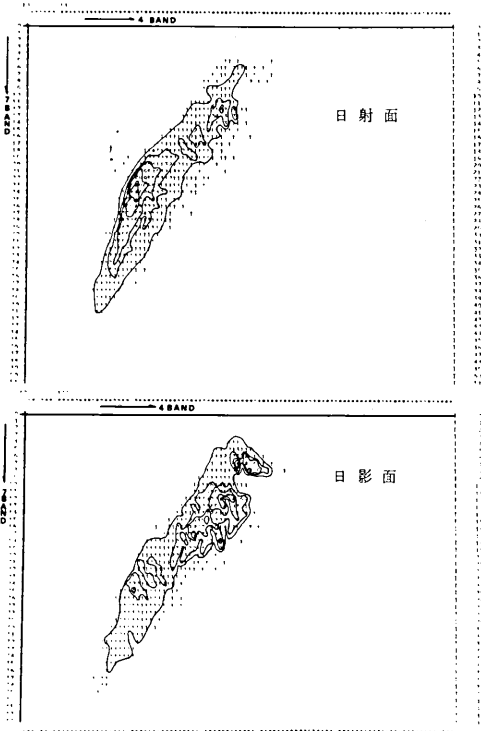


図7 標準化データの2次元ヒストグラム

7バンドの値 x_7 の2変数とする。

$$f_i(X) = \frac{1}{2\pi |S_i|^{1/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} (X - \bar{X}_i)' S_i^{-1} (X - \bar{X}_i)\right\}$$

ここで \bar{X}_i : 平均ベクトル
 このとき、2者間の判別は、つぎの基準で行われる。

$$y(\bar{X}) = \frac{f_1(\bar{X})}{f_2(\bar{X})} > 1 \text{ なら } X \text{ はクラス 1 (日照面) に属する。}$$

上記の仮定から $S_1 = S_2 = S$ とすると、判別関数 $Z(X)$ はつぎのように表される。

$$\begin{aligned} Z(X) &= (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)' S^{-1} (X - \bar{X}) \\ &= (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)' \sigma^{-1} R^{-1} \sigma^{-1} (X - \bar{X}) \\ &= c_4(x_4 - \bar{x}_4) + c_7(x_7 - \bar{x}_7) \end{aligned}$$

$$\sigma^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_4} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_7} \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 1 & r \\ r & 1 \end{pmatrix}$$

$$R^{-1} = \frac{1}{1-r^2} \begin{pmatrix} 1 & -r \\ -r & 1 \end{pmatrix}$$

r : 4バンドと7バンドの相関係数

テスト地域の判別関数は、4バンドおよび

表3 標準化データの特徴

	バンド	平均値	標準偏差	相関係数			
				4	5	6	7
全体 N=10,800	4	32.2	9.61	1.0			
	5	21.8	3.14	-0.194	1.0	対称	
	6	22.9	4.16	-0.895	-0.353	1.0	
	7	21.1	7.07	-0.915	-0.491	0.787	1.0
日照面 N=7461	4	28.3	7.35	1.0			
	5	21.6	3.31	-0.203	1.0	対称	
	6	24.5	3.30	-0.880	-0.389	1.0	
	7	23.6	5.86	-0.873	-0.587	0.765	1.0
日影面 N=3339	4	40.8	8.34	1.0			
	5	22.2	2.69	-0.132	1.0	対称	
	6	19.7	3.96	-0.800	-0.334	1.0	
	7	15.4	6.15	-0.890	-0.398	0.590	1.0

7バンドの標準化データを用いて、つぎのように求められた。

$$Z = -0.219(X_4 - 34.6) - 0.0237(X_7 - 22.0)$$

$Z > 0$ なら (X_4, X_7) は日照面

$Z \leq 0$ なら (X_4, X_7) は日影面

テスト地域におけるデータは、 $-5.0 \leq Z \leq 4.0$ の範囲に入っていた。

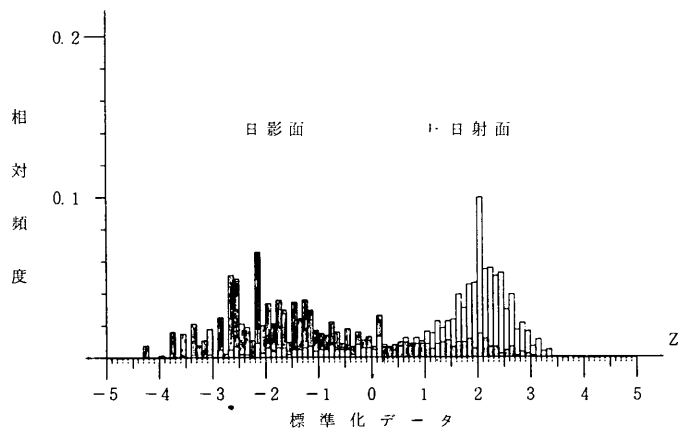
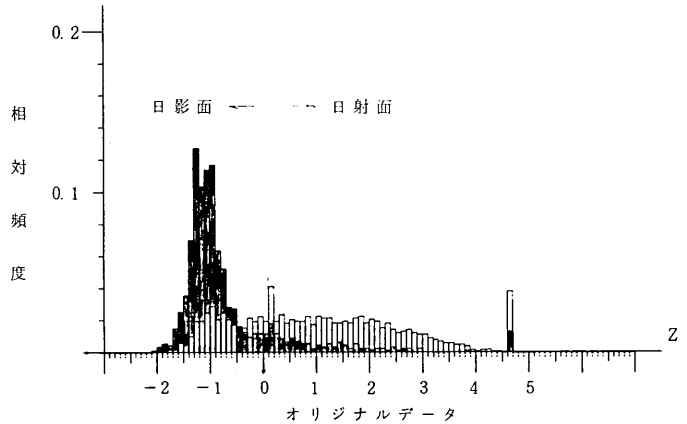


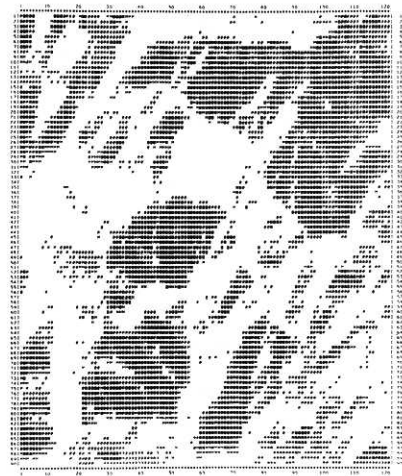
図8 判別関数Zによる日照面および日影面のヒストグラム

表4 各ケースにおける日射面および日影面の誤判別率

ケース	使用データ	使用バンド	日射面			日影面			全体 誤判別率 ($n_1 + n_2$) N
			データ数 N_1	誤判別数 n_1	誤判別率 $\frac{ N_1 - 7461 }{7461}$	データ数 N_2	誤判別数 n_2	誤判別率 $\frac{ N_2 - 3339 }{3339}$	
1	オリジナル	4	6043	2256	19.0	4757	838	42.5	28.6
2	標準化	7	6206	1812	16.8	4594	557	37.6	21.9
3	標準化	4,7	5915	2370	24.7	5185	524	55.3	26.8
4	標準化	4	6723	1430	9.9	4077	692	22.1	19.6
5	標準化	7	6389	1737	14.4	4411	665	32.1	22.2
6	標準化	4,7	7010	1256	6.0	3790	805	13.5	19.1
	地形データ		7461	0	100	3339	0	0	0



(a) ケース6の日影面の分布



(b) ケース2の日影面の分布

図9 ケース6およびケース2の日影面の分布

Mが地形データから求められた日影面、@がLANDSATデータから求められた日影面、Mと@の重ね合わせが両者の一致した日影面を表わす。

図8は4バンドと7バンドの2変数を用いた判別関数Zによるヒストグラムを、オリジナルデータの場合と標準化データの場合について比較したものである。これを見ると、標準化データを用いた場合の方がはるかに判別性が良くなっていることがわかる。

3 精度の検討

表4に示される6ケースについて、日射面と日影面の判別を行い、その判別精度を検討した。

これらのケースにおいて判別された日射面と日影面の誤判別率を表4に示す。またケース6およびケース2において求められた日影面と地形データより得た日影面を重ね合わせて精度をしらべた日影面を図9に示す。

この図では、地形データによって求められた日射部（記号M）とLANDSATデータから求められた日射部（記号@）が重なっているところが正しい判別のなされたところになる。これらの結果より、ケース6の総合誤判別率が19.1%で最も小さく、ケース1は28.6%で最も大きい。また、日射面、日影面別にみた場合、ケース6の誤判別率はそれぞれ6.0%、13.5%で最も小さく、ケース3は、24.7%、55.3%で最も大きい。このことは各バンドにおける特性からも明確である。

以上の検討より、山岳地帯におけるLANDSAT MSSデータの日射面および日影面の判別は約80%以上の精度で判別できると思われる。（1977年7月18日受理）