

MSSデータによる有珠山噴火被害森林の判別

前崎武人* 鈴木 熙*

Classification of forest tree damage caused by the eruption of Usu volcano using MSS data

Takehito MAESAKI* and Hiroshi SUZUKI*

はじめに

1977年8月7日から14日にかけておこった有珠山の噴火は、周辺の地域に多量の火山灰を降下させて多大の被害を与えだが、森林に対しても、面積9千ha、金額130億円にのぼる被害（有珠山噴火災害対策胆振地方本部1978）をおよぼした。リモートセンシング・データは、このような広域にわたる被害の解析手段としてはきわめて利用価値が高く、すでに日本造船振興財団（1978）による被害地の分布状態や地表面温度の分布状態のは握、高畑ら（1978）、福原ら（1978）および深山ら（1978）による農業被害調査、小木ら（1978）による噴出堆積物の流出危険地の判別などの成果が報告されている。

筆者らは、航空機からのマルチスペクトルスキャナ（MSSと略称される）データをもちいて、有珠山地域の森林の被害パタンの判別および降灰による森林のスペクトルの変化状態の解析を行った。ここに、それらの概要を報告する。

調査地

調査地の概況

有珠山は大有珠（噴火前の標高727m）と小有珠（同609m）からなり、北海道伊達市、虻田郡虻田町および有珠郡壮瞥町の1市2町界に位置している。調査地は、有珠山とその周辺地に設けた長方形の区域で、北西から南東方向へ8.5km、その直角方向へ2.9km、面積は約25km²である。その平均標高は250mである（図-1）。

この地域の植生は、有珠外輪山の傾斜地帯ではミズナラ、シナノキ、イタヤカエデ、オヒョウ、ミズキなどの天然生広葉樹林が主体をなし、山麓の丘陵地帯ではトドマツ、カラマツの人工林が主体をなしている。

調査地の森林被害の概要

有珠山周辺地域の森林の被害状況を、噴火後約2ヵ月経過した10月中旬に調査した。その結果によると、調査地内の森林にみられる被害タイプは無害、微害（僅かに灰をかぶり、葉に軽い被害のあるもの）、被灰（灰をかぶり、葉に損傷、変色などの被害のあるもの）、葉の変色、落葉、幹折、倒伏などであった（表-1）。被害の程度はほぼこの順に大きいといえる。

これら被害タイプの現われ方は、表からわかるように樹種によって異なっている。また降灰の量と

*北海道立林業試験場 Hokkaido Forest Experiment Station, Bibai, Hokkaido 079-01.

[北海道林業試験場報告 第17号 昭和54年10月 Bulletin of the Hokkaido Forest Experiment Station, NO. 17, October, 1979]

質、森林の林齢や噴出源との相対的位置によっても異なっていた。すなわち有珠山の北西方向の地域（A地区と呼ぶ）の森林では、雨まじりの細かい降灰であったため、これが樹葉に付着し、その荷重によって壮齢林では幹折、幼齢林では倒伏などの被害タイプが多く発生している。噴出源に近い林分では多量かつ粒径の大きい榛によって幹折が発生し、それらの中間地帯では落葉タイプが多く発生した。他方、南東方向の地域（B地区と呼ぶ）の森林では、噴出源に近い林分では、北西側と同様に幹折、少し離れると落葉タイプがみられた。しかしさらに離れたところでは被灰、変色、微害などとなり、倒伏タイプはみられなかった。



図-1 調査地および降灰分布図（KATUI et al. 1978）
Fig.1. Map showing the test field and the distribution of

使用データおよび解析方法

使用データ

使用したMSSデータは、1977年8月30日の9時43分から10時にかけて、航空機にとう載したスキャナDS-1250によって観測した飛行コース7830K08（日本造船振興財団1978）の一部である。このコースは、図-1のテスト・フィールドの中央からやや右に寄った位置を、区画線に平行にとっている。観測高度は3,650m、したがって土地の標高を考慮すると地上観測幅は約5,500m、瞬間視野は8.5m前後である。

観測チャンネルは表-2に示したように11個であるが、解析用磁気テープ（CCTと呼ぶ）で使用したものはチャンネル5,7,8,9,10,11の6個である。

解析方法

MSSデータの解析は、コンピュータによるデジタル解析によって行った。使用プログラムはPIA（富士通ファコム1977）である。解析は、図-2に示す手順によって行った。

今回の解析でもちいた教師無分類および教師付分類の二つの分類手法並びに分離度の機能および計算手法の概要（富士通ファコム1977、日本IBM1976）は、次のとおりである。

1) 教師無分類

表-1 降灰による樹木の被害タイプ

Table 1. Types of tree damage caused by ash-fall.

被害タイプ		記号	樹種		
Types of damage		Sym.	T	L	B
無害	No damage	a		○	○
微害	Slight damage	b		○	○
被灰	Covering with ash	c	○		○
変色	Discoloration of leaves	d		○	
落葉	Shedding of leaves	e			○
幹折	Stem break	f		○	○
倒伏	Stem fall	g		○	

T: トドマツ Todo fir, L: カラマツ japanese larch,
B: 広葉樹 broad leaved tree.

この分類手法は、指定された領域のデータ点群を、先験的な情報なしに、統計的な属性だけによって複数の群（クラスと呼ぶ）に分類する方法である。その計算手順は次のようである。

① MSSデータのL次元（チャンネル）のN個のベクトル点群（X1,X2,……,XN）をM個のクラスに分類するものとする。最初に全領域の平均値ベクトル（m）、標準偏差ベクトル（S）を求め、次式からクラス中心の初期値（C）を算出する。

$$C_{ij} = m_i + s_i \left[\frac{2(j-1)}{M-1} - 1 \right]$$

$$\begin{matrix} (j=1,2,\dots,L) \\ (i=1,2,\dots,M) \end{matrix}$$

② 分類すべきすべての点について、各クラス中心とのユークリッド距離（d）を求め、各点はdが最小となるクラスに属するものとする。

$$d_k = \left[\sum_{i=1}^L (X_{ik} - C_{ij})^2 \right]^{1/2} \quad (k=1,2,\dots,N)$$

③ ステップ②が終了した時点で新しいクラス中心を算出し、この新たな中心をもちいて②の計算を再度行う。このくり返しを、全点のうち変化しない点（前回と同じクラスに属すると判定された点）の割合が90%を超えるまで行う。

④ 任意の二つのクラス r, s の類似性の尺度として、次のような分離度（Drs）を求める。

$$D_{rs} = \left[\sqrt{L+2} \left\{ \left(t_r((\mu_r - \mu_s) V_r^{-1} (\mu_r - \mu_s)^T) \right)^2 + \left(t_s((\mu_s - \mu_r) V_s^{-1} (\mu_s - \mu_r)^T) \right)^2 \right\} \right]^{-1}$$

ここに μ_r, μ_s : クラス r, s の平均値ベクトル

V_r^{-1}, V_s^{-1} : クラス r, s の共分散マトリックスの逆マトリックス

$(\mu_r - \mu_s) T$: ベクトル $(\mu_r - \mu_s)$ の転置ベクトル

$\text{tr}(A)$: マトリックス A のトレース（跡）

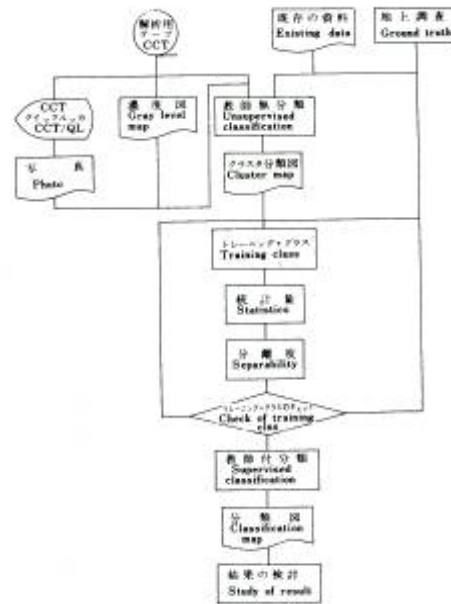


図-2 解析の流れ図
Fig.2. flow chart of analysis.

表-2 観測チャンネル

Table 2. Channels used for collection

チャンネル番号 Channel number	波長 Wavelengths (μm)	備考 Note
1	0.38-0.42	紫 Violet
2	0.42-0.45	藍 Indigo
3	0.45-0.50	青 Blue
4	0.50-0.55	緑 Green
5	0.55-0.60	黄 Yellow
6	0.60-0.65	橙 Orange
7	0.65-0.69	赤 Red
8	0.70-0.79	
9	0.80-0.89	近赤外
10	0.92-1.10	Near infrared
11	9.50-12.0	赤外線 thermal infrared

この分離度が次の条件を満足するかどうかを求め、全ての条件を満足する場合にはクラス r, s は統合する。

- a $D_{rs} < 1.0$
- b $D_{rs} < D_{ri} \quad (i=1, 2, \dots, M, i \neq s)$
- c $D_{rs} < D_{si} \quad (i=1, 2, \dots, M, i \neq r)$

2) 教師付分類

この分類手法は、先験的に分類されている複数のクラス（トレーニング・クラスと呼ぶ）のデータをもちいて、指定された領域内の、クラスが未知の各点が、どのクラスに最も近いかを最尤法によって判別する方法である。その計算手順は次のようである。

① 各パターン・クラスは、それぞれ分散共分散マトリックスの異なる多次元正規分布をなすと仮定する。

② 未知の点を表すベクトルを X とし、判別関数を次のようにおく。

$$G_i(X) = P(X | \omega_i) P(\omega_i) \quad (i=1, 2, \dots, M)$$

ここに $P(\omega_i)$: パターン・クラス ω_i の事前確率

$P(X | \omega_i)$: X が ω_i に属する確率

③ X が ω_i に属する確率は、①の仮定から

$$P(X | \omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^L |V_i|^L} \exp\left[-\frac{1}{2}(X - \mu_i)^T V_i^{-1} (X - \mu_i)\right]$$

ここに μ_i : 平均値ベクトル, V_i : 共分散マトリックス, L : チャネル数

④ ③の式を②の式に入れて対数を取り, $\log G_i(X) = g_i(X)$ とすると,

$$g_i(X) = \log P(\omega_i) - \frac{L}{2} \log(2\pi) - \frac{1}{2} \log |V_i| - \frac{1}{2} (X - \mu_i)^T V_i^{-1} (X - \mu_i)$$

⑤ クラス未知のベクトル点 X は,

$$g_i(X) \geq g_j(X) \quad (i=1, 2, \dots, M, i \neq j)$$

が成立するとき、パターン・クラス ω_i に属すると判定する。

3) クラス間の分離度

これは、パターン・クラスの判別に有効な情報、すなわちクラスの類似度およびクラスの判別に最適なチャネルの組合せを提供するものである。

クラス i, j の分離度 D_{ij} は次式で求められるものである。

$$d_{ij} = \frac{1}{2} \text{tr} [V_i - V_j (V_i^{-1} - V_j^{-1})] + \frac{1}{2} \text{tr} [V_i^{-1} + V_j^{-1}] (\mu_i - \mu_j)(\mu_i - \mu_j)^T$$

$$D_{ij} = 2000 [1 - \exp(-d_{ij}/8)]$$

ここに μ_i, μ_j : クラス i, j のベクトル

V_i, V_j : クラス i, j の共分散マトリックス

森林の被害パタンの判別

トレーニング・クラスの選定

森林の被害パタンの判別を教師付分類法で行うためには、被害タイプをいくつかの類型（トレーニング・クラス）に分け、それぞれの標本地（トレーニング・フィールド）を決定するとともに、使用するチャネルを選定することが必要である。

まず、トレーニング・クラスおよびフィールドを、図-2のフロー図に示すように教師無分類、統計量、クラス間分離度のそれぞれの結果および現地調査の結果とを考慮して選定した。

教師無分類はA、Bの地区ごとに表-3の条件によって行った。打出されたクラスタ・マップ上に被害タイプごとのトレーニング・フィールドを入れ、各フィールドごとにクラスタ・クラスと被害タイプとの関係を求めるための相関図を描いた(図-3)。この図によると、被害タイプとクラスタとの間には、ある程度の関連が認められる。ただし、A地区の第2、第7クラスタは、どの被害タイプとも明瞭な結びつきを示していない。

またA、Bの二つの地区のクラスタ間には関連性があるものもあると考えられるため、各クラスタのスペクトル値(CCT count, 0~255)の平均値を求めて比較した。その結果によると、A地区の第4クラスタとB地区の第2クラスタ、Aの第5とBの第1の二箇所重複がみられた。したがって、調査地全体では14(=8+10-2-2)のカテゴリに、また森林の被害タイプについては7~9のカテゴリに分類できると考えられた。

次に、クラスタ・マップ上で選定したトレーニング・フィールドごとにスペクトル値の平均値および標準偏差を求めた。森林の被害タイプごとの代表的なトレーニング・フィールドをとりあげ、平均値±1標準偏差として図示すると図-4のようである。この種の図を各トレーニング・フィールドについて作成し、トレーニング・クラスの異同を検討した。

その結果、森林の被害タイプについて8個、他の土地利用タイプについて7個に分類できると考えられた。

表-3 教師無分類の解析条件

Table 3. Condition of unsupervised classification.

Number of	地 区 Field	
	A	B
Points	10,647	9,477
Channels	7,8,9,11	7,9,10,11
Cluster in put	10	12
classes out put	8	10

さらに、森林の被害タイプの類型化を、クラス間の分離度を求めて検討した。表-4は、全チャンネルを使用した場合のクラス間の分離度を示す。これによると、カラマツと広葉樹との変色と被灰、幹折同士、微害同士、倒伏と落葉疎開とは、分離

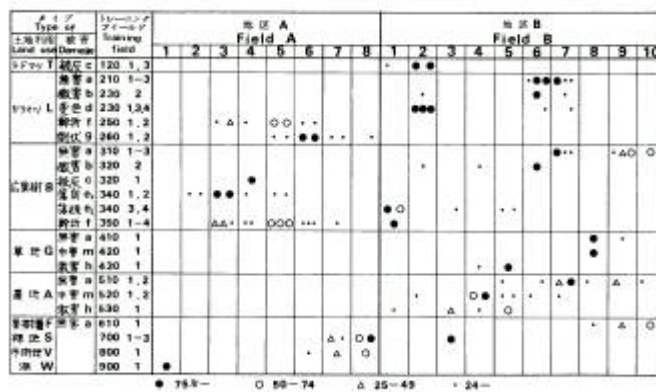


図-3 樹木の被害タイプとクラスタとの相関図

Fig.3. Diagram showing correlation between the types of tree damage and the clusters.

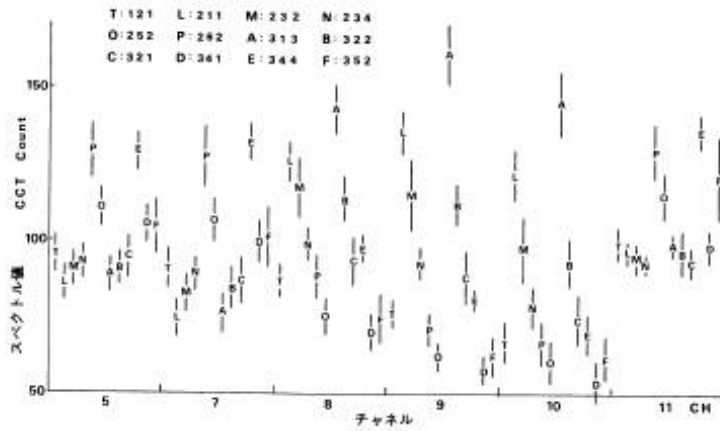


図-4 樹木の被害タイプごとのスペクトルのプロット図

121,211……はトレーニング・フィールドの番号

Fig.4. Spectral plots ($\pm 1\sigma$) of training fields for the types of tree damage.

121,211……stand for training field numbers.

表-4 6個のチャンネルを使用した場合のクラス間分離度

Table 4. Interclass divergence for combination 6.

		カラマツ Japanese larch					広葉樹 Broad leaved tree					
		a	b	d	f	g	a	b	c	e ₁	e ₂	f
T	c	☺	☺	1,420	☺	☺	☺	☺	1,341	☺	☺	☺
	a		1,201	☺	☺	☺	1,430	1,657	☺	☺	☺	☺
L	b			☺	☺	☺	☺	610	1,721	☺	☺	☺
	d				☺	☺	☺	☺	228	☺	☺	☺
	f					1,465	☺	☺	☺	1,088	☺	569
	g						☺	☺	☺	☺	736	952
B	a							☺	☺	☺	☺	☺
	b								1,796	☺	☺	☺
	c									☺	☺	☺
	e ₁										☺	1,086
	e ₂											1,714

☺: 分離度が1,800以上 Divergence is greater than 1,800.

度がきわめて低く、分離はかなり困難であると考えられる。

以上のような検討の結果から、トレーニング・クラスとしては図-5に示すように、森林の被害タイプについて8個、他の土地利用タイプについて7個、あわせて15個のクラスを選定した。

使用チャンネルの選定

使用するチャンネルを決定するため、次のような検討を行った。その一つは、図-4の被害タイプ別のスペクトルのプロット図から、各被害タイプの分離がどのチャンネルでできるかを検討した。その結果(図

—6) によると、次のような特徴を指摘することができる。

① カラマツと広葉樹との徴害同士、幹折同士、変色と被灰のように被害程度の類似したものの分離は、どのチャンネルでも不可能である。

② 幹折、倒伏、落葉疎開のように被害程度の大きいものと、無害、徴害、被灰、変色のように被害程度の軽微なものとの分離は、どのチャンネルでも可能である。

③ 無害、徴害、変色、被灰のように被害程度の軽微なものとの間の分離は、8, 9, 10の近赤外域のチャンネルで可能である。

④ 幹折と落葉密生とは樹幹や樹冠の量の違いによるものであるため11チャンネルが、幹折と倒伏との違いは樹冠の有無である。

以上のような点から考えて、使用チャンネルとしては近赤外域で1~2個、5と7チャンネルから1個、熱赤外域で1個、あわせて3~4チャンネルが適切であるといえよう。

次に、被害タイプ間の分離度の平均値を、使用チャンネル数3および4の場合について求めた。そのうちベスト5を表-5に示す。この表をみると、どの組合せにおいても9および11チャンネルが入り、4チャンネルの場合には5または7から1個、8または10から1個を追加した組合せが多く、3チャンネルの場合にはそのうちのいずれか1個を追加した組合せが多い。その中で分離度が最高のもは、3チャンネルでは9, 11の他に7を加えたもの、4チャンネルではこれに8を加えたものとなっている。しかし、CCTクイック・ルック装置上にコード化して表示したチャンネル別の映像では、10チャンネルの濃度差がもっとも大きかった。したがって、教師付分類の実行に

表-5 組合せ数3および4チャンネルの場合のクラス間分離度の平均値

Table 5. Averaged interclass divergence for combination 3 and 4.

組合せ数 3 Combination 3				組合せ数 4 Combination 4			
チャンネル Channel		平均 Average		チャンネル Channel		平均 Average	
7,	9,	11	1,732	7,	8,	9,	11
5,	9,	11	1,732	5,	8,	9,	11
8,	9,	11	1,720	5,	7,	9,	11
5,	7,	9	1,707	7,	9,	10,	11
9,	10,	11	1,705	5,	9,	10,	11

組合せ数6チャンネルの平均は1,789

In combination 6, average is 1,789.

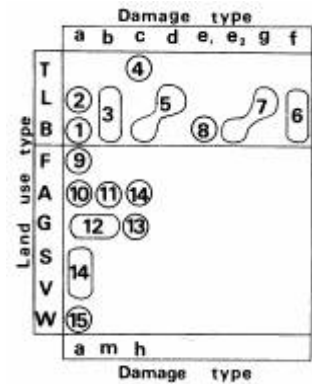


図-5 トレーニング・クラスの区分

T,L,...,a,b,...は図-3を参照

Fig.5. Training class.

For marks T,L,...,a,b,...,see

Figure 3.

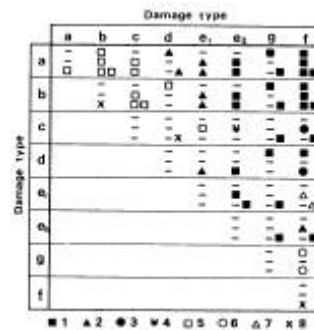


図-6 樹木の被害タイプ判別に有効なチャンネル

1: 全チャンネル, 2:5(又は7)及8(9,10),3:8(9,10)及11,4:5(7)及11,5:8(9,10)6:5(7),7:11,8:無

上: カラマツ対カラマツ,

中: 広葉樹林対広葉樹,

下中: カラマツ(縦)対広葉樹(横)

下右: 広葉樹(縦)対カラマツ(横)

Fig.6 Effective channel for separating the types of tree damage.

1: All, 2:5(7)&8(9,10),3:8(9,10)&11,4:5(7)&11,5:8(9,10),

6:5(7),7:11,8:None.Top: Intertypes of japlarch, Mid.:

Intertypes of Broad leaved tree, Botton mid.:

L(vet.)vs.B(hor.), Botton right: B(vet.)vs.

は 7, 9, 10, 11 の四つのチャンネルを使用することとした。

教師付分類による判別結果

以上の検討から定めた条件, すなわちトレーニング・クラス数 15, 使用チャンネル 7, 9, 10, 11 の四つという条件によって, 最尤法による教師付分類を行った。その判別結果を写真-1 に示す。またトレーニング・クラスのスペクトルのプロット図を図-7 に, その判別効率を表-6 に示す。

表-6 によると, トレーニング・クラス全体での判別効率は 81%, 森林の被害区分だけについては 78% で, ほぼ良好な結果であると考えられる。クラスごとにみても, 広葉樹無害, カラマツ, 広葉樹の

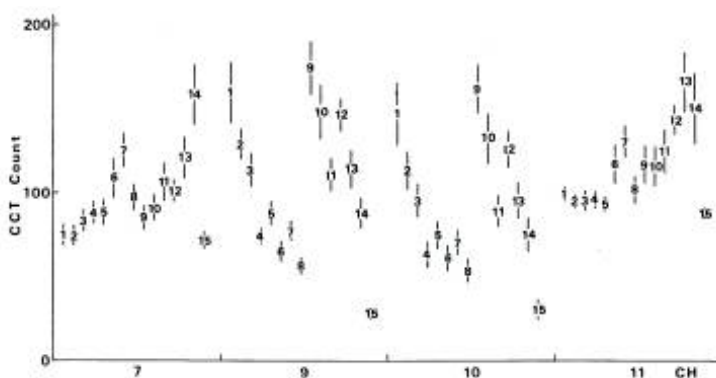


図-7 トレーニング・クラスのスペクトルのプロット図
Fig.7. Spectral plots ($x \pm 1\sigma$) of fifteen training classes.

表-6 トレーニング・クラスの判別効率

Table 6. Training class performance.

トレーニング ク ラ ス Tr.cl.	各トレーニング・クラスの判別効率 (%)															サンプル総数 No of samples
	Percentage of samples classified into															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	72	17							8	3						2,608
2	6	83	10							1						1,057
3		10	82		5					0	3					642
4				91	7	2		0								628
5			4	14	82		0				0					2,913
6			0	1		68	12	18			0		0	1		4,296
7				0		11	85				1			3		1,861
8				1		11		88							0	2,392
9	4								86	6		4				775
10	1	4	2						14	69	1	6	3			1,360
11			3		0					4	88		5	0		1,175
12									2	5	1	89	3			987
13											3	7	89	1		143
14					0	1	8				4		2	85		3,784
15															100	1,118
Total	2,001	1,432	821	1,064	2,451	3,418	2,375	2,890	1,071	1,191	1,226	1,012	329	3,339	1,119	25,739

全体の判別効率 Performance of overall: 20,872/25,739=81%.

森林の判別効率 Performance of forestry: 12,864/16,397=78%.

幹折、農地無害が70%前後で若干低い以外は、いずれのクラスも80%を越えている。

分類図におおまかな林相および被害タイプの区画線と降灰等厚線とを記入し、これと航空写真とを対比して示すと写真-1のようである。これによると、次のような相違点を指摘することができる。

① 有珠山左下方および洞爺湖温泉市街下方のトドマツ被服地に判別されたものは、カラマツおよび広葉樹の被灰地が正しい。

② ゴルフ場左側の果樹園に判別されたものの半分は、疎開した広葉樹無害林である。

しかし、全体をみると、分類図と林相および被害タイプ区画線とはおおむね一致しているとみることができる。

したがって、降灰による被害森林の判別的手段として、航空機MS Sデータはきわめて有効であるといえることができる。

また写真-1の分類図によると、有珠山の南東側のB地区では、降灰等厚線にそって被害タイプが段階状に分布しており、被害タイプと降灰量との間にある程度の相関関係があることがみとめられる。

降灰による森林のスペクトルの変化

被害タイプ別のスペクトル分布の特性

図-4の被害タイプ別のスペクトルのプロット図にみられたように、森林の被害タイプによってスペクトルの分布に違いが認められる。そこで、この特性について検討する。

まず、カラマツと広葉樹とにみられる代表的な被害タイプ、すなわち無害、変色、被灰、倒伏、落葉、幹折をとりあげ、それぞれの典型的なフィールドごとにスペクトル値のヒストグラムを描いた(図-8)。この図によると、ヒストグラムの形はどの被害タイプのどのチャンネルについてもおおむね正規分布を示しており、「MS Sデータは基本的に正規分布をなす」という仮定(日本IBM 1976)が満足されている。

また、被害タイプによって、各チャンネルのヒストグラムのピークの現われ方に明らかな違いがある。すなわち、カラマツの場合をみると、無害林では5, 7, 11チャンネルのピークの現われるスペクトル値は8, 9, 10よりも低い。変色では全チャンネルが重なり、倒伏、幹折では8, 9, 10より5, 7, 11のピークが右に寄っている。つまり、被害の程度が大きくなると5, 7, 11チャンネルはスペクトル値が大きくなり、8, 9, 10の近赤外域ではスペクトル値が低下している。この傾向は、広葉樹の場合についても、全く同様にみられる。

次に、被害タイプ別のスペクトル分布図を描いた(図-9)。この図によると、無被害林は緑色植物にみられる典型的な分布型(GATES 1971)を示している。この分布型は被害タイプによってさまざまな形に変化しているが、5, 7チャンネルは被害程度が進むにつれてスペクトル値が増大し、8, 9, 10の近赤外域では逆に低下する傾向が明らかである。また11チャンネルは樹冠や樹幹などの熱をしゃ断する物質の量の多少によって大きく変化する傾向を示している。

降灰量とスペクトル値の関係

写真-1の教師付分類図から森林の被害タイプ、したがって森林のスペクトル値は降灰量と密接な関係があることが示唆された。そこで、その関連性を解析する。

降灰量とスペクトル値との相関図をチャンネル7および10について描くと、図-10のようである。この図で、チャンネル10の中心線は指数式($y=a \cdot 10^{bx}$)を、チャンネル7には一次式($y=a+bx$)をあてはめている。この図からわかるように、降灰量とスペクトル値の間には高い相関関係が認められる。そこでカラマツ、広葉樹別に、一次式と指数式とをあてはめて相関係数を求めた(表-7)。

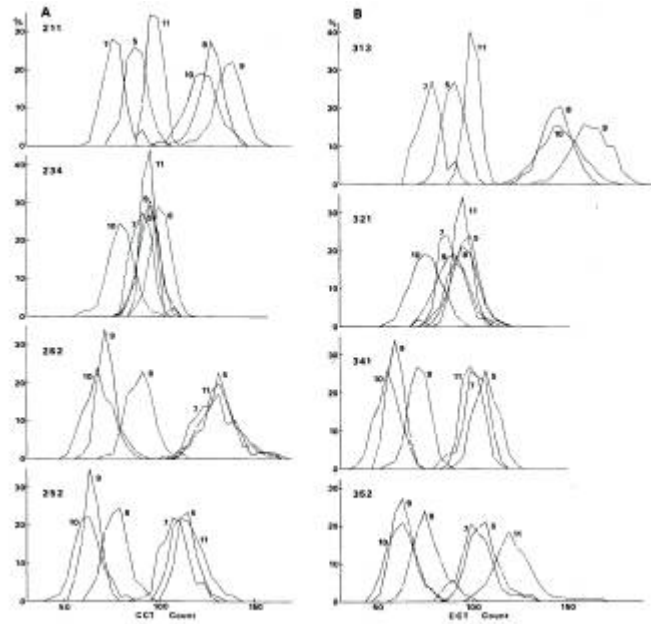


図-8 被害タイプ別のスペクトル値のヒストグラム

A : カラマツ, B : 広葉樹 211,234……はトレーニング・フィールドの番号

Fig.8. Effects of varying the types of tree damage on the spectral histograms of

A. Japanese larch, B. Broad leaved tree.

211,234……,stand for training field numbers.

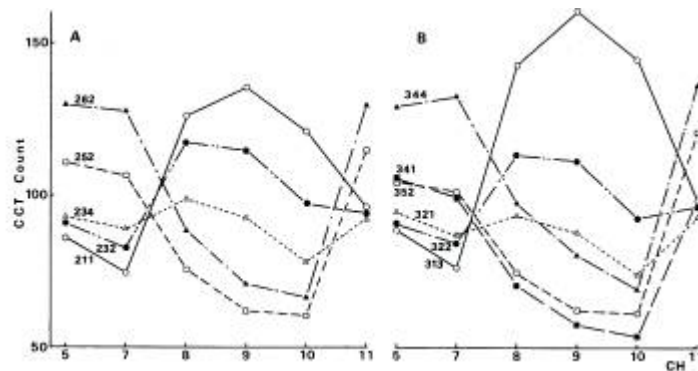


図-9 被害タイプの違いによるスペクトル分布の変化

A : カラマツ, B : 広葉樹 211,232……はトレーニング・フィールドの番号

Fig.9 Effects of varying the types of tree damage caused by ash-fall on the spectral curves of

A. Japanese larch, B. Broad leaved tree. 211,232……stand for training field numbers.

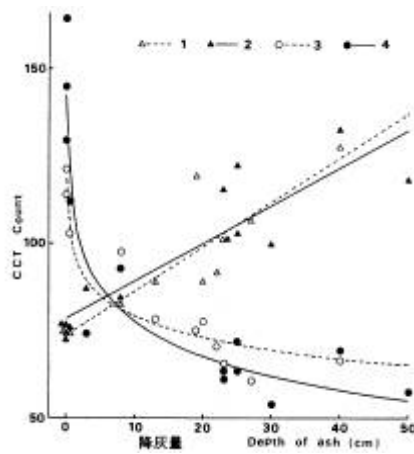


図-10 降灰量とスペクトル値の相関図

1: チャネル 7, カラマツ, 2: チャネル 7, 広葉樹,
3: チャネル 10, カラマツ, 4: チャネル 10, 広葉樹

Fig.10. Relationship between the depth of ash-fall and the spectra for channel 7 and channel 10.

1:CH7,Japanese larch,2:CH7,Broad leaved tree,
3:CH10,Japanese larch,4:CH10,Broad leaved tree.

表-7 カラマツと広葉樹の一次式および指数式の相関係数の比較

Table 7. Comparison of correlation coefficients of linear and curved

チャンネル Channel	カ ラ マ ツ Japanese larch			広 葉 樹 Broad leaved tree		
	相関係数 Correlation coefficient		C	相関係数 Correlation coefficient		C
	一次式 Linear eq.r1	指数式 Exp. eq.r2		一次式 Linear eq.r1	指数式 Exp. eq.r2	
5	.84**	.66*	0.88	.90**	.83**	0.61
7	.89**	.76**	0.90	.89**	.86**	0.34
8	-.87**	-.86**	0.11	-.74**	-.90**	0.96
9	-.91**	-.90**	0.10	-.79**	-.94**	1.59
10	-.90**	-.94**	0.58	-.77**	-.95**	1.81
11	.73*	.52	0.74	.70**	.64*	0.23
7- 8	.94	.86	0.85	.88	.96	1.33
7- 9	.94	.87	0.76	.88	.97	1.64
7-10	.95	.90	0.63	.87	.97	1.93
5- 8	.93	.83	0.89	.87	.93	0.75
5- 9	.93	.86	0.82	.87	.97	1.60
5-10	.95	.89	0.74	.86	.97	1.94
7/ 8	.90	.78	0.92	.88	.93	0.61
4/ 9	.91	.77	1.03	.90	.93	0.45
7/10	.95	.83	1.22	.92	.95	0.56
5/ 8	.92	.81	0.97	.90	.94	0.63
5/ 9	.93	.79	1.08	.92	.94	0.37
5/10	.95	.84	1.26	.90	.95	0.41

Cはr1,r2のZ変換値の差の, その分散に対する比である。

*,**は95%,99%水準での統計的有意性を表す。

C is the ratio of difference between z-transformed correlations of r1 and r2 to standard error of it.

* and ** stand for statistical significance at the 5% and 1% level.

表-7によると、5, 7, 11チャンネルでは正の、チャンネル8, 9, 10の近赤外域では負の相関がみられる。相関係数の大きさをみると、一次式ではカラマツは9チャンネル、広葉樹は5チャンネルが、指数式ではカラマツ、広葉樹とも10チャンネルがもっとも高い。したがって、降灰量とスペクトル値の関係は、これらのチャンネルにおいてもっとも密接である。このことは、ステップワイズ法による重回帰分析（司馬 1977）の結果からも確認された。

表-7における相関係数の0との有意性検定をすると、カラマツ11チャンネルの指数式の相関係数は、5%水準で有意性が認められないが、他はいずれも5%または1%水準で有意性が認められた。また一次式と指数式との適合性を検定すると、カラマツの5, 7, 11チャンネルでは一次式が、広葉樹の8, 9, 10チャンネルでは指数式の相関係数が高くなっているが、有意差は認められなかった。これは自由度が少ないことにも一因があると考えられるので、より多くのデータによる検討が必要である。

表-7には、スペクトル値のチャンネル間の演算処理をした値をもちいた場合の相関係数も示している。演算処理は、前述したスペクトル分布の傾向から、減算および比演算とについて行った。これによると、どの演算処理の場合も単一チャンネルの場合より相関係数は大きくなっている。またカラマツでは一次式、広葉樹では指数式の相関係数が高い。

したがって、スペクトル値と降灰量との関係式には、単一チャンネルでは10チャンネルの指数式が、演算処理した場合にはチャンネル（7-10）の、カラマツでは一次式、広葉樹では指数式がもっともよく適合しているとみることができる。

降灰に対する耐性の樹種比較

スペクトル値と降流量との関係式は、いずれを従属変数にするかによって意味が異なる。まず、スペクトル値を目的変数とする場合について考える。この関係式は、単位あたりの降灰量に対するスペクトル値の変化量を表し、これはスペクトルの変化量を尺度とした場合の降灰に対する耐性を示すとみることができる。

そこで、対数変換した降灰量に対するスペクトル値の回帰

$$x=a+blogy$$

を求め、カラマツと広葉樹とを比較した。その結果を表-8の左4欄に示す。これによると、回帰係数間の有意差はチャンネル9, 10の近赤外域およびチャンネル（7-10）、（5-10）の演算処理をした場合に生じている。その回帰係数はいずれも広葉樹の方が大きい。したがって、近赤外域では広葉樹はカラマツに比べて降灰に対する耐性が小さいといえることができる。

スペクトル値による降灰量の推定

スペクトル値と降灰量との関係の第二は、降灰量を目的変数とする場合である。この関係式をもちいると、スペクトル値から降灰量を推定できる。

そこで、スペクトル値に対する対数変換した降灰量の回帰

$$logy=a+bx$$

を求め、カラマツと広葉樹とを比較した。その結果を表-8の右4欄に示す。これによると、10チャンネルの傾斜間およびチャンネル（7-9）の修正平均値間を除いては有意差は認められない。したがって、スペクトル値から降灰量を推定する場合には、カラマツも広葉樹もあわせて考えてよいといえる。

そこで、チャンネル（7-10）の値と降灰量との相関図を描いた（図-11）。推定式は

$$logy=0.5049+0.02098x$$

で、データとの適合はおおむね良好である。

この図には、新たなデータを追加する場合の信頼限界（スネデカーら 1978）も記入した。この値は、スペクトル値の平均値（ $x=8.5$ ）の附近では数 cm～十数 cm

表-8 カラマツ広葉樹の回帰式の比較

Table 8. Comparison of regression equation in Japanese larch and Broad leaved tree.

チャンネル Channel	目的変数 y Criterion variable y				目的変数 x Criterion variable x			
	回帰係数 Regression coefficient		分散比 Variance ratio		回帰係数↑ Regression coefficient		分散比 Variance ratio	
	カラマツ Japanese larch	広葉樹 Broad leaved tree	b 間 Inter b	修正平均間 Inter adjusted mean	カラマツ Japanese larch	広葉樹 Broad leaved tree	b 間 Inter b	修正平均間 Inter adjusted mean
5	9.8	11.7	0.15	0.90	4.36	5.97	0.62	0.72
7	13.8	16.1	0.22	1.10	4.13	4.59	0.11	0.94
8	-15.2	-22.3	2.46	0.02	-4.86	-3.66	1.27	0.00
9	-23.2	-35.3	5.17*	—	-3.52	-2.53	2.87	0.03
10	-19.7	-32.3	9.11**	—	-4.52	-2.79	8.31**	—
11	7.6	8.7	0.04	1.28	3.55	4.74	0.21	0.66
7-8	29.1	38.4	2.16	0.43	2.52	2.41	0.05	0.47
7-9	37.0	51.4	3.42	14.37**	2.07	1.86	0.36	17.26**
7-10	33.5	48.5	6.19*	—	2.44	1.96	1.81	0.95
5-8	25.1	34.0	1.41	0.22	2.72	2.62	0.03	0.26
5-9	33.0	47.0	3.66	0.09	2.22	1.99	0.30	0.13
5-10	29.5	44.0	6.34*	—	2.67	2.15	1.48	0.08

y : スペクトル値, x : 降灰量の対数值, ↑は×10⁻²。

*,**は 95%, 99%水準での統計的有意性を表す。

y:spectral intencity, x :the logarithm of the depth of ash-fall, ↑:×10⁻²。

* and ** stand for statistical significance at the 5% and 1% level.

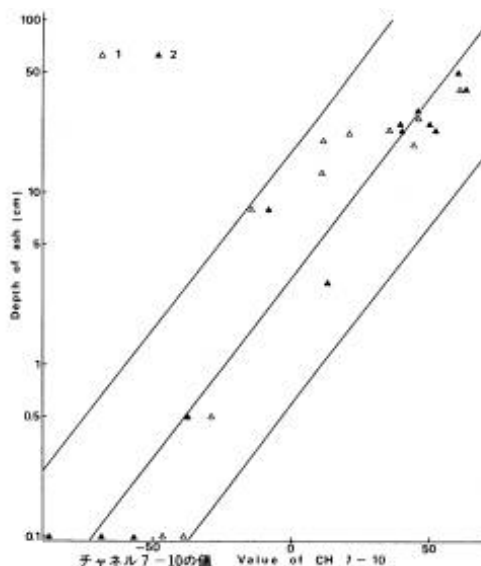


図-11 チャンネル (7-10) 演算前と降灰量の相関図

Fig.11. Relationship between the value of channel(7-10) and the depth of ash-fall.

1 : カラマツ, Japanese larch, 2:広葉樹, Broad leaved tree.

の幅にすぎないが、降灰量が多いところでは数十 cm の幅になっている。

考 察

降灰被害森林のクラス分けについて

この調査では、降灰被害森林の判別のためのトレーニング・クラスは8個(図-5)で、その判別効率は78%(表-6)であった。これらの結果をみると、無被害林においてはカラマツと広葉樹とを判別することは可能である。しかし、いったん降灰の害を受けると、被害程度の違いによるクラス分けは可能であるが、同じ程度の被害タイプ内での樹種によるクラス分けはできなかった。

したがって、MSSデータによる降灰被害森林の判別では、被害タイプによるクラス分けが主体となり、これをさらに樹種によって細分することは困難である。

被害森林判別に有効なチャンネルについて

スペクトル値と降灰量との関係は、チャンネル10の場合にもっとも相関が高かった(表-7)。一方、降灰被害森林の判別には、9および11チャンネルがもっとも有効であった(表-5)。このことは、現地調査の結果から指摘できたように、樹木の被害タイプは降灰量だけでなく、降灰の質、被害森林の噴出源からの距離や方向、構成樹種、林齢などの違いによっても異なることから説明できる。

分類に使用するチャンネル数は少ないほど望ましい。深山ら(1978)が、本報と同じMSSデータをもちいて行った被害農地の判別結果によると、香川地区(1km²)では7, 9, 11チャンネル、向洞爺地区(50km²)では7, 8, 10チャンネルを使用した場合、トレーニング・フィールドの判別効率はいずれも約80%である。これは、本報における4チャンネル使用の場合の精度と同様である。したがって、表-5で示された7, 9, 11の3チャンネルによる判別でも、かなり高い精度があげられるものと期待される。

お わ り に

以上、MSSデータのデジタル解析によって、噴火による降灰の害をうけた森林の被害パターン判別を行い、8クラスに判別することができた。ここで分類されたそれぞれの被害パターンの森林が、今後どのように経年変化をし、それがMSSデータによってどの程度は握りかき解析することはきわめて興味深い問題であり、さらに検討したいと考えている。

本研究は、昭和53年度に北海道生活環境部から依頼された自然環境調査におけるマルチスペクトルスキヤナデータの応用」研究の一環であり、また財団法人日本造船振興財団の「日本国土海洋総合学術診断」プロジェクトに参加して得られた成果の一環である。

MSSデータの作成にあたっては日本造船振興財団の古賀真綱氏、データ解析にあたっては北海道農業試験場の深山一弥技官およびFIPの鈴木康志氏に多大のご教示、ご支援をいただいた。ここに各位に対し厚くお礼を申しあげる次第である。

摘 要

1. 航空機からのMSSデータをもちいて、有珠山の噴火による降灰の害をうけた森林の被害パターンを判別し、あわせて降灰による森林のスペクトル変化の状態を解析した。

2. 調査地は、1977年8月7日から14日にかけて噴火した有珠山とその周辺地にかけて設けた約25km²の区域である。使用したMSSデータは、スキヤナDS-1250で、8月30日に高度3,650mから観測したものである。降灰による被害タイプは、調査地内の森林では、無害、微害、被灰、葉の変色、落葉、幹析、倒伏などであった(表-1)。

3. トレーニング・クラス数 15 (森林の被害タイプ 8, その他土地利用タイプ 7) (図-5), 使用チャンネルは 7 (0. 65-0. 69 μ m), 9 (0. 80-0. 89), 10 (0. 92-1. 10), 11 (9. 5-12. 0) (表-2) の四つという条件で最尤法による教師付分類を行った。判別効率は全トレーニング・クラスでは 81%, 森林の被害区分だけでは 78%であった (表-6)。

4. 降灰被害森林の判別は, 被害タイプによるクラス分けが主体となり, これを樹種によって細分することは困難である。

判別に有効なチャンネルは 9 および 11 に, 7 と 10 の一方または両方を加えたものである。

5. カラマツおよび広葉樹のスペクトル値のヒストグラムは, どの被害タイプのどのチャンネルについてもおおむね正規分布を示した (図-8)。

6. カラマツおよび広葉樹のスペクトル分布は, 無被害林は緑色植物にみられる典型的な分布型を示し, 被害程度が進むとチャンネル 5, 7, 11 ではスペクトル値が増大し, チャンネル 8, 9, 10 では減少する (図-9)。

7. 降灰量とスペクトル値の関係式には, 単一チャンネルではチャンネル 10 の指数式, 演算処理した場合にはチャンネル (7-10) の, カラマツでは一次式, 広葉樹では指数式がよく適合した (表-7)。

8. スペクトル値の変化量を尺度とした降灰に対する耐性は, 近赤外域では広葉樹はカラマツに比べて弱い (表-8)。

9. チャンネル (7-10) の値をもちいて降灰量を推定すると, スペクトル値の平均値付近では数~十数 cm の幅にすぎないが, 降灰量が多くなると数十 cm の幅になった (図-11)。

10 火山噴火のさいの降灰の分布状況および降灰による被害森林の判別, 解析の手段として, 航空機 MSS データは有効であるといえる。

文 献

- 富士通ファコム 1977 F A C O M 230 M-V/VI/VII P I A 解説書. 36 P
- 福原道一・林 成 周・斎藤元也・高 畑 滋・深山一弥 1978 リモートセンシングによる有珠山噴火農地被害調査に関する研究 第2報 噴出物に関する分光特性とラソドサット映像の関係. 北海道農試研報 123 : 113-125
- GATES, D. M. 1971. Physical and physiological properties of plants.. In Committee on remote sensing for agricultural purposes Agricultural board National research council (ed.) Remote sensing with special reference to agriculture and forestry. 224-252 National academy of sciences, Washington, D. C.
- KATSUI, Y. et al. 1978. Preliminary report of the 1977 eruption of Usu volcano. Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ. Ser. IV 18 (3) : 385-408
- 小木和彦・遠藤泰造 1978 有珠山周辺の噴出堆積物の崩落・流出からみた危険度区分. 北方林業 30 : 202-206 深山一弥・高 畑 滋・福原道一・斎藤元也・林 成 周 1978 リモートセンシングによる有珠山噴火農地被害調査に関する研究 第3報 航空機 MSS データによる農地被害のデジタル解析. 北海道農試研報 123 : 127-145
- 日本 I B M 1976 L A R S Y S 概説書. 213 P
- 日本造船振興財団 1978 昭和 52 年度特別観測 有珠山噴火被害調査. 日本国土海洋総合学術診断 昭和 52 年度事業報告書 第1編 161-176
- 司馬正次 1977 データ解析入門. 270 P 東洋経済新報社 東京

- スネデカー・コ克蘭 (畑村又好他訳) 1978 統計的方法. 546P 岩波書店 東京
- 高畑 滋・福原道一・深山一弥・斎藤元也・林成周 1978 リモートセンシングによる有珠山噴火農地被害調査に関する研究 第1報 空中写真及びMSS映像による農地被害の判読. 北海道農試研報 123:101-111
- 有珠山噴火災害対策胆振地方本部 1978「1977年有珠山噴火」災害対策行動の記録. 205P 北海道胆振支庁

Summary

In this paper are given results of investigations on classification of forest damage patterns and on changes in spectral signatures caused by ash-fall from Usu volcano using digital image analysis of MSS data in the Usu district in the southern Hokkaido.

The data were obtained with an aircraft multispectral scanner (DS-1250) at an altitude of 3,650meters on August 30, 1977. The digital image analyses of MSS data were processed with the PIA program. Damage types caused by ash-fall in the study area were no damage, slight damage, covering with ash, discoloration of leaves, shedding of leaves, stem break and stem fall (Table 1).

The study area was classified according to damage types and land use types. The classification was performed by the maximum likelihood method conditioned on 15 categories (Figure 5) and channels of 7 (0.65–0.69), 9 (0.80–0.89) 10 (0.92–1.10) and 11 (9.5–12.0). Performance for all training classes within the study area was 81 percent and that for 8 categories of the tree damage types was 78 percent (Table 6).

Regardless of difference in species or types of tree damage, the spectral histograms formed normal distribution (Figure 8).

As tree damage become heavy, the spectral intensity in the channels 5, 7 and 11 increased, but that in the near-infrared channels of 8, 9 and 10 decreased (Figure 9).

The correlation between the depth of ash-fall and the spectral intensity was fitted well by an exponential equation using the channel 10. In case of arithmetic processing, a linear equation using the value of “channel 7–channel 10” fitted data of Japanese larch, and an exponential equation using the value of “channel 7–channel 10” fitted well data of broad leaved trees (Table 7).

The regression of the spectral intensity on the depth of ash-fall expresses resistance against ash-fall. In the near-infrared bands, the broad leaved trees' resistance is inferior to that of Japanese larch (Table 8).

Confidence intervals for the depth of ash-fall using the value of “channel 7–channel 10” were estimated in several or ten or more centimeters of width near the average of the value of “channel 7–channel 10”. But far from the average were estimated those in several tens centimeters (Figure 11).

A digital analysis using the aircraft MSS data is effective for the survey of forest tree damage or location of ash-fall from the eruption of a volcano.

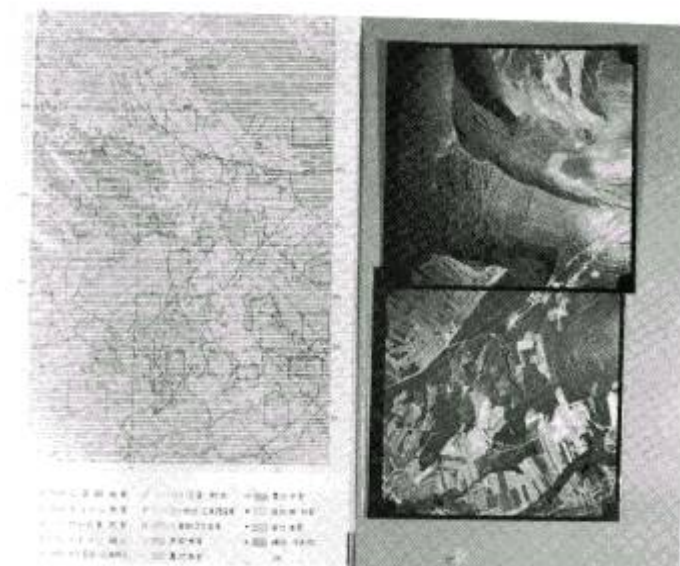
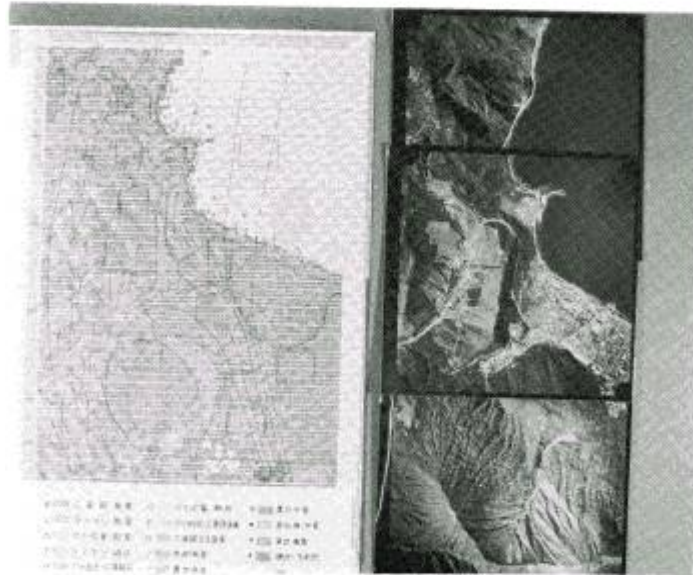


写真-1 有珠山周辺のカラー航空写真と教師付分類図の比較
 Photo 1. Supervised classification map and aerial color photo around Usu volcano.