

ランドサット・データによる1983年三宅島噴火
噴出物の分布域の検出

幾志新吉*

国立防災科学技術センター

**Detection of the area covered by the Volcanic Products from
LANDSAT Data relating to the Eruption of Miyakejima
Volcano in 1983**

By

Shinkichi Kishi

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

To detect the area covered by the volcanic products of the eruption of Miyakejima in 1983, comparison was made between the image taken by LANDSAT MSS on Oct. 25, 1983 after the eruption and those on Nov. 11, 1980 before the eruption.

Compared with the case of eruption of Mt. Kiso-Ontake in Oct. 1979 when the light volume of ash-fall was detected in wide area, this time the lava and the large volume of volcanic ashes were distributed in the narrow area. An attempt was made to divide the area covered by the volcanic products into some quantitative ones.

First, relative radiometric correction was made between the images of the two periods to produce the difference image. From the difference image selection was made of the area where the remarkable difference was seen in the visible or near infrared band, taking the kinds of land cover into account, and the changes in their spectral characteristics were investigated.

Then, taking up these areas as training areas, so-called supervised classification by maximum likelihood method was conducted to these 2-period multi-channel images. It was found that the result comparatively well agreed with the regional distribution of the volcanic products by the ground survey right after the eruption.

1. はじめに

1983年10月3日の三宅島噴火による噴出物の分布域の検出を、噴火前の1980年11月11日と噴火後の1983年10月25日に撮影されたランドサット・MSS^{注1)}データを用いて行った。ランドサット・データから広範囲に微量の降灰域を検出した1979年10月の木曾御岳山の噴

* 第4研究部情報処理研究室

注1) マルチ・スペクトル・スキャナ

火の時(幾志, 1981)(科技庁, 1982)に比べて, 今回は狭い範囲に熔岩流と多量の火山灰が分布しているため, 噴出物の分布域を堆積の形態の差異ないしは降下量に準じて区分することを試みた。

まず, 2時期の画像間に相対的に輝度補正を施して作成した差画像から, 可視部または近赤外部に顕著な差が見られる地域を, 土地被覆を考慮して選び, そのスペクトル特性の変化を調べた。つぎに, この地域をトレーニング・エリアとして, 2時期多チャンネル画像に対して最尤法によるいわゆる教師付き分類を行ったところ, 噴火直後の地上調査(火山噴火予知連, 1983)による熔岩流, スコリアおよび量的区分を含む火山灰の分布域にはほぼ一致した。

一方, 噴火からランドサットの観測日までには22日が経過しており, その間10月11日に通過した台風13号などによる降雨のために, 微量の積灰は流失したものと推察され, したがってランドサットの観測日における噴出物の分布状況は噴火直後のそれとは多少異なっていることに注意する必要がある。

なお, 使用したランドサット・データは宇宙開発事業団により小領域精密レジストレーション処理が施され, 幾何学的に重ね合わせの済んだ画像である。

また, ランドサットMSSはバンド4, 5, 6, 7という4つの波長帯(分光)で地球表面を観測しており, バンド4, 5が可視部, バンド6, 7が近赤外部に相当している。地表の対象物の概略の性質はこのうち可視部のバンド5と近赤外部のバンド7の2つの波長帯で記述することができるので, 以下の解析はこの2つのバンドを用いて進める。また輝度の尺度はCCT^{注2)}に記録されたデジタル値をそのまま用い, 放射量の物理単位との対応は考慮していない。

2. 回帰分析による2時期の輝度の相対補正

噴火後の画像だけから噴出物の分布域を求めることは, 一般に噴出物と類似の反放射特性を呈する対象物が存在することから抽出精度が悪い。例えば熔岩は水域と酷似しており, また降灰域の抽出にあたって, それが極めて多量の地域は別として, 非降灰域との識別は困難である。そこで, 噴出物の分布域を噴火前後の2時期の画像における輝度の変化部分に着目して抽出することとした。

2時期の画像の差画像を作成するために輝度の相対補正を行う。ここでは, 画像の中で経時変化がないとみなされる領域(トレーニング・エリア)において, 互いに同じ位置にある画素の輝度間に線形回帰式を仮定して最小二乗法により回帰係数を決定し, 解析対象の全領域において一方の輝度を他時期の輝度に変換する。

トレーニング・エリアには, 噴出物の影響がない地域で, かつ太陽光による地形の影がな

注2) コンピュータ・コンパティブル・テープ

い平坦な部分 6 箇所 (図 1) を選んだ。輝度補正は、画像データの有効ビットが多い噴火後の画像を基準として、噴火前の画像を補正した。

x で噴火前の、 y で推定した噴火後の画素の輝度を表わすとき、回帰式は次のとおりであった。

バンド 5	バンド 7
$y_5 = 0.841 \times x_5 + 2.349$	$y_7 = 1.353 \times x_7 + 4.582$

また、推定した噴火後の輝度と実際の噴火後の輝度の差の、島の北西四半分における平均値と標準偏差はつぎのとおりであった。

	バンド 5	バンド 7
平均	0.301	0.336
標準偏差	1.329	3.794

この地域内で統計量を求めたのは、噴出物と雲による影響を含めないで、輝度の補正誤差を評価するためである。

この補正により、太陽高度、MSS のゲインの違いなどによるラジオメトリックな条件の違いが、2 時期の画像間で相対的に補正されたことになる。

3. 差画像に基づく 2 時期のスペクトル特性の検討

噴出物の流出ないしは降下による地表被覆の異変部分の検出を容易にするために、輝度補正の済んだ 2 時期の画像からその差画像を作成する。火山噴出物は無機質であり、これが森林という植生域に降下すれば、一般に可視部の輝度は増加し近赤外部の輝度は減少する。この変動量を示したのが図 2 と図 3 の差画像である。

地形の傾斜が一定で、しかも一様な地表被覆物の上に噴出物が降下したのであるならば、差画像における差の大小をそのまま降下物の平面密度と結びつけて考えることができるが、火山噴出物の分布域は一般に山岳地帯であり、地表被覆物の種類も一様ではない。単に植生被覆域における噴出物の降下域を検出するだけならば、噴火前後の輝度差が有意性をもつある一定値（例えば差の標準偏差）以上の領域を抽出すればよいわけで、植生に対して感度の高いバンド7の差画像をもって十分である。

一方、噴出物の分布域を堆積の形態ないしは降下量（ここでは平面密度）に準じて区分するためには、輝度差だけではなく地形および地表被覆物の分布状況を含めて輝度の変動域を分類しなければならない。そのために、差画像において可視部または近赤外部に顕著な差が見られる地点を中心に、地表被覆物の影響を考慮して2時期のスペクトル特性の変動を調べた。

サンプリング・エリアを図4に、噴火前後のスペクトル特性とその変化を図5に示す。図5に記載した地表被覆物は、主に噴火前後のランドサット画像から推定したものであるが、小領域の草地、荒地、スコリア、噴石などについては噴火前後の航空写真から判読した。

すなわち、バンド5の増加とバンド7の減少が著しい森林(5)には大量の、バンド5の増加は著しいがバンド7の減少はより小さい森林(6)には中程度の、バンド5に変動は見られないがバンド7が減少している森林(7,8)にはより少量の火山灰がそれぞれ降下したものと推定される。

つぎに、バンド5に変動は見られないがバンド7の減少が著しい森林(3,4)は、熔岩流または堆積の過程と形態は異なっているがそれと同質なスコリアで被覆されたところである。

また、もともと光量の少ない山体西腹の森林(1)および西麓の集落(2)は、バンド5、7とも噴火後にさらに暗くなっており熔岩のスペクトルを示している。

この他、小領域において特殊なスペクトル変化を呈する地域として、バンド5、7とも大きく減少している草地(9)には、スコリアまたは大量の火山灰が、バンド5は明かるいがバンド7の減少はより小さい荒地(10)には中程度の火山灰が堆積したものと推定される。さらにバンド5が極端に増加し、バンド7が減少している森林(11)は噴石によるものである。

4. 2時期多チャンネル画像の分類による噴出物の分布域の検出とその区分

前節でスペクトル特性の変化を調べたエリアをトレーニング・エリアとして、噴火前後の2時期多チャンネル画像に対して最尤法による分類を行い、その結果をもって噴出物の分布域の検出とその区分結果とする。ここでいう2時期多チャンネル画像とは、2時期のMSS画像のバンド5とバンド7を組み合わせた4チャンネルから成る画像のことである。

最尤法は、この4変量からトレーニング・エリアごとに構成された尤度^{注3)}が最大となるクラスに、解析対象領域の各画素を分類する方法であり、リモートセンシングでは一番良く用いられる。分類の際、どのクラスにも属さない画素があることを想定して、各尤度関数の標準偏差を尺度とした許容限界値を設定する。ここでは許容限界値を標準偏差の4倍に設定した。

また、2時期多チャンネル画像を分類することと、どちらか1時期の画像と2時期の差画像を組み合わせた多チャンネル画像を分類することは等価であり、2時期の変化を含めて土地被覆の分類を行ったことになる。

以上の処理を経て検出した噴出物の分布域とその区分結果を図6に示す。赤色が熔岩ないしはスコリア(クラス1, 2, 3, 4)、橙色がスコリアないしは大量の火山灰(クラス5, 9)、黄色が中程度の量の火山灰(クラス6, 10)、緑色が少量の火山灰(クラス7, 8)、シアン色が噴石(クラス11)に分類された画素を表わしている。

ここに、山体西腹の熔岩流に沿って見られる黄色の画素は、森林の焼失域に該当しており、このスペクトル特性が火山灰のそれに似ているためと思われる。

なお、トレーニング・エリアのスペクトル特性が類似しているクラス3の熔岩とクラス4のスコリアに分類された画素の位置的分布が、熔岩流とスコリアの堆積という噴出物の地表被覆の形態の違いによって分離されることを期待したが、これらの画素の分布が航空写真から判断される互いの領域に混在する結果となったため、ここでは同一のカテゴリーに帰属させた。

また、トレーニング・エリアのスペクトル特性において、クラス8はクラス7に比べてバンド5の輝度がやや高く、またバンド7の減少量がやや大きいため中程度の降灰域と判断することもできるが、この特性は降灰量ではなく樹種の違いによるものとも考えられ、ここではクラス7と同じ程度の降灰域とみなした。

これらの問題点については、新たな資料の入手と現地調査によって明らかにして行く予定である。

以上の結果を、スコリアないしは火山灰の分布域について、噴火直後の地上調査結果(火山噴火予知連, 1983)と対比すると、橙色で示した領域が降灰深256mm以上の、黄色で示した領域が256mm未満64mm以上の、緑色で示した領域が64mm未満16mm以上の地域にほぼ対応していることがわかる。

さて、火山噴火による噴出物の分布状況など、災害状況の検出結果は、画像表示ではなく地図上に直接マッピングして始めて実用性をもつという観点から開発した方式により、図6と同じ検出結果を5万分の1地形図上に直接プロットした図も作成した。

注3) 多変量正規分布の確率密度関数の値

5. お わ り に

噴火前後のランドサット・データから、三宅島噴火による噴出物の分布域の抽出とその概略の量的区分を行ったところ、噴火直後の地上調査による熔岩流、スコリアおよび量的区分を含む火山灰の分布とほぼ一致した。

一方、熔岩流と新瀨池東方のスコリアの分布域が明確に分離されないことと、雄山南東斜面の降灰程度の判定に問題が残るが、現在のところ噴火後2月と日が浅くこれらを実証する資料に乏しい。熔岩流の分布状況や降灰域における植生の分布状況の詳細を把握するため、奇しくも10月25日のランドサットの観測時に撮影された航空写真等の新たな資料の入手に期するとともに、近日中に現地調査を行う予定である。

リモートセンシングは地上調査が危険を判う火山災害調査には欠かせない手法であり、航空写真の撮影すら困難な状況下では、観測機会さえ豊富になるならば衛星リモートセンシングは増々有効である。このようなことから、噴出物分布の検出等に関するデータ処理手法を確立しておくことは有意義なことであろう。本報告の手法では、分類のためのトレーニング・エリアの選定とスペクトル特性の吟味という判断行為を要するが、解析対象は面であり、点または小領域に関する判断行為が衛星リモートセンシングの効果を減ずるものではない。

なお、本研究は科学技術振興調整費による「リモートセンシング技術の利用実証に関する研究」の中の「災害状況調査法」の一部として、また同時に宇宙開発事業団の協力を得て行ったものである。関係各位に謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 科学技術庁研究調整局(1982): 衛星、航空機リモートセンシング・データによる噴出物の分布特性の研究. 1979年の御岳山・阿蘇山噴火に関する研究報告書, pp. 48-79.
- 2) 火山噴火予知連絡会(1983): 三宅島1983年10月3日・4日噴火の噴出物調査(予報). 火山噴火予知連絡会資料, 10月17日, 図1, 図2.
- 3) Kishi S(1981): Detection of Volcanic Ash fall Area from LANDSAT MSS Data. Proceedings of the 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment, pp. 919-928.
(1983年12月22日 原稿受理)

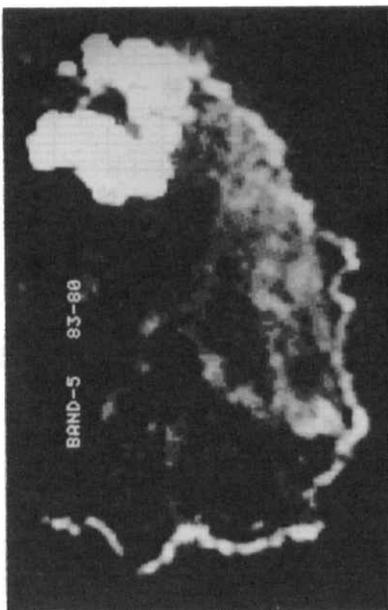


図2 バンド5の差画像 (輝度の増加量を示す)
Fig. 2 Difference image of Band 5 showing the increase of radiance

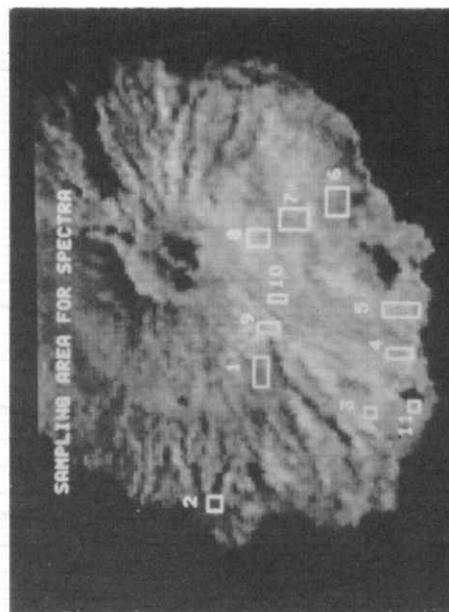


図4 スペクトル特性のサンプリング・エリア (バックは噴火前のバンド7の画像)
Fig. 4 Sampling areas of spectral characteristics (Background is the image of Band 7 before eruption.)

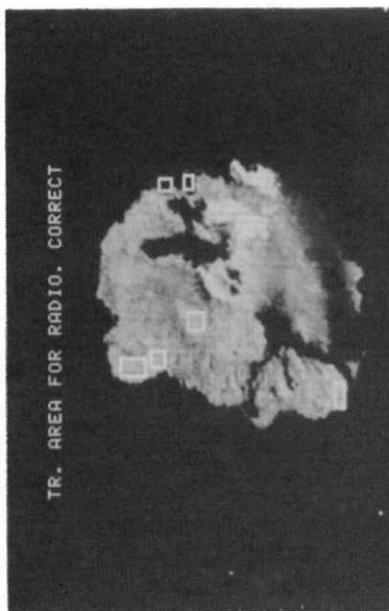


図1 輝度補正のためのトレーニング・エリア (バックは噴火後のバンド7の画像)
Fig. 1 Training areas for radiometric correction (Background is the image of Band 7 after eruption)

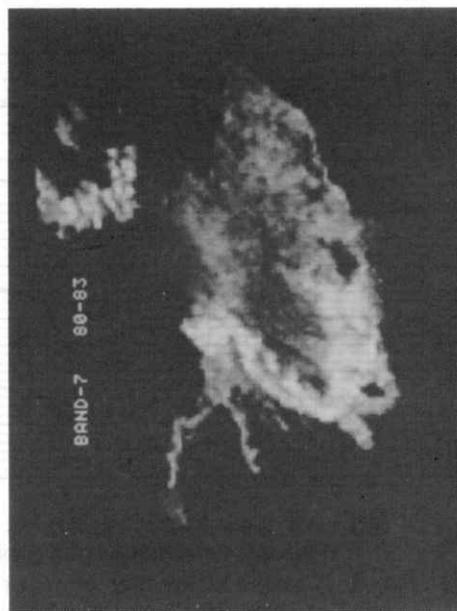


図3 バンド7の差画像 (輝度の減少量を示す)
Fig. 3 Difference image of Band 7 showing the decrease of radiance

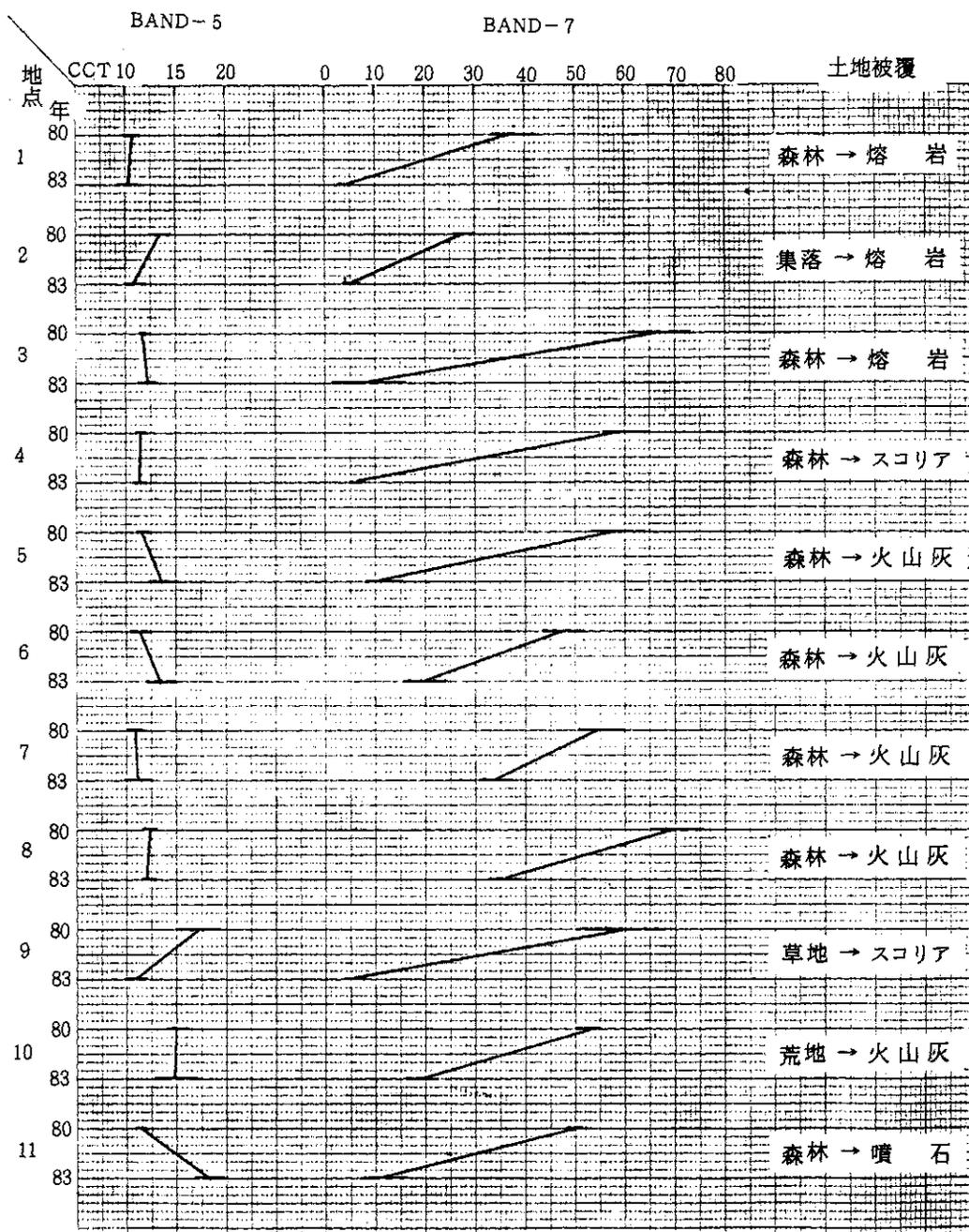


図5 サンプルング・エリアにおけるスペクトル特性の変化 (輝度値は平均値の両側にそれぞれ標準偏差の大きさの幅を与えて示す。単位はCCTカウント)
 Fig. 5 Changes of spectral characteristics in the sampling areas (Radiance is shown by average with the width of standard deviation on each side. Unit is in CCT-count.)

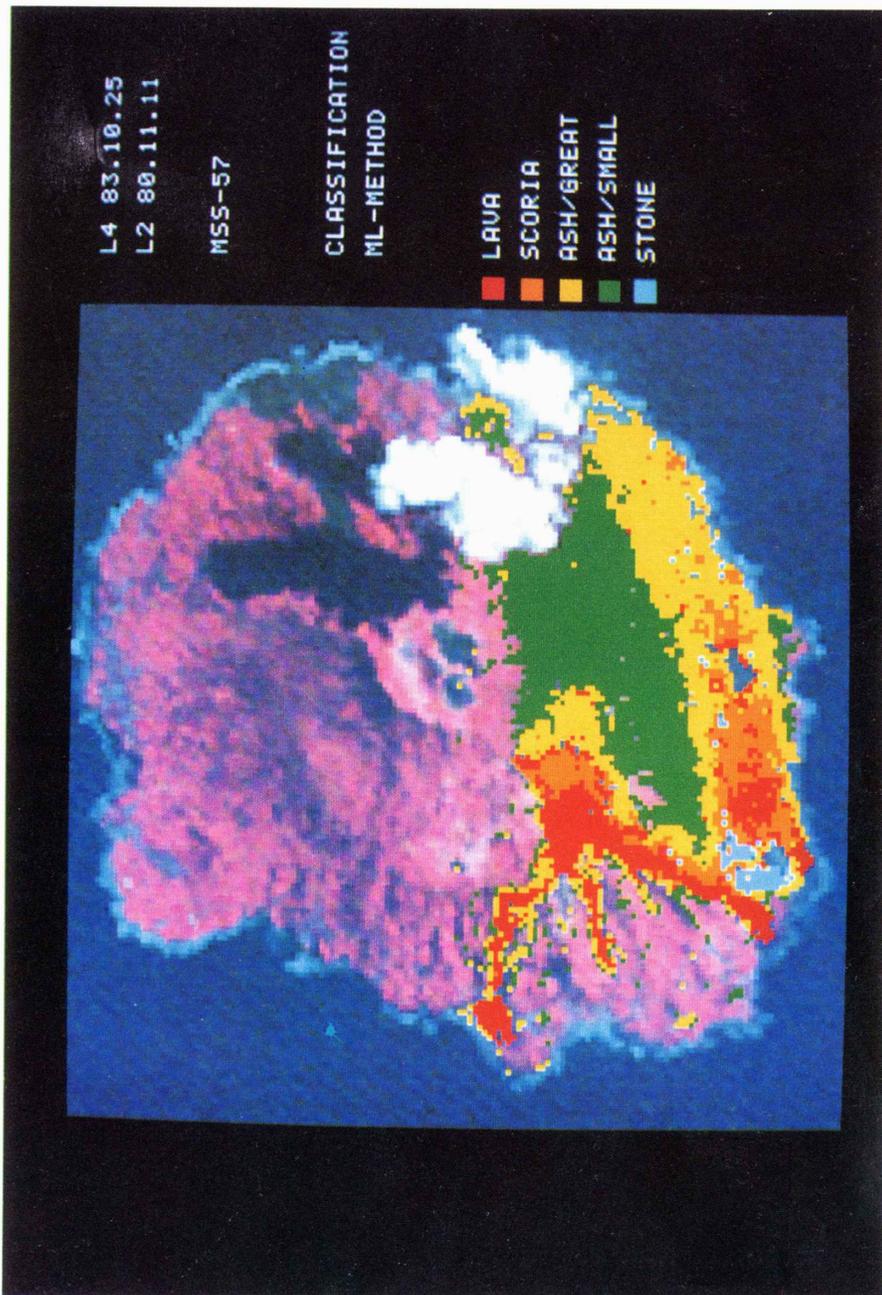


図6 ランドサット・データから検出された火山噴出物の分布域
Fig. 6 Regional distribution of the volcanic products from LANDSAT Data