

西之島火山に対する噴火予知研究 (第 1 報)  
——マルチスペクトル画像による解析——

杉浦邦朗\*・土出昌一\*

**SURVEILLANCE OF NISI-NO-SIMA VOLCANIC ISLAND  
BY MULTISPECTRUM IMAGE TECHNIQUE**

Kuniro Sugiura and Masakazu Tsuchide

*Received 15 October 1976*

**Abstract**

The first submarine eruption occurred at the east side of Nisi-no-Sima Island was on 12 April, 1973. Nisi-no-Sima Island is located in the western site ( $27^{\circ} 15' N/139^{\circ} 53' E$ ) of 130km from the Ogasawara Islands, and is about 650m long and 25m high. We know well that this island is one of the summits of an extensive submarine volcano, but we have not any records that the eruption of this volcano was observed in history. After the continuous eruptions in a period of about 8 months, the new active volcanic island was formed in the same site of the first eruption.

Taking this opportunity, the Hydrographic Department has started to study the technique of prediction of future eruption about the submarine active volcanoes, especially in Nisi-no-Sima Volcanic Island. The method of study that we have employed for prediction was the surveillance by the multispectrum image camera and the thermalcamera.

In this paper, the results for our surveillance for Nisi-no-Sima Volcanic Island in case of a superimposed multispectrum image are described. The superimposed multispectrum images are produced by printing simultaneously with a negative film of one band image and a positive film of another band image. Our surveillance was carried out from October 1974 and will be continued in future.

**1. は し が き**

わが国には噴火の可能性をもつ火山が多数ある。海底火山においても然りである。それにも拘らず、的確に、然も定量的に火山噴火予知を行うには、現在の火山観測および火山学研究の体制はまだ十分でない。世界有数の火山国であるわが国において、火山噴火予知は地震予知と共に国民全体の強い関心事でもあり、その実用化に対する社会的要請はますます強くなってきている。

昭和48年6月29日、文部省測地学審議会は内閣総理大臣、文部大臣および運輸大臣に対して、火山噴火予知計画の推進について建議を行った。そして、今後推進すべき課題として、赤外線による主要な火山の熱的状態の隔

\* 測量課

測などの噴火予知の研究を指示している。また、この建議において、上述の試験研究を含め、この研究等は、大学・気象庁・海上保安庁水路部・国立防災科学技術センターが協力して行うこととされているため、われわれは、たまたま西之島海底火山が活動期に入った機会に、この建議をうけて火山噴火予知研究に着手することとした。

本報告においては、当部において当面実施しようとしている研究の内容を概述し、今回は目下研究進行中であるが、特にマルチスペクトル画像による西之島火山についての解析の結果について述べることにする。

## 2. 火山噴火予知研究の概要

有史以来噴火の記録のない西之島火山が突如として1973年4月12日に活動を開始した。そしてこの火山活動の開始は西之島周辺の海面に変色水が発見されたことで確認された。その後も付近で操業する漁船から次々と変色海面発見の通報があったため、同年5月30日からわれわれは主として航空機（海上保安庁Y S—11機）による監視を開始した。西之島火山はこの噴火発生地点を始点に活発な活動を続け、次第に陸島化し、同年12月21日にこの新火山島は「西之島新島」と命名された。その後の激しい噴火活動は翌1974年3月ごろまで継続して、以後休止した模様である。西之島火山における長期の火山活動をふまえ、更に、前述の測地学審議会による火山噴火予知計画の推進に関する建議をバックに、われわれはこの西之島火山の噴火活動に対する研究計画を立案し、1974年度から5か年計画の初年度としての研究に着手することとした。

西之島火山の噴火は、水中爆発に先立って黄色の変色海面が発生したことで開始したと見られる。明神礁の1952年および1970年の活動の際も、海底火山活動に特有の現象として、付近海面が黄色ないし茶かっ色に変色する現象が発見されている。最近、小坂丈予(1975)は、これらの変色水は  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  などを主体とした非晶質の沈殿で、地下から海中に放出された火山噴出物の微細な懸濁物であると述べている。火山泉の場合についても類似の変色水が海面に分布することがあるが、これも前述のものと同じ化学組成を有する懸濁水であることが薩摩硫黄島において同氏によって確められている。更に、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  分が多くなると色も茶かっ色度を増すことは言うまでもないが、これにより「火山発散物の混入割合の増率状態」を媒介に、海底火山活動の活発度が定性的には類推できるはずである。

一方、久保寺章(1974)は、赤外線エアースコープ方式を用いて、西之島、同新島の地表面および周辺海域の表面温度を測定して、新島の周辺部に高温海域が広がっており、特に新島の北側の高温部が著しいことを指摘した。更に、その結果、この高温海域が変色水海域と必ずしも対応しないこと、および海面上のやや高温の部分は海底から熱の供給を受けたものであり、2~3か月後にはこの部分が陸地化した事実を得た。

このように海底火山については、本噴火に先立って、周辺海域の温度上昇または火山噴出物の混入による海面表層の変色が想定される。そこで、これらの噴火の前兆現象を事前に把握し、海底火山噴火予知に資するに必要な機器の整備と技術の開発に当ることとしたものである。当面、前述の二つの現象を対象として試験研究を行うこととし、温度測定方式とマルチスペクトル画像方式を並行して推進する計画である。温度測定方式とは、大気吸収の少ない2~14ミクロン帯の赤外線エネルギーを赤外線映像装置で検出することにより、航空機から噴火活動海面付近の温度分布を撮影監視し、海底火山の熱的前駆現象を把握する研究をいう。また、マルチスペクトル画像方式とは、マルチバンドカメラの適正なフィルターを選択して、肉眼では視認できない海底火山による噴出物・漂流物・浅海海底地形を映像としてとらえ、火山の本噴火に先立つ先駆的現象を画像的に把握するのに必要な調査技術の研究開発をいう。特に、マルチスペクトル画像方式については、われわれの研究の対象であるカメラ方式の外に、スキャナー方式・レーダー方式があるが、それぞれ一長一短があり、主として陸の火山に

関してはスキャナー方式による熱映像的研究が最近大学研究者によって行われるようになった〔江原幸雄ほか(1975), 加茂幸介・西 潔(1975), 硫黄島火山活動調査グループ(1976), 気象研究所地震火山研究部(1975), 北海道大学理学部ほか(1975)].

使用したマルチバンドカメラは米国 I<sup>2</sup>S 社製のMK-1である。これは焦点距離 150mm の 4 個のレンズによって、幅約 24cm の赤外航空フィルムに約 9 cm × 約 9 cm の 4 個の映像を同時に撮影できる。カメラの各レンズには 400~500nm (青バンド), 500~600nm (緑バンド), 600~700nm (赤バンド) および 700~900nm (赤外バンド) のそれぞれの波長域のバンドパスフィルターが取り付けられており、これによりそのおのおの波長域における物質(被写体)の分光反射特性に応じた黒白の濃淡画像がフィルム上に記録される。このカメラのシャッタースピードは 4 個のレンズに共通であり、各露光量はレンズ毎の絞りによって個々に調節できるようになっている。

西之島火山に対するマルチバンドカメラによる火山活動調査は、同島新島がすでに形成され、噴火活動がおさまった状態になった以後について実施された。現在なお同島は噴火活動を休止しているが、この間、1974年10月29日・翌1975年5月27日・同年8月13日および同年11月12日にほぼ同じ撮影諸元による画像を得た。同島の周辺海面に特徴のある若干の情報がそれぞれの画像に得られたので、火山活動の消長を追跡する目的で解析を試みた。

一般に、各バンドの画像についてネガフィルムとポジフィルムとを作成しておき、適宜のバンドの組み合わせを選んで画像を重ね合わせて密着写真を作ると、被写対象物のもつ分光反射特性が強調されることがある。また、対象としない画像の部分若しくはバックグラウンドをこの方法で平均化することも可能である。ネガフィルムとポジフィルムの重ね合わせは16通りあるが、その全ての組み合わせが有効であるとは限らない。それはある被写対象物の分光反射特性にはある組み合わせの適宜解があって、その有効性が少数の組み合わせに限られるであろうからである。また、ネガフィルムおよびポジフィルムの露光の程度によっても、この効果はかなり変化するものである。なお、ある対象物に対する適宜解を求める作業は今日では試行錯誤によらざるを得ないが、全く止むを得ない。

次節において、青ポジ・緑ネガ等の表現を使用しているが、これらは例えば青バンドのポジフィルムの画像と緑バンドのネガフィルムの画像とを重ね焼きした合成密着写真であることを意味している。また各写真の隅に1・2・3・4のいずれかの数字の示されたものがあるが、それはそれぞれ青バンド・緑バンド・赤バンド・赤外バンドの画像であることを示すマルチバンドカメラのインデックスである。

### 3. マルチスペクトル合成画像の解析

図1は1974年10月29日に撮影されたマルチバンド写真であって、西之島、西之島新島の南側および周辺海域が示される。画像の中央下の部分に雲が白く写っているほかに、雑音情報若しくは妨害映像はない。図2および図3は、この画像をベースに作成した緑ネガ・赤外ポジおよび青ポジ・赤外ネガの合成写真である。これらをそれぞれ画像Aおよび画像Bと呼ぶこととする。

#### 画像 A 緑ネガ・赤外ポジ (Gn+IRp)

この合成写真には雲は全く見られない。それに対して変色海面域が薄い灰色に比較的鮮明に示されている。赤外領域の光は水をほとんど透過しないため、その画像は水の情報をほとんど有していない。したがって赤外バンドの画像を他のバンドの画像に組み合わせる場合は、海面上の比較的顕著でない情報は除去され、変色海面のような情報が強調される。この合成密着写真はネガフィルム・ポジフィルムの現象の状況によっても情報内容が可

なり変化するものである。

**画像 B** 青ポジ・赤外ネガ (Bp+IRn)

画像Aと同様海面上の雲の映像は消えているが、変色海面が画像Aと比べて狭くかつ不鮮明となっている。これは主として青バンドと緑バンドとに映っている画像の違いによるものであって、画像Aに比較して効果的でない。また、変色海面が一般海面より黒く写っているが、これはネガフィルムとポジフィルムの関係が画像Aの場合と逆になっているためである。

図4は、図1と同日に撮影されたマルチバンド写真であって、同図の北側の部分に当る。画像の中央から上方に伸びている舌状のものは比較的顕著な変色水域である。このデータから画像C・D・EおよびFを作成した。これらをそれぞれ図5・6・7および8に示す。

**画像 C** 青ネガ・緑ポジ (Bn+Gp)

**画像 D** 青ポジ・緑ネガ (Bp+Gn)

画像Cと画像Dとは同じ青バンドと緑バンドの写真を用いた合成密着であって、合成の際にそれぞれネガフィルムとポジフィルムを逆にしたものである。共に変色海面をよく示しているが、両者の間には視覚的な差が認められる。画像Cは変色海面そのもの、およびその海面の細かい情報を浮き出しにしているように思われる。また、図4に示す緑バンドの写真の顕著な波紋が、画像Cにおいては映像の平滑化の効果によって消滅しており、雑音除去の一策として効果的であることと知見された。なお、画像Cおよび画像Dにおいて、画像中央部に黒色および灰色に写し出されている模様は浅所またはそこで砕ける波しぶきである（画像G参照）。これらの浅所から新島にかけて連なる潮目も画像Cにおいては同じ色調で表現されている。

**画像 E** 緑ポジ・赤ネガ (Gp+Rn)

**画像 F** 緑ポジ・赤外ネガ (Gp+IRn)

両画像とも変色水の分布が明確に示されているが、赤バンドと赤外バンドとのハレーションの差（図4参照）があたかも変色水の分布のバンドによる違いを示すかのように見える例であって、とくに画像Fにおいて変色水の舌状の延びが際だって写し出されている。このように両画像において、赤バンドと赤外バンドとの画像の差が舌状の変色水域において認められるが、更に島の周辺の変色水域において特に著しく、これは画像Eにのみ見られる。そこで変色水は舌状に分布していて、その基部すなわち写真画面中央部あたりに何らかの湧き出し口があるに違いないと推測するのは危険である。

図9は、1975年5月27日の調査の折のマルチバンド写真の一部で、図4とほとんど同じ海面のものである。同図において、バンド4が真黒で何も写っていないのは使用したフィルムが赤外フィルムではなくて、通常のパンクロ航空フィルムであったため、感度が赤外バンドに対して得られなかったからである。これをベースに図10および図11に示す同じ組み合わせの青ネガ・緑ポジの画像GおよびHを作成した。

**画像 G** 青ネガ・緑ポジ (Bn+Gp)

**画像 H** 青ネガ・緑ポジ (Bn+Gp)

画像Gと画像Hとは全く同じ組み合わせによるものであるが、使用したネガフィルムおよびポジフィルムとも低コントラストの場合に画像Hのようになる。したがって、画像Hにあっては画面の左上および左中央の雲の映像は顕著に平滑化されており、全体が一様な調子のもとなっている。変色水に関する情報は十分に温存されていて、マルチスペクトル写真の特性如何によっては利用度の高いパターンであるのかもしれない。

なお、この時期の西之島新島の変色水の分布状況についてであるが、1974年10月29日の時期と比較して顕著ではなく、新島自体に源をもつ変色水が北方に穏やかに拡散しているにすぎず、この海面における活動の恐れはないものと推断される。われわれの航空機による西之島火山に対する監視によれば、約半年間はこの海域からの変色水の拡散はなかったようである。

図12は、図9と同日に得られた西之島新島と同島旧島を含む周辺の海面についての映像であって、このデータにもとづいて図13に示す画像Iを作成した。同図においてバンド4の映像が得られていないのは図9について述べたと同じ理由によるものである。

#### 画像 I 青ネガ・緑ポジ (Bn+Gp)

この画像には西之島西側および同島と西之島新島の接続部の南側に浅所がかなり明白に示されている。この浅所は図1にも把握される。したがってかなり前から存在しているものと考えてよい。この合成写真においては、両島の周囲に分布する変色水がネガフィルムとポジフィルムによる重ね合わせで平滑化され、浅所のみが黒く浮き出るはずであったが、青バンドのネガフィルムの焼き込み不足のためか所望のものが得られなかった。一般的に変色海面と、もともと潜在する恒久地形情報を区別する手法として、原理的には可能である。

図14は同じ年の8月13日の調査の折に得られたマルチバンド写真の一部であって、この日は天気が極めて良好で撮影時刻がほぼ太陽の南中時であったため、同図には各画像とも中央部がハレーションのため白く輝き、その周辺部にも波による太陽のグリッターが顕著である。したがって、図14からは西之島新島北方の浅所も、通称月浦湾内にかつてよく見られた変色模様も確認することができない。このデータにより

#### 画像 J 青ネガ・緑ポジ (Bn+Gp)

を作成してみた。これを第15図に示す。この画像においては太陽光のグリッターがかなり取り除かれているのが特徴的で、このために西之島新島北方の浅所がわずかに視認できる。しかし、画像全体に拡がって存在する漠然とした映像は、一部は海面における火山活動に伴う一種の情報であり、一部は現像処理上に発生した写真雑音であろう。その両者の識別はこの場合極めて困難である。われわれが求める情報を強烈にマスクするサン・グリッターを除去し、その部分から所望の情報を抽出する手法として最も適切なものは「青ネガ・緑ポジ」であろう。

図16および図19は、1975年11月12日に撮影されたマルチスペクトル画像であるが、両図とも月浦湾海面を除く両島の海岸線は強風による真白な砕波で取り囲まれているばかりでなく、それ以外にも太陽によるグリッターが著しいという良質でないデータである。とくに赤外バンドについてサン・グリッターの映像が顕著である。

図16から画像KおよびL、図19から画像Mを作成し、それぞれ図17・18および20に示す。

#### 画像 K 緑ポジ・赤外ネガ (Gp+IRn)

#### 画像 L 赤ポジ・赤外ネガ (Rp+IRn)

#### 画像 M 青ポジ・赤ネガ (Bp+Rn)

画像Kと画像Lの違いは次の2点において顕著である。その第1は、新島南岸付近に拡がっている変色海面についてであって、緑バンドに現われている変色水域と赤バンドに現われている変色水域の分布がかなり異なっているということである。これは変色海面の色の分布状況を示すもので、例えば画像Lのタイプの変色水の拡散で火山活動の兆候を知るといった木目の細かい判断が必要になるものかもしれない。その第2は、月浦湾の東南岸に示される顕著な変色水である。これも赤かっ色系のものかと推察され、画像Kには検知できない。これは画像

Mにおいてとくに強調される場所である。

これまで、月浦湾は変色水の発生源の一つであったが、ほとんど緩徐な状況が続いていた。1975年11月の時点で、この地点における変色水源の発生は、その位置の検知と共に、近い将来における何らかの異変に結びつく推測すら可能そうである。

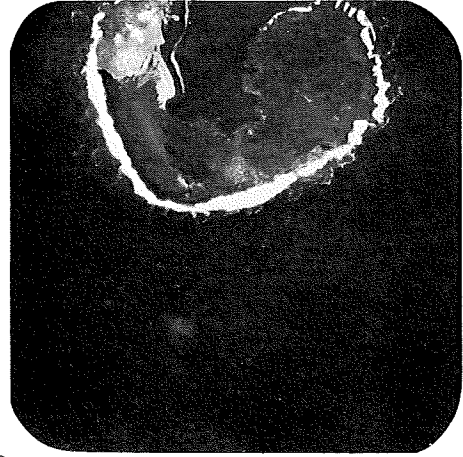
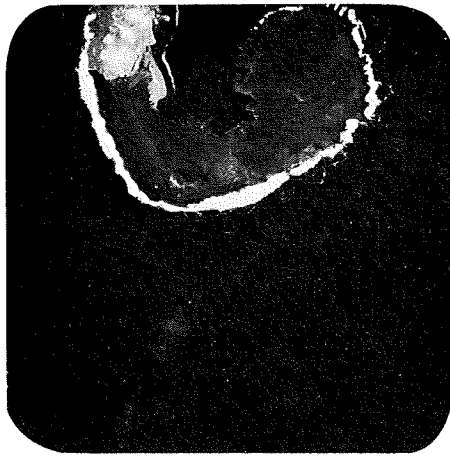
#### 4. 結 論

マルチスペクトル画像による西之島火山に対する噴火予知研究は、前述したように、西之島の噴火活動が結果的に一応休止した後に開始されたものである。直接予知につながる結果を得るようなことはなかったが、少なくとも1974年10月・1975年5月・同年8月に行った西之島火山に対するマルチスペクトル画像解析にもとづいて、西之島火山に上陸を実施して危害なしとの判断を得たのは、そのことを予知し得たとの効果を評価してよいと考える。かくして同年8月下旬、海上保安庁水路部は文部省総合研究班と共に「海中噴火による火山島の生成とその変化に関する基礎的研究」のために西之島に上陸を行ったものである(1976)。

前後4回にわたる調査飛行の際に得たマルチバンド写真から、画像Aから画像Mまでの13枚の資料を含む数多くの合成写真を作成し、これにより月浦湾内の一部、西之島旧島北西岸および西之島新島南西部沖に火山泉(これも一種の火山活動ではあるが)と推定される濁源をしばしば検出したが、それ以外には著しいものはなく、強いて注目するとすれば、前述したとおり画像LおよびMに見られる月浦湾奥の変色水が挙げられるかと思われる。

本研究報告においては、マルチスペクトル画像の解析のために、2バンドを選定して情報処理を行う場合の特性と結果について述べたものであるが、適宜3バンドを選定して解析を進めることも可能である。この場合と云えども、情報抽出における基本的関係は同じであって、この範囲においては何らの特異性はないが、この手法によった場合、2バンドでは得られなかった有効な手掛りがあるものかもしれない。このために、われわれはマルチスペクトル画像合成装置を開発し、写真処理上発生する問題をシステムティックに排除することを考えていきたい。

われわれがこの研究に従事していた2年有余の期間は、西之島火山は活動を休止しており、他の一応活動の懸念のあった若干の海底火山についても、ほとんど静穏に過ぎた。しかし、海底火山活動が熾烈を極める折、またはそのような活動の開始の直前にあっては、これらの解析研究は速断を迫られるものとなる。そこで、われわれは本研究の如き基礎的要素についてこれを進めると共に機能化を図るための数値解析法の開発研究を推進して参りたいと考えている。



IR R  
B G

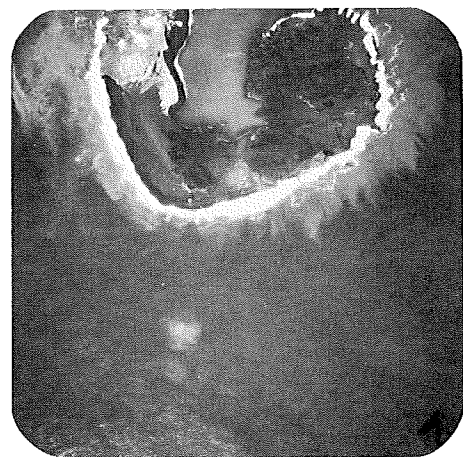


Fig. 1 Multispectrum image taken on 29 October 1974 (1)

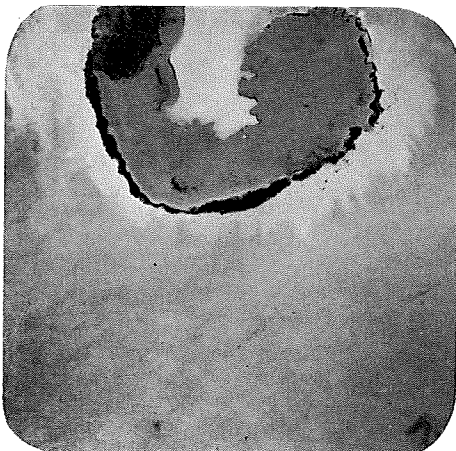
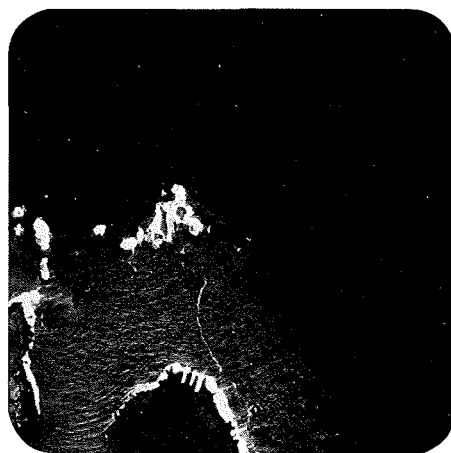
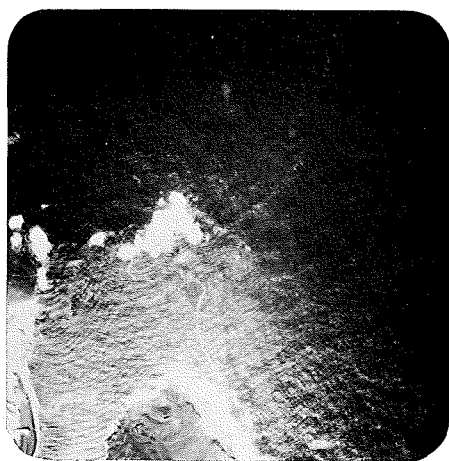


Fig. 2 Composite image A (Gn+IRp)



Fig. 3 Composite image B (Bp+IRn)



IR R  
B G

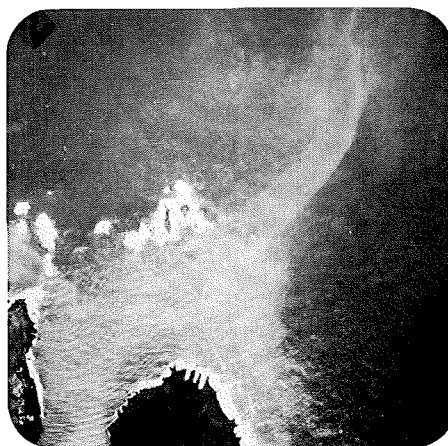
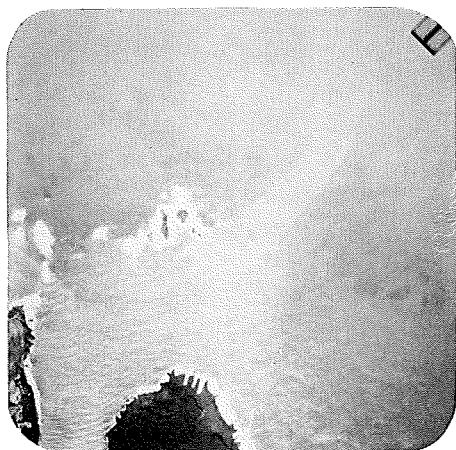


Fig. 4 Multispectrum image taken on 29 October 1974 (2)

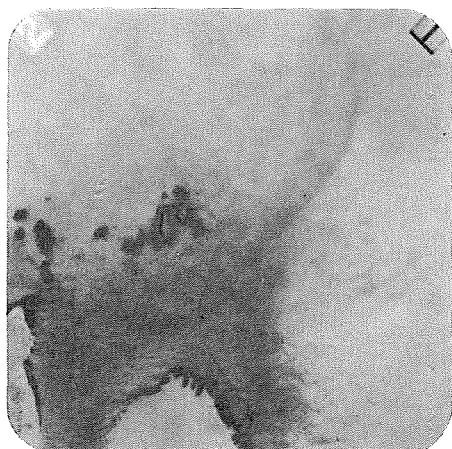


Fig. 5 Composite image C (Bn+Gp)



Fig. 6 Composite image D (Bp+Gn)



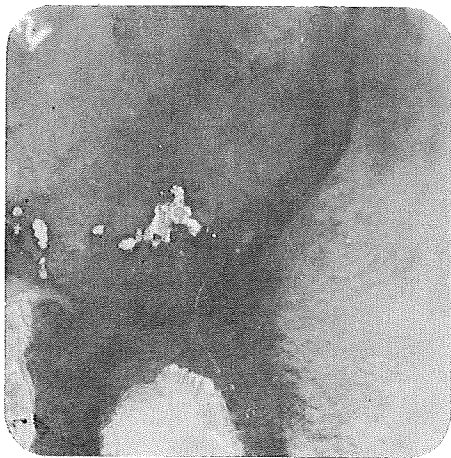


Fig. 7 Composite image E (Gp+Rn)

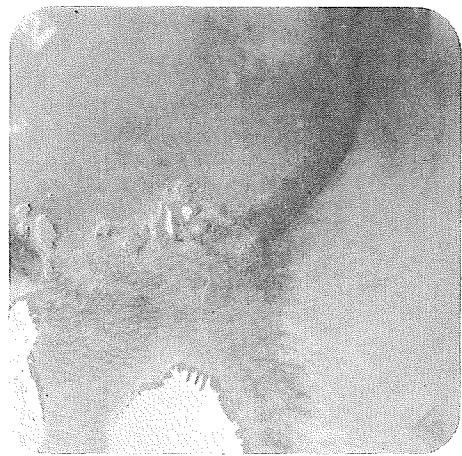
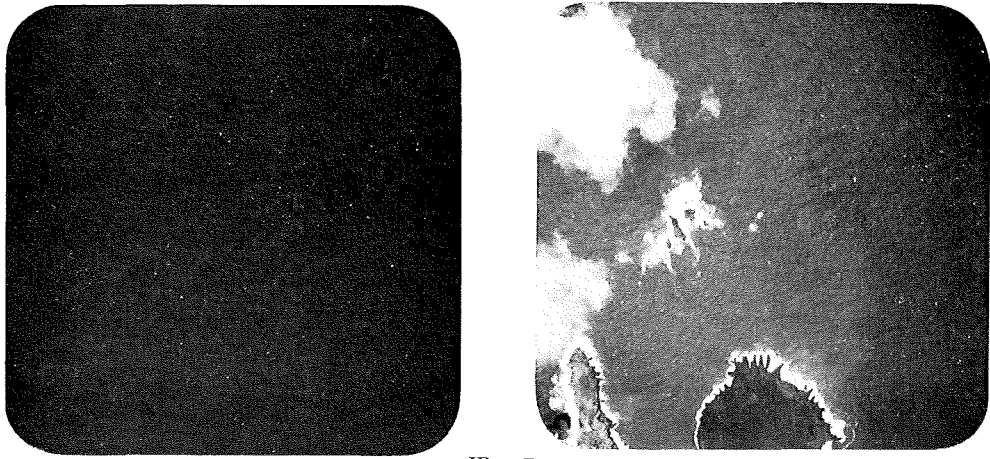


Fig. 8 Composite image F (Gp+IRn)



IR R  
B G

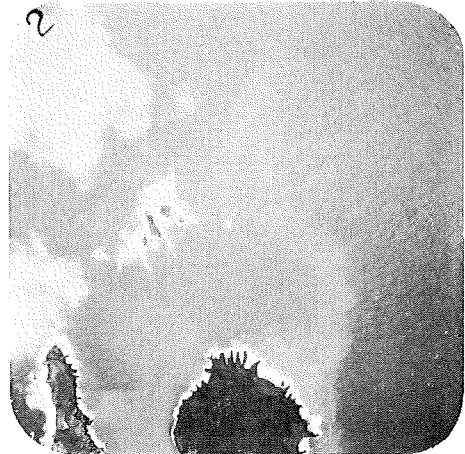
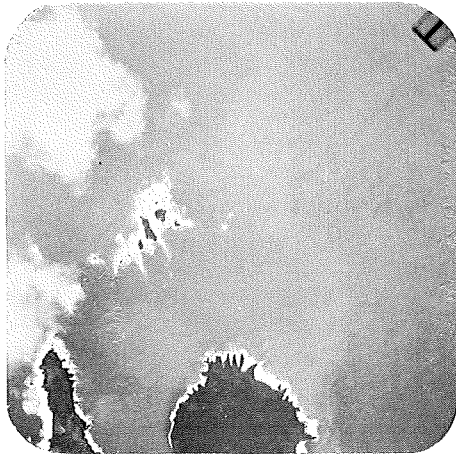


Fig. 9 Multispectrum image taken on 27 May 1975 (1)

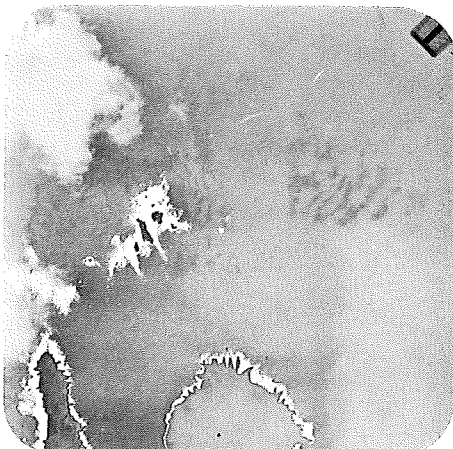


Fig. 10 Composite image G(Bn+Gp)



Fig. 11 Composite image H(Bn+Gp)

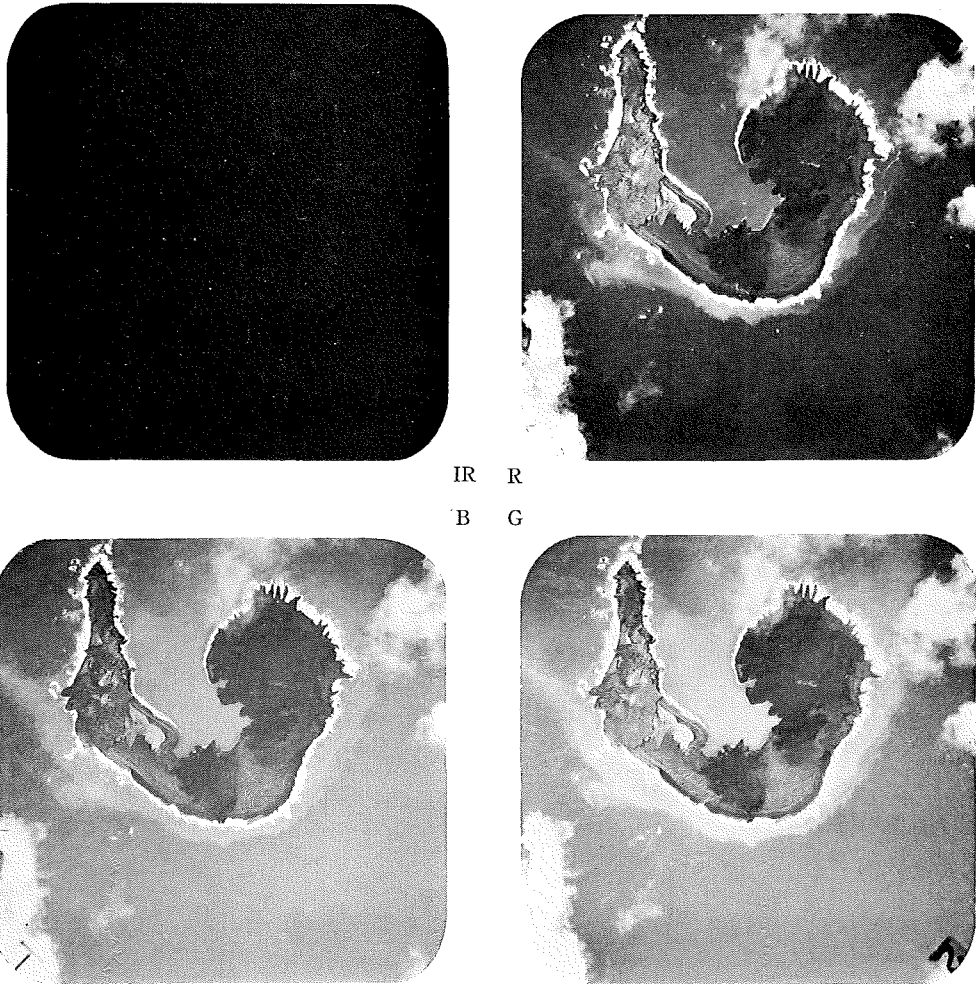


Fig. 12 Multispectrum image taken on 27 May 1975 (2)

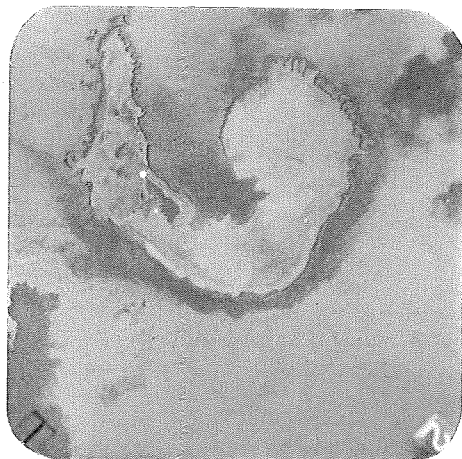


Fig. 13 Composite image I (Bn+Gp)

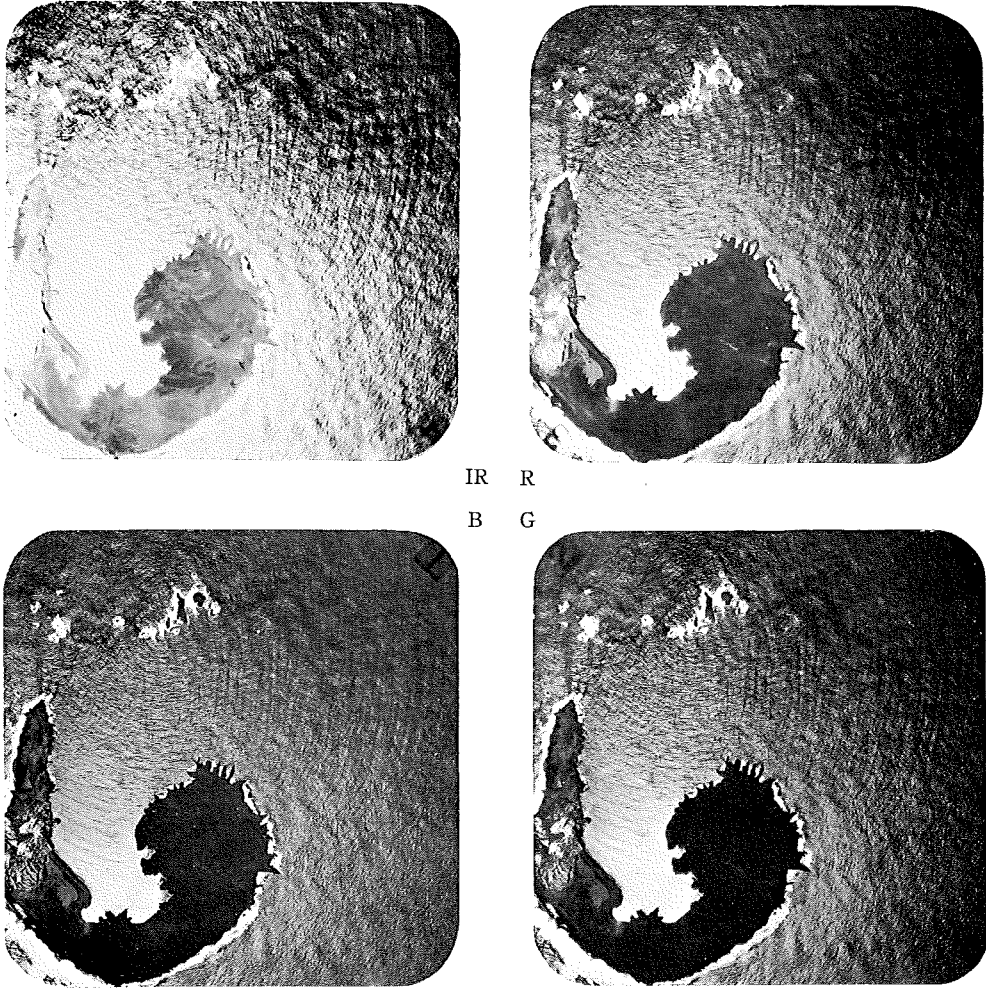


Fig. 14 Multispectrum image taken on 13 August 1975

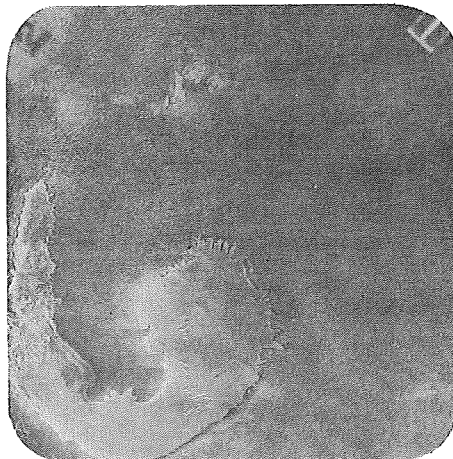
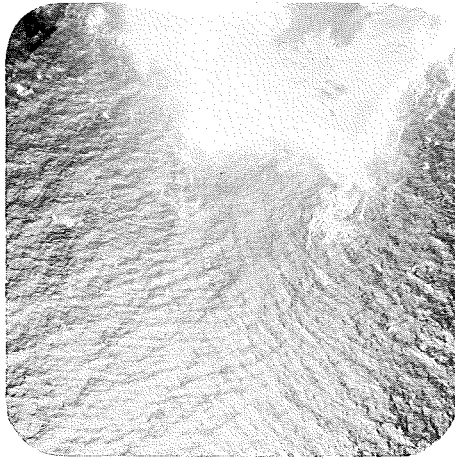


Fig. 15 Composite image J (Bn+Gp)



IR R  
B G



Fig. 16 Multispectrum image taken on 12 November 1975 (1)



Fig. 17 Composite image K (Gp+IRn)



Fig 18. Composite image L (Rp+IRn)

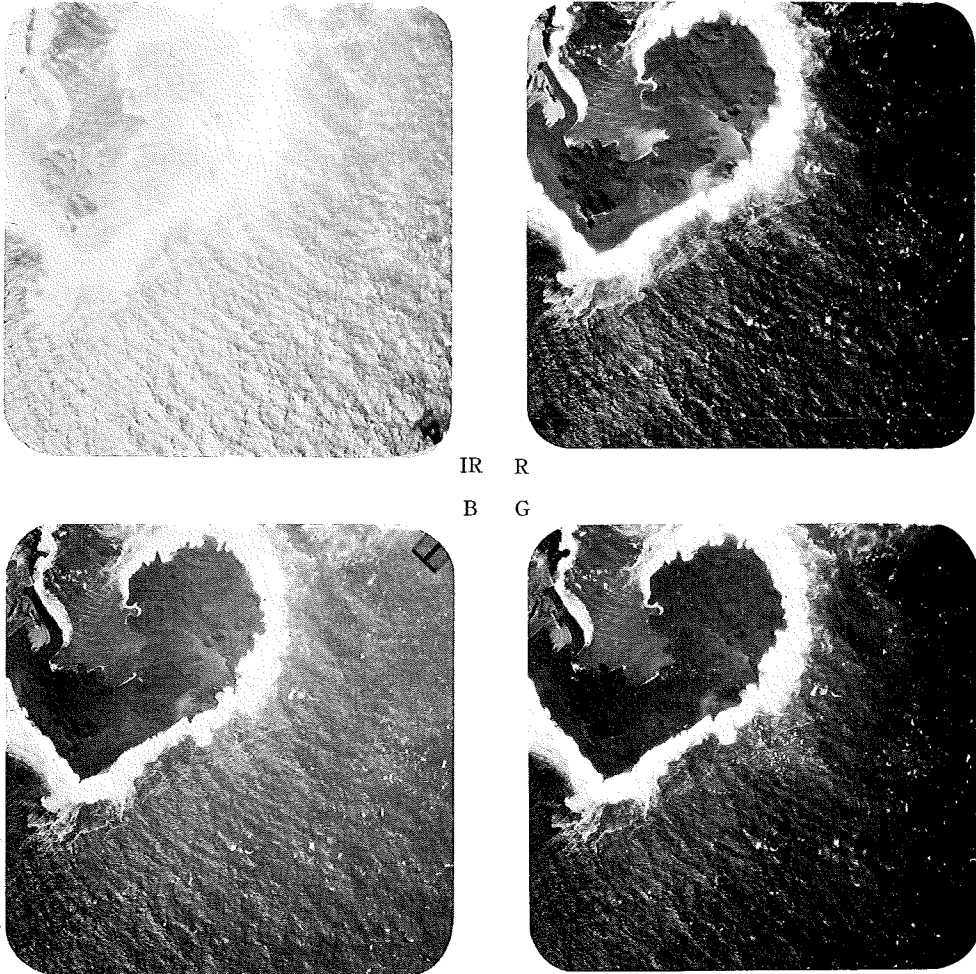


Fig. 19 Multispectrum image taken on 12 November 1975 (2)

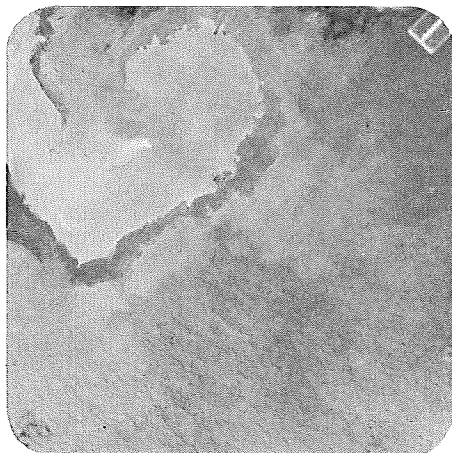


Fig. 20 Composite image M (Bp+Rn)

## 参 考 文 献

- 久保寺 章 (1974) : 西之島 赤外線エアースコープ方式による温度測定結果, 火山噴火予知連絡会々報, 第1号, pp. 35~41
- 海上保安庁水路部 (1974) : 西之島の火山活動について, 火山噴火予知連絡会々報, 第1号, pp. 42~56
- 小坂文予 (1975) : 海底火山および火山島のリモートセンシングによる観測, 「日本国土海洋総合学術診断」事業報告書第二編研究報告, pp. 173~177, ブルーシーアンドグリーンランド財団
- 江原幸雄・横山 泉・下鶴大輔・宮崎 務 (1975) : 伊豆大島三原山の熱分布, 伊豆大島三原山の集中観測—1974年6月—, pp. 8~16
- 加茂幸介・西 潔 (1975) : 赤外映像による桜島南岳の地表温度異常域の調査, 桜島火山の総合調査報告 (昭和49年12月~昭和50年3月), pp. 33~39
- 北海道大学理学部・東北大学理学部・東京大学地震研究所 (1975) : 空中赤外映像による鳥海山の観測, 火山噴火予知連絡会々報, 第2号, pp. 11~14
- 気象研究所地震火山研究部 (1975) : 赤外線熱映像による阿蘇山および桜島の火山観測, 火山噴火予知連絡会々報, 第3号, pp. 17~21
- 海上保安庁水路部・文部省総合研究班 (1976) : 西之島火山の最近の状況, 火山噴火予知連絡会々報, 第5号, pp. 10~23
- 硫黄島火山活動調査グループ (1976) : 小笠原硫黄島最近の変動について, 火山噴火予知連絡会々報, 第6号, pp. 26~41