

西之島火山に対する噴火予知研究 (第2報)

—予備的数值解析—

土出昌一*

STUDIES ON PREDICTION OF THE ERUPTION
OF NISI-NO SIMA VOLCANO -II

—PRELIMINARY DIGITAL ANALYSIS OF MULTISPECTRAL IMAGES—

Masakazu Tsuchide*

Received 1977 October 12

Abstract

As a part of the national programme on the prediction of volcanic eruption, the Hydrographic Department is conducting the investigation on the remote sensing technique to be applied to the submarine volcanoes. Among various features relating submarine volcanoes, of particular interest is the correlation between the appearance of discoloured water on sea surface and the volcanic activity beneath it. Hence, by measuring the state of discoloured water, we may predict growth or decay of the volcanic activity.

Nisi-no Sima Sinto was born in 1973 with heavy discoloured water in the immediate southeast of Nisi-no Sima (27°15'N, 139°53'E). Since the sea area around these islands can be regarded as one of the best sites for the experiment of remote sensing technique, surveillance has been made by using of the air-borne multiband camera, MK-1, manufactured by IPS Co. Ltd. and the thermal camera manufactured by Nikon Co. Ltd. The first report (Sugiura and Tsuchide, 1977) dealt with the analogue technique with imageries taken by the multiband camera. In the present paper the preliminary experiments on the digital processing is described.

Four sets of multiband (B, G, R, IR) imageries have been adopted as sample material. They were taken on 1974 October 29, 1975 August 13, 1976 August 9 and 1976 December 16 (Figs. 2a, 3a, 4a, 5a). Along the coasts of the islands, 25 points (Fig. 6) have been selected to be measured their imagery densities in four colours respectively by vidicon tube scanning. In order to correct the effect of roughness of the sea surface, measurements have been made at 49 (=7×7) spots within ±0.7 mm from each object point and averaged. The sunspot effect has been corrected through subtraction of density values of the imagery, which were taken on the open sea immediately before or after the exposure on the islands, from those on the object imagery (as is illustrated by example in Table 4). The density values thus corrected (Figs. 2b, 3b, 4b, 5b) indicate some conspicuous colour feature but are still insufficient to express the degree of

* 測量課 Surveying Division

colouring quantitatively.

Then, three kinds of digital experiment have been made by making use of the corrected density values.

(i) The frames taken on 1976 August 9 and December 16 have the overlapping of 80% with respective neighbouring frames. After the sunspot correction, density values at each object point are compared with those on the neighbouring frames. Most of the differences thus derived (Fig. 8) deviate from 0 more or less, suggesting the incompleteness of the sunspot correction.

(ii) Since the imagery on IR-band contains merely the information on physical state between the sea surface and the camera, like waves and clouds, the difference in density values between the imagery on IR-band and those on the other bands may indicate the existence of the discoloured water and its magnitude, excluding the effects due to the physical state as well as to the vignetting. However, the actual differences thus derived (Fig. 9) show larger scattering than the differences by (i) above. At least in the present case, the sunspot effect seems to be more significant than the other effects.

(iii) Procedures to derive the differences (i) and (ii) have been combined. Namely, density value differences between neighbouring frames on IR-band have been subtracted from those differences on the other bands. Differences thus obtained (Fig. 10) deviate from 0 systematically on the average.

Through further experimental investigation together with the preparation of appropriate softwares, it is intended to establish a standard procedure of digital processing for measuring the colouring of sea surface quantitatively under various conditions.

1. まえがき

昭和49年度を初年度とする火山噴火予知第1次5ヶ年計画も既に4年目に入っている。水路部は海底火山に対する調査技術の研究を行うとして本計画に参加しており、昭和49年度にはマルチバンドカメラと赤外線映像装置を導入して撮影方式と測定方式の研究に着手し、昭和50年度にはラジオメーターとカラー画像解析装置を導入して画像処理および画像解析の研究を行ない、昭和51年度には濃度計数装置を導入し昭和52年度に導入した写真合成装置と共に基礎的数値解析の研究を行った。本計画の最終年度である昭和53年度には演算処理装置の導入を予定し、これらの装置による総合的数値解析の研究をもって火山噴火予知第1次5ヶ年計画が完了する予定である。本報告は第1報(杉浦・土出, 1977)の継続としてマルチバンド画像の数値処理による調査結果の一部について述べる。

2. 観測機器および解析機器

海底火山活動が活発化すれば噴気等火山性噴出物の量が増大する。火山性噴出物のうち海水より軽くて水に溶けないもの(例えば軽石)や海水と化学反応を起こして水色を変化させるもの(例えば鉄分)は海面にあらわれるため、航空機による写真観測が可能であるが、小坂ら(1977)は海水と火山性噴出物の化学反応による海水の呈色は海底火山の活動度に応じてその色が変わると推論した。この性質を利用すれば、海水色の変化を捕えることにより海底火山の火山活動の消長が推定できることになるが、一般に使用されるネガカラー写真は撮影条件および現像条件によって発色が大幅に変化し再現性に難点があり、リバーサルタイプは色の再現性は優れているが異なった天候条件で撮影された海水の呈色比較はそのままでは不適當である。これらの難点に比べてマルチバンドカメラは写真合成の操作性に富みバンド間の濃度定量も可能であり呈色比較には多くの利点を持っている。

(1) マルチバンドカメラ

マルチバンドカメラは1960年代の後半から発展してきたカメラであって、300~900nmの近紫外から近赤外までの波長領域を、バンドパスフィルターによって数個の波長領域に分割して別々の写真画像を得ることができる。マルチバンドカメラは i) シングルレンズ・マルチフィルム方式 ii) マルチレンズ・シングルフィルム方式 iii) マルチレンズ・マルチフィルム方式に大別することができる。各方式の特徴を第1表に示す。水路部で現用しているカメラはマルチレンズ・シングルフィルム方式に属する。

マルチバンド写真の解析はアナログ方式とデジタル方式に大別される。アナログ方式はプロジェクターを使用してバンドごとのフィルムを1枚の写真に合成したり、フィルムの重ね焼きをする方法であって、物質の分光反射特性を色や濃度によって強調することにより調査の対象物を識別し易くすることができる。(西尾(1974), 江森(1976), 杉浦・土出(1977))

Table 1 Types of multiband camera.

| | single-lens multi-film | multi-lens single-film | multi-lens multi-film | ordinary camera |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|
| lens | single | multi | multi | single |
| film | multi | single | multi | single |
| shutter | single | single | multi | single |
| lens interchange instrument | possible complex | impossible simple | possible a little complex | possible simple |
| image parallax size | very small large | small small | large medium | none small |
| structure | | | | |

デジタル方式はバンドごとの写真画像を画素に分割してその濃度を数値化し、それらの値に対する数値的演算を通して画像出力を得るものであり、電子計算機の整備とソフトウェアの整備が前提となる(飯坂(1974))。アナログ方式では画像面積の大きさが画像処理に要する手数にそれ程影響を与えないが、デジタル方式では画素の一点一点を逐次処理するために1つのバンドについても数値化された画像データはぼう大であり、バンド数が増すとそれに比例してデータ量が増大する。従って通常は一枚の写真画像の中から必要な部分だけを抽出して計算機処理が行われる。

水路部に導入したマルチバンドカメラ MK-1 はアメリカの I'S 社 (International Imaging Systems) のも

のであり、仕様は以下の通りである。

名称：MK-1

シャッター：フォーカルプレーン式 1/150秒～1/350秒

レンズ：クセノタール、150mm, F2.8, 4本

画面サイズ：9インチ×9インチ内に3.5インチ×3.5インチ画面が4枚

画角：対角線で半角22.5度

フィルター：コダックラッテンフィルター

#47B (青), #57A (緑), #25 (赤), #88A (赤外)

#47B, #57A, #25には赤外ブロッキングフィルター併用

撮影枚数：300シーン/250フィート

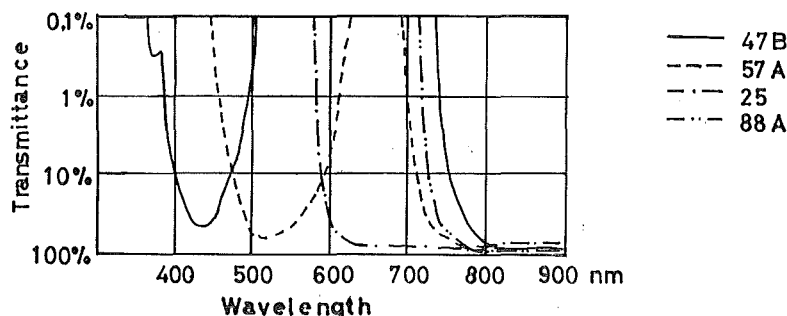


Figure 1 Filter characteristics used in MK-1 multiband camera (Kodak, 1973).

このマルチバンドカメラは4バンドであり、使用される4種のフィルターの特性は図1に示すとおりである。4つのバンドは短波長側から順に青バンド、緑バンド、赤バンド、赤外バンドと呼ばれており、これらのバンドの写真フィルム上での識別は各画面の隅に焼き込まれた1 (青), 2 (緑), 3 (赤), 4 (赤外) の数字によって行われる。フィルターはレンズ層の中間に挿入されていて、フィルターを交換した場合の焦点面の再調整は非常に面倒なため水路部ではフィルターの交換を行ったことはない。しかし対象とする物体の分光反射特性に応じて目的に合致したフィルターの選択は必要なことである。海底火山による変色水についてはこれまでの経験により緑と赤の中間領域、すなわち黄あるいは橙のバンドによる画像が有効と思われるのでフィルターの交換は今後の課題の一つである。

(2) 画像データ解析装置

マルチバンドカメラによって得られる海面情報は白黒フィルム上のアナログ量であるため、この画像を数値化して電子計算機に入力するにはアナログ・デジタル変換器が必要である。このための装置がいくつか開発されているが長尾 (1976) による代表的な機器の比較を表2に示す。

次に、電子計算機による画像処理後の出力としてはラインプリンタ、カラーブラウン管、写真フィルムがよく用いられる。それらの比較を表3に示す。

水路部において用いられている画像解析用のシステムは (導入予定のものも含めて) 次のとおりである。

Table 2 Characteristics of typical input devices

| | scanning method | scanning speed | resolution | grey level | S/N ratio | cost |
|---------------------|-----------------|----------------|--------------------------------|------------|-----------|--------|
| vidicon | sequence | high | 500×350— 250×180 points | normal | medium | low |
| image dissector | random | medium | 500×350— 250×180 points | normal | low | medium |
| flying spot scanner | random | high | 4000×1000— 1000×1000 points | superior | high | high |
| drum scanner | sequence | slow | 50-10 lines/mm | superior | high | medium |

Table 3 Characteristics of typical output devices.

| | density resolution | positioning resolution | speed | grey level | coloration | image distortion | cost |
|--------------|--------------------|------------------------|--------|------------|------------|------------------|--------|
| line printer | low | high | medium | inferior | no | inferior | low |
| monitor TV | medium | medium | high | normal | yes | medium | medium |
| film image | high | high | slow | superior | yes | superior | medium |

1 スキャナー部

ビジコン管 1 インチ
 ビームスポット 20 μ m
 偏向精度 (歪) $\pm 0.5\%$ 以下
 出力特性 濃度範囲 2 Dにおいて
 直線性 $\pm 0.02D$
 走査方式 30フィールド/秒
 525本インターレース

2 コントローラー部

サンプリング方式 垂直順次方式 63.5 μ s/点
 1 画面約17秒
 サンプル数 水平方向512 垂直方向480
 245,760点/画面
 濃度分解能 8ビット (256段階)
 精度 $\pm 1/2$ ビット
 濃度範囲 0.05D \sim 2.25D

3 電子計算機 (ミニ・コンピューター)

記憶素子 磁気コア
 語長 16ビット/語
 サイクルタイム 1 μ s
 記憶容量 24kw

4 電子計算機周辺部

紙テープ・リーダー 400字/秒
 ラインプリンター 300行/分
 磁気ディスク 9.6Mバイト (4.8Mバイト
 固定, 4.8Mバイト可変)
 磁気テープ 9トラック, 800bpi

電子計算機のためのソフトウェアは現在のところ画面の拡大, 回転, 平均値, ヒストグラム等の基本的なものを除いては画像解析を担当するものが自分で作成しなければならない。これは経験と熟練を要する技術であり, この業務を発展させていく上で力を注がねばならない課題である。現在はマルチバンド画像からバンドごとに変色水の領域を抽出したり, 抽出した領域での画像の違いを比較したりする基礎プログラムの開発段階にある。

3. 解析例

解析に用いた資料は下記の期日に撮影された4枚のマルチバンド写真である。

- 1) 1974年10月29日 図2a
- 2) 1975年8月13日 図3a

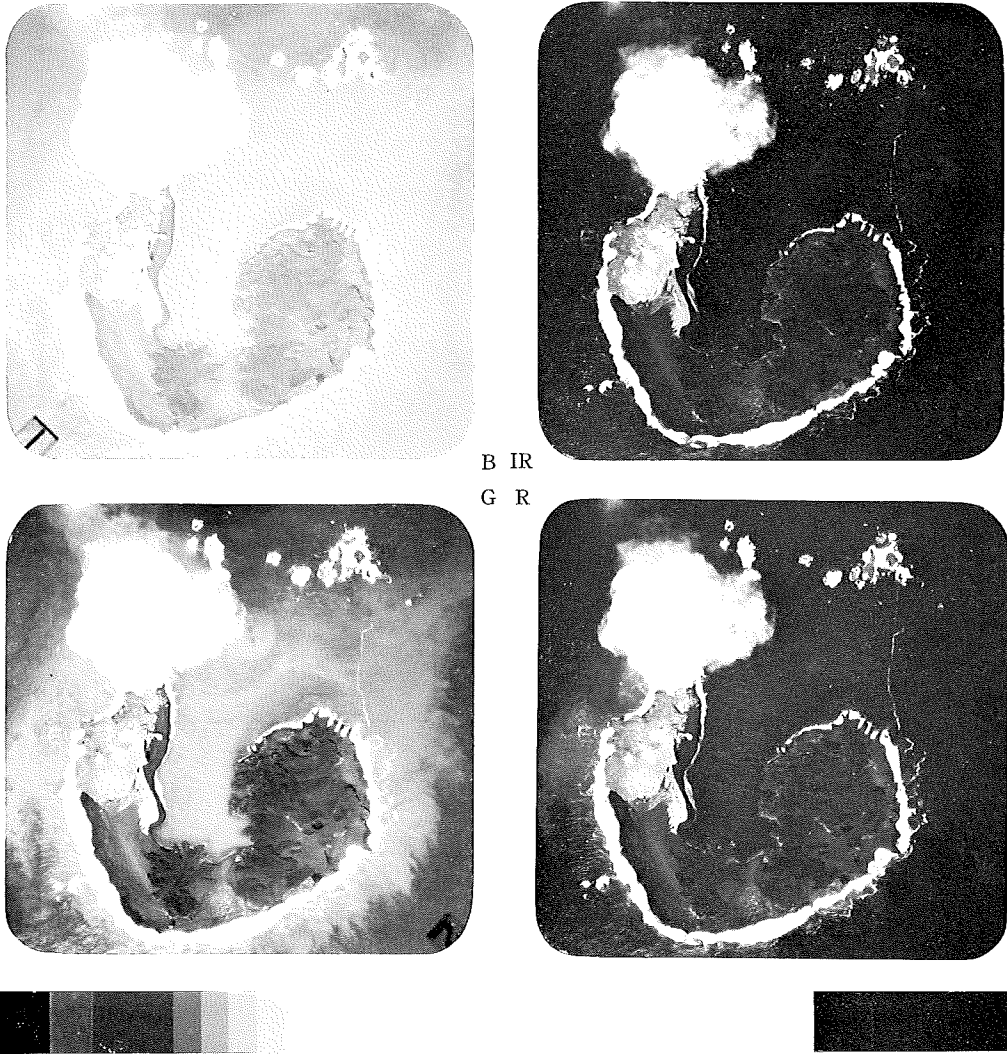


Figure 2a Multispectral image taken on 1974 October 29

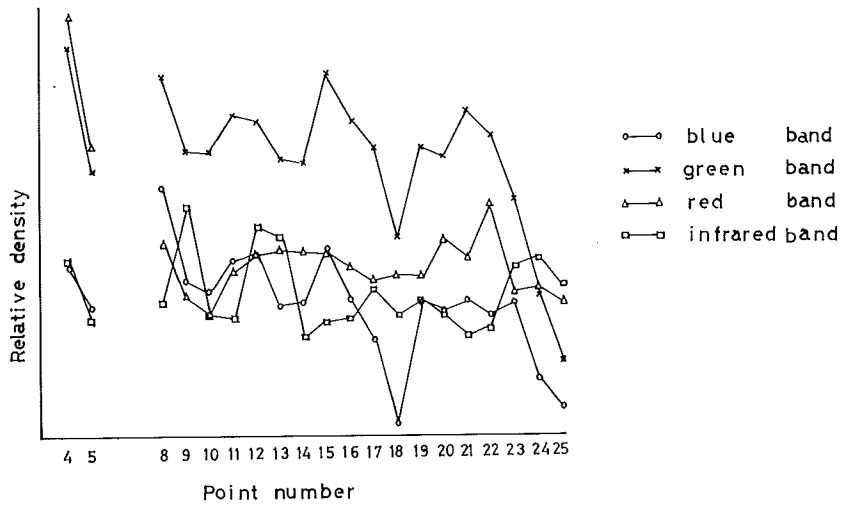
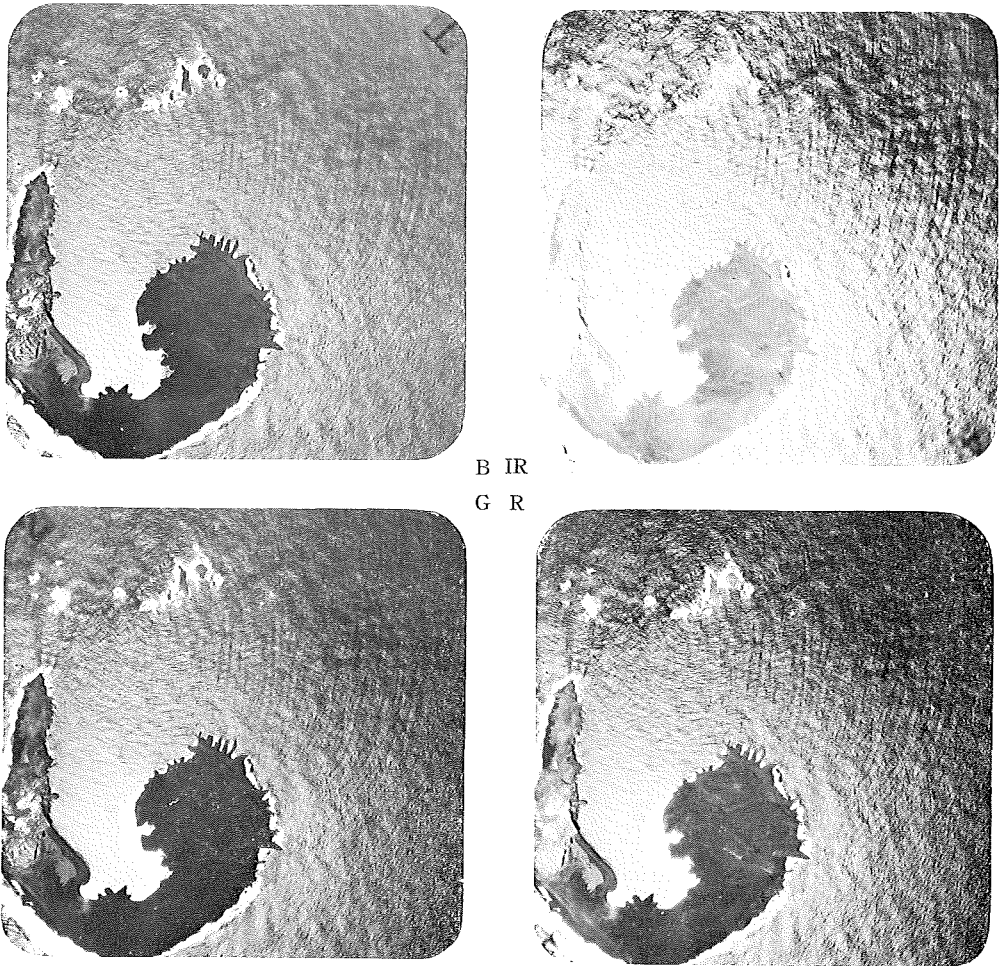


Figure 2b Density values of object points on Fig. 2a



B IR
G R



Figure 3a Multispectral image taken on 1975 August 13

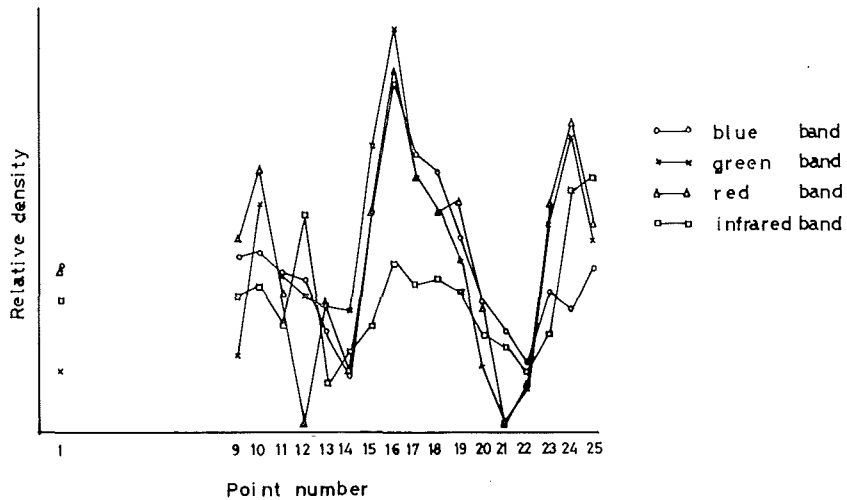


Figure 3b Density values of object points on Fig. 3a

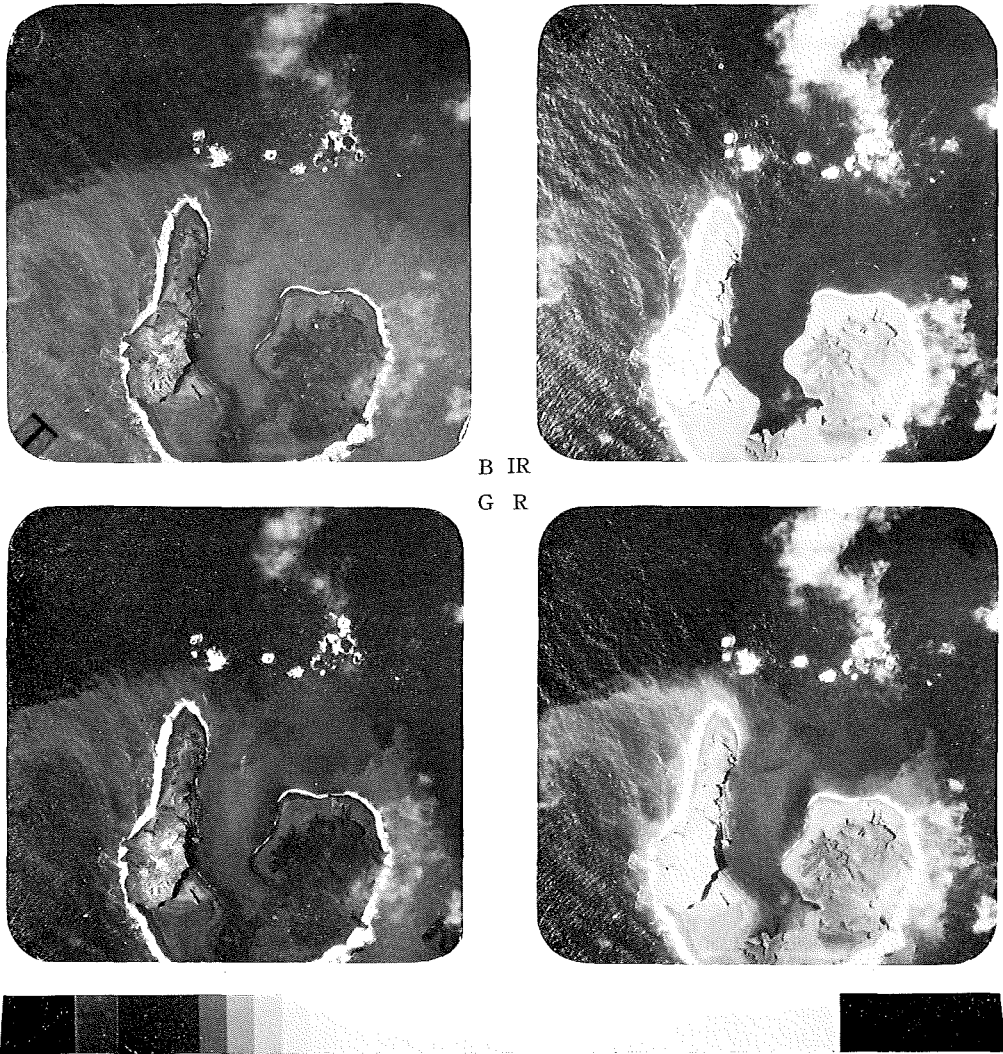


Figure 4a Multispectral image taken on 1976 August 9

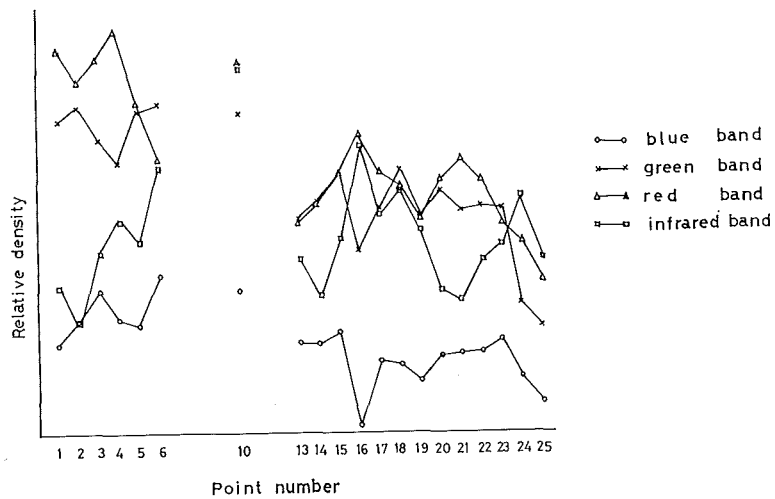
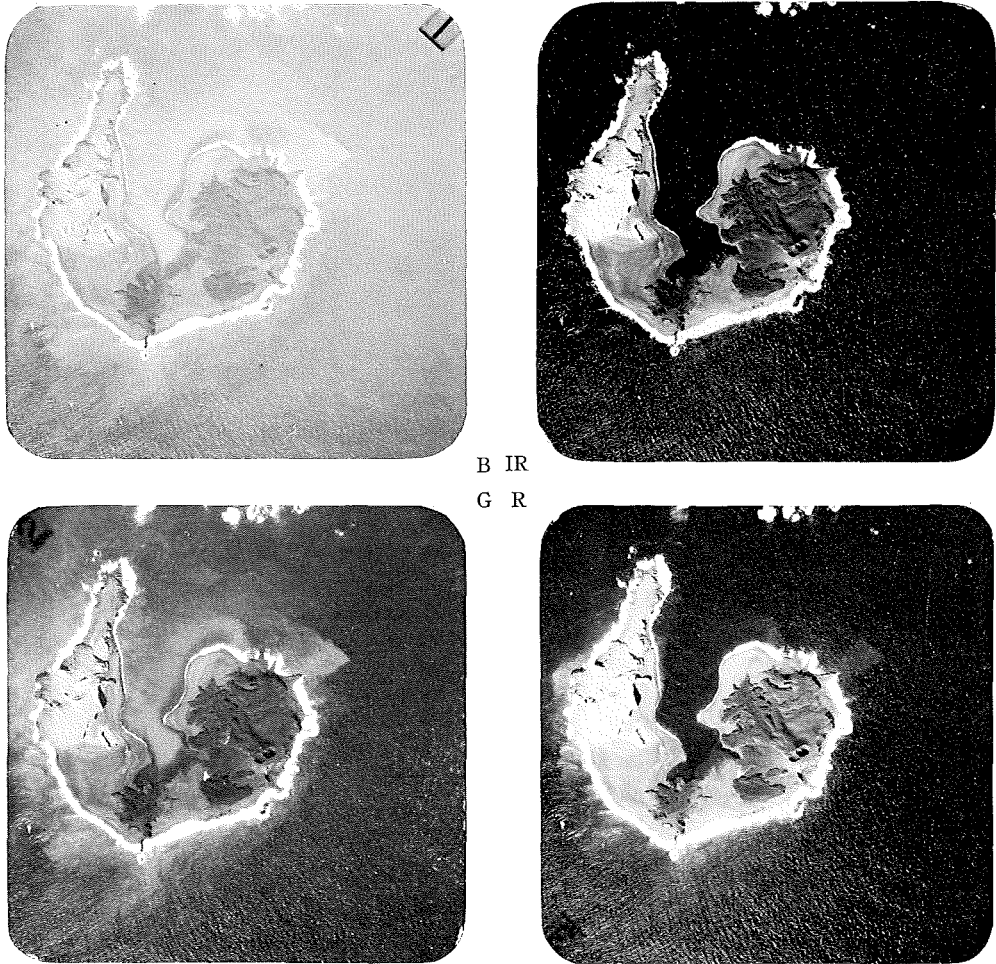


Figure 4b Density values of object points on Fig. 4a



B IR
G R

Figure 5a Multispectral image taken on 1976 December 16

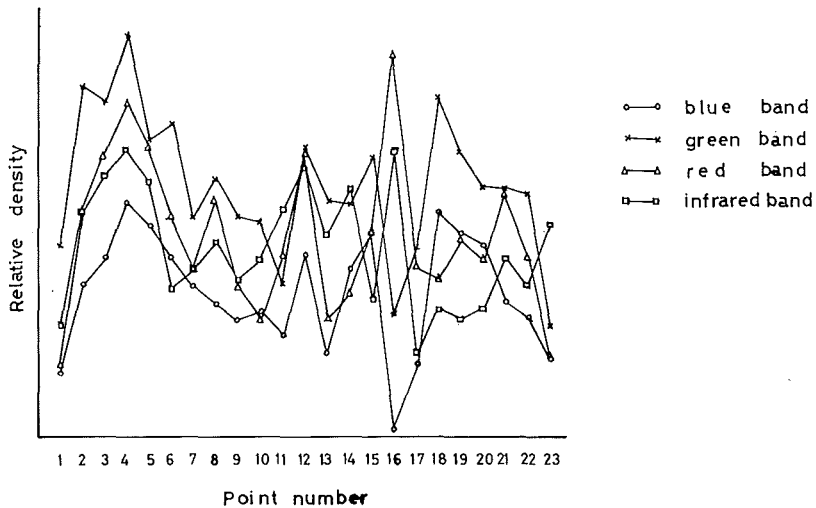
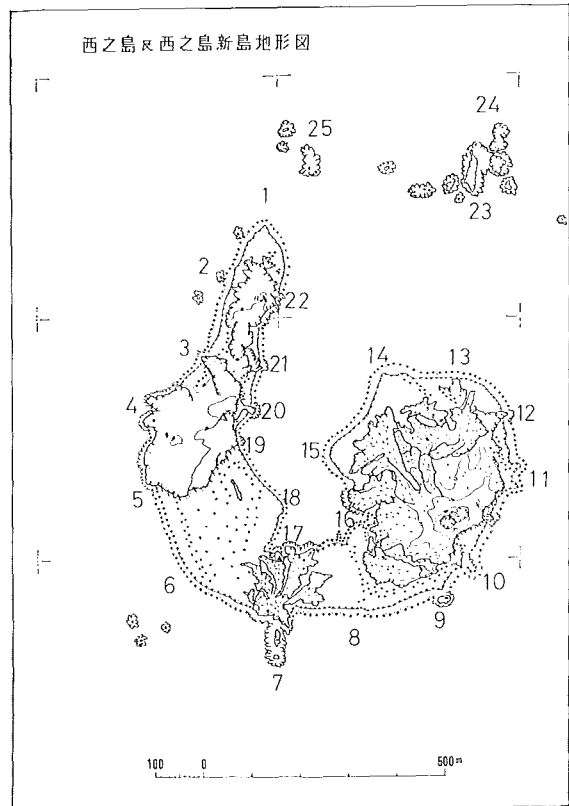


Figure 5b Density values of object points on Fig. 5a

Figure 6 Location of object points
 Nos. 1 to 5: Area of discoloured water
 Nos. 6 to 9: Area at which migrations of sand and gravel are conspicuous
 Nos. 9 to 13: Area of discoloured water
 Nos. 14 to 20: Area at which progradations of sand and gravel are conspicuous



3) 1976年8月9日 図4a

4) 1976年12月16日 図5a

各写真の下に写っているグレースケールは写真の焼き付け時に焼き込まれたものである。

フィルム画像上の測定点として西之島および西之島新島の周辺海面の25点を選んだ(図6)。点1~5は変色水の見られた場所, 点6~9は砂礫の移動の激しい場所, 点9~13は変色水が見られた場所, 点14~20は風波の影響と思われる砂礫による埋立ての進展の著しい場所である。ビジコン管の読取りスポットの大きさは図に示した画像上で約0.2mmであるが, 太陽光による波面の局所的な濃度差を平均するために縦, 横に7点ずつの合計49点の濃度を平均した値(すなわち1.4mm四方の区域内の平均値)をもって各測定点の濃度値とした。

例示した写真が示すように, 太陽光の反射が認められる画面上ではこの影響による局所的な変化が大きい。サン・スポットと呼ばれるこのような撮影は写真の画角の $\frac{1}{2}$ より太陽の天頂角が小さい場合には避けられないものであり, この限界の外にあってサン・スポットの周辺光の影響は無視できない。図7はその顕著な例である。この影響を除いて測定値の均質化を図るため次のような操作を行った。

サン・スポットの影響は, 航空機による撮影位置が数km程度隔たった二つの撮影場所では, 平均的な海面反射としては同じように現われると考えられる。従って西之島の写真と, それに隣接する海面だけの写真とを比較(減算)することによりサン・スポットの影響を相殺することができる。またこのような比較(減算)を行うことによりバンド間での露光の違い(即ち濃度の違い)をある程度平均化する効果も期待できる。図2b~図5b(図2a~図5aの下に示した)は図6に示されている各測定点の濃度値を図示したものである。測定値は指定された測定地点の濃度値から, サン・スポットの影響を除くための参照画面(図3aにあっては図7)上の対応

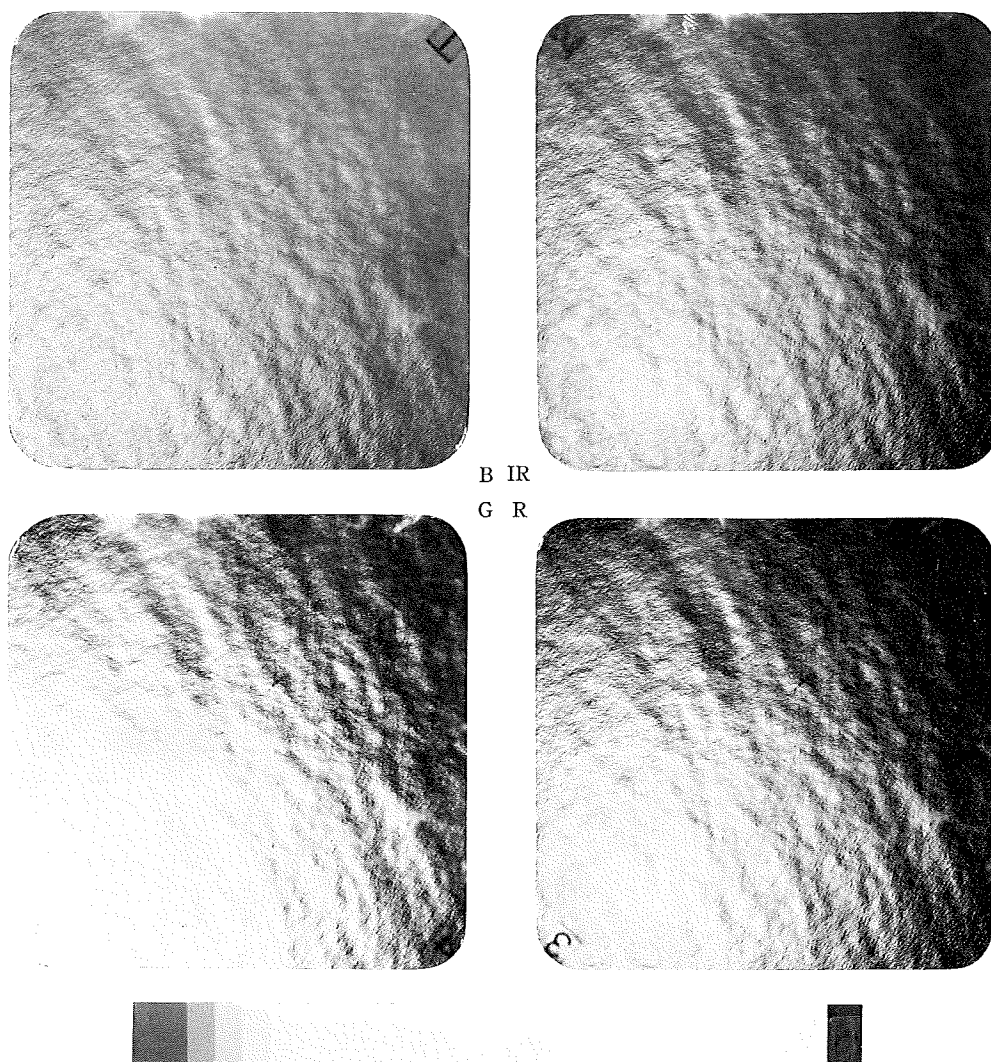


Figure 7 Sunspot on 1975 August 13, cf. Fig. 3a

地点の濃度を引き去り、更に双方の写真上のグレースケールを用いて両画面の濃度差を補正したものである。この過程の例を表4に示す。

図2bで最も顕著な事柄は緑バンドのグラフが全体的に高い値を示していることであり、これは図2aで変色水が緑バンドに強く示されていることに対応する。図2aでは青バンドも画面全体が明るい、これは変色水よりも撮影時の青バンドの露光に多く影響されたものであり、今回行った演算法により平均化されその濃度値は赤および赤外バンドと同程度になった。点18における青・緑両バンドの濃度値の減少は原因不明である。あるいは海面ではなく岸線付近の砂礫を計測したためかもしれない。

図3bでは点16と点24は値が大きく点21は値が小さいのが目立つ。点16はサン・スポットのほぼ中心点にあたるが、このサン・スポットは露光したネガフィルム上で既に濃度が飽和状態になる程強烈なものであったため今回行ったような単純な操作では対処しきれなかったものと考えられる。点24はサン・スポットの端部にあたるが図3aから明らかな通り画像はそれほど白いものではない。この付近は岩礁による波紋が見事に図3aに描かれ

Table 4 Example of data reduction

| | | BLUE | | | | | GREEN | | | | | RED | | | | | INFRARED | | | | | |
|---------------|----|----------------|----------------|------|----------------|-------|----------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|----------------|------|----------------|-------|----|
| | | G _N | G _S | A | G _D | B | G _N | G _S | A | G _D | B | G _N | G _S | A | G _D | B | G _N | G _S | A | G _D | B | i |
| Grey scale | 1 | 249.1 | 251.1 | 1.3 | -2.0 | 0.0 | 250.3 | 251.8 | 2.3 | -1.5 | -0.7 | 249.5 | 250.5 | 1.3 | -1.0 | 0.8 | 248.9 | 251.1 | 2.6 | -2.2 | -2.0 | 1 |
| | 2 | 247.7 | 249.8 | 4.6 | -2.0 | -0.7 | 248.7 | 249.5 | 3.3 | -0.8 | 0.0 | 247.4 | 249.2 | 3.3 | -1.8 | -0.7 | 248.3 | 248.5 | 2.7 | -0.2 | 1.0 | 2 |
| | 3 | 243.9 | 245.2 | 4.5 | -1.3 | 1.5 | 245.4 | 246.2 | 5.0 | -0.8 | 0.6 | 244.8 | 245.9 | 5.6 | -1.1 | -0.1 | 244.6 | 245.8 | 5.7 | -1.2 | 0.8 | 3 |
| | 4 | 237.9 | 240.7 | 9.2 | -2.8 | -1.2 | 239.8 | 241.2 | 9.2 | -1.4 | 0.4 | 239.3 | 240.3 | 9.5 | -1.0 | 0.2 | 238.1 | 240.1 | 8.9 | -2.0 | -0.8 | 4 |
| | 5 | 229.9 | 231.5 | 15.5 | -1.6 | -0.6 | 230.2 | 232.0 | 15.3 | -1.8 | -0.3 | 229.6 | 230.8 | 15.5 | -1.2 | 0.7 | 230.0 | 231.2 | 15.9 | -1.2 | -0.6 | 5 |
| | 6 | 215.0 | 216.0 | 22.0 | -1.0 | 0.9 | 215.2 | 216.7 | 22.6 | -1.5 | -0.3 | 213.5 | 215.3 | 22.0 | -1.9 | 0.5 | 214.6 | 215.3 | 22.0 | -0.6 | 0.5 | 6 |
| | 7 | 192.1 | 194.0 | 31.1 | -1.9 | 1.4 | 192.8 | 194.1 | 31.4 | -1.2 | 0.5 | 190.9 | 193.3 | 31.4 | -2.4 | 0.4 | 192.2 | 193.3 | 30.6 | -1.1 | 1.9 | 7 |
| | 8 | 159.5 | 162.9 | 32.6 | -3.3 | 4.6 | 161.0 | 162.7 | 33.0 | -1.7 | 4.2 | 159.1 | 161.9 | 37.4 | -2.8 | 0.0 | 159.7 | 162.7 | 34.6 | -3.0 | 1.5 | 8 |
| | 9 | 122.4 | 130.3 | 43.6 | -7.9 | 1.0 | 123.9 | 129.7 | 42.0 | -5.9 | 5.3 | 121.7 | 124.5 | 42.3 | -2.8 | 3.9 | 123.6 | 128.1 | 43.4 | -4.5 | 2.9 | 9 |
| | 10 | 77.7 | 86.7 | 54.4 | -8.9 | 6.7 | 76.5 | 87.7 | 47.8 | -11.2 | 11.1 | 75.5 | 82.2 | 53.2 | -6.7 | 8.7 | 77.3 | 84.7 | 53.8 | -7.4 | 6.0 | 10 |
| | 11 | 16.7 | 32.3 | 32.2 | -15.6 | -15.5 | 17.6 | 39.9 | 39.8 | -22.3 | -22.2 | 13.6 | 29.0 | 29.0 | -15.4 | -15.4 | 17.5 | 30.9 | 30.9 | -13.4 | -13.4 | 11 |
| | 12 | 0.0 | 0.1 | | -0.1 | | 0.0 | 0.1 | | -0.1 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | | 12 |
| | | T _N | T _S | C | T _D | E | T _N | T _S | C | T _D | E | T _N | T _S | C | T _D | E | T _N | T _S | C | T _D | E | i |
| Object points | 1 | 118.9 | 111.7 | -8.3 | 7.2 | 15.5 | 81.6 | 99.9 | -9.8 | -18.4 | -8.6 | 93.1 | 84.6 | -6.5 | 8.5 | 15.0 | 167.3 | 162.7 | -3.0 | 4.6 | 7.6 | 1 |
| | 2 | 123.3 | 114.6 | -8.3 | 8.7 | 17.0 | 117.2 | 128.7 | -6.0 | -11.4 | -5.4 | 150.1 | 132.1 | -2.8 | 18.0 | 20.8 | 201.3 | 194.3 | -1.1 | 6.9 | 8.0 | 9 |
| | 10 | 125.6 | 115.8 | -8.2 | 9.8 | 18.0 | 127.7 | 107.6 | -8.8 | 20.1 | 28.9 | 155.0 | 120.9 | -3.1 | 34.1 | 37.2 | 199.8 | 190.6 | -1.3 | 9.1 | 10.4 | 10 |
| | 11 | 124.2 | 119.1 | -8.2 | 5.1 | 13.3 | 117.9 | 113.5 | -8.0 | 4.4 | 12.4 | 137.6 | 131.9 | -2.8 | 5.7 | 8.5 | 189.2 | 189.1 | -1.4 | 0.1 | 1.5 | 11 |
| | 12 | 131.9 | 128.3 | -7.9 | 3.6 | 11.5 | 127.2 | 125.5 | -6.4 | 1.7 | 8.1 | 133.9 | 157.2 | -2.8 | -23.3 | -20.5 | 196.1 | 172.0 | -2.4 | 24.2 | 26.6 | 12 |
| | 13 | 130.5 | 137.0 | -6.9 | -6.5 | 0.4 | 119.2 | 120.5 | -7.1 | -1.3 | 5.8 | 131.8 | 127.7 | -2.8 | 4.1 | 6.9 | 186.3 | 198.7 | -1.0 | -12.4 | -11.4 | 13 |
| | 14 | 123.0 | 139.5 | -6.6 | -16.4 | -9.8 | 131.9 | 133.4 | -5.5 | -1.4 | 4.1 | 143.7 | 155.1 | -2.8 | -11.4 | -8.6 | 201.3 | 206.3 | -0.8 | -5.0 | -4.2 | 14 |
| | 15 | 174.0 | 151.9 | -4.8 | 22.1 | 26.9 | 190.9 | 152.1 | -3.1 | 38.8 | 41.9 | 200.4 | 176.7 | -2.6 | 23.7 | 26.3 | 223.8 | 223.2 | -0.9 | 0.5 | 1.4 | 15 |
| | 16 | 196.2 | 147.7 | -5.4 | 50.6 | 56.0 | 213.8 | 148.7 | -3.5 | 65.1 | 68.6 | 226.6 | 170.4 | -2.7 | 56.2 | 58.9 | 233.4 | 218.7 | -0.7 | 14.7 | 15.4 | 16 |
| | 17 | 181.9 | 147.4 | -5.5 | 34.6 | 40.1 | 178.4 | 147.5 | -3.7 | 30.8 | 34.5 | 204.5 | 172.3 | -2.7 | 32.2 | 34.9 | 231.3 | 221.7 | -0.8 | 9.6 | 10.4 | 17 |
| | 18 | 184.9 | 153.8 | -4.6 | 31.1 | 35.7 | 177.1 | 152.5 | -3.0 | 24.6 | 27.6 | 199.6 | 175.6 | -2.6 | 24.0 | 26.6 | 233.2 | 222.0 | -0.8 | 11.2 | 12.0 | 18 |
| | 19 | 164.6 | 148.4 | -5.3 | 16.3 | 21.6 | 158.7 | 146.4 | -3.8 | 12.3 | 16.1 | 189.9 | 163.2 | -2.8 | 26.7 | 29.5 | 227.7 | 220.4 | -0.8 | 7.3 | 8.1 | 19 |
| | 20 | 149.9 | 148.3 | -5.3 | 1.6 | 6.9 | 135.5 | 147.0 | -3.7 | -11.6 | -7.9 | 164.1 | 161.5 | -2.8 | 2.5 | 5.3 | 220.1 | 221.3 | -0.8 | -1.2 | -0.4 | 20 |
| | 21 | 139.9 | 145.8 | -5.7 | -5.9 | -0.2 | 120.9 | 145.5 | -3.9 | -24.6 | -20.7 | 135.8 | 159.8 | -2.8 | -23.9 | -21.1 | 213.4 | 217.7 | -0.7 | -4.2 | -3.5 | 21 |
| | 22 | 129.0 | 142.0 | -6.2 | -13.0 | -6.8 | 108.9 | 127.8 | -6.1 | -19.0 | -12.9 | 121.1 | 135.8 | -2.8 | -14.7 | -11.9 | 198.1 | 207.7 | -0.8 | -9.6 | -8.8 | 22 |
| | 23 | 120.5 | 120.0 | -8.1 | 0.6 | 8.7 | 108.2 | 94.8 | -10.4 | 13.4 | 23.8 | 97.0 | 75.9 | -7.7 | 21.0 | 28.7 | 156.8 | 160.3 | -3.1 | -3.5 | -0.4 | 23 |
| | 24 | 104.9 | 108.1 | -8.4 | -3.2 | 5.2 | 90.6 | 63.8 | -16.7 | 26.8 | 43.5 | 74.3 | 40.9 | -13.3 | 33.5 | 46.8 | 115.0 | 90.5 | -7.0 | 24.5 | 31.5 | 24 |
| | 25 | 101.3 | 96.3 | -8.7 | 5.0 | 13.7 | 68.4 | 64.6 | -16.5 | 3.9 | 20.4 | 50.1 | 39.7 | -13.5 | 10.5 | 24.0 | 100.8 | 74.9 | -8.5 | 25.9 | 34.4 | 25 |

G_N: density values of the grey scale on Nisi-no Sima imagery (Fig. 3a)

G_S: density values of the grey scale on the sea surface imagery (Fig. 7)

$$A(i) = G_S(i) - G_S(i+1), \quad i=1, 2, \dots, 11,$$

$$G_D = G_N - G_S,$$

$$B(i) = G_D(i) - G_D(i+1), \quad i=1, 2, \dots, 11,$$

T_N: density values of the object points on Nisi-no Sima imagery (Fig. 3a)

T_S: density values of the sea surface imagery (Fig. 7) at the corresponding locations to those of the object points on Nisi-no Sima imagery,

$$C(i) = \frac{B(j)}{A(j)} [T_S(i) - G_S(j) + G_D(j)], \quad G_S(j+1) \leq T_S(i) \leq G_S(j),$$

$$T_D = T_N - T_S,$$

E(i): corrected density values of the object points on Nisi-no Sima imagery,

$$E(i) = T_D(i) - C(i), \quad i=1, 9, \dots, 25,$$

ているが比較に用いた海面だけの画像（図7）には波紋よりもずっと周期の長いうねりが撮影されており、図3 aで点24の位置に相当する図7の位置はうねりの谷にあたり、画像が暗い場所である。このため減じる値が小さくなり（用いた濃度計数装置は最明点が255になり最暗点が0となるよう調整されている）グラフ値が大きくなったものであろう。

図4 bでは青バンドのグラフの全体的な値の低さが目立つ。図4 aの青バンドは変色水が画像のほぼ全域にわたってみられグラフ値は高くなるものと考えられるが結果は逆である。比較に用いた海面の画像が青バンドだけ特に明るいこともなくこの原因については現在なお解析中である。

点16の青・緑両バンドに見られるグラフの落ち込み、および赤・赤外両バンドに見られるグラフのはねあがり（図5 bにも見られるものであって、濃度値の計測面積が広すぎたため浅海海底（図4 aおよび図5 aにおいて青・緑両バンドでは周囲の海水より暗く、赤・赤外両バンドでは逆に明るく写っている）を含んだ領域を計測した結果によるものである。

図5 bでは前述の点16の挙動のほかに、点4の値がすべてのバンドで大きいのが目立つ。青・緑・赤の3バンドについては変色水が顕著な地点として解釈できるが、赤外バンドについては図5 aには変色水は全く認められず周囲の海水と同色である。点1～6は4バンドのグラフがほぼ同じような濃度変化の様子を示しているため、これは変色水を示すと解釈するよりも比較に用いた海面と図5 aとの濃度差の傾向（太陽光や波等の影響による）と解釈する方が自然であろう。比較に用いた海面だけの画像の4点に相当する位置には強い海面反射等の特別な濃度異常は見られず、点4がピークになった理由については現在検討中である。

以上4組の解析例からわかるとおり今回行った解析法は画像上の顕著な事象は捕えているものの、サン・スポット等の影響もかなり受けており、結果からただちに変色水の呈色比較を行うことは無理である。

そこで次に本解析法によってサン・スポットの影響の平滑化がどの程度達成されたかを確認することを試みた。すなわち連続して撮影された2枚のマルチバンド写真において図6で決定した25点の測定点の濃度値を個々に測定しその差を求めてみた。例としてサン・スポットが比較的弱い1976年8月9日および同年12月16日の写真を用いた。2枚の連続した写真のうちの1枚はそれぞれ図4 aおよび図5 aを使用し、図4 bおよび図5 bの値を濃度値とした。両日とも西之島のマルチバンド写真はオーバーラップが80%で撮影されているため連続した写真上で共通点をかなり取ることができる（8月9日で14点、12月16日で20点）。それらの共通点の濃度値の差をグラフに示したのが図8であり平滑化がうまく行われている点は0に一致する。

8月9日と12月16日の結果をくらべてみれば8月9日の方がばらつきが大きく、特に同日の赤バンドは0からの偏位が大きい。12月16日の結果は点16～18および点22の4点が0からの偏位が大きく両日とも画面全体にわたって平滑化がうまく行われたとはいえない。また偏位は少なくとも図8に関する限り、何ら系統的な傾向は示していないように見える。

場所によって画面に濃度差が生じる原因には前述したサン・スポットによるもののほかにレンズの周辺光量落ちの影響が大きい。レンズの周辺光量落ちは、一般に $\cos 4$ 乗則がよく知られているが、安田・江森（1976）によれば、水路部にあるマルチバンドカメラに使用されているレンズは絞りを5.6以下に開けた場合には、 $\cos 4$ 乗則によるものよりはるかに多くの光量落ちが認められ、絞り4の場合には画面の端の光量は中央部のその50%～60%しかない。またフィルムの露光条件、現像条件の違いや波、雲、雲の影等も無視できないものがあり、それらが総合された結果、今回行ったような単なる減算だけでは画面の場所による濃度差は処理しきれなかったものと思われる。

画面の濃度差の補正を図る別の方法に赤外バンドの画像を利用する方法がある。これは赤外バンドの波長域

Figure 8 Density differences between overlapping two frames

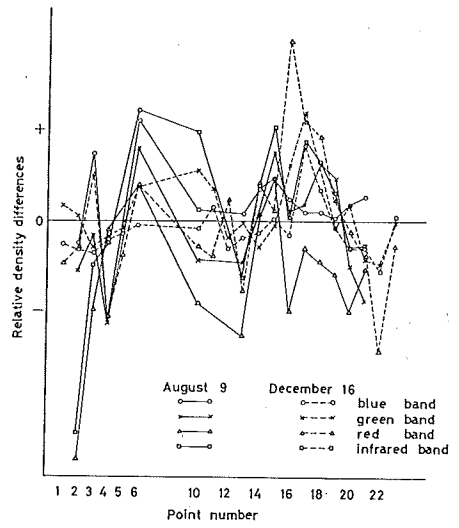


Figure 9 Density differences from IR-band

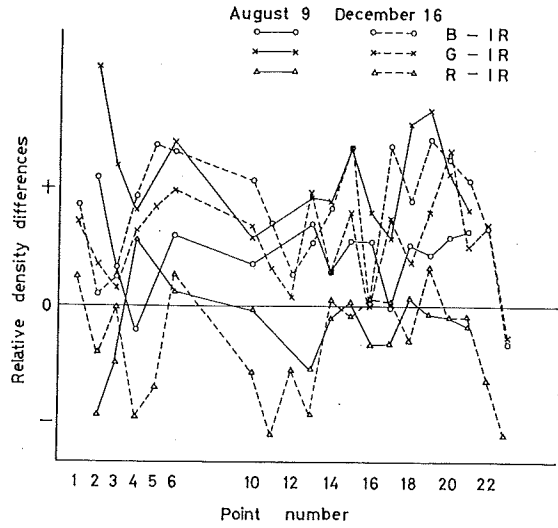
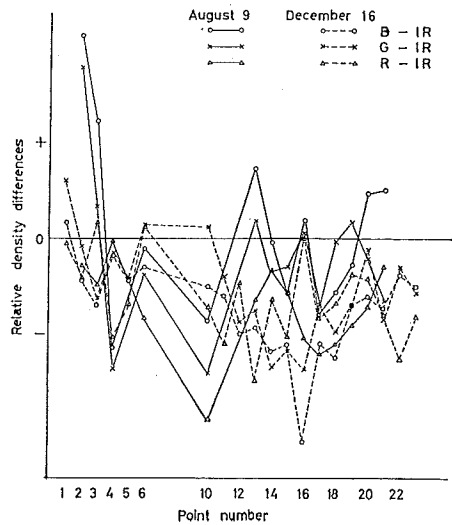


Figure 10 Density differences from IR-band between overlapping two frames



(700~900nm) では光は水をほとんど透過しないため、赤外バンドの画面は水の表面情報のみを伝えるという性質を利用するものである。すなわち、赤外バンドの画像は海水中情報たる変色水の情報をほとんど含まず、一方波、雲等の海面および海上情報は十分に含んでいると考えられるため、赤外バンドの濃度値を他バンドの対応点の濃度値から差し引くことにより、海面および海上情報は取り除かれ変色水の存在ならびにその色の程度が推定できる。

周辺光量落ちについては、赤外バンドと異なる絞りで撮影されたバンドではその程度が異なるために補正はできず、サン・スポットによる影響もバンドごとに異なっているため補正は難しい。しかし同じ画面の比較を行うため波や雲等の影響の補正については、撮影時点の異なる画像の比較を行う図8の方法よりも有効と考えられる。図8と同じ例を用いて、この方法による共通点の濃度値の差をグラフに示したものが図9であるが、値のばらつきは図8よりも大きく、少なくとも今回の例では波や雲等の影響よりもサン・スポットによる影響の方が画面の濃度に大きく関与していたものと推論される。

更に図8の方法と図9の方法を同時に行ったのが図10である。つまり西之島の画面を海面の画面によって補正し(図8の方法)得られた濃度値から赤外バンドの濃度値を差し引いたもの(図9の方法)が図10である。この場合、全体的に濃度値の差は負の傾向が強くなっているが、ばらつきは図9よりも少なく図8に近い。しかし0からの偏位は大きく画面が平滑化されたとはいえない。

マルチバンド写真のフィルム濃度は天候、海象条件やレンズの周辺光量落ち、露光条件等多くの要素により変化する。それらの補正は容易ではない。しかし撮影期日の異なった、あるいは撮影条件の異なったマルチバンド写真を比較して定量的に変色水の色の違い(フィルム濃度の違い)を議論するためにはこれらの補正法を確立することが必要である。

4. まとめ

本報告に用いた画像解析の技術は、入力側から攻める立場の写真測量関係の人達による主として分光学的な方法、解析機器側から攻める立場の電子工学関係の人達による主としてハードウェアおよびソフトウェア開発による方法、そして出力側からは種々の利用者による解析結果の専門分野への応用による方法と3者がある。それらはお互いに密接に結びついているのであるが、まだ解析手法が確立していない現在では入力側および解析機器側の人達が精力的にこの技術の開発にとり組んでいる。水路部は出力側の立場にあってそれなりの研究を行っている。

マルチバンド写真の撮影を行う場合、反射率が既知のグレースケールや時にはカラースケールを撮影の対象となっている現場に設置して、被写体として対象物と同時に撮影し、それを基準として後の解析作業を行うことが多いが、特に海底火山の撮影の場合グレースケールを現地に設置することは不可能であろう。従って撮影条件の異なる画像だけを用いて画像濃度の規格化を図らねばならないがこれは非常に厳しい条件であり、今回報告した解析法では画像濃度の規格化にはほど遠い。しかし、被写体たる西之島は最初のマルチバンド撮影がなされた1974年10月29日以来今日まで大きな変化はなく、その周囲の海水も西之島周辺のごく一部に見られる変色水を除いては変化は小さいであろう。従って海水および西之島を濃度の基準として用いることが許されるならば、今回の解析作業ならびに解析結果を踏まえて、更にはより最新の画像解析の技術および機器を用いて、海底火山の活動によって生じた変色水の数値化(標準化)を行うことは必ずしも無謀なことではないと考える。

ランドサット衛星のカメラによる地上分解能は±80mであり、西之島程度の大きさの物体あるいは変色水域ならば十分に検知できる。ランドサットによれば18日ごとに同一地点の映像が得られる。これは海底火山の監視に

はきわめて有力な武器であり、これによって海底火山の活動を巨視的に捕え、その情報に応じて航空機による詳細な観測を行うならば、人目に触れる機会の少ない海底火山の活動を非常に能率よく把握できる。水路部では、現在その準備を進めているが、航空機による変色水の量的測定技術の確立を経て、海底火山の噴火の消長の標準モデルを作成することは、その重要な基礎作業の一つである。

おわりに、この報告をまとめるに当って多くの有益な御助言を賜った水路部測量課の福島資介氏に深く感謝します。

参 考 文 献

- 飯坂譲二, 1974: “コンピューターによる画像処理”, リモートセンシング, キャノン・イメージ編集室, pp. 347-364
- 江森康文, 1976: “光学的画像処理”, 和達, 土屋, 安田, 江森, 飯坂, 長尾編 リモートセンシング, 朝倉書店, pp. 233-256
- 小坂丈予・大平洋子・平林順一・森彰, 1977: “海中で生成したシリカーアルミナ含水低結晶物質と沈殿アロフェンとの比較”, 鉱物学雑誌, 第13巻, pp. 178-186
- コダック社, 1973: コダックフィルター, 長瀬産業
- 杉浦邦朗・土出昌一, 1977: “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”, 水路部研究報告, 第12巻, pp. 35-49
- 長尾 真, 1976: “イメージプロセッシング”, 和達, 土屋, 安田, 江森, 飯坂, 長尾編 リモートセンシング, 朝倉書店, pp. 165-193
- 西尾元充, 1974: “マルチスペクトル写真の開発と応用”, リモートセンシング, キャノン・イメージ編集室, pp. 407-452
- 安田嘉純・江森康文, 1976: “リモートセンサ”, 和達, 土屋, 安田, 江森, 飯坂, 長尾編 リモートセンシング, 朝倉書店, pp. 30-83
- Reeves, R.G. ed., 1975: *Manual of Remote Sensing*, The American Society of Photogrammetry