

人工衛星画像解析による桜島火山灰の拡散

増水 紀勝*・堤 毅一**

On the Dispersion of Volcanic Ash from Mt. Sakurajima by the Method of Graphical Analysis Using Satellite Data

Toshikatsu MASUMIZU and Kiichi TSUTSUMI

Mt. Sakurajima keeps on its activity at present, affecting greatly to the people living its surroundings with its volcanic ashes.

By the method of graphical analysis using MSS data from LANDSAT, we obtained the actual patterns of volcanic ash dispersion, and analyzed its seasonal characteristics and the relation between spectral emissivity and the distance from the crater of Mt. Sakurajima.

Key words ; Graphical Analysis, LANDSAT Data, Personal Computer, Dispersion, Volcanic Ash

1. ま え が き

人工衛星により、地球表面から反射または放射する電磁波を検知し、コンピュータを用いて地球表面の情報を出力するリモートセンシング技術は、地球表面の広域を同時に、しかも反復して観測することが可能なため、農業、林業、漁業、土地利用、環境調査、防災等の各分野において、その有用性が認められ、実用化が進んでいる。さらに最近では、高性能の観測装置を搭載した LANDSAT-5 号、SPOT、MOS-1 号の打ち上げなどにより観測精度の向上が期待されている。

人工衛星の画像解析は、膨大な情報量进行处理が必要があるため、従来は大型コンピュータが用いられたが、近年パーソナルコンピュータの高性能化とグラフィック機能の向上に伴い、フロッピーディスクで供給された NOAA や LANDSAT のデータをパーソナルコンピュータを用いて画像処理を行う方法が開発され、人工衛星データの有効利用は、今後ますます盛んになるものと思われる。

筆者らは、人工衛星 LANDSAT のデータを用い、画像解析により、桜島火山灰の拡散のパターンを平面的に捉え、上層風の影響や季節的特性を明らかにする

研究を実施中^{1),6)}であるが、本研究は最近の解析例について報告するものである。

2. 桜島火山灰の拡散と人工衛星画像

桜島は、1955年以来火山活動が連続しており、噴火に伴う火山灰は、周辺的生活環境にさまざまな影響を与えている。

爆発規模により、噴煙の到達高度は異なるが、最高高度に達した火山灰は、粒度の大きいものは、重力沈降により近距離に落下し、粒度の小さいものは、上層の大気によって吹送され、複雑に拡散する。

この拡散の実態を平面的に捉えるには、人工衛星の画像を利用することが効果的である。

地上の対象物を必要ときに詳細に観測するには、航空機による調査が一般に行われるが、MSSを搭載して観測を行う場合、航空機の計測高度は、通常1000m～10000m程度であり、走査視野角77°20'、瞬間視野角2.5mradを基本とすれば、計測高度10000mの場合で、観測幅16km、地上分解能25m程度である。

桜島南岳よりの火山灰の拡散範囲は、時により、かなりの広範囲におよぶことがあり、また、航空機の観

測は、事前の飛行計画が必要であり、噴火活動の予測が難しい以上、航空機を利用して、大気中の火山灰の拡散の実態を調査するには困難がある。

一方、気象衛星 GMS (ひまわり) や NOAA のデータを用いて、噴煙の識別を行う研究も行なわれている²⁾が、高度が高く分解能が大きいため、雲の様子や海面温度分布の観測には適するが、火山灰の拡散距離や幅などを詳細に調査するには不正確である。

大気中の火山灰の拡散の実態を把握するには、観測衛星 LANDSAT のデータを用いることが適当である。

表1に人工衛星の観測波長帯と分解能を示す。

LANDSAT 1号、2号、3号は、すでに機能を停止し、現在4号、5号が稼動中である。

LANDSAT 4号、5号は、赤道を北から南に通過し、98.9分で地球を1周するが、地球が自転しているため、回帰日数は16日であり、16日間で東から西に、1-233 PATHの軌道を通過し、地球表面をくまなく観測することができる。また、1周する周期を1-248のROWに分割しているので LANDSAT データは、PATH, ROW を指定することにより、必要なシーンを標定することができる³⁾。

LANDSAT の1シーンは、横185km、縦170kmの範囲が画像表示できるので、桜島火山灰の拡散の実態を捉えるのに適切であり、拡散がさらに広い範囲におよぶ場合には、次のシーンを接続すればよい。1シーンのデータ取得時間は23.9秒である。

表1 人工衛星の観測波長帯と分解能

衛星		LANDSAT-5		NOAA	GMS	MOS-1
高度		705km		870km	35,787km	909km
走査幅		185km		2500km		100km
センサ		MSS	TM	AVHRR	VISSR	MESSR
スペクトル 波長域	BAND 1		0.45 - 0.52	0.58 - 0.68	0.55 - 0.75	0.51 - 0.59
	BAND 2		0.52 - 0.60	0.725 - 1.10	*10.5 - 12.50	0.61 - 0.69
	BAND 3		0.63 - 0.69	3.55 - 3.93		0.72 - 0.80
	BAND 4	0.495 - 0.605	0.76 - 0.90	10.3 - 11.50		0.80 - 1.10
	BAND 5	0.603 - 0.698	1.55 - 1.75	11.50' - 12.50		
	BAND 6	*0.701 - 0.813	10.40 - 12.50			
		BAND 7	0.808 - 1.023	2.08 - 2.35		
地上分解能		80m *120m	30m	1100m	1.25km *5.0 km	55m



図1 NOAA AVHRR 画像 (1984.10.22)

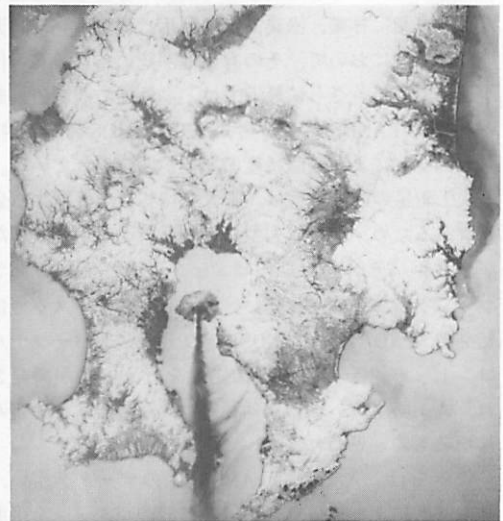


図2 LANDSAT TM 画像 (BAND 1)

火山灰を LANDSAT 画像により識別するには、MSS では BAND 4 または BAND 5 のデータを用いることが効果的であり⁴⁾、TM では BAND 1 のデータを用いることが効果的である。

なお、1987年11月より、MOS-1号のデータが利用可能となっている。

図1は、1984年10月22日の NOAA の AVHRR 画像、図2は、同日の LANDSAT の TM 画像 (BAND 1)



図3 LANDSAT MSS 画像 (BAND 4)

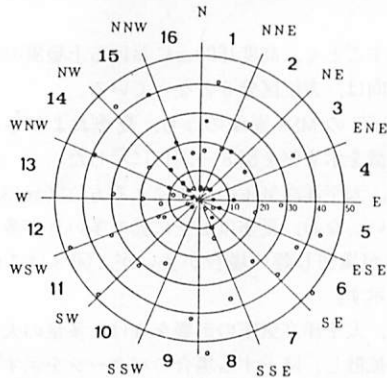


図4 方位区分 (南岳より風下方向)

の白黒反転画像を示す。図3は同日の LANDSAT の MSS 画像 (BAND 4) を示し、PATH 112-ROW 038 と PATH 112-ROW 039 のシーンとを接続した画像である。

3. 桜島火山灰の拡散と上層風

桜島火山灰の拡散は、高度1000m~2000mの上層風に大きく支配されることは、地上降灰量の観測結果か

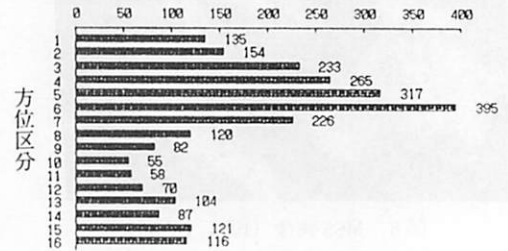


図5 上空1500m風向頻度 (1980年-1986年)

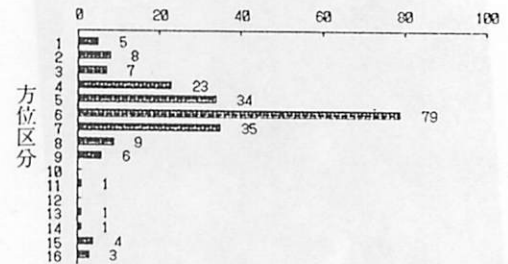


図6 上空1500m風向頻度 (1980年-1986年 1月)

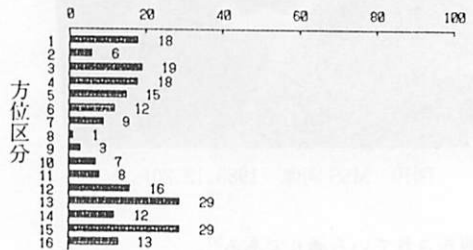


図7 上空1500m風向頻度 (1980年-1986年 8月)

表2 上空1500mの風下風向頻度 (1980年-1986年)

方位区分	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計	頻度 (%)
1	5	7	11	18	17	8	3	18	17	13	5	13	135	5.3
2	8	13	13	9	15	10	15	6	23	16	23	3	154	6.1
3	7	16	18	13	16	26	48	19	22	17	19	12	233	9.2
4	23	12	25	18	17	31	43	18	26	13	21	18	265	10.4
5	34	38	20	17	20	19	28	15	26	22	32	46	317	12.5
6	79	60	28	23	22	12	20	12	16	21	33	69	395	15.5
7	35	29	30	19	15	5	4	9	11	25	20	24	226	8.9
8	9	8	20	15	7	9	4	1	7	18	15	7	120	4.7
9	6	3	5	11	9	6	4	3	7	12	9	7	82	3.2
10	0	0	5	5	5	7	8	3	6	7	4	3	55	2.2
11	1	1	3	5	8	10	5	8	3	10	4	0	58	2.3
12	0	1	4	4	9	14	8	16	6	3	4	1	70	2.8
13	1	1	4	6	14	23	10	29	5	8	1	2	104	4.1
14	1	5	10	15	6	10	9	12	6	8	2	3	87	3.4
15	4	1	6	15	13	11	12	29	13	10	6	1	121	4.8
16	3	3	12	15	17	5	8	13	15	11	9	5	116	4.6
計	216	198	214	208	212	207	224	215	209	214	207	214	2538	100.0



図8 MSS画像(1984.7.2)



図9 MSS画像(1985.7.29)

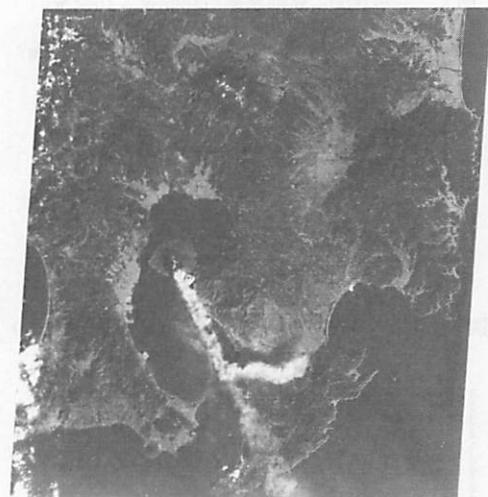


図10 MSS画像(1985.12.20)



図11 MSS画像(1986.1.21)

らも報告されている通りである⁵⁾。

図4は、南岳を中心として、方位を北から1～16に等分割した方位区分を示す。鹿児島県では、県下58の観測点で降灰量を測定中であるが、図中にその観測点の位置を示した。

表2は、鹿児島地方気象台高層課のゾンデ観測値より、1980年～1986年の7年間の高度1500mにおける風下風向を、図4の方位区分に従って、月毎の度数で示したものである。

図5、図6、図7にそれぞれ年間の度数分布および1月、8月の度数分布を示した。

図に示すごとく、高度1500mにおける上層風の年間の最多方向は、方位区分6となっている。

LANDSATのMSS画像のうち、夏季および冬季の拡散の特徴を示す例を図8～図11に示した。

夏季は、太平洋高気圧の影響による方位区分13、15の風が多い。なお、夏季は上空に雲の多い日が多く、噴煙と雲が識別し難い場合が多いが、図8はこのパターンを示す。

図9は、太平洋高気圧の影響をうけ、多量の火山灰が扇状に拡散し、降下する場合のパターンを示すもので、当日の鹿児島市の降灰量は、過去最高値を記録し



図12 MSS 画像 (1984.12.17)



図13 MSS 画像 (1985.11.26)

ている。

図10は、季節風によって吹送される火山灰の一部が地形の影響を受け、高隈山の南側山腹で方向を変えて、拡散する様相を示したものである。

図11は、図10と同一方向に吹送される火山灰の一部が、北側山腹で方向を変えて、拡散する様相を示し、両者は冬季によく見られるパターンである。

冬季は、方位区分6の季節風が卓越している。

図12、図13に、上層風の影響により拡散の様相が時間的に大きく変化し、また落下する高度により変化する2例を示した。いずれも、PATH 112-ROW 038とPATH 112-ROW 039のシーンを接続して作成したMSS白黒濃淡画像である。

4. LANDSAT データの画像解析

LANDSAT データの画像解析は、画像中の各々の画素が、いかなるクラスに属するかを、分光輝度の特徴にもとづいて分類することが重要であり、分類された各クラスに適当な色を配色して、グラフィック表示する手法が用いられる。

前記の図12、図13のシーンより、512ピクセル×400ライン（約29km×23km）の範囲の解析する領域を切り出したフロッピーディスクのデータを用い、パーソ

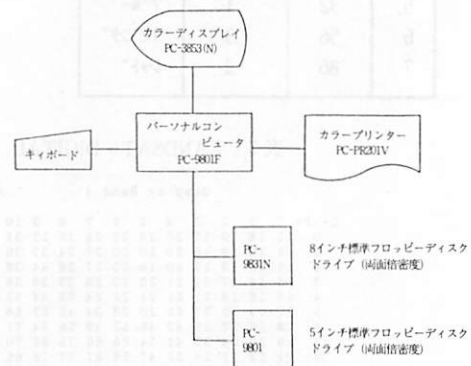


図14 パーソナルコンピュータシステム

表3 <<Channel Header CH4>>

サウスイェンカッパ	17DEC84
プロット - ビクセル x ライン	512 x 400
CCT ビクセル センター (x/y)	926 (x1)
CCT ライン センター (x/y)	1826 (x1)
データ フォーマット	BSQ
コメント	RESTEC FLOPPY DISK

表4 <<Channel Header CH7>>

サウスイェンカッパ	26NOV85
プロット - ビクセル x ライン	512 x 400
CCT ビクセル センター (x/y)	1051 (x1)
CCT ライン センター (x/y)	1851 (x1)
データ フォーマット	BSQ
コメント	RESTEC FLOPPY DISK

ナルコンピュータ PC-9801システムにより画像解析を行ない、火口付近において拡散する火山灰の分光輝度を画像化した。

図14に、使用したパーソナルコンピュータシステムを示し、表3、表4にフロッピーディスクのチャンネルヘッダーを示した。

図15、図16は、1984年12月17日と1985年11月26日のそれぞれのナチュラルカラー画像、シュードカラー画像、BAND 4 と BAND 7 のカラー合成画像を示す。

ナチュラルカラー画像は、LANDSAT データのうち、BAND 4、BAND 5、BAND 7 の7ビットのデジタル値の最小と最大のレベル間を5等分し、BAND 4に

ブルー、BAND 5にレッド、BAND 7にグリーンを配色した合成画像である。

シュードカラー画像は、BAND 4 のデジタルデータにもとづき、表5に示すスレッショルドを施して画像表示したものである。

BAND 4 と BAND 7 の合成画像は、上記の BAND 4 のシュードカラーと BAND 7 の等分割シュードカラーを合成したものである。

表7には、1984年12月17日および1985年11月26日の桜島火口付近のデジタルデータのディスプレイを示し、表6にそのスケールキャラクタを示した。

表5 シュードカラー・スレッショルド

値*	CH 4	カチコード*	カラー
0	13	0	ブラック
1	15	4	グリーン
2	18	7	ホワイト
3	23	5	シアン
4	27	6	イエロー
5	32	1	ブルー
6	56	3	マゼンダ*
7	86	2	レッド*

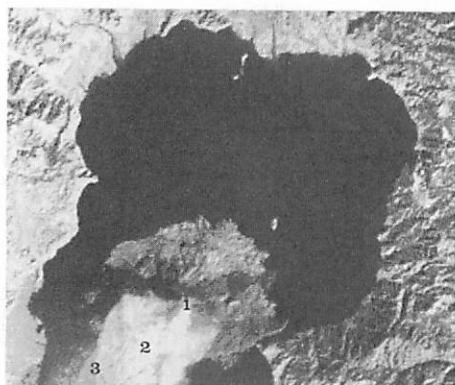
表6 Scale Character

Scale	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	levels
Scale	0.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	0 - 7
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	8 - 15
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	16 - 23
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	24 - 31
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	32 - 39
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	40 - 47
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	48 - 55
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	56 - 63
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	64 - 71
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	72 - 79
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	80 - 87
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	88 - 95
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	96 - 103
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	104 - 111
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	112 - 119
	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	120 - 127

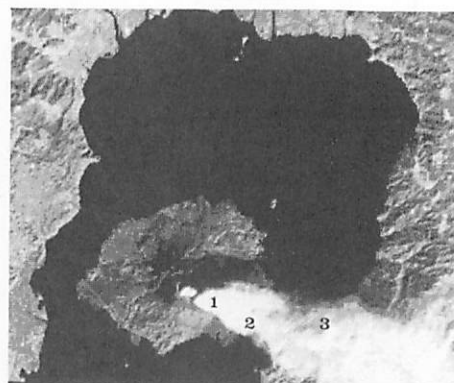
表7 LANDSAT DIGITAL DATA DISPLAY

Display Band 4																	AREA X: 184 - 199 Y: 310 - 325 (1984. 12. 17)																
L\P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Character map / Scale																
0	15	18	19	17	20	24	23	25	25	27	31	30	28	26	23	19	/																
1	15	18	19	18	20	20	20	27	34	37	36	30	26	26	24	19	/																
2	15	17	18	19	20	18	20	27	38	44	38	29	25	23	21	17	/																
3	15	14	17	21	21	20	20	25	33	39	38	28	23	21	17	15	/																
4	15	16	18	21	21	21	21	24	35	49	52	35	24	20	16	15	/																
5	17	19	22	27	29	30	33	34	45	57	68	44	28	21	19	17	/																
6	18	19	27	39	43	46	52	49	56	74	71	46	31	22	21	18	/																
7	19	20	24	33	41	54	65	66	75	82	70	57	38	21	22	20	/																
8	21	22	21	24	32	47	58	67	77	76	66	69	48	22	20	20	/																
9	25	24	24	26	32	37	42	51	56	61	66	70	55	24	19	17	/																
10	27	28	29	35	37	42	54	55	55	67	76	71	47	25	23	20	/																
11	26	32	35	46	51	58	71	65	69	81	78	57	30	24	26	26	/																
12	26	33	37	51	61	66	66	65	77	81	66	39	23	23	25	27	/																
13	28	30	33	45	56	63	72	78	84	75	47	25	21	20	24	24	/																
14	37	31	39	46	51	59	73	86	85	67	38	26	23	20	21	21	/																
15	48	39	52	57	57	62	68	80	82	65	46	37	26	22	20	19	/																

Display Band 4																	AREA X: 283 - 298 Y: 325 - 340 (1985. 11. 26)																
L\P	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Character map / Scale																
0	52	48	41	44	48	45	43	39	36	36	40	42	40	39	39	39	/																
1	54	50	45	46	45	44	42	39	40	40	42	43	43	42	40	38	/																
2	54	49	46	46	43	42	41	41	43	43	45	45	44	42	40	37	/																
3	53	47	44	44	43	40	40	40	42	42	43	44	43	41	39	37	/																
4	50	47	45	43	42	40	39	40	40	40	40	41	42	41	38	36	/																
5	50	48	45	42	41	40	40	39	39	39	39	41	43	42	41	40	/																
6	53	49	45	41	40	41	42	40	39	38	39	42	44	43	44	41	/																
7	53	49	45	41	39	42	42	40	39	36	38	42	44	44	43	39	/																
8	54	51	47	43	42	42	41	40	40	39	40	43	44	43	41	40	/																
9	56	53	49	47	46	42	40	41	41	41	42	44	43	42	40	41	/																
10	59	54	50	49	46	43	41	42	42	41	40	42	42	40	40	40	/																
11	57	53	52	52	49	44	41	42	42	42	40	39	38	38	40	41	/																
12	55	52	52	52	49	45	42	42	42	42	39	37	36	35	37	39	/																
13	54	52	50	50	47	43	44	42	42	42	41	39	37	37	34	34	/																
14	55	53	53	51	46	43	44	43	43	42	41	37	38	35	34	36	/																
15	56	53	53	50	42	42	42	42	41	40	40	37	36	34	34	36	/																



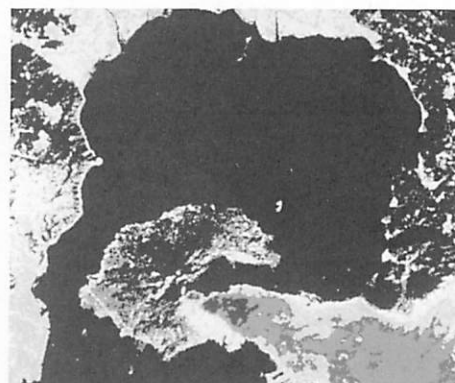
(1)ナチュラルカラー画像



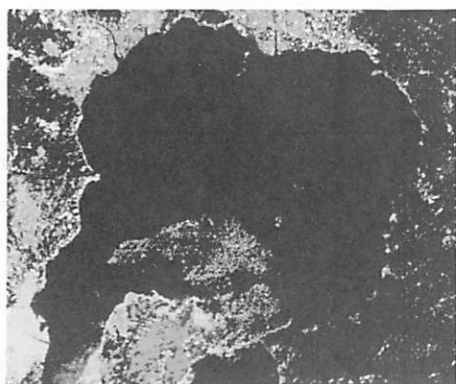
(1)ナチュラルカラー画像



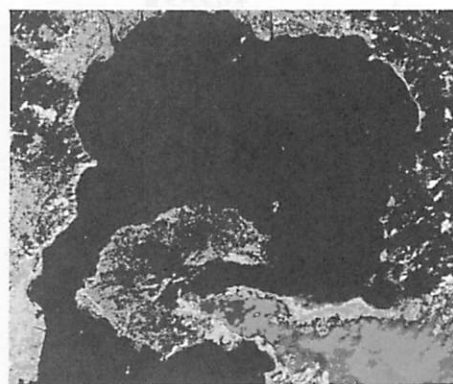
(2)シュードカラー画像 (BAND 4)



(2)シュードカラー画像 (BAND 4)



(3)カラー合成画像 [BAND (4 + 7)]



(3)カラー合成画像 [BAND (4 + 7)]

図15 LANDSAT MSS 画像 (1984.12.17. L 5)

図16 LANDSAT MSS 画像 (1985.11.26. L 5)

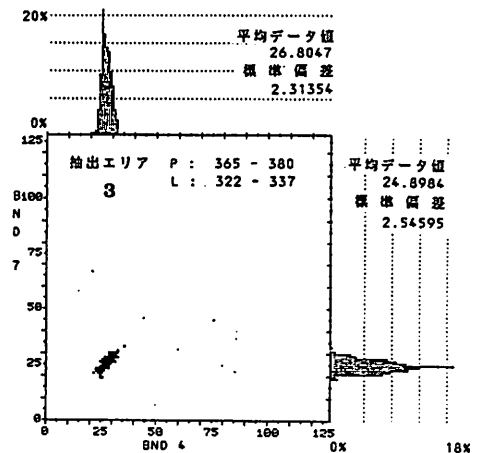
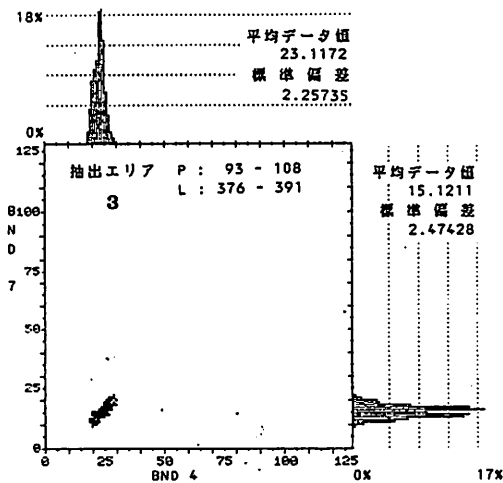
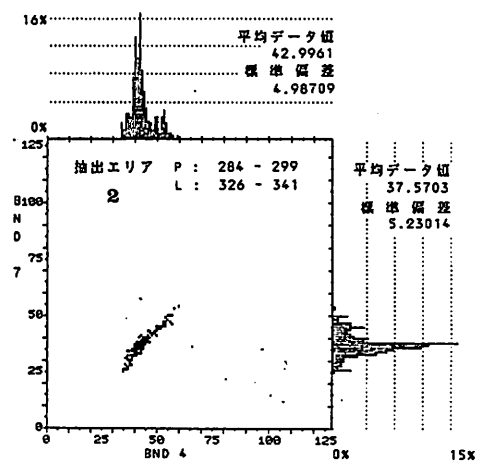
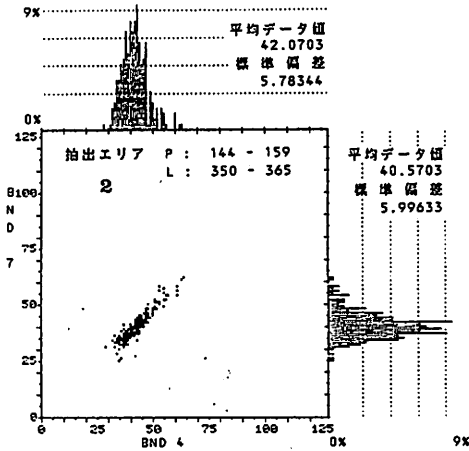
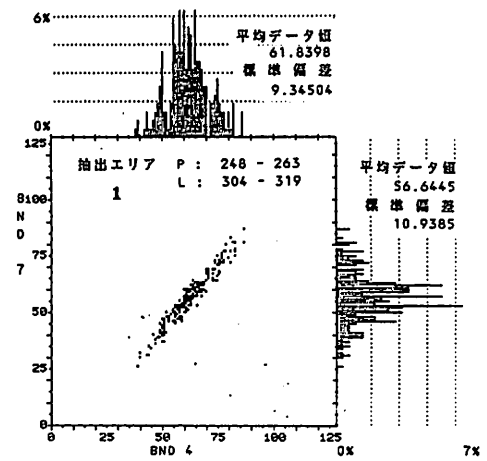
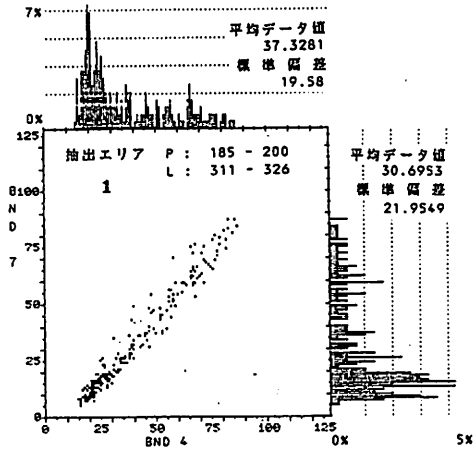


図17 ヒストグラム (1984.12.17)
BAND 4・BAND 7の相関図

図18 ヒストグラム (1985.11.26)
BAND 4・BAND 7の相関図

図15, 図16のナチュラルカラー画像中より, 火山灰の濃度の大小に応じた3つの領域1, 2, 3を抽出して作成したBAND 4とBAND 7のヒストグラムの相関図を図17, 図18に示す。

5. む す び

人工衛星 LANDSAT の画像解析により, 桜島の火口より放出された火山灰が, 上層風の影響を受けて, 大気中に拡散する実態を平面的に捉え, 火山灰の落下に従い火口よりの距離と共に, 濃度が減少してゆく過程を分光輝度により明らかにした。

本研究の一部は, 日本リモートセンシング学会, 第7回学術講演会(昭和62年12月)において発表を行なった。

本研究を進めるにあたり, LANDSAT データの検索や, フロッピーディスク作成に御協力いただいたリモート・センシング技術センターの関係各位, また貴重な資料の提供をいただいた鹿児島地方気象台の関係各位に厚く感謝の意を表する。

なお, 本研究の一部は, 鹿児島県産業技術振興協会の技術開発委託研究費によるもので, こゝに付記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 堤 毅一・今堀信昭・藤崎恒晏: “桜島火山灰の拡散と降下火山灰量” 鹿児島工業高等専門学校研究報告, 20 (1986)
- 2) 澤田可洋: “人工衛星画像における桜島火山の噴煙の特性” 日本リモートセンシング学会第5回学術講演会論文集 (1985).
- 3) 宇宙開発事業団, 地球観測センター: “地球観測データ利用ハンドブック—ランドサット編・改訂版, リモートセンシング技術センター (1986).
- 4) 堤 毅一・今堀信昭: “リモートセンシングによる桜島火山灰の拡散調査(2)” 鹿児島工業高等専門学校研究報告, 18 (1984)
- 5) 江頭康夫・石原和弘: “鹿児島県下における桜島の火山灰の降下堆積状態” 鹿児島県の地震と火山, 第11号 (1979).
- 6) 堤 毅一・増水紀勝: “LANDSAT 画像による桜島火山灰の季節特性” 日本リモートセンシング学会, 第7回学術講演会論文集 (1987).