

桜島火山灰が農林産物に及ぼす影響調査

団野皓文・宮里満・石黒悦爾・西山安夫*

(農業物理学研究室・*学内共同利用放射性同位元素実験室)

昭和58年8月10日 受理

Study on the Effects of Falling Ashes from Mt. Sakurajima on to the Crops and Forests

Akibumi DANNŌ, Mitsuru MIYAZATO, Etsuji ISHIGURO
and Yasuo NISHIYAMA*

(Laboratory of Agricultural Physics, *Radioisotope Experimental Center)

緒 言

桜島は1972年頃より活動が激しくなり、近年ますます活発の度を加え、連日、数次にわたる爆発を繰り返している。このため、桜島およびその周辺地域に多量の火山灰が降下し、農林産物に多大の被害をもたらした。地域住民に深刻な打撃を与えている。降灰による農林産物の被害を最小限に防止するためには、まず、降灰の実態を正確に把握し、降灰により誘発される農林産物の被害の実情を調査し、これに対して適切な対策を適宜講じる必要がある。

桜島火山の爆発にともなう降灰状況の調査には、リモートセンシング技術が極めて有利な方法であると考えられるので、日本国土海洋総合学術診断プロジェクトに1977年より参加し、このプロジェクトによる鹿児島地域の観測データを手に入れ、MSSデータの解析による降灰地域の識別について検討し、所期の成果を得たので報告する。

また、桜島の火山灰に含まれる天然放射性物質の分析を行い、 ^{40}K が比較的多量に含まれていることが示された。そこで⁷⁾、1976年以来の火山灰中の ^{40}K の放射能を測定して、これよりカリウム濃度の経年変化を調べた。

桜島火山の活動状況

1. これまでの経過

桜島火山の有史時代の活動のなかで、最古の記録は和銅元年(708)、それに続いて文明(1471, '75, '76年の3回)、安永(1779年)の大爆発があり、多量の溶岩を流出した。さらに、大正3年(1914年)1月12日に

始まった噴火は極めて激しいものであった。すなわち、西桜島では海拔350~400mの谷間から溶岩が流出し、横山、赤水、小池の各部落を覆いながら海岸に達し、島を埋めた。一方、東桜島では鍋山付近の海拔400mの地点から溶岩を流出し、西側よりも猛烈となり、黒神、有村、瀬戸の各部落は溶岩に埋没した。大正の大爆発の後はやや静穏であったが、1935年と39年に時々爆発をおこした。昭和21年(1946年)3月10日より南岳東側6合目から溶岩が流出し、4月4日に黒神部落、9日に有村部落の半分が埋没した。その後、1955年頃より、再び南岳がひんぱんに爆発を繰り返している。

2. 最近の火山活動

鹿児島地方気象台の観測記録より^{10,11)}、1955年からの桜島火山の年間爆発回数および年間噴煙回数をFig. 1に示す。ここで、地震回数は桜島の山腹(春田山)に設けられた地震計に自動記録されたもので、最も敏感に火山活動を記録している。また、噴煙回数と爆発回数は鹿児島地方気象台で目視により観測されたものである。Fig. 1より、これらの年間の爆発、噴煙および地震回数の間には高い相関関係がみられる。一般的傾向として、爆発回数は噴煙回数のほぼ1/2に達するが、最近2, 3年の記録では爆発回数が噴煙回数を上回っている年もみられた。桜島の火山活動の最近のピークは1974年にみられ、その後、一時減少したが、1980年頃より、毎年ほぼ 25×10^3 回の地震が発生し、かなり不安定な状態にあるものと考えられる。

3. 桜島およびその周辺地域の降灰状況

桜島火山は1955年頃より南岳がしばしば噴煙および爆発を繰り返し、火山灰、火山礫、火山ガス等を上

空に噴き上げ、上昇し、さらに上層の風に乗って遠方まで拡散する。通常、火山灰は 30~50 km, 火山礫は 5~10 km の範囲に達する。桜島火山の降灰の観測は

鹿児島県農政部および総務部、九州地方建設局大隅工事事務所、鹿児島地方気象台等が担当し、桜島南岳より半径 20 km 以内に 32 カ所、20 km 以遠に 26 カ所の観測地点が設けられ、桜島島内および鹿児島県全域にわたって降灰の観測が行われている。

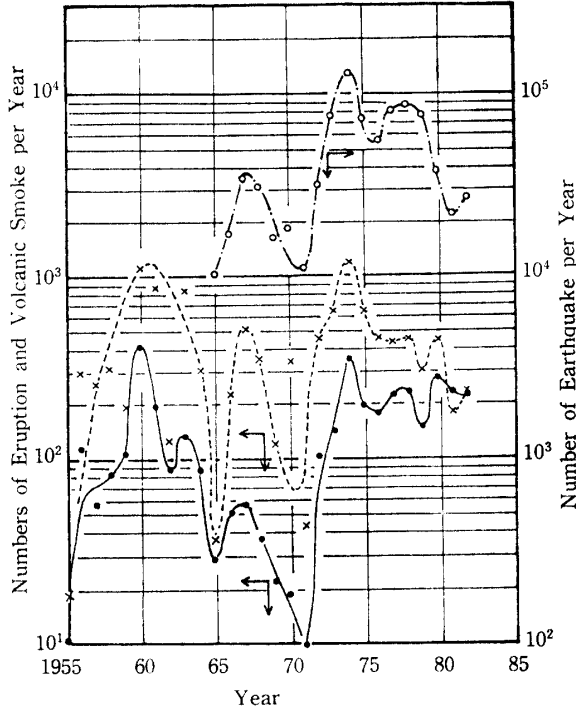


Fig. 1. Volcanic activity of Mt. Sakurajima.
 ●—●: Number of eruption per year.
 ×—×: Number of volcanic smoke per year.
 ○—○: Number of earthquake per year.

桜島火山灰の降灰分布は噴煙高度とその時の風の状態に強く依存している。鹿児島地方気象台による桜島火山の噴煙高度別回数観測結果を Table 1 に示す¹¹⁾。噴煙は高度 1000 m 未満が多く、全体の約半分を占めている。この場合、火山灰はあまり遠方まで拡散せず、桜島周辺に限られる。しかし、高度 3000 m 以上の大爆発も毎年かなりの回数に上り、全体の 1.1 % にも達している。最近は特に大爆発の回数が増加しており、1973 年には年間 20 回を数え、かなり遠方まで火山灰を散布した。一方、火山灰の拡散方向は上空の風向に左右される。桜島を中心とした風向の年間の割合を Table 2 に示す^{11,14)}。この表は鹿児島地方気象台が 1972 年に観測したものである。年により風向の分布に多少の変動がみられるが、西南西~北北西の風が最も多く、年間の半分以上を占めており、火山灰は東桜島地区、垂水市、福山町方面に運ばれる。また、北~東南東の風も年間の 1/4 を占め、火山灰は桜島の南側、桜島町(西側)および鹿児島市に拡散する。

桜島降灰量観測所の月別降灰量の測定値を基にして、桜島およびその周辺地域の降灰量分布を求めた^{10,11)}。Fig. 2 は 1976 年 6 月から 77 年 5 月までの

Table 1. Volcanic smoke of Mt. Sakurajima per altitude per year

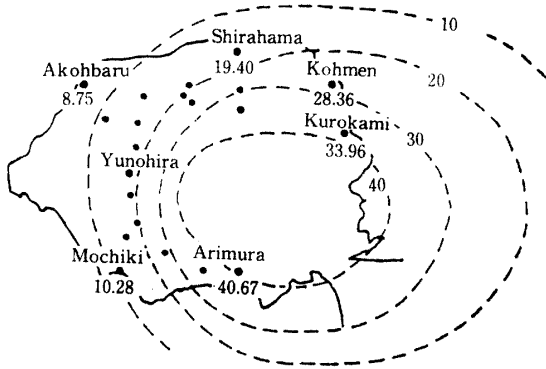
Year	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	Total (%)
Altitude											
under 1000m	374	642	322	183	119	175	145	246	76	89	2371(45.9)
1000-2000m	232	477	313	257	215	265	131	191	88	119	2288(44.3)
2000-3000m	47	93	55	42	71	36	24	37	23	19	447(8.7)
3000-4000m	17	10	7	5	2	4	0	2	2	2	51(1.0)
above 4000m	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3(0.1)
Total	673	1222	697	487	407	480	300	476	189	229	5160

Table 2. Direction of wind observed at Kagoshima Meteorological Observatory in 1972

Direction of wind	Percent per year	Diffusion area
West-southwest—North-northwest	57.3	Higashi-sakurajima, Tarumizu, Fukuyama
North—East-southeast	26.1	Sakurajima (south), Kagoshima
Southeast—Southwest	15.3	Aira
Windless	1.3	



Kagoshima Pref.
(kg/m²)



Sakurajima (kg/m²)

Fig. 2. Distribution of falling ashes from Mt. Sakurajima.

降灰量を示すものである。この期間、桜島は169回爆発し、463回噴煙を上げていた。この分布からも、桜島南岳からの火山灰は西南西～北北西の風に乗って垂水市、福山町方面に拡散することが示される。また、年間10 kg/m²以上の降灰量を受ける地域は桜島全島と垂水市に及んでいる。さらに、年間1 kg/m²以上の降灰量の地域は、東は福山町、大隅町および輝北町で、西は鹿児島市まで広がっている。

一方、スカイラブおよびランドサットにより撮影された桜島の噴煙の写真^{9,12)}を見ると、噴煙の全般的な拡散のようすを良く把握することができる。これらの写真によると、高度数1000 m以上に達した火山灰は上層気流に乗って、放物線状の弧を描きながら拡散しているのが良く示されている。したがって、1回の噴

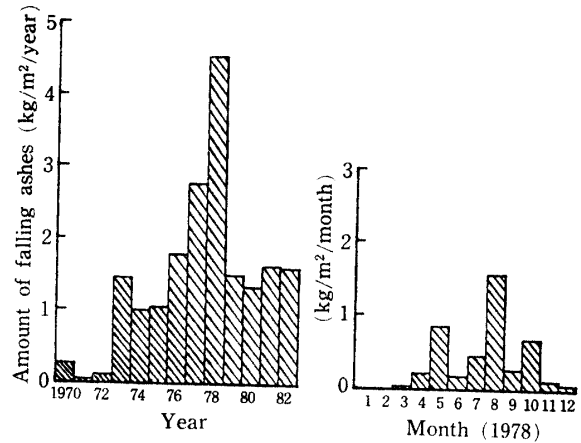


Fig. 3. Amount of falling ashes per year and per month.

煙による降灰地域はかなり幅の狭い分布を示すものと考えられる。これらの分布を重ね合わせたものが、Fig. 2の年間降灰量の分布として示される。

Fig. 3は鹿児島地方気象台(鹿児島市荒田1丁目24番地)において観測した年間降灰量の変化と1978年1月から12月までの月別降灰量の変化を示したものである¹¹⁾。桜島南岳から観測地点までの距離は約10 kmである。1975年から、降灰量は急激に増加し、特に1978年の降灰量は異常なまでに多く、4.5 kg/m²にも達した。また、同年の月別降灰量は、鹿児島島に台風が接近した8月に東風となり、1.56 kg/m²の最大値を示した。

リモートセンシングによる降灰状況の調査

1. リモートセンシング法

筆者らは、1977年より日本国土海洋総合学術診断プロジェクト(JAFSA Project)に参加し、桜島の爆発にともなう降灰状況の調査を行ってきた^{2,3,4,6)}。JAFSAのリモートセンシングは、航空機に搭載したMSS(Multi-Spectral-Scanner)により12チャンネル(Channel: Ch. と略す)の映像データ(FMテープ)が撮影される。このFMテープに記録されたアナログデータは、観測後デジタル解析を行うために、CCTコンバーターでコンピューター処理が可能なCCT(Computer Compatible Tape)に変換される。

日本で開発されたMSSの分光特性をTable 3に示す。Ch. 0～Ch. 2は近紫外線領域、Ch. 3～Ch. 8は可視領域、Ch. 9, Ch. 10は近赤外領域、Ch. 11は遠赤外(熱線)領域の波長帯を記録するものである。

FMテープには、12チャンネルの映像が記録されて

Table 3. Distribution of wave lengths for channel numbers in the Multi-Spectral Scanner

Channel No.	Wave lengths (nm)
0	250- 350
1	350- 400
2	400- 450
3	450- 500
4	500- 550
5	550- 600
6	600- 650
7	650- 690
8	690- 790
9	790- 890
10	920- 1100
11	8000-14000

Table 4. MSS data recorded in Kagoshima area

Date	Line No.	Altitude (ft)
① Aug. 1, 1977	7801 No. 5	11800
	7801 No. 6	11800
② Oct. 10, 1977	7X10 No. 5	16300
	7X10 No. 6	16300
③ Dec. 26, 1977	7Z26 R03	15000
	7Z26 R04	15000
④ June 1, 1978	8601 M06	15600
	8601 M07	15600
⑤ Sept. 17, 1980	0917 No. 5	16000
	0917 No. 6	16000

いるが、そのうち Ch. 3, Ch. 5, Ch. 6, Ch. 7, Ch. 9 および Ch. 11 の 6 チャンネルを選び、デジタル解析に使用する CCT に変換した。

2. 鹿児島地域の観測記録

JAFSA プロジェクトによる鹿児島地域のリモートセンシング観測データのなかで、桜島の噴煙および降灰状況が記録されている飛行データを Table 4 に示す。

①のデータは、1977年8月1日8時～10時の間に、桜島を中心に東西の方向にコースをとり、飛行高度約3000mで鹿児島市から高隈山系にわたる地域についてMSS観測が行われたものである。このデータを解析して、リモートセンシング技術が桜島火山の降灰状況の調査にどの程度有効であるか、また、その可能性について検討した。

②～⑤は、鹿児島地域のリモートセンシングの観測のなかで、桜島火山の爆発による噴煙の拡散状況が記

録されている。②のデータは降灰状況を調査するうえで貴重な資料である。10月10日午前10時頃より、桜島南岳から噴煙が上がり、最初は南東に向かって流れ、垂水市上空で湾曲し、北東に向かって流れている。③の観測時、鹿児島地方は朝から快晴で、桜島の噴煙は南に向かって大きく流れ、垂水地区への降灰はみられない。④では、鹿児島地方は晴れてはいたが、上空に雲がやや多く、また、噴煙は南西に向かって広がっていたため、桜島南部、鹿児島市以南は観測に適しなかった。⑤の観測時には、天候は晴れ、観測前より南岳の爆発があり、噴煙の一部が雲のようになって拡散していたと報告されている。

3. 桜島の溶岩台地

桜島の溶岩台地および南岳山頂の降灰地域の調査を Table 4 に示した MSS データの①を用いて行った²⁾。①に収録されている12チャンネルの波長帯のなかで、可視領域の Ch. 7, 近赤外領域の Ch. 9 および 遠赤外領域の Ch. 11 の 3 つを選んで解析した。Ch. 7 に青、Ch. 9 に緑、Ch. 11 に赤を対応させてカラーの合成写真を作成した^{12,13)}。Photo. 1 に示す。赤色の部分は Ch. 11 の遠赤外領域を示し、溶岩台地、火山灰の降灰地および海岸の砂浜などの裸地のように熱輻射の多い場所が対応している。また、緑色の部分は主として森林などを示している。

桜島火山の地質図より、溶岩台地の分布を調べると Fig. 4 に示す結果が得られる。ここで示した文明・安永時代に流出した溶岩台地では、すでに樹木が生い繁り、溶岩が露出している部分は少ない。一方、大正溶岩台地はところどころに松などが生えているが、まだ

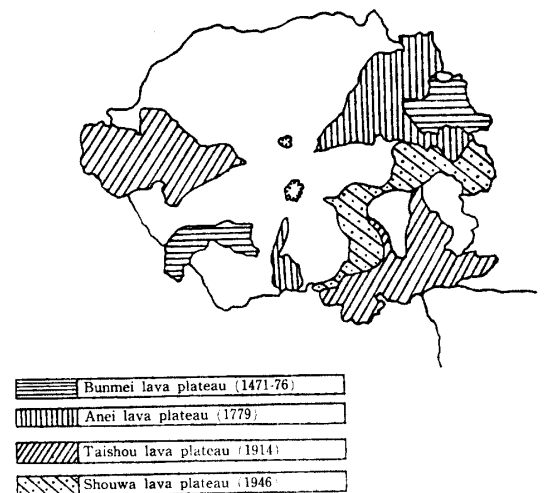


Fig. 4. Distribution of lava plateau in Mt. Sakurajima.

裸地に近い状態である。さらに、昭和溶岩台地は最近流出したため、ほぼ裸地の状態である。

Photo. 1 と Fig. 4 を比較すると 桜島南岳から海岸に向って、南東および北東に流出した大正および昭和の2つの溶岩台地は、Photo. 1 においても溶岩台地と明瞭に識別できる。また、海拔 700 m 以上の南岳火口付近は、たびかさなる爆発によって火山灰や火山礫に厚く覆われていることも明確に識別できる。しかし、Photo. 1 の画像のみでは、溶岩台地と火山灰降灰地域の色調はほとんど同じで、これらの区別は困難であった。

リモートセンシング対象物の分光特性

高隈山系は、桜島火山の爆発によって最も降灰の影響が大きい地域であることは Fig. 2 によっても明らかである。この山系には、クスノキ、カシ、サザンカ、ツバキ等の広葉樹の多い自然林と、スギ、ヒノキ、クロマツ等の針葉樹林からなる人工林がみられる。一方、桜島にはこれらの樹木のほかに、ミカン、ビワ等の果樹がある。したがって、これらの樹木の分光特性について、降灰前後でどのように変化するかをあらかじめ調査しておく、リモートセンシングによる降灰地域の識別が可能となる。

1. 地表対象物の分光特性

リモートセンシングによる、森、畑、道路、池等の地表対象物の観測が行われている。藤村ら⁷⁾は、種々の地表対象物のチャンネル別の CCT カウントを実測している。また、安田ら²⁰⁾は水稻、斉藤ら¹⁶⁾は小麦、高畑ら¹⁸⁾は有珠山の火山灰の分光反射率について報告している。これらの報告をまとめると、Fig. 5 の結果が得られる⁵⁾。この図より、地表対象物は CCT カウントによって次の3群に大別することができる。A群は裸地、畑、コンクリート、道路等で、Ch. 3, Ch. 5, Ch. 7 などの CCT カウントが比較的多いものである。これに対してB群は森林、水稻、小麦等の緑地帯で、Ch. 3, Ch. 5 に比べて Ch. 9 の CCT カウントが著しく多くあられる。C群はB群とまったく対照的な変化を示すもので、Ch. 9 のカウントが著しく少なく、池、湿地等の水分の多い地表対象物である。

次に述べる2,3の樹木の分光特性の研究では、樹木や野菜の葉面の分光特性はB群(森林地帯)の分光特性とよく一致し、また、火山灰やコンクリートの分光特性はA群(裸地)の分光特性とよく一致した。

2. 2, 3の樹木の分光特性^{4,5)}

桜島や高隈山系にみられる樹木の植生を考慮して、

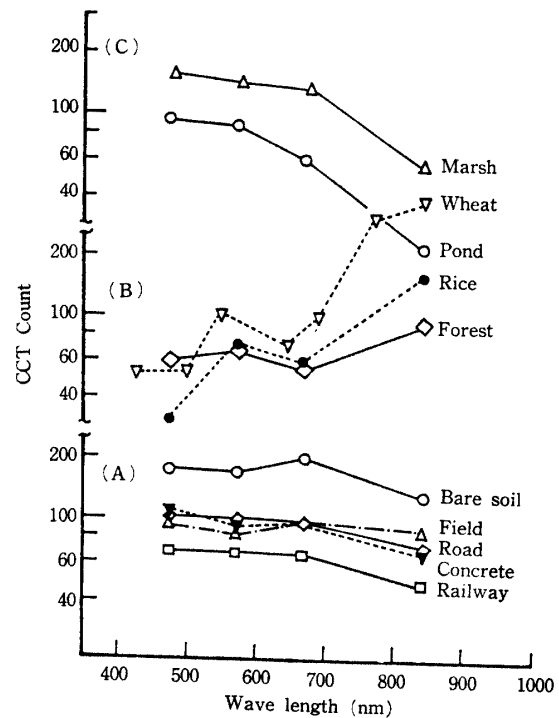


Fig. 5. CCT counts for several objects measured by remote sensing method.

次の樹木を実験に用いた。

広葉樹： ツバキ (*Camellia japonica* L.),

サンゴジュ (*Viburnum awabuki* K. Koch)

針葉樹： ヒマラヤシダー (*Cedrus deodara*

Loud.), カイズカイブキ (*Juniperus chinensis*

L. var. *kaizuka* Hort.)

野菜： キャベツ (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.)

これらの樹木で、葉がよく繁っている長さが約 10 cm の小枝を切り取り、30×30 cm² の大きさに葉が一樣に分布するように並べた。これらの葉面に、火山灰を 1 kg/m² の割合で均一に散布した。この状態を、「火山灰のある場合」と略称し、火山灰を散布しない状態を、「火山灰のない場合」と略称する。

これら葉面の分光特性の測定は、JAFSA 委員会で試作したポータブル型分光反射率計 (270106 型) を使用して行った¹²⁾。

最初に、桜島火山灰の分光反射率と相対分光エネルギーの結果を Fig. 6 に示す。葉面の場合と同様に、火山灰を 30×30 cm² の平板上に、1 kg/m² の割合で均一に散布して測定した。分光反射率は、測定波長の全領域にわたって 20~35% とほぼ一定の値を示したが、長波長側ではわずかに増加する傾向がみられた。一方、相対分光エネルギーは、短波長側の可視領域で

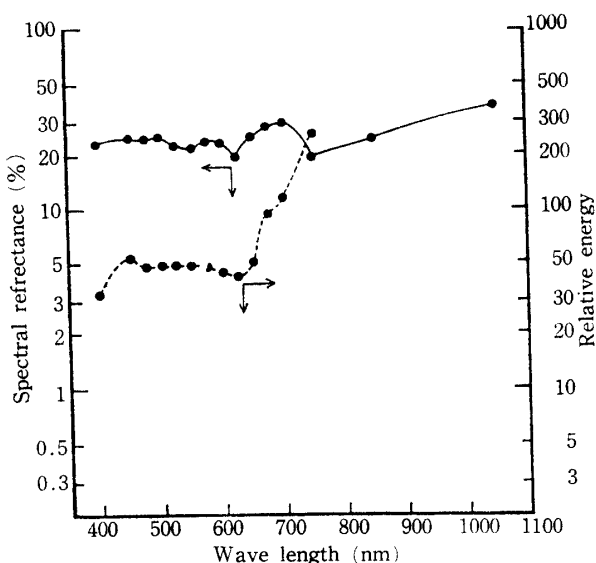


Fig. 6. Spectral reflectance and relative energy of volcanic ashes.

は30~50倍とほぼ一定であったが、650 nmより長い波長では急激に増加し、750 nmでは約300倍にも達した。2, 3の火山灰について同じ実験を行った結果、桜島火山灰の噴出時および採取場所が異なっても、分光反射率と相対分光エネルギーはほぼ同じ特性を示した。

Fig. 7にツバキ, Fig. 8にヒマラヤシダの分光反射率と相対分光エネルギーを示す。○印は火山灰のない場合、●印は火山灰のある場合を示す。Figs. 7, 8および他の樹木に対する測定において、広葉樹、針葉樹および野菜等の葉面の分光特性はほとんど同じ傾向を示した。火山灰のない場合の樹木の分光反射率は、可視領域では波長が長くなるにつれて7~20%と増加したが、波長が625 nm付近で著しい減少がみられた。その後、700 nmから急激に増加し、長波長側の近赤外領域では50~90%と高い値を示した。一方、火山灰のある場合は、可視領域では火山灰のない場合の2倍の値を示し、625 nm付近での減少もみられない。しかし、近赤外領域では火山灰のない場合の約半分という低い値を示し、その結果、波長700 nm付近で両方の曲線が交差した。

また、相対分光エネルギーは、火山灰のない場合は、可視領域で10~15倍の値を示し、しかも波長が長くなるとわずかに増加したが、650 nm付近で著しい減少がみられた。その後、長波長側では急増した。また、火山灰のある場合は、可視領域では火山灰のない場合の約2倍の値を示したが、長波長側になるにしたがって増加は鈍り、波長750 nm付近から、火山灰

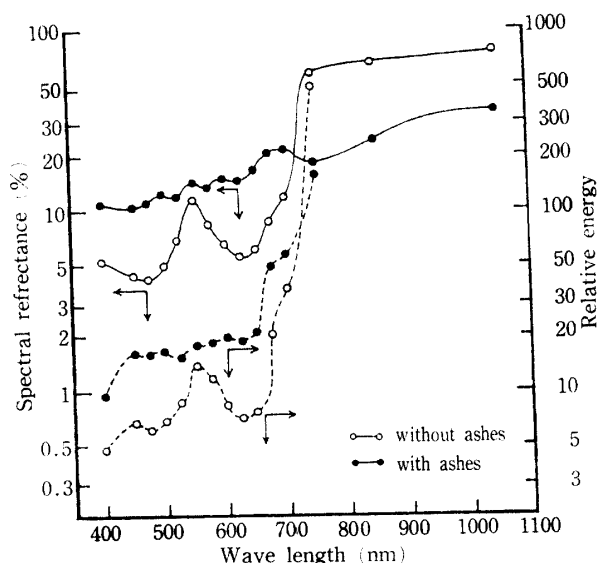


Fig. 7. Spectral reflectance and relative energy of camellia covered with and without ashes.

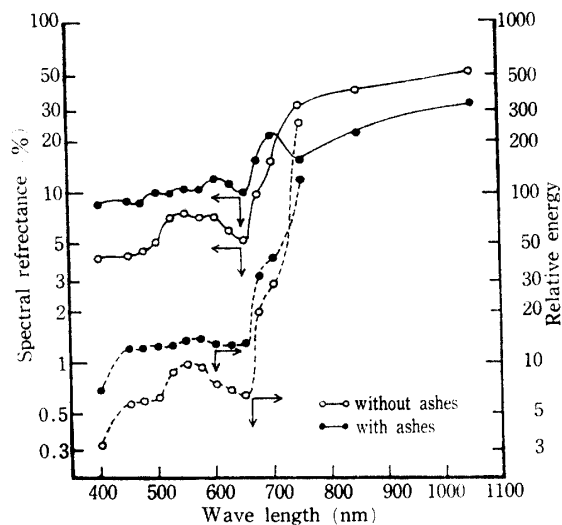


Fig. 8. Spectral reflectance and relative energy of cedar covered with and without ashes.

のない場合よりも低い値を示した。

これらの結果より、

- (1) 火山灰を散布した樹木の葉面の分光反射率は、火山灰を散布しない場合に比べ、可視領域では増加するが、近赤外領域では約半分に減少する。
- (2) 樹木の葉面に火山灰を散布しないときに認められる600~700 nmの波長帯での分光反射率の減少は、火山灰を散布したときにはみられない。この波長帯における分光反射率の減少は、クロロフィルの

Table 5. Effect of volcanic ashes on reflectance ratio at the characteristic wave lengths

Sample	Reflectance ratio (%)							
	R_{475}/R_{850}		R_{525}/R_{850}		R_{575}/R_{850}		R_{625}/R_{850}	
	without ashes	with ashes	without ashes	with ashes	without ashes	with ashes	without ashes	with ashes
Volcanic ashes	—	73.7	—	72.6	—	73.7	—	68.1
Concrete	56.3	55.0	81.3	63.1	77.6	55.0	85.3	56.3
Camellia	7.4	60.4	11.8	64.3	14.4	72.5	9.6	79.7
Viburnum	8.9	26.8	12.0	57.6	12.0	54.9	9.3	30.7
Cedar	11.1	39.7	18.1	45.5	18.1	46.9	15.1	49.1
Juniper	9.9	50.0	17.0	51.0	19.5	57.5	12.9	52.5
Cabbage	17.0	52.2	42.7	57.6	56.3	56.3	38.9	60.3

吸収によるものと同定される。

(3) 可視領域の波長 475, 525, 575 および 625 nm の分光反射率と、近赤外領域の 850 nm の分光反射率の比を求めると、Table 5 に示す結果が得られる。この表より、火山灰のない場合の樹木葉面の分光反射率の比は 10~20% であるが、火山灰を散布した場合はいずれも 50% 以上となることが示され、降灰による影響が顕著にあらわれた。このなかでも、625 nm と 850 nm の波長における分光反射率の比は、変化が特に大きく示された。

降灰地域の解析

1. 降灰地域の状況

リモートセンシングによる観測データを基にして、降灰地域の解析を試みた。Table 4 の観測記録のなかから、②の 1977 年 10 月 10 日のデータを解析した。この地域は、Fig. 9 に示すように、桜島の南東約 10 km 離れている垂水市付近で、桜島が大隅半島と接合した桜島口から南に下がり、江之島を経て垂水市街に至る地域である。この海岸線を境にして左側は鹿児島湾、右側は高隈山系の森林地帯である。

②の観測データにおいて、Ch. 7 を青、Ch. 9 を緑、Ch. 11 を赤に対応させてカラーの合成写真を作成すると、Photo. 2 が得られる。画面の左上半部は Fig. 9 より、鹿児島湾と識別されるが、海面の温度がやや高いため、赤味を帯びた色調で表示された。また、画面の右下半部は高隈山系の森林地帯で、緑色の色調で表示された。さらに、海岸線の砂浜は地表温度が高いため淡赤色を呈した。この画面で、桜島火山の噴煙は淡青色で表示され、南岳から流出した噴煙は、鹿児島湾上を南下し、江之島上空を通り、進路をやや南東に変えながら垂水地区へ流れているのがよく示された。

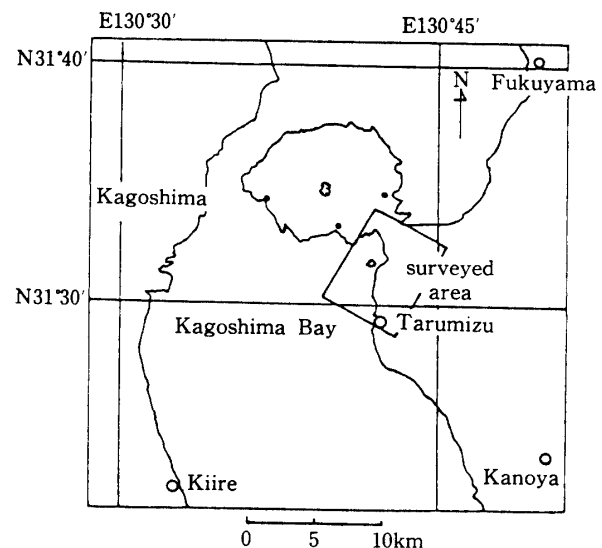


Fig. 9. Map of Kagoshima area.

2. 降灰地域の識別

Photo. 2 の結果より、この噴煙の通路の真下にあたる地域は、相当の降灰を受けているものと思われる。そこで、森林地帯における降灰状況を調べるため、Photo. 2 で用いた同じ観測データのなかで、降灰による分光反射率の変化がよくあらわれる Ch. 3, Ch. 5, Ch. 7 および Ch. 9 の CCT カウントを用い、Ch. 3/Ch. 9, Ch. 5/Ch. 9, Ch. 7/Ch. 9 を求める演算を行い、その結果を CCT に記録した。これを CCT クイックルカラーによってカラー表示した画像を求めた。

Photo. 3 は、Ch. 7/Ch. 9 の演算の強度変化をカラー表示したものである。この画面の左端に上下 2 段に分けて示されているカラー表示は、演算の強度変化を示したものである。強度は、白 (100) から黒 (0) までの値を 12 等分し、白、赤、淡青、青……黒の順序で示される。この画像より、次の結果が得られる。

Photo. 1.

Color composite image of
Sakurajima area.
(Ch. 7: B, Ch. 9: G, Ch.
11: R)

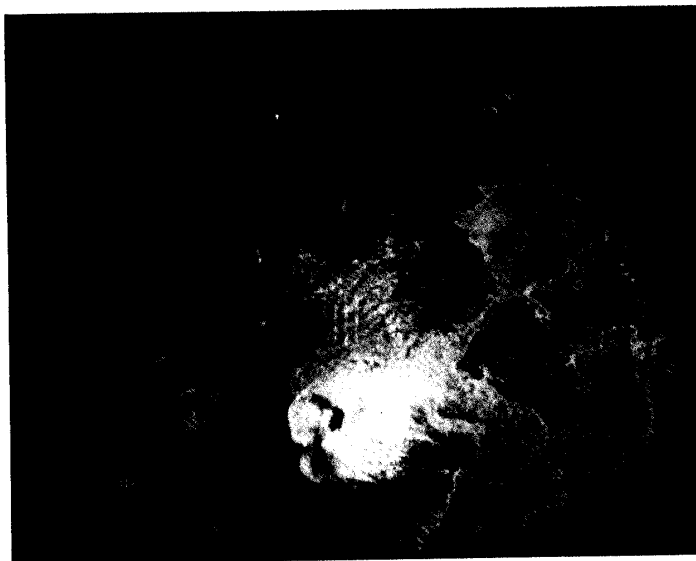


Photo. 2.

Color composite image of
Tarumizu area.
(Ch. 7: B, Ch. 9: G, Ch.
11: R)

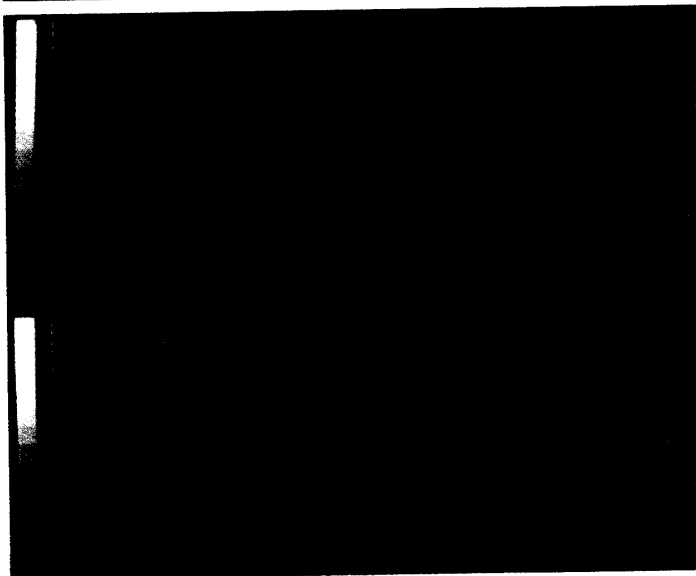
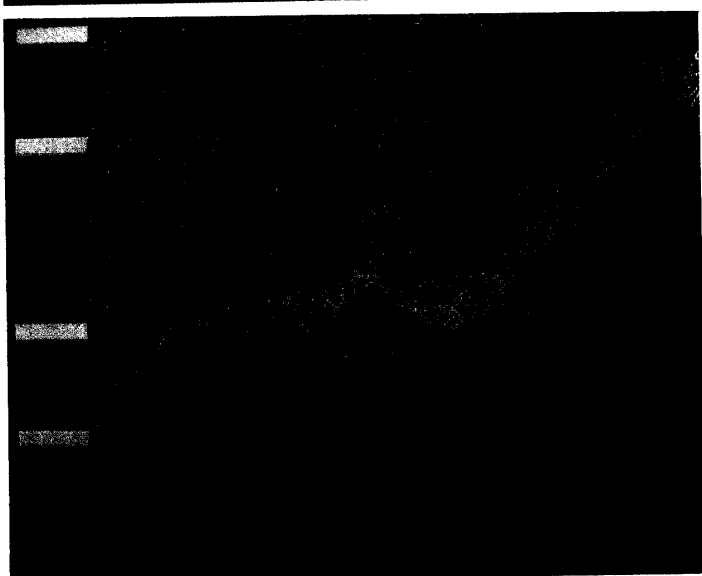
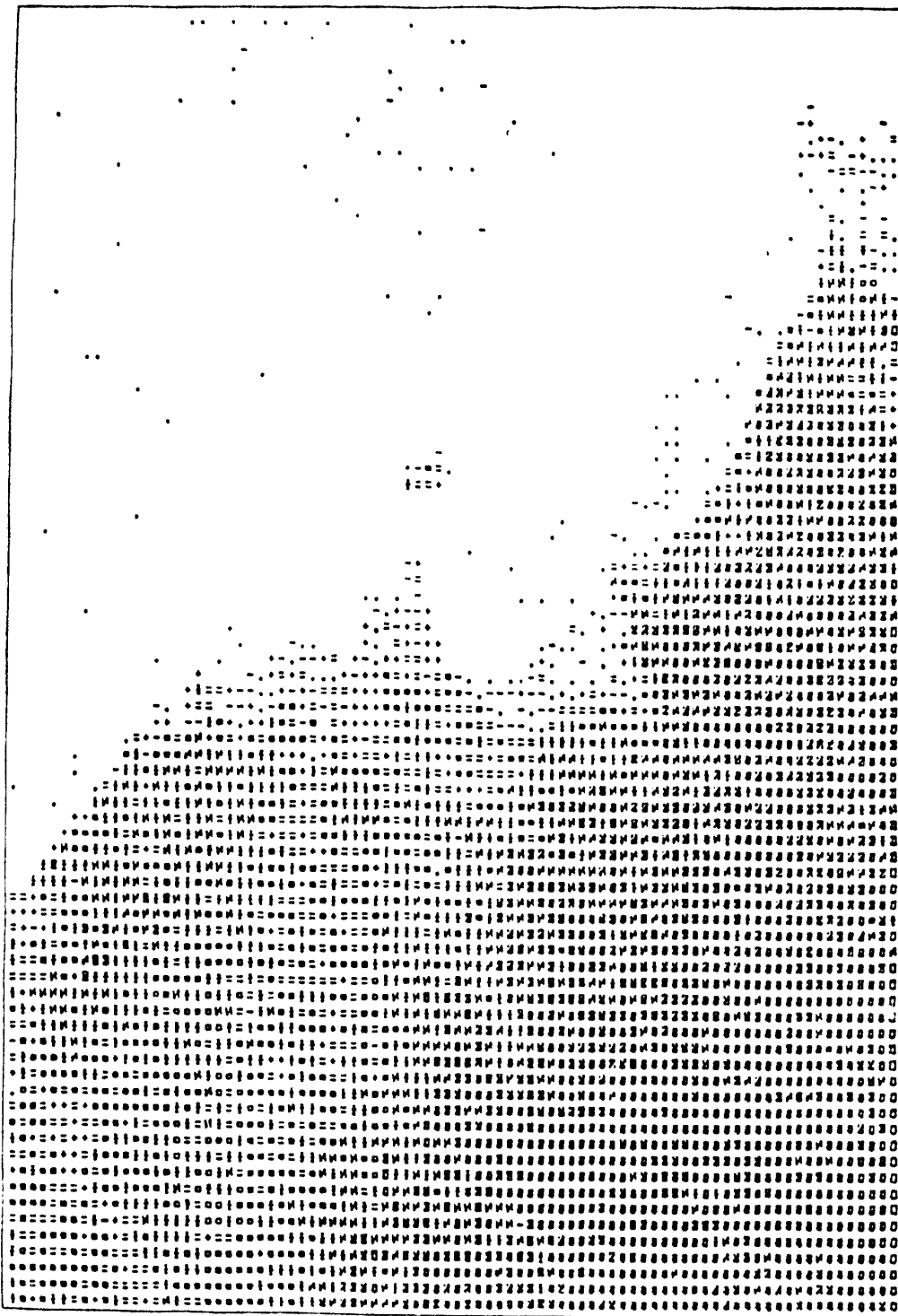


Photo. 3.

Color composite image
obtained by digital
performance of the ratio,
Ch. 7 /Ch. 9.





LEVEL	1	1	1	2	1	3	1	4	1	5	1	6	1	7	1	8	1	9	1	10
VALUE	0		30		46		62		79		95		111		128		144		161	
SYMBOL	1	▶	1	Z	1	W	1	I	1	I	1	=	1	+	1	-	1	-	1	-

---CCT-Ch.7/Ch.9
 ---FRAME COL. (20, 276, 3)
 LINE (360, 600, 3)

Fig. 10. Gray representation map.

- (1) 画面の左上半部は、明るい青～緑の色調を呈し、これは海面の部分に対応している。
- (2) 画面の右下半部は、紫～黒と最も暗い色調を呈し、これは高隈山系の森林地帯に対応している。
- (3) (2)の部分の中で、橙～灰色のやや暗い色調の部分は、降灰を受けた森林地帯に対応するものと同定される。
- (4) 画面には、桜島火山の噴煙の飛跡は認められない。

上述の結果は、CCT に記録したチャンネル比の演算データをカラー表示して求めたものであるが、これをデジタル処理した濃淡マップで表示すると、Fig. 10 が得られる。これは、Photo. 3 と同じ Ch. 7/Ch. 9 の演算比の濃淡レベルを 10 段階に分け、レベルの低い数値を濃い記号で示し、レベルの高い数値を淡い記号で示したものである。この関係は、カラー表示の強度と逆の関係になっている。Fig. 10 の左上半部はほとんど白に近い淡い記号で示され、この部分は Photo. 3 の (1) で示された鹿児島湾に対応している。また、右下半部は、黒に近い記号で示され、(2)と(3)を合わせた高隈山系の森林地帯に対応しているが、この部分を詳細に調べると、濃い黒の部分と淡い黒の部分に分けることができる。前者は(2)の部分に対応し、降灰を受けない森林地帯を、後者は(3)に対応し、降灰を受けた森林地帯を表わしているものと同定される。

降灰地域の解析にあたり、演算の時の分母となる Ch. 9 の分光反射率の値は解析結果に大きな影響を与えている。海面の Ch. 9 の分光反射率はほとんど零に近い値を示し、一方、森林等の緑地帯の Ch. 9 の分光反射率はかなり高い値を示すことが知られている。この結果、Ch. 3/Ch. 9、Ch. 5/Ch. 9 および Ch. 7/Ch. 9 の値は海面上ではかなり高い値となるが、逆に、緑地帯では 1 よりも小さい値となる。また、降灰の影響は Ch. 3、Ch. 5 および Ch. 7 の分光反射率を著しく増大させ、逆に、Ch. 9 の値を減少させるので、降灰を受けた地域の Ch. 3/Ch. 9、Ch. 5/Ch. 9、Ch. 7/Ch. 9 の値は大きくなる。特に、Ch. 7/Ch. 9 の増加は最も大きいので、解析を行うのに最も適している。

桜島火山灰中の ^{40}K の分析とその経年変化

1. 火山灰の物性

一般に、火山灰は本質的なマグマの活動に由来する物質ではなくて、マグマの他に火口付近の岩石などが爆砕されて生じた細片を含み、また、噴出時に高温の火山発散物と共存するので、火山昇華物が表面に附着

しているなどの理由から、火山灰の取り扱いが軽視されてきた^{1,17,19)}。しかし、筆者らは、火山灰は火山活動の情報源として極めて重要であると考え、火山灰の基本的な物性として、とくに結晶化度を研究した。また、マグマの活動に関連のある火山灰中の天然放射性核種の測定を行った。

桜島の南岳は標高約 1000 m であり、その山頂火口から噴出された火山灰は、最初、数 1000 m の上空まで上昇し、上層風に乗って各方面に飛散していく。この間に、火山灰は粒度、比重などに応じて分別的に降下するので、南岳より数 km 以上離れた地点で採取した火山灰は、粒度のかなり揃った微細な粒子である。

桜島火山灰の走査型電子顕微鏡写真をみると、火山灰は直径 0.1 mm 前後の粒子で、その表面に微細な粉末状の物質が付着したのもあった。この粒子は鋭い角とガラス状のへき開面を持っており、溶岩の細片とみられる¹⁵⁾。

火山灰の結晶化度を調べるため、火山灰を日本原子力研究所の土井健治博士に送って、X 線回折図形の測定を依頼した⁸⁾。この実験に供した火山灰は、1976 年から 1981 年にかけて採取したもので、天然放射性物質の測定に用いた試料の一部である。1976 年に採取した試料の Cu-K α による X 線回折図形を Fig. 11 に示す。回折角 (2θ) が約 21.9、約 27.8 および約 51.3 度に明瞭なピークが観測された。これは、火山灰は従来からいわれているガラス質ではなくて、結晶をしていることを示すものである。他の 3 つの火山灰についても同様な結果が得られた。

火山灰が結晶していることは、大庭らの研究でも報告されており¹⁵⁾、彼らは $2\theta=28$ 度付近のピークは、長石類に特徴的なダブルピークの一部であると同定し

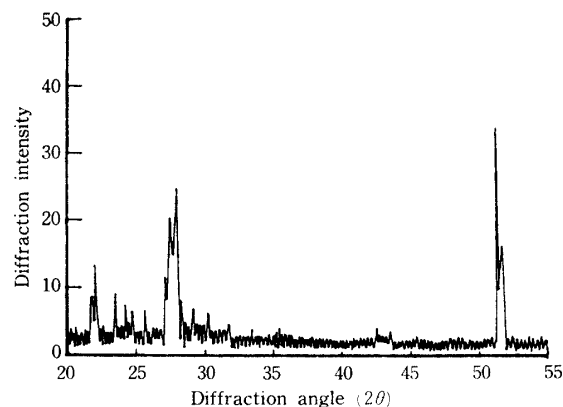


Fig. 11. X-ray diffraction pattern of volcanic ashes.

ている。

2. 放射能の測定法

桜島の火山灰に含まれる天然放射性核種の分析はほとんど行われていない。火山灰中の天然放射性核種の放射能は極めて微弱であるので、普通の方法では分析が困難である。筆者らは、 γ 線を放出する核種に着目して、ゲルマニウム半導体検出器と多重波高分析装置を使用して、火山灰中の天然放射性核種の検出を行った⁷⁾。

実験に供した試料は、1976年から1983年にかけて、主として鹿児島大学農学部の構内と鹿児島地方気象台の構内で採取した火山灰である。これらの火山灰は、採取後、ポリエチレン袋に入れて保管した。測定時にこれらの火山灰を250 mlおよび30 mlのポリエチレン製のびんに入れ、このびんをゲルマニウム半導体検出器の上に置いて放射能を測定した。

^{40}K の放射能の測定は、Ortec社製の高純度ゲルマニウム半導体検出器と、同社製の7041型多重波高分析装置を用いて行った。また、検出器と試料の火山灰はいずれも鉛しゃへい体の内に格納し、外部からの放射線を1/250にしゃへいした。

火山灰中の ^{40}K 放射能の測定に対する補正は、同じポリエチレン製のびんに、塩化カリウム(1級試薬)を火山灰と同量入れ、塩化カリウム中の ^{40}K の放射能

を測定し、それぞれの容器に対する計数効率の補正値を求めて行った。

^{40}K 以外の放射性核種の分析には、計数効率の補正を行わなかったので、 ^{40}K の補正値を用いて、参考までに放射能を計算した。

3. 火山灰中の天然放射性核種

最近8年間に爆発した桜島火山灰の一部について行った放射能の分析結果をTable 6に示す。火山灰中で最も多量に検出された放射性核種は ^{40}K であり、その放射能は9.4~12.0 pCi/g (0.35~0.44 Bq/g)であった。また、 ^{232}Th 、 ^{228}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{235}U の放射性核種も検出されたが、これらの核種の放射能は、バックグラウンドを差し引くと極めて弱いものであり、しかも、試料容積に対する計数効率の補正も不十分であったので、Table 6の数値は参考程度のものである。

一般に、放射性核種の濃度(ppm)は、その核種の半減期と実測により求めた放射能とから計算で求めることができる。したがって、Table 6の実測値を用いて、火山灰中の ^{40}K の濃度を求めるとTable 7が得られる。また、 ^{40}K の天然存在比を0.0119%として、火山灰中に含まれるKの総量を求め、その値から K_2O 濃度を計算してTable 7に示した。この結果より、 K_2O 濃度は1.37~1.75 wt%とかなり高い値をもつことが示された。また、化学分析で行った火山灰中の

Table 6. Activity (pCi/g) of natural radioactive nuclides in volcanic ashes from Mt. Sakurajima

Sample number	Collecting date	Potassium	Thorium family		Uranium-radium family Ra-226	Uranium-actinium family U-235
		K-40	Th-232	Th-228		
1	76.11.13	9.74	0.394	0.106	0.268	0.011
2	77. 6. 2	9.85	0.411	0.111	0.309	0.018
3	77. 7.31	9.74	0.397	0.107	0.293	0.013
4	78.10. 3	9.84	0.340	0.136	0.303	0.011
5	79. 9.21	11.50	0.790	0.208	0.284	0.047
6	79.11. 8	10.59	0.331	0.123	0.343	—
7	80. 4.26	12.06	0.522	0.205	0.405	0.053
8	80. 5. 2	9.43	0.288	0.097	0.582	0.015
9	80. 5.11	11.16	0.513	0.198	0.321	0.016
10	80. 8. 3	10.93	0.473	0.195	0.270	0.054
11	80. 8.20	10.41	0.389	0.167	0.151	0.042
12	80. 9. 9	10.57	0.450	0.123	0.321	0.010
13	81. 8.16	11.96	0.666	0.213	0.097	0.060
14	81. 9.15	12.02	0.656	0.214	0.300	0.062
15	82. 7.30	11.10	0.595	0.166	0.208	0.031
16	82. 8.24	11.91	0.549	0.205	0.204	0.048
17	83. 5.22	11.17	0.699	0.166	0.118	0.049
18	83. 6.22	10.49	0.522	0.157	—	0.042

K₂O 濃度と、⁴⁰K の放射能から計算で求めた K₂O 濃度はよく一致した。

4. 火山灰中の K₂O 濃度の経年変化

大正 3 年 (1914 年) の桜島火山の大爆発以来、火山灰の分析はたびたび行われてきた。そのなかで、K₂O 濃度の測定データは、Table 8 に示すように、1914、

1935、1946 と 1966 年の 4 件であり、これらはいずれも化学分析から求めた値である。また、Table 8 には今回の ⁴⁰K 放射能測定から算出した K₂O 濃度の値も加えている。

桜島火山灰中の K₂O 濃度の経年変化は、Fig. 12 のように図示される。大正 3 年 (1914 年) の大爆発のときの火山灰中の K₂O 濃度は 1.88 wt% とかなり高い値を示したが、その後は減少し、1956 年頃になると、約 1.0 wt% と最小値を示した。また、最近 8 年間に爆発した火山灰中の K₂O 濃度は、1976 年には 1.41 wt%、1982 年には 1.67 wt% と年とともに増加しており、しかも、かなり高い値となっている。

一般に、塩基性火山岩の K₂O 濃度は 1.5 wt%、中性火山岩は 2.0 wt%、酸性火山岩では 4.5 wt% と、火山岩が酸性になるにつれて K₂O 濃度は増加している。桜島火山灰中の K₂O 濃度がここ数年 1.4~1.7

Table 7. Concentration of K-40 and K₂O in volcanic ashes from Mt. Sakurajima

Sample number	Collecting date	Activity of K-40 (pCi/g)	Concentration	
			K-40 (ppm)	K ₂ O (wt%)
1	76.11.13	9.74	1.39	1.41
2	77. 6. 2	9.85	1.41	1.43
3	77. 7. 31	9.74	1.39	1.41
4	78.10. 3	9.84	1.41	1.43
5	79. 9. 21	11.50	1.65	1.67
6	79.11. 8	10.59	1.52	1.54
7	80. 4. 26	12.06	1.73	1.75
8	80. 5. 2	9.43	1.35	1.37
9	80. 5. 11	11.16	1.60	1.62
10	80. 8. 3	10.93	1.56	1.58
11	80. 8. 20	10.41	1.49	1.51
12	80. 9. 9	10.57	1.51	1.53
13	81. 8. 16	11.96	1.71	1.73
14	81. 9. 15	12.02	1.72	1.74
15	82. 7. 30	11.10	1.59	1.61
16	82. 8. 24	11.91	1.70	1.73
17	83. 5. 22	11.17	1.60	1.62
18	83. 6. 22	10.49	1.50	1.52

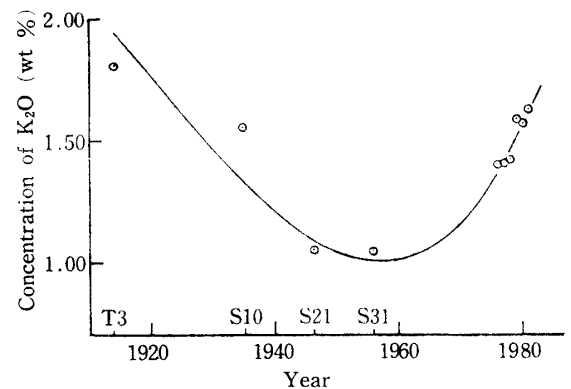


Fig. 12. Concentration of K₂O in volcanic ashes from Mt. Sakurajima.

Table 8. Variation of concentration of K₂O in the volcanic ashes from Mt. Sakurajima since 1914

Year	Concentration of K ₂ O (wt%)	Number of samples	Reference
1914 (T 3)	1.81	5	K. Yamaguchi ¹⁹⁾
1935 (S 10)	1.55	1	K. Yamaguchi ¹⁹⁾
1946 (S 21)	1.10	4	I. Kanno, M. Nagai and S. Arimura ¹²⁾
1956 (S 31)	1.10	1	S. Arikawa ¹⁾
1976 (S 51)	1.41	1	} Present work
1977 (S 52)	1.42	2	
1978 (S 53)	1.43	1	
1979 (S 54)	1.60	2	
1980 (S 55)	1.56	6	
1981 (S 56)	1.74	2	
1982 (S 57)	1.67	2	
1983 (S 58)	1.57	2	

wt%と高い値を示し、しかも、大正3年(1914年)の値の1.88 wt%に近づく傾向がある。桜島火山灰中の K_2O 濃度と火山活動との相関性がより明らかになれば、今後の桜島火山の大爆発の予知に役立つものと考えられる。

要 約

桜島の火山活動は1972年以来、非常に活発になってきている。年間の爆発回数、噴煙回数それに地震回数は驚くほど増加している。桜島からの多量の降灰は、桜島周辺の農林産物に多大の被害を与えている。

リモートセンシング技術を用いて、圃場や森林への降灰の影響を測定した。筆者らは、1977年より日本国土海洋総合学術診断(JAFSA)プロジェクトに参加し、桜島の火山活動が記録されているMSSデータを解析した。1977年8月に観測したMSSデータを用いて、Ch.7に青、Ch.9に緑、Ch.11に赤を対応させたカラー合成写真を作成して、桜島の溶岩台地の分布を明確に解析した。

降灰の影響を定量的に解析するため、火山灰に覆われた樹木と野菜の葉面の分光反射率と、火山灰に覆われていない樹木と野菜の葉面の分光反射率の変化を測定した。この結果を垂水地区における噴煙の流れが記録されている1977年10月のMSSデータの解析に用いた。CCTカウント比、すなわちCh.3/Ch.9、Ch.5/Ch.9とCh.7/Ch.9のデジタル演算で得られたカラー合成写真と、それに対応する濃淡マップの解析を行い、垂水地区における圃場や森林に対する降灰の分布を明かにすることができた。

一方、火山灰の物理的性質は、桜島火山の活動に関する多くの情報を与えるものと考えられる。火山灰中の天然放射性核種を、ゲルマニウム検出器と多重波高分析装置を用いて解析した。 ^{40}K が最も多量に含まれる核種で、火山灰中の ^{40}K の放射能は9.4~12.0 pCi/gであった。 K_2O の濃度と ^{40}K の放射能は、最近すでに増加していることが示された。

謝辞 この研究を行うにあたり、貴重な資料を提供していただいた、鹿児島県農政部と総務部消防防災課および鹿児島地方気象台の各位に謝意を表します。

文 献

- 有川貞清：桜島火山活動に関する中毒学的研究 第1報 桜島火山灰の化学組成。鹿児島大学医学雑誌, No.10(5), 1556-1564(1958)
- 団野皓文・徳重陽山・黒木晴輝・宮里 満・石黒悦爾：桜島火山の降灰が農林産物におよぼす影響調査。日本国土海洋総合学術診断研究報告集, 39-44(1978)
- 団野皓文・徳重陽山・黒木晴輝・宮里 満・石黒悦爾：桜島火山の降灰が農林産物におよぼす影響調査-II。日本国土海洋総合学術診断 昭和53年度技術報告集一国土関係一, 89-93(1979)
- 団野皓文・黒木晴輝・宮里 満・石黒悦爾：桜島火山の降灰が農林産物におよぼす影響調査-III。日本国土海洋総合学術診断 昭和54年度技術報告集一国土関係一, 195-202(1980)
- 団野皓文・宮里 満・石黒悦爾：植物の分光反射率におよぼす桜島降灰の影響。鹿大農学術報告, No.30, 217-224(1980)
- 団野皓文・黒木晴輝・宮里 満・石黒悦爾：桜島火山の降灰が農林産物におよぼす影響調査-IV。日本国土海洋総合学術診断 昭和55年度技術報告集一国土関係一, 133-140(1981)
- 団野皓文・鎌田政明・西山安夫・坂元隼雄：桜島火山灰中の ^{40}K の分析。RADIOISOTOPES, 30, 599-601(1981)
- 土井健治：私信による
- 藤村貞夫・豊田弘道・愛甲 敬：福山地区におけるリモートセンシングプロジェクト(2)。日本国土海洋総合学術診断研究報告集, 347-358(1977)
- 鹿児島県・鹿児島県議会・鹿児島県市長会・鹿児島県市議会議長会・鹿児島県町村会・鹿児島県町村議会議長会：桜島災害(爆発, 降灰等)に対する特別立法等に関する要望書。(1977)
- 鹿児島地方気象台：桜島火山活動観測記録
- 菅野一郎・永井政雄・有村玄洋：桜島・阿蘇火山噴出新鮮灰の鉱物成分と化学的組成。九州農業試験場彙報, 2(2), 179-188(1954)
- 日本造船振興財団：リモート・センシング技術の利用による国土診断に関連する資料の収集事業。日本国土海洋総合学術診断 昭和51年度事業報告書。(1977)
- 日本造船振興財団：リモート・センシング技術の利用による国土診断に関連する資料の収集事業。日本国土海洋総合学術診断 昭和52年度事業報告書。(1978)
- 農林省構造改善局農政部農用地対策室：活動火山周辺地域防災営農対策指導指針(桜島火山関係)。(1976)
- 大庭 昇・富田克利・山本温彦・井ノ上幸造・大迫暢光：1977~1979年噴出桜島火山灰の物理化学的性質。桜島地域学術調査協議会調査研究報告, 75-88(1980)
- 斉藤元也・福原道一・安田嘉純：小麦の分光反射特性の測定。日本国土海洋総合学術診断研究報告集, 55-60(1978)
- 高畑 滋・福原道一・深山一弥・斉藤元也：リモート・センシングによる'77年有珠山噴火農業被害調査。日本国土海洋総合学術診断研究報告集, 31-38(1978)
- 山口鎌次：大正3年及昭和10年に噴出せし桜島の火山灰に就て。地質学雑誌, 44(524), 383-391(1937)

20) 安田嘉純・渡辺 潔・飯坂讓二・古賀眞網：稲作塩害の調査。日本国土海洋総合学術診断研究報

告集, 45-48(1978)

Summary

Since 1972, quite active development has been observed in the volcanic activity of Mt. Sakurajima, with a remarkable increasing revealed in the number of eruption, frequency of volcanic smoke and incidence of earthquake per year. Large amounts of volcanic ashes falling from Mt. Sakurajima give severe damages on to the crops and forests in and around the Sakurajima area.

It was with the application of the remote sensing technique that the effects of the falling ashes on to the fields and forests were measured. We have been the members of the JAFSA Project since 1977, which enabled us to avail the MSS data in which the volcanic activities of Mt. Sakurajima were recorded. By making use of the MSS data fixed in August 1977, it was possible for us to make clear analysis on the lava flowing patterns of Mt. Sakurajima with the aid of newly devised color composite image (Ch. 7: B, Ch. 9: G, Ch. 11: R).

In order to make a quantitative research on the effects of the falling ashes, measuring was carried out on the changes in spectral reflectance of leaves of trees and vegetables covered with the volcanic ashes or of those which were not covered with them. These results were availed in analyzing the MSS data in which the flow of volcanic smoke in Tarumizu area was recorded in October 1977. Basing on the analyses made on the color composite image obtained by applying the digital performance of CCT-counting ratios, (Ch. 3/Ch. 9, Ch. 5/Ch. 9 and Ch.7/Ch. 9) and on the corresponding grey maps, the distribution of the falling ashes in the fields and forests in Tarumizu area can be clearly determined.

Besides these, the physical properties of the volcanic ashes were deemed to provide not a few informations concerning the volcanic activity of Mt. Sakurajima. With the use of the multichannel puls height analyzer with the pure Ge detector, natural radioactive nuclides in the falling ashes were analyzed. It was ascertained that the most abundant nuclide was K-40, and that of K-40 activities in the ashes were in the range from 9.4 to 12.0 pCi/g. It was also noted that the content of K_2O and the activity of K-40 were gradually increasing from year to year, recently.